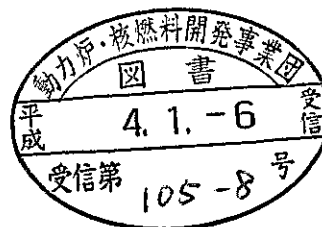


PNC TN7410 90-007



公開

PNC TR/GE 89-07

深部花崗岩中の割れ目解析

— 花崗岩岩盤における割れ目特性および

その分布特性に関する研究 —

1990年12月

吉 田 英 一

大 澤 英 昭

動力炉・核燃料開発事業団 中部事業所

岐阜県土岐市泉町定林寺園戸959-31

TEL 0572-54-1271 FAX 0572-54-8940

深部花崗岩中の割れ目解析（＊）

—花崗岩岩盤における割れ目特性およびその分布特性に関する研究—

吉田英一・大澤英昭

要 旨

地層処分システムの安全性を評価するためには地下水の流動を把握する必要がある。そのためには岩盤中に存在する不均質性を評価することが重要である。花崗岩のような結晶質岩の場合、その不均質性は割れ目の分布やその特性に起因する可能性がある。これを明らかにするため、東濃地域の花崗岩岩盤中において掘削された試錐コアサンプルを用いて割れ目の特性、特に割れ目の形態、粗度、充填物、割れ目の角度等について詳細な分類を行った。そして、その分類に基づき地表から500m深度までの垂直方向への岩盤区分を行なった。

その結果次のことが明らかになった。

- (1) この地域の花崗岩盤中の割れ目はその表面形状により、Planar(P), Irregular(I), Curved(C), Stepped(S) の4つの割れ目グループに区分される。
- (2) Pグループの割れ目は、一般に高角度傾斜を示し、割れ目表面に条線が認められる。このグループの約70%の割れ目は緑泥石、セリサイト、方解石からなる充填物を伴う。Iグループの割れ目は一般に低角度傾斜を示し、その表面は粗く、条線は認められない。このグループの約20%の割れ目は充填物を伴う。Cグループの割れ目の表面は、緩い曲面を成し、その出現は稀である。Sグループの割れ目の表面は、階段状を示す。
- (3) 花崗岩盤中において、各グループの割れ目は異なった分布特性を示す。割れ目の分布やその特性により、地表から地下500mまでの岩盤は垂直方向に3つのセグメントに区分される（セグメントⅠ：16.1—300m, セグメントⅡ：300—420m, セグメントⅢ：420—500m）。
- (4) セグメントⅠには主としてPグループの割れ目が、セグメントⅡにはIグループの割れ目がそれぞれ分布する。セグメントⅢは割れ目の密度が著しく小さい。

（＊）本稿の内容の一部は「応用地質」1989. vol. 30. No. 3 で発表したものである。

A STUDY ON FRACTURES IN THE CRYSTALLINE ROCK
- Analysis of properties and distribution
of fractures in the granitic rock -

Hidekazu YOSHIDA
Hideaki OHSAWA

ABSTRACT

For performance assessment of the geological disposal system, it is essential to evaluate groundwater flow in rock formations. Rock mass heterogeneity, which is considered to be derived from properties and distribution of fractures, might be taken as an important factor of groundwater flow analysis.

In order to comprehensively assess the fracture characteristics, fractures were classified basically according to the geometrical properties such as fracture pattern, roughness of fracture surface and angle of fracture including mineralogical analysis of fracture fillings, using the core samples obtained by drilling in the granitic rock in Tono area. On the basis of this classification, the rock mass was divided into formational segments from the surface to 500 meter below ground level.

The results are as follows;

- (1) Based on the difference of fracture pattern, the fractures of crystalline rock can be classified into four groups; i.e. Planar fracture (P) group, Irregular fracture (I) group, Curved fracture (C) group and Stepped fracture (S) group.
- (2) P group with a higher angle has smooth fracture surface with striation. Approximately 70 per cent of this group has such filling minerals as chlorite, sericite and calcite. The fractures of I group, about 20 per cent of which has filling minerals, are characterized by rough surface without striation and with lower angle. C group and S group have curved and stepped surfaces, respectively.
- (3) In the granitic rock of this area, each groups have difference in their distribution by which three segments are recognized from the surface to 500 meter below ground level; i.e. Segment I (16m to 300m), Segment II (300m to 420m) and Segment III (420m to 500m).
- (4) Segment I and II are mainly dominated by the fracture of P and S groups, respectively. Segment III is quite low in fracture density.

目 次

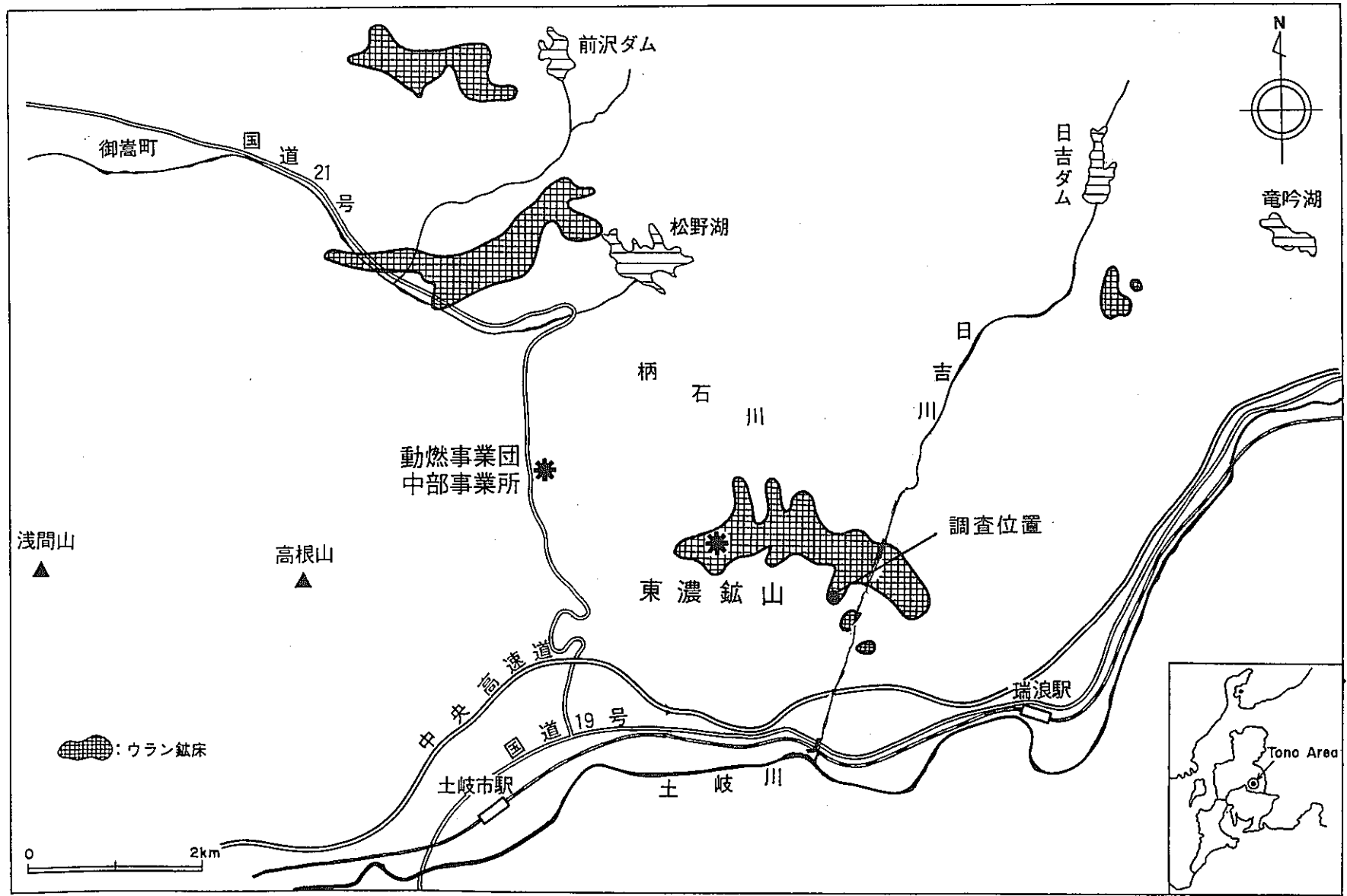
1. はじめに	1
2. 割れ目とその記載法について	4
3. 割れ目記載法	7
3.1 概 説	7
3.2 記載項目	7
3.3 記載項目各論	7
4. 割れ目記載の応用	22
5. まとめ	27
〔謝 辞〕	27
〔参考文献〕	28
写真プレート	29

1. はじめに

地層処分システムの地層中における核種の挙動と人工バリアの設置の場としての地質環境を評価するためには、移行遅延現象を支配する地下深部における地下水の流動機構と地球化学的特性を合わせて総合的に評価することが必要不可欠である。しかし、我が国における地下深部の水理学的環境に関する研究については、石油の地下備蓄および地下発電所の建設の際に調査された例があるのみである。

割れ目特性調査の目的は、地下水の通路となる割れ目の特性を明らかにし、割れ目の透水性に主眼を置いた地下水流動モデルの開発に寄与すること、地下水の地球化学的特性と密接に係わっていると思われる割れ目充填鉱物の成因ならびに変質作用（地下水と岩盤の相互作用）を解明し、物質の移行遅延現象に影響を与える地球化学的特性を明らかにすることである。本論では吉田ほか（1989）で議論した割れ目評価手法に用いた新しい割れ目記載法について詳しく報告すると共に、ボーリングコアに対して行ったその適用例について紹介する。対象としたコアは岐阜県東濃地域、動燃事業団鉱業用地内で掘削されたAN1号と呼ばれる深度1,000mのボーリング孔から得られたものである（図1.1，図1.2）。ここでは、500mまでのコアを対象とした。

尚、割れ目記載法の作成は岐阜県東濃地域に分布する花崗岩を対象に実施したが、他の地域の花崗岩にも適応可能なよう、地下深部における地下水の水理地質学的特性、地球化学的特性に強く係わると考えられる要因のみでなく、割れ目の成因に強く係わる要因をもとに作成し、一般性をもたせるよう考慮した。



東濃地域広域地下水流動調査位置図

図1.1 調査位置図

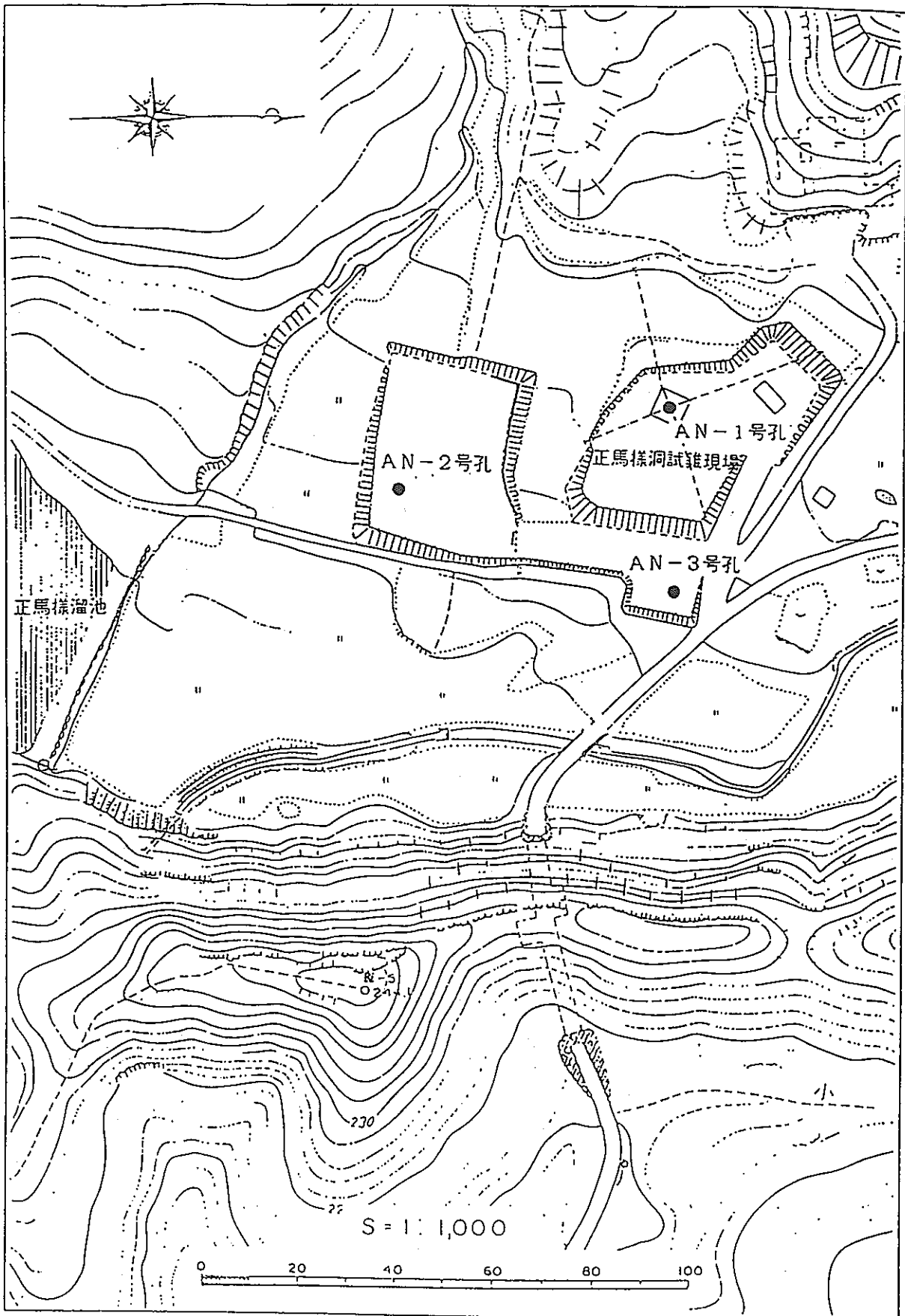


图1. 2 試錐孔位置図 (正馬様洞内)

2. 割れ目とその記載法について

“割れ目”とはおおまかに言えば1つの均質な鉱物や岩体あるいは地層中に認められる不連続面を指し示す言葉であり、小は顕微鏡下サイズのものから、大は露頭サイズのものまで含まれる。本論において取り扱う“割れ目”はボーリングコアを中心としたものであるため3次元的広がり（連続性）については考慮していない。AN-1号孔では次の3つのグループの不連続面が認められる。

グループⅠ：小規模割れ目（Joint, Fissureなど）として
肉眼で認められるもの。

グループⅡ：いわゆる変質帯として肉眼で認められず、鏡下
において観察可能な割れ目（Microfracture）。

グループⅢ：断層（Fault）及び破砕帯（Shear Zone）。

グループⅠとⅡは密接な関係にあり、ほとんどの変質帯において小規模の割れ目の発達が著しい。AN-1号孔においては、グループⅠの割れ目が全体に普遍的に認められ、グループⅡの割れ目は数十mに1ヶ所（幅約数mのゾーンとして）の割合で認められている。グループⅢの断層に至っては確実なものは1ヶ所でしか認められていないが、破砕帯あるいは小規模の断層と思われるものは数ヶ所において認められている（吉田ほか，1989）。以下のグループⅠ～Ⅲまでの全体的な概念の模式図を示す（図2.1）。本論で提案する記載法は、グループⅠ，Ⅱ，Ⅲいずれも考慮し、記載可能なように作成した。

図2.2は、土木地質学、地質学の分野で用いられてきた不連続面の名称を整理したものである。各名称は割れ目の成因に基づいた分類としては不明確であり、名称の使い方に混乱がみられる。本論で提案する記載法では、一般的に水理地質学的影響を与えると考えられている割れ目の表面の粗度、充填物の特性が割れ目の成因に基づいているという考えから、これらを考慮して割れ目の形態を分類した。

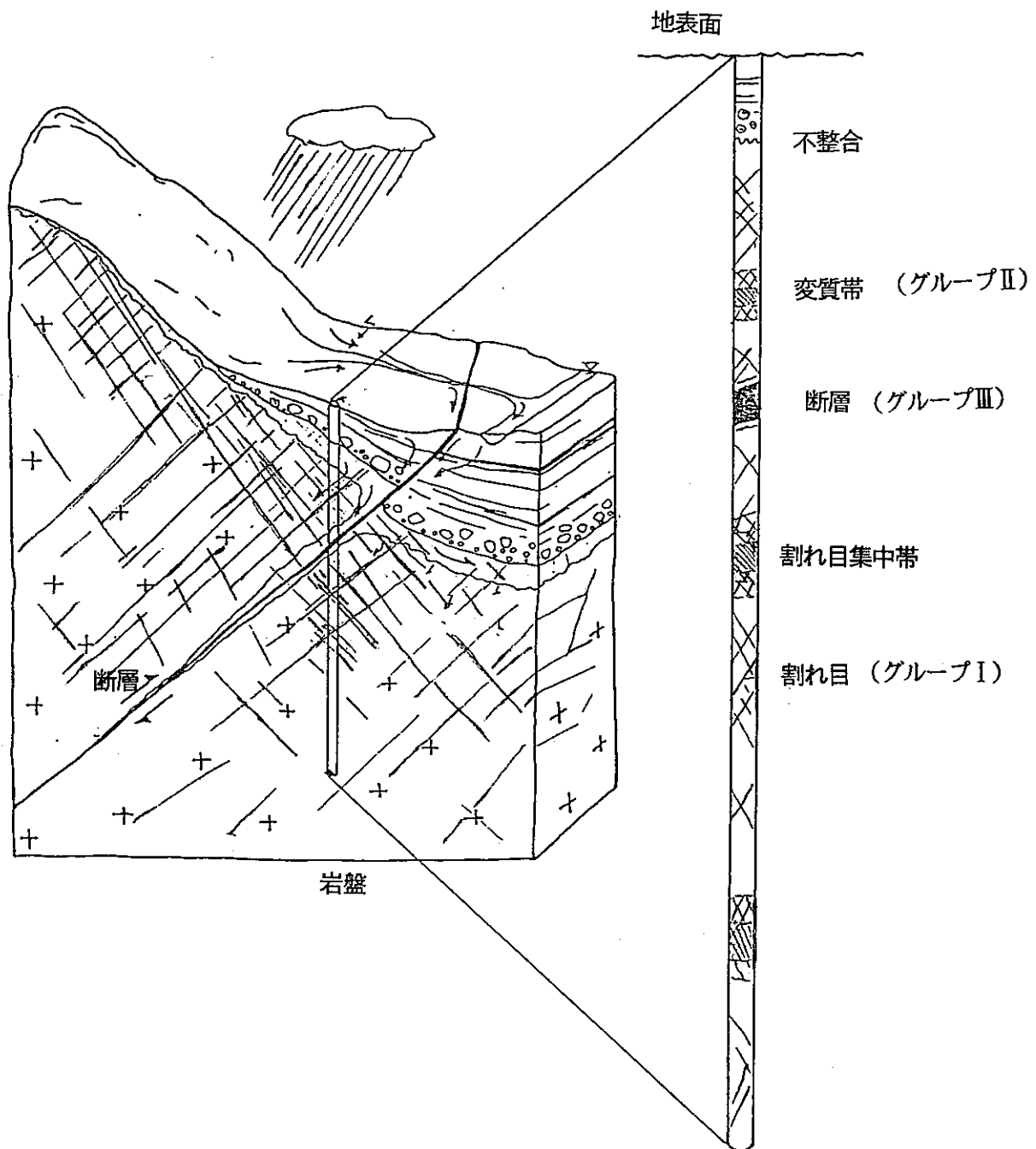


図2.1 岩盤に発達する割れ目の分類とその模式図

不連続面, 割れ目 (Fracture)

パーティング: 土木用語で走向・傾斜の測れる割れ目

節理 (Joint)

露頭で観察して、割れ目の両側に変位の認められないものか、あるいは変位が認められてもわずかしか変位していないもので、それには大きく下記の2つの成因によるものがある。

1. 内因的節理 (endokinetic)

主に岩体形成時に内因的要素により形成される節理,
(柱状節理, 板状節理, シーティング等)

2. 外因的節理 (exokinetic)

主に岩体形成後に外的応力により形成される節理,
(一般的な節理等)

注) 断層 (Fault) と節理 (Joint) の相違を1つの割れ目 (Fracture) について厳密に区別することは難しい。

シーム: 土木用語で走向・傾斜の測れない割れ目

裂っか (Fissure), ガッシュ (Gash)

引っ張り (Tention) の力によって形成されたと考えられるもので、割れ目に対して垂直方向の変位を持つものをいう。

この空間を部分に鉱物の充填されているものだけをカッシュと言う場合もある。

クラック (Crack)

一般的用語であり地質学的にはSun crackやmud crack等の連語として使われる場合が多い。

図2.2 不連続面 (割れ目)

3. 割れ目記載方法

3.1 概 説

割れ目の記載方法については、統一的基準による客観性を持たせるため記載項目をコード化した。しかし、コード化により本質的なデータが消される恐れが十分考えられるものにたいしてはマニュアルによりそれを補うようにした。

3.2 記載項目

割れ目記載を行ったAN-1号孔の試錐は、地下水の水理学的状況および地球化学的状況をできるだけ乱さないようにするため泥水を用いず、清水により掘削した。また、コアの取り出しに際しては、人工的な割れ目を生じさせないよう細心の注意を払い、かつ掘削現場にコア試料が観察できる棚を設置し、自然の割れ目に対して以下の13項目について観察・記載を行った(表3.1, 表3.2)。その項目は、1)深度, 2)柱状図, 3)割れ目深度, 4)割れ目帯形態, 5)割れ目連続性, 6)割れ目パターン, 7)割れ目表面構造, 8)スリッケンサイドの有無, 9)割れ目充填鉱物, 10)割れ目充填幅, 11)変質度, 12)変質幅, 13)割れ目の角度(角度は傾斜ボーリングを実施する場合もあるため、記載時には試錐孔延長方向と割れ目のなす角度で表現する)である。

3.3 記載項目各論

以下に各記載項目の定義、内容及びコードについて記述する。

(1) 深 度 (Depth)

深度スケールは、1/20を用いた。このスケールは割れ目を記載するためのスペースを確保するために設定したもので、現場における記載時には妥当なスケールと考えられる。

(2) 柱状図 (Geologic column)

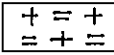
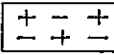
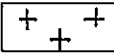
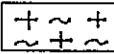
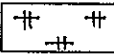
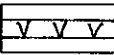
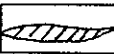
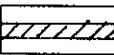
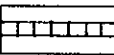
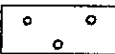
本論で示す岩相記載は、結晶質岩(花崗岩)を対象としたものである。尚、ボーリング掘削において採取されるコアは、掘削状態及び割れ目の密度により、人工的にくずれたりあるいは採取できない場合がある。また、変質帯においては多数の微小割れ目が存在し、記載不能な場合も存在する。以上の状況に対応するため、変質帯、コア崩れ、断層をこの項目に含めている。尚、岩相に関しては、調査対象領域に分布する岩体の種類により異なるためその対象領域に分布する岩相に応じた区分を設定する必要がある。下にその記載例を示す。

表3.1 コア観察記載項目




記載事項	記載事項
1. 深 度	AN-1号では1/20スケールを採用
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	割れ目深度を固定化するために割れ目面とコアの中央線の交点を記載
4. 割れ目（帯） の形態	採取された時の割れ目の状態を記載
5. 連続性	割れ目がコアを切っているか否かの記載
6. 割れ目パターン	割れ目パターンの分類（図3.2）
7. 表面構造	割れ目の表面構造・形態についての記載
8. スリッケンサイド	割れ目表面上に認められるスリッケンサイドの有無・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. 充填幅	割れ目充填幅の記載
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	試錐孔延長方向と割れ目のなす角度

[柱状図凡例 (岐阜県東濃地域の1例)]

<岩相>

花崗岩	粗粒 > 10 mm 中粒 1 ~ 10 mm 細粒 < 1 mm	
		
		
片麻岩		
閃緑岩		
ペグマタイト脈		
ゼノリス		
アプライト脈		
石英脈		
微晶洞の認められる部分		

<割れ目に関するもの>

変質帯	
割れ目の集中によりコア崩れを起こしている部分	
断層 (破碎帯)	

(3) 割れ目深度 (Depth of Midpoint)

ボーリングコアにおいて割れ目の位置を固定化するために、ボーリングコアの中心線と割れ目面の交点をその割れ目の深度として示す (図3.1)。

(4) 割れ目 (帯) 形態 (Type of Feature)

この項目は、採取された時の割れ目の状態を示したもので、掘削採取時の割れ目の開閉、掘削による割れ目、変質帯、微小割れ目帯、割れ目帯、断層、試錐によるラブルゾーン* 等を示したものである。

* 試錐時に潜在的に割れ目の多い部分または割れ目のない部分が人工的にコアが割れ角礫状になって採取される部分。

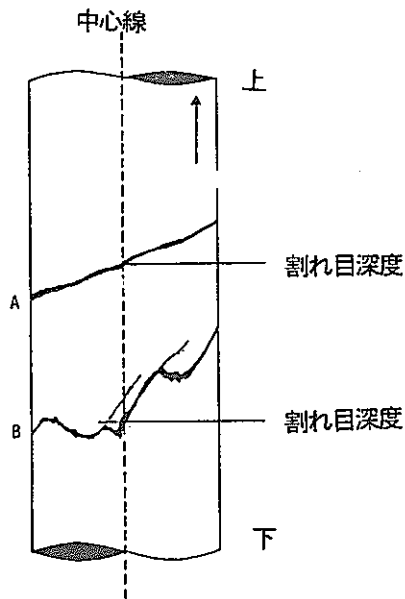


図3.1 割れ目深度

主要割れ目形態		割れ目タイプ		
		連続割れ目	不連続割れ目	割れ目形態の名称
P グループ				P ₀ ; Planar Type P ₁ ; Planar with major splays Type P ₂ ; Planar with minor splays Type P ₃ ; Parallel Type P ₄ ; Nonpersistence Planar Hairline Type
C グループ			IC ₁ ; Irregular and Curved Type IC ₂ ; Irregular and Curved with major splays Type IC ₃ ; Irregular and Curved with minor splays Type C ₀ ; Curved Type C ₁ ; Curved with major splays Type C ₂ ; Curved with minor splays Type C ₃ ; Braided Type C ₄ ; Nonpersistence Curved Hairline Type	
				S グループ

図3.2 割れ目形態分類

[略称コード]

OF : Open Fracture

CF : Closed Fracture

DF : Fracture opened by Drilling

[SA : Start of Alteration Zone

EA : End of Alteration Zone

[SF : Start of Microfracture Zone

EF : End of Microfracture Zone

[SM : Start of Fracture Zone

EM : End of Fracture Zone

[SW : Start of Open Fault or Shear Zone

EW : End of Open Fault or Shear Zone

[SD : Start of Rubble Zone caused by Drilling

ED : End of Rubble Zone caused by Drilling

[SN : Start of Rubble Zone caused by friable Rock or numerous open Fractures

EN : End of Rubble Zone caused by friable Rock or numerous open Fractures

(5) 連続性 (Persistency)

割れ目の連続性について示す。下記にその項目を示す。

[略称コード]

P : Persistency

D : Dispersistency

(6) 割れ目パターン (Fracture Pattern)

割れ目の表面構造 (粗度や条線の有無) 等その形状を基準に、図3.2 に示されるタイプに割れ目の形態を分類した。なお、この分類については後にまとめて詳述する。なお、記載内容・割れ目形態は、その記載事項をすべて数値・略号化し、割れ目特性データを統計的に処理できるように考慮した。ここではまず、割れ目の透水性を規制する1つのパラメーターと考えられ、かつ割れ目の成因 (割れ目形成時の応力場等) を示していると考えられる割れ目の表面構造 (割れ目表面の粗度と条線の有無等) を基準に、割れ目形態を大きく次の4つのグループに分類した。それらは、

- ・割れ目表面が滑らかで平らな形状を呈するPlanar (P) グループ。
- ・割れ目表面が粗い形状を呈するIrregular (I) グループ。
- ・割れ目表面が緩く湾曲するCurved (C) グループ。
- ・割れ目表面が階段状を呈するStepped (S) グループ。

の4つのグループである。

さらにそれぞれを細分し、25種類 (タイプ) の割れ目形態を設定した。図3.2 中にはその割れ目形態の分類とその略称および名称を示している。以下に25割れ目パターンの省略コードおよび名称を示し、各割れ目形態についての特徴点について述べる。

[略称コード] [名称]

P 0 : Planar Type
P 1 : Planar with major splays Type
P 2 : Planar with minor splays Type
P 3 : Parallel Type
P 4 : Discontinuous Planar Hairline Type

I 0 : Irregular Type
I 1 : Irregular with major splays Type
I 2 : Irregular with minor splays Type
I 3 : Braided Type
I 4 : Short discontinuous Hairline
I 5 : Microfracture

I C 1 : Irregular and Curved Type
I C 2 : Irregular and Curved with major splays Type
I C 3 : Irregular and Curved with minor splays Type

C 0 : Curved Type
C 1 : Curved with major splays Type
C 2 : Curved with minor splays Type
C 3 : Branch Type
C 4 : Discontinuous Cruved Hairline Type

S 0 : Stepped Type
S 1 : Stepped with major splays Type
S 2 : Stepped with minor splays Type
S 3 : Meshwork Type
S 4 : En echelon Type
S 5 : Discontinuous Stepped Hairline Type

(a) Planar Type (P) Group.

P (Planar) グループの割れ目は、表面構造が滑らかで鏡肌状を呈し、表面にしばしば条線 (滑り面) が認められるタイプである (写真1)。Pグループの割れ目は典型的な鏡肌を呈し派生した付随割れ目を伴わないタイプ (P₀)、派生した付随割れ目を伴うタイプ (P₁, P₂)、数cm~10cm程度の区間に数本のPグループの割れ目が発達しているタイプ (P₃)、コアを完全に切っていないタイプ (P₄) に区分される。Pグループの割れ目は、幅 0.1mm~10mmで充填物として緑泥石、絹雲母、方解石を伴うことが多い。また、高角度を呈するPグループの割れ目が集中しているゾーンには割れ目沿いに淡緑色あるいは淡桃色の変質帯 (変質鉱物としてモンモリロナイト、絹

雲母、緑泥石を伴う)を伴うことが多い。

(b) Irregular Type(I) Group.

I (Irregular)グループの割れ目は、表面構造が粗く、条線が発達していないタイプの割れ目である(写真2)。割れ目はコアの採取により人工的に開いているが、割れ目表面の凹凸は大部分かみ合う。Iグループの割れ目は、付随割れ目を伴わないタイプ(I₀)、付随割れ目を伴うタイプ(I₁, I₂)、幅5~20cm程度に数本の割れ目が集中し薄く剥離するタイプ(I₃)、幅5~20cm程度の区間に鏡下ではじめて観察できるような極めて微小な割れ目が多数発達しているタイプ(I₄, I₅)に区分される。Pグループの割れ目が、高角度傾斜(鉛直方向に対して、10~60°の角度)を呈するのに対し、Iグループの割れ目は、低角度傾斜(鉛直方向に対して80~90°の角度)を呈するものと、高角度傾斜(鉛直方向に対して10~60°の角度)を呈するものとが認められる。低角度傾斜を呈するIグループの割れ目は一般には充填物を伴わない。高角度傾斜を呈するIグループの割れ目は、充填幅1~2cmのモンモリロナイトを主体とした青灰色の粘土鉱物からなる充填物を伴うものと、全く充填物を伴わないものとが認められる。特に、変質部付近のIグループの割れ目は、幅1~2cmのモンモリロナイトを主体とした青灰色の粘土鉱物を充填物として伴うことが多い。

(c) Curved Type (C) Group.

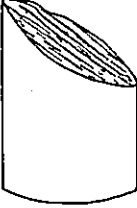
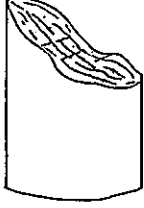
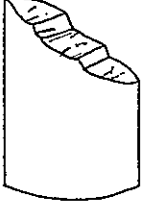
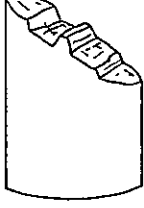
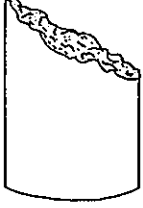
C (Curved)グループの割れ目は、割れ目表面が緩く湾曲するタイプである(写真3)。Cグループの割れ目は付随割れ目を伴わないタイプ(C₀)、派生した付随割れ目を伴うタイプ(C₁, C₂)、コアを切っていない不連続なタイプ(C₃, C₄)に区分される。Cグループ、Iグループの割れ目は、分布が著しく少なく、割れ目形成に直接結びつく情報が少なく、成因的に不明な点が多い。また、ICグループは、IグループとCグループの重なりあった中間的な形状を呈するタイプである。

(d) Stepped Type(S) Group.

S (Stepped)グループの割れ目は、表面構造が階段状を呈するタイプである。派生した付随割れ目を伴うタイプ(S₁, S₂)、網目状の形態を示すタイプ(S₃)、エシュロン状を示すタイプ(S₄)、コアを切っていない不連続なタイプ(S₅)に区分される。Sグループの割れ目に伴う変質はPグループのそれに類似する。Sグループは、表面構造が階段状を呈する(写真4)ことから、割れ目形成時の応力の方向が推定可能である。

(7) 表面構造 (Roughness:Surface Structure of Fracture)

表面構造によって、割れ目成因を知るための重要な手掛かりを得ることができる。今回の調査により表面構造を大きく5つ(A~E)の形に分類した(図3.3)。この分類は割れ目パターンおよび条線(Slickenside)、割れ目充填鉱物(Filling material)の有無と密接な関係を持つ。

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

図3.3 割れ目の表面構造

A : Smooth(with slickensides)Type.

表面はほぼ平らな面で、割れ目全体に鉱物が付着し、条線がよく認められる。充填物は割れ目表面に強くコーティングされている。一般的にコーティング鉱物の厚さは1～2mmである。割れ目パターンはP₀グループに該当する。

B : Defined ridges Type.

表面は多少凹凸を帯びてくる。スリッケンサイドはあまり認められず、充填物も表面全体を覆っているものの表面に強くコーティングされていることは少ない。むしろAタイプより充填物の厚さには幅があり、厚いものでは1cm近くになる場合も認められ、指などで簡単に剝がし落とすことができる。割れ目パターンではP₀とC₀グループによく認められる。

C : Small step Type. 及び D : Rough Type.

主に、ステップタイプ(S₀)グループの割れ目表面に認められる。スリッケンサイドは認められない。充填物も少なく、鉱物が付着している場合でも基地の地はだか認められる。

E : Irregular Type.

割れ目のI₀タイプグループの割れ目表面で、ほとんどの場合充填物は認められないか、あるいは表面に微粒子の鉱物が付着するのみである。このタイプは主に変質帯及びこの周辺あるいは割れ目帯に多く、単独で認められることは少ない。単独で存在する場合は人工的割れ目である場合が多い。

(8) スリッケンサイド (Slickenside)

本項目は、過去割れ目面を境にして移動したかどうかを示すものである。

[略称コード]

- | | |
|---|---|
| 0 | Unknown or none |
| 1 | Shear with two or more possible direction of movement |
| 2 | Shear with defined direction of movement |
| 3 | Right hand movement |
| 4 | Left hand movement |
| 5 | Dip Slip |

(9) 割れ目充填鉱物 (Filling minerals)

本項目は、割れ目を充填している鉱物についての記載である。下記の鉱物名については、AN-1号孔の調査において認められたもの、あるいは他に一般的に存在し得ると考えられるものを選択し示した。

BI : Biotite	(黒雲母)	PL : Plagioclase	(斜長石)
CA : Calcite	(方解石)	PY : Pyrite	(黄鉄鉱)
CR : Carbonate	(炭酸塩)	QZ : Quartz	(石英)
CL : Chlorite	(緑泥石)	RF : Rock Fragment	(岩片)
CY : Clay	(粘土)	SR : Sericite	(セリサイト)
DO : Dolomite	(ドロマイト)	SI : Silt	(シルト)
EP : Epidote	(緑簾石)	SM : Smectite	(スメクタイト)
FU : Fluorite	(蛍石)	SL : Sulfide	(硫化物)
FD : Feldspar	(長石)	ZQ : Zeolite	(ゼオライト)
GM : Ground Rock Mass	(0.1~ 5mm)	NO : None or no visible filling	(充填なし)
IL : Illite	(イライト)	UN : Unknown	(不明)
MI : Mica	(雲母)		
MO : Montmorillonite	(モンモリロナイト)		
MU : Muscovite	(白雲母)		

(10) 割れ目充填幅 (Thickness of Filling materials)

割れ目充填幅の測定について示す。Poタイプグループ (図3.4a) については、割れ目充填幅のみの記載だけを行い、Soタイプグループ (図3.4b, 図3.4e) とIoタイプグループ (図3.4c, 図3.4d) では、充填物の幅と割れ目帯の幅の両方を測る。

(11) 変質度 (色) (Type of Alteration)

AN-1号孔のコア観察結果より、変質のパターンは大きく4つに分けられる。

[略称コード]

BO Brownish-Orange Colouration

主に酸化変質の部分において認められるものでAN-1号孔においては浅層において認められる。

GR Green Colouration

深度300m付近までの変質帯に最も多く認められるタイプである。20~50m間隔で特に微小割れ目の発達する部分に認められる。

GW Grayish-White Colouration

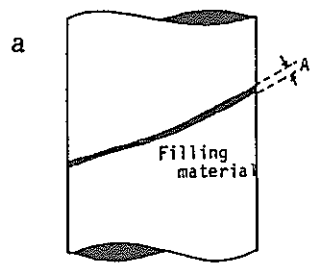
AN-1号孔では、400m以深において認められるタイプ。Ioタイプの割れ目を多く伴い、青灰色の介在鉱物を有する。部分的には、粒子サイズにまで破碎されている場合も認められる。

PI Pink Colouration

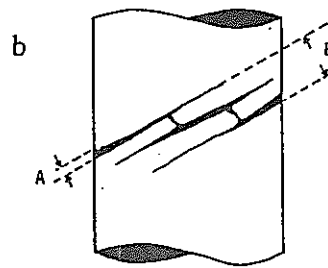
GWタイプの色の異なるものを示す。

(12) 変質幅 (Thickness of Alteration)

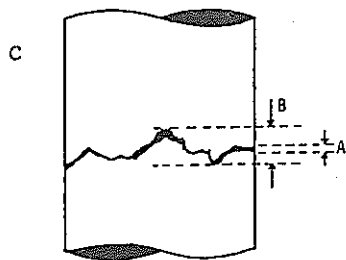
図3.5 に割れ目に伴う変質幅の計測の仕方について示す。変質幅は、割れ目の両側に伴う変質幅の和の最大値で示す。しかし、変質帯の場合その変質の部分は漸移変化 (累



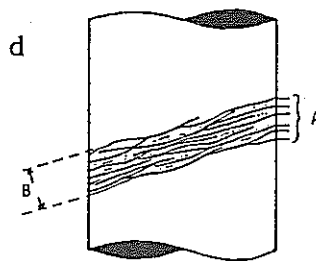
A ; Thickness of filling,
gouge and fracture Zone.
(Planar and Curved Fracture type)



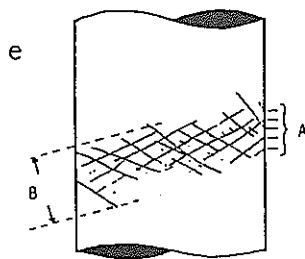
A ; Thickness of filling
material Zone.
B ; Thickness of Fracture
Zone.
(Stepped Fracture Type)



A ; Thickness of filling
materil Zone.
B ; Thickness of Fracture
Zone.
(Irregular Fracture Type)



A ; Total filling width of
individual braids.
B ; Thickness of braided Zone.
(Braided Fracture Type)



A ; Total filling width of
meshwork Type.
B ; Thickness of Fracture Zone.
(Meshwork Fracture Type)

図3.4 割れ目幅

a : 割れ目幅

b : 割れ目帯の幅

帯構造)を示すことが多いため、非変質部と変質部の間に明瞭な境界を引くことが出来ない場合もあり、その境界についての判断基準は現段階では確定していない(図3.5)。

(13) 角度 (Angle Measurements)

割れ目における角度の測定部分は、A：割れ目そのものの角度と、B：割れ目表面の構造(条線)のなす角度の2つに分けられる(図3.6)。Aは掘削方向と割れ目のなす角度で示した。Bは、割れ目表面に認められる条線とその主軸とのなす角度で、現段階ではボーリングコアに基線になるもの(例えば、コアオリエンターターの基線等)がないため、便宜上その主軸との角度を示すことで条線を記載することになっている。

(14) その他

(a) R. Q. D (Rock Quality Designation)

コア1 m中における10 cm以上のコアの部分について%で示したものである。

これは、1 m中の割れ目の数と密接な関連性を持つ。

$$R. Q. D = \frac{10 \text{ cm以上のコア長の総計 (cm)}}{100 \text{ cm}} \%$$

(b) 岩盤等級 (Rock Classification)

岩盤等級を菊池・斉藤(1975)(表3.3)に従って記載したもので、岩盤の風化、変質と密接な関連を持つ。

(c) コア欠除部分 (Core Loss)

コアの欠除部分を深度(m)で示す。

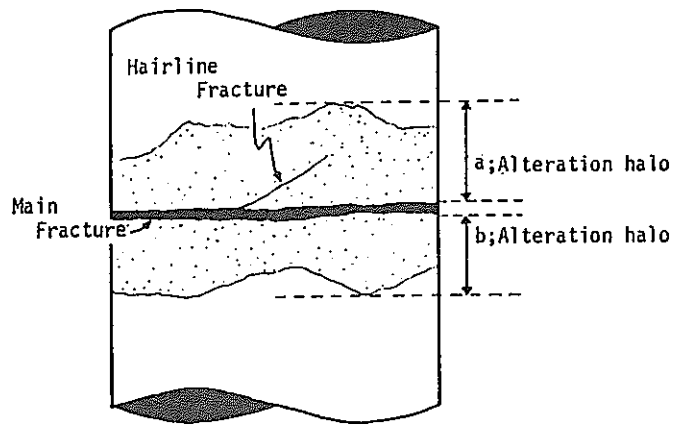
(d) スケッチポイント (Sketch Point)

注意を要する部分、並びに重要な部分の詳細な記載を行ったポイントを示す。

(e) サンプルポイント (Sampling Point)

(f) 備考 (Comments)

以上の記載で示されなかった事項及び特記すべきことについて記述。特に、現段階では岩相的な面についての記載フォーマットはまだ不完全であるため岩相についての記載を特に残しておく必要がある。



Alteration thickness is $a+b$ *

図3.5 変質幅

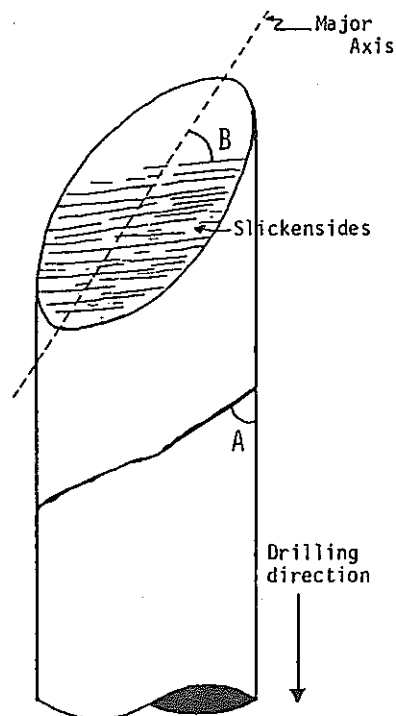


図3.6 角度

A : 割れ目幅 B : スリッケンサイド角度

表3.3 岩盤分類 (菊池・斉藤, 1975による)

岩盤等級	硬質岩					
	一応の目安としては、新鮮な岩石のテストピースの一軸圧縮強度が800~1000 kg/cm ² 以上のものである。岩石ハンマーによる打撃では一般に金属音を発する。	分級要素				
		造岩鉱物(あるいは構成粒子)の状態	節理の状態			
		風化状態	固状状態	節理密度	節理の開口性	節理面の状態
A	岩質はきわめて新鮮で、火成岩の造岩鉱物あるいは堆積岩の構成粒子は全く風化変質しておらず、また節理はほとんど分布していない。岩盤としてはきわめて堅牢、固密である。	○	○	○	○	○
B	岩質は新鮮で、火成岩の造岩鉱物あるいは堆積岩の構成粒子はほとんど風化変質していない。また節理の分布はまばらであり、密着している。岩盤としては堅牢、固密である。	○	○	△	○	○ または △
C	C _H 岩質はおおむね新鮮、堅硬であるが、火成岩では造岩鉱物中、長石類および雲母、角閃石などの有色鉱物がわずかに風化変質している場合もあり、また堆積岩類では構成粒子として二次的に存在する長石類および有色鉱物がわずかに風化変質している場合もある。節理はかなり分布しており、また節理面は風化変質を受けて変色汚染されている場合が多く、ときには風化物質が薄く付着していることもあるが、一般にはおおむね密着している。岩盤としては堅固である。	○ または △	○ または △	▲	△	△ または ▲
	C _M 岩質は一般にやや風化変質している。このうち火成岩では石英を除き、長石類および有色鉱物は風化を受け、しばしば褐色あるいは赤褐色を呈している。また堆積岩類では構成粒子として二次的に存在する長石類および有色鉱物が風化変質し、火成岩の場合と同様、しばしば褐色あるいは赤褐色を呈している。節理は開口し、しばしば粘土あるいは風化物質を挟んでいる。このクラスの岩石中には細かな毛髪状割れ目が多量に胚胎していることが多いので岩石ハンマーで強打すれば、この毛髪状割れ目を分離面として崩壊することがしばしばある。その他、岩質は新鮮であっても、開口節理の分布が著しく、クラッキーな状態を示すものもこのクラスに含まれている。	△ または ▲	△ または ▲	▲ または ●	▲ または ●	▲ または ●
	C _L 火成岩の造岩鉱物あるいは堆積岩の構成粒子は著しく風化を受けているために、岩石全体としても一般に褐色あるいは赤褐色を呈する。節理は開口し、粘土および風化物質の挟在が著しい。このクラスの岩石では細かな毛髪状割れ目の分布が著しく、さらにこの割れ目によって風化も進んでいるので、岩石ハンマーによる強打によって容易に崩壊あるいは陥没する。その他、岩質は新鮮であっても、開口節理の分布が著しく、石積み状の産状を示すものもこのクラスに含まれる。	▲ または ●	▲ または ●	●	●	●
D	火成岩の造岩鉱物あるいは堆積岩の構成粒子は著しく風化を受け、しばしば砂状および粘土状を呈する部分が見られる。このクラスの岩盤では節理の分布はむしろ不明瞭である。	●	● (きわめて軟質)	—	—	—
該当岩石	(1) 深成岩、半深成岩および火山岩等の火成岩類がこれに該当する。 (2) 中生代以前の砂岩、礫岩、チャート、石灰岩および輝緑深灰岩等の堆積岩および火山砕屑岩がこれに該当する。ただし粘板岩、頁岩は原則的には除外する。 (3) 変成岩のうち、比較的塊状の片麻岩はこれに該当する。ただし、結晶片麻岩は除外する。 その他、新第三紀の堆積岩および火山砕屑岩にもこれに該当するものもある。					

4. 割れ目記載の応用

上記の方法に基づくAN-1号孔（深度500mまで）のコア記載結果を図4. 1a, b, cと表4. 1に示す。図4. 1a, b, cは深度500mまでの割れ目形態を中心とした総合柱状図である。項目は、地質柱状・変質帯および破碎帯とその深度・割れ目密度・RQDと割れ目充填鉱物のX線回折データについてである。変質帯および破碎帯の項目は、割れ目集中によるコアブロックの部分（割れ目の集中している部分が掘削に伴いコアブロック化したものを含む。強変質によるコアブロック化は含まない）、変質の認められる部分（強変質によってコアブロック化している部分を含む）ならびに断層あるいは構造的運動によって破碎されたと考えられる部分および“断層粘土”の認められる部分に分けて示している。割れ目密度には、人工的なものあるいはその疑いのあるものは解析の対象には含めていない。また、変質帯および破碎帯中の不連続な割れ目は、ひとつひとつ詳細に観察・計測することが不可能なため、図のように斜線で示した。X線回折データは、割れ目充填鉱物の同定結果である。

これらの基礎データにより、AN-1号孔は割れ目・破碎帯の形態と割れ目充填鉱物の種類と産状を基準に、大きくセグメントⅠ、Ⅱ、Ⅲの3深度に分けることが可能である。表4. 1は各セグメントの特徴についてまとめたものである。以下それぞれについて説明する。

① セグメントⅠ（深度16.8m～300m）

セグメントⅠには主にPグループ、特にP₀、P₁、P₂タイプが主として認められ、ボーリングの1m区間中に数本以上平行に発達する。S、CとICグループは、Pグループに比べると発達頻度は低い。深度16.8mより下数m以内では、数十cm程度の区間に数本の割れ目が集中し薄く剝離するI₃タイプ割れ目が卓越する。変質帯においては、I₄、I₅タイプの割れ目が主として認められ、また部分的に10～30cm間隔でI₃タイプの割れ目が認められる。

セグメントⅠの変質帯は、淡緑色～淡桃色を呈し、変質鉱物としてモンモリロナイト・絹雲母・緑泥石・緑簾石を含み、一部の深度で熱水変質生成物と思われる閃亜鉛鉱を含む。また、上部の変質帯はコア全体が緑色を呈し、全体に微少な割れ目（I₅タイプ）が発達するものの、ハンマーで叩いても壊れない程度の堅さを保つ。鏡下では、結晶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・角閃石に変質し、長石も微小割れ目に沿って絹雲母化しているのが認められる。

セグメントⅠで認められる割れ目充填鉱物は、主として絹雲母・カオリナイト・緑泥石および若干のモンモリロナイトである。Pグループの割れ目表面は、しばしば厚さ1～2mmの緑泥石・方解石でコーティングされており、その場合の割れ目沿いの変質度は弱い。Iグループの割れ目に認められる充填鉱物は、絹雲母・緑泥石・モンモリロナイトが主体である。モンモリロナイトは微量で結晶度が低い。

② セグメントⅡ（深度300～420m）

セグメントⅡでは、割れ目の密度は連続・不連続割れ目を合せて平均1本/mと小さ

く、RQDもほぼ全体にわたって 100%で堅固な岩盤である。セグメントⅡ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主体であり、かつまた連続割れ目も密着していることが多い。セグメントⅡには著しい変質帯は存在せず、絹雲母を充填鉱物として伴う単一割れ目沿いに幅1~2cmの淡黄色の変質を伴うのみである。

③ セグメントⅢ（深度420~500m）

セグメントⅢ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、7本/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。部分的に幅数10cmに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。

セグメントⅢでの割れ目に伴う変質は白~灰色を示し、有色鉱物はほとんどその自形をとどめていない。変質帯の長石はモンモリロナイト化し、その結晶度が高い。セグメントⅢに発達する単一割れ目の充填鉱物としては、モンモリロナイト・方解石・絹雲母が主体である。特に、セグメントⅠの割れ目充填鉱物と異なる点は、モンモリロナイトの結晶度が高いことである。

上述したセグメントⅠ、Ⅱ、Ⅲ各部の特徴およびその相違は、

- (a) 割れ目の密度が著しく低い堅固なセグメントⅡを境に、割れ目密度が高いセグメントⅠとセグメントⅢに分けられる。
- (b) セグメントⅠとセグメントⅡでは主として高角度傾斜Pグループの割れ目が、又セグメントⅢでは主として低角度傾斜Iグループの割れ目がそれぞれ発達する。
- (c) セグメントⅠの割れ目充填鉱物であるモンモリロナイトは結晶度が低く、セグメントⅢの割れ目充填鉱物であるモンモリロナイトは結晶度が高い。

と要約される。

一般に割れ目特性の意味するものには、大きく2つのことが考えられる。1つは、形態のみから得られる情報であり、割れ目の存在する岩体を含む地域の地質時代における応力方向とその変遷である。もう1つは、割れ目を通り道として流れる地下水と岩石の相互作用を介して地質時代に形成された、あるいは現在形成されつつある地球化学的な地質環境についての情報である。このような情報について整理してみる。

上記(a)、(b)は、深度500mまでの花崗岩に、地質時代中に割れ目を生じさせた要因についての情報である。特に(b)からは、セグメントⅠとセグメントⅢとでは割れ目を形成させた応力方向が異なっていることが推定される。また、セグメントⅢではPグループの割れ目がIグループの割れ目を切っている部分も認められること、Iグループの割れ目表面の形状が粗く、構造運動により発生したスリップ面とは異なること、また、ボアホールテレビジョン観測結果から低角度傾斜Iグループの割れ目の密度が岩相に規制される（特に岩相境界で密度が高い）こと（田中ほか、1988）から、低角度傾斜Iグループの割れ目が花崗岩形成時の初生的冷却節理として発達した後Pグループの割れ目が構造運動によって形成されたと考えられる。

また(c)は、割れ目形態とも密接な関係にあるものの、より地球化学的情報を提供するも

のである。本来、岩石と水の相互作用による岩体の風化・変質は、基本的には時間が大きな要素と考えられる（藤本，1987；水谷，1987）。一般に閉じた系では、水と岩石の相互作用は化学的平衡に達するまで行われる。しかし、割れ目系のような開いた複雑な系では、割れ目形態によって規制される透過地下水量と、その反応時間に左右される（水谷，1987）と考えられる。その中でも、割れ目形態の違いによる割れ目中の地下水の停滞時間の差は割れ目充填鉱物と、その割れ目に伴う変質度とその形態に大きく影響を及ぼすであろう。例えば、セグメントⅠに認められるPグループ充填鉱物の割れ目表面のコーティングによる割れ目沿いの変質帯の未発達と、セグメントⅢのⅠグループに伴う変質帯の発達は、その形態に基づく透過地下水量とその停滞時間の違いが1つの要因と考えられる。また、その他に、深度の違いによる地下水そのものの組成の相異も当然考えられる。現在これらのことも考慮して、採水による地下水の組成分析を実施中である。今後これらのデータも利用して、割れ目個々の地質時間における形成発達史と風化・変質形態を解明することにより、地下深部の長期的地球化学的環境評価手法を確立するとともに、その性能評価に役立たせることができるものとする。

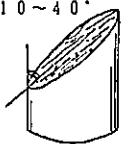
深度 (m)	AN-1	割れ目		岩相	変質帯				割れ目充填鉱物		
		割れ目数 (n/a)	RQD (%)		変質帯位置	変質帯深度 (m)	変質程度 (色)	変質幅 (cm)	変質帯の特徴	割れ目充填鉱物 組み合わせ	割れ目充填鉱物の特徴
100	上層部	5	10	10~40° 	Biotite Granodiorite	58.60 -63.60	Pinkish	500	コア全体が緑色を呈し、ハンマーでたたいても割れない程度の堅さ。有色鉱物が主に変質を受け、角閃石、黒雲母が緑泥石に変質。長石は微小割れ目によって出雲母が晶質。	モンモリロナイト鉱物 + 絹雲母 + (カオリナイト鉱物) + (緑泥石) + (方解石)	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. 2mm)、緑灰色を呈する。
					77.40 -80.40	Pinkish -Greenish	300				
					88.50 -91.00	Pinkish -Greenish	250				
200	上層部	5	10	Pグループ	Allanite -fluorite biotite Granodiorite	150.15 -150.25	Greenish	10	単一割れ目に伴い幅1-2mm 淡褐色に変質。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。
					161.40 -163.50	Greenish -Dark greenish	230				
					217.30 -223.50	Greenish -dark greenish	660				
300	中層部	5	10	Pグループ	Allanite -fluorite biotite Granodiorite	264.80 -268.20	Pinkish	340	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。
					(biotite) Granodiorite	466.10 -469.20	Whitish	310			
					475.10 -480.20	Whitish	510				
500	下層部	5	10	Iグループ	(biotite) Granodiorite	466.10 -469.20	Whitish	310	単一割れ目に方解石を伴う。	モンモリロナイト鉱物 + 雲母粘土鉱物 + 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。
					475.10 -480.20	Whitish	510				
					466.10 -469.20	Whitish	310				

表4.1 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, RQD, 割れ目の形態, 岩相, 変質帯, 割れ目充填鉱物の特徴

5. まとめ

地下深部における地下水の水理地質学的、地球化学的特性を把握する一手法を確立するため、岐阜県東濃地域動燃事業団中部事業所において掘削された深層ボーリングAN-1号孔を利用して割れ目特性の記載方法について検討し、それに基づいて同孔を対象に考察を加えた結果以下のことが明らかとなった。

- (1) 記載項目として、深度、岩相、割れ目深度、割れ目のタイプ、連続性、割れ目パターン、表面構造、スリッケンサイド、割れ目充填鉱物、割れ目充填幅、変質度、変質幅、角度をとりあげ、その記載項目を定義・コード化した。
- (2) 割れ目は割れ目特性、特に表面構造を基に主要な4つのグループに区分される（Pグループ、Iグループ、Cグループ、Sグループ）。
- (3) 本記載法をAN-1号孔ボーリングでコアに適用した結果、割れ目パターン、変質の特性から以下の3つのセグメントに区分できることが判明した。

セグメントⅠ（16.8～300m）

セグメントⅡ（300～420m）

セグメントⅢ（420～500m）

特にセグメントⅠ、セグメントⅢは、割れ目パターン変質特性が著しく異なる。

〔謝 辞〕

本論文作成に当たって、御指導および有益な助言をしていただいた埼玉大学工学部渡辺邦夫助教授、電力中央研究所我孫子研究所田中和広氏、宮川公雄氏、そして、いろいろな討論をしていただいた動燃事業団中部事業所の諸先輩、同僚に心から御礼申し上げます。

[参考文献]

- (1) 藤本光一郎 (1987) : 部分的変質帯の幅を規制する要因。鉱山地質, No. 37(1), pp. 45-54.
- (2) 菊池宏吉, 齊藤和雄 (1975) : 耐荷力を対象とした岩盤分級基準の提案, 第9回岩盤力学に関するシンポジウム講演概要
- (3) 水谷伸治郎 (1987) : 続成過程における物質変化について。日本応用地質学会, 昭和62年度シンポジウム予稿集, pp. 29-34.
- (4) 田中和広, 宮川公雄, 井上大栄, 吉田英一, 大澤英昭, 尾方伸久, 柳澤孝一, 山川 稔 (1988) : 東濃鉱山における花崗岩の断裂系の特性調査と岩盤評価 —— ボアホールテレビジョン装置によるAN-1号孔の岩盤割れ目特性調査(その1) —— 電力中央研究所報告 No. U88003, pp. 1-50.
- (5) 吉田英一・大澤英昭・柳澤孝一・山川 稔 (1989) : 深部花崗岩中の割れ目解析, 応用地質, vol. 30, no. 3, pp. 11-22.

写真プレート

写真 1 : Pグループ割れ目

写真 2 : Iグループ割れ目

写真 3 : Cグループ割れ目

写真 4 : Sグループ割れ目

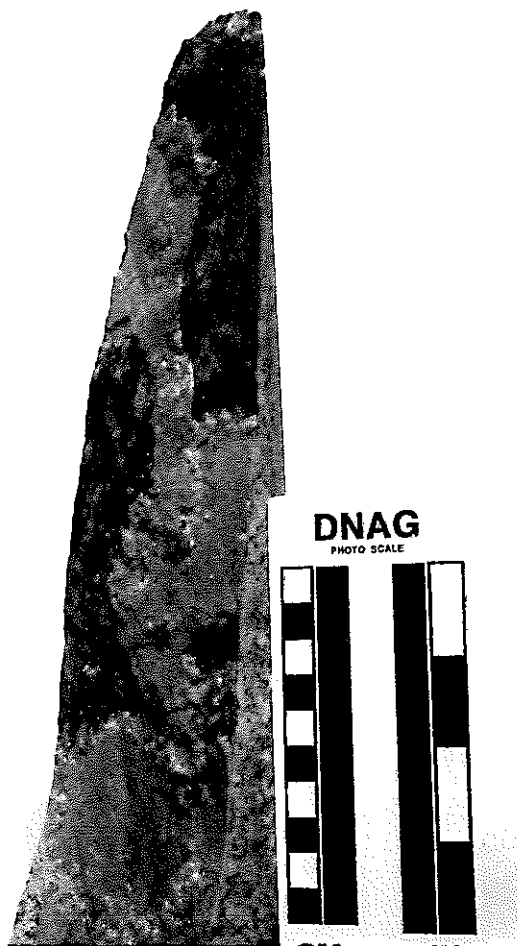


写真1 Pグループ割れ目



写真2 Iグループ割れ目



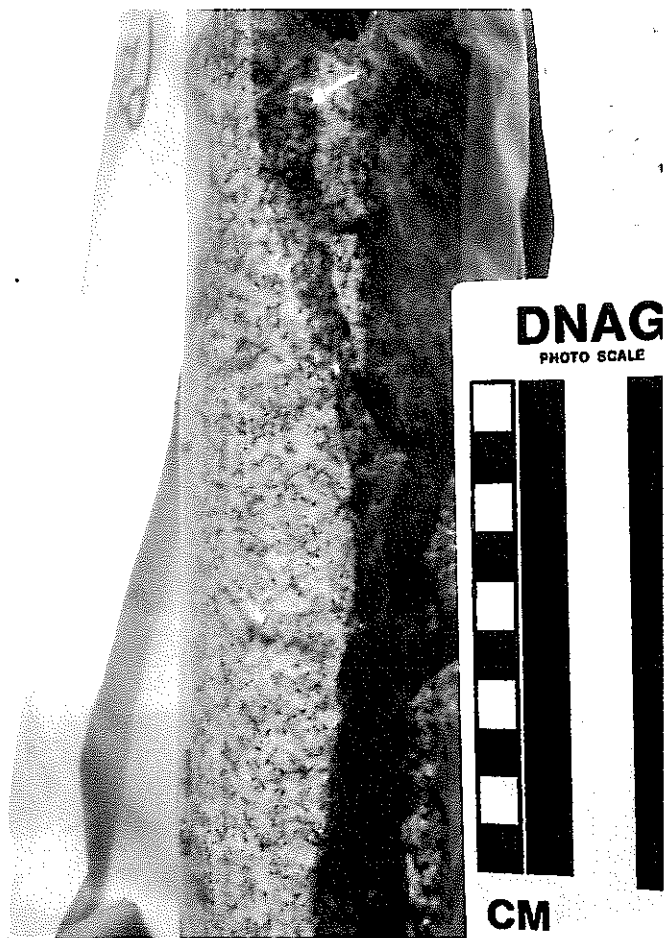


写真3 Cグループ割れ目

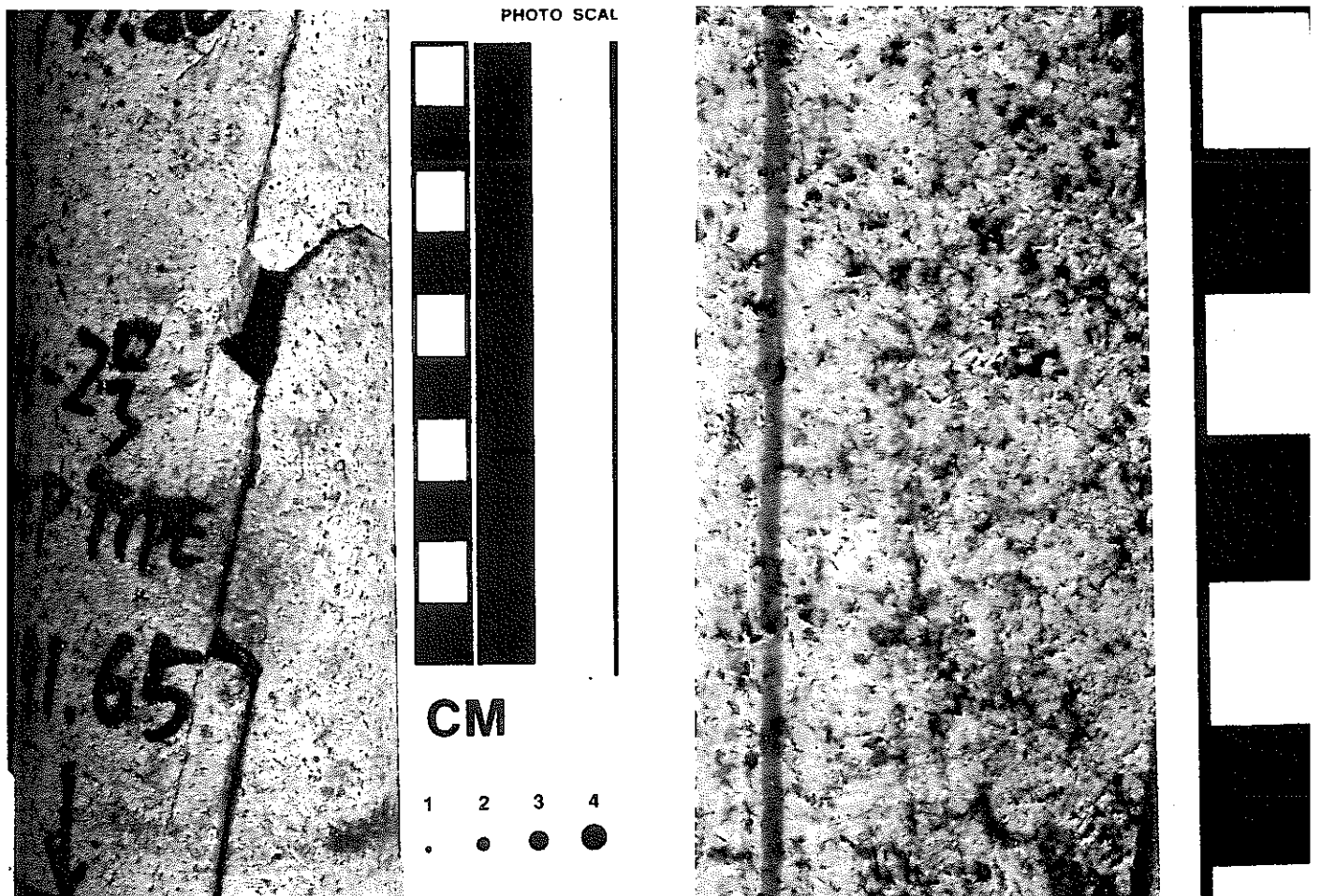


写真4 Sグループ割れ目