

港湾技術研究所報告

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

第 6 卷 6 号

Vol. 6 No. 6

(通巻第 43 号)

ポンプ浚渫船の噴流式吸込管助勢装置について

..... 松田 任・近藤 基・八木得次・岩田尚生

土砂の水力輸送に関する研究

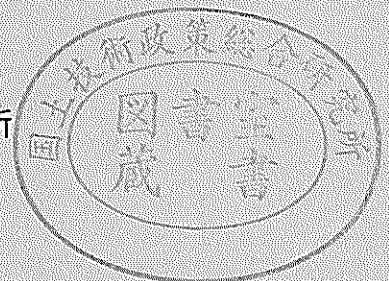
——水平管流における限界流速について——..... 八木得次・入江義次・青木幸男

水平管における単粒子の初動流速について..... 八木得次・入江義次・青木幸男

排土板の地均し抵抗に関する研究 早乙女保二・石塚浩次

1967年4月

運輸省港湾技術研究所



総 目 次

ポンプ浚渫船の噴流式吸込管助勢装置について

.....松田 任・近藤 基・八木得次・岩田尚生..... 3

土砂の水力輸送に関する研究

——水平管流における限界流速について——

..... 八木得次・入江義次・青木幸男.....17

水平管における単粒子の初動流速について

..... 八木得次・入江義次・青木幸男.....35

排土板の地均し抵抗に関する研究早乙女保二・石塚浩次.....49

排土板の地均し抵抗に関する研究

早乙女 保 二・石 塚 浩 次

排土板の地均し抵抗に関する研究

目 次

概 要	53
1. ま え が き	53
2. 実 験 装 置	54
3. 排土板模型	54
3.1. 長さ変化模型	54
3.2. 板面曲率変化模型	54
3.3. 角度変化模型	54
4. 実 験 用 砂	57
5. 実験方法および測定項目	57
6. 実験結果と考察	57
6.1. 砂と鋼板との摩擦	57
6.2. 水締め砂による荷重一定実験	58
6.3. 水中砂の荷重一定実験	59
6.4. 角度変化の掘削深さ一定実験	60
6.5. 板面曲率変化の深さ一定実験	61
6.6. 長さ変化の深さ一定実験	62
7. 排土板に蓄積する量についての考察	63
8. 地均し抵抗についての考察	65
9. あ と が き	71

(付録) 粘土を用いた地均し実験

1. ま え が き	73
2. 実 験 装 置	73
3. 排土板模型	73
4. 実験用粘土	73
5. 実 験 方 法	74
6. 実験結果と考察	75
6.1. 長さ変化実験	75
6.2. 曲率変化実験	76
6.3. 角度変化実験	76
7. む す び	77
8. あ と が き	78

Study on the Ground Leveling Resistance of the Blade

Yasuji Sotome*

Koji Ishizuka**

Synopsis

The present paper reports the model tests of the sea ground leveling equipment used for leveling the dredging trenches by drag-suction dredger at Nagoya harbor.

The laboratory tests were carried out using model blades the length of which are 100 mm~600 mm, with various curvature and various angle of sweep-back in consolidated sand with some moisture, saturated sand and consolidated clay.

The results are summarized as follow

1) With the increase of angle of sweep-back, leveling resistance becomes smaller and smaller and leveling effect becomes better, but the direction of the course of blade shows the marked tendency to be curved.

2) Leveling resistance was expressed as follow:

$$H = H_0 + K_1(W_s + V), \quad H = K_2V$$

where, H , H_0 , W_s and V are respectively horizontal component of resistance, initial horizontal component of resistance, weight of soil, and vertical component of resistance, K_1 and K_2 are constant determined from sand, model blades and depth of excavation.

3) Suppose that height of model blade is infinity, volume of sand which is piled up before blade is expressed theoretically as follow.

$$Q = KtB^2(1 - e^{-\frac{S}{KB}})$$

where, Q , t , B , S and K are sand volume, depth of excavation, length of model blade, leveling stroke and constant determined from sand and curvature of blade respectively.

4) When the piled up sand volume before blade is saturated, leveling resistance does not concern with a curvature of the blade.

* Chief Research Engineer, Machinery Division

** Research Engineer, Dredger and Construction Equipment Laboratory

排土板の地均し抵抗に関する研究

早乙女 保 二*
石 塚 浩 次**

概 要

本文は、第五港湾建設局名古屋港内のドラグサクシヨン浚渫跡に使用する地均し船の排土板による地均し模型実験の報告である。

模型実験は室内にて行ない、実験地盤は水締め砂、水中砂および圧密した粘土であった。地均し模型実験は、排土板の長さ変化、板面曲率変化および角度変化（いわゆる後退角をつけること）について地均し力、地均し効果を定性的に調べることであった。概略の結果は次の通りであった。

- 1) 後退角を増加すると地均し抵抗は小さくなり、地均し効果は良いが、斜行する傾向が大きい。
- 2) 地均し抵抗は次のように表わせる。

$$H=H_0+K_1(W_s+V), \quad H=K_2V$$

ここで、 H は地均し水平力、 H_0 は初期水平力、 W_s は排土板に蓄積した土砂重量、 V は地均し垂直力、 K_1 、 K_2 は土砂、排土板形状および掘削深さに関係した定数である。

- 3) 砂について、排土板に蓄積する量は排土板の高さが無限に大きいと、理論的に次のように表わせる。

$$Q=KtB^2(1-e^{-S/Kt})$$

ここで、 Q は蓄積量、 t は掘削深さ、 B は排土板の長さ、 S は地均し行程距離、 K は砂と板面曲率によって決まる値等である。

- 4) 排土板に蓄積する土砂が飽和すると、地均し抵抗は板面曲率に無関係になる。

1. ま え が き

本文は第五港湾建設局名古屋港航路のドラグサクシヨン浚渫跡に掘跡処理船が必要になり、その設計資料を得るために行なった地均し模型実験の報告である。実験は室内実験および現地実験を行なったが、その内の室内実験にて排土板形式の地均し実験を記したものである。

掘跡処理船の必要性は浚渫の目的、地域、浚渫船種等によって様ではないが、名古屋港内のドラグサクシヨン浚渫跡について第12回港湾機械技術研究会においてあらまし次のように報告されている。

航路の水深は海上保安庁水路部の海図により公表されるが、海図作成に際し、ある範囲内の測深に対し、最も浅い箇所をその地域の水深としている。したがって、浚渫跡は計画水深に完成しなければならないが、種々の原

因、理由によって計画水深より浅い凸部が残り、それを取り除くためには現在のドラグサクシヨン浚渫船の機構上、操船上の制限、浚渫能率、経済上等によって不可能であり、最浅部の凸部を低くするような掘跡処理船が必要であるとしている。はじめになぜ浚渫跡に凹凸が生ずかの原因として

1) 操船方法により生ずる原因

浚渫区域に工事用浮標灯を設置して一般には本船航路に平行して浚渫を行なっているが、浮標灯が潮流、潮差、風等により各方向に流されるので正確な位置がわからず、それを目標にして浚渫航路を定めるので前回に掘削した横を正確に航行できない。そのため掘り残しが生じ凹凸が生ずる。さらにそれを取り除くために航路を斜めに航行することもあるので掘り残しが不規則に残るようになる。

2) 浚渫機構上により生ずる原因

ドラグアームが海底形状、土質および潮流や船の斜行等により進行方向に向かって左右に振れ、浚渫跡が蛇行し、

* 機材部 主任研究官
** 機材部 作業船研究室

観測によると海底の幅で 6 m の振れが生じて掘り残しができる。

また、ボールジョイントによってドラグアームが支えられているので自由に動作でき、海底の凸部を避けて凹部にづれる傾向がある。蛇行防止“ひれ”を付けてはいるが、“ひれ”による抵抗が大きくなるので少し浮かした状態で浚渫するため蛇行を十分止め得ない。等々の理由をあげている。

次に浚渫能率について、これらの凹凸は浚渫計画当初から見込まれていて計画余掘深さを決めているが、それ以上に残る凹凸については、均し浚渫を行なっていて、それによって海底の凹凸を少なくできるのであるが、この均し浚渫時には操船のため回頭したり、浚渫航路を修正したりする時間が多くなって、全浚渫時間中に占める純浚渫時間が少なくなり浚渫能率が低下する。数字上から、荒掘浚渫土量は平均 7,400 m³/日であるのに対し、最も浚渫能率の低下する均し浚渫の後半には平均 4,000 m³/日になり、その比は 54% になると報告されている。以上の理由から余掘を多くすることは浚渫単価が高くなり、それでも残る海底の凹凸は現在のドラグサクシオン浚渫船海竜丸では浚渫機構上ほとんど不可能であるため、新たに掘削処理船が必要であると報告された。

概略以上のような理由によって地均し船の建造が決定され地均し模型実験が行なわれることになったが、どのような形式で地均しを行なうかについては数多くの方法案が関係技術者による委員会より討議され、最終的には排土板方式がこれに似た実績があること、陸上でブルドーザに使用されていることなどにより安全性、確実性が比較的多くあるとの理由により排土板を主にした地均しに決定された。排土板を主にするということは、排土板と組合せて行なう方法、すなわち、排土板に蓄積した土砂をジェットにより吹き飛ばす方法、排土板に蓄積した土砂を吸い揚げる方法等があり、それらについても排土板の形状、すなわち、直線状の排土板かいわゆる前進角、後退角のついた排土板かによって組合わせができてくる。

以上に対応させるため本模型実験は排土板の形状を変化させて排土板形状による地均し能力、安定性、地均し抵抗等地均し船設計の定性的資料を得るために以下本文の如き実験を行なった。

なお、ジェットを主にした実験、現地実験については別の機会に報告する予定である。

末尾に粘土による実験の概略を付け加えたが、これは日本作業船協会の委託研究として行なった模型実験である。

2. 実験装置

実験施設は、既設の研究施設で砂槽の長さ 12.8 m、幅 1.8 m、深さ 1.6 m であり、砂の厚さは約 1.0 m である。砂槽は水道から注水し、ポンプにて排水できる。排土板模型を走行させる走行装置は砂槽両側上部のレール上を走行し、排土板荷重一定実験は既設の走行装置、走行速度 3.0 m/min 一定を使用し、その他の掘削深さ一定実験は図-1 に示した実験車、走行速度 1.9 m/min を使用した。力の測定は排土板荷重一定実験においては索引力を 100 kg 用ブルピングリングで行ない、深さ一定実験においては図-1 に示した 3 個のロードセルでストレンメータ、平行移動ペンオシログラフに記録させ力に換算した。力の検定結果によるとピン部の摩擦およびロードセルの精度によって 1 kg 以下の力に対しては精度が特に落ちた。それ以上については排土板の形状変化を調べるに満足する機能を持っている。水平力は 2 個の水平ロードセルの力の差として求め、垂直方は垂直ロードセルによって知ることができる。

3. 排土板模型

模型の材料は鋼板 SS41 にて製作し、進行方向前面は土砂の摩擦に関係するので旋盤仕上げにして、仕上げの程度は中仕上げにした。排土板の横断面は図-2 に示す。模型全体を通じて高さは 60 mm、刃先長さ 15 mm、すくい角 30°、にげ角 10° は一定にした。

3.1 長さ変化模型

図-2 を参照して、表-1 に示す通りである。

3.2 板面曲率変化模型

排土板高さ 60 mm、すくい角 30°、刃先長さ 15 mm を一定にして R_0 、 θ_0 を変化させた。 R_0 、 θ_0 の決め方は無数にあるが、ブルドーザに使われている程度の角が含まれるように決め、表-2 に示す。

3.3 角度変化模型

図-3 に模型の形状を示す。排土板の長さ L は傾斜角 α に無関係に一定とし、すべて進行方向に投影した長さが 600 mm である。表-3 に模型を示す。

図-4 に排土板荷重一定実験に用いた支持金具を示す。支持金具自重は 5.3 kg、重りは 1 個 1 kg のもの 5 個、その他コンクリードブロックおよび鋼材を積んで荷重を調節した。

以上各模型は排土板荷重一定実験においては角度変化模型のみを使用し、支持金具に取り付け、掘削深さ一定実験は、実験車の測定桿に固定し実験した写真-1, 2 は排土板模型を示す。

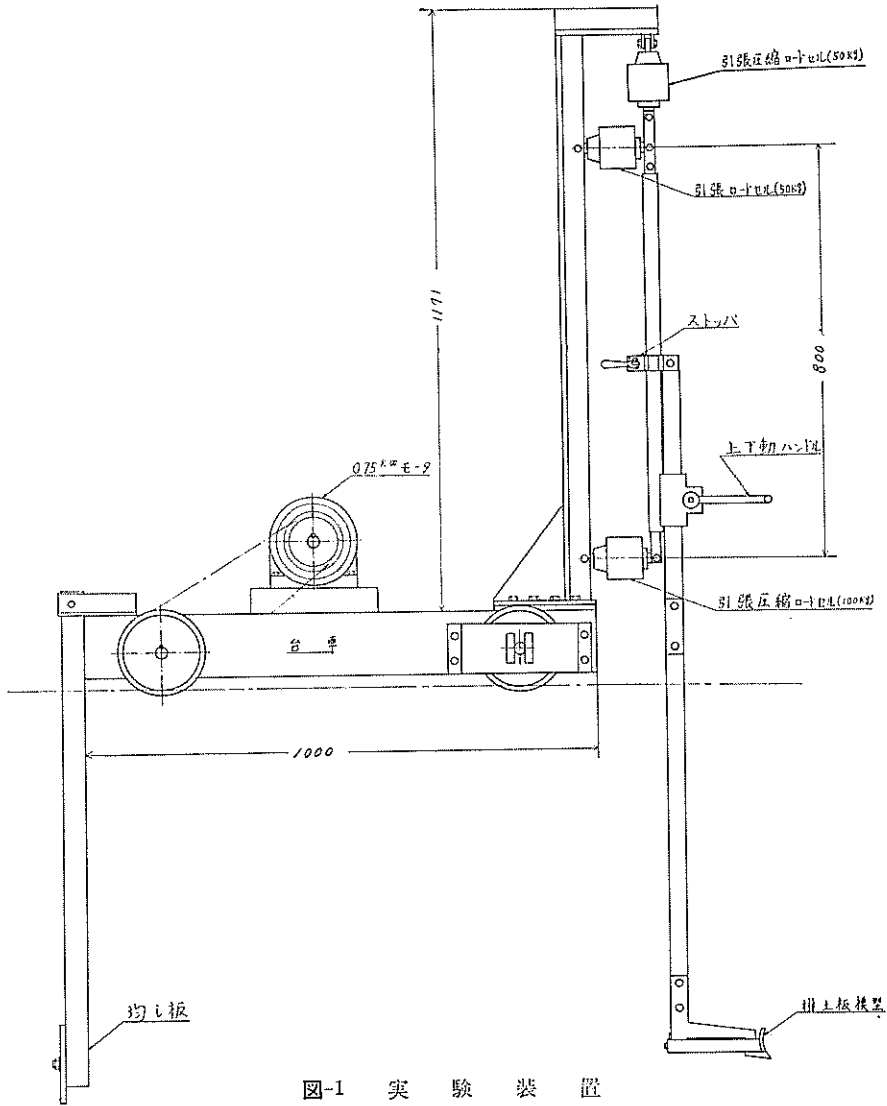


図-1 実験装置

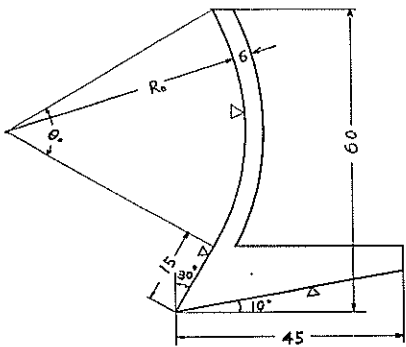


図-2 排土板模型断面

表-1

番号	1	2	3	4	5	6
排土板長さ (mm)	100	200	300	400	500	600
R_0 (mm)	47					
θ_0°	60					

表-2

番 号	1	2	3	4	5	6
R_0 (mm)	37	41	47	56	70	95
θ_0°	80	70	60	50	40	30
排土板長さ (mm)	500					

表-3

番 号	1	2	3	4	5	6	7
α°	60	90	120	150	180	210	240
R_0 (mm)	47						
θ_0°	60						
L (mm)	投影長さ 600						

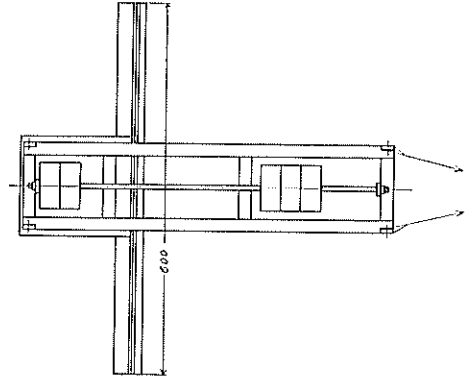
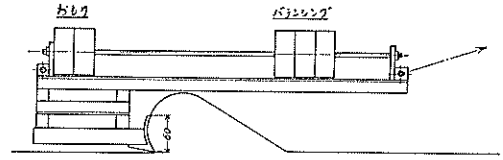


図-4 角度変化排土板支持金具

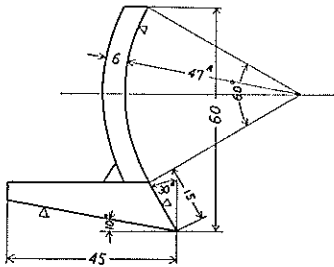
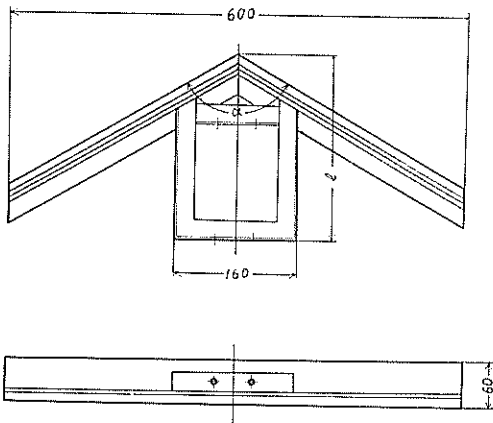


図-3 角度変化排土板模型

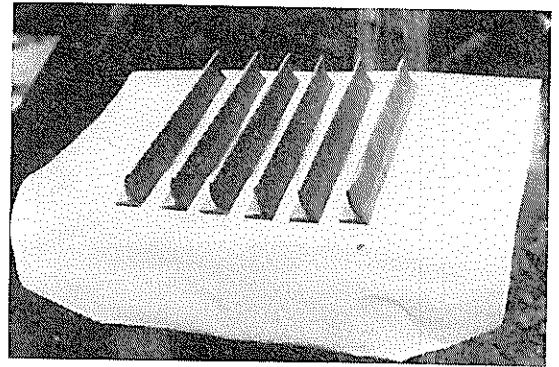


写真-1

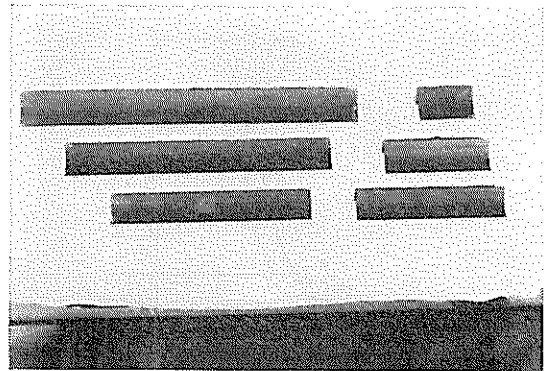


写真-2

4. 実験用砂

砂は高萩産海砂で、粒径加積曲線を 図-5 に示す。粒径の中心は 0.4 mm 付近にあって 70% を占めている。真比重は 2.63, 見掛け比重は乾燥状態にて 1.54, 水中重量は 0.95 g/cm^3 である。実験中の水分は、水締め水を抜いた直後に行なうことにしているが、実験段取りの関係から少し遅れ、15% 前後になる。内部摩擦角は、測定してないが、水中の安息角は約 36° である。

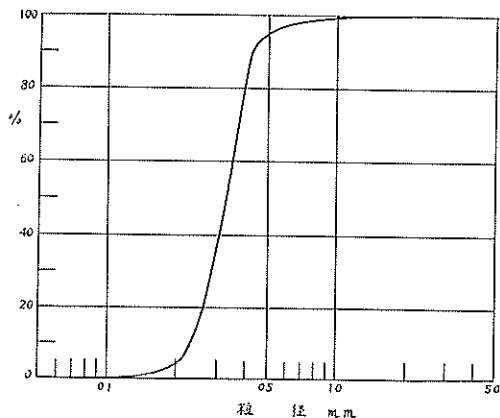


図-5 粒径加積曲線

5. 実験方法および測定項目

実験は地均しが目的であるため、実験地盤に起伏をつけて行なうことが目的に合うが、その形状が不明であることおよび排土板に生ずる抵抗の傾向を解析しやすくするため、などにより水平面にした。実験地盤は砂槽に十分水を入れてから 図-1 に示した実験車の後部、均し板により水中で水平面を作り、水中砂の実験時はそのまま直に実験し、水締め砂の時は、水を砂面以下約 50 cm の水位までポンプで排水した。

実験は 表-4 に示す組合せにより行ない、荷重一定角度変化実験は、図-4 に示した支持金具に模型を取り付け、あらかじめ決められた荷重を載せ鋼索により牽引する。引き始めは掘削深さが深くなり、正常なバランスがとれないので排土板に砂が蓄積するのを待って、支持金

表-4

実験種	模型	角度変化	曲率変化	長さ変化
荷重一定		○		
深さ一定		○	○	○

具に載せた荷重の移動によりすくい角が正常になるようにバランスをとった。通常 1~2 m の走行の後に安定した。測定項目はブルピングリングによる張力、牽引ワイヤの傾斜角、掘削深さ、蓄積砂重量等を実験行程の最終時において測定した。実験行程は通常 4~5 m 位にし、ブルピングリングの張力が飽和したと見られる付近でブルピングリングの目盛を読み取り、走行を停止した。停止すると牽引ワイヤの傾斜角、停止付近における原地盤よりの掘削深さを測定し、砂の重量は原地盤より上部にあり排土板より前方にあるものとして実験時の水分のまま重量を測定した。

掘削深さ一定実験は測定桿にすくい角、排土板長さ方向の水平度をできるだけ正確に取り付け、決められた掘削深さに測定桿を下して固定し、実験行程の始めから力の測定を行なった。実験行程が 2~4 m 位になると垂直、水平力が飽和状態になるのでこの値を測定した。長さ変化実験は飽和する垂直、水平力と排土板に蓄積する砂の重量、曲率変化実験は垂直、水平力のみにした。水中砂にて行なう場合は、蓄積した砂の量が正確に採取できないので参考程度に調べることにした。

6. 実験結果と考察

6.1 砂と鋼板との摩擦

掘削は土砂と刃面の摩擦の影響が大きいと考えられるので、本実験砂と鋼板（黒皮）との摩擦係数を調べた。その結果、図-6 に示す結果になった。

実験方法は同図に示されているように鋼板の上面に重

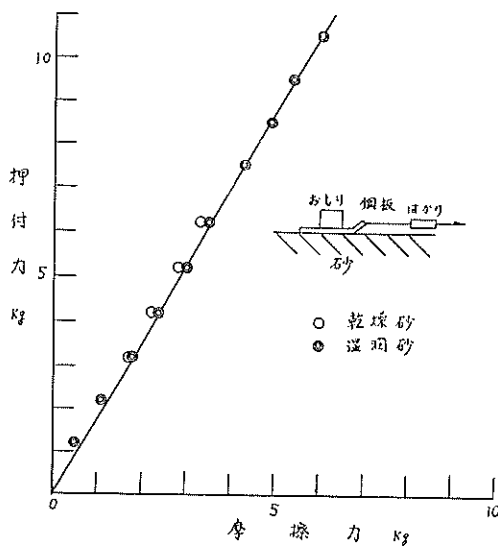


図-6 砂と鋼板（黒皮）との摩擦係数

りを載せ、増加させながら、各荷重におけるばね計りの力を読み取った値である。結果は乾燥砂でも湿潤砂でもほとんど差はなかった。乾燥砂は水分 5~6% 位、湿潤砂は水締めにして水を抜いた直後の砂について行なったもので、本実験の状態と同程度である。鋼板の表面は目で見た程度では、模型の表面とさび具合が同程度である。摩擦係数は図から $\tan 30^\circ \approx 0.58$ となる。

6.2 水締め砂による荷重一定実験

この実験は角度変化模型についてのみ行なったもので、実験の様子は写真-3に示す。

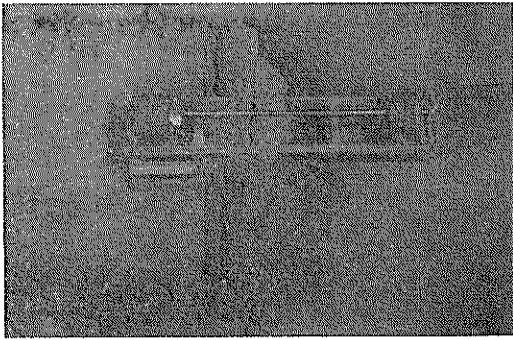


写真-3

写真-3に示されているように、掘削深さが大きくなると蓄積された砂が排土板支持具に当たってくるが、この辺の砂はかなり軟いので大きな影響はないと考えられる。本実験は $\alpha=60^\circ \sim 240^\circ$ の7種について行なう予定であったが、 $\alpha=60^\circ, 90^\circ$ 辺はこの実験の牽引方法で行なうと、実験地盤が水平であっても、実験中斜行して実験が不正確になる。一部行なわれているものは実験中に曲り直して最終的な測定値を得たものである。また、 $\alpha=210^\circ, 240^\circ$ については、最初は掘削するのであるが約1m位行程が進むとほとんど掘削せず、それまでに掘削して蓄積した砂を運んでいるに過ぎなかった。

図-7は掘削始めてから定常な掘削深さになるまでの深さの変化を実測によって示したものである。

OA間は排土板の逃げ角によって決まるようであり、本実験中逃げ角が当るのはこの時以外になかった。掘削深さはAB間で最大になり、そのため急に排土板に砂が

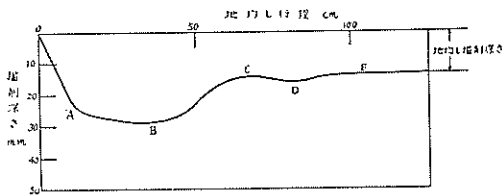


図-7 地均し初期の掘削深さ

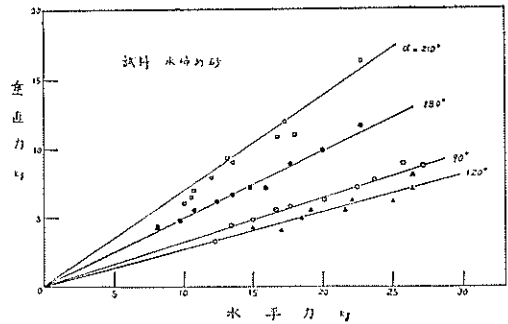


図-8 角度変化排土板実験結果

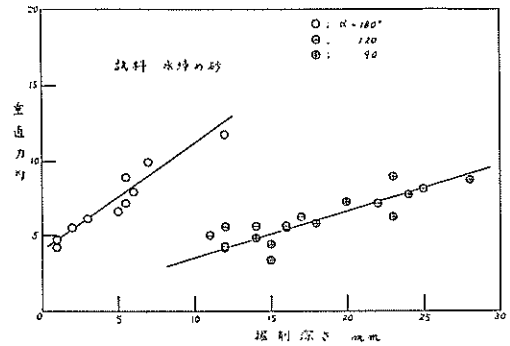


図-9 角度変化排土板実験結果

蓄積し、その砂が排土板面にそって上昇するため上向の力が生じ、掘削垂直力を減じる方向に働き掘削しなくなり、ついにバランスしてE点になって、深さの変動が少なくなる。全くなくなるものではなく、掘削一すべりを周期的に繰り返すためそれに関係して波を打つようである。

図-8は垂直力と水平力の関係を表わした図である。

垂直力は排土板模型と支持具の全重量より牽引ワイヤの上向きの分力を差し引いた値であり、水平力は索引ワイヤの水平分力である。一般に α が大きくなるにつれて、その関係直線の勾配が大きくなる。

図-9は図-8の実験時の掘削深さである。

掘削深さは図-7に示したE以後の値である。この実験の結果から α が大きくなると垂直力/水平力の比が大きくなり、掘削しなくなる。 α が小さくなるとその比が小さくなって掘削深さが大きくなるが、前記の斜行が激しくなる。

図-10は $\alpha=180^\circ$ について数多く行なった実験結果である。

縦軸の垂直力を基準にして横軸の掘削深さ、水平力を示した。水平力は勾配一定の直線にほとんど集まるが、掘削深さは測定値が散在する。これは排土板に蓄積した砂

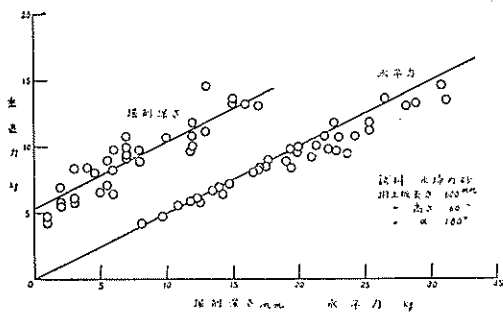


図-10 垂直力と水平力の関係

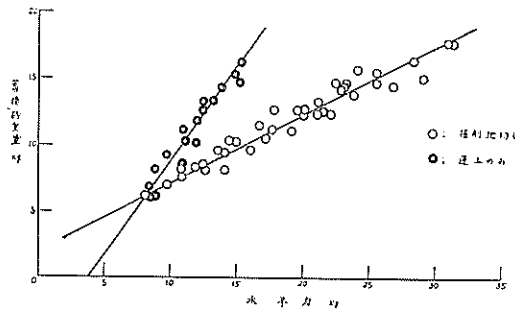


図-11 砂重量と水平力の関係

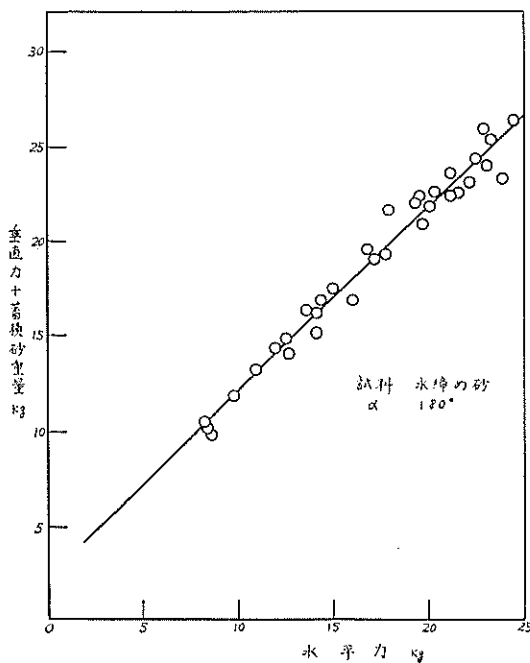


図-12 砂重量と垂直水平力の関係

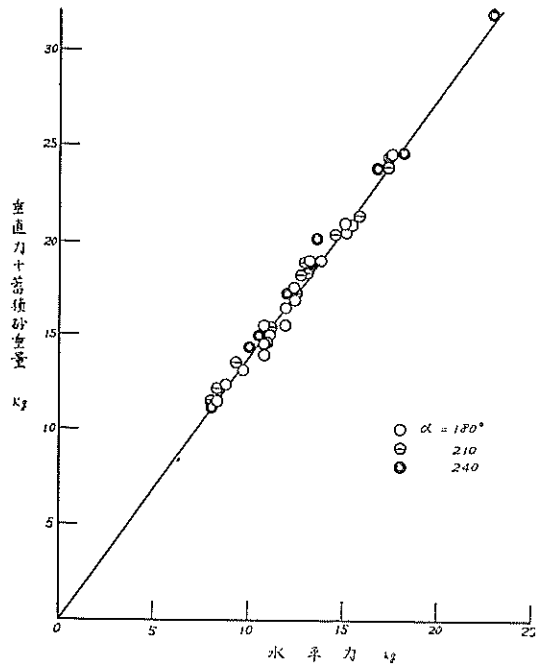


図-13 運土抵抗

の量を考慮に入れてないためとも考えられるが、明確ではない。

図-11, 12 は同一実験の値を砂重量と水平力、垂直力+砂重量、水平力の関係を示した図である。

図-11 の中の2重円印はいわゆる運土抵抗と呼ばれているもので、実験中に排土板に蓄積する砂の量を人工的に増加させると掘削しなくなるので、運土のみが行なわれているものと考えられるからである。

同様に $\alpha=210^\circ, 240^\circ$ について実験した結果が図-13である。

この図から角 α に関係なく摩擦角が同一になる。図-11, 13 の運土抵抗は、摩擦角約 35° 、すなわち $\tan 35^\circ = 0.70$ である。以上の実験において排土板に蓄積する砂の量が多くなると、特に人工的に増加させると、排土板の両端を結んだ直線を底辺とする三角形に形成されて運土し、それ以上には運土できなくなる。最終的に運土できる量は上方に積まれて三角錐体になるが、掘削が起ると掘削深さ、排土形状、砂の内部摩擦角によって一定してくる。これ以上蓄積しなくなる時期は理論上、掘削する量と排土板から逃げていく量が等しい時であるが、これについての解析は後記する。

6.3 水中砂の荷重一定実験

地均し実験は海底における地均しが目的であるため、水中砂で行なわなければならないが、水中に硬い実験地

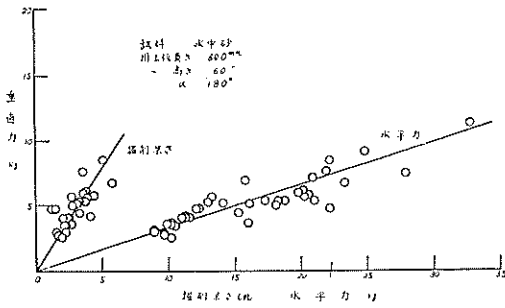


図-14 水中砂実験結果

盤ができなかったために、水締め砂を用いたのである。図-14 に水中砂を使用した実験を示す。

傾向は図-10 と似ているが、同一垂直力に対する掘削深さが大きい。すなわち、地盤が軟いためである。図中ばらつきが大きいのは水中実験であるため実験精度が低くなったためと、実験前に行なう地盤作りが実験数に応じて多くなると、均し板に押しされたり、また実験によって締って硬くなる傾向があるためと考えられ、同一日の実験においても朝と夕とはかなり異なることおよび排土板に蓄積する量が異なるなどの理由による。図-14 は図-10 と同一排土板を使用しているが、垂直力と水平力の比が異なっている。これは実験地盤の硬さ、掘削された砂の動きが水締め砂の場合と異なるためと考えられる。掘削に関係した地盤の硬さの比較についての定説はないが、京都大学村山朔部氏の切削指数を測定する転倒板による試験で調べると、水中砂と水締め砂の切削指数は 1:10 であった。

$\alpha=180^\circ$ 以外の排土板については、すくい角が正確に保てないため、また排土板支持金具の自重のみで、深く掘削して排土板が原地盤よりも沈下してしまうので実験を止めた。 $\alpha=180^\circ$ 以外の排土板で地均しする場合、中央部と板端部で掘削深さが異なると、地均し面が山形および谷形になることがあり、水平に保つ工夫が必要になる。 α が小さい場合も、水締め砂と同様斜行する傾向には変りがなかった。

6.4 角度変化の掘削深さ一定実験

水締め砂の実験写真を写真-4, 5, 6 に示す。

写真-4, 5 はいわゆる後退角排土板、写真-6 は前進角排土板の実験である。写真からも見られるが、後退角 $\alpha < 180^\circ$ 板の場合実験を行なった範囲以下(約 10mm)の掘削深さにおいては、掘削した跡の面は排土板より側方に砂が流れるので排土板上端よりのこぼれ落ちはないが、 $\alpha > 180^\circ$ になると蓄積した砂が排土板よりこぼれ落ちるので、掘削深さをあまり深くすると地均し効果が薄

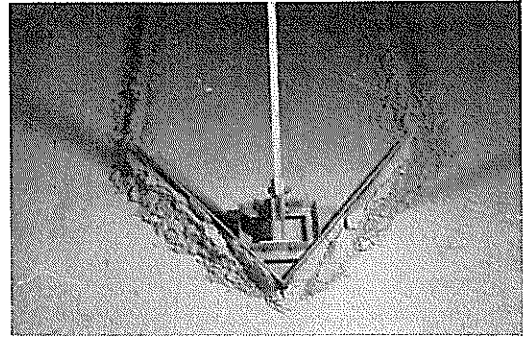


写真-4

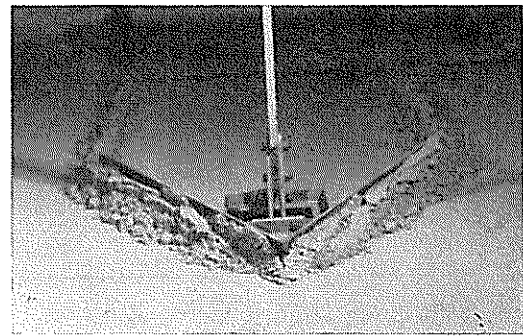


写真-5

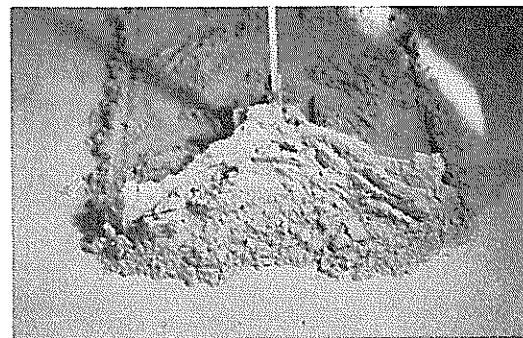


写真-6

れる。

図-15 に水平力と半角($\alpha/2$) についての関係を示した。この結果、 α が小さくなると水平力も大幅に小さくなる。垂直力については図に示していないが同様の傾向となり、測定機の誤差はあるが図-8 に示したと同様の垂直、水平力の比を示した。

図-16 は水中砂について示した図であるが量的に異なっても傾向は似ている。これら角度による相違は排土板に蓄積する砂の量の違いが大きき原因になっていて、掘削深さによる力の差は少ない。すなわち、 α が小さくな

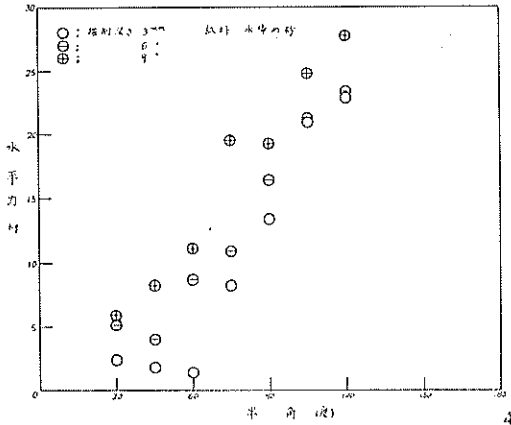


図-15 角度変化板深さ一定実験

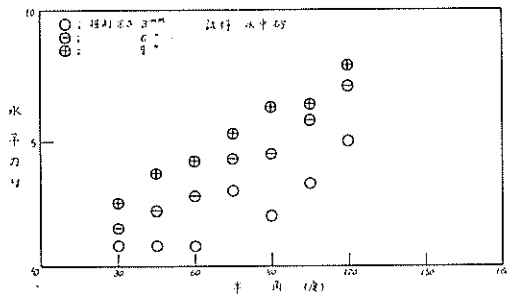


図-16 角度変化板深さ一定実験

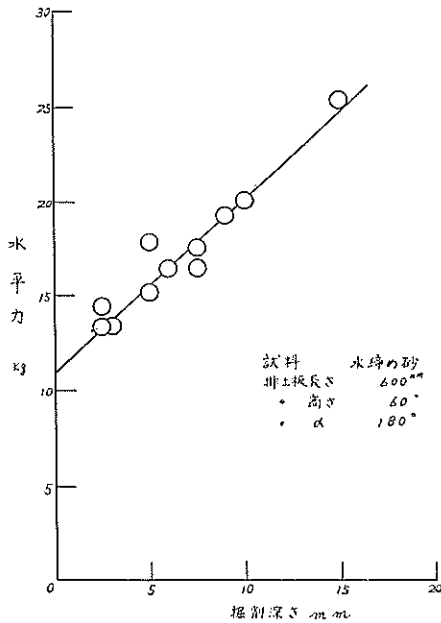


図-17 掘削深さと水平力の関係

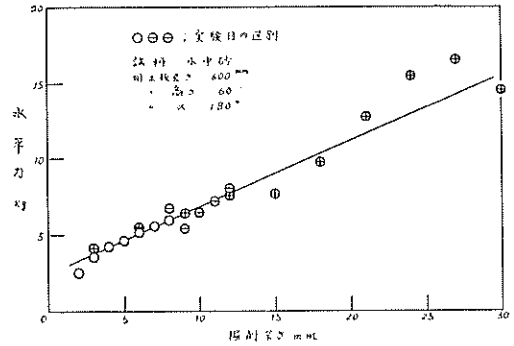


図-18 掘削深さと水平力の関係

ると蓄積す砂の量が少ないので水平力も少なくなる。図-17 は水平力と掘削深さの関係を $\alpha=180^\circ$ について調べてみたもので、図-10 を水平力と掘削深さにして表わした関係と同じである。図-18 は水中砂について $\alpha=180^\circ$ の図-17 と同じ関係を示した図であり、実験日によって異なることを参考のため示した。同じ日の実験についても掘削深さ 30 mm が第1回目、次が 15 mm, 以下 18, 21, 24, 27 の順で実験した。掘削した砂の動きは外観上荷重一定実験と同様である。

6.5 板面曲率変化の深さ一定実験

水締め砂についての実験結果を図-19, 20 に示す。図-19 は水平力と曲率半径、または板曲面傾角について測定値を表わしたもので、図-20 は垂直力についてのグラフである。

図-19 から曲率半径を変化させても、水平力の差はほとんどない。これは排土板に蓄積した砂の量に影響されるため、排土板の高さが一定であるため、蓄する量も

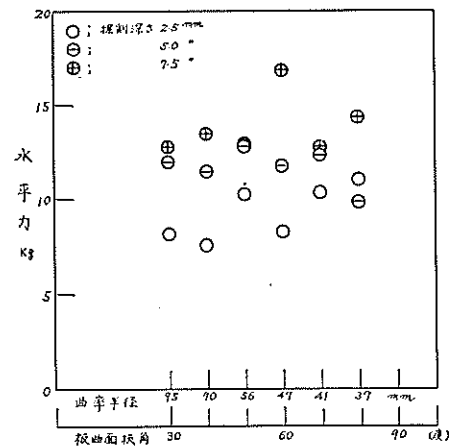


図-19 曲率変化実験結果(水締め砂)

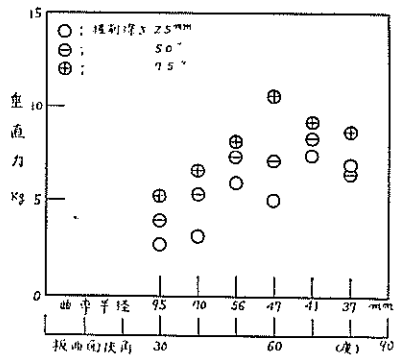


図-20 曲率変化実験結果

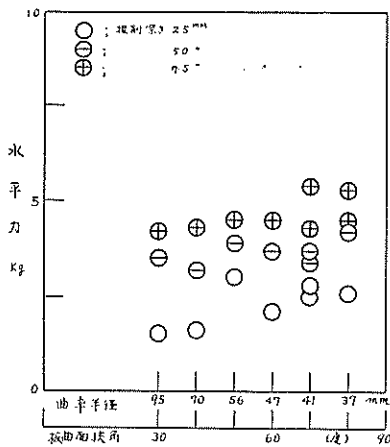


図-21 曲率変化実験結果 (水中砂)

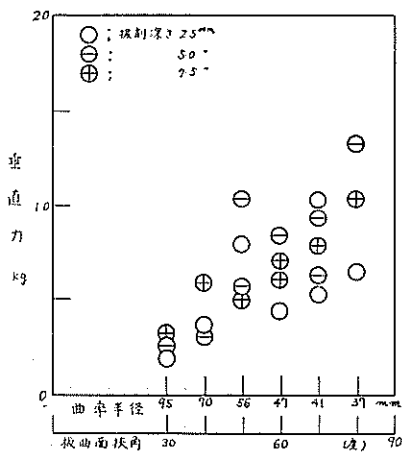


図-22 曲率変化実験結果 (水中砂)

大体一定になるものと考えられる。図-20 は曲率半径または板曲面傾角の影響を受けている。

図-21, 22 は水中砂についての実験結果である。両図の傾向は水締め砂についての実験結果と同様の傾向を示している。ただし測定値が小さいので、ロードセルの定格値からすると相当に小さな値であるため誤差はまぬがれない。

以上2つの結果を垂直力-水平力の比によって示した図が図-23, 24 である。図-23 は水締め砂、図-24 は水中砂である。図-23 は後記するが刃先と板天端とを結んだ直線を排土板と仮定した比に近い値を示す。図-24 はその考え方より誤差があるにしても異なっているので、掘削された砂の動きが水締め砂と同じではないと考えられるが、水中であるため確められない。

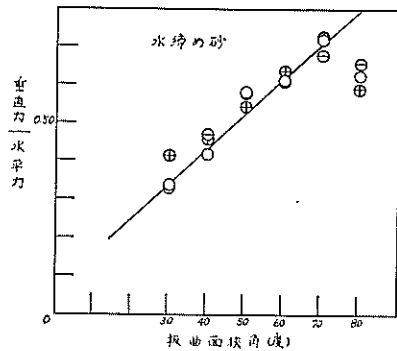


図-23 垂直、水平力比

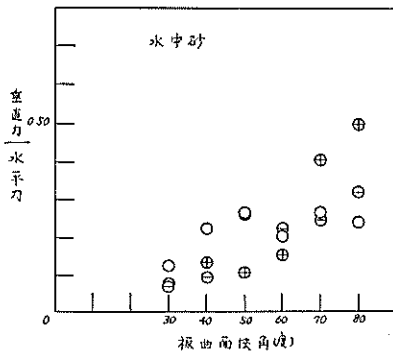


図-24 垂直、水平力比

6.6 長さ変化の深さ一定実験

排土板の断面形状は図-3 と同一で、長さを 100~600 mm に変化した実験結果を図-25, 26 に示す。

図-25 は水締め砂について、水平力と排土板長さとの関係である。この関係は以上に記したと同様に排土板に蓄積した砂の重量と密接な関係があり、後記するが蓄積

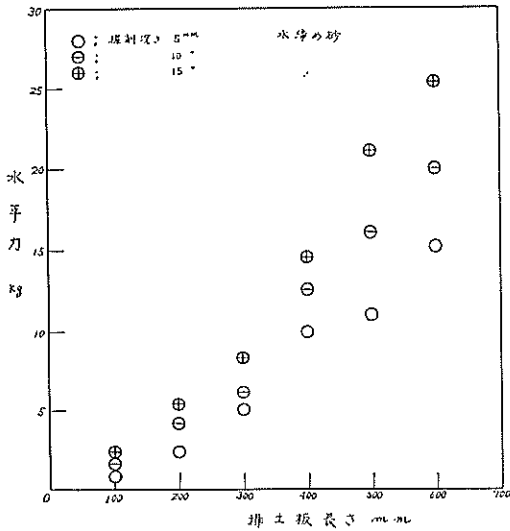


図-25 排土板長さ変化深さ一定実験結果

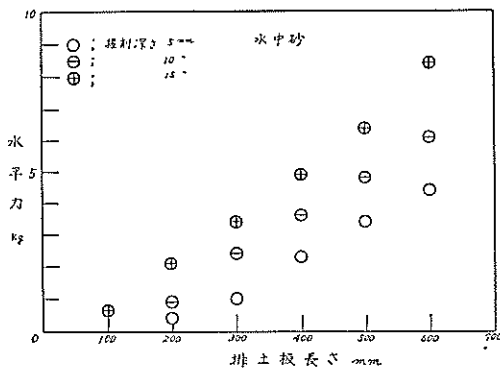


図-26 排土板長さ変化深さ一定実験結果

した砂の重量が排土板の長さの2乗に比例しているもので、水平力も排土板の長さの2乗に比例しているものと考えられる。しかしながら、掘削深さが大きくなると排土板の高さの制限から排土板の長さの2乗に比例しなくなる。本実験以外の土質については、土質が硬くなった場合に掘削深さに関係した力の項が大きくなるので、別の関係になる可能性はある。

図-26 は水中砂についての実験結果である。二次曲線になるものと考えられるが明らかではない。垂直力については図-23の如き、この実験の排土板形状の垂直、水平力の比を示し、水中砂についても図-24の関係を示している。

7. 排土板に蓄積する量についての考察

一般に、地均し抵抗は排土板に蓄積する砂の重量が影

響するので、排土板に蓄積する砂の量について考察する。図-27 は長さ変化排土板を使用して、深さ一定実験時の蓄積した砂の量を表わした図である。砂の重量は原地盤より上部にあって、排土板より進方方向前方にある全砂量である。抵抗に影響する砂は掘削深さの部分も含むことになるが、無視できる量であるから、また境界が不

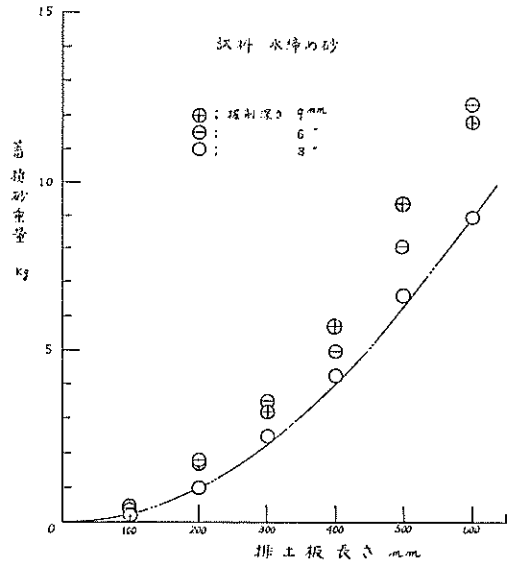


図-27 排土板長さ蓄積砂重量の関係

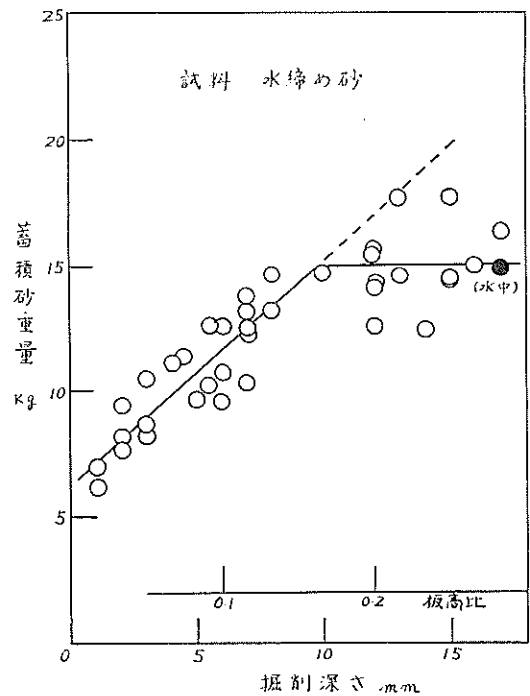


図-28 掘削深さと蓄積砂の関係

明なので除いた。図中参考のため記入した線は原点を通る二次曲線である。水中砂については原地盤との境界が不明であるため行なわなかった。

図-28 は排土板長さ 600 mm について、荷重一定実験時に測定した排土板に蓄積した量と掘削深さの関係である。図によると掘削深さ約 10 mm 位までは直線関係になっているが、その後増加しない。これは排土板の高さによって決まる量であり、掘削する量と排土板より流れる量とが平衡する時期が、高さの制限によって早くなると考えられる。排土板高さが十分高いと、一般に排土板の側方に流れて排土板外に流れ去るが、掘削量、排土板形状に関係したある高さ以下であると、排土板天端上より流れ去るようになり、平衡時間が早くなり蓄積量が制限される。掘削量 10 mm 以下の直線部が原点を通らないのは、排土板にある程度蓄積しないと側方送りが始まらないため、排土板長さ、形状、土質によって固有の量と考えられる。

排土板に蓄積する量について解析を行なうことにする。基礎実験として、乾燥砂を木平板にて、掘削深さを一定に保って押す実験を行ない、その時の砂の流れを観察すると、図-29 に示す如くに排土板からある角度をしたすべり線(または面)ができ、そのすべり線にそって側方に流れるように観察される。水で飽和した砂について観察するとさらによくその状況が見られる。乾燥砂の場合は安息角以上に堆積すると斜面上に砂のすべり落ちが起こるので観察がしにくい。一般に排土板の両端からすべり線が出るのが見られる。

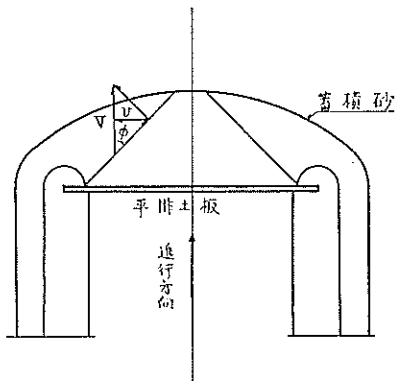


図-29 蓄積量仮定説明図

記号として、次のように表わす。

排土板に蓄積する量	:	Q
単位時間に排土板より流れ去る量	:	q
掘削深さ	:	d
排土板長さ	:	B

掘削行程	:	S
時間	:	t

図-29 を参照して、単位時間に排土板より流れ去る量 q は、板端の横送り速度と板端の断面積によって決まるが、断面が複雑であるため、仮定として排土板全体の平均断面を使用する。速度はある一本のすべり線上の値 v とする。したがって、 q は平均断面と速度 v の積として表わせるわけであるが、ある一本のすべり線が生じると、図を参照して、すべり線より上方の部分は側方に動くが下部は動かない。また、中心線付近は平均横送り量は小さく、板端で大きくなる。それ故 q を求めるために平均断面を使用して、速度は $v/2$ に仮定する。

以上の理由によって、板の両側から流れ去る量 q は、

$$q = \frac{Q}{B}v \quad \dots\dots(1)$$

である。

横送り速度 v は走行速度 V に比例し、すべり線上の分速度より、

$$v = V \sin \phi \cos \phi = \frac{1}{2} V \sin 2\phi \quad \dots\dots(2)$$

(1) と (2) から

$$q = \frac{1}{2} \frac{Q}{B} V \sin 2\phi \quad \dots\dots(3)$$

(3) 式を使用して排土板に蓄積する量 Q は

$$Q = BdS - \int_0^t \frac{1}{2} \frac{Q}{B} V \sin 2\phi dt \quad \dots\dots(4)$$

$Vdt = ds$ であるから

$$Q = BdS - \int_0^s \frac{1}{2} \frac{Q}{B} \sin 2\phi ds \quad \dots\dots(5)$$

または

$$\frac{dQ}{ds} + \frac{1}{2} \frac{Q}{B} \sin 2\phi = Bd \quad \dots\dots(5)'$$

Q について解いて

$$Q = \frac{2B^2d}{\sin 2\phi} + ce^{-\frac{S}{2B} \sin 2\phi} \quad \dots\dots(6)$$

$S=0$ のとき $Q=0$ として

$$Q = \frac{2B^2d}{\sin 2\phi} \left(1 - e^{-\frac{S}{2B} \sin 2\phi} \right) \quad \dots\dots(7)$$

図-30 は乾燥砂を使用して排土板長さ 20 cm、板高さ 10 cm に行なった実験値と $\phi=30^\circ$ とした計算値を示した図である。簡単な式ながら比較的よく合っている。

図の $d=1.0, 3.0$ cm については同じ傾向を示すが、 $d=5.0, 7.0$ cm は差がでてくる。これは排土板の天端からこぼれ落ちたため、計算式は側方から流れ出る式なので計算値よりづれるものと考えられる。 ϕ の値は内

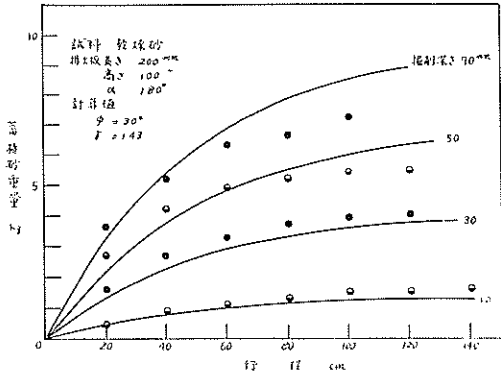


図-30 蓄積砂量と行程の関係

部摩擦角のような性質であるが、水分によって異なってくる傾向があるので、現在のところそれと断定できない。

(7) 式から排土板に蓄積する量は排土板の長さの2乗に比例し、掘削深さに比例する。また、蓄積量が飽和する時期は排土板の長さに関係して決まることがわかる。

図-27, 28 はこれらの性質から説明することができるが ϕ の値、基礎量の考え方、排土板の高さを考慮することなどについて、さらに実験しないと明らかにはならない。排土板が曲板になると行程初期は曲板にそって進行方向に砂を巻きながら蓄積していくため、その間の横送りが小さくなり、排土板に蓄積された砂が基礎量になるとも考えられる。したがって、砂を巻きながら進行しない状態になると、横送り量は大きくなっていく。初期の ϕ については以上の考察より、砂固有の値と排土板形状が関係した数値になるであろう。

8. 地均し抵抗についての考察

地均し力の計算方法を定性的に調べるために、原地盤に黒色塗料を塗り、原地盤の砂が掘削されてどのように流れるかを観察した。

地均し状況を外観によって観察すると、掘削された砂の流動状況は地均し行程が進むにつれて変化し、大約、初期、中期および終期に分けられる。初期は排土板に砂の蓄積が少ない時で、排土板の曲面にそって上昇している時期、中期は排土板に砂の蓄積が増加して、その砂を巻きながら進行している時期、終期は決められた掘削深さ、または垂直荷重、排土板高さ等によって決まる蓄積砂量が増加しなくなった時期であり、この時期には砂を巻き込んで進行することはない。以上、三分は明確には分けられず、排土板の形状によっても異なるようである。

これらの時期の掘削状況を調べるために、黒色塗料を

排土板の進行方向に幅 1.0~1.5 cm 位、長さ約 1 m 塗り、掘削した後、黒色に塗られた砂がどのように流れたかを、排土板に蓄積した砂の横断面を切開して、観察した。その結果を写真-7~27 に示す。

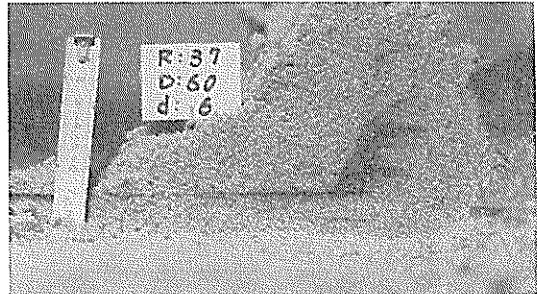


写真-7

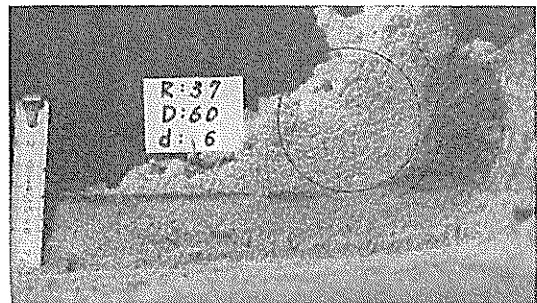


写真-8

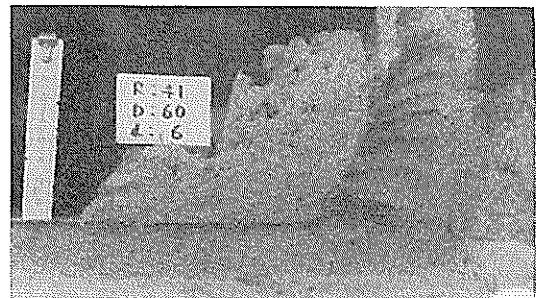


写真-9

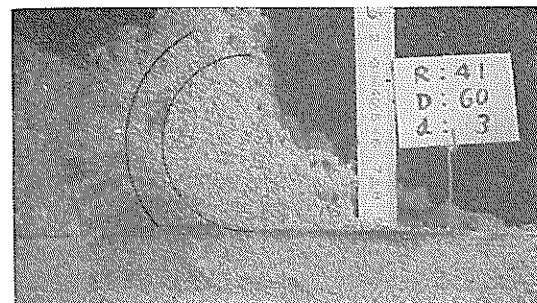


写真-10

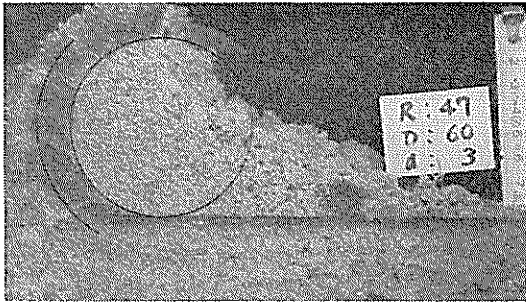


写真-11

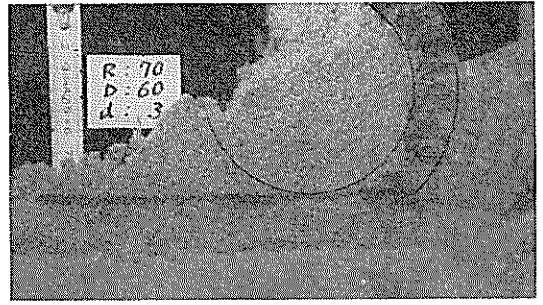


写真-15

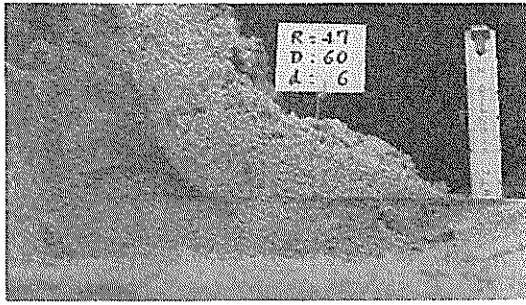


写真-12

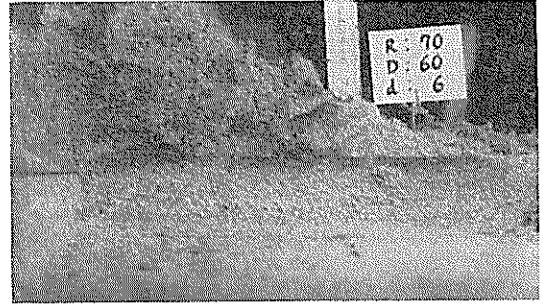


写真-16

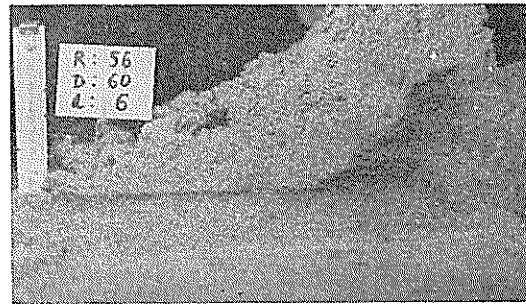


写真-13

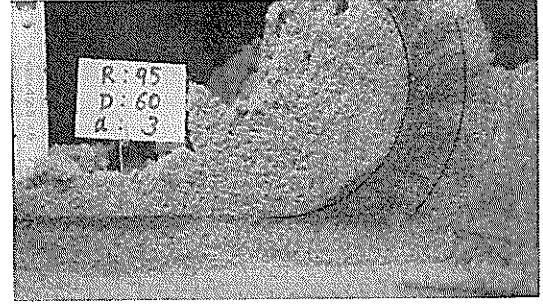


写真-17



写真-14



写真-18

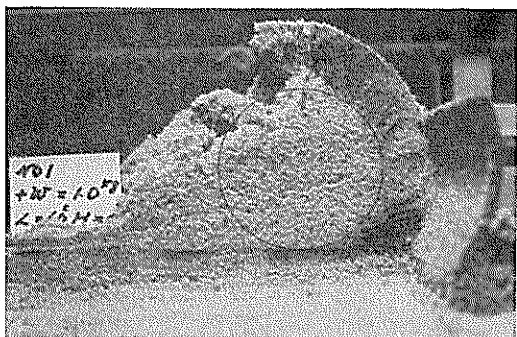


写真-19

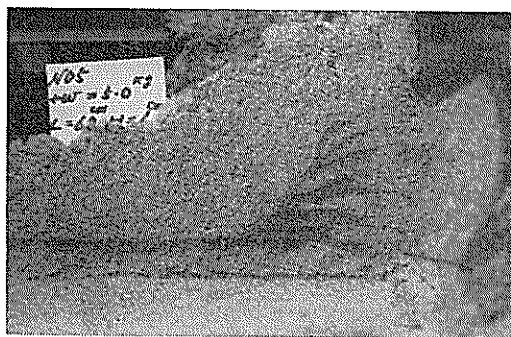


写真-23

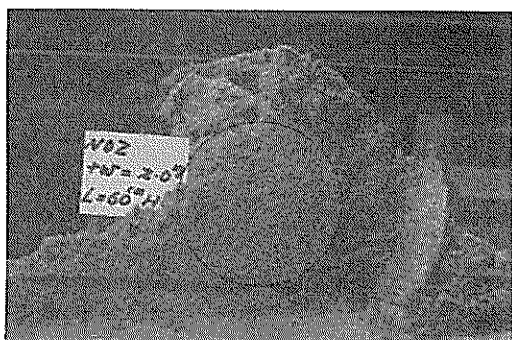


写真-20

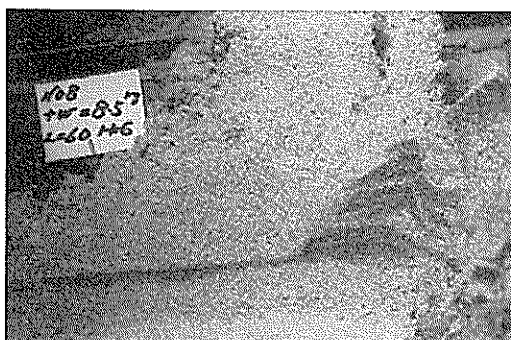


写真-24

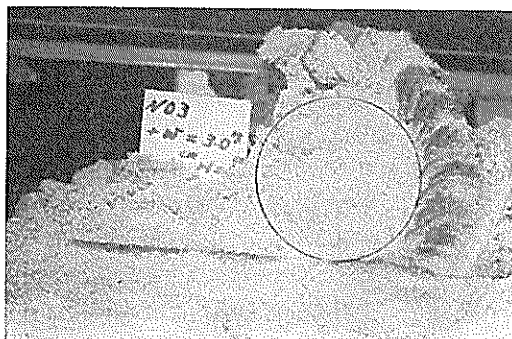


写真-21

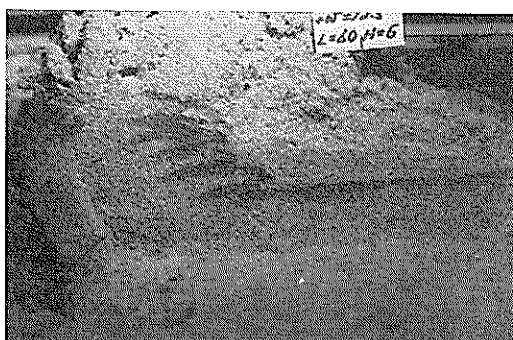


写真-25

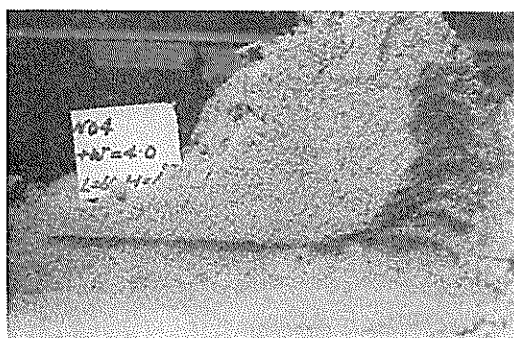


写真-22

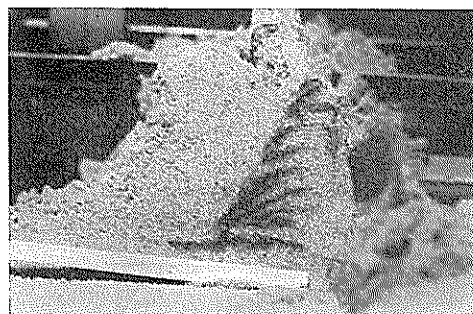


写真-26

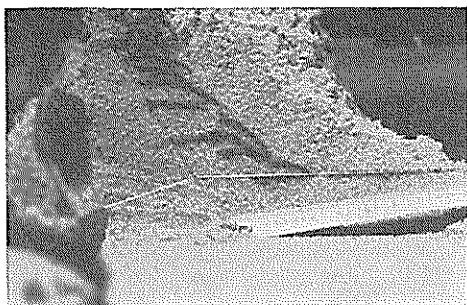


写真-27

写真-7~18までは曲率変化板による写真であり、それぞれ掘削深さ 3, 6 mm について示した。写真中の記号は、 R が曲率半径、 D 排土板高さ、 d 掘削深さである。写真-19~27 は荷重一定時の写真である。示されている記号は、 w が支持金具上に載せた荷重、 L は排土板長さ、 H は高さを表わす。これ等の写真から、掘削深さ、蓄積砂量、垂直荷重、排土板形状によって決まる砂の流れが観察できる。

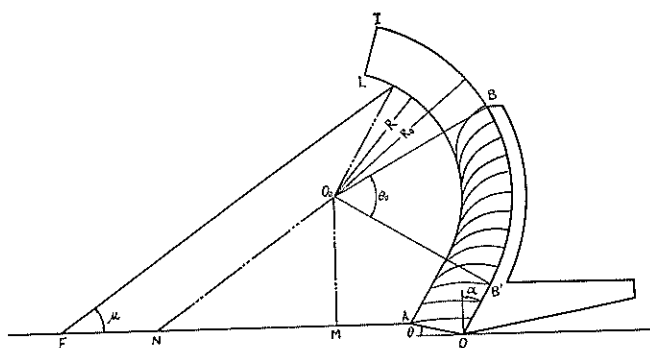


図-31 掘削初期の砂の流れ

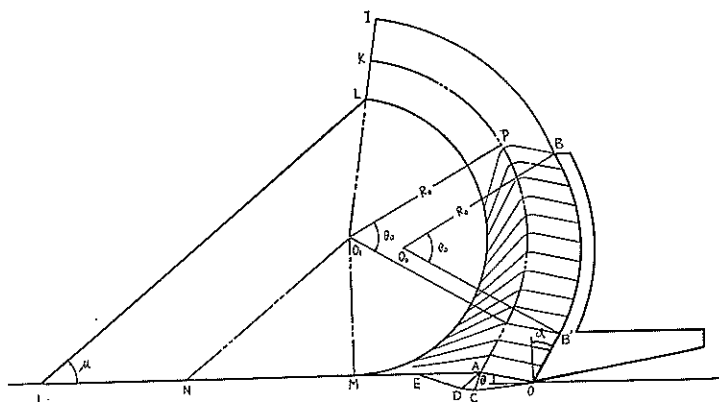


図-32 掘削中期の砂の流れ

我々が知りたい地均し力は、前記の終期の状態でどの程度の力を必要とするかであるが、図によって最終状態を掘削状況順序にしたがって説明する。

図-31 は初期に相当する。この時期は OA 面で掘削され、砂は OA 斜面上に押し付けられ、排土板 OB にそって上昇する。掘削行程初期は、蓄積砂がないから、OA にて掘削された砂は粘着力があれば、OB にそって、重って上昇する。蓄積砂が増加すると、掘削された砂と蓄積砂は AL を境にして、OBILA が動き、IL 辺にて前方に落ち、蓄積砂となる。蓄積砂は O_0 を中心にして回転し、AL 面でわずかな滑りが生ずる。

図-32 は中期または掘削深さに関係して終期に相当する。図-31 から突然この状態になるのではなく、蓄積砂の量によって変化してゆくものである。この時期の特長は掘削面が OCDE になることである。さらに、OB と AP 上の接線速度が、角 θ によって決められた等しい速度で上昇し、OAPB 部分は層せん断状態になっていると、写真観察から、考えられることである。それ故、AP 線は OB 線が OA 方向に移動した状態になる。蓄積砂は O_0 中心より O_1 中心に移って回転する。写真に記入した円はそのことを裏付けるための円である。なお、BI は O_1 中心にして動く。

OAPB は、写真観察から、層せん断状態になると考えられるため、OAPB 内の平均応力、すなわち、最大、最小主応力の和が砂の比重を無視すると、等しくなると仮定でき、排土板面 OB の垂直、水平力の比を板面の摩擦係数を仮定して、簡単に求められる。また、排土板 OB の替りに OB 直線に代替できる。また、排土板 OB 面と AP 面は OAPB の砂の上昇を妨げるため、OB 面に垂直力 V 、水平力 H の比 $V/H = \tan \omega_0$ は AP 面にては、 $V/H = -\tan \omega_0$ になると仮定できる。角 θ はこのような状態になると、OB' と OA 面の摩擦角によって決まると考えられる。

図-33 は掘削深さが A' 点以上になった時の終期の状態を示す仮想図である。この時期の特長は、すべり面が GE, AH または A'B に現われ、しかもその傾斜が等しい。さらに、OA'B または OJB がくさびになって排土板に固着してくる。掘削された砂は EG と C または

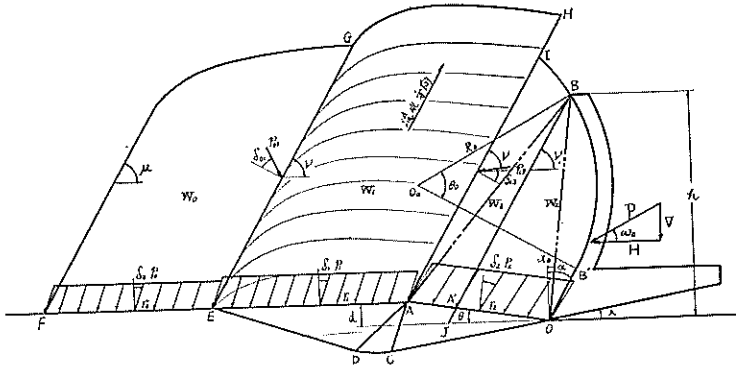


図-33 掘削終期の砂の流れ

DAIH 面の間から上昇し、掘削-上昇の繰り返しのため、地均し力に中期以上の力の波を打ち、上下の差が生ずる。図中の外郭 F の傾斜角 μ は安息角により決まり、 ν の値は砂の内部摩擦角により決まると考えられる。本実験の場合 $\nu=60^\circ$ になった。図中の仮定として、荷重分布 p 、摩擦角 δ は一定にしたが、実際の場合には、その面の圧力、粘着力によって変化するため、複雑になる可能

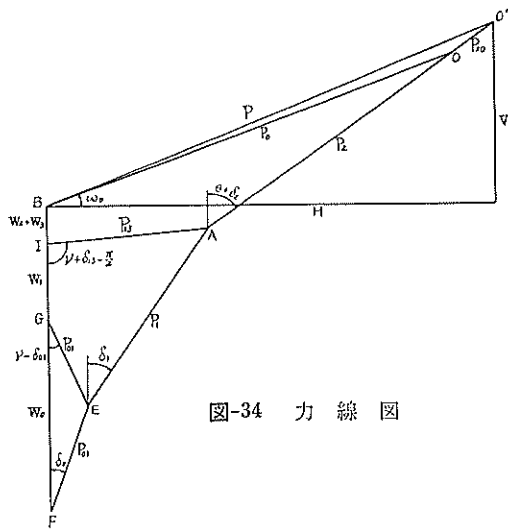


図-34 力線図

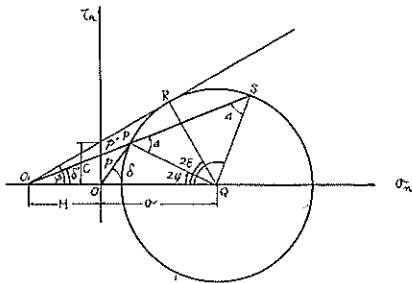


図-35 応力表示

性がある。

図-34 は終期の状態 図-33 になった時の力線図である。これより図式によって、地均し水平力 H および垂直力 V が求められるはずであるが、実際計算に際しては、二三の仮定をしなければならない。

一部の記号について、説明すると

P_2 : p_1 , 内部摩擦角 ϕ , AE 面の摩擦角 δ_1 によって計算される力で、近似的に砂の比重 $\gamma=0$ によって求まる値

P_{20} : $\gamma \neq 0, p_1=0$ によって求める値

その他は 図-33 に示す記号を参照されたい。なお、圧力 p 、摩擦角 δ は 図-35 に示した記号である。

地均し力計算上の仮定

1) ω_0 についての仮定

前記のごとく、排土板の形状、摩擦係数、土の内部摩擦角等によって決まると考えられるが、曲率変化実験および掘削状況の写真観察により、排土板面付近は層せん断状態になったり、くさび状になったりする比較的単純な応力状態であるから、排土板 OB の代替として、直線 OB をせん断面に仮定できる。その結果、

$$\omega_0 = \delta - \alpha_0 \quad \dots\dots(8)$$

となる。 δ は直線 OB 上の摩擦角、 α_0 は直線 OB と鉛直線とのなす角である。この仮定によって、

$$\frac{V}{H} = \tan(\delta - \alpha_0) \quad \dots\dots(9)$$

となる。この式と曲率変化実験結果の 図-23 とは $\delta=30^\circ \sim 35^\circ$ にて、各模型について計算した α_0 の値を用いて、傾向および数値が近似できる。

2) θ についての仮定

θ の仮定として、排土板刃先の直線部分 OB' が影響して θ が決まると考える。図-36 は OA と OB' に等分布荷重を仮定して、OA と OB' に囲まれた領域に不連続線が生じないことからの条件から、 θ を決めるための説明図である。この領域の砂は排土板 OB にそってすべろうとし、OA が上昇する動きを示す状態であるから、領域内に不連続線が生じないためには、OB' 部分の主応力方向が、 Ox を基準にして OA 部分のそれより、小さい角ならよい。よって、図-35 を参照して、

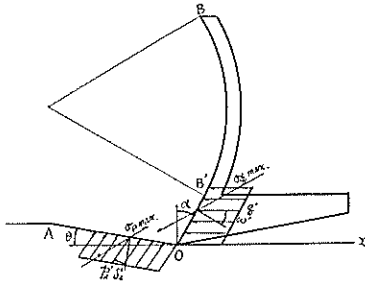


図-36 θ 仮定の説明図

$$\frac{\pi}{2} - \frac{1}{2}(\delta_2' + \delta_2') - \theta \geq \frac{\pi}{2} - \alpha - \frac{1}{2}(\Omega' - \omega')$$

$$\theta \leq \alpha + \frac{1}{2}(\Omega' - \omega') - \frac{1}{2}(\delta_2' + \delta_2') \quad \dots\dots(10)$$

ここで

$$\sin \Omega = \frac{\sin \omega'}{\sin \phi} \quad \sin \delta_2' = \frac{\sin \delta_2'}{\sin \phi}$$

(10) 式は不等号のときが領域内に一部曲線すべりが生じ、等号のときが直線すべり線になる。掘削状況写真から、この領域は複雑な動きがなく、平均応力が等しいと仮定できるから、直線すべり状態であるとして、

$$\theta = \alpha + \frac{1}{2}(\Omega' - \omega') - \frac{1}{2}(\delta_2' + \delta_2') \quad \dots\dots(11)$$

ω' は粘着力を含まない刃面 OB' の摩擦角で、最終値として、次のように仮定できる。

$$\omega' = \phi \quad \dots\dots(12)$$

3) δ_2' についての仮定

OCDE のすべり面が、將に、起きようとする時点で、OA 面は排土板の前進速度によって、すべっているが、この OA 面上が最大せん断応力になった時に、すべりが起きると仮定する。この仮定から、 δ_2' は図-37 の δ' の角度にならなければならない。したがって、

$$\delta_2' = \delta' \quad \dots\dots(13)$$

別な考え方として、計算上の便利さから ϕ に近い値を使用することにしてもよいであろう。 δ' と ϕ との間に、

$$\sin \phi = \tan \delta' \quad \dots\dots(14)$$

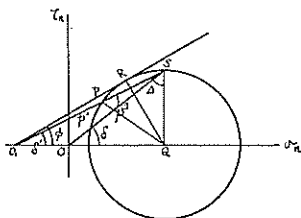


図-37 δ_2' 仮定の説明図

の関係がある。

以上の仮定から、 θ の最終値として

$$\theta = \alpha - \frac{\phi}{2} \quad \dots\dots(15)$$

となる。本実験の場合、すくい角 $\alpha = 30^\circ$ 一定であり、取付誤差はあるが、写真から θ を目測すると、 $10^\circ \sim 20^\circ$ の間にあり、 $10^\circ \sim 13^\circ$ 位が最も多い。

すくい角 α を変化させた実験によって、確める必要があるが、現在のところ、一応の目安として、(15)式が使用できる。以上の仮定の他に、 $\delta_2' = \delta_1'$ として、AE の長さ、 P_2' の大きさから、 P_{13} 、 P_2 が求められ、 H および V が計算できるが、以下の簡単な方法を示す。

地均し力の計算方法

現場土質による実際の計算は、相似則が明確でない現在、不可能に近いが、何等かの見当を付けるため以下の方法を示す。

計算を適用する条件として、

- 1) 土質が本実験の水締め状態に似ていること。
- 2) 掘削深さが A' 点に近いが、A' 点以上であまり離れていないこと。

図-34 を参照して、 P_{13} を求めるために、 $\delta_0 = \delta_1$ と仮定する。その結果、 P_{13} は (16)式からも、図式からも求まり、

$$P_{13} = (W_0 + W_1) \frac{\sin \delta_1}{\cos(\nu + \delta_{13} + \delta_1)} \quad \dots\dots(16)$$

A 点が決まる。B 点は角 θ と掘削深さ d より、見掛け比重を使用して $W_2 + W_3$ の計算から求まる。A 点から角 $\theta + \delta_2$ にとった P_2 、 P_{20} の方向に直線を伸ばし、B 点から角 $\omega_0 = \delta - \alpha_0$ にとった P の方向に伸ばした直線との交点が求める地均し力を表す点である。

ここで、 W_0 、 W_1 、 W_2 、 W_3 は全体の量として、排土板に蓄積する量を、先に記した方法および実験結果から、大約の値を求めて使用する。 δ_1 、 δ_2 、 δ_{13} については土砂の状態によって仮定する。 ν は本実験の値、 60° を仮に使用する。

掘削深さが A' 点以下の場合は、近似的に BA 線を $-\omega_0$ にとり、A 点を決め、以下同様にして求める。この場合、蓄積砂量は前記の砂量より小さくなるはずであるが、見積りが大き過ぎると先の計算値より大きくなる場合が生じるので、注意する必要がある。

本実験の荷重一定実験時に得られた測定値を使用して

$$\nu + \delta_{13} - \frac{\pi}{2} = 0$$

$$P_{13} = (W_0 + W_1 + W_2 + W_3) \tan 35^\circ$$

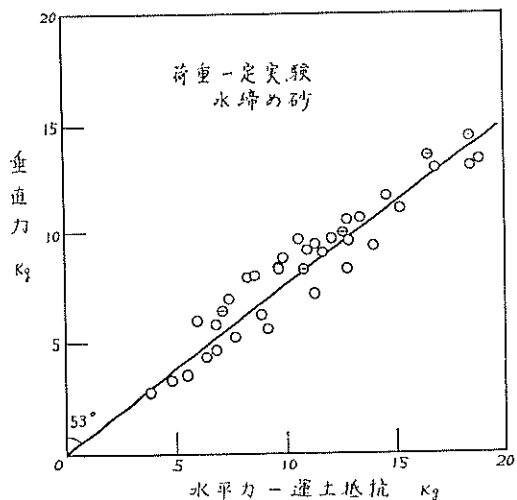


図-38

として、 P_{13} を運土抵抗と呼称し、 V と $H-P_{13}$ の関係を調べると、図-38になる。この図から $\theta+\delta_2$ の値は一定値を示し、約 53° である。

以上、地均し力の近似計算方法を実験の観察から提案したが、土質、すくい角、排土板形状が大幅に異なる場合、および水中地均しに対する近似計算方法等は、さらに、実験によって研究する必要がある。

9. あとがき

水中地均しを目的にした実験であるが、水中砂の抵抗が小さかったため、十分な実験にならなかったが、本実験結果を要約すると次のようになる。

1) 角度変化実験

いわゆる後退角を大きくすると地均し抵抗は大きく減少し、掘削深さが深くなり地均し面はきれいになるが、斜行する傾向が大きくなり、また、固定方法を水平にしないと、山形、谷形の地均し面ができる可能性がある。

2) 長さ変化実験

水締め砂による実験は排土板長さの2乗に比例して抵抗が増加した。水中砂はそれ以下であった。

排土板に蓄積する砂の量は長さの2乗に比例し、掘削深さとは一次関係で結ばれる。

3) 板面曲率変化実験

曲率を変化させても、水締め砂の場合蓄積量が飽和すると、板曲面にくさびができ曲面は関係しなくなる。

垂直力、水平力の比は、排土板上下端を結んだ線の傾角によって決まる。

4) 地均し抵抗は蓄積砂量によって大約の見当がつかうが排土板形状、土質が大幅に変化すると不明な点がある。

以上、この実験にあたって、機材部各位の指示および矢萩昭彦君に手伝って貰った。ここに記して感謝する次第である。

参考文献

- 1) 土のような粒状体の力学 ソコロスキー著：星雄和、佐藤健吉共訳
- 2) 土質力学：石井靖九訳
- 3) 土質力学：最上武雄、渡辺隆、山口柏樹共著
- 4) 機械工学便覧：日本機械学会
- 5) 第12回港湾機械技術研究会資料

(昭和42年3月31日受付)

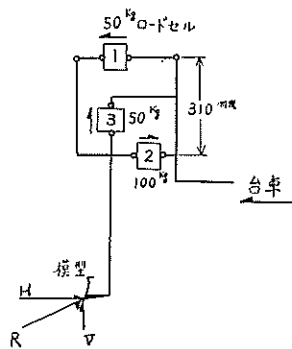
1. まえがき

本文は日本作業船協会の委託研究によって行なわれた実験である。

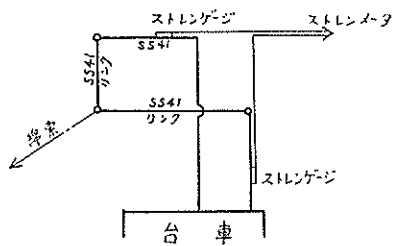
地均し地盤が粘土質である場合、排土板の形状によって地均し抵抗の性質、地均し効果等がいかになるかを知るために行なった実験で、この結果によって排土板の形状、作業船への装備方法、作業方法等を決定する資料になった。

2. 実験装置

実験装置は排土板の長さおよび板面曲率変化実験と角度変化実験の2つに分かれるが、両者の違いは地均し抵抗の測定装置が異なるだけである。粘土試料を入れた鋼製箱は同一であり、主要寸法は長さ 3.6 m、幅 0.9 m、深さ 0.6 m である。長さ変化実験に使用した掘削抵抗測定機は測定原理を(附)図-1 に示す。この測定機によって、掘削抵抗の水平分力はロードセル 1 と 2 の差として



(附)図-1 掘削抵抗測定機原理



(附)図-2 角度変化用測定機原理

求められ、垂直分力はロードセル 3 によって知られる。

また、ロードセル 1 と 2 の距離が知られているので、抵抗力の作用中心が測定できる。(附)図-2 に示した測定原理は、角度変化実験に使用した測定機である。この測定機は、牽引する線索の傾斜角を測定しなくともよいようにしたもので、検定結果も良好であった。

記録装置はストレンメータ、多ペンレコーダを使用した。

走行装置として、測定機を取付けた台車は鋼製箱上部のレールを速さ 2.0 m/min にて走行し、減速機付電動機によりチェーンにて駆動する。(附)写真-1 に粘土槽を示す。



(附)写真-1

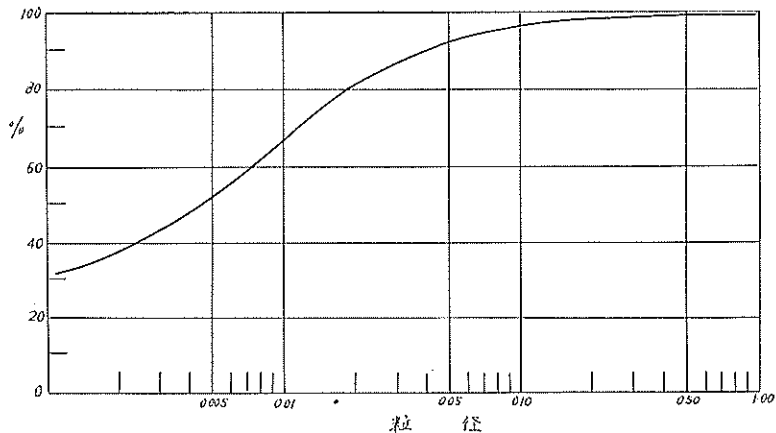
3. 排土板模型

実験に使用した排土板模型は、先の砂を使用した模型実験の形状と同一である。長さ変化、角度変化模型についての節を参照されたい。

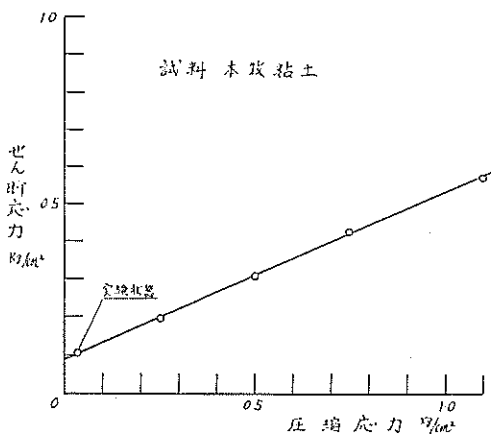
4. 実験用粘土

粘土は横浜市本牧地区の海底粘土である。(附)図-3, 4 に粒径加積曲線、一面せん断試験結果を示す。

粘土試料の製作方法は前記した鋼製箱の中に、3 回に分けて水で解きながら詰込み、それぞれの回の水解き



(附)図-3 粒径加積曲線



(附)図-4 一面せん断試験結果

は、径 10 cm のポンプ船カッター模型を工作用ドリルに取付け、回転させ、固まりがなくなるまで行なった。所要の深さに詰め終ると、粘土表面にビニールシートを覆い、その上に豊浦標準砂(見掛比重 1.43)を厚さ 10 cm 載せ、またその上に立方体コンクリートブロック、1 個 7.7 kg をすき間なくならべた。以上の荷重は 330 kg/m² になった。

圧密によって出る水は、本箱の底に形鋼に支えられた金網があり、その上に包装用こもを二重に敷いているので、底にしみ出た水を外部に自由に流すことにした。圧密期間は 25 日、圧密期間中の沈下量は 10 cm ~ 15 cm 位であった。

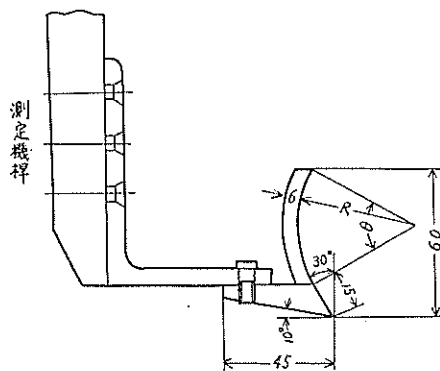
このようにして製作した粘土は圧密が十分であると、(附)図-4 に示した試験結果から、粘着力は圧密応力 0.033 kg/cm² に対し 0.11 kg/cm² になるはずである。実際は圧密期間が少なかったようである。粘土試料の物理

的性質は次の通りであった。

含水比	92.6%	液性指数	0.982
土粒子比重	2.71	液性限界	97.9%
間隙比	2.50~2.55	塑性限界	57.7%
粒度分析			
砂 7.7%, シルト 40.3%, 粘土 52.0%			

5. 実験方法

本実験は海底地均しを対象として行なうため、当然実験地盤は予想される起伏を作らなければならないが、その起伏が不明であること、および結果の解析が複雑になるため等の理由によって水平面とした。また、水中にて実験しなければならないが、掘削地均し状況を観察するに便なるよう大気中にて行なうことにした。以上の条件の他に、実験期間、粘土試料の量の制限のため、長さ変化、曲率変化実験は掘削深さ 6.0 mm のみにした。この数値は排土板の高さの 1/10 として決めた値である。角度変化模型の実験は、先の砂による実験と同一支持金具



(附)図-5 模型取付方法

を使用して、荷重を二通りにした。

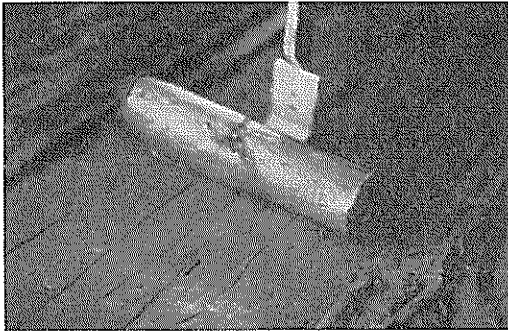
長さ変化、曲率変化実験は粘土面をレールの面に平行に作り、(附)図-5に示す掘削抵抗測定機の測定棒に排土板を取付け、掘削深さ 6.0 mm に設定して走行し、抵抗力をオシログラフに記録させた。排土板の外側の削れない部分は薄鉄板にて、表面下を乱さぬようにして手で削り取った。

角度変化実験は荷重一定にして実験し、粘土面は目見当にて平面を作った。模型は綿索にて引張り、走行させた。走行中、すくい角を一定に保つように、目安として、水準器を支持金具に取付け、傾斜した場合は直ちに支持金具上の荷重を移動させて、バランスをとる。走行終了後は走行距離、排土板に蓄積した粘土重量、排土板支持金具を含めた重量、重心位置を測定した。

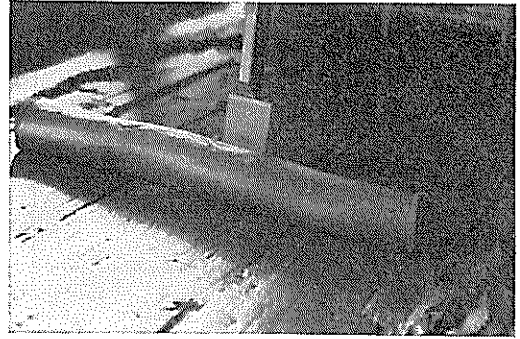
6. 実験結果と考察

6.1 長さ変化実験

実験写真を(附)写真-2, 3に示す。掘削状況は写真に



(附)写真-2

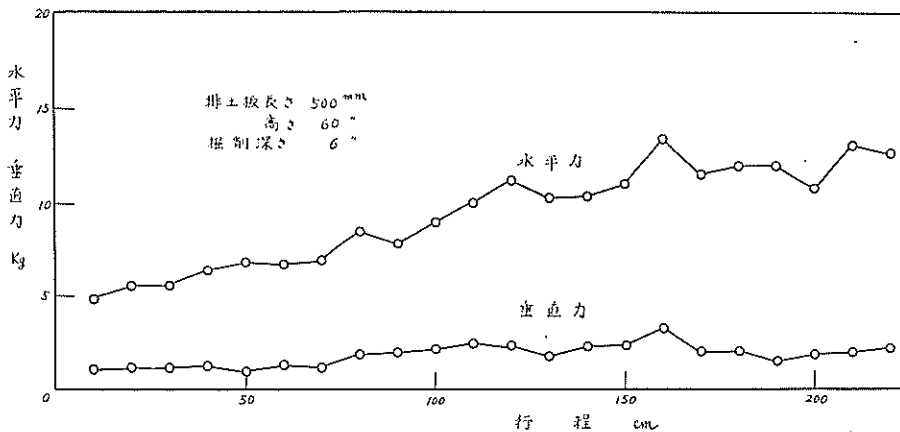


(附)写真-3

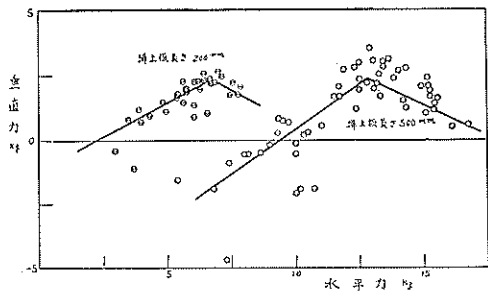
てもわかるように、掘削された粘土がほとんど排土板により棒状に巻かれて、行程が進むにつれて太くなってゆく。

地均し抵抗は、多数の実験から代表的なものを取り、行程との関係にて示すと(附)図-6になった。一般に、水平力は行程が進むにつれて増加するが、垂直力は飽和状態になるか、または減少する傾向になる。(附)図-7はそのことを示した(附)図-7は一行程中に測定された垂直、水平力をプロットした図であり、左側から垂直、水平力の比を一定にしてそれぞれ増加し、排土板の長さに関係したある水平力の値になると、垂直力はそれ以上に増加しなくなる。その後は垂直力が減少するか、一定になるかである。(附)図-7に示した参考線の勾配は、排土板の長さに関係なく等しいようである。

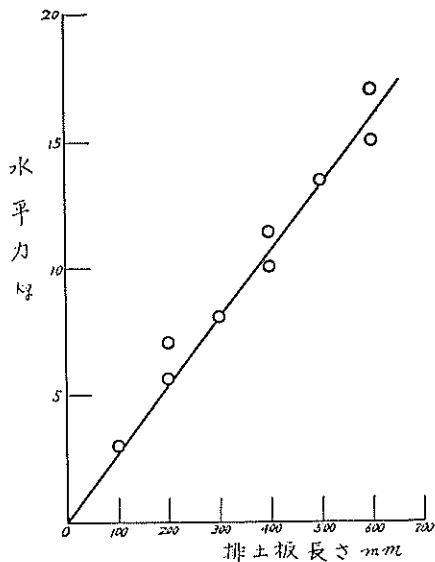
垂直力が最大になる水平力の値を調べてみると(附)図-8になった。これより、排土板に作用する単位面積当りの水平力が、ある値になると、排土板にそって流れる粘土に、変化が起きることが考察できる。なお、(附)



(附)図-6 掘削行程による掘削抵抗の変化



(附)図-7 垂直力と水平力の関係

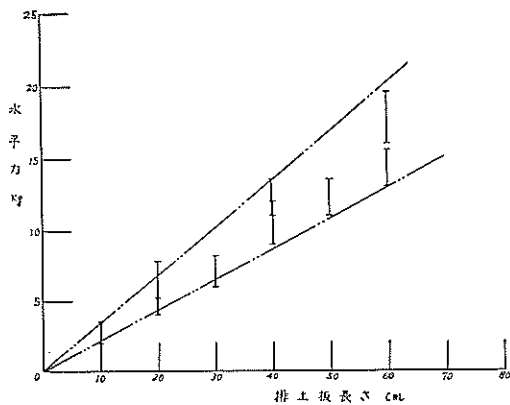


(附)図-8 垂直力が最大になる水平力の値

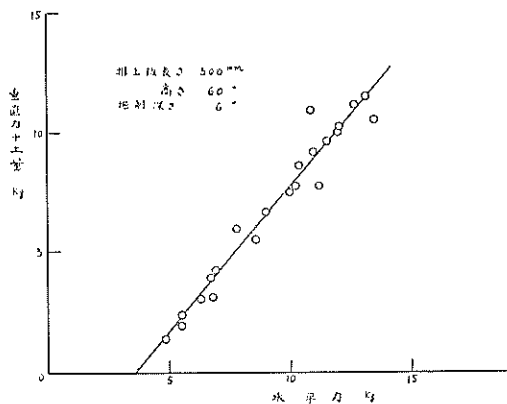
図-7の参考に記した線の出発点(左下)は排土板に粘土が蓄積した時、すなわち、初期の掘削力を表わしている。

排土板の長さ変化による水平力は、実験行程の終了近くの値をとって図に示すと、(附)図-9になった。この図から、長さを変化させると、長さに比例して水平力が変化することがわかる。このことは(附)写真-2, 3 にても明らかである。

垂直力と水平力の関係を、排土板に蓄積した粘土の重量を考慮して、調べると(附)図-10になった。この図は一掘削行程に測定した力の値と、掘削深さ 6.0 mm、比重 1.50 によって計算した土量によって作成した。ほとんどの実験がこの図のような勾配になった。(附)図-7と比較すると、垂直力が大きい値でないのも、無視されているものと思われる。図の直線が横軸と交る点は、掘削初期の掘削水平力が表わされていて、砂の場合と異なり粘着力が比較的大きいためと考えられる。



附図-9 排土板の長さ と水平力の関係



附図-10 水平力と垂直力の関係

6.2 曲率変化実験

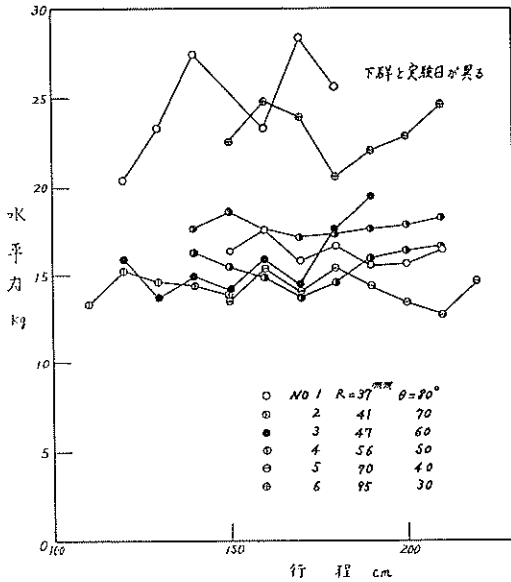
水平力と垂直力の関係は、蓄積した粘土重量を使用し、(附)図-10と同様であった。曲率変化と水平力の関係を調べるために、行程の変化に伴う水平力の変化について表わすと、(附)図-11になった。

(附)図-11によると、曲率を変化させても、水平力に明らかな差があると判断できない。砂についての実験と同様に、蓄積量が多くなると、板面形状に差がなくなるためと考えられる。

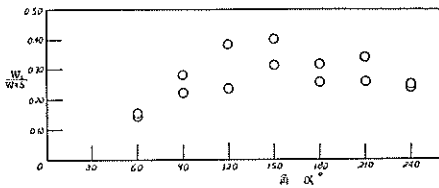
6.3 角度変化実験

実験中の抵抗力は大きく変動する。これは実験行程中に掘削したり、しなかったりするため、砂の実験のように、掘削深さがほとんど一定になることはない。したがって、実験跡は波状形になる。角度の変化による掘削能力を調べるために、その目安として、土量(kg)/(行程 $m \times$ 模型全重量 kg)と角 α の関係について調べると(附)図-12になった。

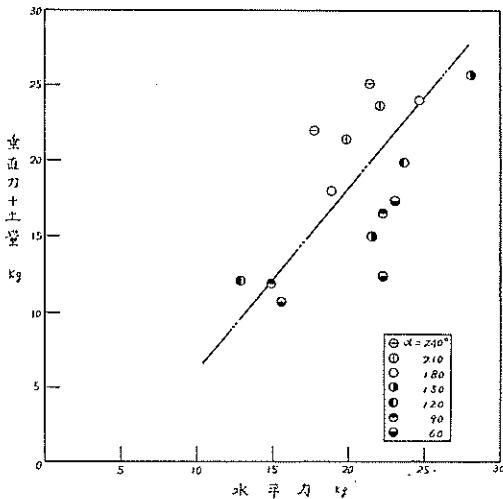
(附)図-12の縦軸は土量/行程が平均掘削深さを表わす



(附)図-11 曲率変化と水平力の関係



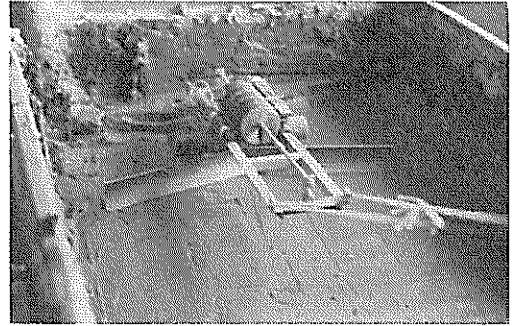
(附)図-12 角度変化排土板の掘削能力



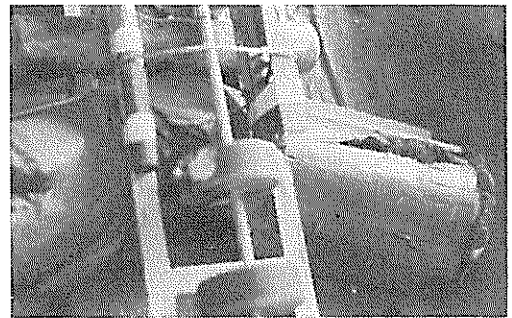
(附)図-13 角度変化実験結果

ので、平均掘削深さと垂直力に類する関係を意味する。

(附)図-13 に水平力と垂直力+蓄積土量の関係を示す。(附)図-10 と似た関係を示すが、水平力と垂直力の変動が大きいため、一行程の平均値を使用したため、量的には少し異なった値を示している。(附)写真-4, 5 に実験状況を示す。



(附)写真-4 角度変化実験



(附)写真-5 角度変化実験

7. むすび

以上、実験結果と考察から、結論として、断言できないが、一応、次のように要約できる。

- 1) 地均し水平力は、排土板の長さ按比例して増加し、排土板に蓄積する量と初期掘削力によって決まる。
- 2) 水平力と垂直力の関係は、直接には不明な点があるが、蓄積土量を考慮すると一次関係になる。
- 3) 排土板の曲率を変化させても、地均し水平力に明らかな差は認められなかった。
- 4) いわゆる後退角を大きくすると、斜行または蛇行する傾向が大きい。
- 5) 牽引式の排土板により地均しすると、排土板左右の掘削深さが異なる、いわゆるローリングを起す場合がある。また、地均し跡が波状になる傾向があり、その対策が必要である。

8. あとがき

以上、本実験は期間が制限されていたため、排土板の形状を仮定して行ったので、例えば、すくい角、刃先形状、土質、速度等を変化させると、どうなるか等の問題

が残されている。今後、機会があれば行なう予定である。

この実験の実施にあたって、本省機材課、名古屋港工事事務所、京浜港工事事務所、土質部土質試験課各位の援助がありましたので、ここに感謝する次第である。

(昭和42年3月31日受付)