

港 灣 技 研 資 料

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

No. 37 October 1967

作業船調査報告（その7）

一 大槌号実船試験報告 —……………松田 任・守口 照明・木原 純孝
藤井喜一郎・奥出 律

昭和 42 年 10 月

運輸省港湾技術研究所



大 槌 号 実 船 試 験 報 告

目 次

標 要

1. まえがき	1
2. 大槌号の概要	2
3. 調査—I	3
3.1 作業状態	3
3.2 重錘の落下高さおよび貫入量	6
3.3 調査—Iのまとめ	10
4. 調査—II	10
4.1 黒鼻の磯の地勢	10
4.2 地質構造	11
4.2.1 地質の概況	11
4.2.2 クラックの状態	12
4.2.3 岩石の試験結果	12
4.3 重錘の落下速度および巻上速度	14
4.3.1 測定装置	14
4.3.2 落下速度の測定結果	14
4.3.3 落下速度の計算式	17
4.3.4 重錘の巻上速度	30
4.4 重錘の落下高さおよび貫入量	31
4.4.1 貫入量の測定	31
4.4.2 貫入量の計算式	37
4.5 砕岩時間と能率	39
4.5.1 砕岩時間	39
4.5.2 砕岩能率	41
4.6 運転実績との比較	44
4.7 重錘先端の摩耗	46
5. 破碎係数についての2, 3の考察	48
5.1 破碎係数の表わしかた	48
5.2 貫入量の決定方法	48
5.3 砕岩装置の設計について	49
6. 調査結果のまとめ	50
7. あとがき	50
参 考 文 献	50
記 号 表	51
付 表	53
付 録	69

Investigation on the Performance Test on the Rock Breaker Barge "OZUCHI GO"

Jin MATSUDA *
Teruaki MORIGUCHI **
Sumitaka KIHARA ***
Kiichiro FUJII **
Tadashi OKUDE ***

Synopsis

With the recent construction of large size oil-tankers and ore carriers, the routes already constructed have become narrower and its depth of water are now insufficient for the pass of these large-size ships.

At present, for the removal of dangerous unsunken rocks dotted in the Inland Sea of Seto, Kanmon Region and other routes, various types of rock breaker is used.

In this report, the authors present the result of the analyses on the performance test by the rock breaker barge Ozuchi-Go carried out at the shore Kurohana-No-Iso in the Inland Sea of Seto to get the efficiency of rock breaker barge and some data for the desing of large-size rock breaker barge.

The barge Ozuchi-Go is a new type rock breaker barge with dozer on its bow, the width of which is 6m, the weight of its breaker is 30ton, the principal dimension is $L=33.68m$, $B=13.0m$, $D=3.0m$, $d=2.1m$.

Through this investigation on this barge, the relation between the dropping height, the frequency of dropping and interpenetration depth, and the relation between dropping height for the maximum inter-penetration depth for each dropping were confirmed.

The penetration depth by the dropping of rock breaker is expressed by the function as the crash coefficient $\tan\beta_1$ (increase incline of cumulative total of interpenetration depth) and $d'_{n=1}$ (corresponding interpenetration depth by one dropping).

The authors also present the way of measurement on the crash coefficient and examined on the relation between crash coefficient and the crash operation efficiency and some problems on the rock breaker equipments and suggested some new design method on the rock breaker.

* Head of Machinery Division.

** Research Engineer, Dredger and Construction Equipment Laboratory.

*** Research Engineer, Fluid Transportation Laboratory.

大 槌 号 実 船 試 験 報 告

松 田 任 *
守 口 照 明 ** 木 原 純 孝 ***
藤 井 喜 一 郎 ** 奥 出 律 ***

概 要

原油輸送船や鉱石専用船は年々大型化し、既設の航路は、各地において巾員や水深が不足してきている。瀬戸内海や関門その他の地区では、航路に点在する危険な岩礁を除去するために、各種の砕岩船が使用されている。

本報告では、重錘式砕岩船の性能および大型砕岩船の設計資料を得るために、瀬戸内海航路の黒鼻の磯で実施した、砕岩船大槌号の現地試験の結果について解析を試みた。

大槌号は、船首部に巾6mの水中ドーザを有する新型式の作業船で、重錘の重量30ton、船の長さ33.68m、巾13.0m、深さ3.0m、きつ水は2.1mである。

調果の結果よりみて重錘の落下による岩盤への貫入量は、落下高さ、落下回数および岩盤の破砕係数 $\tan \beta_1$ (累計貫入量の増加のこう配)、 $d'_n=1$ (重錘の落下回数が1回目のときの見かけの貫入量) の関数として求められるので、破砕係数の測定方法についての提案を行った。また、破砕係数と作業能率、砕岩装置の設計上の問題点等についても考察し、2, 3の提案を試みた。

1. ま え が き

瀬戸内海航路は、瀬戸内海沿岸のみならず、国内および国際的な物資の輸送路として、古くから重要な役割をはたしてきた。近年、岡山県南、徳島、東予、大分地区が新産業都市に、播磨、備後、周南地区が、工業整備特別地域に指定されるにおよんで、その重要性はますますたかまりつつある。上記の地域は、いずれも瀬戸内海に面した港をもち、主として、鉄鋼、石油の基幹産業を中心とした、大規模な臨海工業地帯として開発されようとしている。

産業の規模が大きくなるにつれて、石油や鉄鋼石等の原料の輸送に従事する原油輸送船や鉱石専用船は、流通コストの低下を目的として、年々、大型化の一途をたどり、航行船舶の増加とあいまって、天然の輸送路として使用が可能であった瀬戸内海航路も、しだいに狭あいになりつつあり、原料の輸送ならびに臨海工業地帯を結ぶベルトとしての機能を十分はたせるように、航路の巾および深さを増大させるための、大がかりな浚渫工事が必要となった。備讃瀬戸は、瀬戸内海航路のネックともい

うべきところで、大小さまざまな島や暗礁が点在しているために、船舶の航行にあたっては最大の難所といわれており、航路の岩盤除去を主たる目的として、砕岩船大槌号が建造された。

航行船舶の大型化にともなって、大深度における硬土盤や岩盤の浚渫は不可避となっている。岩盤を破砕するには、爆薬を使用して爆破する方法があるが、船舶のこみ合う航路においては作業が困難であり、漁業資源保護の立場からも、大規模な浚渫作業には不向きといえる。わが国では、昭和40年当時において、約20隻の砕岩船が稼動中であったが、このうち、砕岩深度が15mを越えるものは、その半数に過ぎない¹⁾。砕岩船は、装備する砕岩機構から分類すれば、重錘式と衝撃式に大別できるが、このうち、もっとも原始的な形式である重錘式砕岩船においても、岩石の破砕過程等の面で、多くの未解決の分野が残されている。スーパータンカー等の超大型船の出現によって、砕岩船もますます大型化することが予想

* 機材部長
** 作業船研究室
*** 流体輸送研究室

される。本報告は、大槌号の岩盤破砕性能を求めるため、備讃瀬戸の黒鼻および黒鼻の磯で行った、実船試験の結果について整理したものである。砕岩船の運用ならびに今後建造される大型砕岩船の設計資料の一部ともなり得れば幸いである。

2. 大槌号の概要

本船は、船体中央部に重錘式砕岩装置を、船首部に破砕した岩石の破片を排出する水中ドーザを装備した、鋼製、箱型、非航の作業船である。昭和40年3月に完成し以後、運輸省で策定した瀬戸内海航路整備計画（昭和38年）にもとずいて、備讃瀬戸の岩礁の除去作業に従事している。

大槌号のおもな仕様を次に示す。

(1) 船体部

長さ(垂線間)	33.68m
巾(型)	13.0m
深さ	3.0m
計画満載きつ水	2.1m
船体操縦ウインチ	4台
2ジブホイール式	
12/6ton×4.5/9m/min	

(2) 機関部

主原動機	1台
たて型4サイクルディーゼル機関	
250PS×1, 200rpm	
補助原動機	1台
たて型4サイクルディーゼル機関	
45PS×1, 200rpm	

(3) 電気部

主発電機	1台
防滴型自動3相交流発電機	
60C/S×440V×80KVA	
補助発電機	1台
防滴型自動3相交流発電機	
60C/S×440V×35KVA	
直流発電機	1台
防滴両軸型	
120KW(最大)	
交流電動機	
(イ) ブーム・ドーザウインチ兼用	1台
40KW(防滴巻線型)	
(ロ) 船体操縦ウインチ用	4台
15KW(全閉防水巻線型)	

(ハ) 冷却海水用ポンプ用	1台
3.7KW(防滴かご型)	
(ニ) 雑用水ポンプ用	1台
3.7KW(防滴かご型)	
(ホ) 操作空気圧縮機用	2台
3.7KW(防滴かご型)	

直流電動機

(イ) 砕岩ウインチ用	1台
70KW(防滴強制通風型)	
(ロ) ドーザ出入用	1台
70KW(防滴強制通風型)	

(4) 砕岩機部

砕岩装置	1基
形式	重錘3やぐら式
やぐら高さ(甲板上)	約17.0m
最大作業深度(水面下)	約22.0m
巻上高さ(甲板上)	約1.0m
公称能力(岩盤)	約50m ³ /hr
重錘径	700mm
重錘長さ	12.24m
重錘重量	30ton
落錘回数	60回/hr
ガイド位置	船体中央
巻上ウインチ	1台
型式	クラッチ切換式
重錘巻上能力	30ton×10m/min
ガイド巻上能力	14ton×13m/min

(5) ドーザ装置部

ドーザ装置	1式
ブレード	押出、引込用くし型
排土板	巾6m×高1.6m
公称能力	200m ³ /hr
押出引込距離	15m
押出引込最大荷重	25ton
最大作業深度(水面下)	21.0m
ドーザ押出用ウインチ	1台
型式	エンドレス形
押出力	25ton×10m/min
引込力	14ton×18m/min
船首ラダー巻上兼ドーザ巻上用ウインチ	1台
型式	クラッチ切換式
ラダー巻上能力	12.5ton×3.6m/min
ブーム巻上能力	18ton×3.6m/min
ドーザ巻上能力	25ton×3.6m/min
バックスター巻上能力	2ton×3.6m/min

主補原動機関の発停，操船，砕岩，ドーザ用ウインチ類の制御等は，いずれも運転室において遠隔操作する。

本船の一般配置を図-2-1に，全景および主要装置を写真-1～7に示す。

3. 調査 - I

調査-Iは，次章で述べる調査-IIの予備調査として大槌号の作業状態をはあくするとともに，重錘による岩石の破砕状態の大体の傾向を求めるために，実施したものである。

3.1 作業状態

備讃瀬戸は図-3-1に示すように，香川県坂出市と岡山県児島市の間に横たわる海峡で，備讃瀬戸航路の北

航路は，坂出市の北方約8kmの位置を，ほぼ，東西方向に通過している。この航路において岩盤浚渫の必要な場所は，黒鼻，黒鼻の磯，ウシガの瀬の3か所で，南航路には，岩盤浚渫の計画はない。

調査-Iは，昭和41年3月29日に，大槌号が本島南端の黒鼻での砕岩作業中に実施したもので，調査は，ふつうの作業時とほぼ同一の状態で行った。黒鼻付近は，潮流の最高が4.2ノット，潮差は3.2mにも達し，写真-8に示すように，流れが速く，潮流の停止時間は1回につき1時間程度で，潜水夫による破砕跡の観測も非常に困難である。

大槌号の砕岩作業は，バケット浚渫船やポンプ浚渫船による浚渫作業とほぼ同様に，船体の横（左右舷）方向に，順次，移動して行く。1回当りの移動量は，横方向

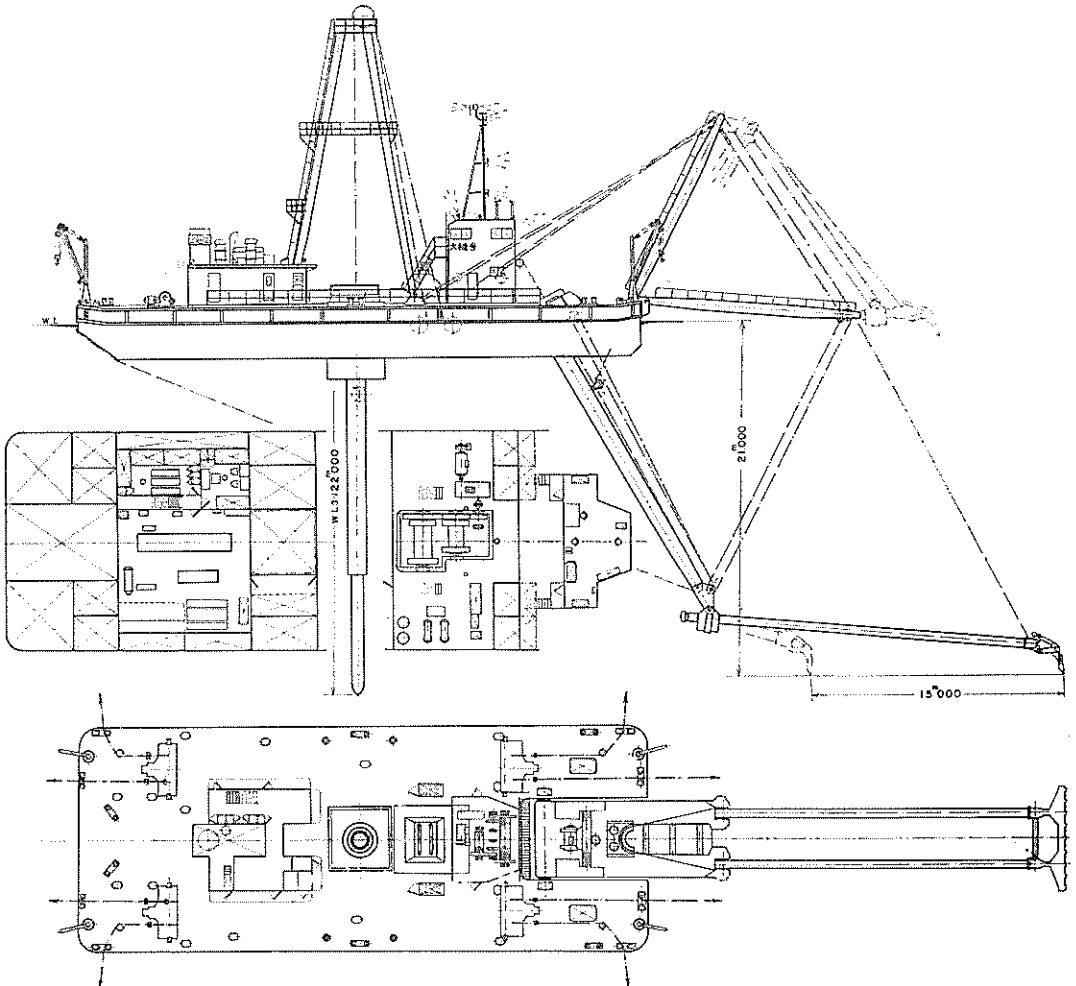


図-2-1 大槌号一般配置図

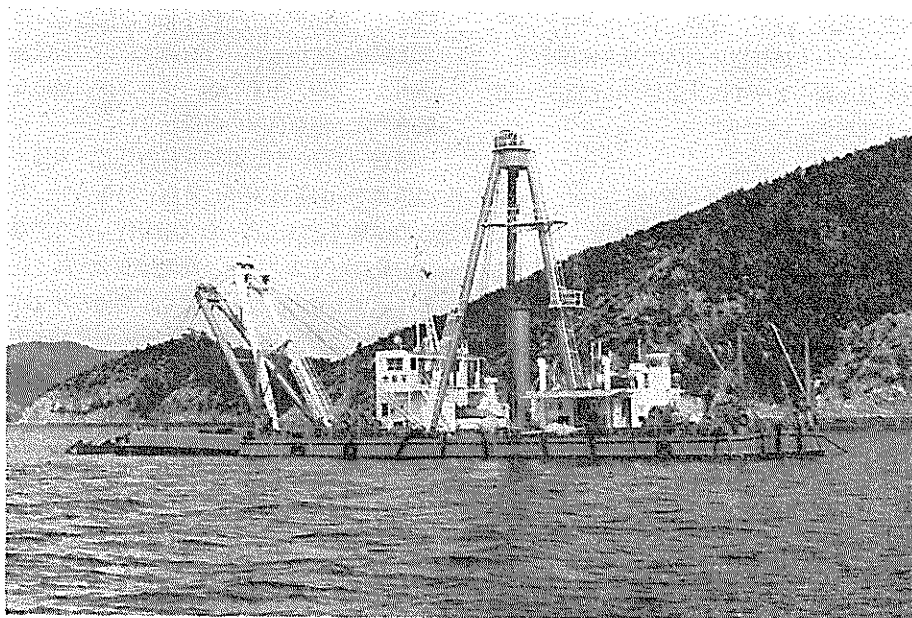


写真-1 大槌号全景

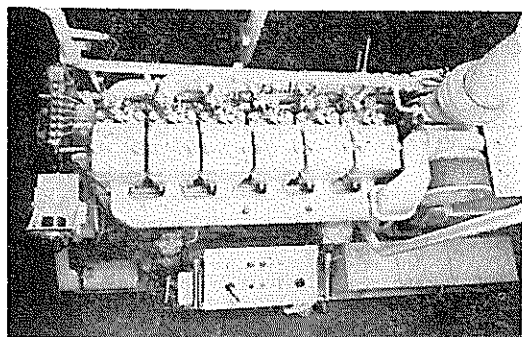


写真-2 主 原 動 機

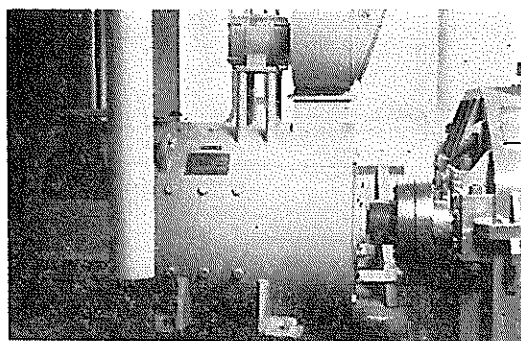


写真-4 砕岩ウインチ用電動機

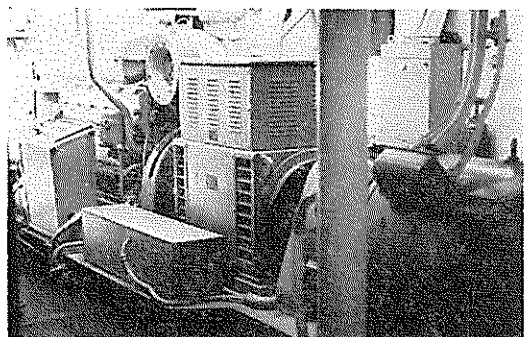


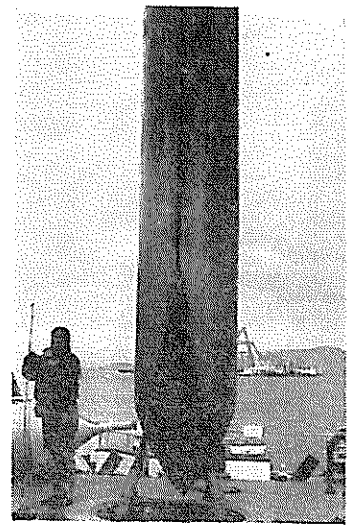
写真-3 直 流 発 電 機



写真-5 砕 岩 ウ イ ン チ

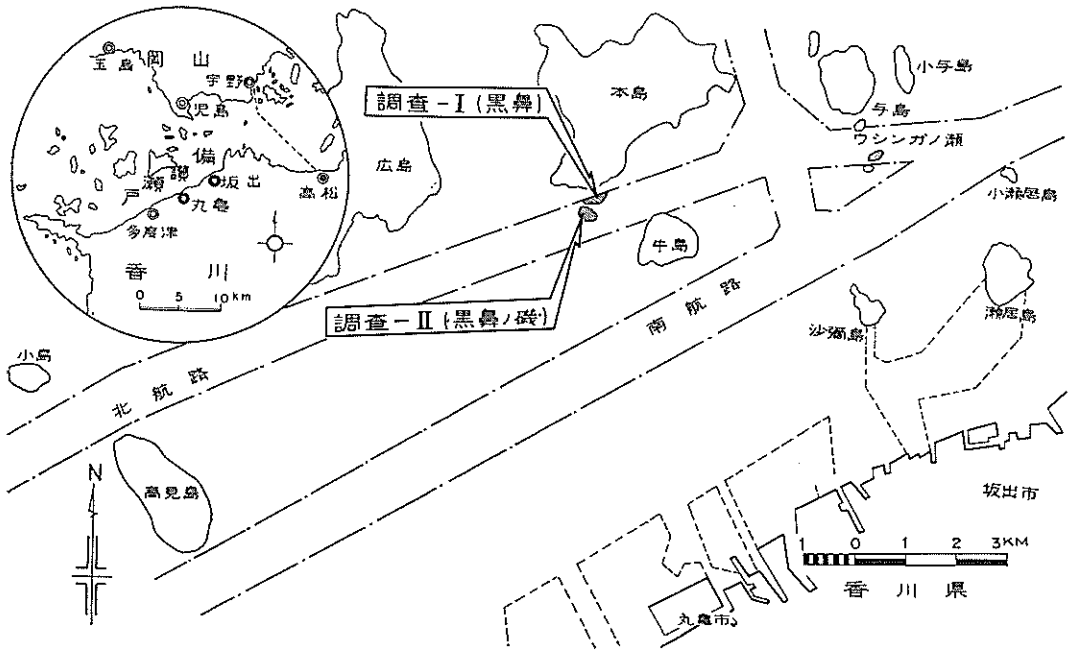


写真—6 重錘上部

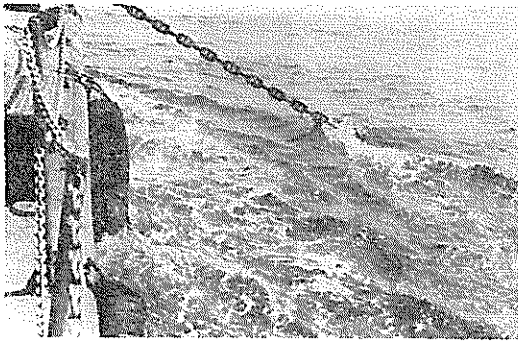


写真—7 重錘下部

備讃瀬戸航路計画図

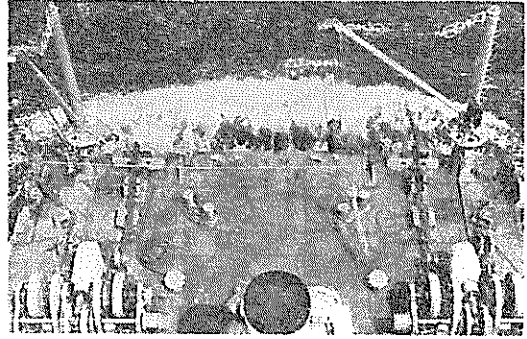


図—3—1 備讃瀬戸航路計画図

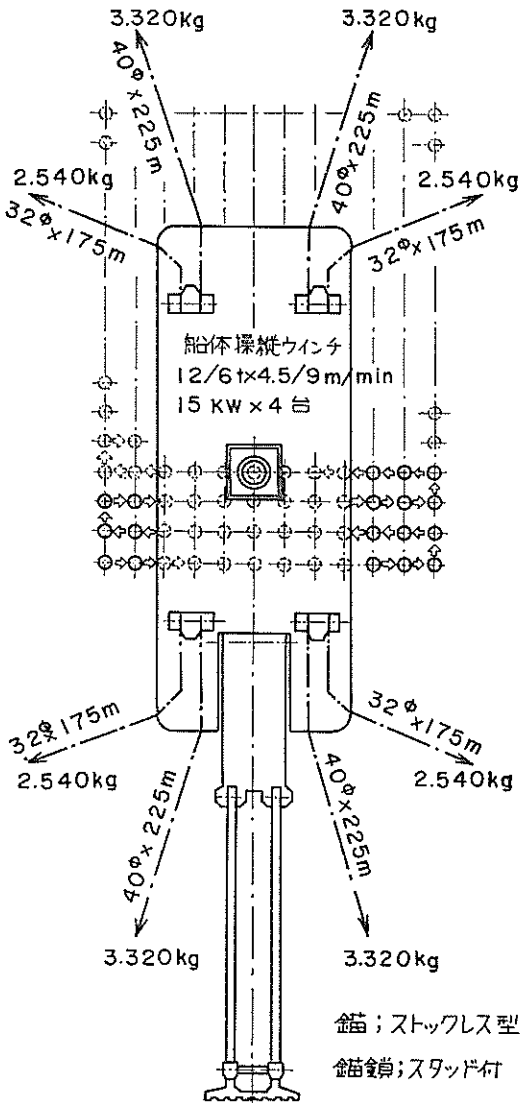


写真—8 潮流の状態

(破砕間隔)については2mで、船体を前進させる場合の前進距離(破砕ピッチ)も2mである。船体の移動および固定は、船首、船尾の各両舷に装備した2ジブホイール船体操縦ウインチによって行われる。船体の移動方向を図—3—2に、船尾操縦ウインチの配置を写真—9に示す。



写真—9 船尾操縦ウインチ



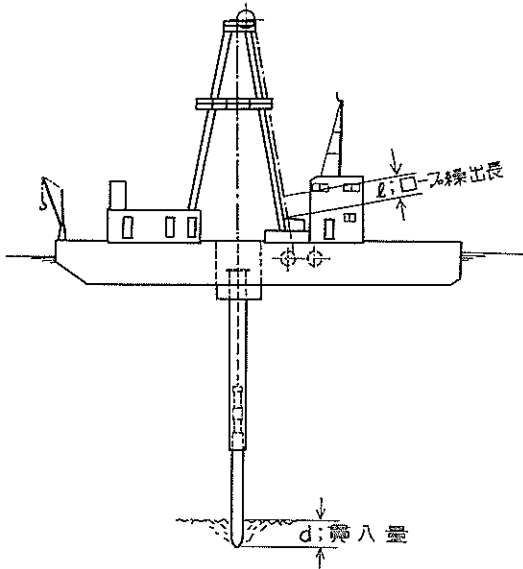
図—3—2 船体の移動方向

黒島における砕岩作業時の重錘の落下高さは、ふつう4.5m、で所定の貫入量が得られない場合のみ落下高さを5mとしている。なお砕岩場所1か所当りの最終貫入量は、調査時点までの運転実績(各月平均)によれば、0.9~1.6mである。重錘の最大落下高さの設計値は、大槌号の場合5mであるが、現地は地勢の変化が大きく岩盤の凹凸、クラック等によって、重錘が岩盤の表面を滑りながら傾いて落下し、重錘ガイドの破損あるいは重錘の折損事故を起こす等の危険があるため、設計値より低い落下高さで作業しているものと思われる。

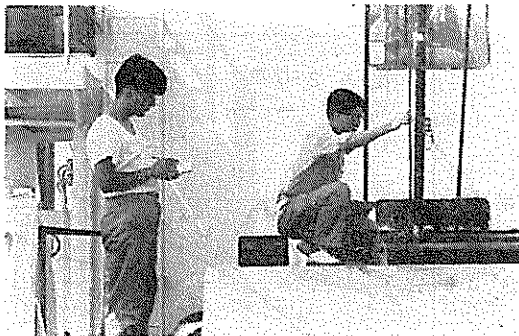
3.2 重錘の落下高さと貫入量

砕岩船の重錘の落下高さ、落下回数と貫入量の関係を示す資料は、現在のところきわめて少ない。これは、砕岩船の移動隻数が少ないことも原因の一つであろうが、そのほかに、砕岩船の対象とする地質が、硬土盤から岩盤まで多種多様で、同一場所でも種々の岩石が存在し、同一種類の岩石でも浸食の程度、クラックの大小、多少等によって、砕岩量が大きく変化するために、測定結果から他の場所の砕岩量を推定する等の適用性に乏しく、これらの理由から調査がなされなかったものであろう。砕岩船の性能は、ふつう重錘の重量、最大落下高さ、単位時間当りの落下回数等によって示される。砕岩船による実際の砕岩量は、上述した岩石の破砕性によって大きく左右されるが、今回は岩石の破砕性についての調査は除外し、重錘の落下高さ、落下回数と貫入量の間についてのみ測定した。

貫入量の測定方法を図—3—3に示す。重錘巻上用ワイヤロープには、1m間隔にペイントでマークがつけてあり、重錘を1回落下させるごとに、ウインチ室ケーシング上部のワイヤロープ貫通部において、ワイヤロープが張った状態で繰出量を測定すれば、近似的に貫入量を求めることができる。ワイヤロープの繰出量の測定状態を写真—10に示す。

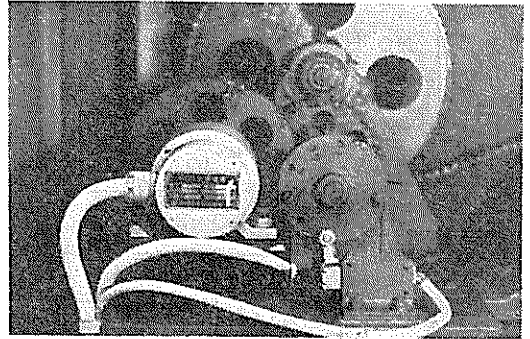


図—3—3 貫入量の測定方法



写真—10 貫入量の測定状態

重錘の落下高さの設定には、操縦室の深度計を使用した。深度計は、写真—11に示すような、砕岩ウインチドラム軸より減速機を経て回転させられるシンクロ発信器からの信号を受けて、深度を指示する。測定に先だって深度の実測値と、計器の指示する目盛との比較を行ったが、その差は±5cm以内(5cm以下は読取り不可能)



写真—11 シンクロ発信器

であり、深度計を使用して落下高さを設定しても、大きな誤差の生じないことを確認した。

本調査では、重錘の落下高さおよび落下回数が、表—1の場合において貫入量を測定した。

表—1 重錘の落下高さと落下回数

測定番号	落下高さ	落下回数	10回累計貫入量 (測定値)
No. 1	h=1.0m	n=10	0.83m
2			0.82m
3			0.30m
No. 4	h=2.0m	n=10	0.36m
5			0.70m
6			0.86m
No. 7	h=3.0m	n=10	1.34m
8			1.75m
9			1.70m
No. 10	h=4.0m	n=10	1.45m
11			1.37m
12			2.01m
No. 13	h=5.0m	n=10	2.16m
14			1.64m
15			1.11m

備考

測定月日 昭和41年3月29日

測定場所 香川県丸亀市本島黒鼻地先

黒鼻の調査場所を、図—3—4に示す。砕岩穴の間隔およびピッチは、いずれも2mである。

測定結果を、図—3—5～3—9に示す。これらの図から、重錘の落下回数と貫入量の関係は、大別して次の2種類に分類される。

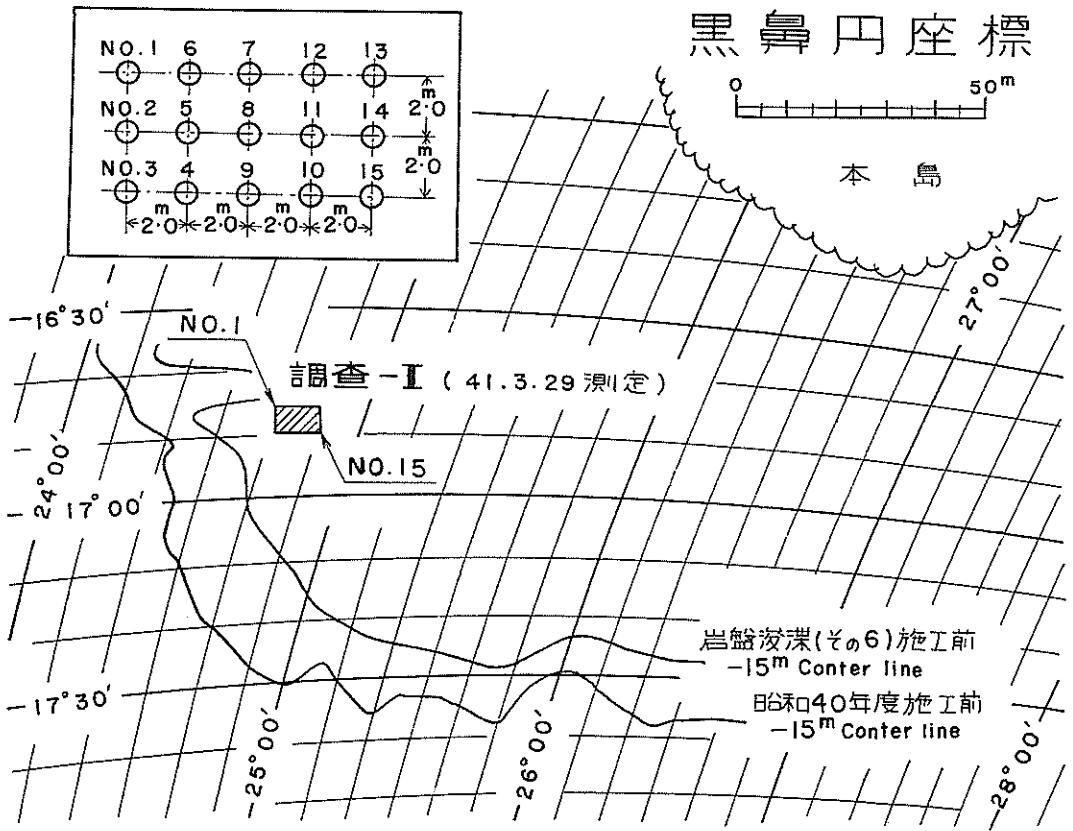


図-3-4 黒鼻円座標

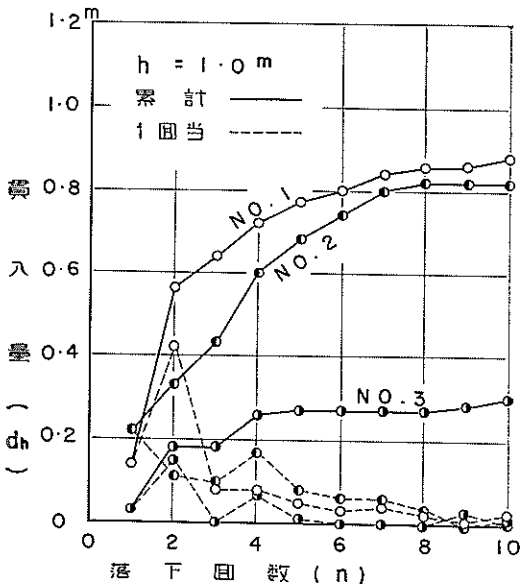


図-3-5 落下回数と貫入量 ($h=1\text{ m}$)

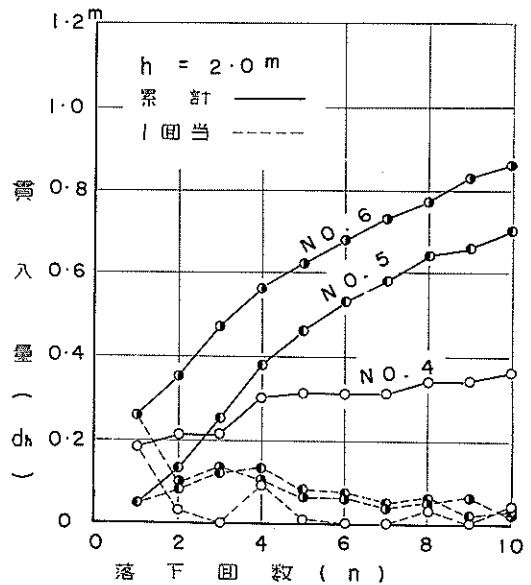
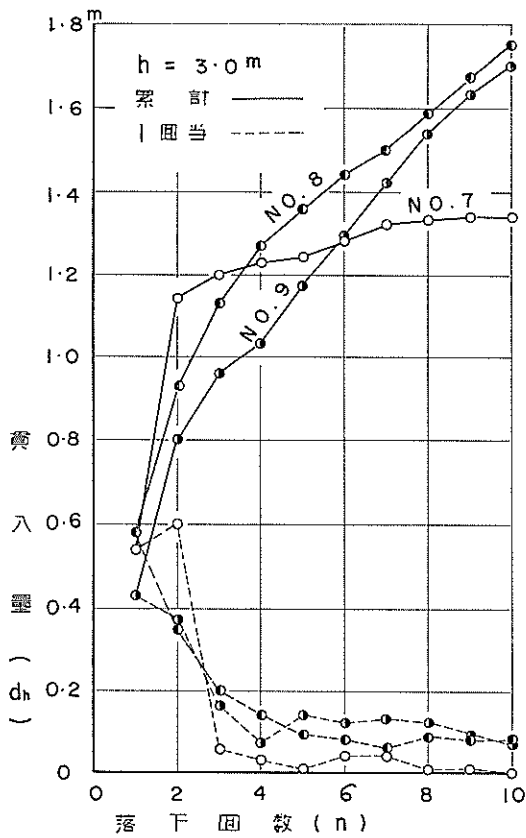


図-3-6 落下回数と貫入量 ($h=2\text{ m}$)



図一3—7 落下回数と貫入量 ($h = 3 \text{ m}$)

(1) 落下回数の増加による累計貫入量の増加のこう配が比較的急なもの

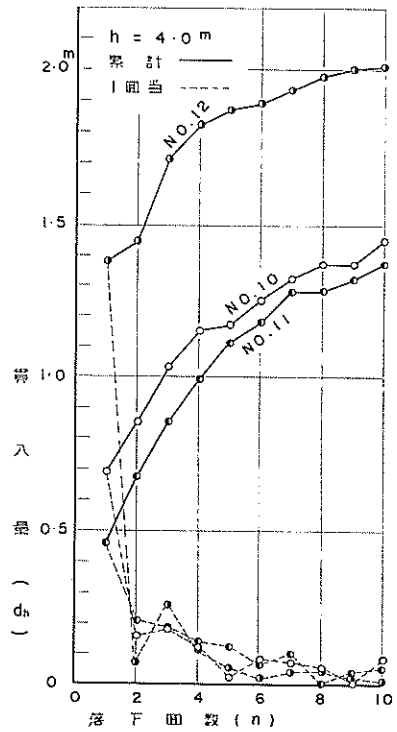
【例一1】 No. 1, No. 2, No. 5, No. 6
No. 8, No. 9, No. 12, No. 13

(2) 落下回数の増加による累計貫入量の増加のこう配が比較的ゆるやかなもの

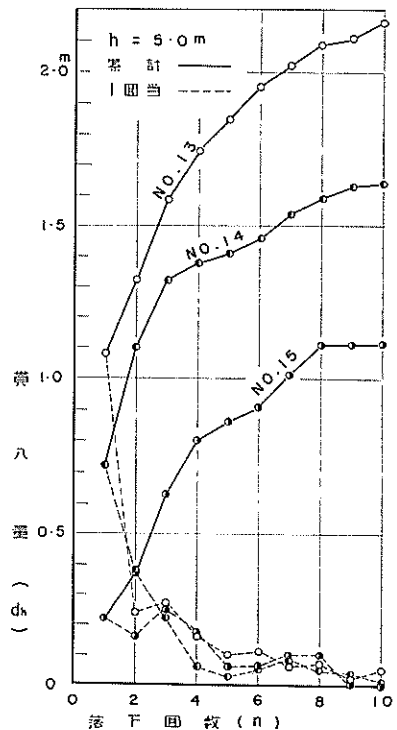
【例一2】 No. 3, No. 4, No. 7, No. 10
No. 11, No. 14, No. 15

現地の地質は水成岩の系統に属するもので、資料として、組織の比較的粗く、クラックの多い砂岩と、組織のきわめて緻密な、硬質の粘板岩と思われる岩石が採取されており、砂岩の破碎性が前述の【例一1】、粘板岩の破碎性が【例一2】の傾向を示すものと考えられる。なお地質についての詳細は、次章4.2「地質構造」を参照されたい。

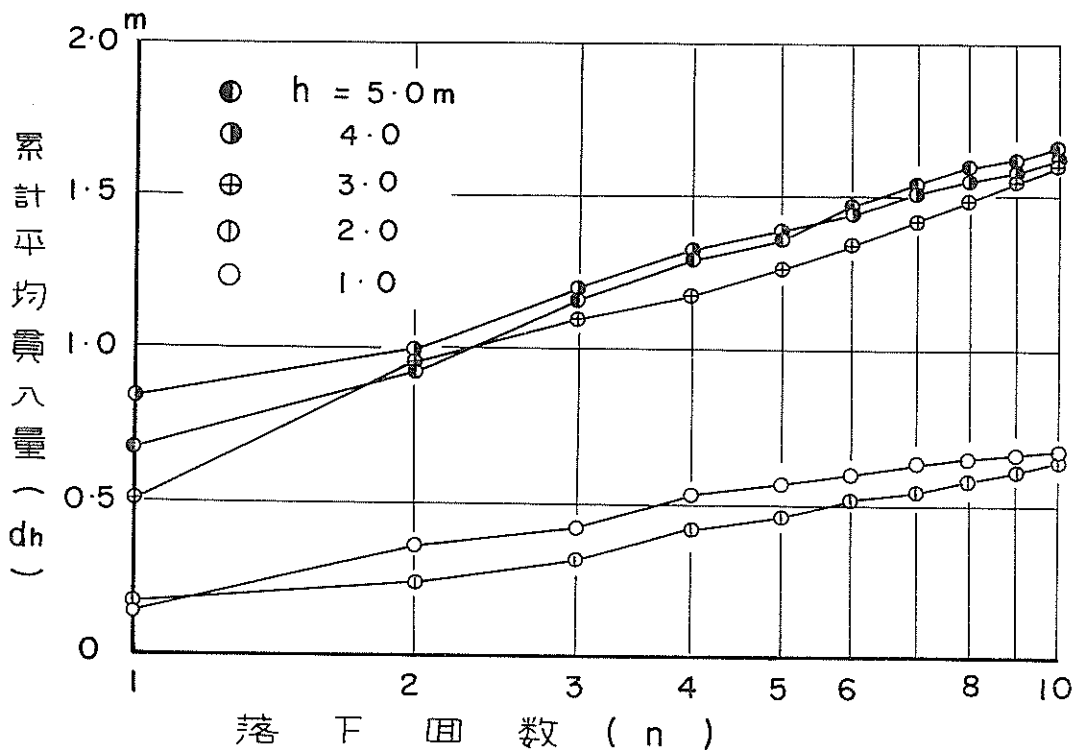
図一3—10は、縦軸に累計平均貫入量(算術目盛)、横軸に落下回数(対数目盛)をとって、各落下高さにおける落下回数と貫入量(3回測定した平均値)の関係を示したものである。図より、 $2 \leq n \leq 10$ の測定範囲で、



図一3—8 落下回数と貫入量 ($h = 4 \text{ m}$)



図一3—9 落下回数と貫入量 ($h = 5 \text{ m}$)



図一三—10 落下回数と累計平均貫入量

両者の関係は、ほぼ直線で近似される。本図において、 $h=1.0m$ 、 $2.0m$ および $h=3.0m$ 、 $4.0m$ 、 $5.0m$ のときの落下回数と貫入量の関係は、それぞれきわめて接近しており、落下高さの高低と累計貫入量の大小の順序は、かならずしも一致していない。これは、地質の変化にともなう測定値のばらつきに起因するものと考えられるが、別の要因として、各落下高さにおける重錘の落下速度も比較してみる必要がある。

3.3 調査—Iのまとめ

調査—Iによって明らかとなった測定結果および次回調査（調査—II）の測定方針を列記すると、次のとおりである。

- (1) 落下高さが一定の場合、落下回数の増加による累計貫入量の増加のこう配が比較的急な場合と、ゆるやかな場合があるが、これは主として、地質の相違によるものと考えられる。よって地質についての詳しい調査が必要である。
- (2) 着底時の重錘の落下速度を測定する。
- (3) 落下高さが一定の場合、落下回数（対数目盛）と累計貫入量（算術目盛）の関係は、ほぼ直線で表わされる。

- (4) 今回の測定では、落下高さの高低と累計貫入量の平均値の大小の順序は一致していないが、測定点数を増やすことにより、落下高さと貫入量の関係も求まるものと考えられる。
- (5) 砕岩能率を求めるために、砕岩時間および船体移動時間を測定する。
- (6) 重錘先端の摩擦量を測定する。

4. 調査—II

調査—IIは、昭和41年9月6～8日に、備讃瀬戸の黒鼻の磯において実施した。黒鼻の磯は、前回調査した黒鼻の南西方約200mに横たわる岩礁で、本船航路（北航路）のほぼ中央付近（前掲・図—3—1参照）にあり、昼夜とも多数の船舶が航行して、砕岩作業自体も非常に危険な場所である。

4.1 黒鼻の磯の地勢

黒鼻の磯の地勢は、図—4—1に示すように出入りが激しく、非常に複雑で、周囲はかなり急なこう配で深度が増加している。中央部付近は、水深が15～16mの範囲で比較的平たんであるが、これはすでに実施した—15m

黒鼻の磯深淺図

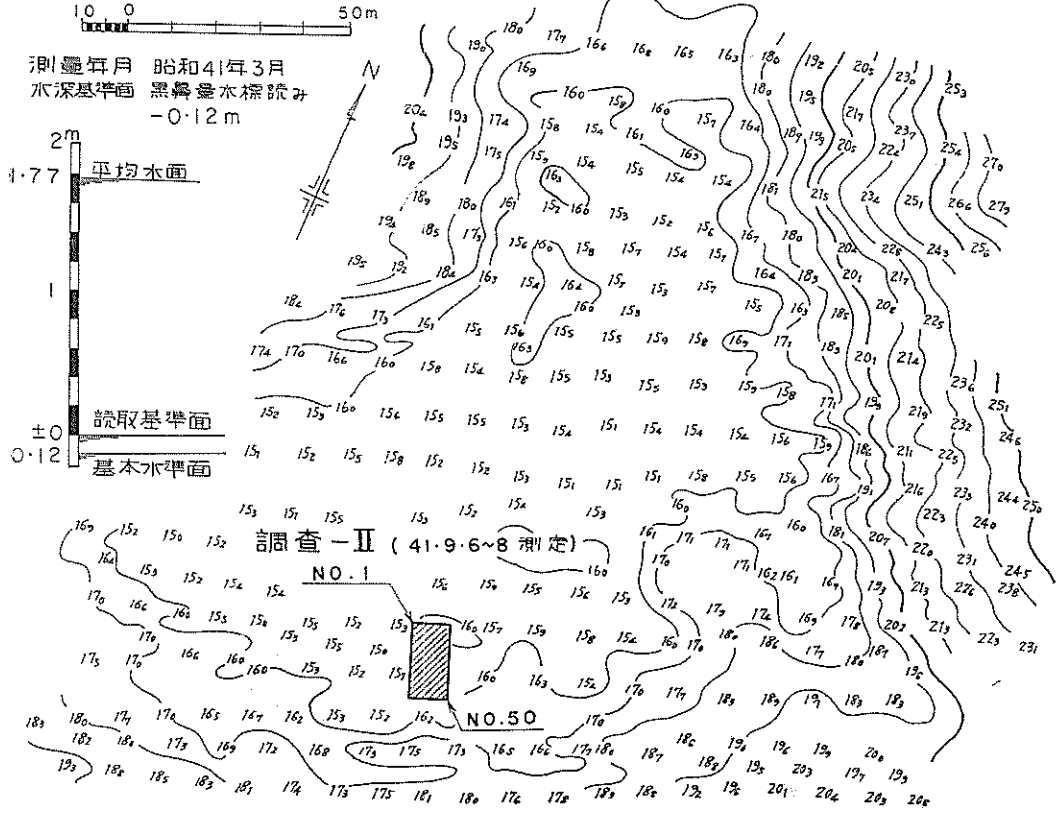


図-4-1 黒鼻の磯深淺図

の砕岩および浚渫作業が完了しているためであろう。

調査-IIは、黒鼻の磯の南端付近で実施した。黒鼻の磯における大槌号の作業状態を写真-12に示す。

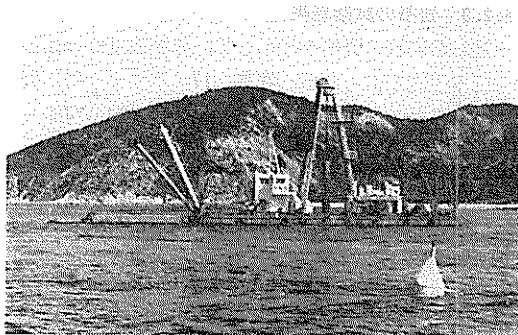


写真-12 大槌号の作業状態

4.2 地質構造

4.2.1 地質の概況

中国地方を中心として、中部、近畿、四国、九州地方

の一部を含む西南日本内帯に広く分布している花こう岩は、新白亜紀の中期から後期（約7,000万年前）にかけて地下に貫入したもので、本調査地域である瀬戸内海諸島に多く見られる花こう岩もこれに属する。瀬戸内海がいまのような形になったのは、地質学的には比較的新しく最新世（約100万年前）におきた断層運動によって、四国や九州が本州から分離したためにできたもので、瀬戸内海諸島の起源もこの時期に求められよう2)。

調査-I（黒鼻）および調査-II（黒鼻の磯）の測定場所からもっとも近い本島海岸黒鼻は、海岸部に小範囲の古生層が露頭しているが、背後地は花こう岩である。この古生層は対岸の牛島にも認められる。砕岩後、現地で採取した岩石の資料には、砂岩および粘板岩の片状ホルンフェルスの2種類が見られた。ホルンフェルスは、粘土質の粘板岩、けつ岩、砂岩が岩しよう（マグマ）に接触して、その高熱と岩しようからの物質の供給を受けて、その中の成分が再結晶してできた接触変成岩（熱変成岩ともいう）で、一般に硬質で、はく離性に富んでいる。わが国の各地の古生代および中生代の粘板岩類との

接触部に見られる接触変成岩には、この部類に属するものが多い。瀬戸内海諸島の変成岩は領家帯変成岩に属し、花こう岩の上部を被覆し、あるいはこれを囲心形で発達している。

4.2.2 クラックの状態

写真-13は、現地で採取した砂岩で、ほぼ一定方向に多数のクラックが認められ、はく離性に富むことを暗示している。写真-14は、粘板岩ホルンフェルスで、外見上、大きなクラックは認められず、非常に硬質である。写真-15は、資料-1（写真-13）の断面で、比較的方向性をもったクラックが認められる。写真-16は、資料-2（写真-14）の断面で、内部には表面に見られなかった大小無数のクラックが、きわめに不規則に分布しているのが認められる（写真は観察を容易にするために、クラックに石こう粉末を充て込んで撮影したもの）。このクラックが、重錘を落下する以前から存在していたかどうかについては、簡単には結論をくたせない。片状ホルンフェルスは、ふつうその名の示すように片状にはく離しやすく、資料の断面でみると、はく離面はほぼ直線

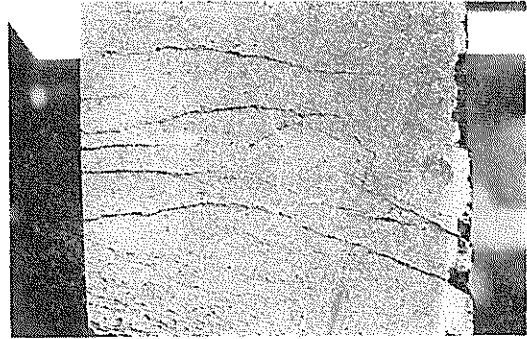


写真-15 資料-1の断面

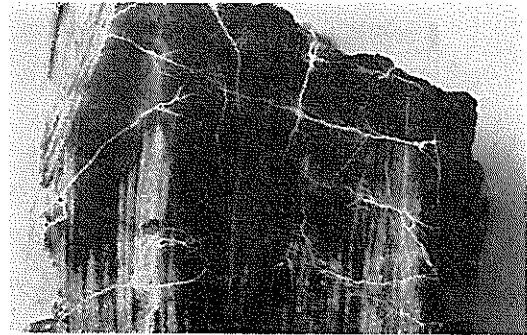


写真-16 資料-2の断面



写真-13 資料-1 (250×210×140mm)

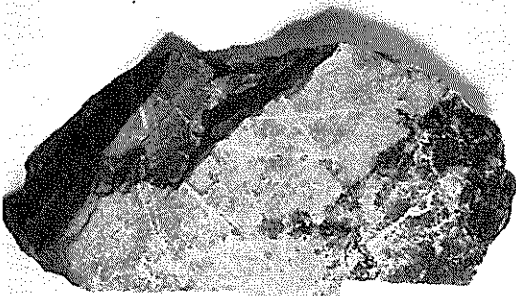


写真-14 資料-2 (340×150×120mm)

となって現れる。資料-2のクラック（写真-16）は形が不規則で、直線性に乏しく、クラックの内面も新鮮で浸食の跡が認められないことなどから、これらのクラックの多くは、重錘の落下時の衝撃によって生じたものと推定される。なお海底の地層の傾きは、ほぼ鉛直に近く、70~80度で分布している。

4.2.3 岩石の試験結果

上述した岩石の資料を使用して、圧縮強度その他の試験を行う予定であったが、写真-17に示すように、資料の成形段階においてははく離するために、試験の可能なコアが採取できず、強度の測定はできなかった。

瀬戸内海航路の岩盤調査は、第3港湾建設局の管理のもとに実施されており、調査報告書⁵⁾がすでに発表されている。岩盤調査の実施場所は、調査-I（黒鼻）の東方約100m付近で、調査-IIを含めて、地質的にはあまり大きな変化はないものと考えられる。現地の砂岩跡より採取した岩石の資料も、調査報告書の調査結果概要に述べられている岩石の内容とほぼ同一なので、以下本節では、上記報告書を主要な資料として、使用させていただく。岩盤の調査地点（ボーリング地点）と、調査-Iの相対位置を図-4-2に、調査数量を表-2に示す。

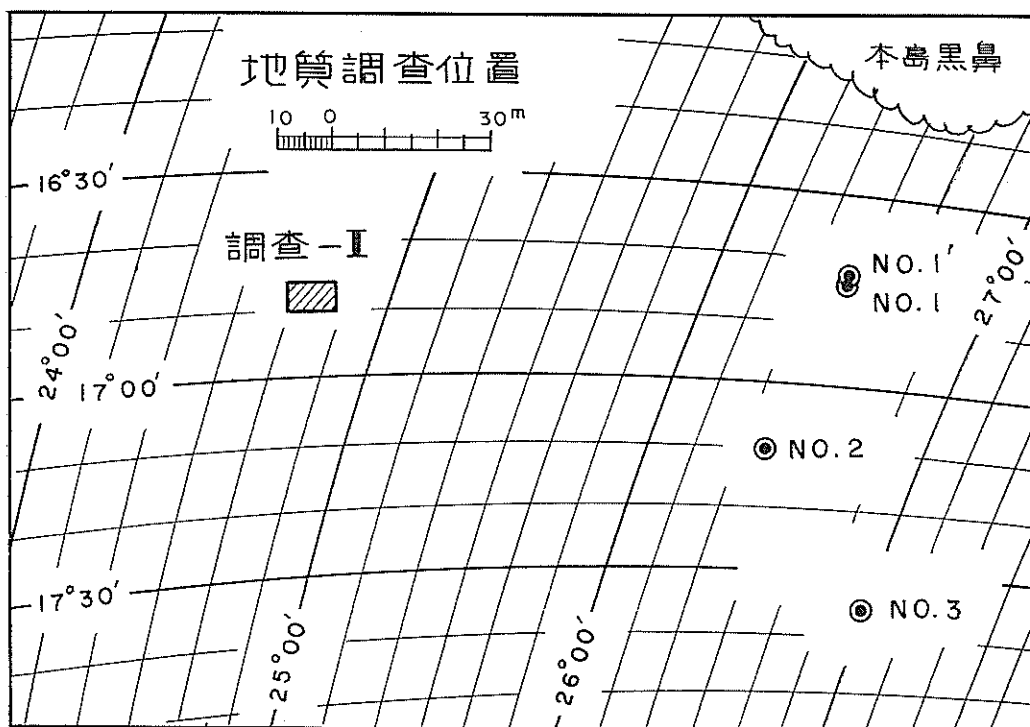


図-4-2 調査-Iとボーリング地点

表-2 ボーリング調査数量

試すい番号	地盤高	掘削深度	コア数量	主 要 地 質
No. 1	- 5.15m	6.40m	3	表層はれきおよびれき混り砂質ローム, 下層は粘板岩
No. 1'	- 5.10m	14.90m	50	古生層粘板岩ホルンフェルス
No. 2	-11.55m	8.55m	11	表層はれき混りローム, 中層は古生層粘板岩砂岩, 下層はれき混り砂質ローム
No. 3	-15.50m	5.05m	4	れき混りロームおよびれき混り砂質ローム
備 考				
施工月日	昭和41年7月25日~8月5日			
調査場所	香川県丸亀市本島黒鼻地先			
試すい機	油圧ロータリー式(東邦地下工機製, D-2型)			
ピ ッ ト	85mmφメタルクラウン (No. 1) 65mmφダイヤモンドビット (No. 1', No. 2, No. 3)			



写真-17 資料のはく離状態

岩盤調査における岩石の資料は、油圧ロータリー式試すい機により採取したもので、試すい番号No. 1では85mmφのメタルクラウンビットを、No. 1', No. 2, No. 3では65mmφのダイヤモンドビットを使用している。

試験結果のおもなものを次に示す。

試験結果

(1) 真比重

$G_t = 2.661 \sim 2.881$

(2) 単位体積重量

自然状態 $\gamma_n = 2.560 \sim 2.878 \text{ gr/cm}^3$

飽水状態 $\gamma_w = 2.578 \sim 2.878 \text{ gr/cm}^3$

乾燥状態 $\gamma_d = 2.528 \sim 2.876 \text{ gr/cm}^3$

(3) 間隙率

$N_e = 0.157 \sim 4.997\%$

(4) 圧縮強度

$\sigma_c = 380 \sim 2,751 \text{ kg/cm}^2$

(5) じん性試験値

$N_p = 2 \sim 23$

なお、岩石の試験方法および詳しい試験結果について

は、巻末の付録を参照されたい。

4.3 重錘の落下速度および巻上速度

4.3.1 測定装置

重錘の落下速度および巻上速度の測定には、写真-18に示す回転変位指示計を使用した。

本機は図-4-3に示すように、測定しようとする回転体A（またはB）より、ベルト掛けでプーリA（またはB）を回転させて、回転数および変位量をピックアップし、メータまたは記録紙に指示する装置である。本機の電気回路を図-4-4に示す。

本調査では、変位量と時間の関係から落下速度を計算する方法をとったので、回転体Aに砕岩ウインチドラムをえらび、プーリAを回転させて変位量を計測した。砕岩ウインチ室における計測状態を写真-19に示す。

4.3.2 落下速度の測定結果

図-4-5は、重錘の落下高さが1.0~5.0mのときの落下時間とロープ繰出長さの関係を示す記録である。本図より、重錘が着底するまでの速度は、曲線の接線のこ

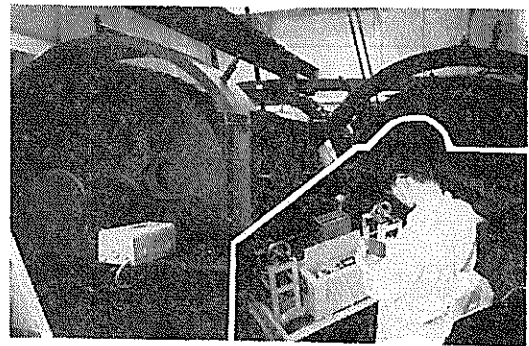


写真-19 回転変位指示計

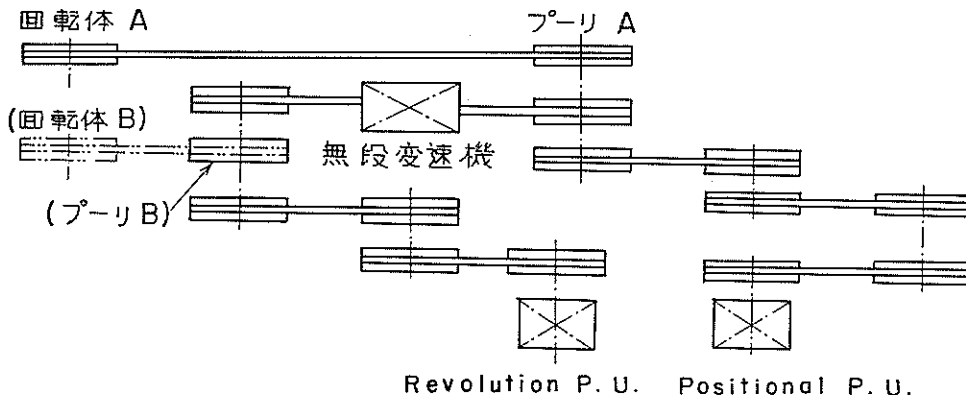


図-4-3 減速機構

Revolution Positional Meter

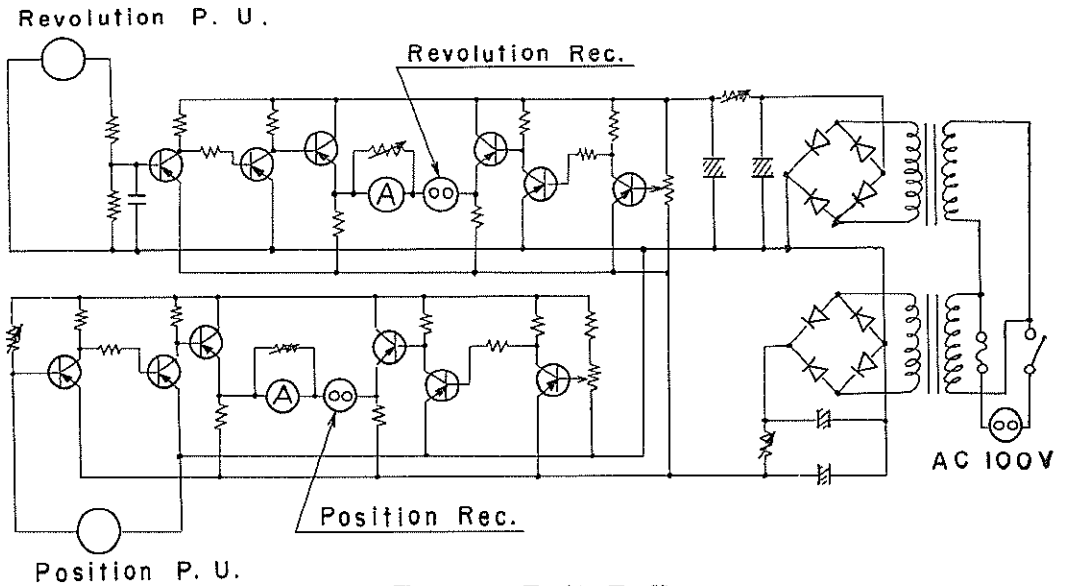


図-4-4 電気回路

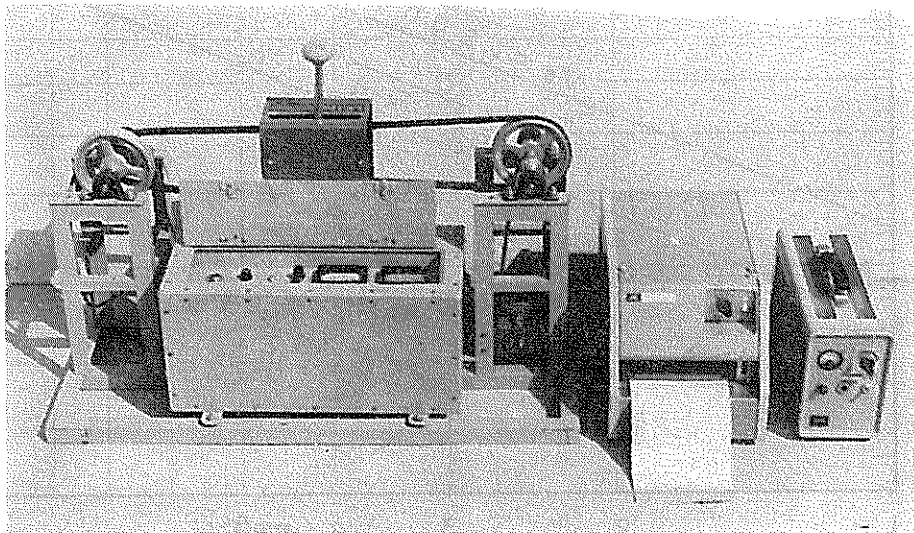


写真-18 計測状態

う配から求められる（着底後は、スライド金物の移動、ワイヤロープのたるみ等のために測定不可能）。

各落下高さにおいて、10回測定した重錘着底時落下速度の平均値を図-4-6に示す（測定値は付表-1参照）。

いま

$$\left. \begin{aligned} V_n &= \sqrt{2gh} \\ V_d &= \sqrt{2\alpha h} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4-1)$$

ここに

V_n : 真空中における物体の自由落下速度

V_d : 重錘の落下速度（着底時）

h : 重錘の落下高さ

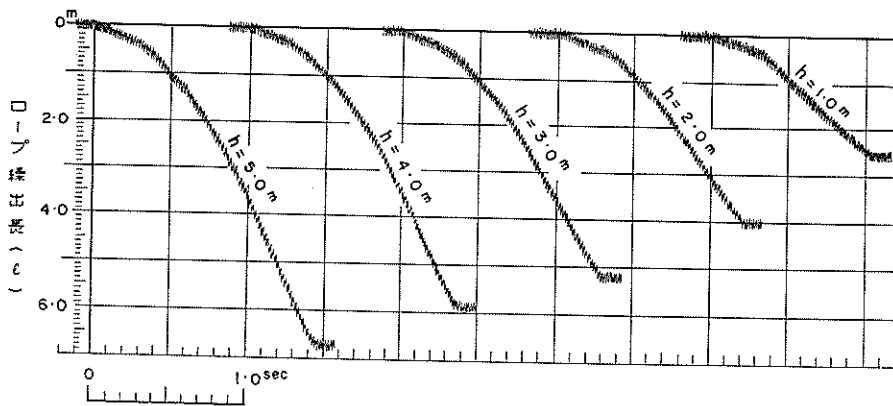


図-4-5 重錘落下時のロープ繰出長さ

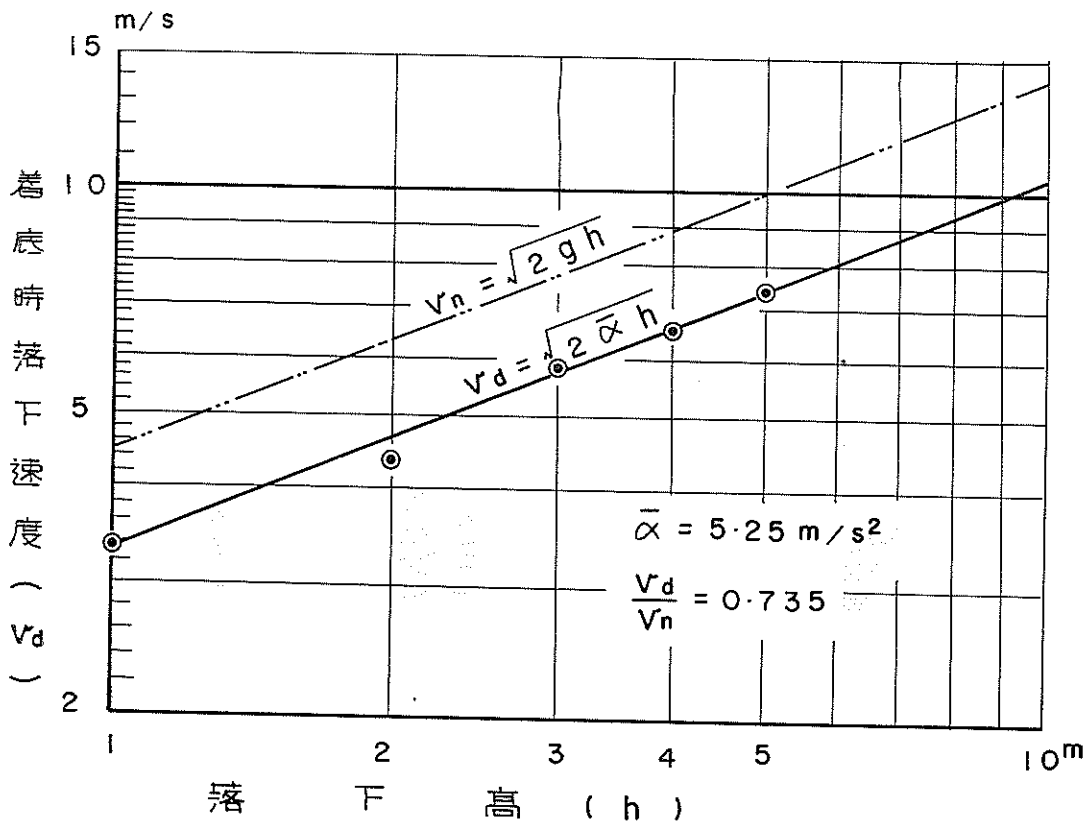


図-4-6 重錘の落下速度

g : 重力の加速度

$\bar{\alpha}$: 重錘落下時の平均加速度

とすれば、本図より

$$\bar{\alpha} = 5.25 \text{ m/sec}^2$$

また

$$\frac{V_d}{V_n} = \sqrt{\frac{\bar{\alpha}}{g}} = 0.735$$

となって、自由落下速度にくらべて、かなり遅い速度で落下していることがわかる。

図-4-5からは、上述した重錘の落下速度のほかに

次の数値が求められる。

- (1) 着底所要時間
- (2) ロープ繰出時間
- (3) ロープ繰出長さ (全長)

これらの10回測定平均値を、図-4-7に示す (測定値は付表-2参照)。

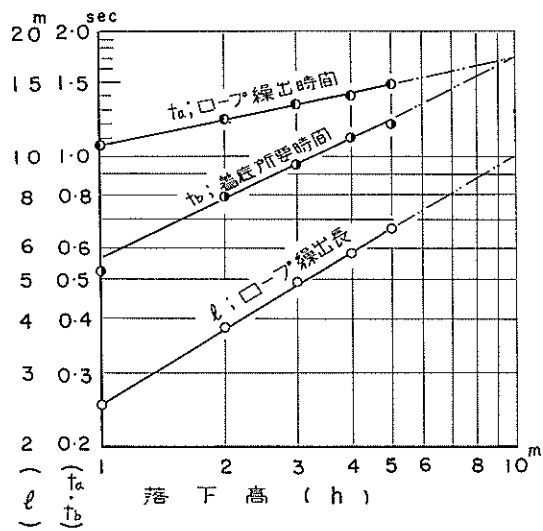


図-4-7 着底所要時間, ロープ繰出時間, ロープ繰出長さ

4.3.3 落下速度の計算式

3-a 荷重および抵抗について

砕岩装置のやぐら部分を写真-20に、全体装置を図-4-8に示す。

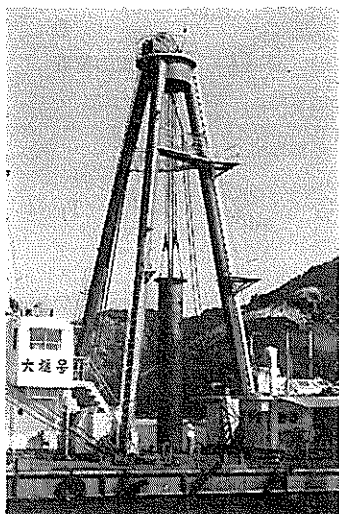


写真-20 重錘巻上用やぐら

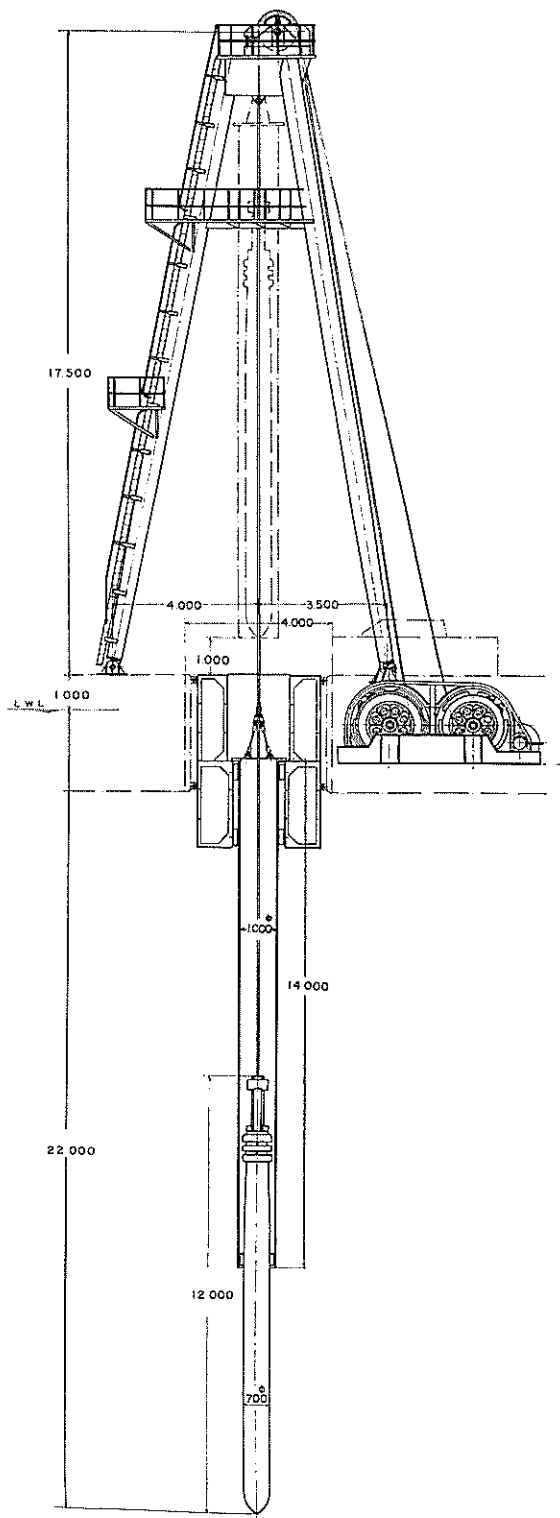


図-4-8 砕岩装置

重錘の落下速度を求める計算式を導くにあたって、問題を図-4-9に示すような簡単なモデルにおきかえて解析を進める。運動方程式をたてるにあたっては、系を次のように分割する。

(a) 重錘部

重錘は常に水中にあって垂直に落下するものとし、抵抗としては、流体抵抗のみ考える。

(b) 重錘と上部滑車間のロープ部

繰出されたロープの長さだけ、重量が増えるものとする。空中、水中において流体抵抗を、水中において浮力を受けるが無視する。

(c) 上部滑車と砕岩ウインチドラム間のロープ部

ロープが斜めにかかっているために、自重によりたわむが、その影響は無視する。また、ロープの長さは一定とする。

(d) 砕岩ウインチドラム部 (巻掛けロープを含む)

重錘が落下すればロープは繰出され、質量の減少によって、慣性モーメントおよび回転軸と軸受間の摩擦力も漸次減少する。

(e) 上部滑車部 (巻掛けロープを含む)

滑車と巻掛けロープの慣性モーメントおよび回転軸と軸受間の摩擦力についてのみ考慮し、ロープの屈伸のための抵抗等については無視する。

(f) 制動装置部

ブレーキの制動抵抗の変化する状態については、解析が困難である。ここでは、回転変位指示計による記録から、ブレーキ作動中の落下時間および落下距離を推定し制動抵抗を考慮しない場合と考慮した場合について、いくつかの計算例により比較を試みる。

以下、本節の計算式に使用される記号Bは、ブレーキによる制動抵抗を表わす。

3-b B=0の場合の計算式

本計算では、重錘の落下開始直前にブレーキが完全に離れ、制動抵抗が零になるものとする。砕岩装置の各部について、それぞれ運動方程式をたてると

重錘部

$$\frac{W}{g} \cdot \frac{d^2y}{dt^2} = W - f - T_1 \dots\dots\dots(4-2)$$

ここに

- W: 重錘の海水中における重量
- f: 重錘に作用する流体抵抗
- T₁: ロープに生ずる張力
- y: 初期位置より t 秒間に落下した距離
- t: 落下時間

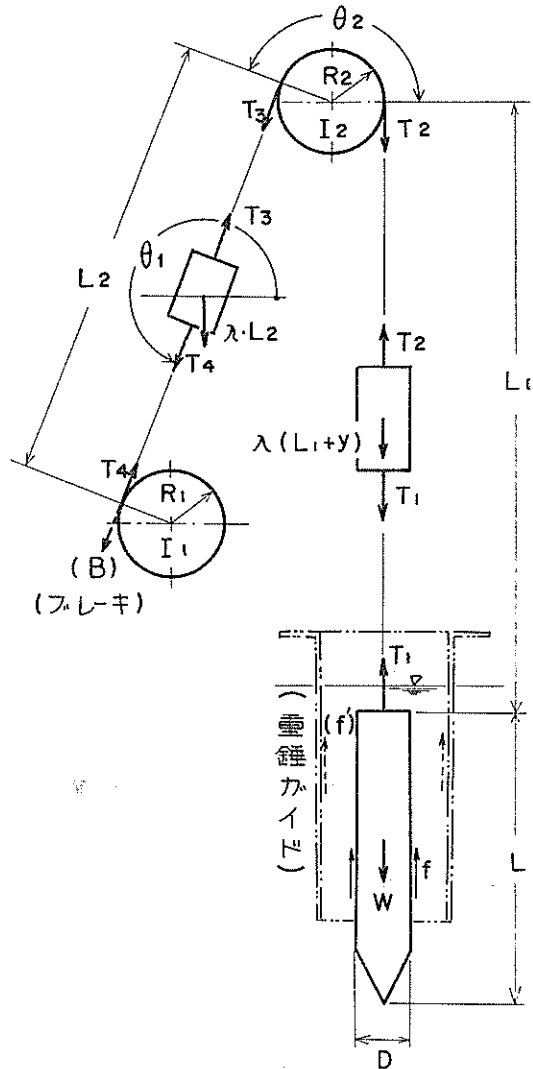


図-4-9 荷重の配置

重錘と上部滑車間のロープ部

$$\frac{\lambda}{g} (L_1+y) \frac{d^2y}{dt^2} = \lambda (L_1+y) + T_1 - T_2 \dots\dots(4-3)$$

ここに

L₁: 初期位置における重錘と上部滑車間のロープの長さ

λ: ロープの単位長さ当りの重量

T₂: ロープに生ずる張力

上部滑車と砕岩ウインチドラム間のロープ部

$$\frac{\lambda}{g} L_2 \frac{d^2y}{dt^2} = -\lambda L_2 \sin(\theta_1 - 180^\circ) + T_3 - T_4 \dots\dots\dots(4-4)$$

ここに

L_2 : 上部滑車と砕岩ウインチドラム間のロープの長さ

T_3 : ロープに生ずる張力

T_4 : ロープに生ずる張力

θ_1 : ロープが水平面となす角 (度)

砕岩ウインチドラム部

$$\left\{ I_1 + \frac{\lambda}{g} (2N\pi R_1 - y) R_1^2 \right\} \frac{d^2\psi_1}{dt^2} = R_1 T_4 - F_1 \quad \dots\dots\dots (4-5)$$

ここに

I_1 : ドラムの慣性モーメント

N : ドラムに巻かれたロープの巻数

π : 円周率

R_1 : ドラムの半径

F_1 : ドラムの回転軸に作用する摩擦力のモーメント

ψ_1 : ドラムの t 秒後までの回転角度

上部滑車部

$$\left\{ I_2 + \frac{\lambda}{g} \theta_2 R_2 \cdot R_2^2 \right\} \frac{d^2\psi_2}{dt^2} = R_2 (T_2 - T_3) - F_2 \quad \dots\dots\dots (4-6)$$

ここに

I_2 : 上部滑車の慣性モーメント

θ_2 : ロープの接触角度

R_2 : 滑車の半径

ψ_2 : 滑車の t 秒後までの回転角度

F_2 : 滑車の回転軸に作用する摩擦力のモーメント

式 (4-2), (4-5), (4-6) において, 流体抵抗 f および摩擦力のモーメント F_1, F_2 は, 次式で表わされるものとする。

$$f = Cd \frac{A\rho}{2} \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (4-7)$$

$$F_1 = \mu_1 (W_1 - \lambda y) r_1$$

$$F_2 = \mu_2 W_2 r_2$$

ここに

Cd : 流体抵抗係数

A : 重錘の断面積

ρ : 流体の密度

μ_1 : ドラム軸受の摩擦係数

W_1 : ドラム軸受に作用する荷重

r_1 : ドラム軸の半径

μ_2 : 上部滑車軸受の摩擦係数

W_2 : 上部滑車軸受に作用する荷重

r_2 : 上部滑車軸の半径

ウインチドラムおよび上部滑車とロープとの間にすべりがないものとするば, 回転角度 ψ_1, ψ_2 については

$$\left. \begin{aligned} y &= R_1 \psi_1 = R_2 \psi_2 \\ \frac{d^2\psi_1}{dt^2} &= \frac{1}{R_1} \cdot \frac{d^2y}{dt^2} \\ \frac{d^2\psi_2}{dt^2} &= \frac{1}{R_2} \cdot \frac{d^2y}{dt^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4-8)$$

かなりたつ

式 (4-7), (4-8) の関係を代入して, 式 (4-2) ~ (4-6) を整理すると

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \frac{K_0}{M_0} \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 = \frac{W_0}{M_0} + \frac{\lambda_0}{M_0} y \quad \dots\dots\dots (4-9)$$

ここに

$$M_0 = \frac{W}{g} + \frac{\lambda}{g} (L_1 + \theta_2 R_2 + L_2 + 2N\pi R_1) + \frac{I_1}{R_1^2} + \frac{I_2}{R_2^2}$$

$$W_0 = W + \lambda (L_1 + L_2 \sin \theta_1) - \left(\mu_1 W_1 + \frac{r_1}{R_1} + \mu_2 W_2 \frac{r_2}{R_2} \right)$$

$$K_0 = Cd \frac{A\rho}{2}$$

$$\lambda_0 = \left(1 + \mu_1 \frac{r_1}{R_1} \right) \lambda$$

である。

式 (4-9) において, $dy/dt = u, u^2 = 2Z$ とおけば, $u \cdot du/dy = dz/dy$, したがって

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{du}{dt} = \frac{du}{dy} \cdot \frac{dy}{dt} = u \frac{du}{dy} = \frac{dz}{dy}$$

となって, 次式が得られる。

$$\frac{dz}{dy} + \frac{2K_0}{M_0} Z = \frac{W_0}{M_0} + \frac{\lambda_0}{M_0} y \quad \dots\dots\dots (4-9')$$

上式を解くあたって

$$Z \cdot e^{\int \frac{2K_0}{M_0} dy} = \int \left\{ \frac{W_0}{M_0} + \frac{\lambda_0}{M_0} y \right\} e^{\int \frac{2K_0}{M_0} dy} dy + C$$

(C : 積分定数)

において, Z について解けば

$$\begin{aligned} Z \cdot e^{\frac{2K_0}{M_0} y} &= \int \left\{ \frac{W_0}{M_0} + \frac{\lambda_0}{M_0} y \right\} e^{\frac{2K_0}{M_0} y} dy + C \\ &= \frac{W_0}{2K_0} \cdot e^{\frac{2K_0}{M_0} y} + \frac{\lambda_0}{M_0} \left\{ \frac{M_0}{2K_0} y \cdot e^{\frac{2K_0}{M_0} y} \right. \\ &\quad \left. - \left(\frac{M_0}{2K_0} \right)^2 e^{\frac{2K_0}{M_0} y} \right\} + C \end{aligned}$$

$$\therefore Z = \frac{W_0}{2K_0} + \frac{\lambda_0}{2K_0} \left(y - \frac{M_0}{2K_0} \right) + C \cdot e^{-\frac{2K_0}{M_0} y} \quad \dots\dots\dots(4-10)$$

初期条件として $t=t_i$ のとき、 $y=y_i$ 、 $dy/dt=V_i$ とすれば

$$Z = -\frac{1}{2} u^2 = -\frac{1}{2} \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 = -\frac{1}{2} V_i^2$$

となり、積分定数は

$$C = - \left\{ \frac{W_0}{2K_0} + \frac{\lambda_0}{2K_0} \left(y_i - \frac{M_0}{2K_0} \right) - \frac{1}{2} V_i^2 \right\} e^{\frac{2K_0}{M_0} y_i}$$

これを上式に代入すれば

$$Z = \frac{W_0}{2K_0} + \frac{\lambda_0}{2K_0} \left(y - \frac{M_0}{2K_0} \right) - \left\{ \frac{W_0}{2K_0} + \frac{\lambda_0}{2K_0} \left(y_i - \frac{M_0}{2K_0} \right) - \frac{1}{2} V_i^2 \right\} e^{-\frac{2K_0}{M_0} (y-y_i)} \quad \dots\dots\dots(4-10')$$

を得る。

重錘の落下速度および落下加速度は

$$v = \frac{dy}{dt} = u = \sqrt{2Z} = \left\{ \frac{W_0}{K_0} + \frac{\lambda_0}{K_0} \left(y - \frac{M_0}{2K_0} \right) - \left\{ \frac{W_0}{K_0} + \frac{\lambda_0}{K_0} \left(y_i - \frac{M_0}{2K_0} \right) - V_i^2 \right\} e^{-\frac{2K_0}{M_0} (y-y_i)} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$\alpha = \frac{d^2y}{dt^2} = \frac{dz}{dy} = \frac{\lambda_0}{2K_0} + \left\{ \frac{W_0}{M_0} + \frac{\lambda_0}{M_0} \left(y_i - \frac{M_0}{2K_0} \right) - \frac{K_0}{M_0} V_i^2 \right\} e^{-\frac{2K_0}{M_0} (y-y_i)} \quad \dots\dots\dots(4-11)$$

重錘の落下開始直前には、ウィンチドラムに $\mu_1 \cdot W_1 \cdot r_1$ 上部滑車軸に $\mu_2 \cdot W_2 \cdot r_2$ の大きさの摩擦力のモーメントが働いているものとする。つまり、 $y=0$ においても

$$W_0 = W + \lambda(L_1 + L_2 \sin \theta_1) - \left(\mu_1 W_1 \frac{r_1}{R_1} + \mu_2 W_2 \frac{r_2}{R_2} \right)$$

の関係が成りたつものとするれば、ブレーキは重錘の落下開始直前に完全に離れ、重錘は初速零の状態から落下しはじめる場合は、 $y_i=0$ 、 $V_i=0$ において

$$v = \left\{ \frac{W_0}{K_0} \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y} \right) \right.$$

$$\left. + \frac{\lambda_0}{K_0} \left\{ y - \frac{M_0}{2K_0} \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y} \right) \right\} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$\alpha = \frac{W_0}{M_0} e^{-\frac{2K_0}{M_0} y} + \frac{\lambda_0}{2K_0} \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y} \right) \quad \dots\dots\dots(4-11')$$

で表わされる。

3-c B ≠ 0 の場合の計算式

重錘の落下開始直前には、 B_0 なる大きさの力が重錘の落下方向とは逆向きに作用して、系の釣合いが得られているものとする。制動抵抗 B は $0 \leq y \leq y_0$ (y_0 はブレーキ作動時落下距離) の範囲において、次式で表わされるものと仮定する。

$$(i) \quad B = B_0 \left\{ 1 - \left(\frac{y}{y_0} \right)^p \right\} \quad (p \geq 1)$$

$$(ii) \quad B = B_0 \left(1 - \frac{y}{y_0} \right)^q \quad (q \geq 1)$$

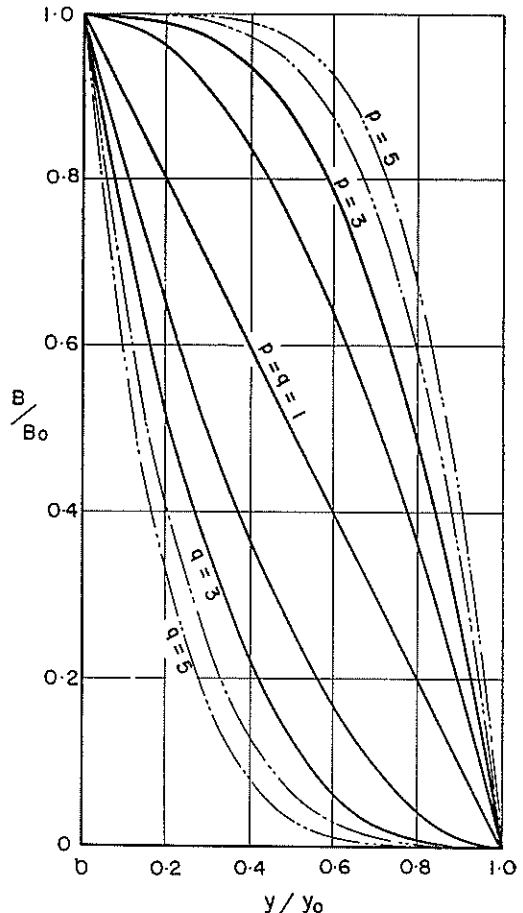


図-4-10 制動抵抗線図

図-4-10に、 p 、 q をパラメータとしたときの、 B と y の関係を示す。

(i) $B = B_0 \{1 - (y/y_0)^p\}$ の場合

ブレーキが作動している間 ($0 \leq y \leq y_0$) の系の運動方程式は

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \frac{K_0}{M_0} \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 = \frac{W_0}{M_0} + \frac{\lambda_0}{M_0} y - \frac{B_0}{M_0} \left\{1 - \left(\frac{y}{y_0}\right)^p\right\} \dots\dots\dots (4-12)$$

前述と同様な変換を行うことにより

$$\frac{dz}{dy} + \frac{2K_0}{M_0} Z = \frac{W_0 - M_0}{M_0} + \frac{\lambda_0}{M_0} y + \frac{B_0}{M_0 y_0^p} y^p \dots\dots\dots (4-12')$$

を得る。

しかるに、重錘の落下直前には、ウィンチドラム軸に $\mu_1 \cdot W_1 \cdot r_1$ 、上部滑車軸に $\mu_2 \cdot W_2 \cdot r_2$ なる大きさの摩擦力によるモーメントが作用していると仮定しているから、結局、 $B_0 = W_0$ となる。したがって上式は

$$\frac{dz}{dy} + \frac{2K_0}{M_0} Z = \frac{\lambda_0}{M_0} y + \frac{W_0}{M_0 y_0^p} y^p \dots\dots\dots (4-12'')$$

上式を解くにあたっては

$$\int y^p e^{\frac{2K_0}{M_0} y} dy = \frac{M_0}{2K_0} \left\{ y^p + \sum_{i=1}^p (-1)^i \frac{p!}{(p-i)!} \left(\frac{M_0}{2K_0}\right)^i y^{p-i} \right\} e^{\frac{2K_0}{M_0} y}$$

であるから

$$Z = \frac{\lambda_0}{2K_0} \left(y - \frac{M_0}{2K_0}\right) + \frac{W_0}{2K_0 y_0^p} \left\{ y^p + \sum_{i=1}^p (-1)^i \frac{p!}{(p-i)!} \left(\frac{M_0}{2K_0}\right)^i y^{p-i} \right\} + C \cdot e^{-\frac{2K_0}{M_0} y} \dots\dots\dots (4-13)$$

$y=0$ のとき $u = dy/dt = 0$ であるから $Z = 0$ となり、積分定数は

$$C = - \left\{ \frac{\lambda_0}{2K_0} \left(-\frac{M_0}{2K_0}\right) + \frac{W_0}{2K_0 y_0^p} \left\{ (-1)^p p! \left(\frac{M_0}{2K_0}\right)^p \right\} \right\}$$

これを上式に代入すれば

$$Z = \frac{\lambda_0}{2K_0} \left\{ y - \frac{M_0}{2K_0} \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y}\right) \right\} + \frac{W_0}{2K_0 y_0^p}$$

$$\left\{ y^p + \sum_{i=1}^{p-1} (-1)^i \frac{p!}{(p-i)!} \left(\frac{M_0}{2K_0}\right)^i y^{p-i} + (-1)^p p! \left(\frac{M_0}{2K_0}\right)^p \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y}\right) \right\} \dots\dots\dots (4-13')$$

となる。

上式より、重錘の落下速度および加速度を求めると

$$V = \left\{ \frac{\lambda_0}{K_0} \left\{ y - \frac{M_0}{2K_0} \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y}\right) \right\} + \frac{W_0}{K_0 y_0^p} \left\{ y^p + \sum_{i=1}^{p-1} (-1)^i \frac{p!}{(p-i)!} \left(\frac{M_0}{2K_0}\right)^i y^{p-i} + (-1)^p p! \left(\frac{M_0}{2K_0}\right)^p \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y}\right) \right\} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$\alpha = \frac{\lambda_0}{2K_0} \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y}\right) + \frac{W_0}{2K_0 y_0^p} \left\{ p \cdot y^{p-1} + \sum_{i=2}^p (-1)^{i-1} \frac{p!}{(p-i)!} \left(\frac{M_0}{2K_0}\right)^{i-1} y^{p-i} + (-1)^p p! \left(\frac{M_0}{2K_0}\right)^{p-1} e^{-\frac{2K_0}{M_0} y} \right\} \dots\dots\dots (4-14)$$

で表わされる。

上式において $p=0$ とおけば、式 (4-11') とまったく一致する。

$p=1$ の場合は

$$V = \left\{ \frac{1}{K_0} \left(\lambda_0 + \frac{W_0}{y_0}\right) \left\{ y - \frac{M_0}{2K_0} \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y}\right) \right\} \right\}^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (4-14')$$

$$\alpha = \frac{1}{2K_0} \left(\lambda_0 + \frac{W_0}{y_0}\right) \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y}\right)$$

$p=2$ の場合は

$$V = \left\{ \frac{\lambda_0}{K_0} \left\{ y - \frac{M_0}{2K_0} \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y}\right) \right\} + \frac{W_0}{K_0 y_0^2} \left\{ y^2 - 2 \left(\frac{M_0}{2K_0}\right) y \right\} \right\}$$

$$\begin{aligned}
& + 2 \left(\frac{M_0}{2K_0} \right)^2 \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y} \right) \left. \right\}^{\frac{1}{2}} \\
\alpha & = \frac{\lambda_0}{2K_0} \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y} \right) \\
& + \frac{W_0}{K_0 y_0^2} \left\{ y - \frac{M_0}{2K_0} \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y} \right) \right\} \\
& \dots\dots\dots(4-14')
\end{aligned}$$

p = 3 の場合は

$$\begin{aligned}
V & = \left[\frac{\lambda_0}{K_0} \left\{ y - \frac{M_0}{2K_0} \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y} \right) \right\} \right. \\
& + \frac{W_0}{K_0 y_0^3} \left\{ y^3 - 3 \left(\frac{M_0}{2K_0} \right) y^2 + 6 \left(\frac{M_0}{2K_0} \right)^2 y \right. \\
& \left. \left. - 6 \left(\frac{M_0}{2K_0} \right)^3 \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y} \right) \right\} \right]^{\frac{1}{2}} \\
\alpha & = \frac{\lambda_0}{2K_0} \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y} + \frac{3}{2} \cdot \frac{W_0}{K_0 y_0^3} \left\{ y^2 \right. \right. \\
& \left. \left. - 2 \left(\frac{M_0}{2K_0} \right) y + 2 \left(\frac{M_0}{2K_0} \right)^2 \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y} \right) \right\} \right) \\
& \dots\dots\dots(4-14'')
\end{aligned}$$

で表わされる。

(ii) B = B₀(1-y/y₀)^qの場合

0 ≤ y ≤ y₀での系の運動方程式は

$$\begin{aligned}
-\frac{d^2y}{dt^2} + \frac{K_0}{M_0} \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 & = \frac{W_0}{M_0} + \frac{\lambda_0}{M_0} y \\
\frac{B_0}{M_0} \left(1 - \frac{y}{y_0} \right)^q & \dots\dots\dots(4-15)
\end{aligned}$$

上式において q = 1 の場合は、式(4-12)において p = 1 とおいた場合とまったく同じ形になるので、計算は省略する。

q = 2 の場合は、P₀ = W₀なる関係を代入して

$$\begin{aligned}
\frac{d^2y}{dt^2} + \frac{K_0}{M_0} \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 & = \frac{W_0}{M_0} + \frac{\lambda_0}{M_0} y \\
- \frac{W_0}{M_0} \left(1 - \frac{y}{y_0} \right)^2 &
\end{aligned}$$

これより

$$\frac{dz}{dy} + \frac{2K_0}{M_0} M = \frac{1}{M_0} \left(\lambda_0 + \frac{2W_0}{y_0} \right) y - \frac{W_0}{M_0 y_0^2} y^2$$

y = 0 のとき Z = 0 なる条件で解くと

$$Z = \frac{1}{2K_0} \left(\lambda_0 + \frac{2W_0}{y_0} \right)$$

$$\begin{aligned}
& \left\{ y - \frac{M_0}{2K_0} \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y} \right) \right\} - \frac{W_0}{2K_0 y_0^2} \\
& \left\{ y^2 - 2 \left(\frac{M_0}{2K_0} \right) y + 2 \left(\frac{M_0}{2K_0} \right)^2 \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y} \right) \right\}
\end{aligned}$$

となる。

落下速度および加速度は

$$\begin{aligned}
V & = \left[\frac{1}{K_0} \left(\lambda_0 + \frac{2W_0}{y_0} \right) \left\{ y - \frac{M_0}{2K_0} \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y} \right) \right\} \right. \\
& \left. - \frac{W_0}{K_0 y_0^2} \left\{ y^2 - 2 \left(\frac{M_0}{2K_0} \right) y \right. \right. \\
& \left. \left. + 2 \left(\frac{M_0}{2K_0} \right)^2 \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y} \right) \right\} \right]^{\frac{1}{2}} \\
\alpha & = \frac{1}{2K_0} \left(\lambda_0 + \frac{2W_0}{y_0} \right) \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y} \right) \\
& - \frac{W_0}{K_0 y_0^2} \left\{ y - \frac{M_0}{2K_0} \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y} \right) \right\} \\
& \dots\dots\dots(4-15')
\end{aligned}$$

q = 3 の場合

$$\begin{aligned}
V & = \left[\frac{1}{K_0} \left(\lambda_0 + \frac{3W_0}{y_0} \right) \left\{ y - \frac{M_0}{2K_0} \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y} \right) \right\} \right. \\
& \left. - \frac{3W_0}{K_0 y_0^2} \left\{ y^2 - 2 \left(\frac{M_0}{2K_0} \right) y \right. \right. \\
& \left. \left. + 2 \left(\frac{M_0}{2K_0} \right)^2 \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y} \right) \right\} \right. \\
& \left. + \frac{W_0}{K_0 y_0^3} \left\{ y^3 - 3 \left(\frac{M_0}{2K_0} \right) y^2 + 6 \left(\frac{M_0}{2K_0} \right)^2 y \right. \right. \\
& \left. \left. - 6 \left(\frac{M_0}{2K_0} \right)^3 \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y} \right) \right\} \right]^{\frac{1}{2}} \\
\alpha & = \frac{1}{2K_0} \left(\lambda_0 + \frac{3W_0}{y_0} \right) \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y} \right) \\
& - \frac{3W_0}{K_0 y_0^2} \left\{ y - \frac{M_0}{2K_0} \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y} \right) \right\} \\
& + \frac{3}{2} \cdot \frac{W_0}{K_0 y_0^3} \left\{ y^2 - 2 \left(\frac{M_0}{2K_0} \right) y \right. \\
& \left. + 2 \left(\frac{M_0}{2K_0} \right)^2 \left(1 - e^{-\frac{2K_0}{M_0} y} \right) \right\} \dots\dots\dots(4-15'')
\end{aligned}$$

式(4-12)および式(4-15)で得られる解の適用範囲は 0 ≤ y ≤ y₀ であるから、y ≥ y₀ の範囲については

$y = y_0$ のときの速度をそれぞれの式より求め、 $y_i = y_0$ 、 $V_i = V_0$ において、 $B = 0$ のときの (3-11) 式に代入し速度および加速度を計算すればよい。

3-d ブレーキ作動時の重錘落下距離

前掲の図-4-5において、ロープ繰出量の初期の状態を詳細に観察すると、図-4-11に模式的に示すように、比較的落下加速度の小さい初期落下加速区間と、加速度の大きい後期加速落下区間にわかれる現象が認められる。いま、初期加速落下に要する時間をブレーキ作動時間 (t_0) とし、この間の落下距離をブレーキ作動時落下距離 (y_0) とすれば、回転変位指示計の記録より、図-4-12のような結果が得られる。図より、ブレーキ作動時落下距離は、重錘の落下高さにはほとんど無関係に一定の値をとる。本計算では、平均値として次の値を使用した。

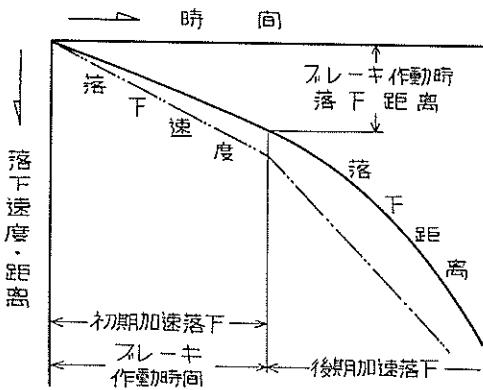


図-4-11 落下初期のロープ繰出量

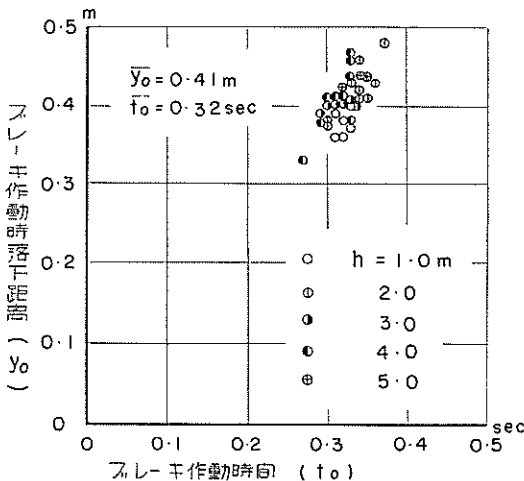


図-4-12 ブレーキ作動時落下距離

$y_0 = 0.41m$

$(t_0 = 0.32sec)$

3-e 荷重および抵抗の計算要素

(1) 重錘

$$W = W_s \frac{r_s - r_m}{r_s} = 30.000 \times \frac{7,850 - 1,025}{7,850} = 26,083 \text{ (kg)}$$

ただし

W : 重錘の水中重量 (海水中)

W_s : 重錘の空中重量

r_s : 重錘の比重量

r_m : 海水の比重量

摩擦による重錘重量の減少量は無視した。

(2) 重錘巻上用ワイヤロープ

$L_1 = 22m$ (初期条件, 水深約16m)

$L_2 = 20m$

$\lambda = 9.75kg/m \times 2 \text{ 条} (52\phi \sim 6 \times 61)$

$\theta_1 = 261^\circ$

(3) 砕岩ウインチドラム

$I_1 + 2N\pi R_1 \cdot R_1^2 \cdot \lambda / g = 256kg \cdot m \cdot s^2$ (初期条件)

$W_1 = 6,100kg$ (初期条件)

$R_1 = 0.555m$

$r_1 = 0.165m$

$\mu_1 = 0.003$ (転がり軸受)

慣性モーメント I_1 は図-4-13より求めたもので、本報告書作成までの段階に、詳細な図面が入手できなかったため、多少の誤差が含まれるものと思われる。砕岩ウインチドラム軸に作用する荷重 W_1 は、ウインチドラムの重量 (巻掛けロープの重量を含む) に等しいものとし、上述の図面を使用して計算した。調査当時のワイヤロープの巻掛数は写真-21に示すように、大体8回 (1条につき) であるので、 I_1 および W_1 には初期条件として、ワイヤロープ8回巻 \times 2条相当の慣性モーメントお

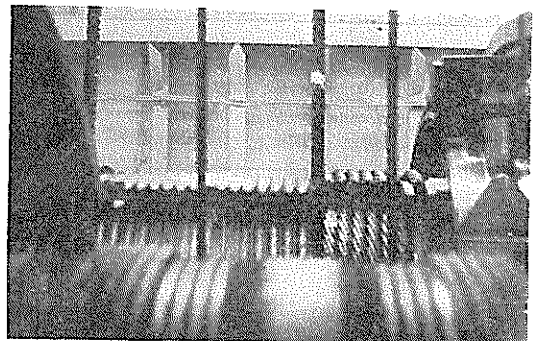
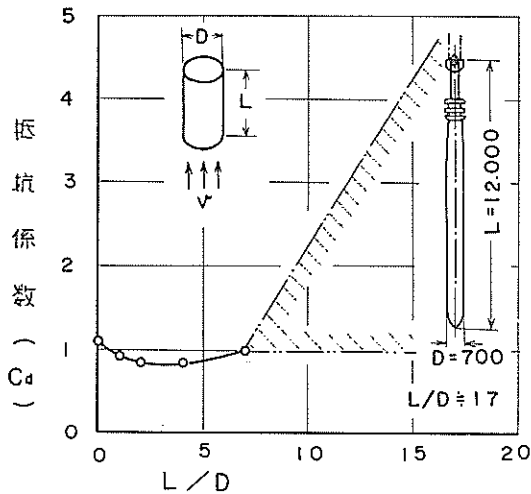


写真-21 ワイヤロープの巻掛数



図—4—14 円柱の流体抵抗係数

よび荷重が加算されている。

(4) 流体抵抗係数

形状が単純な円柱の流体抵抗係数については、流れが軸方向で、 L/D が比較的小さい範囲において、いくつかの実験値が発表されている。(図—4—14参照)。大樋号で使用している重錘は、図—4—15に示すように形状が複雑で、長さとの直径の比も非常に大きく ($L/D \approx 17$)、抵抗係数の推定も困難であるので、 $Cd=1.0 \sim 5.0$ の範囲にあるものと仮定して計算を行った。

(5) 上部滑車

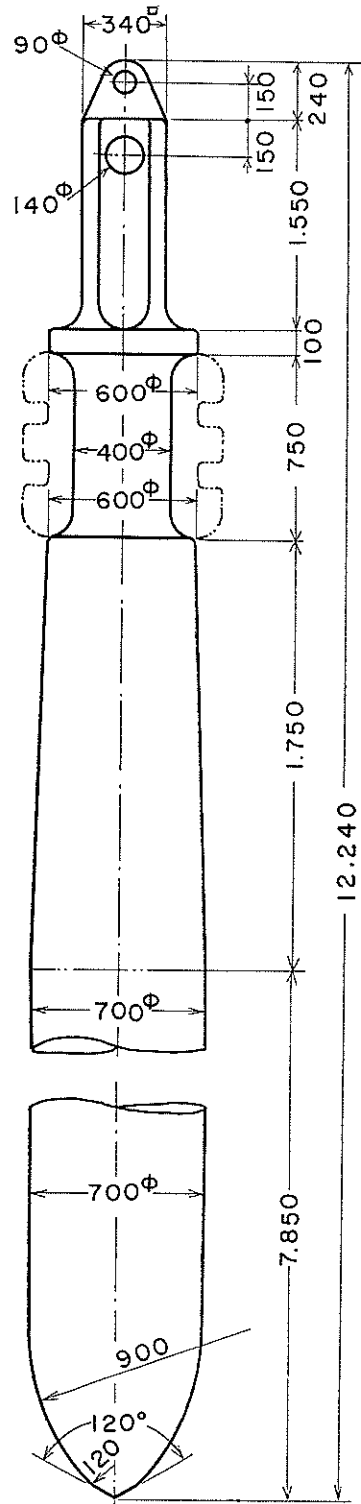
上部滑車については、図面等の資料が得られなかったために、 I_2 , R_2 , W_2 , i_2 , μ_2 は、すべて零とおいて計算した。

3-f 電子計算機による計算

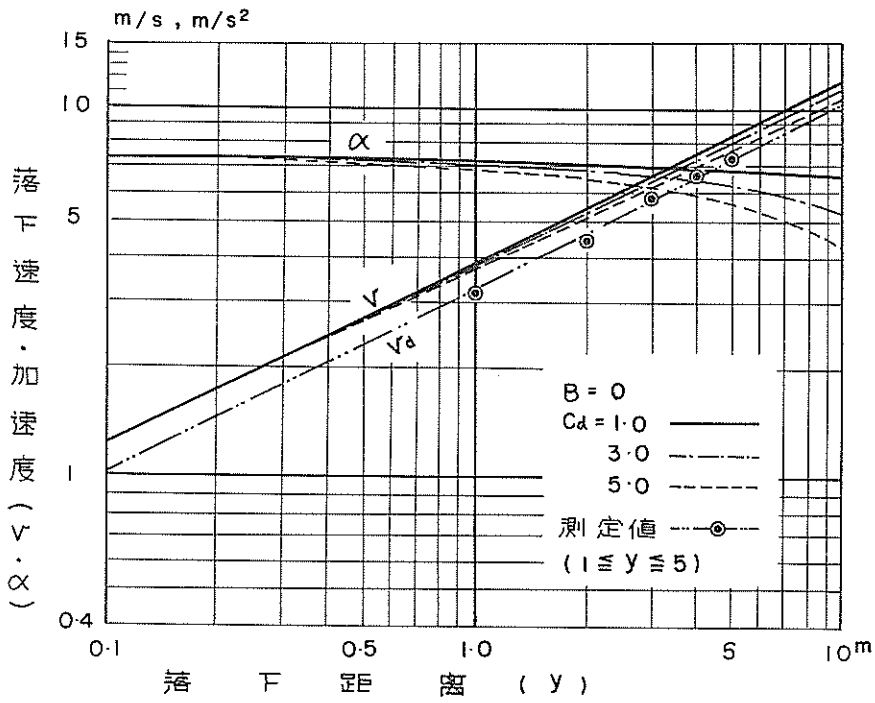
3-b, 3-cで導いた計算式に、3-d, 3-eの関係を計算要素として代入して、重錘落下時の速度および加速度を電子計算機により計算した。計算に使用した諸係数を表—3に、計算結果を図—4—16~4—21に示す(計算値は付表—3参照)。

表—3 制動抵抗と諸係数

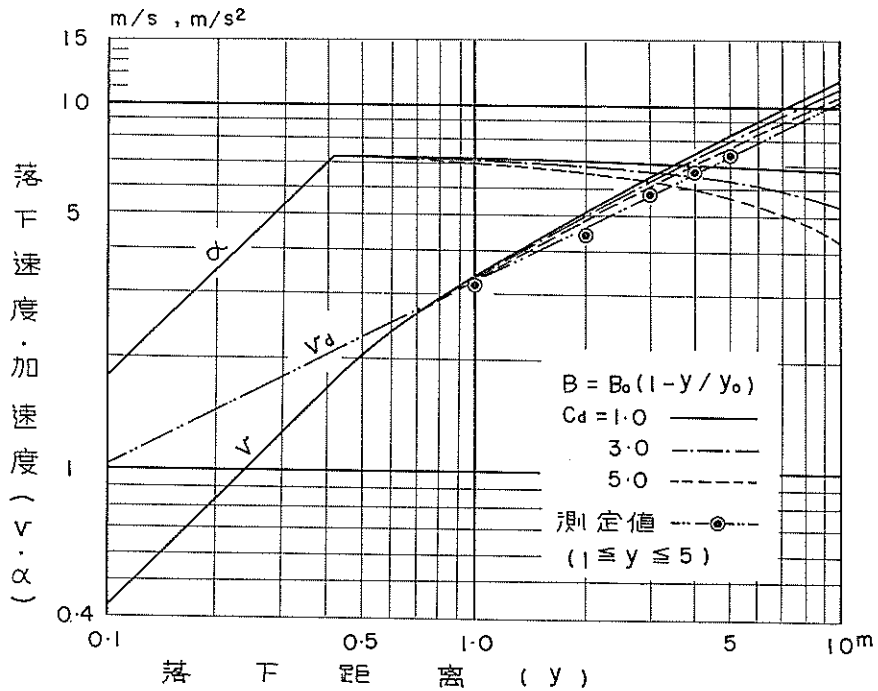
制 度 抵 抗	係 数	流体抵抗係数
$B = B_0 = 0$	—	$Cd=1, 2, 3, 4, 5$
$B = B_0 \left\{ 1 - \left(\frac{y}{y_0} \right)^p \right\}$	$p=1, 2, 3$	同 上
$B = B_0 \left(1 - \frac{y}{y_0} \right)^q$	$q=2, 3$	同 上



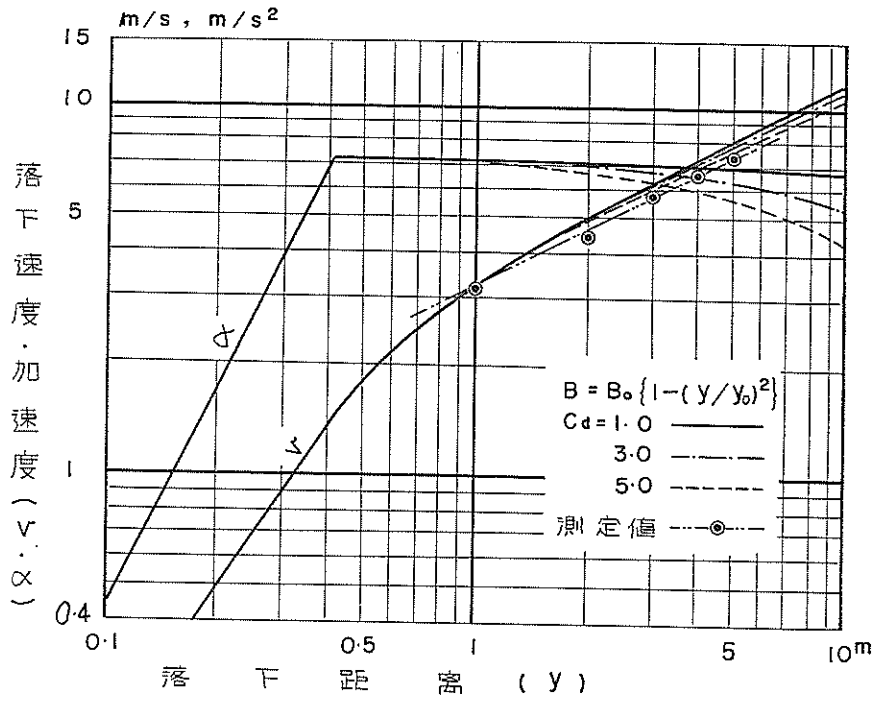
図—4—15 重錘の形状



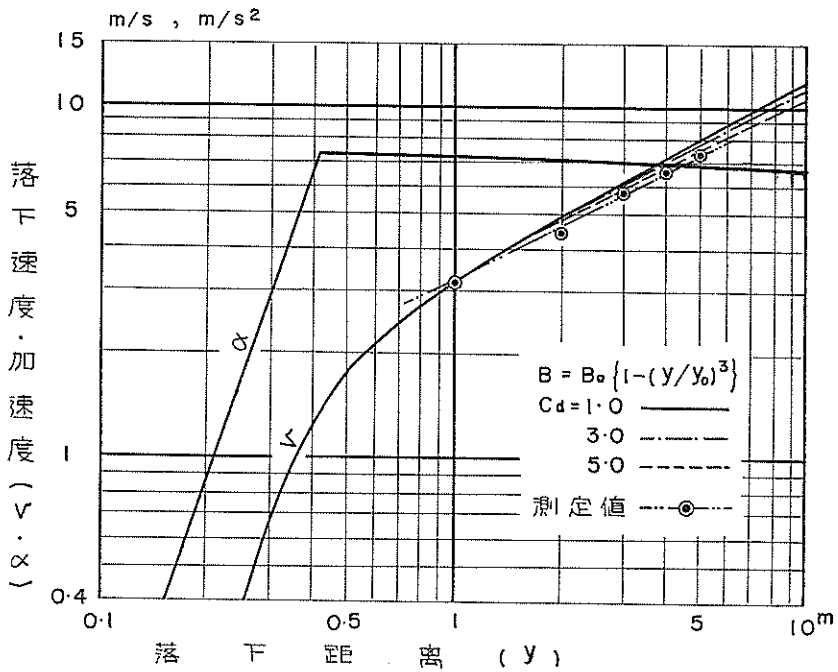
図—4—16 落下速度と加速度の計算値 $B=B_0=0$



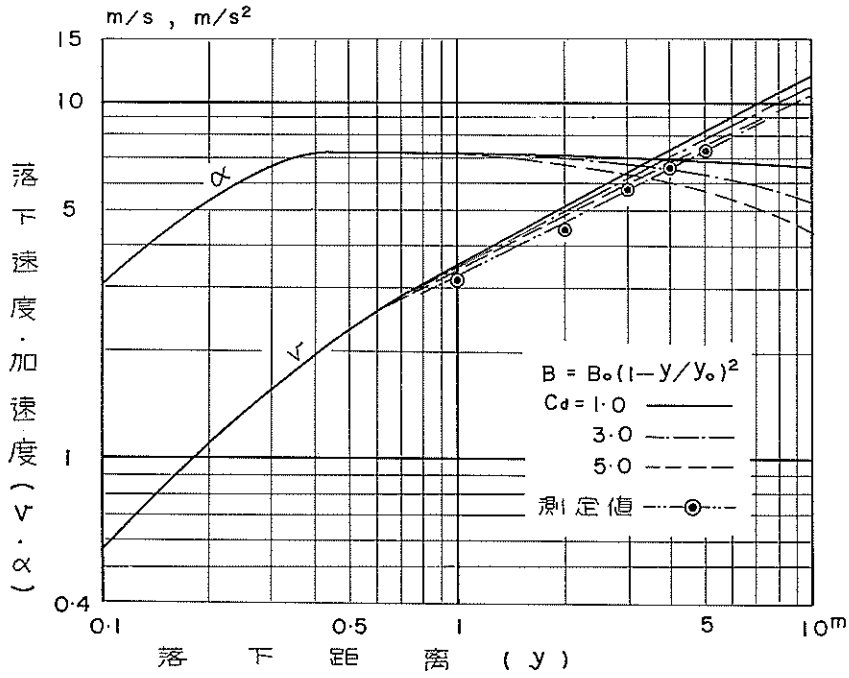
図—4—17 落下速度と加速度の計算値 $B=B_0(1-y/y_0)$



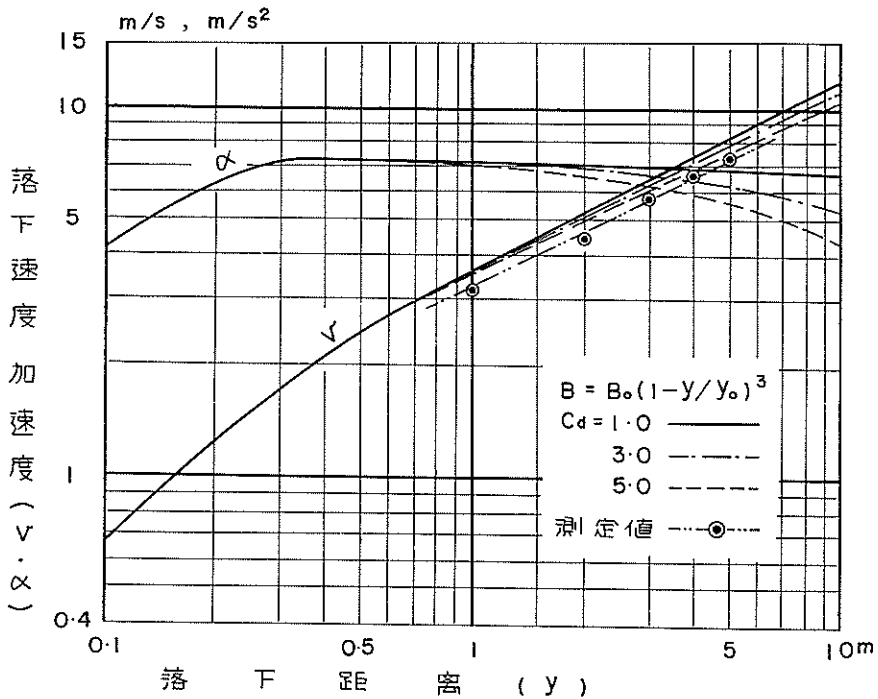
図—4—18 落下速度と加速度の計算値 $B=B_0 \{1 - (y/y_0)^2\}$



図—14—19 落下速度と加速度の計算値 $B=B_0 \{1 - (y/y_0)^3\}$



図—4—20 落下速度と加速度の計算値 $B=B_0(1-y/y_0)^2$



図—4—21 落下速度と加速度の計算値 $B=B_0(1-y/y_0)^3$

3-g 落下速度の近似計算式

3-b, 3-cで求めた解による数値計算はかなり複雑なので、 $\lambda = 0$ において、重錘巻上用ワイヤロープの重量を無視した場合の、重錘の落下速度および加速度を求める近似計算式を導いてみよう。

(i) $B = 0$ の場合

$\lambda = 0$ とおけば

$$M_0 = \frac{W}{g} + \frac{I_1}{R_1^2} + \frac{I_2}{R_2^2} = 3.49 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{s}^2 / \text{m}$$

$$W_0 = W = 26.08 \times 10^3 \text{ kg}$$

$$K_0 = Cd \frac{A\rho}{2} = (1.0 \sim 5.0) \frac{A\rho}{2} = 20 \sim 100 \text{ kg} \cdot \text{s}^2 / \text{m}^2$$

$\lambda = 0$ のとき $\lambda_0 = 0$ となるので、この関係を式(4-11)に代入することにより

$$\left. \begin{aligned} V &= \left\{ \frac{W_0}{K_0} - \left(\frac{W_0}{K_0} - V_i^2 \right) e^{-\frac{2K_0}{M_0}(y-y_i)} \right\}^{\frac{1}{2}} \\ \alpha &= \left(\frac{W_0}{M_0} - \frac{K_0}{M_0} V_i^2 \right) e^{-\frac{2K_0}{M_0}(y-y_i)} \end{aligned} \right\} \dots\dots(4-16)$$

しかるに

$$\begin{aligned} e^{-\frac{2K_0}{M_0}(y-y_i)} &= 1 - \left(\frac{2K_0}{M_0} \right) (y-y_i) \\ &+ \frac{1}{2!} \left(\frac{2K_0}{M_0} \right)^2 (y-y_i)^2 \\ &- \frac{1}{3!} \left(\frac{2K_0}{M_0} \right) (y-y_i)^3 + \dots\dots \end{aligned}$$

と展開されるが、 $2K_0/M_0$ は $y-y_i$ にくらべて十分小さいので、第2項までとれば

$$\left. \begin{aligned} V &= \left\{ \frac{2W_0}{M_0} (y-y_i) + V_i^2 \left\{ 1 - \frac{2K_0}{M_0} (y-y_i) \right\} \right\}^{\frac{1}{2}} \\ \alpha &= \left(\frac{W_0}{M_0} - \frac{K_0}{M_0} V_i^2 \right) \left\{ 1 - \frac{2K_0}{M_0} (y-y_i) \right\} \end{aligned} \right\} \dots\dots(4-16')$$

となる。

$y_i = 0, V_i = 0$ のときの速度および加速度は

$$\left. \begin{aligned} V &= \sqrt{2 \left(\frac{W_0}{M_0} \right) y} = 3.87 \sqrt{y} \dots\dots \text{ m/s} \\ \alpha &= \frac{W_0}{M_0} \left(1 - \frac{2K_0}{M_0} y \right) \\ &= 7.47 - (0.086 \sim 0.428)y \dots\dots \text{ m/s}^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots(4-16'')$$

で求められる。

(ii) $B \neq 0$ の場合

ブレーキを考慮した $0 \leq y \leq y_0$ 間においての重錘の落下速度および加速度を求める近似計算式は、次の方法によって導けばよい。

式(4-14)において

$$\begin{aligned} e^{-\frac{2K_0}{M_0}y} &= 1 - \left(\frac{2K_0}{M_0} \right) y \\ &+ \frac{1}{2!} \left(\frac{2K_0}{M_0} \right)^2 y^2 - \frac{1}{3!} \left(\frac{2K_0}{M_0} \right)^3 y^3 \\ &+ \frac{1}{4!} \left(\frac{2K_0}{M_0} \right)^4 y^4 - \dots\dots \end{aligned}$$

と展開される。

ここに1例として上式の第3項までをとり、 $p = 1$ の場合について、式(4-14')により計算すると

$$\left. \begin{aligned} V &= \sqrt{\frac{W_0}{M_0 y_0} \cdot y} = 4.27y \dots\dots \text{ m/s} \\ \alpha &= \frac{W_0}{M_0 y_0} \cdot y = 18.23y \dots\dots \text{ m/s}^2 \\ &(0 \leq y \leq 0.41\text{m}) \end{aligned} \right\} \dots\dots(4-17)$$

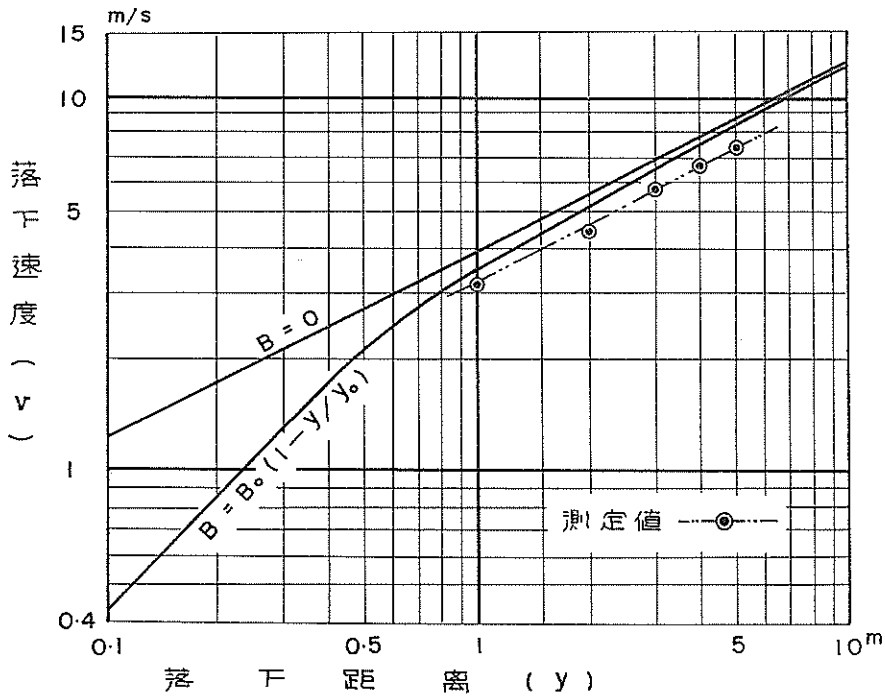
が得られる。

式(4-17)の適用範囲は $0 \leq y \leq 0.41\text{m}$ であるから $y \geq 0.41\text{m}$ の範囲については

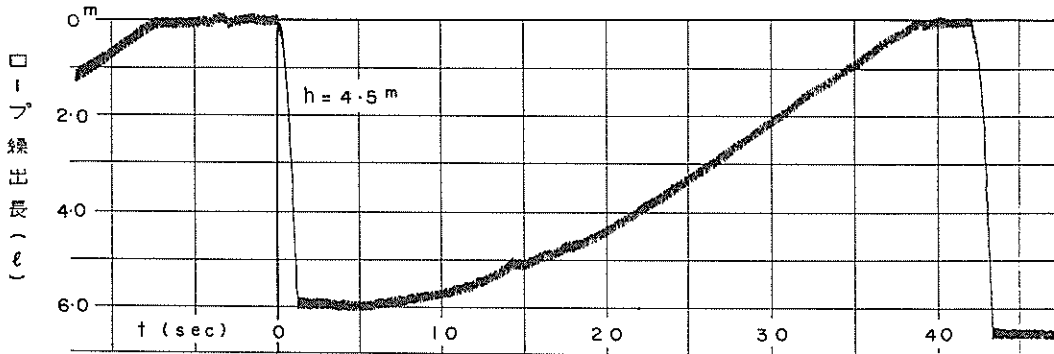
$$\begin{aligned} y_i &= y_0 = 0.41\text{m} \\ V_i &= V_0 = 4.27y_0 = 1.75 \text{ (m/s)} \end{aligned}$$

の値を式(4-16')に代入して求めることができる。

$$\left. \begin{aligned} Cd &= 1 \\ V &= \sqrt{14.911y - 3.051} \\ \alpha &= 7.490 - 0.075y \\ Cd &= 2 \\ V &= \sqrt{14.876y - 3.036} \\ \alpha &= 7.508 - 0.171y \\ Cd &= 3 \\ V &= \sqrt{14.841y - 3.022} \\ \alpha &= 7.525 - 0.251y \\ Cd &= 4 \\ V &= \sqrt{14.806y - 3.007} \\ \alpha &= 7.542 - 0.339y \\ Cd &= 5 \\ V &= \sqrt{14.771y - 2.993} \\ \alpha &= 7.558 - 0.423y \\ &(y \geq 0, 41\text{m}) \end{aligned} \right\} \dots\dots(4-17')$$



図一四—22 落下速度の近似計算値



図一四—23 重錘の巻上状態

図一四—22に、重錘の落下速度の測定と近似計算値との比較を示す（計算値は付表一四参照）。

4.3.4 重錘の巻上速度

砕岩作業において、重錘の巻上げに要する時間が、1回落下所要時間中に占める割合は、表一四に示すようにきわめて大きい。したがって、重錘の巻上速度を計画値以下で使用していると、サイクルタイムが長くなって砕岩能率が低下する。

図一四—23は、重錘の落下高さが4.5mの場合の、時間と重錘巻上用ロープ繰出長さの関係を、回転変位指示計により記録した1例で、本図より重錘の落下速度を求めて表示したのが図一四—24である。

表一四 重錘巻上時間（平均値）

落下高さ	1回落下所要時間 (t ₁)	ロープ繰出時間 (t _a)	巻上時間 (t ₁ -t _a)	$\frac{t_1 - t_a}{t_1}$
1 m	約24.8秒	約 1.1秒	23.7秒	0.9556
2 m	30.4	1.2	29.2	0.9605
3 m	35.0	1.3	33.7	0.9629
4 m	38.3	1.4	36.9	0.9634
5 m	43.6	1.5	42.1	0.9656

備考：

測定月日 昭和41年9月6～8日
測定場所 黒鼻の磯
船名 大槌号

大船号の砕岩ウインチの設計値と、巻上速度および荷重の測定値を比較すると

	設計値	測定値
巻上速度	10m/min	約13.5m/min (最大)
荷重	30ton	26.08ton

となっている(荷重の測定値は、計算で求めた重錘の水中重量を示す)。

上記の数値より、荷重は設計値より測定値の方が小さいが、巻上速度は測定値の方がかなり大きくなっておりこれ以上巻上速度を速くして、サイクルタイムを短縮することは困難と思われる。

4.4 重錘の落下高さと同入量

4.4.1 貫入量の測定

調査を行った砕岩穴の配置を図4-25に示す。落下高さの設定ならびに貫入量の測定方法は、前章(3.2)で述べた方法とまったく同様である。

本調査における落下高さ、落下回数その他を表5に示す。

図4-26~4-30は、各落下高さにおける落下回数と同入量の関係を示すもので、累計貫入量については全

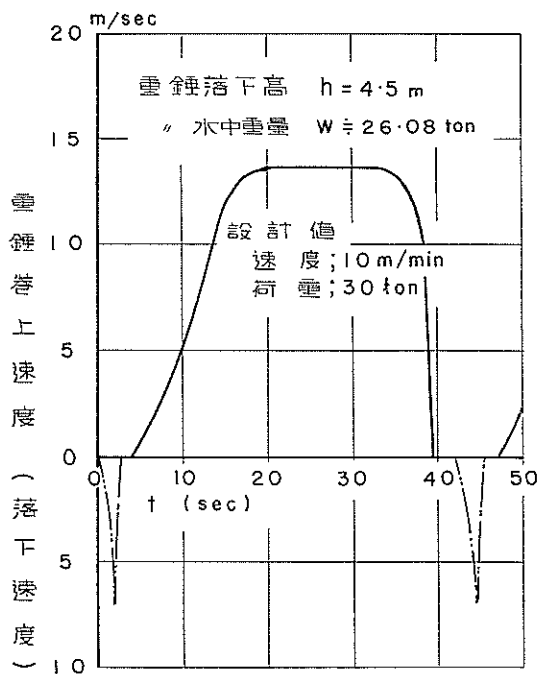


図4-24 重錘の巻上速度

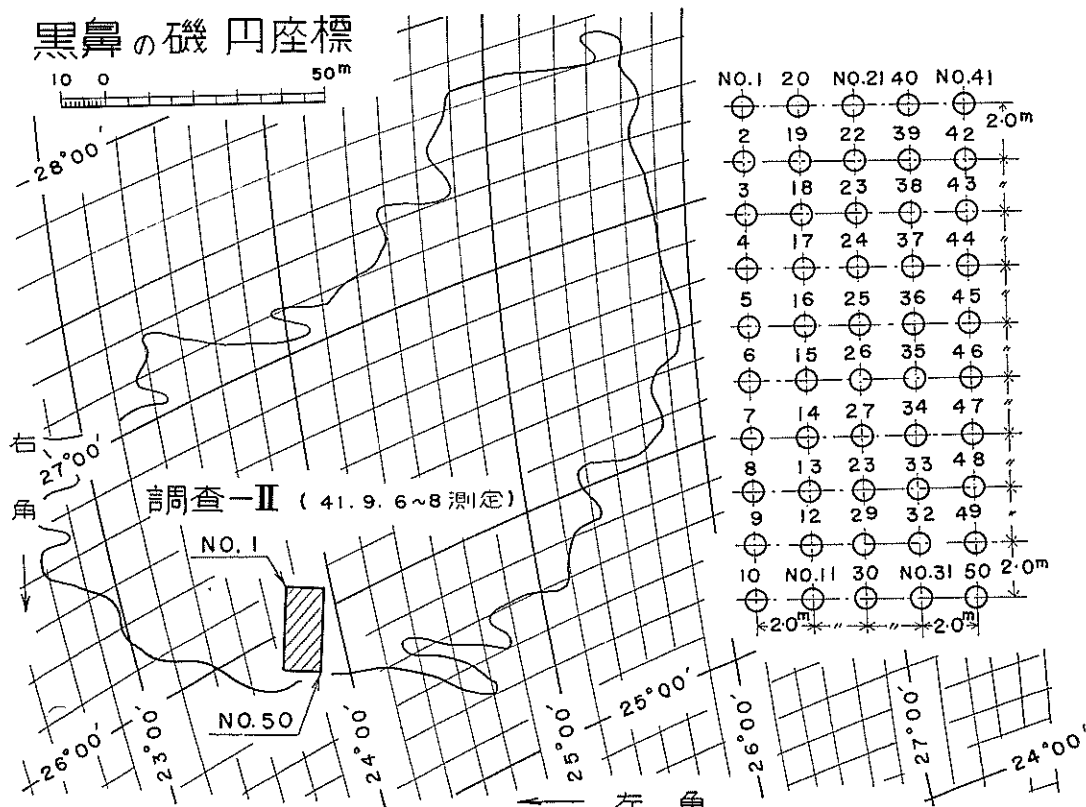


図4-25 黒鼻の磯円座標

表-5 落下高さ, 落下回数と貫入量

測定番号	落下高さ	落下回数	10回累計貫入量 (測定値)	測定番号	落下高さ	落下回数	10回累計貫入量 (測定値)	
No. 1	h = 1.0m	n = 10	0.28m	No. 26	h = 3.0m	n = 10	1.24m	
2			0.53	27			0.81	
3			0.26	28			0.88	
4			0.57	29			0.87	
5			0.40	30			0.85	
6			0.38	No. 31			0.71m	
7			0.51				32	0.59
8			0.32				33	0.80
9			0.52				34	0.88
10			0.58				35	1.05
No. 11	h = 2.0m	n = 10	0.48m	36	h = 4.0m	n = 10	1.19	
12			0.54	37			1.28	
13			0.50	38			1.33	
14			0.59	39			1.72	
15			0.56	40			1.50	
16			0.89	No. 41			1.85m	
17			0.74				42	1.48
18			0.76				43	1.54
19			1.26				44	1.27
20			0.96				45	1.19
No. 21	h = 3.0m	n = 10	1.17m	46	h = 5.0m	n = 10	1.05	
22			0.87	47			1.12	
23			0.83	48			0.73	
24			0.72	49			1.17	
25			0.93	50			0.88	

備考:

測定月日 昭和41年9月6~8日

測定場所 黒鼻の磯

船名 大槌号

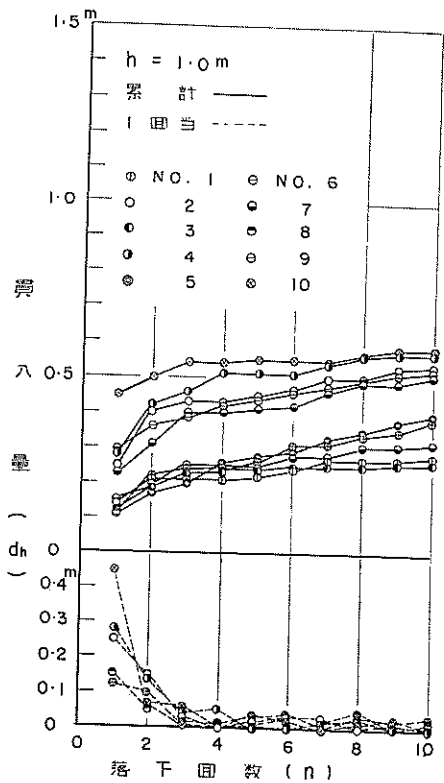


図-4-26 落下回数と貫入量 (h=1.0m)

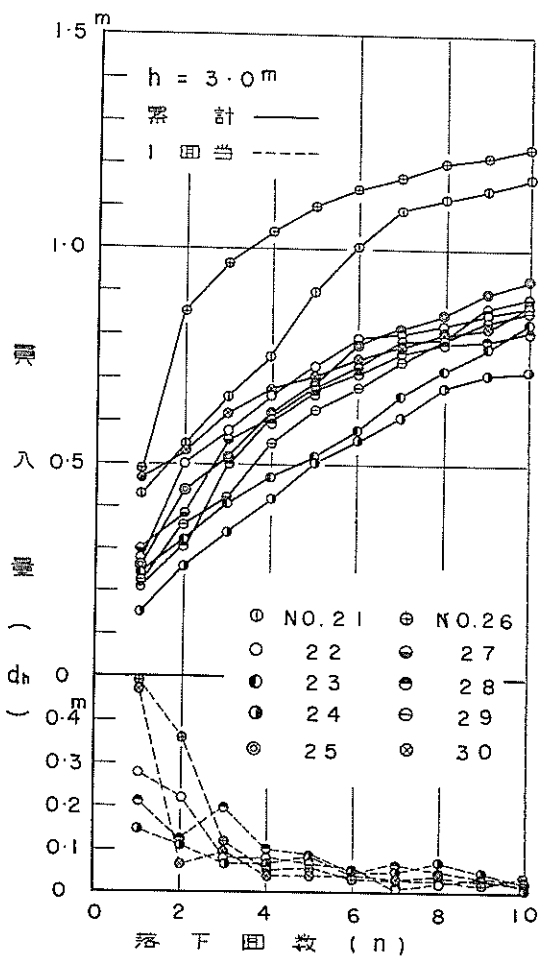


図-4-28 落下回数と貫入量 (h=3.0m)

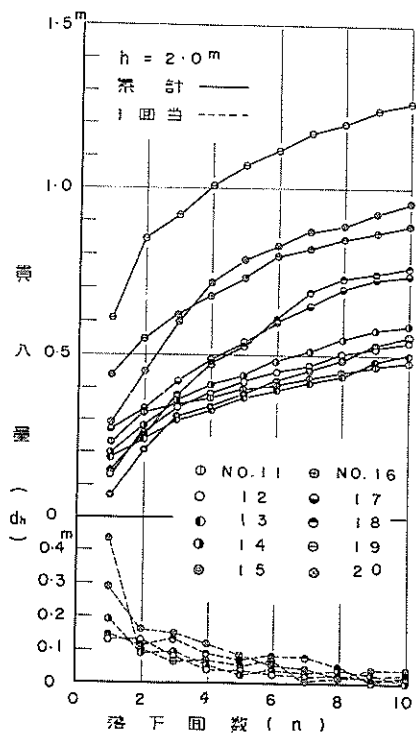
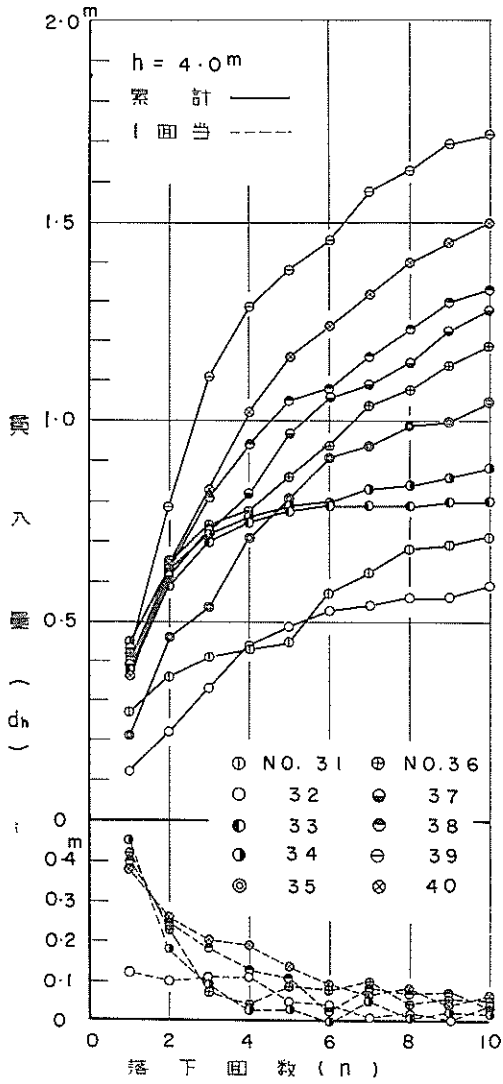


図-4-27 落下回数と貫入量 (h=2.0m)

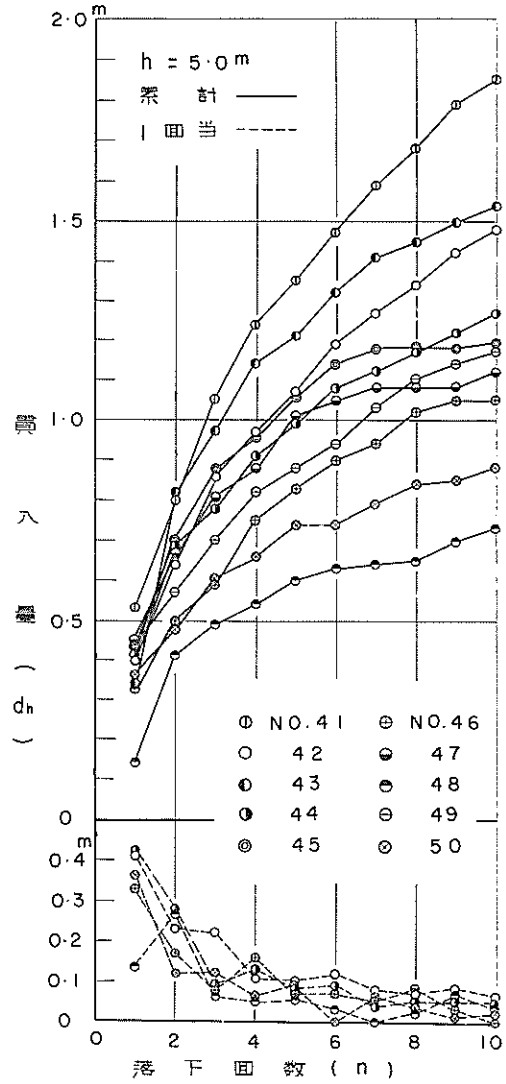
測定点を、1回当り貫入量については、ぐう番号の測定点についてのみ記入した。図-4-31~4-35に砕岩前後の海底の比較を示す(貫入量の測定値は付表-5参照)。

重錘の落下高さが、比較的低い $h=1.0\sim 3.0\text{m}$ の範囲では、落下回数と貫入量(累計)の関係を示す曲線は、図-4-26~4-28に示すように、2~3のグループに分かれる現象が明瞭に認められるが、 $h=4.0\sim 5.0\text{m}$ になると、曲線群は比較的均一に分布して、ごく少数の測定点(たとえば図-4-29ではNo. 33, No. 34, 図-4-30ではNo. 45, No. 47等)を除いては、その曲線の特徴をとらえて分類することは困難である。

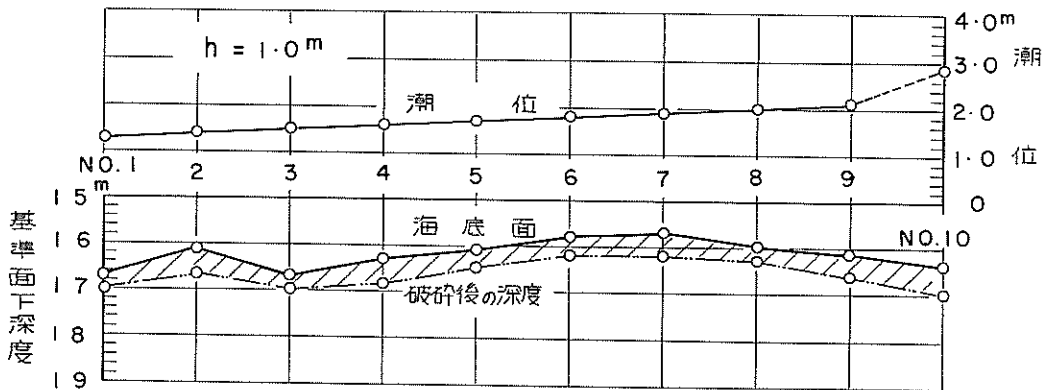
図-4-36は、各落下高さにおける重錘の10回落下後の貫入量を示す。重錘の落下高さ $h=1.0\text{m}$ (No. 1~10)および $h=3.0\text{m}$ (21~30)の最終貫入量は、一部



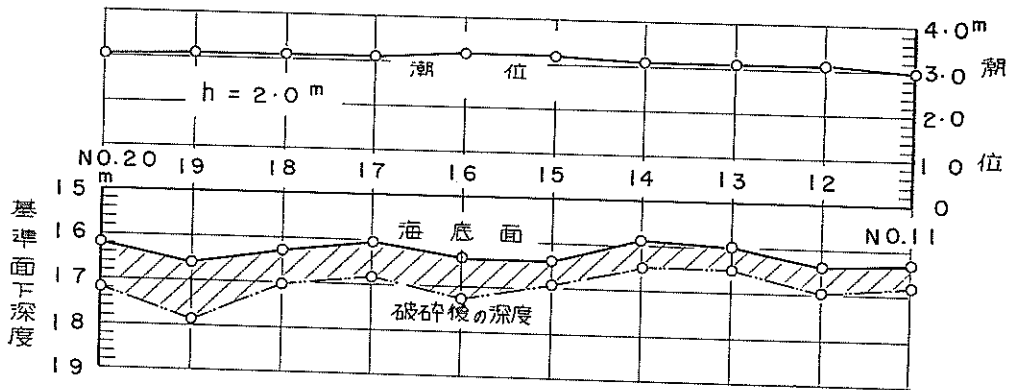
図一4—29 落下回数と貫入量 ($h=4.0\text{m}$)



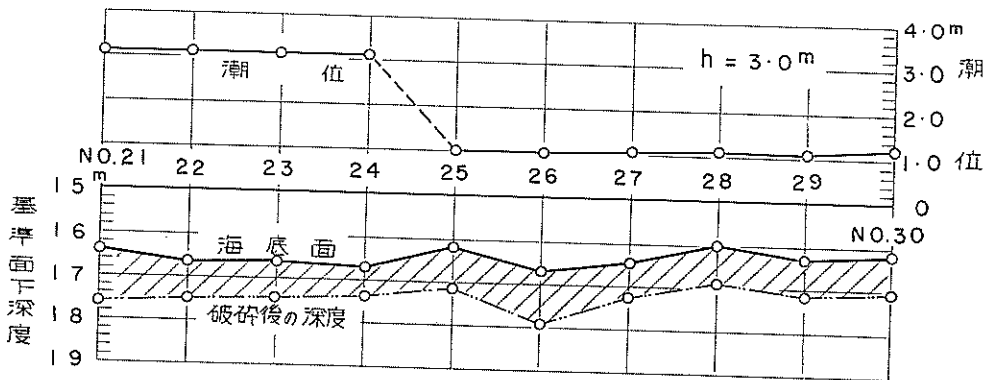
図一4—30 落下回数と貫入量 ($h=5.0\text{m}$)



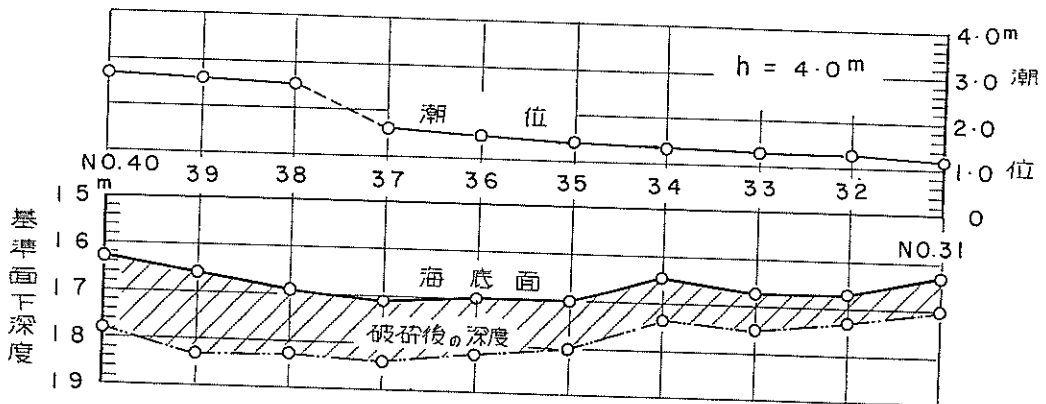
図一4—31 碎岩前後の海底の比較 ($h=1.0\text{m}$)



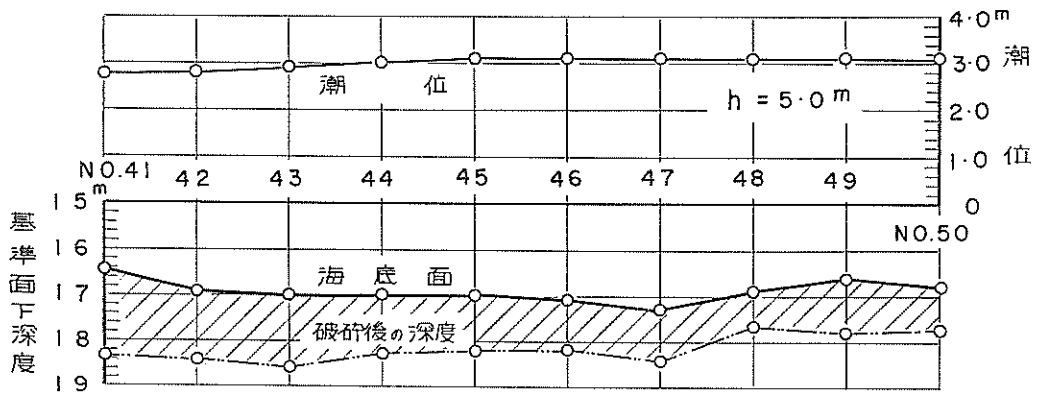
図—4—32 碎岩前後の海底の比較 ($h=2.0\text{m}$)



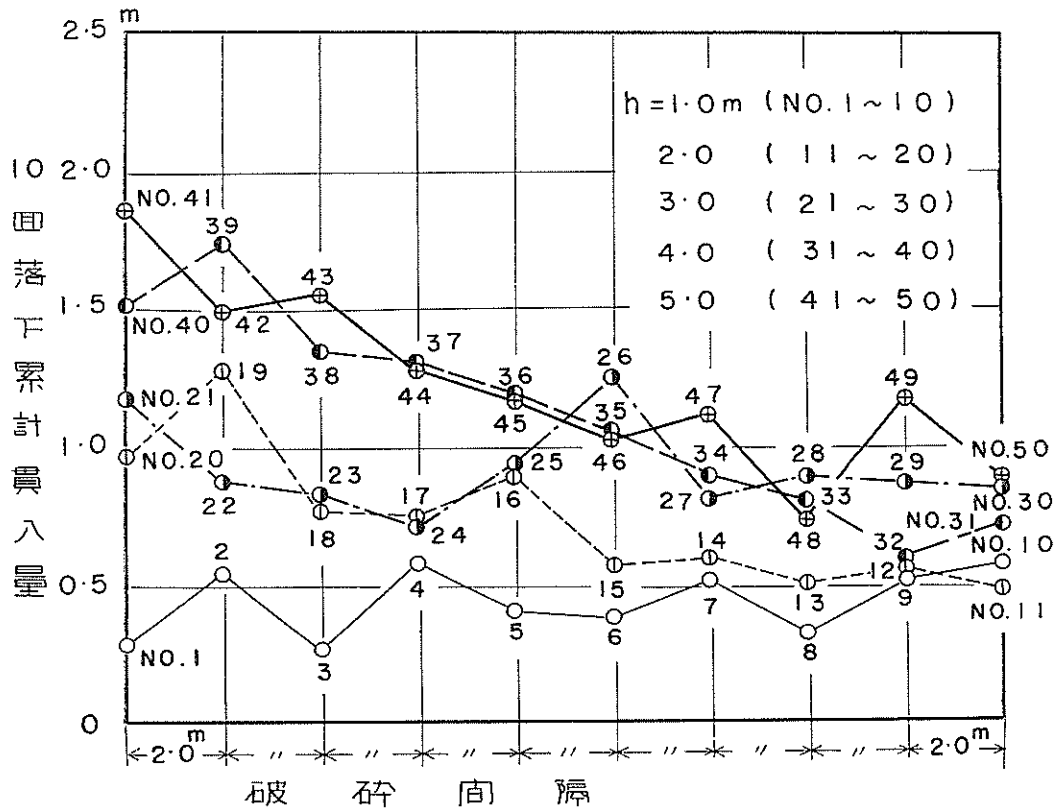
図—4—33 碎岩前後の海底の比較 ($h=3.0\text{m}$)



図—4—34 碎岩前後の海底の比較 ($h=4.0\text{m}$)



図一四—35 砕岩前後の海底の比較 (h=5.0m)

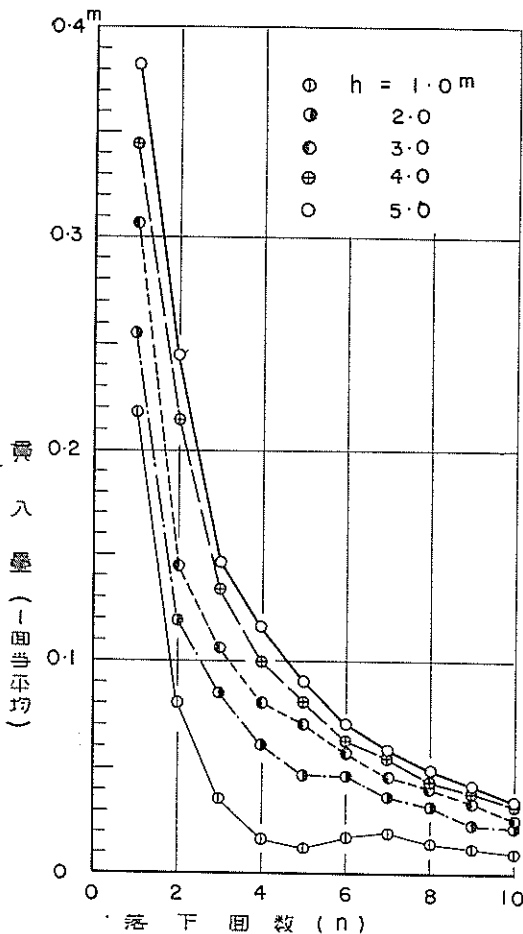


図一四—36 最終貫入量 (10回落下)

を除き、比較的一様な分布をしているが、 $h=2.0\text{m}$ の場合測定番号No. 11からNo. 20にむかって、ゆるやかではあるが貫入量の増加する傾向が見られ、 $h=4.0\text{m}$ (No. 31~40) および $h=5.0\text{m}$ (No. 41~50) の場合は、かなり急なこう配で貫入量の変化している様子がかがわれる。以上の結果から判断して、重錘の落下高さが、 $h=$

4.0m および $h=5.0\text{m}$ で貫入量を測定した場所の岩質は、測定番号No. 40, No. 41からNo. 30, No. 50にむかって、破碎性の良いものから破碎されにくいものへと、除々に変化しているものと推定される。

図一四—37は、各落下高さにおける落下回数と一回当り貫入量 (10回測定平均値) を示したものである。重錘

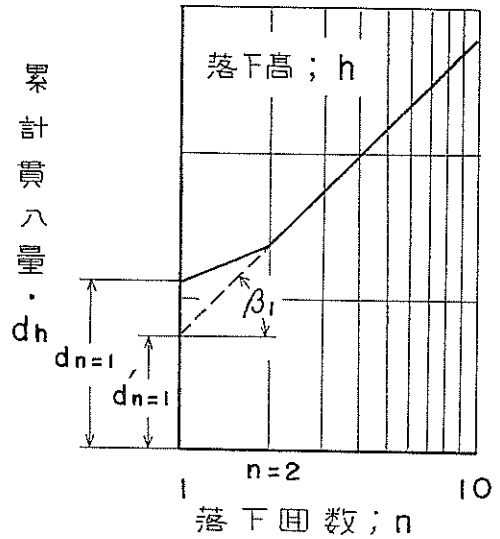


図一4-37 1回当たり貫入量

落下高さ $h=5.0\text{m}$ の場合、落下回数 $n=1\sim3$ の範囲では貫入量は急激に減少するが、4回目以後の貫入量の減少の割合は比較的小さい。これに対し落下高さ $h=1.0\text{m}$ の場合、落下回数 $n=1\sim5$ の範囲では、前述と同様の傾向を示すが、 $n=6\sim7$ で貫入量が増加したのち、 $n=8$ 以後、ふたたび貫入量が減少するという現象が見られる。これは、重錘の落下回数が3回目までぐらいで、岩盤の表面近くの比較的破碎されやすい部分の砕岩が終り4~5回目では、岩盤にクラックを生じさせる程度で、1回当たりの貫入量は小さくなるが、落下回数が6~7回目ごろになると、クラックが大きく発達して岩盤が破壊し、貫入量が増加するものと思われる。落下高さが2.0~4.0mの場合も、 $h=1.0\text{m}$ のときほど顕著ではないが、ほぼ同様の傾向が認められる。

4.4.2 貫入量の計算式

図一4-38は、重錘の落下高さが一定の場合の、落下



図一4-38 落下回数と貫入量

回数と累計貫入量の関係を近似的に示したものである。前章、調査-Iの(3.2)で述べたとおり、重錘の落下回数が $2 \leq n \leq 10$ の場合、図一4-38において両者の関係は直線で表わされるものとし、以下に求める計算式も $2 \leq n \leq 10$ の範囲において適用する。

図において、 $n \geq 2$ の範囲の直線の延長が、縦軸と交わる点の座標を $d'_{n=1}$ とすれば

$$dh = \tan\beta_1 \log n + d'_{n=1} \dots\dots\dots (4-18)$$

ここに

dh : 重錘の落下高さが h (一定) のときの累計貫入量 (m)

$\tan\beta_1$: 直線のこう配

n : 落下回数 (回)

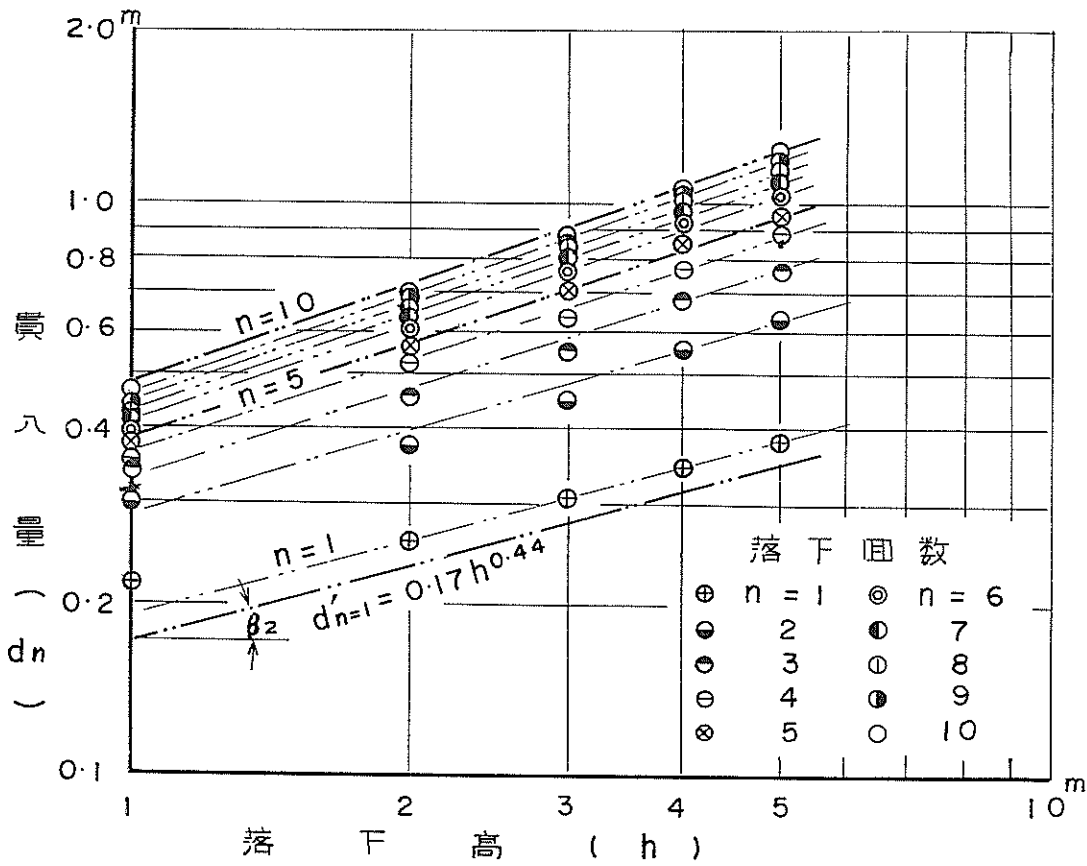
$d'_{n=1}$: 落下回数 $n=1$ のときの見かけの貫入量 (m) で表わされる。

落下回数 $n=1$ のときの実際の貫入量を $d_{n=1}$ (m) とすれば、ふつう次の関係がある。

$$d_{n=1} > d'_{n=1}$$

次に落下回数が一定の場合の、重錘の落下高さや貫入量の関係を調べてみよう。図一4-39は、重錘の落下高さを横軸 (対数目盛) に、累計貫入量 (対数目盛) にとって、落下回数が1回から10回までの落下高さや累計貫入量 (10回測定平均値) を表示したものである。

図より、落下回数が一定であれば、重錘の落下高さが低く、落下回数の少ない場合を除き、両者の関係は、ほぼ直線で近似できる。この直線のこう配を $\tan\beta_2$ で表わすものとし、重錘の落下回数と、 $\tan\beta_2$ および式 (4-



図一4—39 落下高さ と 貫入量

18) の $\tan\beta_1$ の関係を、貫入量の測定値より求めると、
 図一4—40が得られる ($\tan\beta_1$ は、後掲図一4—41より
 求める)。

本図より

$$\tan\beta_1 = 0.96 \log h + 0.21 \dots\dots\dots (4-19)$$

$$\tan\beta_2 = 0.21 \log n + 0.44 \dots\dots\dots (4-20)$$

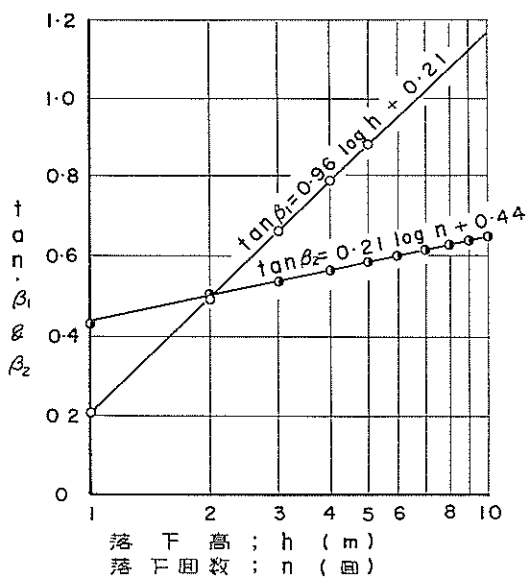
ここに

h : 重錘の落下高さ (m)

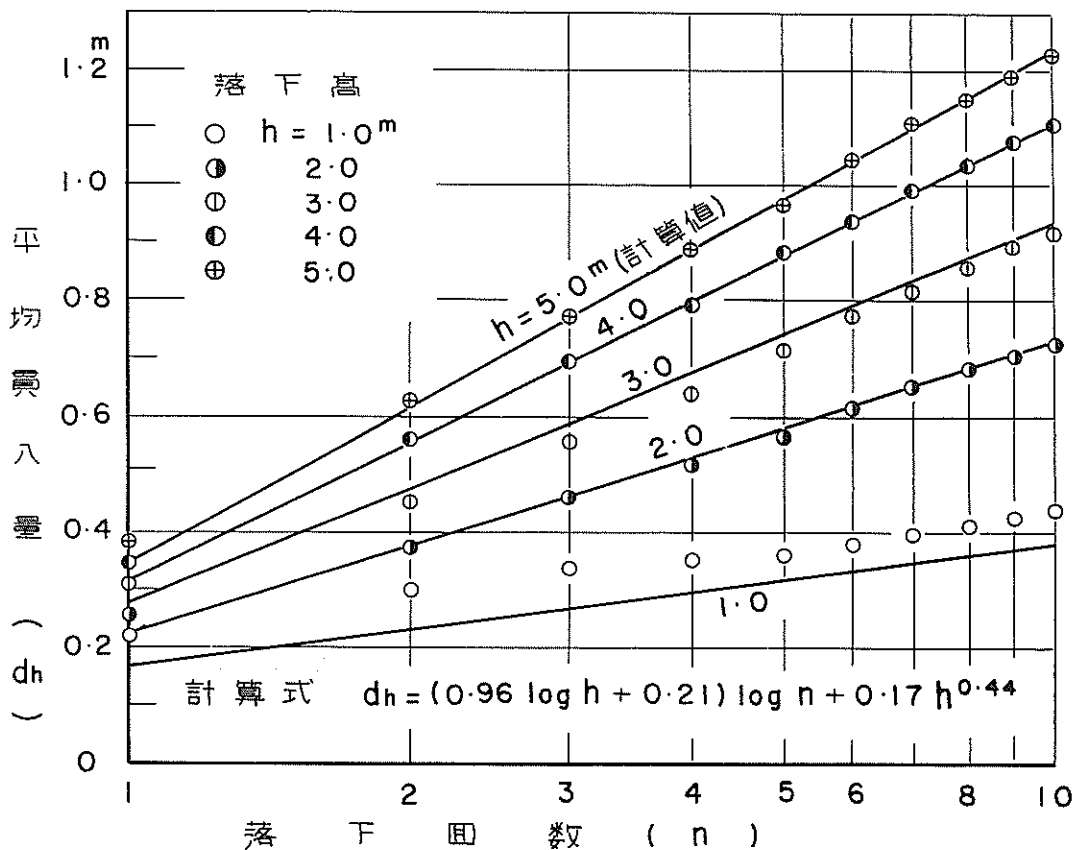
落下回数 $n=1$ のときの見かけの貫入量 $d'_{n=1}$ は、
 後掲図一4—41において、重錘の落下高さが一定の場合
 の測定点を結んだ直線が、縦軸と交わる点の座標から dh
 を求め、式 (4—20) において、 $n=1$ において直線
 のこう配を求めれば、図一4—39に示す直線 (2点鎖線)
 および次の式が得られる。

$$d'_{n=1} = 0.17h^{0.44} \dots\dots\dots (4-21)$$

式 (4—18), (4—19), (4—21) より、重錘の落下
 高さが h 、落下回数が n のときの累計貫入量 dh は、次式
 で表わされる。



図一4—40 $\tan\beta_1$ および $\tan\beta_2$



図一 4—41 貫入量の測定値と計算値

$$dh = (0.96 \log h + 0.21) \log n + 0.17 h^{0.44} \dots (4-22)$$

式(4-22)による計算値と測定値(10回測定平均値)を、図一4-41に示す。

式(4-22)は、重錘の落下高さ $h=1.0 \sim 5.0\text{m}$ 、落下回数 $2 \leq n \leq 10$ の範囲について求めた計算式である。重錘の落下高さについては、外国では $h=10\text{m}$ に達するものもあるが、国内では $5 \sim 6\text{m}$ が最大であり、実験範囲では十分である。落下回数については、1か所で数十回も重錘を落下させることがあり、実験範囲を大巾に越える場合もあるので、最初に仮定した式(4-18)の関係が $n > 10$ の場合も成立するかどうかについては、調査の必要がある。

図一4-42は、文献一6より引用した重錘の落下回数と累計貫入量の関係を、図一3-10および図一4-41で用いたのと同様の表示方法で、落下回数を横軸に、累計貫入量を縦軸にとって、両者の関係を表示したものである。

図より、測定番号No. 1およびNo. 6が、やや異なっ

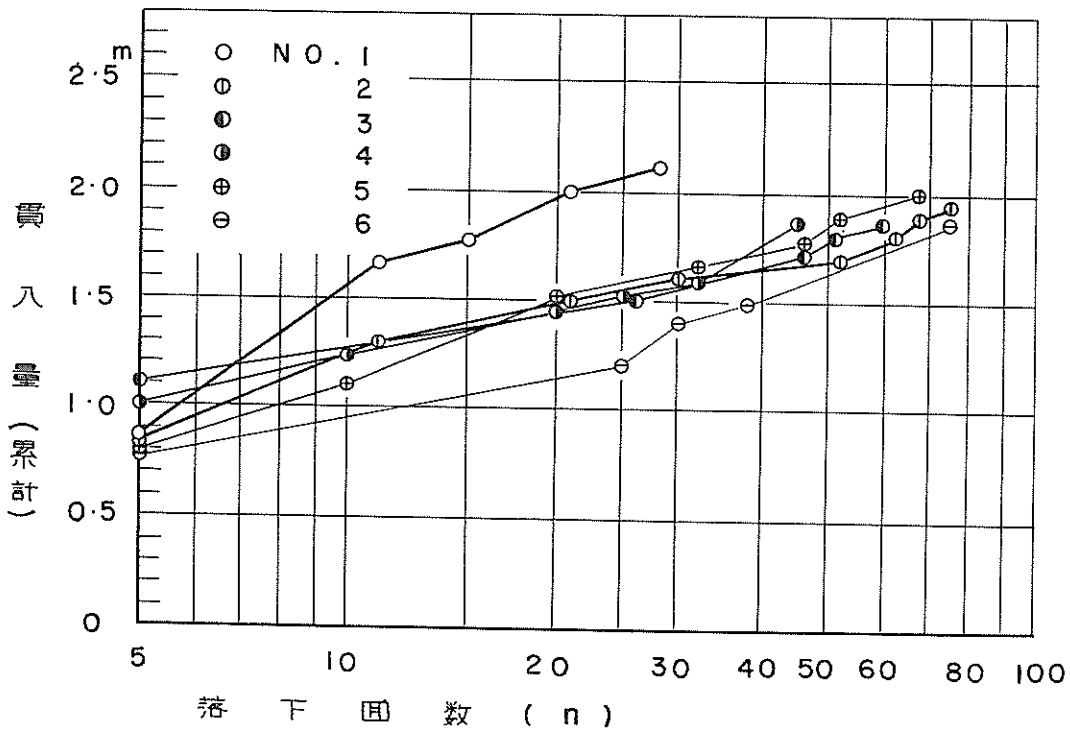
た傾向を示すほかは、いずれも直線に近く、したがって $n > 10$ の範囲でも、式(4-19)、(4-20)、(4-21)の値を、実験値によって補正すれば、式(4-18)は実用上の全範囲において、ほぼ成立するものと考えられる。測定番号No. 1およびNo. 6が、やや傾向を異にするのは、地質あるいは重錘の落下高さの相違によるものと思われるが、詳細は明らかでない。

式(4-18)には、重錘の刃先の形状および岩盤の破砕性(各種強度、クラック、浸食の程度等)は、計算要素としてはいっていないので、刃先の形状の異なった重錘を使用する場合や、破砕性が異なると考えられる他の場所の砕岩を行う場合にも、本式が成立するかどうかについては、さらに検討を加える必要がある。

4.5 砕岩時間と能率

4.5.1 砕岩時間

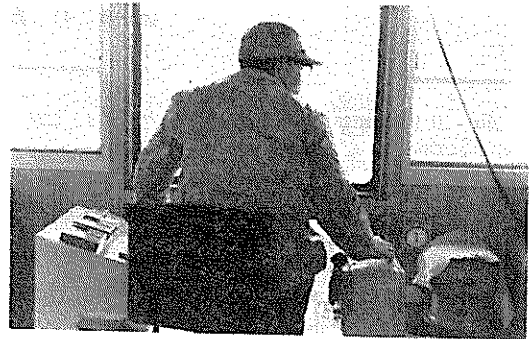
砕岩の作業を、砕岩ウインチを操作する面から見ると最初は、ウインチを低速で巻上運転してワイヤロープのたるみを取り、ロープが張ってウインチに掛かる荷重が



図一四—42 落下回数が多い場合の貫入量

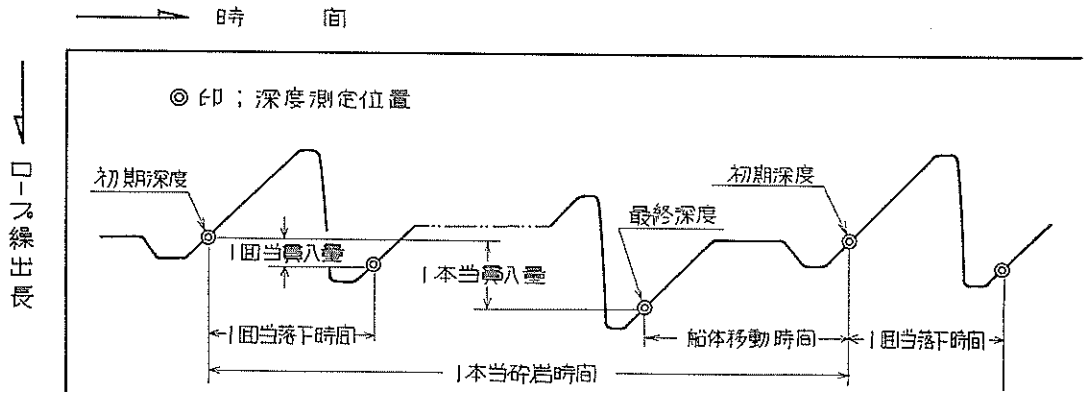
増え、ウインチ用電動機の電流計の針が振れた瞬間に、深度計でその位置の水深を確認し、深度計を見ながらウインチのノッチを上げて増速し、予定の落下高さまで重錘を巻上げてウインチを停止させる。次に重錘落下ボタンを押せば重錘は落下するが、落下ボタンを操作してもブレーキが作動（開閉）するまでには時間の遅れ（タイムラグ）があるので、重錘が着底してからブレーキを操作（落下ボタンをはなす）していたのでは、ワイヤロープが繰出し過剰になって大きなたるみを生じ、砕岩時間の延長、ワイヤロープの折損等の不利な面が多いので、深度計を見ながら、重錘が予定の落下高さの約半分落下した段階でブレーキを操作する。ウインチドラムが停止すれば、ナンバリングを押して落下回数を表示し、これによって、1回の重錘落下作業が終了、以下これと同じ操作をくりかえすのである。累計貫入量が予定値に達すれば、船体を移動して、次の位置での砕岩を行う。砕岩ウインチの操作状態を写真—22に示す。

砕岩船の作業は、外見上は、重錘を巻上げて落下させるという非常に単純な運動のくりかえしに見えるが、重錘を操作する側から見ると、岩石が破碎されるまでにはかなり複雑な過程を経ていることがわかる。



写真—22 砕岩ウインチの操作状態

ふつう行われているサイクルタイムの調査では、ドラッグアクション浚渫船の場合、浚渫時間、土捨て往復時間、回頭時間等を測定の対象とし、非航のグラブ浚渫船やディッパー浚渫船の場合、バケットの開閉および揚げおろし時間、旋回時間等が測定の対象となる。砕岩船についても、砕岩装置の諸操作について、時間分析を加える必要があると考えられるが、今回は、重錘落下高さが1.0～5.0 mの範囲で重錘の1回落下所要時間および船体移動時間について測定し、個々の操作時間の測定は省略し

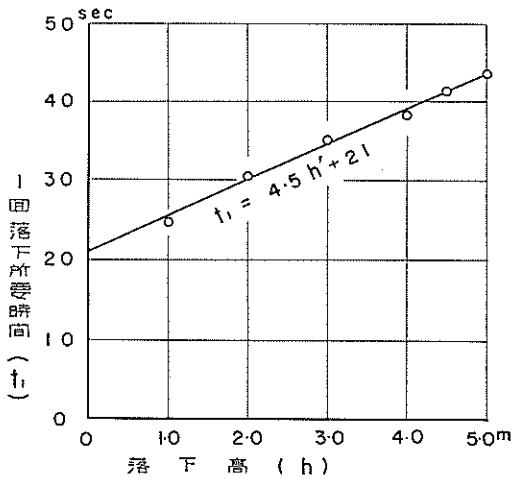


図一4-43 1回落下所要時間と船体移動時間

た。

重錘の1回落下所要時間と船体移動時間は、深度測定時を基準にとって測定した。これらの時間と、ロープ線出長さの関係を図一4-43に示す。

1回落下所要時間の測定値と、重錘の落下高さの関係を図一4-44に示す。図より重錘の1回落下所要時間は落下高さが高くなるにつれて、ほぼ直線的に増加している（1回落下所要時間および船体移動時間の測定値は、付表一6参照）。



図一4-44 1回落下所要時間

本図および付表一6より

$$\left. \begin{aligned} t_1 &= 4.5h + 21 \\ t_2 &= 1.5t_1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4-23)$$

ここに

t_1 : 1回落下所要時間 (sec)

t_2 : 船体移動時間 (sec)

で表わされる。

4.5.2 砕岩能率

砕岩作業に適した重錘の落下高さは、主として、砕岩場所の地質から決定されているようで、地質の堅いところでは落下高さを高く、比較的やわらかいところでは低くするのがふつうである。また、粘土質の硬土盤では引抜き抵抗が増加するので、落下高さをあまり大きくしない等の考慮が払われている。本節では、重錘の累計貫入量、1回落下所要時間、船体移動時間が、式(4-22)、(4-23)で表わされるものとして、砕岩能率を検討してみよう。

式(4-22)、(4-23)より、1時間当り貫入量は

$$D_H = \frac{d}{(n+1.5)(4.5h+21)} \times 3,600 \dots\dots (4-24)$$

$$\left(\log n = \frac{d-0.17h^{0.44}}{0.96 \log h + 0.21} \right)$$

ここに

D_H : 1時間当り貫入量 (m/hr)

d : 1本当り貫入量 (m)

で表わされる。

上式より、重錘の落下高さで1時間当りの貫入量の関係は、1本当りの貫入量の大小によって、図一4-45のように変化する。

砕岩船による砕岩量を

$$Q = a \cdot b \cdot d \dots\dots\dots (4-25)$$

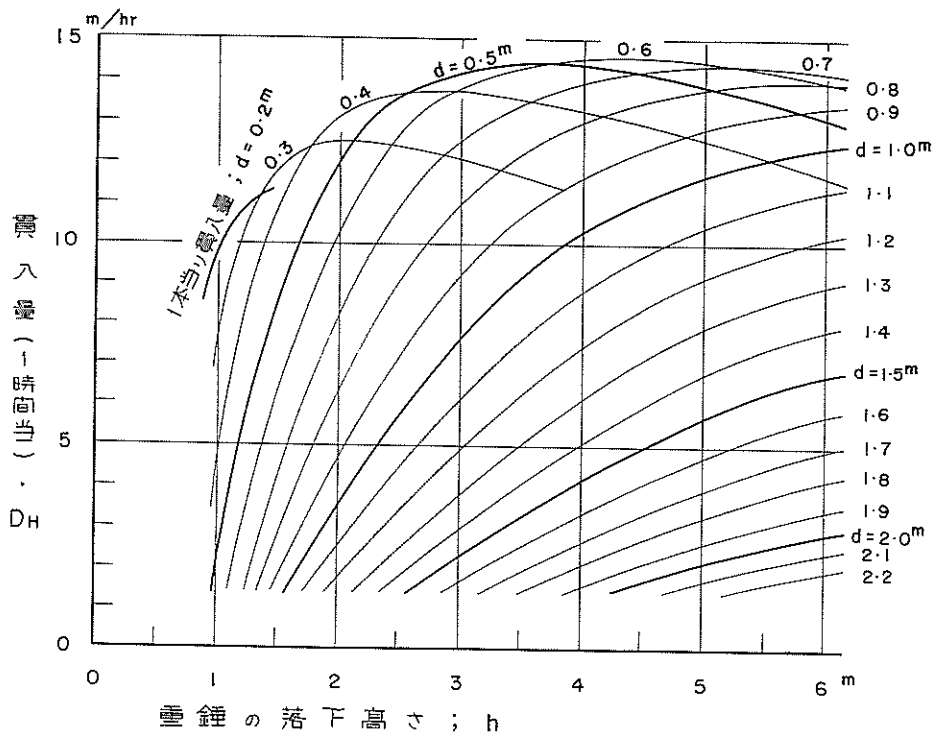
ここに

Q : 砕岩量

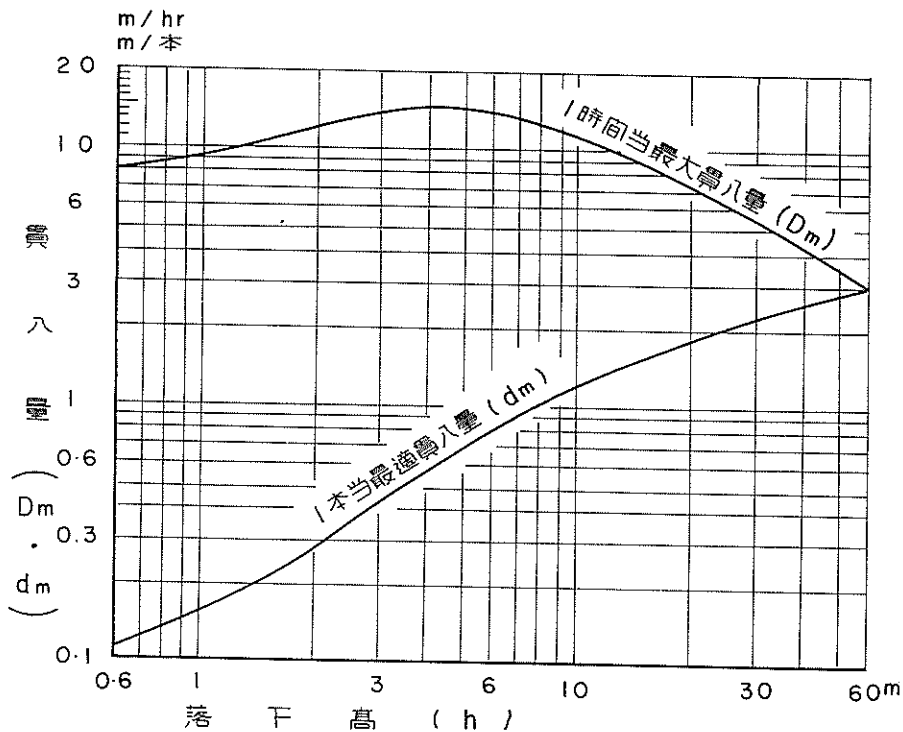
a : 破砕ピッチ

b : 破砕間隔

で表わすものとすれば、破砕ピッチおよび破砕間隔が一定の場合、砕岩量を最大にするためには、1時間当り最



図一四—45 1時間当り貫入量



図一四—46 最大貫入量と最適貫入量

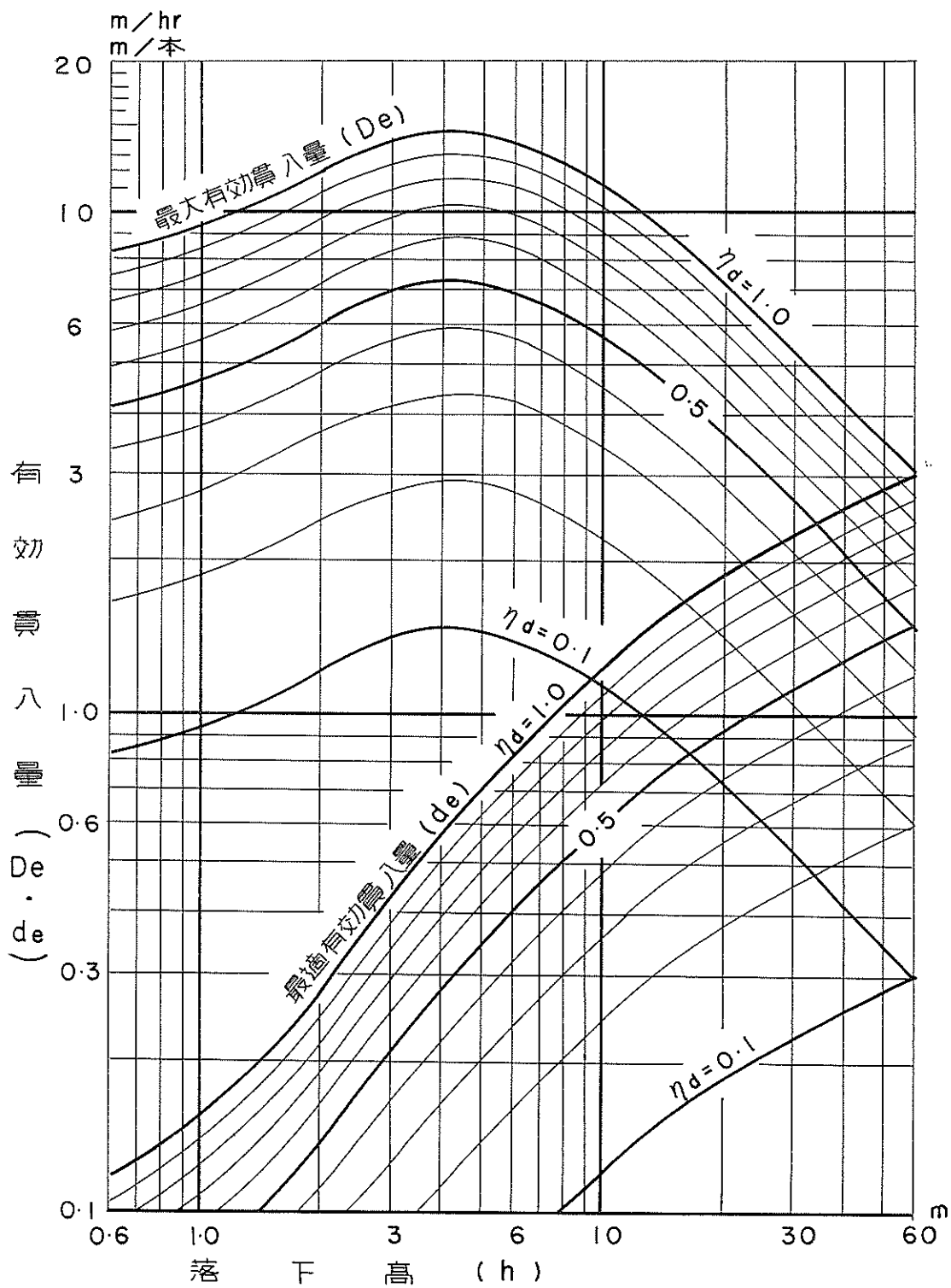


図-4-47 落下高さとお効貫入量

大貫入量 (Dm) の得られる 1 本当り最適貫入量 (dm) を式 (4-24) より求めればよい。

図-4-46は、電子計算機 (TOSBAC-3400) により求めたDmおよびdmの近似解である (計算値については付表-7参照)。図より、1時間当りの極大値は約14.5 m/hr で、このときの重錘の落下高さは約4.26mとなっており、大槌号における使用ひん度のもっとも多い落下高さ h=4.5m と、ほぼ一致しているが、このときの最適貫入量は dm=0.6m で、大槌号の運転実績 (後述4.6参照) の各月平均値 0.9~1.6m よりかなり小さい。なお、このときの重錘の落下回数、図-4-39または図-4-41より n=2 となり、これも運転実績の n=4~22よりきわめて小さい値となる。

式 (4-25) で表わされる砕岩量と、浚漑量 (浚漑可能砕岩量) との間には、次の関係がある。

$$Q_d = Q \cdot \eta_d \dots \dots \dots (4-26)$$

ここに

Qd: 浚漑量

η_d : 破碎効率

一般に Qd < Q, すなわち $\eta_d < 1.0$ になるものとされている。破碎効率 η_d は、地質や貫入量のほかに、浚漑船の形式、能力などによっても変化するものと考えられる。

η_d の値についての資料は現在のところ少ないようで、今回の調査においても測定は行っていない。

ここで有効貫入量について考えると

$$Q_d = a \cdot b \cdot d \cdot e = a \cdot b \cdot d \cdot \eta_d$$

$$\therefore d \cdot e = d \cdot \eta_d \dots \dots \dots (4-27)$$

ここに

d: 有効貫入量 (1本当り)

式 (3-24) より求めた1時間当り最大貫入量から、最大有効貫入量を求めると

$$D_e = D_m \cdot \eta_d \dots \dots \dots (4-28)$$

重錘の落下高さと有効貫入量の関係を、図-4-47に示す。

砕岩船による砕岩量の計算には、式 (4-25) および (4-26) の両式が使用されており、特に統一された計算式はないのが実情のようであるが、岩盤および硬土盤を除去するという砕岩船の本来の目的から考えて、破碎効率を考慮した式 (4-26) による浚漑量を採用する方が妥当と思われる。破碎効率を計算要素に含めれば、浚漑量が最大となる1本当り最適貫入量は、図-4-47に示したように、おのずから図-4-46とは異なったものになってくる。いずれにせよ破碎効率 η_d を求めることは、砕岩能率を向上させる上で、かなり重要な意義があるものと考えられる。

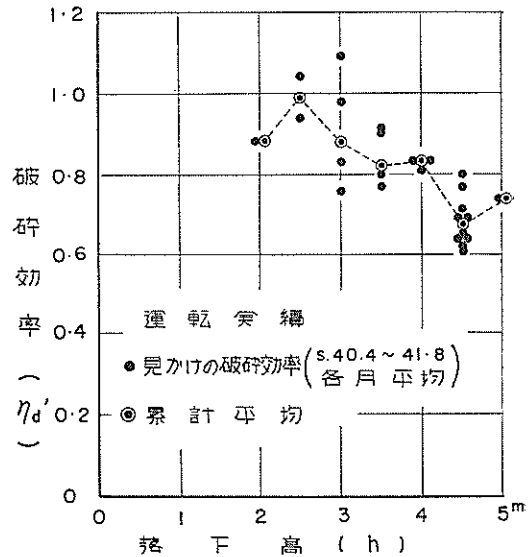


図-4-48 見かけの破碎効率

大槌号においては、特に破碎効率を測定して使用しているかどうかについては明らかでない。運転実績より逆算した見かけの破碎効率を、図-4-48に示す。

4.6 運転実績との比較

調査-II実施場所での、重錘の落下高さ、落下回数、累計貫入量の関係は式 (4-22) で、1時間当り貫入量は式 (4-24) で求められる。これらの式は、調査-II地域以外の地質 (主として破碎性) の異なった場所での砕岩量の計算には使用できないのであるが、ここでは参考のために、大槌号による昭和40年4月~41年8月までの各月平均の運転実績 (付表-8参照) と、全期間の平均値を次式に代入して求めた計算値との比較を図-4-49~4-52に示す。

1本当り平均貫入量 (m)

$$\bar{d}h = (0.96 \log h + 0.21) \log n' + 0.17h^{0.44} \dots (4-29)$$

n': 1本当り平均落下回数 (運転実績)

1本当り平均落下回数 (回)

$$\bar{n} = 10^k \dots \dots \dots (4-30)$$

$$k = \frac{dh - 0.17h^{0.44}}{0.96 \log h + 0.21}$$

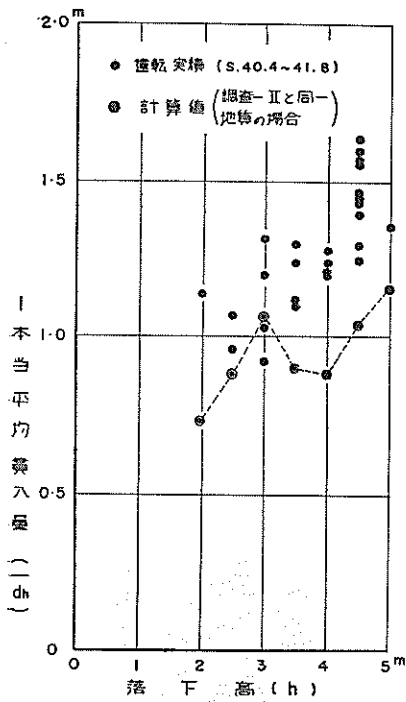
dh: 1本当り平均貫入量 (運転実績・m)

1時間当り平均貫入量 (m/hr)

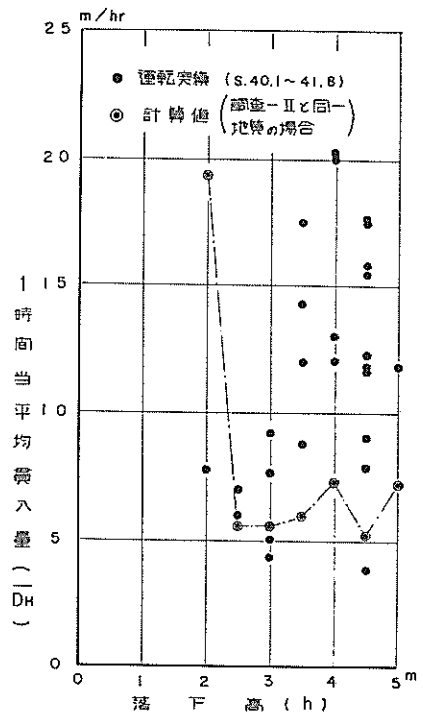
$$\bar{D}_H = \frac{dh}{(4.5h + 21)(\bar{n} + 1.5)} \times 3,600 \dots (4-31)$$

1本当り平均砕岩時間 (min)

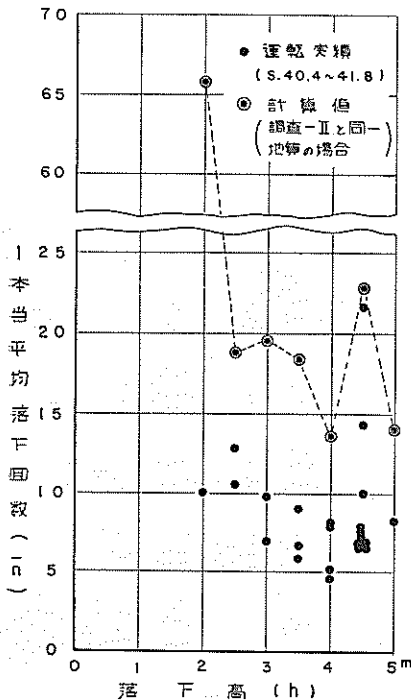
$$\bar{t}_d = \frac{(4.5h + 21)(\bar{n} + 1.5)}{60} \dots \dots \dots (4-32)$$



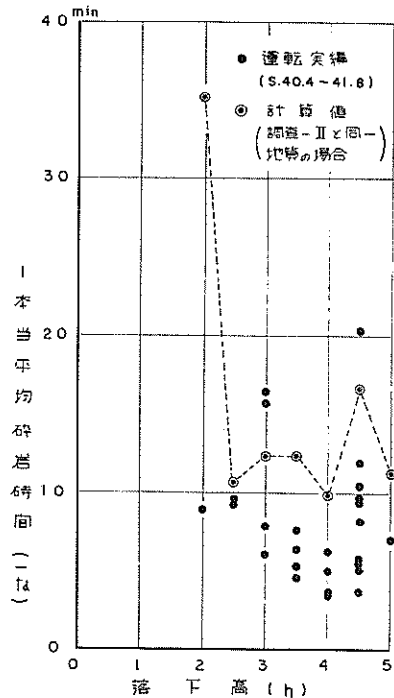
図—4—49 1本当り平均貫入量



図—4—51 1時間当り平均貫入量



図—4—50 1本当り平均落下回数



図—4—52 1本当り平均碎岩時間

図—4—53に、昭和41年9月8日（調査—II）で測定した1回落下所要時間（平均値）と、大槌号の運転実績（各月平均値）を示す。計算式は次式によった。

1 回落下平均所要時間（sec）

$$\bar{t}_1 = \frac{\bar{t}d}{n+1.5} \times 60 \dots \dots \dots (4-33)$$

4.7 重錘先端の摩耗

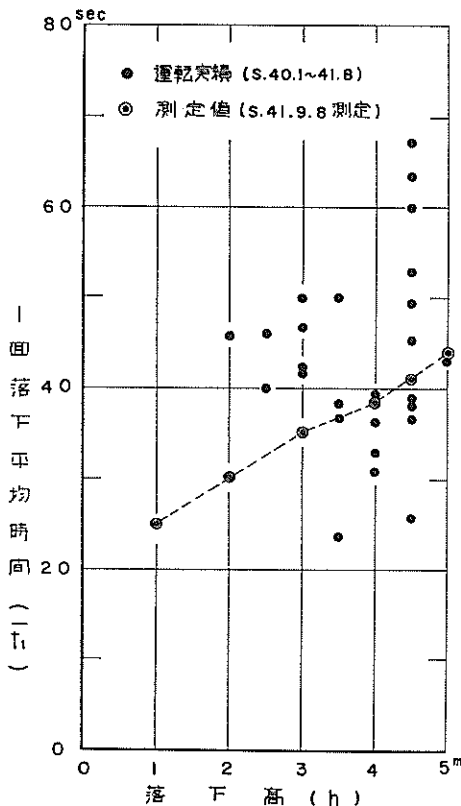
重錘先端の形状が砕岩性能にいかなる影響を与えるかについての解明が困難であると同様に、先端の摩耗によって砕岩能力がどのように変化するかについても、ほとんど究明されていないようである。今回の調査では、とりあえず摩耗の進行状況について測定した。写真—23に製作当時のゲージと重錘先端の現状の比較を示す。

写真—24は、調査—I（昭和41年3月29日）で撮影したもので、先端から上部にかけて、比較的なめらかである。写真—25は、調査—II（昭和41年9月8日）で撮影したもので、重錘の側面はかなり深い多くのかき傷が認められ、調査—I以後、調査—IIまでの期間に、かなり硬質の地質を対象とした砕岩が行われたものと推定される。大槌号の運転実績（付表—8参照）より見ても、昭

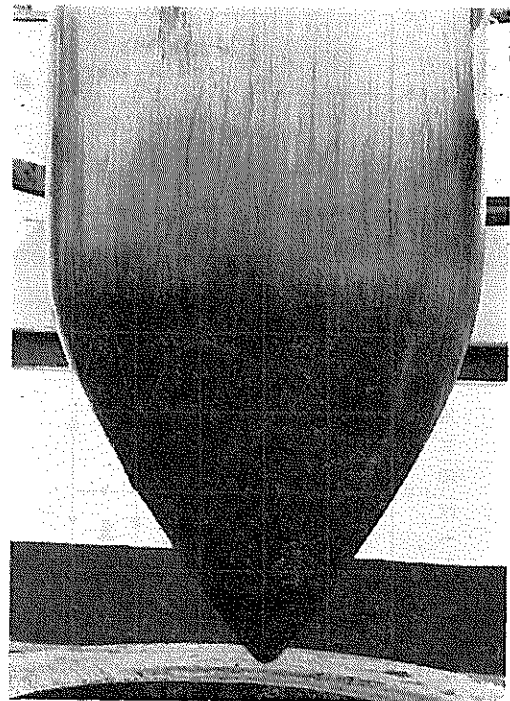
和40年6月～41年5月までの、各月の砕岩時間1時間当りの平均貫入量は、大体10～20mの範囲にあるが、昭和41年6月以降は、3.85m～9.20mとかなり低下しており、上述の推定を裏付けている。摩耗量の測定は先端部についてのみ実測し、他の部分は、35ミリカメラで撮影したフィルムから引伸ばした写真をもとに解析したもの



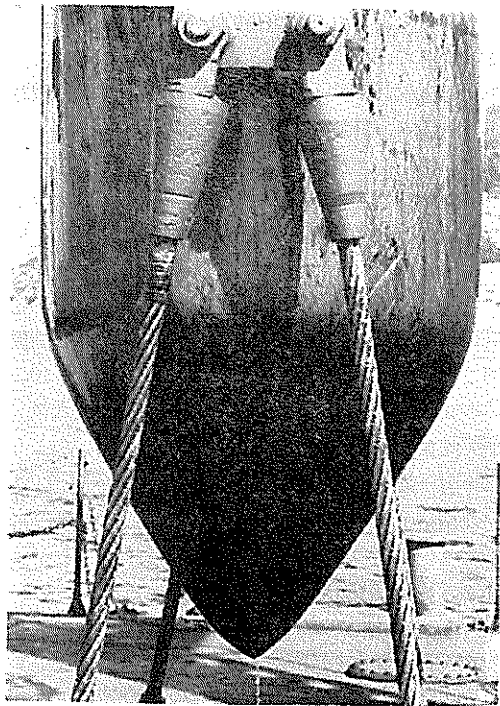
写真—23 製作当時と現状の比較



図—4—53 1回落下平均所要時間



写真—24 先端の摩耗状態 (41.3.29撮影)



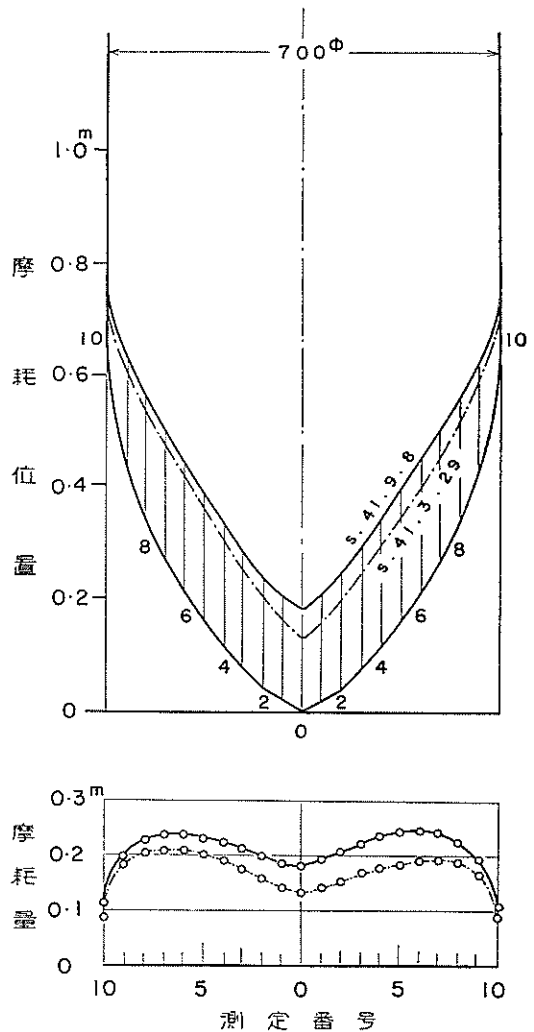
写真—25 先端の摩耗状態 (41.9.8撮影)

で、写真固有の光学的および幾何学的誤差の補正は行ってない。測定時までの運転実績(累計)を表—6に、測定結果を図—4—54に示す。

重錘先端付近の摩耗は側面が最小で、側面よりの腹部において最大となり、先端に近づくにつれて徐々に減少する。摩耗は重錘の中心線より見て、ほぼ対称であるが、わずかな相違が写真でも認められる。重錘先端の摩耗は、調査—II(昭和41年9月8日)においてのみ実測したもので、図—4—54に示した1点鎖線は、先端の摩耗が累計貫入量に比例するものとして、写真より求めた推定値である。

図—4—55(a)は、文献—6より引用した重錘先端付近の摩耗状態で、本図より推定した摩耗量を同図—(b)に示

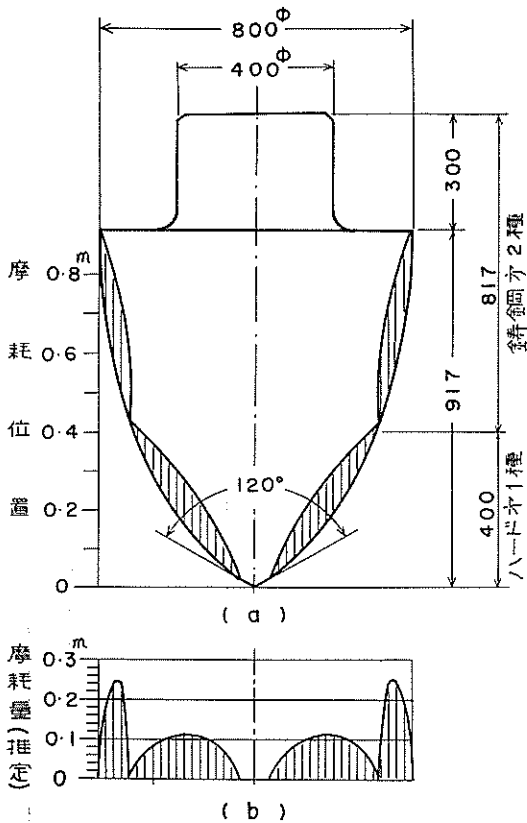
す。本資料において、先端部に全然摩耗が認められない等の点で、測定方法等にいくぶんの疑問も持たれるが、大槌号の重錘先端の摩耗とは、かなり異なった傾向を示



図—4—54 重錘先端の摩耗量

表—6 測定時までの運転実績(累計)

測定月日	砕岩時間 時分	落錘回数	貫入量	砕岩本数	先端部の摩耗
41. 3. 29 (調査—I)	536. 52	40,271回	8,176.6 m	6,132本	—
41. 9. 8 (調査—II)	849. 29	58,358	11,045.55	8,116	180mm



図一4—55 重錘の摩耗例

している。その原因が、砕岩場所の地質の相違によるものか、熱処理等を含めた重錘先端の材質の相違によるものかは明らかでない。

5. 破碎係数についての2, 3の考察

5.1 破碎係数の表わしかた

単位時間当りの砕岩量を増加させるためには、砕岩場所の地質にもっとも適した、1本当り最適貫入量を見いださなければならない。このためには、岩盤の破碎性なるべく簡単な方法で測定して表示する必要がある。

大槌号における調査結果から、単位時間 T (sec) 当りの貫入量 D_T は次式で表わされる。

$$D_T = \frac{d}{n \cdot t_1 + t_2} T \quad \dots \dots \dots (5-1)$$

$$\left(\log n = \frac{d - d'_{n=1}}{\tan \beta_1} \right)$$

上式において、 $\tan \beta_1$ および $d'_{n=1}$ は、破碎する岩石に応じた固有の数値を示すものとし、この両者をもって破碎性を表示する。なお t_1 および t_2 は、ウインチ操縦

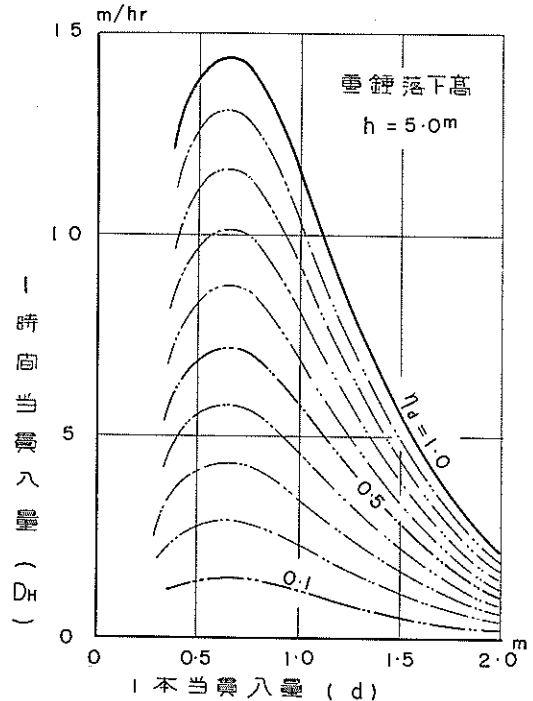
者の熟練度によって多少の長短はあるが、それぞれの砕岩船によって、一定の値をとると考えてよい。したがって $\tan \beta_1$ および $d'_{n=1}$ を測定すれば、砕岩船の単位時間当り貫入量を、計算で求めることができる。

重錘の落下高さが一定の場合、 $\tan \beta_1$ および $d'_{n=1}$ は、第3章および第4章で述べたように、1回ごとの落下回数と累計貫入量の測定値を片対数グラフにプロットして、これらの点を直線で結べば、 $\tan \beta_1$ はこの直線のこう配で、 $d'_{n=1}$ は直線が落下回数 $n=1$ の縦軸を切る点の座標として求めることができる。今回の調査結果からみて、測定点数としては、重錘の落下回数 $n=10$ 、砕岩本数10本について、各落下回数ごとの累計貫入量(平均値)を使用すれば、地質に大きな変化がないかぎり、ほぼ十分と考えられる。なお1回の測定に必要な時間は、1回落下所要時間を含めて1分前後であるから、1か所当りの地質の調査時間は2時間弱となる。

5.2 貫入量の決定方法

図一5—1に、前述の方法で求めた $\tan \beta_1$ および $d'_{n=1}$ の値を、式(5—1)に代入して求めた1本当り貫入量 d と1時間当り貫入量 D_H の関係の1例を示す ($\eta d = 0.1 \sim 0.9$ は参考値)。

図より、1時間当り最大貫入量は $d \approx 0.7m$ のときに



図一5—1 1本当り貫入量と1時間当り貫入量

得られ、その前後において貫入量は急激に減少する。したがって、重錘の落下高さ $h = 5 \text{ m}$ のときの最適貫入量は $dm = 0.7 \text{ m}$ となる（電子計算機による計算によれば、 $h = 5.046 \text{ m}$ のとき $dm = 0.7 \text{ m}$ 、図-4-46および付表-7参照）。なお本図および次に述べる図-5-2は、前掲の図-4-45の横軸（重錘の落下高さ： h ）を、1本当り貫入量 d に置きかえて表示したものである。図-5-2に参考図として、重錘の落下高さを変えた場合の、1時間当り貫入量の変化の模様を示す。

砕岩船の砕岩実績は、液漥可能土量をもって表示し、このためには、有効貫入量を求めるための破砕効率の調査が非常に重要であることは前にも述べた。これらの理由から貫入量についても、式(5-1)または式(4-24)によらないで、当然式(4-27)による有効貫入量を使用すべきであるが、本報告の作成段階までに、破砕効率についての適当な資料が見あたらなかったため、ここでは、破砕効率の数値および測定方法についての提案は行わず、今後の研究課題として残すものとする。

破砕率が不明である現在、図-5-2や、前掲の図-4-46~4-47は、1本当り最適貫入量を決定するうえで完全とは云えないが、砕岩現地での破砕効率を調査したうえでこれらの図表を使用すれば、砕岩船の能率向上に十分役立つものと考えられる。

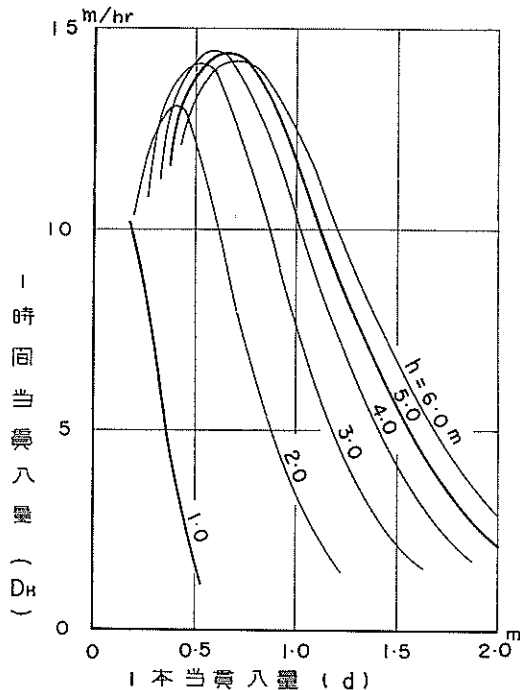


図-5-2 落下高さと貫入量の変化

5.3 砕岩装置の設計について

砕岩装置および船体操縦装置の仕様の決定にあたって砕岩能率との関連において検討しなければならない一般的な事項について述べよう。

単位時間当り貫入量か式(5-1)で表わされるものとし、本式の一般的傾向が、図-5-3のようになるものとすれば

(1) 使用ひん度のもっとも多い落下高さで、単位時間当り最大貫入量の極大値の得られる落下高さを一致させなければならない。このためには、重錘の重量および先端の形状と、岩石の破砕性を表わす $\tan \beta_1$, $d'_n = 1$ の関係を調査する必要がある。

(2) 単位時間当り最大貫入量の極大値の得られる1本当り最適貫入量と、1本当り計画貫入量を一致させること。このためには、主として重錘の巻上速度に支配される t_1 (1回落下所要時間) と、 t_2 (船体移動時間) を適当に選ぶ必要がある。

(3) 破砕効率 qd が既知の場合、上述の単位時間当り最大貫入量の極大値のかわりに、図-4-47で述べた有効最大貫入量の最大値を使用すればよい。

次に、砕岩装置の構造および機構上の問題としては

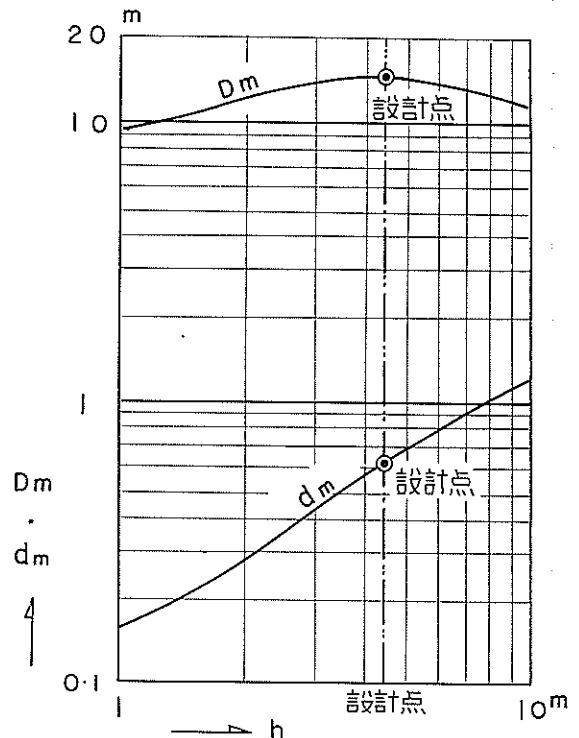


図-5-3 設計点の求めかた

(1) 重錘の落下速度を大きくするためには、落下高さを高くすることのほか、回転部分の慣性モーメント、摩擦および負荷質量を小さくする、ブレーキの開放動作をじん速にする等の機構上の問題を解決する必要がある。

(2) 重錘ガイドの影響によって、重錘の受ける流体抵抗はかなり大きな値になるものと推定されるので、重錘を流体抵抗の小さい形状にするとともに、ガイドの上部付近（水面下）に穴をあけて、海水が自由に出入りできるような構造にするのも一つの方法である。などの点を考慮すべきであろう。

6. 調査結果のまとめ

大槌号の調査によって得られた結果を要約すると次のようになる。

(1) 重錘の落下速度は、自由落下速度にくらべてかなり遅く、大槌号での測定結果によれば、平均落下加速度 $\bar{a}=5.25\text{m/s}^2$ 、落下速度 $V_d=0.735V_n$ （ただし V_n は自由落下速度）となる。落下速度が小さくなる要因として、回転部分の慣性抵抗および摩擦抵抗、ロープ類の加速に要する力、海水による流体抵抗等のほか、重錘の落下初期に作用しているブレーキの制動抵抗も、かなり大きな要素になるものと推定される。

(2) 砕岩量を増やす対策として、サイクルタイムを短縮する方法と、重錘の落下速度を大きくする等の方法がある。砕岩船においては、サイクルタイムの大部分を重錘の巻上作業で占めている。大槌号の場合、重錘巻上インチは、ほぼ設計条件通り使用されており巻上速度を速くしてサイクルタイムを大巾に短縮することは困難である。

(3) 重錘の落下回数が一定の場合、累計貫入量は落下高さの指数関数で、重錘の落下高さが一定の場合、累計貫入量は落下回数の対数関数で近似的に表わすことができる。

(4) 上記の関係および重錘の1回落下所要時間、船体移動時間から、単位時間当り最大貫入量の得られる落下高さと1本当り最適貫入量の関係を示す計算式が求まる。調査一Ⅱの地質において、貫入量の最大値は上述の計算式によれば1時間当り約14.5mで、重錘の落下高さが4.26m、1本当り貫入量が0.6m落下回数が2回のときに得られ、1本当り貫入量、落下回数ともに、大槌号の運転実績よりかなり小さい。

(5) 岩盤の破砕係数は、 $\tan\beta_1$ （累計貫入量の増加のこう配）および $d'_n=1$ （重錘の落下回数が1回目ときの見かけの貫入量）の両者によって表わすことができ

る。

(6) 砕岩船の作業目的は、岩盤および硬土盤を除去するために、浚渫可能な程度に破砕するにある。したがって、砕岩量（貫入量×破砕間隔×破砕ピッチ）のかわりに、浚渫量（有効貫入量×破砕間隔×破砕ピッチ）をもって砕岩実績とするのが望ましい。このためには破砕効率（浚渫量/砕岩量）についての綿密な調査が必要である。

(7) 砕岩作業の実施にあたっては、第5章で述べた方法にしたがって破砕係数を調査し、破砕効率を考慮して有効最大貫入量（単位時間当り）が得られるように、落下高さ、1本当り最適貫入量、落下回数を決定するのがよい。

(8) 砕岩船の設計に際しても、岩盤の破砕係数および破砕効率を考慮して、重錘の常用落下高さのときに有効最大貫入量（単位時間当り）が得られるように、砕岩装置および船体操縦装置の仕様を決定すべきである。

7. あとがき

この報告は、第3港湾建設局の援助のもとに完成しました。とくに本局機械課および高松港工事事務所のかたがたに、多大なる御協力をいただきましたので、ここに深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 池田信義：砕岩船，作業船，No. 41（昭. 40）
- 2) 湊正雄，石井次郎，浦野竜一，千地万造：地質構造とその調査，日本列島の生いたち，福村書店（1955）
- 3) 坪谷幸一：地質鉱物学概論，前野書店（昭. 41）
- 4) 藤本治義：新地質学汎論，地人書館（昭. 39）
- 5) 第3港湾建設局，水野組土質調査部：瀬戸内海航路岩盤調査報告書（昭. 41）
- 6) 佐世保重工業株式会社：重錘式砕岩船大山号，風師号，笠瀬号の砕岩部について
- 7) 第3港湾建設局：破砕船大槌号の運転実績について第12回港湾機械技術研究会資料（昭. 40）
- 8) 第3港湾建設局：破砕船設計概要，作業船，No. 37（昭. 40）
- 9) 函館ドック株式会社：破砕船「大槌号」，作業船，No. 42（昭. 40）
- 10) 三宅覚：備讃瀬戸航路浚渫工事について，作業船，No. 42（昭. 40）
- 11) 岩田繁男：砕岩船の問題点，作業船，No. 38（昭. 40）

- 12) 第4港湾建設局：「大山号」の運転実績
No. 22 (昭. 37)
- 13) 第4港湾建設局：関門地区における硬土盤浚渫工事
について、第12回全国港湾工事報告会 (昭. 41)
- 14) 日本作業船協会：浚渫船の掘削機構の試験調査報告
書 (昭. 42)
- 15) 北川典生：「硬土盤とその浚渫」作業船, (昭. 35)
- 16) 北川典生：硬土盤浚渫船としての上関号の実績につ
いて, 作業船, No. 4 (昭. 34)

記号表

A : 重錘の断面積
a : 破砕ピッチ
Aw : 岩石資料の空隙水の重量
B : プレーキによる制動抵抗
B₀ : 初期制動抵抗
b : 破砕間隔
C : 積分定数
Cd : 流体抵抗係数
D : 重錘の直径
d : 1本当り貫入量
De : 1時間当り有効貫入量
de : 1本当り有効貫入量
D_H : 1時間当り貫入量
 \bar{D}_H : 1時間当り平均貫入量の計算値
dh : 重錘の落下高さがhのときの累計貫入量
 \bar{dh} : 1本当り平均累計貫入量の計算値
dh' : 運転実績より計算した1本当り平均貫入量
D_m : 1時間当り最大有効貫入量
d_m : 1本当り最適有効貫入量
d_n : 重錘の落下回数nのときの累計貫入量
d_{n=1} : 落下回数n=1のときの貫入量
d'_{n=1} : 落下回数n=1のときの見かけの貫入量
D_T : 単位時間当り貫入量
e : 自然対数の底
F₁ : 砕岩ウインチドラム軸の摩擦抵抗モーメント
F₂ : 上部滑車軸の摩擦抵抗モーメント
f : 重錘に作用する流体抵抗
f' : 重錘ガイドの内面に作用する流体抵抗
g : 重力の加速度
Gt : 岩石資料の真比重
h : 重錘の落下高さ
I₁ : 砕岩ウインチドラムの慣性モーメント
I₂ : 上部滑車の慣性モーメント

L : 重錘の長さ
l : ロープの線出長さ (全長)
L₁ : 重錘から上部滑車までのロープの長さ
L₂ : 上部滑車から砕岩ウインチドラムまでのロープの
長さ
N : 砕岩ウインチドラムのロープの巻数
n : 重錘の落下回数
 \bar{n} : 1本当り平均落下回数の計算値
n' : 運転実績より計算した1本当り平均落下回数
Ne : 岩石資料の空隙率
N_p : 岩石資料のじん性試験値
p : 係数 (指数)
Q : 砕岩量
q : 係数 (指数)
Qd : 浚渫量 (浚渫可能砕岩量)
R₁ : 砕岩ウインチドラムの半径
R₂ : 上部滑車の半径
r₁ : 砕岩ウインチドラム軸の半径
r₂ : 上部滑車軸の半径
T : 単位時間
t : 重錘落下時間
t_a : ロープ線出時間
t_b : 重錘の着底所要時間
 \bar{td} : 1本当り平均砕岩時間の計算値
t_i : 重錘落下時間の初期条件
T₁~T₄ : ロープに生ずる張力
t₀ : プレーキ作動時落下時間
t₁ : 重錘の1回落下所要時間
 \bar{t}_1 : 重錘1回落下所要時間の計算値
t₂ : 船体移動時間
V_s : 岩石資料の体積
V : 重錘落下速度の計算値
V_d : 重錘落下速度の測定値
V_i : 重錘落下速度の初期条件
V_n : 真空中における物体の自由落下速度
W : 重錘の水中重量 (海水中)
W_s : 重錘の空气中重量
W_b : 岩石資料の清水中重量
W_d : 岩石資料の乾燥重量
W_w : 岩石資料の飽水重量
w₁ : 砕岩ウインチドラム軸に作用する荷重
w₂ : 上部滑車軸に作用する荷重
y : 重錘の落下距離
y_i : 落下距離の初期条件

y_0 : ブレーキ作動時落下距離
 α : 重錘の落下加速度の計算値
 $\bar{\alpha}$: 平均落下加速度の測定値
 $\tan\beta_1$: 重錘の落下高さが一定の場合の, 累計貫入量の増加のこう配
 $\tan\beta_2$: 重錘の落下回数が一定の場合の, 累計貫入量の増加のこう配
 γ_d : 乾燥状態における岩石資料の単位体積重量
 γ_m : 海水の単位体積重量
 γ_n : 自然状態における岩石資料の単位体積重量
 γ_s : 重錘の単位体積重量
 γ_w : 飽水状態における岩石資料の単位体積重量

η_d : 破碎効率
 θ_1 : 重錘巻上げロープが水平面となす角度
 θ_2 : 上部滑車のロープ接触角
 λ : ロープの単位長さ当り重量
 μ_1 : 砕岩ウインチ軸受転がり摩擦係数
 μ_2 : 上部滑車軸受の摩擦係数
 π : 円周率
 ρ : 流体の密度
 σ_c : 岩石資料の圧縮強度
 ψ_1 : 砕岩ウインチドラムの回転角度
 ψ_2 : 上部滑車の回転角度

付 表

付表一 1 重錘の着底時の落下速度の測定値 (m/s)

回 数	落 下 高 さ				
	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m
1	3.21	—	5.73	6.74	—
2	—	4.15	5.84	6.34	7.38
3	3.18	4.65	5.84	6.58	7.50
4	3.25	4.35	5.72	6.34	7.46
5	3.04	4.43	5.97	6.54	7.52
6	3.18	4.42	5.76	6.56	7.18
7	—	4.25	5.89	6.56	7.32
8	3.20	4.40	5.56	6.50	7.38
9	—	4.16	5.80	6.68	7.50
10	3.27	4.25	5.67	6.64	7.40
平均	3.19	4.34	5.78	6.55	7.41

付表一 2 ロープ繰出時間, 着底所要時間, ロープ繰出長さ (全長) の測定値

回 数	落 下 高 さ					
	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	
ロープ繰出時間 (秒)	1	—	—	1.28	1.50	—
	2	—	—	1.36	1.40	1.46
	3	1.08	1.21	—	—	—
	4	1.06	1.21	1.32	1.33	—
	5	1.07	1.25	—	1.35	—
	6	1.08	1.27	—	1.30	—
	7	—	1.22	1.33	1.33	—
	8	1.11	1.18	1.32	1.37	—
	9	—	1.30	1.33	1.39	1.50
	10	0.98	1.22	1.30	1.50	1.47
平均	1.06	1.23	1.32	1.39	1.48	
着底所要時間 (秒)	1	—	—	0.93	1.10	—
	2	—	—	0.94	1.06	1.20
	3	0.53	0.78	—	—	—
	4	0.51	0.80	0.94	1.07	—
	5	0.52	0.78	—	1.07	—
	6	0.53	0.78	—	1.07	—
	7	—	0.80	0.92	1.07	—
	8	0.51	0.80	0.95	1.10	—
	9	—	0.80	0.95	1.22	1.20
	10	0.51	0.79	0.94	1.06	1.20
平均	0.52	0.79	0.94	1.09	1.20	
ロープ繰出長さ (m)	1	—	—	4.8	6.4	—
	2	—	—	5.0	5.7	6.6
	3	2.6	3.9	—	—	—
	4	2.5	3.8	5.0	5.5	—
	5	2.5	4.0	—	5.5	—
	6	2.5	4.0	—	5.2	—
	7	—	3.7	5.0	5.5	—
	8	2.5	3.7	4.9	5.5	—
	9	—	3.7	5.1	5.7	6.3
	10	2.4	3.7	4.8	6.4	6.75
平均	2.5	3.8	4.95	5.7	6.55	

付表-3 (a) 重錘の落下速度と加速度の計算値

$B=B_0=0$

(m/s, m/s²)

落下距離 (m)	Cd=1		Cd=2		Cd=3		Cd=4		Cd=5	
	速 度	加 速度	速 度	加 速度	速 度	加 速度	速 度	加 速度	速 度	加 速度
0	0	7.30	0	7.30	0	7.30	0	7.30	0	7.30
0.1	1.21	7.29	1.21	7.28	1.21	7.28	1.21	7.27	1.21	7.26
0.2	1.71	7.29	1.71	7.27	1.71	7.25	1.71	7.24	1.70	7.22
0.3	2.09	7.28	2.09	7.25	2.09	7.23	2.09	7.20	2.08	7.18
0.4	2.41	7.27	2.41	7.24	2.41	7.20	2.41	7.17	2.40	7.14
0.5	2.70	7.26	2.70	7.22	2.69	7.18	2.69	7.14	2.68	7.10
0.6	2.96	7.26	2.95	7.21	2.94	7.16	2.94	7.11	2.93	7.06
0.7	3.19	7.25	3.19	7.19	3.18	7.13	3.17	7.10	3.17	7.02
0.8	3.41	7.24	3.40	7.17	3.39	7.11	3.39	7.05	3.38	6.98
0.9	3.62	7.23	3.61	7.16	3.60	7.09	3.59	7.02	3.58	6.94
1	3.81	7.23	3.80	7.14	3.79	7.06	3.78	6.98	3.77	6.91
2	5.38	7.15	5.35	6.99	5.32	6.83	5.29	6.68	5.26	6.53
3	6.57	7.08	6.51	6.84	6.46	6.61	6.41	6.39	6.35	6.18
4	7.56	7.00	7.48	6.69	7.40	6.40	7.32	6.12	7.24	5.85
5	8.43	6.93	8.32	6.55	8.21	6.19	8.09	5.85	7.99	5.54
6	9.25	6.86	9.06	6.41	8.92	5.99	8.77	5.60	8.63	5.24
7	9.93	6.79	9.74	6.27	9.55	5.80	9.38	5.36	9.20	4.96
8	10.59	6.72	10.36	6.14	10.13	5.61	9.92	5.13	9.71	4.69
9	11.20	6.65	10.93	6.01	10.66	5.43	10.42	4.91	10.17	4.44
10	11.78	6.58	11.46	6.88	11.15	5.26	10.87	4.70	10.59	4.20

付表-3 (b) 重錘の落下速度と加速度の計算値

$B=B_0(1-y/y_0)$

(m/s, m/s²)

落下距離 (m)	Cd=1		Cd=2		Cd=3		Cd=4		Cd=5	
	速 度	加 速度	速 度	加 速度	速 度	加 速度	速 度	加 速度	速 度	加 速度
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	0.42	1.78	0.42	1.78	0.42	1.78	0.42	1.78	0.42	1.77
0.2	0.84	3.56	0.84	3.55	0.84	3.55	0.84	3.55	0.84	3.54
0.3	1.27	5.33	1.26	5.32	1.26	5.32	1.26	5.31	1.26	5.30
0.4	1.69	7.11	1.68	7.09	1.68	7.08	1.68	7.06	1.68	7.04
0.5	2.07	7.28	2.07	7.25	2.07	7.23	2.07	7.21	2.06	7.18
0.6	2.40	7.27	2.40	7.24	2.39	7.21	2.39	7.18	2.39	7.14
0.7	2.66	7.26	2.68	7.22	2.68	7.18	2.67	7.14	2.67	7.10
0.8	2.94	7.26	2.94	7.21	2.93	7.16	2.93	7.11	2.92	7.07
0.9	3.18	7.25	3.17	7.19	3.17	7.14	3.16	7.08	3.15	7.03
1	3.40	7.24	3.39	7.18	3.38	7.11	3.38	7.05	3.37	6.99
2	5.10	7.17	5.07	7.02	5.04	6.88	5.02	6.74	4.99	6.61
3	6.34	7.09	6.29	6.87	6.24	6.66	6.20	6.45	6.15	6.25
4	7.37	7.02	7.29	6.72	7.22	6.44	7.14	6.18	7.07	5.92
5	8.23	6.95	8.15	6.58	8.05	6.24	7.94	5.91	7.84	5.60
6	9.06	6.87	8.92	6.44	8.78	6.04	8.64	5.65	8.51	5.30
7	9.79	6.80	9.47	6.33	9.43	5.84	9.26	5.41	9.09	5.01
8	10.46	6.73	10.23	6.17	10.02	5.65	9.81	5.18	9.62	4.75
9	11.08	6.66	10.81	6.04	10.56	5.47	10.32	4.96	10.08	4.49
10	11.66	6.59	11.35	5.91	11.06	5.29	10.78	4.74	10.51	4.25

付表-3 (c) 重錘の落下速度と加速度の計算値

$$B = B_0 \{1 - (y/y_0)^2\}$$

(m/s, m/s²)

落下距離 (m)	Cd=1		Cd=2		Cd=3		Cd=4		Cd=5	
	速度	加速度	速度	加速度	速度	加速度	速度	加速度	速度	加速度
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	0.17	0.44	0.17	0.43	0.17	0.43	0.17	0.43	0.17	0.43
0.2	0.48	1.74	0.48	1.74	0.48	1.73	0.48	1.73	0.48	1.73
0.3	0.88	3.91	0.88	3.90	0.88	3.90	0.88	3.89	0.88	3.89
0.4	1.36	6.94	1.36	6.93	1.36	6.92	1.36	6.91	1.36	6.90
0.5	1.82	7.29	1.82	7.27	1.82	7.25	1.81	7.23	1.81	7.21
0.6	2.18	7.28	2.18	7.25	2.18	7.22	2.18	7.20	2.17	7.17
0.7	2.49	7.27	2.49	7.23	2.49	7.20	2.48	7.17	2.48	7.13
0.8	2.77	7.26	2.77	7.22	2.76	7.18	2.76	7.13	2.75	7.09
0.9	3.02	7.25	3.01	7.20	3.01	7.15	3.00	7.10	3.00	7.05
1	3.25	7.25	3.24	7.19	3.24	7.13	3.23	7.07	3.22	7.01
2	5.00	7.17	4.97	7.03	4.95	6.90	4.93	6.77	4.90	6.64
3	6.27	7.10	6.22	6.88	6.17	6.68	6.12	6.47	6.08	6.28
4	7.31	7.02	7.23	6.74	7.16	6.46	7.08	6.19	7.01	5.94
5	8.21	6.95	8.10	6.59	8.00	6.25	7.89	5.93	7.79	5.62
6	9.01	6.88	8.87	6.45	8.73	6.05	8.60	5.67	8.47	5.32
7	9.74	6.81	9.56	6.31	9.39	5.85	9.22	5.43	9.06	5.03
8	10.41	6.74	10.19	6.18	9.98	5.67	9.78	5.20	9.58	4.77
9	11.04	6.67	10.78	6.05	10.53	5.48	10.29	4.97	10.76	4.51
10	11.62	6.60	11.32	5.92	11.03	5.31	10.75	4.76	10.48	4.27

付表-3 (d) 重錘の落下速度と加速度の計算値

$$B = B_0 \{1 - (y/y_0)^3\}$$

(m/s, m/s²)

落下距離 (m)	Cd=1		Cd=2		Cd=3		Cd=4		Cd=5	
	速度	加速度	速度	加速度	速度	加速度	速度	加速度	速度	加速度
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	0.07	0.11	0.07	0.11	0.07	0.11	0.07	0.11	0.07	0.11
0.2	0.29	0.85	0.29	0.85	0.29	0.85	0.29	0.85	0.29	0.85
0.3	0.66	2.86	0.65	2.86	0.65	2.85	0.65	2.85	0.65	2.85
0.4	1.16	6.78	1.16	6.77	1.16	6.76	1.16	6.75	1.16	6.74
0.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.6	2.07	7.28	2.06	7.26	2.06	7.23	2.06	7.21	2.06	7.19
0.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.8	2.68	7.26	2.67	7.22	2.67	7.18	2.67	7.15	2.66	7.11
0.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	3.17	7.25	3.17	7.19	3.16	7.14	3.16	7.08	3.15	7.03
2	4.95	7.17	4.93	7.04	4.90	6.91	4.88	6.78	4.86	6.65
3	6.23	7.10	6.18	6.89	6.13	6.68	6.09	6.48	6.04	6.29
4	7.27	7.03	7.20	6.74	7.13	6.47	7.05	6.20	6.98	5.95
5	8.18	6.95	8.07	6.60	7.97	6.26	7.87	5.94	7.77	5.63
6	8.98	6.88	8.84	6.45	8.71	6.06	8.57	5.68	8.44	5.33
7	9.72	6.81	9.54	6.32	9.37	5.86	9.20	5.44	9.03	5.04
8	10.39	6.74	10.17	6.18	9.96	5.67	9.76	5.20	9.57	4.77
9	11.02	6.67	10.76	6.05	10.51	5.49	10.27	4.98	10.04	4.52
10	11.60	6.60	11.30	5.92	11.01	5.31	10.73	4.77	10.47	4.28

付表-3 (e) 重錘の落下速度と加速度の計算値

$$B=B_0 (1-y/y_0)^2$$

(m/s, ms²)

落下距離 (m)	Cd=1		Cd=2		Cd=3		Cd=4		Cd=5	
	速 度	加 速 度	速 度	加 速 度	速 度	加 速 度	速 度	加 速 度	速 度	加 速 度
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	0.57	3.13	0.57	3.12	0.57	3.12	0.57	3.12	0.57	3.12
0.2	1.09	5.38	1.09	5.37	1.09	5.37	1.09	5.36	1.09	5.35
0.3	1.56	6.76	1.56	6.75	1.55	6.74	1.55	6.72	1.55	6.71
0.4	1.96	7.28	1.96	7.26	1.96	7.23	1.95	7.21	1.95	7.19
0.5	2.30	7.27	2.30	7.24	2.30	7.21	2.29	7.19	2.29	7.16
0.6	2.60	7.27	2.59	7.23	2.59	7.19	2.59	7.15	2.58	7.12
0.7	2.86	7.26	2.86	7.21	2.85	7.17	2.85	7.12	2.85	7.08
0.8	3.11	7.25	3.10	7.20	3.10	7.14	3.09	7.09	3.08	7.04
0.9	3.33	7.24	3.32	7.18	3.32	7.12	3.31	7.06	3.30	7.00
1	3.54	7.24	3.53	7.17	3.53	7.10	3.52	7.03	3.51	6.96
2	5.19	7.16	5.16	7.01	5.14	6.87	5.11	6.72	5.08	6.59
3	6.42	7.09	6.37	6.86	6.32	6.64	6.27	6.43	6.22	6.23
4	7.44	7.01	7.36	6.71	7.28	6.43	7.20	6.16	7.13	5.90
5	8.32	6.94	8.21	6.57	8.10	6.22	7.99	5.89	7.89	5.58
6	9.11	6.87	8.97	6.43	8.82	6.02	8.69	5.64	8.55	5.28
7	9.83	6.80	9.65	6.29	9.47	5.83	9.30	5.40	9.13	5.00
8	10.50	6.73	10.28	6.16	10.06	5.64	9.85	5.16	9.65	4.73
9	11.12	6.66	10.85	6.03	10.60	5.46	10.35	4.94	10.12	4.48
10	11.70	6.59	11.39	5.90	11.09	5.28	10.81	4.73	10.54	4.24

付表-3 (f) 重錘の落下速度と加速度の計算値

$$B=B_0 (1-y/y_0)^3$$

(m/s, m/s²)

落下距離 (m)	Cd=1		Cd=2		Cd=3		Cd=4		Cd=5	
	速 度	加 速 度	速 度	加 速 度	速 度	加 速 度	速 度	加 速 度	速 度	加 速 度
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	0.67	4.14	0.67	4.14	0.67	4.14	0.67	4.14	0.67	4.13
0.2	1.24	6.31	1.23	6.30	1.23	6.30	1.23	6.29	1.23	6.28
0.3	1.70	7.14	1.70	7.13	1.70	7.11	1.70	7.10	1.70	7.08
0.4	2.08	7.28	2.08	7.25	2.08	7.23	2.08	7.21	2.08	7.18
0.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.6	2.69	7.26	2.69	7.22	2.68	7.18	2.68	7.14	2.68	7.10
0.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.8	3.19	7.25	3.18	7.19	3.17	7.14	3.17	7.08	3.16	7.02
0.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	3.61	7.23	3.60	7.16	3.59	7.09	3.58	7.02	3.58	6.95
2	5.24	7.16	5.21	7.01	5.18	6.86	5.16	6.71	5.13	6.57
3	6.46	7.08	6.40	6.86	6.35	6.64	6.30	6.42	6.25	6.22
4	7.47	7.01	7.39	6.71	7.31	6.42	7.23	6.15	7.15	5.88
5	8.35	6.94	8.24	6.57	8.13	6.21	8.02	5.88	7.91	5.57
6	9.14	6.86	8.99	6.43	8.85	6.01	8.71	5.63	8.57	5.27
7	9.86	6.79	9.67	6.29	9.49	5.82	9.32	5.39	9.15	4.99
8	10.52	6.72	10.30	6.15	10.08	5.63	9.87	5.16	9.67	4.72
9	11.14	6.65	10.87	6.02	10.61	5.45	10.37	4.93	10.13	4.48
10	11.72	6.58	11.41	5.89	11.11	5.28	10.82	4.72	10.55	4.23

付表—4 (a) 重錘の落下速度と加速度の近似計算値
 $B=B_0=0$

落下距離 (m)	速 度	加 速 度 (m/s, m/s ²)				
		速 度				
		Cd=1	Cd=2	Cd=3	Cd=4	Cd=5
0	0					
0.1	1.22	7.47	7.47	7.47	7.47	7.47
0.2	1.73	7.46	7.45	7.44	7.44	7.43
0.3	2.12	7.45	7.44	7.42	7.40	7.38
0.4	2.45	7.44	7.42	7.39	7.37	7.34
		7.44	7.40	7.38	7.33	7.30
0.5						
0.6	2.74	7.43	7.38	7.34	7.30	7.26
0.7	3.00	7.42	7.37	7.32	7.26	7.27
0.8	3.24	7.41	7.35	7.29	7.23	7.17
0.9	3.46	7.40	7.33	7.26	7.20	7.13
	3.66	7.39	7.32	7.24	7.16	7.08
1						
2	3.87	7.38	7.30	7.21	7.13	7.04
3	5.46	7.30	7.13	6.96	6.78	6.61
4	6.70	7.21	6.96	6.70	6.44	6.19
5	7.74	7.13	6.78	6.44	6.10	5.76
	8.67	7.04	6.61	6.19	5.76	5.33
6						
7	9.48	6.96	6.44	5.93	5.41	4.90
8	10.26	6.87	6.27	5.67	5.07	4.47
9	10.95	6.79	6.10	5.41	4.73	4.04
10	11.61	6.70	5.93	5.16	4.39	3.62
	12.23	6.61	5.76	4.90	4.04	3.19

付表—4 (b) 重錘の落下速度の近似計算値
 $B=B_0(1-y/y_0)$

落下距離 (m)	落 下 速 度 (m/s)				
	速 度				
	Cd=1	Cd=2	Cd=3	Cd=4	Cd=5
0	0	0	0	0	0
0.1	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
0.2	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
0.3	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28
0.4	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71
0.5					
0.6	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
0.7	2.43	2.43	2.42	2.42	2.42
0.8	2.72	2.72	2.71	2.71	2.71
0.9	2.98	2.98	2.98	2.97	2.97
	3.22	3.22	3.21	3.21	3.21
1					
2	3.44	3.44	3.44	3.43	3.43
3	5.17	5.17	5.16	5.16	5.15
4	6.46	6.45	6.44	6.44	6.43
5	7.52	7.51	7.51	7.50	7.49
	8.46	8.45	8.44	8.43	8.42
6					
7	9.30	9.29	9.27	9.26	9.25
8	10.07	10.06	10.04	10.03	10.02
9	10.78	10.77	10.76	10.74	10.73
10	11.45	11.44	11.43	11.41	11.40
	12.09	12.07	12.06	12.04	12.03

付表—5 (a) 貫入量の測定値 (落下高さ h = 1 m)

累計貫入量 (m)

測定番号 (No.)	落 下 回 数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.14	0.21	0.21	0.21	0.22	0.24	0.27	0.27	0.27	0.28
2	0.25	0.40	0.43	0.43	0.45	0.47	0.50	0.50	0.53	0.53
3	0.14	0.19	0.22	0.24	0.24	0.25	0.25	0.25	0.26	0.26
4	0.28	0.42	0.46	0.51	0.51	0.51	0.54	0.56	0.57	0.57
5	0.13	0.17	0.21	0.26	0.28	0.29	0.33	0.35	0.38	0.40
6	0.12	0.22	0.24	0.24	0.27	0.31	0.32	0.34	0.35	0.38
7	0.23	0.31	0.40	0.40	0.41	0.42	0.46	0.49	0.49	0.51
8	0.15	0.20	0.24	0.24	0.25	0.28	0.28	0.31	0.31	0.32
9	0.29	0.36	0.39	0.43	0.44	0.47	0.48	0.50	0.51	0.52
10	0.45	0.50	0.54	0.54	0.55	0.55	0.55	0.56	0.58	0.58
平 均	0.218	0.298	0.334	0.350	0.362	0.379	0.398	0.413	0.425	0.435

1回当り貫入量 (m)

測定番号 (No.)	落 下 回 数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.14	0.07	0	0	0.01	0.02	0.03	0	0	0.01
2	0.25	0.15	0.03	0	0.02	0.02	0.03	0	0.03	0
3	0.14	0.05	0.03	0.02	0	0.01	0	0	0.01	0
4	0.28	0.14	0.04	0.05	0	0	0.03	0.02	0.01	0
5	0.13	0.04	0.04	0.05	0.02	0.01	0.04	0.02	0.03	0.02
6	0.12	0.10	0.02	0	0.03	0.04	0.01	0.02	0.01	0.03
7	0.23	0.08	0.09	0	0.01	0.01	0.04	0.03	0	0.02
8	0.15	0.05	0.04	0	0.01	0.03	0	0.03	0	0.01
9	0.29	0.07	0.03	0.04	0.01	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01
10	0.45	0.05	0.04	0	0.01	0	0	0.01	0.02	0
平 均	0.218	0.080	0.036	0.016	0.012	0.017	0.019	0.015	0.012	0.010

付表-5 (b) 貫入量の測定値 (落下高さ $h = 2 \text{ m}$)

測定番号 (No.)	落 下 回 数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	0.23	0.32	0.35	0.37	0.40	0.41	0.43	0.45	0.47	0.48
12	0.13	0.26	0.34	0.38	0.42	0.45	0.47	0.50	0.52	0.54
13	0.18	0.24	0.30	0.33	0.37	0.41	0.42	0.45	0.47	0.50
14	0.19	0.28	0.36	0.41	0.44	0.48	0.51	0.55	0.58	0.59
15	0.07	0.21	0.30	0.34	0.38	0.42	0.47	0.50	0.53	0.56
16	0.44	0.55	0.62	0.68	0.73	0.80	0.82	0.85	0.87	0.89
17	0.27	0.33	0.42	0.49	0.54	0.60	0.65	0.70	0.73	0.74
18	0.14	0.25	0.38	0.47	0.53	0.61	0.69	0.73	0.74	0.76
19	0.61	0.85	0.92	1.01	1.07	1.12	1.17	1.20	1.24	1.26
20	0.29	0.45	0.60	0.72	0.79	0.83	0.87	0.89	0.93	0.96
平均	0.255	0.374	0.459	0.520	0.567	0.613	0.650	0.682	0.706	0.728

1回当り量入量 (m)

測定番号 (No.)	落 下 回 数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	0.23	0.09	0.03	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01
12	0.13	0.13	0.08	0.04	0.04	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02
13	0.18	0.06	0.06	0.03	0.04	0.04	0.01	0.03	0.02	0.03
14	0.19	0.09	0.08	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.01
15	0.07	0.14	0.09	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.03	0.01
16	0.44	0.11	0.07	0.06	0.04	0.04	0.05	0.03	0.03	0.03
17	0.27	0.06	0.09	0.07	0.05	0.07	0.02	0.03	0.02	0.02
18	0.14	0.11	0.13	0.09	0.06	0.06	0.05	0.05	0.03	0.01
19	0.61	0.24	0.07	0.09	0.06	0.08	0.08	0.04	0.01	0.02
20	0.29	0.16	0.15	0.12	0.07	0.05	0.05	0.03	0.02	0.04
平均	0.255	0.119	0.085	0.061	0.047	0.046	0.037	0.032	0.024	0.022

付表—5 (c) 貫入量の測定値 (落下高さ h = 3 m)

累計貫入量 (m)

測定番号 (No.)	落 下 回 数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
21	0.43	0.55	0.66	0.75	0.90	1.01	1.09	1.12	1.14	1.17
22	0.28	0.50	0.58	0.66	0.73	0.79	0.80	0.82	0.85	0.87
23	0.24	0.32	0.41	0.47	0.52	0.58	0.66	0.72	0.79	0.83
24	0.15	0.26	0.34	0.42	0.51	0.56	0.61	0.68	0.71	0.72
25	0.27	0.44	0.52	0.62	0.69	0.78	0.80	0.85	0.90	0.93
26	0.49	0.85	0.97	1.04	1.10	1.14	1.17	1.20	1.22	1.24
27	0.30	0.39	0.56	0.61	0.68	0.71	0.76	0.78	0.79	0.81
28	0.21	0.31	0.51	0.61	0.68	0.72	0.78	0.81	0.85	0.88
29	0.24	0.36	0.41	0.55	0.63	0.68	0.74	0.79	0.83	0.87
30	0.47	0.54	0.62	0.66	0.70	0.74	0.76	0.80	0.83	0.85
平 均	0.308	0.452	0.558	0.639	0.714	0.771	0.817	0.857	0.891	0.917

1回当たり量入量 (m)

測定番号 (No.)	落 下 回 数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
21	0.43	0.12	0.11	0.09	0.15	0.11	0.08	0.03	0.02	0.03
22	0.28	0.22	0.08	0.08	0.07	0.06	0.01	0.02	0.03	0.02
23	0.24	0.08	0.09	0.06	0.05	0.06	0.08	0.06	0.07	0.04
24	0.15	0.11	0.08	0.08	0.09	0.05	0.05	0.07	0.03	0.01
25	0.27	0.17	0.08	0.10	0.07	0.09	0.02	0.05	0.05	0.03
26	0.49	0.36	0.12	0.07	0.06	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
27	0.30	0.09	0.17	0.05	0.07	0.03	0.05	0.02	0.01	0.02
28	0.21	0.10	0.20	0.10	0.07	0.04	0.06	0.03	0.04	0.03
29	0.24	0.12	0.05	1.14	0.08	0.05	0.06	0.05	0.04	0.04
30	4.47	0.07	0.08	0.04	0.04	0.04	0.02	0.04	0.03	0.02
平 均	0.308	0.144	0.106	0.081	0.075	0.057	0.046	0.040	0.034	0.026

付表-5 (d) 貫入量の測定値 (落下高さ h = 4 m)

累計貫入量 (m)

測定番号 (No.)	落 下 回 数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
31	0.27	0.36	0.41	0.43	0.45	0.57	0.62	0.68	0.69	0.71
32	0.12	0.22	0.33	0.44	0.49	0.53	0.54	0.56	0.56	0.59
33	0.38	0.59	0.70	0.75	0.78	0.79	0.79	0.79	0.80	0.80
34	0.45	0.63	0.72	0.75	0.78	0.78	0.83	0.84	0.86	0.88
35	0.21	0.46	0.54	0.71	0.81	0.91	0.94	0.99	1.00	1.05
36	0.42	0.65	0.74	0.77	0.86	0.94	1.04	1.08	1.14	1.19
37	0.38	0.63	0.73	0.82	0.97	1.06	1.09	1.15	1.23	1.28
38	0.40	0.63	0.81	0.94	1.05	1.08	1.16	1.23	1.30	1.33
39	0.44	0.79	1.11	1.29	1.38	1.46	1.58	1.63	1.70	1.72
40	0.38	0.63	0.83	1.02	1.16	1.24	1.32	1.40	1.45	1.50
平 均	0.345	0.559	0.692	0.792	0.873	0.936	0.991	1.035	1.073	1.105

1回当り量入量 (m)

測定番号 (No.)	落 下 回 数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
31	0.27	0.09	0.05	0.02	0.02	0.12	0.05	0.06	0.01	0.02
32	0.12	0.10	0.11	0.11	0.05	0.04	0.01	0.02	0	0.03
33	0.38	0.21	0.11	0.05	0.03	0.01	0	0	0.01	0
34	0.45	0.18	0.09	0.03	0.03	0	0.05	0.01	0.02	0.02
35	0.21	0.25	0.08	0.17	0.10	0.10	0.03	0.05	0.01	0.05
36	0.42	0.23	0.09	0.03	0.09	0.08	0.10	0.04	0.06	0.05
37	0.38	0.25	0.10	0.09	0.15	0.09	0.03	0.06	0.08	0.05
38	0.40	0.23	0.18	0.13	0.11	0.03	0.08	0.07	0.07	0.03
39	0.44	0.35	0.32	0.18	0.09	0.08	0.12	0.05	0.07	0.02
40	0.38	0.25	0.20	0.19	0.14	0.08	0.08	0.08	0.05	0.05
平 均	0.345	0.214	0.133	0.100	0.081	0.063	0.055	0.044	0.038	0.032

付表-5 (e) 貫入量の測定値 (落下高さ h = 5 m)

累計貫入量 (m)

測定番号 (No.)	落 下 回 数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
41	0.53	0.80	1.05	1.24	1.35	1.47	1.59	1.68	1.79	1.85
42	0.41	0.64	0.86	0.97	1.07	1.19	1.27	1.34	1.42	1.48
43	0.34	0.81	0.97	1.14	1.21	1.32	1.41	1.45	1.50	1.54
44	0.41	0.69	0.78	0.91	0.99	1.08	1.12	1.17	1.22	1.27
45	0.43	0.69	0.87	0.96	1.07	1.14	1.18	1.18	1.18	1.19
46	0.33	0.50	0.59	0.75	0.83	0.90	0.94	1.02	1.05	1.05
47	0.44	0.67	0.81	0.88	1.01	1.05	1.08	1.08	1.08	1.12
48	0.14	0.41	0.49	0.54	0.60	0.63	0.63	0.65	1.70	0.73
49	0.43	0.57	0.70	0.82	0.88	0.94	1.03	1.10	1.14	11.7
50	0.36	0.48	0.60	0.66	0.74	0.74	0.79	0.84	0.85	0.88
平均	0.382	0.626	0.772	0.887	0.965	1.046	1.104	1.151	1.193	1.228

1回当り量入量 (m)

測定番号 (No.)	落 下 回 数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
41	0.53	0.27	0.25	0.19	0.11	0.12	0.12	0.09	0.11	0.06
42	0.41	0.23	0.22	0.11	0.10	0.12	0.08	0.07	0.08	0.06
43	0.34	0.47	0.16	0.17	0.07	0.11	0.09	0.04	0.05	0.04
44	0.41	0.28	0.09	0.13	0.08	0.09	0.04	0.05	0.05	0.05
45	0.43	0.26	0.18	0.09	0.11	0.07	0.04	0	0	0.01
46	0.33	0.17	0.09	0.16	0.08	0.07	0.04	0.08	0.03	0
47	0.44	0.23	0.14	0.07	0.13	0.04	0.03	0	0	0.04
48	0.14	0.27	0.08	0.05	0.06	0.03	0	0.02	0.05	0.03
49	0.43	0.14	0.13	0.12	0.06	0.06	0.09	0.07	0.04	0.03
50	0.36	0.14	0.12	0.06	0.08	0	0.05	0.05	0.01	0.03
平均	0.382	0.244	0.146	0.115	0.088	0.071	0.058	0.047	0.042	0.035

付表一 6 1 回落下所要時間と船体移動時間

回 数	落 下 高 さ					
	1 m	2 m	3 m	4 m	4.5 m	5 m
1	25秒	28秒	35秒	36秒	40秒	41秒
2	27	31	35	39	42	47
3	23	30	36	37	40	49
4	25	31	36	39	41	42
5	25	30	33	36	45	41
6	24	31	37	38	—	45
7	26	30	33	40	—	43
8	24	32	35	39	—	43
9	24	31	35	41	—	41
平 均	24.8	30.4	35.0	38.3	41.2	43.6
船 体 移 動 時 間	40	47	52	59	62	66

付表一 7 貫入量の最大値と最適貫入量の計算値

落 下 高 さ h (m)	1 本 当 り 最 適 貫 入 量 (m)	1 時 間 当 り 最 大 貫 入 量 (m/hr)	落 下 高 さ h (m)	1 本 当 り 最 適 貫 入 量 (m)	1 時 間 当 り 最 大 貫 入 量 (m/hr)
0.0026	0.05	3.4787	2.8123	1.10	12.1491
0.0200	0.10	7.1321	9.9453	1.20	11.4405
0.9402	0.15	9.2075	11.1700	1.30	10.7285
1.4176	0.20	10.4702	12.4952	1.40	10.0281
1.7901	0.25	11.6145	13.9303	1.50	9.3499
2.1382	0.30	12.5330	15.4859	1.60	8.7006
2.4795	0.35	13.2430	17.1737	1.70	8.0845
2.8216	0.40	13.7715	19.0066	1.80	7.5038
3.1685	0.45	14.1443	20.9992	1.90	6.9596
3.5228	0.50	14.3843	23.1677	2.00	6.4516
3.8865	0.55	14.5118	25.5304	2.10	5.9791
3.9604	0.56	14.5254	28.1079	2.20	5.5408
4.0348	0.57	14.5353	30.9235	2.30	5.1350
4.1097	0.58	14.5417	34.0036	2.40	4.7601
4.1850	0.59	14.5446	37.3783	2.50	4.4141
4.2608	0.60	14.5442	41.0821	2.60	4.0951
5.0462	0.70	14.3824	45.1543	2.70	3.8012
5.8870	0.80	13.9973	49.6405	2.80	3.5307
6.7904	0.90	13.4625	54.5932	2.90	3.2818
7.7632	1.00	12.8330	60.0734	3.00	3.0528

付表-8 (a)

大 槌 号 碎

落下高さ (m)		40年 4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
2.0	砕岩時間	1時11分							
	落下回数	81							
	穿孔長	9.10m							
	砕岩本数	8							
2.5	砕岩時間	3.50	3.59						
	落下回数	30.8	273						
	穿孔長	23.00	27.70						
	砕岩本数	24	26						
3.0	砕岩時間	2.05	8.01						
	落下回数	156	558						
	穿孔長	6.40	73.50						
	砕岩本数	16	80						
3.5	砕岩時間		12.27	16.30	50.28	17.09			
	落下回数		897	1,226	3,862	1,329			
	穿孔長		108.60	198.60	717.85	299.30			
	砕岩本数		99	178	577	230			
4.0	砕岩時間					3.36	41.27	48.59	14.41
	落下回数					274	3,263	3,655	1,198
	穿孔長					43.30	536.05	979.60	283.60
	砕岩本数					35	442	815	235
4.5	砕岩時間								87.23
	落下回数								6,719
	穿孔長								1,467.80
	砕岩本数								1,013
5.0	砕岩時間			16.44					
	落下回数			1,186					
	穿孔長			196.70					
	砕岩本数			145					
その他	落下高さ			3.5~5.0		3.5~5.0			4.0~4.5
	砕岩時間			4.30		13.59			6.15
	落下回数			313		1,079			508
	穿孔長			52.80		210.50			114.20
計	砕岩時間	7.06	24.27	37.44	50.28	34.44	41.27	48.59	108.19
	落下回数	545	1,728	2,725	3,862	2,682	3,263	3,655	8,425
	穿孔長	48.5	209.8	448.1	717.85	553.10	536.05	979.60	1,865.60
	砕岩本数	48	205	360	577	42.4	442	815	1,333

岩 突 續 (そ の 1)

12月	41年 1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	累 計
									1時11分 81
									9.10m 8
									7.49 581
									50.70 50
						7.50 563	64.45 4,321		82.41 5,598
						39.60 30	284.1 236		413.60 362
									96.34 7,314
									1,324.35 1,084
									108.43 8,390
									1,842.55 1,527
72.36 5,463 1,143.50 816	65.09 5,035 1,006.30 697	28.38 2,140 504.10 315	15.37 747 164.10 100	79.00 4,610 970.40 662	77.50 3,821 912.65 580	35.20 1,591 325.20 209	10.30 669 40.4 31	36.26 2,303 284.9 228	508.23 33,098 6,819.35 4,651
									16.44 1,186 196.70 145
									3.0~4.5 27.24
									2.40 2,105
									205 384.2
									6.7 289
									8 849.29
72.36 5,463 1,143.50 816	65.09 5,035 1,006.30 697	28.38 2,140 504.10 315	15.37 747 164.10 100	79.00 4,610 970.40 662	77.50 3,821 912.65 588	43.10 2,154 364.8 239	77.55 5,195 331.2 275	36.20 2,303 284.9 228	849.29 58,353 11,040.55 8,116

付表一 8 (b)

大 槌 号 碎

落下高さ (m)		40年 4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
2.0	1本当り貫入量	1m14							
	1時間当り貫入量	7m72							
	1本当り落下回数	10.13							
	1本当り砕岩時間	8.88分							
	見かけ 破碎効率	0.88							
2.5	1本当り貫入量	0.96	1.07						
	1時間当り貫入量	6.00	6.96						
	1本当り落下回数	12.83	10.50						
	1本当り砕岩時間	9.58	9.19						
	見かけ 破碎効率	1.04	0.94						
3.0	1本当り貫入量	1.03	0.92						
	1時間当り貫入量	7.59	9.16						
	1本当り落下回数	9.75	6.98						
	1本当り砕岩時間	7.81	6.01						
	見かけ 破碎効率	0.98	1.09						
3.5	1本当り貫入量		1.10	1.12	1.24	1.30			
	1時間当り貫入量		8.72	12.04	14.22	17.45			
	1本当り落下回数		9.06	6.89	6.69	5.78			
	1本当り砕岩時間		7.55	3.31	5.25	4.47			
	見かけ 破碎効率		0.91	0.90	0.80	0.77			
4.0	1本当り貫入量					1.24	1.28	1.20	1.21
	1時間当り貫入量					12.03	12.93	20.00	19.32
	1本当り落下回数					7.83	8.12	4.48	5.10
	1本当り砕岩時間					6.17	4.97	3.61	3.75
	見かけ 破碎効率					0.81	0.82	0.83	0.83
4.5	1本当り貫入量								1.45
	1時間当り貫入量								16.80
	1本当り落下回数								6.63
	1本当り砕岩時間								5.18
	見かけ 破碎効率								0.69
5.0	1本当り貫入量				1.36				
	1時間当り貫入量				11.76				
	1本当り落下回数				8.18				
	1本当り砕岩時間				6.92				
	見かけ 破碎効率				0.74				

岩 突 績 (そ の 2)

12月	41年 1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	累計平均
									1.14
									7.72
									10.13
									8.88
									0.88
									1.01
									6.48
									11.62
									9.39
									0.99
						1.32	1.20		1.14
						5.06	4.39		5.00
						18.77	18.31		15.46
						15.67	16.46		13.70
						0.76	0.83		0.88
									1.22
									13.71
									6.75
									5.35
									0.82
									1.21
									16.95
									5.49
									4.27
									0.83
1.40	1.44	1.60	1.64	1.47	1.57	1.56	1.30	1.25	1.47
15.75	15.45	17.61	10.51	12.30	11.73	9.20	3.85	7.84	13.42
6.69	7.22	6.79	7.47	14.36	6.59	7.76	21.58	10.10	7.12
5.34	5.61	3.55	9.37	11.94	8.06	10.14	20.32	9.56	6.56
0.71	0.69	0.62	0.61	0.68	0.64	0.64	0.77	0.80	0.68
									1.36
									11.76
									8.18
									6.92
									0.74

付録-1 (a)

岩石の試験結果

Br	Cort No.	Size (cm)	単位体積重量 (g/cm ³)			真比重 Gt	間隙率 (%)	じん性	圧縮強度 kg/cm ²	モース硬度	地表 面下
			自然 rn	飽水 rw	乾燥 rd						
1	3-1	4.007×3.887×4.020	2.769	2.769	2.760	2.785	0.870				約 m
"	3-2	φ-2.445×2.540	2.675	2.697	2.658	2.766	3.897	2	2,157		4.5
1'	5	φ-2.470×2.680	2.708	2.723	2.699	2.762	2.211	7		7	4.5
"	7-1	φ-2.475×2.395	2.598	2.613	2.573	2.680	4.012	7		7	2.0
"	7-2	φ-2.475×2.505	2.676	2.679	2.656	2.747	3.304	6		6	2.5
"	8	φ-2.470×2.365	2.733	2.737	2.713	2.779	2.387	7		8	2.7
"	10	φ-2.475×2.540	2.694	2.700	2.680	2.733	1.934	8		6	3.3
"	14-1	φ-2.475×2.383	2.746	2.752	2.734	2.738	1.757	5		6	4.2
"	14-2	φ-2.465×2.625	2.724	2.732	2.712	2.768	2.040	5		5	4.2
"	15	φ-2.475×2.290	2.784	2.787	2.777	2.804	0.949	9		6	4.4
"	18	φ-2.475×2.520	2.777	2.780	2.771	2.797	0.922	9		8	5.0
"	20	φ-2.465×2.418	2.732	2.749	2.721	2.776	1.993	3		5	5.3
"	21-1	φ-2.475×2.505	2.732	2.742	2.718	2.786	2.371	7		5	5.6
"	23-1	φ-2.475×2.468	2.718	2.731	2.708	2.771	2.289	3		6	6.2
"	23-2	φ-2.475×1.57	2.560	2.578	2.528	2.661	4.997	5		6	6.2
"	24	φ-2.480×2.605	2.648	2.663	2.624	2.730	3.882	3		6	6.4
"	25-1	φ-2.465×2.435	2.730	2.736	2.716	2.769	1.915	3		7	6.7
"	25-2	φ-2.360×2.510	2.729	2.738	2.721	2.769	1.738	5		7	6.7
"	25-3	φ-2.460×2.530	2.733	2.744	2.726	2.776	1.814	4		6	6.7
"	26	φ-2.480×2.470	2.713	2.716	2.696	2.749	1.910	5		6	7.1
"	27	φ-2.470×1.780	2.721	2.725	2.721	2.748	1.319	2		6	7.4
"	31	φ-2.475×2.713	2.749	2.755	2.738	2.785	1.695	9		6	8.1
"	34-1	φ-2.475×1.545	2.750	2.750	2.734	2.765	0.850	4		6	9.1
"	34-2	φ-2.480×2.515	2.707	2.714	2.689	2.747	1.939	4		6	9.1
"	40	φ-2.475×2.567	2.755	2.757	2.746	2.777	1.170	4		7	12.4
"	41-1	φ-2.470×2.420	2.793	2.796	2.791	2.804	0.474	5		6	12.6
"	41-2	φ-2.450×2.490	2.835	2.835	2.832	2.840	0.296	5		8	12.6
"	42-1	φ-2.480×2.643	2.829	2.829	2.825	2.835	0.320	13		7	12.7
"	42-2	φ-5.000×2.570	2.754	2.754	2.749	2.764	0.564		683		12.7
"	42-3	φ-2.480×2.595	2.780	2.782	2.775	2.794	0.703	6		7~8	12.7
"	43-1	φ-5.000×5.048	2.802	2.804	2.794	2.820	0.922		1,605		13
"	43-2	φ-2.480×1.883	2.725	2.728	2.718	2.746	0.996	6		6	13
"	43-3	φ-3.480×1.515	2.744	2.747	2.739	2.762	0.848	2		6	13
"	44-1	φ-5.010×4.983	2.845	2.845	2.842	2.850	0.283		2,751		13.2
"	44-2	φ-2.465×2.525	2.783	2.787	2.781	2.797	0.593	16		7~8	13.2
"	44-3	φ-2.470×2.480	2.850	2.852	2.847	2.866	0.488	9		8	13.2
"	45	φ-4.990×5.050	2.766	2.767	2.760	2.779	0.661		2,609		13.5
"	46-1	φ-2.475×1.685	2.723	2.772	2.764	2.802	1.364	4		5	13.7
"	46-2	φ-5.012×5.133	2.768	2.768	2.762	2.780	0.643		380		13.7
"	48-1	φ-2.470×2.382	2.770	2.772	2.769	2.778	0.323	7		6	14.3
"	48-2	φ-2.473×2.405	2.779	2.780	2.777	2.786	0.366	10		7	14.3
"	48-3	φ-2.470×2.375	2.878	2.878	2.876	2.881	0.160	23		8	14.3
"	48-4	φ-2.475×2.555	2.859	2.859	2.858	2.862	0.157	20		8	14.3
"	48-5	φ-2.475×2.368	2.835	2.837	2.831	2.847	0.562	19		8	14.3
"	48-6	φ-4.970×4.900	2.774	2.774	2.761	2.797	1.256		1,289		14.3
"	48-7	φ-4.957×4.707	2.786	2.787	2.778	2.803	0.899		524		14.3
"	48-8	φ-5.018×5.010	2.861	2.862	2.860	2.865	0.192		1,927		14.3
"	50	φ-5.012×4.868	2.773	2.773	2.770	2.778	0.294		669		14.9

付録—1 (b)

岩石試験の概要

(1) 比重試験

$$G_t = \frac{W_d}{W_w - A_w - W_b}$$

ここに

G_t ; 岩石の真比重

W_w ; 96時間浸水吸水させた資料の重量

W_b ; 96時間浸水吸水させた資料の水中重量

W_d ; 24時間105°C 炉乾燥重量

$A_w = W_w - W_d$; 間隙を満たした水の重量

である。水中重量は直示式天びん (Pointer) に針金製のかごを取付けて測定し、かごの重量を差引いた。

(2) 間隙率

$$N_e = \frac{W_w - W_d}{V_s} \times 100 \quad (\%)$$

ここに

N_e ; 間隙率

V_s ; 飽水状態資料の体積

体積の測定は、試料の寸法が均等でないため、吸水飽和させた資料を浸水させ、その水の排除量をビューレットにて測定して求めた。

(3) 単位重量

成形した各資料を、そのままの重量、吸水後重量、炉乾燥後重量を計量し、おのおのその容積で割って求めた。

(4) 圧縮試験

一般の石材では、 $5 \times 5 \times 5$ cm の供試体により、石目に垂直および平行する方向に加圧試験を行うが、本調査の場合、試すい機により採受した資料であるので、No. 1 の1個の試料については $4 \times 4 \times 4$ cm に切断成形し、他のボーリング地点。試料に対しては、直径約 5 cm の円筒形コアを高さ約 5 cm に切断して、加圧はいずれも鉛直方向に行った。加圧装置は、容量 100ton の丸東製圧縮試験機を使用した。

(5) じん性試験

衝撃による破砕作用に対する石材の抵抗性を比較するもので、田井製作所製ページ試験機を使用した。重錘重量は 2 kg で、高さ 1 cm より順次 1 cm ずつ増加させ、供試体が破壊されたときの cm 数をもってじん性を表わす。供試体の標準寸法は直径 2.5 cm × 高さ 2.5 cm であるが、当地域の岩質は成形時に割れ易いので、成形された供試体は高さの誤差が多かった。直径はほとんど 2.47~2.48 cm に成形された。供試体の作製方法は、供試体が小さいので、まず木製形枠 (15 cm × 15 cm) に早強セメントで固め、ホール盤に固定した鋼製枠に移して、直径 2.5 cm のダイヤモンドビットにてくり抜き、両端面をロックカッターにて成形した。

港灣技研資料 No. 37

1967年10月

編集兼発行人 運輸省港灣技術研究所

発行所 運輸省港灣技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 誠文堂印刷工業株式会社
川崎市荻宿531-2