



100

土木研究所資料

第832号

インサート形ローラビットによる硬岩掘削試験

昭和48年3月

建設省土木研究所

インサート形ローラビットによる硬岩掘削試験

機械研究室

田中康之

千田昌平

石島 威

目 次

1. まえがき.....	3
2. 試験装置及び計測方法.....	5
2-1 削孔試験装置.....	5
2-2 試験用ビット.....	6
2-3 計測方法.....	8
(a) ビット推力	8
(b) ビット回転速度.....	8
(c) 掘進速度.....	8
(d) 掘削トルク	8
(e) 掘削馬力	9
(f) 揚砂量	10
(g) 揚水量	10
(h) 含砂率	10
2-4 試 料	10
3. 試験結果	13
4. まとめ	29
付表 成績一覧表	

1. まえがき

場所打ちぐい工法が導入されて以来大口径掘削工法が基礎掘削に応用されるようになってきたが、一般構造物の基礎掘削では岩盤を深く掘削することが殆んどなく、わずかにくい先端の定着部を掘削する例があるにすぎない。したがって掘削にロータリ掘削機を用いる場合でもグレーダのスカリフアイヤのように引っかきで削る形式のドラグ形ビットで十分適用できるが、本州四国連絡橋（以下本四橋と呼ぶ）のような超大規模の橋脚の基礎ではある程度硬い岩盤を掘り下げる必要もでてくる。掘削機の重要部分である掘削ビットとしては、これまで中硬岩、軟岩掘削用として、ミルドツース形ローラックタ（以下ツース形と呼ぶ）が主として用いられており、本四橋の基礎施工の場合も大部分このツース形で十分であるものと考えられるが、特殊な条件の所では、かなり硬い岩層（一軸圧縮強度 $1000\sim 2000\text{ kg/cm}^2$ ）掘削も必要となり、その場合ツース形では極端に不経済になることが予想される。すでに石油さく井業界では、ツース形からタングステンカーバイト鋼チップインサート形カッタ（以下インサート形と呼ぶ）に移行しつつありトンネル掘進機でも一部ではインサート形が採用されている。インサート形ビットについては、まだ歴史も浅く、その掘削特性についてはツース形カッタより類推する程度で殆んどデータがないのが現状である。ツース形カッタのデータは、主としてモルタルを使った疑似岩のもので、一軸圧縮強度が最大 400 kg/cm^2 程度までのデータしかないため、 500 kg/cm^2 以上の岩に対する推定は困難が多い。この実験は、これを補うために本州四国連絡架橋公団の委託により、より硬い岩に対するインサート形カッタの掘削特性を調べる目的で行なった。

この報告書は、圧縮強度、 1200 kg/cm^2 の花崗岩および 718 kg/cm^2 の砂岩について、土木研究所が保有する削孔試験機を用い、直径 60 cm ϕ および 42 cm ϕ のインサート形ビットの掘削結果をまとめたものである。試験工程および試験内訳を表-1、表-2に示す。

表-1 チップインサート形カッタの削孔試験工程表

年月日	曜日	内 容
47.9.7	木	岩石(花崗岩)試料設置およびモルタル(早強)打設
9.21	木	試験準備 ビット取付
9.22	金	掘削実験 午前、モルタル部分掘削 (40cm) 午後、花崗岩掘削 (20cm)
9.29	金	午前、花崗岩掘削 (20cm) 午後、" (20cm)
10.2	月	ビットの口径を600mmφから420mmφに換える
10.3	火	掘削実験 花崗岩掘削 (30cm)
10.4	水	ビットの口径を420mmφより600mmφに換える
10.5	木	花崗岩試料の撤去および砂岩試料設置およびモルタル(早強)打設
10.6	金	花崗岩の強度測定用コアサンプリング 整形・強度試験
10.10		一軸圧縮強度、引張強度、ショア硬度、シュミットハンマー試験、 プロトシャコノフ試験など
10.12	木	掘削実験準備
10.13	金	掘削実験 午前、モルタル部分掘削 (50cm) 午後、砂岩掘削 (40cm)
10.14	土	ビット口径を600mmφから420mmφに換える
10.16	月	掘削実験 砂岩掘削 (40cm)
10.18	水	砂岩試料撤去および強度測定用コアサンプリング、整形
10.25	水	
10.27	金	試料の強度試験

表-2 インサート形ビットの試験内訳

試験番号	試験月日	口径(mmφ)	試 料	合計回転数
a)	9.22	600	モルタル	1,960回転
b)	9.29	600	花 崗 岩	2,536
c)	10.3	420	"	1,389
d)	10.13	600	モルタル	398
e)	10.13	600	砂 岩	671
f)	10.16	420	"	353

2, 試験装置および計測方法

2-1 削孔試験装置

この削孔試験装置（ビット試験機）は、ロータリ方式の基礎削孔機械の各種ビットの特性を調べる目的で、41年度に製作したものである。これまで土木研究所機械研究室において、この試験機を用い、各種ビット（3翼ビット、ドラグビット、ローラビット）を用いた各種の岩（人工岩、大谷岩）の削孔性を調べてきた。表-3にこの削孔試験機の仕様を、また写真-1に削孔試験装置を示す。

表-3 ビット試験機仕様一覧表

基礎掘削用削孔試験機	
形 式	湿式基礎掘削機用土研形
最 大 ビ ッ ト 径	1,500mm ϕ
削 孔 深 度	2,000mm ϕ
ビ ッ ト 推 力	30,000kg（油圧式）
ケ リ ー バ 内 径	100mm ϕ
ビ ッ ト 回 転 ト ル ク	2,000kg-m
ビ ッ ト 最 大 回 転 数	50r.p.m
回 転 原 動 機	油圧モータ形式 川崎重工 BX732
試 料	原石、ソイルセメント、コンクリート等
振 削 土 砂 の 排 出	ポンプサクション法
サ ク シ ョ ン ポ ン プ	80 ϕ 口径、ソリットポンプ 揚水量12 m^3 /min800r.p.m/12m
給 水 ポ ン プ	160 ϕ SZ形斜流渦巻ポンプ 揚水量 3 m^3 /min/1750r.p.m./9m

油圧ポンプパワーユニット	
寸 法	全長×全高×全幅 3m×1.5m×1.5m
原 動 機	形式 イスズ DA640 ITPディーゼルエンジン
連 続 定 格	103PS/1700r.p.m.
油圧ポンプ(シリンダ用)形式	内田油圧 GPP1-AOC 30NL4 30Z3L-110 二連型 ギアポンプ最高吐出圧 210kg/cm ^{2}

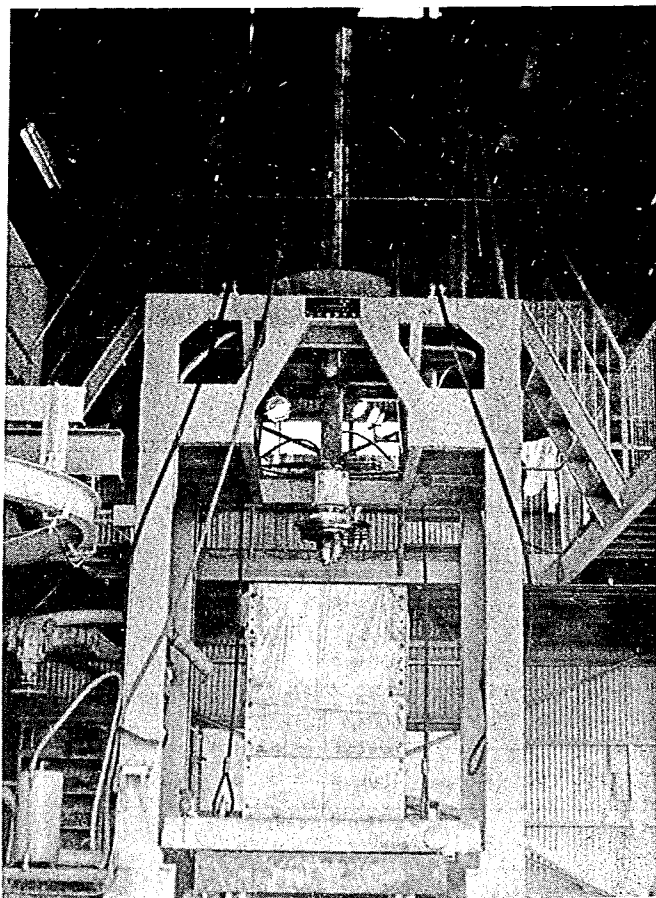


写真-1 削孔試験装置

2-2 試験用ビット

試験に用いたビットは、インサート形カッタ6個（内センターカッタ1個）をもつ直径60cmφのもので、その形状を図-1、写真-2に示す。このビットは、外周カッタを取り外すことにより、42cmφの孔の掘削もでき、孔径の影響を調べる目的で、この2種類の直径で実験した。使用されているインサート形カッタは、被掘削材の一軸圧縮強度 1000 kg/cm^2 以上 2500 kg/cm^2 程度の硬硬岩を対象に設計されたもので、珪石、花崗岩、砥岩、黄鉄鉱および玄武岩などの最も硬い種類の岩石を掘削できる。このカッタは、焼結したボタン形の直径 12.8 mm φのタングステンカーバイト鋼チップを特殊な方法でカッタに56個植え込んだもので、ビットの回転とともに孔底を転がりながら、チップで被削材を圧壊する。図-2に試験に使用したインサート形カッタの断面および寸法を示す。また現在一般的に多く用いられているカッタの選択基準を参考に示すと、表-4のようになる。

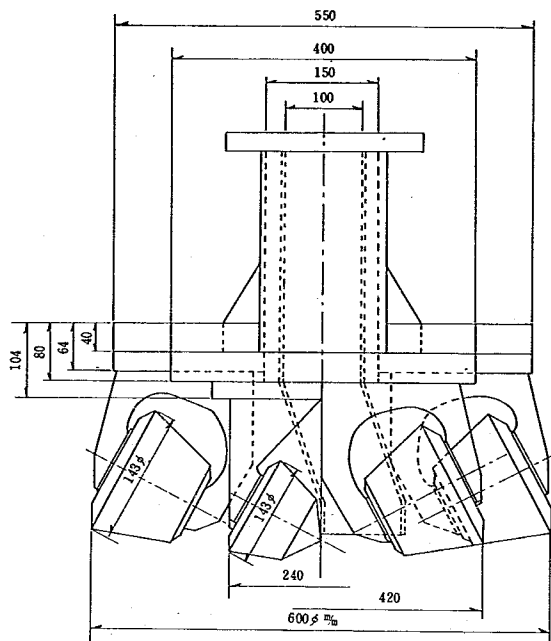


図-1 インサート形ビット

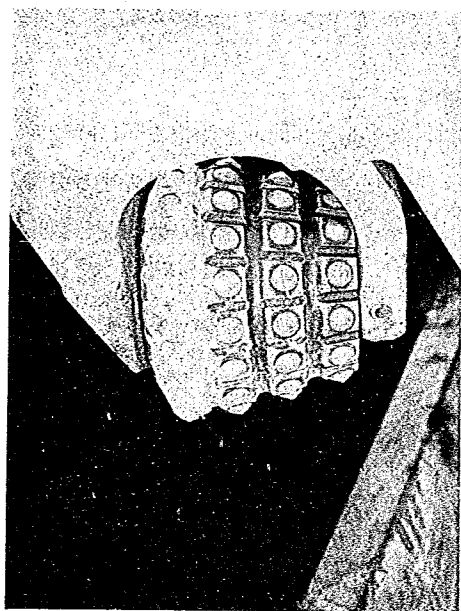


写真-2 チップインサート形カッタ

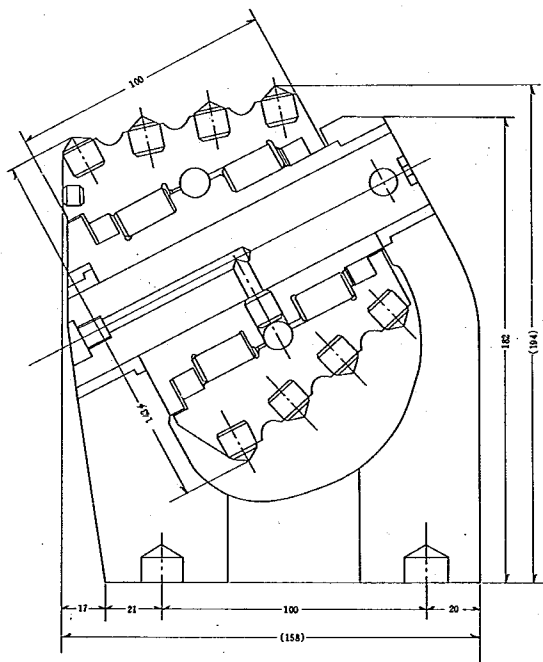


図-2 チップインサート形カッタの断面図

表一4 地質によるカッタの選択条件

分 類	一軸圧縮 (kg/cm^2)	岩 質	適 応 カ ャ ャ
軟 岩	450以下	頁 岩 粘 土 泥 岩	ミルドツース、カーフ デスクドラグビット スクレーパ
中 軟 岩	450~850	石炭、砂、 大理石、火山岩、 凝灰岩	ミルドツース カーフデスク
中 硬 岩	850~1800	片麻岩、花崗岩、 片岩、長石、 ドロマイト	カーバイトカーフ カーバイトインサート
硬 岩	1800以上	閃緑岩、珪岩、 玄武岩 チャート	カーバイトインサート

2-3 計測方法

インサート形ビットの掘削試験にあたり、計測した項目並びに測定方法は、次の通りである。
なお記号および単位の一覧表を表一5に示す。

(a) ビット推力 W [kg]

ビット推力は、ワイヤストレインゲージ式の荷重変換器(20ton×2個、共和電業製LT-20)が
架台と油圧シリンダの間に取り付けられていて、ビットを押しつけることによって生ずる引張力
を荷重変換器で電気量に変換し、ストレインメータ(共和電業製DPM)増幅器(渡辺測器製)を
通して記録計(ペン書きオシログラフ、渡辺測器製WR211)に記録される。また、ビット推力は、
油圧を調節することにより、0から最大30tonの範囲内で変化できる構造になっている。

(b) ビット回転速度 n (r, p, m)

ロータリテーブルフレームにマイクロスイッチを取り付け、ロータリテーブルを1回転する毎
に発信させたパルス、ペンオシログラフに記録させ、別にタイムマークを記入することによっ
て求める。

(c) 掘削トルク T [kg-m]

油圧モータとロータリテーブルの減速機との間にワイヤストレインゲージ式のトルクの変換器
(最大2000kg-m)を取り付け、ストレインメータ、増幅器を介してペン書きオシログラフに記録
する。

(d) 掘進速度 R (m/h)

表—5 記号一覧表

記号		単位
A	前孔面積	(cm^2)
D	ビット直径	(cm)
i	含砂率	(%)
L	揚水率	(m^3/min)
n	ビット回転速度	($r.p.m.$)
N	掘削馬力	($P.S$)
r	カッタ半径	(cm)
R	掘進速度	(m/hr)
Rr	一回転当り掘削量	(cm/rev)
S	揚砂率	(m^3/min)
Sd	削孔強度	(kg/cm^2)
T	掘削トルク	($kg-m$)
Wd	単位口径当り推力	(kg/cm)
W	ビット推力	(ton)
Wo	スレッシュヨルド荷重	(kg/cm^2)
σ_c	一軸圧縮強度	(kg/cm^2)
γ	試料の単位体積重量	(kg/m^3)
γ_o	水の単位体積重量	(kg/m^3)
E	掘削能率	(m^3/PSH)

油圧シリンダの変位（伸び）をチエン・スプロケットにより回転変位に変換して、これをエンドレスのポテンションメータにより検出し、測定室のペン書きオシログラフに記録する。ここで掘進速度は、単位時間当りのポテンションメータの変位量から算出する。

(e) 掘進馬力 N [PS]

掘削トルク T ($kg-m$) とビット回転数 n (rpm) から次式で求められる。

$$P = nT/716.2(P.S) \dots\dots\dots(1)$$

(f) 揚砂量 S [m^3/min]

揚砂量は、直接計測が困難であり、平均値として掘進速度から計算する。 S は地山量である。

すなわち、 $S = A \times R / 60 (m^3/min)$ (2)

ここに A : 掘削断面積 (m^2)

R : 掘進速度 (m/hr)

(g) 揚水量 L [m^3/min]

サクションポンプによって吸引されたズリを含む泥水は、配管途中に接続された電磁流量計 { 横河電機製.615(MFP) } により検出され、電圧に変換され、測定室のペン書きオシログラフに記録される。

(h) 含砂率 i [%]

含砂率は、重量比で求められるので

$i = \{ S \cdot \gamma / (CL - S) \times \gamma_o + S \cdot \gamma \} \times 100$ (3)

γ : 試料の単位体積重量

ここに、モルタルの場合 $2,200 (kg/m^3)$

砂岩の場合 $2,300 (kg/m^3)$

花崗岩の場合 $2,650 (kg/m^3)$

γ_o : 水の単位体積重量 = $1,000 (kg/m^3)$

2-4 試料

試料には、茨城県笠間産の稲田花崗岩と写真-3に示す千葉県銚子産の砂岩を用いた。なお、岩に直接カットを当てて掘削する場合、軌道が定まらず、ビットのボディを偏摩耗させる原因となるため、モルタルを岩に上乘せして、打設し、それをガイドに掘削を行なった。このモルタルの配合は、表-6の通りである。

各試料の強度については、表-7のような強度試験結果を得た。試料強度は、在来用いられている一軸圧縮強度では、削孔の場合の被掘削材の強度を表わすのに必ずしも適当ではなく、その目安になるだけである。そこで、削孔に最も相関があると考えられる試料強度を求める方法として、掘進速度とそれに要した推力と回転速度より導き出された削孔強度³⁾(Drilling Strength)と呼ばれる単位が最近よく用いられるようになってきている。例えば $W, H, \text{Somerton}$ によれば、削孔強度は、

$$S_d = W / \sqrt{1.5 (N/d^3 R)} \quad (\text{Psi}) \text{(4)}$$

で与えられており、1例として表-8にこの削孔強度と一軸圧縮強度との関係³⁾を示す。

表-6 モルタルの配合表

配 合 表					
	セメント	水	細骨材	水セメント比	備 考
単位量	625 kg/m ³	250 kg/m ³	1440 kg/m ³	40%	1 : 3 早強セメント $\sigma_{28}=300 \text{ kg/cm}^2$

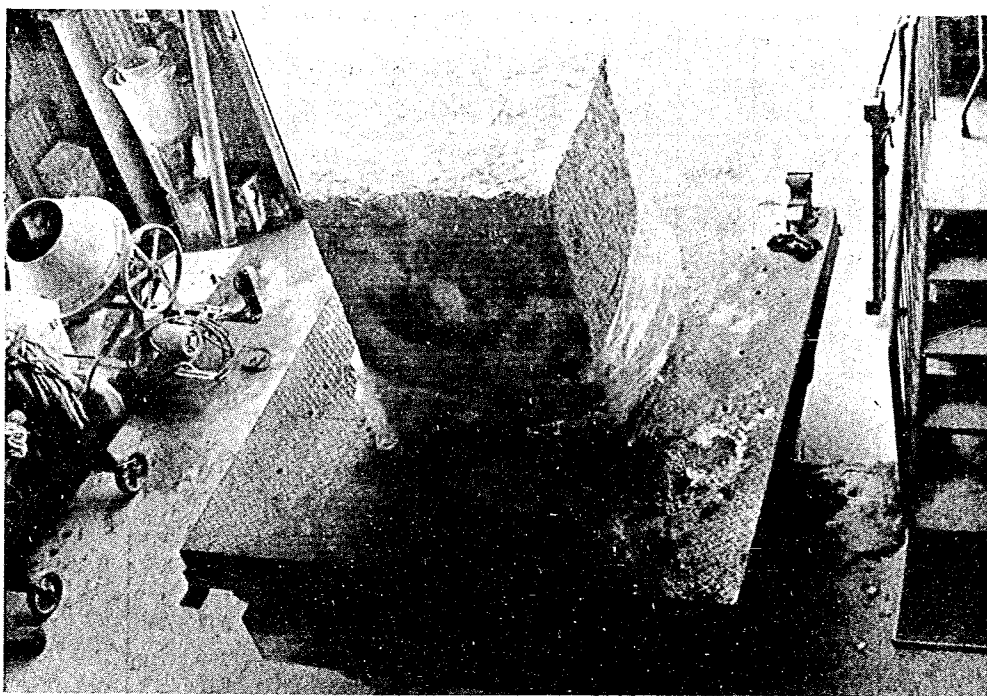


写真-3 岩石試料（花崗岩）

表-7 試料の物理試験結果

試料種類	試験法	単位	測定数	最大値	最小値	平均値	標準偏差	比重	備考
コンクリート (早強)	一軸圧縮強度	kg/cm ²	9	276	212	240	20.4	2.22	変動係数 8.5%
	引張り強度	kg/cm ²	5	31.5	15.2	24.3	5.5	"	23%
	ショア硬度		21	39	10	22	6.3		28%
	シュミットハンマ		20	32	19	24 (≒160 kg/cm ²)			
	比重		9	2.03	1.98	1.99	0.014		0.7%
花崗岩 (稲田産)	一軸圧縮強度	kg/cm ²	10	1224	1022	1200	150	2.63	14%
	引張り強度	kg/cm ²	10	41.6	21.66	29.0	6.66	"	23.1%
	ショア硬度		20	110	93	102	25		
	シュミットハンマ		25	58 (≒700 kg/cm ²)	49 (≒500 kg/cm ²)	52 (≒540 kg/cm ²)			
	比重		25	2.64	2.61	2.62	0.01		0.38%
砂岩 (銚子産)	一軸圧縮強度	kg/cm ²	10	741	698	718	12.48	2.26	1.7%
	引張り強度	kg/cm ²	10	38.9	22.69	31.94	568	"	17.7%
	ショア硬度		40	56	40	45	3.4	"	8%
	シュミットハンマ		25	41(360)	37(330)	40(350)	—	—	—
	比重		10	2.29	2.26	2.28	0.014		0.61%

表-8 一軸圧縮強度と削孔強度

資料名	平均	範囲	削孔強度
コンクリートA	492 kg/cm ²	464—534 kg/cm ²	591 kg/cm ²
コンクリートB	674	661—689	647
コンクリートC	974	900—1055	879
砂岩	605	562—633	394
頁岩	738	731—1195	1,181

3. 試験結果

3-1 チップインサート形ビットの傾向

(1) ビット推力(W)と掘削トルク(T)

ビット推力 $W(kg)$ と掘削に要するトルクは、密接な関係があり、機械の設計上重要な因子である。ミルドツース形ビットの場合には、ビット推力 $W(kg)$ と掘削トルク $T(kg-m)$ の関係を表わす次式⁶⁾が提案されている。

$$T = 2,960 \times 10^{-2} K W d^{1.5} D^{2.5} (kg-m) \dots\dots\dots(5)$$

によって求められる。

ここに、 K ：被掘削材により異なる係数

Wd ：単位口径当り推力 (kg/cm)

D ：ビット口径 (cm)

係数 K は、ほぼ $10 \times 10^{-5} \sim 4 \times 10^{-5}$ の範囲の値で、例えばBerea Sand Stoneでは $K = 10 \times 10^{-5}$ Grey Graniteでは、 $K = 6 \times 10^{-5}$ となっている。

土木研究所でこれまで行なってきた試験により、ビット推力 $W(kg)$ と、掘削トルク $T(kg-m)$ との関係として次式が求められている。

$$T = C \times 10^{-3} \sqrt{D/r \cdot c} (W + Wd \cdot D)^{1.5} (kg-m) \dots\dots\dots(6)$$

ここに、

C ＝被削材により係数0.27～0.35

Wd ＝初期荷重（カッタの形状や大きさにより異なるほぼ3～8の範囲の値でカッタの径が大きくなるほど、大きな値となる傾向にある。）

r ＝カッタの平均半径 (cm)

σ_c ＝試料の強度（一軸圧縮強度） (kg/cm^2)

W ＝ビット推力 (ton)

D ＝ビット口径 (m)

一方、インサート形ビットについては、まだ発表されたものがない。

本試験より求めた60 $cm\phi$ の単位口径当り推力、 Wd と掘削トルク、 T との関係を図-3に示す。

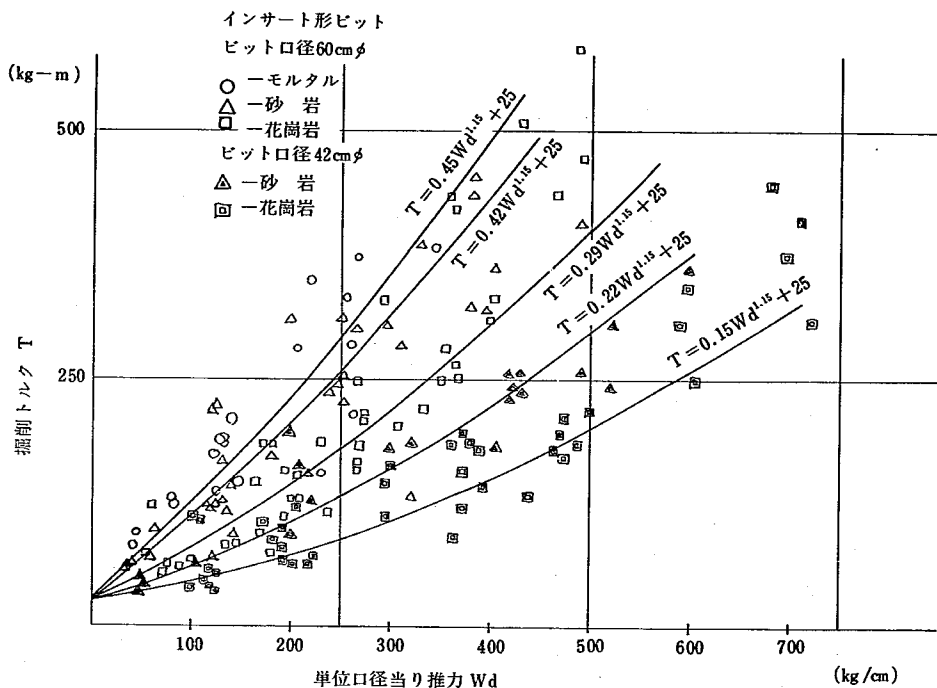


図-3 単位口径当り推力と掘削トルク

図-3より、回帰方程式を求めると、次のようになる。

$$〔モルタル〕 \quad T = 0.45 \left(\frac{W}{D} \right)^{1.15} + 25 \quad (kg-m) \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$〔砂 岩〕 \quad T = 0.225 \left(\frac{W}{D} \right)^{1.15} + 25 \quad (kg-m) \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$〔花崗岩〕 \quad T = 0.145 \left(\frac{W}{D} \right)^{1.15} + 25 \quad (kg-m) \quad \dots\dots\dots(9)$$

ここに25kg-mは空転トルク

そこで、それぞれ花崗岩、砂岩、モルタルの各試料と掘削口径が60cmφ、42cmφと異なる各掘削条件での掘削トルクと単位口径当り推力との関係を図-4、図-5に示す。これから、ビット推力と掘削トルクの回帰曲線は、どの条件をとってみても指数部の数値は、ほぼ1.15乗で、一定していることがわかる。図-4、図-5より回帰式の係数部を K_1 として K_1 と掘削口径との関係を調べると図-6のような関係にあり掘削口径と掘削トルクの関係は、口径の2乗の割合で増えることが示され、次の関係式で表わされた。

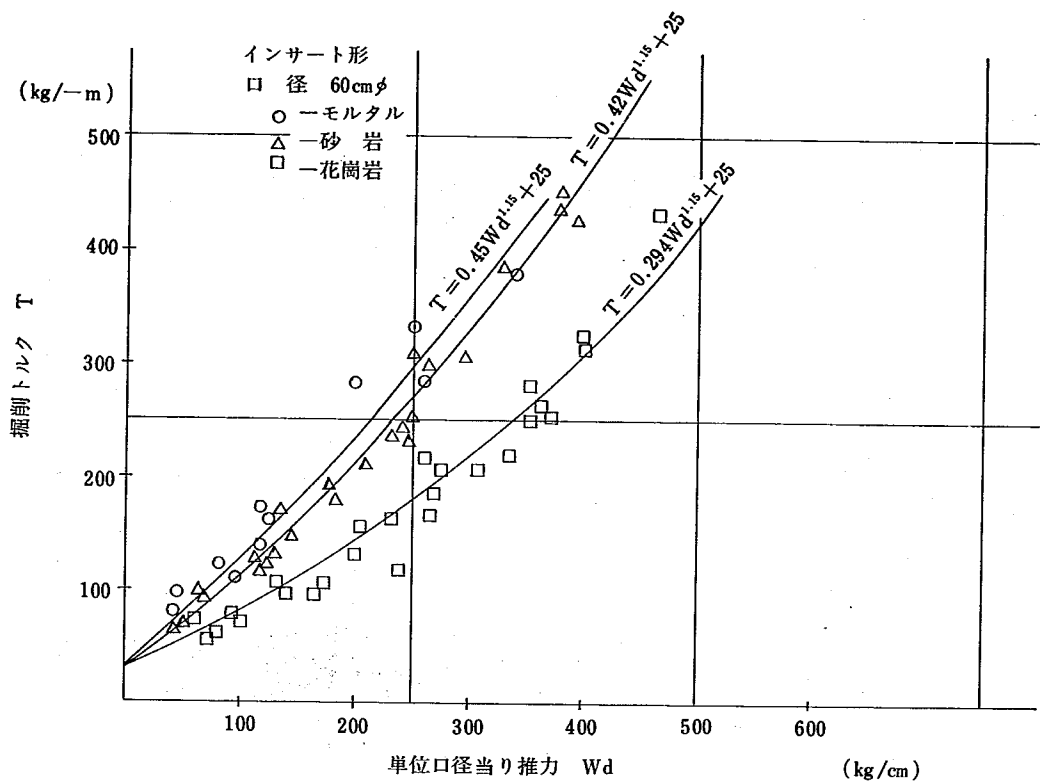


図-4 掘削トルクと単位口径当り推力

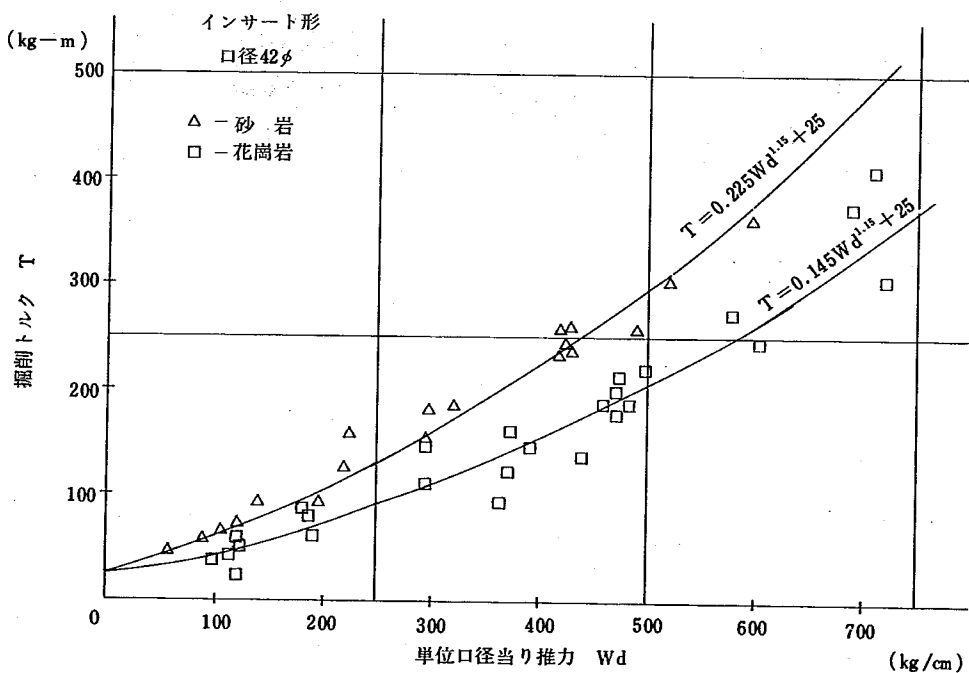


図-5 単位口径当り推力と掘削トルク

$$K_{1-1}=14.5 \times 10^{-5} D^2 \dots\dots\dots (10)$$

$$K_{1-2}=12.5 \times 10^{-5} D^2 \dots\dots\dots (11)$$

$$K_{1-3}=8.0 \times 10^{-5} D^2 \dots\dots\dots (12)$$

なお、モルタルの測定値については実測値が一点しかないので、推定値とした。

また(10)、(11)、(12)式の係数の変化は当然試料強度の違いによるものと考えられるので、そこで、この試料強度を横軸に(10)、(11)、(12)式の係数(K_2 とする)を縦軸プロットすると、図-7のような結果を得た。一軸強度と、この係数との関係は直線で近似され、次式で表わせる。

$$K_2 = (-0.007\sigma_c + 16.6) \times 10^{-5} \dots\dots\dots (13)$$

によって、インサート形ビットの掘削トルクとビット推力との関係に掘削口径、試料強度などの要因を入れて整理すると、次の関係式を得た。

$$T = (-0.007\sigma_c + 16.6) \times 10^{-5} D^2 \left(\frac{W}{D}\right)^{1.15} \dots\dots\dots (14)$$

Dを整理すると

$$T = (-0.007\sigma_c + 16.6) \times 10^{-5} D^{0.85} W^{1.15} \dots\dots\dots (14')$$

しかし、この(14)式は数少ないデータの結論であるので、その他のいろいろな要因、カット个数、カットの直径、大口径化した場合の相似律、及びクリーニング効果による影響などの諸

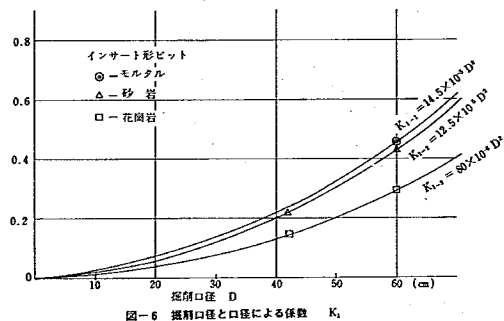


図-6 掘削口径と口径による係数 K_1

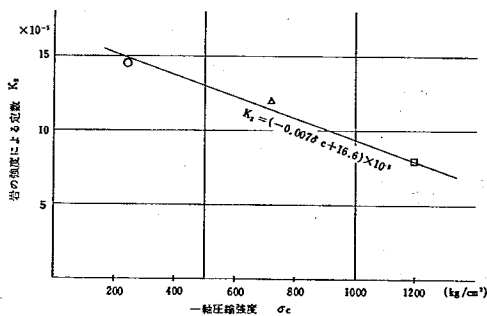


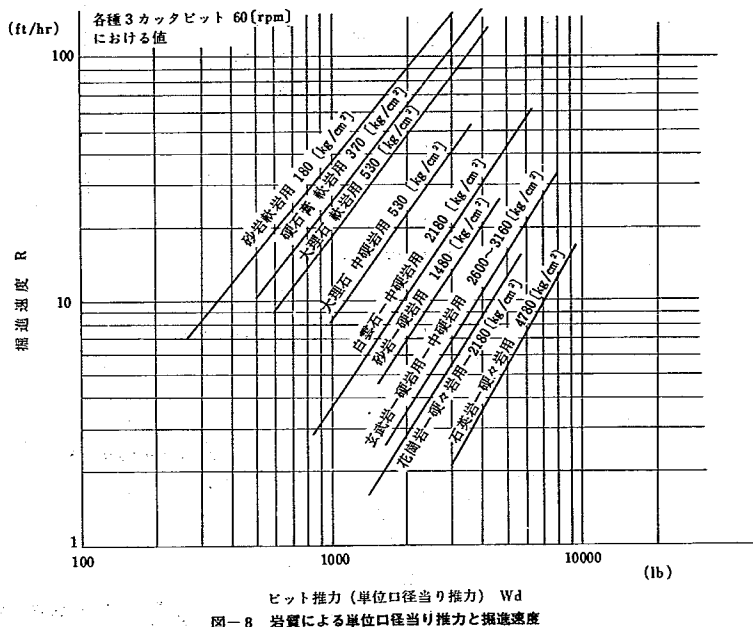
図-7 一軸圧縮強度と岩の強度による定数 K_2

要因により左右されるものであるので、今後さらにデータを加えて各種条件における諸係数値等を究明する必要がある。

3-2 ビット推力W(Kg)と掘進速度R(m/hr)

バイトビットおよびローラービットのビット推力と掘進速度との関係は、これまで土木研究所のビット試験機による各種試験や大口径掘削機などによる現場試験などから大体の傾向は得られている。

ローラービット（ツースタイプ）に関する、ビット推力と掘進速度との関係は、米国のHughes Tool 社などにより、図-8のような選択条件が与えられている。



回転削孔の場合の推力は、岩石の破碎に大きな関係を持っており、推力が大きくなる程、破碎効果も大きくなり、推力の変化で掘進速度が大きく変化する。ここに、ビット推力(W)と掘進速度(R)の関係と掘進速度とビット回転速度との関係を、図-9~13、14~18に示す。

また、これに過去に行なったツース形ビットの実験式より算出した値を共に示す。

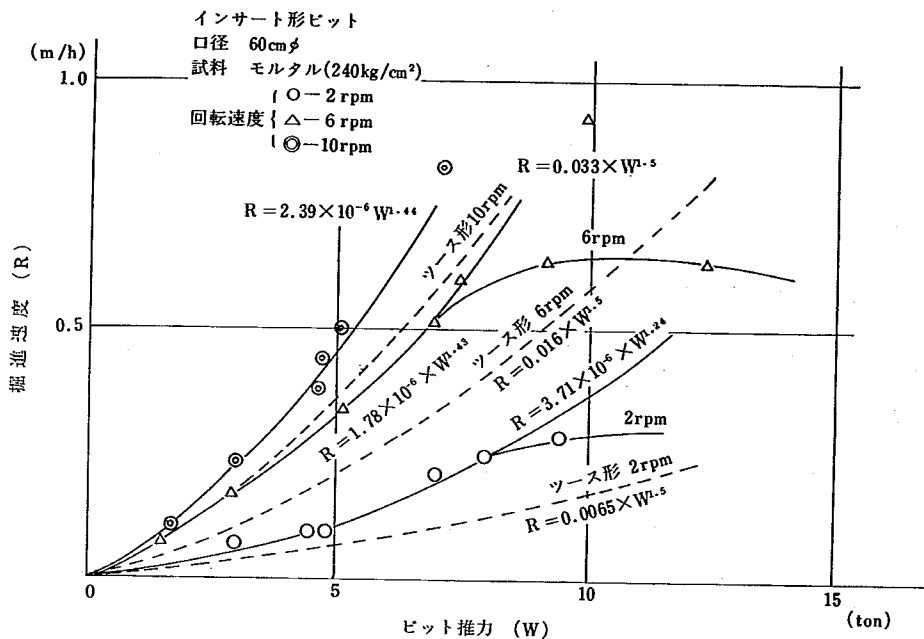


図-9 ビット推力と掘進速度

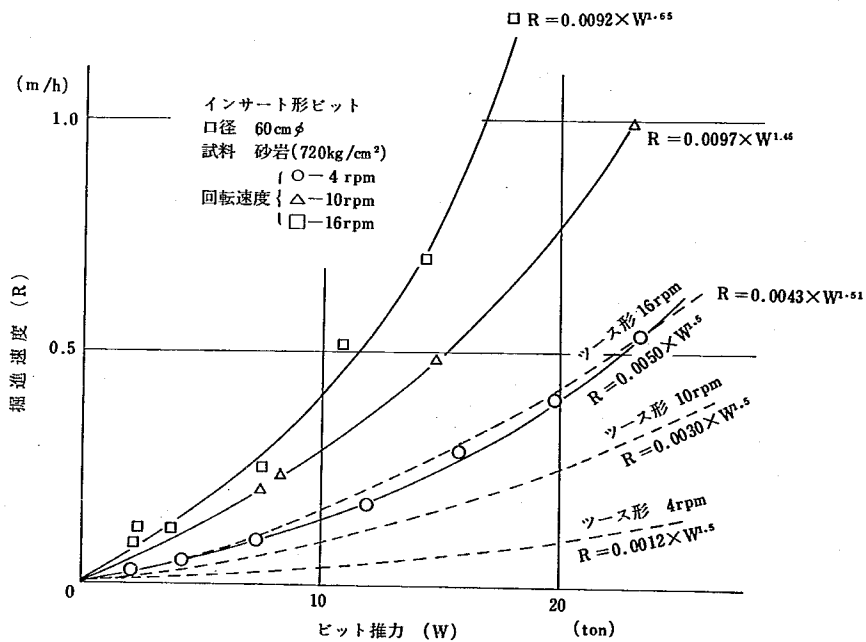


図-10 ビット推力と掘進速度

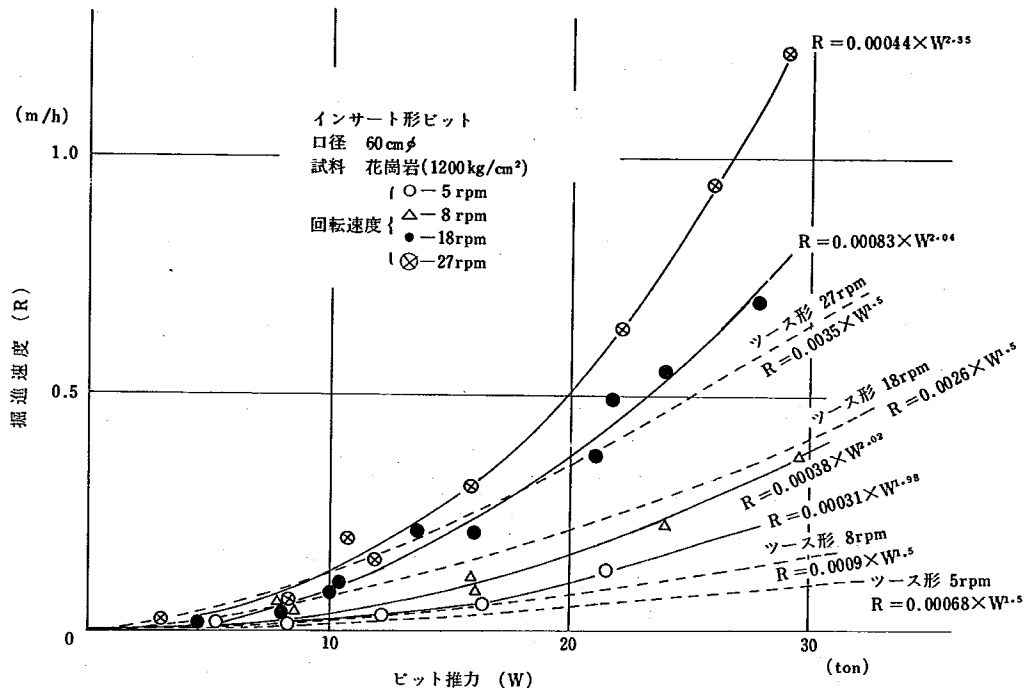


図-11 ビット推力と掘進速度

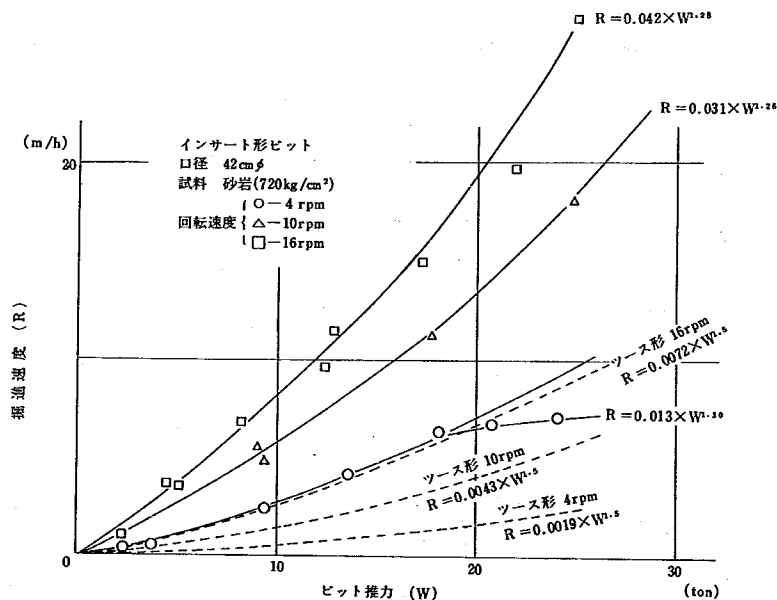
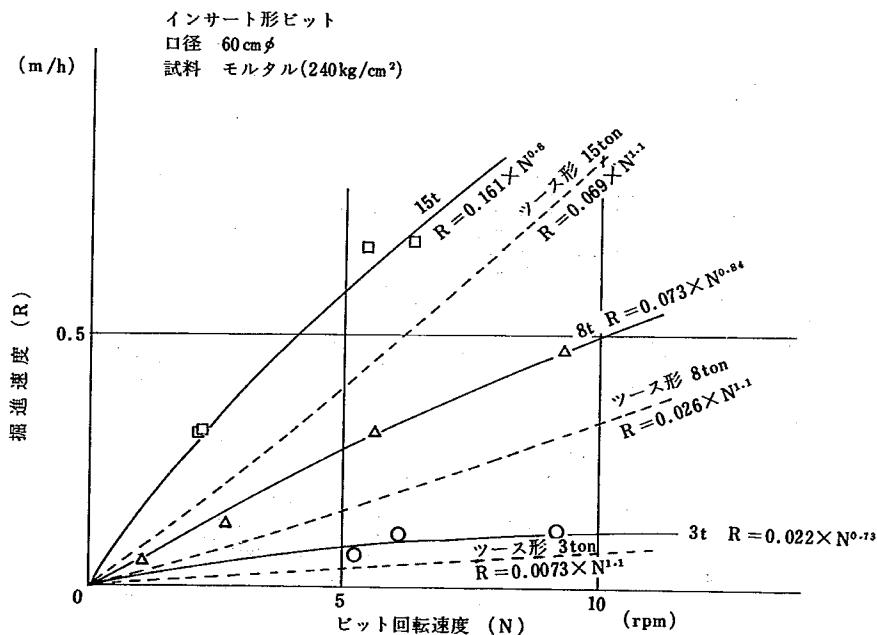
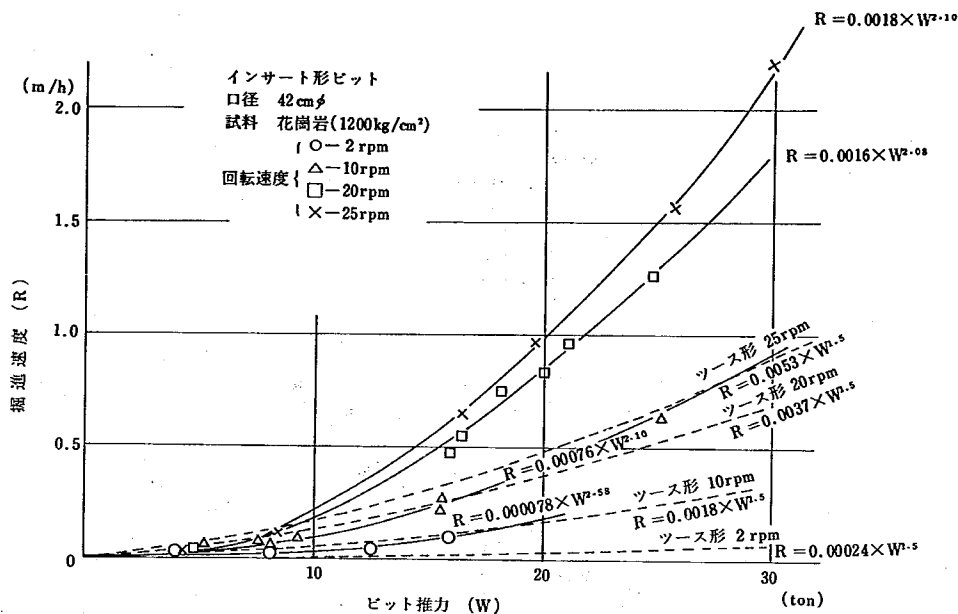


図-12 ビット推力と掘進速度



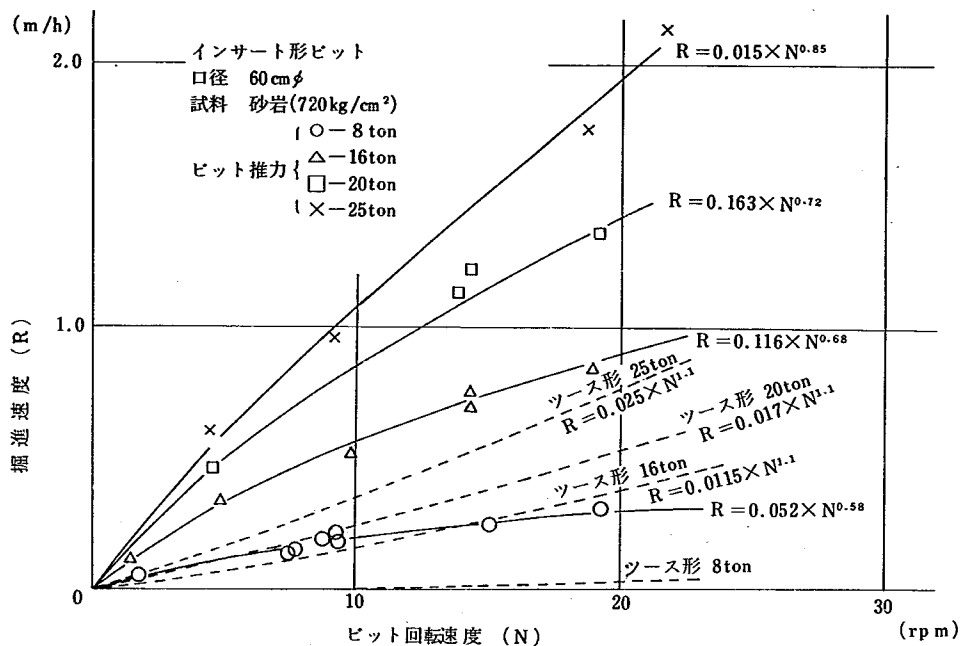


図-15 ビット回転速度と掘進速度

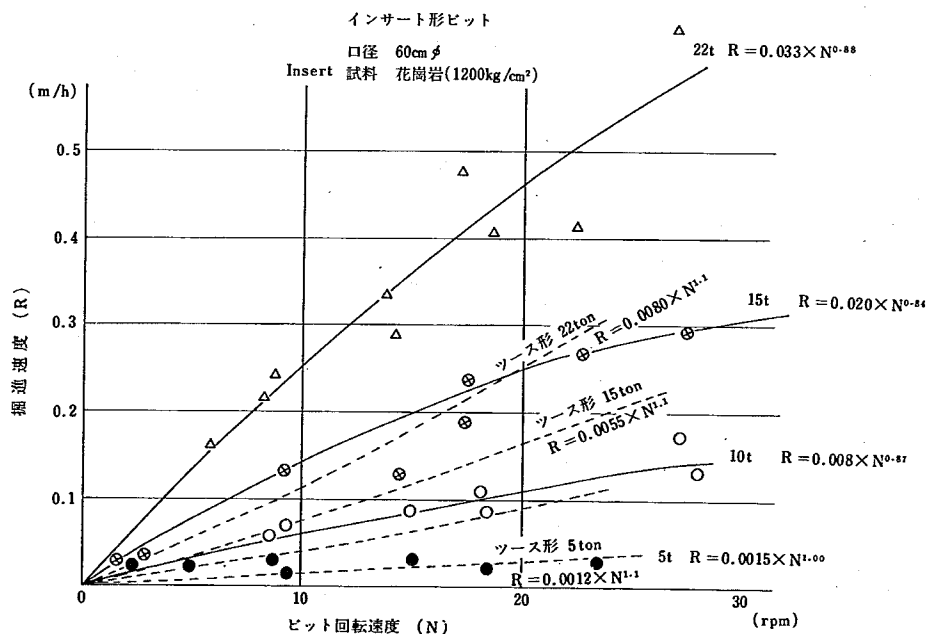
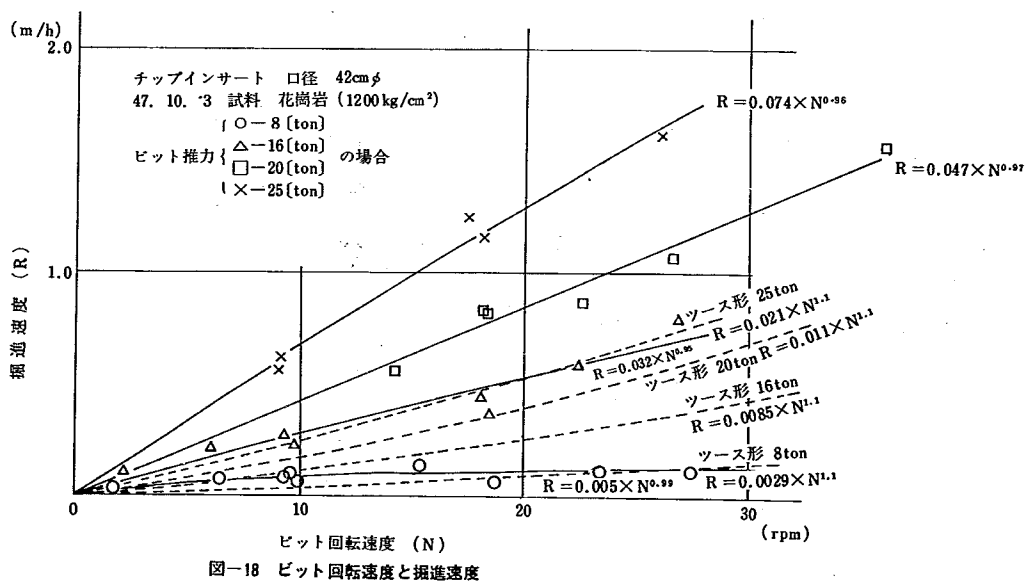
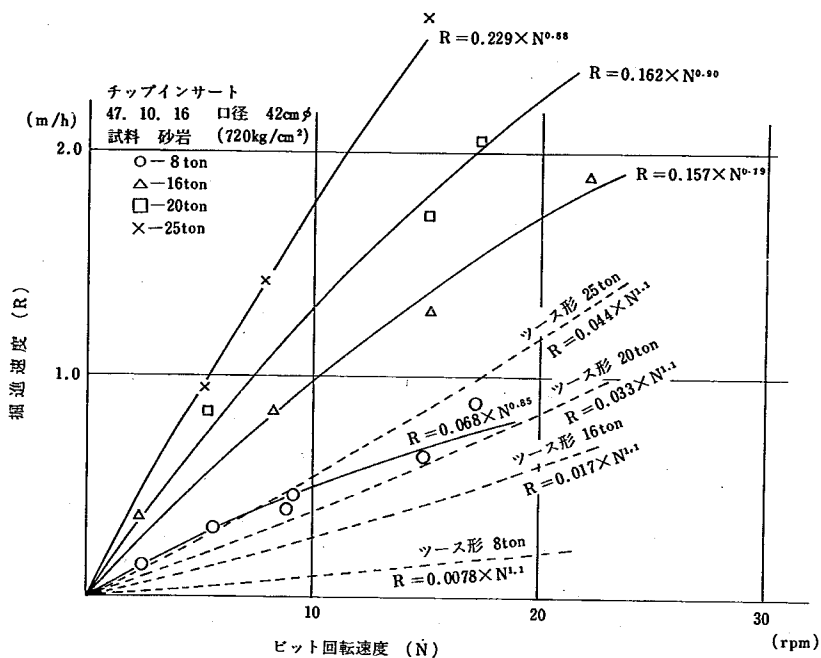


図-16 ビット回転速度と掘進速度



ここで一般性

を持たせるために掘進速度を回転速度で除した1回転当り掘削量 R_r (cm/rev)とビット推力を直径で除した単位口径当り推力 W_d (kg/cm) のモルタル、花崗岩および砂岩を図示したものが図-19である。これより一回転当り掘削量 R_r (cm/rev)と単位口径当り推力 W_d (kg/cm) の関係は、バイト形ビットとは異なり、指数曲線になっていることがわかる。そこで、その曲率は単位口径当り推力 W_d の1.8乗に比例する結果が得られた。この曲線の係数項は試料の一軸圧縮強度が低くなるにつれて、増加する傾向にあり、その増加する割合は岩石の強度に関係があると思われる。(この係数項のことを岩石定数 K と呼ぶことにする)よって、この岩石定数と試料の一軸圧縮強度との関係を対称させ、図示したものが図-20である。

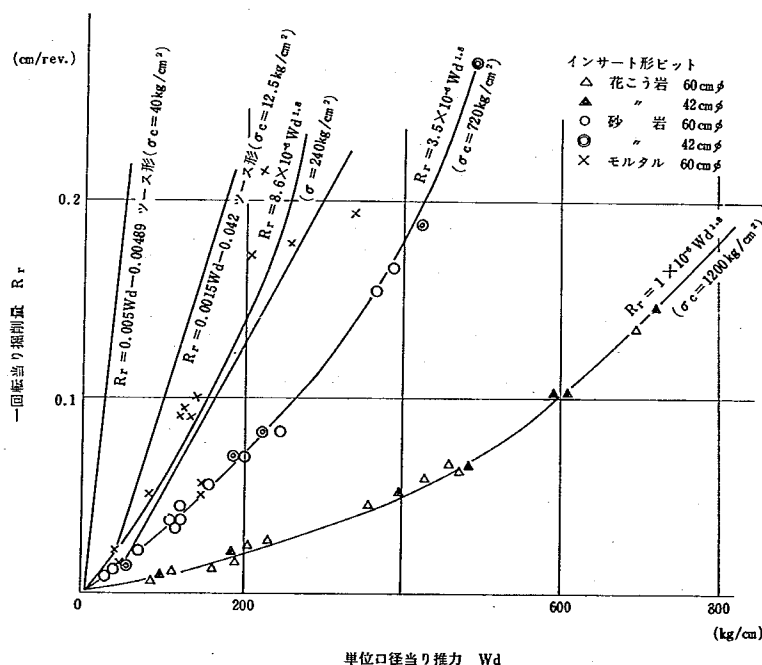


図-19 単位口径当り推力と1回転当り掘進量

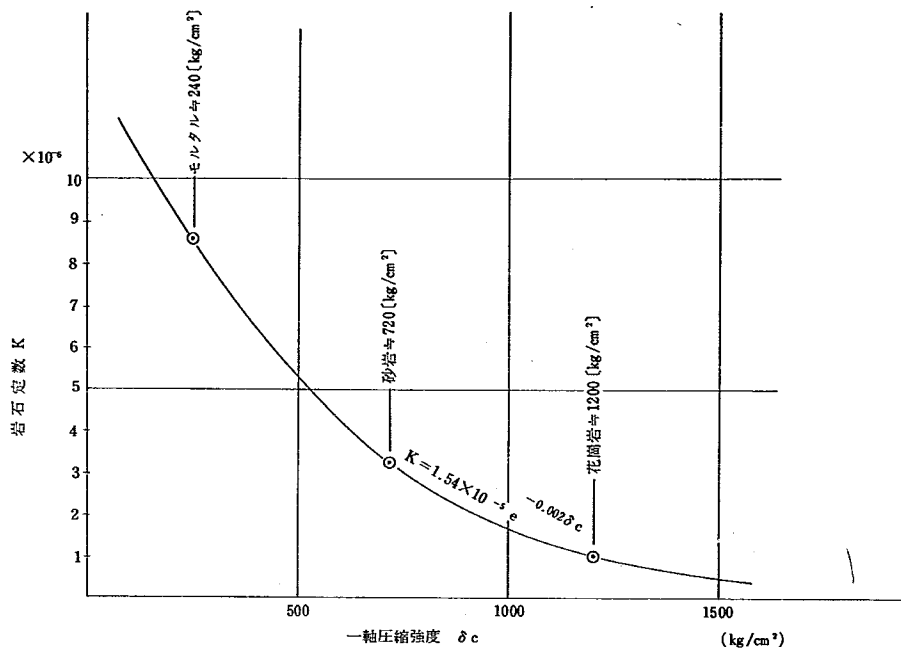


図-20 一軸圧縮強度と岩石定数

図-19、図-20より今までの実験結果をまとめてみると、次の関係式が得られることになる。

$$R_r = K \cdot W_d^{1.8} \dots \dots \dots (15)$$

$$K = 154 \times 10^{-5} e^{-0.0022 \sigma_c} \dots \dots \dots (16)$$

$$W_d = \frac{W \text{ ビット推力 } [kg]}{D \text{ ビット口径 } [cm]}$$

$$R_r = \frac{R \times 100}{n \times 60} [cm/rev] \dots \dots \dots (17)$$

これらの式より、掘進速度は、次のように示される。

$$R = 0.924 \times 10^{-5} n e^{-0.0022 \sigma_c} \left(\frac{W}{D} \right)^{1.8} \dots \dots \dots (18)$$

(18)式により示された、インサート形ビットの掘進速度とビット推力W、ビット回転速度n、ビット口径D、一軸圧縮強度 σ_c との関係式は、これまでに行なった試験結果をまとめたものであるが、過去にこの形のビットによる試験データは、ほとんどなく、今回行なった試験も数が限られていたので、今後の試験により測定数をふやし明確な関係を得るべきである。ここに過去に試験した3Sビット（軟岩用、3cutter bit）とバイトビットおよびローラービット（ツース形ビット）の一軸圧縮強度と比例定数 R_r/W_d の関係式を参考に図-21にいった。この結果インサート形ビットの場合、試料の一軸圧縮度が 1000 kg/cm^2 をこえた試料については、インサート形ビットのほうがツース形ビットに比べ有効であるのが図より明らかであるが、インサート形カッタは、普通一般的に使われているツース形カッタに比べると非常に高価であるので、削孔の経済性は上記の能率のみならずカッタの耐摩耗性など寿命や機械経費をも考慮してカッタを選定しなければならない。

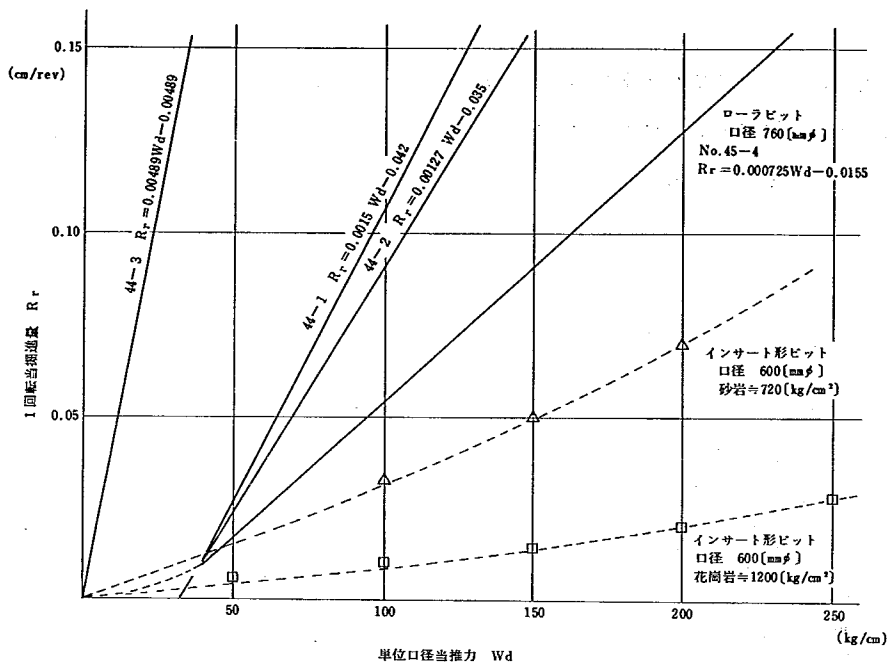


図-21 単位口径当り推力と1回転当掘進量

3-3 掘削能率

掘削機の削孔能率を示す値に、掘削能率即ち馬力時間当り掘削量 ($m^3/PS \cdot h$) がある。この掘削能率は当然試料の強度によって左右されるもので、過去に得られたツース形ビットおよびバイト形ビットなどの試験結果でも掘削能率と一軸圧縮強度との間には試料が硬くなるほど掘削能率が低減する現象が見られる。

形やバイト形ビットのデータと一緒に、図示したものが図-22である。

このインサート形ビットの低減曲線を回帰方程式で求めてみると、次式で表わせる。

$$\frac{A_0 R}{N} = 5.73 \sigma_c^{-0.733} \dots \dots \dots (19)$$

ここで過去に試験されたツース形ビット、バイト形ビットと3カットビットの掘削能率と一軸圧縮強度の回帰方程式を表わすとそれぞれ次式のように表わされる。

$$\frac{A_1 R}{N} = 7.95 \sigma_c^{-0.953} \quad \text{ツース形ビット} \dots \dots \dots (20)$$

$$\frac{A_2 R}{N} = 20.35 \sigma_c^{-1.125} \quad \text{バイト形ビット} \dots \dots \dots (21)$$

$$\frac{A_3 R}{N} = 92.4 \sigma_c^{-1.166} \quad \text{3 カットビット} \dots \dots \dots (22)$$

ここに、 $A_0 : A_1, A_2, A_3$: 各種ビット掘削断面積 (cm^2)

N : 掘削馬力 (PS)

R : 掘進速度 (m/h)

これらを両対数グラフにプロットすると図-23のようになる。図-24にインサート形ビットとツース形ビットの掘削馬力と掘進速度との関係を過去に行なった各種ビットによる試験結果と一緒に、図示したものである。

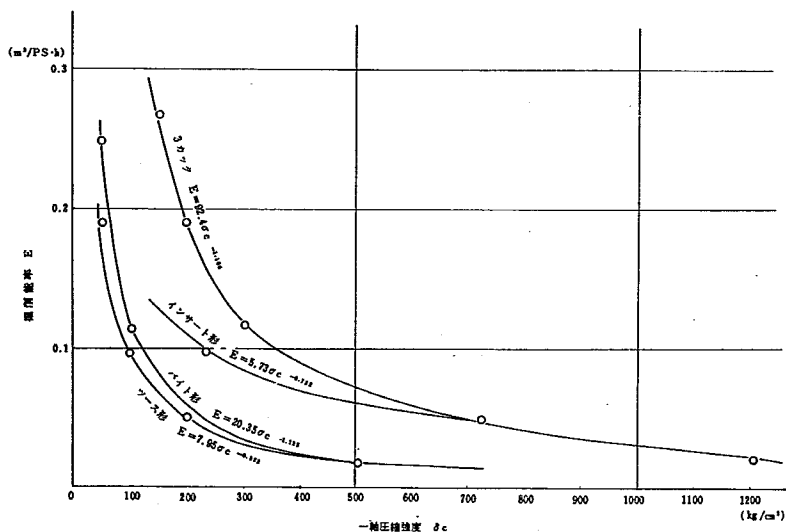


図-22 一軸圧縮強度と掘削能率

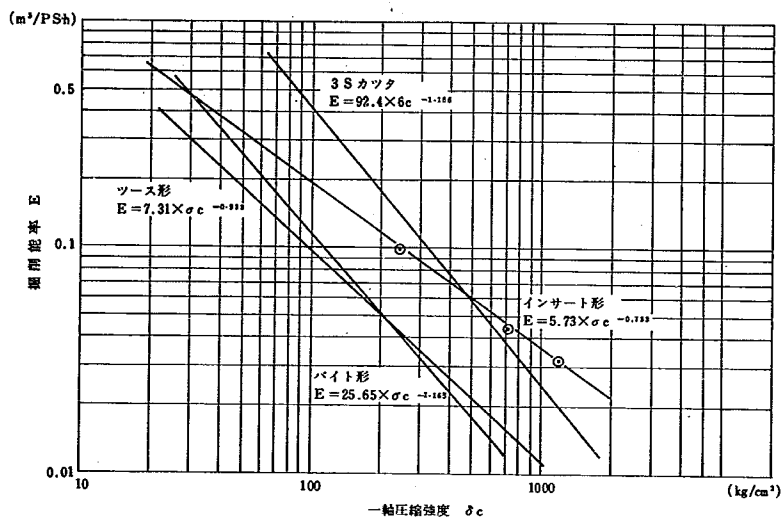


図-23 一軸圧縮強度と掘削能率

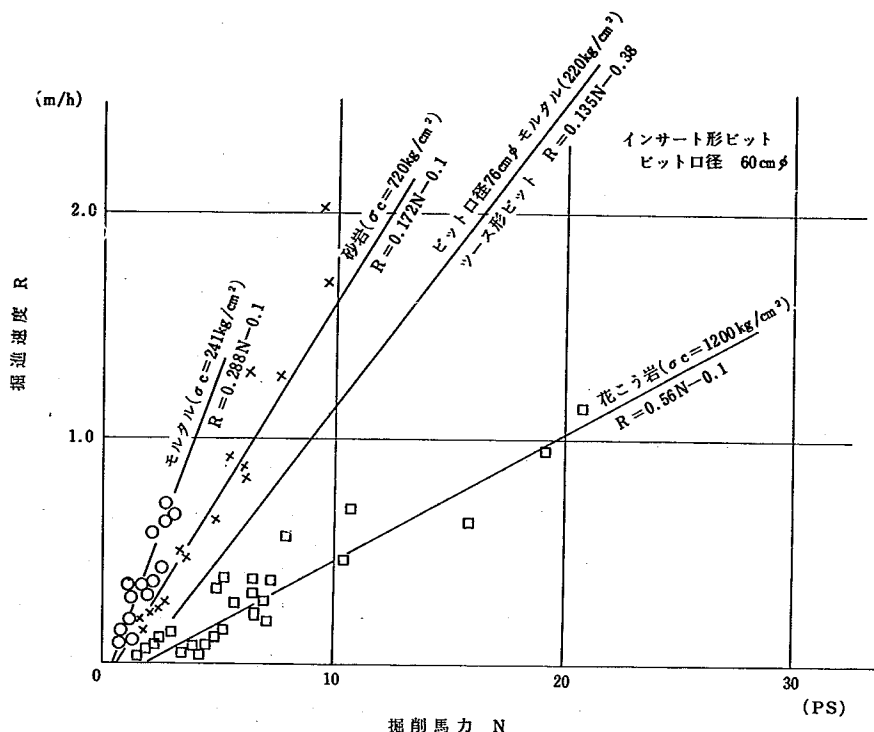


図-24 掘進速度と掘削馬力の関係

インサート形ビットは、次の式で表わすことができる。

$$R = 0.135N - 0.38 \dots \dots \dots (23)$$

ツース形ビット試料モルタル $\approx 216 \text{ (g/cm}^2\text{)}$

$$R = 0.288N - 0.1 \dots \dots \dots (24)$$

インサート形ビットモルタル $\approx 240 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$

$$R = 0.172N - 0.1 \dots \dots \dots (25)$$

インサート形ビット試料砂岩 $\approx 720 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$

$$R = 0.056N - 0.1 \dots \dots \dots (26)$$

インサート形ビット試料花崗岩 $\approx 1200 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$

また、これらの関係式は、インサート形ビットを使い、同一口径で試験を行なった結果であるので、これら直線の比例定数R/PSの相違は、やはり岩石の強度の差によるものと考えられる。そこでこの岩石定数（一軸圧縮強度）とこの比例定数R/PSとの関係を調べてみると次式が得られる。

$$R = (-3.1 \times 10^{-4} \sigma_c + d_0) N - 0.1 \dots \dots \dots (27)$$

ここに、 d_0 : ビット口径の差による定数

しかしこれらの関係式も数少ない試験値より算出したものであり、これも今後、試験を数多く行ない明確な資料にしていく必要がある。

3-4 ビット推力と掘削能率

図-25は、これまでビット試験機で行なってきたツース形ビットのビット推力と掘削能率との関係と今回行ったインサート形ビット推力と掘削能率との関係を図示したものである。グラフより次のことがいえる。インサート形ビットの場合もツース形ビットと同様に推力をあげることで掘削能率をあげることができる。またツース形ビットと異なる点でビット回転速度をあげてもあまり掘削能率には影響しないが、岩石試料（砂岩、花崗岩）を掘削する場合に、低回転速度5~10rpmの範囲内にあっては、ビット推力をある荷重まであげると掘削能率の増加率が小さくなり、高回転速度18~22rpmの範囲内になると、この荷重が大きくなっていく傾向がある。ツース形ビットの場合と比較してみるとツース形の場合は、ビット推力が10ton前後から掘削能率が横ばい状態になっているが、インサート形ビットの場合は、ビット推力が20ton前後からこの横ばい状態になる。そして、この傾向は掘削能率に影響を及ぼす試料の種類や回転速度などの要因では、掘削能率そのものは変化するが、ビット推力がある荷重より横ばい状態になってくる度合は少ない。これにより掘削能率とビット推力の関係では、インサート形ビットはツース形に比べてビット推力をより多くかけられ、それだけ掘削能率を上げることができる。

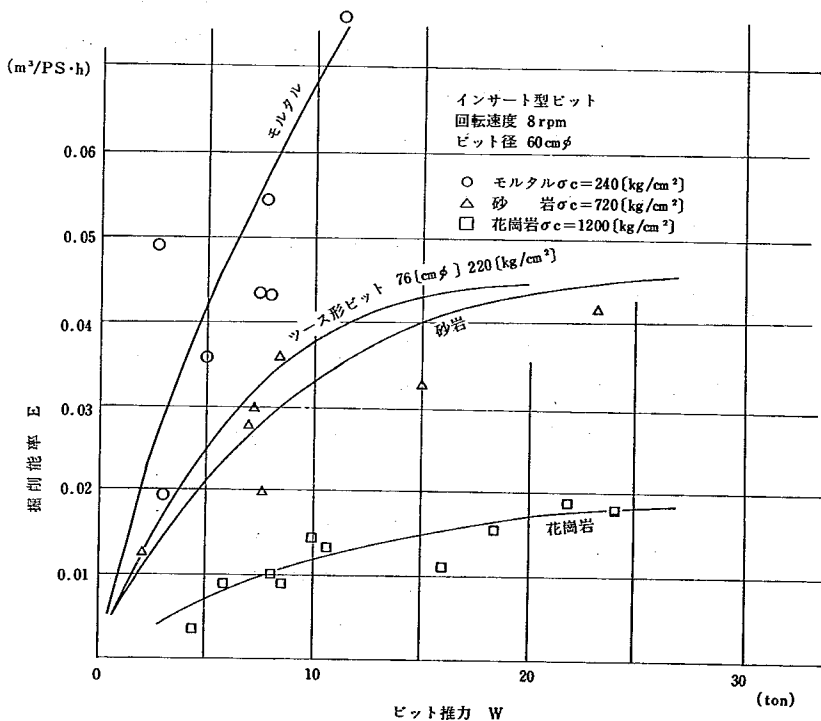


図-25 ビット推力と掘削能率

ま と め

強度の異なる花崗岩及び砂岩及びモルタルについて直径60cmφ および42cmφ のインサート形カッタビットを用いて削孔試験を行なった結果、次の結果が得られた。

1) 掘削トルク

掘削に必要なトルク $T(kg-m)$ は(14') 式のように求められた。

$$T = (-0.007\sigma_c + 16.6) \times 10^{-5} D^{0.85} W^{1.15} (kg-m) \dots\dots\dots (14')$$

この式は岩石強度については3条件、口径については2条件の各掘削条件から得たもので、この式を他に利用する場合は岩石の一軸圧縮強度 $\sigma_c(kg/cm^2)$ 、掘削ビット口径 $D(cm)$ に関しては誤差の大きいことに留意する必要がある。

この結果をツース形と比べてみると軟岩掘削の場合の掘削トルクはツース形の場合よりも少ないが岩石強度が上るとその差は小さくなる傾向にある。

2) 掘進速度

ビット推力及び回転速度と掘進速度の関係は、在来のツース形と同様な傾向を示すが、ツース形やバイト形などと比べてみるとインサート形では一軸圧縮強度によるところの掘進速度の低下の割合が小さい。またインサート形の掘進速度 $R(m/hr)$ の関係式は次式が得られた。

$$R = 0.924 \times 10^{-5} n e^{-0.0022\sigma_c} \left(\frac{W}{D}\right)^{1.8} (m/hr) \dots\dots\dots (18)$$

ここに n : 回転速度(rpm)

3) 掘削能率

過去に行なった掘削口径76cmφ ツース形ビットの場合、ビット推力が10ton前後で掘削能率の頭打ちのような現象がみられるが、今回おこなったインサート形ビットの場合ビット推力が20ton前後から同じような現象がみられた。また回転速度と掘削能率の関係ではツース形の場合とは異なり回転速度を上げて掘削能率は増加せず、かえって低下する傾向を示した。

4) 掘削馬力

一軸圧縮強度が同程度のモルタル試料を60cmφ のインサート形ビットおよび76cmφ のツース形ビットで掘削した結果を比較するとインサート形の方が約半分程度の掘削馬力ですむ。今回の試験では掘削馬力と掘進速度については次のような結果を得た。

$$R = (-3.1 \times 10^{-4} \sigma_c + d_o) N - 0.1 (m/hr) \dots\dots\dots (23)$$

ここに d_o = 口径によって左右される定数

今回の試験結果では定数 d_o は口径に正比例した。

あとがき

インサート形ビットの削孔性については、今まで試験例が少なく殆んど未知に等しかったが今回の試験の結果、大づかみな傾向が得られ定性的にツース形ビットとの対比ができた。然し定量的にはまだ結論を出すには無理が多く今回の結果は必ずしも普遍性をもっていないので実用への応用には誤差が大きいと考えられる。しかし現在この種のカッタを用いた施工例が増加する傾向にありその研究が急がれている。現に道路公団の大島大橋架橋試験掘削工事でも口径3.65mφのインサート形カッタビットを使用して実験した結果、良好な成績を示したといわれている。今後はこれらの施工データも加えて多くの条件についての試験結果をとりまとめていきたいと考えている。

この試験は本州四国連絡架橋公団の依託により、次の人々の協力で行なわれた。

実験実施 機械研究室 吉田六三技官 中野新市技官

千葉工大 金子益雄実習生 浅野豊明実習生 吉越 明実習生

ここにその協力に対して深い謝意を表わしたい。

DATA OF BIT DRILLING TEST														
date of test	47.9.22	Dia. of hole 600 mm ^φ			Record sheet no 47-2-(1)			Sheet no 1						
TEST Piece	marble	Comp. Strength 240 kg/cm ²			Cutter type			Insert cutter						
NO	W (kg)	N (rpm)	T (kg-m)	R (m/s)	HP (ps)	R/N (cm)	Q (m ³ /min)	WPD (kg/cm)	FN (kg/cm)	DF (-)	NC (rpm)	RN (m/s)	WC (ton)	RW (m/s)
1	1800	3.61	19	0.039	0.093	0.010	1.31	30.00	4.14	0.069	4	0.043	2	0.043
2	1867	6.20	28	0.065	0.242	0.010	1.31	31.11	6.22	0.099	4	0.042	2	0.069
3	1667	3.93	93	0.045	0.511	0.011	1.31	27.78	20.72	0.373	4	0.046	2	0.054
4	3933	3.83	28	0.144	0.149	0.037	1.31	65.56	6.22	0.047	4	0.150	4	0.146
5	4000	3.69	84	0.117	0.433	0.031	1.31	66.67	18.65	0.140	4	0.127	4	0.117
6	2200	3.80	93	0.039	0.494	0.010	1.31	36.67	20.72	0.283	4	0.041	2	0.035
7	4267	3.75	19	0.039	0.097	0.010	1.31	71.11	4.14	0.029	4	0.041	4	0.036
8	8533	9.62	112	0.078	1.502	0.008	1.31	142.22	24.87	0.087	10	0.081	8	0.073
9	4467	1.91	168	0.010	0.447	0.005	1.31	74.44	37.30	0.251	2	0.011	4	0.009
10	8800	9.55	169	0.107	2.239	0.011	1.31	146.67	37.30	0.127	10	0.112	8	0.097
11	2800	9.38	93	0.103	1.221	0.011	1.31	46.67	20.72	0.222	10	0.110	2	0.073
12	7800	9.62	187	0.424	2.504	0.044	1.31	130.00	41.45	0.159	10	0.441	8	0.435
13	8003	2.63	187	0.124	0.684	0.047	1.31	133.33	41.45	0.155	2	0.094	8	0.124
14	15600	2.22	330	0.303	1.022	0.136	1.31	260.00	73.22	0.141	2	0.273	16	0.311
15	2500	6.01	81	0.092	0.678	0.015	1.31	41.67	17.96	0.216	2	0.030	2	0.074
16	4900	6.00	124	0.175	1.041	0.029	1.31	81.67	27.63	0.169	2	0.058	4	0.143
17	8500	5.60	211	0.319	1.652	0.056	1.31	141.67	46.97	0.166	2	0.114	8	0.300
18	12300	5.36	280	0.553	2.093	0.103	1.31	205.00	62.17	0.152	2	0.206	12	0.539
19	15300	6.67	286	0.694	2.662	0.104	1.31	255.00	63.55	0.125	2	0.208	16	0.726
20	7600	9.09	162	0.296	2.052	0.032	1.31	126.67	35.92	0.142	10	0.325	8	0.311
21	7400	1.03	174	0.046	0.250	0.044	1.31	123.33	38.68	0.157	10	0.449	8	0.050
22	13300	2.17	348	0.278	1.054	0.128	1.31	221.66	77.37	0.175	2	0.256	12	0.251
23	20500	5.22	379	0.612	2.763	0.117	1.31	341.66	84.27	0.123	2	0.235	20	0.597
24	24900	5.00	429	0.643	2.995	0.129	1.31	415.00	95.33	0.115	2	0.257	25	0.645
25	7500	9.99	137	0.296	1.907	0.029	1.31	125.00	30.39	0.122	10	0.296	8	0.315

DATA OF BIT DRILLING TEST														
date of test	47.9.22.29	Dia. of hole 600 mm ^φ			Record sheet no 47-2-(2)			Sheet no 2						
TEST Piece	Granite	Comp. Strength 1200 kg/cm ²			Cutter type			Insert cutter						
NO	W (kg)	N (rpm)	T (kg-m)	R (m/s)	HP (ps)	R/N (cm)	Q (m ³ /min)	WPD (kg/cm)	FN (kg/cm)	DF (-)	NC (rpm)	RN (m/s)	WC (ton)	RW (m/s)
26	10467	18.07	187	0.129	4.707	0.007	1.31	174.44	41.45	0.119	20	0.142	12	0.147
27	10800	27.27	187	0.203	7.103	0.007	1.31	180.00	41.45	0.115	25	0.187	12	0.226
28	5200	1.63	65	0.001	0.149	0.000	1.31	86.67	14.51	0.083	2	0.001	4	0.000
29	9933	9.20	93	0.069	1.198	0.007	1.31	165.55	20.72	0.062	10	0.075	8	0.056
30	13800	1.80	28	0.028	0.070	0.015	1.31	230.00	6.22	0.013	2	0.031	12	0.024
31	5267	4.97	75	0.021	0.517	0.004	1.31	87.78	16.58	0.094	4	0.017	4	0.016
32	20866	5.87	280	0.161	2.293	0.027	1.31	347.77	62.17	0.089	4	0.109	20	0.154
33	5867	8.70	75	0.016	0.906	0.001	1.31	97.78	16.58	0.084	8	0.014	4	0.011
34	10067	8.45	103	0.058	1.210	0.007	1.31	167.78	22.80	0.067	8	0.055	12	0.070
35	18466	9.15	205	0.162	2.620	0.017	1.31	307.77	45.59	0.074	10	0.177	20	0.175
36	21800	8.93	261	0.239	3.255	0.026	1.31	263.33	58.03	0.079	8	0.214	20	0.219
37	5933	15.00	62	0.021	1.302	0.001	1.31	98.89	13.82	0.069	15	0.021	4	0.014
38	14200	14.29	118	0.122	2.356	0.008	1.31	236.66	26.25	0.055	15	0.128	16	0.138
39	22666	13.76	255	0.334	4.898	0.024	1.31	377.77	56.64	0.075	15	0.364	25	0.369
40	10067	18.18	149	0.081	3.788	0.004	1.31	167.78	33.16	0.098	20	0.089	12	0.096
41	14333	17.96	261	0.214	6.549	0.011	1.31	238.89	58.03	0.121	20	0.238	16	0.239
42	21600	16.76	435	0.467	10.184	0.027	1.31	360.00	96.71	0.134	15	0.418	20	0.432
43	22066	27.03	423	0.639	15.953	0.023	1.31	367.77	93.95	0.128	25	0.591	20	0.579
44	25933	26.55	504	0.946	16.667	0.035	1.31	432.22	111.91	0.129	25	0.891	25	0.912
45	6800	9.19	62	0.041	0.798	0.004	1.31	113.33	13.82	0.061	10	0.045	8	0.049
46	4700	2.23	131	0.020	0.406	0.009	1.31	78.33	29.01	0.185	2	0.018	4	0.017
47	8000	2.06	187	0.011	0.536	0.005	1.31	133.33	41.45	0.155	2	0.011	8	0.011
48	16100	1.07	373	0.046	0.868	0.027	1.31	268.33	82.89	0.154	2	0.055	16	0.045
49	8000	4.87	155	0.028	1.057	0.005	1.31	133.33	34.54	0.130	4	0.023	8	0.028
50	12200	4.84	205	0.046	1.386	0.009	1.31	203.33	45.59	0.112	4	0.038	12	0.045

															Sheet no 3
NO	W (kg)	N (rpm)	T (kg-m)	R (m/s)	HP (ps)	R/N (cm)	Q (m3/min)	WPD (kg/cm)	FH (kg/cm)	DF (-)	NC (rpm)	RN (m/s)	WC (ton)	RV (m/s)	
51	14300	4.73	218	0.080	1.438	0.017	1.31	271.66	48.35	0.089	4	0.068	16	0.079	
52	4400	9.49	56	0.001	0.742	0.000	1.31	73.33	12.43	0.084	10	0.001	4	0.001	
53	8200	9.26	81	0.030	1.045	0.003	1.31	136.67	17.96	0.065	10	0.032	8	0.029	
54	16100	8.72	187	0.115	2.271	0.013	1.31	268.33	41.45	0.077	8	0.106	16	0.115	
55	24000	7.26	323	0.217	3.730	0.026	1.31	400.00	71.84	0.089	8	0.210	25	0.226	
56	29500	7.83	472	0.365	5.168	0.046	1.31	491.66	105.00	0.107	8	0.372	40	0.371	
57	8000	15.00	106	0.041	2.214	0.002	1.31	133.33	23.49	0.088	15	0.041	8	0.041	
58	11600	15.00	162	0.087	3.385	0.005	1.31	193.33	35.92	0.092	15	0.087	12	0.090	
59	20000	14.37	286	0.242	5.737	0.016	1.31	333.33	63.55	0.095	15	0.253	20	0.242	
60	4500	18.52	62	0.020	1.608	0.001	1.31	75.00	13.82	0.092	20	0.022	4	0.018	
61	8000	17.96	106	0.023	2.651	0.001	1.31	133.33	23.49	0.088	20	0.025	8	0.023	
62	16000	14.56	162	0.211	3.287	0.014	1.31	266.66	35.92	0.067	15	0.218	16	0.211	
63	21000	18.75	249	0.044	6.510	0.002	1.31	350.00	55.26	0.078	20	0.047	20	0.042	
64	24000	18.07	311	0.466	7.844	0.025	1.31	400.00	69.08	0.086	20	0.516	25	0.486	
65	27800	17.44	435	0.692	10.598	0.039	1.31	463.33	96.71	0.104	15	0.595	30	0.747	
66	8600	24.12	12	0.048	0.419	0.002	1.31	143.33	2.76	0.009	25	0.050	8	0.045	
67	8600	7.98	143	0.034	1.593	0.004	1.31	143.33	31.78	0.111	8	0.034	8	0.032	
68	3500	23.81	124	0.016	4.134	0.000	1.31	58.33	27.63	0.237	25	0.017	4	0.018	
69	8000	23.26	124	0.109	4.037	0.004	1.31	133.33	27.63	0.104	25	0.117	8	0.109	
70	16000	23.08	218	0.264	7.011	0.011	1.31	266.66	48.35	0.090	25	0.286	16	0.284	
71	20000	22.73	224	0.358	7.102	0.015	1.31	333.33	49.74	0.074	25	0.394	20	0.358	
72	3200	27.52	75	0.026	2.867	0.001	1.31	53.33	16.58	0.155	30	0.028	4	0.032	
73	8300	27.78	93	0.048	3.617	0.001	1.31	138.33	20.72	0.074	30	0.051	8	0.046	
74	12000	27.27	131	0.140	4.972	0.005	1.31	200.00	29.01	0.072	25	0.128	12	0.140	
75	16000	27.27	168	0.314	6.392	0.011	1.31	266.66	37.30	0.069	25	0.288	16	0.314	
76	29000	25.17	591	1.134	20.755	0.045	1.31	483.33	131.25	0.136	25	1.126	30	1.173	
77	8000	8.43	162	0.043	1.903	0.005	1.31	133.33	35.92	0.135	8	0.041	8	0.043	
78	16000	8.82	249	0.124	3.064	0.014	1.31	266.66	55.26	0.104	8	0.112	16	0.124	

DATA OF BIT DRILLING TEST
 Date of test 47.10.3 Dia. of hole 420 mm Record sheet no 47-2-(3) Sheet no 4
 TEST Piece Granite Comp. Strength 1200 kg/cm² Cutter type Insert cutter

NO	W (kg)	N (rpm)	T (kg-m)	R (m/s)	HP (ps)	R/N (cm)	Q (m ³ /min)	WPD (kg/cm)	FH (kg/cm)	DF (-)	NC (rpm)	RN (m/s)	WC (ton)	RN (m/s)
79	4700	1.72	62	0.205	0.149	0.119	1.31	111.90	28.20	0.126	2	0.239	4	0.175
80	7600	9.34	75	0.095	0.973	0.010	1.31	180.95	33.93	0.093	10	0.102	8	0.100
81	4700	2.62	37	0.015	0.137	0.005	1.31	111.90	16.92	0.075	2	0.011	4	0.013
82	8000	1.66	81	0.019	0.187	0.011	1.31	190.48	36.65	0.096	2	0.028	8	0.019
83	16000	2.13	187	0.106	0.555	0.049	1.31	380.95	84.59	0.111	2	0.099	16	0.106
84	12500	6.29	80	0.071	0.699	0.011	1.31	297.62	36.09	0.060	2	0.022	12	0.068
85	12500	6.06	143	0.058	1.211	0.009	1.31	297.62	64.85	0.109	2	0.019	12	0.056
86	15700	5.97	193	0.218	1.607	0.036	1.31	373.81	87.40	0.117	2	0.073	16	0.222
87	5200	9.96	56	0.051	0.778	0.005	1.31	123.81	25.38	0.102	10	0.051	4	0.039
88	8100	9.87	68	0.060	0.942	0.006	1.31	192.86	31.01	0.080	10	0.061	8	0.059
89	15600	9.41	162	0.266	2.124	0.028	1.31	371.43	73.31	0.098	10	0.283	16	0.273
90	25000	8.79	342	0.584	4.198	0.066	1.31	595.24	155.07	0.130	8	0.531	25	0.584
91	28700	8.42	448	0.828	5.261	0.098	1.31	683.33	203.00	0.149	8	0.787	30	0.865
92	7700	15.00	87	0.143	1.823	0.009	1.31	183.33	39.47	0.108	15	0.143	8	0.149
93	12500	14.75	112	0.185	2.305	0.012	1.31	297.62	50.75	0.085	15	0.188	12	0.178
94	19800	14.34	218	0.554	4.357	0.039	1.31	471.43	98.63	0.105	15	0.590	20	0.570
95	4700	21.09	44	0.051	1.281	0.002	1.31	111.90	19.74	0.088	20	0.048	4	0.043
96	7800	18.75	99	0.056	2.604	0.003	1.31	185.71	45.11	0.121	20	0.060	8	0.057
97	16000	18.07	187	0.436	4.706	0.024	1.31	380.95	84.59	0.111	20	0.483	16	0.436
98	21000	17.73	199	0.885	4.925	0.049	1.31	500.00	90.22	0.090	20	0.998	20	0.843
99	24600	17.65	311	1.180	7.659	0.066	1.31	585.71	140.98	0.120	20	1.337	25	1.199
100	29000	17.12	373	1.462	8.918	0.085	1.31	690.48	169.17	0.123	15	1.281	30	1.512
101	8000	9.04	112	0.076	1.412	0.008	1.31	190.48	50.75	0.133	10	0.085	8	0.076
102	4400	23.81	112	0.025	3.720	0.001	1.31	104.76	50.75	0.242	25	0.026	4	0.023
103	8500	22.73	137	0.115	4.340	0.005	1.31	202.38	62.03	0.153	25	0.127	8	0.109

															Sheet no 5
NO	W (kg)	N (t/s)	T (kg-m)	R (m/s)	HP (ps)	R/N (cs)	Q (m3/min)	WPD (kg/cm)	FH (kg/cm)	OF (-)	NC (t/s)	RN (m/s)	WC (ton)	RN (m/s)	
104	16400	22.39	180	0.641	5.636	0.028	1.31	390.48	81.77	0.105	20	0.573	16	0.626	
105	21900	22.19	187	0.923	5.778	0.041	1.31	521.43	84.59	0.081	20	0.832	20	0.843	
106	4900	27.47	112	0.051	4.293	0.001	1.31	107.14	50.75	0.237	25	0.046	4	0.045	
107	8500	27.47	124	0.128	4.770	0.004	1.31	202.38	56.39	0.139	25	0.117	8	0.121	
108	12500	27.27	168	0.308	6.392	0.011	1.31	297.62	76.13	0.128	25	0.282	12	0.295	
109	16400	26.79	149	0.809	5.580	0.030	1.31	390.48	67.67	0.086	25	0.755	16	0.790	
110	19500	26.50	187	1.029	6.901	0.038	1.31	464.29	84.59	0.091	25	0.971	20	1.055	
111	25500	25.77	249	1.651	8.949	0.064	1.31	607.14	112.78	0.092	25	1.601	25	1.618	
112	29900	25.00	410	2.253	14.323	0.090	1.31	711.90	186.09	0.131	25	2.233	30	2.261	
113	9300	9.00	68	0.076	0.860	0.008	1.31	221.43	31.01	0.070	10	0.085	8	0.086	
114	20300	66.23	199	1.606	10.064	0.044	1.31	483.33	90.22	0.093	10	0.443	20	1.582	
115	9200	8.76	62	0.115	0.761	0.013	1.34	219.05	28.20	0.064	8	0.105	8	0.100	
116	15500	9.83	124	0.226	1.707	0.023	0.70	369.05	56.39	0.076	10	0.230	16	0.233	
117	16000	9.70	137	0.154	1.853	0.015	0.35	380.95	62.03	0.031	10	0.159	16	0.154	
118	24400	9.20	274	0.692	3.515	0.074	0.52	580.95	124.06	0.107	10	0.741	25	0.699	
119	5000	10.49	37	0.128	0.546	0.012	0.52	119.05	16.92	0.071	10	0.122	4	0.103	
120	5300	18.99	31	0.044	0.824	0.002	0.52	126.19	14.10	0.055	20	0.047	4	0.033	
121	8500	18.56	62	0.372	1.611	0.020	0.52	202.38	28.20	0.069	20	0.401	8	0.350	
122	16300	18.12	87	0.359	2.202	0.019	0.52	388.10	39.47	0.050	20	0.396	16	0.352	
123	20000	17.61	174	0.846	4.279	0.048	0.52	476.19	78.95	0.082	20	0.962	20	0.846	
124	25500	17.36	242	1.308	5.877	0.075	0.52	607.14	109.96	0.090	15	1.130	25	1.282	
125	30200	16.97	305	1.359	7.217	0.080	0.52	719.05	138.16	0.096	15	1.202	30	1.350	
126	8500	8.82	62	0.103	0.766	0.011	1.31	202.38	28.20	0.069	8	0.093	8	0.096	

DATA OF BIT DRILLING TEST

Date of test 47.10.13 Dia. of hole 800 mm^φ Record sheet no 47-3-(1) Sheet no 6
 TEST Piece Sand Stone Comp. Strength 720 kg/cm² Cutter type Insert cutter

NO	W (kg)	N (t/s)	T (kg-m)	R (m/s)	HP (ps)	R/N (cs)	Q (m ³ /min)	WPD (kg/cm)	FH (kg/cm)	DF (-)	NC (t/s)	RN (m/s)	WC (ton)	RN (m/s)		
127	8000	1.69	168	0.072	0.395	0.042	1.26	183.33	37.30	0.140	2	0.085	8	0.072		
128	15300	1.28	311	0.103	0.555	0.080	1.26	255.00	69.08	0.135	2	0.162	16	0.108		
129	7500	9.38	224	0.144	2.930	0.015	1.26	125.00	49.74	0.199	10	0.154	8	0.154		
130	2000	5.67	62	0.036	0.492	0.006	1.26	33.33	13.82	0.207	10	0.063	2	0.036		
131	4100	5.47	99	0.060	0.760	0.011	1.26	68.33	22.10	0.162	10	0.110	4	0.058		
132	7300	5.11	242	0.126	1.731	0.024	1.26	121.67	53.88	0.221	10	0.246	8	0.138		
133	11900	4.89	305	0.204	2.078	0.041	1.26	198.33	67.70	0.171	4	0.167	12	0.206		
134	15800	4.81	317	0.336	2.128	0.069	1.26	263.33	70.46	0.134	4	0.279	16	0.340		
135	19800	4.56	385	0.444	2.457	0.097	1.26	330.00	85.66	0.130	4	0.389	20	0.446		
136	23200	4.35	441	0.576	2.683	0.132	1.26	386.67	98.09	0.127	4	0.529	25	0.621		
137	6900	9.26	137	0.156	1.768	0.016	1.26	115.00	30.39	0.132	10	0.168	8	0.181		
138	14800	9.55	255	0.444	3.400	0.046	1.26	246.67	56.64	0.115	10	0.465	16	0.480		
139	23000	9.07	429	0.864	5.432	0.095	1.26	383.33	95.33	0.124	10	0.952	25	0.939		
140	2100	15.46	56	0.048	1.208	0.003	1.26	35.00	12.43	0.178	15	0.046	2	0.045		
141	3700	15.46	75	0.086	1.611	0.005	1.26	61.67	16.58	0.134	15	0.083	4	0.093		
142	7600	15.79	124	0.240	2.741	0.015	1.26	126.67	27.63	0.109	15	0.228	8	0.253		
143	10800	14.71	180	0.456	3.702	0.031	1.26	180.00	40.07	0.111	15	0.465	12	0.507		
144	14300	14.42	168	0.600	3.380	0.041	1.26	238.33	37.30	0.078	15	0.624	16	0.671		
145	7800	14.10	305	0.984	5.996	0.069	1.26	130.00	67.70	0.260	15	1.047	8	1.009		
146	22800	13.66	336	1.224	6.404	0.089	1.26	380.00	74.60	0.098	15	1.344	25	1.342		
147	2200	18.07	75	0.144	1.883	0.008	1.26	36.67	16.56	0.226	20	0.159	2	0.131		
148	7100	7.69	131	0.132	1.402	0.017	1.26	118.33	29.01	0.123	8	0.137	8	0.149		
149	4100	19.74	236	0.252	6.504	0.012	1.26	68.33	52.44	0.384	20	0.255	4	0.246		
150	8500	19.58	118	0.324	3.230	0.016	1.26	141.67	26.25	0.092	20	0.331	8	0.305		
151	10800	18.99	167	0.600	4.945	0.031	1.26	180.00	41.45	0.115	20	0.632	12	0.686		

NO	W (kg)	N (rpm)	T (kg-m)	R (m/s)	HP (ps)	R/N (cm)	Q (m ³ /min)	WPD (kg/cm)	FH (kg/cm)	DF (-)	NC (rpm)	RN (m/s)	MC (ton)	RW (m/s)	Sheet no 7
152	15000	18.52	242	0.792	6.269	0.042	1.26	250.00	53.88	0.108	20	0.855	16	0.845	
153	18600	18.29	292	1.128	7.463	0.061	1.26	310.00	64.93	0.105	20	1.233	20	1.213	
154	24200	18.29	361	1.704	9.210	0.093	1.26	403.33	80.13	0.099	20	1.863	25	1.760	
155	7700	22.52	131	0.304	4.106	0.013	1.26	128.33	29.01	0.113	25	0.337	8	0.316	
156	15000	21.07	255	0.720	7.782	0.032	1.26	250.00	56.64	0.113	20	0.658	16	0.768	
157	20000	21.19	317	1.980	9.378	0.093	1.26	383.33	70.46	0.091	20	1.669	25	2.152	
158	18100	8.59	118	0.278	1.417	0.032	1.26	301.67	26.25	0.043	8	0.259	20	0.308	

DATA OF BIT DRILLING TEST

date of test 47.10.16

Dis. of hole 420 mm

Record sheet no 47-3-(2) Sheet no 8

TEST Piece Sand Stone

Comp. Strength 720 kg/cm²

Cutter type Insert cutter

NO	W (kg)	N (rpm)	T (kg-m)	R (m/s)	HP (ps)	R/N (cm)	Q (m ³ /min)	WPD (kg/cm)	FH (kg/cm)	DF (-)	NC (rpm)	RN (m/s)	MC (ton)	RW (m/s)
159	9000	9.09	157	0.500	1.994	0.055	1.60	214.29	71.25	0.166	10	0.550	8	0.444
160	9000	2.35	170	0.141	0.557	0.060	1.60	214.29	76.95	0.180	2	0.120	8	0.125
161	18000	1.53	283	0.410	0.604	0.268	1.60	428.57	128.25	0.150	2	0.536	20	0.455
162	2500	6.00	63	0.039	0.526	0.006	1.60	59.52	28.50	0.239	2	0.013	2	0.031
163	4500	5.86	68	0.077	0.514	0.013	1.60	107.14	28.50	0.133	2	0.026	4	0.069
164	9600	5.56	157	0.358	1.219	0.064	1.60	228.57	71.25	0.156	2	0.129	8	0.299
165	14000	5.28	189	0.533	1.389	0.101	1.60	333.33	85.50	0.128	2	0.202	16	0.609
166	16500	5.26	283	0.848	2.078	0.155	1.60	440.48	128.25	0.146	2	0.311	20	0.884
167	21100	5.22	283	0.844	2.061	0.162	1.60	502.38	128.25	0.128	2	0.323	20	0.800
168	24500	5.08	314	0.875	2.231	0.172	1.60	583.33	142.50	0.122	2	0.344	25	0.893
169	13200	8.33	226	0.431	2.632	0.051	1.60	314.29	102.60	0.163	8	0.414	12	0.392
170	9900	8.82	157	0.917	1.936	0.104	1.60	285.71	71.25	0.151	8	0.831	8	0.741
171	25400	7.92	371	1.432	4.098	0.181	1.60	604.76	168.15	0.139	8	1.447	25	1.410
172	2500	15.35	44	0.094	0.943	0.006	1.60	59.52	19.95	0.168	15	0.091	2	0.075
173	5500	15.00	75	0.321	1.579	0.021	1.60	130.95	34.20	0.131	15	0.321	4	0.234
174	8800	13.89	94	0.630	1.828	0.045	1.60	209.52	42.75	0.102	15	0.680	8	0.573
175	12600	12.50	157	0.920	2.742	0.073	1.60	300.00	71.25	0.119	15	1.104	12	0.876
176	17400	12.12	189	1.382	3.191	0.114	1.60	414.29	85.50	0.103	10	1.140	16	1.271
177	21900	11.88	251	1.852	4.170	0.156	1.60	521.43	114.00	0.109	10	1.559	20	1.691
178	24900	11.71	289	2.573	4.726	0.220	1.60	592.86	131.50	0.111	10	2.197	25	2.583
179	18400	14.12	239	1.648	4.708	0.131	1.60	438.10	108.30	0.124	15	1.963	20	2.009
180	17300	17.91	189	2.011	4.715	0.112	1.60	411.90	85.50	0.104	20	2.245	16	1.860
181	1900	14.46	38	0.062	0.761	0.004	1.60	45.24	17.10	0.189	15	0.064	2	0.065

Sheet no 9

NO	W (kg)	N (kg)	T (kg-m)	R (kg/h)	HP (ps)	R/N (ch)	Q (m ³ /min)	WPD (kg/cm)	FW (kg/cm)	DF (-)	NC (kg)	RN (kg/h)	WC (kg)	RN (kg/h)
182	4400	17.50	69	0.310	1,689	0.017	1.60	104.76	31.35	0.150	20	0.355	4	0.282
183	8200	17.14	101	0.807	2,407	0.047	1.60	195.24	45.60	0.117	15	0.706	8	0.787
184	12700	16.90	182	1.214	4,300	0.071	1.60	302.38	82.65	0.137	15	1.077	12	1.147
185	20400	15.00	408	3.626	8,555	0.242	1.60	485.71	185.25	0.191	15	3.626	20	3.555
186	8700	22.16	214	2.058	6,610	0.092	1.60	207.14	96.90	0.234	20	1.857	8	1.892
187	9200	26.55	163	2.142	6,057	0.080	1.60	219.05	74.10	0.169	25	2.017	8	1.863
188	16000	24.00	459	7.173	15,373	0.299	1.60	380.95	208.05	0.273	25	7.472	16	7.173

END

参考文献

- 1) 田中康之、千田昌平、笠井哲夫：ビット試験機によるローラビットの削孔試験
土木研究所資料 第686号46年5月
- 2) 千田昌平：大口径掘削機(2.5m ϕ ~3.0m ϕ)試験報告書(第2報)高倉山における掘削実験
土木研究所資料 第779号47年11月
- 3) Wilbur H. Somerton; "A Laboratory Study of Rock Breakage by Rotary Drilling"
Trans Aime (1959) 216
- 4) Dellinger T.B.; "For Shaft Sinking New Study-Analyzes Big Hole Costs" E&MJ, March 1966
- 5) Wilbur H. Somerton; "Well logs can indicate formation drillability" World Oil
December 1971
- 6) Hughes Tool Company "Rotary Big Hole Drilling Equipment"

本州四国連絡橋に関する試験調査
インサート形ローラビットによる硬岩掘削試験

土研資料第 832 号
昭和 年 月 日 (1970)

田中康之、千田昌平、石島威

キーワード インサート形硬岩掘削

要 旨 ビット試験機によって硬岩掘削試験を行った結果、下記の事が解明された。

1. 掘削トルクはツース形に比べ少なくすむ。
2. 掘進速度はツース形やバイト形に比べ岩石の強度による掘進速度の低下の割合が小さい。
3. 掘削馬力は試料強度が同一なものを掘削するとインサート形の方が約半分程度の掘削馬力ですむ。