

ニアフィールド岩盤中の物質移行経路の モデリングに関する基礎研究 (VI)

(核燃料サイクル開発機構 研究委託内容報告書)

1999年 3 月

三菱マテリアル株式会社

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

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Naka-gun, Ibaraki 319-1184

Japan

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

1999

ニアフィールド岩盤中の物質移行経路の
モデリングに関する基礎研究(VI)
(研究委託内容報告)

齋藤茂幸* 杉山和稔* 諸岡幸一* 池田則生**

要 旨

本委託研究は、ニアフィールド岩盤中の物質移行経路のモデル化の基礎となるデータを、実際の岩盤性状を把握することにより収集し、ニアフィールドにおける天然バリア性能の定量化に資することを目的として平成5年より実施されてきた。

本年度においては、これまで本研究において取得してきた移行経路調査及び岩石試料を用いたミクロな空隙構造調査のデータの取りまとめを行った。西暦2000年に核燃料サイクル開発機構(JNC)が報告する予定の「地層処分研究開発第2次取りまとめ」では、天然バリアの安全評価に関わる水理解析及び核種移行解析において亀裂ネットワークモデル及びチャンネルネットワークモデルが採用されることになっている。本委託研究の本年度の取りまとめは、その亀裂ネットワークモデルへのデータの提供を念頭に置き、必要なパラメータや考慮事項となる特性に関するデータの整理を行い、以下の事項に関する整理結果を示した。

- (1) 物質移行経路となる地質的特徴の種類
- (2) 亀裂の分布に関する特性(亀裂の方向性、亀裂のトレース長、亀裂の発達頻度)
- (3) 亀裂の内部及び周辺の構造(亀裂の幅、亀裂充填物、亀裂周辺の変質部)
- (4) マトリクス部分の特性(マトリクスの異方性に影響を与える構造、マトリクス部分からの湧水)
- (5) 断層・破碎帯の特性(内部構造、分布)
- (6) マトリクス拡散の場となりうる移行経路の特性

上記の検討結果をもとに移行経路となる地質構造モデルのパターン化を行い、さらに現場観察に基づく物質移行概念モデルの不確実性に関する検討を行った。

本報告書は、三菱マテリアル株式会社が核燃料サイクル開発機構の委託により実施した研究成果に関するものである。

機構担当部課室：東海事業所環境保全センター 処分研究部 システム解析グループ

* 三菱マテリアル株式会社 原燃サイクル事業センター 原子力環境部

** 三菱マテリアル資源開発株式会社 東京支店 企画開発部

Basic Study for the Modeling of Mass Transfer Path
in Near Field Geological Environment (VI)

Shigeyuki SAITO*, Kazutoshi SUGIYAMA*, Koichi MOROOKA* and Norio IKEDA**

Abstract

This study aims at obtaining basic data which would be used for the modeling of mass transfer path in the near field geological environment by mapping surface outcrops and from some laboratory experiments.

The data collected by field survey and from laboratory experiments from 1994 have been arranged in this study. In the "Second Report on R&D for Geological Disposal" which is scheduled to be issued in the year of 2000 by Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC), the fracture network model and the channel network model are planned to be used as the tools of numerical analysis for the groundwater flow and the migration of nuclear elements in the natural barrier system. For the application of data to these numerical models, the parameters and the geological features to be considered have been discussed in the following items:

- (1) the types of geological features which contribute as the mass transfer paths,
- (2) the features of fracture distribution (orientations, trace length and density),
- (3) the inner and surrounding structures of fractures (width, filling materials and alteration zones around fractures),
- (4) the features of the matrix part (structures and water discharge from the matrices),
- (5) the features of the fault and the fractured zone (inner structure and distribution),
- (6) the features of the micro pore structures which contribute to the matrix diffusion.

Based on the results, proposed geological models have been presented by the view of mass transfer features, and furthermore, uncertainty in the conceptual mass transfer models created by the knowledge and the data from field survey has been discussed.

This work was performed by Mitsubishi Materials Corporation under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

JNC Liaison: Waste Isolation Research Division, Tokai Works

* : Nuclear Ecosystem Dept., Nuclear Fuel Technology Center, Mitsubishi Materials Co.

** : Research & Planning Dept., Mitsubishi Materials Natural Resources Development Co.

目 次

1. はじめに	1
2. 研究の概要	3
2.1 移行経路調査	3
2.1.1 調査実施箇所の選定	3
2.1.2 破碎帯調査	5
2.1.3 通常スケッチ調査	5
2.1.4 詳細スケッチ調査	13
2.2 室内試験	15
2.2.1 岩石試料を用いたミクロな空隙構造調査	15
2.2.2 岩石の EPMA 分析及び化学分析	15
2.2.3 X線回折分析	15
2.3 文献調査	16
2.3.1 各移行経路調査箇所に関する地質情報の収集	16
2.3.2 鉾山の鉾脈の調査	16
2.4 取得データの整理	16
3. 移行経路となる構造のデータ整理	17
3.1 移行経路となる地質的特徴の抽出	17
3.1.1 地質的特徴の種類と特徴	17
3.1.2 亀裂ネットワークモデルで扱う地質的特徴の抽出	21
3.2 移行経路となる地質的特徴の特性に関するデータ整理	29
3.2.1 亀裂の特性	29
(1) 亀裂の分布に関する特性	29
(2) 亀裂内部及び周辺の特性	81
(3) マトリクス部の特性	102
3.2.2 断層・破碎帯の特性	117
(1) 内部構造	117
(2) 分布	122

(3) 断層・破碎帯の幅と長さの関係	122
(4) 断層・破碎帯の出現率	124
3.2.3 マトリクス拡散の場となりうる移行経路の特性	128
3.3 移行経路となる地質構造モデルのパターン化	158
3.4 現場観察結果に基づく概念モデルの検討	162
3.4.1 概念モデルの概要	162
3.4.2 現地調査実施サイト毎の検討	164
4. おわりに	169
謝辞	171
参考文献	172

目 次

図 2.1.2-1	亀裂の定性的なタイプ分け	6
図 2.1.3-1	亀裂の粗度判定の基準	10
図 2.1.3-2	亀裂の構造の説明図	11
図 2.1.3-3	亀裂の連結タイプ	12
図 3.1.2-1	通常スケッチ調査箇所毎の透水構造の密度	24
図 3.1.2-2	透水構造の種類別内訳	25
図 3.1.2-3	湧水を伴う透水構造の密度	27
図 3.1.2-4	湧水を伴う透水構造の種類別内訳	28
図 3.2.1-1(1/24)	亀裂の方向性を示すステレオネット(I-1,I-2)	32
図 3.2.1-1(2/24)	亀裂の方向性を示すステレオネット(I-3,I-4)	33
図 3.2.1-1(3/24)	亀裂の方向性を示すステレオネット(OS-1,OS-2)	34
図 3.2.1-1(4/24)	亀裂の方向性を示すステレオネット(A-3,A-4)	35
図 3.2.1-1(5/24)	亀裂の方向性を示すステレオネット(HM-1,HM-2)	36
図 3.2.1-1(6/24)	亀裂の方向性を示すステレオネット(S-1,S-2)	37
図 3.2.1-1(7/24)	亀裂の方向性を示すステレオネット(SB-1A,SB-1B)	38
図 3.2.1-1(8/24)	亀裂の方向性を示すステレオネット(SB-2)	39
図 3.2.1-1(9/24)	亀裂の方向性を示すステレオネット(YN-1,YN-2)	40
図 3.2.1-1(10/24)	亀裂の方向性を示すステレオネット(BS-1,NS-3)	41
図 3.2.1-1(11/24)	亀裂の方向性を示すステレオネット(NS-4,ST-1)	42
図 3.2.1-1(12/24)	亀裂の方向性を示すステレオネット(BS-2,H-1)	43
図 3.2.1-1(13/24)	亀裂の方向性を示すステレオネット(H-2,N-1)	44
図 3.2.1-1(14/24)	亀裂の方向性を示すステレオネット(N-2,NS-1)	45
図 3.2.1-1(15/24)	亀裂の方向性を示すステレオネット(NS-2,O-1)	46
図 3.2.1-1(16/24)	亀裂の方向性を示すステレオネット(O-2,O-3)	47
図 3.2.1-1(17/24)	亀裂の方向性を示すステレオネット(O-4,Y-1)	48
図 3.2.1-1(18/24)	亀裂の方向性を示すステレオネット(Y-2)	49
図 3.2.1-1(19/24)	亀裂の方向性を示すステレオネット(KS-1,KS-2)	50
図 3.2.1-1(20/24)	亀裂の方向性を示すステレオネット(ST-2,T-1)	51
図 3.2.1-1(21/24)	亀裂の方向性を示すステレオネット(T-2)	52

図 3.2.1-1(22/24)	亀裂の方向性を示すステレオネット(A-1,A-2)	53
図 3.2.1-1(23/24)	亀裂の方向性を示すステレオネット(M-1,M-2)	54
図 3.2.1-1(24/24)	亀裂の方向性を示すステレオネット(X-1,X-2)	55
図 3.2.1-2(1/8)	亀裂のトレース長のフラクタル性の検討(I-1,I-2,I-3,I-4,OS-1,OS-2)	62
図 3.2.1-2(2/8)	亀裂のトレース長のフラクタル性の検討(A-3,A-4,HM-1,HM-2,S-1,S-2)	63
図 3.2.1-2(3/8)	亀裂のトレース長のフラクタル性の検討(SB-1A,SB-1b,SB-2,YN-1,YN-2)	64
図 3.2.1-2(4/8)	亀裂のトレース長のフラクタル性の検討(BS-1,NS-3,NS-4,ST-1,BS-2)	65
図 3.2.1-2(5/8)	亀裂のトレース長のフラクタル性の検討(H-1,H-2,N-1,N-2,NS-1,NS-2)	66
図 3.2.1-2(6/8)	亀裂のトレース長のフラクタル性の検討(O-1,O-2,O-3,O-4,Y-1,Y-2)	67
図 3.2.1-2(7/8)	亀裂のトレース長のフラクタル性の検討(KS-1,KS-2,ST-2,T-1,T-2)	68
図 3.2.1-2(8/8)	亀裂のトレース長のフラクタル性の検討(A-1,A-2,M-1,M-2,X-1,X-2)	69
図 3.2.1-3	トレース長のフラクタル次元(べき指数)と岩種との関係	71
図 3.2.1-4	トレース長のフラクタル次元(べき指数)と岩石の年代との関係	71
図 3.2.1-5	トレース長 100cm の亀裂の累積本数と岩種との関係	72
図 3.2.1-6	トレース長 100cm の亀裂の累積本数と岩石の年代との関係	72
図 3.2.1-7	亀裂の 1 次元密度(P_{11})	74
図 3.2.1-8	亀裂の 2 次元密度(P_{21})と連結点数(C_1)の関係	76
図 3.2.1-9	湧水を伴う亀裂の 2 次元密度(P_{21})と連結点数(C_1)の関係	76
図 3.2.1-10	亀裂の 2 次元密度(P_{21})と連結点数(C_1)の回帰分析結果	77
図 3.2.1-11	亀裂の 2 次元密度(P_{21})と岩種との関係	79
図 3.2.1-12	湧水を伴う亀裂の 2 次元密度(P_{21})と岩種との関係	79
図 3.2.1-13	亀裂の密度(P_{21})と岩石の年代の関係	80
図 3.2.1-14	湧水を伴う亀裂の密度(P_{21})と岩石の年代の関係	80
図 3.2.1-15(1/6)	亀裂の幅のヒストグラム(結晶質岩：酸性岩)	83
図 3.2.1-15(2/6)	亀裂の幅のヒストグラム(結晶質岩：塩基性岩)	84
図 3.2.1-15(3/6)	亀裂の幅のヒストグラム(新第三紀堆積岩：砂質岩及び泥質・凝灰質岩)	85
図 3.2.1-15(4/6)	亀裂の幅のヒストグラム(新第三紀堆積岩：泥質・凝灰質岩)	86
図 3.2.1-15(5/6)	亀裂の幅のヒストグラム(先新第三紀堆積岩：砂質岩)	87
図 3.2.1-15(6/6)	亀裂の幅のヒストグラム(先新第三紀堆積岩：泥質・凝灰質岩)	88
図 3.2.1-16	亀裂幅の推定される母集団の分布	91
図 3.2.1-17	空隙の幾何形状に関わるパラメータの説明図	99

図 3.2.1-18	空隙/亀裂充填物断面積比と岩種との関係	100
図 3.2.1-19	詳細スケッチ観察区間の亀裂充填物と空隙の断面積の関係	100
図 3.2.2-1	通常スケッチと鉱脈データを基にした幅と長さの関係(細倉鉍山)	125
図 3.2.2-2	通常スケッチと鉱脈データを基にした幅と長さの関係(明延鉍山)	125
図 3.2.2-3	断層・破碎帯の規模と出現頻度の関係	127
図 3.2.3-1	花崗閃緑岩試料の観察・解析面の実体顕微鏡写真(可視光)	129
図 3.2.3-2	花崗閃緑岩試料の観察・解析面の実体顕微鏡写真(紫外光)	131
図 3.2.3-3	花崗閃緑岩試料の観察・解析面の二値処理像	133
図 3.2.3-4	ハンレイ岩試料の観察・解析面の実体顕微鏡写真(可視光)	135
図 3.2.3-5	ハンレイ岩試料の観察・解析面の実体顕微鏡写真(紫外光)	137
図 3.2.3-6	ハンレイ岩試料の観察・解析面の二値処理像	139
図 3.2.3-7	片岩試料の観察・解析面の実体顕微鏡写真(可視光)	143
図 3.2.3-8	片岩試料の観察・解析面の実体顕微鏡写真(紫外光)	145
図 3.2.3-9	片岩試料の観察・解析面の二値処理像	147
図 3.2.3-10	古第三紀以前の堆積岩(砂岩)の観察・解析面の実体顕微鏡写真(可視光)	151
図 3.2.3-11	古第三紀以前の堆積岩(砂岩)の観察・解析面の実体顕微鏡写真(紫外光)	153
図 3.2.3-12	古第三紀以前の堆積岩(砂岩)の観察・解析面の二値処理像	155
図 3.3-1	亀裂構造のパターン化	161

表 目 次

表 2.1.1-1	移行経路調査実施箇所一覧	4
表 2.1.3-1	亀裂の直線性・曲線性の判定の基準	8
表 2.1.3-2	岩盤分類基準(電研式)	14
表 3.1.1-1	岩石ごとに観察された地質的特徴の種類	19
表 3.2.1-1(1/2)	通常スケッチ箇所毎の基本情報・データ	30
表 3.2.1-1(2/2)	通常スケッチ箇所毎の基本情報・データ(凡例)	31
表 3.2.1-2(1/3)	亀裂の方向性解析結果(結晶質岩)	56
表 3.2.1-2(2/3)	亀裂の方向性解析結果(新第三紀堆積岩)	57
表 3.2.1-2(3/3)	亀裂の方向性解析結果(先新第三紀堆積岩)	58
表 3.2.1-3	各通常スケッチ調査箇所の亀裂の方向性	59
表 3.2.1-4	べき指数(フラクタル次元)検討結果一覧表	73
表 3.2.1-5	岩種ごとの亀裂密度(P_2)及び連結点数(C_1)の統計値	78
表 3.2.1-6	亀裂の幅の統計値	82
表 3.2.1-7	亀裂幅の推定される母集団の統計値	90
表 3.2.1-8(1/3)	通常スケッチ調査により観察された亀裂充填物の種類(結晶質岩)	92
表 3.2.1-8(2/3)	通常スケッチ調査により観察された亀裂充填物の種類(新第三紀堆積岩)	93
表 3.2.1-8(3/3)	通常スケッチ調査により観察された亀裂充填物の種類(先新第三紀堆積岩)	94
表 3.2.1-9(1/3)	詳細スケッチ調査により観察された亀裂充填物及び空隙に関するデータ (結晶質岩)	95
表 3.2.1-9(2/3)	詳細スケッチ調査により観察された亀裂充填物及び空隙に関するデータ (新第三紀堆積岩)	96
表 3.2.1-9(3/3)	詳細スケッチ調査により観察された亀裂充填物及び空隙に関するデータ (先新第三紀堆積岩)	97
表 3.2.1-10	通常スケッチ調査による変質ハローに関する観察状況	103
表 3.2.1-11	詳細スケッチ調査による変質ハローに関するデータ	104
表 3.2.1-12	各地の堆積岩の圧密指標(星野,1984)	106
表 3.2.1-13	結晶質岩の岩石の状態	108
表 3.2.1-14	堆積岩の圧密指標と調査地の岩石	109
表 3.2.1-15	マトリクスに異方性を与える構造	110

表 3.2.1-16(1/3) マトリクスからの湧水に関する観察状況(1)	112
表 3.2.1-16(2/3) マトリクスからの湧水に関する観察状況(2)	113
表 3.2.1-16(3/3) マトリクスからの湧水に関する観察状況(3)	114
表 3.2.1-17 マトリクスからの湧水と岩石の状態・圧密指標との関係	116
表 3.2.2-1(1/3) 「破碎帯」の充填物一覧(1)	118
表 3.2.2-1(2/3) 「破碎帯」の充填物一覧(2)	119
表 3.2.2-1(3/3) 「破碎帯」の充填物一覧(3)	120
表 3.2.2-2 破碎帯充填物の特徴による定性的分類(案)	121
表 3.2.2-3 踏査長 100mあたりの「破碎帯」の出現数	123
表 3.2.2-4 最小 2 乗法を用いた回帰分析結果	125
表 3.2.3-1 ハンレイ岩の画像解析結果 (各深度ゾーンごとの平均パラメータ)	141
表 3.2.3-2 片岩の画像解析結果 (各深度ゾーンごとの平均パラメータ)	149
表 3.2.3-3 古第三紀以前の堆積岩 (砂岩) の画像解析結果 (各深度ゾーンごとの平均 パラメータ)	157
表 3.3-1 地質構造モデルのパターン化の検討	159
表 3.4.2-1 現場観察結果に基づく概念モデルの検討	165
表 3.4.2-2 堆積岩の圧密指標とマトリクス部の湧水との関係	167

1. はじめに

本研究は平成5年度以降実施してきた委託研究「ニアフィールド岩盤中の物質移行経路のモデリングに関する基礎研究」(以後、本委託研究という)において、フィールドでの観察や室内試験によって取得してきたデータの取りまとめを行うものである。

動燃事業団(現核燃料サイクル開発機構:JNC)が平成4年に報告した「高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書—平成3年度(PNC TN 1410 92-081)」(H3報告書)以降、地層処分の研究は現象や対象物をよりよく理解し、把握した知見に基づく成果を利用する方向となり、多くの成果が出されてきた。これらの成果は西暦2000年にJNCから報告される予定の「地層処分研究開発第2次取りまとめ」(以後、第2次取りまとめという)において総括的にまとめられつつある。

第2次取りまとめでは、天然バリアの安全評価に関わる水理解析及び核種移行解析において、亀裂ネットワークモデル及びチャンネルネットワークモデルが採用されている。平成5年度から継続されてきた本委託研究では、それらのモデルを含む物質移行モデル構築の基礎となる、主として岩盤中の亀裂の情報及び空隙の情報を、実際の岩盤における観察や室内実験によってデータを取得し、整理してきた。また、我が国に分布する地層処分母岩としての可能性のある岩石を幅広くとらえ、これらの研究を行ってきた。

これまでに本委託研究で実施してきた主な内容は次の通りである。

- ① 移行経路調査：鉱山の坑道や地表露頭におけるスケッチ及び記載
- ② 岩石試料を用いたミクロな空隙構造調査：樹脂浸透試験等
- ③ 各種室内試験：粉末X線回折、岩石の化学分析等
- ④ 文献調査：各移行経路調査箇所に関する地質情報の収集、鉱山の鉱脈の調査
- ⑤ 上記データの整理

今年度の取りまとめ内容は、上記のうち主として①及び②に関するデータの取りまとめを行う。特に、現在JNCで考慮されている亀裂ネットワークモデルを念頭に置き、必要なパラメータや考慮事項となる特性に関するデータの取りまとめを行う。具体的には次のような検討を行う。

- (1) 物質移行経路の種類と特徴の整理
- (2) 亀裂の分布に関する特性の整理(亀裂の方向性・亀裂のトレース長・亀裂の発達密度)
- (3) 亀裂の内部及び周辺の特性(亀裂の幅・亀裂充填物・亀裂周辺の変質部)
- (4) マトリクス部分の特性(マトリクスの異方性に影響を与える構造・マトリクス部分からの湧水)
- (5) 断層・破碎帯の特性(内部構造・空間的広がり)

(6) マトリクス拡散の場となりうる移行経路の特性

上記の整理結果をもとに移行経路となる地質構造モデルのパターン化を行う。さらに、現場観察(移行経路調査)に基づく物質移行概念モデルの不確実性に関する検討を行う。

2. 研究の概要

本章では、これまでに実施してきた各調査、研究の概略を述べる。研究の内容は移行経路調査、室内試験、文献調査及び取得データの整理からなる。

2.1 移行経路調査

移行経路調査は、調査実施箇所の選定、破碎帯調査、通常スケッチ調査及び詳細スケッチ調査からなる。

2.1.1 調査実施箇所の選定

調査実施箇所の選定にあたっては、まず調査対象とする岩種を選定し、机上にてその岩種の分布範囲、調査可能な鉱山や岩石露出状況の調査を行い、調査地を選定した。選定された調査地では、予察調査によって岩石の分布範囲、岩石の露出状況等を確認し、その地域における岩石の一般的な特徴を有していると判断される場所(例えば、割れ目が極端に多くもなく少なくもない場所)を調査箇所とした。

移行経路調査を行った箇所の一覧を表 2.1.1-1 に示す。本表では各調査地を第 2 次取りまとめで考慮されている岩石区分(岩種区分 1: 結晶質岩(酸性岩及び塩基性岩)、新第三紀堆積岩(砂質岩及び泥質・凝灰質岩)及び先新第三紀堆積岩(砂質岩及び泥質・凝灰質岩)に大きく区分される)ごとに整理した。これらの区分は鉱物化学的な観点及び堆積岩の固結度(強度、間隙率等が関係する)を考慮した区分である。

一方、日本国内に分布する岩石や構造運動が多様であることを考慮し、岩石の形成された過程や場の条件を反映した地質調査所(1992)による分類(岩種区分 2)を併記して示した。この区分は堆積岩類、付加コンプレックス、火山岩類、深成岩類及び変成岩類からなり、「堆積岩類」は凝灰岩類を含む。地質調査所の区分を併記したのは、日本国内に分布する岩石や構造運動が多様であること、地質調査所の区分はこれらの複雑な構造運動を考慮したもので、現時点において日本の岩石の分類をよく説明していると判断されること、及び本研究の対象である岩石中の亀裂の発達も、これらの構造運動やそれにより被ってきた応力履歴と関係があると考えられるからである。

また、移行経路調査箇所周辺の状態として、既存の文献より鉱化変質作用の有無、断層の有無及び褶曲の有無を定性的に整理した結果を示した。断層及び褶曲は既存地質図に表現される規模のもので、移行経路調査箇所から数百 m 以内に顕著なものが認められる場合をいう。

表2.1.1-1 移行経路調査実施箇所一覧

岩種区分1	移行経路調査地名	岩石名	調査実施内容				周辺地質			岩種区分2
			通常スケッチ調査箇所記号	破碎帯調査	詳細スケッチ調査	樹脂浸透試験	鉍化変質	断層	褶曲	
結晶質岩	生野鉍山	流紋岩質溶結凝灰岩	I-1, I-2	○	○	-	○	○	火山岩類	
	生野鉍山周辺	花崗閃緑岩	I-3, I-4	-	○	○			深成岩類	
	大隅半島	花崗閃緑岩	OS-1, OS-2	○	○	-		○	深成岩類	
	明延鉍山	斑れい岩	A-3, A-4	○	○	○	○	○	付加コンプレックス	
	東松浦半島	玄武岩	HM-1, HM-2	-	○	-			火山岩類	
	下川鉍山	輝緑岩	S-1, S-2	○	○	-	○	○	付加コンプレックス	
	愛媛県温泉郡	結晶片岩	SB-1, SB-2	-	○	○			変成岩類	
	米山(鷗ヶ鼻)	安山岩	YN-1, YN-2	○	○	-			火山岩類	
新第三紀堆積岩	房総半島	砂岩泥岩互層・泥岩	BS-1, BS-2	○	○	-		○	堆積岩類	
	石黒川ルート	砂岩泥岩互層・砂岩	NS-3, NS-4	○	○	-		○	堆積岩類	
	高知県南西部	砂岩	ST-1	○	○	-		○	堆積岩類	
	細倉鉍山	凝灰角礫岩・粗粒凝灰岩	H-1, H-2	○	○	-	○	○	堆積岩類	
	北秋珪藻土鉍山	珪藻土	N-1, N-2	○	○	-		○	堆積岩類	
	常楽寺ルート	泥岩	NS-1, NS-2	-	○	○		○	堆積岩類	
	尾去沢鉍山	頁岩	O-1, O-2	○	○	-	○	○	堆積岩類	
		泥岩・火山礫凝灰岩	O-3, O-4	○	○	○			堆積岩類	
	細粒凝灰岩地区	細粒凝灰岩	Y-1, Y-2	-	○	-			堆積岩類	
凝灰岩地区	火山礫凝灰岩・粗粒凝灰岩	-	○	-	-			堆積岩類		
先新第三紀堆積岩	紀伊半島(日置川)	砂岩・砂岩泥岩互層	KS-1, KS-2	-	○	○		○	付加コンプレックス	
	高知県南西部	砂岩泥岩互層	ST-2	○	○	-		○	付加コンプレックス	
	高取鉍山	砂岩	T-1, T-2	-	-	-	○	○	付加コンプレックス	
	明延鉍山	粘板岩	A-1, A-2	○	○	-			堆積岩類	
	禎峰鉍山	千枚岩	M-1, M-2	○	○	-		○	付加コンプレックス	
	石灰岩地区	結晶質石灰岩	X-1, X-2	○	○	-			付加コンプレックス	

岩種区分1：第二次とりまとめにおいて考慮されている区分。

岩種区分2：地質調査所(1992)によるものであり、岩石の形成された過程や場を反映した区分である。

(周辺地質)

鉍化変質：移行経路調査箇所の岩石が鉍化変質の影響を受けているもの。

断層、褶曲：既存の文献(地質図等)において、調査箇所の近傍に地質図に表現される規模の断層や褶曲が知られているもの。

2.1.2 破碎帯調査

破碎帯調査は坑道内、沢、林道、海岸線等に沿って、調査対象とする岩石がなるべく連続して分布する場所において、数百m～千m程度の調査ルートを設定して行った。調査の内容は破碎帯分布図、破碎帯スケッチ図の作成及び記載である。

現地調査では縮尺 1/2,500～1/1,000 のルートマップ(破碎帯分布図)を作成した。破碎帯分布図には調査対象範囲内に分布する主要な構造(破碎帯、主要な亀裂、湧水を伴う構造等)にそれぞれ番号を付け、各々の位置と走向・傾斜を記入した。番号をつけた主要な構造に対しては次の事項について観察し、所定の記載カードにまとめた。また、これらの主要な構造のうち代表的なもの、湧水との関係が分かるもの等重要なものについては縮尺 1/20 を原則としたスケッチを行った(破碎帯スケッチ図)。

【主な記載項目】

① 破碎帯・亀裂の走向・傾斜

クリノコンパスにより測定した。

② 破碎帯・亀裂の幅

幅の最大値と最小値をコンベックスルールにて測定した。

③ 破碎帯・亀裂充填物の種類と性状

(固結度)充填物の硬さを 1. シャープペンの芯が容易にささる、2. ややささる、3. ささらないの3段階で示した。

(構成物質)石英、粘土、破碎状母岩物質、酸化鉄・水酸化鉄等の物質を肉眼でわかる範囲で識別した。

④ 湧水の位置と湧水量

湧水量は計量カップにより実測したが、湧水量が十分でない等の理由で測定できない場合には湧水の状況を湿り、滴水及び流水の3区分で示した。

⑤ 亀裂のタイプ

亀裂の形状に基づく定性的なタイプ分けを以下のように行った(図 2.1.2-1)。

(Aタイプ) 単一な亀裂

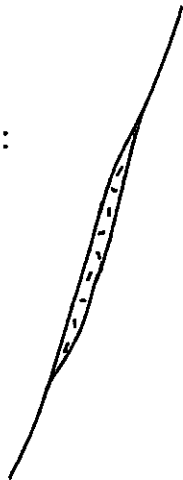
(Bタイプ) 明瞭な破碎帯を伴うもの。

(Cタイプ) 単一亀裂の密集帯

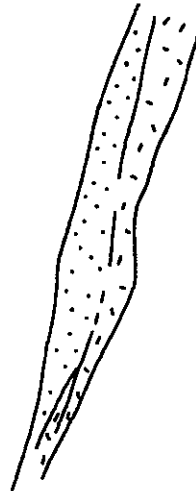
2.1.3 通常スケッチ調査

通常スケッチ調査は縮尺 1/10 の坑壁(または露頭)スケッチを主体とするものである。調査

割れ目の幅：
0～数cm



割れ目の幅：
数cm以上



Aタイプ

単一な割れ目
(石英等の細脈を含む)

Bタイプ

明瞭な破碎帯を伴う

割れ目の幅：
数cm以上

（「割れ目の幅」とは割れ目密集帯の幅をいう。個々の割れ目の幅は0～数cmである。）



Cタイプ

単一割れ目の密集帯

図 2.1.2-1 亀裂の定性的なタイプ分け

箇所は破碎帯調査ルート範囲で選ぶことを原則としたが、適切な露頭が存在しない等の理由で別の箇所にて行ったものもある。

選定した箇所の露頭において、原則として高さ(垂直露頭の場合)1m、横 10mの長方形の区画(以後、スケッチ区画という)を設定し、亀裂とマトリクススケッチを実施した(通常スケッチ)。亀裂及び区分したマトリクスにはそれぞれ番号を付け、次の事項について所定の記載カードに記載した。

【亀裂の記載事項】

① 亀裂の種類

亀裂として記載したものには節理、断層、脈、劈開、層理面、片理、鉱物の定向配列帯等が含まれ、それらの種類を区別して示した。亀裂の種類に関する整理は3章において述べる。

② 走向・傾斜

クリノコンパスにより測定した。

③ 直線性・曲線性

表 2.1.3-1 の基準に基づき、スケッチ面における亀裂の直線性・曲線性を記載した。

④ トレース長

2次元のスケッチ面(観察面)に表現される亀裂の線(トレース)の長さを cm 単位で記述した。観察する亀裂の最小トレース長は 20cm とした。トレース長はスケッチ区画内のトレース長及び露頭で観察できる範囲のトレース長との2通り記述した。

⑤ 亀裂の幅

亀裂の平均的な幅を測定した。幅が場所によって変わるような場合は最小値と最大値を記載した。亀裂幅が小さいものは隙間ゲージ、目盛りつきルーペ及び補助的にカッターの刃等を用い、最小 0.2mm まで測定した。

⑥ 亀裂充填物の種類と性状

(構成物質)石英、粘土、破碎状母岩物質、酸化鉄・水酸化鉄等の物質を肉眼でわかる範囲で識別した。

(固結度)充填物の硬さを 1. シャープペンの芯が容易にささる、2. ややささる、3. ささらないの3段階で示した(破碎帯調査と同じ)。

(結晶度)充填物中の再結晶鉱物の有無を記入した。

⑦ 鏡肌・条線の有無

鏡肌とは断層運動に伴う摩耗のために断層の両側の面上に生じた光沢のある面、条線とは鏡肌に見られる「傷」をいう。

表 2.1.3-1 亀裂の直線性・曲線性の判定の基準

形態	波長	振幅
直線状	50cm以上	0.5cm以下
カーブ	40～50cm	0.5～1.0cm
波状	20～40cm	0.5～1.0cm
ジグザグ	20cm以下	1.0cm以上

(本研究における設定)

⑧ 亀裂面の粗度

図 2.1.3-1 に従って、目視により亀裂面の粗度を判定した。

⑨ 顕著な空隙

空隙が観察される場合には、その顕著なものについて断面形状とサイズ(長さ)と幅)、空隙充填物質及び空隙構成物質について記述した。亀裂内における空隙や物質との関係を概念的に図 2.1.3-2 に示す。

⑩ 亀裂の規模

坑道内での観察の場合に、亀裂がスケッチを行っている坑壁内にのみ存在するもの、天盤まで達するもの、反対側の坑壁まで達するものとの間に区別した。

⑪ 湧水の有無及び量

(破碎帯調査と同じ)

⑫ 変質ハローの有無・色等

亀裂に沿ったマトリクス部分に変質している場合には、その色と割れ目からの幅を記載した。

⑬ 亀裂のタイプ

破碎帯調査と同じ(前出の図 2.1.2-1)。

⑭ 亀裂の連結関係

亀裂の端形状況及び他の亀裂との連結状況を記述した。連結関係の分類は図 2.1.3-3 の様式に従った。

【マトリクスの記載事項】

① マトリクスを構成する物質

粒径分布、粒子の構成鉱物及び岩片、岩片の円磨度、セメント物質について記載した。

② 原岩及びその色

岩石が変質している場合はスケッチ箇所周辺でもっとも変質が弱いと判断される場所での色を記載した。

③ 変質ハローの有無及び幅

変質ハローが認められる場合は、割れ目から影響が及んでいる範囲までの距離を記述した。

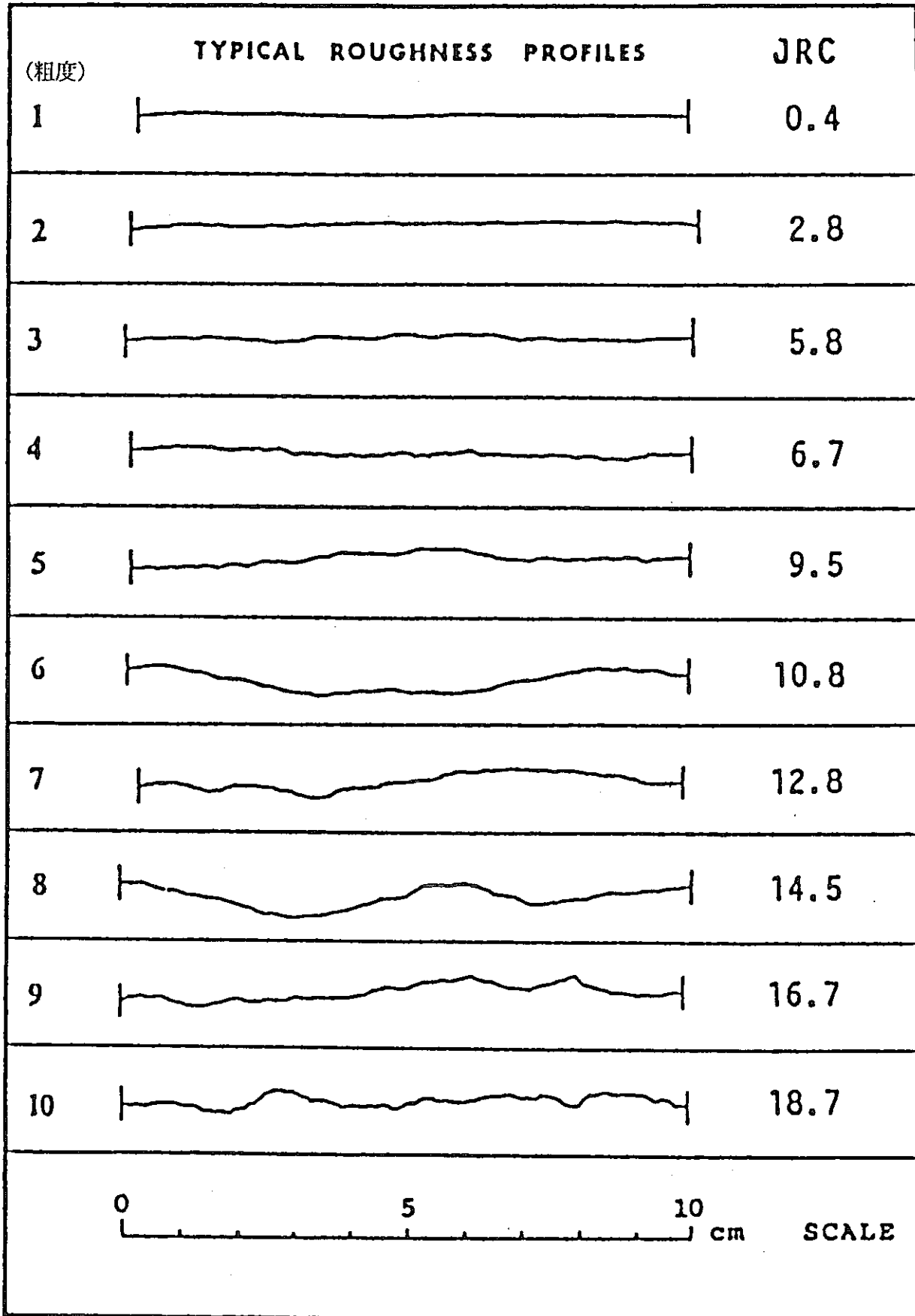
④ 級化成層・互層等

マトリクス中にこれらの構造等がある場合、記述した。

⑤ 湧水の有無

マトリクス部からの湧水が観察される場合、記載した。スケッチ図にはマトリクスからの

粗度と JRC



JRC (Joint Roughness Coefficient, Barton & Choubey, 1977)

図 2.1.3-1 亀裂の粗度判定の基準

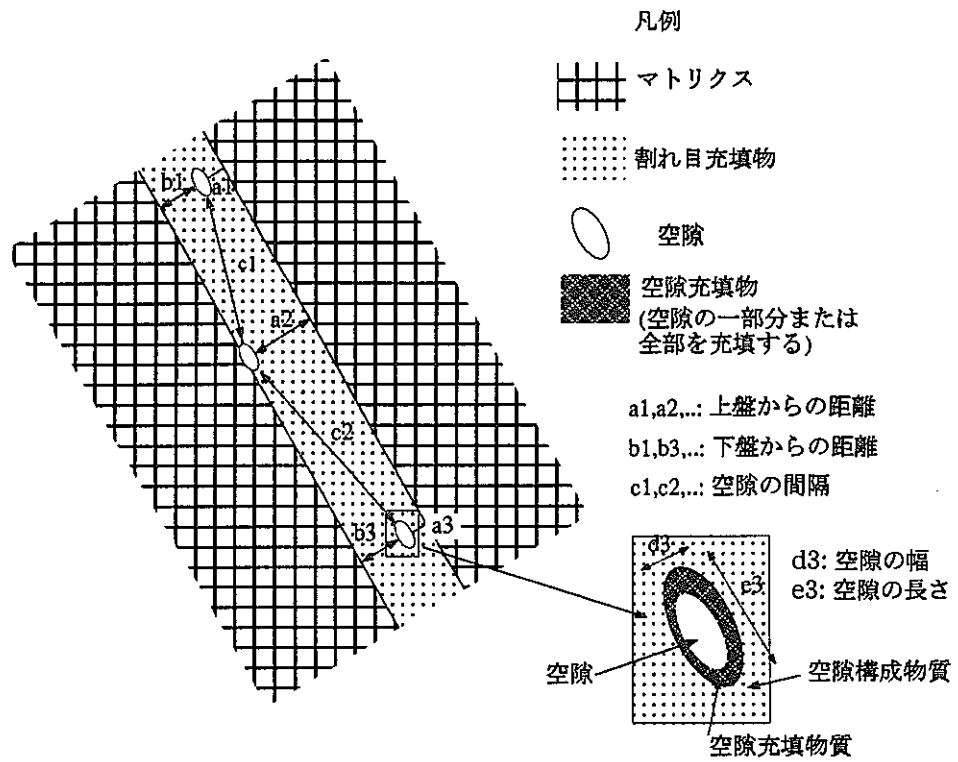
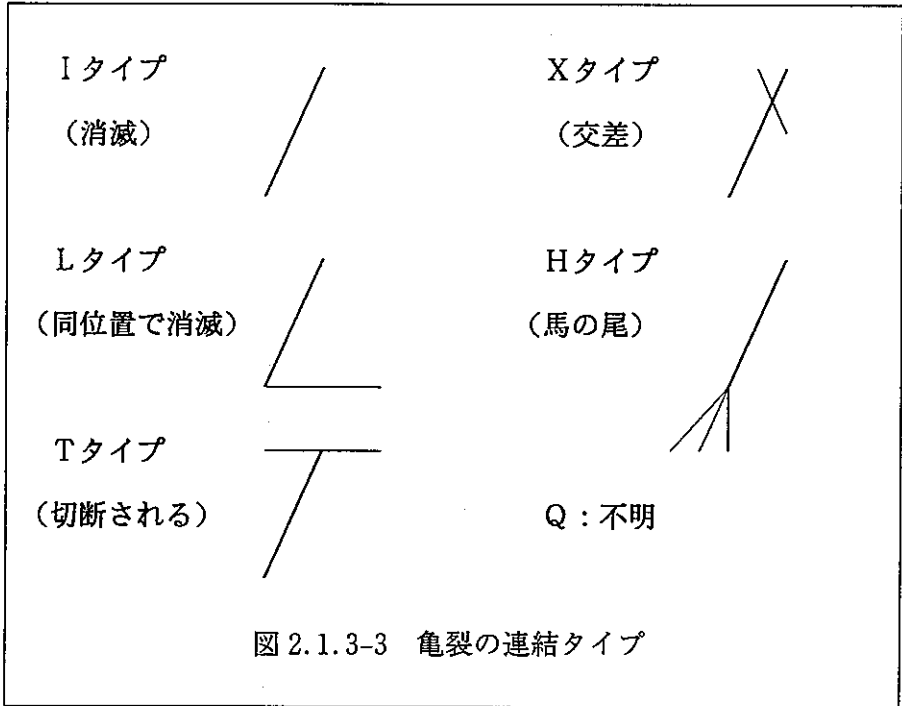


図 2.1.3-2 亀裂の構造の説明図



湧水部分(マトリクスの湿りの範囲)を示した。

⑥ 岩盤分類

電研式分類法(表 2.1.3-2)にしたがって岩盤の分類を判定した。本分類は岩石の風化状態及び亀裂の分布状態を基準とした定性的なものであるが、本来硬岩に対する分類法であり、十分に固くない岩石の場合には適用が難しい。このような場合には岩石の固結度や風化の状態を記述した。

2.1.4 詳細スケッチ調査

通常スケッチ調査の区画内から、物質移行に寄与する特定の構造を選定し、詳細なスケッチを実施した(詳細スケッチ図)。詳細スケッチ調査の対象の選定にあたっては、亀裂に沿って空隙構造が認められるもの、湧水が認められるもの、亀裂の周囲に変質ハローが認められるもの、亀裂が一定の幅を持ち、充填物を伴う等の特徴に留意した。

スケッチはまず等倍で行い、その中に空隙や特徴的な構造があれば最大 10 倍までの拡大スケッチを行った。スケッチの範囲は原則として亀裂に沿って長さ 1m を原則とした。ハンマー打診音等から岩盤の緩みの影響があると判断される場合はその部分を避けた。露頭表面に析出物等の付着物がある場合には、亀裂等の構造を破壊しない程度にナイフやたがね等で除去した後、スケッチを行った。亀裂充填物、マトリクスの湿り及び変質ハロー等は露頭表面から内部まで連続することを確認して記載したが、小さな空隙は内部までの連続性を確認できないものもあった。亀裂や空隙の内部構造は最小 0.2mm まで観察した。微細な構造部分の観察には目盛りつきルーペ、天眼鏡及び隙間ゲージ等を利用した。所定の記載カードに以下の事項を記入した。

【詳細スケッチ調査の記載事項】

① 亀裂等の一般的な特徴

亀裂の面の性質(種類、曲線性・直線性、粗度、亀裂のタイプ等)、亀裂充填物(種類、固結度、結晶度)、変質ハローの有無等について記述した。

② 空隙に関する事項

空隙が観察される場合、それぞれに番号を付け、形状、長さ、幅、亀裂面からの距離、空隙の間隔、湧水の有無、空隙構成物質、空隙充填物質等について記述した。亀裂中と空隙の関係については図 2.1.3-2 を参照。

表 2.1.3-2 岩盤分類基準（電研式）

名称	特 徴
A	きわめて新鮮なもので造岩鉱物及び粒子は風化・変質を受けていない。キレツ・節理はよく密着し、それらの面に沿って風化の跡は見られないもの。ハンマーによって打診すれば澄んだ音を出す。
B	岩質堅硬で開口した（たとえ 1mm でも）キレツあるいは節理はなく、よく密着している。ただし造岩鉱物及び粒子は部分的に多少風化・変質が見られる。ハンマーによって打診すれば澄んだ音を出す。
C _H	造岩鉱物及び粒子は石英を除けば風化作用を受けてはいるが、岩質は比較的堅硬である。一般に褐鉄鉱などに汚染せられ、節理あるいはキレツの間の粘着力はわずかに減少しており、ハンマーの強打によって割れ目に沿って岩塊が剥脱し、剥脱面には粘土質物質の薄層が残留することがある。ハンマーによって打診すれば少し濁った音を出す。
C _M	造岩鉱物及び粒子は石英を除けば風化作用を受けて多少軟質化しており、岩質も多少柔らかくなっている。節理あるいはキレツの間の粘着力は多少減少しており、ハンマーの普通程度の打撃によって、割れ目に沿って岩塊が剥脱し、剥脱面には粘土質物質の層が残留することがある。ハンマーによって打診すれば多少濁った音を出す。
C _L	造岩鉱物及び粒子は風化作用を受けて軟質化しており、岩質も柔らかくなっている。節理あるいはキレツの間の粘着力は減少しており、ハンマーの軽打によって割れ目に沿って岩塊が剥脱し、剥脱面には粘土質物質が残留する。ハンマーによって打診すれば濁った音を出す。
D	造岩鉱物及び粒子は風化作用を受けて著しく軟質化しており、岩質も著しく柔らかい。節理あるいはキレツの間の粘着力はほとんどなく、ハンマーによってわずかな打撃を与えるだけで崩れ落ちる。剥脱面には粘土質物質が残留する。

（田中治雄：「土木技術者のための地質学入門」山海堂, 1964, p.35）

2.2 室内試験

室内試験としては、岩石試料を用いたミクロな構造調査、岩石のEPMA分析及び化学分析、岩石の粉末X線回折分析及びコア試料の室内透水試験を実施した。

2.2.1 岩石試料を用いたミクロな空隙構造調査

岩石中の物質移行に寄与するミクロな空隙構造を調査するために、岩石試料を用いた室内における観察・解析を実施した。試料は移行経路調査を実施した箇所から亀裂面を含む岩石試料を採取した。これらの岩石試料は実験室内にてコア抜き成形加工を施し、亀裂面のみから蛍光樹脂を浸透させた。また、一部の岩石に対しては原位置で亀裂中及び岩石中に蛍光樹脂を浸透させ、樹脂固結後にコア試料を採取した。

樹脂を浸透させた試料は光学顕微鏡による観察及び画像データを作成して画像解析を実施し、岩石中の物質移行に寄与するミクロな空隙構造を調査した。蛍光樹脂の浸透した、亀裂面から連続する空隙を対象に、以下の項目を調査した。

- ① 空隙の形状
- ② 空隙の連結様式
- ③ 空隙構成鉱物の特徴
- ④ 粘土鉱物の分布と移行経路の関係
- ⑤ 空隙の分布特性及び空隙率(面積率)

2.2.2 岩石のEPMA分析及び化学分析

亀裂部からマトリクス部への物質の移行に関する検討を行うため、泥岩試料を用いてEPMA分析及び化学分析を実施した。亀裂沿いに風化変質帯の認められる泥岩試料に対し、化学成分の含有量が未風化の部分と相違するかどうかを検討した。すなわち、亀裂面からの深度によるFe、C、S、 FeF_2 、 FeO 、 Fe_2O_3 の成分の変化を調査することにより、亀裂からマトリクス内部にもたらされた酸素の及ぶ範囲を評価した。岩石試料は亀裂から深さ約5mmまでの領域が褐色に変質しており、この領域の成分が他の領域と比較して化学成分がどのように変化するかを特に着目して調査を行った。

2.2.3 X線回折分析

移行経路となる亀裂内部やマトリクス部に存在する鉱物を調査する目的で、移行経路調査箇所において採取した試料に対し粉末X線回折試験を実施し、鉱物の同定を行った。分析は不定方位分析、定方位分析及び薬品処理(エチレングリコール処理及び塩酸処理)を実施した。同定

された鉱物はその定性的な量比を検討した。試料は亀裂の充填物、変質ハロー部、非変質のマトリクス部分から採取した。

2.3 文献調査

2.3.1 各移行経路調査箇所に関する地質情報の収集

移行経路調査箇所における亀裂特性の地域的代表性を裏付けるため、各調査箇所周辺地域の公開文献の調査により地質・地質構造等に関する情報を収集し、整理した。整理の内容は以下の通りである。

- ① 移行経路調査箇所周辺の地質情報
 - ・ 移行経路調査箇所の地質学的位置
 - ・ 対象岩石の分布
 - ・ 主要な地質構造
 - ・ 変質作用・変成作用
 - ・ 岩石物性値等
 - ・ 地史
- ② 文献調査における留意事項等
- ③ 移行経路調査結果と文献調査結果との比較・検討
- ④ 対象岩石内での代表制に関する検討

2.3.2 鉱山の鉱脈の調査

地表下における断層の水平方向及び深度方向の規模や形態を検討するため、調査データの豊富な国内の鉱脈型金属鉱床を対象として、鉱山のレベルシートや鉱脈スケッチ図を調査し、データの整理を行った。国内の休廃止鉱山を検討した結果、比較的深部までの開発が行われており、当時の調査データが今日使用できる形で残されている鉱山として、細倉鉱山を選定した。断層はせん断性の亀裂であるが、鉱脈はせん断性のものと伸張性のものがある。本検討では断層と同じ性格を有するせん断性の鉱脈に着目し、調査対象鉱脈を選定した。

2.4 取得データの整理

移行経路調査で取得したデータの整理は、基礎的な整理と物質移行経路のパターン化に向けた基礎的検討との2つのプロセスにて行った。その結果として、通常スケッチ調査のスケールにおける物質移行に寄与する予備的な地質構造モデルを作成した。

3. 移行経路となる構造のデータ整理

本章では亀裂ネットワークモデル及びチャンネルネットワークモデルを念頭に置き、移行経路調査や室内試験により取得したデータの整理を行う。

3.1 移行経路となる地質的特徴の抽出

3.1.1 地質的特徴の種類と特徴

岩石中の移行経路を評価する場合には、顕微鏡スケールの微細なオーダーを考慮する場合から一辺数 km といった大きなオーダーを考慮する場合があります、スケールによって評価の対象が異なる。本研究の移行経路調査の主体は通常スケッチ調査であり、そこで取り扱うスケールは露頭観察オーダー（数十m以下）である。このスケールにおいて、岩石中の物質移行に影響を与える可能性がある構造を「地質的特徴」と呼ぶこととする。地質的特徴は従来「割れ目」や「亀裂」等と呼称されてきた構造に相当する。岩石部分（マトリクスという）も一定の透水性を有し物質移行に影響を与えるため、マトリクスも地質的特徴の一要素として取り扱われるべきであるが、本項においては区別することとする。

地質的特徴は岩石の成因に関係して形成された各岩石固有の構造と、岩石形成後の構造運動や応力の影響により形成された構造とがある。本研究の移行経路調査において観察された地質的特徴には以下のようなものがある。

① 岩石固有のもの

- 層理
- 層理面・不整合面
- 溶岩のフローユニット境界
- 流理
- 劈開・片理
- 枕状溶岩のリム

② 構造運動、応力及び熱水活動の影響により形成されたもの

- 断層（・破碎帯）
- 節理
- 脈（石英、方解石等）
- 造岩鉱物の定向配列帯

③ その他

- シーム

表 3.1.1-1 に調査岩石ごとに観察された地質的特徴の種類を示す。これらの地質的特徴の特徴について以下に記述する。

(1) 層理・層理面

ここで層理とは堆積層の内部に挟在される堆積層をいう。層理面は堆積岩の岩相の変化等により肉眼的に観察される堆積面をいい、不整合面もこれに含まれる。岩石が褶曲を受けている場合もあるが、層理や層理面の多くは平行に発達することが多い。泥岩中に透水性の良好な砂岩層が挟在されていたり、透水性の高い砂質岩に透水性の低い泥岩層が挟在されることによって、岩石中の透水性に異方性を与えている。層理面が透水経路となっている例も観察されている。

層理及び層理面は新第三紀堆積岩及び先新第三紀堆積岩では多くの調査箇所を観察されるが、塊状の岩石では顕著でない。

(2) 溶岩のフローユニット境界

結晶質岩のうち溶岩中に見られる構造で、溶岩流と溶岩流の境界部が面上の構造となっている。本研究においては YN 箇所の安山岩溶岩において観察され、面構造としては密着性が高く、透水性の観点ではむしろ遮水層の役割をなしていた。

(3) 流理

結晶質岩（火成岩）特有の構造である。溶岩の流動に関係して形成された。岩石の成分、結晶度、組織、構造を異にした部分が重なり合うか、または柱状、板状結晶がほぼ平行に配列するかして、冷却時におけるマグマの流動線が見られる構造である（平凡社地学事典）。本研究においては HM 箇所の玄武岩において観察された。観察範囲では、透水性への顕著な寄与を示す兆候は認められない。

(4) 劈開・片理

変成作用を受けた岩石に見られる構造で、移行経路調査では先新第三紀堆積岩（泥質・凝灰質岩）に該当する千枚岩及び結晶質岩の一部岩石（結晶片岩）に認められた。千枚岩では剥離性に富んだ劈開が数 mm 以下の間隔で密に発達し、湧水が観察されている。結晶片岩では雲母などの鉱物が平行に配列して片理を形成しているが、湧水は観察されていない。

表 3.1.1-1 岩石ごとに観察された地質的特徴の種類

岩種 区分	岩石名	調査箇所	岩石固有の構造					応力の影響により形成された構造				その他 シーム
			層理・ 層理面	フロー 境界	流理	劈開・ 片理	リム	断層・ 破碎帯	節理	脈	定向配 列帯	
1	花崗閃緑岩	I-3,I-4,OS-1, OS-2						○	○	○	○	
	流紋岩質溶結凝灰岩	I-1,I-2						○	○	○		
2	安山岩	YN-1,YN-2		○				○	○	○		
	輝緑岩	S-1,S-2					○	○	○	○		
	玄武岩	HM-1,HM-2			○			○	○			
	結晶片岩	SB-1-A,SB-1-B, SB-2				○		○	○	○		
	斑れい岩	A-3,A-4						○	○	○		
3	砂岩	NS-4,ST-1	○					○	○			
	砂岩泥岩互層	BS-1,NS-3	○					○	○			
4	凝灰岩・凝灰角礫岩	H-1,H-2,O-4, Y-1,Y-2	○					○	○	○		
	泥岩・珪藻土	BS-2,NS-1,NS-2, O-3,N-1,N-2	○					○	○			
	頁岩	O-1,O-2	○					○	○	○		
5	砂岩	KS-1,T-1,T-2	○					○	○	○		
	砂岩泥岩互層	KS-2,ST-2	○					○	○	○		
6	結晶質石灰岩	X-1,X-2						○	○	○		
	千枚岩	M-1,M-2	○			○		○	○	○		
	粘板岩	A-1,A-2	○			○		○	○	○		○

岩種区分

- 1：結晶質岩（酸性岩）
- 2：結晶質岩（塩基性岩）
- 3：新第三紀堆積岩（砂質岩）
- 4：新第三紀堆積岩（泥質・凝灰質岩）
- 5：先新第三紀堆積岩（砂質岩）
- 6：先新第三紀堆積岩（泥質・凝灰質岩）

フロー境界：溶岩のフローユニットの境界
 定向配列帯：造岩鉱物の定向配列帯

移行経路調査では劈開や片理のうち主要な亀裂状のもののみを記載しているが、実際はこれらの地質的特徴は岩石全体に密に発達している。従って劈開及び片理はマトリクスの性状を特徴づける（例えば異方性など）構造として扱われるものと判断される。

(5) 枕状溶岩のリム

結晶質岩（塩基性岩）のうち枕状構造をもつ輝緑岩に認められた。枕状構造は楕円体に近い形状の団塊であり、その周縁部が割れ目状を呈しているため、移行経路調査では「リム」として記載している。

(6) 断層（・破碎帯）

岩種を問わず多くの調査箇所において認められる。割れ目を境にして上下盤の岩石がずれているか、あるいは断層運動によって母岩が破碎されてできた充填物（=破碎帯）を伴うものを断層としている。一般に断層は透水性に寄与する構造として重要であるが、調査箇所によっては透水性を示さない場合もある。

なお、地質学的な定義から見るとあまり根拠がないのであるが、従来の本研究では破碎の規模が相対的に大きいもの（つまり充填物をはさむ割れ目の幅が大きいもの）を「破碎帯」と呼称してきたため、本報告書の記述においてもそのように取り扱うこととする。

(7) 節理

断層と同様に、岩種を問わずどの調査箇所でも観察された。断層との違いは割れ目面に沿った上下盤の変位が認められないことである。充填物を挟む割れ目の幅は小さいかまたは面が密着していることが多い。一般に節理は透水性に寄与する構造として重要である。

(8) 脈

過去の熱水活動を示す場合が多く、断層や節理の間を熱水が通過し、石英や方解石等の鉱物を沈殿させたものである。特殊な例としては粘土脈もある。断層や節理と同様に、一般に透水性に寄与する構造として重要である。

(9) 造岩鉱物の定向配列帯

結晶質岩（花崗閃緑岩）の一部に観察されたもので、成因は必ずしも明らかではないが、本構造を境に上盤と下盤でずれが認められることから、断層運動に関係した構造と推測される。本

研究においては OS 箇所の花崗閃緑岩の中に観察されており、本岩体がマイロナイトを伴うことから、それとの関係を持つ構造であることも考えられる。定向配列帯内部は密着性が高く、透水性への寄与は小さい。

(10) シーム

先新第三紀堆積岩の一部の箇所で観察されたもので、堆積岩の層理面に沿う粘土の薄層であるが、成因は明確ではない。本研究においては層理面の特殊な例として取り扱うこととする。

3.1.2 亀裂ネットワークモデルで扱う地質的特徴の抽出

前項では地質的特徴を成因や性状により分類したが、亀裂ネットワークモデルで取り扱うためには、透水に寄与する（支配的な移行経路となる）地質的特徴を抽出することが必要である。

(1) 取得データの一部見直し

今回のとりまとめに際して、すでに報告している調査データの一部見直しを行った。見直しの内容は、破碎帯を伴う断層（本研究においてBタイプとしてきたもの）のデータに関するものである。とくに平成5年度の調査では、観察時に断層の形状タイプを考慮していないため、それらのデータの取り方に一部混乱があった。例えば、破碎帯をはさむ断層は本来なら1本の断層と数えられるべきであるが、既存のデータでは上盤側と下盤側の境界をそれぞれ割れ目として数えてしまっていることがあった。見直しの結果、データを修正した通常スケッチ調査箇所は、A-4、O-1、H-1、T-1 及びKS-1である。

(2) 本研究における不確定情報

本研究における調査方法に伴う不確定さを明らかにしたうえで、移行経路となる地質的特徴を抽出する方法を検討する。地表または坑内での露頭調査により取得したデータには、次のような不確定情報が含まれる。

ア) 風化の影響：岩石が風化を受ける際に、亀裂に沿って酸化性の地下水が通り、酸化鉄・水酸化鉄や粘土質の物質が割れ目等を充填し、さらにマトリクス部の酸化変質ハローを形成する。風化に伴う充填物の形成により透水性が失われることもあるかも知れないが、これら酸化充填物や酸化変質ハローの存在は、その地質的特徴がかつては酸化性の地下水の透水経路であったことを示唆すると考えられる。

イ) 不飽和領域であること：地表や坑道付近では地下水に不飽和な状態であると考えられる。

この場合には本来透水性を有する地質的特徴でも露頭では湧水が観察できない。したがって湧水に関しては、観察では実際の透水性を持つ地質学的特徴よりも少な目のデータを取得していることになる。

ウ) 応力解放の影響： 地表付近及び坑道周辺では、応力解放の影響により岩盤が緩んでいる状態となっている。このことにより岩盤中の割れ目は開いたり、新しい割れ目が形成されていると考えられる。

以上のことから、観察データに基づき岩石中の透水性を検討する場合には、湧水のデータは透水性を実際より低く見積もる結果となるが、酸化充填物や酸化変質ハローのデータを加えることにより補うことができると考えられる。また、ウ) よりこれらのデータの整理結果は保守側にたったものと位置づけることができる。

(3) 抽出の方法

以降に取り扱う地質的特徴のデータは、通常スケッチの区画内でのトレース長が 30cm 以上のものを対象とし、それ未満の地質的特徴のデータは解析から除外する。この理由は、現地調査においてはトレース長 20cm 以上の地質的特徴を記載しているが、下限値付近では測定の実誤差(測定値の取りこぼし)を多分に含んでいる可能性があるため、その影響を小さくするために解析の下限値を 10cm 上乗せするものである。したがって、露頭全体では長く連続する地質的特徴であっても、スケッチ区画内におけるトレース長が 30cm に満たないものは解析から除外する。

(i) データの特徴

通常スケッチ調査では、亀裂等の構造の 1 箇所でも湧水が認められれば、その構造は「湧水あり」となり、その構造のどの部分が透水経路となっているかを反映したデータとはなっていない。例えば、スケッチ区画の外側に湧水箇所があり区画内にはない場合でも、その構造は透水性を有する構造とみなされる。このようなデータの特徴をふまえ、以下の整理方法を検討する。

(ii) 透水指数

まず、各通常スケッチ調査箇所でも、地質的特徴の種類ごとに透水性を示唆する現象として湧水、酸化充填物及び酸化変質ハローを有する構造の数を数えた。次に、これらの現象のいずれかを含む構造を「透水構造」とみなし、これらが地質的特徴の全体数に占める割合を求め「透水指数」とした。例えば、100 本の節理のうち、50 本が「透水構造」であれば、透水指数は 50(%)

となる。

(iii) 透水構造の密度

単位面積あたりの透水構造の存在量を定量的に示す指標として、地質的特徴の密度 P_{21} (スケッチ面積 1 m^2 あたりの地質的特徴のトレース長 (cm/m^2) で、従来「割れ目密度」と称してきたもの。スケッチ範囲に存在する地質的特徴の総トレース長をスケッチ面積で割ったものである) と透水指数の積を求め、これを「透水構造の密度」とした。Kristallin-I (NAGRA, 1994) においても、天然バリアのレファレンスケース評価モデルの入力パラメータに「単位面積を切る Water Conducting Features の密度」があるが、この考えに通じるものがある。

(4) 検討の結果

図 3.1.2-1 に通常スケッチ調査箇所ごとの透水構造の密度を示す。透水構造の密度は箇所ごとに高低の差がある。図 3.1.2-2 に透水構造の種類別内訳を示したが、節理、断層及び脈が主要な透水構造となっていることがわかる。その他に調査箇所によっては層理面・不整合面、層理、リム、シーム及び片理・劈開が透水構造となっている。いくつかの調査箇所では層理面・不整合面が透水構造に占める割合が比較的大きいため、これらの取り扱い方について次に述べる。

NS-3 では層理面が透水構造の数に占める割合が大きい。ここでは透水性の高い砂岩層に対し下位の泥岩が相対的に不透水層となっており、層理面が見かけ上透水構造とみなされたものである。したがって、本箇所では層理面は透水構造としてではなく、マトリクスの異方性を支配する構造としての寄与が大きいと考えられる。

N-1 箇所においても層理面が 50%近い寄与を示しているが、これらは不整合面であり、今回の整理対象よりも大きなスケールを考慮する場合に問題となる構造である。したがって今回の整理対象からは除外することとする。

ST-2 においては層理面が透水構造の約 30%を占めている。また、A-2 でも層理面とシームの合計が透水構造の約 30%となっている。A-2 のシームは層理面に沿って存在することから、層理面として扱うことはすでに述べた。これらの層理面の性状は節理等の「亀裂」と類似することがあるが、堆積岩に特有の構造であり、平行で比較的等間隔・規則的に発達していることから、亀裂として取り扱うよりむしろ、マトリクスの異方性を特徴づける要素とみなす方が妥当と考えられる。

以上のことから、亀裂ネットワークモデルで考慮すべき地質的特徴として、節理、断層、脈

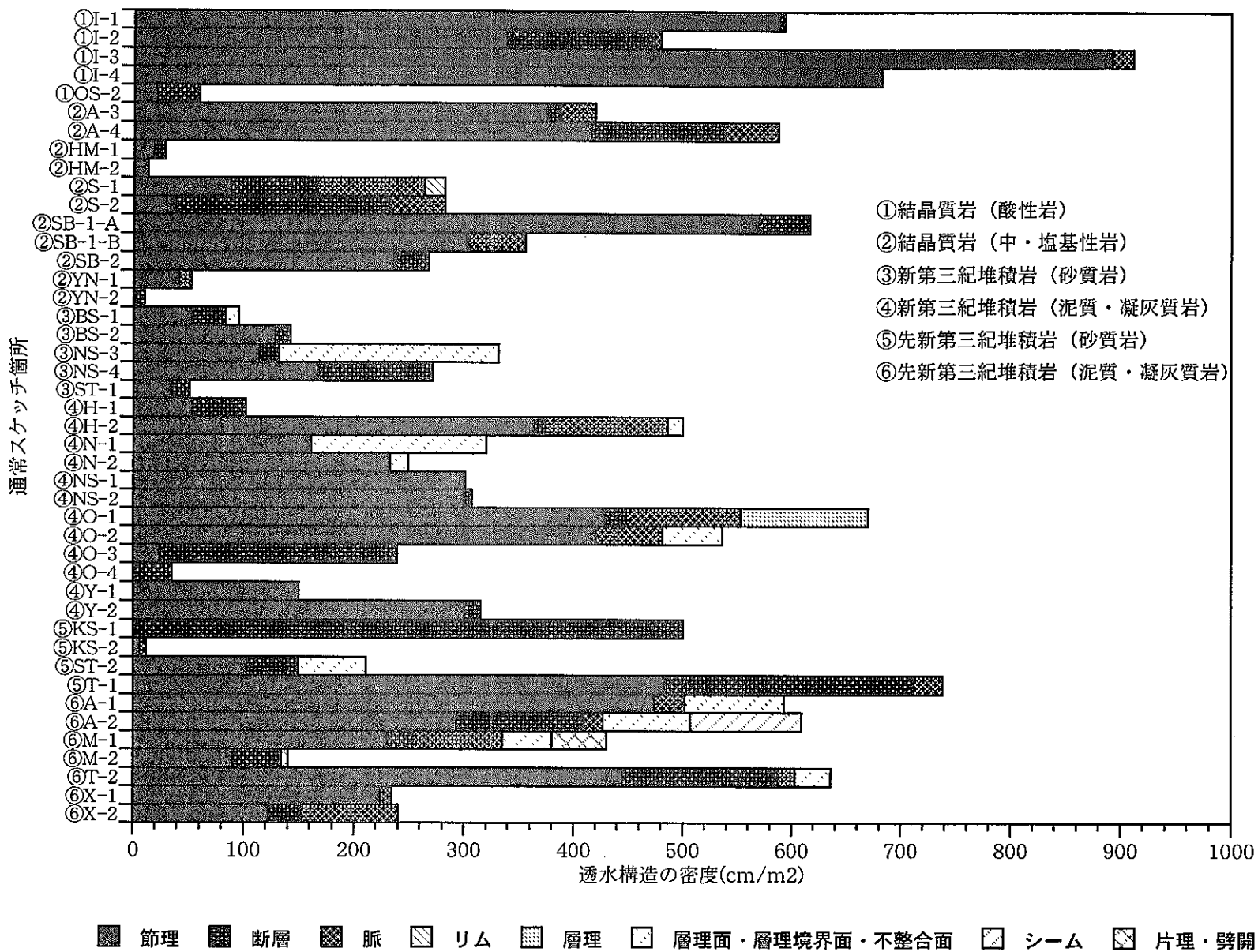


図 3.1.2-1 通常スケッチ調査箇所毎の透水構造の密度

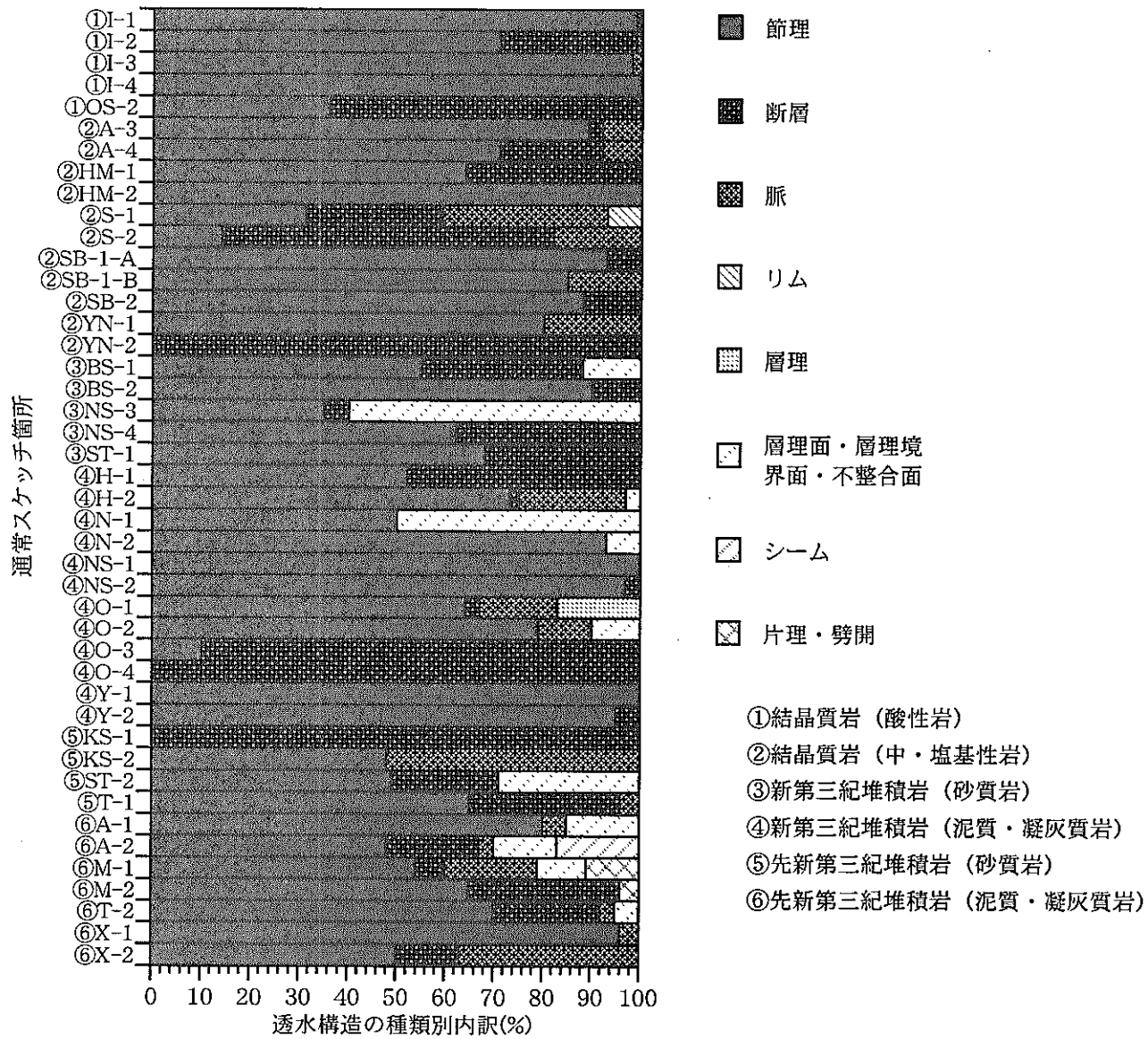


図 3.1.2-2 透水構造の種類別内訳

が選ばれ、以後はこれらの構造を「亀裂」と呼称する。層理、層理面、劈開、片理は岩石種によって特徴的な構造であり、比較的規則的に発達することから、マトリクスの性状を特徴づける要素として取り扱うことができる。

湧水を伴う地質的特徴の密度を図 3.1.2-3 に、種類別内訳を図 3.1.2-4 に示した。

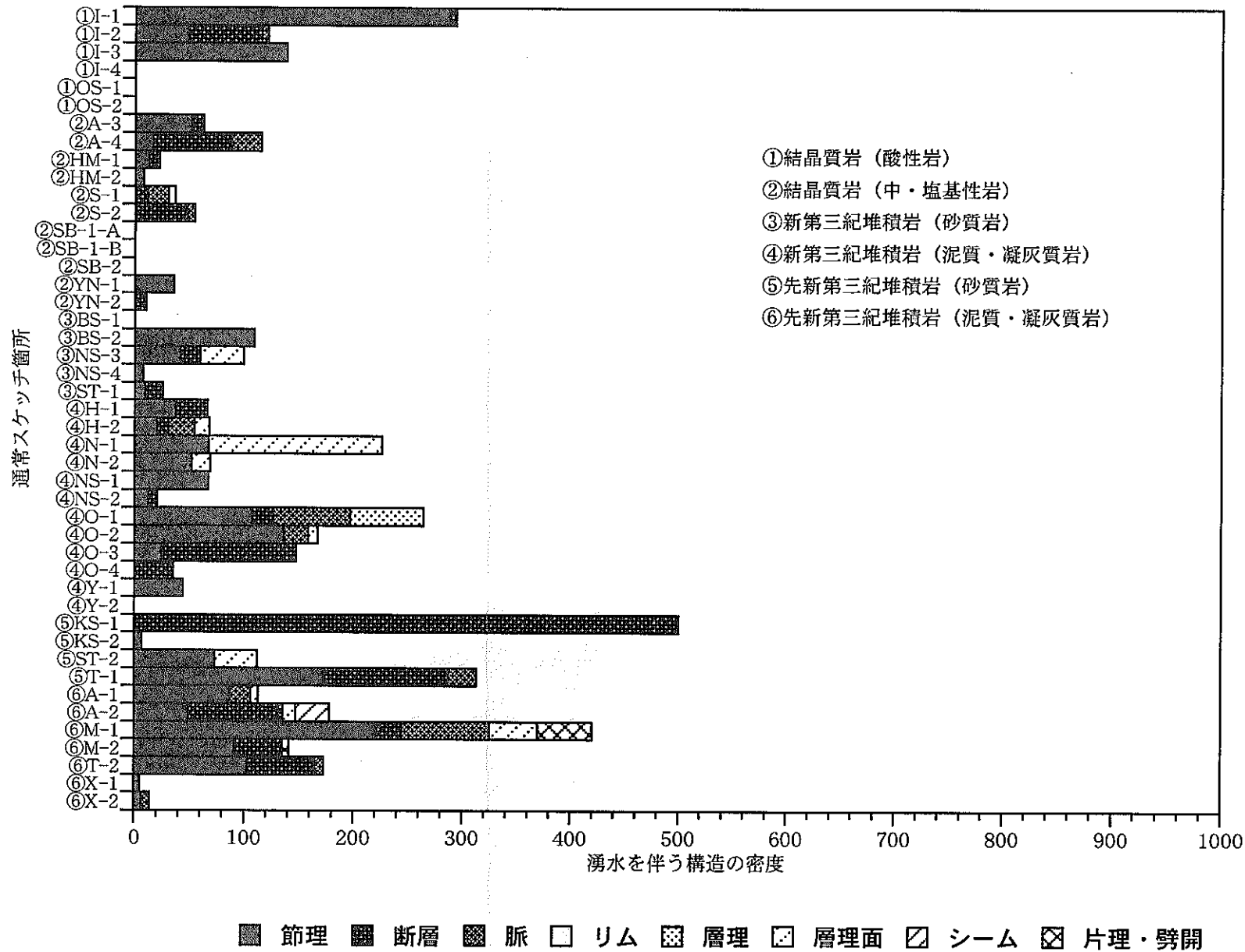


図 3.1.2-3 湧水を伴う透水構造の密度

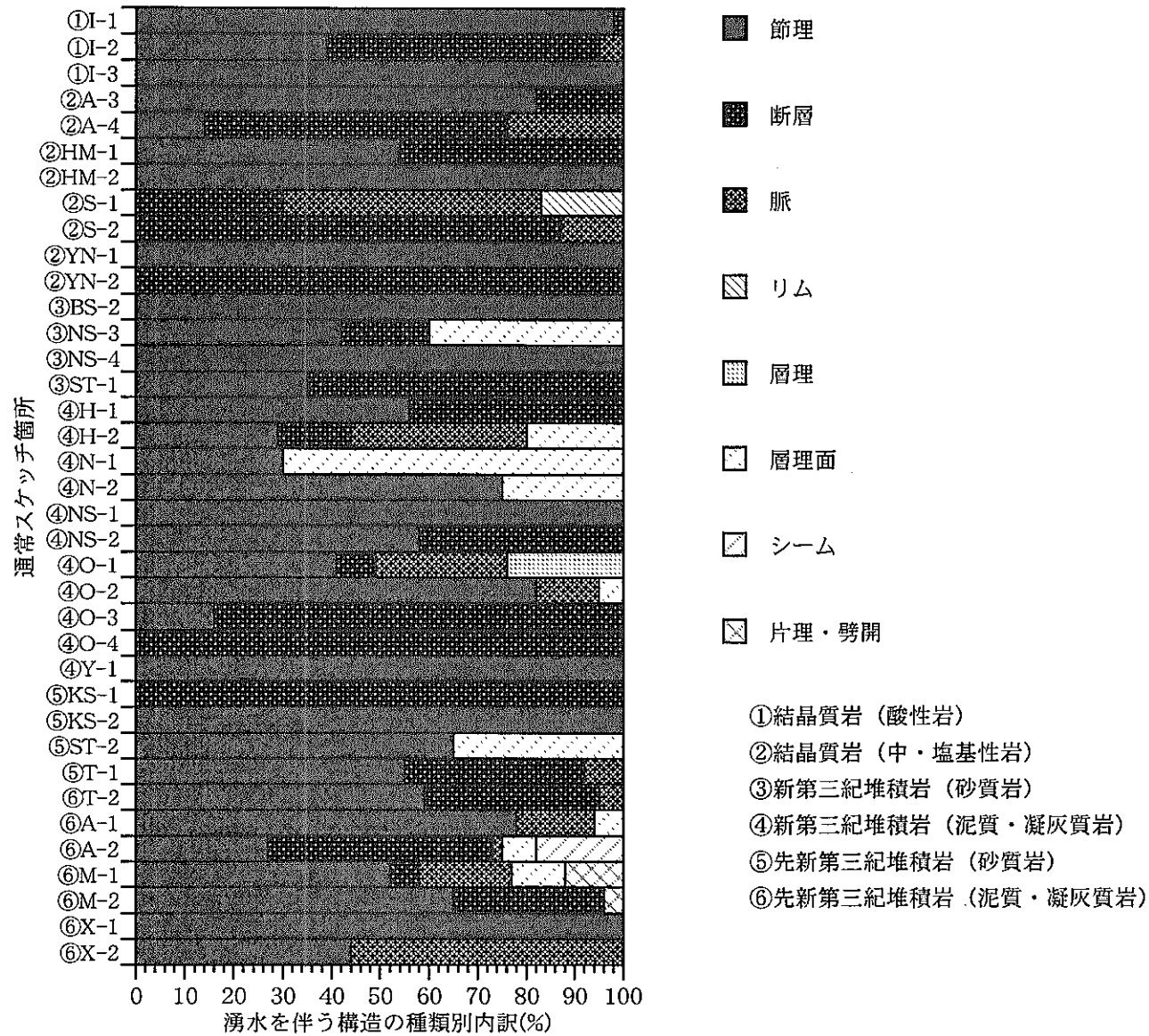


図 3.1.2-4 湧水を伴う透水構造の種類別内訳

3.2 移行経路となる地質的特徴の特性に関するデータ整理

本節においては、亀裂の特性、断層・破碎帯の特性、岩石中のマトリクス拡散の場となりうる移行経路の特性に関し、データ整理を行う。

3.2.1 亀裂の特性

(1) 亀裂の分布に関する特性

表 3.2.1-1 に各スケッチ箇所的基础的な情報・データを整理した。本表においては第 2 次取りまとめで考慮される 6 つの岩種区分のほか、地質調査所(1992)による岩種区分(先述)も示した。

(i) 方向性

通常スケッチの調査では、スケッチ範囲が横方向に長いため、緩傾斜の亀裂は急傾斜のものに比べてデータとして取得されにくいという側面があり、そのことを前提として以下の整理を行う。

図 3.2.1-1(1)～(24)に各通常スケッチ箇所毎の亀裂の方向性を示すステレオネット(極投影図及びコンターダイアグラム)を示す。極投影図は下半球投影で、亀裂の種類ごと(節理、断層、脈)に示した。

亀裂の方向性を定量的に扱う手法として、顕著な方向ごとに亀裂セットを区分し、各亀裂セットの方向分布を Fisher 分布とし、方向性のばらつきを示す Fisher 係数を求めた(表 3.2.1-2)。本表の「平均方向・斜度」の値は、各亀裂セットの平均極の方向及び傾斜角(極の傾斜角であり、亀裂面の傾斜ではない)である。方向は北からの時計廻りの角度を示している。

この結果を元に、各調査箇所毎の傾向を見るために表 3.2.1-3 を整理した。本表では亀裂セットの傾斜を 30 度及び 60 度で境し、それぞれ緩傾斜、中間傾斜及び急傾斜とした。表では亀裂セットの番号、亀裂セットに含まれる亀裂数の割合(%)及び Fisher 係数による集中度を示した。Fisher 係数による集中度は係数 10、20 及び 30 で区分して記号で示した。方向性の特徴を判断する目安としては、次の様なことが考えられる。

- ・ 一般に亀裂セット数が多いものは方向性が定まらないことを意味している(例えば A-3)。
- ・ 計算上は Fisher 係数が大きいほど方向性分布が集中することを意味する。従って Fisher 係数が大きく、かつ亀裂数の割合(%)が大きい亀裂セットは集中度が高い(例えば N-2 の亀裂セット 2)

本表(表 3.2.1-3)により岩種ごとに亀裂の方向性を検討すると以下のような傾向がある。

表 3.2.1-1(1/2) 通常スケッチ箇所毎の基本情報・データ

番号	調査箇所	岩石名	調査箇所・岩種に関する事項			亀裂(断層・節理・脈)				湧水を伴う亀裂		その他			
			岩種 区分 1	岩種 区分 2	地質時代	年代値 ×10 ⁶ 年	連結点 数C1	密度P21 (cm/m ²)	D ₀	切片	連結点 数C1	密度P21 (cm/m ²)	7m以上の 湧水	変質 階-	深度 (m)
1	I-1	流紋岩質溶結凝灰岩	1	3	白亜紀後期	65 *	7.3	605	2.13	1.11	1.9	339	1	0	105
2	I-2	流紋岩質溶結凝灰岩	1	3	白亜紀後期	65 *	8.4	561	1.79	1.41	0.45	128	1	0	105
3	I-3	花崗閃緑岩	1	4	白亜紀後期	65 *	30	955	2.08	1.73	1.8	166	0	0	0
4	I-4	花崗閃緑岩	1	4	白亜紀後期	65 *	12	684	1.37	1.41	0	0	0	1	0
5	OS-1	花崗閃緑岩	1	4	中新世	12	1	214	0.54	1.30	0	0	0	0	0
6	OS-2	花崗閃緑岩	1	4	中新世	12	6.2	406	0.69	1.42	0	0	0	1	0
7	A-3	斑れい岩	2	2	二疊紀	247 *	4.4	431	2.04	1.08	0.5	62	1	0	30
8	A-4	斑れい岩	2	2	二疊紀	247 *	10	560	1.39	1.28	0	88	1	0	40
9	HM-1	玄武岩	2	3	中～鮮新世	6.78	1.8	291	1.22	1.28	0.05	25	0	0	0
10	HM-2	玄武岩	2	3	中～鮮新世	6.78	2.5	280	1.30	1.42	0	10	0	1*	0
11	S-1	輝緑岩	2	2	白亜紀後期	126	6.3	454	1.59	1.29	0	46	0	0	227
12	S-2	輝緑岩	2	2	白亜紀後期	126	8.6	582	1.59	1.44	0.2	73	0	0	107
13	SB-1-A	結晶片岩	2	5	白亜紀	90	11	580	1.52	1.32	0	0	0	0	0
14	SB-1-B	結晶片岩	2	5	白亜紀	90	12	657	1.92	0.71	0	0	0	0	0
15	SB-2	結晶片岩	2	5	白亜紀	90	5.4	461	0.92	1.39	0	0	0	0	0
16	YN-1	安山岩	2	3	鮮新世	2.48	4.4	338	1.64	1.05	0.1	32	1	1*	0
17	YN-2	安山岩	2	3	鮮新世	2.48	0.2	90	1.20	0.88	0	10	1	0	0
18	BS-1	砂岩泥岩互層	3	1	中～鮮新世	5	2.1	349	1.10	1.21	0	0	2	1	20
19	NS-3	砂岩泥岩互層	3	1	前期鮮新世	3.23	0.9	158	2.17	0.61	0.1	66	2	1	0
20	NS-4	砂岩	3	1	前期鮮新世	3.23	1.9	344	0.82	1.26	0	12	2	1	0
21	ST-1	砂岩	3	1	中新世前～中期	15 *	0.4	174	1.19	0.81	0	48	1	2	0
22	BS-2	泥岩	4	1	中～鮮新世	5	2.3	272	0.92	1.17	0.1	82	2	0	20
23	H-1	凝灰角礫岩	4	1	中新世前～中期	15 *	2.7	262	1.39	0.94	0.4	76	1	0	49
24	H-2	粗粒凝灰岩	4	1	中新世前～中期	15 *	7.3	486	1.45	1.43	0.25	59	0	0	0
25	N-1珪	珪藻土	4	1	中新世中～後期	5.8 *	1.1	282	2.22	0.38	0	79	0	2	0
26	N-2珪	珪藻土	4	1	中新世中～後期	5.8 *	1.1	225	2.00	0.42	0	36	0	2	0
27	NS-1	泥岩	4	1	鮮新世	2.3	4.1	434	1.19	1.21	0.2	50	0	1	0
28	NS-2	泥岩	4	1	鮮新世	2.3	5.5	514	1.27	1.34	0	21	0	1	0
29	O-1	頁岩	4	1	中新世中期	13 +	6.7	556	2.04	1.20	1	177	0	0	175
30	O-2	頁岩	4	1	中新世中期	13 +	7.1	526	1.79	1.13	1.2	177	0	0	115
31	O-3	泥岩	4	1	中新世中～後期	9 *	2.3	379	1.32	0.68	0.571	186	0	0	70
32	O-4	火山礫凝灰岩	4	1	中新世中～後期	9 *	0.07	49.6	0.85	0.59	0	35	2	0	100
33	Y-1	細粒凝灰岩	4	1	中新世後期	6.7	1.1	253	1.56	1.00	0	92	1	1	0
34	Y-2	細粒凝灰岩	4	1	中新世後期	6.7	8.1	553	0.89	1.38	0	0	0	1	0
35	KS-1	砂岩	5	2	始新世	38 *	3.1	329	1.67	0.83	0	24	0	0	0
36	KS-2	砂岩泥岩互層	5	2	始新世	38 *	0.8	203	3.23	0.84	0	4	1	0	0
37	ST-2	砂岩泥岩互層	5	2	始新世～漸新世	38 *	2	425	1.35	1.12	0	98	1	2	0
38	T-1	砂岩	5	2	三疊紀	212 *	16	763	1.37	1.63	3.8	356	0	0	103
39	T-2	砂岩	5	2	三疊紀	212 *	16	727	1.79	1.43	2.35	195	0	0	143
40	A-1	粘板岩	6	1	二～三疊紀	247 *	4.9	521	1.56	1.19	0.2	197	0	0	23
41	A-2	粘板岩	6	1	二～三疊紀	247 *	5.4	412	1.41	1.14	0.95	145	1	0	38
42	M-1	千枚岩	6	2	白亜紀後期	65 *	4.4	383	1.30	1.17	3.8	334	2	0	109
43	M-2	千枚岩	6	2	白亜紀後期	65 *	1.1	187	1.23	0.89	0.7	139	2	1	24
44	X-1	結晶質石灰岩	6	2	二疊紀	247 *	8	550	1.59	1.21	0	21	0	1	251
45	X-2	結晶質石灰岩	6	2	二疊紀	247 *	9.7	604	1.00	1.49	0	21	0	1	392

表 3.2.1-1(2/2) 通常スケッチ箇所毎の基本情報・データ(凡例)

凡例

本表は断層、節理及び脈のデータのみを扱っている。

岩種区分1

1: 結晶質岩(酸性)、2: 結晶質岩(中・塩基性)、3: 新第三紀堆積岩(砂質岩)、4: 新第三紀堆積岩(泥質・凝灰質岩)、5: 先新第三紀堆積岩(砂質岩)、6: 先新第三紀堆積岩(泥質・凝灰質岩)

岩種区分2

1: 堆積岩類、2: 付加コンプレックス、3: 火山岩類、4: 深成岩類、5: 変成岩類
(上記の区分は地質調査所編集「100万分の1日本地質図第三版」(1992)による)

年代値

文献に示されている絶対年代の範囲のうち、若い年代値を示した。*印はその岩石が属する地質時代(相対年代)の境界のうち、若い方の絶対年代値を記した(地学ハンドブックを参考とした)。+印は西黒沢階と考えられているため、その若い方の年代値を記した(共立出版「日本の地質」シリーズを参考とした)。

連結点数(C1)

スケッチ区画1m²あたりの地質的特徴の連結点数の平均。

密度P21

スケッチ区画1m²あたりの地質的特徴の総トレース長の平均。

D₀

トレース長のフラクタル次元(べき指数)

切片

トレース長100cmの亀裂の累積本数の対数値。

岩級

岩石の新鮮な部分の岩級を示した(電研式岩盤分類基準)

マトリクスからの湧水

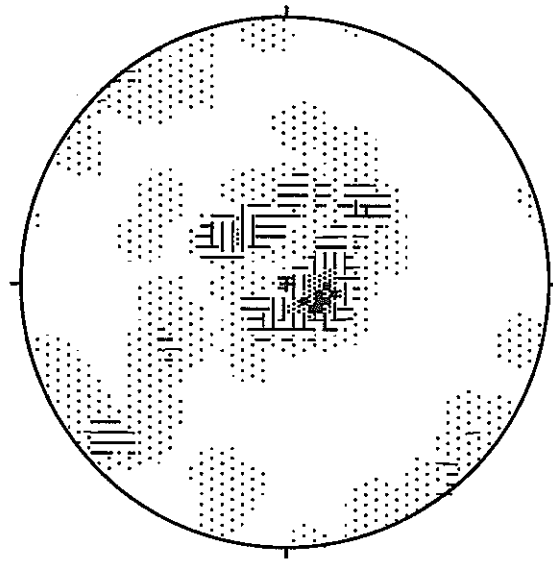
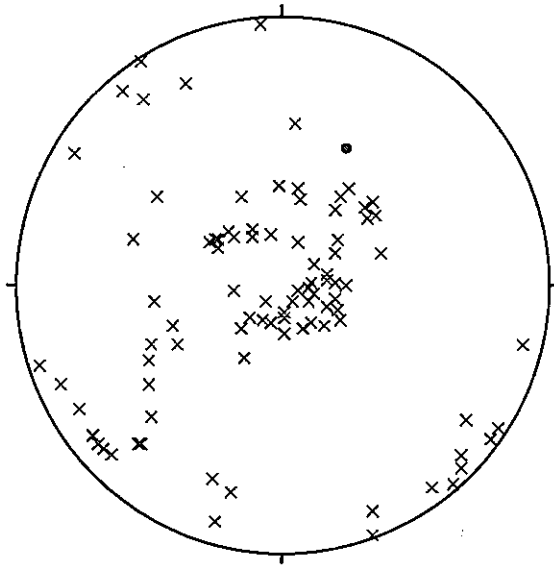
0: 認められない、または不明。1: 割れ目周辺等一部に限られるが認められる。2: マトリクスの広範囲にわたって認められる。

変質ハロー

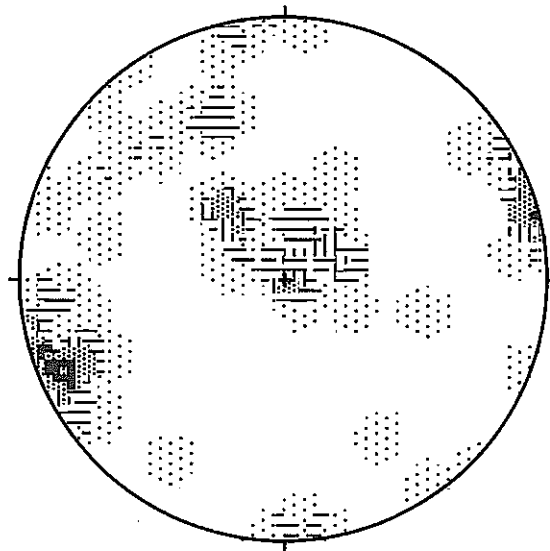
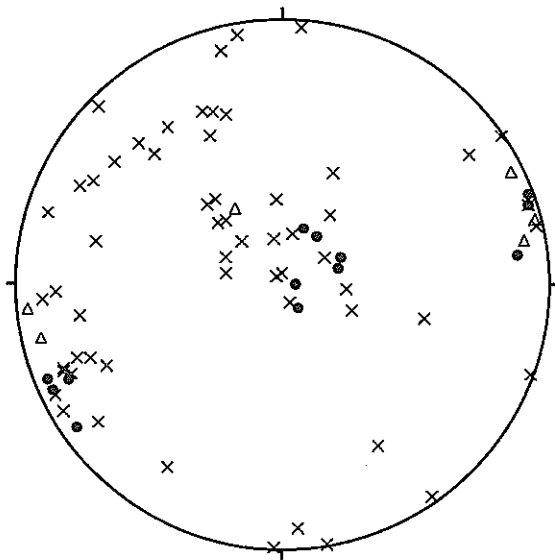
0: 認められない、または不明。1: ごく局部的に認められる。2: 一般的に認められる。*印は熱水変質、急冷相等によって形成されたもの。その他は風化による酸化帯。

深度(m)

スケッチ箇所地表からの深さ



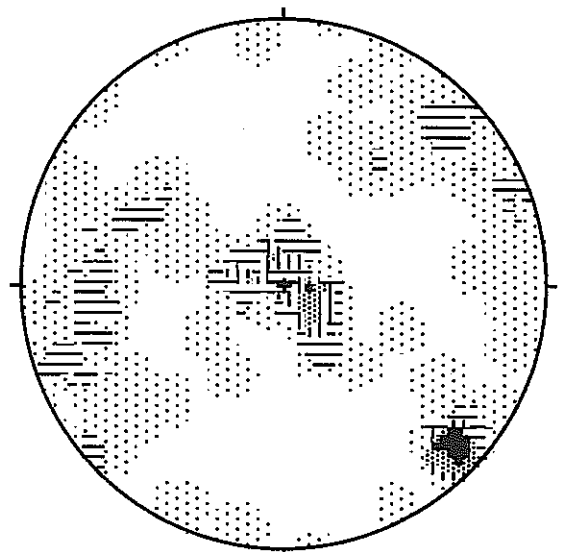
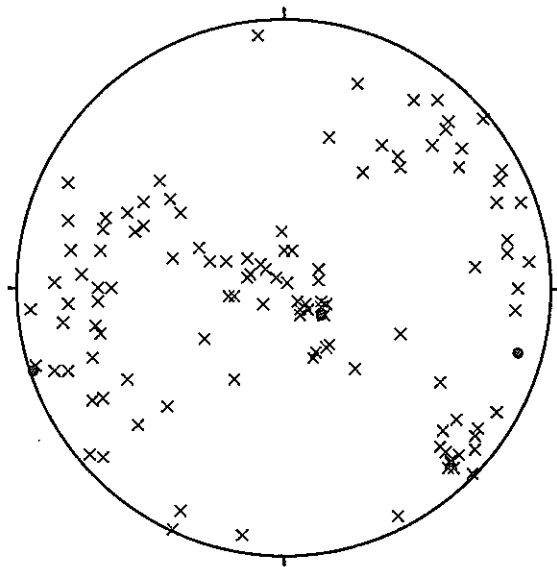
1 I-1 流紋岩質溶結凝灰岩
 1.0-3.8% 12.3-15.2%
 3.8-6.7% N = 99
 6.7-9.5%
 9.5-12.3%



2 I-2 流紋岩質溶結凝灰岩
 1.2-3.2% 9.0-10.10%
 3.2-5.1% N = 82
 5.1-7.1%
 7.1-9.0%

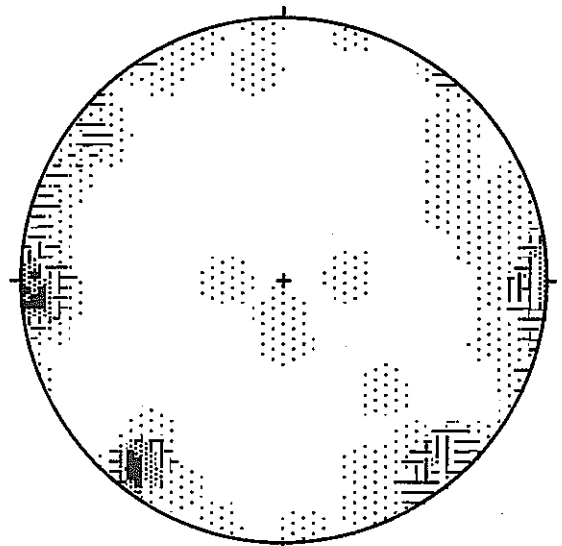
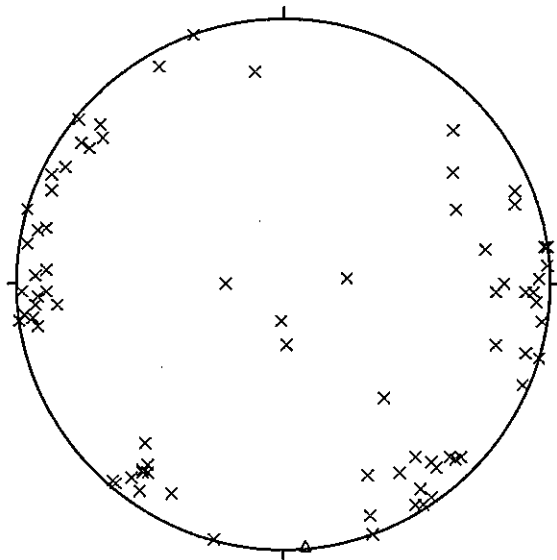
左：極投影図、右：コンターダイヤグラム
 ×印：節理、●印：断層、△印：脈
 (等積・下半球投影)

図 3.2.1-1(1/24) 亀裂の方向性を示すステレオネット(I-1, I-2)



3
I-3 花崗閃緑岩

0.8-3.1%	9.9-12.2%
3.1-5.3%	N = 131
5.3-7.6%	
7.6-9.9%	

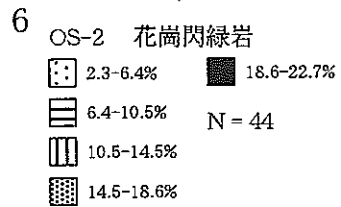
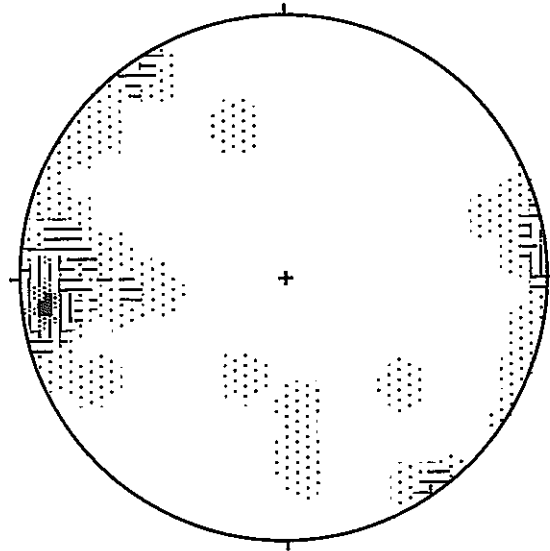
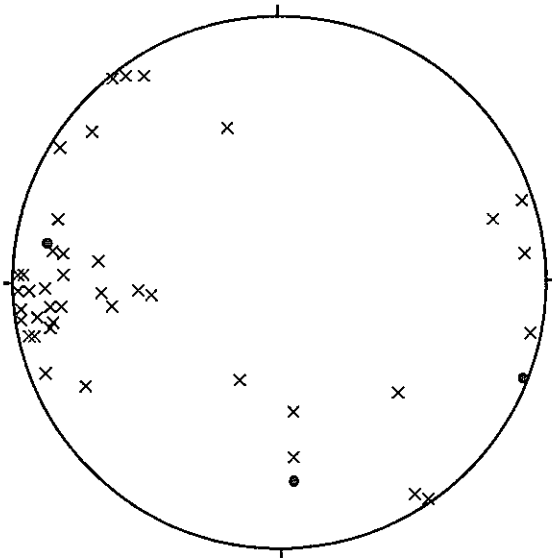
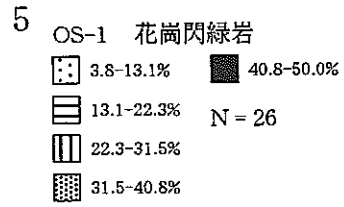
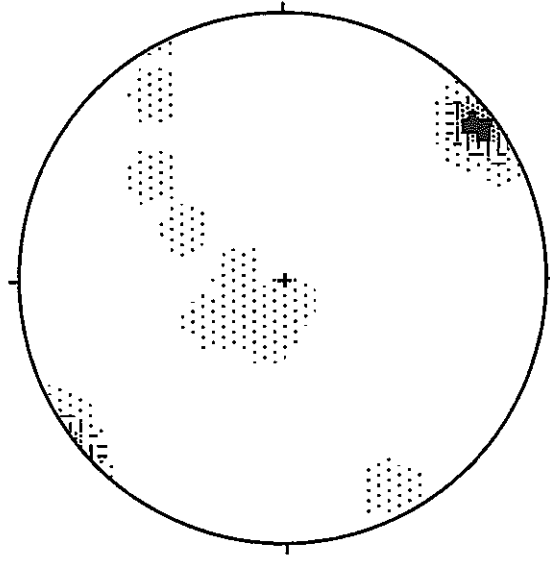
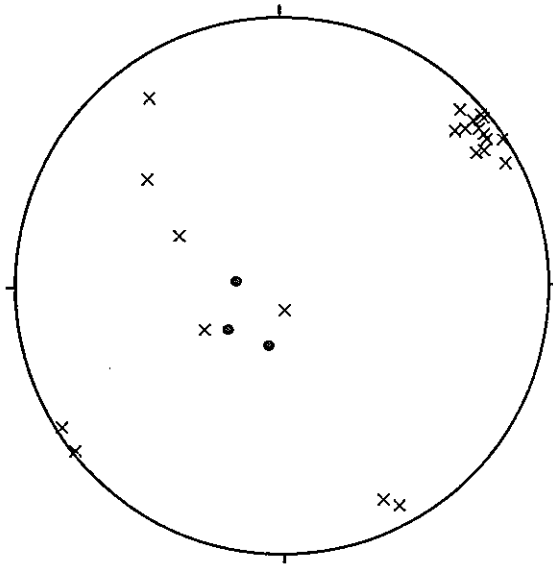


4
I-4 花崗閃緑岩

1.2-4.0%	12.3-15.0%
4.0-6.8%	N = 80
6.8-9.5%	
9.5-12.3%	

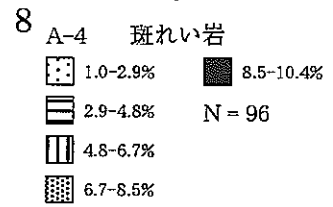
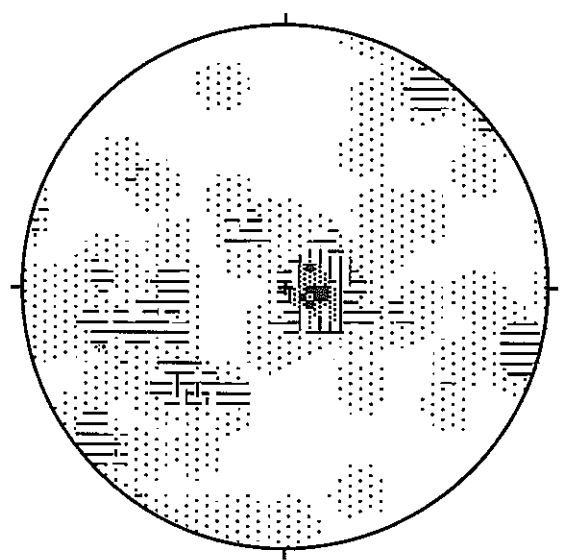
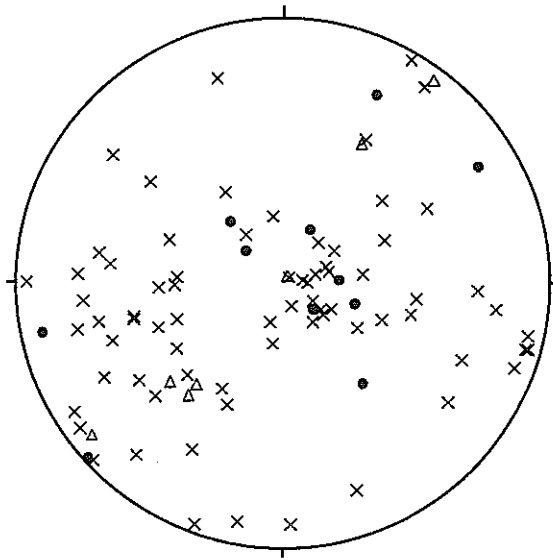
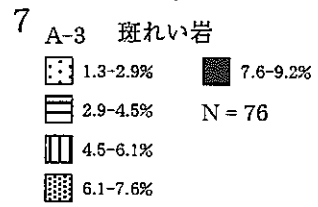
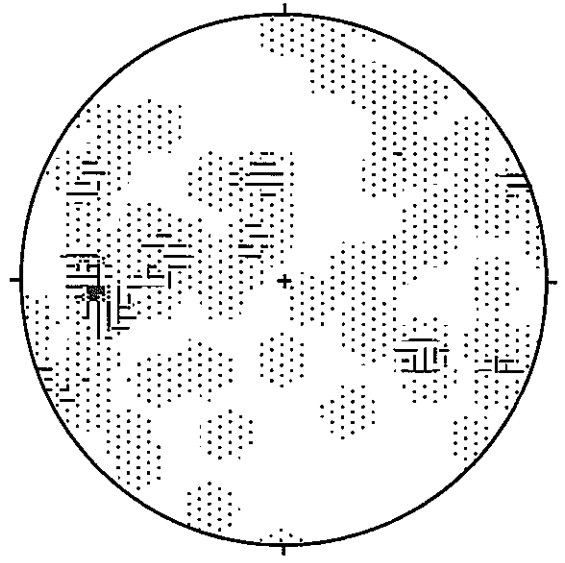
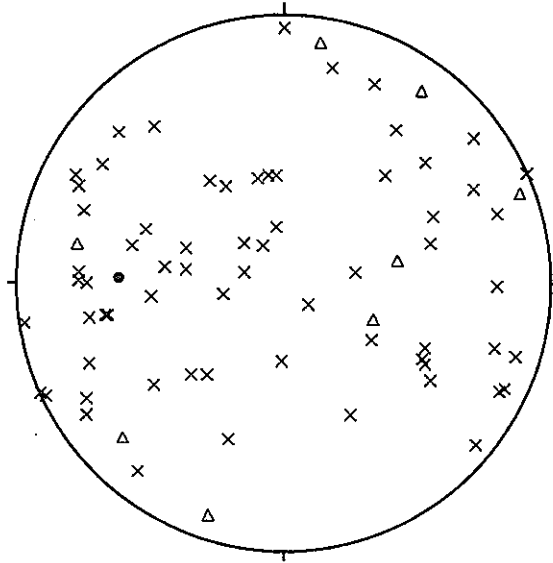
左：極投影図、右：コンターダイヤグラム
 ×印：節理、●印：断層、△印：脈
 (等積・下半球投影)

図 3.2.1-1(2/24) 亀裂の方向性を示すステレオネット(I-3, I-4)



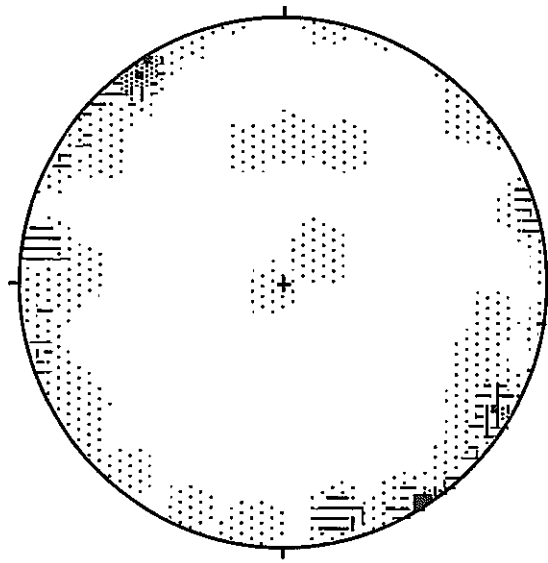
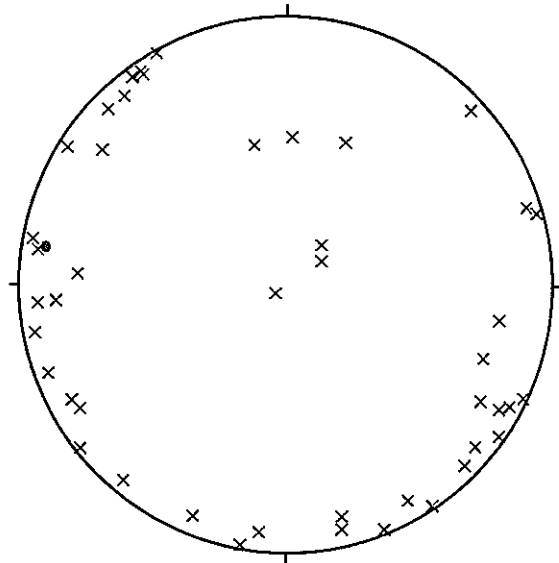
左：極投影図、右：コンターダイアグラム
 x印：節理、●印：断層、△印：脈
 (等積・下半球投影)

図 3.2.1-1(3/24) 亀裂の方向性を示すステレオネット(OS-1, OS-2)

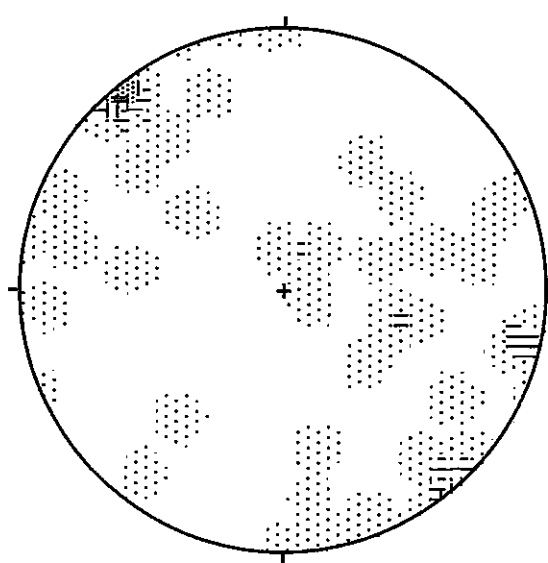
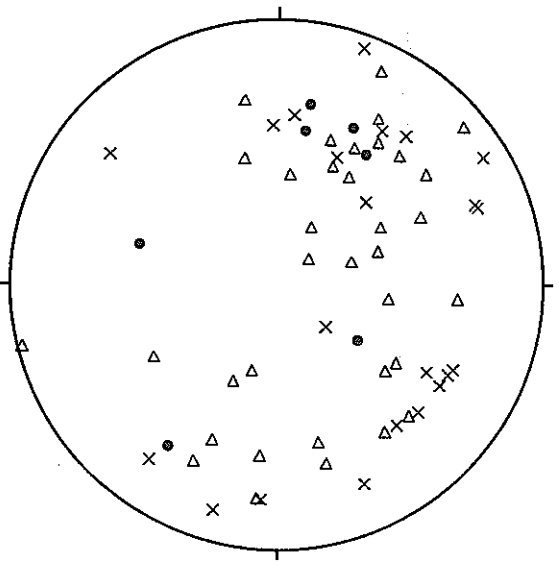


左：極投影図、右：コンターダイヤグラム
 ×印：節理、●印：断層、△印：脈
 (等積・下半球投影)

図 3.2.1-1(4/24) 亀裂の方向性を示すステレオネット(A-3,A-4)



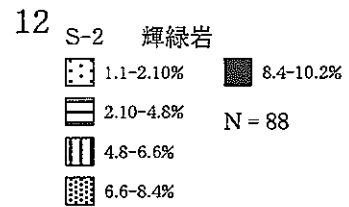
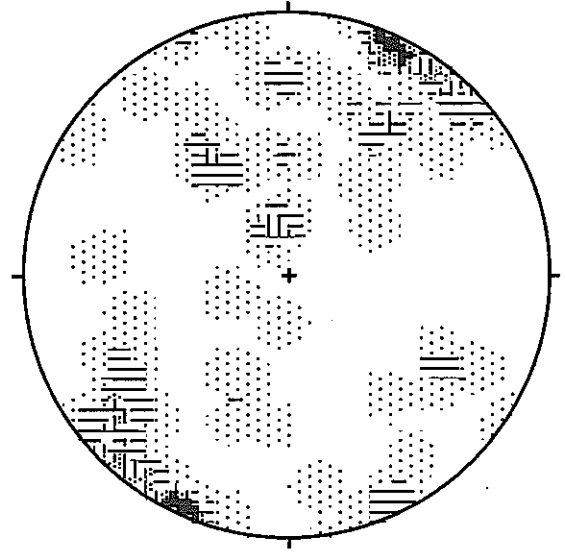
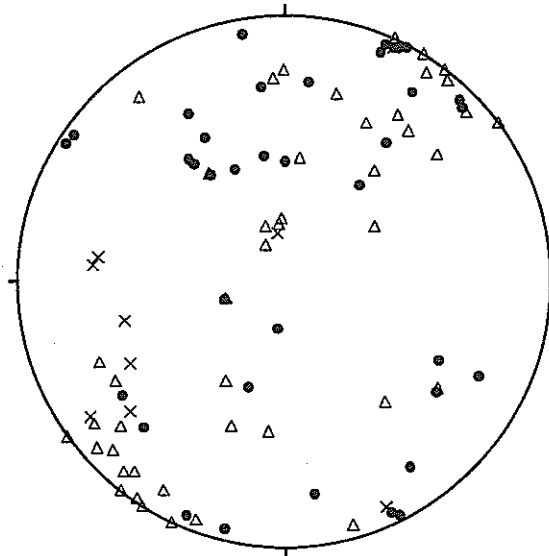
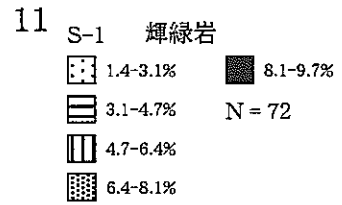
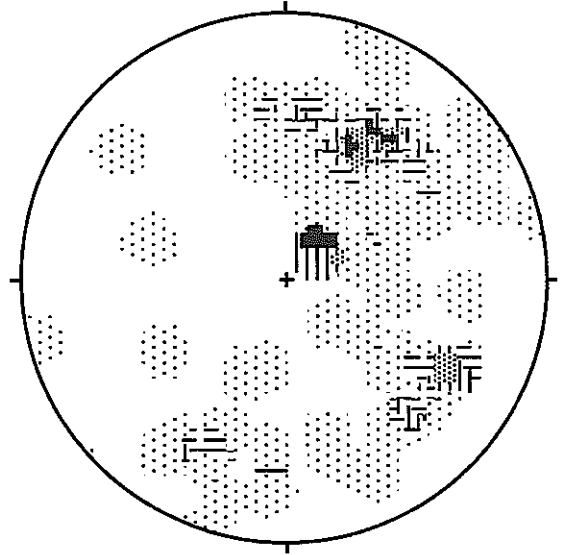
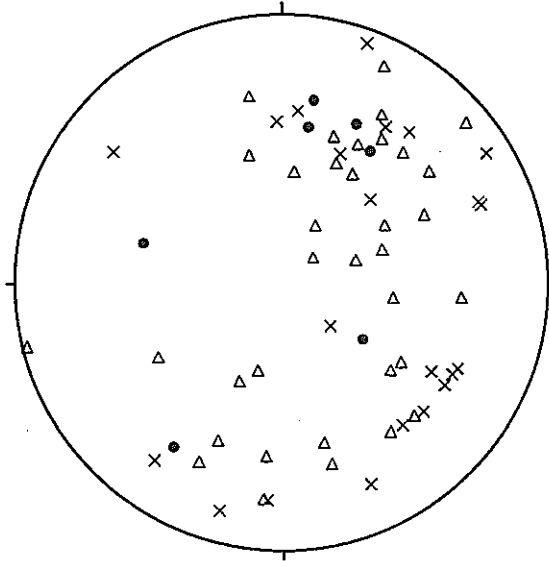
9 HM-1 玄武岩
 2.1-4.3% 10.6-12.8%
 4.3-6.4% N = 47
 6.4-8.5%
 8.5-10.6%



10 HM-2 玄武岩
 2.4-4.6% 11.9-14.3%
 4.8-7.1% N = 42
 7.1-9.5%
 9.5-11.9%

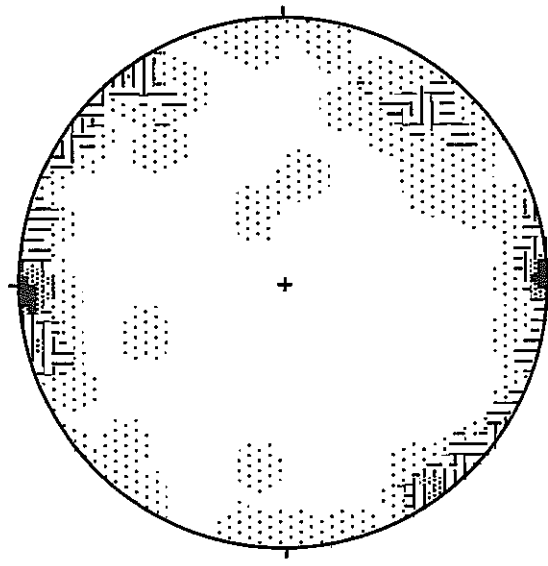
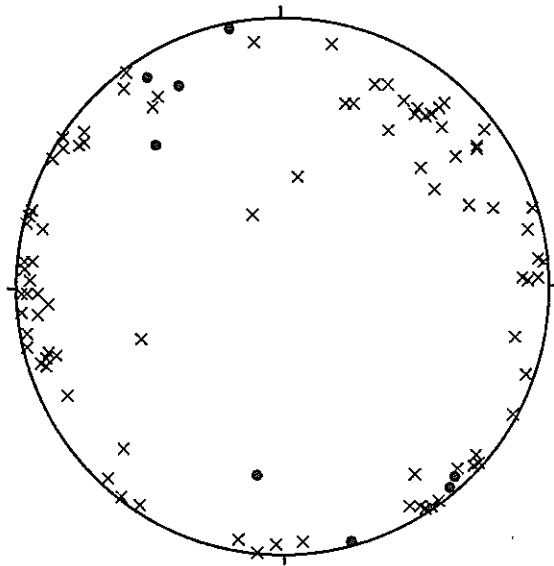
左：極投影図、右：コンターダイヤグラム
 ×印：節理、●印：断層、△印：脈
 (等積・下半球投影)

図 3.2.1-1 (5/24) 亀裂の方向性を示すステレオネット (HM-1, HM-2)



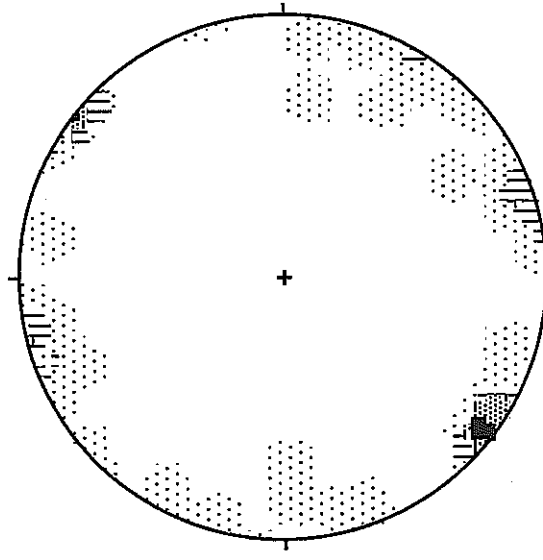
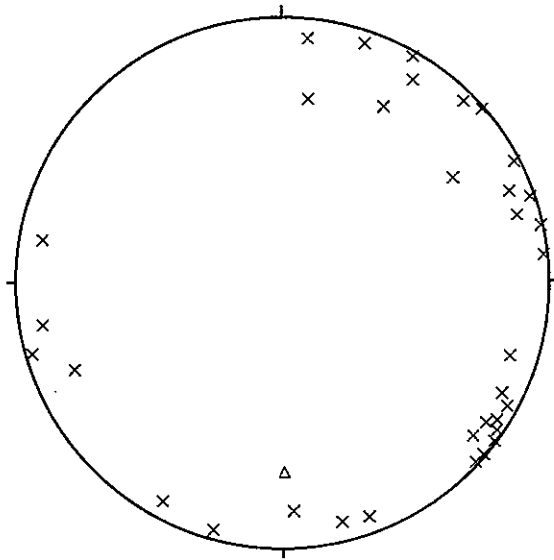
左：極投影図、右：コンターダイヤグラム
 ×印：節理、●印：断層、△印：脈
 (等積・下半球投影)

図 3.2.1-1(6/24) 亀裂の方向性を示すステレオネット(S-1, S-2)



13 SB-1A 結晶片岩
 N = 99

□ (dots)	1.0-3.4%	■ (solid)	10.7-13.1%
□ (horizontal lines)	3.4-5.9%		
□ (vertical lines)	5.9-8.3%		
□ (diagonal lines)	8.3-10.7%		

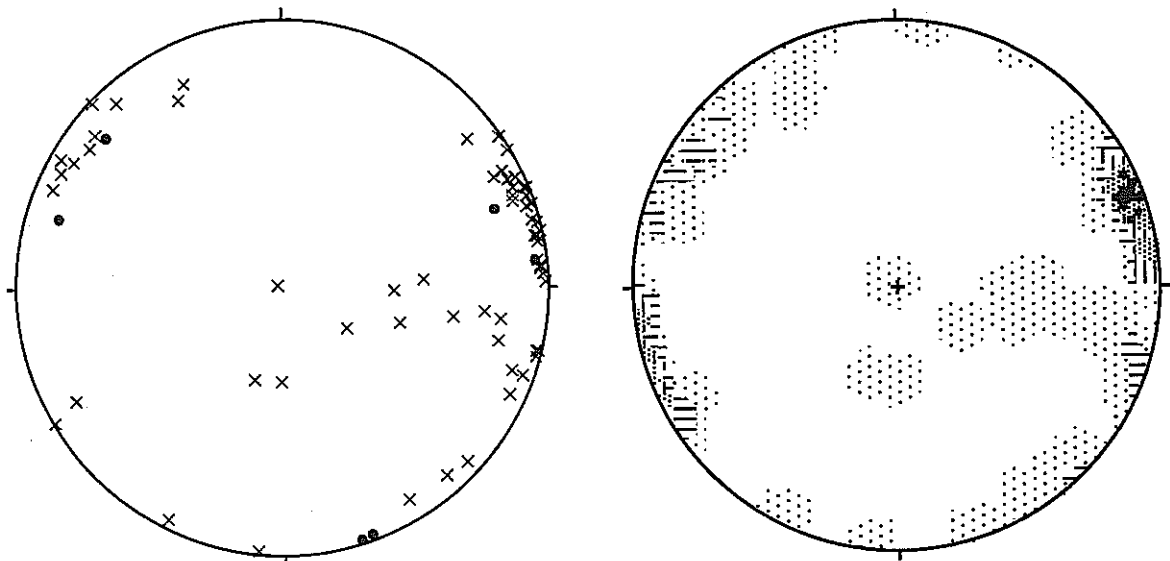


14 SB-1B 結晶片岩
 N = 37

□ (dots)	2.7-7.0%	■ (solid)	20.0-24.3%
□ (horizontal lines)	7.0-11.4%		
□ (vertical lines)	11.4-15.7%		
□ (diagonal lines)	15.7-20.0%		

左：極投影図、右：コンターダイヤグラム
 ×印：節理、●印：断層、△印：脈
 (等積・下半球投影)

図 3.2.1-1(7/24) 亀裂の方向性を示すステレオネット(SB-1A, SB-1B)



左：極投影図、右：コンターダイヤグラム
 ×印：節理、●印：断層、△印：脈
 (等積・下半球投影)

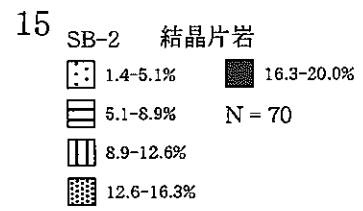
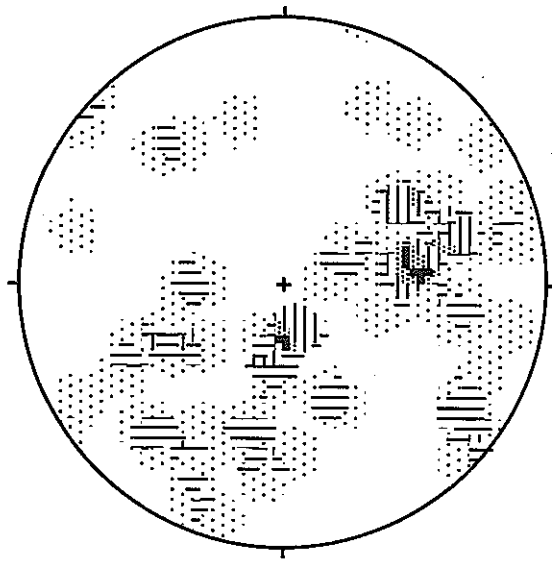
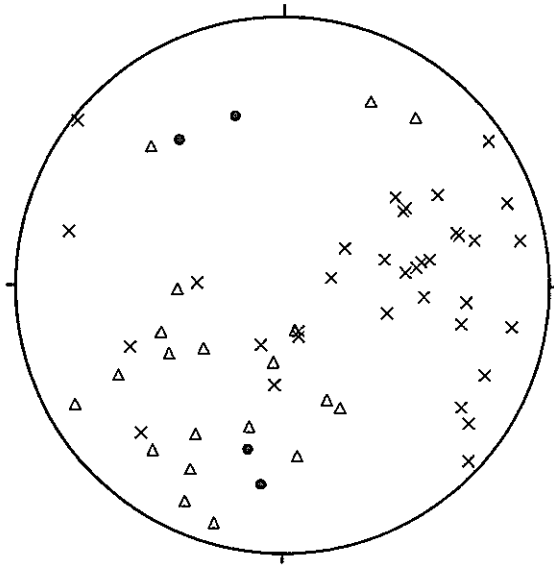
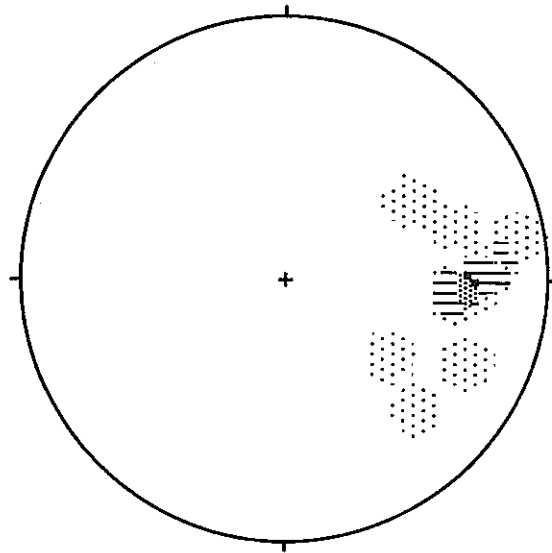
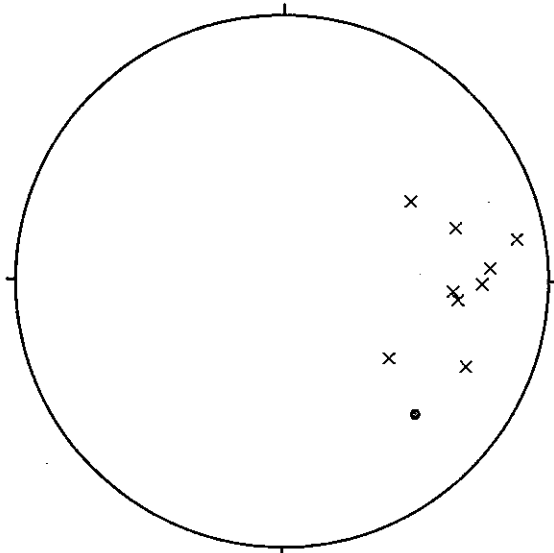


図 3.2.1-1(8/24) 亀裂の方向性を示すステレオネット(SB-2)



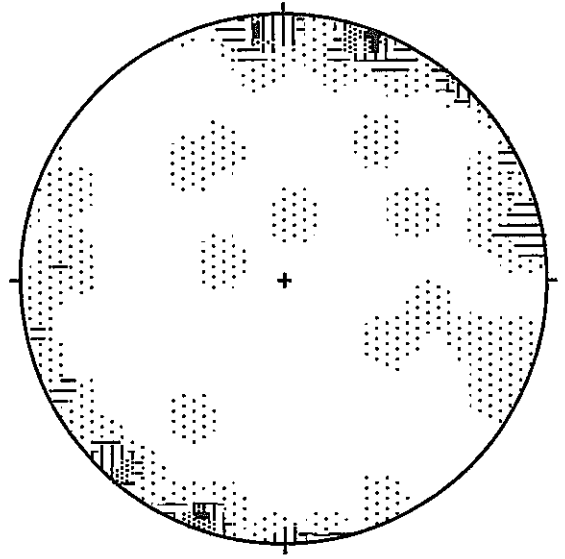
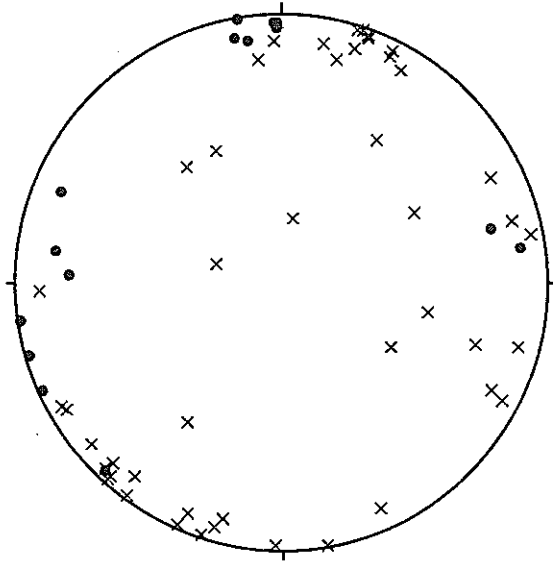
16 YN-1 安山岩
 1.7-3.1% 7.1-8.5%
 3.1-4.4% N = 59
 4.4-5.8%
 5.8-7.1%



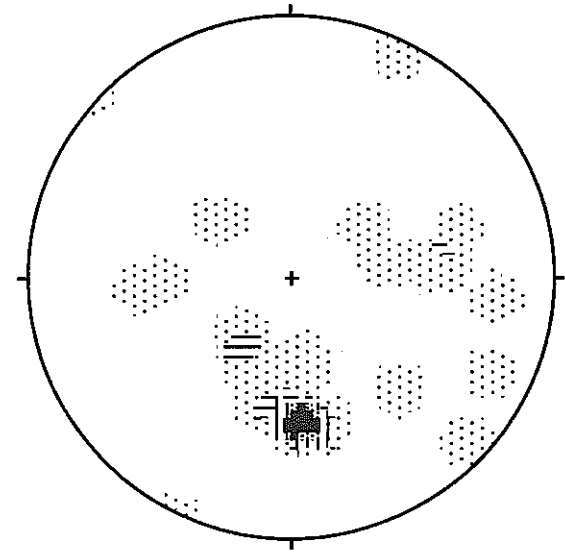
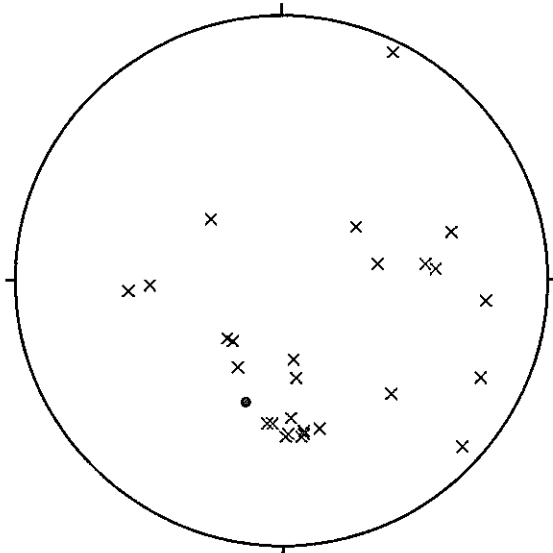
17 YN-2 安山岩
 9.10-16.0% 34.0-40.0%
 16.0-22.0% N = 10
 22.0-28.0%
 28.0-34.0%

左：極投影図、右：コンターダイヤグラム
 ×印：節理、●印：断層、△印：脈
 (等積・下半球投影)

図 3.2.1-1(9/24) 亀裂の方向性を示すステレオネット (YN-1, YN-2)



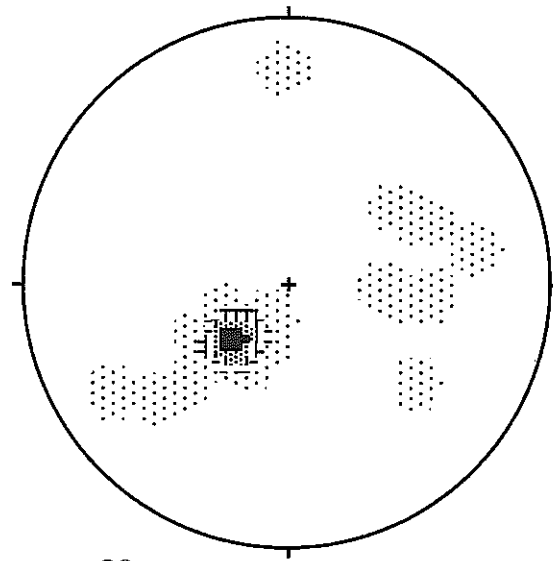
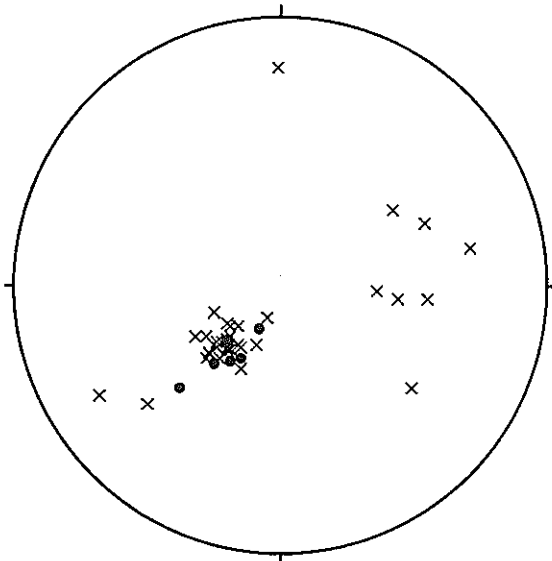
18 BS-1 砂泥互層
 1.6-4.5% 13.2-16.1%
 4.5-7.4% N = 62
 7.4-10.3%
 10.3-13.2%



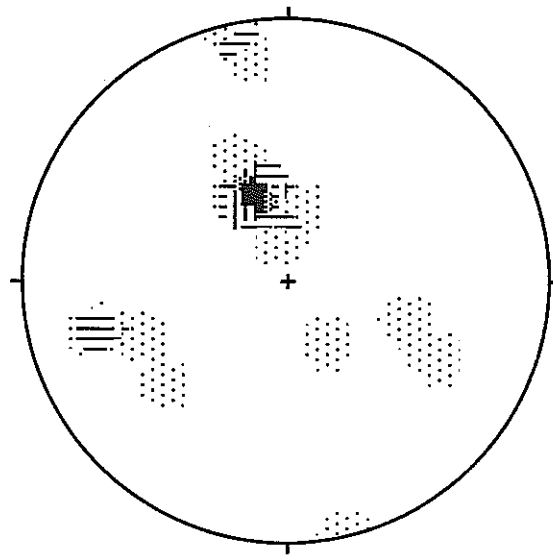
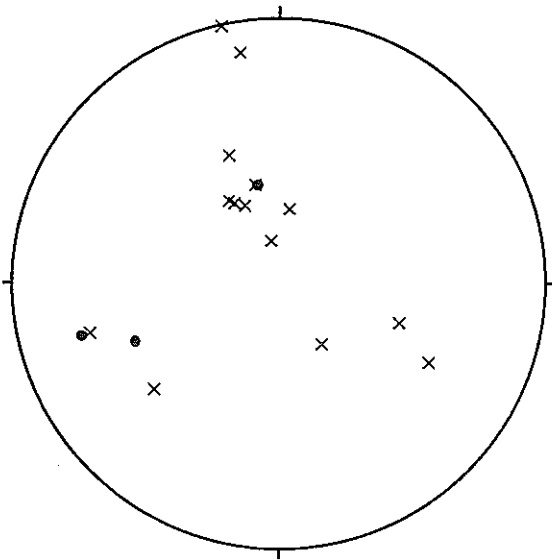
19 NS-3 砂泥互層
 3.6-8.6% 23.6-28.6%
 8.6-13.6% N = 28
 13.6-18.6%
 18.6-23.6%

左：極投影図、右：コンターダイアグラム
 ×印：節理、●印：断層、△印：脈
 (等積・下半球投影)

図 3.2.1-1(10/24) 亀裂の方向性を示すステレオネット(BS-1, NS-3)



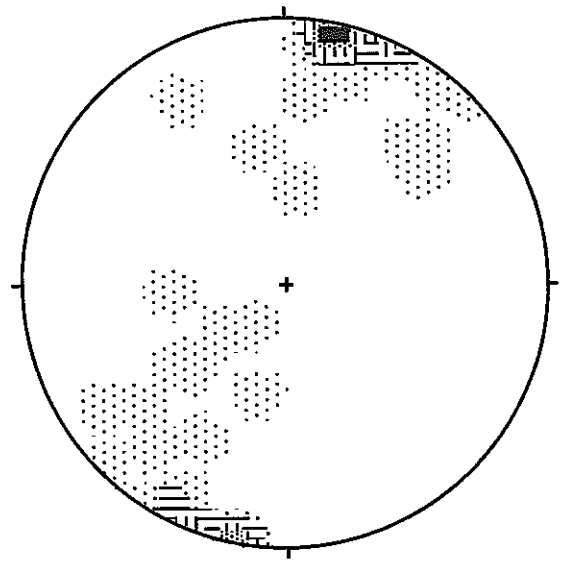
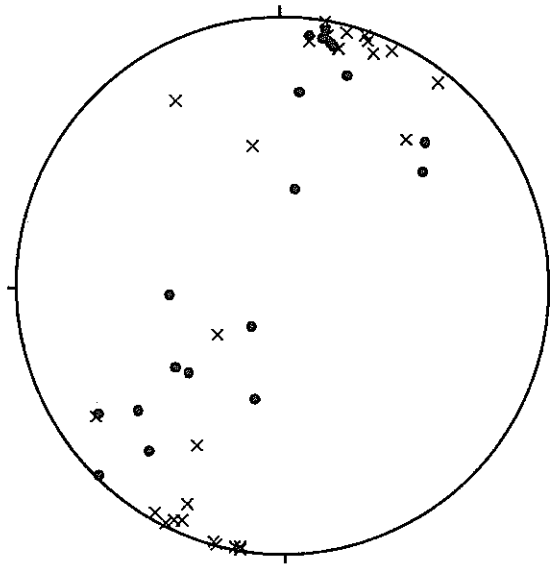
20 NS-4 砂岩
 2.6-13.8% 47.7-58.10%
 13.8-25.1% N = 39
 25.1-36.4%
 36.4-47.7%



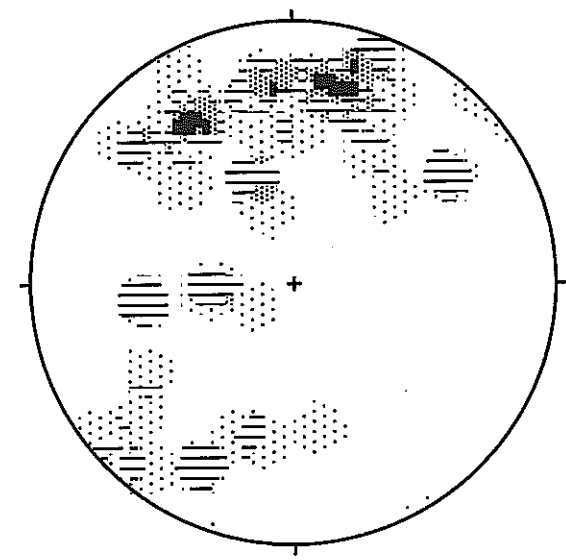
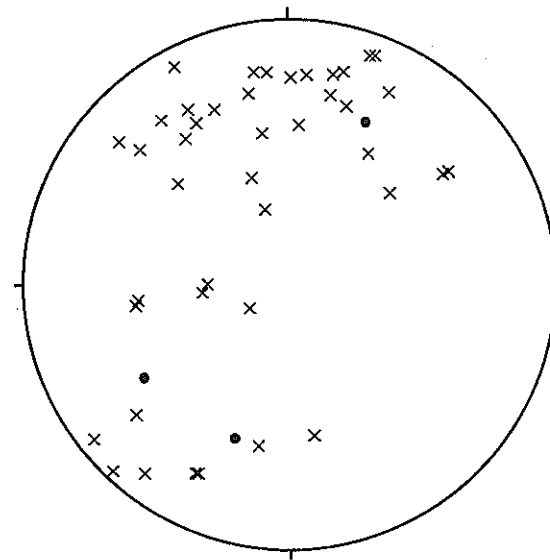
21 ST-1 砂岩
 5.9-10.6% 24.7-29.4%
 10.6-15.3% N = 17
 15.3-19.10%
 19.10-24.7%

左：極投影図、右：コンターダイヤグラム
 ×印：節理、●印：断層、△印：脈
 (等積・下半球投影)

図 3.2.1-1(11/24) 亀裂の方向性を示すステレオネット(NS-4, ST-1)



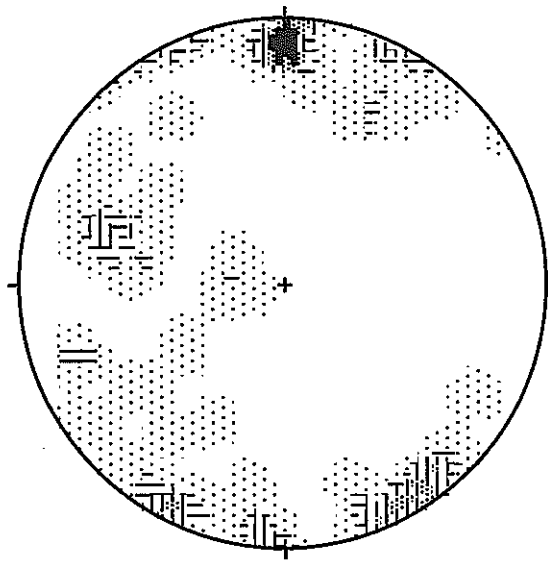
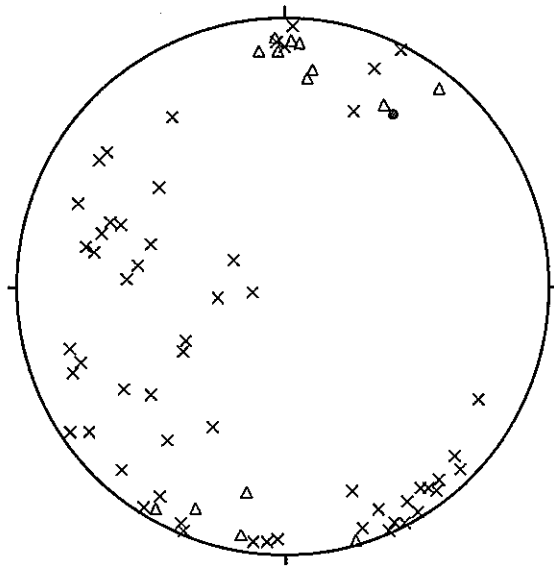
22 BS-2 泥岩
 2.2-8.4% 27.1-33.3%
 8.4-14.7% N = 45
 14.7-20.9%
 20.9-27.1%



23 H-1 凝灰角礫岩
 2.2-3.5% 7.4-8.7%
 3.5-4.8% N = 46
 4.8-6.1%
 6.1-7.4%

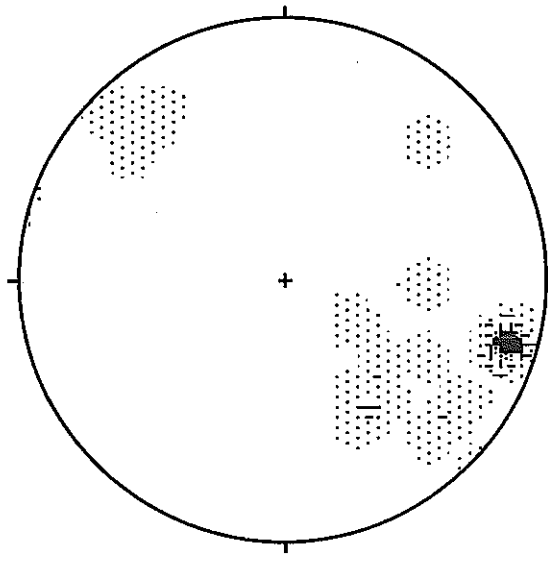
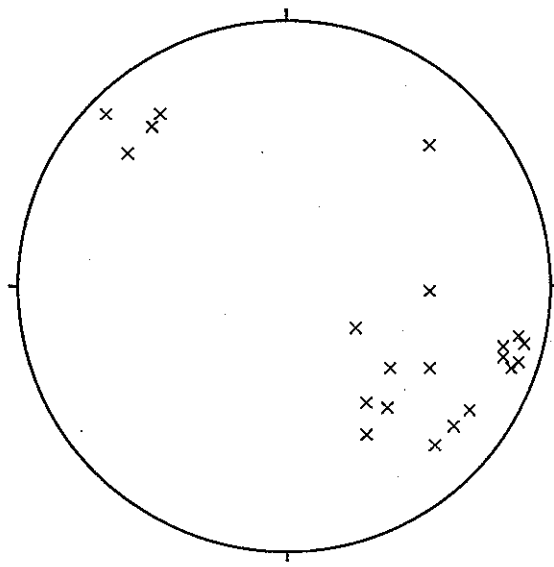
左：極投影図、右：コンターダイアグラム
 ×印：節理、●印：断層、△印：脈
 (等積・下半球投影)

図 3.2. J-1(12/24) 亀裂の方向性を示すステレオネット (BS-2, H-1)



24 H-2 凝灰岩
 N = 71

	1.4-3.4%		9.3-11.3%
	3.4-5.4%		
	5.4-7.3%		
	7.3-9.3%		

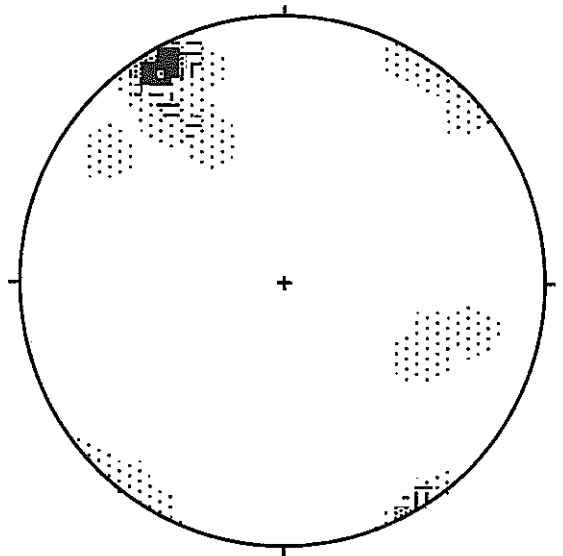
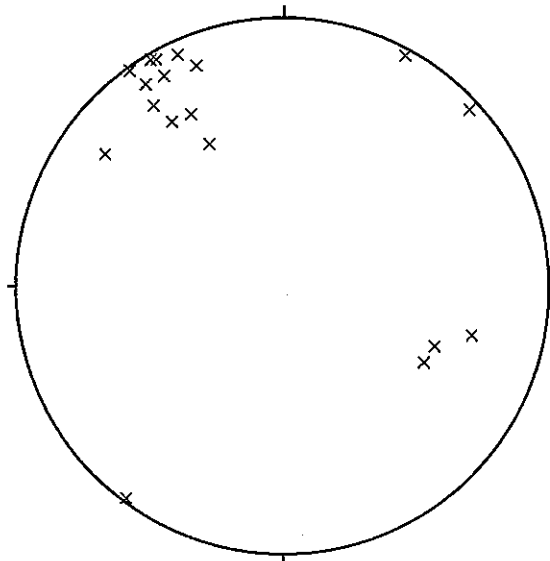


25 N-1 珪藻土
 N = 21

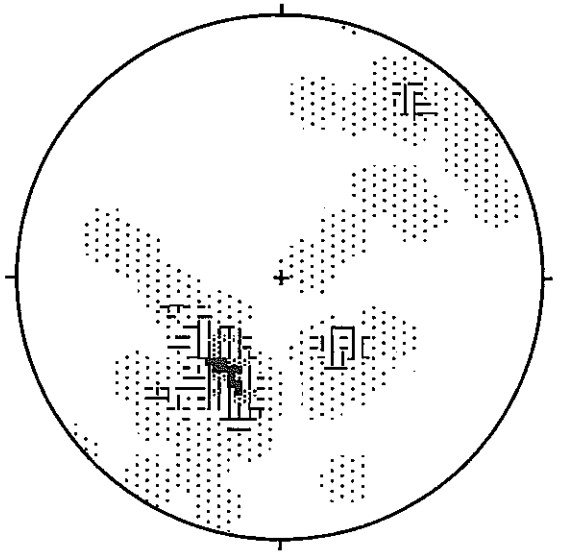
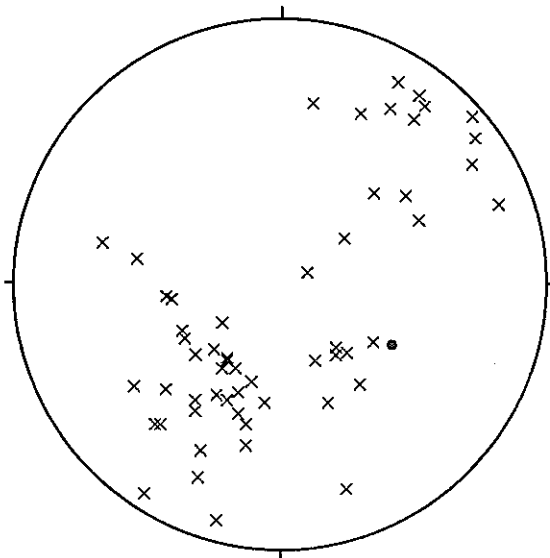
	4.8-9.5%		23.8-28.6%
	9.5-14.3%		
	14.3-19.0%		
	19.0-23.8%		

左：極投影図、右：コンターダイヤグラム
 ×印：節理、●印：断層、△印：脈
 (等積・下半球投影)

図 3.2.1-1(13/24) 亀裂の方向性を示すステレオネット(H-2,N-1)



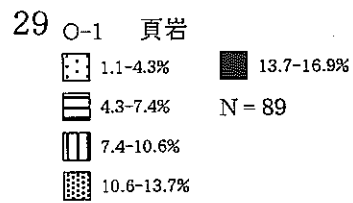
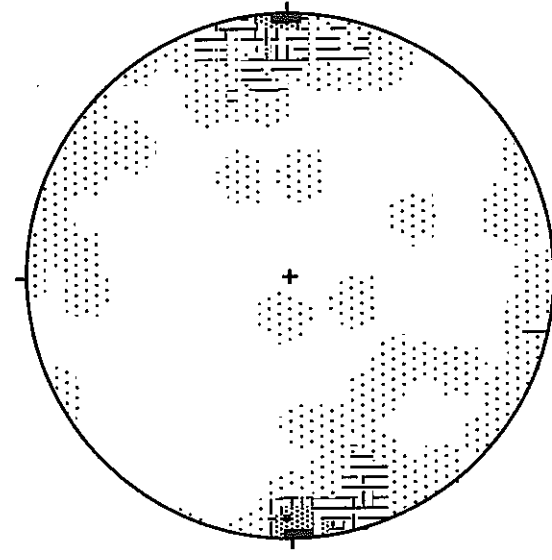
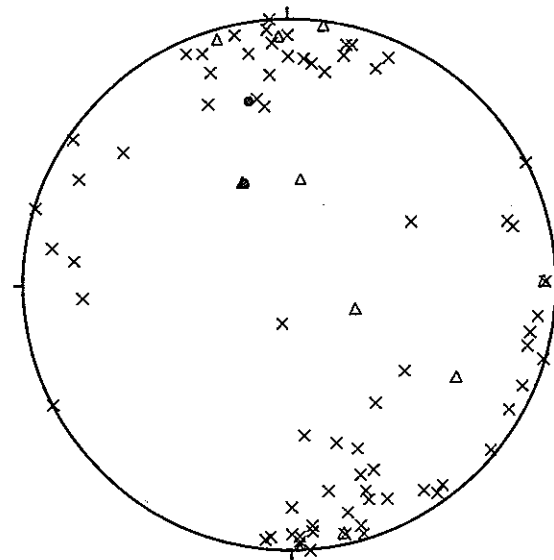
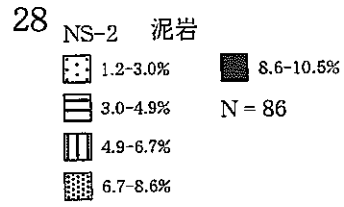
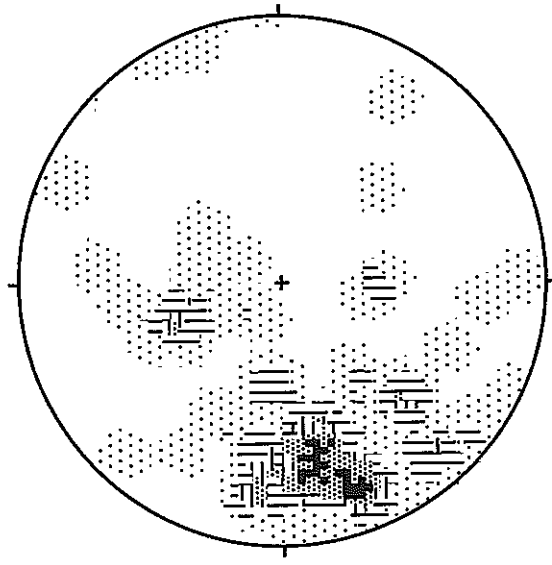
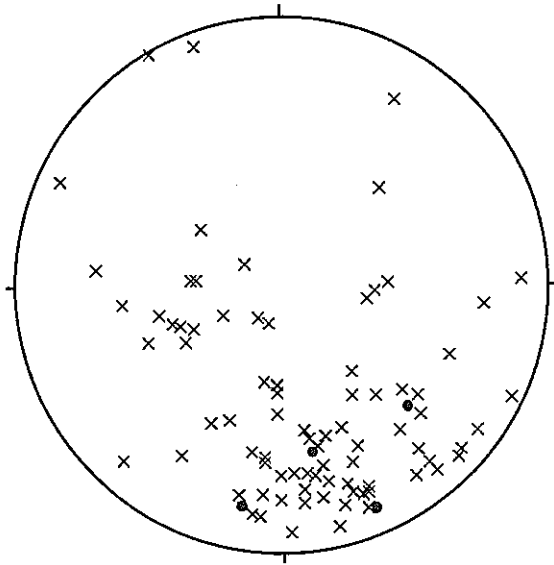
26 N-2 珪藻土
 4.10-11.0% 29.0-35.0%
 11.0-17.0% N = 20
 17.0-23.0%
 23.0-29.0%



27 NS-1 泥岩
 1.8-4.3% 11.8-14.3%
 4.3-6.8% N = 56
 6.8-9.3%
 9.3-11.8%

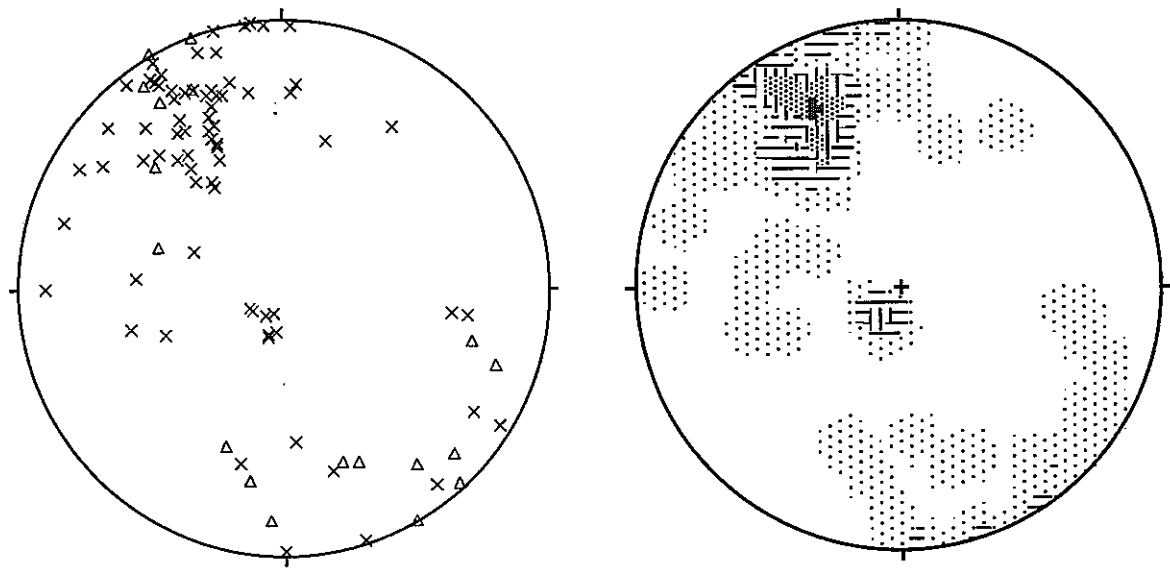
左：極投影図、右：コンターダイアグラム
 ×印：節理、●印：断層、△印：脈
 (等積・下半球投影)

図 3.2.1-1(14/24) 亀裂の方向性を示すステレオネット(N-2, NS-1)

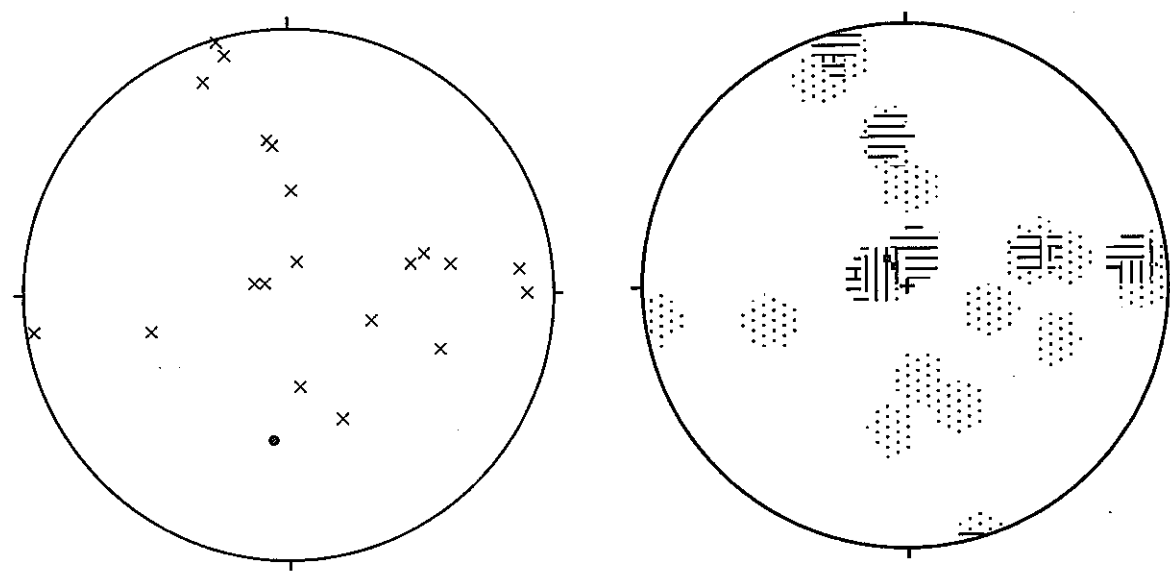


左：極投影図、右：コンターダイヤグラム
 ×印：節理、●印：断層、△印：脈
 (等積・下半球投影)

図 3.2.1-1(15/24) 亀裂の方向性を示すステレオネット(NS-2, O-1)



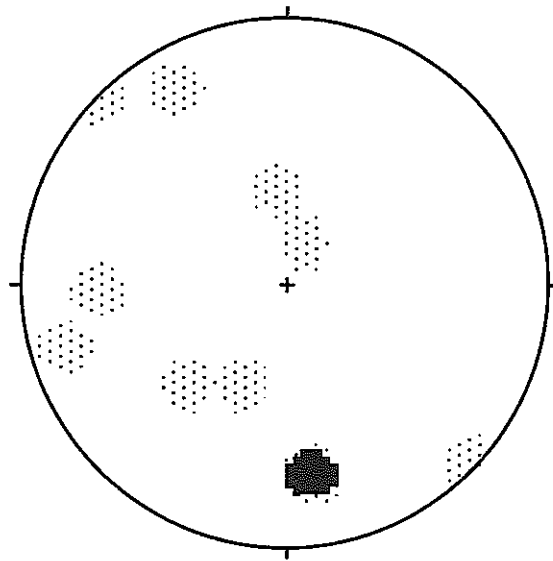
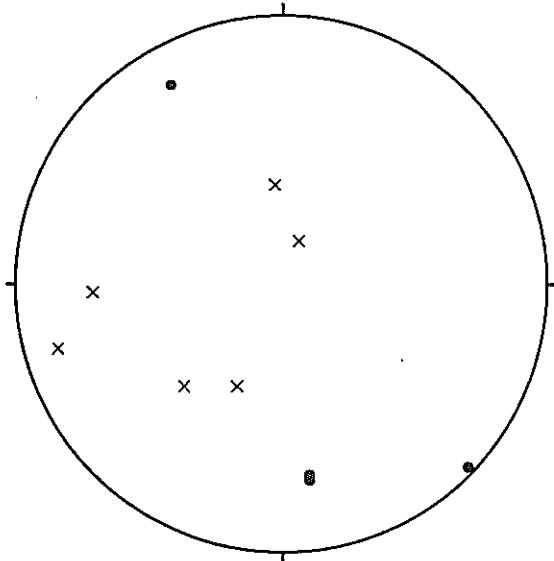
30 O-2 頁岩
 1.1-3.9% 12.3-15.1%
 3.9-6.7% N = 93
 6.7-9.5%
 9.5-12.3%



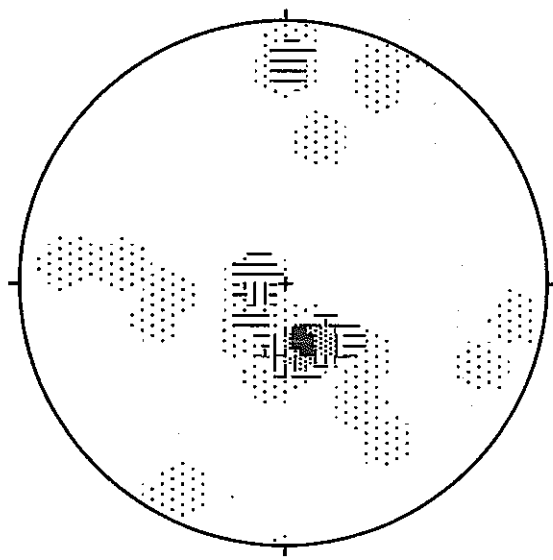
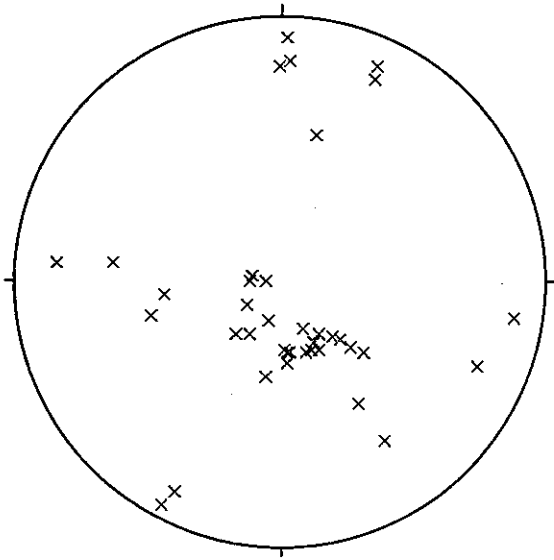
31 O-3 泥岩
 4.2-7.5% 17.5-20.8%
 7.5-10.8% N = 24
 10.8-14.2%
 14.2-17.5%

左：極投影図、右：カウンターダイヤグラム
 ×印：節理、●印：断層、△印：脈
 (等積・下半球投影)

図 3.2.1-1(16/24) 亀裂の方向性を示すステレオネット(0-2, 0-3)



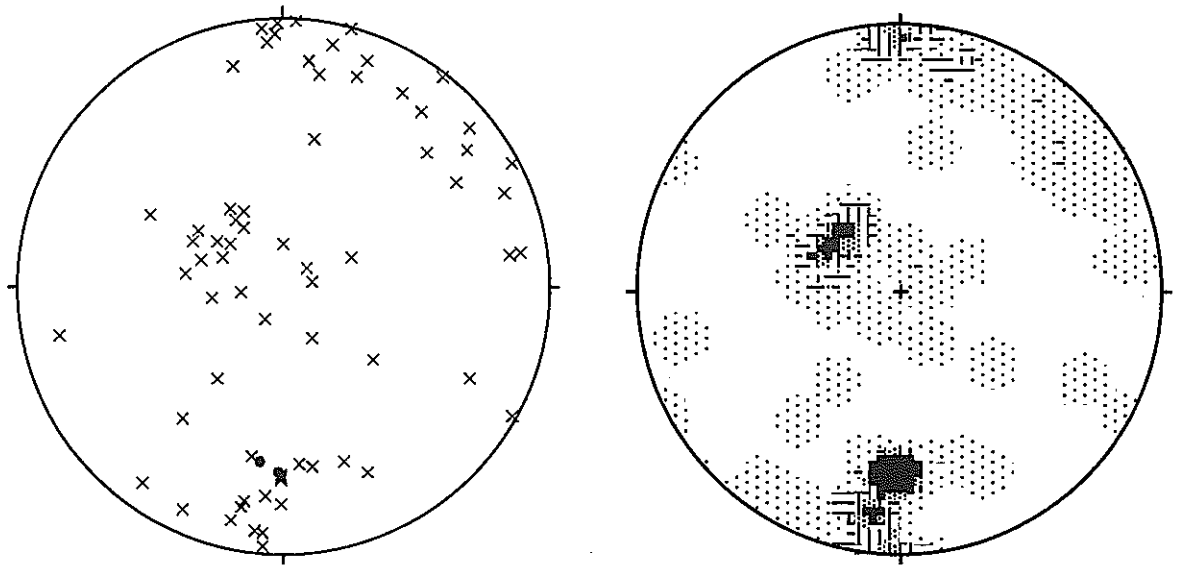
32 O-4 凝灰岩
 9.10-12.0% 18.0-20.0%
 12.0-14.0% N = 10
 14.0-16.0%
 16.0-18.0%



33 Y-1 凝灰岩
 2.5-7.0% 20.5-25.0%
 7.0-11.5% N = 40
 11.5-16.0%
 16.0-20.5%

左：極投影図、右：コンターダイヤグラム
 ×印：節理、●印：断層、△印：脈
 (等積・下半球投影)

図 3.2.1-1(17/24) 亀裂の方向性を示すステレオネット(O-4, Y-1)



左：極投影図、右：コンターダイヤグラム
 ×印：節理、●印：断層、△印：脈
 (等積・下半球投影)

34 Y-2 凝灰岩

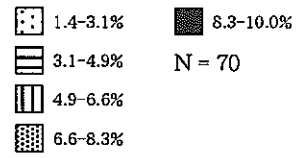
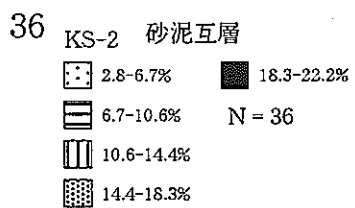
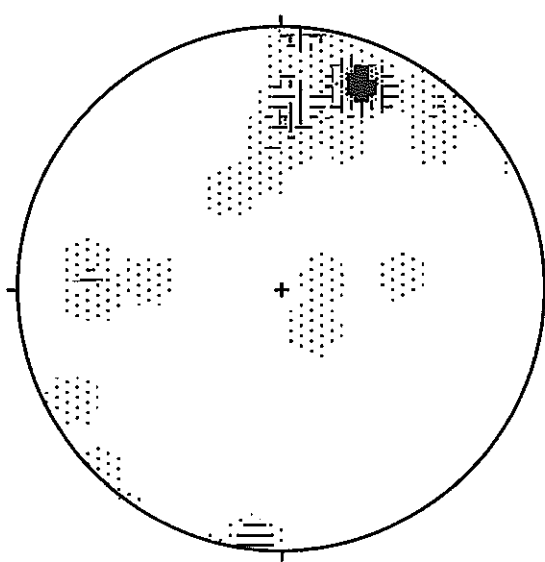
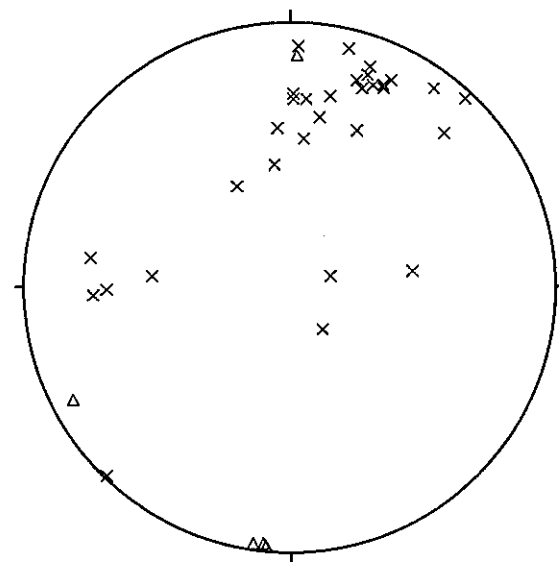
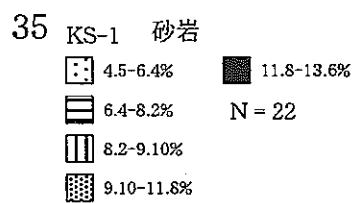
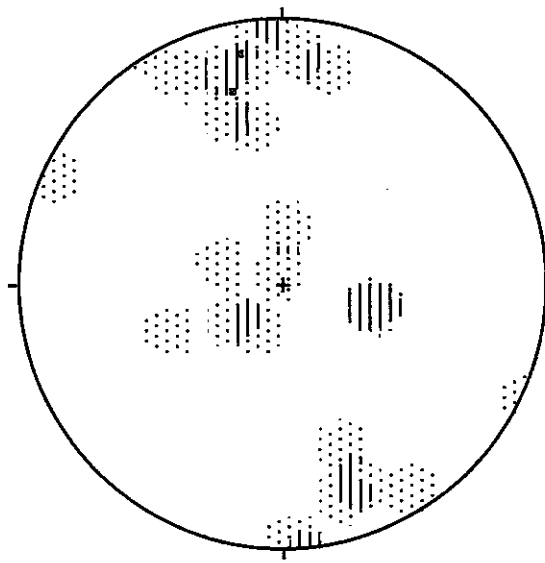
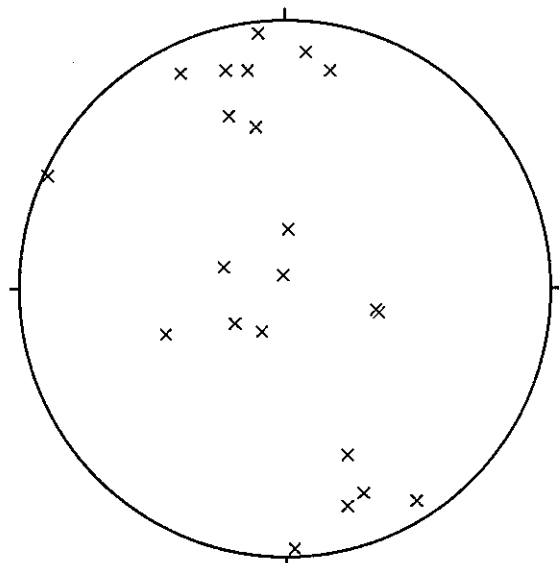
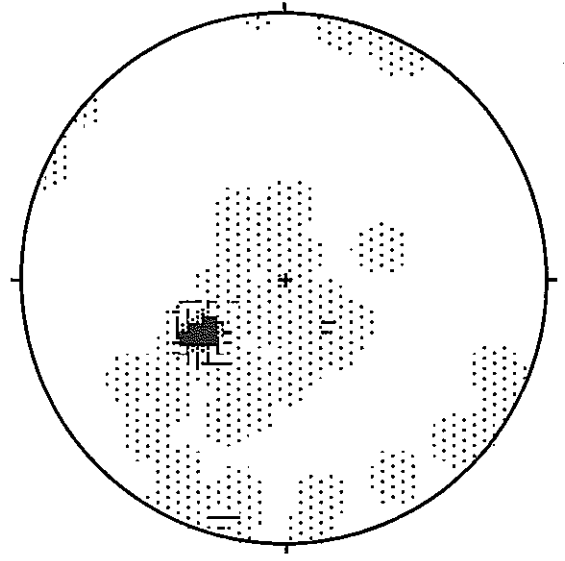
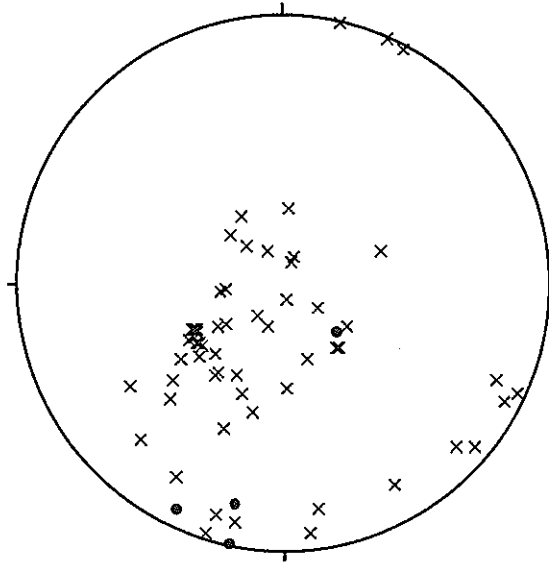


図 3.2.1-1(18/24) 亀裂の方向性を示すステレオネット(Y-2)

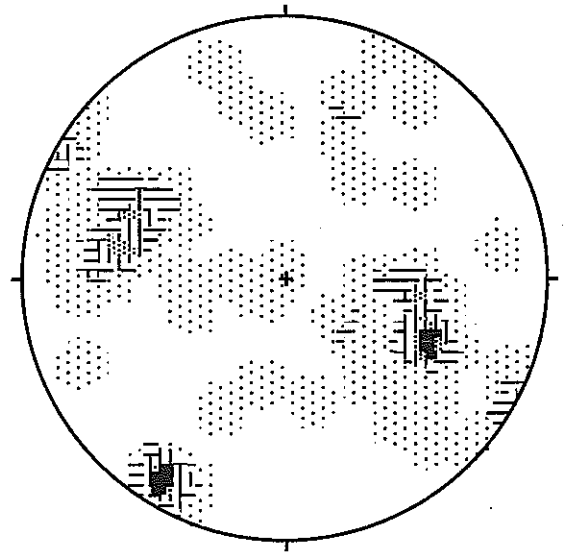
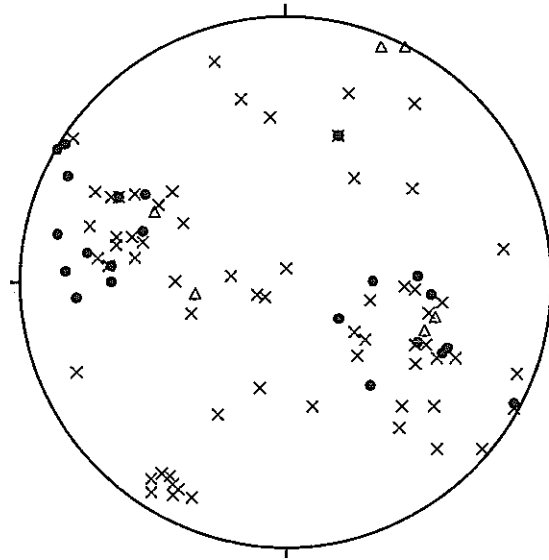
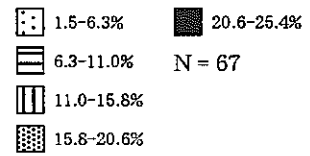


左：極投影図、右：コンターダイヤグラム
 ×印：節理、●印：断層、△印：脈
 (等積・下半球投影)

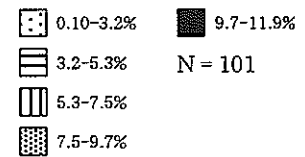
図 3.2.1-1(19/24) 亀裂の方向性を示すステレオネット(KS-1, KS-2)



37 ST-2 砂泥互層

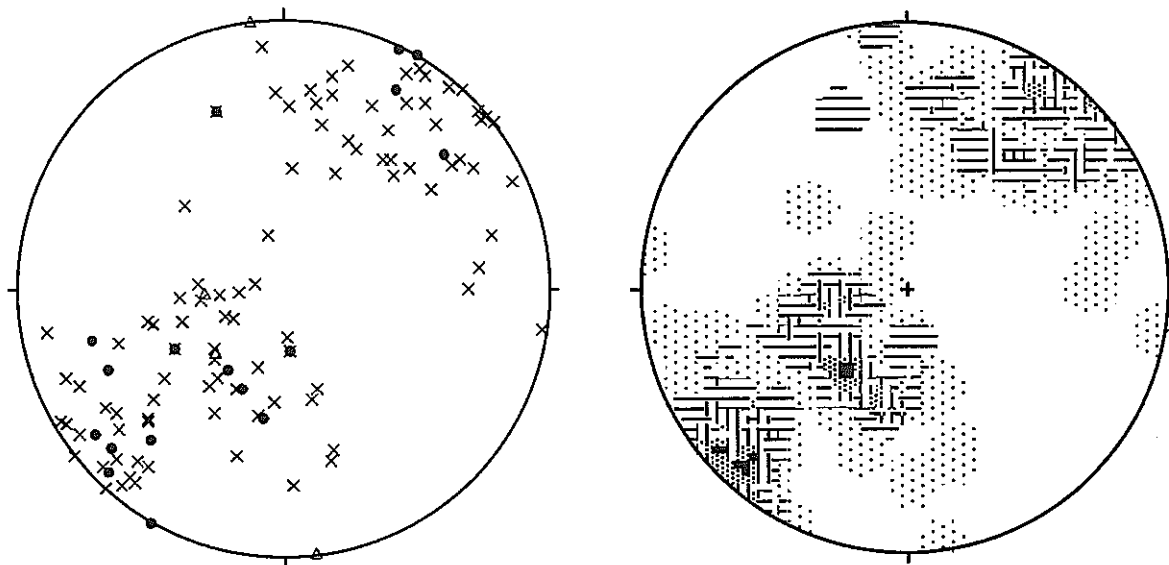


38 T-1 砂岩



左：極投影図、右：コンターダイアグラム
 ×印：節理、●印：断層、△印：脈
 (等積・下半球投影)

図 3.2.1-1 (20/24) 亀裂の方向性を示すステレオネット (ST-2, T-1)



左：極投影図、右：コンターダイヤグラム
 ×印：節理、●印：断層、△印：脈
 (等積・下半球投影)

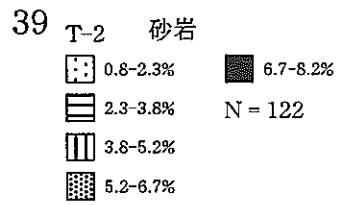
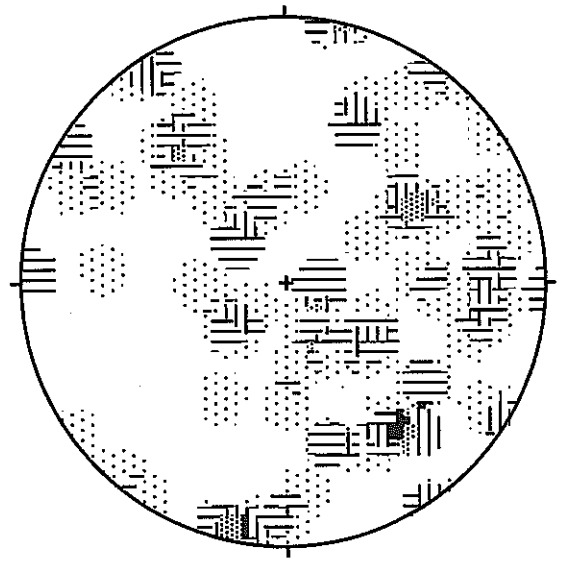
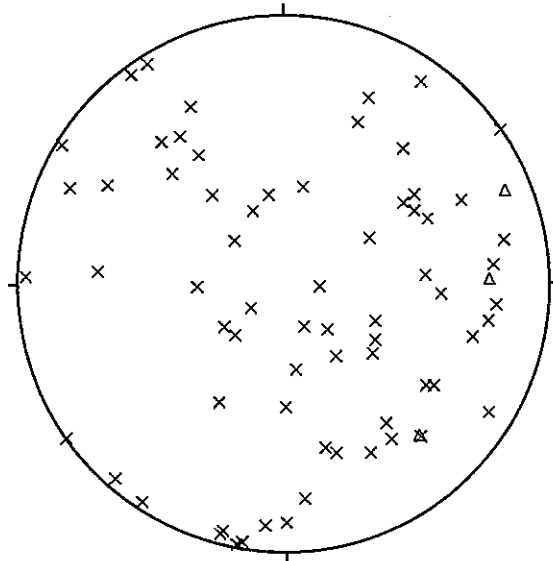
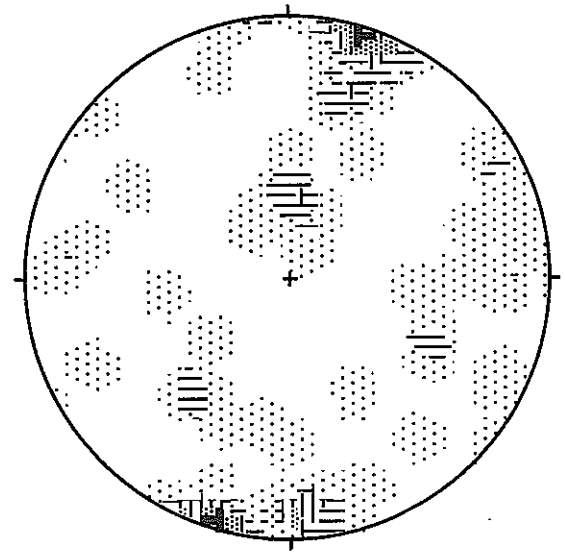
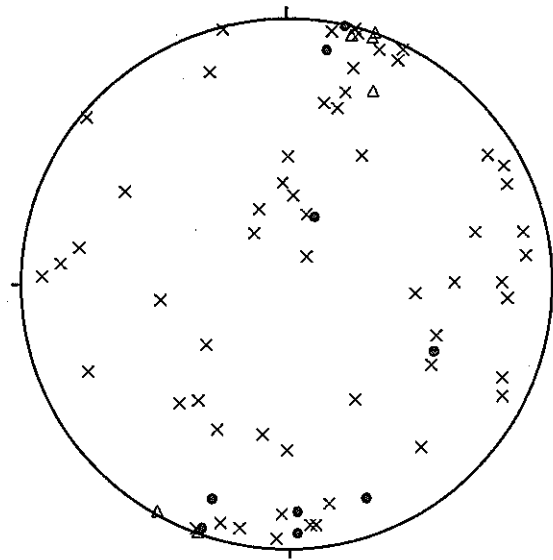


図 3.2.1-1(21/24) 亀裂の方向性を示すステレオネット(T-2)



左：極投影図、右：コンターダイアグラム
 ×印：節理、●印：断層、△印：脈
 (等積・下半球投影)

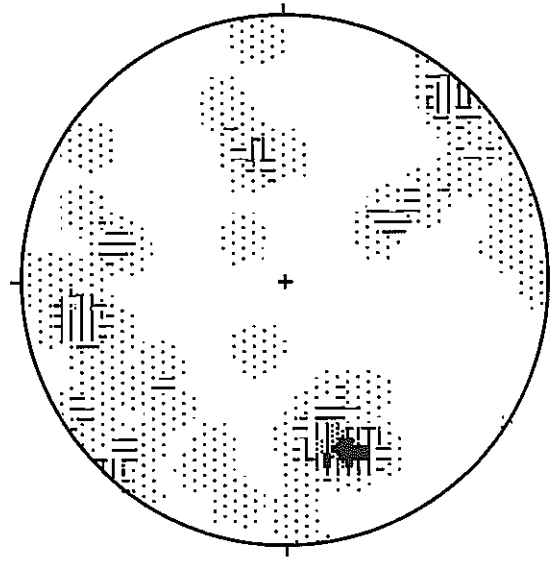
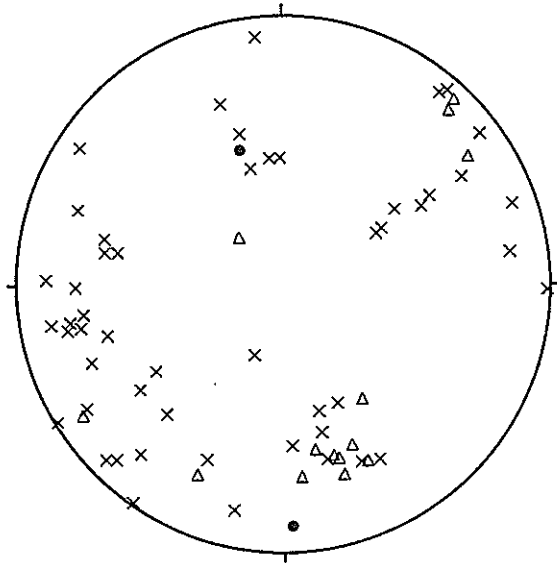
40 A-1 粘板岩
 1.3-2.3% 5.5-6.5%
 2.3-3.4% N = 77
 3.4-4.4%
 4.4-5.5%



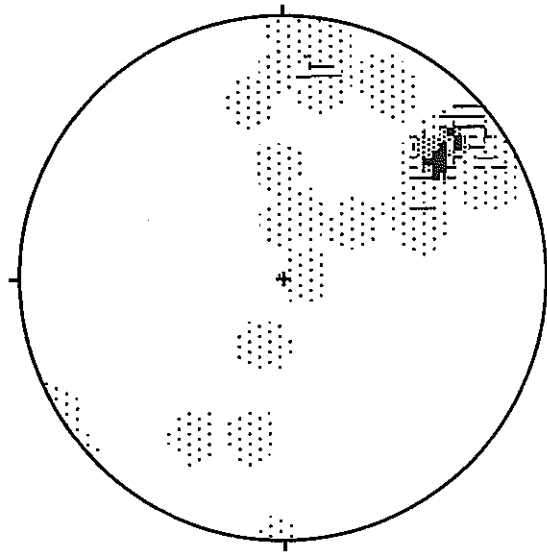
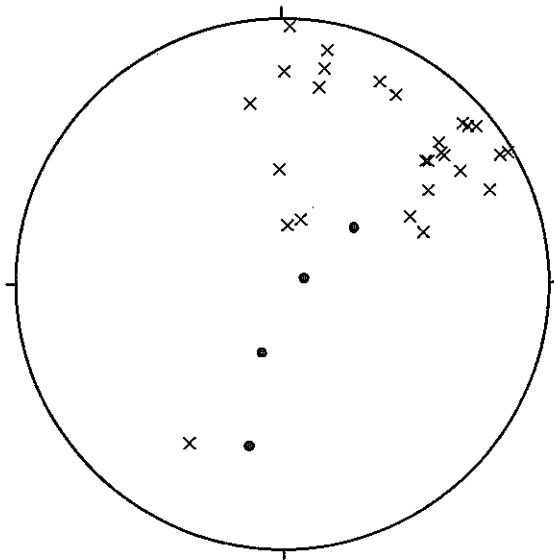
左：極投影図、右：コンターダイアグラム
 ×印：節理、●印：断層、△印：脈
 (等積・下半球投影)

41 A-2 粘板岩
 1.3-3.10% 11.10-14.7%
 3.10-6.7% N = 75
 6.7-9.3%
 9.3-11.10%

図 3.2.1-1(22/24) 亀裂の方向性を示すステレオネット(A-1, A-2)



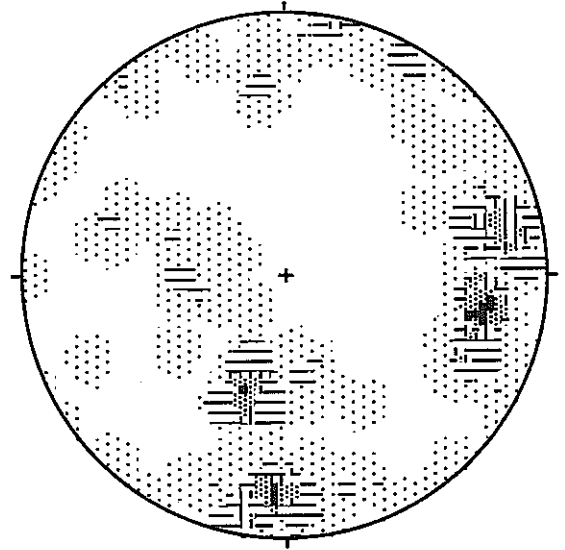
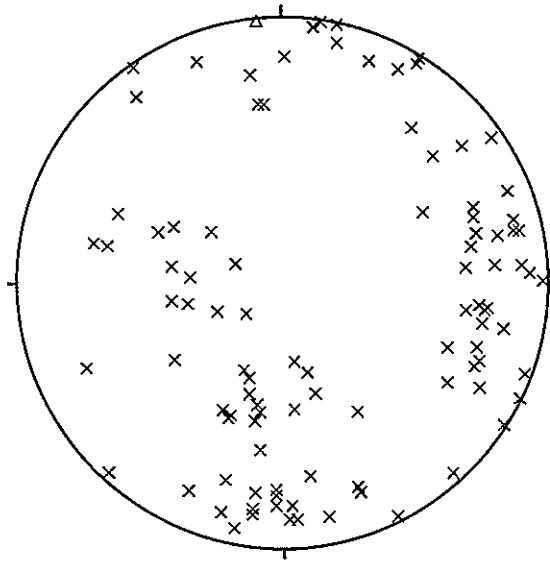
42 M-1 千枚岩
 1.5-3.5% 9.7-11.8%
 3.5-5.6% N = 68
 5.6-7.6%
 7.6-9.7%



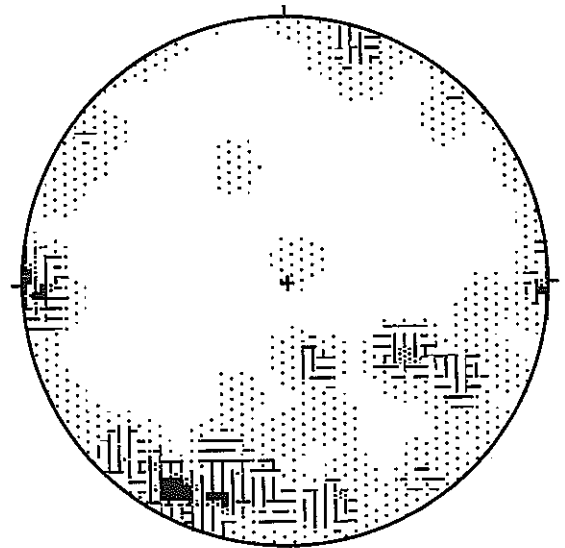
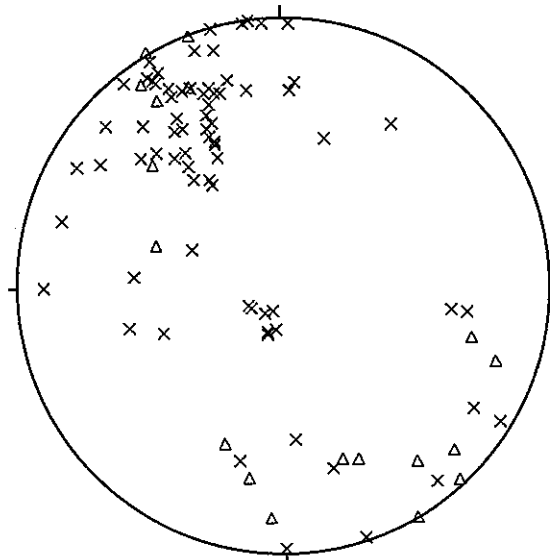
43 M-2 千枚岩
 3.2-6.5% 16.1-19.4%
 6.5-9.7% N = 31
 9.7-12.9%
 12.9-16.1%

左：極投影図、右：コンターダイアグラム
 ×印：節理、●印：断層、△印：脈
 (等積・下半球投影)

図 3.2.1-1 (23/24) 亀裂の方向性を示すステレオネット (M-1, M-2)



44 X-1 石灰岩
 0.10-2.5% 7.0-8.6%
 2.5-3.10% N = 105
 3.10-5.5%
 5.5-7.0%



45 X-2 石灰岩
 1.1-2.7% 7.3-8.9%
 2.7-4.2% N = 90
 4.2-5.8%
 5.8-7.3%

左：極投影図、右：コンターダイヤグラム
 ×印：節理、●印：断層、△印：脈
 (等積・下半球投影)

図 3.2.1-1(24/24) 亀裂の方向性を示すステレオネット(X-1, X-2)

表 3.2.1-2(1/3) 亀裂の方向性解析結果(結晶質岩)

岩種	#1名	岩石名	亀裂セット 番号	亀裂数	平均方向・傾斜角		Fisher 係数	K-S検定 信頼度(%)
					Trend(°)	Plunge(°)		
結晶質岩 (酸性岩)	(1)I-1	流紋岩質溶 結凝灰岩	1	62 (63%)	29.5	81	15.35	29.8
			2	18 (18%)	317.2	3.9	12.3	62.8
			3	19 (19%)	229.7	26.3	12.74	84.1
	(2)I-2	流紋岩質溶 結凝灰岩	1	29 (35%)	9.4	79.1	17.49	85.5
			2	30 (37%)	249	6.6	27.56	100
			3	9 (11%)	168.9	3.9	23.92	90.4
			4	14 (17%)	311.7	23.7	15.49	93.8
	(3)I-3	花崗閃緑岩	1	41 (31%)	164.8	87	21.88	84
			2	28 (21%)	47.6	15.4	12.55	93.1
			3	25 (19%)	131.2	10.6	25.88	0.1
			4	37 (28%)	267.2	26.1	11.67	59.1
	(4)I-4	花崗閃緑岩	1	36 (45%)	92.1	1.1	25.5	95.3
			2	24 (30%)	143.5	4.9	19.72	58.9
			3	16 (20%)	217.6	6.3	33.85	4.5
			4	4 (5%)	176.5	82.6	26.59	94.1
	(5)OS-1	花崗閃緑岩	1	16 (62%)	53.1	5.6	100	42.7
			2	4 (15%)	325.8	7.7	13.87	100
			3	6 (23%)	248.6	73.9	27.69	98.5
	(6)OS-2	花崗閃緑岩	1	31 (70%)	266.7	12.2	20.19	41.1
			2	8 (18%)	321.9	7.2	23.31	85.1
			3	5 (11%)	170.8	43	18.09	99.3
結晶質岩 (塩基性岩)	(7)A-3	斑れい岩	1	20 (26%)	294.5	67.3	12.19	74.9
			2	19 (25%)	250	23.6	13.86	74.4
			3	14 (18%)	36.7	18.6	10.32	68.6
			4	12 (16%)	297.6	6.9	18.85	38.2
			5	11 (14%)	109.1	47.8	16.93	99.1
	(8)A-4	斑れい岩	1	35 (36%)	84.5	77.8	16.13	25.1
			2	27 (28%)	248.5	42.6	15.5	87.4
			3	19 (20%)	36.1	1.3	12.66	100
			4	15 (16%)	116.3	4.1	7.55	85.8
	(9)HM-1	玄武岩	1	22 (47%)	137.7	3	18.61	90.8
			2	13 (28%)	262.8	5.3	22.71	91.7
			3	6 (13%)	209.6	3.5	19.5	56.6
			4	6 (13%)	11.1	64.2	13.97	53.6
	(10)HM-2	玄武岩	1	13 (31%)	70.8	66.2	9.53	94.3
			2	17 (40%)	147.3	1.6	12.71	84.1
			3	10 (24%)	272.4	1	12.43	98.8
			4	2 (5%)	217.9	24.5	41.97	46.7
(11)S-1	輝緑岩	1	28 (39%)	34	32.6	11.94	81.6	
		2	17 (24%)	131.2	31.9	14.25	19.2	
		3	15 (21%)	43.5	72	13.44	12.3	
		4	12 (17%)	201.9	33.3	18.12	87.2	
(12)S-2	輝緑岩	1	42 (48%)	218.3	8.3	11.66	52.8	
		2	29 (33%)	356.1	54.8	8.76	32.8	
		3	17 (19%)	137.6	8.3	7.61	36	
(13)SB-1A	結晶片岩	1	36 (36%)	266	2.2	26.55	54.3	
		2	33 (33%)	321.1	2.8	22.05	100	
		3	30 (30%)	33.6	14.8	10.8	45	
(14)SB-1B	結晶片岩	1	12 (32%)	67.8	2.3	29.37	83.4	
		2	14 (38%)	125.2	3.7	34.72	1.6	
		3	11 (30%)	14.1	1.7	13.61	98.6	
(15)SB-2	結晶片岩	1	36 (51%)	72.1	4.1	30.87	17	
		2	25 (36%)	308.4	2.4	12.53	99.3	
		3	9 (13%)	124.3	65.6	10.87	37	
(16)YN-1	安山岩	1	28 (47%)	215.3	51.4	5.92	68.9	
		2	31 (53%)	82.2	35.7	6.23	94.1	
(17)YN-2	安山岩	-	10 (100%)	94.9	32.8	14.89	94.8	

表 3.2.1-2(2/3) 亀裂の方向性解析結果(新第三紀堆積岩)

岩種	サイト名	岩石名	亀裂セット番号	亀裂数	平均方向・傾斜角		Fisher係数	K-S検定信頼度(%)
					Trend(°)	Plunge(°)		
新第三紀堆積岩	(18)BS-1	砂泥互層	1	37 (60%)	16.9	1.7	13.96	78.1
			2	19 (31%)	86.8	4.2	12.23	87.8
			3	6 (10%)	3.7	70.7	5.94	81.1
	(19)NS-3	砂泥互層	1	16 (57%)	184.8	48.1	17.85	31.7
			2	9 (32%)	99.4	39.5	9.77	99.2
			3	3 (11%)	277.5	51.5	31.67	99.8
	(20)NS-4	砂岩	1	31 (79%)	224.7	63.4	47.11	0.2
			2	8 (21%)	76	48	7.84	24.2
	(21)ST-1	砂岩	1	10 (59%)	344.1	52.1	11.93	20.7
			2	3 (18%)	120.4	52.2	28.29	89.5
			3	4 (24%)	247.6	32.9	53.42	52.7
	(22)BS-2	泥岩	-	45 (100%)	203.7	2.6	6.43	0.9
	(23)H-1	凝灰角礫岩	1	30 (67%)	355.9	32.6	8.98	83.5
			2	10 (22%)	226.7	26	13.33	60.4
			3	5 (11%)	213.8	63.6	10.48	63.4
	(24)H-2	凝灰岩	1	15 (21%)	3	5.5	40.23	99.7
			2	17 (24%)	148.3	5.9	32.16	49.3
			3	12 (17%)	28.1	5.4	30.17	56.7
			4	12 (17%)	290.2	31.6	36.58	77
			5	10 (14%)	234.7	21.9	22.7	60.6
	(25)N-1	珪藻土	1	20 (95%)	123.4	19.3	8.28	99.3
			2	1 (5%)	46	25	100	28.7
	(26)N-2	珪藻土	1	3 (15%)	110.6	35.5	100	100
			2	14 (70%)	328.1	13.5	38.29	85.8
			3	3 (15%)	37.3	2	100	79.4
	(27)NS-1	泥岩	1	29 (52%)	221.3	50.9	16.72	93.5
			2	16 (29%)	40.6	20.1	13.57	73.9
			3	11 (20%)	136.8	59.8	16.07	31.4
	(28)NS-2	泥岩	1	46 (53%)	175.2	27.1	14.57	39.2
			2	16 (19%)	255	61.4	19.54	55.5
			3	24 (28%)	123.6	31.2	9.08	88.2
	(29)O-1	頁岩	1	47 (53%)	356.7	6.9	24.66	9.9
			2	18 (20%)	281.2	0.9	14.21	99.6
			3	7 (8%)	20.4	77.3	9.62	16.6
4			17 (19%)	153.7	23.4	20.58	99.9	
(30)O-2	頁岩	1	57 (61%)	321.7	18.6	10	30.2	
		2	13 (14%)	251.6	70.1	17.81	59.9	
		3	23 (25%)	174.9	5.6	9.02	86.2	
(31)O-3	泥岩	1	9 (38%)	356.2	73.4	13.8	80.5	
		2	8 (33%)	85.3	26.4	15.94	49.3	
		3	3 (13%)	342.4	8	100	96	
		4	4 (17%)	192.4	55.9	11.29	96.6	
(32)O-4	凝灰岩	1	4 (40%)	156.2	11	11.34	21.3	
		2	3 (30%)	251.1	30.4	16.89	73.9	
		3	3 (30%)	318	83.7	9.39	99.1	
(33)Y-1	凝灰岩	1	23 (58%)	169.9	73.9	34.34	99.7	
		2	9 (23%)	13.6	13.6	18.85	63.2	
		3	4 (10%)	268.7	39.1	28.31	94	
		4	4 (10%)	124.6	28.1	13.17	89.8	
(34)Y-2	凝灰岩	1	46 (66%)	197.5	5.8	5.86	99.3	
		2	24 (34%)	309.4	78.9	8.96	20.4	

表 3.2.1-2(3/3) 亀裂の方向性解析結果(先新第三紀堆積岩)

岩種	サイト名	岩石名	亀裂セット 番号	亀裂数	平均方向・傾斜角		Fisher 係数	K-S検定 信頼度(%)
					Trend(°)	Plunge(°)		
先 新 第 三 紀 堆 積 岩	(35)KS-1	砂岩	1	14 (64%)	344.2	5.8	9.7	99
			2	8 (36%)	223.8	85.8	11.86	93.1
	(36)KS-2	砂泥互層	1	26 (72%)	17	18.2	19.64	91.3
			2	5 (14%)	31.9	74.3	9.92	38.4
			3	5 (14%)	265.4	28.4	23.61	70.7
	(37)ST-2	砂泥互層	1	43 (64%)	225.1	72	14.04	25.3
			2	17 (25%)	202.2	14.8	15.62	99.9
			3	7 (10%)	124.8	10	37.57	56.7
	(38)T-1	砂岩	1	35 (35%)	289.1	26.1	16.43	99.7
			2	32 (32%)	115	45.6	20.36	98.3
			3	10 (10%)	233	69.1	18.14	39.8
			4	24 (24%)	22.8	9.1	8.69	34.7
	(39)T-2	砂岩	1	49 (40%)	231.7	2.8	13.84	85.6
			2	28 (23%)	15.4	31.4	14.59	97.1
			3	45 (37%)	218.3	61.7	12.82	73.2
	(40)A-1	黒色粘板岩	1	22 (29%)	170.6	85.5	9.67	33.6
			2	24 (31%)	139.8	5.4	7.4	42.5
			3	17 (22%)	82.5	23.9	11.62	93
			4	14 (18%)	24	6.6	13.17	53.7
	(41)A-2	黒色粘板岩	1	40 (45%)	192.2	4.1	11.5	41.6
			2	16 (18%)	89.9	2.7	9.52	63.8
			3	12 (13%)	349.9	69.6	13.32	14.5
			4	21 (24%)	125.4	48.6	27.82	94.6
	(42)M-1	千枚岩	1	12 (18%)	16.2	54.8	9.72	27.2
			2	34 (50%)	248	12.3	8.58	27.5
3			22 (32%)	169.6	33.1	16.54	67	
(43)M-2	千枚岩	1	9 (29%)	4.7	34.3	11.2	99.8	
		2	18 (58%)	52.2	23.4	20.7	53.2	
		3	4 (13%)	197.7	57.6	10.33	99.9	
(44)X-1	石灰岩	1	37 (35%)	181.9	3.5	11.13	51.9	
		2	37 (35%)	87.8	21.3	13.45	67.3	
		3	14 (13%)	274.2	51.8	16.54	83.9	
		4	17 (16%)	189.2	54.2	33.72	89	
(45)X-2	石灰岩	1	45 (50%)	199.8	13.7	13.96	87.5	
		2	24 (27%)	136.1	39.4	10.05	38.1	
		3	21 (23%)	276.6	2.7	10.99	52.5	

平均方向・傾斜角：

亀裂セットの極の平均方向と傾斜角のこと。実際の亀裂面の傾斜とは逆で、数値が大きいほど亀裂面の傾斜は緩やかであることを示す。

表 3.2.1-3 各通常スケッチ調査箇所の亀裂の方向性

岩種	通常スケッチ箇所	亀裂セット番号、亀裂数の割合、Fisher係数による集中度							
		緩傾斜	中間傾斜			急傾斜			
(結晶質岩) (酸性岩)	1 I-1	1(63%)△	—	—	—	2(18%)△	3(19%)△	—	—
	2 I-2	1(35%)△	—	—	—	2(37%)○	3(11%)○	4(17%)△	—
	3 I-3	1(31%)○	—	—	—	2(21%)△	3(19%)○	4(28%)○	—
	4 I-4	4(5%)○	—	—	—	1(45%)○	2(30%)△	3(20%)◎	—
	5 OS-1	3(23%)○	—	—	—	1(62%)◎	2(15%)△	—	—
	6 OS-2	—	3(11%)△	—	—	1(70%)○	2(18%)○	—	—
結晶質岩 (塩基性岩)	7 A-3	1(26%)△	5(14%)△	—	—	2(25%)△	3(18%)△	4(16%)△	—
	8 A-4	1(36%)△	2(28%)△	—	—	3(20%)△	4(16%)+	—	—
	9 HM-1	4(13%)△	—	—	—	1(47%)△	2(28%)○	3(13%)△	—
	10 HM-2	1(31%)+	—	—	—	2(40%)△	3(24%)△	4(5%)◎	—
	11 S-1	3(21%)△	1(39%)△	2(24%)△	4(17%)△	—	—	—	—
	12 S-2	—	—	2(33%)+	—	1(48%)△	3(19%)+	—	—
	13 SB-1A	—	—	—	—	1(36%)○	2(33%)○	3(30%)△	—
	14 SB-1B	—	—	—	—	1(32%)○	2(38%)◎	3(30%)△	—
	15 SB-2	3(13%)△	—	—	—	1(51%)◎	2(36%)△	—	—
	16 YN-1	—	1(47%)+	2(53%)+	—	—	—	—	—
	17 YN-2	—	1(100%)△	—	—	—	—	—	—
新第三紀堆積岩	18 BS-1	3(10%)+	—	—	—	1(60%)△	2(31%)△	—	—
	19 NS-3	—	1(57%)△	2(32%)+	3(11%)◎	—	—	—	—
	20 NS-4	1(79%)◎	2(21%)+	—	—	—	—	—	—
	21 ST-1	—	1(59%)△	2(18%)○	3(24%)◎	—	—	—	—
	22 BS-2	—	—	—	—	1(100%)+	—	—	—
	23 H-1	3(11%)△	1(67%)+	—	—	2(22%)△	—	—	—
	24 H-2	6(7%)◎	4(17%)◎	—	—	1(21%)◎	2(24%)◎	3(17%)◎	5(14%)○
	25 N-1	—	—	—	—	1(95%)+	2(5%)◎	—	—
	26 N-2	—	1(15%)◎	—	—	2(70%)◎	3(15%)◎	—	—
	27 NS-1	—	1(52%)△	3(20%)△	—	2(29%)△	—	—	—
	28 NS-2	2(19%)△	3(28%)+	—	—	1(53%)△	—	—	—
	29 O-1	3(8%)+	—	—	—	1(53%)○	2(20%)△	4(19%)○	—
	30 O-2	2(14%)△	—	—	—	1(61%)△	3(25%)+	—	—
	31 O-3	1(38%)△	4(17%)△	—	—	2(33%)△	3(13%)◎	—	—
	32 O-4	3(30%)△	2(30%)△	—	—	1(40%)△	—	—	—
	33 Y-1	1(58%)◎	3(10%)○	4(10%)△	—	2(23%)△	—	—	—
34 Y-2	2(34%)+	—	—	—	1(66%)+	—	—	—	
先新第三紀堆積岩	35 KS-1	2(36%)△	—	—	—	1(64%)+	—	—	—
	36 KS-2	2(14%)+	—	—	—	1(72%)△	3(14%)○	—	—
	37 ST-2	1(64%)△	—	—	—	2(25%)△	3(10%)◎	—	—
	38 T-1	3(10%)△	2(32%)○	—	—	1(35%)△	4(24%)+	—	—
	39 T-2	3(37%)△	2(23%)△	—	—	1(40%)△	—	—	—
	40 A-1	1(29%)+	—	—	—	2(31%)+	3(22%)△	4(18%)△	—
	41 A-2	3(13%)△	4(24%)○	—	—	1(45%)△	2(18%)+	—	—
	42 M-1	—	1(18%)+	3(32%)△	—	2(50%)+	—	—	—
	43 M-2	—	1(29%)△	3(13%)△	—	2(58%)○	—	—	—
	44 X-1	—	3(13%)△	4(16%)◎	—	1(35%)△	2(35%)△	—	—
	45 X-2	—	2(27%)△	—	—	1(50%)△	3(23%)△	—	—

表示は左より亀裂セット番号、亀裂数の割合(%)及びFisher係数による集中度区分を示した。

亀裂セットの傾斜:

緩傾斜: 亀裂セットの平均傾斜が30度未満のもの

中間傾斜: 同30度以上60度未満のもの

急傾斜: 同60度以上のもの

Fisher係数による集中度:

◎: Fisher係数が30以上のもの

○: Fisher係数が20以上30未満のもの

△: Fisher係数が10以上20未満のもの

+: Fisher係数が10未満のもの

① 結晶質岩(酸性岩)

亀裂セットは緩傾斜と急傾斜のものに比較的明瞭に分かれる。中間傾斜の亀裂セットは OS-2 以外では抽出されず、OS-2 において中間傾斜を示す亀裂セット 3 も集中度や亀裂数の割合が小さいことから主要なものではないと判断される。

② 結晶質岩(塩基性岩)

本岩種で特徴的なのは、明延鉱山(A-3, A-4)及び下川鉱山(S-1, S-2)の亀裂の方向性がばらついており、顕著な傾向を示さないことである。これらの岩石は深成岩の付加コンプレックスであり、複雑な構造運動の履歴との関係も示唆され、興味深い結果となった。火山岩では HM-1 及び HM-2 で急傾斜の亀裂セットが優勢であるが、これらは柱状節理によるものである。もう一方の火山岩である YN-1 及び YN-2 では中間傾斜の亀裂が優勢であるが、集中度は高くない。変成岩である SB-1A、SB-1B、SB-2 では急傾斜の亀裂セットが優勢である。

③ 新第三紀堆積岩

各調査箇所ではいくつかの亀裂セットが抽出されているが、新第三紀堆積岩全体、あるいは砂質岩、泥質・凝灰質岩として共通の傾向を見出すことは困難である。各箇所毎の地質特性(主要な断層や褶曲軸との関係等)によって亀裂の方向性も異なるものと考えられる。

④ 先新第三紀堆積岩

先新第三紀堆積岩全体としての顕著な傾向は見出せず、各地の構造運動等に関してそれぞれの方向性が形成されたものと考えられる。

以上をまとめると、結晶質岩の比較的均質な花崗岩類では比較的明瞭な方向性分布を示し、急傾斜の亀裂セットと緩傾斜の亀裂セットとに分かれる。一般に花崗岩類、特に西日本では「シーティング節理」と呼ばれる地形面に平行な緩傾斜の亀裂が発達することが知られており、本研究で取得した緩傾斜の亀裂セットもシーティングとの関係を考慮する必要がある。その他の岩種ではあまり明瞭な傾向を示さず、サイトスペシフィックな特徴を持つと判断される。

(ii) トレース長

(a) 採用する分布関数の検討

亀裂のトレース長分布の検討は、本研究においては従来はヒストグラムを作成することによって正規分布、対数正規分布または指数分布等の分布関数との近似を定性的に検討してきた。しかし、亀裂ネットワークモデルへの適用を考慮した場合、これらの分布関数は以下のような

問題点がある。

- ① トレース長のデータは観察スケールに依存するため、スケッチ箇所ごとに露頭の大きさが異なる場合には比較が難しい。また、これらの分布関数は観察スケールと評価スケールが異なる場合には評価モデルへの適用が難しい。
- ② 横に長い長方形であるスケッチ区画内のデータでは、亀裂の方向性によってトレース長のデータに差別が生じる。例えば、垂直な露頭では緩傾斜の亀裂よりも急傾斜の亀裂のトレース長が短めになる。

上記の事項を考慮し、観察露頭の大きさの相違による影響が低減でき、異なるスケールでの評価への適用可能性があるものとして、べき乗分布を採用することとする。また、この場合の解析スケールはなるべく大きくとった方が良く考えられることから、解析する亀裂のデータはスケッチ区画内ではなく露頭全体のトレース長を採用することとする。

(b) べき指数の算出

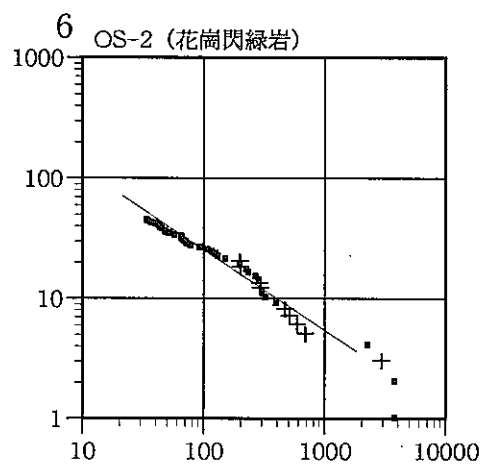
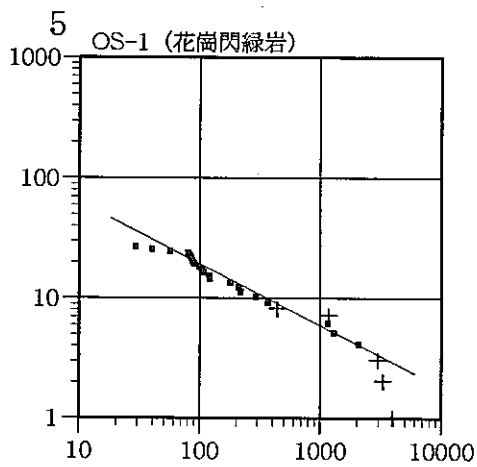
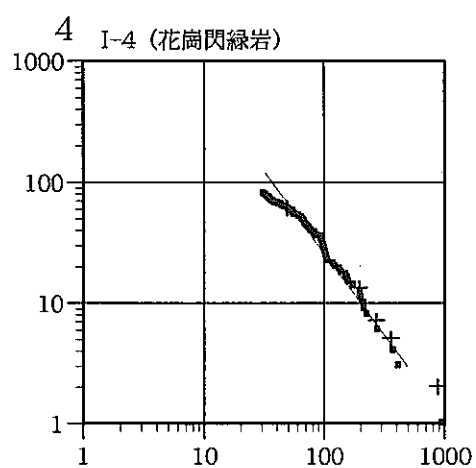
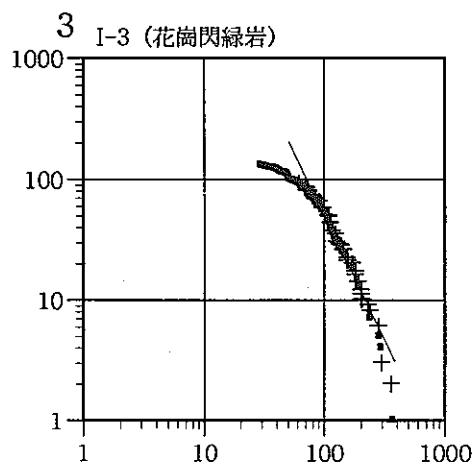
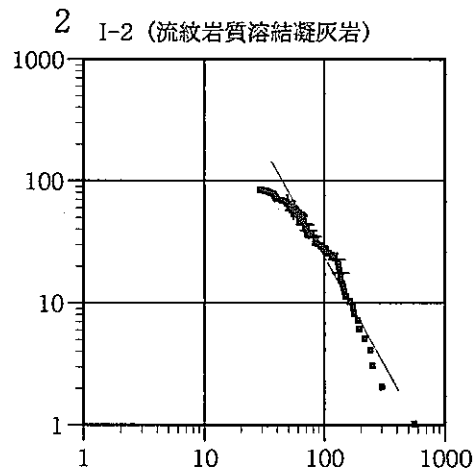
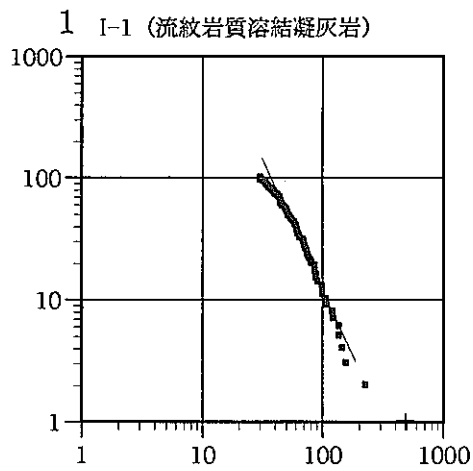
大野・小島(1988)の方法にならい、両対数グラフにおいて横軸に亀裂のトレース長、縦軸に亀裂の累積本数(トレース長の大きさが a 以上となる割れ目の本数： a はトレース長の最小値～最大値)を示した(図 3.2.1-2)。各調査箇所ごとのグラフにおいて、プロットが直線的に配列する部分の傾きがべき指数(またはフラクタル次元)となる。プロットを直線で近似する際、検定により確認することが好ましいが、今回は行っていない。

大野・小島(1988, 1992)によると、トレース長が短い側でプロットが直線からはずれる理由は、小さな亀裂はデータの計測時に取りこぼされるからであるという。本研究においてはトレース長 20cm 以上の亀裂を計測し、解析においてはトレース長 30cm 以上のものを採用しているため、このような取りこぼしの影響は低減されているはずであり、図 3.2.1-2 のグラフにおいてトレース長の小さい側で直線から外れる部分は、それらのプロットが直線とは別のべき指数で与えられる分布を示しているのかもしれない。

一方、トレース長の大きい側でプロットが直線からはずれるのは、露頭の大きさよりもトレース長が大きい亀裂の影響によるものである。図 3.2.1-2 では、露頭からはみだす亀裂がわかるように記号で区別したが、これらの割合は調査箇所によって異なり、露頭からはみ出す亀裂の割合が最も大きかったのは HM-1 の 34%、全ての箇所の平均は 15%であった。

(c) 解析結果

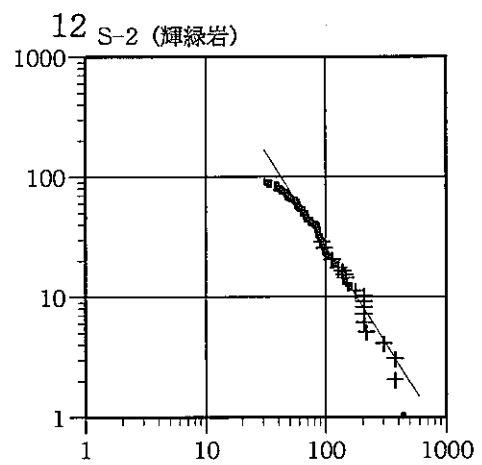
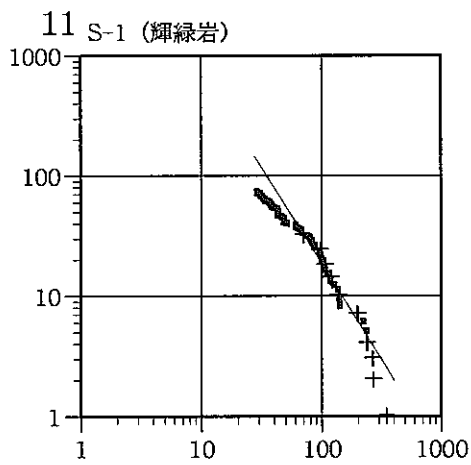
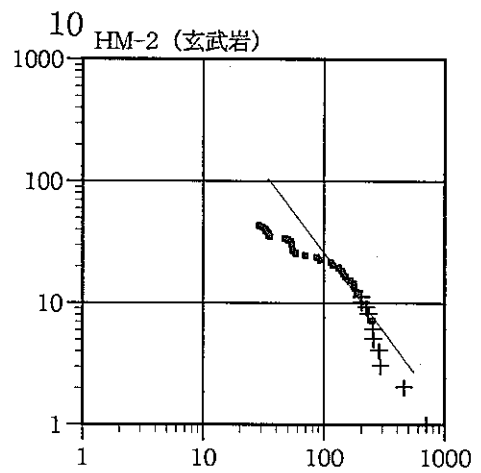
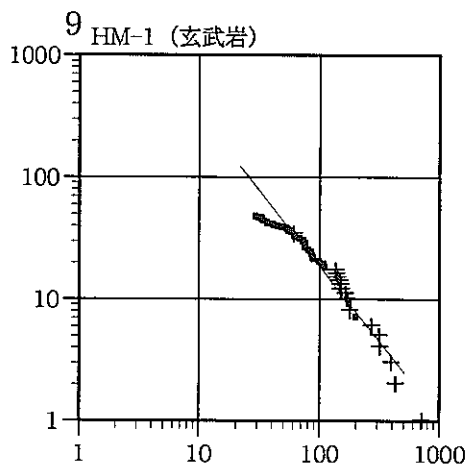
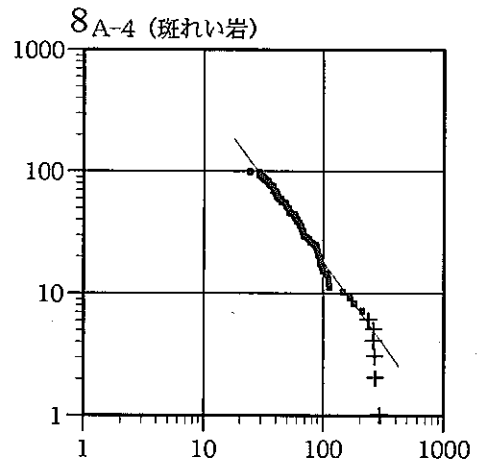
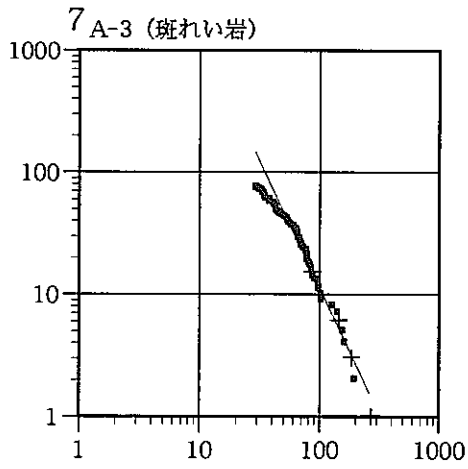
調査箇所ごとの亀裂のべき指数(フラクタル次元) D_L 及びトレース長 100cm の亀裂の累積



+ 印は露頭からはみ出すためトレース長が不明な亀裂

亀裂の累積本数
亀裂のトレース長(cm)

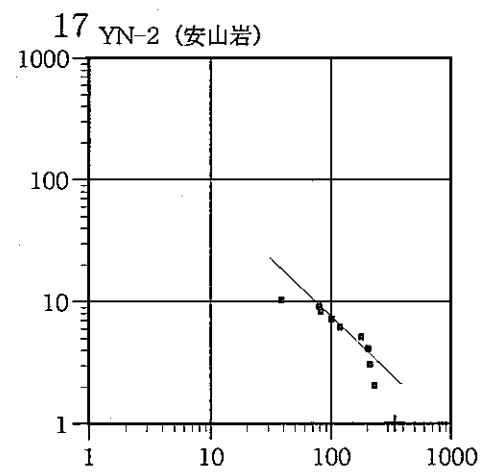
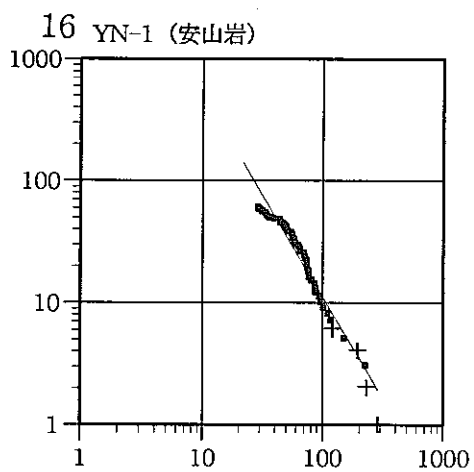
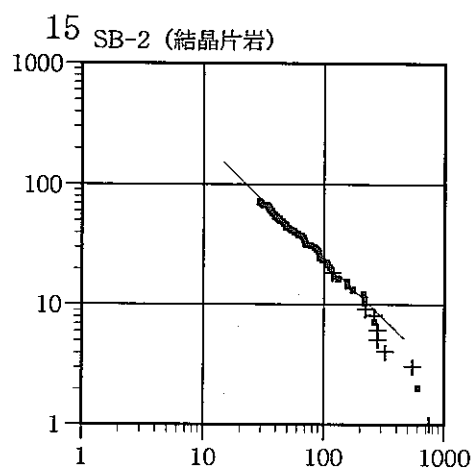
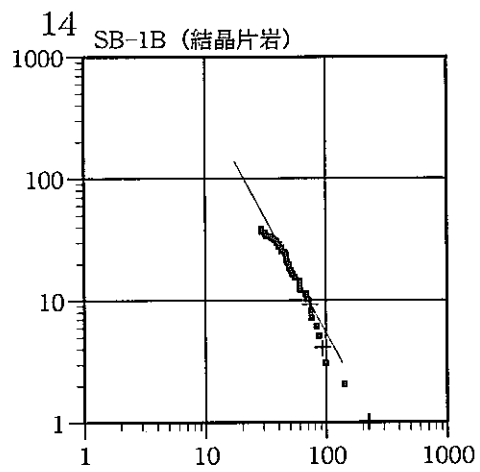
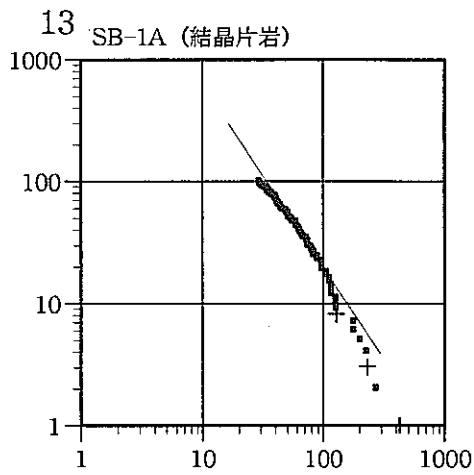
図 3.2.1-2(1/8) 亀裂のトレース長のフラクタル性の検討(I-1, I-2, I-3, I-4, OS-1, OS-2)



+印は露頭からはみ出すためトレース長が不明な亀裂

亀裂の累積本数
亀裂のトレース長(cm)

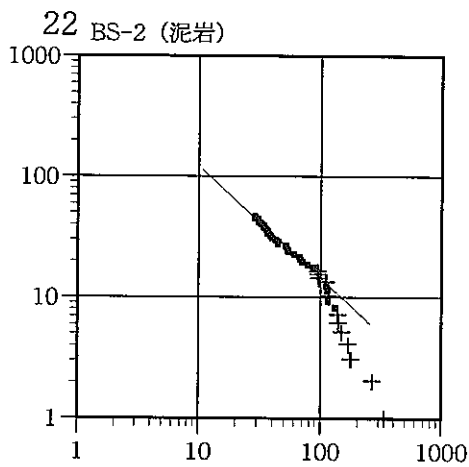
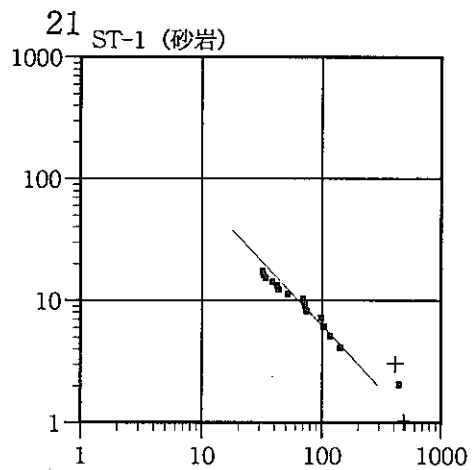
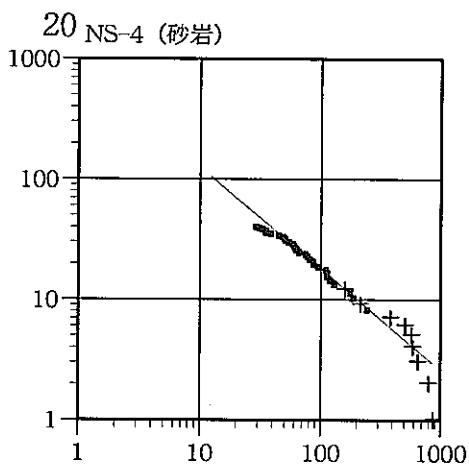
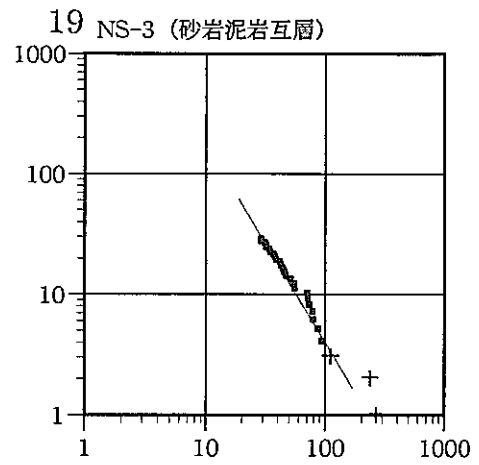
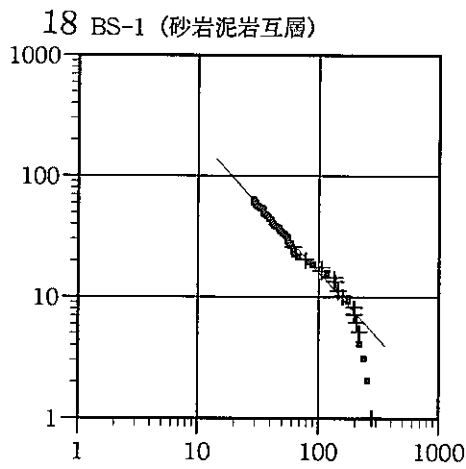
図 3.2.1-2(2/8) 亀裂のトレース長のフラクタル性の検討(A-3, A-4, HM-1, HM-2, S-1, S-2)



+印は露頭からはみ出すためトレース長が不明な亀裂

亀裂の累積本数
亀裂のトレース長(cm)

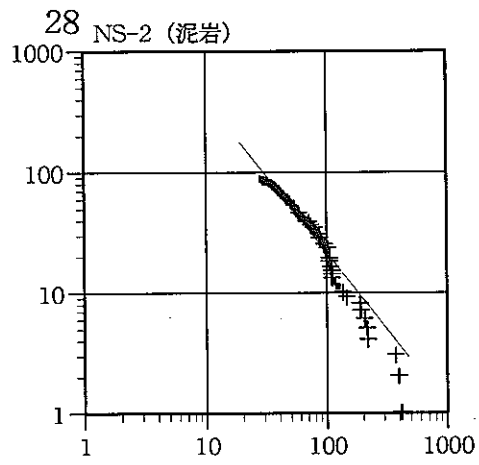
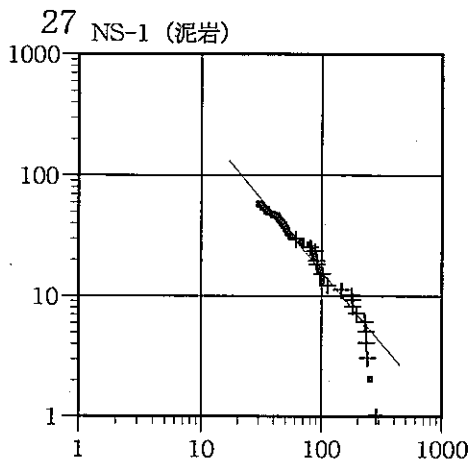
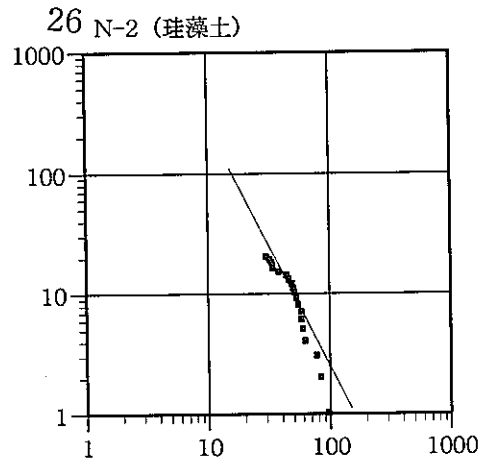
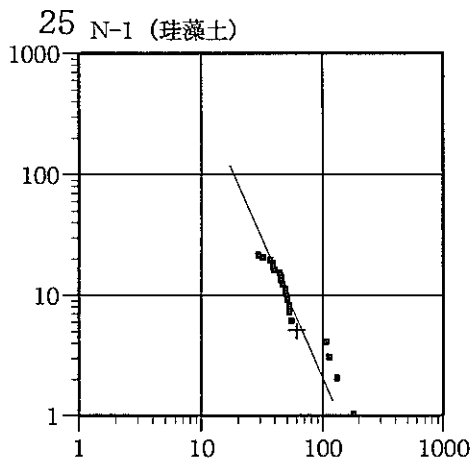
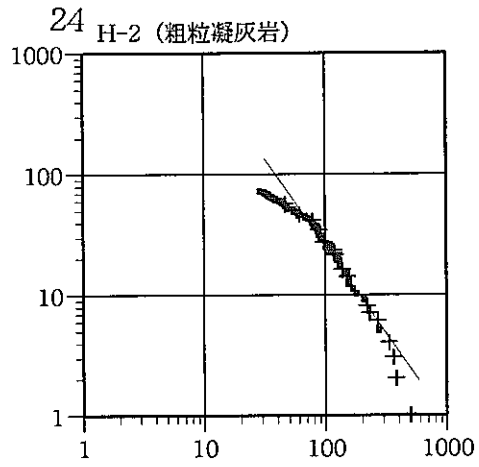
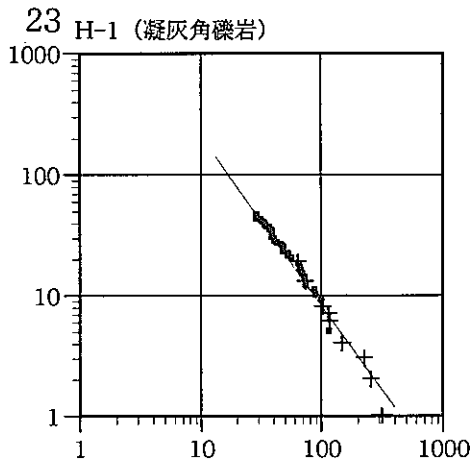
図 3.2.1-2(3/8) 亀裂のトレース長のフラクタル性の検討(SB-1A, SB-1b, SB-2, YN-1, YN-2)



+印は露頭からはみ出すためトレース長が不明な亀裂

亀裂の累積本数
亀裂のトレース長(cm)

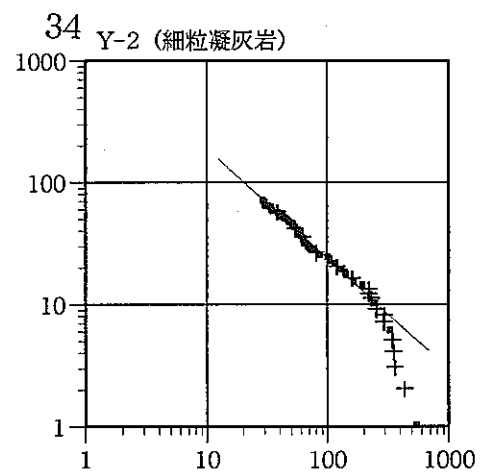
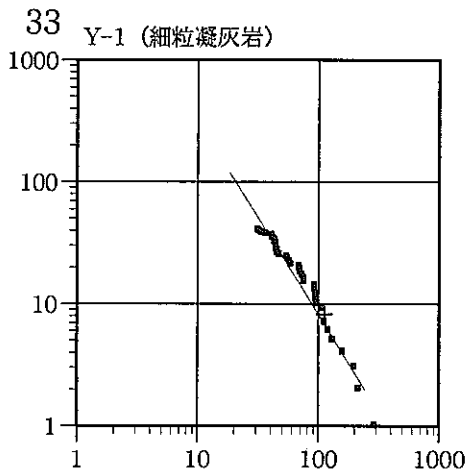
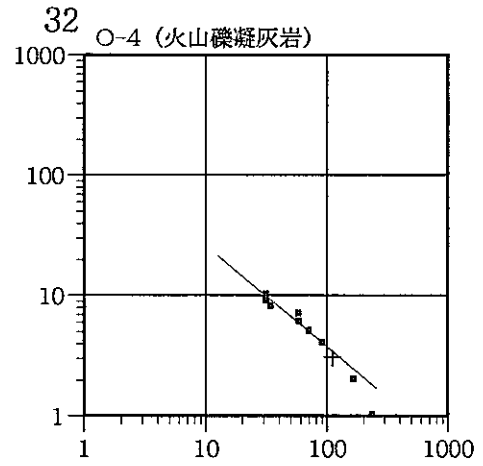
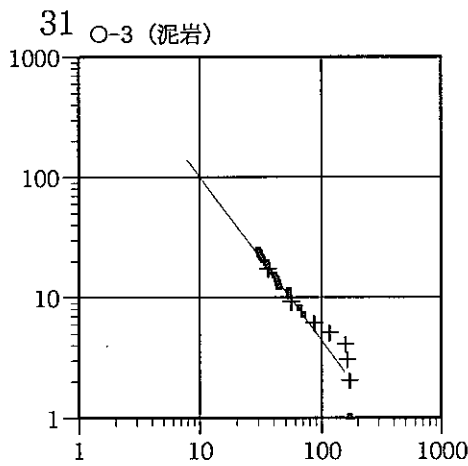
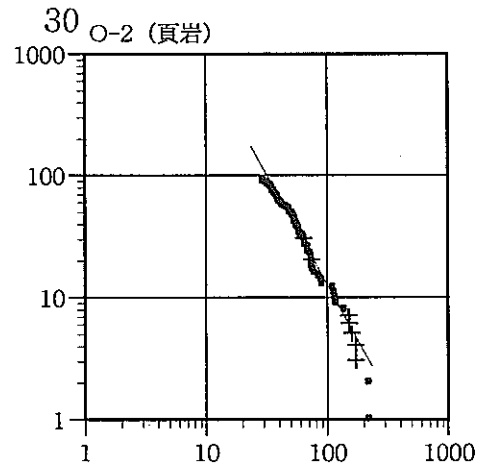
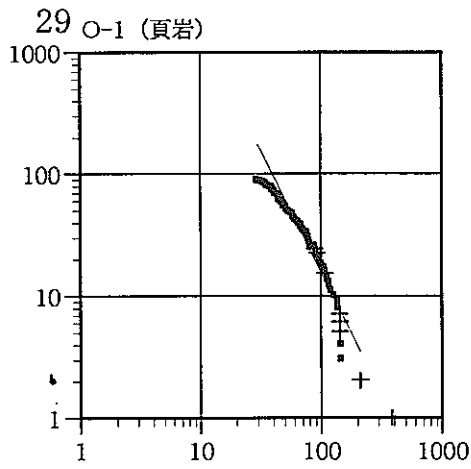
図 3.2.1-2(4/8) 亀裂のトレース長のフラクタル性の検討 (BS-1, NS-3, NS-4, ST-1, BS-2)



+印は露頭からはみ出すためトレース長が不明な亀裂

亀裂の累積本数
亀裂のトレース長(cm)

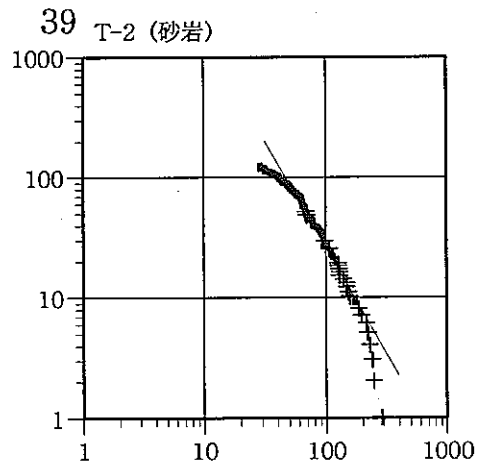
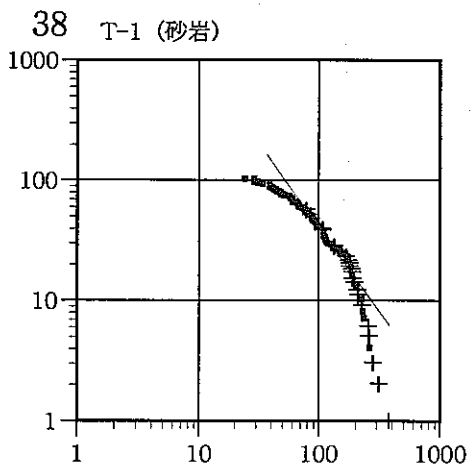
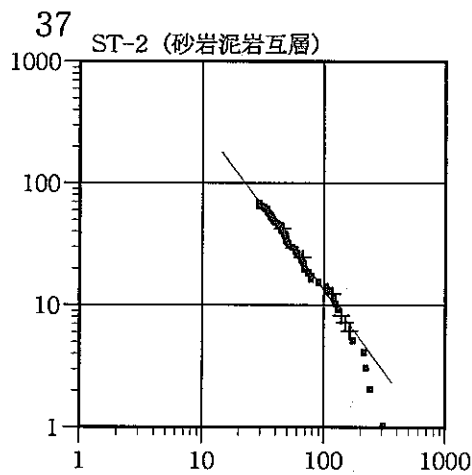
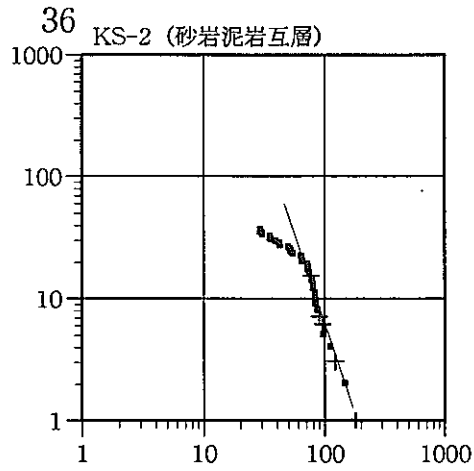
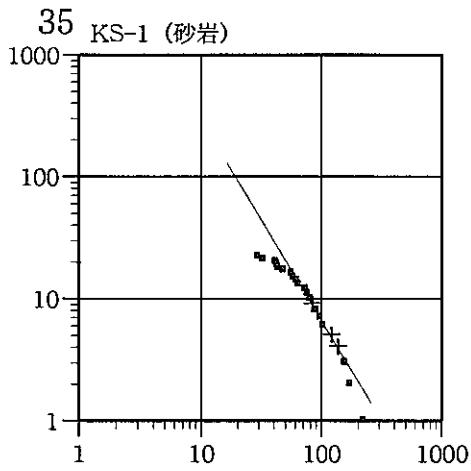
図 3.2.1-2(5/8) 亀裂のトレース長のフラクタル性の検討(H-1, H-2, N-1, N-2, NS-1, NS-2)



+印は露頭からはみ出すためトレース長が不明な亀裂

亀裂の累積本数
亀裂のトレース長(cm)

図 3.2.1-2(6/8) 亀裂のトレース長のフラクタル性の検討(O-1, O-2, O-3, O-4, Y-1, Y-2)



+印は露頭からはみ出すためトレース長が不明な亀裂

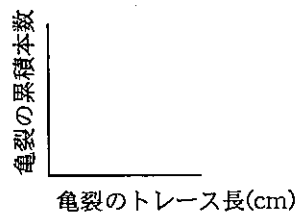
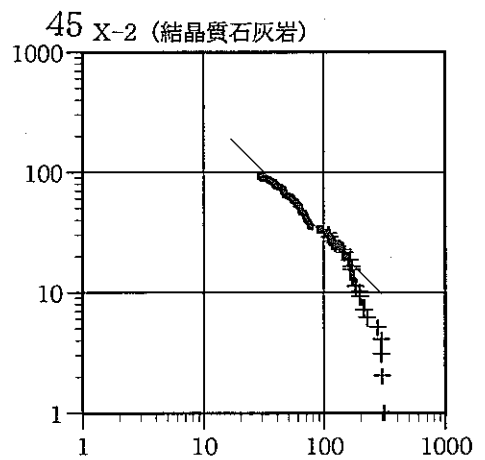
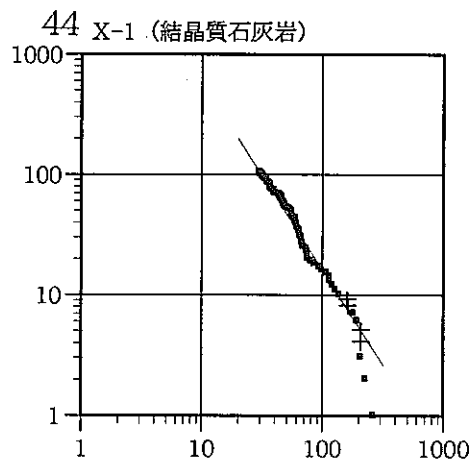
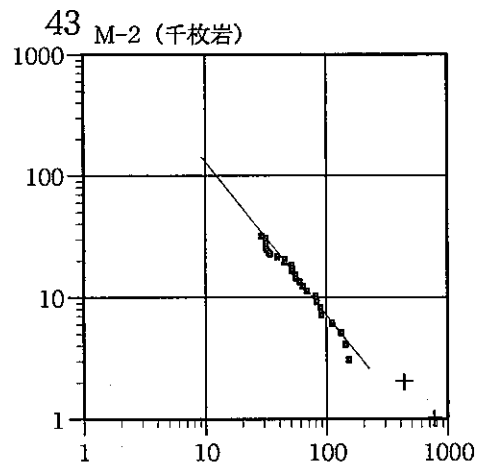
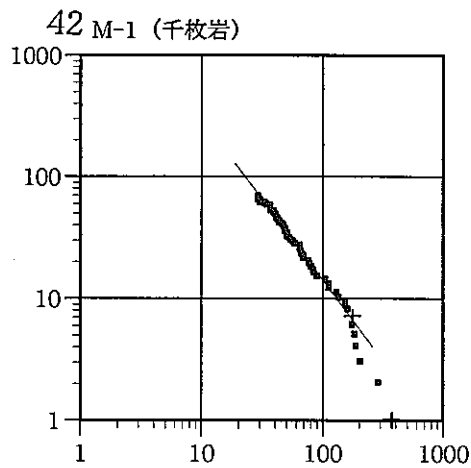
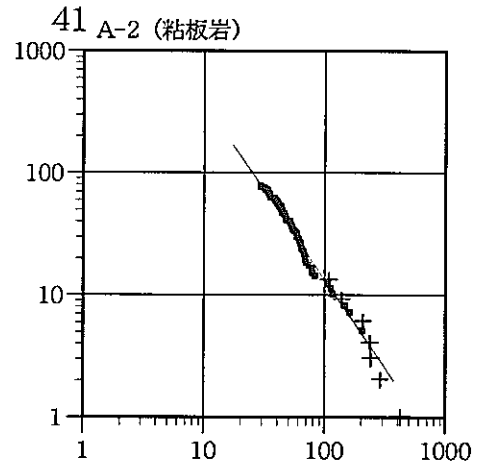
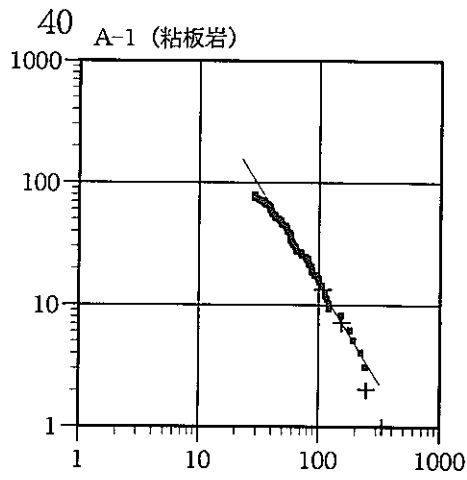


図 3.2.1-2(7/8) 亀裂のトレース長のフラクタル性の検討(KS-1, KS-2, ST-2, T-1, T-2)



+印は露頭からはみ出すためトレース長が不明な亀裂

亀裂の累積本数
亀裂のトレース長(cm)

図 3.2.1-2(8/8) 亀裂のトレース長のフラクタル性の検討(A-1, A-2, M-1, M-2, X-1, X-2)

本数（切片：対数値）を前出の表 3.2.1-1 に示した。べき指数は最小が OS-1 箇所 の 0.54、最大は KS-2 箇所 の 3.23、平均値を求めると 1.48 である。ここでべき指数 D_L の値が他箇所と比較して著しく大きい KS-2 箇所について見てみる。べき指数が大きいことは亀裂のトレース長分布の幅が小さいことを意味している。KS-2 箇所では亀裂は堆積岩のある層準またはある砂泥互層部分に集中して発達している。すなわち層準または互層部分の厚さにより亀裂トレース長の上限が規制されている状態となっているため、その結果としてトレース長分布の幅が小さくなり、べき指数の値が大きくなっているものと考えられる。

図 3.2.1-3 に 6 岩種区分とべき指数 D_L の関係を示したが、これらの間にはとくに明瞭な関係は認められない。一方、岩石の年代とべき指数の関係（図 3.2.1-4）を見ると、火山岩類と深成岩類の分布はばらつきを持つものの、古い岩石ほどべき指数（フラクタル次元） D_L の値が大きくなる、すなわちトレース長分布の幅が小さくなる傾向を示している。

トレース長 100cm の亀裂の累積本数（前出図 3.2.1-2 の横軸 100(cm)における縦軸の値）の平均を比較すると、先新第三紀堆積岩類や結晶質岩類が新第三紀堆積岩類よりも大きいことがわかる（図 3.2.1-5 及び図 3.2.1-6）。表 3.2.1-4 にはべき指数（フラクタル次元） D_L 及びトレース長 100cm の亀裂の累積本数（対数値）の 6 岩種ごとの統計値を示した。

(iii) 亀裂密度

亀裂の密度は次の 2 通りの方法で検討した。

- ① スケッチ上で横方向に直線を引き、その直線と交わる亀裂の数を計測し、単位長さあたりの亀裂本数を求めた（本/m：亀裂の 1 次元密度- P_{11} ）。
- ② 単位スケッチ面積当たりの亀裂のトレース長の総計（ cm/m^2 ：亀裂の 2 次元密度- P_{21} ）

(a) 亀裂の 1 次元密度 (P_{11})

図 3.2.1-7 は上記①の方法で求めた亀裂密度を岩種ごとに分けて示したものである。1 次元密度は岩種ごとに区分しても調査箇所によりかなりのばらつきがあることがわかる。本図から読み取れることは、新第三紀堆積岩の中には他岩種と比較して亀裂密度が低い箇所が存在する。

(b) 亀裂の 2 次元密度 (P_{21})

2 次元亀裂密度は a) 亀裂（断層、節理、脈）を対象としたもの及び b) それらの亀裂のうち湧水が認められた構造のみを対象としたものそれぞれのケースについて、亀裂の密度 (P_{21}) 及び連結点数 (C_1) について整理した（前出の表 3.2.1-1）。

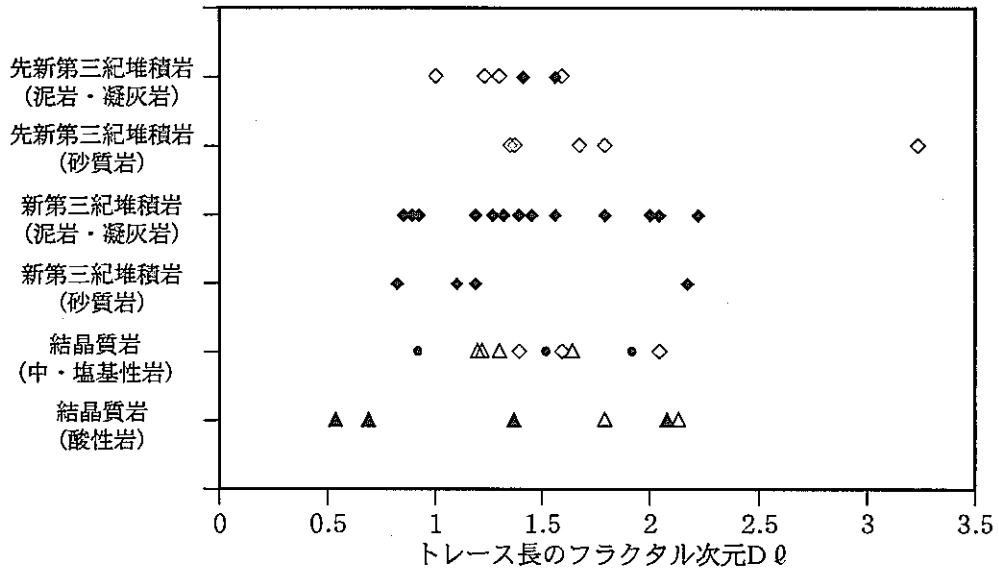


図 3.2.1-3 トレース長のフラクタル次元(べき指数)と岩種との関係

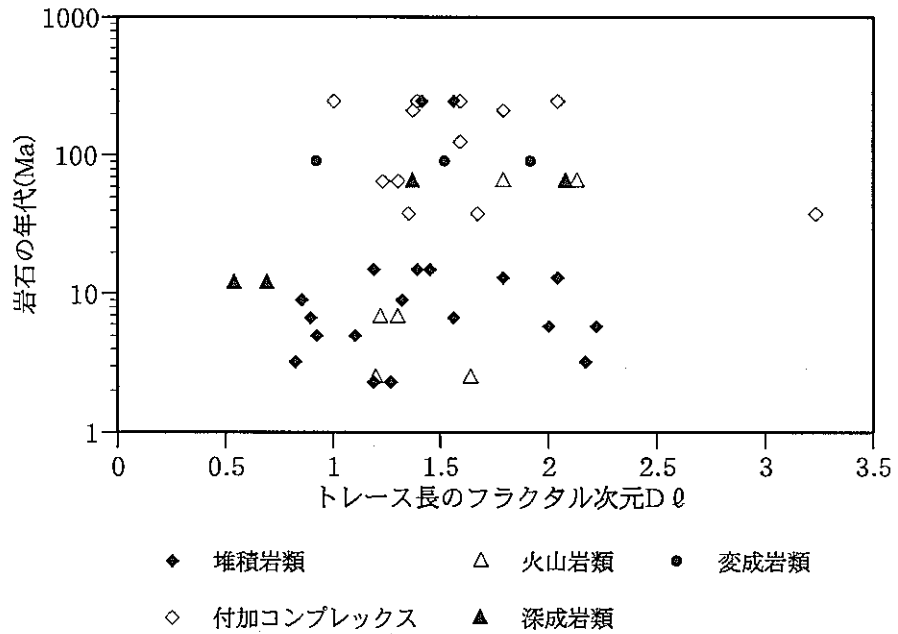


図 3.2.1-4 トレース長のフラクタル次元(べき指数)と岩石の年代との関係

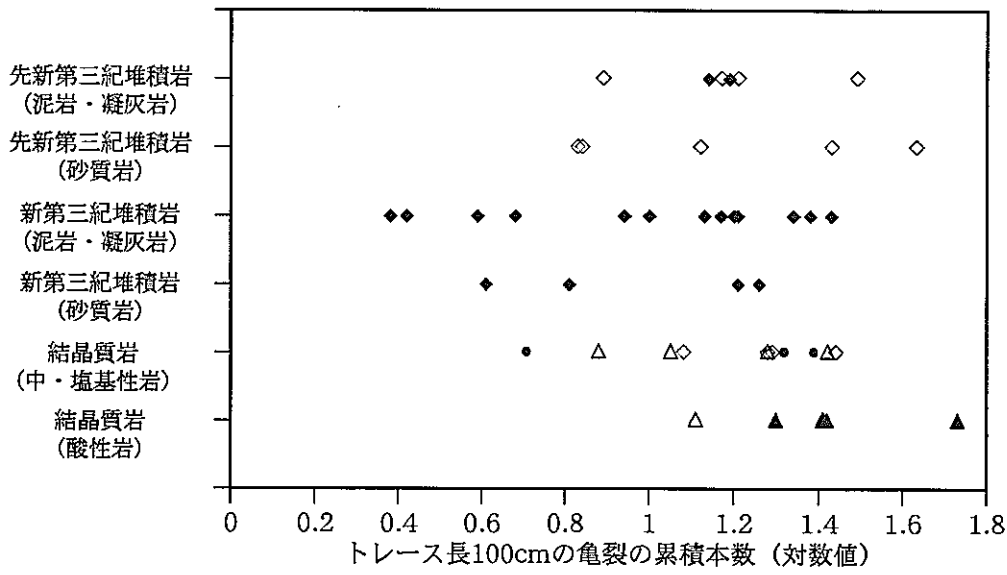


図 3.2.1-5 トレース長 100cm の亀裂の累積本数と岩種との関係

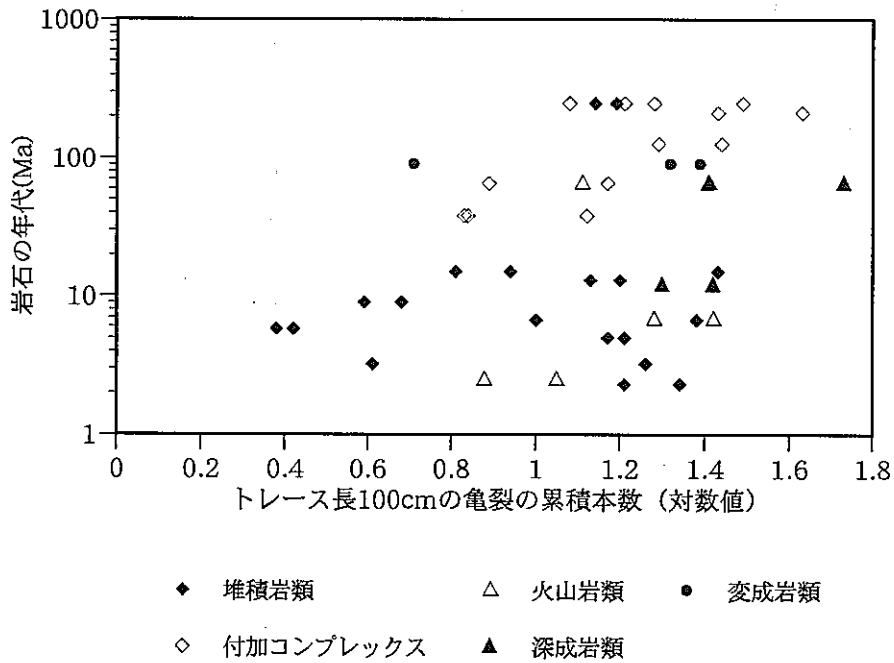


図 3.2.1-6 トレース長 100cm の亀裂の累積本数と岩石の年代との関係

表 3.2.1-4 べき指数(フラクタル次元)検討結果一覧表

岩種		べき指数 D ₀	トレース長 100cmの亀 裂の累積本数 (対数值)	露头よりは み出す亀裂 の割合(%)
結晶質岩 (酸性岩)	最大	2.13	1.73	33
	最小	0.54	1.11	1
	平均	1.43	1.40	11
結晶質岩 (中・塩基性岩)	最大	2.04	1.44	17
	最小	0.92	0.71	3
	平均	1.48	1.19	8
新第三紀堆積岩 (砂質岩)	最大	2.17	1.26	13
	最小	0.82	0.61	2
	平均	1.32	0.97	7
新第三紀堆積岩	最大	2.22	1.43	24
	最小	0.85	0.38	0
	平均	1.45	0.99	9
先新第三紀堆積岩 (砂質岩)	最大	3.23	1.63	22
	最小	1.35	0.83	3
	平均	1.88	1.17	12
先新第三紀堆積岩 (泥質・凝灰質岩)	最大	1.59	1.49	19
	最小	1.00	0.89	2
	平均	1.35	1.18	7
全体	最大	3.23	1.73	33
	最小	0.54	0.38	0
	平均	1.48	1.14	9

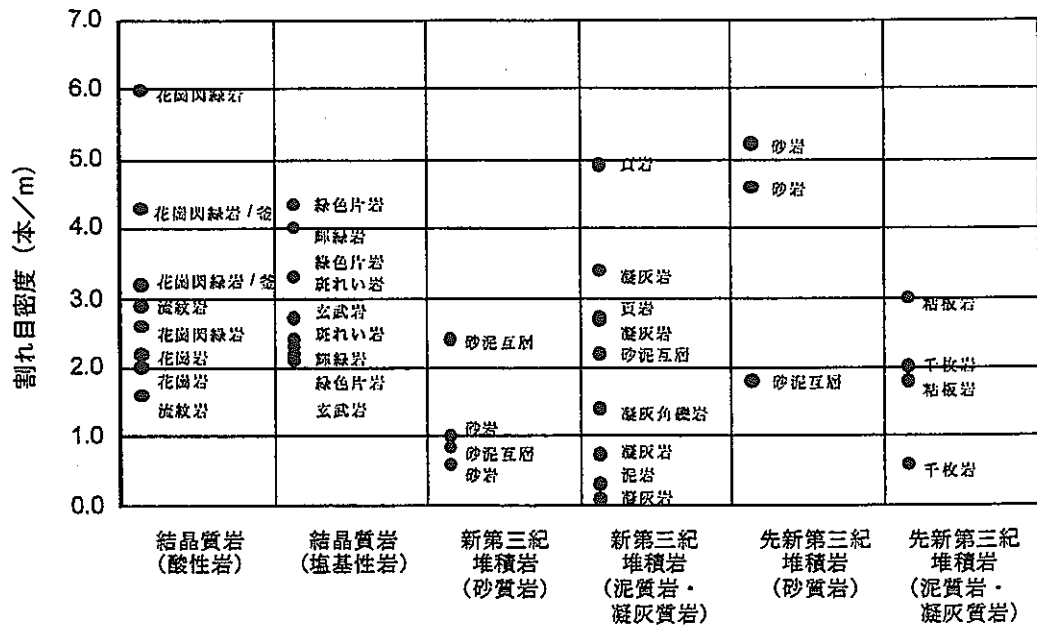


図 3.2.1-7 亀裂の1次元密度(P₁₁)

N-1 箇所及び N-2 箇所のスケッチ範囲には珪藻土と砂岩が分布するが、亀裂の密度(P_{21})及び連結点数(C_1)の算出に際しては珪藻土のみを対象とし、スケッチ面積はそれぞれ 3.5 m^2 及び 4.5 m^2 として計算した。また、KS-1 箇所においてはスケッチ範囲 10 m^2 のうち 5 m^2 には規模の大きな破碎帯が存在するが、この破碎帯は今回のデータ整理の対象スケールよりオーダーが大きいものと判断し、これを除外し、残りの 5 m^2 のデータで計算を行った。

1) 連結点数(C_1)と密度(P_{21})の関係

図 3.2.1-8 は上記 a) のケースの亀裂に対し、45 箇所のスケッチ箇所の P_{21} の値と連結点数(C_1 : スケッチ面積 1 m^2 あたりの亀裂の連結点数) の関係を示したものである。グラフより密度(P_{21})が高くなるほど連結点数(C_1)も大きくなる分布を示す。同様に湧水を伴う亀裂を対象とした b) の場合のグラフ(図 3.2.1-9)では、亀裂の密度及び連結点数が小さいが、a) の場合とほぼ同じ曲線上に分布することがわかる。図 3.2.1-8 では両者の関係は二次曲線で表現できると推定されるため、回帰分析を行った結果、以下の式が導かれた(図 3.2.1-10)。

$$y = 3.512 \times 10^{-5} x^2 - 0.004 x$$

2) 岩種と密度(P_{21})の関係

6 岩種ごとに亀裂の密度(P_{21})及び連結点数(C_1)の統計値を表 3.2.1-5 に、岩種ごとに亀裂の密度(P_{21})を比較した結果を図 3.2.1-11 に示した。岩種によって、値の幅はあるものの、平均をとれば新第三紀堆積岩よりも先新第三紀堆積岩の方が亀裂の密度(P_{21})が大きく、結晶質岩では中・塩基性岩より酸性岩の方が亀裂の密度(P_{21})が大きいことがわかる。湧水の認められる亀裂を対象とした場合(図 3.2.1-12)では、堆積岩では先新第三紀堆積岩が新第三紀堆積岩より密度(P_{21})のデータの広がり大きい分だけ平均値が大きく、結晶質岩では亀裂全体の場合と同様に酸性岩の方が中・塩基性岩より密度(P_{21})が大きい結果となった。

3) 岩石の年代と密度(P_{21})の関係

岩石の年代と密度(P_{21})の関係について、全ての断層、節理及び脈を対象とした場合のグラフを図 3.2.1-13 に示す。地質調査所(1992)による岩種区分 2 を考慮すると、以下のような傾向が認められる。

- ・付加コンプレックス、火山岩類及び深成岩類のデータが分布する範囲は広がりを持つものの、全体としてはそれぞれ右上がりの傾向がある。このことは、古い岩石ほど亀裂の密度(P_{21})が高くなる傾向を示していると考えられる。

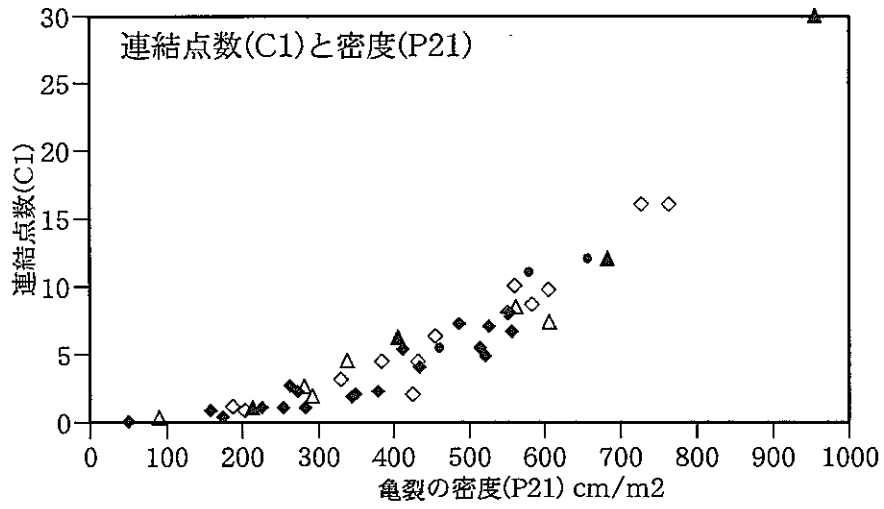


図 3.2.1-8 亀裂の 2 次元密度 (P_{21}) と連結点数 (C_1) の関係

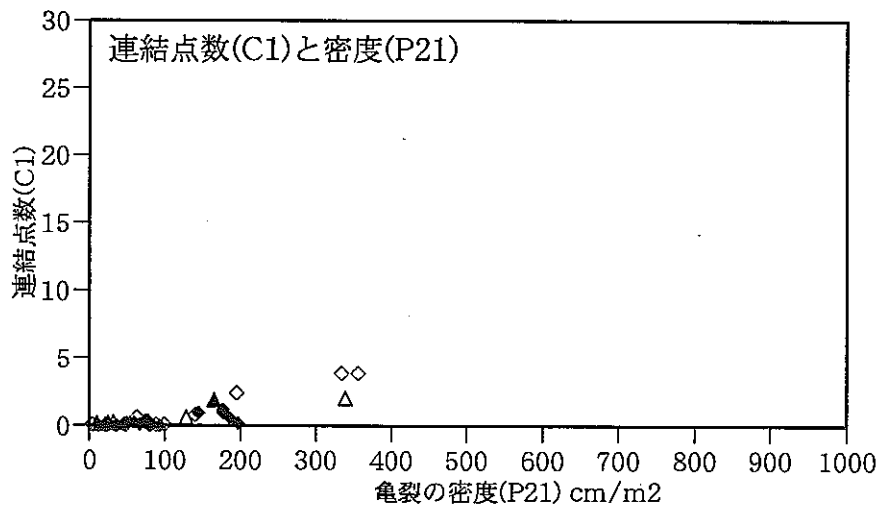


図 3.2.1-9 湧水を伴う亀裂の 2 次元密度 (P_{21}) と連結点数 (C_1) の関係

- ◆ 堆積岩類 △ 火山岩類 ● 変成岩類
- ◇ 付加コンプレックス ▲ 深成岩類

回帰分析概要

C1(fjv) 対 P21(fjv)

例数	45
欠測値数	0
相関係数 (R)	.989
R 2 乗	.978
自由度調整 R 2 乗	.977
RMS 残差	1.195

分散分析表

C1(fjv) 対 P21(fjv)

	自由度	平方和	平均平方	F値	p値
回帰分析	2	2751.805	1375.902	963.894	<.0001
残差	43	61.380	1.427		
合計	45	2813.185			

回帰係数

C1(fjv) 対 P21(fjv)

	回帰係数	標準誤差	標準回帰係数	t値	p値
P21(fjv)	-.004	.001	-.155	-3.523	.0010
P21(fjv)^2	3.512E-5	2.122E-6	1.140	16.552	<.0001

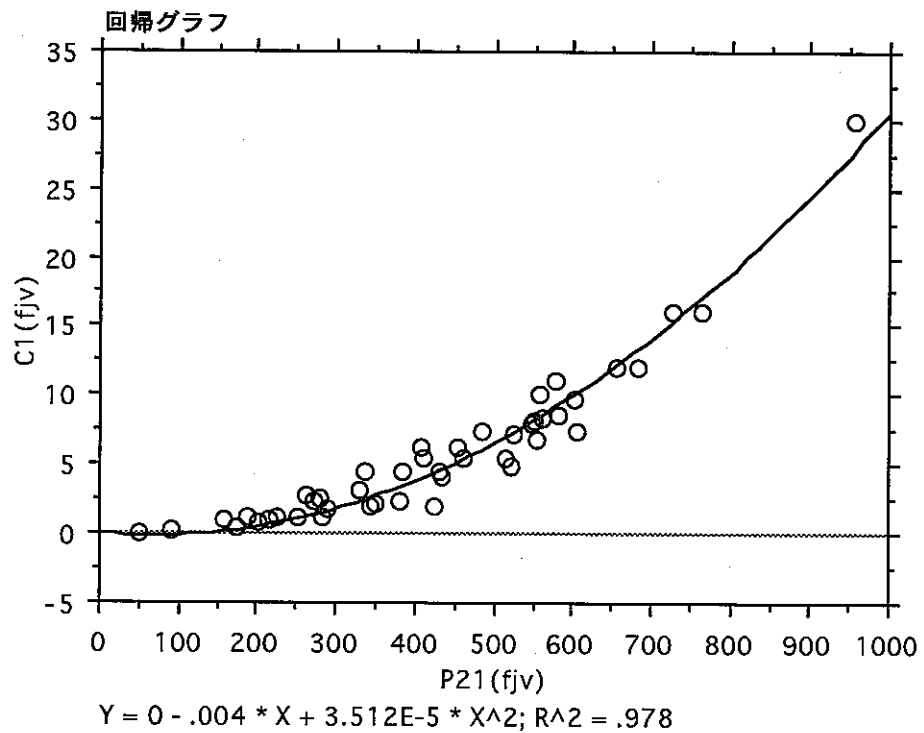


図 3.2.1-10 亀裂の 2 次元密度 (P₂₁) と連結点数 (C₁) の回帰分析結果

表 3.2.1-5 岩種ごとの亀裂密度(P_{21})及び連結点数(C_1)の統計値

岩種		亀裂		湧水を伴う亀裂	
		P21	C1	P21	C1
結晶質岩 (酸性岩)	最大	955	30.0	339	1.9
	最小	214	1.0	0	0.0
	平均	571	10.8	106	0.7
結晶質岩 (中・塩基性岩)	最大	657	12.0	88	0.5
	最小	90	0.2	0	0.0
	平均	429	6.1	31	0.1
新第三紀堆積岩 (砂質岩)	最大	349	2.1	66	0.1
	最小	158	0.4	0	0.0
	平均	256	1.3	31	0.0
新第三紀堆積岩	最大	556	8.1	186	1.2
	最小	50	0.1	0	0.0
	平均	369	3.8	82	0.3
先新第三紀堆積岩 (砂質岩)	最大	763	16.0	356	3.8
	最小	203	0.8	4	0.0
	平均	489	7.6	136	1.2
先新第三紀堆積岩 (泥質・凝灰質岩)	最大	604	9.7	334	3.8
	最小	187	1.1	21	0.0
	平均	443	5.6	143	0.9
全体	最大	955	30.0	356	3.8
	最小	50	0.1	0	0.0
	平均	424	5.7	82	0.5

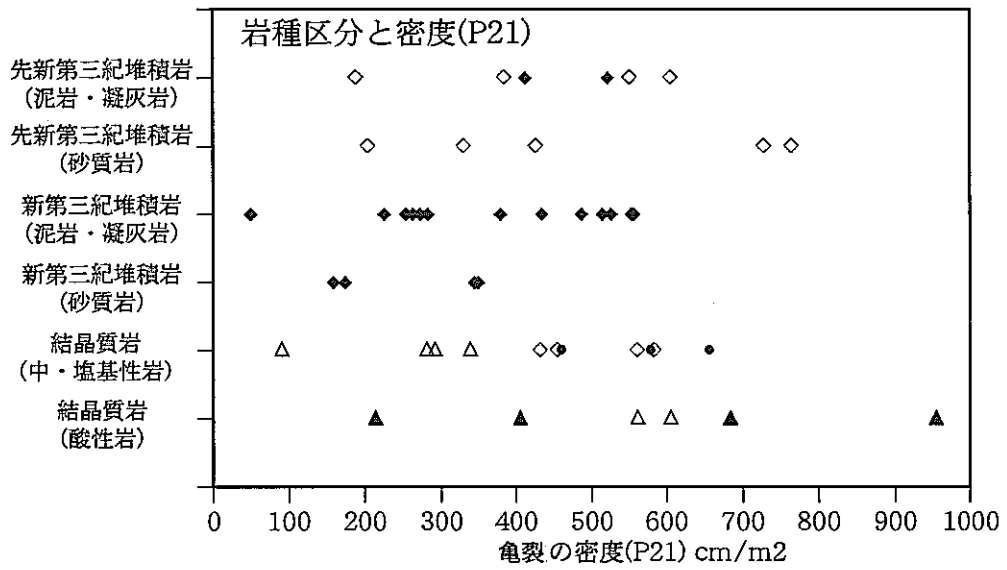


図 3.2.1-11 亀裂の2次元密度(P₂₁)と岩種との関係

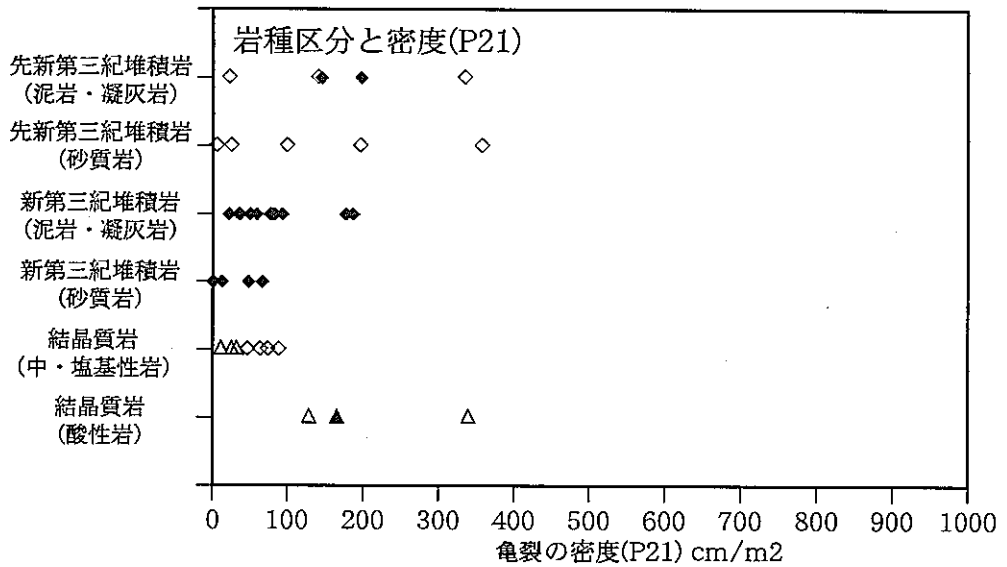


図 3.2.1-12 湧水を伴う亀裂の2次元密度(P₂₁)と岩種との関係

- ◆ 堆積岩類
- ◇ 付加コンプレックス
- △ 火山岩類
- ▲ 深成岩類
- 変成岩類

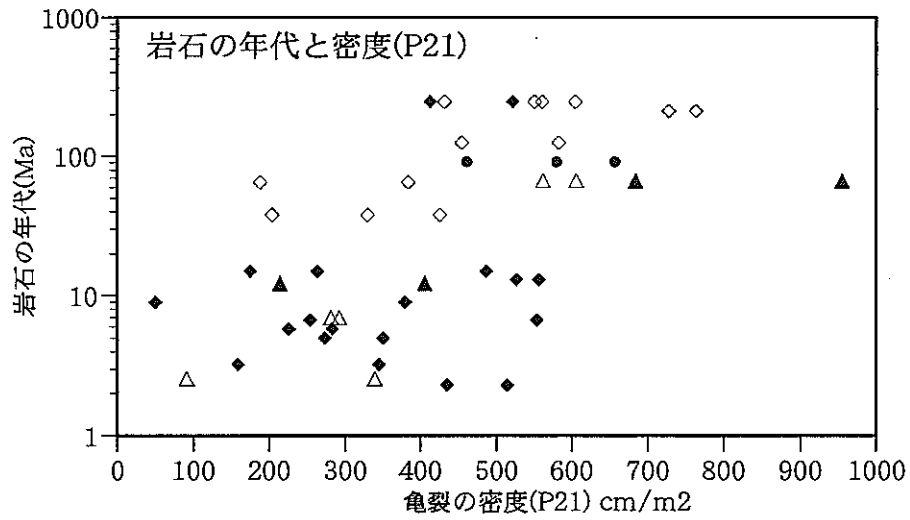


図 3.2.1-13 亀裂の密度(P_{21})と岩石の年代の関係

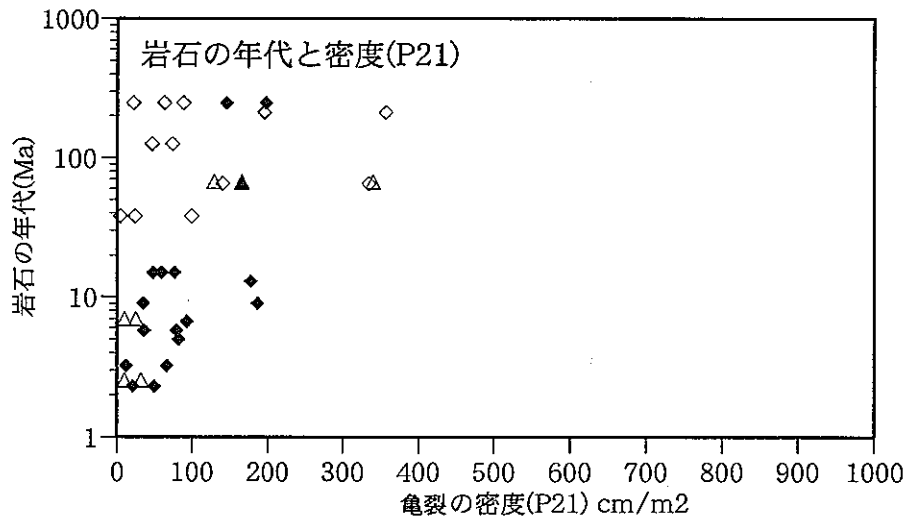


図 3.2.1-14 湧水を伴う亀裂の密度(P_{21})と岩石の年代の関係

- ◆ 堆積岩類 △ 火山岩類 ● 変成岩類
- ◇ 付加コンプレックス ▲ 深成岩類

・新第三紀の堆積岩類（岩石の年代が 24Ma よりも若いもの）では、岩石の年代と亀裂の密度(P_{21})の間に顕著な関係は認められない。

以上のことから、個々の調査サイトではその地域の構造運動や応力状態を反映し固有の亀裂発達様式があるものの、岩石区分2のような分類で整理すると同じ分類に属する岩石では亀裂は年代が古い岩石ほど発達の高くなる傾向が認められる。このとき、岩石の年代は構造運動や応力の影響を受けた期間の長さとして説明できる可能性がある。新第三紀の岩石で年代と亀裂の発達程度の間には明瞭な関係が認められない理由は、これらがまだ十分な年代の幅を持っていないためと考えられる。

湧水を伴う亀裂を対象とした場合（図 3.2.1-14）では、年代の古い岩石ほど亀裂の密度(P_{21})の範囲が広がる傾向を示す。

(2) 亀裂内部及び周辺の特徴

(i) 亀裂の幅

(a) 亀裂幅の統計値

亀裂幅とは開いた亀裂面の間（上盤と下盤の間）を言うこととする。亀裂の内部は充填物や空隙部分からなる。移行経路調査データでは、亀裂の幅は一本の亀裂の平均的な幅の値を示している。

表 3.2.1-6 に各調査箇所での亀裂の幅の統計値を示した。亀裂の幅の範囲は肉眼で観察できる最小値 0.02cm 未満から最大 60cm までの 3桁以上のオーダーにまたがっている。そのため、分布関数が対数スケールで説明されるものと推定し、各調査箇所ごとの亀裂の幅の幾何平均値及び標準偏差（常用対数値）を求めた。また、幅が 0.02cm 未満の場合には 0.001cm のデータを与えて計算した。また、亀裂の種類によって幅が異なる場合があるものと推定されることから、節理、断層及び脈ごとの幅の幾何平均値も示した。

図 3.2.1-15 は各調査箇所ごとの亀裂幅の分布を対数スケールのヒストグラムに示したものである。本ヒストグラムの階級の取り方は調査箇所間で統一してあるが、階級の幅及び階級数は自動計算で求めたものである。ヒストグラムの最小の階級、つまり 0.001cm 以下の階級は肉眼での観察限界(0.02cm)よりも小さい亀裂の数を示している。また、2番目の階級(0.001cm～0.003cm 間)及び3番目の階級(0.003cm～0.012cm 間)の範囲も同様に観察限界未満であるが、この範囲に含まれるデータは上記の整理の前提により存在しない。

(b) 亀裂幅の分布関数の定性的検討

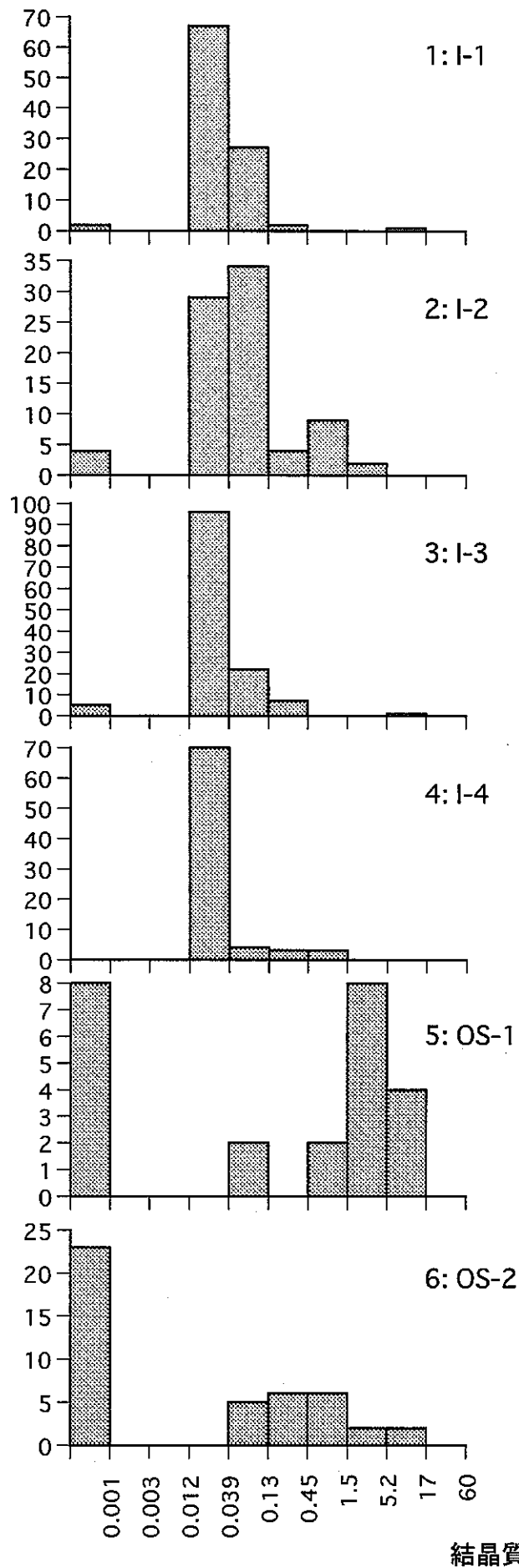
表 3.2.1-6 亀裂の幅の統計値

番号	箇所	岩種	本数	最大値 (cm)	最小値 (cm)	幾何平均 (cm)	標準偏差 (対数値)	幅0.02cm未 満の亀裂本数	種類別の幾何平均値(cm)		
									節理	断層	脈
1	I-1	1	99	6	0.001	0.0313	0.3885	2 (2%)	0.03	0.04	
2	I-2	1	82	3.5	0.001	0.0517	0.6768	4 (5%)	0.03	0.25	0.49
3	I-3	1	131	15	0.001	0.0293	0.4623	5 (4%)	0.03	0.84	
4	I-4	1	80	1.4	0.02	0.0274	0.3925	0 (0%)	0.03		1
5	OS-1	1	24	10	0.001	0.181	1.708	8 (33%)	0.22	0.02	
6	OS-2	1	44	6	0.001	0.019	1.395	31 (70%)	0.01	4.16	
7	A-3	2	76	4	0.02	0.0422	0.4279	0 (0%)	0.03	1.5	0.23
8	A-4	2	96	60	0.001	0.0404	0.5827	2 (2%)	0.03	0.32	0.11
9	HM-1	2	37	5	0.001	0.031	1.184	13 (35%)	0.03	5	
10	HM-2	2	31	0.5	0.001	0.011	1.082	15 (48%)	0.01		
11	S-1	2	72	1.8	0.02	0.1532	0.5632	0 (0%)	0.05	0.16	0.27
12	S-2	2	88	5.5	0.001	0.2033	0.6777	1 (1%)	0.04	0.15	0.41
13	SB-1-A	2	98	2.8	0.001	0.017	0.8135	25 (26%)	0.01	0.14	
14	SB-1-B	2	34	0.8	0.001	0.0054	0.9678	20 (59%)	0.005		0.8
15	SB-2	2	65	0.1	0.001	0.0079	0.7561	26 (40%)	0.01	0.01	
16	YN-1	2	52	3	0.001	0.037	1.178	17 (33%)	0.01	0.72	0.22
17	YN-2	2	10	4	0.001	0.131	1.326	2 (20%)	0.09	3	
18	BS-1	3	54	8	0.001	0.002	0.799	46 (85%)	0.001	0.003	
19	NS-3	3	25	0.3	0.001	0.022	0.764	5 (20%)	0.03	0.001	
20	NS-4	3	38	6	0.001	0.07	1.178	9 (24%)	0.04	1.9	
21	ST-1	3	17	0.4	0.001	0.0038	0.8531	11 (65%)	0.03	0.09	
22	BS-2	4	44	40	0.001	0.02	1.376	20 (45%)	0.001	0.07	
23	H-1	4	46	15	0.02	0.0302	0.479	0 (0%)	0.02	0.72	
24	H-2	4	71	0.7	0.02	0.0473	0.3959	0 (0%)	0.03	0.6	0.13
25	N-1	4	21	0.1	0.001	0.0066	0.7533	9 (43%)	0.03		
26	N-2	4	20	0.1	0.001	0.0042	0.7198	11 (55%)	0.02		
27	NS-1	4	45	6	0.001	0.024	1.139	16 (36%)	0.02	2.5	
28	NS-2	4	80	5	0.001	0.013	1	29 (36%)	0.01	3.98	
29	O-1	4	89	10	0.001	0.0555	0.6781	1 (1%)	0.04	0.1	0.32
30	O-2	4	93	2.4	0.001	0.0491	0.619	3 (3%)	0.04		0.2
31	O-3	4	24	0.8	0.001	0.0191	0.838	6 (25%)	0.04	0.8	
32	O-4	4	10	0.1	0.001	0.0071	0.9185	5 (50%)	0.02	0.06	
33	Y-1	4	28	1	0.001	0.0045	0.9586	18 (64%)	0.005		
34	Y-2	4	66	8	0.001	0.0128	1.1209	28 (42%)	0.01	7.48	
35	KS-1	5	22	0.4	0.001	0.002	0.85	19 (86%)	0.001	0.04	
36	KS-2	5	30	0.2	0.001	0.003	0.851	24 (80%)	0.001		0.14
37	ST-2	5	67	0.5	0.001	0.0025	0.7384	51 (76%)	0.04	0.09	
38	T-1	5	101	7	0.02	0.039	0.608	0 (0%)	0.02	0.09	1.52
39	T-2	5	122	4.5	0.001	0.022	0.6974	19 (16%)	0.02	0.08	0.78
40	A-1	6	77	0.6	0.001	0.0246	0.3573	3 (4%)	0.02		0.03
41	A-2	6	75	10	0.02	0.0684	0.6605	0 (0%)	0.04	1.54	0.26
42	M-1	6	68	2.5	0.001	0.0164	1.1418	29 (43%)	0.06	1.58	0.3
43	M-2	6	31	3.5	0.001	0.003	1.0656	25 (81%)	0.03	0.97	
44	X-1	6	100	1.5	0.001	0.0058	0.9879	59 (59%)	0.01		0.7
45	X-2	6	85	2	0.001	0.0063	1.045	51 (60%)	0.003	0.34	0.29

岩種区分

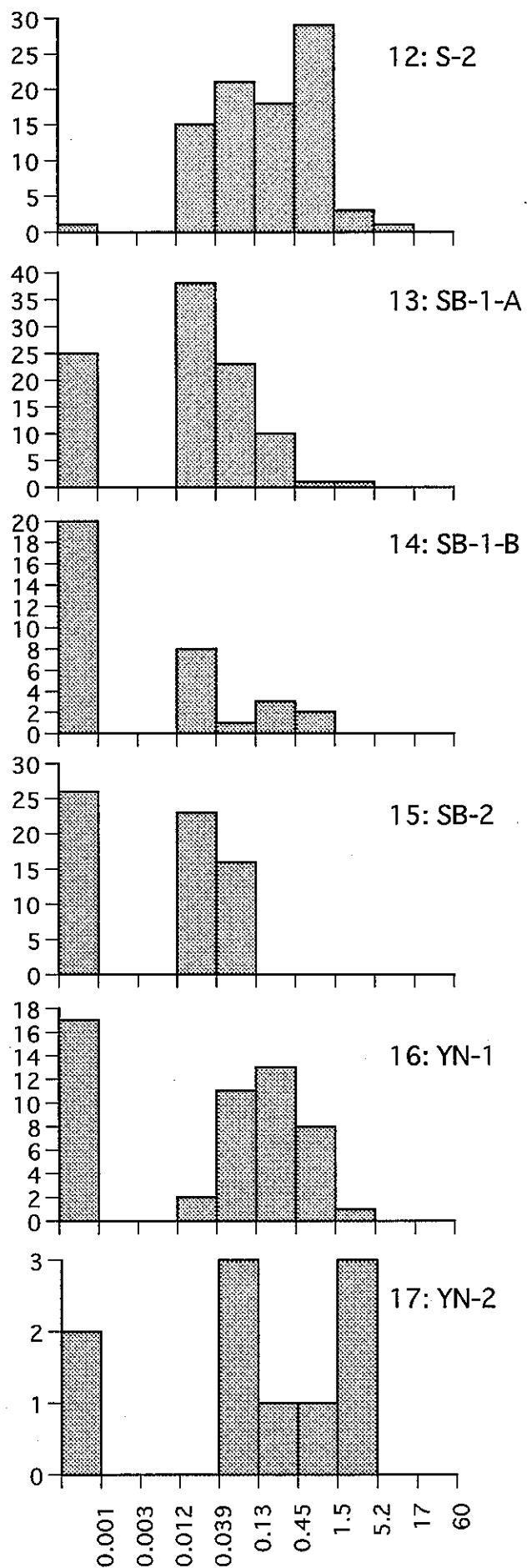
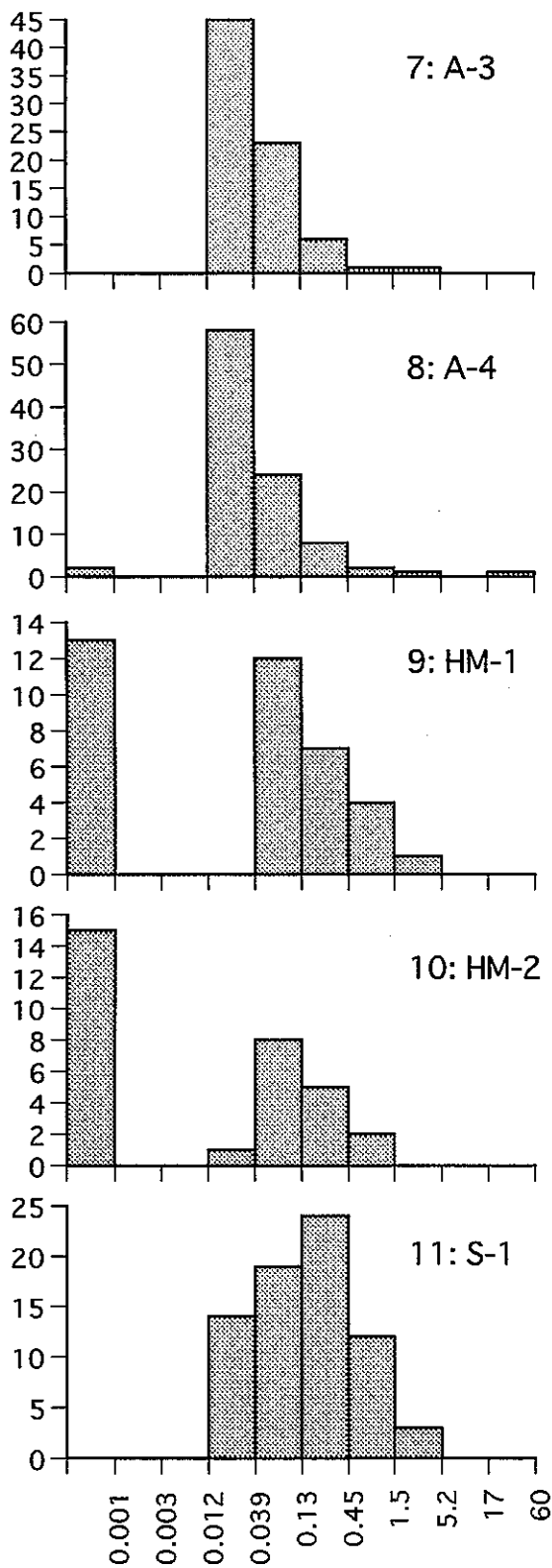
- 1: 結晶質岩 (酸性)
- 2: 結晶質岩 (中・塩基性)
- 3: 新第三紀堆積岩 (砂質岩)
- 4: 新第三紀堆積岩 (泥質・凝灰質岩)
- 5: 先新第三紀堆積岩 (砂質岩)
- 6: 先新第三紀堆積岩 (泥質・凝灰質岩)

- ・観察できる亀裂の幅の幅は0.02cmであり、幅がそれ未満のものは0.001cmとして計算を行っている。
- ・幅の不明な亀裂は計算から除外している。



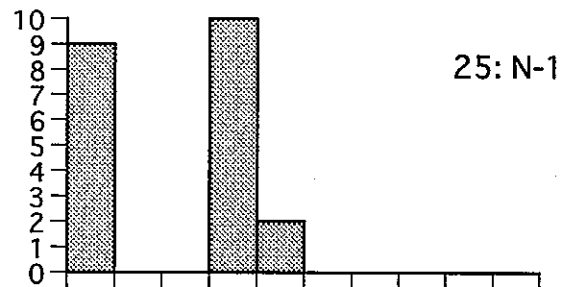
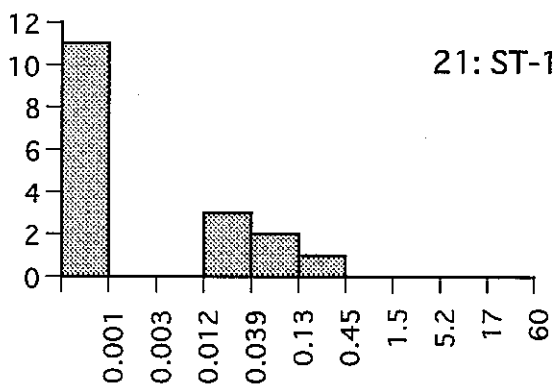
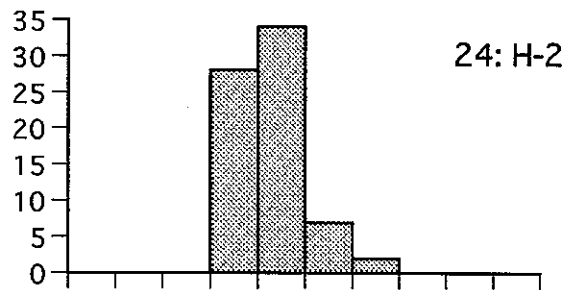
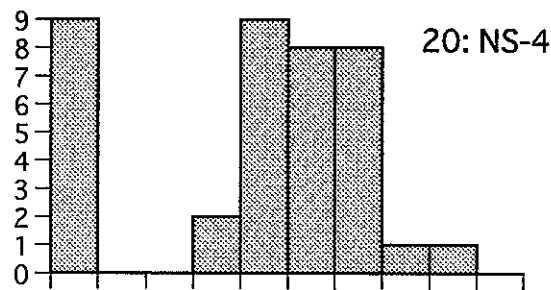
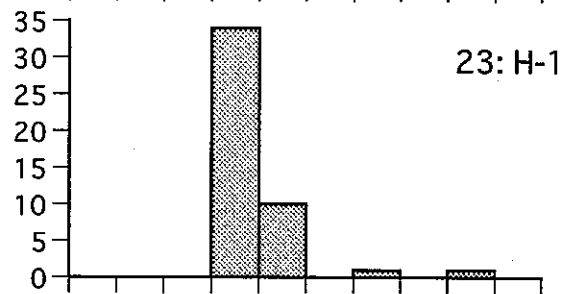
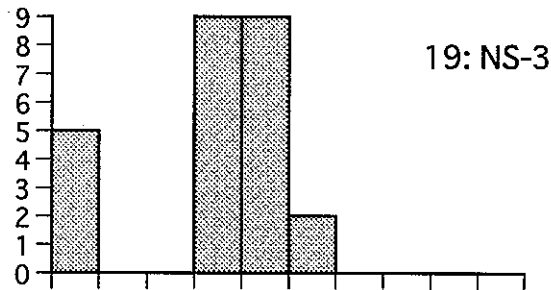
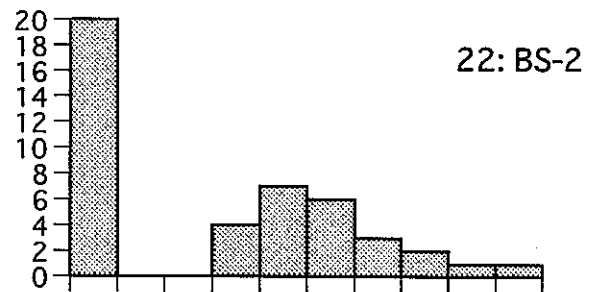
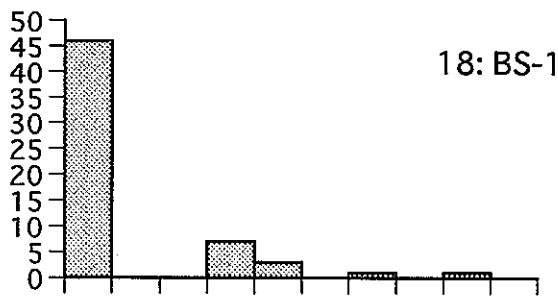
結晶質岩 (酸性)

図 3.2.1-15(1/6) 亀裂の幅のヒストグラム (結晶質岩: 酸性岩)

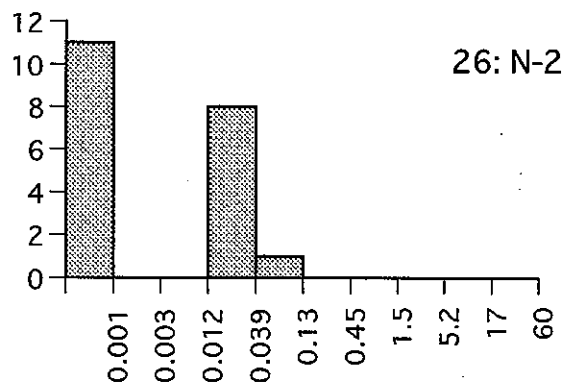


結晶質岩 (中・塩基性)

図 3.2.1-15(2/6) 亀裂の幅のヒストグラム(結晶質岩：塩基性岩)

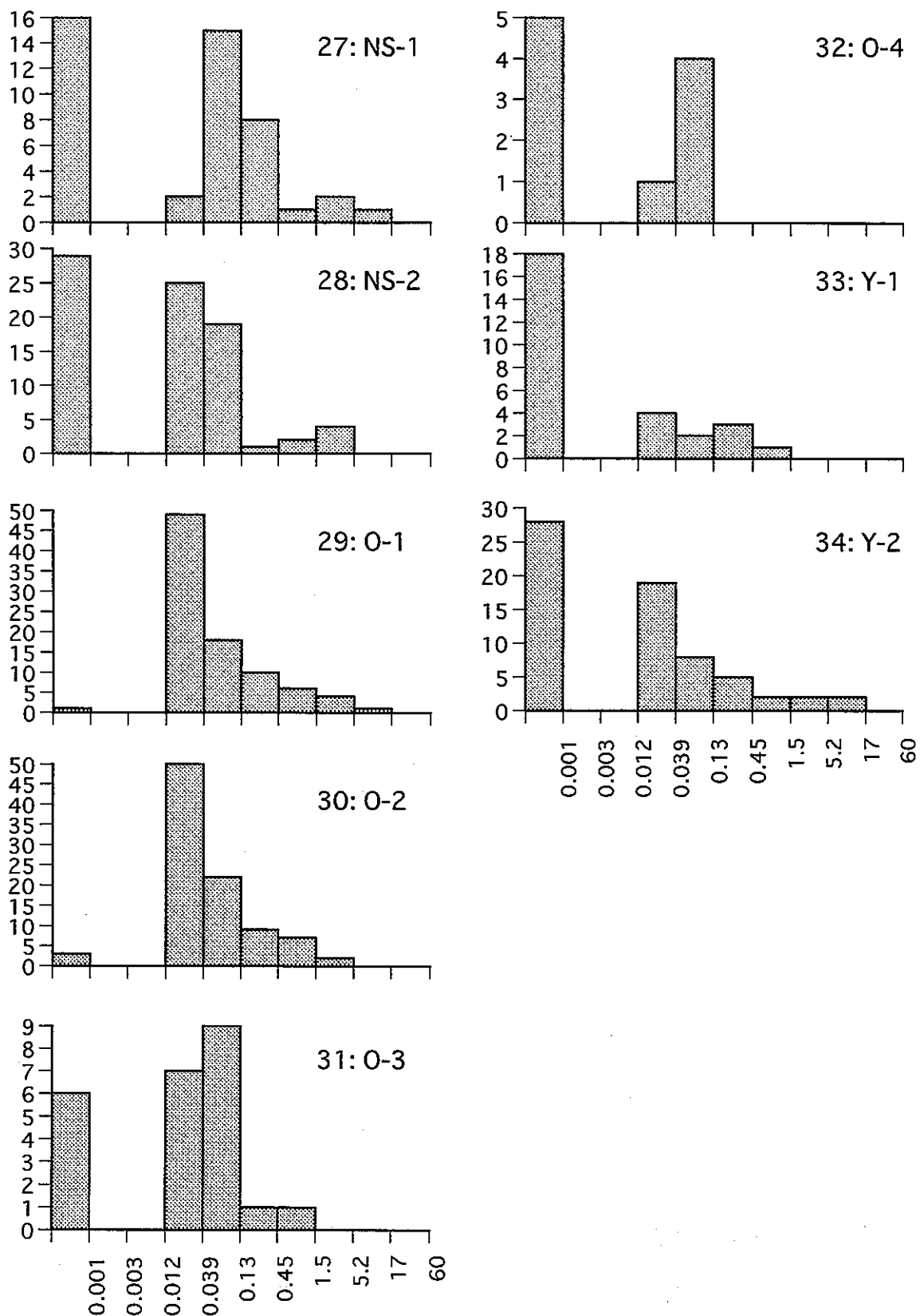


新第三紀堆積岩 (砂質岩)



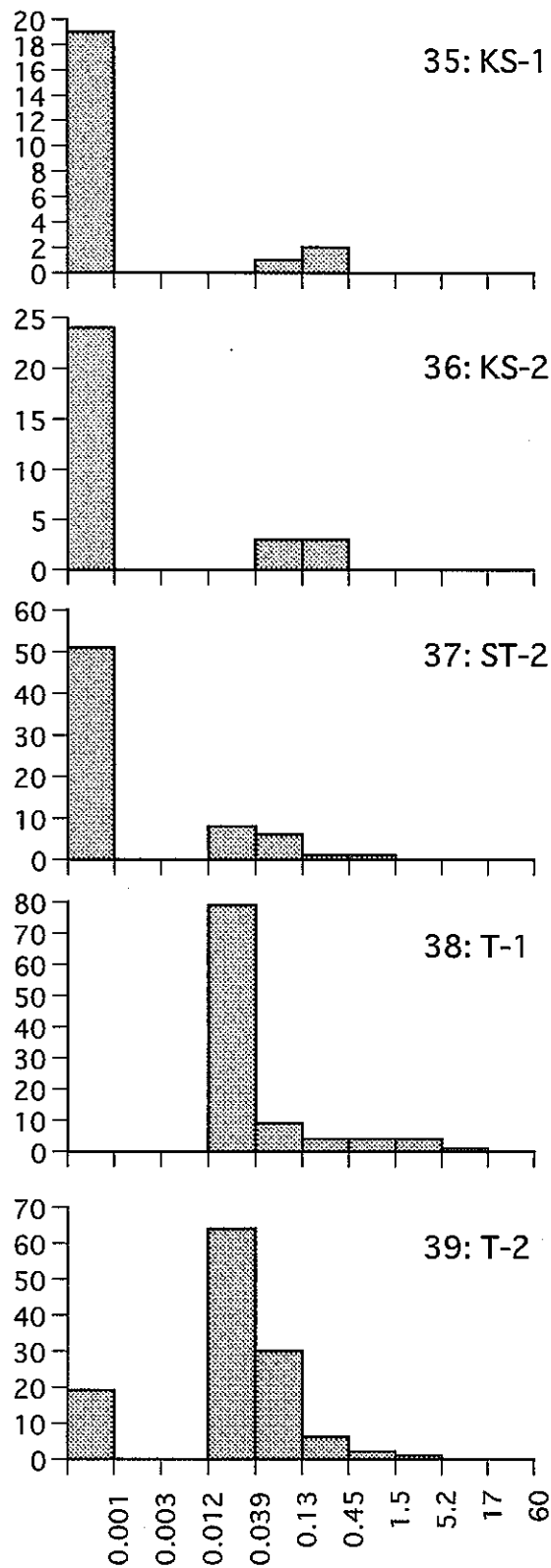
新第三紀堆積岩 (泥質・凝灰質岩)

図 3.2.1-15(3/6) 亀裂の幅のヒストグラム(新第三紀堆積岩：砂質岩及び泥質・凝灰質岩)



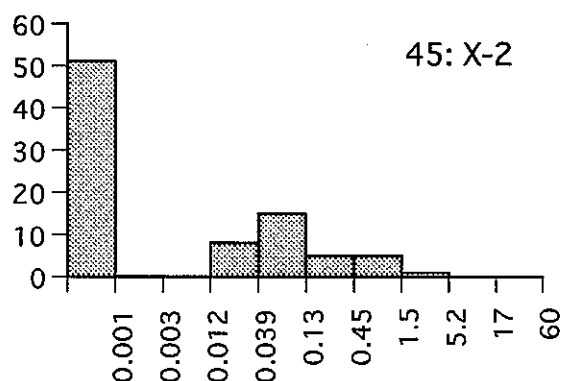
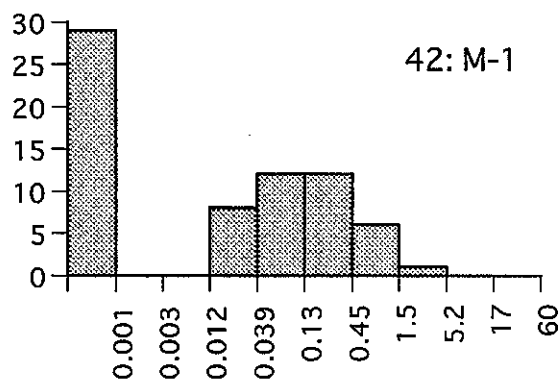
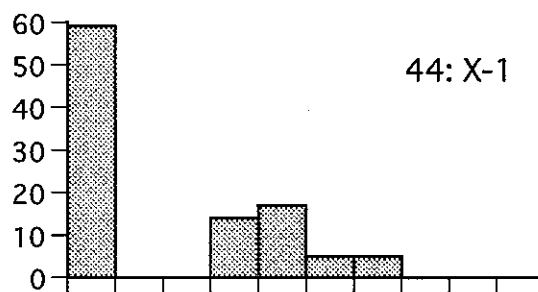
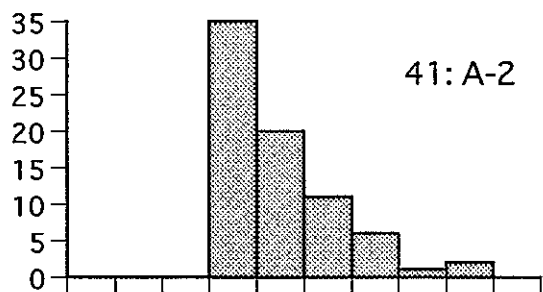
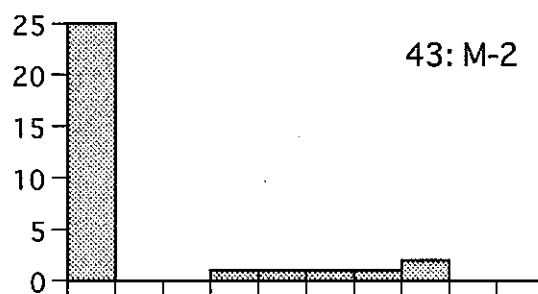
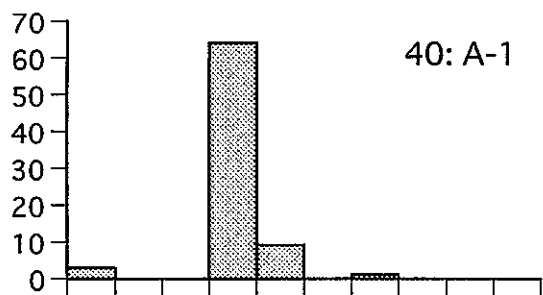
新第三紀堆積岩（泥質・凝灰質岩）

図 3.2.1-15(4/6) 亀裂の幅のヒストグラム(新第三紀堆積岩：泥質・凝灰質岩)



先新第三紀堆積岩 (砂質岩)

図 3.2.1-15(5/6) 亀裂の幅のヒストグラム (先新第三紀堆積岩：砂質岩)



先新第三紀堆積岩（泥質・凝灰質岩）

図 3.2.1-15(6/6) 亀裂の幅のヒストグラム(先新第三紀堆積岩：泥質・凝灰質岩)

図 3.2.1-15 の各ヒストグラムが単数または複数のモードを示していることから、亀裂幅の分布関数が対数正規分布に従うことを推定し、その分布を表現するのに必要な平均値（幾何平均値）及び標準偏差（常用対数値）を求めた結果を表 3.2.1-7 に示す。45 箇所のうち 13 箇所のデータでは、ヒストグラムにおいてモードが 2 つあると判断されたため 2 つの母集団が存在するものと考え、それぞれの母集団について統計値を求めた。

こうして推定された母集団を平均値±標準偏差の分布として図 3.2.1-16 に示した。亀裂幅の分布は岩種ごとの特徴（傾向）は特に認められないが、調査地域ごとに類似性が認められる。例えば、結晶質岩（酸性岩）において生野地域の調査箇所（I-1, I-2, I-3, I-4）と大隅地域（OS-1, OS-2）の亀裂幅の分布は異なるが、それぞれの地域内の各箇所では類似したパターンが認められる。これらことから、亀裂の開口幅の分布は岩石の種類にはあまり関係せず、むしろ地域ごとの構造運動や応力履歴との関係が強いことが考えられる。

(ii) 充填物

(a) 亀裂充填物の種類

亀裂充填物の種類は調査箇所によって様々であるが、充填物の成因等を考慮すると次のように分類することができる。

- ① 岩片及び碎屑物：岩片、細礫、砂、泥。
- ② 断層運動による破碎や亀裂形成後の岩石と地下水との反応により形成されたと考えられるもの：破碎状母岩物質（FR）、粘土がこれに相当すると考えられる。
- ③ 脈状鉱物：石英、方解石、硫化物。これらは熱水作用の影響により形成されたものと考えられる。
- ④ 風化の影響により生成されたもの：マンガン酸化物、酸化鉄・水酸化鉄（goe）が観察されたが、これらは地下深部の還元環境においては存在しないものかも知れない。

表 3.2.1-8 に通常スケッチ箇所毎に肉眼で観察された亀裂充填物の種類と観察数（割合）を示す。この整理結果から以下のことを指摘することができる。

- ・ 風化の影響によるもの（酸化鉄・水酸化鉄等）を除けば、亀裂には充填物を含むものと含まないものがあること。また、その割合はサイトごとに多様であること。
- ・ 充填物の種類も様々であるが、一般的には粘土や破碎状母岩物質を伴う亀裂が多い。
- ・ 脈状鉱物が存在するサイトも少なくない。

詳細スケッチ調査で記載した亀裂充填物のデータを表 3.2.1-9 に示す。詳細スケッチではそ

表 3.2.1-7 亀裂幅の推定される母集団の統計値

番号	箇所	岩種	母集団1			母集団2		
			本数	幾何平均 (cm)	標準偏差 (対数値)	本数	幾何平均 (cm)	標準偏差 (対数値)
1	I-1	1	99	0.031	0.389	-	-	-
2	I-2	1	82	0.052	0.677	-	-	-
3	I-3	1	131	0.029	0.462	-	-	-
4	I-4	1	80	0.027	0.393	-	-	-
5	OS-1	1	8	0.001	0.000	16	2.445	0.627
6	OS-2	1	23	0.001	0.000	21	0.456	0.549
7	A-3	2	76	0.042	0.428	-	-	-
8	A-4	2	96	0.040	0.583	-	-	-
9	HM-1	2	13	0.001	0.000	24	0.203	0.493
10	HM-2	2	15	0.001	0.000	16	0.109	0.443
11	S-1	2	72	0.153	0.563	-	-	-
12	S-2	2	88	0.203	0.678	-	-	-
13	SB-1-A	2	98	0.017	0.814	-	-	-
14	SB-1-B	2	34	0.005	0.968	-	-	-
15	SB-2	2	65	0.008	0.756	-	-	-
16	YN-1	2	17	0.001	0.000	35	0.215	0.500
17	YN-2	2	2	0.001	0.000	8	0.444	0.813
18	BS-1	3	54	0.002	0.799	-	-	-
19	NS-3	3	25	0.022	0.764	-	-	-
20	NS-4	3	9	0.001	0.000	29	0.260	0.634
21	ST-1	3	17	0.004	0.853	-	-	-
22	BS-2	4	20	0.001	0.000	24	0.252	0.897
23	H-1	4	46	0.030	0.479	-	-	-
24	H-2	4	71	0.047	0.396	-	-	-
25	N-1	4	21	0.007	0.753	-	-	-
26	N-2	4	20	0.004	0.720	-	-	-
27	NS-1	4	16	0.001	0.000	29	0.141	0.579
28	NS-2	4	80	0.013	1.000	-	-	-
29	O-1	4	89	0.056	0.678	-	-	-
30	O-2	4	93	0.049	0.619	-	-	-
31	O-3	4	24	0.019	0.838	-	-	-
32	O-4	4	5	0.001	0.000	5	0.050	0.299
33	Y-1	4	28	0.005	0.959	-	-	-
34	Y-2	4	66	0.013	1.121	-	-	-
35	KS-1	5	19	0.001	0.000	3	0.252	0.348
36	KS-2	5	24	0.001	0.000	6	0.120	0.230
37	ST-2	5	67	0.003	0.738	-	-	-
38	T-1	5	101	0.039	0.608	-	-	-
39	T-2	5	122	0.022	0.697	-	-	-
40	A-1	6	77	0.025	0.357	-	-	-
41	A-2	6	75	0.068	0.661	-	-	-
42	M-1	6	29	0.001	0.000	39	0.131	0.580
43	M-2	6	31	0.003	1.066	-	-	-
44	X-1	6	100	0.006	0.988	-	-	-
45	X-2	6	85	0.006	1.045	-	-	-

岩種区分

- 1: 結晶質岩 (酸性)、2: 結晶質岩 (中・塩基性)
3: 新第三紀堆積岩 (砂質岩)、4: 新第三紀堆積岩 (泥質・凝灰質岩)
5: 先新第三紀堆積岩 (砂質岩)、6: 先新第三紀堆積岩 (泥質・凝灰質岩)

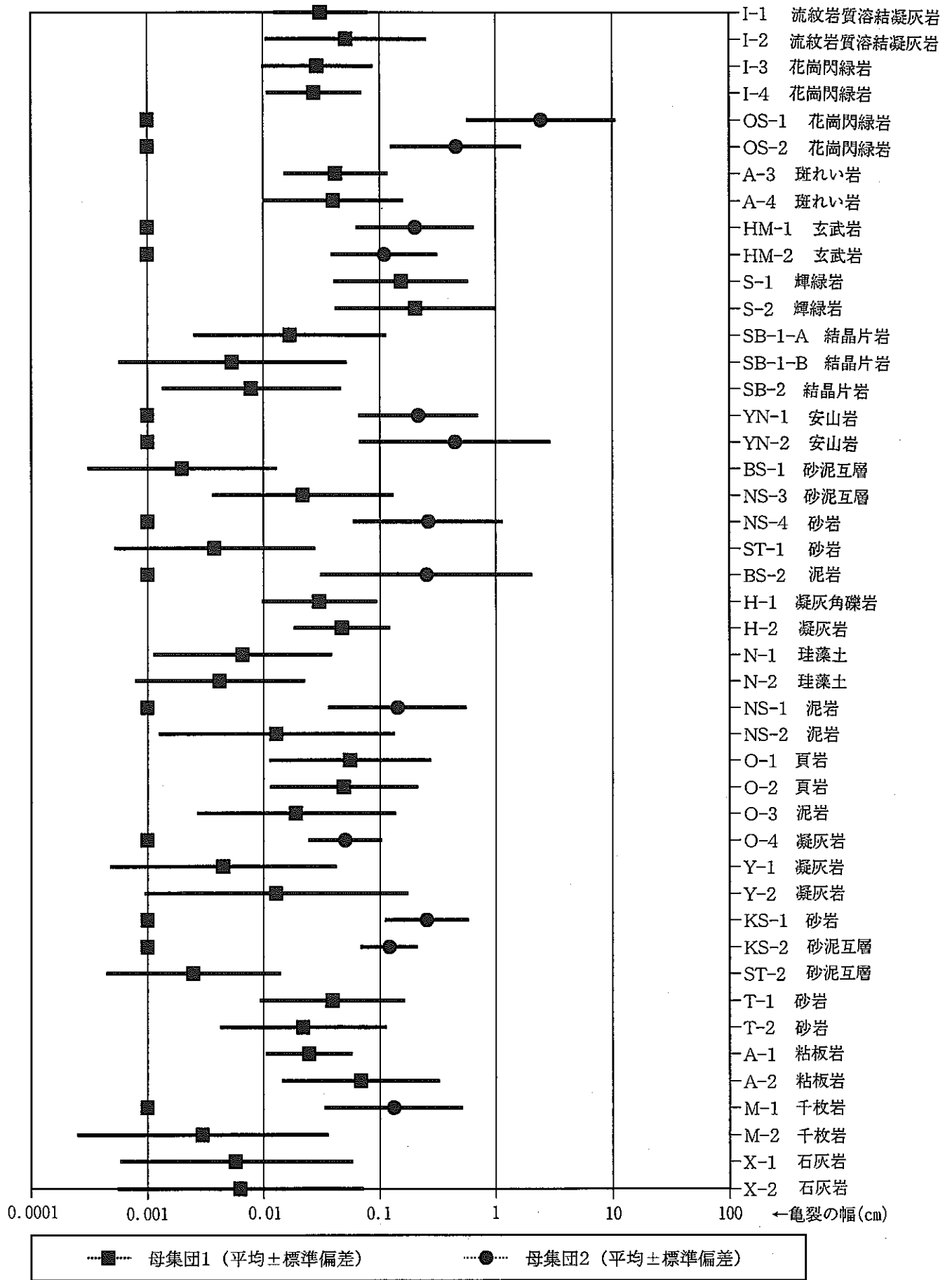


図 3.2.1-16 亀裂幅の推定される母集団の分布

表 3.2.1-8(1/3) 通常スケッチ調査により観察された亀裂充填物の種類(結晶質岩)

岩種	通常スケッチ箇所		種類	亀裂充填物(数字は本数、カッコ内は全体の割合)												
				あり*	なし	岩片・碎屑物				破碎/地下水の影響		脈状鉱物			風化の影響	
						岩片	細礫	砂	泥	fR	粘土	石英	方解石	硫化物	Mn酸化物	goe
結晶質岩 (酸性岩)	1	I-1	f	1	0	-	-	-	-	-	1(100%)	-	-	1(100%)	-	1(100%)
			j	29	69	-	-	-	-	-	27(27%)	-	-	11(11%)	-	95(96%)
	2	I-2	f	10	4	-	-	-	-	-	10(71%)	-	-	-	-	12(85%)
			j	15	46	-	-	-	-	-	14(22%)	1(1%)	-	1(1%)	-	57(93%)
	3	I-3	v	7	0	-	-	-	-	-	1(14%)	3(42%)	-	5(71%)	-	1(14%)
			f	3	0	-	1(33%)	-	-	-	3(100%)	-	-	-	-	2(66%)
	4	I-4	j	28	100	-	-	-	-	-	28(21%)	1(1%)	-	-	-	123(96%)
			j	0	79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	79(100%)
	5	OS-1	v	1	0	-	-	-	-	-	-	1(100%)	-	-	-	1(100%)
			f	1	2	-	-	-	-	1(33%)	-	-	-	-	-	-
	6	OS-2	j	13	10	13(56%)	-	-	-	-	-	-	1(4%)	-	-	-
			f	3	0	-	-	-	-	2(66%)	3(100%)	1(33%)	-	-	-	-
7	A-3	j	18	23	-	-	-	-	9(21%)	8(19%)	2(4%)	-	-	-	-	
		f	1	0	-	-	-	-	-	1(100%)	-	-	-	-	1(100%)	
8	A-4	j	32	43	-	-	-	-	-	20(26%)	13(17%)	-	-	-	67(89%)	
		v	8	0	-	-	-	-	-	-	8(100%)	-	-	-	6(75%)	
9	HM-1	f	10	1	4(36%)	-	-	-	-	8(72%)	4(36%)	-	-	-	9(81%)	
		j	26	51	1(1%)	-	-	-	-	25(32%)	3(3%)	-	-	-	75(97%)	
10	HM-2	v	8	0	-	-	-	-	-	-	8(100%)	-	-	-	3(37%)	
		f	1	0	-	-	-	-	1(100%)	1(100%)	-	-	-	-	-	
11	S-1	j	28	18	10(21%)	-	-	16(34%)	-	10(21%)	-	-	-	-	1(2%)	
		j	18	24	-	-	-	16(38%)	1(2%)	2(4%)	-	-	-	-	-	
12	S-2	f	7	0	-	-	-	-	-	4(57%)	4(57%)	-	-	-	7(100%)	
		j	15	8	-	-	-	-	-	1(4%)	15(65%)	-	-	-	19(82%)	
13	SB-1A	v	42	0	-	-	-	-	-	6(14%)	42(100%)	42(100%)	-	-	14(33%)	
		f	30	7	-	-	-	-	20(54%)	1(2%)	15(40%)	-	-	-	23(62%)	
14	SB-1B	j	6	3	-	-	-	-	-	1(11%)	5(55%)	5(55%)	-	-	8(88%)	
		v	42	0	-	-	-	-	4(9%)	1(2%)	42(100%)	42(100%)	-	-	9(21%)	
15	SB-2	f	7	1	-	-	-	-	2(25%)	-	-	5(62%)	-	-	6(75%)	
		j	28	63	-	-	-	-	3(3%)	-	3(3%)	7(7%)	-	-	78(85%)	
16	YN-1	j	12	24	-	-	-	-	-	-	-	6(16%)	-	-	18(50%)	
		v	1	0	-	-	-	-	-	-	-	1(100%)	-	-	1(100%)	
17	YN-2	f	?	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		j	?	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18	YN-1	cv	20	0	-	-	1(5%)	-	-	20(100%)	-	-	-	-	2(10%)	
		f	4	0	-	3(75%)	-	-	-	4(100%)	-	-	-	-	-	
19	YN-2	j	5	30	-	-	3(8%)	2(5%)	-	3(8%)	-	-	-	-	2(5%)	
		f	1	0	-	1(100%)	1(100%)	-	-	-	-	-	-	-	-	
20	YN-2	j	7	2	-	2(22%)	4(44%)	7(77%)	-	-	-	-	-	-	-	

表 3.2.1-8(2/3) 通常スケッチ調査により観察された亀裂充填物の種類(新第三紀堆積岩)

岩種	通常スケッチ箇所		種類	亀裂充填物(数字は本数、カッコ内は全体の割合)												
				あり*	なし	岩片・碎屑物				破碎/地下水の影響		脈状鉱物			風化の影響	
						岩片	細礫	砂	泥	fR	粘土	石英	方解石	硫化物	Mn酸化物	goe
新第三紀堆積岩 (砂質岩)	18	BS-1	f	3	13	-	-	-	-	2(12%)	2(12%)	-	-	-	-	1(6%)
			j	7	39	-	-	-	-	3(6%)	7(15%)	-	-	-	-	3(6%)
	19	NS-3	f	0	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			j	0	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21(77%)
	20	NS-4	f	6	0	-	1(16%)	6(100%)	3(50%)	-	-	-	-	-	-	5(83%)
			j	12	21	-	-	8(24%)	6(18%)	-	1(3%)	-	-	-	-	23(69%)
21	ST-1	f	2	1	-	-	-	-	2(66%)	-	-	-	-	-	1(33%)	
		j	2	12	-	-	-	-	1(7%)	1(7%)	-	-	-	-	3(21%)	
新第三紀堆積岩 (泥質・凝灰質岩)	22	BS-2	f	14	5	-	-	-	-	14(73%)	-	-	-	-	-	2(10%)
			j	4	22	4(15%)	-	-	-	1(3%)	-	-	-	-	-	5(19%)
	23	H-1	f	3	0	-	-	-	-	-	3(100%)	3(100%)	-	-	-	1(33%)
			j	41	2	-	-	-	-	-	41(95%)	-	-	-	-	3(6%)
	24	H-2	f	1	0	-	-	-	-	-	1(100%)	-	-	-	-	1(100%)
			j	1	55	-	-	-	-	-	-	55(98%)	-	-	-	56(100%)
	25	N-1	f	14	0	-	-	-	-	-	-	14(100%)	-	-	-	14(100%)
			v	14	0	-	-	-	-	-	-	-	14(100%)	-	-	-
	26	N-2	j	3	19	-	-	-	-	-	3(13%)	-	-	-	-	12(54%)
	27	NS-1	f	17	3	-	-	-	-	-	3(15%)	-	-	-	-	9(45%)
			j	1	0	-	-	-	1(100%)	-	-	-	-	-	-	-
	28	NS-2	f	8	47	4(7%)	1(1%)	-	3(5%)	-	3(5%)	-	-	-	-	25(45%)
			j	4	0	-	-	-	4(100%)	-	3(75%)	-	-	-	-	-
	29	O-1	f	0	82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	49(59%)
			j	1	1	-	-	-	-	-	1(50%)	-	-	-	-	2(100%)
	30	O-2	f	13	64	-	-	-	-	-	12(15%)	1(1%)	-	-	-	76(98%)
			v	10	0	-	-	-	-	1(10%)	-	9(90%)	-	2(20%)	-	5(50%)
	31	O-3	f	29	47	-	-	-	-	-	29(38%)	1(1%)	-	-	-	73(96%)
			v	18	0	-	-	-	-	-	9(50%)	18(100%)	-	3(16%)	-	11(61%)
	32	O-4	f	1	0	-	-	-	-	-	1(100%)	-	-	-	-	1(100%)
			j	15	8	-	-	-	-	13(56%)	4(17%)	-	-	-	-	8(34%)
	33	Y-1	f	4	0	-	-	-	-	-	4(100%)	-	-	-	-	1(25%)
j			1	5	-	-	-	-	-	1(16%)	-	-	-	-	-	
34	Y-2	f	22	18	-	-	-	-	22(55%)	-	-	-	-	16(40%)	2(5%)	
		j	2	0	2(100%)	-	-	-	2(100%)	-	-	-	-	-	1(50%)	
			j	31	37	3(4%)	-	-	-	28(41%)	-	-	-	13(19%)	31(45%)	

表 3.2.1-8(3/3) 通常スケッチ調査により観察された亀裂充填物の種類(先新第三紀堆積岩)

岩種	通常スケッチ箇所	種類	亀裂充填物(数字は本数、カッコ内は全体の割合)													
			あり*	なし	岩片・碎屑物				破碎/地下水の影響		脈状鉱物			風化の影響		
					岩片	細礫	砂	泥	fR	粘土	石英	方解石	硫化物	Mn酸化物	goe	
先新第三紀堆積岩 (砂質岩)	35	KS-1	j	2	20	-	-	-	-	2(9%)	-	-	-	-	-	-
	36	KS-2	j	0	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1(3%)
			v	5	0	-	-	-	-	1(20%)	-	5(100%)	-	-	-	1(20%)
	37	ST-2	f	4	0	-	-	-	-	-	4(100%)	-	-	-	-	4(100%)
			j	9	54	-	-	-	-	-	9(14%)	-	-	-	-	7(11%)
	38	T-1	f	15	7	1(4%)	-	-	-	-	15(68%)	-	1(4%)	1(4%)	-	22(100%)
			j	12	67	-	-	-	-	-	8(10%)	6(7%)	-	-	-	73(92%)
			v	6	0	-	-	-	-	-	2(33%)	6(100%)	-	-	-	2(33%)
	39	T-2	f	15	2	1(5%)	-	-	-	-	13(76%)	-	1(5%)	-	-	16(94%)
			j	14	88	-	-	-	-	-	10(9%)	1	-	3(2%)	-	81(79%)
v			3	0	-	-	-	-	-	-	3(100%)	-	-	-	1(33%)	
先新第三紀堆積岩 (泥質・凝灰質岩)	40	A-1	j	23	51	-	-	-	-	-	21(28%)	-	1(1%)	2(2%)	-	71(95%)
			v	3	0	-	-	-	-	-	3(100%)	3(100%)	-	-	-	3(100%)
	41	A-2	f	9	0	-	-	-	-	-	9(100%)	2(22%)	-	-	-	9(100%)
			j	14	46	-	-	-	-	-	14(23%)	3(5%)	-	1(1%)	-	60(100%)
			v	6	0	-	-	-	-	-	1(16%)	6(100%)	-	-	-	4(66%)
	42	M-1	f	2	0	-	-	-	-	2(100%)	2(100%)	-	-	-	-	2(100%)
			j	19	32	-	-	-	-	4(7%)	10(19%)	11(21%)	-	-	-	8(15%)
	43	M-2	v	15	0	-	-	-	-	-	1(6%)	15(100%)	-	-	-	5(33%)
			f	4	0	-	-	-	-	4(100%)	4(100%)	-	-	-	-	1(25%)
	44	X-1	j	2	25	-	-	-	-	-	2(7%)	-	-	-	-	2(7%)
			j	34	70	3(2%)	-	-	-	3(2%)	27(25%)	-	9(8%)	-	-	43(41%)
	45	X-2	v	1	0	-	-	-	-	-	1(100%)	-	1(100%)	-	-	1(100%)
			f	3	0	-	-	-	-	2(66%)	3(100%)	-	-	-	-	3(100%)
			j	11	65	-	-	-	-	1(1%)	8(10%)	-	-	-	-	19(25%)
				v	11	0	-	-	-	-	-	10(90%)	-	3(27%)	-	11(100%)

*:風化の影響によるもの(酸化鉄・水酸化鉄及びMn酸化物)は含まない。

亀裂充填物:

岩片:中礫サイズ以上のものを言う。fR:破碎状母岩物質、goe:酸化鉄・水酸化鉄

表 3.2.1-9(1/3) 詳細スケッチ調査により観察された亀裂充填物及び空隙に関するデータ (結晶質岩)

岩種	通常スケッチ箇所	詳細スケッチ番号	亀裂の種類	タ亀イ裂の	充填物											観察区間長 (cm)	充填物断面積 (cm ²)	空隙の個数				空隙断面積計 (cm ²)	空隙/充填物比					
					岩片・碎屑物				破碎/地下水		脈状鉱物			風化の影響				固結度	結晶度	a	b			c	計			
					岩片	細礫	砂	泥	fR	粘土	石英	方解石	硫化物	硫酸化物	goe													
結晶質岩 (酸性岩)	1	I-1	I-1:K-1	節理	A	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	○	3	2	80	10.5	1	4	10	15	0.2935	0.027952		
			I-1:K-2	節理	A	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	○	3	2	70	0	0	0	0	0	0	-	
			I-1:K-3	断層	B	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-	○	2	1	80	32.6	0	0	0	0	0	0	0
	2	I-2	I-2:K-1	断層	B	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-	○	3	1	80	217	0	0	0	0	0	0	0
			I-2:K-2	断層	B	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	○	3	1	100	78.5	0	0	0	0	0	0	0
	5	OS-1	OS-1:K-1	節理	B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	0	0	0	0	0	0	0	
			OS-1:K-2	断層	B	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	3	1	100	18	7	2	0	9	1.33875	0.074375	
			OS-1:K-3	断層	(B)	-	-	-	-	(○)	-	-	-	-	-	-	-	3	3	100	746	0	0	0	0	0	0	0
	6	OS-2	OS-2:K-1	断層	B	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-	-	2	1	80	236	2	1	0	3	0.215	0.000911	
			OS-2:K-2	断層	B	-	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-	2	2	100	142	0	0	0	0	0	0	0
OS-2:K-3			節理	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	0	0	0	0	0	0	0	-	
結晶質岩 (塩基性岩)	7	A-3	A-3:K-1	断層	B	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-	○	2	1	60	8.65	0	0	0	0	0	0		
			A-3:K-3	節理	A	-	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-	2	2	30	3.3	2	1	0	3	0.01025	0.003106	
	8	A-4	A-4:K-1	断層	B	-	-	-	-	○	-	○	-	○	-	○	2	2	60	299.5	0	0	6	6	0.00495	1.65E-05		
			A-4:K-2	断層	B	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-	○	2	2	40	393.5	0	0	0	0	0	0	0
			A-4:K-3	断層	B	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-	○	3	1	30	79.6	0	0	0	0	0	0	0
	9	HM-1	HM-1:K-1	節理	A	-	-	-	-	-	○	-	○?	-	-	-	2	2	70	0.6	0	0	0	0	0	0	0	
			HM-1:K-2	節理	A	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	2	1	100	10.8	0	0	0	0	0	0	0
			HM-1:K-3	断層	B	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-	-	1	1	100	132.75	0	0	0	0	0	0	0
	10	HM-2	HM-2:K-1	節理	A	-	-	-	-	-	○	-	○?	-	-	-	2	2	100	8.7	0	0	0	0	0	0	0	
			HM-2:K-2	節理	A	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	2	1	100	3	0	0	0	-	0	0	0	
			HM-2:K-3	節理	A	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	2	1	100	0	0	0	0	-	0	-	0	
	11	S-1	S-1:K-1	断層	C	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-	○	1	1	100	11.15	0	0	0	0	0	0	0	
	12	S-2	S-2:K-1	断層	B	-	-	-	-	○	○	○	-	-	-	○	3	2	80	238.1	0	0	0	0	0	0	0	
	13	SB-1-A	SB-1:K-1	断層	B	-	-	-	-	○	-	○	-	-	-	○	3	2	100	77	0	0	0	0	0	0	0	
	15	SB-2	SB-2:K-1	節理	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	2	1	100	2	0	0	0	0	0	0	0	
			SB-2:K-2	断層	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	2	1	100	2	0	0	0	0	0	0	0	
			SB-2:K-3	節理	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	2	1	100	5.95	0	0	0	0	0	0	0	0
16	YN-1	YN-1:K-1	断層	B	-	○	○	-	-	○	-	-	-	-	-	3	1	100	99.5	0	0	0	0	0	0	0		
		YN-1:K-3	節理	C	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	2	1	100	17.5	8	7	0	15	1.3605	0.077743			
17	YN-2	YN-2:K-2	断層	B	-	○	○	-	-	○	-	-	-	-	-	2	1	100	51.25	0	4	0	4	3.64	0.071024			

表 3.2.1-9(2/3) 詳細スケッチ調査により観察された亀裂充填物及び空隙に関するデータ (新第三紀堆積岩)

岩種	通常スケッチ箇所	詳細スケッチ番号	亀裂の種類	夕亀イ裂プの	充填物											観察区間長 (cm)	充填物断面積 (cm ²)	空隙の個数				空隙断面積計 (cm ²)	空隙/充填物比			
					岩片・碎屑物				破碎/地下水		脈状鉱物			風化の影響				固結度	結晶度	a	b			c	計	
					岩片	細礫	砂	泥	fR	粘土	石英	方解石	硫化物	硫酸化物	goe											
新第三紀堆積岩 (砂質岩)	18	BS-1	BS-1:K-1	断層	B	○	-	-	○	-	-	-	-	-	-	3	1	100	326.5	0	0	0	0	0	0	0
			BS-1:K-3	断層	A	-	-	-	-	○?	-	-	-	-	-	-	2	1	100	0.9	0	0	0	0	0	0
	19	NS-3	NS-3:K-2	節理	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	50	1	0	0	9	9	0.19788	0.197875	
			NS-4	NS-4:K-1	断層	B	-	-	○	-	-	○	-	-	-	○	1	1	100	79.25	0	0	2	2	0.0185	0.000233
	新第三紀堆積岩 (泥質・凝灰質岩)	20	NS-4	NS-4:K-2	節理	B	-	-	○	-	-	○	-	-	-	○	2	1	100	20.25	5	1	0	6	1.33818	0.066083
				ST-1	ST-1:K-1	断層	B	-	-	○	-	-	-	-	-	-	○	3	1	80	21	0	0	5	5	0.0109
21		ST-1	ST-1:K-2	節理	A	-	-	-	-	○	-	-	-	-	○	3	2	100	5	2	3	1	6	0.00415	0.00083	
			ST-1:K-3	節理	A	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	2	1	30	0	3	0	0	3	0.0345	-	
22		BS-2	BS-2:K-1	節理群	C	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1	100	83	3	4	1	8	5.84	0.070361	
			BS-2:K-2	断層	B	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	3	1	90	36	0	0	0	0	0	0	0
23	H-1	H-1:K-1	断層	B	-	-	-	○	○	○	-	-	-	-	2	1	100	106.5	0	0	5	5	0.01775	0.000167		
25	N-1	N-1:K-1	節理	A	-	-	-	-	-	○	-	-	-	○	2	1	100	1.45	0	1	0	1	0.00188	0.001293		
27	NS-1	NS-1:K-1	節理	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	1	1	60	0	3	0	0	3	0.01875	-		
		NS-1:K-2	節理	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	2	1	60	0	1	0	0	1	0.018	-		
28	NS-2	NS-1:K-3	断層	B	-	-	-	○	-	○	-	-	-	○	2	1	80	63.45	3	2	0	5	0.01268	0.0002		
		NS-2:K-2	節理	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	2	1	60	0	2	0	0	2	0.2625	-		
29	0-1	NS-2:K-3	節理	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	2	1	40	0	2	0	0	2	0.50375	-		
		0-1:K-1	節理	C	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	○	1	1	70	2.2	2	0	0	2	0.00125	0.000568	
30	0-2	0-1:K-3	断層	A-B	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-	○	1	1	70	13.2	3	0	0	3	0.00158	0.000119	
		0-2:K-2	節理	A	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	○	1	1	40	2	0	1	10	11	0.01953	0.009763	
31	0-3	0-2:K-3	節理	A	-	-	-	○	-	○	-	-	-	-	2	1	100	1	2	0	2	4	0.029	0.029		
		0-3:K-1	節理	A	-	-	-	○	-	○	-	-	-	-	2	1	80	4.5	10	6	16	32	0.21498	0.047772		
32	0-4	0-3:K-2	節理	A	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	2	1	100	0	13	0	0	13	0.14528	-		
		0-3:K-3	節理	A	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	○	1	1	100	0	2	0	0	2	0.0375	-	
33	Y-1	0-4:K-1	断層	A	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	1	1	100	6	0	0	27	27	0.23605	0.039342		
		0-4:K-2	断層	A-B	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-	1	1	100	6	0	0	10	10	0.02875	0.004792	
34	Y-2	0-4:K-3	断層	B	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-	1	1	100	78	0	6	1	7	0.04825	0.000619		
		Y-1:K-1	節理	A	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	2	1	90	3.8	0	0	0	0	0	0	0	
33	Y-1	Y-1:K-2	節理	C	-	-	-	-	○	-	-	-	-	○	3	1	100	4.2	0	0	0	0	0	0	0	
		Y-1:K-3	節理	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	80	0.4	0	0	0	0	0	0	0	
34	Y-2	Y-2:K-1	断層	B	-	-	-	-	○	-	-	-	-	○	2	1	90	36.5	0	0	0	0	0	0	0	
		Y-2:K-2	節理	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	2	1	100	5	0	0	0	0	0	0	0
34	Y-2	Y-2:K-3	節理	A	-	-	-	-	○	-	-	-	-	○	2	1	60	6.45	0	0	0	0	0	0	0	0

表 3.2.1-9(3/3) 詳細スケッチ調査により観察された亀裂充填物及び空隙に関するデータ (先新第三紀堆積岩)

岩種	通常スケッチ箇所	詳細スケッチ番号	亀裂の種類	タ亀 イ裂 ブの	充填物										観察区 間長 (cm)	充填物 断面積 (cm ²)	空隙の個数				空隙断 面積計 (cm ²)	空隙/充 填物比				
					岩片・碎屑物				破碎/地下水		脈状鉱物		風化の影響				固結 度	結晶 度	a	b			c	計		
					岩片	細礫	砂	泥	fR	粘土	石英	方解石	硫化物	硫酸化物											goe	
先新第三紀堆積岩 (砂質岩)	35	KS-1	KS-1:K-1	断層	(B)	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-
			KS-1:K-2	断層	(B)	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-
			KS-1:K-3	断層	(B)	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	○	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	36	KS-2	KS-2:K-1	脈	A	-	-	-	-	○	-	○	-	-	-	-	3	2	80	4.3	7	1	2	10	0.03813	0.008866
			KS-2:K-3	節理	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	2	1	40	0.5	1	0	0	1	0.0004	0.0008
	37	ST-2	ST-2:K-1	節理	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	1	1	30	0	5	0	0	5	0.02125	-
ST-2:K-2			節理	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	1	1	30	0.3	0	0	0	0	0	0	
先新第三紀堆積岩 (泥質・凝灰質岩)	40	A-1	A-1:K-2	節理	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	2	2	60	3.3	0	0	0	0	0	0
			A-1:K-3	節理	A	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	○	2	2	40	3.15	0	0	0	0	0	0
	41	A-2	A-2:K-2	断層	B	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-	○	1	2	90	247.5	0	0	0	0	0	0
			M-1:K-1	断層	B	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	1	1	60	89	?	?	?	?	0	0
	42	M-1	M-1:K-2	節理	B'	-	-	-	-	-	○	○	-	-	-	○	1	2	30	9	0	3	3	6	0.00745	0.000828
			M-2:K-1	断層	B	-	-	-	-	○	○	○	-	-	-	-	1	2	100	87.5	0	0	0	0	0	0
	43	M-2	M-2:K-2	断層	B	-	-	-	-	○	○	○	-	-	-	-	1	2	100	271	0	0	0	0	0	0
			M-2:K-3	節理	A	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	1	1	60	0	4	0	0	4	0.0028	-
			X-1:K-1	節理	A	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	○	3	2	80	3.5	0	2	3	5	0.1045	0.029857
	44	X-1	X-1:K-2	脈	C	-	-	-	-	○	○	-	○	-	-	○	3	2	100	8.7	2	1	2	5	0.00838	0.000963
X-1:K-3			節理	C	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-	○	3	1	50	6.8	2	0	2	4	1.575	0.231618	
X-2:K-1			断層	A	-	-	-	-	○	○	○	-	-	-	○	2	1	80	3.3	0	1	16	17	0.11523	0.034917	
45	X-2	X-2:K-2	脈	A	-	-	-	-	○	-	○	-	-	-	○	3	2	100	34.2	0	0	0	0	0	0	
		X-2:K-3	断層	A	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	○	2	1	100	6.2	0	0	0	0	0	0	

亀裂のタイプ： A：単一な亀裂(石英等の細脈を含む)、B：明瞭な破碎帯を伴う、C：単一亀裂の密集帯、
B'：形態はBタイプに似ているが、充填物質が破碎によるものではなく、石英等、熱水活動によるもの。

充填物：fR:破碎状母岩物質、goe:酸化鉄・水酸化鉄

固結度：1:シャープペンの芯が容易に刺さる程度、2:ややささる程度、3:ささらない

結晶度：1:再結晶鉱物が認められない、2:充填物の一部が再結晶鉱物からなる、3:充填物のほぼ全体全部が再結晶鉱物からなる。

空隙の個数：

a: 空隙の両面が母岩のマトリクス部に直接接しているもの

b: 空隙の片側が母岩のマトリクス部に直接接しもう片側は割れ目充填物に接している状態、

c: 空隙が割れ目充填物内に存在している状態

それぞれの通常スケッチ箇所において顕著な亀裂や特徴的な構造を対象に実施している。この整理結果から以下のことが指摘される。

- ・ 脈状鉱物はそれ単独で観察されることもあるが、一般には他の充填物、特に破碎状母岩物質や粘土とともに存在する。
- ・ 充填物の固結度(シャープペンの入り具合で定性的に区分したものは2～3が多く、ある程度固結しているものが多い。

(b) 充填物と空隙の関係

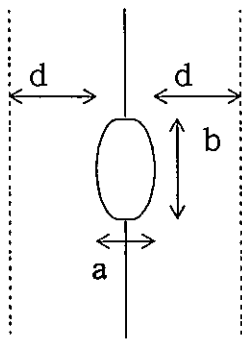
亀裂中の空隙は亀裂の内部構造(充填物)における位置関係から次の3つのタイプに分けられる(図3.2.1-17)。

- a: 空隙の両面が母岩のマトリクス部に直接接しているもの
- b: 空隙の片側が母岩のマトリクスに直接接し、もう片側は割れ目充填物に接している状態のもの
- c: 空隙が割れ目充填物内に存在している状態のもの

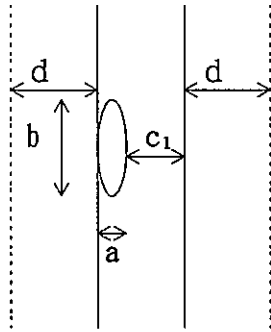
前出の表3.2.1-9には各詳細スケッチのデータから、観察区間長、観察範囲内の亀裂充填物の断面積(亀裂と直交する面における断面)、観察された空隙の個数を示した。空隙の個数は上記のa、b、cの各タイプごとに示した。また、空隙の断面積(同様に亀裂に直交する断面)を求め、亀裂充填物に占める空隙の割合を求めた。

図3.2.1-18は空隙の断面積が求まっているものについての空隙/充填物断面積比をグラフに示したものである。本グラフでは、充填物が風化によるものだけからなるもの(つまり風化がなければ充填物は本来存在しないと考えられるもの)は除外してある。亀裂の種類(節理、断層、脈、節理帯)ごと及び岩種ごとに見ても特に顕著な傾向は認められない。なお、空隙/充填物断面積比は最大0.23、最小 1.65×10^{-5} 、幾何平均値は 4.58×10^{-3} である。

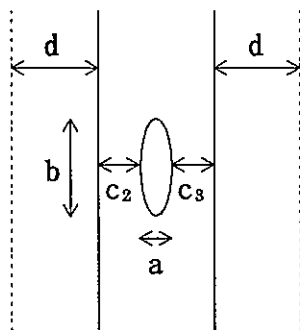
図3.2.1-19は観察区間内における亀裂充填物と空隙の断面積との関係を示したものである。本グラフも同様に、充填物が風化によるものだけからなるものは除外してある。あまり明瞭ではないが、グラフの左下から右上にかけて充填物の断面積が大きくなるほど空隙部分の断面積も大きくなる傾向を示している。また、その傾向とは別に本グラフの右部分に主として断層からなるデータが分布している。充填物の断面積が大きくなると(つまり亀裂の幅が大きいことにはほぼ対応する)詳細な空隙構造は観察からもれてしまう可能性があり、グラフの右部分に分布するデータはそのようなものである可能性もある。



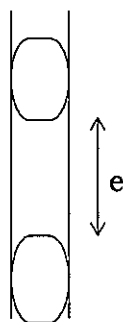
(a) : 空隙の両面が母岩のマトリクス部に直接接している状態。



(b) : 空隙の片側が母岩のマトリクス部に直接接し、もう片側は割れ目充填物に接している状態。



(c) : 空隙が割れ目充填物内に存在している状態



a : 割れ目面に直な方向の空隙の幅

b : 割れ目に沿った方向の空隙の長さ

$c_1, c_2 + c_3$: 割れ目充填物の幅 (割れ目面と空隙との間の割れ目充填物で詰まった部分の厚さ)

d : 割れ目に接するマトリクス部の変質ハロー

e : 空隙の間隔 (隣接する空隙相互の間の最短距離, (a)~(c)に属する空隙の相違を問わない。)

b/a : 空隙の幅に対する空隙の長さの比

c_2 (大きい値) / c_3 (小さい値) : 空隙両側の割れ目充填物の幅の比

図 3.2.1-17 空隙の幾何形状に関わるパラメータの説明図

充填物に占める空隙の断面積比

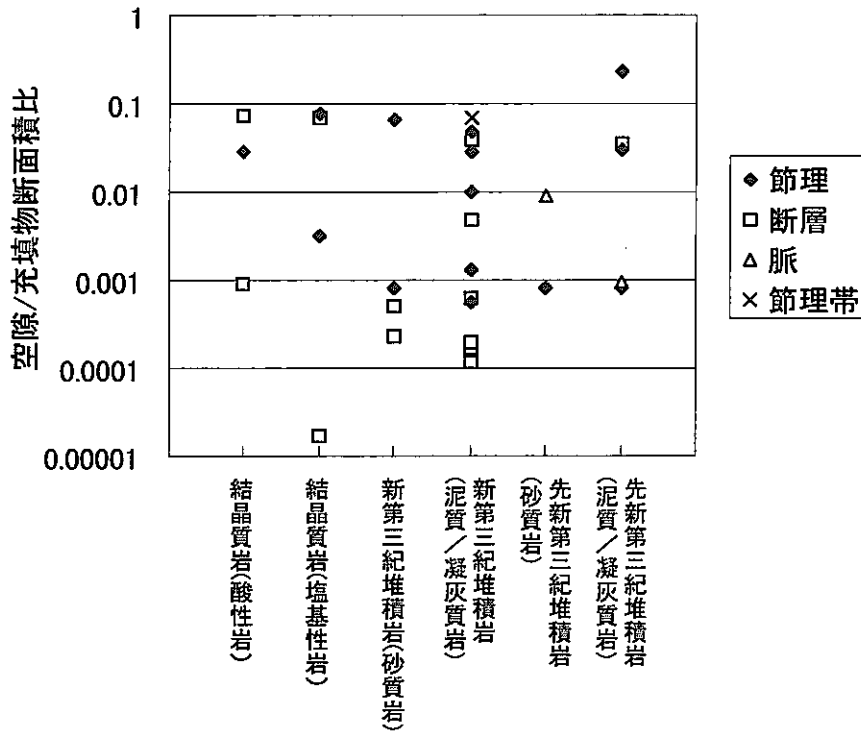


図3.2.1-18 空隙/亀裂充填物断面積比と岩種との関係

充填物と空隙の断面積の関係

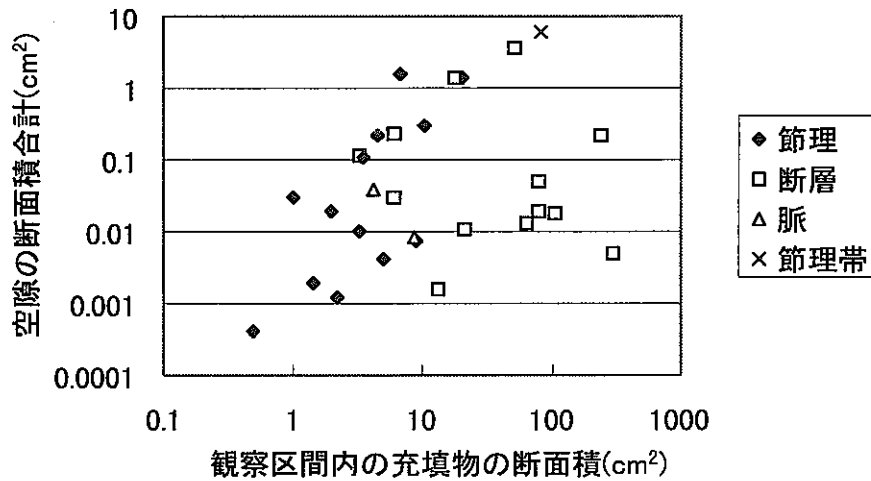


図3.2.1-19 詳細スケッチ観察区間内の亀裂充填物と空隙の断面積の関係

(c) 母岩及び充填物に含まれる鉱物

粉末X線回折分析によりマトリクス部及び亀裂充填物の構成鉱物を調べた結果、岩石を構成する造岩鉱物のほか、粘土鉱物、沸石鉱物等が多くの試料から同定された。

石英や長石類等の造岩鉱物は各岩石の主要な構成鉱物を反映していると考えられるが、同定された石英の一部(石英脈等)は熱水作用の結果生じたものである。

粘土鉱物は主として母岩の変質部、亀裂充填物及び堆積岩の母岩の試料において認められた。これらの粘土鉱物は、母岩の変質部においては岩石が熱水作用や急冷の影響を受けた際に生成し、亀裂充填物においては断層運動に伴う母岩の破碎に関連して生成されたと考えられる。堆積岩の母岩、とくに泥質岩には初生的な粘土鉱物が含まれているが、岩石形成後に続成変質や熱水変質を受け形成された粘土鉱物も存在する可能性がある。沸石類も熱水変質作用や続成変質作用によって生成されたものと考えられる。

下記の調査箇所ではマトリクス部と亀裂充填物の両方の試料からX線試験を行い比較を行った。その結果、同一の箇所では母岩と亀裂充填物を構成する鉱物の種類は大きく変わらないことがわかった。

- ・結晶質岩：明延鉱山(斑れい岩)、東松浦半島(玄武岩)、米山(安山岩)
- ・新第三紀堆積岩：高知県南西部(砂岩)、房総半島(泥岩)、常楽寺ルート(泥岩)、石黒川ルート(砂岩・泥岩)
- ・先新第三紀堆積岩：石灰岩、紀伊半島(砂岩)

(iii) 亀裂周辺の変質部

亀裂周辺の母岩の変質部は、特に空隙率の小さい岩石においてはマトリクス拡散しやすい領域として評価されるため、その存在の有無、頻度及び大きさについてデータをまとめる。なお、以下では亀裂周辺の母岩の変質部のことを「変質ハロー」と表現することとする。

(a) 変質ハローの種類

これまでに観察した結果から、変質ハローの成因からみた種類として次の3種類が考えられる。

- ① 過去の熱水変質作用によるもの。
- ② 風化による褐色～黒色の酸化帯。
- ③ 断層運動時に周囲岩盤まで破碎の影響が及んだもの。

上記のうち①は亀裂部を熱水が通りその周囲の母岩部までが変質を受けているものと考えら

れる。熱水変質によるものであるという判断は、断層や脈に沿って周囲の母岩が脱色化等していることによった。

上記の②は坑道掘削以後、または地下深部にあった岩石が地表付近まで達した以降に、亀裂部を酸化的な地下水が通り、その影響を受けて周囲の母岩が褐色または黒色に変質したものと考えられる。この場合、地下の還元的な環境においてはこのような変質ハローは存在しないと考えられる。②のような変質ハローは風化の進行によるものであるが、亀裂の周囲母岩中に地下水の溶存酸素が拡散(または移流・分散)により移行し、岩石中に存在していた黄鉄鉱などの鉱物を酸化させたことを示している。

上記③のケースは、はっきりとそうであるといえるデータは取得していないが、次の(b)項で述べるようにそれを示唆する事例があった。

(b) 通常スケッチ調査による変質ハローの観察状況

表 3.2.1-10 に通常スケッチ調査箇所毎に変質ハローの観察状況を示す。変質ハローが観察された箇所数は 14 で、そのうちの多くは風化によるものである。熱水変質によるものは S-1 箇所、X-1 箇所及び X-2 箇所認められた。OS-2 箇所では断層の上盤がやや軟質化・乳白色化しており、これは亀裂充填物との関係からみて断層運動による破碎の影響を受けた母岩部分がさらに風化により変質したように思われる。

通常スケッチ調査では変質ハローが観察されなかった箇所も多く、観察されてもごく一部の亀裂に限られる。しかし、露頭そのものが風化の影響を受けている等の原因によって、実際に亀裂沿いの変質ハローが存在していても肉眼では観察できないケースもあるものと考えられる。後に(3.2.3)述べるように、通常スケッチで変質ハローが観察できなかった亀裂でも室内樹脂浸透試験では亀裂沿いの変質部が確認できた例もある。

(c) 詳細スケッチ調査による変質ハローに関するデータ

表 3.2.1-11 は詳細スケッチ調査で得られた変質ハローのデータを整理したものである。詳細スケッチ調査では対象とする亀裂に沿って最大 100cm の区間のスケッチを実施している。本表には亀裂に沿って観察区間内での変質ハローの認められる範囲、変質ハローの平均幅、詳細スケッチの各位置(10cm 毎)における変質ハローの幅及び変質の種類を記載した。

(3) マトリクス部の特性

マトリクス部の特性に関しては、岩石(マトリクス)の間隙率に影響を及ぼす要因、マトリク

表 3.2.1-10 通常スケッチ調査による変質ハローに関する観察状況

岩種	サイト名	岩石名	変質ハローの観察状況	変質の種類
(酸性岩) 結晶質岩	(1)I-1	流紋岩質溶結凝灰岩	通常スケッチ調査では認められていない。	
	(2)I-2	流紋岩質溶結凝灰岩	通常スケッチ調査では認められていない。	
	(3)I-3	花崗閃緑岩	通常スケッチ調査では認められていない。	
	(4)I-4	花崗閃緑岩	通常スケッチ調査では認められていない。	
	(5)OS-1	花崗閃緑岩	通常スケッチ調査では認められていない。	
	(6)OS-2	花崗閃緑岩	41本の節理のうち3本、3本の断層のうち1本に変質ハローあり。	風化・断層運動の影響?
結晶質岩 (塩基性岩)	(7)A-3	斑れい岩	通常スケッチ調査では認められていない。	
	(8)A-4	斑れい岩	通常スケッチ調査では認められていない。	
	(9)HM-1	玄武岩	通常スケッチ調査では認められていない。	
	(10)HM-2	玄武岩	一部の節理の周囲に変質ハローあり	風化
	(11)S-1	輝緑岩	一部の断層の周囲に変質ハローあり	熱水変質
	(12)S-2	輝緑岩	通常スケッチ調査では認められていない。	
	(13)SB-1A	結晶片岩	通常スケッチ調査では認められていない。	
	(14)SB-1B	結晶片岩	通常スケッチ調査では認められていない。	
	(15)SB-2	結晶片岩	通常スケッチ調査では認められていない。	
	(16)YN-1	安山岩	通常スケッチ調査では認められていない。	
新第三紀堆積岩	(17)YN-2	安山岩	通常スケッチ調査では認められていない。	
	(18)BS-1	砂泥互層	節理46本中3本及び断層16本中1本に変質ハローあり	褐色酸化
	(19)NS-3	砂泥互層	節理27本中13本に変質ハローあり	褐色酸化
	(20)NS-4	砂岩	節理33本中16本及び断層6本中4本に変質ハローあり	褐色酸化
	(21)ST-1	砂岩	断層の一部及び節理の一部に変質ハローあり	褐色酸化
	(22)BS-2	泥岩	通常スケッチ調査では認められていない。	
	(23)H-1	凝灰角礫岩	通常スケッチ調査では認められていない。	
	(24)H-2	凝灰岩	通常スケッチ調査では認められていない。	
	(25)N-1	珪藻土	一部の節理に変質ハローあり	褐色酸化
	(26)N-2	珪藻土	通常スケッチ調査では認められていない。	
	(27)NS-1	泥岩	節理55本中2本に変質ハローあり	褐色酸化
	(28)NS-2	泥岩	節理82本中8本に変質ハローあり	褐色酸化
	(29)O-1	頁岩	通常スケッチ調査では認められていない。	
	(30)O-2	頁岩	通常スケッチ調査では認められていない。	
	(31)O-3	泥岩	通常スケッチ調査では認められていない。	
	(32)O-4	凝灰岩	通常スケッチ調査では認められていない。	
	(33)Y-1	凝灰岩	一部の節理に変質ハローあり	黒色酸化
(34)Y-2	凝灰岩	一部の節理に変質ハローあり	黒色酸化	
先新第三紀堆積岩	(35)KS-1	砂岩	通常スケッチ調査では認められていない。	
	(36)KS-2	砂泥互層	通常スケッチ調査では認められていない。	
	(37)ST-2	砂泥互層	通常スケッチ調査では認められていない。	
	(38)T-1	砂岩	不明	
	(39)T-2	砂岩	不明	
	(40)A-1	黒色粘板岩	通常スケッチ調査では認められていない。	
	(41)A-2	黒色粘板岩	通常スケッチ調査では認められていない。	
	(42)M-1	千枚岩	通常スケッチ調査では認められていない。	
	(43)M-2	千枚岩	一部の節理に変質ハローあり	酸化?
	(44)X-1	結晶質石灰岩	脈や節理の一部に変質ハローあり。	脈の周囲は熱水変質及び褐色酸化 節理の周囲は褐色酸化
	(45)X-2	結晶質石灰岩	脈や断層の一部に変質ハローあり。	脈の周囲は熱水変質及び褐色酸化 断層の周囲は褐色酸化

表 3.2.1-11 詳細スケッチ調査による変質ハローに関するデータ

岩種	詳細スケッチ箇所	岩石名	亀裂の種類	観察区間 (cm)	変質ハローの認められる範囲 (cm) と割合	変質ハローの平均幅 (mm)	詳細スケッチ範囲内の各位置における変質ハローの幅 (mm)											変質の種類	
							0cm	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm	60cm	70cm	80cm	90cm	100cm		
結晶質岩	6	OS-2:K-2	花崗閃緑岩	断層	100	100(100%)	11.0	9	15	15	10	5	12	8	2	20	15	10	上盤乳白色化(断層運動の影響?)
		OS-2:K-3	花崗閃緑岩	節理	100	70(70%)	19.0	0	0	0	25	20	16	34	17	14	6	20	淡灰褐色
	10	HM-2:K-1	玄武岩	節理	100	40(40%)	32.0	0	0	0	30	15	40	35	40	0	0	0	風化
	11	S-1:K-1	輝緑岩	断層	100	100(100%)	34.1	10	25	10	50	70	75	65	45	15	5	5	熱水変質
新第三紀堆積岩	18	BS-1:K-3	砂岩	断層	100	100(100%)	4.0	8	4	5	5	4	4	3	5	2	2	2	褐色酸化
	19	NS-3:K-2	砂岩	節理	50	10(20%)	5.5	1	0	0	0	0	10	-	-	-	-	-	褐色酸化(砂岩のみ)
	20	NS-4:K-1	砂岩	断層	100	35(35%)	8.0	5	0	4	7	8	0	0	0	0	15	9	褐色酸化
		NS-4:K-2	砂岩	節理	100	40(40%)	10.3	0	4	12	7	0	0	0	0	11	11	17	褐色酸化
	21	ST-1:K-1	砂岩	断層	80	80(100%)	50.6	60	55	55	30	20	50	55	60	70	-	-	褐色酸化
		ST-1:K-2	砂岩	節理	100	100(100%)	42.6	3	3	3	35	55	55	55	70	65	65	60	褐色酸化
		ST-1:K-3	砂岩	節理	20	20(100%)	2.0	2	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	褐色酸化
	25	N-1:K-1	珪藻土	節理	100	80(80%)	27.0	50	40	35	25	15	15	40	0	20	20	10	褐色酸化
	27	NS-1:K-3	泥岩	断層	80	20(25%)	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0.4	0.4	褐色酸化
	28	NS-2:K-2	泥岩	節理	60	30(50%)	2.0	0	0	2	2	2	2	0	-	-	-	-	褐色酸化
33	Y-1:K-1	細粒凝灰岩	節理	90	5(5.6%)	5.0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	-	黒色酸化	
	Y-1:K-2	細粒凝灰岩	節理	100	5(5%)	2.0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	黒色酸化	
先新第三紀堆積岩	43	M-2:K-3	千枚岩	節理	60	10(17%)	3.5	0	0	0	2	5	0	0	0	0	0	0	暗褐色酸化?
	44	X-1:K-1	結晶質石灰岩	節理	80	5(6.25%)	3.0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	褐色酸化
		X-1:K-2	結晶質石灰岩	脈	100	100(100%)	54.5	30	35	35	35	55	40	40	60	90	80	100	熱水変質
	45	X-2:K-2(1)	結晶質石灰岩	脈	100	45(45%)	3.5	4	0	3	4	4	3	3	0	0	0	0	褐色酸化
		X-2:K-2(2)	結晶質石灰岩	脈	100	100(100%)	73.6	100	100	60	65	55	40	65	75	70	80	100	熱水変質
	X-2:K-3	結晶質石灰岩	断層	100	80(80%)	38.3	55	60	70	55	50	55	8	5	0	15	10	褐色酸化	

詳細スケッチ範囲内の各位置における変質ハローの幅の欄のうち「-」は観察範囲外であることを意味する。
 変質ハローの幅；変質ハローは亀裂の両側に発達することが多い。ここでは亀裂をまたぐ全体の幅を示している。
 変質ハローの平均幅は、幅が0の位置は除いて算出している。

スに異方性を与える構造(地質的特徴)について整理し、マトリクス部からの湧水に関するデータを取りまとめる。

(i) 岩石の間隙率

マトリクスにおける物質移行を考える上で重要となる要素の1つは岩石(マトリクス)の間隙率であるが、本研究においては移行経路調査箇所の各岩石の物性データは取得していない。ここでは一般的に岩石の物性を支配する要因は何かということ整理し、移行経路調査箇所の岩石がどのような性質を持っているかについて考察する。

(a) 岩石の物性を支配する要因

堆積岩の物性(強度、間隙率等)はその岩石が圧密を受けた履歴、圧密を受けた時間、温度等の要因により影響されると考えられる。星野(1984)は様々な岩石の力学試験の結果をまとめ、堆積岩(砂岩及び泥岩)においては間隙率等の物性値が圧密の履歴に関係するとしている。すなわち、堆積岩が圧密されてゆく過程で間隙率が減少し、強度は増加する。これらの物性値は基本的には最大埋没深度により決まるもので、本質的には地質時代とは関係がない。そこで星野(1984)は堆積岩の間隙率等の物性値に基づいて、圧密の程度を示す「圧密指標」を示した。この指標は圧密が進んだ順にA～Gまでのランクに区分され、泥岩における各ランクと間隙率の関係は次の通りである。

A (80～50%)、B (50～30%)、C (30～20%)、D (20～12%)、E (12～5%)、F (5～1.5%)、
G (1.5～0%)

砂岩は碎屑粒子のサイズが異なるため、泥岩とは間隙率の分布が異なるが、概ね同様の圧密指標を設定することができる。表3.2.1-12は各地の堆積岩の圧密指標を示したものであるが、各地域によって構造運動の履歴が異なるため、時代ごとに圧密指標は一致しないことが明らかである。例えば秋田の第四紀更新世の堆積岩と房総半島の新第三紀中新世の堆積岩は圧密指数がBであり、物性的には同じ堆積岩であるということが出来る。

火成岩(結晶質岩)においては、本来岩石の間隙率は数%以下と小さいが、一部の火山(とくに溶岩)には結晶質岩といえども結晶晶出時の気体放出等によって間隙率が数十%に達するものがある。また、深成岩でも変質や微細亀裂の発達等により間隙率の大きいものが存在する。

(b) 移行経路調査地の岩石の特徴

上記の岩石物性に影響を与える要因を考慮し、移行経路調査地の岩石の特徴を考える。結晶

表 3.2.1-12 各地の堆積岩の圧密指標(星野, 1984)

地質時間	九州	山陰	北陸	東海	北陸	日本海	道江津	天路	北陸	東北・太平洋	房総・浦	関東	東海	西南日本	本州	神奈川	四国	国益	黒松内
更新世	1			大森 A	魚沼 灰爪 A B C	笹岡 A B					上巻 A B								
鮮新世	2			音川 B	西山 D	天徳寺 C						足柄 D E		掛川 C D					
中新世	5	野島 D			椎谷寺泊七谷津川 E	船川女川 F		出間 A		A	池子 B			相良 D		島尻 C			出羽内 E
	10	佐世保 E	D E	東別所 C			野沼 C D	稚内増帆 B C D E F		多賀 A B C	下巻 D			赤平 F G	能野 D E			A	出羽内 E F
古第三紀	20	佐世保 E	D E F					浦香別 F		新久谷 D	葉山 B		御坂 F G	赤平 E		八重山 D			
	50	天草 F G											小仏 G		葦戸瀬戸川 G			B	
白堊紀	100	館浦御所浦 (F)	関門 G												四万十 G				
ジュラ紀	200																		

Progression of the sedimentary rocks in Japan in terms of compaction indexes.

質岩は大きく火山岩、深成岩及び変成岩に区分し、物性に影響を及ぼす因子として破碎状組織の有無及び変質の有無を考慮し、表 3.2.1-13 に示した。変質は多くの地域の岩石で多少に関わらず受けているが、ここでは原岩に対し間隙率に影響を与えるような変質を考えた。

破碎状組織を持つ岩石は米山(YN-1, YN-2)の安山岩溶岩が該当する。この溶岩はハイアロクラスタイト(水冷破碎された火砕岩の一種)であり、ガラス質の小片からなる。従って間隙率が高いと考えられる。変質の影響のあるものとしては、明延鉞山(A-3, A-4)の斑れい岩が変質の進んだ「変斑れい岩」であり、樹脂浸透試験(3.2.3 項を参照)の結果でもマトリクス中に微細な空隙がよく発達することを確認している。そのほかの地域の岩石ではとくに該当するものはなかった。

移行経路調査地の堆積岩は現在のところ定量的にも定性的にも物性を比較することが難しい。そこで、岩石の地質時代と地域性を表 3.2.1-12 と比較し、A～Gの圧密指標を推定することによって地域ごとの特徴を代表化して示した(表 3.2.1-14)。星野(1984)によると圧密指標が成り立つのは砂岩と泥岩の場合である。凝灰岩や通常泥岩として扱われることが多い珪藻土は、圧密に関わる特性が一般の堆積岩(砂岩・泥岩)と異なることが示唆されていることから(千木良ほか, 1994)、表にはそれらは区別して示した。石灰岩や千枚岩も性質が異なると考えられるため区別した(千枚岩は変成岩として扱われる場合もある)。

(ii) マトリクスに異方性を与える構造

マトリクスに水理的な異方性を与える構造は、肉眼で観察できる大きさのものとしては層理・層理面、劈開・片理及び流理構造があげられる。これらのうち層理は堆積層内部の挟在層をいう。表 3.2.1-15 に調査岩石ごとにこれらの構造の有無を示す。多くの調査箇所においてこれらの構造は平行に発達する。

これらの構造による水理的異方性を示すデータとしては尾去沢鉞山の凝灰岩(0-4)を例としてあげることができる。ここでは偏平状の軽石が一定方向に(おそらく堆積面に沿って)配列し、室内透水試験の結果では軽石の配列方向とそれに直交する方向では、前者の透水係数が後者に比べて約1オーダー高い結果が得られている(1995年実施の本研究)。

なお、これら「マトリクスに異方性を与える構造」としたものは対象とするスケールにより評価が変わってくるものと考えられる。ここでは露頭スケール(通常スケッチ調査のオーダー)での構造について概念的に述べたものである。

(iii) マトリクス部からの湧水

表 3.2.1-13 結晶質岩の岩石の状態

	火山岩	深成岩	変成岩
破碎状組織	YN-1, YN-2	-	-
変質	-	A-3, A-4	-
とくになし	I-1, I-2, HM-1, HM-2	I-3, I-4, OS-1, OS-2 S-1, S-2	SB-1, SB-2

表 3.2.1-14 堆積岩の圧密指標と調査地の岩石

圧密指標	砂岩	砂泥互層	泥岩	凝灰岩類	その他
A					
B		BS-1	BS-2		
C			NS-1, NS-2		
D	NS-4, (N-2)	NS-3	O-3	O-4, Y-1, Y-2	N-1, N-2(珪藻土)
E	ST-1				
F			O-1, O-2	H-1, H-2, Z	
G	KS-1, T-1(?), T-2(?)	KS-2, ST-2	A-1(?), A-2(?)		M-1, M-2(千枚岩) X-1, X-2(石灰岩)

本表は各調査箇所の岩石の地質時代と星野(1984)による圧密指標(表3.2.1-12)とを比較することにより作成した。圧密指標については本文を参照。圧密指数がAからGにいくに従って堆積岩の圧密が進み、間隙率が低下することを意味する。

表 3.2.1-15 マトリクスに異方性を与える構造

分類	岩種	調査地記号	岩石名	層理・層理面	劈開・片理	流理
結晶質岩	火山岩	1	I	流紋岩(溶結凝灰岩)		
		2	YN	安山岩		
		2	HM	玄武岩		○
	深成岩	1	I	花崗閃緑岩		
		1	OS	花崗閃緑岩		
		2	A	斑れい岩		
		2	S	輝緑岩		
		2	SB	結晶片岩		○
	堆積岩	砂岩及び砂岩泥岩互層	3	NS	砂岩	○
3			ST	砂岩	○	
3			BS	砂泥互層	○	
3			NS	砂泥互層	○	
5			KS	砂岩・砂泥互層	○	
5			ST	砂泥互層	○	
5			T	砂岩	○	
泥岩			4	BS	泥岩	○
		4	NS	泥岩	○	
		4	O	泥岩		
		4	O	頁岩	○	
		6	A	黒色粘板岩	○	○
		凝灰岩	4	O	凝灰岩	○
4			Y	凝灰岩		
4			Z	凝灰岩		
4			H	凝灰角礫岩	○	
その他		4	N	珪藻土		
		6	M	千枚岩		○
		6	X	結晶質石灰岩		

岩種：1：結晶質岩(酸性岩)、2：結晶質岩(塩基性岩)、3：新第三紀堆積岩(砂質岩)、
 4：新第三紀堆積岩(泥質・凝灰質岩)、5：先新第三紀堆積岩(砂質岩)、
 6：先新第三紀堆積岩(泥質・凝灰質岩)

(a) マトリクスの湿りの観察における留意事項

移行経路調査においては露頭(あるいは坑道壁面)の湿り具合を観察し、マトリクス部からの湧水として定性的に記載した。マトリクスの湿りの解釈では、次のことに考慮する必要がある。

- ・露頭に湿りが生じる理由としては、湧水のほかに結露の可能性もあり、湧水量が少量の場合は肉眼での観察ではこれらを区別することは困難である。
- ・実際に湧水していてもその量のごくわずかであるために肉眼では観察できないことも十分に考えられる。特に野外露頭や坑壁部分は不飽和状態であると考えられ、湧水量は少なくなっているか、壁面がほとんど乾いてしまっていることもありうる。
- ・観察時の気温や湿度、露頭(坑壁)と外気との温度差等によって湿り具合が異なる。
- ・坑道の天盤部分などでは、別の箇所から湧水した水が坑壁表面を濡らしているため、マトリクス部からの湧水かどうかを判定することが困難である。

移行経路調査においては、同じ露頭(坑壁)の部位によって湿り具合が異なることや、亀裂等の地質的特徴と湿り部分との関係等に留意し、可能な範囲で露頭内部(ハンマー等により岩石表面を削る)の湿り具合を観察するなどを行った上で、マトリクスの湿りが湧水によるものである可能性が高いことを判断し、記載している。

(b) データ整理結果

表 3.2.1-16 に移行経路調査(破碎帯スケッチ、通常スケッチ、詳細スケッチ)によりマトリクスからの湧水が観察されたスケッチ箇所と湧水の状況を一覧として示す。通常スケッチ箇所は湧水が確認されていない箇所もスケッチ番号のみ記入している。本表ではマトリクス部からの湧水の状況を記し、さらに湧水の特徴として4つの区分にわけ、それぞれの観察した湧水がどの区分に該当するかを示した。4つの区分とは以下の特徴である。

- ① 亀裂周辺のマトリクス部からの湧水であり、マトリクス湧水の範囲(幅)が数 cm 以下と狭いもの。
- ② 亀裂周辺のマトリクス部からの湧水であり、マトリクス湧水の範囲(幅)が広い(10cm 以上)もの。
- ③ 亀裂に関係なくマトリクス部からの湧水が認められるもの。
- ④ 挟在層から湧水しているもの。

上記のうち①及び②では、亀裂部からの湧水があってその周囲のマトリクス部も湿っていることが明瞭な場合があり、そのようなものは表中に◎印で示した。亀裂からの湧水は(湧水量が少ないために)明瞭でないものは○印で示した。定性的に評価すれば、①から③にかけてマ

表 3.2.1-16(1/3) マトリクスからの湧水に関する観察状況(1)

岩種	岩石名	スケッチ箇所番号			マトリクス部からの湧水の状況	マトリクス湧水の特徴				
		破碎帯 スケッチ	通常 スケッチ	詳細 スケッチ		亀裂周辺 の湧水 幅数cm	亀裂に 関係なし 幅10cm 以上	挟在層 から湧 水	亀裂に 関係なし	
(酸性岩) 結晶質岩	流紋岩質 溶結凝灰 岩	-	(1)I-1	-	-	-	-	-	-	
		I-2:K-4	-	-	湧水を伴う亀裂の周囲のマトリクスに湿りあり。湿りの幅は10~60cm。	◎	-	-	-	
		-	(2)I-2	-	-	-	-	-	-	
	花崗閃緑岩	-	(3)I-3	-	-	-	-	-	-	
		-	(4)I-4	-	-	-	-	-	-	
		-	(5)OS-1	-	-	-	-	-	-	
-	(6)OS-2	-	-	-	-	-	-			
結晶質岩(塩基性岩)	斑れい岩	明延東部H-1	-	-	湧水を伴う破碎帯の周囲のマトリクスに湿りあり。破碎帯からの距離は5~10cm。	◎	-	-	-	
		-	(7)A-3	-	-	-	-	-	-	
		-	-	A-3:K-1	亀裂の周囲のマトリクス、特に上盤に湿りあり。湿りの幅は数mmないし3cm。	○	-	-	-	
		-	-	A-3:K-2	マトリクス部が湿っている。マトリクスには微細な亀裂(トレース長さ数cm)が発達している。	○	-	-	-	
		-	-	A-3:K-3	亀裂の周囲のマトリクスが湿っている。湿りの幅は0.3~2cm。	○	-	-	-	
		-	(8)A-4	-	-	-	-	-	-	
	玄武岩	-	(9)HM-1	-	-	-	-	-	-	
		-	(10)HM-2	-	-	-	-	-	-	
		-	(11)S-1	-	-	-	-	-	-	
	輝緑岩	-	(12)S-2	-	-	-	-	-	-	
		-	(13)SB-1A	-	-	-	-	-	-	
	結晶片岩	-	(14)SB-1B	-	-	-	-	-	-	
		-	(15)SB-2	-	-	-	-	-	-	
	安山岩	YN:H-3	-	-	-	亀裂の下盤のマトリクスに湿りあり。	-	○	-	-
		YN:H-7	-	-	-	湧水を伴う亀裂群の周囲のマトリクスが湿っている。湿り部分の幅は2m以上。	-	◎	-	-
YN:H-8		-	-	-	亀裂とその周囲のマトリクスが湿っている。湿り部分の幅は10~80cm。	-	◎	-	-	
YN:H-9		-	-	-	礫間のマトリクス部分に湿りあり。	-	-	○	-	
-		-	YN:K-1	YN:H-9と同じ。	-	-	○	-		
-		(16)YN-1	-	亀裂(断層)の上盤マトリクスに湿り部分あり。亀裂(断層)には湧水なし。湿りの幅数cm	-	-	○*	-		
-		-	YN:K-1/K-	断層とフローユニット境界の間が湿っている(幅数cm)。湿り部分の形状は小規模な亀裂の分布とも調和的である。	-	-	○*	-		
-		(17)YN-2	-	-	-	-	-	-		
-	-	YN-2:K-2	YN:H-3と同じ。亀裂(断層)の下盤では湿り部分の幅が40cm、上盤では10cm以下である。	-	○	-	-			

表 3.2.1-16(2/3) マトリクスからの湧水に関する観察状況(2)

岩種	岩石名	スケッチ箇所番号			マトリクス部からの湧水の状況	マトリクス湧水の特徴			
		破砕帯 スケッチ	通常 スケッチ	詳細 スケッチ		亀裂周辺の湧水		亀裂に 関係なし	挟在層 から湧 水
						幅数cm	幅10cm 以上		
新第三紀堆積岩	砂泥互層	-	(18)BS-1	-	マトリクスの広い範囲が弱く湿っている。	-	-	○	-
		-	(19)NS-3	-	亀裂(断層)より下盤側のマトリクスの砂岩部分が湿っている。湿りの部分が不規則な形をなす場合がある。	-	-	○*	○
	砂岩	-	(20)NS-4	-	マトリクス全体が弱く湿っている。	-	-	○	-
		-	(21)ST-1	-	-	-	-	-	-
		-	-	ST-1:K-3	亀裂の湧水部の周辺幅約7cmのマトリクス部に湿りあり。湿り部分の亀裂方向の長さは約22cm。	◎	-	-	-
	泥岩	-	(22)BS-2	-	マトリクスが全体的に湿っている。泥岩中に挟在される軽石層など、部分的に湿りの強いところがある。	-	-	○	○
	凝灰角礫岩	-	(23)H-1	-	-	-	-	-	-
	凝灰岩	-	(24)H-2	-	-	-	-	-	-
	珪藻土	-	(25)N-1	-	-	-	-	-	-
		-	(26)N-2	-	珪藻土からの湧水は認められないが、挟在する砂層からの湧水あり。	-	-	-	○
	泥岩	-	(27)NS-1	-	-	-	-	-	-
		-	(28)NS-2	-	-	-	-	-	-
		-	(29)O-1	-	-	-	-	-	-
	頁岩	-	-	0-1:K-1	頁岩中に互層状に挟在する凝灰質泥岩層で湿りが観察される。露頭表面は褐色酸化している。	-	-	-	○
		-	(30)O-2	-	-	-	-	-	-
	泥岩	-	(31)O-3	-	-	-	-	-	-
		凝灰岩	0-4	-	-	約40mの調査範囲のうち大部分の坑壁が湿っている。	-	-	○
	-		(32)O-4	-	マトリクスの大部分が湿っている。	-	-	○	-
-	(33)Y-1		-	部分的にマトリクスの湿りあり。特に亀裂の湧水部の周囲(幅数cm)が湿っている。	◎	-	-	-	
-	(34)Y-2		-	-	-	-	-	-	
Z:H-1	-		-	亀裂の下盤のマトリクスが湿っている。湿り部分の幅は約60cm。	-	○	-	-	
Z:H-3	-	-	湧水を伴う亀裂の下盤のマトリクスが湿っている。湿り部分の幅は80cm以下。	-	◎	-	-		

表 3.2.1-16(3/3) マトリクスからの湧水に関する観察状況 (3)

岩種	岩石名	スケッチ箇所番号			マトリクス部からの湧水の状況	マトリクス湧水の特徴				
		破碎帯 スケッチ	通常 スケッチ	詳細 スケッチ		亀裂周辺の湧水		亀裂に 関係なし	挟在層 から湧 水	
						幅数cm	幅10cm 以上			
先 新 第 三 紀 堆 積 岩	砂岩	-	(35)KS-1	-	-	-	-	-	-	
		-	(36)KS-2	-	-	-	-	-	-	
	砂泥互層		-	-	KS-2:K-3	亀裂の湧水部近傍のマトリクスに湿りあり。湿り部分の範囲は長さ20cm、幅0.3~3.5cmで、細粒砂岩より中粒砂岩の部分で湿り部分の幅が大きい。	◎	-	-	-
			-	(37)ST-2	-	不規則形状または亀裂に沿って湿りあり。不規則形状の湿り部分も亀裂の分布に規制されているように見える。	◎	-	-	-
			-	-	ST-2:K-1	亀裂の分布に支配された形でマトリクス部の湿りあり。湿りの範囲は、狭い部分では亀裂の上下盤1cm以下。	◎	-	-	-
			-	-	ST-2:K-2	亀裂の分布に支配された形でマトリクス部の湿りあり。湿りの範囲は、狭い部分では亀裂の上下盤1cm以下。	○	-	-	-
			-	-	ST-2:K-3	亀裂の分布に支配された形でマトリクス部の湿りあり。湿りの範囲は、狭い部分では亀裂の上下盤約1cm。	○	-	-	-
	砂岩	-	(38)T-1	-	-	?				
		-	(39)T-2	-	-					
	粘板岩	明延西部H-10	-	-	-	破碎帯及び上盤・下盤のマトリクス部分が湿っている。湿りの幅は下盤は5cm以上。	-	◎	-	-
		明延西部H-11	-	-	-	破碎帯の上盤側マトリクスが広く湿っているが、下盤は湿りなし。	-	○	-	-
			-	(40)A-1	-	-	-	-	-	-
			-	(41)A-2	-	-	-	-	-	-
	千枚岩	槇峰H-2	-	-	-	マトリクスの広い部分に湿りあり、特に亀裂の上盤が湿りが強い。	-	-	○*	-
		槇峰H-7	-	-	-	破碎帯周辺のマトリクス、特に下盤が湿っている。湿りの幅は10~50cm。	-	○	-	-
			-	(42)M-1	-	マトリクスの大部分が湿っており、特に主要な亀裂の下盤または上盤の湿りが強い。	-	-	○*	-
			-	(43)M-2	-	マトリクスの大部分が湿っている。ところにより湿りが強い部分と弱い部分とがあり、主要な亀裂がその境界をなしている場合がある。	-	-	○*	-
			-	-	M-2:K-4	亀裂の周囲のマトリクス部分が湿っており、その幅は0.4~1cm。	○	-	-	-
	結晶質石 灰岩		-	(44)X-1	-	-	-	-	-	-
			-	(45)X-2	-	-	-	-	-	-

マトリクス湧水の特徴：

「亀裂周辺の湧水」では、亀裂部からの湧水が明確な場合は◎、それ以外は○としている。

「亀裂に関係なし」では、断層等の構造により湧水範囲が制限されている場合には*印を加えた。

トリクス部分からの湧水の規模が大きくなる、すなわち③ほどマトリクスの透水性があることを意味するものと判断される。

以上に検討してきたマトリクスからの湧水と岩石の状態(結晶質岩の場合)及び推定される圧密指標(堆積岩の場合)の関係を表 3.2.1-17 に示した。本表では各調査地の岩石におけるマトリクスからの湧水の状況を上記①～③のいずれかの区分で示した。この区分は破碎帯調査、通常スケッチ調査及び詳細スケッチ調査の結果から総合的に判断した。この整理の結果、次のような傾向を見出すことができる。

結晶質岩においては破碎状組織を持つもの(YN の安山岩)や変質を受けているもの(Aの斑れい岩)においてマトリクスからの湧水が認められ、とくに前者では湧水区分が③であった。破碎状組織、変質とも該当しない岩石ではIの花崗閃緑岩で湧水(①)が認められた。

堆積岩においてはマトリクス湧水区分と推定される圧密指標の関係をみると、湧水区分が③のものは千枚岩(M)を除いて圧密指標がD以下(Dより圧密が進んでいないもの)に限られることがわかる。千枚岩は劈開の存在がマトリクス内の透水性に寄与しているものと考えられる。より小規模な湧水(①及び②)は圧密の進んだ岩石においても認められる。

表 3.2.1-17 マトリクスからの湧水と岩石の状態・圧密指標との関係

分類	岩種	調査地記号	岩石名	マトリクス湧水区分	岩石の状態			推定される圧密指標								
					破碎状組織	変質	とくになし	A	B	C	D	E	F	G		
結晶質岩	火山岩	2	YN	安山岩	③	○										
		1	I	流紋岩(溶結凝灰岩)	①			○								
		2	HM	玄武岩	-			○								
	深成岩	2	A	斑れい岩	①		○									
		1	I	花崗閃緑岩	-			○								
		1	OS	花崗閃緑岩	-			○								
		2	S	輝緑岩	-			○								
	変成岩	2	SB	結晶片岩	-			○								
堆積岩	砂岩及び砂岩泥岩互層	3	BS	砂泥互層	③				○							
		3	NS	砂岩	③					○						
		3	NS	砂泥互層	③						○					
		3	ST	砂岩	①							○				
		5	KS	砂岩・砂泥互層	①											○
		5	ST	砂泥互層	①											○
		5	T	砂岩	?											○
		泥岩	4	BS	泥岩	③					○					
	4		NS	泥岩	-						○					
	4		O	泥岩	-							○				
	4		O	頁岩	-										○	
	6		A	黒色粘板岩	②											○
	4		O	凝灰岩	③							○				
	凝灰岩	4	Y	凝灰岩	①							○				
		4	Z	凝灰岩	②										○	
		4	H	凝灰角礫岩	-										○	
		4	N	珪藻土	-								○			
	その他	6	M	千枚岩	③											○
		6	X	結晶質石灰岩	-											○

岩種：1：結晶質岩(酸性岩)、2：結晶質岩(塩基性岩)、3：新第三紀堆積岩(砂質岩)、4：新第三紀堆積岩(泥質・凝灰質岩)

5：先新第三紀堆積岩(砂質岩)、6：先新第三紀堆積岩(泥質・凝灰質岩)

マトリクス湧水区分：①：亀裂の周囲数cm以内の範囲から湧水、②：亀裂や破碎帯の周囲10cm以上の広がり範囲から湧水、

③：亀裂の存在にあまり関係なく、マトリクスの比較的広い部分から湧水、

-：マトリクスからの湧水は認められない。

岩石の状態：本文を参照。

圧密指標：岩石の地質年代及び地域を考慮し、星野(1984)と比較することにより設定した。詳しくは本文を参照。

AからGにいくにしたがって堆積岩の圧密が進み、間隙率が低下することを意味する。

3.2.2 断層・破碎帯の特性

(1) 内部構造

(i) 充填物等データの整理

破碎帯調査により観察した各地域の主要な断層・破碎帯の特徴を検討するため、表 3.2.2-1 に示すように、「破碎帯」の主として充填物に関する整理を行った。本表では通常スケッチによる亀裂充填物データの整理を行ったもの(3.2.1 項)と同様に、充填物を岩片・碎屑物、破碎や地下水との反応により形成されたと考えられるもの、脈状鉱物及び風化の影響により形成されたものに区分している。本表に示した破碎帯は幅が 10cm 以上のもの、及び 10cm 以下でも湧水を伴う亀裂である(ここで幅とは露頭にて観察される最大幅を示す)。破碎帯調査を実施した調査箇所のうち、北秋珪藻土鉱山(N)は上記に該当するデータがなかったため、本表には示していない。破碎帯のタイプは図 2.1.2-1 に示した A～C のタイプに加え、D タイプと V タイプを加えて示した。すなわち、以下のようになる。

- ・ A タイプ：単一な亀裂
- ・ B タイプ：明瞭な破碎帯を伴うもの
- ・ C タイプ：亀裂の密集帯
- ・ D タイプ：造岩鉱物の定向配列帯
- ・ V タイプ：脈石鉱物のみからなるもの

(ii) 充填物の種類から見た破碎帯の特徴

各調査箇所観察された破碎帯充填物の特徴は概略以下のように整理される。

- ① 鉱物の定向配列帯
- ② 破碎状物質(粘土・破碎状母岩物質)が主体であるもの
- ③ 碎屑物(岩片・礫・砂・泥)が主体で、粘土化・破碎状等は顕著ではないもの
- ④ ②と③の中間的な性質のもの

これらは表 3.2.2-1 の整理結果より定性的に区分したものである。①の鉱物定向配列帯は大隅(0S)の花崗閃緑岩地帯で観察されたものであるが、本調査箇所周辺にはマイロナイトの存在が知られており、この鉱物定向配列帯もそれに関連する構造の可能性がある。②は主として破碎作用により粘土化が認められるものである。③の岩片や碎屑物(礫、砂、泥)も広義には破碎物質であるが、粘土化が顕著ではないことで②と区別した。

破碎帯充填物の特徴による区分と岩種区分(結晶質岩、新第三紀堆積岩、先新第三紀堆積岩)とを考慮し、調査を行った箇所の破碎帯の特徴を整理し表 3.2.2-2 に示した。破碎帯充填物を

表 3.2.2-1(1/3) 「破碎帯」の充填物一覧(1)

岩種	岩石名	破碎帯番号	幅 (cm)	充 填 物										固結 度	湧水	タイ プ		
				母岩	岩片・碎屑物			破碎/地下水		脈状鉱物			風化の影響					
					礫	砂	泥	粘土	fR	石英	方解石	硫化物	goe				他	
結晶質岩	流紋岩質溶 結凝灰岩	生野I-1:H-3	5					○	○				○		1	1	B	
		生野I-1:H-2	15	○				○	○				○		2	1	B	
		生野I-1:H-1	30	○				○	○				○		1	1	B	
		生野I-2:H-1	12							○		○	○		3		V	
		生野I-2:H-4	12	○				○	○				○		3	1	B	
		生野I-2:H-3	30	○				○					○		3	1	C	
	花崗閃緑岩	大隅OS:H-8	2	○										○?		1	1	C
		大隅OS:H-5	3	○										○?	3	1	A	
		大隅OS:H-4	5	○										○?	3	1	A	
		大隅OS:H-2	10	○										○?	3	1	C	
		大隅OS:H-11	12	○											3		D	
		大隅OS:H-18	12	○										○?	3		D	
		大隅OS:H-6	15	○											3		C	
		大隅OS:H-9	15	○										○?	3		D	
		大隅OS:H-1	19	○							○			○?	3		C	
		大隅OS:H-10	30	○										○?	3		C	
		大隅OS:H-17	35	○											3		D	
		大隅OS:H-3	45	○											3		D	
		大隅OS:H-16	160	○										○?	3		C	
		大隅OS:H-12~15	200	○										○?	3	3	C	
	大隅OS:H-19~23	800	○										○?	3	1	C		
	斑れい岩	明延東部:H-8	3								○		○		3	1	V	
		明延東部:H-6	5								○		○		3	1	V	
		明延東部:H-5	15					○	○				○		3	1	B	
		明延東部:H-4	20					○	○				○		3	1	B	
		明延東部:H-2	30					○	○				○		3		B	
		明延東部:H-7	55					○	○	○	○		○		1	1	B	
		明延東部:H-1	80					○	○				○		2	2	B	
		明延東部:H-3	100					○	○				○		1	1	B	
	輝緑岩	下川:H-10	0.3											○	2	1	A	
		下川:H-2	1					○	○				○		2	1	B	
		下川:H-11	1					○					○		2	1	B	
		下川:H-13	2						○				○		2	1	B	
		下川:H-17	2					○	○				○		2	1	B	
		下川:H-19	2						○		○		○		2	1	B	
下川:H-22		3						○				○		2	1	B		
下川:H-8		10					○	○				○		2		B		
下川:H-4		14					○	○	○			○		2	1	B		
下川:H-21		15						○				○		2		B		
下川:H-3		15						○				○		3	1	B		
下川:H-15		35	○					○	○	○		○		3	1	C		
下川:H-1		40		○				○		○		○		2		B		
下川:H-18		80	○						○			○		3	1	C		
玄武岩	米山YN:H-3	2.8		○	○		○					○		1	1	A		
	米山YN:H-1	10		○	○							○		3	1	A		
	米山YN:H-4	13		○	○							○		2		A		
	米山YN:H-5	40	○					○				○		3	2	C		
	米山YN:H-7	400	○					○				○		3	2	C		
新第三紀堆積岩	砂岩・泥岩	房総BS:H-5	10			○	○							3	3	C		
		房総BS:H-2	12			○								3		C		
		房総BS:H-3	15			○							○		3		C	
		房総BS:H-1	16			○	○		○				○		3		B	
		房総BS:H-6	20	○		○	○						○		3	3	C	
		房総BS:H-11	20	○					○				○		3	3	C	
		房総BS:H-10	23	○					○				○		3	3	C	
		房総BS:H-7	30	○		○	○								3		C	
		房総BS:H-12	30	○					○				○		3		C	
		房総BS:H-9	40	○					○				○		3		C	
		房総BS:H-8	45	○		○	○						○		3		C	

幅：露頭にて観察される最大幅部分の値

充填物：fR:破碎状母岩物質

固結度：1:シャープペンの芯が容易にささる、2:ややささる、3:ささらない

湧水：1:湿り、2:滴水、3:流水

タイプ：A:単一の割れ目、B:破碎物質等を伴うもの、C:割れ目の密集帯、D:造岩鉱物の定向配列帯、

V:脈石鉱物のみからなるもの

(以下の表も同じ)

表 3.2.2-1(2/3) 「破碎帯」の充填物一覧(2)

岩種	岩石名	破碎帯番号	幅 (cm)	充 填 物										湧水	タイプ			
				母岩	岩片・碎屑物			破碎/地下水			脈状鉱物					風化の影響		固結度
					礫	砂	泥	粘土	fR	石英	方解石	硫化物	goe			他		
新第三紀堆積岩	砂岩・泥岩	石黒川INS:H-3	1			○		○					○		1	3	B	
		石黒川INS:H-1	2					○					○		1	3	B	
		石黒川INS:H-2	20			○		○					○		1	2	B	
	砂岩・泥岩	高知南西ST-1:H-5	25					○	○						1		B	
		高知南西ST-1:H-3	40					○	○				○		1		B	
		高知南西ST-1:H-6	60					○	○						2		B	
	凝灰岩類	細倉H-1:H-1	1.5					○					○		1	1	B	
		細倉H-1:H-7	2.5							○			○		3	1	V	
		細倉H-1:H-8	3					○	○				○		2	1	B	
		細倉H-1:H-13	3					○					○		1	1	B	
		細倉H-1:H-5	8							○			○		3	1	V	
		細倉H-1:H-12	10					○	○				○		1	1	B	
		細倉H-1:H-14	10					○		○			○		2	1	B	
		細倉H-1:H-3	15					○	○				○		1	1	B	
		細倉H-1:H-9	20						○	○			○		3	1	B	
		細倉H-1:H-11	25					○	○	○			○		2	1	B	
		細倉H-1:H-4	35					○	○				○		1	1	B	
	細倉H-1:H-6	100					○	○	○			○		2	2	B		
	頁岩・砂岩	尾去沢0-1:H-18	3					○	○				○		3	2	B	
		尾去沢0-1:H-19	3					○	○				○		3	2	B	
		尾去沢0-1:H-12	10							○			○		3	1	V	
		尾去沢0-1:H-3	15					○		○			○		1	1	B	
		尾去沢0-1:H-15	15						○	○			○		3	1	B	
		尾去沢0-1:H-4	16					○		○			○		1	1	B	
		尾去沢0-1:H-5	20					○		○			○		3	1	B	
		尾去沢0-1:H-17	20							○			○		3	2	V	
		尾去沢0-1:H-13	34						○	○			○		3		B	
		尾去沢0-1:H-1	36						○				○		3	1	B	
		尾去沢0-1:H-20	40					○	○	○			○		3	1	B	
		尾去沢0-1:H-11	40					○	○	○			○		1	1	B	
		尾去沢0-1:H-14	60					○	○	○			○		3	1	B	
		尾去沢0-1:H-2	80					○	○	○			○		1	1	B	
	頁岩・砂岩	尾去沢0-2:H-9	3					○					○		?	2	B	
		尾去沢0-2:H-10	3					○					○		?	2	B	
		尾去沢0-2:H-11	8					○		○			○		3	2	B	
		尾去沢0-2:H-3	12							○			○		3	1	V	
		尾去沢0-2:H-5	20			○							○		3		B	
		尾去沢0-2:H-7	20			○				○			○		3	1	B	
		尾去沢0-2:H-6	50			○							○		3		B	
		尾去沢0-2:H-8	60					○	○	○			○		2	1	B	
尾去沢0-2:H-4		130	○				○		○			○		3	1	C		
尾去沢0-2:H-12	300					○	○	○			○		1		B			
凝灰岩類	尾去沢0-4:H-8	0.05										○		2	1	A		
	尾去沢0-4:H-1	0.1					○					○		1	1	B		
	尾去沢0-4:H-4	0.1					○					○		1	1	B		
	尾去沢0-4:H-6	0.1					○					○		1	1	B		
	尾去沢0-4:H-9	0.1					○					○		1	1	B		
	尾去沢0-4:H-10	0.2					○					○		1	1	B		
尾去沢0-4:H-7	0.3					○					○		1	1	B			
凝灰岩類	W:H-6	1					○	○						1	3	B		
	W:H-1	10	○											3	3	C		
	W:H-9	12					○	○						1		B		
	W:H-2	15					○	○						1		B		
	W:H-3	15	○											3	1	C		
	W:H-4	20					○	○						1		B		
	W:H-8	30						○						3		B		
	W:H-7	40						○						1		B		
W:H-5	80	○				○	○						1	1	C			

表 3.2.2-1(3/3) 「破碎帯」の充填物一覧(3)

岩種	岩石名	破碎帯番号	幅 (cm)	充 填 物										固結 度	湧水	タイ プ			
				母岩	岩片・碎屑物			破碎/地下水		脈状鉱物			風化の影響						
					礫	砂	泥	粘土	fR	石英	方解石	硫化物	goe				他		
結晶質岩	流紋岩質溶 結凝灰岩	生野I-1:H-3	5					○	○					○		1	1	B	
		生野I-1:H-2	15	○				○	○					○		2	1	B	
		生野I-1:H-1	30	○				○	○					○		1	1	B	
		生野I-2:H-1	12								○		○			3		V	
		生野I-2:H-4	12	○				○	○					○		3	1	B	
		生野I-2:H-3	30	○				○						○		3	1	C	
	花崗閃緑岩	大隅OS:H-8	2	○										○?			1		C
		大隅OS:H-5	3	○										○?		3	1	A	
		大隅OS:H-4	5	○										○?		3	1	A	
		大隅OS:H-2	10	○										○?		3	1	C	
		大隅OS:H-11	12	○												3		D	
		大隅OS:H-18	12	○										○?		3		D	
		大隅OS:H-6	15	○												3		C	
		大隅OS:H-9	15	○										○?		3		D	
		大隅OS:H-1	19	○							○			○?		3		C	
		大隅OS:H-10	30	○										○?		3		C	
		大隅OS:H-17	35	○												3		D	
		大隅OS:H-3	45	○												3		D	
		大隅OS:H-16	160	○										○?		3		C	
		大隅OS:H-12~15	200	○										○?		3	3	C	
	大隅OS:H-19~23	800	○										○?		3	1	C		
	斑れい岩	明延東部:H-8	3							○		○				3	1	V	
		明延東部:H-6	5							○	○					3	1	V	
		明延東部:H-5	15					○	○							3	1	B	
		明延東部:H-4	20					○	○							3	1	B	
		明延東部:H-2	30					○	○							3		B	
		明延東部:H-7	55							○	○					1	1	B	
		明延東部:H-1	80					○	○							2	2	B	
		明延東部:H-3	100					○	○							1	1	B	
	輝緑岩	下川:H-10	0.3											○		2	1	A	
		下川:H-2	1					○	○					○		2	1	B	
		下川:H-11	1					○						○		2	1	B	
		下川:H-13	2						○					○		2	1	B	
		下川:H-17	2					○	○					○		2	1	B	
		下川:H-19	2						○		○			○		2	1	B	
		下川:H-22	3											○		2	1	B	
下川:H-8		10					○	○					○		2		B		
下川:H-4		14					○	○	○				○		2	1	B		
下川:H-21		15						○					○		2		B		
下川:H-3		15						○			○		○		3	1	B		
下川:H-15		35	○					○	○	○			○		3	1	C		
下川:H-1		40		○				○		○			○		2		B		
下川:H-18		80	○						○				○		3	1	C		
玄武岩	米山YN:H-3	2.8		○	○		○						○		1	1	A		
	米山YN:H-1	10		○	○								○		3	1	A		
	米山YN:H-4	13		○	○								○		2		A		
	米山YN:H-5	40	○					○					○		3	2	C		
	米山YN:H-7	400	○					○					○		3	2	C		
新第三紀堆積岩	砂岩・泥岩	房総BS:H-5	10			○	○								3	3	C		
		房総BS:H-2	12			○									3		C		
		房総BS:H-3	15			○								○		3		C	
		房総BS:H-1	16			○	○		○					○		3		B	
		房総BS:H-6	20	○		○	○							○		3	3	C	
		房総BS:H-11	20	○					○					○		3	3	C	
		房総BS:H-10	23	○					○					○		3	3	C	
		房総BS:H-7	30	○		○	○									3		C	
		房総BS:H-12	30	○					○					○		3		C	
		房総BS:H-9	40	○					○					○		3		C	
		房総BS:H-8	45	○		○	○							○		3		C	

幅：露頭にて観察される最大幅部分の値

充填物：fR:破碎状母岩物質、goe:酸化鉄・水酸化鉄

固結度：1:シャープペンの芯が容易にささる、2:ややささる、3:ささらない

湧水：1:湿り、2:滴水、3:流水

タイプ：A:単一な割れ目、B:破碎物質等を伴うもの、C:割れ目の密集帯、D:造岩鉱物の定向配列帯、

V:脈石鉱物のみからなるもの

(以下の表も同じ)

表 3.2.2-2 破砕帯充填物の特徴による定性的分類(案)

破砕帯充填物の特徴	結晶質岩	新第三紀堆積岩	先新第三紀堆積岩
鉱物の定向配列帯	大隅(花崗閃緑岩)	—	—
破砕状物質が主体である (粘土化を伴う)	生野(流紋岩質溶結凝灰岩) 明延東部(斑れい岩) 下川(輝緑岩)	高知県南西(砂岩・泥岩) 細倉(凝灰岩類) 尾去沢(0-1:頁岩・砂岩) 尾去沢(0-4:凝灰岩類) W(凝灰岩類)	高知南西(砂岩・泥岩) 明延西部(粘板岩) 槇峰(千枚岩)
中間的	—	石黒川(砂岩・泥岩) 尾去沢(0-2:頁岩・砂岩)	X A(石灰岩) X B(石灰岩)
岩片・碎屑物が主体である (粘土化は顕著でない)	米山(安山岩)	房総(砂岩・泥岩)	—

特徴づける要因としては、岩種(粒度、構成物質等)、岩石の固結状態(堆積岩の場合)、断層を生じた時の応力状態及び深度等が考えられる。

(2) 分布

破碎帯の分布は踏査距離 100mあたりの破碎帯の出現数として示した(表 3.2.2-3)。本表では破碎帯の幅を対数スケールでランク分けし、それぞれのランク毎に出現する破碎帯の数を示している。幅 10cm 未満のランクに該当する構造は湧水を伴う亀裂の数であり、幅 10cm 以上のランクは湧水の有無を問わず観察された破碎帯の出現数である。

幅 10cm 以上の破碎帯の出現数が 1.0 を超える箇所は、生野(I-2)、明延東部、細倉(H-1)、尾去沢(0-1)、明延西部及び槇峰があげられる。これらの地域はいずれも鉱床近傍である。

幅 2 m を超える比較的規模の大きな破碎帯は大隅(OS)、米山(YN)、尾去沢(OS-2)及びX A 箇所において認められる。これらのうち尾去沢における破碎帯は断層粘土を伴うBタイプの破碎帯であるが、それ以外の箇所のものには亀裂の密集帯(Cタイプ)である。

破碎帯の出現数が少ない箇所は、幅 28cm 以上のものがない箇所で見ると石黒川(NS)及び尾去沢(0-4)があげられる。ただし尾去沢(0-4)の箇所は踏査距離が 40cm と短いため、十分なデータであるかどうかということでは問題がある。

(3) 断層・破碎帯の幅と長さの関係

断層の幅と長さの関係については、緒方ほか(1981)の研究や大野ほか(1987)研究によりフラクタル性があることが報告されている。緒方ほか(1981)は、中部山岳地帯の花崗岩分布地域における断層の長さとの幅の関係を両対数スケールでプロットし、直線へ近似した結果として次式を示した。

$$\log L = 0.68 + 0.87 \times \log T \quad \cdots \text{①}$$

ここでL：断層の長さ(m)， T：断層の幅(cm)

また大野他は、花崗岩分布地域の異なるスケールの地質図等に記載される断層の長さとの幅の関係を両対数スケールでプロットし、直線へ近似した結果として次式を示した。

$$\log L = 2.7 + 0.7 \times \log T \quad \cdots \text{②}$$

ここでL：断層の長さ(m)， T：断層の幅(m)

断層の幅と長さの関係について上記のようなフラクタル性があると仮定し、本研究の通常スケッチによる亀裂のデータと、より大きなスケールでの断層のデータとの比較を試みた。大スケールにおける断層の長さ及び幅のデータは平成9年度に既存資料の調査を実施した細倉鉱山

表3.2.2-3 踏査長100mあたりの「破碎帯」の出現数

破碎帯等* の幅(cm)	結晶質岩						新第三紀堆積岩							先新第三紀堆積岩					備考		
	I-1	I-2	OS	明東	下川	YN	BS	NS	ST-1	H-1	O-1	O-2	O-4	W	ST-2	明西	禎峰	XA		XB	
0.02以下	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	(湧水を伴う構造のみ)
0.03~0.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.5	0	0	0	0	0.2	0		
0.07~0.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0		
0.19~0.49	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0.1		
0.5~1.3	0	0	0	0	0.4	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0.3	0	0		
1.4~3.6	0	0	0.4	1	0.8	0.3	0	0.2	0	1	0.6	0.4	0	0	0	0	0.6	0.1	0.1		
3.7~9.9	0.5	0	0.2	1	0	0	0	0	0	0.3	0	0.2	0	0	0	1.2	0	0.2	0.1		
10~27	0.5	1.8	1.3	2	0.8	0.7	0.6	0.2	0.3	1.3	1.7	0.7	0	0.6	0	3.5	1.9	0.7	0.9		
28~73	0.5	0.9	0.7	2	0.4	0.3	0.3	0	0.7	0.3	1.4	0.4	0	0.2	0.3	1.2	0.6	0.2	0.5		
74~200	0	0	0.4	2	0.2	0	0	0	0	0.3	0.3	0.2	0	0.1	0	0.6	0.6	0.2	0.2		
201~543	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0.1	0		
544~1474	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
1474以上	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
踏査距離(m)	200	110	450	100	530	300	1200	470	300	400	351	460	40	840	400	170	320	1235	1100		

(単位:本)

*破碎帯等の幅:破碎帯調査では幅が10cm以上の構造を記載している。上の表で幅10cm未満のランクに該当する構造は湧水を伴う亀裂の数を表す。幅10cm以上のランクは湧水の有無を問わず観察された破碎帯の出現数を示す。

の大竹脈と子蔓脈のデータ、及び佐藤(1981)により示された明延鉾山の主要鉾脈のデータを用いた。通常スケッチのデータとしては、同じ細倉鉾山及び明延鉾山のデータのうち、地質的特徴の種類が断層、脈に属するものを選んだ。さらに、亀裂が観察坑壁の天盤や踏前を超えているためトレース長が不明なものは除外した。

図 3.2.2-1 に、細倉鉾山を対象に通常スケッチの結果と大竹脈、子蔓脈の結果をまとめた。本図中の大竹脈、子蔓脈の結果は、各水平坑道における鉾脈の幅の平均値を用いた。また図 3.2.2-2 に、明延鉾山を対象に通常スケッチの結果と明延鉾山の主要鉾脈の長さや平均幅をまとめた図を示す。これらの図中で赤色の実線で示した線が①式であり、青色の実線で示した線が②式である。プロットされた点を基に最小 2 乗法を用いて直線に近似した結果得られた傾きと Y 切片を表 3.2.2-4 に示す。図 3.2.2-1 及び図 3.2.2-2 からはプロットされた点が②式よりは①式の近くに分布していることが見て取れる。これについては、表 3.2.2-4 に示した傾きが明らかに②式より①式に近い傾きを示すことから明らかである。このことから、今回検討した細倉鉾山と明延鉾山のデータより、断層の幅と長さの関係にフラクタル性を仮定して比較したところ、緒方ほか(1981)の研究により示された関係に近い結果となることがわかった。

(4) 断層・破碎帯の出現率

上記の(2)で整理した各破碎帯調査箇所毎の断層・破碎帯の分布をグラフ化して図 3.2.2-3 に示す。本図には断層・破碎帯の幅 10cm 以上のものを示し、(3)で述べた緒方ほか(1981)の式(①)及び大野ほか(1987)の式(②)により導かれる断層の長さも推定して示した。緒方ほかの式により導かれた断層・破碎帯の長さ(図中①)を見ると、ルート長 100m あたりに長さ 87m 以上の断層・破碎帯の出現頻度は 1 本以下であることが多いが、OS(大隅)、0-1(尾去沢)、明延西及び槇峰の調査箇所では 2 本以下である。また、明延東では出現頻度が大きく、4 本となっている。

以上、断層・破碎帯の規模を考慮し単位距離あたりの出現数として整理したが、結晶質岩、新第三紀堆積岩及び先新第三紀堆積岩といった岩種の違いと破碎帯の分布(出現頻度)とはとくに関係は認められない。

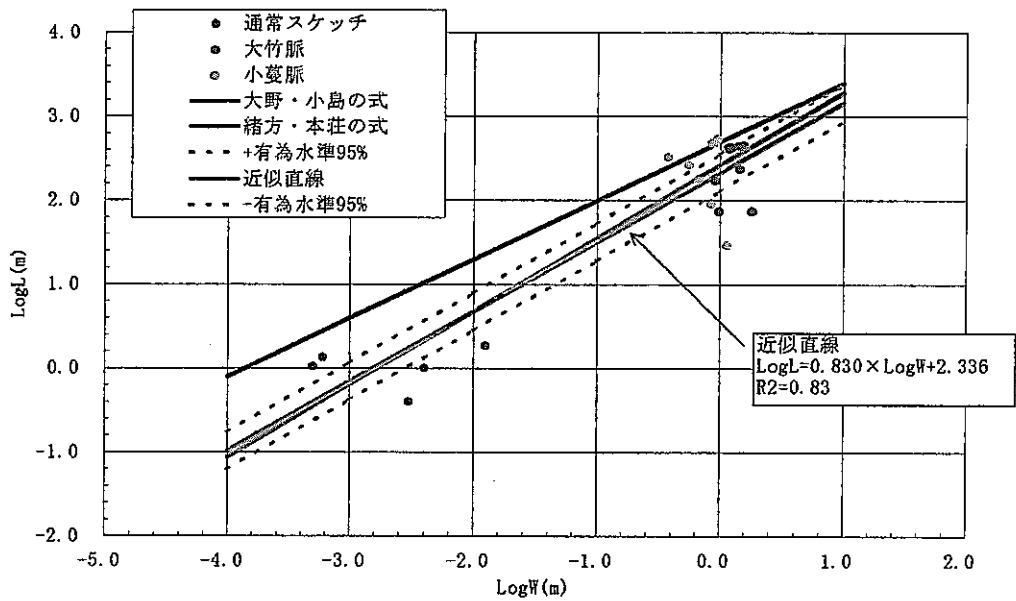


図 3.2.2-1 通常スケッチと鉱脈データを基にした幅と長さの関係 (細倉鉱山)

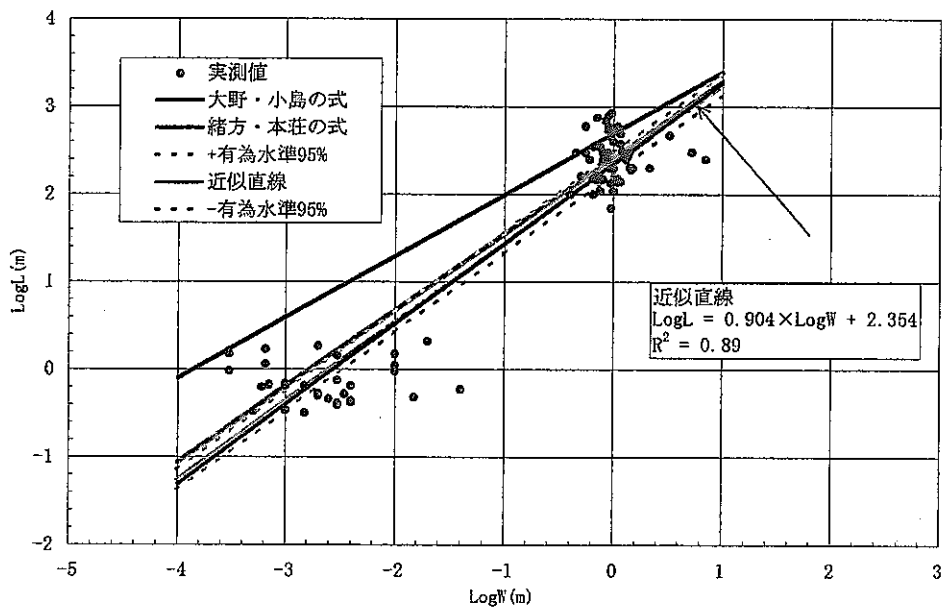


図 3.2.2-2 通常スケッチと鉱脈データを基にした幅と長さの関係 (明延鉱山)

表 3.2.2-4 最小 2 乗法を用いた回帰分析結果

サイト	傾き	Y切片	相関係数 r
細倉鉱山	0.830	2.336	0.91
明延鉱山	0.904	2.354	0.94
①緒方他, 1981	0.87	2.42* ¹	—
②大野他, 1987	0.70	2.7	—

注) 断層の幅をメートルスケールで入力した場合の Y 切片

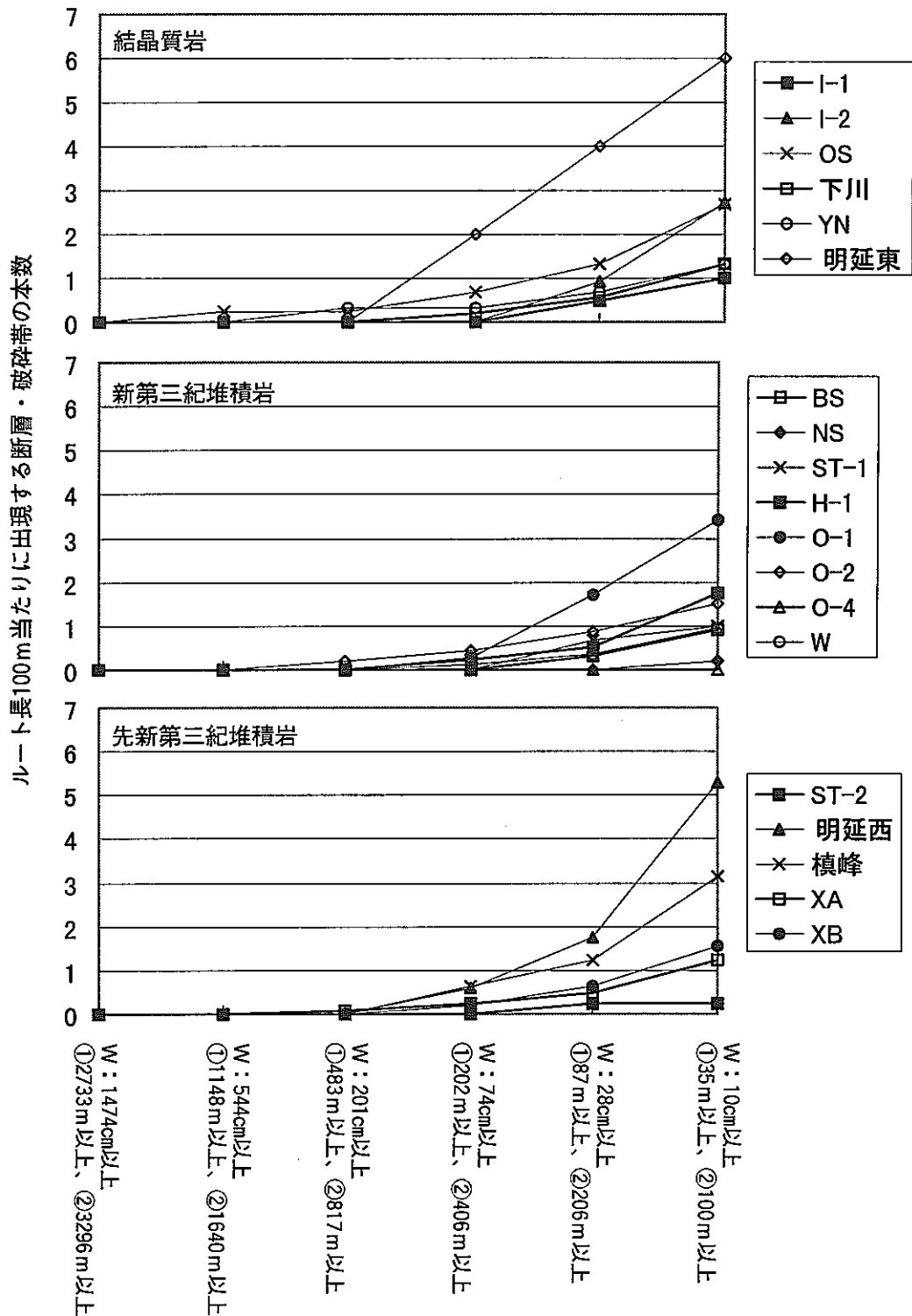


図 3.2.2-3 断層・破碎帯の規模と出現頻度の関係

3.2.3 マトリクス拡散の場となりうる移行経路の特性

花崗閃緑岩、斑れい岩、片岩及び古第三紀以前の堆積岩（砂岩）について、亀裂に接するマトリクス部の岩石試料をそれぞれ兵庫県神崎郡大河内町内の地表露頭、明延鉱山赤栄立坑向立入坑道、愛媛県温泉郡川内町内の滑川沿いの露頭及び和歌山県西牟婁郡日置川町真砂付近の露頭において採取した。それらを室内にてコア抜き成形を施し、割れ目面のみから蛍光樹脂を浸透させた。花崗閃緑岩、斑れい岩及び片岩については、岩石試料を蛍光樹脂に浸した状態で真空引きすることにより蛍光樹脂を浸透させ、古第三紀以前の堆積岩（砂岩）については蛍光樹脂浸透試験装置により蛍光樹脂を加圧注入した。岩石試料中の蛍光樹脂の充填した空隙は、直接的に割れ目面に連結した空隙、あるいはその空隙を介して間接的に割れ目面に連続する空隙とみなすことができる。これらの空隙を光学顕微鏡及び画像解析を用いた観察・解析を行い、割れ目から連続する空隙の連結性及びそれらの認められる範囲について調査し、とりまとめた。

(1) 花崗閃緑岩

8個の視野に区画分けした観察面の可視光及び紫外光による実体顕微鏡観察像と二値処理像をそれぞれ図 3.2.3-1, 図 3.2.3-2, 図 3.2.3-3 に示す。図 3.2.3-1 から、試料全体の風化部は表面から約 1 cm 程度で、切断面が肉眼的にやや茶色を帯びており、一方、表面から 1 cm 以深は肉眼的には新鮮に見える。二値処理像により識別した樹脂充填空隙はほとんど変質ハロー部に集中している。樹脂充填空隙の形状はアミーバ状を呈している。アミーバ状の空隙は偏光顕微鏡下では各々独立しているように見え、各々の空隙をつなぐ空隙（割れ目等）は鏡下では認められない。鉱物粒子間と鉱物粒子の内部にある微小割れ目及び直線状の割れ目がアミーバ状割れ目を連結して、3次元的に繋がっていると考えられる。図 3.2.3-3 から、割れ目面に直接連結している割れ目は割れ目面の極近傍に限られ、それらの割れ目面からの深さは約 0.05mm 程度に限られている。割れ目面に直接連結してはいないが、他の空隙と連結することにより間接的に割れ目面に連続している空隙は、割れ目面から最大 9mm の深さまで認めることができた。樹脂充填空隙の連結性は割れ目面から離れるに従い低くなっているのが観察された。

(2) 斑れい岩

40個の視野に区画分けした観察面の可視光及び紫外光による実体顕微鏡観察像と二値処理像をそれぞれ図 3.2.3-4, 図 3.2.3-5, 図 3.2.3-6 に示す（視野の区画分け番号は図 3.2.3-4～図 3.2.3-6 の左上に示す）。また、割れ目面からの距離ごとに空隙パラメータを算出し、表 3.2.3-1 にまとめた。空隙は割れ目状を呈しており、古い割れ目に沿って平行に新しい割れ目

ゾーン番号 : IV : III : II : I :

8	5	4	1
7	6	3	2

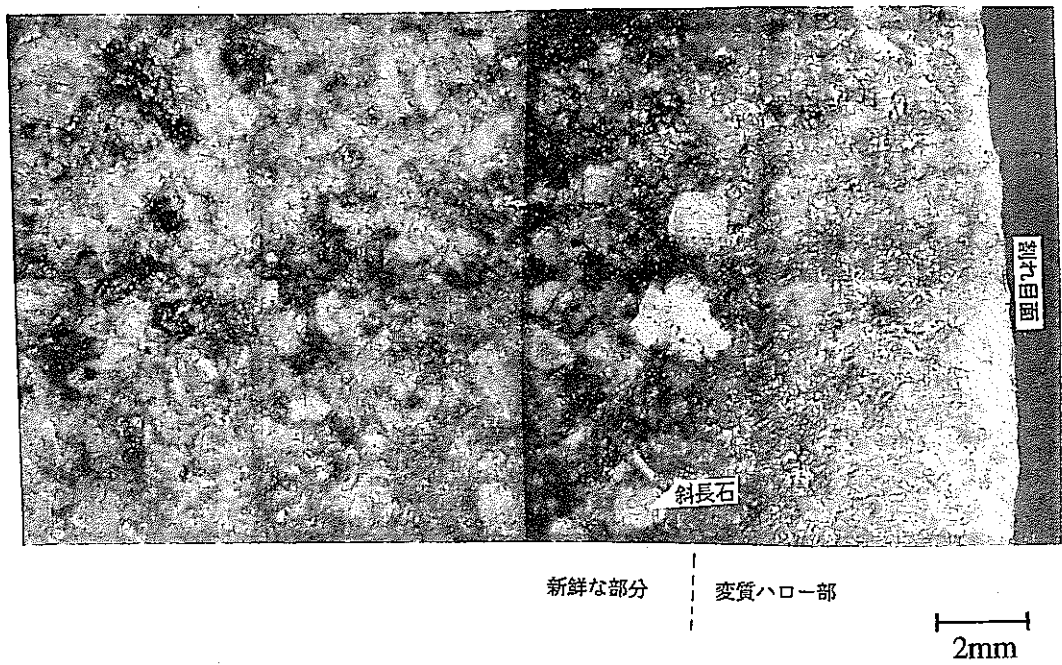
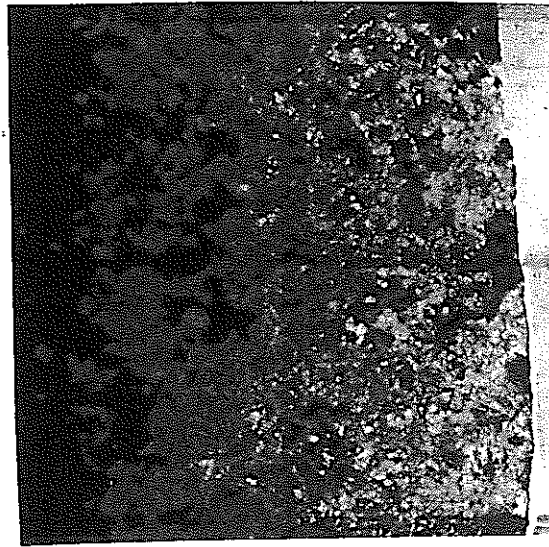


図 3.2.3-1 花崗閃緑岩試料の観察・解析面の実体顕微鏡写真 (可視光)

ゾーン番号 Ⅱ Ⅰ

4	1
3	2

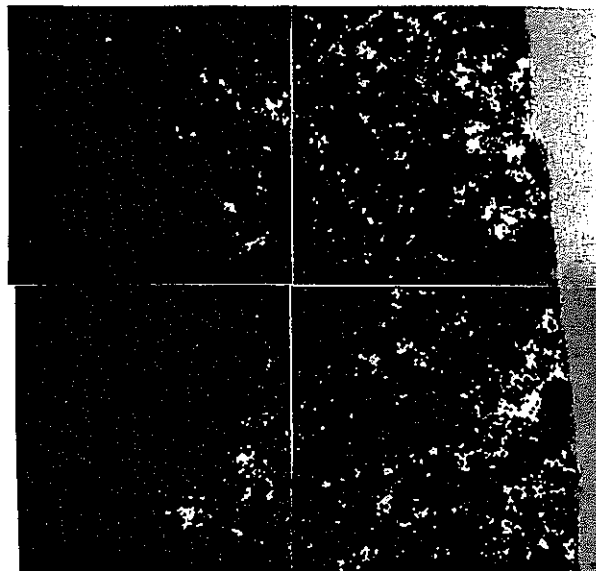


2mm

図 3.2.3-2 花崗閃緑岩試料の観察・解析面の実体顕微鏡写真（紫外光）

ゾーン番号 II I

4	1
3	2

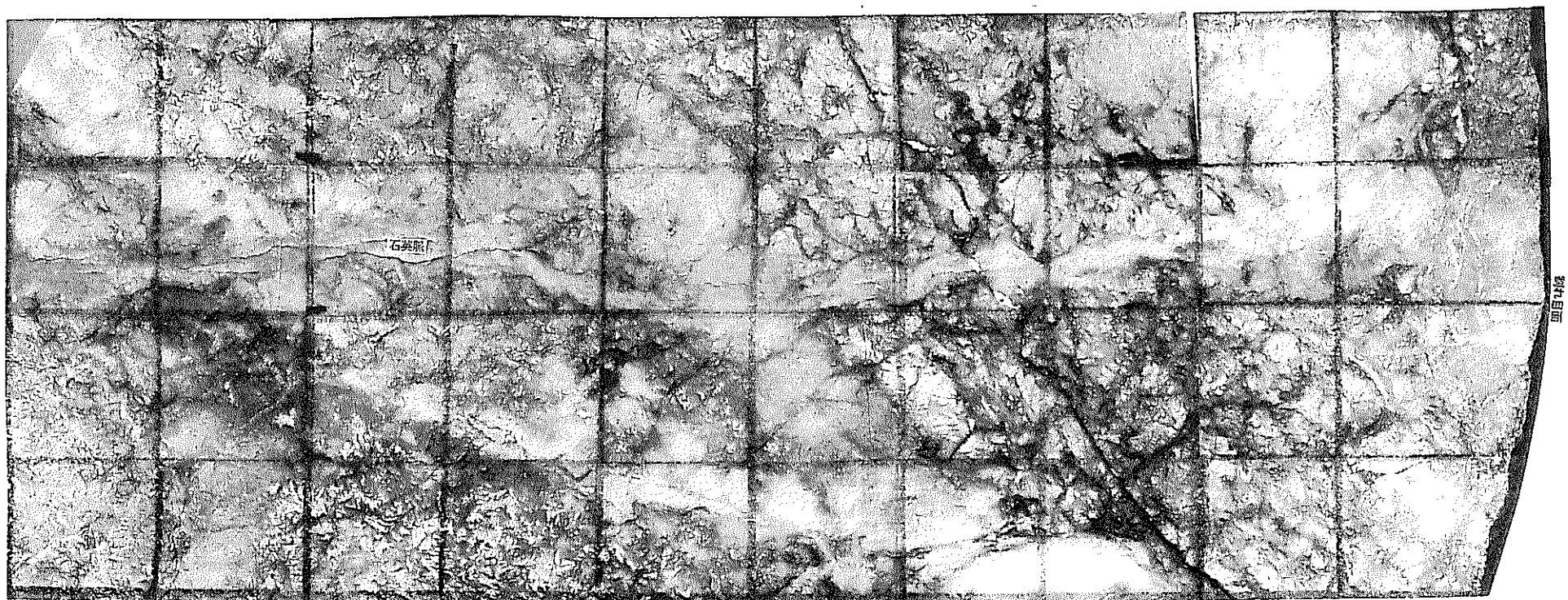


2mm

図 3.2.3-3 花崗閃緑岩試料の観察・解析面の二値処理像

ゾーン番号 X IX VIII VII VI V IV III II I

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20	19	18	17	16	15	14	13	12	11
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
40	39	38	37	36	35	34	33	32	31

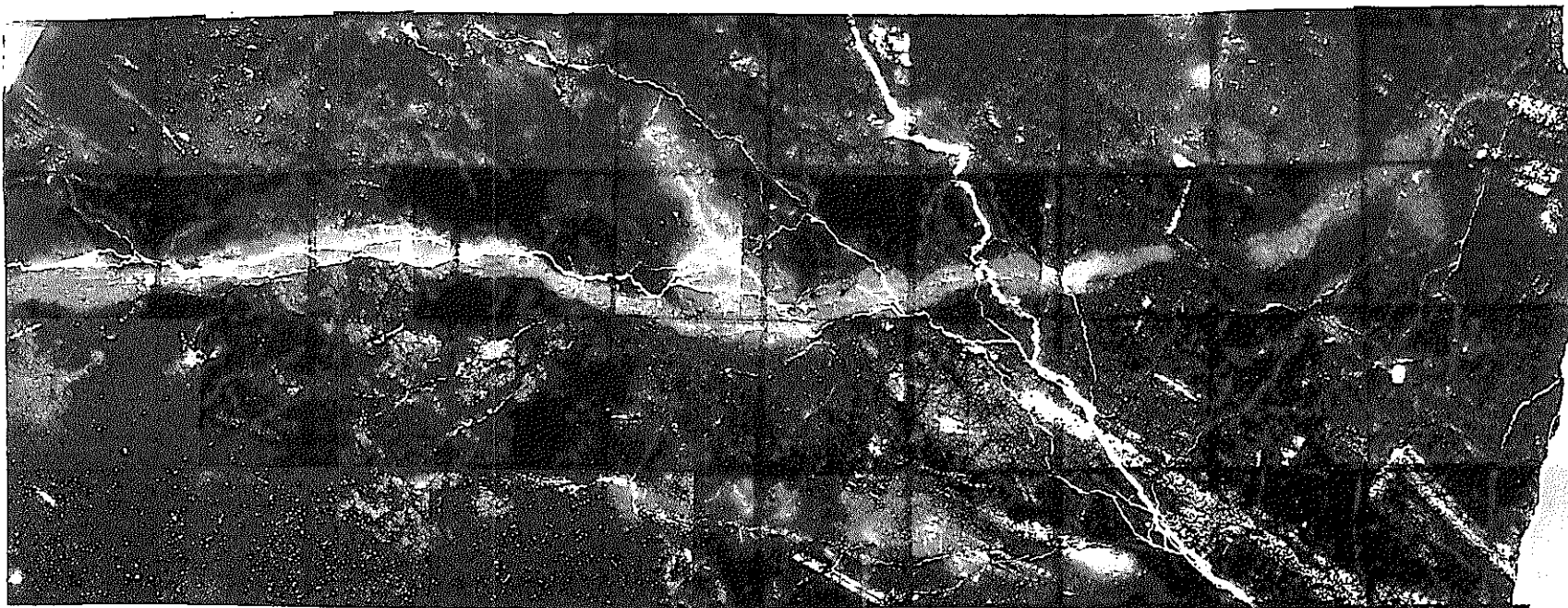


2mm

図 3.2.3-4 ハンレイ岩試料の観察・解析面の実体顕微鏡写真（可視光）

ゾーン番号: X | IX | VIII | VII | VI | V | IV | III | II | I

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20	19	18	17	16	15	14	13	12	11
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
40	39	38	37	36	35	34	33	32	31

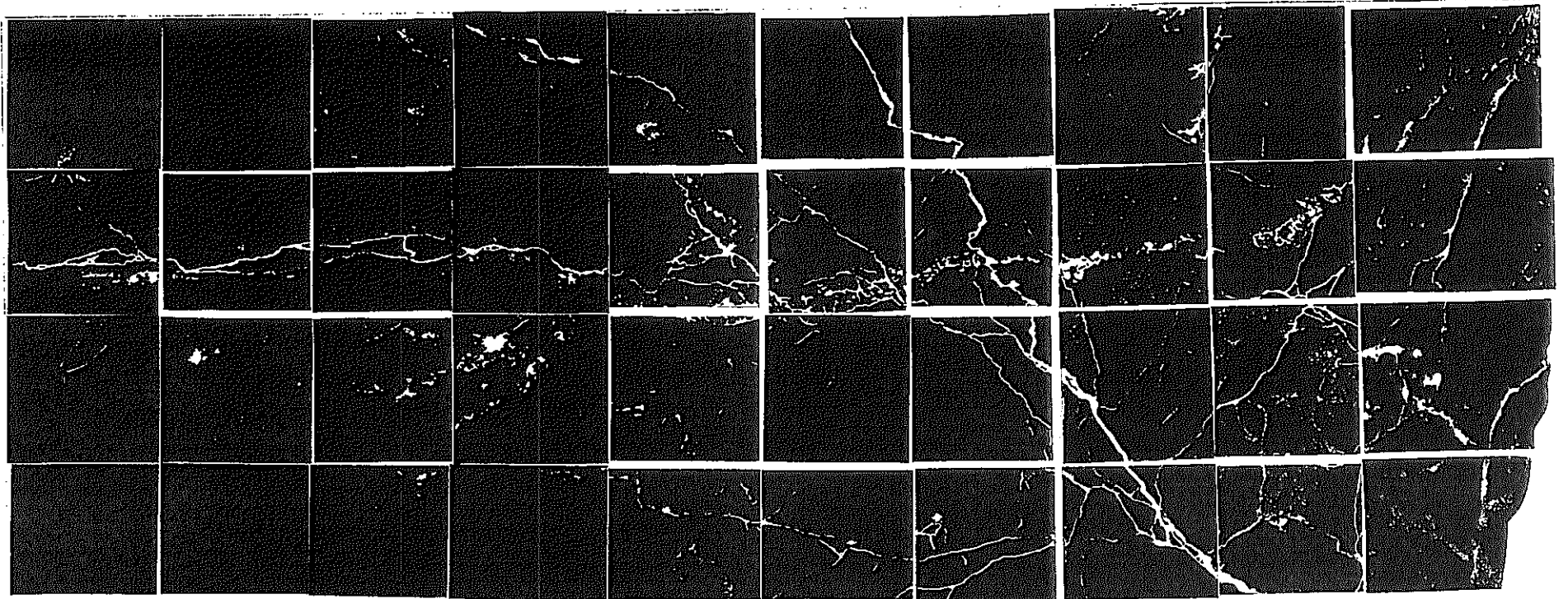


2mm

図 3.2.3-5 ハンレイ岩試料の観察・解析面の実体顕微鏡写真（紫外光）

ゾーン番号 : X IX VIII VII VI V IV III II I

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20	19	18	17	16	15	14	13	12	11
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
40	39	38	37	36	35	34	33	32	31



2mm

図 3.2.3-6 ハンレイ岩試料の観察・解析面の二値処理像

表3.2.3-1 ハンレイ岩の画像解析結果（各深度ゾーンごとの平均パラメータ）

観察視野ゾーン 番号	粒子個数 (個)	総領域面積 (mm ²)	総粒子面積 (mm ²)	面積率	最大粒子面積 (mm ²)	粒子データの平均値						
						面積(mm ²)	周囲長(mm)	円形度	平均径 (mm)	最大長(mm)	粒子方向	最大幅(mm)
ゾーンI	548	136.9890	4.9800	3.6353	0.4381	0.0091	0.3268	0.8427	0.0898	0.1244	13.6761	0.0562
ゾーンII	539	103.5437	4.4429	4.2908	0.4842	0.0082	0.3343	0.8690	0.0931	0.1288	16.7211	0.0598
ゾーンIII	292	105.3526	4.7347	4.4941	1.2374	0.0162	0.5055	0.8043	0.1234	0.1756	18.8685	0.0679
ゾーンIV	106	94.6466	3.3429	3.5320	0.8265	0.0316	1.0737	0.6954	0.2555	0.3603	8.7213	0.1269
ゾーンV	132	97.0742	2.0939	2.1570	0.4136	0.0159	0.6821	0.6484	0.1888	0.2735	3.3434	0.0908
ゾーンVI	171	101.3218	2.4654	2.4332	0.5140	0.0145	0.5853	0.6860	0.1614	0.2285	3.0309	0.0933
ゾーンVII	109	109.9350	1.8377	1.6716	0.3537	0.0168	0.5341	0.7740	0.1508	0.2104	10.5904	0.0926
ゾーンVIII	95	93.3470	0.9559	1.0240	0.1687	0.0100	0.4467	0.7743	0.1330	0.1861	-0.1701	0.0781
ゾーンIX	46	51.5190	0.7322	1.4212	0.3031	0.0159	0.5403	0.8349	0.1447	0.2064	20.6704	0.0746
ゾーンX	69	79.5645	1.0953	1.3766	0.5463	0.0159	0.6490	0.7600	0.1515	0.2219	15.0027	0.0701

が形成されたり、あるいは同じ部分に割れ目が再び形成され広がっている。大きな割れ目状空隙は全体的に見て樹枝状を呈しており、割れ目面から内部に向けて末広がり状を呈する。図 3.2.3-4 及び図 3.2.3-5 から、割れ目面から連続する主要な割れ目として、視野 10, 12, 13 ~ 20 を通る割れ目と、視野 32 から 6 に至る割れ目が観察できる。これらは割れ目面に直接連続する空隙と考えられる。どちらの割れ目もより微小な割れ目と連絡しているが割れ目面からの深さとともにその頻度は小さくなっている。樹脂充填空隙の面積率も深さとともに小さくなる傾向を示している。視野 10, 12, 13 ~ 20 を通る割れ目は、石英脈中に生じており、周辺の石英中に脈に平行な方向とそれと直角な方向の微細な割れ目が派生している。割れ目面から直接連続した空隙は割れ目面から 50mm 以上の深さまで認められる。

(3) 片岩

44 個の視野に区画分けした観察面の可視光および紫外光による実体顕微鏡観察像と二値処理像をそれぞれ図 3.2.3-7, 図 3.2.3-8, 図 3.2.3-9 に示す。また、割れ目面からの距離ごとに空隙パラメータを算出し、表 3.2.3-2 にまとめた。

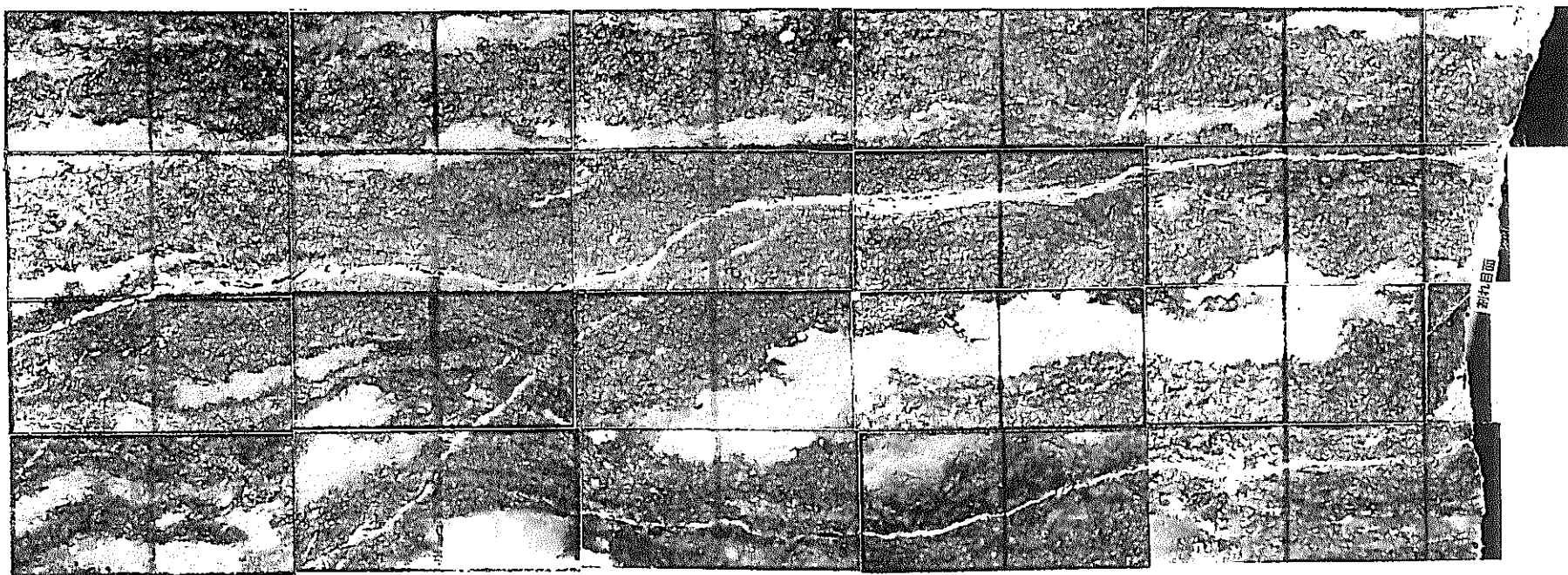
片岩試料はマクロ的には緑色の鉱物集合体の領域と白色の鉱物集合体の領域からなり、それらは片理の方向に帯状に延びている。割れ目面は片理の方向とほぼ垂直である。観察・解析範囲内においては、片理と平行な方向に延びる割れ目と、片理方向と斜交する数本の割れ目が主要割れ目として観察できる。これらは結晶の粒界の空隙を連結することにより形成したもので、いずれも割れ目面に直接連続する空隙と考えられる。片理に平行に割れ目が生じる場合には、片理方向に配向したアクチノ角閃石や緑れん石等の粒界部に生じた空隙を連結して、滑らかな曲線状の割れ目を形成している。片理に斜交した方向に割れ目が生じる場合には、割れ目の伸長方向と結晶の配向方向は一致していないので、結晶粒界を連結して比較的ギザギザな割れ目を形成している。紫外光を照射した実体顕微鏡像（図 3.2.3-8）から、片理と平行な割れ目及び片理と斜交する割れ目の近傍において、片理と平行な非常に微細な割れ目群が多数観察された。これらの微細な割れ目は、配向したアクチノ角閃石等の粒界に存在する空隙が主要な割れ目と連結しているものと考えられ、直接割れ目面と連続する空隙ではないと思われる。割れ目面から直接連続している空隙は割れ目面から深さ 50mm よりも深い領域まで確認され、それらの空隙の周囲において、割れ目面に間接的に連続する空隙が確認される。樹脂充填空隙の面積率は、割れ目面からの深度により大きく変化することはなかった。

(4) 古第三紀以前の堆積岩（砂岩）

ゾーン番号

X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	I
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
22	21	20	19	18	17	16	15	14	13
23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
44	43	42	41	40	39	38	37	36	35

5mm

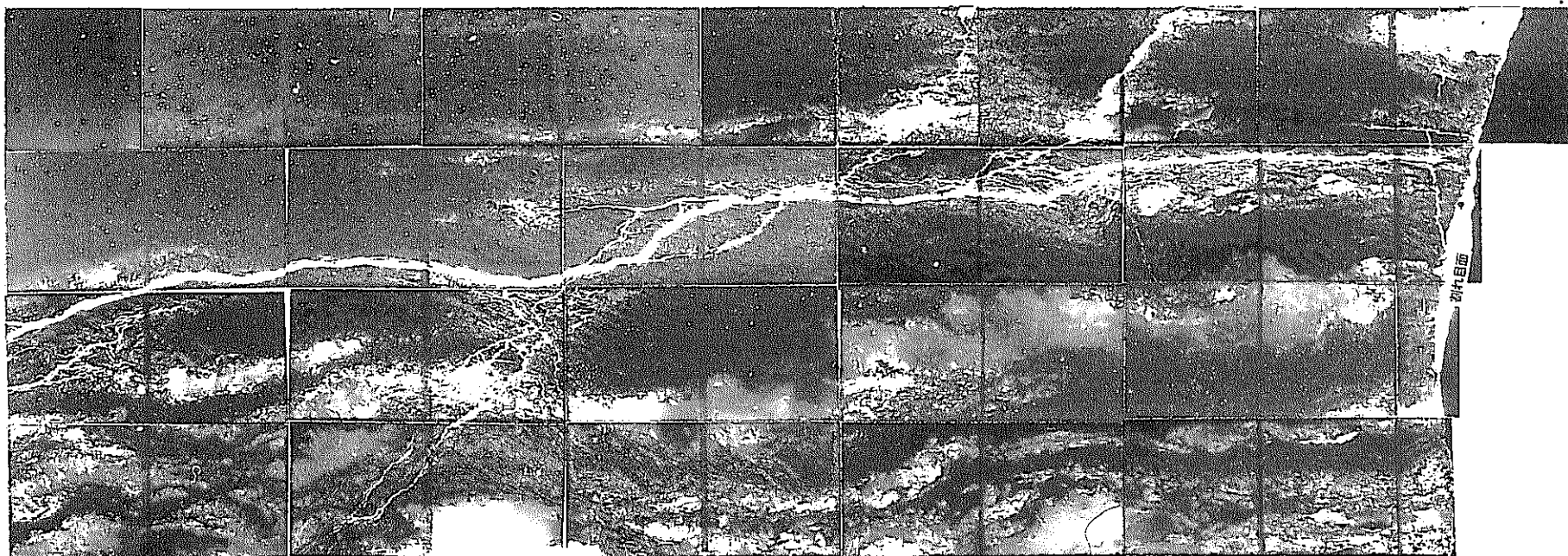


3mm

図 3.2.3-7 片岩試料の観察・解析面の実体顕微鏡写真（可視光）

ゾーン番号	X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	I
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12
23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34

5mm

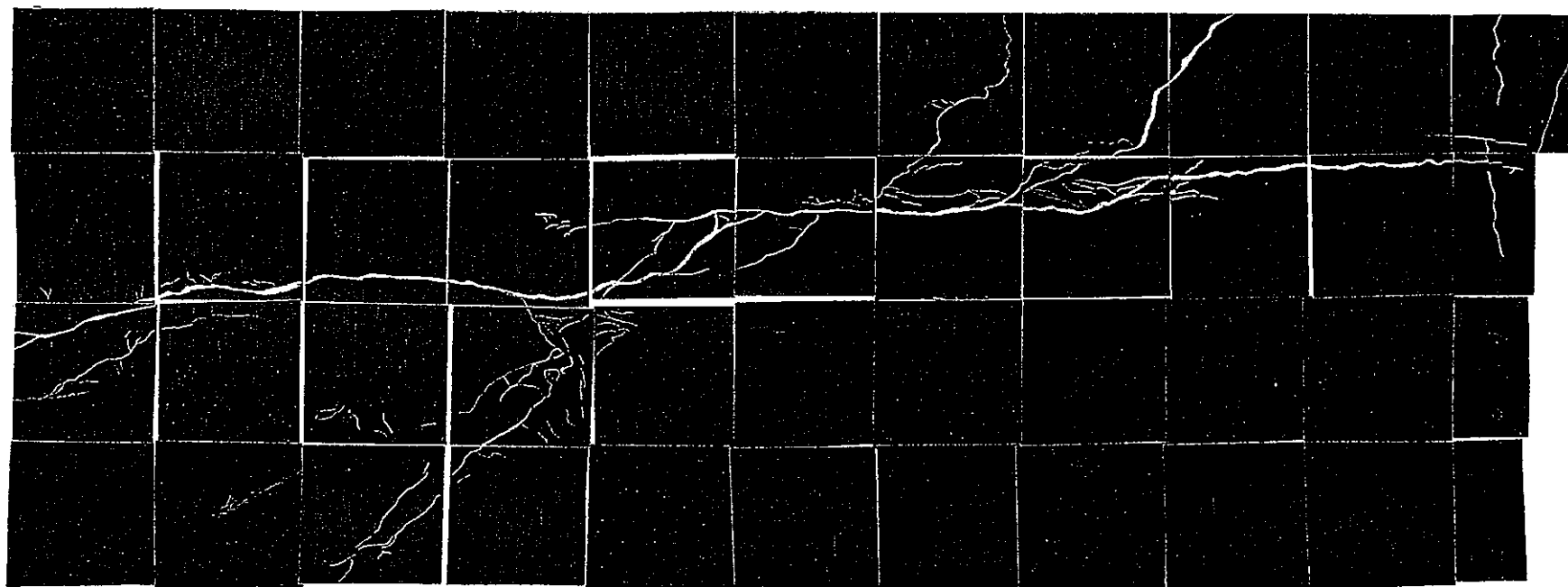


3mm

図 3.2.3-8 片岩試料の観察・解析面の実体顕微鏡写真 (紫外光)

ゾーン番号	X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	I
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12
23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34

5mm



3mm

図 3.2.3-9 片岩試料の観察・解析面の二値処理像

表3.2.3-2 片岩の画像処理結果（各深度ゾーンごとの平均パラメータ）

観察視野ゾーン 番号	粒子個数 (個)	総領域面積 (mm ²)	総粒子面積 (mm ²)	面積率 (%)	最大粒子面積 (mm ²)	粒子データの平均値						
						面積(mm ²)	周囲長(mm)	円形度	平均径(mm)	最大長(mm)	粒子方向	最大幅(mm)
ゾーンI	76	148.3682	0.9150	0.6167	0.4282	0.0120	0.6892	0.5953	0.1697	0.2555	17.2086	0.0534
ゾーンII	15	78.7456	0.8302	1.0543	0.4410	0.0553	2.0098	0.3805	0.4745	0.7241	17.7896	0.0908
ゾーンIII	111	80.6847	1.2100	1.4996	0.6074	0.0109	0.4860	0.7519	0.1189	0.1784	7.5244	0.0486
ゾーンIV	46	80.2962	0.8821	1.0985	0.4747	0.0192	1.1068	0.3919	0.2959	0.4428	10.7558	0.0928
ゾーンV	31	79.1674	0.4369	0.5519	0.2581	0.0141	0.8291	0.6478	0.2255	0.3385	9.6195	0.0718
ゾーンVI	88	79.0334	1.4076	1.7810	0.9605	0.0116	0.6103	0.8467	0.0785	0.1126	2.6083	0.0458
ゾーンVII	112	78.8463	1.3542	1.7175	0.4609	0.0121	0.7762	0.5500	0.1720	0.2518	6.0270	0.0738
ゾーンVIII	109	80.0542	0.4335	0.5415	0.1661	0.0040	0.3223	0.7589	0.0970	0.1488	26.8171	0.0319
ゾーンIX	24	80.8573	0.8044	0.9949	0.6447	0.0335	1.1710	0.5229	0.2701	0.4074	9.6555	0.0849
ゾーンX	17	80.9687	0.9649	1.1917	0.4944	0.0568	3.6699	0.3842	0.5294	0.7921	6.4596	0.1558

110 個の視野に区画分けした観察面の可視光および紫外光による実体顕微鏡観察像をそれぞれ図 3.2.3-10 及び図 3.2.3-11 に示す（視野の区画分け番号は図 3.2.3-10、図 3.2.3-11 の左上に示す）。また、視野番号 45～66 の範囲について画像解析を行った。その二値処理像を図 3.2.3-12 に示す。割れ目面からの距離ごとに求めた空隙パラメータを表 3.2.3-3 に示す。

供試体を肉眼観察すると、割れ目面からおよそ 10mm 程度の深さまでの領域は、若干暗い色を呈しているのが認められたが、全体的にはほぼ均一な組織・構造となっている。紫外光を当てると、割れ目面から 5～10mm の深さまでの蛍光樹脂の認められる領域（ゾーン A）、それに隣接して割れ目面から約 20mm の深さの部分まで広がっている蛍光樹脂の認められない領域（ゾーン B）及びその領域以深の蛍光樹脂の認められる領域（ゾーン C）からなる累帯構造を示す。ゾーン A では、個々の石英粒子の周囲を粘土等の変質鉱物を取り囲んでいる。蛍光樹脂は、石英粒子内部の微小割れ目や、変質鉱物を構成する微細な個々の鉱物粒子の内部の微小空隙や粒界に浸透しており、それらは互いに連結している。ゾーン B では、樹脂充填空隙はまばらに存在し、それらの連結性は低い。ゾーン C では、長石や石英等の主要構成鉱物がほとんど隙間無く詰まっており、蛍光樹脂はそれらの粒界に存在する微小な空隙や鉱物粒子内部の微小割れ目に浸透している。樹脂浸透空隙は互いに連結し網目状になっている。

以上から、割れ目面から連続する空隙が確認される範囲はゾーン A 及びゾーン C であり、観察範囲（割れ目面から 50mm）より深部まで空隙は連続している。しかしながら、割れ目面に直接連続している空隙はゾーン A 中の樹脂充填空隙であり、ゾーン C の樹脂充填空隙はどこかでゾーン A 中の樹脂充填空隙に連結することにより、間接的に割れ目面に連続していると考えられる。

ゾーン番号

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12
23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34
45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
66	65	64	63	62	61	60	59	58	57	56
67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77
88	87	86	85	84	83	82	81	80	79	78
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
110	109	108	107	106	105	104	103	102	101	100

3mm

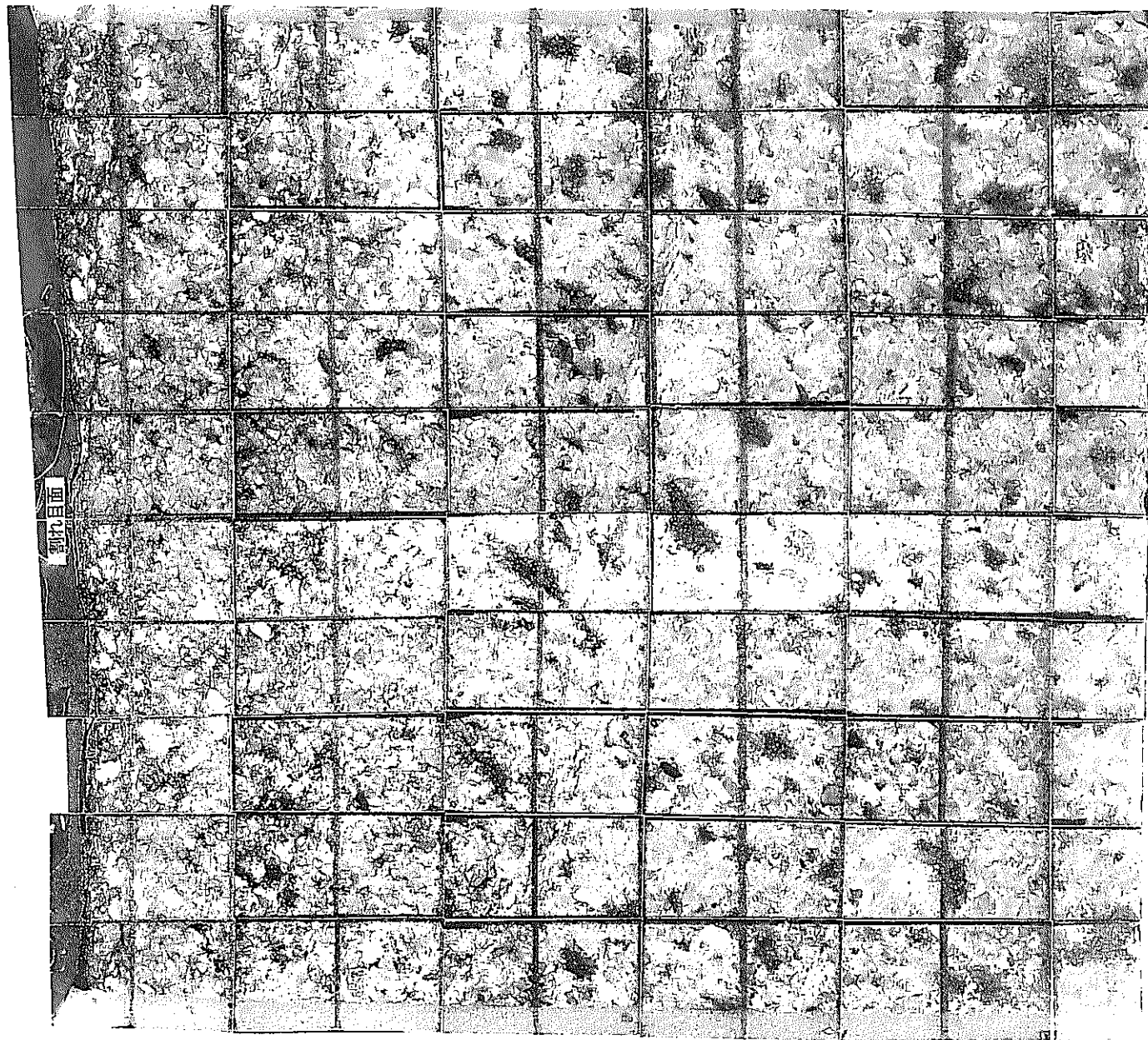


図 3.2.3-10 古第三紀以前の堆積（砂岩）の観察・解析面の実体顕微鏡写真（可視光）

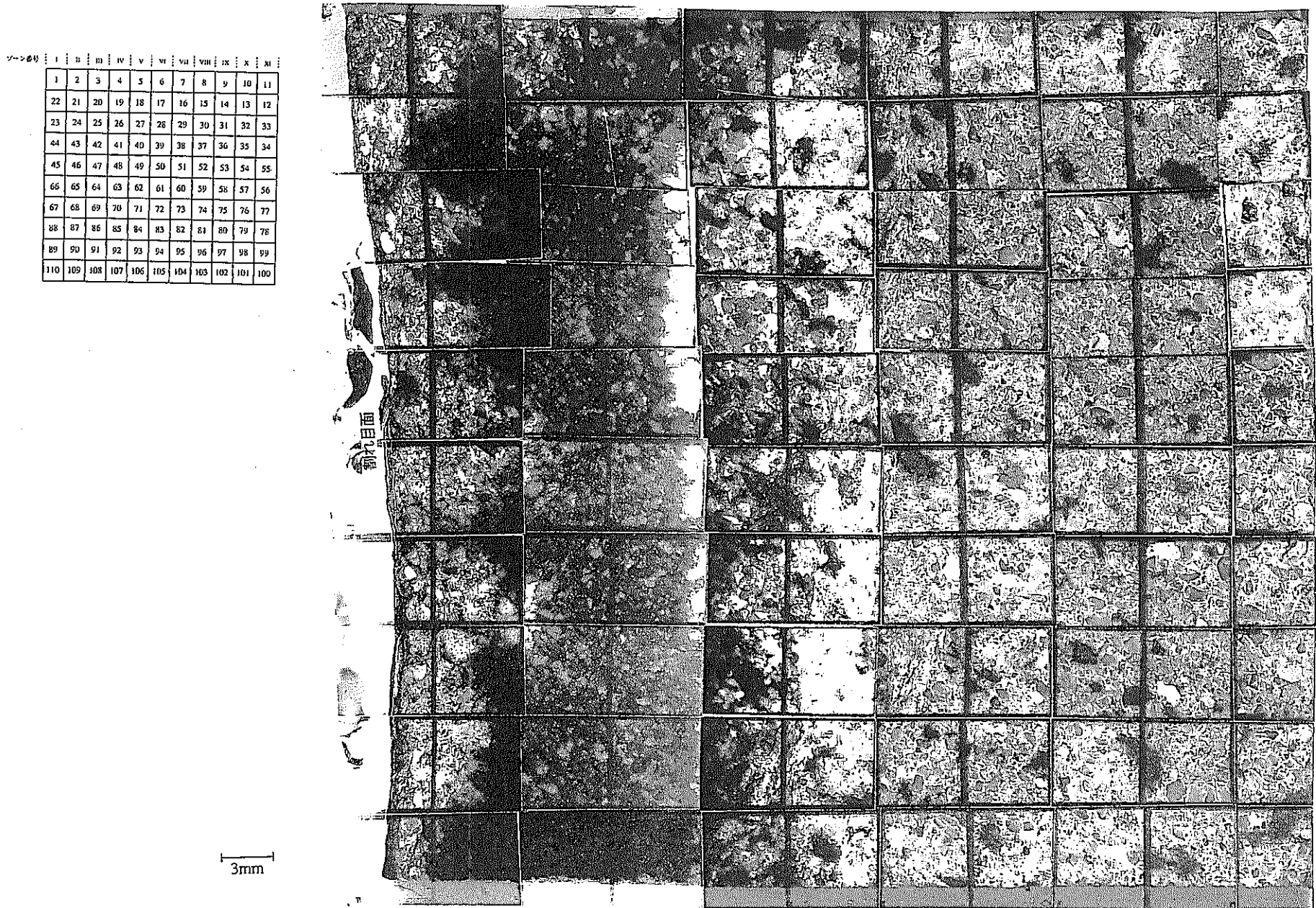


図 3.2.3-11 古第三紀以前の堆積（砂岩）の観察・解析面の実体顕微鏡写真（紫外光）

ゾーン番号

	i	ii	iii	iv	v	vi	vii	viii	ix	x	xi
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	
23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	
44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	
45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	
66	65	64	63	62	61	60	59	58	57	56	
67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	
88	87	86	85	84	83	82	81	80	79	78	
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	
110	109	108	107	106	105	104	103	102	101	100	

二値処理画像

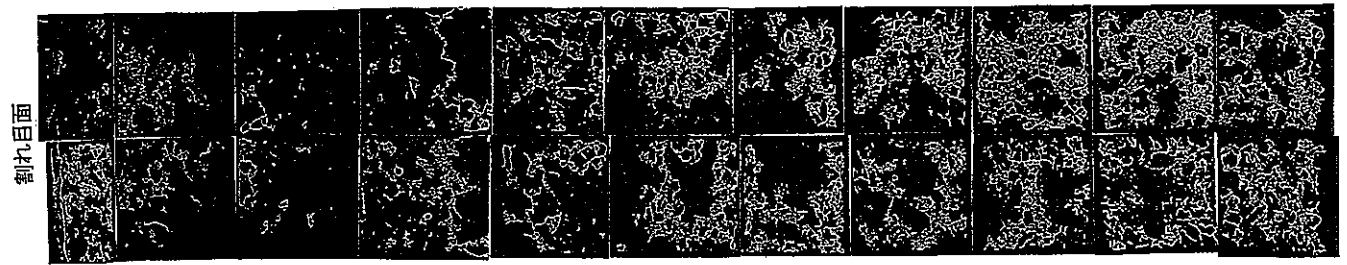


図 3.2.3-12 古第三紀以前の堆積（砂岩）の観察・解析面の二値処理像

3mm

表3.2.3-3 古第三紀以前の堆積岩（砂岩）の画像処理結果（各深度ゾーンごとの平均パラメータ）

観察視野番号 No.	粒子個数 (個)	総領域面積 (mm ²)	総粒子面積 (mm ²)	面積率 (%)	最大粒子面積 (mm ²)	粒子データの平均値						
						面積(mm ²)	周囲長(mm)	円形度	平均径(mm)	最大長(mm)	粒子方向(°)	最大幅(mm)
I	552	30.8911	2.0080	6.5003	0.8321	0.0036	0.5127	0.8078	0.0698	0.1058	18.7791	0.0466
II	185	52.6677	1.5304	2.9057	0.8743	0.0083	1.2016	0.7929	0.1028	0.1510	8.0129	0.0812
III	170	52.3803	0.7111	1.3575	0.1522	0.0042	0.5891	0.7776	0.0840	0.1270	10.3824	0.0605
IV	331	56.1468	1.8464	3.2885	0.6266	0.0055	0.8099	0.8316	0.0881	0.1294	7.3539	0.0656
V	195	50.2891	1.9260	3.8299	0.5427	0.0099	1.4231	0.7853	0.1368	0.1975	8.9623	0.1014
VI	320	53.5698	2.8598	5.3385	0.8567	0.0090	1.3129	0.8566	0.0885	0.1283	11.9427	0.0657
VII	208	46.8525	3.0463	6.5019	1.5803	0.0147	2.1578	0.8415	0.1111	0.1581	8.8198	0.0860
VIII	290	52.7451	3.7373	7.0855	2.2244	0.0129	1.9092	0.8751	0.0849	0.1219	10.9201	0.0710
IX	379	50.7607	3.3731	6.6451	0.9177	0.0089	1.3237	0.8418	0.0845	0.1226	10.8256	0.0695
X	415	50.8361	3.2461	6.3855	1.3700	0.0078	1.1412	0.8131	0.0938	0.1385	8.6987	0.0713
XI	262	51.4329	3.5924	6.9847	1.8617	0.0137	2.0281	0.8695	0.0947	0.1363	7.2865	0.0742

3.3 移行経路となる地質構造モデルのパターン化

3.2.1 項の検討で亀裂の諸特性について検討した。その結果を要約すると次のようになる。

- ① 亀裂の方向性：花崗岩類で比較的明瞭な特徴があるが、その他の岩石ではとくに特徴的な傾向を示さず、サイトスペシフィックな特徴をもつと考えられる。
- ② 亀裂のトレース長：フラクタル性を検討した結果、トレース長のべき指数(フラクタル次元)と岩種との間にはとくに関係が認められない。ある種の岩石(火山岩類及び深成岩類)では、岩種ごとにばらつきがあるものの古い岩石ほどべき指数が大きくなる傾向が示された。
- ③ 亀裂密度：地質調査所による岩種区分と亀裂密度(P_{21})との関係を検討した結果、付加コンプレックス、火山岩類及び深成岩類に該当する通常スケッチ箇所データのデータは、岩種ごとにばらつきはあるものの古い時代の岩石ほど亀裂密度(P_{21})が大きくなる傾向が認められた。

これらのことから、包括的な視点から見ると、亀裂の方向性及びトレース長は岩種との関係はなさそうであること、ある種の岩石においては亀裂密度、及びトレース長分布の広がりを示すべき指数 D_L は、岩石が形成されてからの時間に関係がありそうであることが示された。これまでの検討を踏まえ、本節では通常スケッチスケールにおける亀裂の幾何的分布の特徴から、地質構造モデルのパターン化を試みる。

表 3.3-1 は各通常スケッチ箇所毎に 3.2.1 項で整理した亀裂の傾斜、亀裂密度、トレース長のフラクタル次元及び透水指数のデータをまとめたものである。「亀裂の傾斜」は亀裂を緩傾斜(傾斜 30° 以下)、中間傾斜(傾斜 $31^\circ \sim 60^\circ$)及び急傾斜(傾斜 61° 以上)にわけ、通常スケッチ調査箇所毎にそれぞれに該当する亀裂数の割合を 33%及び 66%で区切りマークで区別した。亀裂密度は 2 次元密度(P_{21})のデータを全体の分布から相対的に 3 ランクに分け、密度の高いもの、中間のもの及び低いものに分けて示した。フラクタル次元も同様に全体のデータ分布から相対的に 3 ランクに分けて示した。透水指数は、亀裂数のうち透水性を示唆する現象(湧水、酸化充填物、酸化変質ハローのいずれか)を伴う亀裂数の割合を示した。

本表中、「パターン」は亀裂の傾斜(緩傾斜、中間傾斜、急傾斜)毎の亀裂数の割合から次の 5 パターンに区分した。

- ・ パターン 1：急傾斜の亀裂が優勢であるもの。具体的には通常スケッチ箇所内の亀裂数のうち急傾斜のものが 66%を超えるもの。
- ・ パターン 2：主として急傾斜及び中間傾斜の亀裂からなり、双方がそれぞれ 33%以上あるもの。
- ・ パターン 3：主として急傾斜の亀裂と緩傾斜の亀裂からなり、双方がそれぞれ 33%以上あ

表3.3-1 地質構造モデルのパターン化の検討

岩種	番号	箇所	岩石名	パターン	亀裂の傾斜			亀裂密度	フラクタル次元	透水指数 %
					緩傾斜	中傾斜	急傾斜			
(酸性岩)	1	I-1	流紋岩質溶結凝灰岩	3	△		△	○	+	98
	2	I-2	流紋岩質溶結凝灰岩	3	△		△	○	+	85
	3	I-3	花崗閃緑岩	1	+		○	○	+	95
	4	I-4	花崗閃緑岩	1	+		○	○	△	99
	5	OS-1	花崗閃緑岩	1	+		○	+	○	0
	6	OS-2	花崗閃緑岩	1		+	○	△	○	9
(塩基性岩)	7	A-3	斑れい岩	6	+	+	△	△	+	97
	8	A-4	斑れい岩	3	△	+	△	○	△	95
	9	HM-1	玄武岩	1	+		○	+	○	9
	10	HM-2	玄武岩	1	+		○	+	△	5
	11	S-1	輝緑岩	4	+	○		△	△	57
	12	S-2	輝緑岩	1		+	○	○	+	51
	13	SB-1-A	結晶片岩	1			○	○	△	86
	14	SB-1-B	結晶片岩	1			○	○	+	42
	15	SB-2	結晶片岩	1	+		○	△	○	59
	16	YN-1	安山岩	4		○		△	+	15
17	YN-2	安山岩	4		○		+	○	10	
新第三紀堆積岩	18	BS-1	砂泥互層	1	+		○	△	○	15
	19	NS-3	砂泥互層	4		○		+	+	82
	20	NS-4	砂岩	5	○	+		△	○	74
	21	ST-1	砂岩	4		○		+	○	29
	22	BS-2	泥岩	1			○	+	○	33
	23	H-1	凝灰角礫岩	4	+	○	+	+	△	31
	24	H-2	凝灰岩	1	+	+	○	△	△	100
	25	N-1	珪藻土	1			○	+	+	57
	26	N-2	珪藻土	1		+	○	+	+	45
	27	NS-1	泥岩	4		○	+	△	○	48
	28	NS-2	泥岩	6	+	+	△	△	○	60
	29	O-1	頁岩	1	+		○	○	+	96
	30	O-2	頁岩	1	+		○	○	+	91
	31	O-3	泥岩	3	△	+	△	△	△	63
	32	O-4	凝灰岩	6	+	+	△	+	○	40
	33	Y-1	凝灰岩	6	△	+	+	+	△	60
	34	Y-2	凝灰岩	3	△		△	○	○	57
先新第三紀堆積岩	35	KS-1	砂岩	3	△		△	+	+	2
	36	KS-2	砂泥互層	1	+		○	+	+	6
	37	ST-2	砂泥互層	3	△		△	△	△	31
	38	T-1	砂岩	6	+	+	△	○	△	97
	39	T-2	砂岩	3	△	+	△	○	+	82
	40	A-1	粘板岩	1	+		○	△	△	96
	41	A-2	粘板岩	6	+	+	△	△	△	97
	42	M-1	千枚岩	2		△	△	△	△	87
	43	M-2	千枚岩	2		△	△	+	○	71
	44	X-1	石灰岩	1		+	○	○	△	42
	45	X-2	石灰岩	1		+	○	○	○	37

パターン：パターン1：急傾斜の亀裂が優勢であるもの
 パターン2：主として急傾斜及び中間傾斜の亀裂からなるもの
 パターン3：主として急傾斜の亀裂と緩傾斜の亀裂からなるもの
 パターン4：中間傾斜の亀裂が優勢であるもの
 パターン5：緩傾斜の亀裂が優勢であるもの
 パターン6：とくに顕著な傾向を示さない。

亀裂数の割合 緩傾斜：傾斜30°以下、中傾斜：傾斜31~60°、
 急傾斜：傾斜61°以上
 (割合R) + : R ≤ 33%、△ : 66% ≤ R < 33%、○ : R > 66%、無印 : 0%

亀裂密度(P21) + : P21 ≤ 329、△ : 329 < P21 ≤ 521、○ : P21 > 521

フラクタル次元(DL) トレース長のフラクタル次元

+ : DL ≥ 1.60、△ : 1.60 > DL ≥ 1.28、○ : DL < 1.28

透水指数：亀裂総数のうち透水性を示唆する現象(湧水、酸化充填物、酸化変質ハロー)を伴う亀裂の割合。

るもの。

- ・ パターン4：中間傾斜の亀裂が優勢であり、その割合が66%を超えるもの。
- ・ パターン5：緩傾斜の亀裂が優勢であり、その割合が66%を超えるもの。
- ・ パターン6：その他。とくに顕著な傾向を示さない。

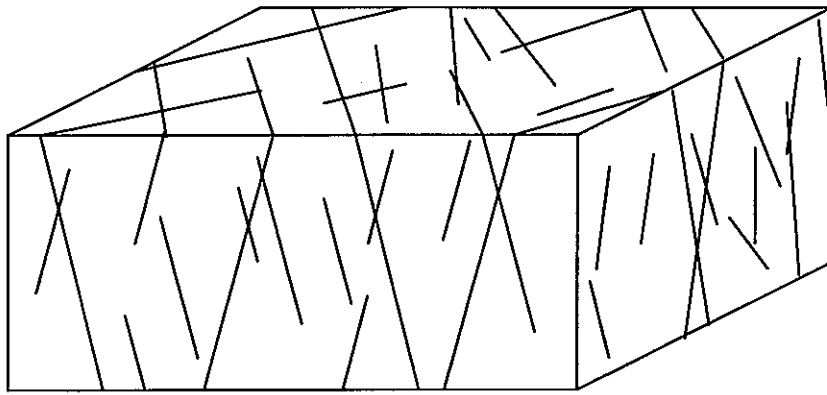
このように亀裂傾斜に着目してそのパターンの区分を検討した理由は、亀裂の傾斜が物質移行の方向性に関係すると考えられるからである。すなわち、岩盤中の亀裂の構造が主として重力方向(上下方向)への物質移行に寄与するか水平方向への物質移行に寄与するかという観点から地質構造のパターン化を検討したものである。

亀裂の走向についてはとくに考慮しなかった。亀裂の走向が物質移行に対し意味をもつとすれば、亀裂の傾斜が大きい場合に水平方向への物質移行に異方性を与える可能性がある。しかしながら実際のデータからは急傾斜の亀裂はいくつかの走向のグループがあり、さらにグループごとの集中度も調査箇所によって様々であることが示されている(図3.2.1-1、表3.2.1-3を参照)。これらのことから、亀裂の走向に基づく分類は重要でなく、さらに分類を複雑にしてしまうと考えられるため、考慮しなかった。

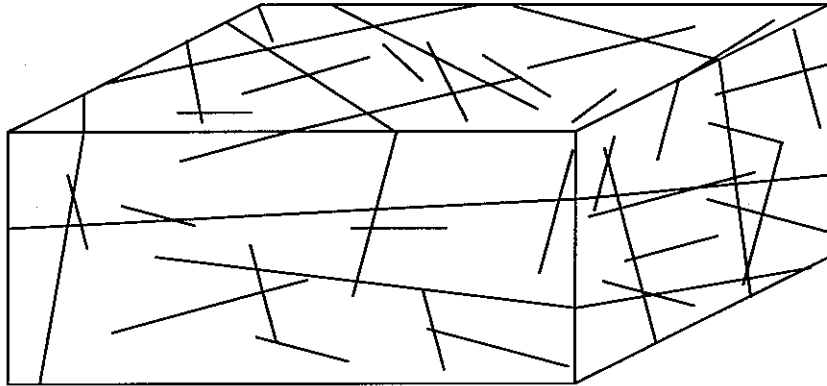
図3.3-1に上記の各パターンを概念的に図示する。パターン化はより単純化して示されることが望ましいため、上記のパターンのうち急傾斜～中間傾斜の亀裂を主体とするもの(パターン1、パターン2及びパターン4)を一まとめとして取り扱うこととする。本図は2m×2m×1mの直方体を想定し、それぞれのパターンの亀裂の現れ方を示したものである。本図において亀裂のトレース長は3.2.1項で検討したフラクタル次元(べき指数)を考慮し、通常スケッチ箇所全体の平均値(べき指数1.48)の場合に近くなるように表現した。亀裂の走向及び傾斜は適切に幅を持たせて描いているが、パターン5及びパターン6以外は亀裂の走向が2方向に収束するように描いた。

以上をまとめ、各サイトの露頭スケールにおける地質構造の幾何的特徴及び移行経路としての寄与の程度は次のようなパラメーターで表現できるものと考えられる。

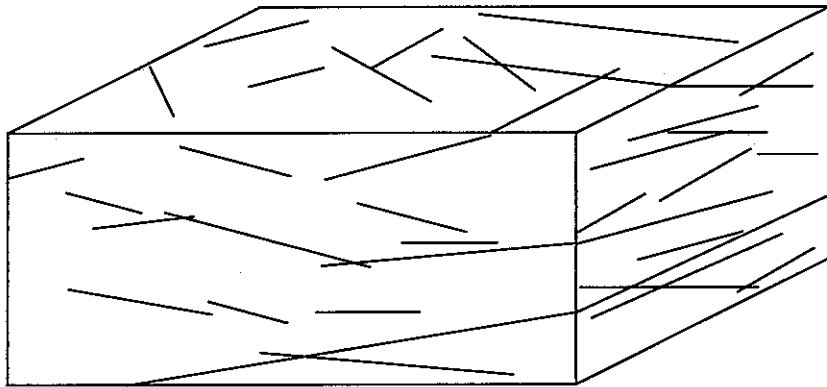
- ・ 亀裂の傾斜に基づくパターン
- ・ 亀裂密度
- ・ 亀裂トレース長のフラクタル次元
- ・ 透水指数



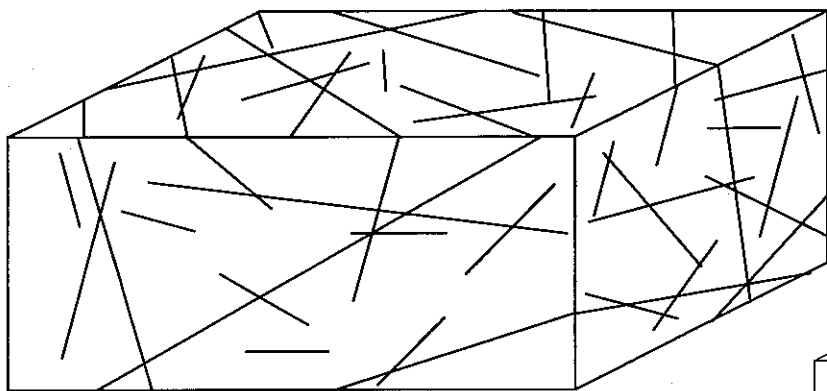
パターン 1, 2, 4 :
急傾斜～中間傾斜の亀裂が優勢



パターン 3 :
急傾斜及び緩傾斜の亀裂が優勢



パターン 5 :
緩傾斜の亀裂が優勢



パターン 6 :
特に顕著な傾向を示さない

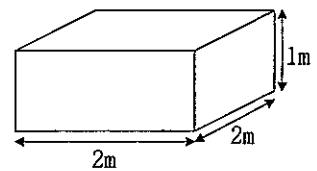


図3.3-1 亀裂構造のパターン化

3.4 現場観察結果に基づく概念モデルの検討

現場観察により取得した各岩盤の特性データに基づいて、各岩盤を水理特性評価モデルで表現するためにどのような概念モデルで表現することが妥当であるか検討し、またその際の課題を考察する。概念モデルとして、亀裂ネットワークモデル、二重空隙モデル及び多孔質媒体モデルを考慮の対象とする。また、モデル化のスケールとして、ブロックスケールを考慮する。

3.4.1 概念モデルの概要

上記の3つの概念モデルについて、モデル化の特徴、長所及び短所等の概略を既存の文献に基づいて整理し、その結果に基づいて採用すべき概念モデルを決めるうえで重要な岩盤の特性パラメータを明らかにすることとする。以下に各概念モデルのモデル化の概要、長所及び短所を示す。

(1) 亀裂ネットワークモデル

モデルの概要

岩盤内の岩石部の透水性を無視して、水は亀裂のみを流動すると仮定した不連続解析モデルである。亀裂が互いに連結して形成する亀裂ネットワークは、個々の亀裂を円盤等に置き換え、それらを確率論的に発生させることによりモデル化する。

長所

ブロックスケールを考慮した場合に、岩盤が良好で亀裂が比較的少なく、そのため岩石部の透水が極めて限定されており、透水はほとんど亀裂内で生じている場合にこのモデルは適している。このような場合に本モデルを用いることにより、岩盤中の不均質な流れを表現することが可能となる。また、本モデルは従来の多孔質媒体モデルに比べ、地質学的データを直接モデルに反映させることができモデルの信頼性を向上させることが可能である。

短所

亀裂の幅が $10\mu\text{m}$ 以下であったり、亀裂の表面部分が接触しているかざらざらしている場合には本モデルの適用は適さない(NRC,1990、Witherspoon,1987)。また、本モデルに基づいた計算は計算量が多くなる。

(2) 二重空隙モデル

モデルの概要

岩盤のマトリクス部と亀裂部の両方に透水が認められる場合に、マトリクス部と亀裂部を分割して、それぞれ個別の浸透式を与えて重ね合わせる。それぞれの浸透式はマトリクス部を貯留系空隙、亀裂部を流路系空隙と考えて基礎方程式を誘導する。マトリクス部と亀裂部は、それぞれが相互作用を及ぼし合うものとして構成される。

長所

このモデルは、亀裂の分布が比較的シャープで単純な場合、特に亀裂における地下水流れの特性の把握を主眼とし、マトリクス中の流れについては簡略化し、一次元的取扱いで十分な場合に適している。例えば、砂岩質の岩盤浸透流の検討に適するといわれている。

短所

亀裂部とマトリクス部の境界が不明確である場合には、本モデルの利点を生かすことができず、適していないと考える。

(3) 多孔質媒体モデル

モデルの概要

固結の進んでいない堆積岩等の多孔質媒体中における地下水流動は一様な流れとして扱うことができるので、多孔質媒体モデルを適用できる。また、亀裂性岩体でも、クラックテンソルを用いた手法や地盤統計学的手法により亀裂系岩盤と等価な透水性を求め、これを多孔質体要素に与えることにより、均質異方性の多孔質体として岩盤をモデル化する。

長所

広域流動系の挙動を適切に表現できる。基本的に水収支に関して等価であり、亀裂系岩盤内の全体的な地下水流動を近似的に表現することができる。本モデルは岩盤の亀裂密度が高く地下水流れの連続性がよい場合に適したものである。

短所

本モデルを適用する難しさは、等価な水理特性を定義するために必要な代表的基準体積 (REV) の適当な大きさをきめることにあり (Cacas ほか, 1990a, 1990b) 亀裂が少なく、間隔が広く、

そして非亀裂性岩体の透水係数が小さい場合、本モデルは適切でない。本モデルでは広域流動系の挙動は適切に表現できるが、亀裂に支配される局所的な地下水流動をモデル化することはできない。

以上より、概念モデルの適用性を検討する際に着目すべきパラメータとしては、岩盤中の湧水状況（一様な湧水か不均質な湧水か）、主要亀裂と微細亀裂の相対的発達状況、亀裂密度とすることができる。すなわち、亀裂がほとんど無く一様な湧水を示すような岩盤や亀裂密度が非常に高く、ブロックスケールのモデル化においては一様な湧水とみなすことのできる岩盤は多孔質媒体モデルを適用できると考えられ、マトリクス部が緻密でマトリクスからの湧水がほとんど認められない岩盤は亀裂ネットワークモデルが適していると考えられる。そして、亀裂部とマトリクス部の両方から湧水が認められる岩盤や、主要な亀裂と多数の微細亀裂の両者が認められ、主要亀裂部と微細亀裂の密集したマトリクス部の両方から湧水が認められるような岩盤は二重空隙モデルが適していると考えられる。

3.4.2 現地調査実施サイト毎の検討

個々の現地調査実施サイトについて、特に岩盤中の湧水状況や亀裂密度に着目して、各概念モデルの適用性を検討する。上に述べたように、着眼点として以下の項目をあげ、各調査地における岩盤の観察結果がそれぞれに該当するかどうかを検討する。

- ① 亀裂が少なく、マトリクスからの一様な湧水が認められる。
- ② 亀裂密度が非常に高い。
- ③ マトリクスからの湧水がほとんど認められない。
- ④ 亀裂部とその近傍のマトリクス部の両方からの湧水が認められる。
- ⑤ マトリクス部からの一様な湧水があるが、亀裂からの湧水の方が主体である。
- ⑥ 亀裂沿いの変質ハローの存在。

3.4.1 項の記述にしたがえば、上記の①及び②は多孔質媒体モデルへの適用、③は亀裂ネットワークモデルの適用及び④～⑥は二重空隙モデルの適用の可能性があると見える。

検討の結果を表3.4.2-1に示す。①③④⑤⑥の項目は現地調査での確認と判断に基づいて記入した。②の亀裂密度に関する項目は、多孔質媒体としての等価な水理特性をどのように評価し定義するかという問題に関わることであり、現地調査の結果からだけでは判断できないものである。ここでは参考として亀裂密度の比較的大きいもの、具体的には通常スケッチ調査で得た亀裂密度(P21)の値が全体の平均値(424cm/m²)よりも大きい場合、印をつけた。以下に整理

表 3.4.2-1 現場観察結果に基づく概念モデルの検討

分類	岩種	調査地記号	岩石名	多孔質媒体モデル		亀裂ネットワークモデル	二重空隙モデル		
				①亀裂が少なくマトリクスからの湧水が認められる	②亀裂密度が非常に高い	③マトリクスからの湧水がほとんど認められない	④亀裂部とその近傍のマトリクス部の両方からの湧水が認められる	⑤マトリクス部からの湧水があるが、亀裂の湧水の方が主体である	⑥変質ハローの存在
結晶質岩	火山岩	2	YN	安山岩				○	
		1	I	流紋岩(溶結凝灰岩)		**		○	
		2	HM	玄武岩			○		○
	深成岩	2	A	斑れい岩		**		○	
		1	I	花崗閃緑岩		**	○		
		1	OS	花崗閃緑岩			○		○
		2	S	輝緑岩		**	○		○
	2	SB	結晶片岩		**	○			
新第三紀堆積岩	砂岩及び砂岩泥岩互層	3	BS	砂泥互層				○	○
		3	NS	砂岩	○				○
		3	NS	砂泥互層	○				○
		3	ST	砂岩				○	○
	泥岩	4	BS	泥岩					○
		4	NS	泥岩		**	○		○
		4	O	泥岩			○		
		4	O	頁岩		**	○		
	凝灰岩	4	O	凝灰岩					○
		4	Y	凝灰岩		*		○	○
		4	Z	凝灰岩				○	
		4	H	凝灰角礫岩		*	○		
	その他	4	N	珪藻土			○		
先新第三紀堆積岩	砂岩・互層	5	KS	砂岩・砂泥互層				○	
		5	ST	砂泥互層		(*)		○	
		5	T	砂岩		**	?		
	泥質岩他	6	A	黒色粘板岩		*		○	
		6	M	千枚岩					○
		6	X	結晶質石灰岩		**	○		○

岩種：1：結晶質岩(酸性岩)、2：結晶質岩(塩基性岩)、3：新第三紀堆積岩(砂質岩)、4：新第三紀堆積岩(泥質・凝灰質岩)

5：先新第三紀堆積岩(砂質岩)、6：先新第三紀堆積岩(泥質・凝灰質岩)

各欄中の丸印は現地観察結果として判断されたもの。*印は通常スケッチデータの検討から、亀裂密度(P_{21})が全体の平均値($424\text{cm}^2/\text{m}^2$)より高い通常スケッチ箇所存在を示したもので、*は1箇所の通常スケッチ箇所での(P_{21})が平均値を上回っていることを、**は2箇所が上回っていることを示す。(*)はその地域において1箇所ですら通常スケッチ調査を実施しておらず、その箇所密度が平均値を上回っていることを示す。

結果について述べる。

(1) 多孔質媒体モデル

観察事実としてのマトリクスからの一様な湧水は新第三紀堆積岩のうち石黒川ルート(調査地記号 NS)の砂岩及び砂岩泥岩互層に認められた。3.2.1 項の中で検討を行った堆積岩の圧密指標(表 3.2.1-14)では、これらの堆積岩は圧密指標がDであり、今回の調査対象となった同類の堆積岩の中では最も圧密が進行していない岩石とみなすことができる。

亀裂密度の高い岩盤は、図 3.2.1-13 のグラフにて読めるように、 P_{21} 値の平均値 $424 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 以上の岩盤の多くは形成年代の古い岩石からなる。一般的な傾向として、構造運動や応力の影響を長期間受けてきた岩石の亀裂密度が高い傾向があるといえよう。

(2) 亀裂ネットワークモデル

亀裂が発達した岩盤でマトリクスからの湧水が観察されなかったものであるが、これに該当する多くの岩盤は亀裂沿いの変質ハローを示すことがあること、3.2.3 項で述べたように室内試験において亀裂沿いの微細な空隙が観察されている(SB の結晶片岩)ことから、マトリクスにおける物質移行の可能性がないわけではない。

(3) 二重空隙モデル

亀裂とマトリクス部の両方からの湧水、あるいは亀裂沿いの変質ハローが認められるものを示した。

ここで再び堆積岩の圧密指標とマトリクス部からの湧水との関係を整理してみる。表 3.4.2-2 は表 3.2.1-14 を再整理し、マトリクス部からの湧水に関する情報を加えたものである。本表には、

- ・ 表 3.4.2-1 の検討において①及び⑤に該当する岩盤、すなわちマトリクス部からの一様な湧水が認められた岩盤(*印)、
- ・ 同表の検討において④に該当する岩盤、すなわち亀裂とその周囲のマトリクスからの湧水が認められた岩盤(#印)、及び、
- ・ 同表の③に該当、すなわちマトリクスからの湧水が認められない岩盤(無印)

を表示した。その結果、砂岩、砂泥互層、泥岩及び凝灰岩類に該当する調査箇所では、マトリクスからの一様な湧水(*印)は本表の上位に位置し、圧密指標がDよりも小さい(圧密が進んで

表3.4.2-2 堆積岩の圧密指標とマトリクス部の湧水との関係

圧密指標	砂岩	砂泥互層	泥岩	凝灰岩類	その他
A					
B		BS*	BS*		
C			NS		
D	NS*	NS*	O	O*, Y#	N(珪藻土)
E	ST#				
F			O	H, Z#	
G	KS#	KS#, ST#	A#		M*(千枚岩) X(石灰岩)

本表は表3.2.1-14を再整理し、マトリクスからの湧水に関する情報を加えたものである。
圧密指標がAからGにいくに従って堆積岩の圧密が進み、間隙率が低下することを意味する。

*: 表3.4.2-1の検討において①及び⑤に該当する岩盤。

つまりマトリクス部からの一様な湧水が認められた岩盤。

#: 表3.4.2-1の検討において④、つまり亀裂とその周囲のマトリクスからの湧水が認められた岩盤。

無印: 表3.4.2-1の検討において③、つまりマトリクスからの湧水が認められない岩盤。

いない)ことがわかる。この「圧密指標」の割り当ては地域を考慮して文献から間接的に導いたものであるが、堆積岩の岩盤に対しては調査結果を合理的に説明していると思われる。すなわち、地域と層準の情報から堆積岩の物性(固結の程度)を間接的に推定できること、固結の進んでいない堆積岩ではマトリクスが透水経路となりやすいこと、を示している。

4. おわりに

本年度の検討では、平成5年度より実施してきたフィールドでの観察や室内試験によって取得してきたデータの取りまとめを行った。西暦2000年に核燃料サイクル開発機構から報告される「地層処分研究開発第2次取りまとめ」では、天然バリアの安全評価に関わる水理解析及び核種移行解析において、亀裂ネットワークモデル及びチャンネルネットワークモデルが考慮されている。したがって本委託研究の本年度のまとめでは、亀裂ネットワークモデルを念頭に置き、必要なパラメータや考慮事項となる特性に関するデータの取りまとめを行った。以下に取りまとめの結果を要約する。

【移行経路となる地質的特徴】

フィールドでの観察結果として、岩盤からの湧水情報を整理した結果、岩盤中の移行経路として重要な構造は断層、節理及び脈であることを示した。本報告書ではこれらを「亀裂」と呼び、その特性に関するデータの整理を行った。

【亀裂の特性】

通常スケッチデータを基に、亀裂の特性は方向性、トレース長、密度、幅について統計的分布関数を含めた検討を行った。方向性、トレース長、幅の分布は岩種との間に明瞭な関係が認められず、サイトスペシフィックな傾向が強い。密度は、同じ分類に属する岩石(付加コンプレックス、火山岩類及び深成岩類)のデータは、年代が古い岩石ほど亀裂密度が高くなる傾向を示すものがあるが、新第三紀堆積岩では年代と亀裂の間に明瞭な関係が認められない。また、トレース長のべき指数(フラクタル次元)の検討では、深成岩類及び火山岩類ではばらつきを示しながらも古い時代の岩石ほどべき指数が大きくなる傾向があり、このことは古い時代の岩石ほどトレース長分布の広がりが小さくなる傾向を示している。

そのほかの亀裂の特性として充填物、空隙、変質ハロー及び亀裂周囲のマトリクス部からの湧水データを整理した。亀裂充填物の種類は調査箇所によって様々であるが、充填物の成因等から分類・整理を試みた。

【断層・破碎帯の特性】

断層・破碎帯の内部構造と分布に関し整理を行った。内部構造としては充填物の整理を行い、分布は単位踏査距離における断層・破碎帯の出現率を整理した。移行経路調査(破碎帯調査)ではある

踏査ルートに沿って観察される断層・破碎帯の性状しか観察できないため、破碎帯の長さに関するデータは得られていない。そこで、既存文献にて報告されている断層の幅と長さの関係式を用いることによって、観察された断層・破碎帯の幅から長さをもとめ、単位踏査距離あたりに出現する断層・破碎帯の長さと同度を推定した。

【マトリクス拡散の場となりうる移行経路の特性】

室内樹脂浸透試験の結果から、花崗閃緑岩、斑れい岩、片岩古第三紀以前の堆積岩(砂岩)における亀裂周辺の微細空隙とその連続性についてまとめ、亀裂部からマトリクス部への物質移行経路が存在することを示した。

【移行経路となる地質構造のパターン化】

露頭スケール(通常スケッチスケール)における亀裂の諸特性について検討した結果をまとめた。亀裂の構造を表現するパラメーターとしては、亀裂の方向性(とくに傾斜)、亀裂のトレース長(フラクタル性)、亀裂密度を考慮した。これらに加え各サイトにおける透水指数を考慮することにより、露頭スケールにおける移行経路の状態を表現できる可能性を示した。

【現場観察結果に基づく概念モデルの検討】

移行経路調査による観察・取得データに基づいて、各岩盤を水理特性評価モデルで表現するためにどのようなモデルを適用することが妥当であるかを考察した。考慮の対象となる概念モデルとして亀裂ネットワークモデル、二重空隙モデル及び多孔質媒体モデルを扱い、各モデルの概要、長所及び短所について整理したうえで、各移行経路調査箇所のデータと比較した。

本研究においては、第2次取りまとめで考慮されている6つの岩種分類、すなわち結晶質岩(酸性岩及び塩基性岩)、新第三紀堆積岩(砂質岩及び泥質・凝灰質岩)、先新第三紀堆積岩(砂質岩及び泥質・凝灰質岩)を考慮して整理を行った。亀裂の諸特性とこれらの岩種区分の間にはあまり顕著な関係が認められない。しかし、岩種ごとの平均値を比較すると新第三紀の堆積岩はより古い堆積岩に比べ2次元亀裂密度が小さいこと、付加コンプレックス、火山岩及び深成岩類という分類毎に見ると古い岩石ほど2次元亀裂密度が大きくなるという傾向がある。

亀裂や断層・破碎帯の特性はサイトスペシフィックなものであり、その地域の構造運動や応力の履歴を反映していると考えられる。本研究は、天然バリアの性能評価において、安全評価の様々なケースに応じた情報を提供してゆくための基礎的なバックデータとなるものである。

謝辞

本研究を行うにあたり、日本大学の小坂和夫教授より数々の有益なご助言を受け賜りました。
ここに心より深く感謝申し上げます。

参考文献

- Cacas, M.C., Ledoux, E., de Marsily, G., Tillie, B., Barbreau, A., Durand, E., Feuga, B. and Peaudecerf, P., Modeling fracture flow with a stochastic discrete fracture network: calibration and validation. 1. The flow model, *Water Resources Research* 26(3), pp.479-489 (1990a)
- Cacas, M.C., Ledoux, E., de Marsily, G., Tillie, B., Barbreau, A., Durand, E., Feuga, B. and Peaudecerf, P., Modeling fracture flow with a stochastic discrete fracture network: calibration and validation. 2. The transport model, *Water Resources Research* 26(3), pp.491-500 (1990b)
- 千木良雅弘・中田英二、堆積岩の続成作用(その1)―圧密・脱水と水理地質特性―、電力中央研究所報告 U94026、45p. (1994)
- 地質調査所、100万分の1日本地質図 第3版(1992)
- 星野一男、岩石の物性を支配する地質要因について：第6回岩の力学シンポジウム講演論文集、pp.145-150(1984)
- 藤縄 監訳、地下水モデル、共立出版 (1994)
- 河西、田中、五十嵐、高レベル放射性廃棄物地層処分の天然バリア性能評価手法の開発(その1)―割れ目系岩盤中の地下水流動解析手法―、電力中央研究所 研究報告 U93054 (1994)
- NAGRA, Kristallin-I Safety Assessment Report: NAGRA NTB 93-22, 396p (1994)
- National Research Council, Ground water models: Scientific and regulatory applications, National Academy Press, 303p. (1990)
- 緒方正虔, 本荘静光：電力施設の耐震設計における断層活動性の評価, 応用地質, 22 巻, 1 号, pp.67-87(1981)
- 大野博之・小島圭二：フラクタルを考慮した岩盤割れ目の寸法評価と透水性, 第7回岩の力学に関するシンポジウム, pp.157-161(1987)
- 大野博之・小島圭二：岩盤中の割れ目系に見られるフラクタル：応用地質、29、pp.295-302 (1988)
- 大野博之・小島圭二：岩盤割れ目のフラクタル(その1) ―フラクタル分布―、応用地質、33 巻、3 号、pp.11-24 (1992)
- 佐藤憲隆：探査の変遷―主に鉱脈型鉱床について、日本鉱山地質学会30周年記念、「日本の鉱床探査」第1巻, 1981, pp.311-345
- 重野、宮川：地下水流動・物質移行解析における割れ目ネットワークモデルの現状と課題、電力中

央研究所 研究報告 U95009 (1995)

Witherspoon, P. A., Long, J.G.S., Majer, E.L. and Myer, L.R., A new seismic-hydraulic approach to modeling flow in fractured rocks, In: Solving ground-water problems with models, National Water Well Association, Dublin, Ohio, pp.793-826 (1987)