

0006

JNC TJ7440 2005-028  
~~PNC ZJ1459 94-001~~

~~限定資料~~

# 西南日本グリーンタフ地域新第三紀 堆積岩類の深部地質環境データ

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

1994年3月

株式会社 エースヘリコプター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課  
電話：029-282-1122 (代表)  
ファックス：029-282-7980  
電子メール：[jserv@jnc.go.jp](mailto:jserv@jnc.go.jp)

Inquires about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184, Japan

◎核燃料サイクル開発機構  
(Japan Nuclear Cycle Development Institute)  
2005

~~この資料は、動燃事業団の開発事業を進めるため、特に限られた関係者だけに開示するものです。ついては、複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことは使用しないよう特に注意して下さい。~~

本資料についての問合せは下記に願います。

~~〒107 東京都港区赤坂1-9-13~~

~~—動力炉・核燃料開発事業団—~~

~~—技術協力部 技術管理室—~~

JNC TJ7440 2005-028  
~~PNC ZJ1459-94-001~~

~~限定資料~~

# 西南日本グリーンタフ地域新第三紀 堆積岩類の深部地質環境データ

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

1994年3月

株式会社 エースヘリコプター

1994年 3月

## 西南日本グリーンタフ地域新第三紀堆積岩類の深部地質環境データ\*

■■■■■■\*\* , ■■■■■■\*\* , ■■■■■■\*\*  
 ■■■■■■\*\*\* , ■■■■■■\*\*\* , ■■■■■■\*\*\* , ■■■■■■\*\*\* ,  
 ■■■■■■\*\*\* , ■■■■■■\*\*\* , ■■■■■■ , 他

## 要 旨

本資料は、富山県砺波市伏木谷地区における深度458.00mの試錐データを取りまとめたものである。

岩芯の地質は、泥岩、砂岩及び凝灰岩を主体とし、火山礫凝灰岩、礫質凝灰岩などを挟む。火山礫凝灰岩、礫質凝灰岩部は乱流堆積物ないしはタービダイトの岩相を呈す。これら堆積岩の傾斜は水平から20°と緩い。なお、深度11.25 mまでは風化帯である。

抽出された割れ目の総数は487本であり、全孔での頻度は109本/mである。岩相別の頻度が1.67~0.93本/mで岩質による極端な相違はないが、凝灰岩で最も少ない。割れ目の傾斜は低角度のものが多いが、70°~85°の高角度まで変化に富む。パターンはPパターンが圧倒的に多く、全体の78%を占める。なお、開口性の割れ目は少なく、掘削中に逸水を伴うものはない。

RQDは0~100%を示すが、全平均では38.0%と低く、深度別には深部、岩相別では凝灰岩で比較的大きい値を示す。

岩盤等級は全てC<sub>M</sub>及びC<sub>L</sub>にランクされるが、とくに低級のC<sub>L</sub>は深度50m以浅に集中する。

物理検層結果は、顕著な破砕帯や変質帯の存在がなく、岩芯物性試験による岩質的に大きな差異が認められず、電気検層等では特徴的な変化は検出されない。全般的に低比抵抗を示すが、深部で僅かに抵抗を高め、凝灰岩の優勢な部分と良く対応している。

岩芯試験結果から得られた見掛比重は、平均1.98で、最高が凝灰岩の2.12、最低が同じく凝灰岩の1.73である。

超音波試験によるP波速度は、平均2.67km/secであり、最大は3.09km/sec、最小は2.44km/secで見掛比重と同様の傾向を示す。

一軸圧縮強度は、平均234kgf/cm<sup>2</sup>で、最大は414kgf/cm<sup>2</sup>、最小は105kgf/cm<sup>2</sup>で全般に低値を示すが、最小の泥岩と最大の凝灰岩とでは倍の開きがある。

熱伝導率は、平均 $3.807 \times 10^{-3}$  cal/cm<sup>2</sup>・s・°Cで、最大4.507 cal/cm<sup>2</sup>・s・°C、最小が3.150 cal/cm<sup>2</sup>・s・°Cを示し、火成岩類に比べ僅かに低めである。

比熱は300°Cにおいて、0.250~0.295 cal/g・°Cを示す。

線熱膨脹係数は、平均 $-1.22 \times 10^{-6}$ /°C、最大 $7.57 \times 10^{-6}$ /°C、最小 $-9.38 \times 10^{-6}$ /°C



である。負の値を示す原因は、変質による粘土鉱物やガラスの脱水よるとされているが、本地域では変質の程度は弱く、負の値も大きくはない。

ポアホールスキヤナ観測での開口き裂は総数21本、ヘヤークラックは総数55本、その他鉱脈が3本抽出された。開口き裂は、層理面の集中度の高いN75E, 15Nに集中する傾向がみられる。ヘヤークラックは層理面に沿う低角度のほか、70°～86°の高角度が発達する。

原位置透水試験の結果、浸透係数は $k = 4.98 \times 10^{-6} \sim 4.28 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$ と小さい値を示す。10<sup>-6</sup>台の最も大きい値を示す箇所は深度213.10～214.70mでコアではオープンクラックのある位置に相当する。

これらの結果を総合すると、岩相別に多少の差異はあるが、岩盤等級がほとんどがC<sub>M</sub>に分類される軟岩の堆積岩地域で、透水係数に影響する程の顕著な割れ目は存在しない。

地下水の化学分析及び同位体分析結果より、本地下水は陸水（降雨、地表水）以外の水を含むpH8.1のNa・Cl型の地下水であることが明らかとなった。

また、有機物含有量はTOCで1.85ppmと高い値を得た。バクテリア調査から全菌数は $9.1 \times 10^6 \text{ cell/ml}$ 、生菌の鉄酸化細菌は不検出、メタン菌は $2.7 \times 10 \text{ MPN/ml}$ 、硫酸還元菌は $2.4 \times 10^5 \text{ MPN/ml}$ の結果を得た。

---

\* 本報告書は（株）エースヘリコプターが動力炉・核燃料開発事業団との契約により実施した業務の成果である。

契約番号：052A1076

事業団担当部課室：環境技術開発推進本部 地層科学研究グループ（          ）

\*\* 株式会社エースヘリコプター

\*\*\* 同和工営株式会社 資源事業部

## Data on the deep geologic environment of the Neogene Tertiary Green Tuff region of the Southwest Japan

██████████\*, ██████████\*, ██████████\*, ██████████\*\*,  
██████████\*\*, ██████████\*\*, ██████████\*\*,  
██████████\*\*, ██████████\*\* and ██████████\*\*

This paper presents the data obtained from a 458.00 metres deep drill hole in the Fushikitani district, Tonami city, Toyama prefecture.

Generally, a geologic feature of drill cores are mudstone, sandstone and tuff, with tuff breccia and lapilli tuff are caught in the principal rock type. The tuff breccia and lapilli tuff present like a turbulent flow deposit or turbidite. These rocks indicated inclination of 20 degree. The weather zone are 0 to 11.25 metres depth.

The fractures of 487 were observed and its frequency indicated 109 per metre in the all drill cores. These fractures frequency of each rocks indicated 1.47 to 0.93 per metre, because of most low presence of fracture were tuff. An inclination of the fractures were great number of more flat, but high inclination of 70 to 85 degree were portion appearance. The main fracture pattern were 78 percent of the P type. The open fracture were low appearance frequency, and lost circulation were no appearance during the drilling work.

The RQD was indicated 0 to 100 percent, and total average were 38.0 percent. More high probability of the RQD was indicated in more deep of depth and tuff of rock type, respectively.

The rock grade classification indicated CM and CL of all. Particularly, CL was concentrated on lower level than 50 metres.

The results of well logging, remarkable shear zones and alteration zones were absent. From the core analysis, difference of rock quality were not recognized. The results of the electrical well logging that characteristic changes were not analyzed. Generally, the results of well logging were indicated low resistivity, but in the more deep part were indicated a little high resistivity. These results corresponded to range of the more tuffaceous part. The core analysis showed 1.98 as a mean apparent specific gravity (from 2.12 to 1.73 in tuff).

Ultrasonic survey showed 2.67 km / sec as a mean primary velocity and these results were as good as the results of apparent specific gravity (from 3.09 to 2.44 km / sec). Unconfined compression tests showed 234 kgf/cm<sup>2</sup> as a mean (from 414 to 105 kgf / cm<sup>2</sup>) and generally, the numerical value of these were low.

Thermal conductivity showed  $3.807 \times 10^{-3}$  cal/cm sec °C as a mean (from 4.507 to  $3.150 \times 10^{-3}$  cal/cm · sec · °C). The results were generally lower than igneous rocks. The specific heat measurements showed 0.250 to 0.295 cal/g · °C at 300°C.

Observation by bore hole scanner detected 21 open cracks, 55 hair cracks and 3 veinlets filled by minerals. And also the results indicated specific direction of the cracks were concentrated (N75E, 15N). The hair cracks were developed lower and higher angle. The permeabilities showed range from  $k=4.98 \times 10^{-6}$  to  $4.28 \times 10^{-8}$  cm/sec, the numerical value of these were low.

The synthetic results in this work, the cracks were disappearance that under the influence of the permeability.

Chemical and isotopic analyses of the ground water indicate that the nature of the water are characterized Na-Cl domain type and 8.1 of pH, and except for terrestrial water such as meteoric and surface water. The content of total organic carbon is as high as 1.85 ppm.

The results of bacteria-accumulation tests show the water contains total bacteria number is  $9.1 \times 10^6$  cell/ml, iron-oxidizing bacteria is not detect, methanogenic bacteria is  $2.7 \times 10^5$  MPN/ml, and surface-reducing bacteria is  $2.4 \times 10^5$  MPN/ml.

---

The work was performed by Ace Helicopter Co., LTD. under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

PNC Liaison : Geosciences Research Program Radioactive Waste Management Project ( ██████████ )

\* Ace Helicopter Co., LTD.

\*\* Dowo Engineering Co., LTD. Natural Resources Division

# I 深部地質環境データ

# 目 次

	ページ
1. 深部地質環境データ	
1. 調査の概要	1
1.1 調査件名	1
1.2 調査目的	1
1.3 調査場所	1
1.4 資料とりまとめ期間	1
1.5 調査内容	1
1.6 調査担当	3
2. 地形及び地質	4
2.1 地形概要	4
2.2 地質概要	4
2.3 地質構造	12
3. 岩芯調査	18
3.1 岩芯地質	18
3.1.1 肉眼観察	18
3.1.2 顕微鏡観察	18
3.2 割れ目状況	33
3.2.1 調査方法	33
3.2.2 調査結果	33
3.3 RQD	42
3.3.1 調査方法	42
3.3.2 調査結果	42
3.4 岩盤等級	46
3.4.1 調査方法	46
3.4.2 調査結果	46
3.5 変質	50
3.5.1 調査方法	50
3.5.2 調査結果	50
3.6 顕微鏡観察	52
3.6.1 観察方法	52
3.6.2 観察結果	52
3.7 X線分析	56
3.7.1 分析方法	56

	ページ
3.7.2 分析結果 .....	56
3.8 全岩分析 .....	59
3.8.1 調査方法 .....	59
3.8.2 調査結果 .....	59
3.9 考察 .....	60
3.9.1 岩芯の地質 .....	60
3.9.2 割れ目状況 .....	60
3.9.3 R Q D .....	61
3.9.4 岩盤等級 .....	61
3.9.5 変質 .....	62
3.9.6 顕微鏡観察 .....	62
3.9.7 X線分析 .....	63
3.9.8 全岩分析 .....	63
4. 物理検層 .....	65
4.1 検層方法 .....	65
4.1.1 音波検層 .....	65
4.1.2 自然放射能検層 .....	65
4.1.3 中性子検層 .....	66
4.1.4 電気検層 .....	66
4.1.5 温度検層 .....	67
4.1.6 孔径検層 .....	67
4.1.7 孔曲検層 .....	67
4.2 検層結果 .....	68
4.2.1 音波検層 .....	68
4.2.2 自然放射能検層 .....	68
4.2.3 中性子検層 .....	69
4.2.4 電気検層 .....	69
4.2.5 温度検層 .....	70
4.2.6 孔径検層 .....	70
4.2.7 孔曲検層 .....	71
4.3 考察 .....	79
4.3.1 音波検層 .....	79
4.3.2 自然放射能検層 .....	80
4.3.3 中性子検層 .....	80
4.3.4 電気検層 .....	81
4.3.5 温度検層 .....	81

	ページ
4.3.6 孔径検層 .....	82
4.3.7 孔曲検層 .....	82
5. 岩芯物性試験 .....	87
5.1 試験及び測定方法 .....	87
5.1.1 物性特性試験 .....	87
5.1.2 超音波速度試験 .....	88
5.1.3 一軸圧縮強度試験 .....	88
5.1.4 圧裂引張強度試験 .....	89
5.1.5 熱伝導率測定 .....	90
5.1.6 比熱測定 .....	90
5.1.7 熱膨脹率測定 .....	91
5.2 測定結果 .....	92
5.2.1 物性特性試験 .....	92
5.2.2 超音波速度試験 .....	92
5.2.3 力学特性 .....	98
5.2.4 熱特性試験 .....	102
5.3 考察 .....	103
5.3.1 物性特性試験 .....	103
5.3.2 超音波速度試験 .....	106
5.3.3 力学特性試験 .....	109
5.3.4 熱特性試験 .....	110
6. ボアホールスキャナ観測 .....	117
6.1 観測方法 .....	117
6.2 観測結果 .....	119
6.3 考察 .....	129
7. 原位置透水試験 .....	141
7.1 試験方法 .....	141
7.2 試験結果 .....	147
7.3 考察 .....	149
①透水係数 $k$ .....	149
②平行水位 $WL$ .....	149
③間隙水圧分布 .....	149
④透水係数 $k$ と R Q D 及び岩盤等級の比較 .....	149

	ページ
8. 総括 .....	152
8.1 地質構造 .....	152
8.2 岩芯調査 .....	152
8.3 物理検層 .....	154
8.4 物性特性試験 .....	156
8.5 超音波速度試験 .....	156
8.6 力学特性試験 .....	157
8.7 熱特性試験 .....	157
8.8 ボアホールスキャナ観測 .....	158
8.9 原位置透水試験 .....	158
9. 今後の調査についての提言 .....	160
参考文献 .....	161

## 図 表 目 次

	ページ
図 1. 1 調査位置図 .....	2
図 2. 1 調査地周辺地質平面図 .....	5
図 2. 2 調査地周辺地質断面図 .....	7
図 2. 3 調査地周模式柱状図 .....	10
図 2. 4 (1), (2) 空中写真から判読されるリニアメント .....	13
図 2. 5 調査地周辺地域のリニアメント解析図 (ローズダイヤグラム) ...	17
図 3. 1 深地伏木谷岩芯地質柱状図 .....	19
図 3. 2 割れ目柱状図 .....	34
図 3. 3 岩相別割れ目分布図 .....	35
図 3. 4 パターン別割れ目状況図 .....	35
図 3. 5 岩相別パターン別割れ目頻度図 .....	39
図 3. 6 深度別割れ目頻度図 .....	39
図 3. 7 深度別岩相別割れ目頻度図 .....	40
図 3. 8 深度別パターン別割れ目頻度図 .....	40
図 3. 9 深度別岩相別パターン別割れ目分布図 .....	41
図 3. 10 深度別岩相別パターン別割れ目頻度図 .....	41
図 3. 11 岩相別 R Q D 状況図 .....	42
図 3. 12 深度別岩相別 R Q D 状況図 .....	43
図 3. 13 岩相別岩盤等級状況図 .....	47
図 3. 14 深度別岩相別岩盤等級状況図 .....	47
図 3. 15 R Q D 及び岩盤等級状況図 .....	49
図 4. 1 物理検層柱状図対比図 .....	73
図 4. 2 孔曲検層結果図 .....	82
図 4. 3 比抵抗と P 波速度の関係図 .....	83
図 4. 4 比抵抗と自然放射能強度の関係図 .....	84
図 4. 5 比抵抗と中性子孔隙率相関図 .....	85
図 4. 6 中性子-ガンマ線強度の関係図 .....	86
図 5. 1 岩芯物性試験データ総括図 .....	95
図 5. 2 (1)~(4) 一軸圧縮試験図 (静ポアソン比測定) .....	99
図 5. 3 見掛比重と飽和含水比重の関係図 .....	104
図 5. 4 見掛比重と有効孔隙率の関係図 .....	105
図 5. 5 吸水率と有効孔隙率の関係図 .....	105



	ページ
図 5. 6 P波速度と有効孔隙率の関係図 .....	107
図 5. 7 P波速度と飽和含水比重の関係図 .....	107
図 5. 8 動ポアソン比と動ヤング率の関係図 .....	108
図 5. 9 静ポアソン比と静ヤング率の関係図 .....	108
図 5. 10 有効孔隙率と熱伝導率の関係図 .....	111
図 5. 11 吸水率と熱伝導率の関係図 .....	111
図 5. 12 線膨脹係数と有効孔隙率の関係図 .....	112
図 5. 13 (1)~(4) 岩相別線膨脹率と線膨脹係数の関係図 .....	113
図 5. 14 温度と比熱曲線図 .....	115
図 5. 15 吸水率と比熱の関係図 .....	115
図 5. 16 有効孔隙率と比熱の関係図 .....	116
図 6. 1 BIPS-1500 のシステム構成図 .....	118
図 6. 2 不連続面のプロット図 .....	131
図 6. 3 不連続面のコンターマップダイヤグラム .....	133
図 6. 4 (1), (2) 深度ごとの不連続面のプロット図 .....	135
図 6. 5 岩盤状態図 .....	139
図 7. 1 水の体積 .....	145
図 7. 2 インナーバック圧縮補正曲線 .....	145
図 7. 3 貯留係数を考慮した単孔式透水試験の標準曲線 .....	146
図 7. 4 $H/H_0$ - $\log t$ 関係図の一例 .....	146
図 7. 5 マッチングポイントの一例 .....	146
図 7. 6 深度別透水係数分布図 .....	148
図 7. 7 地下水の湧水対象層の模式図 .....	149
図 7. 8 間隙水圧分布図 .....	150
図 7. 9 RQD値・岩盤等級と透水係数分布図 .....	151

表 1. 1	資料調査項目一覧表	1
表 3. 1	岩相別岩芯長	33
表 3. 2	岩相別割れ目状況	33
表 3. 3	岩相別パターン別割れ目状況	36
表 3. 4	深度別岩相別岩芯長及び割れ目状況	37
表 3. 5	深度別岩相別パターン別割れ目状況	38
表 3. 6	深度別岩相別RQD値と割れ目頻度の関係	43
表 3. 7	深度別岩相別破碎状況	44
表 3. 8	割れ目の連続性	45
表 3. 9	深度別岩相別岩盤等級と割れ目頻度の関係	46
表 3. 10	深度別岩相別岩芯長及び鉱物脈一覧表	51
表 3. 11	顕微鏡観察結果一覧表	53
表 3. 12	X線分析結果一覧表	58
表 3. 13	全岩分析結果一覧表	59
表 3. 14	油田地域と化学成分の比較	64
表 4. 1	岩相別物理検層結果一覧表	75
表 4. 2	深度別物理検層結果一覧表	76
表 4. 3	深度別岩相別物理検層結果一覧表	77
表 4. 4	孔曲検層結果一覧表	78
表 5. 1	岩芯物性値一覧表	97
表 5. 2	岩相別平均物性値一覧表	97
表 6. 1	(1)~(8) ボアホールスキャナにより観察された不連続面一覧表	120
表 6. 2	岩芯調査とボアホールスキャナ観測の対比表	128
表 7. 1	補正係数 $\alpha$ と孔径・パッカの関係	143
表 7. 2	PNC式JFT試験結果一覧表	147
表 8. 1	調査結果関連表	159

付 図

1. 顕微鏡写真
2. 地質及び割れ目柱状図 縮尺：1／20

# I. 深部地質環境データ

## 1. 調査の概要

### 1.1 調査件名

西南日本グリーンタフ地域新第三紀堆積岩類の深部地質深部環境データ

### 1.2 調査目的

わが国の高レベル放射性廃棄物地層処分システムの性能評価と概念設計に資する地質環境モデルデータセットの整備のため、富山県砺波市伏木谷地区の泥岩の地質構造、岩石物性、地層の水理特性等に関し調査するものである。

### 1.3 調査場所 所

富山県砺波市井栗谷字谷内島4100番地、図1. 1に示す。

### 1.4 資料とりまとめ期間

自：平成6年1月14日

至：平成6年3月10日

### 1.5 調査内容

調査内容を表1. 1に示す。

表 1. 1 資料調査項目一覧表

調査名	調査量
試錐孔名	伏木谷 1号
掘削深度・方向	458.00m (風化帯下 400m以上)、垂直
掘削孔径	HQ-WL 980mm
コアリング区間	5.00m~458.00m L= 453.00 m
-----	
岩 芯 調 査 (スケッチ・サンプリング)	
岩芯肉眼観察	一 式 453.00 m
顕微鏡観察	10 試料
全岩分析	4 試料 (16成分)
X線分析(蛍光)	10 試料
X線分析(定値)	6 試料
-----	
坑 内 検 層	
電気検層	80~458 m L= 378 m
温度検層	
音波検層	
中性子検層	



1:50,000

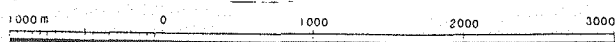


図 1. 1 調査位置図

孔径検層  
 孔曲検層  
 自然放射能検層

B H T V 検層	80.5~458 m
採水工事	深度 433.0m ~ 435.0m
透水試験	5箇所JFT 及び間隙水圧測定
岩石物性試験 力学試験 物性試験 熱特性試験	一軸圧縮試験、圧裂引張強度試験 密度測定、孔隙率測定、含水率測定、超音波速度測定 熱伝導率測定、比熱測定、線膨脹率測定
解析・報告書作成	一式

1.6 調査担当

技術責任者（総括） [ ]  
 （岩芯試験担当） [ ]  
 （連絡・調整担当） [ ]

調査・測定及び報告書の担当

全般 [ ]  
 試錐掘削 [ ]  
 コア観察 [ ]・[ ]・[ ]  
 顕微鏡観察 [ ]  
 X線回折分析 [ ]  
 赤外線放射計測 [ ]・[ ]・[ ]・[ ]  
 物理検層 [ ]・[ ]・[ ]  
 岩芯物性測定 [ ]・[ ]・[ ]  
 原位置透水試験 [ ]・[ ]・[ ]

## 2. 地形及び地質

### 2.1 地形概要

調査地域は、飛騨山地の北縁から富山・砺波平野に至る間の丘陵地帯にあり、南に高く、北に低い地勢を示す。

試錐位置は、富山県砺波市の東南東、直距8kmに位置し、寺尾温泉を通り中尾、清水部落に至る旧道側の標高約200mの地点にある。砺波平野の東縁を北に流れる庄川と、さらに東側を北々東に流下し富山平野で神通川に合流する山田川に囲まれた丘陵地である。

山系は、調査地点の南方に高尾山（標高544m）、牛岳（標高987m）、高峰（標高1,071m）等の急峻な山峰があり、高尾山の北麓付近からは比較的なだらかな丘陵地形となる。緩傾斜を示す丘陵地帯は、新第三紀の泥岩及び砂岩・礫岩を主とする堆積岩が主体をなす地域である。

### 2.2 地質概要

富山県の地質は、中生代以前の火成岩類・変成岩類、中生界、白亜紀末—古第三紀火成岩類、新第三紀堆積物及び第四紀堆積物からなる。これらの地質単元はほぼ帯状の配列で、富山県の地形特性と著しい対応を示して分布する。

調査地点は、富山平野と砺波平野の中間地域に張り出した、主に新第三紀の中新世—鮮新世の堆積岩類からなる丘陵地に位置する（10万分1富山県地質図説明書）。なお、この周辺での貫入岩の発達は見られない。

調査地点を含む周辺の地質及び断面図を図2.1及び図2.2に示す。また、調査地点を含む周辺地域一帯の模式柱状図を図2.3に示す。今回の調査は、本図の八尾層の一部を占める伏木谷泥岩の中で行われた。

次に、各地層の特徴を記載する（主に八尾図幅及び説明書による）。

#### [船津花崗岩類]

飛騨山地にあって、古生代あるいは中生代初期の深成岩に属すると考えられるものを一括して船津花崗岩類と呼ばれている。調査地点の南方7km付近より南に分布する岩体は、この付近の基盤をなす庄川花崗閃緑岩であり、飛騨変成岩類の北縁を帯状に取り巻く船津花崗岩類の一部である。岩質は、黒雲母、角閃石、微斜長石、斜長石及び石英からなる黒雲母花崗閃緑岩である。

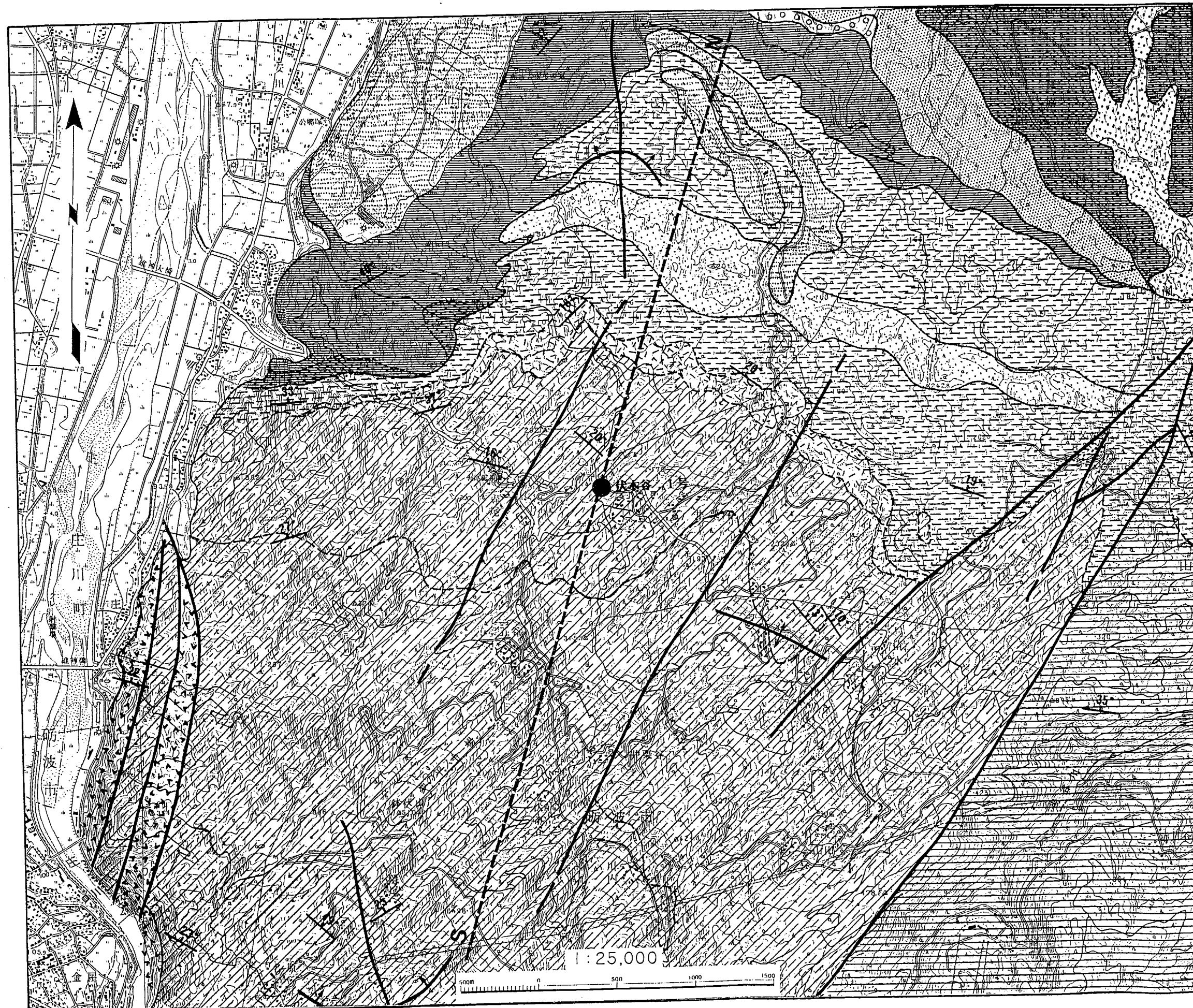
#### [楡原層]

調査地点南部に発達する本層は、基底部に薄い含礫粗粒砂岩とその上に塊状砂岩が発達し、この部分を芦生砂岩層として区分している。また、この地域では芦生砂岩層上の一部に、砂岩（厚さ3~4m）及びシルト岩（厚さ1~2m）の互層が、茗ガ島砂岩シルト岩互層として分布する。楡原層の層厚さはこの付近で75~100mを示し、船津花崗岩類を覆う。

#### [岩稲層]

調査地点南部に発達する本層は、下部及び上部で凝灰岩、火山礫凝灰岩、火山角礫岩





地質凡例

- |                      |           |               |
|----------------------|-----------|---------------|
| 開折扇堆積物及び沖積層<br>段丘堆積物 |           | 礫及び砂          |
| 高位段丘堆積物              |           | 礫             |
| 首<br>川<br>墨<br>層     | 青井谷泥岩層    | 砂質泥岩          |
|                      | 天狗山砂岩層    | 砂岩            |
|                      | 和田川橋礫岩層   | 礫岩            |
|                      | ~         |               |
| 八<br>尾<br>墨<br>層     | 三谷泥岩層     | 泥岩<br>(含礫部)   |
|                      | 塩谷砂岩層     | 中粒砂岩          |
|                      | 城山泥岩層     | 塊状泥岩          |
|                      | 山田中凝灰岩層   | 凝灰岩層          |
|                      | 伏木谷泥岩層    | 黒色泥岩          |
|                      | 聞名寺砂岩泥岩互層 | 砂岩泥岩<br>の互層   |
|                      | ~         |               |
| 医王山墨層                |           | 流紋岩質<br>軽石凝灰岩 |
|                      | 走行及び傾斜    |               |
|                      | 背斜軸       | 鼻状構造          |
|                      | 向斜軸       | 半盆地構造         |
|                      |           | 断層            |

図 2.1 調査地周辺地質平面図



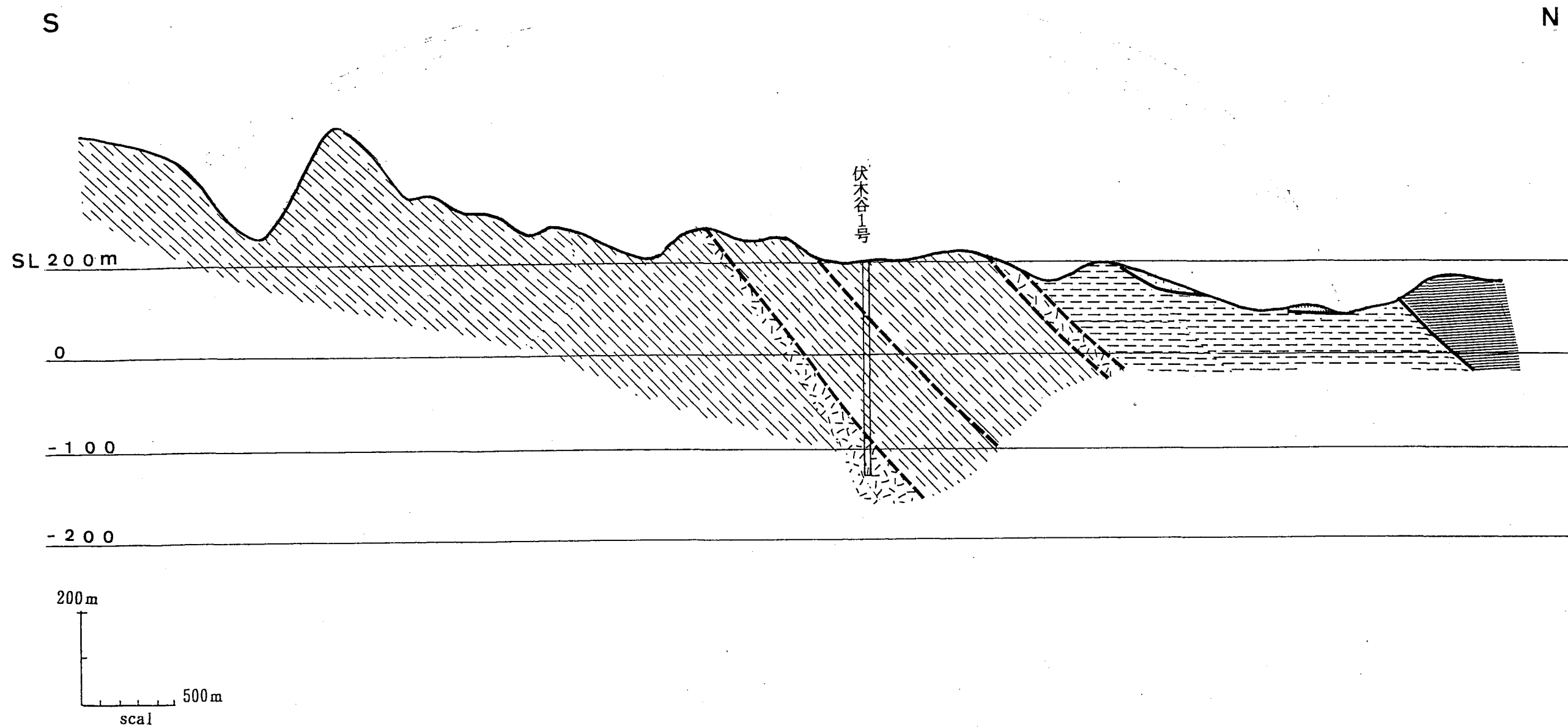
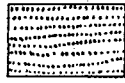


图 2. 2 调查地周边地质断面图

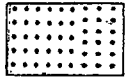
# 地質凡例

開折扇堆積物及び沖積層  
段丘堆積物



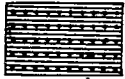
礫及び砂

高位段丘堆積物



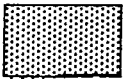
礫

音 青井谷泥岩層



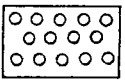
砂質泥岩

川 天狗山砂岩層



砂 岩

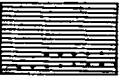
墨 和田川橋礫岩層



礫 岩

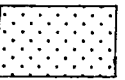
層 ~

八 三谷泥岩層



泥 岩  
(含礫部)

尾 塩谷砂岩層



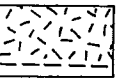
中粒砂岩

墨 城山泥岩層



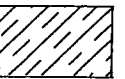
塊状泥岩

層 山田中凝灰岩層



凝灰岩層

伏木谷泥岩層



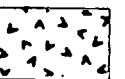
黒色泥岩

聞名寺砂岩泥岩互層



砂岩泥岩の互層

医王山墨層



流紋岩質軽石凝灰岩



25° 走行及び傾斜



背斜軸



向斜軸



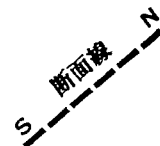
鼻状構造



半盆地構造



断 層



時代	層序		層厚 (m)	地質柱状	記載
第四紀		冲積層 段丘堆積物			砂 礫
新第三紀 (鮮新世 ~ 中新世)	音川層	青井泥岩層	700~800		青灰色砂質シルト岩ないし粘土質シルト岩
		天狗山砂岩層 和川橋礫岩層			暗褐色~褐色、中~粗粒砂岩 チャート、安山岩等1~2cmの礫
		三谷泥岩層 塩谷砂岩層 城山泥岩層	550		粘土質、緻密、均質泥岩。礫岩の挟み  灰褐色、軟弱、塊状、 淘汰不良の砂岩  暗灰色~灰色(風化)、均質泥岩
	八尾層	伏木谷泥岩層 聞名寺互層 黒瀬谷礫岩砂岩層 泥岩層	900		軽石質粗粒凝灰岩、凝灰質砂岩の挟み  黒色、暗褐色、 均質泥岩  暗褐色、暗灰色、 軟弱砂岩と泥岩の 5cm単位互層  礫岩-砂岩 礫岩-砂岩-泥岩 の不相調な互層
		室敷礫岩層			安山岩礫
		医王山層	医王山層	200 75	
	岩稲層	岩稲谷層			火山円礫岩、凝灰岩、火山礫凝灰岩、 凝灰角礫岩(安山岩質)
		溶岩 溶岩	1,000		溶岩(カンラン石玄武岩、輝石安山岩、 無機晶質安山岩)  凝灰質砂岩  溶岩(カンラン石玄武岩、輝石安山岩、 無機晶質安山岩)
	檜層	荻島互層 芦生砂岩	300 100		砂岩とシルト岩の互層  塊状砂岩
	古生代?	船花崗岩 津屋			黒雲母花崗閃緑岩

図 2. 3 調査地周辺模式柱状図

が大部分を占める。中部では凝灰質砂岩を、最上部では火山円礫岩を挟む。また、かんらん石玄武岩、輝石安山岩、無斑晶質安山岩等が本層の一部を占める。本層は一般に変質を受けて緑色を呈している。層厚は最大で1,000 mを示す。

下位の檜原層とは整合関係にある。

#### [医王山層]

本層は、八尾図幅の西半分の地域、調査地点南部のみに分布する。下部は灰白色～灰緑色軽石質凝灰岩で、基底部に火山礫ないしは5cm大の角礫を伴う。この上位は礫層を挟み、塊状軽石質凝灰岩ないしは粗粒凝灰岩でしばしば火山円礫を伴う。

層厚はこの地域で75～200 mを有し岩稀層を整合に覆うが、上位八尾層とは八尾図幅の東半分で削剥不整合関係にある。

#### [八尾層]

本層は、水平的にも垂直的にも岩相変化が激しい。八尾図幅では、東半分は礫岩、礫岩砂岩泥岩層、砂岩泥岩互層からなり、西半分は黒色泥岩を主とし、砂岩泥岩互層を挟む。全般的に下部から上部に細粒となる。

調査地点周辺の八尾層は、室牧礫岩層、黒瀬谷礫岩砂岩泥岩層、間名寺互層、伏木谷泥岩層、城山泥岩層、塩谷砂岩層、三谷泥岩層に分類される。

また、山田中凝灰岩層と呼ばれている暗緑色軽石質凝灰岩層が伏木谷泥岩層の最上部及び層間に介在する。

室牧礫岩層は、ほとんどが安山岩礫からなり、まれに花崗岩礫を伴う。径10～50cmの礫で室牧川流域に部分的に発達する。東側は黒瀬谷礫岩砂岩泥岩層に移化する。

黒瀬谷礫岩砂岩泥岩層は礫岩-砂岩、または、礫岩-砂岩-泥岩と不規則に繰り返す互層である。礫径は最大10cm、礫種は安山岩で基底付近ではまれに花崗岩礫を伴う。

間名寺互層は砂岩、泥岩の5cm単位の互層、伏木谷泥岩層は泥岩を主体をなし、しばしばシルト質、砂質、凝灰質である。両層は指交関係とされている。

間名寺互層からは大型有孔虫、伏木谷泥岩層からは多種の植物化石及び貝化石が産出している。以上の4層の層厚は900mに達し、下位の医王山層とは一部不整合関係にある。

城山泥岩層は、暗灰色均質、緻密な塊状の泥岩であるが、中間部に塩谷砂岩層を挟んで上下層に分けられる。その下部は軟弱で風化面は細片に砕けやすく、二枚貝、ウニ、有孔虫、放散虫化石の産出が報告されている。

三谷泥岩層の主体は、淡褐色～灰色、粘土質で緻密、均質な泥岩であり、0.5～1cmの厚さで板状に剥離しやすい性質がある。三谷付近では規定付近に黒色チャート、花崗岩や細礫の混入がみられる。城山泥岩層と三谷泥岩層は同時異相で、伏木谷泥岩層の4層の上位に堆積している。これら3層の層厚は550mとされている。

#### [音川層]

調査地付近の本層は、基底部の和田川橋礫岩層、天狗山砂岩層、青井泥岩層が分布する。和田川橋礫岩層は、主にチャート、安山岩の1～3cmの礫からなり、木片や軽石も混じる砂礫層である。和田川橋礫岩層は東方に薄くなり尖滅する。天狗山砂岩層は、全体として暗灰色～褐色で層理の発達が悪い塊状の中～細粒砂岩である。しばしば礫岩層

をレンズ状に挟み、特に上限では安山岩質の礫岩がかなり連続的に発達している。青井泥岩層は、青灰色の砂質シルト岩ないし粘土質シルト岩で、塊状、均質で層理はほとんど発達しない。上部でときに白色ベントナイト質の凝灰岩薄層を挟む。青井泥岩層は東方で同層準の平林砂岩層に移化する。音川層全体の層厚は 700~800 m と推測されており、下位の八尾層とは不整合関係にある。

### 2.3 地質構造

富山県の新第三紀層は、富山平野及び砺波平野を取り囲み帯状に分布する。

調査地付近の各地層は、南北系の緩い向・背斜構造を示しながら東西に伸び、全体として北に傾斜する。

断層は大局的には、NNE-SSW , NE-SW 系が優勢で、調査地域においても同系統の断層が分布する。

活断層については、村井・竹村(1979), 活断層研究会(1980, 1991) , 竹村(1983)の研究などにより特徴がまとめられている。これらによれば、地域的に①平野部及び山麓部に分布する活断層、②山地に分布する活断層、③富山湾に分布する活断層などに分類されている。いずれの地域でもNE-SW , NNE-SSE 系の活断層が顕著で、特に南部の山地で優勢である。南部の山地に発達するNE-SW 系のは右横ずれ、県東端及び西端に発達するNNW-SSE 系は左横ずれであることが解明されている。

調査地付近の活断層は、①平野部及び山麓部のグループに含まれ、NE-SW , NNE-SSE 系の活断層が発達する。中でも、砺波平野の東縁沿いのNE-SW 系の高清水断層(10万分1 富山県地質図)、日本の活断層—分布と資料(1991)—による「富山24」と「金沢1」の活断層が発達している。調査地点は、高清水断層と富山24活断層を結ぶ線上に位置する。なお、高清水断層と金沢1は同一の活断層とみなされる。

これら調査地域の活断層は、平野と山地の境界部に分布し、山地側が隆起し平野側が沈降した顕著な縦ずれ運動であることが解析されている。ほかの断層でも高清水断層と同様の特色がみられることから、E-W, またはSE~NE方向の圧縮応力による逆断層群の発達が予想されている。

また、飛騨山地から富山平野にかけての地域では、第三紀以前と第四紀とでは、応力場や断層の変異方向に違いがあったことが考えられている(坂本:1966 , 竹村・藤井:1984)。

(財)日本地図センター発行の1/20,000空中写真を解読し、抽出したリニアメントを図2.4に示す。本図にある164本のリニアメントの統計解析結果を図2.5に示す。

図2.5はローズダイヤグラムと呼ばれるもので、リニアメントの方向を18方向に分解し、図の北半球側にはリニアメントの方向性及び各方向の頻度、南半球は方向性と各方向に卓越するリニアメントの長さを表し、球半径を頻度30%で表示してある。

空中写真判読結果から、本調査地域周辺はNNE系のリニアメントが頻度及び長さとも卓越している。また、図2.4からもわかるように、山地と平野部の境界付近に高清水断層の延長とみられる長大なリニアメントが観察されることから、このリニアメントが本地域の断裂系の方向性及び頻度を反映しているものと推定される。

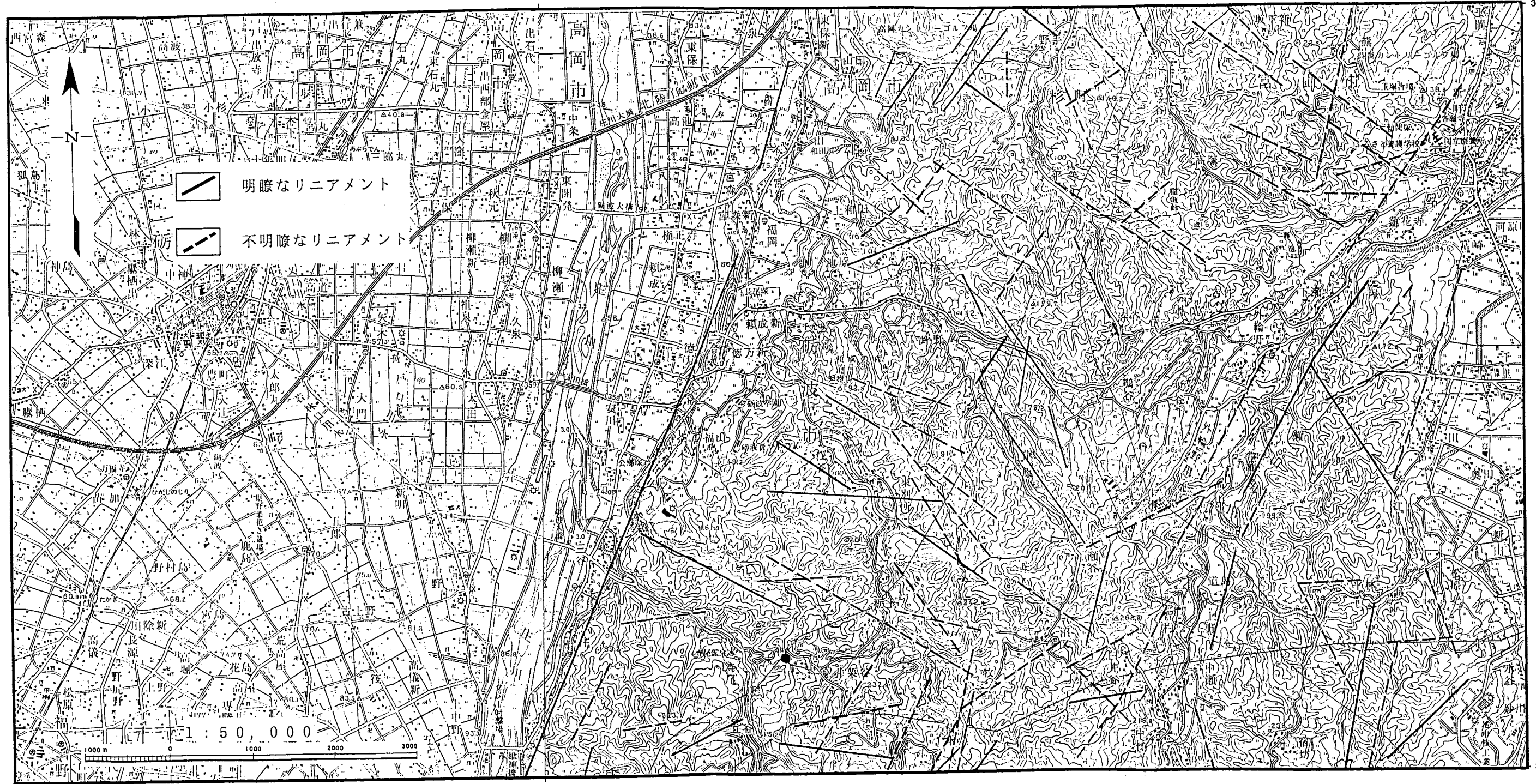


図 2.4 (1) 空中写真から判読されるリニアメント

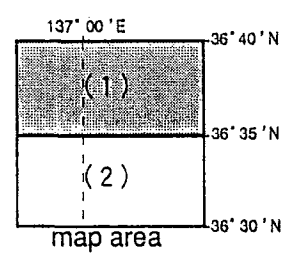
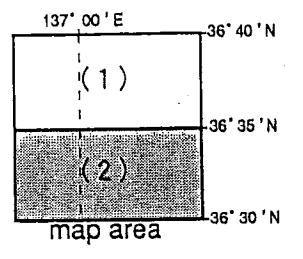






図 2.4 (2) 空中写真から判読されるリニアメント



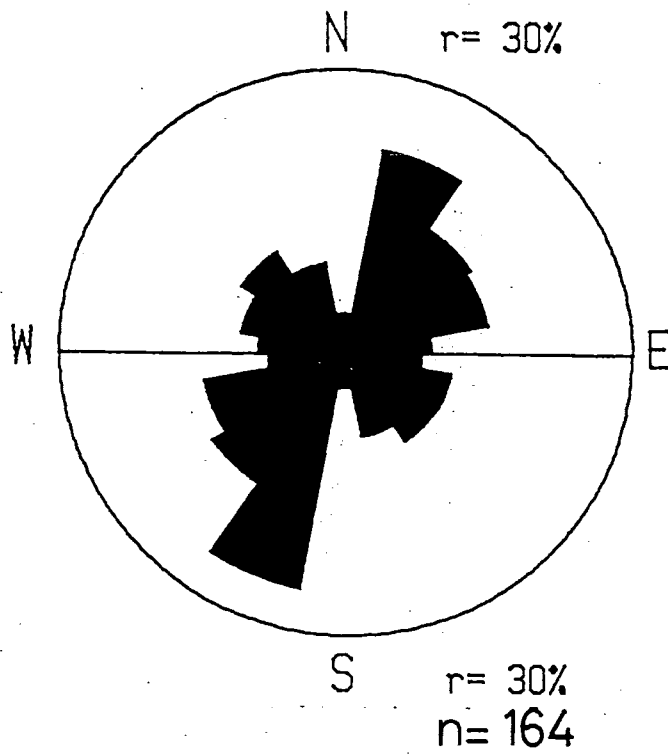


図 2 . 5 調査地周辺地域のリニアメント解析結果（ローズダイヤグラム）



### 3. 岩芯調査

#### 3.1 岩芯地質

孔井内の地質は、コア採取区間の深度 5~458 m は、新第三紀中新世八尾層の伏木谷泥岩層で、泥岩、砂岩及び凝灰岩よりなり、貫入岩類の発達はない。

伏木谷 1 号井の岩芯地質柱状図 (1/200) を図 3. 1 に示す。

##### 3.1.1 肉眼観察

孔井内の地質を深度別に次の I~V の 5 帯に区分することができる。

深度区分	構成岩石	岩石コード
I : 5.00~285.00m (280.00m)	泥岩 (シルト岩、凝灰岩、砂岩挟む)	MD
II : 285.00~382.80m (92.80m)	泥岩	MD
III : 382.80~408.10m (25.30m)	凝灰岩 (火山礫、礫を伴う)	TF(LPT)
IV : 408.10~425.40m (17.30m)	泥岩	MD
V : 425.40~458.00m (32.60m)	凝灰岩 (火山礫、礫を伴う)	TF(LPT)

注) 岩石コードは以降の記載における岩石名の略称である

深度 5.00~285.00m のうち、5.00~70.08 m の岩質は、帯褐灰色~暗灰色の泥岩、70.08~285.00m 間は黒色泥岩を主とし、シルト岩、凝灰岩、砂質凝灰岩及び中粒砂岩を挟む。介在するシルト岩、砂質凝灰岩、砂岩の厚さは数 cm から数十 cm のものが多く、まれに 10m 前後の厚さを示す。このうちシルト岩は浅部に多い。

深度 285.00~382.3 m 間は、暗灰色ないしは黒色の泥岩であるが、この泥岩は時には凝灰質あるいはシルト質となる。砂質あるいはシルト質の粒子の粗い部分では、貝化石や生痕が多くみられる。また、この厚い泥岩は、比較的塊状であるが、砂質または凝灰質部と互層あるいはこれらを挟在する部分では、級化構造の発達する部分が多い。

382.3m 以深は、全体が淡緑色~灰緑色の礫質ないしは垂角礫質凝灰岩の乱流堆積物が主体をなす。このうち、深度 408.10~425.40m は細粒凝灰岩の薄層を各所に挟む灰色泥岩で、円形及び不規則の同質泥岩の礫を含む。また、礫質の凝灰岩部は貝化石、貝殻破片及び炭質物を含む。

深度 425.40m から 458.00m の凝灰岩部は、厚さ数 cm から数十 cm の凝灰質泥岩及び砂岩を挟む。

泥岩、砂岩及び凝灰岩 (部分的に火山礫、礫の含有量に差がある) については、各岩それぞれ深度的に相違は認め難く、また、薄層で互層状を呈することか多いため、泥岩中のシルト岩は岩相区分では泥岩に、凝灰岩中の火山礫、礫質部分は岩相区分では凝灰岩に含め上述のように I~V 帯とした。

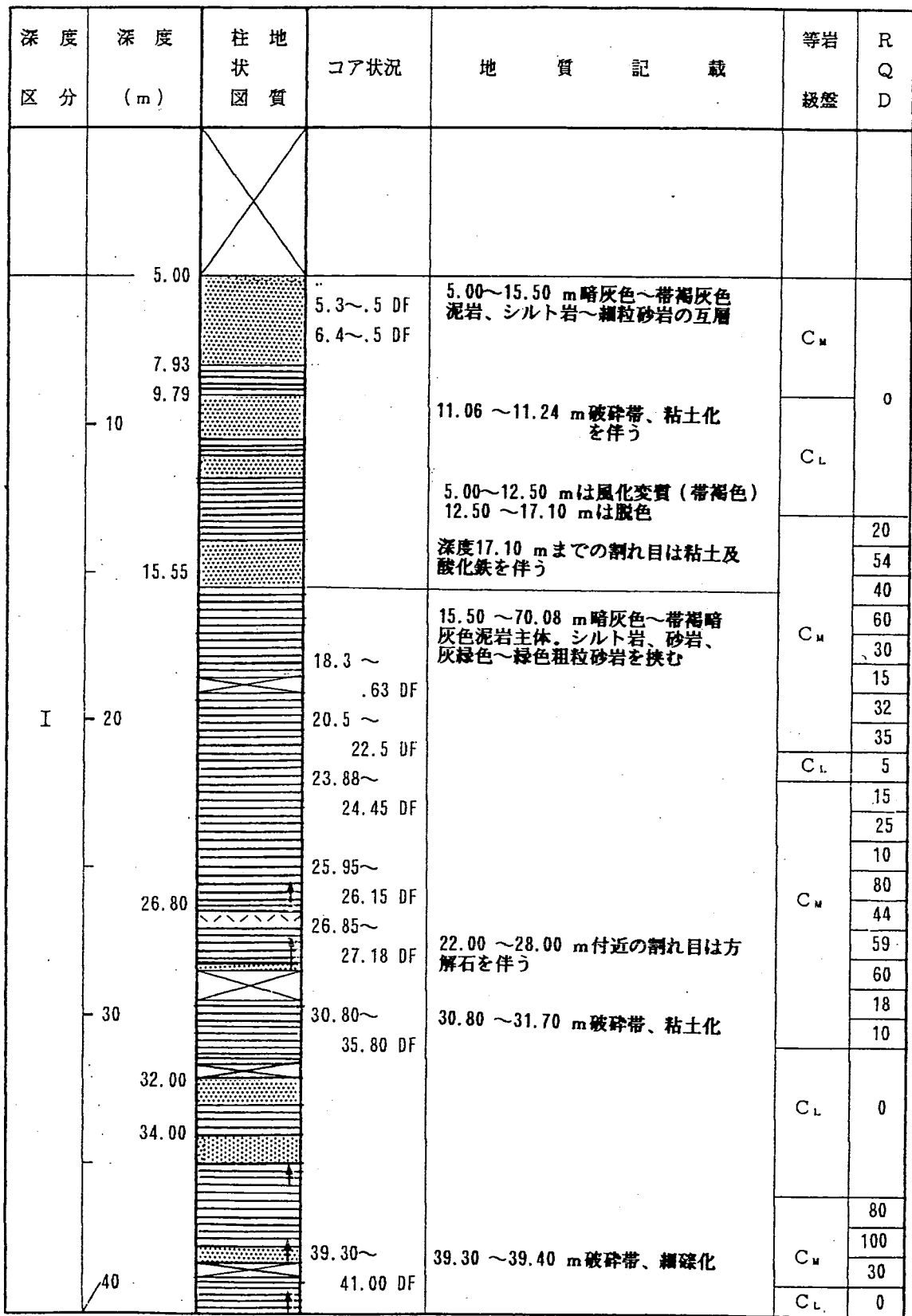
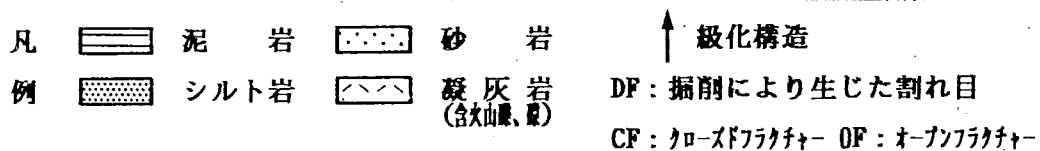


図 3.1 (1) 伏木谷岩芯地質柱状図 (1/200)



深度 区分	深度 (m)	柱状 地質 図質	コア状況	地質記載	等岩 級盤	R Q D
I	50		41.40~ 42.60 DF	40.20 ~40.40 m 破碎帯、細礫化、一部粘土化	C <sub>L</sub>	0
			58.40~ 53.60 DF	45.20 ~44.75 m 破碎帯、粘土化	C <sub>M</sub>	0
			55.90~ 56.20 DF	泥岩、シルト岩、砂岩は級化構造を示す	C <sub>L</sub>	0
			56.20~ 57.25 DF		C <sub>L</sub>	0
			59.50~ 59.80 DF		C <sub>M</sub>	13
			62.10		C <sub>L</sub>	0
			62.80		C <sub>M</sub>	13
			65.60		C <sub>L</sub>	0
			70.08		C <sub>M</sub>	0
			76.50		C <sub>M</sub>	20
			79.45		C <sub>M</sub>	70
			70.00 ~76.50 m 中粒~細粒暗~明緑色凝灰岩、層理は不明瞭で級化構造発達		C <sub>M</sub>	40
			76.50 ~121.75 m 黑色泥岩、シルト岩、凝灰質砂岩、粗粒~細粒凝灰岩互層、粗粒部分に貝化石、生痕を含む	C <sub>M</sub>	0	
				C <sub>M</sub>	70	
				C <sub>M</sub>	100	
	C <sub>M</sub>	50				
	C <sub>M</sub>	100				
	C <sub>M</sub>	90				
	C <sub>M</sub>	100				
	C <sub>M</sub>	70				
	C <sub>M</sub>	60				

図 3.1 (2) 伏木谷岩芯地質柱状図 (1/200)

岩盤等級分類 (ボーリングコアの状態)

- A : コアは100 cm以上の棒状、岩質は極めて新鮮、コアの表面滑らかで節理なし
- B : コアは40~50 cmの長柱状が主体、岩質は新鮮、コアの表面滑らかで節理少ない
- C<sub>M</sub> : コアは10~30 cmの柱状が主体、岩質はおおむね新鮮、コアの表面はおおむね滑らかで節理やや発達。

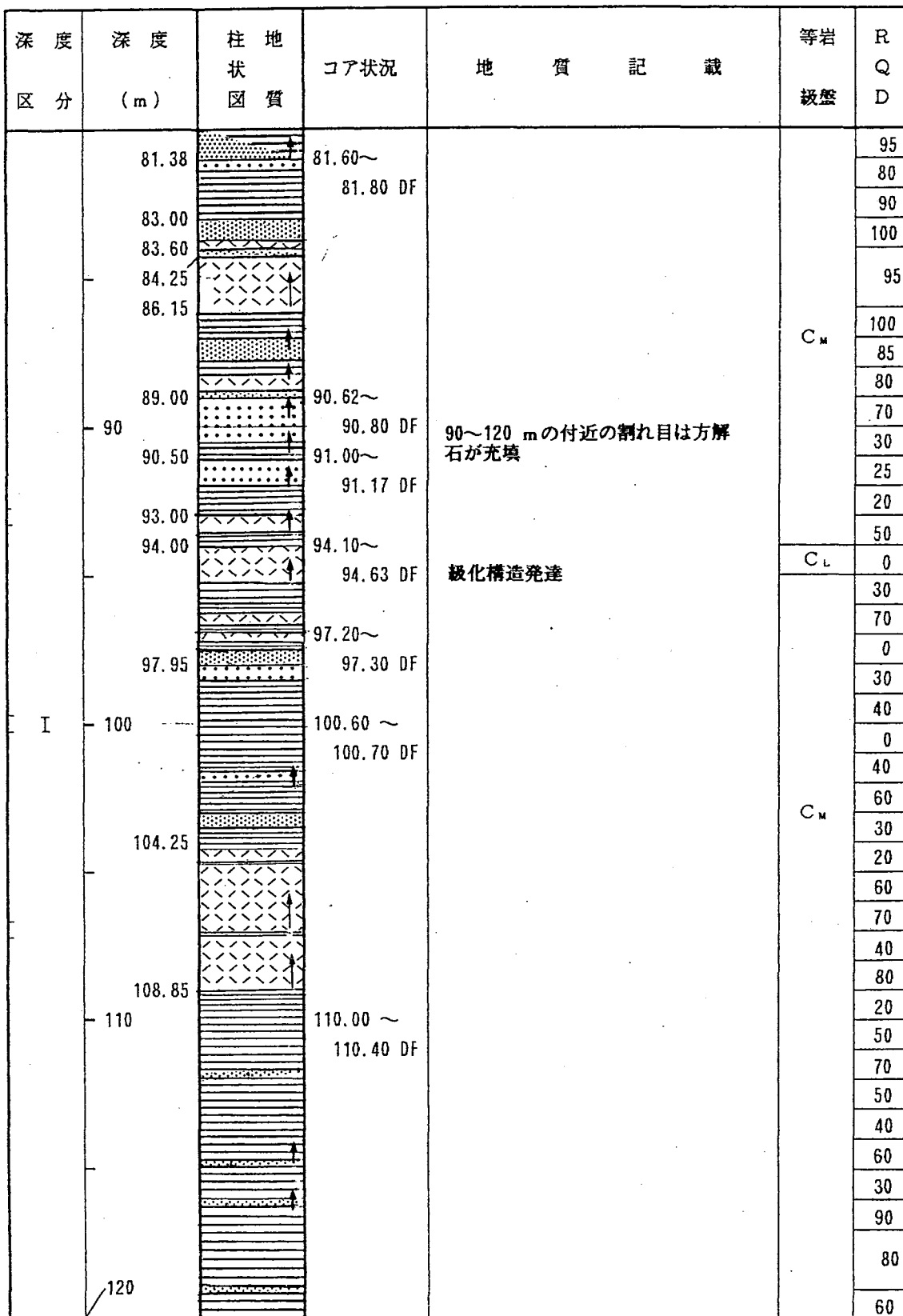


図 3.1 (3) 伏木谷岩芯地質柱状図 (1/200)

岩盤等級分類 (ボーリングコアの状態)

- C<sub>M</sub> : コアは10cm前後の短柱状が主体。岩片状でも組み合わせると円柱状になる。コアバレルから抜いた場合新たな割れ目が生じる。コア長の短いものはこの等級に入る
- C<sub>L</sub> : コアはおおむね岩片状。組み合わせても円柱状にすることは難しい。コアバレルから抜いた時崩壊し易い。
- D : コアはおおむね砂~粘土状、ダブルコアチューブを用いてもコア採取率は著しく悪い

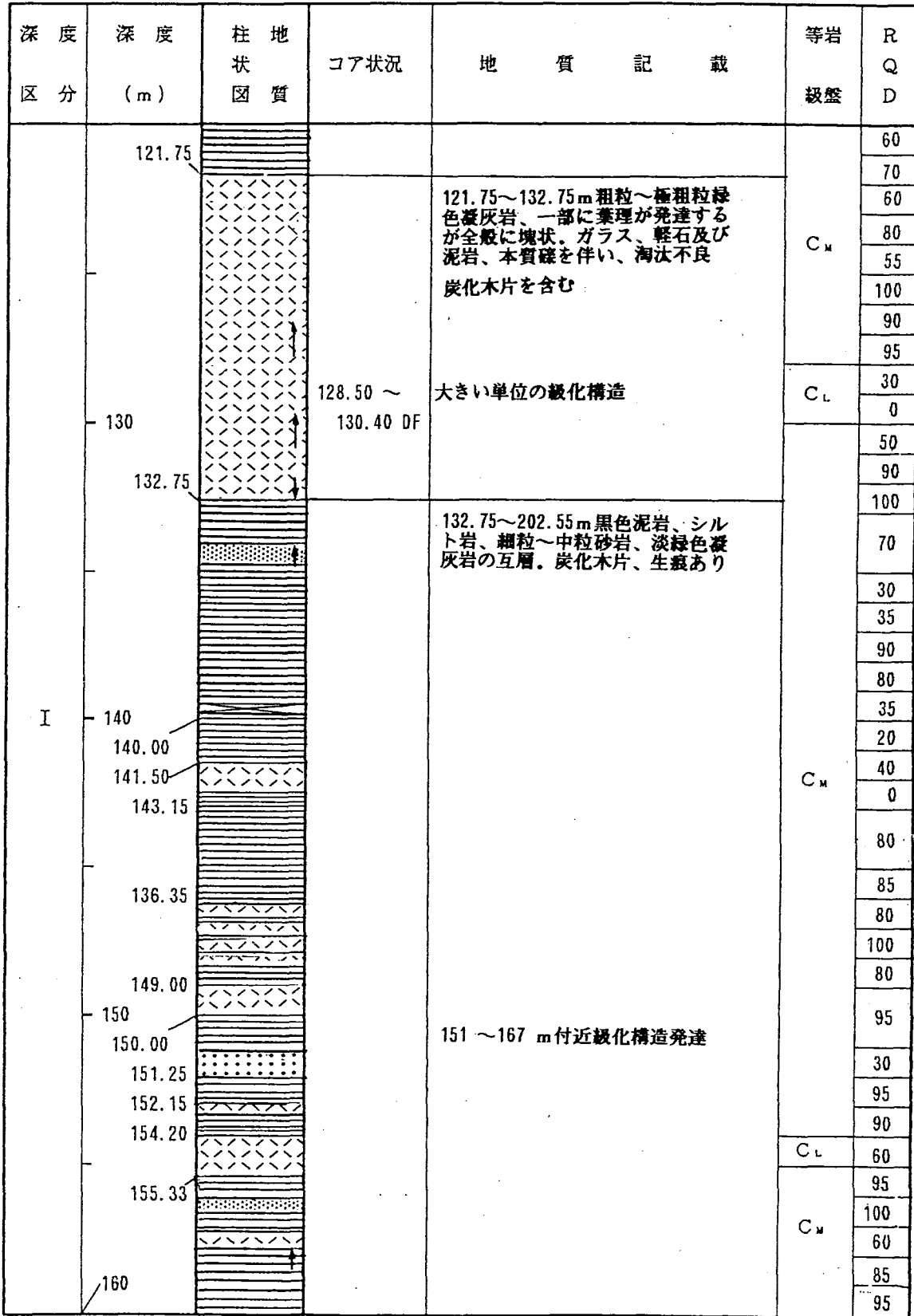


図 3. 1 ( 4 ) 伏木谷岩芯地質柱状図 (1/200)

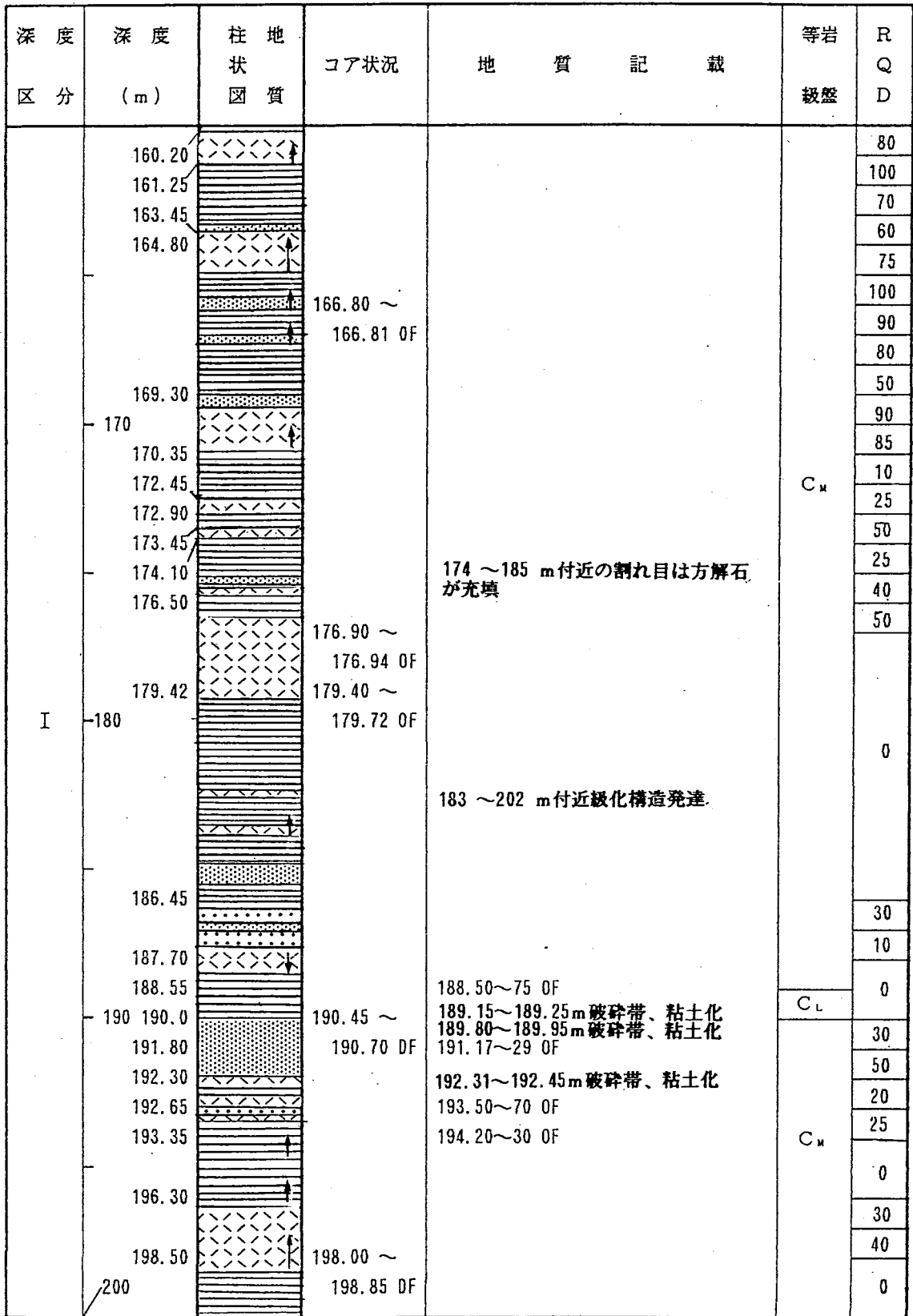


図 3. 1 ( 5 ) 伏木谷岩芯地質柱状図 (1/200)

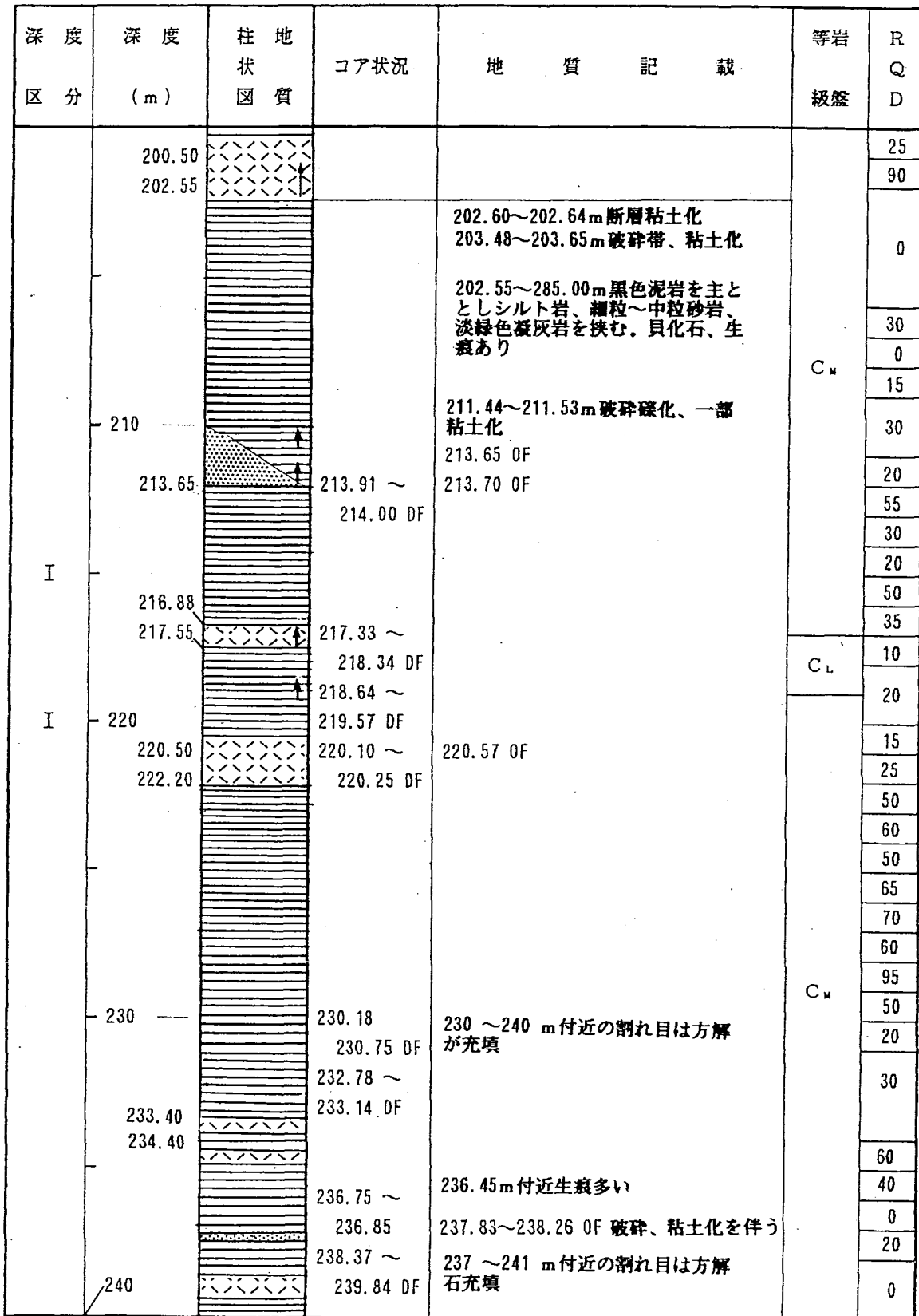


図 3. 1 ( 6 ) 伏木谷岩芯地質柱状図 (1/200)


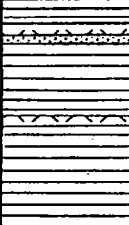


深度 区分	深度 (m)	柱地 状 図 質	コア状況	地質記載	等岩 級盤	R Q D	
I	244.15 244.40			240.20~29 OF	C <sub>u</sub>	40	
						20	
						30	
						50	
	250	250.70 ~ 251.10 DF				247.67~248.02m角礫状破砕	0
							60
							40
							15
							40
							60
							50
							55
							30
							10
							40
							260
	30						
	60						
	20						
	0						
	20						
	270	270					50
							45
							50
55							
30							
15							
0							
10							
280	280				30		
					60		
					40		
					70		

図 3 . 1 ( 7 ) 伏木谷岩芯地質柱状図 (1/200)



深度 区分	深度 (m)	柱地 状 図 質	コア状況	地 質 記 載	等岩 級盤	R Q D
I	282.00 232.95 285.00			炭化木片を含む	C <sub>u</sub>	75
						70
						40
						20
II	290 291.30 291.90  300   310   320			285.00~382.80m 黒色泥岩が主体 中~細粒、緑色凝灰岩及びシルト 挟む。この区間の割れ目はほとん どを方解石が充填	C <sub>u</sub>	30
						60
						80
						30
						20
						15
						90
						60
						40
						50
						40
						15
						65
						0
						10
						20
						0
						10
						70
						95
30						
20						
70						
30						
0						
50						
0						

図 3 . 1 ( 8 ) 伏木谷岩芯地質柱状図 (1/200)

深度 区分	深度 (m)	柱地 状 図 質	コア状況	地 質 記 載	等岩 級盤	R Q D	
II	330 329.65 329.90 336.30 337.10 340 350 356.75 357.40 360		コア状況	319.68~320.70 OF	C <sub>u</sub>	0	
				20			
				40			
				10			
				0			
				10			
				0			
				336.81~94 OF		337.00 ~ 338.00 DF	25
				340.42 ~ 341.35 DF		0	
				345.85~345.96m 破碎帯弱粘土化		346.32 ~ 346.70 DF	0
				349.40 ~ 350.40 DF		351.69~351.69m 破碎帯、細粒角 礫化、弱粘土化	0
				351.85 ~ 352.70 DF		0	
				353.79 ~ 354.13 DF		0	
				356.75 357.40		10	
0							

図 3.1 (9) 伏木谷岩芯地質柱状図 (1/200)

深度 区分	深度 (m)	柱地 状 図 質	コア状況	地 質 記 載	等岩 級 壁	R Q D
II			365.4~ 367.49 DF		C <sub>M</sub>	0
	370		369.0~ 369.17 DF			
	372.20 372.95		370.10 ~ 371.00 DF	271.70~77 OF		
	375.45 376.95		371.25 ~ 371.34 DF	375.91~376.06m 破砕帯弱粘土化 376.75~377.19m 破砕帯、細粒角 礫化、弱粘土化		
	380 382.80		381.14~381.39m 381.40~381.65m 381.72~381.93m	破砕帯、細粒 角礫化		
III			383.51~70 OF		C <sub>M</sub>	10
	384.30					30
	384.60					60
	385.40					40
	387.20					90
	390 390.0					85
						100
						80
						90
						95
						70
						60
400				80		
				100		
				90		

図 3.1 (10) 伏木谷岩芯地質柱状図 (1/200)

深度 区分	深度 (m)	柱地 状 図 質	コア状況	地 質 記 載	等岩 級盤	R Q D
Ⅲ	408.10			402 ~ 406 mの割れ目は方解石が 充填	C <sub>u</sub>	95
						100
						40
						90
						50
						30
						70
Ⅳ	410  417.74  420  424.00 425.40		408.00 ~ 408.16 DF  415.08 ~ 415.73 DF  420.20 ~ 420.93 DF 422.89 ~ 423.00 DF	408.10~425.40m 黒色泥岩、シル ト岩、泥質~砂質凝灰岩の薄層を 挟む。大型貝化石を含む。泥質~ 砂質凝灰岩は炭化木片を伴う	C <sub>u</sub>	10
						0
						10
						0
						40
						0
						30
						90
						80
						Ⅴ
10						
70						
90						
60						
50						
90						
100						
85						
95						

図 3. 1 ( 1 1 ) 伏木谷岩芯地質柱状図 (1/200)

深度 区分	深度 (m)	柱地 状 図 質	コア状況	地質記載	等岩 級盤	R Q D
V	450 458.00 END		441.00 ~ 441.24 DF		C <sub>μ</sub>	100
						70
						100
						90
						100
						90
						70
						100
						70
						95
						100
						95

図 3 . 1 ( 1 2 ) 伏木谷岩芯地質柱状図 (1/200)

### 3.1.2 顕微鏡観察

岩石名：泥岩

試料番号 深度 (m)

記載

No. M-3	156.7	本岩を構成する鉱物は、石英破片 ( $\phi : 0.1 \sim 0.003 \text{ mm}$ )、
No. M-4	223.7	斜長石破片 ( $\phi : 0.15 \sim 0.01 \text{ mm}$ )、板状または葉片状黒雲母
No. M-5	281.3	( $\phi : 0.1 \sim 0.04 \text{ mm}$ )、小柱状または板状もしくは葉片状角
No. M-6	310.4	閃石 ( $\phi : 0.1 \text{ mm}$ 土)、円形の海緑石 ( $\phi : 0.01 \sim 0.05 \text{ mm}$ )、
No. M-7	355.5	まれに火山ガラスでいずれも少量～微量である。この他に粘
No. M-9	406.8	土鉱物、すじ状の有機物、有孔虫、球状黄鉄鉱などを少量 ないし微量に伴う。いずれも変質は認められない。

岩石名：超粗粒～中粒砂岩

試料番号 深度 (m)

記載

No. M-2	130.8	本岩に含まれる岩片は、多量のデイサイト ( $\phi : 3 \sim 0.6 \text{ mm}$ )、 中量の安山岩 ( $\phi : 1.8 \sim 0.5 \text{ mm}$ )、少量のピッチストーン ( $\phi : 5.5 \sim 0.6 \text{ mm}$ )、 微量の泥岩で、いずれも亜角礫状～円形をなす。自形～破片の石英、斜長石及び鉄鉱物を 少量伴うほか、板状・レンズ状・外形不定の中量の軽石、微細な粘土鉱物及び有孔虫を含む。 ピッチストーン及び軽石は弱い緑泥石化を受けている。
---------	-------	--

岩石名：フェルシックガラス質結晶凝灰岩

試料番号 深度 (m)

記載

No. M-1	73.7	少量の安山岩もしくはデイサイト及び泥質岩の円礫 ( $\phi : 0.6 \sim 0.2 \text{ mm}$ ) を含む。基質は、自形～融食形、中量の石英 ( $\phi : 0.8 \sim 0.1 \text{ mm}$ )、自形もしくは破片の多量の斜長石 ( $\phi : 1.3 \sim 0.1 \text{ mm}$ )、自形もしくは破片の少量の有色鉱物 ( $\phi : 0.5 \sim 0.1 \text{ mm}$ )、多量の不規則外形のガラス、軽石からなり、微量のスフェーン、普通角閃石片を伴う。 変質は、有色鉱物、軽石及びガラスの一部が緑泥石化を受けている。また、少量の黄鉄鉱が生成している。 火砕岩質組織を示す。
---------	------	---

岩石名：フェルシック軽石凝灰岩

試料番号 深度 (m)

記載

No. M-8	399.7	微量のデイサイト円礫 ( $\phi : < 0.2 \text{ mm}$ ) を含む。基質は、少量の石英破片 ( $\phi : 0.3 \sim 0.05 \text{ mm}$ )、自形もしくは破片の中量の斜長石 ( $\phi : 0.7 \sim 0.05 \text{ mm}$ )、板状・レンズ状・外形不定の多量の軽石 ( $\phi : 5 \sim 0.5 \text{ mm}$ ) からなり、微量の葉片状
---------	-------	--

黒雲母及び普通角閃石片を伴う。

変質は、軽石及び普通角閃石が緑泥石化しているほか少量の黄鉄鉱及び少量の方解石が生成している。

火砕岩質組織を示す。

岩石名：ガラス質凝灰岩

試料番号 深度 (m)

記 載

No.M-10 456.1 岩片は認められない。基質は、少量ないしは微量の石英片及び長石片 ( $\phi : 0.05\text{mm}$ )、すじ状・Y字型・外形不定の多量のガラスからなり、葉片状～針状の微量の絹雲母を伴う。また、有孔虫片が観察される。

変質は、ガラスの一部のものが緑泥石化を受けているほか黄鉄鉱が微量生成している。

火砕岩質組織を示す。

### 3.2 割れ目状況

#### 3.2.1 調査方法

割れ目パターンの分類は、動力炉核燃料開発事業団中部作業所作成による岩芯記載基準に従い観察分類した。なお、明らかに掘削による応力解放で生じたと判断される割れ目（DF）については、統計から除外した。

地層中の割れ目を把握することは高レベル放射性廃棄物の地層処分を前提としたときその水理学的特性との関連から必要不可欠な調査である。

岩芯観察で割れ目調査の対象となった岩相別の岩芯長を表3.1に示す。

表 3.1 岩相別岩芯長

岩 相	岩 芯 長	比 率
泥 岩	315.79m	70.88 %
砂 岩	10.08m	2.26 %
凝灰岩	119.70m	26.86 %
計	445.57m	100.09 %
コアが取得できなかった区間長	7.43m	1.64 %

#### 3.2.2 調査結果

岩芯観察の結果、総計 487本の割れ目が確認された。これらを岩相別に検討した結果を表3.2に示す。また、地質と割れ目の関係を図3.2に示す。

表 3.2 岩相別割れ目状況

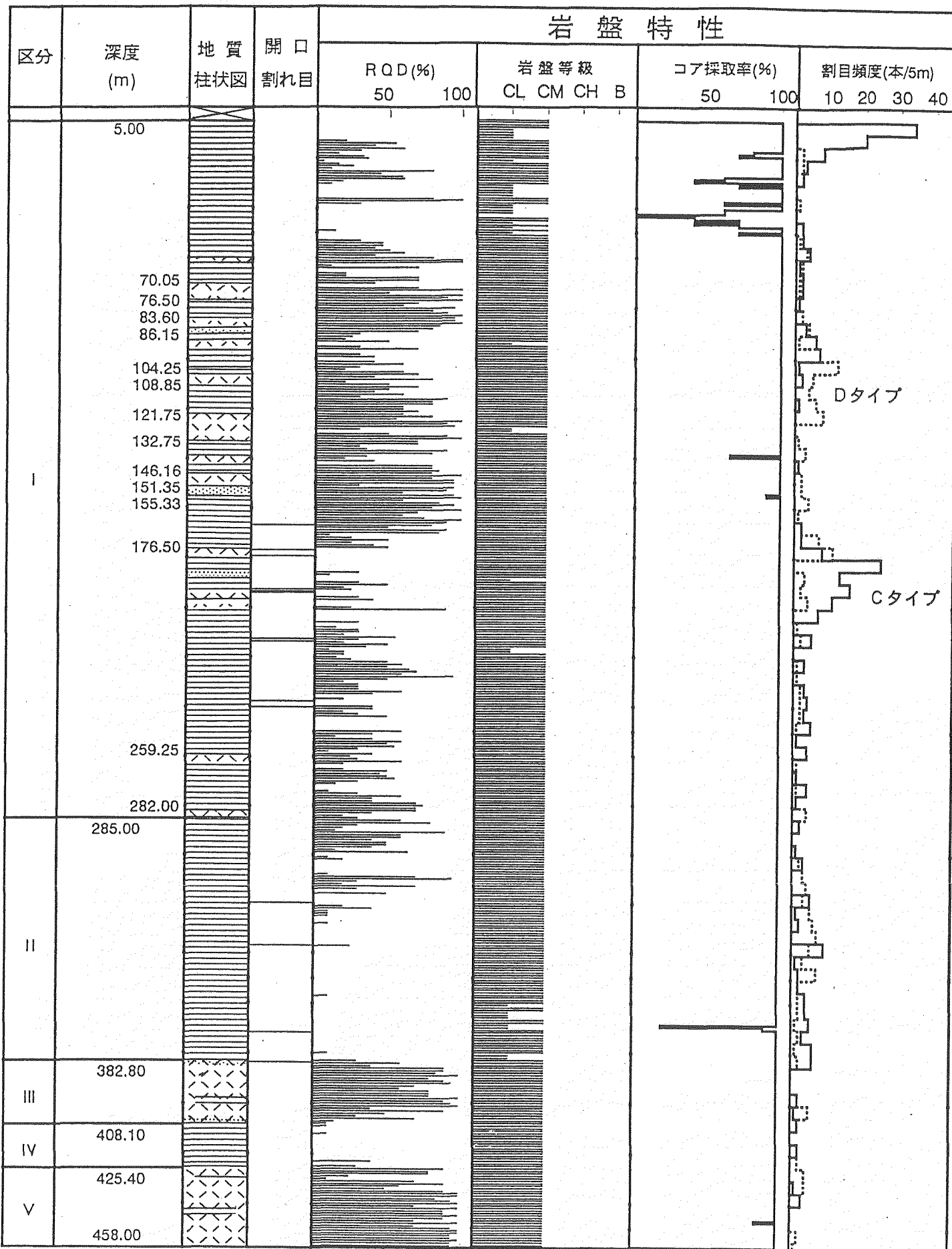
岩 相	岩 芯 長 (m)	割 れ 目 状 況		
		数 (本)	頻度 (本/m)	比率 (%)
泥 岩	315.79m	358	1.14	73.33
砂 岩	10.08m	17	1.68	4.64
凝灰岩	120.45m	112	0.93	22.03
計	445.57m	487	1.09	100.00

平均頻度は 1.09 本/mであり、砂岩で1.68本/mと頻度が高く、凝灰岩～礫質凝灰岩で0.93本/mと低い。総計487本の割れ目をパターン別に区分すると表3.3に示すようにPタイプが最も多く379本で78%を占め、次にIタイプが59本で12%と2タイプで90%を占める。特にPタイプが圧倒的に多いのは堆積岩の特徴を表している可能性がある。

各岩相岩にみられる割れ目パターンは、Pタイプが基本的で、Iタイプは数は少ないが各岩相に認められる。C・Sタイプは極わずかながら泥岩及び凝灰岩相にみられる。

深度別にはIからVえ深度をますにつれて、出現頻度は小さくなる傾向がみられる(表3.4及び表3.4を参照)。





地質凡例

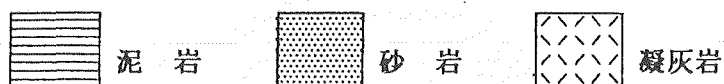


図 3.2 割れ目柱状図 scale:1/2,000

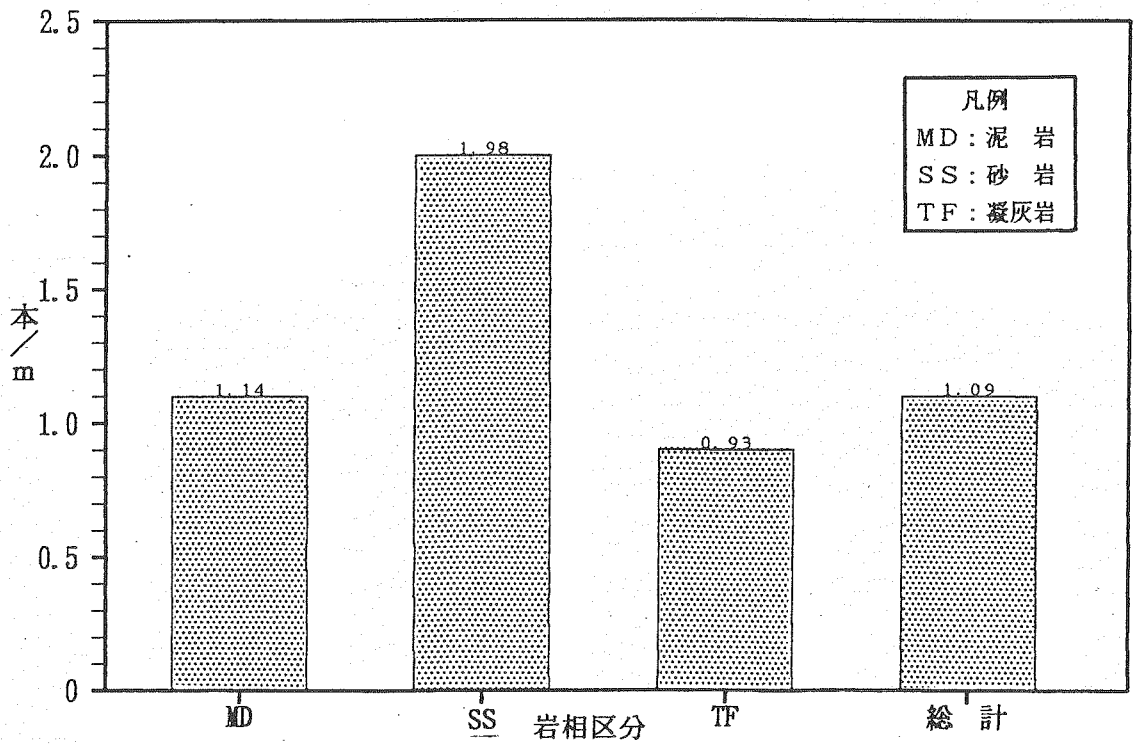


図 3.3 岩相別割れ目分布図

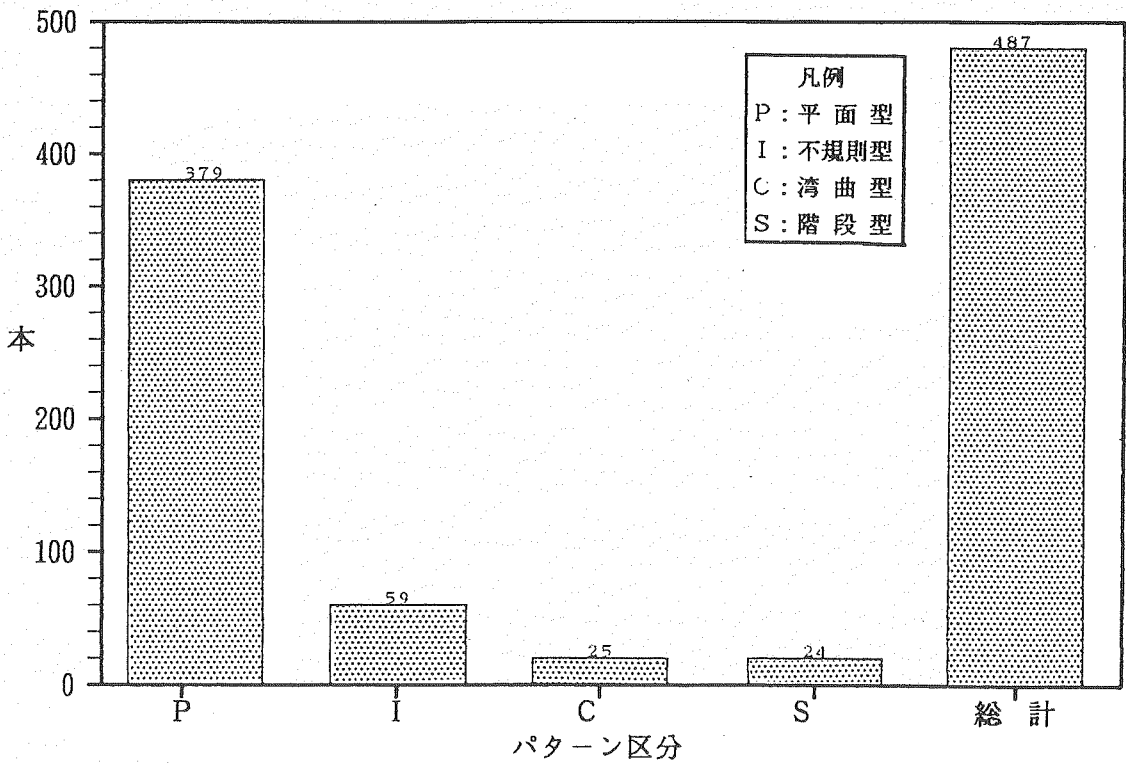


図 3.4 パターン別割れ目頻度図  
(割れ目区分はPNCの区分による)

なお、岩相別割れ目頻度図を図3.3に、パターン別割れ目状況図を図3.4に、深度別岩相別岩芯長及び割れ目状況を表3.4に、深度別岩相別パターン別割れ目状況を表3.5にそれぞれ示す。

表3.3 岩相別パターン別割れ目状況

岩相	岩芯長 (m)	比率 (%)	割れ目状況				割れ目 数 (本)	割れ目 頻度 (本/m)
			P (本): (本/m)	I (本): (本/m)	C (本): (本/m)	S (本): (本/m)		
泥岩	314.89	70.68	283: 0.90	42: 0.13	16: 0.05	17: 0.05	358	1.14
砂岩	10.08	2.26	13: 0.79	3: 0.23	0: -	1: 0.10	17	1.69
凝灰岩	120.45	27.07	83: 0.67	14: 0.12	9: 0.07	6: 0.05	112	0.93
計	445.42	100.00	379: 0.85	59: 0.14	25: 0.05	24: 0.05	487	1.09

さらに、深度別岩相別割れ目頻度図、深度別パターン別割れ目頻度図、深度別岩相別パターン別割れ目分布図、深度別岩相パターン別割れ目頻度図を図3.7~10に示す。

粘土化を伴う、いわゆる断層破碎帯と判断されるものは、次の21箇所である。

深度11.06-11.24 m, 深度14.45 m, 深度30.8-31.70m, 深度171.17-171.29 m, 深度188.57-188.75 m, 深度188.80-189.95 m, 深度193.50-193.70 m, 深度193.85m, 深度196.22-196.24 m, 深度196.99-197.00 m, 深度199.45m, 深度199.68m, 深度202.60-202.64 m, 深度203.48-203.65 m, 深度204.25-205.19 m, 深度211.44-211.53 m, 深度345.85-345.96 m, 深度418.27m, 深度437.31m, 深度437.33m, 深度438.96mがある。また、単層(bed)境界に粘土を伴う箇所が、深度251.52-251.55 m, 深度260.35~260.45mがある。

割れ目の発達は全般に少ないが、そのなかでも割れ目の密集する深度は5~30m及び190~205 m付近、やや多い部分は深度47~72m, 87~125 m, 236~240 m, 245~258 m及び302~358 m付近である。深部では岩質が比較的硬く、特に砂質・凝灰質の部分でその傾向が強い。

岩芯観察による断裂系のうち、空隙を伴うOpen Fracture に分類されるものは次のとおりである。

深度 m	割れ目幅 (mm)	随伴鉱物
166.80~166.81	5	方解石 (CA)
191.17~191.29	8	粘土 (CY)
192.70	1	粘土 (CY)
213.65	3	粘土 (CY)
213.70	3	粘土 (CY)
220.57	5	粘土 (CY)
237.83	3	方解石・粘土 (CA・CY)
240.20	1	方解石・粘土 (CA・CY)

表 3.4 深度別岩相別岩芯長及び割れ目状況

深度区分	岩相	岩芯長 (m)	比率 (%)	割れ目状況		
				本	頻度(本/m)	比率(%)
I 5.00~ 285.00m (280.00) *6.35	泥岩	204.49	74.73	253	1.24	73.33
	砂岩	7.88	2.87	16	2.03	4.64
	凝灰岩	61.28	22.40	76	1.24	22.03
	小計	273.65	100.00	345	1.26	100.00
II 285.00~ 382.80m (97.80) *0.90	泥岩	91.60	94.53	100	1.09	91.00
	砂岩	0	-	0	-	-
	凝灰岩	5.30	5.4	10	1.89	9.00
	小計	96.90	100.00	110	1.14	100.00
III 382.80~ 408.10m (25.30)	泥岩	1.35	5.33	0	-	-
	砂岩	1.65	6.52	1	0.61	7.79
	凝灰岩	22.30	88.14	12	0.54	92.31
	小計	25.30	100.00	13	0.51	100.00
IV 408.10~ 425.40m (17.30)	泥岩	16.60	95.95	5	0.30	100.00
	砂岩	0	-	0	-	-
	凝灰岩	0.70	4.05	0	-	-
	小計	17.30	100.00	5	0.29	100.00
V 425.40~ 458.00m (32.60) *0.33	泥岩	0.85	2.63	0	-	-
	砂岩	0.55	1.70	0	-	-
	凝灰岩	30.87	95.66	14	0.45	100.00
	小計	32.27	100.00	14	0.43	100.00
総	計	445.42	100.00	487	1.09	100.00

\* : コアが取得できなかった区間長

表 3.5 深度別岩相別パターン別割れ目状況

深度区分	岩相	割れ目状況								割れ目	
		P		I		C		S		数	頻度
		(本)	(本/層)	(本)	(本/層)	(本)	(本/層)	(本)	(本/層)	(本)	(本/層)
I 5.00~ 285.00m (280.00) *6.35	泥岩	200	0.98	32	0.16	9	0.04	12	0.05	253	1.24
	砂岩	13	1.65	2	0.25	0	-	1	0.12	16	2.03
	凝灰岩	56	0.91	10	0.16	7	0.11	3	0.05	76	1.24
	小計	269	0.98	44	0.16	16	0.06	16	0.06	345	1.26
II 285.00~ 382.80m (97.80) *0.90	泥岩	78	0.85	10	0.11	7	0.08	5	0.05	100	1.09
	砂岩	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
	凝灰岩	7	1.32	1	0.19	2	0.37	0	-	10	1.89
	小計	85	0.88	11	0.11	9	0.09	5	0.05	110	1.14
III 382.80~ 408.10m (25.30)	泥岩	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
	砂岩	0	-	1	0.61	0	-	0	-	1	0.61
	凝灰岩	7	0.32	2	0.09	0	-	3	0.14	12	0.54
	小計	7	0.28	3	0.12	0	-	3	0.12	13	0.51
IV 408.10~ 425.40m (17.30)	泥岩	5	0.30	0	-	0	-	0	-	5	0.30
	砂岩	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
	凝灰岩	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
	小計	5	0.23	0	-	0	-	0	-	5	0.29
V 425.40~ 458.00m (32.60) *0.33	泥岩	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
	砂岩	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
	凝灰岩	13	0.42	1	0.03	0	-	0	-	14	0.45
	小計	13	0.42	1	0.03	0	-	0	-	14	0.43
総計		379	0.85	59	0.13	25	0.06	24	0.05	487	1.09

\* : コアが取得できなかった区間長

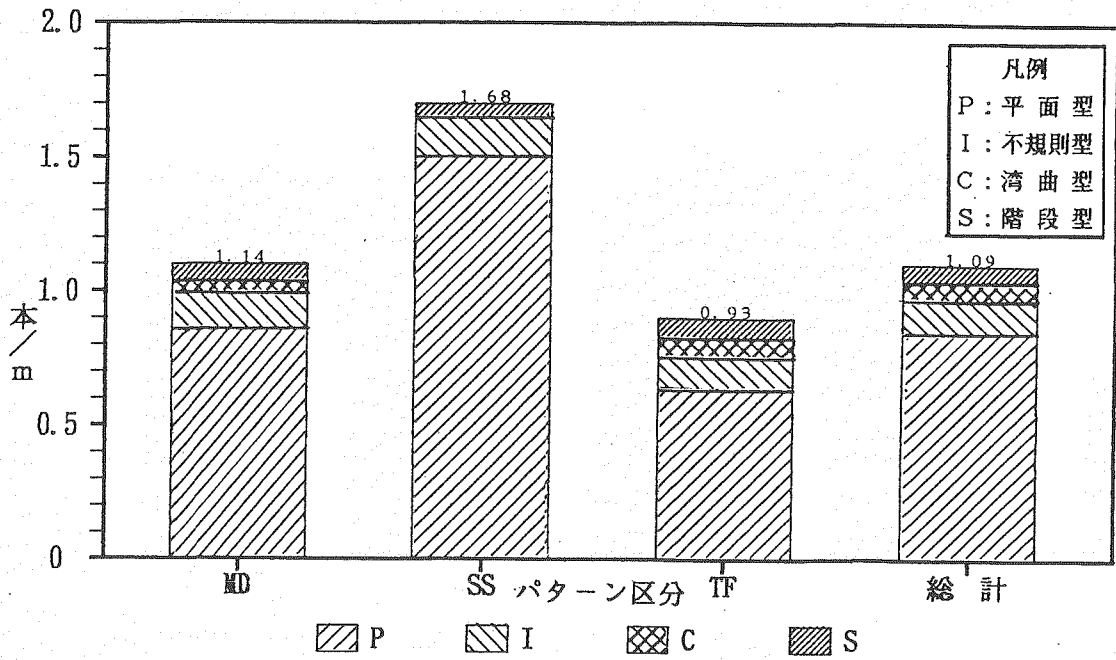


図 3.5 岩相別パターン別割れ目状況図

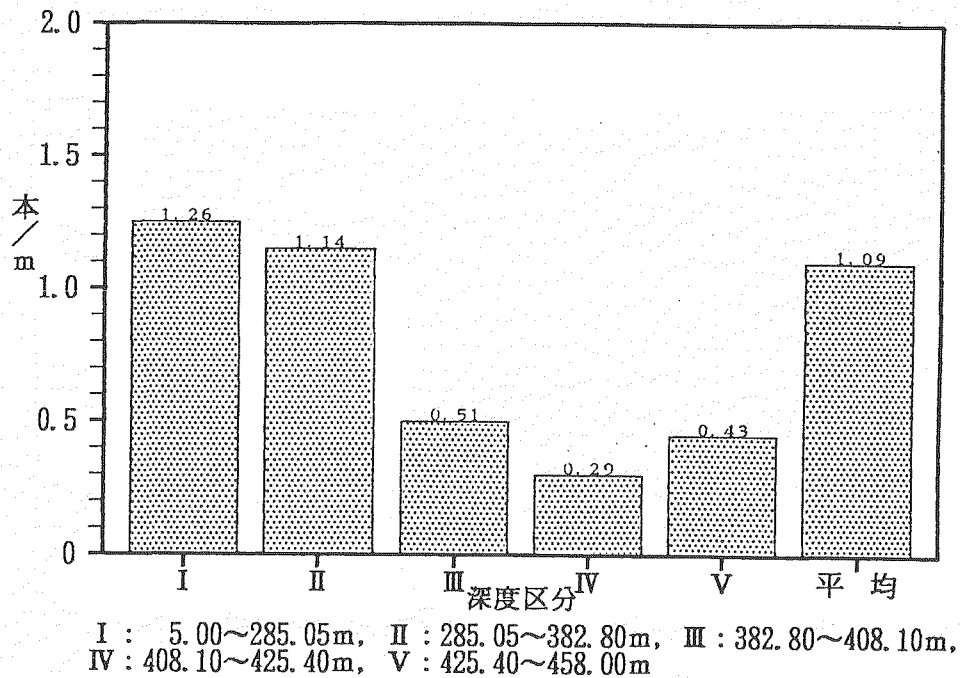
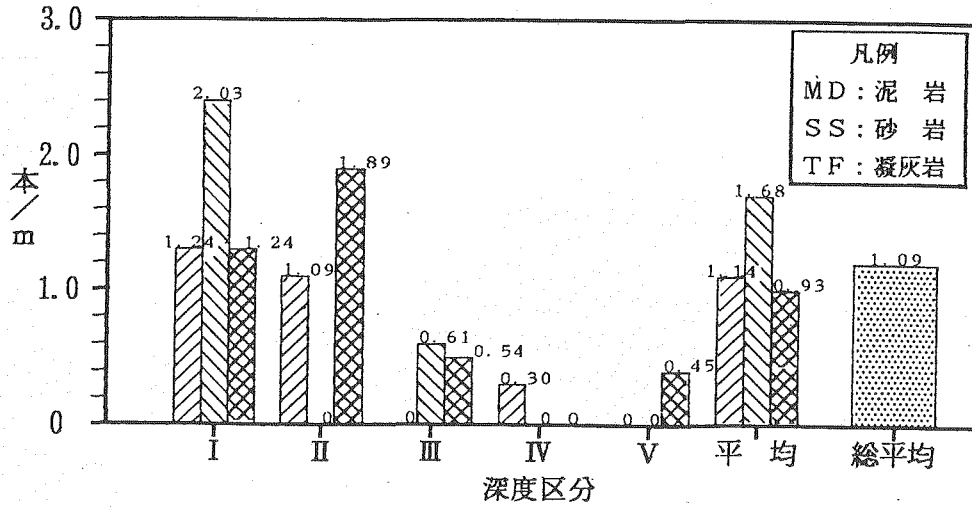


図 3.6 深度別割れ目頻度図



I : 5.00~285.05m, II : 285.05~382.80m, III : 382.80~408.10m,  
 IV : 408.10~425.40m, V : 425.40~458.00m

▨ Md    ▩ SS    ⊞ Tf

図 3.7 深度別岩相別割れ目頻度図

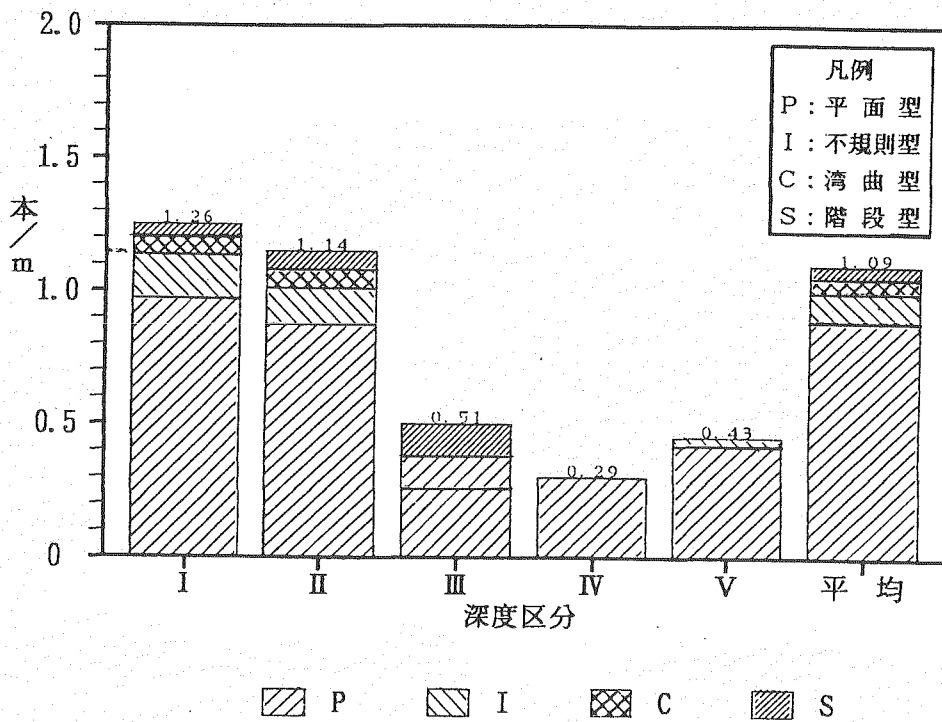


図 3.8 深度別パターン別割れ目頻度図

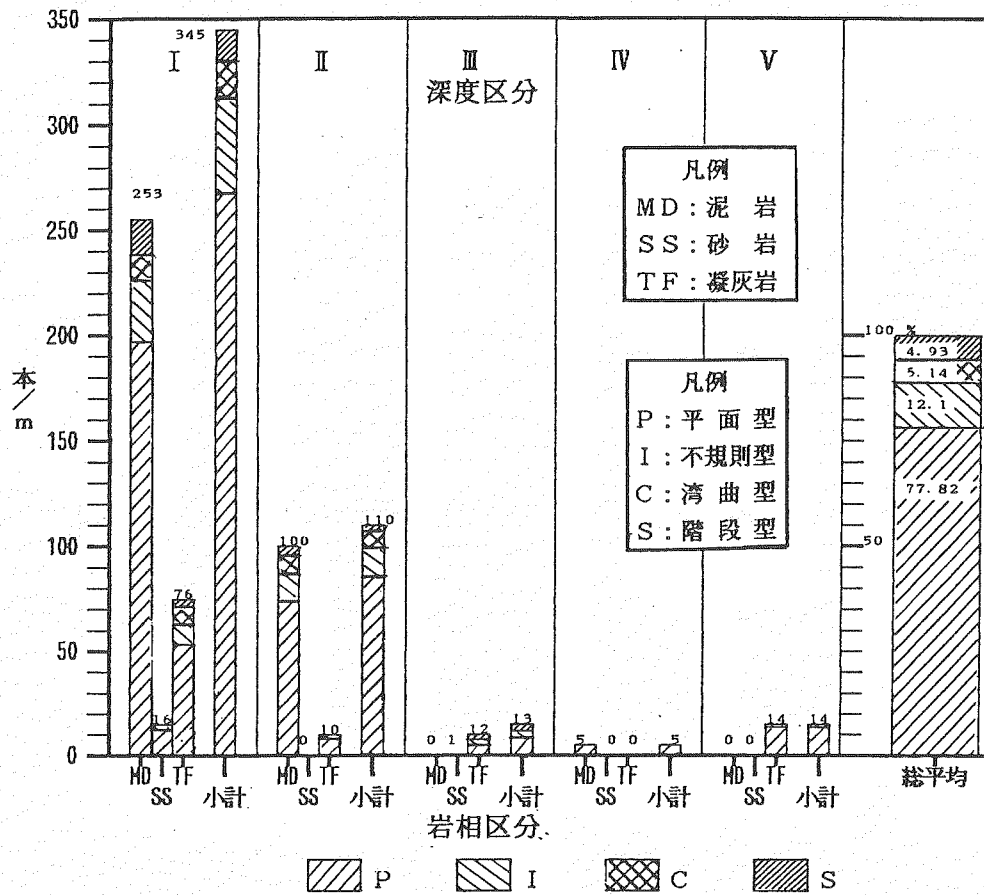


図 3.9 深度別岩相別パターン別割れ目分布図

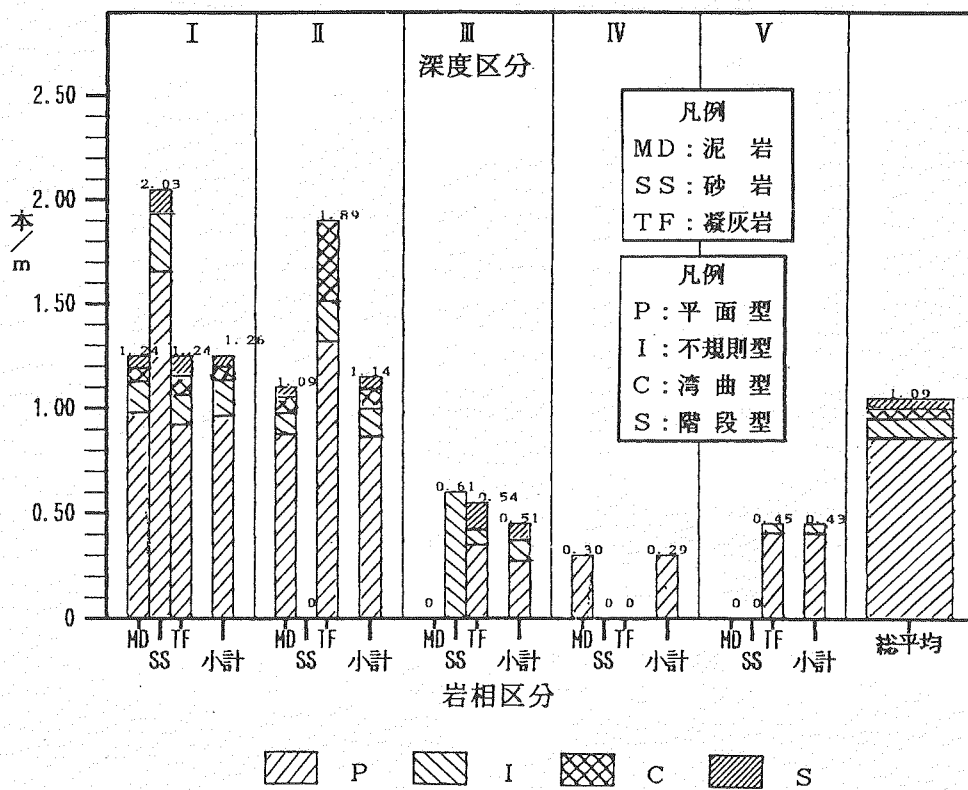


図 3.10 深度別岩相別パターン別割れ目頻度図



### 3.3 R Q D

#### 3.3.1 調査方法

R Q Dについての調査も、動力炉核燃料開発事業団中部作業所作成による岩芯記載基準に従い観察分類した。割れ目は、本来の位置における岩盤物性が反映している結果であるのに対して、R Q Dは本来の位置から現環境下にもたらされた時点で受けた種々の外圧（応力解放）に対する岩盤の特性を表しているものといえる。

#### 3.3.2 調査結果

R Q Dの分布を岩相別に検討してみると図3. 11のとおりである。

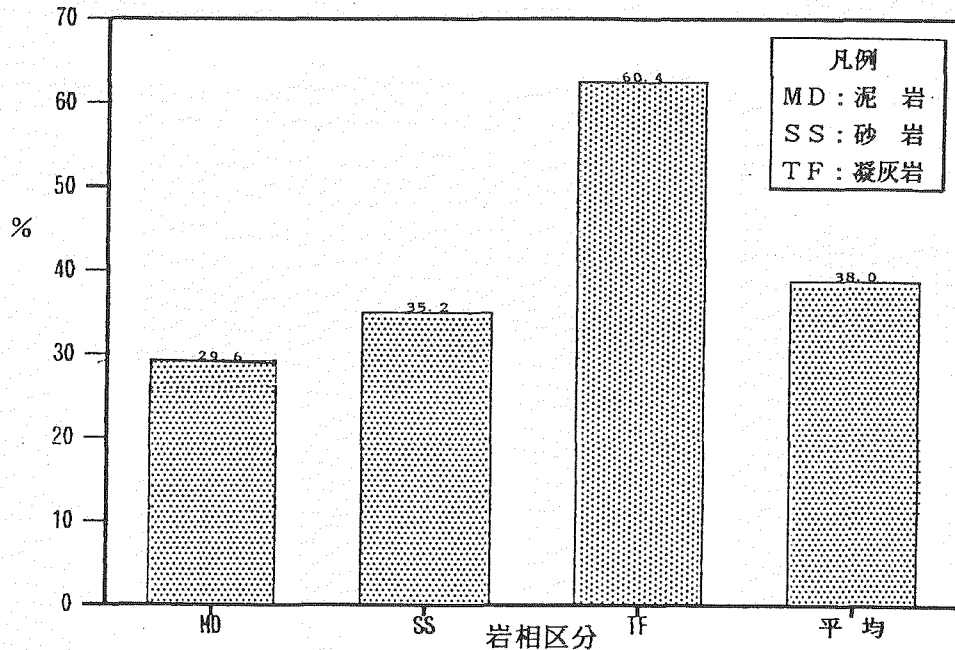


図3. 1 1 岩相別 R Q D 状況図

平均は38.0%である。凝灰岩(TF)が最も高いR Q D値(60.4%)を示し、泥岩(MD)のR Q D値が(25.6%)と低く、岩質により2倍の差がみられる。表3. 6及び図3. 12よれば岩相別には泥岩(MD)で4.2~96.2%とR Q D値は変化が大きく、砂岩(SS)は36.4~39.0%と比較的安定している。凝灰岩(TF)は26.7~83.6%の変化がみられる。泥岩(MD)及び凝灰岩(TF)の変化は、大局的には深くなるにしたがってR Q D値が大きくなっており、これは堆積岩のコンパクションによる硬度差の反映とみられる。

深度別のR Q D値は次のとおりである。

- ①深度区分 I : 40.6 %
- ②深度区分 II : 12.5 %
- ③深度区分 III : 71.5 %
- ④深度区分 IV : 4.0 %
- ⑤深度区分 V : 83.6 %

R Q D値が小さい値を示す泥岩(MD)は深度区分ではII及びIVで、いずれも砂岩、凝灰岩の挟みの少ない泥岩の優勢な部分に相当する。

表 3. 6 深度別岩相別 R Q D 値と割れ目頻度の関係

深度区分	岩相	R Q D (%)		割れ目頻度 (本/m)
		合計	平均	
I 5.00~ 285.00m (280.00) *6.35	泥岩	7,870	38.5	1.24
	砂岩	295	37.4	2.03
	凝灰岩	2,950	48.1	1.24
	小計	11,115	40.6	1.26
II 285.00~ 382.80m (97.80) *0.90	泥岩	1,245	13.6	1.09
	砂岩	-	-	-
	凝灰岩	-	-	1.89
	小計	1,245	12.5	1.14
III 382.80~ 408.10m (25.30)	泥岩	130	96.3	-
	砂岩	60	36.4	0.61
	凝灰岩	1,620	72.6	0.54
	小計	1,810	71.5	0.51
IV 408.10~ 425.40m (17.30)	泥岩	70	4.2	0.30
	砂岩	-	-	-
	凝灰岩	-	-	-
	小計	70	4.0	0.29
V 425.40~ 458.00m (32.60) *0.33	泥岩	-	-	-
	砂岩	-	-	-
	凝灰岩	2,710	83.6	0.45
	小計	2,710	83.6	0.43
総計		16,950	38.0	1.09

\* : コアが取得できなかった区間長

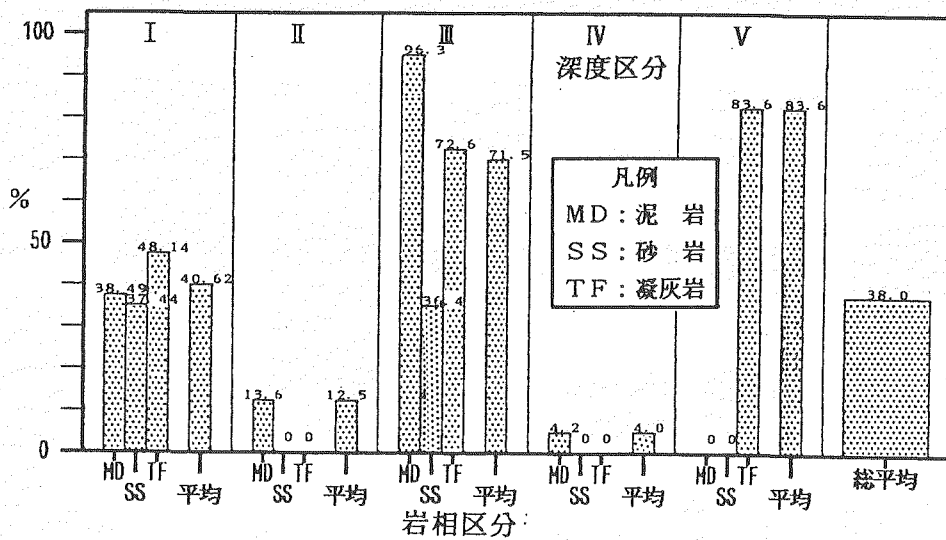


図 3. 1 2 深度別岩相別 R Q D 状況図

岩芯が10cm以上にわたって細粒に破碎を受けている（DFを除く）部分を抽出し、表3.7に示す。この表では深度区分のI～IIIの泥岩(MD)の優勢部に多く、特にIIに集中する。

表3.7 深度別岩相別破碎状況

深度区分	岩相	岩芯長 (m)	破碎状況	
			(m)	(%)
I 5.00～ 285.00m (280.00) *6.35	泥岩	204.49	6.30(1.45)	58.78
	砂岩	7.88	0.85(0.85)	7.39
	凝灰岩	61.28	0.55(0.55)	4.78
	小計	273.65	7.70	66.96
II 285.00～ 382.80m (97.80) *0.90	泥岩	91.60	2.95(1.45)	25.65
	砂岩	0	0	-
	凝灰岩	5.30	0	7.39
	小計	96.90	2.95	33.04
III 382.80～ 408.10m (25.30)	泥岩	1.35	0	-
	砂岩	1.65	0	-
	凝灰岩	22.30	0	-
	小計	25.30	0	-
IV 408.10～ 425.40m (17.30)	泥岩	16.60	0	-
	砂岩	0	0	-
	凝灰岩	0.70	0	-
	小計	17.30	0	-
V 425.40～ 458.00m (32.60) *0.33	泥岩	0.85	0	-
	砂岩	0.55	0	-
	凝灰岩	30.87	0	-
	小計	32.27	0	-
総計		445.42	0	100.00

□内数字は微細き裂の密集区間の長さ  
\*：コアが取得できなかった区間長

また、検出された割れ目を連続性の観点から検討し、表3.8に示す。この表によれば、連続性割れ目は全帯の58%で、不連続性割れ目に比べてやや多い。

表 3. 8 割れ目の連続性

深度区分	岩 相	割 れ 目 の 連 続 性				割れ目頻度 (本/m)
		C (本)	C (%)	D (本)	D (%)	
I 5.00~ 285.00m (280.00) *6.35	泥 岩	186	77.78	85	65.89	1.24
	砂 岩	11	5.09	5	3.88	2.03
	凝灰岩	37	17.13	39	30.23	1.24
	小 計	216	100.00	129	100.00	1.26
II 285.00~ 382.80m (97.80) *0.90	泥 岩	46	86.79	54	94.74	1.09
	砂 岩	0	-	0	-	-
	凝灰岩	7	13.21	3	5.26	1.89
	小 計	53	100.00	57	100.00	1.14
III 382.80~ 408.10m (25.30)	泥 岩	0	-	0	-	-
	砂 岩	1	12.50	0	-	0.61
	凝灰岩	7	87.50	5	100.00	0.54
	小 計	8	100.00	5	100.00	0.51
IV 408.10~ 425.40m (17.30)	泥 岩	2	100.00	3	100.00	0.30
	砂 岩	0	-	0	-	-
	凝灰岩	0	-	0	-	-
	小 計	2	100.00	3	-	0.29
V 425.40~ 458.00m (32.60) *0.33	泥 岩	0	-	0	-	-
	砂 岩	0	-	0	-	-
	凝灰岩	4	100.00	10	100.00	0.45
	小 計	4	100.00	10	100.00	0.43
総 計		283	100.00	204	100.00	1.09

\* : コアが取得できなかった区間長

### 3.4 岩盤等級

#### 3.4.1 調査方法

電中研式の「ボーリングコアについての岩盤等級区分基準」に準拠して調査を行った。この基準ではA～Dまでの6階級に区分されているが、本孔ではC<sub>M</sub>とC<sub>L</sub>の2等級に区分される。

#### 3.4.2 調査結果

岩盤等級の分布を岩相別に検討し、かつ深度別に区分し表3.9に示す。この表では、C<sub>M</sub>に相当するものが圧倒的に多い。深度区分では、C<sub>L</sub>に分類されるものはⅢ以浅にのみに分布する。

- ①泥岩(MD) : C<sub>M</sub> ~ C<sub>L</sub>
- ②砂岩(SS) : C<sub>M</sub> ~ C<sub>L</sub>
- ③凝灰岩(TF) : C<sub>M</sub> ~ C<sub>L</sub>

表3.9 深度別岩相別岩盤等級と割れ目頻度の関係

深度区分	岩相	岩盤等級				割れ目 頻度 (本/%)
		C <sub>M</sub> (箇所)	C <sub>M</sub> (箇所/m)	C <sub>L</sub> (箇所)	C <sub>L</sub> (箇所/m)	
I 5.00~ 285.00m (280.00) *6.35	泥岩	192	0.94	17	0.08	1.24
	砂岩	6	0.76	7	0.88	2.03
	凝灰岩	48	0.78	3	0.05	1.24
	小計	246	0.89	21	0.08	1.26
II 285.00~ 382.80m (97.80) *0.90	泥岩	84	0.92	7	0.07	1.09
	砂岩	0	-	0	-	-
	凝灰岩	5	0.94	0	-	1.89
	小計	89	0.97	3	0.03	1.14
III 382.80~ 408.10m (25.30)	泥岩	1	0.74	0	-	-
	砂岩	1	0.61	0	-	0.61
	凝灰岩	22	0.99	0	-	0.54
	小計	24	0.95	0	-	0.51
IV 408.10~ 425.40m (17.30)	泥岩	17	0.78	0	-	0.30
	砂岩	0	-	0	-	-
	凝灰岩	0	-	0	-	-
	小計	17	0.78	0	-	0.29
V 425.40~ 458.00m (32.60) *0.33	泥岩	1	1.25	0	-	-
	砂岩	0	-	0	-	-
	凝灰岩	32	1.03	0	-	0.45
	小計	33	1.18	0	-	0.43
総計	泥岩	295	0.94	24	0.08	1.13
	砂岩	7	0.69	4	0.13	1.89
	凝灰岩	107	0.08	3	0.02	0.92
総計		409	0.92	28	0.06	1.09

\* : コアが取得できなかった区間長

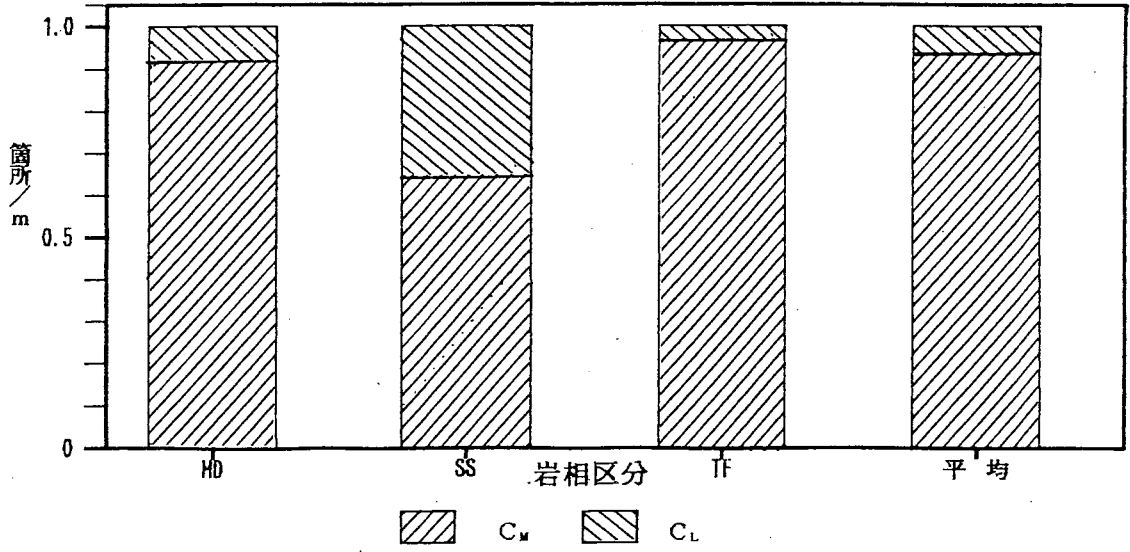


图 3.13 岩相别岩盤等級狀況图

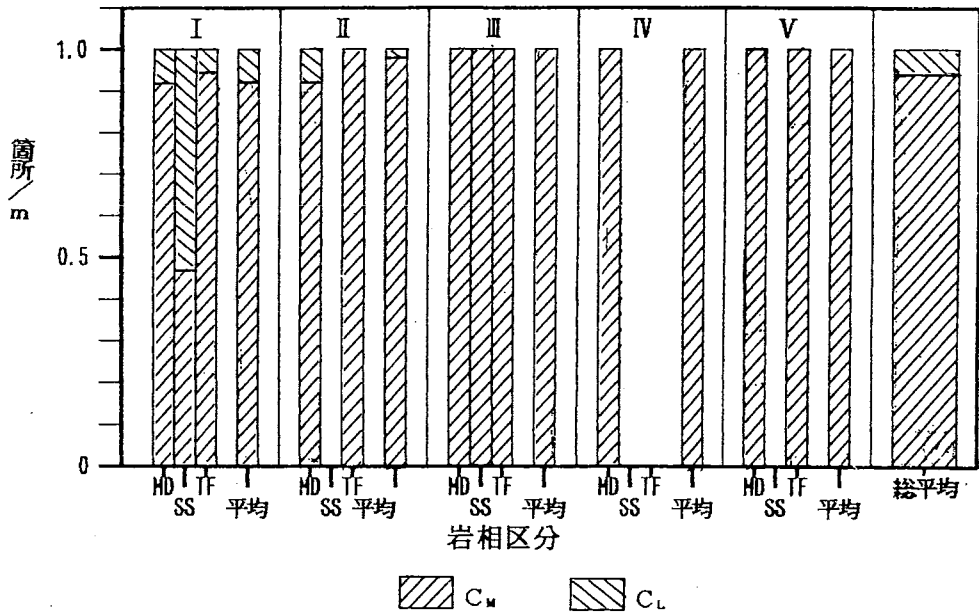


图 3.14 深度別岩相别岩盤等級狀況图

岩盤等級を岩相別及び深度別検討してみれば、泥岩(MD)の優勢な深度Ⅰ～Ⅲ区間で  $C_L$  が分布し、砂岩(SS)及び凝灰岩(TF)の優勢となる深度Ⅳ～Ⅵ区間（ただしⅤは泥岩）では  $C_M$  のみの分布となる。深度別の岩盤等級は次のとおりである。

- ①深度区分 Ⅰ： $C_M \sim C_L$
- ②深度区分 Ⅱ： $C_M \sim C_L$
- ③深度区分 Ⅲ： $C_M$
- ④深度区分 Ⅳ： $C_M$
- ⑤深度区分 Ⅴ： $C_M$

岩盤等級で異なる深度Ⅰ～ⅡとⅢ～Ⅴ区とRQDとの関係は次のとおりである。

深度区分	RQD	岩盤等級
①深度区分 Ⅰ～Ⅱ	: 32.5%	$C_M \sim C_L$
②深度区分 Ⅲ～Ⅴ	: 61.2%	$C_M$

図3. 15にRQD及び岩盤等級状況を示す。

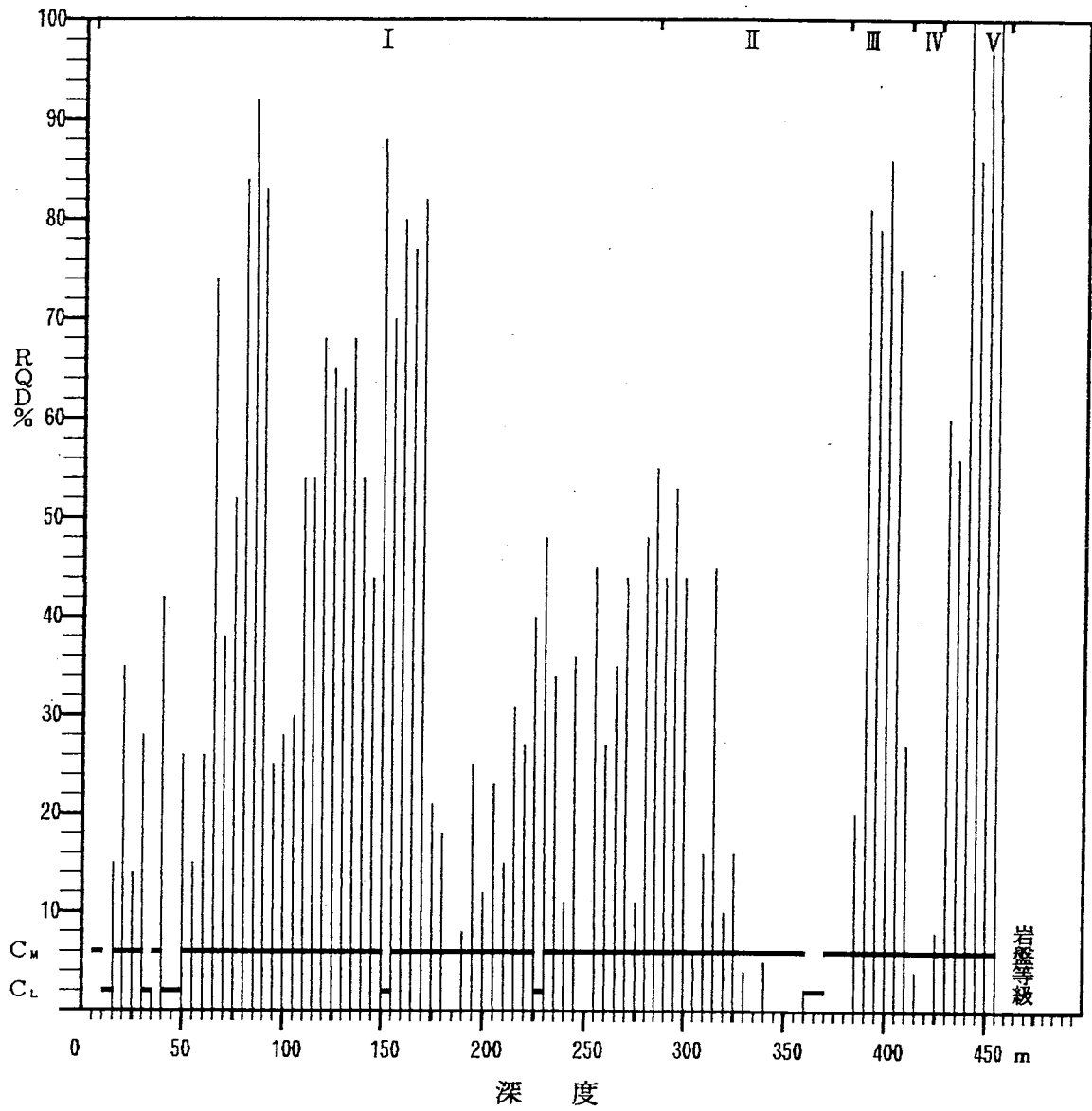


図 3. 1 5 R Q D 及び岩盤等級状況図  
(RQDは5m間の平均を示す)



### 3.5 変質

#### 3.5.1 調査方法

本調査では肉眼観察で、岩芯の変色・粘土鉱物の生成等に注目した。

#### 3.5.2 調査結果

観察結果では、肉眼的に分帯される明瞭な変質はない。

コアリングを行った深度5 mから17.10 m間の浅く酸素供給量の多い区間で、コア全体が酸化鉄の生成により薄い茶褐色を帯びている。また、割れ目の表面に酸化物の沈殿付着物が観察される。

深度74.65 ~74.92 mの火山礫凝灰岩の基質部に細粒黄鉄鉱の濃集がある。凝灰質でガラス質のものは、緑泥石化を受けているが、その程度は弱い。

層理境界面に沿う粘土化は深度251.52~251.55mに、その他、深度452.60m及び深度453.60m付近のガラスの緑色粘土化が目立つ。

本孔で確認された鉱物脈は、深度別岩相別鉱脈一覧表として表3.10に要約した。割れ目を充填する鉱物は方解石がほとんどで、まれに滑石を伴うことがある。また、地表に近いところでは、褐鉄鉱を伴う。これらのほとんどは幅1 mm以下の微細なものが多い。

全割れ目本数うゆや本の内265本は方解石によって、87本は粘土によって充填されている。滑石によって満たされているのが3本観察される。また、方解石と粘土、粘土と滑石と共生関係にあるものは、主鉱物を採用し計数した。

表 3. 1 0 深度別岩相別岩芯長及び鉱物脈一覽表

深度区分	岩 相	岩芯長 (m)	充 填 鉱 物				累積脈幅 (mm)	
			全本数	CA	TC	LM		CY
I								
5.00~	泥 岩	204.49	253	94	0	74	70	283.8
285.00m	砂 岩	7.88	16	12	0	2	2	10.3
(280.00)	凝 灰 岩	61.28	76	37	3	0	12	32.5
*6.35	小 計	59.05	345	9	3	76	84	326.6
II								
285.00~	泥 岩	91.60	100	88	0	0	2	108.3
382.80m	砂 岩	0	0	0	0	0	0	-
(97.80)	凝 灰 岩	5.30	10	10	0	0	0	33.5
*0.90	小 計	96.90	110	98	0	0	2	141.8
III								
382.80~	泥 岩	1.35	0	0	0	0	0	-
408.10m	砂 岩	1.65	1	1	0	0	0	3.0
(25.30)	凝 灰 岩	22.30	12	8	0	0	1	13.6
	小 計	25.3	13	9	0	0	1	16.6
IV								
408.10~	泥 岩	16.60	5	4	0	0	1	6.5
425.40m	砂 岩	0	0	0	0	0	0	-
(17.30)	凝 灰 岩	0.70	0	0	0	0	0	-
	小 計	17.30	5	4	0	0	1	6.5
V								
425.40~	泥 岩	0.85	0	0	0	0	0	-
458.00m	砂 岩	0.55	0	0	0	0	0	-
(32.60)	凝 灰 岩	31.02	14	11	0	0	2	19.2
*0.33	小 計	32.27	14	11	0	0	2	19.2
総	計	445.42	487	265	3	76	87	510.7

CA: 方解石 TC: 滑石 LM: 褐鉄鉱 CY: 粘土 脈幅: ヘアクラック(<0.1 mm)  
 は含まず、主鉱物脈幅を集計 \* : コアが取得できなかった区間長

### 3.6 顕微鏡観察

#### 3.6.1 観察方法

岩芯の肉眼観察に基づき、岩相を代表する部分及びコア物性試験を行う部分近くの薄片を作成し、顕微鏡観察に供した。その結果を顕微鏡記載カード（付表）に記入した。また、薄片の代表的な部分を写真撮影し、顕微鏡写真を付図とした。

使用した機器は以下のとおりである。

顕微鏡 : 日本光学 MTP-II  
撮影装置 : 日本光学 MICROFLEX UFX-II

#### 3.6.2 観察結果

岩盤の岩石学的特性の把握のために、岩芯の代表的な岩相について顕微鏡観察を行った。観察試料は10箇所であり、その観察結果は表3.11に示す。

採取箇所の肉眼観察と岩石的特徴は下記のとおりである。

試料番号	採取深度	顕微鏡観察岩石名	肉眼観察岩石名	岩石コード
Na M - 1	73.10m	フェルシックガラス質結晶凝灰岩	凝灰岩	TF
Na M - 2	130.80m	超粗粒砂岩	凝灰岩（粗粒）	TF (Crs)
Na M - 3	156.70m	泥岩	泥岩	MD
Na M - 4	223.70m	泥岩	泥岩	MD
Na M - 5	281.30m	泥岩	泥岩	MD
Na M - 6	310.40m	泥岩	泥岩	MD
Na M - 7	355.50m	泥岩	泥岩	MD
Na M - 8	399.70m	フェルシック軽石凝灰岩	凝灰岩（ガラス質）	TF (GLs)
Na M - 9	406.90m	泥岩	凝灰岩（泥質）	TF (MDs)
Na M - 10	456.10m	ガラス質凝灰岩	凝灰岩（中粒）	TF (Mid)

以下顕微鏡観察結果の概要を述べる。

・試料番号：Na M - 1（深度：73.10m）

岩石名：フェルシックガラス質結晶凝灰岩（肉眼観察で緑色～明灰色、細粒～火山礫凝灰岩）

岩片と基地からなる。

岩片は、安山岩もしくはワデイサイトの円礫（径0.6～0.2mm）、泥岩円礫（径0.5～0.2mm）を少量伴う。岩片の安山岩は基流晶質ときに充填状組織を示す。

基地は、多量の火山ガラス、軽石及び斜長石で構成される。火山ガラスの形状は凹状～三日月～外形不定で、大きさは0.5～0.2mmである。長石は自形もしくは破片で、大きさは、1.3～0.1mmである。これらのほかに自形もしくは破片状石英、自形もしくは破片状有色鉱物、微量の普通角閃石及びスフェーンを伴う。

斜長石は新鮮で、集片双晶・壘帯構造が明瞭である。また、少量観察される有色鉱物



は、完全に緑泥石化し、現鉱物は不詳である。その他の変質は、ガラス及び軽石の一部が緑泥石化しているほか、黄鉄鉱が少量生成している。

火砕岩組織を示す。

・試料番号：No M - 2 (深度：130.80m)

岩石名：超粗粒～中粒砂岩（肉眼観察では粗粒凝灰岩）

岩片と鉱物粒により構成される。

岩片の形状は、亜角礫～円礫で、大きさは3.0～0.5 mmである。岩主は安山岩、デイサイト、泥岩、ピッチストーンで、これらの岩片に含まれる斜長石は、新鮮で集片双晶・壘帯構造が明瞭である。ピッチストーンは真珠組織を示すものがある。

鉱物粒は、自形～融食形もしくは破片の石英、自形もしくは破片の斜長石、普通角閃石破片、板状・レンズ状・外形不定の軽石、微細な粘土鉱物からなり、有孔虫を伴う。

変質は、軽石が緑泥石化、ピッチストーンが若干の緑泥石化をうけている。

碎屑性組織を示す。

・試料番号：No M - 3 (深度：156.70m)

岩石名：泥岩（肉眼観察では泥岩）

鉱物類は石英破片、自形もしくは破片状斜長石、板状～葉片状黒雲母、板状～葉片状普通角閃石、円形の海緑石が含まれるほか、多量の微細な粘土鉱物、フランボイダル黄鉄鉱などが観察される。さらに筋状の有機物、有孔虫を伴う。

顕著な変質は認められない。

・試料番号：No M - 4 (深度：223.70m)

岩石名：泥岩（肉眼観察では泥岩）

鉱物類は石英破片、自形または破片状斜長石、葉片状黒雲母、Y字型の火山ガラス、円形の海緑石が含まれるほか、多量の微細な粘土鉱物、フランボイダル黄鉄鉱などが観察される。さらに筋状の有機物、有孔虫を伴う。

変質は、海緑石が酸化されて褐色がかっているものがみられる。

・試料番号：No M - 5 (深度：281.30m)

岩石名：泥岩（肉眼観察では泥岩）

鉱物類は石英破片、斜長石破片、小柱状普通角閃石、円形の海緑石が含まれるほか、多量の微細な粘土鉱物、フランボイダル黄鉄鉱が含まれる。そのほか、筋状の有機物、有孔虫を伴う。

顕著な変質はみられない。

・試料番号：No M - 6 (深度：355.50m)

岩石名：泥岩（肉眼観察では泥岩）

鉱物類は石英破片、斜長石破片、板状黒雲母、円形の海緑石が含まれるほか、多量の微細な粘土鉱物、フランボイダル黄鉄鉱が観察される。

変質はみられない。

・試料番号：No M - 7 (深度：355.50m)

岩石名：泥岩（肉眼観察では泥岩）

鉱物類は石英破片、斜長石破片、黒雲母破片、円形の海緑石が含まれるほか、多量

の微細な粘土鉱物、フランボイダル黄鉄鉱が観察される。そのほか、筋状の有機物、有孔虫を伴う。

変質はみられない。

・試料番号：No M - 8 (深度：399.70m)

岩石名：フェルシック軽石凝灰岩（肉眼観察ではガラス質凝灰岩）

ごく少量の岩片及び基地からなる。

岩片は、デイサイトの円礫（径：<0.2mm）でガラス基流質組織を示す。

基地は多量の軽石と鉱物片からなる。軽石は板状、外形不定形で、大きさは5.0 ~ 0.5 mm 示す。

鉱物片は石英破片、カリ長石破片、自形もしくは破片状斜長石、葉片状の黒雲母、微量の自形もしくは破片状普通角閃石が含まれる。

斜長石は集片双晶が明瞭で、黒雲母はほとんど非変質である。普通角閃石及び軽石は弱い緑泥石かをうけているほか、方解石が微量、黄鉄鉱が少量生成している。

火砕岩組織を示す。

・試料番号：No M - 9 (深度：406.90m)

岩石名：泥岩（肉眼観察では泥岩）

鉱物類は多量の微細な粘土鉱物と石英破片、自形もしくは破片状斜長石、円形の海緑石が含まれるほか黄鉄鉱、フランボイダル黄鉄鉱が観察される。そのほか、筋状の有機物、有孔虫及び長円状の石灰質ノジュールが認められる。

顕著な変質は認められない。

・試料番号：No M - 10 (深度：456.10m)

岩石名：ガラス質凝灰岩（肉眼観察では中粒凝灰岩）

岩片類は認められない。

基地は多量の火山ガラスと石英破片、斜長石破片のほか葉片状～針状のセリサイトを伴う。火山ガラスは筋状、Y字状、外形不定形で、大きさは<0.06 mmと微細である。斜長石は双晶が認められる。

変質は、ガラスは新鮮なものと同様に緑泥石化を受けたものが存在するほか、黄鉄鉱の生成がある。黄鉄鉱は自形～外形不定のものと、粒状のもの（フランボイダル黄鉄鉱）の両者が存在し、まれに 1mm程度の大きさをもつものが観察される。

火砕岩組織を示す。

### 3.7 X線分析

#### 3.7.1 分析方法

X線分析用に採取した試料について全岩無定方位分析と水ひ処理による定方位分析を行った。その結果、 $14\sim 15\text{\AA}$ に反射のある試料についてはエチレングリコール処理を、 $7\text{\AA}$ に反射のある試料については塩酸処理、 $10\text{\AA}$ に反射のある試料については加熱処理を( $100\sim 105\text{ }^\circ\text{C}$ )を行い、粘土鉱物を同定した。

無体方位分析用の試料はステンレス乳鉢で $50\sim 100$ メッシュに粉碎し、さらにメノウ鉢で調整し分析に供した。水ひ定方位試料は、試料の一部をステンレス乳鉢で $50\sim 100$ メッシュに粉碎し、さらにメノウ乳鉢で水中粉碎し、蒸留水とともにシリンダー内で分散粒子を沈殿させ、スライドガラス状に塗布し乾燥差せて分析に供した。

分析装置及び分析条件は下記のとおりである。

分 析 装 置 : 理学電気 2078 型デフラクトメータ

分析条件 (無定方位)

ターゲット	: Cu
フィルター	: Ni
電 圧	: 30 kV
電 流	: 15 mA
走査範囲	: $2\theta = 2^\circ \sim 40^\circ$
走査速度	: $2^\circ / \text{min}$
チャート速度	: $2\text{ cm} / \text{min}$
フルスケール	: 2,000cps
時 定 数	: 1sec
スリット	: $1^\circ - 0.3\text{mm} - 1$

分析条件 (定方位)

走査範囲	: $2\theta = 2^\circ \sim 20^\circ$
走査速度	: $1^\circ / \text{min}$
チャート速度	: $2\text{ cm} / \text{min}$
フルスケール	: 1,000cps

#### 3.7.2 分析結果

本調査では10個の試料について、X線分析を行った。その結果を表3.12に示す。

本表では、沸石鉱物の斜プチロル沸石が2試料に、方沸石が6試料に検出されている。粘土鉱物は緑泥石が9試料に、セリサイトが3試料に、モンモリロナイトが5試料にそれぞれ検出されている。そのほか、方解石が8試料に、黄鉄鉱が7試料に検出された。

各試料ごとの変質鉱物の晶出状況は以下のとおりである

試料No. X-1は、顕微鏡観察結果ではフェルシクガラス質結晶凝灰岩と鑑定されている。顕微鏡下では基地に含まれる有色鉱物は、原鉱物不詳程度に緑泥石化をうけている。また、火山ガラスも部分的に緑泥石化しているのが観察される。X線分析では、そのほか斜プチロル沸石及びモンモリロナイトが解析されている。

試料試料No. X-2は、顕微鏡観察結果では超粗粒～中粒砂岩とされており、ほとんどの岩石粒あるいは岩片は新鮮で、軽石及びピッチストーンがわずかに緑泥石化しているのが観察される。X線分析では、石英、斜長石のほかに方沸石、緑泥石が検出されている。

試料No. X-3～No. X-7, No. X-8は、泥岩あるいはシルトストーンと鑑定されている。鉱物粒はほとんどが新鮮であるが、ほかに同定不能な極微細粒の粘土鉱物が観察される。これらはX線回折により、緑泥石及びモンモリロナイトとして解析されている。

試料No. X-8, No. X-10 は、鏡下では珪質軽石凝灰岩及びガラス質凝灰岩で、基底に含まれる普通角閃石、軽石及びガラスの一部が緑泥石に変わっているのが観察される。X線分析では緑泥石、斜プチロル沸石、方沸石が解析されている。

全体的に、方解石が割合普遍的に解析されているが、これらは肉眼的にも多く観察されている裂かを充填した方解石脈で、弱い熱水作用に起因するものと判断される。また、黄鉄鉱も解析されているが晶出量は少ない。



表 3. 1 2 X線分析結果一覧表

試料 番号	珪酸塩鉱物								炭酸塩		その多 の鉱物		各種処理			
	珪酸		長石		沸石		粘土		鉱物		黄鉄 鉱		水 ひ 処理	E G 処理	塩 酸 処理	加 熱 処理
	石 英		斜 長 石	カ リ 長 石	斜 方 沸 石	方 沸 石	緑 泥 石	セ リ サ イ ト	モ ノ ロ 石	方 解 石						
Na M-1	○		◎		○				○			+				
Na M-2	○		◎	+		◎	△			+		+	*	*		
Na M-3	◎		○	+		+	△	+		+		+	*		*	*
Na M-4	◎		○	+		△	△	+		+		△	*			*
Na M-5	○		△			+	+		+	○		+	*	*	*	
Na M-6	○		○				△		+	+		○				
Na M-7	○		△				△	+	△	+		+	*	*	*	
Na M-8	○		○			◎	△			○						
Na M-9	○		+				+		○	+			*	*	*	
Na M-10	○		△	+	△	◎	+									

◎：多量 ○：中量 △：少量 +：微量 \*：処理を実施

なお、表 3. 12は全試料にわたる鉱物相対強度として下表の基準によった。

鉱物 (Å)	バックグラウンドからのピーク高 (単位チャート目盛り)			
	◎ (多量)	○ (中量)	△ (少量)	+ (微量)
石英 (3.34)	100 以上	99~50	49~10	10 未満
斜長石 (3.17)	40 以上	39~20	19~10	10 未満
カリ長石 (3.30)	20 以上	19~10	9~5	5 未満
斜方沸石 (8.93)	20 以上	19~10	9~5	5 未満
方沸石 (3.44)				
緑泥石 (7.10)				
セリサイト (10.10)	20 以上	19~10	9~5	5 未満
モンモロ石 (15.00)				
方解石 (3.03)	45 以上	44~20	19~10	10 未満
黄鉄鉱 (3.71)	10 以上	9~5	4~3	3 未満

このほか幅広の粘土鉱物は面積をピーク高に換算した。

### 3.8 全岩分析

#### 3.8.1 調査方法

本孔で認められた岩相を代表する新鮮な岩石から4試料を採取し、全岩分析を行った。分析成分は、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{H}_2\text{O}^-$ 、 $\text{H}_2\text{O}^+$ 、 $\text{S}$ 、 $\text{SO}_3^{2-}$ 、 $\text{CO}_2$ の16成分である。

表 3.13 全岩分析結果一覧表

試料番号	W-1	W-2	W-9	W-10
深度 (m)	73.0	131.0	423.0	454.0
岩相コード	TF	SS	MD	TF (Mudy)
$\text{SiO}_2$	69.96	52.81	63.46	60.93
$\text{TiO}_2$	0.45	1.12	0.62	0.66
$\text{Al}_2\text{O}_3$	13.58	16.16	15.33	14.27
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1.20	2.77	1.79	1.36
$\text{FeO}$	2.39	6.84	3.95	4.26
$\text{MnO}$	0.04	0.15	0.06	0.14
$\text{MgO}$	1.99	4.89	1.96	1.65
$\text{CaO}$	2.56	4.22	1.97	3.30
$\text{Na}_2\text{O}$	2.84	2.75	1.36	3.00
$\text{K}_2\text{O}$	0.54	0.59	1.04	1.35
$\text{P}_2\text{O}_5$	0.14	0.38	0.19	0.21
$\text{H}_2\text{O}^-$	1.97	0.52	2.36	0.54
$\text{H}_2\text{O}^+$	4.91	5.55	4.14	5.51
$\text{S}$	0.22	0.18	0.62	0.81
$\text{SO}_3^{2-}$	0.03	0.03	0.10	0.12
$\text{CO}_2$	0.35	0.57	0.48	0.99

#### 3.8.2 調査結果

本調査では泥岩、砂岩、凝灰岩及び火山礫凝灰岩について分析を行った。これらから直接的に岩石物性や地下水の流動形式との関係を論ずることはできない。

また、本地域においては、全般に岩相は泥質、砂質で成分的に特徴的な差異はみられない。粘土化変質で濃集が予想される $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{MgO}$ の特別な濃集はない。

### 3.9 考察

#### 3.9.1 岩芯の地質

岩芯の地質を概観すると泥岩、砂岩、砂質凝灰岩及び火山礫凝灰岩の繰り返し堆積物といえる。砂質あるいは細礫質の部分では、数10cmから 1m数10cmの単位で級化構造がみられる。

岩質は深度5.00～382.6 m、408.10～425.40mは泥岩が優勢であるが、シルト質、砂質な部分が多いほか、シルト岩層、砂岩層及び凝灰岩層を数多く挟み、また貝化石（破片）、生痕、炭質物などが多く含まれる。

深度382.80～408.10m、425.40～458.00mは凝灰岩が優勢であるが泥質、砂質あるいは礫質で、泥岩層、砂岩層の挟みが多い。礫は特に泥岩あるいは砂岩が多く、軟泥礫状の泥岩も含む。泥質あるいは砂質な部分には貝化石（片）、生痕、炭質物なども伴う。また、深度382.80～408.10mでは粘土化した火山ガラス片が多い。

堆積構造は、下位層の削り込み構造（フレーム構造状）や、擾乱構造などが多く観察される。深度 387～392 m、426 m、449 m付近の泥岩礫を伴う礫質部は、淘汰が悪く乱流堆積物と判断される。

堆積環境は、堆積構造、堆積物の岩質、色からみて、波浪の影響が多く酸素供給量の多い比較的浅海であったと考えられる。

#### 3.9.2 割れ目状況

本孔の破砕帯は、木村(1981)が指摘しているように”割れ目沿いの粘土の存在や地下水による軟弱化により破砕帯と誤認されやすい“点を考慮し観察した結果21箇所に抽出された。このうちの 7箇所はボアホールスキャナによる坑内写真撮影に成功しており、坑内写真撮影でオープクラックと判定されたものと 3箇所に対応する。

コア観察において、オープクラックと判定されたものは 8箇所で、ほとんどは方解石あるいは粘土を伴っている。坑内写真では22箇所でオープクラックと判定されているが、コア観察との対比では 7箇所で一致する。しかし、肉眼観察と坑内写真とでは孔隙の幅にかなりの差がみられる。また、傾斜にも差があるものが多い。オープクラックは坑内写真での発達頻度が多いこと、孔隙幅の差は単純なクラックの場合は岩芯採取時に密着していると鑑定された可能性も考えられる。

岩芯による割れ目間隔は、露頭調査のように割れ目に対する鉛直方向の真の間隔で計測されることは困難で、見掛け間隔で計られることが多い。大島(1976)はこの点を考慮したうえで、岩芯の割れ目評価を次のように行っている。

- ①硬岩領域の平均割れ目間隔 : 21～30cm以上
- ②中硬岩領域の平均割れ目間隔 : 15～30cm
- ③軟岩領域の平均割れ目間隔 : 15cm以下

この値はダムやトンネル調査で一般的に用いている岩盤分類の硬岩の平均割れ目間隔の50cmに比べてかなり小さい。これは岩芯の場合は、潜在面として密着していた割れ目がボーリングの掘削衝撃あるいは岩芯回収時に分離することも考えられる。経験的には岩芯の方が露頭での割れ目に比べ経験的に20～60%密になることが知られている。

本調査での岩相別割れ目頻度は

- ①泥岩 (MD) : 88cm (1.14本/m)
- ②砂岩 (SS) : 59cm (1.68本/m)
- ③凝灰岩 (TF) : 93cm (0.93本/m)

となる。本調査のコアは岩盤等級ではC<sub>M</sub> ~ C<sub>L</sub> に属し、大島の区分では③軟岩領域に分類されるものであるが、大島(1976)の調査に比べかなり大きい値を示している。これは岩石に韌性があるか、動力変動の少ない地域であることが予測されるものと考えられる。

一方深度との関係を見ると、深度区分 I ~ VI では深部程頻度は小さくなる。これは封圧によるコンパクションのみならず深部ほど凝灰岩質となり、岩質の相違も関連しているものと考えられる。

### 3.9.3 RQD

RQDによる岩盤の判定は、一般に下記の基準が用いられる。

RQD (%)	岩盤判定
0 ~ 25	非常に悪い
25 ~ 50	悪い
50 ~ 75	普通
75 ~ 90	良い
90 ~ 100	非常に良い

RQDは、岩相別平均値では泥岩及び砂岩は”悪い”ランクに、凝灰岩は”普通”のランクに分類される。深度別ではII及びIVの泥岩の優勢な区間ではRQDは小さい値を示すが、大局的には岩盤等級同様深部で大きい値を示す。この原因も岩質とコンパクションの影響と考えられる。そのほかにボーリングの工法による影響(真水掘りによるパイプレーション)もあり得る。

### 3.9.4 岩盤等級

岩盤等級の区分はPNCの基準にしたがった。このうちボーリングコアの状態による区分基準は次の通りである(抜粋)。

岩盤等級分類	ボーリングコアの状態
A	コアは100cm以上の棒状、岩質は極めて新鮮、コアの表面は滑らかで節理の発達はない
B	コアは40~50cmの長柱状が主体、岩質は新鮮、コアの表面は滑らかで節理は少ない
C <sub>H</sub>	コアは10~30cmの柱状が主体、岩質はおおむね新鮮、コアの表面はおおむね滑らかで節理がやや発達
C <sub>M</sub>	コアは10cm前後の短ん柱状が主体、岩片状でも組み合わせると円柱

状になる。コアバレルから抜いた場合、新たな割れ目が生ずる。コア長の短いものはこの等級に入る。

- C<sub>L</sub> ..... コアはおおむね岩片状。組み合わせても円柱状にすることが難しい  
コアバレルから抜いた時崩壊しやすい
- D ..... コアはおおむね砂～粘土状、ダブルコアチューブを用いても採取率は著しく悪い

以上の点を考慮し、岩盤等級を観察した場合、堆積岩の年代が若い点でコア全体がCにランクされる。岩相別にみた場合3岩種ともにC<sub>M</sub>にランクされるものが圧倒的に多く、C<sub>L</sub>にランクされるものは深度別ではI～IIIに分布する。この部分は岩相としては泥岩が優勢であり、岩盤等級は深度区分と岩相の二つの要因による影響を受けているといえる。これらを整理すれば以下のようなになる。

深度別	岩相	岩盤等級
I～II	泥岩(MD)	C <sub>M</sub> ～C <sub>L</sub>
III	凝灰岩(TF)	C <sub>M</sub>
IV	泥岩(MD)	C <sub>M</sub>
V	凝灰岩(TF)	C <sub>M</sub>

### 3.9.5 変質

本孔の調査では、分帯される程度の著しい変質作用はない。

変質鉱物の組み合わせは、歌田実の変質作用の分類(1977)による続成作用に該当すると考えられる。歌田の鉱物組み合わせによるI～Vの分帯にあてはめると、I～IIIに相当する。この分類では比較的変質の進んだIII～V帯に晶出する緑泥石、方沸石が、凝灰質部の深い深度で検出されている。

セリサイト(イライト)及びモンモリロナイトはしばしば堆積物であることもあるが、方沸石、緑泥石及び方解石等は熱水による変質鉱物と解釈される。比較的深部に多い凝灰岩も岩相から二次堆積物であると判断されものが多く、全体的に直接火山由来の堆積物は少ないといえる。

また、特に変質を受けやすいとされる軽石、火山ガラス、斜長石、及びその他の有色鉱物が非変質のまま残存していることから、変質作用は極めて弱いものであると判断される。

変質鉱物の組み合わせは、中性熱水の特徴を示すものと考えられる。

### 3.9.6 顕微鏡観察

顕微鏡観察による岩石名は、肉眼観察と相違する試料はない。岩質は、凝灰岩を挟む泥岩、シルト岩、砂岩等の繰り返し堆積物で、石英、斜長石、黒雲母などの粒あるいは破片が一般的で、海緑石、粘土鉱物、有機物、有孔虫、黄鉄鉱、フランボイダル黄鉄鉱などを伴う。凝灰岩、砂岩に含まれる岩片は安山岩やデイサイトである。

変質は、凝灰岩に含まれる有色鉱物、火山ガラス、軽石等が緑泥石に変わっているのが観察される。

### 3.9.7 X線分析

X線回折結果検出された鉱物の生成条件を検討すると、下記のように総括される。

鉱物種	鉱物名	化学式	生成温度			条件	
			<100	100 ~ 200	>200	酸性	中性 -7Mカリ
沸石	斜方沸石	$(\text{Na, K, Ca})_{15} [\text{Al}_{1.5} \text{Si}_{7.5} \text{O}_{18}] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	○				
	方沸石	$\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	○				○
粘土	緑泥石	$(\text{AlFeMg})_3 [(\text{OH})_2 (\text{SiAl})_4 \text{O}_{10}] \cdot (\text{AlMg})_{2.3} (\text{OH})_6$		○	○		○
	モンモリロナイト	$(\text{AlMg})_{2.3} [(\text{OH})_2 (\text{SiAl})_4 \text{O}_{10}] \text{Na}_{0.33} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	○				○
炭酸塩	方解石	$\text{CaCO}_3$	○	○	○		○
硫化	黄鉄鉱	$\text{FeS}_2$	○	○	○	○	○

この表より、緑泥石は200℃の温度環境で、モンモリロナイト、斜方沸石及び方沸石は<100℃の比較的低温環境下で生成したものであろう。

また、これらの鉱物は中性～アルカリ性の熱水から沈殿したと考えられるが、方解石及び黄鉄鉱は<100℃～>200℃の幅広い生成温度であり、かつ黄鉄鉱の場合は、広いph条件で安定なため、生成条件を論ずることは無理と判断される。しかしながら本孔では、フランボイダル黄鉄鉱の存在などは低温域の生成であること示唆するものと考えられる。

### 3.9.8 全岩分析

頁岩・砂岩など堆積岩を対象とした全岩分析は、地向斜堆積物の供給源岩の研究として片田・小野(1978)により、全国規模で論じられている。その他、石原ほか(1985)は、全岩分析により年代別に化学組成の変化について論じている。

これらはいずれも古生代-新生代の地向斜堆積物で、その供給源や年代変化について研究されている。本調査では、泥岩、砂岩、泥質凝灰岩、火山礫凝灰岩について分析したものであるが、これらから直接的には岩石物性や地下水の流動様式との関係を論ずることはできない。したがって、堆積環境の類似する日本海側の油田地域の堆積岩組成分析値の1例と比較すると次のようである。

表 3.14 油田地域と化学成分の比較

単位：(%)

		SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO
砂岩	伏木谷	52.81	1.12	16.16	2.77	6.84	0.15	4.89	4.22
	灰瓜層	64.89	0.74	17.19	4.10	0.17	0.03	1.13	0.83
泥岩	伏木谷	63.46	0.62	15.33	1.79	3.95	0.06	1.96	1.97
	灰瓜層	61.59	0.72	16.67	3.51	1.32	0.06	2.24	1.72

		Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	S	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	CO <sub>2</sub>
砂岩	伏木谷	2.75	0.59	0.38	0.52	5.55	0.18	0.03	0.57
	灰瓜層	1.30	2.01	0.07	2.45	4.82	0.05	<0.01	0.03
泥岩	伏木谷	1.36	1.04	0.19	2.36	4.14	0.62	0.10	0.48
	灰瓜層	1.60	2.15	0.11	2.57	4.28	0.34	0.03	0.39

(1988)

本表の灰瓜層の砂岩試料は1個の資料で一義的な比較はできないが、SiO<sub>2</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO、Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O、CaOの値に相違がみられる。一方、灰瓜層の泥岩試料は31個の平均値を比較対象とした。泥岩はほとんどの化学成分で相違はないが、K<sub>2</sub>Oで開きがみられる。これらの相違はいうまでもなく砂岩、泥岩をもたらした後背地の構成岩石に起因する点が大いといえる。

そのほか、鉱化作用の指標となるS成分は低く、また、粘土化変質等により成分の濃集が予想されるNa<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O、MgOは泥岩では低い。砂岩ではMgOが基性の火成岩程度の含有量を示すが、Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>Oともに低く、強い変質は受けていないことを示唆しているものと考えられる。

本調査で分析した凝灰岩2個の成分でも、礫質、砂質あるいは泥質な部分が多く、本質的には砂岩及び泥岩の化学成分との相違は認められない。

## 4. 物理検層

### 4.1 検層方法

#### 4.1.1 音波検層

音波検層は測定電極内に超音波振動子を一定の距離（1 m）で発信器及び受信器として装備し、発信器から発信された音波は地層を走行して、受信器に到達する音波の到着時間を深度に対応させて連続的に測定記録し、これより地層の弾性波速度（km/sec）を求める。実際には、発信器より発信された音波は孔内水を経由して裸坑壁から伝播し、その中を走行して再び孔内水に入り受信器に到達する。

音波検層では

- ① 走行時間曲線
- ② ウェーブトレソ
- ③ バリアブルインテンシテイログ

が記録される。

一般的には、き裂や破砕帯の存在はP波、S波の振幅を著しく減衰させるが、その変化は単に走行時間や振幅だけではなく、波の位層や固有周期などにも影響を与える。また、き裂の多い地層では音波はき裂内で反射のために波形が歪み、インテンシテイログの縞模様には細かな乱れが生じる。音波検層ではこのような記録を分析して岩盤の弾性波速度（km/sec）や動弾性係数を求めることができる。

#### 4.1.2 自然放射能検層

自然放射能検層は、地層中に含まれている放射性物質から自然に放射されている自然のガンマ線を深度に対して連続記録する。

ガンマ線は岩石の種類及び密度に密接に関係し、ガンマ線量は放射性元素の存在密度が増加するにつれて増加し、地層の密度が増加すると減少する。後者については、緻密な地層はガンマ線を容易に吸収する性質による。

本検層で測定されるガンマ線は、カリウム（K）系、ウラニウム（U）系及びトリウム（Th）系の放射性物質から発生したガンマ線の全量を APIユニット\* で測定するものである。

ガンマ線量（GR）は、主として一種類の放射性物質を含んでいる場合、

$\rho_b$  : 地層密度

$\rho_1$  : 放射性鉱物の密度

$V_1$  : 放射性鉱物の容積

$\rho_1 V_1 / \rho_b$  : 放射性鉱物の重要濃度

$A_1$  : 鉱物の放射能に相当する比例係数

としたとき、次の関係がある。

$$GR = (\rho_1 V_1 / \rho_b) A_1$$

また、二種類の放射性鉱物を含む場合は

$$GR = (\rho_1 V_1 / \rho_b) A_1 + (\rho_2 V_2 / \rho_b) A_2$$



で表される。

\* : ガンマ線検層や中性子検層の目盛り設定のための単位である。これはAmerica Petroleum Institute (API)が決めた方法で、検出機に到達するガンマ線あるいは中性子の量を計測するカウント数を検層機ごとにことなる弊害をのぞくために、アメリカのヒューストン大学にあるテスト用 API放射校正ピットで、検層機のレスポンスをAPI 単位の校正あるいは標準化している。

#### 4.1.3 中性子検層

中性子検層は、測定ゾンデ内に中性子線源を装着し、そこから一定距離だけ離して置かれた検出器により、中性子線源から出て、地層中を伝わってくる中性子束を測定することで、地層の攻撃率を求める検層である。

地層中に放出された高速中性子は地層を構成する物質の原子核との弾性あるいは、非弾性散乱によってそのエネルギーの一部を失いながら拡散（減速過程）していき、最終的には、地層構成物質の原子核に吸収されて消滅する。

中性子検層で地層の孔隙率を求める場合、地層中での中性子の減速過程が本質的な役割をする。原子核との弾性散乱による中性子の速度降下は、中性子と質量の等しい水素原子核との衝突の場合が一番大きいため、地層内での減速過程は、ほとんど水素原子核密度で決定されてしまう。この地層内の水素原子核密度はほぼ地層の孔隙を満たす地層流体（ $H_2O$ ）の水素原子数により決定されるので、地層内の水素原子核密度と孔隙率は比例することになる。したがって、中性子線源から一定の距離（1.3 cm）の位置にある検出器で測定される中性子束は、地層の孔隙率（水素原子核）が大きければ大きいほど、小さくなる。

通常、中性子検層器は校正用ピットを用いて校正されていて、測定値の読み（中性子 API単位）から直接孔隙率が求められるようになっている。

地層孔隙率の算出は、次のような孔径補正を含む換算式を用いる。

$$NL\% = 10 [ (-0.000128803 - 0.0000459006 \times \text{孔径}) \times \text{中性子強度} + \log 58 ]$$

ここで NL% : 地層孔隙率

孔径 : 孔径検層 (inch)

中性子強度 : 中性子検層より求めた  
中性子強度

#### 4.1.4 電気検層

電気検層は比抵抗検層の一種で、伝導性のある液体の満たされたボーリング孔で地層の比抵抗を深度に対応させて連続的に測定する方法である。

この方法では電流電極から地層に電流を流して、別の電極で電位差を測定することによって、地層の比抵抗 ( $\Omega \cdot m$ ) を求める。

地層が均質で、等方性で、無限大の広がりをもっている仮定すると、電流電極のまわりにできる電位は等電位で、その面は球状であると考えられ、この球の2点間の電位差

は地層の比抵抗に比例する。地層が不均質の場合には等電位面が歪み、地層の真の比抵抗を示さず、見掛けの比抵抗が測定される。

電気検層では、孔内に発生する自然電位も深度に対して連続的に記録することができる。自然電位の発生の原因は、塩分濃度の異なる孔内水と地層水が接触したときにイオン濃度の差によって孔内に発生する電気化学的電位である。このほかに孔内水と地層圧との圧力差を原因として発生する電位（流動電位）が考えられる。

#### 4.1.5 温度検層

温度検層は孔内の温度を深度に対して連続的に測定して地層の温度を決定する子によって、地層の対比、逸水層、出水層、滞水層などの位置の判定に利用する。

また、流体産出層あるいは流体流入層の温度も測定する。

孔内温度の測定は、単にその地層の地温勾配あるいは最高温度を知るだけでなく、地層中の流体の出入りにより生ずる微細な温度変化を記録することが重要である。

測定原理は比抵抗で構成されるホイーストブリッジ回路の一辺に比較的溫度係数の高いサーミスタのような抵抗値が温度によって高い感度で変化する素子を組み合わせ、温度が変化することによってブリッジ回路に不平衡電圧が発生し、この電圧が温度として記録されるものである。

#### 4.1.6 孔径検層

孔径検層では孔径の変化を深度に対して連続的に測定する。

測定電極内に小型モータを装備し、地上のコントロール装置からこのモータで4本のキャリパーアームを開閉できるシステムに成っている。キャリパーアームは閉じた状態で孔内に降下し、孔底で開いた後、測定電極を巻上げ連続的に孔径の変化を測定する。

#### 4.1.7 孔曲検層

孔曲検層は孔の傾斜角度及び傾斜方位を記録できるフィルムを備えた方位計を所定の深度まで下ろし、タイマを使ってフィルムに感光させる。これを取り出し、現像して傾斜角度及び傾斜方位を直読する。この作業を所定の深度間隔で繰り返し行う。

これらのデータにその地点の地磁気偏角の補正を加え、全孔の連続的な水平及び鉛直位置を算出する。

## 4.2 検層結果

検層結果を図4. 1の物理検層柱状図対比図に示す。各検層結果については、岩相及び深度区分と対比しながら記述する。算出に用いたデータは10cmごとの測定結果から1 mごとにサンプルしたものをを用いた。

### 4.2.1 音波検層

本検層結果から得られたP波速度は平均2.43km/secであり、最大3.15km/sec、最小は2.01km/secである。

P波速度を岩相別（平均値）に検討してみると次のとおりである。

- ①泥岩 : 2.36km/sec
- ②砂岩 : 2.63km/sec
- ③凝灰岩 : 2.60km/sec

これから砂岩が最も高いP波速度が得られ、泥岩で低速度となっている。

また深度に注目してP波速度の分布をみると、以下のとおりである。

- ①深度区分 I : 2.45km/sec
- ②深度区分 II : 2.22km/sec
- ③深度区分 III : 2.66km/sec
- ④深度区分 IV : 2.47km/sec
- ⑤深度区分 V : 2.75km/sec

P波速度は全体として同年代の泥岩、砂岩等のそれと同程度の速度を示すが、全体の岩盤等級を反映して低い速度をもち、岩相及び深度の特性を表している。

### 4.2.2 自然放射能検層

本検層結果から得られたガンマ線計量値は平均68.92APIで、最大は107.54 API、最小は30.14APIである。

ガンマ線計量値を岩相別（平均値）に検討してみると次のとおりである。

- ①泥岩 : 70.19API
- ②砂岩 : 77.07API
- ③凝灰岩 : 67.64API

堆積岩では一般に泥岩で高い値を示すが、本検層においてもその特徴が表れている。

また深度に注目してガンマ線計量値の分布をみると、以下のとおりである。

- ①深度区分 I : 62.25API
- ②深度区分 II : 61.01API
- ③深度区分 III : 78.38API
- ④深度区分 IV : 88.51API
- ⑤深度区分 V : 66.36API

本検層でのガンマ線強度は、凡そ70APIを堺に、砂岩あるいは凝灰岩が多い部分でガンマ線強度は低い。また、ガンマ線の高い値を示す箇所は、き裂の多い部分（粘土が伴う）に対応する。

#### 4.23 中性子検層

本検層結果から得られた地層孔隙率は、平均 42.29%であり、最大 52.57%、最小は 37.95%である。

地層孔隙率を岩相別（平均値）に検討してみると次のとおりである。

- ①泥岩 : 43.60 %
- ②砂岩 : 44.14 %
- ③凝灰岩 : 42.87 %

これでは砂岩が最も大きい地層孔隙率を示している。

また、深度に注目して補正孔隙率の分布をみると、以下のとおりである。

- ①深度区分 I : 43.11 %
- ②深度区分 II : 43.77 %
- ③深度区分 III : 43.72 %
- ④深度区分 IV : 43.76 %
- ⑤深度区分 V : 41.09 %

地層孔隙率は、深度区分はV帯でわずかに低い値を示すほかは深度別の変化は、ほとんどない。

#### 4.24 電気検層

本検層結果から得られたショートノルマル(25 cm) 比抵抗値は、平均が $5.85 \Omega \cdot m$ であり、最大は  $56.75 \Omega \cdot m$ 、最小は  $2.18 \Omega \cdot m$ である。

比抵抗値を岩相別（平均値）に検討してみると次のとおりである。

- ①泥岩 :  $4.70 \Omega \cdot m$
- ②砂岩 :  $6.90 \Omega \cdot m$
- ③凝灰岩 :  $9.32 \Omega \cdot m$

これでは泥岩、砂岩、凝灰岩順に比抵抗値が高くなっている。

また、深度に注目して比抵抗値の分布をみると、以下のとおりである。

- ①深度区分 I :  $7.12 \Omega \cdot m$
- ②深度区分 II :  $3.06 \Omega \cdot m$
- ③深度区分 III :  $7.09 \Omega \cdot m$
- ④深度区分 IV :  $4.13 \Omega \cdot m$
- ⑤深度区分 V :  $9.05 \Omega \cdot m$

深度区分による観察では、岩相による影響が反映しているとみられる。すなわち、深度区分IIIとVの凝灰岩・砂岩の優勢な岩相で高い傾向を示す。

また、ロングノルマル(100cm) の比抵抗値は平均が $5.49 \Omega \cdot m$ で、最大は $50.78 \Omega \cdot m$ 、最小は $2.69 \Omega \cdot m$ である。

比抵抗値を岩相別（平均値）に検討してみると次のとおりである。

- ①泥岩 :  $4.55 \Omega \cdot m$
- ②砂岩 :  $6.51 \Omega \cdot m$
- ③凝灰岩 :  $8.53 \Omega \cdot m$

これでは泥岩層で低く、凝灰岩で最も高い比抵抗値を示す。

また、深度に注目して比抵抗値の分布をみると、以下のとおりである。

- ①深度区分 I : 6.29Ω・m
- ②深度区分 II : 3.34Ω・m
- ③深度区分 III : 8.18Ω・m
- ④深度区分 IV : 4.38Ω・m
- ⑤深度区分 V : 8.25Ω・m

この場合もショートノルマルの比抵抗値と同じ傾向を示す。

ショートノルマルとロングノルマルの測定値にはほとんど差がなく、また、同年代の堆積岩に相当した低い値を示す。

自然電位曲線の特徴は、深度 101.4m～180mまでは負側に移行(30Ω・m)する傾向がみられる。さらに、深度 400m付近でも負側に移行(20Ω・m)しており、この区間では、岩質が砂質となっている。また、深度 237m～330 m、深度 410m以深での区間では、正側に移行(20～30Ω・m)しており、泥岩の優勢部分に相当する。これらの点で自然電位は岩質による特徴を示している。

#### 4. 2. 5 温度検層

本件層結果から得られた坑内温度は、14.58℃～34.64℃を示す。この内最高温度を示す深度は、測定可能であった最深の412.0 m地点である。地温は、地下水及び大気の影響を除いた深度76m以深で直線的に増加し、平均温度勾配は5.9℃/100 m示し、平均的な勾配を上回っている。

また、深度に注目して温度分布をみると、以下のとおりである。

- ①深度区分 I : 14.58℃～27.69℃
- ②深度区分 II : 27.79℃～33.37℃
- ③深度区分 III : 33.37℃～34.64℃
- ④深度区分 IV : 34.64℃
- ⑤深度区分 V : 測定不能

温度曲線からは、逸水及び湧水を示唆するような温度の急激な変化は認められない。

#### 4. 2. 6 孔径検層

本検層結果から得られたデータからは平均孔径104.16mm、最小坑径 93.86mm、最大孔径355.75mmである。全孔中数箇所て孔壁の拡大がみられる。孔径(平均値)岩相別に検討してみると下記のとおりである。

- ①泥岩 : 104.33mm
- ②砂岩 : 99.21mm
- ③凝灰岩 : 100.68mm

泥岩で最も孔径の拡大がみられる。

また、深度に注目してみると以下のとおりである。

- ①深度区分 I : 97.58mm～355.75mm 平均 104.43 mm

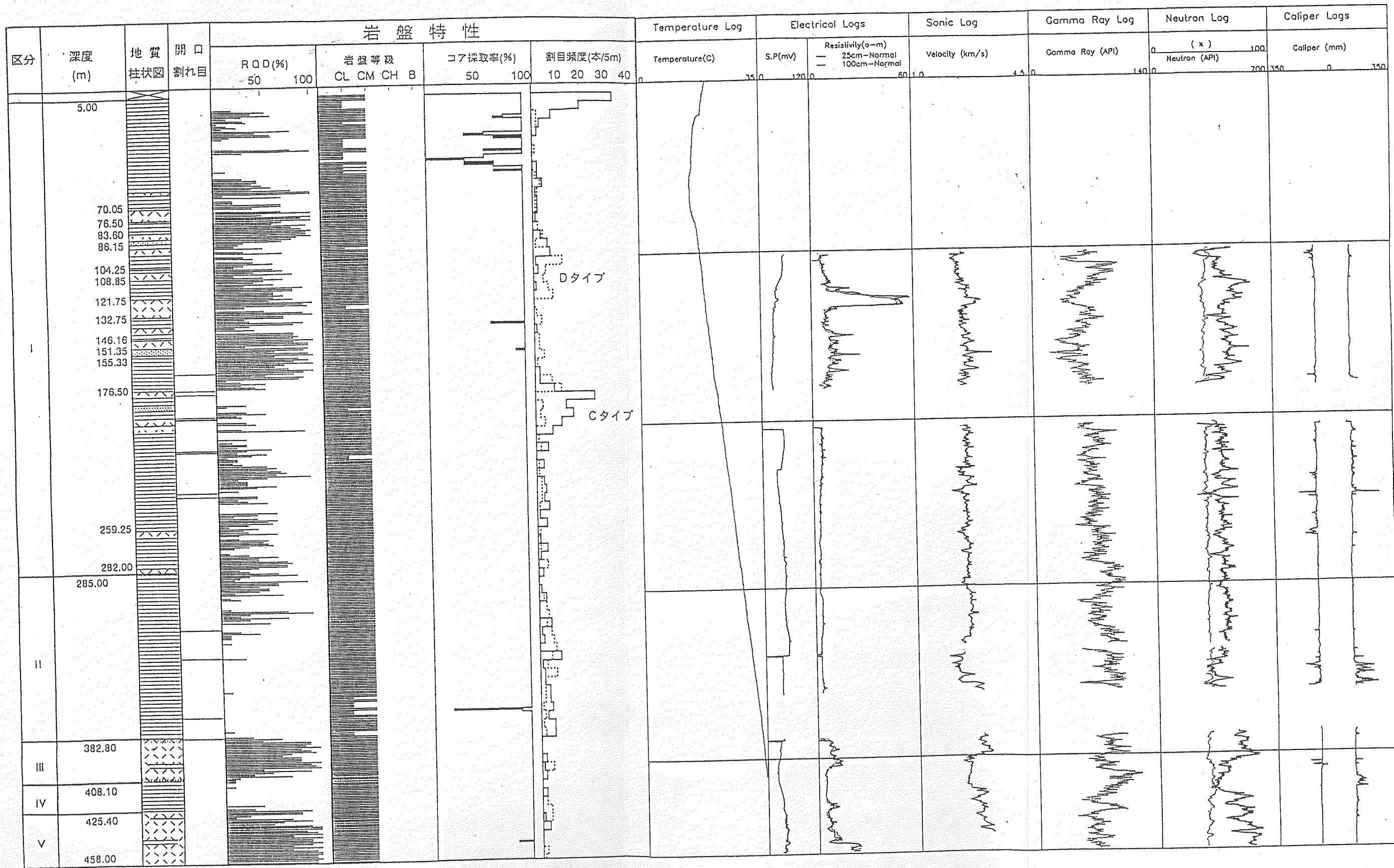
②深度区分 II	:	93.85mm~189.57mm	平均 99.00 mm
③深度区分 III	:	95.82mm~108.06mm	平均 100.05 mm
④深度区分 IV	:	96.61mm~167.10mm	平均 109.36 mm
⑤深度区分 V	:	100.00mm~114.40mm	平均 102.86 mm

深度区分別では、泥岩からなるIV帯で孔径の拡大が大きい。

#### 4.27 孔曲検層

本検層結果より得られたデータを表4.4に示す。計画線からの偏移は水平方向に対しては図4.2に示す。これらのデータによれば、深度220.0mから250.0mの間で北西から北東に屈曲し、全体として北北東方向に偏移している。深度に対する偏移の割合は深度が増す程、大きくなっている。深度450m以深については、北北東の方向で傾斜5°で推移している。

**This is a blank page.**



地質凡例

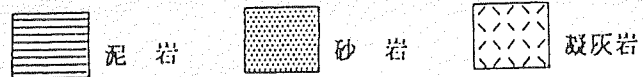


図 4.1 物理検層柱状図対比図

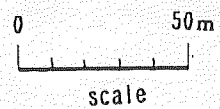




表 4.1 岩相別物理檢層結果一覽表

岩石名 (顯微鏡觀察)		自然電位 mV	比磁(25m) G·m	比磁(1m) G·m	自然磁能 API	P波速度 km/S	中性子 API	中性孔隙率 %	X-孔径 mm	Y-孔径 mm
泥 岩	最大值	55.87	29.16	20.21	107.10	2.89	518.20	52.57	355.57	198.52
	最小值	23.09	2.35	2.69	30.14	2.01	150.68	39.32	93.86	97.25
	平均值	35.34	4.70	4.55	70.19	2.36	370.26	43.60	105.75	104.97
砂 岩	最大值	46.58	13.80	12.38	90.80	2.88	495.11	47.56	101.01	100.38
	最小值	27.79	3.35	3.38	39.73	2.50	316.05	42.14	98.07	97.45
	平均值	37.18	6.90	6.51	77.05	2.63	461.79	42.87	99.51	98.91
凝灰岩	最大值	53.23	56.75	50.78	98.00	3.15	588.06	45.36	126.09	148.47
	最小值	22.50	2.18	2.98	31.31	2.17	285.71	38.25	95.82	96.08
	平均值	34.96	9.32	8.53	67.64	2.60	410.31	44.14	100.84	101.85
全 体	最大值	55.87	56.75	50.78	107.10	3.15	588.06	52.57	355.57	198.52
	最小值	22.50	2.18	2.69	31.31	2.11	150.68	38.25	93.86	96.08
	平均值	35.89	5.85	5.49	68.92	2.43	396.67	42.29	102.00	104.02

表 4.2 深度別物理檢層結果一覽表

深度区分	自然電位 mV	比抵抗(25m) Ω·m	比抵抗(1m) Ω·m	自然放射能 API	P波速度 km/S	中性子 API	中性子率 %	X-孔径 mm	Y-孔径 mm
I	最大值	53.23	56.75	91.59	2.92	570.45	52.57	355.57	198.52
	最小值	23.09	2.18	30.14	2.11	150.68	39.32	96.80	96.08
	平均值	37.16	7.12	62.25	2.45	400.85	43.11	104.02	104.85
II	最大值	55.87	4.28	98.83	2.83	463.80	46.96	186.13	128.24
	最小值	37.48	2.35	54.01	2.01	285.71	39.67	93.86	94.61
	平均值	41.74	3.06	61.01	2.22	330.96	43.77	102.56	103.71
III	最大值	34.64	13.28	97.06	3.06	588.06	48.02	101.01	97.64
	最小值	22.50	4.31	63.80	2.34	316.05	38.70	95.82	96.86
	平均值	27.88	7.09	78.38	2.67	463.91	43.72	98.70	97.56
IV	最大值	37.40	4.80	107.10	2.93	518.20	46.28	167.10	106.10
	最小值	23.97	3.80	52.50	2.34	315.30	39.20	99.61	97.35
	平均值	29.50	4.13	88.51	2.47	379.80	43.76	108.52	103.29
V	最大值	44.50	23.80	98.00	3.15	582.30	43.64	104.40	105.20
	最小值	32.50	4.00	49.80	2.50	382.30	37.95	100.00	102.50
	平均值	33.50	9.05	66.36	2.75	505.18	41.09	104.29	104.02

表 4.3 深度別岩相別物理檢層結果一覽表

深度区分	岩石名 (顯微鏡觀察)	自然電位 mV	比磁(25°C) Q <sub>m</sub>	比磁(1m) Q <sub>m</sub>	自然磁能 API	P波速度 km/S	中性子 API	中性孔隙率 %	X-孔径 mm	Y-孔径 mm
I	泥岩	最大值	29.16	20.21	91.59	2.71	474.56	52.57	355.57	198.52
		最小值	2.57	2.76	30.14	2.11	150.68	39.32	97.58	97.25
		平均值	6.16	5.48	63.67	2.44	392.28	43.49	106.78	105.51
I	砂岩	最大值	13.80	12.38	72.41	2.73	495.11	44.85	99.35	100.38
		最小值	3.35	3.38	39.67	2.50	419.77	39.38	98.07	98.91
		平均值	11.79	10.06	57.60	2.66	427.44	44.03	98.71	99.64
I	凝灰岩	最大值	56.75	50.78	74.95	2.92	570.45	42.35	105.91	122.57
		最小值	2.18	2.98	31.31	2.29	308.22	42.14	96.80	96.08
		平均值	6.82	6.46	56.07	2.50	335.12	42.24	100.07	102.81
II	泥岩	最大值	4.28	4.11	98.83	2.83	463.80	46.96	186.13	128.24
		最小值	2.35	2.69	54.01	2.01	306.26	39.67	93.86	96.37
		平均值	3.05	3.34	77.00	2.22	330.85	43.75	103.37	103.71
II	凝灰岩	最大值	3.30	3.99	91.59	2.29	384.54	46.96	126.09	106.05
		最小值	2.64	3.01	80.43	2.17	285.71	39.67	98.56	101.55
		平均值	3.06	3.34	83.10	2.23	335.17	43.75	112.32	103.80
III	砂岩	最大值	7.05	6.60	90.80	2.88	316.05	47.56	101.01	97.45
		最小值	7.05	6.60	90.80	2.88	316.05	47.56	101.01	97.45
		平均值	7.05	6.60	90.80	2.88	316.05	47.56	101.01	97.45
III	凝灰岩	最大值	13.28	10.98	97.06	3.06	588.06	48.02	99.84	97.64
		最小值	4.31	4.45	52.84	2.34	346.38	38.70	95.82	96.86
		平均值	7.09	8.25	77.73	2.65	471.69	43.52	98.58	97.86
IV	泥岩	最大值	4.80	5.10	107.10	2.93	518.20	46.28	167.10	106.10
		最小值	3.42	4.00	52.50	2.34	315.30	39.20	99.61	97.35
		平均值	4.13	4.38	98.00	2.47	379.80	43.76	108.52	105.20
V	凝灰岩	最大值	23.80	23.40	98.00	3.15	582.30	43.64	114.40	105.20
		最小值	4.00	5.30	49.80	2.50	382.30	37.95	100.00	102.50
		平均值	9.05	8.25	66.38	2.75	505.18	41.09	102.44	102.86

表 4.4 孔曲檢層結果一覽表

深度 (m)	區間長 (m)	測定結果			垂直距離			水平距離				
		磁方位 (°)	真方位 (°)	傾斜角 (°)	區間 (m)	累計 (m)	距離差 (m)	NS(N+)(m)		EW(E+)(m)		向心方向 (m)
								區間	累計	區間	累計	
	0				0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110.0	110	345	338	87.9	109.9	109.9	0.07	3.74	3.74	-1.51	-1.51	4.03
150.0	40	337	330	88.2	40.0	149.9	0.09	1.09	4.83	-0.63	-2.14	5.28
180.0	30	340	333	87.2	30.0	179.9	0.13	1.31	6.14	-0.67	-2.81	6.75
220.0	40	330	323	87.1	39.9	219.8	0.18	1.61	7.45	-1.22	-4.03	8.74
250.0	30	345	338	87.5	30.0	249.8	0.21	1.21	8.96	-0.49	-4.52	10.04
300.0	50	7	0	86.6	49.9	299.7	0.30	2.97	11.93	0.00	-4.52	12.76
330.0	30	30	23	85.4	29.9	329.6	0.40	2.22	14.15	+0.94	-3.58	14.60
350.0	20	37	30	84.4	19.9	349.5	0.50	1.69	15.84	+0.98	-2.60	16.05
400.0	50	47	40	85.0	49.8	399.3	0.69	3.34	19.18	+2.80	+0.20	19.18
410.0	10	50	43	85.0	10.0	409.3	0.73	0.64	19.82	+0.59	+0.79	19.84
430.0	20	40	33	85.0	19.9	429.2	0.81	1.46	21.28	+0.95	+1.74	21.35
450.0	20	40	33	85.0	19.9	449.1	0.89	1.46	22.74	+0.95	+2.69	22.90

### 4.3 考察

#### 4.3.1 音波検層

本孔の岩盤速度は、概ね 2.5km/sec前後を示し、同時代の岩相（泥岩・砂岩）として平均的な速度を示す。岩盤速度中 3km/sec以上の速度は凝灰岩に対応する。2km/sec程度の低速度層はき裂の発達部に相当し、この間のRQDも低い。P波速度を深度別の検討結果では、II帯及びIV帯の泥岩の優勢な部分で幾分速度は減ずるものの、深部で早い傾向がみられる。

P波速度と中性子孔隙率及び自然放射能（%）の関係を検討した結果では、相関性は認められず、比抵抗（ $\Omega \cdot m$ ）とにおいて逆の相関性が推定される（図4.3）。

なお、プロットは各検層データを10cmごとに読取っている（以下図4.4～6も同じ）。

本検層結果から得られたP波速度を、山口・西松(1990)による岩盤分類に適用すると下記のとおりである。

岩盤区分	A岩盤	B岩盤	C岩盤		D岩盤	
			C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>
風化変質	新鮮・変質なし	割れ目やや風化内部は新鮮	割れ目に沿って風化脆弱	内部の一部を除き脆弱	内部まで風化、岩構造あり	完全に粘土化、岩構造なし
クラック	間隔 30 cm 密着	間隔 5~15 cm 開口している	開口したものは粘土を挟む、 ハクラック多く細片化しやすい	開口し粘土を挟み、 細片化しやすい	ハクラック多いが開口少ない	ハクラック少ない
P波速度 (m/sec)	5,200 ~3,800	3,500	~	3,200	2,500 ~1,800	1,700 ~700

この分類によると、岩相別の平均P波速度では、泥岩、砂岩及び凝灰岩ともにD<sub>1</sub>にランクされる。各岩相で最高値を示すものでC<sub>2</sub>～D<sub>1</sub>に入ることになる。

インシティーログは物理検層総合柱状図（付帯試料）にあるが、これによれば本孔のインシティーは、ストライプの乱れや減衰が各所に認められ、全体的にき裂あるいは破碎帯に適應しており、ログ記録は断続的なき裂の発達を示唆している。

#### 4.3.2 自然放射能検層

測定されたガンマ線強度の範囲は、20~120 API と低いレベルを示している。このことは、一般的な堆積岩の特徴を示し、放射性元素が火成岩特に酸性岩に比べ、少ないことと整合している。

自然放射能検層結果については、図4. 1に示すように櫛の歯状に細かな変化を示す。

本孔の平均ガンマ線強度の特徴は、70 APIを目安値として砂岩や凝灰岩に富む地層でガンマ線強度は低く、泥岩を主体とした地層のガンマ線強度は高いレベルを示す。

き裂の集中部、破碎帯でのガンマ線強度は70 APIを示し、ほぼ泥岩層と同程度である。

本来、孔径拡大部では、孔壁とセンサとの距離が離れ、介在する孔内水によるガンマ線の吸収のため、測定値が低下している可能性があるが、本孔では、孔径が変化しているにもかかわらず、ほぼ一定の高いガンマ線強度を示している。この原因としては、き裂の集中部や破碎帯である程度の粘土化が進み、放射性元素を含む鉱物が逸脱し、部分的に沈積していることが考えられる。

図4. 4はガンマ線強度(API) と比抵抗 ( $\Omega \cdot m$ ) をプロットしたものであるが、わずかながら相関性が推定される。

#### 4.3.3 中性子検層

中性子検層は、一般にはSahyal(1977)の指摘するように、lithology の同定に向けた検層であるが、ガンマ線検層や音波検層結果から導かれる孔隙率より高い値が得られることを特徴としている。この理由は、検層の対象となった地層中の水素原子の存在量、すなわち水分子の存在が関係するものと考えられる。ちなみに、本検層結果と対応する物性試験から得られた孔隙率の比較を下記に示す。この表では、中性子検層の孔隙率が全般に

試料番号	深度 (m)	岩石 コード	孔隙率 (%) (物性試験)	孔隙率 (%) (中性子検層)
Na D-1	73.41	TF	33.45	-
Na D-2	131.31	SS	26.41	41.72
Na D-3	156.16	MD	28.93	43.07
Na D-4	224.65	MD	28.71	43.24
Na D-5	281.54	MD	28.06	42.85
Na D-6	310.46	MD	28.63	44.22
Na D-7	385.40	MD	26.65	-
Na D-8	400.00	TF	21.43	40.02
Na D-9	423.23	MD	-	44.14
Na D-11	446.15	TF	24.06	43.33
Na D-10	454.16	TF	10.56	39.73

- : サンプル、孔内状態悪く測定不能

高い。本孔の地層孔隙率は、平均42%台と高い値を示している。一方、中性子強度も 400 API 弱と低い。低中性子強度を示す測定区間の内、500API以上を示す区間は凝灰岩層と良

い対応を示す。

図4.5は中性子孔隙率(%)と比抵抗値( $\Omega \cdot m$ )をプロットしたもので、ある程度の相関性を示している。

また、岩相の物性値を比較するために、中性子強度-ガンマ線強度をプロットして図4.6に示す。本図では逆相関性が認められる。また、中性子強度(400API)、ガンマ線強度(75API)を中心とした領域に分布する傾向がみられる。

岩相の物性値としては、泥岩を主体とした地層は右斜めしたに分散し、砂岩を主とした地層は中心に集中する傾向がある。凝灰岩層は左斜め上に位置している。

さらに、本孔の特徴はき裂の集中部の傾向として、鉱脈の発達している箇所では左斜め下に移行し、破碎帯に伴う粘土化の進んでいる箇所では、逆に右斜め上に移る傾向がみられる。

#### 4.3.4 電気検層

##### (1) 自然電位

自然電位検層は、孔井内で発生する電位を測定する方法で、孔内水と地層水の塩分濃度によって正(+側)、負(-側)に偏移するが、通常は孔内水より地層水の塩分濃度が低いので正に振れる。さらに、岩相変化によっても自然電位は変化する。例えば、砂岩の優勢な地層では負に、泥岩の優勢な地層では正に変化するのが一般的である。

本孔の自然電位曲線の特徴として、深度101.4m~180.0mは負に偏移する傾向がみられる。さらに、深度400m付近でも負側に移行しており、この部分では砂質となっていることが予想できる。また、深度237.0m~330.0m、深度410m付近では正側への偏移が認められ、泥岩の優勢な部分と一致する。

ちなみに、測定時の孔内水は深度101.4m~411.6m時で $180\Omega \cdot m$ (16.3℃)、深度390.0m~458.0m時で $133\Omega \cdot m$ (13.2℃)が記録されている。

##### (2) 比抵抗

本孔の見掛比抵抗曲線は、地質状況を良く反映している。孔内の地質は新第三紀中新世の泥岩、砂岩、凝灰岩及び砂質・礫質・凝灰岩等の互層で、き裂、破碎帯の発達した地域であり、コア採取率(RQD)が非常に悪い部分もある。

さらに、ショート・ノルマルとロング・ノルマルの曲線間に、セパレーションがないことから、地層の透水性も良好で、孔内水と地層水の塩分濃度にほとんど差がないことを示している。地層ごとの特徴としては、泥岩を主とした地層の見掛比抵抗は $10\Omega \cdot m$ 以下の低比抵抗値を示し、砂質となるにつれて見掛比抵抗は高くなり $10\sim 20\Omega \cdot m$ まで上昇する。さらに、凝灰岩の比抵抗値は $20\Omega \cdot m$ 以上を示す。

#### 4.3.5 温度検層

温度曲線から本孔の温度変化についてその特徴をみると、深度76.0mまでは気温及び地下水による影響の変化が表れている。深度76.0m以深では深度と共に温度は直線状に増加し、温度勾配は平均 $0.59\text{℃}/10\text{m}$ ではば一定となる。この値は、日本の一般的な地温勾配の $0.3\text{℃}/10\text{m}$ より高い。また、検層時の水深は19.6mであり、孔内の最高温度は

深度 412.0m で 34.8 °C を記録している。これらことから、地下深所に熱源となるような岩体、あるいは熱伝導率の高い岩体の存在する可能性も考えられる。

孔内の温度変化より地下水流動について考察すると、深度 50m を堺にして上下 2 層流の低温水の流動が予想されるが、深度 76.0m 以深については熱伝導のみによる上昇と考えられる。

#### 4.3.6 孔径検層

本検層結果孔径が 130mm 以上（掘削孔径：98mm）の拡大箇所の深度を示すと

深度 104.8m	106.0m	109.0m	177.5m	182.1m	236.8m	238.0m
深度 204.5m	249.5m	272.5m	299.8m	329.5m	350.5m	352.8m
深度 354.3m	359.0m	359.5m	361.5m	407.9m	416.5m	418.0m
深度 420.0m						

である。

このうち、深度 182.1m の拡大部は範囲、量ともに大規模で、最大ピークは 280mm 以上に達する。この区間の放射線状の孔径拡大は、断層による岩層の強度低下、岩石の剥離性、または掘削の結果、圧力解放によるブレイクアウト現象による可能性が予想される。

深度 350m ~ 362.5m 間も大きく拡大している。深度 439.0m 以深については、概ねビットサイズ（98mm）に合う均一の孔径を示し、岩質も安定状態へと移行していることが予想される。

#### 4.3.7 孔曲検層

孔曲測定結果は、ほぼ北西-北東に偏移しており、深度に対する偏移の割合は深度が増す程、大きくなっている。深度 400m 以深については、北北東の方向で傾斜 5° で推移している。

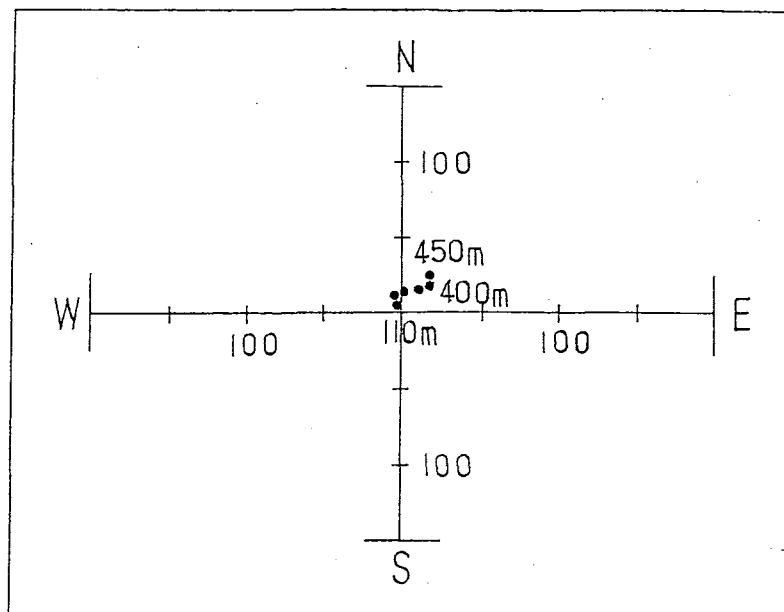


図 4.2 孔曲検層結果図



FUSHIKIDANI

RESISTI.-VELOCITY

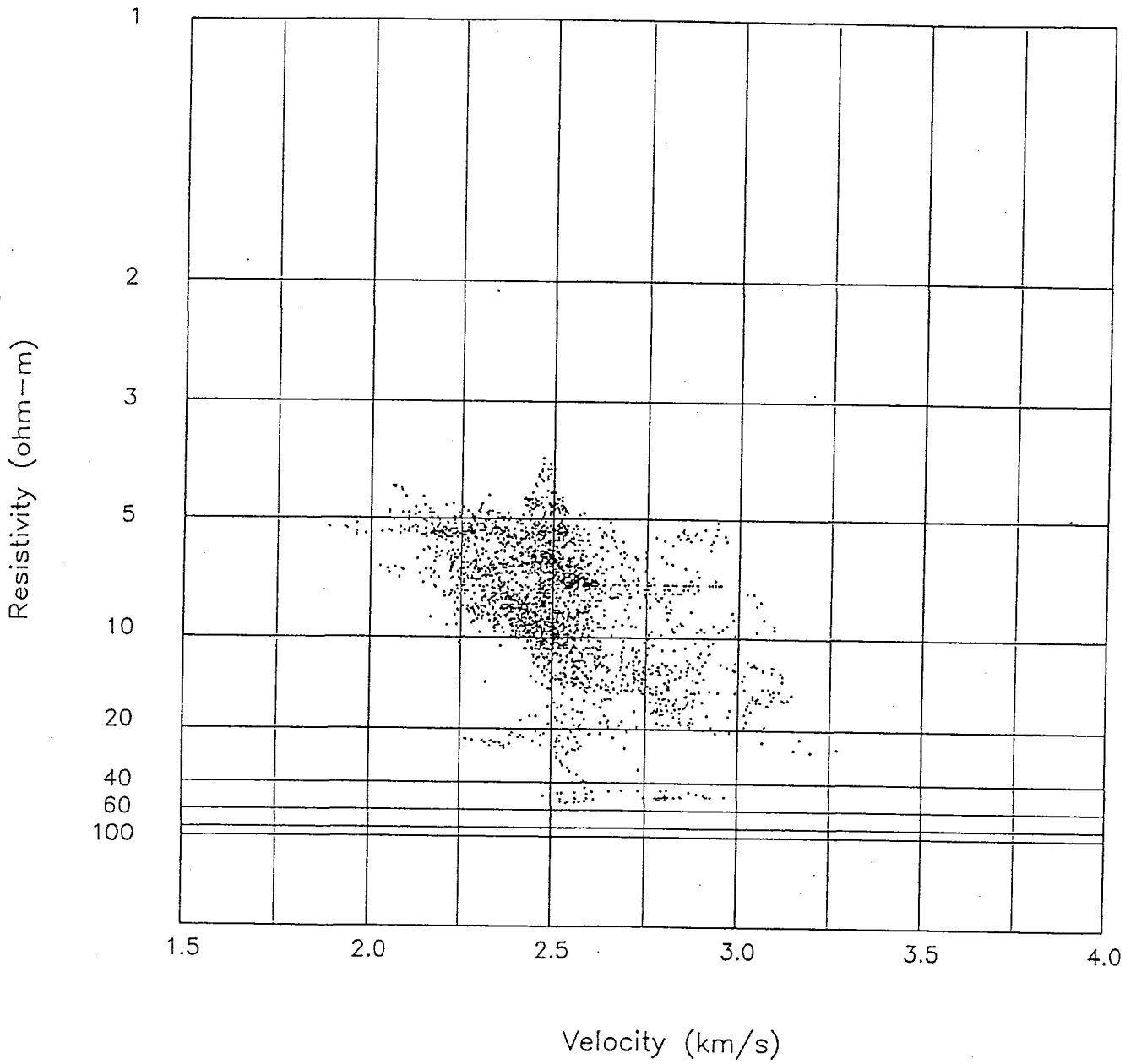


図 4.3 比抵抗とP波速度の関係図

FUSHIKIDANI

RESISTI.-GAMMA RAY

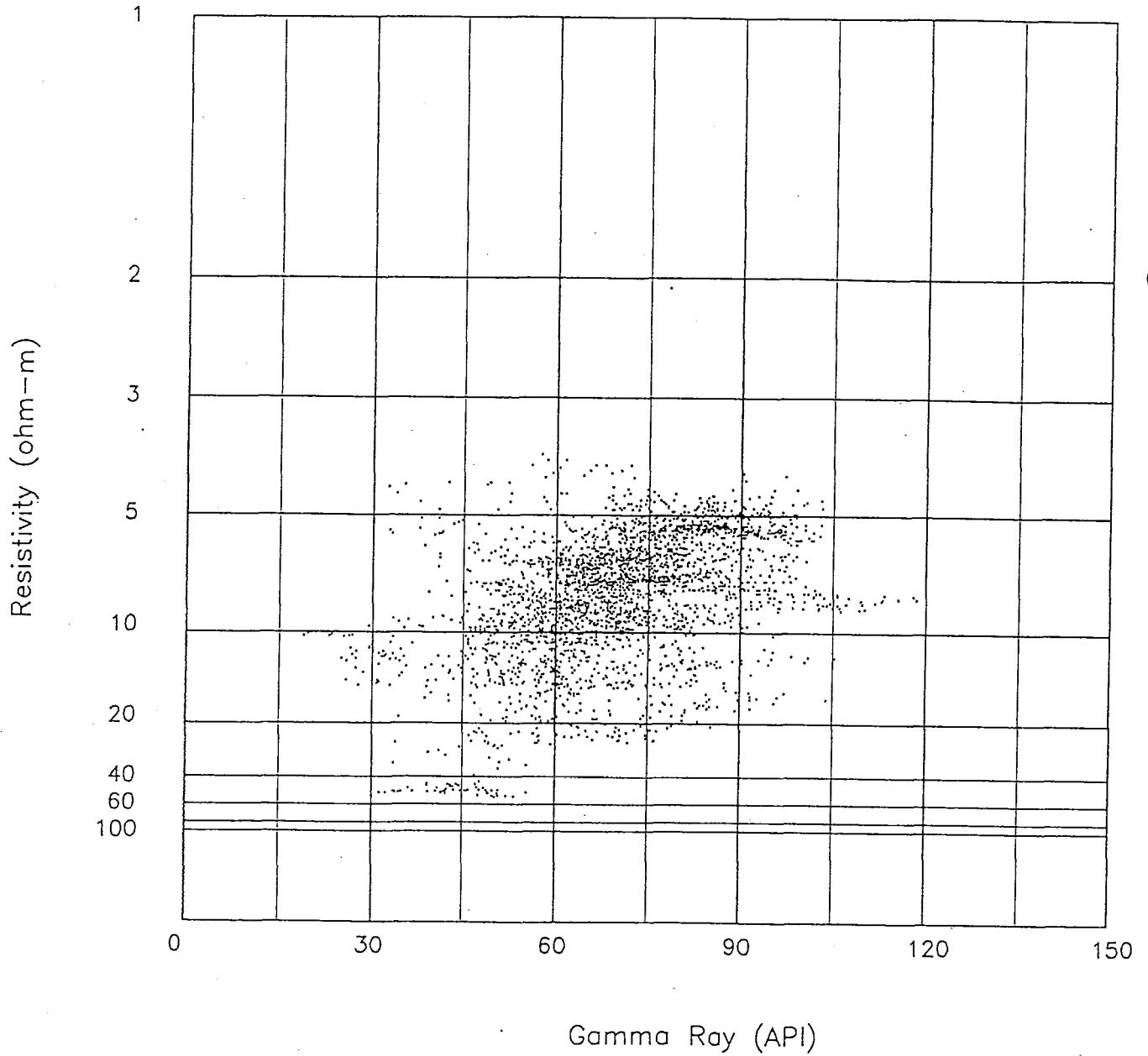


図 4.4 比抵抗と自然放射能強度の関係図

# FUSHIKIDANI

## RESISTIVITY-DENSITY

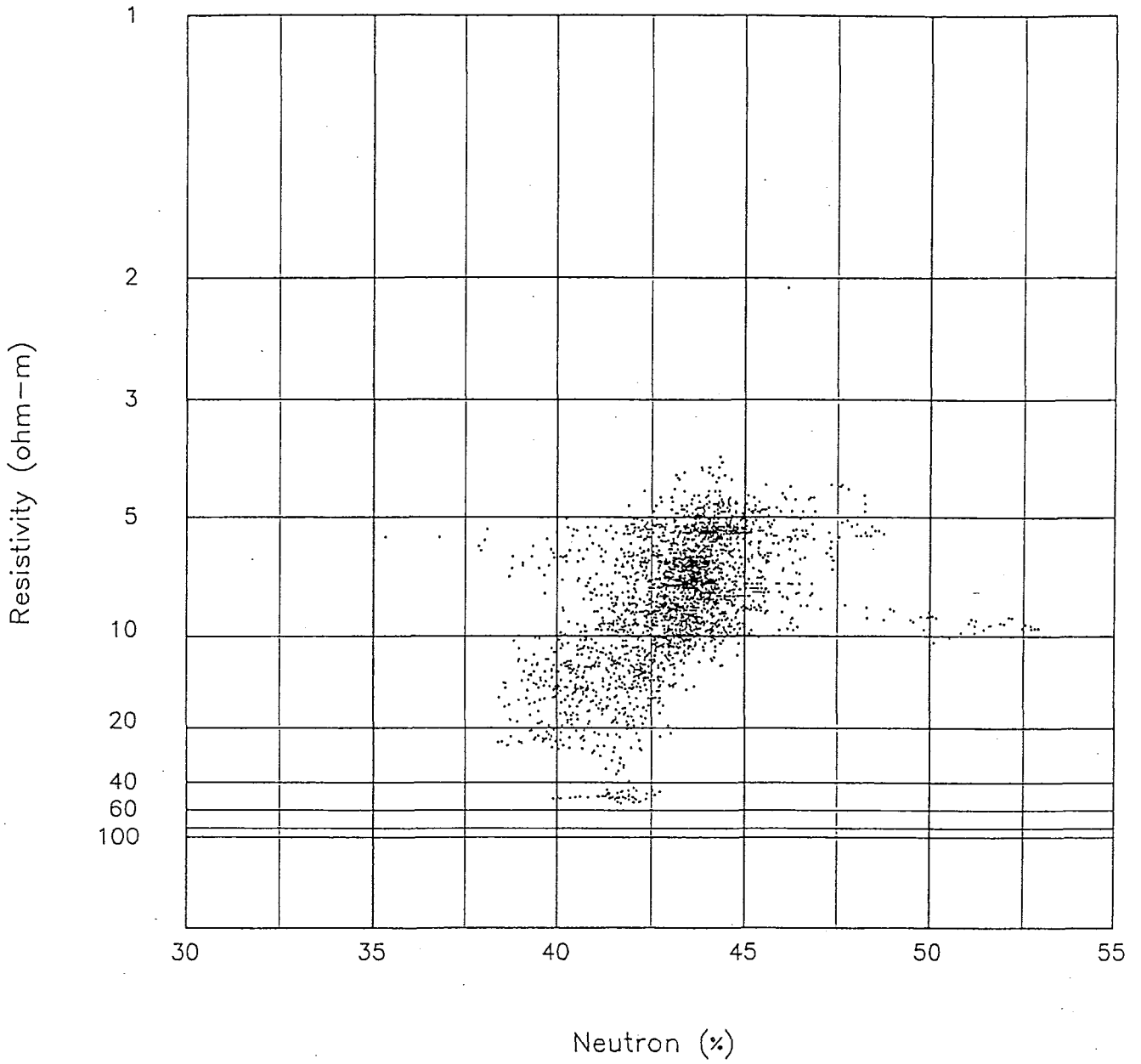


図 4.5 比抵抗と中性子孔隙率の関係図

GAMMA RAY - NEUTRON

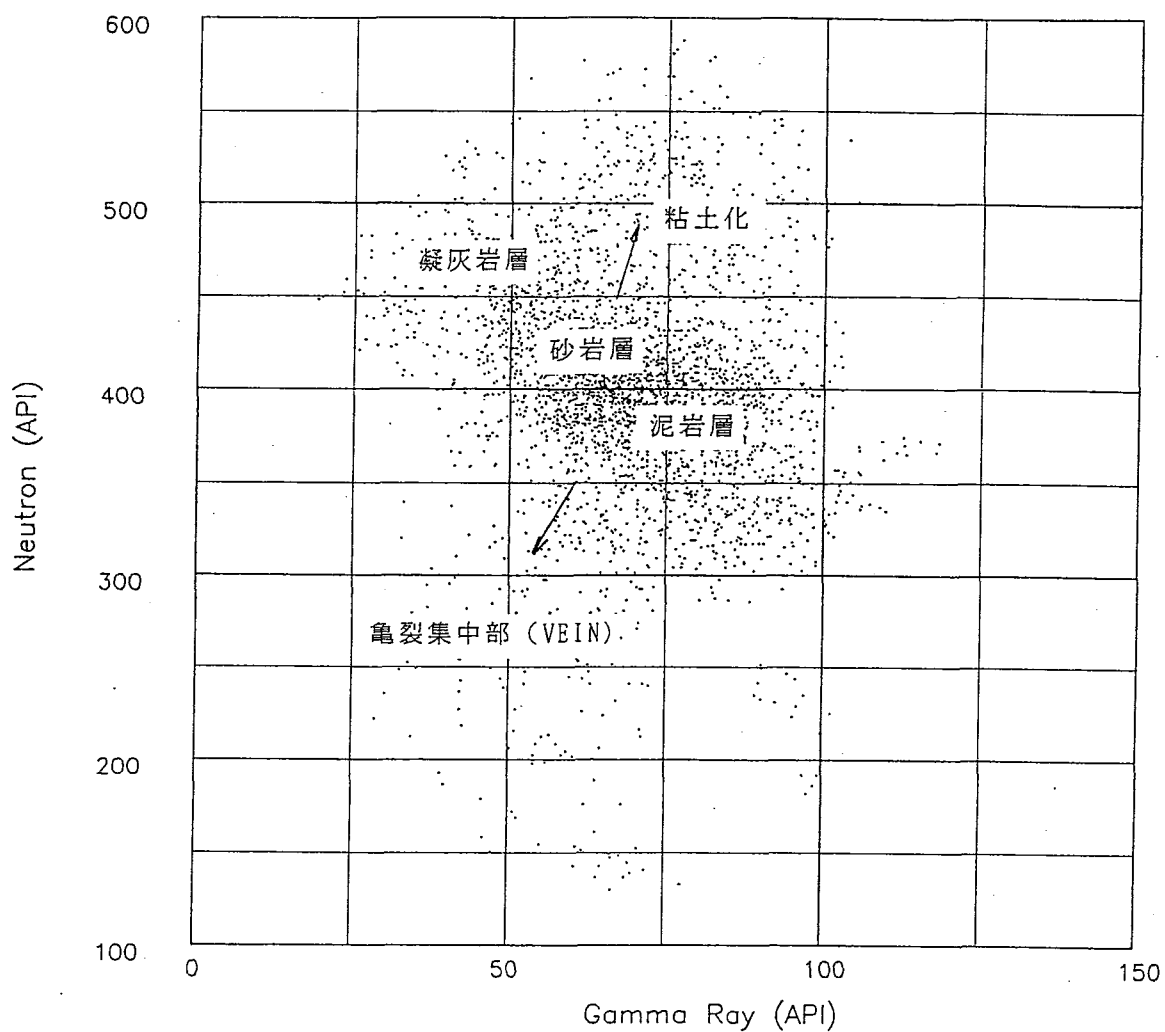


図 4.6 中性子-ガンマ線強度の関係図

## 5. 岩芯物性試験

### 5.1 試験及び測定方法

#### 5.1.1 物性特性試験

試料の形状は円柱状で、その大きさは直径63mm、長さ50mm以上のものである。重量の測定は、(株)長計量器制作所 PT3-1600D (感量: 0.01gr) を、試料の乾燥は、ヤマト(株)製のDF-61型を使用した。

見掛比重は、自然状態、強制湿潤状態及び強制乾燥状態の3状態で測定した。同一試料について、自然状態及び強制湿潤状態での見掛比重測定後、強制乾燥状態の測定を実施した。まず、試料の自然状態での空中重量 ( $W_1$ ) を秤量し、次に試料を純水中に約96時間浸し強制湿潤状態として、その水中重量 ( $W_2$ ) を秤量後表面の付着水を乾いた布等で拭き取って空中重量 ( $W_3$ ) を秤量する。この試料を105 ~ 110 °Cの恒温乾燥機中で約24時間乾燥させたものを強制乾燥状態として、それをデシケータに入れて、室温まで冷却させて後、空中重量 ( $W_4$ ) を秤量した。重量は、0.01まで秤量記録した。

見掛比重、含水率、吸水率及び有効孔隙率は、次式により計算し、有効数字3桁まで求めた。

$$\text{見掛比重 (自然)} \rho_N = \frac{W_1}{W_3 - W_2}$$

$$\text{見掛比重 (乾燥)} \rho_D = \frac{W_4}{W_3 - W_2}$$

$$\text{見掛比重 (強湿)} \rho_w = \frac{W_3}{W_3 - W_2}$$

$$\text{含水率 } W_R = \frac{W_3 - W_4}{W_3 - W_2}$$

$$\text{吸水率 } W_A = \frac{W_4 - W_3}{W_3}$$

$$\text{有効間隙率 } N = \frac{W_4 - W_3}{W_3 - W_2}$$

### 5.1.2 超音波速度試験

試験装置は、応用地質のソニックピア5217A型を使用した。また、試験方法はJR仕様第10条によって測定した。

P波速度、S波速度、動ポアソン比及び動弾性係数は次式によって求めた。

$$\text{P波速度 } V_P = \frac{L}{t_1} \quad (\text{km/sec})$$

$$\text{S波速度 } V_S = \frac{L}{t_2} \quad (\text{km/sec})$$

$$\text{動ポアソン比 } \mu_d = \frac{\left[ \left( \frac{V_P}{V_S} \right)^2 - 2 \right]}{2 \left[ \left( \frac{V_P}{V_S} \right)^2 - 1 \right]}$$

$$\text{動弾性係数 } E_d = \frac{V_P^2 \gamma (1 + \mu_d) (1 - 2\mu_d)}{9.8 (1 - \mu_d)} \times 105 \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

- L : 供試体の長さ (cm)
- t<sub>1</sub> : 縦波が透過に要した時間 (μ・sec)
- t<sub>2</sub> : 横波が透過に要した時間 (μ・sec)
- γ : 単位体積重量 (g/cm<sup>3</sup>)

### 5.1.3 一軸圧縮強度試験

供試体は、自然状態のコアの両端面の平行度を3/300 mm以内に、大きさは直径63mm、高さ130 mmとし高さ/直径が2.0 にほぼ等しくなるように整形し、試験に供した。試験は、JIS-A1216 並びにJIS-M0302 に準じて実施した。

試験に先立ち、静弾性係数・静ポアソン比の測定のために、ケージ長10mmのクロス型ひずみゲージ 2枚を供試体側面にシアノアクリレートで接着した。

載荷装置は、森試験機制作所製 MH-100 油圧万能試験機を使用した。

加重、変形及び 2箇所それぞれ 2方向のひずみは東京測器舎製デジタル・データ・ロガー、TDS601を用いて計測し記録した。

試験条件は次のとおりである。

载荷方式：ひずみ制御法

変位速度：0.1 mm/min

$$\text{圧縮速度 } \sigma_c = \frac{P}{A} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

$$\text{静ヤング率 } E_s = \frac{1/2 \sigma_c}{\varepsilon l_2 - \varepsilon l_1} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

$$\text{静ポアソン比 } \mu_s = \frac{\varepsilon d}{\varepsilon l}$$

P : 破壊加重

A : 試料の断面積

$\varepsilon l$  : 縦ひずみ

$\varepsilon d$  : 横ひずみ

$\varepsilon l_2$  : 応力-ひずみ線の直線部分の接線と横軸の交点の縦ひずみ

$\varepsilon l_1$  : 応力-ひずみ線の1/2 応力における縦ひずみ

#### 5.1.4 圧裂引張強度試験

試験は、JIS-M0303 I 準拠して実施した。これは、断面直径方向に直線状の圧縮荷重を加えて供試体を引張破壊させるもので、具体的には平行な2枚の载荷板の間に円柱の供試体をはさみ加圧した。

供試体は、試錐コアの側面の良好なものをダイヤモンドカッタで切断し、両端面を平行に仕上げた。また、供試体は1深度1個を原則として試料を選択し、直径約63mm、長さ64mmに作成した。

試験条件は次のとおりである。

载荷方式：変位制御法

変位速度：0.1 mm/min

圧裂引張強度は次式により求めた。

$$\text{圧裂引張強度 } \sigma_t = \frac{2P_t}{\pi D L} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

- $P_t$  : 破断荷重  
 $D$  : 供試体の直径 (mm)  
 $L$  : 供試体の長さ (mm)

#### 5.1.5 熱伝導率測定

試料は約10mmに輪切りにしたコアを縦半分に分断し、測定面を研磨して用いた。測定装置は昭和電工(株)製 QTN-D2 を用い、非定常法で測定した。試料の測定は強制乾燥状態で実施した。

自然乾燥状態では、室温で1週間以上放置した状態とし、強制乾燥状態は試料を105～110℃の温度に保持した送風式恒温乾燥機内で約24時間乾燥させたのちデシケータ内で室温まで冷却した状態とした。

測定は非定常熱線法のボックス・プローブ法で実施した。同一試料に対して5回行いその結果はCGS単位に換算し、その平均値で表示した。

試料の測定に先立ち、装置の調整後標準プレート(石英ガラス: 1.186kcal/m·h·℃)の測定を行い、測定値と標準プレートの差が標準プレートの表示値の±3%以内であることを確認して試料の測定を行った。

熱伝導率(平均値)と標準誤差は次式によって求めた。

$$\text{熱伝導率(平均値)} \quad X = \frac{\sum X_1}{n}$$

$$\text{標準誤差} \quad \sigma_m = \frac{\sum (X_1 - X)^2}{n(n-1)}$$

$X_1$  : 測定値 (1.186kcal/m·h·℃)

$n$  : 測定点数

#### 5.1.6 比熱測定

試料の形状は円柱とし、直径約16mm、長さ約30mmで強制乾燥状態の試料を測定に供した。

試験装置は真空理工(株)製の断熱型比熱測定器 SH-3000型を使用した。測定は断熱法によって行った。試料は試料ホルダの中に入れ、内臓の内部ヒータにより一定電力で加熱し、温度上昇させた。試料とその外側の断熱容器との間の温度差を示差熱電対により検出し、この温度差が零になるように(試料と断熱容器が等温になるように)、外部ヒータの電流を調節して測定する。測定温度範囲は、室温(20℃)から300℃とし、20℃ごとに計測して表示する。小恩速度は約5℃/minとした。

比熱を次式で計算し、有効数字を3桁まで求めた。



$$\text{定圧比熱 } C_p = \frac{W \cdot \Delta t}{M \cdot \Delta \theta} - \frac{M' \cdot C_p'}{M} \quad (\text{J/g} \cdot \text{K})$$

W : 電力 (Watt)

M : 試料の重力 (g)

$\Delta \theta$  : 試料の上昇温度 ( $^{\circ}\text{K}$ )

$M' \cdot C_p'$  は試料ホルダの熱容量 ( $\text{J} \cdot \text{K}$ )

### 5.1.7 熱膨脹率測定

試料は円柱の強制乾燥状態のものとし、直径 5mm、高さ 20mm で、両端面は平行かつ平滑とした。試験装置は棒状試料を測定する理学電気 (株) 製熱機械分析装置 (熱膨脹計) TMA-CN8098D1 を使用した。

試料は本体に固定された支持管の頂部にかかるく触れるようにし両側の検出棒セットし、標準試料は標準側の検出棒にセットした。

試料側の検出棒は差動トランスフィールドに、標準側の検出棒はトランスコア連絡し、熱電対はしり試料に接触させた。

試料及び標準試料に保護管及び電気炉をかぶせ、ひずみのフルスケールを設置し、その後レコーダにキャリブレーション (校正) を実施した。加熱はヒータにより一定の昇温速度 ( $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ) 行った。

熱膨脹率及び線膨脹係数は次式により求めた。

$$\text{熱膨脹率 } K = \frac{l_T - l_0}{l_0} \times 100 \quad (\%)$$

$$\text{線膨脹係数 } \alpha = \frac{1}{l_0} \times \frac{l_2 - l_1}{T_2 - T_1} \quad (10^{-6})$$

$l_0$  : もとの試料の長さ (mm)

$l_T$  : 温度  $T^{\circ}\text{C}$  における長さ (mm)

$T_2, T_1$  : 測定温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )

$l_2, l_1$  : 測定温度における試料の伸び (mm)

標準試料として石英ガラスを用いたが、これも熱により伸びを生じ、熱膨脹の計算に当たっては、上記の計算とこの補正を含め、マイクロコンピュータで処理し、所定の温度における熱膨脹率・線膨脹係数を記録した。これをもとに温度-熱膨脹率曲線 (付帯試料) を作成した。

## 5.2 測定結果

### 5.2.1 物性特性試験

本測定結果得られた物性値は図5.1、表5.1及び表5.2に示す。

これらの図表によれば、見掛け比重（強制乾燥状態）は平均1.98であり、最大2.12、最小は1.73を示す。

見掛け比重を岩相別に検討してみると次のとおりである。

- ①泥岩 : 1.97
- ②砂岩 : 1.99
- ③凝灰岩 : 1.99

これからは、砂岩及び凝灰岩が同じ値を示し、泥岩はいくぶん低い値である。

また、深度区分による見掛け比重の分布は以下のとおりである。

- ①深度区分Ⅰ : 2.02(MD)~1.73(TF)
- ②深度区分Ⅱ : 1.96(MD)
- ③深度区分Ⅲ : 2.11(TF)~2.02(MD)
- ④深度区分Ⅳ : -
- ⑤深度区分Ⅴ : 2.12(TF)~2.02(TF)

(Ⅳは整形の点で測定できず)

見掛け比重の平均は1.98で、深度区分での平均値は深部で大きくなる傾向がみられる。

その他、含水率、吸水率、有効孔隙率については後の考察の項で他の物性値との比較・検討を行うが、三者の値は泥岩>砂岩>凝灰岩の順である。また、深部で凝灰岩が優勢となっている。

### 5.2.2 超音波速度試験

本試験の結果得られたP波、S波、動ポアソン比及び動ヤング率は図5.1、表5.1及び表5.2に示す。これらの図表によれば、P波速度の平均は2.67km/secで、最大は3.09km/sec、最小は2.44km/secである。凡そ同年代の新第三紀上部堆積岩のP波速度（服部保正・杉本卓司による）の平均は2.20km/sec、最大は3.35km/sec、最小は1.64km/secで、平均と最小値やや高い値を示す。また、新第三紀上部堆積岩の北陸含油層のP波速度平均2.10km/sec（服部保正・杉本卓司による）より高目の値となっているが、コアによる測定は、岩盤の測定に比べ一般に高い値を示すことから、ほぼ同等な値と見なされる。

P波速度（平均値）は岩相別に検討すると下記のとおりである。

- ①泥岩 : 2.51 km/sec
- ②砂岩 : 2.98 km/sec
- ③凝灰岩 : 2.80 km/sec

これから砂岩が高いP波速度を、泥岩が低い値を示す。

また、深度に注目してP波速度の分布をみると下記のとおりである。

- ①深度区分Ⅰ : 2.98(SS)~2.44(TF)km/sec
- ②深度区分Ⅱ : 2.59(MD)km/sec
- ③深度区分Ⅲ : 3.03(TF)~2.25(MD)km/sec

④深度区分Ⅳ： -

⑤深度区分Ⅴ：3.09(TF)~2.65(TF)km/sec

(Ⅳは整形の点で測定できず)

P波速度の深度区分では、深部で大きい値を示す傾向がみられが、この区域は凝灰岩の優勢な部分にあたる。

**This is a blank page.**



表 5. 1 岩芯物性値一覽表

試験片番号	岩石名 (顕微鏡觀察)	物性特性				超音波測定				強度			特性		熱特性	
		見掛比重	含水率 %	吸水率 %	孔隙率 %	S波速度 km/s	P波速度 km/s	動撓り比	動ヤング率 kgf/cm <sup>2</sup>	一軸圧縮強度 kgf/cm <sup>2</sup>	圧裂強度 kgf/cm <sup>2</sup>	圧裂引張度 kgf/cm <sup>2</sup>	静ヤング率 kgf/cm <sup>2</sup>	熱伝導率 10 <sup>-3</sup> cal/cm <sup>2</sup> ·s·°C	比熱 (300°C) cal/g°C	線膨張係数 (300°C) ×10 <sup>-6</sup> /°C
No. 1	凝灰岩	72.40 ~74.00	17.15	19.29	33.45	1.35	2.44	0.279	97000	302	29.8	0.21	58800	3.150	0.280	-6.39
No. 2	砂岩	130.59 ~132.00	12.39	13.26	26.41	1.37	2.98	0.366	117000	208	17.6	0.22	99500	3.678	0.262	7.57
No. 3	泥岩	153.48 ~157.12	14.03	14.82	28.33	1.23	2.53	0.345	93000	186	36.1	0.23	68500	3.707	0.267	2.85
No. 4	泥岩	223.35 ~224.76	14.16	14.06	28.71	1.27	2.56	0.337	97000	253	13.1	0.24	45300	3.846	0.260	4.87
No. 5	泥岩	280.60 ~281.94	13.56	13.95	28.06	1.19	2.46	0.347	89000	382	22.5	0.26	80800	4.507	0.254	-5.02
No. 6	泥岩	310.00 ~311.23	13.49	14.64	28.63	1.15	2.59	0.377	83000	245	11.1	0.25	68700	4.081	0.262	3.57
No. 7	泥岩	385.23 ~385.95	2.02	13.19	26.65	0.95	2.45	0.412	59000	105	10.2	0.25	40900	3.829	0.250	-1.39
No. 8	凝灰岩	399.00 ~400.35	2.11	9.52	21.43	1.36	3.03	0.374	120000	231	24.4	0.25	136100	3.944	0.295	5.63
No. 9	泥岩	423.23 ~423.30	—	—	—	—	—	—	—	114	—	0.25	103600	—	0.261	-8.31
No. 11	凝灰岩	446.15 ~446.89	2.02	12.04	24.16	1.26	2.65	0.354	98000	—	—	—	—	3.554	0.278	-9.38
No. 10	凝灰岩	454.00 ~456.26	2.12	4.30	10.56	1.51	3.09	0.343	138000	414	38.5	0.21	89400	3.779	0.285	2.56
最小値			1.73	4.30	4.95	10.56	0.95	2.44	59000	105	10.2	0.21	40900	3.150	0.250	-9.38
最大値			2.12	19.29	33.45	1.51	3.09	0.412	138000	414	38.5	0.26	136100	4.507	0.295	7.57
平均値			1.98	12.22	13.11	25.69	1.26	2.67	99100	234	21.4	0.23	79160	3.807	0.268	-1.22

— : サンプル状態悪く測定不能

表 5. 2 岩相別平均物性値一覽表

岩石名 (顕微鏡觀察)	物性特性				超音波測定				強度			特性		熱特性	
	見掛比重	含水率 %	吸水率 %	孔隙率 %	S波速度 km/s	P波速度 km/s	動撓り比	動ヤング率 kgf/cm <sup>2</sup>	一軸圧縮強度 kgf/cm <sup>2</sup>	圧裂強度 kgf/cm <sup>2</sup>	圧裂引張度 kgf/cm <sup>2</sup>	静ヤング率 kgf/cm <sup>2</sup>	熱伝導率 10 <sup>-3</sup> cal/cm <sup>2</sup> ·s·°C	比熱 (300°C) cal/g°C	線膨張係数 (300°C) ×10 <sup>-6</sup> /°C
泥岩(HD)	1.97	13.44	14.28	28.19	1.15	2.51	0.363	84200	214	17.4	0.24	67966	3.994	0.259	-0.53
砂岩(SS)	1.99	12.39	13.26	26.41	1.37	2.98	0.366	118400	208	17.6	0.22	99500	3.678	0.262	7.57
凝灰岩(FF)	1.99	10.64	12.36	22.40	1.37	2.80	0.337	117000	315	30.9	0.22	94766	3.606	0.284	-1.26

### 5.2.3 力学特性

本試験の結果を図5.1、表5.1及び表5.2に示す。

これらの図表によれば、一軸圧縮強度の平均は234kgf/cm<sup>2</sup>であり、最大414kgf/cm<sup>2</sup>、最小は105kgf/cm<sup>2</sup>である。一軸圧縮強度分布は、糟谷(1978)の工学的分類案では泥岩、砂岩及び凝灰岩ともに軟岩域に属している。

圧縮強度(平均値)を岩相別に検討してみると下記のとおりである。

- ①泥岩 : 214 kgf/cm<sup>2</sup>
- ②砂岩 : 208 kgf/cm<sup>2</sup>
- ③凝灰岩 : 315 kgf/cm<sup>2</sup>

3種の岩相では凝灰岩が比較的高く、砂岩がもっとも低い値を示す。

深度区別の圧縮強度分布は、次のとおりである。

- ①深度区分Ⅰ : 382(MD) ~ 186(MD) kgf/cm<sup>2</sup>
- ②深度区分Ⅱ : 245(MD) kgf/cm<sup>2</sup>
- ③深度区分Ⅲ : 231(TF) ~ 105(MD) kgf/cm<sup>2</sup>
- ④深度区分Ⅳ : 114(MD) kgf/cm<sup>2</sup>
- ⑤深度区分Ⅴ : 414(TF) kgf/cm<sup>2</sup>

圧縮強度は、Ⅲ及びⅣ帯の凝灰岩及び泥岩の部分で低い値を示すが、深度が深いⅤ帯で最も高い414 kgf/cm<sup>2</sup>を示す。

圧裂引張強度は平均が21.4kgf/cm<sup>2</sup>であり、最大は38.5 f/cm<sup>2</sup>、最小が10.02kgf/cm<sup>2</sup>である。

圧裂引張強度の岩相別の検討結果は次のとおりである。

- ①泥岩 : 17.4kgf/cm<sup>2</sup>
- ②砂岩 : 17.6kgf/cm<sup>2</sup>
- ③凝灰岩 : 30.9kgf/cm<sup>2</sup>

これでは凝灰岩が30.9kgf/cm<sup>2</sup>と最も大きい値を示す。最小は泥岩の17.4kgf/cm<sup>2</sup>である。

深度区別の圧裂引張強度分布は次のとおりである。

- ①深度区分Ⅰ : 36.1(MD) ~ 13.1(MD) kgf/cm<sup>2</sup>
- ②深度区分Ⅱ : 11.1(MD) kgf/cm<sup>2</sup>
- ③深度区分Ⅲ : 24.4(TF) ~ 10.2(MD) kgf/cm<sup>2</sup>
- ④深度区分Ⅳ : -
- ⑤深度区分Ⅴ : 38.5(TF) kgf/cm<sup>2</sup>

(Ⅳは整形の点で測定できず)

圧裂引張強度分布はⅡ及びⅢ帯で泥岩部分の値が低いが、Ⅴ帯で最も大きい値を示す。大局的には下部で高い値なる傾向にある。

一軸圧縮試験結果による応力ひずみ線図を図5.2に示す。

応力ひずみ線図からは、パターンソン(1988)が、圧縮応力下の巨視的破壊前の応力とひずみ挙動(下記の①から④)が読み取れることを指摘している。

すなわち

- ①「クラック閉塞」段階

②ほぼ完全な線形弾性

③マイクロクラックの安定成長と微小破壊を伴うダイラタンシーの進展

④局所的な劣化を伴い、巨視的破壊をもたらすマイクロクラックの不安定成長であり、本試験結果による応力ひずみ線図からも同様のことがいえる。また、ヤング率は応力ひずみ線図の直線部分から、ポアソン比は強度の1/2の縦ひずみと横ひずみの比から求めた。

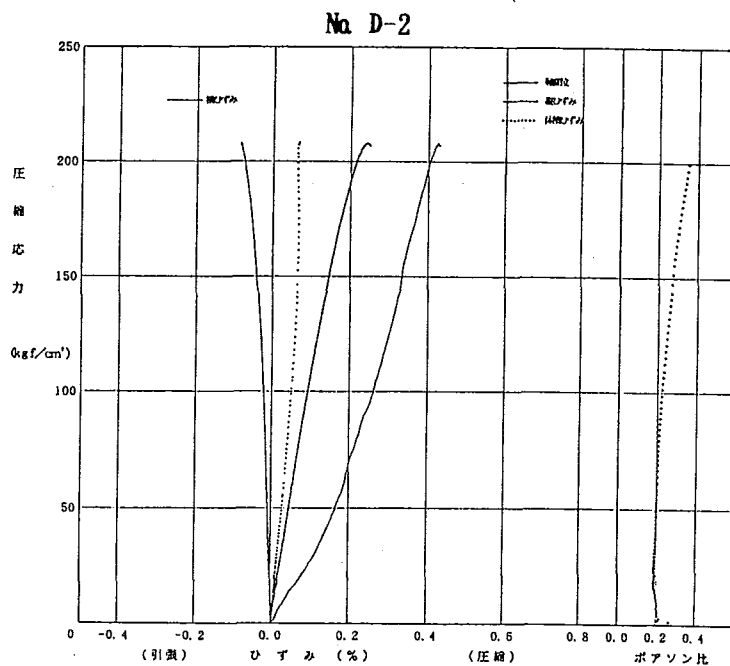
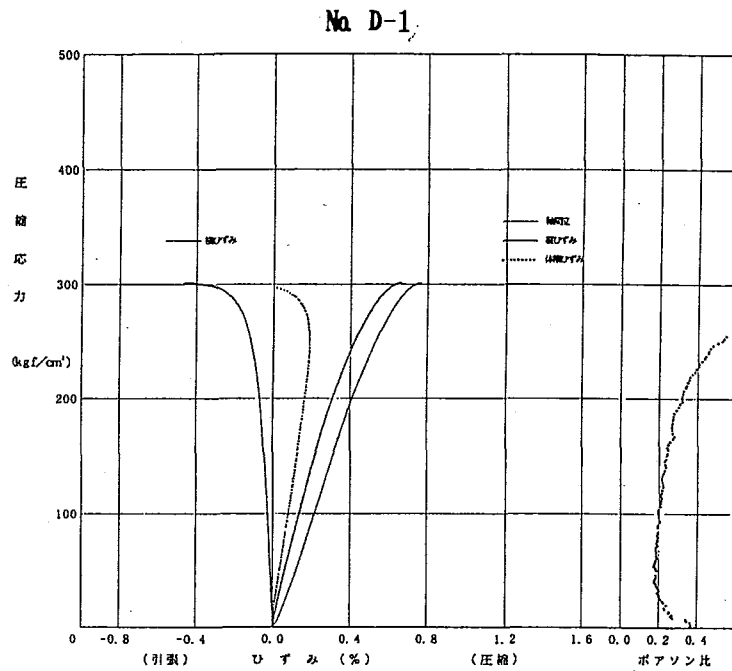
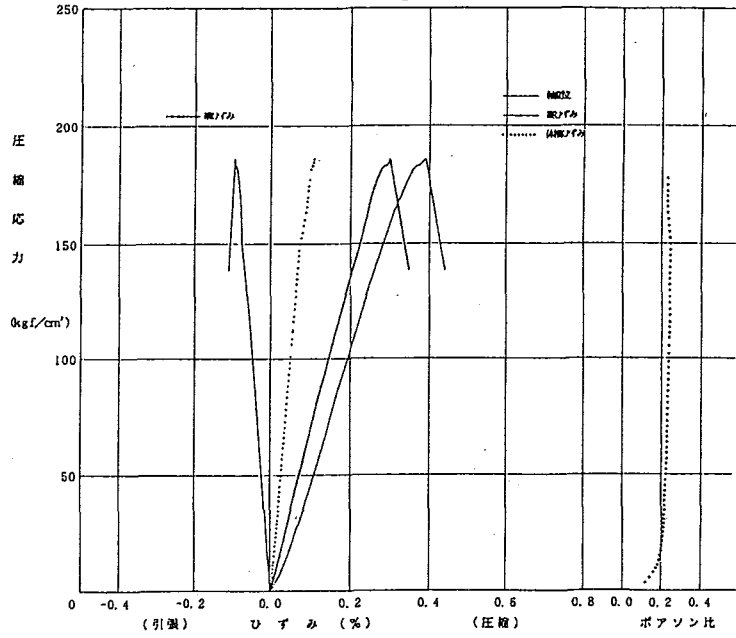


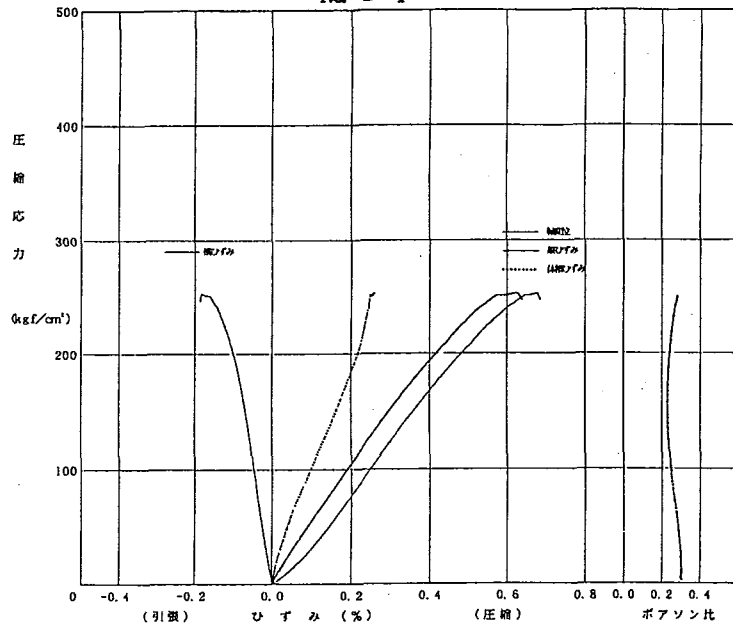
図 5.2 (1) 一軸圧縮試験 (静ポアソン比測定)



No. D-3



No. D-4



No. D-5

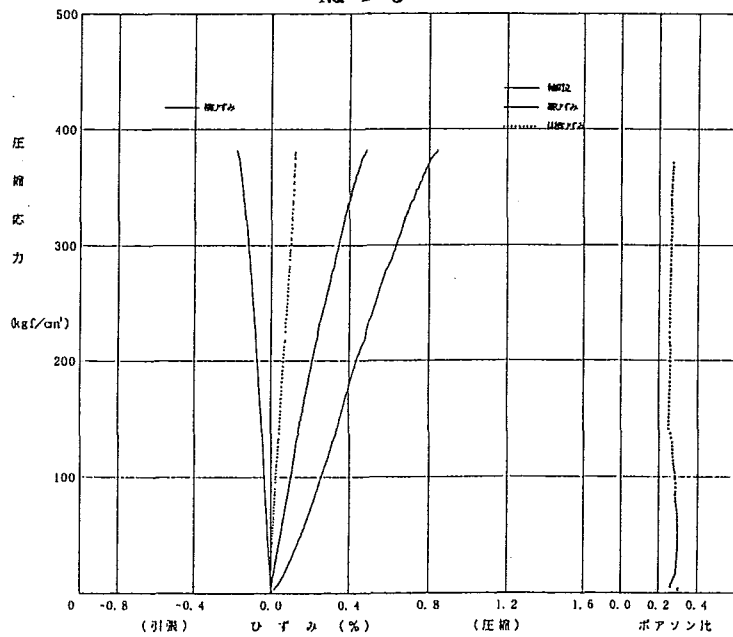
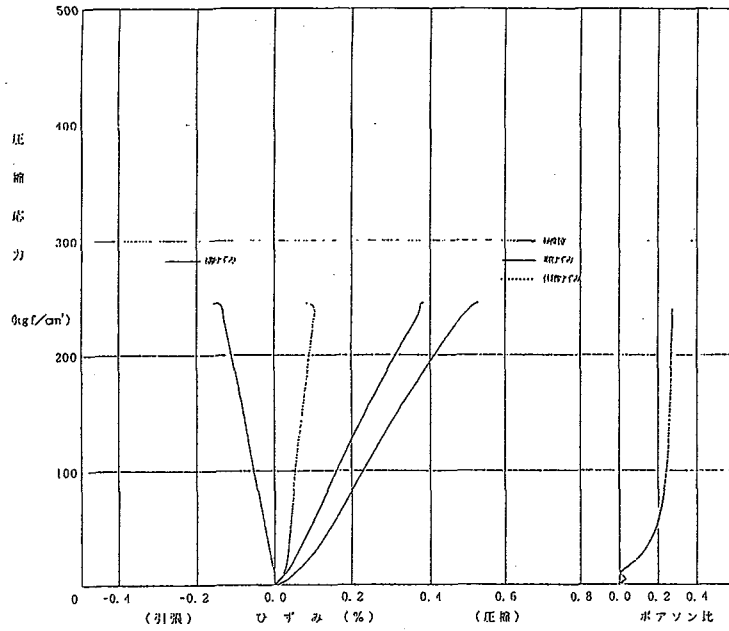
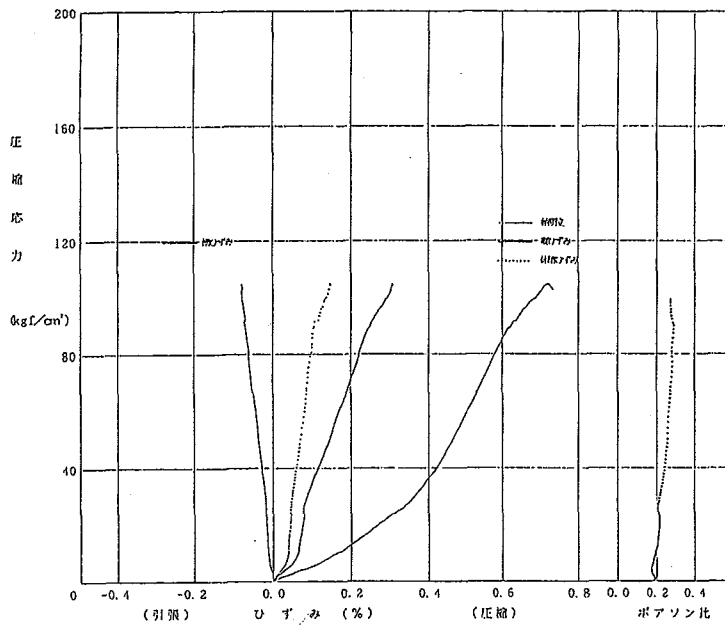


図 5.2 (2) 一軸圧縮試験 (静ポアソン比測定)

No. D-6



No. D-7



No. D-8

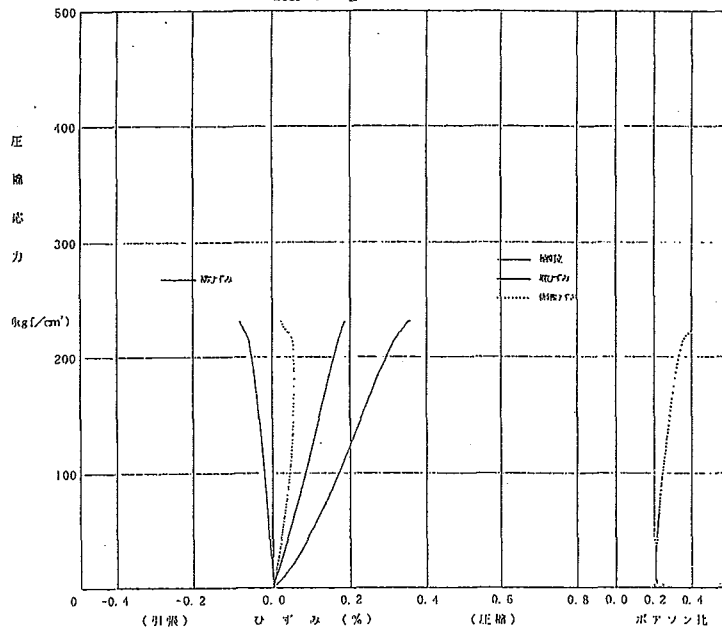


図 5.2 (3) 一軸圧縮試験 (静ポアソン比測定)

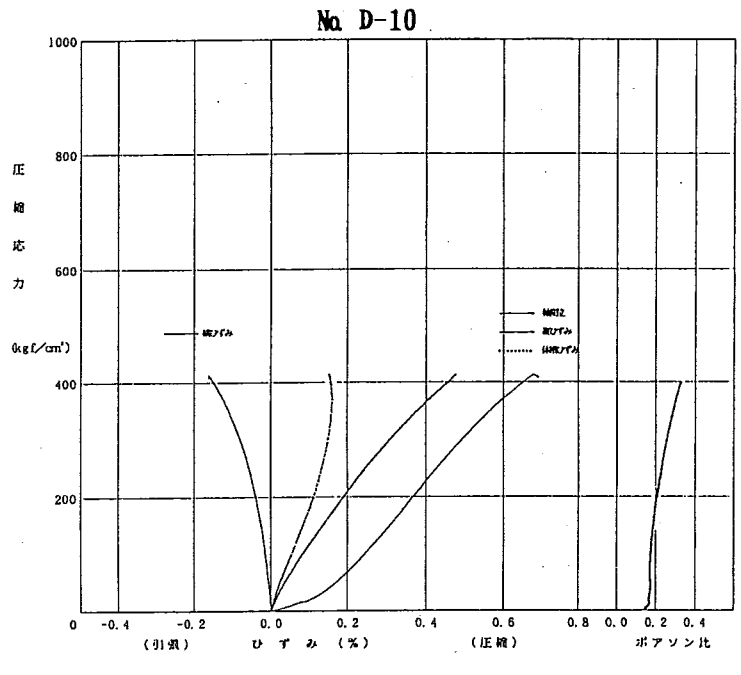
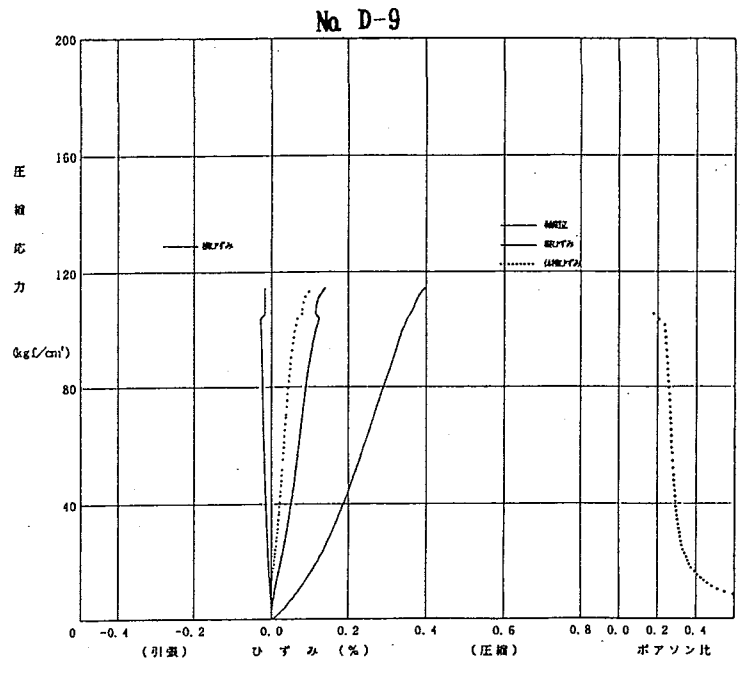


図 5. 2 ( 4 ) 一軸圧縮試験 ( 静ポアソン比測定 )

#### 5.2.4 熱特性試験

本試験結果は図5.1、表5.1及び図5.2に示す。

熱伝導率は、これらの図表によれば平均  $3.807 \times 10^{-3} \text{ cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$  であり、最大は  $4.507 \times 10^{-3} \text{ cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$ 、最小は  $3.150 \times 10^{-3} \text{ cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$  である。

熱伝導率（平均値）を岩相別に検討してみると下記のとおりである。

- ①泥岩 :  $3.994 \times 10^{-3} \text{ cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$
- ②砂岩 :  $3.678 \times 10^{-3} \text{ cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$
- ③凝灰岩 :  $3.606 \times 10^{-3} \text{ cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$

最大値を示すのは泥岩であるが、火成岩類に比べれば低い値である。

深度区分では下記のとおりである。

- ①深度区分Ⅰ :  $4.507(\text{MD}) \sim 3.150(\text{TF}) \times 10^{-3} \text{ cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$
- ②深度区分Ⅱ :  $4.081(\text{MD}) \times 10^{-3} \text{ cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$
- ③深度区分Ⅲ :  $3.944(\text{TF}) \sim 3.829(\text{MD}) \times 10^{-3} \text{ cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$
- ④深度区分Ⅳ : -
- ⑤深度区分Ⅴ :  $3.779(\text{TF}) \sim 3.554(\text{TF}) \times 10^{-3} \text{ cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$

(Ⅳは整形の点で測定できず)

熱伝導率については、深度区分による特徴はない。

比熱については、同図表から300℃における平均は  $0.268 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ 、最大は  $0.295 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ 、最小は  $0.250 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$  である。

比熱（平均値）を岩相別に検討してみると下記のとおりである。

- ①泥岩 :  $0.259 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$
- ②砂岩 :  $0.262 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$
- ③凝灰岩 :  $0.284 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$

比熱は凝灰岩が  $0.284 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$  と大きい値を示し、泥岩が  $0.259 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$  と最も小さい値を示す。凝灰岩で火山岩に比べてやや低い値を示す。

深度区分では下記のとおりである。

- ①深度区分Ⅰ :  $0.280(\text{TF}) \sim 0.254(\text{MD}) \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$
- ②深度区分Ⅱ :  $0.262(\text{MD}) \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$
- ③深度区分Ⅲ :  $0.295(\text{TF}) \sim 0.250(\text{MD}) \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$
- ④深度区分Ⅳ :  $0.261(\text{MD}) \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$
- ⑤深度区分Ⅴ :  $0.285(\text{TF}) \sim 0.250(\text{TF}) \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$

比熱（300℃）は深度区分別では、その値に特徴はみられない。

線膨脹係数については、同図表から300℃における平均は  $-1.89 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 、最大が  $7.57 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 、最小が  $-1.89 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$  である。線膨脹係数は負領域から正領域まで広い範囲にばらつく。この原因としては変質が考えられる。

線膨脹係数（平均値）を岩相別に検討してみると下記のとおりである。

- ①泥岩 :  $-0.40 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$
- ②砂岩 :  $7.57 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$
- ③凝灰岩 :  $-1.90 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$

深度別区分では次のとおりである。

①深度区分Ⅰ： 7.57(SS) ~ -6.39(TF)  $\times 10^{-6}/\text{℃}$

②深度区分Ⅱ： 3.57(MD)  $\times 10^{-6}/\text{℃}$

③深度区分Ⅲ： 5.63(TF) ~ -1.39(MD)  $\times 10^{-6}/\text{℃}$

④深度区分Ⅳ： -8.13(MD)  $\times 10^{-6}/\text{℃}$

⑤深度区分Ⅴ： 2.56(TF) ~ -9.38(TF)  $\times 10^{-6}/\text{℃}$

線膨脹係数は深度区分Ⅰ、Ⅴの凝灰岩及び深度区分Ⅳの泥岩が比較的大きい負の値を示し、深度よりも岩質別による変質の差に影響されていると考えられる。

### 5.3 考察

#### 5.3.1 物性特性試験

岩芯の物理特性測定用の試料は、肉眼的に泥岩～シルト岩、砂岩及び凝灰岩類（ガラス質・砂質・火山礫質等）を採取した。深度別岩相別になるべく均等数の試料採取を心掛けたが、岩質が脆弱なこともあり均等な採取とはならなかった。

図5. 1に見掛比重と飽和含水比重との関係を示す。

これらの分布は下記の回帰式

$$\rho_D = 1.37 \rho_w - 1.08$$

で示され、この図ではほとんどの試料は回帰線の周辺に分布する。試料No.10の凝灰岩が大きい見掛け比重を示し回帰線から離れた分布を示す。岩相別には、凝灰岩類の浅部の1個を除いて右肩寄りの分布を示す用にみられる。また、深度別には深いほど右肩寄りに分布する傾向がみられる。図5. 4で見掛比重と有効孔隙率の関係図を示す。この図では凝灰岩に有効孔隙率のばらつきがみられ回帰線から離れた分布を示す。図5. 5には吸水率と有効孔隙率の関係を示す。

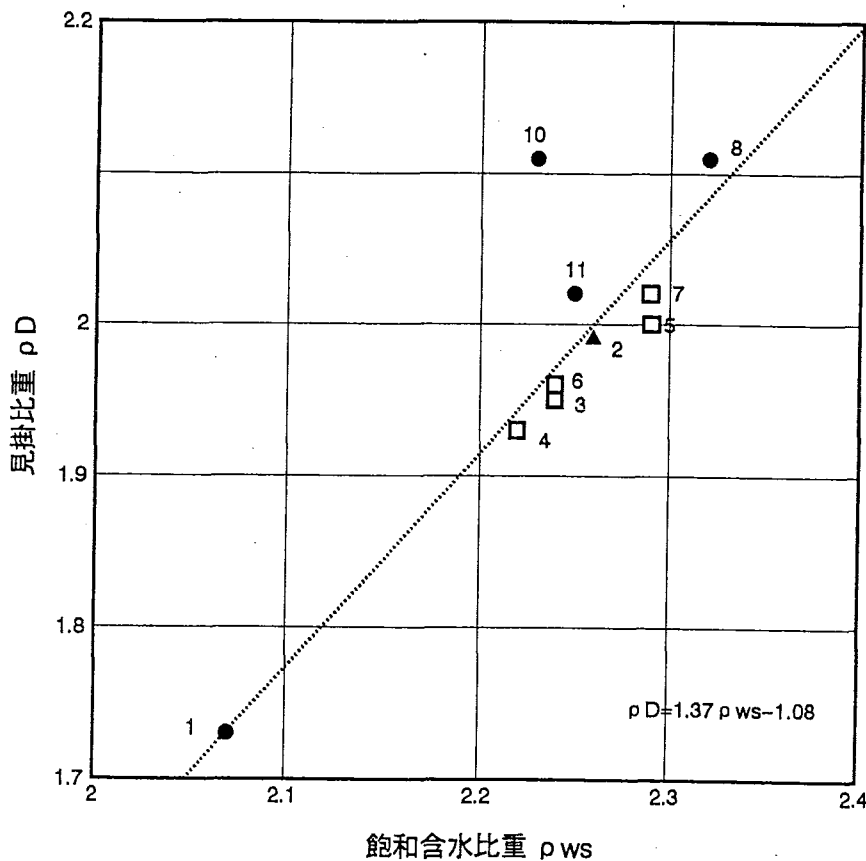


図5.3 見掛比重と飽和含水比重の関係図

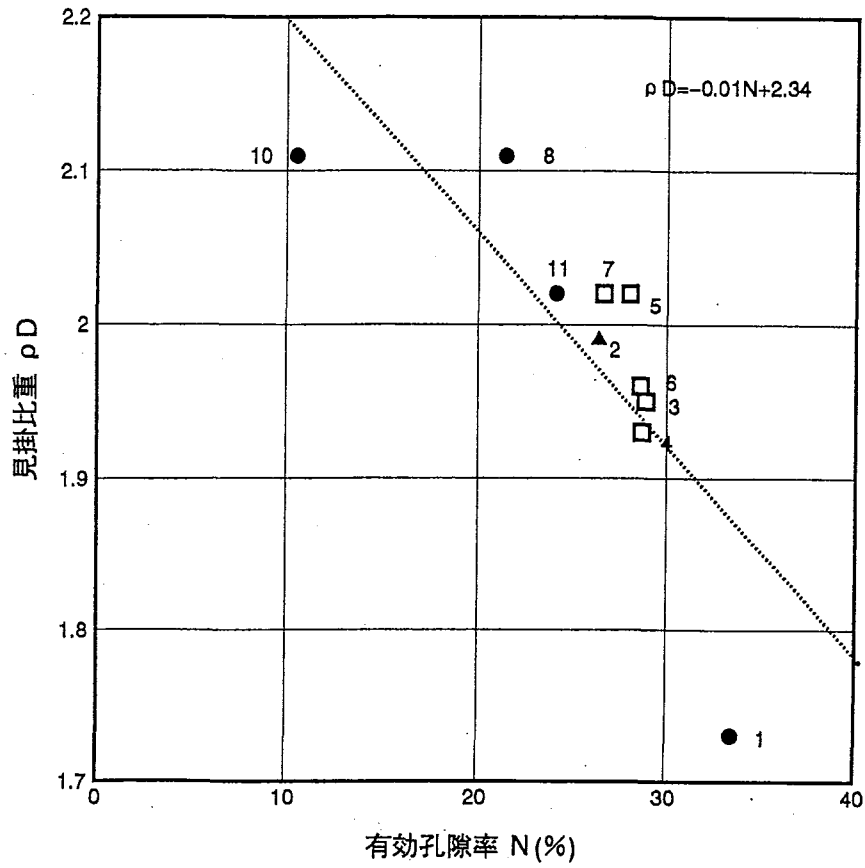


図 5.4 見掛比重と有効孔隙率の関係図

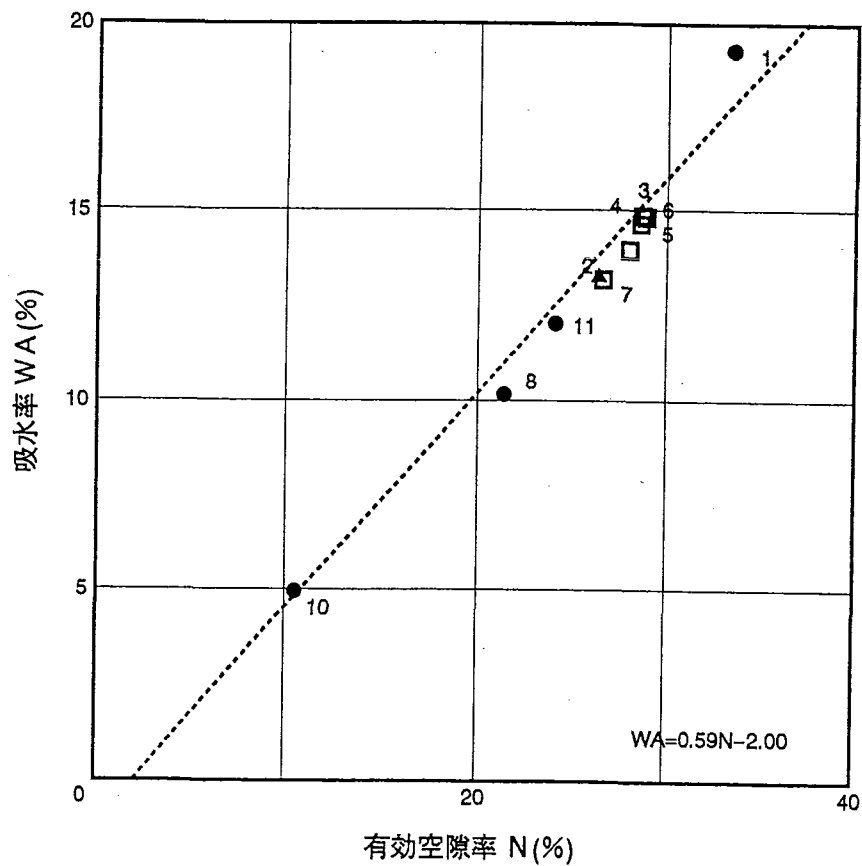


図 5.5 吸水率と有効孔隙率の関係図

### 5. 3. 2 超音波速度測定

今回の調査では、原位置での音波検層及び岩芯による超音波速度測定によるP波速度測定を実施した。これらの結果を比較すると下記のとおりである。

試料	深度 (m)	岩石コード	音波検層 (km/s)	超音波速度測定 (km/s)
No. D-1	73.41	TF	—	2.440
No. D-2	131.31	SS	2.62	2.980
No. D-3	156.16	MD	2.64	2.530
No. D-4	224.65	MD	2.46	2.560
No. D-5	281.54	MD	2.49	2.460
No. D-6	310.46	MD	2.55	2.590
No. D-7	385.40	MD	—	2.450
No. D-8	400.00	TF	2.80	3.030
No. D-9	423.23	MD	2.47	—
No. D-11	446.15	TF	3.10	2.650
No. D-10	454.16	TF	2.87	3.090

—：孔内・サンプル状況悪く測定不能

この結果では、P波速度範囲は超音波速度測定では2.440~3.090(km/s)、音波検層では2.46~3.10(km/s)と両者ともにほぼ同等の浮動を示し、その範囲は狭い。

P波速度と有効孔隙率の関係を図5.6に、P波速度と飽和含水比重の関係を図5.7に示す。これらの図では飽和含水比重の関係で比較的分散がみられる。

さらに、P波速度とS波速度から求められた動ポアソン比と動ヤング率との関係を図5.8に示す。また、力学試験から求められた静ポアソン比と静ヤング率の関係を図5.9に示す。これらの図では泥岩、凝灰岩ともにヤング率大きなレンジの分布を示し、ポアソン比では分散が少ない。



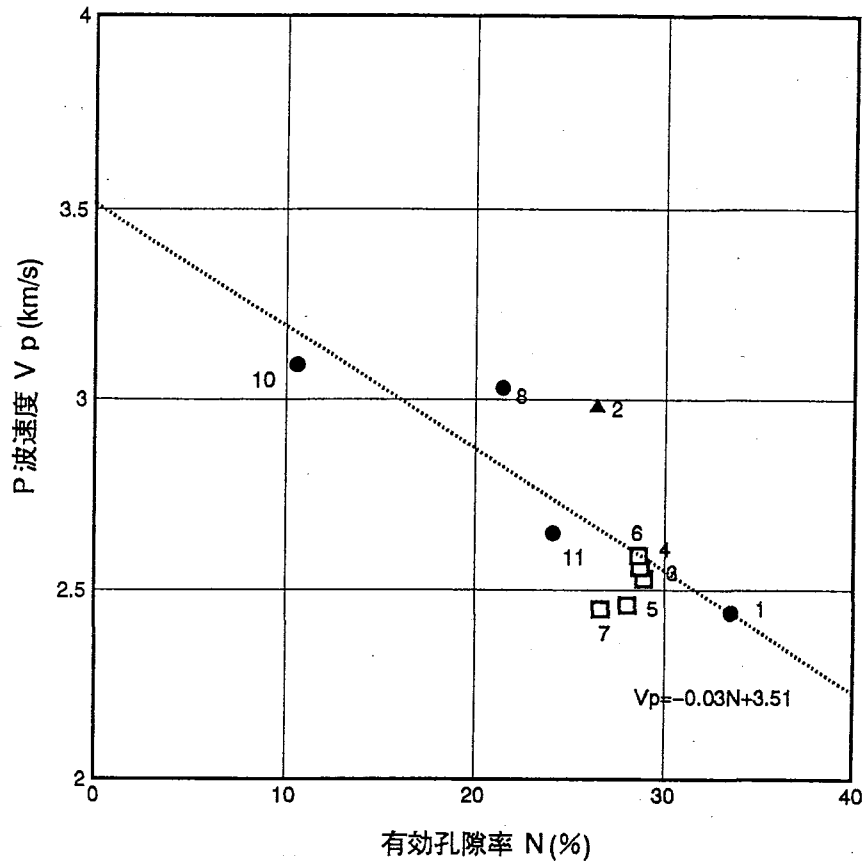


図 5.6 P波速度と有効孔隙率の関係図

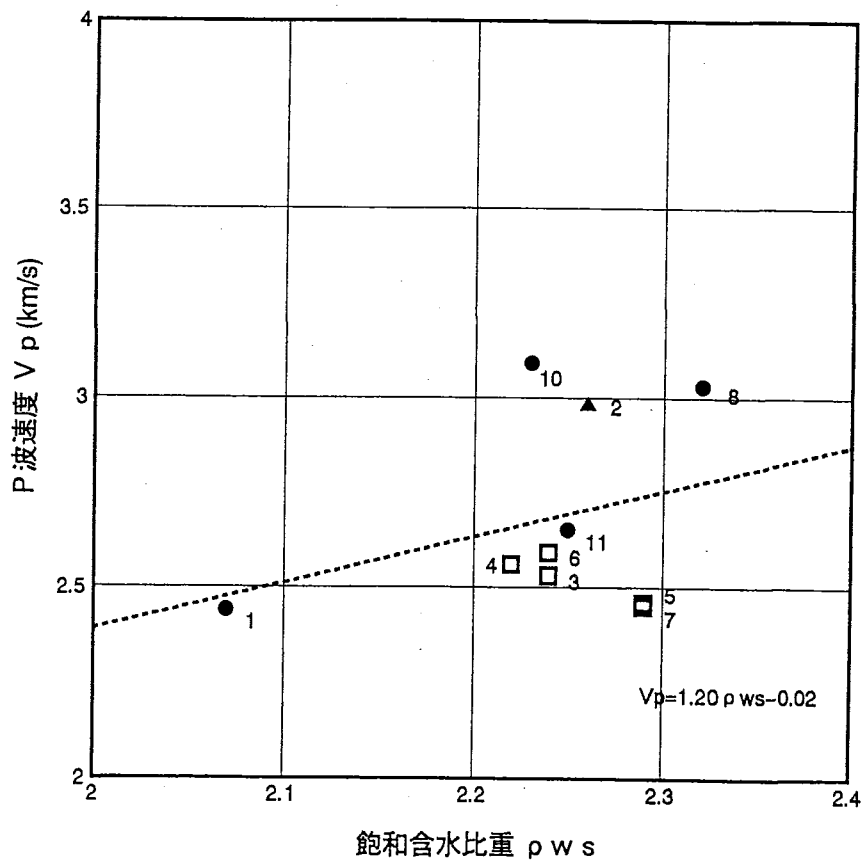


図 5.7 P波速度と飽和含水比重の関係図

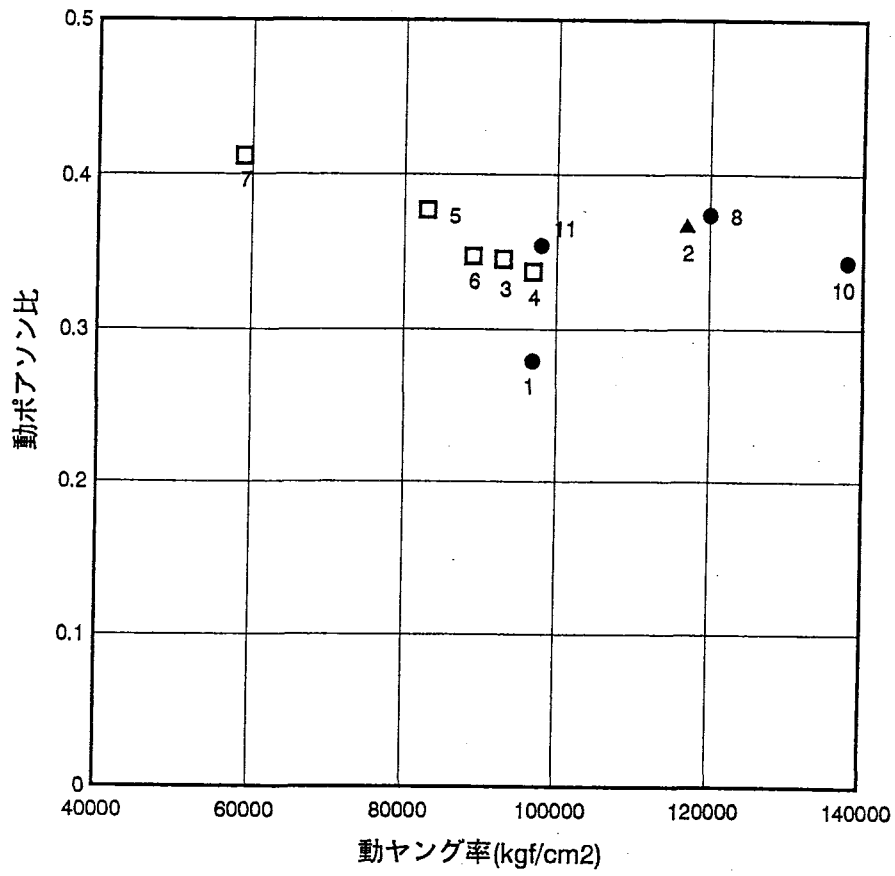


図 5.8 動ポアソン比と動ヤング率の関係図

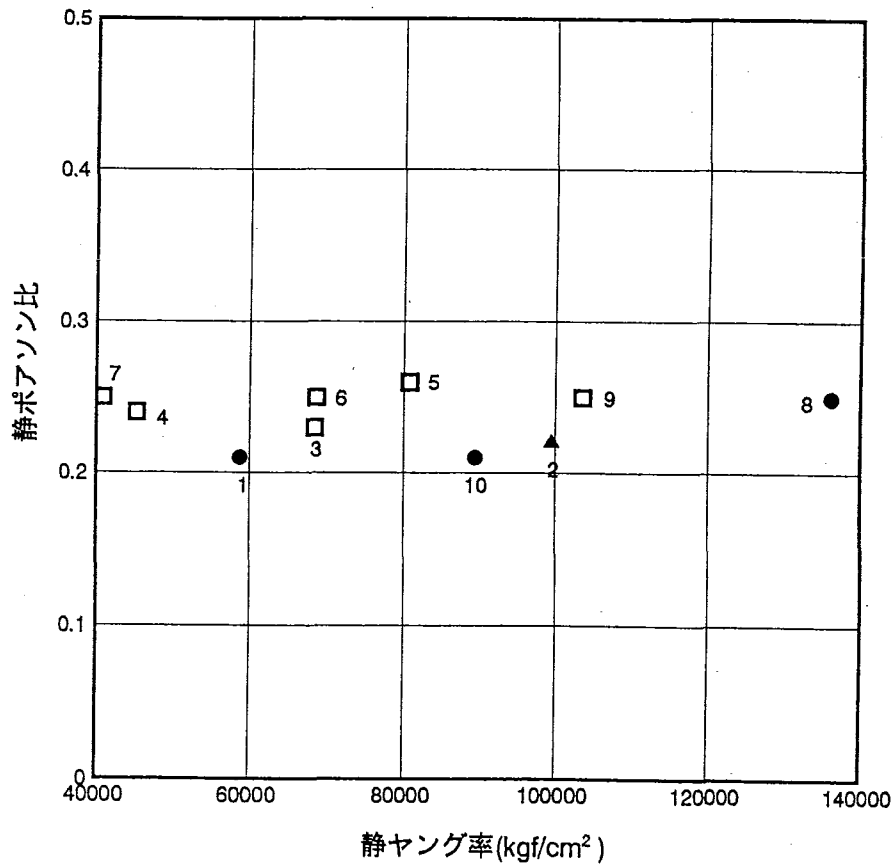


図 5.9 静ポアソン比と静ヤング率の関係図

### 5.3.3 力学特性試験

糟谷(1978)は岩石の分類と圧縮強度 (kg/cm<sup>2</sup>) との関係について、下記のように分類試案を提案している。

岩石の分類	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )
極硬岩	2,500 以上
硬岩	1,500~2,500
やや硬岩	800~1,500
やや軟岩	300~800
軟岩	100~300
極軟岩	100 以下

この分類によれば、試験に供した試料は、岩相別に次のようになる。

- ①泥岩(MD) : 軟岩
- ②砂岩(SS) : 軟岩
- ③凝灰岩(TF) : 軟岩

この結果では、岩芯による岩盤等級の肉眼的分類による等級のC<sub>M</sub> ~ C<sub>L</sub> に良く対応していると判断される。

また、岩相別に力学特性から求めた静ポアソン比及び静ヤング率と動ポアソン比及び動ヤング率を比較すると以下のとおりである。

試料番号	岩石名	深 度 (m)	静ポアソン比	静ヤング率 kgf/cm <sup>2</sup>	動ポアソン比	動ヤング率 kgf/cm <sup>2</sup>
No.D-3	泥岩	155.48~157.12	0.23	68500	0.345	93000
No.D-4	泥岩	223.35~224.76	0.24	45300	0.337	97000
No.D-5	泥岩	280.60~281.94	0.26	80800	0.347	89000
No.D-6	泥岩	310.00~311.23	0.25	68700	0.371	83000
No.D-7	泥岩	385.23~285.95	0.25	40900	0.412	59000
No.D-9	泥岩	423.23~423.30	0.25	103600	-	-
No.D-2	砂岩	130.59~132.00	0.22	99500	0.366	117000
No.D-1	凝灰岩	72.4~74.00	0.21	58800	0.279	97000
No.D-8	凝灰岩	399.00~400.35	0.25	136100	0.374	120000
No.D-11	凝灰岩	446.15~446.89	-	-	0.354	138000
No.D-10	凝灰岩	454.00~456.26	0.21	89400	0.433	98000

-: サンプル条件悪く測定不能

この結果については、山口・西松(1980)も指摘しているように、圧縮試験の結果から計算されたヤング率とポアソン比は、弾性波速度から計算されたそれらと相関関係は認められず、一般的には動的弾性波係数、特に動ヤング率は高い値を示す場合が多い。本試験結果

では特にその傾向が強く現れている。動ポアソン比の岩相別平均値は、泥岩が 0.363、凝灰岩が 0.337、砂岩が 0.366を示す。凝灰岩が平均値で泥岩を下回っているのは、浅部凝灰岩の P 波速度が小さい値を示すことから動ポアソン比の平均値に影響している。また、静ポアソン比の比較では、一軸圧縮強度に幅があり結果的には泥岩より小さい値を示している。(表 5. 1~2 参照)

#### 5.3.4 熱特性試験

図 5. 10 及び図 5. 11 に有効孔隙率・吸水率と熱伝導率の関係を示す。これらの図では、凝灰岩の有効孔隙率・吸水率は、深部の試料 No.10 は低い値を示し、浅部の試料 No.1 が大きい値を示しており、回帰線から大きく離れて分布する。全体的には、右肩下りの一般的傾向に整合している。また、同じ岩相にみられる熱伝導率のばらつきは、熱伝導率の測定そのものが方向性を持っていることが関係することもあり得るが、本試験は堆積岩で水平に近い試料であるため、方向性よりは堆積岩の構成物の差によるところが大きいと考えられる。

線膨脹率と有効孔隙率との関係図を図 5. 12 に示す。また、各岩相別の線膨脹率と線膨脹係数の温度との関係を図 5. 13 (1)~(4) に示す。これらの図によれば、凝灰岩は集中性が悪い。この原因は凝灰岩に含まれる火山礫等による影響と考えられる。泥岩の各試料は類似のパターンを示している。また、泥岩及び凝灰岩において加熱するにしたがって負の値を示すが、これは火山ガラスまたはそれらの変質によって生じた粘土鉱物からの脱水による収縮であると考えられている(北野他、1988)。この推測を裏付ける資料として、顕微鏡観察でガラスの存在が確認されている試料 No.T-1 についての温度と比熱曲線の関係図を図 5-14 に示した。

また、参考までに比熱と吸水率・有効孔隙率の関係図を図 5. 15, 16 に示す。これらの図では、一般的傾向である右肩上がりの傾向にはなく、凝灰岩の分布は集中性を欠き、泥岩の分布域とは離れた分布を示す。

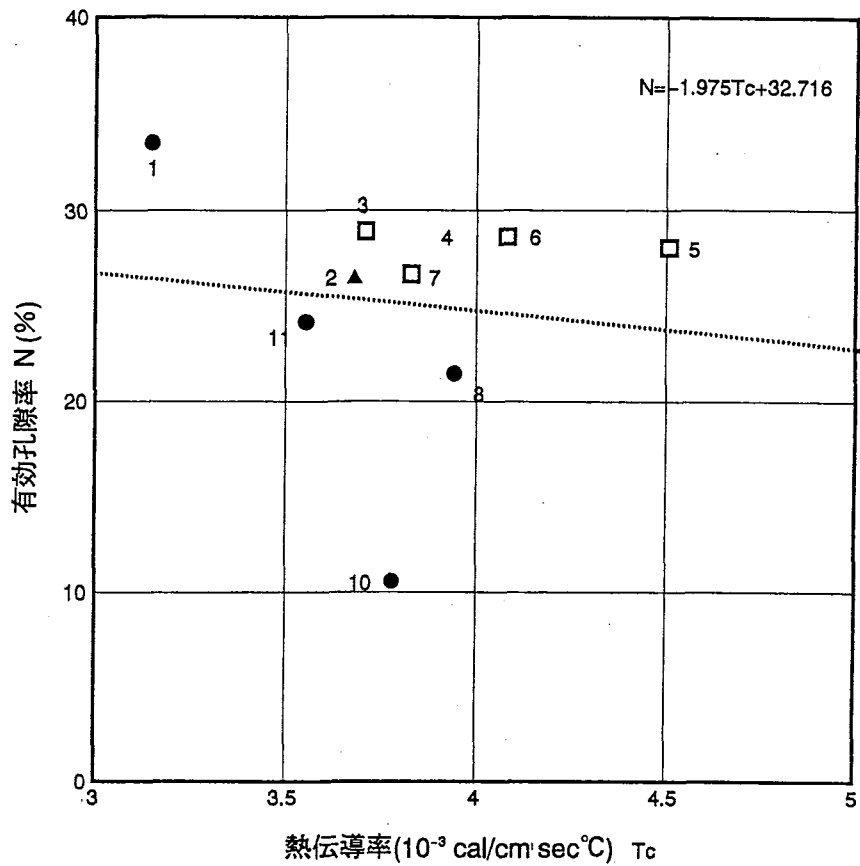


図 5.10 有効孔隙率と熱伝導率の関係図

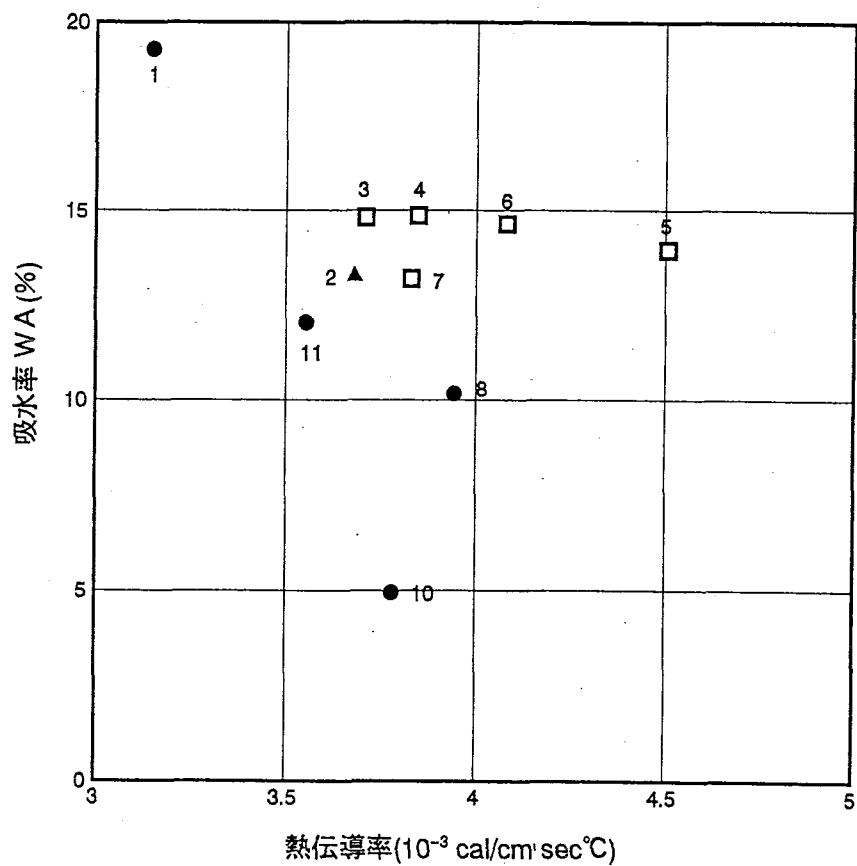


図 5.11 吸水率と熱伝導率の関係図

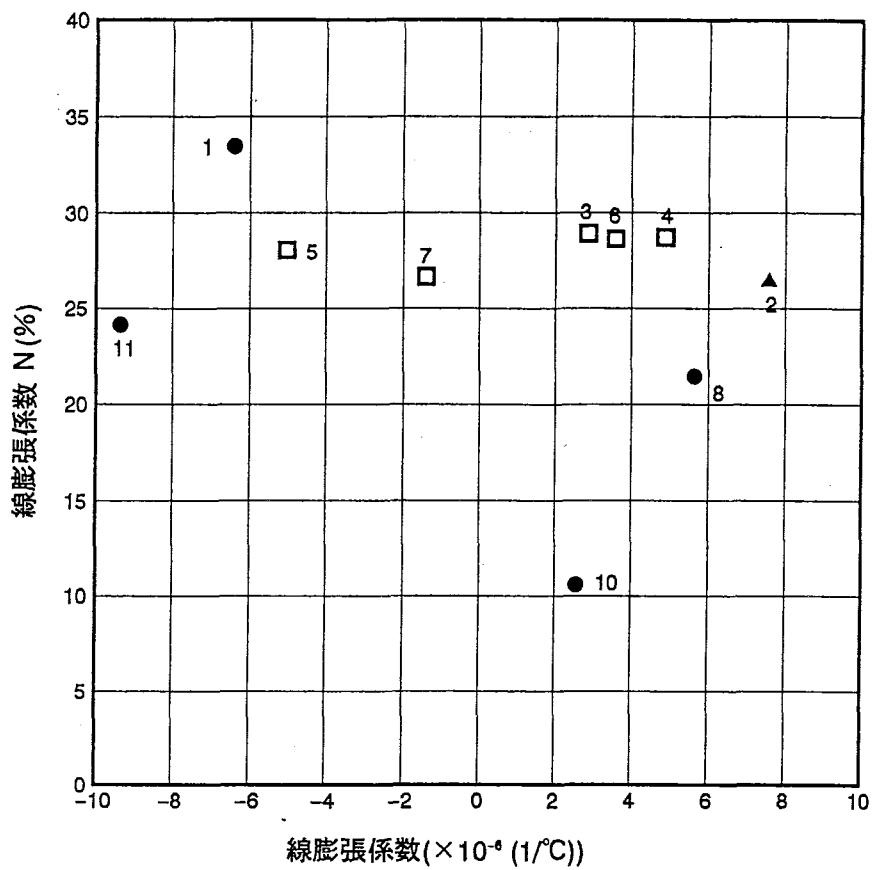


図 5.12 線膨張係数と有効孔隙率の関係図

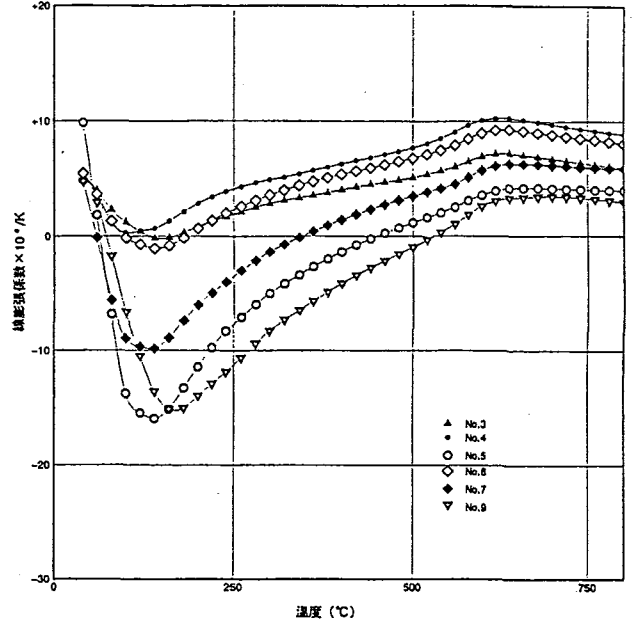
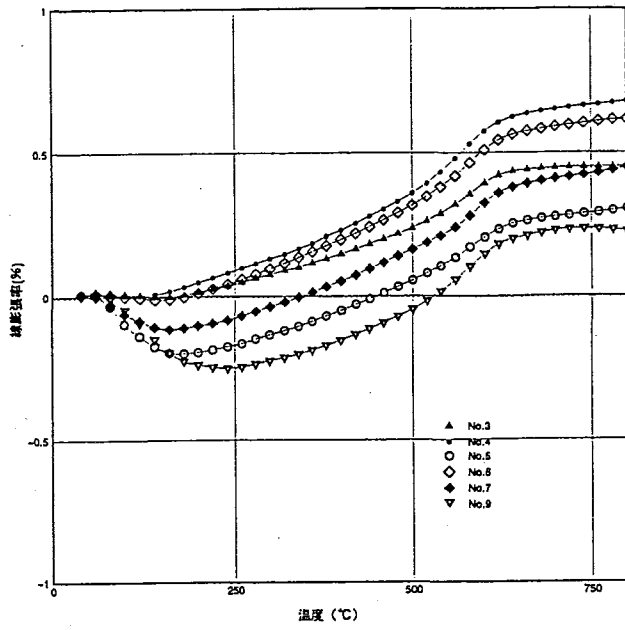


図 5.13 (1) 岩相別線膨張率と線膨張係数の関係図 (泥岩)

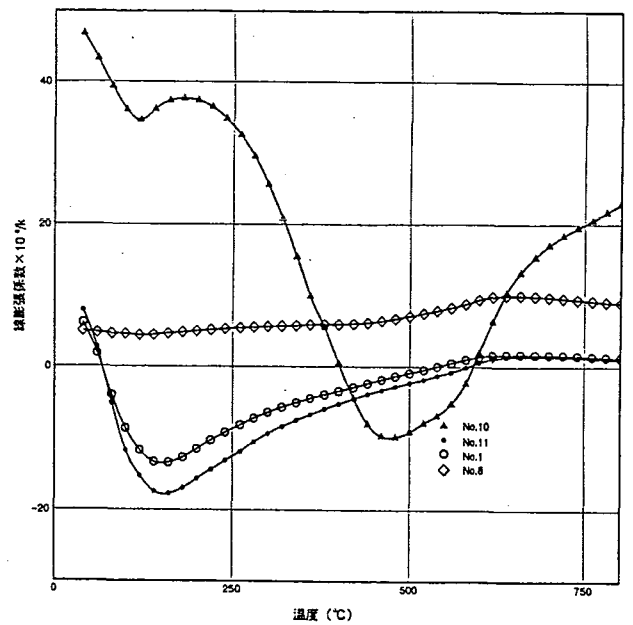
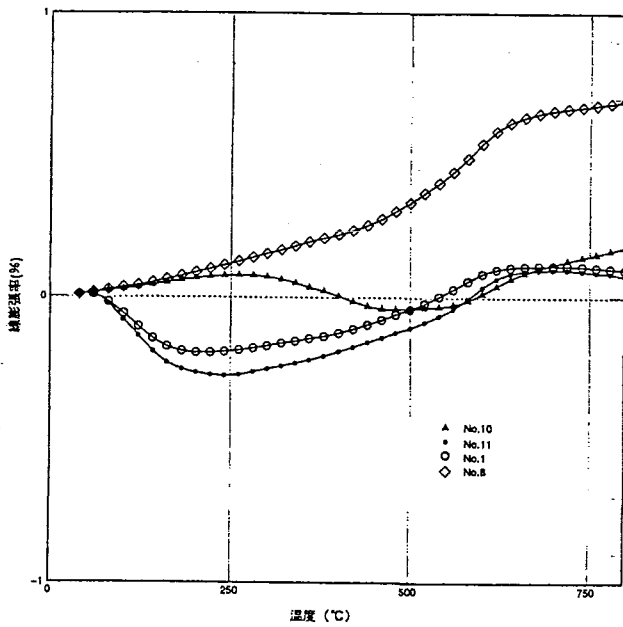


図 5.13 (2) 岩相別線膨張率と線膨張係数の関係図 (凝灰岩)

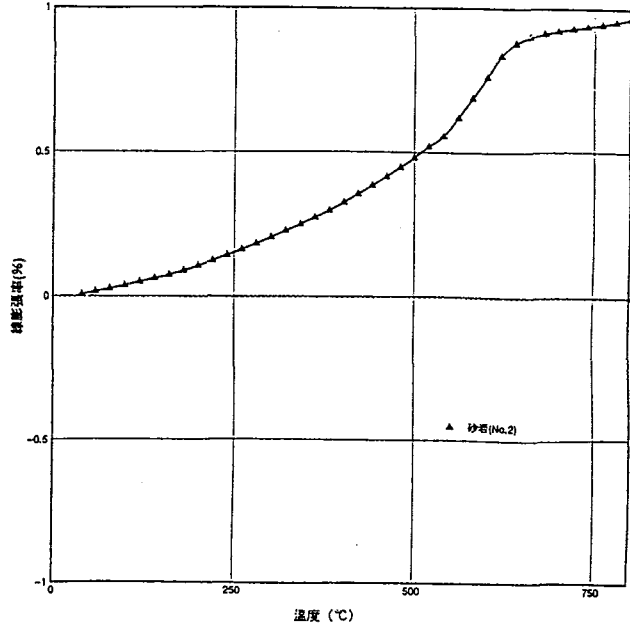
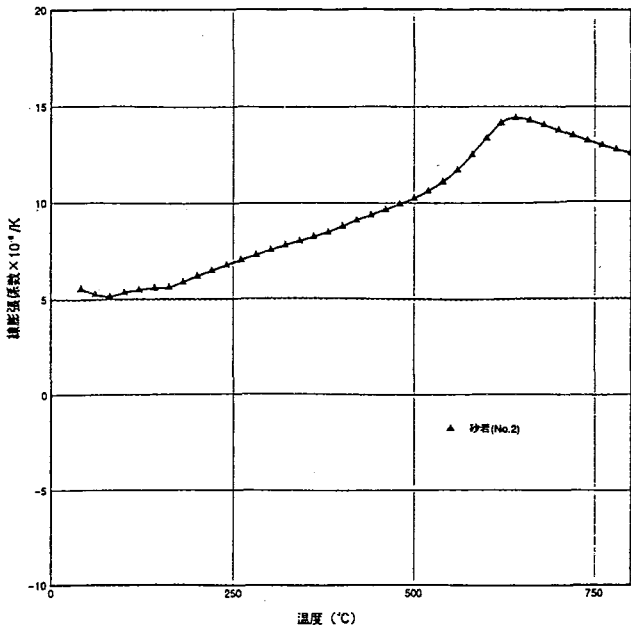


図 5. 1 3 ( 3 ) 岩相別線膨張率と線膨張係数の関係図 (砂岩)

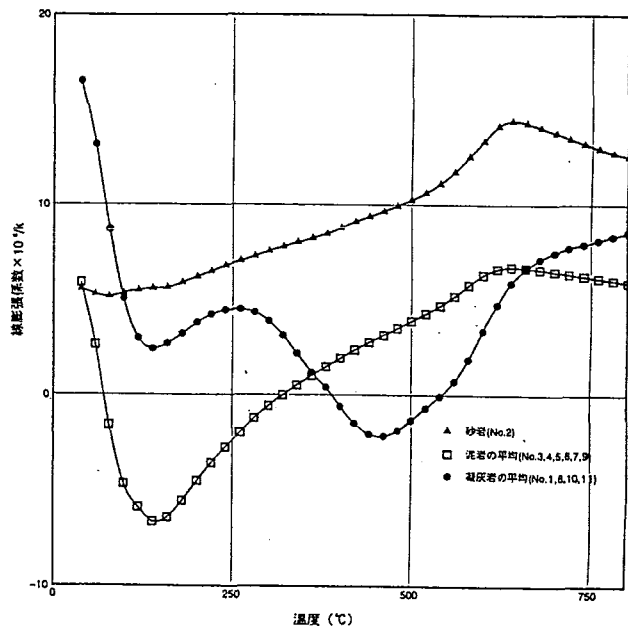
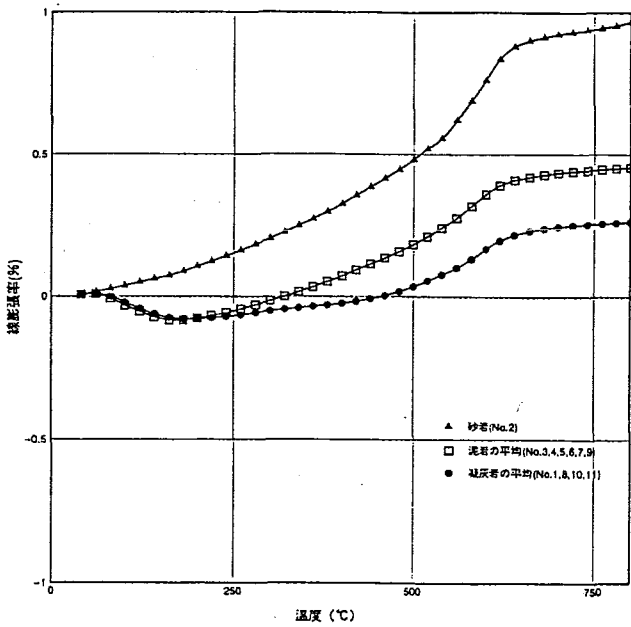


図 5. 1 3 ( 4 ) 岩相別線膨張率と線膨張係数の関係図 (各岩平均)



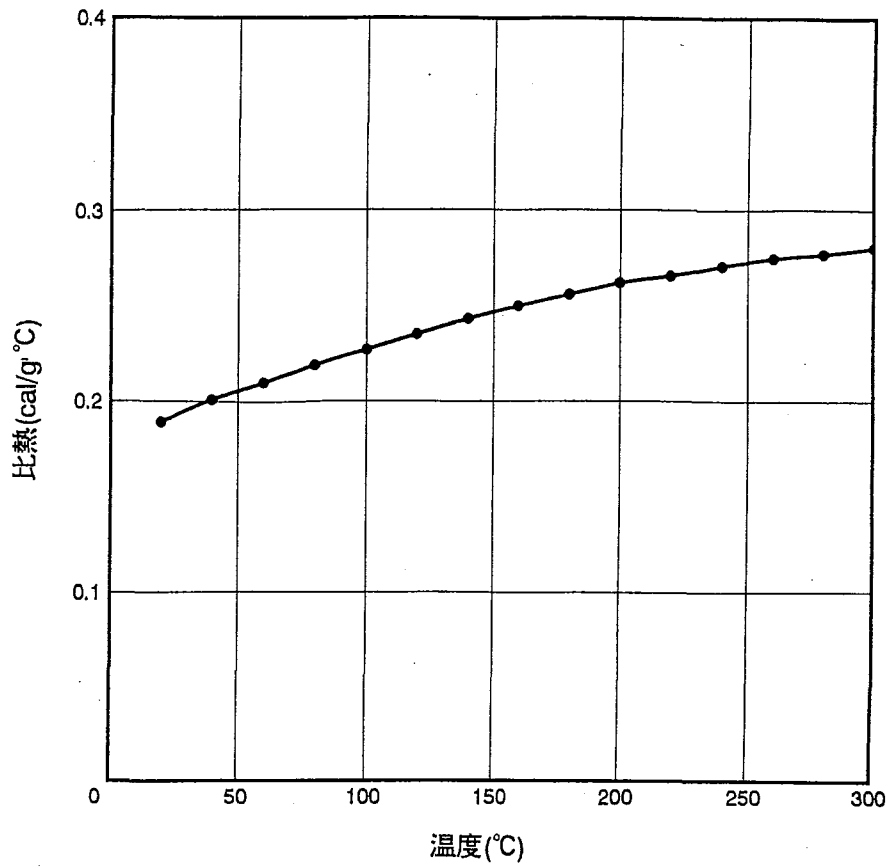


図 5.14 温度と比熱曲線図

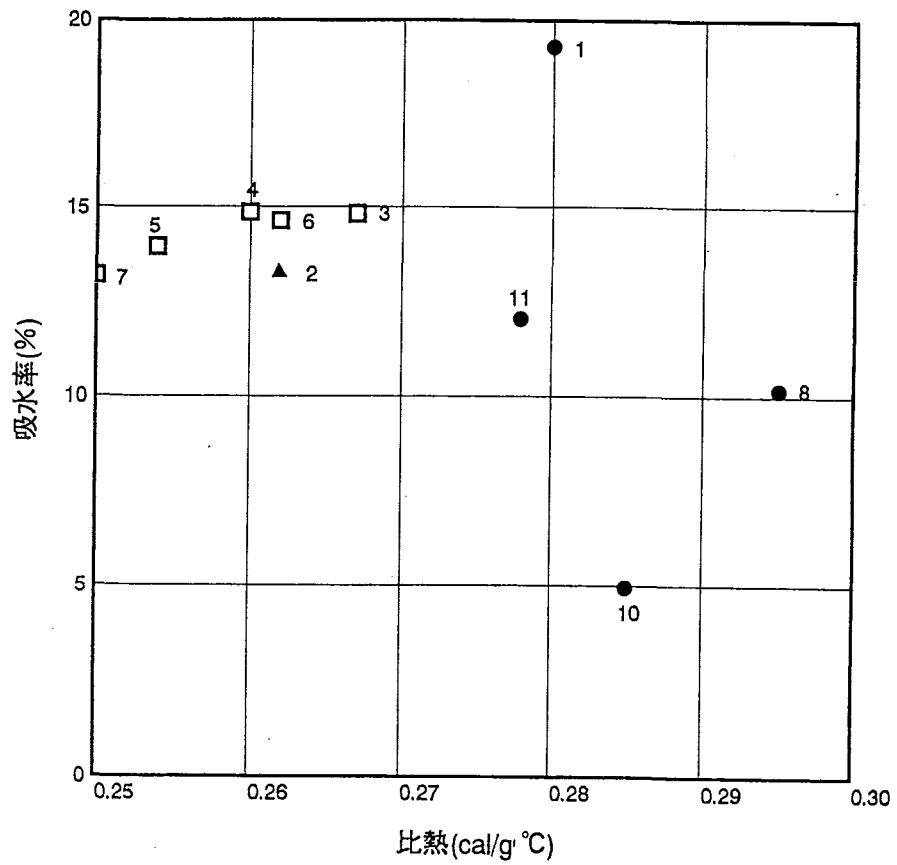


図 5.15 吸水率と比熱の関係図

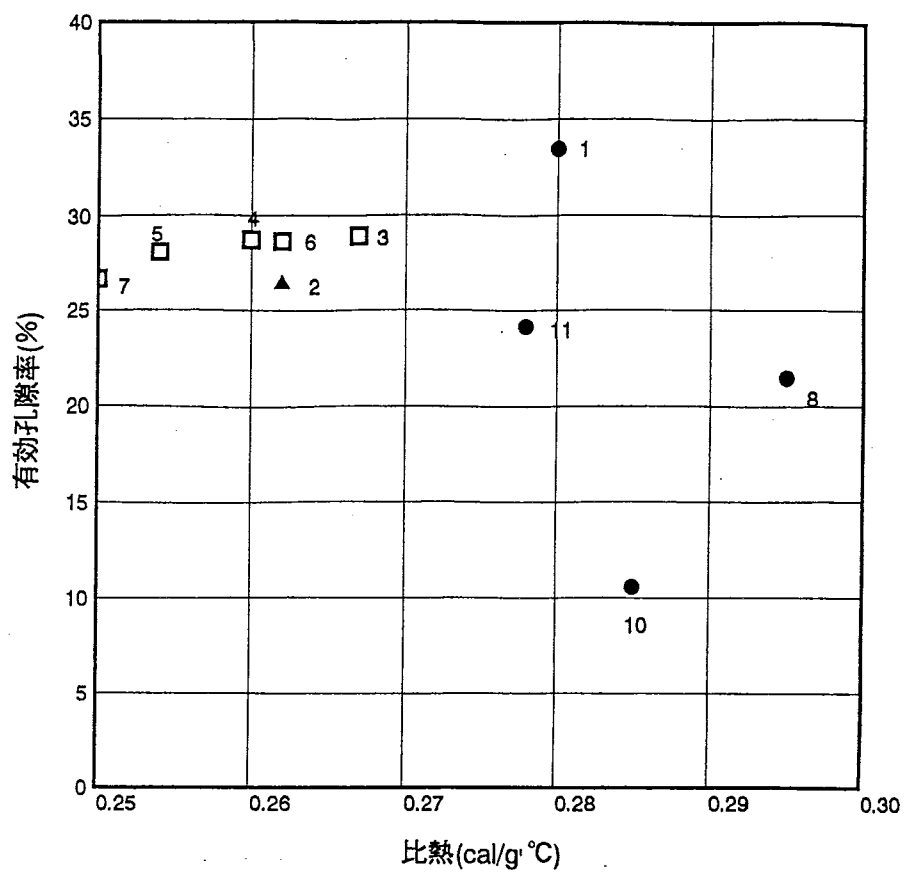


図 5.16 有効孔隙率と比熱の関係図

## 6. ボアホールスキャナ観測

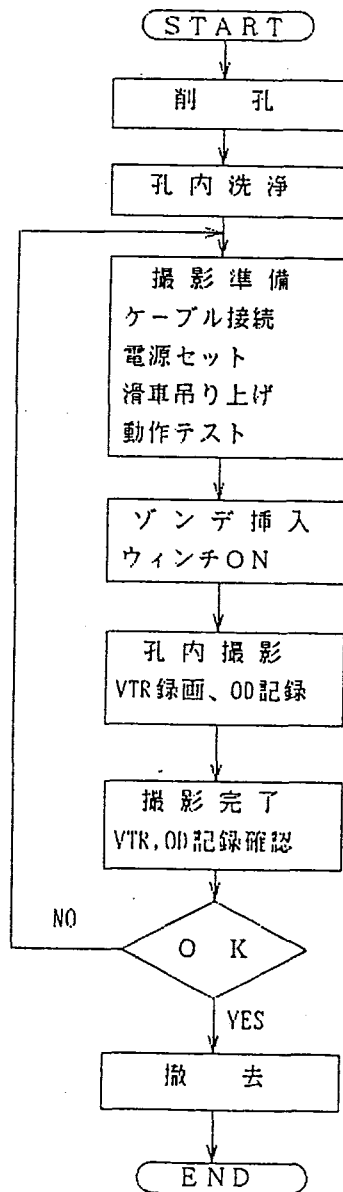
### 6.1 観測方法

試錐孔にゾンデ（66mm×180 cm. TVカメラ内臓）をケーブルスピード30~40m/時で降下し、孔壁定方位全周画像を直接撮影して、深度情報とともにビデオテープに記録する。現場では10インチモニターテレビに全画像と、これを展開した画像を同時に写し出す。

記録されたビデオテープは室内に持ち帰り、孔壁の展開画像を利用して、割れ目や地層面などの不連続面の走行・傾斜、割れ目の開口幅などをコンピュータを用いて求めた。孔壁の展開画像は定方位全周画像から処理し、展開は0.5 mm単位で行い、所定深度ごとに画像メモリーに取り込んだ全周画像を展開して記録する。

これらの過程はビデオの音声トラックに記録した深度信号を基にした制御系によって自動的に行なわれる。展開画像は孔壁の真北を中心に内側から開いた形状にする。

ボアホールスキャナ観測は以下のようなものである。



本観測での機器配置図を図 6. 1 に示す。

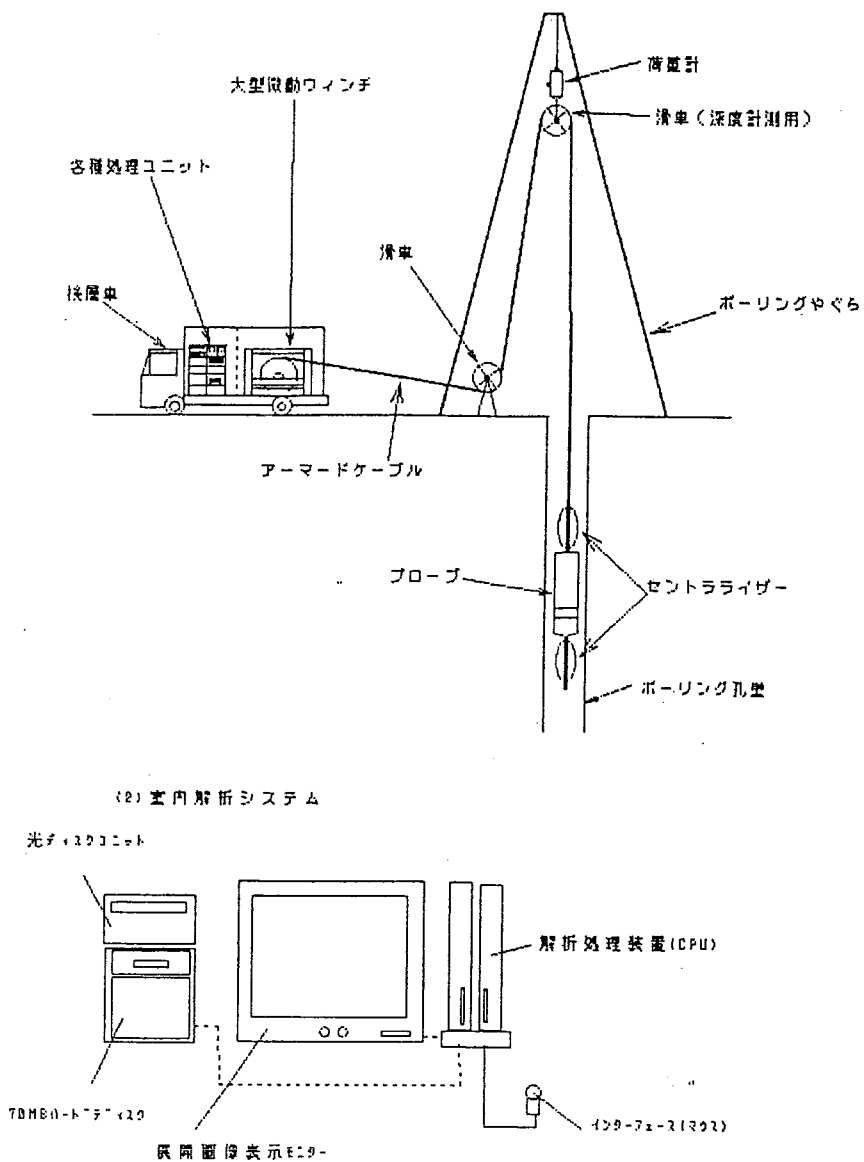


図 6. 1 BIPS-1500 のシステム構成図

なお、孔内状況が悪く、観測は次の区間で実施した。

観測区間	延長 (m)
80.50 ~ 182.70	102.20
206.00 ~ 817.80	111.80
338.50 ~ 352.00	13.50
362.50 ~ 364.40	1.90
400.00 ~ 456.70	56.70
計	286.60

## 6.2 観測結果

本観測結果を表6.1に、岩芯調査との対比を表6.2に示す。割れ目の状態及び量は下記のとおりである。なお、表6.1中の走行傾斜は偏角補正を行った。

- ①開口き裂総数 : 21本  
(合計幅: 108 mm、平均開口幅: 13.5mm)
- ②ヘアークラック総数 : 55本
- ③割れ目の頻度 : 0.27 (本/m) \*<sup>1</sup>
- ④開口割れ目の頻度 : 0.07 (本/m)
- ⑤鉱物脈総数 : 3本

上記の開口き裂、ヘアークラック及び鉱物脈の合計を岩相別にみると

- ①泥岩 : 0.32 (本/m)
- ②砂岩 : 0.15 (本/m)
- ③凝灰岩 : 0.08 (本/m)

で平均頻度は 0.28 (本/m) であり、泥岩で頻度が高い。

これを深度別にみると以下のとおりである。

- ①深度区分 I : 0.36 (本/m)
- ②深度区分 II : 0.21 (本/m)
- ③深度区分 III : - \*<sup>2</sup>
- ④深度区分 IV : 0 (本/m)
- ⑤深度区分 V : 0.16 (本/m)

検出された不連続面の走行・傾斜をシュミットネット下半球にプロットし、図6.2に、コンターマップダイアグラムを図6.3に、深度毎のプロットを図6.4(1),(2)に示す。また、開口き裂の位置及び量、ヘアークラックの位置を図6.5に示す。

ボアホールスキャナ観測は孔内状況が悪く、全孔内の撮影ができていないので、割れ目状況調査と単純に比較できないが、割れ目頻度は次のとおりである。

岩相別

- ①泥岩 : 1.14 (本/m)
- ②砂岩 : 1.68 (本/m)
- ③凝灰岩 : 0.93 (本/m)

深度別

- ①深度区分 I : 1.26 (本/m)
- ②深度区分 II : 1.14 (本/m)
- ③深度区分 III : 0.51 (本/m)
- ④深度区分 IV : 0.29 (本/m)
- ⑤深度区分 V : 0.43 (本/m)

\*<sup>1</sup> : ①+②、\*<sup>2</sup> : この区間は撮影不能

表 6.1 (1) ボアホールスキャナにより観察された不連続面一覧表

[伏木谷-1]

No.	深 度 (m)	走 向 傾 斜	区 分	開 口 幅	特 記 事 項
1	80.69	N53E26NW	初 生 構 造	----	層 理
2	80.85	N 6E71E	ヘアークラック	----	
3	81.03	N68E21N	初 生 構 造	----	層 理
4	81.39	N70W11N	初 生 構 造	----	層 理
5	82.10	NS 80E	ヘアークラック	----	
6	82.53	N85E19N	初 生 構 造	----	層 理
7	82.77	N24E30W	初 生 構 造	----	層 理
8	82.80	N 3W84E	ヘアークラック	----	
9	83.18	N35W17NE	初 生 構 造	----	層 理
10	83.37	N65E27N	初 生 構 造	----	層 理
11	83.55	N66E19N	初 生 構 造	----	層 理
12	83.63	N69E19N	初 生 構 造	----	層 理
13	83.86	N79E15N	初 生 構 造	----	層 理
14	84.15	N68E19N	初 生 構 造	----	層 理
15	84.34	N56E21NW	初 生 構 造	----	層 理
16	85.25	N87E18N	初 生 構 造	----	層 理
17	85.65	N83E18N	初 生 構 造	----	層 理
18	85.98	N81E18N	初 生 構 造	----	層 理
19	86.09	N74E15N	初 生 構 造	----	層 理
20	86.54	N81E21N	初 生 構 造	----	層 理
21	86.91	N84E20N	初 生 構 造	----	層 理
22	87.32	N88E15N	初 生 構 造	----	層 理
23	87.55	N74E21N	開 口 亀 裂	27mm	
24	87.67	N82E21N	ヘアークラック	----	
25	87.90	N39E75SE	ヘアークラック	----	
26	88.08	N88E16N	初 生 構 造	----	層 理
27	88.52	N66E17N	初 生 構 造	----	層 理
28	89.12	N75E19N	初 生 構 造	----	層 理
29	89.57	N72E21N	初 生 構 造	----	層 理
30	89.68	N72E15N	初 生 構 造	----	層 理
31	89.85	N65E18N	初 生 構 造	----	層 理
32	89.90	N61E16N	初 生 構 造	----	層 理
33	90.19	N68E20N	初 生 構 造	----	層 理
34	90.50	N62W73S	ヘアークラック	----	
35	90.72	N67E20N	初 生 構 造	----	層 理
36	90.97	EW 18N	初 生 構 造	----	層 理
37	91.10	N71E16N	初 生 構 造	----	層 理
38	91.19	N85E17N	ヘアークラック	----	
39	91.29	N82E18N	ヘアークラック	----	
40	91.50	N75E31N	開 口 亀 裂	21mm	
41	91.92	N74E16N	初 生 構 造	----	層 理
42	92.28	N88W17N	初 生 構 造	----	層 理
43	92.42	N77E19N	初 生 構 造	----	層 理
44	92.57	N73E17N	初 生 構 造	----	層 理
45	92.90	N75E25N	初 生 構 造	----	層 理
46	92.98	N62W12N	初 生 構 造	----	層 理
47	93.30	N47E86SE	ヘアークラック	----	
48	93.72	N74E17N	初 生 構 造	----	層 理
49	93.97	N70E19N	開 口 亀 裂	2mm	
50	94.09	N76E19N	初 生 構 造	----	層 理

表 6.1 (2) ボアホールスキャナにより観察された不連続面一覧表

[伏木谷-1]

No.	深 度 (m)	走 向 傾 斜	区 分	開 口 幅	特 記 事 項
51	94.19	N68E21N	初 生 構 造	----	層 理
52	94.38	N73E16N	初 生 構 造	----	層 理
53	94.44	N72E18N	初 生 構 造	----	層 理
54	94.50	N14E80E	ヘア-クラック	----	
55	95.09	N70E15N	初 生 構 造	----	層 理
56	95.45	N83E19N	初 生 構 造	----	層 理
57	95.80	N56E18NW	初 生 構 造	----	層 理
58	95.89	N42E23NW	初 生 構 造	----	層 理
59	96.35	N72E15N	初 生 構 造	----	層 理
60	96.42	N88W18N	初 生 構 造	----	層 理
61	96.54	N66E19N	開 口 亀 裂	3mm	
62	97.01	N43E14NW	初 生 構 造	----	層 理
63	97.30	N12E86E	ヘア-クラック	----	
64	97.57	N64E18N	初 生 構 造	----	層 理
65	97.65	N10E77W	ヘア-クラック	----	
66	97.75	N57E18NW	初 生 構 造	----	層 理
67	98.48	N71E20N	初 生 構 造	----	層 理
68	98.74	EW 17N	初 生 構 造	----	層 理
69	98.82	N88E11N	初 生 構 造	----	層 理
70	99.20	N24E79E	ヘア-クラック	----	
71	100.16	N70E17N	初 生 構 造	----	層 理
72	100.84	N87E15N	初 生 構 造	----	層 理
73	101.01	N85E20N	初 生 構 造	----	層 理
74	101.52	N81E18N	初 生 構 造	----	層 理
75	102.28	N73E16N	初 生 構 造	----	層 理
76	102.42	N79W15N	初 生 構 造	----	層 理
77	103.54	N63E19N	ヘア-クラック	----	
78	104.25	NS 85W	ヘア-クラック	----	
79	104.87	N78E16N	初 生 構 造	----	層 理
80	106.00	N80E86S	ヘア-クラック	----	
81	107.04	N85W19N	初 生 構 造	----	層 理
82	107.90	N78W19N	初 生 構 造	----	層 理
83	108.80	NS 84E	ヘア-クラック	----	
84	110.94	N39E16NW	初 生 構 造	----	層 理
85	111.35	N82E16N	初 生 構 造	----	層 理
86	113.10	N77W17N	初 生 構 造	----	層 理
87	114.28	N78E21N	初 生 構 造	----	層 理
88	114.73	N81E18N	ヘア-クラック	----	
89	115.85	N67E20N	初 生 構 造	----	層 理
90	116.28	N76E19N	初 生 構 造	----	層 理
91	116.42	N57E18NW	初 生 構 造	----	層 理
92	116.54	N72E17N	初 生 構 造	----	層 理
93	116.99	N78E20N	初 生 構 造	----	層 理
94	117.49	N51E16NW	初 生 構 造	----	層 理
95	118.56	N76E23N	初 生 構 造	----	層 理
96	119.06	N71E34N	初 生 構 造	----	層 理
97	119.46	N79W14N	初 生 構 造	----	層 理
98	119.70	N63E17N	初 生 構 造	----	層 理
99	119.94	N79W32N	開 口 亀 裂	21mm	
100	120.20	N33E86NW	ヘア-クラック	----	

表 6.1 (3) ボアホールスキャナにより観察された不連続面一覧表

[伏木谷-1]

No.	深 度 (m)	走 向 傾 斜	区 分	開 口 幅	特 記 事 項
101	120.65	N83E17N	ヘアークラック	----	
102	121.34	N78E17N	初生構造	----	層理
103	121.48	N81E20N	初生構造	----	層理
104	121.71	N73E18N	初生構造	----	層理
105	121.88	N69E16N	初生構造	----	層理
106	122.03	N68E15N	初生構造	----	層理
107	122.26	N68E17N	初生構造	----	層理
108	122.36	N66E16N	初生構造	----	層理
109	122.58	N59E20NW	初生構造	----	層理
110	122.69	N87E16N	初生構造	----	層理
111	122.78	N63W21N	初生構造	----	層理
112	122.98	N84E16N	初生構造	----	層理
113	123.18	N71E18N	初生構造	----	層理
114	123.30	N65E15N	初生構造	----	層理
115	123.40	N87E18N	初生構造	----	層理
116	123.80	N63E17N	初生構造	----	層理
117	124.35	N68E11N	初生構造	----	層理
118	124.90	N69W11N	初生構造	----	層理
119	125.16	N59E16NW	初生構造	----	層理
120	125.23	N80E18N	初生構造	----	層理
121	125.30	N62E17N	初生構造	----	層理
122	125.58	N67E15N	初生構造	----	層理
123	125.69	N62E17N	初生構造	----	層理
124	126.92	N74E16N	初生構造	----	層理
125	127.58	N83E16N	初生構造	----	層理
126	127.66	N66E25N	初生構造	----	層理
127	130.05	N85E16N	初生構造	----	層理
128	130.54	N67E13N	初生構造	----	層理
129	132.69	N 6E24E	初生構造	----	層理
130	133.41	N84E17N	初生構造	----	層理
131	134.10	N75E13N	初生構造	----	層理
132	134.73	N70E27N	初生構造	----	層理
133	134.83	N77E20N	初生構造	----	層理
134	135.28	N61E17N	初生構造	----	層理
135	136.05	N70E17N	初生構造	----	層理
136	136.20	N 8E81E	鉱物脈	----	
137	136.74	N69E19N	初生構造	----	層理
138	137.37	N68E18N	初生構造	----	層理
139	137.52	N75E18N	初生構造	----	層理
140	137.77	N66E17N	初生構造	----	層理
141	138.70	N84E14N	初生構造	----	層理
142	138.99	N70E16N	初生構造	----	層理
143	139.45	N68E17N	初生構造	----	層理
144	140.29	N88W17N	ヘアークラック	----	
145	141.11	N85E19N	初生構造	----	層理
146	141.32	N76E20N	初生構造	----	層理
147	141.58	N69E15N	初生構造	----	層理
148	141.87	N76E16N	初生構造	----	層理
149	141.94	N67E20N	初生構造	----	層理
150	142.34	N85E18N	初生構造	----	層理



表 6.1 (4) ボアホールスキャナにより観察された不連続面一覧表

[伏木谷-1]

No.	深度 (m)	走向傾斜	区分	開口幅	特記事項
151	142.46	N74E18N	初生構造	----	層理
152	142.61	N75E19N	初生構造	----	層理
153	142.74	N77E17N	初生構造	----	層理
154	142.89	N74E20N	初生構造	----	層理
155	143.05	N69W10N	開口亀裂	7mm	
156	143.47	N85E17N	初生構造	----	層理
157	143.82	N74E13N	初生構造	----	層理
158	145.66	N87W10N	初生構造	----	層理
159	146.37	N80E17N	初生構造	----	層理
160	146.58	N65E15N	初生構造	----	層理
161	146.70	N74E17N	初生構造	----	層理
162	146.99	N78E21N	ヘアクラック	----	
163	147.36	EW 16N	初生構造	----	層理
164	147.46	N77E18N	初生構造	----	層理
165	147.70	N79E20N	初生構造	----	層理
166	148.38	N84W13N	初生構造	----	層理
167	148.53	N65E15N	初生構造	----	層理
168	148.80	N87E21N	初生構造	----	層理
169	149.09	N84E17N	初生構造	----	層理
170	149.25	N88E20N	初生構造	----	層理
171	149.56	EW 17N	初生構造	----	層理
172	149.62	N82E17N	初生構造	----	層理
173	151.29	N64E16N	初生構造	----	層理
174	151.75	N83E15N	初生構造	----	層理
175	152.20	N69W20N	ヘアクラック	----	
176	152.86	N79E19N	初生構造	----	層理
177	153.74	N88E20N	初生構造	----	層理
178	154.65	N84E18N	初生構造	----	層理
179	155.02	N77E16N	初生構造	----	層理
180	155.55	N69E17N	初生構造	----	層理
181	155.62	N78E21N	初生構造	----	層理
182	157.27	N86W13N	初生構造	----	層理
183	157.70	N87W19N	ヘアクラック	----	
184	160.02	N85W14N	初生構造	----	層理
185	161.48	N54W27NE	初生構造	----	層理
186	161.68	N67E20N	初生構造	----	層理
187	162.09	N87E19N	初生構造	----	層理
188	162.83	N72E20N	初生構造	----	層理
189	162.99	N85E16N	初生構造	----	層理
190	164.88	N80E22N	初生構造	----	層理
191	166.70	N72E15N	ヘアクラック	----	
192	167.64	N79E17N	初生構造	----	層理
193	168.60	EW 19N	初生構造	----	層理
194	168.88	N67E17N	初生構造	----	層理
195	169.02	N80E23N	初生構造	----	層理
196	169.22	N87E19N	初生構造	----	層理
197	169.51	N78E21N	初生構造	----	層理
198	169.78	N66E16N	初生構造	----	層理
199	169.98	N86W16N	初生構造	----	層理
200	170.02	N86E16N	初生構造	----	層理

表 6.1 (5) ボアホールスキャナにより観察された不連続面一覧表

[伏木谷-1]

No.	深 度 (m)	走 向 傾 斜	区 分	開 口 幅	特 記 事 項
201	170.36	N82E23N	初生構造	----	層理
202	170.89	N86W17N	ヘアクラック	----	
203	171.05	N78E15N	ヘアクラック	----	
204	172.42	N69E21N	初生構造	----	層理
205	172.95	N37E78SE	ヘアクラック	----	
206	173.90	N86E25N	初生構造	----	層理
207	174.68	EW 16N	ヘアクラック	----	
208	174.97	N82W18N	初生構造	----	層理
209	175.72	N84E23N	初生構造	----	層理
210	176.66	N87W18N	開口亀裂	8mm	
211	177.86	N81W35S	開口亀裂	11mm	
212	177.97	N82E21N	初生構造	----	層理
213	178.46	N28E17W	開口亀裂	47mm	
214	178.90	N76E28N	開口亀裂	50mm	
215	179.10	N76E19N	開口亀裂	32mm	
216	179.17	N84E17N	ヘアクラック	----	
217	179.28	N70E23N	初生構造	----	層理
218	179.84	N87W21N	初生構造	----	層理
219	206.45	N72W17N	ヘアクラック	----	
220	206.70	N77E15N	初生構造	----	層理
221	206.80	N85E17N	ヘアクラック	----	
222	206.92	N69E16N	初生構造	----	層理
223	208.44	N69E15N	初生構造	----	層理
224	208.85	N74E14N	初生構造	----	層理
225	209.68	N82W19N	初生構造	----	層理
226	211.15	N16E40W	ヘアクラック	----	
227	211.52	N69E64N	ヘアクラック	----	
228	211.68	N51E35NW	ヘアクラック	----	
229	212.68	N68E18N	ヘアクラック	----	
230	213.88	N48E 9NW	ヘアクラック	----	
231	213.95	N87E12N	ヘアクラック	----	
232	214.57	N74E12N	初生構造	----	層理
233	215.06	N80E16N	初生構造	----	層理
234	215.70	N78E15N	初生構造	----	層理
235	216.29	N54E13NW	初生構造	----	層理
236	216.70	N57E14NW	初生構造	----	層理
237	219.05	N64E12N	初生構造	----	層理
238	220.37	N61E16N	開口亀裂	6mm	
239	220.41	N69E18N	初生構造	----	層理
240	221.52	N61E15N	初生構造	----	層理
241	221.65	N78E18N	初生構造	----	層理
242	227.40	N64E14N	初生構造	----	層理
243	231.77	N67E10N	初生構造	----	層理
244	232.01	N78E16N	ヘアクラック	----	
245	232.95	N 9E82E	ヘアクラック	----	
246	233.25	N67E21N	開口亀裂	10mm	
247	233.42	N62E12N	ヘアクラック	----	
248	233.48	N65E15N	開口亀裂	10mm	
249	233.59	N64E15N	ヘアクラック	----	
250	234.15	N31E70SE	開口亀裂	17mm	

表 6.1 (6) ボアホールスキャナにより観察された不連続面一覧表

[伏木谷-1]

No.	深 度 (m)	走 向 傾 斜	区 分	開 口 幅	特 記 事 項
251	235.41	N72E13N	初 生 構 造	----	層 理
252	235.69	N68E14N	初 生 構 造	----	層 理
253	236.30	N34E76NW	ヘアクラック	----	
254	236.80	N69E49S	ヘアクラック	----	
255	237.23	N64E31N	開 口 亀 裂	9mm	
256	237.57	N45E24NW	ヘアクラック	----	
257	238.15	N34E80NW	ヘアクラック	----	
258	238.62	N36E37SE	開 口 亀 裂	2mm	
259	239.52	N64E19N	初 生 構 造	----	層 理
260	239.88	N70E14N	初 生 構 造	----	層 理
261	240.98	N83E14N	初 生 構 造	----	層 理
262	241.25	N74E16N	初 生 構 造	----	層 理
263	243.45	N74E 6N	ヘアクラック	----	
264	244.32	N63E12N	初 生 構 造	----	層 理
265	244.60	N67E14N	初 生 構 造	----	層 理
266	247.95	N21W34W	ヘアクラック	----	
267	249.78	N35W19SW	ヘアクラック	----	
268	250.08	N73E13N	ヘアクラック	----	
269	251.54	N82E14N	ヘアクラック	----	
270	254.02	N77E15N	初 生 構 造	----	層 理
271	254.46	N73E14N	初 生 構 造	----	層 理
272	255.06	N43W43SW	ヘアクラック	----	
273	257.33	N73E24N	ヘアクラック	----	
274	257.40	N75E19N	ヘアクラック	----	
275	259.94	N73E18N	ヘアクラック	----	
276	260.10	N65E15N	初 生 構 造	----	層 理
277	260.53	N69E22N	初 生 構 造	----	層 理
278	263.72	N53E20NW	ヘアクラック	----	
279	266.96	N77E14N	初 生 構 造	----	層 理
280	267.85	N52E18NW	開 口 亀 裂	9mm	
281	268.17	N37E19NW	初 生 構 造	----	層 理
282	271.54	N48E13NW	初 生 構 造	----	層 理
283	271.84	N82E17N	初 生 構 造	----	層 理
284	272.52	N85E37N	開 口 亀 裂	17mm	
285	272.72	N77E18N	初 生 構 造	----	層 理
286	275.18	N53E17NW	初 生 構 造	----	層 理
287	275.77	N66E17N	初 生 構 造	----	層 理
288	277.64	N43E24NW	初 生 構 造	----	層 理
289	279.59	N64E14N	初 生 構 造	----	層 理
290	280.39	N70E17N	開 口 亀 裂	10mm	
291	280.50	N83E18N	初 生 構 造	----	層 理
292	281.72	N70E18N	初 生 構 造	----	層 理
293	282.78	N73E15N	初 生 構 造	----	層 理
294	283.47	N79E16N	初 生 構 造	----	層 理
295	283.71	N78E15N	初 生 構 造	----	層 理
296	283.98	N61E17N	初 生 構 造	----	層 理
297	284.32	N59E14NW	初 生 構 造	----	層 理
298	284.60	N60E16N	初 生 構 造	----	層 理
299	284.98	N63E20N	初 生 構 造	----	層 理
300	286.08	N86W14N	初 生 構 造	----	層 理

表 6.1 (7) ボアホールスキャナにより観察された不連続面一覧表  
 [伏木谷-1]

No.	深 度 (m)	走 向 傾 斜	区 分	開 口 幅	特 記 事 項
301	286.86	N77E15N	初 生 構 造	----	層 理
302	287.36	N83E17N	初 生 構 造	----	層 理
303	289.29	N87E16N	初 生 構 造	----	層 理
304	291.16	N81E21N	初 生 構 造	----	層 理
305	291.43	N61E28N	ヘアークラック	----	
306	291.87	N69E19N	初 生 構 造	----	層 理
307	292.24	N85E17N	初 生 構 造	----	層 理
308	293.34	N85E13N	初 生 構 造	----	層 理
309	295.03	N88W17N	初 生 構 造	----	層 理
310	296.10	N86W14N	初 生 構 造	----	層 理
311	296.89	N69E15N	初 生 構 造	----	層 理
312	297.96	N78E14N	初 生 構 造	----	層 理
313	298.19	N87W17N	初 生 構 造	----	層 理
314	298.92	N88E18N	初 生 構 造	----	層 理
315	299.01	N84W17N	初 生 構 造	----	層 理
316	299.62	N65W50N	ヘアークラック	----	
317	300.03	N53W21NE	初 生 構 造	----	層 理
318	300.64	N83W16N	初 生 構 造	----	層 理
319	302.66	N55E32NW	開 口 亀 裂	11mm	
320	303.70	N13E80W	ヘアークラック	----	
321	304.95	N 3E72E	ヘアークラック	----	
322	306.60	NS 86W	鉱 物 脈	----	
323	309.46	N81E15N	初 生 構 造	----	層 理
324	315.35	N 3W83W	鉱 物 脈	----	
325	341.18	N63W19N	ヘアークラック	----	
326	341.28	N52E15NW	ヘアークラック	----	
327	343.18	EW 20N	開 口 亀 裂	6mm	
328	343.28	N85E16N	初 生 構 造	----	層 理
329	345.96	N75E18N	初 生 構 造	----	層 理
330	346.10	N25W46W	ヘアークラック	----	
331	346.51	N71E22N	初 生 構 造	----	層 理
332	424.45	N71E10N	初 生 構 造	----	層 理
333	424.62	N55W15NE	初 生 構 造	----	層 理
334	427.78	N65E21N	初 生 構 造	----	層 理
335	428.53	N55E13NW	初 生 構 造	----	層 理
336	429.52	N75E18N	初 生 構 造	----	層 理
337	430.36	N50E13NW	初 生 構 造	----	層 理
338	432.45	N57W16NE	初 生 構 造	----	層 理
339	433.22	N88E17N	初 生 構 造	----	層 理
340	433.95	EW 18N	初 生 構 造	----	層 理
341	434.24	N42E17NW	ヘアークラック	----	
342	434.75	EW 18N	初 生 構 造	----	層 理
343	434.93	N86E26N	ヘアークラック	----	
344	435.53	N81E19N	初 生 構 造	----	層 理
345	435.62	N86W17N	初 生 構 造	----	層 理
346	436.88	N74E17N	初 生 構 造	----	層 理
347	437.27	N79E16N	初 生 構 造	----	層 理
348	437.32	N60E17N	初 生 構 造	----	層 理
349	437.65	N59E12NW	初 生 構 造	----	層 理
350	438.23	N76E16N	初 生 構 造	----	層 理

表 6.1 (8) ボアホールスキャナにより観察された不連続面一覧表  
 [伏木谷-1]

No.	深 度 (m)	走 向 傾 斜	区 分	開 口 幅	特 記 事 項
351	438.70	N57E14NW	初 生 構 造	----	層 理
352	438.91	N78E17N	初 生 構 造	----	層 理
353	439.13	N83E17N	初 生 構 造	----	層 理
354	440.21	N75E24N	初 生 構 造	----	層 理
355	440.57	N81W17N	初 生 構 造	----	層 理
356	441.41	N86E18N	初 生 構 造	----	層 理
357	443.24	N74E15N	初 生 構 造	----	層 理
358	443.42	N75E22N	初 生 構 造	----	層 理
359	443.65	N87E17N	初 生 構 造	----	層 理
360	444.16	N76E17N	初 生 構 造	----	層 理
361	444.30	N85E13N	初 生 構 造	----	層 理
362	444.37	N86W15N	初 生 構 造	----	層 理
363	444.45	N 5W17W	初 生 構 造	----	層 理
364	444.57	N60E20N	初 生 構 造	----	層 理
365	445.31	N84W17S	初 生 構 造	----	層 理
366	445.55	N88E16N	初 生 構 造	----	層 理
367	446.23	N66E20N	初 生 構 造	----	層 理
368	446.55	N72E14N	初 生 構 造	----	層 理
369	448.14	N80E26N	初 生 構 造	----	層 理
370	451.11	N85E17N	初 生 構 造	----	層 理
371	456.20	N76E18N	初 生 構 造	----	層 理



### 6.3 考察

図6. 2～4によれば、不連続面の構造は、層理面がN75° E, 15° Nに高く集中する傾向がみられる。開口き裂及びヘアークラックは共に層理面沿いに発達し、割れ目の集中域はほぼ層理と同じポイントにみられる。ヘアークラックは層理面沿いに発達する低角度のき裂のほか高角度(70°～86°傾斜)のものが散在する。

深度毎の不連続面の構造は、全ての区間で同じ傾向を示し、深度による変化は認められない。

図6. 5から読み取れるき裂の傾向を以下に示す。

#### ① 80.50～120.00m

1 m当たりのき裂本数は0～3本である。開口幅の大きいき裂は、以下の深度で観察される。

深 度	開口幅	地 質	深度区分
・ 87.55m	27mm	泥 岩	I
・ 91.55m	21mm	砂 岩	I
・ 119.94m	21mm	泥 岩	I

#### ② 120.00～175.00m

割れ目は少なく、その多くがヘアークラックであり、1 m当たりのき裂本数は0～1本である。

#### ③ 176.00～182.70m

最も開口き裂が発達している区間であり、開口幅の大きいき裂は、以下の深度で観察される。

深 度	開口幅	地 質	深度区分
・ 178.46m	47mm	凝灰岩	I
・ 178.90m	50mm	凝灰岩	I
・ 178.10m	32mm	凝灰岩	I

#### ④ 206.00～317.80m、深度区分はI～II

1 m当たりのき裂本数は0～4本確認でき、10mm前後の開口き裂が存在する。

#### ⑤ 338.50～352.00m、深度区分はII

き裂は少なく、6 mm前後の開口き裂1本と、ヘアークラック3本が確認できる。

#### ⑥ 362.50～364.40m、深度区分はII

目立ったき裂は確認できない。

#### ⑦ 400.00～456.50m、深度区分はII

坑内状況が悪く、解析不能

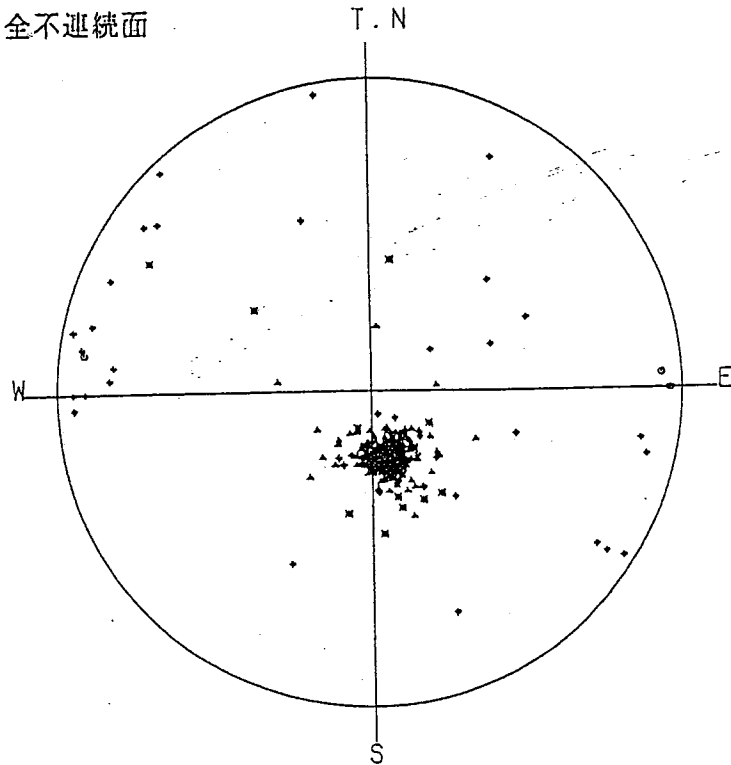
図6. 5では割れ目の開口量を深度別に読み取ることができる。大きくは170 m付近と220～230 m付近で開口き裂が多く、この2箇所で曲線に屈折部がみられる。

**This is a blank page.**



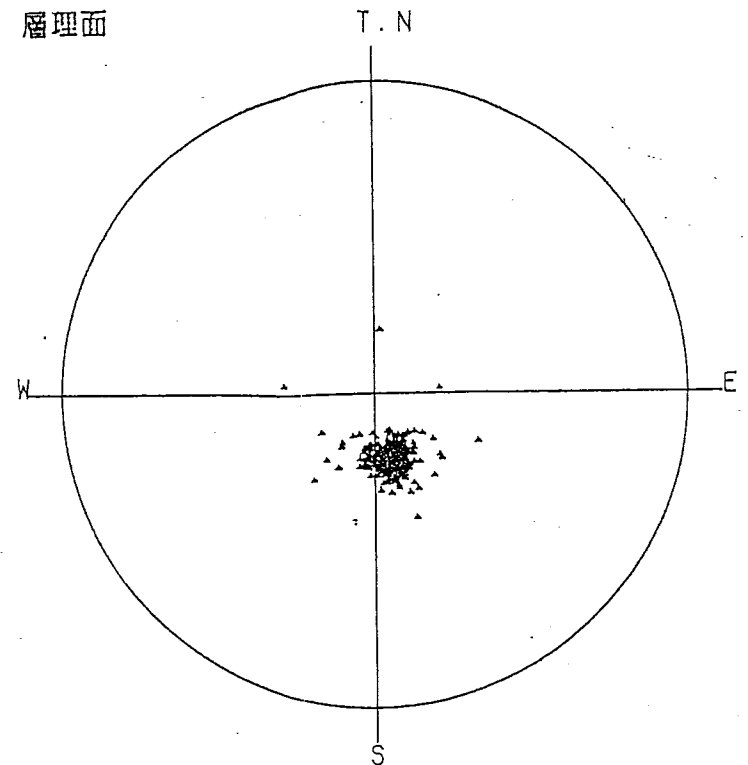


全不連続面



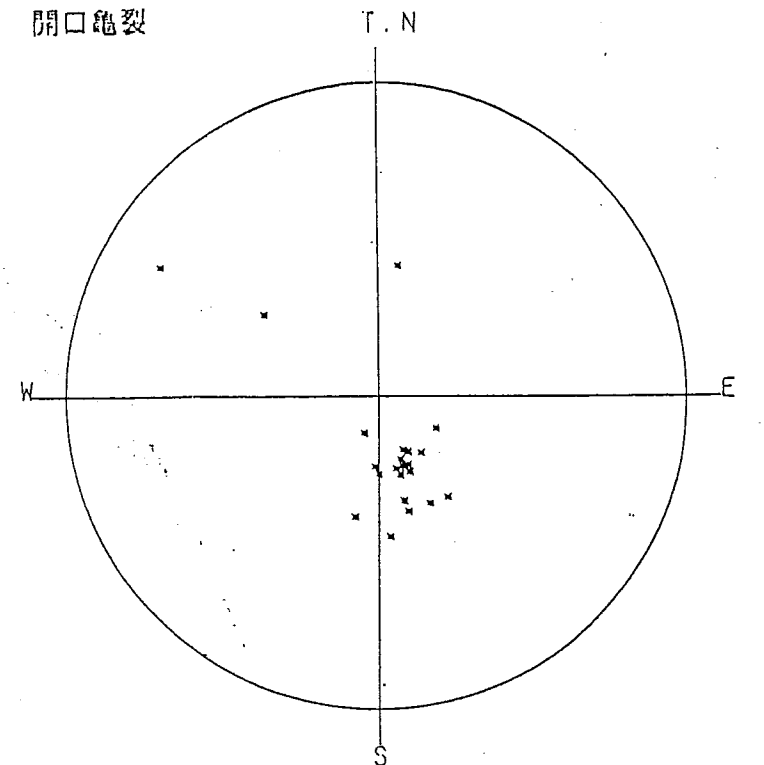
TOTAL= 371points

層理面



TOTAL= 281points

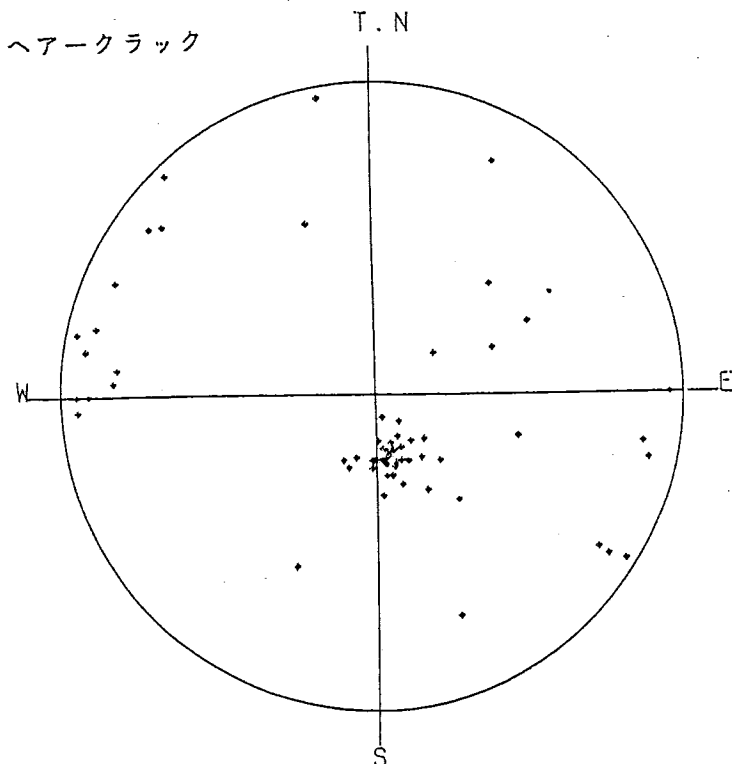
開口亀裂



TOTAL= 22points

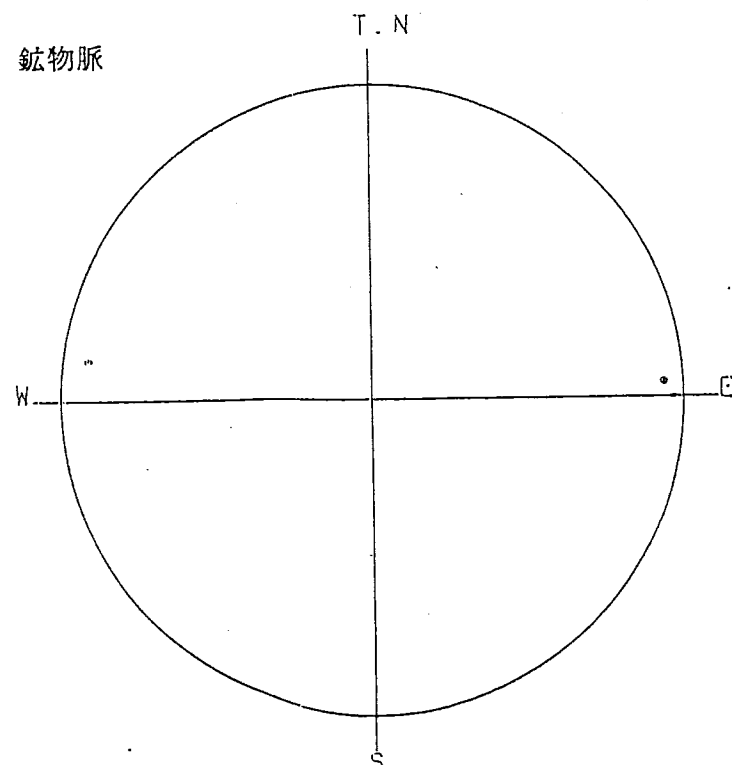
- ▲: 初生構造 ----- 281points
- \*: 開口亀裂 ----- 22points
- ◇: ヘアークラック ----- 65points
- ☆: 破碎帯 ----- 0points
- : 鉱物脈 ----- 3points

ヘアークラック



TOTAL= 65points

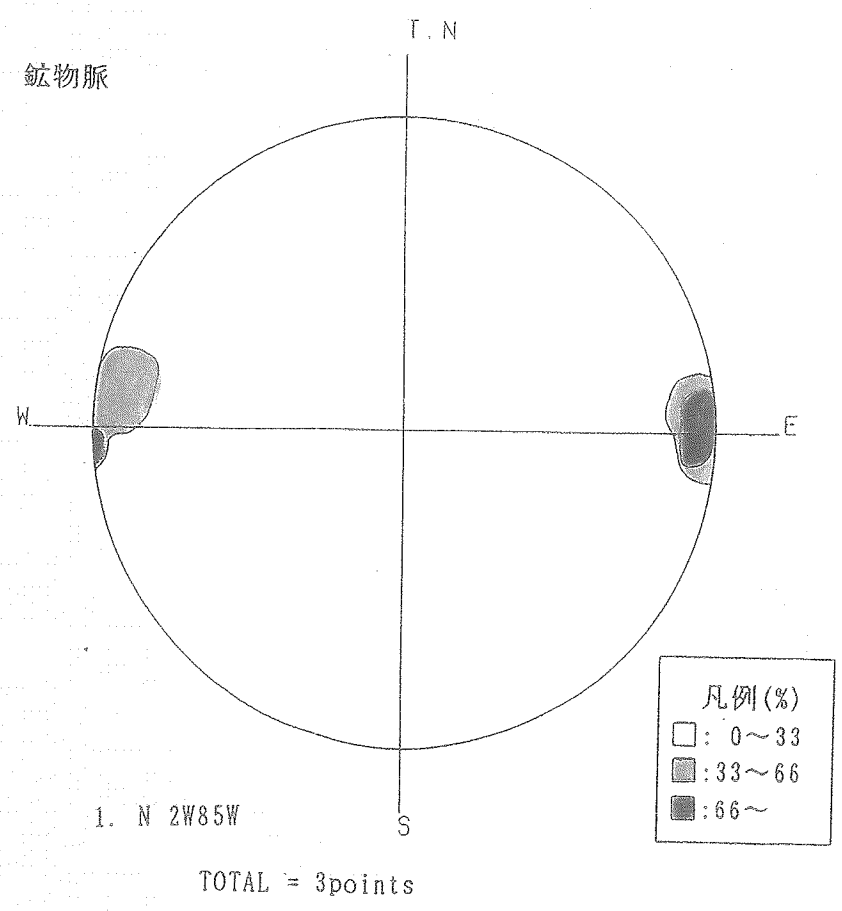
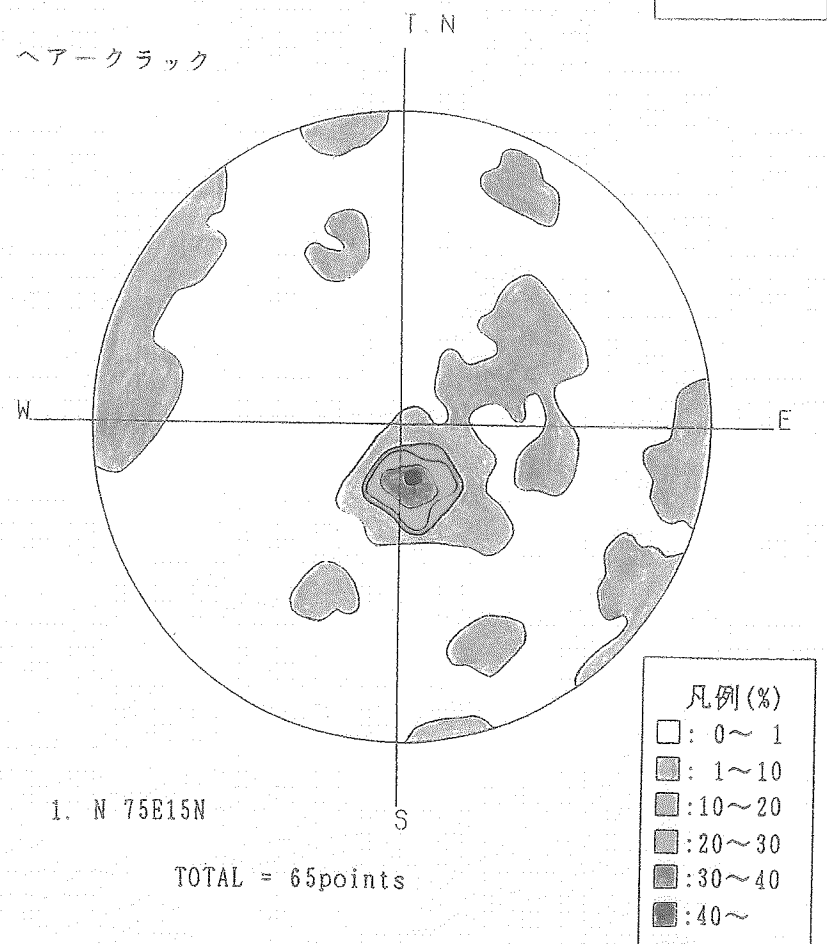
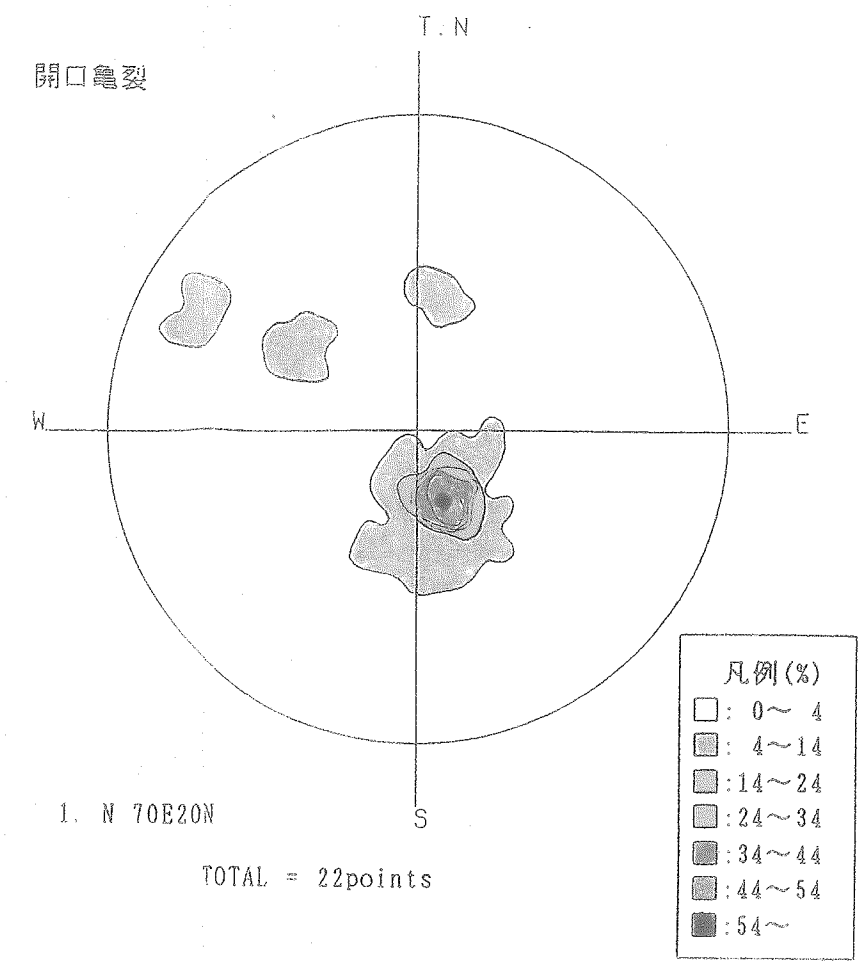
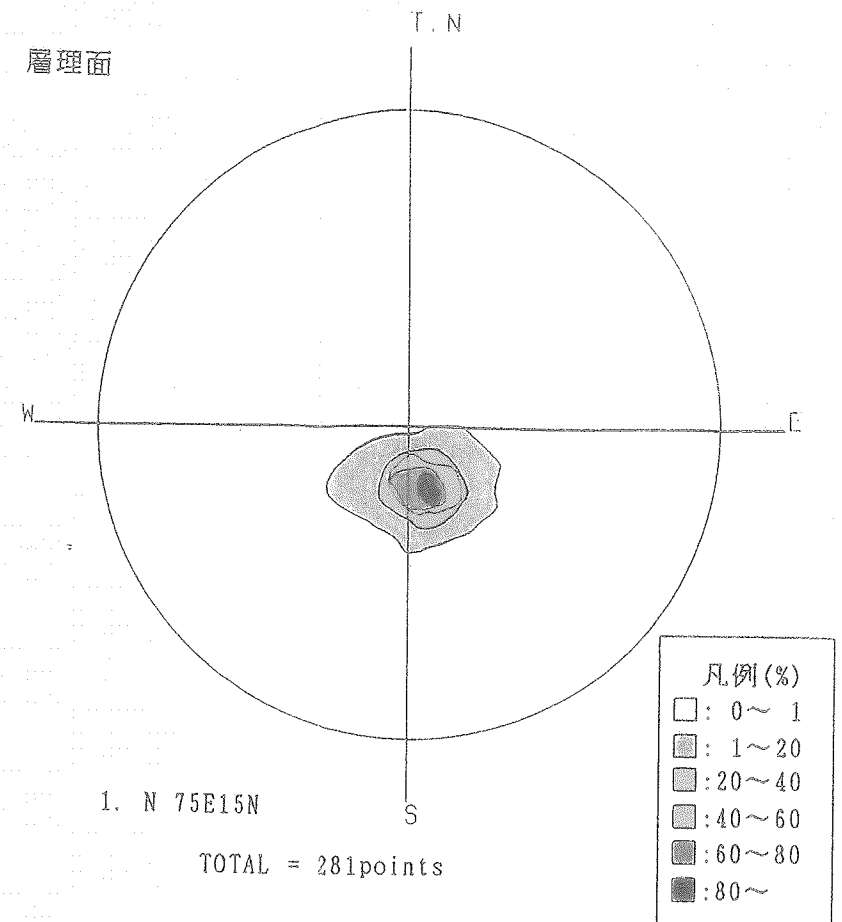
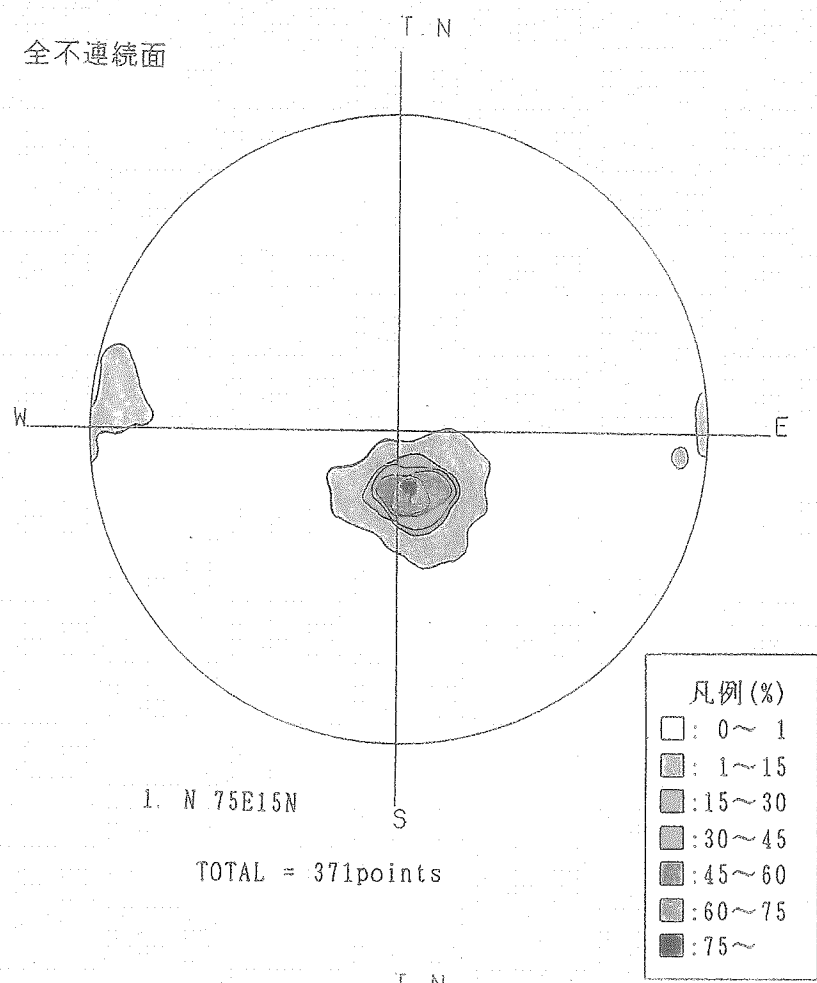
鉱物脈



TOTAL= 3points

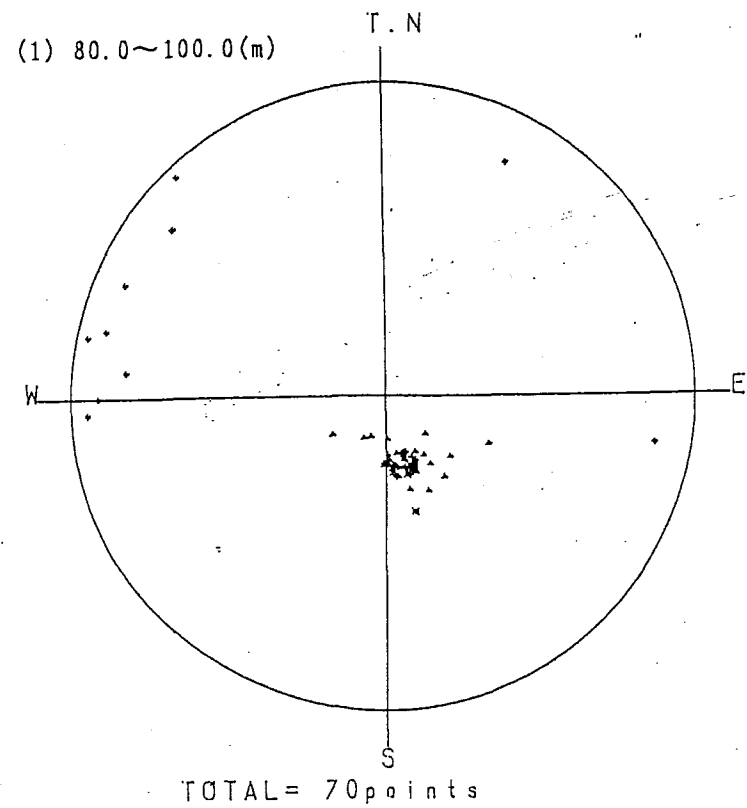
※シュミットネット下半球投影

図 6.2 不連続面のプロット図

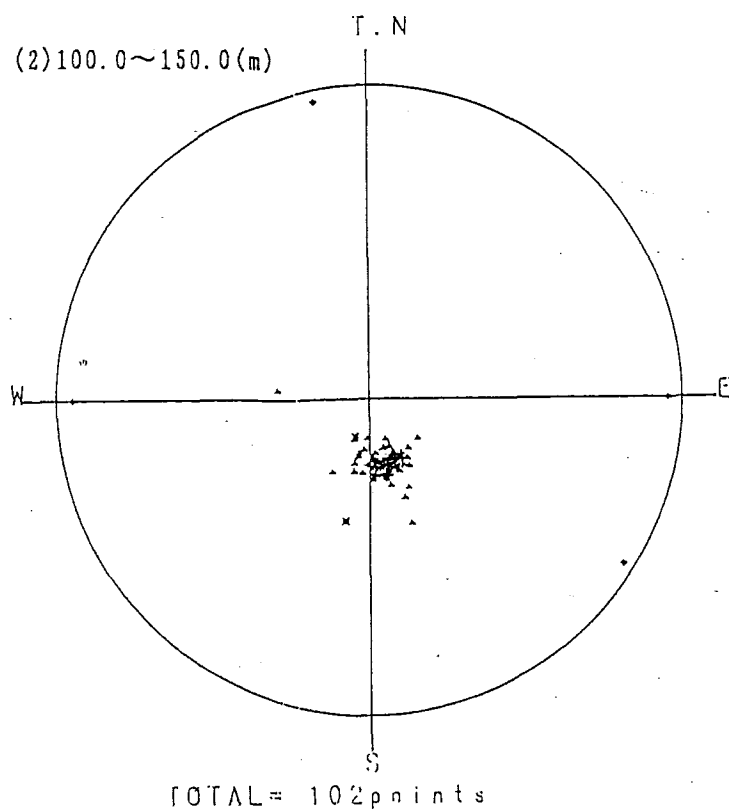


※シュミットネット下半球投影

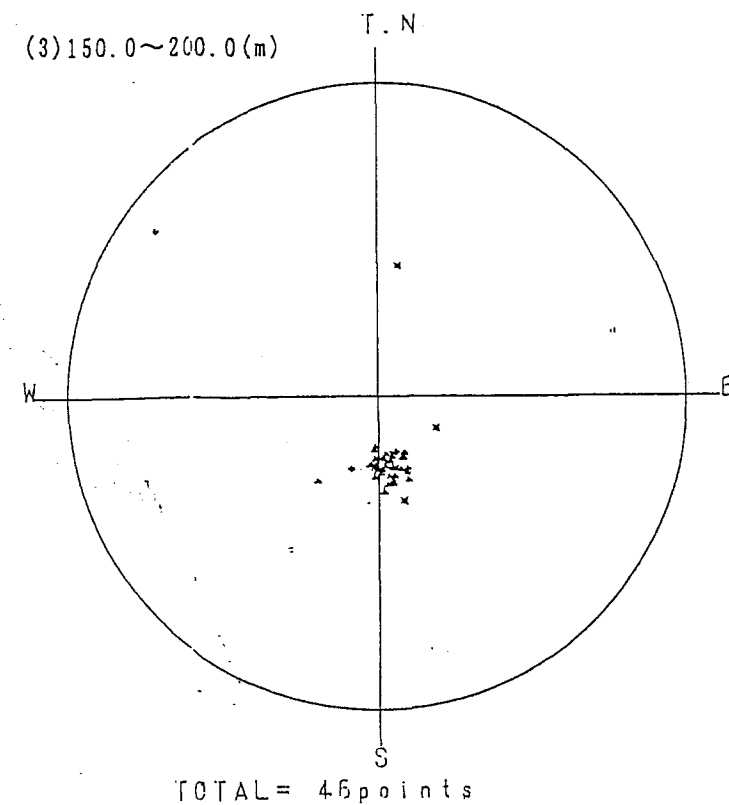
図 6.3 不連続面のコンターマップダイヤグラム



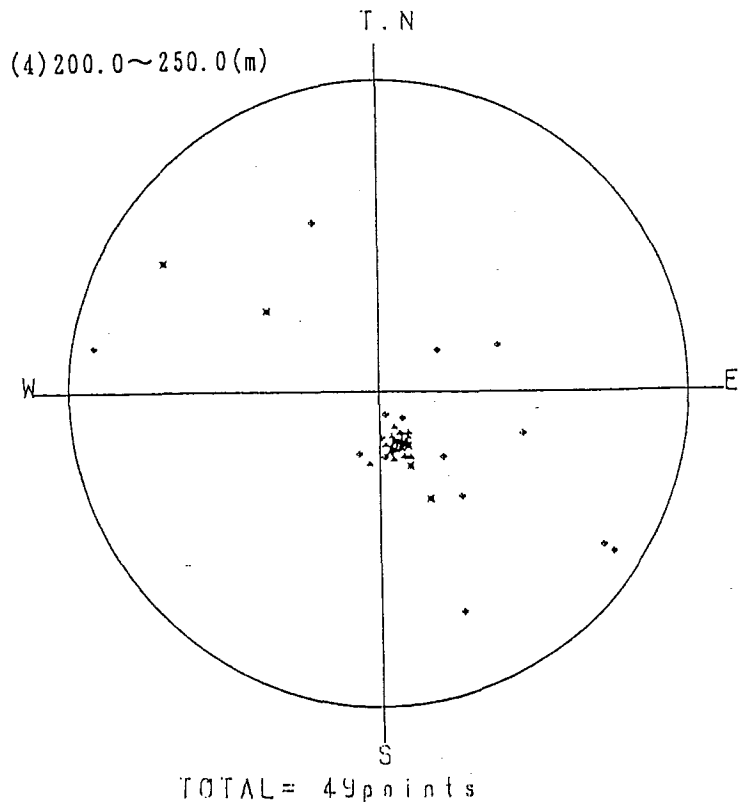
▲: 初生構造	-----	53points
✱: 開口亀裂	-----	4points
○: ヘアークラック	-----	13points
✱: 破砕帯	-----	0points
○: 鉱物脈	-----	0points



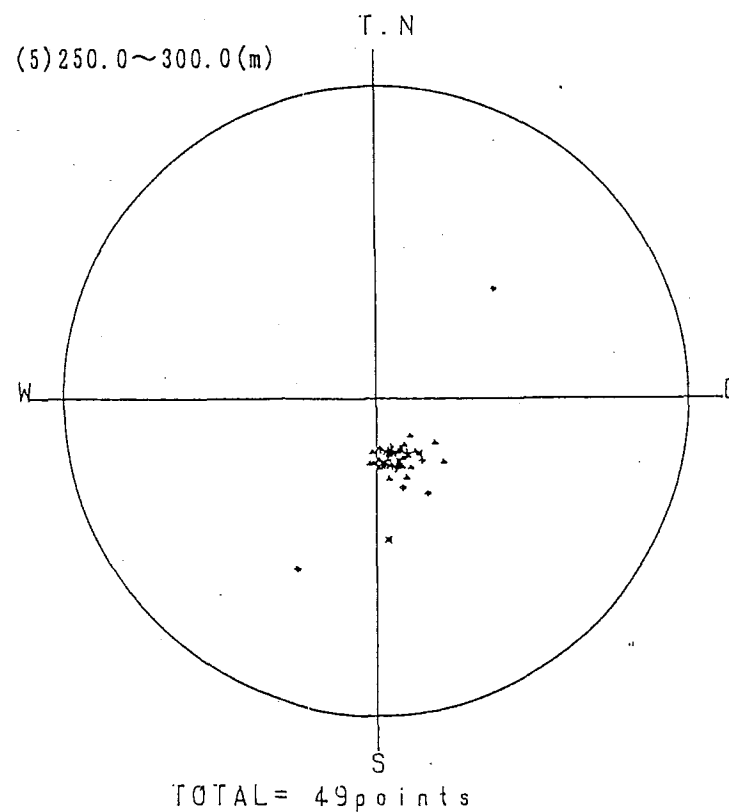
▲: 初生構造	-----	90points
✱: 開口亀裂	-----	2points
○: ヘアークラック	-----	9points
✱: 破砕帯	-----	0points
○: 鉱物脈	-----	1points



▲: 初生構造	-----	33points
✱: 開口亀裂	-----	5points
○: ヘアークラック	-----	8points
✱: 破砕帯	-----	0points
○: 鉱物脈	-----	0points



▲: 初生構造	-----	24points
✱: 開口亀裂	-----	6points
○: ヘアークラック	-----	19points
✱: 破砕帯	-----	0points
○: 鉱物脈	-----	0points

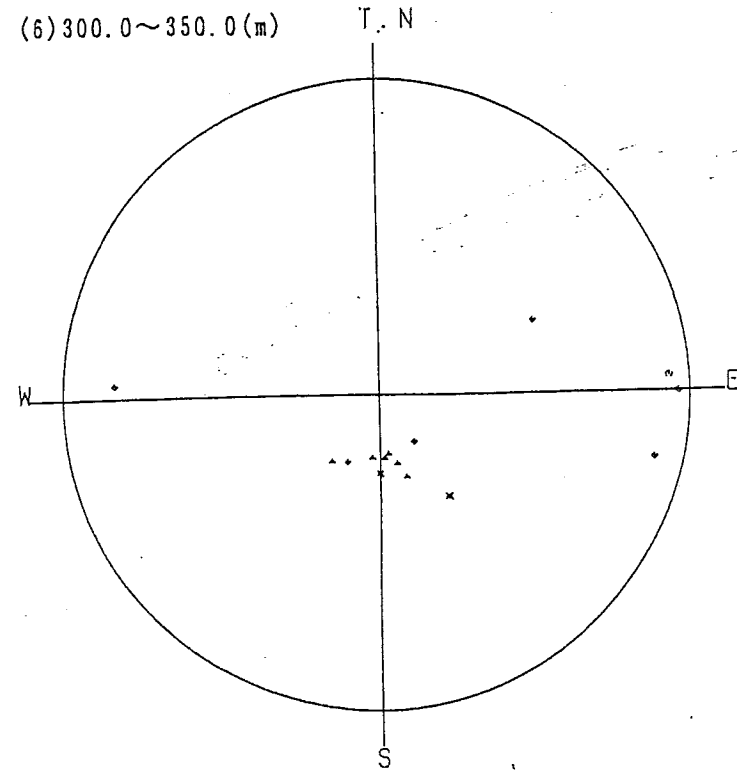


▲: 初生構造	-----	37points
✱: 開口亀裂	-----	3points
○: ヘアークラック	-----	9points
✱: 破砕帯	-----	0points
○: 鉱物脈	-----	0points

※シュミットネット下半球投影

図 6.4 (1) 深度毎の不連続面のプロット図

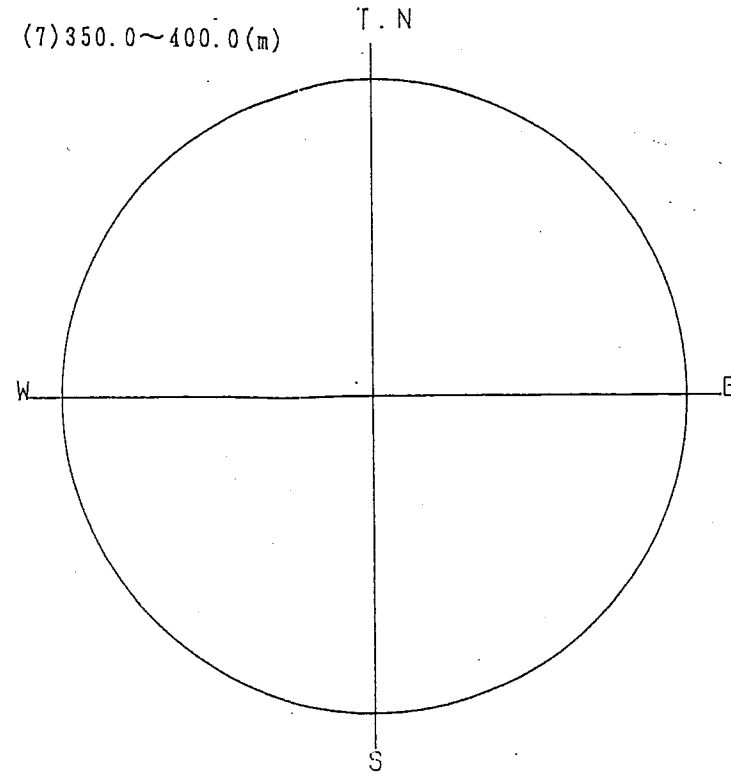
(6) 300.0~350.0(m)



TOTAL = 15points

- △: 初生構造 ----- 6points
- ×: 開口亀裂 ----- 2points
- : ヘアークラック ----- 5points
- ※: 破碎帯 ----- 0points
- : 鉱物脈 ----- 2points

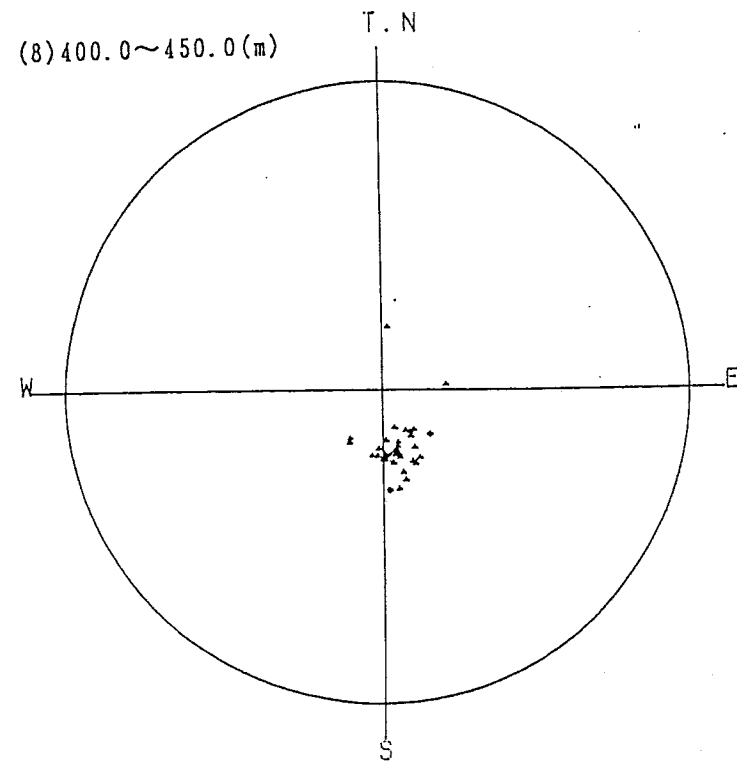
(7) 350.0~400.0(m)



TOTAL = 0points

- △: 初生構造 ----- 0points
- ×: 開口亀裂 ----- 0points
- : ヘアークラック ----- 0points
- ※: 破碎帯 ----- 0points
- : 鉱物脈 ----- 0points

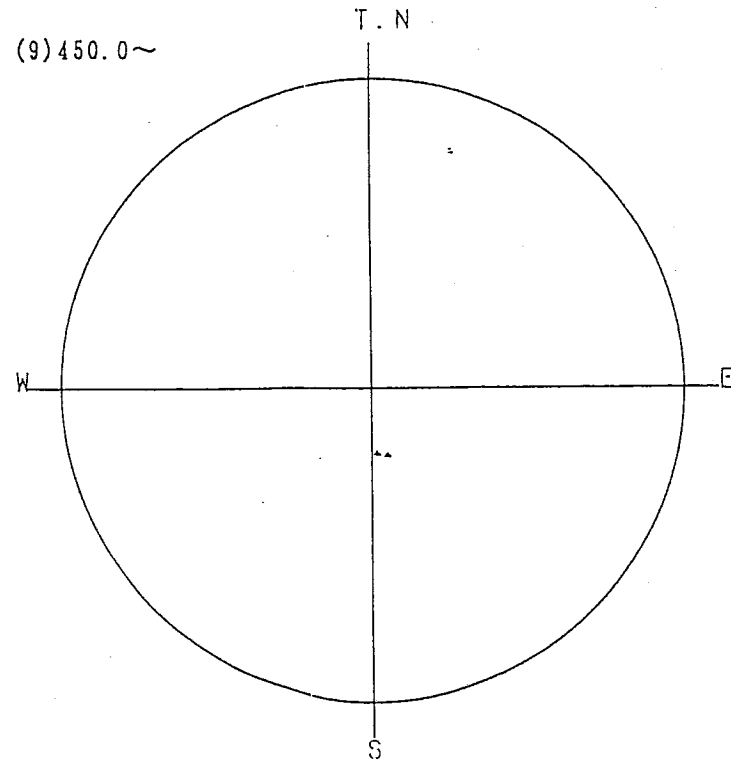
(8) 400.0~450.0(m)



TOTAL = 38points

- △: 初生構造 ----- 36points
- ×: 開口亀裂 ----- 0points
- : ヘアークラック ----- 2points
- ※: 破碎帯 ----- 0points
- : 鉱物脈 ----- 0points

(9) 450.0~



TOTAL = 2points

- △: 初生構造 ----- 2points
- ×: 開口亀裂 ----- 0points
- : ヘアークラック ----- 0points
- ※: 破碎帯 ----- 0points
- : 鉱物脈 ----- 0points

※シュミットネット下半球投影

図 6.4 (2) 深度毎の不連続面のプロット図

Date: 80-460 m  
 80m  
 0m  
 北緯線: 0m

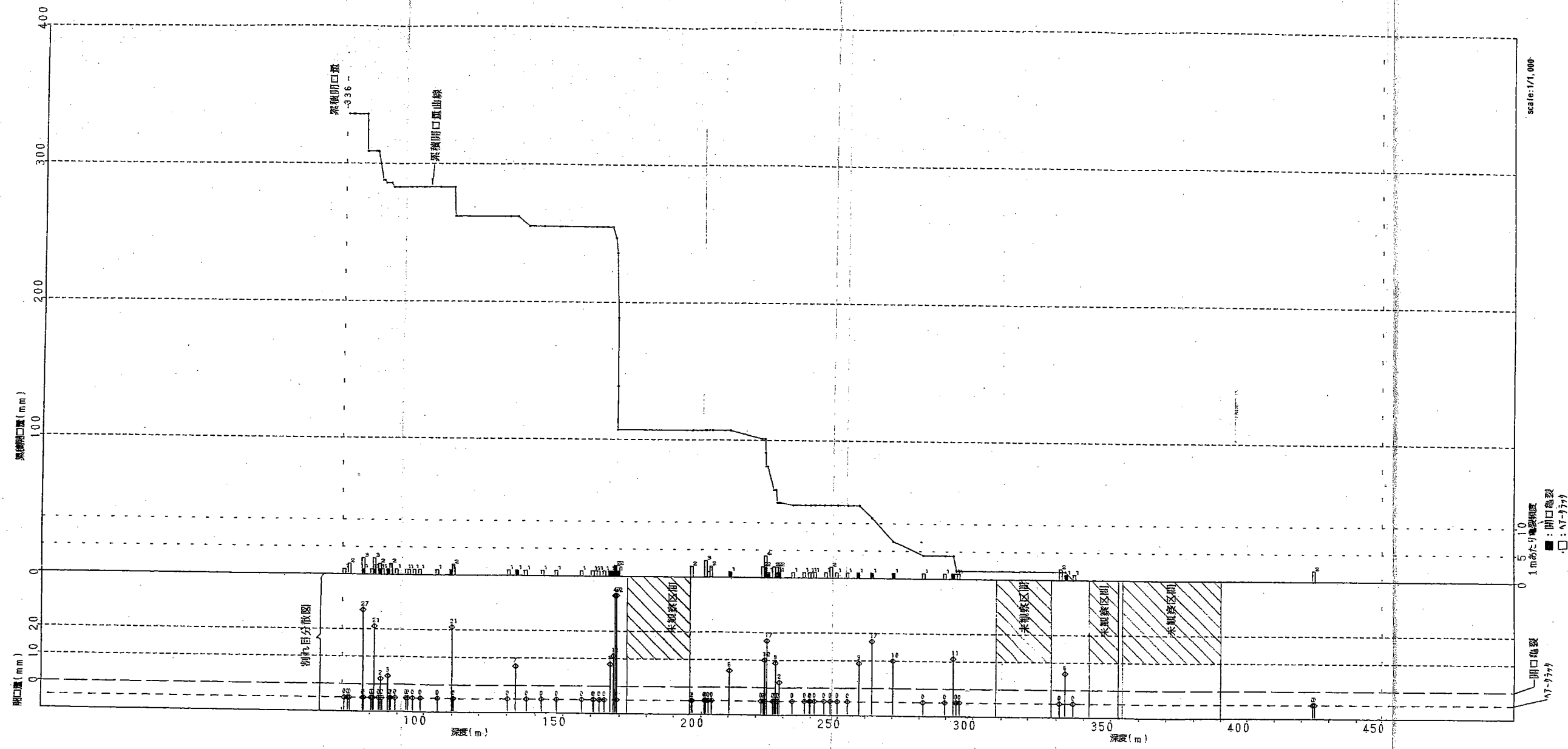


图 6.5 岩盤状態図

## 7. 原位置透水試験

### 7.1 試験方法

本測定は、岩盤等の難透水性岩盤における透水係数  $k$  や間隙水圧  $P_w$  を把握するためのものである。

今回の測定では低水圧制御水理試験 PNC-200型器を用いたいわゆる JFT試験を実施した。

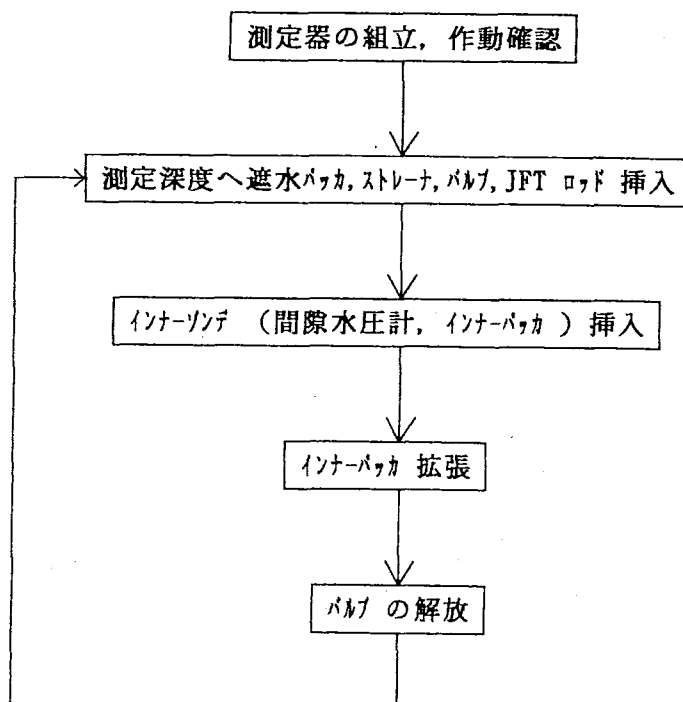
本測定機は下記のような特長を備えている

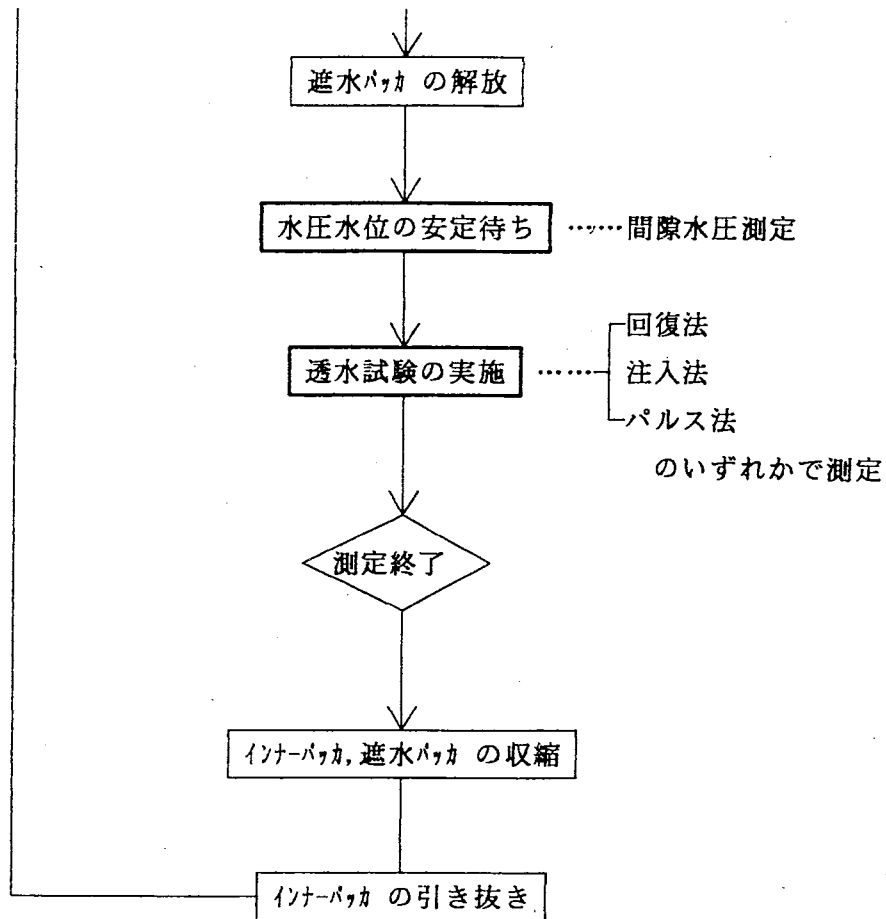
- ① 低水頭差 (10m程度以内) で試験を行うため、水撃効果による地層破壊を防止できる。
- ② 地上で操作できるバルブを備えているため、測定深度変更に伴う昇降作業が不要である。
- ③ 圧力伝達を利用して間隙水圧を測定するため、測定時間がかからない。
- ④ パルス法による透水試験を行えば、難透水性地盤の透水係数でも測定が可能である。

測定器は次の5部分からなる。

- ① 圧力源 (窒素ガスポンプ)
- ② 圧力制御部
- ③ 地下設置部
- ④ ソンデ
- ⑤ データ記録部

試験は次の手順で実施した。





透水試験法は、通常の水位の回復が測定できる速さであるならば、一般の JFT法のよ  
うにロッド内の水位上昇を間隙水圧計で測定する。また、注入法で実施する場合はロッド  
内の水位降下を間隙水圧計で測定する。

一方、非常に難透水性の岩盤の場合は、パルス法を用いて測定する。パルス法は、インナ  
ーパッカをロッド内に膨らませて、電磁バルブを解放し、閉鎖空間内に微量の注入加圧を  
行い、その圧力の減少の経過を測定する方法である。今回の試験は、難透水性であるため  
パルス法を用いて測定した。

### 1) 透水係数 (k) の算出

#### ① 回復法、注水法の場合

Hvorslevの単孔式透水試験の解析式を用いて行った。

$$\text{透水係数 } k = \frac{(2R_w)^2 \ln(mL/r_0)}{8L(t_2 - t_1)} \ln(H_1/H_2)$$

k	: 透水係数 (cm/sec)	r <sub>0</sub>	: ボーリング孔半径 (cm)
R <sub>w</sub>	: 縦横方向の透水比 (通常は m = 1)	t	: 経過時間 (sec)
L	: 測定区間 (cm)	F	: 経過時間対する水位 (cm)

$t_1$ 、 $t_2$  及び  $H_1$ 、 $H_2$  は t-Log H グラフから得られる直線から読取り、 $R_w$  は本機の場合はゾンデを吊っているケーブルを考慮に入れて、下記の値を使用した。

$$R_w = 1.595(\text{cm})$$

② パルス法の場合

Hvorslevの単孔式透水試験の解析式を用を行った。

ただし、 $R_w$  のかわりに仮想半径  $R$  を求めて、仮想ピエゾメータを設定した。

仮想半径  $R$  の計算式は下記によった。

$$\Delta V = \pi R^2 \Delta H = (C_w V_w + \alpha) \Delta P$$

$$R = \sqrt{\frac{(C_w V_w + \alpha) \Delta P}{\pi \Delta H}}$$

$C_w$  : 水の体積圧縮係数 ( $\text{cm}^3 / \text{kg}$ )

$$C_w = 4.4 \times 10^{-5} (\text{cm}^3 / \text{kg})$$

$V_w$  : 閉鎖空間の水の体積 ( $\text{cm}^3$ )

$$V_w = V_1 + V_2$$

$$V_1 = (d/2)^2 \pi h = 10.17 h (\text{cm}^3)$$

$$V_2 = r_o^2 \pi L (\text{cm}^3)$$

$d$  : 測定深度上部—ゾンデ先端深度 (cm)

$L$  : 測定区間長 (cm)

$r_o$  : 測定孔の半径 (cm)

$$\Delta H = 1 (\text{cm})$$

$$\Delta P = 0.001 (\text{kgf/cm}^2)$$

$\alpha$  : キャリブレーションによるパッカの圧縮補正係数 ( $\text{cm}^3 / \text{kg}$ )

$\alpha$  は表 7. 1 を基に作成した図 7. 2 より決定した。

なお、今回の試験孔径  $\phi$  は、キャリパ検層の結果をもとに設定した。

表 7. 1 補正係数  $\alpha$  と孔径・パッカの関係

試験孔径 $\phi$ (mm)	補正係数 $\alpha$ ( $\text{cm}^3 / \text{kg}$ )	
	シングルパッカ	ダブルパッカ
66	3.5	5.5
78	3.5	5.5
99	4.8	8.1



## 2) 貯留層を考慮した解析方法

Hvorslevの解析による単孔式透水試験の結果、 $\log H-t$ で直線性が得られない場合（本試験では T-2, T-3）の説明として、帯水層の圧縮性である比貯留係数を導入したクーパーの解析方法がある。これは、完全貫入井戸に関する井戸径を考慮した揚水試験結果の解析であるが、ストレーナを用いた単孔式透水試験にも十分有効である。

解析手順は、

- ① 標準曲線（図7. 3）の準備
- ② ①と同じスケールの  $H/H_0 - \log t$ の作成（図7. 4）
- ③ ①と②を水平移動差せて、マッチングポイント（図7. 5）を決めて  $\alpha$ 、 $\beta$ 及び  $t_0$  を求める

透水係数は次式による。

$$\text{透水量係数 } T = \frac{r_0^2 \cdot \beta_0}{t_0}$$

$$\text{透水係数 } k = \frac{T}{L}$$

- T : 透水量係数  
r<sub>0</sub> : 管内半径 (cm) = R<sub>w</sub>  
L : 透水区間長 (cm)  
k : 透水係数 (cm/sec)

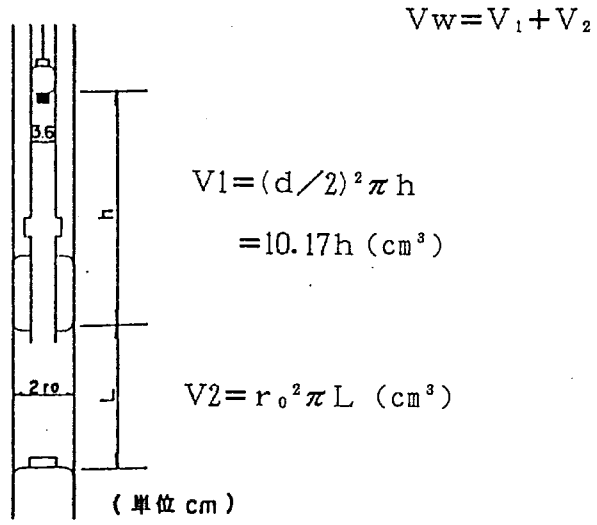


図 7.1 水の体積

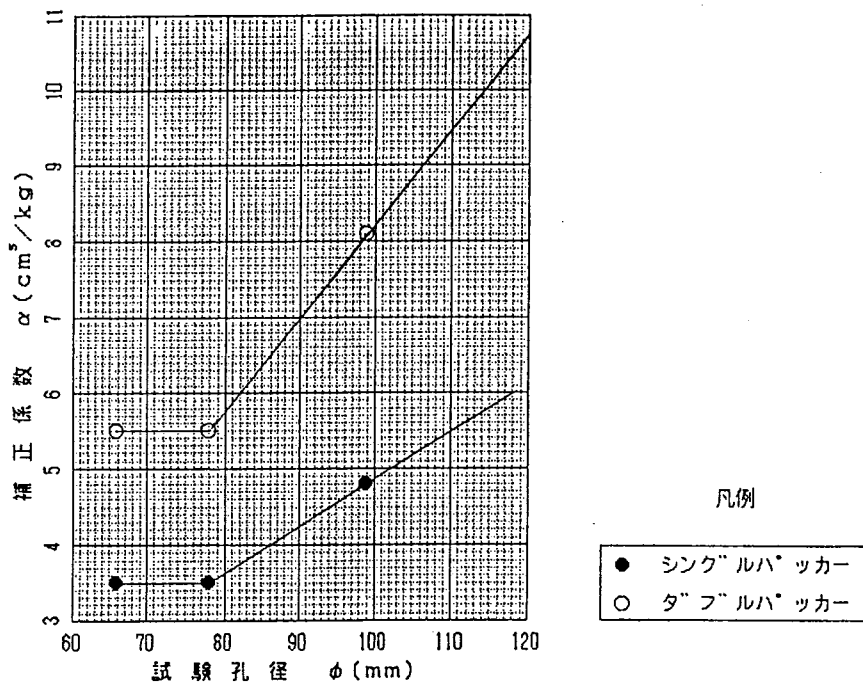


図 7.2 インナーパッカ圧縮補正曲線

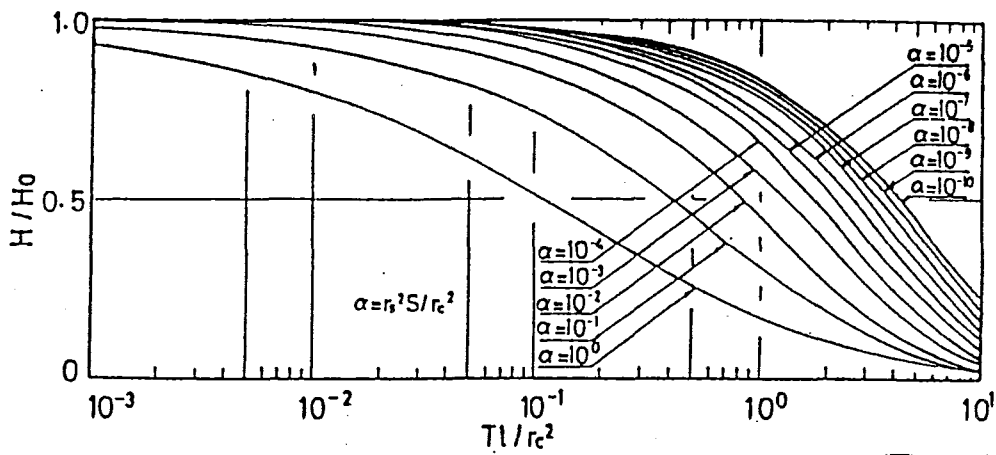


図 7.3 貯留係数を考慮した単孔式透水試験の標準曲線

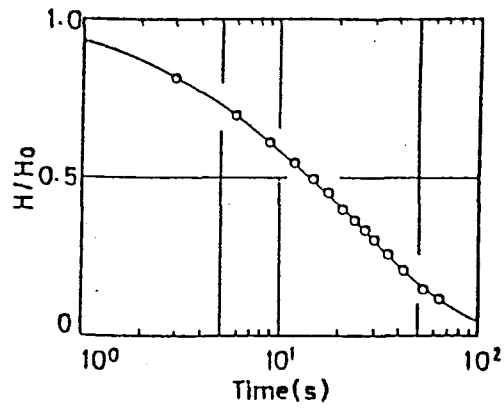


図 7.4  $H/H_0$ - $\log t$  関係図の一例

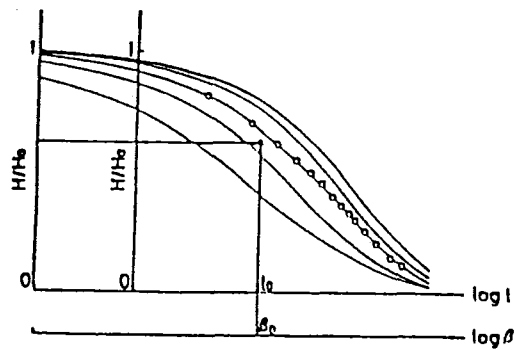


図 7.5 マッチングポイントの一例

## 7.2 試験結果

透水試験の結果は、表7.2に示す。

なお、透水係数 $k$ は、測定区間全体の平均であり、き裂部分（透水層と予想される部分）の透水係数 $k$ を表すものではない

表7.2 PNC式JFT試験結果一覧表

試験 番号	測定区間 (GL-m)	測定区間内 平均透水係数 $k$ (cm/s)	平衡水位 WL (GLm)	間隙水圧 PW(kg/cm <sup>2</sup> )	き裂の 有 無
T-1	131.90~ 133.50	$6.58 \times 10^{-8}$ (パルス法)	-23.73	10.8	無
T-2	213.10~ 214.70	$4.98 \times 10^{-6}$ (パルス法)	-36.60	17.7	有
T-3	279.50~ 281.10	$1.27 \times 10^{-7}$ (パルス法)	-34.50	24.5	無
T-4	283.50~ 285.10	$8.97 \times 10^{-8}$ (パルス法)	-28.97	25.5	有
T-5	433.20~ 434.80	$4.28 \times 10^{-8}$ (パルス法)	+0.54	43.4	有

注：間隙水圧PWは、測定区間の上端部に作用する水圧とした。

なお、透水区間の決定は、物理検層、ポアホールスキャナ観測及び岩芯調査を基に、孔壁の安定した部分あるいは、き裂のある部分を挟み、孔壁の安定した部分を選定した。

試験の結果からは、透水係数 $k$ が最も大きい箇所でも $10^{-6}$ 台と小さい値である。  
深度別透水係数分布を図7.6に示す。

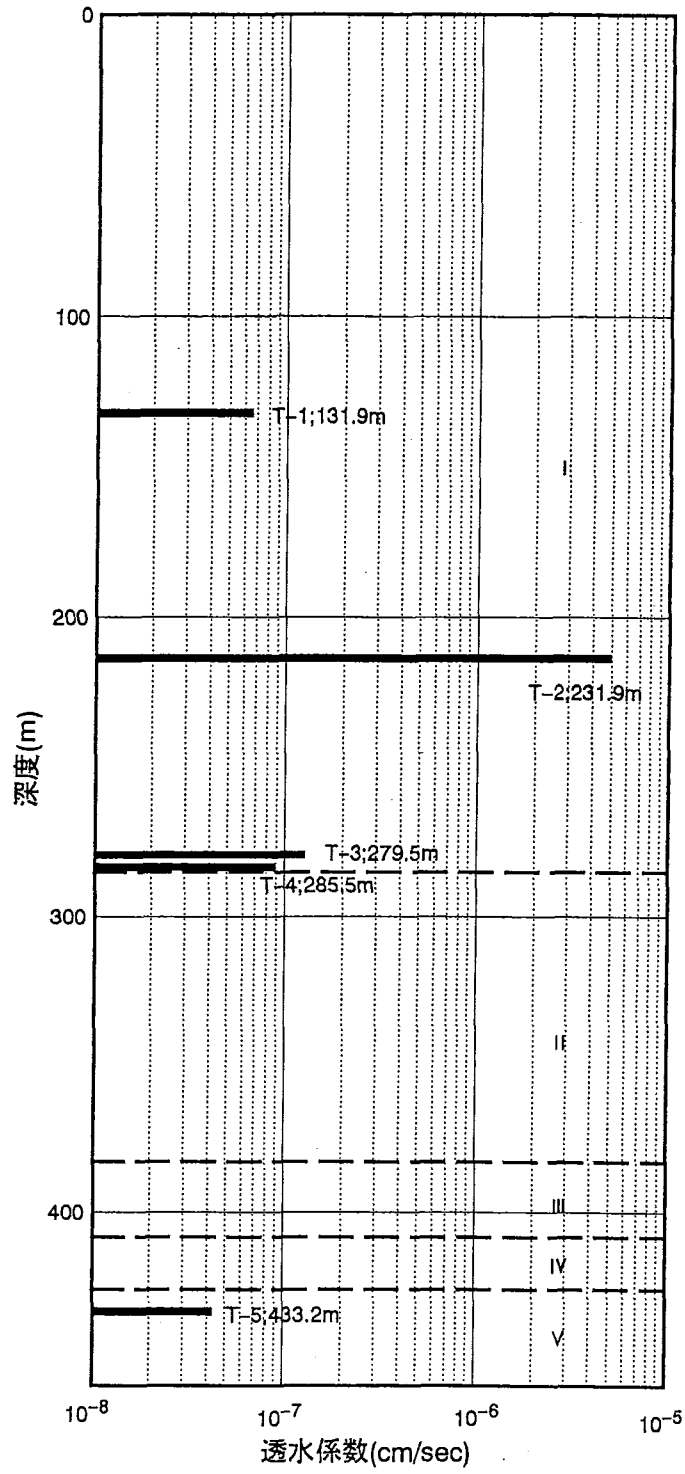


图 7.6 深度别透水系数分布图

### 7.3 考察

#### ① 透水係数 $k$

透水係数  $k$  は、T-2 (GL-213.10 ~ 214.70m) の横き裂のある区間で  $k = 10^{-6} \text{ cm/s}$  オーダを示し、他の地点ではき裂の有無にかかわらず  $k = 10^{-8} \text{ cm/s}$  オーダである。したがって、T-2 区間は他のき裂区間 (T-4, T-5) より良好である。また、き裂区間で測定した T-4, T-5 の透水係数  $k$  は、き裂のない T-1, T-3 区間とほぼ同じであることから、T-4, T-5 にあるき裂は粘土等により充填されていると考えられる。

各深度別透水係数分布を図 7. 6 に示す。

#### ② 平衡水位 WL

T-1 ~ T-4 区間の平衡水位は、GL -23 ~ -37m 程度であるが、T-5 区間の平衡水位は GL+0.54 m と地表より高い水位である。なお、T-5 の測定以前及び測定中においても坑口からの湧水が認められていたことから、この湧水対象部分は、図 7. 7 に示すようにケーシング下端 (GL-400m) から T-5 の測定深度下端 (GL-458m) までと判断される。

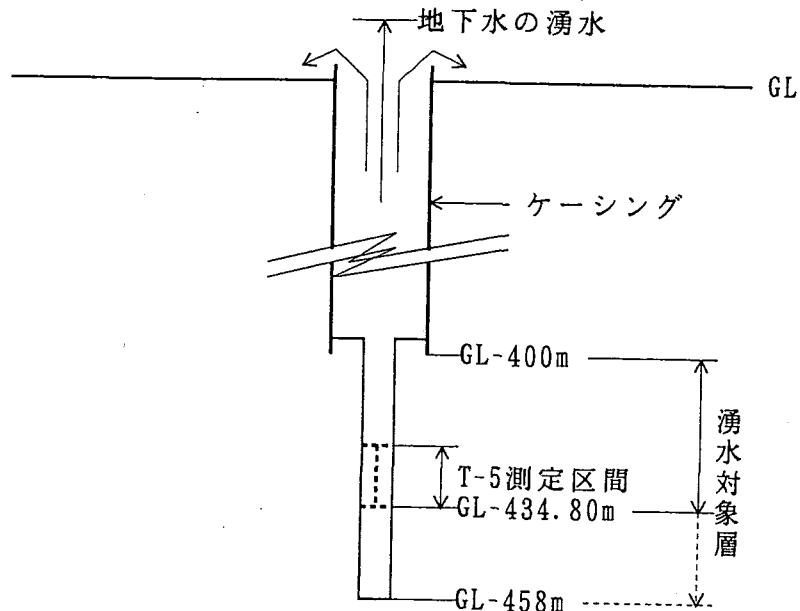


図 7. 7 地下水の湧水対象層の模式図

#### ③ 間隙水圧分布

間隙水圧の分布図を図 7. 8 に示す。平衡水位は T-5 区間を除いて、-23.73 ~ -36.60 (GL) で変化する。

#### ④ 透水係数 $k$ と R Q D 値との比較

図 7. 9 に透水係数と R Q D 値及び岩盤等級と透水係数の関係を示す。

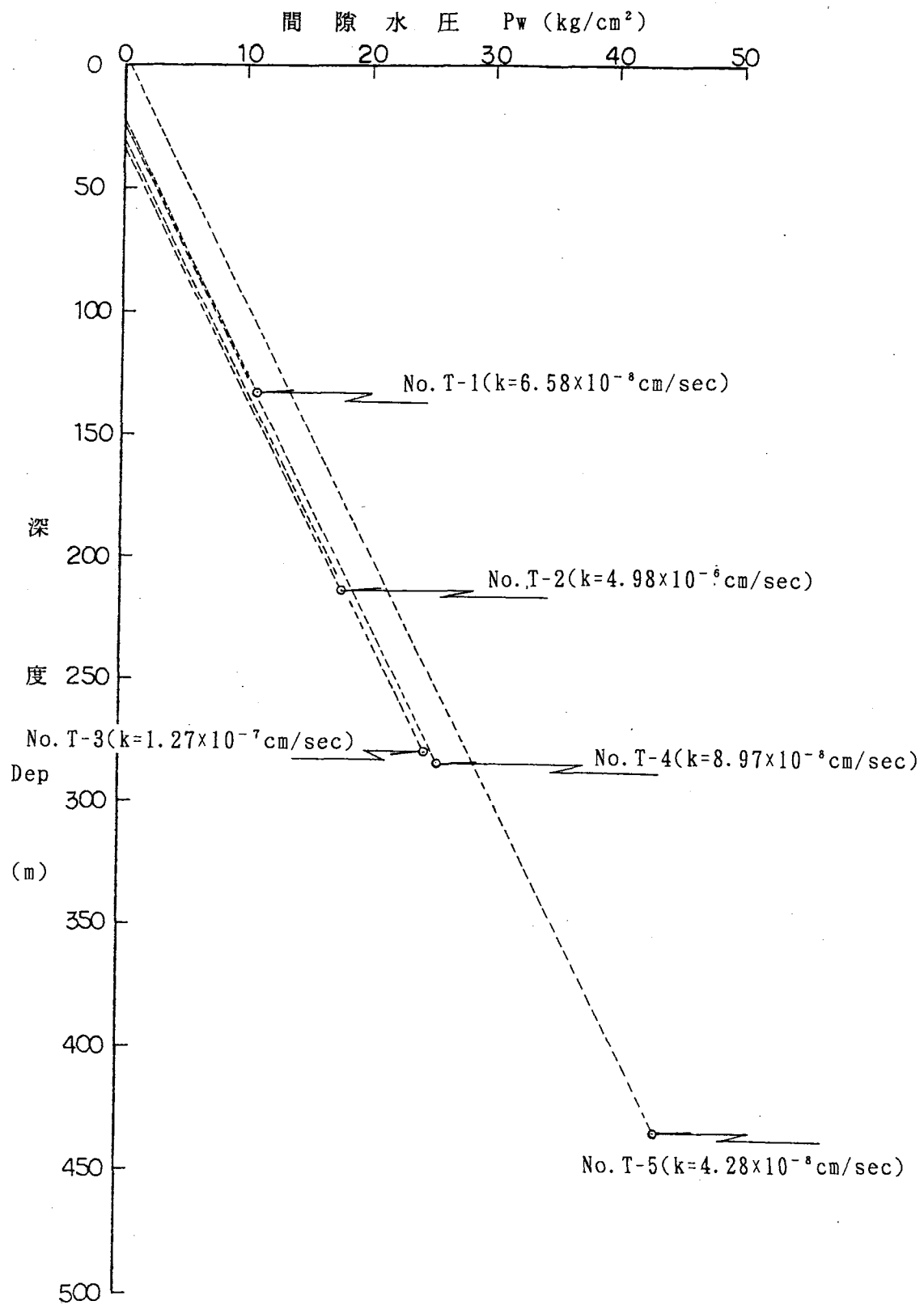


图 7. 8 間隙水圧分布图

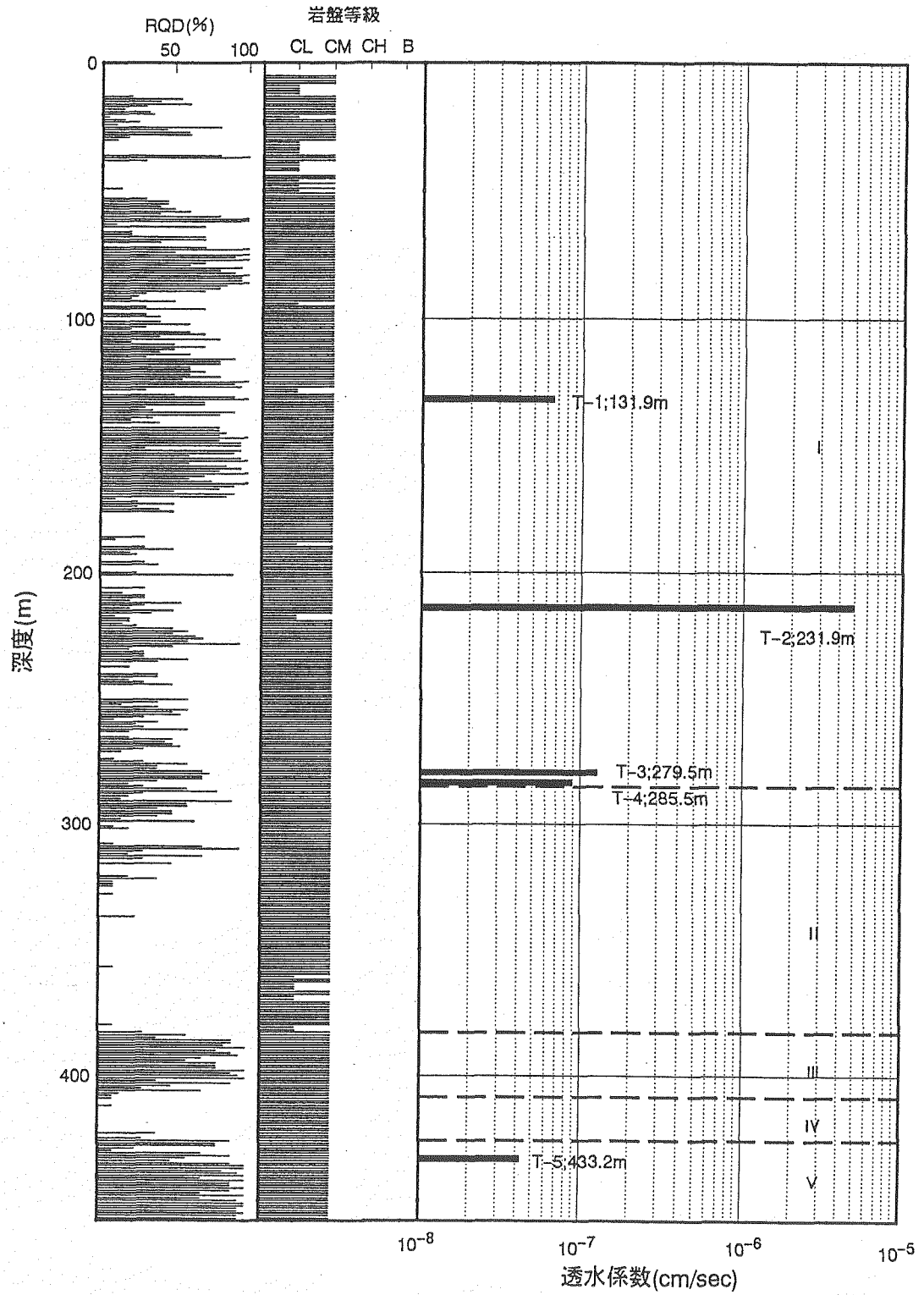


図 7. 9 R Q D 値・岩盤等級と透水係数の関係図



## 8. 総括

### 8.1 地質構造

富山県の地質は、中生代以前の火成岩類・変成岩類、中生界、白亜紀末—古第三紀火成岩類、新第三紀堆積物及び第四紀堆積物からなる。これらの単元はほぼ帯状の配列で、富山県の地形特性と著しく対応した分布を示す。

調査地点は、富山平野と砺波平野の中間地域に北向けに張り出した、主に新第三紀の中新世—鮮新世の堆積岩からなる丘陵地帯に位置する。

調査地点の周辺は八尾類層で、水平的にも垂直的にも岩相変化の激しい地域である。構成岩石は、泥岩、砂岩、礫岩及び軽石凝灰岩等で、漸移、互層を繰り返す、場所によってはタービダイト様を呈する。試錐調査孔付近は泥岩が優勢である。

地質構造は、新第三紀層が富山平野及び砺波平野を取り囲み帯状に分布し、南北系の緩い向・背斜構造を示しながら東西に伸び、全体が北に傾斜する。

断層は大局的に、 $NE-SW$ 系が優勢で、調査地域近傍でも同系統の断層が発達する。

活断層は、砺波平野の東縁部に発達する高清水断層（10万分の1富山県地質図）と富山24（資料：日本の活断層の命名）があり、調査地点は両者を結ぶ線の近傍にあたる。

航空写真より判読されるリニアメントは $NE$ 系のものが頻度、長さともに卓越している。

### 8.2 岩芯調査

本調査で最も重要な岩盤の特性の一つは透水性であり、これは岩盤自身の持つ孔隙性の他に、岩盤の割れ目及び断層が透水性を左右する要因として重要である。

本孔で出現する岩石種は、大きくは泥岩ないしはシルト岩、砂岩、凝灰岩で、これらは互層あるいは互いに漸移状態にあり、その主体をなす岩相をもって深度別に次の5帯に区分した。

深 度 区 分	岩石コード	構 成 岩 石
I : 55.00~285.00m (280.00 m)	MD	泥岩~シルト岩、凝灰岩・砂岩の挟み
II : 285.00~382.80m ( 92.80 m)	MD	泥岩
III : 382.80~408.10m ( 25.30 m)	TF	凝灰岩
IV : 408.10~425.40m ( 17.30 m)	MD	泥岩
V : 425.40~458.00m ( 32.60 m)	TF(LPT)	凝灰岩 (火山礫~礫を伴う)

割れ目は、岩芯長 445.57 mの調査について 487本が確認された。

割れ目頻度を岩石別に検討してみると下記のとおりである。

- ① 泥 岩 (MD) : 1.14本/m
- ② 砂 岩 (SS) : 1.68本/m
- ③ 凝灰岩 (TF) : 0.93本/m

平均では1.09本/mである。パターン別ではPパターンが圧倒的に多く(379本)、全体の77.8%を占める。最も少ないパターンはSパターンで24本である。

一方、深度に注目して割れ目の分布をみると下記のとおりである。

- ①深度区分 I : 1.26本/m
- ②深度区分 II : 1.14本/m
- ③深度区分 III : 0.51本/m
- ④深度区分 IV : 0.29本/m
- ⑤深度区分 V : 0.43本/m

深度区分I帯の泥岩を主体とする部分で最も高い頻度を示し、IV帯で最も低い。大局的には深部で頻度は低い。

RQDの分布を岩相別に検討してみると下記のとおりである。

- ①泥岩(MD) : 29.6%
- ②砂岩(SS) : 35.2%
- ③凝灰岩(TF) : 60.4%

平均は38.0%であり、泥岩と凝灰岩では2倍以上の差が認められる。

一方、深度に注目してRQDの分布をみると下記のとおりである。

- ①深度区分 I : 40.6%
- ②深度区分 II : 12.5%
- ③深度区分 III : 71.5%
- ④深度区分 IV : 4.0%
- ⑤深度区分 V : 83.6%

RQD値の小さいII帯及びIV帯は、いずれも砂岩、凝灰岩部の少ない泥岩が主体をなす。

岩盤等級と岩相の関係を検討し、等級を示せば下記のようなものである。

- ①泥岩(MD) :  $C_M \sim C_L$
- ②砂岩(SS) :  $C_M \sim C_L$
- ③凝灰岩(TF) :  $C_M \sim C_L$

岩盤等級の場合は、岩相別よりも深度別に等級が区分される。これを下記に示す。

- ①深度区分 I :  $C_M \sim C_L$
- ②深度区分 II :  $C_M \sim C_L$
- ③深度区分 III :  $C_M$
- ④深度区分 IV :  $C_M$
- ⑤深度区分 V :  $C_M$

すなわち、深度区分II帯以深では $C_L$ は存在しない。

変質調査の結果では、分帯される程度の変質作用はない。

変質鉱物の組み合わせは、歌田(1977)の変質作用の分類による続成作用に該当する。また、鉱物組み合わせによるI~Vの分帯に当てはめると、I~III帯に相当する。この分類では比較的変質の進んだIII~V帯に晶出する緑泥石、方沸石が凝灰質部の深い深度で検出されている。

セリサイト(イライト)及びモンモリロナイトはしばしば堆積物であることもあるが、方

沸石、緑泥石及び方解石は熱水による変質鉱物と解釈される。また、特に変質を受けやすい軽石、火山ガラス、斜長石、その他の有色鉱物が非変質のまま残存していることから、極めて弱いものであると判断される。さらに、鉱物の組み合わせは、中性熱水の特徴を示す。

顕微鏡観察を、岩石学的特性を把握するために代表的岩相について行った。

観察箇所は下記の10箇所である。

試料番号	採取深度(m)	岩相コード	岩石名	含有岩片
No. M - 1	73.10	TF	フェルシックガラス質結晶凝灰岩	安山岩、デイサイト、泥岩、ピッチストーン
No. M - 2	130.80	SS	超粗粒砂岩	
No. M - 3	156.70	MD	シルト岩～泥岩	
No. M - 4	223.70	MD	シルト岩～泥岩	
No. M - 5	281.30	MD	シルト岩～泥岩	
No. M - 6	310.40	MD	シルト岩～泥岩	
No. M - 7	355.50	MD	シルト岩～泥岩	
No. M - 8	399.70	TF	フェルシック軽石凝灰岩	デイサイト
No. M - 9	406.90	MD	シルト岩～泥岩	
No. M - 10	456.10	TF	ガラス質凝灰岩	

肉眼観察で泥岩及び細粒砂岩に区分したものは、泥岩～シルト岩に鑑定され、顕微鏡用薄片の作成深度により粒度の変化がある。

X線解析の結果、沸石鉱物（斜プチロル沸石、方沸石）、粘土鉱物（緑泥石、モンモリロナイト）、炭酸塩鉱物（方解石）、硫化鉱物（黄鉄鉱）が検出された。変質はこれらの生成鉱物から、中性ないしは弱アルカリ性の環境下における続成作用によるものと考えられる。また、鉱物の生成温度は緑泥石が 200℃、方沸石が～100℃程度、黄鉄鉱及び方解石は広いレンジをもち、～100℃～200℃の温度範囲にあったことが推定される。

全岩分析の結果では、岩石物性や岩石の透水性について論じることができないが、本調査地のように堆積岩を主体とする地域では、同様な堆積物との成分組成を比較しても、後背地における供給源の岩相による差異がみられるにとどまるものと考えられる。また、本調査での凝灰岩は、2次堆積性の性格が強く、砂岩及び泥岩と化学成分的には大きな差異はみられない。

### 8.3 物理検層

音波検層で得られたP波速度は、平均2.43km/secであり、最大3.15km/sec、最小2.11km/secである。P波速度を岩相別（平均値）に検討してみると下記のとおりである。

- ① 泥岩 (MD) : 2.36km/sec
- ② 砂岩 (SS) : 2.63km/sec
- ③ 凝灰岩 (TF) : 2.60km/sec

これでは平均では砂岩(SS)が最も大きい値を示し、最高値では凝灰岩(TF)が最も大きい値を示しているが、大きな差異はみられない。このことは岩質が全般に泥質あるいは砂質な岩石の互層帯であるためと考えられる。

自然放射能検層の結果得られたガンマ線強度は、平均68.92APIであり、最大は107.10 API、最小は31.31APIである。ガンマ線強度を岩相別に検討してみると下記のとおりである。

① 泥岩 (MD)	: 70.19API
② 砂岩 (SS)	: 77.09API
③ 凝灰岩 (TF)	: 67.64API

これでは砂岩(SS)が最も大きい値を示しているが、測定個数が少なく、全体的には泥岩が平均して大きい値を示している。全体的には酸性の火成岩よりは低い値を示している。

中性子検層の結果得られた中性子孔隙率は、平均 42.29%であり、最大は 52.57%、最小は 38.25%である。中性子孔隙率を岩相別に検討してみると下記のとおりである。

① 泥岩 (MD)	: 43.60%
② 砂岩 (SS)	: 42.87%
③ 凝灰岩 (TF)	: 44.14%

これでは凝灰岩(TF)で最も大きい値を示すが、全体的には大きな差異はない。深度別の検討では深部にいくに従って、わずかに小さい値となる傾向がみられる。

電気検層は比抵抗法及び自然電位法を実施した。比抵抗法ではショートノルマル(電極間隔:25cm)、ロングノルマル(電極間隔:100cm)の測定を行った。ショートノルマルの測定結果では、平均9.05Ω・m、最大は23.80Ω・m、最小は4.00Ω・mである。比抵抗値を岩相別に検討してみると下記のとおりである。

① 泥岩 (MD)	: 4.55 Ω・m
② 砂岩 (SS)	: 6.51 Ω・m
③ 凝灰岩 (TF)	: 8.53 Ω・m

これでは凝灰岩(TF)が最も大きく、泥岩(MD)で小さい値を示す。また、ロングノルマルの測定結果では、平均が5.94Ω・m、最大は50.70Ω・m、最小は2.18Ω・mであり、ショートノルマルと大差ない比抵抗値を示す。

自然電位の測定結果では、55.87Ω・m~22.50Ω・mの電位差がみられ、深度101.4m~180.0m、400.0mの砂質部で負側に、深度237.0m~330.0m、410.0mの泥質部で正側にわずかな変倚が認められる。

温度検層から得られた孔内温度は、14.58℃~34.6℃を示す。この内最高温度は、深度412.0mの測定可能な最深部である。深度別の温度分布は下記のとおりである。

① 深度区分 I	: 14.07℃~14.07℃
② 深度区分 II	: 27.79℃~33.37℃
③ 深度区分 III	: 33.37℃~34.64℃
④ 深度区分 IV	: 34.64℃
⑤ 深度区分 V	: 測定不能

地下水及び大気の影響のない深度76.0mから412.0mまでは、ほとんど変化のない温度曲

線を示し、温度勾配は5.9℃と比較的高い値をもつ。また、温度曲線からは、逸水あるいは湧水を示唆する曲線の変化は読み取れない。

孔径検層により平均 104.16 mm、最小93.86 mm、最大355.35mmの孔径が得られた。これを岩相別に平均孔径を検討してみると下記のとおりである。

- ① 泥岩 (MD) : 104.33mm
- ② 砂岩 (SS) : 99.21mm
- ③ 凝灰岩 (TF) : 100.68mm

で泥岩部で最も拡大の傾向がみられる。これを深度別にみると、深度区分 I 及び IV の泥岩の優勢な部分で大きい値を示している。

孔曲検層から得られた結果では、深度220 mまでは北西に偏移し、220 mから250 mで北西から北東に屈曲し、全体として北北東に偏移している。深度に対する偏移は深度が増すごとに大きくなり、深度450 m以深では傾斜 5° で推移している。

#### 8.4 物性特性試験

本試験結果得られた見掛比重は、平均1.98であり、最大は2.12、最小は1.73である。見掛比重（平均値）を岩相別に検討してみると下記のとおりである。

- ① 泥岩 (MD) : 1.97
- ② 砂岩 (SS) : 1.99
- ③ 凝灰岩 (TF) : 1.99

これから砂岩と凝灰岩が同じ値を示し、泥岩がそれよりやや低い値である。凝灰岩はしばしば泥質あるいは砂質であることから、各岩相共ほぼ同程度の値を示している。

また、深度に注目して見掛比重をみると以下のとおりである。

- ① 深度区分 I : 1.73 (TF) ~ 2.02 (MD)
- ② 深度区分 II : 1.96 (MD)
- ③ 深度区分 III : 2.02 (MD) ~ 2.11 (TF)
- ④ 深度区分 IV : -
- ⑤ 深度区分 V : 2.02 (TF) ~ 2.12 (TF)

その他、含水率、吸水率及び有効孔隙率は、ともに凝灰岩 (TF) が最小値（平均）を示し、岩相よりは深度による特徴が現れているとみなされる。

#### 8.5 超音波速度試験

本試験結果得られた、P波速度は平均2.67km/secであり、最大は3.09km/sec、最小2.44 km/secである。全体的に岩盤等級が C<sub>M</sub> ~ C<sub>L</sub> と低い等級を示しているだけに、P波速度も低い値をもつ。

P波速度（平均値）を岩相別に検討してみると以下のとおりである。

- ① 泥岩 (MD) : 2.51km/sec
- ② 砂岩 (SS) : 2.98km/sec
- ③ 凝灰岩 (TF) : 2.80km/sec

平均値では砂岩が最も大きい値を示しているが、実際には、凝灰岩が3ポイントオーダの

値を示している。深度別の検討では、深部のⅢ帯、Ⅴ帯で大きい値をもつ傾向がある。

### 8.6 力学特性試験

本試験結果得られた、一軸圧縮強度は平均 234kgf/cm<sup>2</sup>であり、最大は 414kgf/cm<sup>2</sup>、最小は 105kgf/cm<sup>2</sup>である。

圧縮強度（平均値）を岩相別に検討してみると以下のとおりである。

- ①泥岩 (MD) : 214kgf/cm<sup>2</sup>
- ②砂岩 (SS) : 208kgf/cm<sup>2</sup>
- ③凝灰岩 (TF) : 315kgf/cm<sup>2</sup>

各岩相の一軸圧縮強度分布は、精谷(1978)の工学的分類案では軟岩域に属する。

深度別の検討では、深さによる強度差は顕著とはいえないが、Ⅴ帯の凝灰岩が最も大きい値を示している。

また、圧裂引張強度については、平均が21.4kgf/cm<sup>2</sup>であり、最大は38.5kgf/cm<sup>2</sup>、最小は10.2kgf/cm<sup>2</sup>である。

圧裂引張強度（平均値）を岩相別に検討してみると下記のとおりである。

- ①泥岩 (MD) : 17.4kgf/cm<sup>2</sup>
- ②砂岩 (SS) : 17.6kgf/cm<sup>2</sup>
- ③凝灰岩 (TF) : 30.9kgf/cm<sup>2</sup>

これでは、各岩相ともに小さい値を示すものの、凝灰岩が泥岩、砂岩に比べて大きい値を示す。

### 8.7 熱特性試験

本試験の結果、熱伝導率については、平均  $3.807 \times 10^{-3}$  cal/cm·s·°Cであり、最高は  $4.507 \times 10^{-3}$  cal/cm·s·°C、最小  $3.150 \times 10^{-3}$  cal/cm·s·°Cである。

熱伝導率（平均値）を岩相別に検討してみると下記のとおりである。

- ①泥岩 (MD) :  $3.994 \times 10^{-3}$  cal/cm·s·°C
- ②砂岩 (SS) :  $3.678 \times 10^{-3}$  cal/cm·s·°C
- ③凝灰岩 (TF) :  $3.606 \times 10^{-3}$  cal/cm·s·°C

これから泥岩がやや大きい値をもつが、岩相によるおおきな差異はない。

比熱 (300 °C) については、平均が 0.268cal/g·°C であり、最高 0.295cal/g·°C、最低 0.259cal/g·°C である。

- ①泥岩 (MD) : 0.259 cal/g·°C
- ②砂岩 (SS) : 0.262 cal/g·°C
- ③凝灰岩 (TF) : 0.284 cal/g·°C

これによれば、各岩相による大きな差異はない。

線膨脹率 (300 °C) は、平均が  $-1.22 \times 10^{-6}$  /°Cであり、最高は  $7.57 \times 10^{-6}$  /°C、最低は  $-9.38 \times 10^{-5}$  /°Cである。

岩相別に線膨脹率 (300 °Cにおける平均値) をみると、下記のとおりである。

- ①泥岩 (MD) :  $-0.57 \times 10^{-6}$  /°C

②砂 岩 (SS) :  $7.57 \times 10^{-6}/\text{t}$

③凝灰岩 (TF) :  $-1.26 \times 10^{-6}/\text{t}$

これによれば、泥岩及び凝灰岩は負の値を示す。これは岩石に含まれる火山ガラスまたはガラスから変質した粘土鉱物の脱水による収縮であると考えられる（北野他、1988）。

#### 8.8 ボアホールスキヤナ観測

本観測の結果、割れ目の状態及び量は下記のとおりである。

- ①開口き裂総数 : 21本  
(合計幅 : 326 mm、平均開口幅 : 15.5mm)
- ②ヘアークラック総数 : 55本
- ③割れ目の頻度 : 0.28 本/m
- ④開口き裂の頻度 : 0.07 本/m
- ⑤鉱物脈総数 : 3本

の結果を得た。一方、シュミットネット下半球プロット図の不連続面の構造は、層理面が N75° E, 15° に高く集中する傾向がある。開口き裂及びヘアークラックは共に層理面沿いに発達し、割れ目の集中域は、層理面と同じ点に集中する。そのほか、ヘアークラックは70° ~86° の高角度のものが散在する。

#### 8.9 原位置透水試験

本試験結果による透水係数  $k$  は、T-2 (GL-213.10~214.70m) の横き裂のある区間で  $k = 10^{-6} \text{ cm/s}$  オーダを示し、他の地点ではき裂の有無にかかわらず  $k = 10^{-8} \text{ cm/s}$  オーダである。間隙水位分布は10.8~43.4 ( $\text{kg/cm}^2$ ) で、これより算出した平衡水位WLは、GL-23~-37 m程度であるが、T-5 区間はGL+0.54 mと地表より高い水位を示す。

表8. 1に各調査手法間の関連の強さを一覧表にまとめた。

表 8.1 調査結果関連表

調査項目	岩心試験				物理検層				物性試験				熱特性		BHS		透水係数							
	岩心地質	RQD等級	変質等級	X線分析	音波検層	密度検層	自然放射能検層	中性子検層	電気検層	温度検層	孔径検層	見掛け比重	有効孔隙率	超音波速度	一軸圧縮試験	圧裂引張試験	熱伝導率	比熱	線膨脹係数	割れ目	孔壁状態	走向傾斜	岩相変化	間隙水圧
岩心調査	○	△	○	○	○	△	△	○	-	△	○	○	○	○	△	△	○	△	○	-	○	△	○	○
物理検層					○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
物性試験								○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
熱特性																○	△	-	-	-	-	-	-	-
BHS																				○	○	○	○	○
透水試験																								○

凡例 ○：関連強い    ◯：中程度    △：弱い    -：無し（極めて弱い）  
 \*：本調査では孔内状況が悪く検層できず



## 9. 今後の調査についての提言

高レベル放射性廃棄物の地層処分システムに要求されるのは、放射性核種の隔離機能である。この問題へのアプローチとして、人工バリアによる密閉機能と天然バリア（地層）による核種の移行抑止機能があり、現段階での一般的評価では、最終的には最も健全なバリアとしては天然バリアの評価が高い。天然バリアの主要な機能は、核種の吸収・抑制であり、今後の調査を進めるに当たっては、核種の吸着という点に着目して、各種粘土鉱物の分布・量及び粘土鉱物への核種の吸収・抑制についての試験が重要である。

一方、広域地下水流動は、天然バリアとしての機能を損なう可能性が大きく、特に本調査位置の周辺には活断層の存在が指摘されており、この意味でも、地下水の流動の態形の把握が重要である。したがって、本孔（深地伏木谷 No1）の完成後は、原位置透水試験を実施し（年1回程度）、透水性の径時変化を把握するとともに、広域的な地下水流動調査が望ましい。

広域地下水流動調査に当たっては、

- ①地下水ポテンシャルと地形との関係及び広域地下水流動システムの概念モデル設定のための諸調査
- ②上記概念モデル設定の精度向上のための断層の確認調査と、その断層が地下水流動に及ぼす影響
- ③地質境界に代表されるような第2級の不連続面の存在と、それが地下水流動に及ぼす影響の程度

などに着目する必要がある。

その他、本孔には熱による負の膨潤性鉱物が確認されている。高レベル放射性廃棄物の地層処分システムでは、最終的には、核種に起因する熱が数百℃になると見積もられており、このための負の膨潤が天然バリアと人工バリアの物性に及ぼす影響が考えられる。この問題の検討のために、原位置及び試料スケールで熱とそれによる負の膨潤が、天然環境に与える「乱れ」の程度を検証するための調査システムの構築が望まれる。

## 参 考 文 献

- 地質調査所、5万分の1地質図幅『八尾』及び説明書、(1960).
- 千木良雅弘、泥岩の化学的風化—新潟県更部統灰瓜層—、地質学雑誌 Vol. 94, No.6, 1988.
- 林正男、大岳地熱地帯における熱水変質作用—とくにその変質の分類について：地熱、  
Vol. 9, No.1, p. 40-48, (1972).
- D. N. Hodges, J. H. Westsik Jr, L. A. Bray, Development Of Backfill for containment of  
High-Level nuclear Waste: Scientific Basis for Radioactive Waste Management-  
V, Elsevier Science Publishing Co., (1982).
- 藤本光一郎、部分的変質帯の幅を規制する要因：鉱山地質、Vol. 37, No.1, p. 45-54, (1987)
- 藤田和夫、尾池和夫、本州孤の活構造と自身活動：日本列島の形成、P. 94-101、岩波書店  
(1981).
- 萩野文丸、鎌田正裕、田附將人、亀裂内を流れる水の圧力損失：日本地熱学会、Vol. 13,  
No.4, p. 247-258, (1991).
- 古部 浩、放射性廃棄物地層処分実験の現況—スイス、スウェーデンを視察して—：応用地  
質Vol. 26, No. 2, 1985.
- 石原舜三、寺岡易司、寺島 滋、坂巻幸雄、四国西部の南北断面における古生代—新生代  
砂岩・頁岩の化学成分変化：地質調査所月報、Vol. 36, No.2, p. 85-102, (1985).
- 石井英二、土木地質調査における物理検層：応用地質、Vol. 19, No.4, p. 16-46, (1978).
- 精谷憲司、岩石の物理量の相互関係および物理量による岩石の工学的分類に関する一試案  
：応用地質、Vol. 19, No.4, p. 16-46, (1978).
- 片田正人、小野千恵子、本州地向斜の砂岩・泥岩の供給源について：地質学雑誌、Vol. 84  
No.3, p. 141-154, (1978).
- 活断層研究会、新編日本の活断層：東京大学出版会、東京、(1991).
- 河野芳輝、加藤純子、中部地方北部における重力異常と地形、活断層地震活動：月刊地球  
Vol. 5, No.7, 1983.

木村敏雄、断層とくに断層破砕帯の見方、考え方：応用地質、Vol. 22, No.1, p. 4-15, (1981).

北野晃一、新 光一、木下直人、奥野哲夫、高温下岩石の力学特性、熱特性および透水特性に関する文献調査：応用地質、Vol. 29, No.2, p. 38-47, (1988).

大島紀房、ボーリングコアによる割れ目の評価と岩盤分類：応用地質、Vol. 17, No.1, p. 37 (1988).

M. S. パターソン、(萩野正二、水田義明、佐野 修共訳)、実験岩石—脆性領域の岩石の変形及び破壊：1版、古今書院、東京、(1981).

竹村利夫、富山県の活断層：月刊地球、Vol. 5, No.7, 1983.

富山県、富山県地質図 1:100,000及び説明書、(1992)

歌田 実、鉱床母岩の変質作用：現代鉱床学の基礎、1版、東京大学出版会、東京、P. 145-159, (1977).

山口梅太郎、西松裕一、岩石力学入門、3版、東京大学出版会、東京、(1990).

吉田英一、大沢英昭、柳澤孝一、山口 稔、深部花崗岩中の割れ目解析—岐阜県東濃地域に分布する花崗岩類を例として—：応用地質、Vol. 30, No.3 p. 11-22, (1988).

添付資料

Abbreviation (省略形)

Ch : Chlorite 緑泥石

Fo : Foraminifera 有孔虫類

FPy : Framboidal Pyrite フランボイダル黄鉄鉱

Ca : Calcareous micronodule 石灰質微小ノジュール

Gc : Glauconite 海緑石

Gl : Glass ガラス

Hb : Holnblende 角閃石

Hb → Ch : Holnblende → Chlorite化

Or : Organic substance 有機物

Pl : Plagioclase 斜長石

Pm : Pumice 軽石

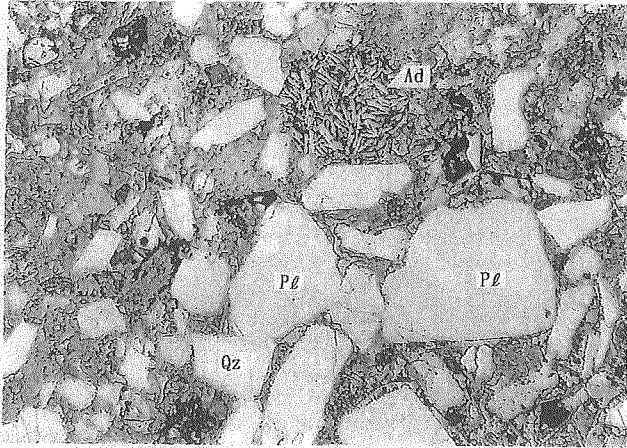
Py : Pyrite 黄鉄鉱

Qz : Quatze 石英

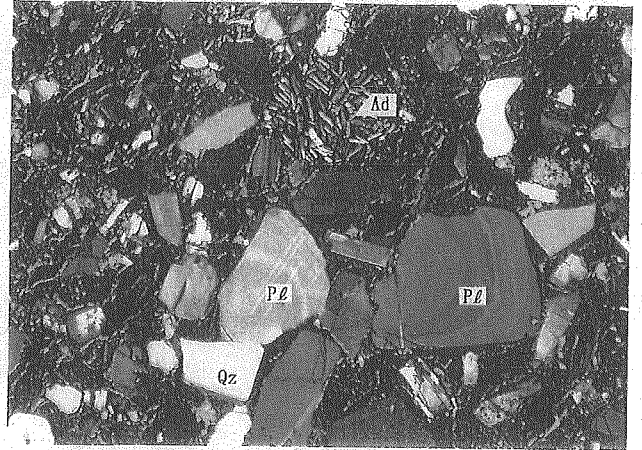
Tf : Tuff 凝灰岩

Ad : Andesite 安山岩

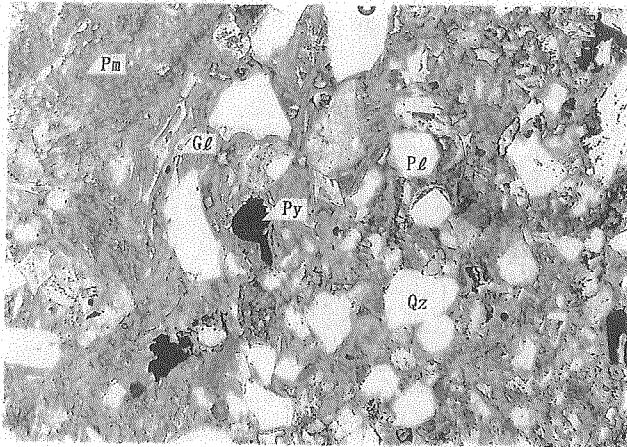
Dc : Dacite デイサイト



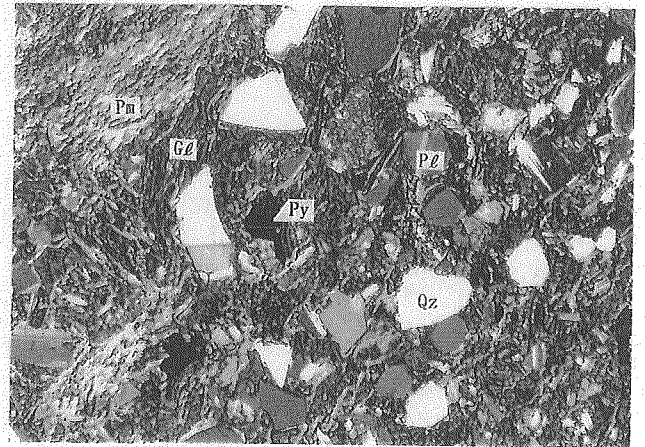
試料番号：M-1  
 深度(m)：73.10  
 岩石名：フェルシックガラス質  
 結晶凝灰岩  
 倍率：×12.5



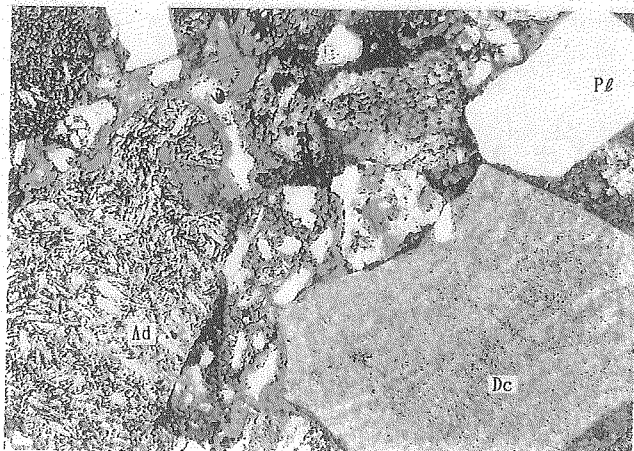
クロスニコル



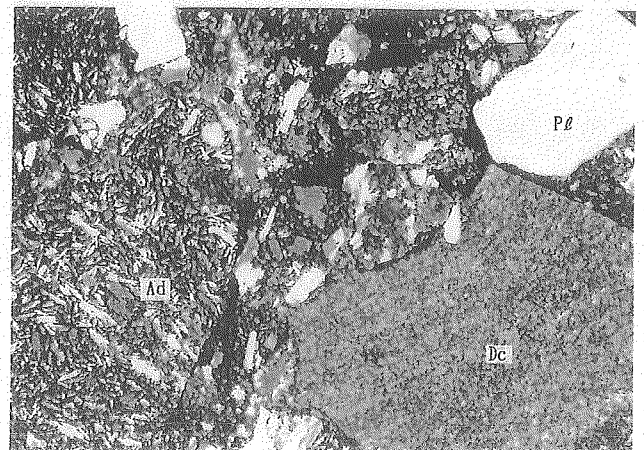
試料番号：M-1  
 深度(m)：73.10  
 岩石名：フェルシックガラス質  
 結晶凝灰岩  
 倍率：×12.5



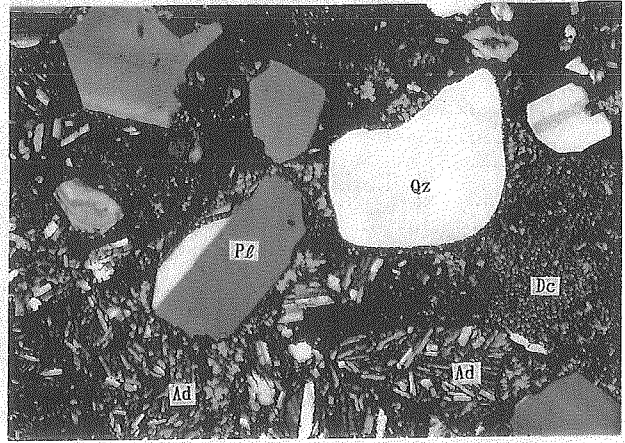
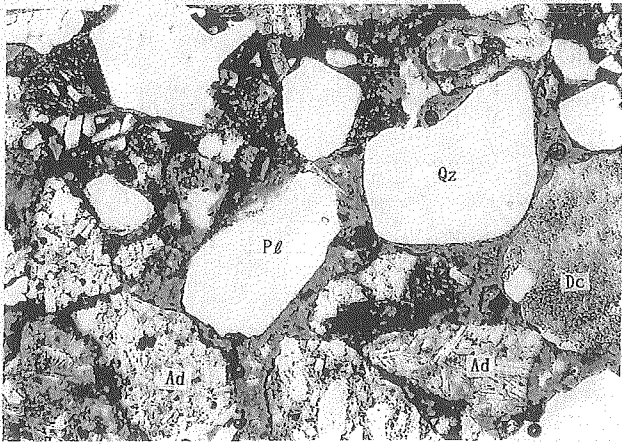
クロスニコル



試料番号：M-2  
 深度(m)：130.80  
 岩石名：超粗粒砂岩  
 倍率：×12.5



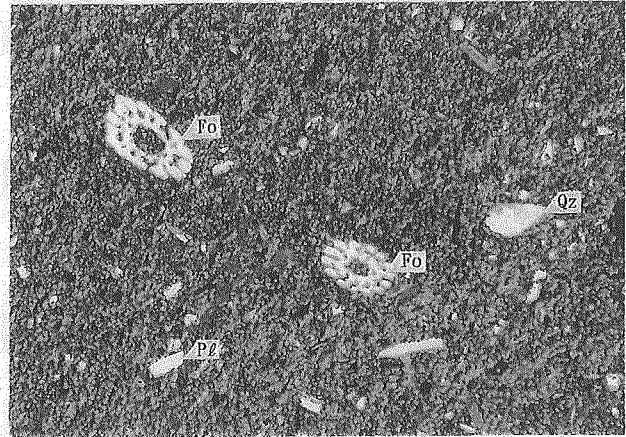
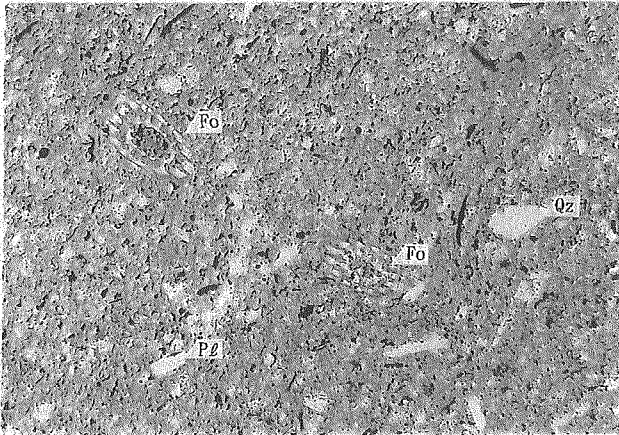
クロスニコル



試料番号：M-2  
 深度(m)：130.80  
 岩石名：超粗粒砂岩  
 倍率：×12.5

オープンニコル

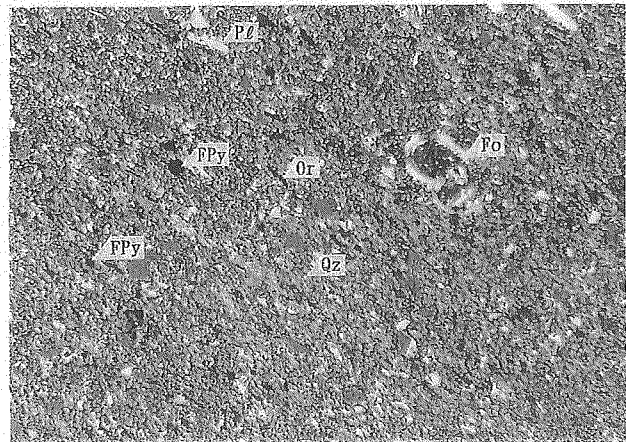
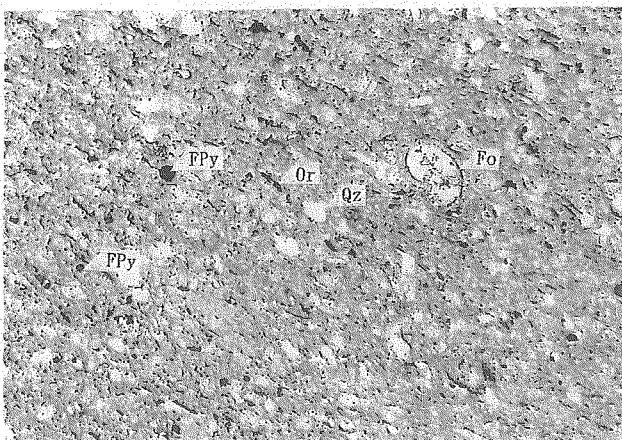
クロスニコル



試料番号：M-3  
 深度(m)：156.70  
 岩石名：シルト岩～砂岩  
 倍率：×25

オープンニコル

クロスニコル

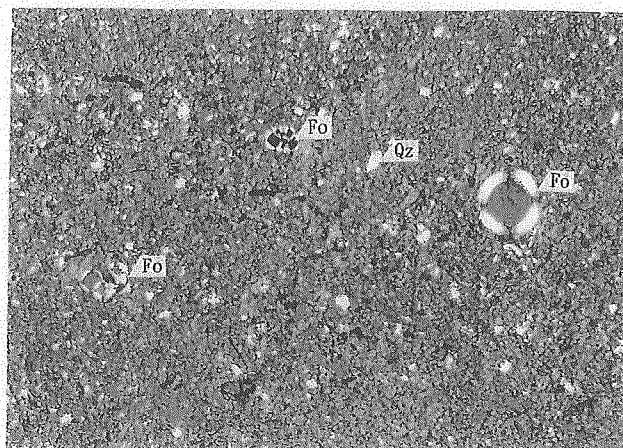
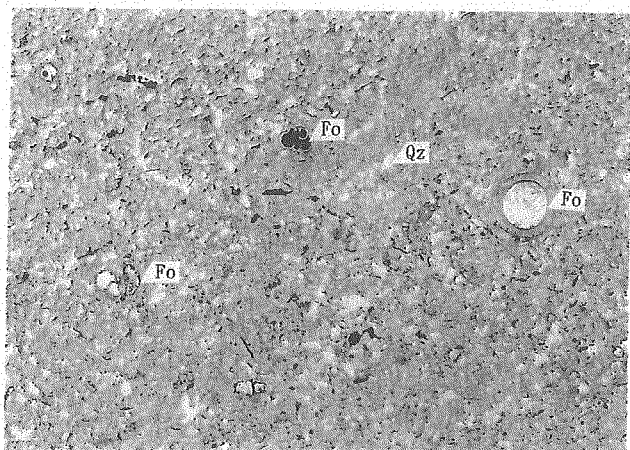


試料番号：M-4  
 深度(m)：223.70  
 岩石名：シルト岩～砂岩  
 倍率：×25

オープンニコル

クロスニコル

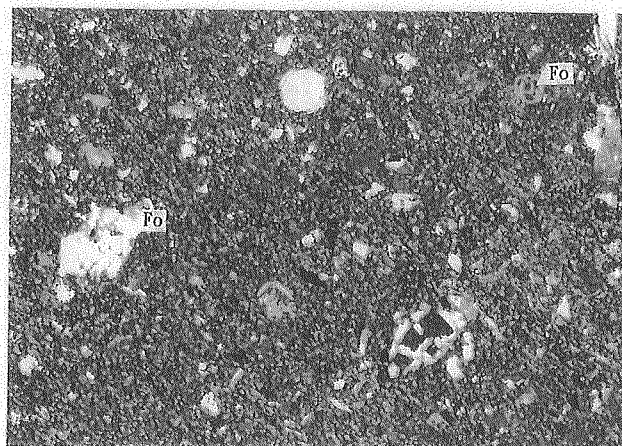
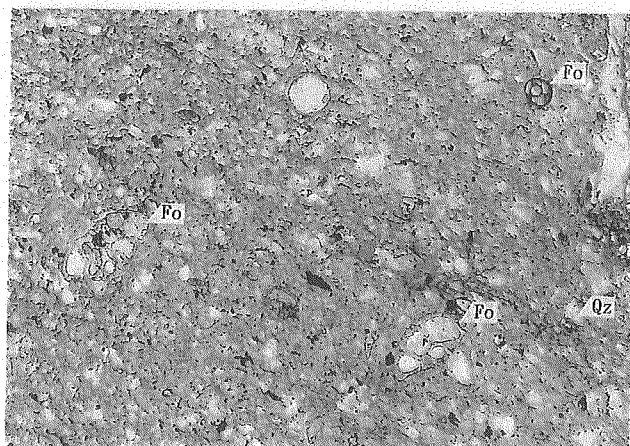




試料番号：M-5  
 深度(m)：281.30  
 岩石名：シルト岩～砂岩  
 倍率：×25

オープンニコル

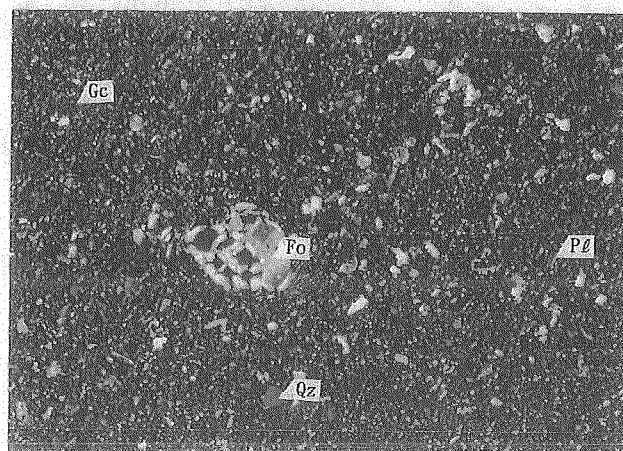
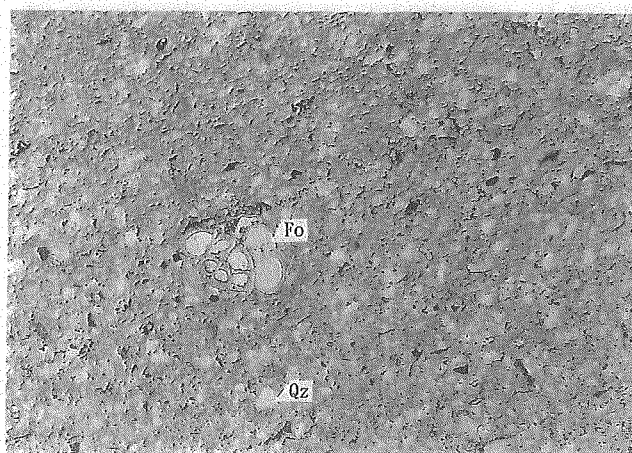
クロスニコル



試料番号：M-6  
 深度(m)：310.40  
 岩石名：シルト岩～砂岩  
 倍率：×25

オープンニコル

クロスニコル

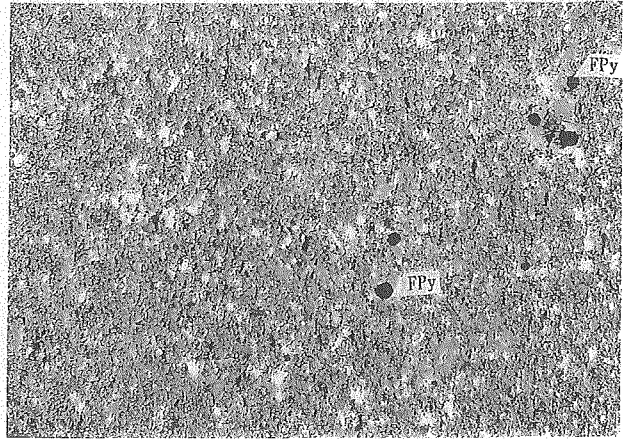
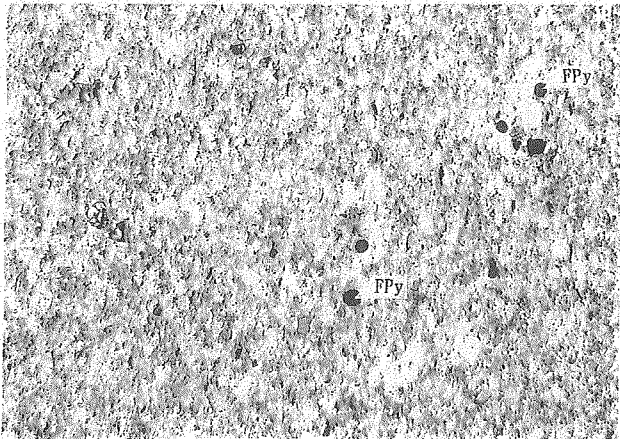


試料番号：M-6  
 深度(m)：310.40  
 岩石名：シルト岩～砂岩  
 倍率：×12.5

オープンニコル

クロスニコル

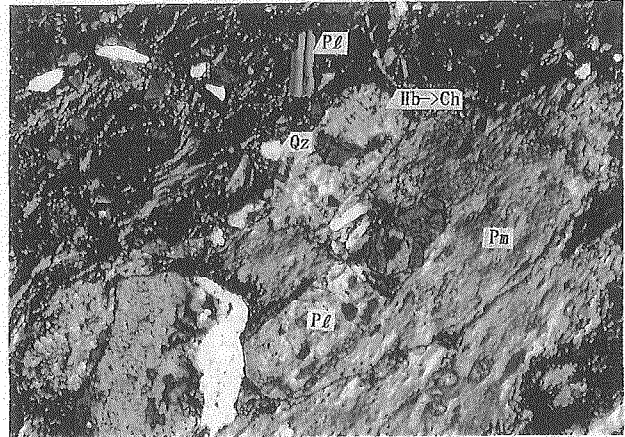
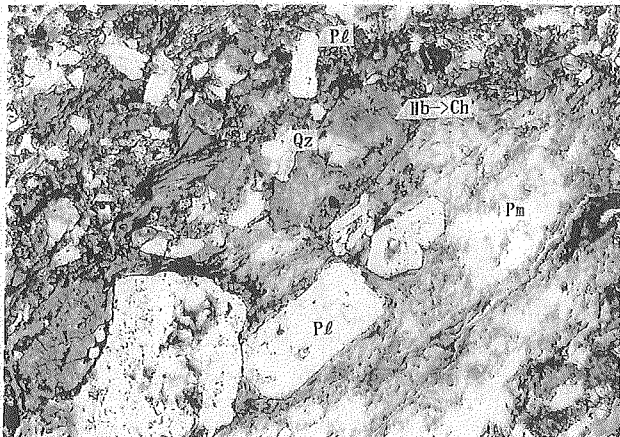




試料番号：M-7  
 深度(m)：355.50  
 岩石名：シルト岩～砂岩  
 倍率：×12.5

オープンニコル

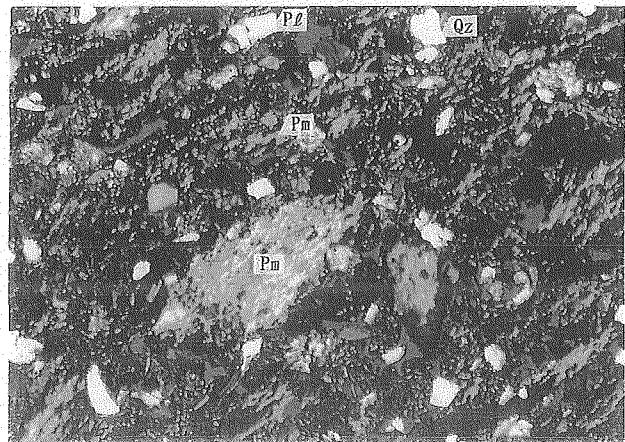
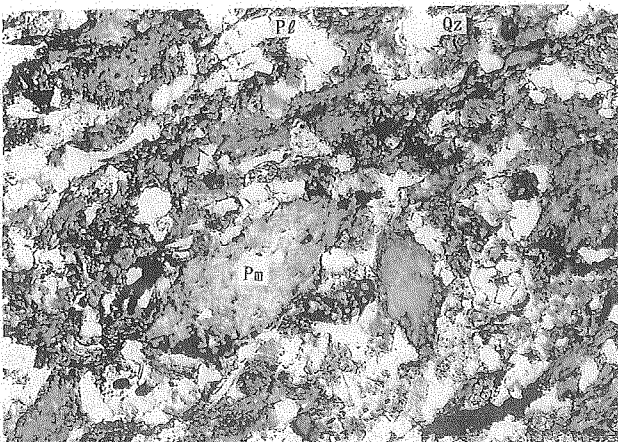
クロスニコル



試料番号：M-8  
 深度(m)：399.70  
 岩石名：フェルシク質  
 軽石凝灰岩  
 倍率：×12.5

オープンニコル

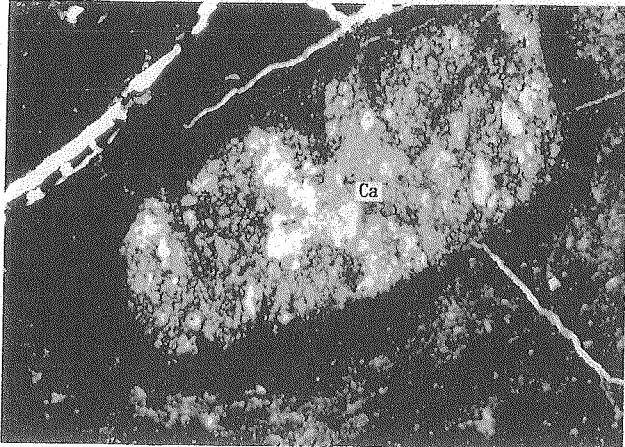
クロスニコル



試料番号：M-8  
 深度(m)：399.70  
 岩石名：フェルシク質  
 軽石凝灰岩  
 倍率：×12.5

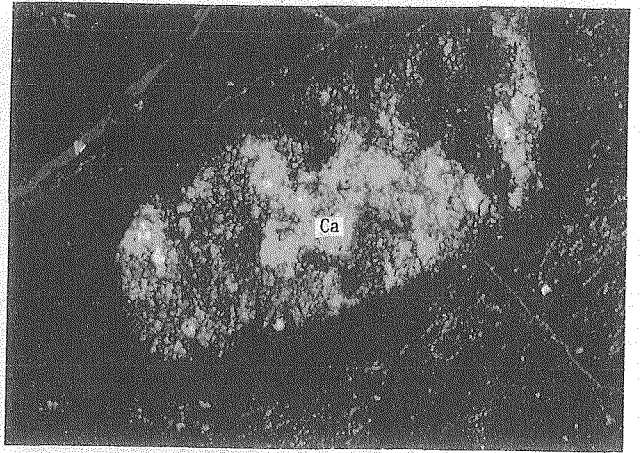
オープンニコル

クロスニコル

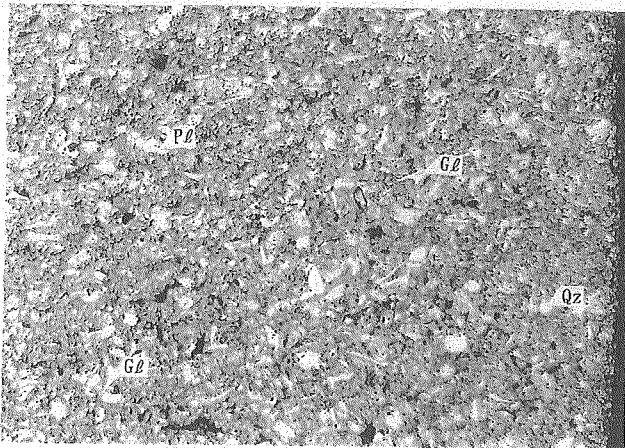


オープンニコル

試料番号：M-9  
深度(m)：406.90  
岩石名：シルト岩～砂岩  
倍率：×12.5

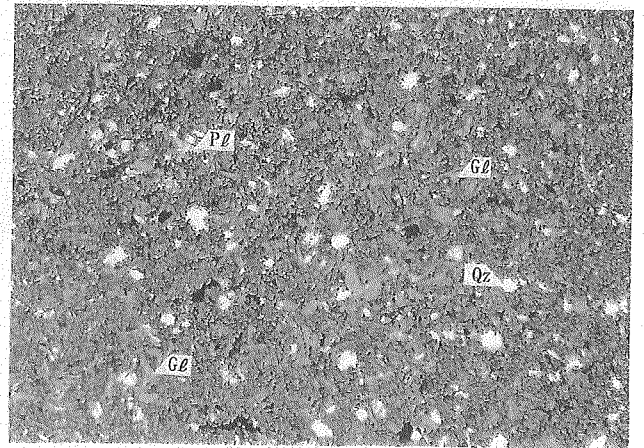


クロスニコル

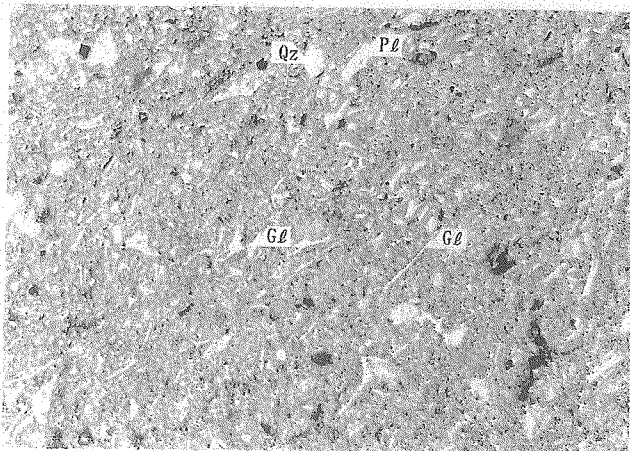


オープンニコル

試料番号：M-10  
深度(m)：456.10  
岩石名：ガラス質凝灰岩  
倍率：×25

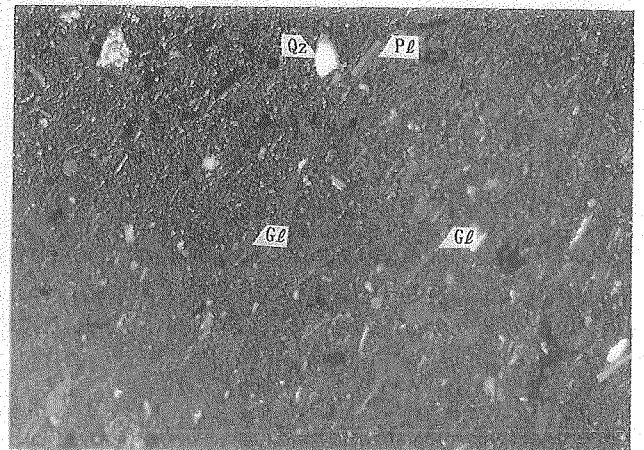


クロスニコル



オープンニコル

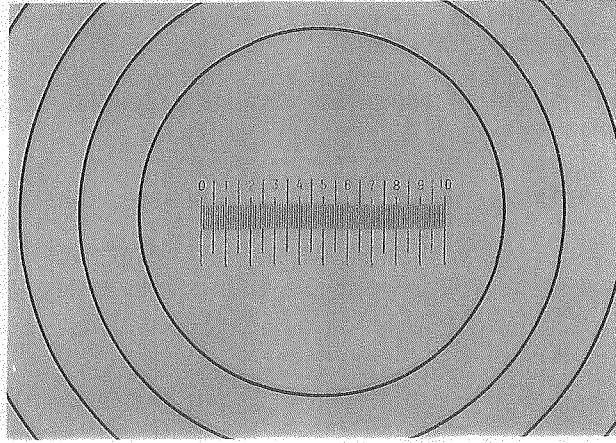
試料番号：M-10  
深度(m)：456.10  
岩石名：ガラス質凝灰岩  
倍率：×50



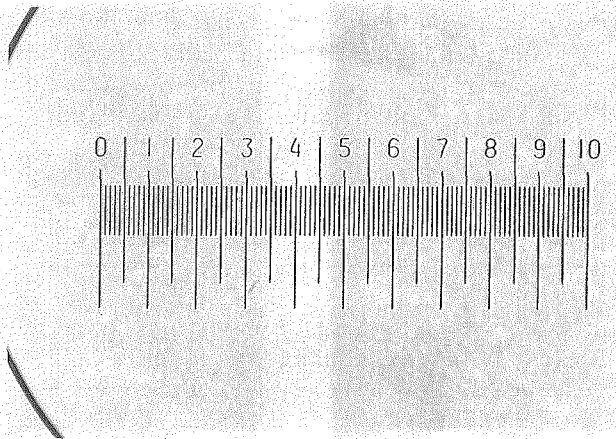
クロスニコル

2162

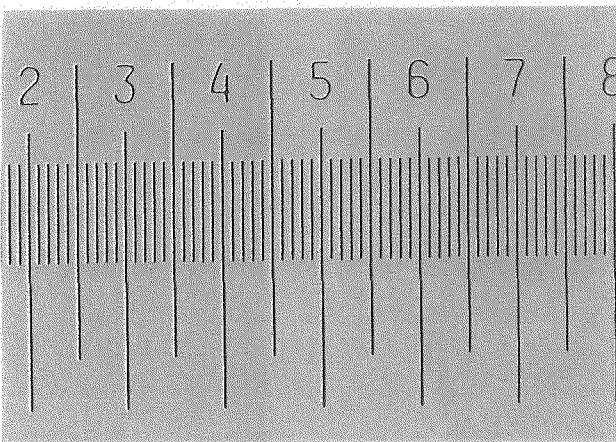




倍率:  $\times 12.5$



倍率:  $\times 25$



倍率:  $\times 50$

# 地質及び割れ目柱状図

No. 1

試錐 No. 伏木谷 1号

掘削孔径 98.00 mm

最終深度 458.00 m

調査者 同和工営株式会社

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	割れ目の連続性	割れ目パターン	表面構造	スリッケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)	角 度 (°)		記 載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩 盤 等 級	R. Q. D. (%)		
									1	2	3	4	5			A	B							A	B
0																									
1																									
2																									
3																									
4																									
5			5.08	CF	C	P0	A																		
5.10			CF	C	P0	A																			
5.15			CF	C	P0	A																			
5.25			CF	C	P3	A																			
5.30			CF	C	P0	A																			
5.30-5.50	DF																								
5.65	CF	C	P0	A																					
5.75	CF	C	P0	A																					
5.75-6.00	CF	C	P0	A																					

← 割れ目表面に酸化鉄付着 →

0-5 m

Cm 0

# 地質及び割れ目柱状図

No. 2

試錐 No. 伏木谷 1号

掘削孔径 98.00 mm

最終深度 458.00 m

調査者 同和工管株式会社

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	連続性	割れ目パターン	表面構造	スリツケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)	角 度 (°)		記 載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	R. Q. D. (%)			
									1	2	3	4	5			A	B						A	B	
6			6.10	CF C	C	S0 A	A					LB	0.5	90		5.05-6.18 泥質砂岩、暗灰色、極細粒。									
			6.10-6.50	CF C	C	P0 A	A						LB	0.3	10		6.18-6.50 砂岩/泥岩互層砂岩優勢で層理擾乱。								
			6.30	CF C	C	P0 A	A						LB	0.5	90		6.50-7.00 砂岩、中～粗粒で級化2～3mm単位で互層をなす。								
			6.40-6.50	DF													7.00-7.50 砂岩、粗粒、褐色泥岩クラストを含みソート良好								
7					6.50-6.90	CF C	C	P0 A	A				LB	0.5	40		7.50-9.3 砂岩、極細粒、褐色								
					7.05-7.10	CF C	C	P0 A	A				LB	0.3	45		7.72 砂岩、極粗粒、褐色平行葉理持ち泥岩クラスト含む。								
					7.05-7.60	CF C	C	P0 A	A				LB	0.8	10		7.93-8.26 泥岩、粗～中粒、灰色								
					7.20-7.60	DF											8.26-3.1 凝灰岩、極細粒、灰色								
					7.60-7.70	CF C	C	P0 A	A				BO	0.5	80		8.31-9.79 泥岩、粗～中粒、灰色クラストに沿って褐色の風化。77%クラスト散在。								
					7.80	CF C	C	P0 A	A				BO	0.3	85		9.26-30 1/3状極粗粒砂岩を挟む。								
					7.80-8.05	CF C	C	P0 A	A				BO	1.0	10		9.45-50 中～細粒凝灰岩、緑色。斜交葉理発達								
8					8.14-8.17	CF C	C	S0 A	A				BO	0.5	85		9.79-8.84 細粒砂岩、灰褐色。斜交葉理発達								
			8.23-8.25	CF C	C	P3 A	A				BO	1.0	85		9.89-10.55 細粒砂岩、灰色。										
			8.37-8.38	CF C	C	P3 A	A				BO	0.5	80		10.40-50 凝灰質砂岩、上位層に漸移。										
			8.47	CF C	C	P0 A	A				BO	0.3	10		10.55-11.20 凝灰質泥岩、灰褐色。級化層理を成し上から下に細～中粒に変化。シルト岩や砂岩の岩片を含む。下位20cmは完全に粘土化している。										
			8.52	CF C	C	P0 A	A				BO	0.3	80		11.20-12.00 細～中粒凝灰質砂岩、暗緑色。全般に細粒/中粒の互層を成し、平行葉理を持つ。11.50付近の粗粒砂岩部のみ斜交葉理を持つ。										
			8.64	CF C	C	P0 A	A				BO	0.5	80												
			8.70	CF C	C	P3 A	A				BO	2.0	80												
			8.80	CF C	C	P3 A	A				BO	0.5	80												
			8.86-8.92	CF C	C	P3 A	A				BO	0.3	75												
			9.00	CF C	C	P0 A	A				BO	2.0	45												
			9.04	CF C	C	P0 A	A				BO	2.0	85												
			9.09-9.14	CF C	C	I1 A	A				BO	0.5	85												
			9.21	CF C	C	P0 A	A				BO	1.5	85												
			9.30	CF C	C	P0 A	A				BO	1.0	85												
			9.33-9.55	CF C	C	P0 A	A				BO	5.0	10												
			9.60	CF C	C	P0 A	A				BO	0.5	90												
			9.66-9.75	CF C	C	P0 A	A				BO	0.5	10												
9			9.83-10.30	CF C	C	P0 A	A				BO	0.5	5												
			10.42-.60	CF C	C	P0 A	A				BO	0.3	10												
			10.63	CF C	C	P0 B	B				BO	0.3	80												
			10.79-.97	CF C	C	P0 A	A				BO	0.3	20												
10			11.06-.24	CF C	C	P0 A	A				BO	0.3	20												
			11.90-12.10	CF C	C	P0 A	A				BO	0.3	10												
11																									
12																									

12.10









# 地質及び割れ目柱状図

No. 6

試錐 No. 伏木谷 1号

掘削孔径 98.00 mm

最終深度 458.00 m

調査者 同和工管株式会社

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	連続性	割れ目パターン	表面構造	スリツケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)	角 度 (°)		記 載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩 盤 等 級	R. Q. D. (%)		
									1	2	3	4	5			A	B								
30																		泥岩、中粒、黒色、砂質凝灰岩 ソズ*状む。							
31																		30.40-60 砂質凝灰岩、暗緑色、 中~細粒。平行葉理発達し級化或 層。上位層に漸移、下位層を削り 込む。 30.60-31.70 泥岩、粗粒、黒色 ほぼ無層理。							
32			32.20 - 35.80	DF														30.80-31.70 著しく破碎し、 弱い粘土化(φ< 20mm)			31.7 ← → 32.2				
33																		32.00-33.00 砂岩、極細粒、灰~ 暗灰色。							
34																		33.00-34.00 泥岩、粗粒、暗灰 色、ほぼ無層理。							
35																		34.00-35.00 凝灰質砂岩、中~細 粒、灰色。生痕化石を多数含む							
36			35.20-.90	CF	D	P3	B											35.00-36.00 泥岩、粗粒、暗灰 色、ほぼ無層理。							



# 地質及び割れ目柱状図

No. 8

試錐 No. 伏木谷 1号 掘削孔径 98.00 mm 最終深度 458.00 m 調査者 同和工管株式会社

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	連続性	割れ目パターン	表面構造	スリツケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)	角 度 (°)	記 載		サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩 盤 等 級	R. Q. D. (%)		
									充填鉱物		割れ目幅 (mm)		割れ目				割れ目	岩 相							
									1	2	3	4	5	A	B										
42			41.40 - 42.60	DF															42.6						
43																									
44																									
45			44.60 - 45.60	DF															44.6						
46																			45.7						
47			46.60 - 47.70	DF															46.6						
48			47.25 - 70	CF C															47.7						

44.60-45.00 砂質凝灰岩、暗緑色、中～粗粒、ほぼ無層理。植物化石含む。

45.00-.35 凝灰質砂岩、淡緑～暗灰色、中～細粒、平行葉理持つ。炭化木片に富む。下位層を削り込み。

45.35-.70 泥岩、黒～暗灰色、粗～中粒。

45.60-.75 著しく破碎粘土化( $\phi < 5mm$ )

46.70-47.70 泥岩、細～中粒、黒～暗灰色。部分的に細粒砂岩薄層又はシルト岩レンズ( $\phi < 20mm$ )を挟む。

機械割れ目併う



# 地質及び割れ目柱状図

No. 10

試錐 No. 伏木谷1号

掘削孔径 98.00 mm

最終深度 458.00 m

調査者 同和工営株式会社

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	割れ目の連続性	割れ目パターン	スリッケンサイド	割れ目					割れ目幅 (mm)	変質度 (色)	変質幅 (cm)	角 度 (°)		記 載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩 盤 等 級	R. Q. D. (%)		
								1	2	3	4	5				A	B							A	B
54																		54.00-43 凝灰質砂岩、級化成層を成し、上部から下部へ極細粒～中粒に変化。54.10付近に中粒砂岩が挟む。下位層を削り込む。							
55			54.90-.98	CF	C	I3	E					80.			80			54.43-55.25 泥岩、暗灰色、細～中粒で級化成層を3ユニット繰り返す。最下位の55.20-.25は粗～細粒、淡緑色の凝灰質砂岩で、平行葉理があり、下位層を削り込む。							
56			55.60-.75 55.85-.95 55.90 -56.20	CF CF DF	C C D	P0 P0	A B	CA				0.5 0.1			20 15		55.25-.55 泥岩～凝灰質砂岩の級化成層。細～粗粒、平行葉理持つ。								
57			56.20-.25 56.73-.90 56.90 -57.25	CF CF DF	C D D	I3 P3	E A	CY				50. 0.1 20.			90 5		56.30-56.40 粗粒部分 56.55-56.62 凝灰質砂岩、粗粒～中粒、暗緑～淡灰色、上方へ級化し、下位層を削り込む。 56.75-56.80 同上。炭質物に富む薄層、平行葉理が認められる。 56.90-56.92 同上、粗粒。								
58			57.00-.12 57.35-.40	CF CF	D D	P3 P4	A B					0.1 0.5			5 5		57.20-57.25 凝灰質砂岩 57.40付近 植物片 57.40-57.86 凝灰質砂岩、粗粒～細粒、淡緑色、上位へ級化、下位を削り込む。 57.50-57.86 粗粒～中粒、塊状。 57.86-58.20 泥岩、中粒～粗粒、暗緑色。 58.10 淡褐色のシルトボール 58.20-58.40 凝灰質砂岩、粗粒～細粒、炭質物に富む層の平行葉理、上方へ級化、下位の泥岩層を削り込み、境界部には優白質層が挟まれる。								
59			59.35-.38 59.50-.80	CF DF	C D	I3	E	CY				30.			90		58.60-58.80 同上、泥岩との境界には優白質層が挟まれる。 58.80-58.95 砂岩/泥岩互層、中粒砂質部優勢、平行葉理。 59.01-59.40 砂質凝灰岩、中粒～細粒、緑色、平行葉理、級化成層下位層を削り込む。								
60																	59.90付近 最大径4cmのシルトボール、褐色。								

# 地質及び割れ目柱状図

No. 11

試錐 No. 伏木谷 1号

掘削孔径 98.00 mm

最終深度 458.00 m

調査者 同和工営株式会社

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	割れ目の連続性	割れ目パターン	表面構造	スリツケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)	角 度 (°)		記 載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	R. Q. D. (%)			
									1	2	3	4	5			A	B								
60																		60.00-60.90 泥岩、中粒～粗粒、暗緑色。 60.10付近 中粒～粗粒砂岩をパッチ状に含む。 60.20 貝化石 60.60-60.65 中粒～粗粒砂岩、灰色、平行葉理、上方へ級化し、上位層と漸移。下位層との境界はギヤ明瞭。 60.90付近 生痕化石、下位層に漸移							
61			60.90-.92	CF	C	I3	E									80	80	61.80-61.85 擾乱。 61.90付近 やや粗粒。							
62																		62.00-62.10 斜交葉理。 62.10-62.35 中粒～粗粒アイサイト質砂岩、暗緑～赤褐色、長石片を多く含む。上方へ級化し、上位層と漸移、上位層を削り込む。 62.35-62.95 中粒～細粒泥岩、平行葉理、赤褐色。 62.80、62.90に凝灰岩の挟み。 62.95-63.02 細粒～極粗粒凝灰岩、緑色、上位へ級化、上位層や下位層との境界は明瞭。							
63			63.05-.25	CF	D	P3	A									5	5	63.02-64.12 中粒～粗粒泥岩、赤褐色、平行葉理。 63.28、50、65、75、97に1-2cmの中粒凝灰岩を挟む。							
64			63.35-.64.05	CF	D	P0	A											64.12-64.15 中粒凝灰質砂岩、暗緑色、上位層や下位層との境界は不明瞭。 64.15-65.00 中粒～粗粒泥岩、赤褐色～暗緑色。 64.25、60に1-2cmの砂質凝灰岩を挟む。 64.60付近 擾乱。							
65			64.80-.66.75	CF	C	P3	A											65.00-65.05 細粒凝灰岩、緑色、塊状、下位明瞭。 65.05-66.00 中粒泥岩、赤褐色、平行葉理。 65.40、55に1-2cmの細粒凝灰岩を挟む。上位層や下位層との境界は不明瞭。 65.70付近 中粒砂岩。							
66																		65.70付近 中粒砂岩。							



# 地質及び割れ目柱状図

No. 13

試錐 No. 伏木谷 1号

掘削孔径 98.00 mm

最終深度 458.00 m

調査者 同和工営株式会社

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	連続性	割れ目パターン	表面構造	スリッケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)	角 度 (°)	記 載	R. Q. D. (%)	
									割れ目幅 (mm)		割れ目		充填鉱物						割れ目
									1	2	3	4	5	A	B				
72			72.35																
73																			
74																			
75																			
76																			
77																			
78																			

← D2-1, D1-1, X-1, P1-1, P2-1, W-1, T-1, M-1 →













# 地質及び割れ目柱状図

No. 19

試錐 No. 伏木谷 1号

掘削孔径 98.00 mm

最終深度 458.00 m

調査者 同和工管株式会社

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	割れ目の連続性	割れ目パターン	スリッケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)	角 度 (°)		記 載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩 盤 等 級	R. Q. D. (%)
								1	2	3	4	5			A	B						
108			108.18-.50	CF D	P4 A						CA	0.5			10		108.00-.85 凝灰岩、粗～細粒、平行葉理発達。級化成層。下位層を削り込む。 108.45付近 長石に富む。 108.45-.85 鉱石に富む。				Cm 80	
109																	108.85-109.00 泥岩。 109.00-109.60 中粒～細粒泥岩、灰色～暗緑色、やや塊状。シルト状。散在。					
110			109.60-80	CF C	P2 B							0.1		25		109.80付近シルト状。 109.95-110.00 中粒～粗粒凝灰岩上位層に漸移、擾乱。 110.00-.70 粗粒～中粒泥岩、塊状。 110.00-.40 DF					Cm 20	
111												0.5		25		110.55 凝灰岩薄層。 110.70-.80 中粒～細粒凝灰質砂岩、灰色～淡緑色、上方へ級化し上位層に漸移、下位層との境界はやや明瞭。 110.80-112.00 泥岩。 111.10付近凝灰岩薄層。 111.20 砂質薄層、級化成層。下位層を削り込む。					Cm 50	
112			111.38-.53	CF D	P4 A						CA	0.3		0		111.60、75 中粒～細粒砂岩層、灰色～淡緑色、各々の下部に長石に富む層 (5mm>)、上方へ級化し漸移、下位層を削り込む。 111.90 生痕化石、φ=2~5mm。 112.00-.20 中粒凝灰質砂岩、灰色、斜交葉理。 112.20-113.28 中粒～細粒泥岩、灰色、やや塊状、生痕化石多し。					Cm 70	
113			112.55-.88	CF D	P4 A						CA	0.5		0		112.70 擾乱。					Cm 50	
114			113.38-.90	CF D	P3 A						CA	0.5		3		113.19 シルト状。 113.20、24 砂岩シルト状薄層。 113.28-113.37 中粒凝灰質砂岩、上下削り込み、泥岩を取り込む。 113.55 シルト状。					Cm 40	







# 地質及び割れ目柱状図

No. 22

試錐 No. 伏木谷1号

掘削孔径 98.00 mm

最終深度 458.00 m

調査者 同和工営株式会社

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	連続性	割れ目パターン	表面構造	スリッケンサイド	割れ目		変質度		変質幅 (cm)	角 度 (°)		記 載		サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	R. Q. D. (%)	
									充填鉱物	幅 (mm)	(色)	A B		A B								
126									1	2	3	4	5	A	B	割れ目	岩 相	← M-2, W-2, D2-2, D1-2, P1-2, P2-2, T-2, X-2 →	Cm 90	Cm 90	R. Q. D. (%)	
127									126.00-127.00 粗粒～極粗粒凝灰岩。緑色、塊状、ガラス、軽石及び本質岩片に富む。	127.00-128.30 元*リッ7。下部に層理方向に伸びたガラスを多く含む石英、長石成分濃集部とガラス濃集部の30～50mm程度の互層。	127.52、72 炭化木片。	元*リッ7の中で最も粗粒部分。淘汰は普通、ガラスは殆ど偏平していない。	128.10 φ = 10mmのリス*状泥岩包含。	128.30-132.00 極粗粒凝灰岩、塊状、自形の石英 (1mm>) を多量に含む。上位層との境界は不明瞭。	128.50 DE -130.40	130	131					132



# 地質及び割れ目柱状図

No. 24

試錐 No. 伏木谷 1号

掘削孔径 98.00 mm

最終深度 458.00 m

調査者 同和工営株式会社

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	割れ目の連続性	割れ目パターン	表面構造	スリッケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)	角 度 (°)		記 載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩盤等級	R. Q. D. (%)
									1	2	3	4	5			A	B						
138																		138.00-139.50 凝灰質泥岩、中～粗粒、暗灰色。 138.10、23、30 砂質部、擾乱。				Cm 80	
139																		138.60-65 中粒砂岩、灰色～淡緑色、上位層を巻き込み、下位層との境界面は凹凸。平行葉理発達。 138.65 リップ葉理					
140																		138.90-95 同上。					
141																		139.02、30 砂質部、擾乱。					
142																		138.85-140.00 細粒凝灰岩、暗緑色、塊状。φ = 20-40mmのカガ散在	139.50 ← → 139.85				
143																		140.00-141.50 凝灰質泥岩/凝灰質砂岩互層、泥質部優勢。擾乱。いずれも淡緑灰色、中～細粒。					
144																		141.50-143.15 細粒凝灰岩、暗緑色、塊状、砂質あるいは泥質部との墨流し状互層。					
143																		143.15-145.00 凝灰質泥岩/凝灰岩互層、中粒～細粒暗灰色泥質部優勢、緑色凝灰質部は厚さ10～20mmで各単層の境界は不明瞭。					



# 地質及び割れ目柱状図

No. 26

試錐 No. 伏木谷 1号 掘削孔径 98.00 mm 最終深度 458.00 m 調査者 同和工営株式会社

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	割れ目の連続性	割れ目パターン	表面構造	スリッケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)	角 度 (°)		記 載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩 盤 等 級	R. Q. D. (%)
									充填鉱物							割れ目幅 (mm)	A						
					1	2	3	4	5														
150																		150.00-151.25 凝灰質泥岩/砂質凝灰岩互層、粗粒～中粒淡緑色泥質部優勢。 150.30 中粒長石質砂岩薄層挟み。白色、上下境界明瞭。					
151																		151.25-.35 中粒～細粒凝灰質砂岩、淡緑色、逆級化成層。上位層との境界明瞭、下位層とは漸移。 151.35-152.15 凝灰質泥岩/凝灰質砂岩互層、極粗粒～中粒泥質部優勢。塊状。 151.60、.85 炭化木片含む。					
152			152.02-15	CF D P4 A	CA					0.7		10					152.15-27 中粒凝灰質砂岩、淡緑色、角状凝灰質泥岩を含む。炭化木片濃集。上位層や下位層との境界部は擾乱。 152.27-.65 凝灰質泥岩。 152.55 粗粒～中粒凝灰質砂岩薄層。上位層や下位層との境界部は擾乱。 152.65-92 粗粒～細粒凝灰質砂岩、淡緑色～暗緑色、上下部級化成層。中部逆級化成層。上位層との境界部は凹凸、下位層との境界部は明瞭。 152.92-153.00 凝灰質泥岩。 153.00-08 中粒砂質凝灰岩、緑色、角状凝灰質泥岩を含む。 153.08-.20 凝灰質泥岩、塊状。 153.20-.38 中粒凝灰岩、角状凝灰質泥岩を含む。4mm>の角状、軽石少量含有。下位層を削り込む。 153.38-154.05 凝灰質泥岩。著しく擾乱。153.66 炭化木片。 153.70 凝灰質層。 153.80 中粒砂質層。						
153																		154.05-20 粗粒～中粒凝灰質砂岩。カマスを多く含む。 154.20-155.33 凝灰質砂岩/凝灰質泥岩互層、淡緑色、やや塊状。中粒砂質部優勢。 154.46 炭化木片多し。					
154																		154.90 長石成分に富む砂岩層。 154.97 炭化木片多し。 155.33-156.33 凝灰質泥岩。					
155			154.75-87	CF D P4 A						0.1		25											
156																							

154.55 → ← 154.65

▲ D1-3, D2-3 ▼

Cm 95

Cm 30

Cm 95

Cm 90

Cm 60

Cm 95





# 地質及び割れ目柱状図

No. 29

試錐 No. 伏木谷 1号

掘削孔径 98.00 mm 最終深度 458.00 m

調査者 同和工営株式会社

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	連続性	割れ目パターン	表面構造	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)	角 度 (°)		記 載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩 盤 等 級	R. Q. D. (%)
								1	2	3	4	5			A	B						
168			168.02-26	CF D	D	P3	A	CA			0.3	20	15				vein				Cm 50	
169			168.71 -169.07	CF D	D	P4	A			0.1		3					機械割れの可能性あり					
170			170.40-50	CF D	D	P4	A	CA		0.5		25					vein				Cm 85	
171			170.90-91	CF C	C	P0	A	CY		2.0		80										
171			171.00-77	CF C	C	P3	A			0.1	200	25										Cm 10
172			172.00-10 172.13-18	CF D	D	P4	A			0.1		25										
172			172.24-43	CF D	D	P4	A			0.1		25										Cm 25
173			172.87 -173.48	CF D	D	P3	A	CA		1.0	70	10					vein					
174																						Cm 50

168.00-85 細～中粒凝灰質泥岩、淡緑色。長石成分に富む砂岩薄層を各所に挟有。65付近炭化植物片濃集層 (w=2-3cm)、74付近に貝化石。  
 168.84-169.03 中～極細粒凝灰質砂岩、淡緑色。168.84-85区間は斜交葉理示し、以下は層理不明瞭で綫化。上位層や下位層との境界は不明瞭。  
 169.03-30 中～細粒凝灰質砂岩、最下層理不明瞭で泥質層と擾乱。最下層は長石成分に富む砂層で炭化木片多し。  
 169.30-170.35 粗～極最粒砂質凝灰岩、淡緑色。綫化成層を示し、細粒部は墨流し状に著しく擾乱。60-70区間が「パイ」。  
 170.35-45 中～粗粒凝灰質砂岩、平行葉理あり。35-40区間炭化木片多し。上位層との境界明瞭、下位層を削り込む。  
 170.45-90 中～細粒凝灰質泥岩、暗灰色、やや塊状。2箇所に砂質薄層挟有。  
 170.90-171.10 中～粗粒砂質凝灰岩、緑灰色、泥岩及び長石質薄層挟有。上位層とは漸移、下位層を削り込む。  
 171.10-75 中～細粒凝灰質泥岩、暗緑～暗灰色、塊状。60付近炭化植物片含有。凝灰質薄層挟有。  
 171.75-85 中～粗粒砂質凝灰岩、緑色、弱い綫化。上位層と擾乱し、下位層との境界に「クマクマ」あり。  
 171.85-172.20 凝灰質泥岩、シルトホコリ含有。  
 172.20-25 中～細粒凝灰質砂岩、淡緑色、綫化。下位層を削り込む。  
 172.25-45 凝灰質泥岩  
 172.45-90 中～極細粒砂質凝灰岩、淡緑色、上部綫化、弱い平行葉理持つ。ホコリ (軽石) <2-3mm、50付近炭化木片多し。  
 172.90-173.45 凝灰質泥岩  
 173.45-174.10 砂質凝灰岩/泥質凝灰岩互層状擾乱帯。  
 173.80-174.00 極粗～中粒砂質凝灰岩、暗緑～灰色、やや塊状。90以下炭化木片多く、ホコリ <4mmは層理と平行に伸長する。



# 地質及び割れ目柱状図

No. 30

試錐 No. 伏木谷 1号 掘削孔径 98.00 mm 最終深度 458.00 m 調査者 同和工営株式会社

深度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	割れ目の連続性	割れ目パターン	スリッケンサイド	割れ目					変質度 (色)(cm)	変質幅 (°)	角 度 (°)	記 載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	R. Q. D. (%)
								1	2	3	4	5								
174			174.32-68	CF D	D	P3	A	CA	CY	0.5	60	15	15	174.10-175.35 中～細粒凝灰質泥岩、暗灰～暗緑色、やや塊状。上位層との境界付近長石成分に富む砂層あり。下位層を削り込む。			Cm 25			
175			174.76-175.15	CF D	D	P4	A	CA		0.5		3	3	174.70-80 粗～極粗粒砂質凝灰岩、上位層との境界明瞭、下位層との境界は不明瞭						
176			175.08-21	CF D	D	C4	B	CA		3.0		90	90	175.05 砂岩薄層						
176			175.27-77	CF D	D	P3	B	CA		0.5	10	2	2	175.20-30 凝灰質砂岩/同質泥岩擾乱帯。			Cm 40			
176			175.72-73	CF C	C	P1	B	CA		1.0	5.0	80	80	175.35-55 中～粗粒凝灰質砂岩、淡緑～灰色、やや塊状。全般に泥質層との擾乱。下位層との境界部にドットマーク。						
176			175.90-95	CF D	D	P4	C			0.1		30	30	175.70-90 中～粗粒砂質凝灰岩、淡緑～灰色、平行葉理。上位層との境界不明瞭。下位層を削り込む。						
176			175.95-176.07	CF D	D	P3	A			0.1	20	40	40	175.90-176.50 中～細粒凝灰質泥岩、淡緑色、平行葉理。各所に砂質薄層挟有。			Cm 50			
177			176.62-78	CF D	D	I1	B	CA		0.8	30	30	30	176.50-179.25 細粒泥質凝灰岩、淡緑～緑色、やや塊状で一部墨流し状に擾乱。各所に砂質層挟有。						
177			176.70	CF C	C	I3	C	CY		1.0	7.0	80	80	176.65-70 中～粗粒凝灰質砂岩、下位層との境界部にドットマーク。						
177			176.89-91	CF D	D	P3	A	CA		0.5	30	65	65	176.80、177.20、178.15、25、30						
177			176.70	CF C	C	P0	B	CA		0.7		70	20	179.10 全て砂質又は長石成分豊富な砂層の薄層。						
177			177.16-20	CF D	D	C3	B	CA		3.0	100	10	10	176.80、177.20、178.15、25、30						
177			176.98-177.55	CF D	D	C1	B	CA Talc		1.0	100	20	20	179.10 全て砂質又は長石成分豊富な砂層の薄層。						
177			177.60-89	CF D	D	P1	A	Talc		0.5		10	0	176.80、177.20、178.15、25、30						
178			177.86	CF C	C	P2	A	Talc CY CA		1.0	30	20	80	179.10 全て砂質又は長石成分豊富な砂層の薄層。						
178			178.13																	
178			178.14-27	CF C	C	IC1	A	CA		0.8		0	0	178.85、.90付炭灰木片に富む。						
178			178.14-27	CF C	C	IC1	A	CA		0.8		0	0	178.90-.95 泥質/砂質の墨流し状擾乱帯。斜交葉理発達。						
179			178.26	CF D	D	C3	B	CA Talc CY		1.5	300	10	0	178.85、.90付炭灰木片に富む。						
179			179.05											178.85、.90付炭灰木片に富む。						
179			179.08-09	CF C	C	P3	A	CA		1.0	20	75	75	178.85、.90付炭灰木片に富む。						
179			179.09-.20	CF D	D	P4	A	Talc		0.5		5	80	178.90-.95 泥質/砂質の墨流し状擾乱帯。斜交葉理発達。						
179			179.09-.20	CF D	D	P4	A	Talc		0.5		5	80	179.25-42 粗～中粒砂質凝灰岩、上部級化、下部塊状。上位層との境界付近斜交葉理発達、下位層を削り込む。						
179			179.40-72	OF C	C	P3	B	CA		1.0	150	40	40	179.42-.90 細粒凝灰質泥岩、暗緑～灰色、塊状。下位層との境界付近に炭化植物片。						
179			179.40-72	OF C	C	P3	B	CA		1.0	150	40	40	179.42-.90 細粒凝灰質泥岩、暗緑～灰色、塊状。下位層との境界付近に炭化植物片。						
180			179.75-99	CF C	C	P3	B	CA		2.0	150	40	40	179.90-.95 細～中粒凝灰質砂岩、やや級化。上位層との境界漸移、下位層を削り込む。						







# 地質及び割れ目柱状図

No. 34

試錐 No. 伏木谷 1号 掘削孔径 98.00 mm 最終深度 458.00 m 調査者 同和工営株式会社

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	割れ目の連続性	割れ目パターン	表面構造	スリッケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)	角 度 (°)		記 載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩盤等級	R. Q. D. (%)
									1	2	3	4	5			A	B						
198			198.00-.85	DF														ソレインが、良いガラス (粘土) は多く、級化。下位層との境界は明瞭。				Cm 0	
199			198.93 -199.24	CF C	C	I3	C					1.0	300		30		著しく破碎し角レキ化						
200			199.45 199.30-.68 199.68	CF C CF C CF C	C C C	I0 I3 I0	C D C					25. 1.0			90 70 90		著しい断層粘土 著しい断層粘土					Cm 0	
201			199.68 -200.72	CF C	C	P3	C					1.0	500		15		破碎角レキ化 200.20-.50区間は特に著しく破碎					Cm 25	
202			201.70-.75	CF C	C	I3	C					0.5	30.		90		周囲弱粘土化					Cm 90	
203			202.50 -203.38	CF C	C	P2	B					2.0	800		10		一部vein 202.60-.64区間 断層粘土化					Cm 0	
204			203.48-.65 203.65-.95	CF C CF C	C C	I3 I4	D B					3.0	150		40		著しい破碎による細粒粘土化 破碎し一部角レキ化					Cm 0	

# 地質及び割れ目柱状図

No. 35

試錐 No. 伏木谷 1号 掘削孔径 98.00 mm 最終深度 458.00 m 調査者 同和工営株式会社

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	割れ目パターン	表面構造	スリッケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)	角 度 (°)		記 載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩盤等級 (R. Q. D. %)		
								1	2	3	4	5			A	B							
204			204.00-18 DF 204.18	DF C	I3	C							5.0	10	85		断層粘土充填	204.00-05付近 長石片に富む白色中粒砂岩層。下位層を削り込む				Cm 0	
205			204.25 -205.19	CF C	P3	C							30	900	50		極めて著しい破砕により断層粘土化激しい。40-50度の割れ目卓越し最下位は3mm, 45度のCA vein	204.95付近 長石片に富む白色中粒砂岩層。下位層を削り込む。				Cm 0	
206			205.40-70 DF															205.30以下210.16迄 砂質凝灰岩 (中粒、暗緑色) 及び砂岩 (中細粒、灰-灰色) の薄層多く、基質の凝灰質泥岩層との墨流し擾乱帯。砂岩部には斜交葉理発達。				Cm 30	
207			207.44-55 CE D P4 A CA											0.5	0		vein	207.12付近 シルト-シルト <math>\phi < 30\text{mm}</math>				Cm 0	
208			208.00-58 DF															208.10付近 具化石含む				Cm 15	
209			209.00-20 DF															208.60-65 中粒凝灰質砂岩、平行葉理持ち、上位層や下位層との境界は擾乱し不明瞭。	208.95付近 長石片に富む白色中粒砂岩層。下位層を削り込む。				Cm 30
210																		209.60付近 V字状凝灰岩挟み				Cm 30	





# 地質及び割れ目柱状図

No. 37

試錐 No. 伏木谷 1号 掘削孔径 98.00 mm 最終深度 458.00 m 調査者 同和工営株式会社

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	割れ目の連続性	割れ目パターン	表面構造	スリッケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)	角 度 (°)		記 載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩盤等級 (R. Q. D. (%))	
									1	2	3	4	5			A	B						A
216																		216.15-30区間 泥質/砂質の著しい擾乱。下位層を巻き込む。				Cm 35	
217																		216.55-60区間 中粒緑色砂質凝灰岩、上位層との境界は擾乱し、下位層を削り込む。				Cl 10	
218			217.95 DF -218.34															217.10-.55区間 極細~極粗粒凝灰質砂岩、級化、上部は斜交葉理発達し炭質物多いが、下部は比較的塊状に近く長石片濃集する。上位層に漸移、下位層との境界明確。217.55-219.00区間 比較的塊状の泥岩。一部級化した凝灰岩が含む。				Cl 20	
219			218.64 DF -219.57															219.00-23区間 粗~細粒凝灰質砂岩、淡緑色、級化、平行葉理あり。炭質物濃集部あり。下位層を削り込む。	コア形状認めないが5-10度の縦割れ2-3本存在する				Cm 20
220			220.10-25 DF															219.23-.80区間 比較的塊状の泥岩。 219.80-220.50区間 泥岩/凝灰岩の著しい擾乱帯。上位層や下位層との境界は不明瞭。219.80及び220.50付近に生痕化石あり。				Cm 15	
221			220.57 OF C 220.82-.98 CF D															220.50-221.00 中粒砂質凝灰岩/細粒泥岩擾乱帯。黄緑色。220.75-.95区間は斜交葉理発達。下位層を削り込む。 221.00-222.20 細粒緑色泥質凝灰岩~砂質凝灰岩。上部は泥質で222.00以下は砂質に漸移する。	緑色粘土層 vein				Cm 25
222			221.43-.67 CF C															221.45-.65付近 長石濃集細粒白色砂岩薄層挟み。	vein				



# 地質及び割れ目柱状図

No. 38

試錐 No. 伏木谷 1号 掘削孔径 98.00 mm 最終深度 458.00 m 調査者 同和工営株式会社

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	割れ目の連続性	割れ目パターン	スリッゲンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)	角 度 (°)		記 載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩 盤 等 級	R. Q. D. (%)					
								充填鉱物		割れ目幅 (mm)		変 質 度 (色)			角 度 (°)								割れ目	岩 相			
				1	2	3	4	5	A	B			A	B													
222			222.15	CF C		P0 A					CA	0.8			85		vein	222.20中～粗粒砂質凝灰岩、一部斜交葉理あり。下位層との境界付近長石片濃集砂層あり。弱い割れ目入り込み。 222.20-226.80 細粒泥岩、暗灰～黒色、塊状。各所に砂岩、凝灰岩薄層及びシルト岩を挟む。									
223																											
224																											
225																											
226																											
227											CA	1.5			2		vein	227.10-20 細粒凝灰岩、上位層や下位層に漸移。下部に中粒白色砂岩薄層 227.35-45 中～細粒凝灰質砂岩、淡緑色、炭化木片濃集部あり。上部斜交葉理あり、下位層を削り込み。 227.45-230.10 細～中粒泥岩、暗灰色、塊状。各所に凝灰岩薄層挟む。 227.80付近 シルト岩 φ=100mm									
228																											

← D2-4, M-4, DI-4, P1-4, T-4, X-4, P2-4 →

# 地質及び割れ目柱状図

No. 39

試錐 No. 伏木谷 1号

掘削孔径 98.00 mm

最終深度 458.00 m

調査者 同和工管株式会社

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	割れ目の連続性	割れ目パターン	表面構造	スリッケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)	角 度 (°)		記 載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩 盤 等 級	R. Q. D. (%)
									1	2	3	4	5			A	B						
228																		230.10迄 中～細粒泥岩、暗灰色、塊状。各所に凝灰岩薄層を挟有。 228.40、.55、.65付近 シルト-ルφ <20mm 228.70付近長石成分に富む白色砂岩薄層。				Cm 95	
229																		229.35付近 パツ状凝灰岩				Cm 50	
230																		230.10-14 中粒凝灰質砂岩、緑灰色、斜交葉理発達。炭化木片多い。上位層との境界部は擾乱、下位層を巻き込む。 230.14-.75中～細粒黒色泥岩、塊状。				Cm 20	
231																		230.75-.80 中粒凝灰質砂岩、緑灰色、斜交葉理発達。上位層との境界部は擾乱、下位層を削り込む。 230.95付近 シルト-ル 230.80-231.62 細粒黒色泥岩、塊状。231.30付近パツ状凝灰岩。				Cm 30	
232																		231.40-50区間 泥岩、黄土色に変色。 231.62-.70 中～細粒凝灰質砂岩、灰緑色、やや長石成分に富む。パツパツあり。上位層に削り込まれ、下位層を削り込む。 231.80付近 貝化石 231.70-233.40 細粒凝灰質泥岩、暗灰～灰色、塊状。各所に砂質薄層挟有。232.27付近シルト-ルφ =30mm				Cm 30	
233																		233.20-60区間 層理面に平行な割れ目多い vein vein				Cm 30	
234																		233.40-80 細粒泥質凝灰岩、泥岩との弱い墨流し状擾乱。上位層や下位層との境界は明瞭。55付近ハツ状に炭化木片に富む。65、.75付近平行葉理持つ長石濃集白色砂岩薄層。				Cm 30	





# 地質及び割れ目柱状図

No. 42

試錐 No. 伏木谷1号

掘削孔径 98.00 mm

最終深度 458.00 m

調査者 同和工営株式会社

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	割れ目の連続性	割れ目パターン	表面構造	スリッケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)	角 度 (°)		記 載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩 盤 等 級	R. Q. D. (%)
									1	2	3	4	5			A	B						
246																		244.55-250.15 細粒泥岩、黒色、塊状。各所にシルト、灰、及び凝灰岩薄層挟む。 246.30、.40付近シルト、 $\phi < 30\text{mm}$					
247			246.57-77	CF D		P4 A					0.5		20				246.60付近 シルト岩薄層、橙色。境界不明瞭。						
248			247.51 247.88 247.97	CF C CF C CF C		P0 A P0 A P0 A					0.5 3.0 8.0		75 75				247.20-.30付近 不定型のシルト、境界部はハツ状に擾乱。						
249			248.78	CF C		P0 A					1.5		90				248.45付近 凝灰岩ハツ状擾乱集部、擾乱。 248.87-90付近 凝灰岩ハツ状擾乱集部、擾乱。						
250			249.91 -250.15	CF C		P4 A O CA					1.5		10				249.70付近 生痕化石多し。 249.85-250.00区間 細粒緑色凝灰質泥岩、上位層に漸移。下位層との境界明瞭。 250.00-.15 細粒泥質凝灰岩、緑色、墨流し状に斜交葉理あり。下位層との境界部は擾乱。 250.15-.32 中粒凝灰質砂岩、灰～暗緑色。著しく擾乱。下位層との境界明瞭。 250.32-251.30 中～細粒泥岩、暗灰色、平行葉理示す。						
251			250.70 -251.10	DF													250.90-251.00 著しい機械破壊による細レキ化						
252			251.52-.55	CF C		S0 B CY					2.0 15.		90				251.30-.40 凝灰岩勝ち泥岩/凝灰岩擾乱帯。中粒、緑色。 251.40-254.00 中～細粒泥岩、黒～暗灰色、塊状。 251.55付近 緑色粘土は擾乱集。						





# 地質及び割れ目柱状図

No. 45

試錐 No. 伏木谷 1号

掘削孔径 98.00 mm 最終深度 458.00 m

調査者 同和工営株式会社

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	割れ目の連続性	割れ目パターン	表面構造	スリツケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)	角 度 (°)		記 載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩 盤 等 級	R. Q. D. (%)
									1	2	3	4	5			A	B						
264			264.00-70 DF															262.00-265.15 中～粗粒泥岩、暗灰色、塊状。各所に凝灰岩及び砂岩薄層挟む。				Cm 0	
265																		264.80-90区間 シルト-泥集。φ < 40mm。 265.00-.15区間 細粒凝灰質、淡緑色、下位層に漸移。 265.15-266.80 中～細粒泥岩、暗灰色、塊状。 265.35付近 シルト-泥				Cm 20	
266																		265.70付近 長石片多い中粒白色砂岩薄層。上位層との境界部は擾乱し、下位層を削り込む。 265.80-.90付近 パツ状凝灰岩				Cm 50	
267																		266.30付近 中～細粒凝灰岩、上位層を削り込まれ、下位層を削り込む。 266.40-.45 斜交葉理示す砂岩/凝灰岩擾乱帯。 266.80-267.00 細～極細粒凝灰質泥岩、淡緑色、塊状。上位層や下位層に漸移する。 267.00-270.00 中～細粒泥岩、暗灰色、塊状。 267.15付近 シルト-泥 φ=50mm				Cm 45	
268																		267.65付近 シルト質薄層、褐色、上位層や下位層との境界は不明瞭。 267.85付近 シルト-泥				Cm 50	
269			268.62-.66 CF															268.20-.25 中～粗粒凝灰質砂岩、級化成層。上部平行葉理、下部斜交葉理あり。下位層を削り込む。 268.30-.40付近 シルト-泥集 φ < 60mm 268.60付近 シルト-泥 268.50-.60区間 やや凝灰質				Cm 55	
270																		269.05付近 シルト-泥 269.35付近 シルト-泥 φ=30mm 269.50付近 中粒凝灰質砂岩、上位層や下位層との境界部は擾乱し不明瞭。 269.70-.90区間 極細粒部				Cm 55	



# 地質及び割れ目柱状図

No. 46

試錐 No. 伏木谷1号	掘削孔径 98.00 mm		最終深度 458.00 m		調査者 同和工営株式会社																	
	深度 (m)	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	割れ目の連続性	割れ目パターン	表面構造																
270	[地質柱状図]	[割れ目状図]	CF C P0 A	CF C P0 A	P2 B	P0 A	スリツケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)		角度 (°)	記	載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩盤等級 (R. Q. D. %)
								1	2	3	4	5		A	B							
271	[地質柱状図]	[割れ目状図]	CF C P0 A	CF C P0 A	P2 B	P0 A	スリツケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)		角度 (°)	記	載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩盤等級 (R. Q. D. %)
								1	2	3	4	5		A	B							
272	[地質柱状図]	[割れ目状図]	CF C P0 A	CF C P0 A	P2 B	P0 A	スリツケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)		角度 (°)	記	載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩盤等級 (R. Q. D. %)
								1	2	3	4	5		A	B							
273	[地質柱状図]	[割れ目状図]	CF C P0 A	CF C P0 A	P2 B	P0 A	スリツケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)		角度 (°)	記	載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩盤等級 (R. Q. D. %)
								1	2	3	4	5		A	B							
274	[地質柱状図]	[割れ目状図]	CF C P0 A	CF C P0 A	P2 B	P0 A	スリツケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)		角度 (°)	記	載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩盤等級 (R. Q. D. %)
								1	2	3	4	5		A	B							
275	[地質柱状図]	[割れ目状図]	CF C P0 A	CF C P0 A	P2 B	P0 A	スリツケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)		角度 (°)	記	載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩盤等級 (R. Q. D. %)
								1	2	3	4	5		A	B							
276	[地質柱状図]	[割れ目状図]	CF C P0 A	CF C P0 A	P2 B	P0 A	スリツケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)		角度 (°)	記	載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩盤等級 (R. Q. D. %)
								1	2	3	4	5		A	B							







# 地質及び割れ目柱状図

No. 50

試錐 No. 伏木谷 1号 掘削孔径 98.00 mm 最終深度 458.00 m 調査者 同和工営株式会社

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	割れ目の連続性	割れ目パターン	表面構造	スリッケンサイド	割れ目					変質度 (色)(cm)	変質幅 (cm)	角 度 (°)		記 載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	R. Q. D. (%)
									1	2	3	4	5			A	B					
294																		292.50-299.90 極細～粗粒泥岩、暗灰色、塊状。各所に擾乱した凝灰岩又は砂岩薄層挟有。				Cm 40
295																		294.50-.60区間 やや粗粒部				
296																		294.85-.95 細粒凝灰岩、V字状の岩片含み、上位層や下位層との境界は明瞭。				Cm 50
297																		295.60付近 貝化石				
297																		295.95付近 V字状の岩片 (w=30mm) 挟む。				
297																		296.50付近 シト岩薄層挟有。				Cm 50
297																		297.10付近 白色中粒砂岩層、擾乱。				
297																		297.30付近 砂岩薄層、擾乱。				
297																		297.40-298.00区間 粗粒部/細粒部擾乱。				Cm 40
297																		297.75付近 生痕化石多し				
298																		298.00-299.20区間 やや凝灰質				
298																		298.30-.35付近 細粒砂岩薄層、擾乱。				Cm 15
299																		298.70-.75区間 長石岩片に富む白色中粒砂岩層、平行葉理発達、上位層や下位層との境界部擾乱。				
299																		298.90付近 貝化石				
300																		299.70-.80区間 生痕化石多し				
300																		299.90-300.31区間 細～粗粒凝灰質泥岩、淡緑色。上位層に漸移。				Cm 65













# 地質及び割れ目柱状図

No. 56

試錐 No. 伏木谷 1号

掘削孔径 98.00 mm

最終深度 458.00 m

調査者 同和工堂株式会社

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	割れ目の連続性	割れ目パターン	スリッケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)	角 度 (°)		記 載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	R. Q. D. (%)		
								1	2	3	4	5			A	B							
330			330.10-21 DF																				
331			330.78-88 CF	D	P4	A			0.5			10											
332			331.08-22 CF	D	P4	A			0.5			10											
333			331.54-82 CF	D	P4	A			0.5			10											
334			333.05-.12 CF	D	P3	A			0.3	10		5											
335			333.24-42 CF	D	P4	A			0.1			10											
336			334.90-.95 CF	D	P4	A			0.5			10											
337			335.00-.23 CF	C	P2	C			0.5			20											
338			335.36-.46 CF	D	P4	A			0.5			5											
339			335.62-.90 CF	D	P3	A			0.5	15		10											

X-7, M-7 → ↑

335.70付近 生痕化石  
335.90-336.30 中粒凝灰岩/凝灰岩  
擾乱帯、泥岩優勢。泥岩：淡褐色、凝灰岩：青灰色。各単層の境界擾乱し漸移。





# 地質及び割れ目柱状図

No. 59

試錐 No. 伏木谷 1号

掘削孔径 98.00 mm

最終深度 458.00 m

調査者 同和工管株式会社

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	割れ目の連続性	割れ目パターン	スリッケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)	角 度 (°)		記 載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩 盤 等 級	R. Q. D. (%)	
								1	2	3	4	5			A	B							
348		/	348.32-49	CF D		P4 A					CA	0.5		5			337.50-356.75 中〜極細粒泥岩、暗灰〜黒色、塊状。一部凝灰岩混入し擾乱。貝化石散在。				Cm 0		
349		/	348.81-90	CF D		P4 A					CA	0.3		0			348.75付近 シトホ-ルφ=30mm				Cm 0		
350			349.40-70	DF											10		349.35付近 燈色シト岩薄層、擾乱。				Cm 0		
			349.55-79	CF D		P3 A					CA	0.5	20	10			349.80付近 シト質部 349.90付近 貝化石				Cm 0		
350			349.90 - 350.00	CF D		P4 A						0.1		10			350.40-45区間 応力解放割れにより細粒化しコア形状なし				Cm 0		
			349.90 - 350.40	DF													350.40-45区間 破砕帯。著しく細粒角レキ化				Cm 0		
351			350.50-95	CF D		P4 A						0.3		0			350.70-.80区間 レキ状シト岩片、w<20mm。 350.98付近 燈色シト岩薄層				Cm 0		
351			351.25-.60	CF D		P3 A						0.3	45	0			351.60-.69区間 破砕帯。著しく細粒角レキ化しCA vein伴う粘土化				Cm 0		
352			351.85 - 352.70	DF													この区間全般に膨潤破壊による細粒化著しくコア形状を殆ど保たない				Cm 0		
353																							
354			353.79 - 354.13	DF													353.65付近 シトホ-ルφ=20mm 353.85付近 ノジュール (φ=20mm)中に貝化石あり。				Cm 0		

# 地質及び割れ目柱状図

No. 60

試錐 No. 伏木谷 1号

掘削孔径 98.00 mm

最終深度 458.00 m

調査者 同和工管株式会社

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	割れ目の連続性	割れ目パターン	スリッケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)	角 度 (°)		記 載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩 盤 等 級	R. Q. D. (%)
								1	2	3	4	5			A	B						
354			354.03-.13	CF	C	P0	A	CA	5.0			60				vein	337.50-356.75 中～極細粒泥岩、暗灰～黒色、塊状。一部凝灰岩混入し擾乱。貝化石散在。				Cm 0	
355			354.88-.94	CF	C	P0	A	CA	1.0			60				vein	354.90付近 擾乱				Cm 0	
356			356.04-.13	CF	C	P3	B	CA	3.0	10.		75				vein	355.55付近 貝化石				Cm 0	
357			356.46 -357.23	CF	C	P3	C	CA	1.0	15.	3	70				vein	356.70-.75区間 極細粒淡褐色泥岩、上位層に漸移。 356.75-357.40 砂質～泥質凝灰岩繰り返し、泥質部は平行葉理発達し、泥～砂の級化成長層繰り返し。各単層の境界は全て明瞭な削り込み。356.75付近擾乱。砂質部は長石/石英片に富む。				Cm 0	
358			357.40	CF	C	P0	A	CA	0.5			90				vein	357.40-.62 極細～粗粒凝灰質泥岩、淡褐～青灰色、平行葉理あり。弱い級化成長層。下位層との境界明瞭。				Cm 10	
359			358.86 -359.10	CF	C	P3	B	CA	0.5	30.		5				vein	357.62-358.70 極細～細粒泥岩、暗灰～黒色、塊状。貝化石散在。下位層との境界明瞭。 357.62-.80区間 生痕化石多し				Cm 0	
360			359.53-.71	CF	D	S1	C	CA	0.8	10.		30				vein	358.70-.80 中～粗粒砂質凝灰岩、淡緑色、塊状。下位層との境界明瞭。 358.80-363.30 細～極細粒泥岩、暗灰～黒色、塊状。				Cm 0	

この区間全般に膨潤破壊による細粒化著しくコア形状を殆ど保たない











# 地質及び割れ目柱状図

No. 65

試錐 No. 伏木谷 1号

掘削孔径 98.00 mm

調査者 同和工営株式会社

最終深度 458.00 m

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	割れ目の連続性	割れ目パターン	表面構造	スリッケンサイド	割れ目			変質度 (色)	変質幅 (cm)	角 度 (°)		記 載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩 盤 等 級	R. Q. D. (%)
									割れ目幅 (mm)					A	B						
				1	2	3	4	5	A	B											
384			384.20																		
385																					
386																					
387																					
388																					
389																					
390																					

▶ P1-7, P2-7, D1-7, D2-7, T-7 ◀





# 地質及び割れ目柱状図

No. 68

試錐 No. 伏木谷 1号 掘削孔径 98.00 mm 最終深度 458.00 m 調査者 同和工営株式会社

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	割れ目の連続性	割れ目パターン	スリッケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)	角 度 (°)	記 載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩 盤 等 級	R. Q. D. (%)	
								充填鉱物														割れ目幅 (mm)
								1	2	3	4	5	A	B	A	B						
402			402.33-68	CF D	P3 A			CA					0.8	30	15							
403			402.77-87	CF D	P4 A			CA					0.5		15							
404			403.33-38	CF D	P4 A			CA					0.5		15							
405			404.11-35 404.86-92 404.94 - 405.00	CF D CF D	P0 A P4 A			CA					0.1 0.5	30 30								
406			405.32-44 405.60 - 406.26	CF C CF C	P0 A I1 C			CA					0.5 2.0	30 500								
407																						
408																						

W-9, X-9, X-9 ←→





# 地質及び割れ目柱状図

No. 70

試錐 No. 伏木谷 1号

掘削孔径 98.00 mm

最終深度 458.00 m

調査者 同和工営株式会社

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	連続性	割れ目パターン	表面構造	スリッケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)	角 度 (°)		記 載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩盤等級 (R. Q. D. %)	
									1	2	3	4	5			A	B						A
414																		414.10付近 貝化石 408.10-415.30 細～極細粒凝灰質 泥岩、暗灰～黒色、塊状。全般に 貝化石多し。下位層とは漸移。 414.45付近 貝化石				Cm 0	
415																		415.30-40 中～細粒砂質凝灰岩、 外-灰色、上方へ級化し上位層に漸 移。炭化木片に富む薄層多く、平 行葉理発達。下位層との境界明瞭 415.40-417.75 中～極細粒泥岩、 暗灰色、塊状。一部や凝灰質。 大型貝化石散在。下位層との境界 明瞭。				Cm 0	
416																							Cm 0
417			417.05	CF C		P0 B					1.5				80		vein						Cm 0
418			418.27	CF C		P0 C					2.0				90		緑色粘土挟み	417.75-95 極細粒泥質凝灰岩、 淡褐色。上部に生痕化石多し。酸 性凝灰岩質。下位層との境界明瞭 417.95-419.23 中～極細粒泥岩、 暗灰色、塊状。一部や凝灰質。 大型貝化石散在。下位層との境界 明瞭。				Cm 0	
419																		419.23-37 極細粒泥質凝灰岩、 淡褐色。上部に生痕化石多し。酸 性凝灰岩質。下位層との境界明瞭 419.37-95区間 上記の417.95- 419.23と同様。 419.95-420.02区間 上記の419.23 -37区間と同様。				Cm 0	
420																							Cm 0

全般に膨潤破  
壊目立つ

# 地質及び割れ目柱状図

No. 71

試錐 No. 伏木谷 1号

掘削孔径 98.00 mm

最終深度 458.00 m

調査者 同和工営株式会社

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	割れ目の連続性	割れ目パターン	表面構造	スリッケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)	角 度 (°)		記 載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩盤等級 (R. Q. D. (%))
									1	2	3	4	5			A	B					
420																		420.02-422.18 細～極細粒泥岩、黒色、塊状。下位層との境界擾乱し不明瞭。				
421																		420.95付近 凝灰岩薄層				
422																		421.05付近 ハツ状凝灰岩				
423																		422.18-.38 中～細粒砂質凝灰岩、外-灰色、平行葉理、級化成層を示す。ハツ状泥岩岩片捕獲。炭化木片に富む層多し。下位層を削り込む。				
424																		423.98-424.65 中～粗粒凝灰質砂岩、淡緑色、平行葉理あり。泥岩と明瞭な互層の繰り返しを示す。砂質部：凝灰質/長石砂岩質の弱い擾乱。424.65の下位層との境界付近にハツあり。	P1-9, P2-9, D2-9, D1-9, T-9			
425																		424.65-425.40 中～細粒泥岩、暗灰～淡灰色、塊状。下部はハツ状砂質凝灰岩岩片散在。下位層とは急激に漸移。				
426																		425.40-426.65付近迄 粗～極粗粒凝灰岩、淡緑色、塊状。軽石多く、炭化木片散在。				

この区間全般に  
腐濁破壊による  
細粒化著しくコ  
ア形状を殆ど保  
たない

# 地質及び割れ目柱状図

No. 72

試錐 No. 伏木谷1号

掘削孔径 98.00 mm

最終深度 458.00 m

調査者 同和工営株式会社

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	割れ目の連続性	割れ目パターン	表面構造	スリッケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)	角 度 (°)		記 載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩 盤 等 級	R. Q. D. (%)		
									1	2	3	4	5			A	B							A	B
426																			425.40-426.65付近迄 粗～極粗粒凝灰岩、淡緑色、塊状。軽石多く、炭化木片散在。下位層とは漸移。 426.35付近 炭化木片				Cm 90		
427																			426.65-427.50付近迄 やや細粒の凝灰岩、淡緑色、塊状。一部泥質岩片に富み、墨流し状に擾乱。下位層とは漸移。						
428																			427.50-428.40 中～細粒凝灰岩、淡緑色、塊状。一部泥岩と墨流し状に擾乱。下位層とは漸移。				Cm 80		
429			428.45-81 - 429.26	CF D	D	P4 B					0.3				5			428.40-65 泥勝ち泥岩/凝灰岩互層。1-2cm単位の互層で擾乱。コアト棄理示す。下位層とは漸移				Cm 80			
429			428.90 - 429.26	CF D	D	P4 B					0.3				5			428.65-429.30 中粒凝灰岩、淡緑～黄緑色、塊状。下位層とは漸移							
430			429.55 - 430.37	CF D	D	P3 A					1.0 40.			75				429.30-430.65 泥勝ち泥岩/凝灰岩互層。暗灰色。1-3cm単位の互層で擾乱。上部斜交葉理、下部平行葉理示す。炭化木片散在。下位層との境界不明瞭。 429.40-.60区間 やや泥質 429.80-430.00区間 やや凝灰質				Cm 25			
430			429.55 - 430.37	CF D	D	P3 A					1.0 40.			75				430.25-.28区間 著しく擾乱し、凝灰岩7ブロック状。							
431			430.60-82	CF D	D	P4 A					0.1			0				430.65-431.35 中～粗粒凝灰岩。泥岩と擾乱し、下部に向って凝灰質になる。下位層との境界不明瞭。				Cm 10			
431			430.60-82	CF D	D	P4 A					0.1			0				431.35-45 極細粒泥岩/泥質凝灰岩互層。凝灰岩優勢。1-2cm単位の互層で擾乱。下位層との境界不明瞭。 431.45-432.20 中粒凝灰岩、淡緑灰色、塊状。下位層との境界不明瞭。				Cm 70			
432																								431.72-.90	

# 地質及び割れ目柱状図

No. 73

試錐 No. 伏木谷 1号 掘削孔径 98.00 mm 最終深度 458.00 m 調査者 同和工営株式会社

深 度 (m)	地質柱状図	割れ目状図	割れ目深度 (m)	割れ目のタイプ	割れ目の連続性	割れ目パターン	スリッケンサイド	割れ目					変質度 (色)	変質幅 (cm)	角 度 (°)		記 載	サンプルポイント (m)	スケッチポイント (m)	コア欠如 (m)	岩 盤 等 級 (R. Q. D. %)				
								1	2	3	4	5			A	B						A	B		
432			431.93 -432.26	CF D	D	P4	B	スリッケンサイド	1	2	3	4	5	A	B	10	A	B	vein	432.20-50 泥勝ち凝灰質泥岩/凝灰岩互層、極細粒、著しく擾乱。上位層に削り込まれ、下位層を削り込む。 432.50-433.60 中～粗粒凝灰岩、淡緑灰色、やや塊状。長石片に富む。一部泥質薄層挟有。				Cm 90	
433			433.11-29	CF D	D	P3	C		1	2	3	4	5	A	B	5	A	B	一部vein	433.30付近 緑色粘土は多し。				Cm 60	
434			433.84 -434.15	CF D	D	P4	C		1	2	3	4	5	A	B	5	A	B	vein	433.60-65 極細粒泥岩、上位層や下位層との境界共に明瞭。 433.65-434.30 中～粗粒凝灰岩。上部比較的塊状に近いが、434.10-30区間逆級化成層。 433.70、.75付近 炭化木片 434.30-45 極細粒泥岩、著しく擾乱。上位層や下位層との境界共に擾乱し不明瞭。中粒のハ'状凝灰岩挟む。 434.45-435.40 中～粗粒凝灰岩、淡緑灰色、塊状。一部炭化木片に富む層挟有。下位層との境界付近逆級化成層し漸移。				Cm 50	
435			434.37-48	CF C	C	I3	E	◎	1	2	3	4	5	A	B	8.0	A	B	vein	435.10、.20、.30付近 炭化木片に富む薄層を挟む。 435.40-.65 泥勝ち泥岩/泥質凝灰岩互層状擾乱帯。中～細粒。下位層とは漸移。 435.65-437.10 極粗～粗粒凝灰岩、淡緑灰色、ソテイングが極めて悪い。緑色粘土は(φ<10mm)含ま、一部に中～粗粒泥岩薄層挟有。下位層とは漸移。				Cm 90	
436			437.31 437.33	CF C	C	P0	C		1	2	3	4	5	A	B	1.0	A	B	vein	436.60付近 塊状泥岩 436.95-437.00区間 中～粗粒泥岩層、上位境界削り込み。下位層との境界部で級化成層し漸移。 437.10-80 中～細粒凝灰岩、緑色。ソテイング非常によく、泥岩層を挟有しその下部は級化成層を示す。				Cm 100	
437			437.80-90	CF C	C	P0	C		1	2	3	4	5	A	B	90	A	B	vein	437.80-90 7'ロツク状中～細粒黒色泥岩、上位層や下位層との境界共に明瞭。				Cm 100	











## Ⅱ 採水調査

## 目 次

II 採水調査	1
1 採水及び化学成分調査	1
1.1 地下水調査方法	1
1.1.1 調査方法の概略	2
1.1.2 試料採取方法の詳細	6
1.1.3 モニター期間における現地測定及び分析方法	8
1.1.4 地下水の化学分析方法	13
1.2 調査結果	13
1.2.1 モニター期間調査における水温，酸化還元電位，電気伝導度，pHの測定結果	19
1.2.2 モニター分析のまとめ	20
1.2.3 地下水の化学成分分析結果	23
2. バクテリア調査	23
2.1 バクテリアの調査方法	23
2.1.1 調査フローシート	24
2.1.2 全菌数計数	24
2.1.3 生菌数計数	32
2.1.4 硫酸塩還元細菌の同定	44
2.2 バクテリア調査結果	44
2.2.1 種々細菌数計数結果	47
2.2.2 硫酸塩還元細菌の同定結果	51
2.2.3 一般細菌調査	54
3. 考察	54
3.1 地下水の年代	54
3.2 地下水の同位体比	55
3.3 元素の移動度	57
3.4 地下水及び表層水の化学成分	59
3.5 バクテリア調査結果に関する考察	59
3.5.1 全菌数について	60
3.5.2 鉄酸化細菌について	60
3.5.3 硫酸塩還元細菌	61
3.5.4 メタン生成細菌	62
3.5.5 硝化細菌	62
3.5.6 硝酸還元細菌および脱窒細菌	63
3.5.7 バクテリア調査のまとめ	63

## 表目次

第1- 1表	資料調査項目	1
第1- 2表	水温, pH, 電気伝導度, 酸化還元電位の測定方法および誤差	6
第1- 3表	各種化学成分のモニター分析方法	7
第1- 4表	J I S および改変法による各ガスの定量限界	8
第1- 5表	比較電極の電位	13
第1- 6表	調査における水温, 酸化還元電位, 電気伝導度, pHの測定結果	14
第1- 7表	調査における分析試料用のための採水進行状況	17
第1- 8表	測定値の統計計算結果	17
第1- 9表	地下水および表層水の化学分析結果一覧	21
第1-10表	地下水および表層水のイオンバランス	22
第1-11表	調査における各試料水の水温, 酸化還元電位, 電気伝導度, pH	22
第1-12表	地下水および表層水の同位体分析結果一覧	22
第2- 1表	<i>Thiobacillus ferrooxidans</i> 計数用培地	27
第2- 2表	硫酸塩還元細菌計数用培地	28
第2- 3表	メタン生成細菌計数用培地	29
第2- 4表	ビタミン混液の組成 (メタン生成細菌用)	30
第2- 5表	微量金属溶液の組成 (メタン生成細菌用)	30
第2- 6表	硝化細菌計数用培地	31
第2- 7表	硝酸還元細菌, 脱窒細菌計数用培地	31
第2- 8表	硫酸塩還元細菌の純粋化における混在菌(群)の判定	34
第2- 9表	基質資化性 (生育に利用できる炭素源) 試験の概要	38
第2-10表	光合成紅色非硫黄細菌用培地	42
第2-11表	光合成硫黄細菌用培地	42
第2-12表	微量元素溶液の組成 [光合成細菌用]	43
第2-13表	ビタミン混液の組成 [光合成細菌用]	43
第2-14表	各種細菌数計数結果	44
第2-15a表	硫酸塩還元細菌計数時(MPN 5 本法)の陽性本数 (表層水)	44
第2-15b表	硫酸塩還元細菌計数時(MPN 5 本法)の陽性本数 (地下水)	44
第2-16表	メタン生成菌計数時(MPN 5 本法)の陽性本数	45
第2-17表	亜硝酸酸化細菌計数時(MPN 5 本法)の陽性本数	45
第2-18表	亜硝酸酸化細菌計数時(MPN 5 本法)の陽性本数	45
第2-19表	硝酸還元細菌計数時(MPN 5 本法)の陽性本数	45
第2-20表	硝酸還元細菌計数時(MPN 5 本法)の陽性本数	46
第2-21表	一般細菌調査の試験方法及び結果	51
第3-1表	423.0mにおける岩石及び地下水分析結果から算出した相対的移動度	56
第3-2表	地下水及び表層水の濃度比	57
第3-3表	全菌数計数値と水質の対比	59
第3-4表	<i>Thiobacillus ferrooxidans</i> の一般的特性	60
第3-5表	主なメタン生成細菌の性状	62

## 図目次

第1- 1図	地下水試料の採取から分析までの概略 -----	2
第1- 2図	地表水試料の採取から分析までの概略 -----	3
第1- 3図	モニター期間における水温, pH, 電気伝導度, 酸化還元電位測定の実験概略 ---	6
第1- 4図	モニター測定ライン概念図 -----	7
第1- 5図	Fe <sup>2+</sup> の定量操作概略 -----	10
第1- 6図	ICPによるSiの定量操作概略 -----	11
第1- 7図	調査における水温, 酸化還元電位, 電気伝導度, pHの測定結果 -----	18
第2- 1図	バクテリア調査フローシート -----	23
第2- 2図	二重皿培養法における試料接種手順の概略 -----	27
第2- 3図	硫酸塩還元細菌の純粋分離の操作手順 -----	33
第2- 4図	走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察試料の調製手順 -----	35
第2- 5図	グラム染色の手順 -----	36
第2- 6図	鞭毛染色の手順 -----	37
第2- 7図	キノン分析操作の概略 -----	40
第2- 8図	DNAの抽出・精製からGC含量測定までの手順概略 -----	41
第2- 9図	AODC写真 -----	46
第2-10図	属の同定手順 -----	47
第2-11図	地下水試料から純粋分離した硫酸還元菌の走査型電子顕微鏡写真 -----	48
第2-12図	表層水試料から純粋分離した硫酸還元菌の走査型電子顕微鏡写真 -----	49
第3- 1図	庄川における天水の $\delta D$ と $\delta^{18}O$ の関係 (水谷, 小田 1983) -----	55
第3- 2図	本調査における柱状試料中の元素M/A 1比の鉛直分布図 -----	56
第3- 3図	地下水及び表層水のヘキサダイアグラム -----	57
第3- 4図	地下水及び表層水のトリリニアダイアグラム -----	58

## II 採水調査

### 1 採水及び化学成分調査

#### 1.1 地下水調査方法

##### 1.1.1 調査方法の概略

採水装置は500m対応パッカー式地下水サンプラーを使用し、その手順書「パッカー式地下水サンプラー (PGS-500NQNU, HQ型) の製作 (PNC SJ4411 898-001)」に基づき採水を行った。

サンプリングカプセルをステンレス製ロッドにつなぎ、433.0m~435.0mに採水区間が設置されるように試錐機を用いて降下させた。次にラバーパッカーを蒸留水により窒素ガスを用いて加圧膨張させて採水区間外からの地下水の流入を遮断した。採水調査全日程におけるの孔内水位は0mであった。従って、調査原位置の水圧は約43気圧と考えられる。孔壁にパッカーが密着し採水区間を水柱と遮断するパッカー内部圧力を47気圧程度と考え、加圧膨張の状態安定するまで放置した。なお、パッカー内圧力は、調査期間を通じ、外気温による振動はあるものの概ね安定していた。

内部をアルゴンガス置換した地下水サンプラー (容量500mℓ) を減圧し、電動ウインチにより地下水サンプラーをサンプリングカプセルまで降下させた。サンプリングカプセルに着底後、一定時間 (60分~90分) 放置し地上に引き上げ、地下水を採取した。パッカー区間を満たしている地下水の容量を作業の進行上5.5ℓとし、採水開始時から5.5ℓ毎にモニター化学分析を行った。水温、pH、電気伝導度、酸化還元電位の連続測定結果および、モニター化学分析の結果が安定し、もともとその深度の地層中に存在している地下水でパッカー間が満たされていると判断されるまでこの作業を繰り返し、連続的に地下水を採取した。なお、調査では86回 (約36ℓ) の採水を地下水モニター期間とし、その後の採水作業によって化学分析およびバクテリア調査用試料として採取した。資料調査項目を第1-1表に示す。また、地下水及び地表水の採取方法を第1-1図、第1-2図に示す。

第1-1表 資料調査項目

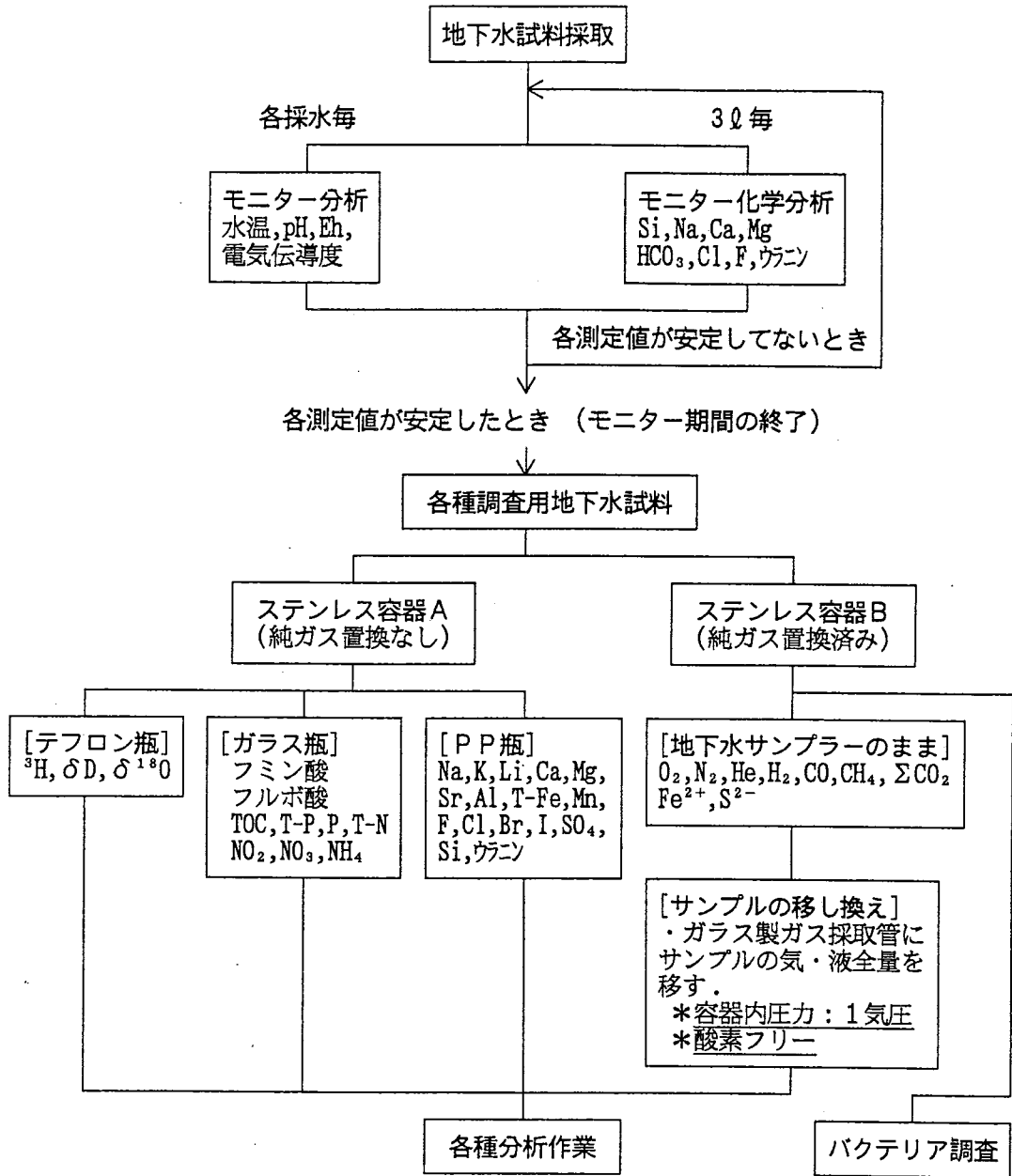
モニター用分析*1	掘削水による汚染の影響が皆無な地下水がパッカー間に満たされていると判断するために採水開始時と、採水量がパッカー間容量(5.5 ℓ)毎に以下の化学成分について分析を行う。 (Si, Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , ウラニウム; 以上8項目) また現場でサンプラー回収後毎に以下の項目に関して連続測定する。 温度, pH, 電気伝導度, 酸化還元電位
化学成分の測定*2	O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , He, CH <sub>4</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , TOC, フミン酸, 7価 <sup>-</sup> 酸, Si, Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Li <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Sr <sup>2+</sup> , Al <sup>3+</sup> , T-Mn, Mn <sup>2+</sup> , T-Fe, D-Fe, Fe <sup>2+</sup> , ウラニウム HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , Br <sup>-</sup> , I <sup>-</sup> , S <sup>2-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> NO <sub>2</sub> <sup>2-</sup> , IO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , <sup>3</sup> H, δD, δ <sup>18</sup> O
バクテリアの調査*3	1. 全菌数計数 2. 特定バクテリアの存在調査 a) 鉄酸化細菌 b) 硫酸塩還元細菌 c) メタン生成細菌 3. 硫酸塩還元細菌の同定 4. その他のバクテリア調査 a) 硝化細菌の存在調査*3 b) 一般細菌の存在調査*4

\*1 : モニター用分析は(株)大館分析センターにて実施

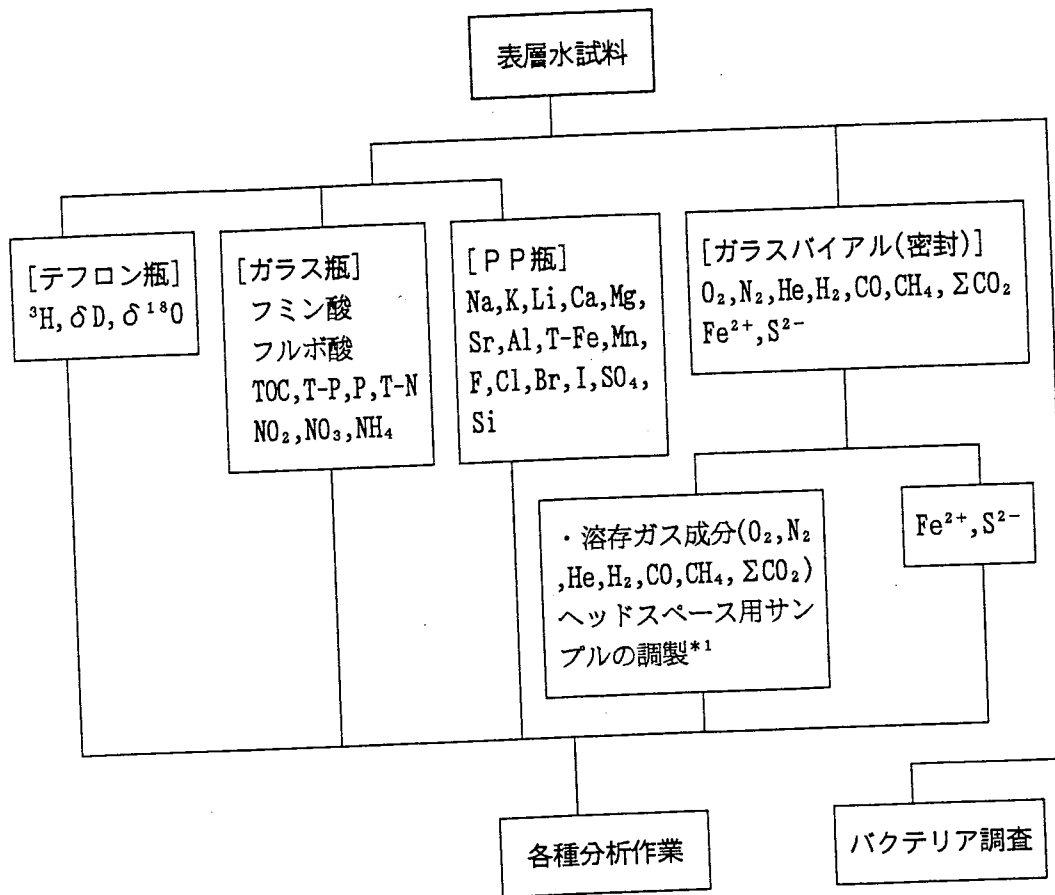
\*2 : <sup>3</sup>H, δD, δ<sup>18</sup>Oの分析は(株)三菱マテリアル中央研究所にて実施

\*3 : 同和工営株式会社柵原研究所にて実施

\*4 : 動力炉・核燃料開発事業団にて実施



第1-1図 地下水試料の採取から分析までの概略



第1-2図 地表水試料の採取から分析までの概略

### 1.1.2 試料採取方法の詳細

以下に試料採取方法の詳細について記す。

#### (1) $O_2, N_2, He, H_2, CO, CH_4, \Sigma CO_2$ の定量用試料

地下水サンプラーにより採取した地下水試料は、ガラス製ガス採管(1ℓ容量)に全量を移し、その後各分析に供試した。表層水試料は、ブチルゴム栓付きのガラス製バイアル瓶(120mℓ容)にヘッドスペースを残さないように採取し、さらにアルミシールを施して密封した。このバイアル瓶試料に注射器により塩化第2水銀溶液(1 w/v%)を添加し、生物活性を停止させ水冷保存して持ち帰った。得られた試料水をシリンジにより採取し、別に任意のガス置換を行い、減圧状態(-200~-300mmHg)にしたバイアル瓶(120mℓ)に約30~40mℓ分注し、その後、必要があればテトラバックを用いて任意のガスを充填しバイアル瓶内の圧力を1気圧に戻した。この作業のうち、試料水をシリンジで採取する際には、バイアル瓶内が減圧状態にならないように、液層と気層を分離し外部からの空気の汚染を防ぐためにN-ヘキサン( $CH_3(CH_2)_4CH_3$ )を緩やかに注入させるような仕組みをとった。

以上の様に調製した地下水、表層水試料を、酸素、窒素、ヘリウム、水素、一酸化炭素、全炭酸、メタンの各測定に供試した。

#### (2) $Fe^{2+}, S^{2-}, IO_3^-$ の定量用試料

深層地下水における溶存態還元物質(酸素による汚染により、化学種が大きく変わる成分)の測定に供する試料は、原則としてステンレス製地下水サンプラーのまま実験室に持ち帰り、その後、注射器(20mℓ)により採取して分析作業に供した。なお、地下水試料の採取および試料保存は溶存ガス成分と同様である。表層水試料の採取は溶存ガスの場合と同様に行った。

#### (3) TOCおよびフミン、フルボ酸の定量用試料

深層地下水および表層水ともに、酸処理、熱処理(450°C, 4時間)および紫外線照射を施したスクリーキャップ付きバイアル瓶に気層部が生じない様に分注し、水冷保存して実験室に持ち帰った。

#### (4) Na, K, Li, Ca, Mg, Sr, Al, Total-Fe, Mnの定量用試料

深層地下水および表層水ともに、酸処理をしたポリプロピレン製容器に分注し、最終濃度として1(v/v%)になるように精密分析用硝酸を添加した後に水冷保存して実験室に持ち帰った。

#### (5) F, Cl, Br, I, $SO_4$ , P, N, Siの定量用試料

深層地下水および表層水ともに、酸処理したポリプロピレン製容器に分注し、水冷保存して実験室に持ち帰った。なお、いずれの試料においても、懸濁物質濃度が極めて低かったので、濾過は行わずに分析に供した。なお、P分析用試料に関しては、ガラス製バイアル瓶に採取した。またSi分析用試料瓶の洗浄には、蒸留水を用いた。これはイオン交換樹脂からのコンタミネーションを考慮したためである。また、窒素化合物( $NO_2, NO_3, NH_4$ )定量用試料の採取容器に関しては、塩酸によって洗浄し、24時間流水中に放置した後、イオン交換水にて浸したガラス製瓶に採取した。

#### (6) $^3H, \delta D, \delta^{18}O$ の分析用試料

深層地下水および表層水ともに、36時間1N有害金属測定用塩酸に浸したテフロン製広口瓶をイオン交換水によりよく洗浄し乾燥器によって乾燥したものに採取した。各成分における採取量それぞれ、 $^3H$ で5ℓ、 $\delta D$ および $\delta^{18}O$ は合計0.5ℓである。また、同位体分析用試料採取における各採取瓶の共洗いは瓶容量の約10%程度の試料水で各々5回行った。



(7) バクテリア調査用試料

地下水は、オートクレーブ滅菌済みの地下水サンプラーにより採取した。地下水採取に際して地下水サンプラーは、減圧（真空引き）およびアルゴンガス（純度99.999%以上）充填を繰り返して、サンプラー内部気体をアルゴンガスに置換してから使用した。

地下水の全菌数計数用試料及び生菌数計数用試料の採取は、採水管により採取した試料を、採水管のまま氷冷保存（約2°C）し運搬した。持ち帰った採水管からシリンジにより試料を採取し、各細菌の存在調査に供試した。

地表水の全菌数計数用試料の採取は、地下水と同様に無菌処理を施したポリプロピレン製瓶に試料を直接採取した。その後、直ちに中性ホルマリンを2%濃度となるように添加し、冷暗所に保存して持ち帰った。

生菌数計数用試料の採取は、滅菌済みバイアルに直接採取し、空気が残らないように滅菌済みシリコン栓で密封し、アルミシールを施した後、氷冷保存して実験室へ持ち帰り、各細菌の存在調査に供試した。

### 1.1.3 モニター期間における現地測定及び分析方法

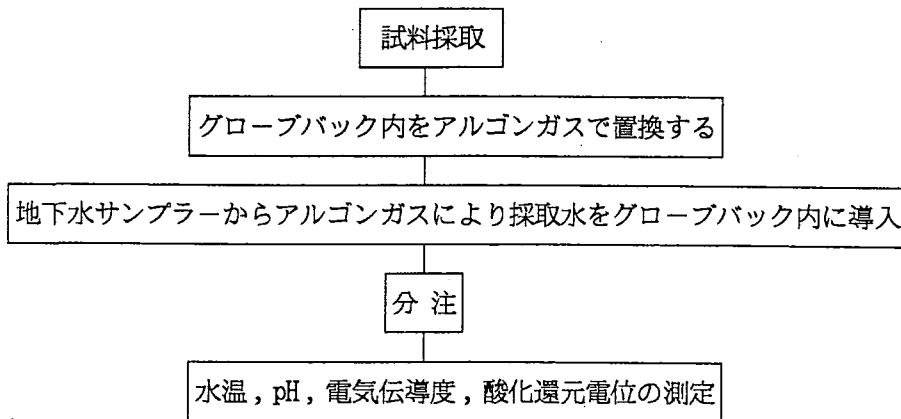
500m対応パッカー式地下水サンプラーを孔内に設置後、掘削水により汚染された地下水をパッカー間から除くためにモニター期間を設け連続的に地下水を採取した。この作業は、モニター分析結果の各測定項目の値が安定を示し、パッカー間がもともとその地層中に存在していた地下水で満たされていると判断されるまで行った。

採取した地下水は直ちに、アルゴンガス(99.999%)で満たされたグローブバック内に導入し、水温、pH、および酸化還元電位をTOA電波工業RP-11M、電気伝導度を、YOKOKAWA CONDUCTIVITY METER SC51によって測定した。水温、pH、電気伝導度、酸化還元電位の測定方法および誤差を第1-2表にモニター期間における水温、pH、電気伝導度、酸化還元電位測定の実験概略を第1-3図に示す。またモニター測定ライン概念図を第1-4図に示す。

モニター化学分析項目としてSi, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, ウラニンの8成分に関して採水量5.5ℓ毎(パッカー間容量)に分析を行った。各種化学成分のモニター分析方法を第1-3表に示す。

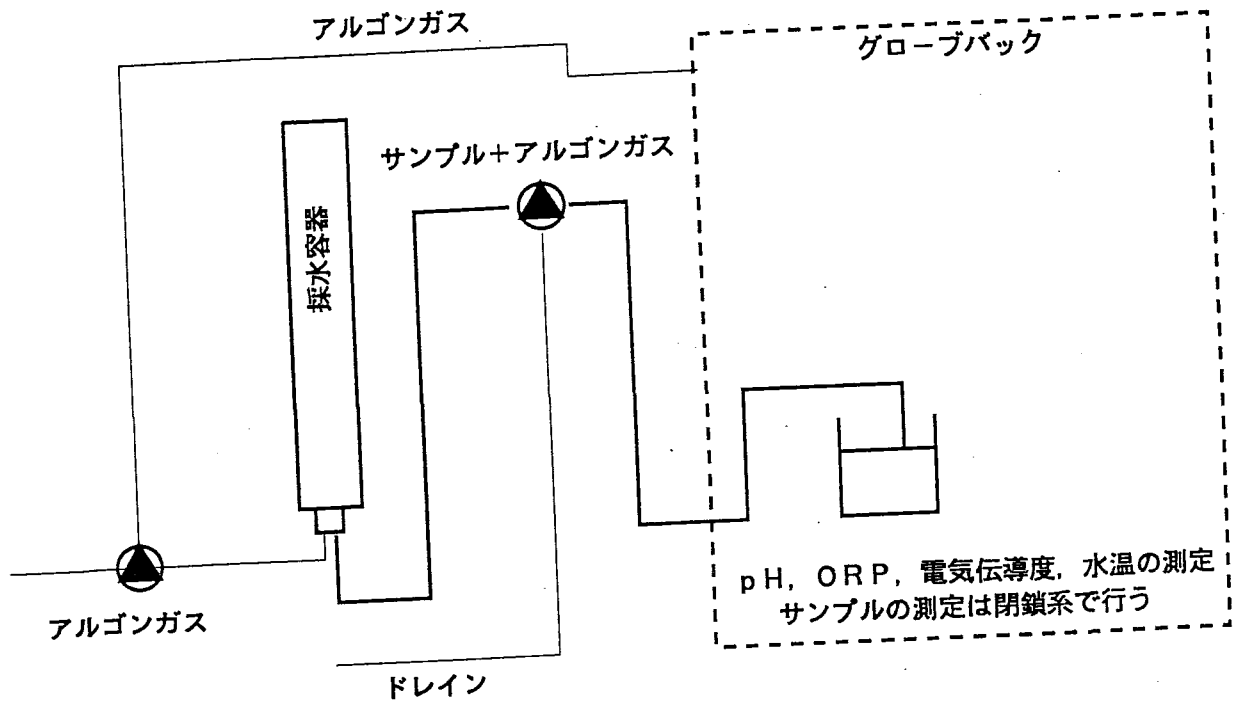
第1-2表 水温、pH、電気伝導度、酸化還元電位の測定方法および誤差

測定項目	測定方法	精度および誤差 *1
水温	水銀温度計および電極	±0.1 (°C)
pH	ガラス電極法	±0.01
電気伝導度	電極法	2% (変動係数)
酸化還元電位	白金電極	±1 (mV)



第1-3図 モニター期間における水温、pH、電気伝導度、酸化還元電位測定の実験概略

\*1: メーカーカタログ値を使用



第1-4図 モニター測定ライン概念図

第1-3表 各種化学成分のモニター分析方法

元素	測定方法
Si	ICP法
Na <sup>+</sup>	ICP法
Ca <sup>2+</sup>	ICP法
Mg <sup>2+</sup>	ICP法
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	簡易滴定法
Cl <sup>-</sup>	イオンクロマトグラフ法
F <sup>-</sup>	イオンクロマトグラフ法
ウラン	蛍光光度法

#### 1.1.4 地下水の化学分析方法

地下水のモニター期間における各項目の測定結果が大きな変動を示さず安定を示し、パッカー間が、掘削等により生じた汚染の影響の無い地下水で満たされていると判断した後、化学分析用の地下水試料を採取した。各項目における定量方法を以下に記す。

##### (1) 窒素，酸素，水素，ヘリウム

窒素，酸素，水素，ヘリウムの定量は、深層地下水および表層水ともに検出器にTCDを備えた島津製ガスクロマトグラフィーにより定量した。なを本方法はJIS K 2301(燃料ガスおよび天然ガス分析法)に示された方法について分離能，検出感度の点について改良したものである。第1-4表にJIS法および改変法の各成分の定量下限値を示す。

本方法では検出器(TCD)の検出感度をプリメインアンプにより増幅し，更に検出感度を増幅しただけでは測定時のSN比(シグナル/ノイズ比)は変わらない為，キャリアーガスに高純度のアルゴンガス(99.999%)を用いる事によりベースノイズを軽減し，精度の向上に努めた。本方法における検出感度はJIS法に比較して10倍高くなった。

第1-4表 J I S および改変法による各ガスの定量限界

ガスの種類	定量限界(ppm)		備考
	JIS法	改変法	
水素	40	5	SN比=8
ヘリウム	50	5	SN比=8
窒素	60	7	SN比=8
酸素	50	6	SN比=8

注)定量限界値はガス中濃度においての値である。

##### (2) メタン

メタンは検出器にF I Dを付したガスクロマトグラフィー(島津社製，GC-14A)により測定した。測定条件は分離カラム：Porapak Q 3 m，温度：45°Cの定温，流量：窒素35m l /minとして，F I Dでメタンを検出した。なお，大気中に存在するメタンガスは1.6~1.8 ppm前後であることが知られており，例えば25°Cにおける大気と平衡にある水中のメタン濃度は約2nM(32ng/l)である。つまり，本調査において表層水中のメタン濃度をヘッドスペース法により定量する事は不可能である。したがって，本調査では，表層水については，パーミアンドトラップ法により表層水試料を濃縮した後にガスクロマトグラフィーに導いて定量をおこなった。

本方法は，表層水試料の約10m l をバイアル瓶からパーミアン容器に直接導入し，ヘリウムガスでパーミアンし，活性炭トラップ(粒状活性炭60/80メッシュ，温度-30°C)に導く。トラップしたメタンを120°Cに加熱して窒素ガスにてガスクロマトグラフィー部に導入して測定する。この手法では検出限界が約2nMであり，定量範囲については， $\mu$ M以上に及ぶ直線性を確認している。なお，メタン分析においてヘッドスペース法における検出限界は0.4ppmであり，繰り返し精度は4%以内である。ヘッドスペース法における測定データの悪さは気体試料をガスタイトシリンジによりインジェクトするためである。

### (3) 一酸化炭素

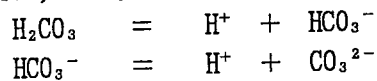
一酸化炭素はガスクロマトグラフィー法によりJIS K 0098(排ガス中の一酸化炭素分析方法)のうち、メタン化反応装置付きFIDにより、ヘッドスペース測定用試料について、その気相部を測定した。なお、一酸化炭素ガスはTCDによっても検出可能であるが、その検出能力は比較的低い。したがって、本調査では、一酸化炭素を水素ガスと触媒によりメタンに還元し、生成したメタンをFIDにより検出した。測定には島津社製ガスクロマトグラフィー(GC6A)を使用し、測定条件は内径3mm、長さ3mのステンレスカラムにモレキュラシーブ13X(60/80メッシュ)を充填し、カラム温度30°C、検出器温度100°Cとし、キャリアーガスには水素を使用し、その流量は30ml/minとした。検出限界は水中濃度として0.05mg/lであり、繰り返し精度は4%である。

### (4) 二酸化炭素

試料中の全炭酸濃度はヘッドスペース測定用試料について、その気相部を赤外線吸収により無機炭酸を定量するIC分析装置(オーシャノグラフィー社製)に導入して測定した。ここで測定された気層中の炭酸濃度からヘンリーの法則に従い、Bunsenの吸収係数を用いて算出により試料水中の全炭酸濃度を求めた。

水中における炭酸物質は遊離炭酸( $\text{CO}_2$ )、水和炭酸( $\text{H}_2\text{CO}_3$ )、炭酸水素イオン( $\text{HCO}_3^-$ )および炭酸イオン( $\text{CO}_3^{2-}$ )の4つの異なった形態で存在する。これらの炭酸分子種の量的な相互関係は $[\text{H}^+]$ により決定される。従って、水中の全炭酸濃度とpHが分かれば水中における炭酸分子種の各々の量を求めることができる(例えば半谷と小倉,1985;三宅ら,1970)。

水中において $\text{H}^+$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ は次式に示す平衡状態にある。



すなわち、

$$K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}, \quad K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]}$$

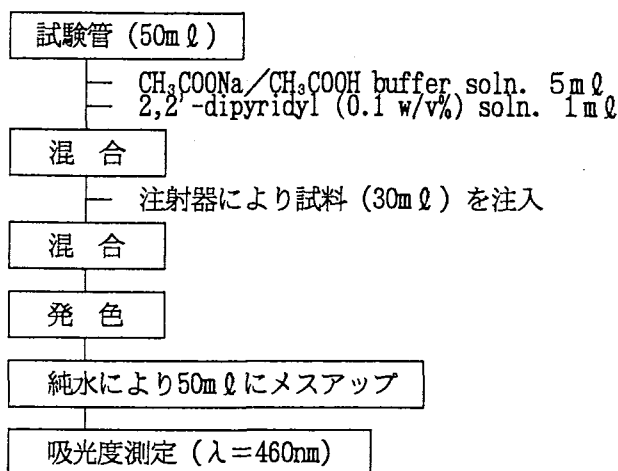
と表される。したがって、これらの関係式から $K_1$ 、 $K_2$ が与えられれば、任意の $\text{H}^+$ のときの $[\text{H}_2\text{CO}_3]$ ： $[\text{HCO}_3^-]$ ： $[\text{CO}_3^{2-}]$ のモル比が求められる。Harnea and Davis(1943)による $K_1$ およびGarrels and Christ(1965)による $K_2$ の値を用い、深層地下水試料および表層水試料における $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ の各々の濃度は試料水中の全炭酸濃度とpHの測定値から算出した。

### (5) 全有機性炭素(TOC)

ガラス瓶にて持ち帰った試料を濾過せずTOC分析装置(ベックマン社製,915-B)を用い赤外吸収による乾式法により測定した。すなわち、試水を希塩酸によりpH=4以下に調整し、その後純窒素ガスにてバブリングを行い炭酸ガスを除去する。この調製された試水をTOC測定系に導入して分析をおこなった。なお本分析における検出限界は0.14mg/l、繰り返し精度は1%である。

### (6) 吸光光度法を用いたFe<sup>2+</sup>

遊離2価鉄については小山(1991)が示した吸光光度法により分析した(第3-5参照)。試料水は濾過せず用いた。遊離2価鉄の定量は、2,2'-ジピリジル(2,2'-dipyridyl)により発色させた後に波長460 nmにおける吸光度を測定して求めた。

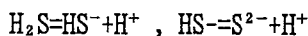


第1-5図 Fe<sup>2+</sup>の定量操作概略

### (7) 硫化物イオン

硫化物イオンは、ヨウ素滴定法および電極法により測定した。いずれの方法においても試料中のH<sub>2</sub>S、HS<sup>-</sup>、S<sup>2-</sup>の各々の濃度はpHとの関係より求めた。

硫化水素が水中に存在する場合は以下の2段のイオン解離反応による。



ここで上式におけるイオン解離定数はそれぞれ以下の通りになる(田村,1988)。

$$K_1 = \frac{[\text{HS}^-][\text{H}^+]}{[\text{H}_2\text{S}]} = 9.55 \times 10^{-8} \quad K_2 = \frac{[\text{S}^{2-}][\text{H}^+]}{[\text{HS}^-]} = 1.259 \times 10^{-14}$$

水中硫化物イオン種の相対存在比を考える場合K<sub>1</sub>はK<sub>2</sub>に対して極めて小さいイオン解離であることを示している。従って[S<sup>2-</sup>]は他のイオン種に対して無視出来る濃度である。pH9.8の天然水に溶存しているH<sub>2</sub>S、HS<sup>-</sup>のモル比はイオン解離定数より[H<sub>2</sub>S]:[HS<sup>-</sup>]は1:150と計算することができる。このように求めた濃度は溶液のイオン強度およびpHの測定誤差のため最大で10%程度の誤差が生じる。ヨウ素滴定法はJIS K 0102に準じておこなった。

また、電極法による測定はBaumann(1974)の方法に従っておこなった。すなわち、シリンジを用いて試水を空気に触れないように還元剤を添加したアルカリ性溶液(Sulfide Anti Oxidant Buffer soln.)と1:1の割合で混合し、恒温水槽中で銀および比較電極により電位差測定をして硫化物イオン濃度を求めた。本方法による検出限界は0.05ppmである。

### (8) F, Cl, Br, I, SO<sub>4</sub>,

フッ素、塩素、シウ素、ヨウ素、硫酸イオンは、イオン排除型イオンクロマトグラフィー(横河電機社製, IC-100)により測定した。分離カラムはイオン交換カラム(SAM3-075 プレカラムは PAM3-035)を使用した。溶離液(4.4mM Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/1.2mM NaHCO<sub>3</sub>)、除去液(15mM H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)の流量はいずれも2mℓ/minとした。イオンクロマトグラフィーによる無機イオンの検出限界は、目的物質により異なり、また他のピークのテーリング等によっても異なるが、おおよそ0.1 mg/ℓは十分に定量

できると考えられる。また、繰り返し精度は極めて良好で0.7%程度であった。

フッ素イオンの定量において、イオン選択電極法 (JIS K 0102) によっても測定を行った。測定は恒温水槽中 (20°C) において実施した。本方法の検出限界は0.05mg/ℓである。

(9) Na, K, Li, Ca, Mg, Sr, Al, T-Mn, D-Mn, T-Fe, D-Fe

Ca, Mg, Sr, Al, Mn, Fe の各金属成分は ICP (島津社製ICPS-1000III) を用い定量した。なお, Al, Mn, Feについては, 標準添加法を取り入れた。またNa, K, Liは原子吸光 (SEIKO-I製) を用い定量した。本方法における検出限界(mg/ℓ)は前に示した順に各々0.08, 0.05, 0.09, 0.04, 0.08, 0.03, 0.04, 0.01(T-Mn, D-Mnとも), 0.04(T-Fe, D-Feとも) であり, 繰り返し精度はすべての元素においておおよそ1%以内である。

ここで, Mn及びFeに関しT, Dの記載に付いては濾過処理の有無であり, Tは試水を直接実験に供し, Dについては0.2μmのフィルターで濾過を施した。

(10) P, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>

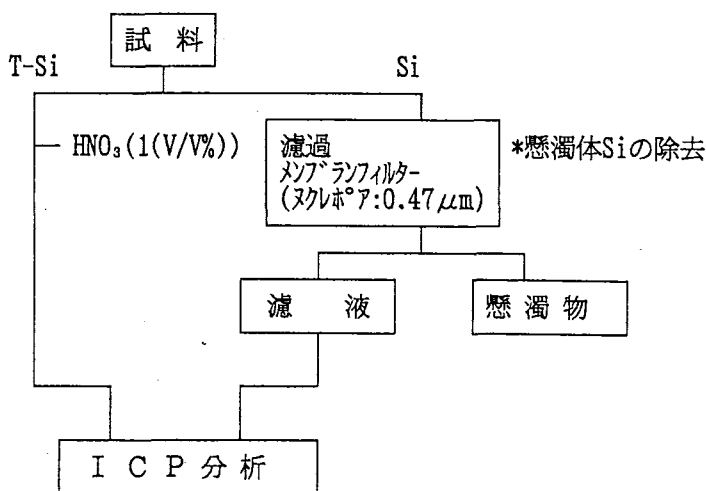
栄養塩類の分析はオートアナライザー (テクニコン社製, AAII) を使用し, 大槻(1982, 1985) の示した方法に準じて測定した。オートアナライザーを用いた栄養塩類の測定における検出限界(mg/ℓ)は, リン酸態リン, 硝酸態窒素, 亜硝酸態窒素およびアンモニア態窒素でそれぞれ0.0005, 0.005, 0.005, 0.005である。

アンモニウムイオンはインドフェノール青改良型吸光光度法, 亜硝酸イオンはスルファニルアミドとNエチレンジアミンにより発色させる吸光光度法 (JIS K0102), 硝酸イオンはカドミウム還元カラムによる還元法 (厚生省令第56号) により測定した。ここで硝酸イオンの定量において, 試料中の全ての硝酸イオンを亜硝酸イオンに還元して測定し, この値から別に測定した試料中の本来の亜硝酸イオン濃度の値を差引いて硝酸態窒素濃度を求めた。

オルトリン酸イオンはモリブデン青吸光光度法と原理が同じである混合試薬吸光光度法 (Murphy and Riley, 1962) により定量した。

(11) Si

Siの分析は島津社製ICPS-1000IIIを用いたICP法により定量した。ICP法によるSiの定量操作概略を第3-11図に示す。検出限界(mg/ℓ)は0.1である。なおICP法における繰り返し精度は0.9%である。濾過せず直接ICPによって定量した値をT-Si, 濾過を施した試料に関する値をD-Siと表示した。



第1-6図 ICPによるSiの定量操作概略

## (12) フミン酸およびフルボ酸

深層地下水および表層水試料についてフミン酸およびフルボ酸の定量を松田ら (1979) の方法を一部改編して求めた。すなわち、試料 1ml に対して 0.1M-EDTA 溶液を 1ml, アンモニア水-塩化アンモニウム緩衝溶液により pH を 9 に調整し 1 時間静置した。この溶液に対して励起波長 320nm においてフミン酸 (500nm) およびフルボ酸 (420nm) のそれぞれの蛍光強度を測定した。標準試料としては、フミン酸の定量は和光純薬製のフミン酸を精製したものを使用した。また、フルボ酸は東京化成のリグニンスルホン酸ナトリウムを標準試薬とした。蛍光光度計は日本分光製 821-FP を使用した。

## (13) ウラニンの分析

予め、本調査孔掘削時に掘削水にトレーサーとして添加したウラニンを、採取した地下水の掘削時の汚染の影響を知るための指標として定量した。

試料中のウラニン濃度は蛍光測定により励起波長 365nm, 測定波長 510nm で測定した。ただし、本調査における試料中のウラニン濃度は極めて低く、試料原液の蛍光波長特性からは検出できなかったために、標準添加法によっても測定した。すなわち、試料原液にウラニン濃度が 0.05ppb ~ 0.5ppb になるように添加し、最小自乗法により濃度と蛍光強度の関係直線式から、その濃度を求めた。

## (14) 同位体分析方法

水試料の同位体比分析は  $\delta D$  は  $H_2$  ガス,  $\delta^{18}O$  は  $CO_2$  ガスにして、質量分析計 (Finogan MAT delta-E) を用いて行う。分析試料のガス化への前処理は下記の方法による。安定同位体組成は、 $\delta$  (デルタ) 値で表現され次の式で定義される。単位は‰ (パーミル) で表す。

$$\delta = (R_x - R_{st}) / R_{st} \times 1000$$

x, st は測定試料および標準試料を示し、R は対象とする同位体比 ( $D/H$ ,  $^{18}O/^{16}O$ ) である。標準試料としては  $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$  に SMOW (標準平均海水) が用いられる。

$\delta D$  の測定は、水試料を、ファインピペットを用いて 5 $\mu$ l を採取し、反応容器内 (グリンストップコック付き石英段つき管) で約 0.1g の金属亜鉛と、真空下 450°C で反応させ  $H_2$  ガスを発生させる。誤差は  $\pm 1.5\%$  である。

$\delta^{18}O$  の測定は、5ml の水試料をポリエチレン製注射器内にとり、これに 1 気圧、30ml の  $CO_2$  ガスを市販の  $CO_2$  ボンベより導入し、よく振った後一度  $CO_2$  をすてて溶存空気を追い出した後、新しい  $CO_2$  を入れる。これを 25°C 付近の恒温室で 6 時間以上放置する。この結果水-二酸化炭素間での酸素同位体交換反応により、二酸化炭素ガスは水の酸素同位体比よりも 45.15‰ ほど  $^{18}O$  に富む同位体組成に固定される。この二酸化炭素ガスを真空装置を用いて水と空気を取り除いたのち、質量分析計で測定することにより試料水の同位体比を算出する (YOSHIDA AND MIZUTANI, 1989)。誤差は  $\pm 0.15\%$  である。

$^3H$  の測定は、2l の水試料を、いったん濾過・蒸留した後、電解濃縮する。これを繰り返して数 ml まで濃縮し、パッカート社 2550TRI 液体シンチレーションカウンターで測定を行った。定量下限値は 0.3TR, 誤差は 0.1TR である。



## 1.2 調査結果

### 1.2.1 モニター期間調査における水温、酸化還元電位、電気伝導度、pHの測定結果

採水区間（深度433～435m）の地下水が掘削等による水質変化の影響が無くなったと判断出来るまで約34ℓの連続採水を地下水のモニター期間とし各種測定を行った。また、化学分析及びバクテリア調査用試料採水期間においては数回の測定を行い、本調査が終始一貫した地下水採取を行えたかどうかの確認を行った。

調査における水温、酸化還元電位、電気伝導度、pHの測定結果を第1-6表に示す。また、第1-7表に分析試料用のための採水進行状況も併せて記す。水温、pH、電気伝導度、Ehの統計計算結果を第1-8表に示す。水温、pH、電気伝導度、Ehの測定結果を第1-7図に示す。なお、水温は採取直後の水温を記載し、水温による補正が必要な項目に関しては、各項目測定時の水温により補正を行った値を示す。

なお、水温20℃における電気伝導度の換算は、以下の式に従った。

$$(EC*(20-t)*2/100)+EC$$

EC:電気伝導度の測定値

t:測定時の水温(℃)

また、ORP(mv)からEh(mv)への換算は第1-5表を用い換算した。

第1-5表 比較電極の電位

温度(℃)	電位(mV)
5	221
10	217
15	214
20	210
25	206
30	203
35	199

$$Eh(mv)=- (t-10)*0.6+217+ORP$$

ただし t:測定時の水温(℃)

ORP:酸化還元電位の測定値

第1-6表 調査における水温，酸化還元電位，電気伝導度，pHの測定結果

回数	時間 (分)	容量 (mℓ)	合計 (mℓ)	水温 (°C)	PH	ORP (mV)	Eh (mV)	EC (mS/cm)	20°C, EC (mS/cm)	備考
1	-	500	500	22.9	8.41	35	243	11.510	10.842	化学分析(DV.0)
2	35	200	700	23.3	8.13	30	238	11.660	10.890	
3	35	240	940	22.7	8.53	28	236	11.350	10.737	
4	35	410	1350	19.3	9.20	28	238	10.440	10.586	
5	35	500	1850	20.3	9.31	-60	150	10.580	10.517	
6	35	420	2270	22.9	9.08	-14	194	11.050	10.409	
7	35	370	2640	22.3	9.31	-45	163	10.900	10.399	
8	35	300	2940	22.2	9.31	-46	164	10.280	10.383	
9	35	250	3190	21.4	9.25	-16	194	10.250	10.373	
10	35	250	3440	22.5	9.24	-51	157	10.900	10.377	
11	35	350	3790	22.4	9.22	-53	156	10.830	10.375	
12	35	340	4130	22.6	9.24	-54	155	10.680	10.381	
13	35	100	4230	22.4	9.21	-55	153	10.940	10.393	
14	35	180	4410	22.3	9.24	-53	155	11.100	10.367	
15	35	55	4465	22.1	9.21	-54	155	10.890	10.433	
16	60	500	4965	19.3	9.05	-121	89	10.430	10.576	
17	60	500	5465	21.4	9.01	-124	85	10.810	10.507	化学分析(DV.1)
18	60	500	5965	22.3	9.02	-125	83	11.010	10.504	
19	60	500	6465	18.4	9.01	-119	92	11.240	11.600	
20	60	500	6965	19.3	8.97	-116	94	10.450	10.596	
21	60	500	7465	18.4	8.99	-121	90	10.210	10.537	
22	60	500	7965	20.1	8.99	-125	85	10.490	10.469	
23	60	500	8465	19.2	9.01	-133	78	10.340	10.505	
24	60	500	8965	18.1	8.99	-127	84	10.190	10.577	
25	60	500	9465	19.6	8.93	-123	87	10.420	10.503	
26	60	500	9965	18.3	8.89	-121	90	10.210	10.557	
27	60	500	10465	19.2	8.85	-121	90	10.240	10.404	
28	60	500	10965	21.2	8.91	-119	90	10.840	10.580	
29	60	500	11465	23.7	8.91	-122	85	11.350	10.510	化学分析(DV.2)
30	60	500	11965	22.3	8.88	-113	95	11.060	10.551	
31	60	500	12465	21.2	8.71	-115	94	10.820	10.560	

第1-6表 調査における水温，酸化還元電位，電気伝導度，pHの測定結果

回数	時間 (分)	容量 (m $\ell$ )	合計 (m $\ell$ )	水温 ( $^{\circ}$ C)	PH	ORP (mV)	Eh (mV)	EC (mS/cm)	20 $^{\circ}$ C,EC (mS/cm)	備考
32	60	500	12965	22.1	8.55	-121	88	10.990	10.528	
33	60	400	13365	19.3	8.54	-122	88	10.420	10.566	
34	60	460	13825	20.2	8.53	-127	83	10.510	10.468	
35	60	350	14175	20.1	8.52	-121	89	10.510	10.489	
36	60	400	14575	19.3	8.51	-133	77	10.430	10.576	
37	60	120	14695	19.4	8.49	-132	78	10.430	10.555	
38	60	130	14825	17.7	8.47	-123	89	10.050	10.512	
39	60	200	15025	17.3	8.48	-125	87	10.040	10.582	
40	60	230	15255	20.3	8.45	-113	97	10.590	10.526	
41	180	500	15755	21.3	8.41	-114	95	10.860	10.578	化学分析(DV.3)
42	60	500	16255	22.5	8.35	-113	95	11.120	10.564	
43	60	500	16755	20.1	8.31	-123	87	10.610	10.589	
44	60	500	17255	22.2	8.31	-125	83	11.060	10.573	
45	60	500	17755	22.2	8.29	-131	77	11.070	10.583	
46	60	500	18255	22.5	8.31	-127	81	11.130	10.574	
47	60	500	18755	22.1	8.31	-123	86	11.050	10.586	
48	60	400	19155	18.7	8.22	-124	87	10.240	10.506	
49	60	500	19655	18.9	8.21	-124	87	10.340	10.567	
50	60	400	20055	17.7	8.22	-123	89	10.040	10.502	
51	60	400	20455	19.1	8.16	-135	76	10.340	10.526	
52	60	300	20755	19.4	8.17	-121	89	10.400	10.525	
53	60	350	21105	17.8	8.21	-124	88	10.130	10.576	
54	60	350	21455	18.8	8.17	-125	86	10.250	10.496	
55	60	300	21755	18.4	8.15	-133	78	10.200	10.526	
56	60	400	22155	18.3	8.16	-121	90	10.130	10.474	化学分析(DV.4)
57	60	500	22655	23.1	8.16	-123	85	11.240	10.543	
58	60	300	22955	22.9	8.14	-121	87	11.210	10.560	
59	60	400	23355	21.4	8.15	-124	85	11.000	10.692	
60	60	400	23755	23.4	8.15	-115	93	11.340	10.569	
61	60	460	24215	21.5	8.16	-118	91	11.000	10.670	
62	60	430	24645	21.7	8.15	-121	88	10.910	10.539	

第1-6表 調査における水温，酸化還元電位，電気伝導度，pHの測定結果

回数	時間 (分)	容量 (mℓ)	合計 (mℓ)	水温 (°C)	PH	ORP (mV)	Eh (mV)	EC (mS/cm)	20°C, EC (mS/cm)	備考
63	60	370	25015	20.4	8.14	-123	87	10.640	10.555	
64	60	380	25395	17.8	8.14	-125	87	10.000	10.440	
65	60	230	25625	17.3	8.13	-125	87	9.980	10.519	
66	60	400	26025	17.7	8.14	-126	86	10.110	10.575	
67	60	410	26435	18.2	8.13	-124	87	10.230	10.598	
68	60	420	26855	18.6	8.12	-117	94	10.190	10.475	
69	60	300	27155	17.4	8.13	-131	81	10.060	10.583	
70	60	400	27555	17.1	8.14	-128	84	10.010	10.591	化学分析(DV.5)
71	60	500	28055	17.4	8.12	-124	88	10.030	10.552	
72	60	500	28555	18.5	8.14	-122	89	10.190	10.496	
73	60	500	29055	21.2	8.15	-129	80	10.770	10.512	
74	60	500	29555	22.2	8.15	-124	84	11.000	10.516	
75	60	500	30055	21.3	8.14	-121	88	10.840	10.558	
76	60	500	30555	21.7	8.13	-124	85	10.910	10.539	
77	60	500	31055	21.6	8.14	-125	84	10.860	10.512	
78	60	400	31455	19.8	8.13	-131	79	10.510	10.552	
79	60	300	31755	19.3	8.14	-121	89	10.430	10.576	
80	60	500	32255	17.9	8.14	-128	83	10.140	10.566	
81	60	400	32655	17.8	8.14	-125	87	10.130	10.576	
82	60	300	32955	17.9	8.12	-123	88	10.150	10.576	
83	60	300	33255	18.9	8.13	-125	86	10.360	10.588	化学分析(DV.6)
84	60	500	33755	19.7	8.13	-132	78	10.470	10.533	
85	60	500	34255	19.2	8.12	-124	87	10.420	10.587	
86	60	500	34755	20.1	8.13	-125	85	10.570	10.549	モニター測定を終了

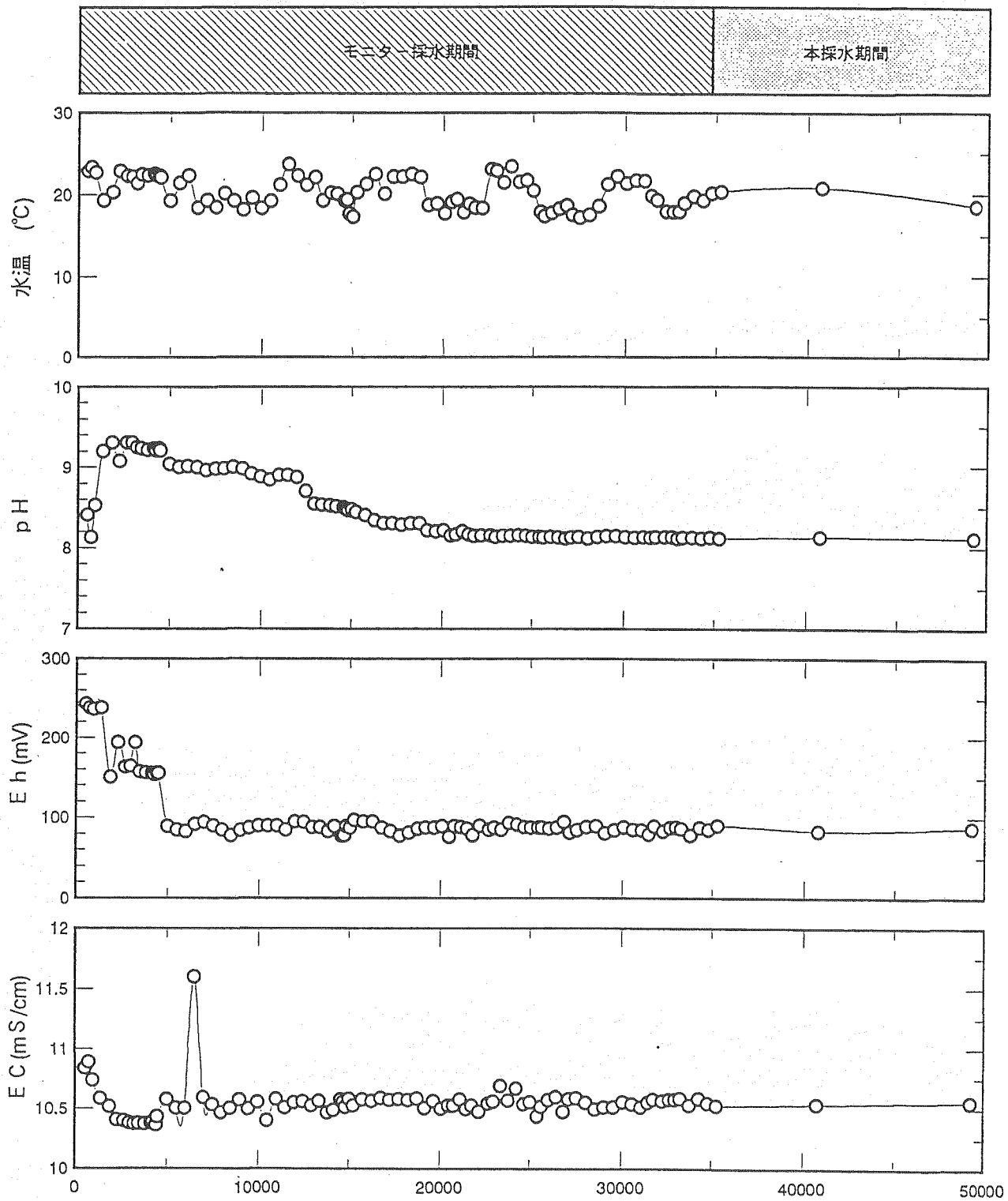
第1-7表 調査における分析試料用のための採水進行状況

回数	採水目的試料の種類	備考
87	動力炉・核燃料開発事業団中部事業所試料採取	地下水調査用試料の採水
88	動力炉・核燃料開発事業団中部事業所試料採取	
89	動力炉・核燃料開発事業団中部事業所試料採取	
90	動力炉・核燃料開発事業団中部事業所試料採取	
91	動力炉・核燃料開発事業団中部事業所試料採取	
92	同位体分析用試料採取	
93	同位体分析用試料採取	
94	同位体分析用試料採取	
95	同位体分析用試料採取	
96	同位体分析用試料採取	
97	同位体分析用試料採取	
98	同位体分析用試料採取	
99	同位体分析用試料採取	
100	モニター測定	
101	同位体分析用試料採取	
102	同位体分析用試料採取	
103	動力炉・核燃料開発事業団人形峠事業所試料採取	
104	動力炉・核燃料開発事業団人形峠事業所試料採取	
105	動力炉・核燃料開発事業団人形峠事業所試料採取	
106	動力炉・核燃料開発事業団人形峠事業所試料採取	
107	溶存気体分析用試料採取	
108	溶存気体分析用試料採取	
109	溶存気体分析用試料採取	
110	溶存気体分析用試料採取	
111	化学成分分析用試料採取	
112	化学成分分析用試料採取	
113	化学成分分析用試料採取	
114	バクテリア調査試料採取	
115	バクテリア調査試料採取	
116	バクテリア調査試料採取	
117	モニター測定	

第1-8表 測定値の統計計算結果

測定項目	最高値	最低値	算術平均	標準偏差
水温 (°C)	23.7	17.1	20.3	1.9
pH *1	9.31	8.12	8.50	0.4
Eh	242	75.6	103	39.9
電気伝導度*2	11.5996	10.3674	10.5493	0.1428

\*1 pHに関する算術平均値はpHを [H<sup>+</sup>] に換算した後、再計算を施した。  
 \*2 単位はmS/cm 20°C換算



第1-6表 調査における水温，酸化還元電位，電気伝導度，pHの測定結果

### 1.2.2 モニター分析のまとめ

ボーリング孔からの地下水採取において生じる最も大きな問題は、掘削方法に起因する地下水の水質変化である。通常ボーリング作業に使用される水は、付近の地表水であり元来地下に存在していた地下水の水質は、ボーリング作業によって大きく変化すると考えられる。

このため、採水区間の地下水が掘削等による水質変化の影響が無くなった地下水を採取するためには、採水区間に残っている孔内滞留水を汲み上げる必要がある。その汲み上げ量がどの程度必要であるかは、地下水位の位置、地層の透水性、ボーリング孔の深度等に影響されるため、一概に決定することは出来ない。そのため、各種モニター分析を行い各測定項目が安定し、今後採水をつづけても変化の無いと予想される時点を、採水区間が汚染の無い地下水に完全に置換されたと判断した。このような観点に立つと掘削時に添加したウランは、地下環境に化学的変遷をもたらさず、その濃度変化は重要な指標となり得るが、本試験では定量下限以下であった。

従って、本試験では地下水の電気伝導度、pH、水温、酸化還元電位の変化が認められず、一定の幅におさまっていること、陽イオン、陰イオン濃度に顕著な変動がないことを確認し、採水区間が完全に元来から存在していた地下水で満たされたと判断し、化学分析およびバクテリア調査のための採水を行った。

また、化学分析およびバクテリア調査のための採水に関し、調査開始時、調査中間時、調査完了時に水温、電気伝導度、酸化還元電位、pHの測定を行ったが、何れの結果もモニター期間に得られた測定値と同様の傾向にあり、調査終了まで一貫した同一の地下水を採取し続けたと考えられる。

### 1.2.3 地下水の化学成分分析結果

前述の様にモニター分析の結果から採水区間が完全に元来から存在していた地下水で満たされたと判断し、化学分析およびバクテリア調査（バクテリア調査の詳細に関しては第2章参照）のための採水を行った。

#### (1) 化学成分の結果

得られた化学成分分析結果の一覧を第2-1表に示す。表中には各分析手法の概略と検出下限値および誤差を示した。

各分析値における検出限界(limit of detection)は以下のように定義した。すなわち、検出限界とは、ブランクまたはバックグラウンドと有意に異なる機器信号(y)を与える濃度とってよい。しかしながらこの有意に異なるという表現に関し専門家や公的団体の間で統一された見識はない。通常分析化学関係の論文の中で使われる検出限界はブランク信号にブランクの標準偏差SBの2倍を加えたものに等しい信号を与える分析種濃度が検出限界の定義として一般に用いられる(J. C. Miller and J. N. Miller., 1991)。

本試験における定量下限値も上記の定義に基づき算出した。つまり、ブランク信号を複数回測定し標準偏差(SB)を求め、ブランク信号に関し2SBを足し、これを検量線から濃度になおしたものを定量下限値とした。ただし、この定量下限値は試料のマトリックス効果を無視した値であり、各測定項目に対し絶対的な値ではない。本試験の様な比較的高塩分の試料である場合は、試料水中の個々の元素の干渉作用が大きくなるために、測定時のバックグラウンドが高くなる可能性がある。

誤差に関しては試料を数回の測定をし、試料濃度に対する誤差として標準偏差と平均値から変動係数を次式に従って表した。定量下限値以下の測定成分については、最も低い濃度の標準列試料を用い10回測定し算出した。

$$\text{標準偏差 } SB = (\sum(X_i - X_{ave.})^2 / (n-1))^{0.5}$$

$$\text{平均値 } X_{ave.} = \sum X_i / n$$

$$\text{変動係数 } CV(\%) = Sc / X_{ave.} \times 100$$



第1-9表 地下水および表層水の化学分析結果一覧

分析項目	単位	地下水 分析値	変動係数 (%)	表層水 分析値	変動係数 (%)	分析方法	定量下限値
O <sub>2</sub>	mg/L	n.d		13.1	6.9	GC(TCD)/P&T	0.4
N <sub>2</sub>	mg/L	38.4	7.2	33.2	6.3	GC(TCD)/P&T	0.05
H <sub>2</sub>	mg/L	0.021	6.4	n.d		GC(TCD)/P&T	0.01
He	mg/L	0.032	7.1	n.d		GC(TCD)/P&T	0.03
CO	mg/L	0.86	3.4	n.d		GC(FID)還HS	0.05
CH <sub>4</sub>	mg/L	0.024		n.d		GC(FID)/P&T	0.4
ΣCO <sub>2</sub>	mg/L	31.56	3.2	11.84	0.2	赤外線吸	0.14
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	mg/L	0.204		2.516		* 計算	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	39.10		12.48		* 計算	
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	0.1972		0.0		* 計算	
TOC	mg/L	1.85	0.2	0.770	0.6	乾式法	0.14
フミン酸	mg/L	0.18	0.8	n.d		蛍光法	0.5
フルボ酸	mg/L	0.29	1.0	n.d		蛍光法	1.0
T-Si	mg/L	5.48	0.41	6.71	1.4	ICP	0.1
D-Si	mg/L	5.44	0.202	6.58	1.2	ICP	0.1
Na	mg/L	2013	0.514	4.80	1.70	AAS	0.08
K	mg/L	1.99	0.346	0.87	0.66	AAS	0.05
Li	mg/L	n.d		n.d		ICP	0.09
Ca	mg/L	589	0.14	3.25	0.16	ICP	0.04
Mg	mg/L	8.32	0.84	1.07	0.27	ICP	0.08
Sr	mg/L	0.101	1.03	0.24	0.89	ICP	0.03
Al	mg/L	0.098	0.98	0.062	1.03	ICP	0.04
T-Fe	mg/L	0.987	1.08	0.399	1.125	ICP	0.04
D-Fe	mg/L	0.951	0.58	n.d		ICP	0.04
Fe <sup>2+</sup>	mg/L	0.97	0.90	n.d		比色法	0.04
T-Mn	mg/L	0.438	0.93	n.d		ICP	0.01
D-Mn	mg/L	0.416	0.98	n.d		ICP	0.01
ΣS <sup>2-</sup>	mg/L	n.d		n.d		滴定法	0.9
ΣS <sup>2-</sup>	mg/L	n.d		n.d		電極法	0.05
F <sup>-</sup>	mg/L	0.72	2.5	0.09	2.01	蒸留&電極	0.03
F <sup>-</sup>	mg/L	n.d		n.d		HPLC	0.09
Cl <sup>-</sup>	mg/L	4181	0.065	6.73	0.36	HPLC	0.09
Br <sup>-</sup>	mg/L	15.6	0.92	n.d		HPLC	0.07
I <sup>-</sup>	mg/L	n.d		n.d		HPLC	0.06
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	n.d		4.19	0.658	HPLC	0.1
PO <sub>4</sub> -P	mg/L	0.0033	6.6	0.0081	0.816	比色法	0.0001
NH <sub>4</sub> -N	mg/L	4.20	2.1	n.d		比色法	0.005
NO <sub>3</sub> -N	mg/L	n.d		n.d		比色法	0.005
NO <sub>2</sub> -N	mg/L	n.d		0.0521	1.0	比色法	0.0001
Uranin	mg/L	n.d		n.d		蛍光法	

GC:ガスクロマトグラフ; HS:ヘッドスペース法; P&T:パージアントトラップ法; FID:水素化炭イオン化検出;  
TCD:熱伝導度検出; AAS:原子吸光光度法; HPLC:高速液体クロマトグラフ; ICP:イオン結合プラズマ  
T-NON FILTER; D-:0.2μm FILTER; n.d.:検出下限値以下

(2)調査における各試料水のイオンバランス

試料溶液は電氣的に中性であり，陰イオンと陽イオンの電荷の総計はつり合うはずである。実際には分析誤差等もあるため以下の式によって確認する(田村,1988)。

$$\Sigma_{\text{ANION}} - \Sigma_{\text{CATION}} \leq (0.1065+0.0155 \Sigma_{\text{ANION}})$$

本試験の結果は，以下のとおりであった。

第1-10表 地下水および表層水のイオンバランス

	$\Sigma_{\text{ANION}}$	$\Sigma_{\text{CATION}}$	$\Sigma_{\text{ANION}} - \Sigma_{\text{CATION}}$	$0.1065+0.0155 \Sigma_{\text{ANION}}$
地下水	118.4	117.6	0.8	1.942
表層水	0.481	0.481	0.0	0.114

但し， $\Sigma_{\text{ANION}} = (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{--} + \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{--}; \text{unit meq/l})$

$\Sigma_{\text{CATION}} = (\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}; \text{unit meq/l})$

(3)調査における各試料水の水温，酸化還元電位，電気伝導度，pH

調査における各試料水の水温，酸化還元電位，電気伝導度，pHの測定結果を第2-3表に示す。

第1-11表 調査における各試料水の水温，酸化還元電位，電気伝導度，pH

	水温	酸化還元電位	電気伝導度	pH
地下水	20.3	-120	10.5	8.1
表層水	17.2	278	0.178	7.1

(4)同位体分析結果

同位体分析結果を第1-12表に示す。

第1-12表 地下水および表層水の同位体分析結果一覧

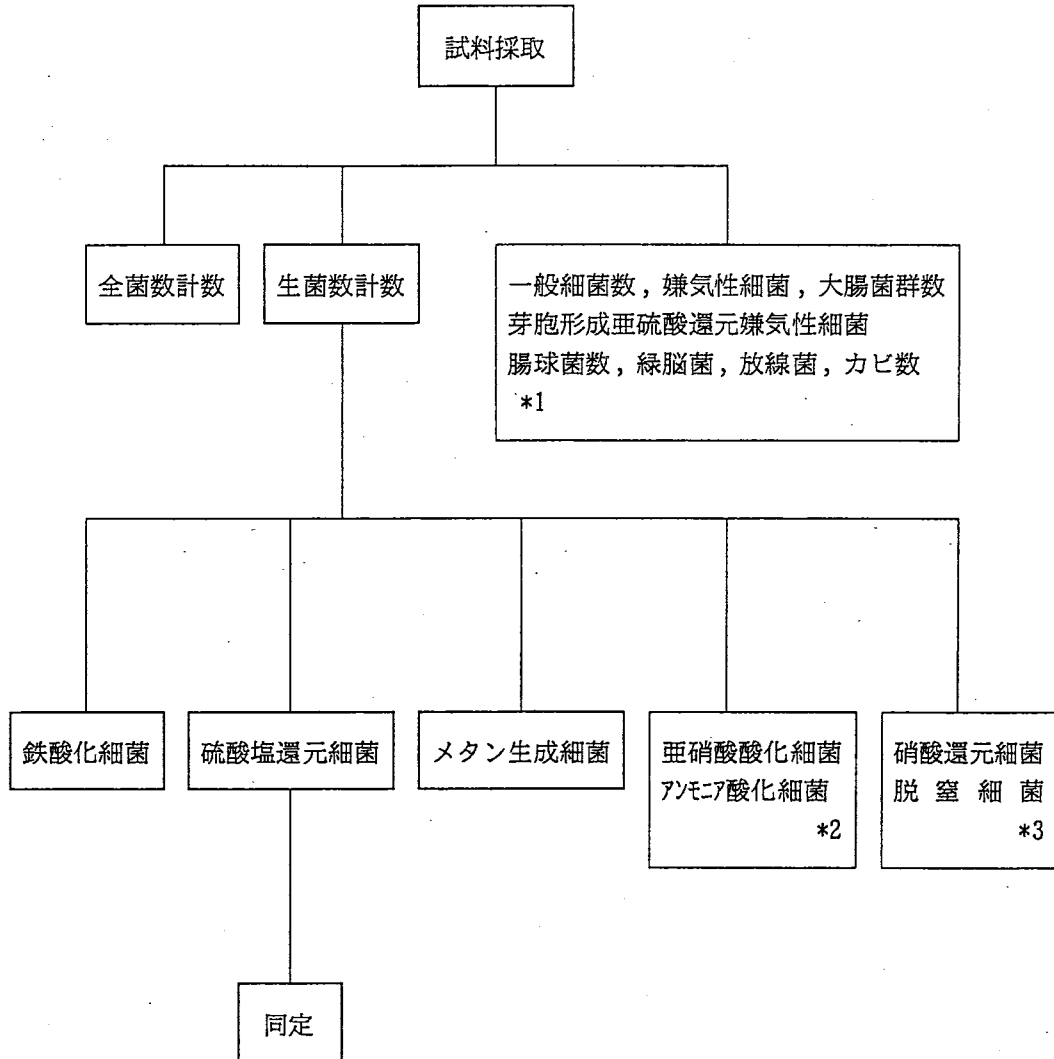
測定項目	試料		測定方法
	地下水	表層水	
$\delta D$ (‰)	-40.7	-52.2	亜鉛バッチ法
$\delta^{18}O$ (‰)	-7.8	-8.9	水-二酸化炭素ガス交換法
$^3H$ (TU)	0.8	4.9	液体シンチレーション

## 2. バクテリア調査

### 2.1 バクテリアの調査方法

#### 2.1.1 調査フローシート

調査のフローシートを第2-1図に示す。本調査では、地下水と地表水各1件ずつ計2件の試料について実施した。



第2-1図 バクテリア調査フローシート

\*1: 動力炉・核燃料開発事業団調査分

\*2, \*3: 同和工営株式会社仕様書外調査分

### 2.1.2 全菌数計数

全菌数の計数は、Hobbieら(1977)が示したアクリジンオレンジ染色法に準拠し行った。その方法は以下の通りである。

直径25mmのヌクレポアーフィルター(ポアサイズ:0.2 $\mu$ m)により試料を濾過し、その後アクリジンオレンジ0.01W/V%溶液により染色した。染色をしてから約30分後に、1試料につき3枚のプレパラートを作製した。次に、蛍光用エマルジョンオイルを用いて、蛍光フィルター(BG12)を付した落射型蛍光顕微鏡(オリンパス光学工業, model BH-RFL)により、倍率1500倍にて計数を行った。この時、アクリジンオレンジで染色された細胞は、蛍光励起によりオレンジないしは青色に発色する。これらの発色が認められるもののうち、明らかにバクテリア細胞と判別できるものについて計数した。従って本法で計数された全菌数は、生菌・死菌に係わらず顕微鏡下で微生物の細胞と認識された全てのものの数である。なお、計数視野は、1枚のフィルターに付き20~40視野とした。

### 2.1.3 生菌数計数

#### (1) 鉄酸化細菌

鉄酸化細菌のうち *Thiobacillus ferrooxidans* を計数した。

*Thiobacillus ferrooxidans* の計数には、SilvermanとLundgrenの計数培地を使用した。その組成を第2-1表に示す。この培地の調製は以下に記すよう行った。オートクレーブ滅菌(120°C、15分間)した[A]液に、 $\gamma$ 線滅菌済みのミリポアフィルター(ポアサイズ0.2 $\mu$ m)により濾過滅菌をした[B]液を、無菌的に混合した。

このように調製した液体培地を乾熱滅菌(180°C、4時間)したアルミキャップ付き試験管(30ml容)に約20ml分注し、MPN(5本)法【注1】による計数用培地とした。なお、1試料について2連で培養計数を実施し、希釈段階は5段とした。このように用意した計数用培地に、試料原液あるいは段階希釈試料を10v/v%接種し、試験管ミキサー(ボルテックスミキサー)にて良く攪拌した。培養条件は30°C、暗条件下において振盪培養した。培養期間は1ヶ月とし、培養期間内において培養開始から5、10、15、20、30日目に顕微鏡観察による生育チェックを行った。

本調査試料は、水質測定結果(pHなど)から *T. ferrooxidans* の存在が極めて少ないと考えられ、以上のような常法では、適正な値が求め難いと判断された。そこで、試料の接種量を常法よりも10倍増やし、培養計数をMPN(3本)法により再度実施した。すなわち、500mlの三角フラスコに200mlの液体培地を分注し、試料原液あるいは段階希釈試料の接種量を20mlとした。この時の三角フラスコは、綿栓を施し乾熱滅菌をしたもので、使用した培地及び培養条件はMPN(5本)法の時と同じとした。

#### (2) 硫酸塩還元細菌

MPN(5本)法と二重皿法【注2】の2種類の培養計数手法により、計数を行った。使用した培地はPostgateの培地を一部改変したもので、その培地組成を第2-2表に示す。以下にMPN法及び二重皿法における手順を述べる。

MPN法は、培地に寒天を0.3w/v%添加して半固体培地とし、全量が15mlの試験管に培地10mlを無菌的に分注して使用した。試料は、培地10mlに対して1mlの割合で接種し、ピペットの先端を培地中に挿入して空気との接触をできるだけ避けるようにした。接種後、直ちに還元剤としてチオグリコール酸ナトリウムとアスコルビン酸ナトリウムを0.01%添加した1.5%寒天溶液により培地表面をシール、空気との接触を無くし、無酸素状態が保持できるようにした。試料接種が完了した培養試験管を、暗条件下、30°Cで静置培養し、培養開始後、7日目及び14日目に計数を行った。なお、培養計数は、1試料に付き2連で実施した。

二重皿法には寒天を1.5w/v%添加した固体培地を使用した。それ以外はMPN法とまっ

たく同じである。試料の接種量は培地15mlに対して1mlである。培養条件もMPN法の時と同様である。なお、培養計数は1試料、1希釈段階につき3枚のプレートを作製し実施した。

MPN法、二重皿法とも試料の希釈の際、希釈水には還元剤を培地と同様の割合で添加した生理食塩水(NaCl 0.85w/v%)を使用した。また、硫酸塩還元細菌の生育は、硫化鉄の生成による培地の黒変及び黒色コロニーの出現により判断した。

### (3) メタン生成細菌

第2-3表に示す組成の培地を用い、MPN(5本)法により培養計数を行った。培養容器にはシリコン栓の付いたガラス製バイアル瓶(120ml容)を、アルミシールで密封して使用した。培地の調製手順と計数方法を以下に記す。

第2-3表に示す組成において、ビタミン混液、微量金属溶液及び炭酸水素ナトリウム溶液を除く組成の液体培地を、ガラス製バイアル瓶に分注し、アルミシールにて密封した後に、オートクレーブ滅菌を行った。オートクレーブ滅菌終了後、まだ熱い間に、濾過滅菌したビタミン混液、微量金属溶液及び炭酸水素ナトリウム溶液をシリンジで添加し、その後、流水で冷却しながらバイアル瓶の内部を無菌的に水素/二酸化炭素(20/80)混合ガスで置換した。ガス置換は、クリーンベンチ内において、滅菌済み注射針とγ線滅菌済みミリポアフィルター(0.2μm)を用いて、減圧とガス充填を数回繰り返した。この時、培地に加えたレサズリンの薄赤色が発色していないことを確かめ、完全な無酸素状態であることを確認してから、培養計数に使用した。(ここで、レサズリンは、酸素が存在すると青～紫色を呈し、微好気環境下では薄赤色へと変わり、無酸素環境下では発色しない。すなわち、本培地の場合は透明となる。) 試料の接種及び希釈にはシリンジを使用し、グローブボックス内で作業を行った。なお、希釈液には、培地と等濃度の割合でレサズリンと還元剤を添加した生理食塩水を、培地調製時と同様な滅菌及びガス置換操作により調製したものをを用いた。培養は暗条件下、25℃で静置培養し、培養開始後、30日、45日、60日、80日目に生育の判定を行った。生育の判定は、バイアル瓶のヘッドスペース部におけるメタンガスの有無で行った。メタンガスの定性分析は、ヘッドスペース部のガスをガスタイトシリンジで採取し、FIDを検出器としたガスクロマトグラフィー(島津社製、GC-14A)で行った。ガスクロマトグラフィーの測定条件は、分離カラム: Porapak Q 3m, 温度: 45℃定温, キャリアーガス及び流量: 窒素, 35ml/min, とした。

### (4) 硝化細菌

硝化細菌は基質の利用性の違いにより、アンモニア酸化細菌(亜硝酸菌)と亜硝酸酸化細菌(硝酸菌)に区別することができる。本調査では、アンモニア酸化細菌および亜硝酸酸化細菌の計数培地には須藤(1988)が示した培地(第2-6表)を使用し、MPN(5本)法により計数した。培地調製の手順は次の通りである。アンモニア酸化細菌計数用および亜硝酸酸化細菌計数用培地ともに、アルミニウムキャップ付き試験管(30ml容)に炭酸カルシウム粉末と石英砂を少量入れ、乾熱滅菌(180℃, 4時間)をおこない、その後に基礎培地を無菌的に分注した。基礎培地は炭酸水素ナトリウムを除く組成のものをオートクレーブ滅菌(121℃, 15分)し、常温に冷却した後に、滅菌済みミリポアフィルター(孔径: 0.2μm)によりろ過滅菌した炭酸水素ナトリウムを最終濃度が2.38mMとなるように添加した。以上のようにして調製した培地に、試料原液あるいは段階希釈液1ml接種し、アンモニア酸化細菌、亜硝酸酸化細菌ともに27℃, 静置・暗条件下において約40日間の培養をおこなった。

アンモニア酸化細菌および亜硝酸酸化細菌の生育の有無は培地中の亜硝酸および硝酸の生成をα-ナフチルアミン法による定性試験から判定した。生育の判定はアンモニア酸化細菌および亜硝酸酸化細菌ともに培養開始から20, 30, 40日目に実施し、得られた計数値の中で最も高い値を各々の生菌数として採用した。

#### (5)硝酸還元菌および脱窒菌

硝酸還元菌および脱窒菌の計数は、須藤（1988）の方法に準じた。すなわち、第2-7表に示したGiltyの培地を使用し、MPN（5本）法により計数した。試料原液および段階希釈液を培地5mlに対して1ml接種し、直ちに培地表面を1.5%寒天溶液（還元剤は無添加）によりシールした。

試料接種の完了した培地を30°C、約14日間培養し、硝酸還元菌の生育の有無は培地に添加したpH指示薬による液色の変化により、また脱窒菌のそれはダラム管へのガスの蓄積より判定した。すなわち、培養液の培地（pH=7.0~7.2）はBTBにより緑色を呈しているが、硝酸還元が起こると培地中の硝酸イオンが消費され培地中のpHはアルカリ性となり濃青色を呈する。また、脱窒が生じた場合には、培地の色の変化とともに、多量の窒素ガスが発生し、培地中のダラム管に気泡がたまる。以上の判定基準により培養開始から7、10および14日目に計数をおこない、得られた計数値の中で最も高い値を採用した。

#### 【注1】MPN法

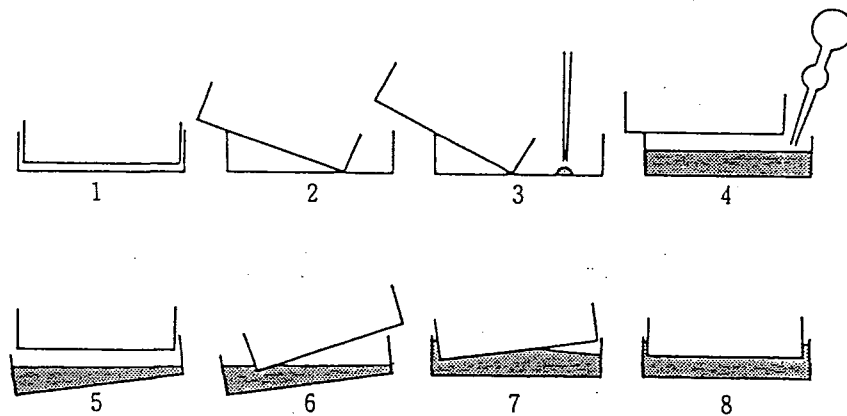
濃度未知の細菌懸濁液を、たとえば10倍の倍率で順次希釈していき、各希釈液の一定量（例：1ml）ずつをそれぞれ培地の入った数本（例：5本）の試験管（培養器）に接種して培養したとする。その結果、 $10^{-6}$ 希釈液を接種したすべての培養器で生育が認められ、 $10^{-6}$ 希釈液では2本生育、 $10^{-7}$ 希釈液では全く生育がなかったとする。つまり、生育のあった培養器本数が $10^{-6}$ - $10^{-6}$ - $10^{-7}$ 希釈で5-2-0（コード）であったとすると、もとの細菌懸濁液濃度は $10^5 \sim 10^6$  cells/mlの間にあることは見当づけられるが、統計的方法によればより正確に推定できる。ここで推定される細菌濃度をMPN（most probable number）と呼ぶ。

#### 【注2】二重皿法

被検液の一定量をシャーレ内で寒天培地とよく混合して平板培養を行い、生成したコロニー数を数える平板培養コロニー計数法のうち、第2-2図のような培養を行うものである。この場合、すべての細菌が認められるようなコロニーをつくること、1個の細菌が1つのコロニーをつくることを前提としている。

今回行った二重皿培養法の試料接種手順の概略を、第2-2図で説明する。

- (a) 乾熱滅菌（180°C、4時間）処理したガラスシャーレの裏蓋に、温度を38°Cに保持した寒天培地15mlを入れる。直ちに試料原液あるいは還元剤を添加した生理食塩水による段階希釈試料を1ml接種し、試料と培地が均一に混合されるように充分混ぜる。このとき気泡を作らないように注意する。
- (b) 試料と混合した寒天培地が固まったら、還元剤を添加し温度を38°Cに保持した1.5w/v%寒天溶液15mlを重層する。
- (c) 重層した寒天溶液が固まらない間に、シャーレの残りの一方を寒天に軽く押し付けるようにして密着させる。このように密着させることにより培地表面からの空気（酸素）の供給を閉ざし、培地内を嫌気状態に保持する。



第2-2図 二重皿培養法における試料接種手順の概略

第2-1表 Thiobacillus ferrooxidans 計数用培地

[A]	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3.0 g
	KCℓ	0.1 g
	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.5 g
	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.5 g
	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.01g
	/Ion Exchanged Water	500 ml
	pH adjusted at 2.0 with H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
[B]	FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	10.0 g
	/Ion Exchanged Water	500 ml
	pH adjusted at 2.0 with H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	

第2-2表 硫酸塩還元細菌計数用培地

Yeast Extract(Difco)	1.0 g
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.5 g
NH <sub>4</sub> Cl	1.0 g
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1.0 g
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.1 g
CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.1 g
FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.2 g
Sodium Lactate	3.5 g
Agar-(1)	3.0 g
Agar-(2)	15.0 g
/Ion Exchanged Water	1000 ml
pH adjusted at 7.2 with 1N-HCl soln.	

- 注) ・ Agar-(1)はMPN法, Agar-(2)は二重皿法の時である。  
 ・ 培地にはオートクレーブ滅菌後, 還元剤として濾過滅菌したチオグリコール酸ナトリウムとアスコルビン酸ナトリウムを, 各々最終濃度が0.01%になるように添加する。



第2-3表 メタン生成細菌計数用培地

ギ酸ナトリウム	2.5 g
酢酸ナトリウム	2.5 g
メタノール	2.5 ml
CaCl <sub>2</sub>	0.01 g
MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0.01 g
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.5 g
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.5 g
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.25 g
システイン塩酸塩	0.2 g
レサズリン	0.001g
イオン交換水	1000 ml
ビタミン混液 <sup>1)</sup>	2.0 ml
微量金属溶液 <sup>2)</sup>	10.0 ml
NaHCO <sub>3</sub> (8% soln.)	65.0 ml

- 注) ・接種時に還元剤として、新たにシステイン塩酸塩とNa<sub>2</sub>S·9H<sub>2</sub>Oの混合液を加える。その方法は、50w/v%システイン塩酸塩及び30w/v%Na<sub>2</sub>S·9H<sub>2</sub>Oの濾過滅菌溶液を、1000mlの培地に対してシリンジで1ml加える。  
 従って、システイン塩酸塩の最終濃度は、0.02+0.05=0.07w/v%、Na<sub>2</sub>S·9H<sub>2</sub>Oの最終濃度は0.03w/v%となる。  
 ・1)と2)は各々第2-4、2-5表に示す。

第2-4表 ビタミン混液の組成 (メタン生成細菌用)

チアミン	0.25 g
アスコルビン酸	0.25 g
リボフラビン	0.25 g
ビオチン	0.50 g
ビタミンB <sub>12</sub>	0.06 g
ピリドキシン	0.05 g
葉酸	0.10 g
コリン	0.25 g
p-アミノ安息香酸	0.50 g
/イオン交換水	1000 ml

第2-5表 微量金属溶液の組成 (メタン生成細菌用)

CoC <sub>l</sub> <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0.004g
CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	0.004g
FeC <sub>l</sub> <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	1.0 g
ZnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	0.06 g
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.08 g
Na <sub>2</sub> EDTA	6.0 g
/イオン交換水	1000 ml

第2-6表 硝化細菌計数用培地

(基礎培地)	
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	100 mg
EDTA-Fe·2Na	6 mg
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	50 mg
CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	20 mg
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> *)	6 mg-N
NaNO <sub>2</sub> **)	6 mg-N
NaHCO <sub>3</sub> ***)	200 mg
NaCO <sub>3</sub>	少量
石英砂	少量
/イオン交換水	1000 ml

\*) アンモニア酸化細菌の場合

\*\*) 亜硝酸酸化細菌の場合

\*\*\*) ろ過滅菌して加える

第2-7表 硝酸還元細菌，脱窒細菌計数用培地

(A液)	
KNO <sub>3</sub>	1.0 g
アスパラギン	1.0 g
B T B 溶液(1w/v%)	5.0
/イオン交換水	500 ml
(B液)	
クエン酸ナトリウム	8.5 g
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	1.0 g
FeCl <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0.05 g
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1.0 g
CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.2 g
/イオン交換水	500 ml

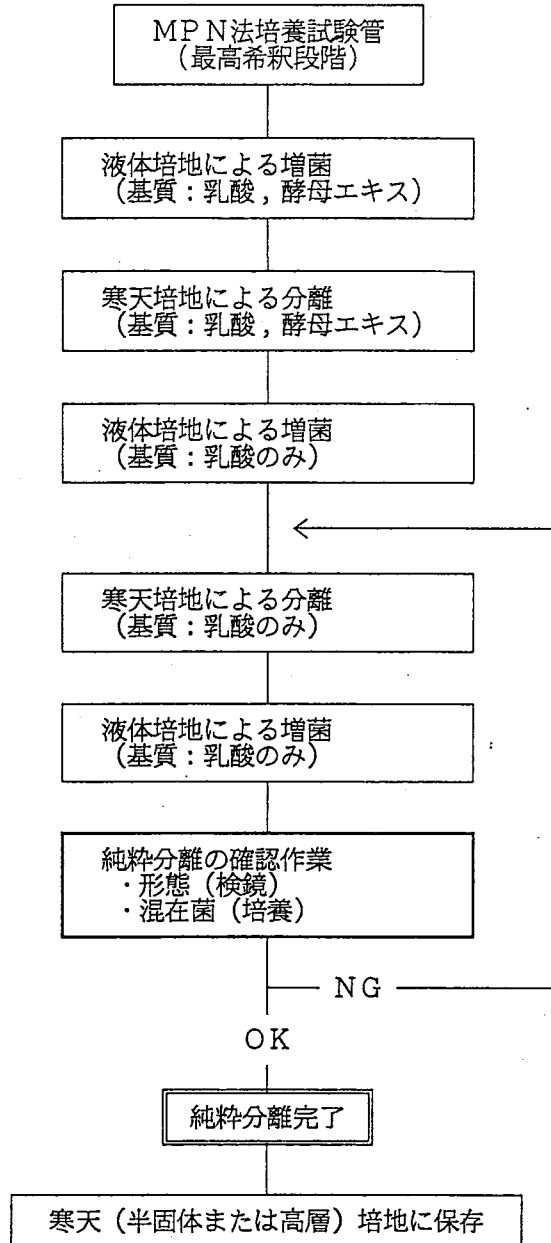
(A液) と (B液) を混合し，pH=7.0~7.2に調製する

#### 2.1.4 硫酸塩還元細菌の同定

硫酸塩還元細菌の存在が確認された地表水試料から1株分離し、分離株についてその属及び種の同定を行う。ここで、純粋分離は前項目 [2.1.3(2)] に示したMPN法による硫酸塩還元細菌の計数の際、最高希釈段階に出現した培養試験管から釣菌して純粋化を行う。従って、得られた分離株は確率的に最も現存量の多い種である可能性が高いと考えられる。このようにして分離された菌株について、形態学的試験と生理学的試験等から属・種の同定を試みた。以下の項目に分離、純粋化から同定にいたるまでの方法を記す。

##### (1) 分離及び純粋化

硫酸塩還元細菌の分離は前項目2.1.3(2)に示したMPN(5本)法において最高希釈段階で出現した試験管の培地の黒変部分をパスツールピペットにより釣菌することから開始する。この試料をPostgateの培地から寒天を除いた組成の液体培地に接種し、暗条件下、30°Cで増菌培養する。増菌させた培養液から1mlを採取し還元剤を添加した生理食塩水に懸濁(希釈)させ、希釈液の1mlを38°Cに保持した固体寒天培地と混合し、シャーレにて嫌気培養(ベクトンディッキンソン社製、ガスパックパウチ)を行う。その後嫌気培養したシャーレ(固体培地)に出現したコロニーを再び液体培地に接種し増菌を行う。ただし、ここから先の段階で用いる培地には粉末酵母エキスは含まれない。これは、共存する従属栄養細菌の増殖を抑え、硫酸塩還元細菌の単一コロニーを得るための配慮である。以後、固体寒天培地と液体培地による培養を繰り返して地表水試料からの純粋株を1株得る(第2-3図に本調査で実施した硫酸塩還元細菌の純粋分離の操作手順を示す)。なお、純粋株が得られたか否かのチェックは他の細菌群との混在のないこと、あるいは同じ硫酸塩還元細菌の複数種の混在のないことについて確認する(第2-6表参照)。すなわち、他の細菌群との混在(共生)については従属栄養細菌、光合成硫黄細菌あるいは化学合成硫黄細菌の混在のないことを培養および顕微鏡観察により確かめる。また、硫酸塩還元細菌の複数種の存在性は顕微鏡観察により形態が単一であることから判断する。



第2-3図 硫酸塩還元細菌の純粋分離の操作手順

第2-8表 硫酸塩還元細菌の純粋化における混在菌(群)の判定

対象細菌群	試験(判定)方法
好気性従属栄養細菌群	Nutrient(Difco社製)培地及び同培地に乳酸(最終濃度30mM)を添加したもので寒天平板培養(30°C, 1~2週間) ▽判定方法: 増殖コロニーの確認
嫌気性従属栄養細菌群	Nutrient(Difco社製)培地及び同培地に乳酸およびブドウ糖(最終濃度30mM)を添加したもので重層寒天によりガスバック嫌気培養(30°C, 2~3週間) ▽判定方法: 増殖コロニーの確認
光合成紅色非硫黄細菌 ( <i>Rhodospirillaceae</i> 科)	BibleとPfennig(1981)の培地(第2-8表参照)で寒天混釈法により嫌気・明培養(30°C, 3週間) ▽判定方法: 増殖コロニーの確認
光合成紅色硫黄細菌 ( <i>Chromatiaceae</i> 科)	PfennigとTruper(1974)の培地(第2-9表参照)で寒天混釈法により嫌気・明培養(30°C, 4週間) ▽判定方法: 増殖コロニーの確認
光合成綠色硫黄細菌 ( <i>Chlorobiaceae</i> 科)	光合成紅色硫黄細菌と同じ
無色硫黄細菌群	光学顕微鏡(400倍)により観察 ▽判定方法: 糸状性細胞の有無

## (2) 同定操作

前項(1)で得られた純粋株に関して、形態学的試験及び生理学的試験等を行い属・種の同定を同定した。さらに同定結果の裏付けとして化学的分類手法(キノンプロファイル法)及び遺伝学的手法(GC含量測定)を実施した。以下に試験の内容を記す。

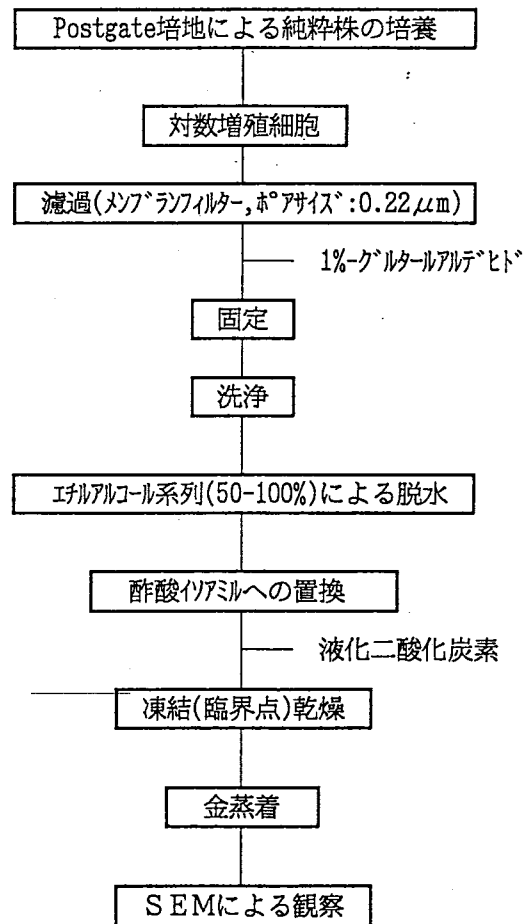
### 1) 形態学的試験

- ① 光学顕微鏡及び電子顕微鏡による細胞の形態観察  
走査型電子顕微鏡(SEM)観察試料の調製手順を第2-4図に示す。
- ② 運動能観察
- ③ グラム染色  
グラム染色の手順を第2-5図に示す。
- ④ 鞭毛観察  
鞭毛染色の手順を第2-6図に示す。
- ⑤ 孢子形成能試験  
孢子形成能試験は、メチレンブルーによる単染色後、検鏡により孢子の形成を観察する。さらに生細胞懸濁液を、85°Cで10分間加熱した後、Postgateの培地で培養し、生育の確認を行う。ここで孢子形成能の有る細菌であるならば熱処理後も生育するが、非形成の細菌なら生育しない。

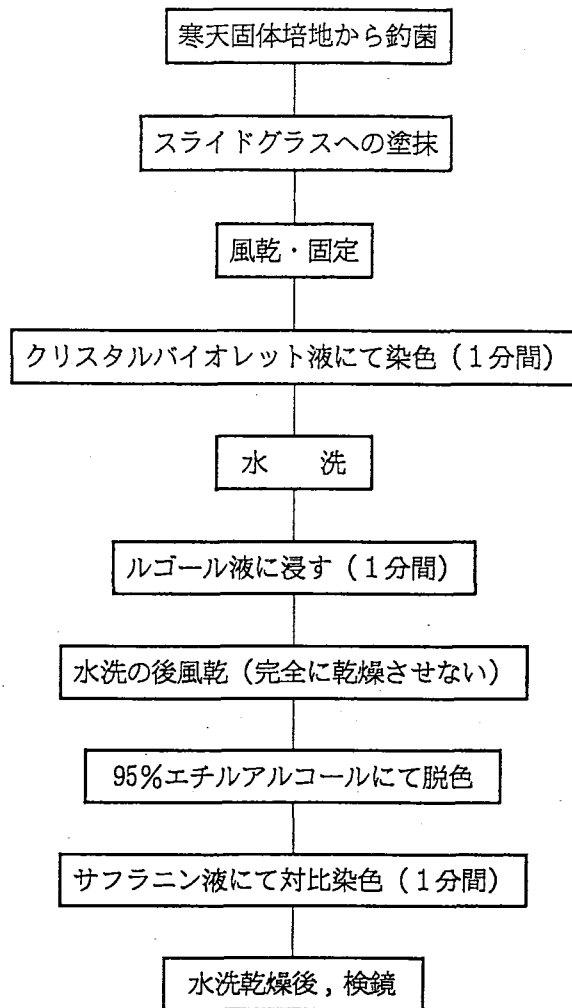
### 走査型電子顕微鏡観察の手順

分離，純粋化した菌株をPostgate培地(液体)により30°C，暗条件下で培養した細胞懸濁液を走査型電子顕微鏡(SEM)用の試料とする。SEM観察用試料の調製は以下の通りである。

- a 細胞懸濁液の上澄液をメンブランフィルター(ヌクレポアフィルター，ポアサイズ0.22 $\mu$ m)により濾過し，適量の無菌水で洗浄する。
- b 続いてフィルター上に集めた細胞試料を1%グルタルアルデヒド(0.2Mリン酸緩衝液によりpH7.2に調製)で固定し，無菌水で洗浄する。
- c 得られたフィルターをエチルアルコール系列(50~100%)により脱水を行い，酢酸イソアミル-エタノール(1:1)，酢酸イソアミルを数回通して酢酸イソアミルに置換し，耐圧容器内で液体二酸化炭素により臨界点凍結乾燥を行う。
- d 凍結乾燥完了後，SEM用試料台に張り付け，真空蒸着装置で金蒸着する。
- e 以上の操作手順により調製した試料をSEMにより観察し，同時に写真撮影を行う。  
なお，使用したSEMはSIGMA-II(明石製作所製)を，真空蒸着装置にはQuick Co-ater SC-701(SANNYU-DENSHI製)を使用する。また，濾過試料固定用の1%-グルタルアルデヒドは電子顕微鏡用(和光純薬製)のものを使用する。

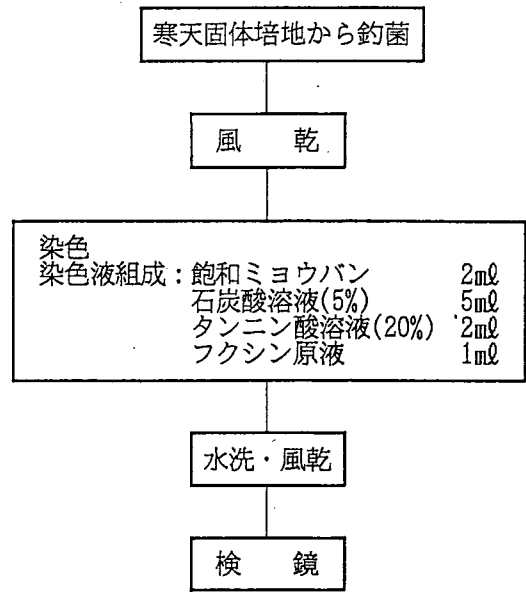


第2-4図 走査型電子顕微鏡 (SEM) 観察試料の調製手順



第2-5図 グラム染色の手順





第2-6図 鞭毛染色の手順

2)生理学的試験

① 基質資化性（生育に利用できる炭素源の検討）

Postgateの培地から粉末酵母エキス及び乳酸を除き、これらの有機物源のかわりにリンゴ酸塩、ギ酸塩、酢酸塩、及びブドウ糖を添加した培地で培養を行い生育を観察する。また、硫酸塩の存在しない場合の基質の資化性についても試験を行う。

この場合は、Postgateの培地の硫酸塩と有機物源を除き、かわりにピルビン酸あるいはコリンを添加した培地で培養を行い、生育を観察する。

② NaCl 要求性

③ 好温性

第2-9表 基質資化性（生育に利用できる炭素源）試験の概要

項目	内容
培養方法	
培養容器	スクリーキャップ試験管(20ml) (空気の混入を避けて、培養液を試験管に満たし密封)
培地組成	Postgateの培地を基本として、基質炭素及び硫酸塩の組成を変化させる a 硫酸塩の存在下： 乳酸塩 リンゴ酸塩 ギ酸塩 酢酸塩 ブドウ糖 b 硫酸塩の非存在下： ピルビン酸塩 コリン
培養温度等	30°C，暗所，静置
増殖の判定	試験管のまま細胞の懸濁状況を経時的に測定する。 測定は比色計にて，波長660nmの吸光度を調べる。

注) 培地に添加した全ての有機物基質は最終濃度を30mMとする。

### 3) 化学分類手法 (呼吸鎖キノンの測定)

キノンは細菌の細胞膜に含まれる呼吸鎖や光合成電子伝達鎖の必須成分である。従って、好気呼吸、嫌気呼吸、あるいは光合成によるエネルギー獲得形式を備えた細菌には全てこの成分が存在する。細菌の呼吸鎖キノンは、ナフトキノン型及びベンゾキノン型に大別され、各々、メナキノンとユビキノンを代表される。このキノン分子種は通常略して表される。すなわち、イソブレン単位  $n$  個のメナキノン、ユビキノンは各々、MK- $n$ 、Q- $n$  のように表す。近年、真性細菌の属・分類群において、優占キノン分子種は例外なく決まっていることが明らかとされており、例えば、*Paracoccus* はユビキノン (Q-10) を、*Pseudomonas* はユビキノン (Q-8) を優占キノン分子種として持っている。このように細菌の属・種に固有の呼吸鎖キノンは、近年微生物の分類・同定に広く応用されている (Hiraishi, 1988, Dudley, 1980, 平石, 1990)。

本調査においても、地下水試料から分離した硫酸塩還元細菌のキノン分子種の分析を行い、同定の際の情報として採用した。

硫酸塩還元細菌は、*Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum*, *Desulfomonas*, *Thermodesulfobacterium*, *Desulfobulbus*, *Desulfobacter*, *Desulfococcus*, *Desulfosarcina*, *Desulfobacterium*, *Desulfonema* の10属、約30種から成るが、各々の優占キノン種は属により異なる。すなわち、*Desulfovibrio* の多くはMK-6を、*Desulfobulbus* はMK-5を、その他の属の大部分はMK-7を主に優占キノン分子種として有することが知られている (Collins and Widdel, 1986, Widdel, 1988)。従って、本分離株の優占キノン分子種を分析することにより、属レベルでの同定に関し有力な情報が得られると考えられる。細菌細胞からのキノンの抽出及び分離・定性操作の概略を第2-7図に示す。

2-7図に示したようにキノンの分析は以下の3段階に大別できる。

- ① 測定対象となる細菌の大量培養
- ② 抽出
- ③ 分離・定性の操作

以下に操作の詳細に付いて記す。

#### ① 測定対象となる細菌の大量培養

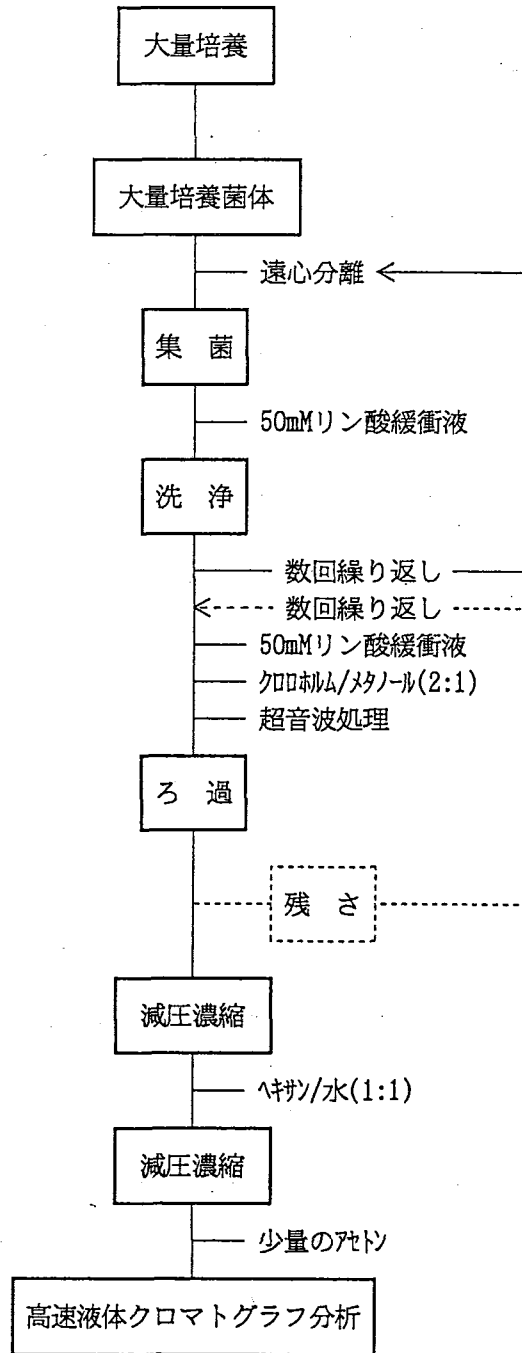
キノンを抽出するためには、細菌細胞が湿重量として約5.0g必要となる。このため純粋株について大量培養を行った。大量培養には製瓶にPostagate培地から粉末酵母エキスおよび硫酸鉄を除いたものを調製し、これに同じ液体培地で前培養 (対数増殖期後半にある硫酸還元菌懸濁培養液) を1v/v%の割合で接種し、嫌気・暗条件下、30°Cにおいて約4~8日間培養した。次に大量培養された純粋株の細胞を遠心分離 (14,000/rpm, 10min) により集菌し、50mMリン酸緩衝溶液で数回洗浄した後に、フリーザで凍結させ、凍結乾燥器により乾燥させた。ここで得られた乾燥菌体試料をキノン分析に供した。

#### ② 抽出

①で得た乾燥菌体試料を50mMリン酸緩衝溶液 (約50ml) に懸濁させ、この溶液に対して2~3倍量のクロロフォルム/メタノール(2:1, v/v)を加え、超音波処理 (2分間) を施し遠心分離後中間層及び下層を回収し、濾紙 (東洋社製5B) で濾過し、残渣について同様の抽出操作を数回行う。ここで得られた粗抽出画分にヘキサン、水を1:1の割合で加え抽出し上層を回収する。この抽出操作を数回繰り返す、抽出溶液をエバポレーターで濃縮する。アセトンに濃縮物質を溶解し液体クロマトグラフィーの試料とした。

③ 分離・定性の操作

キノンの分離・定性には紫外外部検出器を備えた高速液体クロマトグラフ(日立分光LC-800)を用いた。HPLCの測定条件は分離カラムにZobax ODS(4.6×250mm), 移動層にはメタノール/イソプロピルエーテル(3:1 v/v), 流速は1ml/分, カラム温度25°Cである。各キノンの分子種のピーク同定はスタンダード試料と比較し, そのリテンションタイムにより判断した。



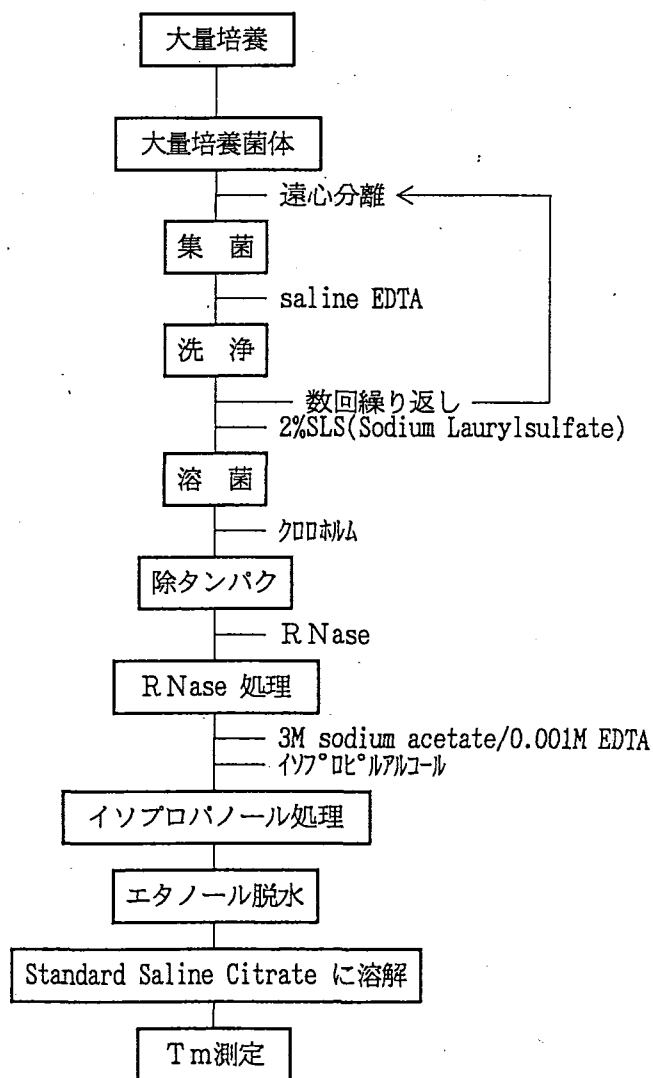
第2-7図 キノン分析操作の概略

#### 4) 遺伝学的手法 (GC含量測定)

DNA塩基中に占めるグアニン (G) とシトシン (C) の割合は、同じ塩基配列を持つ同一生物間では同じ値となり、類似の塩基配列を持つ生物群では類似の値を示す。しかしながら、GC含量は単にDNA分子中の平均塩基組成比を示すに過ぎないことから、全く異なる生物間 (類縁性がない種間) でも同じGC含量値を示すことがある。従って、多くの表現形質が同じで且つGC含量も同じの場合に、はじめて分類学的に同じグループに包含できる。すなわち、従来の細菌分類体系で用いられている形態学、生理学的な情報の裏付けとしてGC含量の測定結果を用いることが望ましい。このように遺伝学的 (GC含量測定結果) 情報を利用することにより、より信頼性の高い同定が可能になるが、データの取扱いには注意を要する。本調査においても、上述した概念に基づき、GC含量の測定結果を半ば補助的な情報として取り扱うこととする。

DNAの抽出・精製操作の概略(駒形, 1985, 金子, 1985)を第2-8図に示す。DNAの熱変性曲線から全吸収増加の50%にあたる温度を変性温度( $T_m$ )と呼ぶが、これよりGC含量は次式で求まる。

$$GC \text{ 含量 (GCmole\%)} = (T_m - 69.3) / 0.41$$



第2-8図 DNAの抽出・精製からGC含量測定までの手順概略

第2-10表 光合成紅色非硫黄細菌用培地

$\text{KH}_2\text{PO}_4$	0.5	g
$\text{K}_2\text{HPO}_4$	0.6	g
$\text{NH}_4\text{C}\ell$ <sup>1)</sup>	1.0	g
$\text{MgC}\ell_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ <sup>2)</sup>	0.2	g
$\text{NaC}\ell$	0.2	g
$\text{CaC}\ell_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.05	g
Yeast Extract	0.1	g
Sodium Acetate	1.0	g
微量元素混液 <sup>3)</sup>	1.0	ml
ビタミン混液 <sup>4)</sup>	1.0	ml
イオン交換水	1000	ml
pH = 7		

- 1), 2) 原法では硫酸塩を用いるが, 硫酸塩還元細菌の生育を抑えるために塩化物を使用した。  
 3) 第2-10表を参照  
 4) 第2-11表を参照

第2-11表 光合成硫黄細菌用培地

[基礎培地]		
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	1.0	g
$\text{NH}_4\text{C}\ell$	1.0	g
$\text{MgC}\ell_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.2	g
$\text{CaC}\ell_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.05	g
微量元素混液 <sup>1)</sup>	1.0	ml
ビタミン混液 <sup>2)</sup>	1.0	ml
イオン交換水	1000	ml
[紅色硫黄細菌]		
1N-HCℓ	0.3	ml
8%- $\text{NaHCO}_3$ <sup>3)</sup>	0.5	ml
2%- $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	1.0	ml
基礎培地	18.2	ml
[綠色硫黄細菌]		
1N-NaOH	0.05	ml
8%- $\text{NaHCO}_3$ <sup>3)</sup>	0.5	ml
2%- $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	0.25	ml
基礎培地	19.2	ml

- 1) 第2-10表を参照  
 2) 第2-11表を参照  
 3) 濾過滅菌後使用

第2-12表 微量元素溶液の組成 [光合成細菌用]

EDTA-2Na	2000 mg
FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	2000 mg
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	100 mg
CoCℓ <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	100 mg
ZnCℓ <sub>2</sub>	100 mg
MnCℓ <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	100 mg
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	20 mg
NiCℓ <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	20 mg
CuCℓ <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	10 mg
Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	1 mg
イオン交換水	1000 ml

第2-13表 ビタミン混液の組成 [光合成細菌用]

チアミン-HCℓ	50 mg
ナイアシン	50 mg
p-アミノ安息香酸	30 mg
ビタミンB <sub>12</sub>	5 mg
ピリドキシン-HCℓ	10 mg
ビオチン	5 mg
イオン交換水	100 ml

2.2 バクテリア調査結果

2.2.1 種々細菌数計数結果

本調査において得られた種々細菌の現存量の一覧を第2-14表に示す。またMPN（5本）法における硫酸塩還元菌の最確数(MPN CODE)を第2-15表～第2-20表までに示す。

第2-14表 各種細菌数計数結果

項目	単位	試料名称		計数方法
		地下水	地表水	
全菌数	cells/mℓ	$9.1 \times 10^6$	$2.6 \times 10^6$	AODC法
鉄酸化細菌	MPN/mℓ	N.D.* <sup>1</sup>	N.D.* <sup>1</sup>	MPN法
硫酸塩還元細菌	CFU/mℓ	$3.3 \times 10^5$	N.D.* <sup>2</sup>	二重皿法
	MPN/mℓ	$2.4 \times 10^5$	$5.0 \times 10^{-1}$	MPN法
メタン生成細菌	MPN/mℓ	$2.7 \times 10$	N.D.* <sup>3</sup>	MPN法
亜硝酸酸化細菌	MPN/mℓ	N.D.* <sup>4</sup>	$5.0 \times 10^{-1}$	MPN法
アモニア酸化細菌	MPN/mℓ	N.D.* <sup>5</sup>	$6.5 \times 10^{-1}$	MPN法
硝酸還元細菌	MPN/mℓ	$9.5 \times 10^5$	N.D.* <sup>6</sup>	MPN法
脱窒細菌	MPN/mℓ	$3.3 \times 10^5$	N.D.* <sup>7</sup>	MPN法

- \*1  $<2.0 \times 10^{-2}$  MPN/mℓ
- \*2  $<1$  CFU/mℓ
- \*3  $<4.0 \times 10^{-2}$  MPN/mℓ
- \*4  $<2.0 \times 10^{-1}$  MPN/mℓ
- \*5  $<2.0 \times 10^{-1}$  MPN/mℓ

第2-15a表 硫酸塩還元細菌計数時(MPN 5 本法)の陽性本数 (表層水)

希釈倍率	$10^0$	$10^1$	$10^2$	$10^3$	$10^4$	MPN CODE	菌数 (MPN/mℓ)
表層水(1)* <sup>6</sup>	2	0	0	0	0	5	$5.0 \times 10^{-1}$
表層水(2)	2	0	0	0	0	5	$5.0 \times 10^{-1}$

\*6 (1)と(2)は同一サンプル

第2-15b表 硫酸塩還元細菌計数時(MPN 5 本法)の陽性本数 (地下水)

希釈倍率	$10^3$	$10^4$	$10^5$	$10^6$	$10^7$	MPN CODE	菌数 (MPN/mℓ)
地下水(1)* <sup>6</sup>	5	5	5	0	0	2 4 0	$2.4 \times 10^5$
地下水(2)	5	5	5	0	0	2 4 0	$2.4 \times 10^5$

\*6 (1)と(2)は同一サンプル



第2-16表 メタン生成菌計数時(MPN 5 本法)の陽性本数

希釈倍率	10 <sup>0</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	MPN CODE	菌数 (MPN/ml)
表層水(1)*6	0	0	0	0	0	0	N.D.
表層水(2)	0	0	0	0	0	0	N.D.
地下水(1)	4	3	0	0	0	2 7	2.7×10 <sup>0</sup>
地下水(2)	4	3	0	0	0	2 7	2.7×10 <sup>0</sup>

\*6 (1)と(2)は同一サンプル

第2-17表 亜硝酸酸化細菌計数時(MPN 5 本法)の陽性本数

希釈倍率	10 <sup>0</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	MPN CODE	菌数 (MPN/ml)
表層水(1)*6	2	0	0	0	0	5	0.5×10 <sup>0</sup>
表層水(2)	2	0	0	0	0	5	0.5×10 <sup>0</sup>

\*6 (1)と(2)は同一サンプル

第2-18表 アンモニア酸化細菌計数時(MPN 5 本法)の陽性本数

希釈倍率	10 <sup>0</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	MPN CODE	菌数 (MPN/ml)
表層水(1)*6	2	0	0	0	0	5	0.5×10 <sup>0</sup>
表層水(2)	3	0	0	0	0	5	0.8×10 <sup>0</sup>

\*6 (1)と(2)は同一サンプル

第2-19表 硝酸還元細菌計数時(MPN 5 本法)の陽性本数

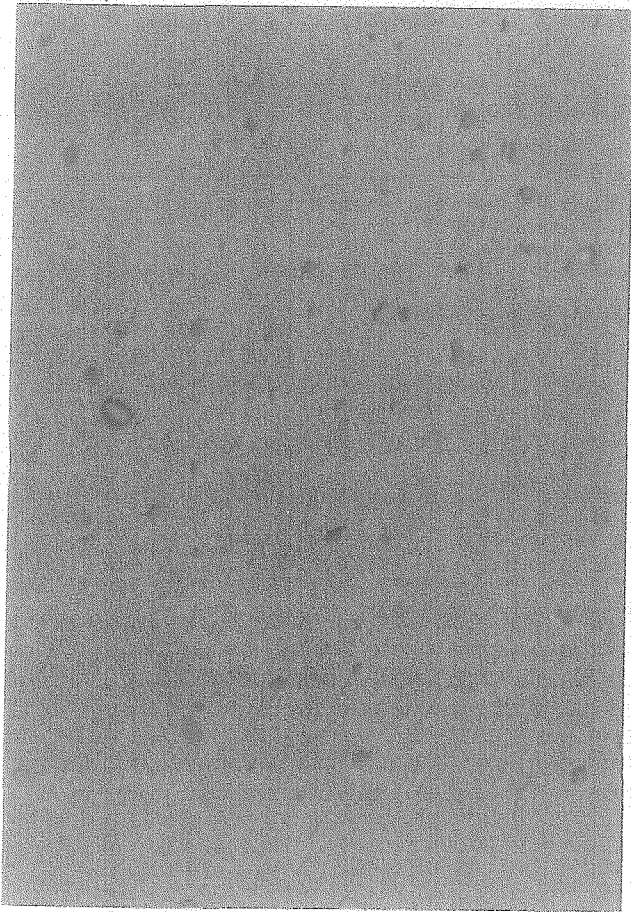
希釈倍率	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>	MPN CODE	菌数 (MPN/ml)
地下水(1)*6	5	5	5	3	1	1 0 9	1.1×10 <sup>6</sup>
地下水(2)	5	5	5	3	0	7 9	7.9×10 <sup>5</sup>

\*6 (1)と(2)は同一サンプル

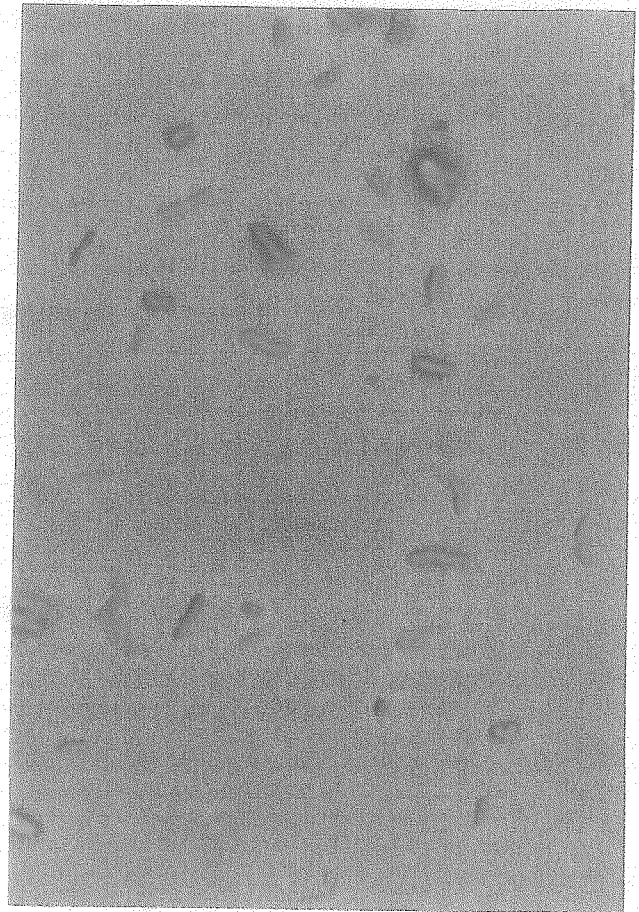
第2-20表 硝酸還元細菌計数時(MPN 5 本法)の陽性本数

希釈倍率	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>	MPN CODE	菌数 (MPN/m <sup>3</sup> )
地下水(1)* <sup>6</sup>	5	5	5	1	0	3 3	3.3×10 <sup>5</sup>
地下水(2)	5	5	5	1	0	3 3	3.3×10 <sup>5</sup>

\*6 (1)と(2)は同一サンプル



富山表層水バクテリアAODC写真



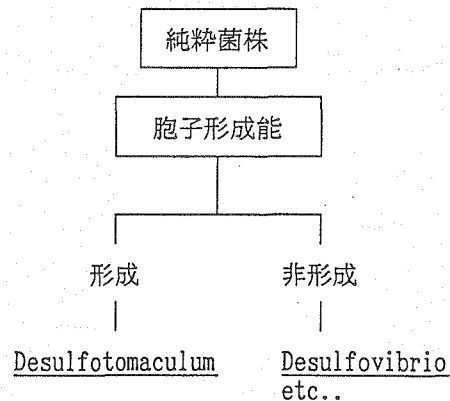
富山地下水バクテリアAODC写真

第2-9図 AODC写真

## 2.2.2 硫酸塩還元細菌の同定結果

### 1) 孢子形成能試験

深層地下水および表層水より純粋分離した硫酸塩還元細菌2株について以下の手順により、属名を決定した(第2-10図)。硫酸塩還元細菌はまず孢子形成能により大別されており、孢子非形成群はDesulfovibrio, Desulfomonas, Thermodesulfobacterium, Desulfobulbus, Desulfobacter, Desulfococcus, Desulfosarcina, Desulfobacterium, Desulfonema と判断することができる。両菌株について孢子形成能の有無を顕微鏡観察により調べた。結果として両菌株とも孢子形成能が無いことが明らかとなった。このことにより両菌株はDesulfotomaculumではないことが判明した。



第2-10図 属の同定手順

### 2) 形態学試験

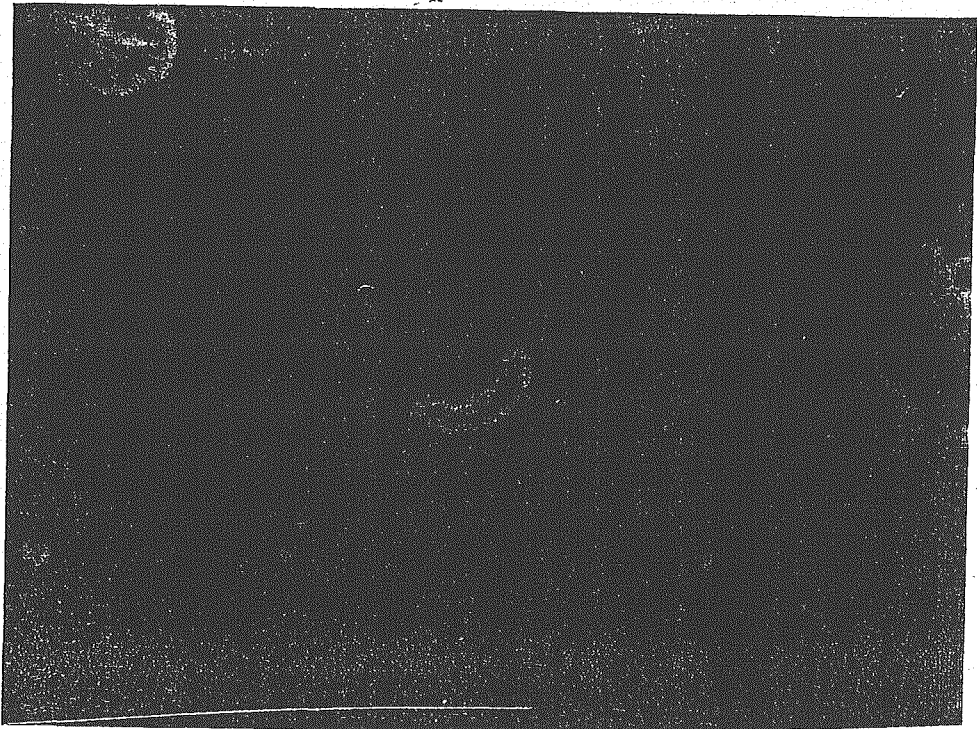
両分離菌株の形態的特徴は、第2-11図および第2-12図に示した電子顕微鏡写真から明確なように、ピブリオ型である。別におこなった鞭毛観察では両菌株ともに短極毛が観察された。また、生菌の顕微鏡観察において運動性が観察された。このことから両菌株はDesulfovibrio属の一種の可能性が高いことが示唆された。

### 3) 種の同定

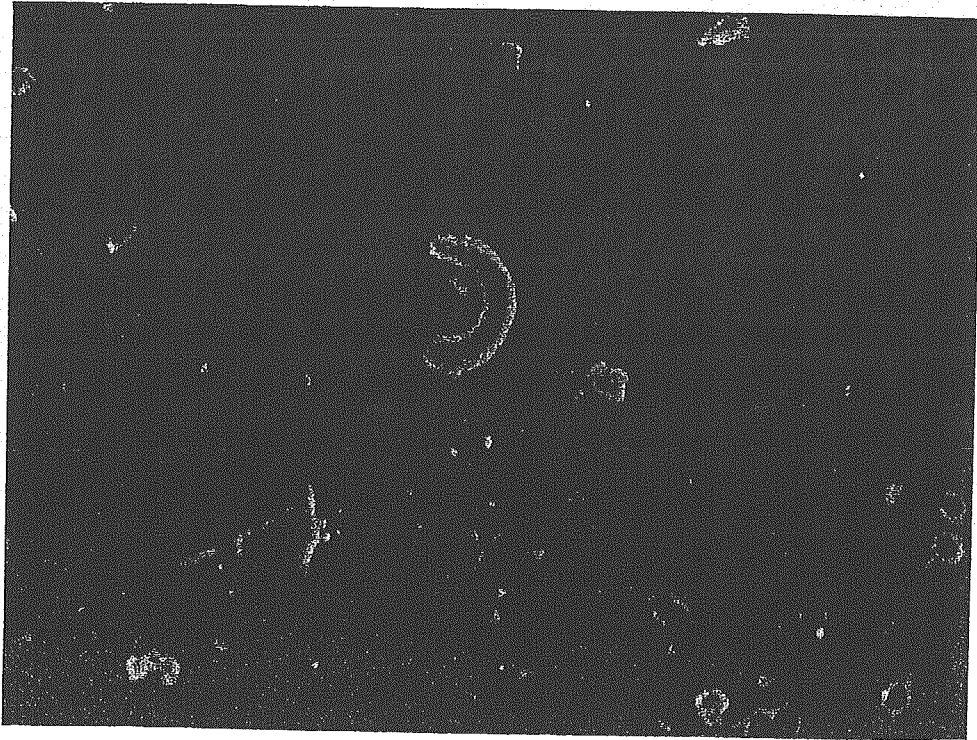
両菌株の形態、生理学的試験をおこなった結果について第2-21表に示す。なお、第2-21表にはDesulfovibrioに属する代表的な種についてBergey's Manual 8th Edition (1974), Postgate (1979)およびWiddel(1988)の記述から引用したデータを比較の為に併記した。第2-19表に形態学、生理学および遺伝学的試験結果の一覧を示す。第2-21表から明らかなように、地下水試料から分離した硫酸塩還元細菌は Desulfovibrio desulficans, また表層水から分離したそれは Desulfovibrio vulgaris と同定できる。

第2-21表 形態、生理および遺伝学的試験結果一覽

形態	分離株 (地下水)		分離株 (河川水)		<i>Desulfovibrio desulfuricans</i> subsp. <i>aestuarii</i>		<i>Desulfovibrio vulgaris</i>		<i>Desulfovibrio salexigens</i>		<i>Desulfovibrio africanus</i>		<i>Desulfovibrio gigas</i>	
	ヒプロ型	ヒプロ型	ヒプロ型	ヒプロ型	ヒプロ型	ヒプロ型	ヒプロ型	ヒプロ型	ヒプロ型	ヒプロ型	ヒプロ型	ヒプロ型	ヒプロ型	ヒプロ型
幅(μm)	0.6	0.5	0.5~1	0.5~1	0.5~1	0.5~1	0.5~1	0.5~1	0.5~1	0.5~1	0.5	0.5	1.2~1.5	らせん型
長さ(μm)	2~3	2~3	3~5	3~5	3~5	3~5	3~5	3~5	3~5	3~5	5~10	5~10	5~10	1.2~1.5
鞭毛	単極毛	単極毛	単極毛	単極毛	単極毛	単極毛	単極毛	単極毛	単極毛	単極毛	束毛	束毛	束毛	束毛
グラム染色	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
①基質資化性 (with sulfate)														
乳酸塩	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
リンゴ酸塩	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ギ酸塩	+	+	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
酢酸塩	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ブドウ糖	+	-	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
②基質資化性 (without sulfate)														
リンゴ酸塩	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ビルビン酸塩	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
コリン	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
NaCl要求性	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
優占キノン種	MK-6	MK-6	MK-6	MK-6	MK-6	MK-6	MK-6	MK-6	MK-6	MK-6	MK-6	MK-6	MK-6	MK-6
G+C mole%	55.5	60.8	55.3±1	55.3±1	61.2±1	61.2±1	46.1±1	46.1±1	61.2±1	61.2±1	60.2	60.2	60.2	60.2

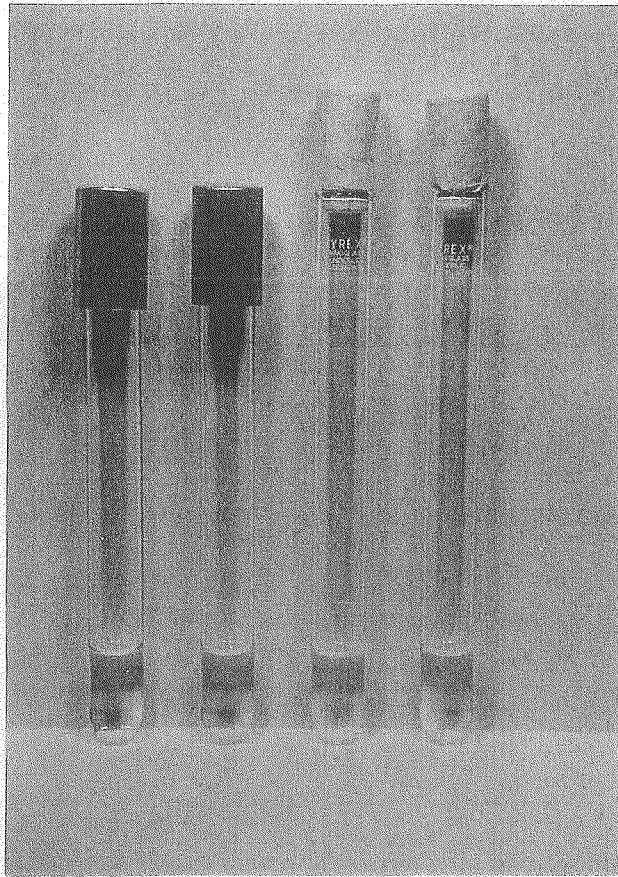


第2-11図 地下水試料から純粹分離した硫酸塩還元細菌  
の走査型電子顕微鏡写真



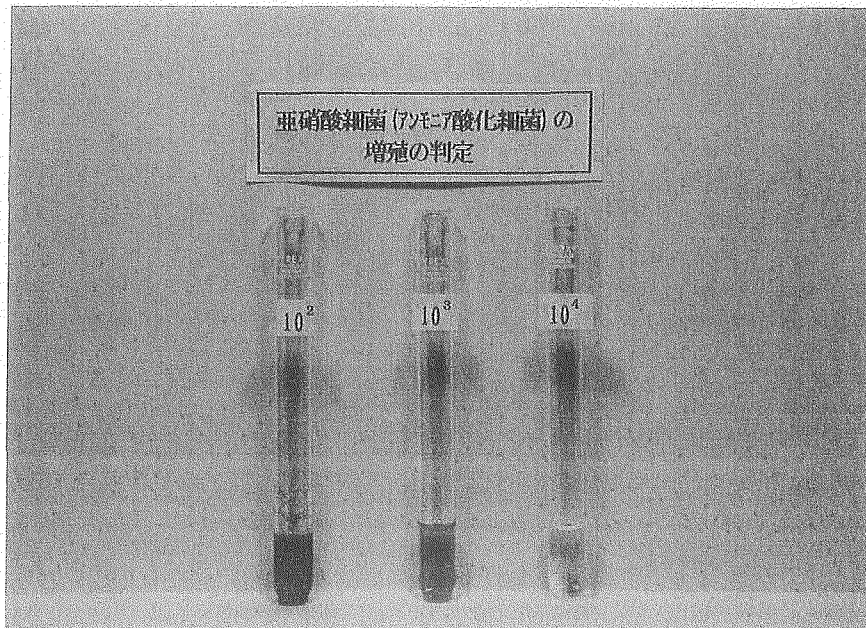
第2-12図 表層水試料から純粹分離した硫酸塩還元細菌  
の走査型電子顕微鏡写真





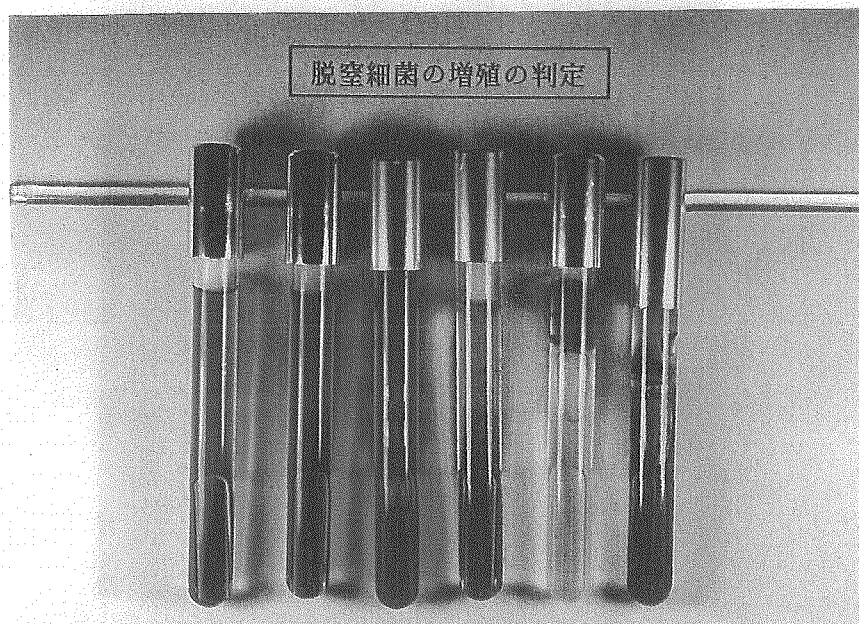
### 硝化細菌用培地

アンモニア酸化細菌および亜硝酸酸化細菌ともに棉栓（写真右側）あるいはアルミキャップ（写真左側）で蓋をした試験管により培養した。培地の液色は無色透明で試験管底部には、少量の炭酸カルシウム粉末と石英砂が沈殿している。



### 硝化細菌の生育の判定

アンモニア酸化細菌は培地中の亜硝酸イオンを、亜硝酸酸化細菌は培地中の硝酸イオンを定量した。写真はアンモニア酸化細菌の増殖の判定時の時の状況で、培地中に亜硝酸が生成されると反応試薬により液色が赤色になる。



#### 硝酸還元細菌及び脱窒細菌の判定

写真左 1 番：増殖の見られない培地

写真左 2 番：培地が青色に変化し、硝酸還元が起きたことをあらわしている。

写真左 3 番：培地が青色に変化し、さらに培地中及びラムダ管中に泡が貯まっている。  
硝酸還元、脱窒が起きているとする。



### 2.2.3 一般細菌調査

地下水の一般細菌調査の結果及び試験方法を第2-21表に示す。

第2-21表 一般細菌調査の試験方法及び結果

検査項目	単 位	数 量	試験方法
一般細菌数	CFU/ml	$5.3 \times 10^5$	上水試験法
大腸菌群数	MPN/100ml	$2.3 \times 10$	水質汚濁に係る環境基準
嫌気性細菌	CFU/ml	$4.0 \times 10^2$	衛生試験法
芽胞形成亜硫酸還元嫌気性細菌	CFU/250ml	0	厚生省令第35号
腸球菌数	CFU/250ml	0	厚生省令第35号
緑脳菌	CFU/250ml	4	厚生省令第35号
放線菌	CFU/ml	0	上水試験法
カビ数	CFU/ml	3	上水試験法

### 3. 考察

#### 3.1 地下水の年代

地下水中のトリチウム分析の主たる目的はその滞留時間の推定にある(近藤ら, 1983)。トリチウム(T)はHTOの形で普通の水素とともに水分子を形成している。一般的にトリチウムによる年代測定は60年が限度であるといわれているが、よく知られているように大気中のトリチウム濃度は1952年以後の大気中における熱核爆発実験によって急激に増加し、1963年には最大値が観測されている。そして1992年現在ではほぼ天然レベルの5~10TUまで回復している(本試験における表層水のトリチウム濃度は4.9TUであった)。

本試験でえられたトリチウム濃度は0.8と低く、トリチウムによる年代の推定の手法が適応できる最低ラインと言えるであろう。つまり、本試験で採取した地下水は、1952年から始まった大気圏内の核実験の影響が認められず、少なくとも40年以上前から地下に停滞していたといえる。なお、降水中のTUは経年変化の他に季節変動が認められ、暖候季に高くなる傾向があるが、核実験の影響のない天然レベルの降水のTUを10と仮定すると本試験中の地下水の年代 $t$ は次式より計算される。

$$t = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \times \ln \frac{N_0}{N}$$

ただし  $T_{1/2} = 12.43$  (年) トリチウムの半減期  
 $N_0 = 0.80$  (TU) 本地下水のトリチウム濃度  
 $N = 10.0$  (TU) 天然レベルの降水のトリチウム濃度(推定値)

上式より求めた地下水の年代は45.2年である。また地表水の値である4.9TUを代入すると32.5となる。

実際には降水中のTU濃度の時間的変動、および滞水層内における分散の効果により多少の誤差が生じるはずである。しかし1952年以後の核実験によるトリチウム異常が地下水に見いだされないことから、少なくとも1952年以前の陸水を起源としていることは明かである。また坑内に停滞していた水が現在とほぼ同じトリチウム濃度であったと仮定するならば(掘削に用いた水は表層水である)本試験で採取した地下水は掘削水による汚染を受けていない水であったと考えられる。

#### 3.2 地下水の同位体比

水分子を構成する水素と酸素の安定同位対比は水の起源、混合、熱水活動、熱水流動などに関する研究において、この比が優れた天然トレーサーとして機能し有益な情報を提供する。第3-1図に富山県庄川及び庄川起源の浅部地下水(80m以浅)における $\delta D$ と $\delta^{18}O$ の関係(水谷, 小田, 1983)を比較したものに本試験結果をプロットしたものを示す。グラフ上の直線はそれぞれ以下の意味を表す。

line 1:  $\delta D = 8 \delta^{18}O + 10$  : 太平洋側の天水の $\delta D$ と $\delta^{18}O$ の関係

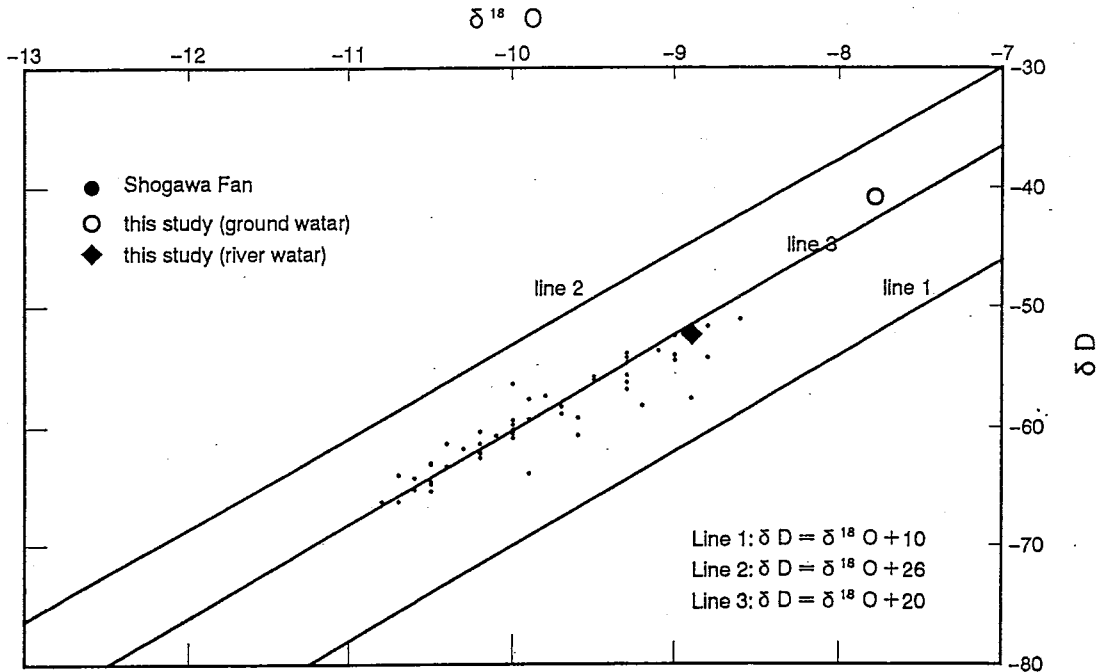
line 2:  $\delta D = 8 \delta^{18}O + 26$  : 日本海側の天水の $\delta D$ と $\delta^{18}O$ の関係

line 3:  $\delta D = 8 \delta^{18}O + 20$  : 庄川表層水の $\delta D$ と $\delta^{18}O$ の関係

庄川表層水における、 $\delta D$ 及び $\delta^{18}O$ の平均値はそれぞれ-63.3, -10.4である。この値に比べて、本地表水は $\delta D = -52.2$ ,  $\delta^{18}O = -8.9$ とそれぞれ10‰, 1‰程度高い。これは、主に降水の高度効果による $\delta D$ 及び $\delta^{18}O$ に起因していると考えられる。すなわち庄川の集水域は富山県から、岐阜県に広がる山(平均高度=1,020m)であるのに対して、本調査の地表水サンプリング位置は標高230m程度で、しかも高い山地等は付近に存在しない。富山における降水の $\delta D$ 及び $\delta^{18}O$ 値に対する高度効果はそれぞれ-2‰/100m, -0.2‰/100mと見積もられるので(佐竹ら, 1982)本試験値の表層水の値は説明することが出来る。

一方、地下水の同位対比はline 1とline 2の間にありしかも最もline 3に近い間にプロットさ

れるが、庄川付近のどの様な地表水を混合しても、その安定同位対比を形成する事はできず、同位対比の比較的高い本試験の地表水よりも更に、 $\delta D$ 及び $\delta^{18}O$ が、それぞれ10‰、1‰程度高いことがわかる。同位体組成を変える効果として考えられる反応は、地下に浸透した天水が高温の岩石と接触して地熱水になった場合に、石英と水の間に起こる同位体交換反応が挙げられるが、 $\delta^{18}O$ がプラス側にシフトする方が顕著で、 $\delta D$ は余り変わらず、2つの直線(line1~2)の間からはずれると考えられる。また、温度検層の結果からは顕著な地熱活動は考えられない。従って本地下水は、富山における表層水と古海水等、若しくは海水が混合されているのではないであろうか。



第3-1図 庄川における天水の $\delta D$ と $\delta^{18}O$ の関係 (水谷, 小田 1983)

### 3.3 元素の移動度

岩石の風化に由来する物質が地下水に含まれる溶存成分のかなりの部分を占める事は、一般的であり、かなりよく知られている(一國, 1992)。このため地下水の水質は多かれ少なかれ賦存地点に分布する岩石の種類と組成に支配されることになる。

岩石と地下水の化学反応を定量的に説明するならば、岩石を形成する鉱物種ごとにそれが化学的風化を受ける過程でどのように分解されていくかを明らかにしなければならないし、鉱物の粒径、反応速度等が異なれば、現象を再現する事は出来ないし、活量図を用いても無定型やそれに近いものであれば活量図の示す位置から大きくはずれる可能性も考えられる。

つまり地下水に含まれる成分は水-岩石反応の結果を反映するものであるが、そのために組成は複雑化し、個々の鉱物の分解反応を見積もるのは簡単な事ではない。しかしながら、風化過程そのものを一つのブラックボックスと考え、単純に風化をうけた岩石とそこから湧出する水の化学組成を用い、元素の動き易さ=移動度として数値化することは可能である。移動度は、地下水の起源水の種類、大気降水物の影響などの初期条件を考慮する必要がある事を念頭におかなければならない。

相対的移動度の最も単純な表現は、地下水の中のある元素と母岩中の元素との比である。これを元素Mで表せば、

$$\text{相対的移動度} = \frac{\text{地下水中のMの濃度}}{\text{母岩中のMの濃度}}$$

となる。ここで得られる相対的移動度の値の大きさに意味はなく、特定の地下水と母岩との組み合わせに対して元素間で移動度の大小を比較するものである(Ledin et al. 1989; H. D. Holland, 1979)。

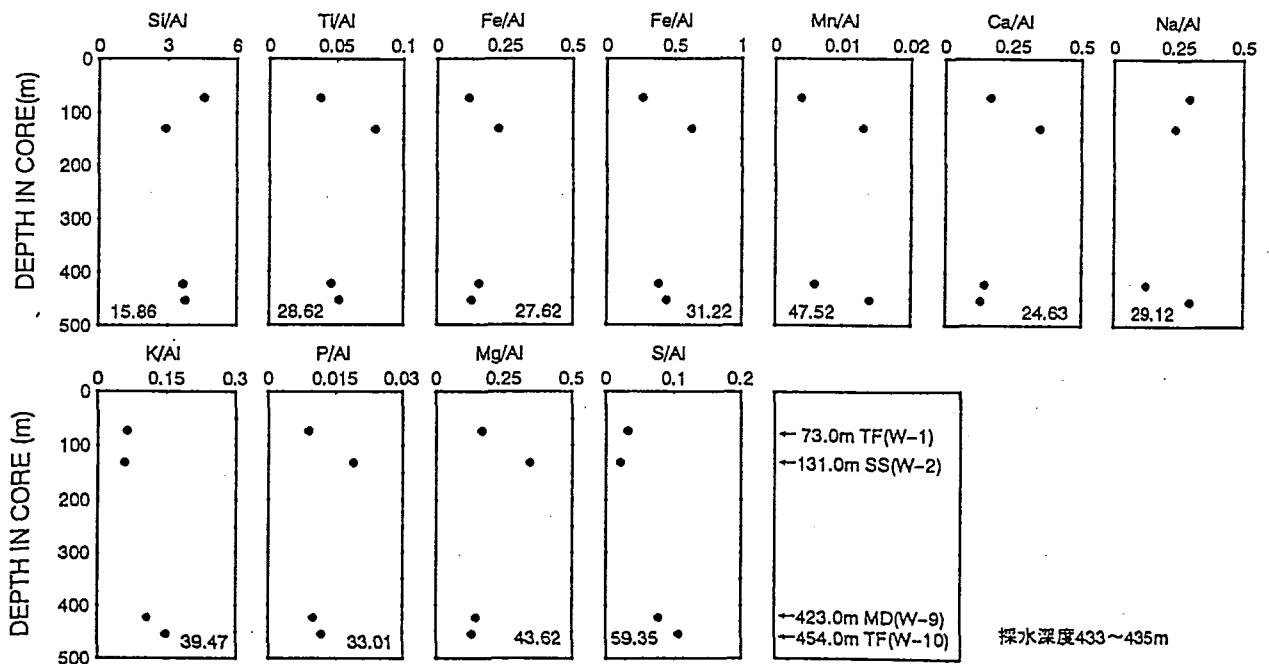
本試験におけるボーリングコアの423.0mにおける化学分析結果及び地下水分析結果から相対的移動度を算出した(第3-1表)。

第3-1表 423.0mにおける岩石及び地下水分析結果から算出した相対的移動度

元素	Si	Ti	Fe	Mn	Ca	Na	K	P	Mg	S
岩石分析値	296597	3717	43200	458	14079	10090	8630	830	11819	6200
地下水分析値	5.48	-	0.987	0.438	589	2013	1.99	0.033	8.32	0.0
相対的移動度	0.1847	-	0.228	9.55	418.3	1994	2.30	0.397	7.039	0.0

注)相対的移動度は10000倍した。

一方、元素の移動に注目した場合、風化残留物の組成からも算出する事が出来る。この場合風化過程を通じてAlの損失が全く起こらないという事であり、これは酸性水でなければ妥当な仮定であると考えられる。第3-2図に本調査における柱状試料の分析結果とAlとの比をとった鉛直分布を示す。また、図中にはそれぞれ変動計数を示した。堆積時の化学組成の最初からの元素の変動はあるが、地層中において岩石からの元素の溶出が何もない場合は元素M/Al比の変動は比較的少ないと考えられる。



第3-2図 本調査における柱状試料中の元素M/A l 比の鉛直分布図

相対的移動度による各元素の大きさは、 $Na > Ca > Mn > Mg > K > P > Fe > Si$ である。一方柱状試料における元素M/Al比の変動計数は、 $Mn > Mg > K > P > Fe > Na > Ca > Si$ とNa及びCa以外は順位が一致している。

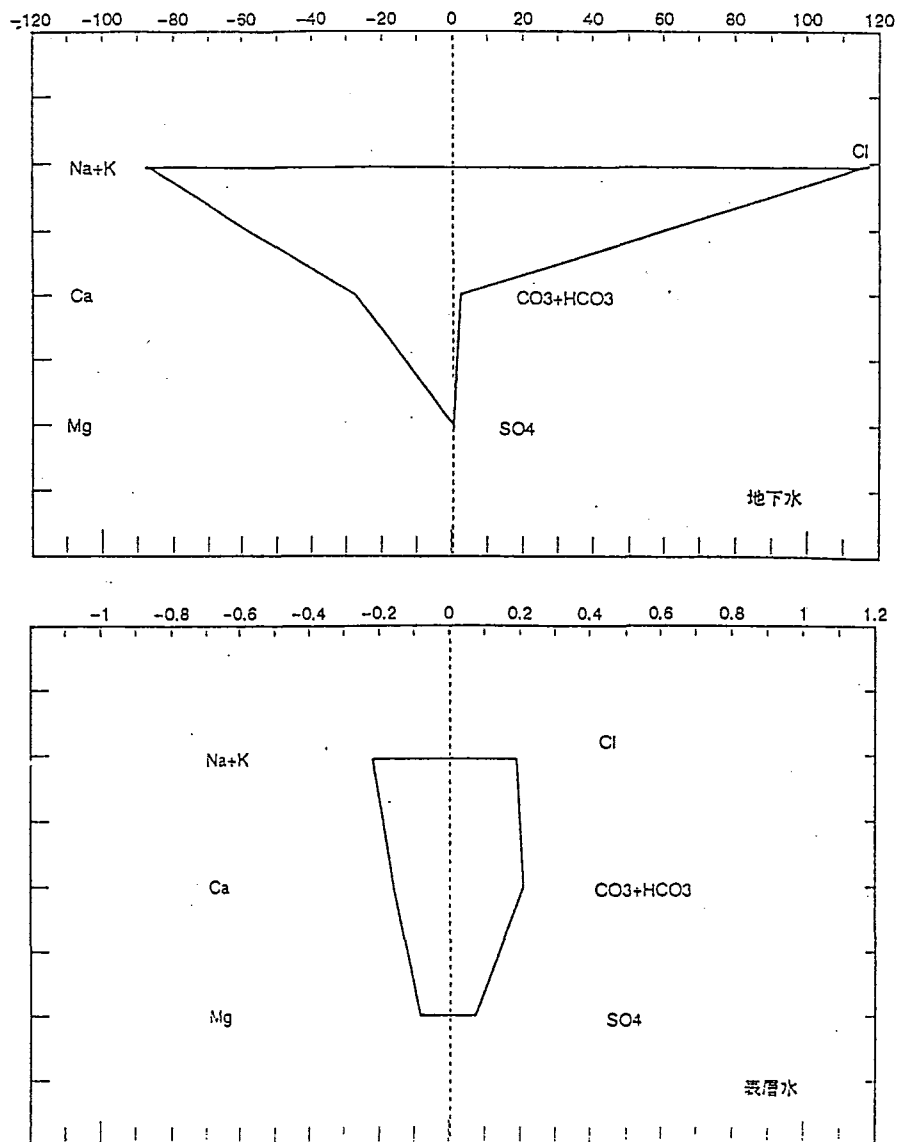
### 3.4 地下水及び表層水の化学成分

本試験において採取した地下水及び表層水の濃度比を第3-2表に示す。また、水質をヘキサダイアグラム及びトリリニアダイアグラムによりそれぞれ第3-3図、第3-4図に示す。

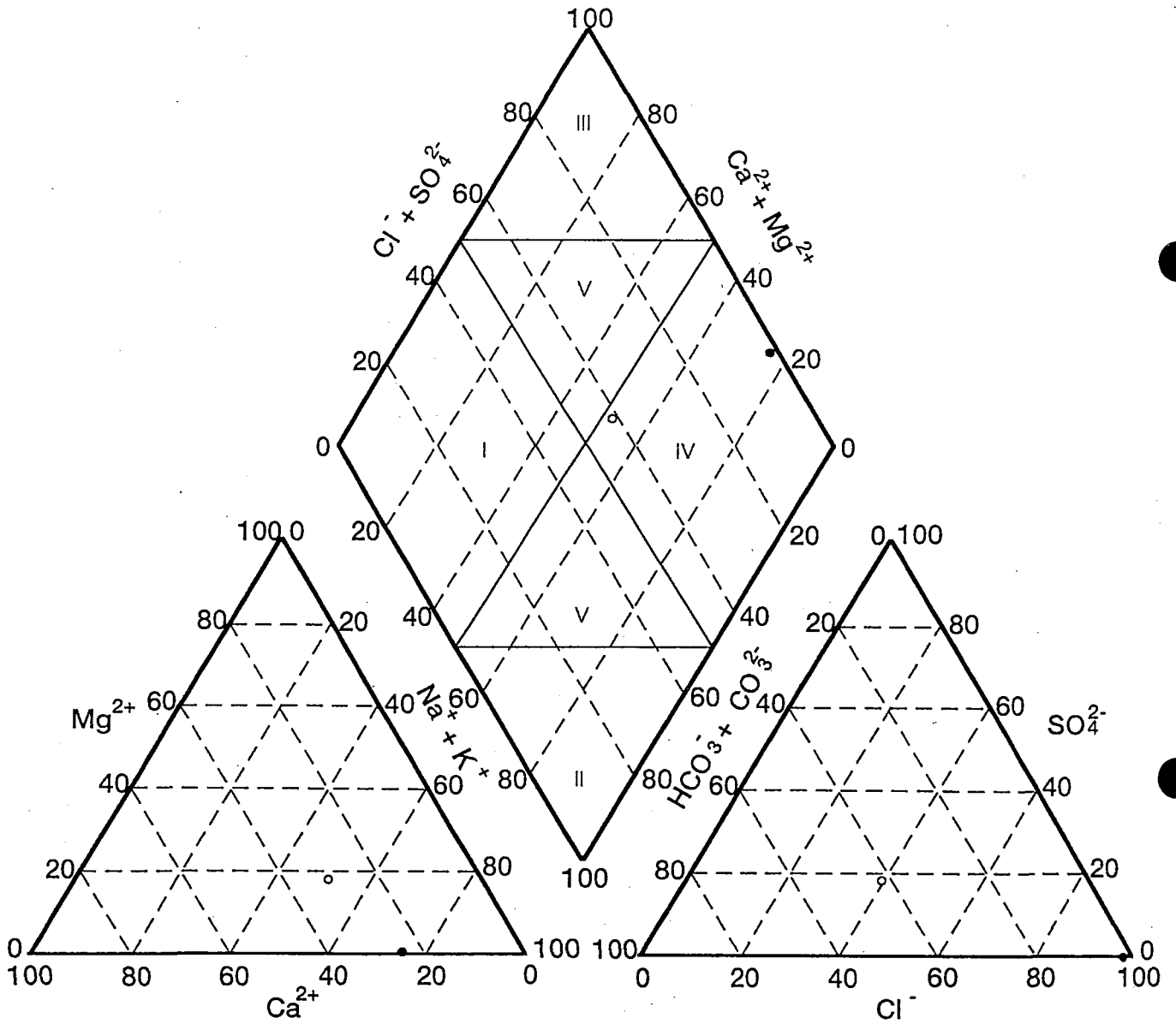
第3-2表 地下水及び表層水の濃度比

	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	ΣCO <sub>2</sub>	TOC	Si	Na	K	Ca	Mg	Fe	Cl	SO <sub>4</sub>
表層水(mg/ℓ)	13.1	33.2	11.8	0.770	6.71	4.80	0.87	3.25	1.07	0.399	6.73	4.19
地下水(mg/ℓ)	0.0	38.4	31.6	1.85	5.48	2013	1.99	589	8.32	0.987	4181	0.0
変化量(mg/ℓ)	-13.1	5.2	19.8	1.08	-1.23	2005	1.12	586	7.25	0.588	4174	4.19
濃度比*1	0.0	1.1	2.7	2.4	0.81	417	2.28	181	7.77	2.47	621	0.0

\*1 地下水濃度/表層水濃度



第3-3図 地下水及び表層水のヘキサダイアグラム



●地下水  
○表層水

第3-4図 地下水及び表層水のトリリニアダイアグラム

本地下水の特徴としてNa, Ca, Clに富み硫酸塩が存在していない事、有機物濃度が高い事が挙げられる。また、本地下水は同位体測定結果から、地表水（降水）起源以外の水の混入があったことが伺え、例を挙げるならば古海水等の混入があったと判断される。

海水のNa/Cl比は0.555であり、地質年代を通じて変化はないと言われている（北野, 1970）。一方、本試験のNa/Cl比は0.481で、海水中のそれよりも少ない。仮に本地下水が古海水を起源として形成されたのなら、岩石からClが過剰に供給されたか、あるいはNaが除去されたかの反応が地下環境で起こったと言う事である。

海水の寄与が地下環境中で生じたとすると地層中で起こる水-岩石反応が海水の主要成分である硫酸塩を消失させた事になる。その時生成されるであろう硫黄鉱物は岩石柱状試料中に大量に見いだされていない。

一概にNa/Cl比、同位体比、高塩分である事のみで本地下水の水質の形成に海水の関与と、それに伴う化学的サイクルを定量的に論じる事は難しい。この理由の一つに海水の主要イオン（Na, K, Ca, Mg, Cl, SO<sub>4</sub>）に各元素ごとに全く異なった除去機構があることが間接的証拠から明らかであるにもかかわらず、それぞれの除去機構が解明されていないことが挙げられる。海水→古海水→地下水の系があるならば、海洋で起こる元素の除去作用は本地下水を形成する重要な地球化学反応を占めると考えられる。

### 3.5 バクテリア調査結果に関する考察

#### 3.5.1 全菌数について

地下水試料は $9.1 \times 10^5$  cells/ml, 河川水試料は $2.6 \times 10^5$  cells/mlと計数され、河川水および地下水ともに $10^5$  cells/mlのオーダーで計数された。とくに地下水における全菌数としてはかなり高い値が得られ、観察された細菌細胞もかなり大きなもの（長さ1 μm以上、幅0.5 μm程度の桿状あるいはピブリオ状細胞）が優占していた。細菌の生息環境として指標となる水質項目の測定値を、地下水と河川水について、第3-3表に示す。

第3-3表 全菌数計数値と水質の対比

項目	地下水	河川水
全菌数 (cells/ml)	$9.1 \times 10^5$	$2.6 \times 10^5$
pH	8.2	7.1
Eh (mV)	90	490
PO <sub>4</sub> -P (μg/l)	3.3	8.1
NH <sub>4</sub> -N (μg/l)	4200	N.D.
NO <sub>2</sub> -N (μg/l)	0.5	N.D.
NO <sub>3</sub> -N (μg/l)	N.D.	52.1
TOC (mg/l)	1.85	0.77

地下水の水質環境の特徴としてNH<sub>4</sub>-NおよびTOC濃度が極めて高い値を示している。一方、PO<sub>4</sub>-PおよびNO<sub>3</sub>-N濃度はほとんど検出されていないが、種々細菌の栄養塩として利用された結果、枯渇状態になったものと考えられる。

### 3.5.2 鉄酸化細菌について

本調査で計数した鉄酸化細菌は、Thiobacillus ferrooxidansである。この細菌の一般的特性を第3-4表に示す（伊藤一郎，1976）。今回の調査では地下水，河川水共にT. ferrooxidansは検出されなかった。これは第3-3表に見られるように，地下水と河川水の水温及びpHが，T. ferrooxidansの生育環境から大きく外れていたためと考えられる。

第3-4表 Thiobacillus ferrooxidansの一般的特性

細菌の大きさ(μm)	0.5×1.0
最適温度(°C)	30
最適pH	2.5~3.8
グラム染色	-
運動性	+

### 3.5.3 硫酸塩還元細菌

自然水域における硫酸塩還元細菌のおよその出現オーダーは，不検出から $10^4$ /ml，堆積物中では最高 $10^8$ /gに及ぶ。概して，有機物と $SO_4^{2-}$ に富む汽水域あるいは極度に富栄養化した水域から高い値が報告されている（竹内準一，滝井 進，1987）。硫酸塩還元細菌の生息に関する環境因子としては，温度，酸化還元電位，pH，硫化物濃度，塩分濃度，エネルギー源及び炭素源の存在などが挙げられる（竹内準一，1989）。これらの内容を次に示す。

#### (1) 温度

一般に硫酸塩還元細菌は15~45°Cを生育範囲とするが，Desulfovibrio vulgarisなど中温菌は30°C，Desulfotomaculum nigrificansなど高温菌は55°Cに至適温度がある。通常の水の中細菌が20~25°Cで培養されることを考えれば，硫酸塩還元細菌の生育温度はやや高温側にシフトしていると考えられる。

#### (2) 酸化還元電位

硫酸塩還元細菌はすべて偏性嫌気性細菌であるが，ある種の硫酸塩還元細菌は曝気に耐えたり好気的な水体でも生存が可能であるという報告もある。しかしながら，増殖開始には-100mV程度の低い酸化還元電位が必要である。従って，ことに純粹培養の場合，還元剤の添加によって予め培地の酸化還元電位を低く保っておくことが欠かせない。ただし，好気性細菌との混合培養であれば，共存菌の働きによって速やかに培地が還元されるので，還元剤の添加は必ずしも要しない。自然界では，局在する生物遺骸を核として硫酸塩還元細菌の増殖が開始されるものと考えられている。

#### (3) pH

硫酸塩還元細菌の多くはpH4.5~9.5の範囲で生育でき，pH6.5~8.0の中性付近が至適条件である。

#### (4) 硫化物濃度

硫酸塩還元細菌の活動に伴って生成する遊離の $H_2S$ が150mg/l程度になると，この菌自身の増殖を阻害するようになる。しかし，自然界では鉄塩と反応して硫化鉄として固定されるので，800



mg/ℓ程度まで集積しても阻害作用が認められないこともある。

(5) 塩分濃度

硫酸塩還元細菌の分布は、塩分濃度が0から飽和状態まですべての範囲にわたるが、一般的には、陸水環境に由来する菌株（非好塩性）は塩分濃度1%未満に、海洋環境からの菌株（好塩性）は3%付近に至適濃度をもっている。

#### (6) エネルギー源及び炭素源（電子供与体）

硫酸塩還元細菌が利用できる有機物の範囲は比較的狭く、乳酸、酪酸、プロピオン酸など炭素数が4ないし3程度の脂肪酸が中心になる。その後、炭素数2の酢酸や逆にもっと長鎖のバロミチン酸なども酸化できる菌種が見出され、有機物の利用範囲は徐々に広がっている。

硫酸塩還元細菌の多くの菌種がヒドロゲナーゼを有して、分子状水素 ( $H_2$ ) を用いて生育することが知られている。このことから硫酸塩還元細菌の独立栄養が信じられていた。しかし、現在ではこの場合も分子状水素の他に細胞の炭素源として酵母エキスなどの有機物が必要であり、混合栄養であることが明らかにされている。ただし、Widdelの分離した新しいタイプの硫酸塩還元細菌 Desulfonema, Desulfosarcina には独立栄養性があるとされている。

不完全なエネルギー源としては分子状水素と同様にイソプロパノールやオキサミン酸などが挙げられる。これらの有機物は硫酸塩の還元を進めるが、硫酸塩還元細菌の生育は支持しない。

乳酸利用性の一般の硫酸塩還元細菌は、乳酸を酢酸まで酸化する過程でピルビン酸を経由する。従って、*in vivo* には当初からピルビン酸が利用できる。菌種によっては電子受容体である  $SO_4^{2-}$  がいない条件でもピルビン酸を用いて発酵的に生育することが可能である。

以上の知見の多くは純粋培養系でのものであり、自然界のように硫酸塩還元細菌が他の従属栄養細菌と共存する場合には、純粋培養系とは異なりきわめて広範囲の有機物が利用可能である。

#### (7) 硫酸塩濃度（電子受容体）

硫酸塩還元細菌の活動によって生成する  $H_2S$  は、環境中の  $SO_4^{2-}$  に由来する。増殖に必要な  $SO_4^{2-}$  濃度は、海洋起源の好塩性種でさえ海水の約1/100程度（標準塩素量の海水1kgに含まれる  $SO_4^{2-}$  はおよそ2.65g、従って約27mg/l）で、硫酸塩還元細菌の自然界での分布を制限することはないと考えられている。しかし、生育環境中での硫化物集積量は  $SO_4^{2-}$  濃度に比例する傾向にある。

これらの環境因子が自然界における硫酸塩還元細菌の生息・分布に及ぼす影響度は、例えば水界の堆積物中においては、温度が最も重要で、次いで電子供与体濃度（有機物等）、電子受容体濃度 ( $SO_4^{2-}$ ) の順に強いとされている (Nedwell D.B. and Abram J.W., 1979)。

本調査において、計数された硫酸塩還元細菌は、地下水中で  $2.4 \times 10^5$  MPN/ml であり、極めて高い計数値を得た。本計数値は水中における硫酸塩還元細菌の計数値としては現在のところ前例は見あたらない。なお、河川水における硫酸塩還元細菌数は  $0.5 \times 10^0$  MPN/ml であり、河川水における値としては通常観察される値であった。

#### 3.5.4 メタン生成細菌

絶対嫌気性細菌はたとえ極限濃度でも、酸素の存在下では生育できない微生物であるが、メタン生成細菌はその中でも酸素に対して非常に感受性の高いグループに属する。すなわちメタン生成細菌は極限濃度の酸素の存在下で生育できないだけでなく、酸素との接触によって速やかに死滅していく。従って、分布する環境は嫌気的環境である。

Bergey's Manual of Determinative Bacteriology, 8版 (1974) では、メタン生成細菌は Methanobacteriaceae という1つのfamily (科) の中に、3genus (属)、すなわち Methanobacterium, Methanosarcina, Methanococcus の9菌種として主に形態学的な性質別にまとめられている。また近年では分離技術の進歩に伴い、上記の3属に Methanobrevibacter, Methanomicrobium, Methanogenium, Methanospirillum の4属が新たに追加され、メタン生成細菌は全体として7属、13菌種に分類されている。これらのメタン生成細菌のうち主な菌種の性状を第3-5表に示す。

第3-5表 主なメタン生成細菌の性状  
(柳田友道, 1983)

メタン生成細菌	菌の性質	メタン生成の基質	独立栄養による増殖の可否
<u>Methanobacterium</u> <u>arbophilicum</u> **	グラム陽性, かん菌	H <sub>2</sub> とCO <sub>2</sub>	可
<u>Methanobacterium</u> <u>formicum</u>	グラム不定, かん菌時に湾曲	H <sub>2</sub> とCO <sub>2</sub> または CO, HCOOH	可
<u>Methanobacterium</u> <u>ruminantium</u>	グラム陽性, 球菌ないし短かん菌	H <sub>2</sub> とCO <sub>2</sub> , HCOOH	否
<u>Methanobacterium</u> <u>mobile</u>	グラム陰性, 短かん菌	H <sub>2</sub> とCO <sub>2</sub> , HCOOH	否
<u>Methanobacterium</u> <u>thermoautrophicum</u>	グラム陽性, 好熱性, かん菌	H <sub>2</sub> とCO <sub>2</sub>	否
<u>Methanococcus</u> <u>vannielii</u>	グラム陽性, 球菌	H <sub>2</sub> とCO <sub>2</sub> , HCOOH	可*
<u>Methanosarcina</u> <u>barkeri</u>	グラム陽性, 球菌	H <sub>2</sub> とCO <sub>2</sub> , CH <sub>3</sub> OH	可
<u>Methanospirillum</u> <u>hungatii</u> **	グラム陰性, 螺旋菌	H <sub>2</sub> とCO <sub>2</sub> , HCOOH	可*

\* システイン, チオグリコール酸などの有機の還元性物質とビタミン以外には有機物は存在しないという条件下で独立栄養的に増殖する。

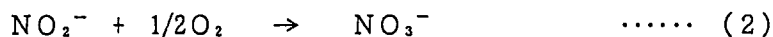
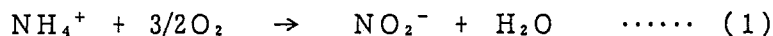
\*\* Bergey's Manual(8版)には記載されていない。

上述した酸素に対する感受性という点では, メタン生成細菌の中でもこれらの種類によってある程度差があると考えられている。

今回の調査においては, 地下水中のメタン生成細菌数は  $2.7 \times 10^0$  MPN/ml で計数された。一方, 河川水中においては計数されなかった。地下水におけるメタン生成細菌数は有機物濃度が高濃度であったにも係わらず, 比較的低い値での計数値しか得られなかったのは, 嫌気度(酸化還元エネルギー準位)がメタン生成細菌の理想的な生育範囲よりはかなり低かった為と考えられる。

### 3.5.5 硝化細菌

硝化細菌はアンモニアを亜硝酸に酸化するアンモニア酸化細菌(式1)と亜硝酸を硝酸に酸化する亜硝酸酸化細菌(式2)に大別でき, 脱窒作用の前段階として重要な役割を担う。しかしながら酸素の存在しない嫌気的環境下では硝化反応は生じない。したがって, 本調査試料において地下水中の硝化細菌が検出されなかったことは妥当である。



### 3.5.6 硝酸還元細菌および脱窒細菌

本調査試料では, 地下水試料中での硝酸還元細菌および脱窒細菌数が各々,  $9.5 \times 10^5$ ,  $3.3 \times 10^5$  cells/mlと高い値で計数された。硝酸還元反応および脱窒反応の理想的なEh(mV)は+400~+100である。本調査における地下水試料のEh(mV)は+90であったことから, 地下水環境が硝酸還元および脱窒反応に適した環境であったことが伺われ, さらに有機物濃度が高い濃度であったことを考え合わせると地下水中の硝酸還元および脱窒細菌の計数値が高い値であったことを裏付けるもの

と考えられる。一方、河川水中での硝酸還元および脱窒細菌は計数されなかったが、これは河川水環境が地下水とは反対に酸化的な環境にあったこと、有機物濃度低かったことが影響しているものと考えられる。

### 3.5.7 バクテリア調査のまとめ

今回の調査試料は、地下水と河川水で水質的には明らかに異なっているし、細菌相においても、全菌数及び硫酸塩還元細菌の存在性の面で相違が見られる。しかしながら、一般細菌試験(第2-19表参照)において地表由来の細菌が確認されたことから、地下水中のバクテリア生態系に地表由来のバクテリアが介入した可能性が考えられる。化学的には地表水の影響を除く事はできても、生物相はその場所で繁殖し、物理的希釈作用(モニター採水)によって除去する事は非常に困難であると考えられる。生態学的には新規の生物の介入は初期状態において繁殖し、優勢主になってしまうことが知られているが、そのような生態系は非常に不安定である。調査孔掘削終了後、期間を置かず採水作業に入ると上記のような不安定な生態系の情報を取得してしまう可能性があることを常に念頭に置かなければならないと考えられる。しかしながら、本深層地下水では有機物濃度が極めて高い値であるのに対して、無機栄養塩類( $\text{PO}_4\text{-P}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度)がほぼ枯渇状態にあるために、種々反応(生物活性)が停止しているものと思われる。従って親生物元素、若しくは遷移金属元素の挙動に関しては、影響は少ないと考えられる。

また、細菌試験結果および地下水中のEh(mV)の値から見て、栄養塩(とくに $\text{PO}_4\text{-P}$ )が枯渇するまでは、硝酸還元反応、脱窒反応が優占していたものと推察される。なお、本深層地下水中には硫酸イオンが存在していないため硫酸還元反応もほとんど生じていないために、有機物濃度が高いにも係わらず、嫌気度が予想以上に低くなくメタン生成反応もそれほど活発には起こっていない。

本地下水は、何らかの理由により、 $\text{PO}_4\text{-P}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , あるいは酸素が導入されれば、爆発的な有機物分解反応が生じる可能性を持つことが容易に予想される。なお、細菌試験および化学分析試験結果を総合的に考えると、本地下水試料を採取した地下環境は、古環境的に有機物に富んだ環境であったか、あるいは周辺地域からの有機物汚濁を受けている可能性が伺われる。

## 参 考 文 献

- 相崎守弘, 中島拓男 : 陸水富栄養化に関する総合研究 (VI) -細菌分布から見た霞ヶ浦の物質代謝の特徴-. 国立公害研究所報告, 22, p. 63-87, (1981).
- 相崎守弘, 田中秀之, 北村 博 : 東京湾における無酸素水塊の形成と青潮. 用水と廃水, 1, (1), p. 41-45, (1990).
- APHA-AWWA-WPCF : Standard Method for Examination of Water and Wastewater 16th Ed. (1985).
- 浅見輝男, 茅野充男訳 : 環境無機化学 -元素の循環と生化学-, 博友社, (1983).
- Baumann, E. W : Determination of parts per billion sulfide in water with the sulfide-selective electrode., Anal. Chim., 46(9), p. 1345-1352, (1974).
- Bourg, A. C. M. and P. W. Schindler : Ternary surface complexes. I. Complex formation in the system silica-Cu(II)-ethylenediamine. Chimia, 32, p. 166-168, (1978).
- Broenkow, J. H. and J. D. Cline : Colometric determination of dissolved oxygen at low concentrations. Limnol. Oceanogr. 14, p. 450-454, (1969).
- Burba III, J. R. and J. L. McAtee, Jr. : The orientation and interaction of ethylenediamine copper(II) with montmorillonite. Clays Clay Miner., 25, p. 113-118, (1977).
- Collins M. D. and Wideel F : Respiratory Quinones of Sulfate-Reducing and Sulphur-Reducing Bacteria (A Systematic Investigation). Syst. Appl. Microbiol., 8, p. 8-16, (1986).
- Craig D. C. and Loughnan, F. C., Chemical and mineralogical transformation accompanying the weathering of basic volcanic rocks from New South Wales, Aust. J. Soil. Res. 2. p. 218-234 (1964)
- Cypionka H., Widdel F. and Pfennig N. : Survival of Sulfate-Reducing Bacteria after Oxygen Stress and Growth in Sulfate-Free Oxygen-Sulfide Gradients. FEMS Microbiol. Ecol., 31, p. 39-45, (1985).
- Davis, J. A. and J. O. Leckie : Effect of adsorbed complexing ligands on trace metal uptake by hydrous oxides. Environ. Sci. Technol., 12, p. 1309-1315, (1978).

Dudley D.J., Guentzel M.N., Ibarra M.J., Moore B.E. and Sagik B.P : Enumeration of Potentially Pathogenic Bacteria from Sewage Sludges. Appl. Environ. Microbiol., 39, p.118-125, (1980).

Easton, J.A. : Chemical Analysis of Silica Rocks., Elsevier Pub. Comp., p.258, (1972).

Froelich, P.N., G.P. Klinkhammer, M.L. Bender, N.A. Luedtke, G.R. Heath, D. Cullen, P. Dauphin : Geochim. Cosmochim. Acta, 43, p.1075-1090, (1979).

福井 学, 滝井 進: 硫酸還元菌の微視的分布, 日本微生物生態学会講演要旨集, p40, (1989).

Garrels, R.M., and C.L. Christ : Solutions, Minerals, and Equilibria, Harper and Row, New York, 450p, (1965).

Gather, R., J.S. Davis and A. Mares : Regulation of Copper availability to phytoplankton by macromolecules in lake water. Environ. Sci. Technol., 12, p.1416-1421, (1978).

G. J. Olson, W. P. Iverson, W. S. Docins, G. A. McFeter : Sulfate-Reducing and Methanogenic Bacteria from Deep Aquifers in Montana. Geomicrobiology Journal, vol 2, p.327-340, (1984).

半谷高久, 小倉紀雄 : 水質調査法 (改訂第2版), p.265-270, 丸善, (1985).

Hiraishi A : Respiratory Quinone Profiles as Tools for Identifying Different Bacterial Populations in Activated Sludge. J. Gen. Appl. Microbiol., 34, p.39-56, (1988).

平石 明 : キノンプロファイル法による活性汚泥細菌の生態学的研究 . 用水と廃水, 32, (12), p.13-24, (1990).

H. D. Holland 著 山形登訳: 大気・河川・海洋の化学, 318p. 産業図書, (1972).

今井和民 : 独立栄養細菌. 化学同人, 京都, 77p, (1984).

一国雅巳, 鈴木勳子, 鶴見実 : 水-岩石相互作用の生成物としてのアルカリ性鉱泉水, 地球化学, 16, p.25-29, (1982).

John G. Holt et al. : BERGEY'S MANUAL OF Systematic Bacteriology WILLIAMS and WILKINS, Baltimore, (1974).

Karsten Pedersen : Deep ground water microbiology in Swedish granitic rock and it's relevance for radio-nuclide migration from a Swedish high level nuclear waste repository. : SKB TECHNICAL REPORT, 89-23, p.1-13, (1989).

Karsten Pedersen : Distribution and activity of bacteria in deep granitic ground waters of Southeastern Sweden. SKB TECHNICAL REPORT, p.1-28, (1990).

工業用水試験法 : JIS K 0101, 日本規格協会, (1986).

工業用水試験法 : JIS K 0102, 日本規格協会, (1986).

小山忠四郎 : 湖沼ガス代謝 -水の環境対策への基礎と応用-, p.10-18, 成文堂, (1991).

小山忠四郎, 半田暢彦, 杉村行勇 : 湖水・海水の分析, 講談社サイエンティフィック, (1972).

近藤昭彦, 鈴木裕一, 高山茂美: トリチウムによる地下水の停帯時間の推定 - 会津盆地北部の自噴井の場合 - .ハイドロロジー, 13, p.60-65, (1983).

日下讓, 辻治男, 藤本雄三, 石田桂子, 福井要 : 六甲山地周辺域の浅層地下水の水質, jap. J. Liminol. 42, 2, p.65-71, (1988).

松葉谷治, 越中浩, 小室昭一 : 秋田県温泉の同位体地球化学的調査報告, 秋田大学鉱山学部地下資源研究施設報告, 48, p.11-24, (1983).

松田庄蔵, 平木敬三, 西川泰治 : フミン酸, リグニンスルホン酸ナトリウムのけい光法による同時定量 - 堆積物中のフミン酸, フルボ酸の定量 -, 分析化学, 20, p.341-346, (1979).

メイスン著 一國雅巳, 松井義人訳: 一般地球化学, 402p, 岩波書店, 東京, (1970).

Mentzel, D. W. and N. Corwin : Limnol. Oceanogr., 10, 280p, (1965).

水谷義彦, 小田松尚: 安定同位体比による富山県庄川扇状地地下水のかん養源および流動状況の研究, 地球化学, 17, p.1-9 (1983)

Miller, J. C., and J. N. Miller著 宗林信訳: データのまとめ方, 238p, 共立出版, 東京, (1991).

Morris, J. C., and W. Stumm : Redox equilibria and measurements of potentials in the aquatic environment. In Equilibrium Concepts in Natural Water Systems, Advances in Chemistry Series 67, American Chemical Society, Washington, D. C., p. 270-285, (1967).

Murphy, J. and J. P. Riley : A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters, Anal Chem. Acta., 27, p. 31-36, (1962).

日本化学会編 : 土の化学, 187p, 学会出版センター, (1989).

日本化学会編 : 陸水の化学, p184p, 学会出版センター, (1992).

野尻幸宏 : イオンクロマトグラフィーによる天然水中の全炭酸の定量, 立公害研究所 霞ヶ浦臨湖実験施設研究発表会 講演報告集, 3, p. 1-4, 2(1984) 国

大槻 晃 : 湖沼調査指針, 水質汚濁研究会編, (1982).

大槻 晃 : 環境測定分析法注解 (第3巻) -水質汚濁物質及び底質測定分析方法-, p. 82-91, (1985).

PNC SJ 4411 89-001: パッカー式地下水サンプラー (PGS-500NQNU, HQ型) の製作. 基礎地盤コンサルタント株式会社, 64p, (1989).

PNC ZJ 4401 90-001: 地下深部におけるバクテリアの存在調査研究. 同和工営株式会社, 77p, (1991).

PNC ZJ 1303 92-003(1): 東北日本グリーンタフ地域流紋岩類の地質環境モデルデータセット整備のための深部地質環境データ. 同和鉱業株式会社, 267p, (1992).

Postgate J. R. : The Sulfate-Reducing Bacteria. Cambridge University Press, London, (1979).

Sillen, L. G : The physical chemistry of sea water. In, Oceanography, ed. by M. Sears, American Association for Advancement of Science, Washington, D. C., p. 549-581, (1961).

高井康男 : 微生物の生態 5 -環境汚染をめぐって-, p. 1-21, 学会出版センター, (1979).

高井康男, 和田秀徳 : 土と微生物, p. 45-72, 岩波書店, (1966).



Takii Susumu : Methanogenesis in Sediments of the Polluted Lower Reaches of the Tama River. Jpn. J. Limnol., 50, (3), p.235-246,(1989).

竹内準一, 滝井 進 : 酒沼と水月湖の湖水中における硫酸還元菌の分布. 用水と廃水. 29, (11), p.3-7,(1974).

Tanaka H., Aizaki M. and Kitamura H : Changes in Vertical Distributions of Several Kinds of Bacteria Caused by Up-Welling of Anoxic Water in Tokyo Bay. Japan Water Pollution Research and Control Preprint of Poster Papers, p.143-146,(1990).

田中秀之, 相崎守弘 : 東京湾における青潮に関する研究 - 無酸素水塊の形成と硫酸還元菌の挙動 -. 第24回水質汚濁学会講演集, p.317-318,(1990).

田中秀之, 相崎守弘, 木幡邦男, 中村康男, 竹下俊二, 滝井 進, 田井慎吾 : 東京湾における青潮に関する研究Ⅲ - 水中及び底泥での硫酸還元細菌の分布特性 -. 国立環境研究所臨湖実験施設研究報告集, 6, p.1-5,(1992).

玉利祐三, 辻治雄, 日下讓 : 岩質と陸水の水質との関係 - 岩石の溶出実験による解析 -, 地球化学, 22, p.139-147,(1987).

田村紘基 : 水の分析 (第3版), p.378-380. 化学同人,(1988).

立見辰夫 : 現代鉱床学の基礎, p.96-97. 東京大学出版界,(1977).

Van Es FB, Meyer-Reil : Biomass and metabolic activity of heterotrophic marine bacteria. Marshall KC(ed) Advances in microbial ecology, vol 6, p.111-170,(1982).

Wakao N. and C.Furusaka : A New Agar Method for the Quantitative Study of sulfate-reducing Bacteria in Soil. Soil. Sci. Plant. Nutr., 18, p.39-44, (1972).

Whitfield, M. : Thermodynamic limitations on the use of platinum in Eh measurements. Limnol. Oceanogr., 19, p.857-865,(1974).

Winkler, L. W. : Die Bestimmung des im wasser gelosten sauerstoffes. Chem. Ber., 21, p.2843-2855,(1988).

山里一英, 宇田川俊一, 児玉 徹, 森地敏樹編 : 微生物の分離法 R and Dプランニング,  
東京, 500p, (1986).

Yoshida, N. and Mizutani, Y. : Preparation of carbon dioxide for oxygen-18  
determination of water by use of a plastic syringe. Anal. Chem. 58, p.1273,  
(1986).

吉岡龍馬 : 天然水の化学組成からみた風化速度. 1988年度日本地球化学年講演要旨集,  
p. 95, (1988).

Zajic J.E : Microbial biogeochemistry : Academic Press Inc., NewYork, (1969).