

運輸省港湾技術研究所

=2-2 コレクション

港湾技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT

資料係
文献複写
禁持出

VOL. 10

10

NO. 3

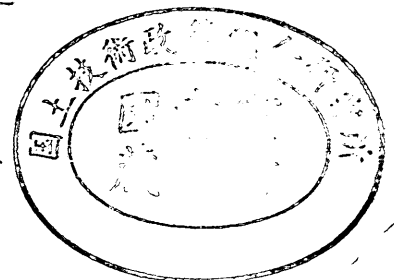
3

SEPT. 1971

MAR.

1971

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告は第7巻第1号より年4回定期的に刊行する。
報告の入手を希望する方は論文番号を明記して港湾技術研究所長に申し込んで下さい。

The Report of the Port and Harbour Research Institute is published quarterly, either in Japanese or in occidental languages. The title and synopsis are given both in Japanese and in occidental languages.

The copies of the Report are distributed to the agencies interested on the basis of mutual exchange of technical publication.

Inquiries relating to the Report should be addressed to the director of the Institute specifying the numbers of papers in concern.



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第10巻 第3号 (Vol. 10, No. 3), 1971年9月 (Sept. 1971)

目 次 (CONTENTS)

1. 来島海峡潮流模型実験 (第1報)
..... 木村久雄・宮原英治・須藤 茂
柴山煒彦・浜田徳一..... 3
(A Model Experiment on a Tidal Current at the Kurushima Strait (1st Report)
..... Hisao KIMURA, Hideharu MIYAHARA, Shigeru SUDO, Akihiko
SHIBAYAMA and Tokuichi HAMADA)
2. クイの負の周面摩擦についての近似計算法..... 沢口正俊..... 67
(Approximate Calculation of Negative Skin Friction of a Pile
..... Masatoshi SAWAGUCHI)
3. 砂質土の現場 CBR と室内 CBR の関係
..... 須田 澁・佐藤勝久・吉田富雄..... 89
(The Relations between Field and Laboratory CBR Values of Sandy Soils
..... Hiroshi SUDA, Katsuhisa SATO and Tomio YOSHIDA)
4. 砂杭を打設した粘性土地盤の挙動
——衣浦港における実験について——..... 木庭宏美・堀江宏保.....135
(Behavior of Cohesive Soil Stratum with Driven Sand Piles
—On the field tests at Port of KINUURA—
..... Hiromi KOBAYASHI and Hiroyasu HORIE)
5. コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察
..... 奥山育英・中井典倫子・久保重美.....159
(Study on Determination of Container Yard Requirements and Container Handling
System..... Yasuhide OKUYAMA, Noriko NAKAI and Shigemitsu KUBO)
6. 浚渫土質と掘削機構に関する研究 (第1報) 岩田尚生.....237
(Study on the Soil to be Dredged and the Mechanism of an Excavation (The first
report) Hisao IWATA)
7. 超音波斜入射が測深精度と反響記録特性に及ぼす影響について
..... 木原純孝・奥出 律.....265
(Study on Echo-Sounder—Effect of Oblique-Incident Ultrasonic wave on Echo-
Sounding precision and Echo-Recording Characteristics—
..... Sumitaka KIHARA and Tadasu OKUDE)

6. 浚渫土質と掘削機構に関する研究 (第1報)

岩田尚生*

要 旨

浚渫グラブの掘削実験記録を解析し、グラブ刃先の軌跡やつかみ量を求める実験式を作成した。この実験式では、掘削係数 c_1 なる値によって土盤の硬軟を表示し、種々の実験条件下における実験記録と計算値を一致させることができた。見かけ単位体積重量が r の砂、砂利等に対する c_1 の値は、小形ベーン試験機で測定したせん断抵抗値 τ の約 $100/r$ 倍になり、乾いた粒状の砂で $c_1=1\sim 2$ 、小粒の砂利で $c_1=2\sim 3$ ほどである。さらに、この実験式は、筆者が浚渫グラブの研究において実験的に求めたグラブの $W_s/W_g \sim L\sqrt{B/2W_g}$ 特性ともよく一致した。ここに W_s =つかみ重量、 W_g =グラブ自重、 L =グラブの開き幅、 B =グラブの刃幅である。また、この実験式を平面刃による水平掘削の場合に適用し、掘削力の計算値が実験値とほぼ一致することを確かめた。

しかしながら、この解析に使用した浚渫グラブの記録は、多種類の土質に対して種々のグラブによって実施されたものであるために記録にばらつきが多く、解析結果に若干の不明確な点が残った。今後、これらの問題に対して、基本的な実験研究を行なって検討する予定である。

* 機材部水中施工機械主任研究官

6. Study on the Soil to be Dredged and the Mechanism of an Excavation (The First Report)

Hisao IWATA*

Synopsis

The experimental formulas to obtain jaw-edge or teeth-top trajectory and soil quantity grabbed up are derived by analyzing the experimental data of the excavation by dredging grab-buckets.

Values calculated by these formulas in which an excavation coefficient c_1 that may represent the soil hardness is involved agree well with experimental results under various test conditions.

The value of c_1 for sand and gravel with the specific weight is approximately equal to $100/\gamma$ times the value of shear-stress measured by small-sized vane tester, so it is about 1 to 2 for dry granular sand, and about 2 to 3 for small even gravel.

This formula fits well even with the grab characteristic of W_s/W_g vs. $L\sqrt{B/2W_g}$ that was the author's study on dredging grab-buckets, in which W_s is weight of soil grabbed, W_g is grab weight, L is opening span, and B is grab width.

Further application of these formulas to the common horizontal excavation by flat blade revealed that calculated excavation forces nearly coincided with their experimental results.

* Senior Research Engineer, Machinery Division

目 次

要 旨	237
1. ま え が き	241
2. 浚渫グラフの実験記録の解析	241
3. グラフの軌跡，つかみ量の計算方法について	244
4. 計算値と実験値の比較	251
5. ロープ張力変化からの掘削係数の判定	257
6. 動力開閉グラフの締付力の計算	258
7. $W_s/W_g \sim L\sqrt{B/2W_g}$ 特性と計算値の比較	258
8. 平板による掘削抵抗値と計算値の比較	259
9. 結論および今後の研究について	261
10. あとがき	262
記 号 表	262
参 考 文 献	263

1. まえがき

浚渫作業区域の土質に対して、作業実施前に適用船種とその作業能率を知ることは、工事計画における浚渫単価や工期の算定に有利であること以外に、浚渫船の計画、設計の面からも要求されている問題である。

浚渫船の作業能率に影響をおよぼす要素としては、浚渫船を構成する各種機械の能力、配置、組合わせの適否や、水中における土砂に対する流体力学的な作用効果の問題等いろいろのものがあるが、中でも掘削装置の適否が作業能率に大きく影響する。すなわち、浚渫の対象となる土質に対して掘削装置が適していないと、掘削が困難であったり、余裕があり過ぎたりして、結局は浚渫船全体を考える場合の能率は低いものになる。

現状では、広範囲に変化する浚渫土質と、種々の要素に支配される浚渫船の作業能率を組合わせて、画一的に表示することは困難である。実際面においては、浚渫土質を標準貫入試験の N 値で表示し、浚渫船の船種毎に過去の実績から割出して得た数値を用いて、浚渫能率の問題が処理されてきた。この方法は、結果的にみても必ずしも妥当なものでなく、工事の実績と一致しないことが多い。現場の実績から得た数値が現場に適用できないということは、結局浚渫土質と掘削の問題の複雑さに起因するもので、今後、解明すべき重要な基本的問題が残されていると考えられよう。

掘削の問題は、浚渫の分野だけでなく、陸上の掘削機械についても、今までに多数の人々によって研究が行なわれてきたが、筆者の知る範囲では、浚渫の実用面に適用できる研究成果が見当らなかった。一方、実用面においては、前述のように、水中で如何なる条件下で掘削が行なわれ、何程の掘削抵抗が作用するかというような基本的事項について解明し、浚渫土質の調査試験方法を早急に確立することが要求されている。上記のような現状に対して、この浚渫土質と掘削機構に関する研究を開始することになった。

筆者は、今までに浚渫グラフの機構、強度、掘削特性等の問題について、主として実用面で要求される事項を実験的に研究してきた。これに関連して、本研究における報告書の第1報として、上記浚渫グラフの実験記録の中で、掘削に関係あるものを解析し、浚渫グラフ以外の掘削機構への適用について検討した。

2. 浚渫グラフの実験記録の解析

浚渫グラフの実験記録を、以下に述べるような手順によって解析を試みた。まずグラフの掘削過程における垂直方向の力の釣合いは、図-1 において、

$$W_g + W_{sz} - T_x = R_v \quad (1)$$

ここに W_g = グラフ自重 (kg)

W_{sz} = グラフの左右シエル上の土砂重量 (kg)

T_x = 開閉ロープ張力 (kg)

R_v = 掘削抵抗の垂直分力 (kg)

掘削抵抗は、左右のシエル刃先に作用するものとし、垂直分力は、片側に $R_v/2$ が作用すると考える。掘削抵抗の水平分力 R_h は、図-2 において、開閉ロープ張力 T_x から上部ロッドピンの部分に作用する力 ab 、下部ロッドピンの部分に作用する力 cd を求め、上下の滑車軸間の距離 L_1 の変化に対し、次のようにして計算する。

$$\left. \begin{aligned} \theta_1 &= \tan^{-1}((L_1 - L_3)/L_7) \\ L_3 &= L_7 / \cos \theta_4 \\ \theta_5 &= \cos^{-1}((L_3^2 + L_4^2 - L_1^2)/(2 \times L_3 \times L_4)) - \theta_4 \\ bc &= ab \tan \theta_5 \\ de &= (T_x - W_g - W_{sz})/2 \\ \theta_6 &= \cos^{-1}((L_3^2 + L_4^2 - L_3^2)/(2 \times L_4 \times L_3)) \\ \theta_7 &= \cos^{-1}((L_3^2 + L_4^2 - L_8^2)/(2 \times L_3 \times L_4)) \\ ad &= ((ab + cd)^2 + bc^2)^{1/2} \\ \theta_8 &= \tan^{-1}((ab + cd)/bc) \\ \theta_9 &= \pi - (\theta_8 + \theta_4 + \theta_6) \\ \theta_{10} &= \pi/2 - \theta_9 \\ \theta_{11} &= \theta_8 + \theta_{10} - \theta_8 \\ ah &= ad \times \sin \theta_{11} / \sin \theta_1 \\ ai &= ah \times \cos(\theta_4 + \theta_6) \\ hj &= ab + ai + de + cd \\ fh &= hj / \sin \theta_{10} \\ \theta_{14} &= \pi - (\theta_1 + \theta_{11}) \\ dh &= ah \times \sin \theta_{14} / \sin \theta_{11} \\ fd &= (dh^2 + fh^2 - 2 \times dh \times fh \times \cos \theta^3)^{1/2} \\ ef &= (fd^2 - de^2)^{1/2} \\ L_2 &= L/2 - (L_5 \times \cos \theta_{10} + L_2) \\ \theta_{20} &= \theta_8 + \theta_{10} + \theta_{15} \\ \alpha &= \pi/2 - \theta_{20} \\ R_v &= de \times 2 \times (-1) \\ R_h &= ef \end{aligned} \right\} (2)$$

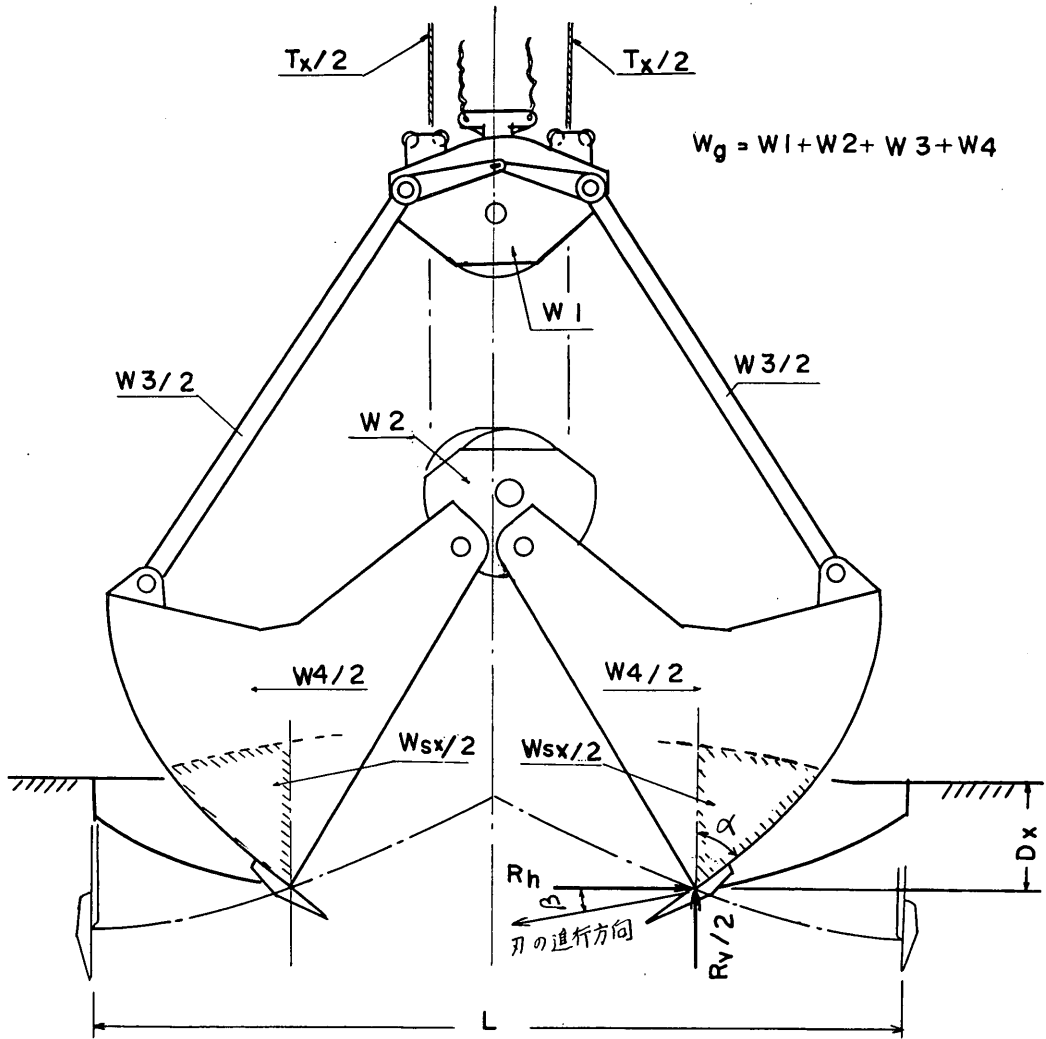


図-1 ロープ開閉グラブの機構

グラブの掘削実験に際しては、開閉ロープ張力 T_x と掘削軌跡の深さ D_x が記録されている。これと式(1)、式(2)の関係から、すくい角 α 、刃の進行角 β 、および深さ D_x の変化に対し、そのときの水平分力 R_h 、垂直分力 R_v が計算できる。多数の実験記録について上記の計算を行ない、整理した結果、次のような実験式が得られた。

(1) 供試材料が砂、砂利、砂質土の場合の実験式

$$\left. \begin{aligned} R_h &= c_1 c_3 \gamma B D_x^2 / 100 c_4 (1 + c_3 \tan \alpha) \\ R_v &= 2 c_1 c_3 \gamma B D_x^2 (1 + c_3 \tan \alpha) (c_2 + \tan \beta) / 1000 \\ \therefore \frac{R_h}{R_v} &= \frac{5}{c_4 (c_2 + \tan \beta) (1 + c_3 \tan \alpha)^2} \\ \tan \beta &= \frac{1000 R_v}{2 c_1 c_3 \gamma B D_x^2 (1 + c_3 \tan \alpha)} - c_2 \end{aligned} \right\} (3)$$

(2) 供試材料が粘土、粘性土、土盤の場合の実験式

$$\left. \begin{aligned} R_h &= 5 c_1 c_3 \gamma B D_x / 100 c_4 (1 + c_3 \tan \alpha) \\ R_v &= c_1 c_3 \gamma B D_x (1 + c_3 \tan \alpha) (c_2 + \tan \beta) / 100 \\ \therefore \frac{R_h}{R_v} &= \frac{5}{c_4 (c_2 + \tan \beta) (1 + c_3 \tan \alpha)^2} \\ \tan \beta &= \frac{100 R_v}{c_1 c_3 \gamma B D_x (1 + c_3 \tan \alpha)} - c_2 \end{aligned} \right\} (4)$$

ここに γ = 土砂の見かけ単位体積重量 (t/m³)

B = グラブの刃幅 (cm)

α = グラブ刃のすくい角

β = グラブ刃先の進行角

c_1 = 土盤の強度に関係する係数

c_2 = 主として土盤の粘着力に関係すると考えられる係数

c_3 = グラブ刃の形状とすくい角に関係する係数

c_4 = シェル内部での土盤の盛り現象に関係すると考えられる係数

c_5 = グラブ爪の効果に関係する係数

上記の実験式は、一般的に掘削力が砂質土に対して D_x^2 、粘性土に対して D_x に比例するといわれている考え方を、そのまま基本要素として導入し、これとすくい角 α 、進行角 β に対して、単位体積重量 γ 、刃幅 B 、係数 $c_1 \sim c_5$ との関係を図次に電算機により計算して求めたものである。

この解析結果から得た係数 $c_1 \sim c_5$ の値を表-1 に示した。係数 c_1 は土盤の強度に関係するもので、乾いた粒状砂で $c_1 = 1.0 \sim 2.0$ の範囲にあり、硬い土盤ほど大きい値になる。係数 c_2 は土盤の粘着力に関係すると考えられるもので、砂、砂利等の粒状物質に対して $c_2 = 0 \sim 0.3$ 、粘土に対して $c_2 = 0.5 \sim 1.0$ の範囲になる。係数 c_3

はすくい角に関係し、個々の実験記録毎に値が異なり、 $c_3 = 0.5 \sim 1.5$ の範囲であった。これはすくい角のほかにグラブ刃の刃先形状にも影響されているためと考えられる。実計算においては常に $c_3 = 1.0$ として計算しても、結果に対して大きな差は生じない。係数 c_4 はゆるい状態の粒状砂、砂利、軟質粘土を掘削する場合の補正係数で、締った砂質土、硬い粘性土、土盤等に対しては $c_4 = 1.0$ である。粒状砂、砂利、軟質粘土の掘削においては、シェル内部の土砂が左右のシェルに締付けられて盛上る現象が著しい。この盛り現象によって、式(3)と式(4)の水平分力 R_h を求める実験式に含まれるグラブ刃の形状とすくい角に関係する $(1 + c_3 \tan \alpha)$ の項が無視できるようになり、代わって土砂の盛上りに要するシェルの締付力を考えて、 $c_4 = 3 / (1 + c_3 \tan \alpha)$ とおいた。この係数 c_4 の値は取り扱い上の疑問点もあり、今後詳細に検討する予定であるが、本報告では一応上記のような考え方によって処理した。すなわち式(3)と式(4)の水平分力 R_h を求めるに際して、著しい盛り現象に対し、 $(1 + c_3 \tan \alpha)$ の項を相殺できるような c_4 の値を選び、計算値を実験記録と一致させた。係数 c_5 の値は、爪の掘削効果に対して与えたもので、硬い土盤等の掘削までを考慮して、 $c_5 = 0.2 \sim 1.0$ としたが、粒状砂、砂利、軟質粘土等に対しては $c_5 = 1.0$ である。

上記の式(3)と式(4)の関係は、多数のグラブの実験記録から得た平均値的な数式によって構成している。したがって、実験記録に対して個々に計算値を対比させると、相当かけ離れた関係になることもあるが、全体的な傾向からみて、ほぼ満足な結果が得られる。次に上記の実験式から逆に掘削軌跡やつかみ量を求める方法を説明し、計算値と実験値を比較してみることにする。

表-1 実験式の係数の値

土質 係数	砂質土 (式(3)によって計算する)		粘性土 (式(4)によって計算する)	
	粒状の砂、砂利	締った砂質土	軟質の粘土	粘土、硬土盤
c_1	5未満	5以上	5未満	5以上
c_2	0~0.3	0~0.3	0.5~1.0	0.5~1.0
c_3	0.5~1.5	0.5~1.5	0.5~1.5	0.5~1.5
c_4	$3 / (1 + c_3 \tan \alpha)$	1.0	$3 / (1 + c_3 \tan \alpha)$	1.0
c_5	1.0	0.2~1.0	1.0	0.2~1.0

(注) 係数 c_1 の値を5未満と5以上で分類したのは、土砂の一般的な分類法に関係なく実験グラブの掘削状態から判断して分けたものである。

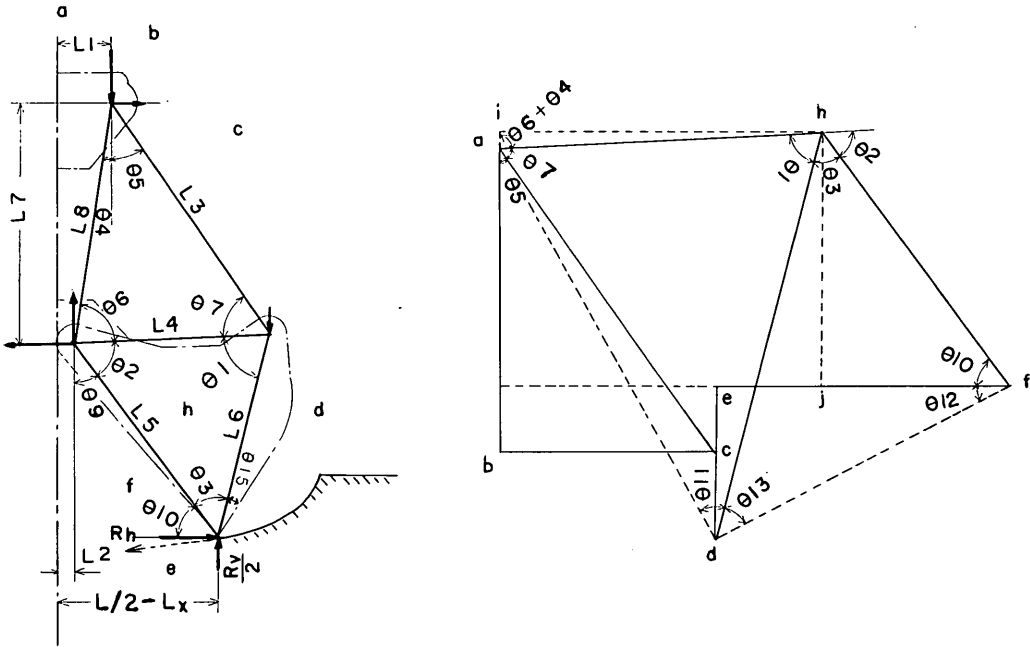


図-2 ロープ開閉グラブの力線図

3. グラブの軌跡・つかみ量の計算方法について

式(3)と式(4)に示した実験式による軌跡とつかみ量の計算方法と計算値の傾向について、動力開閉グラブの場合から説明する。

図-3 において、グラブの全開状態のときに $L_x=0$,

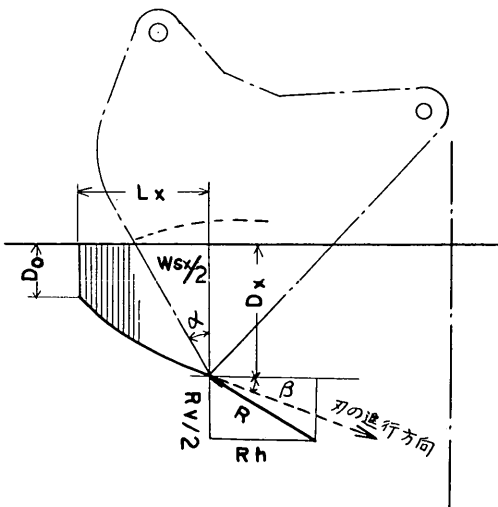


図-3 掘削軌跡の計算説明図

全開状態のときに $L_x=L/2$ とし、この間で式(3)と式(4)の4行目の関係を用いて、深さ D_x と土砂重量 W_{sw} の変化に対して $\tan \beta$ を順次に求めて掘削軌跡を計算する。ここで、 $R_0=W_0+W_{sw}$ とおき、 W_{sw} の値はグラブ刃先の軌跡によって囲まれた面積に、グラブ刃幅 B と土砂の見かけ単位体積重量 γ を乗じた値を用いる。最終的に得られる実際のつかみ量 W_s は、このようにして行なう計算値よりも少なくなるが(文献3)、グラブ刃が閉じ終るまでの計算過程ではその減少分を無視して考えることにする。次にこの計算では、掘削深さの初期値を何程にとるかが問題である。試みに深さ D_0 だけを種々変えて計算してみると、図-4に示すごとき軌跡とつかみ量 W_s が得られる。図から深さ D_0 の変化に対して、つかみ量 W_s の増減は比較的少なく、また軌跡の形状から判断して、深さ D_0 が適当な値であったかどうかは経験的に判る。ゆえに深さ D_0 は、別の計算式等を作成して厳密に規定するような必要はなく、もし軌跡の形状が不適当であったときに補正する程度でよいと思われる。ただし、これは軟質土砂の場合であって、硬土盤や転石層の掘削では初期深さ D_0 の影響が大きくなる。

グラブ自重 W_0 の増減に対しては、軌跡とつかみ量 W_s の値が図-5のような傾向で変化し、グラブの開き幅

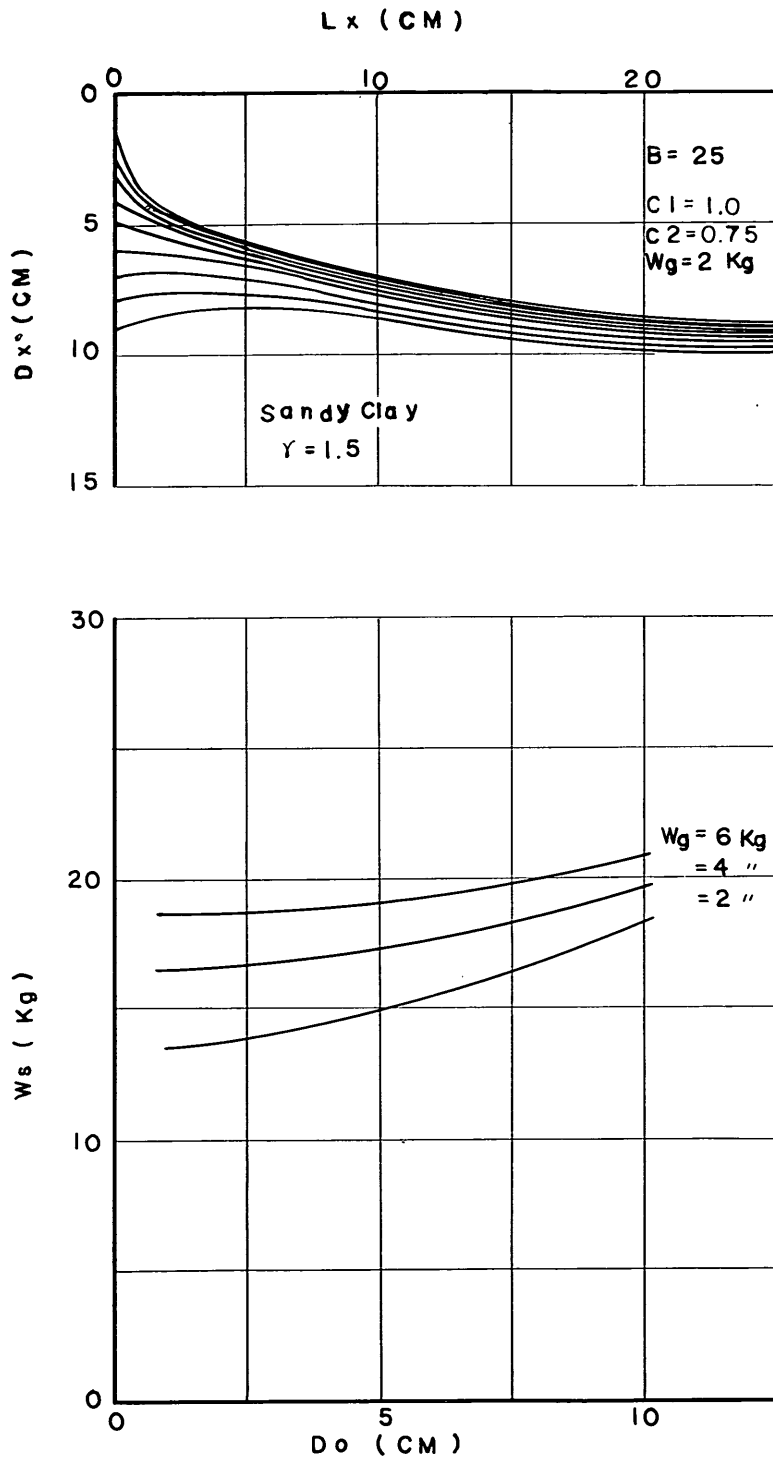


図-4 初期掘削深さの相違による軌跡とつかみ量の変化 (動力開閉グラフ)

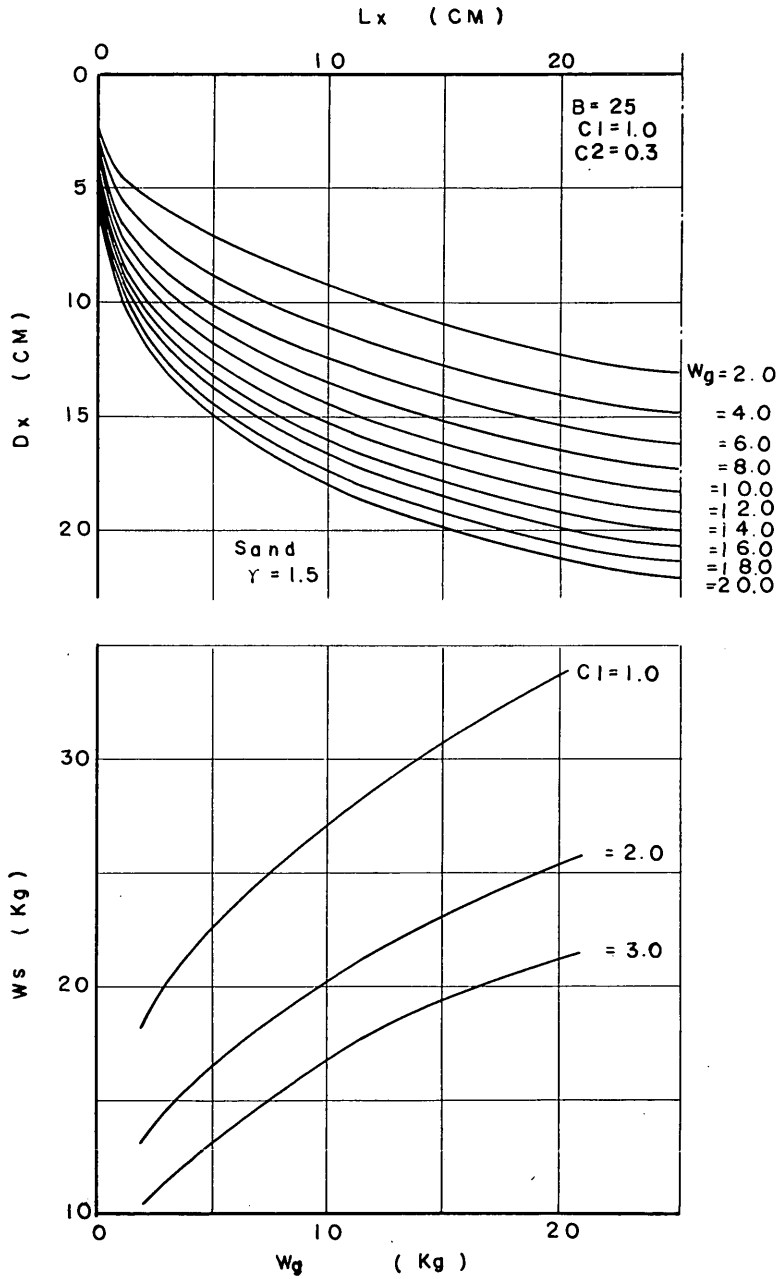


図-5 グラブ自重 W_g の相違による軌跡とつかみ量の変化 (動力開閉グラブ)

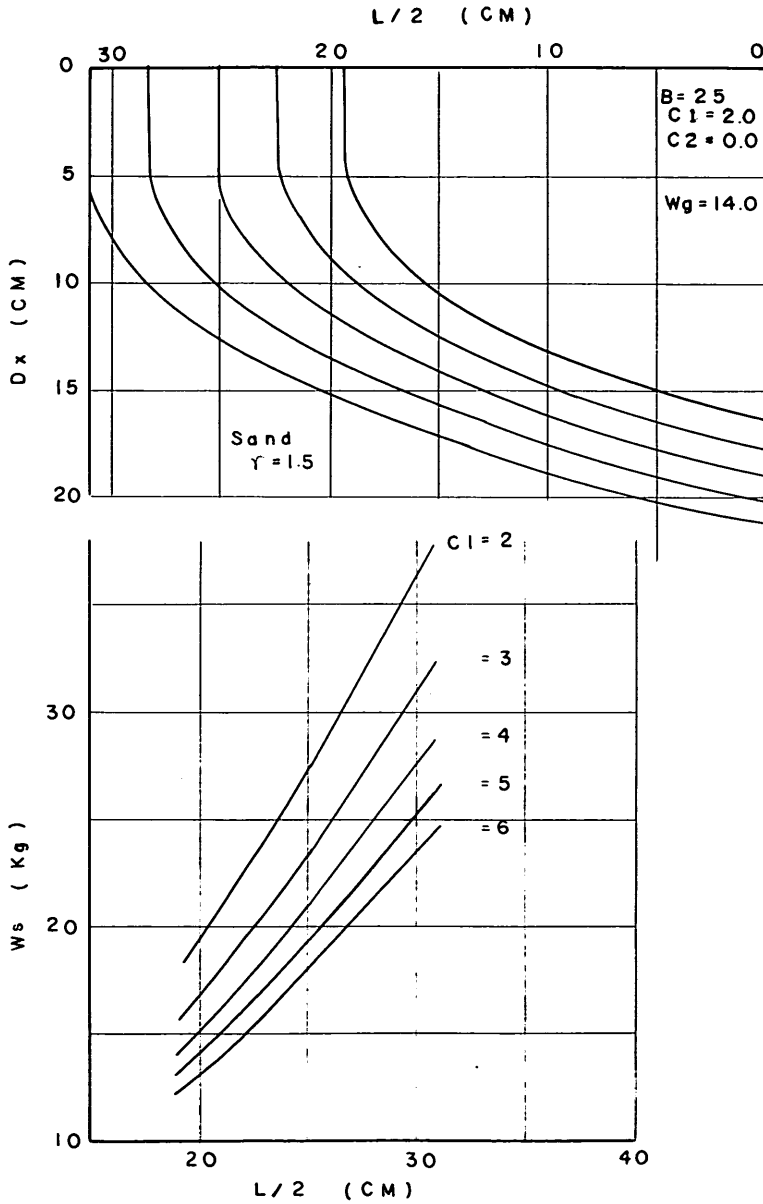


図-6 開き幅 L の相違による軌跡とつかみ量の変化 (動力開閉グラフ)

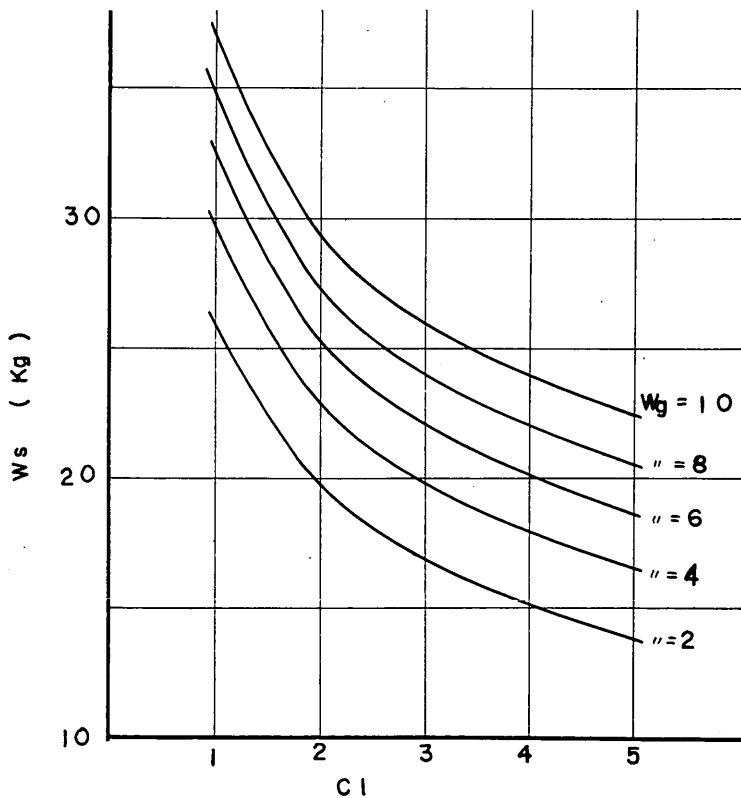
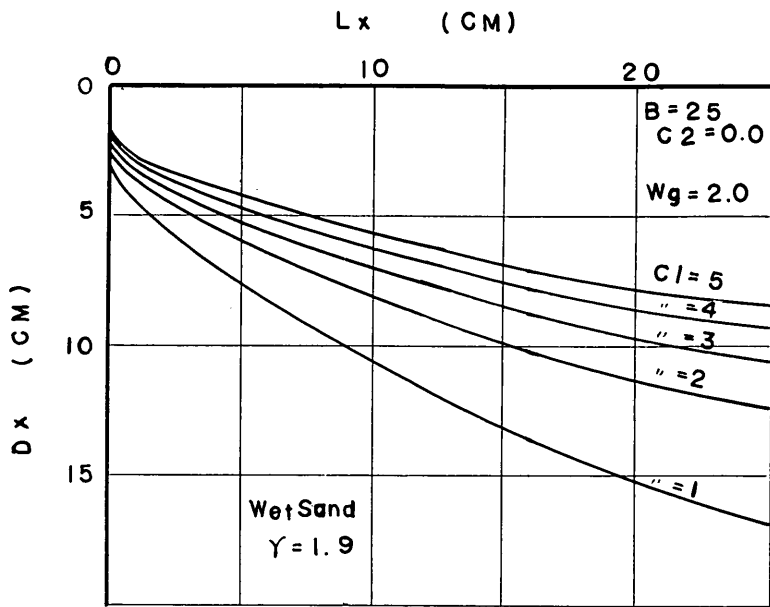


図-7 グラフの掘削係数 c_1 の相違による軌跡とつかみ量の変化 (動力開閉グラフ)

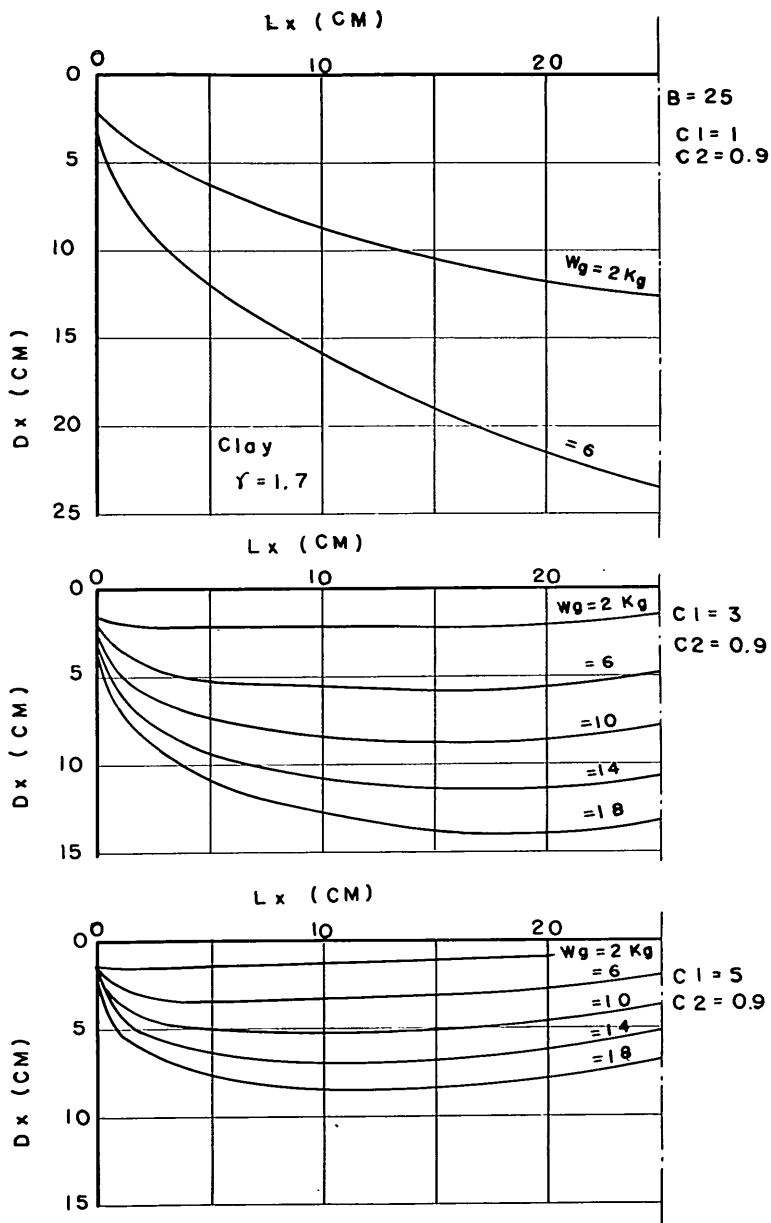


図-8 粘土の掘削軌跡計算例 (動力開閉グラフ)

の大小に対しては、**図-6**のような傾向になる。また掘削係数 c_1 が変化するときの計算例を**図-7**に示す。これらの軌跡やつかみ量 W_s の計算値は、何れも実用面における一般的な傾向をよく表わしている。

図-8は、式(4)の關係を用いた計算例である。粘土の場合の軌跡の形は、上記の砂、砂利の場合とはかなりの相違が認められる。**図-9**は、今までに説明した空気中での掘削に対し、水中で掘削する場合にはどうなるかを計算によって比較したものである。水中の場合は、単位体積重量 γ と土砂重量 W_{sz} を水中重量によって計算する。計算結果から、空気中と水中における土砂の重量差に相当するほどのつかみ量の差はないことが判かる。

動力開閉グラフは、上記のように簡単に軌跡やつかみ量の計算が行なえるが、ロープ開閉グラフの場合は、式(3)または式(4)のほか、式(1)と式(2)の關係も用いて、掘削過程のロープ張力 T_x の変化に対して計算を行なう。土盤の掘削係数 c_1 が判っている場合の計算方法を具体的に説明すると、まず式(2)において、ロープ張力 T_x を少しずつ増していくとき、**図-2**の力線図に現われる水平分力 ef が式(3)、または式(4)で表わされる水平分力の計算値 R_h を超えたときに、グラフ刃は

閉じる運動を行なうと考える。したがって、全開の状態から全閉状態に至るまでの間を分割し、該分割点においてロープ張力 T_x を少しずつ増していくという二重の繰り返し計算を実施することになる。その計算結果の一例を**図-10**に示す。この計算では、 $c_1=3/(1+\tan\alpha)$ とおき、 $c_3=1.0$ 、 $c_5=1.0$ とした。

図-10に点線で示してあるのは、上記の計算方法が煩雑であるために、別の簡易計算法によって求めた結果で

表-2 式(5)の z の値

掘削係数	$c_1=1.0$	$c_1=2.0$	$c_1=3.0$
ロープ巻かけ数			
$n=1$	0.45	0.38	0.33
$n=2$	0.35	0.29	0.23
$n=3$	0.29	0.23	0.18
$n=4$	0.24	0.19	0.15
$n=5$	0.21	0.16	0.12

(注) $c_1=1.0$ の土砂を基準にとり、同じグラフで掘削するときの値である。

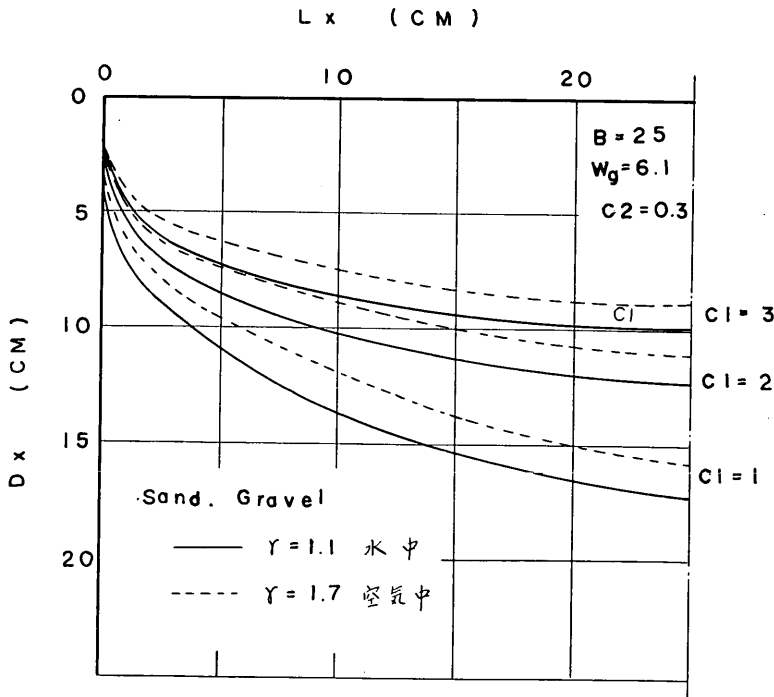


図-9 水中と空気中における掘削軌跡の相違の計算例 (動力開閉グラフ)

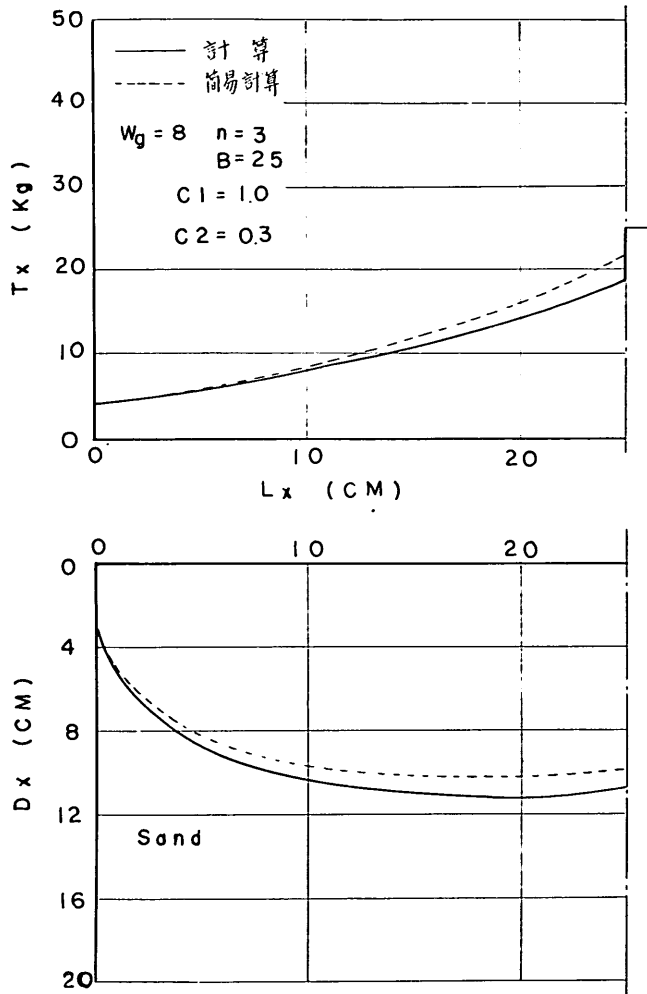


図-10 ロープ開閉グラフ計算例

ある。この簡易計算法は、式(1)において、

$$W_g + W_{sz} - T_z = \text{一定}$$

としたもので、次のような形の式になる。

$$\left. \begin{aligned} R_v &= (1-z)W_g \\ \tan \beta &= \frac{1000R_v}{2c_1 \gamma B D z^2 (1 + \tan \alpha)} - c_2 \end{aligned} \right\} (5)$$

上式の z の値は、表-2 に示す定数である。実際には掘削過程の全部に亘って、上式の関係が満足されるものではないが、筆算でも試算できるほどに簡単な点に特徴がある。

4. 計算値と実験値の比較

動力開閉グラフについて、計算値と実験値を比較した

ものを図-11 から図-14 に示す。供試材料の鑄物砂に対し、掘削係数 $c_1=1.0$ とおいて計算した。計算値は、掘削過程の初期におけるくい込みが、実験値よりも過大となっているが、全体的にみてはほぼ満足な結果が得られていると考えることができる。

図-15 から図-17 までは、ロープ開閉グラフについて計算値と実験値を比較したものである。この計算は、式(1)から式(4)までの関係を用いて行なったもので、砂、砂利に対しては、係数 $c_3=1.0$, $c_4=3/(1+c_3 \tan \alpha)$, $c_5=1.0$ とおき、粘土に対しては、 $c_3=1.0$, $c_4=1.0$, $c_5=1.0$ とおいて計算した。計算結果は、実験値の傾向とよく一致しており、この実験式による計算方法が、実用計算式として十分期待できることを示している。

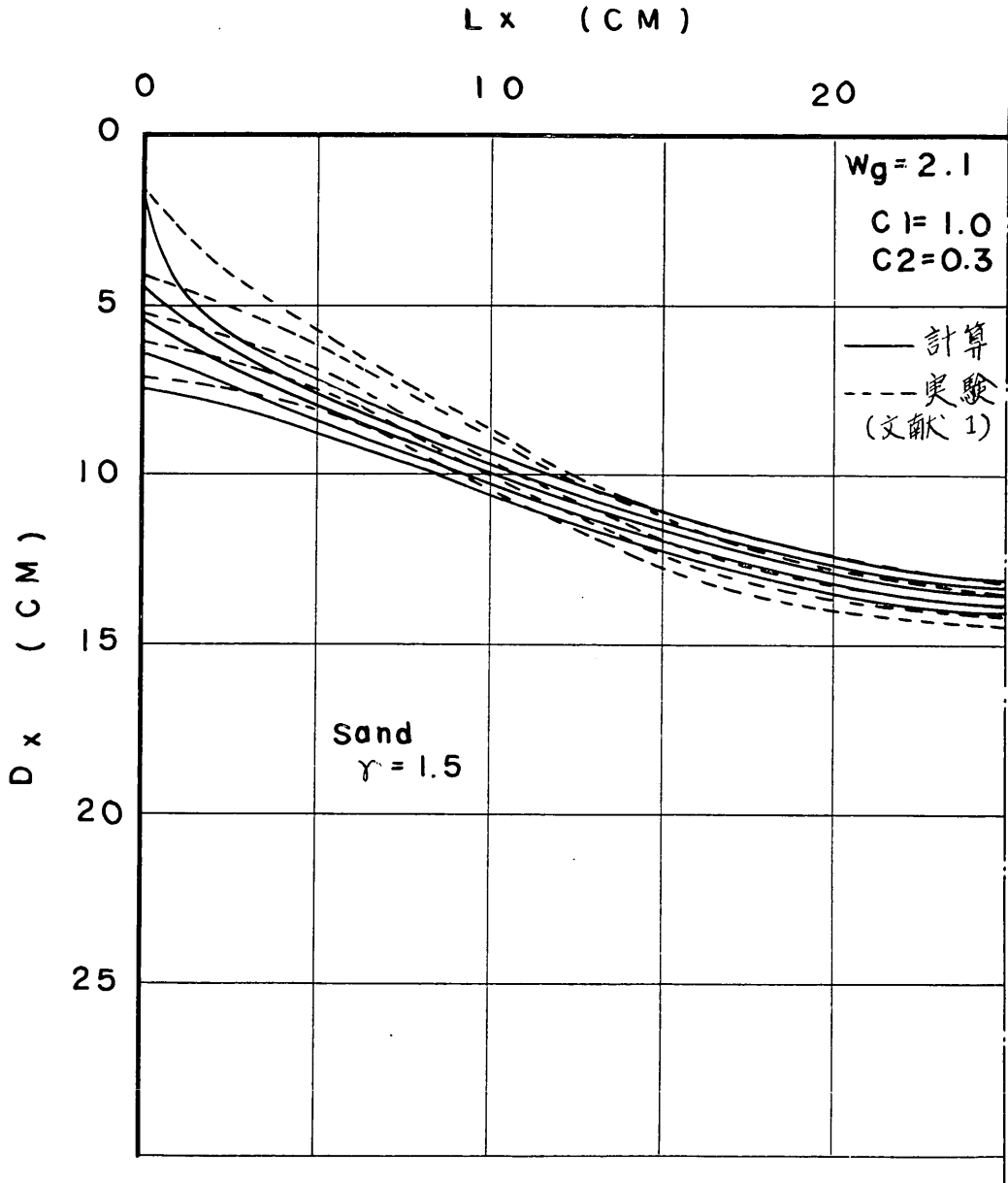


図-11 初期深さ D_0 を変化させるときの軌跡の計算値と実験値の比較 (動力開閉グラフ)

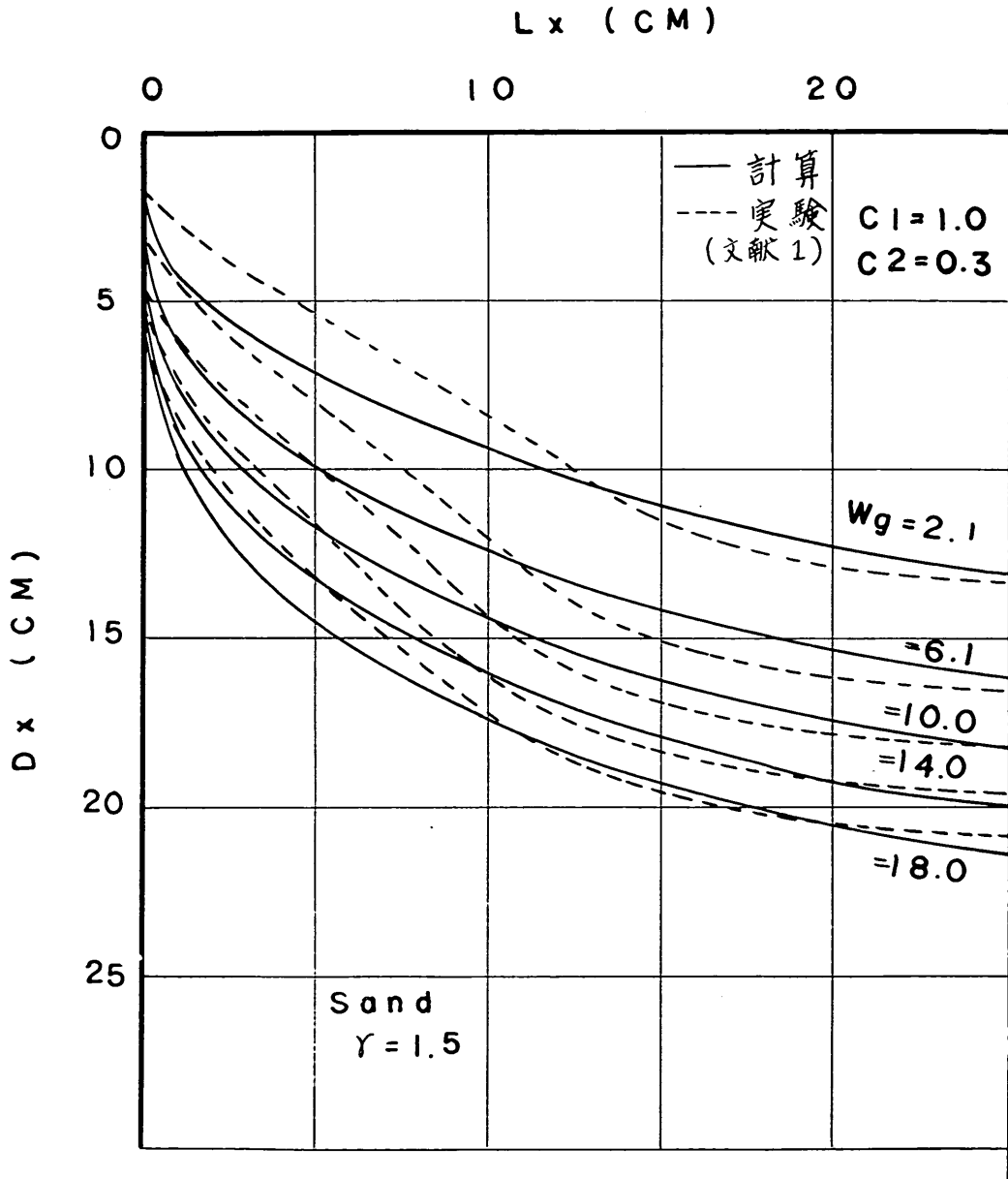


図-12 グラブ自重を変化させるときの軌跡の計算値と実験値の比較 (動力開閉グラブ)

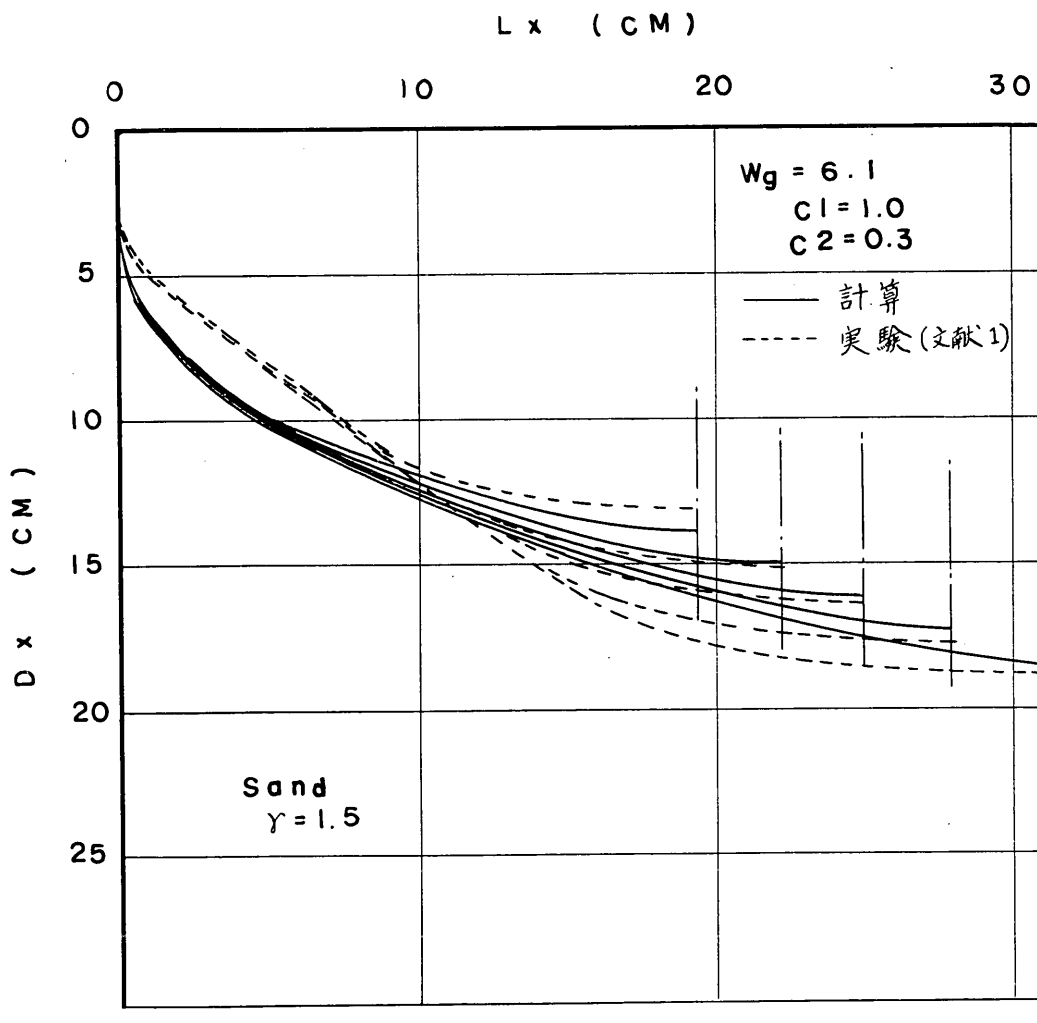


図-13 開き幅 L を変化させるときの軌跡の計算値と実験値の比較 (動力開閉グラフ)

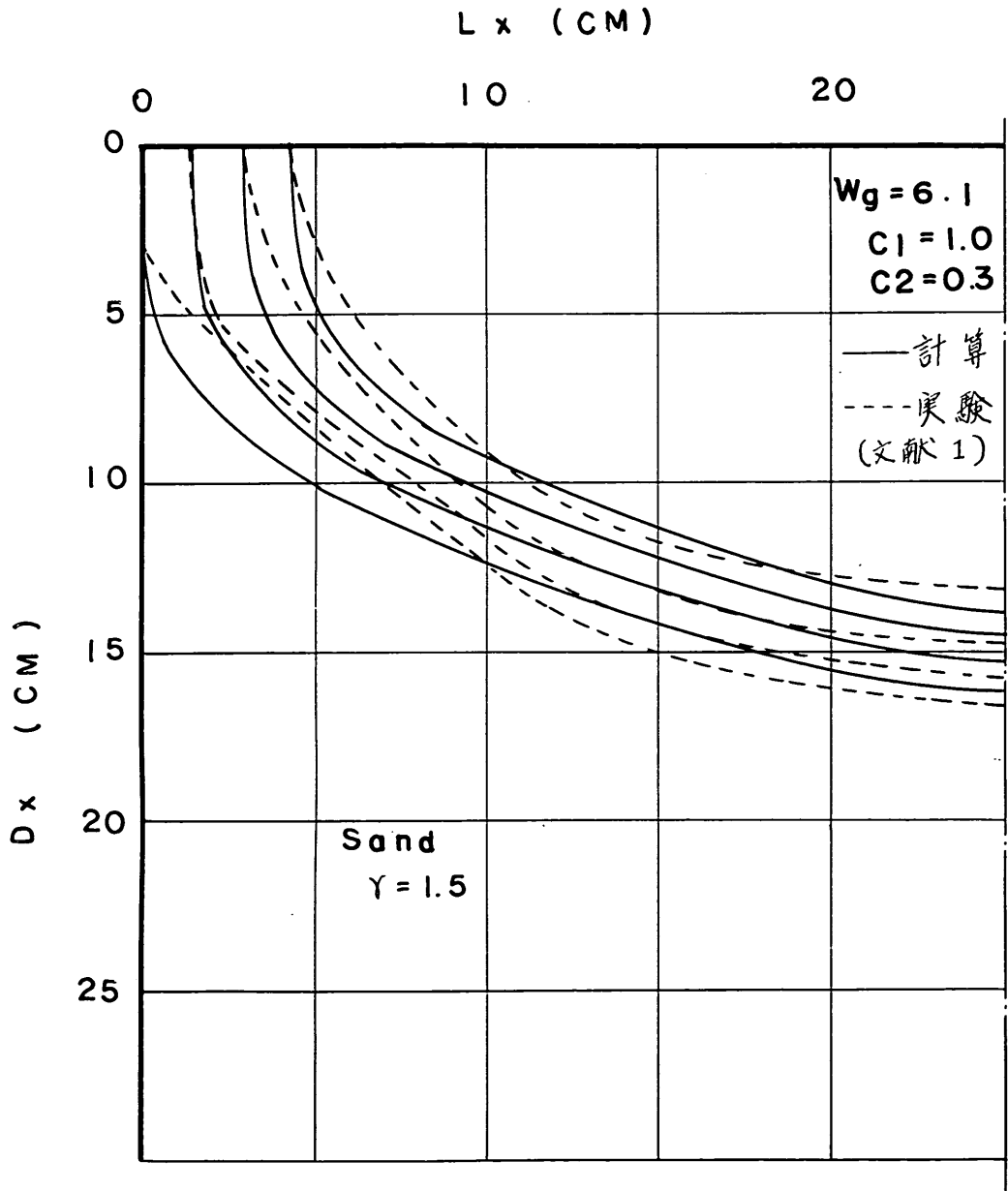


図-14 グラフの初期開度を変化させるときの計算値と実験値の比較 (動力開閉グラフ)

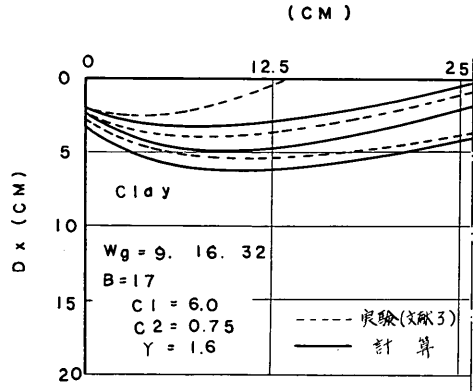
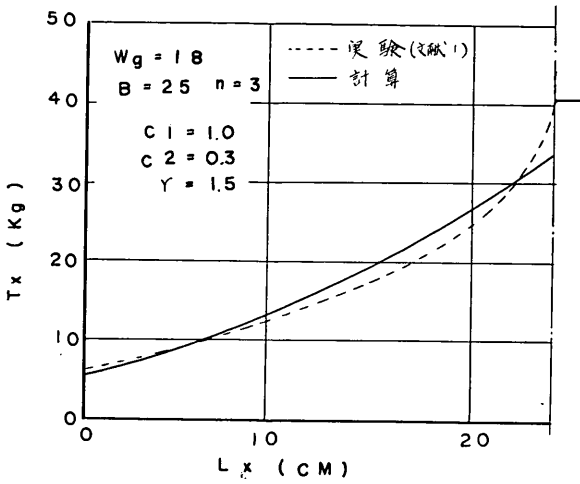


図-17 ロープ開閉グラフによる粘土掘削の計算値と実験値の比較

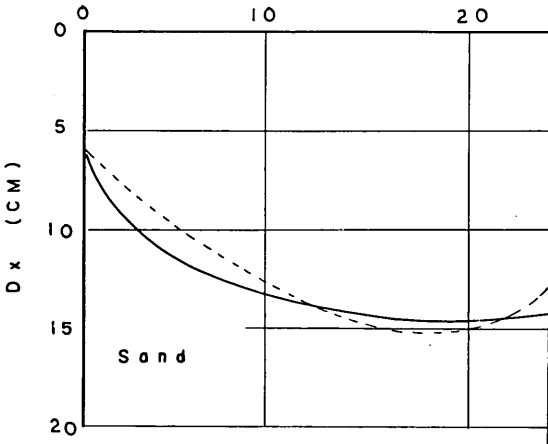


図-15 ロープ開閉グラフによる砂掘削の計算値と実験値の比較

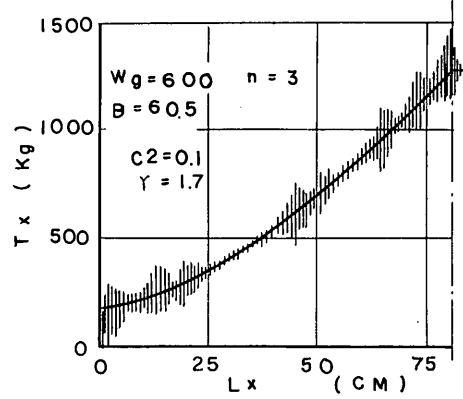


図-16 ロープ開閉グラフによる空気中と水中での掘削軌跡の比較

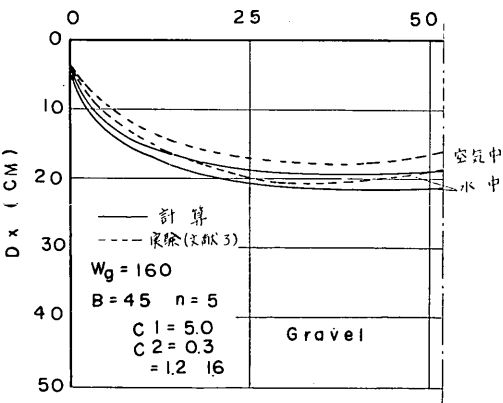


図-16 ロープ開閉グラフによる空気中と水中での掘削軌跡の比較

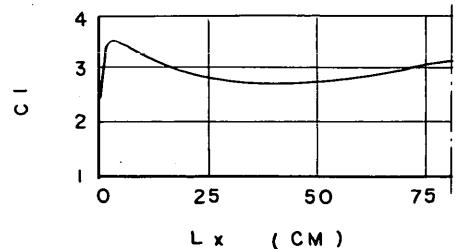
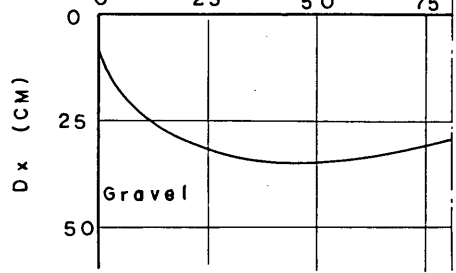


図-18 開閉ロープ張力 T_x からの掘削係数 c_1 の計算例

5. ロープ張力変化からの掘削係数の判定

浚渫グラフによって、海底土砂の試験掘を行なうことがよくある。この場合に、つかみ上げた土砂量と、土砂を観察することによって、海底の状態を判断するのが一般的な方法として行なわれているが、これと併用して、掘削過程中的開閉ロープ張力、またはロッドの圧縮力の変動を記録し、土砂の掘削係数 c_1 を求めることができる。この方法によると、水中の巻上げ過程において流失する土砂量を考える必要もなく、海底状態での土盤の強度を知ることができるから、掘削の対象となる土質の判定が一層正確に行なえる。

陸上実験において、開閉ロープ張力 T_x の記録から、

軌跡と掘削係数 c_1 を計算した一例を図-18 に示す。この計算は式 (3) の関係から、

$$c_1 = \frac{100R_h c_4 (1 + c_3 \tan \alpha)}{c_3 \gamma B D_x^2}$$

とおき、 $c_3 = 1.0$ 、 $c_4 = 3/(1 + c_3 \tan \alpha)$ 、 $c_3 = 1.0$ において計算したものである。供試土砂はやや湿った状態の相模川産砂である。計算を行なって軌跡から求まるつかみ量 W_s がロープ張力 T_x から求まるつかみ量の値と一致しないときは、係数 c_2 、 c_3 等を変えて補正する。図の計算結果はロープ張力 T_x から求まるつかみ量とほぼ一致し、掘削係数 c_1 の値も妥当なもの認められる。

このように、均質な砂、砂利等に対しては、開閉ロープ張力から掘削係数が比較的正確に求まるが、転石類が

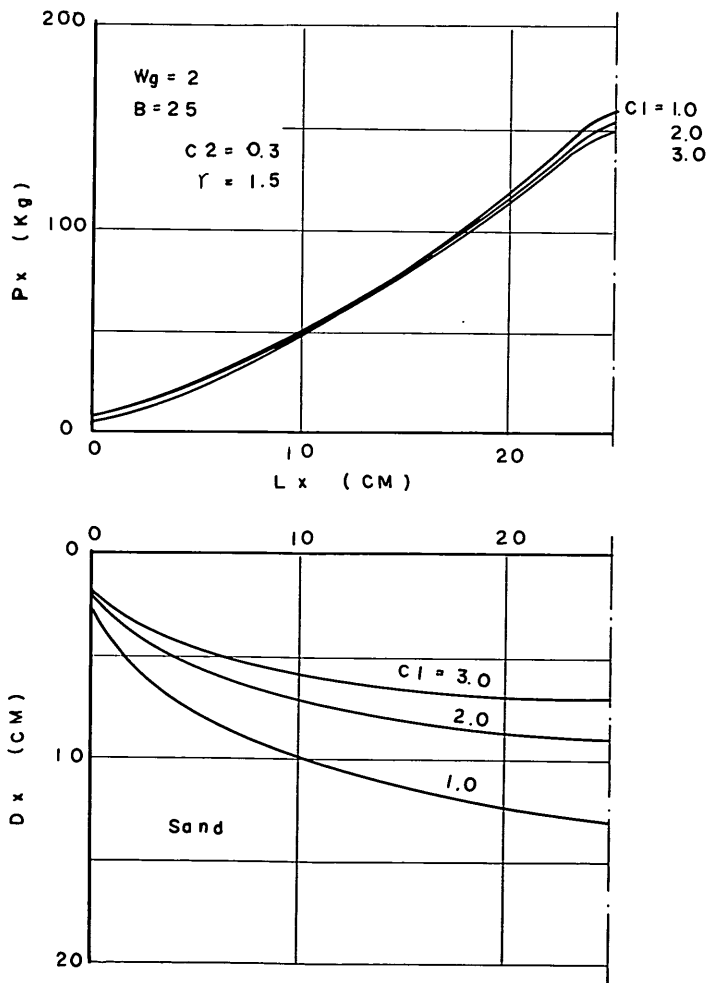


図-19 動力開閉グラフの油圧力計算例

混入していたりすると、土質の判定が困難になる。

6. 動力開閉グラブの締付力の計算

ロープ開閉グラブの場合は、グラブ自重 W_g とつかみ量 W_s を仮定して、グラブ部材の強度計算や巻上げ荷重を求める方法がとられている。しかしながら、動力開閉グラブの場合は、計算の根拠となる掘削力が判らないので、もっぱら経験的に所要動力が求められてきたようである。この締付けに要する動力の大きさは、式(1)から式(4)までの関係を用いて計算することができる。計算の順序は、はじめに式(3)、または式(4)から初期状態における水平分力 R_h の値を求め、これを図-2における ef とし、垂直分力 R_v については、 $R_v = W_g + W_{sz}$ とおいて図-2の de を求め、式(2)の関係を逆算する形で計算を行なう。

計算結果の一例を図-19に示した。締付力 P_x は、計算上では掘削係数 c_1 が大きいほど少なくてよいが、そ

の差はわずかである。実用面では必ずしも均質な土砂の区域ばかりでないから、幾分の余裕を見込んで所要の締付力を決めべきであろう。

7. $W_s/W_g \sim L\sqrt{B/2W_g}$ 特性と計算値の比較

浚渫グラブの研究において、筆者は、グラブのつかみ量が $W_s/W_g \sim L\sqrt{B/2W_g}$ 特性の関係によって表示できることを見出した(文献3)。これはグラブの能率が W_s/W_g の比が大きいかほどよいという実用面での取り扱いとも関連して、グラブの能率を判断するための有効な尺度になると考えることができた。

動力開閉グラブについて、開き幅 L (m)、刃幅 B (m) 自重 W_g (kg) を種々変えて、上記の W_s/W_g の値を計算してみると図-20に示す結果が得られた。図において、点線で示したのが実験記録の平均値であり、計算値と実験値はよく一致していることが判る。

次にロープ開閉グラブについての計算結果の一例を図

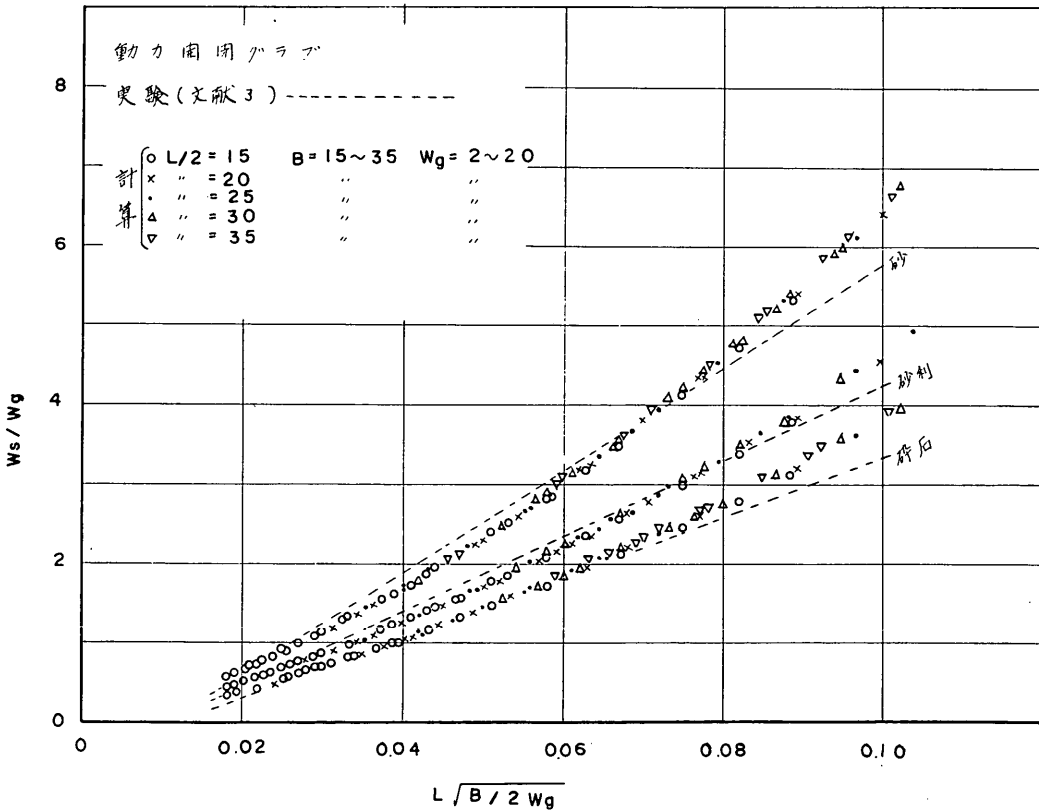


図-20 $W_s/W_g \sim L\sqrt{B/2W_g}$ 特性の計算値と実験値の比較 (動力開閉グラブ。つかみ量 W_s の値は軌跡に囲まれた断面積に刃幅を乗じた値であり、実つかみ量は若干少なくなる)

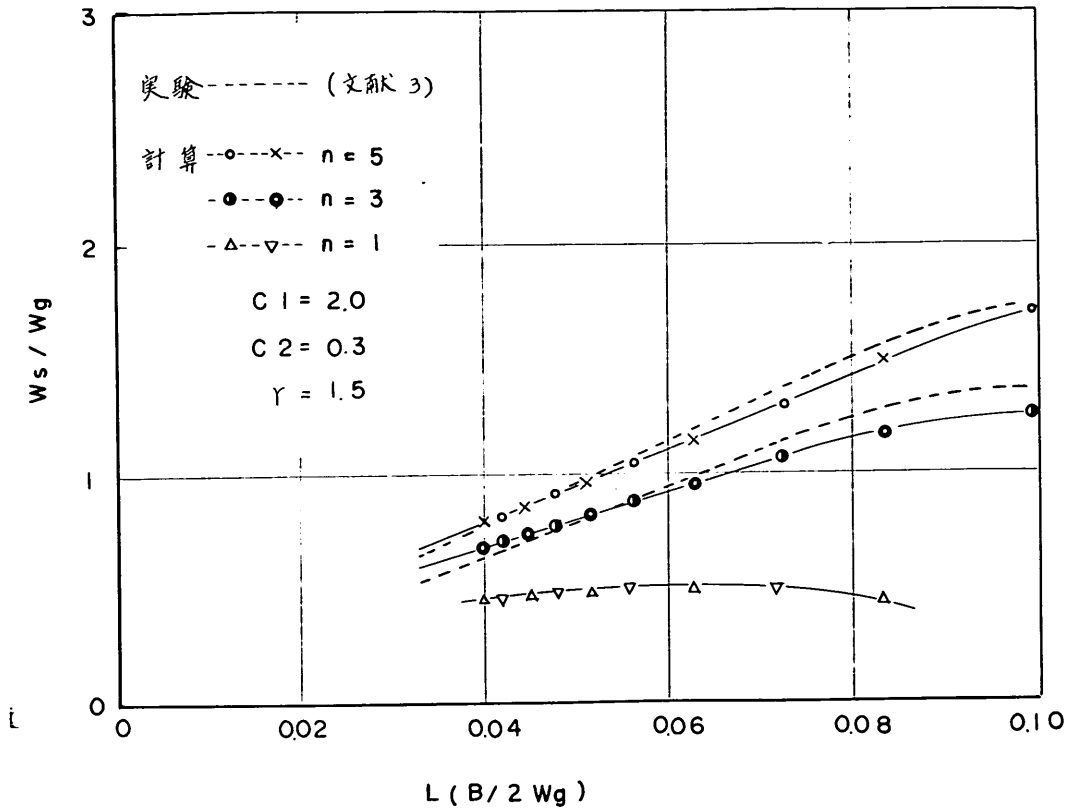


図-21 $W_s/W_g \sim L\sqrt{B/2W_g}$ 特性の実験値と計算値の比較 (ロープ開閉グラフ。つかみ量 W_s の値は、軌跡に囲まれた断面積に刃幅を乗じた値から $(0.0017D_0BL)$ を差し引いて実つかみ量に近づけた)

21 に示す。図は掘削係数 c_1 に対し、ロープの巻かけ数毎に計算してある。計算値は動力開閉グラフと同様に実験値の傾向とよく一致する。上記の計算結果から、かつて筆者が行なった実験、および $W_s/W_g \sim L\sqrt{B/2W_g}$ 特性による解析方法は、適正なものであったことが確認できた。

8. 平板による掘削抵抗値と計算値の比較

グラフの実験式を図-22・a のような平板による掘削の場合へ適用することについて考えてみる。筆者は、このような水平掘削における掘削抵抗が、図-22・b のような小形ベーン試験機で求めたせん断抵抗値と密接な関係があることを確かめた(文献 5)。すなわち 文献-5 において、土盤への打撃貫入試験、静的押込試験、ベーン試験の3種類の試験方法を比較した結果、砂、砂利、粘土、鉛球、硝子球、ビニール粒等の供試材料に対し、打撃貫入試験、静的押込試験の試験値と掘削抵抗との関係は、

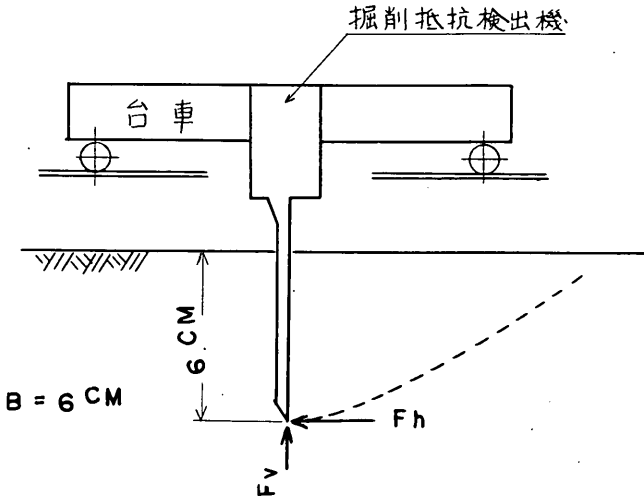
何れも他の要素に基づいていると思われる変化が認められてはつきが大きい、一律に表示できる関係が得られなかった。これに対してベーン試験により求めた測定深さ $H=5\text{ cm}$ におけるせん断抵抗 τ (kg/cm^2) と 図-2・a の掘削刃における水平掘削抵抗 F_h (kg) との間には、 $F_h \approx 200\tau$ の関係が得られた。そこで式(3)と式(4)を上記のせん断抵抗を用いて表示してみると、次のように書くことができる。

$$\left. \begin{aligned} (1) \text{ 供試材料が砂, 砂利等の場合} \\ c_1 = 500\tau/\gamma H \\ \therefore R_h = 5c_3\tau BD_x^2/c_4 H(1+c_3 \tan \alpha) \\ R_0 = \tau c_3 BD_x^2(1+c_3 \tan \alpha)(c_2 + \tan \beta)/H \end{aligned} \right\} (6)$$

ここに H = ベーン試験の深さ (cm)

$$\left. \begin{aligned} (2) \text{ 供試材料が粘土等の場合} \\ c_1 = 100\tau/\gamma \text{ から} \\ R_h = 5c_3\tau BD_x/c_4(1+c_3 \tan \alpha) \\ R_0 = \tau c_3 BD_x(1+c_3 \tan \alpha)(c_2 + \tan \beta) \end{aligned} \right\} (7)$$

a



b

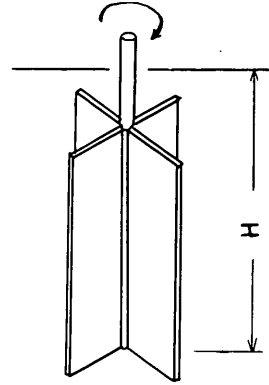


図-22 平板による水平掘削実験機とベーン試験機 (文献-5)

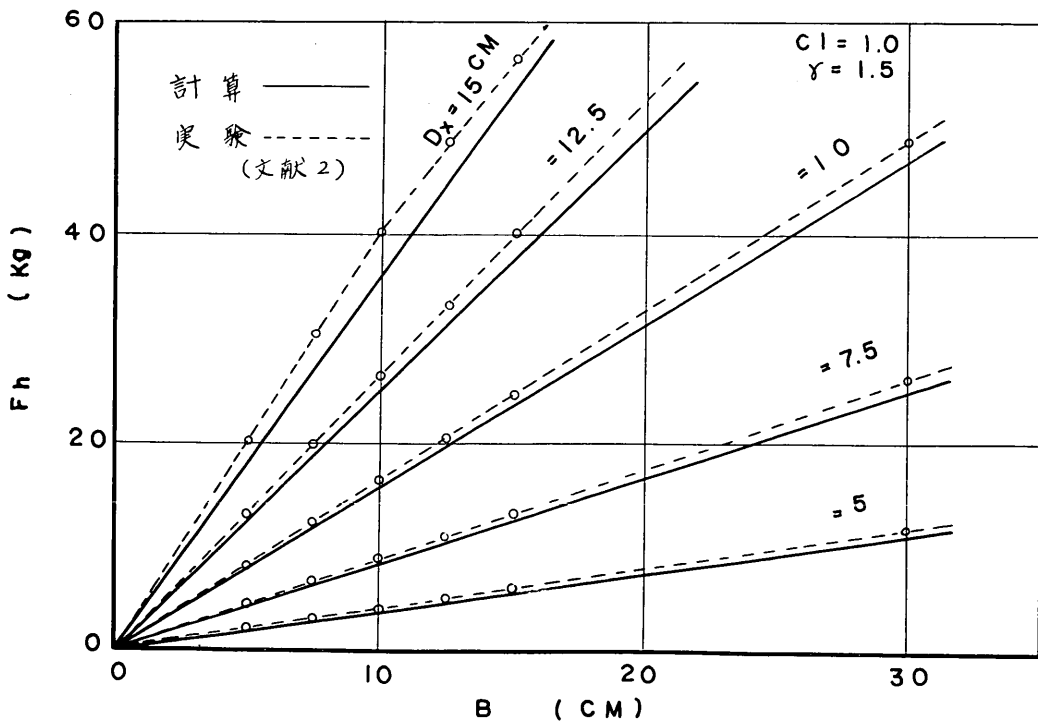


図-23 水平掘削力 F_h の計算値と実験値の比較 (文献-2 より)

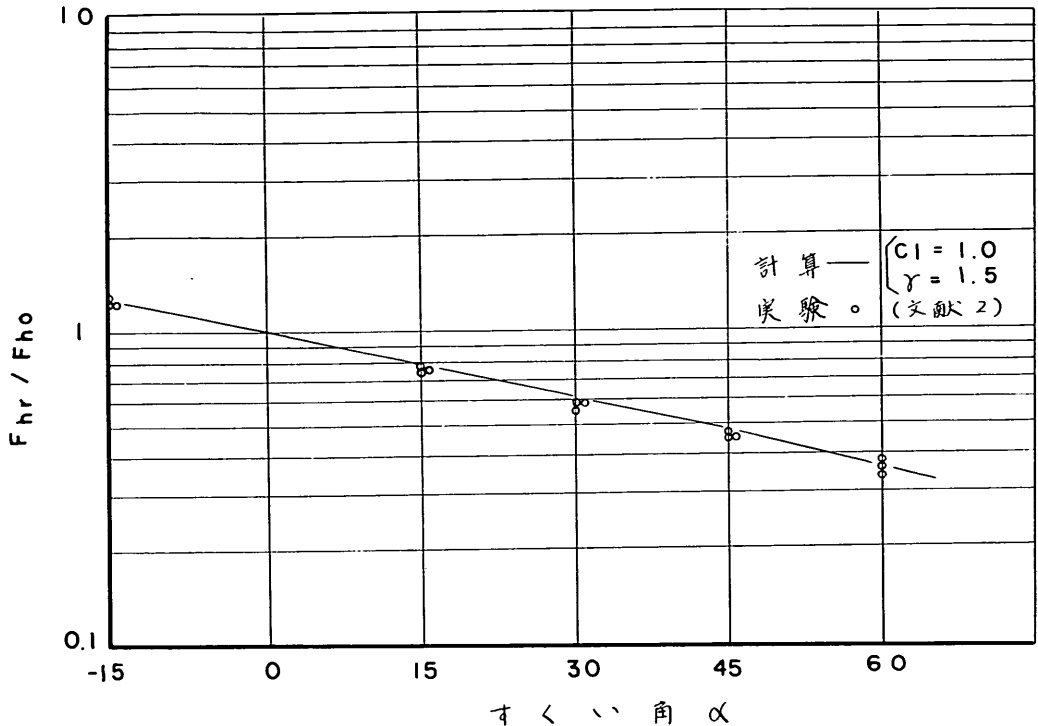


図-24 水平掘削におけるすくい角の影響についての計算値と実験値の比較

平板による水平掘削を考えると、上式の $\tan \beta$ の項が消え、係数 c_4 と c_5 の値が 1.0 となり、図-22 における水平掘削抵抗 F_h 、垂直掘削抵抗 F_v は、それぞれ次のように表わすことができる。

- (1) 供試材料が砂、砂利等の場合
- $$F_h = R_h = 5\tau BD_x^2 / H(1 + c_3 \tan \alpha)$$
- $$F_v = (R_v - W_{sz}) / 2 = c_2 \tau BD_x^2 (1 + c_3 \tan \alpha) / 2H - W_{sz} / 2$$
- (2) 供試材料が粘土等の場合
- $$F_h = 5\tau BD_x / (1 + c_3 \tan \alpha)$$
- $$F_v = c_2 \tau BD_x (1 + c_3 \tan \alpha) / 2 - W_{sz} / 2$$
- (8)

上式では、式(5)までと同様に、便宜上 F_h 、 F_v 、 R_h 、 R_v 、 W_{sz} の単位を (kg) で表わし、 B 、 D_x の単位を (cm) で表わし、かつ、単位体積重量 γ の単位は (ton/m³) で表わしており、それぞれの数値をそのまま代入して計算するようにした。上式の関係は偶然にデイメンションが一致した形になっているが、グラフの実験式から導いたもので理論的に成立したものではない。

次に文献-2 における実験記録について、土質を $c_1 = 1.0$ 、したがって $\tau = 0.015$ (kg/cm²) とおいて計算し比

較してみると、図-23、図-24 に示す結果を得た。計算値は実験値と傾向的によく一致しており、グラフの実験式が、一般の掘削の場合にも適用できそうであることを示している。しかしながら、グラフと平板の場合の掘削現象を観察すると、土砂の挙動にかなりの差があり、一律に同じ関係式が利用できるものとも思えないので、今後、細部について検討してみる予定である。

9. 結論および今後の研究について

浚渫グラフの実験記録を解析し、グラフの掘削実験式を作成して、浚渫土質と掘削機構に関する諸現象を調べた結果、次のことが判った。

(1) グラフの実験式による掘削軌跡およびつかみ量の計算値は、実験記録の傾向とほぼ一致した。しかしながら軌跡の細かい変化部分について、若干の相違が認められる。

(2) 実験式に用いた係数 c_1 、 c_2 、 c_3 、 c_4 、 c_5 の値については、浚渫土質に対して明確に決定するまでには至らなかった。これは解析した実験記録にばらつきが多いことによる原因が大きい。特にゆるい状態の砂、砂利等の供試材料に対しては、シエル内部での土砂の盛り現象

についての補正係数 c_4 の性格に疑問点が残ったが、結論が得られないまま $c_4=1.0$ 、または $c_4=3/(1+c_3 \tan \alpha)$ において計算した結果、ローブ開閉グラフに対し、グラフ刃の閉じ終わり直前でのローブ張力と軌跡の計算値は、実験値とのくい違いが認められる。今後、基本的な掘削実験を行なって、実験式をより正確なものとする必要がある。

(3) 実験式を平板の水平掘削の場合に適用した結果、掘削抵抗の計算値は、実験値の傾向とよく一致した。しかしながら、これは狭い範囲内の実験についての結果であるから、さらに広範囲な浚渫土質に対して、果してどの範囲まで適用できるかどうかを調べる必要があると思われる。

この研究の目的は、浚渫土質をどのように表示し、掘削機構の計画、設計要素としての掘削力を何程にとるかという問題、作業実施前にその作業能率を適確に予測できるようにする問題等を解決する手がかりを得ることである。この報告書では、上記の問題に関して海底状態における土砂のせん断強度を知れば、一通りの計算ができることになる。しかしながら、海底には砂利混りの締った土砂や、硬土盤区域も多く混在し、原地盤におけるせん断抵抗の測定方法に問題がある。また、せん断抵抗に代わってグラフで試験掘を行ない、掘削係数 c_1 を求める方法なども、海底の表層部分だけに限定されることになり、一般的な方法として適当でない。このほかに、海底面下 5m の深さまでを調べるバイプロコアサンプラーを用いる浚渫土質の調査方法について実験を行なったが、締った状態の砂質土に対する判定が困難であった。(文献 6) 以上のことから、浚渫土質の調査試験方法について、簡単で確実に実施できる方法を見出すことが重要である。本研究では、そのための手がかりを得られるような基礎的な実験を掘削実験と併行して実施する予定である。

次に掘削の面で、特に硬土盤や軟岩盤の刃物による掘削方法に関して、未知の事項が多い。従来から、現場では強大な動力を用いて、遮二無二作業を実施する状態が見受けられるが、掘削の難易や作業能率を予測できる有効な方法が他に見あたらない。この問題に関して、本報告の実験式の式 (4) を用いて、掘削係数 $c_1=100$ の場合の計算を行なうと、図-25 に示すような結果が得られる。この軌跡は、同じグラフで土丹層等を掘削する場合の軌跡と傾向的に似ており、掘削係数を硬土盤や軟岩盤対

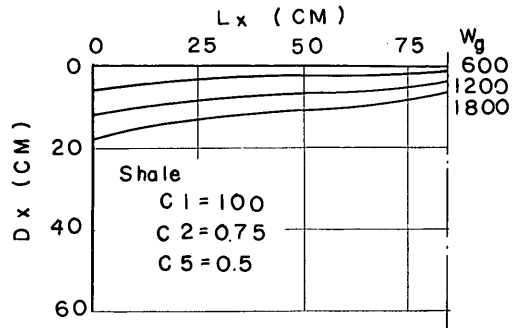


図-25 ローブ開閉グラフによる軟岩盤掘削計算例 (初期深さは、グラフの落下破砕により与えたとして計算する)

する一般的な表示方法と関連させて調べることにより、上記の問題を解決するための一つの手がかりが得られる可能性も考えられる。これらの掘削の問題は、今後、主として基本的な現象と現実面とを結びつけることに重点をおいて検討していきたいと考えている。

10. あとがき

グラフの掘削機構は、定常的な掘削を行なう他の掘削刃物による場合よりも複雑である。それゆえ、グラフの掘削現象が解明できれば、他の場合は比較的容易に判断できるようになると考えられる。この報告では、グラフの実験式を作成し、実験式を用いた計算手法について検討した結果、掘削についての一通りの計算が行なえるようになったが、決して完全なものではなく、また理論的な結論が得られたものでもない。今後は本報告の内容において不明確であった点を補正し、合理的な形で表現できるように努めていきたいと考えている。本報告では、実験式における基本的な考え方や電算機によるグラフの軌跡やつかみ量の計算手法そのものは、補正を必要としない十分な成果であったと信じている。これが実用面へ活用できれば幸であると思っている。

終りに、本論文の作成に当っては、機材部長松田任氏流体輸送研究室長八木得次氏ほか多数の方々にご助言を頂いている。ここに厚く御礼申し上げる次第である。

記号表

- B = グラブの刃幅 (cm または m)
- c_1, c_2, c_3, c_4, c_5 = グラブ実験式における比例係数
- D_0 = グラブ刃の初期貫入深さ (cm)
- D_x = 掘削深さ (cm)

F_h = 平板の掘削抵抗の水平分力 (kg)
 F_v = 平板の掘削抵抗の垂直分力 (kg)
 H = ベーン試験の測定深さ (cm)
 L = グラブの開き幅 (cm または m)
 L_x = グラブ刃の進行距離 (cm)
 n = グラブのロープかけ数
 R_h = グラブの掘削抵抗の水平分力 (kg)
 R_v = グラブの掘削抵抗の垂直分力 (kg)
 T_x = 開閉ロープ張力 (kg)
 W_G = グラブ自重 (kg)
 W_s = つかみ重量 (kg)
 W_{sz} = シエル上の土砂重量 (kg)
 z = 簡易計算式における係数
 α = グラブ刃のすくい角 (rad)
 β = グラブ刃の進行角 (rad)
 γ = 土砂の見かけ単位体積重量 (t/m^3)

τ = 土盤のせん断抵抗 (kg/cm^2)

参 考 文 献

- 1) 徳永省三：グラブバケットの実験，Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ
運輸技術研究所研究発表会，第12，15，17回
- 2) 島昭二郎：掘削機構の解明，Ⅰ，Ⅱ 建設の機械
化，135号，136号
- 3) 岩田尚生：浚渫グラブの研究，1，2，3報，港研
報告 4巻7号，5巻7号，6巻3号
- 4) 岩田尚生，高砂 忠：グラブバケットの落下時衝
撃試験およびつかみ特性試験，1，2報，港研資料
No. 38，No. 68
- 5) 岩田尚生，高砂 忠：浚渫土質の判定についての
二三の実験，港研資料 No. 94
- 6) 小岩苔生ほか：パイプロコアサンプラーに関する
現地実験報告，港研資料 No. 109

(1971. 6. 30 受付)