

港 灣 技 研 資 料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 166 Sept. 1973

バケット掘削抵抗の模型実験結果

石 塚 浩 次
岩 崎 峯 夫
東 海 林 秀 幸

運輸省港湾技術研究所



港湾技研資料 №0166 正誤表

頁	欄	行	誤	正
7	右	下から8	$W_s = \dots\dots\dots$ $= 20 \frac{\gamma_s \cdot D \cdot B \cdot V}{N}$	$W_s = \dots\dots\dots$ $= 20 \lambda \frac{\gamma_s \cdot D \cdot B \cdot V}{N}$
9	左	上から2	… において 2.5~4.3Kg …	… において 15.0~26.0Kg …
11	左	下から8	… を塑性方式に …	… を塑性方程式に …

バケット掘削抵抗の模型実験

目 次

要 旨	3
1. ま え が き	3
2. 実験装置および実験方法	4
2.1 実験装置	4
2.2 実験方法	4
3. 実験結果	5
3.1 土質変化実験	5
3.2 タンブラ回転数変化実験	8
3.3 掘削深さ変化実験	9
3.4 バケット前進速度変化実験	9
4. 実験結果の考察	10
5. あとがき	13

On the Experimental Study on the Bucket Excavation

Koji ISHIZUKA*

Mineo IWASAKI**

Hideyuki SHOJI*

Synopsis

The practical mechanism of bucket excavation is so complicated that the larger scale model apparatus would be suitable for the experimental study.

So authors presented in this paper the test results and the empirical equation on the bucket excavation with the larger scale model.

In this experiment, 0.015m³ buckets were used and both sides of them were made of parallel plates.

The experiment was carried out under the conditions that,

soil ; two kinds of sand
running velocity ; 1.5 - 6.0 (m/min)
revolution ; 2.5 - 5.0 (r.p.m.)

The physical characteristics of sand were measured with the vane test (M) or the cone penetration test (P).

Then we got the following empirical equation on the horizontal component of excavation force.

$$F_h = C \frac{V^{n_1} D^{n_2} \sqrt{P} \quad \text{or} \quad \sqrt{M}}{A + N^{1.5}}$$

where

C ; constant
A ; constant related to revolution
V ; running velocity (m/min)
N ; revolution (r.p.m.)
D ; excavation depth (cm)

In this experiment two exponents were as follows.

$$n_1 = 1.16$$

$$n_2 = 1.30$$

* Member of Dredger and Construction Equipment Laboratory, Machinery Division

** Senior Research Engineer, Machinery Division

バケット掘削抵抗の模型実験結果

石塚 浩次*
岩崎 峯夫**
東海林 秀幸*

要 旨

バケット船の掘削機構は複雑であり、その掘削抵抗を求めるためにより大型の模型実験装置が望まれていた。

今回は容量 0.015 m³、サイドが平行になった形状のバケットをタンブラに3個取付け実験を行った。

実験用試料砂は2種類用い、実験にあたってはパイプロコンパクタによって締固めている。実験範囲は次の通りである。

タンブラ回転数 (N) : 2.5 ~ 5.0 r.p.m.

バケット前進速度 (V) : 1.5 ~ 6.0 m/min

掘削深さ (D) : 8.0 ~ 33.0 cm

またベントルクは深さ1.0 cm地点で約 5.0 ~ 8.0 Kg/cm コーン貫入抵抗は2.0 cm深さで 2.0 ~ 16.0 Kg/m²である。実験の結果水平掘削抵抗 (F_H)は土質をベントルク (M)、コーン貫入抵抗 (P) によって表わした場合次のようになる。

$$F_H = C \frac{V^{1.15} D^{1.25} \sqrt{P} (or \sqrt{M})}{A + N^{1.5}}$$

ここで、C : 比例定数 (土質をPによって表わした場合 1.421)

N : タンブラ回転数 (r.p.m.)

V : バケット前進速度 (m/min)

D : 掘削深さ (cm)

A : 主に掘削機構による定数

1. ま え が き

ループ状にバケットを連ねたバケット浚渫船の掘削機構は、バケット形状、円弧掘削等のために複雑なものとなる。それ故掘削抵抗力を定めるにあたっては、それ程簡単なものではない。

現在におけるバケット浚渫船の掘削抵抗力の計算式は、次の2つの経験式¹⁾によっている。

$$R_1 = \kappa \cdot \tau \cdot a \cdot 1.7$$

$$R_2 = \kappa \cdot \sigma \cdot A_p = \frac{\kappa \cdot \sigma \cdot Q}{6 \cdot V} \times 10^3$$

ここで R₁、R₂ : 掘削抵抗

τ : 線掘削抵抗 (Kg/cm)

σ : 圧縮強度 (Kg/cm²)

a : バケット刃先の接触長 (cm)

A_p : バケットラインの仮想投影面積 (cm²)

K : バケットと土砂間の摩擦損失による定数

Q : 浚渫土量

V : バケットライン速度 (m/min)

定数 : 1.7

バケット浚渫船の浚渫能率を考えた場合、浚渫対象土質に対する適確な掘削抵抗力を把握することは、浚渫土量の増大と共に重要になるが、上記の二つの経験式においては比例定数の値がまた確立してなく十分な掘削力の計算式とはいえない。しかしながら現段階において円弧掘削の理論的な計算式を導びくことは難かしいものと思われる。したがって現在のバケット浚渫船の掘削抵抗力を求める場合の一つの方法としては、実際の浚渫船の掘削装置に近い大きさの模型実験装置による実験的な求め方があるであろう。

当研究室の大型浚渫実験槽は上記の目的にそって作られた施設で、バケット浚渫船の模型実験の場合バケットの寸法比にして 1/2 (第四港湾建設局所有 ; 第一鎮西丸比)までの大きさのバケットによって実験を行うことができる。

今回の報告はバケットサイドが平行状態になった単純な形状のバケットをタンブラに3個取付け、実験的に掘削抵抗を求めた結果である。

なお本文中においては掘削抵抗力を簡単のために単に掘

* 機材部 作業船研究室

** 機材部 主任研究官

削力と呼ぶ。

2. 実験装置および実験方法

2.1 実験装置

大型実験浚渫実験槽は幅4m、深さ4m、長さ55m(砂槽部分)の大きさのもので、実験用土砂は2mの土厚がある。実験施設の詳しくは港研誌38に述べてあるが、掘削力の測定は水平、垂直方向に取付られたロードセルと回転トルクメータによって行い。またバケットは120°間隔に3個取付けられている。図-1にその様子を示す。掘削力の算出式は図-1を参照して次の式によって計算される。

水平掘削力(F_H)=

$$\frac{3}{4}H - T \cot(\alpha + \theta) - \frac{Mf}{1.30}$$

垂直掘削力(F_V)=

$$0.644 \left\{ 1.0 - \cot(\alpha + \theta) \tan \theta \right\} T - F_H \tan \theta$$

ただしH：水平ロードセルの測定値

T：垂直ロードセルの測定値

Mf：トルクメータの測定値

θ ：ラダー傾斜角

α ：ラダー俯仰用ワイヤとラダーのなす角

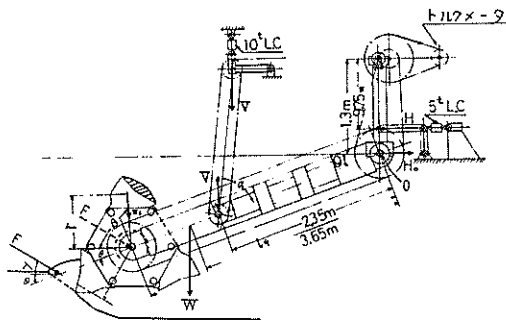


図-1 掘削力検出装置

次にバケット形状は図-2に示すようにバケットサイドが平行になった形状で、刃先部の板厚は9mmの鋼板製である。図-2に示すバケット形状は実際の浚渫船のバケット形状と異なるが、実験の第一段階としてバケットの幅方向の形状変化の影響を無くするために選んだものである。すなわち今回のバケットによれば掘削状態は2次的に取扱えると考えられる。

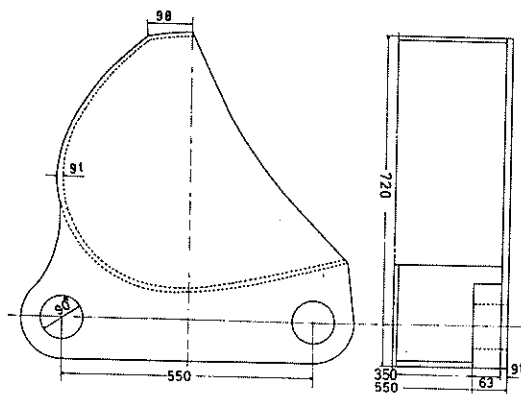


図-2 模型バケット形状

2.2 実験方法

土質を変化させその土質に対する掘削力を求めることが実験の主なる目的で、今回においては一応2種類の砂を用いて実験を行った。また各試料砂についても締固め状態を変化させている。

実験はいったん掘り起して平らな状態に均したものをバイブロコンパクターによって締固め、その締固め回数によって締り具合を変化させ行なっている。バイブロコンパクターの仕様は次の通りである。

振動板の長さ	580mm
振動板の幅	590mm
振動数	約97Hz
縦圧力	6~8ton
総重量	約100Kg

締固め状態は20Kg・cmベーン試験器(ベーン直径20mm、ベーン高さ40mm)と砂質用静的コーン貫入抵抗試験器(コーン最大断面積3.23cm²)によって、実験場所を数箇所測定した。写真-1、2に2つの試験器と測定状況を示す。

実験内容は本装置における掘削力がバケット形状一定の場合、土質(q)の他にタンブラ回転数(N)、バケット前進速度(V)、掘削深さ(D)の関数、すなわち

$$F = f(q, N, V, D)$$

によって表わされることから、各パラメータについての掘削力への影響を調べている。たとえば土質の変化に対する掘削力の関係を調べる場合、他の N 、 V 、 D を一定にして土質のみを変化させ実験をした。

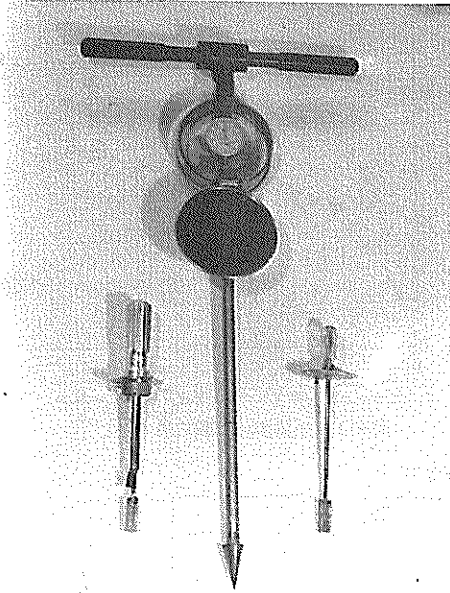


写真-1 ベーン試験器、コーン貫入抵抗試験器

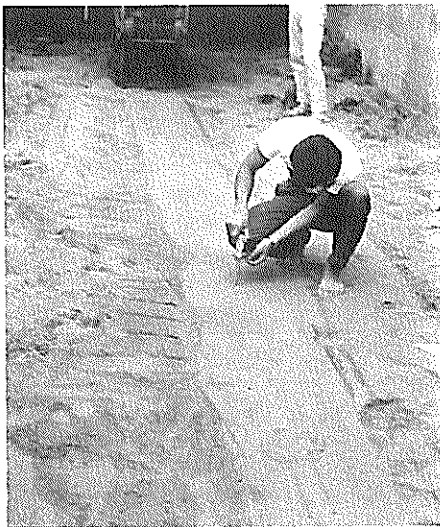


写真-2 ベーン試験器測定状況

3. 実験結果

本装置におけるバケットの掘削軌跡はトロコイド曲線となり、一回の実験によって多いものでは数十回の掘削状態が得られる。そこで実験データの整理にあたっては一実験中における10個以上の掘削記録を読み取り、平均値を取った。なお、今回のデータの解析にあたっては、掘削され持上げられた土砂重量の影響があるが、今回の実験範囲の $\theta = 30^\circ$ 付近では水平掘削力に対しては少ないために無視した。しかしながら垂直力に対しては次の計算式で計算される値の影響がある。(図-1参照)

$$M_0 = (3.65 + r \cos \beta) \cos \theta W_s$$

ここで M_0 : 土砂重量による0点のモーメント

r : タンブラ中心からバケット内の土砂の重心距離

β : 水平線からのバケット土砂の回転角

W_s : 土砂重量

これらの土砂重量の影響の取扱い方については、おのおの実験結果の中で述べる。

次にバケット自重による空転中のトルク変動は、3個のバケットが 120° 間隔に取付けられているために少ない。写真-3に測定記録の一例を示す。

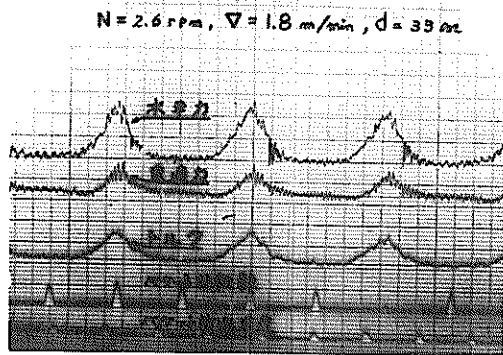


写真-3 測定記録の一例

3.1 土質変化実験

実験用試料砂は千葉県鹿野山の山砂と江の島海岸の海

砂の2種類で粒径加積曲線を図-3に示す。それぞれの50%粒径は山砂の場合0.200mm、海砂は0.138mmである。

この土質変化実験においては上記の2種類の砂についておのおの締固め状態を変えて行ったもので、試料の締め具合をベントルクと、コーン貫入抵抗値によって最大の水平掘削力の関係を表わすと図-4、5のようになる。また他の条件は表-1に示すとおりである。

ベントルクの測定法はベーン先端が試料表面から5cm、10cm、15cmの深さの地点の値を測定し、コーン貫入抵抗はコーン先端が20cmの地点の値を測定している。また測定箇所は2m間隔に数箇所測定した。実験試料の状態はベントルクとコーン貫入値の測定値の一例を表-2に示

表-1 土質変化実験における実験条件

パラメータ	海砂	陸砂
N	2.61 (r.p.m)	3.44 (r.p.m)
V	2.20 (m/min)	3.63 (m/min)
D	18.40 (cm)	21.90 (cm)

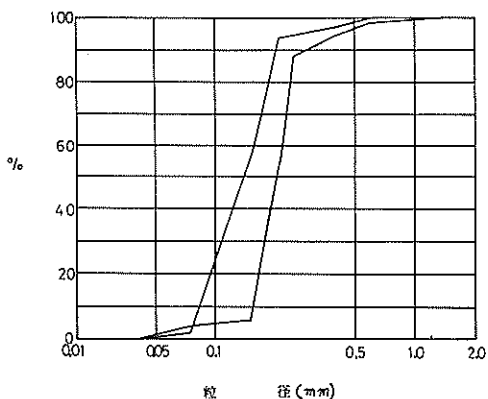


図-3 粒径加積曲線

すように均一な状態であったものと思われる。図-4、5の横軸の値はコーン貫入値の場合は20cmの深さの値の平均値をもって表わしている。しかしベーン試験器における測定値は深さ方向の影響を考え、各測定点の値による深さ方向の直線分布を仮定し、次の式による値とした

$$M = \frac{\int_0^{d_1} M dy}{\int_0^{d_1} dy}$$

ここで M: ベントルク測定値

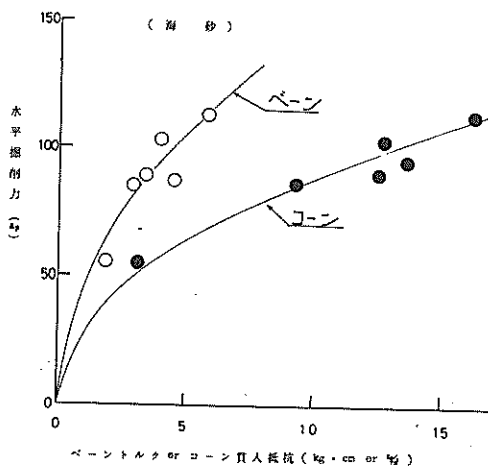


図-4 土質変化実験結果

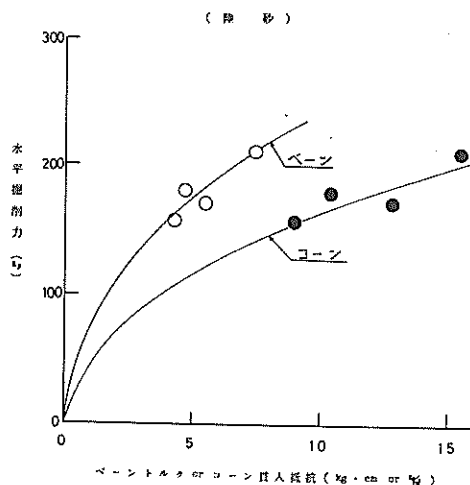


図-5 土質変化実験結果

y: 深さ方向距離

d₁: ベーン試験器の最大測定深さ

この実験結果によれば水平掘削力はベントルク値(M)コーン貫入抵抗値(P)に対して

$$F_H = C_1 \sqrt{M} \text{ or } C_2 \sqrt{P}$$

として表わすことができると考えられる。

図-4、5の実線も上式によって表わした曲線で定数C₁、C₂はおおよそ

表-2 ベントルクとコーン貫入抵抗の測定値

実験 No.	ベントルク測定値			コーン貫入抵抗測定値
	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
No. 1	1.5 Kg·cm	5.5 Kg·cm	7.5 Kg·cm	11.8 Kg/m ²
	1.5	4.5	6.5	12.2
	1.5	5.5	7.5	13.2
	2.0	5.5	6.0	13.0
No. 2	2.0	6.5	9.0	13.9
	2.5	7.5	7.5	14.6
	2.5	6.5	9.0	13.5
	2.0	6.0	7.0	12.5
No. 3	2.0	5.0	5.0	9.3
	2.0	4.5	5.5	9.9
	1.5	4.5	4.5	8.5
	1.5	4.5	5.5	9.1

	海砂	陸砂
C ₁ (コーン)	2 8.8 3	5 1.1 2
C ₂ (ベーン)	4 7.4 0	7 7.8 2

となった。

次にこの最大水平掘削力に対応する垂直掘削力の関係を調べると図-6に示すようになった。おおよそベントルクとコーン貫入抵抗値に比例してマイナス側(方向としては上向の力)に減少している。

しかしこの関係は土砂重量の影響を考慮していないもので、もし最大の水平掘削力に対応する垂直力について土砂重量を考慮すれば、垂直力の算出式は次のようになる。

$$F_V = 0.644 \{ 1.0 - \cot(\alpha + \theta) \tan \theta \}$$

$$T - F_V \tan \theta - \cos \theta W_S$$

すなわち上式は土砂が上端部に来た状態であるが、この状態は次のバケットによる最大の水平掘削力の値に達する地点とおおよそ一致すると思われる。したがって土砂の影響を考慮すれば図-6の値から $\cos \theta \cdot W_S$ だけさらに差し引かなければならない。

土砂重量については測定が難かしいために行なわなかったが、今回の2次元バケットによる掘削土量が次の式で計算できることから

$$Q = \gamma_s \cdot D \cdot B \cdot (V \cdot t)$$

ここで Q : 掘削土砂重量

γ_s : 土砂の単位体積重量

B : バケット幅 (48.3 cm)

バケット1回転中に1個あたりに入る土砂重量は、積込み効率(λ)として

$$W_S = \lambda \frac{Q}{3N} = \lambda \frac{\gamma_s \cdot D \cdot B \cdot V \times 60}{3N}$$

$$= 20 \frac{\gamma_s \cdot D \cdot B \cdot V}{N}$$

ここで N は r.p.m の単位をとる。

によって計算される。

$\gamma_s = 1.5 \text{ g/cm}^3$ 、 $\lambda = 0.7$ とすれば、海砂の実験の場合 $W_S = 15.7 \text{ Kg}$ になる。したがって土砂重量考慮による垂直掘削力はさらに 13.3 Kg 差し引いた値となる。しかし上記の値は積込効率が試料の締め具合に関係なく一定したもので、もし積込効率が変れば当然一定の値とはならない。

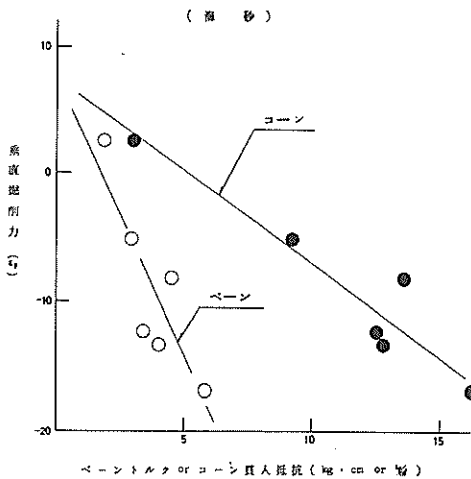


図-6 土質変化実験結果

今回は一応の目安として上記のような土砂重量の計算方法によって行った。

3.2 タンブラ回転数変化実験

タンブラ回転数変化実験は表-3に示す実験条件により、回転数のみを変化させて実験を行っている。表-3におけ

によって押すときの水平掘削力の値が対応すると考えても良い。現実的には単純な状態で対応しないものと考えられるが、いずれにしても回転数零において水平掘削力はある値をもつと考えられる。そこで回転数変化による水平掘削力の関係を次の曲線で近似した。

表-3 回転数変化実験における実験条件

パラメータ	陸砂
V	1.81 m/min
D	23.50 cm
ベントルク	2.67, 7.97, 11.20 kg・cm
コーン貫入抵抗	13.20 kg/cm ²

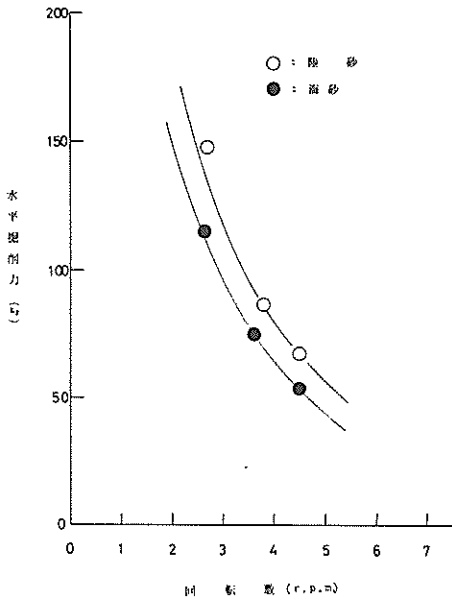


図-7 回転数変化実験結果

るベーン試験値は試料表面からベーン先端の深さが5 cm、10 cm、15 cmの深さの値、コーン貫入試験値は深さ20 cmの値のそれぞれの平均値を示す。図-7にタンブラ回転数に対する最大の水平掘削力の変化を示す。

図-7は実験点数が少ないが海砂、陸砂とも同様な傾向になり、回転数の影響はおよそ双曲線的な関係を持つであろう。

次に回転数零の時の水平掘削力が問題であるが、回転数を変えて掘削することはある長さを何回に分けて掘削するかの問題であり、回転数零の場合はバケット形状の排土板

$$F_H = \frac{1}{a + bN^{1.5}}$$

図-7の曲線は上式によって近似したものである。今回の実験条件におけるaおよびbの定数は、陸砂の場合

$$a = 0.0090432$$

$$b = 0.001448$$

となる。この定数によってN=0のとき値を計算すると、 $F_H = 1,100 \text{ Kg}$ となる。

次に最大水平掘削力に対応する垂直掘削力はタンブラ回転数の変化によって土砂重量が反比例して減少するため一概に述べることはできないが、測定結果を示せば図-8

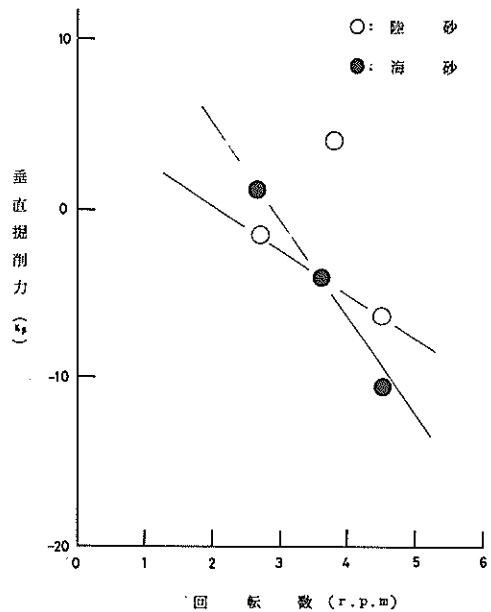


図-8 回転数変化実験結果

のようになる。バケット1個あたりの土砂重量を前項の式によって計算すれば、実験範囲において2.5~4.3 Kgの間にある。

3.3 掘削深さ変化実験

掘削深さのみ変化させる実験は陸砂の場合についてのみ行っている。他の実験条件は表-4に示す。

砂重量を考慮しない場合図-10に示すようになった。図-10の実験結果によれば掘削深さと共に垂直掘削力も増加する。土砂重量を考慮した場合、実験範囲の最小の掘削深さのもので5.5 Kg、最大のもので19.0 Kgを差引く必要がある。

表-4 掘削深さ変化実験における実験条件

パラメータ	陸砂
N	2.60 r.p.m
V	1.80 m/min
ベントルク	2.95、7.58、9.89 Kg·cm
コーン貫入抵抗	13.28 kg/cm ²

表-4におけるベントルク、コーン貫入抵抗の測定値は前項の試験と同様である。

図-9に掘削深さの変化に対する最大の水平掘削力の変化割合を示す。掘削深さが増した場合、掘削土砂がバケット内部に入りきれず前面にたまっていくことがあるが、掘削力も取り残し土砂のために増加する。前項のダンブラー

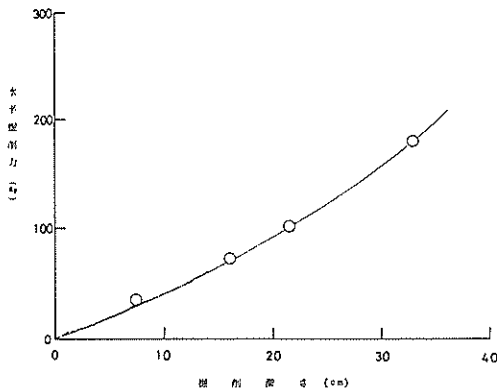


図-9 掘削深さ変化実験結果

回転における一個のバケットの土砂重量の計算によれば、実験範囲における最大の土砂重量は2.8 Kgになり、容量にして0.018 m³となる。バケット容量が0.015 m³であることから24%の土量を取り残される。実験結果の図-9も掘削土量がバケット容量より少ないときはほぼ一次的に増加するが、バケット前面に土砂がたまるようになると指数乗的に水平掘削力は増加する。全体的に考えた場合ほぼ次式によって表わしても良いと考えられる。

$$F_H = C_3 D^n$$

指数nは今回の実験の場合約1.30になった。

次に最大の水平掘削力に対応する垂直掘削力の関係は土

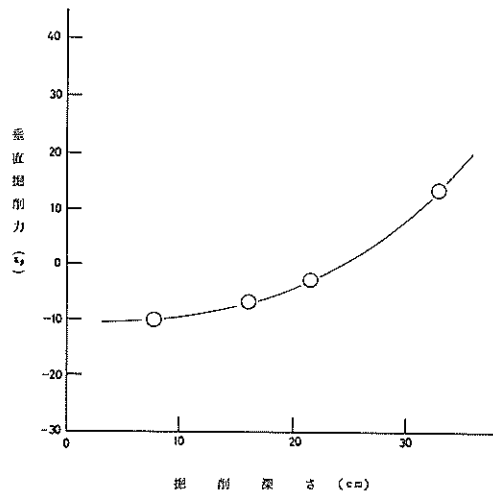


図-10 掘削深さ変化実験結果

3.4 バケット前進速度変化実験

バケット前進速度変化実験は陸砂について、表-5に示す条件のもので行っている。表-5におけるベントルクとコーン貫入抵抗の測定は前項の試験と同様である。バケット前進速度と水平掘削力の実験結果を示せば図-11のようになる。

実験結果によれば水平掘削力はバケット前進速度に対して一次的な関係になるが、前項試験同様バケット前面に土砂がたまり、その影響が速度の増加と共に表われる。最大速度における土砂重量は33.7 Kgで土砂容量は0.0225 m³となり、バケット容量に対して50%増しになる。全体的には次の式によって表わされると考えてもよいだろう。

$$F_H = C_4 V^n$$

今回の実験における指数はn=1.16になった。

表-5 前進速度変化実験における実験条件

パラメータ	陸 砂
N	3.53 r.p.m
D	23.0cm
ベントルク	2.46、7.42、11.32Kg·cm
コーン貫入抵抗	14.13kg/cm ²

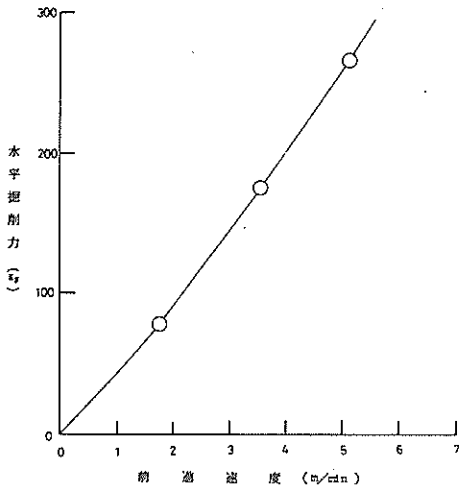


図-11 バケット前進速度変化実験結果

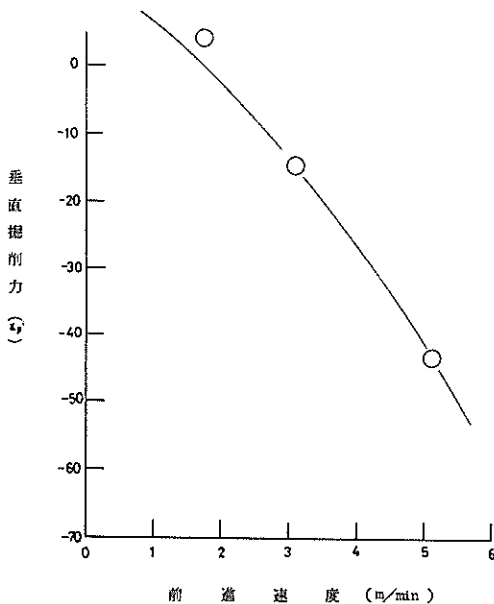


図-12 バケット前進速度変化実験結果

次にバケット前進速度変化実験の最大水平掘削力に対応する垂直掘削力とバケット前進速度の関係は図-12に示すようになった。

バケット前進速度と垂直掘削力の関係は測定点数が少なくはつきりしないが、速度変化に対してはかなりの割合で下方からの力が増加する。さらに土砂重量の影響を考慮すれば、土砂重量は速度に比例して増加するためにより下方からの力が増す傾向が大きくなる。土砂重量の影響は実験範囲において約1.0kg~19.0kgの値となる。

4. 実験結果の考察

今回の実験結果によればバケット掘削における水平力は次のように表わされるだろう。すなわち

$$F_H = C_1 (\text{or } C_2) \cdot C_3 \cdot C_4$$

$$\frac{V^{1.16} D^{1.30} \sqrt{P} (\text{or } \sqrt{M})}{a + b N^{1.50}} = C_5 \frac{V^{1.16} D^{1.30} \sqrt{P} (\text{or } \sqrt{M})}{a + b N^{1.50}} \dots (4.1)$$

$$\text{ただし } C_5 = C_1 (\text{or } C_2) \cdot C_3 \cdot C_4$$

今(4.1)式において $\frac{V}{b} = A$ 、 $b \cdot C_5 = C$ とすれば

$$F_H = C \frac{V^{1.16} D^{1.3} \sqrt{P} (\text{or } \sqrt{M})}{A + N^{1.50}} \dots (4.2)$$

となり、Aはタンブラ回転数変化実験から $A = 0.624$ となる。そこで定数Cを各実験結果を表わした近似曲線値とコーン貫入抵抗の測定値から求めると表-6のようになる。各実験によって多少のばらつきはあるがほぼ一致した値となり、今回の実験における測定値と(4.2)式の妥当性はあるものと思われる。

この水平掘削力の(4.2)式は掘削土量に比例しているともいえ、すなわちタンブラー回転における掘削土量の式が

$$Q = \frac{r_s \cdot B \cdot D (Vt)}{N} \dots (4.3)$$

によって表わされ、tを単位時間を取れば(4.2)式と

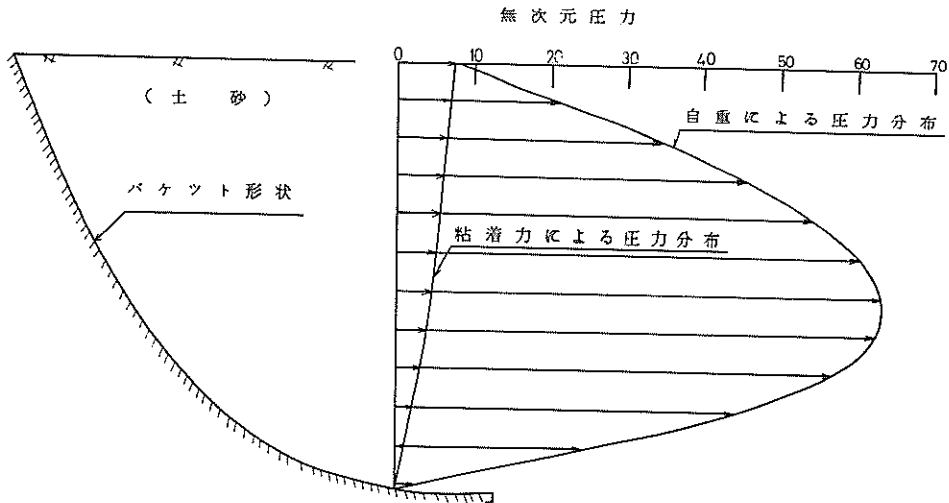
表一 各実験における定数の値

実験種別	C	平均値
海砂土質変化実験	1,477	1,421
陸砂 " "	1,509	
回転数変化実験	1,570	
掘削深さ "	1,241	
前進速度 "	1,309	

(4.3) の違いは指数部のみである。(4.2) 式における指数は今回の実験においてはバケットに入る土砂の積込み効率とバケット掘削部の板厚の影響によるものと考えられる。すなわち D、V の指数は土砂の積込み効率が 1 以下であるためバケット前面に土砂がたまることにより、N の指数は主にバケット刃先の板厚によるものと思われる。

次に $N=0$ の場合は掘削土量が無限大になるが、実際に

りした関係は今後の研究によるが、仮にこの関係が成立つものとするれば、水平掘削力は掘削土量の計算式における N、D、V の指数が、バケット形状、刃先の板厚また土質等によって決ってくると考えられ、バケット個数の変化に対しても今回の掘削軌跡変らない範囲において、個数に反比例するものと考えられる。またバケット幅の影響も今回のバケット形状に対してに一次的になるだろう。



図一 13 バケット前面の圧力分布

はバケット形状の排土板によって押しときの土量となる。したがって水平掘削力も定数項 A を持つ。

このバケット形状の排土板による受動土厚を塑性方式によって、試料の内部摩擦角 40° 、バケット内部の面と試料との摩擦角を 30° として計算すれば図一 13 に示すような圧力分布となる。今回においては試料の基本的な性質について調べてなくはつきりしないが、粘着力を 0.15 Kg/cm $\tau_s = 1.8$ と仮定すれば実験値の $F_H = 1100 \text{ Kg}$ ($N=0$) に近い値となる。

この水平掘削力が掘削土量に比例するかどうかのほっき

次に土質を表わしたベントルクとコーン貫入抵抗については粘性土の場合は自重の影響は無視できるために測定は簡単である。計算式も確立されておりおのおの次の式によって計算される。

$$(a) \text{ ベントルク } (M) = \tau \pi \left(\frac{b^2 h}{2} + \frac{b^3}{6} \right)$$

$$= \frac{7}{6} \tau \pi b^3 \quad (h=2b \text{ の場合})$$

$$(b) \text{ コーン貫入抵抗 } (P) = 5qu$$

ここで τ : セン断強さ
 h : ベーン高さ
 b : ベーン幅
 q_u : 一軸圧縮強度

しかしながら砂質土については自重の影響を考慮して求めなければならない。自重ある土砂の場合ベントルク、コーン貫入抵抗とも一般的に深さ方向へは一次的に比例するだろう。簡単な予備実験においてもこのことは確認された。しかしある深さのベントルクとコーン貫入抵抗値を

ントルクの測定深さはベーン上端が試料表面にある状態の深さ、コーン貫入抵抗の場合は試料表面からコーン先端が1.5 cmの深さである。表-7には測定試料の性質を示す。

ベントルクとコーン貫入抵抗について受動土厚によって一応の関係は得られるが、コーン貫入抵抗の場合は粒径の影響があり図-15における○印は砂における測定値、×印は砂利、鋼球、ガラス球等の粒径の大きい試料の測定値を示している。

垂直掘削力については今回の実験の場合掘削土砂重量を

表-7 ベントルクとコーン貫入抵抗の予備実験における試料

試料名称	θ	γ	δ	備考
豊浦標準砂	38°	1.45	30°	
中砂	40°	1.52	29°	平均0.5mm
砂利	42°	1.57	25°	2~4mm
鋼球	30°	4.45	14°	2mmφ
//	35°	4.76	18°	サビ鋼球
ガラス球	31°	1.53	17°	3mmφ

θ : 安息角

δ : 銅板と試料の摩擦角

γ : 単位体積重量

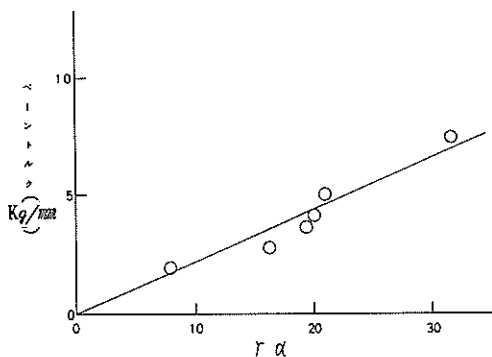


図-14 ベーン試験結果

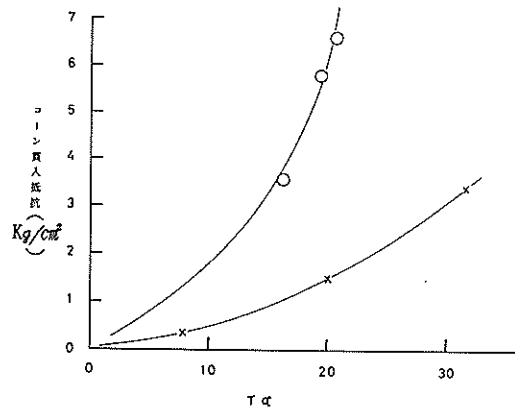


図-15 コーン貫入試験結果

求める計算式は現在においてそれ程確立してない。すなわちある深さのベントルクとコーン貫入抵抗の値が解らなければ今回測定した同じ深さによって測定しなければならないが、簡単な予備実験による自重ある土砂のベントルクとコーン貫入抵抗を測定し受動土厚と対比させると図-14、15のようになる。図-14、15の受動土厚はベーン、コーン共に形状、測定深さが一定であることから単位体積重量と受動土厚係数によって代表させた。なおベ-

測定してなかったためにはっきりしなかったが、仮に掘削土量の計算式によって土量を計算し考慮すれば水平掘削力に対して最大で25%位になり、掘削力としては図-16に示すように下向からの力となる。また土砂重量を考慮しないときのバケット掘削中の掘削力の大きさと方向は図-17に示すようになる。

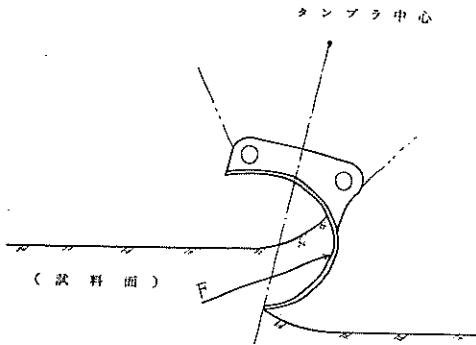


図-16 掘削力の方向変化

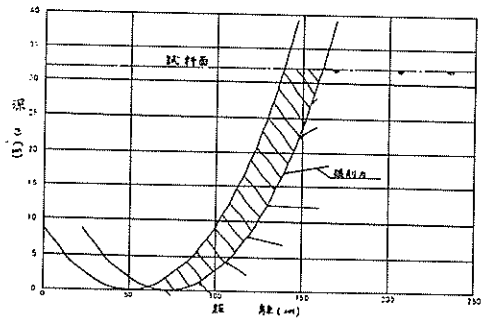


図-17 掘削力の方向変化

5. あとがき

バケット浚渫船の対象土質は一応硬土盤用として用いられるが、バケット船の土質に対する対応性を考えれば何にも硬土盤土質に限ったことではない。すなわち粘性土等もその浚渫対象となる。掘削における対象土質の破壊機構は大別して粒状体、粘性土、硬土盤、岩盤の4種に分けられる。これらの土質の破壊機構は異なることから同一の計算式によって求めること難かしいだろう。今回の実験試料は基本的な性質としては硬土盤に属するものと考えられ、水平掘削力に対する実験式を導くことができた。それらを要約すればバケットサイドの平行の形状によるバケット水平掘削力は

- (1) 土質とのパラメータをベントルク、コーン貫入抵抗値によって表わすことができた。
- (2) バケット前進速度、掘削深さに比例し、タンブラ回転数に反比例する。

垂直掘削力はバケットに入った土砂重量がはつきりしないが、水平掘削力に対して最大のものが25%位の上向の

力になるものと思われる。

以上が今回の実験結果で、実験掘削機構が実船のバケット船とは異なるが、タンブラ回転掘削部とは土厚が異なるだけで同じような掘削機構であるから何らかの参考となるだろう。しかしながら今後より実船の掘削機構に近づけた模倣施設によって研究を続けていかなければならないだろう。最後に炎天下の実験作業を手伝っていただいた学生の伊藤栄夫君と夏季アルバイト学生の白井進、鈴木聡の両君に心から感謝するしだいである。

(1973年6月30日受付)

参考文献

- 1) 運輸省港湾技術研究所“作業船の設計基準(案)”第6編バケット船、1972年、PP:31
- 2) 早乙女保二他“大型浚渫実験装置の設計概要について”港研資料 438
- 3) 土質学会“土質試験法(第2集)”

港 湾 技 研 資 料 No. 166

1 9 7 3 ・ 9

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発 行 所 運輸省港湾技術研究所
 横須賀市長瀬3丁目1番1号

印 刷 所 株式会社 東京プリント

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.