花こう岩分離面のせん断強度特性

吉中龍之進*・古田 政 美**

Joint Shear Strength of Granite

By Ryunoshin YOSHINAKA & Masami FURUTA

Abstract

In this paper we describe an experimental study of the joint shear strength of granite. The specimens used were chosen from fresh rocks (0.9% in porosity) to weathered rocks (5.6% in porosity). The area of shearing plane was about 24-46 cm². Two kinds of joint planes were prepared, the one was "rough surface" split by Brazilian tensile test, the other was "smooth surface" sawcut with a diamond blade. The result obtained with a series of direct shear tests may be summarized as follows: (1) the shear strength on both surfaces can be expressed by Coulomb's friction law within applied normal stress range shown in Figs. 3 (a)-(e), (2) friction angles of rough and smooth surfaces were measured about 35° (30°-40°), 25° (23°-28°), respectively, (3) there is no effect of weathering of rock on shearing strength as shown in Fig. 6, and (4) the amount of shearing strain to peak or maximum strength was mainly influenced by the magnitude of normal stress, shown in Figs. 4 (a), (b).

1. ま え が き

岩盤中にある大小の地質分離面（以下、分離面と呼ぶ）は岩盤の強度・変形特性に対して重要な支配要素となることは良く知られている。この意味から分離面に関する力学的性質の研究は少からず行なわれて来た。

分離面の強度（主としてせん断強度）は面を形成する鉱物の種類、面の成因に関連する面の形態、作用する応力条件、湿度などによって決る。

面の形態と応力度による強度への影響については F. C. PATTON (1966)¹⁾, E. Z. LAJTAI (1969)²⁾, LADANY et al (1969)³⁾, N. R. BARTON (1971)⁴⁾, その他⁵⁾ によって実験的研究がおこなわれ基本的な関係が明らかにされて来た。しかしこれらの研究は主として人工材料（石膏）を用いたものである。一方天然の岩石の節理面については J. C. JEAGER (1969)⁶⁾, HOSKINS, E. R. et al (1968)⁷⁾, PAULDING, B. W. (1970)⁸⁾, RENGERS, N. (1970)⁹⁾ 等が数種類の岩石供試体、あるいは岩盤について破壊規準や強度定数に関する研究をおこなっている。しかし天然の分離面は同一の岩種についても種々の風化段階によって、またシーム等の存在により実に複雑

な様相を呈して来る。したがって岩種ごとの系統的な研究が心要となる。

本文は瀬戸内地域の花こう岩の分類面が①どのような破壊規準に従うか、②風化による影響、③面の粗さによる影響、④岩石固体 (intact rock) の強度との関連について一連の実験的研究をおこなった結果について述べたものである。

なお、研究の実施に当っては、一面せん断試験器の試作について埼玉大学の小田匡寛氏、試験を遂行するについては吉田直（現大林組）、手島道人（現東京都港湾局）の両君のお世話になった。また、埼玉大学小野寺透教授には種々のご指導をいただいた。ここにこれらの各氏に厚くお礼申し上げる。

2. 試料および実験方法

2.1 試 料

試料は瀬戸内海沿岸に分布する「広島型花こう岩」を広島県因島市大浜町、岡山県倉敷市下津井から採取した。前者は赤みがあった正長石をもつ粗粒（長石は 2～5 mm 程度）の花こう岩で、後者は前者は比べ細粒（長石 1～3 mm）の優白色花こう岩である。

両地域において風化程度の異なったものを数種類採取した。実験に供した岩石の物理的性質の一例を表 1 に示す。

* 埼玉大学理工学部

** 北海道開発コンサルタント

表-1 (a) 供試体の物理的性質

試 グ ル ー プ	試験片名	面の形状	せん断面の 面積 (cm ²)	有効間隙率 (%)	シ ョ ア 硬 度	一軸圧縮強さ (kg/cm ²)	引 張 強 さ (kg/cm ²)
因-1*1	A	粗い面	38.7	4.0	41		15.2
	B	"	41.6	3.8	38		
	D	"	41.4	5.6	52		
	F	"	31.7	4.1			
	C	平滑面	32.3	4.6			
	M	"	43.0	4.0	35		
	イ	"					
	ロ	"					
	固 体	—	—	3.9	(57)*2	246	26
因-3	1	粗い面	27.4	1.2			52.7
	2	"	23.5		55		
	3	"	45.8	0.9	71		
	A	"	32.5	0.9	72		64.6
	D	"	32.8	1.4	74		
	B	平滑面	29.3	1.6			
	C	"	37.1	1.4			
	E	"	34.7	1.2	65		
	固 体	—	—	1.3	(96)	989	71.5
因-4-1	A	粗い面	21.6	3.7	38		11.2
	D	"	41.4	3.3	48		
	E	平滑面	32.2	3.8			
	F	"	38.3	3.5			
	G	"	48.5	4.2			
	固 体	—	—	3.3	(68)	358	25.0

*1 因：広島県因島市大浜町

*2 () は dry 条件, 他は wet 条件

2.2 供試体の作成

各種の風化度の天然の分離面のせん断強度の評価が目的であるが今回の実験では供試体作成の容易さ、および上記目的に至るための基礎的資料を得る目的で以下の方法による人工分離面を用いることにした。

実験に用いた分離面は「粗い面」と「平滑面」の2種類である。前者は岩塊から室内コア採取機で抜き取った直径 50 mm 長さ 50~100 mm の円筒供試体を圧裂試験で引張り破壊させて2分させて作る。このとき岩石自身の引張り強さが求まる。面は数 mm~10 mm までの凹凸と構成鉱物の粒子単位での粗さを持つ。面は長石、雲母の劈開面と主に石英の破断面からなる。面の状態を写真 1 (a) および (b) に示す。

「平滑面」は同上にして抜き取ったコアをダイヤモンド

ドカッターで縦に2分する。2分した面に刃形が残ることがあるので研磨板で刃形を消去させた。このようにして作成した面の例を写真 2 (a) および (b) に示す。

岩石試験片せん断試験機の所定のせん断箱に固定する場合は硬質石膏を用いて固定する方法をとった。石膏の養生は、試験片をせん断箱と同型の型枠に入れて流し込み、水中で一週間程度養生した。

せん断試験時の供試体は湿潤状態を保っている。

2.3 一面せん断試験機

節理等の分離面のせん断強度は岩盤のせん断強度を求める上での基本であり野外調査の一環として多数の測定値を得るべきであると云う観点から、野外調査用の簡易一面せん断試験機を試作した。

試験機の構造は E. Hock (1970)¹⁰⁾ らによる試験機の

表-1(b) 供試体の物理的性質

試 料 グ ル ー プ	試験片名	面の形状	せん断面の 面積 (cm ²)	有効間隙率 (%)	シ ョ ア 硬度	一軸圧縮強さ (kg/cm ²)	引 張 強 さ (kg/cm ²)
下-1-1*	2	粗い面	24.3	0.8	61		63
	A	"	46.7	0.9	52		49
	B	"	44.8	1.2	73		51
	D	"	45.5	0.8	53		
	C	平滑面	44.7	1.2	66		
	E	"	34.5	1.2	74		
	F	"	37.7	1.3	71		
	固 体	—	—	1.4	(100)* ²	992	66.1
下-2-3B	A	粗い面	42.9	2.4	42		4
	B	"	41.7	2.6	—		
	C	"	34.7	3.3	49		
	E	"	27.8	3.7	33		
	G	"	29.0	3.5	—		
	イ	平滑面					
	ロ	"					
	F	"	27.3	3.0	36		
	固 体	—	—	3.2	59	488	8.4

*¹ 下: 岡山県下津井*² () は dry 条件, 他は wet 条件

(a)

(b)

写真-1 圧裂破断面 (粗い面), ×1.4

(a) 因島 No. 3, (b) 下津井 No. 2-3 B

(a)

(b)

写真-2 切断面 (平滑な面), $\times 1.4$

(a) 因島 No. 3, (b) 下津井 2-3B

写真-3 簡易せん断試験機

特長を基にしたもので 写真-3 のようである。すなわち小型・軽量化するため反力をワイヤーロープで取るもの

表-2

	垂直荷重装置	せん断荷重装置
方 式	手重式分離油圧ジャッキ	手動式分離油圧ジャッキ
荷 重 能 力	5 t	10 t
計 測	ブルドン管式圧力計	ブルドン管式圧力計
最 大 変 位	20 mm	30 mm
ジャッキ形状(容量)	20 000 kg	20 000 kg
(直径)	45 mm	45 mm
(ストローク)	50 mm	50 mm

で本体と手動ジャッキ部からなる。重量は前者が約 30 kg, 後者が 17 kg である。

荷重装置の性能は 表-2 のとおりである。

せん断箱は上部可動型でせん断面積は約 70 cm^2 まで可能である。供試体の固定は先に述べたように石膏を用いおこなう。

せん断に伴うせん断箱の変位量は水平上下方向各々 2 個の $1/100 \text{ mm}$ の精度のダイヤルゲージで計測する。

2.4 せん断試験方法

垂直荷重は 1 t ピッチに設定し、各荷重段階でせん断をおこなう。すなわち同一の供試体に最初垂直荷重でせん断した後 (一定の残留強度に達するまでせん断した後), ついで 1 トンピッチで垂直荷重を上昇させ各垂直荷重段階でせん断強度を求める方式である。

したがって第 1 回のせん断でピークせん断強度を持つものはそのピークの測定値, および同一供試体における各垂直荷重に対する一連の残留せん断強度が求まる。

2.4 分離面の形状・粗さの測定

分離面の形状・粗さは平均せん断面に対する最大の凹凸性のみをノギス等を利用して求めた。形状・粗さの詳細な定量的測定方法は現在検討中であり今後の研究課題として残る。ここでは「自然節理面」と「平滑面」について測定した例を 図-1 (a), (b) に示しておく。(a) は 1 mm 程度, (b) は 0.1 mm 程度の表面うねりと粗さをもつことが判る。

図-1 岩石分離面の表面形状，試料（下津井-2）

3. せん断強度の測定結果

供試体のせん断応力—せん断変位量の関係の一例を図-2(a),(b)に示す。図は垂直荷重 σ_N をパラメータとしたものである。

「粗い面」と「平滑な面」の同上の関係には特徴的な差異が認められる。図-2(a)は「粗い面」の場合である。ここでは最初のせん断によってピーク強度を発生し、ついでせん断変位が進行すると一定の残留強度に近づく。さらに σ_N を上昇させ同様の操作を繰り返すとわずかのピークを示すか、あるいは示さない状態で最大強度（残留強度にほぼ等しい）に達する。

図-2(a) せん断力—せん断変位関係（粗い面 In.-1-B）

図-2(b) せん断力—せん断変位関係（平滑面，In.-1-M）

一方、「平滑面」はピークを生ずることなく最大値に至る。したがってピークは初期のせん断面に存在する造岩鉱物表面の粗さに基づく値であることがわかる。ついで σ_N を上昇あるいは変位を進行させると、測定 σ_N の範囲 (130 kg/cm^2 以下) では面の形状 (大きい凹凸) を残したまま各 σ_N で一定の残留強度を生じさせる。

なお粗い面は圧裂によって作成した引張破断面を密着させた状態からせん断を開始しており、この時点では圧裂面の両側の相対的ズレはゼロである。

各供試体について測定したせん断強度 τ_f - 垂直荷重強度 σ_N の関係を図-3 (a) ~ (e) に示す。黒丸印 (●) が粗い面であり、×印は平滑面、白丸印 (○) は粗い面の

図-3 (a) せん断強度特性 (Innoshima-1)

図-3 (c) せん断強度特性 (Innoshima-4-1)

図-3 (b) せん断強度特性 (Innoshima-3)

図-3 (d) せん断強度特性 (Shimotsui-1-1)

図-3(e) せん断強度特性 (Shimotsui-2-3B)

ピーク強度である。各点を連ねる線は同一供試体についての測定値を結んだものである。供試体の風化度のインデックスである間隙率、ショア硬度等は表-1に示した通りである。また同一の岩塊から取った分離面のない岩石 (intact rock) について三軸圧縮試験から求めた強度線を同図に示している。なお intact rock の強度は飽和試料を用いたものである。

各図から分離面のせん断強断は、与えた σ_N の範囲で明瞭な直線性が成立っていることが判る。このときの見掛けの τ_0 (粘着力) とせん断抵抗角, およびせん断力方向に対する供試体の平均せん断面の傾斜角 i_{av} を表-3に示す。

各 σ_N 段階で最大せん断応力に至るまでのせん断変位を図-4(a)に粗い面を図-3(b)に平滑面の場合を示している。各図における変位量 Δd は図-4(a)中に図示しているように σ_N の増分が 20~25 kg/cm² のときの

表-3(a) 測定結果考察一覧表 (粗い面)

試料 グループ	番号	測定結果 ϕ	傾斜角 (i_{av})	ϕ_r^{*1}	見掛け粘着力 C (kg/cm ²)	面の状況 (凹凸状)	岩石の C, ϕ
図1	A	40°	部分的 7~8°	32~33°	14.21	Joint が発達する 凹凸の最大最小の差 1~1.5 cm	$\phi=56^\circ$ C=40 kg/cm ²
	B	33°	1~3°	31~32°	14.8	凹凸の最大最小差 1 cm 以内	
	D	33~35°	0°	33~35°	21.5	せん在弱面見られる, 凹凸性少ない	
	F	30~31°	1~3° (逆に傾斜)	31~34°	14.5	凹凸性少ない	
図3	A	40°	0~1°	39~40°	9.0	5 mm~3 mm の凹凸差あり	$\phi=58^\circ$ C=140 kg/cm ²
	D	29°	1~2°	30~31°	34.0	凹凸性 0.5 cm 以下, せん断力と直交して分離発達	
	2	38°	0~1°	36~37°	23.0	せん在弱面により試料分離する	
	3	37~38°	1~2°	35~37°	10.5	凹凸差 1 cm 程度	
図4 1	A	41°	41°	41°	16.0	凹凸差 2~5 mm, 分離面が存在する	$\phi=58^\circ$ C=60 kg/cm ²
	D	34~35°	0°	34~35°	17.0	凹凸差 2~5 mm	
下1 1	2	33~34°	0°	33~34°	15.5	凹凸性少ない	$\phi=61^\circ$ C=145 kg/cm ²
	A	31°	2~3°	33~34°	15.5	凹凸性少ない	
	B	34~35°	0°	34~35°	13.0	凹凸差 3 mm	
	D	34°	1~2°	32~33°	6.5	凹凸差 2~3 mm	
下2 3 B	A	40°	1~2°	38~39°	5.0	せん断方向と平行, 凹凸差 5 mm 以内 せん断方向と直交, 凹凸差 1~0.5 cm	$\phi=43^\circ$ C=42 kg/cm ²
	B	25°?	0°	25°?	21.5	凹凸差 1 cm	
	C	32°	1~2°	33~34°	22.0	凹凸差 0.1~1 cm	
	E	21°	1~2°	22~23°	21.0	凹凸差 0.5 cm 程度	
	G	35°	3~4°	38~39°	26.0	凹凸差 0.2~0.3 程度	

*1 $\phi_r = \phi \pm i$, (残留強度に対する)

表-3(b) 測定結果考察一覧表 (平滑面)

試料 グループ	番号	測定結果 ϕ	傾斜角 (i)	ϕ_{μ}^{*2}	見掛粘着力 C (kg/cm ²)	面の状況	岩石の C, ϕ
因-1	C	29°	2°	27°	6	表面粉状見られる	$\phi=56^\circ$ $C=40 \text{ kg/cm}^2$
	M	32°	6~7°	25~26°	-6?	"	
	I	28°	1°(内外)	27°	2	"	
	H	25°	0°	25°	4.5	"	
因-3	B	25°	1~2°	23~24°	4	切断の段ちがい若干あり	$\phi=58^\circ$ $C=140 \text{ kg/cm}^2$
	C	27~28°	1°(内外)	26~27°	0	平滑	
	E	27°	0°	27°	1	切断の段ちがい若干見られる	
因-4	E	30°	3~4°	26~27°	5.5	切断面に亀裂面に垂直に発達	$\phi=58^\circ$ $C=60 \text{ kg/cm}^2$
	F	21~22°	2~3°	23~25°	1.5	"	
	G	29~30°	4°	25~26°	4	切断の段ちがい若干見られる	
下-1-1	E	25°	1~2°	23~24°	3	"	$\phi=61^\circ$ $C=145 \text{ kg/cm}^2$
	F	24~25°	1~2°	22~23°	6.5	切断の段ちがい顕著	
	C	24°	0°	24°	3.0	切断の段ちがい見られる	
下-2-3B	I	36°	5°	31°	1	平滑	$\phi=43^\circ$ $C=42 \text{ kg/cm}^2$
	H	26°	0°	26°	5	表面粉状体見られる	

*2 $\phi_{\mu} = \phi \pm i$, (最大せん断強度に対する)

図-4(a) 各垂直荷重段階におけるせん断変位量 (粗い面)

図-4(b) 各垂直荷重段階におけるせん断変位量 (平滑面)

変位量である。

最大強度に達するに要する変位量は面の粗さにあまり関係がなく低い σ_N (約 20 kg/cm²) では 0.6~1.4 mm, σ_N が 60 kg/cm² 以上になるとほぼ一定の 0.1~0.5 mm の変位が心要であることを示している。なお各図には供試体の間隙率を付記している。平滑面は風化の進んだ岩石ほど Δd が大きくなる傾向が認められる。

4. 実験結果の考察

本実験に使用した花こう岩の風化度は、間隙率で表示すると表-1 に示したように 0.8~5.6% の範囲にある。この程度に風化した花こう岩は新鮮な花こう岩からマサ状に風化したものまで考えた場合、どのような風化の段階にある岩石かを知る心要がある。

図-5¹¹⁾ は同時に採取した花こう岩について一軸圧縮強さ、引張強さ、および三軸圧縮試験から求めた粘着力 (τ_0) と風化の代表的インデックスと考えられる間隙率との関係を示している。

花こう岩は風化に伴って主として間隙量 (微視的キレツ等) の増大が生じその結果力学的性質が大きく劣化することはすでに報告¹²⁾した。さらに風化が進行すると

図-5 花こう岩の力学的性質

化学的変化が著しくなるが、一応軟岩程度までの硬さを考えると 図-5 の特性があるとみることができる。すなわち 3~4% までの間隙率の増大により強度、主として固結力成分で急激に減少し以後、間隙率の増大に伴って徐々に減少をする。間隙率が 10% よりも増大した場合も、この傾向は連続するものと推定される。

以上によって実験に使用した岩分の風化特性が理解される。

図-3 の (a)~(e) に示した τ_f - σ_N から求めた各分離面の強度パラメータのうち摩擦抵抗角が風化とどのような関係にあるかは 図-6 の間隙率と摩擦抵抗角との関

図-6 間隙率と摩擦抵抗角の関係

係図から求めることができる。図-6 から明らかなように分離面のせん断抵抗角には風化による変化がほとんど認められない。

「平滑面」では 23°~28°, 「粗い面」で 30°~40° (残留強度) であり平均的には前者が約 25°, 後者が約 35° である。一方、分離面を持たない岩石の内部摩擦角は、これよりかなり大きく新鮮な岩石で約 60°, 間隙率が 4% 以上になると 50°~40° へと低下する傾向がある。

以上の様に面の種類によるせん断抵抗角の差、あるいは岩石の内部摩擦角の差は、主としてせん断面における接合面のかみ合せ (interlocking) に起因する構造的摩擦成分であるといえる。

接合面でのかみ合わせがない場合は面の接触度 (Duncan の云う Joint Contact Factor の意味) が摩擦抵抗角に影響しないことは「平滑面」における摩擦抵抗角が風

化の影響を受けていないことで示されている。「平滑面」は新鮮な岩石ほど接触度が高く、風化が進んだ岩石では多くの細かい空隙やキレツのため接触度が悪くなっている。

「平滑面」で測定した摩擦抵抗角は ROWE (1962)¹³⁾, HORN, DEERE (1962)¹⁴⁾ らによる鉱物単体の飽水状態の接触面での値、すなわち石英が $23^{\circ} \sim 28^{\circ}$ 、長石が $25^{\circ} \sim 38^{\circ}$ に近く、したがって上記測定値は飽水状態における花こう岩の接触摩擦角 ϕ_{μ} にほぼ等しいものと思われる。

粗い面における摩擦角あるいは内部摩擦角はせん断面での複雑な破壊機構により上記の ϕ_{μ} に構造上の摩擦成分が付加されたものであろう。

粗い面は最初のせん断でピーク強度を生ずる。この過程でせん断の進行に伴ない初期の密着状態から部分的接触へと移行する。このとき主分離面は相対的に約 1 mm ずれている (図-4 (b))。

さらにせん断変位が進行すると一定のせん断張度 (残留強度) に低下する。この段階では、すでに分離面間の細かい (鉱物粒子面上の) 凹凸性はシルト粒子程度に破碎されている。

図-3 (a)→(e) に見られたピーク強度から残留強度への低下量 ($0.3 \sim 25 \text{ kg/cm}^2$) はこれに要したせん断力であろう。

残留強度における $\tau_f - \sigma_N$ 関係は、与えた σ_N の範囲で各例とも顕著な直線性を有しクーロン則が成り立っている。したがって見掛け上の粘着力と摩擦抵抗角 ϕ_r をもつ。 ϕ_r は ϕ_{μ} に比較して平均約 10° ($2 \sim 17^{\circ}$) 大きい。これは残留せん断面上の凹凸性による効果であり複雑な接触面上での岩石相互間の動きが総体的には平均せん断面に対し約 10° 乗り上げる動きであったと解釈できる。

この点に関しては ROWE, BARDEN, LEE (1964)¹⁵⁾ らにより発展させられた粒状体モデルのせん断強度に関するエネルギー的考察、あるいは PATTON (1966)¹⁾ の石膏モデル実験の結果とも同様の内容を持つものと考えられる。

一方、残留強度面における見掛け上の粘着力の存在についてはその解釈はせん断に伴う面の形状・粗さの測定および詳細な観察に待たなければならないが筆者の一人が行なった三角の歯形を持った石膏およびモルタルモデルの実験⁹⁾、あるいは LADANYI ら (1969)⁹⁾ の実験結果を参考にすると残留強度面においても σ_N の大きさに応じた接触面の破壊が、ピーク強度を生じない形で、すなわち進行性破壊として生じているものと考えられる。

このような見掛け上の粘着力は $5 \sim 23 \text{ kg/cm}^2$ の範囲に

あり、初期せん断によるピーク強度から残留強度への低下量に近い値を出している。

5. 結 論

花こう岩 (広島型) の分離面のせん断強度についてつぎの点が明らかになった。

1. 花こう岩分離面のせん断強度は岩石自体の風化にあまり影響を受けない。この関係は岩石の間隙率が約 6% より小さい花こう岩について成立つ。
2. 湿潤状態にある粗い面 (圧裂による引張破断面) は残留摩擦抵抗角が約 35° ($35^{\circ} \sim 40^{\circ}$)、同状態の平滑面は約 25° ($23^{\circ} \sim 28^{\circ}$) である。いずれも垂直荷重が $20 \sim 130 \text{ kg/cm}^2$ の範囲で測定した値である。
3. 粗い面の残留せん断強度は上記の垂直荷重範囲で見掛け上の粘着力を持つ。
4. 最大せん断強度に達するまでのせん断変位量は面の状態よりも垂直荷重の大きさに支配され、低い荷重では高い荷重に比べて大きな変位が必要である。

参 考 文 献

- 1) PATTON, F. D. (1966), Multiple model of shear failure in rock. Proc. 1st Cong. ISRM, 509-513
- 2) LAJTAI, E. Z. (1969), Shear strength of weakness planes in rock, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 6, 499-515
- 3) LADANYI, B. and G. ARCHAMBAULT (1969), Simulation of shear behavior of jointed rock mass, Proc. 11th Sympo. on Rock Mech., 105-126
- 4) BARTON, N. R. (1971), A relationship between joint roughness and joint shear strength, Proc. Sympo. of ISRM, Nancy, 1-8
- 5) 吉中竜之進, 萩野幸男, 新井一芳 (1972), 規則的な凸凹をもつ連続性節理面の強度的性質, 第 7 回岩盤力学に関するシンポジウム, 51-55
- 6) JEAGER, J. C. (1970), The behavior of closely jointed rock, Proc. 11th Sympo. Rock Mech. Berkeley, 57-68
- 7) HOSKINS, E. R., JEAGER, J. C. and K. ROSENGREN (1968), A medium scale direct friction experiment, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 5, 143-154
- 8) PAULDING, B. W., Jr. (1970), Coefficient of friction of natural rock surfaces, J. Soil Mech. Fdns, Am. Soc., SM 2, 385-394
- 9) RENGERS, N. (1970), Influence of surface roughness on the friction properties of rock planes, Proc. 2nd Int. Cong. ISRM, Belgrade
- 10) EOKE, E. (1970), Influence of rock structure on the stability of rock slopes, Proc. 1st Int. Conf. on stability in open pit mining, p. 49-63

- 11) 吉中竜之進 (1973), 花こう岩地盤の工学的性質, 橋梁と基礎 Vol. 7, No. 10
- 12) 小野寺, 吉中, 小田 (1972), 花こう岩の間隙の性質と力学的特性の関連, 第 4 回岩の力学国内シンポジウム
- 13) ROWE, E. W. (1971), Theoretical meaning and observed values of deformation parameters for soils, Stress Strain Behavior of Soils, 152
- 14) HORN, H. M. and DEERE, D. U. (1962), Frictional characteristics of minerals, Geotech. Vol. XII, 319-335
- 15) ROWE, P. W., BARDEN, L. and I. K. LEE (1964), Energy components during the triaxial and direct shear tests, Geotech. Vol. XIV, 247-261

(昭和 49 年 5 月 27 日受理)