

港 湾 技 研 資 料

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

No. 94 Dec. 1969

浚渫土質の判定についての二,三の実験

岩田 尚生・高砂 忠

運輸省港湾技術研究所



浚渫土質の判定についての二三の実験

目 次

要 旨

1. まえがき	3
2. 実験の目的, および実験方法	4
3. 実験装置, および実験	4
4. 実験結果, および考察	11
4.1 掘削抵抗と打撃貫入値の関係	11
4.2 掘削抵抗とベーン試験値の関係	12
4.3 掘削抵抗と押込抵抗の関係	14
4.4 掘削抵抗とグラブのつかみ重量比の関係	17
4.5 実験の結論	17
5. あとがき	18
参考文献	18

On the Decision of Excavation Power for Various Dredging Materiels

Hisao IWATA*
Tadashi TAKASAGO**

Synopsis

The authors measured the excavation powers, both in the water and in the air, for such testing materials as sands, gravel, clay, steel balls, small glassballs, and grains made of vinyl by the excavation testing machine which has excavation blade of 6 by 6cm in size, and compared them with the measured records given by the blow interpenetration testing machine, vane testing machine and pushing resitence measuring machine.

And we gained the relation between excavation power and grab charistaristic of small type grab-bucket.

Through excavation test, some uncertain phenomena which are difficult to decide excavation power were found in the records measured by the flow interpenetration testiug machine.

But the excavation power given by vane testing machine for all model materials coincided well in tedercy with that of records gained by excavation machine.

But as for soil and clay, no relation was gained between the measured records given by pushing resistance measuring machine and excavation power by the blade.

Distinct relation was found between excavation power and grab charistaristic of grab-bucket for sand, soil and gravel.

This was also confirmed by the past technical reports on the dredging grab-bucket written by us.

* Senior Research Engineer of Machinery Division

** Member of Dredging and Construction Equipment Laboratory

浚渫土質の判定についての二、三の実験

岩 田 尚 生*

高 砂 忠**

要 旨

砂、砂利、粘土、鋼球、硝子球、ビニール粒等の供試材料について、空气中、および水中で縦6 cm、横6 cmの掘削刃をもつ掘削抵抗測定機により測定した掘削抵抗と、小形の打撃貫入試験機、ペーン試験機、押込抵抗測定機による試験記録を夫々比較するとともに、掘削抵抗と小形グラフのつかみ重量比との関係を求めた。

試験結果から、打撃貫入試験記録は、直接的に浚渫土質における掘削抵抗を判定するには不備な現象が認められた。掘削抵抗に対するペーン試験記録は、傾向的によく一致し、試験した供試材料の全部について直接的な関係が得られた。棒の押込抵抗の測定記録は、掘削抵抗に対する砂と粘土の値が一致しなかった。掘削抵抗とグラフのつかみ重量比の関係は、砂、粘土、砂利共に傾向的によく一致し、これは浚渫用グラフについての過去の研究資料からも、直ちに換算関係が得られることを確かめ得た。

1. まえがき

浚渫工事の計画に当り、その工事量と対象土質に対してどのような浚渫船を用いて何程の能率を上げ得るかという基本的な事項を先ず知る必要がある。たとえば、ポンプ浚渫船においては、浚渫土質に適したカッタの種類と形状を考慮し、ポンプによる排送条件から揚土量を予測し、正確な工事工程を組むようにする必要がある。またグラフ浚渫船の使用に際しては、つかみ土量が最大となるグラフの種類、重容比、形状等を選定し、浚渫能率を向上させることができる。これらは、結局カッタやグラフの掘削特性と浚渫土質の関係を解明することにより求まるものであるが、上記浚渫土質については、その調査方法、試験方法、判定方法共に未解決の問題が多数あり現地でもっぱら経験に基づいて処置されることが多い。したがって、工事実績から必ずしも最適の作業が行なわれたとは言い難い結果も見受けられる。

一般に構造物基礎に対する土質調査、試験は、計画の段階で時間と労力をかけて入念に行なわれ、精度の高い方法が確立されている。これは、その判定資料が設計上不可欠のものであり、災害時等における安定性と直接関

係するために、浚渫土質に見られるように、工事に取りかかってから、カッタやグラフを変えたりして作業を進めても、どうにか仕事はできるものだというような考え方が許されないためと思われる。上記の構造物基礎等に対する調査、試験方法を浚渫土質の判定に利用することも考えられるが、調査期間や費用の面ばかりでなく、海底面から比較的浅い範囲の土層について多数の測定点を得る必要があること、基礎の支持力等と掘削抵抗の判定基準が比例関係にあると認められない事例もあること等の理由で、調査の規模、内容においても適合できないと考えられている。

当研究所機材部では、浚渫船における掘削の問題に関して、簡便で判定容易な浚渫土質調査方法の確立について、現地浚渫船における実船試験記録や室内の実験により研究してきた。特に昭和44年1月から3月の間には、マラッカ海峡の浚渫土質について、振動貫入形サンブラとグラフを用いて、広範囲な海域での調査研究を実施し、砂質土、粘性土、および転石層や岩盤区域に対しても、上記の試験用機器で判別する方法を試みた。この調査研究結果は、間もなく詳細な記録の判定も含めた報告書の作成を終る予定であるが、当海峡における底質を示す有用な資料を得ている。

浚渫土質について研究することによって、どのような作業方法をとれば、能率のよい浚渫工事ができるかを計

* 機材部 主任研究官

** 機材部 作業船研究室

画、見積りの段階で見出すことができるようになり、直接的な経済効果が得られる。この研究を進めるには、土木と機械の両分野について、理論と実際面の現象を結びつけることが先ず必要で、これが大変困難な作業になると思われる。本報告書は、上記のような結びつきの何らかの手がかりを得るために、簡単な予備実験を行ない、浚渫土質を判定し、掘削抵抗や掘削特性との関係について考察した内容を紹介したものである。

2. 実験の目的、および実験方法

浚渫土質と掘削抵抗や掘削特性との関係を見出して、一般的な表示法を確立し、経済的、能率的な浚渫工事ができるようにするには、先ず浚渫土質について試験した内容と、掘削抵抗、掘削土量等との間にどのような関係があるかを解明しなければならぬ。現場では標準貫入試験の結果から掘削の難易を判断したり、潜水夫が海底面に鋼棒を貫入し、その抵抗力で判断したり、あるいは管の下端に噴射ノズルをつけ、圧力 6 kg/cm^2 程度のポンプによりジェット噴射しながら土盤に貫入させるときの貫入状態から、土層の変化を判断しようとするジェットボーリング方式も実施されてきた。しかし、これらの方法は、何れも浚渫土質を判定するための一般的な表示法として、試験記録が掘削特性等と直接的に結びついていなかったり、基準にとる共通の尺度がなかったりして不備な面が多い。

浚渫土質と掘削特性等との関係については、われわれも打撃、あるいは振動による棒や管の貫入現象を調べたり、ジェット管の貫入について実験したり、また浚渫船の実船試験を行なったりして実用面での資料を得てきた。これらの資料を検討し、今後一般的に採用できるような浚渫土質の調査法、試験法を確立するには、今まで

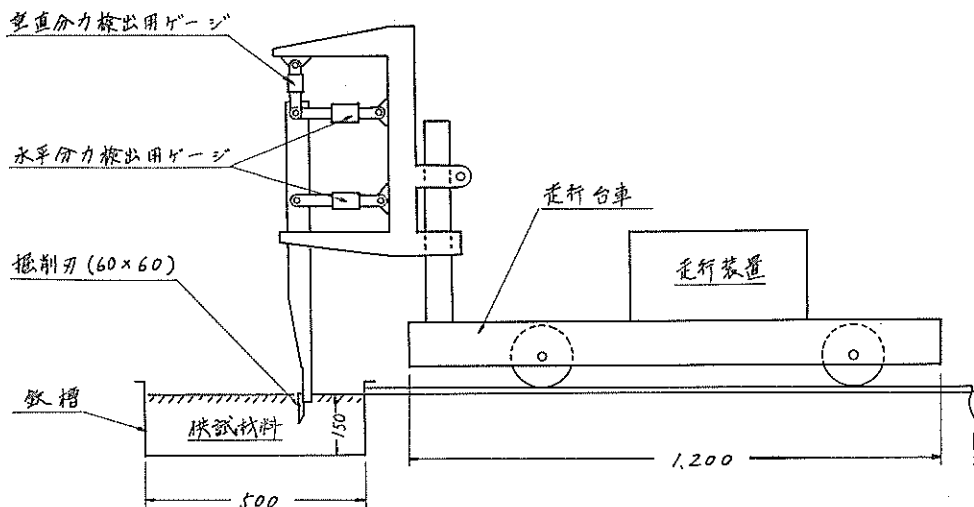
の経験に加えて、より基本的な問題について把握し、専用の調査、試験機械を開発することになると考えられる。そのための本格的な研究に取りかかる以前に、予備調査として、種々の供試材料について、掘削抵抗と打撃貫入値、ペーン試験値、押込抵抗力、およびグラフによるつかみ量等の関係を求める実験を行なうことにした。

この予備実験における掘削抵抗の表示は、縦 6 cm 、横 6 cm の掘削刃を水平移動させるときの掘削抵抗を基準に考えた。これは実際面ですくい角を有するグラフ、ディップ等の形状とは異なるが、掘削機構の基本的表示は、鉛直面で成る直刃を水平移動させるときの測定値で表わし、形状変化の影響は、これを補正して求めることになると考えたからである。現に当研究所機材部で、別に実施している掘削の破壊過程を理論的に解明しようとする研究においても、上記のような基本的形状の刃を用いて実験を進めている。次に掘削抵抗を測定した状態の供試材料に対し、すでに述べた各種の試験を行ない、掘削抵抗とその測定値を比較するのであるが、試験用機器は、何れも小形の単統化したものを用いた。また供試材料は、砂、砂利、粘土の外に鋼球、硝子球、ビニール粒等を用いることにより、比重や粒子形状がどのように影響するかを確かめ易いようにした。

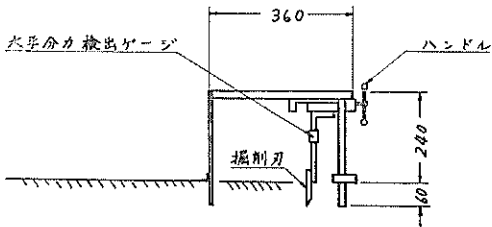
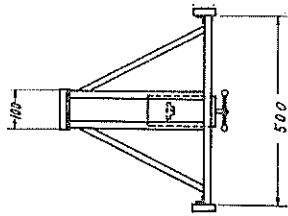
浚渫土質の現地試験は、当然水中において実施されるものである。ゆえに空気中で試験をする場合は、常識的な範囲以外の面でも異なる現象の存在することも予測されるので、この実験では上記のことを考慮して、空気中と水中の実験を併行させて進め、その記録を比較できるような方法をとった。

3. 実験装置、および実験

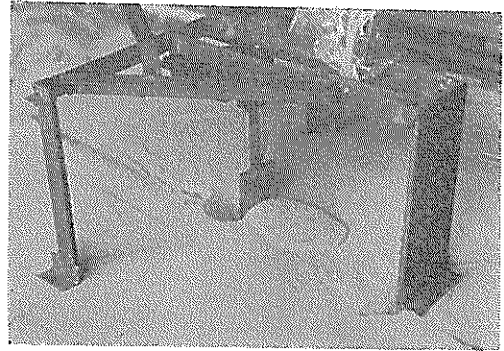
実験は供試材料を鉄槽内に入れて行なう室内実験と、



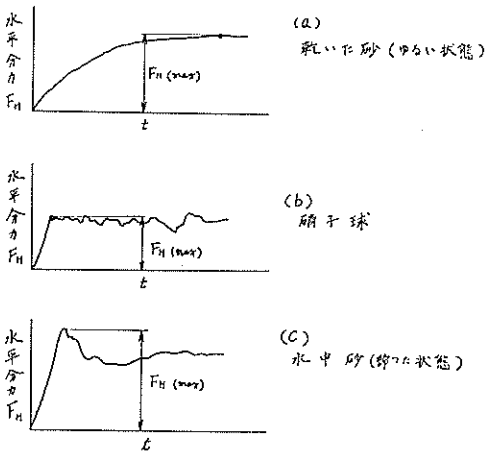
図一 掘削抵抗測定装置 (室内実験用)



図一 掘削抵抗測定機（屋内実験用）

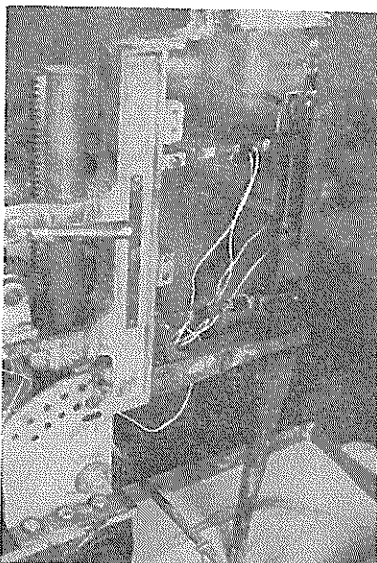


写真一 掘削抵抗測定機（屋外用）



図一 掘削刃の移動による水平分力の変化状態

屋外の砂置場等に放置した状態の砂、砂利等について行なう屋外実験とを実施した。室内実験に使用した掘削抵抗測定装置を図一に、屋外実験に使用した測定機を図一に示す。掘削抵抗は、掘削刃の保持金具にひずみゲージを貼りつけて測定するようにした。掘削刃の大きさは、すでに述べたように 6×6 cm の直刃で、これを約 0.3m/mm の速度で水平移動させて供試材料を掘削する。掘削抵抗の水平分力の測定記録では、供試材料の締まり具合によって、図一に示すような変化状態の相違がある。図の(a)は、たとえば砂の粒子をあまり高くない位置から落下させた程度の締まり具合のときに得られる記録である。図の(b)は鋼球、硝子球のように丸味のある形状の供試材料のときに得られる。図の(c)はよく締った状態の砂や、水中の砂を掘削するとき等に得られる記録である。これらの記録の整理に当っては水平分力 $F_H(\text{max})$ の値をとり、垂直分力は、 $F_H(\text{max})$ に対応する位置における値で表示した。

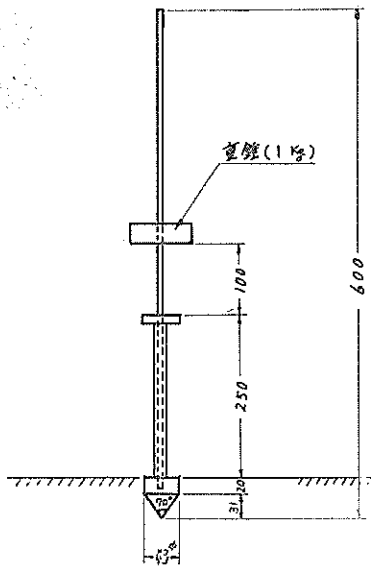


写真一 掘削抵抗測定装置（室内用）

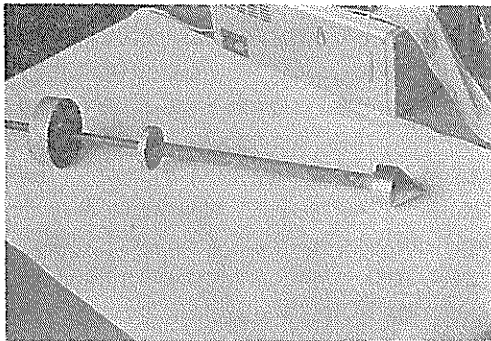
室内実験において、供試材料を鉄槽内に投入するに際し、その締まり具合によって、打撃貫入値等に大きく影響するので、この点特に注意を払った。砂については上方から自由落下させただけの状態、上方から落下させた状態の砂面を重錘で規定数打撃して突き固めた状態、および鉄槽側面に規定数の打撃を与えて締めた状態について夫々実験を行なった。このように、上方から自由落下させた状態と砂面を打撃して突き固めた状態、および容器側面を打撃して締めた状態における単位体積重量の一例を挙げると、乾いた状態の豊浦標準砂に対し、夫々 1.38 , 1.44 , および 1.49 (t/m^3) の相違があった。

図一は、打撃貫入試験機の構造を示すもので図示の状態から深さ 5 cm まで打込むに要する打撃回数を記録し、これを (打撃回数/深さ) の比を打撃値 N' として表示した。打撃用重錘の重量は 1 kg、落下高さ 10 cm、試験機全重量は 1.69 kg である。

図一は、本実験に用いたペーン試験機である。試験は十字翼下端を深さ 5 cm まで押込んだ図示の状態、約



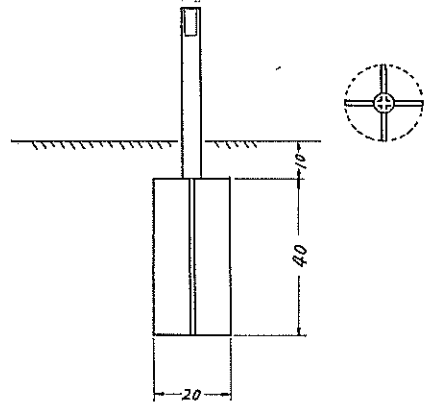
図一四 打撃貫入試験機



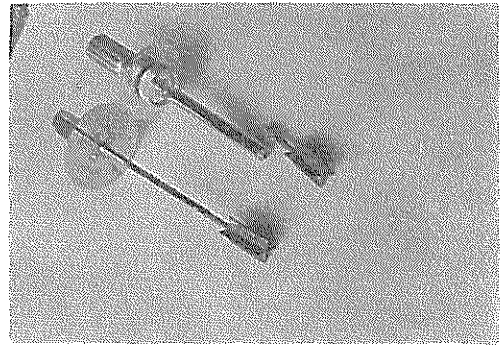
写真一三 打撃貫入試験機

45度/1秒の速度で手動回転させ、そのときの最大トルク値を読んだ。試験機の十字翼直径は2cm、高さは4cmである。この場合に十字翼上方の粒子の移動が認められ、液密には十字翼をもっと深く押込むべきであるが、他との関連もあるので、図のような測定法をとった。一般にペーン試験は粘性土に対して実施されている試験法であるが、浚渫土質の調査では、さらに広範囲な土質に対しても、このような測定法の採用が論議されることになると考え、この試験を行なった。

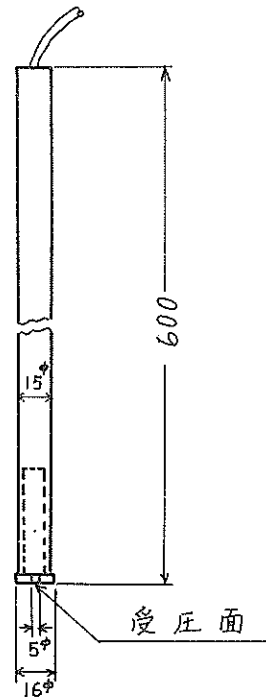
静的な押込抵抗の測定機を図一六に示す。これは管の先端に半導体小形圧力変換器を取りつけ、供試材料面へ押込むときの管端受圧面に作用する単位面積当りの圧力を記録するものである。押込管直径1.5cm、押込管下部直径1.6cm、受圧部直径は0.5cm、試験機重量は0.3kgである。押込抵抗の測定記録は、たとえば砂の場合に約2.5cm/1秒の速度で深さが0から5cm、5cmから10cm、10cmから15cm、15cmから20cmと順に区切って押込んで



図一五 ペーン試験用十字翼



写真一四 ペーン試験機

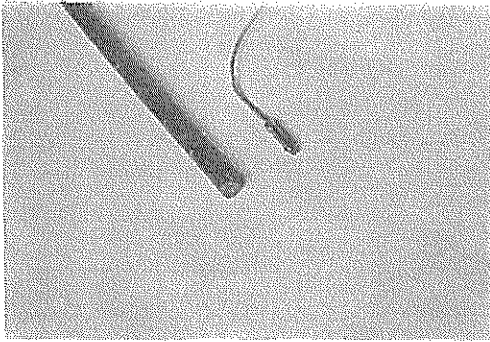


図一六 押込抵抗測定機

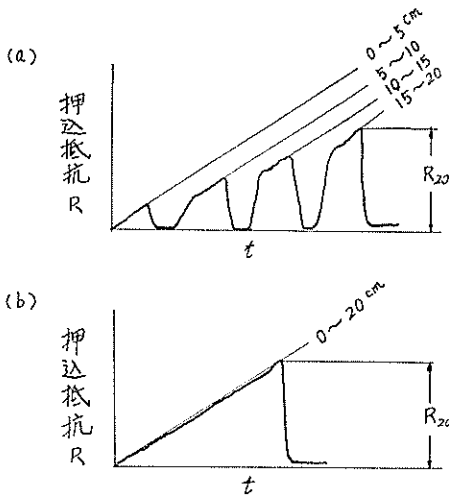
表一 供試材料と実験の種類

供試材料		空気中実験						水中実験					
名称	規格	掘削力測定	打撃貫入試験	ベーン試験	押込抵抗測定	グセラ/W _g	掘削力測定	打撃貫入試験	ベーン試験	押込抵抗測定	グセラ/W _g		
砂 A	豊浦標準砂	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
砂 B	千葉山砂	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
砂 C	工事用砂	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
砂 D	湘南海岸砂	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
砂 E	相模川産砂	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
砂 F	高萩産砂	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
砂 G	足洗産砂	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
砂 H	工事用砂	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
粘土 A	横浜本牧粘土	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
粘土 B	"	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
粘土 C	"	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
硝子球 A	直径 4mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
硝子球 B	" 8"	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
鋼球 A	直径 3.2mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
鋼球 B	" 6.4"	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
ビニール粒 A	4φ×7mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
ビニール粒 B	8φ×13"	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
砂利 A	直径 5mm	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
砂利 B	" 10"	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		

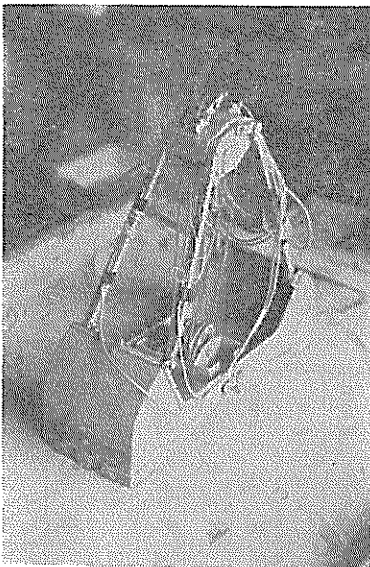
(○印は実験を実施したものを示す。)



写真一5 押込抵抗測定機



図一7 押込深さに対する押込抵抗の変化状態

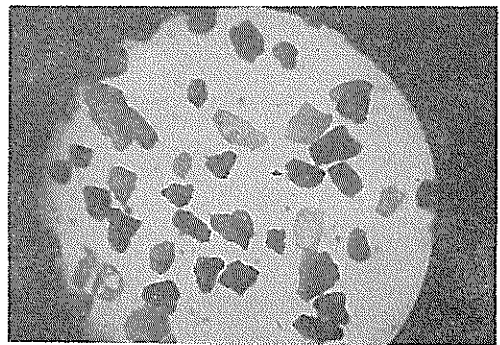


写真一6 模形グラブ

でゆくと、図一7の(a)のように変化する。次に一挙に0から20cmまで押込むと、図の(b)のような記録を得る。

すなわち均質な砂層の場合に、管を押込み移動させている間は、押込抵抗が深さに比例して増加するが、押込操作を中止すると抵抗値は殆んど消失し、試験機を支持するだけの値となり、次に押込操作を再開すると、抵抗値は急速に中止した直前の値まで戻って増加してゆく。ゆえに砂の種類と締固めの程度により、押込深さに対する抵抗値は、押込方法の如何にかかわらず一定の記録が得られる。この試験では、押込深さ5cmにおける抵抗値を採用して他と比較した。なお粒径の大きい供試材料に対しては、圧力変換器受圧部への集中力の作用で変換器を破損する恐れがあること、および水中では、受圧部面に接して移動する水流による温度変化の影響で測定記録が不安定となるために、押込抵抗の測定は、空気中における砂と粘土のみについて実施した。

次に写真一6は、つかみ実験に用いた容量5l、自重9.5kg、ロープかけ数2×3の模形グラブである。表一1は供試材料に対する実験の種類、表一2は本報告書で用いる測定記録の符号を、また表一3は供試材料の実験時の真比重、見かけ比重等をそれぞれ示してある。図一8、図一9、図一10は供試砂、粘土、砂利の粒径加積曲線を示したものである。尚写真一7は、屋外実験において最もよく締まった状態を得た湘南海岸産砂の顕微鏡写真である。



写真一7 湘南海岸砂の顕微鏡写真(×80)

表一2 測定記録の符号

供試材料	空中実験			水中実験
	粒の状況	大きさの状況	形状の状況	
砂A~砂G	○	◎	⊙	●
粘土A~粘土C	×			×
硝子球A,B	△			▲
銅球A,B	▽			▼
ビニール粒A,B	□			■
砂利A,B	◇			◆

表-3 供試材料の比重, その他

供試材料	真比重	見かけ比重 (乾状態)	見かけ比重 (水和状態)
砂 A	2.62	1.38	1.89
" B	2.71	1.49	1.92
" C	2.86	1.49	2.02
" D	2.71	1.34	1.88
" E	2.74	1.62	2.05
" F	2.68	1.40	1.92
" G	2.73	1.48	1.94
" H	2.72	1.47	1.93
硝子球 A	2.68	1.49	1.89
" B	2.51	1.46	1.88
鋼球 A	7.70	4.78	5.15
" B	7.71	4.70	5.09
ビニル粒 A	1.23	0.74	1.14
" B	1.23	0.76	1.11
砂利 A	2.83	1.70	2.10
" B	2.82	1.69	2.12

木散粘土の物理的性質

含水比 92.6% 液性指数 0.982

土粒子比重 2.71 液性限界 97.9%

空隙比 2.50~2.55 塑性限界 57.7%

粒度分析

砂 77% シルト 10.3% 粘土 52.0%

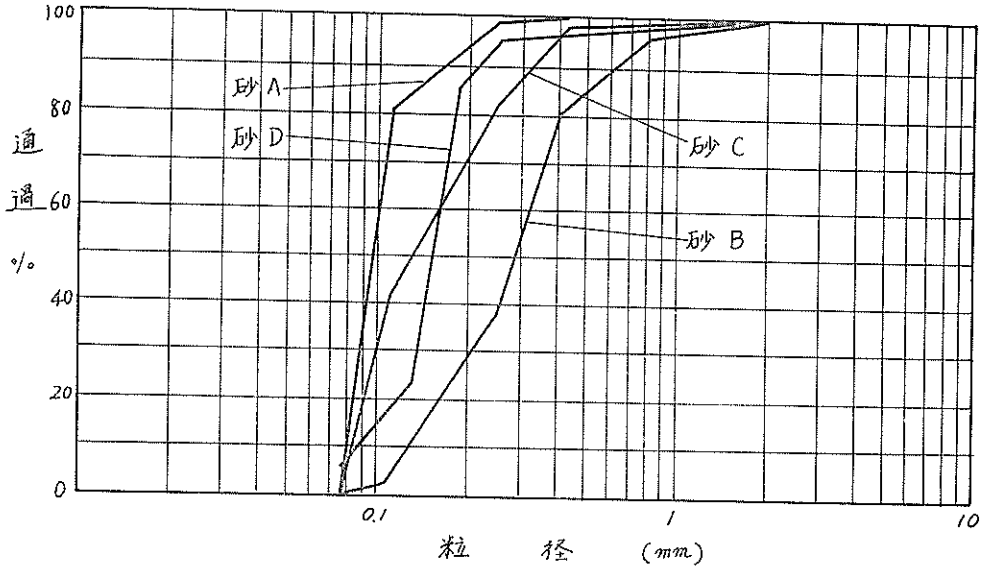
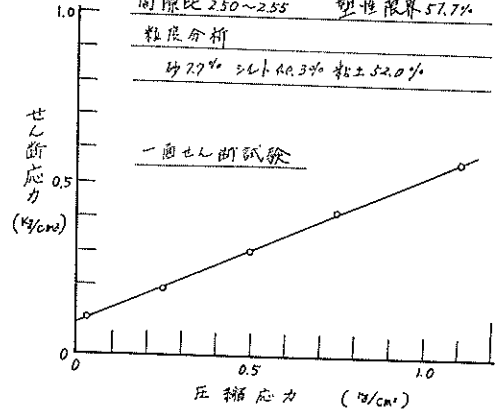


図-8 粒径加積曲線 (砂)

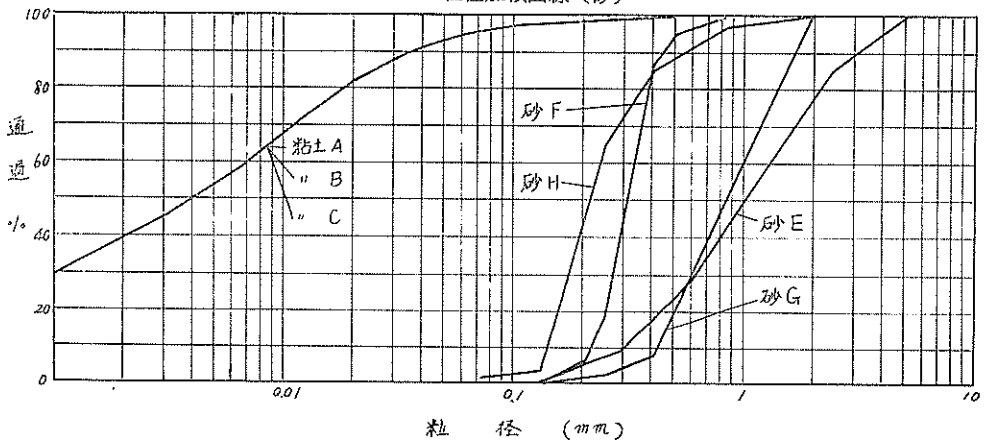
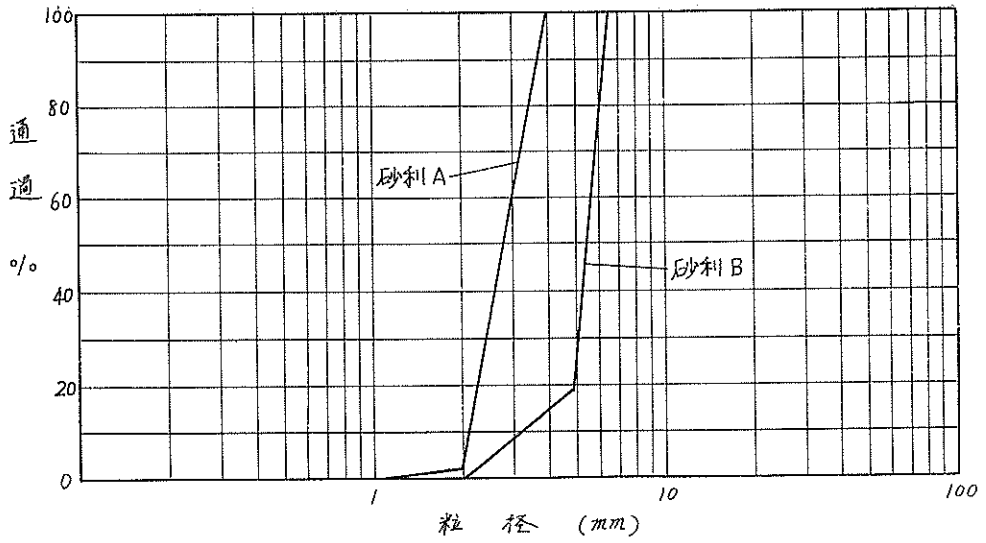
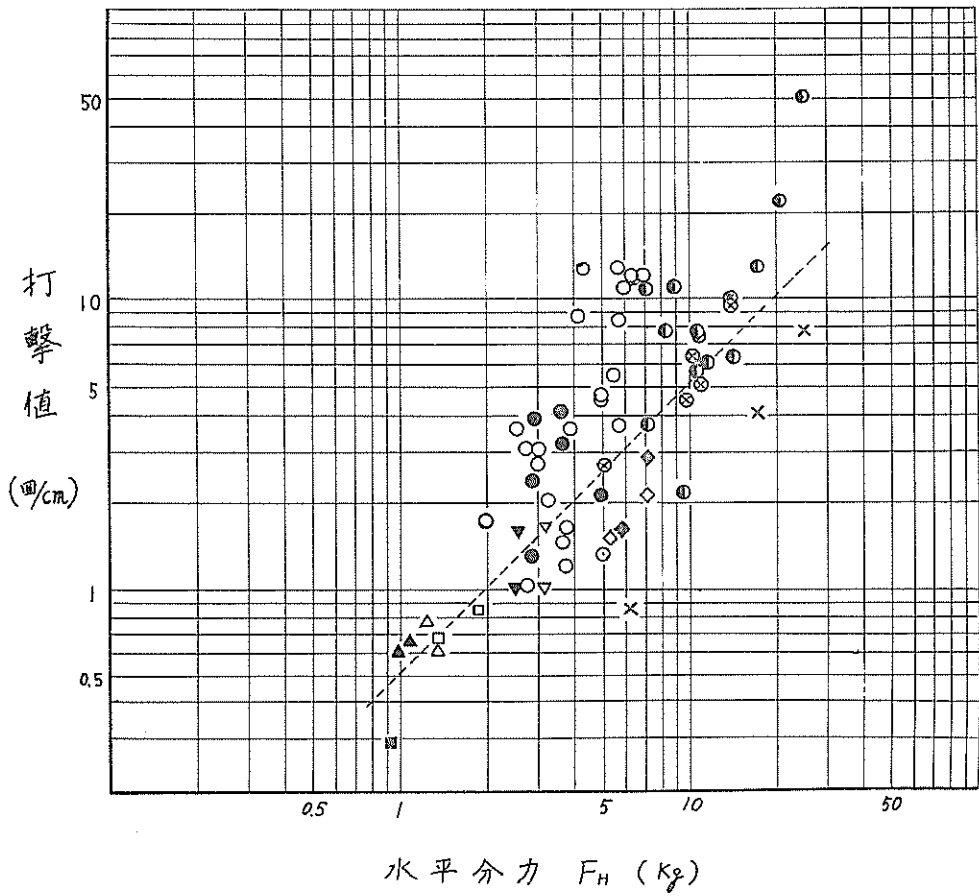


図-9 粒径加積曲線 (粘土, 砂)



图一10 粒径加積曲線 (砂利)



图一11 水平分力と打撃値の関係

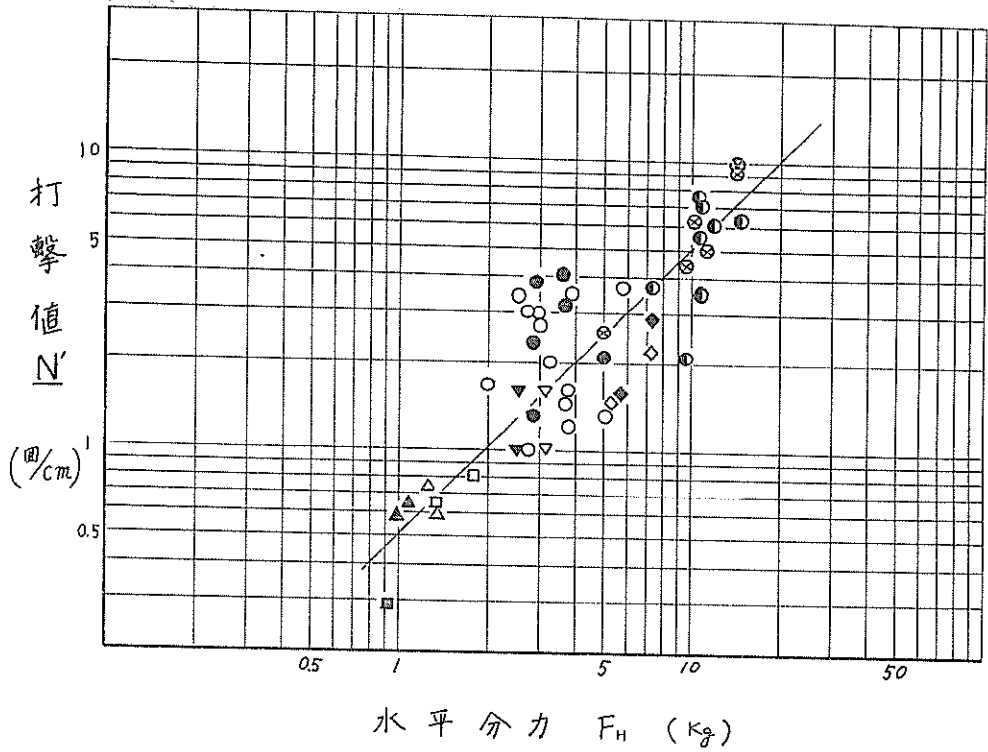


図-12 水平分力と打撃値の関係（締め固めた供試土を除く）

4. 実験結果、および考察

4.1 掘削抵抗と打撃貫入値の関係

掘削抵抗の水平分力と打撃貫入試験によって得た打撃値との関係を図-11に示す。図の打撃値は、深さ5cmまで打込むに要した打撃数を5で除した値なので、結局1cm打込むに要する平均の打撃回数である。砂質土について確かめた比較実験では、この打撃値は、標準貫入試験におけるN値の約6倍に相当する。尚、図に示した点線は、次の図-12において比例関係を示した実線である。

さて図-11において、水平分力に対する粘土の打撃値が特に小さく出ていること、および砂の打撃値のばらつきが大きいに先ず気がつく。粘土の場合は、一般的な性質からも、その原因を推察できるが、砂の場合に対しては、比重の大きい鋼球や比重の小さいビニール粒が他の供試材料の測定値から外れていないことから、比重差による影響は少なく、殆んどの原因が砂の締め固めの程度によって左右されるものと考えた。そこで、いま図-11から、粘土と締った状態についての砂の記録を除いてみると、図-12に示すように、水平分力と打撃値がほぼ一乗に比例し、比較的ばらつきの少ない関係が得られる。次に砂を上方から自由落下させただけの状態から、

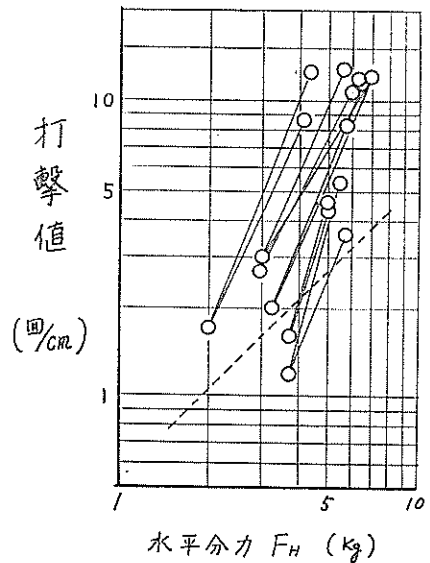


図-13 水平分力に対する打撃値変化の傾向（乾いた砂）

突き固めたり、容器を打撃したりして締め固めた状態に変る際に、打撃値がどのように変化するかを調べたものを図-13に示す。図において、図-12で得た一乗の比例関係を示す点線に対し、打撃値の増加の割合は極めて大

きいことが判る。この傾向から、締め固めない砂を含む粒状物質について、掘削抵抗の水平分力 F_H と基準となる打撃値 N' は、ほぼ一乗に比例し、その値は基線 $N' = 0.51 F_H$ 上に求めることができる。しかしながら、砂を順次に締め固めてゆく場合に、 F_H に対し打撃値 N' は $N' = 0.51 F_H$ 上を移動せず、二乗以上の関係で増加し、図-11に示したような複雑な関係になることが判る。このことは、実際面でも標準貫入試験における N 値から、直接掘削抵抗を判断することは困難で、基線上の位置を

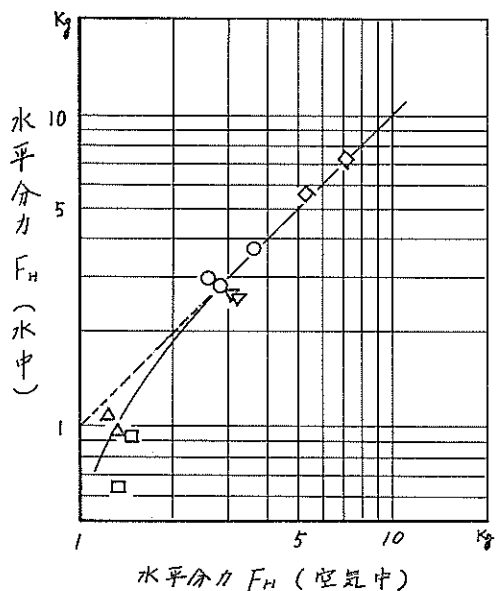


図-14 空気中と水中における水平分力の相違

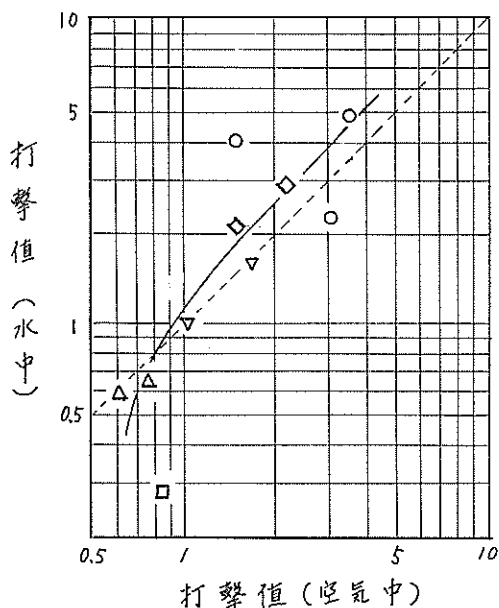


図-15 空気中と水中の打撃値の比較

探るための試験と併せて調査する方法を確立する必要があると考えられる。

空気中と水中における水平分力、および打撃値を比較すると、それぞれ図-14、図-15に示すようになり、比重の小さいビニール粒を除いて、その差は少なく、空気中と水中における見かけ比重の差に相当する程の相違は認められない。

ここで砂についての水平分力と打撃値は、空気中において上方から容器内へ自由落下させた状態における測定値で水中の場合と比較した。その理由は、室内の水中実験では、砂を容器内へ自由落下させ、次に水を入れて静かに砂面を均して後実験を開始し、途中で締める工程を含まないこと、および二次元の模形による観察では、水中の場合は空気中で締った状態の砂のように、瞬時に破断面が発生して切れ上がるもので無く、ゆるい砂のように粒子が転がって滑る層状の破断層ができることから、上記の測定値で比較することにした。しかしながら、砂粒の状態は水中において若干密になる傾向があり、また二次元の観察では、破断層が発生するまでの過程で、水中では空気中よりも刃先附近において複雑な粒子の動きが認められ、破断層が発生する以前に掘削抵抗の最大値が記録されること等の現象があり、これらの問題について今後の研究が必要と思われる。

4.2 掘削抵抗とペーン試験値の関係。

掘削抵抗の水平分力 F_H とペーン試験によって得たトルク値の関係を図-16に示す。図では砂、粘土をはじめ、鋼球、ビニール粒に至るまで、比較的ばらつきも少なく、ほぼ $T = 2.05 F_H$ の関係を得ている。細かく調べると水中における試験記録は、トルク値が小さく、また水締状態の砂は、トルク値が大きく出る傾向のようである。砂の締め固め状態とトルク値の関係は、図-17に示すごとく、締め固めることによって $T = 2.05 F_H$ の点線に一層近ずき、 T と F_H は直接的な関係にあると判断することができる。

空気中と水中におけるトルク値を比較すると、図-18に示すごとく、硝子球とビニール粒の水中の値が小さいが、値向的には図-14、図-15に示した水平分力や打撃値の場合の空気中と水中の相違によく似ている。

図-19は、水中実験において、水中に砂を投入してからのトルク値の経過時間に対する変化の一例である。図では砂を水中に投入してから、約8分を経過すれば、ほぼ一定の締め固め状態になることが判る。今回の実験の殆んどは、砂の投入後に水を入れたが、屋外実験で鉄槽を使って水中実験を行なう場合には、砂の自由落下高が大きくなり過ぎるので、水中に砂を投入する方法をとった。また砂の投入後に水を入れる屋内実験でも、砂面を均したりして攪乱するので、十分な経過時間を置いて実

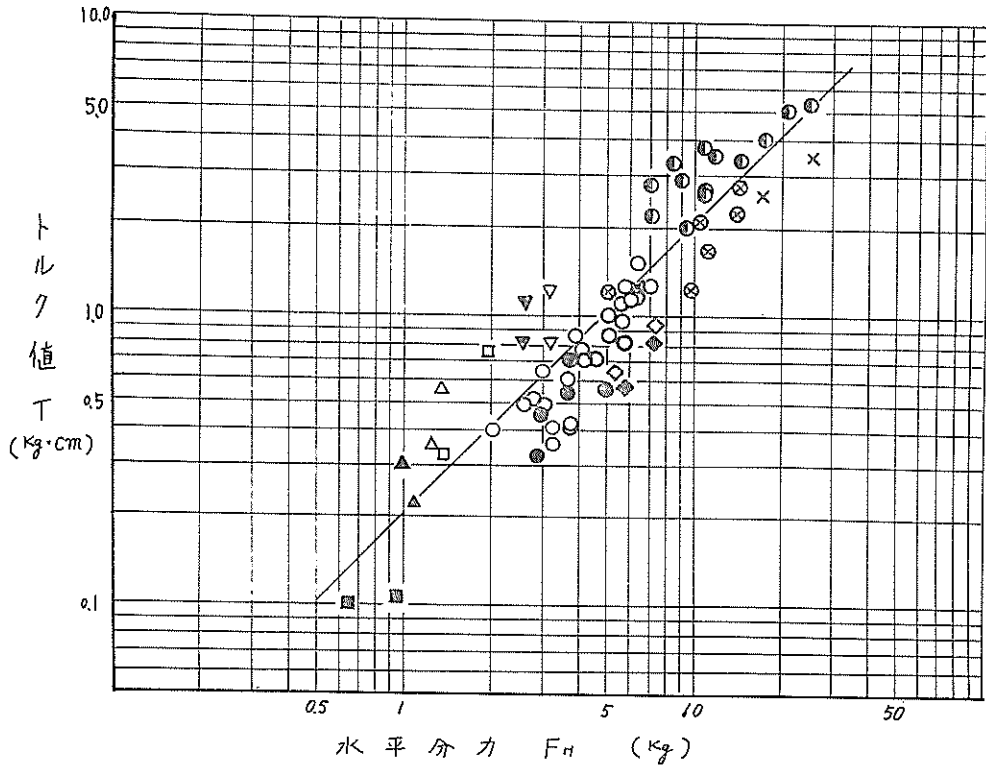


図-16 水平分力とトルク値の関係

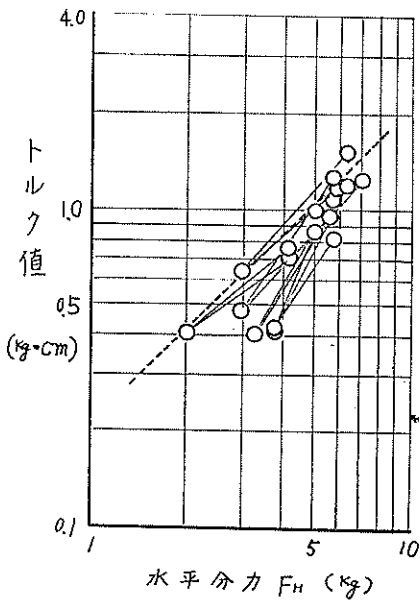


図-17 水平分力に対するトルク値変化の傾向
(乾いた砂)

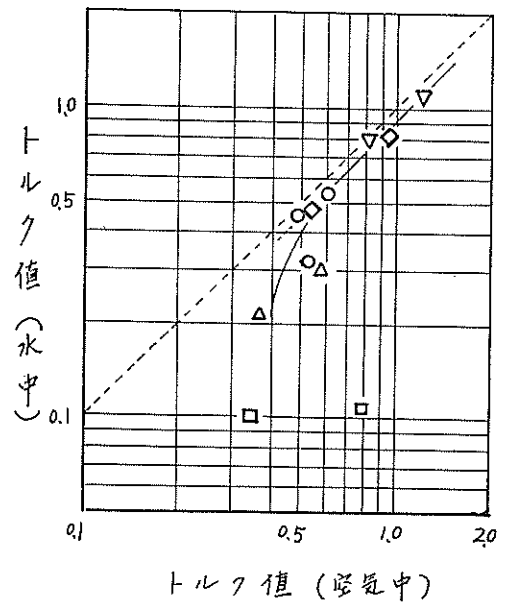


図-18 空気中と水中のトルク値の比較

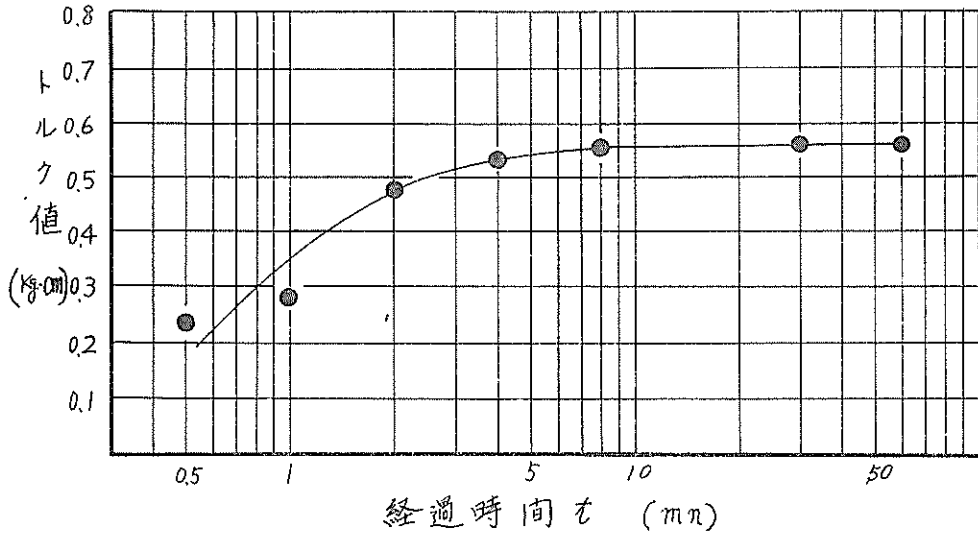
$$\tau = T / \left(\pi H \frac{D^2}{2} + \pi \frac{D^3}{6} \right)$$

ここに τ = せん断強さ (kg/cm²)

T = トルク値 (kg-cm)

験を行なった。

一般にトルク値から粘土のせん断強さを求めるには



図一19 経過時間に対するトルク値の変化

H = 十字翼高さ (cm)

D = 十字翼の巾 (cm)

(文献一)

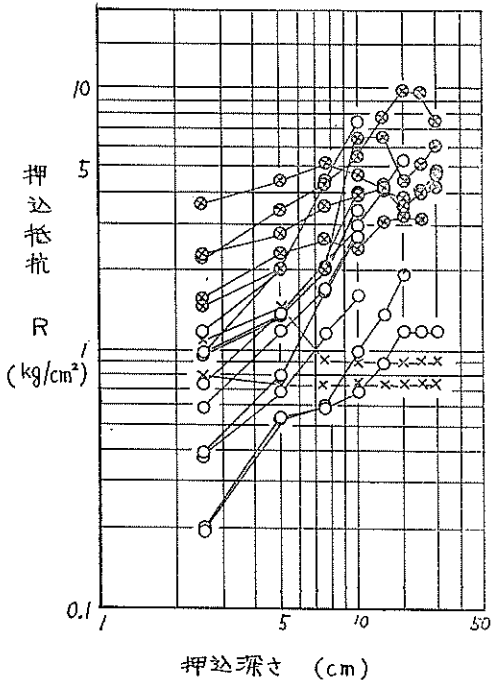
により計算する。本実験の場合にも上式を適用してみると、 $\tau = T/29.3$ となり、したがって $\tau = 0.0034 \sim 0.17$ kg/cm² の範囲において実験を行なったことになる。ここでは、砂や鋼球、ビニール粒等に対する τ の値は、受動土圧に対する摩擦力と考えられるが、その測定値と供試材料の他の一般的な性質との関係については、今後の

研究によって確かめることとし、標準貫入試験における N 値が約 8 以下のこの実験の範囲では、水平分力とトルク値が直接一乗の比例関係となることを確認できたことにより、今後の研究に対して、一つの指針が得られたものと考えたい。

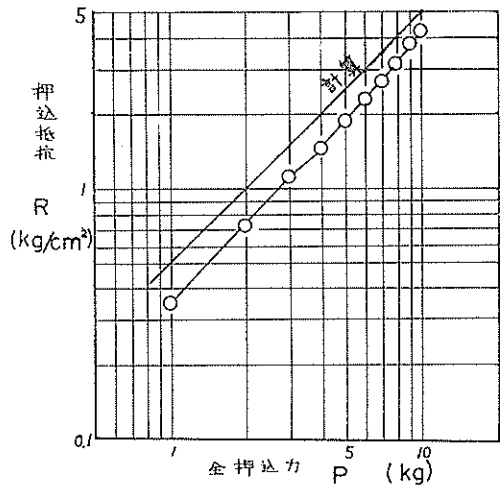
4.3 掘削抵抗と押込抵抗の関係。

押込抵抗測定機による砂と粘土の記録について、押込深さと押込抵抗 R の関係を調べてみると、図一20に示すように、乾いた砂の場合は、ほぼ押込深さの一乗に比例して変化し、粘土の場合はその値が変わらないと見ることがができる。

図一21は、押込抵抗測定機に上方から加える全押込力 P と押込抵抗の関係を示したものである。この実験では



図一20 押込深さと押込抵抗の関係



図一21 全押込力と押込抵抗の関係

測定機の管側面に作用する摩擦力は、管の下端面に作用する力に較べて、極めて小さいことが確かめられたので、これを無視して計算すると、下端面の全面積と単位面積当りの圧力の関係から、

$$R \doteq P/2$$

の関係となるが、実験結果では、図のようにRの値が平均25%程小さく出ている。これは管端部の中心附近と外周部では、圧力分布の異なることを示しており、砂の挙動に対して、圧力検出面と周囲との材質の相違、および弾性変形量の相違等が原因と思われるが、この実験目的は、単にその傾向を把握し、比較することにあるので、上記のR値をそのまま使うことにする。

上記の押込抵抗Rの値は、Terzaghiの支持力論から導いた砂質地盤に対する円形フーチングや杭の支持力公式

$$q = \gamma L N_q + 0.3 \gamma D_p N_\gamma$$

ここに q = 先端地盤の極限支持力 (t/m^2)

γ = 砂の単位体積重量 (t/m^3)

L = 根入深さ (m)

D_p = 直径 (m)

N_q, N_γ = 支持力係数 (建築構造設計基準に示す値)

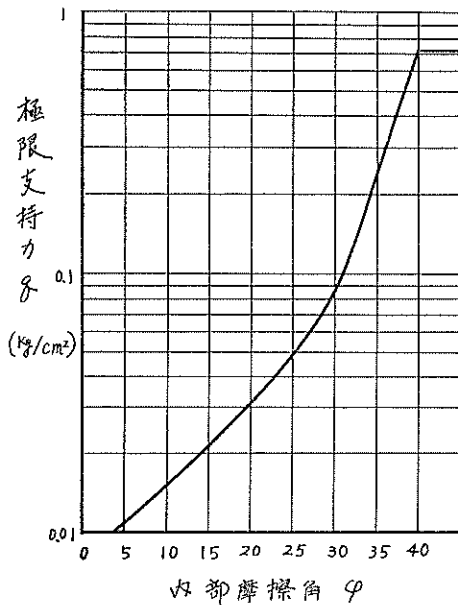


図-22 極限支持力の計算値

によって計算してみると、図-22のようになる。本実験では内部摩擦角を測定していないので、ここに図示することはできないが、図の $\phi=40^\circ$ をとって、図-20に示した実測値は、深さ 5 cm において大中に大きい値がある。

さて、掘削抵抗の水平分力 F_H と上記の押込抵抗 R の関係を図-23に示す。図では粘土の測定値を除くと、 R

は F_H のほぼ一乗に比例するとみてよく、 $R=0.265 F_H$ の関係を得る。砂の締固め程度に対する関係は、図-24のごとく締固めることによって、図に点線で示した $R=0.265 F_H$ に一層近ずき、 R と F_H は直接的な比例関係にあることが確認できる。

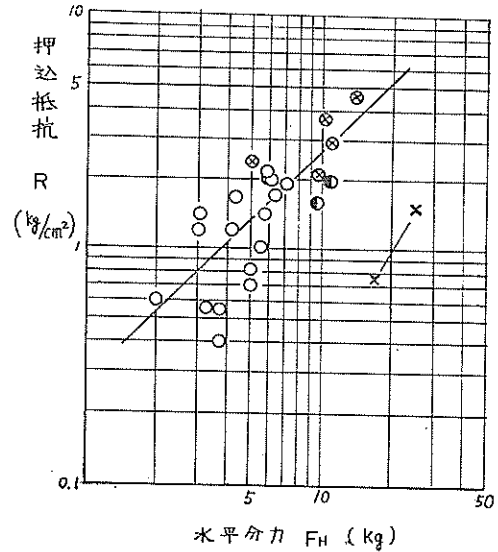


図-23 水平分力と押込抵抗の関係

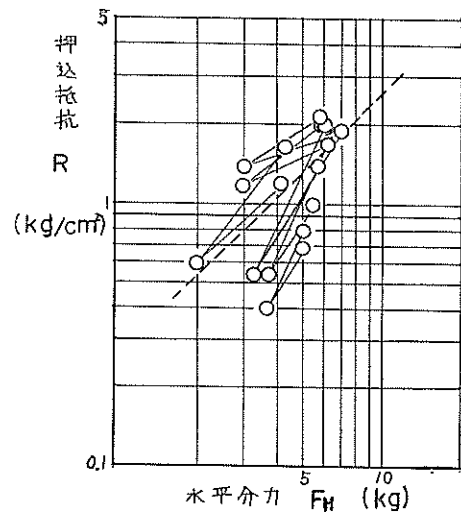


図-24 水平分力に対する押込抵抗変化の傾向 (乾いた砂)

次に打撃貫入試験における打撃値 N' と R の関係は、図-25に示すごとく、一見して一乗に比例しているように見える。しかしながら、砂の締固め状態との関係を調べてみると、図-26に示すように締固めるに従って、平均値を表わしている点線から離れてゆく値向にあり、水平分力 F_H と打撃値との関係に見られる図-13の傾向と

同様であると思われる。いま図-25から $N'=3.24R$ と置くと、図-27に示す水平分力 F_H と打撃値 N' の関係に対し、 $N'=0.86F_H$ となり、すでに述べたような矛盾を認めることになる。尚上記の打撃値 N' は、ゆるい砂や硝子球、銅球等の記録から得た打撃値の基線 N' を表わすものとは異なり、空气中において、比較的水分の少ない締った状態の砂も含んだ砂の場合の測定値から得たものである。

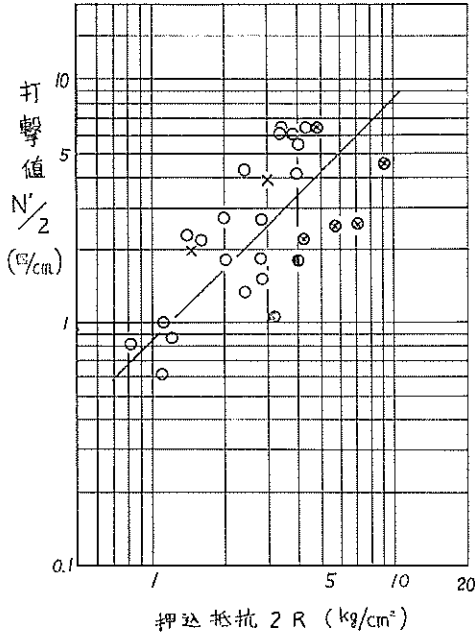


図-25 押込抵抗と打撃値の関係

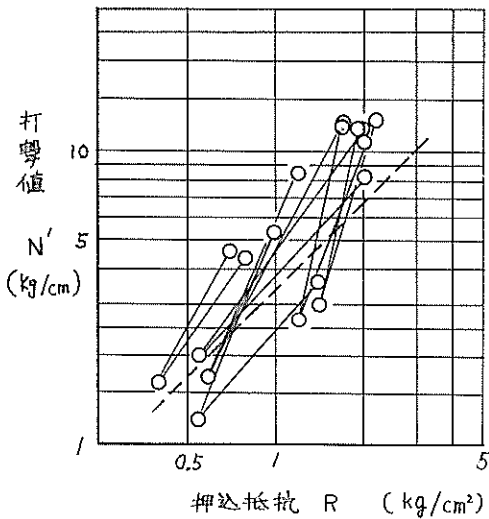


図-26 押込抵抗に対する打撃値変化の傾向 (乾いた砂)

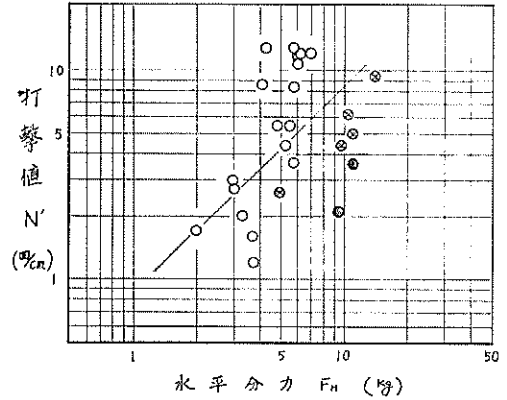


図-27 水平分力と打撃値 N' の関係

上記の問題で Meyerhof が静的貫入試験結果と標準貫入試験結果から得た実験式

$$q_e = 40N$$

q_e = 静的貫入試験の先端抵抗 (t/m^2)

N = 標準貫入試験の N 値

の関係を本実験の結果と比較してみると、本実験では、 $N'=6N$ の関係を得ているから、 $q_e=R$ と考えて q_e の単位を kg/cm^2 で表わすと、

$$q_e = 4N = 0.667N'$$

となり、図-28のようになる。しかしながら、この場合の $q_e=R$ の値は、すでに述べたように管端中心附近での測定値で、平均値よりも小なく出るから、支持力を考える場合と掘削抵抗を考える場合では、その評価が互に反対であることを考慮して処理する必要がある。何れにしても浚渫土質と掘削抵抗の関係を求める場合には、上記

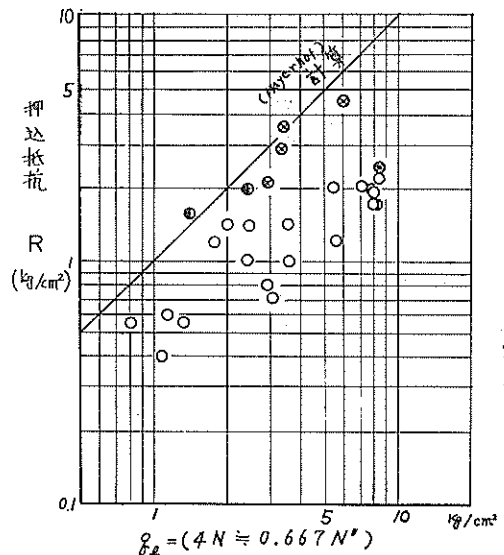


図-28 標準貫入試験の N 値と押込抵抗 R の関係

の F_H と N' 、 R と N' の関係を直接用いることは不適当と考えられる。

4.4 掘削抵抗とグラブのつかみ重量比の関係

本報告では、グラブ、ディップ等の掘削能力を、 6×6 cm の試験刃で求めた掘削抵抗に置換えて表示する方法をとった。ディップについては、上記の表示方法に対して掘削抵抗が直接比例関係にあるものと推測できるが、グラブの場合は、どのような関係になるか、今回の実験で楕形グラブによって確かめた例を図-29に示す。このグラブでは、 $W_s/W_g > 1$ になるとグラブ容量に対して、つかみ容量がほぼ限界に達し、 W_s/W_g の値が増加しなくなるが、 W_s/W_g の値が小さい範囲では、掘削抵抗の水平分力 F_H が W_s/W_g に反比例することが判る。またビニール粒に対する W_s/W_g の値が他よりも小さいが、つかみ容量はほぼ満杯に達していた。ここに W_s はグラブのつかみ重量、 W_g はグラブ自重である。

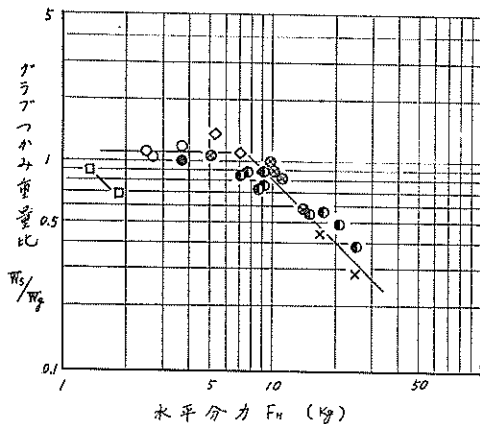


図-29 水平分力とグラブのつかみ重量比の関係

上記の関係は、ある一つのグラブについてのものであり、グラブの寸法、重量、かけ数等が変った場合には、つかみ重量比も変ってくる。今までの多数の実験結果では、土盤、岩盤、転石等を除く一般土砂に対して、普通の形状につくられた浚渫用グラブでは、

$$\frac{W_s}{W_g} \propto L \sqrt{\frac{B}{2W_g}}$$

(文献-4 文献-5)

の関係があり、これよりグラブの開き長さ L 、口巾 B および自重 W_g の変化に対し補正することができる。かけ数の変化に対しては、上記 $L \sqrt{\frac{B}{2W_g}}$ についての補正図表により求めることができる。

グラブのつかみ重量比は、掘削抵抗の水平分力以外に垂直分力の大小、すなわち掘削抵抗の方向にも左右される。図-30は供試材料の水平分力 F_H と垂直分力 F_V の関係を示したもので、砂については、空气中、水中を問わずほぼ一定の比になっている。先の図-29において、

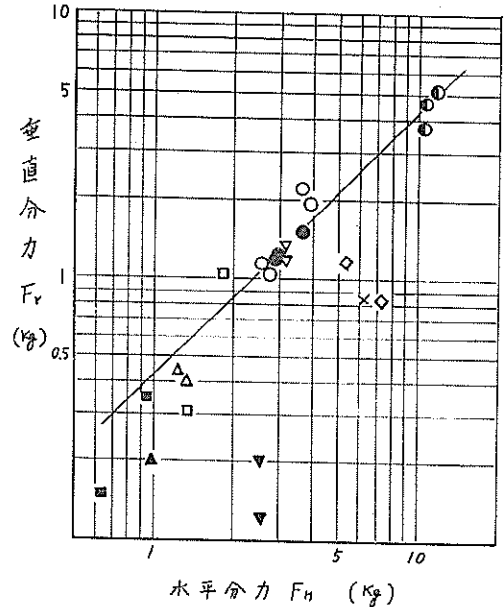


図-30 水平分力と垂直分力の関係

砂利、ビニール粒、粘土の測定値が砂についての測定値と傾向的にも若干異なることと、図-30の関係から、何らかのつながりが得られそうにも見受けられるが、これは今後の研究に委ねることとし、ここでは F_H と W_s/W_g の関係が図-29のように表示できることを確かめるに留めた。

4.5 実験の結論

以上、実験結果について考察したが、ここに述べただけの諸現象に対しても、まだまだ調べなければ判らないことが多い。実験範囲における結論として、次のことが言えると思う。

- ① 掘削抵抗と打撃値の関係は、締固めた状態の砂と粘土を除いた粒状物質に対して一乗の比例関係をもつが砂を締固めたものの測定値を含めると、上記の関係は崩れて、打撃値からの掘削抵抗の推定は困難となる。粘土については、別の基準で掘削抵抗を判断する必要があると思われる。
- ② 掘削抵抗とペーン試験値の関係は、実験を行なった全部の供試材料について一乗の比例関係があり、実際面においてもペーン試験値から直接浚渫土質を判定する場合には比較的容易に掘削抵抗を求めることができよう。しかしながら、もっとよく締まった土質に対する適用限度等は他の方法より劣るものと思われる。
- ③ 掘削抵抗と押込抵抗の関係は、各種状態の砂について一乗の比例関係を得たが、粘土の測定値とは一致しなかった。ゆえに掘削抵抗の判定には、砂質土と粘性土を分けて考える必要があると思われる。

- ④ 砂，粘土，砂利等に対する掘削抵抗とグラフのつかみ重量比との間には直接的な関係が得られる。ゆえにこのような基本的形状の掘削刃について，その掘削抵抗を理論的，または実験的に求める方法が確立されれば，浚渫船における一般土砂の掘削の問題は，急速に解決できるものと思われる。
- ⑤ 空気中と水中における掘削抵抗，その他の試験結果の測定値は，測定値の大きい範囲で差が小さく，測定値の小さい範囲では，水中の値が大巾に低下する傾向が認められた。砂は空気中と水中における掘削抵抗の差が小であったが，掘削過程における現象の相違もあり，今後の研究が必要である。

5. あとがき

以上の実験により，ベーン試験の記録は，掘削抵抗と直接的な比例関係をもつが，打撃貫入試験と押込抵抗試験の記録は，いま一つの砂の締固めの程度等の別の状態を判別するための試験を併せて実施する必要があることが判った。しかしながら浚渫土質の判定にベーン試験のような方法が絶対的に有利であると言うことではなく，水面上の作業船を用いて実施する浚渫土質調査では，たとえば標準貫入試験を簡素化した方法等は，併せて実施す

る試験内容によっては，操作，構造上の面においても好都合なことが多いと考えられる。このような方法の確立に対する調査研究も来年度以降に計画している本格的な実験計画に組込んであり，本報告書の内容は，そのための予備実験である。実験の手法，その他の面でも不備な点が多いと思われるが，諸賢の御叱正，御指導をお願いします。

尚，本報告書の作成に当っては，当研究所土質試験課長奥村樹郎氏に種々専門的な立場からの御助言を頂いた。また機械課第1設計係長藤井喜一郎氏，作業船研究室岩崎峯夫氏には，電子計算機の使用，その他の面で御協力を頂いた。上記各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

1. 横山 幸満 山海堂(1964) 鋼抗の設計と施工
2. 土質工学会(1967) 土質調査法
3. 最上 武雄 土質工学会(1965) 土質試験法
4. 岩田尚生ほか2名 港研報告4巻7号(1965)
浚渫用グラフの研究(第1報)
5. 岩田 尚生 港研報告5巻7号(1966)
浚渫用グラフの研究(第2報)
(1969.9.30受付)

港 灣 技 研 資 料 No. 94

1969・12

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発 行 所 運輸省港湾技術研究所
 横須賀市長瀬3丁目1番1号

印 刷 所 桂山印刷株式会社
 台東区東上野5丁目1番8号

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