

ISSN 0386—5878

土 研 資 料 第1701号

マイクロフィルム 第 号

土 木 研 究 所 資 料

岩石掘削工法に関する試験調査(第3報)

—リッパ試験機による実大実験—

昭和56年 6 月

建設省土木研究所
機 械 研 究 室

Copyright © 56年度 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

まえがき

近年、岩石掘削工法における有力な手段の一つである発破工法は、発破の使用規制、公害問題あるいは施工の安全性向上などの点から制約が加えられるケースが増加してきている。この結果、リッパ工法やトンネルボーリングマシン等の機械掘削が見直されて施工例も増加の傾向を示している。このため、機械掘削による施工可能領域は、建設機械の大形化、高出力化などの技術進歩に伴って次第に拡大してきている。しかしながら、機械掘削工法を岩石工の現場に適用する場合、系統的な調査研究資料が不十分であるため、機械の使用条件、施工能力及び経済性等については必ずしも明確にされているとはいえず、現場における担当者の経験的判断にたよって決定されているのが現状である。

一般に岩石工は、土工に比べてコストや工期が5～10倍程度にもなるのが普通であるため、工事の施工計画段階において適切な工法を選択することは、岩石工の施工では特に重要な課題となっている。こうした背景から、在来の岩石掘削工法の適用区分を明らかにするとともに省力化、能率の向上及び低公害を目指した新しい岩石掘削工法の開発が要望されている。

土木研究所機械研究室では、昭和49年度より岩石掘削工法の問題をとりあげ、代表的な機械掘削工法の一つであるリッパ工法を対象に掘削機構の解明、能率の向上及び施工領域の拡大の可能性等を検討するため、現場調査¹⁾、既存資料の解析²⁾並びに室内模型実験及び土木研究所にて新たに製作したリッパ試験機による実大実験等の試験調査を実施してきた。

本報告書は、岩石掘削工法に関する試験調査の一環として、昭和53年度から昭和55年度にわたり2次元掘削試験機及びリッパ試験機を用いた疑似岩掘削実験を実施し、リッパの掘削条件と掘削能力の相互の関係、現場における掘削能力の推定及び掘削能力の拡大について検討した結果についてとりまとめたものである。

昭和 56 年 6 月

機械研究室

室 長	沢 田 茂 良
主任研究員	太 田 宏
	前 田 孝 司

目 次

1. 調査目的及び調査概要	1
2. 実験装置	2
2.1 2次元掘削試験機	2
2.2 軟岩掘削実験装置	5
2.3 リッパロードセル	10
3. 掘削実験	14
3.1 室内模型実験	14
3.2 疑似岩試料の作成	15
3.3 実大実験	18
4. 実験結果及び考察	22
4.1 室内模型実験結果	22
4.2 疑似岩強度試験結果	25
4.3 岩の掘削機構	29
4.4 リッパ掘削力に影響を及ぼす要因	32
4.5 作業能力に影響を及ぼす要因	35
4.6 現場への適用に関する考察	40
5. 掘削能力の拡大に関する検討	46
5.1 室内模型実験による検討	46
5.2 応用例	48
6. まとめ	51
参考文献	53
附 表	
附 1 岩石掘削室内模型実験結果	55
附 2 疑似岩予備試験結果	58
附 3 疑似岩強度試験結果	61
附 4 疑似岩掘削実験結果	64
附 5 亀裂試験結果	83

1. 調査目的及び調査概要

本試験調査は、岩石の機械掘削工法の代表的なものの一つであるリップパ工法について、岩石の力学的性質と掘削時に作用する掘削抵抗力並びに掘削量などの関係を把握し、効率的な掘削のための条件及びリップパの適用限界の条件を明らかにするとともに、掘削能力を向上させ機械掘削工法の適用領域を拡大する機構について検討することを目的としている。

この目的のため、2次元掘削試験を用いて疑似岩等の模型掘削実験及び昭和53年度に完成した軟岩掘削実験装置（リップパ試験機）を用いた疑似岩の実大掘削実験を実施し、定性的及び定量的な検討を行った。

本試験調査の各年度についての実施項目及び実施内容は、表 1.1 に示すとおりである。

表 1.1 各年度の調査概要

年 度	53	54	55
実 施 項 目	1. 室内模型実験 a 掘削実験 b 衝撃付加掘削実験 (2. リップパ試験機の製作)	1. 疑似岩作成基礎実験 2. 実大実験 3. リップパロードセルの製作	1. 実大実験 2. 岩石の強度とキレツの検討 3. とりまとめ
実 施 内 容	2次元掘削試験機を用いて、自然岩及び疑似岩の掘削実験を行い、岩石の強度と掘削力の関係を調査した。 また、同様に衝撃を付加した時、上記の関係がどう変わるかを実験した。	コンクリートの混合比が疑似岩の強度に与える影響を調査した。 実大実験のため、リップパに作用する力を測定するリップパロードセルを製作した。 リップパ試験機による疑似岩掘削実験を行い、岩石強度と掘削力の定量的関係を調査した。	前年度に引き続きリップパ試験機による疑似岩掘削実験を行い、データの補充を図った。 岩石の強度がキレツの状態によって及ぼされる影響を調査し、掘削実験の結果を実現場に応用する手法について検討を行った。

2. 実 験 装 置

2.1 2次元掘削試験機

本試験機は、岩石の掘削特性を解明する目的で、岩石試験片の室内掘削実験を行うため製作されたものである。本試験機による室内実験で、岩種による掘削抵抗の定性的傾向、カッタに衝撃力を付加した場合の掘削効果等を見出す。

本試験機は、旋盤を改造したもので、カッタは掘削深さを調整できるように上下動が可能なカッタ台に固定され岩石試料を水平方向に移動させることによってカッタと岩石試料を接触させて掘削するものである。

本試験機的主要仕様を表 2.1 に、外観を写真 2.1 に示す。

表 2.1 2次元掘削試験機的主要仕様

試 料 寸 法		240 mm × 340 mm × 150 mm (最大)
最大掘削力 (水平)		1000 kg (設計値)
掘削深さ調整ストローク		200 mm
試 料 移 動 速 度		0.99 ~ 51.2 cm/s
掘 削 角 度		35° ± 5° (調整可能)
全 長		3,140 mm
全 幅		1,010 mm
全 高		2,090 mm
動力・伝達機構	無 段 変 速 機	住友バイエル変速機 5-BM マグネットブレーキ付 3.7 kW × 4 p 300 ~ 1,200 rpm
	減 速 機	東京精密ウォーム下段型減速機 LA-6 出力 3.7 kW 1/50
	ス プ ロ ケ ッ ト	RS 100 用単列 B型及びC型
	チ ェ ー ン	RS 100 用2列 B型
衝撃装置 付置	発 生 機	東洋工業ピックハンマ CA-7
	供 給 空 気 量	0.5 m ³ /min (空気圧 4.2 kg/cm ²)
	重 量	7.5 kg

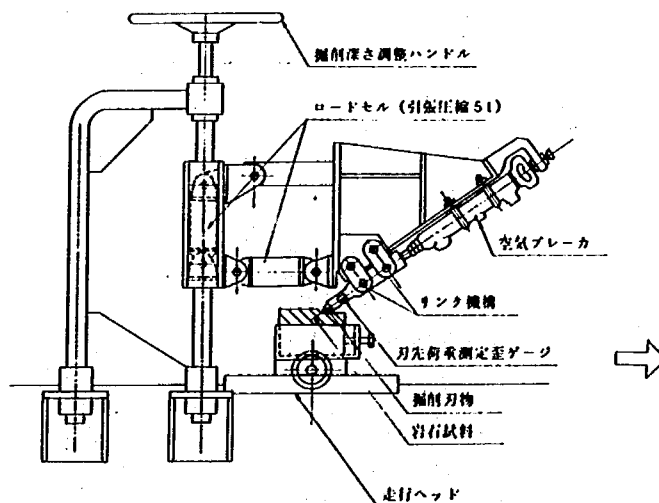


図 2.1 2次元掘削試験機の掘削部の機構

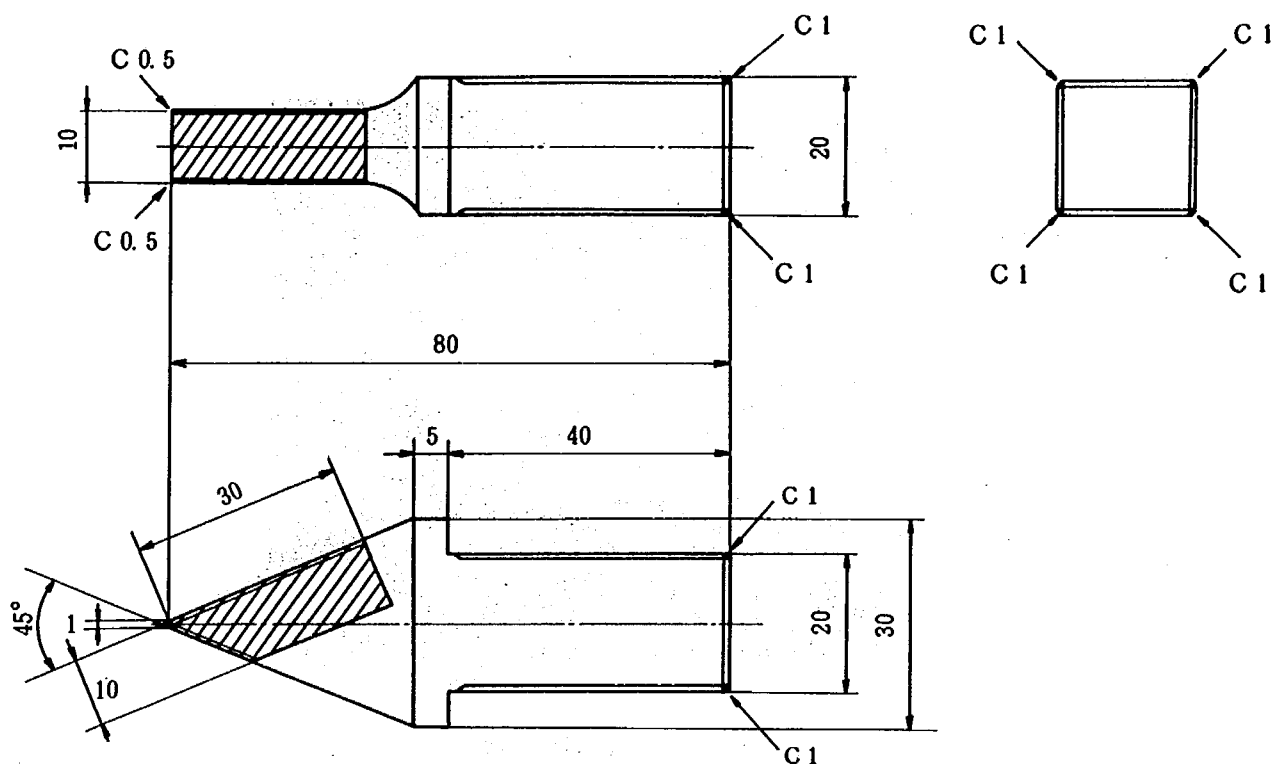


図 2.2 掘削刃物

(1) 機 構

2次元掘削機の試料掘削部分及び掘削力検出部分の機構を図 2.1 に示す。

岩石試料は、掘削機の走行ヘッドに固定され、図中の矢印の方向へ移動させる。カッタは図 2.2 の形状のものを製作し、これを試験機のカッタサポートへ（ボルトにて）固定してあり、岩石試料を掘削する。カッタサポートは架台にリンク機構によって支持されており、後記にある空気ブレーカによって、カッタに衝撃力を与えることができるようになっている。また、カッタの掘削角度は、 $\pm 5^\circ$ 程度の範囲で調整することができる。

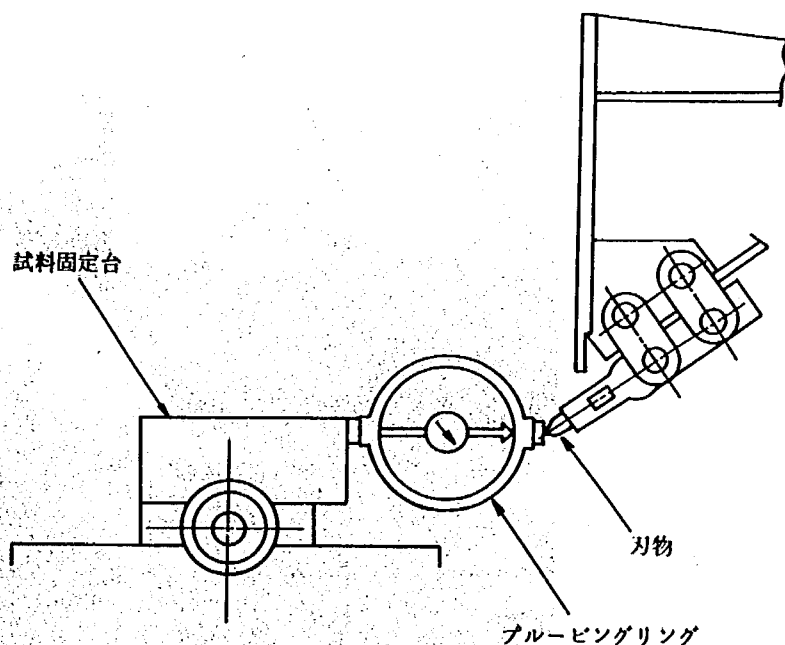


図 2.3 水平力の検定

カッタに作用する掘削力は、カッタサポートに貼付した 2 方向ひずみゲージにより検出し、また、架台に作用する力は、2 個のロードセル（引張圧縮用 容量 5t）によって検出できるようになっている。

(2) 水平力、垂直力の校正



写真 2.1 2次元掘削試験機

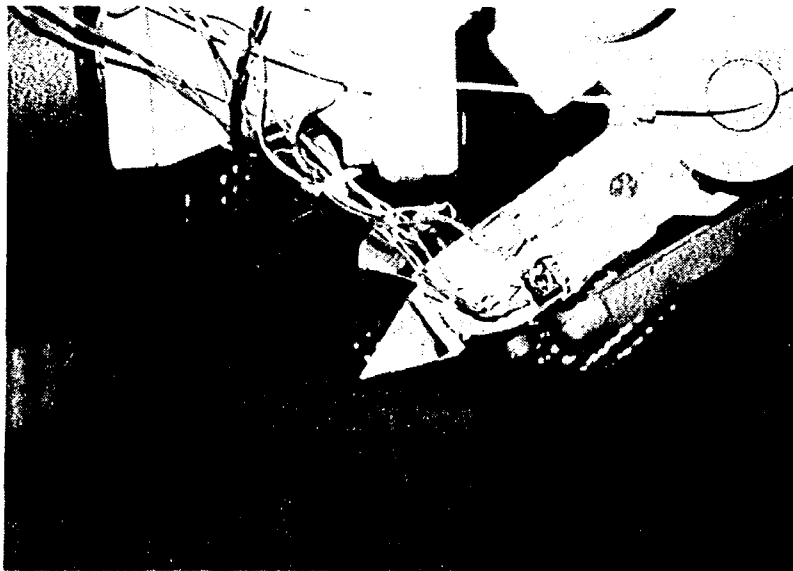


写真 2.2 ゲージ貼付状態

カッタサポート部のひずみゲージ及びロードセルについての水平力及び垂直力は、次の方法によって較正を行った。

水平力は、図 2.3 に示すように試料固定台に水平方向の反力を取り、走行ヘッドを徐々に移動させてカッタに圧力を加えてゆき、この時の荷重をプルーピングリングによって測定し、荷重とひずみゲージ及びロードセルの出力との相関を調べた。得られた水平力の較正曲線を図 2.4 及び図 2.5 に示す。

垂直力は、水平力の時と同様な方法で試料固定台に垂直反力を取り、この間に油圧ジャッキを挿入し加圧して、この時の荷重をプルーピングリングで測定した。得られた垂直力の較正曲線を図 2.6 及び図 2.7 に示す。

図に示されるように、垂直力の作用に対する水平方向のひずみゲージ及びロードセルの干渉出力がかなり表われている。

(3) 水平力、垂直力の算出

垂直力が作用した時に水平方向の干渉がかなり表われるため、掘削時のひずみ出力と較正值から直接に力を求めると誤差が大きくなるので、水平ひずみ ϵ_H 及び垂直ひずみ ϵ_V の両方から次式によりそれぞれ水平力 F_H 及び垂直力 F_V を算出した。

すなわち、次の連立方程式から F_H 及び F_V を求めた。

$$\begin{aligned}\epsilon_H &= a_1 F_H + a_2 F_V \\ \epsilon_V &= b_1 F_H + b_2 F_V\end{aligned}\quad \dots\dots\dots (2.1)$$

ここで

a_1 ：水平力に対する水平ひずみの変化率

a_2 ：垂直力に対する水平ひずみの変化率

b_1 ：水平力に対する垂直ひずみの変化率

b_2 ：垂直力に対する垂直ひずみの変化率

a_1 、 a_2 、 b_1 及び b_2 は、それぞれの較正曲線の勾配から求められる。

したがって掘削実験で得られる各々のひずみ量 ϵ_H 、 ϵ_V を用いて、各分力 F_H 、 F_V を式(2.1)によって計算できる。

2.2 軟岩掘削実験装置

本実験装置は、リッパビリティと岩質の関係を解明するために、常時一定の条件でリッパによる掘削性能試験を実大規模で実施できるよう昭和53年度に完成したものである。軟岩掘削実験装置の仕様を表 2.2 に概要を図 2.8、写真 2.3 に示す。

本装置は、可変式ジャイアントリッパ（小松D355級）を装着し、最大けん引力45 t、最大速度 6 km/h の走行が可能である。また、トラクタのパワーライン、履帯部分及びリッパ装置は市販のブルドーザ部品を使用しており、本機の基本的構成は実機のブルドーザを模して製作されている。

トラクタはフレーム構造で、左右一対の走行用電動機よりトルクコンバータ、変速機、減速機を介してスプロケットを駆動し、（実験用）テストピットの両側に敷設されているリンク、ピン上を走行する。リッパ

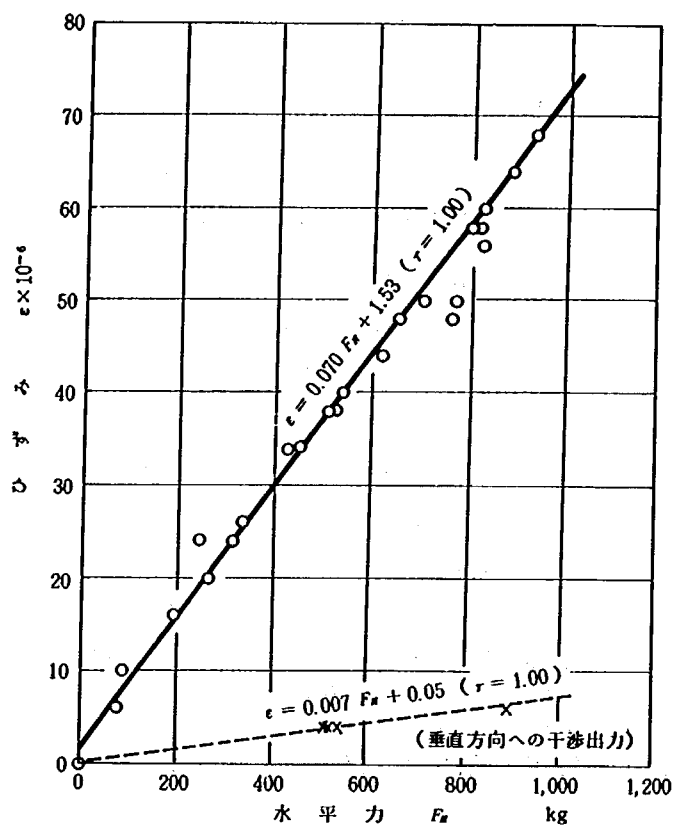


図 2.4 水平方向ひずみゲージの較正曲線

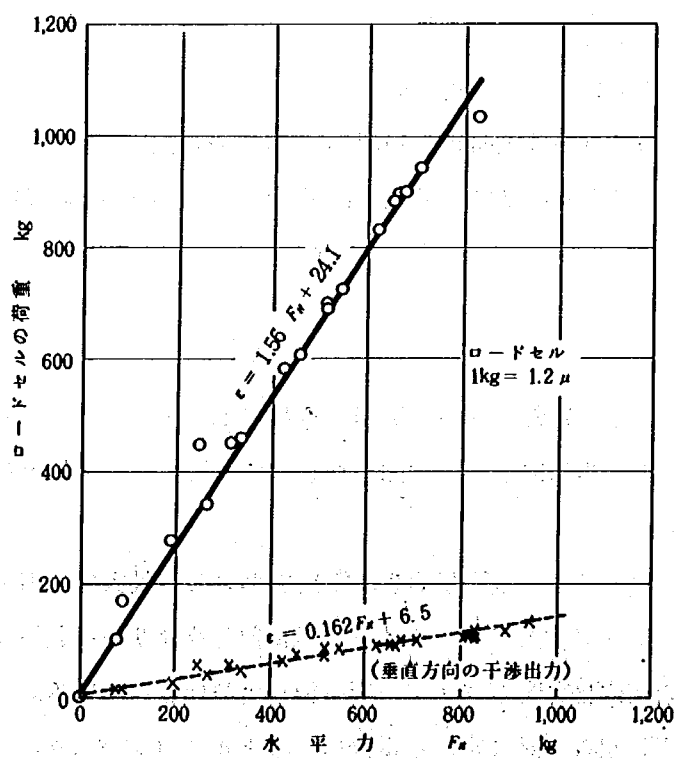


図 2.5 水平方向ロードセルの較正曲線

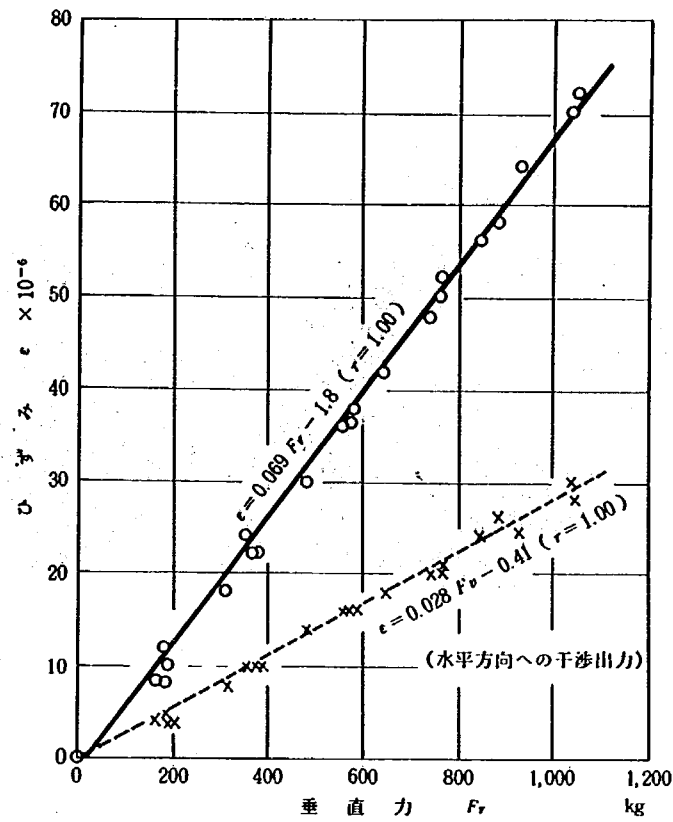


図 2.6 垂直方向ひずみゲージの校正曲線

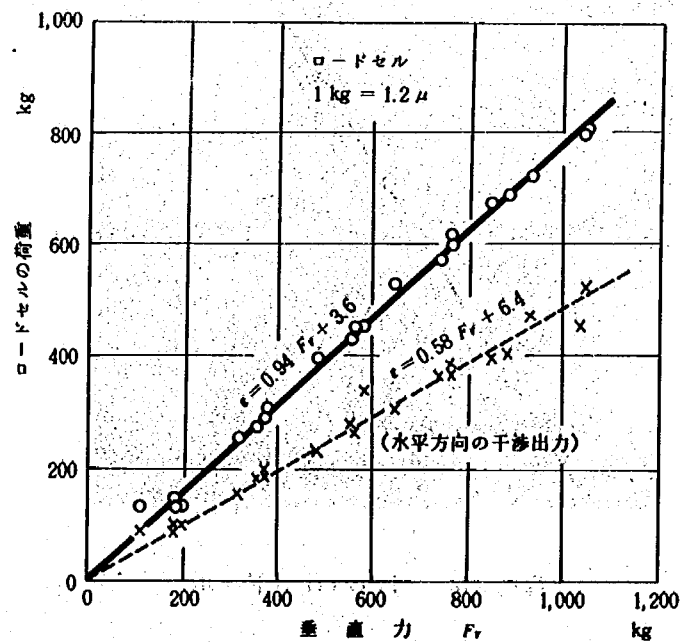


図 2.7 垂直方向ロードセルの校正曲線

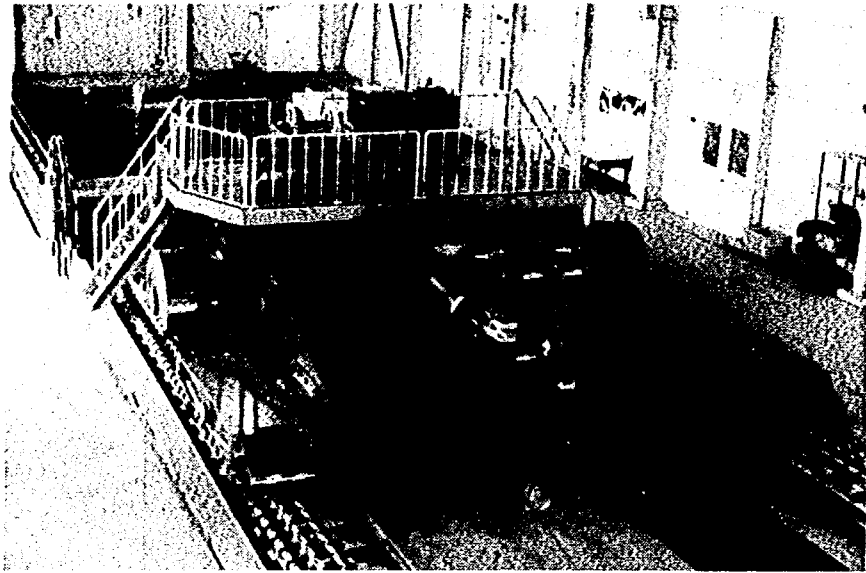


写真 2.3 軟岩掘削実験装置



写真 2.4 リップロードセル

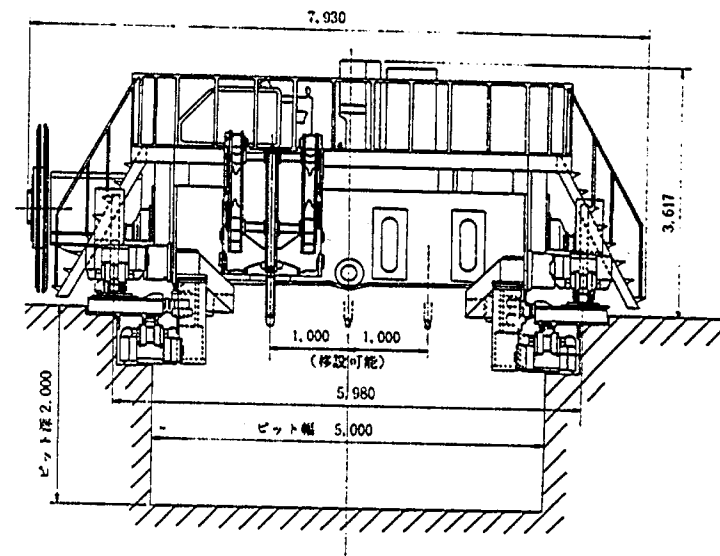
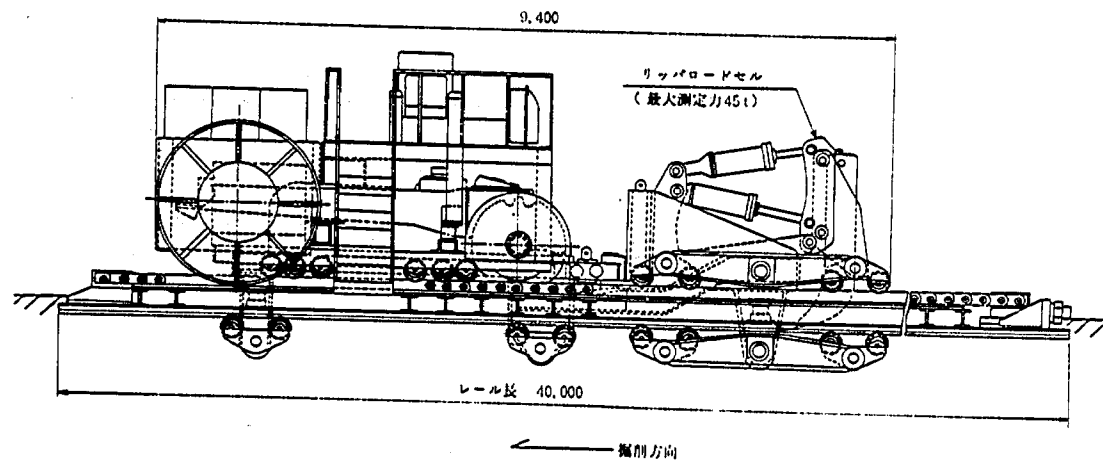


図 2.8 軟岩掘削実験装置 (リッパ試験機)

シャンクは、トラクタの後部にけん引走行されるフレームに取り付けられ、テストピット中央と、中央から左右1 mの3箇所に移設が可能である。

2.3 リッパロードセル

リッパロードセルは、軟岩掘削実験装置に取り付けたリッパシャンクが、岩石を掘削する時に受ける掘削抵抗力（水平力、垂直力）を測定するもので、トラクタ後部のフレームに4本のシリンダで上下に回転自在に連結されたフレームから、左右一対のアームを介してシャンクホルダ、シャンクが取り付けられている。リッパロードセルの構造を図2.9、外観を写真2.4に示す。

(1) リッパロードセルの原理³⁾

リッパロードセルは、岩石掘削時にシャンクが受ける抵抗力が全て図2.9に示した検出アームを通過する構造になっており、この部分にストレインゲージを貼

表2.2 軟岩掘削実験装置主要諸元

最大けん引力	45 ton
最大鉛直力	45 ton
走行速度	前進3速, 最大7.8 km/h 後進3速, " 8.3 km/h
走行距離	20 m (制動距離含む)
最大掘削深さ	1.4 m (テストピット上面より)
掘削角可変範囲	37°~61°
電動機出力	走行用電動機 3000V 132kW×2台 作業用 " " 75kW
電力供給方式	ケーブルリール式 3000 V ケーブル 41.2 mm φ リール径 2 m
寸 法	実験装置 全幅 7930 mm
	全長 9400 mm
	全高 3617 mm
	テストピット 幅 5000 mm
	長さ 40 m
	深さ 2000 mm
重 量	けん引台車 55 ton
	リッパ部分 31 ton
リッパ装置	小松 D 355級 可変式ジャイアントリッパ

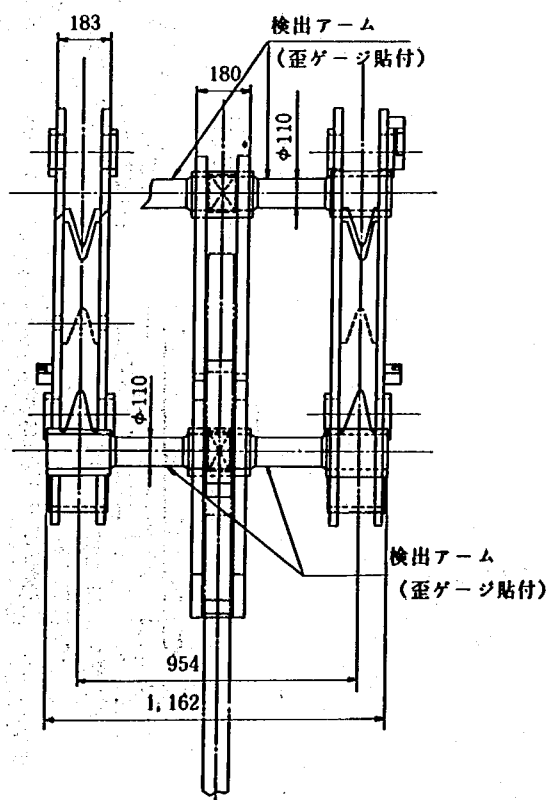
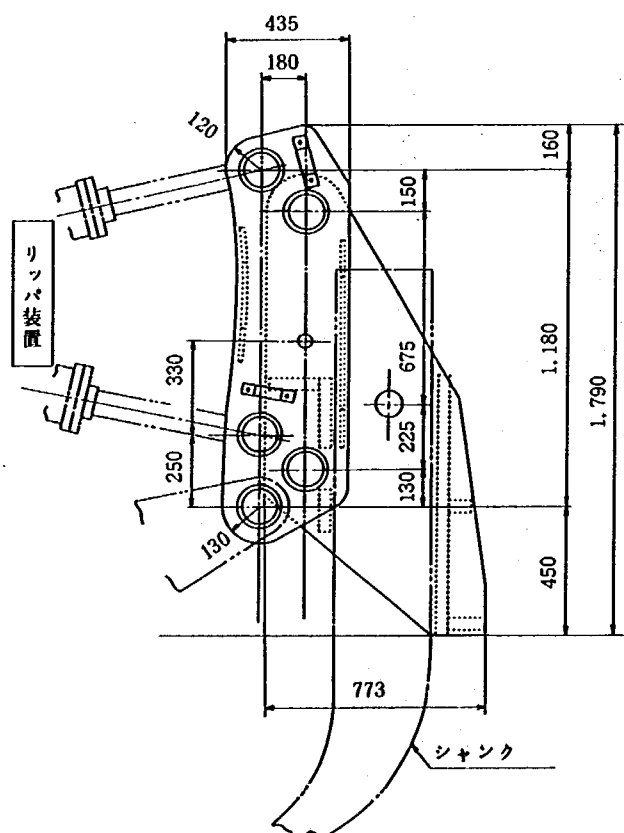


図2.9 リッパロードセル構造

付して附加される荷重とひずみ量の関係から水平力と垂直力を測定するものである。

垂直力 V を検出するためのストレインゲージの貼り付け位置を図 2.10 に、結線方法を図 2.11 に示す。検出アームにせん断力 V_1 、引張力 T_1 、モーメント M_1 、その他の振じりトルク等が加わった場合、内側のストレインゲージが受けるひずみ量を ϵ_1 とすれば図 2.10 に示される様に外側のストレインゲージのひずみ量はそれぞれ $\epsilon_1 + V_1 \cdot L / (E \cdot Z)$ となる。これを図 2.11 のように結線すると、ブリッジ回路の理論より明らかなように、 T_1, M_1 の影響を消去でき、出力として垂直力に比例した電圧が得られる。

水平力は、図 2.12 に示すストレインゲージの貼り付け位置と結線方法であり、検出する原理

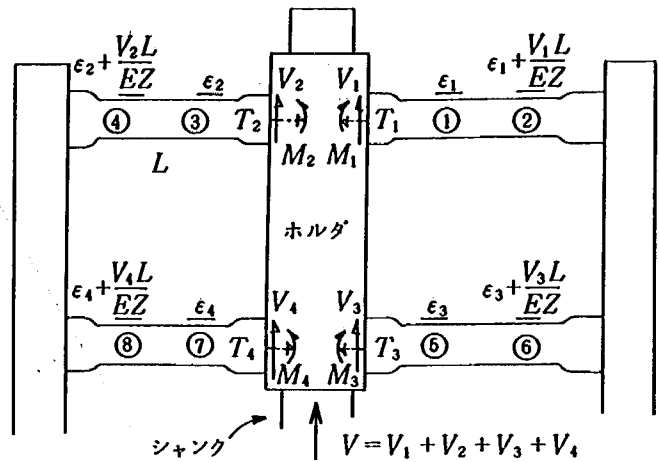


図 2.10 ゲージ貼り付け位置（垂直力検出）

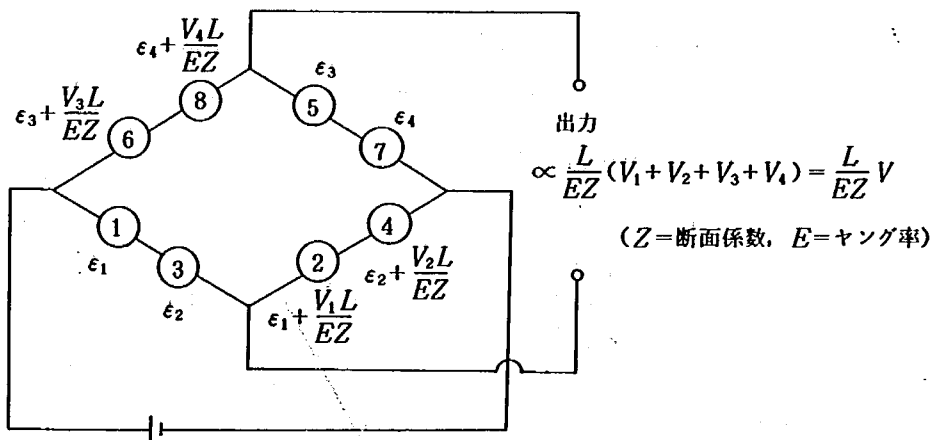


図 2.11 結線方法（垂直力検出）

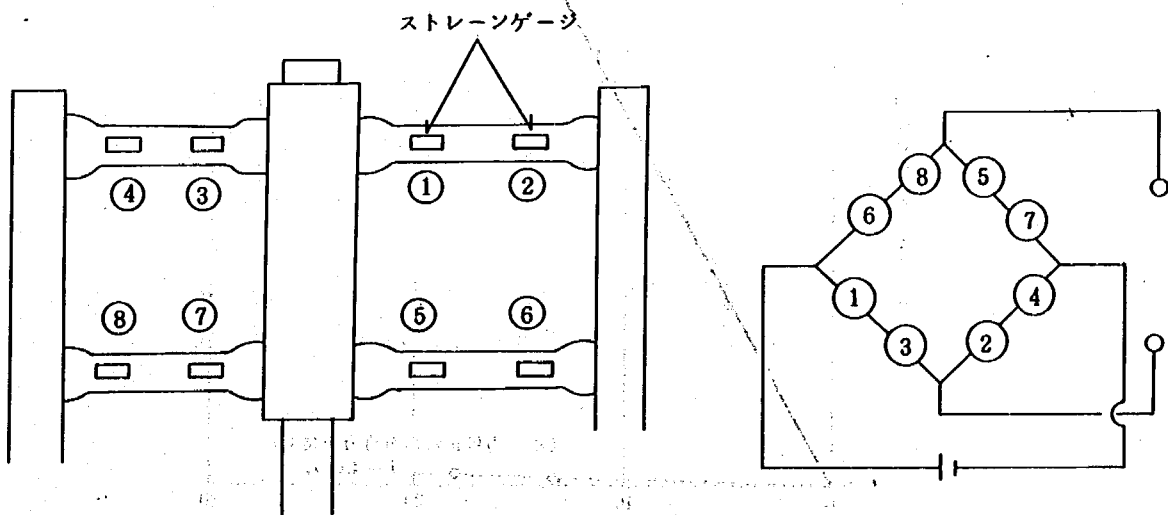


図 2.12 ゲージ貼り付け位置と結線方法（水平力）

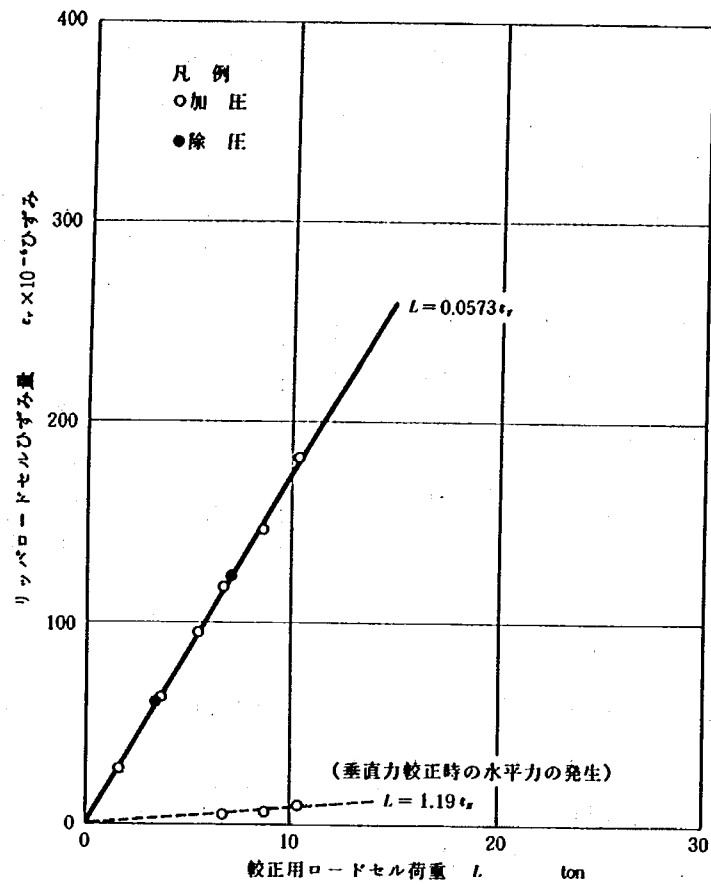


図 2.13 荷重較正曲線（垂直力）

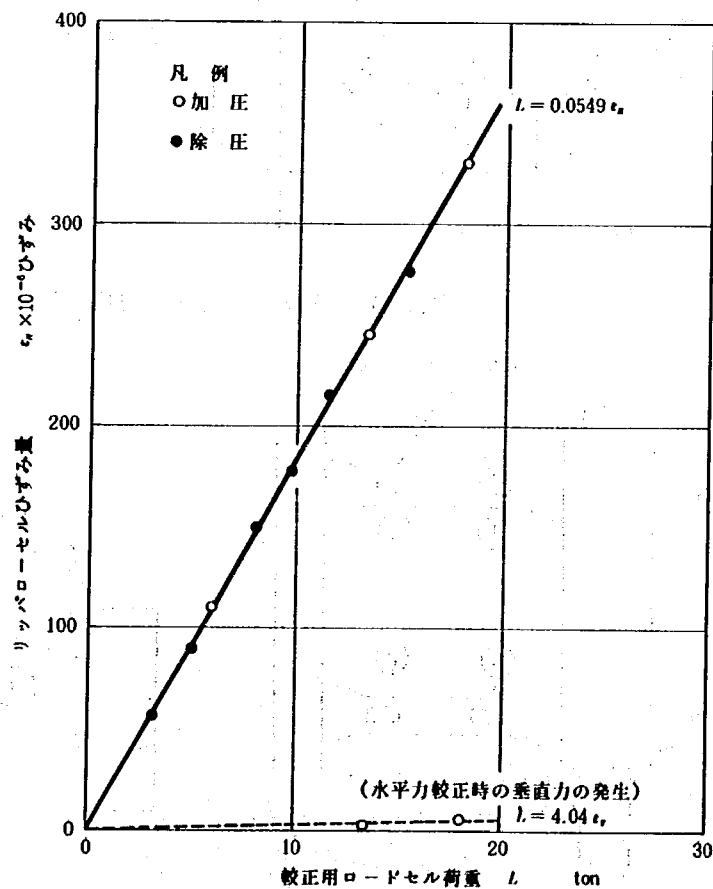


図 2.14 荷重較正曲線（水平力）

は垂直力の場合と同様である。

(2) 水平力、垂直力の校正

リップロードセルの校正は、製作後軟岩掘削実験装置に取り付け、他のロードセルを用いて既知の荷重を附加し荷重とひずみ量の関係を求めることにより校正を行った。校正に使用したロードセルの荷重とリップロードセルのひずみ量の関係を図 2.13, 2.14に示す。図より、リップロードセルは、加圧、除圧によるひずみ量の差は少なく、直線性も良好で、垂直力と水平力の干渉も少なく、前述の原理による計測が可能であることが確認された。したがって、水平抵抗力、垂直抵抗力は、図 2.13, 14で求められたひずみ量と荷重の関係より算出した。

3. 掘・削 実 験

リッパ試験機を使用する実大実験は、大がかりで多額の費用と多勢の人員を必要とするため、実大実験に先だち2次元掘削試験機による室内模型実験を行って定性的傾向を調査し、相互の関係を把握した後にリッパ試験機による実大実験を行い、定量的関係を求めることとした。

室内模型実験では、岩の種類及び力学的性質と掘削力の関係、掘削深さと掘削力及び掘削断面積の関係並びに衝撃力付加掘削における相違点などを中心に検討することとした。

3.1 室内模型実験

(1) 岩石試料

掘削実験に用いた岩石試料は、自然岩及び疑似岩を使用した。自然岩としては、大谷石、白河石及び砂岩を用い、疑似岩としては、モルタル4種類及びソイルセメント3種類を用い、合計10種類の岩石試料にて実験を行った。岩石試料の大きさは、20 cm×30 cm×10 cmである。

掘削実験に使用した岩石試料に関する物理的性質及び力学的性質を表3.1に示す。

表3.1 岩石試料の性質

試 料 名			比 重 γ	一軸圧縮強度 σ_c (kg/cm ²)	引 張 強 度 σ_t (kg/cm ²)	弾性波速度 V_p (m/s)
自 然 岩	大	谷 石	1.68	156	18	2,570
	砂	岩	2.33	474	39	2,620
	白	河 石	2.27	510	34	3,290
疑 似 岩	モ	ル タ ル A	2.09	401	39	3,940
	"	B	2.07	366	31	3,790
	"	C	2.01	285	31	3,620
	"	D	1.89	133	19	3,080
	ソ	イルセメント E	2.11	490	41	4,070
	"	F	2.16	564	47	3,990
	"	G	2.07	326	33	3,600

(2) 実験方法

掘削実験の各々の測定項目で、掘削力は動ひずみ測定器を介して電磁オシログラフに記録した。また、掘削実験の後に、掘削深さ及び掘削幅をそれぞれデプスゲージ及びノギスによって測定した。図3.1は、掘削力についての記録配線図を示す。

掘削条件としては、各々の岩石試料について掘削速度を1.2 cm/s で一定とし、掘削深を種々に変化させた。

また、同じ掘削条件でブレーカを作動させ、カッタに衝撃力を付加して掘削する実験を行い、衝撃力の付加によって、各々の測定値がどう変化するかを調査した。付加する衝撃力の波形は、図3.2に示すように約1,000 blow/min で、最大衝撃力は、カッタの軸線方向に約400 kgであった。

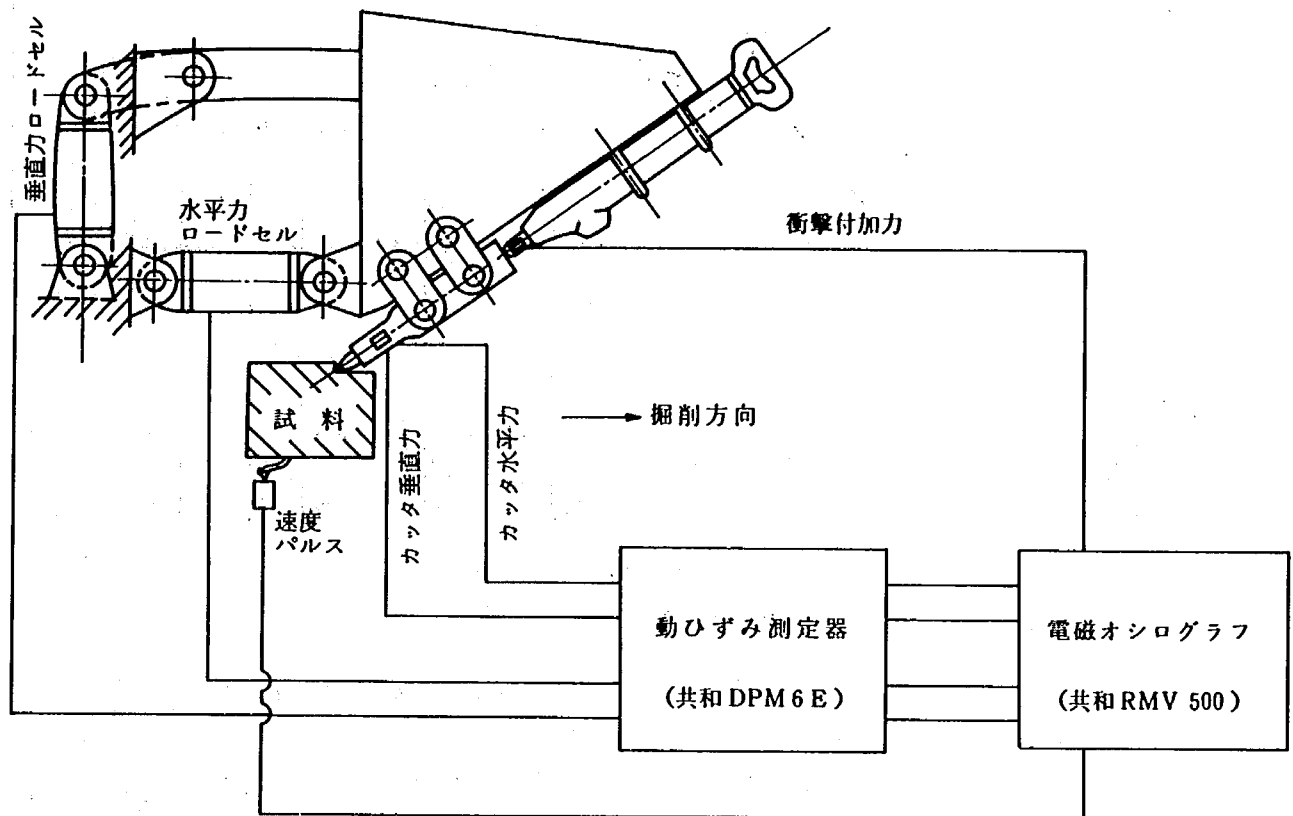


図 3.1 記録配線図

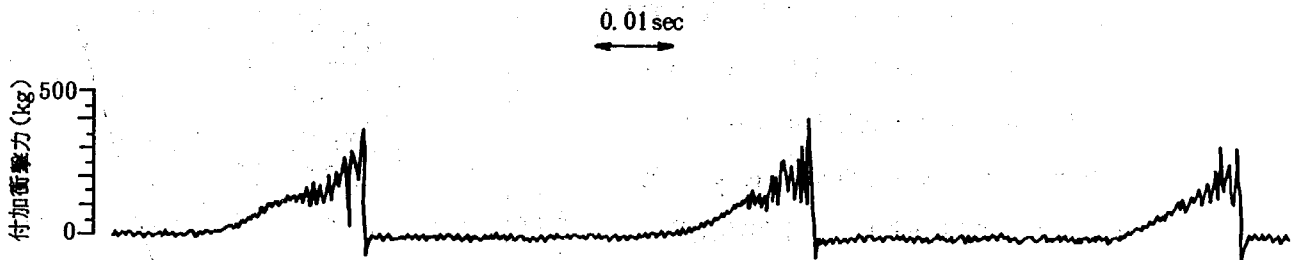


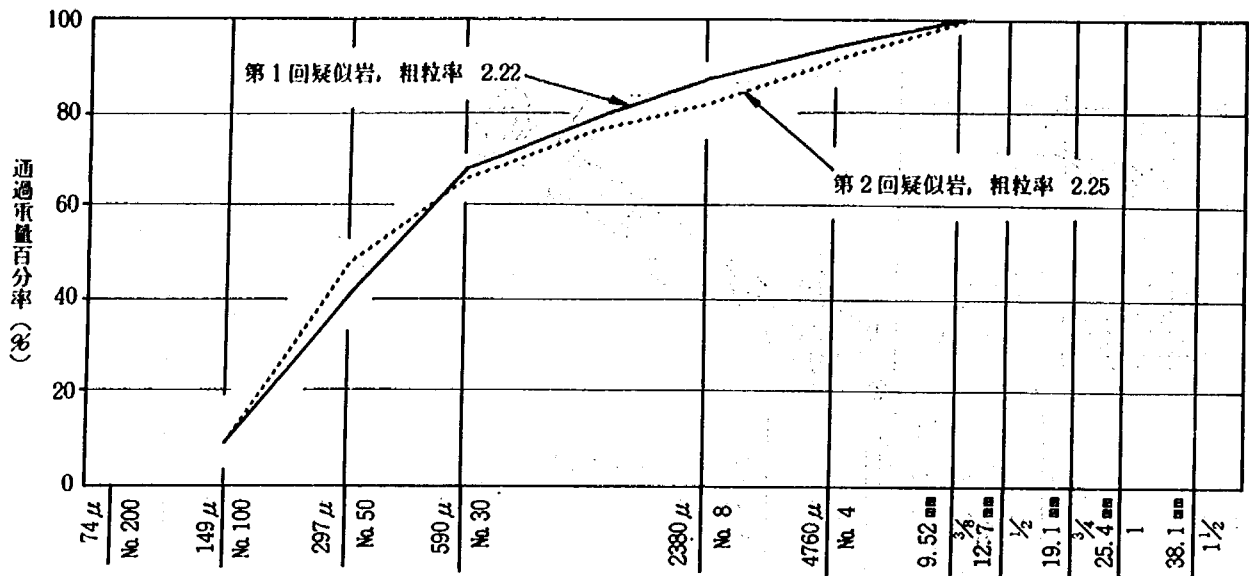
図 3.2 付加衝撃力の記録波形

3.2 疑似岩試料の作成

(1) 疑似岩の選定及び配合

疑似岩は、工事現場等で実際にリッパ掘削されている軟岩を想定して、一軸圧縮強度で $5 \sim 120 \text{ kg/cm}^2$ の範囲を目標とし、この強度を満足する疑似岩の材料として（実験用）テストピット内での施工性と強度の均一性を考慮し、貧配合のセメントモルタルを選定した。

疑似岩は、目標とする強度が一般に使用しているセメントモルタルに比べて低く、低強度モルタルとなるので、目標強度について配合を求めるため予備試験を実施した。予備試験は、鹿島砂（茨城県鹿島郡神栖町）、早強ポルトランドセメント並びに強度抑制材としてフライアッシュを使用し、セメントとフライアッシュの



フルイ目の開き
図 3.3 粒 度 曲 線

表 3.2 疑似岩の比重及び吸水量

骨 材	比 重			吸 水 率 (g)
	表 乾	見 掛	積	
第 1 回 擬 似 岩	2.595	2.702	2.556	1.54
第 2, 3 回 擬 似 岩	2.605	2.646	2.579	0.98

混合による一軸圧縮強度の関係と、養生温度による影響をテストピース (5, 10φ) を作成し調べたもので、試験結果は、巻末付録の附表 2.1 ~ 2.3 に示す。2 週間養生後の一軸圧縮強度は図 3.4 に示すようにセメント量のほぼ 2 乗に比例して増加し、フライアッシュの添加により段階的に強度が減少することが確認できた。また、養生温度が一軸圧縮強度に与える影響は、低強度モルタルほど小さくなる傾向が認められた。5 ~ 120 kg/cm² の強度範囲ではフライアッシュを用いずセメント量の調整のみで目標強度をカバーできることが判明したため、表 3.3 に示す配合で疑似岩を作成することとした。なお表中の配合は、プラントの混合性能が予備試験で行った室内混合より良く、軟かめのモルタルとなるため、稠度 (フロー値) 12 ~ 14 cm を目標に練り上りモルタルの稠度がこの範囲に入るように水-セメント比を調整したものである。

(2) 疑似岩の形状及び打設

疑似岩の形状は、軟岩掘削実験装置のリッパシャックを実験中に任意の掘削深に設定することができないために、シャックを一定の高さに保持し、疑似岩の形

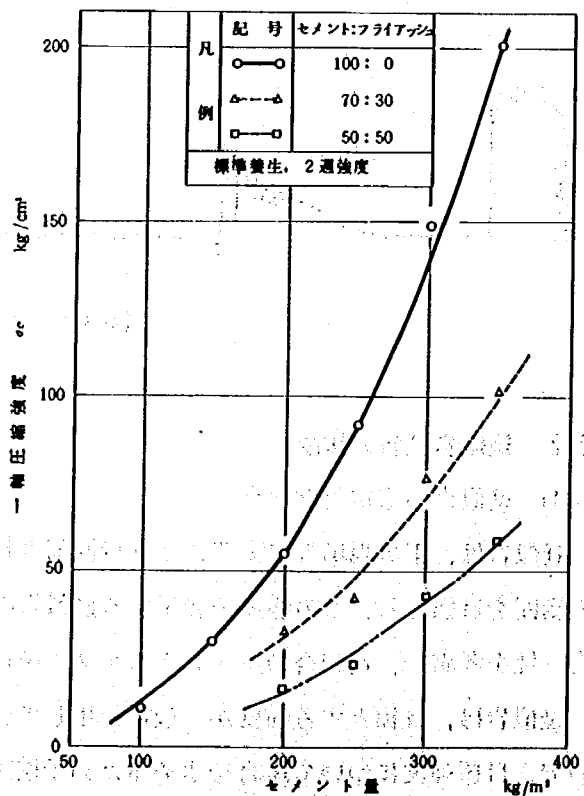


図 3.4 予備試験結果

表 3.3 疑似岩配合表

目標圧縮強度 (kg/cm ²)	5	10	20	35	40	50	65	80	100	120
セメント量 (kg/m ³)	50	78	135	165	162	195	215	212	240	258
水 量 (kg/m ³)	235	238	255	249	225	240	239	223	212	204
砂 (kg/m ³)	1,865	1,840	1,816	1,805	1,795	1,805	1,789	1,765	1,775	1,780
水セメント比 (%)	470.0	305.1	188.9	150.9	138.9	123.1	111.2	105.2	88.3	79.1
目標フロー値 (cm)	12 ~ 14									

状を変えることにより実験時の掘削深さを変化させることとした。このため疑似岩の形状を図 3.5、写真 3.1 に示す階段状とした。なお、疑似岩の底部には実験中にリップシャंकより作用する力のため疑似岩が転倒・移動することを防ぐために各強度ブロックごとにそれぞれ 5 本のアンカを設置した。

疑似岩の打設は、ダンプ運搬のセメントモルタルを、1.3 m³ のバケツに移し、これを天井クレーンで吊り上げて運搬、打設した。なお締固めはフレキシブルの棒状バイブレータで入念に行い、養生マットで表面

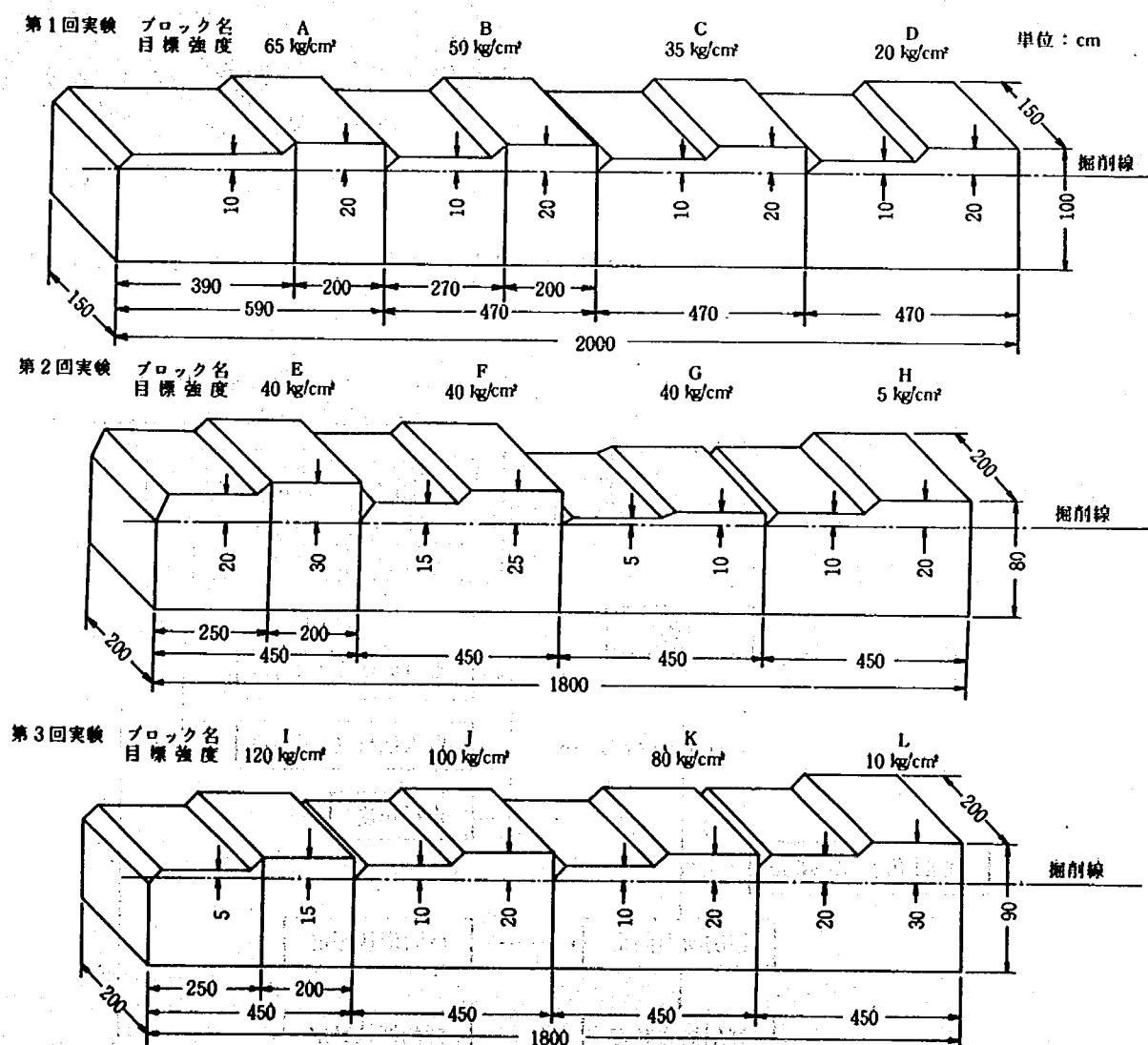


図 3.5 疑似岩形状

をおおい2週間養生を行った。

(3) 供試体の作成

打設した疑似岩の一軸圧縮強度と弾性波速度を確認するために、疑似岩の打設と並行して目標強度の異なるブロックごとにコンクリートサンプルを採取し、JIS A 1132 に定められている直径 5 cm、長さ 10 cm の円柱供試体を 6 個ずつ作成し、3 個を疑似岩の養生と同じ温度（現場）で水中養生し、残り 3 個を 20℃ の水中で標準養生を行った。また、疑似岩の掘削実験終了後さらに各強度ブロックの破砕片を取り出し、カッタで切断整形して、直径 5 cm（第 1 回実験時は 10 cm）の切取供試体を 3 個ずつ作成した。なお一軸圧縮強度 5 kg/cm² の疑似岩は、脆くて切断により崩れてしまうため土の三軸圧縮試験の供試体整形に用いるワイヤソーでこれを整形し供試体を作成した。

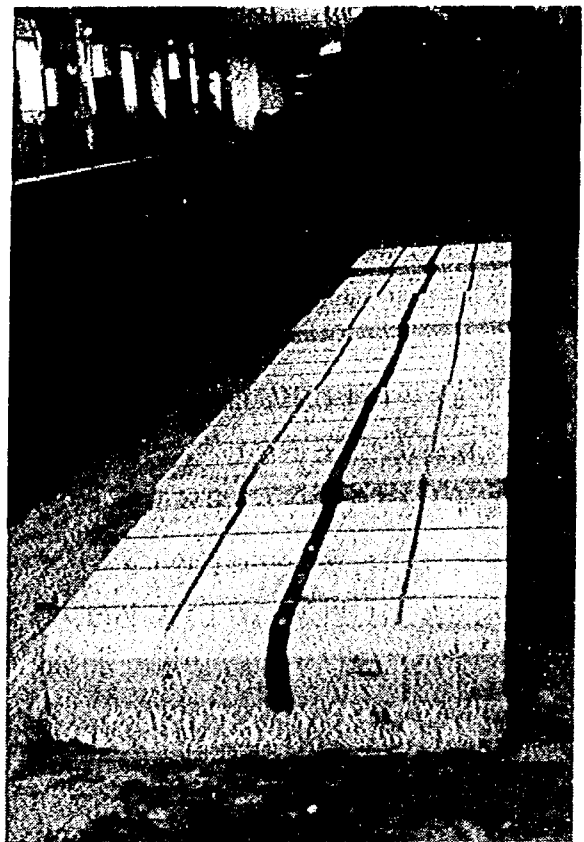


写真 3.1 疑似岩形状（第 3 回実験）

3.3 実 大 実 験

実験は、リッパシャングのスクイ角を 47° に設定し、軟岩掘削実験装置の走行第 1 速で図 3.5 の疑似岩形状に示した圧縮強度、掘削深について図 3.6 に示すフローチャートに従って実施した。

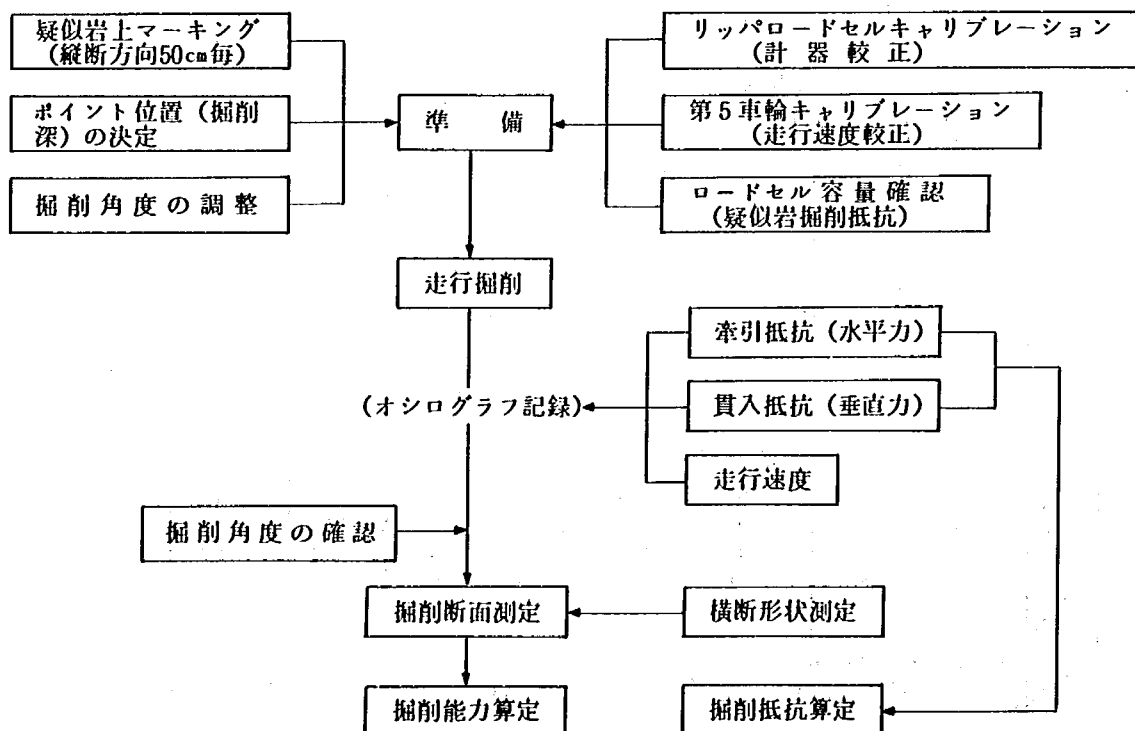


図 3.6 掘削実験フローチャート



写真 3.2 掘削後の疑似岩（第 1 回実験）

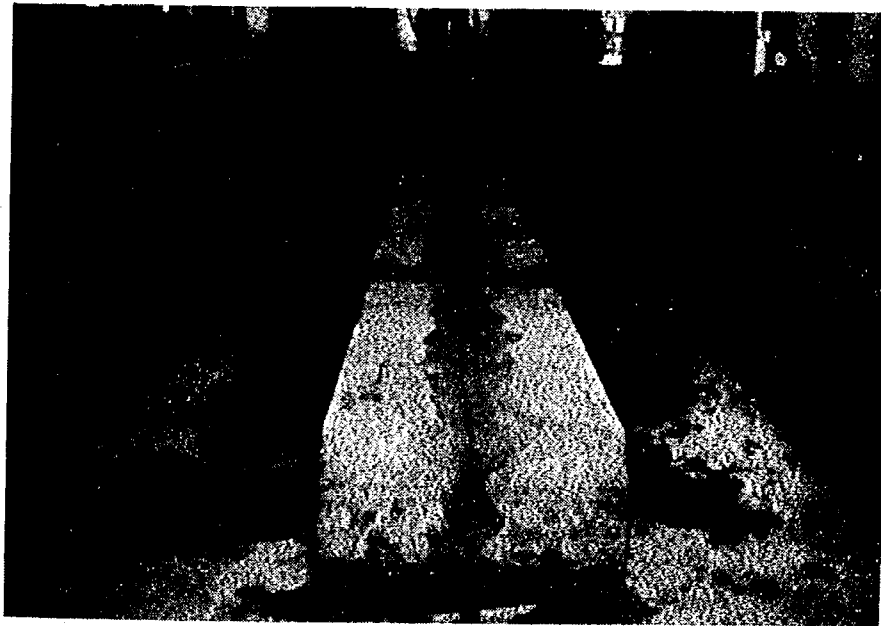


写真 3.3 掘削後の疑似岩（第 1 回実験）

(1) リッパ作用力

疑似岩掘削時にリッパシャックに作用する力を、リッパロードセルにより水平力、垂直力に分け動ひずみ測定器で計測、電磁オシログラフで記録した。水平力、垂直力は、後述する疑似岩の掘削機構が亀裂形掘削であることが確認されたため、記録されたのこぎり型波形の頂点を読みとり、この平均として算出した。

(2) 掘削断面積

掘削実験終了後破壊された疑似岩を取りのぞき、図 3.7 に示すように横断方向 2.5 cm（第 1 回実験は 5 cm）おきに疑似岩上面の基準線からの深さを測定し、図 3.8 に示した 2.5 cm おきの深さ H_1 , H_2 , H_3 ... H_n から断面を台形に近似させ次式により掘削断面積を求めた。

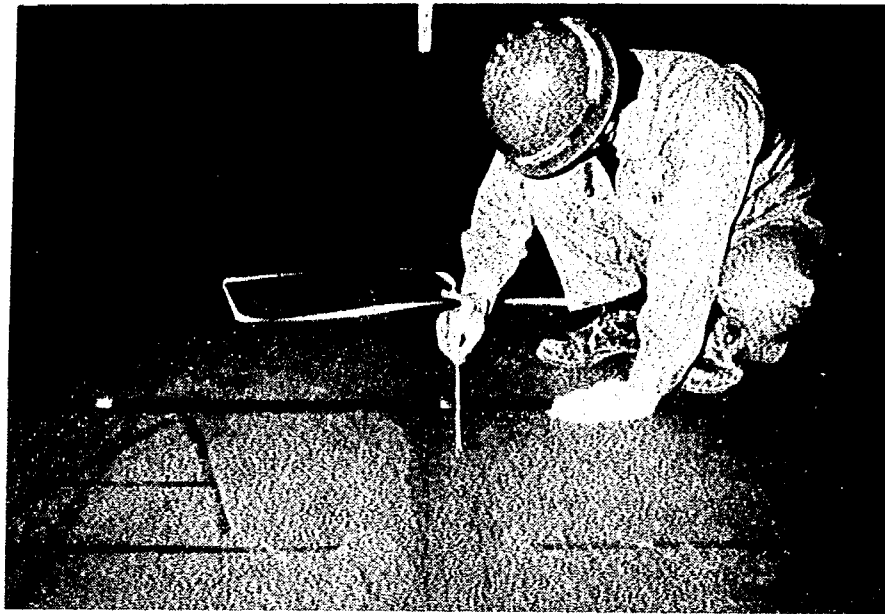


写真 3.4 断面積測定状況

$$A = \frac{\alpha \cdot H_1}{2} + \frac{\ell (H_1 + H_2)}{2} + \frac{\ell (H_2 + H_3)}{2} \dots \dots \dots \frac{\ell (H_{n-1} + H_n)}{2} + \frac{\beta \cdot H_n}{2} \quad (3.1)$$

ここで、 α 、 β は測定線端部にでてくる端数

(α 、 $\beta \leq 2.5 \text{ cm}$)

以上の掘削断面積を、一軸圧縮強度、掘削深さの条件
が同じブロックで縦断方向50 cm おきに3～4箇所ずつ
求めた。

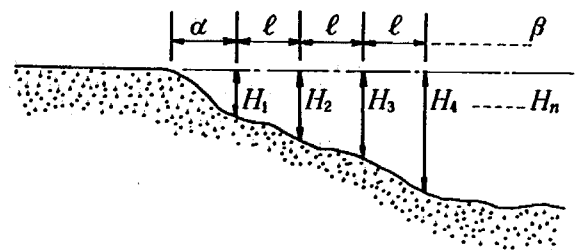


図 3.7 掘削断面積の求め方

(3) 掘削深

掘削断面積の算出で求めた2.5 cm
おきの H_1 、 H_2 、 H_3 …… H_n の最大値を
掘削深とした。

(4) 掘削幅

リップパシヤンクにより破壊された疑
似岩上面の幅を縦断方向50 cm おきに
測定して掘削幅とした。

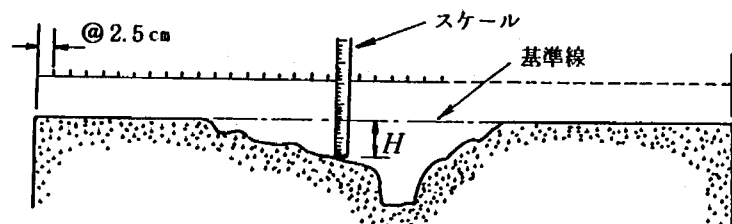


図 3.8 掘削横断形状の測定

(5) 掘削速度

軟岩掘削実験装置に取付けた速度測定用第5輪による計測と、リップパシヤンクの掘削長さ
と掘削に要した時間より、一軸圧縮強度、掘削深別に単位長当りの平均掘削速度を求めた。

(6) 強度試験（一軸圧縮強度、弾性波速度）

3.2(3)で作成した供試体について、超音波発生装置により超音波パルス
を供試体に与え、その伝達時間と供試体の長さより弾性波速度（縦波の速度、 V_p ）
を求めた。また、その後アムスラー型万能試験機（20 t）

で、JIS A 1108 に定められているコンクリートの圧縮強度試験に準じ、一軸圧縮強度を測定した。

(7) 掘削量^{*}

当該ブロックの時間当り掘削量 Q を掘削断面積 A と掘削速度 v から次式により求めた。

$$Q = \frac{(A_1 + A_2 + \cdots + A_n)}{n} \cdot v \quad (3.2)$$

ここで n ：同一条件での掘削断面積測定回数 $n \geq 4$

4. 実験結果及び考察

4.1 室内模型実験結果

図4.1は、2次元掘削試験機を用いた室内模型実験の記録波形の一例である。掘削抵抗力の変化から、これらは亀裂形掘削であることが分るため、掘削力は、平均的なひずみの極大値を読み取り、式(2.1)より計算して求めた。

上述の方法で実験結果を整理してみると、掘削力(水平及び垂直とも)は、ほぼ掘削深さに比例して増大

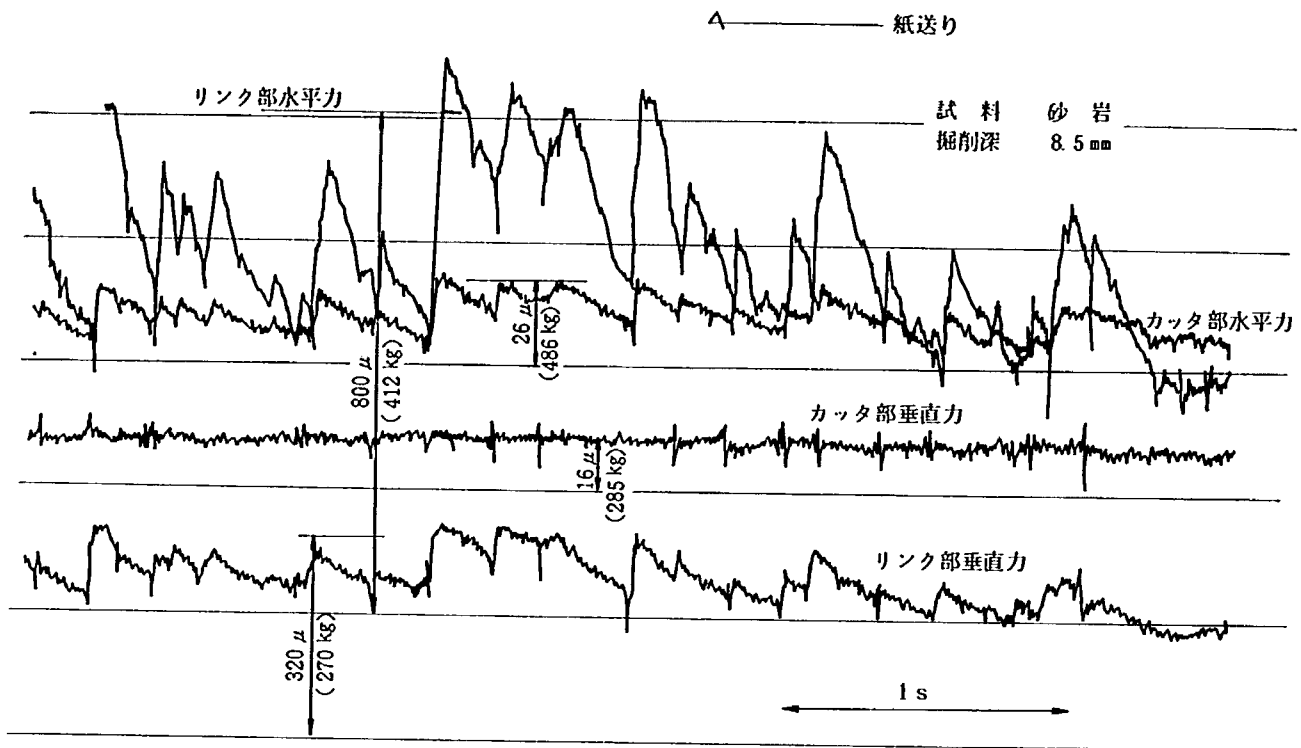


図4.1 掘削抵抗力記録波形



写真4.1 室内模型実験後の岩石試料

する傾向がみられ、両者の相関を調べたところ、カッタビット部及びリンク機構部に作用する掘削抵抗力と掘削深さの関係は、表 4.1 に示すような結果が得られた。

表 4.1 掘削抵抗力と掘削深さの相関

作用点	岩石名	水平抵抗力 F_H		垂直抵抗力 F_V	
		相 関 式	相関係数	相 関 式	相関係数
カッタビット	大 谷 石	$F_H = -18 + 24x$	0.96	$F_V = 24 + 5.2x$	0.67
	砂 岩	$F_H = 122 + 43x$	0.99	$F_V = 129 + 18x$	0.98
	白 河 石	$F_H = 38 + 51x$	0.93	$F_V = 40 + 19x$	0.95
	モ ル タ ル A	$F_H = 55 + 38x$	0.91	$F_V = 82 + 11x$	0.83
	" B	$F_H = 56 + 37x$	0.97	$F_V = 90 + 10x$	0.85
	" C	$F_H = 58 + 36x$	0.97	$F_V = 56 + 9.3x$	0.87
	" D	$F_H = 22 + 20x$	0.99	$F_V = 30 + 2.2x$	1.00
	ソイルセメント E	$F_H = 85 + 38x$	0.99	$F_V = 112 + 11x$	0.80
	" F	$F_H = 87 + 42x$	0.98	$F_V = 96 + 14x$	0.90
	" G	$F_H = 45 + 39x$	0.95	$F_V = 60 + 10x$	0.91
リンク機構	大 谷 石	$F_H = 15 + 18x$	0.94	$F_V = 44 + 2.9x$	0.75
	砂 岩	$F_H = 110 + 38x$	0.95	$F_V = 181 + 11x$	0.94
	白 河 石	$F_H = 49 + 43x$	0.97	$F_V = 110 + 18x$	0.99
	モ ル タ ル A	$F_H = 58 + 33x$	0.84	$F_V = 162 + 4.6x$	0.84
	" B	$F_H = 25 + 36x$	0.97	$F_V = 121 + 5.3x$	0.69
	" C	$F_H = 67 + 27x$	0.93	$F_V = 93 + 5.2x$	0.95
	" D	$F_H = 32 + 18x$	0.96	$F_V = 55 + 1.7x$	0.71
	ソイルセメント E	$F_H = 71 + 34x$	0.98	$F_V = 126 + 11x$	0.93
	" F	$F_H = 84 + 37x$	0.99	$F_V = 127 + 13x$	0.97
	" G	$F_H = 49 + 32x$	0.95	$F_V = 93 + 7.2x$	0.79

F_H : 水平抵抗力 (単位 kg)

F_V : 垂直抵抗力 (単位 kg)

x : 掘 削 深 (単位 mm)

表 4.1 から分るように、掘削抵抗力には、掘削深 x に依存しない一定の抵抗力と掘削深に比例して増加する抵抗力に分けて考えることができ、そのうち、一定の抵抗力は、水平力、垂直力ともおよそ 40 ~ 120 kg と、掘削抵抗力のかなりのウェートを占めており、垂直力については特に顕著に現われている。また、岩石試料が硬いほどこの一定の抵抗力は大きくなっている傾向が判る。

この一定の水平抵抗力は、カッタの刃先の岩石試料との間の摩擦力によるものと考えられる。すなわち、刃先に作用する水平抵抗力は、図 4.2 のように、岩石のせん断応力の水平成分と刃先が岩石の表面をこする時の摩擦力の合力によって

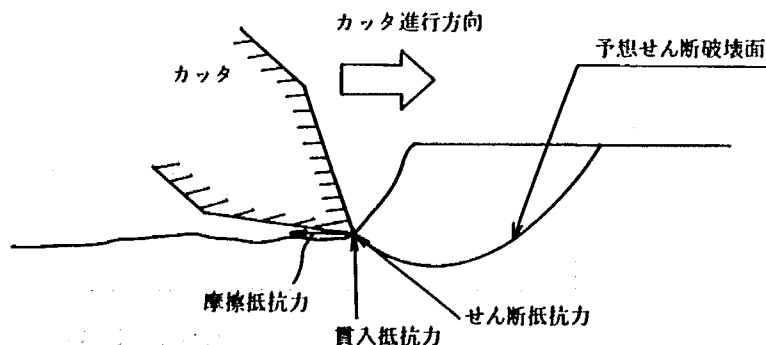


図 4.2 岩石のせん断破壊

いるためと考えられ、せん断応力は、掘削深が大きくなればそれだけ増加するが、摩擦力は、刃先の形状と岩石の力学的性質によって決まり、掘削深にはあまり大きな影響を受けないと想像される。

また、一定の垂直抵抗力は、刃先が岩石に食い込むための貫入力の主であると考えられる。この垂直力も刃先の形状と岩石の力学的性質によって決まり、掘削深にはあまり左右されないものと想像される。本実験では、最大掘削深さはせいぜい10 mm～15 mm 程度なのに対し、刃幅が10 mm もあり、特に摩擦力及び貫入力、掘削深さに依存するせん断抵抗力に対して大きめに示されているものと考えられる。実際のリッパ掘削では、刃幅が50 mm 程度で、掘削深さは200 mm～1,000 mm 程度であるため、掘削深に依存する掘削抵抗力の大きさに対し、摩擦力及び貫入力の大きさは無視してもさしつかえない程度の大きさにすぎないであろう。

以上のような理由から、掘削抵抗力のうち掘削深に依存する部分に着目して、岩石の力学的強度との関係を考察してみた。

岩石の掘削抵抗力の大きさを推定する指標として、現在一般的に用いられているものは、弾性波速度であるので、実験の結果より掘削深当たり掘削抵抗力 f_H (水平力)、 f_V (垂直力) と岩石試料の弾性波速度との関係を表わしたものが図4.3である。図4.3のように f_H 、 f_V と V_P との間に相関関係はみられず (f_H 対 V_P $r^2=0.15$, 0.20 , f_V 対 V_P $r^2=0.07$, 0.09)、両者間の相関関係が存在することを示すことができなかった。

しかしながら、岩石の一軸圧縮強度 σ_c との相関を見てみると図4.4のような関係があるのが分る。すなわち、 f_H は σ_c のほぼ0.5～0.6 乗に比例し、 f_V は σ_c のほぼ1.2 乗前後に比例し増加することが判明した。

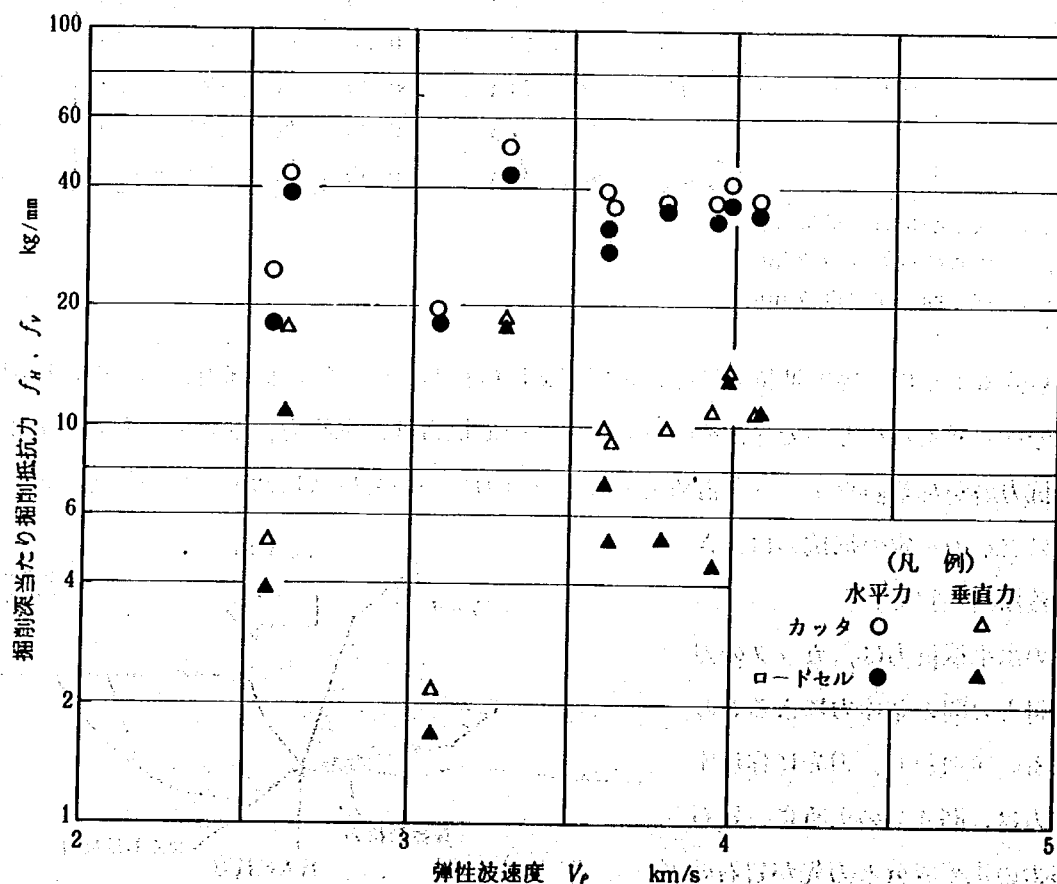


図4.3 f_H 、 f_V と V_P との関係

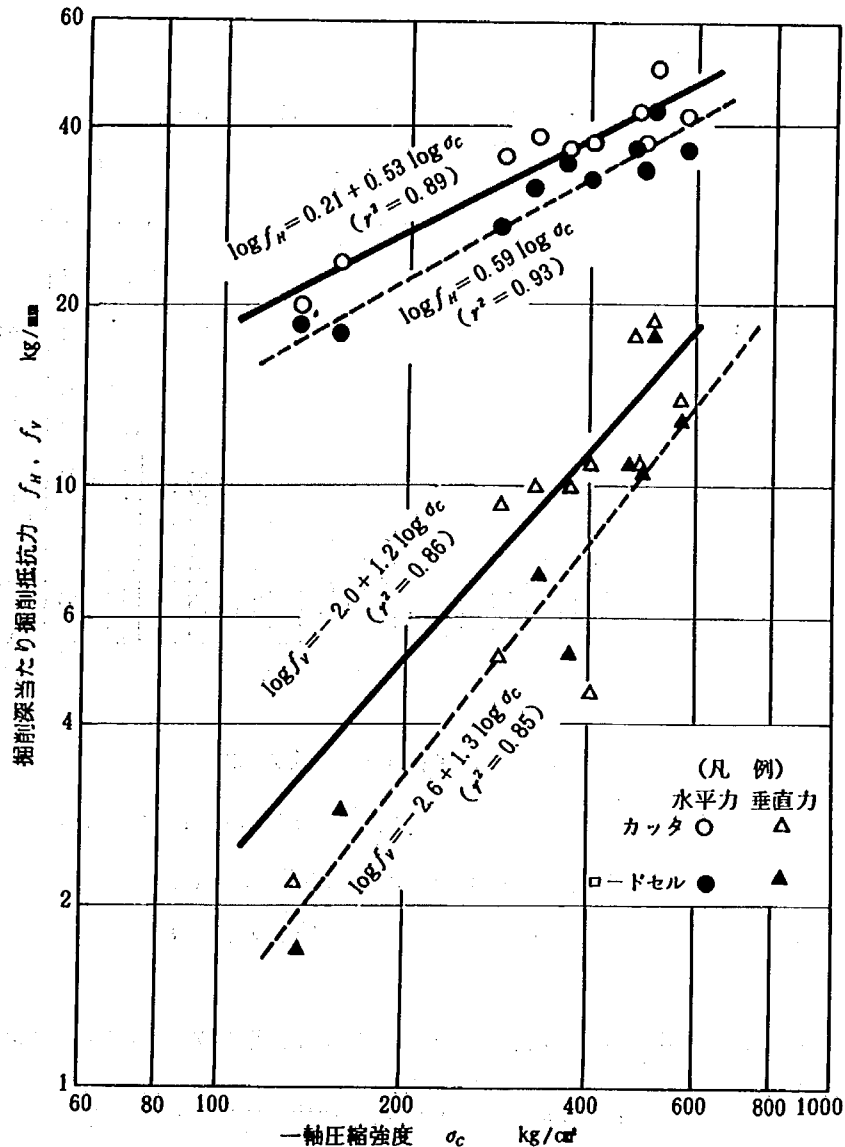


図 4.4 f_H , f_V と σ_c との関係

また、リンク機構部が受ける掘削力は、リンク部のガタやリンク部材の弾性により、多少小さめに表われていることが分る。

4.2 疑似岩強度試験結果

(1) 一軸圧縮強度

目標とした疑似岩の一軸圧縮強度と切取供試体の試験結果を比較したものを図 4.5 に示す。図より低強度の疑似岩ではある程度目標に近い強度となっているが、高い強度のものは目標に比べてかなり強度が増加していた。この原因としては、高い目標強度の疑似岩は打設時期が夏場で、外気温がかなり高くこの温度の影響による強度の増加と、低強度のブロックに比べてセメント量が多いため打設後の発熱量もとりわけ大きく、強度発現がより促進され予想以上の強度になったと考えられる。また、同一材料より作成した供試体でも標準・現場養生・切取供試体で強度試験の結果が異なっている。これは、各供試体で養生条件による影響と、標準・現場養生用の供試体作成時にキャッピング後所定の養生を行うまで供試体を 2 日間外気中に放置した

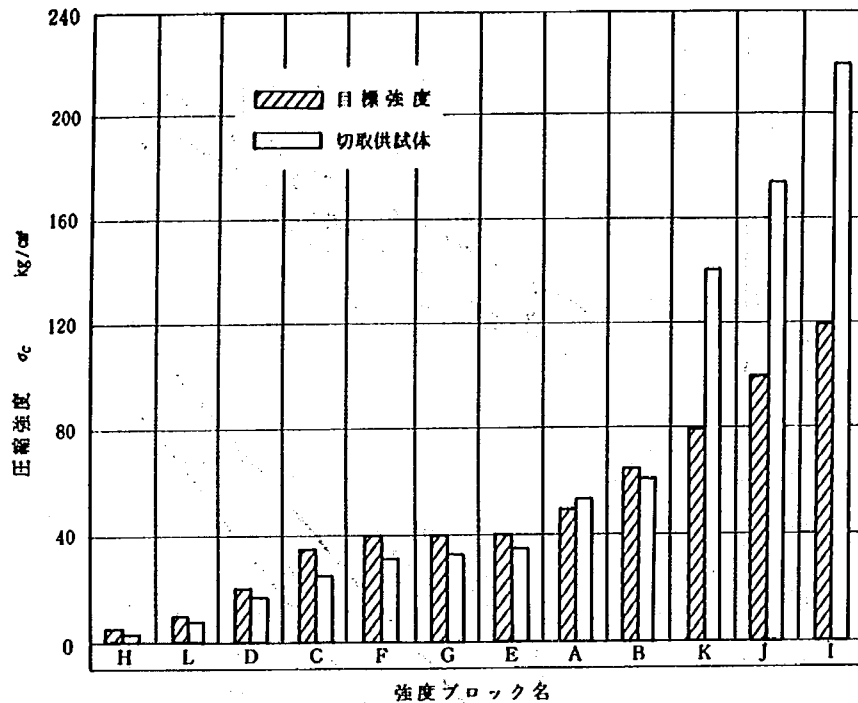


図 4.5 圧縮強度試験結果

ために、初期強度が促進されて標準・現場養生の供試体より強度が増加したと思われる。また切取供試体については疑似岩がテストピットの制約より十分な湿潤養生となっていないために、疑似岩中の水分が発散して強度の発揮がおくれ、目標より強度が低下したことが原因と思われる。

(2) 弾性波速度

超音波パルス透過法による弾性波速度の測定結果から図 4.6 に疑似岩の養生条件別の弾性波速度を示す。

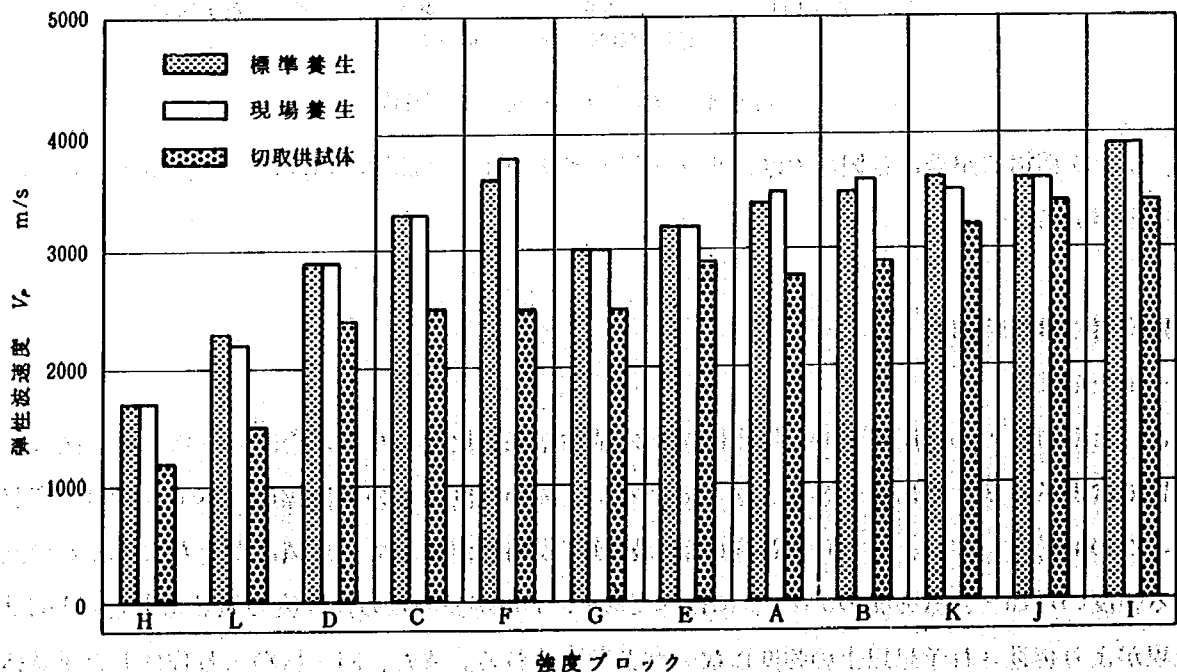


図 4.6 弾性波速度測定結果

図より一軸圧縮試験結果と同様に、標準・現場養生に比べて切取供試体の弾性波速度はかなり低い値となっており、この差は目標強度の低い供試体ほど大きくなっていた。これは、一軸圧縮試験結果と同様に養生時における湿潤等の影響と考えられる。

(3) 一軸圧縮強度と弾性波速度の関係

岩石の場合、硬く均質なほど弾性波速度 V_p が速くなることは以前から良く知られており、岩石の強度である一軸圧縮強度 σ_c との関係は、式 4.1 で示される指数関数的な関係で近似できるとされている⁴⁾。

$$\sigma_c = a V_p^b \quad (4.1)$$

しかし、岩石中を伝わる弾性波速度は間隙や粒子の結合状態に影響される。岩石は内部構造が種類によって大きく異なるために同じ弾性波速度の岩石でも一般に一軸圧縮強度は異なった値となり、式 4.1 の a 、 b は岩石の種類ごとに求まると思われる。

また、コンクリートの場合も図 4.7 の研究報告⁵⁾のとおり、岩石と同様に弾性波速度と一軸圧縮強度の間に関係が認められるため、この関係を利用して弾性波速度から圧縮強度を推定し品質管理に使用しようとする考えもある。しかし、この場合でも図で明らかとなっており、セメント、骨材、養生方法等によりその関係が決まるとしている。

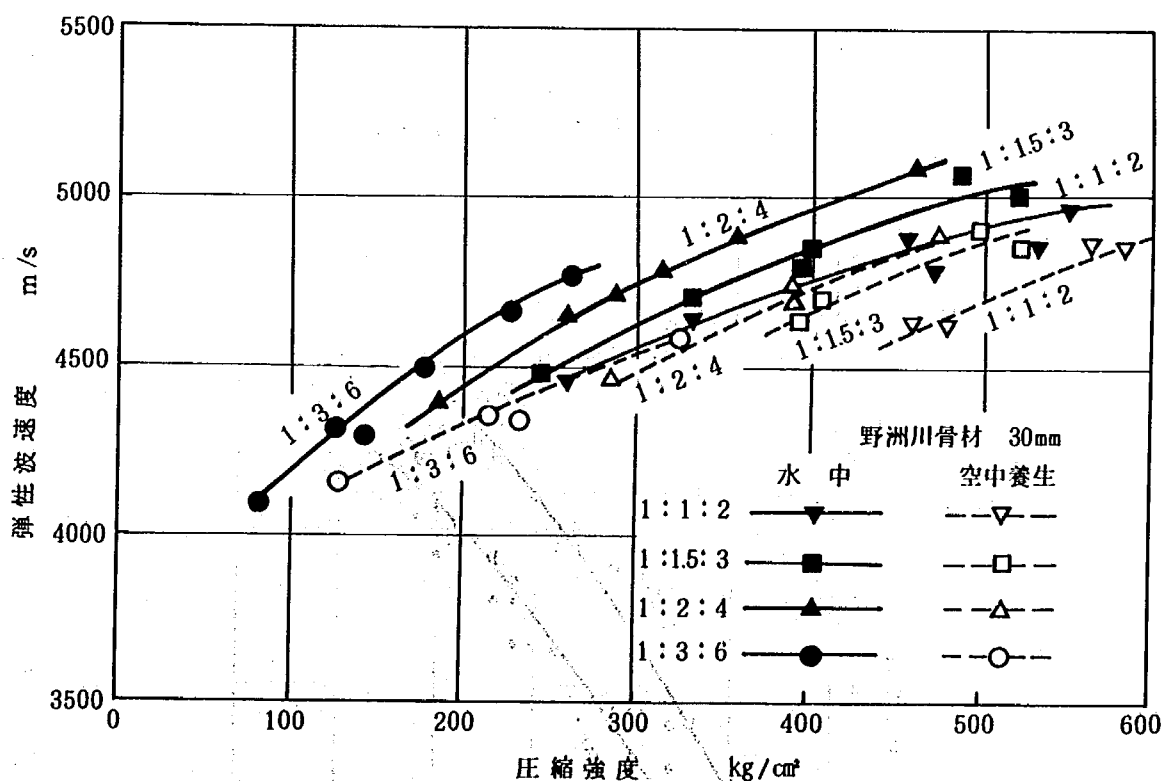


図 4.7 弾性波速度と圧縮強度

本実験に使用した疑似岩の一軸圧縮強度と弾性波速度の関係を図 4.8 に示す。図では各供試体の養生条件別に両者の傾向が異なり、データのばらつきも多く、はっきりした関係を求めることはできない。これは疑似岩を 3 回に分けて作成していることと、1 回の作成の中でも打設を 2 日に分けて実施しているために、密度、使用骨材、養生条件がそのつど異なっている影響と考えられる。そこで一軸圧縮強度と弾性波速度の関係を密度、水セメント比がほとんど変わらず、使用骨材や養生方法等も同一であると思われる 3.2(1)の予備

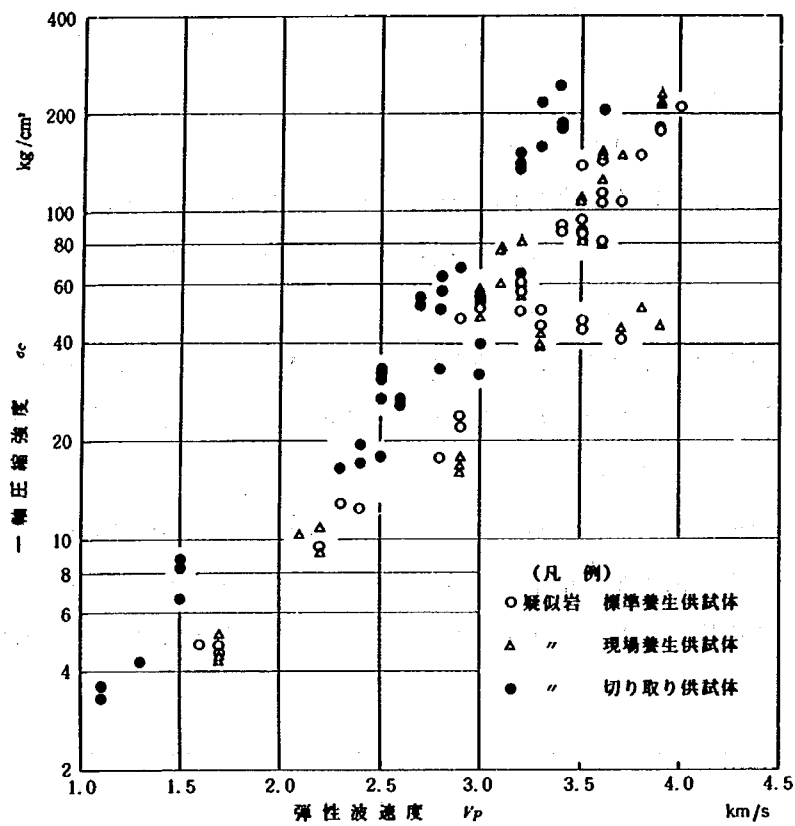


図 4.8 一軸圧縮強度と弾性波速度

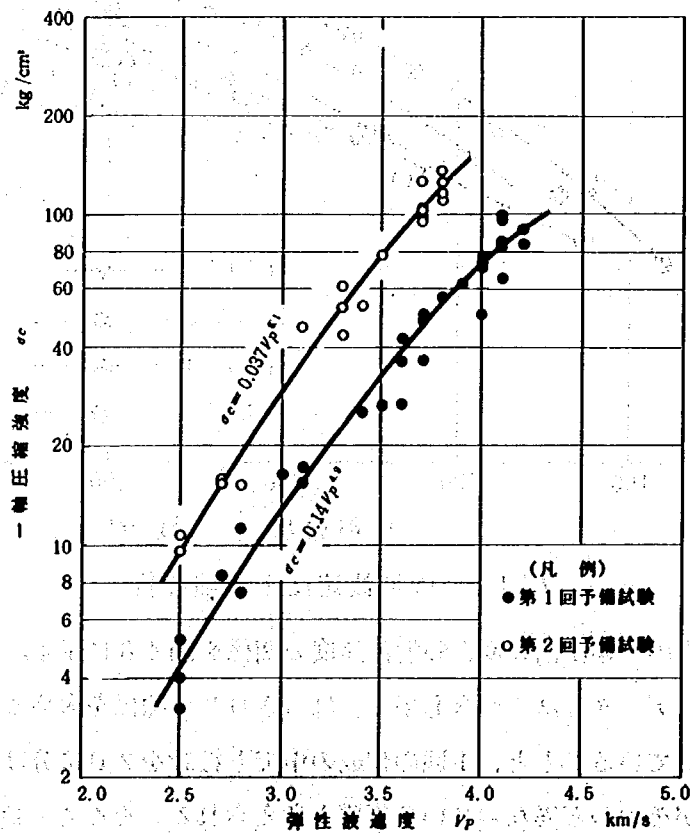


図 4.9 一軸圧縮強度と弾性波速度

試験の結果を示すと図 4.9 のとおりで、一軸圧縮強度と弾性波速度の間には、岩石の場合と同様に指数関数的な関係が認められる。しかし、図より 1 回目と 2 回目の一軸圧縮強度と弾性波速度の関係は明らかに異なった傾向を示し、その回帰式は図中で示した式となった。したがって疑似岩の場合もセメント、骨材、養生方法等によってその関係が異なったものとなるが、一軸圧縮強度と弾性波速度の関係は岩石の場合と同様に指数関数的な式 4.1 で示すことができると考えられる。

4.3 岩の掘削機構

金属の切削加工では切りくずの生成状態を大別し、流れ形、せん断形、裂断形および亀裂形の 4 種類の形態が存在し、切削する金属の性質と切削条件（削り速度、送りの大きさ、切込深さ、刃先の形）からその発生する切削形態が決まる⁶⁾。

図 4.10 に各切削形態と切削抵抗（主分力）の変化を模式的に示す。

流れ形は、適正な切削条件のもとで延性金属を切削する場合にみられ、切りくずはほぼ連続的に発生される。

せん断形は、いくぶんもろくせん断すべり破壊を生じやすい材料の切削にみられ、カッタにより被削材が小さなせん断をくり返していき、ある点で大きなすべりを起こして切りくずが分離する。

裂断形は延性が大きく、工具すくい面への粘着性が著しい材料の切削で生じ、切りくずが粘着たい積して流れないため刃先に大きな裂け目を生じながらむしり取られる。

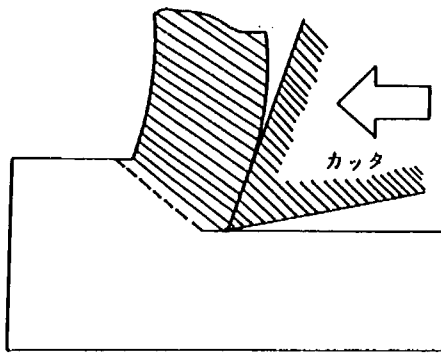
亀裂形は、ぜい性材料の切削に多くみられるもので、切削は図の a より小さな切削をくり返して行き刃先が a' に達すると瞬間的に $a'b'$ に亀裂が発生し切削される。このため切りくずはほとんど変形せずに大きな形状となり、切削抵抗は変動が大きく、図 4.10(4) のようなのこぎり形変動を示す。

岩石の破壊は、高温、高圧等特殊な条件のもとでは延性破壊をおこす場合もあるが、普通の状態では一般にぜい性材料として考えられ、破壊による形態は、せん断形、亀裂形の切削形態になる。これは、岩石の硬さや含まれる亀裂、風化の程度と掘削深、掘削角（すくい角）等によって決まり、軟く亀裂や風化が進んでいる岩石を浅い深さで掘削する時にはせん断形が多く、硬い岩石で掘削深が深い場合は亀裂形になると考えられている。

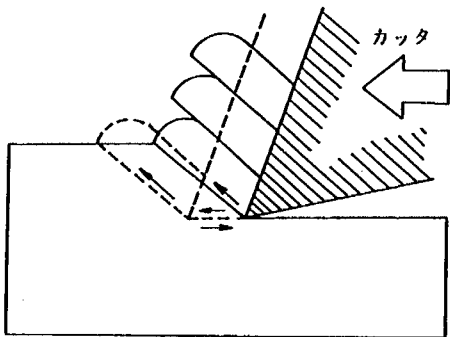
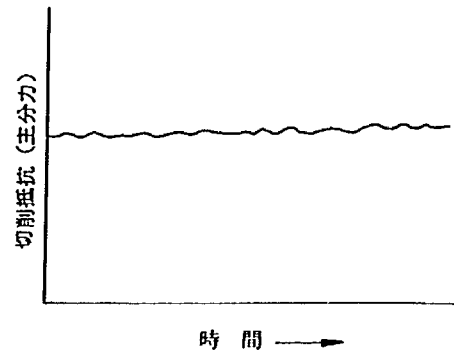
図 4.11 に疑似岩の掘削抵抗の記録波形を、写真 4.2、4.3 に掘削状況を示す。図より水平抵抗力（主分力）は、周期的に変動しており、のこぎり形の記録波形となっている。また写真の掘削された破片はほとんど変形しておらず大きな形状の物が多く、疑似岩の掘削形態は、亀裂形掘削であることが確認された。

垂直抵抗力の記録波形も水平抵抗力と同様に、掘削の進行とともに周期的な変動を示している。しかし、垂直抵抗力の最大となるピークは、水平抵抗力が急激に減少する領域であり、その後水平抵抗力の増加とともに徐々に垂直抵抗力は減少していき、水平力とは逆の変動傾向であった。

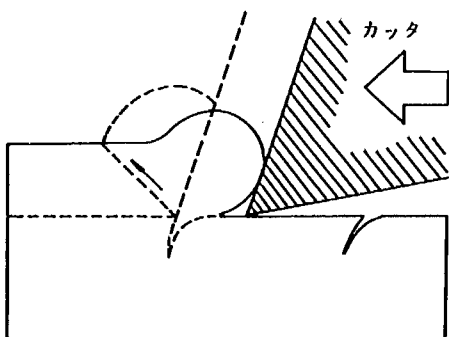
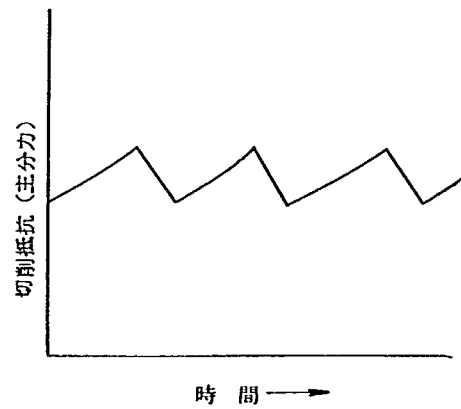
室内模型実験と疑似岩の掘削実験結果より、亀裂、節理、風化の少ない岩石をリップで掘削する時の掘削形態は掘削抵抗力の変動と破壊片の形状より亀裂形掘削であることが確認された。



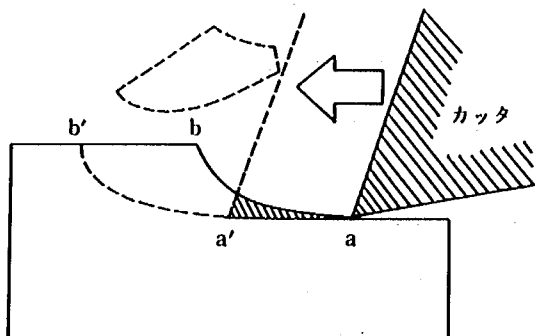
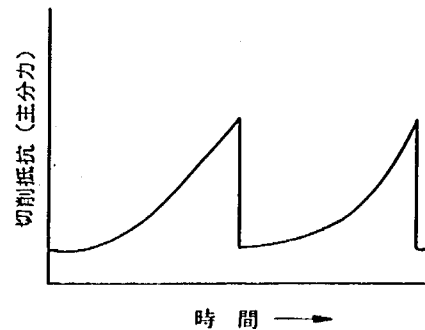
(1) 流れ形切削



(2) せん断形切削



(3) 裂断形切削



(4) 亀裂形切削

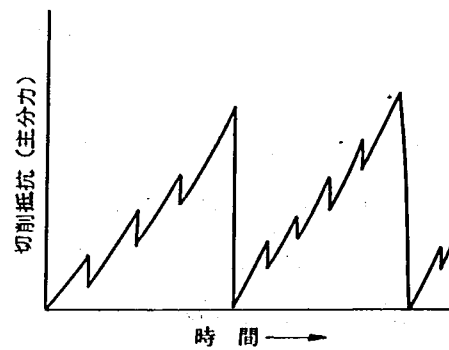


図 4.10 切削形態と切削抵抗

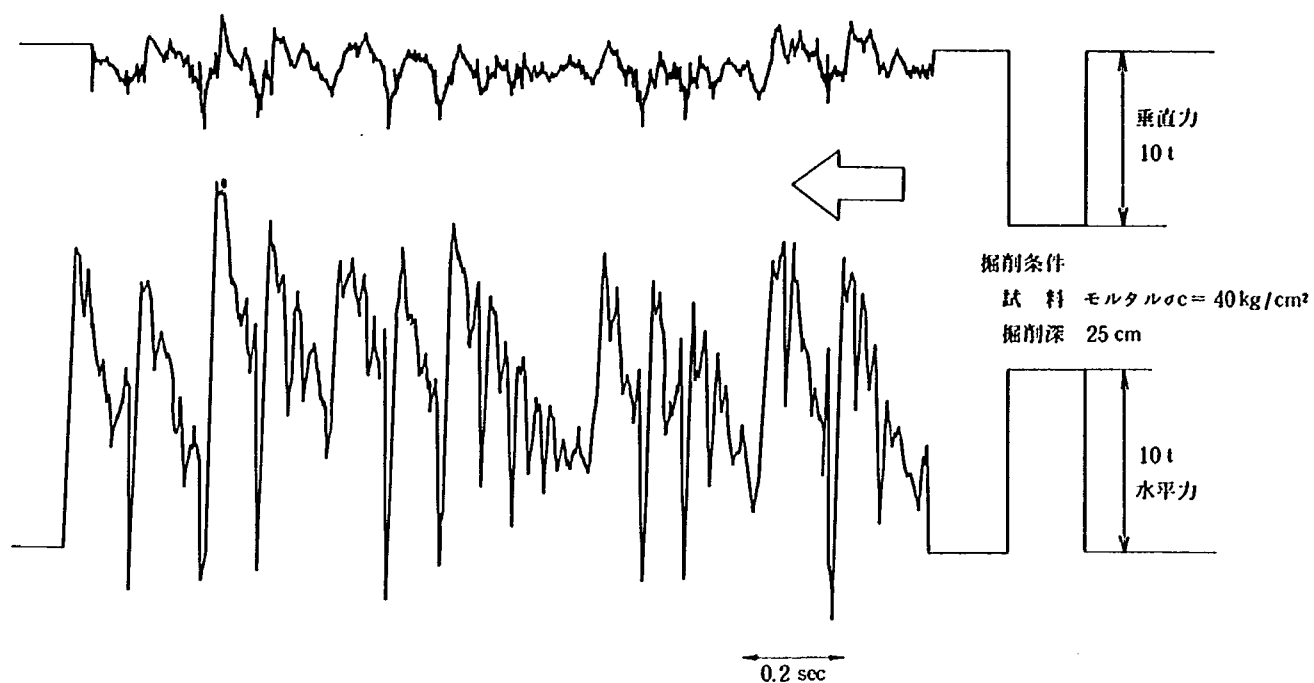


図 4.11 疑似岩の掘削抵抗



写真 4.2 掘削状況 (第 1 回実験)

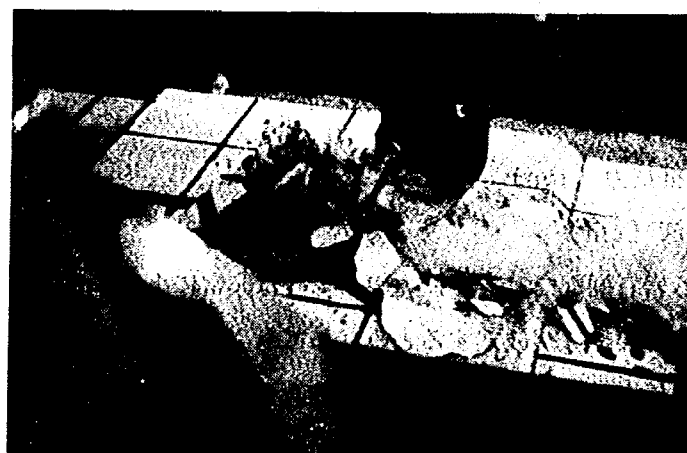


写真 4.3 掘削状況 (第 3 回実験)

4.4 リッパ掘削力に影響を及ぼす要因

岩石をリッパで掘削する場合、掘削に要する力はいくつの要因の影響によって決まり、その関係は非常に複雑である。今、水平抵抗力、垂直抵抗力に影響を与える要因を大別すると岩の性質と掘削の条件によりその関係が決まり、その要因は図 4.12 に示す様になると思われる。そこで、これらの要因の中で基本的なものと特に掘削力に与える影響の大きいと思われる掘削深、岩の強度について検討する。

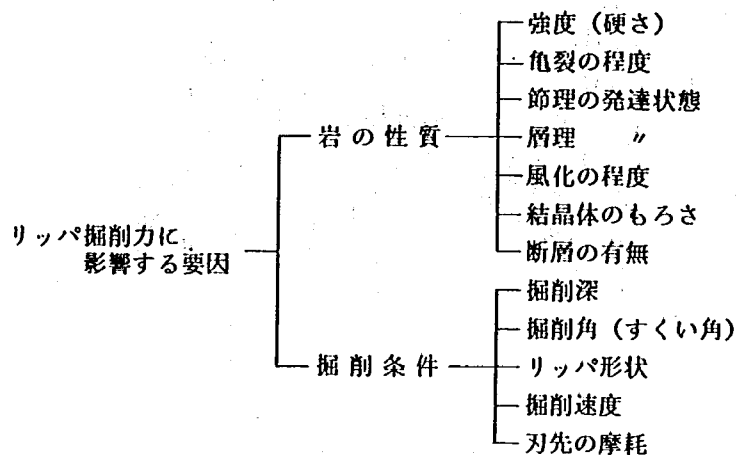


図 4.12 リッパ掘削力に影響する要因

(1) 掘削深

一般に岩石等を掘削する場合、掘削深が大きくなれば掘削に要する水平抵抗力は当然増加すると考えられる。しかし、実際に岩石をカッタ等で掘削する時の水平抵抗力に影響を与えるものとして、破壊に必要な水平抵抗力以外に室内模型実験で得られたようにカッタ底面の摩擦力等の影響が考えられ、鈴木、西松は⁷⁾、青石及びセメントモルタルの模型切削実験より、切削深が浅い場合の切削抵抗力には圧碎ないし、刃先の削り落された部分の鋭利さの影響が著しく大きく、全切削抵抗の中でこの部分の占める割合は無視できないとしている。しかし、リッパのシャンクによる岩石掘削の場合は、刃先を十分に鋭いと見ることができ、模型の切削実験に使用する刃物と被削材の関係に比べて、リッパシャンクの幅は相対的に小さく、さらに掘削深も非常に大きく、掘削時の水平抵抗力に占める摩擦力の割合は非常に小さくなると考えられる。

疑似岩の実験結果より得られた水平抵抗力と掘削深の関係を図 4.13 に示す。図より水平抵抗力と掘削深の間には一軸圧縮強度別に比例関係が明確に表われており、一軸圧縮強度 30.3 ~ 35.0 kg/cm² の範囲で一次式にあてはめてみると式 4.2 が求まる。この式は、実験結果と非常によく対応している。

$$H_f = 0.73 d \quad (4.2)$$

ここで、 H_f ：水平抵抗力 (ton)

d ：掘削深 (cm)

以上から、リッパによる岩石掘削では、摩擦力等の影響は非常に小さくなると考えられ、水平抵抗力と掘削深の間には、原点を通る直線関係が成立するとみなしてもよいと思われる。

垂直抵抗力と掘削深の関係を図 4.14 に示す。図より垂直抵抗力も掘削深が大きくなるに従い増大していくが、水平抵抗力のように原点を通る関係とは異なっており、一軸圧縮強度 30.3 ~ 35.0 kg/cm² の範囲で回帰式を求めると図中の関係が得られ、模型の実験結果と同様に、掘削深に依存しない一定の抵抗力が表われ、

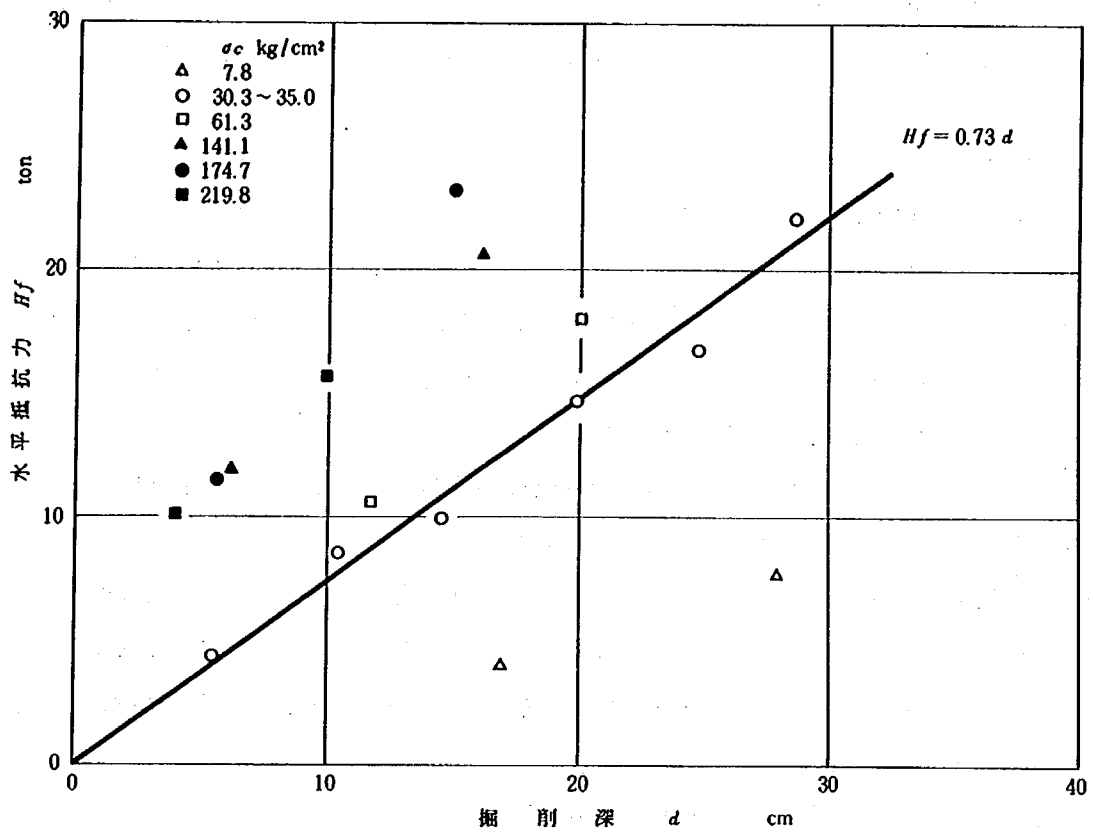


図 4.13 掘削深さと水平抵抗力

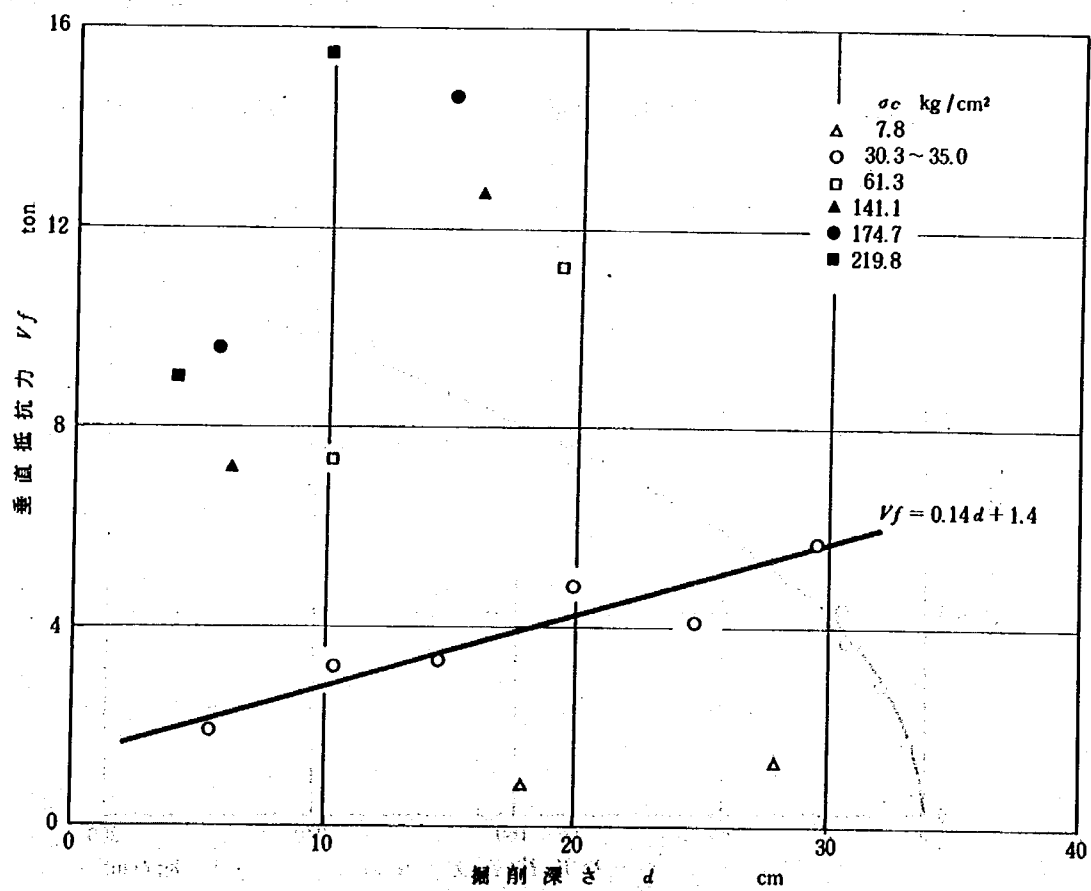


図 4.14 掘削深さと垂直抵抗力

掘削深 30 cm で垂直抵抗力に占めるそのウェートは 25% にも達していた。また、この掘削深に依存しない抵抗力は、岩の強度が増加するにつれ大きくなる傾向を示しているが、強度との関係は、実験回数が少なかったため、確認するまでには至らなかった。

(2) 一軸圧縮強度 (σ_c)

岩を掘削する時の作用力に影響を与える岩の性質の中で最も基本的なものは岩の強度である。しかし、岩の強度を表わすものとしては、圧縮強度、せん断強度、引張強度などの強度試験結果と、弾性波速度値、プロトジャコノフ係数、シュミットハンマ反発値等の実用的な試験結果など目的に応じた強度がある。これらの強度の中で、掘削時の水平抵抗力と一軸圧縮強度に強い相関があることが、昭和 49 年度からの、ブルドーザによる現場掘削実験¹⁾と、2 次元切削試験機による室内模型実験より明らかになっている。

ここで、水平抵抗力は掘削深との間に原点を通る直線関係が成立するため、水平抵抗力を掘削深で除した単位掘削深当たり水平抵抗力 (f_h) で表わすことにした。

図 4.15 に疑似岩の一軸圧縮強度と単位掘削深当たり水平抵抗力の関係を示す。図より疑似岩の掘削水平抵抗力と一軸圧縮強度の間に強い相関が見られ、亀裂の無い新鮮な岩で行った模型の 2 次元掘削実験結果より $f_h \propto \sigma_c^{0.5 \sim 0.6}$ の関係が得られていることから両者の関係を算出すると式 4.3 の関係が求まった。

$$f_h = 0.14 \sigma_c^{0.47} \quad (4.3)$$

ここで、 f_h : 掘削深当たり水平抵抗力 (ton/cm)

σ_c : 一軸圧縮強度 (kg/cm²)

なお、式 4.3 の算出では $\sigma_c = 3.7, 7.4$ kg/cm² のデータは他と傾向が異なるため $\sigma_c = 17.1$ kg/cm² 以上の結果より計算した。

以上より、亀裂等の無い岩石の掘削深当たり水平抵抗力は一軸圧縮強度のほぼ 0.5 乗に比例することが実

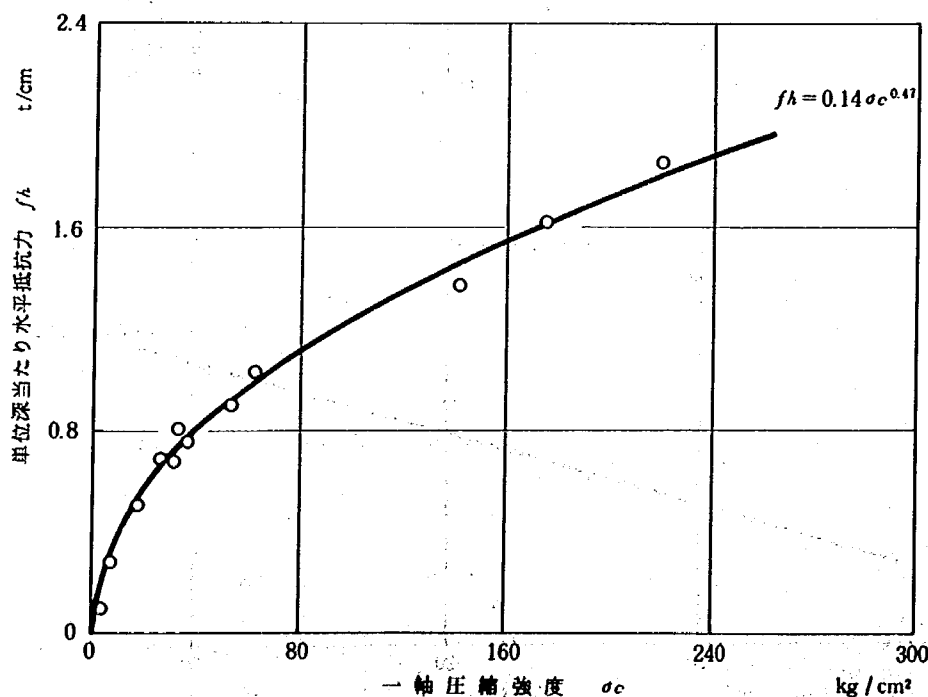


図 4.15 $f_h - \sigma_c$ 線図

大実験結果からも確認された。

垂直抵抗力と岩の強度は、垂直抵抗力と掘削深の関係を原点を通る直線関係で表わすことができず、掘削深に依存しない抵抗力と岩の強度の定量的関係を求めることができなかったために、その関係を把握することはできなかった。

また、掘削抵抗に占める水平抵抗力と垂直抵抗力の比率は、岩石の力学的性質により異なったものになり、一軸圧縮強度とその関係を求めると図 4.16 に示すようになる。図より、一軸圧縮強度の低い疑似岩の掘削においては掘削抵抗に占める水平抵抗力の比率が非常に大きい。しかし、強度が大きくなるに従って垂直抵抗力の占める比率が大きくなってゆき、一軸圧縮強度 220 kg/cm^2 付近では垂直抵抗力は水平抵抗力と同じになる。これより、現場のリッパ掘削時には、軟い岩石ではブルドーザのけん引力が掘削能力の判定に大きく影響し、押付力はそれほど必要とされないが、岩が硬くなるに従いリッパを貫入させるためにけん引力と同程度の押付力が必要になってくると考えられる。しかし、ブルドーザは一般に押付力が大きくなると車体の浮き上がりによって、十分な牽引力を発揮できないために、硬い岩石を掘削する場合、掘削能力の判定には押付力の影響が大きく、これを考慮する必要がある。

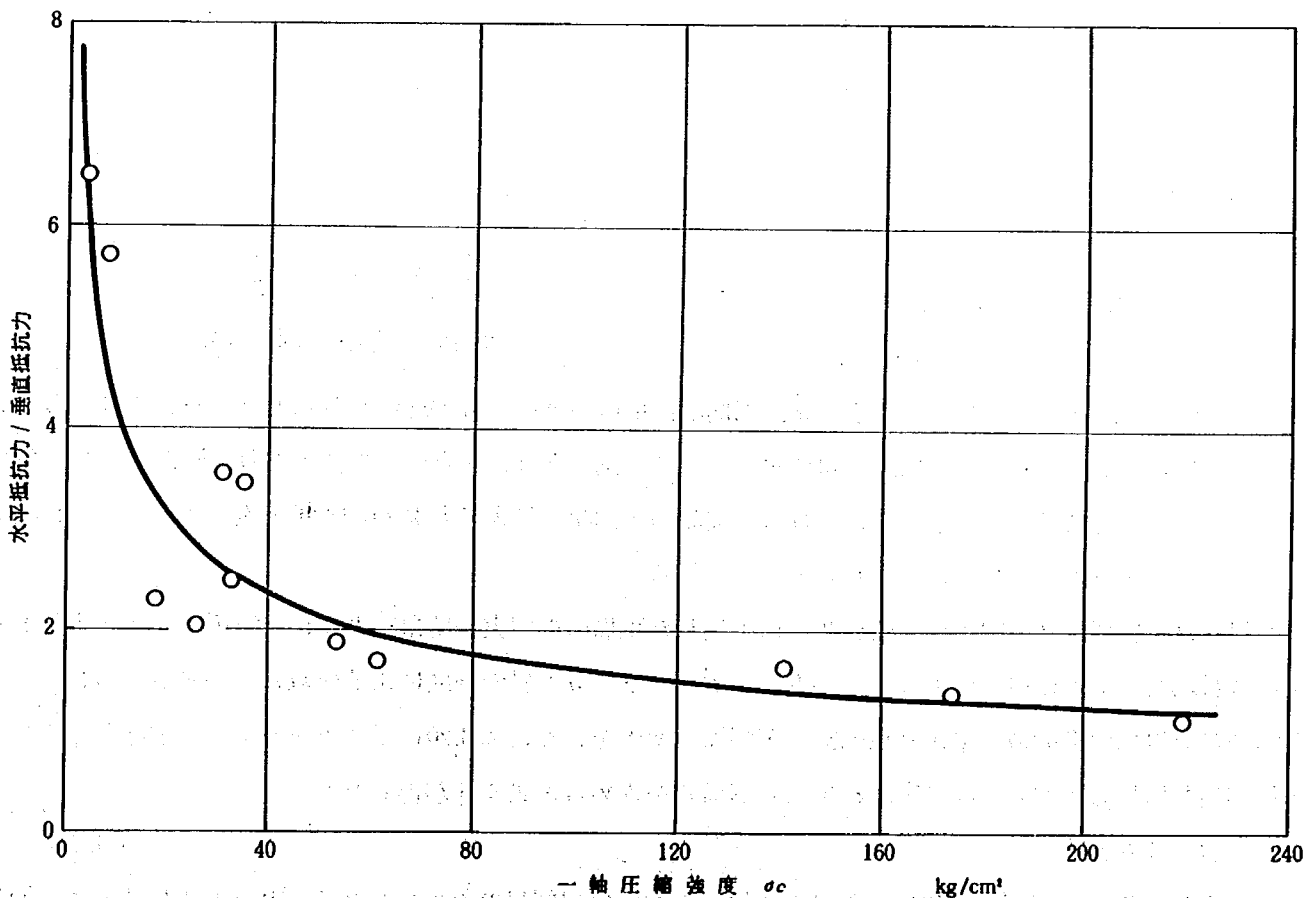


図 4.16 水平抵抗力 / 垂直抵抗力と一軸圧縮強度

4.5 作業能力に影響を及ぼす要因

ブルドーザのリッパによる岩石掘削の作業能力は一般に岩の破砕量で表わされており、破砕量の多少でそ

の能力が判断されている。ここで破砕量とは掘削量であり、掘削作業の速度を一定としシャंक 1 本の掘削作業であれば破壊された断面積によって掘削量は算出される。しかし、ブルドーザは普通シャंकを 3 本まで装着できる構造になっており、掘削作業を効率的に行うためにはシャंकの使用本数や掘削間隔に影響する掘削幅も作業能力に与える影響は大きい。従って以下では、掘削量、掘削断面積及び掘削幅に影響を及ぼす要因について検討を行う。

(1) 掘削深

図 4.17 に掘削後の断面形状の一部を掘削深別に示す。図より掘削深が深くなっていても断面形状は相似的に大きくなっておらず、深くなると中央のリッパが通過した部分のみ破壊され、断面の中央部がくびれる傾向が一部に見られた。

疑似岩の掘削量 Q と掘削深 d の関係を図 4.18 に示す。両者の間には、模型の切削実験結果より指数関数的関係が得られており、一軸圧縮強度が $30 \sim 35 \text{ kg/cm}^2$ の範囲で実験結果から関係を求めると式 4.4 が得られた。

$$Q = 0.93 d^{1.7} \quad (4.4)$$

すなわち、掘削深が深くなるに従って掘削量は大きくなっていき、その傾向は

深さが深くなるほど著しくなっている。また掘削断面積は、実験の掘削速度が各強度ブロックでほとんど変わらないため、掘削深との関係は図 4.19 に示すように掘削量とほとんど同じ傾向であり、断面形状がくびれることによる影響は見られなかった。これは、実験の掘削深が最大でも 30 cm 程度と浅いため、くびれによる影響がはっきりと表われなかったものと考えられる。

掘削幅 B と掘削深 d の関係は、昭和 49 年に実施した現場の掘削実験結果¹⁾より $B = 20 d^{0.35}$ が得られており、また岩石試料による模型切削実験からは $B = a d^{0.7} + 9$ (a : 岩の強度による係数) の関係が得られている。今回の疑似岩掘削実験の結果より掘削幅と掘削深の関係を見ると図 4.20 に示すとおりで、掘削深が深くなると掘削幅も増加しており、図の実験結果より回帰式を求めると式 4.5 が得られた。

$$B = 4.6 d^{0.9} \quad (4.5)$$

これより、亀裂、節理等の無い均質な岩では、掘削幅は掘削深のおおむね 0.7 ～ 0.9 乗のに比例する関係にあるが、亀裂、節理等のある岩石では、均質の岩石に比べてべき数が半分程度に低下した値をとるものと推定される。

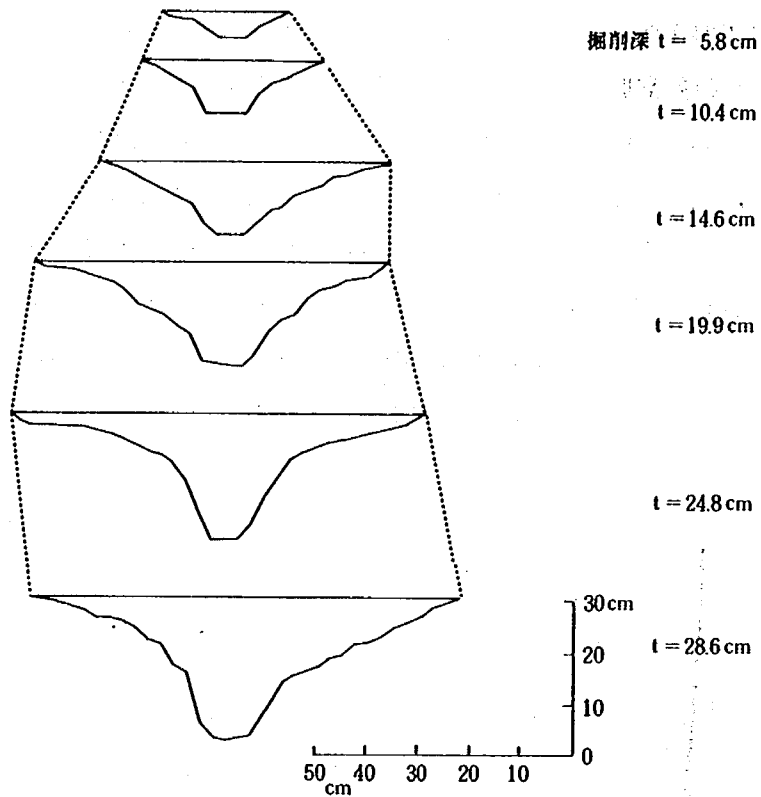


図 4.17 掘削断面形状 (同一強度)

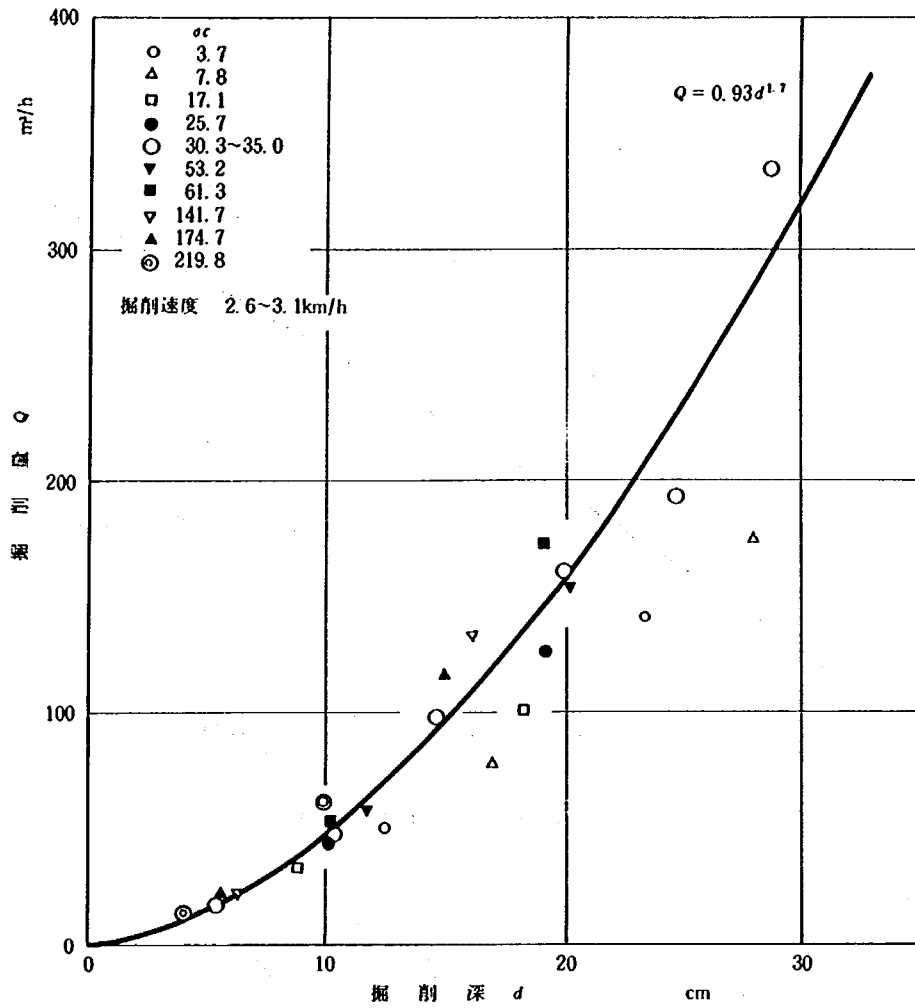


図 4.18 掘削深と掘削量

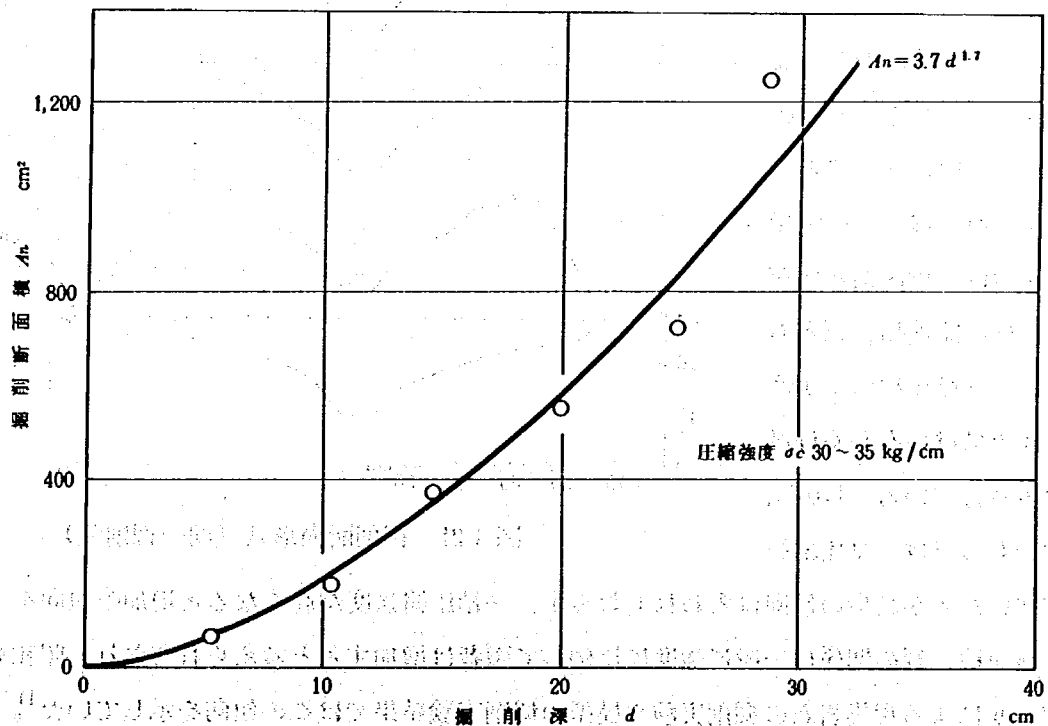


図 4.19 掘削深と掘削断面積

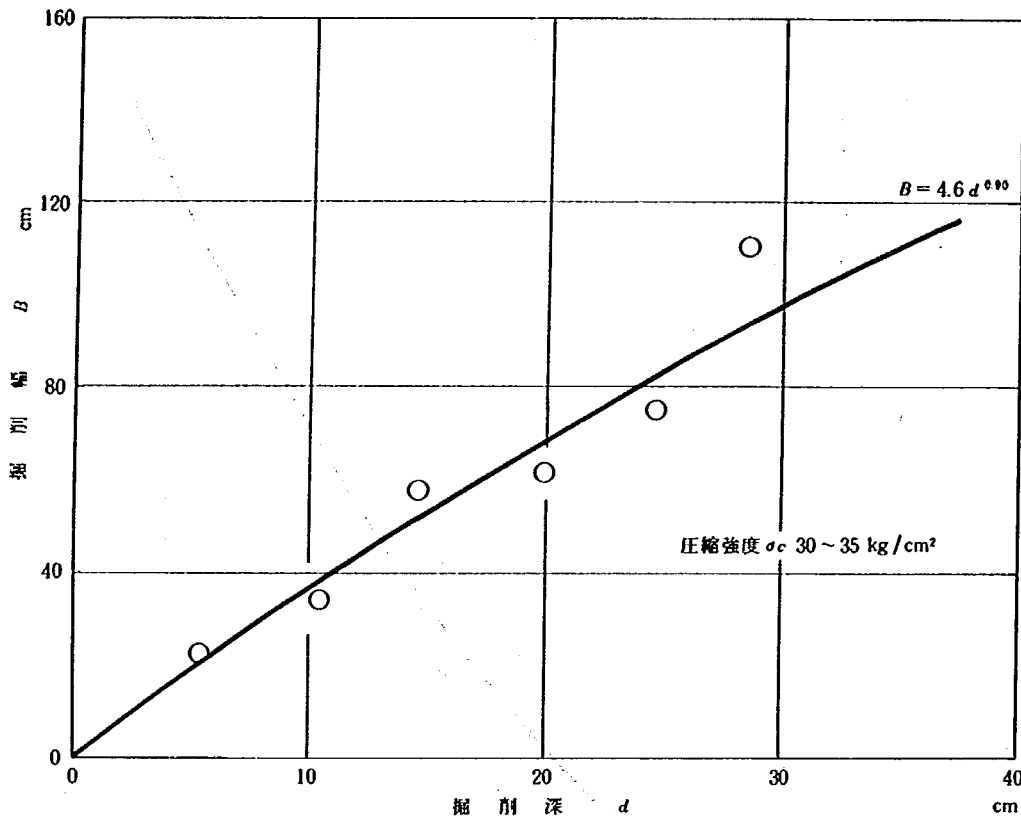


図 4.20 掘削幅と掘削深

(2) 一軸圧縮強度

岩の一軸圧縮強度が断面形状に与える影響を図 4.21 に示す。図より強度が高くなると断面形状は幅がひろがり扁平になっていくことがわかる。これを実験結果より掘削深ごとに分けて一軸圧縮強度と掘削断面積、掘削幅の関係で表わすと図 4.22, 4.23 となり、掘削深が浅いデータでは一軸圧縮強度が大きくなると掘削断面積、幅ともに増加するが、一軸圧縮強度 160 kg/cm² 付近で横ばいもしくは減少の傾向が表われている。しかし、掘削深が深いものでは一軸圧縮強度

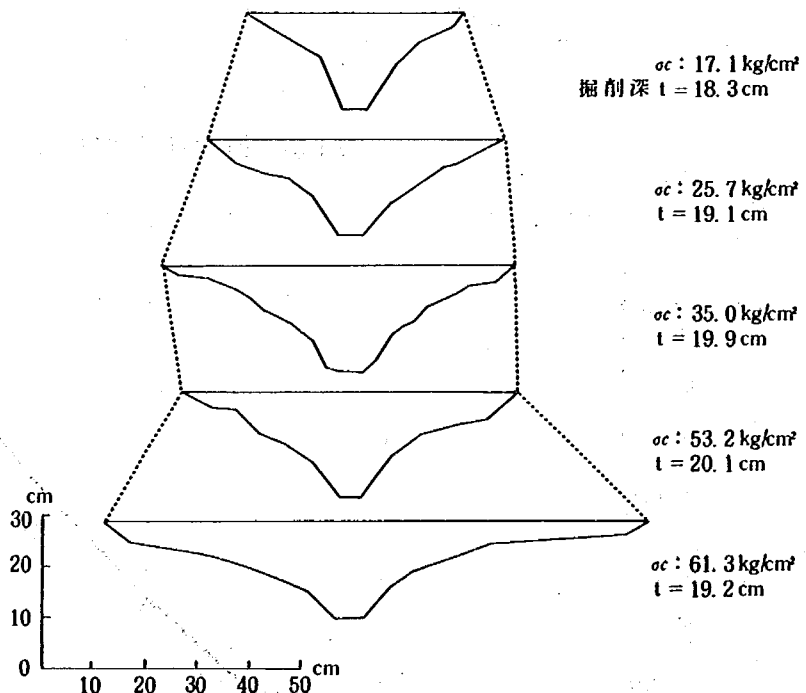


図 4.21 掘削断面形状 (同一掘削深)

度の範囲が狭いためか減少の傾向は表われておらず、一軸圧縮強度が高くなると増加の傾向を示している。岩の強度と断面積、幅の関係は一般に強度に比例して両者は増加すると考えられており、昭和49年より実施したブルドーザによる現場岩石の掘削実験や模型の切削実験結果ではこの傾向を示していた¹⁾。しかし、昭和52年に行ったセメントコンクリート擬似岩のブルドーザによる掘削実験では⁸⁾、今回の結果と同様に減少の

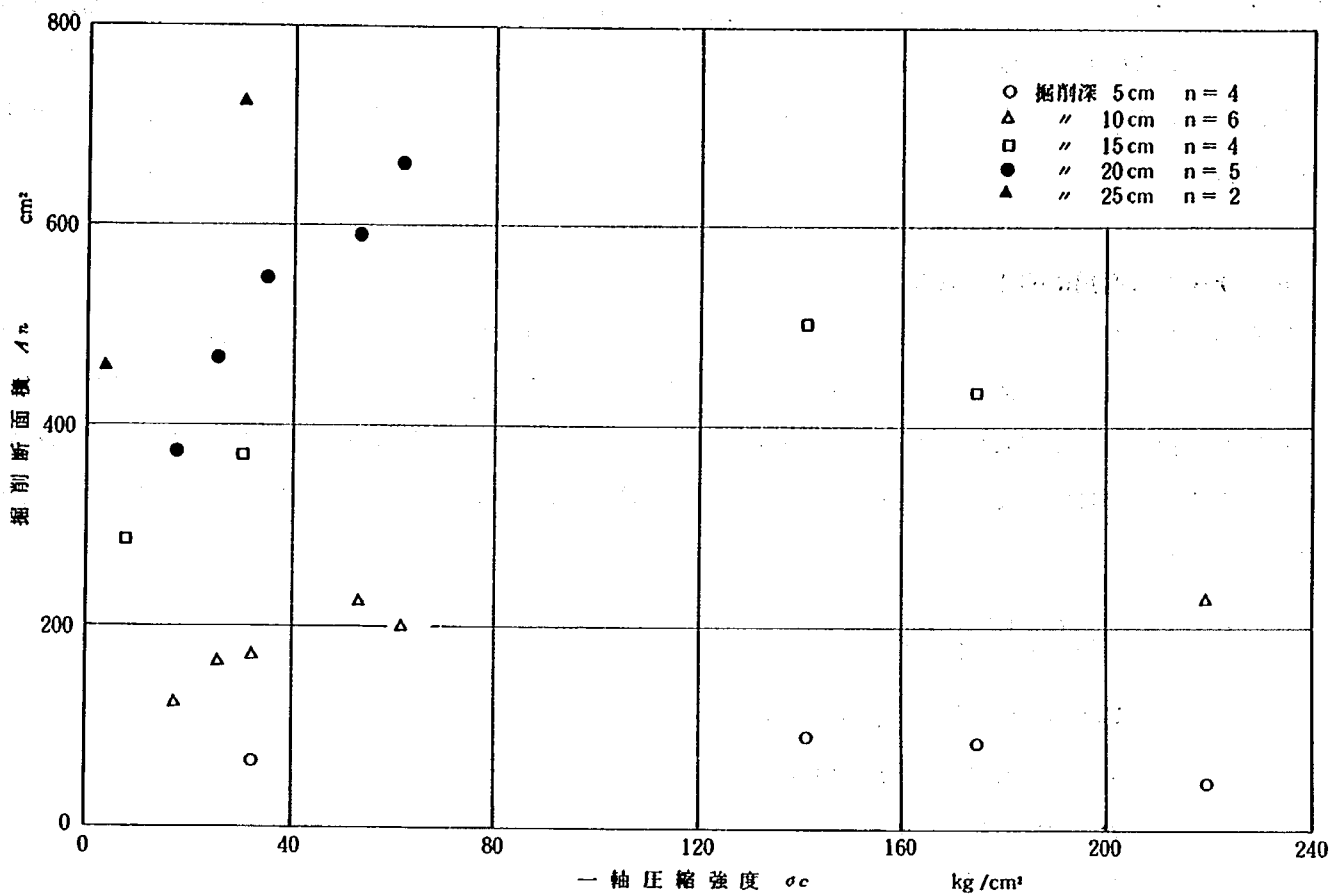


図 4.22 掘削断面積と一軸圧縮強度

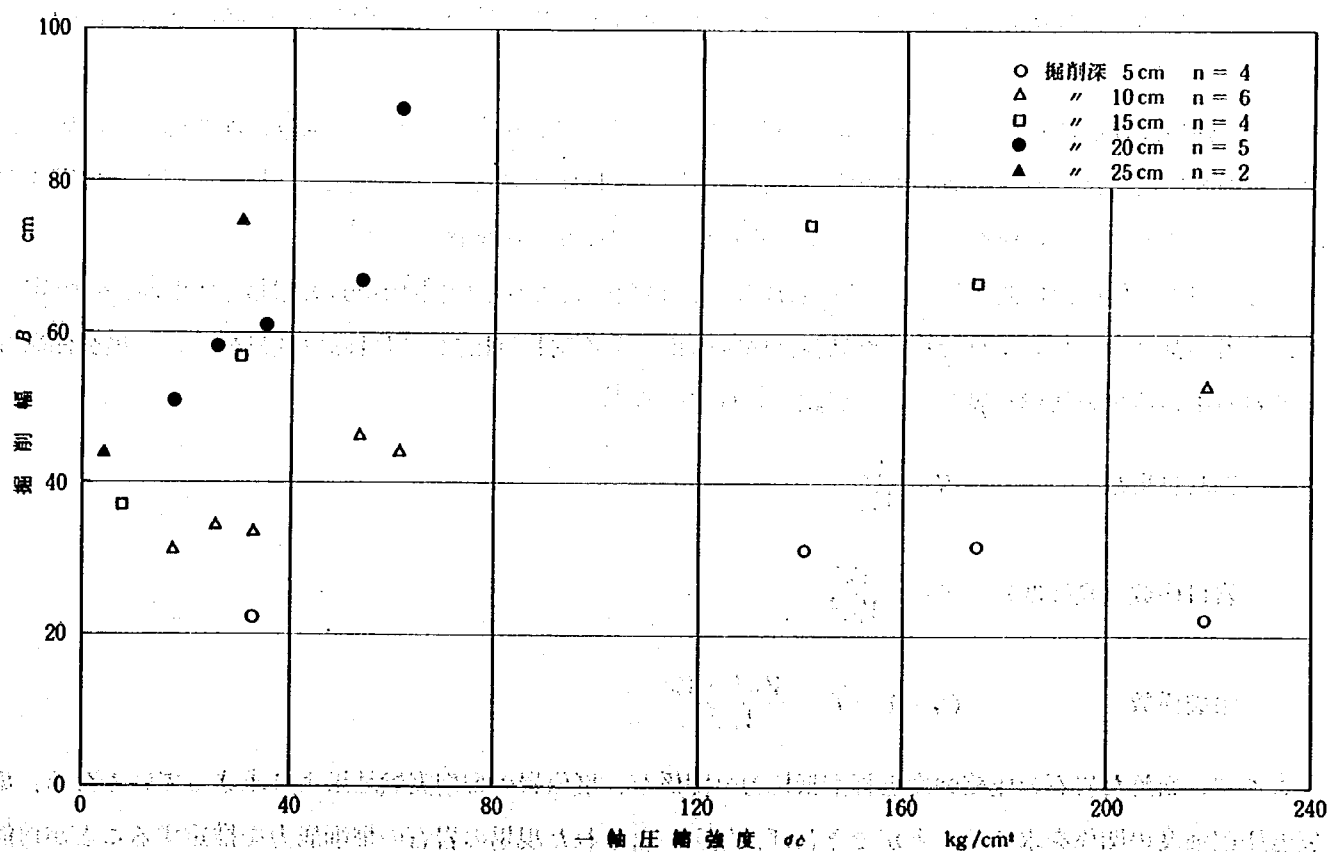


図 4.23 掘削幅と一軸圧縮強度

傾向が報告されている。これより、掘削断面積、掘削幅は一軸圧縮強度が大きくなるとともに増加の傾向を示すが、ある程度の強度以上になると増加から減少に転じる関係となる可能性が認められる。しかし、この点については、今回の実験で確認することはできず、今後さらに広範囲な強度の岩石について、データを積み重ね、その関係を解明する必要がある。

4.6 現場への適用に関する考察

岩石の掘削においては、岩の物理的性質とともに、亀裂（割れ目）、節理、風化の程度によりリッパの施工能力が著しく異なるため、亀裂、節理等を考慮せずに掘削能力の推定は不可能である。このために、岩石中を伝わる弾性波を使用して岩石の物理的性質と亀裂、節理、風化や変質の程度を測定することが行われている。ここで、弾性波速度とは、波の進む方向と質点の振動方向が一致している縦波のことであり、式 4.6 で表わされる。

$$V_p = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (4.6)$$

ここで、 V_p ：弾性波速度・縦波（cm/s）

E ：動弾性係数（g/cm²）

ρ ：密度（g/cm³）

ν ：動的ポアソン比

岩石内を伝わる弾性波速度は、一般物性の常としての温度、圧力等の外的条件のほか、鉱物組成、粒度および粒子の配列と結合状態、間隙の含まれかた、変質度など、岩石特有の組織構造と間隙の状態とに関係する⁹⁾。

この、弾性波速度に着目して岩石自体の強度と亀裂の多少などを含めた地山全体の弾性波速度を測定し、過去の掘削作業実績と弾性波速度の関係より、掘削能力を推定することが行われており、一例として図 4.24 にブルドーザの規格、岩種別の弾性波速度とリッパ作業可能範囲の関係を示す¹⁰⁾。

一方、地山全体の弾性波速度 V_p の他に岩片など、亀裂の含まれない固体部分の弾性波速度 V_{p0} を測定して、両者の割合やこれらより計算した動弾性係数の比である割れ目指数、岩目係数（良好度）、亀裂係数などで岩石中の亀裂の状態を表わすことが試みられている¹¹⁾。

$$\text{割れ目指数} \quad K = \frac{V_p}{V_{p0}}$$

$$\text{岩目係数（良好度）} \quad f = \frac{V_p^2}{V_{p0}^2}$$

$$\text{亀裂係数} \quad C_r = 1 - f = \frac{V_{p0}^2 - V_p^2}{V_{p0}^2}$$

ここで、新鮮な岩石の圧縮強度と掘削抵抗力の関係が、疑似岩の掘削実験結果より求まっているため、亀裂と圧縮強度の関係を求めることができれば、亀裂の含まれた現場の岩石の掘削能力を推定することが可能になると考えられる。

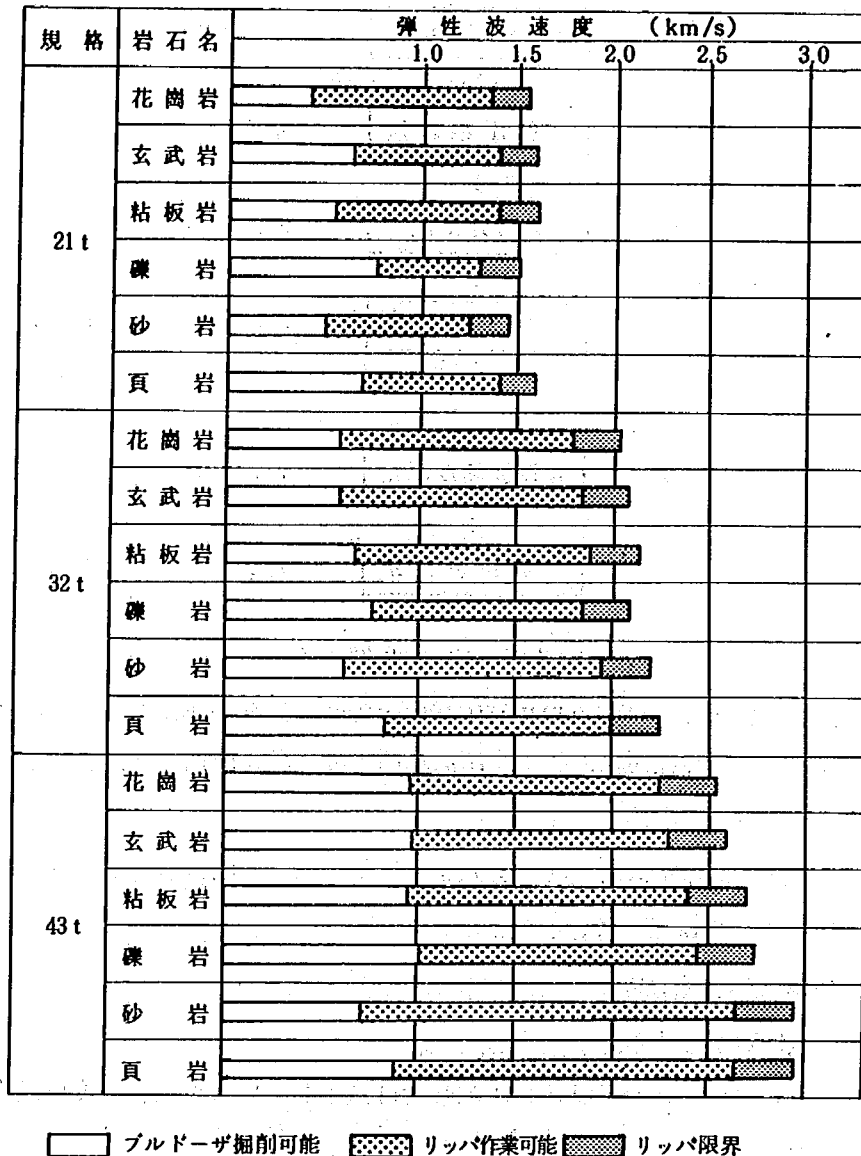


図 4.24 弾性波速度とブルドーザ規格によるリッパ作業可能範囲

池田は、動弾性係数と圧縮強度が、かなり相関性があることから、式 4.6 の中で岩盤の密度 ρ とポアソン比 ν を割れ目の有無にかかわらずほぼ一定であると仮定し、割れ目のある岩盤の強度は割れ目の無い岩石試験の強度に割れ目指数（岩目係数）の 2 乗を乗することによって得られることを、原位置岩盤試験より推定しており、新鮮な割れ目のない岩石試験片の強度 S_s と割れ目指数 k から式 4.7 により割れ目岩盤の強度 S_f を算出できている¹²⁾。

$$S_f = k^2 \cdot S_s \quad (4.7)$$

そこで、亀裂の無い均質な疑似岩中に亀裂を作成し、その程度と圧縮強度の関係を試験的に求めてみた。使用した材料は、掘削実験の強度試験用に作成した供試体であり、亀裂を作成する方法は圧縮試験によった。なお、通常の圧縮試験では、供試体に一樣な速度で荷重を加え、供試体が完全に破壊するまでの間に試験機が示した最大荷重を求め、圧縮強度を算出するが、本試験では、試験機の示す荷重が増加から減少に変わる時点で載荷を中止し、供試体が完全破壊をおこさないようにした。この方法で圧縮載荷を行うと初めは目に見えないが微細なクラックが供試体中に入ると考えられ、これを繰返して亀裂を成長させて行った。試験は、

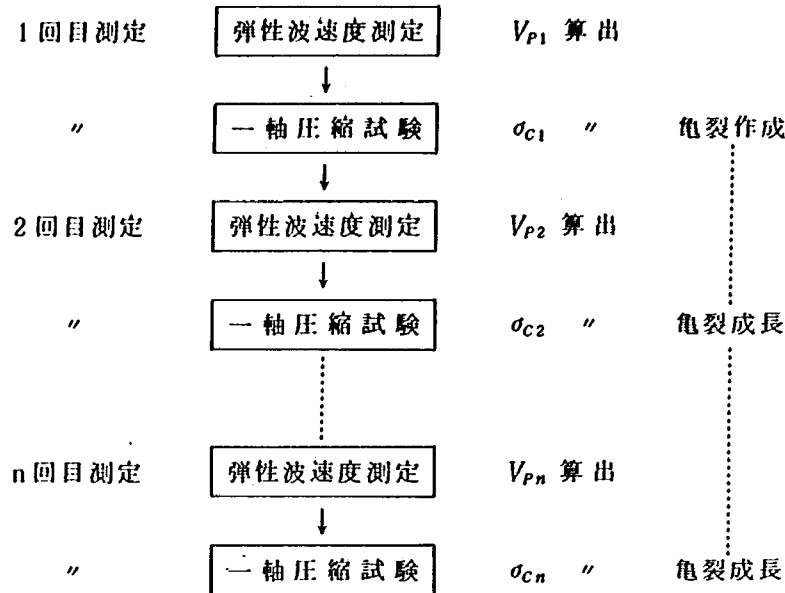


図 4.25 亀裂試験方法

図 4.25 に示すように、まず超音波法により無亀裂供試体の弾性波速度を測定する。その後前述の方法で圧縮試験を行い亀裂を作成し、この弾性波速度測定と圧縮試験を供試体が破壊して試験が不可能となるまで繰返した。

ここで亀裂の成長の程度を前述の亀裂係数で表わすと、図 4.25 の 2 回目以降の試験過程ごとに、

地山 $V_P =$ 亀裂入り供試体 $V_{P2 \sim n}$

岩片 $V_{P0} =$ 無亀裂供試体 V_{P1}

として、それぞれの亀裂係数が求まる。

一方、繰返し圧縮を重ねていく都度供試体の圧縮強度は減少していくため、強度低減率という指標を式 4.8 のように表わしてみた。

$$\alpha = \frac{\sigma_{C2 \sim n}}{\sigma_{C1}} \quad (4.8)$$

ここに、 α : 強度低減率

$\sigma_{C2 \sim n}$: 亀裂入り供試体の圧縮強度 (kg/cm²)

σ_{C1} : 無亀裂供試体の圧縮強度 (kg/cm²)

すなわち、強度低減率 α は繰返し圧縮のサイクルを重ねていくにつれて小さくなっていく。

試験結果より、亀裂係数と強度低減率の関係を図 4.26、亀裂の状態を写真 4.4 に示す。両者の間には、

強度低減率 $\alpha = 0$ ならば亀裂係数 $C_r = 1$

$\alpha = 1$ ならば $C_r = 0$

が成り立つはずであり、図の値はバラツキは多いが、強度低減率が低下すると亀裂係数は大きくなる傾向を示している。また、亀裂の作成方法が圧縮载荷によるためであるのか、亀裂係数 0.7 前後で強度低減率が大きく低下しており、亀裂係数と強度低減率の関係は直線ではなく、図に示した様な曲線になると考えられる。

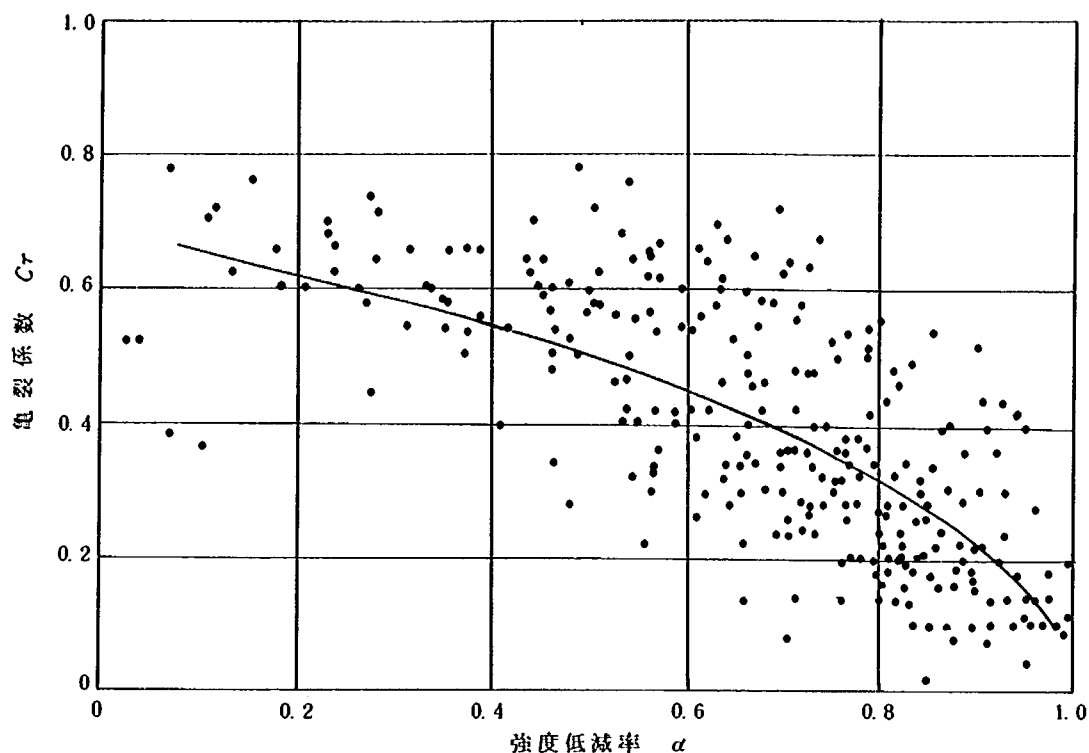


図 4.26 亀裂係数と強度低減率 (疑似岩)

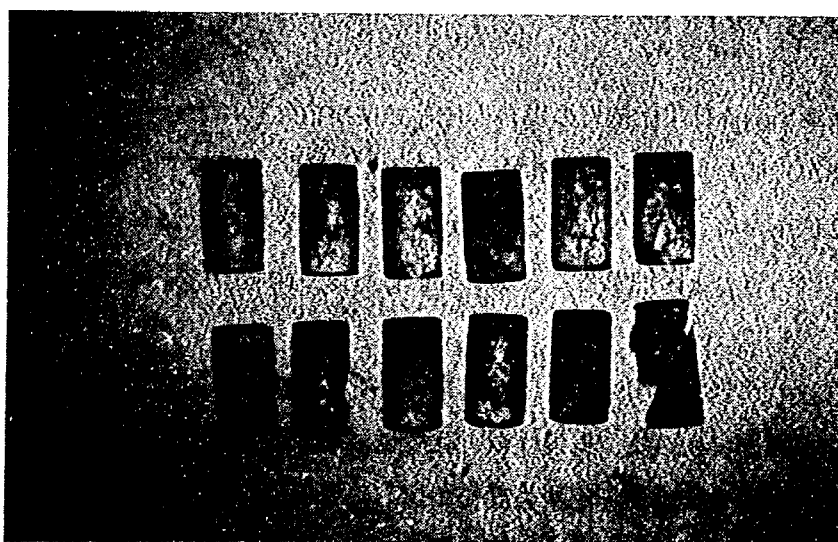


写真 4.4 亀裂の状態

また、図 4.27 の疑似岩の傾向が岩石に適用できるかどうかを知るために、①橄欖岩、②大理石、③砂岩、④白河石、⑤大谷石の天然岩について疑似岩と同様に、弾性波速度測定と圧縮試験を行い、亀裂係数と強度低減率の関係を求めた。

なお、岩石から抜き取った供試体は、気乾状態のままと 48 時間水中水浸の 2 通りの条件で試験を行った。水浸による影響は、橄欖岩のような硬い岩では水浸することによって圧縮強度は若干高くなり、弾性波速度はほとんど変わらないが、その他の岩では強度が下がり弾性波速度は大きくなるという現象が見られた。弾性波速度が大きくなるのは、ある程度ポーラスな岩の空隙中が水で充てんされることによるものと考えられ

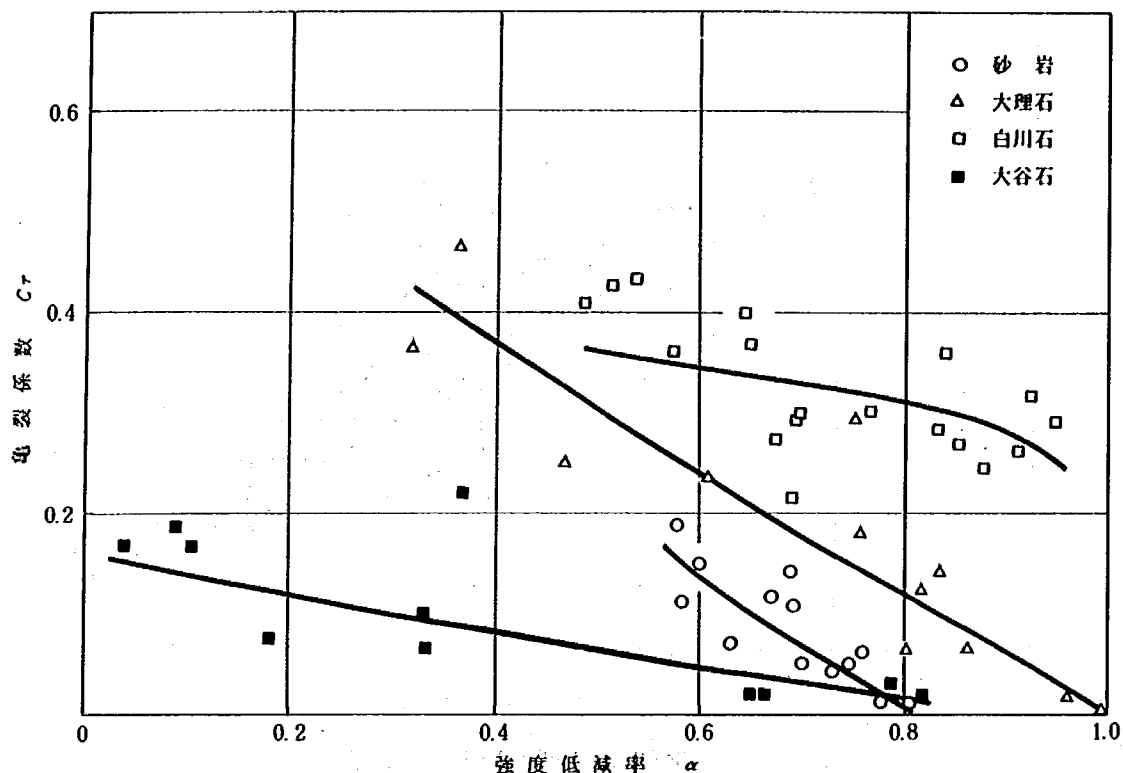


図 4.27 亀裂係数と強度低減率

る。

亀裂係数と強度低減率の関係は、橄欖岩の場合、圧縮強度が桁外れに大きく1回の圧縮試験で破壊してしまい求められなかったが、他の岩種については図 4.27 に示すように、疑似岩の関係に比べ、亀裂係数の増加に対して強度低減率の低下が著しくなっている。しかし亀裂係数と強度低減率の関係は、岩種別にまったく異なり、その傾向は、はっきりと区別することができ、これより両者の関係は岩石の種類別に求めることができる。

以上より、亀裂の含まれた岩石の圧縮強度は、動弾性係数の2乗と単純に比例せず、亀裂係数と強度低減率は岩石の種類別に決まると考えられ、亀裂係数と強度低減率の関係を岩石の種類別に予め求めておくことができれば、現場の岩片の弾性波速度と圧縮強度を測定し、さらに地山全体の弾性波速度を知ることによって、亀裂係数から強度低減率、強度低減率より岩片（無亀裂状態）の圧縮強度に対する地山の亀裂を含んだ修正圧縮強度が求められ、修正圧縮強度を図 4.15 の一軸圧縮強度に置き換えることによって掘削水平抵抗力を推定することができるため、ブルドーザのリッパによる施工計画段階で、より精度の高いリッパ掘削能力を予測することが可能になると考えられる。

図 4.28 に上述の手順を示す。

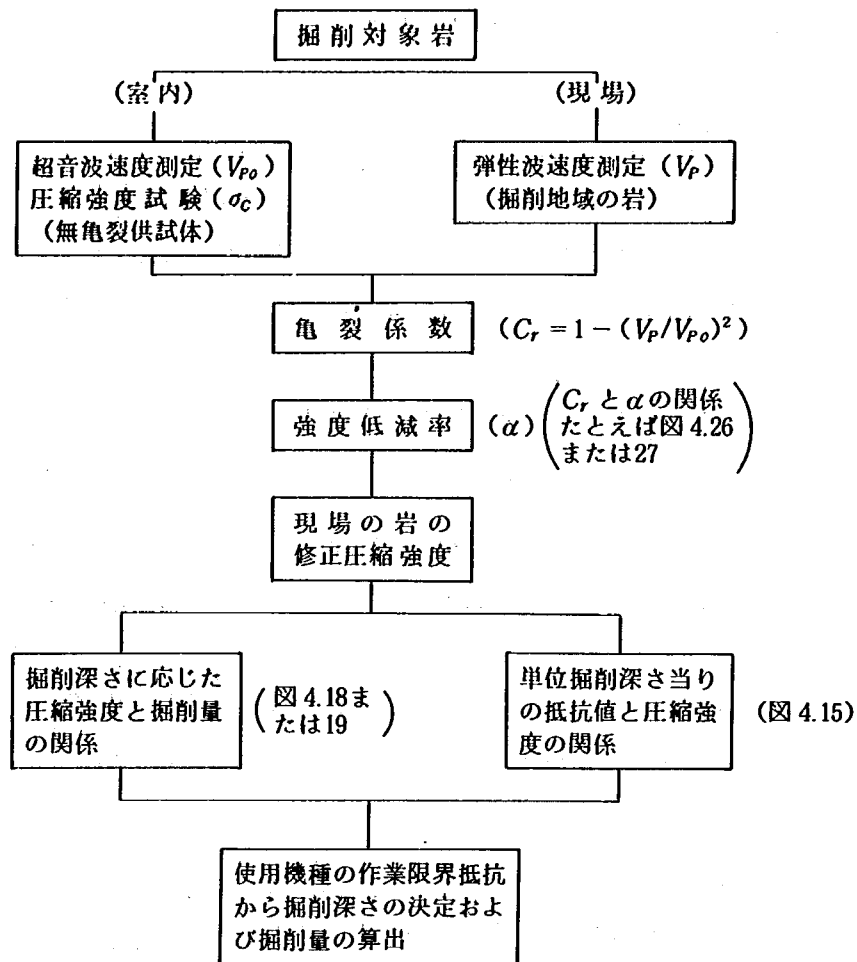


図 4.28 本試験調査結果の現場への適用手順

5. 掘削能力の拡大に関する検討

5.1 室内模型実験による検討

岩石は、種々の鉱物粒子が水、空気等を含んだ形で複雑に結合されており、岩石中にはこれら粒子間の空隙や鉱物間の物性の差異あるいは結晶性に起因する種々の不連続面を含んでいる。このため、これらの境界面では強度的に周囲に対して結合力が脆弱であるため、岩石に振動あるいは衝撃力等の力学的作用が加わると、これが強度的に脆弱な部分にも作用して微妙なすべりを生じさせ、亀裂の誘因となることが考えられる。さらに、これらの現象が継続すると、発生した亀裂はますます助長されることになり破砕が一層促進され、ついには岩石の全体的な破壊へと拡大される。

したがって、リップにより岩石を掘削する場合においても、リップシャンクの刃先に振動あるいは衝撃力を付加すれば、その分だけ岩石の破壊が促進される。すなわちリップの掘削能力の拡大が図れるものと考えられる。

加振効果を調査するため、刃先に振動を加えて行った岩石掘削の2次元掘削試験機による室内模型実験¹⁾によれば、起振力に比例して刃先に作用する掘削深当たり水平抵抗力 f_H が減少し、起振力100 kg当たり f_H は、60~80%に減少する。従って掘削能力は、それだけ拡大したと考えることができる。また、掘削深が5 mm程度までなら、掘削深が大きいほど加振効果が大きいことが認められた。

刃先に衝撃力を付加した場合、掘削能力もしくは掘削抵抗力はどうなるかを調査した2次元掘削試験機による室内模型実験の結果について述べる。

実験は、図2.1に示したように改造した2次元掘削試験機で、エアブレーカにより刃先の軸線方向に約400 kg (約1000 blow/min) の衝撃力を付加しながら掘削を行った。

図5.1は、衝撃力を付加した場合としない場合の掘削条件が同じ時の記録波形を示したものである。衝撃付加掘削の場合、データのバラツキは大きくなるが、一般的にみてカット部における最大掘削抵抗力の違いはあまり大きくなく、垂直力も大きくは違わなく、またどちらが大きいとも言えない。最も大きな相違点は、リンク部における水平抵抗力であり、衝撃と付加すると1/5以下に低下していることが分る。

すなわち、この現象を実機によるリップ掘削の場合で考えてみると、リンク部の掘削抵抗力はすなわ

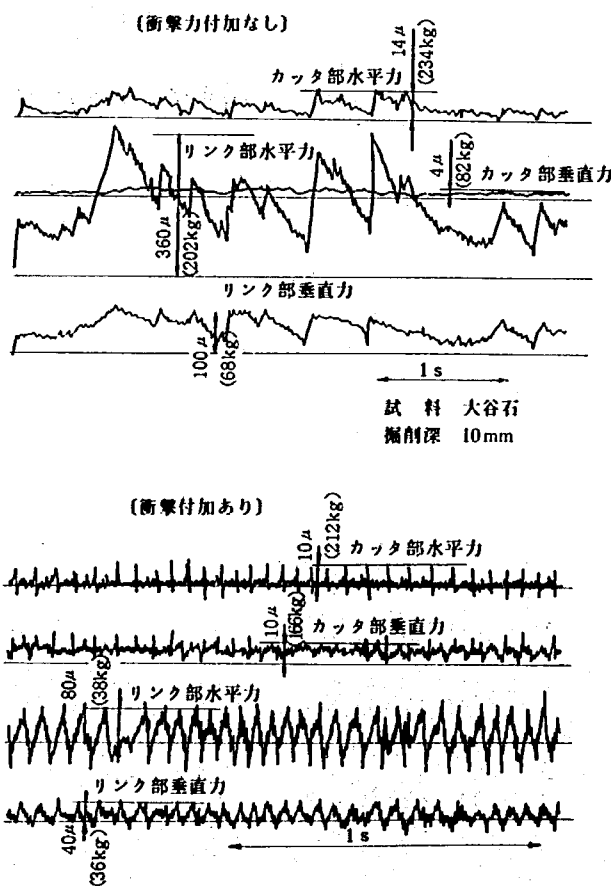


図5.1 掘削抵抗力記録波形の比較

ち、ブルドーザ本体の牽引抵抗に相当するものであるから、掘削に必要なブルドーザの牽引力は、衝撃力を付加した場合に1/5 以下でよいことになる。

しかしながら、掘削抵抗がある程度以上増加すると衝撃付加の効果は低下してしまう。図 5. 2 は、試料の一部について両者を比較したものを示したが、図のように、岩石が硬いものでは、掘削深が増加し水平抵抗が増していくと、衝撃付加の場合の水平抵抗は直線的に増加するのではなく、途中から急激に増加しているのが認められる。

さらに、注意深く両者の関係を観察してみると、衝撃なしの時の抵抗がおよそ400 kg 付近、すなわち付加衝撃力の大きさを超えると衝撃付加効果が低下してくるのが分る。このような状態の時の抵抗記録波形は、図 5. 3 のように、丁度衝撃なしの場合の記録波形（図 4. 1）から衝撃付加力だけ減じたような形になっている。

すなわち、衝撃付加による効果は、掘削抵抗が付加される衝撃力の範囲内でのみ十分得られ、

抵抗がこれを超えた場合は、付加した衝撃力の分だけしか抵抗は減じないことになる。

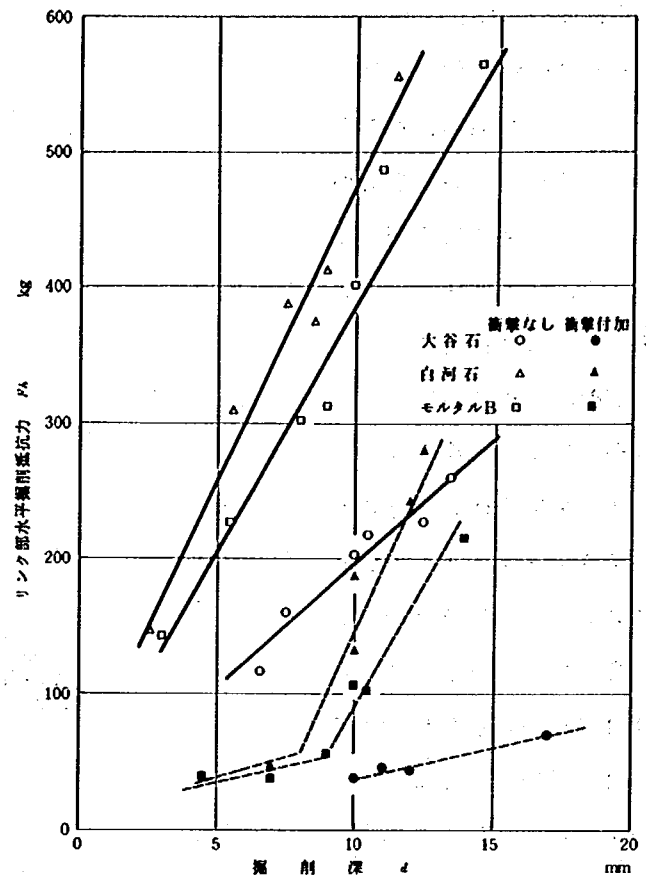


図 5. 2 衝撃付加掘削のリンク部水平抵抗力の変化

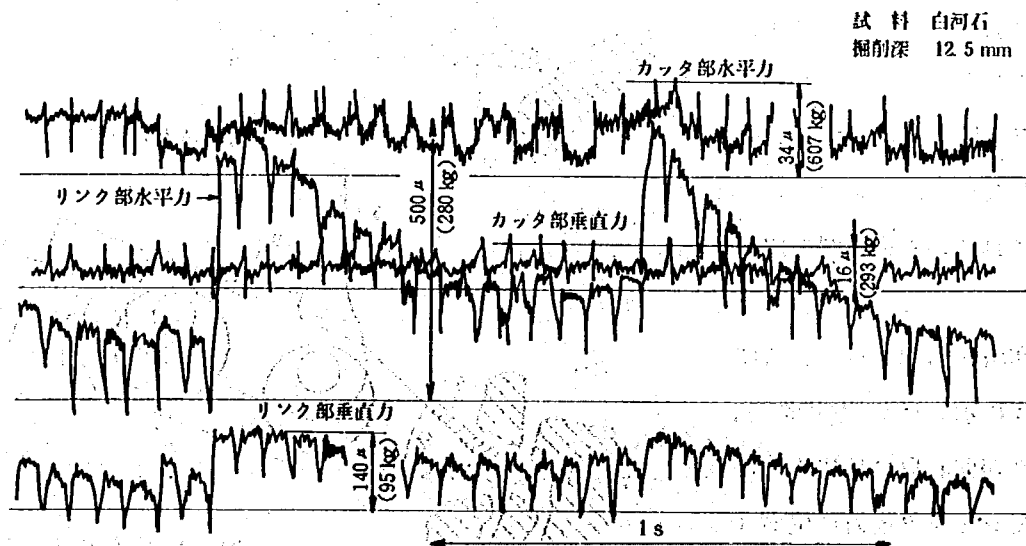


図 5. 3 抵抗の大きい時の衝撃付加掘削抵抗記録波形

5.2 応・用 例

室内模型実験により、リッパに振動もしくは衝撃を付加した場合に、掘削能力の増加が図られることが確認できたが、これらの装置を実機のブルドーザのリッパ装置に適用して十分な効果を得るには、解決しなければならない諸問題が残されている。

実機に適用するに当たっての主な問題点を列挙すると次のものが考えられる。

(1) 装置全体の大きさをブルドーザのアタッチメントとして装着できるようにコンパクトにまとめる。

(2) ブルドーザ本体に取り付け、取りはずしが容易な構造とする。

(3) 振動もしくは衝撃力発生のためのエネルギー源を本体と共通にすることが望まれる。

(4) 他の作業装置と同様にオペレータ席から装置の制御が可能となるようにする。

(5) 現場では、特に硬い岩石の箇所で振動もしくは衝撃付加が必要と考えられるため、付加力なしの普通の状態でも掘削が可能な構造であること。

以上の問題点の解決に当たっては、今後の研究を待たなくてはならない。

現在、公表されている応用例を以下に述べてみる。

(株)小松製作所から出されている特許¹³⁾は、図 5.4 に示したような構造で、リッパシャックが偏心取付軸により前後に可動できてシャック後方に位置する衝撃発生器により衝撃力が得られる。

この装置による岩石掘削の状態は、図

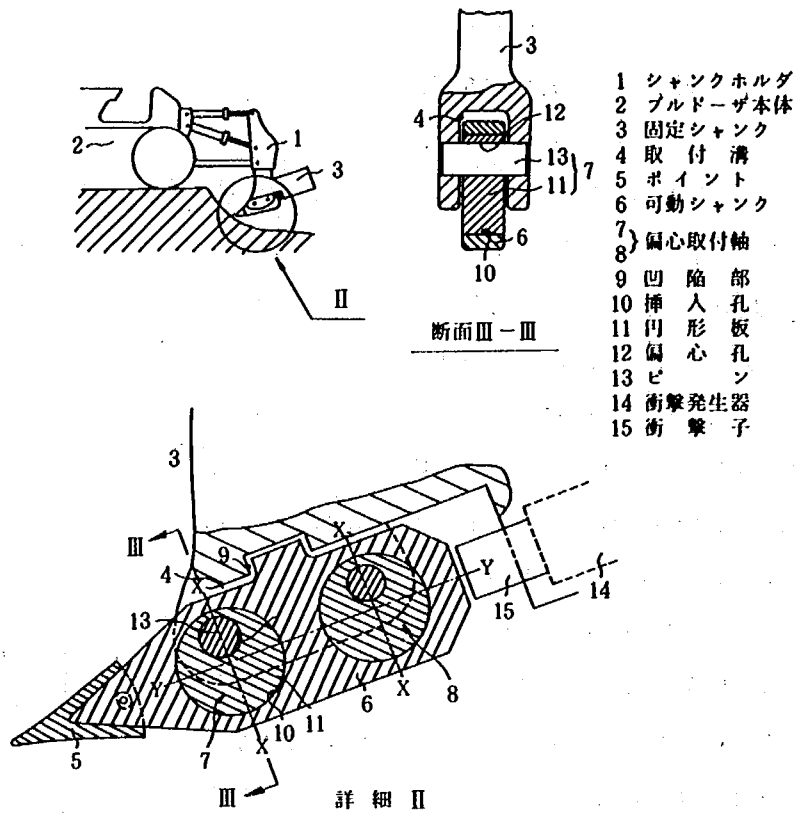


図 5.4 衝撃付加リッパ装置

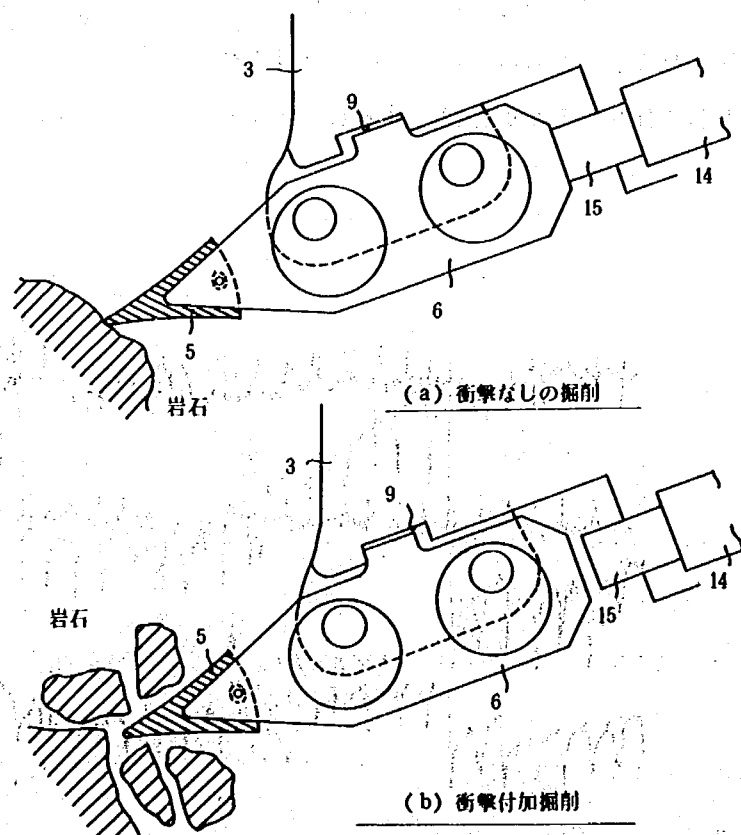


図 5.5 リッパ装置の岩石掘削の状態

5.5に示すように、一般の掘削では(a)のような状態で掘削して、衝撃付加掘削では(b)のようになる。

さらに衝撃発生器についても同社から特許¹⁴⁾が出されている。これは、ブルドーザ本体の油圧を利用できるように油圧駆動される構造となっている。

アメリカ陸軍車両研究開発センター (U. S. Army Mobility Equipment Research and Development Center) では、2段燃焼 (Two - Stage Combustion) エンジンによる衝撃リッパを開発試作し、キャタピラー社のD7Fに装着して、実験を行った¹⁵⁾。

この研究で開発された2段燃焼エンジンは、図5.6で示されるような運転サイクルによって動作する。システム全体は、トラクタで駆動されるプロアーによって発生する20 psig (1.4 kg/cm²) の空気圧で運転が継続される。

まず、オペレータの操作でディーゼル燃料が第1燃焼室へ噴霧され、点火プラグによって混合気は大きな第1燃焼室の一端で点火され燃焼し、チューブに沿って膨張するため、まだ未燃焼の混合気は圧縮されて小さな第2燃焼室へ送られる。炎が進行してきて、吸入チェッキバルブを通り第2燃焼室に入り、ここで100 psig (70.3 kg/cm²) 付近に圧縮されている混合気に急速に

点火し、第2燃焼室内の最終的な燃焼圧力はおおよそ600 psig (421.8 kg/cm²) にも達する。この燃焼圧力は、排気バルブを広げ、燃焼ガスがダクトを通して逃げピストンを急激に押し下げ、リッパシャックに大きな衝撃力を加えることになる。

サイクルは、オペレータの操作により一打撃ずつ自動的に繰り返され、約6秒毎に1打撃の動作を継続することになる。

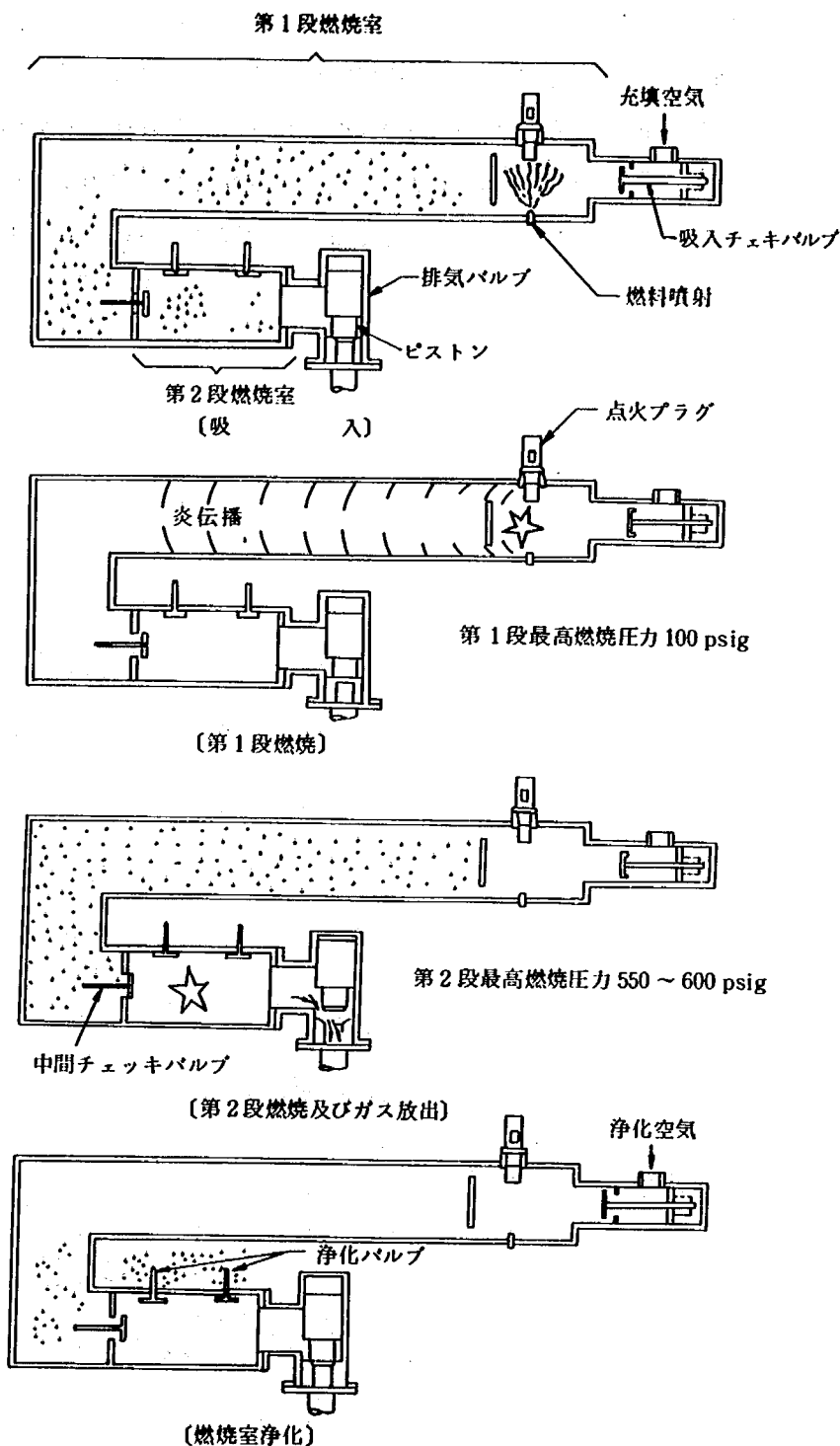


図 5.6 2 段燃焼エンジンの運転サイクル

また、この原理からするともう一つ燃焼室を増やし、3段燃焼にすればさらに高い燃焼圧力が得られると考えられるが、この研究における模型実験からは、3段目の燃焼圧力はほとんど2段目の燃焼圧力と違わず、実質的にはほとんど3段の効果は得られなかったと報告している。

キャタピラー社のD7Fに装着するように試作した装置の全重量は約1000lb(454kg)であり、この装着したブルドーザの衝撃付加掘削の施工量は、標準リッパによる施工量のほぼ2倍近くにも増加した。

6. ま と め

本報告は、昭和53年度から昭和55年度にわたって実施した、リッパ工法に関する室内実験及びリッパ試験機による実大実験の成果をとりまとめたものである。

本調査の結果を要約すると以下ようになる。

(1) リッパによる掘削時に岩石が破壊される形態は、室内模型実験及び疑似岩を使用した実大実験の結果より亀裂形であることが確認された。

(2) 掘削抵抗力と掘削深の間に比例関係が得られ、水平抵抗力、垂直抵抗力ともに掘削深との関係を直線で表わすことができ、特に水平抵抗力については、掘削深との関係が原点を通る直線とみなせることが判明した。

(3) 室内の模型実験から掘削深当たり水平抵抗力は岩石の一軸圧縮強度のほぼ0.5乗に比例し、掘削深当たり垂直抵抗力は1.2乗前後に比例し増加することが判明し、実大実験からもこの関係を確認することができた。したがって、この関係から岩の一軸圧縮強度を知ることにより掘削抵抗力を推定することが可能となる。

(4) 掘削抵抗力に占める水平抵抗力、垂直抵抗力の比率は、軟い岩石の掘削では水平抵抗力が多くを占め、岩石が硬くなるに従い垂直抵抗力の比率が大きくなる傾向を示した。従って軟い岩石の掘削ではブルドーザのけん引力が掘削能力の判定に大きく影響するが、岩石が硬くなるとリッパを貫入させるために大きな押付力が必要となり、硬い岩石に対する掘削能力の判定には押付力をも考慮する必要がある。

(5) 掘削量、掘削断面積ともに掘削深が深くなるに従い増加し、その傾向は実験の掘削深30 cm程度までの範囲では掘削深が深くなるほど著しくなっていた。

(6) 掘削断面積と掘削幅は、一軸圧縮強度が大きくなるとともに増加の傾向を示すが、ある程度の強度以上では、一軸圧縮強度が大きくなると両者とも減少に転じる関係が認められた。

(7) 岩石の亀裂を含めた評価値である亀裂係数と強度低減率は、岩石の種類別に関係づけることができ、この関係を予め求めておくことにより、強度低減率から岩片（無亀裂状態）の圧縮強度に対する地山（亀裂の入った状態）の修正圧縮強度が求められ、さらに(3)の圧縮強度と掘削抵抗力の関係において、圧縮強度を修正圧縮強度に置き換えて掘削抵抗力を推定することができる。すなわち、現場で弾性波速度と岩片の圧縮強度を測定することにより、岩石掘削の施工計画段階で、より精度の高いリッパ掘削能力を予測することが可能になると考えられる。

(8) リッパ掘削において刃先に衝撃力を付加した場合の効果は、掘削抵抗力が付加される衝撃力の範囲内では十分得られるが、抵抗力がこれを超えた場合は付加した衝撃力の分だけしか抵抗力は減少せず、衝撃力を付加することによる効果は少なくなることが判明した。

以上、リッパの掘削性能に及ぼす要因についての定量的関係を把握することができ、試験調査結果から現場におけるリッパ掘削能力の推定方法を提案することができた。

また、リッパの掘削能力を拡大するため、衝撃付加掘削の室内実験結果から衝撃付加掘削の利点並びに適用限界の概要について把握することができ、かつその応用例についても紹介した。

今後これらの実用化に向って残された問題は以下のとおりである。

- (1) 節理や亀裂の入った自然岩に対しても、リッパ掘削能力へ与える諸要因が本実験結果と同様な相関関係を示すかを確認する。
- (2) 本試験調査で提案したリッパ掘削能力の推定手法が十分実用性があるかを現場実験等により確認する。
- (3) リッパ掘削能力を拡大するための衝撃付加機構に関する実用機を開発する。

参 考 文 献

- 1) 本田宜史, 他: 岩石掘削工法に関する試験調査, — リッパ掘削に関する実験的研究 —, 土木研究所資料第1184号, 昭52. 2
- 2) 沢田茂良, 太田 宏: 岩石掘削工法に関する試験調査 (第2報), — リッパ掘削施工実績調査の解析 —, 土木研究所資料第1594号, 昭55. 6
- 3) 特許出願公告: 昭54- 27044, リッパ装置の力測定装置, 株式会社小松製作所
- 4) 大久保彪, 寺崎 晃: 岩石の物理的性質と弾性波速度, 土と基礎, 19- 7 (161)
- 5) 明石外世樹: コンクリート工学ハンドブック, 朝倉書店, 1965, 398 p
- 6) 日本機械学会編: 機械工学便覧, 日本機械学会, 17- 119, 昭52. 7
- 7) 鈴木 光, 西松裕一: 岩石およびセメントモルタルの切削抵抗について (第1報), 日本鉱業会誌84, N 961, 548 p
- 8) 沢田茂良, 他: 岩石掘削工法に関する試験調査, 土木研究所, 道路事業調査費報告, 昭55. 5
- 9) 小野寺透: 岩の工学的性質と設計・施工への応用, 土質工学会編, 昭49. 4, 181 p
- 10) 日本道路協会: 道路土工施工指針, 昭52. 1, 157 p
- 11) 三木幸蔵: わかりやすい岩石と岩盤の知識, 鹿島出版会, 昭53. 11, 199 p
- 12) 池田和彦: 割れ目岩盤の性状および強度, 応用地質, 20巻4号, 1979, 20 p
- 13) 特許出願公告: 昭52- 25011, リッパ装置, 株式会社小松製作所
- 14) 特許出願公告: 昭53- 33921, 直動モータ, 株式会社小松製作所
- 15) R. J. Mathis: Development of Explosive Ripper with Two- stage Combustion
U. S Army Mobility Equipment Research and Development Center

附 表

附表1 岩石掘削室内模型実験結果（その1）

岩石名	条件	掘削深 d (mm)	掘削幅 w (mm)	カッタ部掘削抵抗力				リンク部掘削抵抗力			
				水平力		垂直力		水平力		垂直力	
				歪($\times 10^{-6}$)	力(kg)	歪($\times 10^{-6}$)	力(kg)	歪($\times 10^{-6}$)	力(kg)	歪($\times 10^{-6}$)	力(kg)
大谷石	衝撃なし	6.5	27	8	132	2	42	220	117	80	65
		7.5	38	10	174	4	76	290	160	90	68
		10.0	38	14	234	4	82	360	202	100	68
		10.5	40	14	234	4	82	380	218	100	69
		12.5	35	16	264	4	85	400	227	110	78
		13.5	56	20	323	4	20	460	258	130	89
	衝撃付加	10.0	37	10	212	10	166	80	38	40	36
		11.0	37	10	187	6	106	90	45	40	35
		12.0	40	12	229	8	139	90	45	40	35
		17.0	55	20	361	10	182	140	70	60	52
砂岩	衝撃なし	2.0	16	10	210	10	169	400	180	220	200
		2.5	23	10	212	10	166	400	180	220	200
		4.0	32	16	314	12	206	600	297	270	237
		7.0	53	22	414	14	248	750	387	300	253
		8.5	64	26	486	16	285	800	412	320	270
	衝撃付加	6.0	58	14	284	12	203	100	52	40	34
		9.5	96	22	416	14	245	520	278	180	138
		9.5	62	30	535	14	257	500	258	200	169
		11.0	102	30	523	12	227	540	298	170	130
		12.0	108	32	577	16	290	770	438	210	149
白河石	衝撃なし	2.5	15	8	157	6	103	320	147	170	153
		5.5	25	20	336	6	121	600	309	240	203
		7.5	45	22	391	10	185	750	387	300	253
		8.5	85	32	538	10	202	740	376	310	266
		9.0	48	24	433	12	218	800	412	320	270
		11.5	70	36	625	14	266	1,050	558	380	309
	衝撃付加	7.0	32	14	271	10	172	120	48	80	77
		10.0	56	20	361	10	182	260	131	110	92
		10.0	38	16	314	12	206	350	188	120	92
		12.0	50	24	447	14	248	450	243	150	113
		12.5	48	34	607	16	293	500	280	140	95
モルタル	衝撃なし	6.0	32	14	259	8	142	450	219	210	186
		6.5	35	18	319	8	148	600	313	230	191
		7.5	36	20	361	10	182	600	309	240	203
		9.5	53	22	391	10	185	700	367	260	206
		10.5	47	22	464	10	194	750	403	260	208
	衝撃付加	5.0	30	20	336	6	121	90	45	40	35
		6.5	40	24	396	6	127	120	57	60	54
		7.5	45	26	438	8	160	160	76	80	72
		9.0	48	16	289	8	145	170	83	80	71
		12.0	75	26	463	12	221	180	89	80	70
		13.0	64	24	446	14	248	200	103	80	68

附表1 岩石掘削室内模型実験結果 (その2)

岩石名	条件	掘削深 d (mm)	掘削幅 w (mm)	カッタ部掘削抵抗力				リンク部掘削抵抗力			
				水平力		垂直力		水平力		垂直力	
				歪($\times 10^{-6}$)	力(kg)	歪($\times 10^{-6}$)	力(kg)	歪($\times 10^{-6}$)	力(kg)	歪($\times 10^{-6}$)	力(kg)
モルタ	衝撃なし	3.0	18	8	157	6	103	300	146	140	124
		5.5	33	16	289	8	145	440	229	170	142
		8.0	47	18	331	10	179	580	302	220	176
		9.0	56	20	361	10	182	600	311	230	185
		10.0	48	26	450	10	193	740	402	240	178
		11.0	55	24	431	12	221	720	388	240	181
		14.5	66	36	598	10	209	1,000	566	270	179
	衝撃付加	4.5	24	18	319	8	148	80	38	40	36
		7.0	30	20	361	10	182	80	38	40	36
		9.0	40	24	433	12	218	120	57	60	53
		10.0	50	24	433	12	218	200	107	70	56
		10.5	55	28	493	12	224	200	102	80	65
		14.0	70	36	625	14	266	400	215	140	112
モルタルC	衝撃なし	2.0	13	8	144	4	73	280	141	120	104
		5.0	24	12	217	6	109	330	167	140	121
		8.0	34	22	366	6	124	550	305	170	129
		9.0	45	22	366	6	124	560	300	190	145
		10.0	46	26	437	8	163	640	351	200	146
	衝撃付加	5.5	30	48	—	—	—	80	38	40	36
		6.0	31	20	348	8	151	80	38	40	36
		7.0	34	48	—	—	—	80	42	30	25
		7.0	36	24	408	8	157	80	38	40	36
		9.0	48	28	468	8	163	80	42	30	25
		11.0	55	30	498	8	166	100	43	60	56
モルタルD	衝撃なし	7.0	36	10	162	2	45	280	154	90	70
		9.5	47	14	221	2	51	340	189	100	70
		10.0	48	14	221	2	51	400	232	100	67
		14.5	64	20	310	2	61	500	285	130	84
		15.5	68	22	340	2	64	540	312	130	79
	衝撃付加	7.0	30	16	—	—	—	50	22	30	28
		7.0	33	26	425	6	130	80	42	30	25
		7.5	30	—	—	—	—	70	35	30	26
		8.0	33	—	—	—	—	60	28	30	27
		8.0	28	28	455	6	133	80	42	30	25
		9.5	35	32	627	8	169	80	42	30	25
ソイルセメントE	衝撃なし	2.0	13	8	169	8	133	300	138	160	147
		3.0	19	10	210	10	169	360	170	180	162
		5.0	30	14	271	10	172	500	253	210	180
		5.5	36	16	289	8	145	500	258	200	169
		8.5	48	22	391	10	185	650	331	270	231
		9.0	58	24	421	10	188	750	395	280	231
		10.0	58	26	474	14	254	740	380	300	255

附表1 岩石掘削室内模型実験結果 (その3)

岩石名	条件	掘削深 d (mm)	掘削幅 b (mm)	カッタ部掘削抵抗力				リンク部掘削抵抗力			
				水平力		垂直力		水平力		垂直力	
				歪($\times 10^{-6}$)	力(kg)	歪($\times 10^{-6}$)	力(kg)	歪($\times 10^{-6}$)	力(kg)	歪($\times 10^{-6}$)	力(kg)
ソイルセメントE	衝撃なし	10.0	60	24	433	12	218	800	418	300	239
		13.5	96	36	622	14	270	1,000	537	340	259
	衝撃付加	5.0	32	—	—	—	—	60	24	40	38
		5.5	25	28	443	4	103	80	34	50	47
		8.0	42	32	502	4	109	80	38	40	36
		9.5	44	—	—	—	—	80	38	40	36
		11.0	45	32	527	8	169	110	54	50	44
		12.0	68	—	—	—	—	120	48	80	76
ソイルセメントF	衝撃なし	2.0	13	8	169	8	133	350	167	170	149
		4.5	28	14	271	10	172	500	249	220	192
		5.5	40	20	347	8	153	550	275	240	209
		7.5	55	22	389	10	187	700	362	270	218
		8.0	40	22	403	12	215	700	359	280	229
		11.0	67	32	562	14	263	950	499	350	277
	衝撃付加	3.5	20	—	—	—	—	70	35	30	25
		5.0	25	—	—	—	—	70	31	40	37
		6.0	28	—	—	—	—	80	38	40	35
		6.0	28	—	—	—	—	100	47	50	45
		6.5	21	—	—	—	—	100	43	60	56
		9.0	50	—	—	—	—	120	57	60	54
	衝撃なし	5.5	28	14	246	6	112	480	252	180	149
		6.0	27	14	246	6	112	400	206	160	135
		7.0	33	20	348	8	151	526	284	170	132
		9.0	50	24	406	8	159	640	354	200	153
		11.0	44	30	496	8	169	700	383	220	161
		13.5	54	32	540	10	200	900	493	280	203
ソイルセメントG	衝撃付加	7.0	35	8	157	6	103	100	47	50	45
		9.5	47	12	229	8	139	100	52	40	34
		9.5	53	12	217	6	109	400	223	120	90
		10.0	40	10	187	6	106	100	43	60	56
		11.0	55	20	336	6	121	160	76	80	72
		12.0	62	18	306	6	118	300	172	80	56

附表 2-1 疑似岩予備試験結果 (フライアッシュ混合による強度への影響)

配合 区分	単 位 量 (kg / m ³)				W / C (%)	フロー値 (cm)	強 度 試 験					配合 区分	単 位 量 (kg / cm ³)				W / C (%)	フロー値 (cm)	強 度 試 験				
	セメント	フライ アッシュ	水	砂			番号	最大荷 重 (kg)	断面積 (cm ²)	圧縮 強度 (kg / cm ²)	養生 方法		セメント	フライ アッシュ	水	砂			番号	最大荷 重 (kg)	断面積 (cm ²)	圧縮 強度 (kg / cm ²)	養生 方法
セメント: フライアッシュ 100:0	100	0	285	1,764	285.0	12.3	1	931	78.23	11.9	標準 養生	セメント: フライアッシュ 100:0	300	0	250	1,685	83.3	13.2	1	11,875	78.85	150.6	標準 養生
							2	810	77.91	10.4									2	11,475	77.76	147.6	
							3	720	78.85	9.1									3	11,450	78.38	146.1	
							平均			10.5									平均			148.1	
100:0	150	0	275	1,748	183.3	12.4	1	2,555	78.38	32.6	標準 養生	70:30	210	90	245	1,664	81.7	13.7	1	6,140	78.07	78.7	標準 養生
							2	2,375	78.23	30.4									2	6,060	78.54	77.2	
							3	2,010	78.38	25.6									3	5,915	78.07	75.8	
							平均			29.5									平均			77.2	
100:0	250	0	255	1,715	102.0	13.8	1	7,340	77.91	94.2	標準 養生	50:50	150	150	240	1,591	80.0	13.9	1	3,485	77.60	44.9	標準 養生
							2	7,280	77.91	93.4									2	3,235	77.91	41.5	
							3	6,720	78.07	86.1									3	3,272	77.76	42.1	
							平均			91.2									平均			42.8	
70:30	175	75	250	1,700	100.0	13.9	1	3,445	77.91	44.2	標準 養生	100:0	350	0	245	1,656	70.0	13.3	1	15,800	77.60	203.6	標準 養生
							2	3,435	77.91	44.1									2	15,625	77.76	200.9	
							3	2,985	77.60	38.5									3	15,400	78.07	197.3	
							平均			42.3									平均			200.6	
50:50	125	125	245	1,694	98.0	13.4	1	1,942.5	78.54	24.7	標準 養生	70:30	245	105	240	1,629	68.6	13.0	1	8,270	77.76	106.4	標準 養生
							2	1,847.5	78.23	23.6									2	7,790	77.76	100.2	
							3	1,740.0	78.07	22.3									3	7,720	77.29	99.9	
							平均			23.5									平均			102.2	
100:0	200	0	265	1,731	132.5	13.2	1	4,300	78.23	55.0	標準 養生	50:50	175	175	235	1,615	67.1	13.4	1	4,750	77.44	61.3	標準 養生
							2	4,265	78.07	54.6									2	4,590	77.91	58.9	
							3	4,210	77.60	54.3									3	4,410	78.07	56.5	
							平均			54.6									平均			58.9	
70:30	140	60	260	1,721	130.0	13.0	1	2,615	78.23	33.4	標準 養生	50:50	100	100	255	1,718	127.5	13.2	1	1,317.5	77.76	16.9	標準 養生
							2	2,572	78.07	32.9									2	1,295.0	77.91	16.6	
							3	2,460	78.23	31.4									3	1,237.5	77.60	16.0	
							平均			32.6									平均			16.5	

附表 2-2 疑似岩予備試験結果 (セメント量と圧縮強度)

(第 1 回掘削実験用予備試験)

目標強度 (kg/cm ²) (セメント 量 kg/m ³)	No	伝播 時間 (μs)	供試 体長 (cm)	伝播 速度 (m/s)	平均 速度 (m/s)	最大 荷重 (kg)	断面積 (cm ²)	圧縮 強度 (kg/cm ²)	平均 強度 (kg/cm ²)	重量 (g)	密度 (g/cm ³)	平均 密度 (g/cm ³)
— (75)	1	50.0	10.04	2,000	2,000	79	19.63	4.0	4.1	402.5	2.042	2.058
	2	50.0	10.10	2,000		63	19.63	3.2		408.5	2.060	
	3	50.5	10.07	2,000		103	19.87	5.2		414.3	2.071	
— (100)	1	44.7	10.10	2,300	2,300	142	19.56	7.3	8.9	408.5	2.068	2.075
	2	45.0	10.07	2,200		159	19.56	8.1		409.7	2.080	
	3	42.6	10.00	2,300		221	19.63	11.3		408.0	2.078	
20 (125)	1	38.8	10.10	2,600	2,600	337	19.56	17.2	16.3	415.1	2.101	2.094
	2	39.6	10.04	2,500		320	19.71	16.2		412.8	2.086	
	3	38.3	10.06	2,600		307	19.79	15.5		417.2	2.096	
30 (150)	1	34.5	10.06	2,900	3,000	491	19.56	25.1	26.0	419.4	2.131	2.129
	2	33.4	10.06	3,000		516	19.63	26.3		420.4	2.129	
	3	32.7	10.04	3,100		525	19.71	26.6		421.0	2.127	
40 (175)	1	32.6	10.02	3,100	3,100	735	19.63	37.4	38.8	418.0	2.125	2.134
	2	32.2	10.03	3,100		833	19.56	42.6		419.8	2.140	
	3	31.8	10.05	3,200		715	19.71	36.3		423.5	2.138	
50 (195)	1	31.7	10.04	3,200	3,300	962	19.63	49.0	49.8	419.2	2.127	2.137
	2	31.3	10.04	3,200		975	19.48	50.1		417.8	2.136	
	3	29.1	10.09	3,500		995	19.79	50.3		429.0	2.148	
60 (210)	1	29.8	10.04	3,400	3,400	1,223	19.56	62.5	61.3	421.8	2.148	2.150
	2	28.1	10.09	3,600		1,273	19.63	64.8		426.4	2.153	
	3	30.6	10.04	3,300		1,115	19.71	56.6		425.1	2.148	
70 (225)	1	28.4	10.00	3,500	3,500	1,478	19.71	75.0	73.2	425.7	2.160	2.161
	2	28.6	10.02	3,500		1,394	19.63	71.0		424.9	2.160	
	3	28.3	10.04	3,500		1,445	19.63	73.6		426.4	2.164	
80 (240)	1	27.3	10.03	3,700	3,600	1,616	19.71	82.0	82.3	428.7	2.169	2.167
	2	27.9	10.01	3,600		1,640	19.63	83.5		426.1	2.168	
	3	27.8	10.02	3,600		1,605	19.71	81.4		427.4	2.164	
90 (250)	1	27.0	10.07	3,700	3,600	1,828	19.95	91.6	95.9	436.0	2.170	2.170
	2	27.6	10.06	3,600		1,893	19.63	96.4		428.2	2.168	
	3	27.9	10.13	3,600		1,960	19.63	99.8		432.0	2.172	

附表 2-3 疑似岩予備試験結果 (セメント量と圧縮強度)

(第 2,3 回掘削実験用予備試験)

目標強度 kg/cm^2 (セメント量 kg/m^2)	No.	荷重 (kg)	断面積 (cm^2)	圧縮強度 (kg/cm^2)	平均圧縮強度 (kg/cm^2)	時間 ($\times 10^{-6} \text{ s}$)	長さ (cm)	弾性波速度 (m/s)	平均弾性波速度 (m/s)	空中重量 (g)	容積 (cm^3)	密度 (g/cm^3)	平均密度 (g/cm^3)
5 (80)	1	203	19.51	10.4	10.0	42.1	10.38	2,500	2,500	430.5	202.5	2.126	2.113
	2	188	19.59	9.6		40.6	10.19	2,500		419.1	199.6	2.100	
	3	—	—	—		—	—	—		—	—	—	
10 (100)	1	300	19.51	15.4	15.5	37.9	10.29	2,700	2,700	427.3	200.8	2.128	2.127
	2	310	19.63	15.8		37.9	10.24	2,700		423.2	201.0	2.105	
	3	297	19.47	15.3		36.8	10.22	2,800		427.7	199.0	2.149	
40 (175)	1	907	19.71	46.0	47.1	32.5	10.17	3,100	3,200	424.4	200.5	2.117	2.169
	2	1,025	19.55	52.4		30.5	9.98	3,300		429.8	195.1	2.203	
	3	842	19.59	43.0		30.7	9.98	3,300		427.7	195.5	2.188	
80 (235)	1	1,192	19.71	60.5	62.7	30.1	10.02	3,300	3,400	428.5	197.5	2.170	2.187
	2	1,030	19.63	52.5		29.7	10.08	3,400		435.4	197.9	2.200	
	3	1,472	19.63	75.0		28.8	10.10	3,500		434.6	198.3	2.192	
100 (260)	1	2,075	19.71	105.3	101.7	27.2	9.98	3,700	3,700	433.0	196.7	2.201	2.195
	2	1,905	19.79	96.3		27.5	10.10	3,700		435.1	199.9	2.177	
	3	2,022	19.55	103.4		27.3	10.00	3,700		431.4	195.5	2.207	
120 (270)	1	2,280	19.63	116.1	115.0	26.7	10.02	3,800	3,800	436.9	196.7	2.221	2.206
	2	2,510	19.79	126.8		26.6	10.12	3,800		445.9	200.3	2.226	
	3	2,015	19.71	102.2		27.4	10.10	3,700		432.5	199.1	2.172	
125 (280)	1	2,495	19.71	126.6	124.7	26.8	10.02	3,700	3,800	438.6	197.5	2.221	2.230
	2	2,200	19.71	111.6		26.7	10.06	3,800		442.7	198.3	2.232	
	3	2,670	19.63	136.0		26.7	10.03	3,800		440.7	196.9	2.238	

附表 3-1 疑似岩強度試驗結果 (標準養生供試體)

No	荷 重 (kg)	斷 面 積 (cm ²)	強 度 (kg/cm ²)	平均強度 (kg/cm ²)	時 間 (×10 ⁻⁶ s)	長 さ (cm)	伝播速度 (m/s)	平均速度 (m/s)	空中重量 (g)	密 度 (g/cm ³)	平均密度 (g/cm ³)
H	1	93	19.21	4.7	59.0	10.07	1,700	1,700	415.9	2.150	2.160
	2	92	19.17		64.9	10.05	1,600		416.9	2.163	
	3	87	19.17		58.4	9.99	1,700		414.7	2.166	
L	1	239	19.44	11.6	41.5	10.08	2,400	2,300	423.9	2.163	2.170
	2	250	19.44		44.2	10.05	2,300		421.9	2.159	
	3	185	19.44		46.5	10.10	2,200		429.3	2.187	
D	1	344	19.63	21.1	37.2	10.04	2,800	2,900	421.6	2.139	2.132
	2	433	19.71		34.7	10.10	2,900		424.9	2.134	
	3	472	19.79		35.3	10.10	2,900		424.2	2.122	
C	1	891	19.71	48.1	30.7	10.05	3,300	3,300	427.0	2.156	2.160
	2	962	19.56		31.2	10.09	3,200		425.8	2.157	
	3	979	19.63		30.3	10.05	3,300		427.8	2.168	
F	1	788	19.40	43.6	27.0	9.97	3,700	3,600	423.1	2.188	2.207
	2	916	19.56		28.8	10.02	3,500		435.3	2.221	
	3	844	19.44		28.4	9.99	3,500		429.6	2.212	
G	1	944	19.83	49.9	34.7	10.00	2,900	3,000	434.7	2.192	2.200
	2	1,000	19.83		33.3	10.10	3,000		440.8	2.201	
	3	1,020	19.71		33.7	10.10	3,000		439.3	2.206	
E	1	1,120	20.07	58.5	31.3	10.10	3,200	3,200	446.2	2.201	2.206
	2	1,168	19.87		31.7	10.09	3,200		442.6	2.207	
	3	1,200	19.71		31.0	10.01	3,200		436.0	2.210	
A	1	1,710	19.71	90.5	29.6	10.19	3,400	3,400	437.1	2.176	2.175
	2	1,803	19.71		29.1	10.00	3,400		429.3	2.178	
	3	1,828	19.63		28.9	9.98	3,500		425.4	2.171	
B	1	1,595	19.71	84.2	28.1	9.99	3,600	3,500	430.4	2.186	2.186
	2	1,685	19.63		28.5	10.11	3,500		435.0	2.192	
	3	1,695	19.71		28.6	10.12	3,500		434.9	2.180	
K	1	2,090	19.67	108.3	27.4	10.05	3,700	3,600	433.7	2.194	2.195
	2	2,212	19.52		28.1	10.03	3,600		431.2	2.202	
	3	2,065	19.63		27.8	9.97	3,600		428.2	2.188	
J	1	2,840	19.67	141.9	27.8	10.03	3,600	3,600	439.4	2.227	2.227
	2	2,720	19.67		28.8	9.99	3,500		435.1	2.214	
	3	2,815	19.67		26.5	10.09	3,800		444.5	2.239	
I	1	3,510	19.67	189.8	25.9	10.13	3,900	3,900	442.7	2.221	2.210
	2	4,170	19.87		25.1	10.05	4,000		441.3	2.210	
	3	3,550	19.60		25.5	10.04	3,900		433.0	2.200	

附表 3-2 疑似岩強度試驗結果 (現場養生供試体)

No.	荷 重 (kg)	断 面 積 (cm ²)	強 度 (kg/cm ²)	平均強度 (kg/cm ²)	時 間 (×10 ⁻² s)	長 さ (cm)	伝播速度 (m/s)	平均速度 (m/s)	空中重量 (g)	密 度 (g/cm ³)	平均密度 (g/cm ³)
H	4	100	19.32	4.6	61.0	10.09	1,700	1,700	420.1	2.155	2.157
	5	82	19.01		59.5	10.01	1,700		413.0	2.170	
	6	84	19.17		59.0	10.06	1,700		413.9	2.146	
L	4	197	19.36	10.1	47.5	10.00	2,100	2,200	413.7	2.137	2.159
	5	178	19.32		45.7	9.98	2,200		417.3	2.164	
	6	210	19.24		46.6	10.07	2,200		419.9	2.177	
D	4	349	19.56	16.7	34.7	9.96	2,900	2,900	417.7	2.144	2.136
	5	310	19.63		34.6	10.00	2,900		419.9	2.139	
	6	325	19.63		35.1	10.07	2,900		420.1	2.125	
C	4	761	19.63	39.9	30.6	10.17	3,300	3,300	432.8	2.168	2.169
	5	826	19.56		30.3	10.03	3,300		427.8	2.181	
	6	757	19.63		31.1	10.19	3,300		431.7	2.158	
F	4	860	19.44	46.2	25.0	9.98	4,000	3,800	428.7	2.210	2.216
	5	856	19.40		27.9	10.24	3,700		440.9	2.219	
	6	976	19.44		26.8	10.11	3,800		436.2	2.220	
G	4	1,145	19.63	54.2	32.9	10.06	3,100	3,000	432.9	2.192	2.187
	5	1,120	19.75		33.4	10.01	3,000		434.3	2.197	
	6	940	19.79		34.0	10.20	3,000		438.7	2.173	
E	4	1,220	19.63	58.8	31.6	10.05	3,200	3,200	436.4	2.212	2.202
	5	1,088	19.63		31.8	10.05	3,200		435.3	2.209	
	6	1,160	19.67		32.4	10.05	3,100		432.0	2.185	
A	4	1,575	19.56	80.6	28.4	10.04	3,500	3,500	428.4	2.181	2.182
	5	1,595	19.63		28.9	10.09	3,500		431.8	2.180	
	6	1,563	19.56		27.9	10.09	3,600		431.1	2.184	
B	4	1,583	19.71	77.9	27.4	10.01	3,700	3,600	430.9	2.184	2.186
	5	1,555	19.87		27.7	10.07	3,600		437.1	2.185	
	6	1,473	19.63		28.6	10.23	3,600		439.4	2.188	
K	4	2,490	19.83	114.8	28.2	10.06	3,600	3,500	439.3	2.202	2.199
	5	2,180	19.83		28.9	10.19	3,500		442.6	2.190	
	6	2,145	19.71		28.7	10.09	3,500		438.5	2.205	
J	4	2,975	19.75	149.4	27.7	10.02	3,600	3,600	438.4	2.215	2.206
	5	2,950	19.83		26.7	9.99	3,700		436.0	2.201	
	6	2,920	19.63		27.4	9.98	3,600		431.5	2.203	
I	4	4,170	19.60	218.1	25.4	10.00	3,900	3,900	435.5	2.222	2.221
	5	4,510	19.71		25.5	9.99	3,900		435.5	2.212	
	6	4,170	19.60		25.6	10.07	3,900		440.3	2.230	

附表 3 - 3 疑似岩強度試験結果 (切取供試体)

No	荷 重 (kg)	断 面 積 (cm^2)	強 度 (kg/cm^2)	平均強度 (kg/cm^2)	時 間 ($\times 10^{-6}\text{s}$)	長 さ (cm)	伝播速度 (m/s)	平均速度 (m/s)	空中重量 (g)	密 度 (g/cm^3)	平均密度 (g/cm^3)
H	7	81	22.56	3.7	110.5	12.43	1,100	1,200	541.6	1.932	1.953
	8	72	21.85		108.4	11.90	1,100		511.0	1.965	
	9	96	22.40		94.7	12.04	1,300		529.3	1.963	
L	7	169	19.52	7.8	87.5	13.30	1,500	1,500	553.6	2.133	2.061
	8	140	21.20		88.1	12.94	1,500		548.4	1.999	
	9	148	18.02		83.7	12.65	1,500		467.3	2.050	
D	7	1,138	63.90	17.1	86.6	21.32	2,500	2,400	2,512.8	1.905	1.929
	8	1,125	65.76		90.0	21.82	2,400		2,671.1	1.972	
	9	1,075	65.61		90.6	21.14	2,300		2,553.0	1.911	
C	7	1,660	63.90	25.7	81.4	21.24	2,600	2,500	2,622.7	2.011	2.034
	8	1,770	66.9		80.7	21.02	2,600		2,696.3	2.002	
	9	1,610	65.33		68.2	16.60	2,400		2,113.5	2.089	
F	7	765	24.45	30.3	47.5	11.75	2,500	2,500	618.1	2.151	2.171
	8	728	27.14		47.6	11.80	2,500		689.4	2.152	
	9	820	24.80		45.6	11.38	2,500		623.8	2.210	
G	7	905	27.35	32.7	40.7	10.33	2,500	2,500	588.8	2.084	2.090
	8	830	25.95		40.4	10.15	2,500		545.4	2.071	
	9	870	26.38		39.3	9.86	2,500		550.3	2.116	
E	7	1,150	29.05	35.0	35.2	10.70	3,000	2,900	652.5	2.099	2.086
	8	1,010	30.49		38.7	10.88	2,800		680.1	2.050	
	9	810	25.08		36.6	10.94	3,000		579.1	2.110	
A	7	4,385	76.51	53.2	74.1	21.02	2,800	2,800	3,204.0	2.048	2.020
	8	3,525	70.14		75.1	21.30	2,800		2,929.0	2.029	
	9	3,925	75.28		77.2	20.93	2,700		3,052.9	1.983	
B	7	4,365	77.13	61.3	71.0	21.00	3,000	2,900	3,222.4	2.049	2.049
	8	4,980	77.29		66.0	21.10	3,200		3,264.2	2.065	
	9	5,180	78.23		51.9	14.73	2,800		2,318.1	2.016	
	10	4,315	77.29		66.1	18.12	2,700		2,781.4	2.024	
	11	5,480	78.70		57.6	16.44	2,900		2,660.2	2.093	
K	7	2,050	15.07	141.1	34.0	10.71	3,200	3,200	328.7	2.037	2.036
	8	2,265	15.07		27.0	8.66	3,200		266.2	2.040	
	9	2,070	15.10		27.5	8.75	3,200		268.1	2.030	
J	7	2,400	15.17	174.7	33.2	10.79	3,300	3,400	342.6	2.093	2.089
	8	2,815	15.17		30.6	10.32	3,400		339.2	2.166	
	9	6,535	36.26		43.7	14.72	3,400		1,071.9	2.008	
I	7	3,115	15.17	219.8	30.3	10.80	3,600	3,400	344.7	2.104	2.134
	8	3,650	15.14		31.3	10.63	3,400		342.4	2.128	
	9	3,240	15.21		33.0	10.92	3,300		360.3	2.169	

() 内の数値は高さとの比より補正した。

コア供試体の圧縮強度試験方法は、JIS A 1108 (コンクリートの圧縮強度試験方法) による。ただし、供試体の高さがその直径の 2 倍より小さい場合には、試験で得られた圧縮強度に次の表 1 の補正係数をかけて直径の 2 倍の高さをもつ供試体の強度に換算する。

高さとの比 $\frac{h}{d}$	補正係数	備 考
2.00	1.00	$\frac{h}{d}$ がこの表に示す値の中間にある場合は、補正係数は補間して求める。
1.75	0.98	
1.50	0.96	
1.25	0.93	
1.00	0.89	

附表 4 - 1 疑似岩掘削実験結果

目標強度 (kg / cm ²)	切取供試体 強度 (kg / cm ²)	超音波 伝播速度 (m / s)	目標 掘削深 (cm)	測定 平均深 (cm)	リップ速度 (m / h)	時間当り 掘削量 (m ³ / h)	平均水平 抵抗値 (ton)	平均垂直 抵抗値 (ton)	最大水平 抵抗値 (ton)	最大垂直 抵抗値 (ton)
5	3.7	1,200	10	12.6	2,769	50.4	1.2	0.2	2.2	0.4
			20	23.4	3,064	139.7	2.1	0.3	2.2	0.6
10	7.8	1,500	20	16.9	2,658	77.5	4.0	0.8	4.6	1.4
			30	27.9	2,612	171.5	7.7	1.2	9.3	1.5
20	17.1	2,400	10	8.7	2,690	34.0	4.9	2.5	5.5	4.0
			20	18.3	2,690	93.6	9.0	3.4	9.5	8.3
35	25.7	2,500	10	10.1	2,680	43.8	7.7	3.9	9.7	4.8
			20	19.1	2,671	127.9	12.8	6.0	14.1	11.7
40	32.7	2,500	5	5.4	2,571	20.0	4.4	1.9	5.8	4.5
			10	10.4	2,769	47.9	8.5	3.2	11.3	5.1
	30.3	2,500	15	14.6	2,571	97.7	10.0	3.3	12.2	4.8
	35.0	2,900	20	19.9	2,903	161.3	14.7	4.8	19.1	6.2
	30.3	2,500	25	24.7	2,667	189.6	16.8	4.1	20.2	5.6
	35.0	2,900	30	28.6	2,667	344.5	22.0	5.7	28.8	8.2
50	67.5	2,900	10	10.2	2,680	53.5	11.9	7.4	13.7	12.9
			20	19.2	2,600	178.5	19.0	11.2	23.4	15.3
65	53.2	2,800	10	11.7	2,560	58.0	10.6	6.9	12.6	8.7
			20	20.1	2,610	142.6	18.0	8.2	22.2	16.8
80	141.1	3,200	10	6.2	2,647	24.1	11.7	7.2	13.8	9.6
			20	16.1	2,667	133.8	20.7	12.7	22.7	15.7
100	174.7	3,400	10	5.4	2,647	24.1	11.4	9.6	13.0	11.8
			20	14.9	2,666	119.7	23.2	14.6	26.5	17.3
120	219.8	3,400	5	4.0	2,824	13.2	9.9	9.0	12.6	11.8
			15	19.9	2,609	60.7	17.4	15.5	19.9	19.0

附表4-2 疑似岩掘削実験結果(その1)

強度 (kg/cm ²)	No	掘削深 (cm)	平均掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	平均断面積 (cm ²)	掘削速度 (m/h)	時間当り 掘削量 (m ³ /h)	掘削幅 (cm)	平均掘削幅 (cm)
3.7 (5)	1	23.0	23.4	434.6	460.9	3,064	141.2	43.5	43.6
	2	23.2		419.9				36.5	
	3	23.6		471.0				44.0	
	4	23.6		518.1				50.5	
	5	12.5	12.6	192.8	183.7	2,769	50.9	28.0	27.3
	6	12.7		185.3				27.5	
	7	12.6		172.1				25.0	
	8	12.6		184.7				28.0	
7.8 (10)	1	28.6	27.9	670.5	669.6	2,612	174.9	50.0	55.2
	2	27.9		606.3				51.2	
	3	27.8		655.0				53.7	
	4	27.2		746.7				65.8	
	5	16.9	16.9	273.2	289.5	2,658	76.9	37.3	37.9
	6	16.8		298.1				41.3	
	7	17.0		297.1				35.2	
	8	17.0		297.1				35.2	
17.1 (20)	1	18.0	18.3	372.3	376.7	2,690	101.3	54.0	51.1
	2	18.1		335.0				46.3	
	3	18.7		348.8				42.3	
	4	18.1		450.7				61.8	
	5	8.7	8.7	138.3	126.9	2,690	34.1	35.0	31.3
	6	8.6		110.0				27.2	
	7	8.7		139.4				36.0	
	8	8.6		119.9				27.0	
25.7 (35)	1	18.7	19.1	502.5	473.8	2,710	128.4	58.8	58.2
	2	18.7		398.8				52.6	
	3	19.1		537.9				64.8	
	4	19.7		455.9				56.6	
	5	9.6	10.1	141.6	166.3	2,680	44.6	29.0	34.4
	6	9.8		158.5				36.8	
	7	10.2		157.4				29.5	
	8	10.5		208.0				42.2	
35.0 (40)	1	28.1	28.6	895.0	1,256.5	2,667	335.1	81.0	110.4
	2	28.5		1,060.7				92.5	
	3	29.0		1,663.7				138.0	
	4	28.9		1,406.6				130.0	
	5	19.5	19.9	497.0	552.3	2,903	160.3	52.5	61.2
	6	19.8		565.2				62.5	
	7	20.5		594.7				68.5	
	8	* 20.5		* 1,277.1				* 121.0	
30.3 (40)	1	24.8	24.7	740.0	727.1	2,667	193.9	64.0	74.4
	2	24.8		662.5				80.0	
	3	24.5		778.9				80.0	
	4	* 25.0		* 1,886.9				* 161.0	
	5	14.1	14.6	366.0	374.0	2,571	96.2	57.0	57.1
	6	14.6		425.0				64.5	
	7	14.6		359.0				56.0	
	8	15.1		346.0				50.5	

() は目標圧縮強度

* 印は形状の影響が有り平均値の計算に含まない。

附表 4-2 疑似岩掘削実験結果 (その 2)

強 度 (kg/cm ²)	No	掘 削 深 (cm)	平均掘削深 (cm)	断 面 積 (cm ²)	平均断面積 (cm ²)	掘 削 速 度 (m/h)	時 間 当 り 掘 削 量 (m ³ /h)	掘 削 幅 (cm)	平均掘削幅 (cm)
32.7 (40)	1	10.8	10.4	176.3	173.4	2,769	48.0	34.5	33.6
	2	10.6		171.5				34.0	
	3	9.8		173.1				32.5	
	4	10.3		172.8				33.5	
	5	5.6	5.4	61.0	67.6	2,571	17.4	19.5	22.2
	6	5.2		71.0				26.0	
	7	5.5		70.8				21.0	
	8	※ 6.7		※ 123.1				※ 33.5	
53.2 (65)	1	19.6	20.1	473.3	592.1	2,610	154.5	58.3	67.0
	2	20.0		559.8				65.4	
	3	20.7		588.4				66.3	
	4	20.5		746.7				77.9	
	5	11.6	11.7	193.9	227.6	2,560	58.3	37.4	46.2
	6	11.4		220.6				45.7	
	7	11.8		228.3				46.1	
	8	11.9		267.4				55.5	
61.3 (50)	1	20.0	19.2	471.7	665.9	2,600	173.1	57.5	89.5
	2	19.2		809.9				105.2	
	3	18.5		645.7				98.2	
	4	19.0		736.2				96.8	
	5	10.2	10.2	169.6	201.0	2,680	53.9	39.6	44.4
	6	10.2		174.4				36.6	
	7	10.2		218.5				51.7	
	8	10.3		241.5				49.6	
141.1 (80)	1	16.3	16.1	457.1	505.6	2,667	134.8	56.5	73.9
	2	16.1		490.0				80.5	
	3	16.0		569.7				84.8	
	4	6.4		101.2				31.5	
	5	6.2	6.2	93.9	92.5	2,647	23.8	31.5	31.4
	6	6.1		82.1				26.1	
	7	5.9		92.6				36.3	
	8	—		—				—	
174.7 (100)	1	14.9	14.9	340.6	435.9	2,666	116.2	45.3	66.0
	2	15.1		487.8				76.8	
	3	14.8		479.2				75.8	
	4	5.9		77.1				26.5	
	5	5.8	5.6	94.3	88.6	2,647	23.4	34.3	31.8
	6	5.2		98.2				39.8	
	7	5.3		84.7				26.7	
	8	—		—				—	
219.8 (120)	1	9.7	9.9	243.5	232.2	2,609	60.6	51.3	52.6
	2	10.1		213.5				51.0	
	3	10.4		254.0				55.0	
	4	9.4		217.8				52.9	
	5	3.4	4.0	39.4	49.3	2,824	13.9	21.7	22.2
	6	3.5		39.3				19.7	
	7	5.0		69.2				25.2	
	8	—		—				—	

() 内は目標圧縮強度

※ 印は形状の影響が有り平均値の計算に含まない。

附表 4-3 疑似岩掘削実験結果 (断面測定結果 その1)

圧縮強度: 17.1 kg/cm²

	掘削幅 (cm)	掘 削 深 (mm)																							
		25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	
1	54.0							(55.5) 0	15	48	77	147	180	132	72	43	17	15	(109.5) 0						
2	46.3							(60.4) 0	19	52	163	181	122	61	40	24	13	(106.7) 0							
3	42.3							(56.4) 0	22	56	82	187	187	97	47	26	(98.7) 0								
4	61.8					(45.0) 0	20	34	52	76	103	152	181	127	76	52	25	5	(106.8) 0						
5	35.0							(61.6) 0	19	41	72	87	42	14	7	(96.6) 0									
6	27.2							(66.9) 0	14	65	86	43	16	(94.1) 0											
7	36.0							(61.2) 0	12	26	80	87	40	28	10	(97.2) 0									
8	27.0							(61.3) 0	18	36	83	86	23	(88.3) 0											

圧縮強度: 25.7 kg/cm²

	掘削幅 (cm)	掘 削 深 (mm)																							
		25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	
1	58.8					(49.0) 0	4	44	62	78	110	186	187	125	96	56	39	25	(107.8) 0						
2	52.6						(50.3) 0	21	20	26	85	188	187	136	77	44	18	(102.9) 0							
3	64.8					(47.3) 0	8	28	56	92	121	188	191	120	87	69	50	45	32	(112.1) 0					
4	56.6					(49.2) 0	23	30	46	73	100	177	197	92	65	46	29	24	18	(115.8) 0					
5	29.0								(64.3) 0	2	32	96	96	44	17	(93.3) 0									
6	36.8								(61.2) 0	6	28	98	98	53	22	16	(98.0) 0								
7	29.5								(61.0) 0	30	48	102	102	32	7	(90.5) 0									
8	42.2							(56.8) 0	15	41	62	106	105	54	24	13	(99.0) 0								

壓縮強度 53.2 kg / cm²

	掘削幅 (cm)	掘 削 深 (mm)																						
		25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135
1	58.3					(48.2) 0	9	30	59	93	144	196	195	110	55	28	20	16	(106.5) 0					
2	65.4				(44.6) 0	3	20	29	73	96	132	200	200	126	80	65	52	45	(110.0) 0					
3	66.3				(42.0) 0	18	36	52	108	132	164	207	201	104	69	42	30	21	(108.3) 0					
4	77.9			(37.1) 0	84	100	104	119	133	134	161	205	201	106	65	37	29	19	14	(115.0) 0				
5	37.4							(56.0) 0	20	39	66	116	94	43	14	(93.4) 0								
6	45.7						(52.8) 0	15	24	42	79	114	102	39	21	11	(98.5) 0							
7	46.1						(52.7) 0	14	23	33	72	118	118	35	28	22	(98.8) 0							
8	55.5					(47.2) 0	30	32	36	46	64	119	106	50	32	18	11	(102.7) 0						

壓縮強度 67.5 kg / cm²

	掘削幅 (cm)	掘 削 深 (mm)																						
		25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135
1	57.5							(56.7) 0	14	46	74	192	200	146	120	59	42	31	23	(114.2) 0				
2	105.2		(29.8) 0	38	51	56	69	82	98	121	142	192	190	139	99	76	53	44	40	34	36	30	29	(135.0) 0
3	98.3	(25.7) 0	10	17	22	19	28	46	70	99	130	182	185	134	98	80	57	43	30	25	19	(124.0) 0		
4	96.8			(35.6) 0	24	62	83	101	99	108	123	190	187	122	98	82	49	46	31	23	22	15	12	(132.4) 0
5	39.6							(57.6) 0	9	14	41	102	102	43	24	9	(97.2) 0							
6	36.6							(62.6) 0	12	36	102	102	61	27	13	(99.2) 0								
7	51.7					(46.1) 0	12	24	31	42	59	102	102	48	12	8	(97.8) 0							
8	49.6						(52.2) 0	9	18	23	45	103	103	73	53	39	28	(101.8) 0						

附表4-3 疑似岩掘削実験結果（断面測定結果 その2）

強度：3.7 kg/cm²

掘削深：20cm No.1

端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)
82.5	0.0	0.0									
85.0	1.1	1.3	97.5	13.7	30.7	110.0	17.1	47.8	122.5	1.3	5.3
87.5	3.3	5.5	100.0	18.2	39.8	112.5	12.5	37.0	125.0	0.5	2.2
90.0	4.8	10.1	102.5	23.0	51.5	115.0	7.4	24.8	126.0	0.0	0.2
92.5	8.0	16.0	105.0	23.0	57.5	117.5	5.0	15.5			
95.0	10.9	23.6	107.5	21.2	55.2	120.0	3.0	10.0			

断面積 = 434.6 cm²

掘削深：20cm No.2

86.0	0.0	0.0									
87.5	0.3	0.2	97.5	15.4	32.3	107.5	23.2	58.0	117.5	5.1	18.6
90.0	1.5	2.2	100.0	19.5	43.6	110.0	17.0	50.2	120.0	1.6	8.3
92.5	4.5	7.5	102.5	23.2	53.3	112.5	13.2	37.7	122.5	0.0	2.0
95.0	10.5	18.7	105.0	23.2	58.0	115.0	9.8	28.7			

断面積 = 419.9 cm²

掘削深：20cm No.3

81.0	0.0	0.0									
82.5	1.0	0.7	95.0	13.2	27.5	107.5	22.0	57.0	120.0	2.7	10.5
85.0	1.8	3.5	97.5	18.0	39.0	110.0	16.4	48.0	122.5	1.5	5.2
87.5	3.2	6.2	100.0	20.6	48.2	112.5	11.8	35.2	125.0	0.0	1.8
90.0	6.1	11.6	102.5	23.4	55.0	115.0	8.8	25.7			
92.5	8.8	18.6	105.0	23.6	58.7	117.5	5.7	18.1			

断面積 = 471 cm²

掘削深：20cm No.4

80.5	0.0	0.0									
82.5	1.2	1.2	97.5	15.4	32.8	112.5	13.2	41.5	127.5	1.6	5.8
85.0	3.1	5.3	100.0	19.3	43.3	115.0	10.4	29.5	130.0	1.1	3.3
87.5	5.3	10.5	102.5	23.0	52.8	117.5	6.7	21.3	131.0	0.0	0.5
90.0	7.0	15.3	105.0	23.6	58.2	120.0	5.2	14.8			
92.5	9.3	20.3	107.5	23.6	59.0	122.5	4.7	12.3			
95.0	10.9	25.2	110.0	20.0	54.5	125.0	3.1	9.7			

断面積 = 518.1 cm²

掘削深：10cm No.5

89.5	0.0	0.0									
90.0	0.2	0.0	97.5	7.0	13.8	105.0	12.4	31.0	112.5	5.1	17.6
92.5	2.4	3.2	100.0	10.1	21.3	107.5	12.5	31.1	115.0	2.0	8.8
95.0	4.1	8.1	102.5	12.4	28.1	110.0	9.0	26.8	117.5	0.0	2.5

断面積 = 192.8 cm²

掘削深:10cm No.6

端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)
91.5	0.0	0.0									
92.5	0.3	0.1	100.0	9.6	18.6	107.5	12.6	31.5	115.0	3.4	10.6
95.0	1.6	2.3	102.5	12.7	27.8	110.0	10.2	28.5	117.5	1.0	5.5
97.5	5.3	8.6	105.0	12.6	31.6	112.5	5.1	19.1	119.0	0.0	0.7

断面積 = 185.3 cm²

掘削深:10cm No.7

93.5	0.0	0.0									
95.0	0.6	0.4	102.5	12.6	27.7	110.0	8.6	26.5	117.5	0.8	5.3
97.5	2.5	3.8	105.0	12.6	31.5	112.5	5.8	18.0	118.5	0.0	0.4
100.0	9.6	15.1	107.5	12.6	31.5	115.0	3.5	11.6			

断面積 = 172.1 cm²

掘削深:10cm No.8

90.5	0.0	0.0									
92.5	1.3	1.3	100.0	10.5	20.2	107.5	12.6	31.5	115.0	2.8	9.0
95.0	2.7	5.0	102.5	12.6	28.8	110.0	8.0	25.7	117.5	1.0	4.7
97.5	5.7	10.5	105.0	12.6	31.5	112.5	4.4	15.5	119.0	0.0	0.7

断面積 = 184.7 cm²強度: 7.8 kg/cm²

掘削深:30cm No.1

82.4	0.0	0.0									
84.9	4.1	5.1	97.4	19.8	42.6	109.9	25.0	67.0	122.4	6.1	17.5
87.4	6.5	13.2	99.9	25.6	56.7	112.4	20.3	56.6	124.9	4.0	12.6
89.9	8.1	18.2	102.4	28.4	67.5	114.9	13.6	42.3	127.4	3.4	9.2
92.4	10.8	23.6	104.9	28.6	71.2	117.4	11.4	31.2	129.9	1.7	6.3
94.9	14.3	31.3	107.4	28.6	71.5	119.9	7.9	24.1	132.4	0.0	2.1

断面積 = 670.5 cm²

掘削深:30cm No.2

77.9	0.0	0.0									
80.4	1.8	2.2	95.4	12.1	26.3	110.4	24.6	65.2	125.4	2.3	8.0
82.9	2.8	5.7	97.9	19.9	40.0	112.9	16.9	51.8	127.9	0.7	3.7
85.4	3.9	8.3	100.4	26.7	58.2	115.4	9.7	33.2	129.1	0.0	0.4
87.9	5.7	12.0	102.9	27.7	68.0	117.9	6.6	20.3			
90.4	6.9	15.7	105.4	27.9	69.5	120.4	5.8	15.5			
92.9	9.0	19.8	107.9	27.6	69.3	122.9	4.1	12.3			

断面積 = 606.3 cm²

掘削深:30cm No.3

端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)
86.0	0.0	0.0									
88.5	3.7	4.6	103.5	27.5	65.2	118.5	10.7	31.1	133.5	2.8	8.6
91.0	7.7	14.2	106.0	27.8	69.1	121.0	7.8	23.1	136.0	1.3	5.1
93.5	10.8	23.1	108.5	27.7	69.3	123.5	5.1	16.1	138.5	0.7	2.5
96.0	14.4	31.5	111.0	24.6	65.3	126.0	3.9	11.2	139.7	0.0	0.4
98.5	20.7	43.8	113.5	18.2	53.5	128.5	3.8	9.6			
101.0	24.7	56.7	116.0	14.2	40.5	131.0	4.1	9.8			

断面積 = 655 cm²

掘削深:30cm No.4

72.3	0.0	0.0									
74.8	1.9	2.3	92.3	14.8	34.7	109.8	21.2	60.1	127.3	3.7	11.3
77.3	2.4	5.3	94.8	16.4	39.0	112.3	17.6	48.5	129.8	2.7	8.0
79.8	5.2	9.5	97.3	18.3	43.3	114.8	14.3	39.8	132.3	1.2	4.8
82.3	6.7	14.8	99.8	23.8	52.6	117.3	10.8	31.3	134.8	0.8	2.5
84.8	10.0	20.8	102.3	26.9	63.3	119.8	8.7	24.3	137.3	0.7	1.8
87.3	11.5	26.8	104.8	27.2	67.6	122.3	6.8	19.3	138.1	0.0	0.2
89.8	13.0	30.6	107.3	26.9	67.6	124.8	5.4	15.2			

断面積 = 746.7 cm²

掘削深:20cm No.5

88.5	0.0	0.0									
91.0	1.3	1.6	101.0	15.2	31.7	111.0	9.8	33.3	121.0	1.3	4.5
93.5	2.5	4.7	103.5	16.9	40.1	113.5	6.3	20.1	123.5	0.5	2.2
96.0	5.5	10.0	106.0	16.9	42.2	116.0	3.7	12.5	125.8	0.0	0.5
98.5	10.2	19.6	108.5	16.9	42.2	118.5	2.3	7.5			

断面積 = 273.2 cm²

掘削深:20cm No.6

87.0	0.0	0.0									
89.5	1.0	1.2	102.0	16.8	38.2	114.5	6.8	17.8	127.0	0.3	1.8
92.0	3.3	5.3	104.5	16.8	42.0	117.0	4.7	14.3	128.3	0.0	0.1
94.5	5.7	11.2	107.0	15.9	40.8	119.5	3.4	10.1			
97.0	8.6	17.8	109.5	11.7	34.5	122.0	1.8	6.5			
99.5	13.8	28.0	112.0	7.5	24.0	124.5	1.2	3.7			

断面積 = 298.1 cm²

掘削深:20cm No.7

90.0	0.0	0.0									
92.5	2.2	2.7	102.5	17.0	42.3	112.5	9.1	25.3	122.5	1.8	5.6
95.0	5.9	10.1	105.0	16.8	42.2	115.0	5.7	18.5	125.0	0.1	2.3
97.5	11.9	22.2	107.5	13.8	38.2	117.5	3.8	11.8	125.2	0.0	0.0
100.0	16.9	36.0	110.0	11.2	31.2	120.0	2.7	8.1			

断面積 = 297.1 cm²

強度 : 35.0 kg / cm²

掘削深 : 30cm No 1

端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)
70.0	0.0	0.0									
72.5	0.2	0.2	95.0	9.2	21.5	117.5	18.2	51.5	140.0	6.0	17.2
75.0	0.6	1.0	97.5	13.1	27.8	120.0	15.5	42.1	142.5	5.1	13.8
77.5	1.1	2.1	100.0	14.8	34.8	122.5	14.5	37.5	145.0	4.0	11.3
80.0	2.1	4.0	102.5	24.7	49.3	125.0	13.5	35.0	147.5	2.0	7.5
82.5	4.0	7.6	105.0	27.9	65.7	127.5	12.0	31.8	150.0	5.0	8.7
85.0	4.0	10.0	107.5	28.1	70.0	130.0	11.5	29.3	151.0	0.0	2.5
87.5	4.5	10.6	110.0	28.0	70.1	132.5	9.1	25.7			
90.0	6.0	13.1	112.5	27.2	69.0	135.0	8.8	22.3			
92.5	8.0	17.5	115.0	23.0	62.7	137.5	7.8	20.7			

断面積 = 895 cm²

掘削深 : 30cm No 2

73.5	0.0	0.0									
75.0	1.0	0.7	100.0	18.2	36.5	125.0	12.1	30.7	150.0	9.3	23.6
77.5	1.1	2.6	102.5	27.3	56.8	127.5	13.0	31.3	152.5	8.7	22.5
80.0	1.5	3.2	105.0	28.4	69.6	130.0	13.1	32.6	155.0	7.2	19.8
82.5	2.3	4.7	107.5	28.5	71.1	132.5	12.0	31.3	157.5	6.5	17.1
85.0	4.0	7.8	110.0	27.9	70.5	135.0	11.5	29.3	160.0	5.0	14.3
87.5	6.1	12.6	112.5	26.2	67.6	137.5	11.1	28.2	162.5	3.6	10.7
90.0	7.1	16.5	115.0	20.3	58.1	140.0	10.1	26.5	165.0	1.7	6.6
92.5	8.1	19.0	117.5	16.0	45.3	142.5	10.0	25.1	166.0	0.0	0.8
95.0	9.4	22.0	120.0	13.9	37.3	145.0	9.5	24.5			
97.5	11.0	25.6	122.5	12.5	33.0	147.5	9.5	24.0			

断面積 = 1060.7 cm²

掘削深 : 30cm No 3

33.0	0.0	0.0									
35.0	0.8	0.8	70.0	8.8	21.0	105.0	28.9	68.7	140.0	12.5	33.1
37.5	2.3	3.8	72.5	9.3	22.6	107.5	29.0	72.3	142.5	11.6	30.1
40.0	3.0	6.6	75.0	9.5	23.5	110.0	29.0	72.5	145.0	11.1	28.3
42.5	4.5	9.3	77.5	10.3	24.7	112.5	25.9	68.6	147.5	10.9	27.5
45.0	4.7	11.5	80.0	10.7	26.2	115.0	23.6	61.8	150.0	10.0	26.1
47.5	4.6	11.6	82.5	11.1	27.2	117.5	21.6	56.5	152.5	10.0	25.0
50.0	4.2	11.0	85.0	12.0	28.8	120.0	20.2	52.2	155.0	9.2	24.0
52.5	4.5	10.8	87.5	12.8	31.0	122.5	18.5	48.3	157.5	8.8	22.5
55.0	5.0	11.8	90.0	13.5	32.8	125.0	18.0	45.6	160.0	8.8	22.0
57.5	5.2	12.7	92.5	14.3	34.7	127.5	16.3	42.8	162.5	8.1	21.1
60.0	5.5	13.3	95.0	15.1	36.7	130.0	16.0	40.3	165.0	7.8	19.8
62.5	7.0	15.6	97.5	16.7	39.7	132.5	15.3	39.1	167.5	7.6	19.2
65.0	7.6	18.2	100.0	20.6	46.6	135.0	15.0	37.8	170.0	0.2	9.7
67.5	8.0	19.5	102.5	26.1	58.3	137.5	14.0	36.2	171.0	0.0	0.1

断面積 = 1663.7 cm²

掘削深：30cm No 4

端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)
34.0	0.0	0.0									
35.0	1.5	0.7	70.0	8.0	19.2	105.0	28.8	72.0	140.0	4.5	13.1
37.5	2.8	5.3	72.5	8.5	20.6	107.5	28.9	72.1	142.5	4.4	11.1
40.0	3.1	7.3	75.0	9.4	22.3	110.0	28.9	72.2	145.0	4.3	10.8
42.5	3.4	8.1	77.5	10.0	24.2	112.5	24.5	66.7	147.5	3.8	10.1
45.0	3.5	8.6	80.0	11.0	26.2	115.0	21.6	57.6	150.0	3.1	8.6
47.5	4.8	10.3	82.5	12.0	28.7	117.5	18.5	50.1	152.5	3.4	8.1
50.0	5.2	12.5	85.0	13.0	31.2	120.0	16.0	43.1	155.0	3.1	8.1
52.5	5.1	12.8	87.5	14.5	34.3	122.5	14.3	37.8	157.5	2.5	7.0
55.0	5.3	13.0	90.0	16.5	38.7	125.0	13.5	34.7	160.0	1.8	5.3
57.5	6.0	14.1	92.5	20.3	46.0	127.5	11.0	30.6	162.5	0.5	2.8
60.0	6.5	15.6	95.0	23.2	54.3	130.0	9.0	25.0	164.0	0.0	0.3
62.5	6.7	16.5	97.5	24.8	60.0	132.5	7.5	20.6			
65.0	6.9	17.0	100.0	28.6	66.7	135.0	6.5	17.5			
67.5	7.4	17.8	102.5	28.8	71.7	137.5	6.0	15.6			

断面積 = 1406.6 cm²強度：30.3 kg/cm²

掘削深：25cm No 1

73.5	0.0	0.0									
75.0	1.6	1.2	92.5	13.3	31.6	110.0	24.5	61.6	127.5	7.0	18.1
77.5	2.5	5.1	95.0	14.8	35.1	112.5	18.0	53.1	130.0	2.9	12.3
80.0	7.1	12.0	97.5	17.2	40.0	115.0	14.8	41.0	132.5	0.5	4.2
82.5	8.0	18.8	100.0	21.1	47.8	117.5	12.0	33.5	135.0	0.2	0.8
85.0	8.4	20.5	102.5	24.5	57.0	120.0	10.0	27.5	137.5	0.0	0.2
87.5	10.0	23.0	105.0	24.6	61.3	122.5	9.0	23.7			
90.0	12.0	27.5	107.5	24.8	61.7	125.0	7.5	20.6			

断面積 = 740 cm²

掘削深：25cm No 2

63.5	0.0	0.0									
65.0	1.2	0.9	87.5	6.2	14.0	110.0	22.0	58.5	132.5	3.5	10.0
67.5	2.3	4.3	90.0	7.2	16.7	112.5	16.4	48.0	135.0	3.0	8.1
70.0	2.2	5.6	92.5	8.0	19.0	115.0	13.0	36.7	137.5	2.6	7.0
72.5	2.6	6.0	95.0	9.4	21.7	117.5	9.0	27.5	140.0	2.2	6.0
75.0	2.6	6.5	97.5	13.2	28.2	120.0	7.7	20.8	142.5	0.2	3.0
77.5	2.9	6.8	100.0	19.9	41.3	122.5	6.4	17.6	143.5	0.0	0.1
80.0	3.2	7.6	102.5	24.8	55.8	125.0	5.6	15.0			
82.5	4.0	9.0	105.0	24.8	62.0	127.5	4.9	13.1			
85.0	5.0	11.2	107.5	24.8	62.0	130.0	4.5	11.7			

断面積 = 662.5 cm²

掘削深: 25cm No. 3

端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)
69.0	0.0	0.0									
70.0	0.3	0.1	92.5	11.5	27.0	115.0	16.4	44.8	137.5	2.6	6.3
72.5	1.2	1.8	95.0	12.8	30.3	117.5	13.8	37.7	140.0	2.7	6.6
75.0	2.5	4.6	97.5	13.8	33.2	120.0	11.8	32.0	142.5	2.1	6.0
77.5	3.9	8.0	100.0	19.0	41.0	122.5	10.0	27.2	145.0	1.0	3.8
80.0	9.1	16.2	102.5	24.5	54.3	125.0	8.5	23.1	147.5	0.2	1.5
82.5	8.6	22.1	105.0	24.5	61.2	127.5	7.0	19.3	149.0	0.0	0.1
85.0	8.6	21.5	107.5	24.2	60.8	130.0	4.1	13.8			
87.5	8.7	21.6	110.0	23.2	59.2	132.5	3.0	8.8			
90.0	10.1	23.3	112.5	19.5	53.3	135.0	2.5	6.8			

断面積 = 778.9 cm²

掘削深: 25cm No. 4

39.0	0.0	0.0									
40.0	1.2	0.6	75.0	14.0	34.6	110.0	23.8	61.0	145.0	9.3	23.3
42.5	6.2	9.2	77.5	14.1	35.1	112.5	20.5	55.3	147.5	8.8	22.6
45.0	7.0	16.5	80.0	14.0	35.1	115.0	19.0	49.3	150.0	9.0	22.2
47.5	7.5	18.1	82.5	14.4	35.5	117.5	18.5	46.8	152.5	8.5	21.8
50.0	8.5	20.0	85.0	17.8	40.2	120.0	18.0	45.6	155.0	8.0	20.6
52.5	9.7	22.7	87.5	18.5	45.3	122.5	18.0	45.0	157.5	7.5	19.3
55.0	10.0	24.6	90.0	19.6	47.6	125.0	17.0	43.7	160.0	8.5	20.0
57.5	10.0	25.0	92.5	20.0	49.5	127.5	15.5	40.6	162.5	8.4	21.1
60.0	10.0	25.0	95.0	20.4	50.5	130.0	14.0	36.8	165.0	8.0	20.5
62.5	10.5	25.6	97.5	22.2	53.2	132.5	10.6	30.7	167.5	8.4	20.5
65.0	12.3	28.5	100.0	22.5	55.8	135.0	10.5	26.3	200.0	0.0	136.5
67.5	13.1	31.7	102.5	25.0	59.3	137.5	10.2	25.8			
70.0	13.1	32.7	105.0	25.0	62.5	140.0	10.0	25.2			
72.5	13.7	33.5	107.5	25.0	62.5	142.5	9.4	24.2			

断面積 = 1886.9 cm²強度: 35.0 kg / cm²

掘削深: 20cm No. 5

74.0	0.0	0.0									
75.0	0.5	0.2	90.0	9.0	19.3	105.0	19.5	48.7	120.0	4.4	15.7
77.5	1.8	2.8	92.5	10.8	24.7	107.5	19.5	48.7	122.5	2.3	8.3
80.0	2.5	5.3	95.0	13.0	29.7	110.0	17.7	46.5	125.0	0.7	3.7
82.5	3.1	7.0	97.5	14.4	34.2	112.5	12.7	38.0	126.5	0.0	0.5
85.0	4.5	9.5	100.0	17.5	39.8	115.0	11.0	29.6			
87.5	6.5	13.7	102.5	19.5	46.2	117.5	8.2	24.0			

断面積 = 497 cm²

掘削深：20cm No.6

端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)
76.5	0.0	0.0									
77.5	1.3	0.6	95.0	10.1	24.2	112.5	13.8	38.7	130.0	3.3	9.3
80.0	3.5	6.0	97.5	11.7	27.2	115.0	11.9	32.1	132.5	1.9	6.5
82.5	5.1	10.7	100.0	17.6	36.6	117.5	10.6	28.1	135.0	1.4	4.1
85.0	6.2	14.1	102.5	19.8	46.7	120.0	8.0	23.2	137.5	0.2	2.0
87.5	7.5	17.1	105.0	19.8	49.5	122.5	7.2	19.0	139.0	0.0	0.1
90.0	9.3	21.0	107.5	19.8	49.5	125.0	5.8	16.2			
92.5	9.3	23.2	110.0	17.2	46.2	127.5	4.2	12.5			

断面積 = 565.2 cm²

掘削深：20cm No.7

67.5	0.0	0.0									
70.0	1.1	1.3	87.5	8.3	17.7	105.0	20.4	51.0	122.5	5.5	16.5
72.5	1.7	3.5	90.0	9.4	22.1	107.5	20.5	51.1	125.0	5.0	13.1
75.0	1.9	4.5	92.5	10.6	25.0	110.0	18.5	48.7	127.5	3.3	10.3
77.5	2.5	5.5	95.0	12.3	28.6	112.5	13.5	40.0	130.0	3.1	8.0
80.0	3.2	7.1	97.5	14.3	33.2	115.0	11.7	31.5	132.5	2.8	7.3
82.5	4.1	9.1	100.0	19.6	42.3	117.5	10.5	27.7	135.0	0.1	3.6
85.0	5.9	12.5	102.5	20.4	50.0	120.0	7.7	22.7	136.0	0.0	0.0

断面積 = 594.7 cm²

掘削深：20cm No.8

39.0	0.0	0.0									
40.0	0.5	0.2	72.5	9.5	24.1	105.0	20.5	51.2	137.5	9.3	24.3
42.5	2.2	3.3	75.0	9.7	24.0	107.5	20.5	51.2	140.0	6.5	19.7
45.0	3.7	7.3	77.5	9.9	24.5	110.0	16.8	46.6	142.5	6.1	15.7
47.5	4.9	10.7	80.0	10.3	25.2	112.5	16.1	41.1	145.0	5.7	14.7
50.0	7.6	15.6	82.5	10.8	26.3	115.0	16.0	40.1	147.5	5.3	13.7
52.5	8.5	20.1	85.0	11.1	27.3	117.5	15.8	39.7	150.0	5.3	13.2
55.0	9.0	21.8	87.5	12.0	28.8	120.0	14.2	37.5	152.5	5.4	13.3
57.5	9.5	23.1	90.0	12.1	30.1	122.5	14.0	35.2	155.0	5.0	13.0
60.0	9.7	24.0	92.5	13.2	31.6	125.0	14.5	35.6	157.5	4.2	11.5
62.5	9.0	23.3	95.0	14.5	34.6	127.5	13.6	35.1	160.0	0.0	5.2
65.0	9.0	22.5	97.5	16.5	38.7	130.0	12.3	32.3			
67.5	9.4	23.0	100.0	19.3	44.7	132.5	11.5	29.7			
70.0	9.8	24.0	102.5	20.5	49.7	135.0	10.2	27.1			

断面積 = 1277.1 cm²

強度：30.3 kg/cm²

掘削深：15cm No.5

端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)
78.0	0.0	0.0									
80.0	1.3	1.3	95.0	8.1	18.1	110.0	12.3	32.8	125.0	2.5	6.6
82.5	3.5	6.0	97.5	9.8	22.3	112.5	9.6	27.3	127.5	2.5	6.2
85.0	4.5	10.0	100.0	12.9	28.3	115.0	7.3	21.1	130.0	2.3	6.0
87.5	4.4	11.1	102.5	14.0	33.6	117.5	4.2	14.3	132.5	1.4	4.6
90.0	5.4	12.2	105.0	14.1	35.1	120.0	3.0	9.0	135.0	0.4	2.2
92.5	6.4	14.7	107.5	14.0	35.1	122.5	2.8	7.2	135.5	0.0	0.1

断面積 = 366 cm²

掘削深：15cm No.6

66.5	0.0	0.0									
67.5	0.9	0.4	85.0	4.4	10.2	102.5	14.6	32.1	120.0	5.1	14.6
70.0	1.9	3.5	87.5	5.5	12.3	105.0	14.5	36.3	122.5	4.4	11.8
72.5	2.6	5.6	90.0	7.0	15.6	107.5	14.4	36.1	125.0	3.8	10.2
75.0	3.0	7.0	92.5	8.1	18.8	110.0	13.1	34.3	127.5	2.0	7.2
77.5	2.8	7.2	95.0	9.1	21.5	112.5	10.8	29.8	130.0	0.5	3.1
80.0	3.3	7.6	97.5	10.0	23.8	115.0	7.1	22.3	131.0	0.0	0.2
82.5	3.8	8.8	100.0	11.1	26.3	117.5	6.6	17.1			

断面積 = 425 cm²

掘削深：15cm No.7

80.0	0.0	0.0									
82.5	0.6	0.7	97.5	8.3	18.8	112.5	9.8	27.8	127.5	2.5	6.6
85.0	1.4	2.5	100.0	12.0	25.3	115.0	9.0	23.5	130.0	1.8	5.3
87.5	3.0	5.5	102.5	14.5	33.1	117.5	6.5	19.3	132.5	1.5	4.1
90.0	4.5	9.3	105.0	14.6	36.3	120.0	5.7	15.2	135.0	1.0	3.1
92.5	5.8	12.8	107.5	14.5	36.3	122.5	4.8	13.1	136.0	0.0	0.5
95.0	6.8	15.7	110.0	12.5	33.7	125.0	2.8	9.5			

断面積 = 359 cm²

掘削深：15cm No.8

75.0	0.0	0.0									
77.5	0.8	1.0	92.5	7.5	16.0	107.5	15.0	37.6	122.5	0.8	3.8
80.0	2.5	4.1	95.0	9.8	21.6	110.0	9.6	30.7	125.0	0.1	1.1
82.5	3.2	7.1	97.5	11.1	26.1	112.5	7.8	21.7	125.5	0.0	0.0
85.0	3.8	8.7	100.0	14.3	31.7	115.0	5.7	16.8			
87.5	4.7	10.6	102.5	15.1	36.7	117.5	4.3	12.5			
90.0	5.3	12.5	105.0	15.1	37.7	120.0	2.3	8.2			

断面積 = 346.9 cm²

強度：32.7 kg / cm

掘削深：10cm No 1

端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)
90.5	0.0	0.0									
92.5	0.8	0.8	102.5	10.4	20.1	112.5	6.4	21.1	122.5	0.8	3.5
95.0	2.1	3.6	105.0	10.8	26.5	115.0	4.0	13.0	125.0	0.0	1.0
97.5	3.1	6.5	107.5	10.8	27.0	117.5	3.2	9.0			
100.0	5.7	11.0	110.0	10.5	26.6	120.0	2.0	6.5			

断面積 = 176.3 cm²

掘削深：10cm No 2

90.0	0.0	0.0									
92.5	1.8	2.2	102.5	10.6	22.0	112.5	4.2	18.3	122.5	1.0	3.2
95.0	2.2	5.0	105.0	10.6	26.5	115.0	3.0	9.0	124.0	0.0	0.7
97.5	3.0	6.5	107.5	10.5	26.3	117.5	2.8	7.2			
100.0	7.0	12.5	110.0	10.5	26.2	120.0	1.6	5.5			

断面積 = 171.5 cm²

掘削深：10cm No 3

93.0	0.0	0.0									
95.0	0.9	0.9	105.0	9.7	24.1	115.0	5.8	16.2	125.0	0.4	4.1
97.5	1.9	3.5	107.5	9.8	24.3	117.5	4.3	12.6	125.5	0.0	0.1
100.0	4.6	8.1	110.0	9.0	23.5	120.0	3.4	9.6			
102.5	9.6	17.7	112.5	7.2	20.2	122.5	2.9	7.8			

断面積 = 173.1 cm²

掘削深：10cm No 4

92.0	0.0	0.0									
92.5	0.2	0.0	102.5	10.3	20.0	112.5	6.0	17.6	122.5	2.0	5.8
95.0	1.3	1.8	105.0	10.3	25.7	115.0	5.0	13.7	125.0	0.3	2.8
97.5	2.8	5.1	107.5	10.3	25.7	117.5	4.3	11.6	125.5	0.0	0.0
100.0	5.7	10.6	110.0	8.1	23.0	120.0	2.7	8.7			

断面積 = 172.8 cm²

掘削深：5cm No 5

94.5	0.0	0.0									
95.0	0.1	0.0	102.5	5.5	11.0	110.0	2.8	10.0			
97.5	0.9	1.2	105.0	5.6	13.8	112.5	1.3	5.1			
100.0	3.3	5.2	107.5	5.2	13.5	114.0	0.0	0.9			

断面積 = 61 cm²

掘削深：5cm No.6

端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)
91.0	0.0	0.0									
92.5	0.5	0.3	100.0	3.6	6.7	107.5	5.2	12.8	115.0	0.9	3.3
95.0	1.5	2.5	102.5	5.2	11.0	110.0	3.0	10.2	117.0	0.0	0.9
97.5	1.8	4.1	105.0	5.1	12.8	112.5	1.8	6.0			

断面積 = 71 cm²

掘削深：5cm No.7

94.5	0.0	0.0									
95.0	0.2	0.0	102.5	5.5	12.6	110.0	2.9	10.3	115.5	0.0	0.1
97.5	2.1	2.8	105.0	5.5	13.7	112.5	1.9	6.0			
100.0	4.6	8.3	107.5	5.4	13.6	115.0	0.5	3.0			

断面積 = 70.8 cm²

掘削深：5cm No.8

87.0	0.0	0.0									
87.5	0.6	0.1	97.5	3.6	7.8	107.5	5.8	15.3	117.5	2.4	6.8
90.0	1.1	2.1	100.0	6.7	12.8	110.0	4.1	12.3	120.0	0.6	3.7
92.5	2.4	4.3	102.5	6.7	16.7	112.5	3.4	9.3	120.5	0.0	0.1
95.0	2.7	6.3	105.0	6.5	16.5	115.0	3.1	8.1			

断面積 = 123.1 cm²強度：141.1 kg/cm²

掘削深：20cm No.1

71.5	0.0	0.0									
74.0	3.1	3.8	89.0	8.4	19.8	104.0	16.0	40.3	119.0	7.1	20.1
76.5	3.1	7.7	91.5	8.5	21.1	106.5	16.0	40.0	121.5	4.8	14.8
79.0	3.8	8.6	94.0	9.0	21.8	109.0	12.6	35.7	124.0	2.7	9.3
81.5	4.3	10.1	96.5	10.4	24.2	111.5	10.7	29.1	126.5	0.3	3.7
84.0	5.3	12.0	99.0	13.2	29.5	114.0	10.8	26.8	128.0	0.0	0.2
86.5	7.5	16.0	101.5	16.3	36.8	116.5	9.0	24.7			

断面積 = 457.1 cm²

掘削深：20cm No.2

66.0	0.0	0.0									
68.5	0.8	1.0	91.0	9.3	22.0	113.5	6.3	17.5	136.0	2.3	5.7
71.0	1.7	3.1	93.5	10.1	24.2	116.0	5.3	14.5	138.5	1.9	5.2
73.5	4.2	7.3	96.0	10.8	26.1	118.5	4.4	12.1	141.0	2.2	5.1
76.0	5.0	11.5	98.5	13.2	30.0	121.0	4.1	10.6	143.5	1.9	5.1
78.5	5.2	12.7	101.0	15.9	36.3	123.5	3.3	9.2	146.0	0.3	2.7
81.0	5.7	13.6	103.5	16.0	39.8	126.0	3.2	8.1	146.5	0.0	0.0
83.5	6.0	14.6	106.0	16.1	40.1	128.5	2.8	7.5			
86.0	6.6	15.7	108.5	10.8	33.6	131.0	2.4	6.5			
88.5	8.3	18.6	111.0	7.7	23.1	133.5	2.3	5.8			

断面積 = 490 cm²

掘削深: 20cm No.3

端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)
54.5	0.0	0.0									
57.0	1.0	1.2	79.5	4.7	10.2	102.0	16.0	36.3	124.5	6.3	16.1
59.5	2.4	4.2	82.0	5.7	13.0	104.5	15.8	39.7	127.0	5.8	15.1
62.0	2.9	6.6	84.5	6.1	14.7	107.0	15.8	39.5	129.5	4.7	13.1
64.5	3.5	8.0	87.0	7.2	16.6	109.5	13.4	36.5	132.0	3.3	10.0
67.0	3.4	8.6	89.5	7.8	18.7	112.0	11.3	30.8	134.5	2.6	7.3
69.5	3.4	8.5	92.0	9.0	21.0	114.5	9.0	25.3	137.0	0.4	3.7
72.0	3.1	8.1	94.5	9.9	23.6	117.0	7.2	20.2	139.3	0.0	0.4
74.5	4.4	9.3	97.0	11.3	26.5	119.5	7.3	18.1			
77.0	3.5	9.8	99.5	13.1	30.5	122.0	6.6	17.3			

断面積 = 569.7 cm²

掘削深: 10cm No.4

端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)
90.3	0.0	0.0									
92.8	1.8	2.2	102.8	6.4	16.0	112.8	2.0	5.5	121.8	0.0	0.5
95.3	2.7	5.6	105.3	6.3	15.8	115.3	1.6	4.5			
97.8	3.9	8.2	107.8	5.2	14.3	117.8	1.2	3.5			
100.3	6.4	12.8	110.3	2.4	9.5	120.3	0.7	2.3			

断面積 = 101.2 cm²

掘削深: 10cm No.5

端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)
87.4	0.0	0.0									
89.9	0.8	1.0	99.9	6.0	12.5	109.9	2.8	9.6	118.9	0.0	0.2
92.4	1.8	3.2	102.4	6.2	15.2	112.4	1.4	5.2			
94.9	2.7	5.6	104.9	5.9	15.1	114.9	0.8	2.7			
97.4	4.0	8.3	107.4	4.9	13.5	117.4	0.3	1.3			

断面積 = 93.9 cm²

掘削深: 10cm No.6

端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)
89.5	0.0	0.0									
92.0	1.0	1.2	99.5	5.5	12.2	107.0	3.8	12.3	114.5	0.2	1.8
94.5	2.8	4.7	102.0	6.1	14.5	109.5	1.8	7.0	115.6	0.0	0.1
97.0	4.3	8.8	104.5	6.1	15.2	112.0	1.3	3.8			

断面積 = 82.1 cm²

掘削深: 10cm No.7

端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)
81.2	0.0	0.0									
83.7	0.4	0.5	93.7	2.1	3.8	103.7	5.9	14.7	113.7	1.1	4.0
86.2	0.5	1.1	96.2	3.2	6.6	106.2	5.5	14.2	116.2	0.3	1.7
88.7	0.8	1.6	98.7	4.8	10.0	108.7	3.5	11.2	117.5	0.0	0.1
91.2	1.0	2.2	101.2	5.9	13.3	111.2	2.1	7.0			

断面積 = 92.6 cm²

強度：174.7 kg/cm²

掘削深：20cm No.1

端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)
85.5	0.0	0.0									
88.0	1.0	1.2	100.5	14.2	29.0	113.0	8.6	25.5	125.5	4.2	11.0
90.5	4.4	6.7	103.0	14.9	36.3	115.5	7.3	19.8	128.0	2.2	8.0
93.0	6.4	13.5	105.5	14.9	37.2	118.0	5.6	16.1	130.5	0.1	2.8
95.5	7.5	17.3	108.0	14.8	37.1	120.5	4.8	13.0	130.8	0.0	0.0
98.0	9.0	20.6	110.5	11.8	33.2	123.0	4.6	11.7			

断面積 = 340.6 cm²

掘削深：20cm No.2

62.2	0.0	0.0									
64.7	2.3	2.8	84.7	5.0	12.0	104.7	15.0	37.6	124.7	4.0	11.0
67.2	4.5	8.5	87.2	5.9	13.6	107.2	15.0	37.5	127.2	4.1	10.1
69.7	4.8	11.6	89.7	5.9	14.7	109.7	12.5	34.3	129.7	4.0	10.1
72.2	4.5	11.6	92.2	6.8	15.8	112.2	8.5	26.2	132.2	3.0	8.7
74.7	4.5	11.2	94.7	8.3	18.8	114.7	6.4	18.6	134.7	2.8	7.2
77.2	4.6	11.3	97.2	10.2	23.1	117.2	5.6	15.0	137.2	1.4	5.2
79.7	4.3	11.1	99.7	11.9	27.6	119.7	5.0	13.2	139.0	0.0	1.2
82.2	4.6	11.1	102.2	15.1	33.7	122.2	4.8	12.2			

断面積 = 487.8 cm²

掘削深：20cm No.3

52.7	0.0	0.0									
55.2	0.7	0.8	75.2	3.2	8.5	95.2	10.6	25.3	115.2	8.2	22.8
57.7	1.3	2.5	77.7	3.3	8.1	97.7	12.6	29.0	117.7	6.0	17.7
60.2	3.8	6.3	80.2	3.1	8.0	100.2	14.8	34.2	120.2	4.9	13.6
62.7	4.0	9.7	82.7	3.0	7.6	102.7	14.7	36.8	122.7	1.0	7.3
65.2	4.0	10.0	85.2	5.1	10.1	105.2	14.7	36.7	125.2	0.9	2.3
67.7	3.9	9.8	87.7	6.9	15.0	107.7	14.7	36.7	127.7	0.3	1.5
70.2	3.6	9.3	90.2	7.7	18.2	110.2	11.4	32.6	128.5	0.0	0.1
72.7	3.6	9.0	92.7	9.7	21.7	112.7	10.1	26.8			

断面積 = 479.2 cm²

掘削深：10cm No.4

89.8	0.0	0.0									
92.3	0.5	0.6	99.8	3.3	6.3	107.3	5.7	14.5	114.8	0.8	4.2
94.8	1.0	1.8	102.3	5.6	11.1	109.8	3.8	11.8	116.3	0.0	0.6
97.3	1.8	3.5	104.8	5.9	14.3	112.3	2.6	8.0			

断面積 = 77.1 cm²

掘削深：10cm No 5

端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)
88.5	0.0	0.0									
91.0	0.5	0.6	101.0	5.7	11.5	111.0	3.1	10.0	121.0	0.6	1.7
93.5	0.9	1.7	103.5	5.7	14.2	113.5	2.2	6.6	122.8	0.0	0.5
96.0	2.4	4.1	106.0	5.8	14.3	116.0	1.7	4.8			
98.5	3.5	7.3	108.5	4.9	13.3	118.5	0.8	3.1			

断面積 = 94.3 cm²

掘削深：10cm No 6

88.0	0.0	0.0									
90.5	0.8	1.0	100.5	4.3	8.3	110.5	3.5	10.7	120.5	1.5	3.8
93.0	1.2	2.5	103.0	5.2	11.8	113.0	3.0	8.1	123.0	1.2	3.3
95.5	1.8	3.7	105.5	5.2	13.0	115.5	1.8	6.0	125.5	0.7	2.3
98.0	2.4	5.2	108.0	5.1	12.8	118.0	1.6	4.2	127.8	0.0	0.8

断面積 = 98.2 cm²

掘削深：10cm No 7

91.5	0.0	0.0									
94.0	1.8	2.2	101.5	4.9	9.8	109.0	4.7	12.5	116.5	1.3	4.0
96.5	2.5	5.3	104.0	5.3	12.7	111.5	3.4	10.1	118.2	0.0	1.1
99.0	3.0	6.8	106.5	5.3	13.2	114.0	1.9	6.6			

断面積 = 84.7 cm²強度：219.8 kg / cm²

掘削深：15cm No 1

77.5	0.0	0.0									
80.0	0.3	0.3	95.0	2.6	5.8	110.0	9.6	24.1	125.0	4.1	11.7
82.5	0.5	1.0	97.5	4.1	8.3	112.5	9.5	23.8	127.5	3.8	9.8
85.0	1.5	2.5	100.0	5.3	11.7	115.0	8.1	22.0	128.8	0.0	2.4
87.5	1.5	3.7	102.5	7.1	15.5	117.5	6.9	18.7			
90.0	1.9	4.2	105.0	8.4	19.3	120.0	6.0	16.1			
92.5	2.1	5.0	107.5	9.7	22.6	122.5	5.3	14.1			

断面積 = 243.5 cm²

掘削深：15cm No 2

78.5	0.0	0.0									
81.0	0.8	1.0	96.0	4.6	10.5	111.0	6.9	21.1	126.0	1.7	4.3
83.5	1.1	2.3	98.5	6.2	13.5	113.5	4.9	14.7	128.5	0.3	2.5
86.0	1.4	3.1	101.0	8.7	18.6	116.0	3.7	10.7	129.5	0.0	0.1
88.5	2.4	4.7	103.5	10.1	23.5	118.5	2.4	7.6			
91.0	3.0	6.7	106.0	10.0	25.1	121.0	1.7	5.1			
93.5	3.8	8.5	108.5	10.0	25.0	123.5	1.8	4.3			

断面積 = 213.5 cm²

掘削深: 15cm No.3

端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)	端部からの 距 (cm)	掘削深 (cm)	断面積 (cm ²)
76.0	0.0	0.0									
78.5	0.7	0.8	93.5	5.2	12.3	108.5	9.2	24.5	123.5	1.8	6.1
81.0	1.4	2.6	96.0	6.1	14.1	111.0	7.2	20.5	126.0	0.4	2.7
83.5	2.4	4.7	98.5	7.4	16.8	113.5	6.1	16.6	128.5	0.2	0.7
86.0	2.9	6.6	101.0	9.4	21.0	116.0	5.1	14.0	131.0	0.0	0.2
88.5	3.9	8.5	103.5	10.4	24.7	118.5	3.6	10.8			
91.0	4.7	10.7	106.0	10.4	26.0	121.0	3.1	8.3			

断面積 = 254 cm²

掘削深: 15cm No.4

80.0	0.0	0.0									
82.5	1.0	1.2	97.5	6.5	14.2	112.5	5.6	15.6	127.5	1.4	3.6
85.0	1.5	3.1	100.0	8.5	18.7	115.0	4.6	12.7	130.0	0.8	2.7
87.5	1.8	4.1	102.5	9.4	22.3	117.5	3.7	10.3	132.5	0.2	1.2
90.0	2.7	5.6	105.0	9.4	23.5	120.0	2.6	7.8	132.9	0.0	0.0
92.5	3.7	8.0	107.5	8.3	22.1	122.5	2.2	6.0			
95.0	4.9	10.7	110.0	6.9	19.0	125.0	1.5	4.6			

断面積 = 217.8 cm²

掘削深: 5cm No.5

90.6	0.0	0.0									
93.1	0.3	0.3	100.6	3.4	6.8	108.1	1.7	6.2			
95.6	1.4	2.1	103.1	3.3	8.3	110.6	0.3	2.5			
98.1	2.1	4.3	105.6	3.3	8.2	112.3	0.0	0.2			

断面積 = 39.4 cm²

掘削深: 5cm No.6

92.7	0.0	0.0									
95.2	0.5	0.6	100.2	2.7	4.8	105.2	3.5	8.7	110.2	1.4	5.5
97.7	1.2	2.1	102.7	3.5	7.7	107.7	3.0	8.1	112.4	0.0	1.5

断面積 = 39.3 cm²

掘削深: 5cm No.7

89.5	0.0	0.0									
92.0	0.2	0.2	99.5	3.4	5.8	107.0	4.9	12.2	114.5	0.3	3.2
94.5	0.9	1.3	102.0	5.0	10.5	109.5	4.6	11.8	114.7	0.0	0.0
97.0	1.3	2.7	104.5	4.9	12.3	112.0	2.3	8.6			

断面積 = 69.2 cm²

附表 5-1 亀裂試験結果 (予備試験供試体)

(標準養生)

目標強度 No	試験 回数	荷 重 (kg)	断 面 積 (cm ²)	強 度 (kg/cm ²)	強度低減率	時 間 (×10 ⁻² s)	長 さ (cm)	伝播速度 (m/s)	亀裂係数
5-1	1	203	19.52	10.4	1.000	42.1	10.38	2,470	0.000
	2	160	19.60	8.2	0.788	54.5	10.37	1,900	0.408
	3	145	19.71	7.4	0.712	66.5	10.36	1,560	0.601
	4	112	19.91	5.6	0.538	67.6	10.34	1,530	0.616
5-2	1	188	19.60	9.6	1.000	40.6	10.19	2,510	0.000
	2	153	19.56	7.8	0.813	56.3	10.17	1,810	0.480
	3	117	19.71	5.9	0.615	68.5	10.16	1,480	0.652
	4	102	20.03	5.1	0.531	70.4	10.13	1,440	0.671
10-1	1	300	19.52	15.4	1.000	37.9	10.29	2,720	0.000
	2	258	19.56	13.2	0.857	56.6	10.25	1,810	0.557
	3	211	19.67	10.7	0.695	64.5	10.24	1,590	0.658
	4	181	19.79	9.1	0.591	62.0	10.24	1,650	0.632
	5	135	20.43	6.6	0.429	62.5	10.20	1,630	0.641
10-2	1	310	19.63	15.8	1.000	37.9	10.24	2,700	0.000
	2	234	19.63	11.9	0.753	53.2	10.21	1,920	0.494
	3	196	19.75	9.9	0.627	60.5	10.21	1,690	0.608
	4	141	19.79	7.1	0.449	62.8	10.24	1,630	0.636
	5	90	20.27	4.4	0.278	62.5	10.18	1,630	0.636
10-3	1	297	19.48	15.2	1.000	36.8	10.22	2,780	0.000
	2	278	19.48	14.3	0.941	49.6	10.20	2,060	0.451
	3	232	19.56	11.9	0.783	54.1	10.20	1,890	0.538
	4	200	19.67	10.2	0.671	57.0	10.19	1,790	0.585
	5	151	19.91	7.6	0.500	58.5	10.19	1,740	0.608
40-1	1	907	19.71	46.0	1.000	32.5	10.17	3,130	0.000
	2	746	19.71	37.8	0.822	40.8	10.12	2,480	0.372
	3	594	19.79	30.0	0.652	43.0	10.12	2,350	0.436
	4	545	20.07	27.2	0.591	48.1	10.10	2,100	0.550
	5	386	20.31	19.0	0.413	48.3	10.10	2,090	0.554
40-2	1	1,025	19.56	52.4	1.000	30.5	9.98	3,270	0.000
	2	893	19.56	45.7	0.872	33.5	9.97	2,980	0.170
	3	761	19.63	38.8	0.740	35.6	9.96	2,800	0.267
	4	698	19.75	35.3	0.674	39.6	9.95	2,510	0.411
	5	590	20.07	29.4	0.561	40.6	9.95	2,450	0.439
40-3	1	842	19.60	43.0	1.000	30.7	9.98	3,250	0.000
	2	741	19.60	37.8	0.879	34.2	9.96	2,910	0.198
	3	642	19.63	32.7	0.760	37.7	9.96	2,640	0.340
	4	553	19.71	28.1	0.653	42.5	9.95	2,340	0.482
	5	447	19.91	22.5	0.523	41.9	9.94	2,370	0.475
80-1	1	1,192	19.71	60.5	1.000	30.1	10.02	3,330	0.000
	2	980	19.95	49.1	0.812	36.3	9.98	2,750	0.318
	3	910	20.11	45.3	0.749	36.8	9.97	2,710	0.338
	4	797	20.11	39.6	0.655	34.6	9.96	2,880	0.252
80-2	1	1,030	19.63	52.5	1.000	29.7	10.08	3,390	0.000
	2	1,015	19.79	51.3	0.977	31.3	10.07	3,220	0.098

目標強度 No	試験 回数	荷 重 (kg)	断 面 積 (cm ²)	強 度 (kg/cm ²)	強度低減率	時 間 ($\times 10^{-6}$ s)	長 さ (cm)	伝 播 速 度 (m/s)	亀裂係数
80-2	3	842	19.95	42.2	0.804	34.7	10.07	2,900	0.268
	4	802	19.95	40.2	0.766	35.2	10.07	2,860	0.288
80-3	1	1,472	19.63	75.0	1.000	28.8	10.10	3,510	0.000
	2	1,170	19.79	59.1	0.788	32.5	10.08	3,100	0.220
	3	1,077	19.87	54.2	0.723	33.5	10.06	3,000	0.269
	4	912	20.03	45.5	0.607	34.1	10.07	2,950	0.294
100-1	1	2,075	19.71	105.3	1.000	27.2	9.98	3,670	0.000
	2	1,957	19.63	99.7	0.947	28.9	9.97	3,450	0.116
	3	1,787	19.63	91.0	0.864	28.6	9.97	3,490	0.096
	4	1,675	19.63	85.3	0.810	30.1	9.96	3,310	0.187
100-2	1	1,905	19.79	96.3	1.000	27.5	10.10	3,670	0.000
	2	1,760	19.71	89.3	0.927	30.1	10.09	3,350	0.167
	3	1,577	19.71	80.0	0.831	29.8	10.08	3,380	0.152
	4	1,490	19.79	75.3	0.782	30.9	10.07	3,260	0.211
100-3	1	2,022	19.56	103.4	1.000	27.3	10.00	3,660	0.000
	2	1,892	19.48	97.1	0.939	28.5	9.98	3,500	0.086
	3	1,595	19.48	81.9	0.792	29.5	9.97	3,380	0.147
	4	1,552	19.48	79.7	0.771	30.2	9.97	3,300	0.187
120-1	1	2,280	19.63	116.1	1.000	26.7	10.02	3,750	0.000
	2	2,180	19.63	111.1	0.957	27.6	10.00	3,620	0.068
	3	1,670	19.79	84.4	0.727	30.0	10.00	3,330	0.211
	4	630	20.19	31.2	0.269	35.1	10.00	2,850	0.422
120-2	1	2,510	19.79	126.8	1.000	26.6	10.12	3,800	0.000
	2	2,390	19.71	121.3	0.957	27.7	10.10	3,650	0.077
	3	2,035	20.03	101.6	0.801	29.6	10.10	3,410	0.195
	4	1,767	19.95	88.6	0.699	34.1	10.10	2,960	0.393
120-3	1	2,015	19.71	102.2	1.000	27.4	10.10	3,690	0.000
	2	1,945	19.63	99.1	0.970	29.2	10.07	3,450	0.126
	3	1,632	19.79	82.5	0.807	30.2	10.07	3,330	0.186
	4	1,462	19.95	73.3	0.717	33.5	10.07	3,010	0.335
125-1	1	2,495	19.71	126.6	1.000	26.8	10.02	3,740	0.000
	2	2,345	19.63	119.5	0.944	27.9	10.00	3,580	0.084
	3	2,025	19.71	102.7	0.811	29.0	10.00	3,450	0.149
	4	1,660	19.71	84.2	0.665	33.1	9.99	3,020	0.348
125-2	1	2,200	19.71	111.6	1.000	26.7	10.06	3,770	0.000
	2	2,005	19.71	101.7	0.911	28.9	10.04	3,470	0.153
	3	1,832	19.87	92.2	0.826	29.4	10.03	3,410	0.182
	4	1,555	19.87	78.3	0.702	33.8	10.03	2,970	0.379
125-3	1	2,670	19.63	136.0	1.000	26.7	10.03	3,760	0.000
	2	2,375	19.63	121.0	0.890	27.6	10.00	3,620	0.073
	3	2,057	19.95	103.1	0.758	28.8	10.00	3,470	0.148
	4	1,917	19.95	96.1	0.707	30.5	10.00	3,280	0.239

附表 5 - 2 亀裂試験結果 (予備試験供試体)

(現場養生)

目標強度 No	試験 回数	荷 重 (kg)	断 面 積 (cm ²)	強 度 (kg/cm ²)	強度低減率	時 間 ($\times 10^{-6}$ s)	長 さ (cm)	伝播速度 (m/s)	亀裂係数
5-1	1	182	19.67	9.3	1.000	38.4	10.16	2,650	0.000
	2	157	19.67	8.0	0.860	50.7	10.12	2,000	0.430
	3	127	19.71	6.4	0.688	62.3	10.11	1,620	0.626
	4	103	19.87	5.2	0.559	65.3	10.10	1,550	0.658
5-2	1	185	19.75	9.4	1.000	40.2	10.18	2,530	0.000
	2	168	19.52	8.6	0.915	50.7	10.16	2,000	0.375
	3	138	19.75	7.0	0.745	59.5	10.12	1,700	0.549
	4	103	19.67	5.2	0.553	67.4	10.12	1,500	0.648
5-3	1	169	19.56	8.6	1.000	47.0	10.14	2,160	0.000
	2	128	19.52	6.6	0.767	57.2	10.10	1,770	0.329
	3	107	19.75	5.4	0.628	62.6	10.08	1,610	0.444
10-1	1	301	19.75	15.2	1.000	37.5	10.24	2,730	0.000
	2	251	19.75	12.7	0.836	45.5	10.21	2,240	0.327
	3	234	19.71	11.9	0.783	55.1	10.21	1,850	0.541
	4	200	19.79	10.1	0.664	57.4	10.20	1,780	0.575
	5	144	20.03	7.2	0.474	58.5	10.19	1,740	0.594
10-2	1	315	19.67	16.0	1.000	39.0	10.14	2,600	0.000
	2	246	19.56	12.6	0.788	48.0	10.10	2,100	0.348
	3	231	19.56	11.8	0.738	54.6	10.10	1,850	0.494
	4	190	19.75	9.6	0.600	60.0	10.09	1,680	0.582
	5	146	19.95	7.3	0.456	59.7	10.07	1,690	0.578
40-1	1	992	19.56	50.7	1.000	31.1	10.07	3,240	0.000
	2	838	19.60	42.8	0.844	37.8	10.07	2,660	0.326
	3	700	19.71	35.5	0.700	43.5	10.06	2,310	0.492
	4	645	19.87	32.5	0.641	44.8	10.05	2,240	0.522
	5	565	19.99	28.3	0.558	47.6	10.05	2,110	0.576
40-2	1	920	19.71	46.7	1.000	30.3	10.04	3,310	0.000
	2	814	19.75	41.2	0.882	36.1	10.02	2,780	0.295
	3	750	19.83	37.8	0.809	41.8	10.02	2,400	0.474
	4	622	19.95	31.2	0.668	41.7	10.00	2,400	0.474
	5	558	20.15	27.7	0.593	45.0	10.00	2,220	0.550
40-3	1	850	19.63	43.3	1.000	30.7	10.09	3,290	0.000
	2	657	19.75	33.3	0.769	36.0	10.08	2,800	0.276
	3	457	20.03	22.8	0.527	42.3	10.05	2,380	0.477
	4	387	20.19	19.2	0.443	47.0	10.04	2,140	0.577
	5	267	20.55	13.0	0.300	45.3	10.02	2,210	0.549
80-1	1	1,040	19.71	52.8	1.000	28.3	10.08	3,560	0.000
	2	917	19.75	46.4	0.879	31.5	10.05	3,190	0.197
	3	397	20.59	19.3	0.366	39.3	10.00	2,540	0.491
80-2	1	1,365	19.60	69.6	1.000	28.5	9.94	3,490	0.000
	2	1,245	19.56	63.7	0.915	32.3	9.93	3,070	0.226
	3	1,182	19.60	60.3	0.866	34.2	9.92	2,900	0.310
	4	1,065	19.63	54.3	0.780	35.7	9.91	2,780	0.365

目標強度 No	試験 回数	荷 重 (kg)	断 面 積 (cm ²)	強 度 (kg/cm ²)	強度低減率	時 間 (×10 ⁻⁶ s)	長 さ (cm)	伝播速度 (m/s)	亀裂係数
80-3	1	1,575	19.87	79.3	1.000	28.5	10.05	3,530	0.000
	2	1,395	19.91	70.1	0.884	31.0	10.04	3,240	0.158
	3	1,262	19.91	63.4	0.799	31.4	10.04	3,200	0.178
	4	1,182	19.91	59.4	0.749	35.3	10.03	2,840	0.353
100-1	1	2,225	19.48	114.2	1.000	27.0	10.03	3,710	0.000
	2	2,047	19.48	105.1	0.920	30.7	10.02	3,260	0.228
	3	1,805	19.52	92.5	0.810	30.6	10.02	3,270	0.223
	4	1,687	19.63	85.9	0.752	31.9	10.00	3,130	0.288
100-2	1	2,002	19.48	102.8	1.000	27.4	10.00	3,650	0.000
	2	1,665	19.56	85.1	0.828	29.2	9.98	3,420	0.122
	3	1,532	19.63	78.0	0.759	31.2	9.97	3,200	0.231
	4	1,357	19.67	69.0	0.671	33.1	9.97	3,010	0.320
100-3	1	1,970	19.48	101.1	1.000	26.7	9.98	3,740	0.000
	2	1,800	19.60	91.8	0.908	28.3	9.97	3,520	0.114
	3	1,640	19.63	83.5	0.826	30.4	9.96	3,280	0.231
	4	1,515	19.63	77.2	0.764	32.7	9.96	3,050	0.335
120-1	1	2,365	19.67	120.2	1.000	28.2	10.17	3,610	0.000
	2	2,235	19.67	113.6	0.945	28.7	10.17	3,540	0.038
	3	1,947	19.67	99.0	0.824	30.8	10.16	3,300	0.164
	4	1,727	19.95	86.6	0.720	32.4	10.15	3,130	0.248
120-2	1	2,225	19.48	114.2	1.000	27.2	10.02	3,680	0.000
	2	2,145	19.56	109.7	0.961	28.3	10.01	3,540	0.075
	3	1,865	19.60	95.2	0.834	30.5	10.01	3,280	0.206
	4	1,577	19.71	80.0	0.701	32.2	10.01	3,110	0.286
125-1	1	2,575	19.60	131.4	1.000	26.6	10.05	3,780	0.000
	2	2,470	19.63	125.8	0.957	28.9	10.04	3,470	0.157
	3	2,257	19.79	114.0	0.868	29.8	10.04	3,370	0.205
	4	2,007	19.83	101.2	0.770	32.3	10.03	3,110	0.323
125-2	1	2,440	19.56	124.7	1.000	26.2	10.00	3,820	0.000
	2	2,300	19.63	117.2	0.940	29.1	9.98	3,430	0.198
	3	2,087	19.63	106.3	0.852	30.2	9.98	3,300	0.254
	4	1,862	19.79	94.1	0.755	32.2	9.98	3,090	0.346
125-3	1	2,580	19.66	131.9	1.000	26.3	9.96	3,790	0.000
	2	2,455	19.63	125.1	0.948	28.4	9.96	3,510	0.142
	3	2,107	19.63	107.3	0.813	30.3	9.95	3,280	0.251
	4	1,910	19.75	96.7	0.733	32.5	9.95	3,060	0.348

附表 5 - 3 亀裂試験結果 (疑似岩)

(標準養生供試体)

ブロック 名 No	試験 回数	荷 重 (kg)	断 面 積 (cm ²)	強 度 (kg/cm ²)	強度低減率	時 間 ($\times 10^{-6}$ s)	長 さ (cm)	伝 播 速 度 (m/s)	亀裂係数
H-1	1	93	19.21	4.8	1.000	59.0	10.07	1,710	0.000
	2	72	19.21	3.7	0.771	86.4	10.06	1,160	0.540
	3	67	19.21	3.5	0.729	101.0	10.06	1,000	0.658
	4	51	19.21	2.7	0.563	103.6	10.03	970	0.678
H-2	1	92	19.17	4.8	1.000	64.9	10.05	1,550	0.000
	2	67	19.17	3.5	0.729	91.3	10.05	1,100	0.496
	3	64	19.21	3.3	0.688	100.9	10.05	1,000	0.584
	4	46	19.21	2.4	0.500	102.3	10.02	980	0.600
H-3	1	87	19.17	4.5	1.000	58.4	9.99	1,710	0.000
	2	60	19.17	3.1	0.689	91.5	9.97	1,090	0.594
	3	58	19.17	3.0	0.667	101.4	9.97	980	0.672
	4	38	19.36	2.0	0.444	108.5	9.96	920	0.711
L-1	1	239	19.44	12.3	1.000	41.5	10.08	2,430	0.000
	2	212	19.52	10.9	0.886	52.5	10.06	1,920	0.376
	3	171	19.52	8.8	0.715	62.4	10.05	1,610	0.561
	4	136	19.67	6.9	0.561	68.2	10.04	1,470	0.634
	5	88	19.95	4.4	0.358	72.0	10.00	1,390	0.673
	6	56	19.95	2.8	0.228	76.3	9.99	1,310	0.709
L-2	1	250	19.44	12.9	1.000	44.2	10.05	2,270	0.000
	2	234	19.44	12.0	0.930	53.0	10.03	1,890	0.307
	3	181	19.60	9.2	0.713	58.8	10.03	1,710	0.433
	4	132	19.60	6.7	0.519	60.5	10.01	1,650	0.472
	5	118	19.67	6.0	0.465	65.0	10.00	1,540	0.540
	6	89	19.91	4.5	0.349	69.6	9.99	1,440	0.598
	7	61	19.95	3.1	0.240	76.4	9.98	1,310	0.667
L-3	1	185	19.44	9.5	1.000	46.5	10.10	2,170	0.000
	2	169	19.67	8.6	0.905	62.9	10.06	1,600	0.456
	3	101	19.79	5.1	0.537	66.0	10.04	1,520	0.509
	4	71	20.15	3.5	0.368	68.6	10.03	1,460	0.547
K-1	1	2,090	19.67	106.3	1.000	27.4	10.05	3,670	0.000
	2	2,010	19.71	102.0	0.960	32.4	10.04	3,100	0.287
	3	1,813	19.99	90.7	0.853	33.7	10.02	2,970	0.345
	4	1,560	20.19	77.3	0.727	35.6	10.00	2,810	0.414
	5	1,333	20.31	65.6	0.617	36.4	10.00	2,750	0.439
K-2	1	2,212	19.52	113.3	1.000	28.1	10.03	3,570	0.000
	2	2,068	19.63	105.3	0.929	32.4	10.01	3,090	0.251
	3	1,893	19.75	95.8	0.846	33.7	10.00	2,970	0.308
	4	1,747	19.83	88.1	0.778	35.6	10.00	2,810	0.380
	5	1,510	20.03	75.4	0.665	36.5	10.00	2,740	0.411
K-3	1	2,065	19.63	105.2	1.000	27.8	9.97	3,590	0.000
	2	2,025	19.67	102.9	0.978	30.7	9.96	3,240	0.185
	3	1,883	19.71	95.5	0.908	33.3	9.96	2,990	0.306
	4	1,735	19.83	87.5	0.832	33.7	9.94	2,950	0.325
	5	1,520	20.07	75.7	0.720	35.0	9.93	2,840	0.374

ブロック 名 No	試験 回数	荷 重 (kg)	断 面 積 (cm^2)	強 度 (kg/cm^2)	強度低減率	時 間 ($\times 10^{-6}$ s)	長 さ (cm)	伝播速度 (m/s)	亀裂係数
K-3	6	1,388	20.15	68.9	0.655	36.3	9.92	2,730	0.422
E-1	1	1,120	20.07	55.8	1.000	31.3	10.10	3,230	0.000
	2	965	20.03	48.2	0.864	35.7	10.07	2,820	0.238
	3	144	21.69	6.6	0.118	59.0	10.00	1,690	0.726
	4	87	21.40	4.1	0.073	67.9	10.00	1,470	0.793
E-2	1	1,168	19.87	58.8	1.000	31.7	10.09	3,180	0.000
	2	1,016	19.63	51.8	0.881	33.1	10.06	3,040	0.086
	3	764	19.63	38.9	0.662	34.2	10.05	2,940	0.145
	4	639	19.83	32.2	0.548	47.5	10.03	2,110	0.560
	5	453	20.03	22.6	0.384	47.8	10.02	2,100	0.564
	6	334	20.39	16.4	0.279	60.0	10.02	1,670	0.724
E-3	1	1,200	19.71	60.9	1.000	31.0	10.01	3,230	0.000
	2	960	19.71	48.7	0.800	34.3	9.99	2,910	0.188
	3	790	19.71	40.1	0.658	38.0	9.97	2,620	0.342
	4	692	19.83	34.9	0.573	45.4	9.95	2,190	0.540
	5	432	20.03	21.6	0.355	45.5	9.94	2,180	0.544
	6	390	20.47	19.1	0.314	53.3	9.94	1,860	0.668
F-1	1	788	19.40	40.6	1.000	27.0	9.97	3,690	0.000
	2	635	19.40	32.7	0.805	31.3	9.97	3,190	0.253
	3	384	19.79	19.4	0.478	39.6	9.92	2,510	0.537
	4	283	19.87	14.2	0.350	42.0	9.90	2,360	0.591
F-2	1	916	19.56	46.8	1.000	28.8	10.02	3,480	0.000
	2	685	19.67	34.8	0.744	37.4	10.02	2,680	0.407
	3	388	20.03	19.4	0.415	37.6	10.01	2,660	0.416
	4	254	20.23	12.6	0.269	45.3	10.00	2,210	0.597
F-3	1	844	19.44	43.4	1.000	28.4	9.99	3,520	0.000
	2	506	19.79	25.6	0.590	36.6	9.96	2,720	0.403
	3	399	19.91	20.0	0.461	41.9	9.96	2,380	0.543
G-1	1	944	19.83	47.6	1.000	34.7	10.00	2,880	0.000
	2	816	19.83	41.1	0.863	36.7	9.95	2,710	0.115
	3	708	19.83	35.7	0.750	41.5	9.95	2,400	0.306
	4	325	20.19	16.1	0.338	55.8	9.92	1,780	0.618
	5	180	20.59	8.7	0.183	60.0	9.92	1,650	0.672
	6	151	20.75	7.3	0.153	71.9	9.92	1,380	0.770
G-2	1	1,000	19.83	50.4	1.000	33.3	10.10	3,030	0.000
	2	916	19.83	46.2	0.917	36.0	10.09	2,800	0.146
	3	813	19.83	41.0	0.813	39.4	10.06	2,550	0.292
	4	543	19.83	27.4	0.544	43.6	10.06	2,310	0.419
	5	512	20.07	25.5	0.506	52.3	10.04	1,920	0.598
	6	405	20.69	19.7	0.391	58.2	10.04	1,730	0.674
G-3	1	1,020	19.71	51.8	1.000	33.7	10.10	3,000	0.000
	2	724	19.71	36.7	0.708	35.1	10.05	2,860	0.091
	3	471	19.75	23.8	0.459	41.5	10.03	2,420	0.349
	4	448	19.95	22.5	0.434	54.3	10.03	1,850	0.620

ブロック 名 No	試験 回数	荷 重 (kg)	断 面 積 (cm^2)	強 度 (kg/cm^2)	強度低減率	時 間 ($\times 10^{-6}$ s)	長 さ (cm)	伝播速度 (m/s)	亀裂係数
G-3	5	384	20.15	19.1	0.369	57.5	10.01	1,740	0.664
	6	285	20.43	14.0	0.270	66.2	10.01	1,510	0.747
J-1	1	2,840	19.67	144.4	1.000	27.8	10.03	3,610	0.000
	2	303	20.95	14.5	0.100	34.8	9.95	2,860	0.372
	3	206	21.16	9.7	0.067	35.3	9.93	2,810	0.394
	4	105	21.16	5.0	0.035	36.8	9.02	2,450	0.539
J-2	1	2,720	19.67	138.3	1.000	28.8	9.99	3,470	0.000
	2	2,330	19.75	118.0	0.853	30.6	9.97	3,260	0.117
	3	1,948	19.83	98.2	0.710	31.1	9.95	3,200	0.150
	4	1,515	19.91	76.1	0.550	32.8	9.94	3,030	0.238
	5	1,325	19.95	66.4	0.480	34.0	9.93	2,920	0.292
J-3	1	2,815	19.67	143.1	1.000	26.5	10.09	3,810	0.000
	2	2,405	19.71	122.0	0.853	29.4	10.08	3,430	0.190
	3	2,008	19.87	101.1	0.706	30.9	10.06	3,260	0.268
	4	1,813	19.91	91.1	0.637	32.7	10.05	3,070	0.351
	5	1,625	20.07	81.0	0.566	33.0	10.05	3,050	0.359
I-1	1	3,510	19.67	178.4	1.000	25.9	10.13	3,910	0.000
	2	3,350	19.71	170.0	0.953	27.8	10.12	3,640	0.133
	3	3,240	19.71	164.4	0.922	29.1	10.10	3,470	0.212
	4	3,010	19.87	151.5	0.849	30.9	10.10	3,270	0.301
	5	2,750	20.23	135.9	0.762	33.0	10.06	3,050	0.392
I-2	1	4,170	19.87	209.9	1.000	25.1	10.05	4,000	0.000
	2	3,790	19.87	190.7	0.909	26.3	10.04	3,820	0.088
	3	3,530	19.91	177.3	0.845	29.5	10.04	3,400	0.278
	4	3,210	19.99	160.6	0.765	29.7	10.03	3,380	0.286
	5	2,940	20.11	146.2	0.697	31.3	10.01	3,200	0.360
	6	2,245	20.31	110.5	0.526	32.5	10.00	3,080	0.407
I-3	1	3,550	19.60	181.1	1.000	25.5	10.04	3,940	0.000
	2	3,545	19.67	180.2	0.995	28.4	10.01	3,520	0.202
	3	2,990	19.71	151.7	0.838	29.6	10.01	3,380	0.264
	4	2,520	19.95	126.3	0.697	30.6	10.00	3,270	0.311
	5	2,363	19.95	118.4	0.654	30.7	10.00	3,260	0.315

附表 5-4 亀裂試験結果 (疑似岩)

(現場養生供試体)

ブロック 名 - No	試験 回数	荷 (kg) 重	断 面 積 (cm ²)	強 度 (kg/cm ²)	強度低減率	時 間 ($\times 10^{-6}$ s)	長 (cm) さ	伝播速度 (m/s)	亀裂係数
H-4	1	100	19.32	5.2	1.000	61.0	10.09	1,650	0.000
	2	74	19.32	3.8	0.731	86.5	10.09	1,170	0.497
	3	65	19.32	3.4	0.654	98.5	10.07	1,020	0.618
	4	63	19.36	3.3	0.635	110.8	10.04	910	0.696
H-5	1	82	19.01	4.3	1.000	59.5	10.01	1,680	0.000
	2	64	19.09	3.4	0.791	86.1	10.01	1,160	0.523
	3	51	19.09	2.7	0.628	96.7	10.00	1,030	0.624
H-6	1	84	19.17	4.4	1.000	59.0	10.06	1,710	0.000
	2	59	19.17	3.1	0.705	90.1	10.04	1,110	0.579
	3	47	19.17	2.5	0.568	96.3	10.00	1,040	0.630
	4	41	19.21	2.1	0.477	127.8	10.00	780	0.792
L-4	1	197	19.36	10.2	1.000	47.5	10.00	2,110	0.000
	2	179	19.36	9.2	0.902	62.2	9.99	1,610	0.418
	3	104	19.75	5.3	0.520	71.4	9.95	1,390	0.566
L-5	1	178	19.32	9.2	1.000	45.7	9.98	2,180	0.000
	2	165	19.32	8.5	0.924	61.4	9.97	1,620	0.448
	3	148	19.60	7.6	0.826	64.9	9.95	1,530	0.507
L-6	1	210	19.24	10.9	1.000	46.6	10.07	2,160	0.000
	2	199	19.36	10.3	0.945	60.6	10.05	1,660	0.409
K-4	1	2,490	19.83	125.6	1.000	28.2	10.06	3,570	0.000
	2	2,360	19.83	119.0	0.947	30.3	10.06	3,320	0.135
	3	2,043	19.83	103.0	0.820	33.3	10.06	3,020	0.284
	4	1,718	19.99	85.9	0.684	35.1	10.03	2,860	0.358
	5	1,508	20.19	74.7	0.595	36.9	10.02	2,720	0.420
	6	1,348	20.23	66.6	0.530	37.0	10.01	2,710	0.424
K-5	1	2,180	19.83	109.9	1.000	28.9	10.19	3,530	0.000
	2	1,950	19.87	98.1	0.893	33.5	10.17	3,040	0.258
	3	1,648	19.99	82.4	0.750	34.9	10.16	2,910	0.320
	4	1,460	20.19	72.3	0.658	36.4	10.14	2,790	0.375
	5	1,290	20.35	63.4	0.577	37.8	10.12	2,680	0.424
K-6	1	2,145	19.71	108.8	1.000	28.7	10.09	3,520	0.000
	2	1,933	19.83	97.5	0.896	33.1	10.06	3,040	0.254
	3	1,720	19.91	86.4	0.794	34.1	10.05	2,950	0.298
	4	1,568	20.07	78.1	0.718	35.6	10.05	2,820	0.358
	5	1,425	20.23	70.4	0.647	36.5	10.02	2,750	0.390
J-4	1	2,975	19.75	150.6	1.000	27.7	10.02	3,620	0.000
	2	2,655	19.75	134.4	0.892	31.3	10.00	3,190	0.223
	3	1,930	19.99	96.5	0.641	32.7	9.99	3,060	0.285
	4	1,663	20.07	82.9	0.550	33.3	9.99	3,000	0.313
J-5	1	2,950	19.83	148.8	1.000	26.7	9.99	3,740	0.000
	2	2,665	19.83	134.4	0.903	30.5	9.99	3,280	0.231
	3	2,060	19.87	103.7	0.697	31.3	9.98	3,190	0.272
	4	1,870	19.99	93.5	0.628	32.7	9.95	3,040	0.339
	5	1,668	19.99	83.4	0.560	33.4	9.95	2,980	0.365
J-6	1	2,920	19.63	148.8	1.000	27.4	9.98	3,640	0.000
	2	2,895	19.63	147.5	0.991	29.0	9.98	3,440	0.107
	3	2,400	19.75	121.5	0.817	30.9	9.97	3,230	0.213
	4	2,028	19.87	102.1	0.686	31.6	9.95	3,150	0.251
	5	1,815	19.99	90.8	0.610	33.1	9.95	3,010	0.316
	6	1,610	20.07	80.2	0.539	33.4	9.95	2,980	0.330
I-4	1	4,170	19.60	212.8	1.000	25.4	10.00	3,940	0.000
	2	4,125	19.60	210.5	0.989	27.2	9.99	3,670	0.132
	3	3,470	19.67	176.4	0.829	29.4	9.98	3,390	0.260

ブロック 名 - No	試験 回数	荷 重 (kg)	断 面 積 (cm ²)	強 度 (kg / cm ²)	強度低減率	時 間 ($\times 10^{-6}$ s)	長 さ (cm)	伝播速度 (m / s)	亀裂係数
I - 5	1	4,510	19.71	228.8	1.000	25.5	9.99	3,920	0.000
	2	3,845	19.75	194.7	0.851	28.4	9.99	3,520	0.194
	3	3,550	19.75	179.7	0.785	29.6	9.99	3,380	0.257
	4	3,270	19.83	164.9	0.721	30.1	9.96	3,310	0.287
	5	2,925	19.99	146.3	0.639	31.5	9.95	3,160	0.350
	6	2,650	20.11	131.8	0.576	33.1	9.94	3,000	0.414
I - 6	1	4,170	19.60	212.8	1.000	25.6	10.07	3,930	0.000
E - 4	1	1,220	19.63	62.1	1.000	31.6	10.05	3,180	0.000
	2	1,030	19.63	53.5	0.862	34.8	10.04	2,890	0.174
	3	632	19.63	32.2	0.519	47.5	10.00	2,110	0.560
	4	559	19.87	28.1	0.452	49.7	10.00	2,010	0.600
	5	158	20.03	7.9	0.127	50.9	10.00	1,960	0.620
E - 5	1	1,088	19.63	55.4	1.000	31.8	10.05	3,160	0.000
	2	976	19.63	49.7	0.897	35.0	10.01	2,860	0.181
	3	875	19.63	44.6	0.805	42.5	10.00	2,350	0.447
	4	505	19.91	25.4	0.458	44.6	9.99	2,240	0.498
	5	198	20.35	9.7	0.175	51.2	9.97	1,950	0.619
E - 6	1	1,160	19.67	59.0	1.000	32.4	10.05	3,100	0.000
	2	885	19.67	45.0	0.763	36.6	10.03	2,740	0.219
	3	722	19.67	36.7	0.622	50.7	10.00	1,970	0.596
	4	235	19.91	11.8	0.200	52.0	9.99	1,920	0.616
	5	204	20.19	10.1	0.171	59.7	9.98	1,670	0.710
	6	127	20.35	6.2	0.105	60.0	9.97	1,660	0.713
F - 4	1	860	19.44	44.2	1.000	25.0	9.98	3,990	0.000
	2	686	19.48	35.2	0.796	37.8	9.98	2,640	0.562
	3	598	19.60	30.5	0.690	47.5	9.98	2,100	0.723
	4	464	19.71	23.5	0.532	52.5	9.94	1,890	0.776
F - 5	1	856	19.40	44.1	1.000	27.9	10.24	3,670	0.000
	2	768	19.48	39.4	0.893	40.3	10.20	2,530	0.525
	3	635	19.63	32.3	0.732	49.5	10.20	2,060	0.685
	4	540	19.63	27.5	0.624	51.8	10.18	1,970	0.712
F - 6	1	976	19.44	50.2	1.000	26.8	10.11	3,770	0.000
	2	645	19.44	33.2	0.661	37.0	10.09	2,730	0.476
	3	594	19.63	30.3	0.604	47.1	10.08	2,140	0.678
	4	490	19.63	25.0	0.498	51.7	10.06	1,950	0.732
G - 4	1	1,145	19.63	58.3	1.000	32.9	10.06	3,060	0.000
	2	804	19.63	41.0	0.703	37.8	10.02	2,650	0.250
	3	688	19.63	35.0	0.600	41.6	10.01	2,410	0.380
	4	548	19.75	27.7	0.475	46.8	10.01	2,140	0.511
	5	292	19.91	14.7	0.252	52.5	10.00	1,900	0.614
	6	258	20.19	12.8	0.220	59.4	10.00	1,680	0.699
G - 5	1	1,120	19.75	56.7	1.000	33.4	10.01	3,000	0.000
	2	1,000	19.75	50.6	0.892	36.6	9.98	2,730	0.172
	3	914	19.75	46.3	0.817	38.0	9.98	2,630	0.231
	4	738	19.75	37.4	0.660	45.4	9.97	2,200	0.462
	5	552	20.03	27.6	0.487	50.6	9.95	1,970	0.569
	6	269	20.35	13.2	0.233	54.6	9.94	1,820	0.632
G - 6	1	940	19.79	47.5	1.000	34.0	10.20	3,000	0.000
	2	796	19.79	40.2	0.846	34.3	10.17	2,970	0.020
	3	616	19.79	31.1	0.655	47.2	10.15	2,150	0.486
	4	429	19.91	21.5	0.453	48.6	10.14	2,090	0.515
	5	411	19.99	20.6	0.434	53.5	10.12	1,890	0.603
	6	314	20.39	15.4	0.324	53.8	10.11	1,880	0.607

附表 5 - 5 亀裂試験結果 (疑似岩)

(切取供試体)

ブロック 名 No	試験 回数	荷 重 (kg)	断 面 積 (cm ²)	強 度 (kg / cm ²)	強度低減率	時 間 ($\times 10^{-6}$ s)	長 さ (cm)	伝 播 速 度 (m / s)	亀 裂 係 数
L - 7	1	169	19.62	8.7	1.000	87.5	13.30	1,520	0.000
	2	46	19.52	2.4	0.276	101.5	13.30	1,310	0.257
L - 8	1	140	21.20	6.6	1.000	88.1	12.94	1,470	0.000
	2	38	21.20	1.8	0.273	96.5	12.92	1,340	0.169
L - 9	1	148	18.02	8.2	1.000	83.7	12.65	1,510	0.000
	2	86	18.02	4.8	0.585	98.7	12.59	1,280	0.281
K - 7	1	2,050	15.07	136.0	1.000	34.0	10.71	3,150	0.000
	2	1,970	15.21	129.5	0.952	36.2	10.68	2,950	0.123
K - 8	1	2,265	15.07	150.3	1.000	27.0	8.66	3,210	0.000
	2	1,650	15.21	108.5	0.722	31.8	8.62	2,710	0.287
	3	1,575	15.41	102.2	0.680	34.6	8.60	2,490	0.398
	4	1,225	15.41	79.5	0.529	34.8	8.59	2,470	0.408
K - 9	1	2,070	15.10	137.1	1.000	27.5	8.75	3,180	0.000
	2	1,840	15.31	120.2	0.877	31.6	8.72	2,760	0.247
	3	1,650	15.34	107.6	0.785	34.2	8.70	2,540	0.362
	4	1,190	15.31	77.7	0.567	37.5	8.70	2,320	0.468
	5	740	16.66	44.4	0.324	36.8	8.70	2,360	0.449
J - 7	1	2,400	15.17	158.2	1.000	33.2	10.79	3,250	0.000
	2	2,195	15.17	144.7	0.915	37.4	10.79	2,890	0.209
	3	2,015	15.27	132.0	0.834	38.1	10.78	2,830	0.242
	4	1,460	15.27	95.6	0.604	40.3	10.77	2,670	0.325
	5	1,025	15.66	65.5	0.414	44.0	10.74	2,440	0.436
J - 8	1	2,815	15.17	185.6	1.000	30.6	10.32	3,370	0.000
	2	2,635	15.24	172.9	0.932	33.1	10.30	3,110	0.148
	3	1,700	15.31	111.0	0.598	33.1	10.28	3,110	0.148
	4	1,120	15.52	72.2	0.389	37.1	10.28	2,770	0.324
J - 9	1	6,535	36.26	180.2	1.000	43.7	14.72	3,370	0.000
I - 7	1	3,115	15.17	205.3	1.000	30.3	10.80	3,560	0.000
	2	2,660	15.17	175.3	0.854	34.0	10.79	3,170	0.207
	3	2,185	15.21	143.7	0.700	34.3	10.76	3,140	0.222
I - 8	1	3,650	15.14	241.1	1.000	31.3	10.63	3,400	0.000
	2	2,995	15.17	197.4	0.819	33.0	10.63	3,220	0.103
	3	2,315	15.21	152.2	0.631	33.2	10.62	3,200	0.114
	4	1,605	15.41	104.2	0.432	34.2	10.62	3,110	0.163
I - 9	1	3,240	15.21	213.0	1.000	33.0	10.92	3,310	0.000
	2	2,550	15.21	167.7	0.787	33.4	10.92	3,270	0.024
	3	2,430	15.27	159.1	0.747	34.6	10.90	3,150	0.094
	4	1,245	15.48	80.4	0.377	39.7	10.88	2,740	0.315

附表 5-6 亀裂試験結果 (天然岩)

(気乾状態)

岩石の 種 類	試験 回数	荷 重 (kg)	断 面 積 (cm ²)	強 度 (kg / cm ²)	強度低減率	時 間 ($\times 10^{-6}$ s)	長 さ (cm)	伝播速度 (m / s)	亀裂係数
橄欖岩-3	1	20,070	15.31	1,310.9	1.000	15.8	9.20	5,820	0.000
	2	19,350	15.31	1,263.9	0.964	15.8	9.18	5,810	0.003
大理石-1	1	6,980	15.31	455.9	1.000	15.7	8.93	5,690	0.000
	2	3,290	15.34	214.5	0.470	18.1	8.92	4,930	0.249
	3	2,530	15.38	164.5	0.361	21.4	8.91	4,160	0.465
大理石-2	1	5,910	15.24	387.8	1.000	16.0	9.03	5,640	0.000
	2	4,470	15.27	292.7	0.755	17.7	9.02	5,100	0.182
	3	4,450	15.31	290.7	0.750	19.0	9.01	4,740	0.294
	4	1,890	15.41	122.6	0.316	20.0	9.00	4,500	0.363
大理石-3	1	5,690	15.24	373.4	1.000	15.9	8.97	5,640	0.000
	2	4,810	15.41	312.1	0.836	17.1	8.93	5,220	0.143
	3	3,500	15.45	226.5	0.607	18.1	8.93	4,930	0.236
砂 岩-1	1	7,630	15.21	501.6	1.000	45.9	9.10	1,980	0.000
	2	5,990	15.38	389.5	0.777	46.1	9.08	1,970	0.010
	3	5,920	15.55	380.7	0.759	47.2	9.06	1,920	0.060
	4	5,850	15.66	373.6	0.745	46.9	9.05	1,930	0.050
砂 岩-2	1	7,750	15.24	508.5	1.000	46.1	9.12	1,980	0.000
	2	6,350	15.55	408.4	0.803	45.9	9.10	1,980	0.000
	3	5,560	15.62	356.0	0.700	47.1	9.09	1,930	0.050
	4	5,510	15.69	351.2	0.691	48.5	9.09	1,870	0.108
砂 岩-3	1	6,200	15.21	407.6	1.000	46.7	8.89	1,900	0.000
	2	5,100	15.59	327.1	0.803	46.9	8.85	1,890	0.010
	3	4,630	15.59	297.0	0.729	47.4	8.84	1,860	0.042
	4	4,040	15.69	257.5	0.632	48.2	8.82	1,830	0.072
	5	3,750	15.76	237.9	0.584	49.3	8.82	1,790	0.112
白河岩-1	1	3,210	15.21	211.0	1.000	33.4	8.97	2,690	0.000
	2	3,000	15.38	195.1	0.925	40.4	8.95	2,220	0.319
	3	2,500	15.48	161.5	0.765	39.8	8.95	2,250	0.300
	4	1,890	15.69	120.5	0.571	41.6	8.93	2,150	0.361
	5	1,620	15.80	102.5	0.486	43.2	8.93	2,070	0.408
白河岩-2	1	4,710	15.24	309.1	1.000	31.7	9.00	2,840	0.000
	2	4,500	15.34	293.4	0.949	37.6	8.99	2,390	0.292
	3	3,990	15.38	259.4	0.839	39.5	8.98	2,270	0.361
	4	3,080	15.52	198.5	0.642	40.8	8.97	2,200	0.400
	5	2,590	15.62	165.8	0.536	41.9	8.97	2,140	0.432
白河岩-3	1	3,630	15.21	238.7	1.000	32.3	8.94	2,770	0.000
	2	3,330	15.31	217.5	0.911	37.6	8.94	2,380	0.262
	3	3,070	15.45	198.7	0.832	38.2	8.92	2,340	0.286
	4	2,410	15.55	155.0	0.649	40.5	8.91	2,200	0.369
	5	1,900	15.65	122.2	0.512	42.5	8.91	2,100	0.425
大谷石-1	1	1,190	15.17	78.4	1.000	49.6	8.94	1,800	0.000
	2	800	15.38	52.0	0.663	50.1	8.93	1,780	0.022
	3	460	15.94	28.9	0.369	56.0	8.90	1,590	0.220
大谷石-2	1	1,130	15.21	74.3	1.000	51.0	9.09	1,780	0.000
	2	890	15.24	58.4	0.786	51.7	9.07	1,750	0.033
	3	390	15.90	24.5	0.330	53.1	8.98	1,690	0.099
大谷石-3	1	1,210	15.14	79.9	1.000	50.3	8.97	1,780	0.000
	2	990	15.17	65.3	0.817	50.8	8.95	1,760	0.022
	3	790	15.31	51.6	0.646	50.9	8.95	1,760	0.022
	4	420	15.83	26.5	0.332	51.9	8.91	1,720	0.066

附表 5-7 亀裂試験結果 (天然岩)

(48時間水浸)

岩石の種類	試験回数	荷重 (kg)	断面積 (cm ²)	強度 (kg/cm ²)	強度低減率	時間 (×10 ⁻⁶ s)	長さ (cm)	伝播速度 (m/s)	亀裂係数
橄欖岩-4	1	28,300	15.24	1,857.0	1.000	15.4	9.00	5,840	0.000
	2	25,900	15.24	1,699.5	0.915	15.5	9.00	5,810	0.010
大理石-4	1	5,550	15.24	364.2	1.000	14.7	8.95	6,090	0.000
	2	4,800	15.27	314.3	0.863	15.2	8.95	5,890	0.065
大理石-5	1	4,650	15.21	305.7	1.000	14.6	8.83	6,050	0.000
	2	4,640	15.27	303.9	0.994	14.6	8.82	6,040	0.003
	3	4,490	15.27	294.0	0.962	14.7	8.82	6,000	0.016
大理石-6	1	5,490	15.21	360.9	1.000	14.5	9.02	6,220	0.000
	2	4,430	15.31	289.4	0.802	15.0	9.02	6,010	0.066
	3	4,510	15.31	294.6	0.816	15.5	9.02	5,820	0.124
砂岩-4	1	6,020	15.21	395.8	1.000	39.5	9.07	2,300	0.000
	2	5,940	15.52	382.7	0.967	42.6	9.07	2,130	0.142
砂岩-5	1	6,940	15.21	456.3	1.000	38.8	8.93	2,300	0.000
	2	4,690	15.38	304.9	0.668	41.4	8.93	2,160	0.118
	3	4,240	15.48	273.9	0.600	42.1	8.92	2,120	0.150
砂岩-6	1	6,710	15.21	441.2	1.000	38.5	8.95	2,320	0.000
	2	4,680	15.41	303.7	0.688	41.6	8.93	2,150	0.141
	3	3,950	15.48	255.2	0.578	42.7	8.93	2,090	0.188
白川石-4	1	2,750	15.24	180.4	1.000	33.2	8.97	2,700	0.000
	2	1,900	15.27	124.4	0.690	37.6	8.97	2,390	0.216
	3	1,870	15.38	121.6	0.674	39.0	8.96	2,300	0.274
白川石-5	1	3,360	15.21	220.9	1.000	33.1	9.10	2,750	0.000
	2	2,960	15.27	193.8	0.877	38.1	9.10	2,390	0.245
	3	2,350	15.34	153.2	0.694	39.4	9.10	2,310	0.294
白川石-6	1	2,640	15.21	173.6	1.000	33.0	8.92	2,700	0.000
	2	2,260	15.24	148.3	0.854	38.6	8.92	2,310	0.268
	3	1,850	15.27	121.2	0.698	39.4	8.92	2,260	0.299
大谷石-4	1	810	15.24	53.1	1.000	47.1	9.09	1,930	0.000
	2	150	15.45	9.7	0.183	49.1	9.07	1,850	0.081
大谷石-5	1	520	15.20	34.2	1.000	45.0	8.73	1,940	0.000
	2	50	16.12	3.1	0.091	49.6	8.70	1,750	0.186
大谷石-6	1	720	15.21	47.3	1.000	49.2	8.94	1,820	0.000
	2	80	15.55	5.1	0.108	53.6	8.92	1,660	0.168
	3	30	16.26	1.8	0.038	53.6	8.89	1,660	0.168

岩石掘削工法に関する試験調査(第3報)

ISSN 0386-5878

土研資料第1701号

マイクロフィルム第 号

昭和56年6月(1981)

沢田茂良, 太田 宏, 前田孝司

キーワード 建設機械, リッパビリティ, 岩石掘削

要 旨

本報告書は, 実大実験の結果にもとずきリッパ掘削に関する要因の定量的関係を調査し, 掘削能力推定手法の提案を行ったものである。



郵便はがき

40円切手
をはって
下さい。

3 0 5 - □ □

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

機械研究室 御中

No. 15

No. 15

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第1701号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印