

JNC TJ7430 2001-002

# 土岐花崗岩中の割れ目を対象とした ジョイントせん断試験

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

2001年3月

株式会社 大林組

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下さい。

〒319 - 1194 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 4 9

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, Ibaragi 319-1194,

Japan

## 土岐花崗岩中の割れ目を対象としたジョイントせん断試験

畑 浩二\*、丸山 誠\*、鳥井原 誠\*

### 【要 旨】

地下深部の岩盤内に空洞を構築する場合、空洞周辺の岩盤は力学的・水理的に影響を受け、空洞内や岩盤内にさまざまな不安定現象をもたらすことがこれまでに数多く経験されている。したがって、対象岩盤の強度変形特性を事前に把握しておくことが重要になる。特に、き裂性岩盤が対象になる場合には、割れ目の強度変形特性や幾何学的分布特性の把握が必要不可欠になる。

本研究の目的は、岩体内に無数に存在する割れ目から、力学的な観点で影響が大きいと考えられる代表的なジョイントを抽出し、その強度変形特性ならびに幾何学特性を評価することである。対象とする岩盤は土岐花崗岩を母岩とするき裂性岩盤である。そこで、MIU-1孔、MIU-2孔およびMIU-3孔から割れ目試料を選定し室内試験を実施した。割れ目は、分布位置、角度、形状および介在物有無の4つのパラメータから5つのカテゴリーに分類した。

その結果、5つのカテゴリー分類に合わせて、割れ目面における垂直剛性 $K_n$ 、せん断剛性 $K_s$ 、圧縮強度JCS、粗さ係数JRCおよび残留強度 $\phi_r$ が求められた。また、これらの物性から個別要素解析に必要なバートン-バンディスの破壊基準を決定した。

---

本報告書は、株式会社大林組が核燃料サイクル開発機構との契約により実施した研究成果である。

契約番号：12C1018

サイクル機構担当グループおよび担当者：東濃地科学センター 地質環境特性研究グループ グループリーダー 武田精悦

\*：株式会社大林組 技術研究所 地盤岩盤研究室

PUBLIC

JNC TJ7430 2001-002

March, 2001

## Shear test of Jointed rock in Toki granite

K.Hata\*, M.Maruyama\*, M.Toriihara\*

### 【 Abstract 】

When constructing an underground rock cavern at great depth, rock mass around the cavern is mechanically and hydrologically influenced by excavation. It was also experienced that various engineering instability of the cavern was observed. Therefore, it is important to estimate the state of stress and deformation in the surrounding rock mass. Especially, in the case of discontinuous rock, it is necessary to understand the geological conditions and properties of joints around rock cavern.

The purpose of this study is to select the representative joint that is influenced upon stress and deformation of the cavern, and to evaluate the properties of joints. The rock mass consists of Toki granite, which is fractured rock mass. Physical and mechanical tests were conducted using jointed core samples from MIU-1, MIU-2 and MIU-3 borehole. Joints are classified into 5 categories with location, angle, shape and filling.

As the result of this study, joint vertical stiffness( $K_n$ ), joint shear stiffness( $K_s$ ), joint compressive strength(JCS), joint roughness coefficient(JRC) and joint residual friction angle( $\phi_r$ ) with 5 categories are estimated. And Barton-Bandis's model are estimated from these joint properties.

---

This work performed by Obayashi Corporation under contact with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

Agreement No. : 12C1018

JNC Liaison : Tono Geoscience Center, Geoscience Research Group, Group Leader, Seietsu Takeda

\* : Obayashi Corporation, Technical Research Institute

土岐花崗岩中の割れ目を対象としたジョイントせん断試験

担当者一覧表

実施責任者： 鳥井原 誠

実施担当者： 丸山 誠

研究業務担当者： 畑 浩二

## 土岐花崗岩中の割れ目を対象としたジョイントせん断試験

### 目 次

	頁
1. はじめに	1
2. 試験装置	2
2.1 ラフネス測定装置	2
2.2 点載荷試験装置	2
2.3 ジョイントせん断試験装置	2
2.4 ティルト試験装置	2
3. 試料採取位置と分類	6
4. 試験方法	10
4.1 ジョイントを含む岩石試料による試験	10
4.1.1 ラフネス測定	10
4.1.2 点載荷試験	10
4.1.3 垂直載荷試験	10
4.1.4 せん断試験	10
4.1.5 ティルト試験	11
4.2 新鮮岩石試料による試験	11
4.2.1 密度測定	11
4.2.2 点載荷試験	11
4.2.3 ティルト試験	11
5. 試験結果と考察	14
5.1 ジョイントを含む岩石試料による試験	14
5.1.1 ラフネス測定	14
5.1.2 点載荷試験	15
5.1.3 垂直載荷	16
5.1.4 せん断試験	16
5.1.5 ティルト試験	18
5.2 新鮮岩石試料による試験	19
5.2.1 密度測定	19
5.2.2 点載荷試験	19
5.2.3 ティルト試験	19
6. まとめ	38
7. 参考文献	40
巻末資料	41
A. 垂直・せん断試験結果	
B. ラフネス測定結果	
C. 採取コア写真・ジョイント面写真（試験前後）	
D. 試験装置・試験方法写真	
E. ジョイントデータ（CD-ROM）	

## 1. はじめに

日本列島は環太平洋造山帯に含まれることから、急峻な地形形状とともに非常に複雑な地質構造を有していることが一つの大きな特徴になっている。大局的にはフォッサ・マグナや中央構造線のような地質構造線によって細分化され、構造線で囲まれた構造区では沈降、堆積、隆起、削剥、変成などの影響を受けている。一方、局所的には褶曲、せん断、貫入、風化などの影響を受け、大陸の安定した地質と比較してきわめて不連続性の強い地盤となっていることが多い。このような地質条件の中にトンネルや立坑のような空洞を施工する場合、断層、節理、き裂などの不連続面を避け健全な岩盤部分を選んで構築することは困難である。したがって、より合理的な設計・施工を行うためには、岩盤物性や不連続面の情報（強度変形特性や幾何学条件）ならびに応力再配分に伴うゆるみ域を精度良く把握することが重要になる。特に、土岐花崗岩のような一般に硬岩に分類される岩盤では、岩体内に内在する無数の不連続面の分布特性やその力学特性が岩盤としての強度変形特性に支配的な影響を及ぼすことから、不連続面の強度変形特性や幾何学的条件を把握することが極めて重要である。

本件は、岩体内に無数に存在する割れ目（以下、ジョイントと称する）から、力学的な観点で影響が大きいと考えられる代表的なジョイントを抽出し、その強度変形特性ならびに幾何学特性を評価することを目的とする。

## 2. 試験装置

ジョイント面の凹凸の程度、強度変形特性および物理学的特性を把握するため、ラフネス測定装置、点載荷試験装置（シュミットハンマー）、ジョイントせん断試験装置およびテイルト試験装置を用いる。以下に装置の仕様および機能を示す。

### 2.1 ラフネス測定装置<sup>1)</sup>

ジョイント面の凹凸を乱すことなく、高分解能で三次元形状を測定するためレーザ変位計とロケーティングボードを組み合わせた測定装置を用いる。この装置は、ロケーティングボードに固定した試料を x-y 面（水平面）上で精度良く移動させ、ジョイント面の凹凸状態を示す z（鉛直方向）方向の距離をレーザ変位計で測定する仕組みになっている。ロケーティングボードの x-y 面移動、z 方向の距離測定はパソコンで制御記録する。装置の概要を図-2.1 に示す。

### 2.2 点載荷試験装置

ジョイント面には軟質の変質鉱物が堆積していることもあるため、点載荷試験装置として軽量コンクリート用シュミットハンマーを用いる。装置の概要を図-2.2 に示す。

### 2.3 ジョイントせん断試験装置

ジョイント面に所定の鉛直荷重を作用させた状態でせん断させるため、上下方向と水平方向に油圧ジャッキを装備している。垂直荷重、せん断荷重ともに精度の高い値を取得するため圧力計を組み込んでいる。垂直荷重、せん断荷重に伴うジョイントの開口変位は試料に取り付ける渦電流式変位計で、ジョイントのせん断変位は載荷箱に取り付ける高感度変位計で測定する。垂直荷重、せん断荷重、開口変位およびせん断変位はパソコンで記録する。装置の概要を図-2.3 に示す。

### 2.4 テイルト試験装置

試料の摩擦角度を簡易的に測定するため、2枚の板の片端を蝶番で上下回転できるように固定した装置である。対象試料を上板に載せ、蝶番の反対端の上昇角度を角度計で記録する。装置の概要を図-2.4 に示す。

以上、使用する試験装置の仕様一覧を表-2.1 に示す。

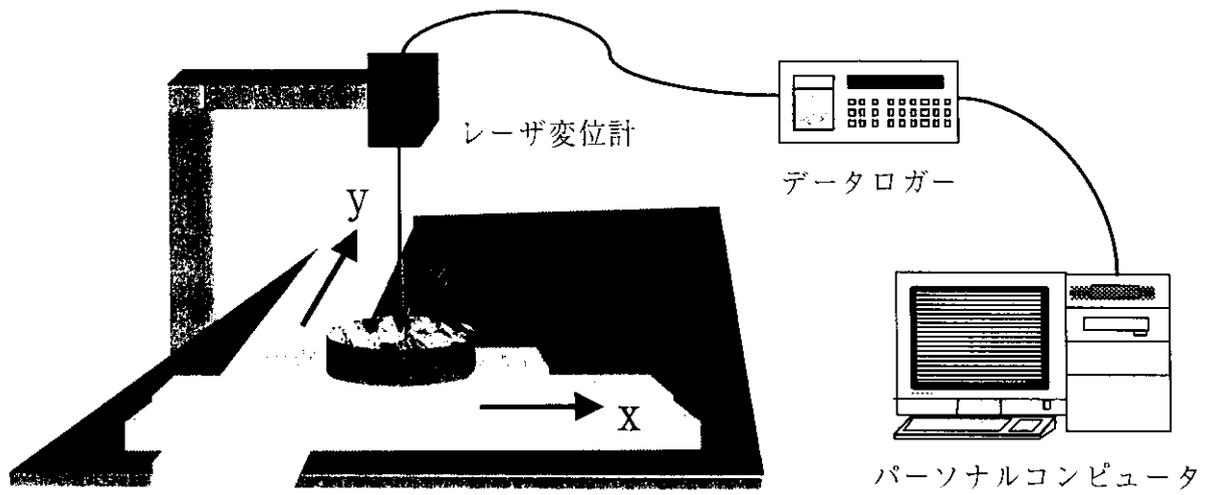


図-2.1 ラフネス測定装置

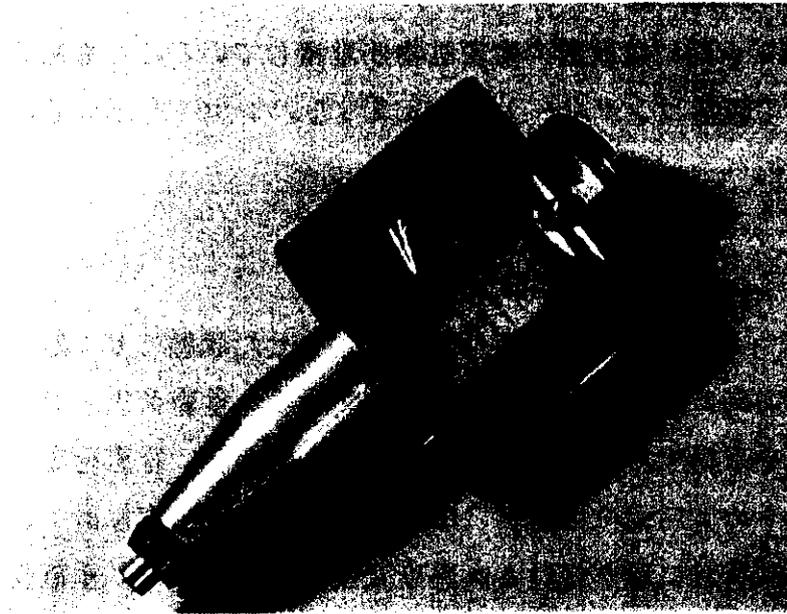


図-2.2 点載荷試験装置 (軽量コンクリート用シュミットハンマー)

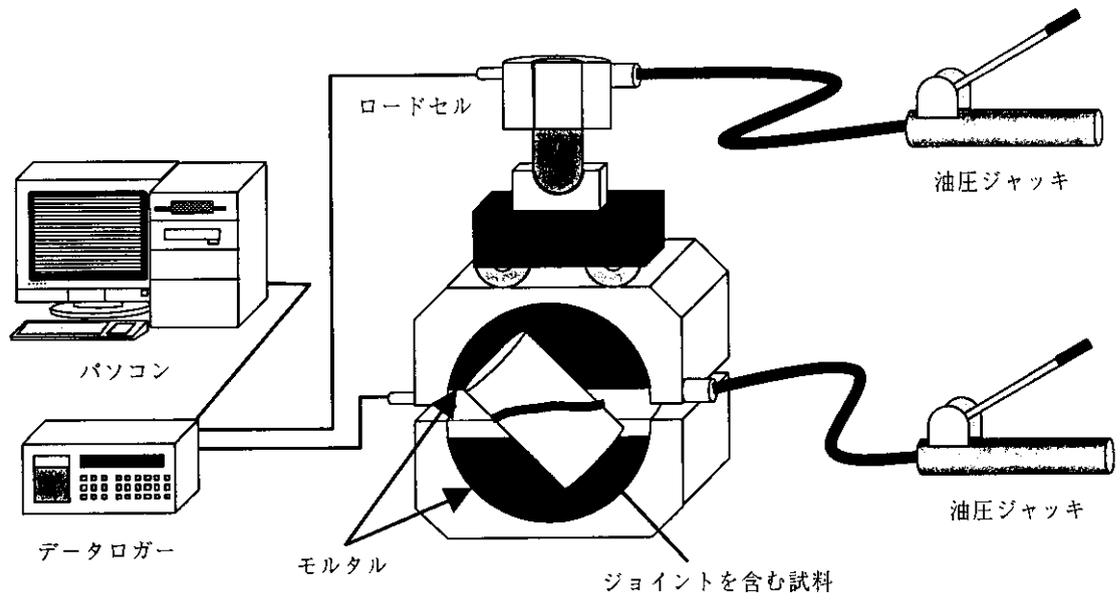


図-2.3 ジョイントせん断試験装置

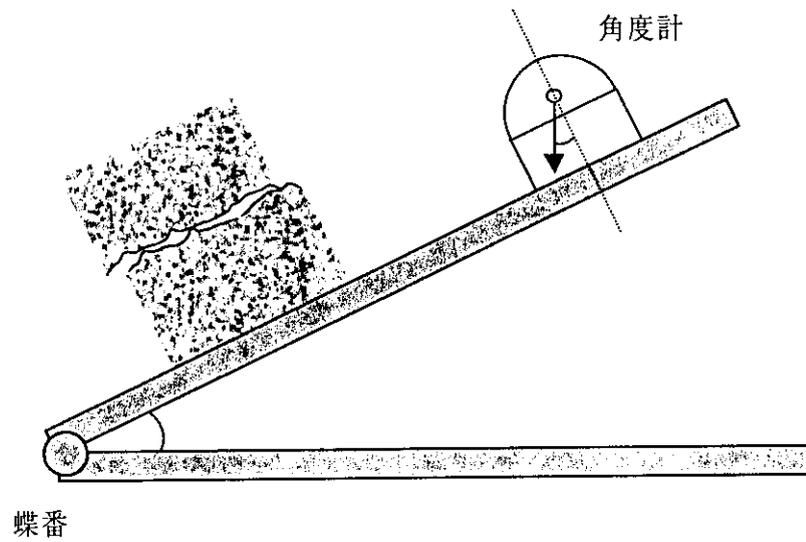


図-2.4 ティルト試験装置

表-2.1 試験装置の仕様一覧

装置名称		メーカー (開発元)	形式	仕様
ラフネス 測定装置	ロケーティ ングボード	NSK	XY-HS0020-902	稼動範囲：200mm 位置決め精度：0.03mm
	レーザ変位 計	キーエンス	LB-1010	測定範囲：10mm 分解能：1/500mm
点載荷試 験装置	シュミット ハンマー	シュミット	LR型	衝撃エネルギー：0.735N・m 測定範囲：10～60MPa
ジョイン トせん断 試験装置	シェアボッ クス	ロックテスト	PHI-10	最大垂直荷重：98kN 最大せん断荷重：147kN
	圧力計	東京測器	PW-500	測定範囲：49MPa 分解能：0.1MPa
	渦電流式変 位計	キーエンス	AH-614	測定範囲：5mm 分解能：1/500mm
	高感度変位 計	東京測器	CDP-10	測定範囲：10mm 分解能：1/1000mm
テイルト試験装置		大林組		分解能：1°

### 3. 試料採取位置と分類

試験に供した岩石試料は、岐阜県瑞浪市の正馬様洞用地内でボーリングされた3地点（MIU-1孔、MIU-2孔、MIU-3孔）の1000mコアから選定した。ボーリング地点は表層から約90mは凝灰質砂岩やシルト岩などの堆積岩に覆われているが、それ以深は基盤岩である花崗岩が分布している。ボーリングコアの直径は63mmである。MIU-1孔、MIU-2孔、MIU-3孔の位置関係を図-3.1に示す。

吉田ら<sup>1)</sup>は、正馬様深層ボーリングAN-1号孔から採取したボーリングコアを基に東濃地域に分布する花崗岩のジョイント性状を解析している。調査・観察項目は、深度、柱状図、ジョイントの深度、ジョイントの形態、ジョイントの連続性、ジョイントの表面構造、条線の有無、ジョイントの充填鉱物、ジョイントの充填幅、変質度、変質幅、ジョイントの角度の12項目である。解析の結果、ジョイント・破碎帯の形態とジョイントの充填鉱物の種類と産状を基準に、深度500mまでは3つのセグメントに分けることが可能であることを示した。一方、釜石鉱山250mレベル抗道において、ジョイントのせん断試験<sup>2)</sup>が実施されている。ここでは、せん断試験用の試料選定方法について詳細に検討している。ジョイントについての検討項目は、群（走向傾斜）、充填物の種類、変質程度、開口幅、充填物の幅、面の粗さ、面の条線およびせん断変位量、形状、端形状の9項目である。詳細検討の結果、釜石鉱山におけるせん断試験に際してのジョイント分類の指標は、群（走向傾斜）、充填物の種類、変質の程度、充填物の幅、面の粗さの5項目が重要であるとしている。

吉田らの研究成果や釜石鉱山において得られた知見を勘案し、土岐花崗岩中のジョイントを対象にしたせん断試験においては、ボーリング孔、ジョイントの角度、ジョイントの形状および介在物の有無の4つのパラメータに着目し、試験用試料を選定することとした。なお、コアのジョイントを無作為に抽出しても抽出したジョイントの方向が決定できないため、サンプリングするジョイントはBTV観察結果から方向と深度が同定できるものに限定した。以下に、4つのパラメータの詳細を示す。

- (1) ボーリング孔：MIU-1孔、MIU-2孔、MIU-3孔を対象にする。
- (2) ジョイントの角度：高角度、低角度の2種類を対象にする。
- (3) ジョイントの形状：形状は平滑（P）、不規則（I）、波状（C）およびステップ状（S）の4種類に分類できるが、ここではBTV画像データより識別されているPとCの2種類を対象にする。

(4) 介在物の有無 : 有、無の2種類を対象にする。

以上の条件を勘案するとともに、表-3.1に示すサンプリング試料の相関関係をもとに、大きく5つのカテゴリ(①、②、③、④、⑤)に分類した。さらに、同一カテゴリの中でもボーリング孔や深度やジョイントの分類による違いが生じる可能性が想定されることから、④のカテゴリを2つ(④<sub>I</sub>、④<sub>II</sub>)、⑤のカテゴリを3つ(⑤<sub>I</sub>、⑤<sub>II</sub>、⑤<sub>III</sub>)に細分化した。そして、このカテゴリに合わせて、せん断試験用試料として25試料、新鮮岩石試料としてせん断試験用試料近傍から8試料を選定した。選定した試料の一覧を表-3.2に示す。なお、MIU-1孔、MIU-2孔、MIU-3孔においてBTVで確認できたジョイントの分布深度、走向傾斜、区分、形状等の情報を巻末資料E(CD-ROM保存)に添付する。

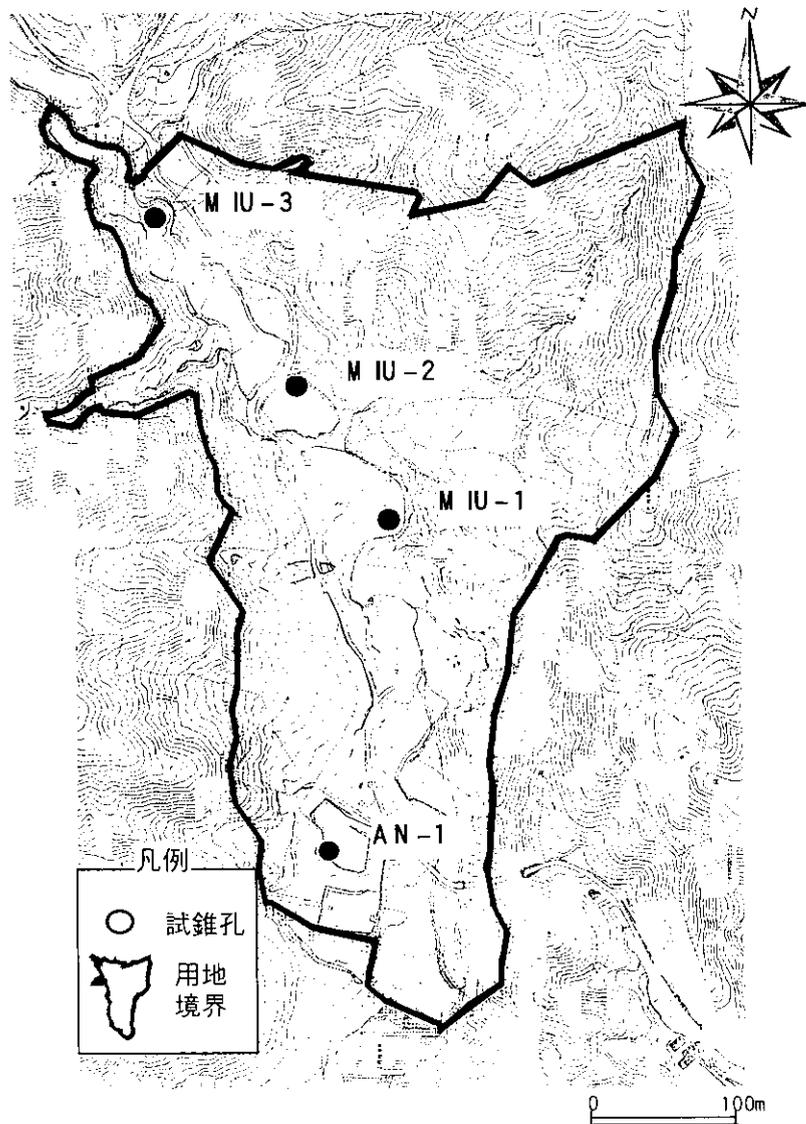


図-3.1 MIU-1孔、MIU-2孔、MIU-3孔の位置関係

表-3.1 サンプル試料の相関

	MIU-1(割れ目数:2991)	MIU-2(割れ目数:4009)	MIU-3(割れ目数:4498)
割れ目区分 割れ目形状 変色 介在物	明瞭割れ目、ヘアークラックは全体の85%を占める。 開口割れ目は全体の3%である Pタイプが多い。 割れ目の変色は少ない。 割れ目に介在物が存在する(全体8%)。 浅部(87), 中間部(117)	明瞭割れ目、ヘアークラックは全体の87%を占める。 開口割れ目は少ない。 Cタイプが多い。 割れ目の変色している(褐色化)。 割れ目に介在物が存在する(全体8%)。 浅部(291)	明瞭割れ目、ヘアークラックは全体の82%を占める。 開口割れ目は全体の2%である。 Pタイプが多い。 割れ目の変色は少ない。 割れ目に介在物が存在する(全体10%)。 浅部(87), 中間部(105), 深部(214)
浅部 MIU-1:0-300m MIU-2:0-400m MIU-3:0-300m	No. 359(N3W25E) No. 971(N47E11NW)	No. 788(EW61:No. 787より) ↓ 介在物の影響 ↓ No. 1415(N20E21W) No. 1451(N73W29S)	No. 643(N32E24SE) ↑
中間部 MIU-1:300-700m MIU-2:400-700m MIU-3:300-700m	②明瞭割れ目またはヘアークラック-Pタイプ 介在無 (低角割れ目) :1試料 ↓ 深度316.32m(N79E24S) ↓ ③明瞭割れ目またはヘアークラック-Cタイプ 介在無 (低角割れ目) :1試料 No. 1084(N56E:No. 1085より) ↓ 深度および割れ目傾斜の影響 ↓ No. 1153(N88W52S) No. 1547(EW55N) ↓ 介在物の影響 ↓ No. 1832(N75E66S) MIU-2試料代用(MIU-2:No. 1960)	②明瞭割れ目またはヘアークラック-Pタイプ 介在無 (低角割れ目) :1試料 ↓ No. 1541(N86W:No. 1540より) ↓ 割れ目形状の影響 ↓ ③明瞭割れ目またはヘアークラック-Cタイプ 介在無 (低角割れ目) :1試料 No. 1894(N85W17N) ↓ 補充(中間部, 深部の 高角割れ目, Pタイプ, 介在物有) No. 1960(MIU-1の代用:明, 高角, 介在物有)	②明瞭割れ目またはヘアークラック-Pタイプ 介在無 (低角割れ目) :3試料 ↓ No. 1830(N37E23SE) No. 2084(N81W2S) No. 2105(変色)(N81E12S) ↓ ③明瞭割れ目またはヘアークラック-Cタイプ 介在無 (低角割れ目) :2試料 No. 1714(N48E26SE) No. 2297(N12E29W)→(実測N12E 45W) ↓ 深度および割れ目 傾斜の影響 ↓ ④明瞭割れ目またはヘアークラック-Pタイプ 介在無 (高角割れ目) :1 試料 No. 1608(EW65S) ↓ 介在物 ↓ ⑤明瞭割れ目またはヘアークラック-Pタイプ 介在有 (高角割れ目) :2 試料 No. 2269(介在物有に変更)(N75W55 N) 深度509.14(BTV無)(N5E49W:No. 22 06より)
深部 MIU-1:700m- MIU-2:700m- MIU-3:700m-	④明瞭割れ目またはヘアークラック-Pタイプ 介在無 (高角割れ目) :1 試料 No. 2204(N57W64NE) ↓ 介在物の影響 ↓ ⑤明瞭割れ目またはヘアークラック-Pタイプ 介在有 (高角割れ目) :採 取試料なし 採取不可	採取不可	No. 4306(N46E63SE) No. 4373(N78E61S) ↓ 介在物 ↓ 採取不可

表-3.2 各種試験に供した試料一覧

	No.	分類	ジョイントの角度	ジョイントの形状	介在物の有無	ボーリング孔 No.	深度(m)	走向・傾斜	BTV画像 No.
ジョイントを含む岩石試料	1	①	低角	P	無	MIU-1	112.82	N3W25E	359
	291.53						N47E11NW	971	
	3					MIU-2	163.62	EW61S	788
	4					MIU-3	143.32	N32E24SE	643
	5	②	低角	P	無	MIU-1	316.32	N79E24S	無
	6						MIU-2	307.94	N86W10S
	7					MIU-3	415.50	N37E23SE	1830
	8						464.60	N81W2S	2084
	9						472.31	N81E12S	2105
	10	③	低角	C	無	MIU-1	313.30	N56E	1084
	11						MIU-2	388.51	N85W17N
	12					MIU-3	397.85	N48E26SE	1714
	13						537.15	N12E45W	2297
	14	④ <sub>I</sub>	高角	P	無	MIU-1	331.36	N88W52S	1153
	15						589.28	EW55N	1547
	16					MIU-3	971.86	N46E63SE	4306
	17						984.72	N78E61S	4373
	18	④ <sub>II</sub>	高角	P	無	MIU-1	846.18	N57W64NE	2204
	19					MIU-3	322.76	EW65S	1608
	20	⑤ <sub>I</sub>	高角	P	有	MIU-1	679.50	N75E66S	1832
	21					MIU-2	430.72	N63E56N	1960
	22	⑤ <sub>II</sub>	高角	P	有	MIU-3	509.14	N5E49W	無
	23						527.25	N75W55N	2269
	24	⑤ <sub>III</sub>	低角	P	有	MIU-2	276.34	N20E21W	1415
	25						290.32	N73W29S	1451
新鮮岩石試料	26	①	-	-	-	MIU-3	281.54	-	-
	27	②	-	-	-	MIU-3	415.66	-	-
	28	③	-	-	-	MIU-1	313.49	-	-
	29	④ <sub>I</sub>	-	-	-	MIU-1	331.74	-	-
	30	④ <sub>II</sub>	-	-	-	MIU-3	509.36	-	-
	31	⑤ <sub>I</sub>	-	-	-	MIU-2	678.94	-	-
	32	⑤ <sub>II</sub>	-	-	-	MIU-3	509.14	-	-
	33	⑤ <sub>III</sub>	-	-	-	MIU-2	276.34	-	-

## 4. 試験方法<sup>4),5)</sup>

MIU-1号孔、MIU-2号孔およびMIU-3号孔から選定した試料を利用して、ジョイント面の凹凸の程度、強度変形特性および物理学的特性を把握する。それぞれ対象となる試験は、ラフネス測定、点載荷試験、垂直載荷試験、せん断試験およびティルト試験である。また、選定したジョイント周辺における新鮮な岩石を用いて、密度測定、点載荷試験およびティルト試験もあわせて実施した。以下に試験方法について詳述する。

### 4.1 ジョイントを含む岩石試料による試験

#### 4.1.1 ラフネス測定

図-2.1 に示すレーザ式変位計を備えたラフネス測定装置を用いて、ジョイント上下面の三次元凹凸形状を測定する。測定間隔は 0.5mm ピッチとする。また、ジョイント面は楕円形状をしているが、測定範囲は図-4.1 に示すような長方形エリアとなる。また、トレッシングペーパーでジョイント面の形状を写し取り、ジョイント面の接触面積を求めた。

#### 4.1.2 点載荷試験

図-2.2 に示す軽量コンクリート用シュミットハンマーを用いて、ジョイント上下面の反発度を測定する。測定は 10 回行い、その平均値をもって反発度とする。軽量コンクリート用シュミットハンマーを使用するとはいえ、ジョイント面に衝撃圧を作用させるため、試験は 4.1.5 のティルト試験完了後に行う。

#### 4.1.3 垂直載荷試験

早強性モルタルでジョイントを含む供試体の両端面を載荷治具用に加工成形した後、図-2.3 に示すジョイントせん断試験装置を用いてジョイント面に垂直荷重を 3 回繰返し作用させ、ジョイント部の垂直荷重—垂直変位を測定する。垂直荷重レベルは、コア採取深度の土被り圧相当とする。ただし、試験装置の関係から最大垂直荷重は 98kN である。

#### 4.1.4 せん断試験

垂直載荷試験に引き続き、ジョイント面にせん断荷重を作用させ、ジョイント部のせん断荷重—せん断変位を測定する。ジョイント面はダイレーション（凸凹を乗り上げる）でせん断すると仮定し、自重圧（試料重量+モルタル+載荷治具）による垂直荷重一定条件の下でせん断荷重を作用させる。せん断荷重の作用方向は、

図-4.2に示すように採取試料のジョイント面（楕円形）の長軸方向で、地中方向とする。試験は、ピーク強度後の残留応力状態の推移もあわせて測定する。

#### 4.1.5 ティルト試験

図-2.4に示すティルト試験装置を用いて、せん断破後のジョイントが滑り始める傾斜角度を測定する。なお、測定は10回行い、その平均値をもって傾斜角度とする。

### 4.2 新鮮岩石試料による試験

#### 4.2.1 密度測定

新鮮岩石コアから直径30mm、細長比1：2の円柱供試体を整形し、密度を測定する。

#### 4.2.2 点載荷試験

ジョイント供試体と同様に、図-2.2に示す軽量コンクリート用シュミットハンマーを用いて、新鮮岩石コア切断面の反発度を測定する。なお、測定は10回行い、その平均値をもって反発度とする。

#### 4.2.3 ティルト試験

ジョイント供試体と同様に、図-2.4に示すティルト試験装置を用いて、新鮮岩石コアの側面同士が滑り始める傾斜角度を測定する。なお、測定は10回行い、その平均値をもって傾斜角度とする。岩石コア側面を利用したティルト試験方法の概要を図-4.3に示す。

以上、ジョイントを含む岩石試料による試験と新鮮岩石試料による試験の作業手順を図-4.4に示す。

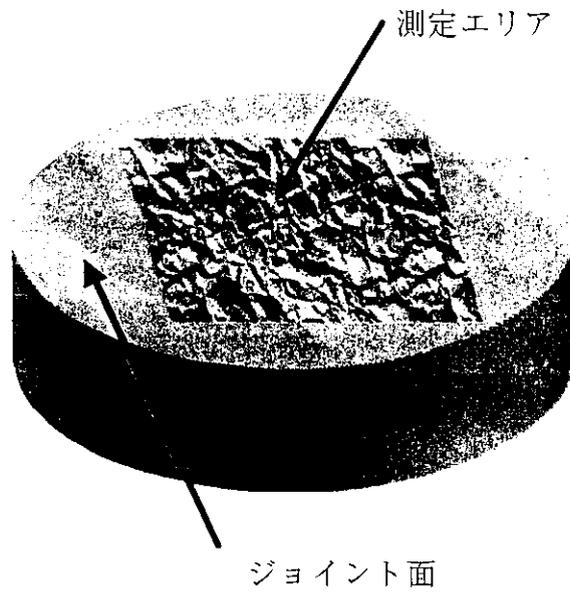


図-4.1 ラフネス測定における測定エリア

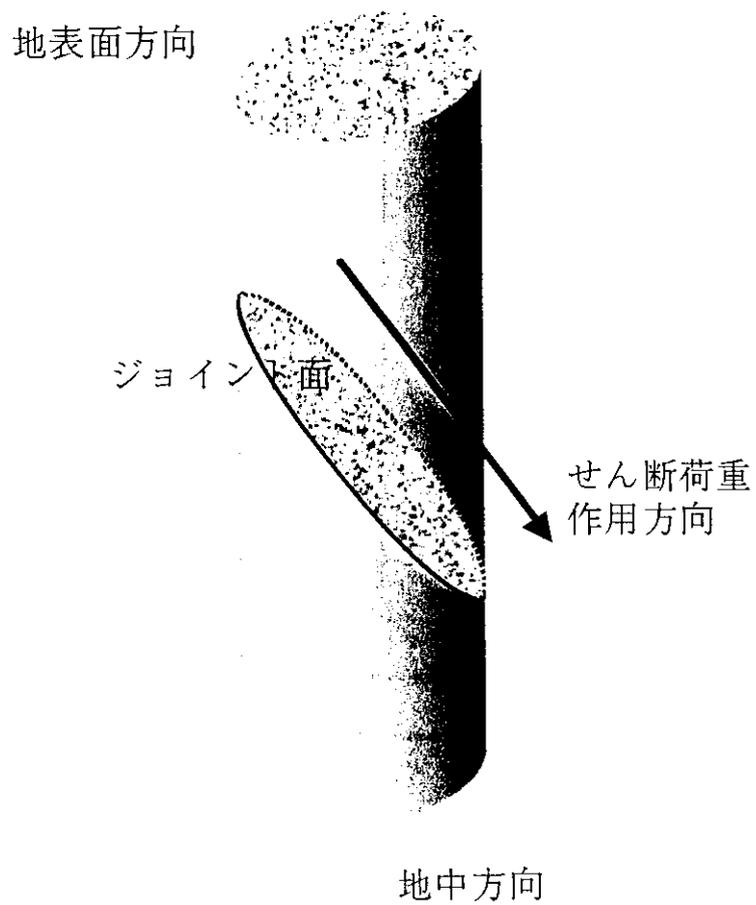


図-4.2 せん断試験載荷方向

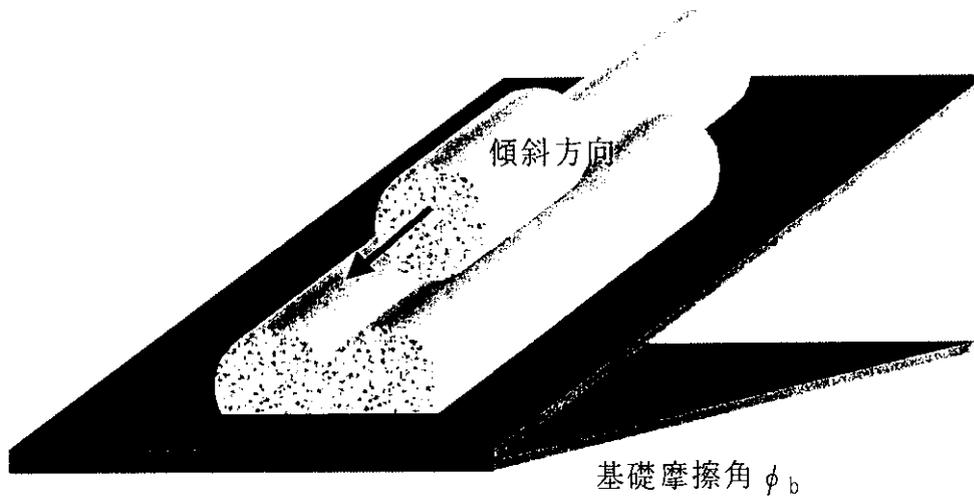


図-4.3 新鮮岩石のテイルト試験方法

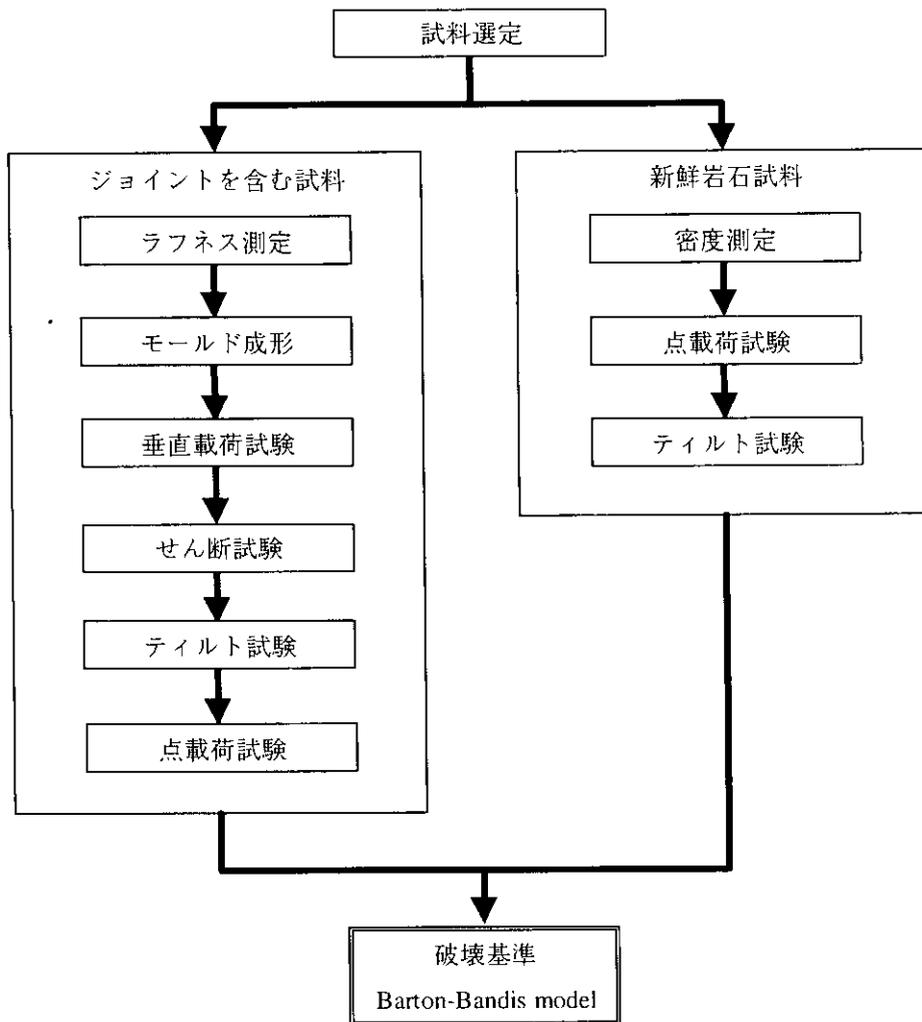


図-4.4 試験フロー

## 5. 試験結果と考察

ジョイントを含む岩石試料について実施したラフネス測定、点載荷試験、垂直載荷試験、せん断試験およびテイルト試験結果と、新鮮岩石試料についておこなった密度測定、点載荷試験およびテイルト試験結果について詳述する。

### 5.1 ジョイントを含む岩石試料による試験

#### 5.1.1 ラフネス測定

ジョイント面は上下2面あることから、便宜上地表側を上面、地中側を下面と称する。上面と下面は完全に接触していない場合には、凹凸形状も同一にはならない。ラフネス測定結果の一例として、No.1 試料（M I U-1 孔、深度：112.82m、走向・傾斜：N3W25E）のせん断試験前後の凹凸形状を図-5.1 に示す。この試料は、ジョイント角度が低角、ジョイント形状がP（平滑）、介在物が無い条件に相当する。ジョイント面の凹凸はデジタルデータとして取得済みであることから、せん断試験後の凹凸の変化（ジョイント面に対して垂直方向の変位）を試算した。図-5.2 にせん断試験前の上下面の凹凸値を元にしたせん断試験後の凹凸の変化値を示す。上下面ともに、部分的には 0.5mm を越えるジョイント部の変化が認められるが、ほとんどの領域は 0.2mm 以下の変化しか生じていない。一方、図-5.3 にせん断試験後のジョイント面の写真を示す。図中赤丸で示す部分に粒子破碎後の状況が判別できる。図-5.2 と図-5.3 において、凹凸面の変化状況には十分な整合性を得られず、ラフネスの定量的な変化把握には至らなかった。デジタルデータを用いた変化状況の測定では、せん断試験前後において全く同じ状況（ラフネス測定装置への供試体設置）でラフネス測定を行う必要があり、設置誤差が影響を及ぼす可能性がある。しかし、本業務で実施したラフネス測定はジョイントのラフネス状況をワイヤースケッチャーやレンダリングモデルで視覚的に表わすほか、せん断試験による破壊状況の定量的な把握が行える利点を有していることから、今後有効な測定方法になるものと考えられる。

ラフネス測定では、図-4.1 に示すようにジョイント面内の長方形エリアを測定対象にしているため、楕円形状をしたジョイント面全域の面積を測定することはできない。そこで、トレッシングペーパーで楕円形状を写し取り接触面積を求める。全 25 試料について、接触面積（上面： $A_A$ 、下面： $A_B$ ）をまとめたものが表-5.1 である。ただし、この場合の接触面積は楕円面積である。

ところで、ラフネス測定の結果から長方形エリアにおける接触面積の試算を行

ってみる。この場合の接触面積は、先のトレッシングペーパーで写し取った楕円形状面積ではなく、ラフネスを加味した面積となる。面積計算は、木梨ら<sup>3)</sup>が提案した四角形メッシュによる計算法を利用する。No.1 試料 (M I U-1 孔、深度：112.82m、走向・傾斜：N3W25E) におけるラフネス測定領域の平面積は 20cm<sup>2</sup> である。ラフネス測定は基本的に x-y 測定間隔を 0.5mm としている。この場合のラフネスの表面積は、上面が 21.64cm<sup>2</sup>、下面が 21.32cm<sup>2</sup> となった。すなわち、凹凸が存在するため平面積より約 15% も表面積は大きくなっていることがわかった。一方、x-y 測定間隔の影響を把握するため、測定間隔を 0.5mm~10.0mm に変化させ表面積を求めた。測定結果を図-5.4 に示す。測定間隔によって測定領域の平面積が異なることから、ラフネス測定で算定した表面積を測定領域の平面積で除し正規化して表わした。その結果、x-y 測定間隔を広げれば広げるほどジョイント表面積は小さく換算されることがわかり、5mm を越えると測定間隔の影響はあまり生じないが、測定間隔 0.5mm の場合と比較して 7% も低下することがわかった。したがって、ラフネス測定データからジョイントの接触面積を求める場合には、注意を要することが明らかになった。

### 5.1.2 点載荷試験

シュミットハンマーによる点載荷によって、反発度  $R_j$  が求められる。すると、ジョイント面の圧縮強度 JCS は(1)式によって求めることができる。

$$\log_{10} JCS = 0.00088 \rho R_j + 1.01 \quad (1)$$

ここで、 $\rho$  は密度で新鮮岩石試料から求める。

ジョイント面は上面と下面の 2 面あるため、反発度も 2 値存在する。上面の反発度を  $R_{jA}$ 、下面の反発度を  $R_{jB}$  とする。ラフネス測定結果の一例として示した No.1 試料 (M I U-1 孔、深度：112.82m、走向・傾斜：N3W25E) において点載荷試験をおこなったところ、 $R_{jA}=22.3$ 、 $R_{jB}=27.5$  となった。(1)式から、 $JCS_A=32.6\text{MPa}$ 、 $JCS_B=42.7\text{MPa}$  となり、平均的には  $JCS_{\text{mean}}=37.6\text{MPa}$  を得た。

全 25 試料について、シュミットハンマーによる反発度から JCS を求めた結果をまとめたものが表-5.2 である。表中、 $JCS_A$  は上面、 $JCS_B$  は下面のジョイントの圧縮強度であり、 $JCS_{\text{mean}}$  は上面と下面との平均値である。この結果を分類ごとにまとめたものが図-5.5 である。図は、各分類中の  $JCS_A$ 、 $JCS_B$  および  $JCS_{\text{mean}}$  を平均して、分類の代表値とした。この結果から、JCS は約 40MPa~55MPa の範囲に分布していることがわかった。各分類の  $JCS_{\text{mean}}$  に着目すると、分類②が最も大きい値を

示した。一方、最も小さな値を示したのは④<sub>I</sub>であり、同じ④の分類でありながら④<sub>II</sub>と比較すると約20%もの開きがあった。同様に、⑤<sub>I</sub>と⑤<sub>II</sub>は大きな違いはないが、⑤<sub>II</sub>も約20%下回る値となった。

### 5.1.3 垂直載荷

No.1 試料（MIU-1孔、深度：112.82m、走向・傾斜：N3W25E）を用いた場合の繰返し載荷に伴う垂直荷重-垂直変位の関係を図-5.6に示す。載荷重は試料採取深度と密度を勘案して約3MPaとした。図中、実線と点線で試料対角の位置の変形挙動を示す。一点斜線でこれらの平均値を示した。実線と点線では、その変形挙動は大きく異なる。実線では、処女載荷で初期間隙が閉塞される方向に変位は進展するが、除荷に伴い噛み合わせが変化し変位が増長したものと解釈できる。一方、対角の位置の処女載荷における変位（点線）は実線方向の挙動に影響を受け、相対的に開口する方向に挙動し始めるが、ある程度載荷重があがると閉塞する方向に挙動することになる。除荷後は実線方向の変形挙動の影響を受け、相対的に当初の開口幅が増長する方向に挙動する。その後、繰返し載荷によって開口幅が閉塞する変形挙動を呈することになった。ジョイントの左右対角の位置における変位挙動が異なる要因として、局所的なジョイントの噛み合わせや局所的な粒子の破碎が影響しているものと考えられる。

図-5.6に示したように、垂直荷重-垂直変位曲線は下に凸型の非線形性を呈するのが一般的である。ジョイントの開閉挙動の相違により非線形性の程度が異なるが、繰返し載荷の回数を多くすることによって、この非線形性は徐々に小さくなっていく。そこで、繰返し3回目の載荷曲線から垂直剛性  $K_n$  を求めることとした。繰返し3回目といえども荷重変位曲線には非線形性が認められるが、ここでは載荷時の始点と終点（土被り圧相当）を結ぶ割線を垂直剛性  $K_n$  と定めた。すると、No.1 試料の垂直剛性  $K_n$  は95.6MPa/mmとなった。

全25試料について、垂直剛性  $K_n$  を求めた結果をまとめたものが表-5.3である。

### 5.1.4 せん断試験

No.1 試料（MIU-1孔、深度：112.82m、走向・傾斜：N3W25E）を用いた場合のせん断荷重-せん断変位の関係を図-5.7に示す。また、その際のせん断変位-ダイレーション変位の関係を図-5.8に示す。図-5.7において、最大せん断強度  $\tau_{max}$  は約0.143MPaとなり、ピークを迎えた後は徐々にせん断力は低下し、残留強度  $\tau_r$  は約0.081MPaとなった。また、せん断剛性  $K_s$  は、せん断荷重-せん断変

位曲線においてピーク強度に到達する以前の直線部分の勾配として求めることから、No.1 試料のせん断剛性  $K_s$  は 0.383MPa/mm となった。

一方、図-5.8 中、実線と点線で試料対角の位置におけるダイレーション挙動を示す。一点斜線でこれらの平均値を示した。実線と点線において、せん断変位の増加に伴いダイレーションが漸次増加する傾向は同様であるが、その増加量は異なることがわかる。これは、前節の垂直載荷試験（図-5.6 参照）で論じた垂直変位挙動の対角位置における相違と同様の要因によって、ダイレーションの変形挙動も相違が生じていることが考えられる。すなわち、局所的なジョイントの噛み合わせや局所的な粒子の破砕がダイレーション挙動に影響を及ぼしていることが考えられる。図-5.3 に試験後のジョイント面の写真を示す。図中、赤丸で示した箇所では部分的に粒子が破砕されていることが確認できた。このように、ジョイント全面が均等に破断するのではなく、局所的な粒子破壊が生じることからジョイントの対角位置における変位挙動は不均等になるものと考えられる。

ジョイント面の粗さ係数 JRC は(2)式によって求めることができる。

$$JRC = \frac{\tan^{-1}\left(\frac{\tau_{\max}}{\sigma_n}\right) - \phi_r}{\log_{10} \frac{JCS}{\sigma_n}} \quad (2)$$

ここで、 $\tau_{\max}$  は最大せん断強度、 $\sigma_n$  は垂直荷重、 $\phi_r$  は残留摩擦角、JCS は前節(1)式から求められるジョイント面の強度である。 $\phi_r$  は後述の(5)式から求められる。したがって No.1 試料におけるジョイント面の粗さ係数は  $JRC=15.63$  となった。

全25試料について、JRC を求めた結果をまとめたものが表-5.3 である。表中には、参考までにせん断荷重-せん断変位曲線のタイプを示した。せん断荷重-せん断変位曲線は、大別して3種類の挙動を示した。Type-1 は、ピークを迎えた後は漸次せん断力が低下し、残留強度を呈するものである。このタイプでは、ジョイントの噛み合わせが切断された後はせん断力に対する抵抗力が落ち、その後せん断力が徐々に低下し残留強度に至ることからせん断荷重-せん断変位曲線は上に凸型の形状を呈するものである。ジョイント形状が平滑であったり、介在物が存在しない場合はこのタイプのせん断荷重-せん断変位曲線を得た。Type-2 は明瞭なピークを迎えることなく、徐々にせん断力が増加するものである。このタ

イプでは、ジョイントの噛み合わせが切断されにくいことが起因し、このような形状を呈することになるものと考えられる。特に、⑤の試料では介在物を有していたことが起因し、せん断荷重-せん断変位曲線はこのタイプを呈したのものと考えられる。一方、Type-3 はピークを迎えた後はせん断力が一定となるものである。このタイプは Type-1 に含まれると考えられるが、ピーク強度があまり明瞭ではない。ジョイントの噛み合わせ状況等に起因しているものと考えられる。今回の試験では 2 試料について確認された。Type-2 と Type-3 については、便宜上試験範囲（せん断変位 5mm）の中でせん断力の最大値を最大せん断強度  $\tau_{max}$ 、最小値を残留強度  $\tau_r$  とした。

### 5.1.5 ティルト試験

No.1 試料（MIU-1 孔、深度：112.82m、走向・傾斜：N3W25E）を用いた場合の傾斜角は  $55.5^\circ$  となった。ジョイント面の粗さ係数 JRC は(3)式によっても求めることができる。

$$JRC = \frac{\alpha - \phi_r}{\log_{10} \frac{JCS}{\sigma_{no}}} \quad (3)$$

ここで、 $\alpha$  は傾斜角である。 $\phi_r$ 、JCS は (2)式の場合と同様である。本試験は、せん断試験後にせん断用治具ならびにモルタルモールドを取去り実施したため、 $\sigma_{no}$  は試料のみの重量となる。したがって、No.1 試料におけるジョイント面の粗さ係数 JRC は 7.40 となった。また、傾斜角度の増加に伴いジョイント下面に作用する自重は小さくなることから、傾斜角により垂直抗力 ( $\sigma_{no} \cdot \cos \alpha$ ) を求め(3)式から JRC を算定すると 7.03 となった。いずれの場合も、(2)式で求めた JRC の半分程度になった。

全 25 試料について、傾斜角と JRC を求めた結果をまとめたものが表-5.4 である。全ての試料について、ティルト試験で求めた JRC の方が半分以下になった。場合によっては、No.22 試料などは 1/30 程度まで小さくなり、明確な違いのあることが判明した。せん断試験では、試料重量とモルタルモールドと載荷治具の合計重量がジョイント面に作用するため、ある程度の拘束が発生し、局所的な粒子破壊の伴うせん断破壊が発生する。しかし、ティルト試験では、試料重量のみの負荷となり、拘束が小さいことから粒子破壊による滑りは生じない、さらに、傾斜角が大きくなると純粋な滑りよりはむしろ、傾斜下端の回転の影響が見られる

ようになることからテイルト試験からの JRC 算定には疑問が残る。以上の理由から、テイルト試験による JRC は参考値として扱う。

## 5.2 新鮮岩石試料による試験

### 5.2.1 密度測定

精度高く密度を求めるため、新鮮岩石コアから直径 30mm、細長比 1 : 2 の円柱供試体を整形し密度測定に用いた。また、参考のため、整形した供試体を用いて圧縮試験を実施し、一軸圧縮強度を求めた。対象花崗岩の密度は 25.6kN/m<sup>3</sup> 前後であった。一軸圧縮強度は、No. 29 試料 (④<sub>I</sub>) が 84.29MPa となった以外は、130MPa とほぼ同じ強度を有している結果を得た。得られた結果を表-5.5 に示す。

### 5.2.2 点載荷試験

シュミットハンマーによる点載荷によって、新鮮岩石切断面の反発度 R が求められる。すると、新鮮岩石の圧縮強度  $\sigma_c$  は(4)式によって求めることができる。

$$\log_{10}\sigma_c = 0.00088 \rho R + 1.01 \quad (4)$$

ここで、 $\rho$  は密度である。

得られた結果を表-5.5 に示す。前節において圧縮試験から得られた一軸圧縮強度と比較すると、④<sub>I</sub>を除いてほぼ同程度の強度が得られた。④<sub>I</sub>に関しては、107.48MPa となり、圧縮試験からの値 84.29MPa と 30%もかけ離れた結果となった。

### 5.2.3 テイルト試験

新鮮岩石のテイルト試験から傾斜角（基礎摩擦角  $\phi_b$ ）が得られる。すると、ジョイントの残留摩擦角  $\phi_r$  は(5)式によって求めることができる。

$$\phi_r = (\phi_b - 20) + 20 \frac{R_j}{R} \quad (5)$$

ここで、 $R_j$  はジョイント面の反発度、 $R$  は新鮮岩石の反発度である。

得られた結果を表-5.6 に示す。 $\phi_b$  は 31.7~35.0 の範囲に分布しており、試料の違いによる変動は少ない。また、 $\phi_r$  も 32.2~35.6 の範囲に分布しており、試料の違いによる変動は少ない結果となった。

以上、ジョイントを含む岩石試料と新鮮岩石試料による試験をおこなった結果、得られた結果を一覧にしたものが表-5.7 である。示したデータは、ラフネス最小面積、垂直剛性  $K_n$ 、せん断剛性  $K_s$ 、ジョイント面圧縮強度 JCS、ジョイント面粗さ係数

JRC の5パラメータである。このうち、 $K_n$ 、 $K_s$ 、JCS、および JRC の4パラメータが試料分類された5つのカテゴリーといかなる関係があるかを調べた。図-5.9~5.12にそれぞれのパラメータの測定範囲と平均値を分類毎に示した。測定範囲は最大値と最小値の範囲を棒線で、平均値は棒線の右側に突起で表した。なお、図-5.12に示す JRC はせん断試験から得られた結果を示している。

分類カテゴリーが同じである①と②について、 $K_s$  は①が大きくなるが、それ以外の  $K_n$ 、JCS、および JRC は逆に②より小さくなり、差異が認められる。すなわち、同一カテゴリーの試料であっても、サンプリング位置による違いが生じたことが判明した。③のカテゴリーは②と比較してジョイント形状が波状 (C) の場合である。 $K_s$  には明瞭な相違は認められないが、 $K_n$ 、JCS、および JRC はいずれも明瞭な相違が認められた。一方、④と⑤はジョイント角度が高角のカテゴリーに分類 (ただし、⑤<sub>II</sub> は低角に分類) される。これらの場合、④<sub>I</sub> と④<sub>II</sub> では  $K_n$  と JCS は大きく異なる。また、⑤の中では⑤<sub>I</sub> と⑤<sub>II</sub> はほぼ同程度のパラメータを有しているが、⑤<sub>III</sub> は全てのパラメータで相違が確認できた。ジョイント角度が低角であるという条件が影響しているものと考えられる。

次いで、ボーリング孔別および深度区分別で、 $K_n$ 、 $K_s$ 、JCS、および JRC の4パラメータがいかなる関係にあるかを調べた。図-5.13~5.14 にそれぞれのパラメータの測定範囲と平均値をボーリング孔別および深度区分別に示した。図の表示方法は、先のカテゴリー分類との相関関係と同じである。また、JRC はせん断試験から得られた結果を示している。なお、深度区分としては表-3.1に示すような浅部、中間部および深部の3つの領域に分けて考える。浅部、中間部および深部の深度範囲は以下の通りである。

(1) 浅部

MIU-1孔：0~300m

MIU-2孔：0~400m

MIU-3孔：0~300m

(2) 中間部

MIU-1孔：300~700m

MIU-2孔：400~700m

MIU-3孔：300~700m

(3) 深部

MIU-1孔：700m~

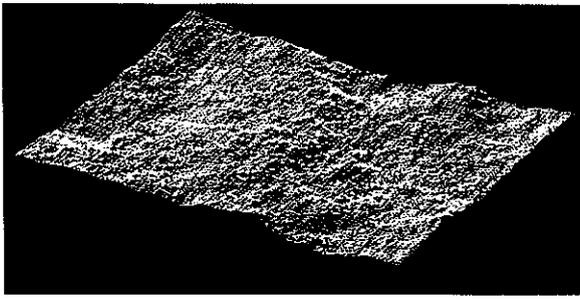
MIU-2孔：700m～

MIU-3孔：700m～

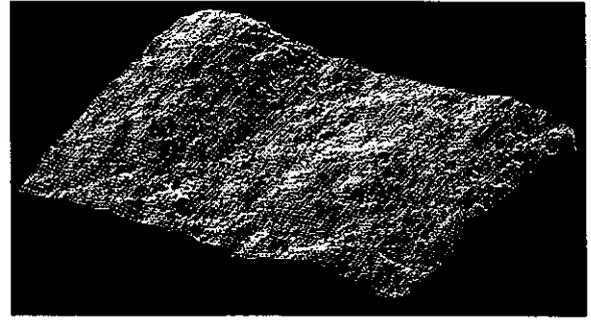
ボーリング孔別で整理された結果から、 $K_n$  と  $K_s$  ではMIU-2孔が最も大きくなるなど同様な傾向が認められた。また、JCS に関しては平均値および最大値ともにMIU-1孔、MIU-2孔、MIU-3孔の順に大きくなっており、明確な差違が認められた。しかし、JRC に関しては平均値の変動幅が小さく、差違を認めるには至らなかった。一方、深度区別で整理された結果から、 $K_n$  に関しては中間部がもっとも小さい結果になった。 $K_s$  と JCS に関しては、深くなればなるほど小さくなる傾向にあること判明した。しかし、JRC に関してはボーリング孔別の結果と同様に、差違を認めるには至らなかった。

Barton-Bandis による破壊条件式は(6)式で示される。式中、JRC、JCS および  $\phi_r$  が必要となる。本試験で得られた結果について、5つの分類カテゴリーで想定される JRC、JCS および  $\phi_r$  を表-5.8 に示す。

$$\tau = \sigma_n \tan \left( \text{JRC} \log_{10} \frac{\text{JCS}}{\sigma_n} + \phi_r \right) \quad (6)$$

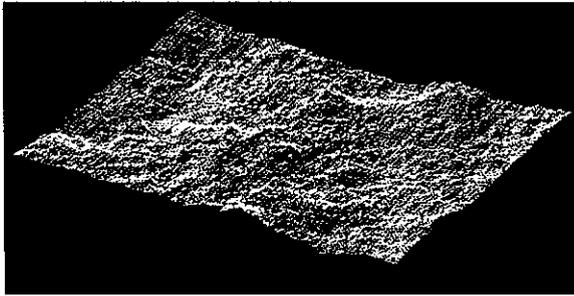


上面

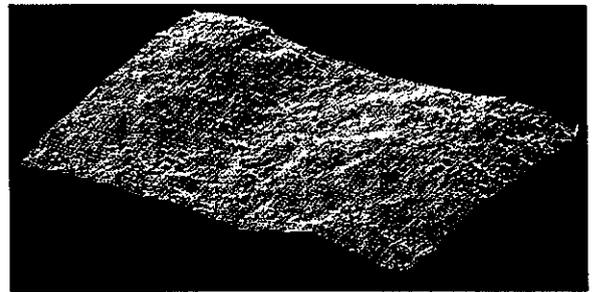


下面

(a) せん断試験前



上面

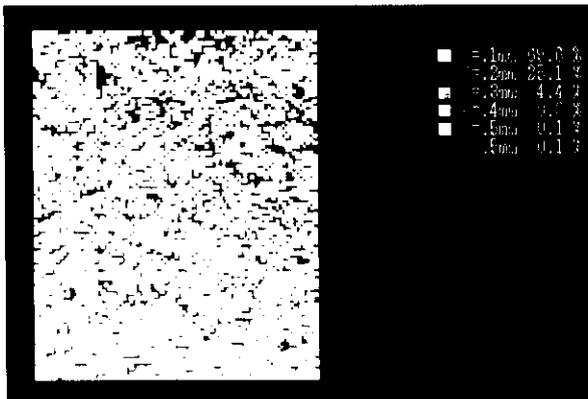


下面

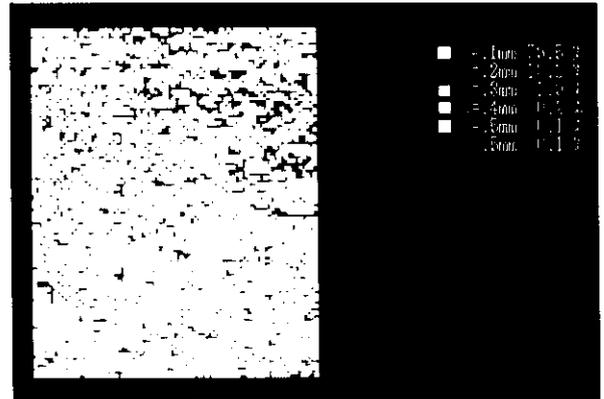
(b) せん断試験後

図-5.1 ラフネス測定結果の一例

No.1 試料 (M I U - 1 孔、深度：112.82m、走向・傾斜：N3W25E)



上面



下面

図-5.2 ラフネス測定結果からの凹凸変化の試算一例

No.1 試料 (M I U - 1 孔、深度：112.82m、走向・傾斜：N3W25E)

表-5.1 ジョイントの接触面積

No.	分類	ボーリング孔 No.	深度 (m)	走向・傾斜	接触面積 A(cm <sup>2</sup> )		
					A <sub>A</sub>	A <sub>B</sub>	最小
1	①	MIU-1	112.82	N3W25E	32.70	33.39	32.70
2			291.53	N47E11NW	32.40	31.85	31.85
3		MIU-2	163.62	EW61S	31.85	31.55	31.55
4		MIU-3	143.32	N32E24SE	31.84	31.64	31.64
5	②	MIU-1	316.32	N79E24S	36.34	36.57	36.34
6		MIU-2	307.94	N86W10S	31.26	31.11	31.11
7		MIU-3	415.50	N37E23SE	29.74	29.78	29.74
8			464.60	N81W2S	29.31	29.26	29.26
9			472.31	N81E12S	29.59	29.21	29.21
10	③	MIU-1	313.30	N56E	31.66	31.60	31.60
11		MIU-2	388.51	N85W17N	33.59	33.34	33.34
12		MIU-3	397.85	N48E26SE	30.02	30.02	30.02
13			537.15	N12E45W	39.36	39.96	39.36
14	④ <sub>I</sub>	MIU-1	331.36	N88W52S	46.93	46.76	46.76
15			589.28	EW55N	45.87	45.20	45.20
16		MIU-3	971.86	N46E63SE	59.14	65.73	59.14
17			984.72	N78E61S	56.94	54.18	54.18
18	④ <sub>II</sub>	MIU-1	846.18	N57W64NE	71.48	72.17	71.48
19		MIU-3	322.76	EW65S	42.45	42.78	42.45
20	⑤ <sub>I</sub>	MIU-1	679.50	N75E66S	69.48	71.29	69.48
21		MIU-2	430.72	N63E56N	56.48	55.29	55.29
22	⑤ <sub>II</sub>	MIU-3	509.14	N5E49W	44.25	41.35	41.35
23			527.25	N75W55N	47.31	47.79	47.31
24	⑤ <sub>III</sub>	MIU-2	276.34	N20E21W	32.90	33.44	32.90
25			290.32	N73W29S	37.38	36.86	36.86



図-5.3 せん断試験後のジョイント面

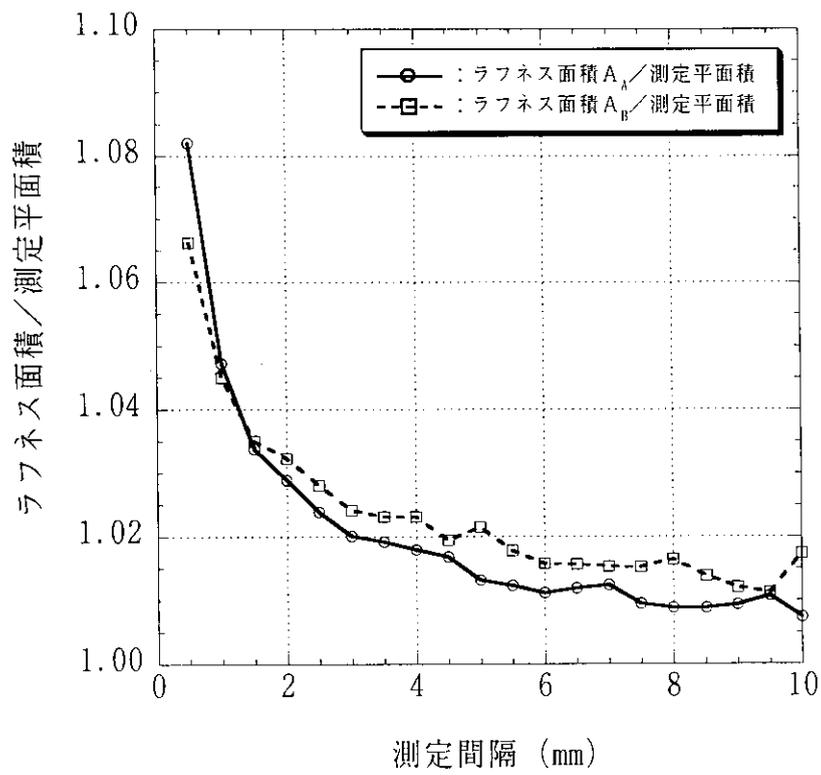


図-5.4 x-y 測定間隔とジョイント表面積の関係

表-5.2 点載荷試験による反発度と JCS

No.	分類	反発度 $R_j$		密度 $\rho$ ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )	JCS		
		$R_{jA}$	$R_{jB}$		$JCS_A$	$JCS_B$	平均値 $JCS_{\text{mean}}$
1	①	22.3	27.5	25.63	32.6	42.7	37.6
2		29.1	35.0		46.4	63.0	54.7
3		37.7	26.5		72.5	40.5	56.5
4		35.6	27.3		65.0	42.2	53.6
5	②	26.5	26.2	25.55	40.3	39.7	40.0
6		31.6	32.5		52.5	55.0	53.8
7		29.5	35.3		47.1	63.6	55.4
8		35.1	34.9		63.0	62.3	62.7
9		38.7	31.0		75.9	50.9	63.4
10	③	23.2	24.7	25.71	34.3	37.1	35.7
11		30.7	36.2		50.7	67.5	59.1
12		40.1	31.5		82.7	52.8	67.7
13		24.4	25.6		36.5	38.8	37.7
14	④ <sub>I</sub>	30.6	28.9	25.72	50.4	46.1	48.3
15		15.8	18.8		23.3	27.3	25.3
16		28.8	25.2		45.9	38.1	42.0
17		29.7	24.8		48.1	37.3	42.7
18	④ <sub>II</sub>	30.5	32.4	25.68	50.0	55.2	52.6
19		30.9	28.7		51.1	45.6	48.3
20	⑤ <sub>I</sub>	30.2	34.8	25.76	49.5	62.9	56.2
21		29.6	26.8		48.0	41.4	44.7
22	⑤ <sub>II</sub>	26.4	28.1	25.68	40.4	44.2	42.3
23		36.2	32.1		67.3	54.4	60.8
24	⑤ <sub>III</sub>	32.1	24.5	25.63	54.2	36.5	45.4
25		26.4	25.8		40.3	39.1	39.7

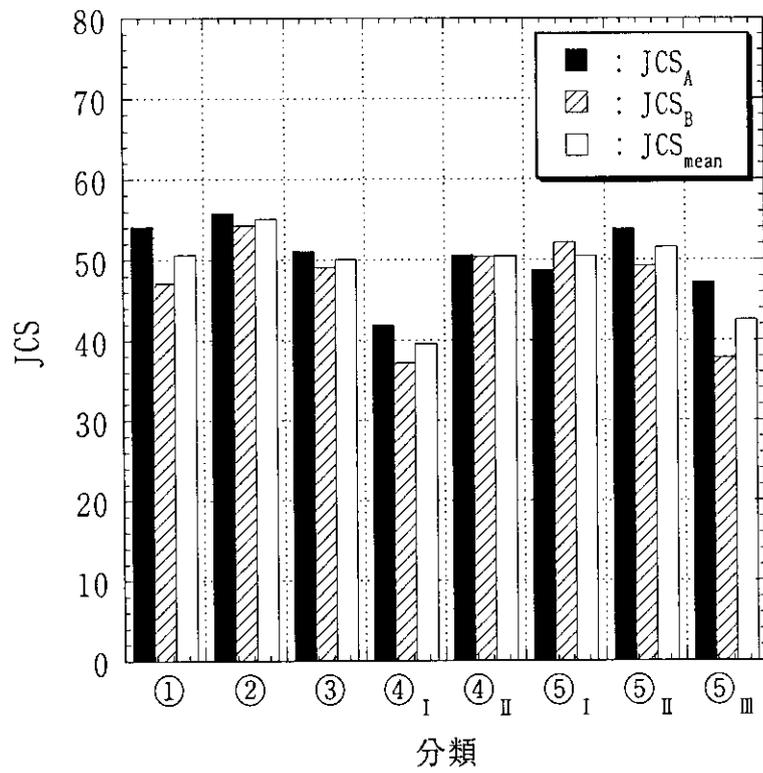


図-5.5 JCSとジョイント分類との関係

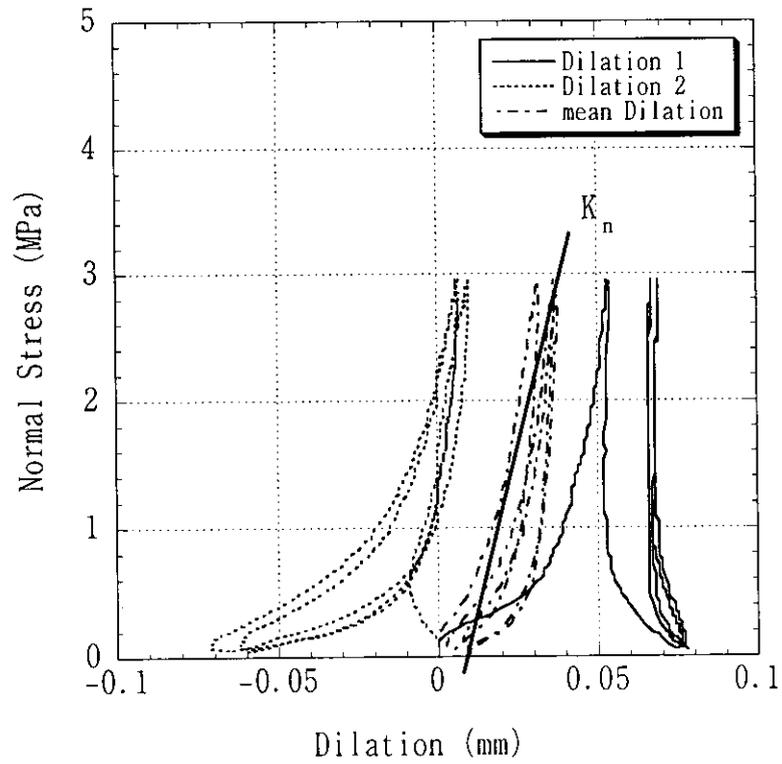


図-5.6 垂直荷重—垂直変位関係

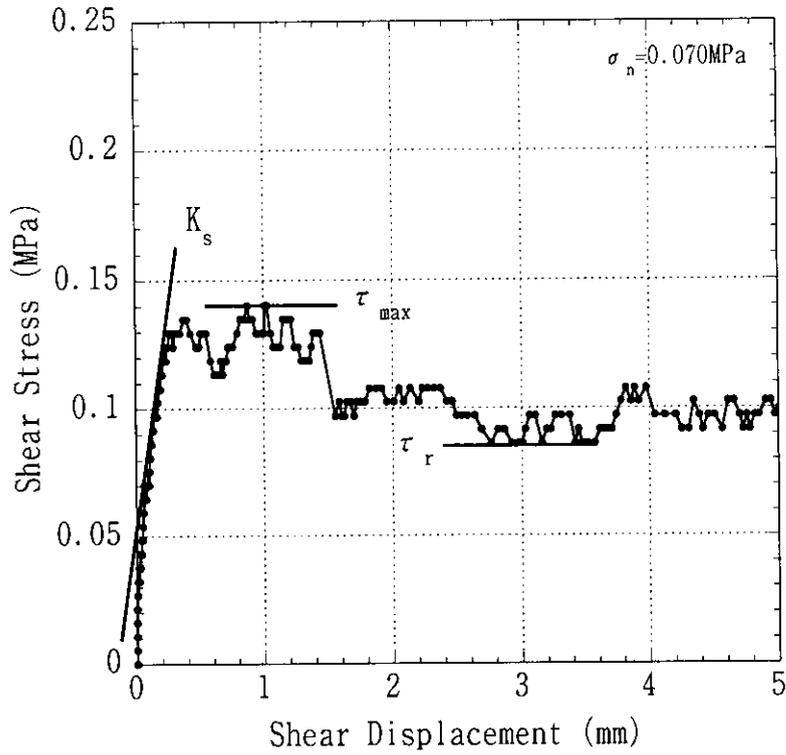


図-5.7 せん断荷重-せん断荷重関係

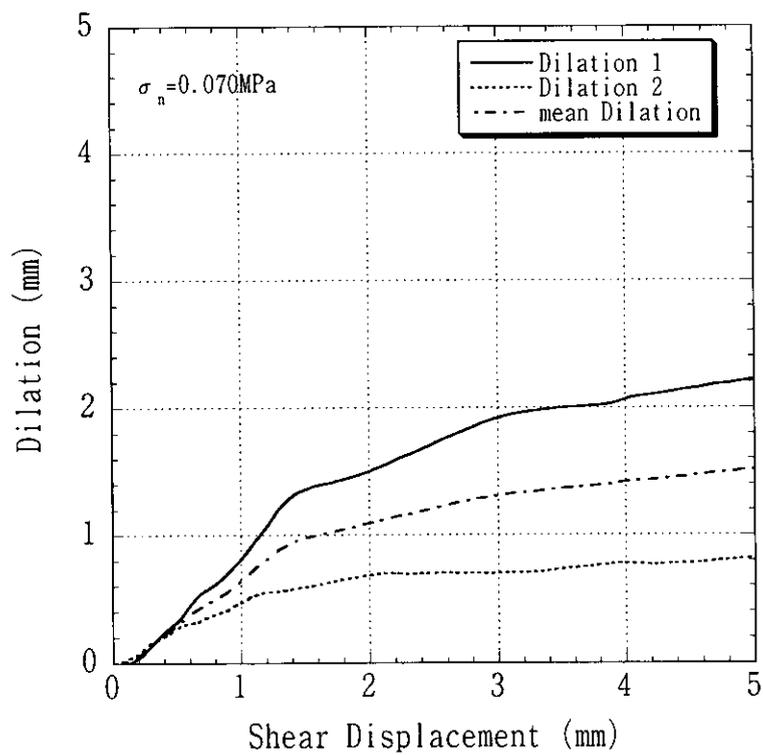


図-5.8 ダイレーション挙動

表-5.3 垂直載荷およびせん断試験による垂直剛性、せん断剛性およびJRC

No.	分類	垂直載荷試験	せん断試験					
		垂直剛性 $K_n$ (MPa/mm)	せん断剛性 $K_s$ (MPa/mm)	最大せん断強度 $\tau_{max}$ (MPa)	残留強度 $\tau_r$ (MPa)	垂直圧 $\sigma_n$ (MPa)	JRC <sub>s</sub>	荷重-変位曲線のタイプ
1	①	95.6	0.383	0.143	0.081	0.070	15.63	1
2		667.2	0.221	0.116	0.066	0.072	11.88	2
3		235.1	21.571	0.151	0.078	0.073	13.90	1
4		133.6	2.605	0.123	0.084	0.073	12.37	3
5	②	236.9	0.565	0.146	0.073	0.063	15.43	1
6		313.0	0.342	0.125	0.074	0.074	11.73	1
7		310.1	0.429	0.119	0.077	0.077	10.89	1
8		337.8	6.864	0.302	0.163	0.078	16.70	1
9		500.9	2.097	0.616	0.127	0.079	19.20	1
10	③	130.6	8.357	0.134	0.078	0.072	14.54	1
11		159.6	1.028	0.248	0.201	0.068	16.33	2
12		70.4	1.066	0.100	0.071	0.076	8.48	2
13		414.9	1.100	0.103	0.063	0.058	13.37	1
14	④ <sub>I</sub>	86.2	12.250	0.196	0.128	0.049	16.67	1
15		151.7	0.469	0.078	0.059	0.051	13.43	3
16		197.5	0.187	0.054	0.027	0.039	9.61	1
17		226.1	0.285	0.091	0.052	0.043	13.27	1
18	④ <sub>II</sub>	334.4	1.553	0.119	0.044	0.032	14.34	1
19		283.8	3.000	0.210	0.066	0.054	16.11	1
20	⑤ <sub>I</sub>	74.9	0.144	0.053	0.036	0.033	8.81	2
21		168.7	1.242	0.091	0.059	0.042	12.32	1
22	⑤ <sub>II</sub>	33.1	0.813	0.081	0.051	0.056	9.79	2
23		197.7	1.019	0.149	0.108	0.049	13.41	2
24	⑤ <sub>III</sub>	709.8	0.163	0.113	0.070	0.070	12.43	2
25		59.0	6.400	0.120	0.067	0.062	14.36	2

せん断荷重-せん断変位の挙動タイプ

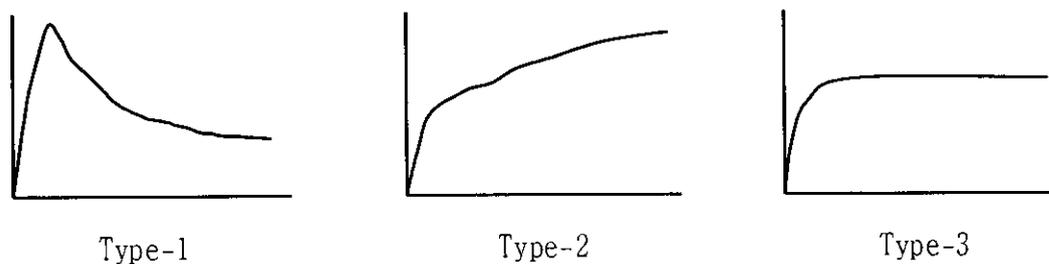


表-5.4 ティルト試験による傾斜角と JRC

No.	分類	傾斜角 $\alpha$ (°)	試料重量 $\sigma_{no}$ (MPa)	$JRC_T$	傾斜角による補正	
					垂直抗力 $\sigma_{no} \cdot \cos \alpha$ (MPa)	$JRC_T$
1	①	55.5	0.000891	7.40	0.000505	7.03
2		51.8	0.001063	5.89	0.000658	5.64
3		54.0	0.001090	6.35	0.000641	6.05
4		55.4	0.001052	6.71	0.000598	6.38
5	②	60.1	0.001063	8.02	0.000530	7.52
6		45.9	0.001027	4.26	0.000715	4.12
7		50.9	0.001035	5.28	0.000653	5.06
8		55.3	0.001068	5.93	0.000608	5.64
9		47.2	0.001120	4.26	0.000762	4.11
10	③	52.4	0.000606	6.24	0.000370	5.98
11		48.7	0.001003	4.60	0.000662	4.44
12		39.3	0.001064	2.40	0.000824	2.35
13		50.5	0.001047	6.02	0.000666	5.77
14	④ <sub>I</sub>	69.7	0.001041	9.34	0.000362	8.50
15		46.4	0.000723	5.66	0.000499	5.47
16		53.6	0.000815	6.09	0.000484	5.81
17		63.0	0.000750	7.99	0.000341	7.45
18	④ <sub>II</sub>	69.4	0.000677	8.30	0.000239	7.60
19		64.8	0.000975	7.82	0.000415	7.25
20	⑤ <sub>I</sub>	47.6	0.000672	3.61	0.000453	3.49
21		46.9	0.000806	4.01	0.000551	3.88
22	⑤ <sub>II</sub>	28.9	0.001015	0.36	0.000889	0.36
23		39.4	0.000982	1.89	0.000759	1.84
24	⑤ <sub>III</sub>	47.3	0.001151	5.24	0.000781	5.05
25		29.5	0.001077	1.57	0.000937	1.55

表-5.5 新鮮岩石試料による試験結果一覧

No.	分類	密度測定試験他		点載荷試験		テイルト試験
		密度 $\rho$ (kN/m <sup>3</sup> )	一軸圧縮強度 $\sigma_c$ (MPa)	反発度 R	圧縮強度 $\sigma_c$ (MPa)	基礎摩擦角 $\phi_b$ ( $^{\circ}$ )
26	①	25.63	139.43	51.5	148.44	31.6
27	②	25.55	136.69	47.5	119.67	32.3
28	③	25.71	128.87	46.0	112.39	32.2
29	④ <sub>I</sub>	25.72	84.29	45.7	110.75	33.1
30	④ <sub>II</sub>	25.68	139.05	45.2	107.51	34.9
31	⑤ <sub>I</sub>	25.76	124.92	43.8	100.67	35.0
32	⑤ <sub>II</sub>	25.68	126.92	43.9	100.48	34.8
33	⑤ <sub>III</sub>	25.63	134.70	50.0	137.32	31.9

表-5.6 残留摩擦角の換算

No.	分類	基礎摩擦角 $\phi_b(^{\circ})$	反発度 R	反発度 $R_{mean}$	残留摩擦角 $\phi_r(^{\circ})$
1	①	31.6	51.5	24.9	21.3
2				32.1	24.0
3				32.1	24.1
4				31.5	23.8
5	②	32.3	47.5	26.4	23.4
6				32.1	25.8
7				32.4	25.9
8				35.0	27.0
9				34.9	27.0
10	③	32.2	46.0	24.0	22.6
11				33.5	26.7
12				35.8	27.8
13				25.0	23.1
14	④ <sub>I</sub>	33.1	45.7	29.8	26.1
15				17.3	20.7
16				27.0	24.9
17				27.3	25.0
18	④ <sub>II</sub>	34.9	45.2	31.5	28.8
19				29.8	28.1
20	⑤ <sub>I</sub>	35.0	43.8	32.5	29.8
21				28.2	27.9
22	⑤ <sub>II</sub>	34.8	43.9	27.3	27.2
23				34.2	30.4
24	⑤ <sub>III</sub>	31.9	50.0	28.3	23.2
25				26.1	22.3

表-5.7 各種試験により得られた結果一覧

No.	分類	ボーリング孔 No.	深度 (m)	走向・傾斜	ラフネス最小面積 (cm <sup>2</sup> )	垂直剛性 K <sub>n</sub> (MPa/mm)	せん断剛性 K <sub>s</sub> (MPa/mm)	ジョイント面圧縮強度 JCS(MPa)	ジョイント面粗さ係数	
									JRC <sub>s</sub>	JRC <sub>T</sub>
1	①	MIU-1	112.82	N3W25E	32.70	95.6	0.383	37.6	15.63	7.40
2			291.53	N47E11NW	31.85	667.2	0.221	54.7	11.88	5.89
3		MIU-2	163.62	EW61S	31.55	235.1	21.571	56.5	13.90	6.35
4		MIU-3	143.32	N32E24SE	31.64	133.6	2.605	53.6	12.37	6.71
5	②	MIU-1	316.32	N79E24S	36.34	236.9	0.565	40.0	15.43	8.02
6		MIU-2	307.94	N86W10S	31.11	313.0	0.342	53.8	11.73	4.26
7		MIU-3	415.50	N37E23SE	29.74	310.1	0.429	55.4	10.89	5.28
8			464.60	N81W2S	29.26	337.8	6.864	62.7	16.70	5.93
9			472.31	N81E12S	29.21	500.9	2.097	63.4	19.20	4.26
10	③	MIU-1	313.30	N56E	31.60	130.6	8.357	35.7	14.54	6.24
11		MIU-2	388.51	N85W17N	33.34	159.6	1.028	59.1	16.33	4.60
12		MIU-3	397.85	N48E26SE	30.02	70.4	1.066	67.7	8.48	2.40
13			537.15	N12E45W	39.36	414.9	1.100	37.7	13.37	6.02
14	④ <sub>I</sub>	MIU-1	331.36	N88W52S	46.76	86.2	12.250	48.3	16.67	9.34
15			589.28	EW55N	45.20	151.7	0.469	25.3	13.43	5.66
16		MIU-3	971.86	N46E63SE	59.14	197.5	0.187	42.0	9.61	6.09
17			984.72	N78E61S	54.18	226.1	0.285	42.7	13.27	7.99
18	④ <sub>II</sub>	MIU-1	846.18	N57W64NE	71.48	334.4	1.553	52.6	14.34	8.30
19		MIU-3	322.76	EW65S	42.45	283.8	3.000	48.3	16.11	7.82
20	⑤ <sub>I</sub>	MIU-1	679.50	N75E66S	69.48	74.9	0.144	56.2	8.81	3.61
21		MIU-2	430.72	N63E56N	55.29	168.7	1.242	44.7	12.32	4.01
22	⑤ <sub>II</sub>	MIU-3	509.14	N5E49W	41.35	33.1	0.813	42.3	9.79	0.36
23			527.25	N75W55N	47.31	197.7	1.019	60.8	13.41	1.89
24	⑤ <sub>III</sub>	MIU-2	276.34	N20E21W	32.90	709.8	0.163	45.4	12.43	5.24
25			290.32	N73W29S	36.86	59.0	6.400	39.7	14.36	1.57

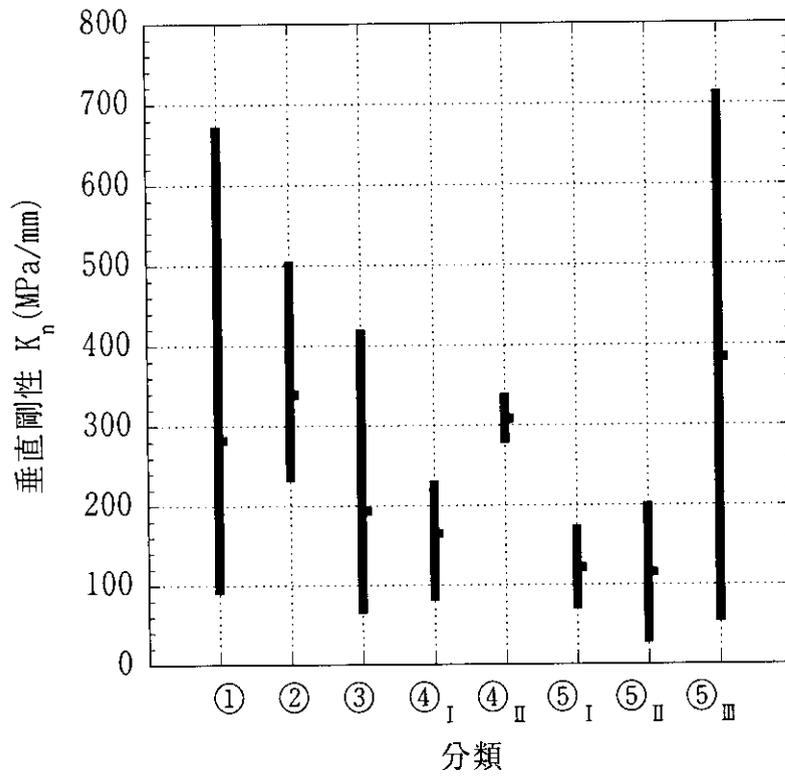


図-5.9 垂直剛性  $K_n$  と分類の関係

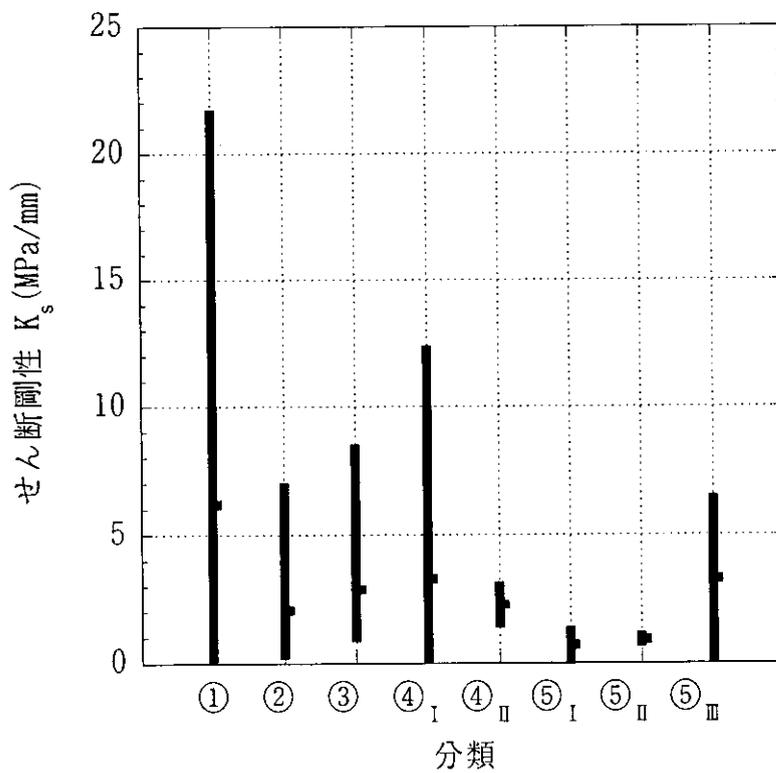


図-5.10 せん断剛性  $K_s$  と分類の関係

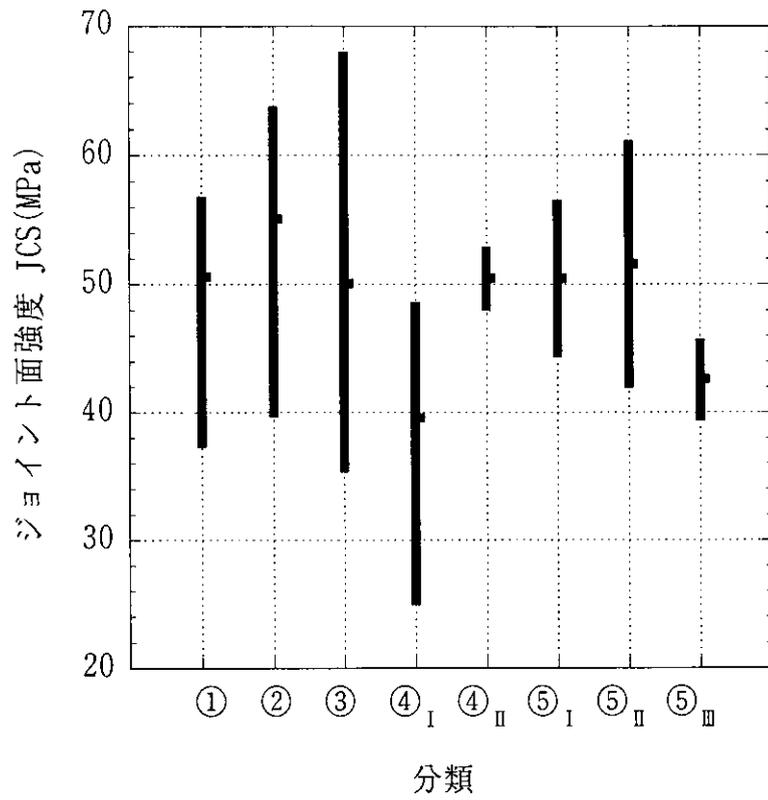


図-5.11 ジョイント面強度 JCS と分類の関係

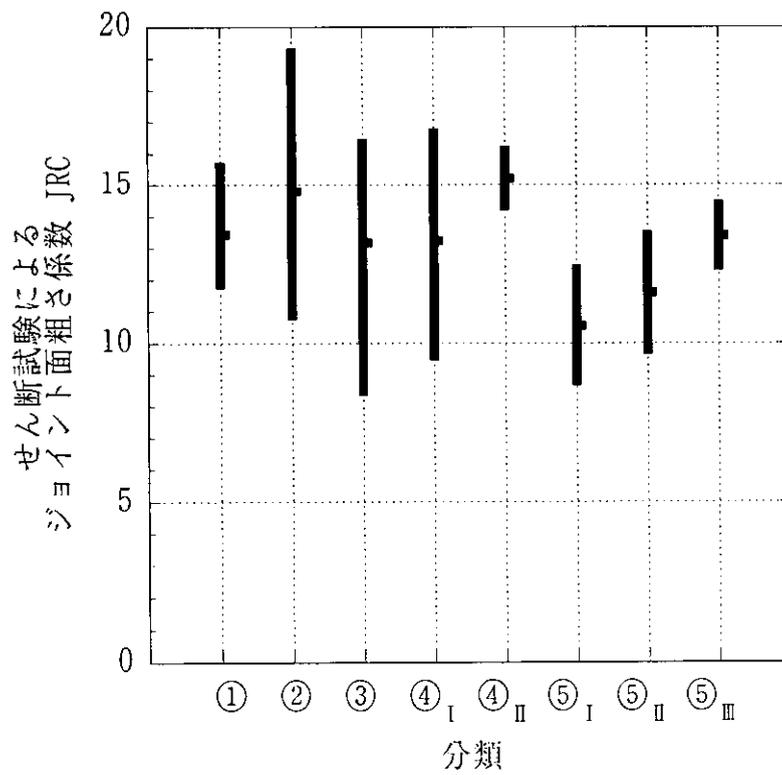
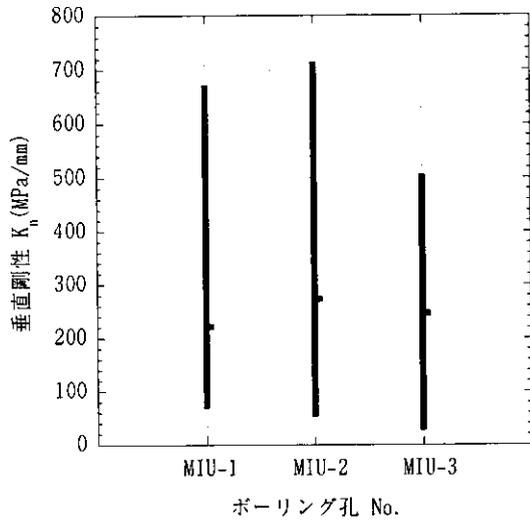
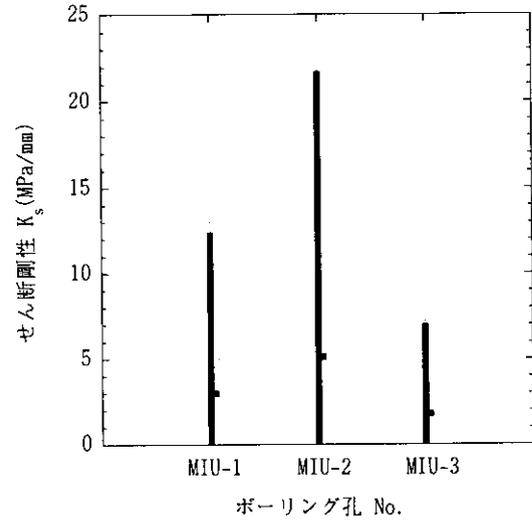


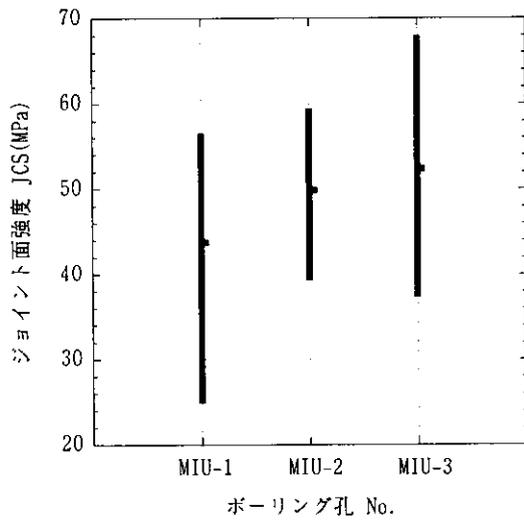
図-5.12 ジョイント面の粗さ係数 JRC と分類の関係



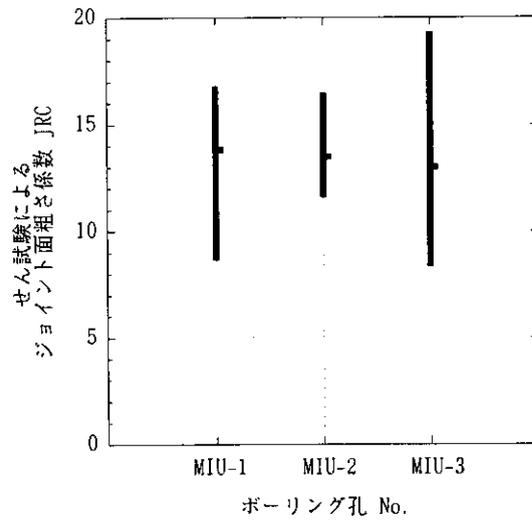
(a)



(b)

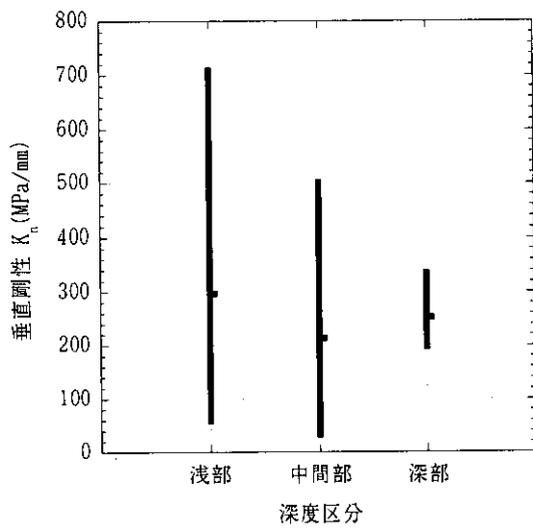


(c)

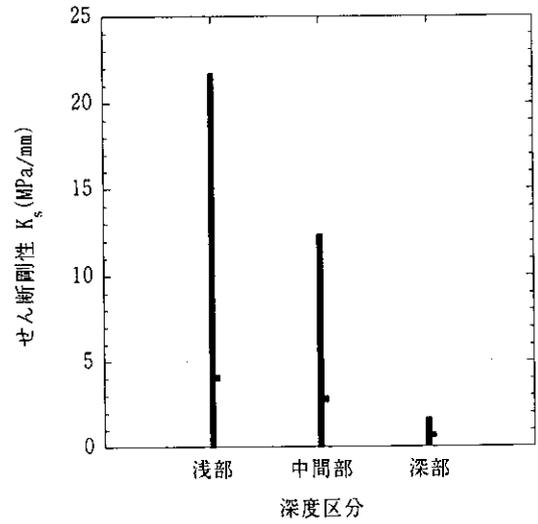


(d)

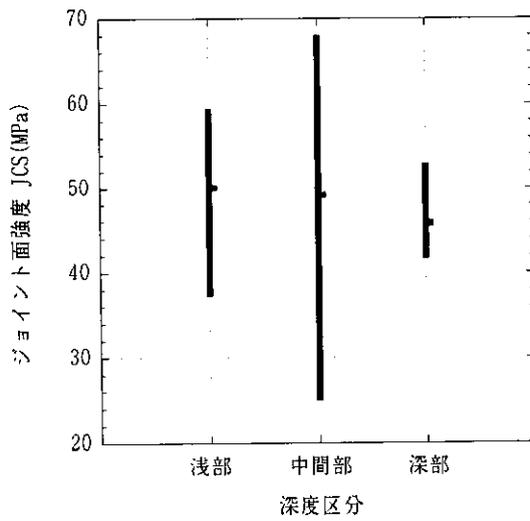
図-5.13 ボーリング孔別における  $K_n$ 、 $K_s$ 、JCS、および JRC の関係



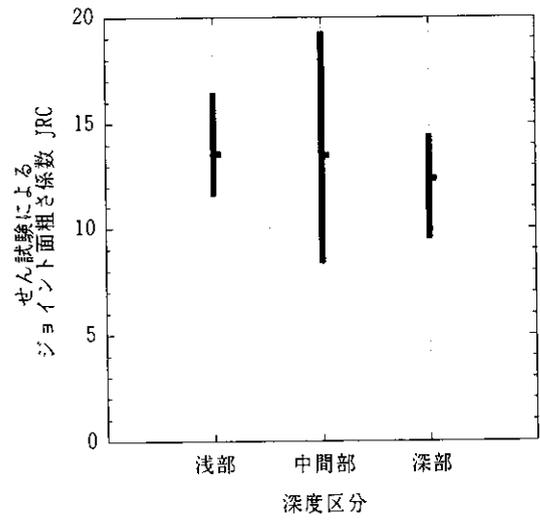
(a)



(b)



(c)



(d)

図-5.14 深度区分別における  $K_n$ 、 $K_s$ 、JCS、および JRC の関係

表-5.8 各分類における Barton-Bandis モデルのパラメータ

No.	ジョイント面の 圧縮強度 JCS(MPa)	ジョイント面の 粗さ係数 JRC	残留摩擦角 $\phi_r(^{\circ})$
①	50.6	13.45	23.3
②	55.1	14.79	25.8
③	50.1	13.18	25.1
④ <sub>I</sub>	39.6	13.25	24.2
④ <sub>II</sub>	50.5	15.23	28.5
⑤ <sub>I</sub>	50.5	10.57	28.9
⑤ <sub>II</sub>	51.6	11.60	28.8
⑤ <sub>III</sub>	42.6	13.40	22.8

$$\text{Barton-Bandis モデル} : \tau = \sigma_n \tan \left( \text{JRC} \log_{10} \frac{\text{JCS}}{\sigma_n} + \phi_r \right)$$

## 6.まとめ

岐阜県瑞浪市の正馬様洞用地内でボーリングされた3地点（MIU-1孔、MIU-2孔、MIU-3孔）の1000mコアのうち、ジョイントを含む試料を用いてジョイントの強度変形特性と幾何学特性を評価した。試験に供した試料は、ボーリング孔、ジョイントの角度、ジョイントの形状および介在物の有無の4つのパラメータに着目し、大きく5つのカテゴリー（①、②、③、④<sub>I</sub>、④<sub>II</sub>、⑤<sub>I</sub>、⑤<sub>II</sub>、⑤<sub>III</sub>）に分類した。ジョイントを含む試料は25体、ジョイントを含まない新鮮な試料は8体である。ジョイントを含む試料に対しては、ラフネス測定、点載荷試験、垂直載荷試験、せん断試験およびテイルト試験を実施した。一方、ジョイントを含まない新鮮な試料に対しては、密度測定、点載荷試験およびテイルト試験を実施した。その結果、ジョイントの各試験からは、接触面積  $A$ 、垂直剛性  $K_n$ 、せん断剛性  $K_s$ 、強度 JCS、粗さ係数 JRC および残留摩擦角  $\phi_r$  が求められた。一方、新鮮岩石による試験からは、密度  $\rho$ 、一軸圧縮強度  $\sigma_c$  および基礎摩擦角  $\phi_b$  が求められた。

得られた結果と試料分類（5つのカテゴリー）を比較すると、それぞれの分類によって、各物性値の相違が明らかになった。例えば、分類カテゴリーが同じである①と②について、 $K_s$  は①が大きくなるが、それ以外の  $K_n$ 、JCS、および JRC は逆に②より小さくなるなどの特徴抽出ができた。また、ボーリング孔別および深度区分別によって測定結果を整理したところ、定数 ( $K_n$ 、 $K_s$ 、JCS、JRC) によっては有意な相関性のあることが判明した。以上、ジョイントの力学定数が算定できたことから、UDEEC 等の個別要素法を用いて対象岩盤内のジョイントや構造物の挙動解析を実施するに際し、必要となる破壊条件式の一つである Barton-Bandis モデルの力学定数として JCS、JRC および  $\phi_r$  を決定した。なお、これらの定数は、上述の試料分類に対応して決定した。

今回対象となった領域は深度 1000m であり、3本のボーリングコアから試料を選定した。この領域の広さから考えると、試料本数は十分とは言えない。事実、各分類における測定結果には大きくばらついているものもあり、必ずしも平均値がその特性を十分表現しているとは言い難く、あくまで選られた測定結果の範疇からその特徴を述べたに過ぎない。試料数を増やすことによって、さらに確度が高まることは言うまでもないが、今後は原位置での変形挙動計測等と比較しながら今回得られた結果を修正しつつ利用することが肝要と考えられる。また、せん断試験における載荷方向は楕円長軸方向でかつ上面が地中に向かう方向としたが、地山応力や構造物の規模や方向

性を勘案し、ジョイントのせん断方向を考慮することが重要である。さらに、ジョイントにおける寸法効果を解明するため、ブロックサイズによるジョイントのせん断試験も必要と考えられる。

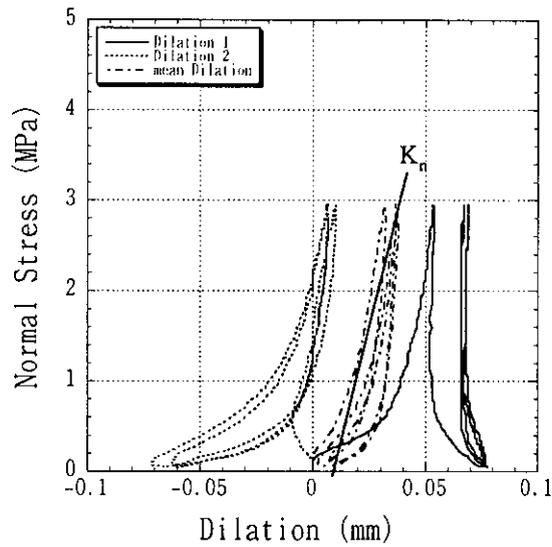
## 7. 参考文献

- 1) 吉田英一、大澤英昭、柳沢孝一、山川 稔：深部花崗岩中の割れ目解析 一岐阜県東濃地域に分布する花崗岩類を例にして一、応用地質、第 30 巻、第 3 号、pp.11～22、1989.
- 2) 佐藤稔紀、杉原弘造、松井裕哉、木梨秀雄、守屋俊文：不連続面の特性とせん断特性との関係、資源・素材'97 秋季大会、pp. 21～24、1997.
- 3) 木梨秀雄、畑 浩二、藤原紀夫：岩盤ジョイント面の形状測定と粗さの定量化、第 47 回土木学会年次学術講演会講演概要集第 3 部、pp.622～623、1992.
- 4) 小杉昌幸、ダナー・ビック、ニコラス・バートン：JRC/JCS 指標によるジョイント特性評価 一不連続性岩盤挙動の予測評価の件旧（第一報）一、資源、3 巻、1 号、pp. 11～21、1991.
- 5) N. Barton & S. Bandis : Review of predictive capabilities of JRC-JCS model in engineering practice, Rock Joints, pp.603～610, 1990.

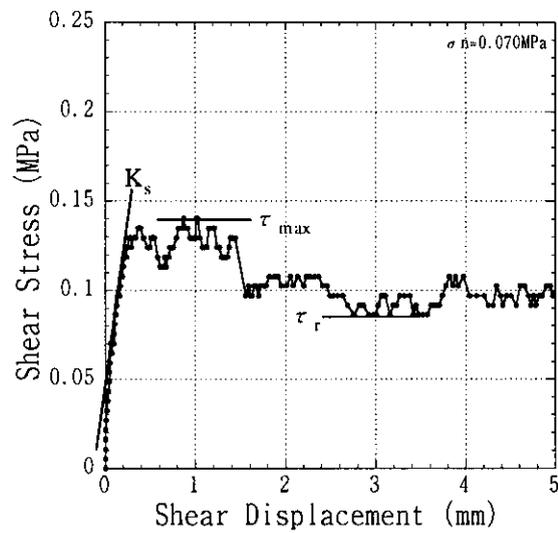
## 卷末資料

- A. 垂直載荷試験およびせん断試験結果
- B. ラフネス測定結果
- C. コア・ジョイント面写真
- D. 試験装置・試験方法写真
- E. ジョイントデータ (CD-ROM)

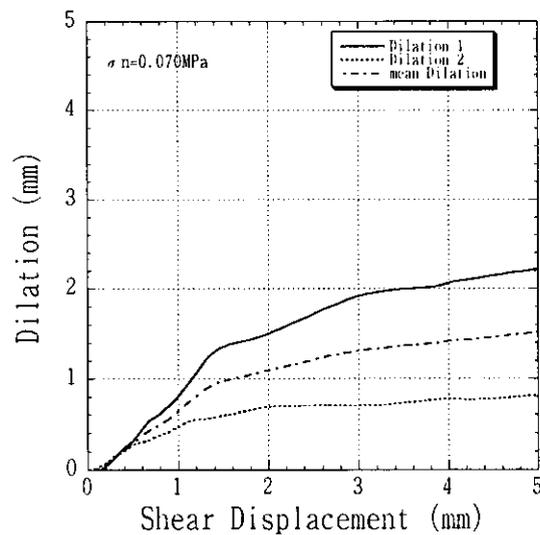
## A. 垂直載荷試験およびせん断試験結果



繰返し垂直載荷試験結果 (垂直荷重—垂直変位曲線)

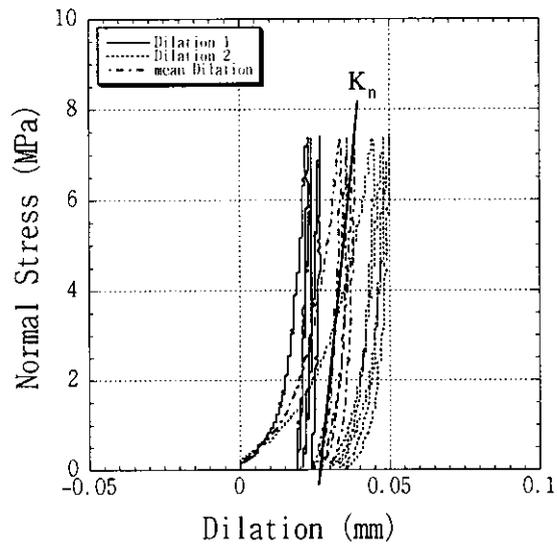


せん断試験結果 (せん断荷重—せん断変位曲線)

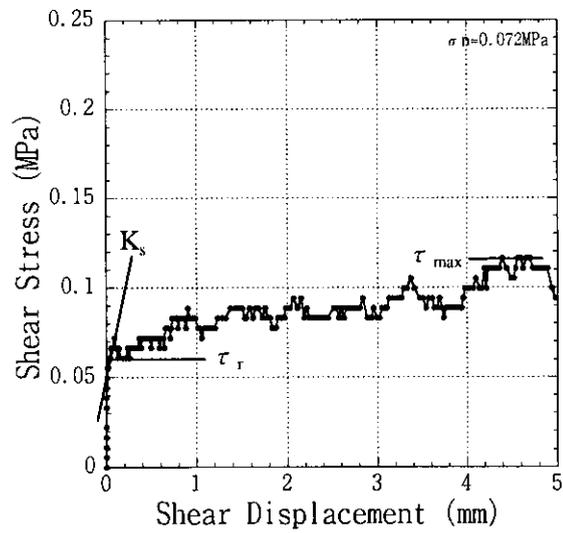


せん断試験結果 (せん断荷重—ダイレイション曲線)

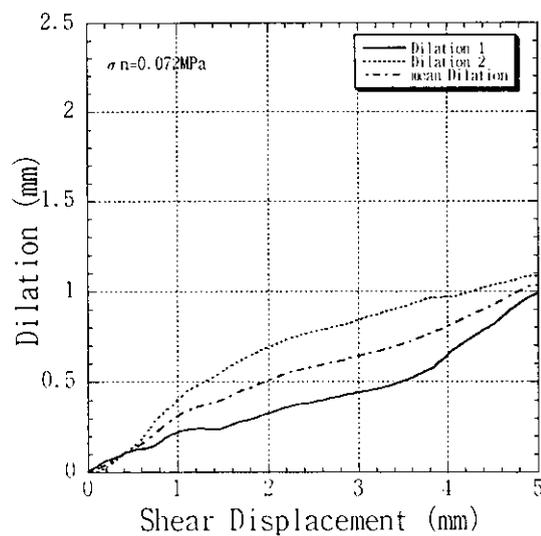
No. 1 (MIU-1孔、深度：112.82m、走向・傾斜：N3W25E)



繰返し垂直載荷試験結果（垂直荷重－垂直変位曲線）

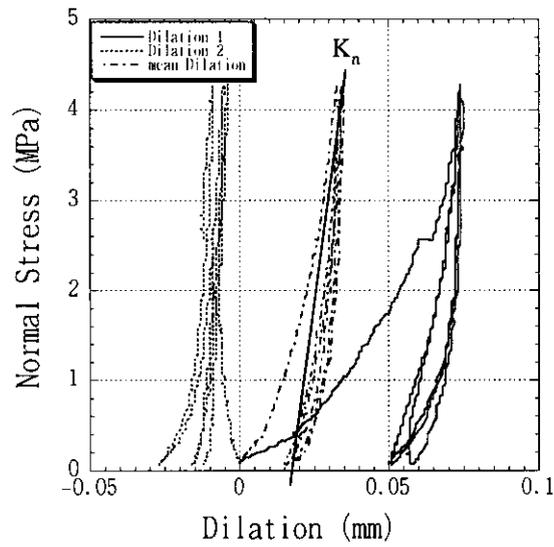


せん断試験結果（せん断荷重－せん断変位曲線）

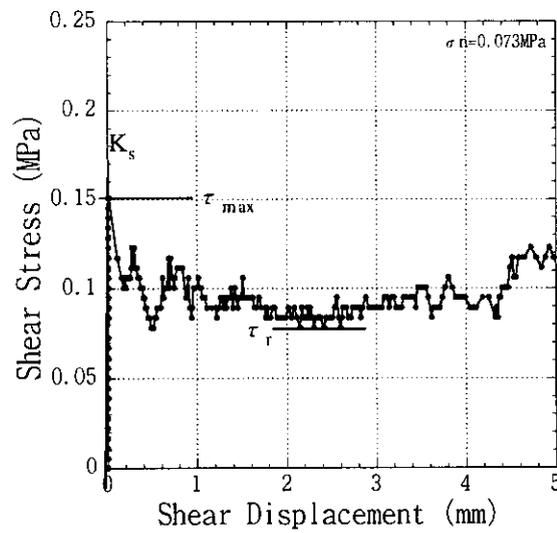


せん断試験結果（せん断荷重－ダイレイション曲線）

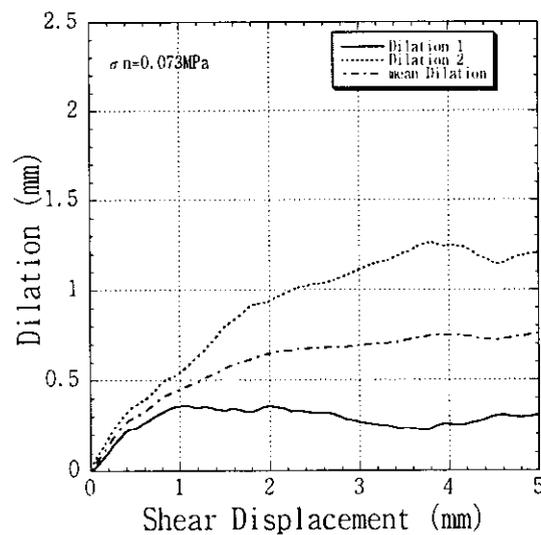
No. 2 (MIU-1孔、深度：291.53m、走向・傾斜：N47E11NW)



繰返し垂直荷重試験結果（垂直荷重－垂直変位曲線）

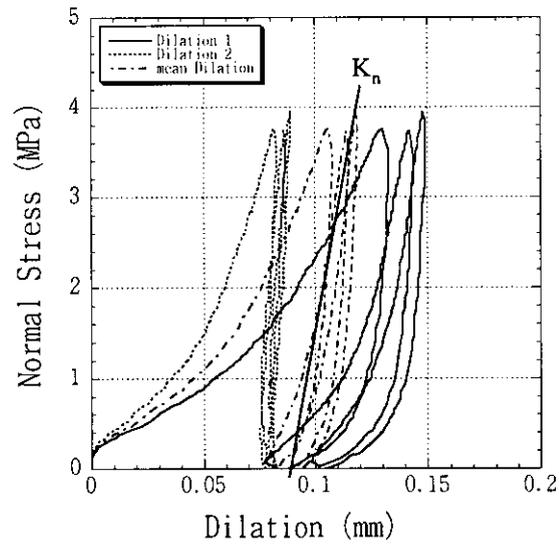


せん断試験結果（せん断荷重－せん断変位曲線）

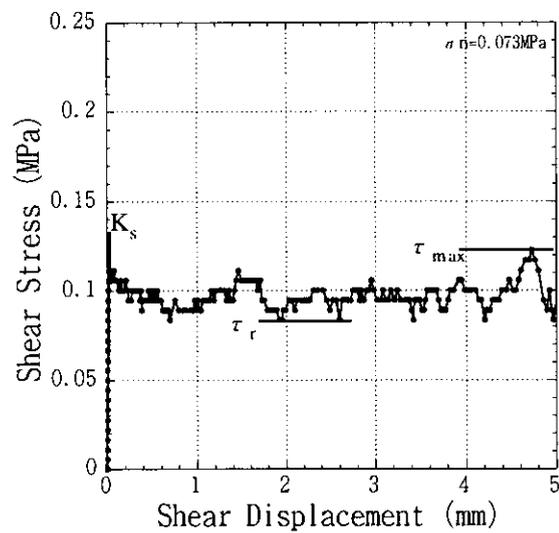


せん断試験結果（せん断荷重－ダイレイション曲線）

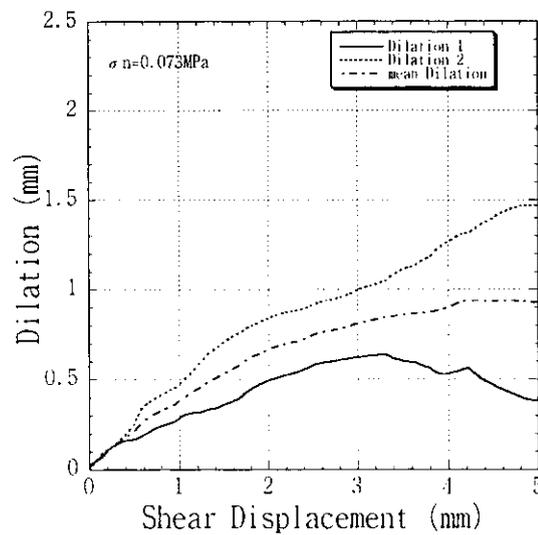
No. 3 (MIU-2孔、深度：163.62m、走向・傾斜：EW61S)



繰返し垂直載荷試験結果（垂直荷重－垂直変位曲線）

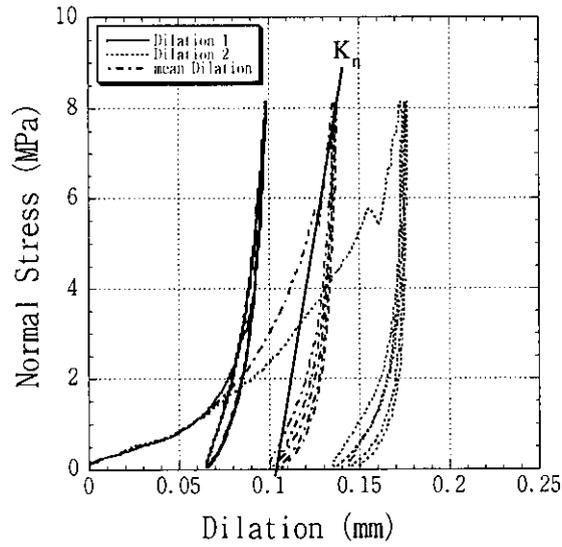


せん断試験結果（せん断荷重－せん断変位曲線）

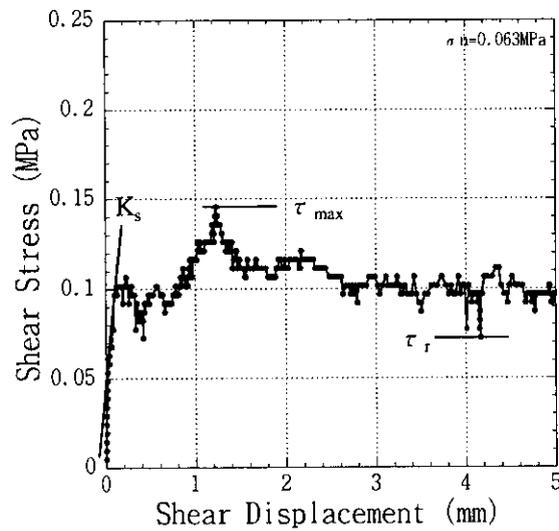


せん断試験結果（せん断荷重－ダイレイション曲線）

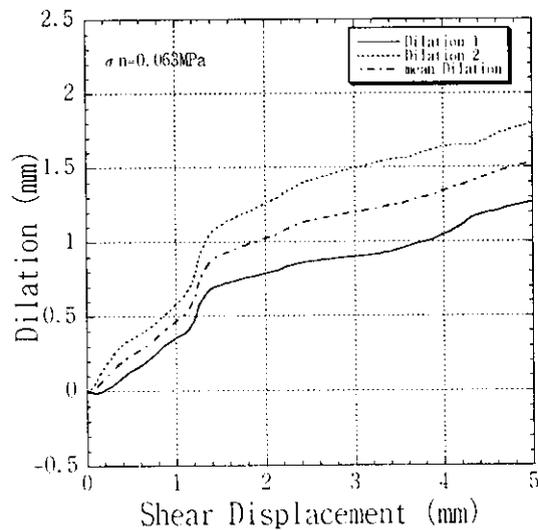
No. 4 (MIU-3孔、深度：143.32m、走向・傾斜：N32E24SE)



繰返し垂直載荷試験結果（垂直荷重－垂直変位曲線）

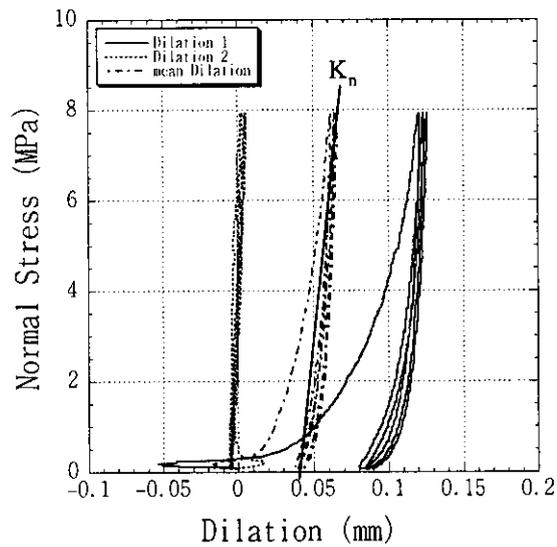


せん断試験結果（せん断荷重－せん断変位曲線）

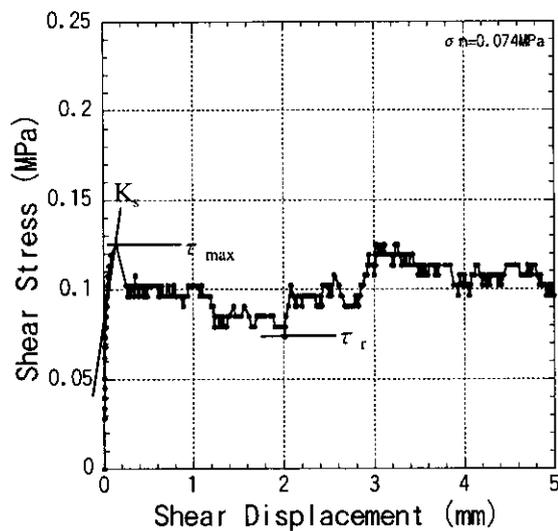


せん断試験結果（せん断荷重－ダイレイション曲線）

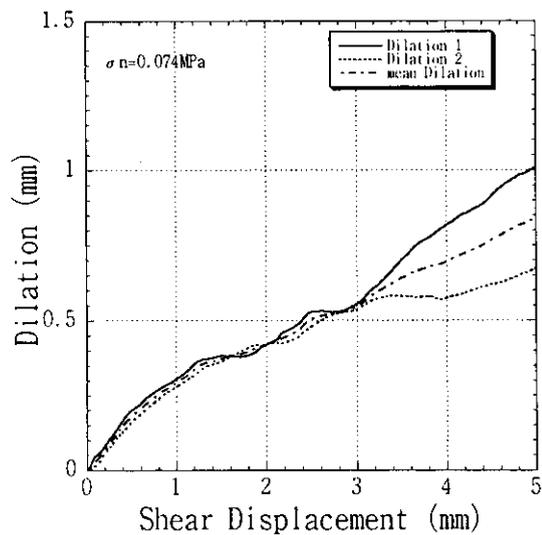
No. 5 (MIU-1孔、深度：316.32m、走向・傾斜：N79E24S)



繰返し垂直載荷試験結果（垂直荷重－垂直変位曲線）

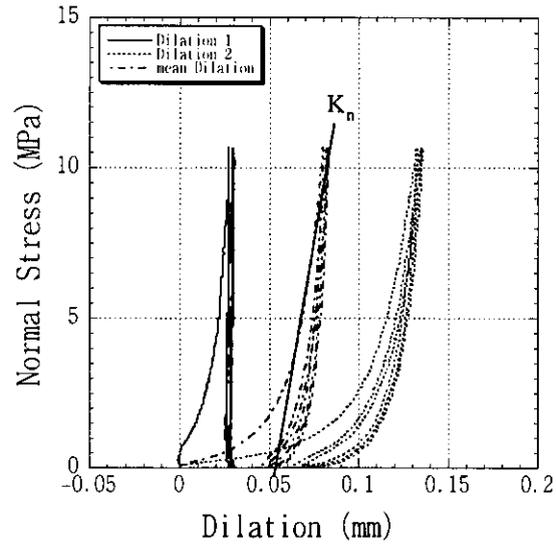


せん断試験結果（せん断荷重－せん断変位曲線）

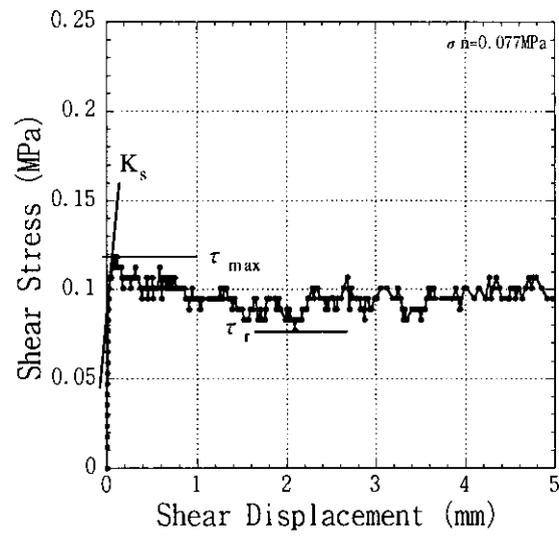


せん断試験結果（せん断荷重－ダイレイション曲線）

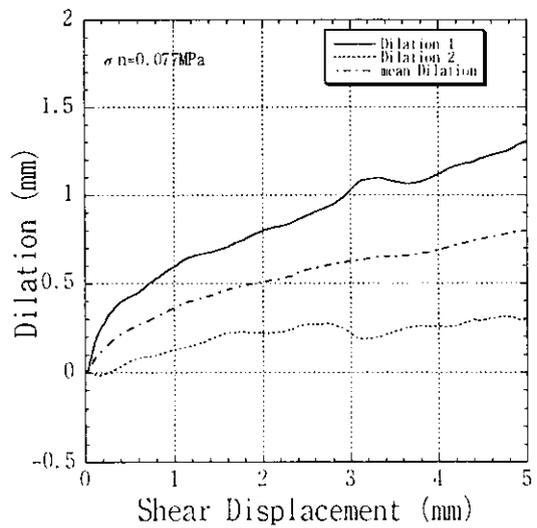
No. 6 (MIU-2孔、深度：307.94m、走向・傾斜：N86W10S)



繰返し垂直荷重試験結果（垂直荷重－垂直変位曲線）

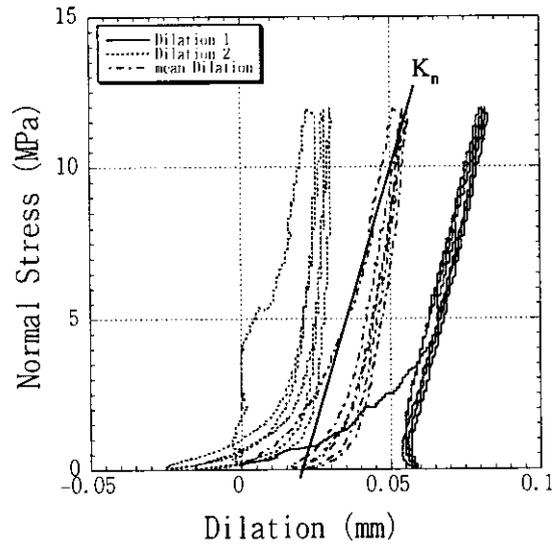


せん断試験結果（せん断荷重－せん断変位曲線）

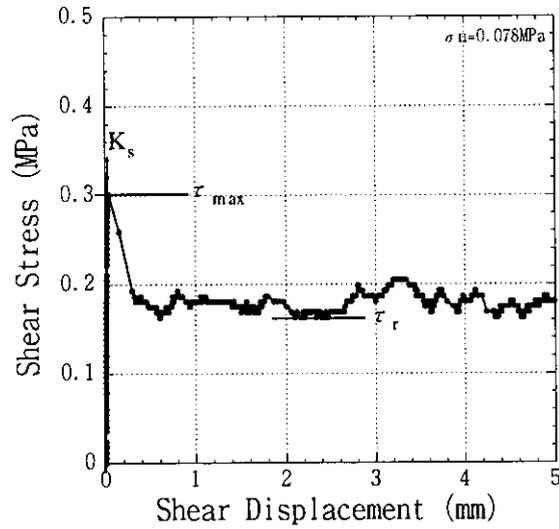


せん断試験結果（せん断荷重－ダイレイション曲線）

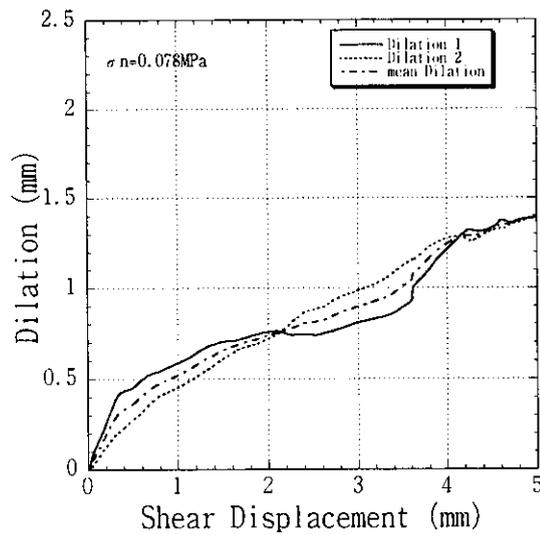
No. 7 (MIU-3孔、深度：415.5m、走向・傾斜：N37E23SE)



繰返し垂直載荷試験結果（垂直荷重—垂直変位曲線）

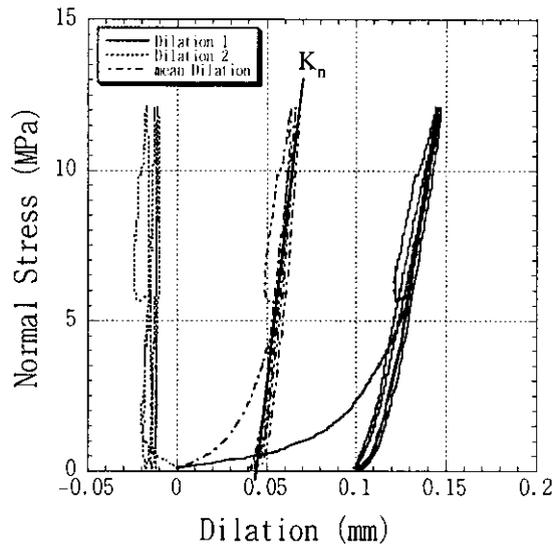


せん断試験結果（せん断荷重—せん断変位曲線）

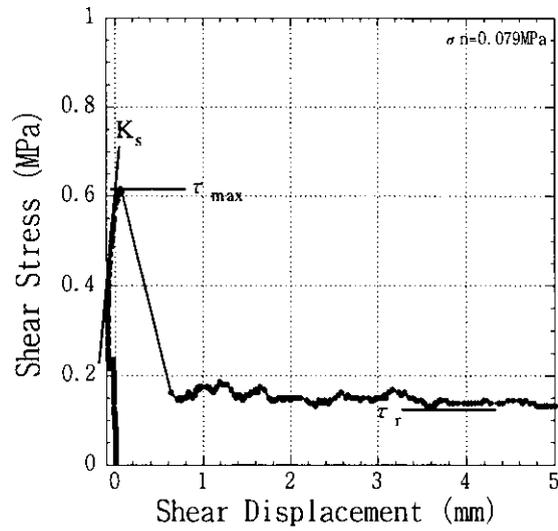


せん断試験結果（せん断荷重—ダイレイション曲線）

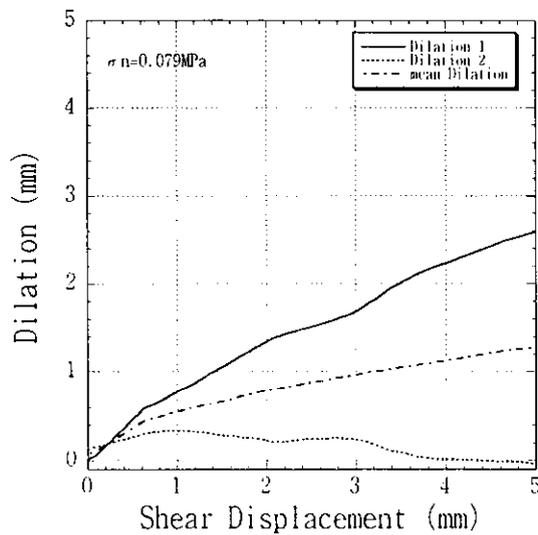
No. 8 (MIU-3孔、深度：464.6m、走向・傾斜：N81W2S)



繰返し垂直荷重試験結果（垂直荷重－垂直変位曲線）

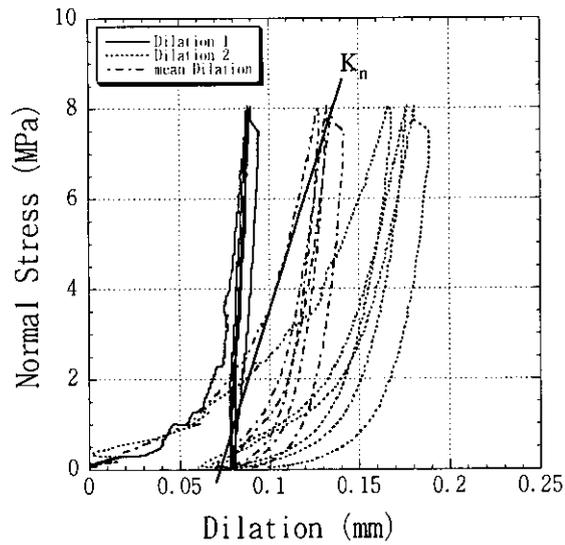


せん断試験結果（せん断荷重－せん断変位曲線）

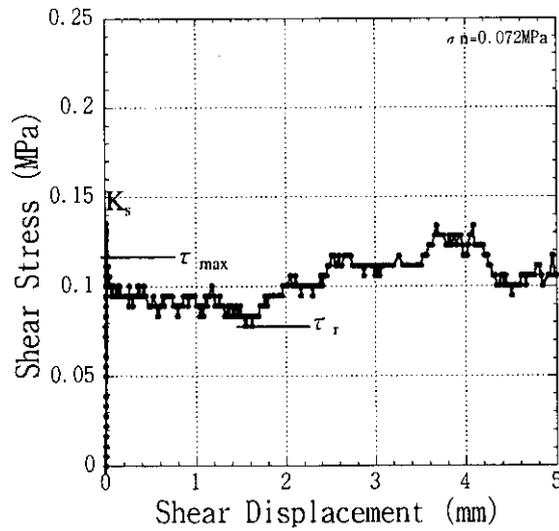


せん断試験結果（せん断荷重－ダイレイション曲線）

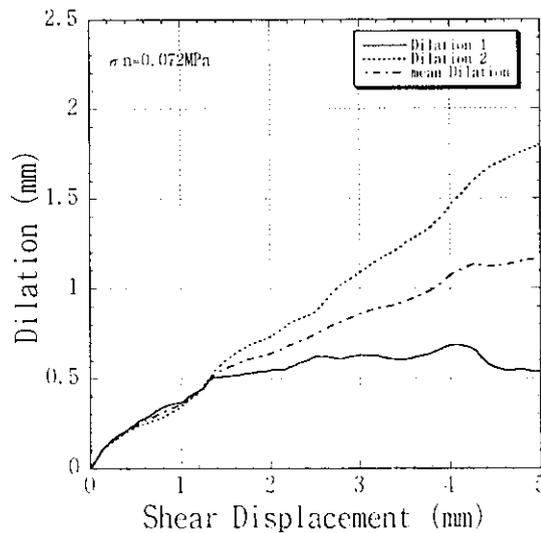
No. 9 (MIU-3孔、深度：472.31m、走向・傾斜：N81E12S)



繰返し垂直荷重試験結果 (垂直荷重—垂直変位曲線)

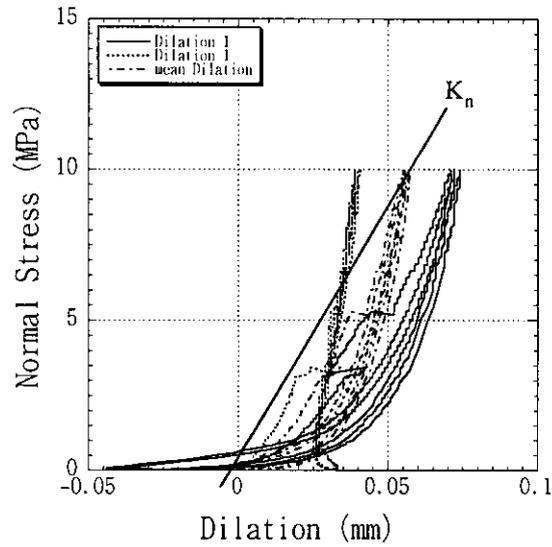


せん断試験結果 (せん断荷重—せん断変位曲線)

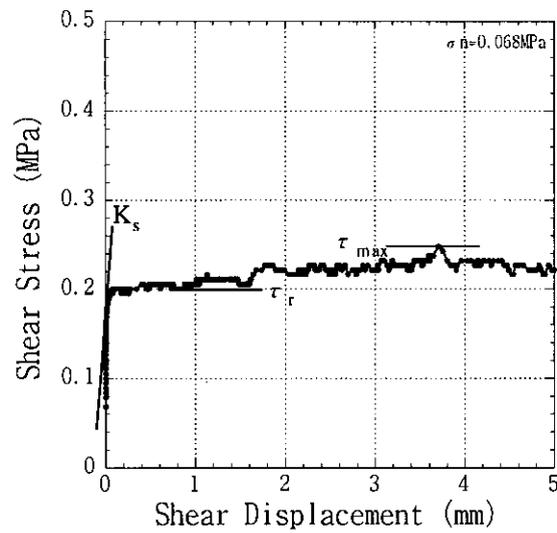


せん断試験結果 (せん断荷重—ダイレイション曲線)

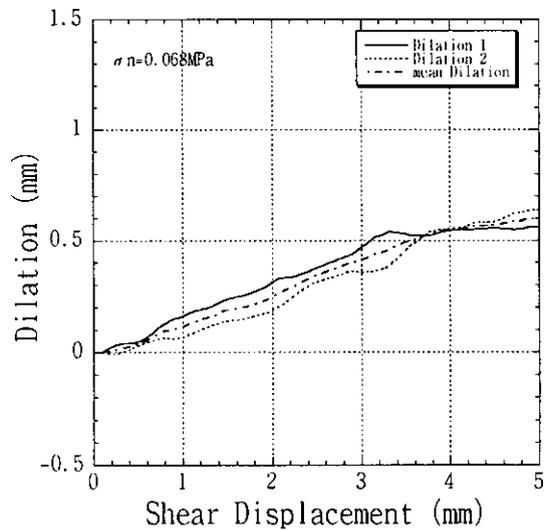
No. 10 (MIU-1孔、深度：313.3m、走向・傾斜：N56E)



繰返し垂直載荷試験結果（垂直荷重－垂直変位曲線）

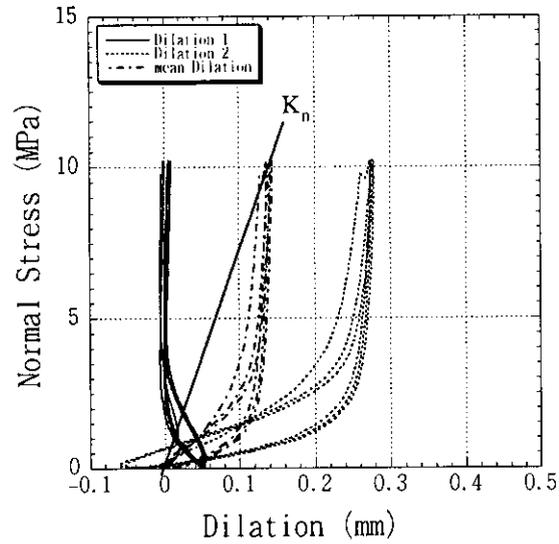


せん断試験結果（せん断荷重－せん断変位曲線）

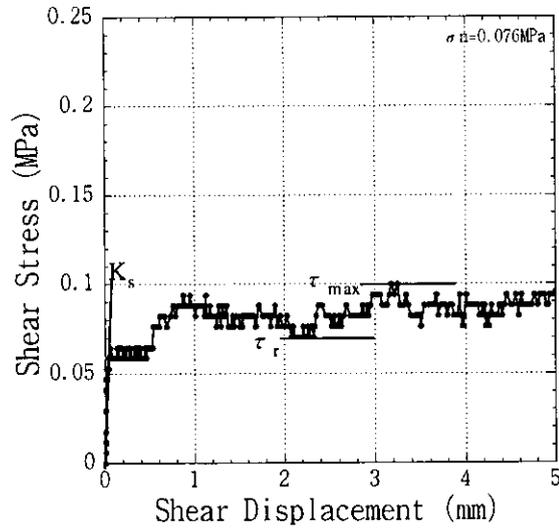


せん断試験結果（せん断荷重－ダイレイション曲線）

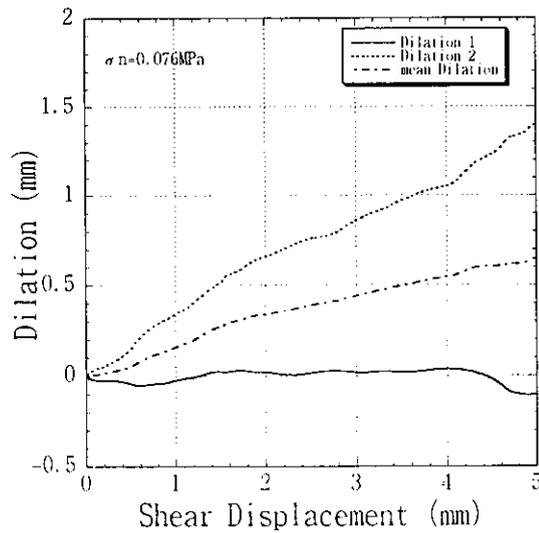
No. 11 (MIU-2孔、深度：388.51m、走向・傾斜：N85W17N)



繰返し垂直載荷試験結果（垂直荷重－垂直変位曲線）

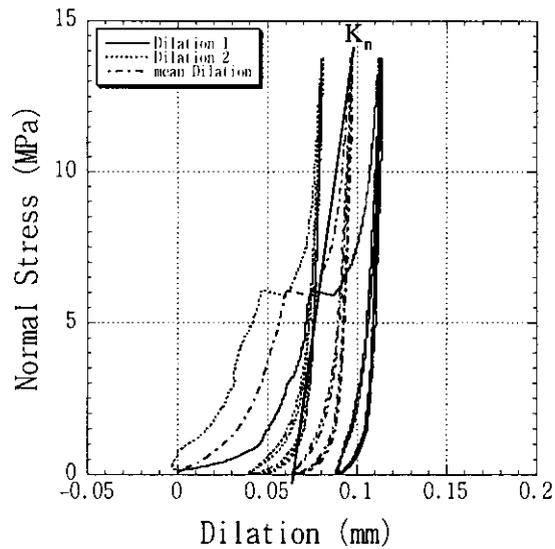


せん断試験結果（せん断荷重－せん断変位曲線）

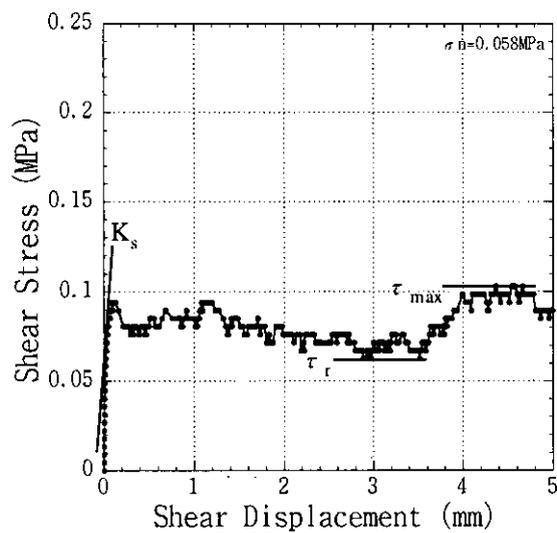


せん断試験結果（せん断荷重－ダイレイション曲線）

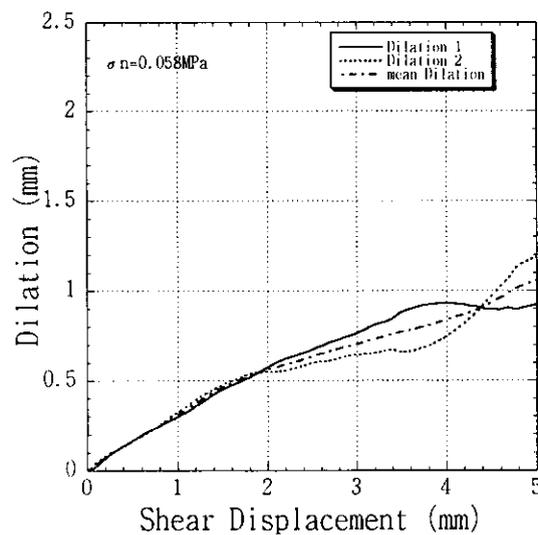
No. 12 (MIU-3孔、深度：397.85m、走向・傾斜：N48E26SE)



繰返し垂直載荷試験結果（垂直荷重－垂直変位曲線）

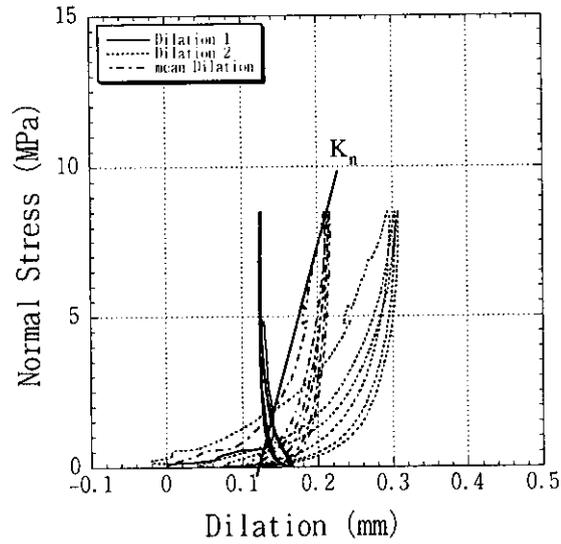


せん断試験結果（せん断荷重－せん断変位曲線）

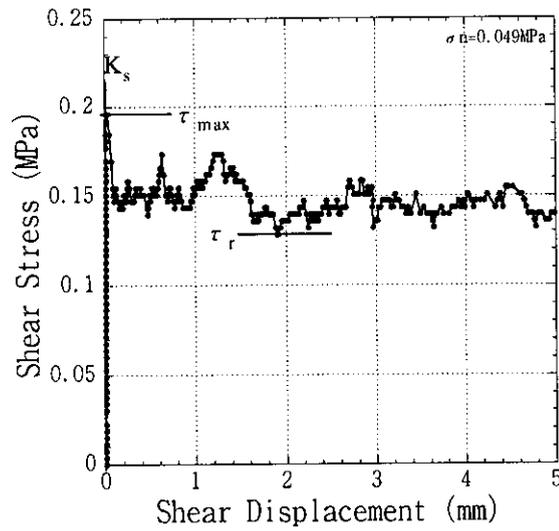


せん断試験結果（せん断荷重－ダイレイション曲線）

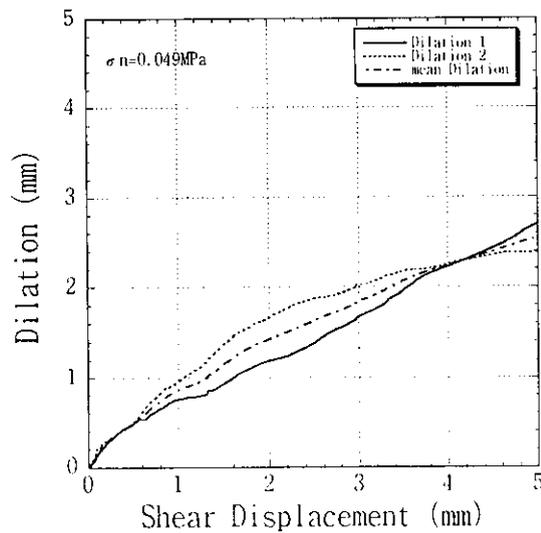
No. 13 (MIU-3孔、深度：537.15m、走向・傾斜：N12E45W)



繰返し垂直載荷試験結果（垂直荷重－垂直変位曲線）

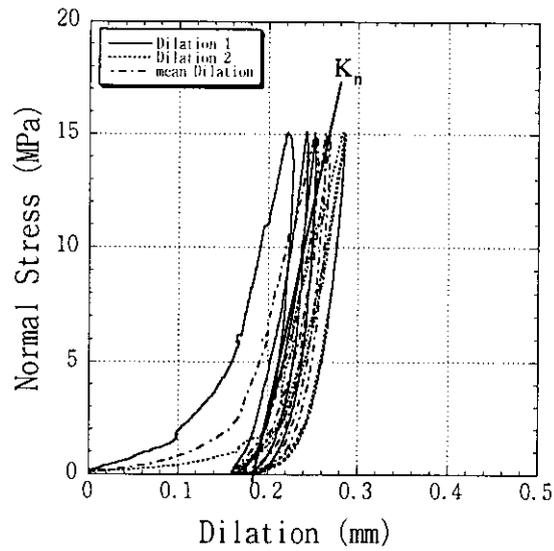


せん断試験結果（せん断荷重－せん断変位曲線）

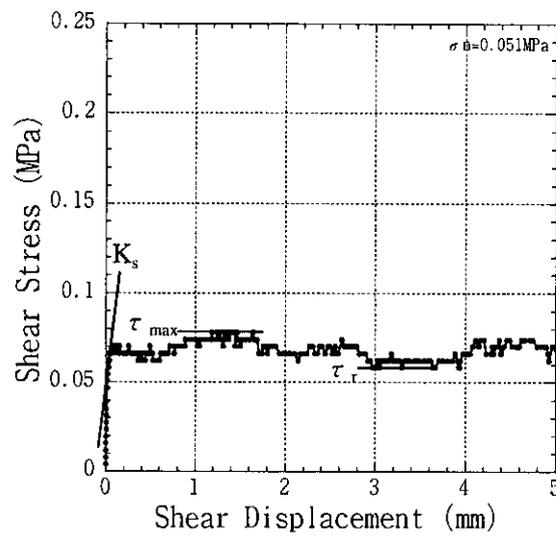


せん断試験結果（せん断荷重－ダイレイション曲線）

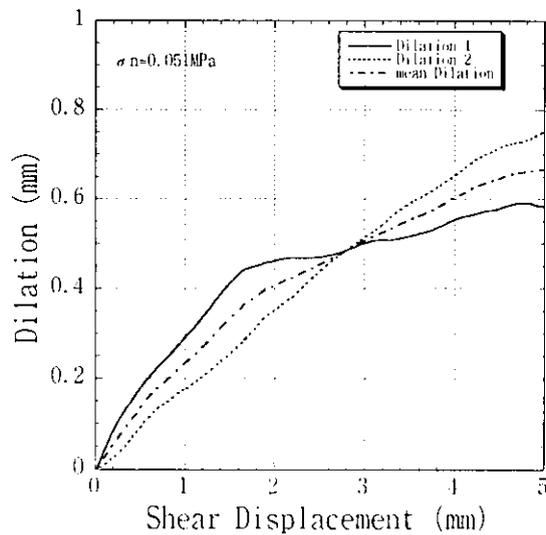
No. 14 (MIU-1孔、深度：331.36m、走向・傾斜：N88W52S)



繰返し垂直荷重試験結果（垂直荷重－垂直変位曲線）

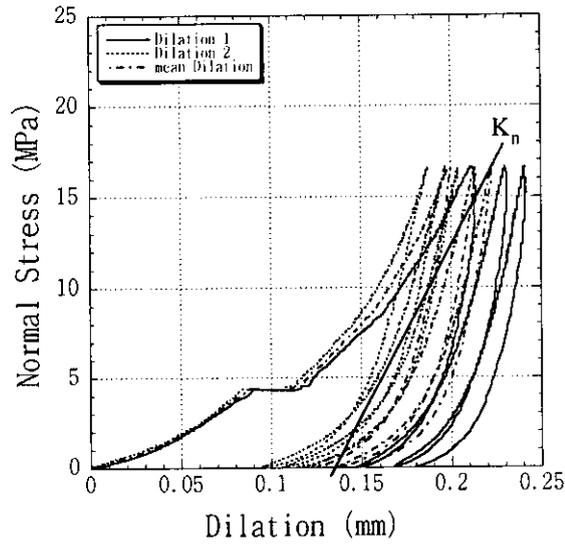


せん断試験結果（せん断荷重－せん断変位曲線）

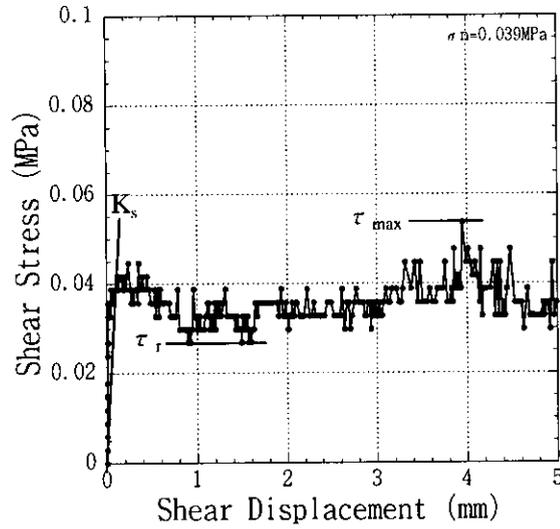


せん断試験結果（せん断荷重－ダイレイション曲線）

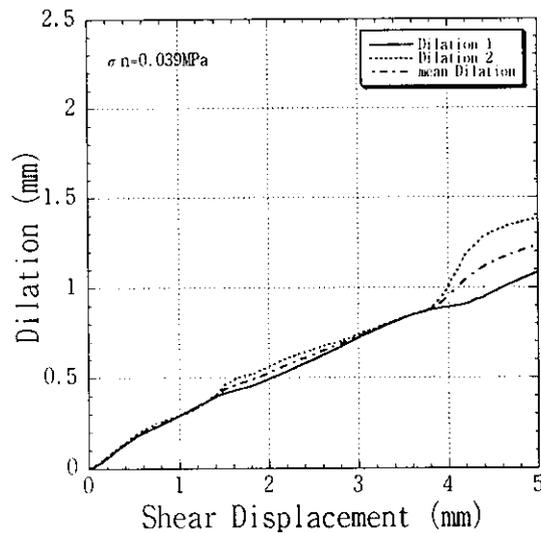
No. 15 (MIU-1孔、深度：589.28m、走向・傾斜：EW55N)



繰返し垂直荷重試験結果（垂直荷重—垂直変位曲線）

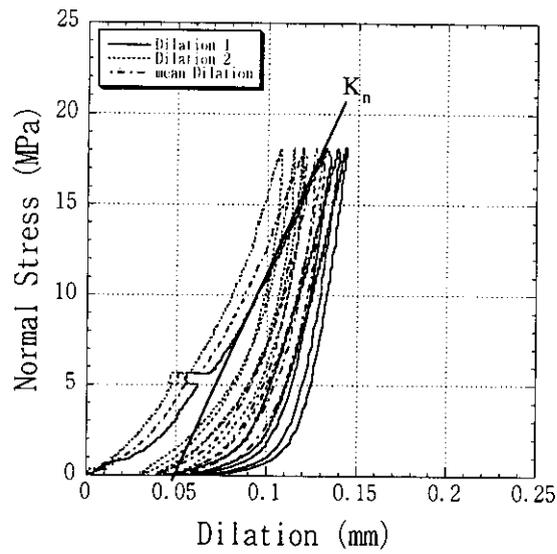


せん断試験結果（せん断荷重—せん断変位曲線）

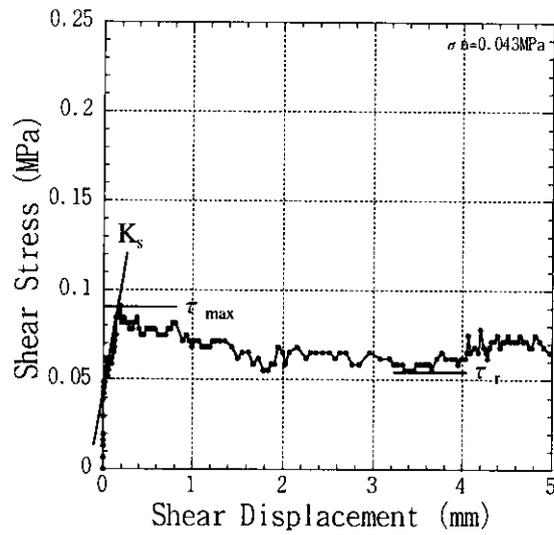


せん断試験結果（せん断荷重—ダイレイション曲線）

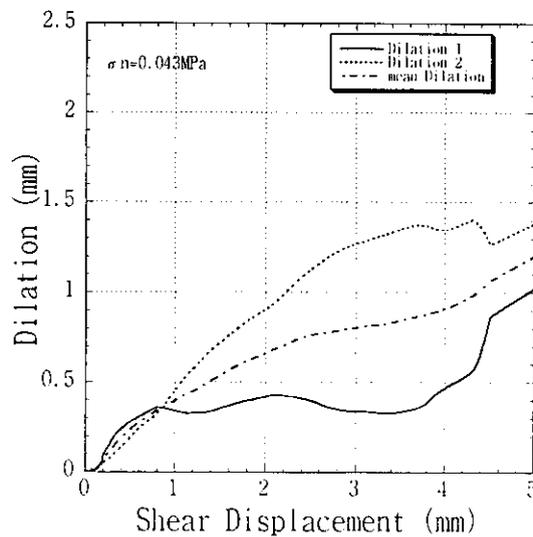
No. 16 (MIU-3孔、深度：971.86m、走向・傾斜：N46E63SE)



繰返し垂直載荷試験結果 (垂直荷重—垂直変位曲線)

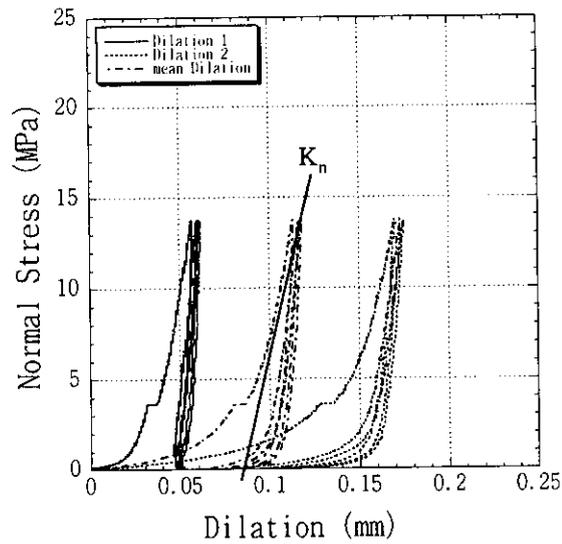


せん断試験結果 (せん断荷重—せん断変位曲線)

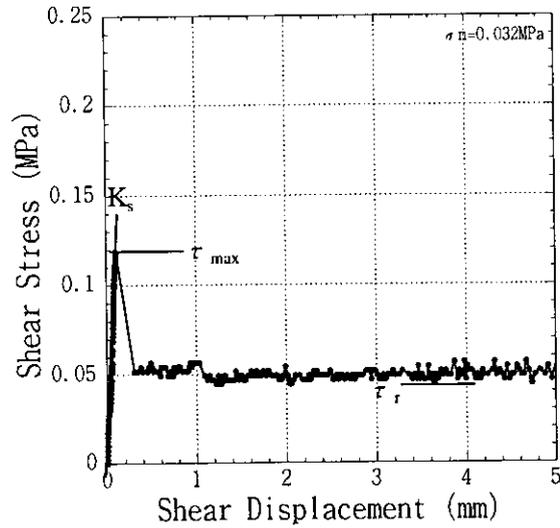


せん断試験結果 (せん断荷重—ダイレイション曲線)

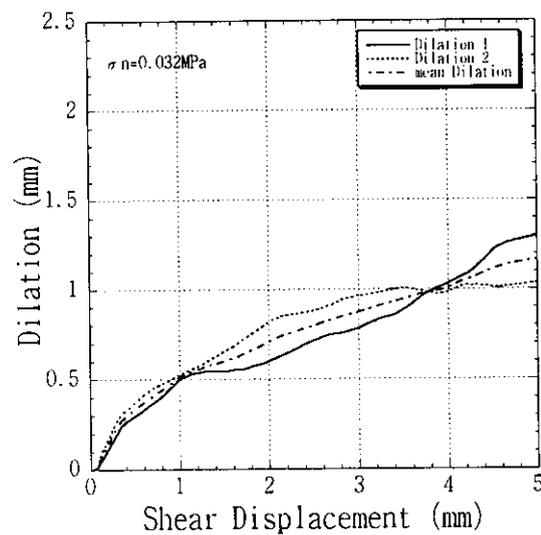
No. 17 (MIU-3孔、深度：984.72m、走向・傾斜：N78E61S)



繰返し垂直載荷試験結果 (垂直荷重-垂直変位曲線)

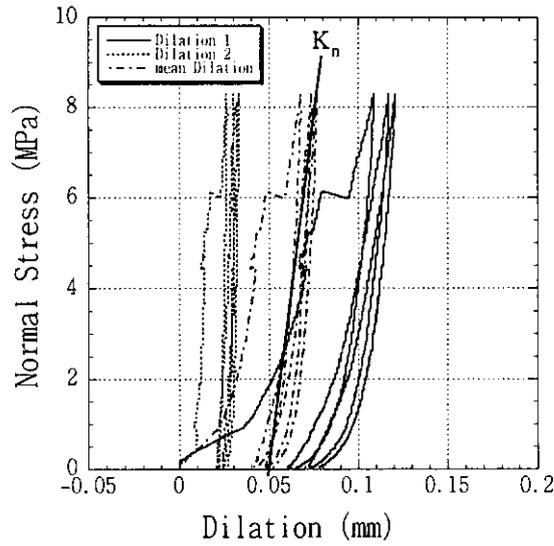


せん断試験結果 (せん断荷重-せん断変位曲線)

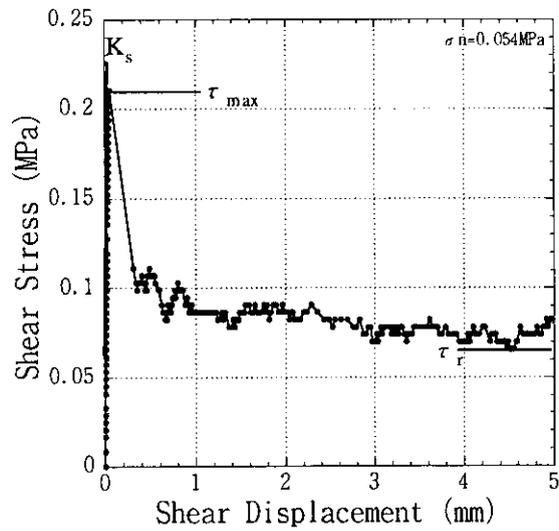


せん断試験結果 (せん断荷重-ダイレイション曲線)

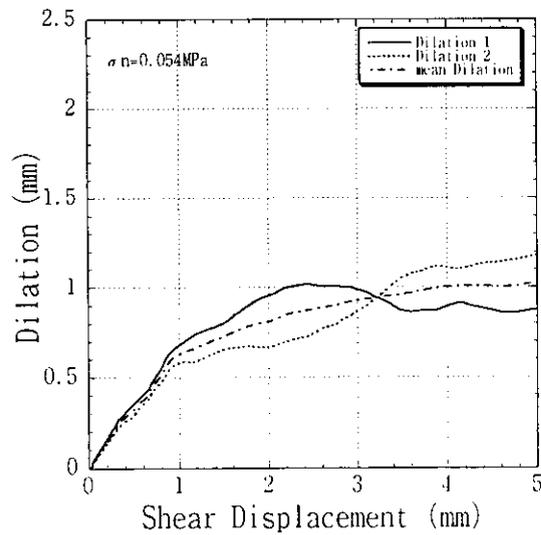
No. 18 (MIU-1孔、深度：846.18m、走向・傾斜：N57W64NE)



繰返し垂直荷重試験結果 (垂直荷重-垂直変位曲線)

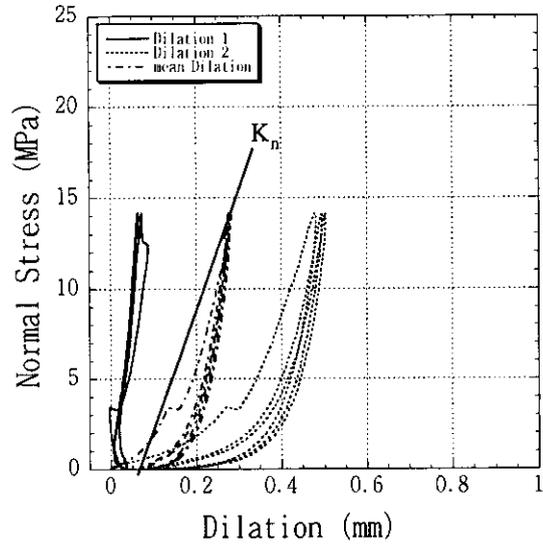


せん断試験結果 (せん断荷重-せん断変位曲線)

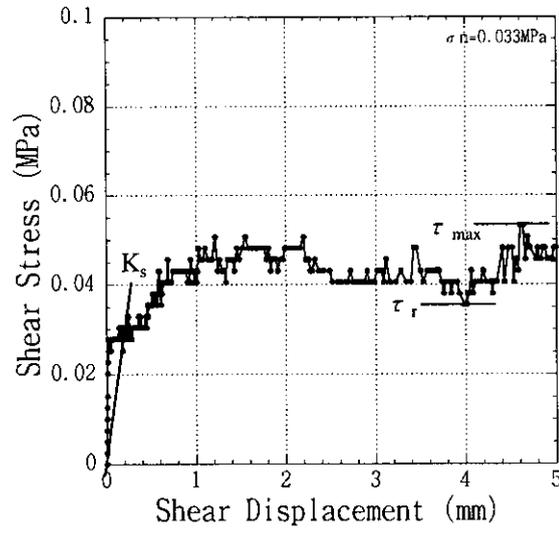


せん断試験結果 (せん断荷重-ダイレイション曲線)

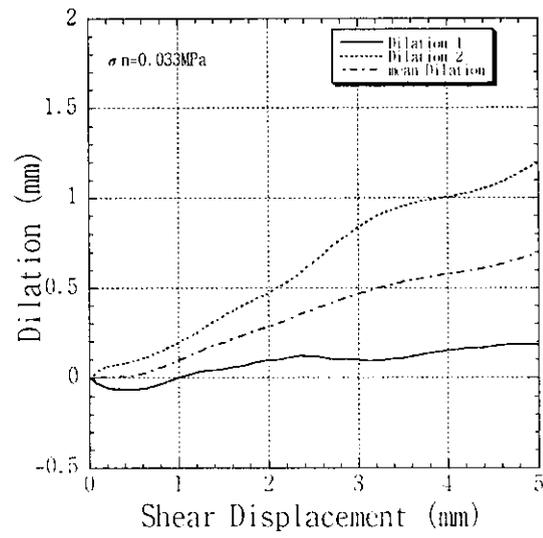
No. 19 (MIU-3孔、深度：322.76m、走向・傾斜：EW65S)



繰返し垂直載荷試験結果（垂直荷重－垂直変位曲線）

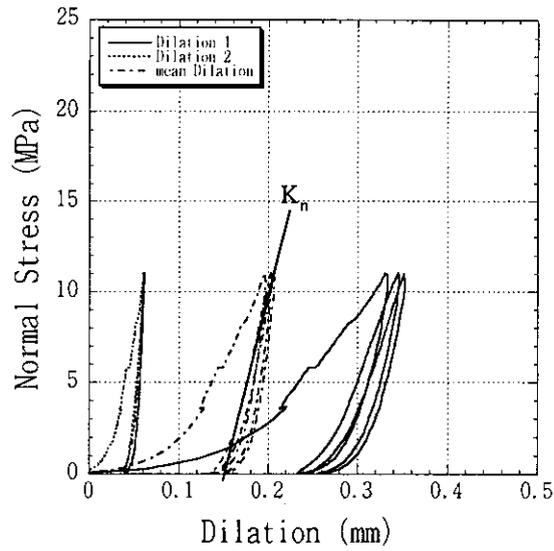


せん断試験結果（せん断荷重－せん断変位曲線）

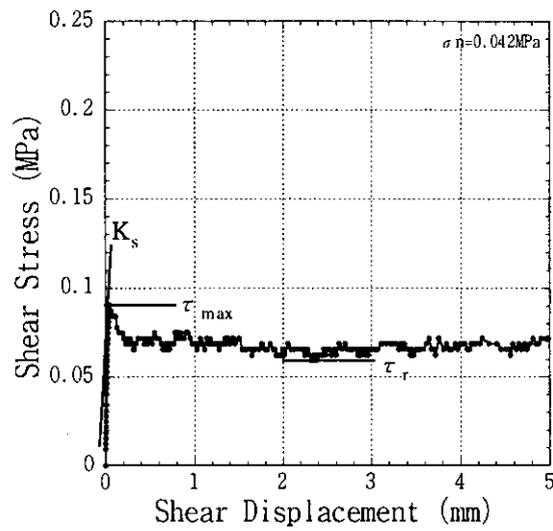


せん断試験結果（せん断荷重－ダイレイション曲線）

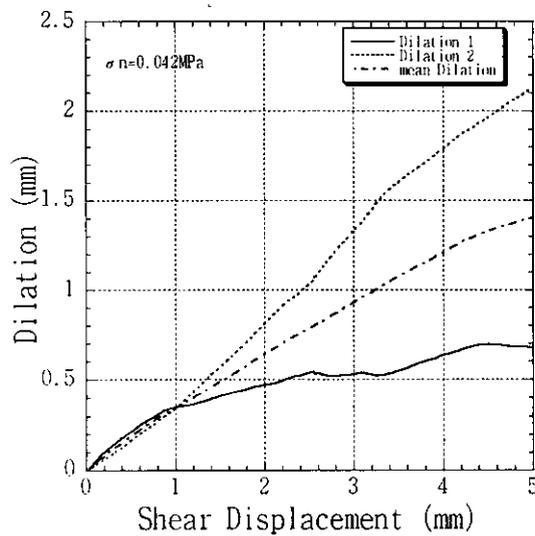
N o . 2 0 ( M I U - 1 孔、深度：679.5m、走向・傾斜：N75E66S)



繰返し垂直載荷試験結果（垂直荷重－垂直変位曲線）

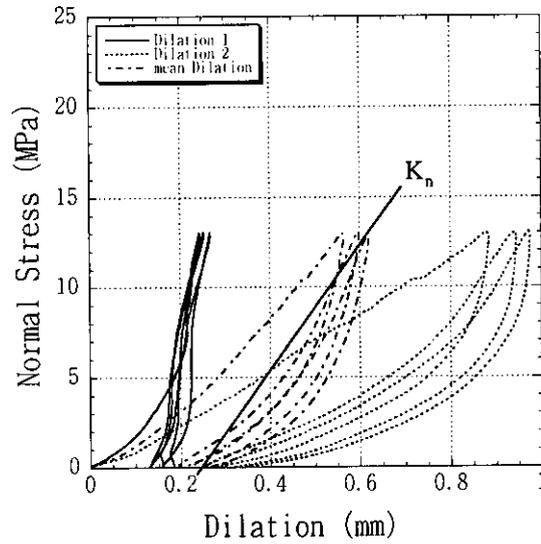


せん断試験結果（せん断荷重－せん断変位曲線）

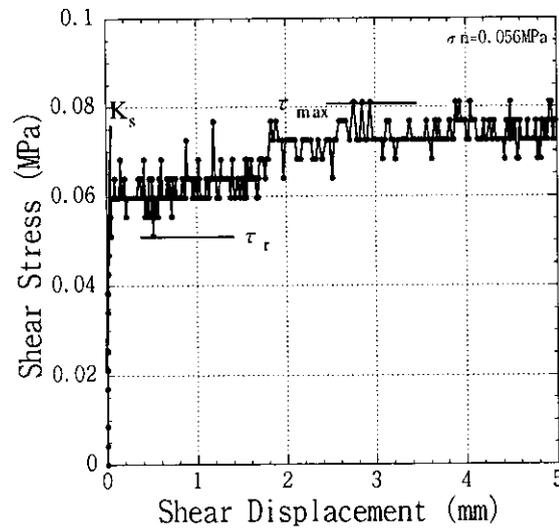


せん断試験結果（せん断荷重－ダイレイション曲線）

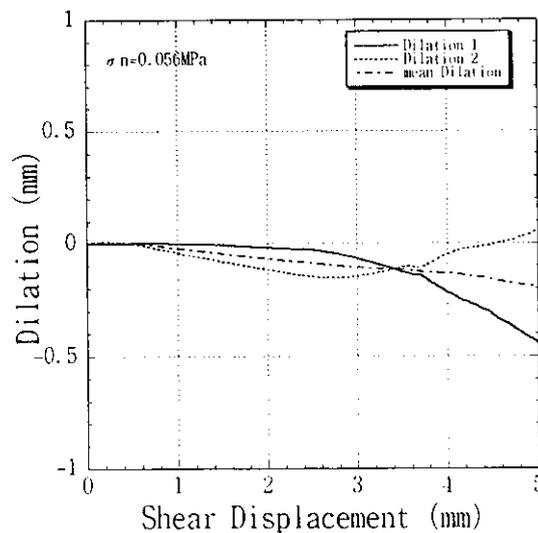
No. 21 (MIU-2孔、深度：430.72m、走向・傾斜：N63E56N)



繰返し垂直載荷試験結果（垂直荷重－垂直変位曲線）

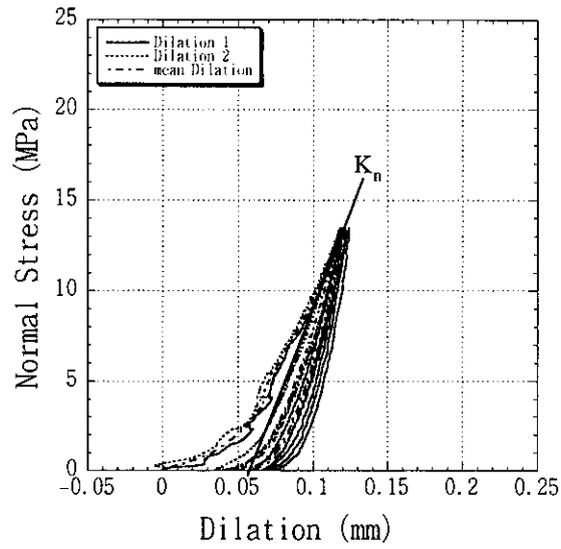


せん断試験結果（せん断荷重－せん断変位曲線）

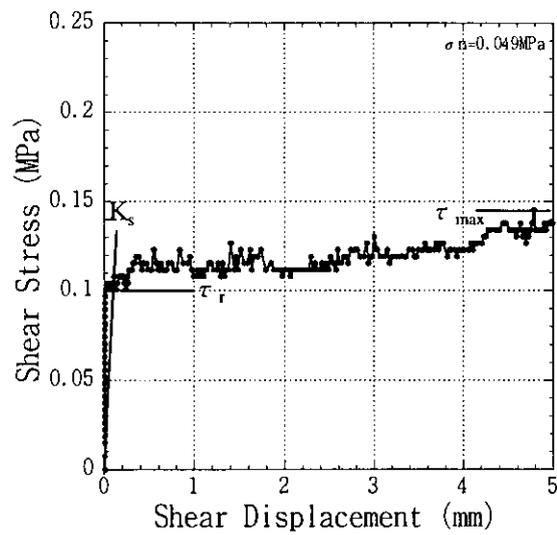


せん断試験結果（せん断荷重－ダイレイション曲線）

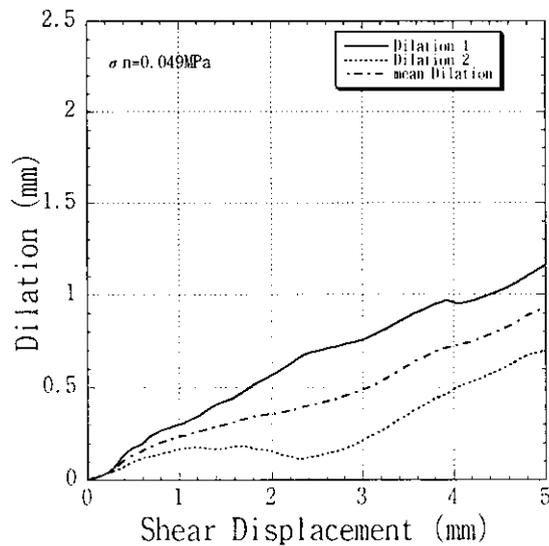
N o . 2 2 ( M I U - 3 孔、深度：509.14m、走向・傾斜：N5E49W)



繰返し垂直荷重試験結果（垂直荷重－垂直変位曲線）

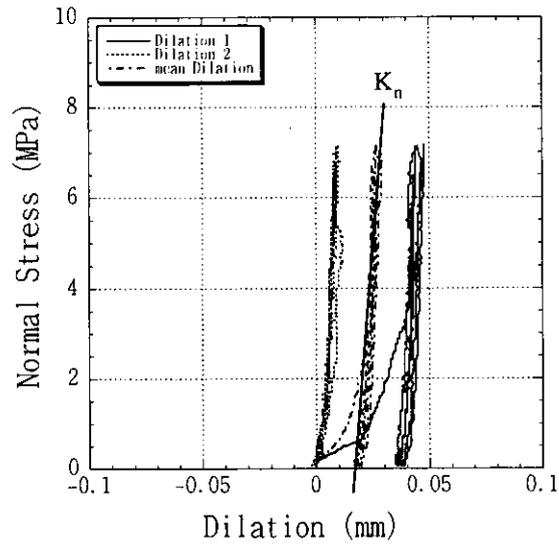


せん断試験結果（せん断荷重－せん断変位曲線）

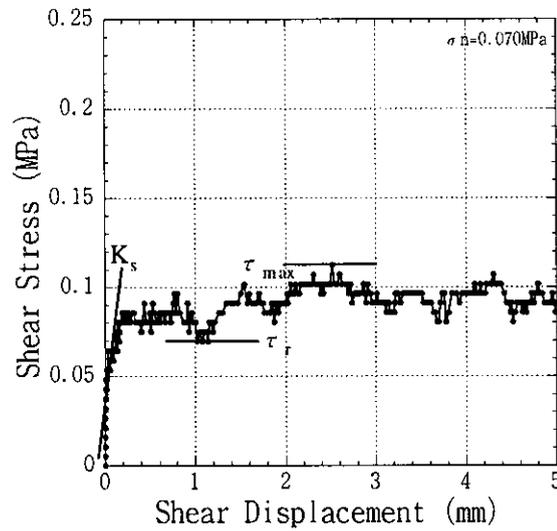


せん断試験結果（せん断荷重－ダイレイション曲線）

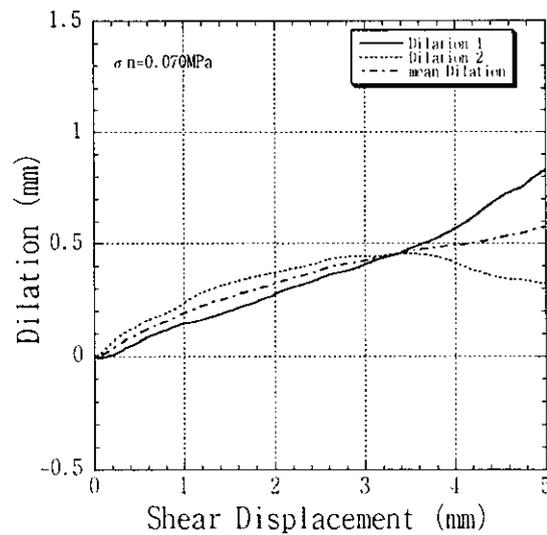
No. 23 (MIU-3孔、深度：527.25m、走向・傾斜：N75W55N)



繰返し垂直載荷試験結果（垂直荷重－垂直変位曲線）

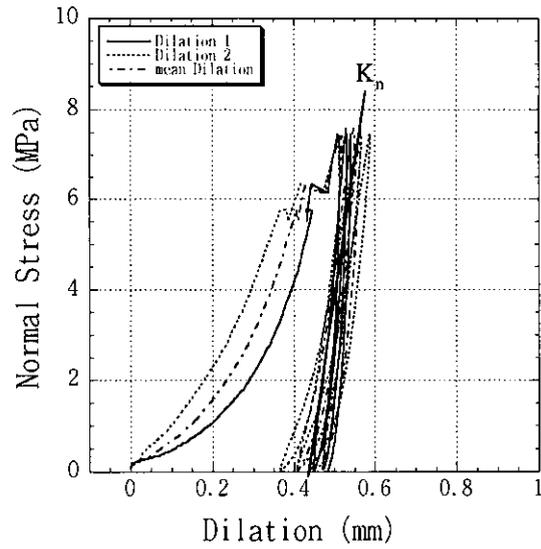


せん断試験結果（せん断荷重－せん断変位曲線）

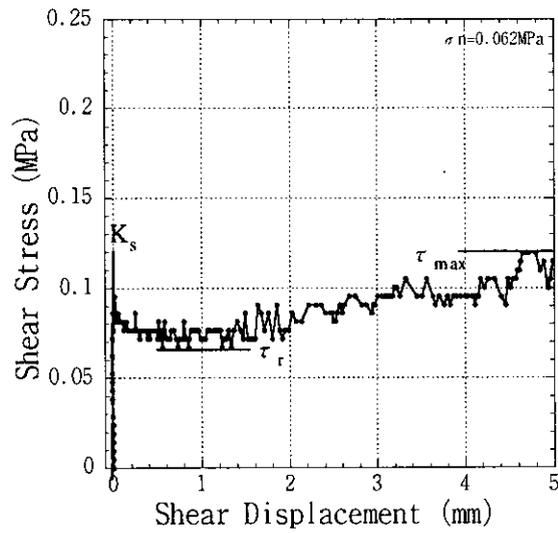


せん断試験結果（せん断荷重－ダイレイション曲線）

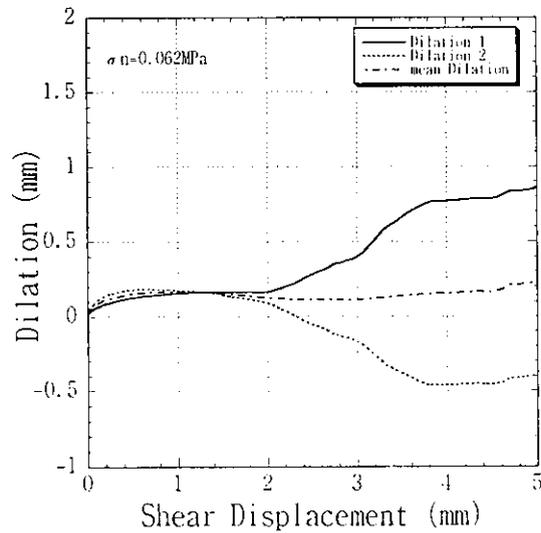
N o . 2 4 ( M I U - 2 孔、深度：276.34m、走向・傾斜：N20E21W)



繰返し垂直載荷試験結果（垂直荷重－垂直変位曲線）



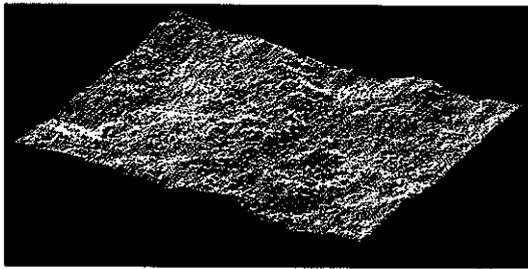
せん断試験結果（せん断荷重－せん断変位曲線）



せん断試験結果（せん断荷重－ダイレイション曲線）

No. 25 (MIU-2孔、深度：290.32m、走向・傾斜：N73W29S)

## B. ラフネス測定結果

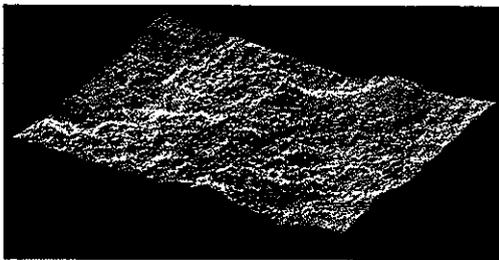


上面

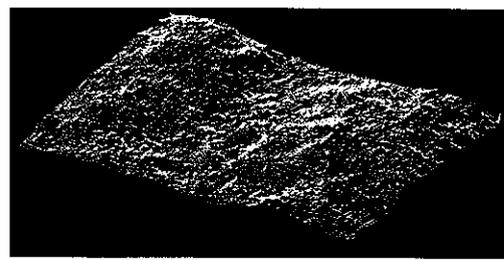


下面

試験前



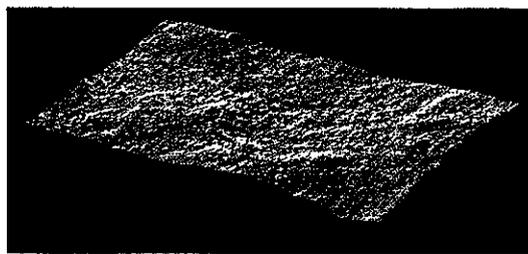
上面



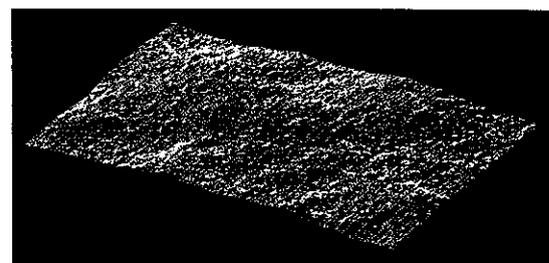
下面

試験後

No. 1 (MIU-1孔、深度：112.82m、走向・傾斜：N3W25E)

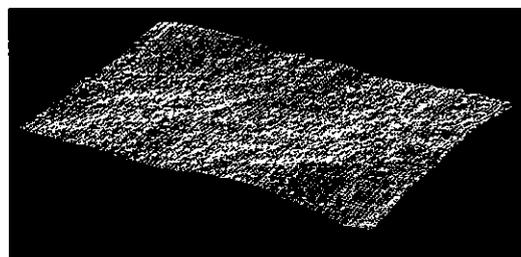


上面

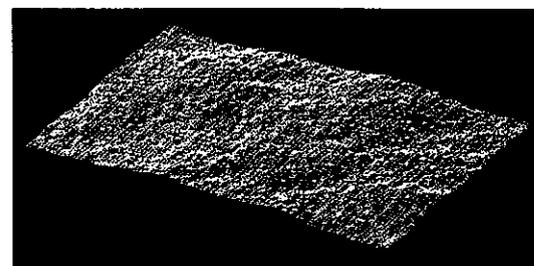


下面

試験前



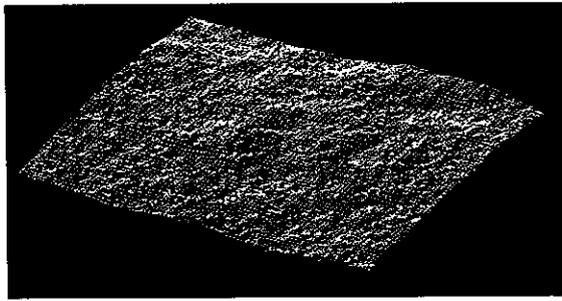
上面



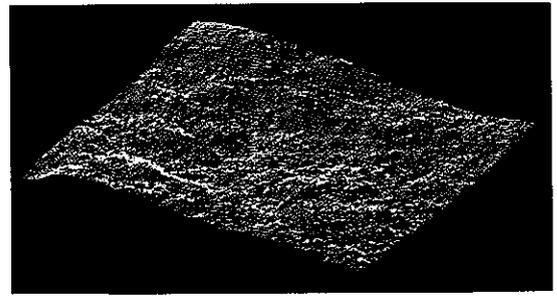
下面

試験後

No. 2 (MIU-1孔、深度：291.53m、走向・傾斜：N47E11NW)

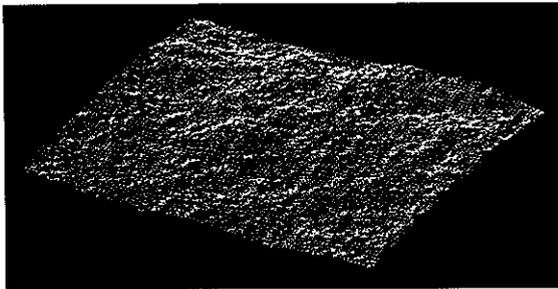


上面

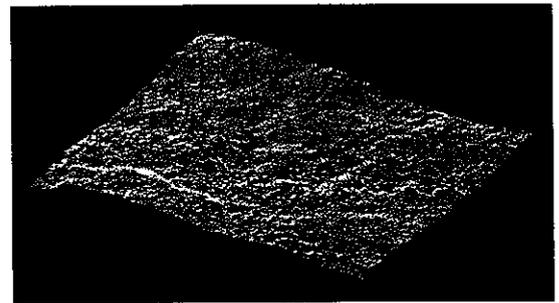


下面

試験前



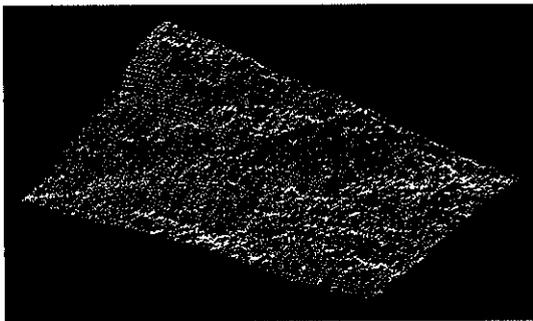
上面



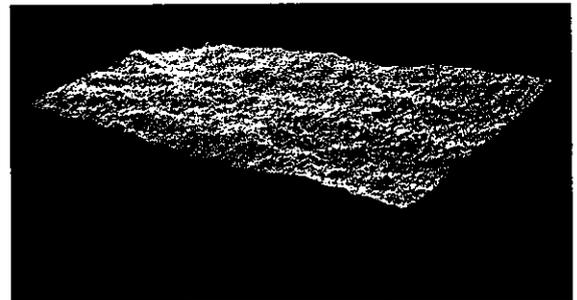
下面

試験後

No. 3 (MIU-2孔、深度:163.62m、走向・傾斜:EW61S)

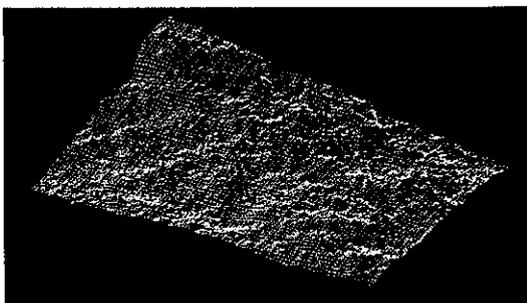


上面

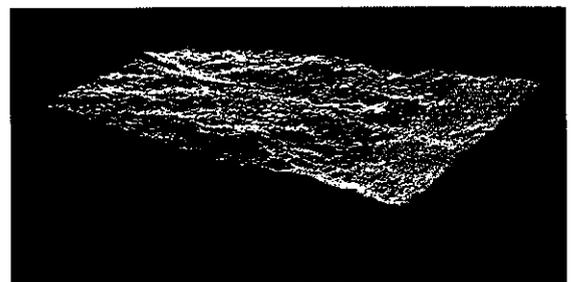


下面

試験前



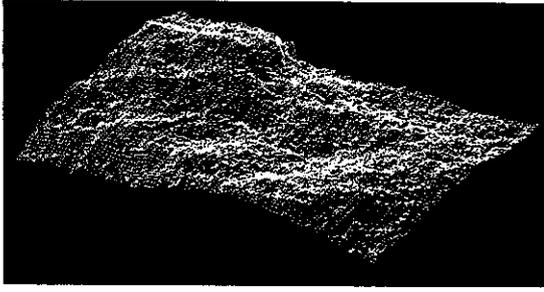
上面



下面

試験後

No. 4 (MIU-3孔、深度:143.32m、走向・傾斜:N32E24SE)

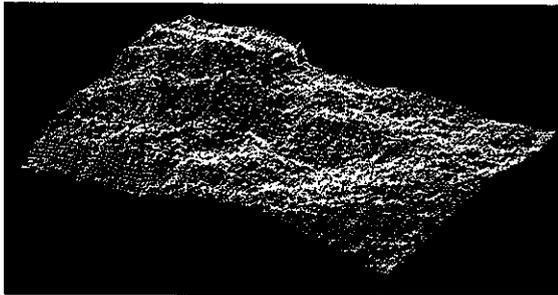


上面

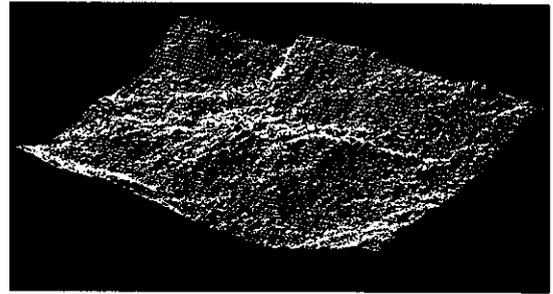


下面

試験前



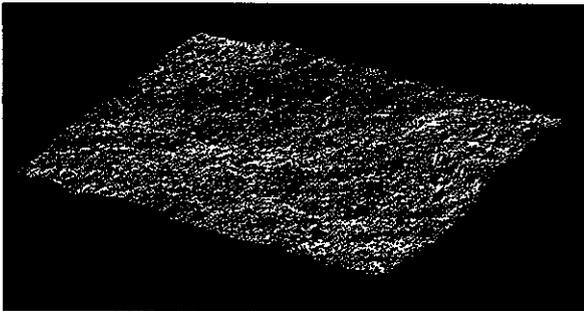
上面



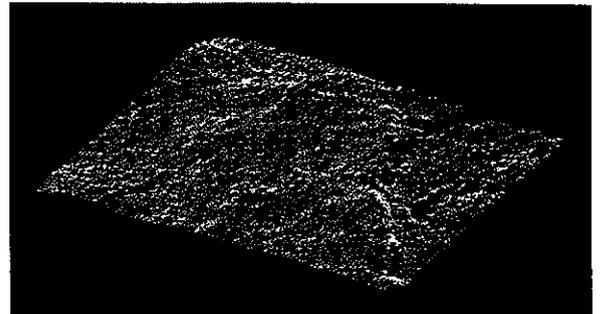
下面

試験後

No. 5 (MIU-1孔、深度：316.32m、走向・傾斜：N79E24S)

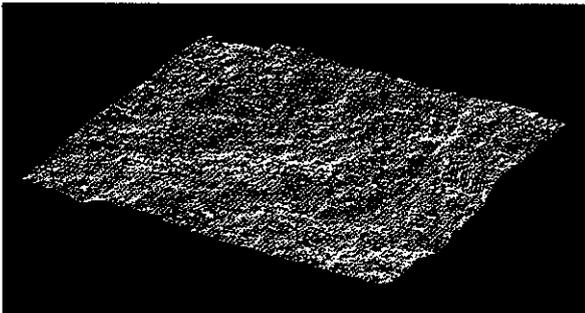


上面

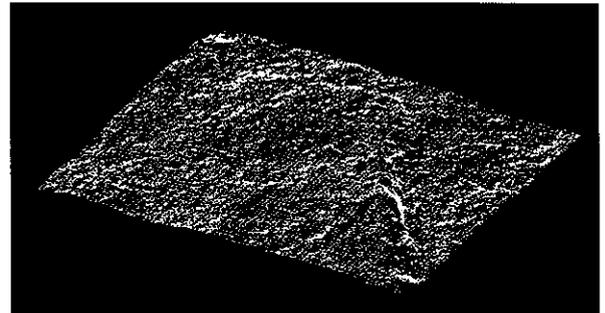


下面

試験前



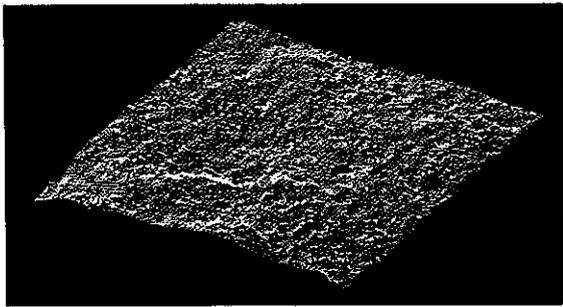
上面



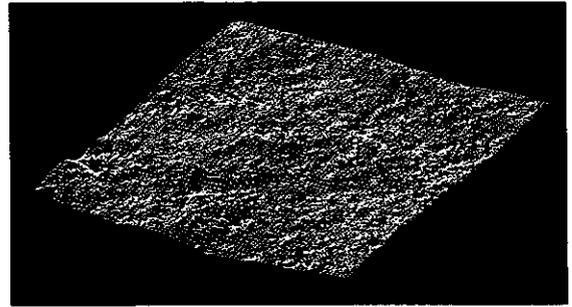
下面

試験後

No. 6 (MIU-2孔、深度：307.94m、走向・傾斜：N86W10S)

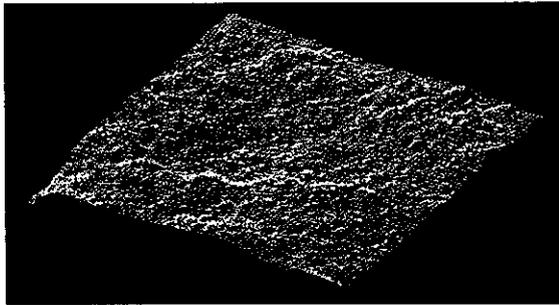


上面

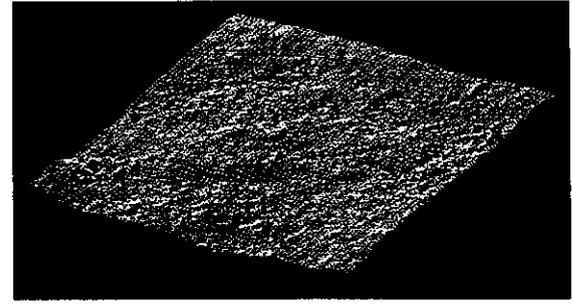


下面

試験前



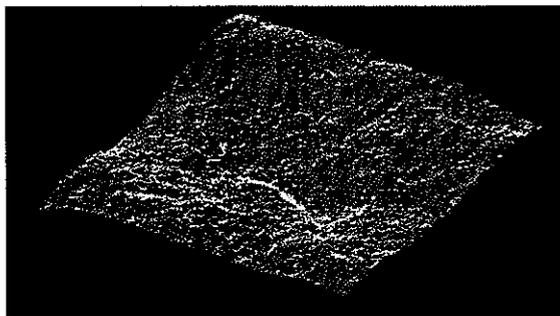
上面



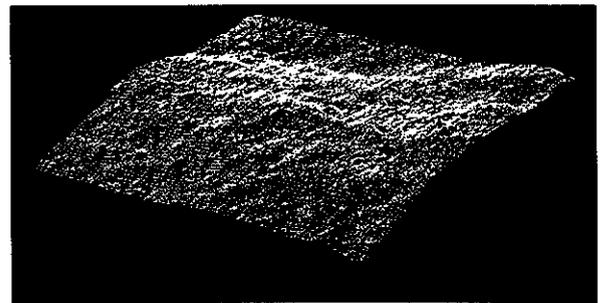
下面

試験後

No. 7 (MIU-3孔、深度：415.5m、走向・傾斜：N37E23SE)

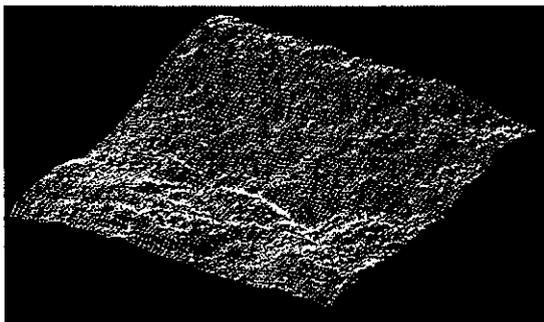


上面

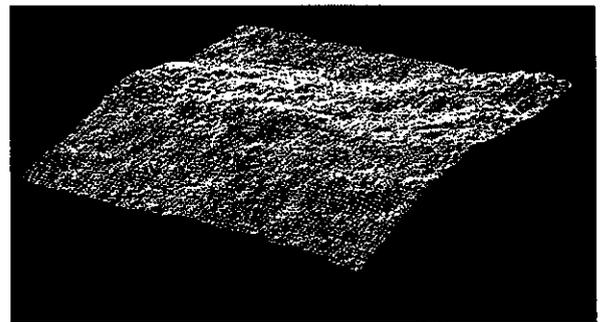


下面

試験前



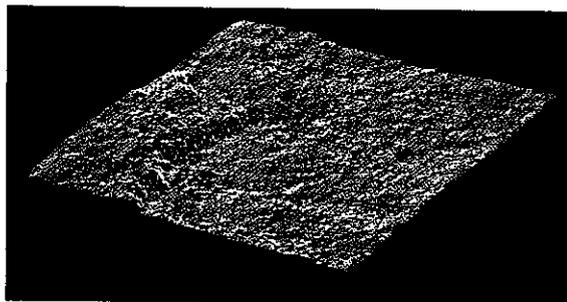
上面



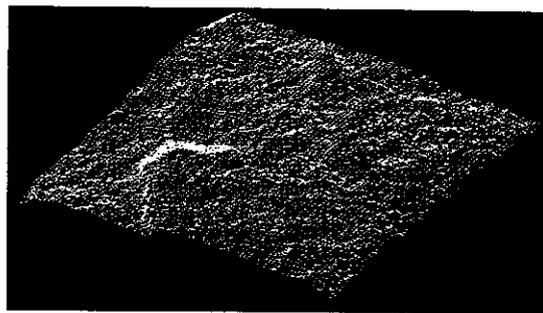
下面

試験後

No. 8 (MIU-3孔、深度：464.6m、走向・傾斜：N81W2S)

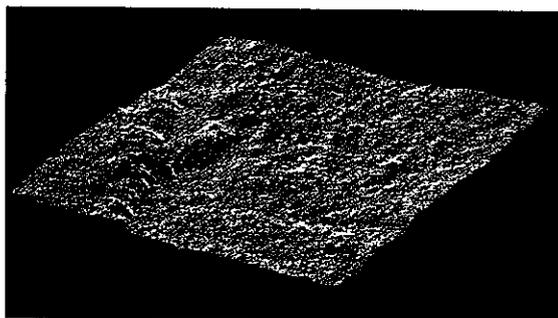


上面

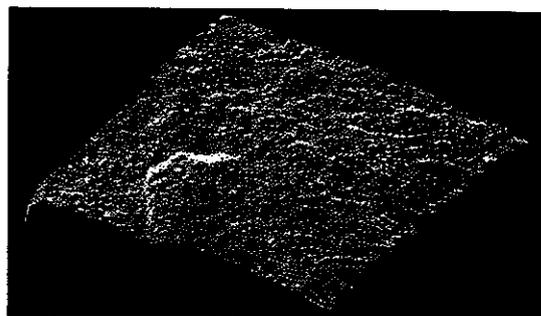


下面

試験前



上面



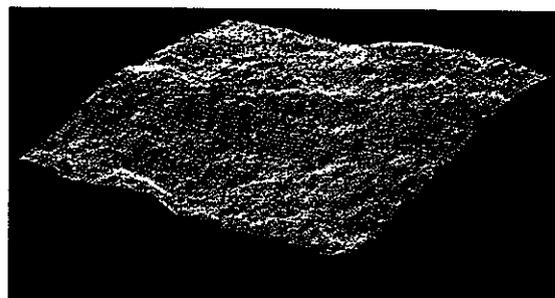
下面

試験後

No. 9 (MIU-3孔、深度：472.31m、走向・傾斜：N81E12S)

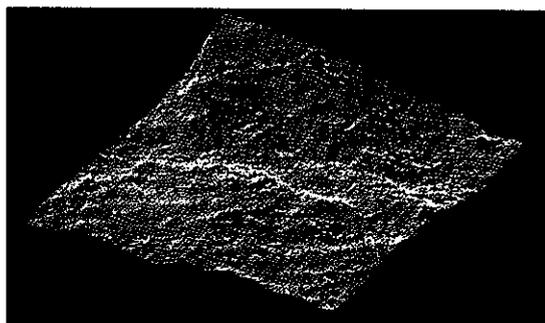


上面

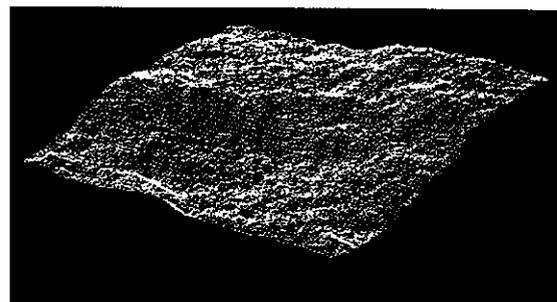


下面

試験前



上面



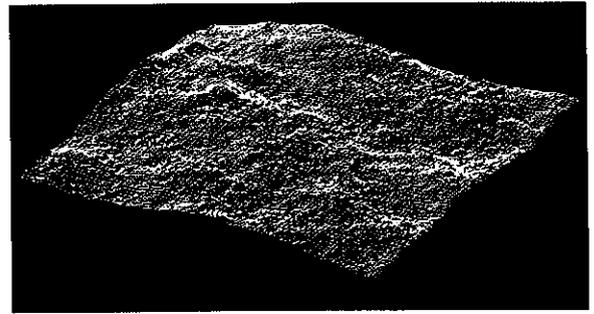
下面

試験後

No. 10 (MIU-1孔、深度：313.3m、走向・傾斜：N56E)

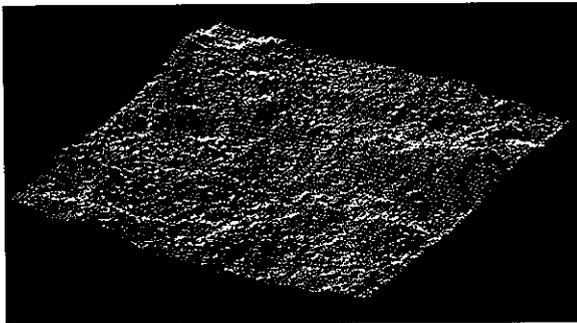


上面

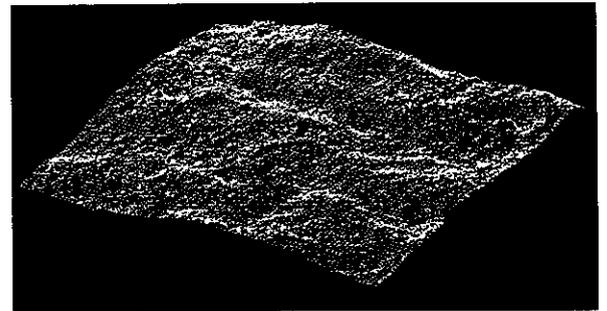


下面

試験前



上面



下面

試験後

No. 11 (MIU-2孔、深度：388.51m、走向・傾斜：N85W17N)

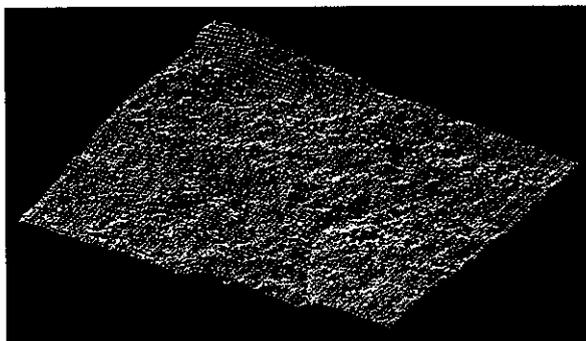


上面

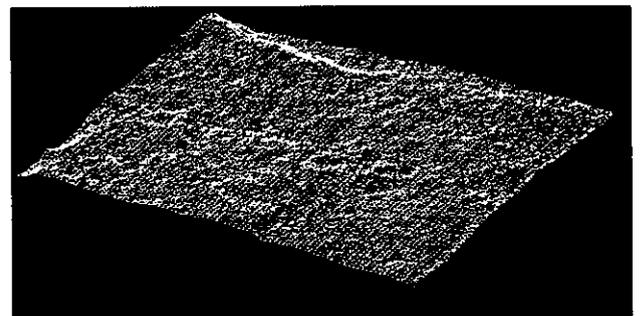


下面

試験前



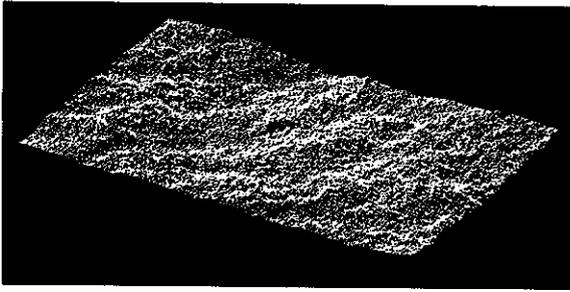
上面



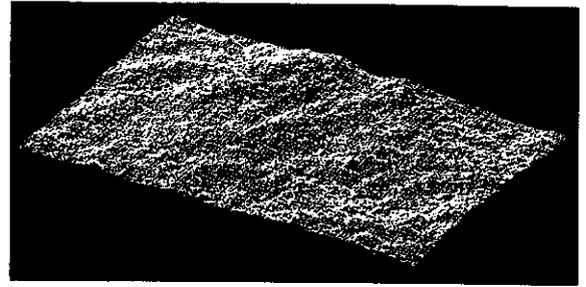
下面

試験後

No. 12 (MIU-3孔、深度：397.85m、走向・傾斜：N48E28SE)

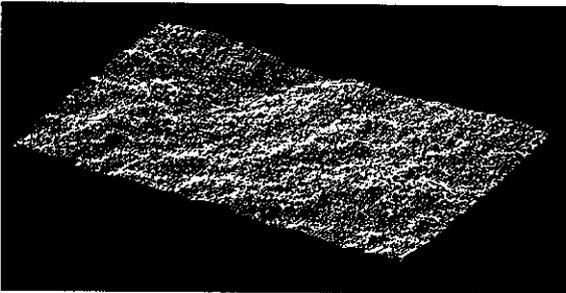


上面

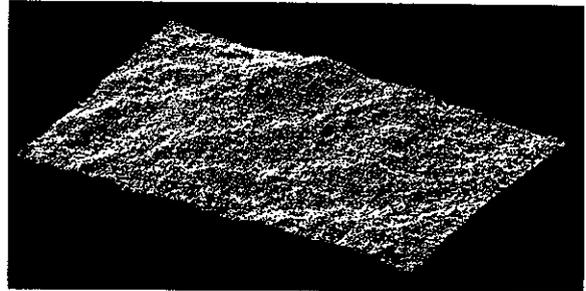


下面

試験前



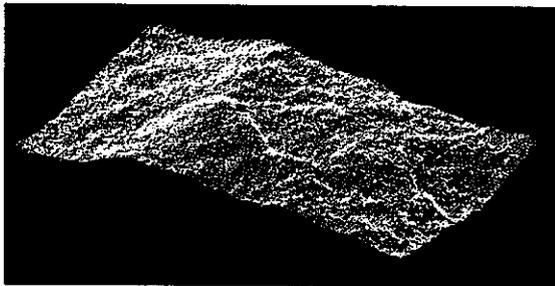
上面



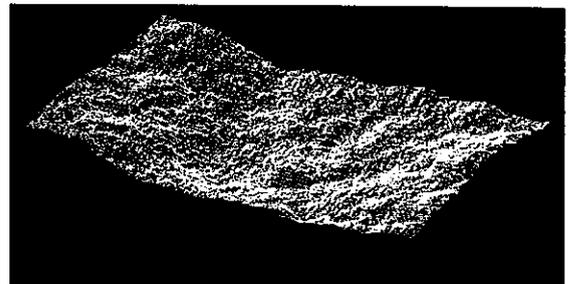
下面

試験後

No. 13 (MIU-3孔、深度：537.15m、走向・傾斜：N12E45W)

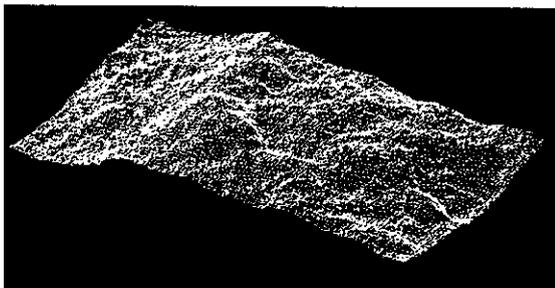


上面

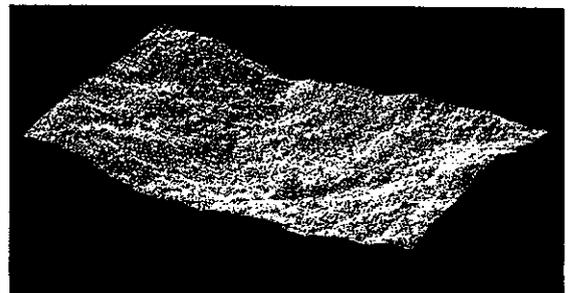


下面

試験前



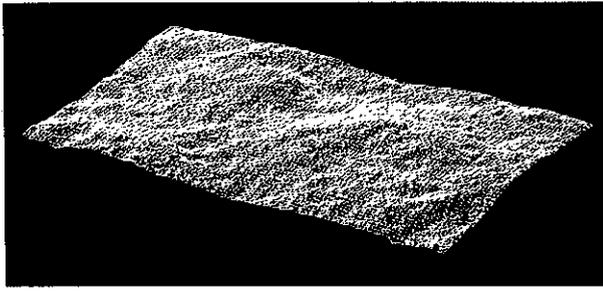
上面



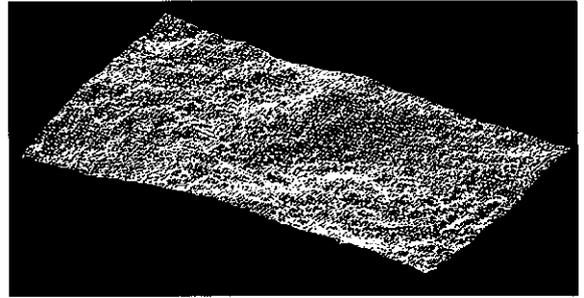
下面

試験後

No. 14 (MIU-1孔、深度：331.36m、走向・傾斜：N88W52S)

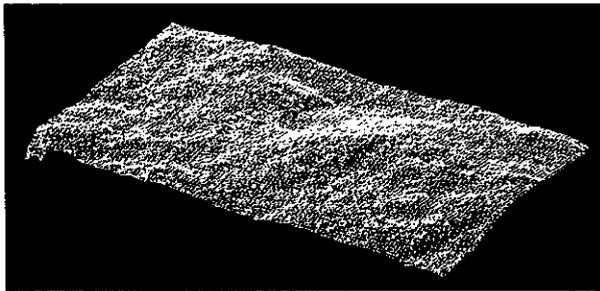


上面

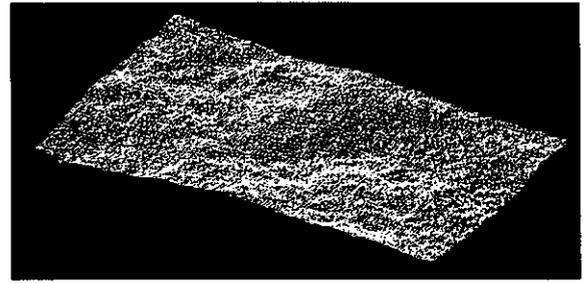


下面

試験前



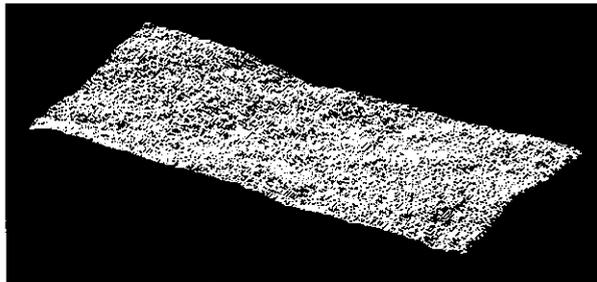
上面



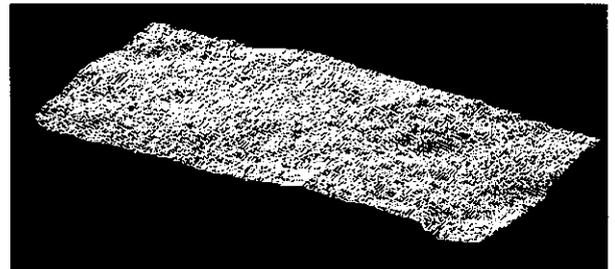
下面

試験後

No. 15 (MIU-1孔、深度：589.28m、走向・傾斜：EW55N)

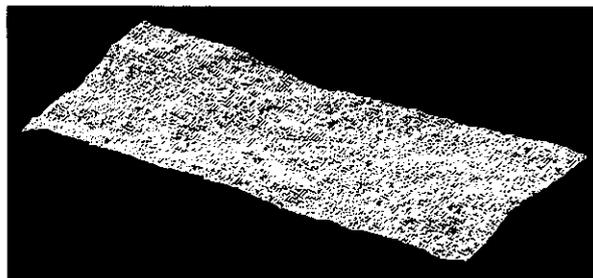


上面

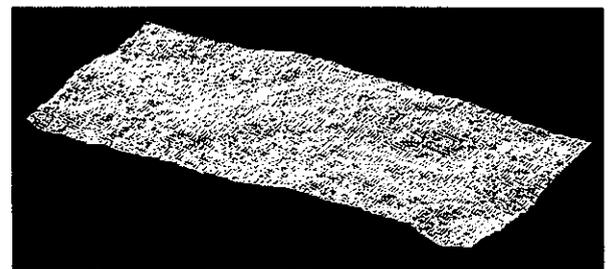


下面

試験前



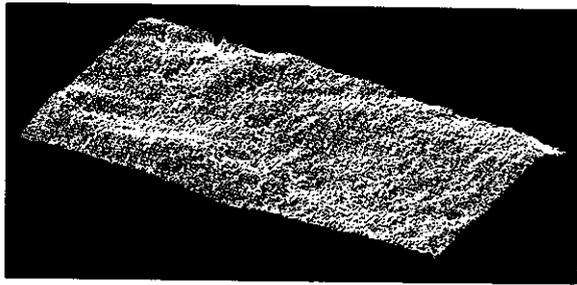
上面



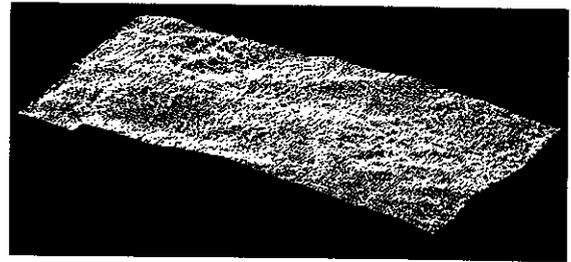
下面

試験後

No. 16 (MIU-3孔、深度：971.86m、走向・傾斜：N46E63SE)

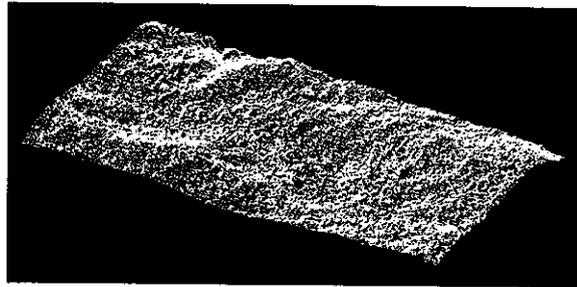


上面

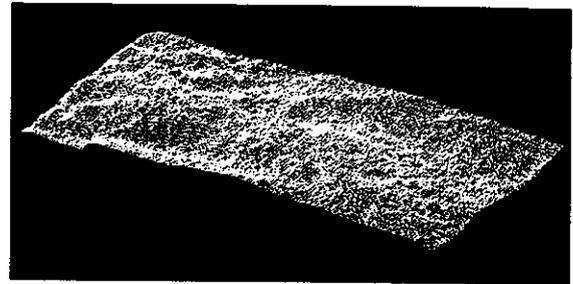


下面

試験前



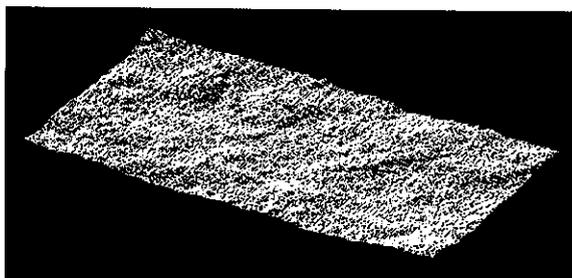
上面



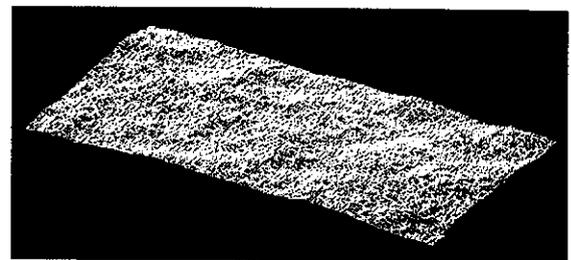
下面

試験後

No. 17 (MIU-3孔、深度：984.72m、走向・傾斜：N78E61S)

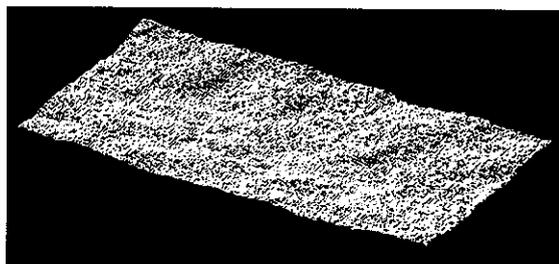


上面

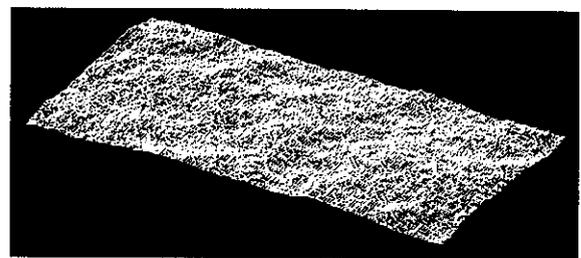


下面

試験前



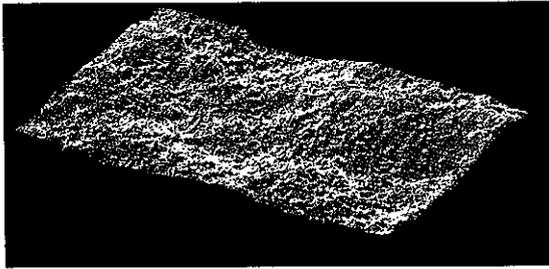
上面



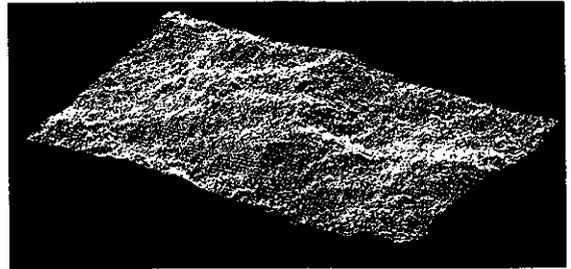
下面

試験後

No. 18 (MIU-1孔、深度：846.18m、走向・傾斜：N57W64NE)

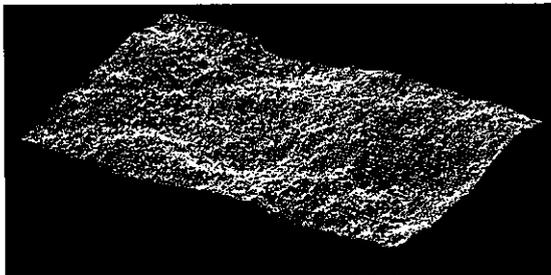


上面

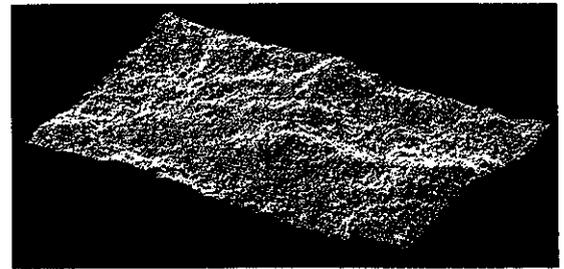


下面

試験前



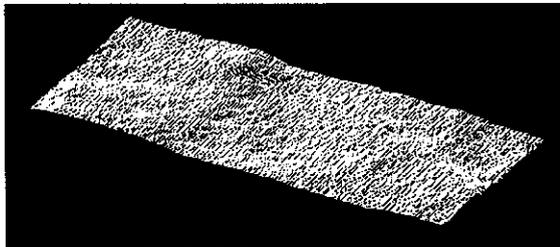
上面



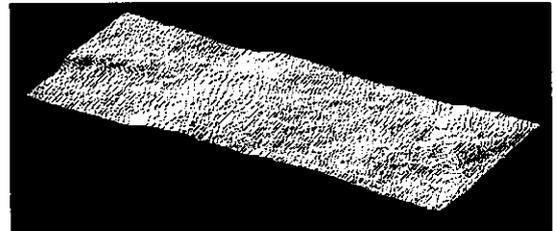
下面

試験後

No. 19 (MIU-3孔、深度：322.76m、走向・傾斜：EW65S)

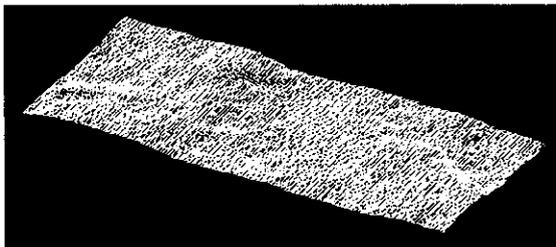


上面

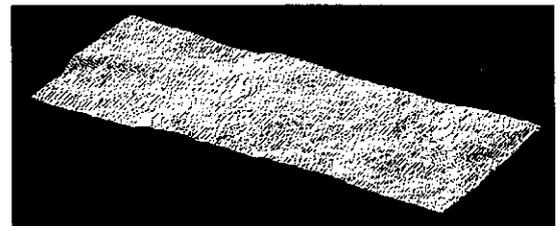


下面

試験前



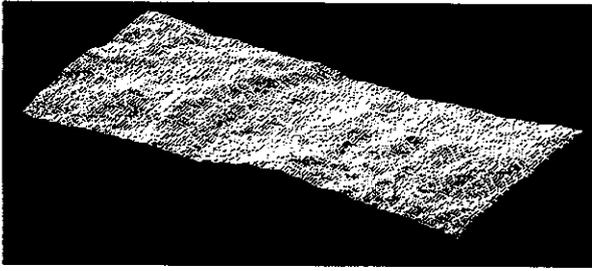
上面



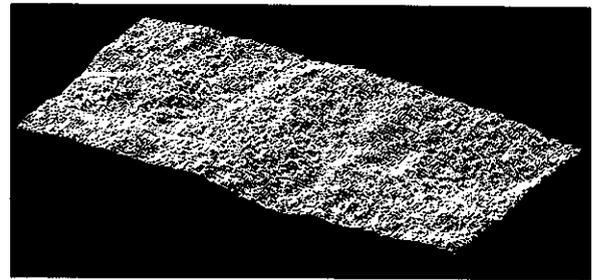
下面

試験後

No. 20 (MIU-1孔、深度：679.5m、走向・傾斜：N75E66S)

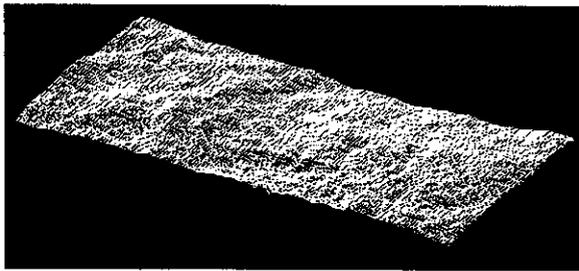


上面

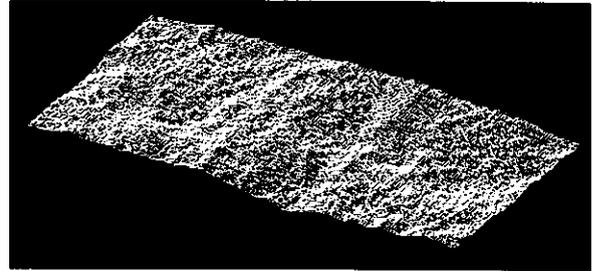


下面

試験前



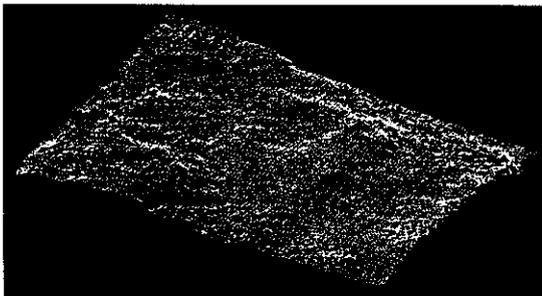
上面



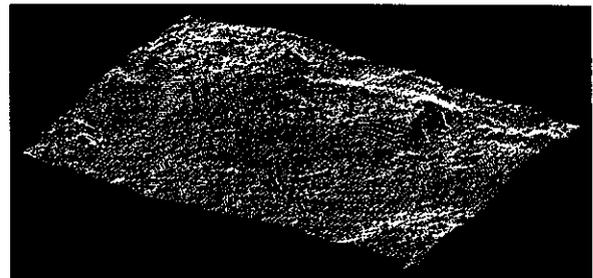
下面

試験後

No. 21 (MIU-2孔、深度：430.72m、走向・傾斜：N63E56N)

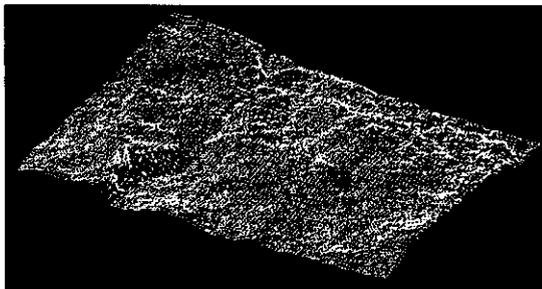


上面

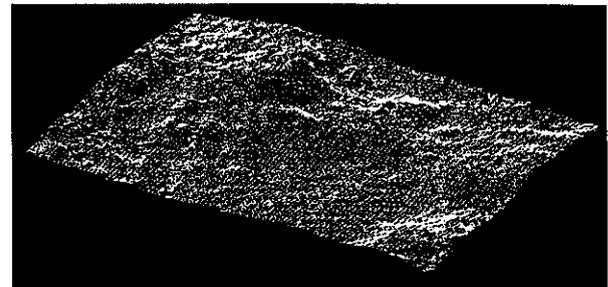


下面

試験前



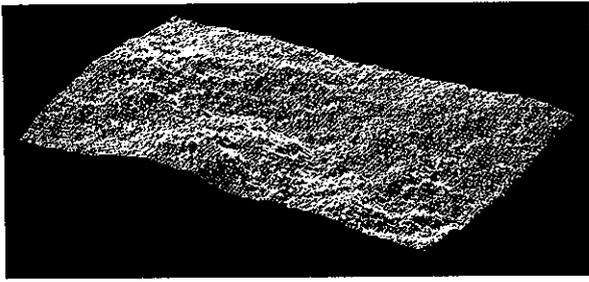
上面



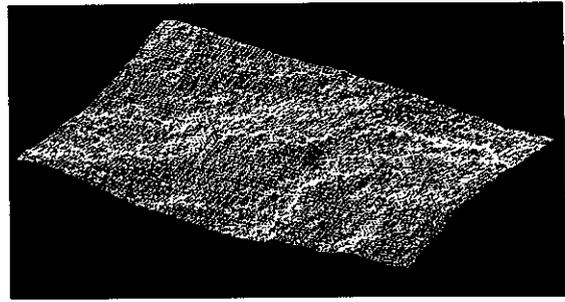
下面

試験後

No. 22 (MIU-3孔、深度：509.14m、走向・傾斜：N5E49W)

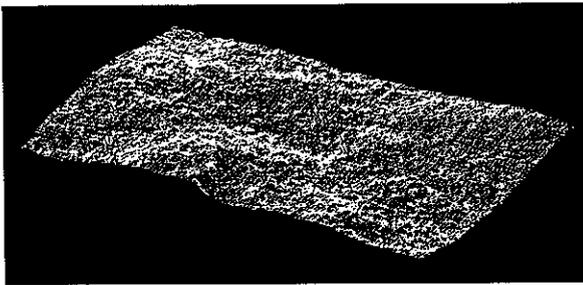


上面



下面

試験前



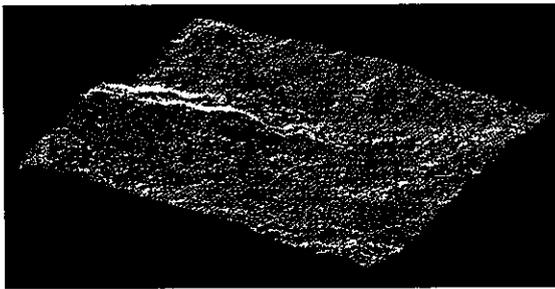
上面



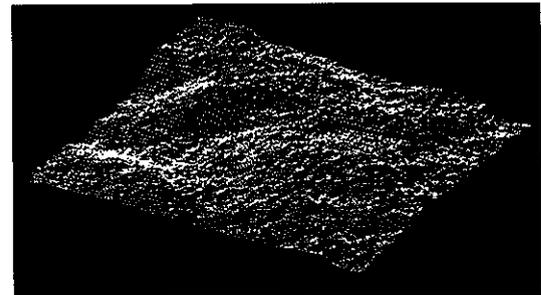
下面

試験後

No. 23 (MIU-3孔、深度：527.25m、走向・傾斜：N75W55N)

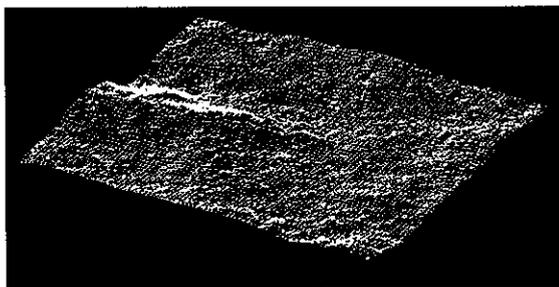


上面

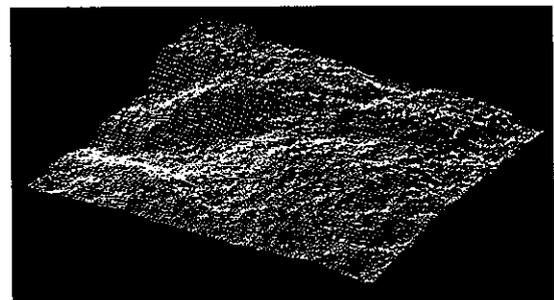


下面

試験前



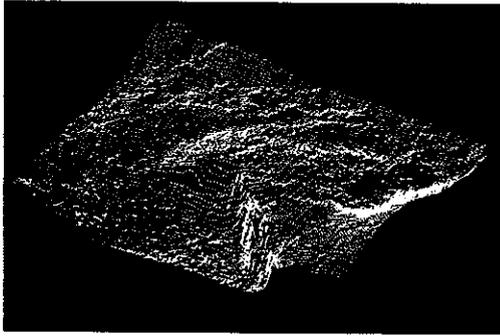
上面



下面

試験後

No. 24 (MIU-2孔、深度：276.34m、走向・傾斜：NN20E21W)

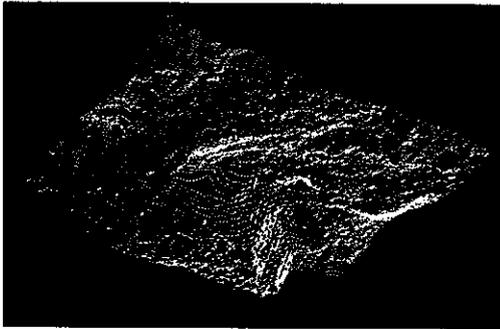


上面

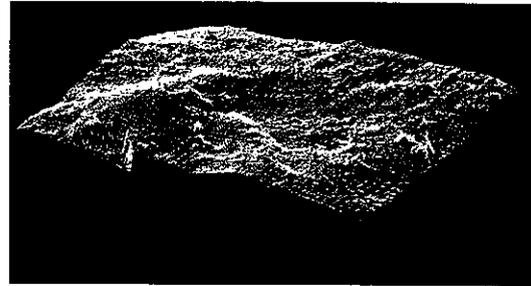


下面

試験前



上面

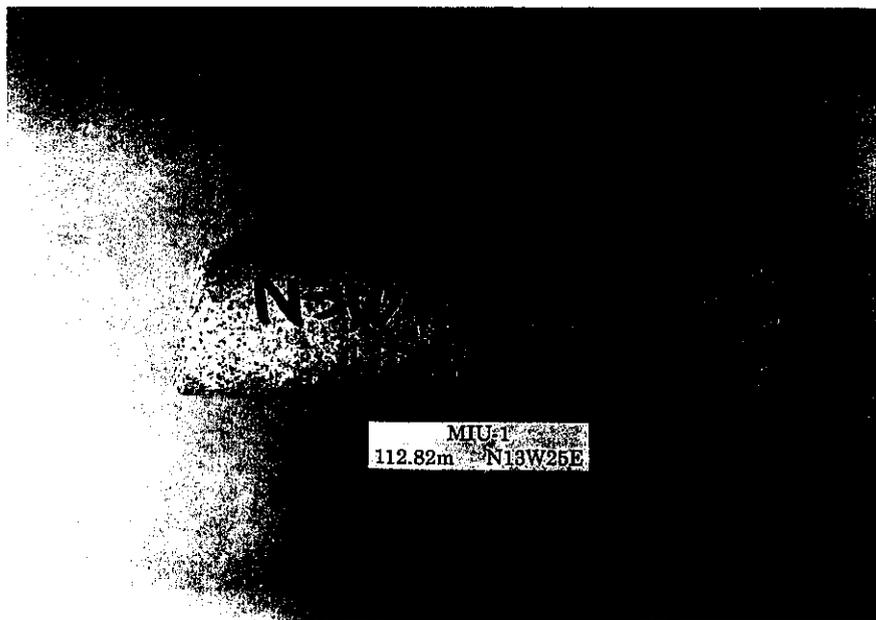


下面

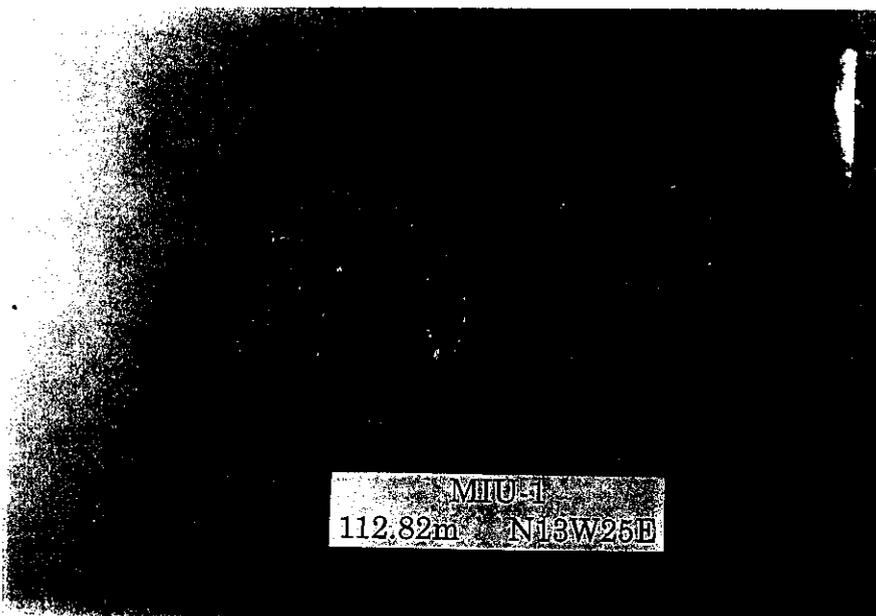
試験後

No. 25 (MIU-2孔、深度：290.32m、走向・傾斜：N73W29S)

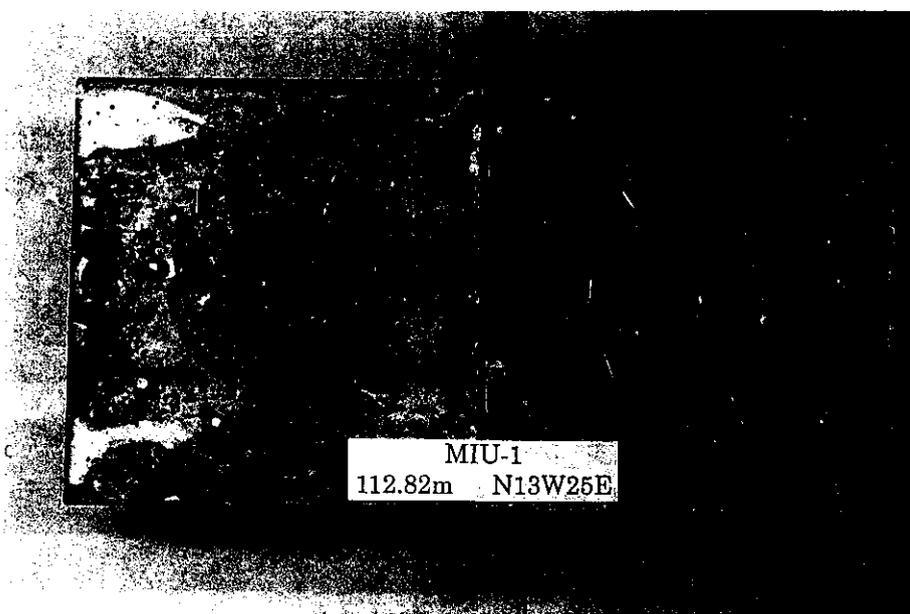
## C. コア・ジョイント面写真



採取コア



ジョイント面試験前



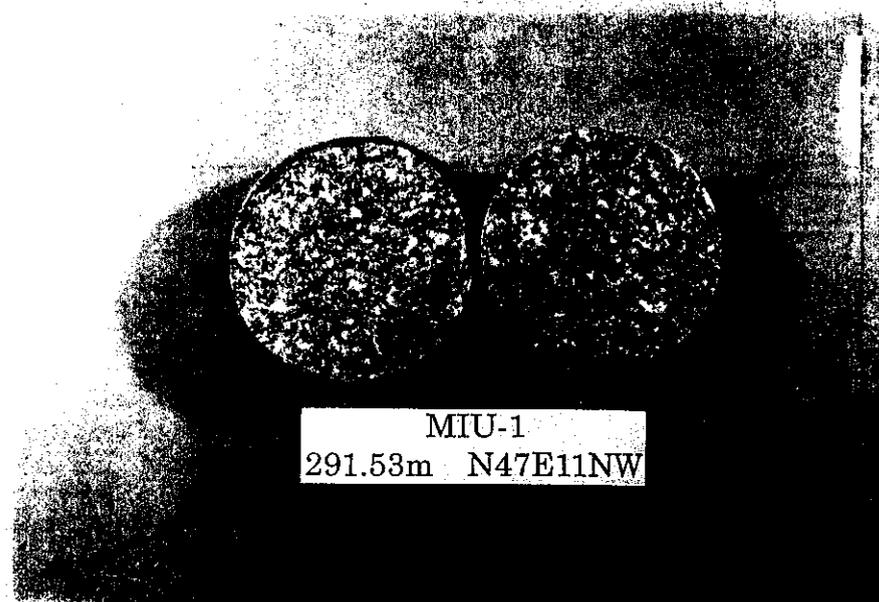
ジョイント面試験後

No. 1 (MIU-1孔、深度：112.82m、走向・傾斜：N3W25E)



MIU-1  
291.53m N47E11NW

採取コア



MIU-1  
291.53m N47E11NW

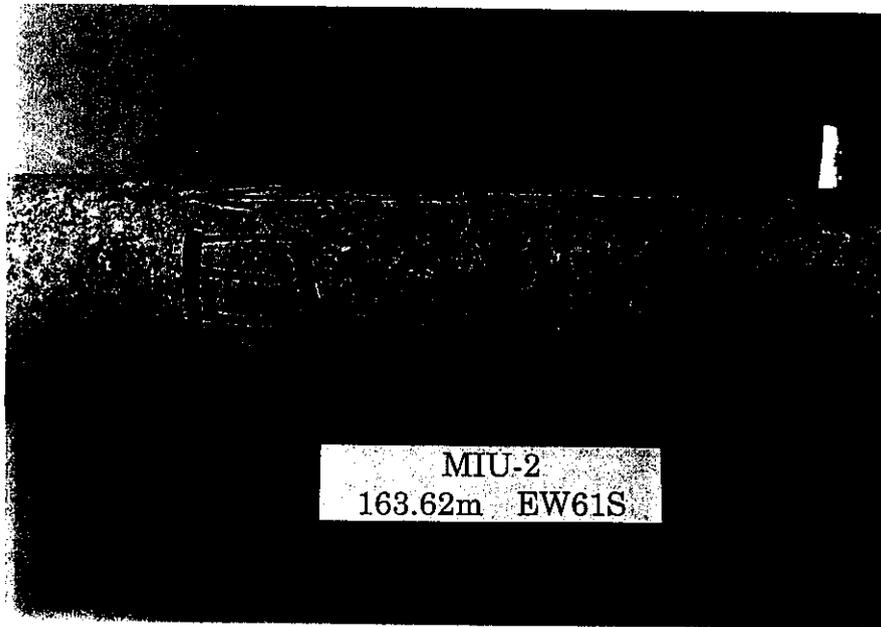
ジョイント面試験前



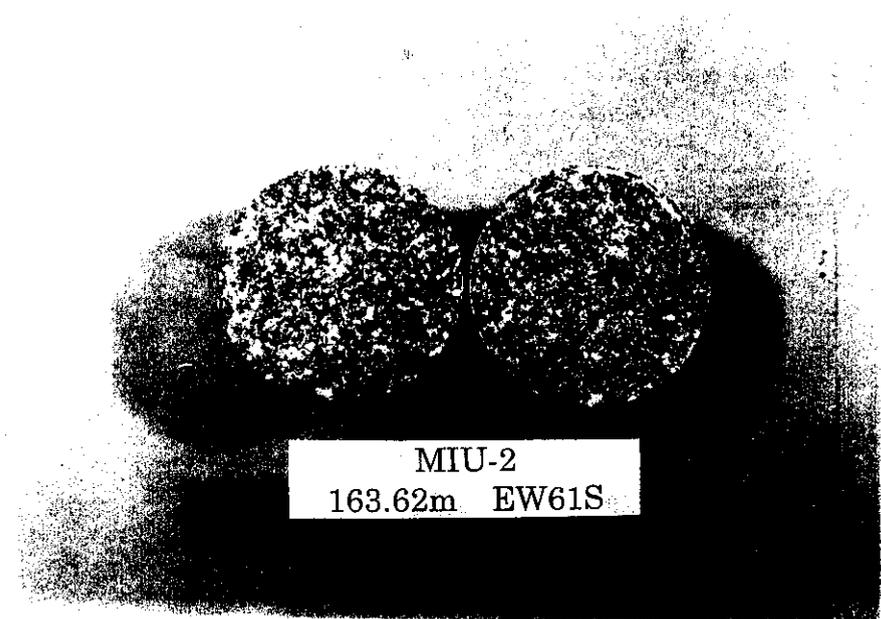
MIU-1  
291.53m N47E11NW

ジョイント面試験後

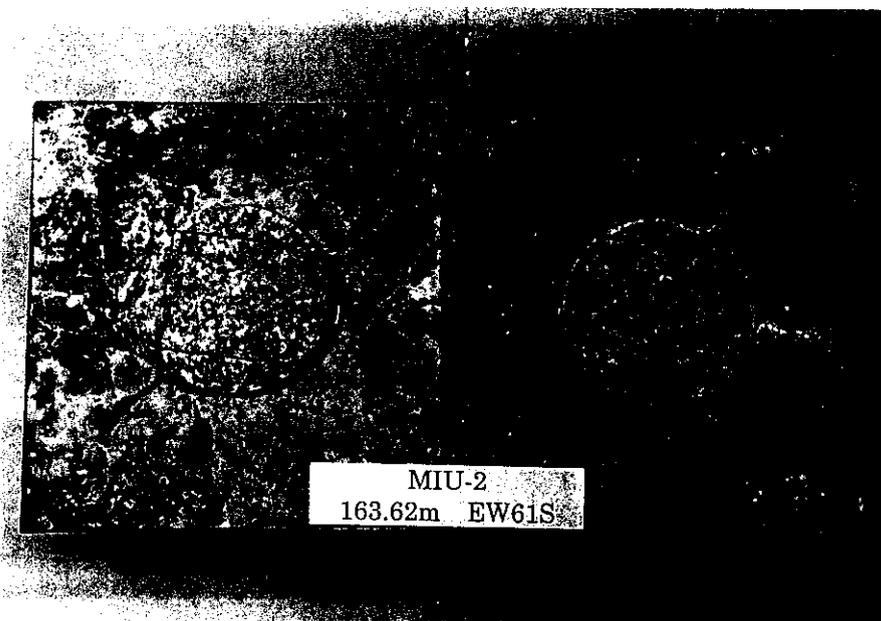
No. 2 (MIU-1孔、深度：291.53m、走向・傾斜：N47E11NW)



採取コア

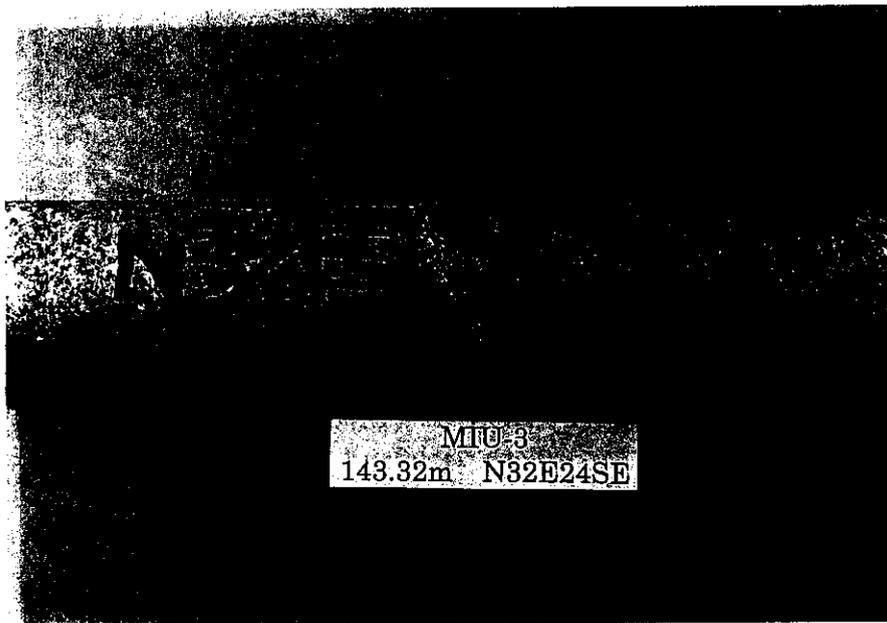


ジョイント面試験前



ジョイント面試験後

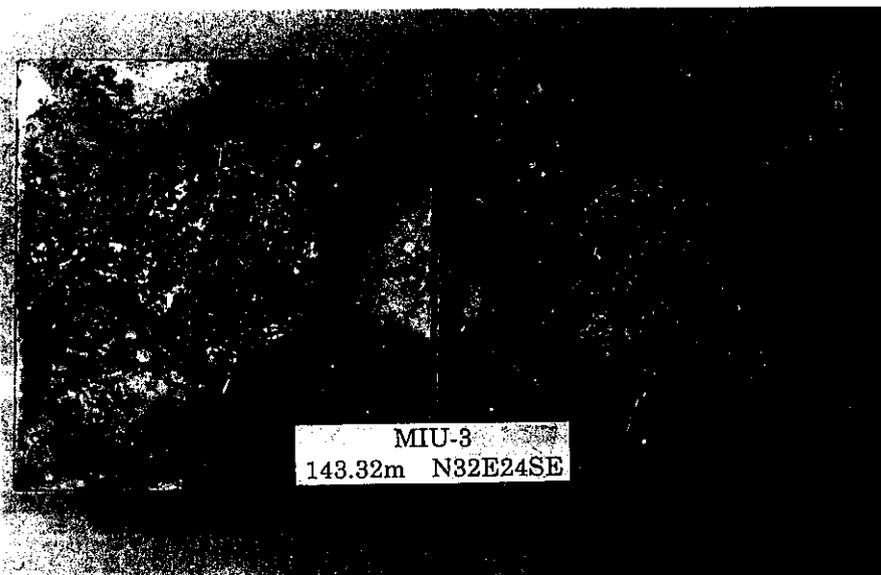
No. 3 (MIU-2孔、深度：163.62m、走向・傾斜：EW61S)



採取コア

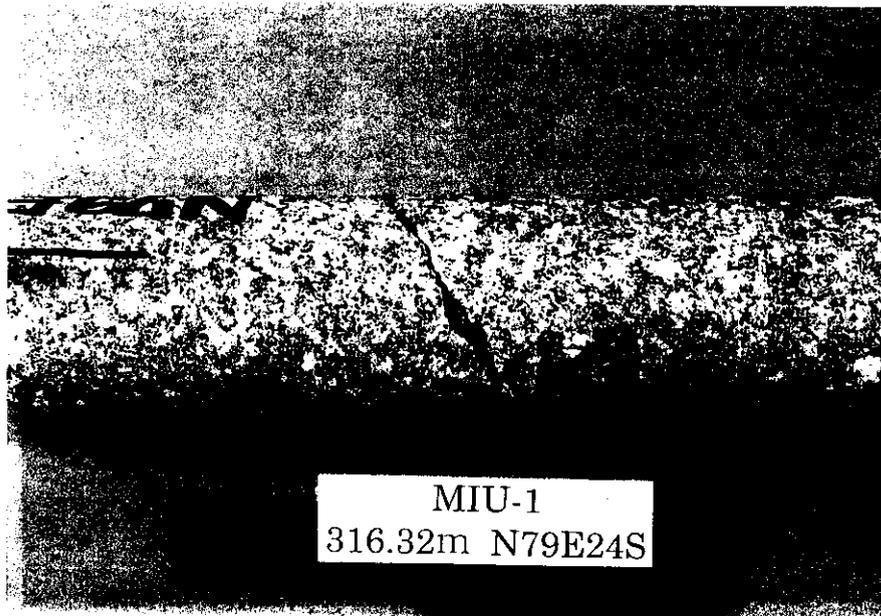


ジョイント面試験前

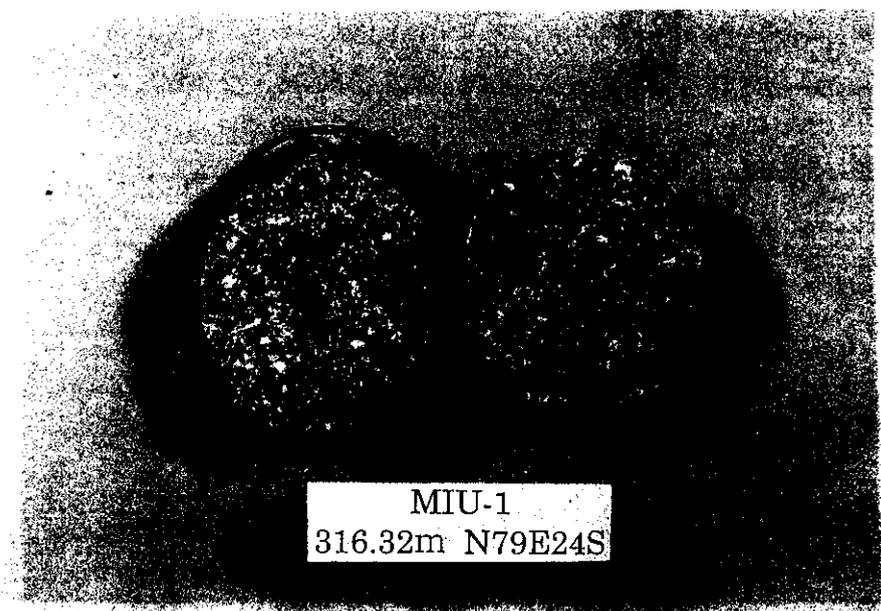


ジョイント面試験後

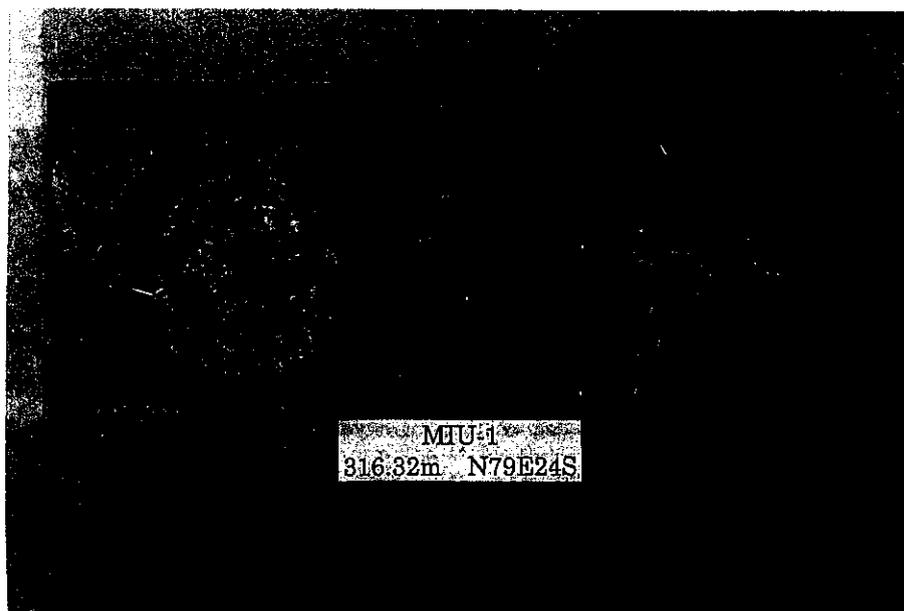
№. 4 (MIU-3孔、深度：143.32m、走向・傾斜：N32E24SE)



採取コア

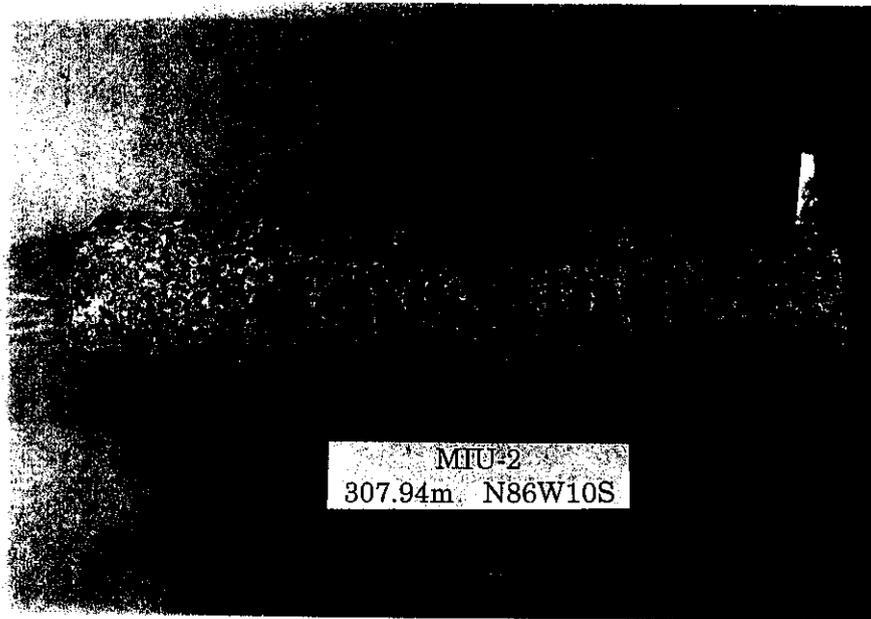


ジョイント面試験前



ジョイント面試験後

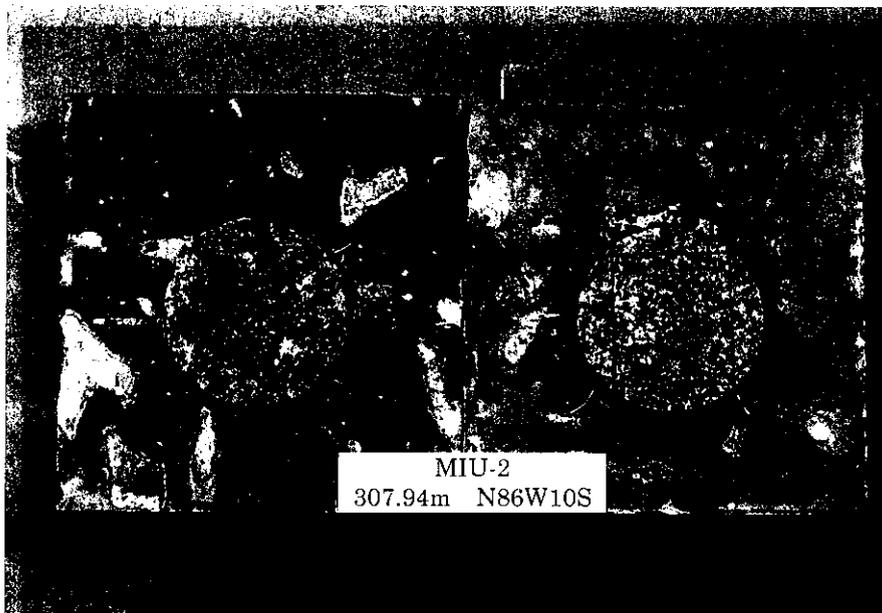
No. 5 (MIU-1孔、深度：316.32m、走向・傾斜：N79E24S)



採取コア

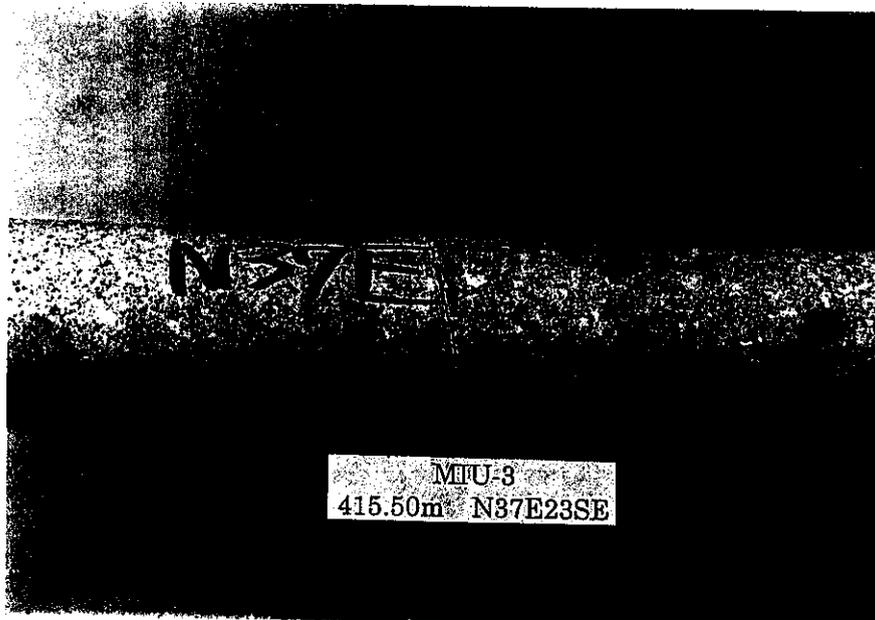


ジョイント面試験前

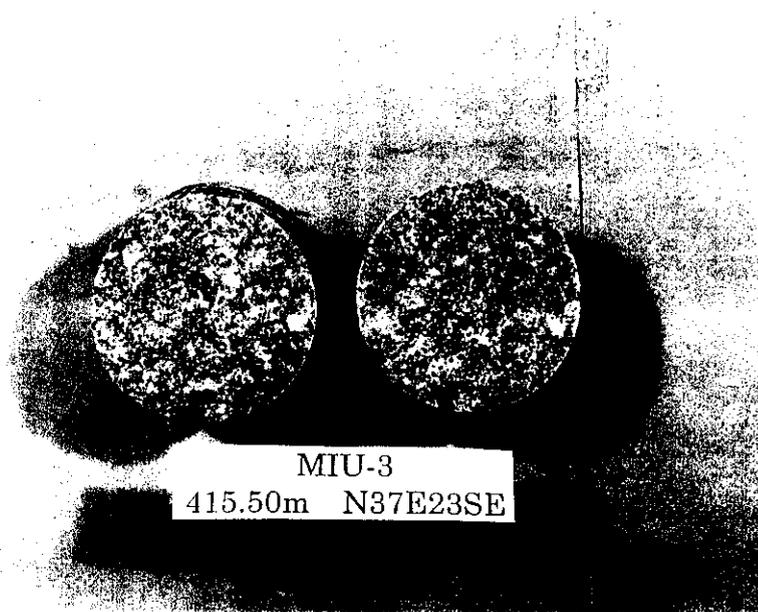


ジョイント面試験後

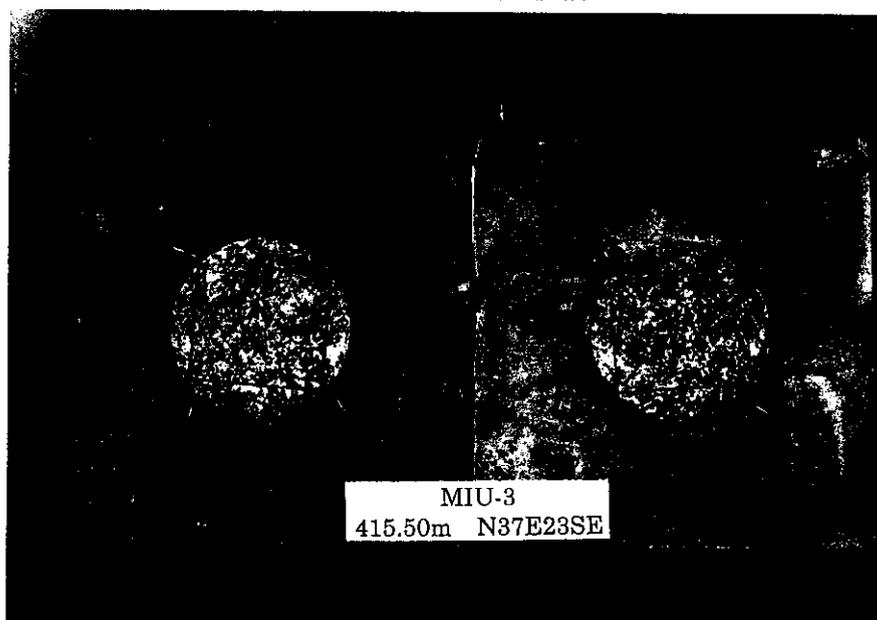
No. 6 (MIU-2孔、深度：307.94m、走向・傾斜：N86W10S)



採取コア

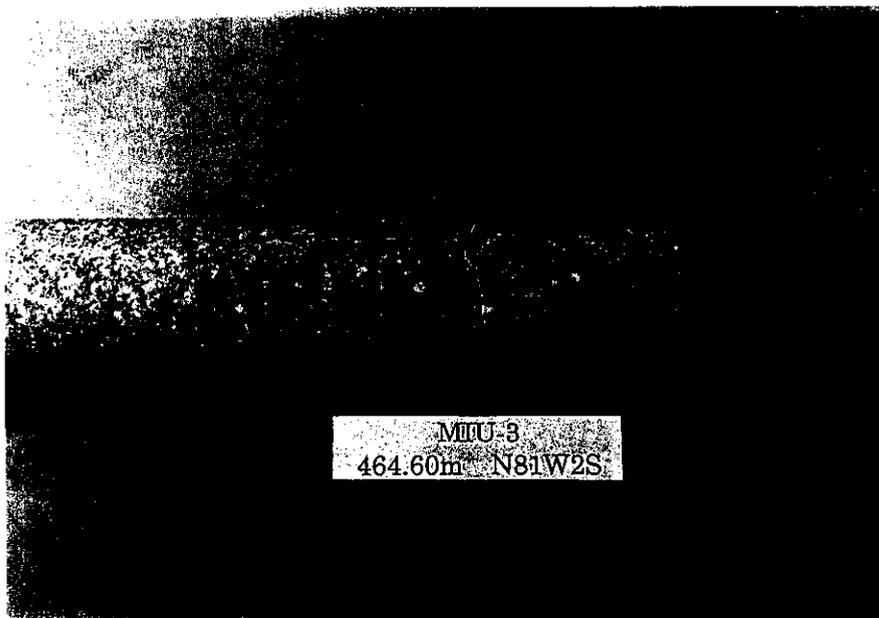


ジョイント面試験前



ジョイント面試験後

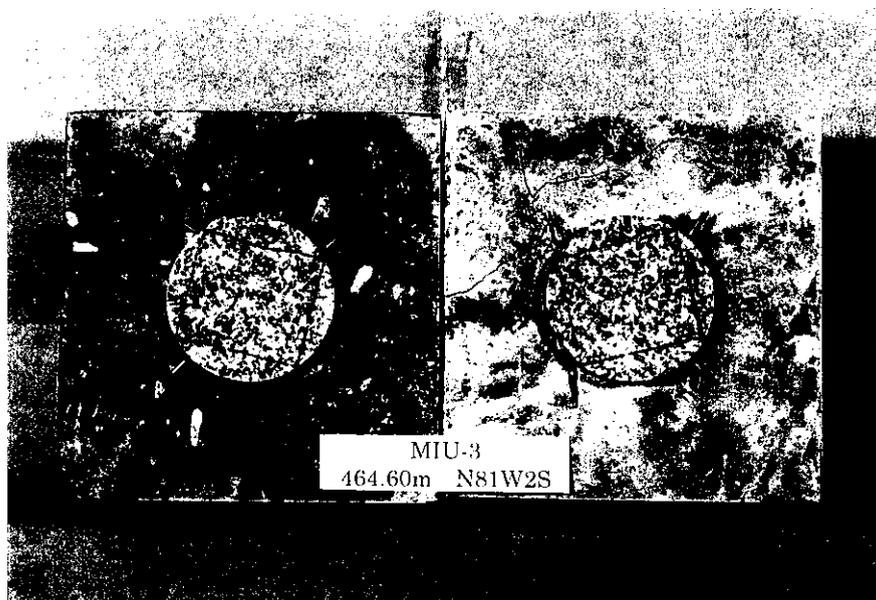
No. 7 (MIU-3孔、深度：415.5m、走向・傾斜：N37E23SE)



採取コア

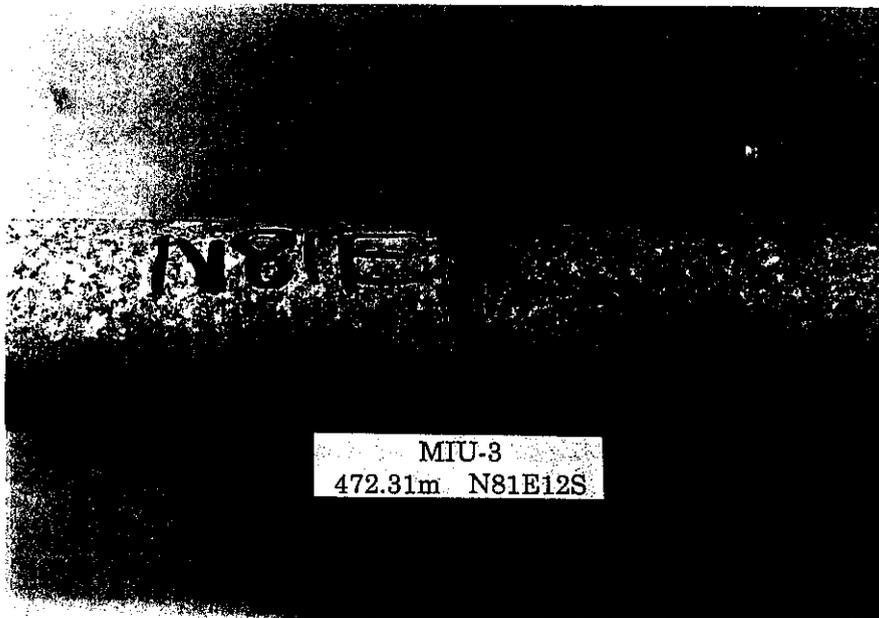


ジョイント面試験前

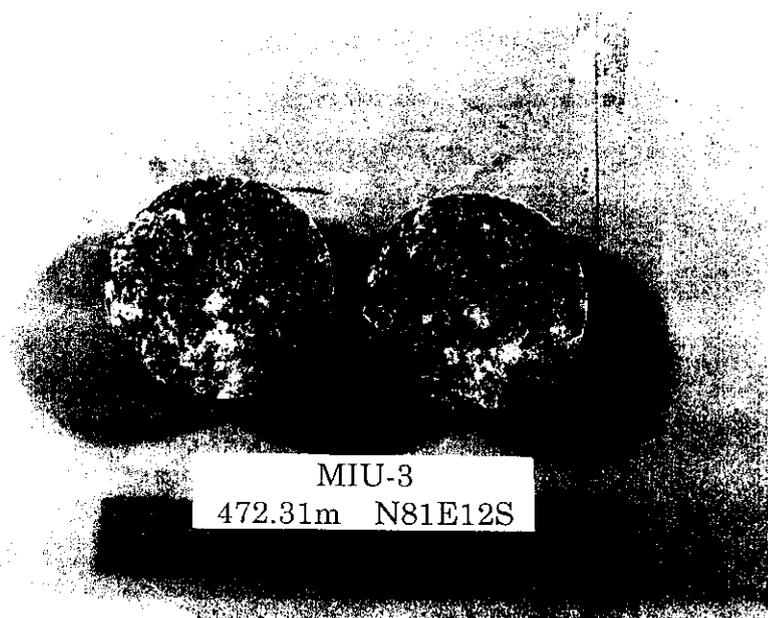


ジョイント面試験後

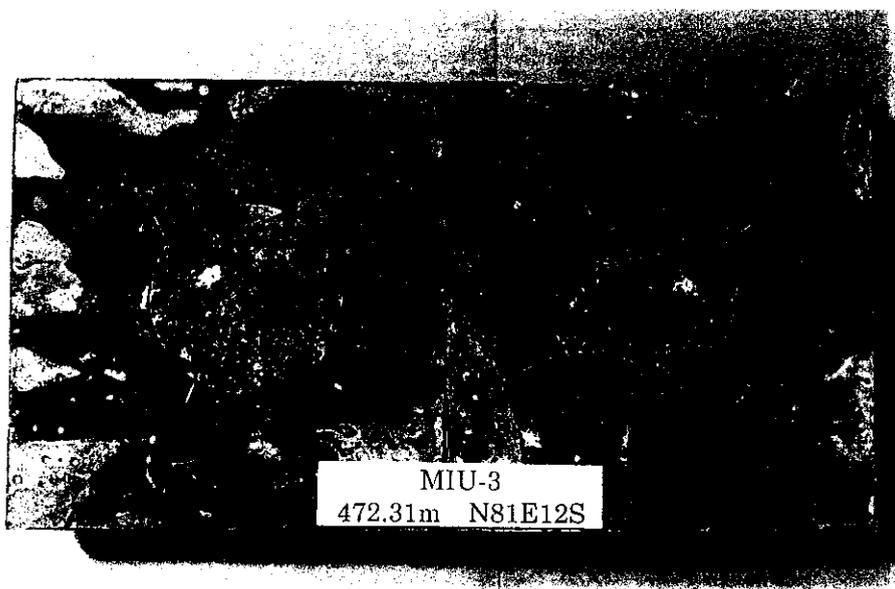
No. 8 (MIU-3孔、深度：464.6m、走向・傾斜：N81W2S)



採取コア

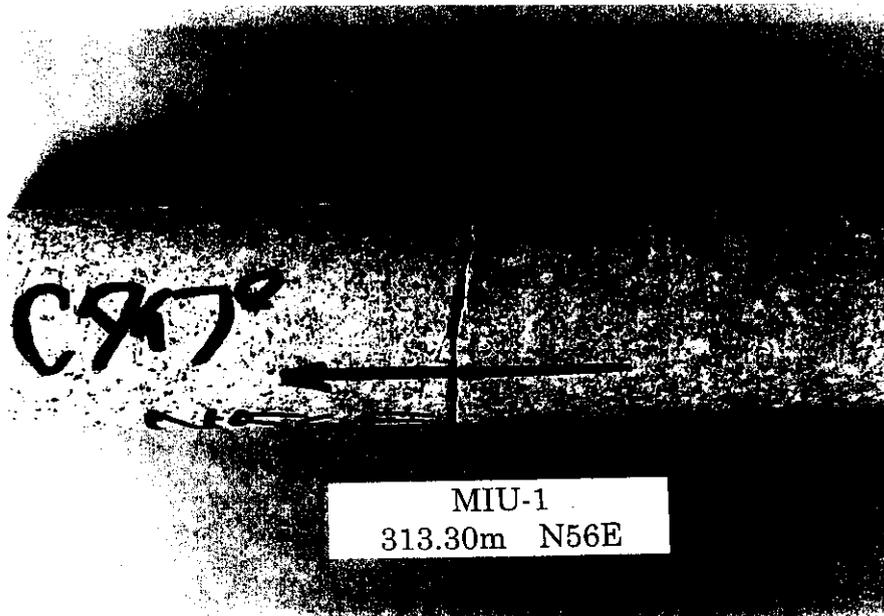


ジョイント面試験前

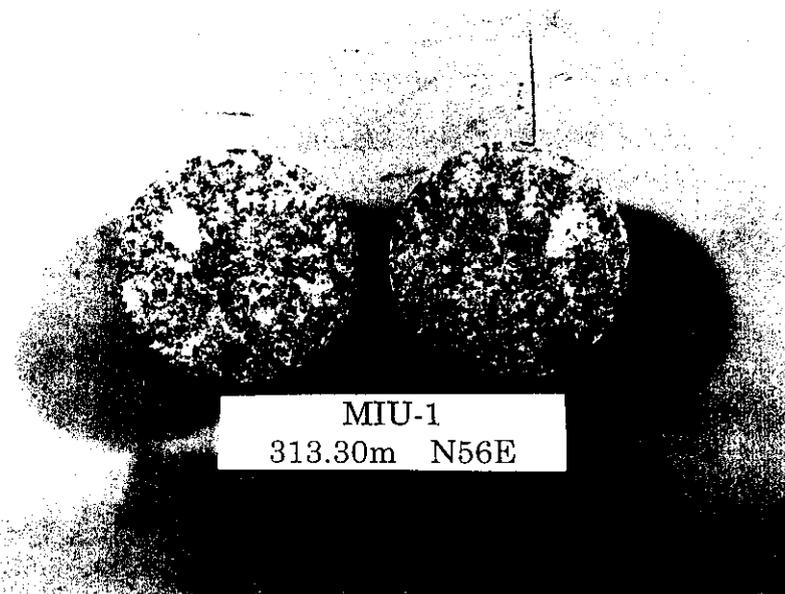


ジョイント面試験後

No. 9 (MIU-3孔、深度：472.31m、走向・傾斜：N81E12S)



採取コア

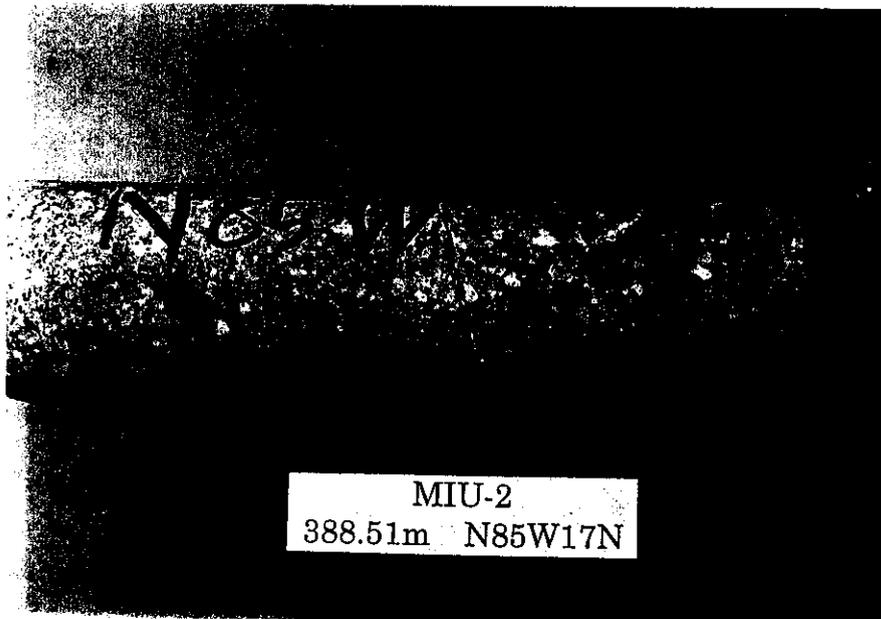


ジョイント面試験前

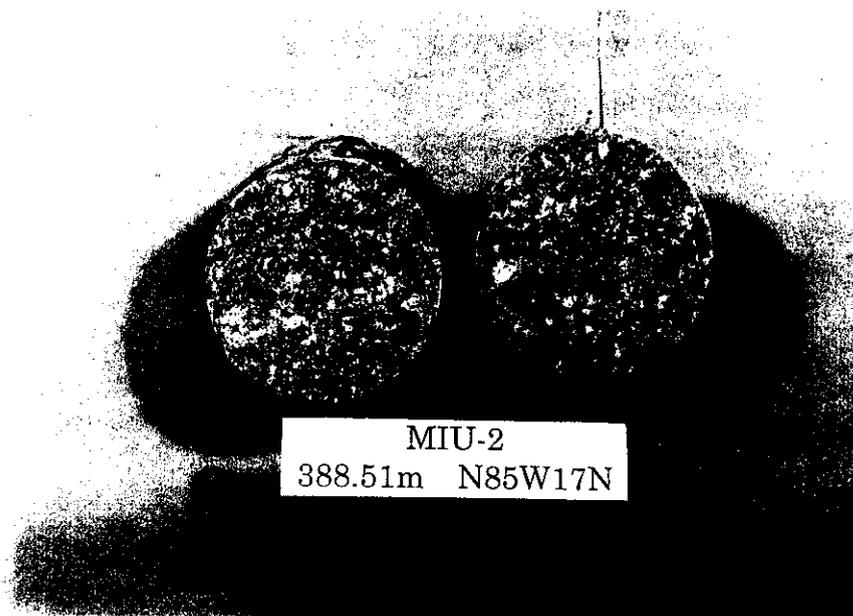


ジョイント面試験後

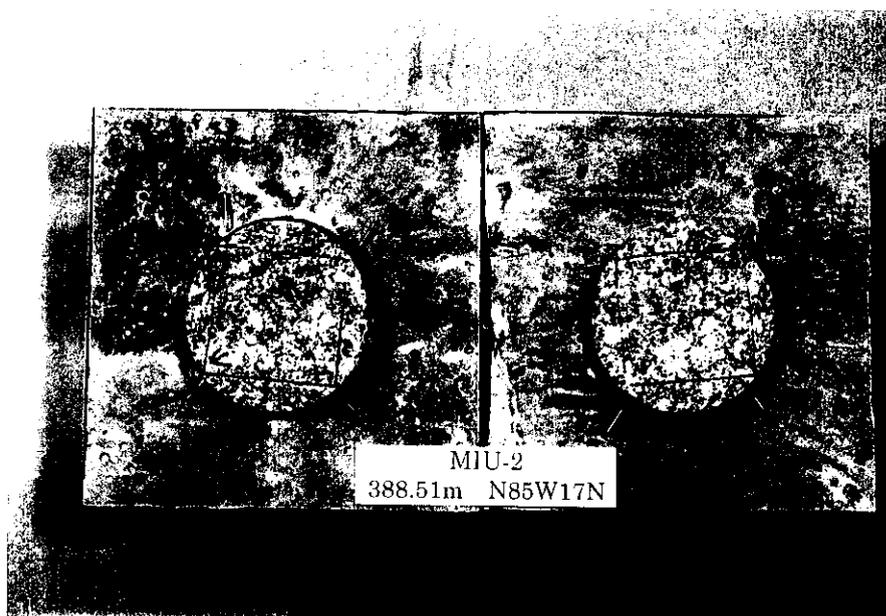
No. 10 (MIU-1孔、深度：313.3m、走向・傾斜：N56E)



採取コア

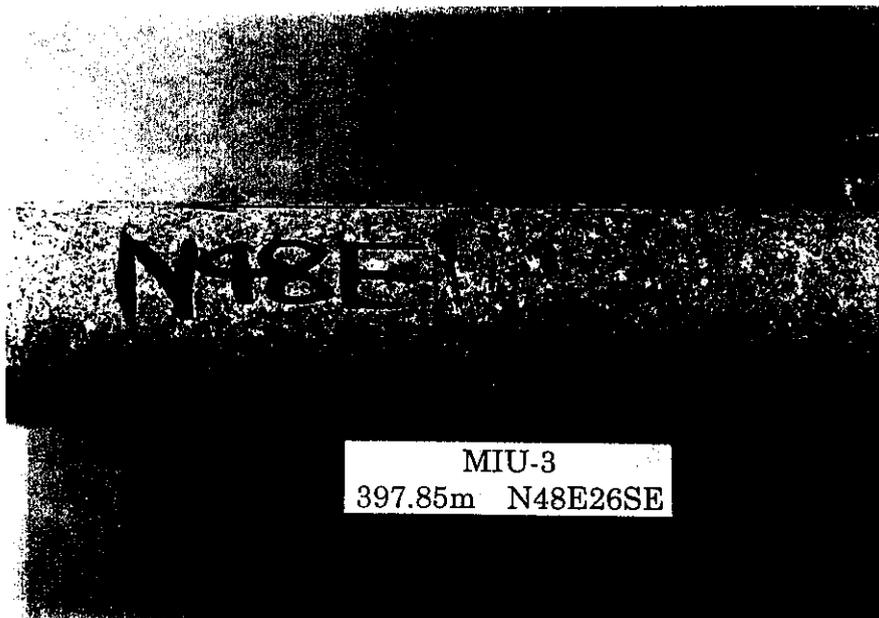


ジョイント面試験前



ジョイント面試験後

No. 11 (MIU-2孔、深度：388.51m、走向・傾斜：N85W17N)



採取コア

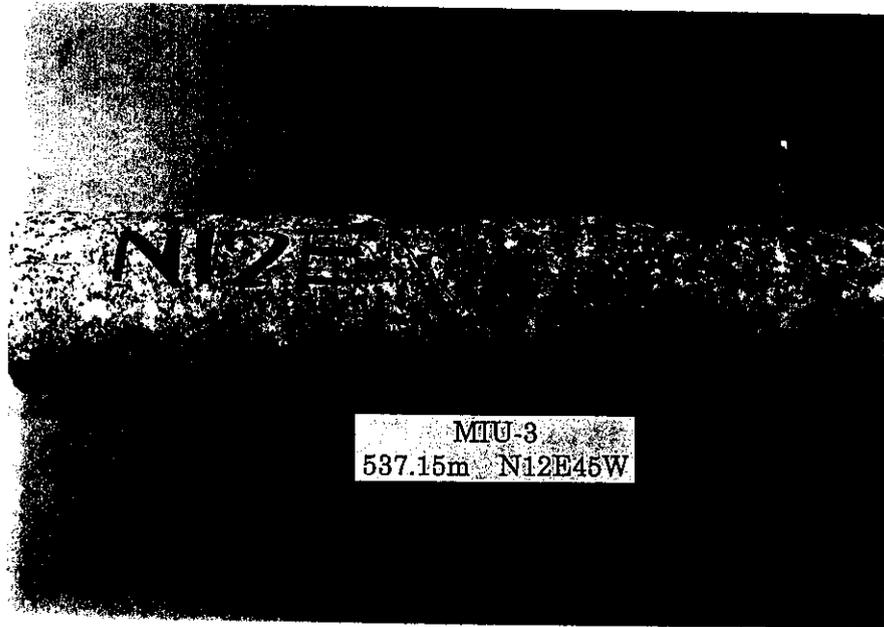


ジョイント面試験前

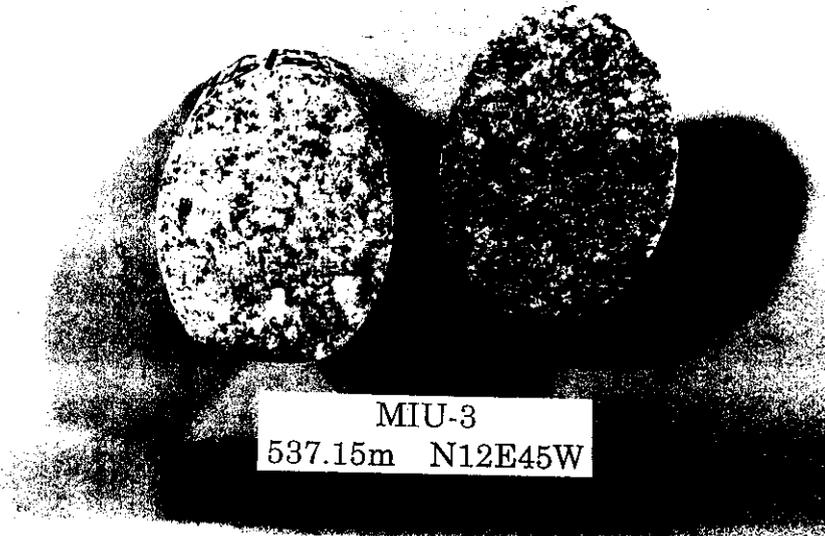


ジョイント面試験後

No. 12 (MIU-3孔、深度：397.85m、走向・傾斜：N48E26SE)



採取コア



ジョイント面試験前



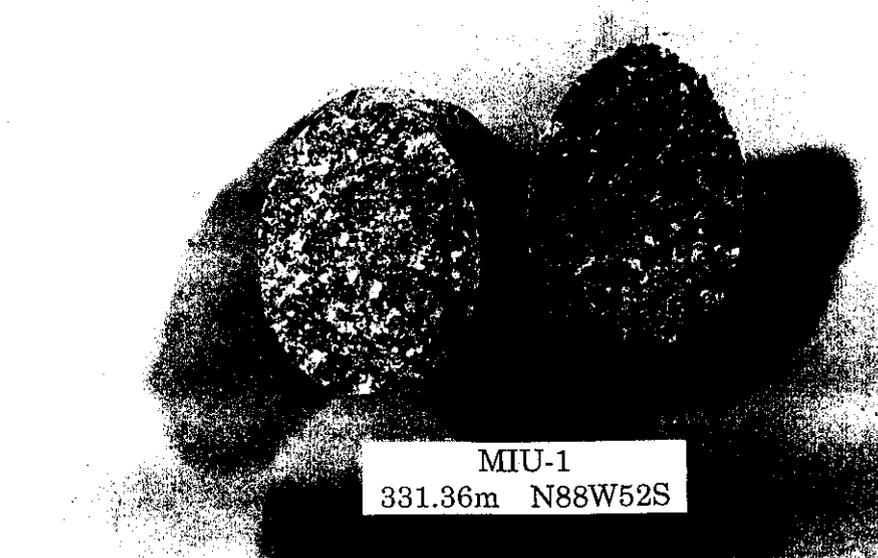
ジョイント面試験後

No. 13 (MIU-3孔、深度：537.15m、走向・傾斜：N12E45W)



MIU-1  
331.36m N88W52S

採取コア



MIU-1  
331.36m N88W52S

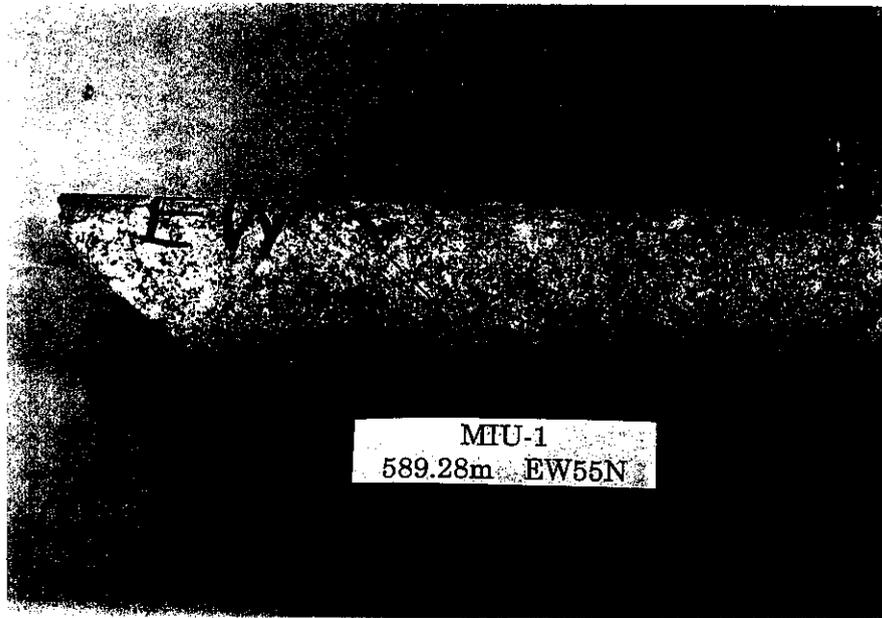
ジョイント面試験前



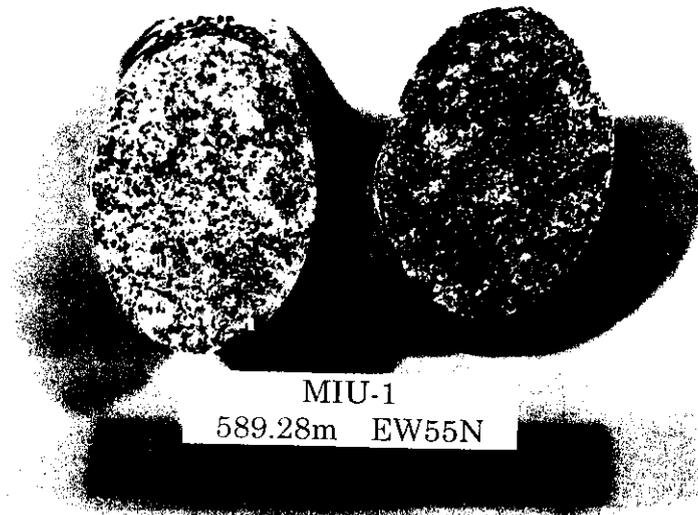
MIU-1  
331.36m N88W52S

ジョイント面試験後

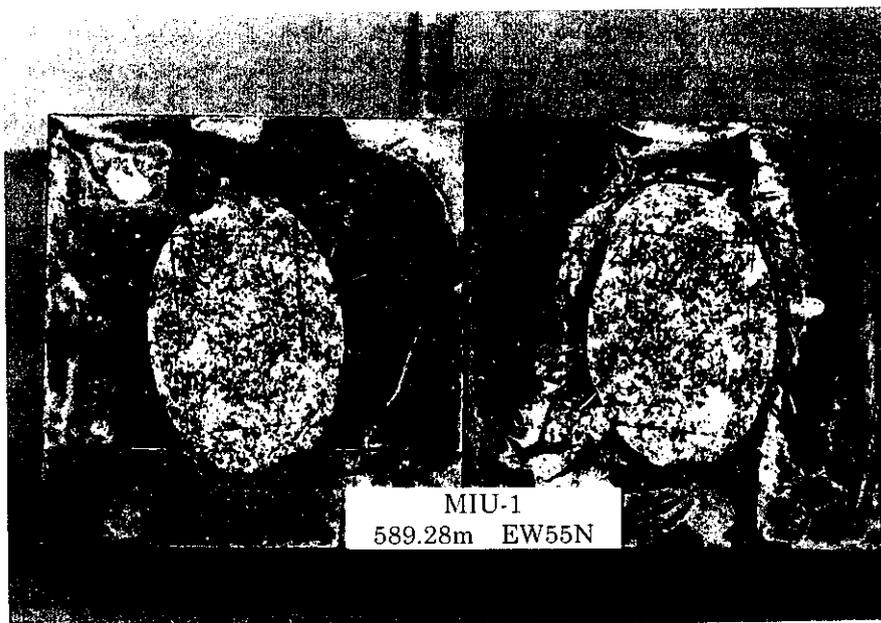
No. 14 (MIU-1孔、深度：331.36m、走向・傾斜：N88W52S)



採取コア

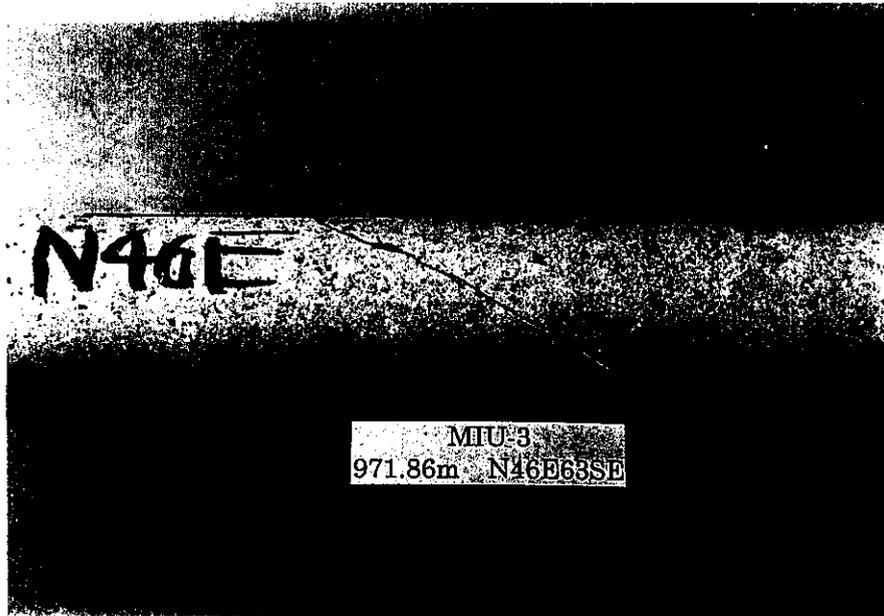


ジョイント面試験前

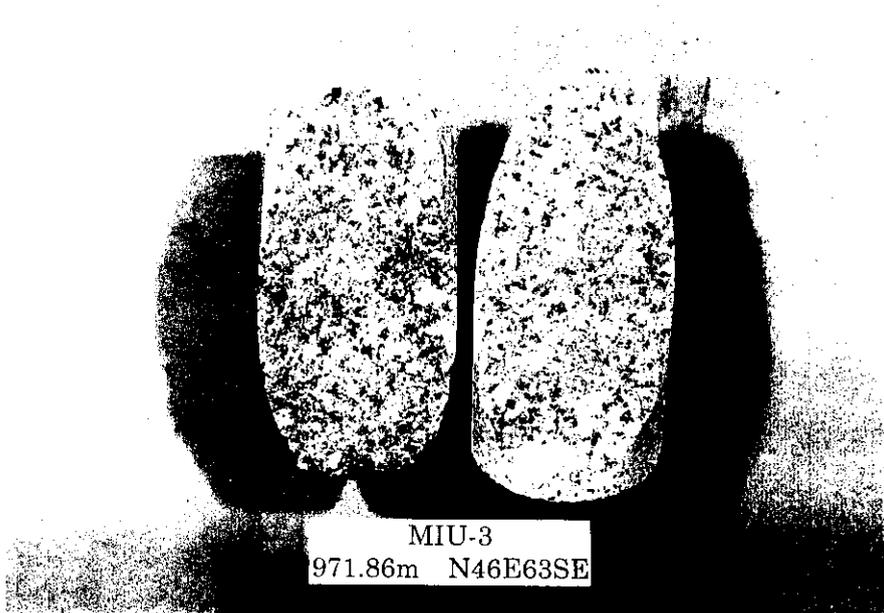


ジョイント面試験後

No. 15 (MIU-1孔、深度：589.28m、走向・傾斜：EW55N)



採取コア

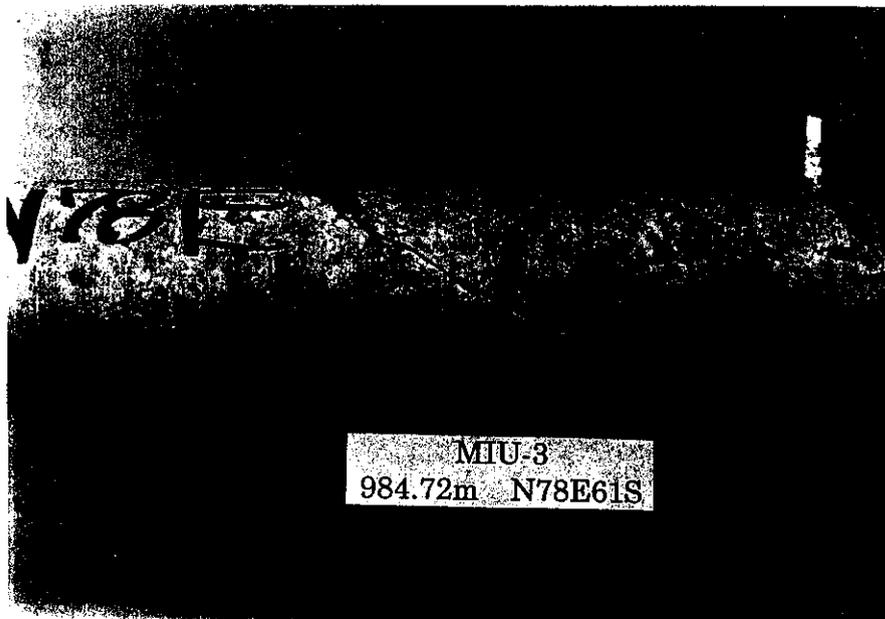


ジョイント面試験前

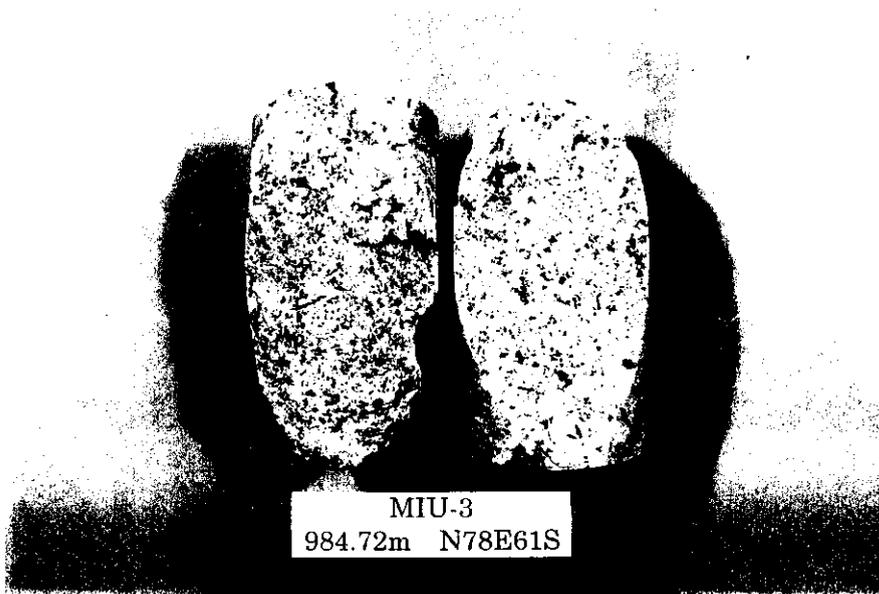


ジョイント面試験後

No. 16 (MIU-3孔、深度：971.86m、走向・傾斜：N46E63SE)



採取コア



ジョイント面試験前

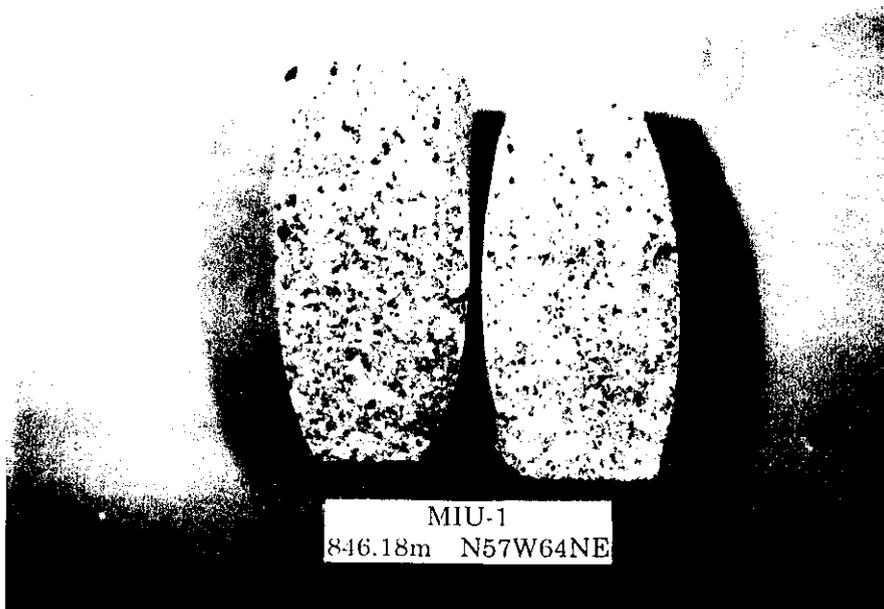


ジョイント面試験後

No. 17 (MIU-3孔、深度：984.72m、走向・傾斜：N78E61S)



採取コア

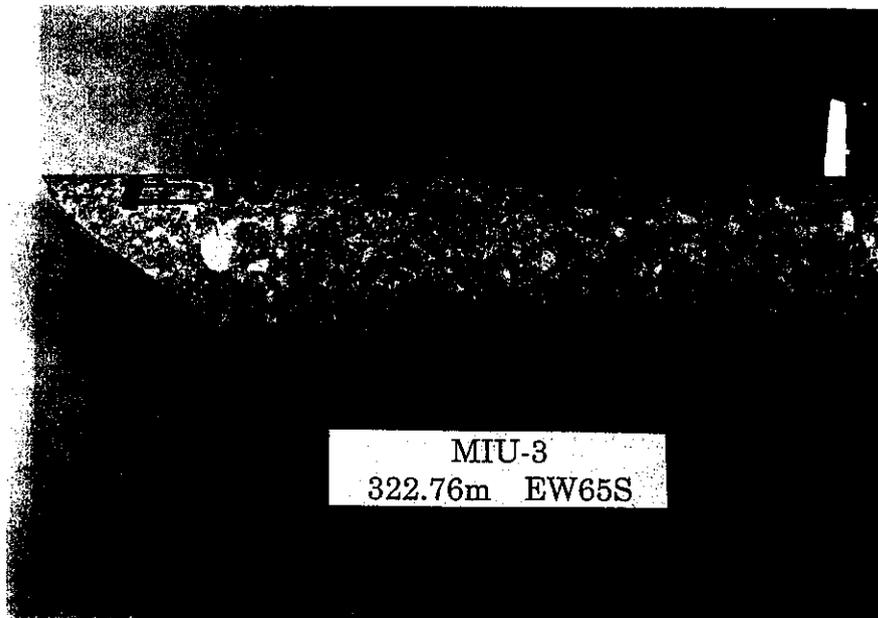


ジョイント面試験前



ジョイント面試験後

№. 18 (MIU-1孔、深度：846.18m、走向・傾斜：N57W64NE)



採取コア

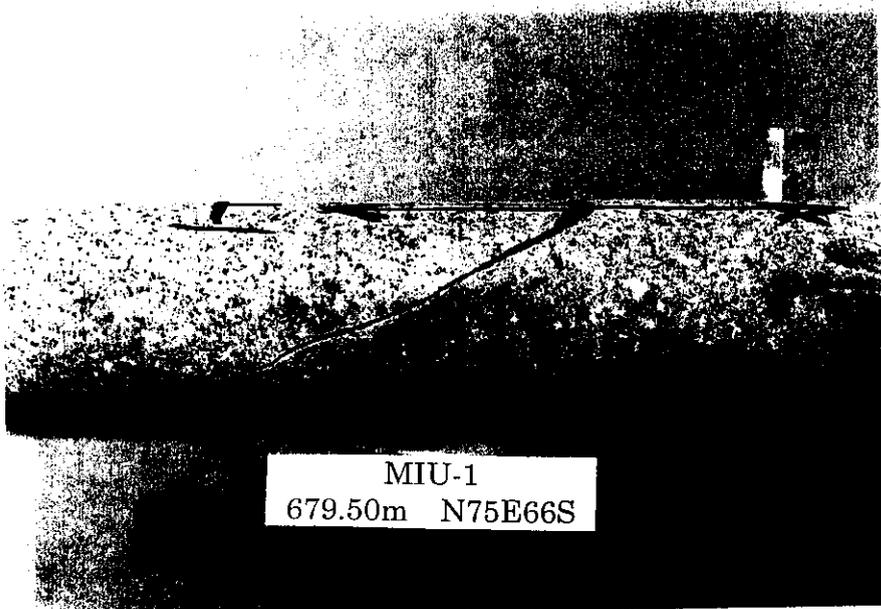


ジョイント面試験前

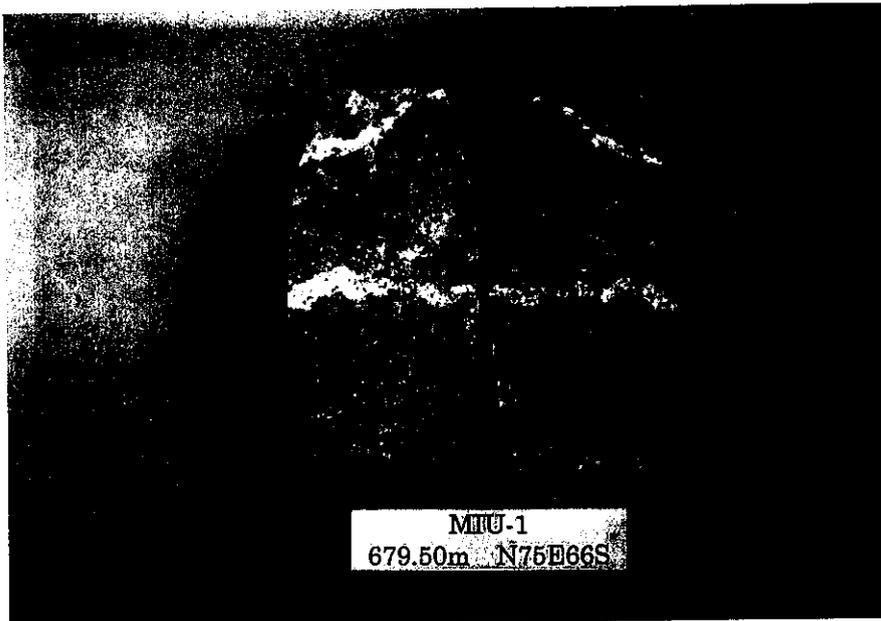


ジョイント面試験後

No. 19 (MIU-3孔、深度：322.76m、走向・傾斜：EW65S)



採取コア

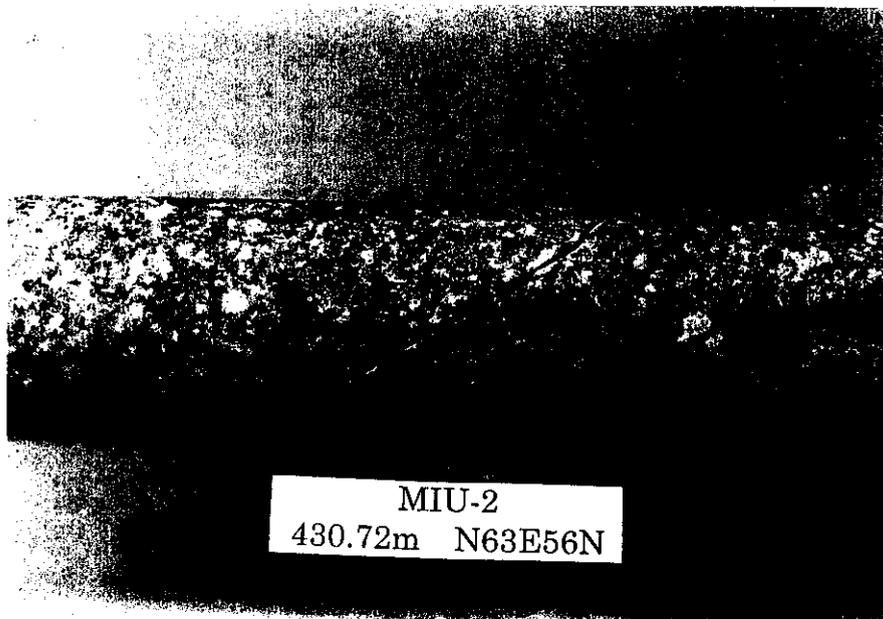


ジョイント面試験前



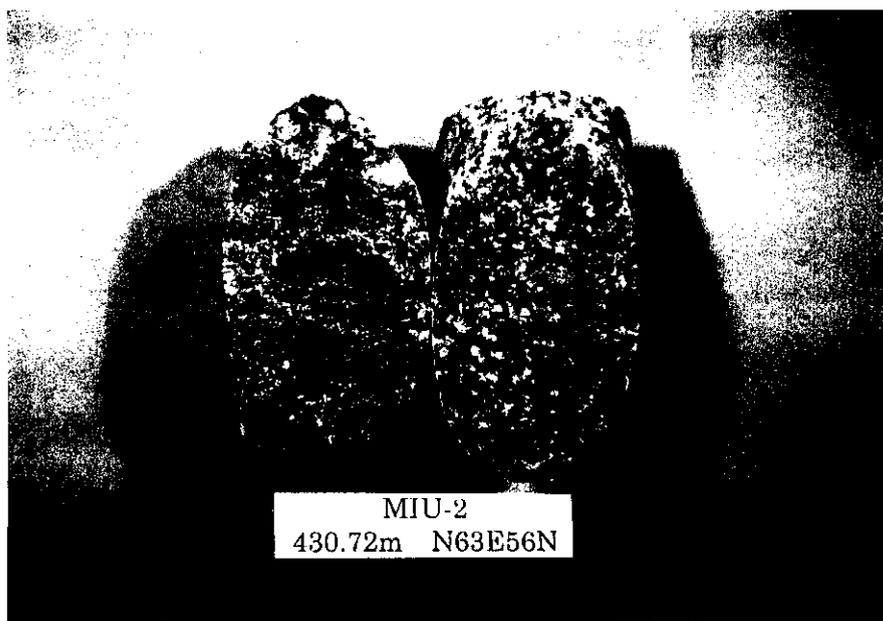
ジョイント面試験後

No. 20 (MIU-1孔、深度：679.5m、走向・傾斜：N75E66S)



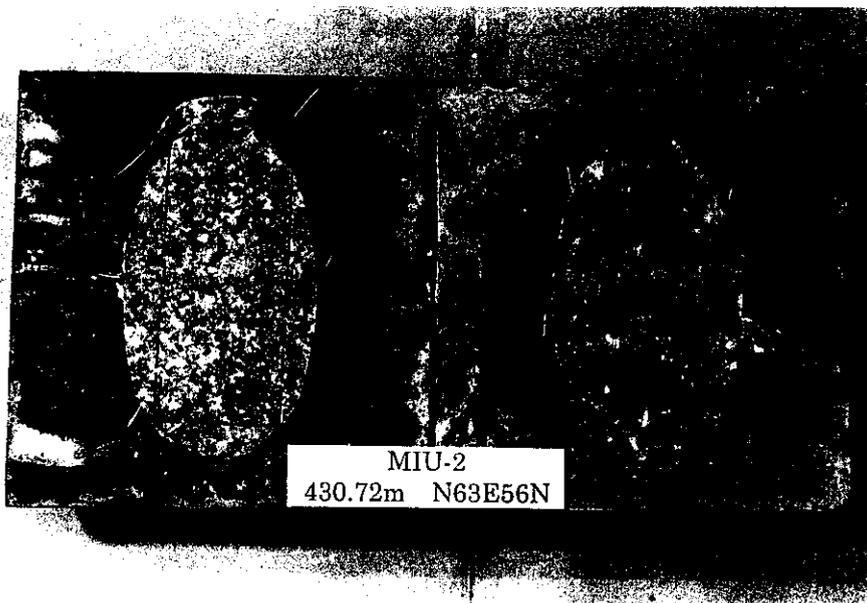
MIU-2  
430.72m N63E56N

採取コア



MIU-2  
430.72m N63E56N

ジョイント面試験前



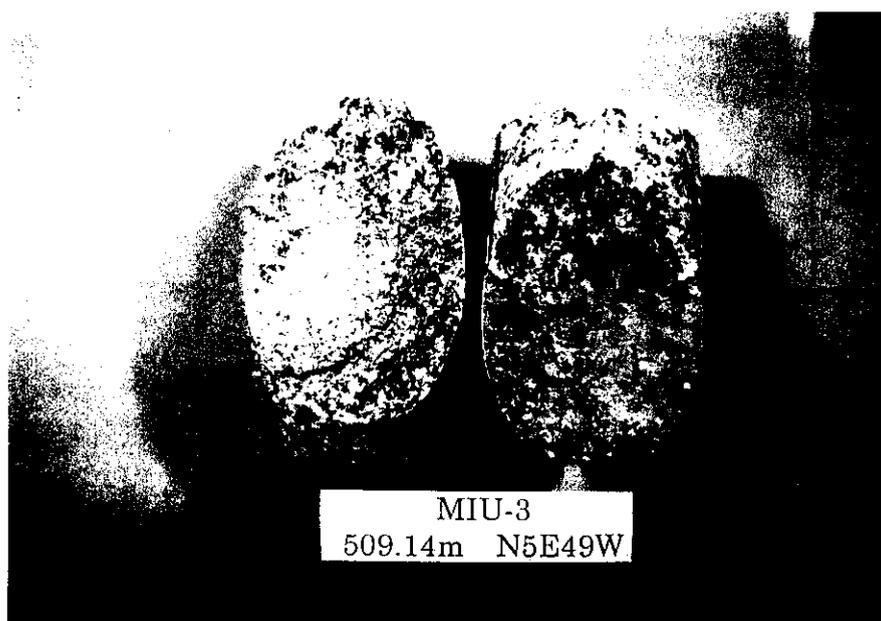
MIU-2  
430.72m N63E56N

ジョイント面試験後

No. 21 (MIU-2孔、深度：430.72m、走向・傾斜：N63E56N)



採取コア



ジョイント面試験前



ジョイント面試験後

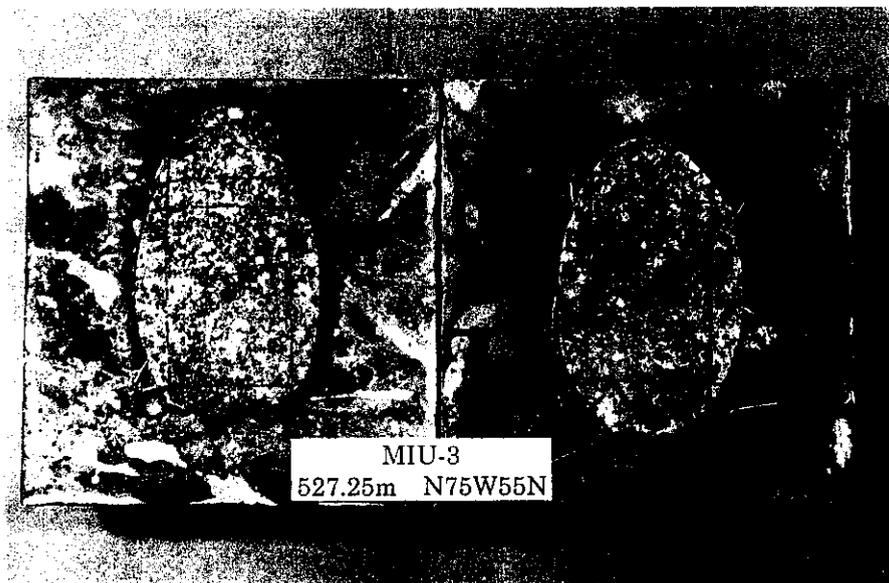
No. 22 (MIU-3孔、深度：509.14m、走向・傾斜：N5E49W)



採取コア



ジョイント面試験前



ジョイント面試験後

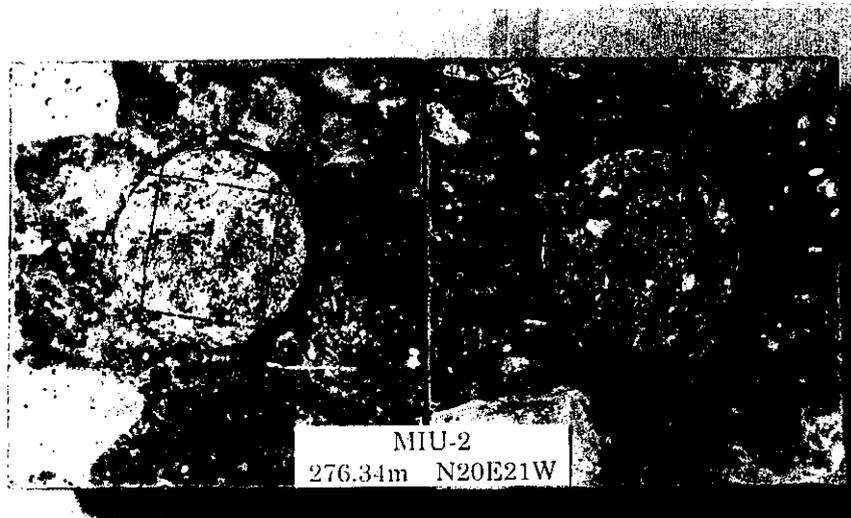
No. 23 (MIU-3孔、深度：527.25m、走向・傾斜：N75W55N)



採取コア

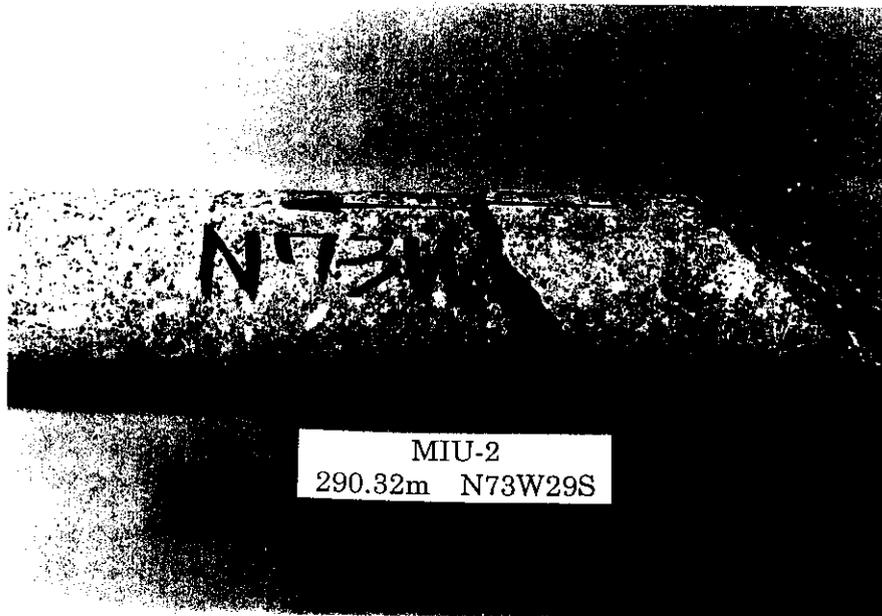


ジョイント面試験前



ジョイント面試験後

No. 24 (MIU-2孔、深度：276.34m、走向・傾斜：N20E21W)



MIU-2  
290.32m N73W29S

採取コア



MIU-2  
290.32m N73W29S

ジョイント面試験前



MIU-2  
290.32m N73W29S

ジョイント面試験後

No. 25 (MIU-2孔、深度：290.32m、走向・傾斜：N73W29S)

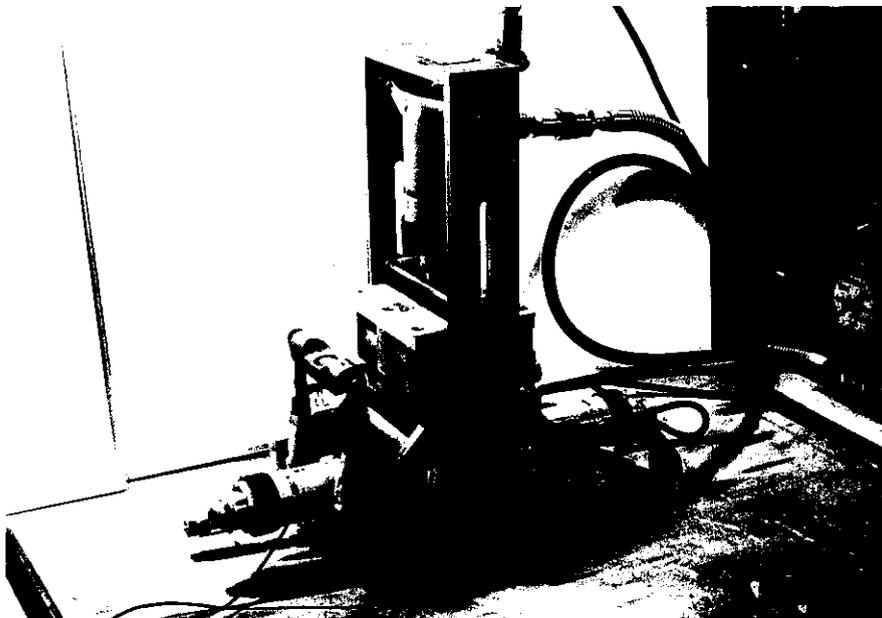
## D. 試験装置・試験方法写真



ラフネス測定状況



割れ目を含む試料のモールド整形状況



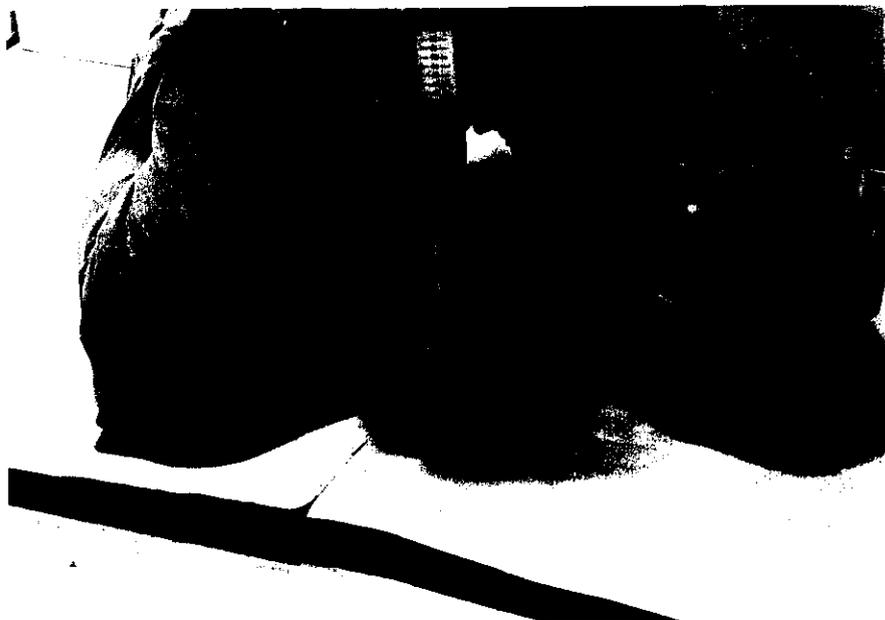
ジョイントせん断試験装置（垂直載荷試験状況）



渦電流式変位計（割れ目変位測定）設置状況



割れ目を含む試料のティルト試験状況



割れ目を含む試料の点載荷試験状況

E. ジョイントデータ (CD-ROM)