

本資料は1999年11月18日付けで登録区分
変更する。

東濃地科学センター【研究調整グループ】

東濃鉾山周辺における花崗岩の水理学的特性調査(その2)

— AN-1,3号孔の割れ目特性調査 —

(昭和62年度成果報告)

1988年11月

動力炉・核燃料開発事業団
中部事業所 環境地質課

本文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下さい。

〒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

Inquiries 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)
1988

~~この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、限られた関係者だけに配布するものです。従って、その取扱には十分注意を払って下さい。なお、この資料の供覧、複製、転載、引用等には事業団の承認が必要です。また今回の配布目的以外のことには使用しないよう注意して下さい。~~

~~This document is not intended for publication. No public reference nor disclosure to the third party should be made without prior written consent of Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.~~

~~本資料についての問い合わ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所~~

~~技術協力部 技術管理室~~

東濃鉾山周辺における花崗岩の水理学的特性調査(その2)
— 岩芯を利用した花崗岩中の割れ目特性調査 —



— 目 次 —

1. はじめに	1
2. 昭和62年度調査	1
3. ボーリング調査位置及び地質概説	1
4. 調査方法	2
5. AN-1号孔における割れ目特性調査	10
6. AN-3号孔における割れ目特性調査	33
7. 調査結果と考察	40
8. 今後の調査計画と内容	42
9. 参考文献	44

1. はじめに

天然バリア（岩盤）における核種の挙動（移行・収着等）を評価するためには、花崗岩中の割れ目の性状、母岩の変質、割れ目充填鉱物を支配する水理的、地球化学的特性を総合的に把握し、岩盤の透水性による地質工学的岩盤評価及び核種移行評価を行う必要がある。現在、正馬様洞で実施されている試錐孔（AN-1, 2, 3号孔）・岩芯をもちいた調査は、岩盤の透水性に係わる評価手法の確立、地下水と岩盤との相互作用を把握し、地球化学的環境を評価する手法の確立、岩盤の透水性に主眼をおいた3次元的水理構造モデルの確立と検証、さらには、室内試験（Kd測定等）と原位置において測定された透水係数を総合的に解析し、核種移行評価を行うことを目的に調査研究を実施している。

尚、本研究の一部として、昭和62, 63年の2年間、「花崗岩における断裂系の特性調査と岩盤評価」に関して、電力中央研究所と共同研究を行っている。

2. 昭和62年度調査項目

花崗岩中の割れ目の形態、母岩の変質、割れ目充填鉱物を支配する力学的、水理的、地球化学的特性を把握し、岩盤の透水性による地質工学的岩盤評価を行うことを目的に、下記の調査を行った。

今回の重要な調査対象である割れ目には、変質帯を伴う割れ目帯、断層及び破碎帯、肉眼で認められる小規模な割れ目、マイクロフラクチャーが存在し、各割れ目の性状、割れ目充填鉱物及び変質形態により透水性が異なる可能性がある（第1図）。昭和62年度はAN-1, 3号孔を対象に割れ目の性状、母岩の化学組成の深度方向への変化（全岩分析）、割れ目充填鉱物の調査（X線回析実験・バルク無処理による充填鉱物の同定）、変質帯の岩石鉱物学的調査（X線回析実験・バルク無処理・定方位無処理・エチレングリコール処理・塩酸処理）と岩石化学的調査（全岩分析）を実施した。

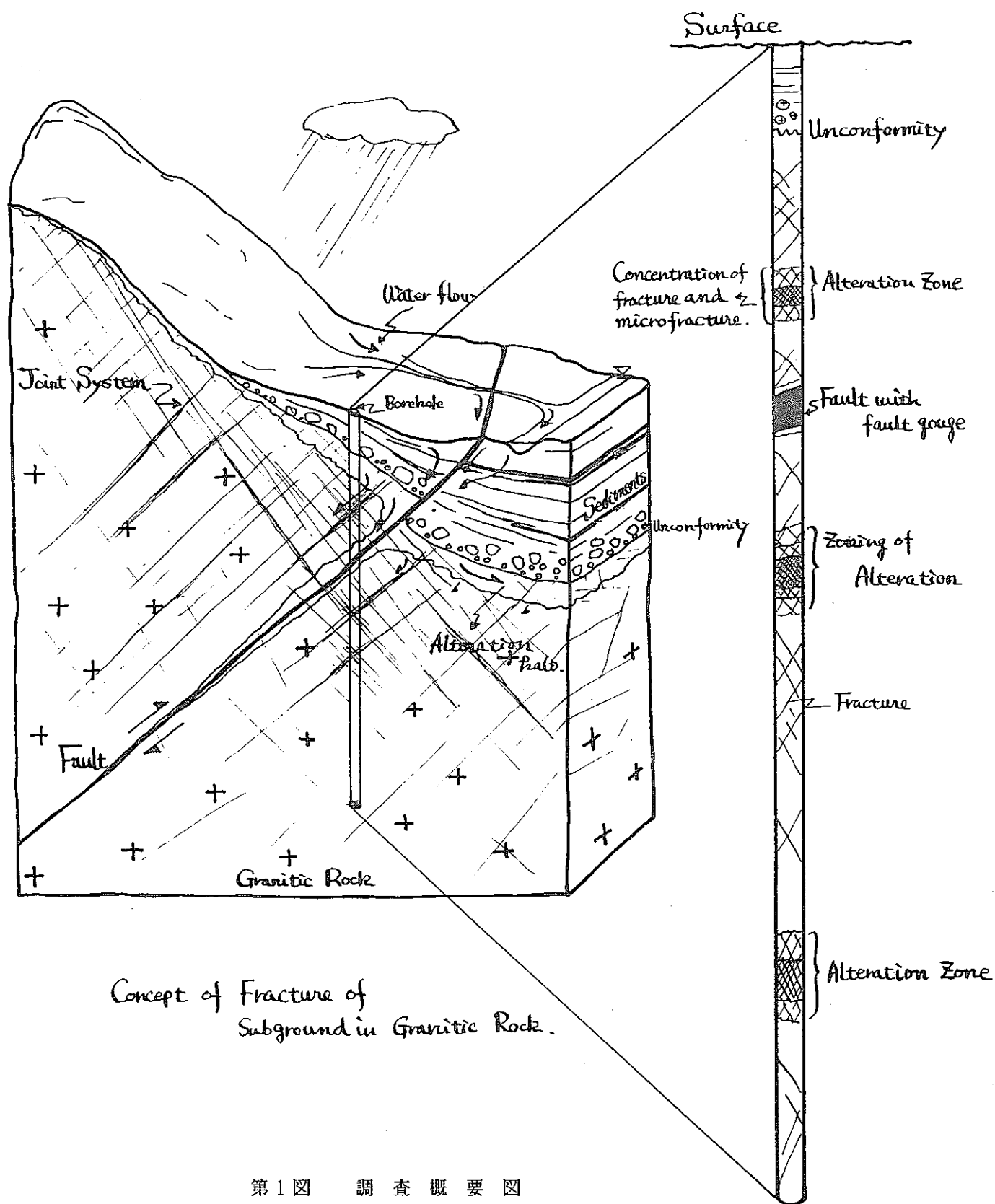
3. ボーリング調査位置及び地質概説

AN-1号をはじめとする深層ボーリングは、岐阜県瑞浪市明世町月吉字正馬様洞において実施している（第2図）。当調査地点は東濃ウラン鉱床の南東端にあたり新第三紀中新世の瑞浪層群が白亜紀後期花崗岩類を不整合に広く覆っている地域の一部にあたる。現在、正馬様洞では、結晶質岩層を対象に、AN-1号孔（560m垂直ボーリング）、AN-2号孔（180m垂直ボーリング）、AN-3号孔（408m垂直ボーリング）の3本の試錐を実施し、更に、昭和63年1月からはAN-号孔は1000mを目標に掘進中である（第3図）。

当地域の花崗岩類は、濃飛流紋岩と苗木型花崗岩の接触部に位置し土岐花崗岩と呼ばれている。掘削地点は土岐花崗岩体のほぼ中心部に位置し、岩相は主として細-中粒角閃石・黒雲母花崗閃緑岩からなる（第4図）。これらの花崗岩の構造については、東濃ウラン鉱床周辺地区の基盤花崗岩深度及び地質構造の推定を目的に地震探査及び電気探査等の調査が実施されている（杉山, 1966）。しかし、花崗岩中における割れ目・変質あるいは地下水等の調査報告はなく、基盤岩節理解析報告があるのみである。

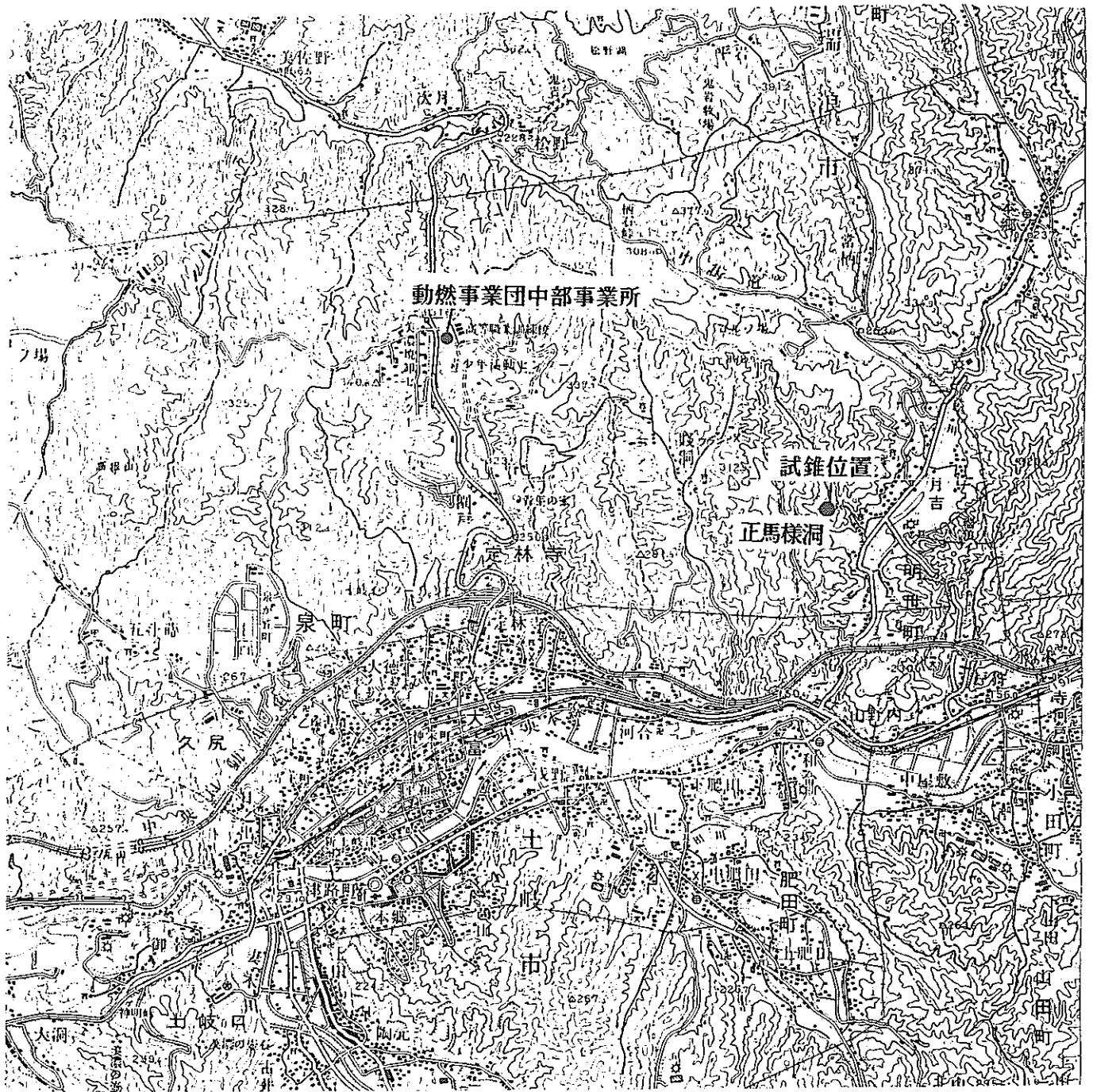
4. 調査方法

A N - 1, 3号孔ボーリングコアの割れ目解析は、割れ目記載法（昭和61年度報告）にもとずき、明らかに人工的でないと判断できる割れ目に対して以下の13項目について解析作業を進めた。その項目は、1)深度, 2)柱状図, 3)割れ目深度, 4)割れ目タイプ, 5)割れ目の連続性, 6)割れ目パターン（第5図）, 7)割れ目表面構造（第6図）, 8)条線の有無, 9)割れ目充填鉱物, 10)割れ目幅（割れ目が密着している場合には計測, また充填鉱物の認められる場合には、充填鉱物の厚さを計測）, 11)変質度, 12)変質幅, 13)割れ目の角度（現在コアオリエンデータを開発中）である（第1表）。割れ目の連続性は、割れ目がコアを切って発達しているか否かを記載したもので、真の割れ目の連続性を表現したものではない。割れ目のタイプは、割れ目の状態、開口か閉鎖割れ目（コアの採取状態も含む）、掘削中に発達した人工割れ目、変質帯・マイクロフラクチャー帯・フラクチャー帯・割れ目によるコアのブロック化等の位置、状態を記載したものである。割れ目パターンは、割れ目の形態を示したものである。尚、これらの調査項目は、その記載事項を全て数値化及び略号化し、割れ目のデータを客観的かつ統計的に処理できるようにその取扱について考慮した。

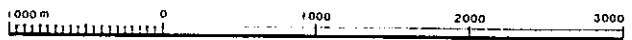


Concept of Fracture of Subground in Granitic Rock.

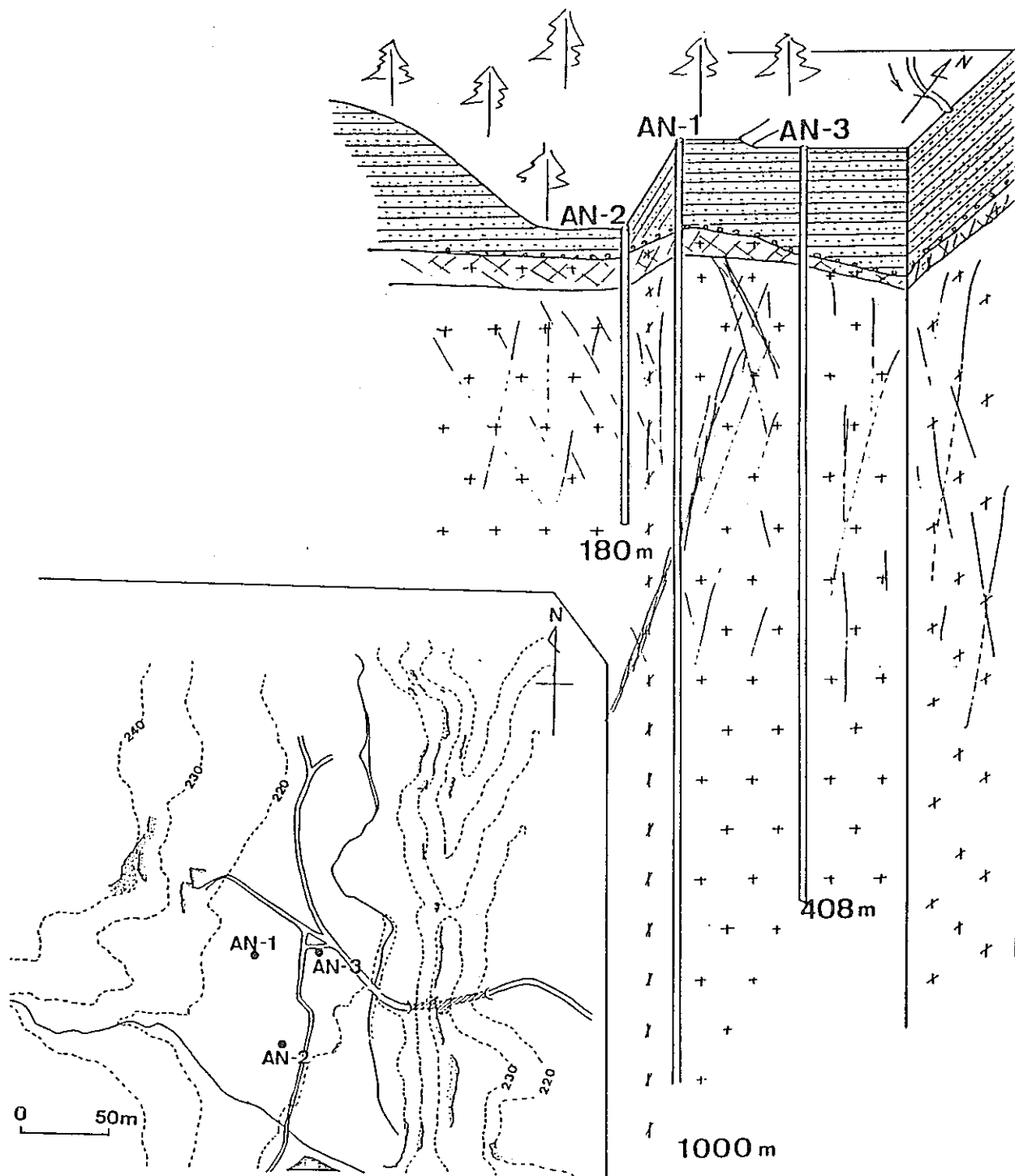
第1圖 調查概要圖



1:50,000

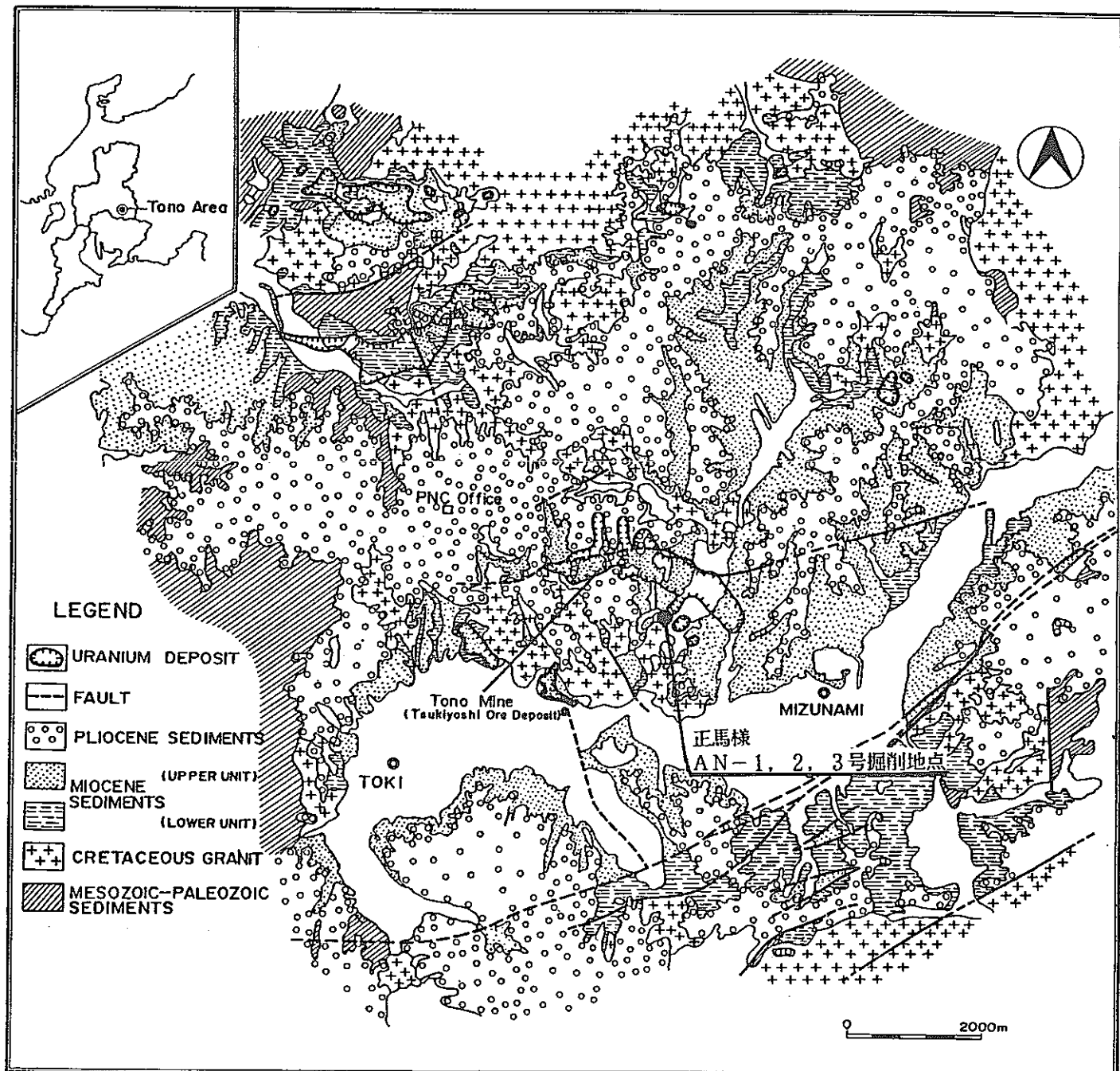


第2図 正馬様洞試錐位置図



第3図 正馬様洞試錐概略図

Geological Map and Uranium Deposits of the Tono Area



第4図 東濃地域地質図

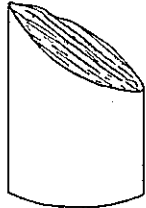
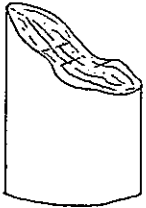
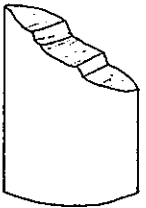
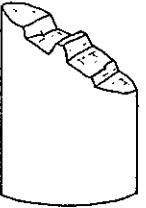
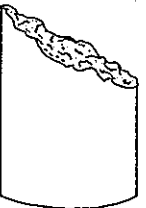
MAIN TYPE OF FRACTURE PATTREN		FRACTURE PATTERN OF GRANITIC ROCK		
		CONTINUOUS TYPE		DISCONTINUOUS TYPE
P ₀		P1	P2	P4
		P3		
I ₀		I1	I2	I4
		IC1	IC2	IC3
C ₀		C1	C2	C3
				C4
S ₀		S1	S2	S3
				S4
				S5

FRACTURE PATTERN

- | | | | |
|----------------|------------------------------------|----------------|---------------------------------------------|
| P ₀ | Planar Type | IC1 | Irregular and Curved Type |
| P ₁ | Planar with major splays Type | IC2 | Irregular and Curved with major splays Type |
| P ₂ | Planar with minor splays Type | IC3 | Irregular and Curved with minor splays Type |
| P ₃ | Parallel Type | C ₀ | Curved Type |
| P ₄ | Discontinuous Planar Hairline Type | C ₁ | Curved with major splays Type |
| I ₀ | Irregular Type | C ₂ | Curved with minor splays Type |
| I ₁ | Irregular with major splays Type | C ₃ | Branch Type |
| I ₂ | Irregular with minor splays Type | C ₄ | Discontinuous Curved Hairline Type |
| I ₃ | Braided Type | S ₀ | Stepped Type |
| I ₄ | Short discontinuous Hairline Type | S ₁ | Stepped with major splays Type |
| I ₅ | Microfracture | S ₂ | Stepped with minor splays Type |
| | | S ₃ | Meshwork Type |
| | | S ₄ | En echelon Type |
| | | S ₅ | Discontinuous Stepped Hairline Type |

第5図 割れ図パターン

ROUGHNESS (SURFACE STRUCTURE OF OPEN FRACTURE)

TYPE	A	B	C	D	E
SURFACE STRUCTURE					
ROUGHNESS	Smooth	Defined ridges	Small steps	Rough	Very Rough
Slickensides	◎	○	-	-	-
Filling material	◎	○ ~ ◎	△ ~ ○	- ~ △	- ~ ○
Fracture pattern	Planar Type	Planar-Curved Type	Stepped Type	Stepped-Irregular Type	Irregular Type

LEGEND ◎ : abundant ○ : common △ : rare - : none

第6図 割れ目の表面構造

第1表 AN-1号孔の記載項目とその内容

記載事項	記載事項
1. 深 度	AN-1号では1/20のスケールで記載
2. 柱 状 図	AN-1号では花崗岩に対し5種類の凡例を使用
3. 割れ目深度	割れ目深度を固有化するために割れ目とコアの中央線の交点を記載
4. タ イ プ	割れ目成因, 状態についての記載
5. 連 続 性	割れ目がコアを切っているか否かの記載
6. パターン	割れ目形態の分類
7. 表面構造	割れ目の表面構造・形態についての記載
8. 条 線	割れ目表面上に認められる条線の有無・形態についての記載
9. 充填鉱物	割れ目中の充填鉱物について記載
10. 幅	割れ目開放幅の記載
11. 変 質 度	割れ目に伴う変質帯の変質度について記載
12. 変 質 幅	変質部の厚さの記載
13. 角 度	鉛直方向と割れ目のなす角度

5. AN-1号孔における割れ目特性調査

(1) 割れ目帯と割れ目の状態

割れ目の状態、割れ目の密度の集中・分散度、RQD値の深部方向への変化から深度 16.80 (不整合) ~ 50m, 50 ~ 150m, 150 ~ 300m, 300 ~ 420m, 420 ~ 500m, の5つに区分できる。尚、岩相柱状図、割れ目記載の結果を第7図に示す。

a) 深度 16.80 ~ 50m には、風化の影響のおよんでいる38.0m は、マイクロクラック及び、鉛直方向に対する角度70-90° のI₁, I₂, I₃タイプの割れ目が卓越する。RQD値は30~100を示し70~80に集中している。深度 16.80 ~ 50.00mの区間のRQD値のヒストグラムを描く(第8図)と、RQD値の標準偏差(σ_n)は26.6, 平均29.6を示し、局所的に割れ目が集中しているのではなく、全体として風化、マイクロクラック、割れ目が発達していることを示している。

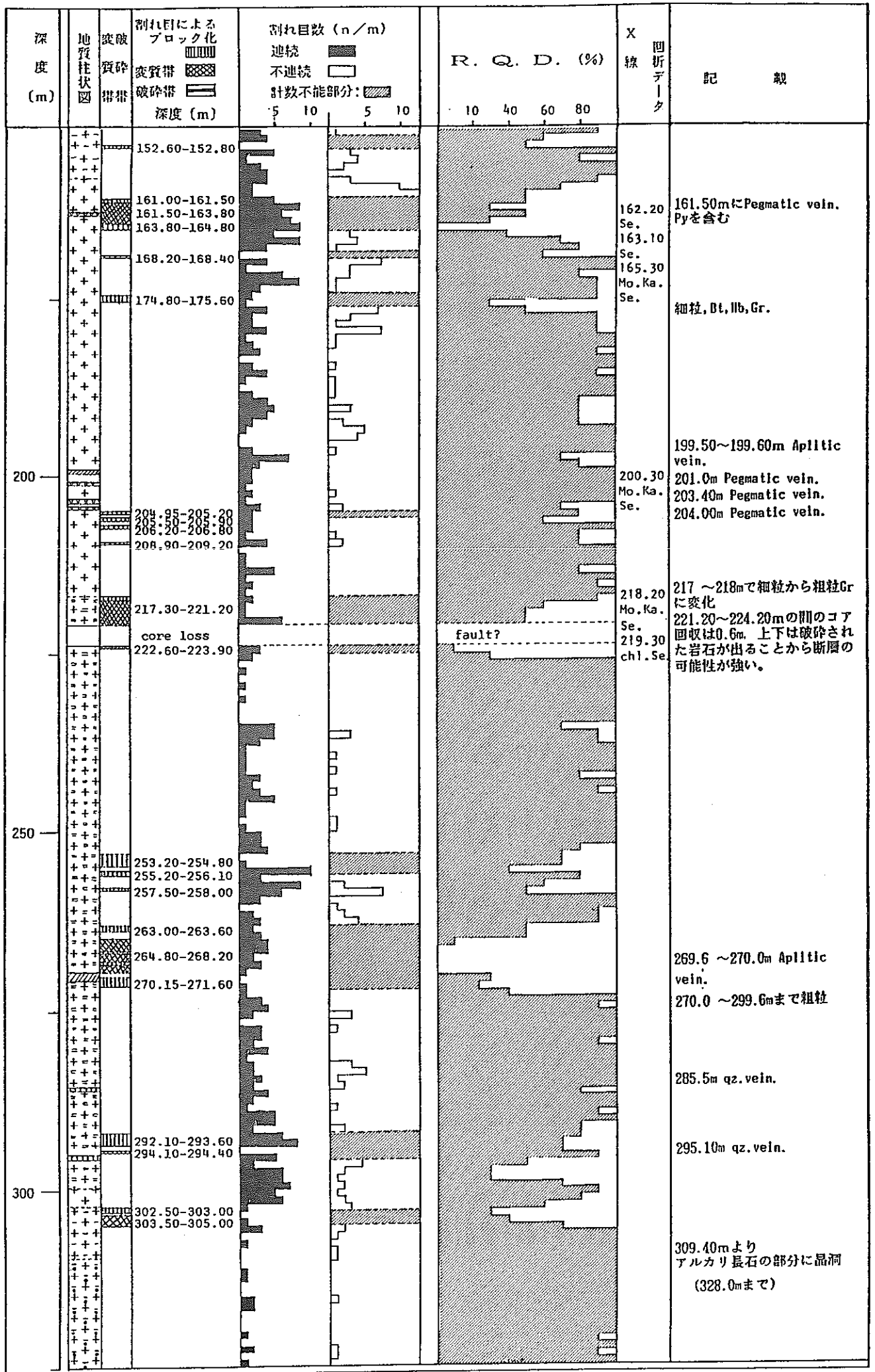
b) 深度 50 ~ 150m には、一般に割れ目が多数発達する。RQD値は、70~100を示し、連続する割れ目の密度 0~4n/m (但し、ここで示す割れ目密度は、割れ目によりブロック化し計測不能部分の割れ目の数はかぞえていない。)を示す割れ目の少ない部分と、RQD値 0~70, 連続する割れ目の密度 4~11n/mを示す割れ目が集中している部分に区分される。両部分は10~20m 間隔で周期的に繰返し発達する。深度50.00 ~ 150.00m の区間のRQD値のヒストグラムを描くと、RQD値は著しく分散し、 σ_n は33.7、平均53.8を示す。また、割れ目深度の高いものと低いものとが周期的に繰返すため、RQD値90-100と30-40の2つ位置にピークが現れる。この深度区間には、50.40-63.60m 77.40-91.00, 100-115m, 120.50-126.20m, 140-148mの部分に割れ目集中帯が存在する。

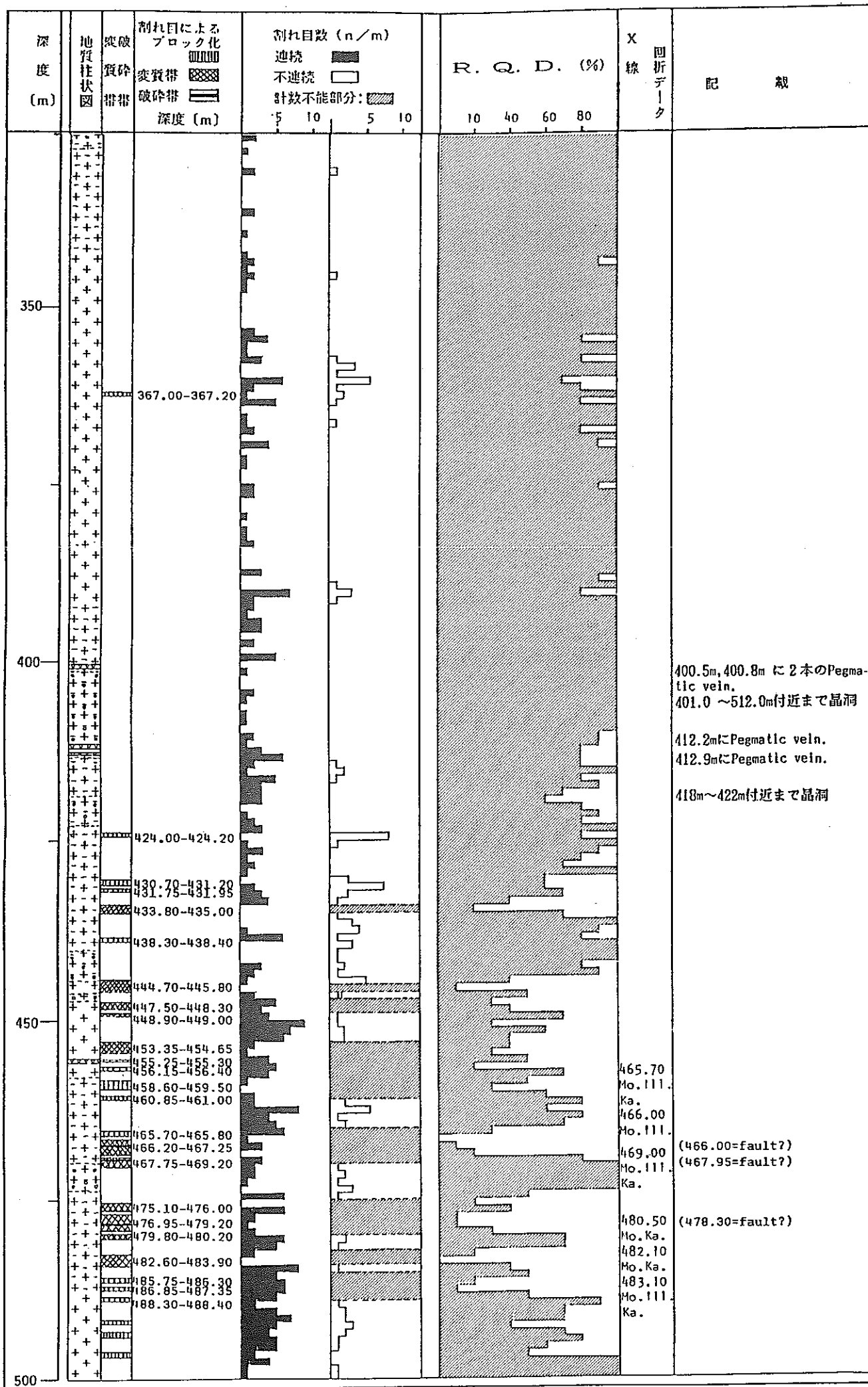
50.40-63.60mの割れ目集中帯には、鉛直方向に対する角度が20-70°を呈するP及びIグループの割れ目が卓越し、淡桃色の変質を伴う。

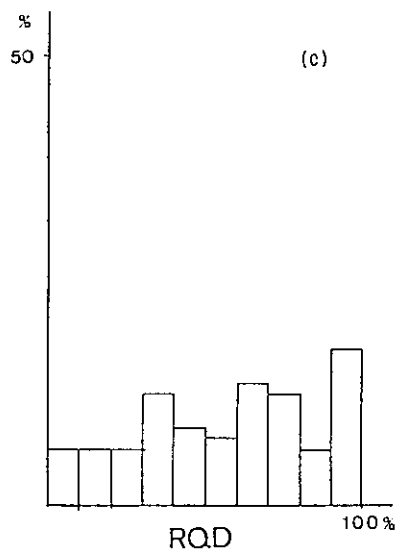
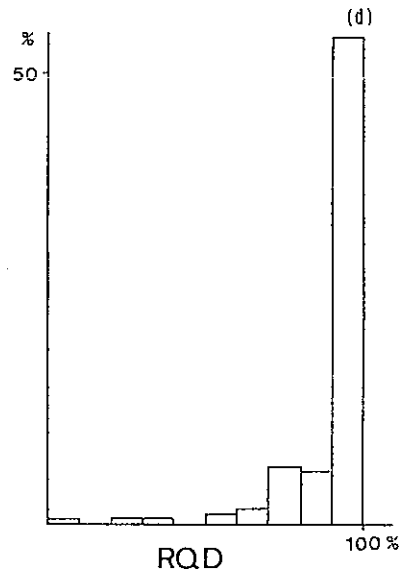
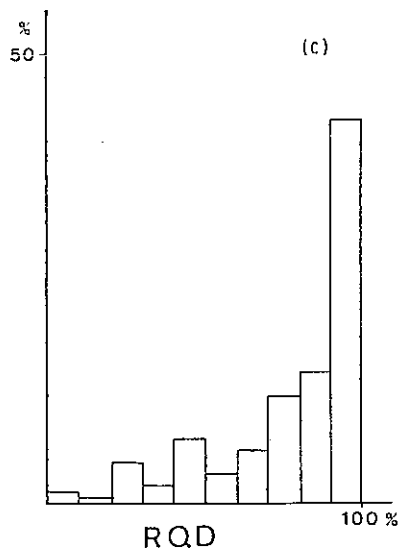
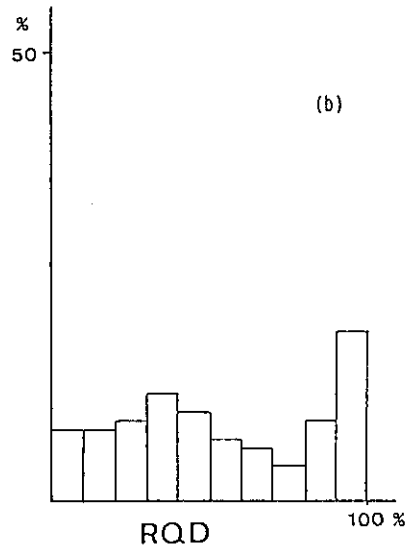
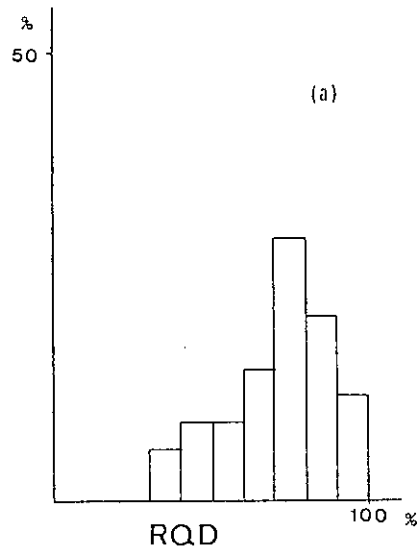
64.00 - 77.00mの割れ目密度の小さい区間には鉛直方向に対する角度が60-90°を呈するIグループの割れ目が卓越する。

77.40 - 91.00mの割れ目集中帯には、鉛直方向に対する角度が20-60°を呈するP及びSグループの割れ目が卓越し、淡桃色~淡緑色の変質を伴う。また、85.60 - 88.00mの区間にはIグループの割れ目が卓越する。

100-115m, 120.50-126.20m, 140-148mの区間には、鉛直方向に対して、20-60°を呈するP, I, Sグループの割れ目が発達する。







第8図 各深度区間のRQDヒストグラム

(a) 16.8-50m

(b) 50-150m

(c) 150-300m

(d) 300-420m

(e) 420-500m

- c) 深度 150～300mでは、R Q D値70～100、連続割れ目の密度 0～4n/mを示す割れ目が少なく岩盤の堅固の部分と、R Q D値 0～60、連続割れ目の密度 3～10n/mを示す割れ目集中帯（変質を伴う）部分とに区分される。この区間の σ_n は28.8平均78.0を示し、R Q D値が90～100 に著しいピークが表われる。若干ではあるが一部の局所的な割れ目帯が発達するため20～50にピークが表れる。この深度区間には、152.60～152.80m、161.00～164.80m、217.30～223.90m、253.20～271.60m に割れ目集中帯が発達する。
- 152.60～152.80m の区間には、鉛直方向に対して20～70° を呈するPグループの割れ目とIグループの割れ目が卓越し、緑色変質を伴う。
- 161.00～164.80m の区間には、鉛直方向に対して20～70° を呈するPグループの割れ目とIグループ（特にI3タイプ）の割れ目が卓越し、濃緑色変質（ペグマタイト脈を伴う）を伴う。濃緑色変質帯には、I3タイプ（Braided Type）の割れ目が特徴的に発達する。
- 217.30～223.90m 区間は、コアの回収率が不良で、221.20～224.20m の区間はコアロスである。また、濃緑色変質を伴う。
- 253.20～256.00m の区間には、鉛直方向に対して70～90° を呈するIグループ（I3 Type : Braided Type）の割れ目が卓越する。263～271.60m の区間には、鉛直方向に対して20～60° を呈するPグループ及びSグループの割れ目が卓越する。
- d) 深度 300～420mでは、R Q D値70～100、連続割れ目の密度 0～7n/mを示し、割れ目の数は少なく、堅固な岩石である。深度353.00～358m、360～370m、390～396mの区間で若干割れ目の密度が高く、3～7n/mを示し、353～358mの区間では鉛直方向に対する角度が20～60° を呈するPグループ（P0, P1, P2, P3, P4）が、360～370mの区間では鉛直方向に対する角度が70～80° を呈するIグループ（I2, I3）の割れ目が、360～370mの区間では鉛直方向に対する角度が20～60° を呈するPグループ（P0, P1, P2, P3, P4）が卓越する。
- e) 深度 420～500mでは、R Q D値 0～100、連続割れ目の密度 0～8n/mを示す。この深度区間のR Q D値の分散は著しく、 σ_n は29.5、平均60.1を示し、明瞭なピークは認められない。これは割れ目の密度が大きいこと、また割れ目集中帯の発達する周期が短いためコアの回収率が悪くR Q D値が著しく低下している可能性がありR Q D値の取扱いに注意を要する。
- f) 深度500m以深（560mまで）では、R Q D値の平均は50～70を示し、連続割れ目密度は 0～7n/mを示す。この深度区間では、鉛直方向と70～90° の角度を呈するIグループの割れ目が一般に発達し、まれに鉛直方向と 0～20° の角度を呈するPまたはSグループ割れ目が発達する。

(2) 母岩の岩石鉱物学的特徴

AN-1号孔ボーリング地点の地質は細-中粒角閃石・黒雲母花崗岩が主体をなす(石原・鈴木, 1969)。粒度, 岩相(有色鉱物の量等)などの肉眼観察による岩石の特徴から、AN-1号孔のコアの岩相は、深度別に16.8-155m, 155-216m, 216-300m, 300-342m, 342-420m, 420m以深の5つに区分される(第10図)。粒度は肉眼観察により、細粒(< 1mm), 中粒(1-10mm), (> 10mm)に区分した。300m以深に数mm程度の晶洞のコア全体に広がる部分が数ヶ所数m幅で分布する。ペグマタイト脈は幅数cm程度のものが数ヶ所認められる。石英脈・アプライト脈及び捕獲岩はコア試料中には数箇所しか認められない。

以下に、各深度区間における肉眼での岩相の特徴と各深度区間の代表的岩相1サンプルの顕微鏡観察結果を記す。

a) 深度 16.8-155m

16.8-155mの深度区間の岩相は、一般に中粒花崗岩で、一部(16.8-70m)若干粗粒(5-10mm)な部分が存在する。有色鉱物は一般に黒雲母であるが、一部角閃岩を伴う。

99.60mと149.90m 深度の顕微鏡観察結果によると、(Allanite-fluorite)-biotite Granite で、石英・斜長石・カリ長石・黒雲母を主成分とし、副成分として褐簾石・緑簾石・螢石・ジルコン・リン灰石を含む。また、二次鉱物としてセリサイト・緑泥石を含む。

b) 深度 155-216m

155-216mの深度区間の岩相手は、一般に細粒花崗岩で、有色鉱物は少量で、一般に黒雲母である。

198.50m深度の顕微鏡観察結果によると、Calcite-muscovite siliceous Granite で、石英・斜長石・カリ長石・黒雲母を主成分とし、副成分として緑簾石・ジルコン・リン灰石・スフェンを含む。また、二次鉱物としてセリサイト・方解石・緑泥石・不透明鉱物を含む。他の鉱物を埋めて石英が発達する。セリサイト化が著しい。

c) 深度 216-300m

216-300m深度区間の岩相は、一般に粗粒花崗岩で、有色鉱物は黒雲母から構成され、より多量に含まれる。

247.65m, 268.00m深度の顕微鏡観察結果によると、Allanite-fluorite-Granite で、石英・斜長石・カリ長石・黒雲母を主成分とし、副成分として褐簾石・螢石・緑簾石・ジルコン・リン灰石を含む。また、二次鉱物として緑泥石・セリサイトを伴う。粒度は1~4mm大で、カリ長石と斜長石の接触部には、ミルメカイトが認められる。カリ長石は粒間を埋めて大きく発達する。褐簾石・螢石を多量に含む。特に、螢石は末期の生成物として粒間を埋めるものが認められる。斜長石が方解石・セリサイトに変質している様子が認められる。カリ長石も変質が著しい。

d) 深度 300-342m

300-342m深度区間の岩相は、一般に中粒花崗岩で、有色鉱物は黒雲母から構成される。

309.20m 深度の顕微鏡観察結果によると、Biotite Granite で、石英・斜長石・カリ長石・黒雲母を主成分とし、副成分として褐簾石・螢石・ジルコンを含む。また、二次鉱物として緑泥石・方解石・緑簾石を含む。カリ長石と斜長石の接触部には、ミルメカイトが認められる。斜長石・カリ長石中に石英がGraphitic 状に認められることがある。

e) 深度 342-420m

342-420m深度区間の岩相は、一般に細粒花崗岩で、有色鉱物は少量で、黒雲母から構成される。

351.50m, 399.70m深度の顕微鏡観察結果によると、Fluorite-allanite bearing Biotite Granite で、石英・カリ長石・斜長石・黒雲母を主成分とし、副成分鉱物として褐簾石・螢石・緑簾石・ジルコン・白雲母・不透明鉱物を含む。また、二次鉱物として緑泥石・方解石・セリサイトを含む。カリ長石の接触部には、ミルメカイトが認められる。数mmの斜長石中に、0.5mm大の石英が数個認められることがある。

f) 深度 420m以深

420m以深の深度区間の岩相は、一般に細粒花崗岩で、有色鉱物は少量で、黒雲母から構成される。

446.00m, 493.50m深度の顕微鏡観察結果によると、Biotite Granite で、石英・カリ長石・斜長石・黒雲母を主成分とし、副成分として緑簾石・褐簾石・螢石・不透明鉱物を含む。また、二次鉱物として緑泥石・セリサイトを含む。特に黒雲母は緑泥石化が著しい。カリ長石と斜長石の接触部には、ミルメカイトが認められる。最大、2.5mm大の石英が認められる。4mm大の斜長石中に同一方向を示す石英が認められる。褐簾石・螢石は少量認められる。

(3) 岩盤の変質形態

a) 風化、変質帯の岩石鉱物学的特徴

AN-1号孔には、緑色変質帯、淡桃色～淡緑色変質帯、淡桃色変質帯が発達する。各変質帯についてX線回析装置でバルク分析（無処理）、定方位分析（無処理、エチレングリコール処理、塩酸処理）を行い、変質鉱物の同定を行った。その結果、AN-1号孔では、風化帯、緑色変質帯、淡桃色～緑色変質帯、単一割れ目に伴う淡黄色変質帯、灰緑色～灰白色変質帯が認められた（第9図）。

① 風化帯

基盤と第三系の不整合（深度 16.8m）から38m まで緑灰色に風化し、マイクロクラック、割れ目の発達が著しい。風化帯は、変質鉱物としてスメクタイト、絹雲母、緑泥石を含む。鏡下では、黒雲母が一部粘土化（X線回析結果よりスメクタイトが検出）あるいは緑泥石化し、斜長石の絹雲母化が観察される。また、マイクロクラックは粘土鉱物で埋められている。

② 緑色変質帯

緑色変質帯は、不整合から 300m の間 (77.40-80.40m, 88.50-91.00m, 150.15-150.25, 161.50-163.80m) に認められる。変質帯は緑色～黄緑色を呈し、変質鉱物としてスメクタイト、雲母粘土鉱物、緑泥石、褐簾石を含む。特に、161.50-163.80m の濃緑色の変質帯は、雲母粘土鉱物、緑泥石、緑簾石のほかに熱水性と思われる閃亜鉛鉱が同定される。変質帯には、主として割れ目充填鉱物 (スメクタイト、緑泥石、雲母粘土鉱物、カオリナイト鉱物) を挟在する I グループの割れ目と、若干の P グループの割れ目が発達する。

③ 淡桃色～緑色変質帯

淡桃色～緑色変質帯は、58.60-63.60m, 77.40-80.40m, 88.50-91.00m に認められ、変質帯の中心部は緑灰色を呈し、中心部から離れる従って淡緑色～淡桃色に変化し、累帯構造を呈する。変質鉱物は、スメクタイト、雲母粘土鉱物、緑泥石、緑簾石から構成される。

④ 単一割れ目に伴う淡黄色変質帯

単一割れ目に伴う淡黄色変質帯は、主として 300-420m 深度区間の単一割れ目に幅 1-2cm で発達する。顕微鏡下では、長石のセリサイト化が認められる。また、淡黄色変質帯が発達する割れ目には、充填鉱物としてセリサイトを伴う。

⑤ 灰緑色～灰白色変質帯

灰緑色～灰白色変質帯は、433.80-435.00m, 444.70-445.80m, 447.50-448.30m, 453.35-454.65m, 466.20-469.20m, 475.10-480.90m に認められ、変質鉱物として、スメクタイト、雲母粘土鉱物、方解石を含み、一部カオリナイトを伴う。

深度 (m)	割れ目数 (n/m) 5 10	変質帯深度 (m)	変質形態			モンモリロナイト 鉱物	カオリナイト 鉱物	絹雲母	緑泥石	緑簾石	方解石	閃亜鉛鉱
			変質程度 (色)	変質幅 cm	累帯構造							
100		上層	58.60 - 63.60	Pinkish	500		●		△		●	
			77.40 - 80.40	Pinkish -Greenish	300	○	●		△	●		
			88.50 - 91.00	Pinkish -Greenish	250	○	●		●	△		●
			150.15 - 150.25	Greenish	10				△	△		△
200		中層	161.50 - 163.50	Greenish -Dark greenish	230	○	●		△	△	●	●
			217.30 - 223.90	Greenish -Dark greenish	660				△	△		
			264.80 - 268.20	Pinkish	340				△			
300		中層		Pinkish (single- fracture)	1-2			○				
400		下層		Whitish	310		○		●	●		
				Whitish	510		○		●			
500												

第9図 変質帯を構成する変質鉱物

- 微量
- △ 少量
- 中量

(4) 割れ目充填鉱物

割れ目充填鉱物は 200メッシュ以下に粉碎し、28試料についてはバルクでX線粉末回折実験を、また、代表的な試料（5試料）については水簸をおこないバルク分析（無処理）、定方位分析（無処理・エチレンジコール処理・塩酸処理）によるX線粉末回折実験を行い、構成鉱物を同定した（第10図）。X線回折実験は、日本電子ディフラクトメーター（SDX-60S4Z Z型）を使用し、測定は、Cu K α 、30KV、20mA、シンチレーションカウンター、走査速度 2/minの条件で行った。

今回の割れ目充填鉱物の調査は、特に結晶質岩の浅部から地下深部にわたる地下水の循環及び地下水の地球化学的環境状態に関する情報を取得することを目的とし、粘土鉱物の種類と結晶度、方解石（Carbonate-system）、鉄酸化鉱物に注目して調査を行った。

割れ目充填鉱物は、主としてスメクタイト、雲母粘土鉱物、カオリナイト、緑泥石、方解石から構成される。これらの、充填鉱物の組合せ、色、含まれるスメクタイトの結晶度（反射ピーク強度から推定）、方解石の有無から300m以浅、300-420m、420-500m、500m以深に4区分される。

a) 深度（不整合～300m）上層部

割れ目充填鉱物は緑灰色を呈し、緑色変質帯発達部周辺（161.50-163.50m、217.30-223.90m）のIグループの割れ目に分布する。充填鉱物は、スメクタイト、雲母粘土鉱物、カオリナイト、緑泥石、方解石から構成される。スメクタイトの（001）底面反射（14A）ピークの反射強度は弱い。方解石は、主として緑色変質帯中心部の割れ目充填鉱物に含まれる。

b) 深度（300～420m）中層部

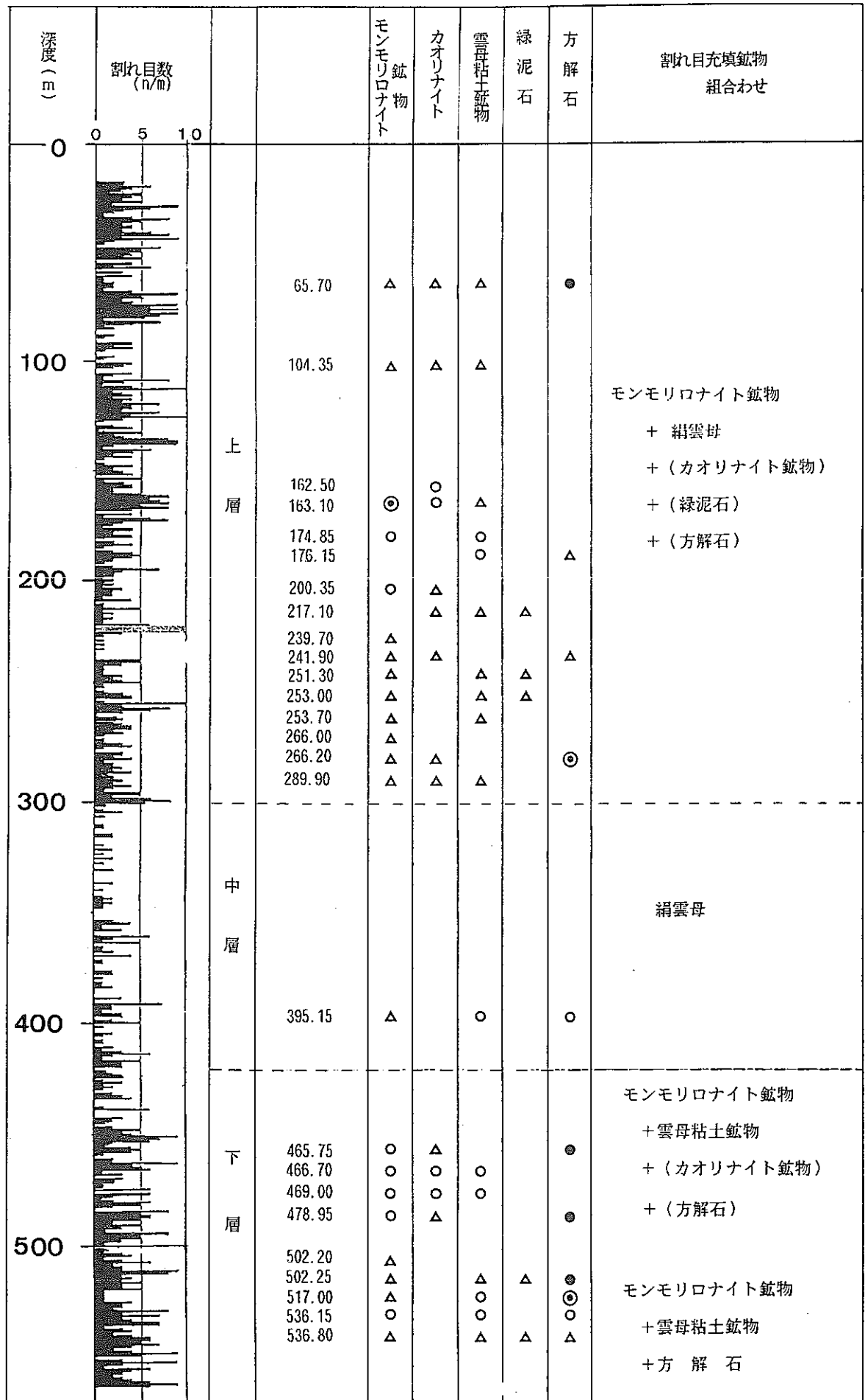
Pグループの割れ目に、主として雲母粘土鉱物から構成される充填鉱物が挟在する。

c) 深度（420～500m）下層部

割れ目充填鉱物は白色～黄灰色を呈し、主としてPグループの割れ目に挟在する。充填鉱物は、スメクタイト、雲母粘土鉱物、方解石から構成され、カオリナイト、緑泥石を含む。モンモリロナイト鉱物の（001）底面反射（14A）ピークの反射強度は高い。方解石の反射強度は弱い。

d) 深度（500m以深）

割れ目充填鉱物は白色～黄灰色を呈し、主としてPグループの割れ目に挟在する。充填鉱物は、スメクタイト、雲母粘土鉱物、方解石から構成され、カオリナイト鉱物、緑泥石を含む。スメクタイト・方解石の（001）底面反射ピークの反射強度は高い。



- 微量
- △ 少量
- 中量
- ◎ 多量

第10図 割れ目充填鉍物

(5) 岩石化学的性質

岩盤における核種移行評価を行うためには、水理学的な岩盤の透水性評価のほかに、岩盤の地球化学的な特性を把握し核種の遅延効果を把握する必要がある。岩盤（特に花崗岩）では、割れ目を地下水が流れ、地下水と岩盤が化学的に反応し、岩盤の透水性に影響を与えるだけでなく、地下水を媒体として移行する核種の収着等の遅延効果にも影響を与える。従って、核種移行評価を行う上で把握すべき地球化学的性質として、地下水と岩石の相互作用により形成された変質の履歴の調査が重要項目としてあげられる。昭和63年度の調査では、地下水と岩石の相互作用を把握するための基本的データを取得し、今後地下水の物理化学的特徴（組成 Eh, pH）と比較していくため、母岩の岩石化学特徴（全岩分析値, 13成分）の調査、変質帯の岩石化学的特徴（全岩分析値, 13成分）の調査を行った。現在、地下水の地球化学的性質調査を実施していないため、地下水組成の性質と比較、検討は出来ないが、母岩の全岩成分値の深度方向への変化の検討、及び母岩と変質帯の比較、検討を試みる。

①母岩の岩石化学的特徴

肉眼観察による粒度、肉眼及び顕微鏡観察による鉱物組成により5区分された新鮮な母岩について最低1試料、湿式法により岩石の主要13成分の化学分析を行い、深度方向への岩石化学的組成の変化、及び各岩相ごとの化学組成の比較及び変質形態、割れ目充填鉱物の構成鉱物等との比較・検討を行った。その結果を第2表に示す。

岩相の異なる5深度区間について、岩石化学組成比較すると次のようになる。

16.8-155m Medium grain Allanite-fluorite biotite Granite の全岩分析値は若干ばらつくものの、大きな変化はみられない。（第11図）。

155-216m Fine grain Calcite-muscovite siliceous Granite の全岩分析値は、 SiO_2 が若干増加し、 Al_2O_3 , TiO_2 , FeO , MnO , MgO が減少する。

216-300m Coarse grain Biotite Granite の全岩分析値は、 Fe_2O_3 , FeO , MnO , MgO , CaO が増加し、 Na_2O が減少する。

300-420m Fine grain fluorite-allanite biotite Granite の全岩分析値は、著しい変化はみられない。

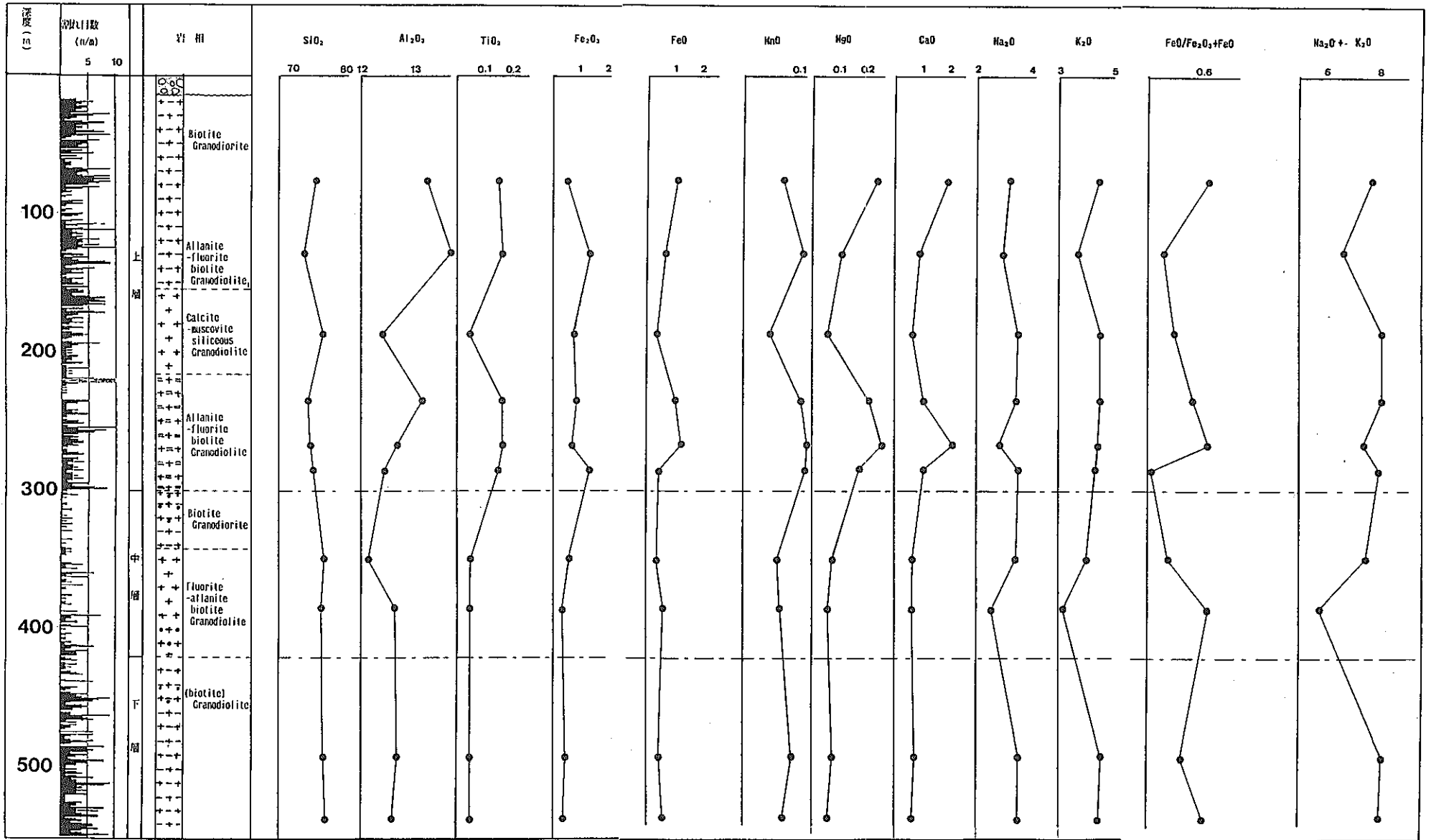
420m以深 Medium biotite Granite の全岩分析値は、著しい変化はみられない。

岩相の異なる5深度区間について、特に、深度方向への花崗岩の結晶分化作用（花崗岩の冷却史）の程度を比較するため、MFA三角ダイアグラムを作成した。MFA ($\text{MnO} - \text{Total Iron} - \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) 三角ダイアグラムで細粒～中粒花崗岩と粗粒花崗岩を比較すると、細粒～中粒花崗岩は、

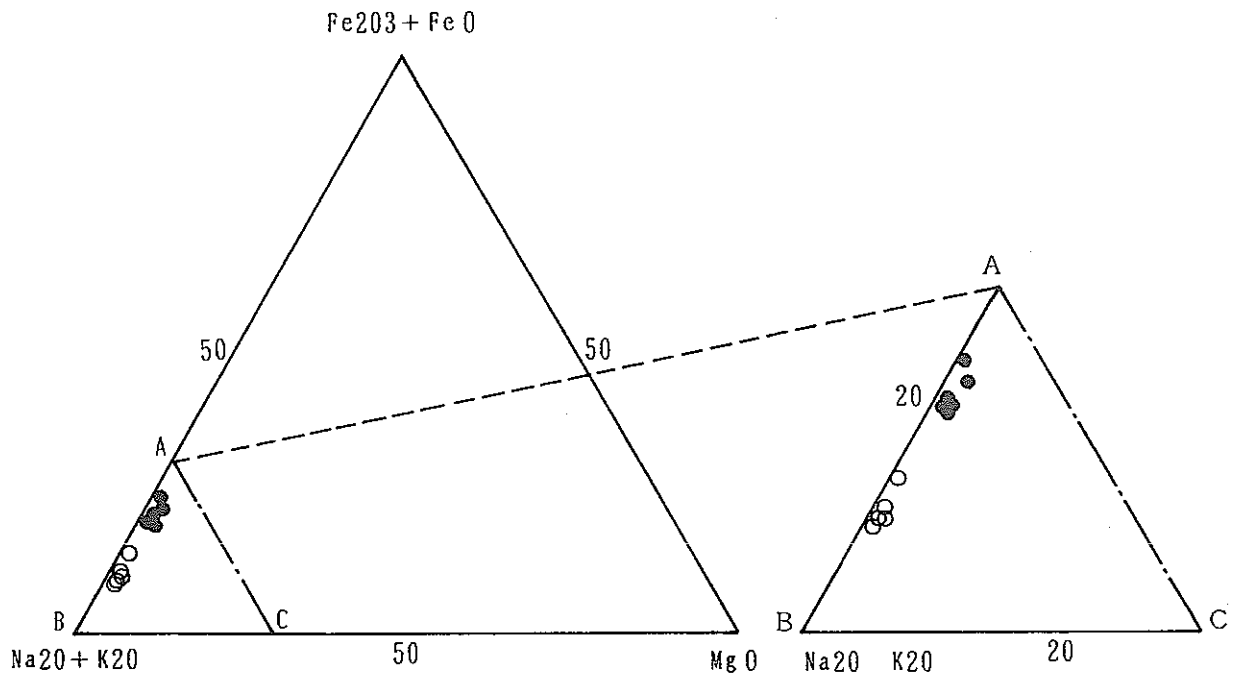
$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ の値が若干高い部分に集中し、粗粒花崗岩は、若干 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ (Total Iron) の値が高い部分に集中することから、細粒～中粒花崗岩のほうが結晶分化作用が進んでいることを示している（第12図）。しかし、MFAダイアグラムで深度方向への変化の検討も試みたが、760m付近では細粒～中粒花崗岩に一致するのみで、明瞭な変化は認められない。

第2表 母岩の全岩分析結果

深 度 (m)	1 77.5~ 77.60	2 128.75~ 128.85	3 187.85~ 188.00	4 235.25~ 235.40	5 266.60	6 285.85~ 286.00	7 348.30~ 348.40	8 384.30~ 384.40	9 481.10~ 481.30	10 530.55~ 530.75
SiO ₂	74.1	72.0	76.0	73.4	73.3	73.9	76.1	75.8	75.6	75.9
TiO ₂	0.15	0.17	0.05	0.16	0.17	0.15	0.05	0.05	0.05	0.05
Al ₂ O ₃	13.21	13.64	12.40	13.13	12.86	12.45	12.15	12.64	12.69	12.57
Fe ₂ O ₃	0.56	1.38	0.58	0.86	0.68	1.39	0.58	0.32	0.48	0.37
FeO	1.08	0.64	0.39	1.00	1.25	0.43	0.34	0.57	0.41	0.57
MnO	0.07	0.11	0.05	0.11	0.12	0.11	0.06	0.07	0.09	0.07
MgO	0.24	0.11	0.05	0.21	0.26	0.17	0.07	0.06	0.08	0.07
CaO	1.94	0.92	0.68	1.08	2.13	1.10	0.70	0.65	0.74	0.65
Na ₂ O	3.22	2.98	3.51	3.49	2.87	3.58	3.46	2.55	3.55	3.55
K ₂ O	4.45	3.68	4.52	4.51	4.45	4.40	4.03	3.18	4.53	4.43
P ₂ O ₅	0.03	0.02	<0.01	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
H ₂ O(+)	0.59	0.70	0.44	0.55	0.97	0.41	0.33	0.19	0.44	0.32
H ₂ O(-)	0.12	0.22	0.15	0.18	0.17	0.12	0.15	0.11	0.12	0.10
CO ₂	0.02	—	0.15	0.08	0.19	0.04	0.24	0.05	0.03	0.05
Total	99.78	96.57	98.97	98.79	99.45	98.27	98.27	96.25	98.82	98.71



第11図 化学組成の深度方向への変化



第12図 (Fe₂O₃ + FeO) - (Na₂O + K₂O) - MgO 三角ダイアグラム

● 中粒～粗粒花崗閃緑岩

○ 細粒花崗閃緑岩

花崗岩の深部の地球化学的な環境は、地下水の移動速度、地表水・大気との接触の可能性が著しく低いため、岩盤の持つ地球化学的特性（岩石鉱物、岩石化学的特性）に支配される可能性が高い。従って、花崗岩の地球化学的特性の深部方向への変化は、岩盤及び地下水の地球化学的特性のよき指標となる可能性がある。

深度方向への岩石化学的組成の変化を検討すると次のようになる。

不整合（16.8m）から300mの深度までは、化学組成（ Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O ）は、 SiO_2 を除き、化学組成値が変化する（第11図）。これは、上記した岩相（鉱物組成）の違いによると考えられる。300～500mの深度区間では中粒花崗岩から構成され、粒度の変化は激しく、また、化学組成の（ SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O ）は、安定した値を示し、変化が少ない。特に、 Fe_2O_3 , FeO の値は、16.8～300mの区間の分析値より小さい（0.5重量%）値で安定している。 $FeO/(FeO + Fe_2O_3)$ 値は、16.8～300m 300～420m, 420m以深の各区間で増加し、深度方向には、若干増加（0.4～0.6の値）する。420m以深では、 Na_2O が若干増加しているが、顕微鏡観察（定性的な斜長石の最大対称消光角）の結果からAb成分が多い可能性が考えられる。

560m以深の全岩分析については現在検討中であるが、760m深度まで（500m, 610m, 761mの3サンプルについて）の全岩分析結果を検討すると、 FeO は1%前後で安定、 Fe_2O_3 は0～0.3%と浅部より低い値を示し、 $FeO/(FeO + Fe_2O_3)$ 値については、0.85～0.99という高い値で安定している。 TiO_2 は0.1以下で安定する。また、 CO_2 は浅部より若干増加し、0.3～0.7を示す。

②変質帯の岩石化学的特徴

緑色変質帯、緑色～淡桃色変質帯、単一割れ目に伴う淡黄色変質帯について、主要13成分について全岩分析を行った。各分析方法は、「地質調査所発行の地球科学的試料の化学分析1～3」に準拠した。 SiO_2 については重量法、 TiO_2 , Al_2O_3 , MnO , MgO , CaO , P_2O_5 , Fe についてはICP法、 K_2O , Na_2O については原子吸光法、 FeO , CO_2 については滴定法、 $H_2O(-)$ については乾燥減量法を行った（第12表）。

以下に、新鮮な岩石の全岩分析値との比較を記す。

a) 風化帯（16.8～38m 付近）

16.8～38m までの風化帯では、 MgO , $H_2O(+)$, $H_2O(-)$, CO_2 の増加、 CaO , $FeO/(Fe_2O_3 + FeO)$ の減少が観察される（第13図）。風化帯を構成する変質鉱物には、スメクタイト、絹雲母、緑泥石が認められる。

b) 淡緑色～淡桃色変質帯・緑色変質帯（300m以浅に 7箇所）

緑色～淡桃色変質帯では、 Al_2O_3 , FeO , Na_2O , K_2O , $H_2O(+)$, $H_2O(-)$, CO_2 の増加、 SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO の減少が観察される。淡緑色～淡桃色変質帯・緑色変質帯を構成する変質鉱物には、スメクタイト、絹雲母、緑泥石、緑簾石が認められる。

c) 単一割れ目に伴う淡黄色変質帯

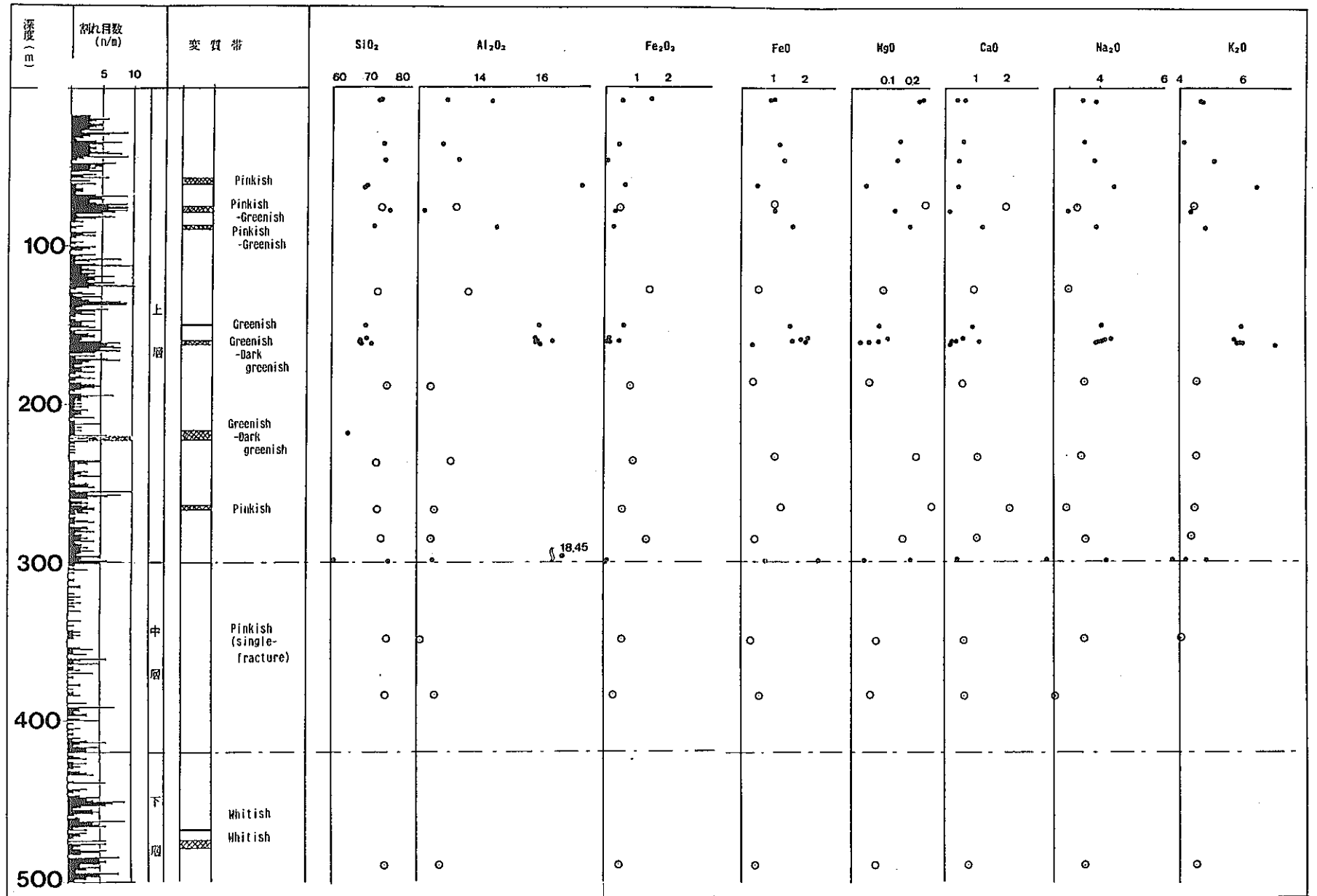
単一割れ目に伴う淡黄色変質帯では、 Al_2O_3 、 FeO 、 Na_2O 、 CO_2 の増加、 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 K_2O の減少が観察される。単一割れ目に伴う淡黄色変質帯では、長石が絹雲母に変質している。 K_2O の減少は、長石の絹雲母化によるものと思われる。

d) 灰白色～白色変質帯 (466.10-469.20, 475.10-480.20, 502.24-502.30m)

灰白色～白色変質帯では、 Al_2O_3 、 MgO 、 $\text{H}_2\text{O}(+)$ 、 $\text{H}_2\text{O}(-)$ の増加、 K_2O の減少が観察される。灰白色～白色変質帯を構成する変質鉱物は、スメクタイト、絹雲母、緑泥石、緑簾石が認められる。

第3表 風化・変質部の全岩分析結果

深度 (m)	1 18.45 ~ 18.70	2 19.70 ~ 19.95	3 36.00 ~ 36.25	4 46.40 ~ 46.45	5 62.00	6 79.20 ~ 79.40	7 88.80 ~ 88.95	8 150.15 ~150.25	9 159.20 ~159.40	10 160.70 ~161.00	11 298.10 ~298.15	12 299.45 ~299.65
SiO ₂	73.68	72.59	74.31	74.06	68.49	76.56	71.32	68.78	69.17	67.13	57.93	76.37
TiO ₂	0.08	0.12	0.12	0.09	0.05	0.07	0.12	0.10	0.09	0.09	0.11	0.03
Al ₂ O ₃	12.93	14.37	12.70	13.31	17.29	12.27	14.55	15.92	15.80	16.36	18.84	12.51
Fe ₂ O ₃	1.44	0.64	0.46	0.09	0.64	0.33	0.30	0.60	0.17	0.49	0.10	0.04
FeO	1.04	0.93	1.26	1.39	0.53	1.11	1.63	1.54	2.11	1.93	2.43	0.76
MnO	0.06	0.04	0.04	0.04	0.02	0.02	0.16	0.07	0.16	0.04	0.21	0.04
MgO	0.23	0.22	0.16	0.15	0.05	0.14	0.19	0.09	0.12	0.09	0.19	0.04
CaO	0.42	0.68	0.61	0.48	0.46	0.19	1.21	0.90	0.59	0.26	3.30	0.40
Na ₂ O	3.41	3.86	3.50	3.82	4.46	2.96	3.86	4.07	4.33	4.17	6.24	4.18
K ₂ O	4.66	4.71	4.13	5.10	6.45	4.33	4.82	6.00	5.76	5.98	4.84	4.19
P ₂ O ₅	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.05	<0.01
H ₂ O(+)	0.87	0.72	0.43	0.35	0.52	0.62	0.61	0.70	0.72	1.68	1.06	0.20
H ₂ O(-)	0.24	0.20	0.19	0.10	0.06	0.04	0.04	0.04	0.02	0.22	0.06	0.10
CO ₂	0.04	0.32	1.38	0.37	0.10	0.58	0.08	0.24	0.16	0.20	1.59	0.26
Total	99.71	99.41	99.31	99.38	99.13	99.18	98.92	99.06	99.21	98.65	96.95	99.12



第13図 風化・変質帯における化学成分

- 風化帯・変質帯の化学成分
- 母岩の化学成分

(6) 調査結果と考察

AN-1号孔について、割れ目帯と割れ目の状態（割れ目の形態）により5区分16.8-50m, 50-150m, 150-300m, 300-420m, 420m以深）、岩盤の岩石鉱物学的特徴（粒度、鉱物組成等）により6区分（16.8-155m, 155-216m, 216-300m, 300-342m, 342-420m, 420m以深）、岩盤の変質形態、割れ目充填鉱物により3区分（16.8-300m, 300-420m, 420m以深）した。各調査結果を割れ目の特性及び地球化学的特性という観点から、割れ目の形態、割れ目の密度、変質形態（構成鉱物とその結晶度）と割れ目の充填鉱物（構成変質鉱物とその結晶度）について検討した結果を総合的に解析すると、深度300m, 420mを境に（16.8-300mを上層部, 300-420m中層部, 420m以深を下層部と仮称する）次のような差異が認められる（第14図）。

①上層部（16.8-300m）

上層部には主にPグループ、特にP0, P1, P2タイプが多く認められ1m中に数本以上平行に発達する場合がある。S, CとICグループに比べると発達頻度は低い。IグループではI3タイプが不整合下の幅数10cmと変質帯の部分に10-30幅で数箇所認められる。また変質帯ではI4, I5タイプの割れ目が主体をなす。

上層部の変質帯は、淡緑色～淡桃色を呈し、変質鉱物としてスメクタイト、雲母粘土鉱物、緑岩石、緑簾石を含み、希に熱水変質と思われる閃亜鉛鉱を含む。また、上層部の変質帯は、コア全体が緑色を呈し全体に微少割れ目（I5タイプ）が発達するもののハンマーでたたいても壊れない程度の堅さを保つ。鏡下では粒子サイズにまで及ぶ割れ目が縦横に発達する。また黒雲母・角閃石が緑泥石に変質し、長石も微少割れ目に沿ってセリサイト化しているのが認められる。

上層部には割れ目充填鉱物として、Pグループの割れ目の表面に緑泥石・方解石でコーティングしているタイプの充填鉱物と、Iグループの割れ目に幅5-10mmで挟在され、スメクタイト・雲母粘土鉱物・緑泥石から構成される充填鉱物が存在する。スメクタイトは微量で結晶度が悪い。

②中層部（300-420m）

中層部は、割れ目の密度は連続・不連続合せて平均1n/mと小さく、RQDもほぼ全体にわたって100%と堅固な岩盤である。中層部の割れ目はPグループが主体をなし、若干のCグループの割れ目が認められる。P, Cグループのうち特にP4, C3, C4タイプの不連続割れ目が卓越する。また、連続割れ目も密着していることが多い。

中層部は、著しい変質帯は存在せず、雲母粘土鉱物を充填鉱物として伴う単一割れ目に1-2cmの淡黄色変質を伴うことがあるのみである。

中層部の割れ目は雲母粘土鉱物を挟在することが多い。

③下層部（420m以深）

下層部では、主として鉛直方向に対する角度が70-90°のIグループの割れ目が卓越する。平均の割れ目密度（連続・不連続合わせたもの）は、7n/mを越える。また、変質帯の部分にはI0, I2, I3タイプの割れ目が卓越する。部分的に数10cmでIグループの割れ目が集中しI3タイプに近い形態を示す部分がある。

下層部の変質は白～灰白色を呈し、脆く粉状に崩れ有色鉱物はほとんど原形をとどめておらず、長石はモンモリロナイト化し、その結晶度は高い。また、方解石も含む。

下層部に発達する単一割れ目には充填鉱物としてスメクタイト、方解石、雲母粘土鉱物を含む。特に、上層部と異なる点は、スメクタイトの結晶度が高いこと、上層の割れ目充填鉱物として方解石が含まれるのは変質帯の中心部付近のみである。

以上のように、上層部、中層部、下層部では、

- a) 割れ目の密度が著しく低い堅固な岩盤からなる中層部を境に、割れ目の密度高い上層、下層が分布する。
- b) 上層部、中層部ではPグループの高角度割れ目が主として発達するが、下層部ではIグループの低角度割れ目が主として発達する。
- c) 上層部の割れ目に挟在する充填鉱物に含まれるスメクタイトは結晶度が悪いが、下層部の割れ目に挟在する充填鉱物に含まれるスメクタイトは結晶度が良い。また、上層部と異なる点は、スメクタイトの結晶が高いこと、上層部の割れ目充填鉱物として方解石が含まれるのは変質帯の中心部付近のみであるが、下層部（560m以深）では、一般的に、単一の割れ目に方解石を伴うことである。という違いが認められる。

以上のような、上層部、中層部、下層部での割れ目の形態、割れ目充填鉱物、母岩の変質形態の違い、特に、割れ目充填鉱物にふくまれる方解石について検討すると次のような可能性が考えられる。

例えば、ストリーパプロジェクトによると、地下水のpHはCaO-CO₂-H₂O系の平衡状態すなわち方解石の溶解性、CO₂の溶解性及び水性炭酸塩の平衡状態によりしばしば規制され、浅部の希釈地下水（pHがほぼ6を示し、CO₂の分圧が約10バールの条件下）では、方解石は不安定で、部分的に閉じた条件下の飽和状態において約8のpH値に達するまで溶解する傾向があるが、深部地下水は9-10のpH値を示し、飽和状態となり、塩化物濃度の増加とともに方解石を沈殿させるとしている(Nordstorm, et, al, 1985)。

AN-1号孔において、割れ目の性状、割れ目充填鉱物、母岩の変質形態が異なる。特に、上層部で一部緑色変質帯中の割れ目充填鉱物に方解石が含まれるのみで、一般には方解石が含まれないが、下層部では一般に割れ目充填鉱物として方解石を含むという事実から、下層部（特に500m以外）では、pH値の増加（9以上）、濃度の増加、Cl増加等が可能性として考えられる。

従って、割れ目の頻度が著しく低い中層部を境に、地下水の循環系と地下水の化学組成が異なる可能性が考えられ、今後、地下水の化学的特徴および岩盤と地下水の相互作用の履歴を詳細に調査する必要がある。

また、上層部と下層部で割れ目の形態が異なる（上層部では高角度のグループの割れ目、下層部では低角度のIグループの割れ目が卓越する）原因として、主要割れ目を形成される構造力学的応力場に相違が生じていることが考えられる。

深度 (m)	AN-1	割れ目		割れ目の形態	岩相	変質帯					割れ目充填鉱物						
		割れ目数 (n/m)	R.Q.D. (%)			変質帯位置	変質帯深度 (m)	変質程度 (色)	変質幅 (cm)	累帯構造	変質帯の特徴	割れ目充填鉱物 組合わせ	割れ目充填鉱物の特徴				
100	上層部				Biotite Granodiorite									Pグループの 割れ目充填鉱物 充填鉱物は薄く(1-2mm) 表面全体にコーティングされている。 Iグループの 割れ目充填鉱物 充填鉱物は厚い (Max. 2cm)。 緑灰色を呈する。			
200				Pグループ	Allanite -fluorite biotite Granodiolite	58.60 -63.60	Pinkish	500			コア全体が緑色を呈し、 ハンマーでたたいても割れない程度の堅さ。 有色鉱物が主に変質を受け、 角閃石、黒雲母が緑泥石に 変質。長石は微少割れ目によっ て絹雲母が晶質。	モンモリロナイト 鉱物 + 絹雲母 + (カオリナイト 鉱物) + (緑泥石) + (方解石)	モンモリロナイトは微量、 非晶質 変質帯中心部に方解石を 含むが、一般には含まない。				
300	中層部				Calcite -muscovite siliceous Granodiolite	150.15 -150.25	Greenish	10			単一割れ目に伴い幅1-2 cm 淡桃色に変質。これは、長石 の絹雲母化によるものである。	絹雲母	単一割れ目に充填鉱物と して絹雲母が晶質。				
400				Pグループ	Allanite -fluorite biotite Granodiolite	161.50 -163.50	Greenish -Dark greenish	230			単一割れ目に伴い幅1-2 cm 淡桃色に変質。これは、長石 の絹雲母化によるものである。	絹雲母	単一割れ目に充填鉱物と して絹雲母が晶質。				
500	下層部				Biotite Granodiorite	217.30 -223.90	Greenish -Dark greenish	660			コア全体が白~灰白色を呈 する。指ですりつぶせるほ どの脆さを呈する。 有色鉱物は原形をとどめて いない。長石の変質が著しく、 モンモリロナイトに変質。	モンモリロナイト 鉱物 + 雲母粘土 鉱物 + (カオリナイト 鉱物) + (方解石)	充填鉱物は灰白色を呈する。 モンモリロナイトは 量が多く結晶度が高い。 単一割れ目に方解石を伴う。				
562.80				Iグループ	(biotite) Granodiolite	264.80 -268.20	Pinkish (single- fracture)	340				モンモリロナイト 鉱物 + 雲母粘土 鉱物 + 方解石					

第14図 上層部(16.8-300m), 中層部(300-420m), 下層部(420以深)における割れ目の密度, R & D, 割れ目の形態, 岩相, 変質帯, 割れ目充填鉱物の特徴

6. AN-3号孔における割れ目特性調査

(1) 割れ目帯と割れ目の状態

割れ目の状態、割れ目密度の集中、R Q D値の深部方向への変化から、(a) 深度33.9 (不透合) ~40m (b) 40 ~80m (c) 80m~150m (d) 150 ~305m (e) 305 ~340m (f) 340 ~408mの6つに区分できる。尚、岩相柱状図、割れ目観察結果を第15に示す。

(a) 深度33.9~40m は風化による変質を伴うマイクロクラック集中部及び鉛直方向に対する角度70-90° のIグループの割れ目が卓越する。また他に緑泥石、スメクタイト等から構成される充填鉱物を含む。鉛直方向に対する角度30~40° のPグループの割れ目が発達する。R Q D値は20~70を示す。

(b) 深度40~80m では、R Q D値は30-70を示し連続する割れ目の深度は0 ~7n/mを示す。また、この深度区間では57~62m, 79~83m 付近に弱い割れ目の集中帯(連続する割れ目の深度6 ~9n/m, R Q D 30~50を示す)が存在する。割れ目集中部と割れ目の密度の小さい部分は10~15m 間隔で周期的に分布する。

この深度区間のうち特に50~70m の粗粒花崗閃緑岩には、主として鉛直方向と70-90° を呈するI (Iタイプ) グループ割れ目が発達する。

(c) 深度80~150mにはR Q D値0 ~50、連続割れ目の密度5 ~13n/mを示す割れ目集中部と、R Q D 20~60、連続割れ目の密度2-5n/mを示す部分に区分させる。

割れ目集中部は、1) 87~94m 2) 100~120m 3) 137 ~139mの3深度区分に分布する。

割れ目集中部の間の区間には2 ~5n/mの割れ目が平均して存在し80~150mの深度区間の岩盤には一般に亀裂が多く発達している。

(d) 深度150 ~305mには、R Q D値60~90、連続割れ目の密度2 ~5n/mを示す割れ目が少なく比較的堅固な部分と、P Q D値0 ~50、連続割れ目5 ~13n/mを呈する割れ目集中(変質を伴う)部分とに区分される。この深度区間には、1) 165 ~175m 2) 215 ~218m 3) 235 ~245m 4) 260 ~266m 5) 290 ~305mの5つの割れ目集中帯が存在する。

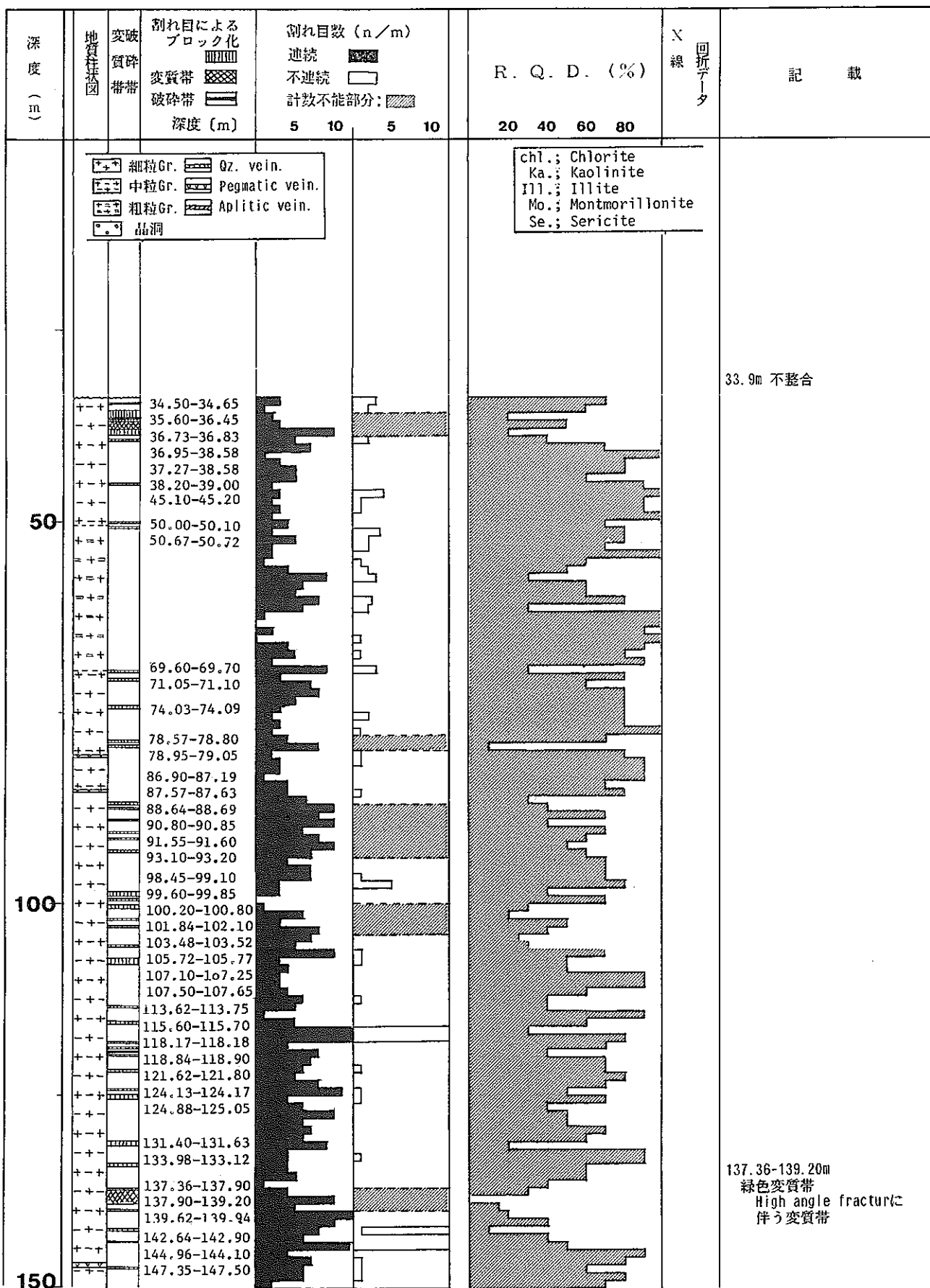
(e) 深度305 ~340mではR Q D値70~100、連続割れ目の密度0 ~6n/mを呈し、割れ目の数は少なく堅固な岩石である。一般に鉛直方向と20~50° を呈するPグループの割れ目が発達する。

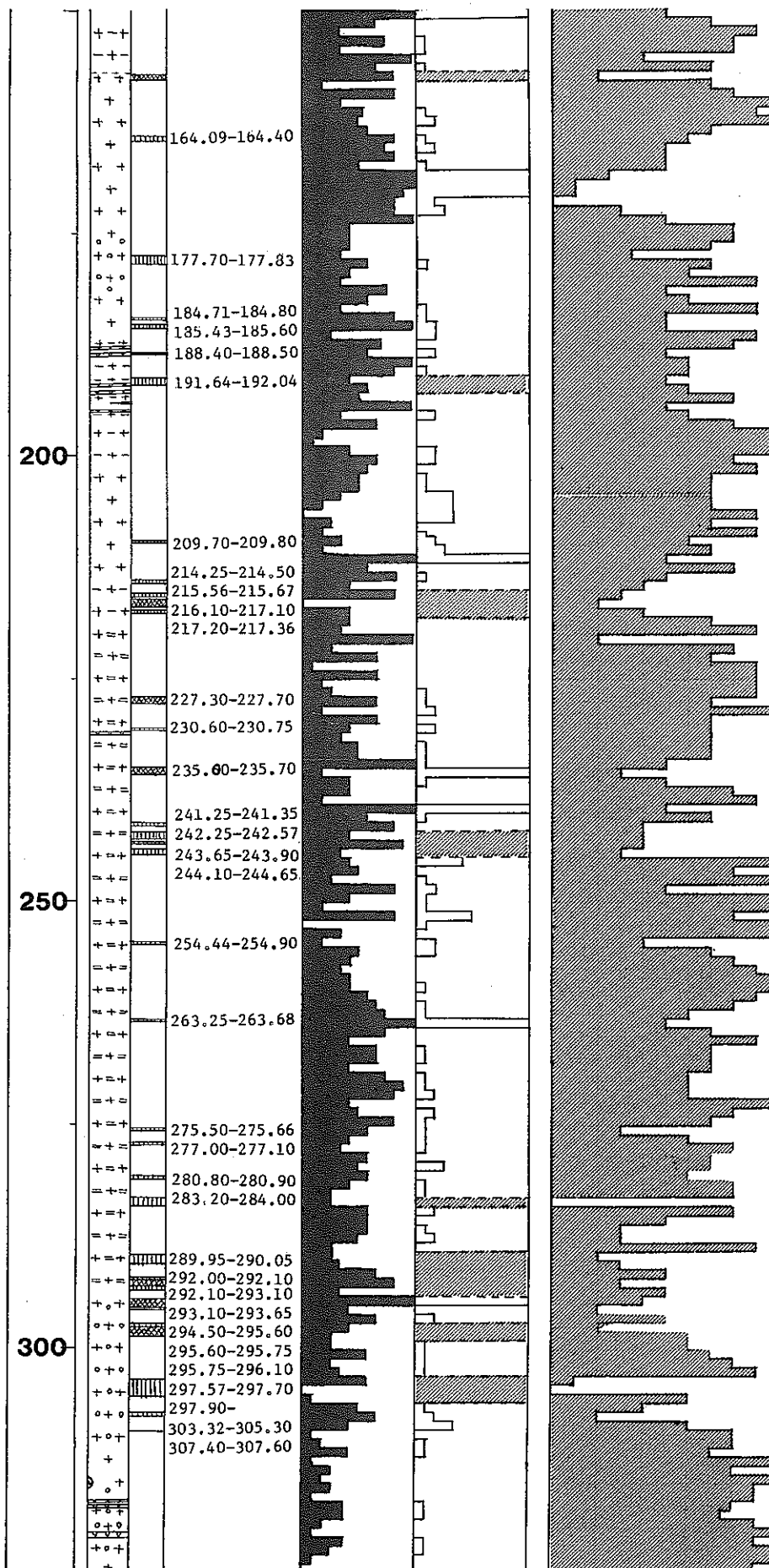
(f) 深度340 ~408mではR Q D値70~100で連続割れ目の密度0 ~4n/mを示す割れ目の少ない堅固な岩盤と、R Q D値0 ~30で連続割れ目の密度7 ~13n/mを示す割れ目集中部(変質を伴う)に区分される。

割れ目集中部は1) 340 ~352m 2) 360 ~364m 3) 386 ~387m 4) 392 ~396mの4深度区間に存在する。

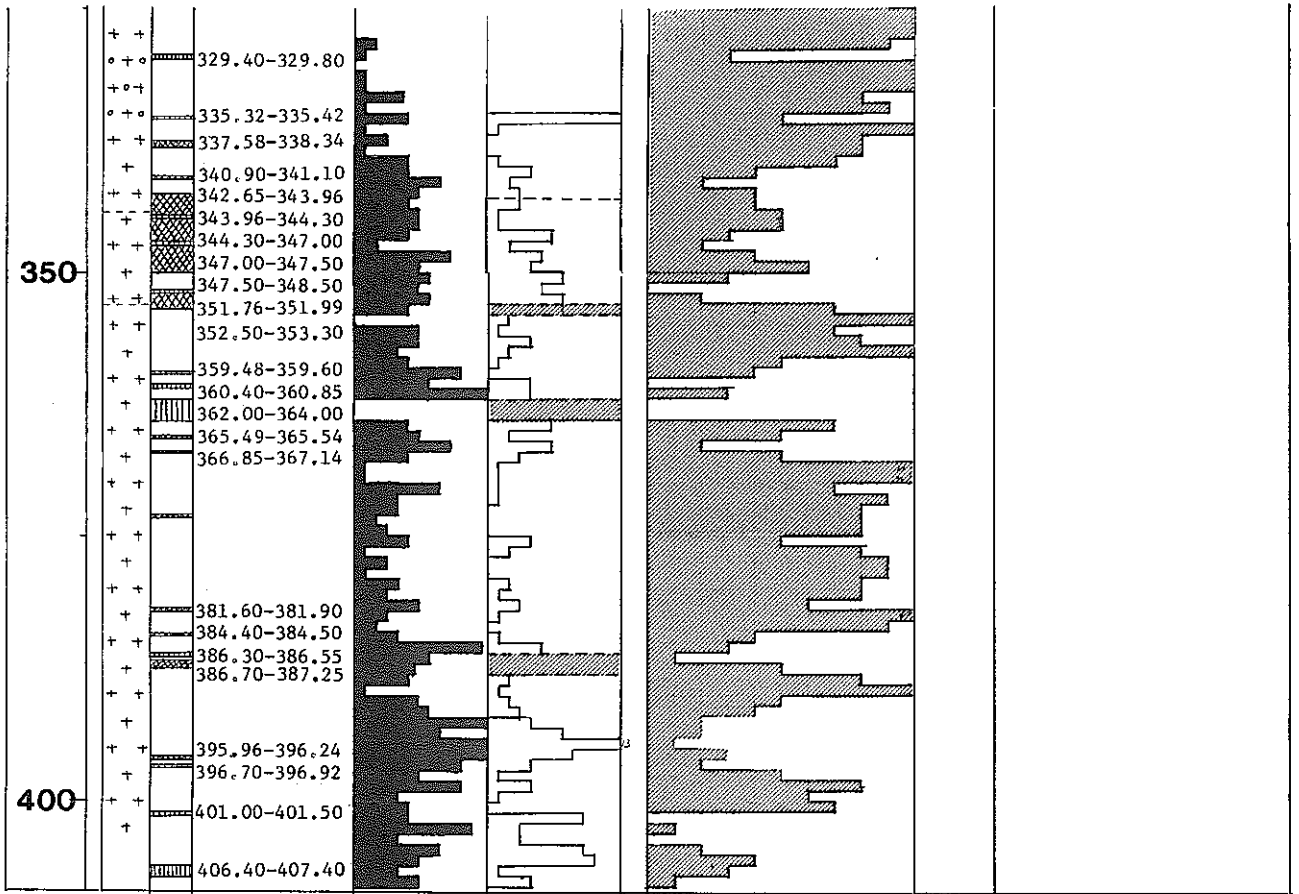
尚、割れ目パターン(形態等)の定量的な解析は現在実施している。

第15図 東濃（正馬様）A N - 3号孔柱状図





216.10-217.20m
放射能異常帯
(Max. 500cps)
5cm の濃緑色変質と
セリサイトを伴う空
隙が発達する。



(2) 岩盤の変質形態

A N-3号孔には、割れ目及び割れ目帯中に緑色変質帯、淡桃色変質帯、赤色変質帯が発達する。A N-3号孔については変質鉱物の同定の関する実験等、不十分であるが、昭和62年度において分析を実施した137.36~139.20mの緑色変質帯、216.10~217.20mの濃緑色変質帯、及び、392.15~392.45mの赤色変質帯について報告する。

a) 緑色変質帯(137.36 ~139.20m)

変質帯は緑色~黄緑色を呈し、変質鉱物として絹雲母、スメクタイト、カオリナイトを、他に方解石を伴う。

b) 濃緑色変質帯(216.10 ~217.20m)

濃緑色変質帯は、変質鉱物として、スメクタイト、絹雲母、緑泥石を伴う。濃緑色変質帯の両側には空隙が発達し、その中を黄色の絹雲母が晶出している。またこの変質帯は放射能異常(500cps)を伴う。

c) 赤色変質帯(392.15 ~392.45m)

変質帯は割れ目に沿って幅5cmで赤色に変質し、変質鉱物として絹雲母、鉄酸化鉱物を伴う。

(3) 割れ目充填鉱物

割れ目充填鉱物は200メッシュ以下に粉碎し、21試料についてバルク無処理でX線粉末回折実験を行い、構成鉱物の同定を行った。X線回折実験は、日本電子ディフラクトメーター(SDX-60S4Z型)を使用し、測定はCuK α , 30KV, 30mA, シンチレーションカウンター、走査速度2/minの条件で行った。

尚、今回の割れ目充填鉱物の調査では、特に、結晶質岩の浅部から地下深部にわたる地下水の循環及び地下水の地球化学的状態に関する基礎的な情報を取得した。

割れ目充填鉱物は、主としてスメクタイト、雲母粘土鉱物、緑泥石、方解石から構成される(第6図)。これらの充填鉱物の組合せ、色、含まれるスメクタイトの特徴、方解石の有無から、300m以浅、300~340m、340m以深に区分される。

① 深度(不整合~300m)

割れ目充填鉱物は、緑灰色を呈し、スメクタイト、雲母粘土鉱物、緑泥石方解石から構成される。方解石は主として緑色変質帯中心部の割れ目充填鉱物に含まれる。

② 深度(300~340m)

Pグループの割れ目に、主として雲母粘土鉱物から構成される充填鉱物が挟在する。

③ 深度(340~408m)

割れ目充填鉱物は白色~黄灰色を呈し、主としてIグループの割れ目に挟在する。充填鉱物は、主としてスメクタイト、雲母粘土鉱物、緑泥石から構成される。

深度 〔m〕	割れ目 充填鉱物 深度〔m〕	スメク タイト	カオリ ナイト	絹雲母	緑泥石	方解石
0	35.90			●		
	47.25				●	
	50.70			●		
	61.25	●		●	●	
	66.93	△		●		
	67.90	●		●		
100	105.45	●		△		○
	124.70	●			●	
	131.65	●		●	●	
	138.80			●		●
	191.55	◎		●	●	
200	243.40	△		●	△	●
	254.75	△		●	△	△
	297.80	●		●		●
	352.69	●		◎		
	375.45	○			●	
300	380.90	△~○			●	
	390.95	△~○			●	
	401.00	△~○				
	401.15	△			●	
	406.48	△~○		◎		

第16図 AN-3号孔において割れ目充填鉱物

- 微量
- △ 少量
- 中量
- ◎ 多量

(4) 割れ目の方向性

昭和62年度AN-3号孔において清水建設による高効率地層検層装置シミズボアホールスキャナーシステムによりデモンストレーションが実施され、代表的な割れ目について部分的に方向性の解析を行った。

47.24～47.38mにはN25°W, 55°NEを呈するI3タイプ(幅8～100mm)の割れ目が、また50.77～50.90mにはN13°W, 55°SWを呈するI3タイプ(幅30～50mm)の割れ目が発達する。

90～105m深度区間には主してNS走向、高角度傾斜の割れ目が主として発達する。137.36～139.20mの緑色変質を伴う割れ目帯にはN15～66°W走向で、80～85°SE南東に傾斜する割れ目が卓越する。

151～152mの深度区間には、Iグループの割れ目が卓越する。

190～192mの深度区間にはNS走向で高角度(60～70°)東傾斜の割れ目が卓越する。

7. 調査結果と考案

現在AN-3号孔については、割れ目特性及び割れ目充填鉱物、変質帯における岩石鉱物学的調査を断続し実施している。従って、本報告書においては、現在得られているデータの中から割れ目の状態、割れ目充填鉱物、変質帯の特性についてAN-1号とAN-3号孔の比較を試みた。

a) 割れ目充填鉱物について

割れ目充填鉱物は直接割れ目の透水性に係わるだけでなく、割れ目を移動する地下水の地球化学的特性(Eh, pH等)により割れ目充填鉱物に含まれる変質鉱物の組み合わせが変化したり、方解石や鉄酸化鉱物の沈積、溶解がおこるなど、地下水の地球化学的特性に支配される。従って、割れ目充填物の組み合わせ、結晶度等の観点からAN-1とAN-3号孔の割れ目充填鉱物を比較した。

AN-1号孔、AN-3号孔とも300m以深の割れ目充填鉱物は、主としてスメクタイト、絹雲母、緑沼石から構成される。X線回折実験によるとスメクタイトの(001)底面の強度ピークは弱く、結晶度が悪い。しかし、AN-1号孔163~200m深度区間に含まれる割れ目充填鉱物(163.10m, 174.85m, 200.35m)とAN-3号孔191.55mの割れ目充填鉱物はスメクタイトの(001)底面の強度ピークが高く、結晶度が良い。AN-1号孔163~200m深度区間とAN-3号孔の190m付近を結ぶゾーンはレーダ法のクロスホールデータから低比抵抗帯があると考えられている(E zone)部分にあたる。

AN-1号孔300~420m(上層部)とAN-3号孔300~340mの深度区間では割れ目の密度が著しく低い部分であるが、発達している割れ目(Pグループ)には一般に絹雲母が充填している。

AN-1号孔420m以深とAN-3号孔340m以深の割れ目充填鉱物を比較すると、次のような違いが観察される。

① AN-1号孔の420m以深に発達する割れ目の充填鉱物は灰白色~白色を呈し、主としてスメクタイト、絹雲母から構成され、X線回折実験によるとスメクタイトの(001)底面の強度ピークが著しく強く、結晶度が良い。

しかし、AN-3号孔の340m以深に発達する割れ目の充填鉱物は、灰緑色を呈し、主としてスメクタイト、絹雲母、緑泥石から構成され、スメクタイトの(001)底面の強度ピークは300m以深部のものより強いが、AN-1号孔420m以深ほど強くない。

② AN-3号孔340m以深には、AN-1号孔と異なり、上記の灰緑色の割れ目充填鉱物の他に、石英脈を伴い割れ目に沿って淡桃色(一部赤色)に変質している。

b) 変質状態について

AN-1号孔、AN-3号孔について300m以浅と300m以深に発達する変質帯の特性について比較を試みた。

AN-1号孔については、300m以浅に発達する割れ目集中帯には高い確率で緑色~淡桃色の変質帯(主としてスメクタイト、緑沼石、絹雲母から構成される)が発達する(50.40~52.10m, 58.60~53.60m, 77.40~80.40m, 88.50~

91.00m, 102.50 ~ 105.00m, 141.50 ~ 145.50m, 161.50 ~ 163.80m, 217.30 ~ 223.90m, 264.80 ~ 268.20m)。しかし、AN-3号孔について、300m以浅部にはAN-1号孔よりも割れ目密度が高く、割れ目集中帯が存在するにもかかわらず、137.36 ~ 139.20m, 216.10 ~ 217.20m の2ヶ所で緑色変質を伴う割れ目帯が、また、290m付近で淡桃色に変質した割れ目帯が分布するにすぎない。

次に、AN-1号孔420m以深部と、AN-3号孔340m以深部を比較すると次のような違いがみられる。

AN-1号孔420m以深部に発達する変質は灰白色 ~ 白色を呈し、粉末状に脆れるほどもろく、主にスメクタイト、絹雲母から構成される。しかし、AN-3号孔340m以深部に発達する変質は岩石としては堅固で、一般に長石類が淡桃色に変質（鏡下では、長石が絹雲母化）し、さらに部分的ではあるが、割れ目に沿って赤色の鉄酸化鉱物が晶出する。また、この変質帯には、石英脈を伴う割れ目が多数有在する。

c) 割れ目の状態

割れ目の特性（割れ目の形態、方向性、密度等）は、現在の段階でAN-1号孔とAN-3号孔で次のような違いが観察されている。

- ① AN-3号孔は、AN-1号孔より割れ目の密度（平均密度）が高い。
- ② AN-1号孔で観察された割れ目集中帯の周期性は、AN-3号孔では弱く見られるものの、AN-1号孔ほど明瞭でない。
- ③ 割れ目集中帯が存在するにもかかわらず、変質帯を伴うことがすくない。

8. 今後の調査計画と内容（昭和63年度 実施計画）

① 割れ目充填鉱物について

62年度の調査では、粘土鉱物（スメクタイト、カオリナイト、雲母粘土鉱物）と方解石の同定を中心に解析を行った。さらに、地下深部での地下水の地球化学的特徴（Eh, pHも含む）と地下水の循環系に関する情報を取得することを重点課題とし、鉄酸化鉱物（ FeOOH , Fe_2O_3 , FeS_2 ）の沈澱に注目し、調査を行う。

② 割れ目の性状調査

単一の割れ目の形態・性状が割れ目の透水性とどのような関係を持つか、水理試験によって得られた水理定数と比較し、割れ目の透水性評価のための割れ目の形態分類を確立する。

③ 岩盤の地球物理的調査

処分サイトでの岩盤の性能評価を行うために、深部岩盤の水理的、地球化学的そして力学的特性等を乱さないで、数少ない試錐により岩盤評価を行わなくてはならない。そのために、地質現象（割れ目の性状、変質形態等）、割れ目の幾何学的特徴（割れ目の方向性）、地球物理的特徴（物理検層データ、岩石物性データ等）、水理的特性（亀裂媒体での岩盤の透水性）レーダ法等による3次元解析を総合的に分析し、岩盤評価の一手法となる岩盤区分を作成する必要がある。昭和62年度は、その第一段階として物理検層、コアによる岩石物性値（密度、有効孔隙率、弾性波速度）を総合解析し、孔隙率とRQD値をもちい岩石の物性的な方向から岩盤区分をおこなっている。今後、割れ目及び割れ目帯の性状、変質形態、マイクロクラック等の岩盤の地質的特性と物理検層及び岩石物性値との比較を行い、物理検層データ、岩石物性値を支配している地質的な現象を確明することにより、岩盤区分を確立していく。

④ 割れ目の方向性に係わる問題

水理及び水理地質構造を三次元的に示すためには、剪断性の割れ目・割れ目帯および展帳性の割れ目・割れ目帯を加味した構造モデルを作り、想定した構造モデルと透水性の関係を把握する必要がある。地球物理的諸特性（検層、コアの岩石物性、レーダ法）と岩盤のもつ割れ目の特性、岩石鉱物学特徴を含めた総合的な解析を実施する。

62年度の割れ目の性状調査では、割れ目の形態を表面構造等から4つのグループ（P, I, C, S, グループ）に区分したが、それらの形態分類が上記のような透水性を考慮した構造モデルにどのように関係してくるかを調査する。また、割れ目帯でも、変質を伴う割れ目帯と変質を伴わない割れ目帯では透水性が異なる可能性があり、今後、割れ目に伴う変質の形態が透水性にどのような影響を与えているか検討する。

⑤ 岩石-地下水の相互作用に係わる問題

62年度調査では、母岩と変質帯の鉱物化学的及び岩石化学的特徴（全岩分析値）の比較、検討を行った。今後、地下水の組成と比較、検討することにより、一試錐孔での反応系、特に、地下水の貯留層と考えられる規模

の大きい変質帯での、地下水と変質帯の岩石化学的性質が把握できるもの
と考える。しかし、地下水の移動経路となる単一割れ目系・割れ目帯での
元素の微量な挙動は、今回のバルクによる全岩分析の比較だけでは十分で
ないので、63年度は、岩石と地下水の相互作用に係わる調査研究として、

- a) 単一割れ目における元素 (Fe, K, Na, Ca等の元素の分布、挙動) のEPMA分析、
赤外分光装置によるFeの分布の分析。

特に、地下水によりいったん溶脱したFeの岩石への固定・鉱物化、含鉄鉱物
の変態 (goethite ~ hematite) 沈積。

- b) 長石類 (カリ長石、斜長石の固溶体成分 < Ab, Or, An >) と変質形態及び地下
水組成との関係。
c) 単一割れ目の表面に付着している鉱物の微量分析等の調査項目が必要である。

⑥ AN-1. 2. 3号孔の岩芯記載結果による三次元地質構造の把握

AN-1. 2. 3号各試錐の岩芯を用いた割れ目記載データ、母岩の岩石
鉱物学的特徴、割れ目充填鉱物・変質形態の特徴の基礎的なデータを整理し、
BTVによる割れ目の方向性、レーダ法、透水試験とのデータとの相関を考
慮し、三次元的な地質構造及び水理的状况を総合的に解釈した水理地質構造
モデルの構築を行う。

9. 参考文献

石原舜三・鈴木淑夫(1969): 東濃ウラン鉱床の基盤花崗岩類, 地調報告、No. 232,
P. 179-220.

Nordstorm, D. K., Andrews, J. N., Carlsson, L. Fontes, J. C., Fritz, P., Moser, H.,
Ummeltforschung and Olsson, T. (1985): Hydrogeological and
Hydrochemical Investigation in Boreholes, -Final report of the phase
I geochemical investigations of the Stripa groundwater, Rep. 85-06,
SKB.

杉山隆三(1966): 東濃ウラン鉱床地帯の基盤花崗岩類の研究、特に花崗岩の分類と
花崗岩体の地質構造とについて、昭和40年度原子燃料公社委託研
究報告