

JNC TJ6420 2003-011

鉍さいたい積場周辺地質調査
(核燃料サイクル開発機構 業務委託報告書)

2003年2月

株式会社 ダイヤコンサルタント

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。

〒708-0698 岡山県苫田郡上齋原村1550番地
核燃料サイクル開発機構 人形峠環境技術センター
環境保全技術開発部 管理課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Co-ordination Section, Environmental Research and Development Division,
Ningyo-Toge Environmental Engineering Center,
Japan Nuclear Cycle Development Institute,
1550 Kamisaibara-son, Tomada-gun, Okayama-ken, 708-0698,
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2003

鉦さいたい積場周辺地質調査

(核燃料サイクル開発機構 業務委託報告書)

高野 仁*、杉本芳博**、山下 正*、山田直之**

要 旨

鉦さいたい積場における鉦さいのたい積状況と周辺の地質状況を把握し、地下水解析に反映可能な地質構造モデルを作成することを目的として、ボーリング調査、比抵抗電気探査および3次元地質構造モデルの作成を行った。

ボーリング調査では熱水脈を伴う割れ目の発達により、脆弱化した花崗岩の分布が確認されたが、深度40m以深では新鮮な岩盤となっていることが判明した。風化花崗岩の透水係数は 1.15×10^{-6} m/sで、既往の調査結果とほぼ一致した値となっている。しかしながら、新鮮花崗岩では 4.33×10^{-7} m/sであり既往調査と比較すると2オーダー大きな値となっている。これは割れ目が発達しているためであると考えられる

比抵抗電気探査では、測線を縦横に配置し2次元の測定データを用いて3次元の解析を行った。3次元で解析を行うことにより、地形や地質構造の3次元効果を反映した精度の良い比抵抗分布が得られた。比抵抗分布から鉦さい、風化花崗岩ないし堆積岩および新鮮花崗岩が区分できた。また、3次元の比抵抗分布から既往の屈折法地震探査測線沿いの比抵抗分布を切り出して比較したところ、たい積場左岸の低速度帯が低比抵抗部に、たい積場内の基盤の高まりが高比抵抗部に一致するなどの対応が認められた。

鉦さいたい積場およびその周辺の300m四方の領域で地形面、鉦さい下限面、堆積岩下限面、風化花崗岩下限面および新鮮花崗岩上限面の5つの3次元モデルを作成した。モデルは接点の座標と接点の接合関係を示す汎用的なテキストデータとして出力される

本報告書は株式会社ダイヤコンサルタントが核燃料サイクル開発機構との業務委託契約により実施した業務成果に関するものである。

機構担当部課室：人形峠環境技術センター 環境保全技術開発部 環境計画課

* 株式会社ダイヤコンサルタント ジオテクニカル事業部 地盤物性グループ

** 株式会社ダイヤコンサルタント ジオテクニカル事業部 物理探査グループ

Geological Structure Modeling Around Mill Tailing Yard

Hitoshi Takano*, Yoshihiro Sugimoto**, Tadashi Yamashita*, Naoyuki Yamada*

ABSTRACT

Drilling and high resolution electrical survey was carried out to make a geological structure model around mill tailing yard.

Following by drill investigation, Distribution of the granite which became fragility was confirmed by the development of fractures with hydrothermal vein. However, fresh bedrock is distributed deeper than 40m. Permeability of weathering granite is about in 1.15×10^{-6} m /sec. The value agrees previous findings. In fresh granite, permeability is 4.33×10^{-7} m /sec, and it value is larger than existing data. It is for developing of fractures in fresh granite.

At high resolution electrical survey, analysis is done by 3 dimensions. By analyzing it with 3 dimensions, good resistivity distribution was provided. From resistivity distribution, tailing, weathered granite or sedimentary rock and fresh granite are classified. Resistivity distribution was taken out from lines of seismic exploration refraction method, and compared between two methods. As a result, low resistivity region is fitted low velocity zone and high resistivity region is fitted high velocity zone.

Topography and 4 geological models are created. These models are output as versatile text data to show relation of a coordinate and the point of contact.

This work was performed by Dia Consultants Co. Ltd under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

JNC Liaison : Ningyo-toge Environmental Engineering Center, Environmental Research and Development Division, Environmental Planning Section

* Dia Consultants Geotechnical Engineering Dept

** Dia Consultants Geophysical Dept

目次

1.業務概要	1
1.1 件名	1
1.2 目的	1
1.3 調査場所	1
1.4 実施期間	1
1.5 成果品の納入場所	1
1.6 調査項目および数量	1
1.7 調査担当	2
2.ボーリング調査	3
2.1 調査方法	3
2.1.1 ボーリング位置	3
2.1.2 使用機器	4
2.1.3 掘削及び拡孔方法	5
2.1.4 観測孔仕上げ	7
2.1.5 コアの採取と収納	9
2.1.6 コアの観察と柱状図の作成	9
2.2 調査結果	13
3.原位置透水試験	15
3.1 試験方法	15
3.2 試験結果	18
4.電気検層	21
4.1 電気検層の原理	21
4.2 測定方法および結果	22
5.物理探査	24
5.1 比抵抗探査の概要	24
5.2 現地測定	28
5.3 データ解析	35
5.4 比抵抗探査結果の解釈	47

6.地表踏査	66
6.1 調査方法	66
6.2 調査結果	66
6.2.1 地質分布	66
6.2.2 地下水分布	70
7.地質構造モデルの作成	73
7.1 地質構造の推定	73
7.2 水理地質モデルの構成要素	75
7.3 モデルの作成方法	76
7.4 3次元地質モデル作成結果	78
8.まとめと今後の課題	84
8.1 まとめ	84
8.2 今後の課題	84
参考文献	86

図目次

図 2.1-1	ボーリング位置	3
図 2.1-2	ボーリング機械の概念図	4
図 2.1-3	掘削および削孔手順	6
図 2.1-4	塩ビ管の構造図	7
図 2.1-5	観測孔の構造図	8
図 2.1-6	RQD の求め方	12
図 2.2-1	F-1 孔の地質	14
図 3.1-1	現場透水試験方法（非定常法）の事例	15
図 3.1-2	低圧岩盤透水試験装置の概要図	17
図 3.2-1	透水係数の深度分布	20
図 4.1-1	電気検層の測定概念図	21
図 4.2-1	電気検層結果（F-1 孔）	23
図 5.1-1	比抵抗概念図	24
図 5.1-2	岩石等の比抵抗	25
図 5.1-3	比抵抗探査（2 極法）の測定概念図	26
図 5.1-4	比抵抗 2 次元探査の測定概念図	27
図 5.2-1	作業手順	28
図 5.2-2	測線位置図	30
図 5.2-3	遠電極位置図	31
図 5.2-4	測定手順図	32
図 5.2-5	交替直流による測定原理	33
図 5.2-6	電気伝導度計測位置	34
図 5.3-1	データ解析フローチャート	35
図 5.3-2(1)	見掛比抵抗断面図(1)	36
図 5.3-2(2)	見掛比抵抗断面図(2)	37
図 5.3-3	FEM モデル	39
図 5.3-4	グリッド図	40
図 5.3-5(1)	解析結果垂直断面(1)	42
図 5.3-5(2)	解析結果垂直断面(2)	43
図 5.3-5(3)	解析結果垂直断面(3)	44

図 5.3-6	解析結果鳥瞰図	45
図 5.3-7	解析結果スライス図	46
図 5.4-1	ボーリング孔・弾性波探査測線位置図	50
図 5.4-2	F-1 孔垂直断面図	51
図 5.4-3	観測孔 E 孔垂直断面図	52
図 5.4-4	安定化ボーリング孔 垂直断面図	53
図 5.4-5(1)	既往弾性波探査結果(1)	56
図 5.4-5(2)	既往弾性波探査結果(2)	57
図 5.4-6	既往調査結果と比抵抗探査結果の対比図	58
図 5.4-7(1)	地質区分図(1)	61
図 5.4-7(2)	地質区分図(2)	62
図 5.4-7(3)	地質区分図(3)	63
図 5.4-7(4)	地質区分図(4)	64
図 5.4-8	鉱さいの分布範囲	65
図 6.2-1	ルートマップおよび地層地質図	68
図 6.2-2	池河川の花崗岩露頭スケッチ	69
図 6.2-3	黒土層の露頭	69
図 6.2-4	主要な地下水露頭	72
図 7.1-1	脆弱部のコア試料	74
図 7.2-1	水理地質区分と地層境界モデルの関係	76
図 7.3-1	地質構造モデルの作成手順	77
図 7.4-2	地形と既往調査による「リニアメント」	79
図 7.4-3	地表地質分布（青線は「リニアメント」）	80
図 7.4-4	堆積岩の分布（鉱さいを剥いだ状態）	81
図 7.4-5	風化花崗岩の分布（堆積岩を剥いだ状態）	82
図 7.4-6	新鮮花崗岩分布（風化花崗岩を剥いだ状態）	83

表目次

表 1.6-1	調査項目とその内容および実施数量一覧表	1
表 2.1-1	ボーリング位置座標	3
表 2.1-2	使用機器一覧表	4
表 2.1-3	コア観察要素表	10
表 2.1-4	ボーリングコア観察による岩級区分表	11
表 3.2-1	透水試験結果一覧	18
表 3.2-2	平成 8,10,13 年度に実施された ボーリング孔での原位置透水試験結果一覧	19
表 5.1-1	諸要因の比抵抗に与える影響	25
表 5.2-1	測線長	29
表 5.2-2	使用機器一覧表	34
表 5.2-3	電気伝導度計測結果	34
表 5.4-1	F-1 孔地質区分図	47
表 5.4-2	観測孔 E 孔地質区分図	48
表 5.4-3	安定化調査ボーリング地質区分図	49
表 7.4-1	地質構造モデルの構成要素	78

卷末資料

- ・ 1/100 柱状図
- ・ コア写真
- ・ 現場写真
- ・ 現場透水試験記録

1.業務概要

1.1 件名

鉍さいたい積場周辺地質調査

1.2 目的

鉍さいたい積場における鉍さいのたい積状況と周辺の地質状況を把握し、地下水解析に反映可能な地質構造モデルを作成する。

1.3 調査場所

岡山県苫田郡上斎原村 1550

核燃料サイクル開発機構 人形峠環境技術センター

夜次鉍さいたい積場

1.4 実施期間

平成 14 年 9 月～平成 15 年 2 月 28 日

1.5 成果品の納入場所

核燃料サイクル開発機構 人形峠環境技術センター

濃縮工学施設 環境計画課

1.6 調査項目および数量

調査項目とその内容および実施数量を表 1.6-1 に示す。

表 1.6-1 調査項目とその内容および実施数量一覧表

項目	内容	数量	備考
測量	標高および位置だし	1 式	
ボーリング調査	掘削 (φ66mm 土砂)	13.90m	盛土, 腐植土, 砂質土
	掘削 (φ66mm 風化岩)	24.10m	風化花崗岩, 脆弱花崗岩
	掘削 (φ66mm 硬岩)	7.00m	花崗岩
	拡孔 (φ86mm)	45m	
	コア観察	45m	
透水試験	非定常法 (注水法)	7 回	風化花崗岩
	低圧岩盤透水試験	2 回	新鮮花崗岩
電気検層	ノルマル	45m	
観測孔仕上げ	ストレーナ設置	45m	
物理探査	比抵抗 2 次元探査	1310m	3 次元解析
地表踏査	地質分布の確認	1 式	
地質構造モデルの作成	3 次元図化处理	1 式	地層境界面のデジタルデータ
報告書の作成	調査データの整理解析	1 式	

1.7 調査担当

株式会社ダイヤコンサルタント ジオエンジニアリング事業部 地盤物性グループ
物理探査グループ

2.ボーリング調査

2.1 調査方法

2.1.1 ボーリング位置

ボーリング孔名をF-1孔とし、ボーリング位置を監督員と協議の上決定した。ボーリング位置を図2.1-1に示す。また、ボーリング位置の座標は表2.1-1に示すとおりである。



図 2.1-1 ボーリング位置

表 2.1-1 ボーリング位置座標

項目	座標値
X座標	J測線+5m
Y座標	19測線+5m
標高(EL.m)	722.315

2.1.2 使用機器

ボーリング孔の掘削方向を鉛直方向とし、ハイドロリックフィード型ボーリングマシンを用いた。ボーリング機械の概念図を図 2.1-2 に、使用した機器を表 2.1-2 に一覧する。

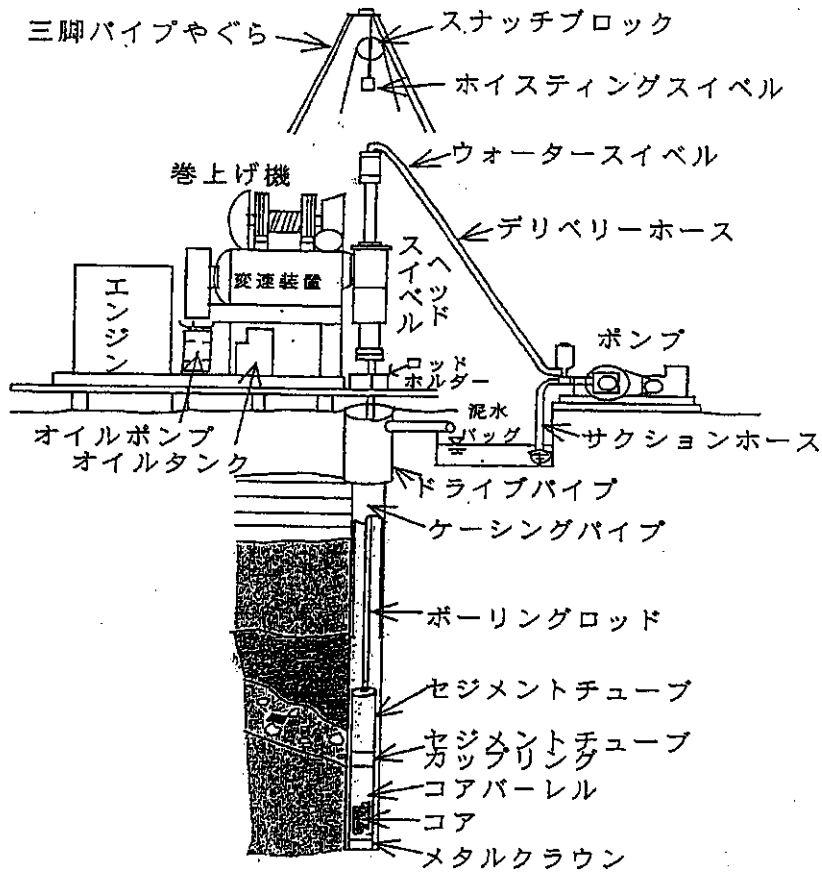


図 2.1-2 ボーリング機械の概念図

表 2.1-2 使用機器一覧表

機械名	製造会社名	型式	仕様	台数
試錐機	東邦地下工機	D2-G-58	最大掘削深度 200m	1 台
試錐ポンプ	東邦地下工機	L50ASS	圧力 50 kgf/cm ² 吸水量 27.7~41.5 l/min	1 台
給水ポンプ	ヤンマー	CP50		1 台
その他	コアチューブ, ロッド, 足場パイプ, ケーシングパイプ, 各種工具類			1 式

2.1.3 掘削及び掘孔方法

掘削および掘孔手順を図 2.1-3 に示し、以下に概要を述べる。

- ①掘削は原則としてオールコアとし、1 回の掘削はコアバーレル長を超えないこととした(コアの採取および観察方法については、2.5 および 2.6 を参照)。掘削孔径を $\phi 66\text{mm}$ とし、掘削用水には清水を用いた。掘削にあたっては、コア採取率を上げるため、地表に近い土砂部ではシングルコアチューブ、風化岩ではメタルクラウン装着の軟岩用ダブルコアチューブ、風化岩～新鮮岩ではダイヤモンド装着のコアバックダブルコアチューブを使用した。
- ②孔壁が自立するまでは、 $\phi 66\text{mm}$ で掘削後、直ちに $\phi 86\text{mm}$ で掘孔して孔壁を保護し、この作業を繰り返しながら掘削を進めた。代表的な岩種が出現した時点で、 $\phi 86\text{mm}$ ケーシング端から掘削深度までの区間を対象として、ボーリング孔を利用した透水試験方法（非定常法）による現場透水試験を実施した（非定常法による現場透水試験方法については、3 章を参照）。
- ③掘削深度を新鮮岩確認後、5m 以上とした。 $\phi 86\text{mm}$ ケーシングによる孔壁保護を最終的には深度 38m まで行い、新鮮岩確認後、深度 45m までを無保孔で掘削した。この間で、パッカーにより構築した試験区間を対象とし、低圧岩盤透水試験を実施した（低圧岩盤透水試験方法については、3 章を参照）。
- ④地表から深度 16m までを $\phi 150\text{mm}$ ケーシングで、深度 26m までを $\phi 116\text{mm}$ ケーシングで保孔しながら、掘削終了後のボーリング孔を水位観測孔として仕上げるため、深度 45m までを $\phi 86\text{mm}$ で掘孔した。
- ⑤掘孔終了後、孔底まで注水ホースを挿入し、毎分約 40 リットルの水を約 2 時間注水し、孔内洗浄を行った。この後、塩ビ管を挿入して、孔壁との間に細砂を充填した。

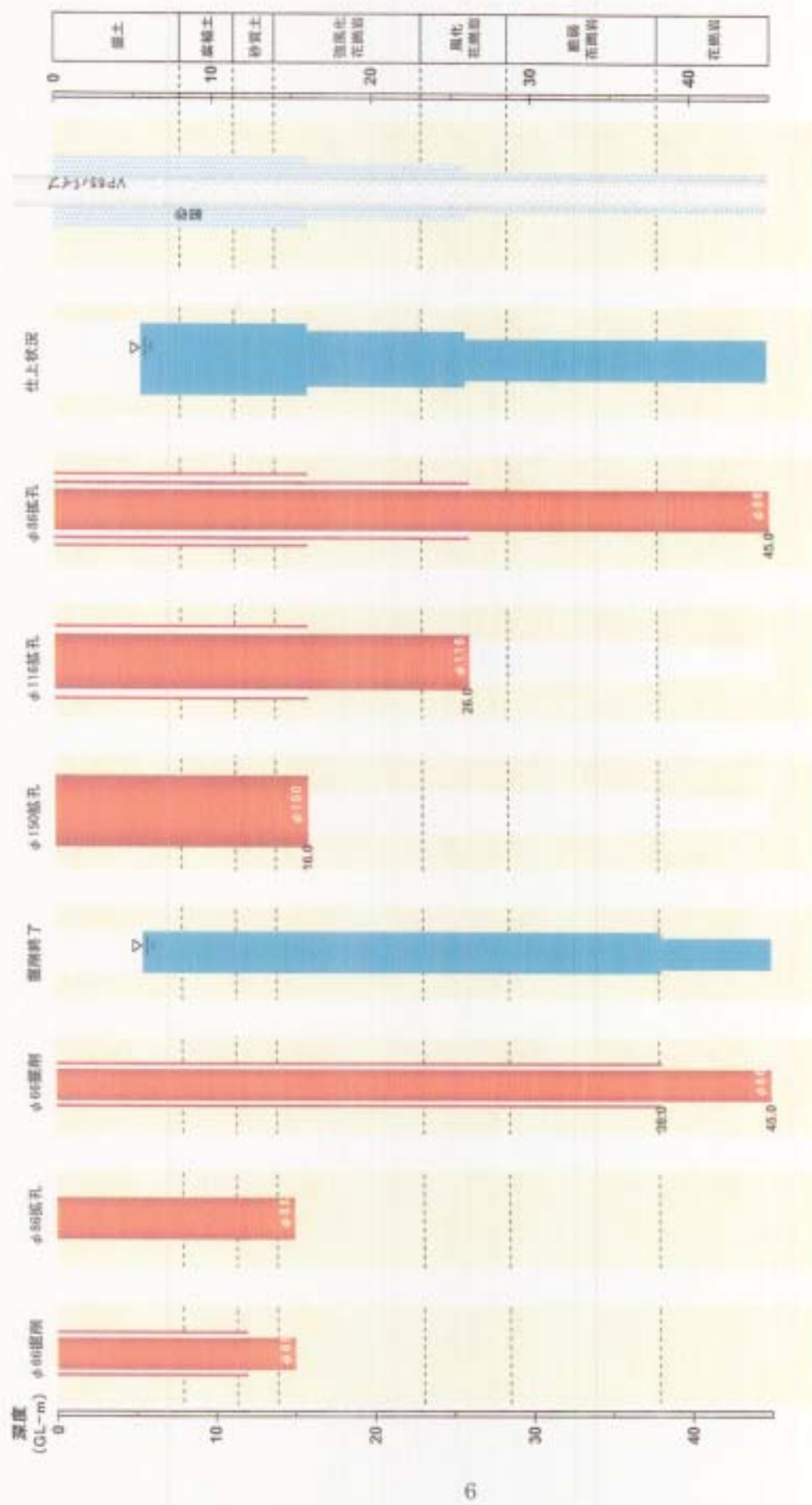


図 2.1-3 掘削および掘孔手順

2.1.4 観測孔仕上げ

水位観測孔として使用するために、ボーリング孔内に設置した塩ビ管の構造図を図 2.1-4 に示す。

塩ビ管には、両端ねじ部を除く長さ 3,900mm の範囲に、 $\phi 5\text{mm}$ の穴を円周上に 12 列、長さ方向に 19mm ピッチで設け、両端ねじ部を除く塩ビ管の表面積に占める孔面積の比率（開口率）を 5% とした。

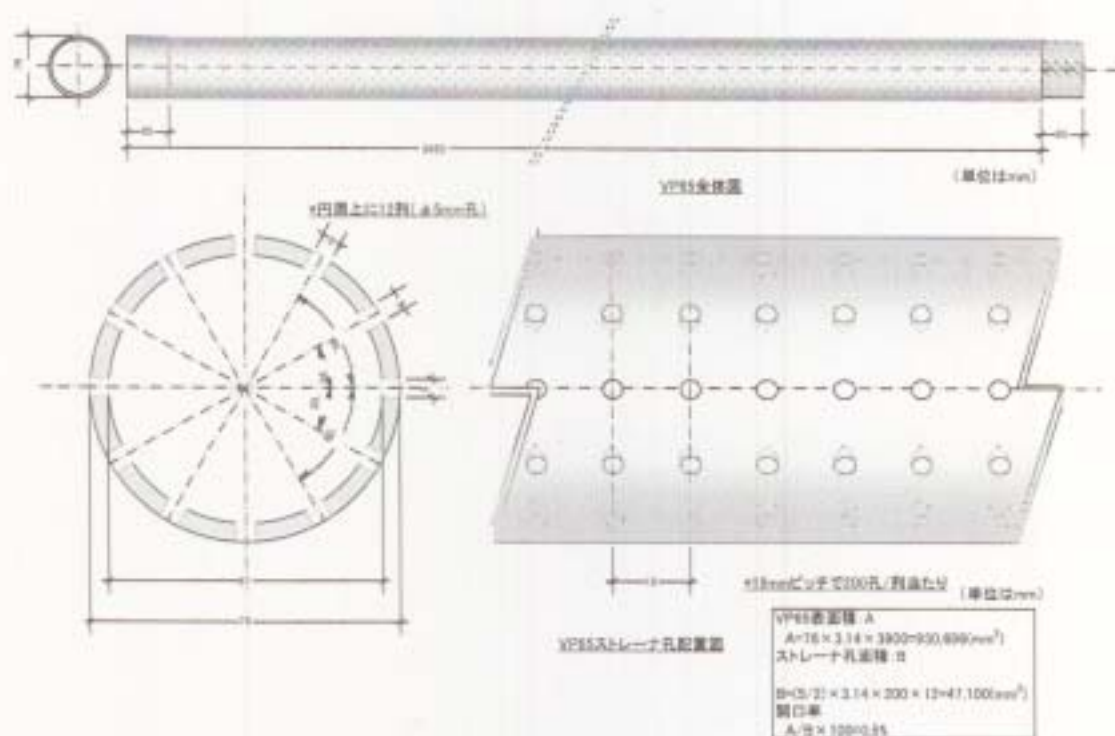


図 2.1-4 塩ビ管の構造図

使用した塩ビ管の本数および切り取り長さ、立ち上がり高さは次のとおりであり、塩ビ管の先端深度は 45m である。観測孔の構造図を図 2.1-5 に示す。

全長	$3,950\text{mm}/\text{本} \times 12 \text{本} =$	47,400 mm
切り取り長さ		1,550 mm
立ち上がり高さ		850 mm
塩ビ管先端深度(m)		45 m

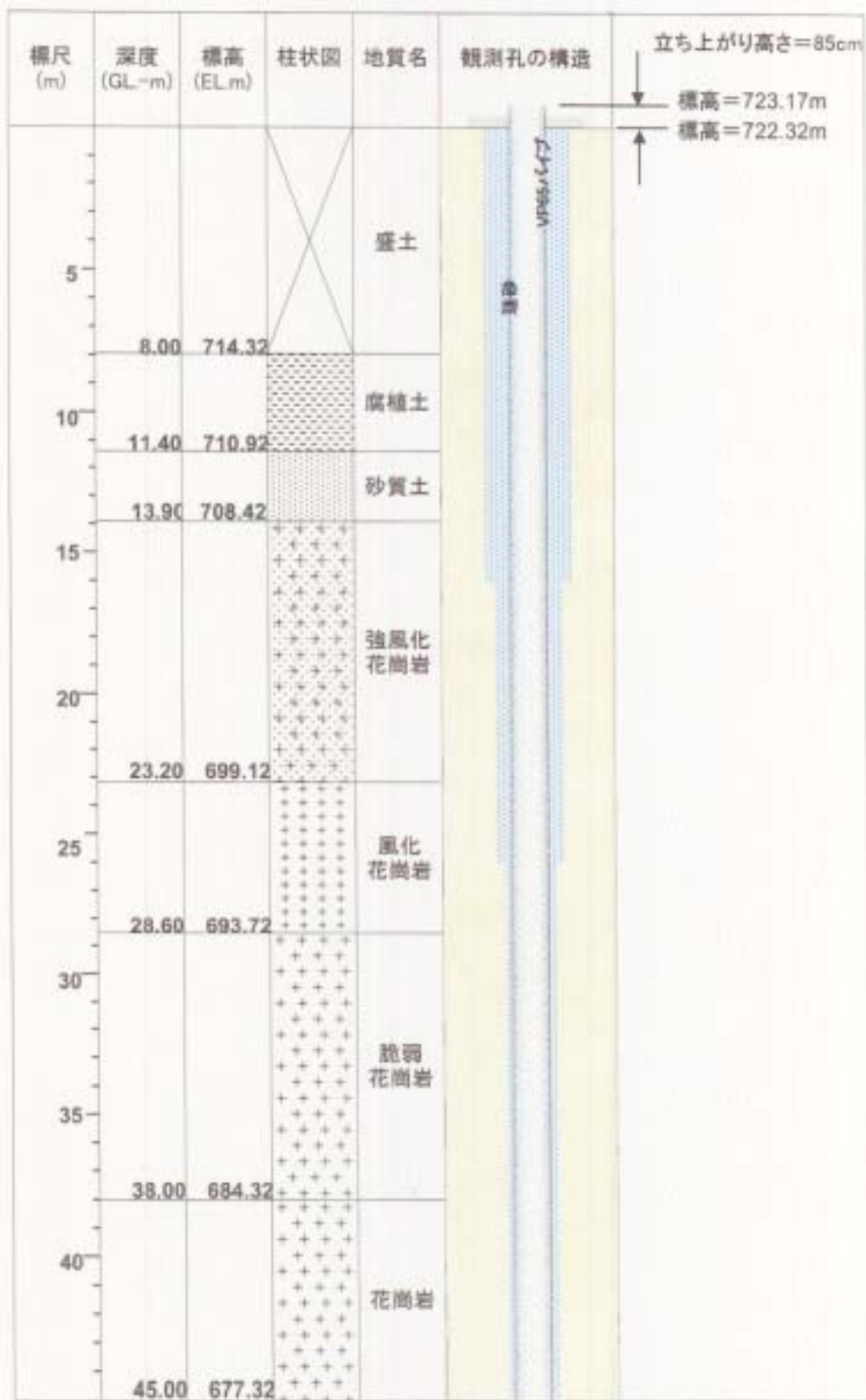


図 2.1-5 観測孔の構造図

2.1.5 コアの採取と収納

コアの採取と収納を次の手順で実施した。

- ① ボーリングコアは 1m 長のダブルコアバレルにより採取し、採取深度にしたがいコア箱に収納した。コア採取ができない部分はスライムを採取して、ビニール袋に入れてコア箱の該当深度に収納した。
- ② コア箱には、件名、収納深度区間等を明記し、1箱毎に湿潤状態でカラー写真を撮影した。特に重要な部分は接写で撮影した。
撮影したコア写真を巻末資料に示す。

2.1.6 コアの観察と柱状図の作成

採取したボーリングコアは、壊さないように肉眼観察を行い 1/100 のボーリング柱状図にまとめた。ボーリング柱状図は、財団法人日本建設情報センター(JACIC)の「ボーリング柱状図作成要領(案)」りに準拠して作成した。表 2.1-3~4 に JACIC のボーリングコア観察要領を示す。また、RQD(Rock Quality Designation)測定方法を図 2.1-6 に示す。コア観察結果を 1/100 柱状図に取りまとめた。取りまとめた柱状図を巻末資料に示す。

表 2.1-3 コア観察要素表

コア硬軟区分

記号	硬軟区分
A	極硬、ハンマーで容易に割れない。
B	硬、ハンマーで金属音。
C	中硬、ハンマーで容易に割れる。
D	軟、ハンマーで容易に碎ける。
E	極軟、マサ状、粘土状。

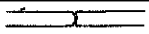
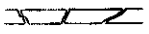

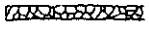
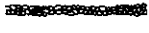
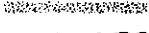
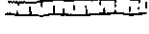
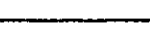
コア風化区分

記号	風化の程度
α	非常に新鮮である。造岩鉱物の変質は全くない。
β	新鮮である。有色鉱物の周辺に赤褐色化がある。長石の変質はない。
γ	弱風化している。有色鉱物の酸化汚染がある。長石の部分的な変質（白色化）がある。
δ	風化している。有色鉱物が黄色色あるいは周辺が褐色粘土化している。長石の大部分が変質している。
ϵ	強風化している。石英および一部の長石を除きほとんど変質し原岩組織は失われている。

コア割れ目状態区分

記号	割れ目状態区分
a	密着している、あるいは分離しているが割れ目沿いの風化・変質は認められない。
b	割れ目沿いの風化・変質は認められるが、岩片はほとんど風化・変質していない。
c	割れ目沿いの岩片に風化・変質が認められ軟質となっている。
d	割れ目として認識できない角礫状、砂状、粘土状コア。

コア形状区分

記号	コア形状
I	 長さ50cm以上の棒状コア。
II	 長さが50～15cmの棒状コア。
III	 長さが15～5cmの棒状～片状コア。
IV	 長さが5cm以下の棒状～片状コアでかつコアの外周の一部が認められるもの。
V	 主として角礫状のもの。
VI	 主として砂状のもの。
VII	 主として粘土状のもの。
VIII	 コアの採取ができないもの。スライムも含む。（記事欄に理由を書く）

変質区分

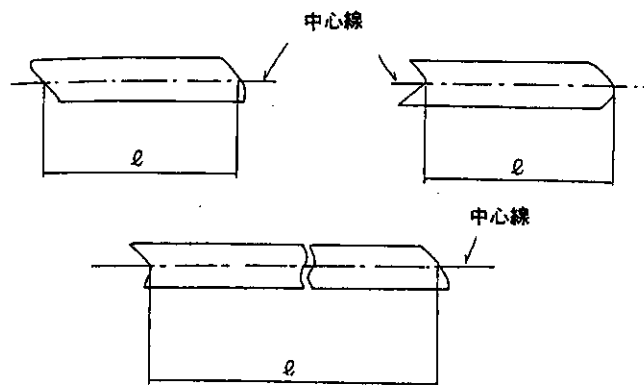
記号	変質区分	変質状況
1	非変質	肉眼的に変質鉱物の存在力が認められない。
2	弱変質	原岩組織を完全に残し、変質程度（脱色）が低いもの。あるいは非変質の割合が高いもの。（肉眼で50%以上）
3	中変質	肉眼で変質が進んでいると判定できるが、原岩組織を明らかに残し、原岩判定が容易なもの。または非変質部を残すもの及び網状変質部。
4	強変質	構成鉱物、岩片等が変質鉱物で完全置換され、原岩組織を全く～殆ど残さないもの。

※「ボーリング柱状図作成要領（案）」解説書（1986）¹⁾より

表 2.1-4 ボーリングコア観察による岩級区分表

区分	色調	硬軟の程度	風化の程度	割れ目の状態	コアの形状
B以上	暗灰	極硬 D・Bで80cm/h以下 (A)	非常に新鮮 未風化 (α)	亀裂は密着している (a)	概ね30cm以上 (I~II)
CH	暗灰	硬 ハンマーで金属音 (B)	新鮮である 層理面に沿って変色 (β)	亀裂は一部開口 (a) ~ (b)	概ね15cm以上 (III)
CM	暗灰 黒灰	硬~中硬 ハンマーで濁音 (B) ~ (C)	弱風化している 層理面に沿って風化 (γ)	亀裂に沿う風化あり、一部粘土を挟むヘアークラック発達 (c)	概ね5~15cmの短柱状 (III)
CL	黄灰 暗灰	軟~中硬 ハンマーで軽く割れる (C) ~ (D)	岩芯まで風化し、ハンマーで崩せる (δ)	亀裂沿いの風化が著しい岩片状コア (d)	概ね5cm以下の岩片状~細礫状 (IV)
D	黄褐 暗灰	極軟M・Cで無水掘削可能 (E)	黄灰色化し指先で壊すことができる (ϵ)	亀裂として認識できない礫状、砂状、粘土状 (d)	土砂状コア (V) ~ (VII)

※「ボーリング柱状図作成要領(案)」解説書(1986)¹⁾より



単一コアの長さ；割れ目から割れ目までの長さ。
割れ目の位置は、コアの中心を通る深度。

コア片の長さ

1片10cm以上のもの

12
6
0
0
18
10
0
8
2



12
18
10

$$RQD = \frac{10\text{cm以上のコアの総長}}{1 \text{掘進長}} \times 100$$

* RQD=Rock Quality Designation

$$\text{コア採取率} = \frac{\text{コア総長}}{1 \text{掘進長}} \times 100$$

1掘進長：1mとすることが多い

$$RQD = \frac{40}{100} \times 100 = 40\%$$

$$\text{コア採取率} = \frac{60}{100} \times 100 = 60\%$$

60cm

掘進長100cm

40cm

コア採取の状況とRQD表示との関係

図 2.1-6 RQD の求め方

2.2 調査結果

ボーリング調査の結果、調査地点の地質構成は上位から、埋土、腐植土、砂質土及び花崗岩からなることが明らかとなった。図 2.2-1 に F-1 孔の概略柱状図を示し、以下にコア観察による地質および岩級について示す。

(1)埋土（深度 0.00～8.00m）

深度 0.00m から 8.00m は、褐色ないし黄褐色の粘土質粗粒砂や砂混り粘土からなる埋土が分布している。非常に淘汰が悪く最上部に碎石層を最下部にコンクリート塊を伴う。

(2)黒色土（深度 8.00～11.40m）

植物根を含む黒色の粘土からなる。色調が下位から 1.1m 厚の黒色部、0.5m 厚の黄灰色部および 1.8m 厚の黒色部と変化し黄灰色部は砂分に富んでいる。

(3)砂質土（深度 11.40m～13.90m）

細礫および粘土混りの灰色極粗粒砂からなる。最上部に上方細粒化が認められ、最下部には硬質の火山岩礫を含んでいる。色調が下位より褐色から橙色へと変化するパターンが 2 サイクル認められ堆積と風化を繰り返したことが推察される。これらの事から、崖錐性の沖積層と判断した。

(4)花崗岩（深度 13.90m～45.00m）

花崗岩は風化程度や肉眼的性状から強風化花崗岩、風化花崗岩、脆弱花崗岩および新鮮花崗岩の 4 種類に区分した。

a.強風化花崗岩（深度 13.90m～23.20m）

全体に強い風化を被っており黄褐色～褐色を呈する。コアは見かけ状棒状であるが、指圧で容易に崩せる程度に軟質化している。構成鉱物はほとんど変質している。深度 21m 付近から以深は強く押さないとつぶれない程度に締ってくる。岩盤等級は D クラスに相当する。

b.風化花崗岩（深度 23.20m～28.60m）

褐色がかった灰白色を呈する。コアは棒状で手で崩すことはできないがハンマーで容易に砕くことができる程度に軟質化している。鉱物粒の間や長石のへき開に沿って黄褐色化している。岩盤等級は D ないし C_L クラスに相当する。

c.脆弱花崗岩（深度 28.60m～38.00m）

灰白ないし黄色を帯びた灰白色を呈する。コアは棒状であるがコア肌が荒れている。コア表面の鉱物粒を手で強く押して分離できる程度に脆弱化しており、メタルクラウンにより掘削可能であった。岩盤等級は C_L クラスに相当する。

d.新鮮花崗岩（深度 38.00m～45.00m）

灰白色を呈する。肉眼による鉱物組成からは粗粒（鉱物粒径 5～15mm）の花崗閃緑岩と思われる。黄緑色鉱物脈を伴う高角度の割れ目が発達し、鉱物脈近傍の長石が白濁あるいは桃色化している。岩盤等級は C_M クラスに相当する。

柱状図	境界深度 (m)	岩相/性状	含有物等	層厚 (m)	対比(暫定案)
0	8.00	—	・深度7.20~7.60mに コンクリート塊	8.0	埋土
10	11.40	腐植土 軟質	・厚さ51cmの砂混じり 粘土層を挟む	3.4	火山灰層
	13.90	砂質土 軟質, 淘汰不良	・硬質の火山岩礫	3.5	崖錐性の沖積層
20	23.20	強風化花崗岩 軟質(マサ土) 橙色~褐色		9.3	中生代花崗岩類
	28.60	風化花崗岩 コアは棒状を成す がハンマーで容易 に碎ける 黄褐色 (漸移)		5.4	
30	38.00	脆弱花崗岩 手で強く押すと鉱 物粒が脱落する。 メタルで掘削可能。 灰白色		10.6	
40	45.00	花崗岩(新鮮) 高角度の鉱物脈 が発達。		7.0+	

↑ X線分析試料採取位置

図 2.2-1 F-1 孔の地質

3.原位置透水試験

3.1 試験方法

花崗岩の風化部分では現場透水試験（非定常法）、新鮮部分では低圧岩盤透水試験（定常法）で原位置透水試験を実施した。なお、試験位置は基本的には等深度間隔となるようにしたが、地質の分布状況を考慮して監督員と協議の上、決定した。

3.1.1 現場透水試験（非定常法）

現場透水試験は、ボーリング孔を利用した透水試験方法(JIS 1314-1995)に準拠して行った。試験方法の概要を図 3.1-1 に示す。

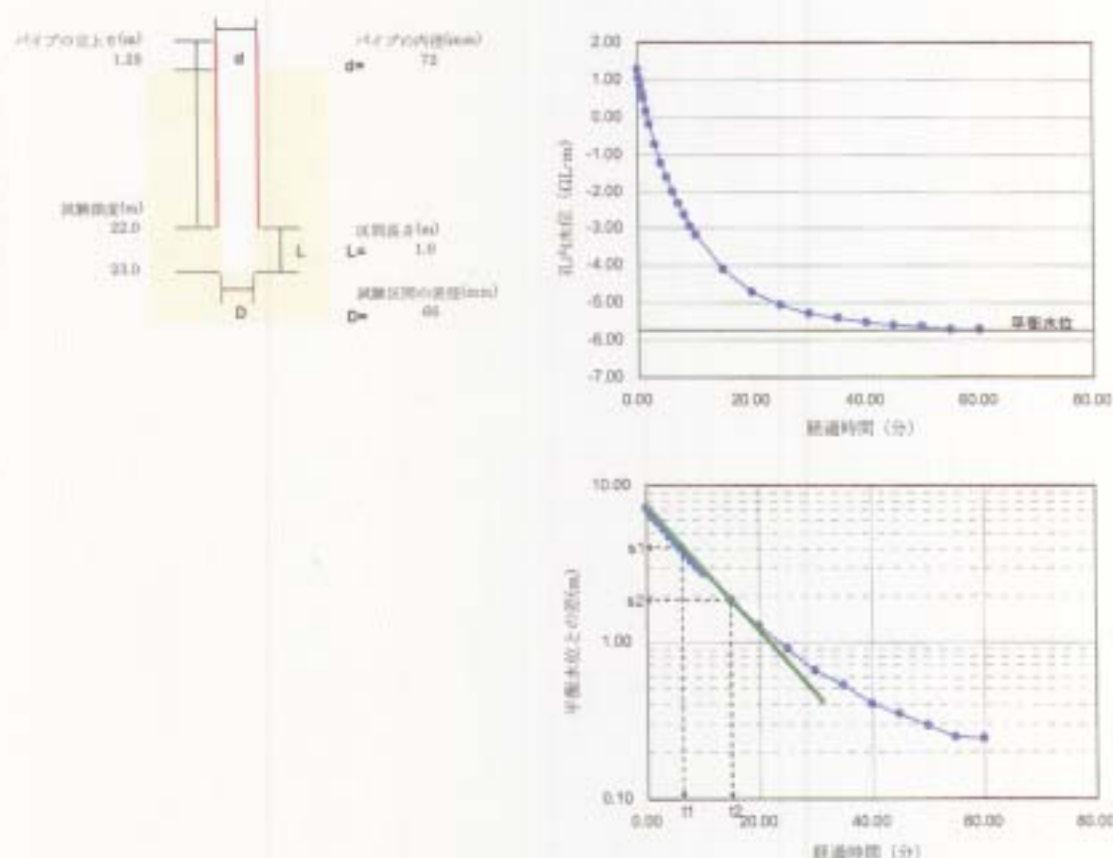


図 3.1-1 現場透水試験方法（非定常法）の事例

代表となる岩種の出現をコア観察により確認後、ケーシングパイプ先端から掘削深度までの区間を試験対象とした。ケーシングパイプを測定用パイプとして立ち上げ、測定用パイプ内に注水を行い、一時的に水位を上昇させる。注水を止めた後、測定パイプ内の水位を基準点から経時的に測定した。次に、測定された水位と後述する平衡水位との差の時間変化を片対数用紙にプロットし、その初期の直線部分の勾配を次式で求める。

$$m = \frac{\log(s_1/s_2)}{t_2 - t_1}$$

s: 水位差(m)

t: 経過時間(s)

この勾配から対象とする地盤を不圧帯水層として、次式により透水係数を求めた。

$$k = \frac{0.66d^2 \log(2L/D)}{L} m$$

d: 測定用パイプの内径 (mm)

D: 試験区間の直径 (mm)

L: 試験区間の長さ (m)

t: 経過時間 (s)

m: $\log s-t$ 曲線の直線部の勾配 (s^{-1})

なお、平衡水位は十分な時間が経過した後の安定した水位であるが、一般的に平衡水位を得るためには1昼夜程度の時間を要することや、潮汐の影響により平衡水位自体が変動する場合が多い。そこで、測定時間を最大1時間とし、この間に平衡水位が得られない場合には、それまでの水位時間変化を減衰指数関数で近似して平衡水位を算出した。算出に使用した近似式は以下のとおりである。

$$y = A_1 e^{-t/a_1} + A_2 e^{-t/a_2}$$

y: 水位 (mm)

t: 経過時間 (s)

A: 振幅 (m)

a: 減衰定数

3.1.2 低圧岩盤透水試験

低圧岩盤透水試験は、定圧注水による岩盤の透水試験方法(JGS 1322-1995)に準拠した。低圧岩盤透水試験装置の概要図を図 3.1-2 に示す。

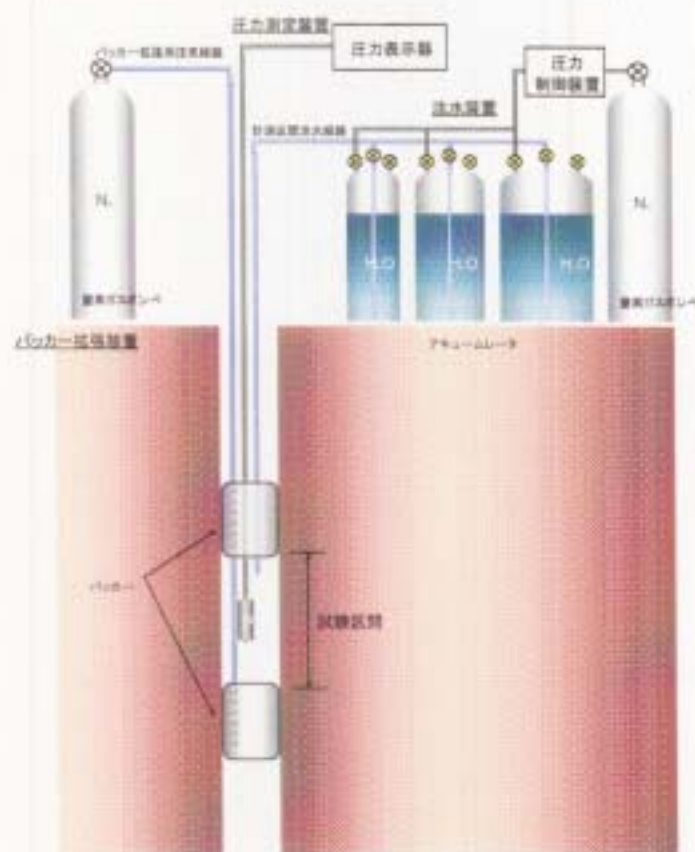


図 3.1-2 低圧岩盤透水試験装置の概要図

試験区間をバッカーで遮水し、地上での最大注入圧力を 1 kgf/cm^2 として、この間に昇圧側 5 段階、降圧側 4 段階の圧カステップを設定した。各圧力段階での注水時間を 5 分以上とし、1 分間あたりの注水量を計測する。計測された注水量が 5 分間安定したことを確認後、次の圧力ステップで同様に注水を行った。

各圧カステップで得られた注水圧と注水量の関係をグラフ化し、これらの直線部分の勾配から次式により透水係数を算出した。

$$k = \frac{Q}{2\pi L \Delta H} \ln \frac{L}{r}$$

Q : 注入量

L : 試験区間の長さ

ΔH : 水頭差

r : 試験区間の半径

3.2 試験結果

現場透水試験の実施深度と試験結果を表 3.2-1 に示す。また表 3.2-2 に、平成 8,10,13 年度に実施した原位置調査結果を地質区分ごとにまとめた。表 3.2-1 では、同一地質区分で複数の試験結果の対数平均値を求め、既往調査結果^{2),3)}との比較を行っている。透水係数の深度分布を図 3.2-1 に示す。各試験記録については、巻末資料に添付した。

表 3.2-1 透水試験結果一覧

番号	試験深度 (m)	地質区分名	試験結果		試験方法
			区間透水係数 (m/s)	地質区分毎 対数平均値 (m/s)	
0	4.0~5.0	盛土	5.78×10^{-7}	5.78×10^{-7}	非定常法
1	14.0~15.0	強風化花崗岩	6.86×10^{-7}	1.15×10^{-6} (1.76×10^{-6})	非定常法
2	18.0~19.0	強風化花崗岩	7.38×10^{-7}		非定常法
3	22.0~23.0	強風化花崗岩	3.03×10^{-6}		非定常法
4	26.0~27.0	風化花崗岩	3.55×10^{-7}	3.55×10^{-7}	非定常法
5	32.0~33.0	脆弱花崗岩	8.98×10^{-7}	8.98×10^{-7}	非定常法
6	38.0~38.9	花崗岩	1.02×10^{-6}	4.33×10^{-7} (7.77×10^{-9})	非定常法
7	41.0~43.0	花崗岩	1.03×10^{-7}		定常法
8	43.0~45.0	花崗岩	7.73×10^{-7}		定常法

() 内は、平成 13 年度までの既往調査結果の対数平均値

まず、今年度の各試験結果について述べる。深度 14m 以深の風化花崗岩～花崗岩では、透水係数はおよそ 1×10^{-7} m/s～ 3×10^{-6} m/s の範囲に分布している。透水係数の最大値は試験深度 22～23m（強風化花崗岩）での 3.03×10^{-6} m/s であり、最小値は試験深度 41～43m（花崗岩）での 1.03×10^{-7} m/s である。

深度 14～23m までの強風化花崗岩と深度 38～45m までの花崗岩では、複数の試験が実施されており、それぞれの地質区分において対数平均値を求めた。これらの結果を既往調査結果と比較すると、強風化花崗岩については既存調査結果とほぼ同じ値となったが、花崗岩については既往調査結果よりも 60 倍ほど大きな値となっている。

表 3.2-1 平成 8,10,13 年度に実施されたボーリング孔での原位置透水試験結果一覧

地質区分	各年度調査による透水係数(m/s)				複数年度の透水係数値(m/s)		
	平成8年度 ^{*1)}	平成10年度 ^{*1)}	平成13年度 ^{*2)}	平成14年度 ^{*2)}	平成8.10年	平成8.10.13年	平成8.10.13.14年
鉱さい ⁴³⁾	4.04E-05		2.61E-07		-	1.33E-06	-
	6.39E-07		2.45E-07				
	6.06E-06		2.37E-07				
	1.33E-05		1.07E-06				
			9.01E-07				
			9.29E-07				
対数平均	6.75E-06	-	5.28E-07	-			
泥岩	1.52E-07				1.52E-07	-	-
	対数平均	1.52E-07	-	-			
礫岩	1.08E-07				2.96E-07	-	-
	8.10E-07						
	対数平均	2.96E-07	-	-			
強風化花崗岩		1.34E-06	4.00E-06	6.86E-07	7.36E-07	1.76E-06	1.53E-06
		1.17E-06	4.40E-06	7.38E-07			
		9.05E-07		3.03E-06			
		6.63E-07					
		2.82E-07					
	対数平均	-	7.36E-07	4.20E-06			
風化花崗岩	3.56E-07	5.32E-07		3.35E-07	1.32E-07	-	1.80E-07
	1.46E-06	7.31E-07					
	7.65E-09	2.98E-07					
	6.73E-07	2.96E-07					
	2.03E-08	6.80E-09					
	1.68E-07	1.00E-07					
	1.62E-06	2.74E-08					
	4.00E-07	2.75E-08					
	3.10E-07	2.75E-08					
	1.35E-06	2.81E-07					
	3.50E-05						
	4.54E-07						
	6.90E-07						
	1.50E-06						
	3.20E-08						
	2.80E-08						
	1.70E-06						
	1.70E-07						
	1.40E-08						
	2.90E-08						
8.40E-09							
7.50E-09							
7.10E-09							
対数平均	1.70E-07	1.03E-07	-	3.35E-07			
脆弱花崗岩				8.98E-07	-	-	8.98E-07
	対数平均	-	-	-			
花崗岩	3.20E-09	1.15E-08	1.90E-09	1.02E-06	1.57E-08	7.77E-09	2.12E-08
	6.70E-08	6.59E-08		1.03E-07			
	2.90E-08	5.50E-08		7.73E-07			
	7.80E-08	1.66E-08					
	4.60E-09	5.57E-09					
	7.90E-10	3.42E-07					
	1.80E-10						
	1.70E-08						
	1.30E-08						
対数平均	7.44E-09	3.31E-08	1.90E-09	4.33E-07			

*1)平成8年度、10年度は露天採掘場跡地における調査結果

*2)平成13年度、14年度は鉱さいたい積場における調査結果(ただし、平成13年度の鉱さい部は室内透水試験結果)

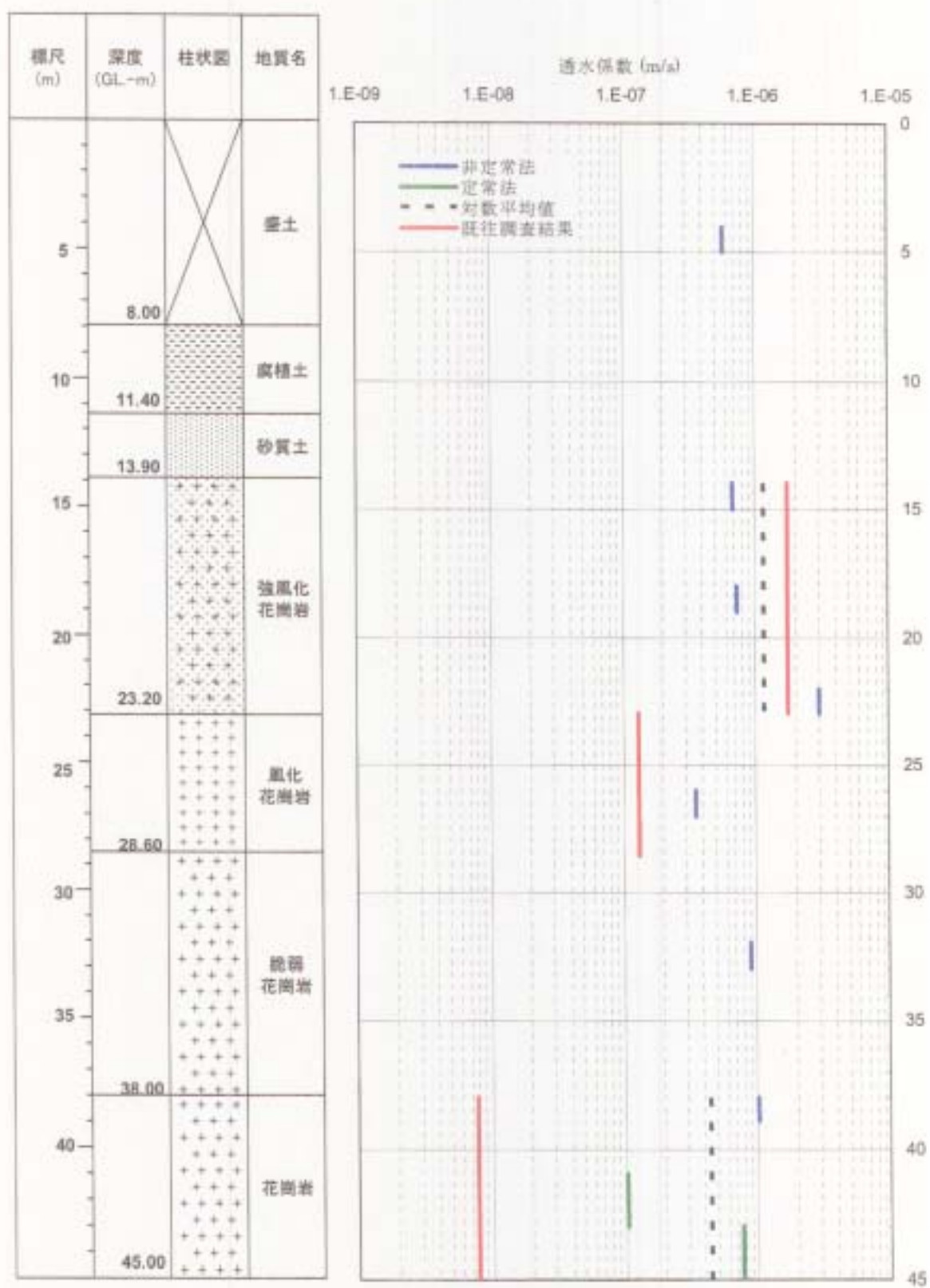


図 3.2-1 透水係数の深度分布

4. 電気検層

4.1 電気検層の原理

地表の電気探査と同じ原理を用い、基本的に電流電極および電位電極をボーリング孔内に降ろし、直流電流を流して地層の比抵抗を求める。今回、用いたノルマル法は電流および電位の電極の都合2極を孔内に浮遊させ孔内水を介して地山に接地させて測定を行う。電極を孔壁に圧着して測定する場合はマイクロ検層と呼ばれる。ノルマル検層およびマイクロ検層の測定原理は、2極法による電気探査と全く同じである。ノルマル検層の計測は、地表に設けた電流遠電極（基準電極）と孔内の電流電極との間で電流を流し、地表電位遠電極と孔内電位電極との間で電位差を測定する。解析は地層の比抵抗 ρ を等方均質とみなしてボーリング孔を無視した場合の理論的な電位（V）の式（(4.1-1)式）から電極周辺の平均的な比抵抗値 ρ が求められる。

$$V = \frac{\rho I}{2\pi AM} \quad (4.1-1) \text{式}$$

ここで、AMは電流極Aと電位極Mの間隔、Iは電流である。測定概念図を図4.1-1に示す。

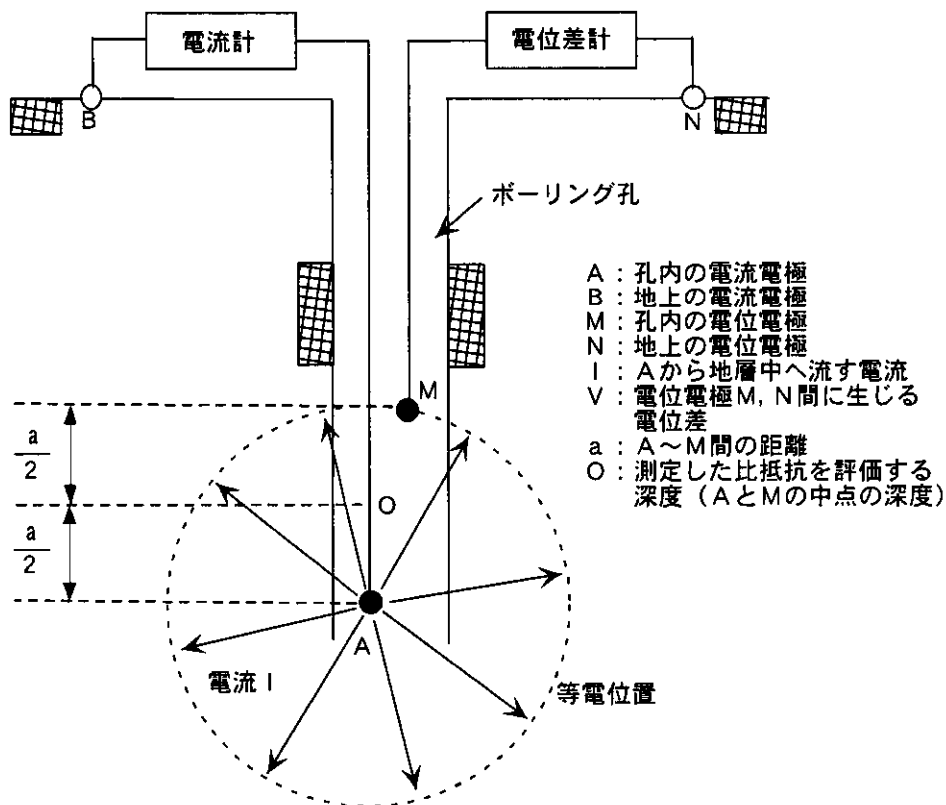


図 4.1-1 電気検層の測定概念図

4.2 測定方法および結果

図 4.2-1 に電気検層結果を示す。測定は、地表から孔底までの 45m 間を対象とし、電極間隔を 25cm, 50cm, 1m の 3 種類で実施した。以下に測定結果を述べる。

(1) 電極間隔と比抵抗値

電極間隔の違いによって、風化花崗岩においては 50~100% 程度（電極間隔 1m を基準とした場合）、腐植土や砂質土、新鮮花崗岩においてはそれ以上の比抵抗の差が認められる。これは、孔内水の影響や、ストレーナ管の影響によるものと考えられる。一般的には小さな電極間隔で測定した比抵抗のほうが孔壁周辺の影響を受けやすいと考えられる。電極間隔 25cm の測定結果では、約 4m 間隔でスパイク状のノイズが認められるが、これは塩ビ管の継ぎ手付近でストレーナが欠如していた区間を示している。これに対して電極間隔 50cm および 1m の記録では、塩ビ管の継ぎ手の影響はほとんど認められない。

電極間隔 25cm と 50m の記録では深度 12m 付近と深度 40m 付近に高比抵抗のピークが認められるが、電極間隔 1m の記録ではこれに対応する深度で逆に低比抵抗のピークが認められ、電極間隔によって逆の応答を示している。この原因としては次の理由が考えられる。一般に、比抵抗異常帯を挟んで 2 極法による比抵抗測定を行った場合（すなわち電極間隔が異常帯のサイズよりも大きい場合）、低比抵抗異常帯では高比抵抗に、高比抵抗異常帯では低比抵抗として逆に計測されることが知られている（逆感度）。従って、概ね 50cm よりは大きく 1m よりは小さな高比抵抗層または高比抵抗部が存在する可能性がある。

(2) 表土の比抵抗

腐植土および砂質土の区間は、数 10~150 Ωm の比抵抗値を示し、ばらついている。コア観察結果によると深度 12.4m には硬質火山岩礫が確認されており、深度 12m 付近に認められる比抵抗のピークはこれに対応したのと考えられる。

(3) 風化花崗岩の比抵抗

風化花崗岩の区間の比抵抗は概ね 40~60 Ωm の低比抵抗を示し、強風化花崗岩、風化花崗岩、脆弱花崗岩の違いは認められない。

(4) 花崗岩の比抵抗

花崗岩の比抵抗は 100~数 100 Ωm を示している。一般に、亀裂のほとんどない花崗岩の場合には数 1000 Ωm 以上の比抵抗を示すことが知られており、それに比べると測定された比抵抗は小さい。これは岩盤中に亀裂が比較的多く分布しているためと考えられる。

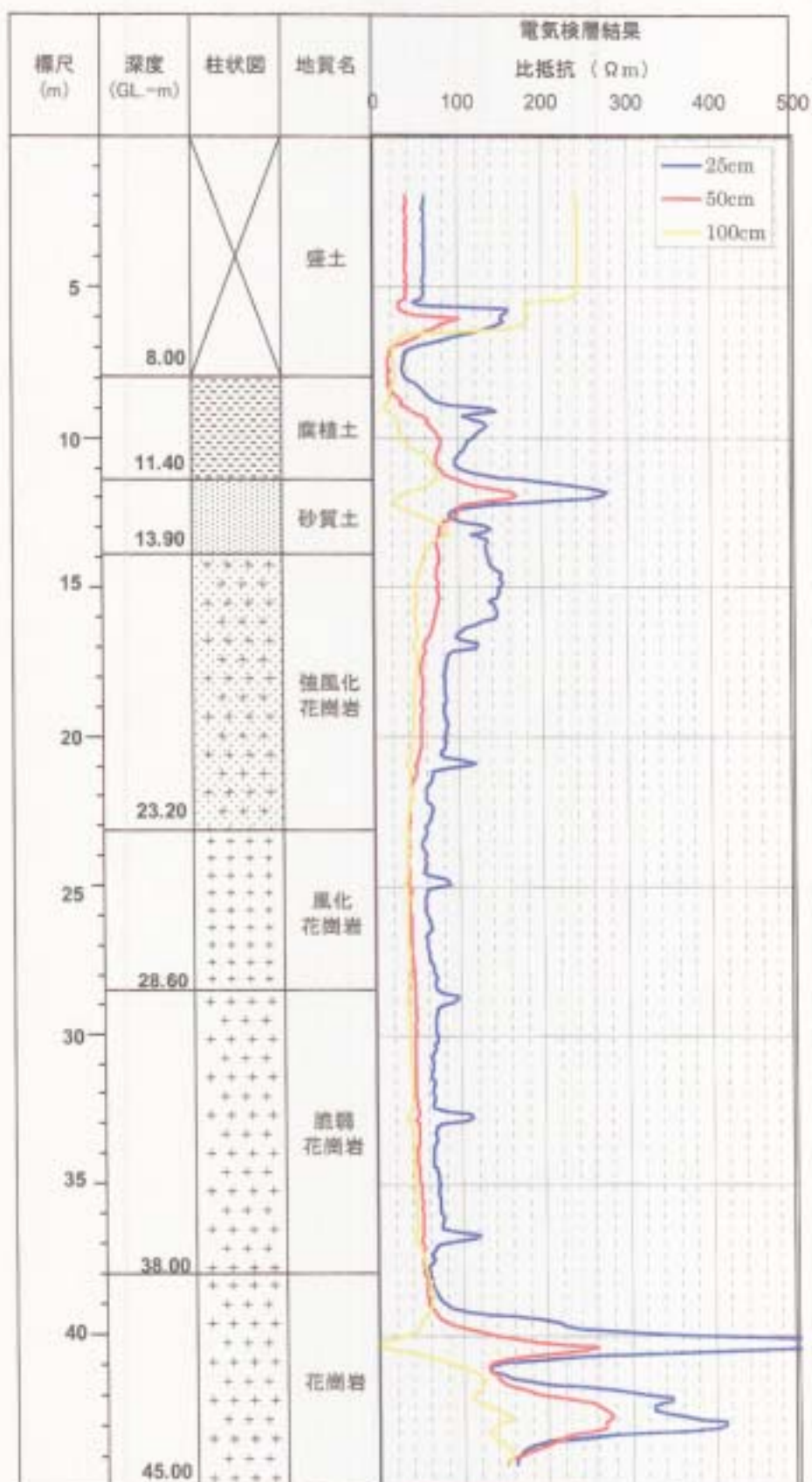


圖 4.2-1 電氣檢層結果 (F-1 孔)

5. 物理探査

5.1 比抵抗探査の概要

(1) 比抵抗とは

比抵抗とは比電気抵抗の略語であり、電気の流れにくさを示す値である。物質の電気抵抗は同一の物質であっても断面積と長さが異なれば異なる値を示すので物性値として用いることができない。そこで図5.1-1に示すように、測定した電気抵抗から単位断面積、単位長さ当たりの電気抵抗に換算して、これを物性値として使っている。このように単位断面積、単位長さで換算した電気抵抗のことを比抵抗と呼ぶ。

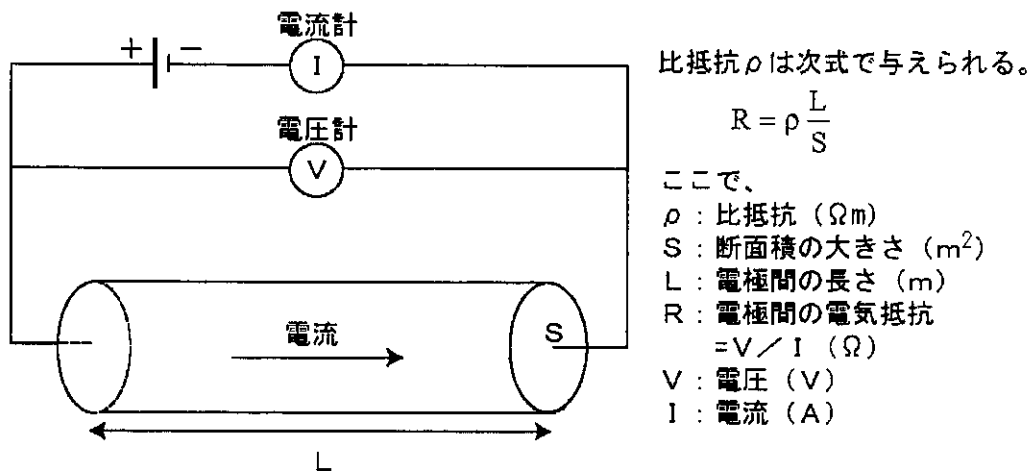


図5.1-1 比抵抗概念図

地山の比抵抗は岩石の種類、亀裂の発達程度、風化変質の程度、粘土鉱物などの伝導性鉱物の含有量、含水状態などの多くの条件によって変わる。表5.1-1は、これらの諸要因と比抵抗との関係について定性的に示したものである。また各種岩石の比抵抗を図5.1-2に示す。

表5.1-1 諸要因の比抵抗に与える影響

要 因	比抵抗	
	小 ←-----→	大
間隙水の含有量	多 ←-----→	少
間隙水の比抵抗	小 ←-----→	大
粘土鉱物，導電性鉱物の含有量	多 ←-----→	少
風化・変質の程度	強 ←-----→	弱
亀裂の発達程度	多 ←-----→	少
温 度	高 ←-----→	低

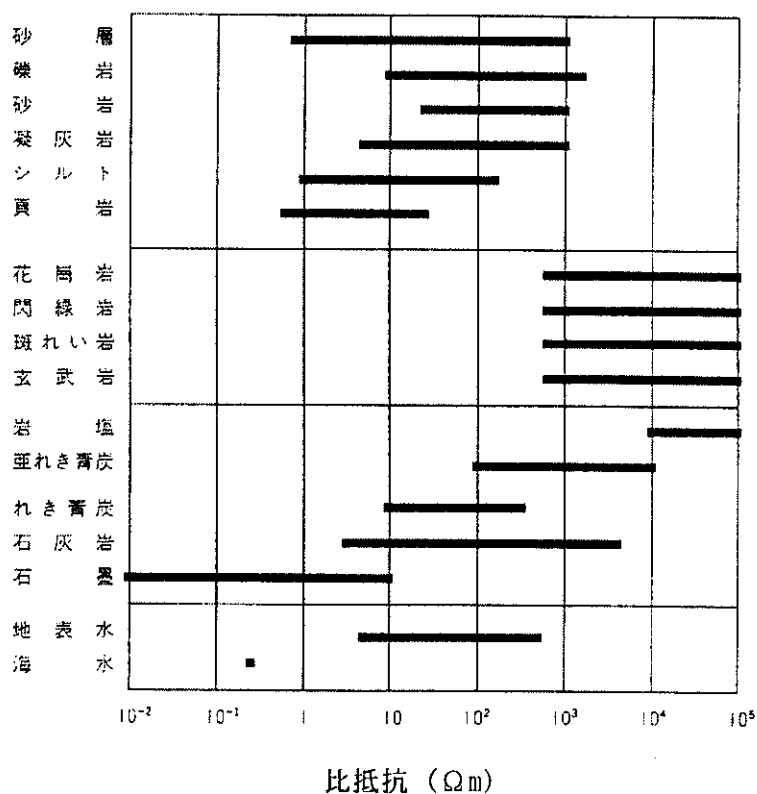


図5.1-2 岩石等の比抵抗 (物理探査学会, 1989) ³⁾

このように、比抵抗は地下情報を知ることのできる重要な物理量である。比抵抗を定める要因は多岐にわたるため、比抵抗だけから一義的に地下の状態を決定することはできないが、ボーリング調査や地表調査、他の物理探査の結果を考慮し、比抵抗を解釈すると、地下構造や地下水の状態、風化帯の分布を精度良く把握することができる。

(2) 比抵抗探査の原理

比抵抗探査（2極法）は、地表に設けた1組の電流電極と、これとは別の1組の電位電極を使って行う。図5.1-3に比抵抗探査の測定概念図を示す。

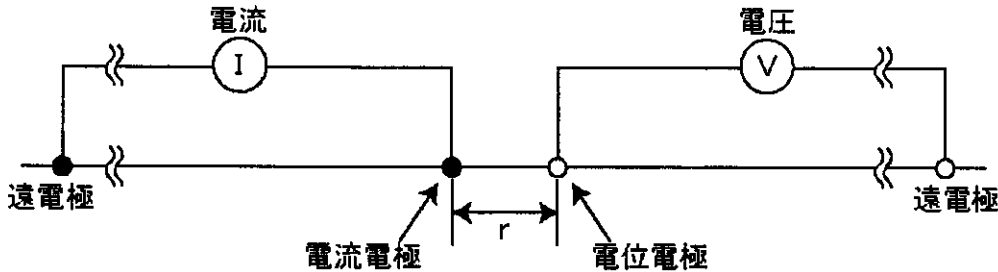


図5.1-3 比抵抗探査（2極法）の測定概念図

地盤が均質等方（半無限媒質）であると仮定した場合には、通電した電流Iと測定電位差Vから、地盤の比抵抗 ρ は、(5.1-1)式から求めることができる。

$$\rho = K \frac{V}{I} \quad (5.1-1) \text{式}$$

ここで、Kは電極配置によって定まる定数である。実際の地盤は不均質であり、(5.1-1)式で計算される値は電極周辺の平均的な比抵抗を表すと考えられる。一般に、このようにして計算された比抵抗を見掛比抵抗と呼ぶ。半無限媒質の見掛比抵抗は(5.1-2)式で計算される。

$$\rho = 2\pi r \frac{V}{I} \quad \begin{array}{l} \text{ここで、} \rho : \text{比抵抗} (\Omega\text{m}) \\ r : \text{電極間隔} (\text{m}) \\ V : \text{電圧} (\text{V}) \\ I : \text{電流} (\text{A}) \end{array} \quad (5.1-2) \text{式}$$

比抵抗探査の原理は、電流電極と電位電極の距離を変えることによって、見掛比抵抗に反映する地下構造の範囲が変わるという性質を利用している。一般には、電極間隔を大きくとるほど深部の比抵抗構造を反映したデータが得られ、逆に電極間隔を小さくするほど浅部の局所的な構造を反映したデータを得ることができる。いろいろな電極間隔のデータを比較することによって、比抵抗の深度分布を求める探査方法を一般に垂直探査と呼んでいる。また、ある特定の電極間隔の測定を水平方向に移動しながら行うことで比抵抗の水平方向の変化を調べる探査法のことを、一般に水平探査と呼んでいる。これらの探査法は、地下構造が1次元的に変化するという仮定のもとになりたっているため、地下構造が1次元的に変化しない地盤では探査精

度が低下するという問題がある。最近のコンピュータ技術の進歩によって、2次元モデルを使った解析が可能となり、垂直探査と水平探査を統合した高精度探査が行われるようになった。このような探査法のことを、総称して比抵抗2次元探査と呼んでいる（高密度電気探査や比抵抗映像法と呼ばれることもある）。図5.1-4に比抵抗2次元探査の測定概念図を示す。比抵抗2次元探査は、地形に起伏がある場合や測線方向に比抵抗構造が変化する場合においても、従来の垂直探査や水平探査よりも精度の高い解析結果を得ることができる。破碎帯が測線と斜行している場合や地形が3次的に複雑に入り組んでいる場合のように、2次元モデルが適合しない条件下では探査精度が低下する。このような場合には、比抵抗3次元探査を実施することによって破碎帯の走向などを精度良く把握することができる。

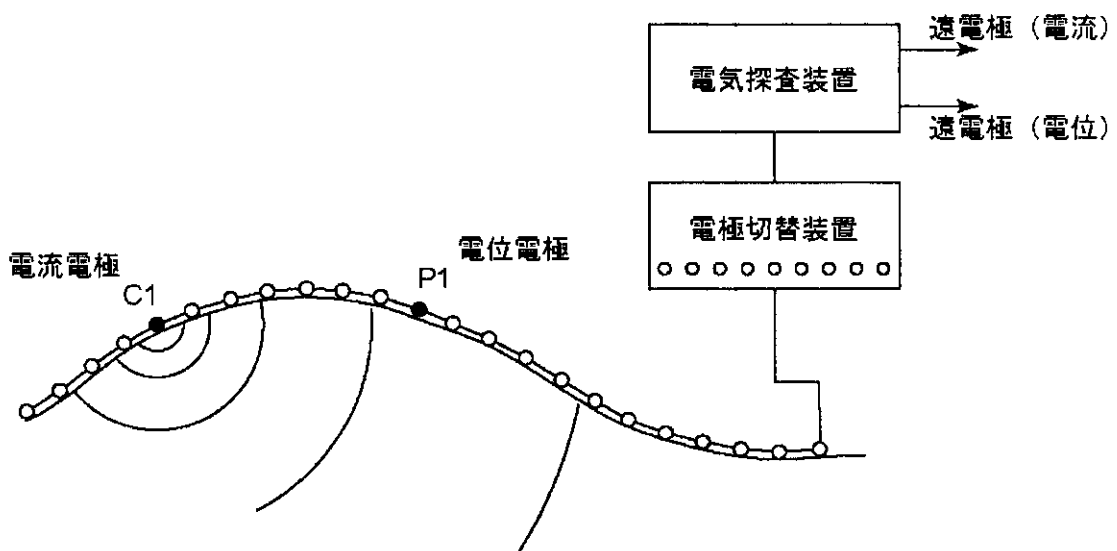


図5.1-4 比抵抗2次元探査の測定概念図

5.2 現地測定

図5.2-1に比抵抗探査の一連の作業手順を示す。

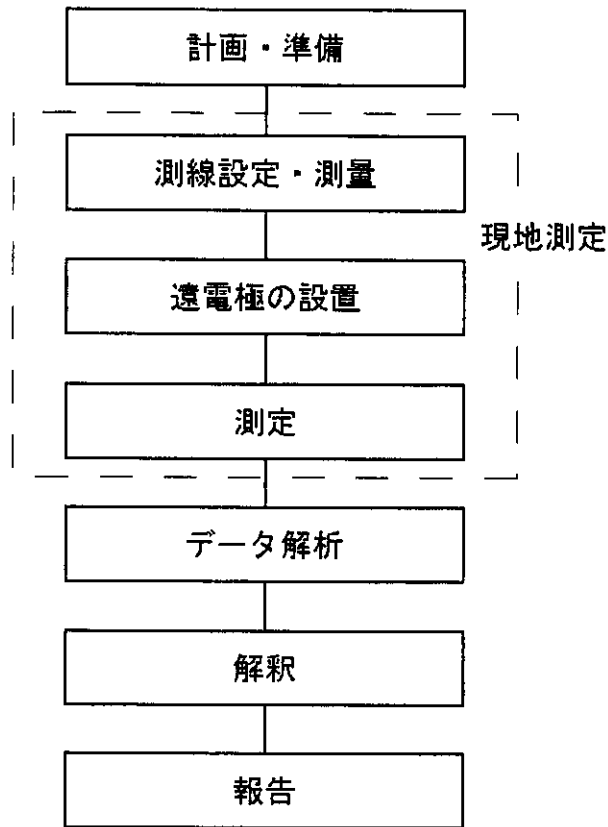


図5.2-1 作業手順

(1) 測線設定・測量

表5.2-1に示す6測線を設定してデータ取得をした。測線のうち堰堤内については電極間隔2.5m、それ以外の区間については電極間隔2mとした。測定は、通常の2次元探査と同様に各測線内のみを実施し、測線間の測定は実施しなかった。

計画に基づき測量を行い、測線を設定した。測線位置図を図5.2-2に示す。

表5.2-1 測線長

	測線長	電極間隔
測線Ⅰ-1	162m	2 m [*]
測線Ⅰ-2	222m	2 m [*]
測線Ⅰ-3	230m	2 m
測線Ⅰ-4	116m	2 m
測線Ⅱ-1	126m	2 m [*]
測線Ⅱ-2	454m	2 m [*]
計	1310m	

※測線Ⅰ-1, Ⅰ-2, Ⅱ-1, Ⅱ-2の水中では,
孔内用ケーブル(2.5m間隔)を用いて測定した。

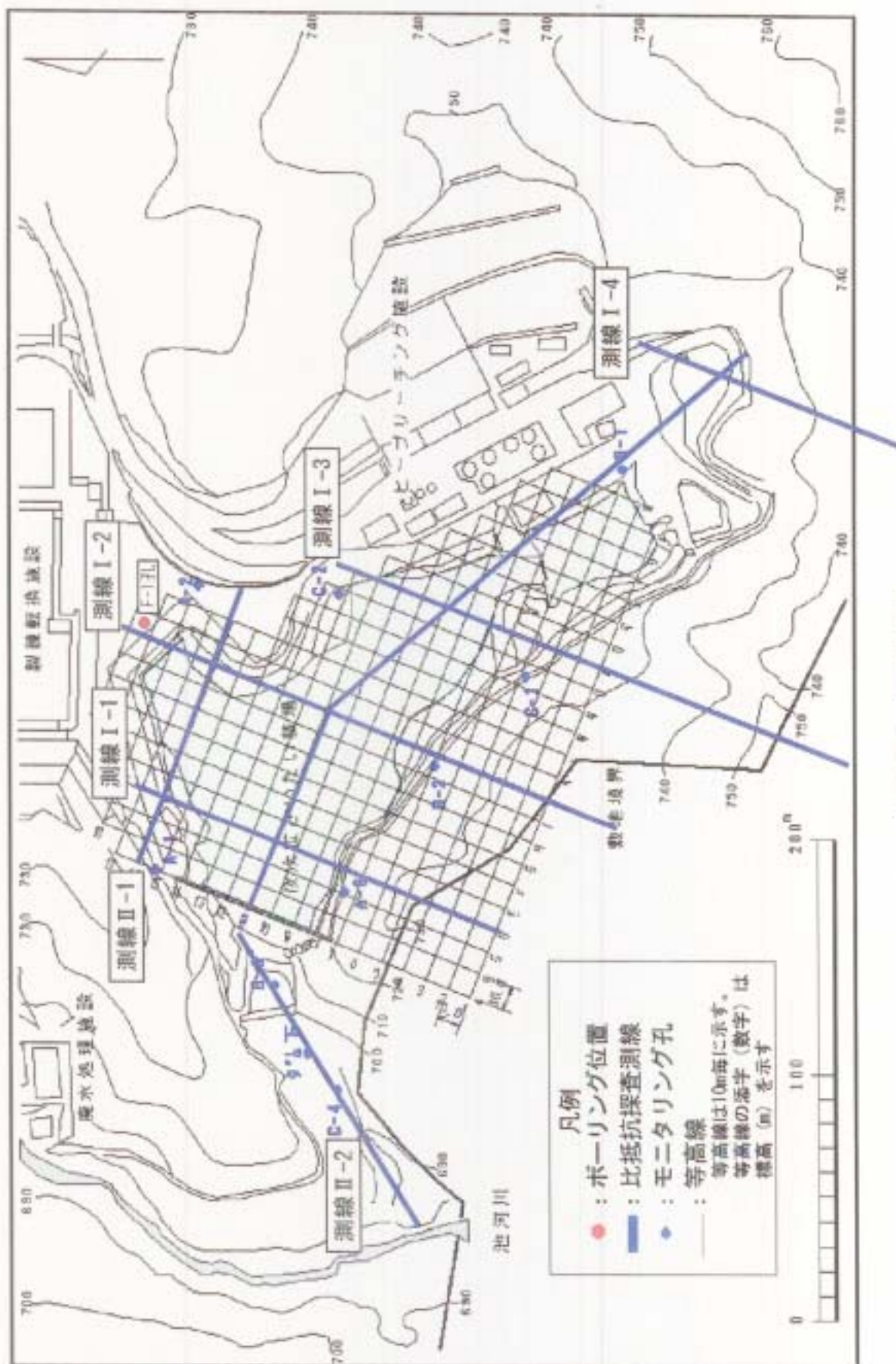


図5.2-2 測線位置図

(2) 遠電極の設置

測線から十分離れた点（約500m）2箇所に遠電極を設置した。北側を電流遠電極、東側を電位遠電極とした。遠電極位置を図5.2-3に示す。

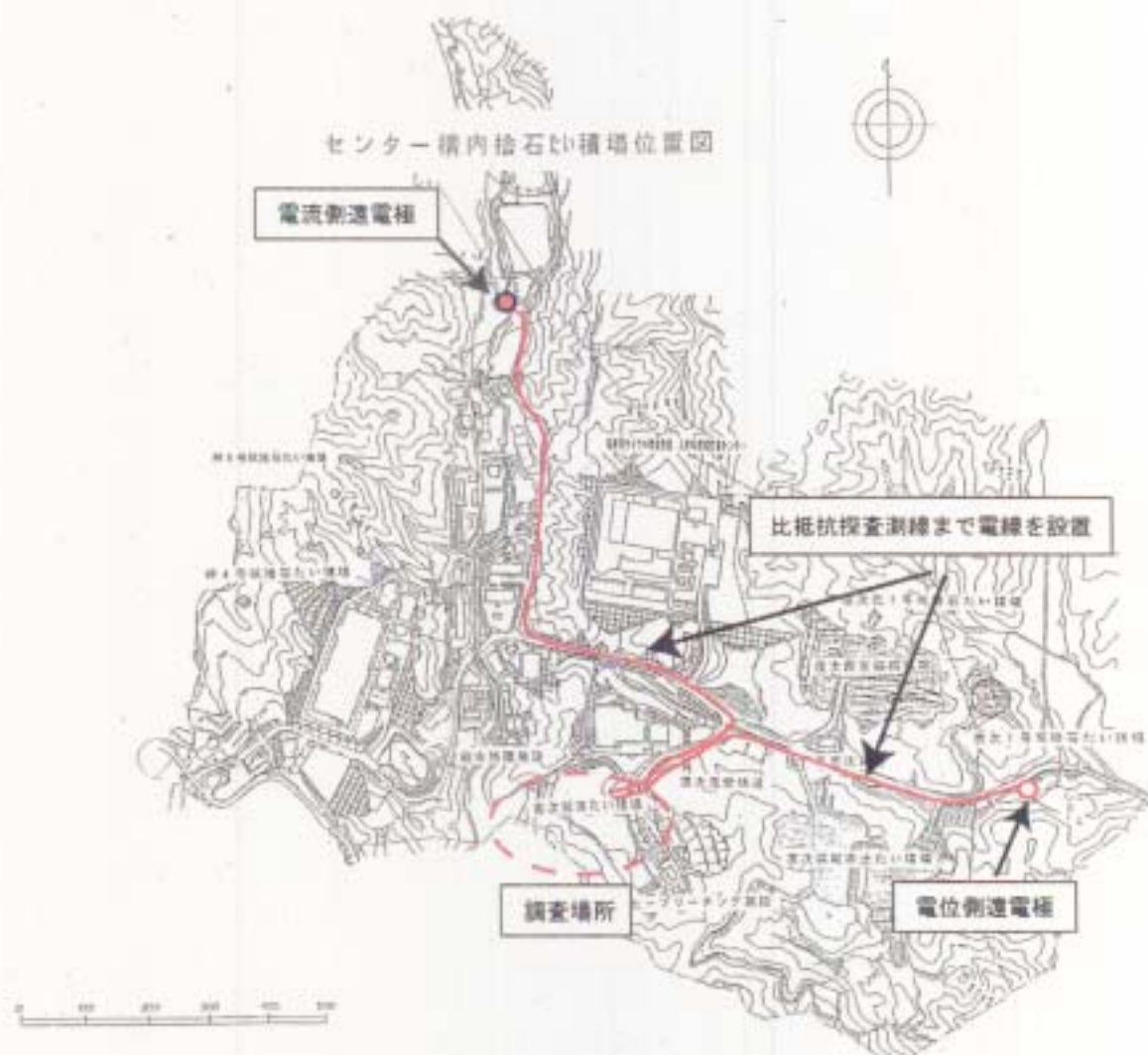


図5.2-3 遠電極位置図

(3) 測定

図5.2-4に測定手順図を示す。はじめに、測線上に電極およびマルチチャンネルケーブルを設置した。次に測線始点の電極と電流側遠電極の間に通電し、通電によって発生した人工的な電位分布のデータを取得した。今回は1ステップを25電極（展開距離50m）として測定を行った。ただし、深部の測定については測定間隔を大きくしても解析精度に大きな変化はないと考えられるため、15～25深度は間引いて（15, 17, 19, 21, 23, 25深度のみ、図5.2-4参照）測定した。

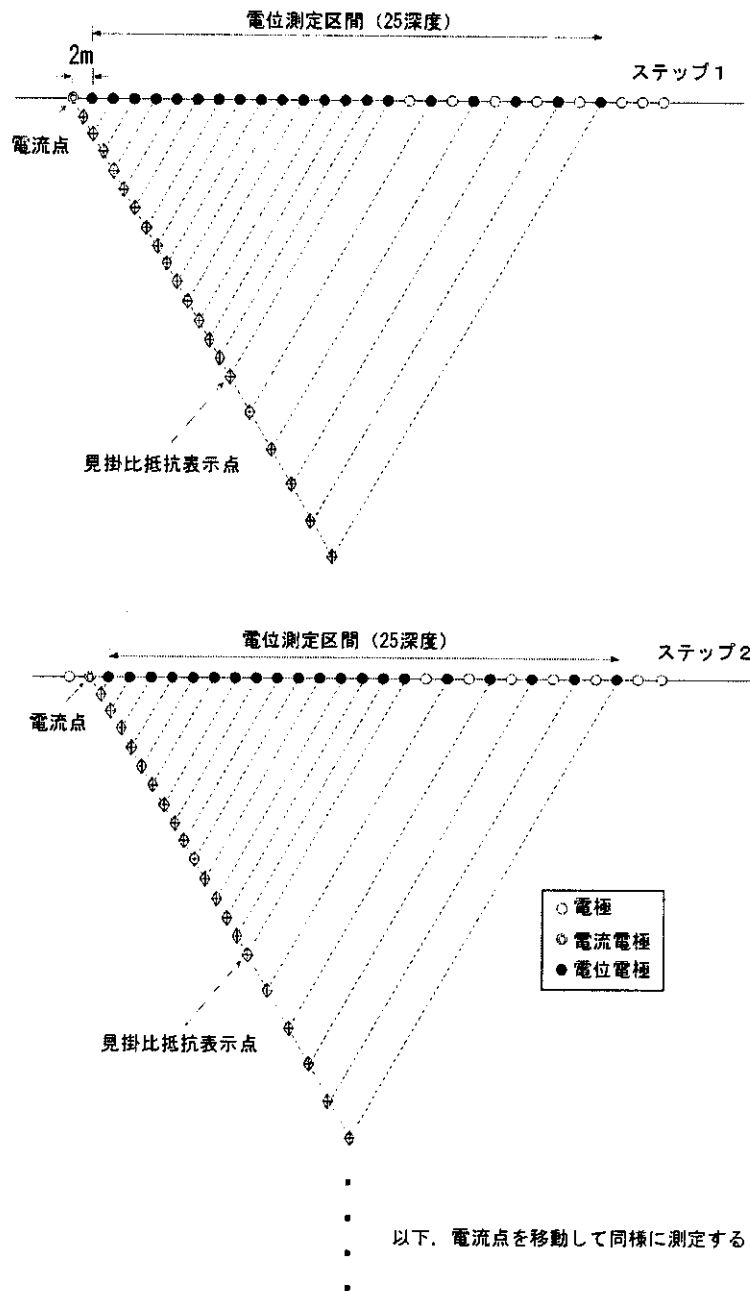


図5.2-4 測定手順図

今回の測定では、電流の通電方法として交替直流を用いた。図5. 2-5に交替直流による測定原理を模式的に示す。イオンを含んだ地下水の流れに起因する電位分布（流動電位）をはじめとして、地盤中には種々の自然現象による地電流が常時流れているため、比抵抗探査では、自然状態の電位と通電した電流による電位が足し合わされた値が測定される。交替直流を用いた測定とは、ある一定時間プラスの電流を通電した後、電流の符号を変えてマイナスの電流を通電する方法であり、このときのプラス側とマイナス側の電位差を計測することによって自然電位成分を消去することができる。

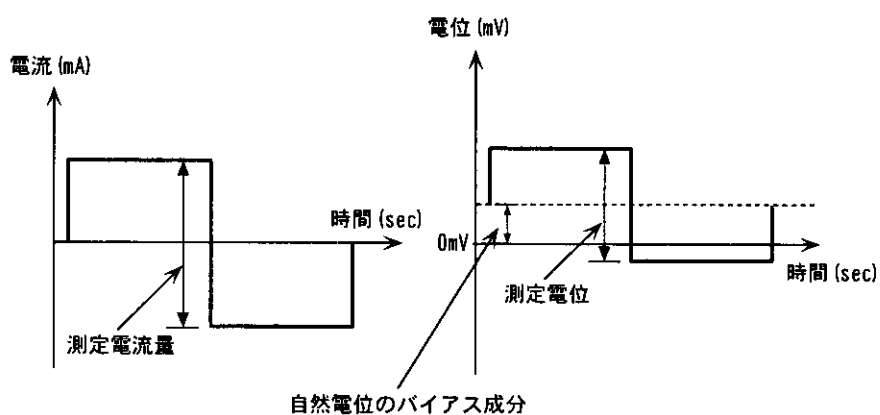


図5. 2-5 交替直流による測定原理

今回の測定に使用した機器を表5. 2-2に示す。堰堤内については、電極を打設するかわりにボーリング孔内用ケーブルを湖底に沈めて使用した。

表5.2-2 使用機器一覧表

種類	機種名	仕様	数量
電気探査装置	McOHM-21 MODEL-2116	トランスミッター 最大電圧：200V 交替直流 最大電流：1~200mA レシーバー 入力インピーダンス：5 MΩ 最小電圧感度：6 μV (14bit A/D変換器) 測定周期：1.6~8.2秒 電源 DC-12V	1台
電極切替装置	ジオレクタリクス社 MODEL-2207A	最大電極数：32極 切替方式：ラッチングリレーによる接点切替方式 電源 DC-12V	3台
ステンレス電極		直径5mm×長さ30cm	200本
本線ケーブル		8チャンネル 3m間隔	10巻
中継ケーブル		16チャンネル 100m	6巻
ボーリング孔内用 ケーブル		51チャンネル 2.5m間隔	1巻
遠電極ケーブル		平行ビニール線 100m	10巻

鉱さいとの比較のために、堰堤内の水の電気伝導度を計測した。図5.2-6に採水位置を示す。また、表5.2-3に採水した深度、電気伝導度およびこれを比抵抗に換算した値を示す。計測の結果、堰堤内の水の比抵抗は約30Ωmを示すことがわかった。

表5.2-3 電気伝導度計測結果

水深	電気伝導度(nS/cm)	比抵抗(Ωm)
1m	0.297	33.7
2m	0.298	33.6
2.2m	0.298	33.6



図5.2-6 電気伝導度計測位置

5.3 データ解析

解析には比抵抗3次元解析ソフト“E-Tomo3D”を用いた。図5.3-1にデータ解析のフローチャートを示す。

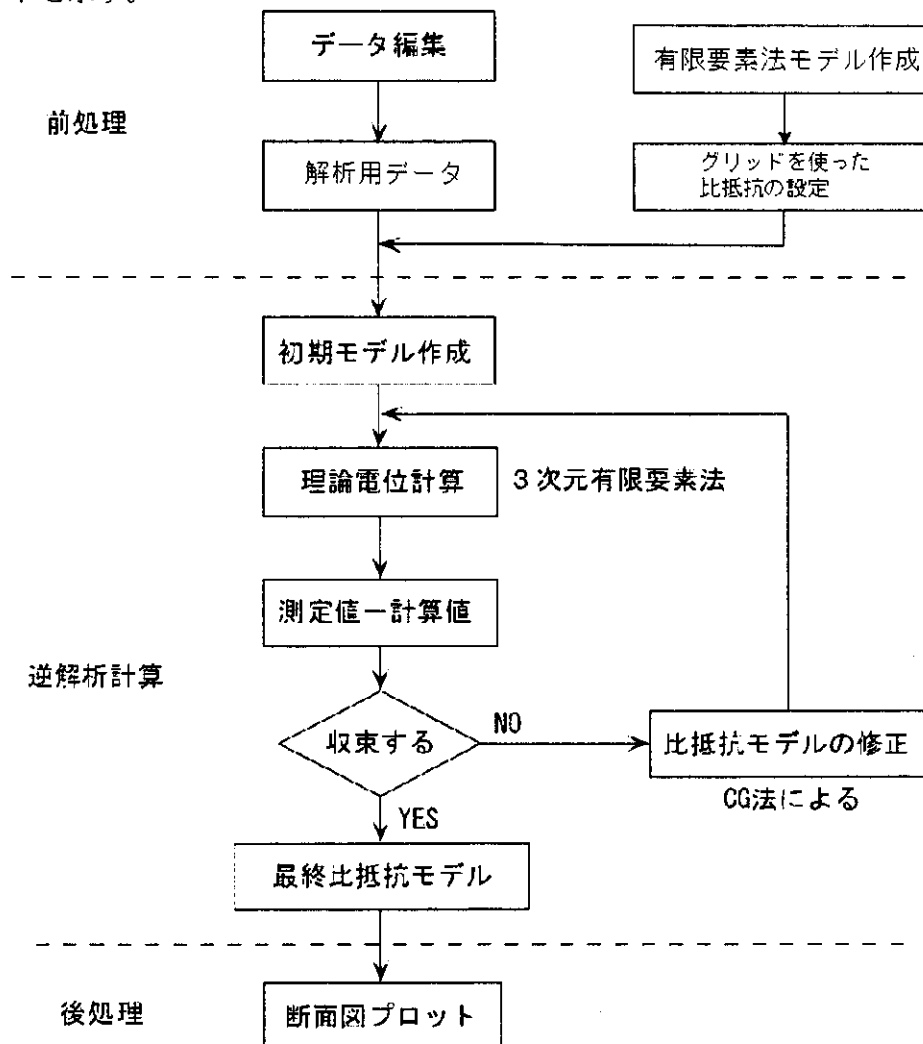


図5.3-1 データ解析フローチャート

(1) 前処理

①データ編集

現場で測定したデータを、解析用データフォーマットに編集した。各測線について見掛比抵抗断面のデータプロットを作成し、データの良否の検討を行い、不良データを削除した。また、遠電極補正を行い、データに含まれる遠電極の影響を除去した。図5.3-2に補正後の2次元データプロット図を示す。

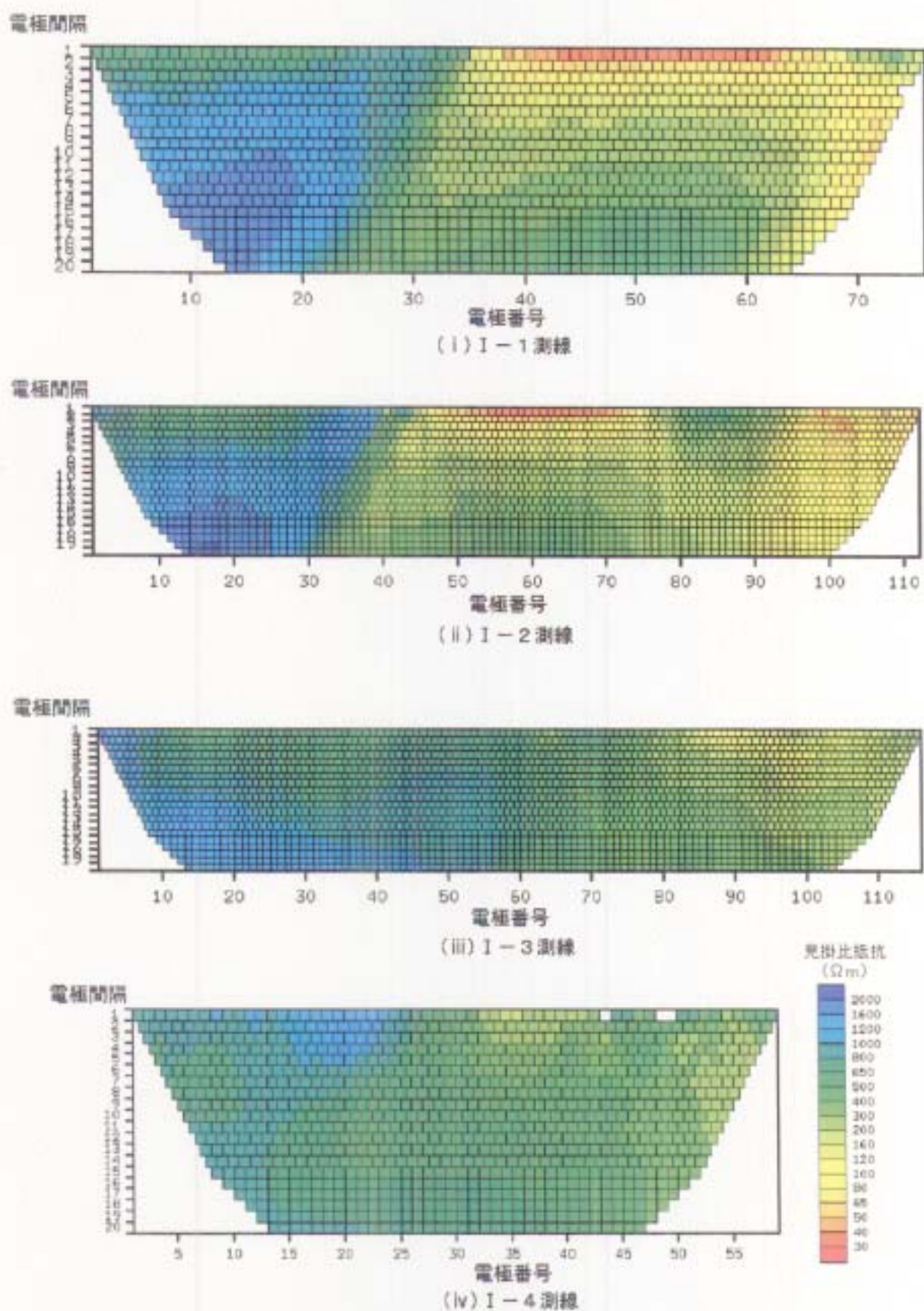
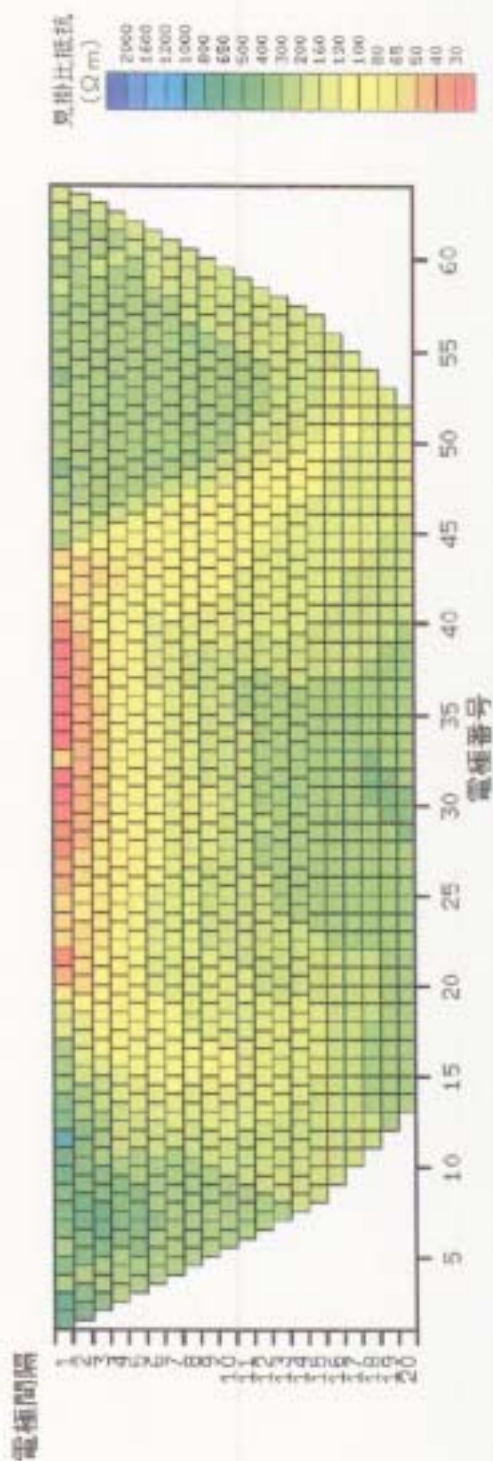
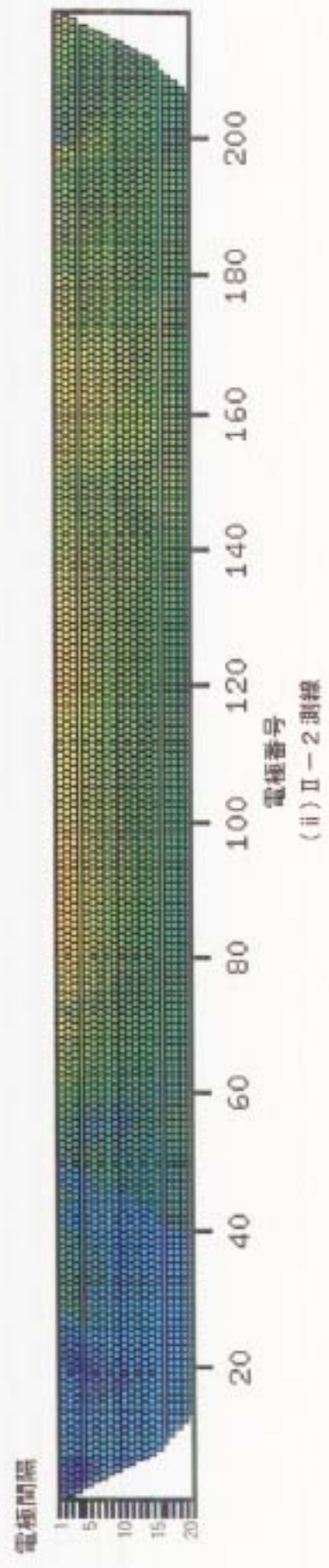


图5.3-2(1) 見掛比抵抗断面(1)



(i) II-1 測線



(ii) II-2 測線

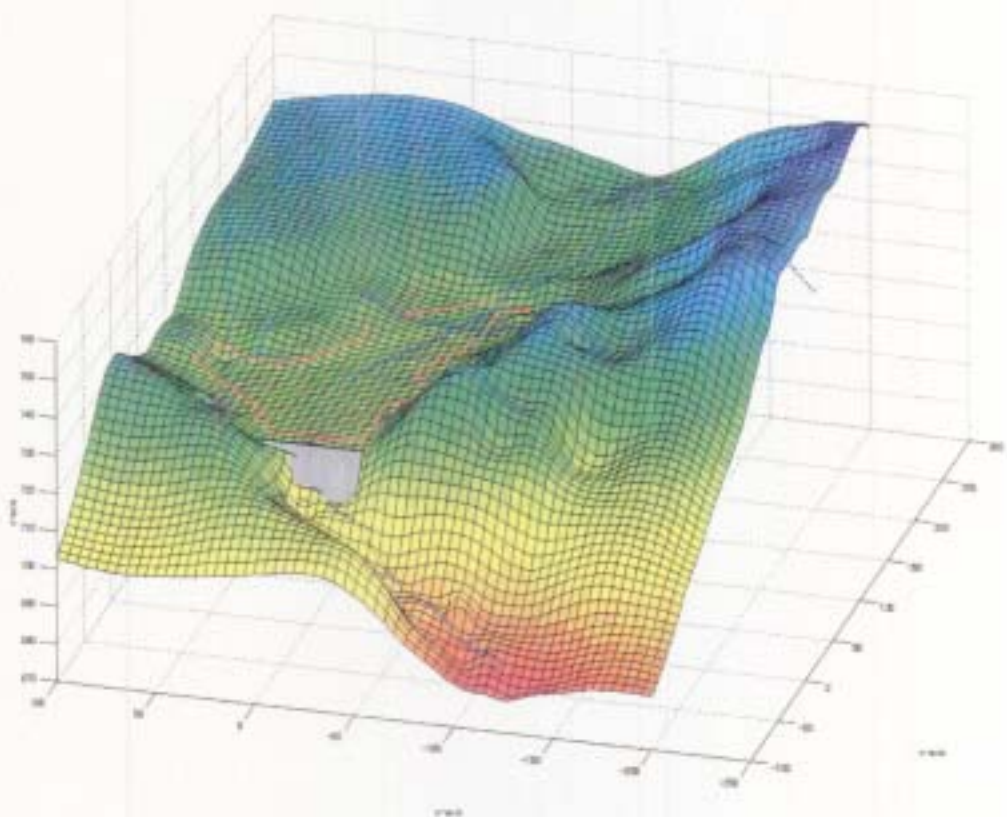
图5.3-2(2) 見拵比抵抗断面(2)

②FEMモデルの作成

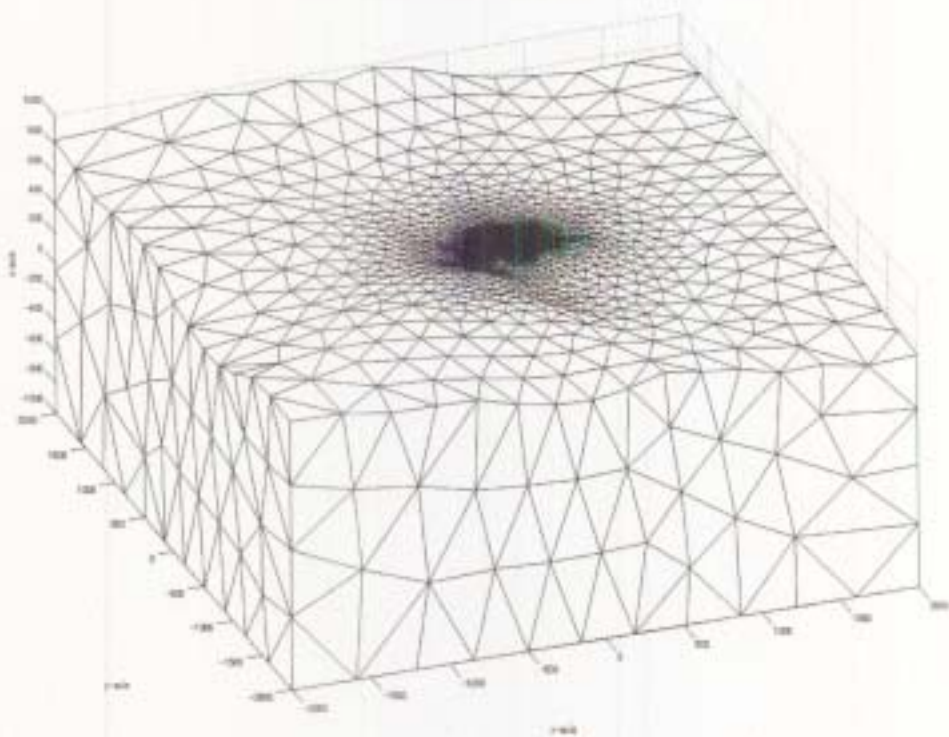
測線測量データと地形データをもとに、解析に用いるFEM (Finite Element Method :有限要素法) モデルを作成した。地形データは、探査測線近傍については1/1,000の地形図から読みとった標高データおよび既存の事業所敷地内の測量データ、探査測線から離れた領域については国土地理院50mメッシュ標高データを用いた。既存の地形データと測線の測量結果とは厳密には整合しないため、測線近傍については測線測量結果に合わせるように調整した(測線測量地点における両者の食い違いを求め、これを内挿して各地形図データ点の標高値を補正した)。図5.3-3にFEMモデル(四面体格子モデル)を示す。地表標高のコンターマップは、作成したFEMモデルの地表節点座標のデータを図化したものであり、地形データを精度よく表現していることが分かる。

③グリッドを使った比抵抗の設定

作成したFEMモデルの節点数は170,542、要素数は1,023,979であり、各要素の比抵抗を全て独立な未知数として扱えば、未知数がデータ数(11,545データ)を2桁上回る。このように、未知パラメータの数が既知情報であるデータの数よりも多くなると、解の一意性の問題やコンピュータのメモリ容量の問題が生じ、有意な解を求めることが難しくなる。今回、解析に使用したE-Tomo3Dでは、この問題を解決するため、解析領域を6面体格子で分割し、6面体の頂点に配置したグリッド点の比抵抗を未知数として解析を進めた。今回作成したグリッドモデルは分割数 $45 \times 41 \times 17$ (水平方向の分割間隔は10m)、総数31,365で要素比抵抗を未知数とした場合よりも未知パラメータ数を1桁程度減らすことができた。なお、グリッド外側のFEM要素の比抵抗は同じであるとして取り扱った。図5.3-4にグリッド図を示す。



(i) 地表標高表示



(ii) メッシュ図

図5.3-3 FEMモデル

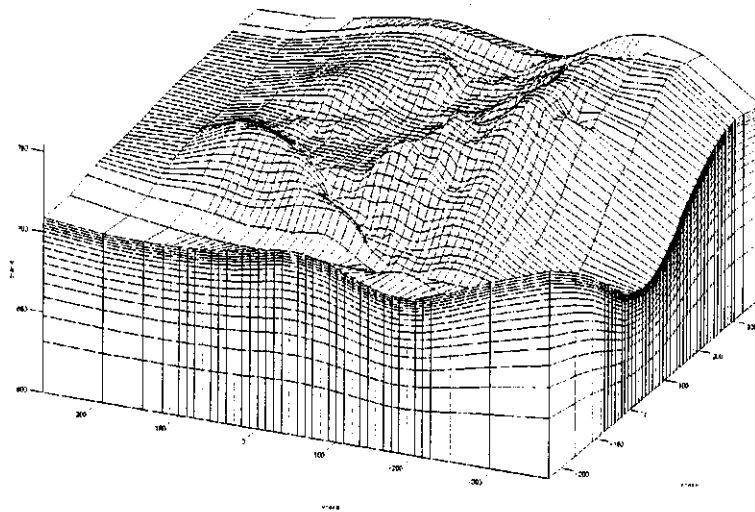


図5.3-4 グリッド図

(2) 逆解析計算

①初期比抵抗モデルの作成

全データの平均見掛け比抵抗を計算し、全領域の比抵抗がその平均値であるような均質なモデルを初期モデルとして用いた。

②理論電位計算

今回の3次元解析では、地形などの形状をモデル化するのが容易な3次元有限要素法を用いた。まず比抵抗分布の初期モデルを作成し、現地測定時と同じ電極配置で計測した場合の電位を有限要素法により求めた。これを理論電位計算と呼ぶ。

③比抵抗モデルの修正（逆解析）

初期モデルとして与えた比抵抗分布が実際の地盤の比抵抗分布をうまく表現していない場合、電位の理論値は測定電位と一致しない。この食い違い（残差）が小さくなるようにCG法

(Conjugate Gradient Method : 共役勾配法) を用いて初期モデルを修正した。修正したモデルを使ってさらに理論電位計算を行い、残差が十分に小さくなるまでモデルの修正を繰り返し、残差が十分小さくなったときのモデルを地盤の最終的な比抵抗モデルとした。解析に使ったデータ数は11,545であり、未知パラメータ数の1/3程度となった。グリッド数をこれ以上減らすことは難しいため、解の安定化のために「隣接するグリッド点の比抵抗は等しい」という平坦化制約条件を与え、データ数不足による解の信頼性低下を押さえた。

(3) 後処理

解析結果から，次の図を作成した。

- ・ 測線の垂直断面図（図5. 3-5参照）
- ・ 鳥瞰図（図5. 3-6参照）
- ・ パネルダイヤグラムおよび水平スライス図（図5. 3-7参照）

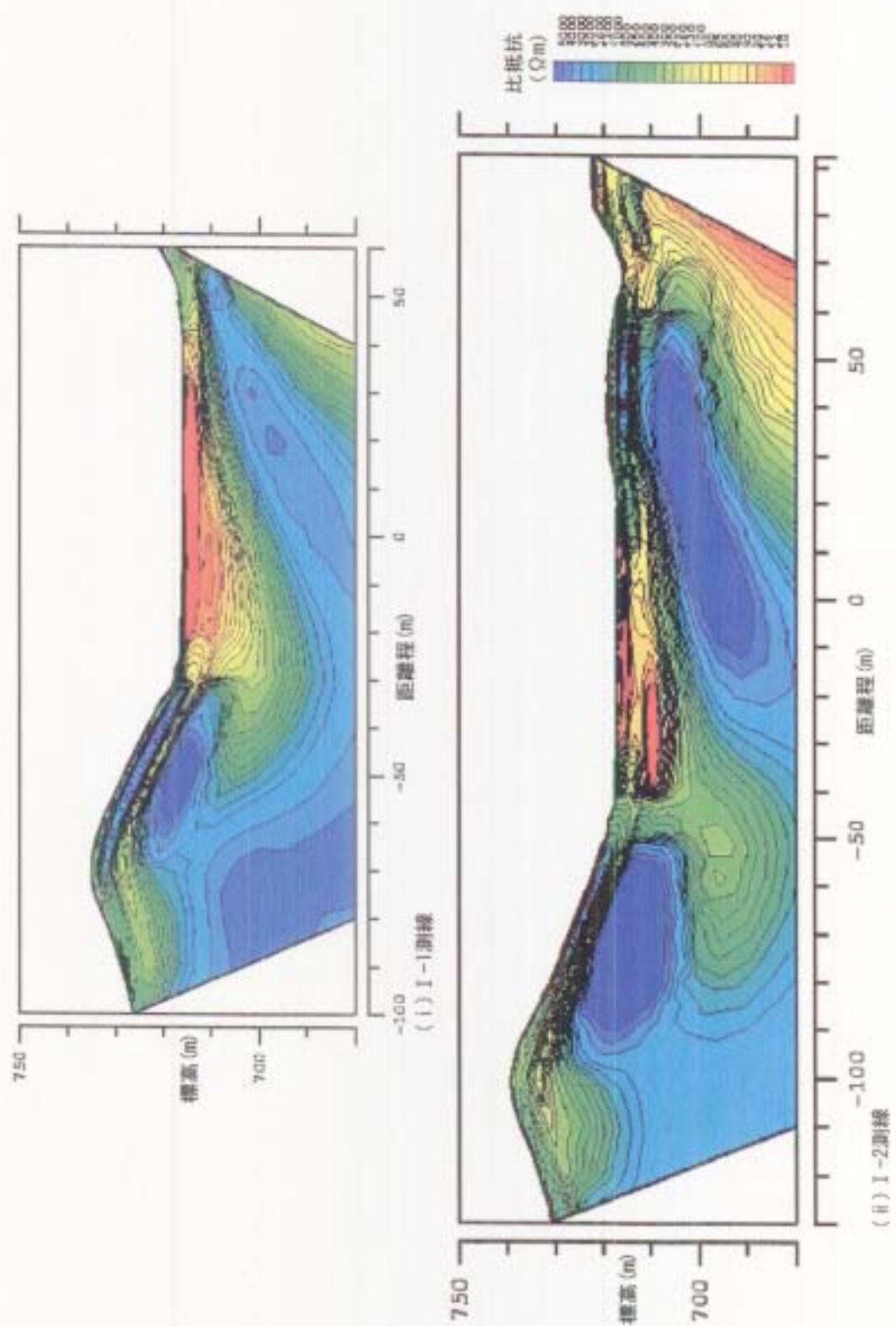


圖5.3-5(1) 解析結果垂直断面(1)

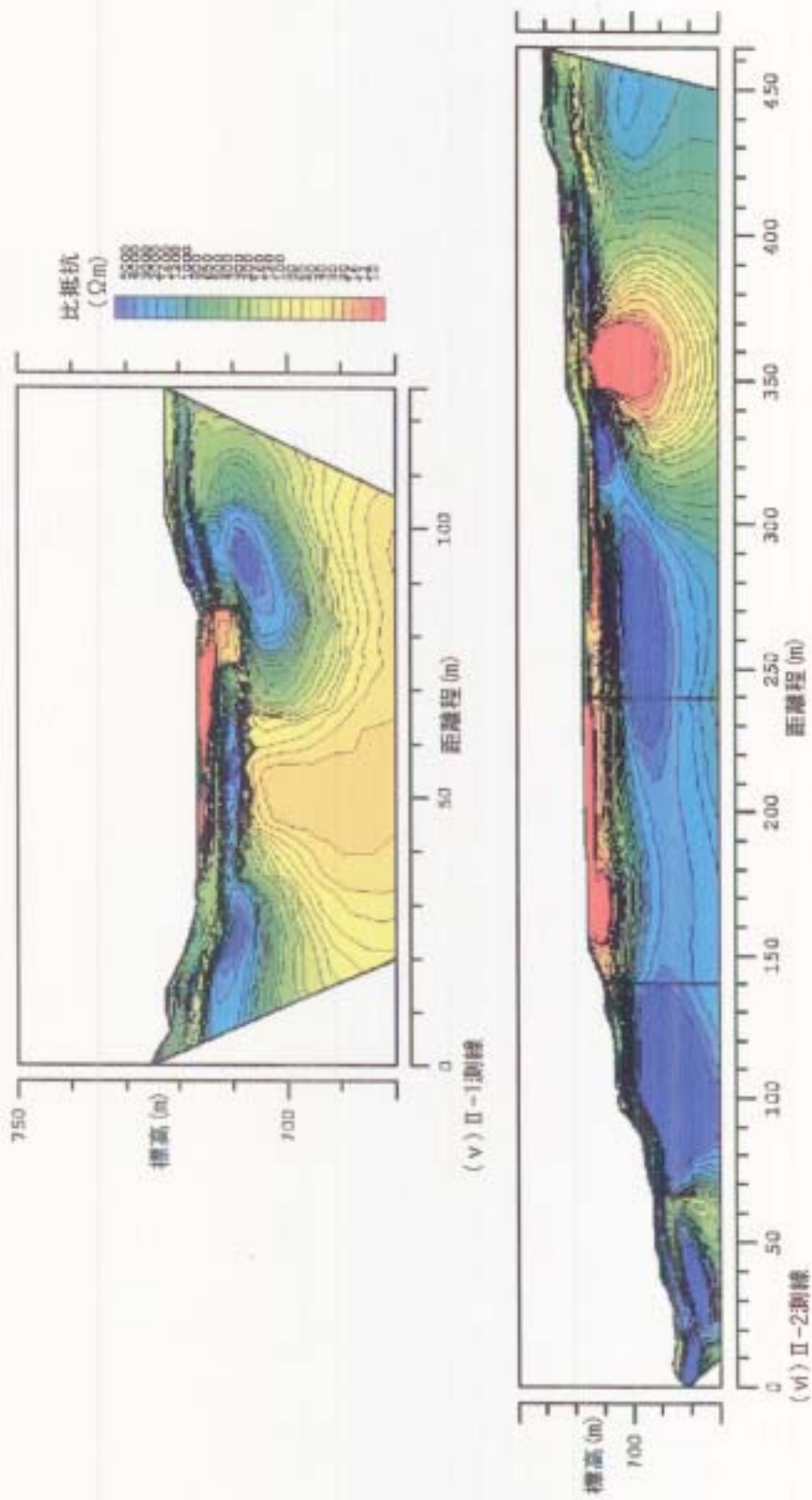


图5.3-5(3) 解析結果垂直断面(3)

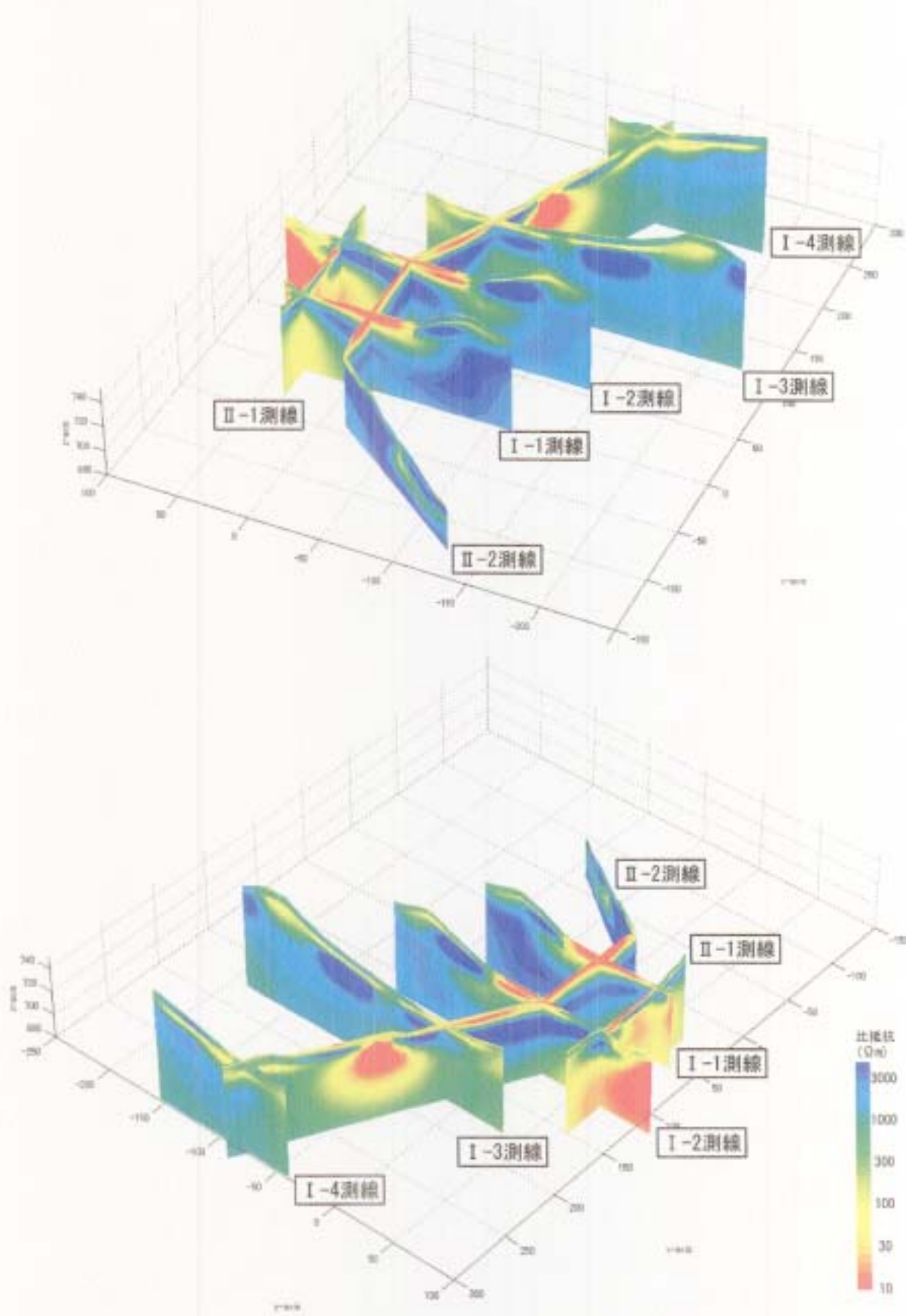
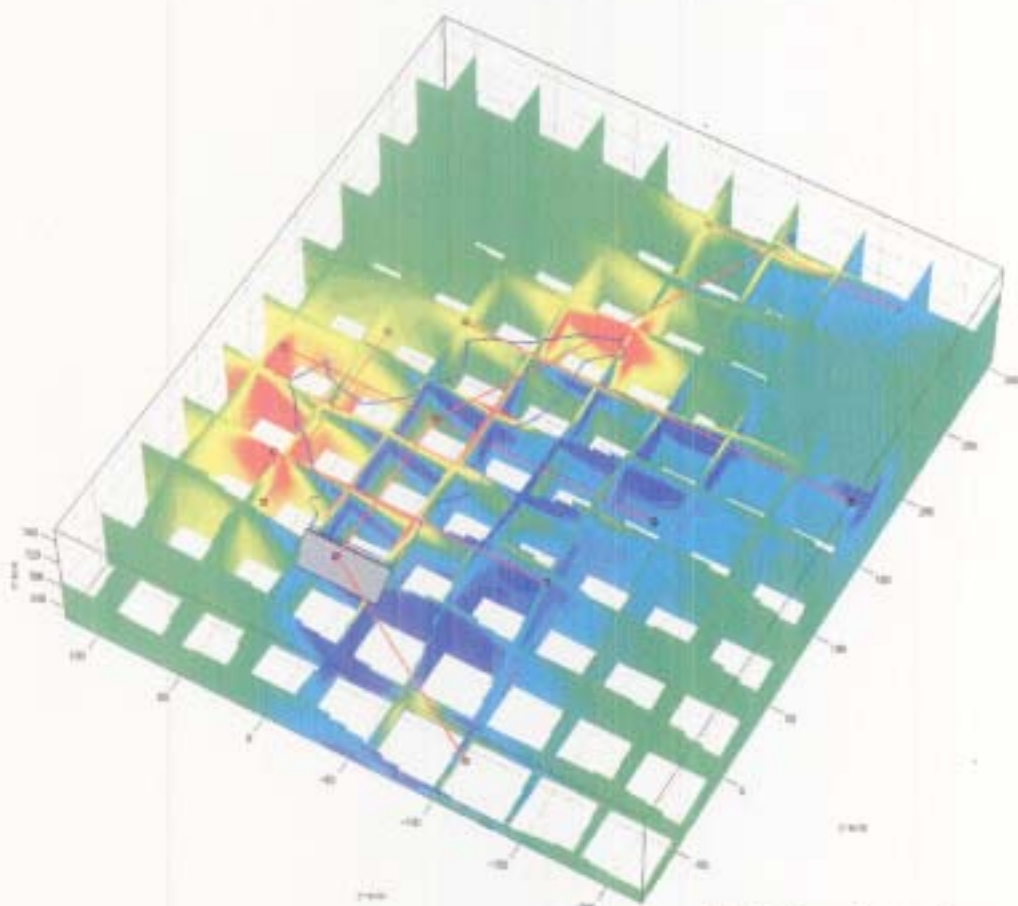
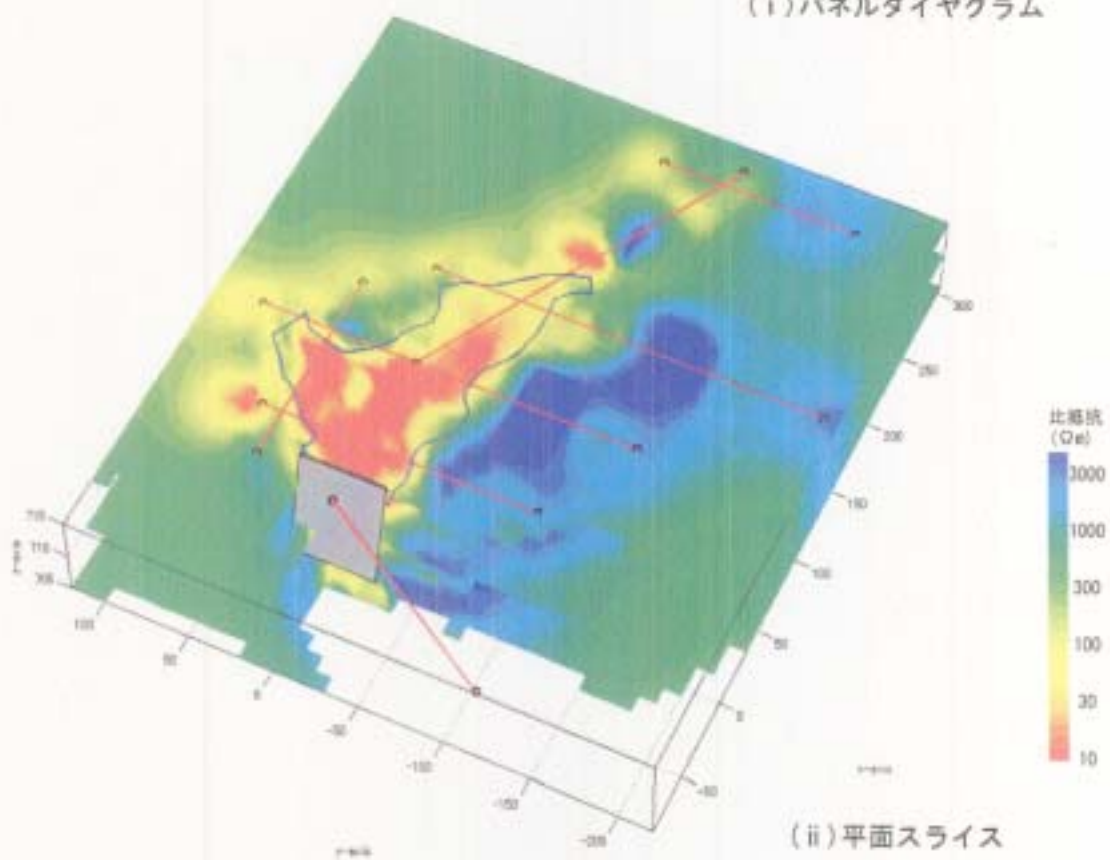


图5.3-6 解析結果鳥瞰図



(i) パネルダイヤグラム



(ii) 平面スライス

図5.3-7 解析結果スライス図

5.4 比抵抗探査結果の解釈

(I) 既往調査結果との対比

3次元解析結果をボーリング資料や弾性波探査結果等と比較して、検討を行った。図5.4-1にボーリング孔、弾性波測線および比抵抗探査の測線位置を示す。

(a) ボーリング結果との対比

①F-1孔

F-1孔（孔口標高722m，図5.4-1参照）のボーリング結果では，表5.4-1のように地質区分されている。

表5.4-1 F-1孔地質区分図

深度 (m)	地質区分
0~8.0	盛土
8.0~13.9	腐植土・砂質土
13.9~28.6	強風化・風化花崗岩
28.6~45.0	脆弱花崗岩・花崗岩

解析された3次元比抵抗分布からF-1孔を通る比抵抗2次元断面図を切り出して，図5.4-2に示した。なお，切り出した断面図の位置を図5.4-1に緑色の点線で示した。比抵抗断面によると，F-1孔の深度約14m付近に比較的明瞭な比抵抗の境界が認められ，上位は50~100Ωmの中程度の比抵抗，下位は10~50Ωmの極めて低い比抵抗を示している。この境界は，ボーリング結果で認められた腐植土・砂質土と風化花崗岩の境界（深度13.9m）に概ね対応している。ただし，深度28.6m以深に分布する脆弱花崗岩や新鮮花崗岩が数10Ωmの低比抵抗を示すことは考えにくい。これは，この地点が測線の端に位置し，深部のデータがかけていたため解析精度が低下しているためか，あるいは隣接した施設の基礎などの人工的な埋設物によりその周辺が低比抵抗に解析されているためと考えられる。

②観測孔E孔

平成13年度に掘削された観測孔E孔（孔口標高717.42m，図5.4-1参照）³⁾では，表5.4-2のように地質区分されている。

表5.4-2 観測孔E孔地質区分図

深度 (m)	地質区分
0~3.2	鉋さい
3.2~4.9	旧表土
4.9~17.7	風化花崗岩
17.7~23.0	花崗岩

図5.4-3に観測孔E孔を通る比抵抗2次元断面を示す。断面は図5.4-1の緑色の実線に沿って切り出したものである。ボーリング結果を参考に比抵抗断面を鉋さい，風化花崗岩および花崗岩に区分した。地層区分を白色の点線で図中に示した。比抵抗分布と観測孔E孔における地層境界の深度を比較した結果から両者は概ね整合的である。観測孔は測線から約10m離れているため，地表から数m付近までの極表層の分解能はやや低下しており，地層境界を高精度に捉えることはできないと考えられる。

③安定化調査ボーリング

平成14年度に実施された安定化調査⁵⁾では、ボーリング (No. 1～No. 4孔, 図5. 4-1参照) 掘削により堰堤内の鉋さいの深度分布が確認されている。表5. 4-3に各孔での鉋さい, 地山, マサ土の深度分布を示す。

表5. 4-3 安定化調査ボーリング地質区分図

ボーリング孔名	No. 1孔	No. 2孔	No. 3孔	No. 4孔
孔口標高 (m)	717. 52	716. 69	717. 28	717. 91
鉋さい	0～4. 80	0～5. 40	0～2. 65	0～3. 10
地山	4. 80～6. 30	5. 40～6. 80	2. 65～7. 35	3. 10～5. 90
マサ土	6. 30～8. 00	6. 80～11. 18	7. 35～9. 45	5. 90～8. 00

図5. 4-4に各ボーリング孔を通る比抵抗2次元断面を示す。断面は図5. 4-1の緑の1点鎖線に沿って切り出したものである。比抵抗分布から推定した鉋さい分布領域(比抵抗10～50Ωm)を白の点線で図中に示した。各断面について、次のことが考えられる。

- ・ No. 1孔では、ボーリングで確認された鉋さい分布深度は低比抵抗領域と対応しているが、地山やマサ土に対応する領域でも低比抵抗を示している。他のボーリング孔でも地山の分布深度で100Ωm以下の低比抵抗を示している場合もあるため、比抵抗断面では鉋さいとの境界が不明瞭になっている。
- ・ No. 2, 3, 4孔では、ボーリングで確認された鉋さい深度と低比抵抗領域がほぼ一致している。

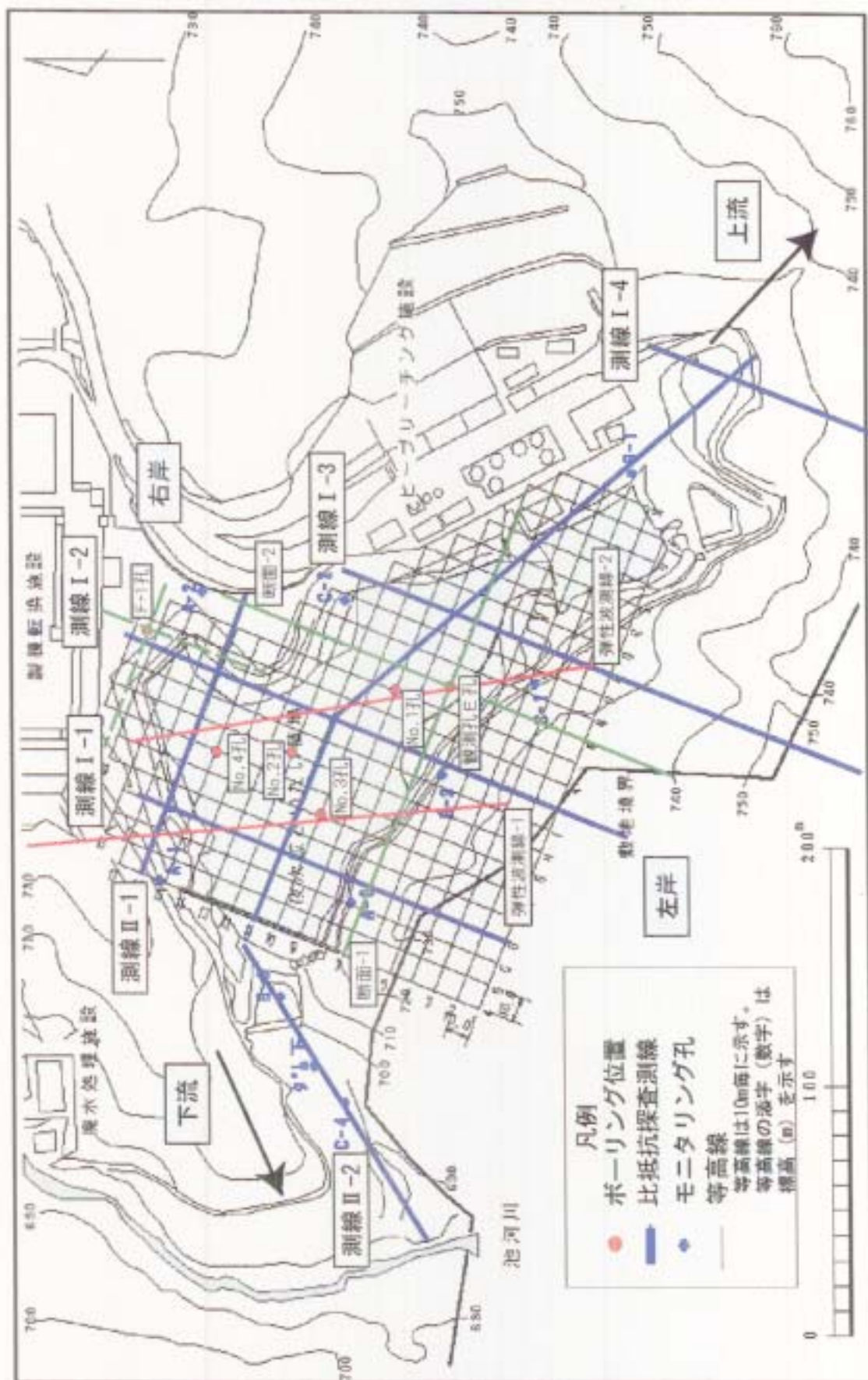


図5.4-1 ボーリング孔・弾性波探査測線位置図

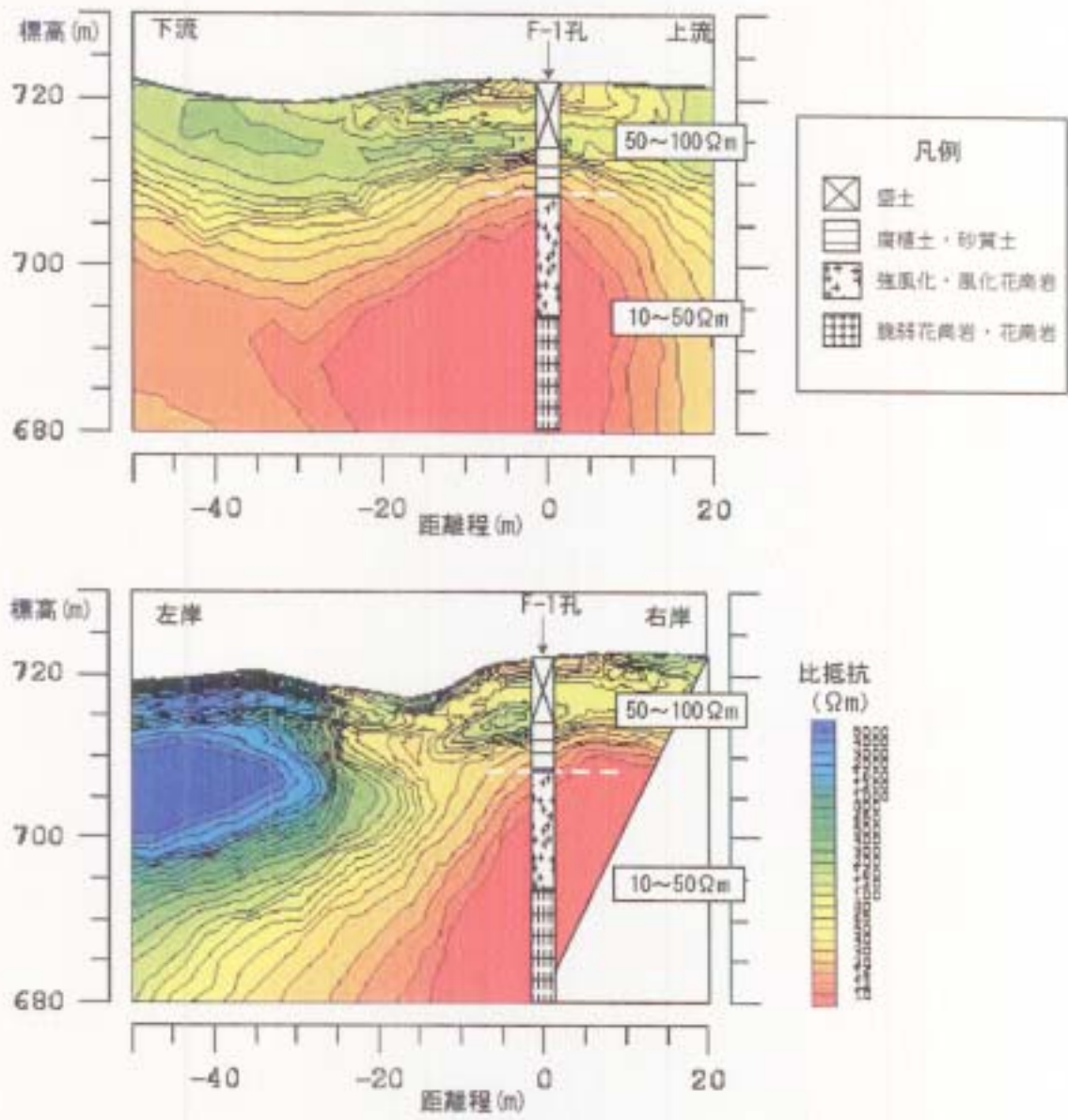


图5.4-2 F-1孔垂直断面图

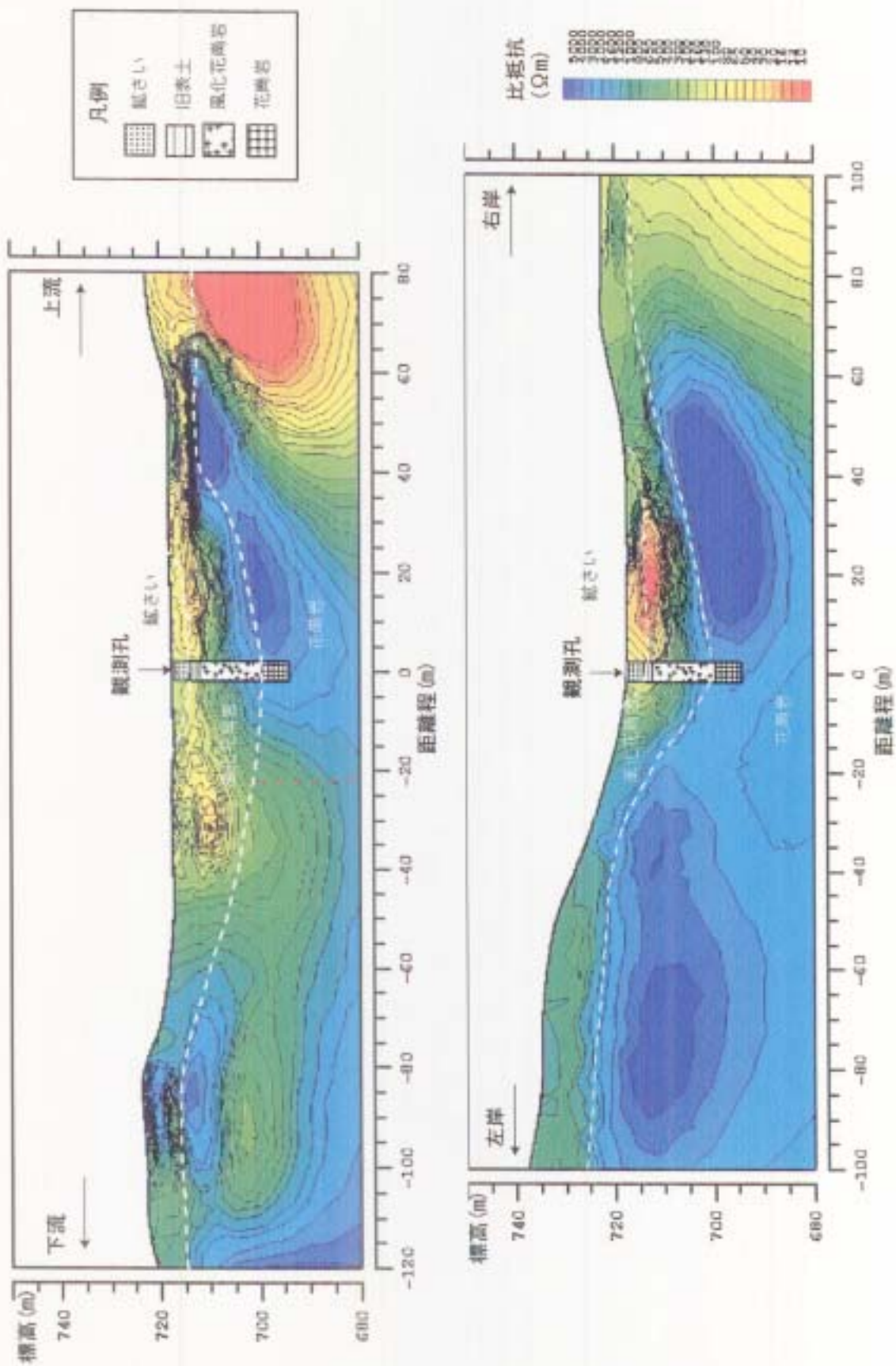


図5.4-3 龍洞孔E孔垂直断面図

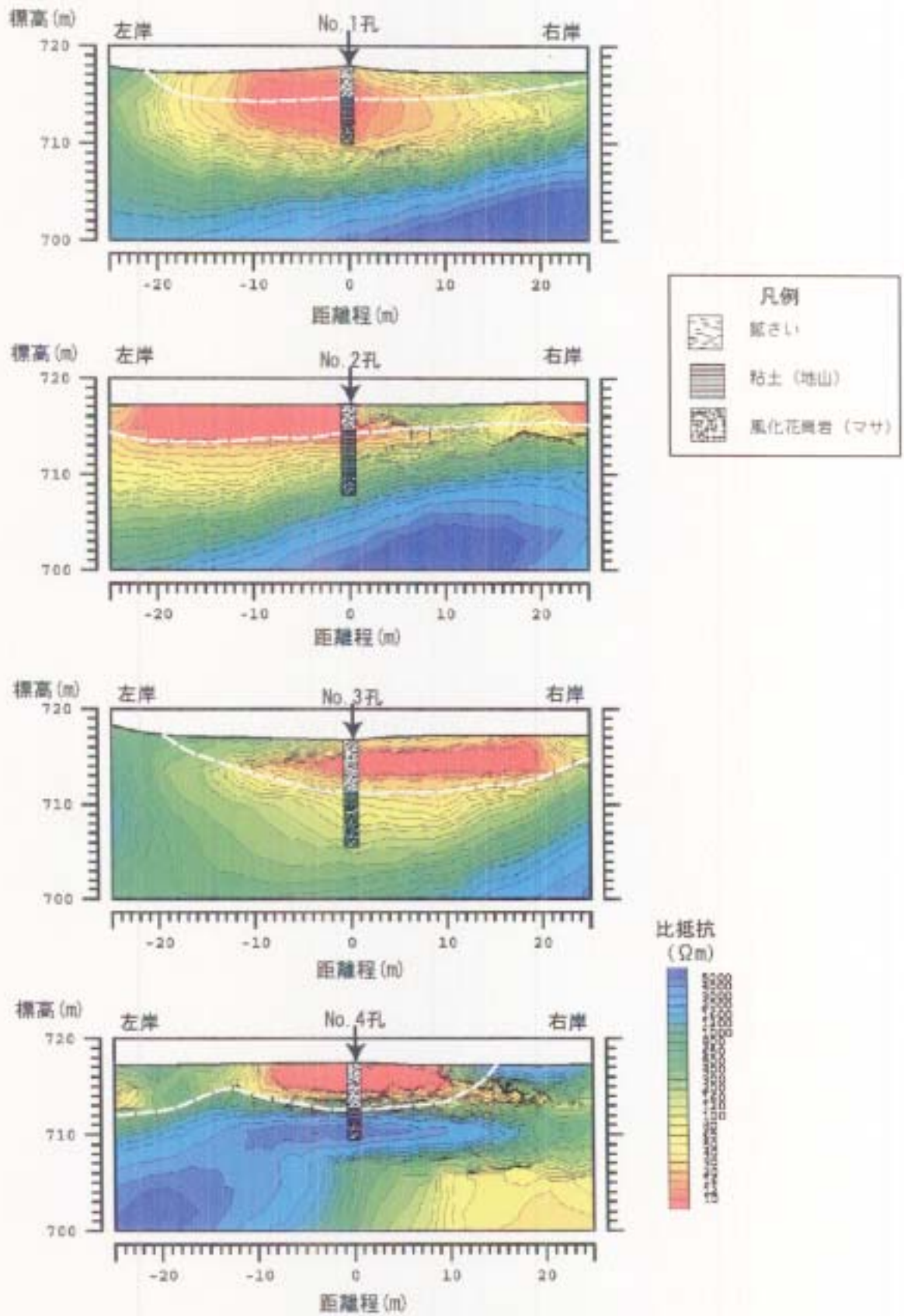


図5.4-4 安定化調査ボーリング孔 垂直断面図

(b) 既往弾性波探査結果⁶⁾との比較

3次元比抵抗分布から、昭和61年度に実施された弾性波探査測線に沿った2次元断面を切り出し、弾性波探査の結果と比較した。比抵抗探査結果と弾性波探査結果の対比図を図5.4-5に示す。また、図5.4-6に地表近傍（標高715m）の比抵抗水平断面と既往調査資料を示す。これらの対比結果をまとめると以下の通りである。

①測線No. 1

- ・ 表層に分布する比抵抗 $20\Omega\text{m}$ 以下の低比抵抗領域は、弾性波速度 0.8km/sec の層に対応し、鉱さいの分布域に対比される。
- ・ 比抵抗 $20\sim 1000\Omega\text{m}$ の領域は、弾性波速度 $0.3\sim 1.5\text{km/sec}$ に対応し、概ね風化花崗岩の分布に対比される。
- ・ 比抵抗 $1000\sim 5000\Omega\text{m}$ の高比抵抗領域は、弾性波速度 $5.2\sim 5.4\text{km/sec}$ に対応し、概ね花崗岩に対比される。
- ・ 既往資料によると右岸側の表層付近に堆積岩が分布しているとされており、弾性波探査では $0.3\sim 0.5\text{km/sec}$ の速度層として検出されているが、比抵抗断面ではこれに対応する特徴的な比抵抗領域は認められない。また、右岸側深部の弾性波速度 $5.2\sim 5.4\text{km/sec}$ に対応する領域が比抵抗探査では認められない。これは、この領域が比抵抗の探査測線から離れているため解析精度が低いためと考えられる。
- ・ 左岸側の赤い点線で示した付近では浅層部の低比抵抗部が深部に落ち込んで、高比抵抗領域中に張り出しているような構造が認められる。（図5.4-5(1)参照）。この領域は弾性波探査で認められる低速度帯と対応している。また測線中央部から右岸側にかけて高比抵抗部が浅部にせり上がっている構造は、弾性波探査の基盤深度の高まりと概ね対応する。
- ・ 左岸側の距離 $-90\sim -60\text{m}$ 、標高 $700\sim 720\text{m}$ には花崗岩に相当する $5000\Omega\text{m}$ 以上の高比抵抗領域が分布する。この領域は弾性波探査では $0.8\sim 1.0\text{km/sec}$ の低速度層として解析されており、比抵抗の分布から推定される地質状況とは整合していない。比抵抗分布からはこの領域の下位に低比抵抗層が分布しており速度逆転層を形成している可能性も考えられる。この場合には弾性波探査の解析がはざとり法で行われているため、速度逆転層を把握できていないことも考えられる。

②測線No. 2

- ・ 20Ωm以下の低比抵抗領域は、弾性波速度0.8km/secの速度層に対応し、概ね鉦さいの分布を示しているものと考えられる。
- ・ 20～1000Ωmの領域は、弾性波速度0.3～1.5km/secに対応し、概ね風化花崗岩の分布に対比される。
- ・ 既往資料から花崗岩が分布すると推定される左岸側の領域は、1000～5000Ωmの高い比抵抗を示しており、弾性波速度も5.2～5.4km/secと高い値を示す。一方、右岸側では弾性波探査で基盤とされている層（5.2～5.4km/sec）が認められるのに対し、風化帯や劣化帯に対応する50Ωm程度の低比抵抗帯が分布する。
- ・ 距離-60～-40m付近では、弾性波探査では低速度帯が認められている。これに対応する領域では、明瞭な低比抵抗帯は認められないが、風化花崗岩に対応する20～1000Ωmの層がやや厚くなっているため、規模の小さな風化帯が分布する可能性が考えられる。

(c) リニアメントや基盤構造との対比

既往調査結果⁶⁾では、リニアメント、基盤中の低速度帯、基盤の高まりなどが報告されている。これらのデータと今回の比抵抗探査結果から得られた水平断面図（標高715m）との対比図を図5.4-6に示す。比抵抗水平断面では堰堤境界付近の比抵抗境界がリニアメントの位置に対応し、また、鉦さいが分布する低比抵抗領域内の比抵抗30～50Ωmの領域は、既往調査結果で報告されている基盤の高まりに対応している。

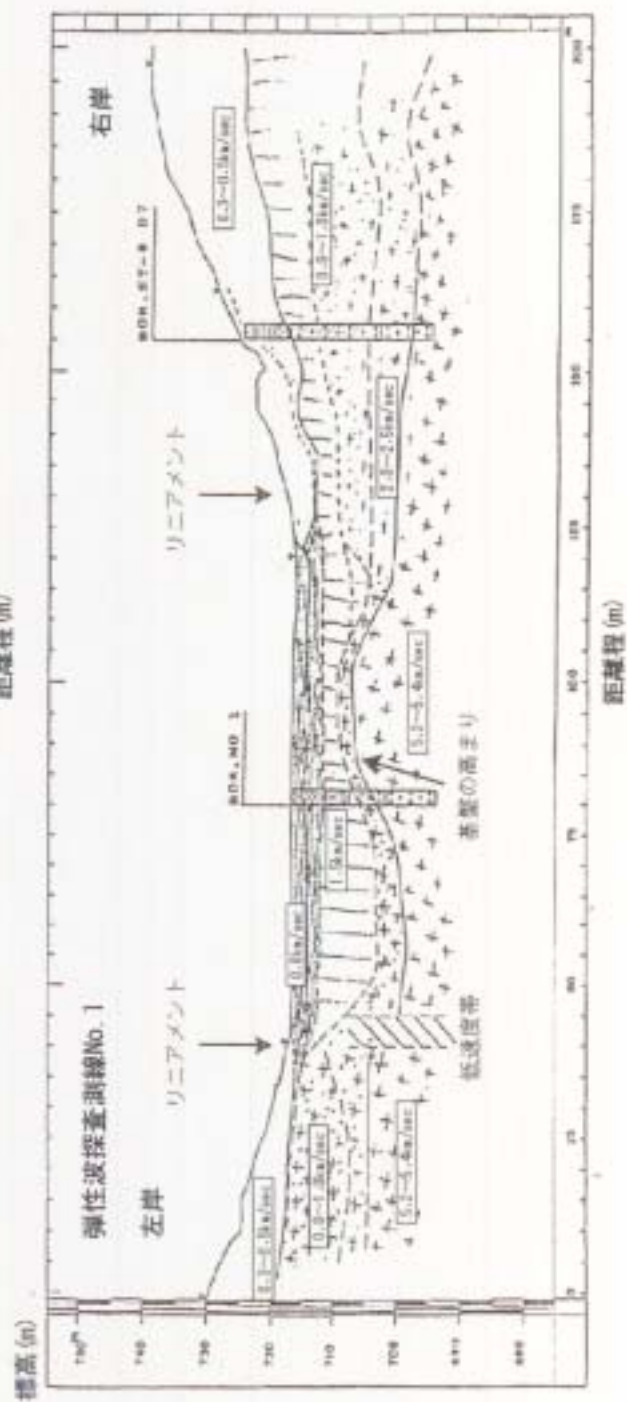
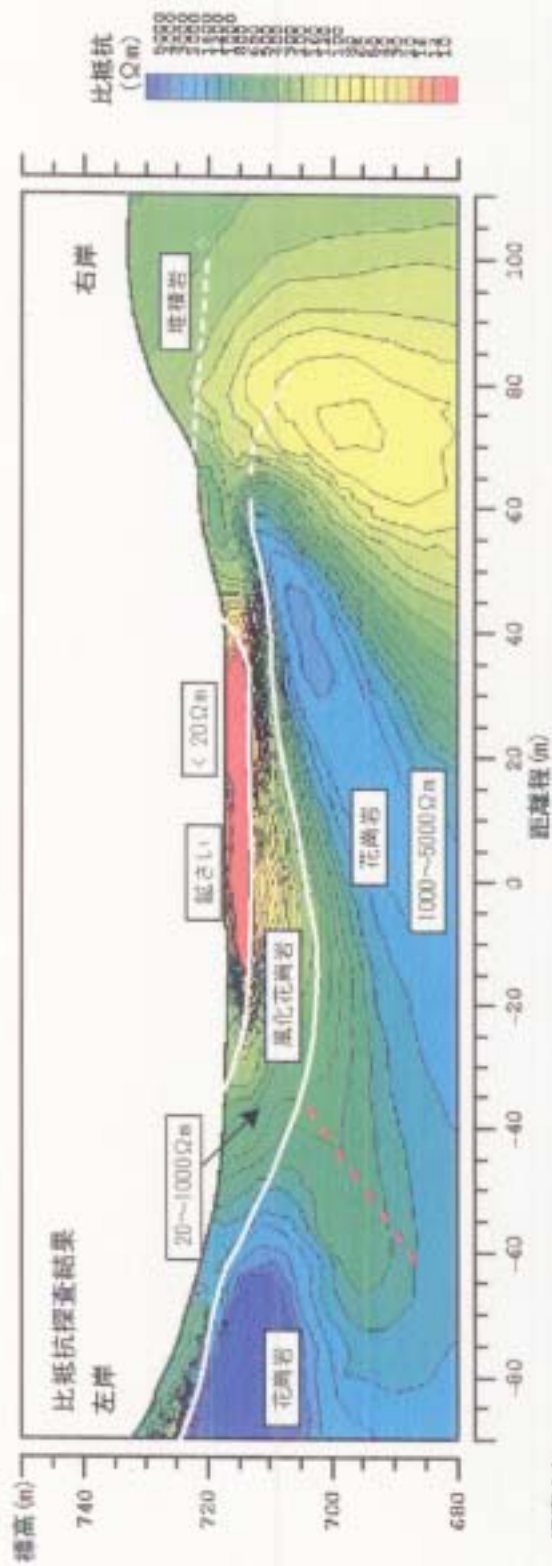


図5.4-5(1) 既往弾性波探査結果

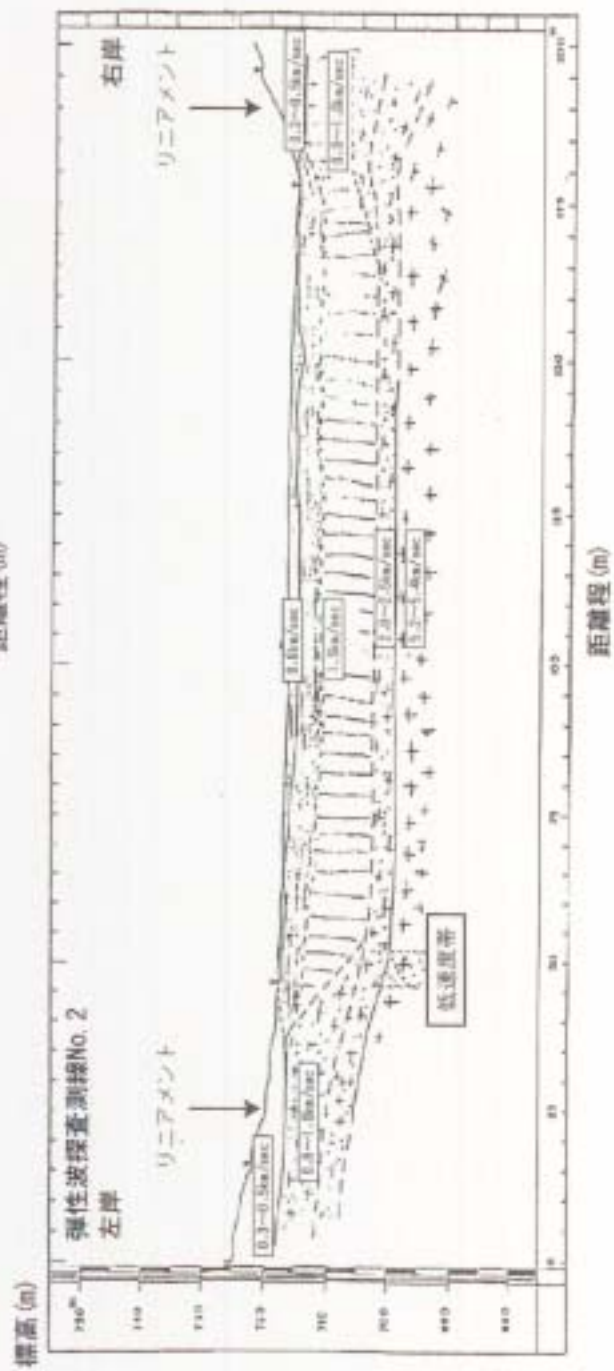
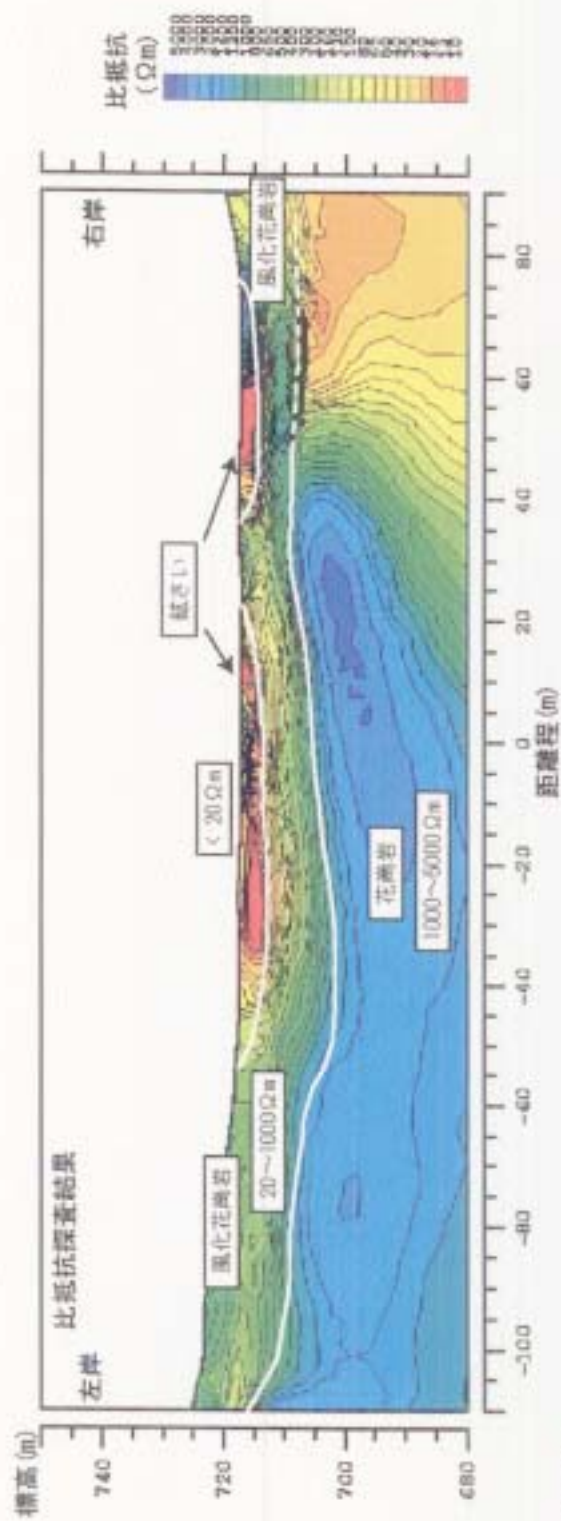
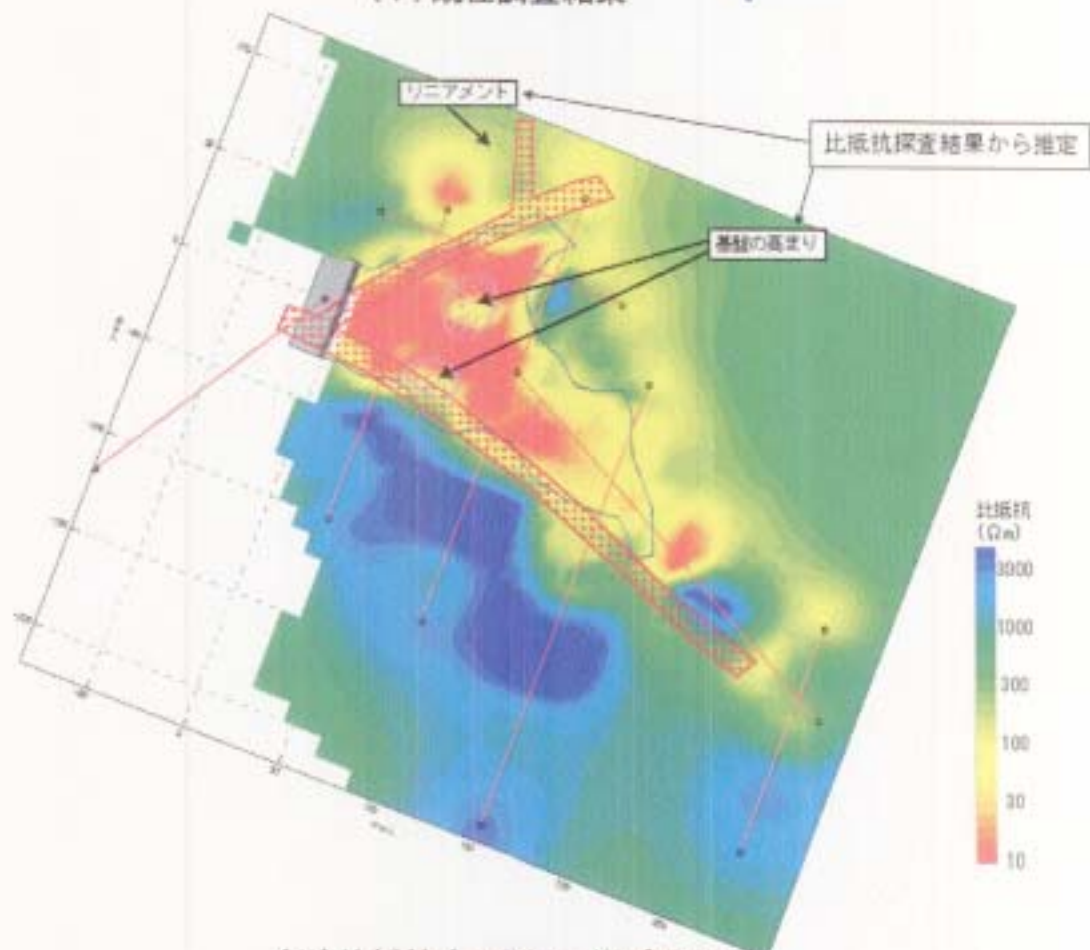


図5.4-5(2) 既往弾性波探査結果 (2)



(i) 既往調査結果



(ii) 比抵抗水平断面 (標高715m)

図5.4-6 既往調査結果と比抵抗探査結果の対比図

(2) 比抵抗探査結果から推定される地質分布

(a) 比抵抗と地質区分

比抵抗探査の測線毎に、ボーリング調査、地質踏査および既存ボーリング資料と合わせて、地質区分を推定した。

図5.4-7に地質区分図を示す。調査地内の各地点で、各層の比抵抗にばらつきがあるので、次のようにおおまかに区分した。

- ・ 比抵抗10～100Ωm : 鈰さい
- ・ 比抵抗100～2000Ωm : 風化花崗岩または堆積岩
- ・ 比抵抗2000～5000Ωm : 花崗岩

大局的には、地質区分を次のように推定した。

- ・ 鈰さいたい積場の右岸側は全体に低比抵抗となっていて、風化花崗岩または堆積岩が分布している。
- ・ 左岸側は全体に高比抵抗となっていて、花崗岩が分布している。

(b) 鈰さいの分布状況

鈰さいは含水した軟泥状になっているため、一般的には低比抵抗を示すと考えられる。そこで堰堤内の20Ωm以下の低比抵抗を示す領域を鈰さいが分布する領域と推定した。図5.4-8に鈰さいの分布範囲を示す。

5.2節で示したように、堰堤内の水の比抵抗は約30Ωmであり、鈰さいは堰堤内の水よりも低比抵抗である。測線I-1およびII-2の水の比抵抗に相当する30Ωmの比抵抗層が解析断面上では認められない。この理由は、水深が最大でも2m程度と電極間隔（2mまたは2.5m）よりも小さいため、比抵抗探査では水の層を分離できなかったためと考えられる。

(c) 花崗岩中の構造について

測線I-1およびI-2の左岸側では、風化花崗岩に対比される低比抵抗部が深部に落ち込み、その延長が下位の低比抵抗領域中に張り出しているような構造が認められる（図5.4-7(I)の赤線部）。この領域は、前述の図5.4-6に示すリニアメント位置や弾性波探査の低速度帯と一致することから、花崗岩中の変質帯あるいは破碎帯を示している可能性がある。ただし、I-

3測線及びそれよりも上流側では低比抵抗部が不明瞭となることから、仮に変質帯または破碎帯が存在していたとしてもその規模は小さくなっているものと推定される。

(d) 鉱さい以外の低比抵抗領域

図5.4-8に示す右岸側のAおよびたい積場上流のB付近は、 $10\Omega\text{m}$ 以下の低比抵抗が分布している。これらの領域は、比抵抗が非常に小さいことと、分布範囲が狭く線あるいは面的な構造ではないため、変質や風化などによる影響とは考えにくい。このため、隣接した施設（図5.2-2参照）の影響による偽像と考えられる。

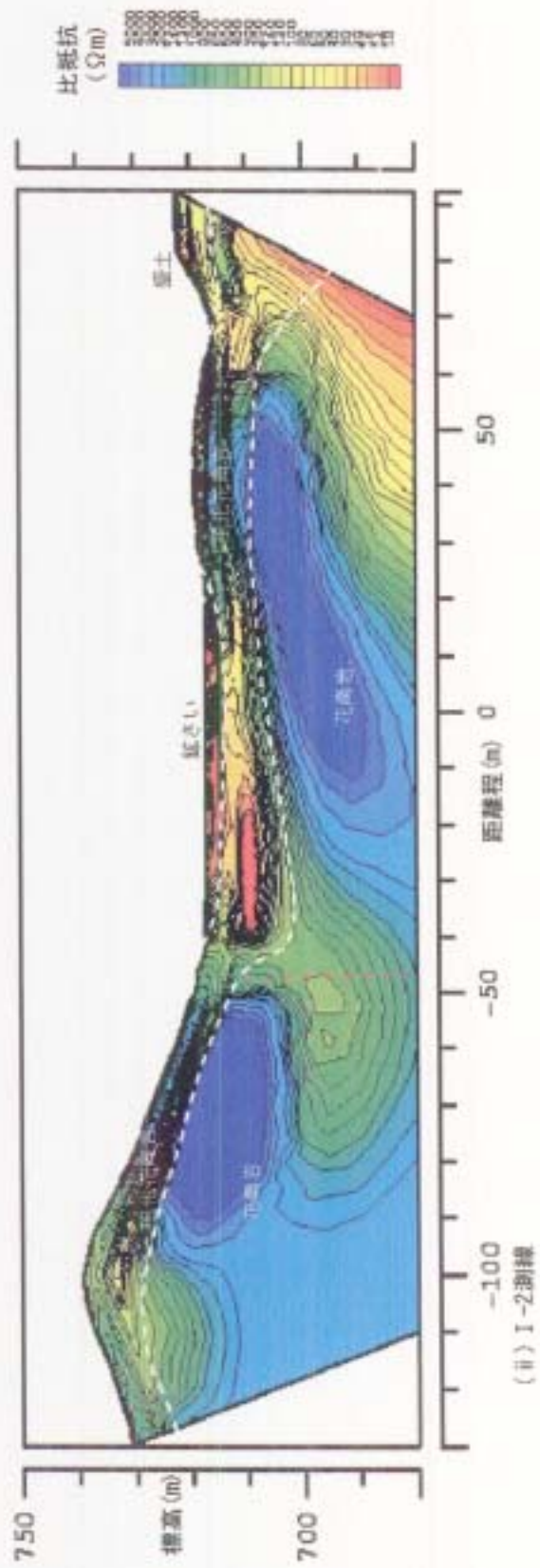
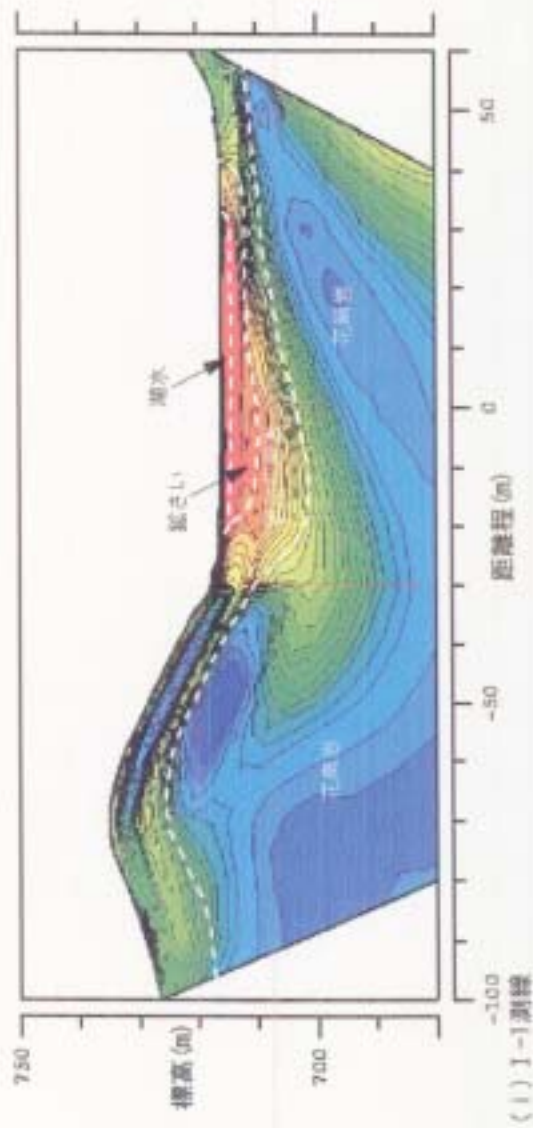


図5.4-7(1) 地質区分図 (1)

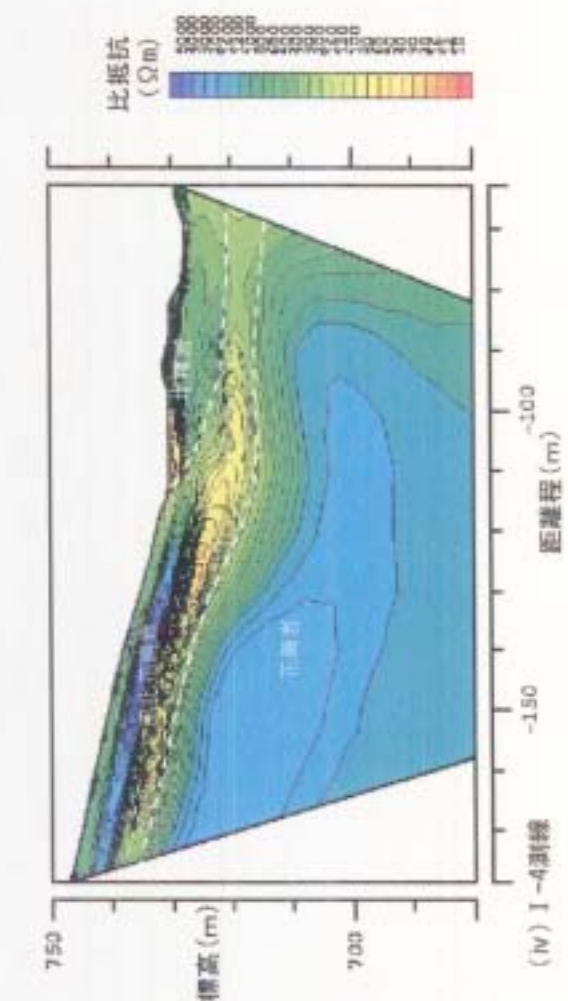
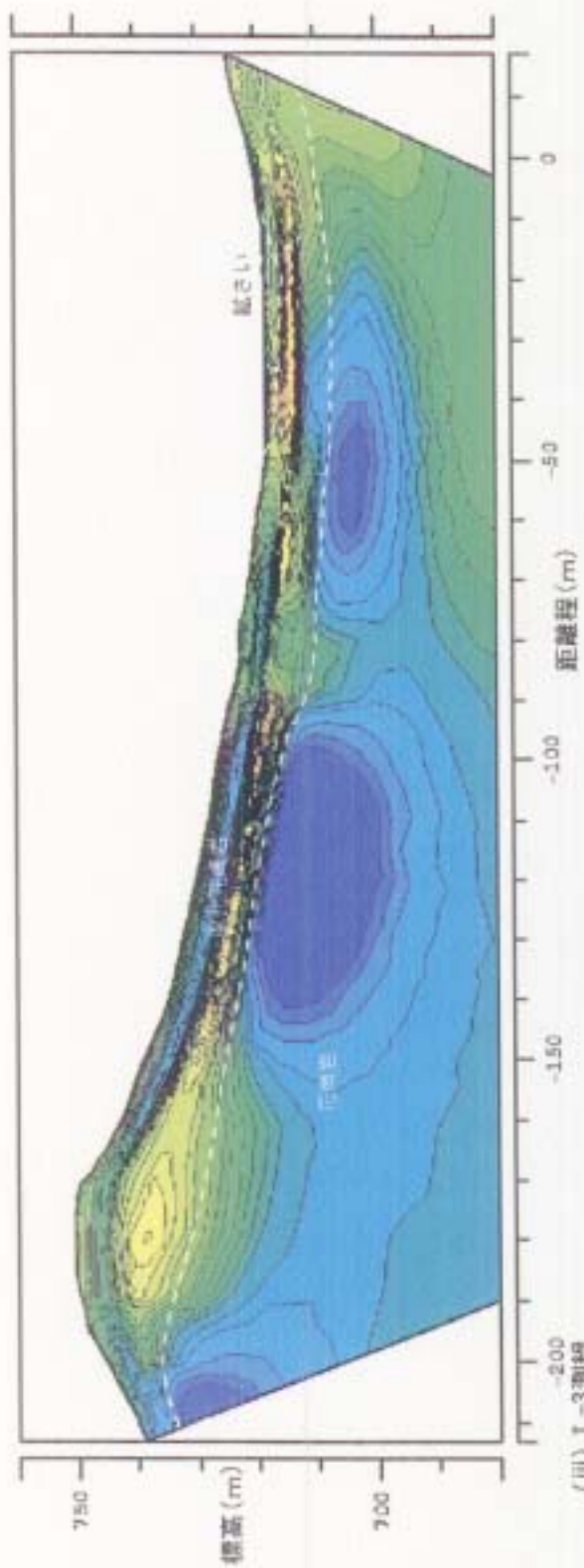


図5.4-7(2) 地質区分図 (2)

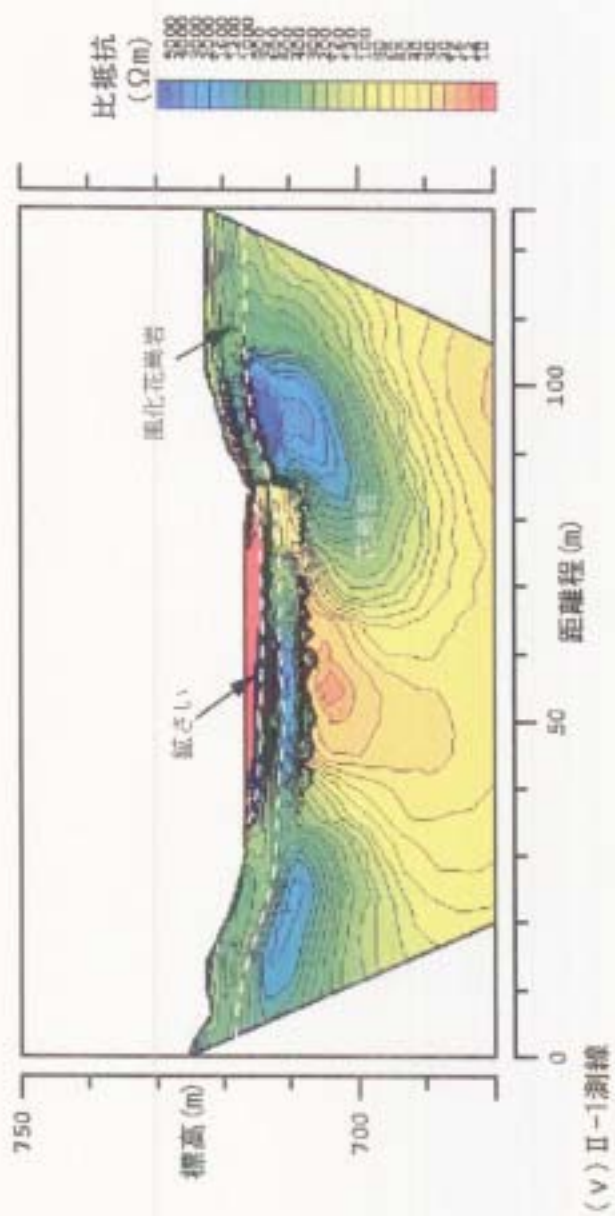


図5.4-7(3) 地質区分図 (3)

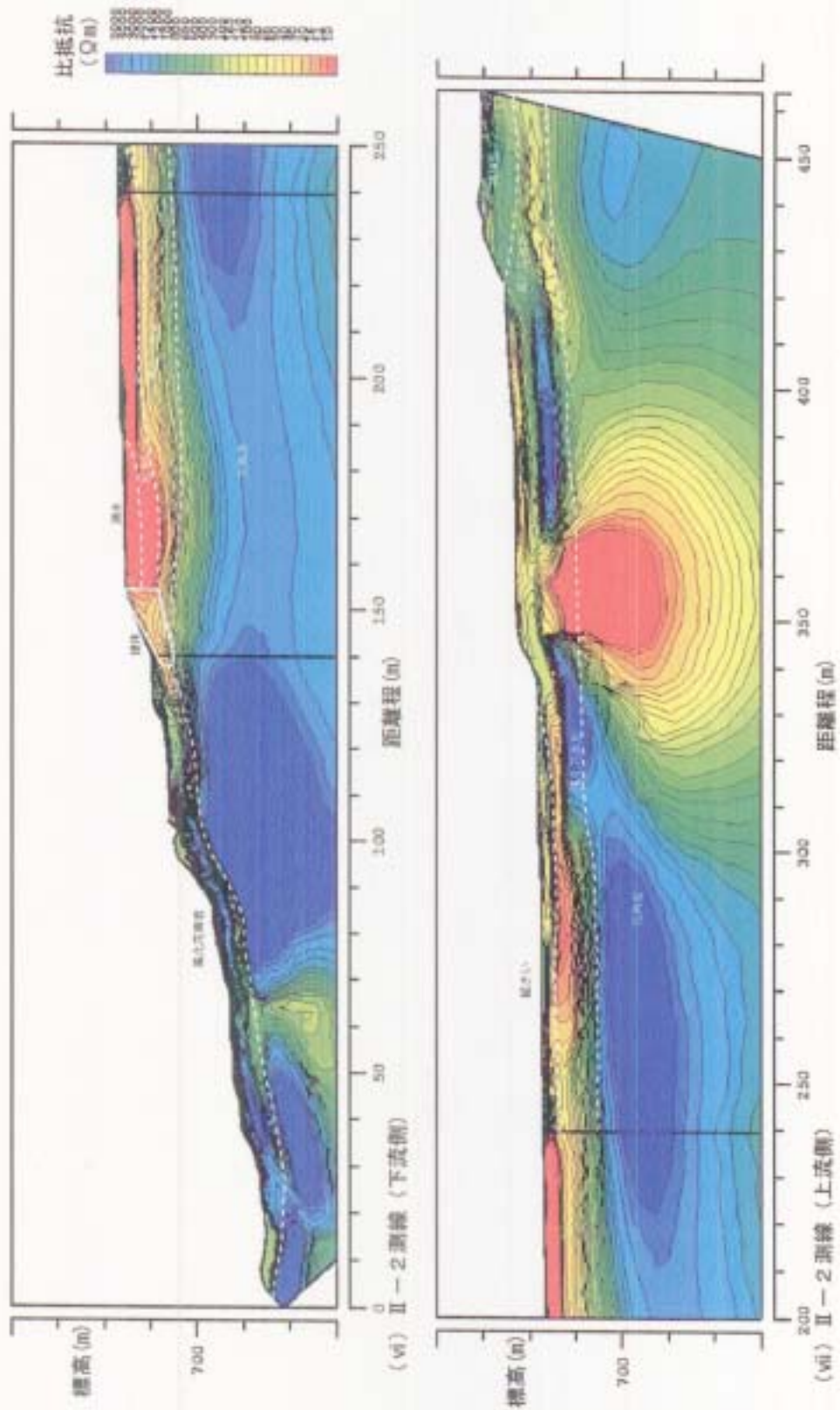


图5.4-7(4) 地質区分图 (4)

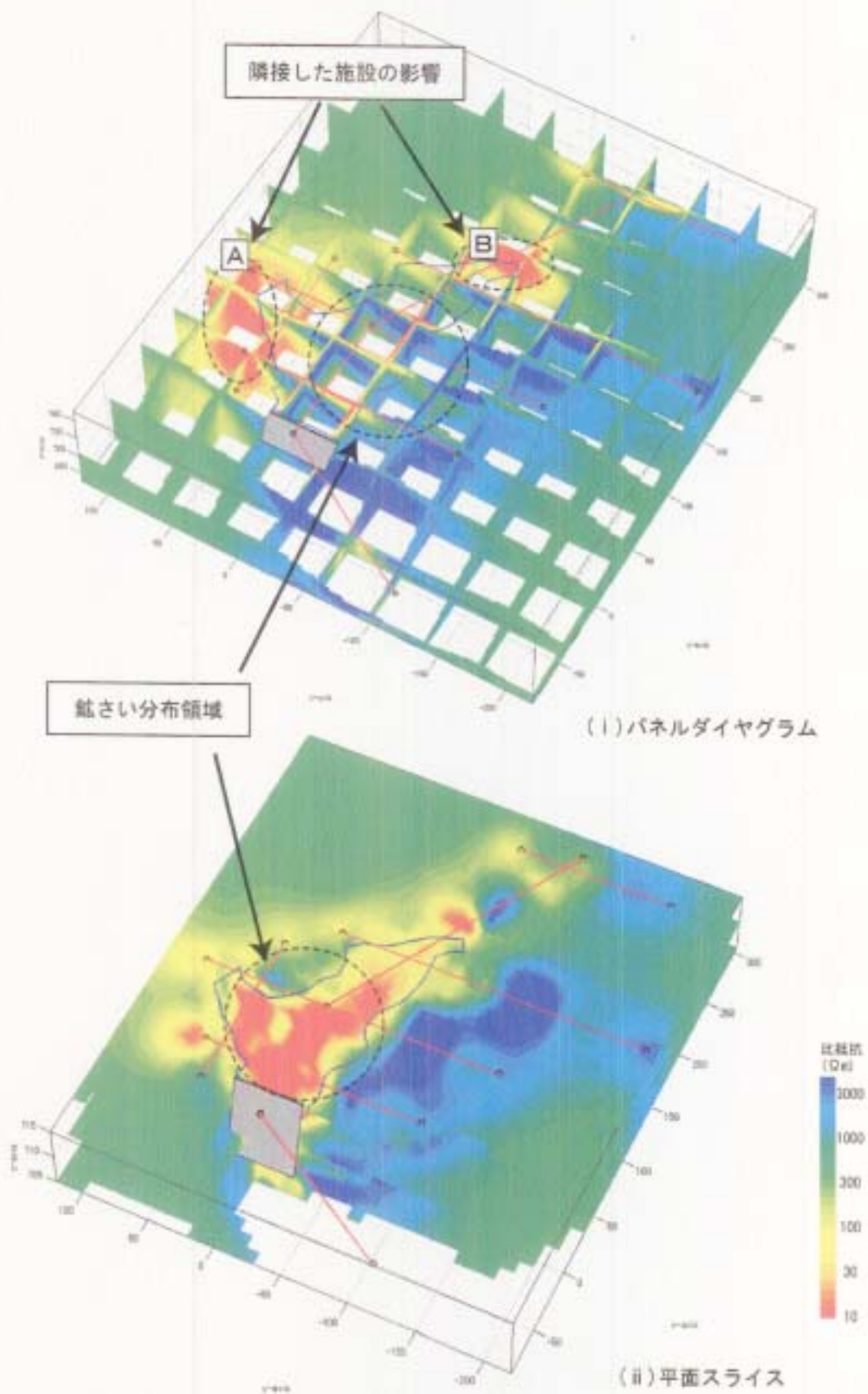


図5.4-8 磁さいの分布範囲

6. 地表踏査

6.1 調査方法

物理探査による地質構造推定の補助および地下水の分布状況を把握する目的で鉋さいたい積場およびその周辺の地表踏査を行った。踏査は 1/2,000 地形図を用いて道路沿いや沢筋の露頭を観察し、露出している岩石の種類、産状、風化変質状況、構造の走向傾斜などを記載した。また、地下水の分布を示すような兆候、たとえば湧水の有無や量、露頭の湿潤状態などの観察を行った。踏査範囲は物理探査測線を網羅し、さらに地下水の流動を規制すると考えられる尾根や沢を含めるような範囲で行った。

6.2 調査結果

6.2.1 地質分布

地表踏査によって推定される地表地質分布を図 6.2-1 に示す。同図中に示した○印は既往のボーリング孔である。地質分布の推定に際してはこれらの既往ボーリングのデータ⁵⁾も利用した。

地表に分布する地質はおおきく表層堆積物、堆積岩および花崗岩に区分できる。以下にそれぞれの分布と特徴を記す。なお、表層堆積物の分布は図 6.2-1 には図示していない。

(1)表層堆積物

製錬転換施設西方の池河川に下る斜面で表層の腐植土層の下にやや締まった黒土層が分布しているのが確認された。黒土層の露頭写真を図 6.2-2 に示す。この黒土層は約 1m の厚さで風化花崗岩の上に載っている。また、この黒土層には径 5mm の軟質に風化した軽石粒が含まれており、層理面様の帯が認められる。平成 13 年度に鉋さいたい積場内で実施した E 孔と今回の F-1 孔でも厚さ 1.7m~3.4m の黒土層が鉋さいや埋土の下に見出されている。これらの黒土層は現在の気候化で形成されつつある腐植土としては層厚が厚いことや表層の腐植土と比べるとやや締まっている。これらのことから、この黒土層は降下火山灰であると判断した。地理的に隣接していることから大山起源の火山灰であると推定される。

(2)堆積岩

鉋さいたい積場の右岸側に分布している。露頭では礫岩、砂岩、泥岩などが認められ人形峠層に対比される。

礫岩は褐色を呈し軟質に風化しておりいわゆるクサリ礫化している。見学坑道坑口と製錬転換建屋西では径 5~10cm の暗褐色や黄褐色に風化した火山岩礫を含み、石英粒に富む基質からなる礫岩が認められた。

砂岩は風化して黄褐色を呈する。細~中粒の石英粒を主体としており、比較的均質である。鉋さいたい積場右岸ののり面では軟質に風化した砂岩が露出しているが塊状で層理面は不明確であった。植生により覆われて詳細は不明であるが砂岩の露頭下には泥岩の細片が落ちているため、泥岩の薄層か偽礫を含んでいるものと推定される。

泥岩は灰白色に風化して軟質である。葉理の発達する所では葉理が $10^{\circ} \sim 18^{\circ}$ で北や南に傾斜しており、全体としてはほぼ水平な構造と推定される。

堆積岩は鉍さいたい積場右岸よりも北東側に分布の中心があり、花崗岩との境界付近には礫岩や砂岩が分布し、泥岩は花崗岩の分布域から北東側に離れてかつ標高の高い所に分布している。したがって、堆積岩全体としては礫岩や砂岩が下位にあり泥岩が上位に分布している傾向が推察される。

ウラン・トリウム鉍物研究会(1961)⁶⁾は鉍さいたい積場右岸の尾根に堆積岩類が分布することを図示しているが、今回の踏査では露頭が乏しく右岸側の堆積岩類は確認できなかった。

(3)花崗岩

鉍さいたい積場周辺に広く分布している。露頭は鉍さいたい積場上流部と製錬転換建屋西側の尾根に認められる。いずれの露頭でも著しく風化しいわゆるマサ状となっているため岩石組織や節理などの構造は不明瞭である。一方、池河川本流の河床には比較的新鮮な花崗岩が認められた。池河川本流の露頭スケッチを図 6.2・3 に示す。この露頭では次に示すような 3 方向の割れ目が認められた。

①走向が $N60 \sim 90^{\circ} W$ で北に高角度で傾斜する割れ目

露頭の中では最も出現頻度が多く約 1m 間隔で分布している。

②走向が $N30^{\circ} E$ で西に 60° 傾斜している割れ目

露頭の範囲では最も連属している。この割れ目は露頭の範囲では数本しか認められないが、池河川の方と一致していることから、花崗岩中では主要な割れ目であると推定される。

③走向が $NS \sim N20^{\circ} W$ で $30 \sim 50^{\circ}$ で西に傾斜する割れ目

頻度が少なく連属性も乏しい。



図 6.2-2 黒土層の露頭



図 6.2-3 池河川の花崗岩露頭スケッチ

6.2.2 地下水分布

(1)湧水箇所

地表踏査によって確認された地下水露頭を図 6.2-4 に示す。

鉦さいたい積場周辺における顕著な湧水は右岸側のヒープリーチング施設ののり面下、左岸最奥部およびたい積場内の左岸側に集中している。

ヒープリーチング施設裏ののり尻と U 字溝の継ぎ目から地下水の浸出が認められた。Loc.2 および Loc.3 ではのり尻や側溝継ぎ目が濡れている程度であるのに対して、のり面最南端の Loc.1 ではおよそ 400cc/min の湧出が認められる。

左岸最奥部の Loc.4 では谷低の腐植土層中から浸出が認められる。肉眼では流下の動きは確認できないが、浸出箇所は常に小さな水溜りとなっている。また、道路をはさんだ下流側の Loc.5 でも小規模な水溜りが認められる。Loc.4 からの浸出水は道路脇の U 字溝に到達するが、U 字溝内を流下せずに U 字溝の継目から再び地下に浸透し道路下の Loc.5 に湧出していると推定される。

たい積場内の左岸側の Loc.6 では幅 2m 長さ 4m の水溜りができている。ほとんど水位が無い場合もあるがその部分のみ植物が生えていないことから、常時水が溜まっているものと考えられる。Loc.6 から約 50m 下流側の Loc.7 では水深 30cm ほどの池があり、この池から約 57.6 l/min が鉦さいたい積場内へ流下している。池には流入する水路が認められないため、流下する水はすべて地盤からの湧水であると考えられる。

鉦さいたい積場ダム下の Loc.8 はぬかるみ状となっており、ダムの漏水や地下水の浸出が疑われる。しかしながらここはさらに下流の堰堤により押さえ盛土を行っている箇所であり、排水状態が悪いために湿潤状態となっている可能性がある。

押え盛土堰堤直下の Loc.9 では崩積土上に水溜りやぬかるみができている。ぬかるみのほとんどは堰堤からの漏水が原因と考えられるが、堰堤下の左岸には径 3m 以上の花崗岩転石があり、この下から湧水が認められる。転石は山腹斜面にあり少なくともある程度は自然の地下水が湧出していると思われる。

(2)地下水の流れ

鉦さいたい積場の最奥部は開けた鞍部となっており、鉦さいたい積面との比高は約 20m である。また、この鞍部の反対側は比較的開析の進んだ谷となっており地形勾配がたい積場側よりも急になっている。また、鞍部は痩せ尾根にもなっており、集水面積も地山の保水容量も小さいと推定される。

一方、たい積場右岸はたい積場からの比高約 33m (標高 753m) の山となっており左岸側には比高 35m を超える尾根が連なっていることから、上流部よりも相対的に地山の保水容量が大きいと推定される。前述したように湧水の認められる箇所は Loc.1,2,3,4,5,6,7,9 の 8 地点であるが、Loc.9 を除いて鉦さいたい積場の右岸または左岸に位置している。これらは鉦さいたい積場への地下水の供給は上流側よりも両岸の側方からのほうが多い事を示している。

鉾さいたい積場は堰堤によって堰き止められている西端を除いて周辺の地形はたい積場より標高が高くなっている。したがって、たい積場に流入した雨水や地下水は現在の堰堤付近から池河川本流に向かって流出しているものと推定される。ところが、堰堤下から池河川本流までの沢すじでは標高 694m 付近 (Loc.10) までは流水が認められない。このことから、下流側では地下位は相対的に低いところにあると考えられる。

7. 地質構造モデルの作成

鉦さいたい積場周辺の地下水の挙動を評価・予測するためには精度の良い地下水流動解析が不可欠である。ここでは、将来、地下水流動解析を行うための解析モデルの構築を目的として、3次元の地質構造モデルを作成した。

7.1 地質構造の推定

今回の調査で判明した地質構造に関する新たな知見をまとめると次のとおりである。

- ①F-1 孔と露頭で火山灰起源と推定される厚さ 1m 以上の黒土層が見出された。鉦さいたい積場内で掘削された既往 E 孔でも同様の黒土層が確認されており、急斜面を除く敷地表層部に普遍的に分布していると考えられる。
- ②既往資料によれば鉦さいたい積場周辺の尾根には堆積岩類が分布しているとされているが、地表踏査では右岸側において堆積岩類が確認できたが、左岸側では露頭がなく確認できていない。また、比抵抗探査では風化花崗岩と堆積岩類との区別が困難であった。
- ③F-1 孔では新鮮花崗岩は人為的な埋土層を除いても深度 30m 以深に分布し鉦さいたい積場周辺の既往資料 (No.①, ②, E 孔などの深度 15~18m) と比較すると深くなっている。
- ④F-1 孔では新鮮花崗岩と風化花崗岩の間に漸移的な「脆弱花崗岩」が 10m ほど分布する。仮に「脆弱花崗岩」を新鮮花崗岩に含めたとしても F-1 孔では旧地表から 20.6m まで風化が及んでいることになり、既往のボーリング孔よりやや深くなっている。
- ⑤比抵抗探査ではたい積場の左岸に沿って低比抵抗部の落ち込みが認められ、既往の弾性波探査による「低速度帯」と概ね一致している。

これらについて水理地質モデルを構築する観点から考察を行う。

7.1.1 黒土層

黒土層は火山灰起源と推定され地表面を覆うように分布している。これは地盤への降雨浸透を規制する要因となり得る。また、鉦さいたい積場内でも旧地形に沿って分布していると推定され、この場合、鉦さいを浸透した地下水の地盤への浸透や地盤から鉦さい中への地下水の浸出の双方に密接に関連してくることになる。

黒土層はシルトや粘土などの細粒分を主体としており、粒度組成の観点からは低透水性と考えられる。しかしながら、最近の地質時代の風成層であり上載荷重を被る堆積物がないこと、植物の根が発達していることから、ルーズで多孔質であるとも言える。露頭やコア試料では湿潤傾向であるが、露頭では黒土層からの湧水などは認められず、ボーリング孔でも黒土層の上下で水位の変化は認められない。これらの事から、黒土層は帯水層を区分するほどの低透水層とはなっていないものと推定される。したがって、水理地質モデルとしては考慮しないこととした。

7.1.2 堆積岩類の分布

一般的に泥岩の透水係数は風化花崗岩より1オーダー程度小さい。ところが、堆積岩類のうち泥岩と礫岩の透水係数は基本計画（JNC TN6410 2002-001）によれば風化花崗岩とほぼ同じ $1.0 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ オーダーとされている。これは、鉱さいたい積場周辺の堆積岩類が泥岩も含めて全体的に風化を被っているためであると考えられる。このように、透水係数からみると風化花崗岩と堆積岩類を一括して同じモデルとして扱うことが可能である。一方で、鉱さいたい積場周辺の堆積岩類は礫岩、砂岩および泥岩から構成されており、本来は水理的に不均質であったと考えられる。一般的に地下水流動解析を行う場合には、これらの不均質さや堆積岩特有の水理的異方性が問題となることが多い。そこで、将来、異方性などが課題となった場合にモデルを修正することなく物性値の与え方だけで対処できるように、堆積岩類と風化花崗岩は区別してモデル化することとする。

7.1.3 F-1孔における「脆弱花崗岩」

F-1孔においては既存ボーリングに比べて新鮮花崗岩の分布深度が深くなっている。これは新鮮岩と風化花崗岩との間に「脆弱花崗岩」が分布していることによる。脆弱花崗岩は色調では新鮮岩と類似しているが、全体に脆くなっていることが特徴である（図7.1-1）。

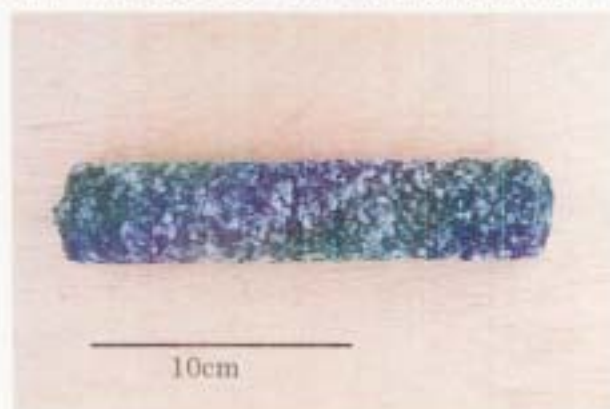


図 7.1-1 脆弱部のコア試料

F-1孔では新鮮花崗岩に割れ目が発達しており、緑黄色の割れ目充填鉱物を伴っている。この割れ目充填鉱物は脆弱部にも認められる。深度37m付近から採取した割れ目充填鉱物を主体とした試料を採取し、X線回折分析により分析したところ、花崗岩を構成する鉱物以外に熱水に由来する鉱物として東沸石、モンモリロナイトおよび方解石が認められた（図7.1-1）。

これらのことから、脆弱部は熱水変質を被っていることが明らかとなった。なお、X線回折分析では風化生成鉱物を確認できなかったが、ある程度の機械的風化も被っているものと推定される。

脆弱部の透水係数は $8.98 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ で風化花崗岩と同じオーダーである。このような比較的高透水部が新鮮岩中に存在すると、その構造によっては地下水の通り道となり、鉱さいたい積場の安全評価上問題となる可能性がある。上述したようにこの脆弱部は割れ目やそれに伴う熱

水変質と関係している。そこで、割れ目の分布性状から脆弱部の分布を考察する。池河川の河床に認められた割れ目の中で最も本数の多い割れ目は前述したように N60~90W で高角度のものである。また、露頭の範囲で連属性の良い割れ目は N30E60W である。これらのうち後者は F-1 孔を通る旧沢地形の方向と概ね一致しており、沢の方向に沿って風化の深い部分が連続している可能性がある。これは、既往資料で鉦さいダムから右岸にかけて「リニアメント」として図示されている方向とも一致する。

この熱水変質部ないし脆弱部が仮に旧沢地形の方向に分布しているとすると下流部に向かう地下水の通り道となることも考えられる。しかしながら、今回、比抵抗探査では解析領域の縁辺であったことや偽像の影響でこれらの連続性については明らかでなく、規模についても判断する材料が見当たらない。したがって、現時点でこれらの分布を推定することは難しい。

以上のことから脆弱花崗岩を独立した地質区分とはせず、便宜的に透水係数が同じオーダーである風化花崗岩に含めることとし、F-1 孔近傍で風化花崗岩が厚く新鮮花崗岩の分布深度が深くなっているとみなしてモデルを作成した。

7.1.4 左岸部の構造

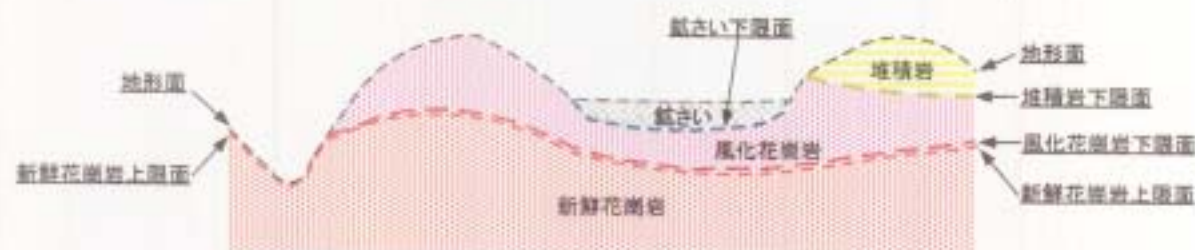
前掲図 5.4-4 と図 5.4-5 に比抵抗分布と推定地質断面を示す。これらの図に示したように、鉦さいたい積場左岸において、既往の弾性波探査で低速度帯とされている箇所では低比抵抗部が落ち込んで左岸山側へ傾斜するような構造が認められた。この落ち込みを境に新鮮花崗岩に対応する 2000 Ω m 以上の高比抵抗域が 10m 以上ずれて山側で高く鉦さいたい積場側で低くなっているように見える。一般的に花崗岩中の低比抵抗部は断層、変質帯あるいは風化帯であることが多い。このうち風化帯は地形に沿って層状に分布するため、この落ち込み部は断層か変質帯である可能性が高いと考えられる。既往の調査では弾性波の低速度帯とたい積場左岸に沿ったリニアメントから断層の可能性が示唆されている。しかしながら、上流側の I-3 測線や No.1 測線では類似の構造は認められない。低比抵抗の落ち込みがどのような地質状況であるかを判断するにはボーリングにより直接試料を採取する必要があるが、現時点ではその性状や分布を推定することは難しい。

以上のことから、左岸部の低比抵抗帯の成因には踏み込まず、鉦さいたい積場の左岸に沿って風化花崗岩が単に厚くなり新鮮花崗岩の分布深度が深くなっているものとしてモデルを作成した。

7.2 水理地質モデルの構成要素

水理地質区分は比抵抗値に明瞭なコントラストがある鉦さいと新鮮花崗岩およびそれらの中に分布する風化花崗岩の 3 区分を基本とした。ただし、前節で述べたように水理地質区分として堆積岩は重要な要素となる可能性がある。そこで、探査測線の縁辺部のため比抵抗分布では不明確ではあるが、地表踏査結果と既往文献を参考に堆積岩モデル化し、これを含めた 4 区分

とした。この4区分の地質を反映するため、5つの地層境界形状のモデルを作成した。4つの水理地質区分と5つの境界モデルとの関係を模式的に図7.2-1に示す。



*下線を付した境界面が作成したモデルである

図 7.2-1 水理地質区分と地層境界モデルの関係

水理地質区分は上位から鈳さい、堆積岩、風化花崗岩及び新鮮花崗岩の4層であるが、各地層はそれぞれの上限面と下限面とで挟まれた部分として表現される。すなわち、たとえば、鈳さいは地形面と鈳さい下限面で挟まれた部分であり、風化花崗岩は地形面、鈳さい下限面及び堆積岩下限面のいずれかを上限とし、風化花崗岩下限面に挟まれた部分である。したがって図7.2-1に示したとおり、地形面を基にすると上位の地層から層序の順に下限面を作成していけばすべての地層は下限面同士で表されることになる。ただし、新鮮花崗岩下限面はモデルの下方境界である。また、地表地質分布を表現する必要性から新鮮花崗岩は上限面モデルを作成した。新鮮花崗岩上限面モデルは新鮮花崗岩が地表に露出している場所以外は風化花崗岩の下限面に一致している。

なお、黒土層は前述したように地表部を覆っているが層厚が薄いことと難透水層とは考えにくいことからモデルには反映しない。また、前述したようにF-1孔の脆弱部とたい積場の左岸の低比抵抗の落ち込み部は、性状や分布が明らかでないため特に独立した地質区分とはせず、風化花崗岩に含めた。

7.3 モデルの作成方法

電気探査とボーリング調査および地表踏査結果から鈳さいたい積場周辺の3次元地質構造モデルを作成した。モデル作成の手順を図7.3-1に示す。

まず、3次元の比抵抗分布から主要断面の比抵抗分布図を作成した。今回は電気探査の測線(I-1~4、II-1~2)と平成13年度に掘削したE孔を通る縦断面と横断面および既往弾性波探査側線(No.1、No.2)の10測線をモデル作成用の地質断面とした。

これらの断面上でボーリングや地表踏査結果を加味して解釈した断面図を作成した。作成された地質断面図の地層境界をラインデータとして3次元地質モデリングシステムVULCANに入力し、地質構造の3次元モデルを作成した。VULCANはオーストラリアで開発されたソフトウェアで、鈳山での地質モデル作成、鈳量計算、施設レイアウト等に広く利用されているモ

デリングツールである。

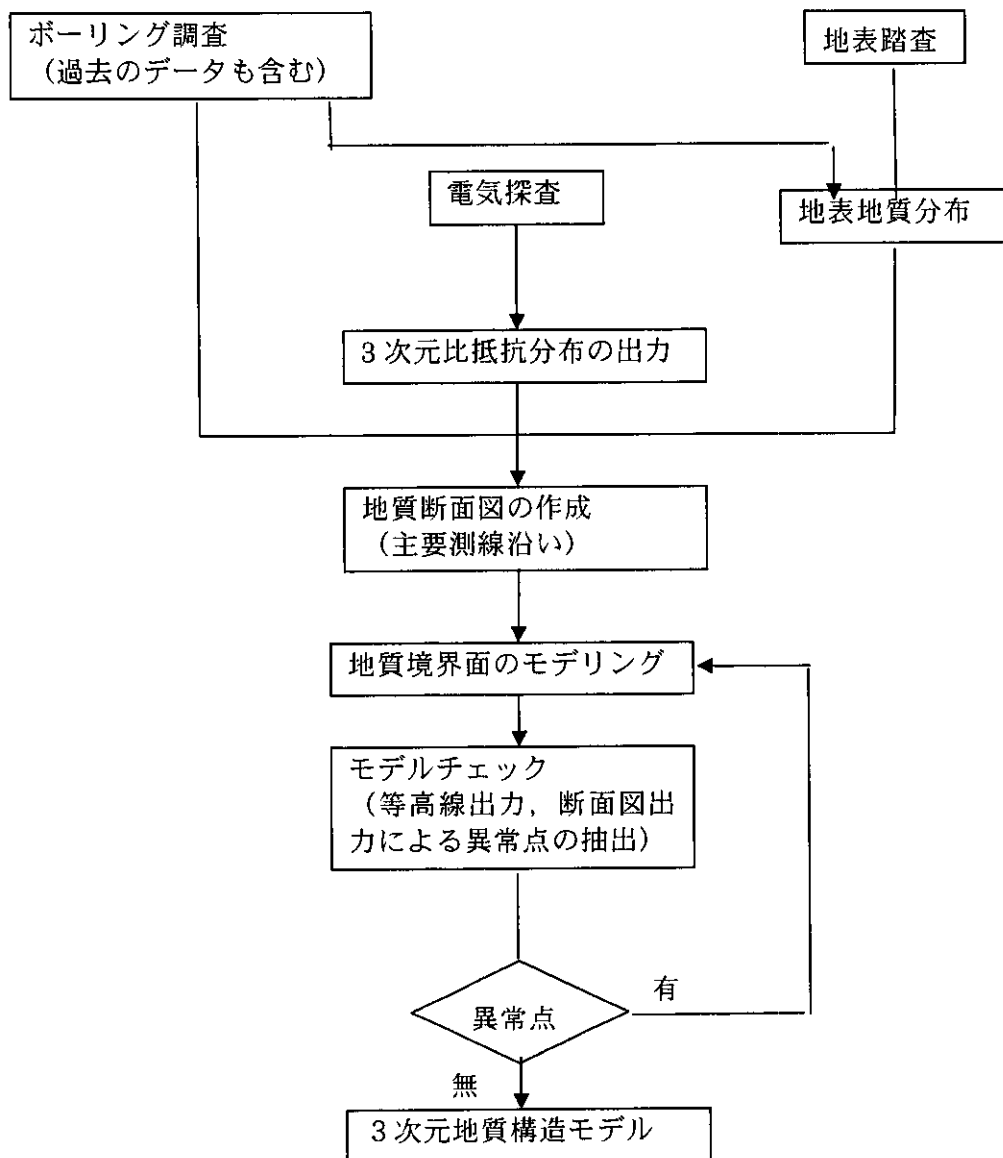


図 7.3-1 地質構造モデルの作成手順

断面上のラインデータから3次元モデルを作成する場合、ラインデータ間を数学的に補間する必要があるが、ここでは地層などの複雑な形状に適用可能なデローネイの三角網法による補間を行った。ただし、今回は、風化層など地質境界が地形の形状に影響されるため、単純に測線間を補間しただけでは地層境界が地形面と交差してしまうため、地表地質分布やボーリングデータなどを参考として適宜ダミーのラインやポイントを追加した。

地形面および地層境界面 2m は四方の格子モデルとして作成した。これは、モデル領域の大きさや電気探査の精度およびコンピュータ処理上の動作性を勘案した結果である。

7.4 3次元地質モデル作成結果

作成した3次元モデルと入力物性値としての透水係数を表7.4-1に示す。また、モデル形状の概念図を図7.4-1に作成した3次元モデルの事例を鳥瞰図として図7.4-2～図7.4-6に示す。

表 7.4-1 地質構造モデルの構成要素

名 称	含まれる地質	性 状	透水係数 (m/s)	モデル形状
地形	—	—	—	地形面
鉱さい	鉱さい	軟質な砂と粘土	5.28×10^{-7} *1)	鉱さい下限面
堆積岩	礫岩, 砂岩, 泥岩	地表部では軟質風化, 新鮮部の有無, 性状は不明	2.12×10^{-7} *2)	堆積岩下限面
風化花崗岩	表土, 黒土層, 強風化花崗岩, 風化花崗岩, 脆弱花崗岩	マサ状風化ないし難質化	6.31×10^{-7} *3)	風化花崗岩下限面
新鮮花崗岩	新鮮花崗岩(低速度帯)(低比抵抗部)	硬質の花崗岩	2.12×10^{-8} *4)	風化花崗岩下限面と地形面をマージ

*1)H13年度室内試験による対数平均値(表3.2.2参照)

*2)基本計画に示された泥岩と礫岩の対数平均値

*3)既往および今回データの強風化花崗岩, 風化花崗岩および脆弱部の対数平均値

*4)既往および今回データの対数平均値(表3.2.2参照)

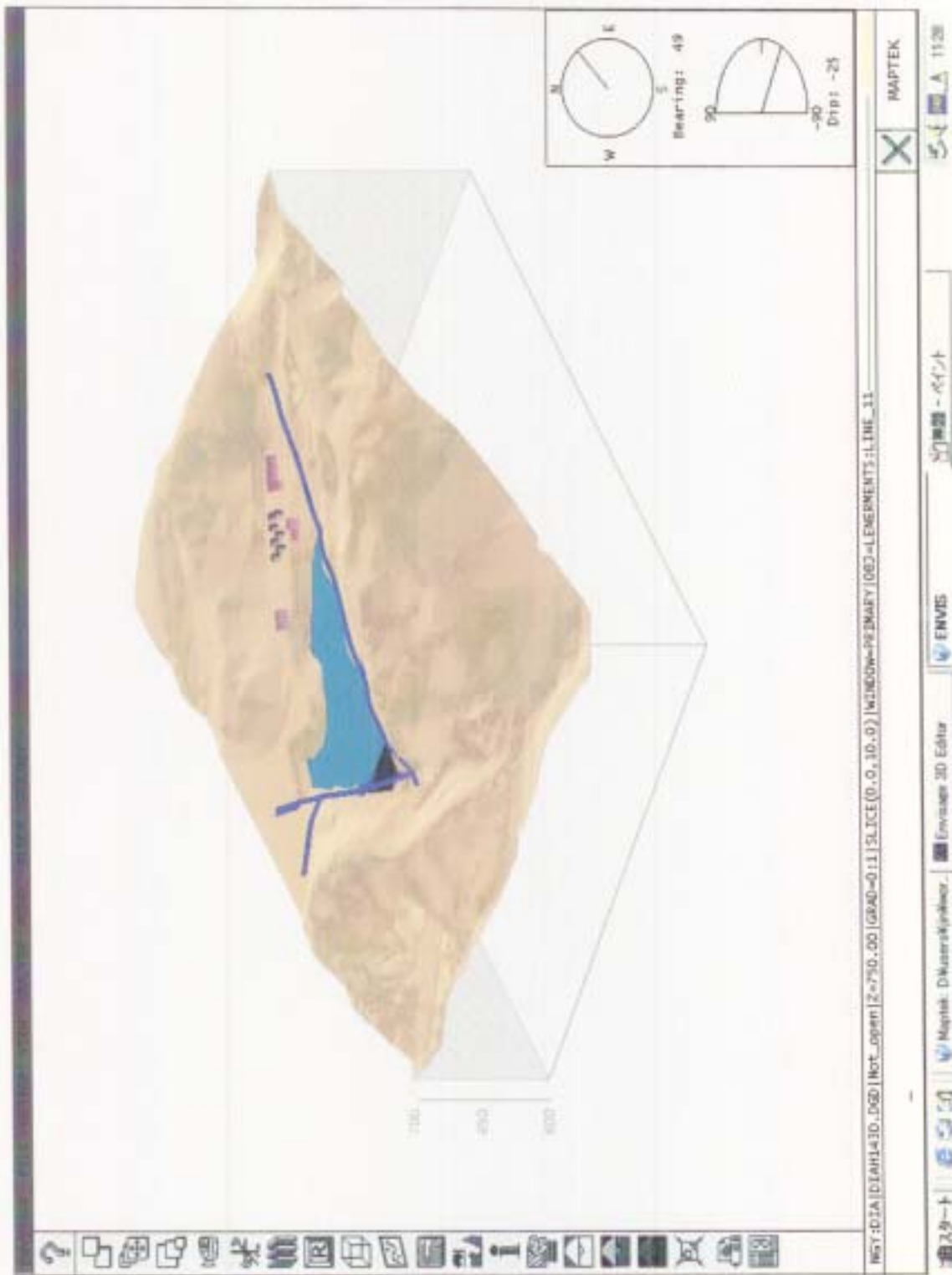


図 7.4-2 地形と既往調査による「リニアメント」

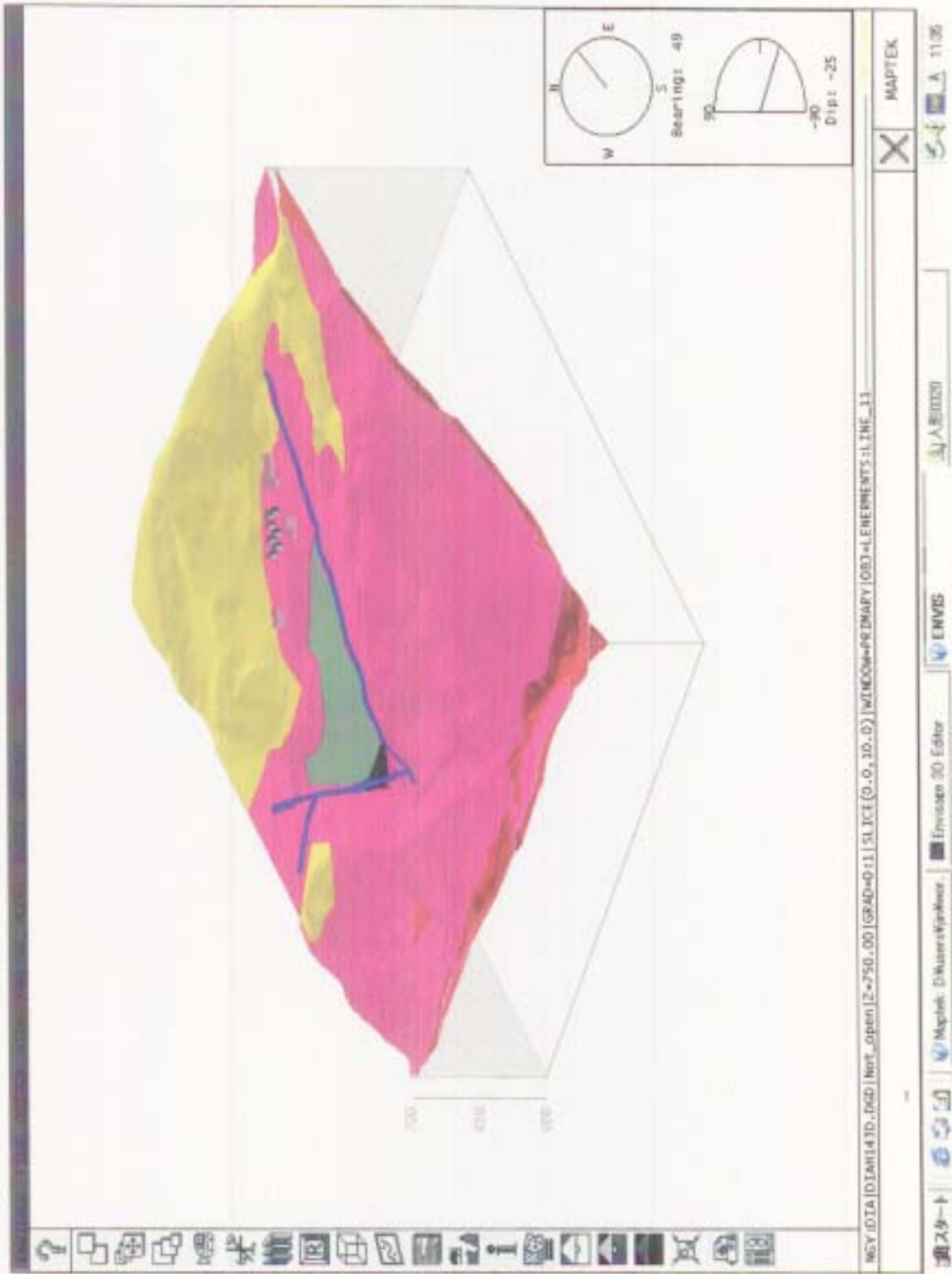


図 7.4-3 地表地質分布 (青線は「リアメント」)

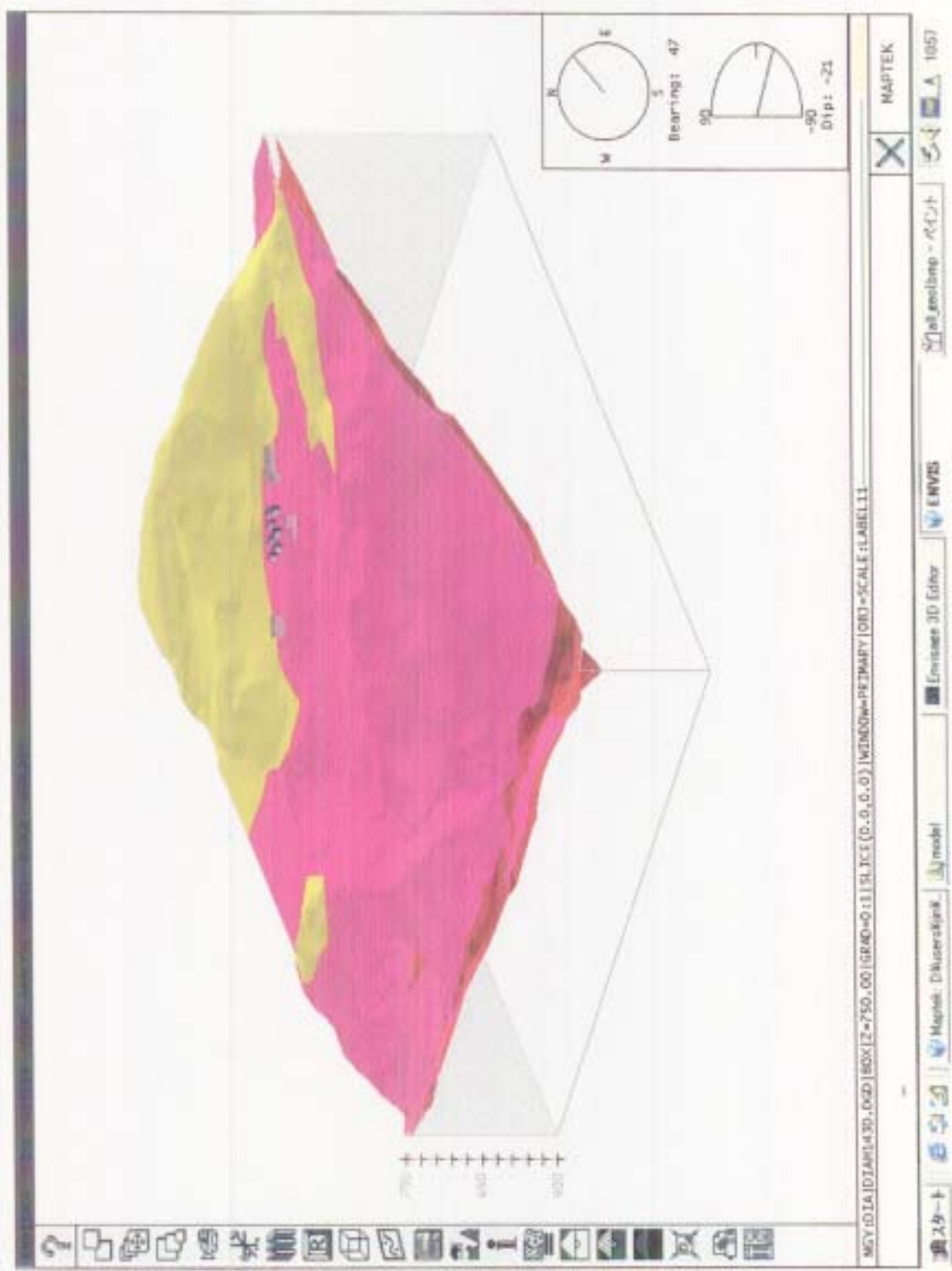


図 7.4-4 堆積岩の分布（鉱さいを剥いだ状態）

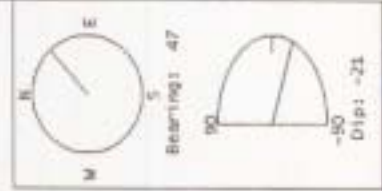
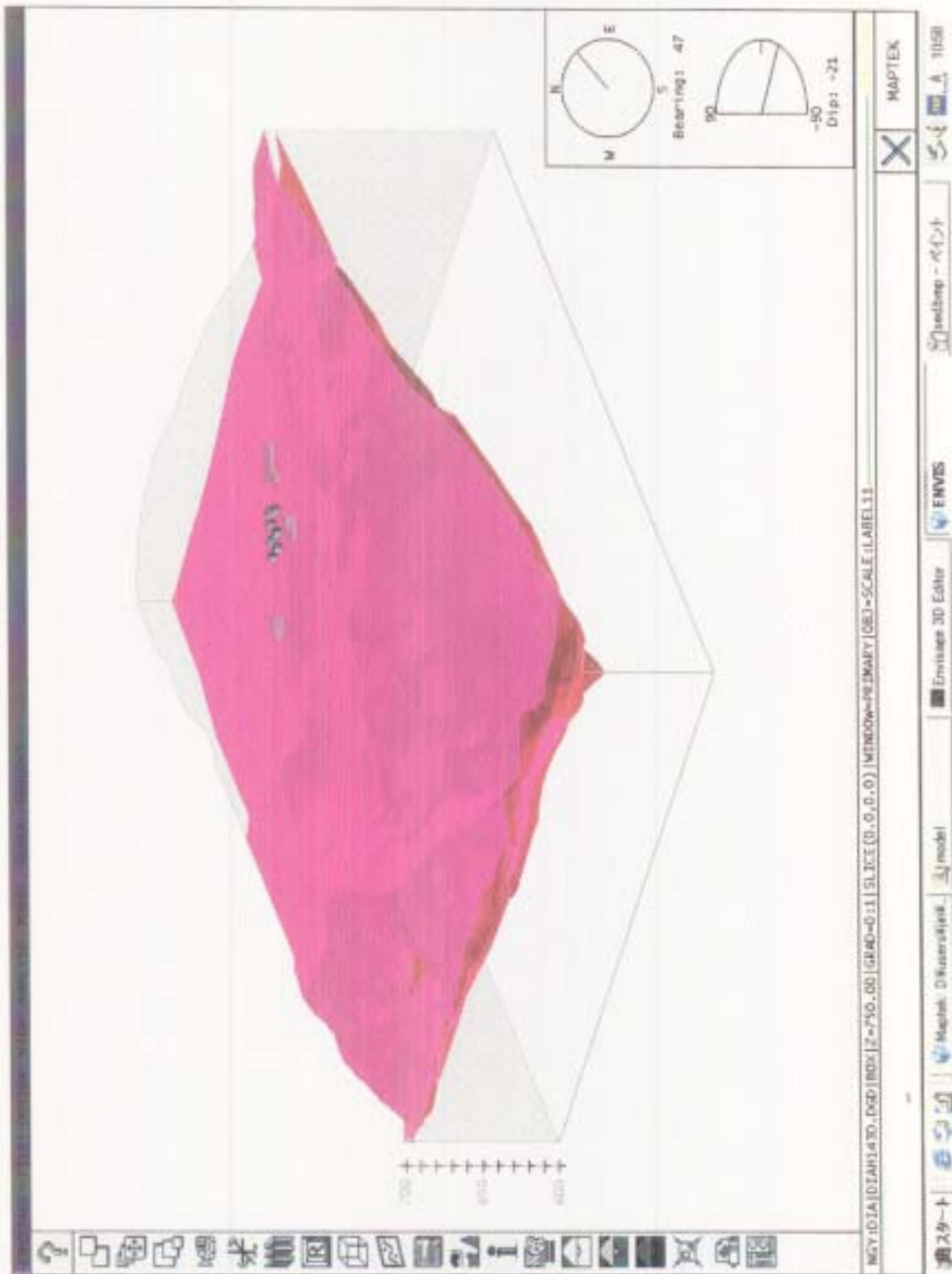


図 7.4-5 風化花崗岩の分布 (堆積岩を剥いだ状態)

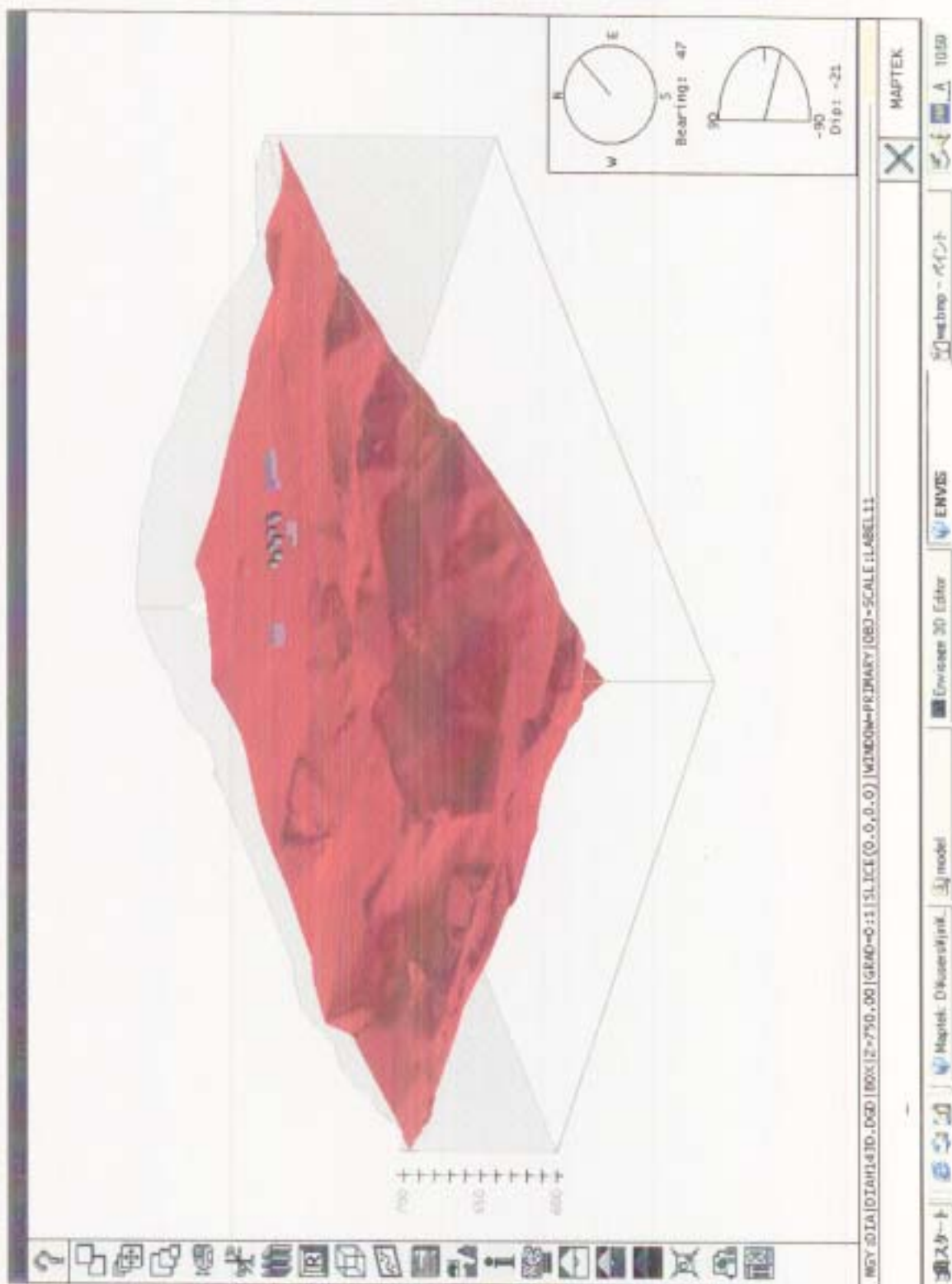


図 7.4-6 新鮮花崗岩の分布 (風化花崗岩を剥いだ状態)

8. まとめと今後の課題

8.1 まとめ

鉱さいたい積場における鉱さいのたい積状況と周辺の地質状況を把握することを目的としてボーリング調査と比抵抗電気探査を実施し、地下水解析に反映可能な地質構造の3次元モデルを作成した。

ボーリング調査の結果、風化花崗岩の下に割れ目の卓越部に由来する比較的高透水性の「脆弱部」が認められた。この「脆弱部」は熱水変質を被っており電気検層の結果から100Ωm以下の低比抵抗を示し透水係数も $1 \times 10^{-7} \text{m/s}$ のオーダーで風化花崗岩と大きな差は認められない。しかし、今回の調査結果では「脆弱部」の分布形状や方向性を特定することはできなかったため、地質構造モデルでは風化花崗岩に含めボーリング孔周辺のみで風化花崗岩が厚くなるようなモデルとした。

比抵抗探査の結果、比抵抗値から鉱さい、風化花崗岩ないし堆積岩および花崗岩の3層が区分され地質分布の概要が把握できた。また、鉱さいたい積場左岸には花崗岩中に低比抵抗部の落ち込みが認められ、これは既往の屈折法探査による低速度帯と一致しており変質帯や断層である可能性が考えられる。

地表踏査の結果、たい積場への地下水は、主として左岸および右岸の尾根部から供給されていると推定され、たい積場の最上流（南東）側はやせ尾根となっており、保水量が小さいため、最上流部からの地下水の供給はあまり多くないと推定される。

比抵抗探査結果と地表踏査および既往資料から鉱さいたい積場周辺の3次元地質モデルを作成した。モデルは各地層区分の境界面として作成し、地表面、鉱さい下限面、堆積岩下限面、風化花崗岩下限面および新鮮花崗岩上限面の5つの境界面モデルからなる。

8.2 今後の課題

今回の調査で鉱さいたい積場周辺の地質分布、特に鉱さい、風化花崗岩および新鮮花崗岩の分布が把握できた。しかしながら、精度の良い地下水流動解析モデルを作成するためには以下の情報が不足している。

(1)左岸尾根の地質分布

比抵抗探査で低比抵抗帯が確認されたが、風化花崗岩か堆積岩であるか不明である。さらに、地下水流動解析において尾根部に境界条件を設定する場合、地下水位のデータが無いため、解析に支障をきたす恐れがある。地質分布の確認と兼ねて地下水観測孔を設定するためのボーリング調査を行うことが望ましい。

(2)堆積岩類の水理特性

鉱さいたい積場近傍での堆積岩の水理的性状が明らかでない。調査地近傍のたい積岩は概ね

風化して軟質化していると推定される。鉋さいたい積場の至近で地表からたい積岩と風化花崗岩までの連続的な透水試験を行い、堆積岩を水理的な観点からどのようにモデル化していくのかを検討する必要がある。

(3)「脆弱花崗岩」の分布と水理特性

F-1 孔では比較的深部まで透水係数が大きくなっている。これは割れ目の卓越や熱水変質に起因したものと考えられるが、たい積場への連続性次第では解析モデルに反映する必要がある。敷地周辺の花崗岩の割れ目と変質帯の分布や性状を調査してこれらの分布傾向を把握するとともに、比抵抗探査の範囲を広げて連続性の検討を行うことが望ましい。

(4)左岸の低比抵抗の落ち込み部の性状確認

左岸で確認された低比抵抗分布の落ち込みは断層や変質帯である可能性がある。仮に、断層や変質帯であった場合、連続性と水理性状によっては鉋さいたい積場周辺の地下水流動に影響を及ぼしている可能性がある。そこで、ボーリングにより性状を確認しておくことが望ましい。

(5)解析領域の検討

たい積場は3方を尾根に囲まれているが、解析の評価対象となるたい積場とモデル境界となり得る尾根との距離が短く、解析結果が与えた初期条件によって決まってしまう恐れがある。正確な初期条件を与えられれば良いが、尾根の水位などの精密なデータは取得されていない。そこで、初期条件の影響を排除する方法を検討する必要がある。具体的には十分大きな広域モデルで解析を行い、狭域モデルの境界条件を与えるなどの方法があるが、広域モデルや狭域モデルのモデル境界の設定など、不明確な部分が多い。モデル境界を設定するための感度解析なども場合によっては必要と考えられる。

やや広い範囲の解析モデルを構築する際には解析領域に応じた精度の地質構造を把握する必要がある。これには物理探査手法による簡易的な探査が有効と思われる。

なお、(1)で述べた尾根部を含めて、境界領域の地下水位が測定可能であれば、解析領域の検討は必ずしも必須ではない。

参考文献

- 1) 日本建設情報センター：“ボーリング柱状図作成要領(案)解説書” (1986)
- 2) 生瀬博之：“鉍さいたい積場の措置に関わる安全評価”, JNC TJ6410 2002-010 (2002)
- 3) 物理探査学会：“図解 物理探査”(1989)
- 4) 生瀬博之：“鉍さい安定化及び覆土に係る検討” (印刷中)
- 5) 日本学術振興会：“ウランーその資源と鉍物”, 朝倉書店 (1964)

卷末資料集

1/100 柱状図

標尺 (m)	標高 (m)	深度 (m)	柱状図	岩種区分	色調	硬軟	コア形状	割れ目の状態	風化質	記事	コア採取率 ← (%) 最大コア長 ← cm R Q D L [%]	岩級区分	孔内水位(測定)月日 (ルジオン)値	(ルジオン)試験				原位置試験(孔内水平載荷)	室内試験日	掘進速度 (cm/時)	掘進月日	コアチューブ/ピット	孔径 (mm)/孔壁保護	給圧 (kN・MPa)	回転数 (rpm)	送水圧 (MPa)	送水量 (l/分)	排水量 (l/分)		
														P - Q	P: 有効注入圧力 MPa	Q: 注入量 l/min/m	() : 換算ルジオン値												(()) : 限界圧力	
		631.40	38.60	風化花崗岩	帯黄灰白	D	a			28.60~38.00m: 脆弱な花崗岩 コアは棒状であるがコア僅せし、コア肌凹凸がある。手で鉱物粒を分離できるほど脆くなっている。 31.00~31.50m付近 長石がややピンク色を帯びる																				
				脆弱花崗岩	灰白	C	c																							
					淡黄灰白	C	e																							
		682.00	38.00				h																							
							i																							
							c																							
							e																							
							d																							
				花崗岩	灰白	B	b			38.00~39.50m: 花崗岩 コア肌が荒れ、割れ目が多い。																				
							a			39.50~45.00m: 新鮮花崗岩 粗粒の黒雲母-角閃石花崗岩。高角の割れ目に沿って黄緑色鉱物脈が付着。																				
							b			44.00~45.00m 黄緑色鉱物脈が発達し周囲の花崗岩が浸潤している。																				
							A			44.26m 幅5mmの灰白色脈 (角度60°)																				
							c																							
							a																							
							b																							
							c																							
							a																							
							b																							
							c																							
							B																							
		675.00	45.00				c																							

D/MC

D/DB

9/7
28.95

9/9
34.00

9/10
40.00

9/11
45.00

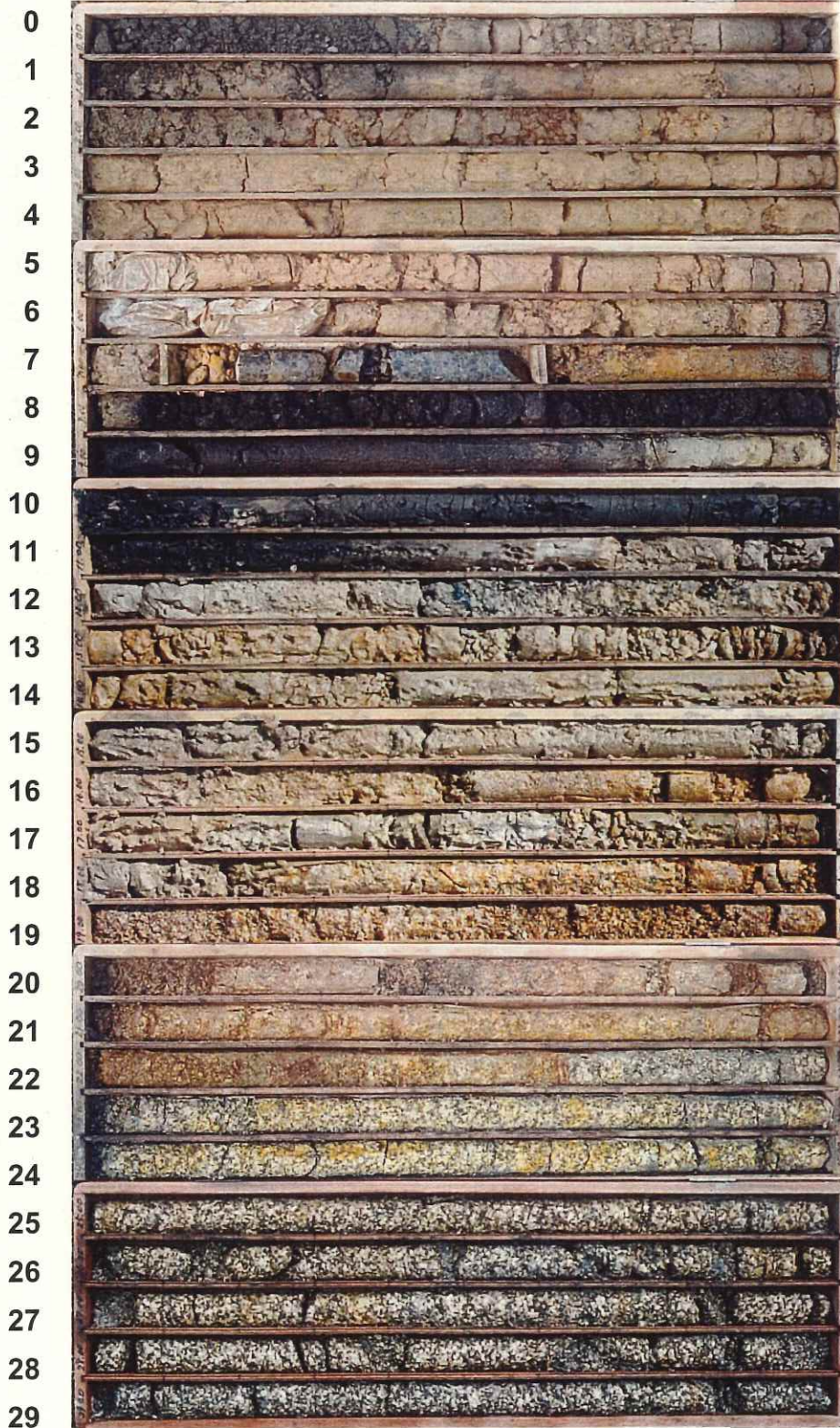
コア写真

件名：鉾さいたい積場周辺地質調査

孔名：F-1孔

深度：GL. - 00.00 m ~ - 30.00 m

(株)ダイヤコンサルタント



件名：鉾さいたい積場周辺地質調査
孔名：F-1孔
深度：GL. - 30.00 m ~ - 45.00 m
㈱ダイヤコンサルタント



現場写真



ボーリング調査地の施工前状況



ボーリング地点全景



掘削状況



試料水採水状況



掘削検尺



掘削検尺



非定常法による透水試験状況



低圧岩盤透水試験状況



低圧岩盤透水試験状況



掘孔状況



掘孔検尺



掘孔検尺



観測孔用塩ビ管全景



観測孔用塩ビ管挿入状況



細砂挿入状況



観測孔完成状況



電気検層状況



1-1 測線
展開状況



1-1 測線
展開状況



1-1 測線
展開状況



1-2 測線
展開状況



1-2 測線
展開状況



1-2 測線
展開状況



I-3測線
電極設置



I-3測線
スキャナー



I-3測線
展開状況



I-4 測線
展開狀況



I-4 測線
展開狀況



I-4 測線
展開狀況



Ⅱ-1 測線
ケーブル展開状況



Ⅱ-1 測線
ケーブル展開状況



Ⅱ-1 測線
ケーブル展開状況



電流側遠電極
設置状況



電位側遠電極
設置状況



遠電極



測定器



測定器



ボーリング孔内用
電極ケーブル



電極設置作業



II-1 測線
電極設置状況



電極設置作業

現場透水試験記録

ボーリング孔を利用した透水試験法（非定常法）

調査件名 鮎さいたい積場周辺地質調査

試験年月日

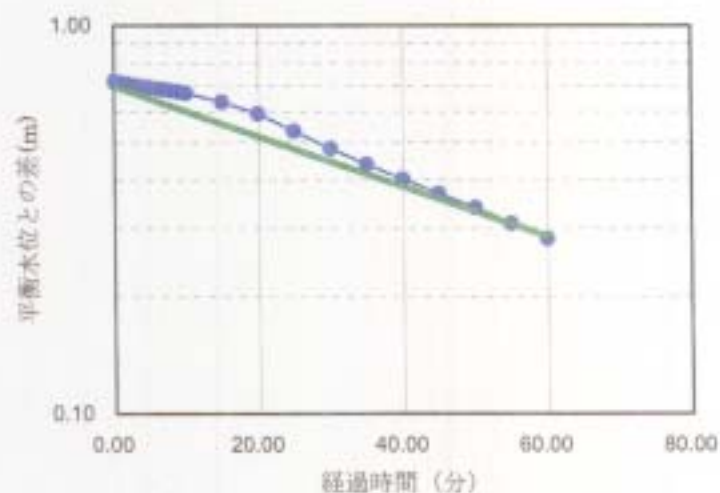
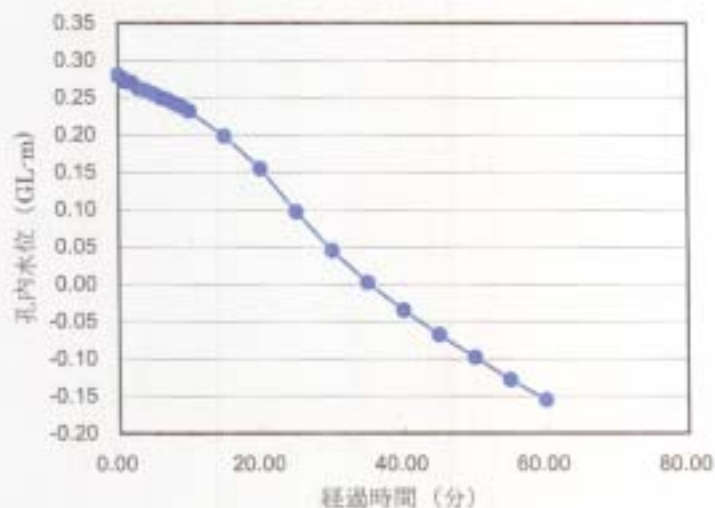
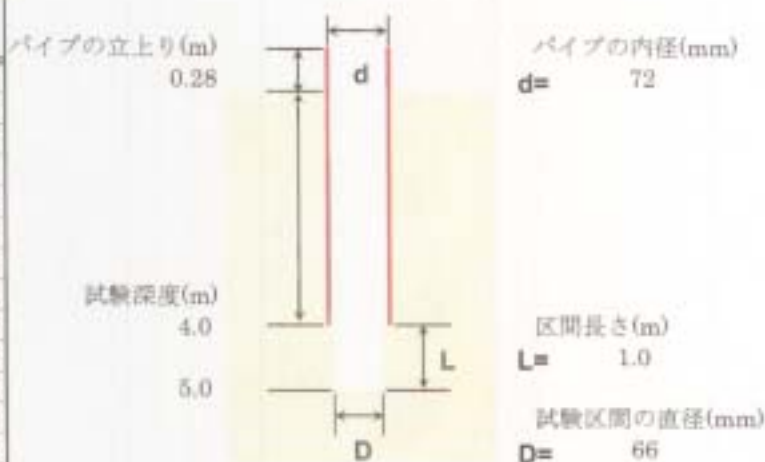
平成14年9月4日

試験深度 4.0m~5.0m

試験方法

注水法

経過時間 (分:秒)	パイプ上端 からの距離 (m)	孔内水位 (GL-m)	平衡水位 との差 (m)
0.00	0.00	0.28	0.72
0.25	0.00	0.28	0.71
0.50	0.00	0.28	0.71
0.75	0.01	0.28	0.71
1.00	0.01	0.27	0.71
1.50	0.01	0.27	0.71
2.00	0.01	0.27	0.71
3.00	0.02	0.26	0.70
4.00	0.02	0.26	0.70
5.00	0.03	0.26	0.69
6.00	0.03	0.25	0.69
7.00	0.03	0.25	0.68
8.00	0.04	0.24	0.68
9.00	0.04	0.24	0.67
10.00	0.05	0.23	0.67
15.00	0.08	0.20	0.63
20.00	0.13	0.16	0.59
25.00	0.18	0.10	0.53
30.00	0.24	0.05	0.48
35.00	0.28	0.00	0.44
40.00	0.32	-0.04	0.40
45.00	0.35	-0.07	0.37
50.00	0.38	-0.10	0.34
55.00	0.41	-0.13	0.31
60.00	0.44	-0.16	0.28
平衡水位(GL-m)			-0.44



$$k = \frac{0.66 d^2 \log(2L/D)}{L} m$$

d : 測定用パイプの内径 (mm)

D : 試験区間の直径 (mm)

L : 試験区間の長さ (m)

t : 経過時間 (s)

m : $\log s-t$ 曲線の直線部の勾配 (s^{-1})

t_2	60.00
s_2	0.28
t_1	0.00
s_1	0.72
m	1.1E-04

透水係数(m/s) **5.78E-07**

ボーリング孔を利用した透水試験法（非定常法）

調査件名 鉱さいたい積場周辺地質調査

試験年月日

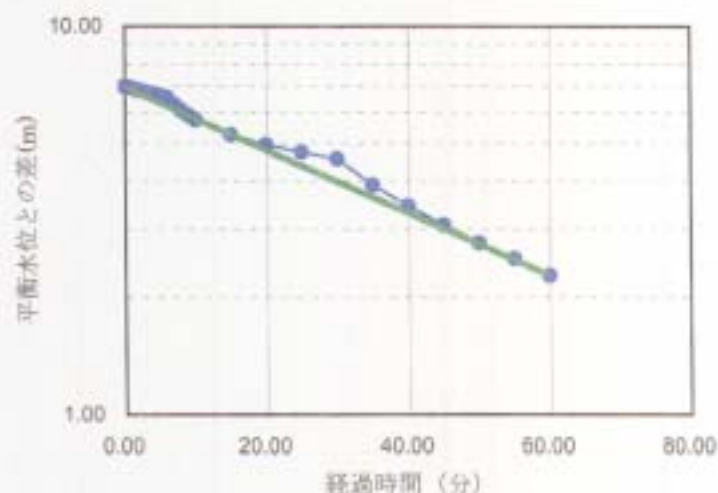
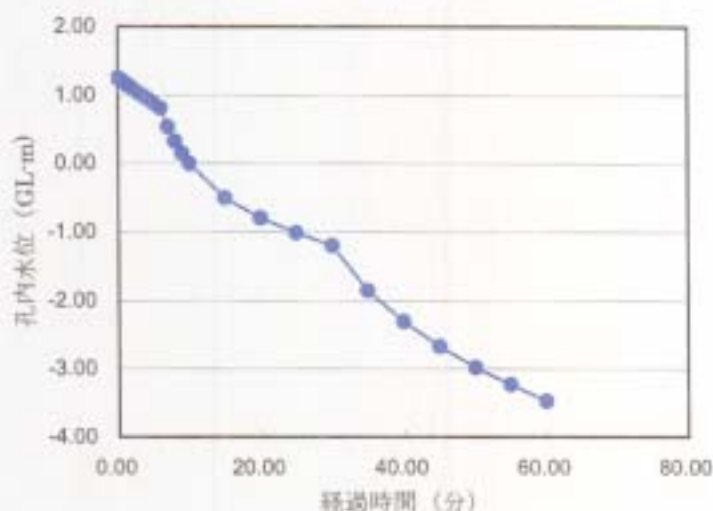
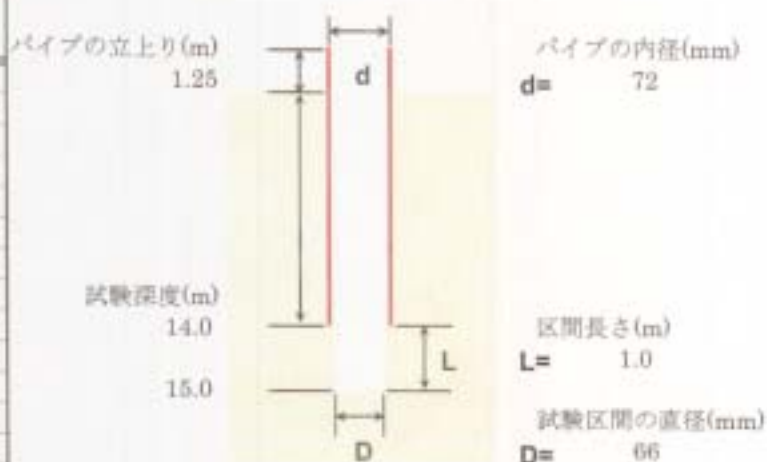
平成14年9月5日

試験深度 14.0m～15.0m

試験方法

注水法

経過時間 (分:秒)	パイプ上端 からの距離 (m)	孔内水位 (GL-m)	平衡水位 との差 (m)
0.00	0.00	1.25	7.00
0.25	0.02	1.24	6.98
0.50	0.03	1.22	6.97
0.75	0.05	1.20	6.95
1.00	0.07	1.19	6.93
1.50	0.11	1.15	6.89
2.00	0.14	1.11	6.85
3.00	0.22	1.03	6.78
4.00	0.29	0.96	6.71
5.00	0.37	0.89	6.63
6.00	0.44	0.82	6.56
7.00	0.71	0.54	6.29
8.00	0.92	0.33	6.08
9.00	1.10	0.15	5.90
10.00	1.25	0.00	5.75
15.00	1.75	-0.50	5.25
20.00	2.05	-0.80	4.95
25.00	2.26	-1.01	4.74
30.00	2.45	-1.20	4.55
35.00	3.10	-1.85	3.90
40.00	3.56	-2.31	3.44
45.00	3.92	-2.67	3.08
50.00	4.23	-2.98	2.77
55.00	4.48	-3.23	2.52
60.00	4.72	-3.47	2.28
平衡水位(GL-m)			-5.75



$$k = \frac{0.66 d^2 \log(2L/D)}{L} m$$

d : 測定用パイプの内径 (mm)

D : 試験区間の直径 (mm)

L : 試験区間の長さ (m)

t : 経過時間 (s)

m : $\log t-t$ 曲線の直線部の勾配 (s^{-1})

t_2	60.00
s_2	2.28
t_1	0.00
s_1	7.00
m	1.4E-04

透水係数(m/s) 6.86E-07

ボーリング孔を利用した透水試験法（非定常法）

調査件名 鉦さいたい積場周辺地質調査

試験年月日

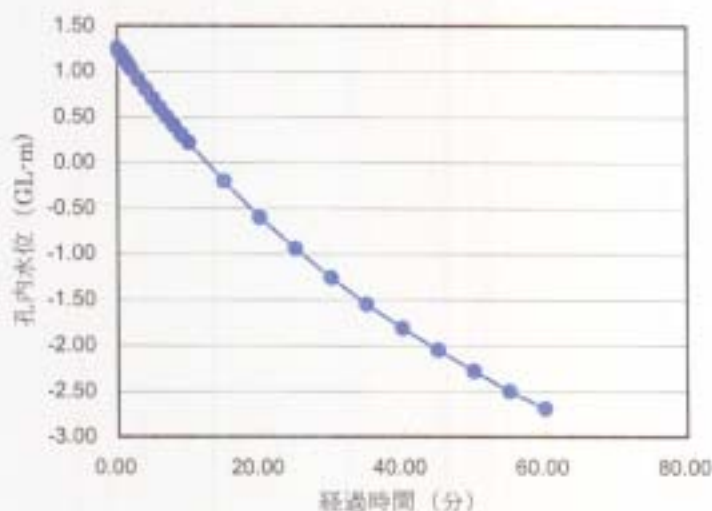
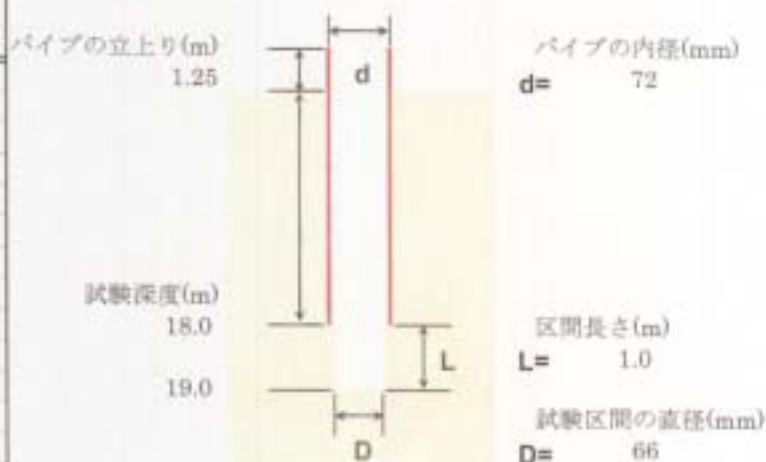
平成14年9月6日

試験深度 18.0m～19.0m

試験方法

注水法

経過時間 (分:秒)	パイプ上端 からの距離 (m)	孔内水位 (GL-m)	平衡水位 との差 (m)
0.00	0.00	1.25	5.62
0.25	0.04	1.21	5.58
0.50	0.04	1.21	5.58
0.75	0.08	1.18	5.54
1.00	0.11	1.15	5.51
1.50	0.17	1.09	5.45
2.00	0.22	1.03	5.40
3.00	0.34	0.92	5.28
4.00	0.44	0.81	5.18
5.00	0.55	0.70	5.07
6.00	0.65	0.60	4.97
7.00	0.75	0.50	4.87
8.00	0.84	0.41	4.78
9.00	0.94	0.31	4.68
10.00	1.03	0.22	4.59
15.00	1.45	-0.20	4.17
20.00	1.85	-0.60	3.77
25.00	2.19	-0.94	3.43
30.00	2.51	-1.26	3.11
35.00	2.80	-1.55	2.82
40.00	3.06	-1.81	2.56
45.00	3.30	-2.05	2.32
50.00	3.53	-2.28	2.09
55.00	3.75	-2.50	1.87
60.00	3.94	-2.69	1.68
平衡水位(GL-m)			-4.37



$$k = \frac{0.66 d^2 \log(2L/D)}{L} m$$

d : 測定用パイプの内径 (mm)

D : 試験区間の直径 (mm)

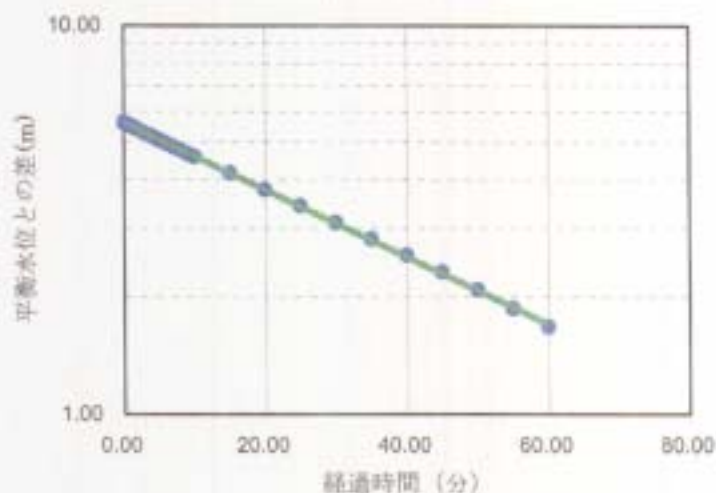
L : 試験区間の長さ (m)

t : 経過時間 (s)

m : $\log s-t$ 曲線の直線部の勾配 (s^{-1})

t_2	60.00
s_2	1.68
t_1	0.00
s_1	5.62
m	1.5E-04

透水係数(m/s) 7.38E-07



ボーリング孔を利用した透水試験法（非定常法）

調査件名 鉱さいたい積場周辺地質調査

試験年月日

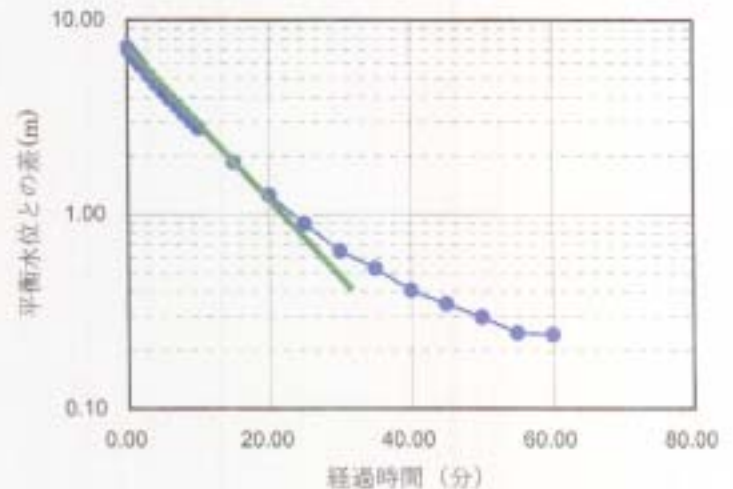
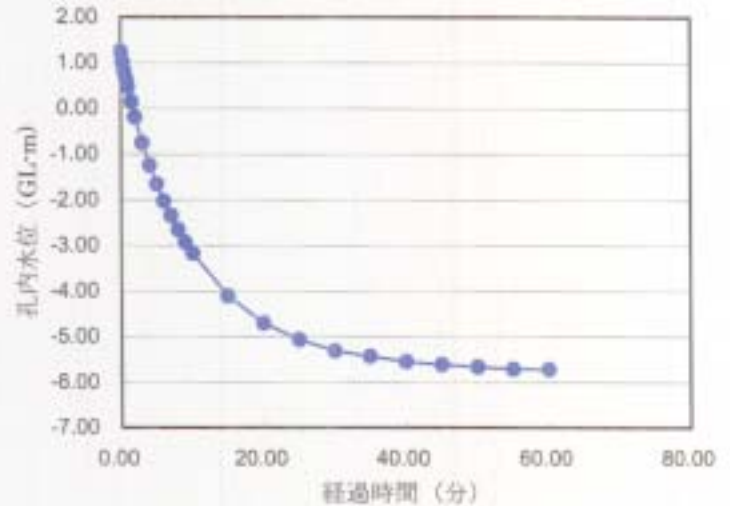
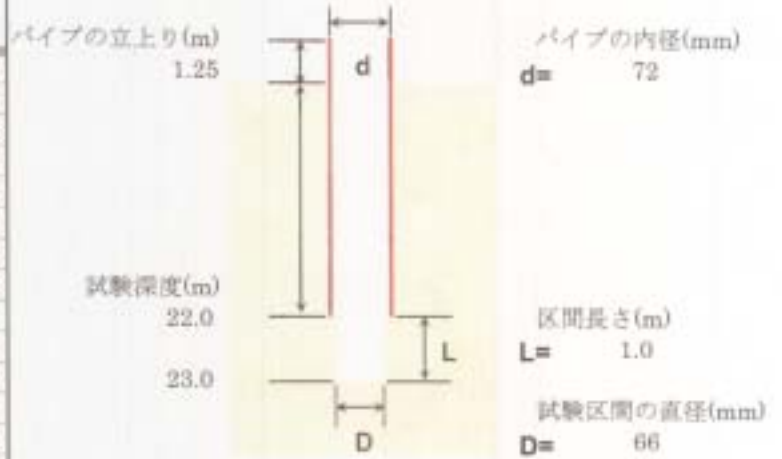
平成14年9月6日

試験深度 22.0m～23.0m

試験方法

注水法

経過時間 (分:秒)	パイプ上端 からの距離 (m)	孔内水位 (GL-m)	平衡水位 との差 (m)
0.00	0.00	1.25	7.20
0.25	0.23	1.03	6.98
0.50	0.42	0.83	6.78
0.75	0.60	0.65	6.60
1.00	0.77	0.48	6.43
1.50	1.10	0.15	6.10
2.00	1.44	-0.19	5.76
3.00	2.00	-0.75	5.20
4.00	2.49	-1.24	4.71
5.00	2.90	-1.65	4.30
6.00	3.27	-2.02	3.93
7.00	3.59	-2.34	3.61
8.00	3.90	-2.65	3.30
9.00	4.18	-2.93	3.02
10.00	4.42	-3.17	2.78
15.00	5.36	-4.11	1.84
20.00	5.96	-4.71	1.25
25.00	6.32	-5.07	0.89
30.00	6.56	-5.31	0.64
35.00	6.68	-5.43	0.52
40.00	6.80	-5.55	0.40
45.00	6.86	-5.61	0.34
50.00	6.91	-5.66	0.29
55.00	6.96	-5.71	0.24
60.00	6.97	-5.72	0.24
平衡水位(GL-m)			-5.95



$$k = \frac{0.66 d^2 \log(2L/D)}{L} m$$

d : 測定用パイプの内径 (mm)

D : 試験区間の直径 (mm)

L : 試験区間の長さ (m)

t : 経過時間 (s)

m : $\log s-t$ 曲線の直線部の勾配 (s^{-1})

t_2 15.00

s_2 1.84

t_1 10.00

s_1 2.78

m 6.0E-04

透水係数(m/s) 3.03E-06

ボーリング孔を利用した透水試験法（非定常法）

調査件名 鮎さいたい種場周辺地質調査

試験年月日

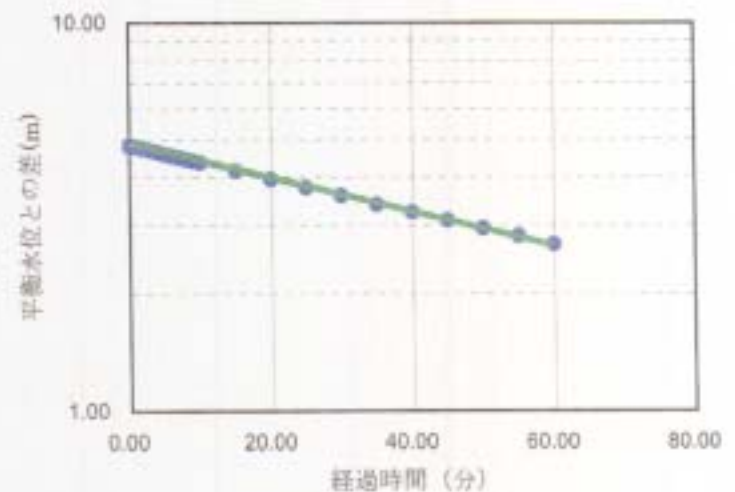
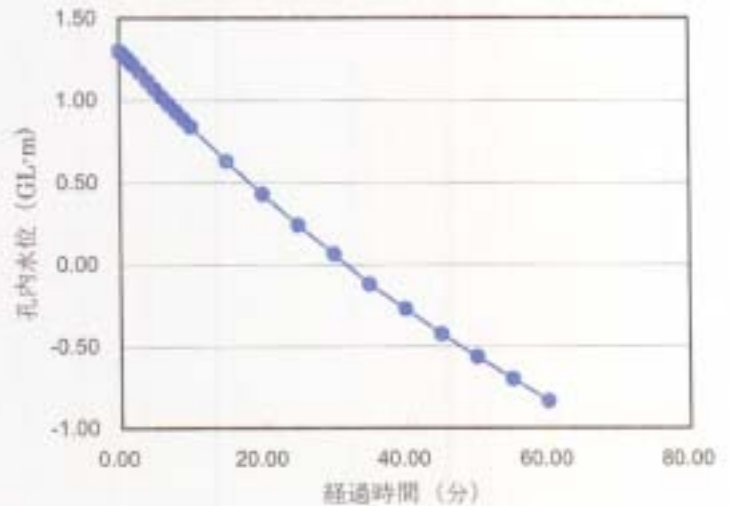
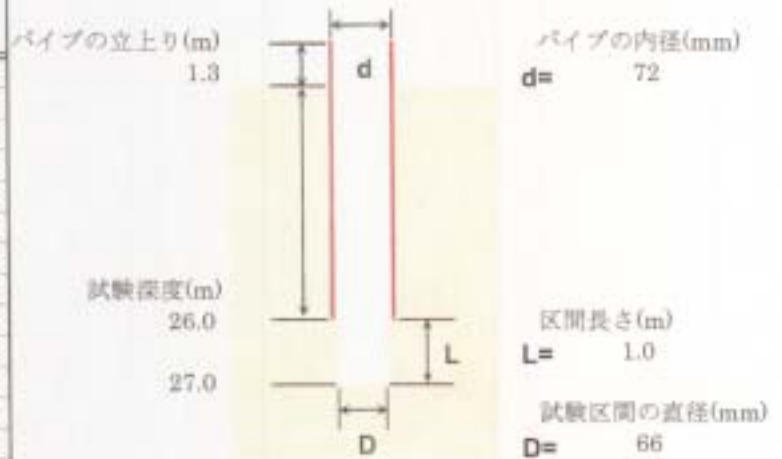
平成14年9月7日

試験深度 26.0m~27.0m

試験方法

注水法

経過時間 (分:秒)	パイプ上端 からの距離 (m)	孔内水位 (GL·m)	平衡水位 との差 (m)
0.00	0.00	1.30	4.81
0.25	0.00	1.30	4.81
0.50	0.02	1.29	4.80
0.75	0.03	1.27	4.78
1.00	0.04	1.26	4.78
1.50	0.06	1.24	4.75
2.00	0.08	1.22	4.73
3.00	0.13	1.17	4.68
4.00	0.18	1.12	4.63
5.00	0.23	1.07	4.58
6.00	0.28	1.02	4.53
7.00	0.33	0.98	4.49
8.00	0.37	0.93	4.44
9.00	0.42	0.89	4.40
10.00	0.46	0.84	4.35
15.00	0.67	0.63	4.14
20.00	0.87	0.43	3.94
25.00	1.06	0.24	3.75
30.00	1.24	0.06	3.58
35.00	1.42	-0.12	3.39
40.00	1.57	-0.27	3.24
45.00	1.73	-0.43	3.09
50.00	1.87	-0.57	2.95
55.00	2.00	-0.70	2.81
60.00	2.14	-0.84	2.68
平衡水位(GL·m)			-3.51



$$k = \frac{0.66 d^2 \log(2L/D)}{L} m$$

d : 測定用パイプの内径 (mm)

D : 試験区間の直径 (mm)

L : 試験区間の長さ (m)

t : 経過時間 (s)

m : $\log s-t$ 曲線の直線部の勾配 (s^{-1})

t_2	60.00
s_2	2.68
t_1	10.00
s_1	4.35
m	7.0E-05

透水係数(m/s) **3.55E-07**

ボーリング孔を利用した透水試験法（非定常法）

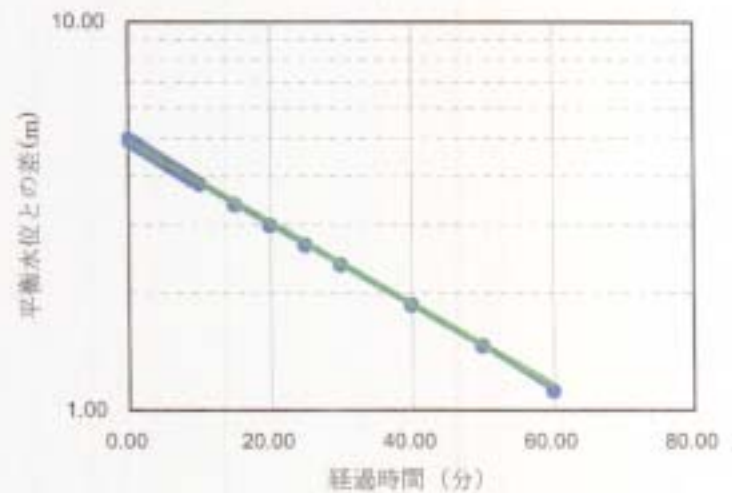
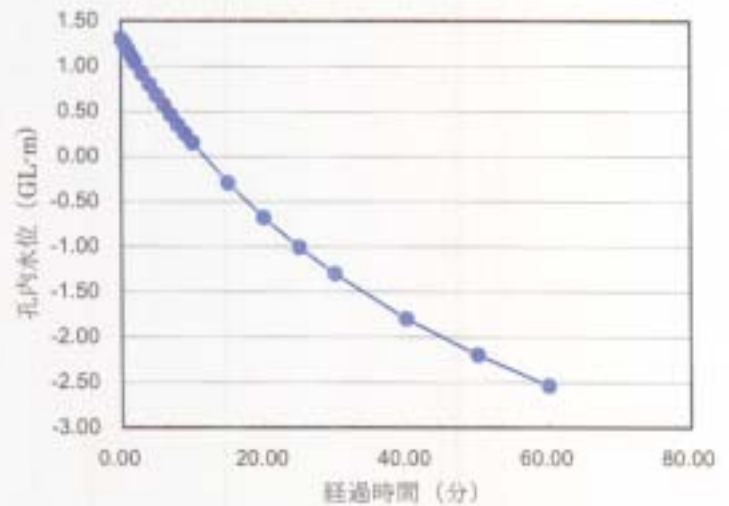
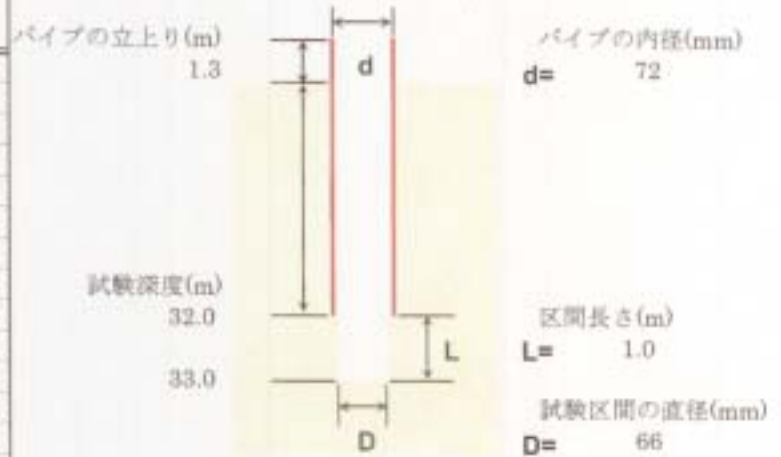
調査件名 鉱さいたい積場周辺地質調査

試験年月日 平成14年9月9日

試験深度 32.0m～33.0m

試験方法 注水法

経過時間 (分:秒)	パイプ上端 からの距離 (m)	孔内水位 (GL・m)	平衡水位 との差 (m)
0.00	0.00	1.30	4.96
0.25	0.02	1.28	4.94
0.50	0.05	1.25	4.91
0.75	0.09	1.21	4.87
1.00	0.12	1.18	4.84
1.50	0.19	1.11	4.77
2.00	0.26	1.04	4.70
3.00	0.38	0.92	4.58
4.00	0.51	0.80	4.46
5.00	0.62	0.68	4.34
6.00	0.73	0.57	4.23
7.00	0.84	0.46	4.12
8.00	0.95	0.35	4.01
9.00	1.05	0.25	3.91
10.00	1.15	0.15	3.81
15.00	1.60	-0.30	3.37
20.00	1.98	-0.68	2.98
25.00	2.31	-1.01	2.65
30.00	2.60	-1.30	2.36
40.00	3.10	-1.80	1.86
50.00	3.50	-2.20	1.46
60.00	3.84	-2.54	1.12
平衡水位(GL・m)			-3.66



$$k = \frac{0.66 d^2 \log(2L/D)}{L} m$$

d : 測定用パイプの内径 (mm)

D : 試験区間の直径 (mm)

L : 試験区間の長さ (m)

t : 経過時間 (s)

m : $\log s-t$ 曲線の直線部の勾配 (s^{-1})

t_2	60.00
s_2	1.12
t_1	10.00
s_1	3.81
m	1.8E-04

透水係数(m/s) 8.98E-07

ボーリング孔を利用した透水試験法（非定常法）

調査件名 鉱さいたい積場周辺地質調査

試験年月日

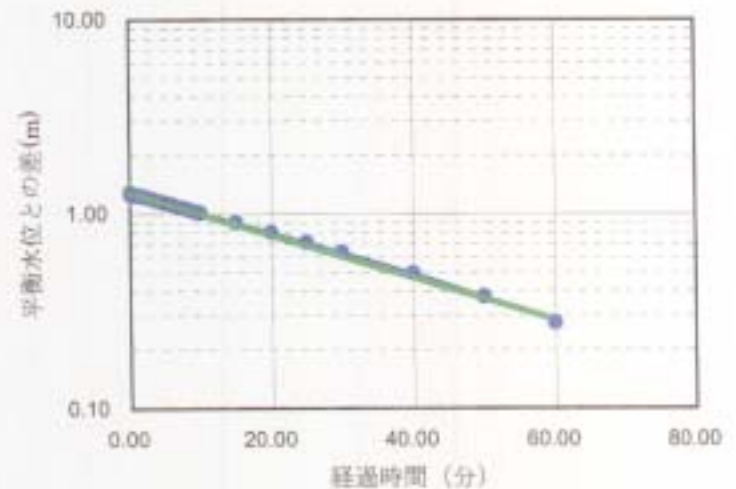
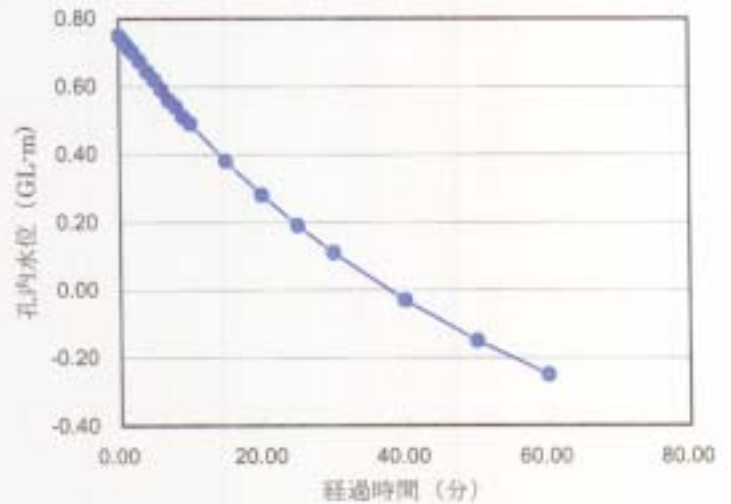
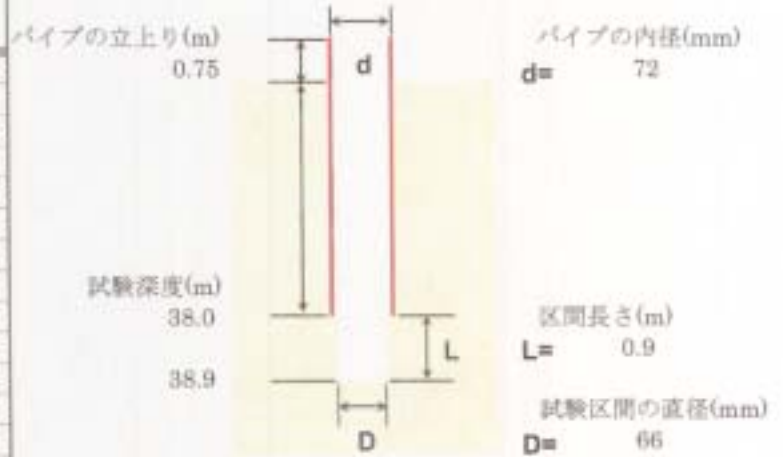
平成14年9月10日

試験深度 38.0m~38.9m

試験方法

注水法

経過時間 (分:秒)	パイプ上端 からの距離 (m)	孔内水位 (GL-m)	平衡水位 との差 (m)
0.00	0.00	0.75	1.28
0.25	0.01	0.75	1.27
0.50	0.01	0.74	1.26
0.75	0.02	0.73	1.26
1.00	0.03	0.72	1.25
1.50	0.04	0.71	1.24
2.00	0.05	0.70	1.23
3.00	0.08	0.67	1.20
4.00	0.11	0.64	1.17
5.00	0.13	0.62	1.15
6.00	0.16	0.59	1.12
7.00	0.19	0.56	1.09
8.00	0.21	0.54	1.07
9.00	0.24	0.51	1.04
10.00	0.26	0.49	1.02
15.00	0.37	0.38	0.91
20.00	0.47	0.28	0.81
25.00	0.56	0.19	0.72
30.00	0.64	0.11	0.64
40.00	0.78	-0.03	0.50
50.00	0.90	-0.15	0.38
60.00	1.00	-0.25	0.28
平衡水位(GL-m)			-0.53



$$k = \frac{0.66 d^2 \log(2L/D)}{L} m$$

d : 測定用パイプの内径 (mm)

D : 試験区間の直径 (mm)

L : 試験区間の長さ (m)

t : 経過時間 (s)

m : $\log s - t$ 曲線の直線部の勾配 (s^{-1})

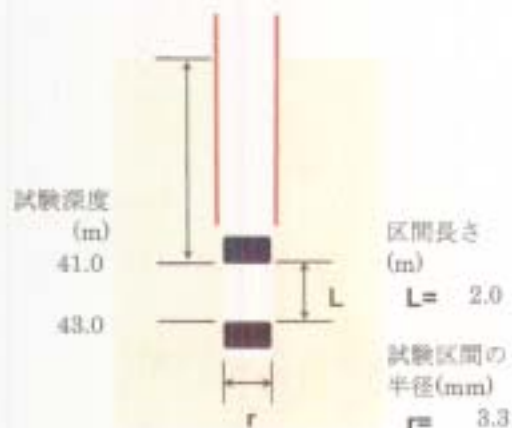
t_2	60.00
s_2	0.28
t_1	10.00
s_1	1.02
m	1.9E-04

透水係数(m/s) **1.02E-06**

ボーリング孔を利用した透水試験法（低圧岩盤透水試験）

調査件名 鉱さいたい積場周辺地質調査 試験年月日 平成14年9月11日
 試験深度 41.0m～43.0m 試験方法 低圧岩盤透水試験

注入圧力 (kgf/cm ²)	毎分水位変化(mm)					5分間平均 水位変化 (cm/min)	断面積 (cm ²)	注入量 (cm ³ /min)
	1	2	3	4	5			
4.221	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.03	74.39	76.6
4.416	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.46	74.39	108.6
4.687	1.9	1.9	1.7	1.6	1.8	1.78	74.39	132.4
4.794	2.4	2.4	2.6	2.4	2.4	2.44	74.39	181.5
4.992	1.6	1.5	1.6	1.6	1.5	1.56	145.5	227.0
5.190	1.8	1.8	1.9	1.6	1.8	1.78	145.5	259.0
4.996	1.5	1.5	1.5	1.4	1.5	1.48	145.5	215.3
4.799	1.2	1.3	1.2	1.3	1.2	1.24	145.5	180.4
4.624	2.1	2.0	2.0	2.1	2.0	2.04	74.39	151.8
4.418	1.4	1.6	1.6	1.6	1.7	1.58	74.39	117.5



$$k = \frac{Q}{2\pi L \Delta H} \ln \frac{L}{r}$$

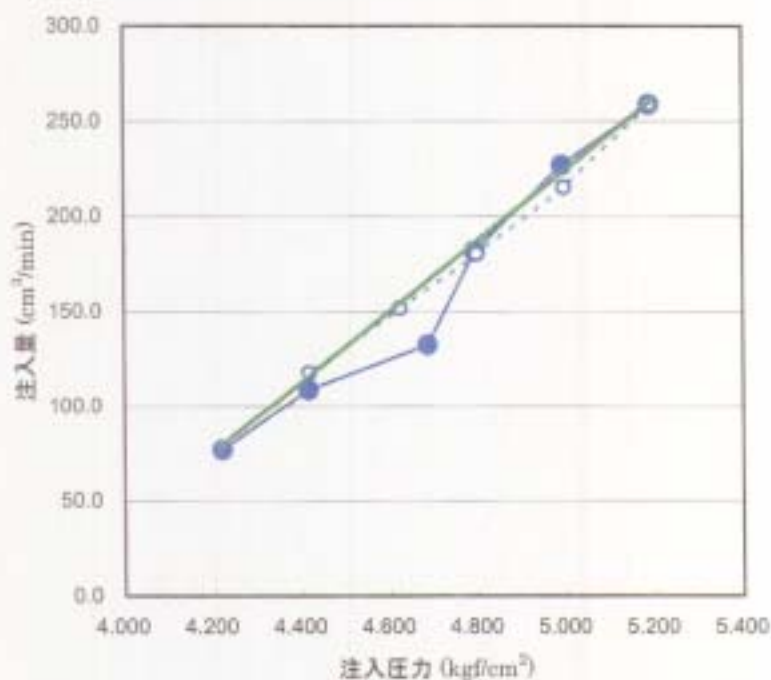
Q: 注入量

L: 試験区間の長さ

ΔH: 水頭差

r: 試験区間の半径

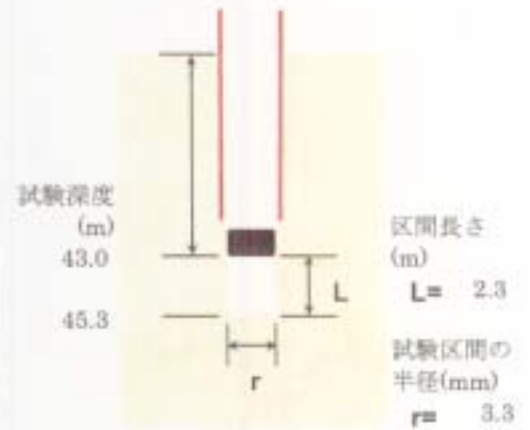
透水係数 (m/s) 1.03E-07



ボーリング孔を利用した透水試験法（低圧岩盤透水試験）

調査件名 鉦さいたい積場周辺地質調査 試験年月日 平成14年9月12日
 試験深度 43.0m～45.0m 試験方法 低圧岩盤透水試験

注入圧力 (kgf/cm ²)	毎分水位変化(mm)					5分間平均 水位変化 (cm/min)	断面積 (cm ²)	注入量 (cm ³ /min)
	1	2	3	4	5			
4.236	5.0	4.8	4.8	4.8	4.6	4.80	144.5	693.6
4.278	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.68	1034.5	703.5
4.350	0.9	0.7	0.9	0.8	0.7	0.80	1034.5	827.6
4.410	0.9	0.9	0.9	0.8	1.0	0.90	1034.5	931.1
4.474	1.1	1.0	0.9	1.0	1.0	1.00	1034.5	1034.5
4.540	1.1	1.1	1.0	1.1	1.1	1.08	1034.5	1117.3
4.502	0.9	1.0	0.9	1.0	1.0	0.96	1034.5	993.1
4.453	0.8	0.9	0.9	0.8	0.9	0.86	1034.5	889.7
4.393	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	0.74	1034.5	765.5
4.345	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.68	1034.5	703.5



$$k = \frac{Q}{2\pi L \Delta H} \ln \frac{L}{r}$$

Q: 注入量
 L: 試験区間の長さ
 ΔH: 水頭差
 r: 試験区間の半径

透水係数 (m/s) 7.73E-07

