

合衆  
神倉

# 港湾技術研究所報告

REPORT OF PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

第6巻3号

Vol. 6 No. 3

(通巻第40号)

## 浚渫用グラブの研究 (第3報)

グラブの部材強度および水中における巻  
上げ時の抵抗について……………岩田尚生

## 浚渫用噴流装置に関する研究 (第3報)

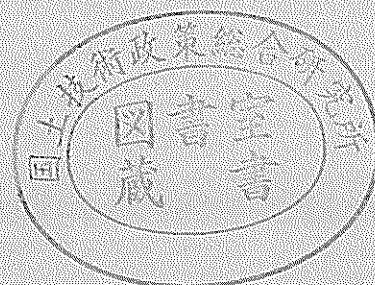
噴流装置を用いた港湾工事用機械につい  
ての2, 3の実験……………岩田尚生

## ホッパーの沈澱効果に関する研究

ホッパーの積込効率について……………入江義次・青木幸男

1967年1月

運輸省港湾技術研究所



# 浚渫用グラブの研究 (第3報)

—— グラブの部材強度、および水中における巻上げ時の抵抗について ——

## 目 次

要 旨	1
1. ま え が き	2
2. グラブの着地時の衝撃応力についての実験および実験結果	
2.1 実験の目的、および実験	2
2.2 実験結果、および考察	3
3. グラブのつかみ過程における部材応力についての実験、および実験結果	
3.1 実験の目的、および実験	6
3.2 実験結果、および考察	6
4. 水中からグラブを巻上げる際に、グラブが受ける抵抗力についての実験、および実験結果	
4.1 実験の目的、および実験	8
4.2 実験結果、および考察	8
5. グラブ部材の応力計算について	
5.1 浚渫用グラブ計画の手順	10
5.2 着地時の衝撃応力の計算	10
5.3 つかみ過程中の部材応力の計算	12
5.4 巻上げ時の部材応力の計算について	14
6. 本報告の結論	15
7. 総 括	15

## Research on the Dredging Grab-Bucket (Third Report)

Hisao Iwata \*

### Synopsis

In the first and the second report of this series, the author showed the grabbed weight  $W_s$  are determined by the grab-bucket weight itself  $W_g$ , opening length  $L$ , and the width of blade  $B$  attached to it, that is following relation  $w_s/w_g - L\sqrt{B/2W_g}$  was established among them.

And as for the relation between grabbed weight and number of the rolling wires attached to bucket, we found the tendency of the change of grabbed weight and number of the rolling wires, if we class by the type of bucket by their values  $L\sqrt{B/2W_g}$ .

According to the research results above mentioned, the shape and form of dredging grab-bucket which is used in our country today, especially as for the general hole-tine, and half-tine type, are considered to be too small when they grab such granular-materials as sand, gravell.

This means that we can increase the grabbed weight  $W_g$  and improve the working efficiency, if we try to make such grab-bucket whose values  $L\sqrt{B/2W_g}$  is bigger without changing the grab-weight  $W_g$ .

These conclusions may be true as far as the experimental results so far conducted are concerned.

But the truth is that we have to research on some problems such as the state of sea-bottom and mechanical points of grab-bucket including these conclusions.

Therefore the author experimented mainly on the stress of each materials which compose the grab-bucket, on the impact stress of it at the touch of the grabbed materials and on the resistance power affected on grab-bucket in water, and showed records here in this report

According to th experimental results, tne author concluded that as for dredging grab-bucket, we have to investigate the use of new type grab-bucket which is lighter than half-tine grab-bucket and whose value  $L\sqrt{B/2W_g}$  is bigger for the granular sand and gravel.

---

\* Chief Research Engineer, Machinery Division

# 浚渫用グラブの研究 (第3報)

— グラブの部材強度および水中における

巻上げ時の抵抗について —

岩 田 尚 生 \*

## 1. まえがき

浚渫用グラブの研究の第1報と第2報において、土質とグラブの型式、巻かけ数が与えられると、つかみ重量  $W_s$  は、グラブ自重  $W_g$ 、開き長さ  $L$ 、および刃巾  $B$  によって、ほぼその値が決まり、 $W_s/W_g = L\sqrt{B/2W_g}$  特性として表示できることを見出した。さらに巻かけ数とつかみ重量の関係についても、グラブの  $L\sqrt{B/2W_g}$  の値の大小で分類することにより、巻かけ数の増減に対するつかみ重量の変化の傾向を知ることができた。

上記の研究結果によると、現在わが国で一般に使用されている浚渫用グラブでは、砂、砂利のような均質の粒状物質をつかむ場合に、ホールディンググラブはもちろんハーフディンググラブでもグラブ自重に対し形状が小さ過ぎるようである。すなわち実際面における作業でもよく見受けるこの程度の土質に対しては、もっと  $L\sqrt{B/2W_g}$  の値が大きいグラブを使用すれば、さらに作業の能率を高めることができる。しかしながら、これはグラブのつかみ重量のみを考えた場合で、この他にグラブの機構や強度上の問題、および実際面での作業条件等も考慮する必要があると思われる。そこで本報告では、グラブの部材強度、すなわちグラブの着地時における衝撃応力や掘削、および巻上げ過程における各部材の応力について調べてみた。またグラブを巻上げる際に水中、および水中から空気中へ移るときにグラブが受ける抵抗力についても調べた。

これらの実験結果から、砂、砂利等の粒状物質をつかむ場合は、更に軽量型の  $L\sqrt{B/2W_g}$  の値の大きいグラブの使用について、実際面においても検討すべき余地があると考えられた。しかしながら、これらの砂、砂利の中に転石類を含んでいたり、砂、砂利の下が硬土盤であるような場合は、一そう堅牢なグラブが必要であることを確かめた。

## 2. グラブの着地時の衝撃応力についての 実験および実験結果

### 2.1 実験の目的および実験

グラブ浚渫船において、グラブの落下速度を大きくすると、単位時間当りのつかみ回数を増すことと、1回当りのつかみ重量も若干増加するから、グラブの強度、および浚渫機の機構、取扱い面で支障がなければ、大いに能率を上げることができる。しかしながら、実際面ではグラブの強度のみを考えてみても、落下速度が大きいと着地時の衝撃力によって各部にひずみができたり、ロッドが彎曲したりする事故が多い。このような衝撃力に対して、設計上最も不明な点の多いグラブの底板と側板、その他ロッド等の各所にひずみゲージを貼付けて、応力の変化状態を測定してみた。

実験は第2報で紹介した容量  $0.005\text{m}^3$  のハーフディンググラブ、およびこれと同型で底板の二重板構造となっている刃の部分以外を取去った無底板グラブによって行なった。上記のハーフディンググラブは、実験の初期において爪が破損したため、実験結果は爪の無い一般のプレートグラブの状態における測定値である。無底板グラブは主として掘削軌跡の解析を行なう目的で製作したものであるが、グラブ刃の部分の設計上の強度を考えるのに好都合なため、本報告の実験にも用いた。写真-1と写真-2にそれぞれのグラブ形状を示す。

実験の方法は、上記のグラブを鋼製砂槽 ( $1\text{m} \times 0.5\text{m} \times$  深さ  $0.4\text{m}$ ) 内の砂、および砂面に埋込んだコンクリートのブロックやテストピース上へ落下させ、このときの衝撃による部材応力をシンクロスコープと電磁オシログラフにて測定するようにした。グラブの巻上げ、および巻降しは、旋盤に取付けたドラムによって行ない、落下速度は  $3 \sim 140\text{m}/\text{mn}$  の範囲とした。砂は粒徑  $0.5 \sim 1.5\text{mm}$

\* 機材部 主任研究官

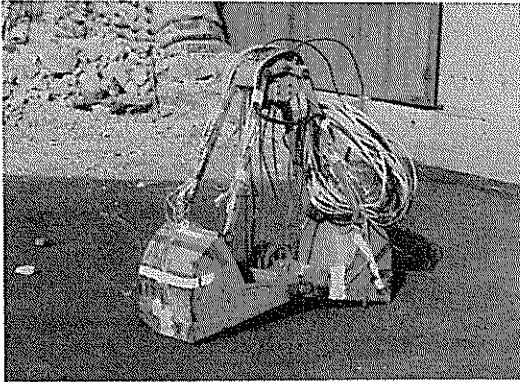


写真-1 ハーフタイングラブ（爪なし）

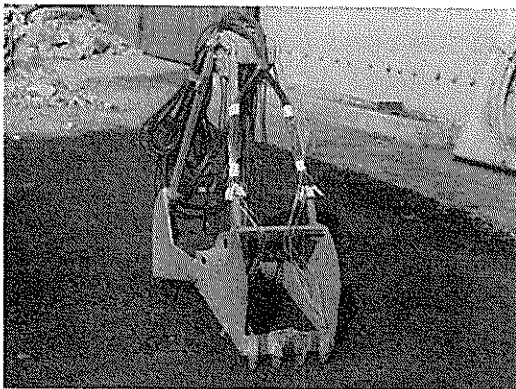


写真-2 無底板のグラブ

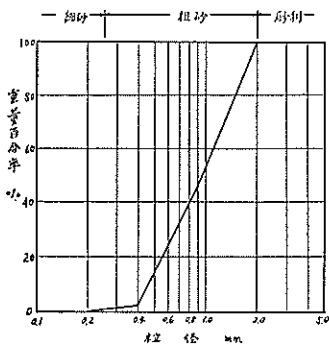


図-1 砂の粒径加積曲線

表1 粒径別重量

粒径目	通過百分率	累計
0.1以下	0.05	
0.11~0.25	0.24	0.49
0.25~0.40	2.10	2.59
0.40~0.75	40.00	42.59
0.75~2.00	57.15	99.74
2.00以上	0.26	100.00

の足洗産砂で、図-1にその粒径加積曲線を示す。また砂の中に埋込んだコンクリートブロックは 300×200×100mm の寸法のもので、テストピースは長さ 300mm、直径 150mm である。実験の種類としては、実験用グラブを平らな砂面、またはコンクリートブロック上へ落下

させるとき、片側が平らなコンクリートブロックで他方にテストピースを埋込んで、その上にグラブ刃が落下するようにしたときと二通りの実験を行なった。図-2は、この実験におけるひずみゲージの貼付位置を示したものである。

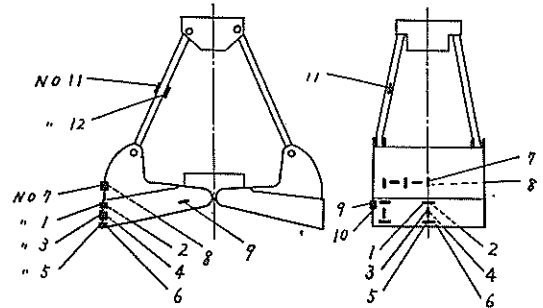


図-2 ひずみゲージの貼付位置

## 2.2 実験結果、および考察

グラブ各部材の着地時の衝撃応力は、落下速度が一定でも土質の種類によって違うのは当然考えられることであるが、実験を行なってみても最初に気のつくことは、着地時のグラブ本体のわずかの姿勢の傾きや、土面の凹凸の程度によって、衝撃応力の大きさやかかり方がいちじるしく異なることである。写真-3と写真-4は、平らなコンクリートブロック上にグラブを落下させた場合のグラブ底板中央部（図-2の No. 7 のひずみゲージ）の応力をシンクロスコープで記録したものである。両方とも同じ方法で落下させたのであるが、写真-3は基線を中心として上下方向に振動し、写真-4は基線より上方の引張側応力のみかかっている。これらは左右のグラブ刃のわずかの着地時間の相違によるものと判断された。

次にひずみゲージの貼付位置、すなわち部材の種類に

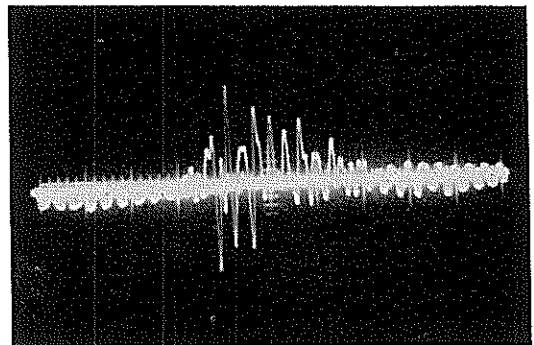
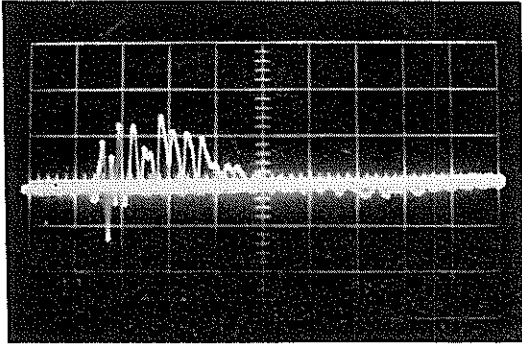
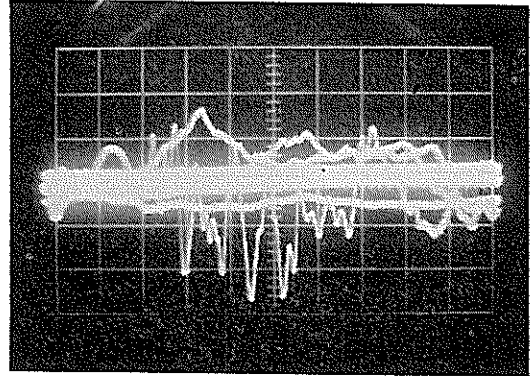


写真-3 底板中央部の応力 (a)

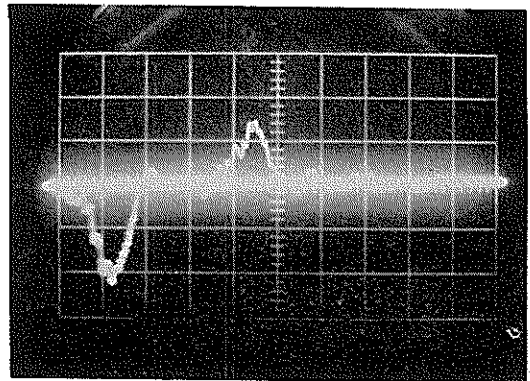


写真—4 底板中央部の応力 (b)

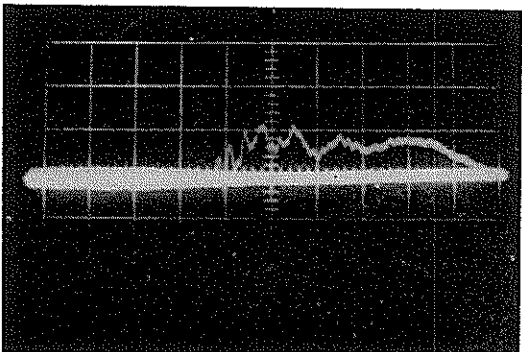


写真—6 側板の応力

よって衝撃振動の形が特徴づけられることに気づく、写真—5と写真—6および写真—7は、グラブ底板の刃の部分にかかる応力(図—2のNo.3のひずみゲージ)と側板の応力(図—2のNo.9のひずみゲージ)およびロッドの応力(図—2のNo.11のひずみゲージ)を示したものであるが、写真—5は先の写真—3、写真—4と比較して上下方向の振動が少なく、約 $2/100$ 秒間にわたって引張力が作用している。グラブ刃の外側の応力(図—2のNo.4のひずみゲージ)は反対に圧縮応力として記録されるが、何れも写真—5のような傾向の変化を示す。写真—6の側板の応力は、1回の衝撃に対して、何回もの大きさと傾向の違う応力が発生し、複雑な変化状態となるのが常である。また写真—6のロッドの応力は、圧縮と引張の応力が一回ずつ現われる。これは着地時の圧縮力の他に、後述のように下部滑車箱等のためにグラブ刃がさらに広げられようとする作用によって引張力を受けるものと思われる。このように種々の形に記録される部材応力の大きさをどのようにして表示するか、いろいろ問題があるけれども、この実験では一応基線からの最大振巾をもってその値を表示、比較することにした。



写真—7 ロッドの応力



写真—5 グラブ刃の部分の応力

さて、シンクロスコープによる記録は、各部材の衝撃応力を1回落下させるごとに1つずつ写したものであるから、多数のひずみゲージ貼付箇所における瞬間的な現象を比較するには不便である。そこで直記式の電磁オシログラフに6現象の衝撃応力を同時に入れて比較してみた。この記録は細かく振動する波形をあまり正確に表わさない危険もあるが、この実験において最大ひずみや変化の傾向を比較する程度の記録としては充分である。写真—8は砂面に落下させたときのグラブ刃の部分の応力(図—2のNo.1~No.6のひずみゲージ)で、写真—9はコンクリートブロック上へ落下させたときのグラブ刃の部分の応力を記録したものの例である。これらの実験によって確かめられたことは、グラブ底板、および二重板構造となっているグラブ刃の部分の内側と外側の応力、あるいはロッドの内側と外側の応力は、何れも片側が圧縮ならば一方が引張というように反対方向の応力状態を示し、着地時に土面との衝突によって起る垂直方向の圧縮応力のみでなく、かなり大きな曲げモーメントが作用していることである。グラブ刃にかかる曲げモー



ントは、決まって刃の外側から内側に向って作用する。この理由はグラブ刃の着地の瞬間に下部滑車箱、およびロッド等が左右のグラブ刃の内側で強くヒンジ点を打撃するので、グラブ刃は瞬間的にさらに開く方向、すなわち内側から外側に向って動かされる。したがってグラブ刃の先端ではコンクリート面にて外から内側に向う抗力を受けるものと思われる。ただし砂面に落下させるときは他の影響もあって、必ずしも方向が定まっていない。ロッドの応力については、ロッド軸の傾斜と工作上的の偏心押しが原因で内側と外側の応力が一致しないものと思われる。

図-3と図-4は、写真-1に示したグラブを砂面とコンクリートブロック面にそれぞれ落下させたときの落

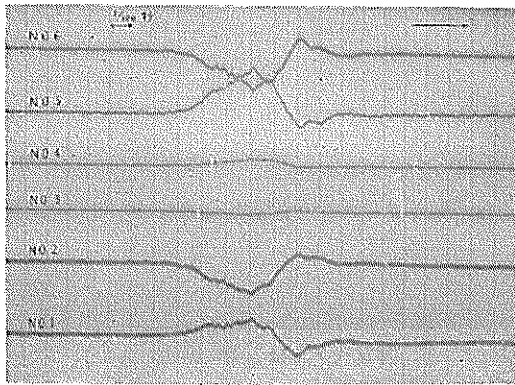


写真-8 砂面へ落下させたときのグラブ刃の部分の応力変化（無底板のグラブ）下から図-2の No. 1, 2, 3, 4, 5, 6のひずみゲージの順（計器の感度は写真-9の記録の16倍）

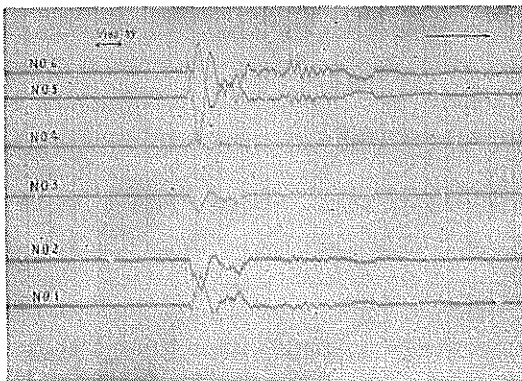


写真-9 コンクリート面へ落下させたときのグラブ刃の部分の応力変化（無底板のグラブ）下から図-2の No. 1, 2, 3, 4, 5, 6のひずみゲージの順

下速度とグラブ刃の部分にかかる最大衝撃応力との関係を比較したものである。これらの実験結果からグラブ部材の衝撃応力は、ほぼ落下速度の一乗に比例することが確かめられた。

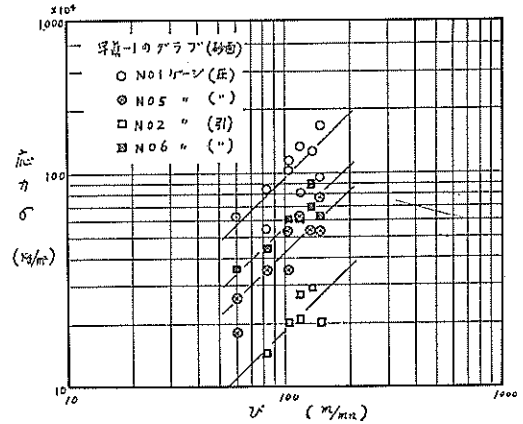


図-3 砂面に落下させたときの落下速度と最大応力の関係

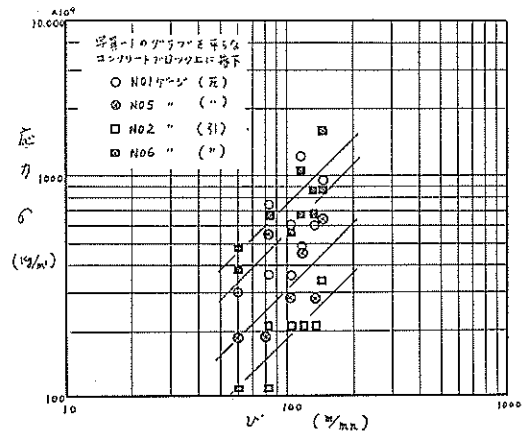


図-4 コンクリートブロック面に落下させたときの落下速度と最大応力の関係

上記の実験結果から、コンクリートブロック面に落下したときの各部材の衝撃応力は、砂面に落下させたときの値と比較していちじるしく大で、グラブの部材強度上問題となるのはこのような硬い土盤に刃先が当たった場合や転石類を含んでいる土面へ落下させる場合であろう。このときのグラブ底板の強度計算は、二重板構造となっているグラブ刃の部分に衝撃を受ける梁と考えて設計し、底板の他の部分は、その応力の変化状態から単につかんだ土砂を受止めるだけのバケットであると考えるのが適切であると判断される。もちろん写真-1の底板の

あるグラブと写真-2の無底板グラブについて、グラブ刃の部分の応力を比較すると、その値は必ずしも一致しないが、上記の考え方が設計上の一応の目安を得るには便利であると思われる。他のロッド、滑車、ピン類等の強度は、作用力が与えられれば簡単に計算できるので、ここでは主としてグラブ刃の部分を含めた底板の応力を調べ、その考え方をまとめてみた。計算上の具体的な数値等については、後述の「5-2」の計算例を参照されたい。

### 3. グラブのつかみ過程における部材応力 についての実験、および実験結果

#### 3.1 実験の目的、および実験

グラブのつかみ過程において、鋼索の張力が与えられると上下滑車箱間の締付力や各ヒンジ点にかかる力、およびグラブ刃先にかかる掘削力の大きさ等は、第2報で述べた計算式によって簡単に算出できるから、ロッド、滑車、ピン類等の部材の寸法や材質の決定は容易である。しかしながら、グラブの設計に際して与える条件、および作用力の方向が定まる各ヒンジ点位置の相違がつかみ土量におよぼす影響、グラブ底板と側板から成るバケット本体の構造や鋼板厚さの決定等の問題については、尚いろいろの課題が残されているように思われる。殊に浚渫用のグラブは、海底の土質の不均一な場所で使用することが多く、グラブの刃先に一様に力がかかるとして計算した値をかなり上回った苛酷な条件を考慮することも必要となろう。いま若しさらに軽量型のグラブを設計しようとする場合に、上記のような条件下で十分な強度を有し、かつどの部材の重量をどこまで軽くできるかの範囲を知ることによって、設計を有利に進めること

ができる。そこでグラブのつかみ過程における各ヒンジ点の位置と作用力の関係、およびグラブ底板やロッド等にかかる応力等について調べてみた。

実験は衝撃応力の測定を行なったときと同様の装置により、写真-1に示したグラブとこれの上部滑車箱のヒンジ点の間隔を写真-10のように広げたグラブ、および写真-2の無底板グラブで砂やコンクリートブロックをつかみ、そのときの各部材の応力を電磁オシログラフで測定した。

#### 3.2 実験結果、および考察

グラブで種々の土砂をつかむ場合の掘削過程における開閉用鋼索張力と掘削軌跡については、第1報と第2報において紹介した。その際にグラブ部材の重量配分が多少変わっても、グラブ全体の自重  $W_g$  が変らなければ、つかみ重量  $W_s$  への影響は微少であった。それではヒンジ点位置の相違による影響はどの程度であろうか。このような問題は、グラブの部材強度を考える上でも参考となるので、まず写真-1と写真-10のグラブの場合について比較してみた。写真-10のグラブは掘削過程の後半において、グラブ刃にかかるモーメントを増して強く締付けようとする目的で、写真-1のグラブのヒンジ点間隔を広げたもので、もちろんグラブ自重  $W_g$  と開き長さ  $L$ 、刃巾  $B$  は変っていない。この実験結果では、両グラブの砂のつかみ重量  $W_s$  は殆んど変わらないが、写真-11と写真-12に示すように掘削過程中的開閉用鋼索張力の変化の傾向は少し違うようである。すなわち写真-12の方は、掘削の初期において鋼索張力が大であるが、後半において増加の割合が小さくなってゆき、結局両グラブのつかみ重量は、ほぼ等しい値を得ている。このときの各部材の応力についても、設計条件に影響するような大きな変化はなく、一般的な形状のグラブと同様の考え方

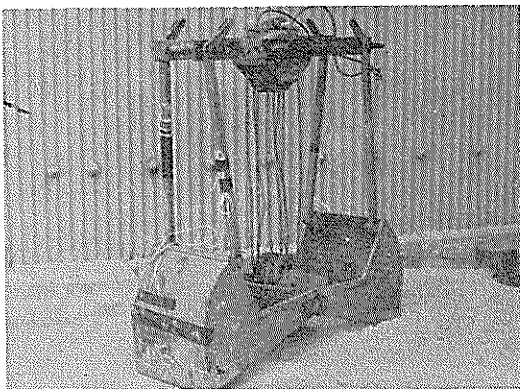


写真-10 上部滑車箱のヒンジ点間隔を広げたグラブ

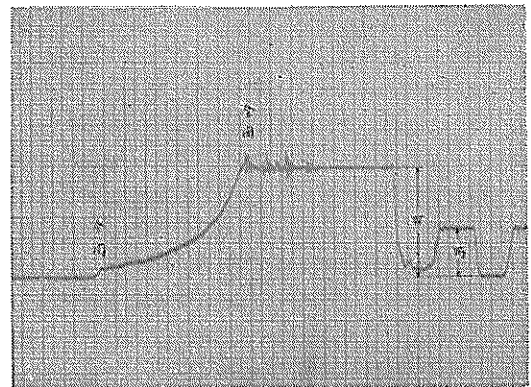
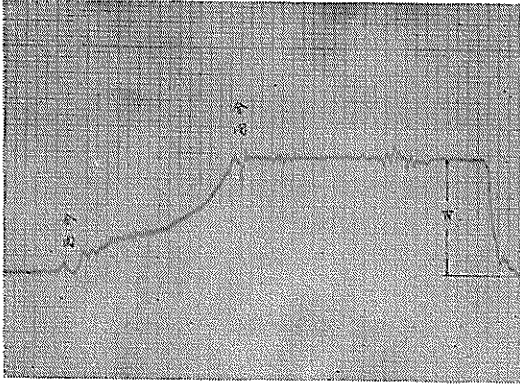
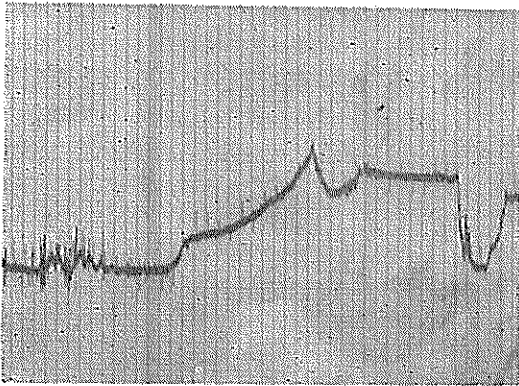


写真-11 写真-1のクラブのつかみ過程中的開閉用鋼索張力の変化(砂)





写真—12 写真—10のグラブのつかみ過程中的  
開閉用鋼索張力の変化(砂)

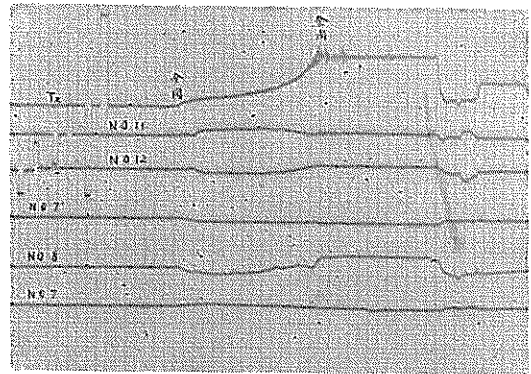


写真—13 無底板グラブのつかみ過程中的開閉  
用鋼索張力の変化(砂)

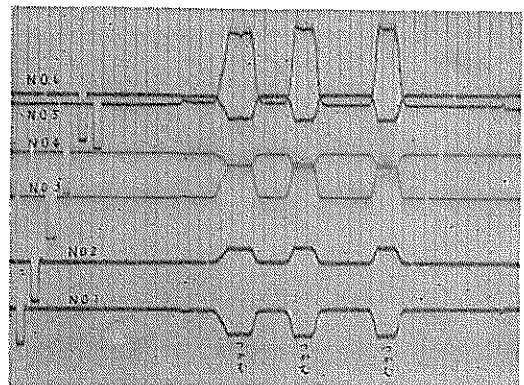
でよいと判断された。写真—13の無底板グラブの場合も、掘削過程の初期では、殆んど他のグラブの場合と変わらない変化を示した。

次に写真—14は、砂のつかみ過程中的部材応力の変化状態を示したものの一例である。これらの記録によると砂のような粒状物質をつかむ場合のグラブ各部材の応力は、掘削過程が終って巻上げる瞬間に最も大きな値になる。ゆえにこのような場合の部材の強度計算は、つかみ終ったときの状態で、グラブ自重とつかみ重量の和 $W$ を開閉用鋼索に与えて確かめればよい。この実験に用いた程度のグラブでは、砂をつかむ場合に強度上問題となる部材は無く、少し堅牢に過ぎるように思われる。しかしながら、次に示すように砂の中に転石類等を含むような場合は、特にグラブ底板に大きな応力が現われる。写真—15と写真—16は、掘削過程の初期にコンクリートブロックをつかんだときの刃の部分の応力の変化状態を示したものである。コンクリートブロックは重量が 10.5kg

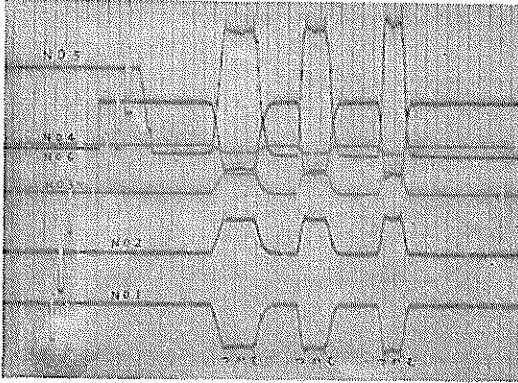
で各辺の長さは  $400 \times 200 \times 100\text{mm}$  であるが、実験に際してはグラブ刃に集中応力を与える目的で、グラブ刃とコンクリートブロックの間に巾 40mmの木片をはさみ込んだために、上記の写真の記録はつかみ長さ  $L_x=480\text{mm}$  の状態のものである。これらの実験結果では、定まった形状のグラブで同じ重量のコンクリートブロックをつかむ場合に、グラブの刃先開度が大きい状態をつかむとき程、グラブ刃にかかる曲げ応力も大きいこと、およびグラブ刃の部分以外の底板のあるものと無いものについて比較すると、両グラブの刃の中央部でコンクリートブロックをつかんだ場合の刃の部分の応力は、ほぼ等しい値となり、この場合のつかみ力は、大部分をグラブ刃の部分で受持っていると考えられること等が確かめられた。ただし写真—16は、無底板のグラブの爪先でつかんだときの記録であるために写真—15の値よりかなり大きな変化を示している。この実験におけるつかみ過程中的の部材



写真—14 つかみ過程中的の部材応力の変化(写真—1のグラブで砂をつかむ場合)



写真—15 つかみ過程中的の部材応力の変化  
 $L_x=480\text{mm}$ (写真—1のグラブでコンクリートブロックをつかむ場合)



写真—16 つかみ過程中的部材応力の変化  
 $L_x=480\text{mm}$  (写真—2 のグラブでコ  
 ンクリートブロックをつかむ場合)

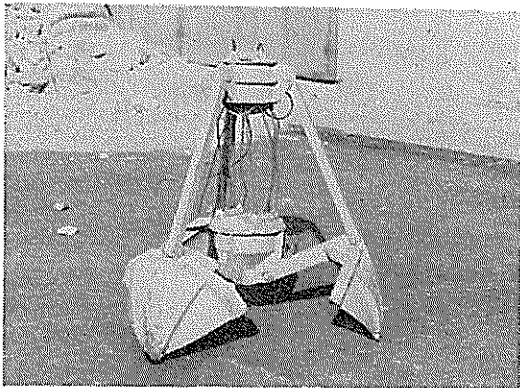
応力の具体的な数値等については、後述の「5—3」の計算例を参照されたい。

#### 4. 水中からグラブを巻上げる際に、グラブが受ける抵抗力についての実験、および実験結果

##### 4.1 実験の目的、および実験

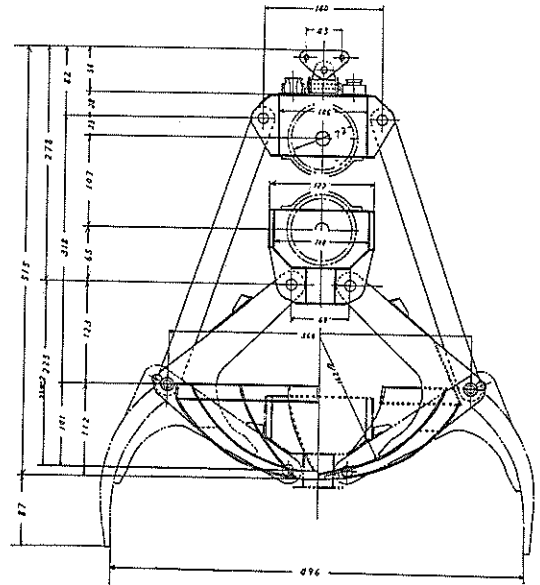
浚渫用のグラブは、水中から空気中へと連続して巻上げるために、水中におけるつかんだ土砂の流失や、水中や水面付近においてグラブが受ける巻上げ抵抗が問題となってくる。土砂の流失の問題については、第2報の内容にも実験結果の一部を紹介してあるので、ここでは水中、および水面付近での巻上げ抵抗の問題について調べてみることにした。

実験はフラッシュ容量  $0.005\text{m}^3$  のオレンジピールグラ



写真—17 オレンジピールグラブ(容量 $0.005\text{m}^3$ )

ブを直径 5 m、水深約 3 m の実験水槽内で上下動させて行なった。巻上げ速度は他の実験の場合と同様に旋盤に取付けたドラムの回転数によって調節した。写真—17と図—5 にオレンジピールグラブの形状と寸法を示す。

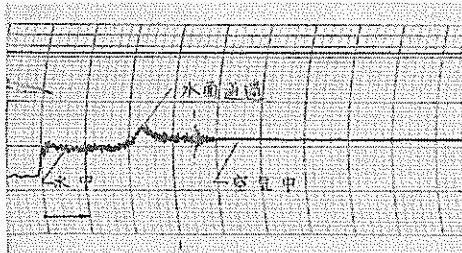


図—5 オレンジピールグラブ

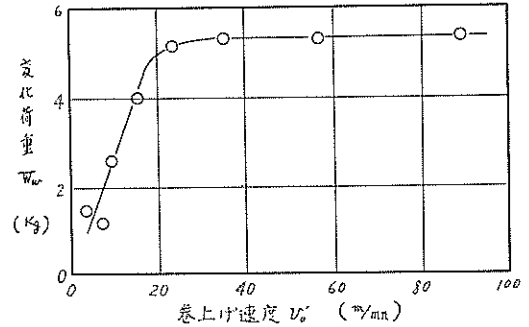
##### 4.2 実験結果、および考察

オレンジピールグラブを水中から空気中へ巻上げるときの鋼索張力の変化の例を写真—18から写真—21の間に示す。写真において、グラブを閉じた状態で巻上げるときは、巻上げ速度が遅い場合に水面付近で荷重が大となって、約2秒間の山なりの変化が認められるが、巻上げ速度が速くなると、水中における抵抗力が大きいため水面付近での山なりの変化は認められず、階段状に空気中を巻上げるときの荷重に移行している。グラブを開いた状態で巻上げるときは、巻上げ速度の遅い場合も水面付近での山なりの変化は認められない。このことから、水面付近での巻上げ荷重の変化は、水中から空気中へ移る際の荷重の急激な変動によるものでなく、閉じたグラブのバケット内に入った水が流れ出るまでの水の重量が附加されるだけであると考えられる。

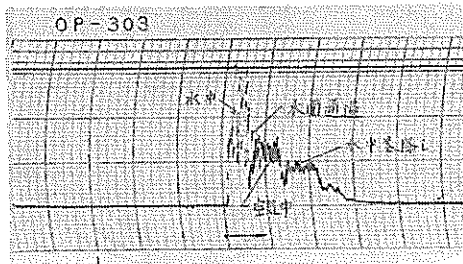
上記の考え方により、空気中の巻上げ荷重を基準として、山なりの部分の荷重の変化量を求めてみると、図—6に示す結果を得た。図から山なりの部分の荷重は  $5.33\text{kg}$  以下で、これはグラブ容量  $0.005\text{m}^3$  が水で満たされたときの重量に滑車箱内へ入った水の重量を附加した程度のものであると判断される。次にグラブの空気中に



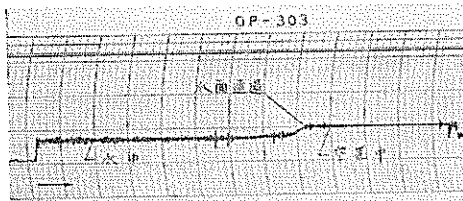
写真—18 グラブを閉じて巻上げるときの巻上げ荷重の変化 ( $V_0 = 6 \text{ m/mn}$ )



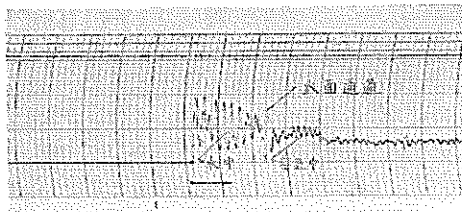
図—6 水面付近を通過する際の荷重の変化量



写真—19 グラブを閉じて巻上げるときの巻上げ荷重の変化 ( $V_0 = 57 \text{ m/mn}$ )



写真—20 グラブを開いて巻上げるときの巻上げ荷重の変化 ( $V_0 = 6 \text{ m/mn}$ )



写真—21 グラブを開いて巻上げるときの巻上げ荷重の変化 ( $V_0 = 57 \text{ m/mn}$ )

上記のように水中から空気中へグラブを巻上げる際には、急激に荷重が変化することになるので、一般にかなり大きな衝撃力を伴うように思われがちであるが、この実験の場合でもグラブの上端から下端までが水面を通過するのに0.3秒以上の時間がかかり、この間に順次に巻上げ荷重が変化すると考えれば、問題となるような衝撃力は伴わないのが普通であろう。実際面において、グラブ浚渫船の調査を行なった結果でも、水面付近における巻上げ荷重の変化よりもむしろ掘削過程を終って巻上げを開始する際に大きな巻上げ力を必要とする場合もあることが確かめられている。

次に巻上げ速度とグラブにかかる水中での抵抗力の関係を図—7に示す。この実験結果では、測定値のばらつきも大きく、明確な関係を得ることはできなかった。一般に水中で物体の受ける抵抗力は、摩擦抵抗力と圧力抵抗力の2つより成るが、この抵抗力を一緒に考えて次のような式で表わされる。(文献—3 P219)

$$T_w = C_D \frac{\gamma_w}{2g} A_0 V_0^2$$

ここに  $T_w$  = 水中における抵抗力 (kg)

$C_D$  = 抗力係数

$\gamma_w$  = 水の単位体積重量 (kg/m<sup>3</sup>)

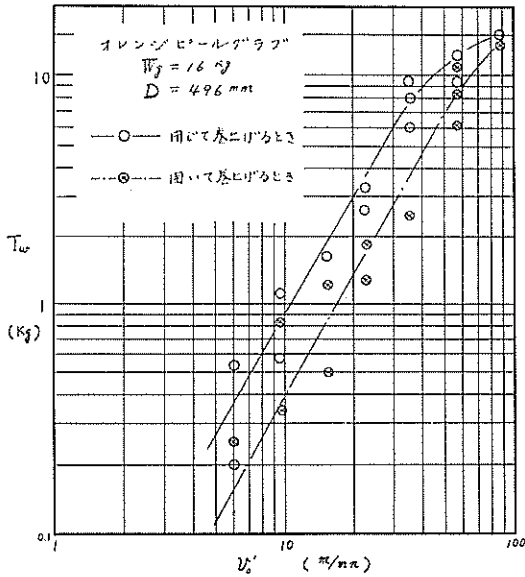
$g$  = 重力の加速度 (m/sec<sup>2</sup>)

$A_0$  = グラブを上方より見たときの投影面積 (m<sup>2</sup>)

$V_0$  = 巻上げ速度 (m/sec)

上式において、実験結果から巻上げ速度が55m/mnのときの $C_D$ の値を求めてみると $C_D \approx 2.7$ となった。これは一般の半球の抗力係数 $C_D = 1.33$ よりもかなり大きい値である。この実験のレイノルズ数は、閉じたときのバケット上辺の直径をとると $R_0 = 2.1 \times 10^4 \sim 5.3 \times 10^5$ の範囲であった。

おける自重と水中での重量との差は、その構成部材の浮力分を差引いた値よりも大きく、これは上部滑車箱等に残る空気の浮力によるものと思われる。



図一七 巻上げ速度と水中における抵抗力の関係

## 5. グラブ部材の応力計算について

### 5.1 浚渫用グラブ計画の手順

浚渫用グラブの計画，設計に際しては，まずグラブ浚渫船の能力，規模が定まって巻上げ荷重  $W$  が与えられるのが普通である。これより本研究の第2報で述べた  $W_s/W_g - \sqrt{B/2W_g}$  特性から，つかみ重量  $W_s$ ，グラブ自重  $W_g$ ，開き長さ  $L$ ，刃巾  $B$  の大略の値をそれぞれ求めることができる。これらの値に基づいて各部材の形状寸法を決めてゆくのであるが，部材の強度計算を行なうに際し，仮定する作用力など，どのような設計条件を与えるかがまず問題となろう。本報告で紹介した諸実験は，上記のような設計条件についての問題点を検討するために実施したものである。この実験結果から，土質に対するグラブの落下速度の選び方によっては，各部材にかかる衝撃応力を無視できないこと。掘削過程においてグラブ刃が転石類や硬土盤の凸部をひっかけるときは，グラブ刃にかなり大きな曲げモーメントがかかるから，これを考慮する必要があること。および巻上げ時には，水中の巻上げ速度の程度によっては，水中での水の抵抗力も含んだ巻上げ荷重を見込み，さらにグラブが水中から空気中に移る際には，バケット内部に残る水の重量も含んだ巻上げ荷重を考えて，それぞれの場合の部材応力について検討すべきであること等が推察された。

そこで上記のような考え方によって，主として転石類を含む土砂をつかむ場合を仮定し，実験に用いたグラブについて一般の機械設計の参考書によって求める範囲の

簡単な応力計算例を示し，実験結果と比較してみた。

### 5.2 着地時の衝撃応力の計算

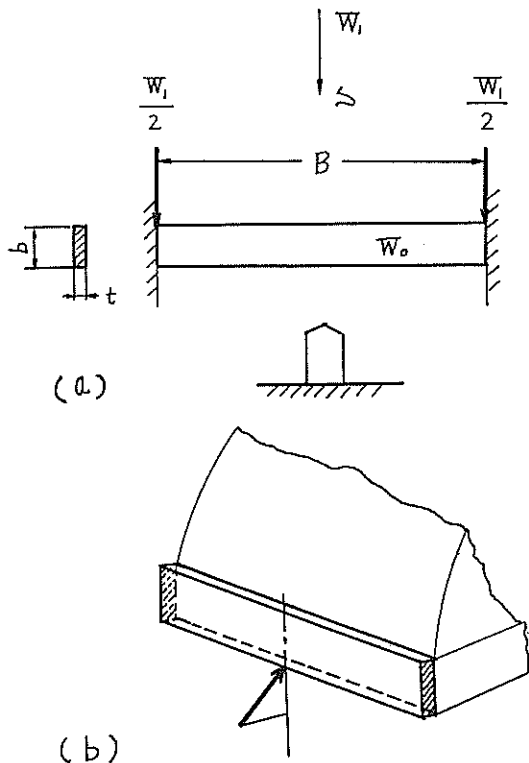
#### (1) グラブ底板の衝撃応力計算

グラブの着地時の衝撃応力の計算を行なうに際して，グラブのような複雑な形状をした構造物の計算値と実測値が，どの程度に一致するかについて，2，3の文献によって考えてみよう。はじめに文献—4—においては，簡単な片持梁の先端に物体を衝突させるときの衝撃による変位，応力を一般材料力学のひずみエネルギーの式から求めた計算値と実測値を比較すると，計算値の約70~80%の範囲で一致したと記されている。次に動的貫入試験において，ロッドにかかる衝撃応力を測定した結果では，衝撃波動の理論から求めた応力の計算値に対し，ロッド下方に石材を置いた場合の実測値が20~50%の範囲となり，ロッド下方に鉄材を置いた場合は，石材のときよりも16%前後大きい値になったと報告されている。(文献—5—) 動的貫入試験機を土盤に貫入させる場合の実験結果では，同じくロッドの衝撃応力は，計算値の約25%以下であった。(文献—6—) 上記の文献における実験は，グラブよりも比較的単純な形であり，理論的に取扱うのに都合のよい条件であるのに，このように計算値と実測値がくい違い結果となっていることに留意して，グラブの衝撃応力を考えてみよう。

グラブをコンクリートブロック上に落下させる実験結果では，グラブ底板中央部の応力の変化状態が，底面に垂直な方向に激しく振動していることが観察された。これに対し二重板構造になっている底板の刃の部分の応力の変化状態は，引張，または圧縮側の何れかに片寄った応力となって現われた。このことから，底板中央部付近の鋼板は，船舶の外板のように一様に縦強度を受持つとして計算することはできないように思われるので，グラブ刃の部分のみで衝撃力を受持っているとして仮定して計算を行なう方が，より安全側で確実であると考えた。次にグラブ刃の全面が平らな面をもつ転石，または硬土盤上に同時に着地することは少ないので，刃巾方向の中央に転石等の凸部が衝突するとして計算を行なう。

いまグラブ刃が衝撃曲げのみを受けるときの状態を図—8—の(a)に示す。このときに衝撃によって生じる応力の最大値  $\sigma_1$  は，次のようにして求める。(文献—2—)

$$\left. \begin{aligned} \delta_{s1} &= \frac{W_1 B^3}{192 E I_z} \\ \delta_1 &= \delta_{s1} \left\{ 1 + \sqrt{\frac{1 + \frac{v^2}{\delta_{s1g}} \left( 1 + \frac{13}{35} \frac{W_0}{W_1} \right)}{\left( 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{W_0}{W_1} \right)^2}} \right\} \dots\dots(1) \\ \sigma_1 &= \frac{W_1 B}{8 Z_z} \cdot \frac{\delta_1}{\delta_{s1}} \end{aligned} \right\}$$



図—8

上式で、 $\delta_{s1}$ =静たわみ (m)  $W_1$ =グラブ片側の落下衝撃重量 (kg)  $B$ =刃巾 (m)  $E$ =直弾性係数 ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )  $I_z$ =断面2次モーメント ( $\text{m}^4$ )  $\delta_1$ =衝撃点の瞬時的最大たわみ (m)  $v$ =グラブの落下速度 (m/sec)  $g$ =重力の加速度 ( $\text{m}/\text{sec}^2$ )  $W_0$ =グラブ片側の刃部分の重量 (kg)  $Z_z$ =断面係数 ( $\text{m}^3$ )

上式で $W_0$ が $W_1$ に比して小さく、これを省略できる場合には、

$$\delta_1 = \delta_{s1} (1 + \sqrt{1 + v^2/\delta_{s1}g})$$

さらに $\delta_{s1}$ は落下の高さ、すなわち $v^2/2g$ に比して小さいと仮定すると、

$$\delta_1 \approx \sqrt{\delta_{s1}v^2/g}$$

であるから $\sigma_1$ は次のようになる。

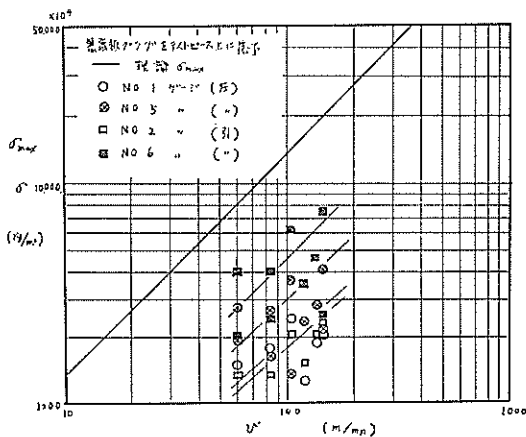
$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{9Ev^2}{g} \cdot \frac{W_1}{Bbt}} \dots\dots\dots(2)$$

実験の結果によると、実際には衝撃力の方向は図—8の(b)に示すようにグラブ刃の外側から内側に向かって傾斜して作用し、グラブ刃の断面には衝撃による曲げ応力と比較的小さい値の剪断力の他に振り応力もかかることになる。この場合の衝撃振り応力は断面の $b$ と $t$ の比が大

きい場合に次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= \frac{\tau_1^2 Bbt}{6G} \\ \tau_1 &= \sqrt{\frac{3Gv^2}{g} \cdot \frac{W_1}{Bbt}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

上式で  $U_1$ =振り弾性エネルギー (m-kg)  $\tau_1$ =最大衝撃ねじり応力 ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )  $G$ =剪断弾性係数 ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) である。ゆえにグラブ刃の断面には、式(2)の $\sigma_1$ と式(3)の $\tau_1$ を組合せた応力が作用することになる。実験結果から衝撃力の方向と大きさを正確に求めることは困難であるが、 $\sigma_1$ と $\tau_1$ の値は、グラブ刃断面の $b$ 、 $t$ の長短に関係なく、何れの方法から衝撃力が作用するときでも、同じ式が使えるから、図—8において垂直方向のみから衝撃を受けるときの $v$ と $W_1$ の値を用いて、大略の目安をつけることができると思われる。すなわち、作用力の方向が変わっても $W_1 v^2$ の積は不変であるとして計算を行なうものである。実験に用いたグラブで  $W_1 = Wg/2$  とおいて上記の計算を行ない、実測値と比較してみると図—9のような関係となり、計測値と実験値は、予測したようにかなり大きな差が認められる。



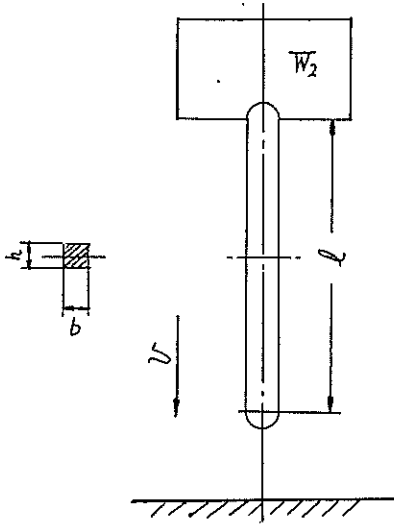
図—9 グラブ刃の部分の衝撃応力の計算値と実測値の比較

(2) ロッドの衝撃応力計算

グラブの着地時にロッドの受ける衝撃力は、上部滑車箱重量とロッド自重による力だけであり、実験時に認められた反対方向の引張力は、上記の力よりも小であるから無視して計算を行なう。普通ロッド軸は垂線に対して傾斜しているから、ロッドの中央部での静荷重は

$$W_2 = \frac{1}{4} (W_{g1} + \frac{1}{2}W_{g3}) \sec\theta \dots\dots\dots(4)$$

上式で $W_2$ =ロッドにかかる圧縮力 (kg)  $W_1$ =上部滑車箱の重量 (kg)  $W_{g3}$ =4本のロッドの重量 (kg)  $\theta$ =ロ



図—10

ッド軸と垂線とのなす角度である。

次にロッドの衝撃応力は図—10のような状態がかかると考えて、傾斜しているためにロッドの自重によって生じる衝撃曲げの作用を省略すれば、衝撃による最大圧縮応力  $\sigma_2$  は次式で表わされる。

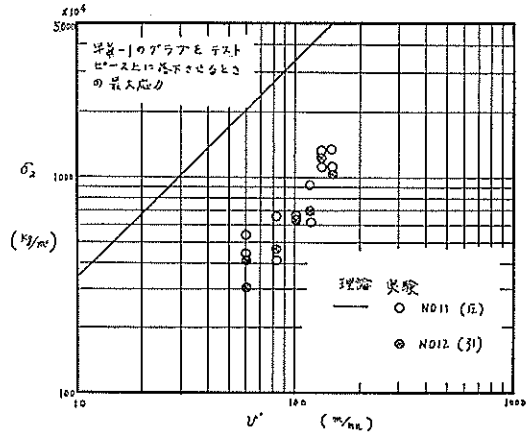
$$\left. \begin{aligned} \delta s_2 &= \frac{W_2 l}{A_2 E} \\ \delta_2 &= \sqrt{\delta s_2 v^2 / g} \\ \sigma_2 &= \sqrt{\frac{W_2 E}{A_2 l g}} \cdot v \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

上式で  $\delta s_2$  = 静荷重圧縮量 (m)  $l$  = ロッドの長さ (m)  $A_2$  = ロッドの断面積 ( $m^2$ )  $\delta_2$  = 衝撃による瞬間圧縮量 (m) である。ロッドを長柱として計算する場合は、かがまり (挫屈) の問題を考える。Euler の式から、

$$\sigma_K = n\pi^2 \frac{E}{\left(\frac{l}{k}\right)^2} \dots\dots\dots (6)$$

ここに、 $\sigma_K$  = かがまり強度 ( $kg/m^2$ )  $n$  = 両端球面のときに 1,  $k$  = 断面の最小回転半径 (m)  $l$  = ロッドの長さ (m) である。上記の式(4)と式(5)によって実験に用いたグラブの場合の計算を行なってみると、計算値と実測値の関係は図—11に示すようにグラブ刃の場合と同様に相当の差が認められる。ロッド両側の応力の平均値はもっと小さい。

以上に述べたグラブ刃とロッドにかかる衝撃応力は、ひずみエネルギーの式から求まる計算値が、コンクリートブロックのように硬い物質上に落下させるときでも、このように実験値と大きな差があった。また鉄塊の上に落下させるときも、コンクリートブロック上の場合とあま



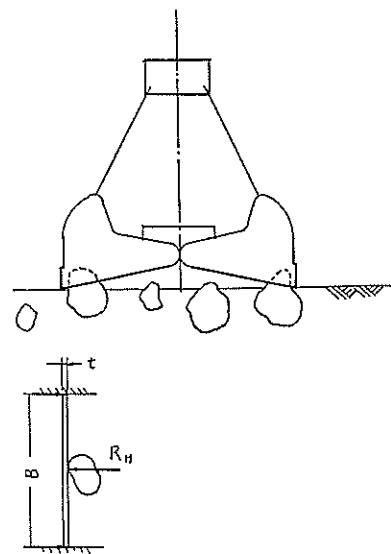
図—11 ロッドの衝撃応力の計算値と実測値の比較

り変らず、計算値との差が大である。ゆえに実験値がコンクリートブロック上に落下させる場合の  $1/10$  以下の応力となる砂面や軟泥上へ落下させる場合は、その現象から考えてもひずみエネルギーの式が適用できないことが明らかである。これらの土質に対する衝撃応力の計算については、今後他の研究とも関連して基本的な調査を行なう予定である。ゆえに本報告ではその傾向と応力値がこの程度の値になるということだけに留めて参考とされた。

### 5.3 つかみ過程中的の部材応力の計算

#### (1) グラブ底版の応力計算

この場合は、図—12に示すように全開の状態で転石類



図—12



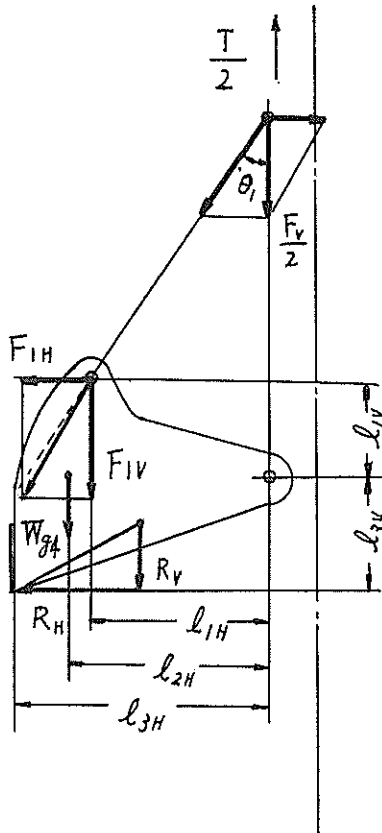


図-13

や硬土盤の凸部をつかんだときに、グラブ刃に最も大きい曲げモーメントがかかる。この計算に当つては衝撃力計算のときと同様にグラブ刃の部分のみで力を受持つと仮定し、つかみ力は閉鎖鋼索張力Tが巻上げ荷重Wに等しい場合について、図-13から片側の閉鎖用鋼索巻かけ数をnとして次のようにして算出する。

$$\begin{aligned}
 & \text{上下滑車箱間を引張り合う力} F_V \\
 & F_V = (n-1)T = (n-1)W \\
 & \text{ロッド下部ヒンジ点を押す力} F_{1V} \text{ と } F_{1H} \\
 & F_{1V} = \frac{1}{2} \left\{ (n-1)W + W_{g1} + W_{g3} \right\} \\
 & F_{1H} = \frac{1}{2} \left\{ (n-1)W + W_{g1} + \frac{1}{2} W_{g3} \right\} \tan \theta_1 \\
 & \text{水平つかみ力} R_H \text{ と 垂直力} R_V \\
 & R_H = \left\{ l_{1H} F_{1V} + l_{2V} F_{1H} + \frac{1}{2} l_{2H} W_{g1} \right. \\
 & \quad \left. + l_{3H} (W - W_g) / 2 \right\} / l_{3V} \\
 & R_V = (W - W_g) / 2 \\
 & R_H \text{ と } R_V \text{ の合力 } R \\
 & R = \sqrt{R_H^2 + R_V^2}
 \end{aligned} \quad \dots\dots(7)$$

次にグラブ刃にかかる最大曲げ応力 $\sigma_3$ は、二重板構造の部分で固定梁と考えて、

$$\begin{aligned}
 M &= R_H B / 8 \quad Z_z = b t^2 / 6 \\
 \sigma_3 &= \frac{M}{Z_z} = \frac{3}{4} \frac{R_H B}{b t^2}
 \end{aligned} \quad \dots\dots(8)$$

またグラブ刃の断面にかかる捩り応力 $\tau_3$ は、次式によって表わされる。

$$\begin{aligned}
 T &= R e \\
 \tau_3 &= \frac{T}{k_1 b t^2}
 \end{aligned} \quad \dots\dots(9)$$

上式でT=捩りモーメント (m・kg),  $l$ =断面の剪断中心からRの作用線までの距離 (m),  $k_1 = b$  と  $t$  の比が大きい場合は0.333である。ゆえに式(8)の $\sigma_3$ と式(9)の $\tau_3$ の組合せ応力 $\sigma_{max}$ と $\tau_{max}$ はそれぞれ次のようになる。

$$\begin{aligned}
 \sigma_{max} &= \frac{1}{2} \sigma_3 + \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_3^2 + 4\tau_3^2} \\
 \tau_{max} &= \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_3^2 + 4\tau_3^2}
 \end{aligned} \quad \dots\dots(10)$$

閉鎖用鋼索張力  $T_x = 19.5 \text{ kg}$  を与えて、掘削過程における計算を行なってみると、図-14に示す結果となり、これは実測値とかなりよく合っていることが判る。

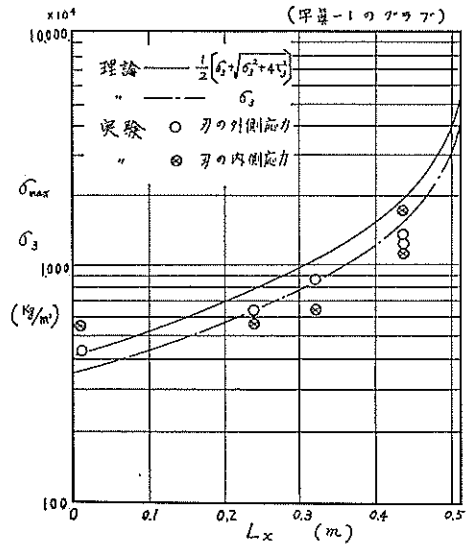


図-14 掘削過程中的グラブ刃応力の計算値と実測値の比較

(2) ロッドの応力計算

グラブ刃を全開の状態では転石類、または硬土盤の凸部をつかむ場合に、ロッドについての応力計算は次式によって行なう。



の関係が得られる。式(8)の $F_R$ を式(8)の $R_H$ に、また $R$ は式(9)にそのまま代入すれば、グラブ刃の部分の最大応力が求まる。この場合の計算値は、図-14の $L_x$ の値の小さい部分に相当し、実測値ともよく一致している。

巻上げ時のロッドの応力の計算式は、掘削過程における式(4)と全く同じである。ゆえに実験に用いたグラブのロッドは、着地時の衝撃力を伴う場合の応力以外は、計算を必要としない程に丈夫であることがわかる。

## 6. 本報告の結論

以上はグラブの部材強度と、水中において巻上げ時に受けるグラブの抵抗力について、実験結果の一部を紹介し、この問題に対する考え方をまとめてみたのであるが、主な結論として次のことがいえる。

- (1) グラブの着地時の衝撃力、および掘削過程中の抵抗力は、何れもグラブ底板や刃の部分等の部材に単純な圧縮力として作用するものでなく、曲げや捩りの力と組合された形で作用するのが常である。ゆえにグラブの計画、設計に際しては、このことを考慮して設計条件を定めるべきである。
- (2) 水中を巻上げる際のオレンジピールグラブの抗力係数は、本実験の場合は $C_D \approx 2.7$ であった。水中から空気中へ巻上げる際に、水面付近での巻上げ荷重の変化に伴う衝撃的な力は、バケット内部に入った水の重量以上のものを見込む必要はないようである。
- (3) 実験に用いたハーフタイン型のグラブでは、均質な砂に対してグラブ刃やロッドの部材応力は小さく、さらにグラブの重量を軽減する余地があるが、転石類を含む土砂に対しては、強度が不足する部材もあった。

上記の結論は、容量 $0.005m^3$ の模型グラブによって得たものであるから、実際面で使用されているグラブとは、その規模が大分違う。ゆえに実際面において本報告の内容と一致しない傾向もでてくることと思う。今後これよりも大きいグラブによって確かめてみる予定である。

さらにグラブ部材にかかる衝撃応力の問題については、基本的な取扱いの面で尚不明な点も多いが、これは現在調査中の浚渫土質分類試験や、砕岩棒の貫入の問題と関連して今後研究を実施する予定である。間もなく明確な解答が得られると考えているので、本報告では理論的な解析をしばらくおき、衝撃に対する傾向と応力値がこの程度になるということだけに留めた。この点を考慮

の上参考とされたい。

## 7. 総括

本論文においては、第1報において、グラブと土質の関係が $W_s/W_g - L\sqrt{B/2W_g}$ 特性によって表示できることを見出し、第2報においては、この関係を実際面で利用する場合について、種々の角度から検討して、グラブの基本的な選定方法を提案した。次にこの第3報では、上記の方法で計画したグラブの設計上の問題点に対して、その計算法について一つの考え方を紹介した。

浚渫用のグラブについて、さらに調査研究しなければならない事項はたくさんあるが、この研究を進めてゆくための基礎となるべき手がかりは、本論文の第3報までにおいて得られたものと判断できるので、一応本報告をもってこの論文を完結させることとしたい。今後の研究予定としては、すでに述べたように、より大型のグラブによって種々の現象を確かめてみることに、以前に製作を終えたアルミ製の軽量型グラブの自重を広範囲に変えて多くの土質について $W_s/W_g - L\sqrt{B/2W_g}$ 特性を求めること、および実際面のグラブ浚渫船についての実船試験結果の解析等を行ない、その内容は順次に港研資料等で紹介してゆく予定である。本論文の内容が実際面において何らかの参考となれば幸であると考えている。

終りに、この研究の実施に際しては、機材部長松田氏をはじめ、機材部の各位に種々御指導、御助言を頂いている。上記の方々にここで改めて御礼申上げる次第である。

## 参 考 文 献

1. 港湾技術研究所報告 (1965, 1966) 浚渫用グラブの研究 (第1報, 第2報)
2. 小川義朗: 産業図書株式会社 (1946) 機械設計法
3. 原田幸夫: 槓書店 (1962) 流体の力学
4. 日本機械学会誌 Vol. 69 No. 575 (1966) 津村利光: 材料力学 (衝撃) 小特集
5. 土と基礎 Vol. 8, No. 6, Vol. 9 No. 1, 2 (1960, 1961) 北郷繁: 動的貫入試験に関する研究 (第1報, 第2報, 第3報)
6. 土と基礎 Vol. 13, No. 2 (1965) 竹中準之助: 深い砂レキ層のN値の修正法
7. 日本機械学会 材料力学部門委員会 (1962) 材料力学 (上・下)

(昭和41年12月27日受付)

# 港湾技術研究所報告 「浚渫用グラブの研究」

## — 正 誤 表 —

巻 号	場 所	誤	正	
Vol. 4 No. 7	P. 3 左上から6行目	グラブを閉じ終った	グラブを閉じ終った	
	P. 3 左下から5行目	ララブ刃先	グラブ刃先	
	P. 3 右上から4行目	考えること	考えると	
	P. 3 右下から2行目	砂質土についてはぼ	砂質土についてはぼ	
	P. 4 左上から9行目	全開時の刃先間隔の	全開時の刃先間隔Lの	
	P. 4 左上から11行目	SがほぼLに	SがほぼLに	
	P. 4 右上から3行目	比を考えること	比を考えると	
	P. 4 右上から9行目	ほぼ図-6	ほぼ図-6	
	P. 5 右上から1行目	得るための実験	得るための実験	
	P. 5 右上から2行目	3-3実験設備	3-2実験設備	
	P. 6 右上から2行目	2基	4基	
	P. 8 左下から6行目	外部へこぼれ出る	外部へこぼれ出る	
	P. 8 左下から4行目	土量に対するこぼれ出る	土量に対するこぼれ出る	
	P. 8 右下から2行目	その値はほぼ	その値はほぼ	
	Vol. 5 No. 7	P. 1 上から4行目	between	between
		P. 1 上から8行目	fond tat	found that
P. 1 上から9行目		grabbedd	grabbed	
P. 2 右上から15行目		$W = W_g + W_s$	$W = W_g + W_s \dots \dots (1)$	
P. 2 右上から20行目		グラブ重量 $E_G$	グラブ重量 $E_g$	
P. 3 左上から1行目		比例係数と	比例係数 $K$ と	
P. 4 左上から2行目		$T_s/W_g$ の差がグラブの	$T_s/W_g$ の差がグラブ	
P. 4 左下から8行目		$W_s/W_g = L \sqrt{B/2W_g}$	$W_s/W_g = L \sqrt{B/2W_g}$	
P. 4 右下から7行目		$l_{1H}F_{1V} + l_{1V}F_{1H} + \frac{1}{2}l_{2H}$	$l_{1H}F_{1V} + l_{1V}F_{1H} + \frac{1}{2}l_{2H}$	
P. 5 図-6		グラブの各ヒンジ点	グラブの各ヒンジ点	
P. 5 右下から8行目		つかみ重量の値	つかみ重量 $W_{sx}$ の値	
P. 6 左下から4行目		実験により確かめられた	実験により確かめられた	
P. 6 右上から3行目		基本的問題が	基本的な問題が	
P. 6 右下から2行目		大きな差は	大きな能力の差は	
P. 6 図-11		文献-1より	文献-2より	
P. 8 左上から1行目		実施してきた	実施してきた	
P. 9 左上から4行目	つかみ重量 $W_g$ は	つかみ重量 $W_s$ は		

巻 号	場 所	誤	正
Vol. 5 No. 7	P. 9 左上から7行目	ほぼ $Ws \sim Wg^{1/2}$	ほぼ $Ws$ の $Wg^{1/2}$
	P. 9 右上から12行目	これらの記録を	これらの記録を
	P. 11 図-19	巻かけ数とつかみ重量	巻かけ数 $n$ とつかみ重量
	P. <del>12</del> <sup>11</sup> 右下から14行目	付表にグラフの詳細を	付表-1にグラフの詳細を
	P. 12 図-22	本報告の $n=3$	本報告の $n=4$
	P. 12 右上から1行目	$L\sqrt{B}=2.52$	$L\sqrt{B}=2.54$
	P. 13 左上から6行目	供試材料が砂	供試材料が砂
	P. 14 左上から4行目	過程において流出する	過程において流失する
	P. 14 右上から10行目	比較できないか	比較できないが
	P. 15 右下から1行目	付図-9を参照されたい	付図-9を参照されたい
	P. 16 左下から6行目	Bの寸法だけで代表させている	Bの寸法だけで代表させている
	P. 16 左下から6行目	あくまで普通に	あくまでも普通に
	P. 16 左下から3行目	$Ws/Wg - L\overline{Ws/Wg}$	$Ws/Wg - L\sqrt{B/2Wg}$
	P. 16 右下から7行目	作業船 No. 40	作業船 No. 42
	P. 17 写真-7	$L\sqrt{B^2/Wg}$	$L\sqrt{B/2Wg}$
	P. 17 写真-12	$T\sqrt{B/2Wg}$	$L\sqrt{B/2Wg}$