



土木研究所資料
第617号

無拘束ボーリング機械の性能試験

昭和45年8月

建設省土木研究所

無拘束ボーリング機械の性能試験

機械研究室

田 中 康 之

笠 井 哲 夫

目 次

1. まえがき	1
2. 試験方法	2
2.1 無拘束ボーリング機械	2
2.2 ビット試験機	3
2.3 計測項目	3
(1) ビット推力	3
(2) 回転速度	3
(3) 掘進速度	4
(4) 掘削馬力, 掘削トルク	4
(5) 揚砂量	5
(6) 揚水量	5
(7) 含砂率	5
(8) 試 料	5
I) 1 軸圧縮強さ	5
II) 1 軸引張強さ	5
III) ショア硬度	6
IV) ページ衝撃試験	6
V) シュミットテスト	6
3. 試験の実施	7
3.1 試験期日	7
3.2 試験場所	7
3.3 試料強度	7
3.4 試験の実施	7
3.5 試験結果	8
4. 考 察	17
4.1 掘削能率	17
4.2 自転と公転	17
4.3 掘進速度	19
4.4 掘削トルクと所要動力	19

4.5 掘削回転反力	2 2
4.6 その他	2 2
(1) 揚水量と揚砂量	2 2
(2) センタービット	2 2
4.7 大口径化への問題	2 3
(1) カッタの配列	2 3
(2) 公転, 自転	2 3
(3) 先進ビット	2 3
5. むすび	2 4

1. ま え が き

近年隆盛のいちじる大口径ボーリング機械には多くの機種があり、新しい機構の開発も盛んである。

ここでとり上げた無拘束ボーリング機械はいわゆる多軸式のビットをもつ掘削機で各カッターの自転トルクとビット全体の公転トルクが互に打消し合って掘削ビットを支持するドリルパイプにはトルク反力が加わらない機構をもつ。このメカニズムは大口径化する場合の大きい利点の1つと考えられるのでその性能を土木研究所の所有するビット試験機を用いて調査した。この報告書はその結果をとりまとめたものである。

2. 試験方法

2.1 無拘束ボーリング機械

試験対象機械である利根ボーリング製NRD-700型無拘束ボーリング機械は掘削径700mmの3軸ボーリング機械でカッターはバイト型又はローラ型に交換可能である。試験には主として写真-1に示すローラ型カッターを用いた。この機械の構造の概略は次の通りである。(図-1・2, 写真-2)電動機を主軸内におさめ、その回転力はモータ軸から遊星歯車装置の太陽歯車に伝えられる。遊星歯車は、外側ケーシングに取付けられた内歯歯車とかみ合い、更にカッターを駆

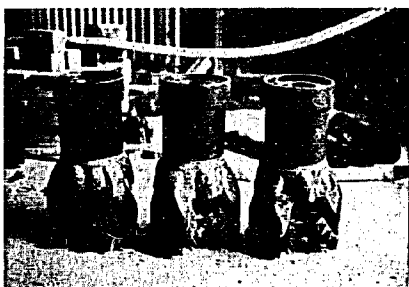


写真-1 トリコンビット

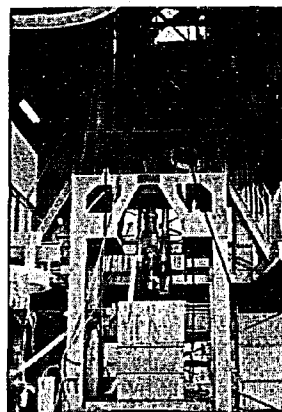


写真-2 ビット試験機に取付けた無拘束ボーリング機械

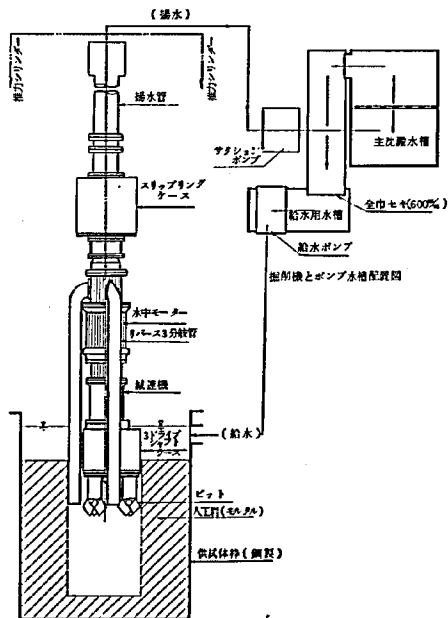


図-1 掘削機外形図

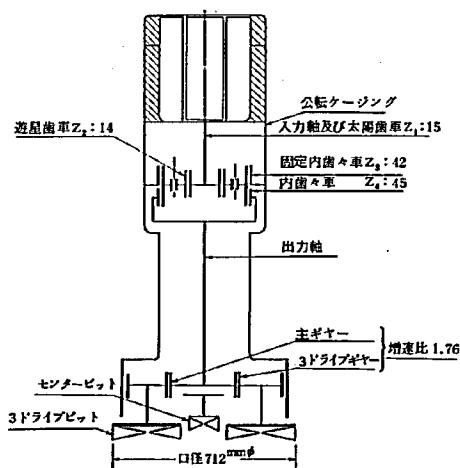


図-2 動力伝達の模型図

動する内歯歯車ともかみ合っている。一方モータのステータはケーシングに固定されており、一体となって公転する。従って遊星歯車は、ケーシングとカッタ駆動用内歯歯車の回転速度の差だけ公転する差動機構となり、公転、自転の回転速度比は自由な値をとりうる。カッタが接地しない状態では公転はスィベルの回転低抗があるため停止し、モータ 1000 r.p.m. で 29.7 r.p.m. の回転をする。カッタが接地し掘削トルクが必要になると、その反力でモータのステータも回転し外側ケーシングを公転させる。この時遊星歯車は、公転、自転のトルクの差で駆動される差動ギヤとして働き、従ってこの部分でのトルクの均衡を図っている。

モータ、減速機があるため揚水管はモータの上部で3本に分岐されカッタの間におろされている。3本のビットの中央部のすき間はカッタ円に外接する小さい半径をもつトリコンビットで掘削するが、カッタが接地しないと公転が起きないという機構上、先進ビットとはできない。このボーリング機械の仕様を表-1に示す。(図-3)

表-1 無拘束ボーリング機械仕様一覧表

2.2 ビット試験機

このビット試験機は各種の堅孔用ボーリング機械のビットの性能を試験する装置でその外観を写真2に、又仕様を表-2に示す。

2.3 計測項目

この試験で計測した項目ならびに測定方法は次の通りである。

(1) ビット推力 (Wkg)

ワイヤストレンゲージ式の荷重変換器 (101×2) が梁台と掘進シリンダの間に取付けられている。計測値は測定室の記録計 (ペン書きオシログラフ) に記録される。ビット推力は次式で求められる。

$$\text{ビット推力} \cdot W = \text{本体全重量 (1500kg)} + \text{計測推力}$$

尚ビット推力は口径が異なると同じ推力であってもその影響が変わってくると考えられるので、異なる口径の実験結果を対比する時はこの推力を口径で除した値、単位口径当りビット推力 W_d (kg/cm) を用いる。

$$W_d = \frac{W}{D}$$

ここに D : 掘削口径 (cm ϕ)

(2) 回転速度

ビット、3ドライブシャフトケース間及び掘削機本体・試験機間にそれぞれマイクロスイッチを取付け、1回

掘削機本体	
型 式	利根ボーリングNRD-700型
掘削口径	712mm ϕ
全長×全幅	3m×0.48m ϕ (スリップリングケース)
原動機	三菱電機製WS S-D水中モータ 15KW×1000rpm
減速機	ダブル遊星歯車 (最大減速比57)
全重量	約1500kg
ビット	
型 式	トリコンビット (センタビット付)
ウイングビット口径	Reg. 12 $\frac{1}{4}$ - 3 S - 1 軟岩用 直径200mm
センタビット口径	Reg. 2 $\frac{7}{8}$ B ϕ
掘削翼数	3 翼
適用土質	モルタル、原石等
リバースパイプ	
吸上方式	3分岐式
分岐管口径	80mm ϕ Area: 150.72 cm ²
ドリルパイプ (束束パイプ) 口径	150mm ϕ Area: 176.63 cm ²

転毎に発生するパルスを記録計に自記させる。尚自転回転速度はその計測値から公転回転速度を減じた値となる。

(3) 掘進速度 (Dr m/h)

掘進シリンダーガイドにスチール製巻尺を貼付して、シリンダーにとりつけた指針により掘進量をよむ。指針が0.2cm目盛を通過するごとに測定員がマイクロスイッチをおして、パルスを出し、記録計に記録する。単位時間当りのパルスの数から掘進速度を計算する。

(4) 掘削馬力 (N PS), 掘削トルク (T kg-m)

掘削馬力は普通は、掘削トルク及び回転速度から求められるが、この掘削機はトルクメータを挿入するスペースがとれなかったため、電動機入力から求めた。電動機入力は、ワットメータの直読によった。従ってここで表示されている動力、及びトルクには電動機での損失も含まれている。

掘削トルク T は、掘削馬力と公転回転速度から計算で求めた。

$$T = 716.2 \times \frac{N}{n} \quad (1)$$

ここに T : 掘削トルク (kg-m)

N : 掘削馬力 (PS)

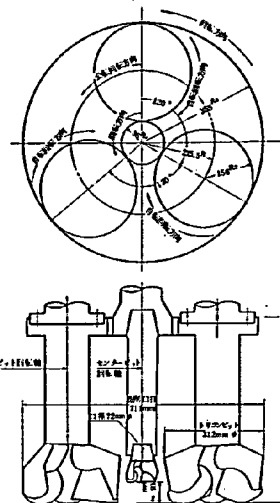


図-3 ビット

表-2 ビット試験機仕様一覧表

基礎掘削用削孔試験機	
型 式	湿式基礎掘削機用土研型
最大ビット径	1500 mm φ
削孔深度	2000 mm
ビット推力	20000 kg (油圧式)
ケリー管内径	100 mm φ
ビット回転トルク	2000 kg-m
ビット回転数範囲	0 ~ 50 r.p.m.
回転原動機	油圧モータ・型式 川崎重工 BX 732
試 料	原石、ソイルセメント、コンクリート等
掘削土砂の排出	ポンプサクション方式
サクションポンプ	80 φ D 型ソリッドポンプ 揚水量 1.2m³/min/800 rpm/12m
給水ポンプ	160 φ SZ 型斜流渦巻ポンプ 揚水量 3m³/min/1750 rpm/9m
油圧ポンプパワーユニット	
寸 法	全長×全高×全巾 3 m × 1.5 m × 1.5 m
原動機	型式 イスズ DA 640-1 TP ディーゼルエンジン
連続定格	103 PS/1700 rpm
油圧ポンプ (シリンダ用) 型式	内田油圧 GH ₂ -25-25 二連型ギヤポンプ、最高吐出圧 140 kg/cm²

n' : 公転回転速度 (r.p.m.)

(5) 掘砂量 ($S \text{ m}^3/\text{min}$)

掘砂量は、直接計測することが困難であるから、平均的な値として掘進速度から計算する。即ち

$$S = \frac{A \times D_r}{60} \quad (2)$$

ここに A : 掘削断面積 (ここでは 0.398 m^2)

D_r : 掘進速度 (m/h)

(6) 揚水量 ($L \text{ m}^3/\text{min}$)

図-2に示すように、ポンプで吸引されたズリを含む泥水は、コンクリート製主沈降池で沈砂され、銅製の計量水槽に流入する。計量水槽の流出部に設けられた全幅セキ (幅 60 cm , 高さ 20 cm) で流水量が計測される。セキの水位差はワイヤストレーニング式微圧計で計測しペンオシログラフに記録される。その読みから換算表を用いて揚水量 ($L_w \text{ m}^3/\text{min}$) が求められる。この L_w は沈砂後の値であるから、全揚水量 ($L \text{ m}^3/\text{min}$) は

$$L = L_w + S \quad (3)$$

で求められる。ここに

S : 掘砂量 (m^3/min) (2)式参照

(7) 含砂率 ($i \%$)

含砂率は重量比で求められるので

$$i = \frac{S \cdot r}{L_w \cdot r_o + S \cdot r} \times 100 \quad (4)$$

で求められる。ここに

r : 試料の単位体積重量 (ここでは 2707 kg/m^3)

r_o : 水の単位体積重量 (ここでは 1000 kg/m^3 とした。)

(8) 試料

試料には次の条件のモルタル (人工岩) を用いた。

打設日時 昭和45年6月10日 (13.30~16.00)

配合比 1 : 2, 1バッチセメント 50 kg , 砂 100 kg , 水 17.5 kg

打設量 17バッチ 約 1.2 m^3

養生水中

試料に対する各種試験項目は次の通りである。

I) 1軸圧縮強さ (σ_c : kg/cm^2)

1軸圧縮試験機 (100 ton) (東京谷藤株式会社製) を用いて測定した。計測は目視及び圧力変換器を用い、ペン書きオシログラフに自記させた。供試体寸法は $25 \text{ mm} \phi \times 50 \text{ mm}$ である。

II) 1軸引張り強さ (圧裂強さ) σ_t (kg/cm^2)

試験は圧縮強さに同じであるが、供試体寸法 $25 \text{ mm} \phi \times 37.5 \text{ mm}$ を横方向に押しつぶす。これを圧裂強さ、すなわち引張強さとした。

Ⅲ) ショア硬度

ショア硬度計, NSS HARDNESS TESTER (中井精機製作所製)を用いて計測した。供試体寸法は50 mmφ × 25 mm以上とした。測定回数は10回以上をとり、これらの平均値を以てショア硬度とした。

Ⅳ) ページ衝撃試験

ページ衝撃試験機, MIC-148 型, (丸井製作所製)を用いて計測した。これは岩石の衝撃による破砕に対する抵抗力を比較するために行なうものである。この方式は, ASTM D3に準ずるもので、打撃回数, 19以上を高, 13~19を中, 13以下を低, じん性度として表わす。供試体寸法は, 25 mmφ × 25 mmを基準とした。

Ⅴ) シュミットテスト

N型シュミットテストハンマーによるもので、一軸圧縮試験強さと関連した値と考えることができる。

3. 試験の実施

3.1 試験期日

表-3の日程で試験を実施した。

表-3 作業日程表(昭和45年6月10日～7月20日)

月日	曜日	天候	内 容
6・10	水	晴 曇	午後無拘束ボーリング機械試験用人工岩(モルタル)製作
19	金	雨	無拘束ボーリング機械搬入
20	土	曇	機械組立
21	日		休日
22	月	曇 雨	機械組立据付 試験準備
25	木	雨	試験準備 午後 根本建設大臣米所 試験掘削約30mm
26	金	雨 曇	減速ギヤー修理のためボーリング機械解体撤去
7・6	月	雨	午後ボーリング機械搬入及び組立て(ドリルパイプ、スリップリングフランジ)
7	火	雨	機械組立て(スリップリングフランジ、モータ駆動部、トリコンビット、リバースパイプ)
8	水	曇	ビット試験機配管取付け、セクションパイプ固定、自転回転数検出用マイクロスイッチ取付け
9	木	曇 雨 晴	掘削試験(1mまでセクションポンプ3翼トリコンビット)
10	金	晴 曇	掘削試験(1.2mまで) 午後解体作業、ビット試験用ケリーバ取付
11	土	曇 雨	あとかたづけ 試料(モルタル)引出し用小孔抜き(コアボーリング機械による)
12	日		休日
13	月	曇	機械撤去 試料(モルタル)引出し 午後 コア採取
14	火	晴 曇	コア採取
20	月	晴	人工岩(モルタル)の物理試験

3.2 試験場所

千葉県千葉市穴川4丁目12番52号 建設省土木研究所千葉支所

3.3 試料強度

表-4の通りである。

3.4 試験の実施

試験はビット推力を変えて所要トルク、掘進速度等を計測した。(写真-3)ビット推力の範囲は1000kg～7000kgでほぼ500kgとびに変化させた。動力的制約から大きい推力がかけられない機械であるので推力の調整に苦労した。

主な掘削条件は次の通りである。

表-4 岩石強度の物理試験一覧表

人工岩 (モルタル) No. T 45-3	試験法	測定数	最大値	最小値	平均値	標準偏差	歪み性度	じん性	比重	備考
	1軸圧縮強度	20	251.04 kg/cm^2	102.45 kg/cm^2	145.81 kg/cm^2	43.31 kg/cm^2	25mmφ		2.7067	25mmφ変動 係数29.7%
		18	244.93 #	104.43 #	179.70 #		10.59			50mmφ
	1軸引張強度	8	20.74 #	9.43 #	13.77 #	4.374 #	50mmφ			25mmφ変動 係数31.8%
		5	28.01 #	16.54 #	21.83 #		8.23			50mmφ
	ショア硬度	6	21.90	12.72	16.09					
	ページ衝撃試験	11	3 回	2 回	2.36 回			低		1ストローク 1cm打撃増加 25mmφ×25
	シュミットテスト	70	350 kg/cm^2	200 kg/cm^2	240 kg/cm^2					

掘削口径 712mmφ

掘削深度 約2100mm

土質 人工モルタル (一軸圧縮強度 $\sigma_c = 145 \text{ kg/cm}^2$)

- (サクション方法) 全掘削長ポンプサクションによる。ドリルパイプ内径①孔底より水中モータ上部まで分岐管80mmφ×3本
- ②スイベルジョイント上部まで集束管150mmφ
 - ③サクションポンプまで100mmφ

電動機(水中モータ)は水中において使用するのが本来の姿であるが、掘削ストロークの関係上、水中に入らないため、冷却できずオーバーヒート気味であった。このために試験中モータ外周部に注水して冷却を行なった。



写真-3 掘削中

3.5 試験結果

試験結果を表-6に示す。

表-6 試験結果一覧表

試験項目	単位	No 試験番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
			79-24						79-30	79-31						79-37
深 度 H_o	cm		22.0									32.6		32.6		
ビット 推 力 W	K_g		1800	2667	3600	4067	4400	4733	5133	5467	6200	6533		1333	1000	1333
単位口径当推力 W_d	K_g/cm		2528	3745	5056	5712	6179	6647	7209	768	871	918		187	140	187
単一ビット推力 $W/3$	K_g		600	889	1200	1356	1467	1578	1711	1822	2067	2178		444	333	444
単一ビット口径当推力 $W_d/3$	K_g/cm		1923	2349	3846	4343	4700	5056	5484	584	662	698		142	107	142
ビット自転回転速度 n	r pm		24.6	24.1	23.4	24	24.7	24	24.5	24.6	24	24	31.0	23.8	23.1	23
ビット公転回転速度 n'	r pm		6.1	6.1	6.1	6.0	6.1	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0		7.6	7.7	7.6
公転回転トルク T	K_g-m		498.5	516.6	520.9	540.7	533.6	540.7	588.5	588.5	763.9	763.9		402.9	398.7	414.1
掘 削 馬 力 N	PS		4.26	4.40	4.40	4.53	4.53	4.53	4.93	4.93	6.40	6.40	4.27	4.27	4.27	4.40
掘 進 速 度 Dr	m/hr		0.21	0.48	0.50	0.73	0.78	0.90	1.03	1.52	1.25	1.75		0.27	0.12	0.21
公転当掘進量 R_r	cm/rev		0.058	0.131	0.138	0.203	0.213	0.250	0.286	0.320	0.345	0.485		0.059	0.027	0.045
自転数/公転数			4.01	3.95	3.88	4.00	4.06	4.00	4.09	4.10	4.00	4.00		3.00	3.01	3.02
自転回転接線力 F	K_g		637	669	684	693	675	693	726	740	979	979		645	647	660
公転回転力 F'	K_g		2493	2583	2604	2704	2668	2704	2942	2942	3820	3820		2015	1994	2070
掘削トルク反力 P	K_g-m													3.05	3.31	3.57
馬力時間当掘削量	$m^3/ps.h$		0.020	0.043	0.045	0.064	0.068	0.079	0.083	0.093	0.077	0.109		0.025	0.012	0.019
揚 水 量 L	m^3/min															
揚 砂 量 S	m^3/min															
含 砂 率 i	%															
掘 削 岩			人工岩 (モルタル)													
摘 要			空 転													

試験項目	No 単位 試験番号	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
		79-38													
深 度 H_o	cm								436		436				
ピ ッ ト 推 力 W	K_g	2000	2667	3133	3333	3667	4333	5000	6000		1400	1333	1000	533	1467
単 位 口 径 当 推 力 W_d	K_g/cm	28.1	37.5	44.0	46.8	51.5	60.9	70.2	84.3		197	187	140	7.8	207
単 一 ピ ッ ト 推 力 $W/3$	K_g	667	889	1044	1111	1222	1444	1667	2000		467	444	333	178	489
単一ピット口径当推力 $W_d/3$	K_g/cm	21.4	28.5	33.5	35.7	39.2	46.3	53.2	64.1		150	142	10.7	5.7	157
ビット自転回転速度 n	r p m	24	244	245	244	244	247	24	24	30.6	229	23	23	228	243
ビット公転回転速度 n'	r p m	6.7	6.1	6.1	6.2	6.1	6.0	6.0	6.0		7.7	7.7	7.7	7.8	6.4
公 転 回 転 ト ル ク T	K_g-m	481.4	531.0	535.4	618.7	625.8	684.0	684.0	769.1		396.1	398.7	398.2	390.0	496.3
掘 削 馬 力 N	PS	4.53	4.53	4.53	5.33	5.33	5.73	5.73	6.67	4.27	4.27	4.27	4.27	4.27	4.40
掘 進 速 度 Dr	m/h r	0.33	0.51	0.60	0.60	0.91	1.01	1.44	1.44		0.25	0.16	0.10	0.03	0.21
公 転 当 掘 進 量 B_r	cm/rev	0.081	0.138	0.165	0.162	0.250	0.280	0.400	0.400		0.054	0.035	0.022	0.007	0.056
自 転 数 / 公 転 数		3.55	3.99	4.05	3.97	3.99	4.12	4.00	4.00		2.96	2.99	2.99	2.89	3.84
自 転 回 転 接 触 力 F	K_g	679	681	679	798	803	856	877	1021		641	639	638	642	657
公 転 回 転 力 F'	K_g	2407	2655	2677	3093	3129	3420	3420	3980		1981	1994	1991	1950	2481
掘 削 ト ル ク 反 力 P	K_g-m	3.31	3.31	3.84	3.97	4.24	4.5	4.64	4.64		2.91	3.05	3.18	3.97	2.65
馬力時間当掘削量	m^3/ps	0.029	0.044	0.053	0.045	0.068	0.070	0.100	0.086		0.023	0.015	0.010	0.003	0.019
揚 水 量 L	m^3/min														
揚 砂 量 S	m^3/min														
含 砂 率 i	%														
掘 削 岩		人工岩 (モルタル)													
摘 要		空 転													

試験項目	単位	No 試験番号	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
			79-80													
深 度 Ho	cm									83.0						
ピ ッ ト 推 力 W	Kg		2667	3800	4333	4867	5533	6000		1333	1533	2000	2667	3133	3667	4467
単 位 口 径 当 推 力 Wd	Kg/cm		37.4	53.4	60.8	68.3	77.7	84.3		18.7	21.5	28.1	37.4	44	51.5	62.7
単 ー ピ ッ ト 推 力 W/3	Kg		889	1267	1444	1622	1844	2000		444	511	667	889	1044	1222	1489
単 ー ピ ッ ト 口 径 当 推 力 Wd/3	Kg/cm		28.5	40.6	46.3	52.0	59.1	64.1		14.2	16.4	21.4	28.5	33.5	39.2	47.7
ピ ッ ト 自 転 回 転 速 度 n	r p m		22.6	22.9	22.5	23.1	22.3	21.4	30.7	23	22.9	22.9	23	22.7	22.7	22.5
ピ ッ ト 公 転 回 転 速 度 n'	r p m		7.5	7.5	7.5	7.5	7.4	7.3		7.7	7.7	7.6	7.7	7.6	7.7	7.5
公 転 回 転 ト ル ク T	Kg-m		430.8	469.5	470.8	545	608.5	840.3		411.4	411.4	413.5	420.8	426.9	470.9	560.3
掘 削 馬 力 N	PS		4.53	4.93	4.93	5.73	6.27	8.53	4.27	4.40	4.4	4.4	4.53	4.53	5.07	5.86
掘 進 速 度 Dr	m/hr		0.61	0.77	1	1.41	1.71	1.75		0.18	0.23	0.39	0.53	0.64	0.76	1.03
公 転 当 掘 進 量 Rr	cm/rev		0.135	0.170	0.222	0.313	0.386	0.400		0.038	0.051	0.086	0.115	0.140	0.164	0.229
自 転 数 / 公 転 数			3.00	3.04	3.00	3.06	3.02	2.95		3.00	3.00	3.00	2.98	2.98	2.93	3.00
自 転 回 転 接 触 力 F	Kg		690	745	754	860	969	1363		659	659	662	677	687	768	897
公 転 回 転 力 F'	Kg		2154	2348	2354	2725	3042	4202		2057	2057	2068	2104	2134	2355	2802
掘 削 ト ル ク 反 力 P	Kg-m		4.8	4.9	5.5	5.7	5.7	5.9		4.2	4.2	4.9	5.5	5.2	5.4	5.7
馬 力 時 間 当 掘 削 量	m ³ /psh		0.054	0.062	0.081	0.098	0.108	0.081		0.016	0.021	0.036	0.046	0.056	0.059	0.070
揚 水 量 L	m ³ /min		1.044	1.045	1.031	1.034	1.026	1.026		0.401	0.711	0.712	0.683	0.564	0.565	0.566
揚 砂 量 S	m ³ /min		0.0041	0.0051	0.0066	0.0094	0.0113	0.0120		0.0012	0.0015	0.0026	0.0035	0.0042	0.0050	0.0068
合 砂 率 i	%		1.054	1.282	1.713	2.417	2.892	3.074		0.804	0.567	0.979	1.372	2.000	2.356	3.176
掘 削 岩			人工岩 (モルタル)													
摘 要			空 転													

試験項目		No	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
単位		試験番号	79-94											79-105	710-1	710-2
深	度 H_0	cm	91.0	91.0										101.6		101.6
ピ	ット 推 力 W	K_g	5067	1333		2067	2667	3000	3467	3800	4200	4866	5600	5667		1333
単	位 口 径 当 推 力 W_0	K_g/cm	71.2	18.7		29	37.5	42.1	48.7	53.4	58.9	68.3	78.6	79.6		18.7
単	一 ピ ッ ト 推 力 $W/3$	K_g	1869	444		689	889	1000	1156	1267	1400	1622	1867	1889		444
単	一 ピ ッ ト 口 径 当 推 力 $W_0/3$	K_g/cm	54.1	14.2		22.1	28.5	32	37	40.6	44.9	52	59.8	60.5		14.2
ピ	ット 自 転 回 転 速 度 n	rpm	22.7	23	30.7	23.1	23	22.6	22.7	22.9	22.5	22.5	22.7	22.2	30.6	23
ピ	ット 公 転 回 転 速 度 n'	rpm	7.3	7.6		7.6	7.5	7.6	7.6	7.6	7.5	7.5	7.3	7.8		7.6
公	転 回 転 ト ル ク T	K_g-m	571.8	399.7		415.7	420.2	412.5	466.4	463.4	531.2	531.2	653.5	689.4		411.9
掘	削 馬 力 N	PS	5.86	4.27	4.27	4.4	4.4	4.4	4.93	4.93	5.6	5.6	6.67	7.47	4.26	4.4
掘	進 速 度 Dr	m/hr	0.99	0.24		0.38	0.6	0.57	0.68	0.91	0.93	1.16	1.34	1.69		0.19
公	転 当 掘 進 量 R_r	cm/rev	0.226	0.052		0.083	0.133	0.126	0.151	0.2	0.205	0.256	0.305	0.364		0.042
自	転 数 / 公 転 数		3.08	2.99		3.05	3.06	2.96	3.00	3.00	2.97	2.97	3.1	2.86		3.4
自	転 回 転 接 触 力 F	K_g	897	641		658	662	668	747	743	857	857	1021	1143		660
公	転 回 転 力 F'	K_g	2859	1999		2079	2101	2062	2332	2317	2656	2656	3267	3447		2059
掘	削 ト ル ク 反 力 P	K_g-m	6.1	4.6		4.9	5.1	5.4	5.4	5.6	5.4	5.9	5.9	5.7		3.4
馬	力 時 間 当 掘 削 量	m^3/psh	0.067	0.022		0.033	0.054	0.052	0.055	0.074	0.066	0.082	0.080	0.090		0.017
揚	水 量 L	m^3/min	0.426	0.791		0.802	0.784	0.724	0.795	0.806	0.716	0.717	0.719	0.711		1.041
揚	砂 量 S	m^3/min	0.0066	0.0016		0.0025	0.0040	0.0038	0.0045	0.0061	0.0062	0.0077	0.0089	0.0112		0.0012
含	砂 率 i	%	4.077	0.544		0.837	1.36	1.405	1.52	2.01	2.30	2.85	3.27	4.09		0.31
掘 削 岩			人工岩 (モルタル)													
摘 要			空 転													

試験項目	単位	No	99	100	101	102	103
		試験番号	710-17				710-21
深 度 H_0	cm						1222
ビット 推 力 W	K_g		3733	4067	4733	5467	5933
単位口径当推力 W_d	K_g/cm		52.4	57.1	66.5	76.8	83.3
単一ビット推力 $W/3$	K_g		1244	1355	1577	1822	1977
単一ビット口径当推力 $W_d/3$	K_g/cm		39.9	43.4	50.5	58.4	63.4
ビット自転回転速度 n	rpm		22.8	22.7	22.5	22.6	22.6
ビット公転回転速度 n'	rpm		7.5	7.5	7.6	7.4	7.4
公転回転トルク T	K_g-m		470.8	505.6	647.9	746.1	743.1
掘 削 馬 力 N	PS		4.93	5.33	6.93	7.73	7.73
掘 進 速 度 D_r	m/hr		0.72	0.93	1.23	1.22	1.49
公転当掘進量 R_r	cm/rev		0.16	0.205	0.267	0.274	0.333
自転数/公転数			3.04	3	2.93	3.04	3.02
自転回転接線力 F	K_g		747	810	1056	1183	1183
公転回転力 F'	K_g		2354	2528	3239	3730	3715
掘削トルク反力 P	K_g-m		4.9	4.9	5.5	5.5	7.1
馬力時間当掘削量	m^3/psh		0.058	0.069	0.07	0.063	0.077
掘 水 量 L	m^3/min		0.985	0.986	0.988	0.948	0.959
掘 砂 量 S	m^3/min		0.0047	0.0061	0.0081	0.0081	0.0098
合 砂 率 i	%		1.27	1.65	2.21	2.27	2.71
掘 削 岩			人工岩 (モルタル)				
摘 要							

4. 考 察

4.1 掘 削 能 率

掘削機の能率を表わす一つの表示法に、馬力時間当りの掘削量 (m^3/psh) がある。これは掘削機の掘削能力 m^3/h をその時に要した動力 PS で割った値である。この値は、当然、被削材の強度により左右されるので、被削材の一軸圧縮強度を、指標に考える。これをグラフで表示したのが、図-4 である。図-4 には過去に得られたデータも記入してある。材料強度は一般にモルタルを使う場合でも、又、岩石を使用しても、かなりバラツキがあり、 m^3/psh の方も多少のバラツキが見られるのが普通で、従つてこの関係を示す図のように或る範囲で示す形になる。図に見られるように、この掘削機のデータは今迄行なってきた実験から見るとやや能率が低くでている。その理由については、別項で考察する。

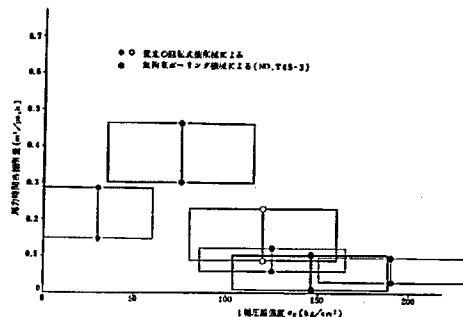


図-4 材料強度と掘削能率

4.2 自 転 と 公 転

掘削機の形式には、カッタ軸数が1軸のものと多軸のものとがあり、従来は1軸式が大半を占めていた。これは多軸式が構造的に複雑となるばかりでなく、カッタの摩耗や掘削効率の面でも多少不利になることが予想されたためと思われる。その反面、数少ないカッタで広い面積が掘削でき、また掘削に必要な推力やトルクが少なくてすむなどの利点も考えられ、特に大口径化した場合これらの点は大きいメリットとなる筈であるから、その採用を検討してみる価値は充分にある。そういう意味でも1軸式と多軸式の対比実験が行なわれるべきであるが、現在までにその比較例がない。1軸式と多軸式の対比の上で問題になる点にビット回転速度の問題がある。一般にビット試験では、機械的性能として、或は推力をビットに与えた時の回転速度、所要掘削トルクの関係および掘進能力を求めており、1軸式の場合はビットの回転速度を計測すれば良いが、多軸式の場合は小さいビット数個が自転しながら全体として公転しているため、2通りの回転速度を持ち従ってトルクも2種類あることになる。従ってどちらの軸を中心に回転速度を考え、又トルクをどうとるか1軸式との対比で決めなければならない。

一般に1軸式の場合にならって、カッタが掘削面を1回切削するのを1回転と考え、公転を以て回転速度と考えれば1軸式の場合の対比がつくと考えられるが、カッタの軌跡を考えるとそれ程単純ではない。図-5、6に示したのはこの実験におけるカッタ軸の自転と公転を合成して作ったカッタの軌跡である。今回の実験では自転/公転の速度比が掘削深度が浅い所で4、深い所で3となった。図-5は前者を、図-6は後者を対象に考えたものである。ここではローラカッタを用いているので、カッタの接地は厳密には図でA-A', B-B'などで示したような線で行なわれている。この接地線がカッタの自転及びビット公転と共に図のような軌跡を画くわけであるが、例えば図-6の場合で、1公転の間に9個のカッタが軌跡をダブリながら動くので多い所では888回の掘削が行なわれる反面、全く掘削が行なわれない、いわゆる切残しの部分が生じている。然も、1軸式では外周部の切削面積の増大に対応するため、外周部にカッタの配置数を増して周辺部の切削回数を増している例が

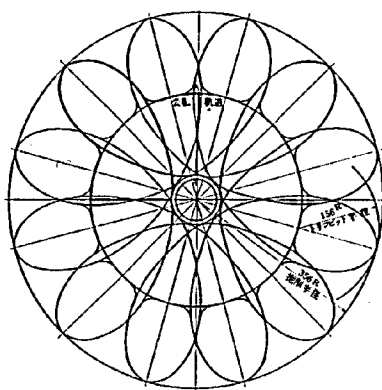


図-5 カッタ外周点の軌跡
(自転速度/公転速度=4)

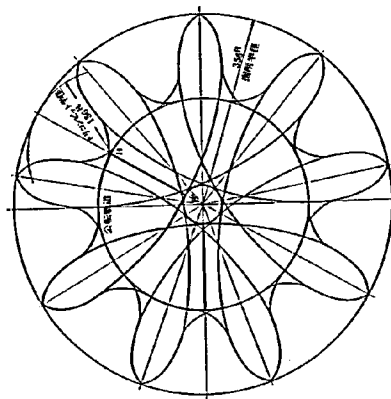


図-6 カッタ外周点の軌跡
(自転速度/公転速度=3)

多いのに、この場合は逆に周辺部が少なく中央部分の切削回数が増している傾向にある。もし公転速度を基準に考えると周辺部の切り残しをなくすために、自転速度を更に大きくする必要があるが、これによって中央部の掘削回数が非常に増えることになる。然し、カッタ自転回転速度を基準に考えると、図-5, 6, のうち太線で示した軌跡が自転1回転の場合のものであるが、完全な掘削が孔面積全体で行なわれていないものとなり更に不合理が生ずる。従ってここでは公転を基準にとり、所要トルクも所要動力から公転回転速度を用いて計算することとした。

遊星歯車装置を用いた一つの理由に、公転、自転の回転速度比が負荷によって自然に決められ得ることが考えられる。即ち自転速度の増大は負荷の減少となり、又公転速度の増大は逆に負荷の増大の要因となると考えられるので負荷が増せば自転速度が大きくなり、公転速度は低下する。然し実験結果では図-7, のように掘削深度によってほぼ2種類の速度比に分かれていて、

任意の速度比をとるということはなかった。この原因は図-5, に示した切り残し部分の影響と考えられる。切り残し部分は、実際には永久に掘削されなくて残るわけではない。これは図-5, 6 のパターンが接地線を以て作られたものであるのに対し実際の接地はカッタの円錐面で行なわれるので、図の切り残し部分も小さい割合で掘削をされているからである。事実底面の掘削跡は、最大で1~2 cmの高低差をもつ図のようなパターンのおうと

つが生じている。(写真-4), 又壁面もカッタで削り残された部分が、カッタ以外の部分で削りとられた形跡も残っている(写真-5), そして一旦或る模様が付けられると、それがカッタの自転公転の回転速度の制約条

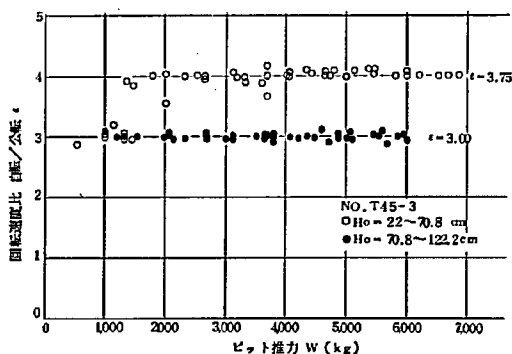


図-7 自転 公転の回転速度比

件となり一定の速度比に落ち着いてしまうと考えられる。従ってこの切屑部分を完全になくするような機構をとらないと速度比が自然に変わるというメリットがなくなると考えられる。

4.3 掘進速度

図-8に単位口径当りビット推力 Wd と掘進速度 Dr の関係を示す。掘進速度は Wd の指数関数で示され

$$Dr = 0.00329 Wd^{1.39} \quad (5)$$

なる回帰方程式が得られた。この値は過去に行なった実験のうち比較的施工条件の類似しているTest No. 44-1の実験データに比べると非常に勝れた値を示している。Test No. 44-1の施工条件は表-5に示す。Test No. 44-1では、 Dr と Wd の関係は一次式で示され

$$Dr = 0.0113 Wd - 0.568 \quad (6)$$

で表わされている。過去の実験結果はすべてこの関係式は一次式であったが、例えば米国 HUGH 社のデータでは(6)式と同じ様なべき指数で表わしている。(6)式に比べ(5)式がかなり良い値を示している理由は(6)式の実験は1軸式のビットで1回転当り1回の切削しか行っていないのに対し、この実験では3個のカッターが自転しながら公転するので少なくとも1公転中面積平均で3.88回のカッティングが行なわれるためと考えられる。同様なことが図-9に示す単位口径当り推力(Wd)1公転当り掘進量(Rr)についても云いうる。

4.4 掘削トルクと所要動力

或るビット推力に対しカッターを回転させるのにどの程度のトルクが必要であるかを求めたのが図-10である。図には過去の類似例Test No. 44-1も記入した。一般的にいわれている単位口径当り推力 Wd (kg/cm)の n 乗に等なり回帰方程式は

掘削深度70.8cm 未満に対し

$$T = 0.0689 Wd^{1.81} + 392 \quad (7)$$

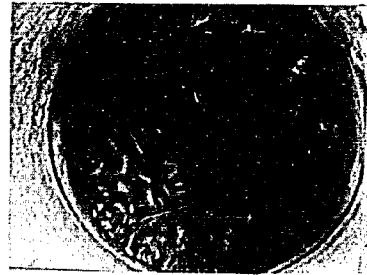


写真-4 孔底

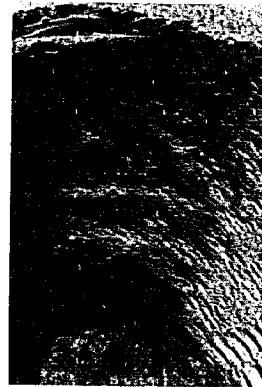


写真-5 孔壁

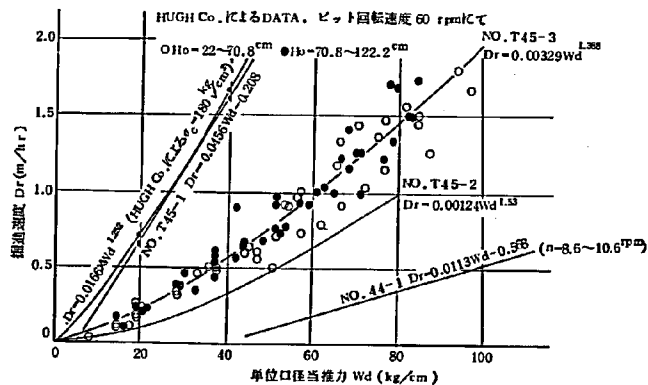


図-8 ビット推力と掘進速度

表-5 試験条件

区画	施工年月	ビット種類	ビット口径	施工機械	試験場所	岩質	試料平均一軸圧縮強度
44-1	44-7	ローラビット (破孔パイロットビット)	750mmφ (840)	ビット試験機	千葉支所 構内実験室	人工岩 (モルタル)	125 kg/cm ²

同じく 70.8cm 以上に対し

$$T = 0.0974 W_d^{1.12} + 490$$

と得られる。

このように掘削深さによって2つの異なる値を得るのは、70.8cm 未満の場合ビットボディが完全に孔中に入りきらないための一種のミソリ運動が生じているため、70.8cm 以上になるとこれが孔中に入って拘束され、落ち着いた切削を行なうようになるためと考えられる。このことは、後で述べる先進ビットのないこともその原因の一つとなっている。

これらの式は図でもわかるように従来の値

$$T = 0.108 W_d^{1.66} + 565$$

(9)

に比べかなり大きい値を示している。掘削能率の低い原因となっている。

この理由としては、

- (1) 計測方法の上から(7)、(8)式は電動機の効率も含められた形であり、これに対し(9)式にはそれが含まれていない。勿論機械の伝導効率上の差異も考えられる。然しこれらだけではそれ程大きい差を生む理由

(8)

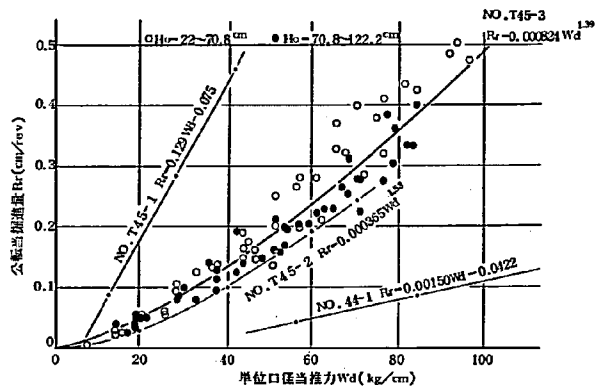


図-9 ビット推力と1公称当掘進量

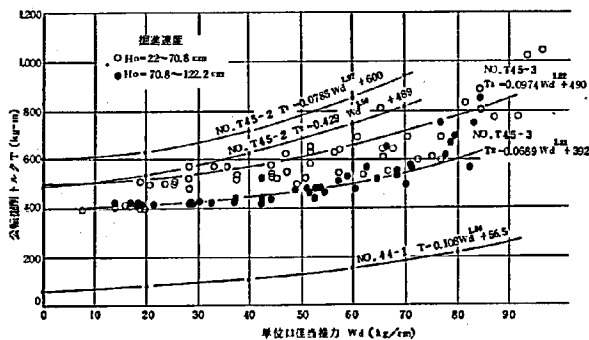


図-10 ビット推力と掘削トルク

を説明できない。

- (2) 自転公転の合成されたカッタのパスは非常に複雑な型をしており、従ってカッタの回転自身がなめらかでなく、多少のすべりが生じていると考えられる。尚こうしたすべりが切削上有効に働くという考え方も成り立つが、 $5 \cdot 1$ 掘進能率の所で述べたように掘削能率 m^3 / psh が低いことから考えて、これがそれ程有効に切削に寄与していないと考えられる。
- (3) どうしても生ずる切残し部分をカッタ以外の部分で削っている傾向が見られ、それに大きい回転力をとられる。

などが考えられる。

尚1公転当りのカッタの切削回数は前述のようにほぼ388となり1軸型のこの程度の口径の掘削機が1~2程度であるのに比べてかなり大きい値をもつ。従って当然トルクもそれにつれて増加するが、この場合掘進量がそれに伴っていないことが低い掘削能率を示す原因となっている。

所要動力は掘削トルクに回転速度を乗じて得られる。この場合公転速度はほぼ一定の値を示しているの、所要動力の傾向は所要トルクのそれとほぼ同じである。図-11に示すように、特に今回はトルクから直接求めることができなかったで、モータ入力からそれを計算で求めており、又公転と自転のトルクの配分の問題もあるので、所要動力で対比することの方が正しいのかもしれないが、一般にトルクで対比することが多いのでその例にならった。

尚ビット推力は最大6800 kgまで与えたが、これ以上の推力を与えた場合は所要動力が急増してモータストブの状態を引き起こした。このような現象は1軸式の場合には見られないことで、試験機的能力限界(20t)まで推力を増しても、(9)式に示す実験式から大幅にずれるという現象は見られていない。1軸式の場合に比べセンタビットを除き9個(1軸式の場合は同じく6個)と口径の割には数多いカッタの数を有しており、従ってカッタ当たり推力が比較的少ない

状態で掘削トルクが急激に増加するという現象を示すことになる。その原因は、色々あるが第1にカッタの切残しにあると考えられる。切残し部分が少し高くなっている状態で推力を増すと山の部分での食い込み量が急激に増すため掘削抵抗が非常に大きくなることが考えられる。第2に前述のカッタのすべりの問題が考えられる。ローラカッタは原則的にはコロガリで接触

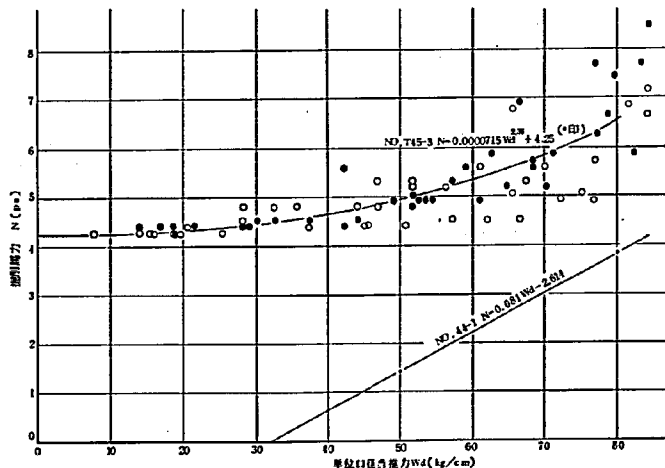


図-11 ビット推力と掘削馬力

を行っており、その時のわずかなねじりなどは掘削に寄与するものと考えられている。然しこの多軸式の場合は、カッタの回転によるコロガリ以外に公転によるすべりが発生していると考えられ、然もそのすべりはカッタの支軸方向にも起る場合があり有効な掘削に寄与する所が少ない。これらのすべりによる抵抗が、有る推力をこした所で急激に増大すると推定される。このほか遊星歯車装置のトルク分岐方式にも多少の疑問点があり、今後の検討課題であろう。

4.5 掘削回転反力

ドリルパイプに加わる掘削回転反力をビット推力との関係でプロットすると図-12のようになり、推力の増加と共にわずかに増大していく傾向を示す。然しその反力の大きさは非常に小さく、例えば掘削トルクの大きさに比べて1/100のオーダーで、無拘束であることが確かめられた。ここに生じた回転反力は主としてスイベル部分のすべり抵抗と考えられ、スイベルを通して推力を与えられるような機構のために発生しており、従って推力の大きさに関係している。

4.6 その他

(1) 揚水量と揚砂量

揚水量と揚砂量の関係を図-13に示す。含砂率を1軸式に比べるとやや少なめに出ている。これは1つには揚水管が先端を3つに分けていることによる合流部のロスの間隔があると考えられる。特に、この間隔は今後の研究課題である。

(2) センタービット

この掘削機構では先進ビットが取付けられない。これはカッタの自転による反力が公転力を生ずるようになっているため、各カッタが掘削を始めないと公転を行わず、従って各カッタより先進して掘削することはできないからである。従って、センタービットはカッタより約90mm上に取付けられている。このために先進ビットを使ったガイドが出来ず、特にビットボディが孔中に入る迄はかなりミソすり運動を行なっているようである。このことは実機の削孔の場合孔曲りの危険性を伴うのでマイナスとなるばかりでなく、中央部分のずり上げが出来ず、また凸起状に切残ったセンタ部分の円柱が大きなブロックに折れる心配があり、カッタその他の破損の原因などを作る恐れがあるなど欠点が多い。

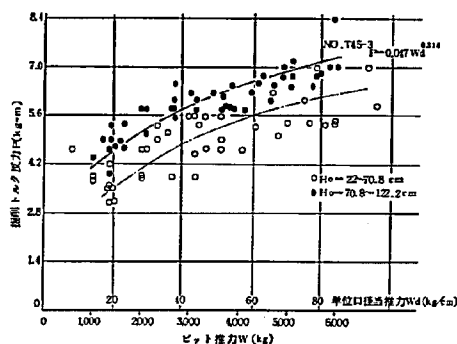


図-12 ドリルパイプに加わる掘削トルク反力

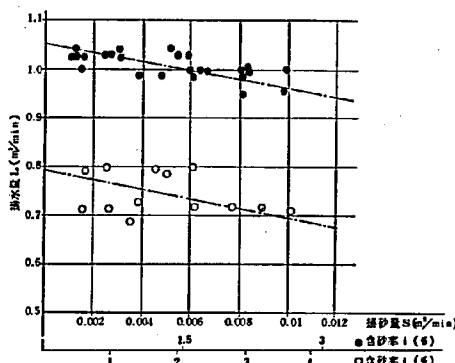


図-13 揚水量と揚砂量

4.7 大口径化への問題

この構構の機械は大口径化する場合に掘削トルク反力がないという特徴のほか、カッタ数が減らせるので推力が少なくてすむというメリットが考えられる。1軸式を大口径化する場合の問題点にドリルパイプで与える推力が非常に大きくなること及び駆動トルクが増大することによるドリルパイプの大口径化が考えられるが、この点が解決されるわけである。然しこの実験の結果大口径化の為には次のような問題点を解決する必要があることが判明した。

(1) カッタの配列

大口径化すると当然各自回転軸にある回転ビットの直径も増大し、現在あるようなトリコーンビット形式のものは間に合わず、カッタが同心円状に何列か配列された形のものが必要になってくる。この場合カッタ数をなるべく少なくすることが望ましいが、それによって切り残し部分が増加する心配があり、その点の検討が必要である。又カッタが不必要なすべりを起しているが大口径化に伴ないその量も増大するので、馬力的なロスやカッタの摩耗などの心配が大きくなる。これらの点はカッタの配列だけでは解決できず、何らかの犠牲を支払う必要がありそうである。従って掘削能率の低い機械となる恐れがある。

(2) 自転・公転

自転公転の速度比が他力本願的に決められる構造であるためカッタ周速を或る値以下におさえるといった設計を予め行なうことは困難で、特に硬い岩になればなる程カッタ速度（自転速度）が早くなるといった心配がある。このことはカッタの摩耗や掘削の安定性に大きい影響を与える。

(3) 先進ビット

先進ビットが取付けられないことによる孔曲りの心配がある。従って大口径化した場合は、予め小口径でボーリングしておいてその孔をガイドにして大口径を掘削することも考えられるが、掘削ずりによる先進孔のつまりの問題に対しても配慮が必要で、結局強い掘削は行なわないがズリ上げができる程度の先進ビットを取付けて先進孔をガイドに使う必要が生じそうである。

5. む す び

この実験では下記の事項が明らかになった。

- (1) このボーリング機械の掘削能率は1軸式のものに比べて低い。
- (2) カッタの配列、自転公転の速度比などから周辺部に切り残し部分が生ずる。
- (3) 掘削所要トルクは1軸式に比べると大きい。これはカッタのすべりも1因と考えられる。
- (4) トリルパイプに加わる掘削トルク反力はスイベルの回転抵抗と考えられるものが出るのみで非常に小さい。
- (5) 先進ビットがないため孔曲りの心配がある。

本機は試作機であり機構的にもまだ不完全と考えられる部分もあって、実用化のためには更に改良と実験が必要と考えられる。然しこの実験に於てその無反力性は立証され、従って無反力を必要とするような特殊な現場に対しては十分な実用性があるものと考えられる。

尙この報告書の図に引用した試験機 μT 45-1, μT 45-2については、別なシリーズで同型の機種のパイロットテストを行なった結果であるが、その概略を附録に載せたので参照されたい。

この実験を行なうに当たり、利根ボーリング株式会社から助力をうけたことを感謝したい。

〔附録〕 NO. T45-1, NO. T45-2 の実験結果の概略

表-7 試験条件と岩石強度一覧表

試験条件		試料	試験法	測定数	最大値	最小値	平均値
No. T45-1		人工岩 (モルタル)	1 軸圧縮強さ	15	140.84	45.31	85.27
施工年月 45・4				15	137.78	57.66	91.72
ビット ウイングビット (トリコンビット) $12\frac{1}{4}B$ 垂直			1 軸引張強さ	14	21.25	12.37	17.50
センタビット $4\frac{6}{8}B$				15	22.62	7.03	15.08
主ギヤー3ドラ イブギヤー増速比 3			ショア硬度	20	9.51	7.90	8.75
掘削口径 712mmφ			ページ衝撃試験	5	2	2	2
施工機械 ビット試験機							
試験場所 構内実験室							
No. T45-2		人工岩 (モルタル)	1 軸圧縮強さ	20	217.48	52.63	129.55
施工年月 45・5				20	222.93	81.53	137.26
ビット ウイングビット (トリコンビット) $12\frac{1}{4}B$ 4°ひねる			1 軸引張強さ	20	108.03	23.41	65.17
センタビット $4\frac{6}{8}B$ 、 $2\frac{7}{8}B$				20	81.53	33.12	58.63
主ギヤー3ドラ イブギヤー増速比 1.76			ショア硬度	10	17.44	12.69	14.30
掘削口径 712mmφ			ページ衝撃試験	10	3	2	2.6
施工機械 ビット試験機							
試験場所 構内実験室							

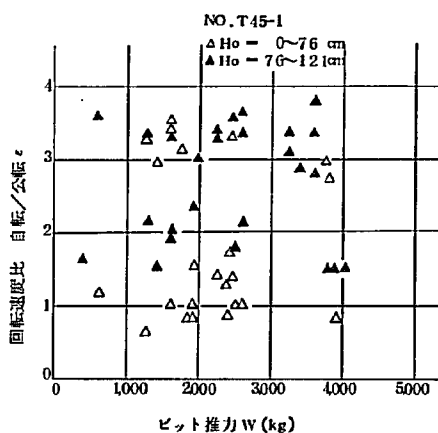


図-14 自転 公転の回転速度比

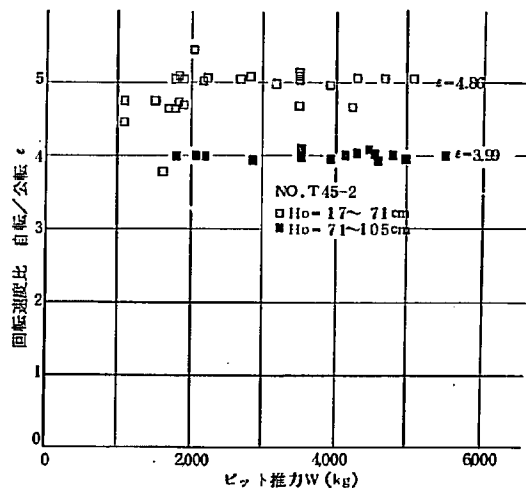


図-15 自転 公転の回転速度比

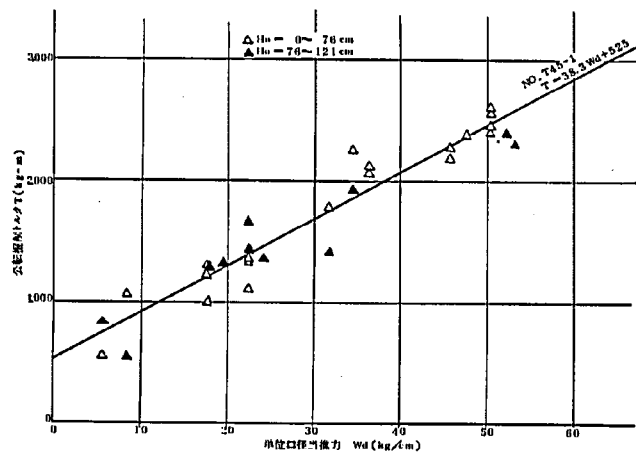


図-16 ビット推力と掘削トルク

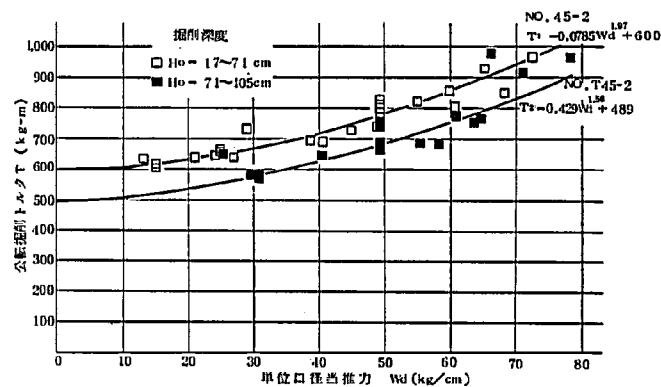


図-17 ビット推力と掘削トルク

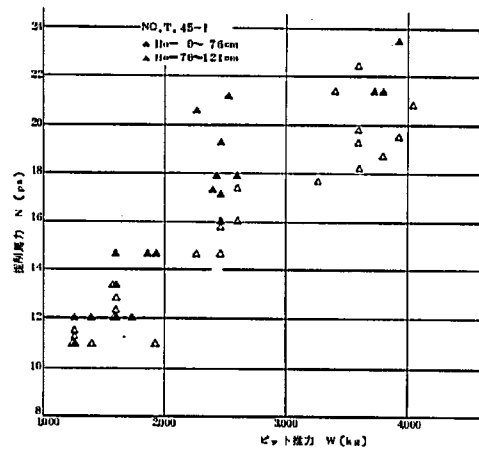


図-18 ビット推力と掘削トルク

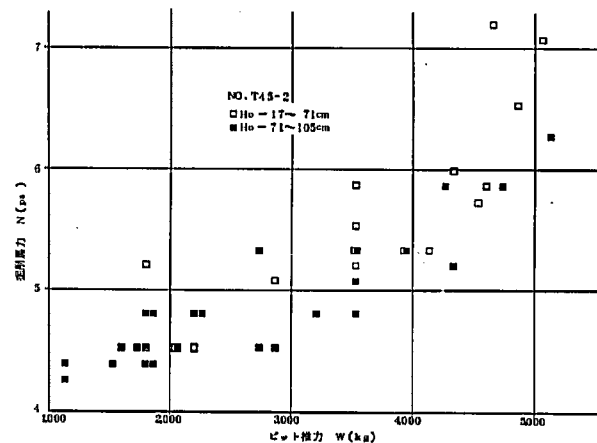


図-19 ビット推力と掘削トルク