

## ポンプ浚渫粘性土の分離堆積と圧密特性

## Consolidation Characteristics of Sediments by Pump-Dredged Clayey Soils.

新	舎	博 *	(Hiroshi Shinsha)
日	野	泰 伸 *	(Yasunobu Hino)
渡		義 治 **	(Yoshiharu Watari)
新	谷	登 ***	(Noboru Shintani)

キーワード：埋立／沈降／粘性土／ポンプ浚渫／圧密 ( I G C : D - 3 )

## 1. まえがき

最近のポンプ式浚渫船を用いた浚渫埋立工事では、環境保全の立場から、埋立地外へ流出する土粒子の量を最少限に抑えることが要求される。この要求に応じるために、実際には埋立地の一隅に余水処理場を建設し、そこから排出される余水中の懸濁物質濃度を $30\sim 50\text{mg}/\ell$ 以下に低減することが行なわれている。この結果、埋立地内には多量の細粒土が堆積することになり、このような状況下で形成された埋立地盤は、従来の細粒土の流出を容認していた場合とはその性状が大きく異なるものとなる。

ポンプ式浚渫船で海底に堆積している軟弱な粘性土を浚渫すると、浚渫船の吸引口および排砂管の中で土と海水とが十分に混練されるので、浚渫土は含水比が100%程度の泥水状態となる。またこの泥水を埋立地へ投入すると、粗粒土は排砂管の出口付近に堆積し、一方細粒土は埋立地内の海水中をフロックを形成しながらより遠い位置に運ばれて堆積する。この現象は分離堆積<sup>1)</sup>と呼ばれている。一方、埋立地内の細粒土の堆積区域では含水比が200%以上という自重圧密があまり進行していない状態となる。この理由は、浚渫土の投入期間はおよそ数ヶ月の範囲であるのに対して、形成される堆積土層厚は数mにもなるからである。よってこの結果、浚渫区域での自重圧密完了状態の土は埋立地の中ではその体積が約2倍程度に膨れることになる。この膨張は浚渫土の投入期間、埋立地の容積、土質特性などによって変化し、ある定められた浚渫土量を限られた埋立地容積内に投入する際の問題となる。また、大きな圧密沈下は埋立地を土地として有効利用する際の問題となる。

さて、このような問題に対処するためには、まず第一に、埋立地内に堆積する土の性状と特性とを事前に予測することが必要である。特にこの中では細粒土の圧密特性を予測することが重要であり、この予測が可能となれば圧密理論の適用によって、浚渫粘性土の埋立堆積高と沈下の推定が可能<sup>2)</sup>になるものと考えられる。一方、浚渫土の沈降と堆積土の圧密特性に関する研究<sup>3), 4)</sup>としては、一次元の円筒容器を用いた実験が多い。しかし、三次元の埋立地を一次元に置き換えると、埋立地内では水平方向に生じる分離堆積が一次元では鉛直方向で生じるなど、実際の現象を十分に説明できないと考えられる。

この論文は、埋立地内に堆積する細粒土の圧密特性の予測に関して、一次元の沈降実験、二次元の堆積実験および現地調査の結果を比較し、考察したものである。特に、一次元の沈降実験では初期含水比を変化させて粒度分離への影響を調べた。また、二次元の堆積実験では幅30cm×長さ400cm×深さ50cmの水槽内に含水比 $w_w = 100\%$ の泥水を連続投入し、泥水投入量の変化による沈降と堆積土の特性の相違を求めた。実験試料は山口県柳井粘土であり、現地調査は当区域での埋立工事中に実施したものである。

\* 五洋建設備技術研究所, \*\* 同左研究所所長, \*\*\* 中国電力柳井発電所工事課長

2. 一次元の沈降実験

2.1 実験方法

浚渫埋立工事に先だち、浚渫区域に堆積している粘性土を実験室に搬入した。表-1は2mmフルイを通して雑物を除去した試料の物理特性を示している。実験試料は砂分が31%、シルト分が36%含まれる低塑性粘土である。

実験は、図-1に示すように、まず $\phi 14\text{cm} \times \ell 50\text{cm}$ の円筒容器を所定の高さに積み上げ、次に所定の含水比に調整した試料を円筒内に投入した。試料の攪拌は $\phi 1.4\text{cm}$ の孔を軸対称に8ヶ所もつ $\phi 13\text{cm}$ の円板を円筒容器内で3回上下させて行った。攪拌後は沈降と圧密過程における泥面高さの変化を継続して測定し、圧密終了後に押し出し装置を用いて、堆積土の含水比分布と粒度組成を求めた。なお、実験には現地と同一の塩分濃度 ( $\beta=0.0375$ )を持つ人工海水を使用し、また含水比はすべて塩分補正を行ったものを示している。

表-2は、実験条件を示している。初期高さH。一定と実質土量高さ $h_s$ 。一定の2種類の実験を行ったのは、初期含水比 $w_0$ の相違による堆積土の特性の変化を両条件のもとで比較するためである。また、初期含水比を1000%以上としたのは、浚渫土を埋立地へ投入すると、埋立地内の海水と混合して、土粒子は1000%以上の高含水比状態のもとで沈降すると考えられたからである。

2.2 沈降過程

図-2は、沈降過程における泥面高さHの変化を示している。沈降過程では、すべての $w_0$ において、泥面高さの等速減少が認められた。また、粘性土の沈降形態に関する今井の分類を用いるならば、 $w_0 = 1000 \sim 2000\%$ では界面沈降 (Zone Settling) および  $w_0 \geq 4000\%$ では凝集自由沈降 (Flocculated Free Settling) となることが目視観察の結果から判明した。なお、実質土量高さ一定の  $w_0 = 12000\%$  の実験結果が2個あるのは、沈降堆積した

表-1 物理特性

	比重 $G_s$	粒度組成 (%)			
		コロイド	粘土	シルト	砂
柳井粘土	2.65	24.5	8.5	35.9	31.1

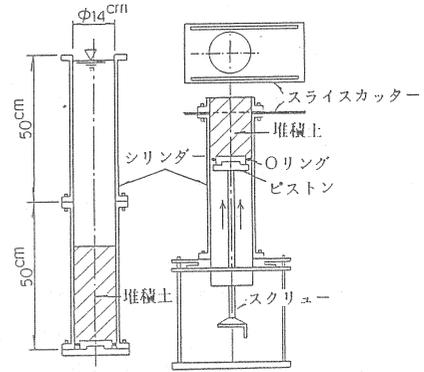
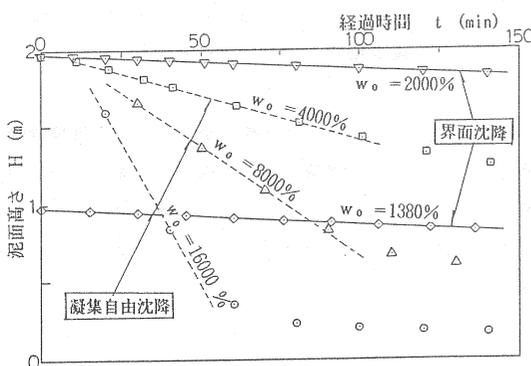


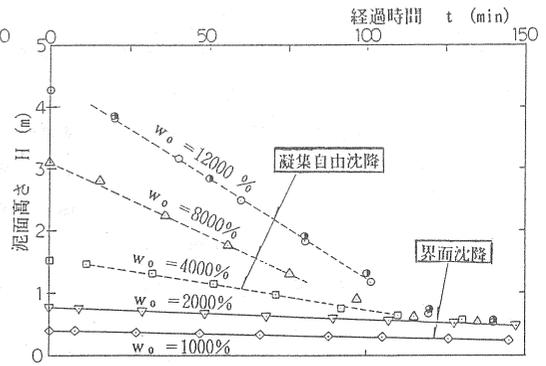
図-1 沈降実験容器と試料の押し出し装置

表-2 実験条件

	含水比 $w_0$ (%)	初期高さ $H_0$ (cm)
初期高さH。 一定実験	1380	100
	2000	200
	4000	200
	8000	200
	16000	200
実質土量高さ $h_s$ 一定実験 ( $h_s = 1.43$ )	1000	40
	2000	79
	4000	156
	8000	310
	12000	465



(a) 初期高さ  $H_0$ 。一定



(b) 実質土量高さ  $h_s$ 。一定

図-2 沈降過程

土を再度攪拌して沈降させ、実験での再現性を調べたことによる。この2度の沈降実験は実質土量高さ一定のすべての $w_0$ に対して行ったが、再現性はかなり高い結果が得られている。図-3は、初期含水比と沈降速度 $v_s$ との関係を示している。両対数紙上では両者にはほぼ直線関係があり、 $w_0$ が増加すると $v_s$ も増加する。この理由は $w_0$ が増加すると、フロック相互の接触（干渉）が少なくなるので、自由沈降により近くなるためと考えられる。写真-1は $w_0 = 12000\%$ において形成されたフロックを示している。その大きさ $d$ は約 $0.1\text{mm}$ である。一方、図-3から $w_0 = 12000\%$ での沈降速度を読み取り、ストークス(Stokes)の式で粒径を求めると $d = 0.125\text{mm}$ となる。この結果、両者は比較的良好に一致することになる。

### 2.3 圧密過程と堆積土の特性

図-4は、自重圧密過程における堆積土の沈下を示している。図内の $t_i$ と $t_f$ はそれぞれ沈降終了時と圧密終了時である。この $t_i$ と $t_f$ は両者とも泥面高さ $H \sim \text{Log. } t$ 座標上での変曲点として求めた。初期高さ一定の実験では、 $w_0$ が増加するほど $t_i$ と $t_f$ に到達する時間が早くなった。この理由は、容器内の実質土量は $w_0$ が増加するほど減少するからである。一方、実質土量一定の実験では、 $w_0 = 1000\%$ を除くと、 $w_0 \geq 2000\%$ の $t_i$ と $t_f$ はほぼ同一であるが、自重圧密終了後の堆積土の高さ $H_f$ は、 $w_0$ が増加するほど幾分大きくなった。この理由は土粒子の初期沈降高さが異なるので、形成されたフロックの大きさが異なるためと考えられる。

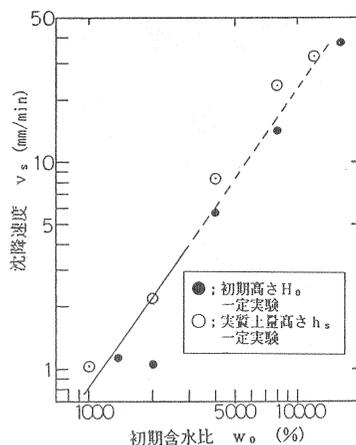


図-3  $w_0 \sim v_s$  関係図

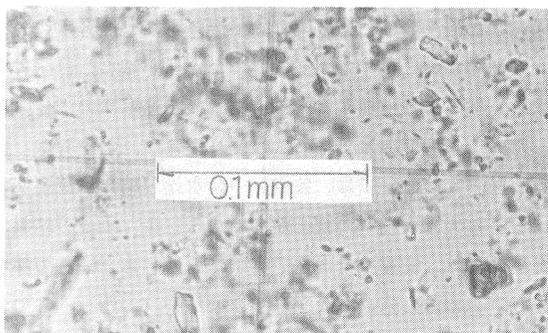
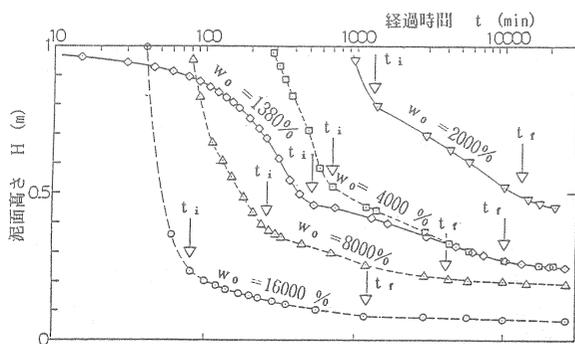
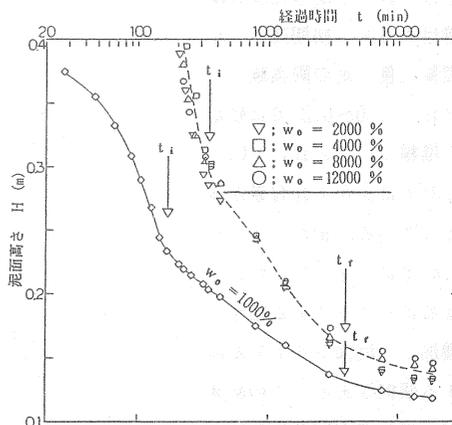


写真-1 フロックの顕微鏡写真



(a) 初期高さ $H_0$ 一定



(b) 実質土量高さ $h_s$ 一定

図-4 堆積土の沈下過程

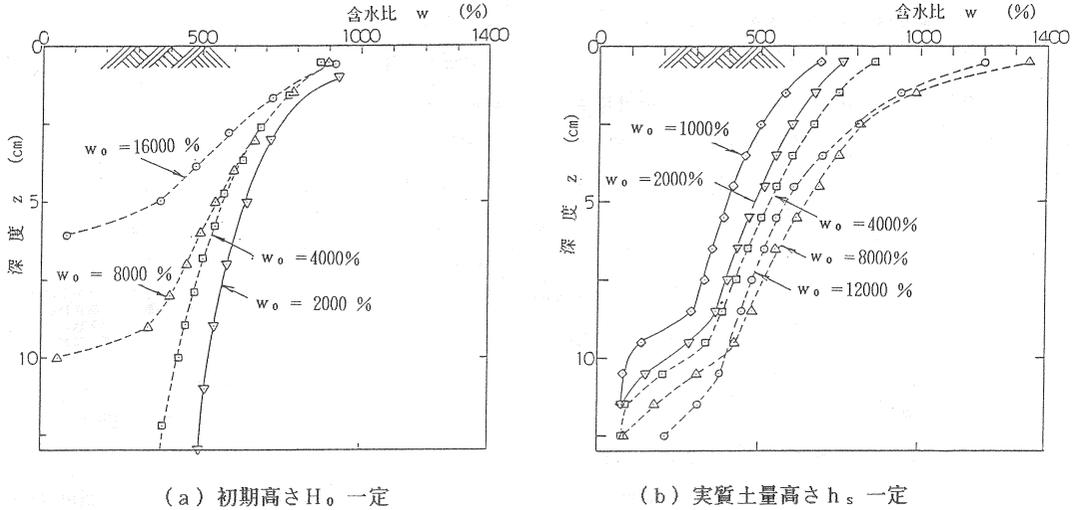
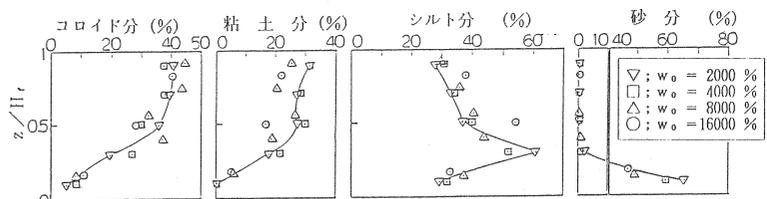


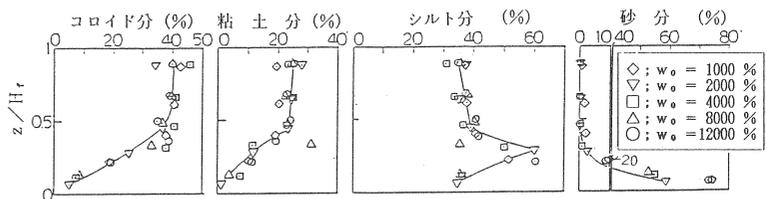
図-5 堆積土の含水比分布

図-5と図-6は、自重圧密終了後の堆積土の含水比分布と粒度組成を示している。初期高さ一定の実験では  $w_0$  が増加するにつれて同一深度の含水比が減少し、一方実質土量一定の実験では、逆に同一深度の含水比は  $w_0$  が大きくなるほど増加した。この両者の相違は次のように考えられる。まず、初期高さ一定の実験では、無次元化した同一の深度  $z/H_f$  におけるコロイド、粘土分などの含有量には、 $w_0$  の違いに対して大きな相違はない。一方、図-5においては、各  $w_0$  の含水比の結果は深度  $z$  に対して示しているの、同一深度では  $w_0$  が増加するほどより大きい粒子の割合が多くなる。よってこの結果、 $w_0$  の増加とともに含水比が減少するようになるのである。また、実質土量一定の実験においても、同一の深度  $z/H_f$  におけるコロイド、粘土分などの含有量には、 $w_0$  の相違に対して大きな相違はない。しかし、この場合の  $H_f$  の差は小さいので、同一深度ではほぼ同じ粒度組成を持つと考えられる。実質土量一定実験での含水比の相違は、沈降過程で形成されるブロック粒径の相違をもたらす微視的な構造の違いによるものと考えられる。

一方、図-6から粒度分離に着目すると、初期高さ一定と実質土量一定の両実験とも  $z/H_f = 0 \sim 0.2$  では砂が多く堆積し、 $z/H_f = 0.2 \sim 0.3$  ではシルト含有量が多くなっている。また、 $z/H_f \geq 0.4$  では、 $z/H_f$  が大きくなるほどコロイドと粘土分が増加し、反面シルト分が減少する傾向がある。この結果、一次元の沈降実験では粒度分離の影響が深度方向で顕著に表われることになり、この影



(a) 初期高さ  $H_0$  一定



(b) 実質土量高さ  $h_s$  一定

図-6 粒度組成

表-3 実験条件

	泥水含水比 $w_0(\%)$	投入流量 $q(\ell/\text{min})$	投入速度 $v(\text{cm}/\text{sec})$	投入時間 $t_r(\text{min})$	総投入量 $Q(\ell)$
Case-1	1370	2	42.4	250	500
Case-2	860	0.5	21.7	1025	500

響は図-5に示した含水比分布の中にも含まれていることになる。

### 3. 二次元の堆積実験

#### 3.1 実験方法

浚渫土を埋立地へ投入すると、浚渫土は二次元的な拡がりの中を沈降堆積する。この状況をモデル化したのが二次元の堆積実験である。実験容器は、図-7に示すように攪拌容器と堆積容器とからなる。実験はまず攪拌容器内に $w_0 = 1000\%$ の泥水を作成し、次にこの泥水を一定の流量を保って堆積容器内に連続投入した。主な調査項目は、土粒子の沈降と堆積状況、上部懸濁水の含水比分布、堆積土の沈下および圧密終了後の堆積土の含水比分布と粒度組成である。表-3に実験条件を示す。実験は投入流量 $q$ を変化させた2ケースである。

#### 3.2 沈降過程

堆積容器内に泥水を連続投入すると、容器底部が懸濁状態となり、投入時間の増加とともに懸濁水と清澄水の境界が上昇した。また懸濁水の濃度が次第に高くなり、やがて堆積土が認められるようになった。図-8は、Case-1とCase-2の堆積面上昇過程を示している。Case-1では、経過時間 $t=100\text{min}$ 頃になると、堆積土と高濃度懸濁水の境界が次第に不鮮明になるとともに、上部に低濃度と高濃度懸濁水の境界が認められるようになった。 $t=200\text{min}$ になると、下部の境界は読み取り困難となり、上部境界高が次第に増加した。また、 $t=250\text{min}$ で投入を終了すると、その後明確な界面沈降を示すことが観察された。一方、Case-2では、 $t=1025\text{min}$ の投入時間のすべてにおいて、堆積土と高濃度懸濁水の境界が明確に認められた。

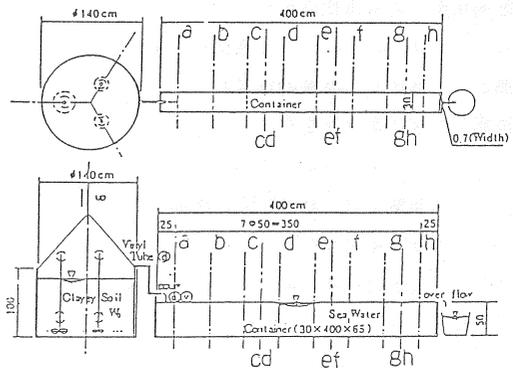
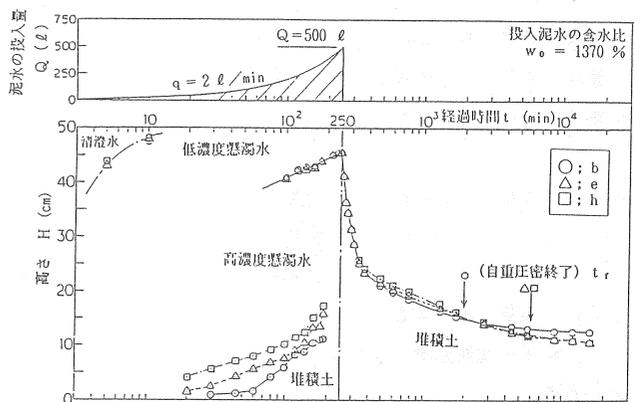
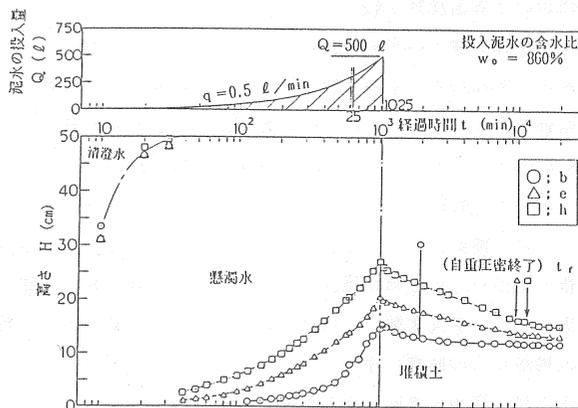


図-7 堆積実験装置



(a) Case-1



(b) Case-2

図-8 堆積面上昇過程

図-9は、泥水投入期間中における上部懸濁状態での含水比分布を示している。なお、 $w > 10^4$  %においては懸濁水の濁度を測定し、濁度から懸濁物質濃度(SS)に換算した後に含水比を求めた。また、 $w \leq 10^4$  %ではJIS-A-1230の乾燥法を用いた。Case-1の実験では、経過時間の増加とともに含水比が次第に減少し、 $t = 180$ minにおいては約4000%程度であった。一方、Case-2では $t = 180$ minと $t = 360$ minとで変化はなく、およそ $w = 10^4 \sim 10^5$  %の状態にあることが測定された。この状況は次のように考えられる。すなわち、Case-1では土粒子の沈降速度よりも供給される泥水の投入流量が大きいため、懸濁水中には土粒子が次第に多く存在するようになったためである。一方、Case-2においては、土粒子の沈降と投入流量とがほぼ釣り合い状態を保つようになり、そのため含水比の変化がなくなったものと言える。よってこの結果、泥水の投入流量と堆積容器の大きさによって、土粒子の沈降形態が変化するものと考えられる。

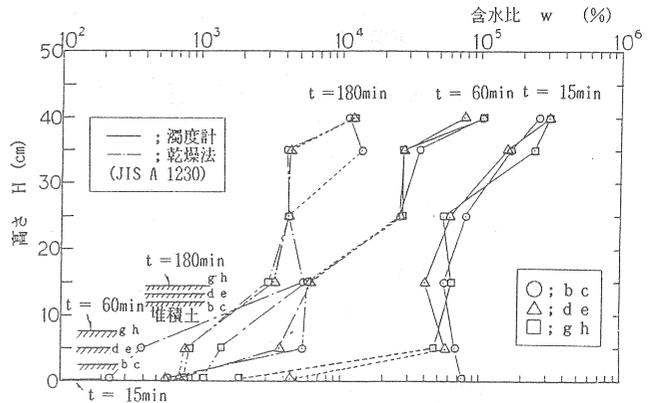
なお、堆積実験では含水比が $w = 4000$  %の状態において界面沈降が観察されたが、先に述べた沈降実験での界面沈降は $w \leq 3000$  %であった。この相違は含水比を測定した土の粒度組成が異なるためである。すなわち、堆積実験では砂が分離堆積したため細粒土のみからなる土の含水比であり、一方、沈降実験では砂を含んだ含水比である。沈降実験での含水比を砂が完全に分離堆積するとして修正すると、 $w = 3000$  %は約4400%となる。よって、堆積実験と沈降実験の含水比にはよい対応関係があると言える。

### 3.3 堆積土の特性

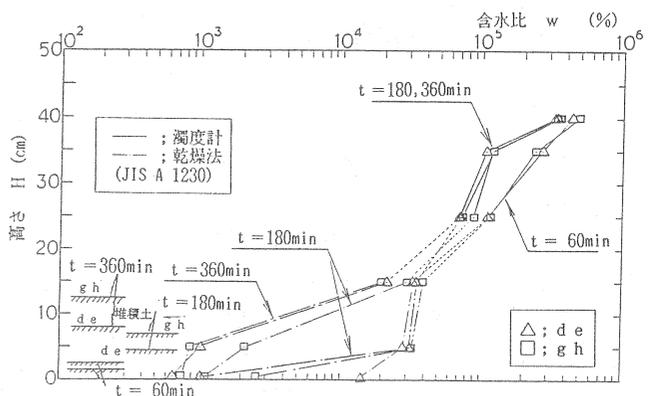
図-10は断面方向での堆積状況を示している。細粒土の堆積区域においては、Case-1およびCase-2とも、泥水の投入地点からの距離が増加するにつれて、堆積土高が次第に高くなった。なお、この傾向はCase-2の方がかなり大きく、二次元実験での特徴である。また、自重圧密終了時間は、図-8に示すように、Case-1とCase-2とも投入地点からの距離の増加とともに大きくなる結果となった。

図-11は、自重圧密終了後の含水比分布を示している。Case-1とCase-2とも、投入口からの距離が増加するにつれて、同一深度の含水比は次第に大きくなった。しかし、Case-1とCase-2の同一地点の含水比分布を比較すると、その曲線形状は幾分異なっている。

図-12は、堆積土の粒度組成を示している。縦軸は投入地点からの距離 $x$ を容器長 $L$ で除して無次元化したものである。Case-1とCase-2を比較すると、 $x/L$ に対するシルト分含有量の傾向が大きく異なる結果となった。すなわち、Case-1では $x/L$ の増加とともにシルト含有量が増加したが、Case-2では逆に減少した。この理由は、泥水の投入流速 $v$ が異なるためであり、シルト粒子の堆積区域は主にフロックの沈降時間と $v$ との関連で決まる

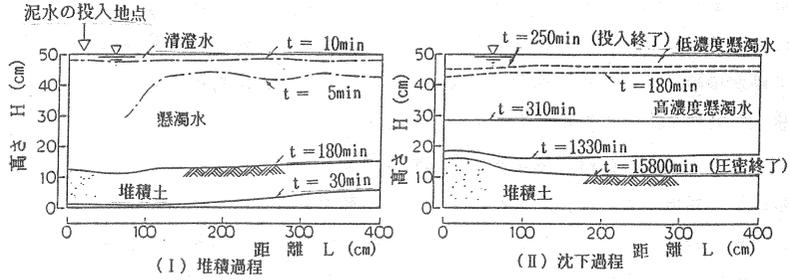


(a) Case-1

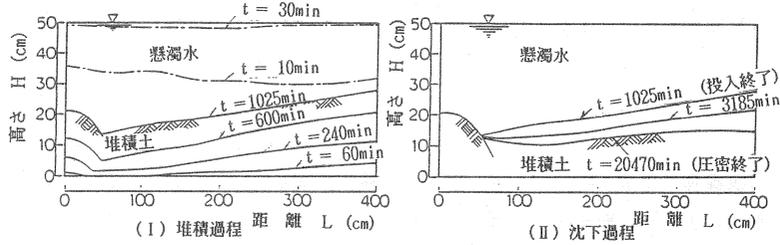


(b) Case-2

図-9 上部懸濁状態での含水比分布



(a) Case-1



(b) Case-2

図-10 断面方向での堆積状況

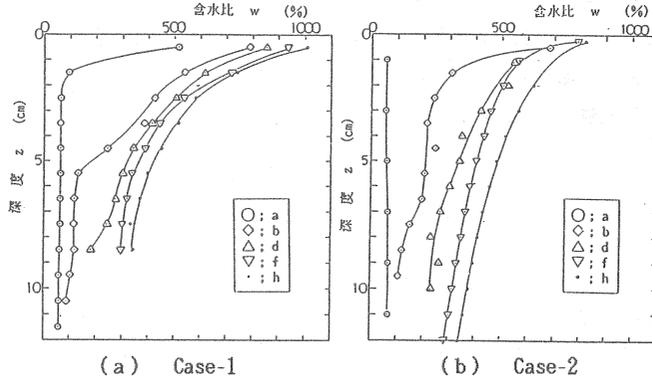
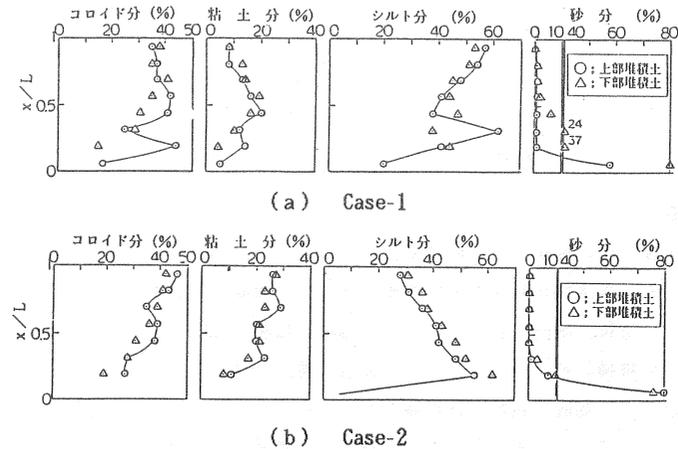


図-11 自重圧密終了後の含水比分布



(b) Case-2

図-12 堆積土の粒度組成

ためと考えられる。つまり、Case-1では $v$ が大きいのでシルトが遠方にまで運ばれたが、Case-2では逆に $v$ が小さいので投入口付近が多くなったものと思われる。また、下部堆積土の砂分含有量の結果によると、Case-1では $x/L=0.05$ まで砂が堆積しているのに対して、Case-2では $x/L=0.3$ 程度である。よって、 $v$ が異なると、水平方向での堆積土の特性が大きく異なるものになると言える。

一方、Case-2と図-6に示した沈降実験結果とを比較すると、 $x/L$ あるいは $z/H_f$ に対する各粒径土の含有量の分布は比較的よく類似している。すなわちコロイドと粘土分は $x/L$ あるいは $z/H_f$ が大きくなるほど増加し、シルト分は逆に減少している。また、シルト分、粘土分などの含有量を比較すると、実験結果に変動があるものの両者は比較的よく一致している。よってCase-2の堆積実験は、一次元での沈降堆積土を水平方向に置き換えたものに相当すると言える。しかしながら両者の根本的な違いは、堆積実験では各 $x/L$ において、深度方向にはほぼ均一な粒度組成を持つ堆積土が得られるのに対して（図-12参照）、沈降実験ではそれが困難なことである。

#### 4. 現地調査結果

山口県柳井市での浚渫埋立工事において、埋立地内の堆積土を採取し、その特性を調べた。図-13に平面図を示す。工事は、泊地およびみお筋浚渫土を埋立地に投入するものである。浚渫土は砂分を平均60%含むが、埋立地外へ流出を許される余水中の懸濁物質濃度を日平均30 mg/l以下と規制されたので、埋立地内には多量の細粒土が堆積するものと予想された。この工事に伴ない、埋立地内を50m角の格子に区切って浚渫土投入期間中の堆積土高を測定するとともに、A~D地点で堆積土の土質調査が行われた。なおI工区は土地利用の面から浚渫土のもらし吹きによって砂を主に堆積させた区域である。

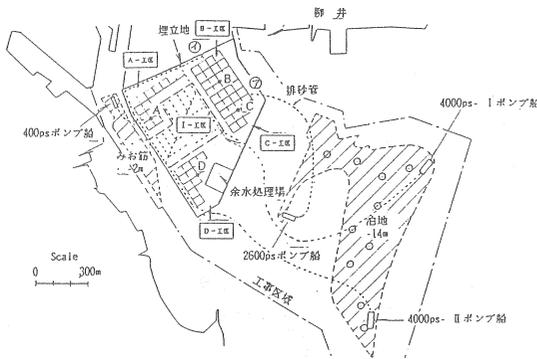


図-13 平面図

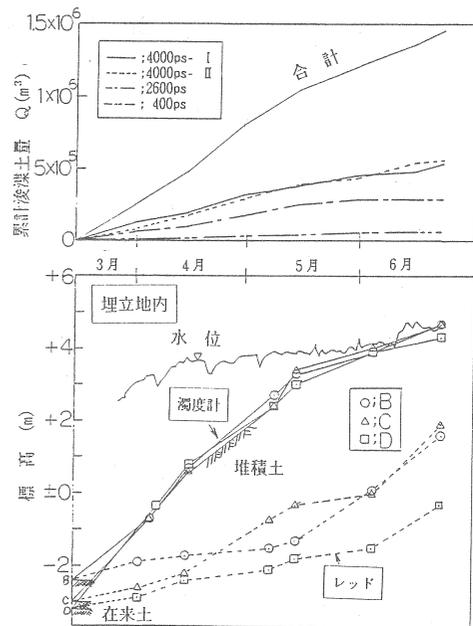


図-14 堆積土高の経時変化

##### 4.1 堆積面の調査

図-14は、累計浚渫土量と堆積土高の経時変化を示している。濁度計による高さは、図-15に示す含水比分布の結果と比較すると、含水比が約1000%の深度に相当し、堆積土の表面高さを示すと考えられる。一方、レッドはその自重によって堆積土層内に貫入するので、細粒土堆積区域においてはその結果に大きな工学的意味はない。ただし、粗粒土の堆積区域においてはその上面高の測定が可能である。B地点での6月以後およびC地点でのレッド高の上昇は、この期間に粗粒土が堆積したことを示している。また、図-14によると、B、C、D地点の濁度計による高さには大きな差はない。この理由は、堆積土の上層は高含水比の液体に近い状態にあるので、相対的な高さの差が生じにくいからである。

4.2 沈降特性

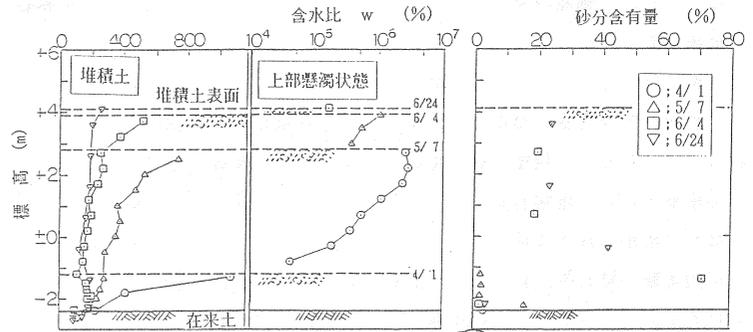
図-15は、B、C、D地点における含水比分布の経時変化を示している。なお、上部懸濁状態での含水比は、泥水の投入開始より数時間後に測定したので、ほぼ定常状態での結果である。この懸濁状態での含水比の結果によると、堆積面に近づくと含水比は減少するが、その値は10<sup>5</sup>~10<sup>6</sup>%の範囲にある。一方、図-9に示したCase-2の室内実験結果と比較すると、含水比の深度的な減少傾向は一致するが、現地の値はCase-2の約10倍である。この両者の相違は、泥水の投入流量と容器の貯水容量との比などが大きく異なるためと考えられる。

4.3 堆積土の特性

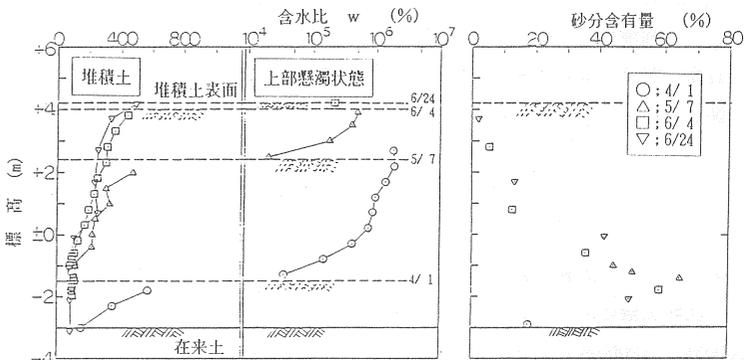
一方、堆積土の含水比の結果によると、含水比は時間の増加とともに減少し、明確な自重圧密の進行を示している。また、堆積土の砂分含有量の結果によると、B地点では-1m以上で砂分が20~40%堆積し、

一方、C地点では逆に±0m以深で砂分が40~50%堆積している。この両地点の相違は、浚渫土の投入状況に関係していると言える。すなわちBとC地点の堆積土は、埋立地全体の浚渫土の投入状況から考えると、5/31までは2600PSポンプ船また6/1以後は4000PS-Iポンプ船による浚渫土が堆積したと考えられる。これらの投入地点は、それぞれ図-13中のアとイ地点である。よって、浚渫土の投入口と調査地点との距離が近いと粗粒土が多く堆積し、その距離が大きくなると細粒土が堆積することになる。また、別の埋立工事での調査によると、砂は投入口から約150m離れた範囲内に多く堆積する結果があり、当調査においてもこの範囲内で砂の含有量が多くなっている。一方、D地点では-2m付近で砂を含んでいるものの全体的には細粒土が堆積している。この砂はI工区でのもらし吹きの砂が一部流れ込んだものであり、細粒土の多くはC工区から流入した懸濁水中に含まれる土粒子が堆積したものである。

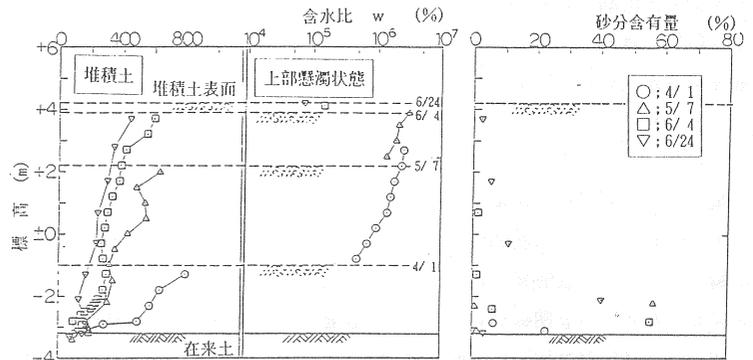
図-16は、B、C、D地点での砂分10%以下の堆積土に関して、



(I) B-地点



(II) C-地点



(III) D-地点

図-15 含水比分布の経時変化

その粒度組成を示している。なお、この図の縦軸は砂分含有量である。図-16によると、浚渫土投入口からの距離および深度とは無関係に、細粒土の粒度組成はほぼ同一になる傾向がある。すなわち、コロイド、粘土およびシルトの含有量にはやや変動があるが大きな差はない。また、細粒堆積土の平均粒度組成を示すと、コロイド分30

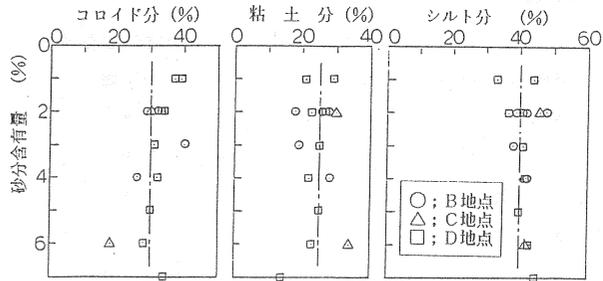


図-16 堆積細粒土の粒度組成

%, 粘土分25%およびシルト分40%となる。一方、室内堆積実験のCase-2では、投入口からの距離が大きくなるほど細粒土の含有量が増加した。よって、室内堆積実験と現地とはその状況が異なることになる。この理由の詳細は不明であるが、現地の細粒堆積土には全体的に細砂が数%含まれているのに対して、室内では全くないことから推察すると、堆積容量の大きさに対する投入流速 $v$ の比が両者で異なるためであると思われる。

なお、現地の投入流速 $v$ は約5 m/secであり、かなり速い状態である。この現地での平均粒度組成を先に述べた室内実験の結果を比較すると、実質土量一定での沈降実験における $z/H_f = 0.5$ およびCase-2の堆積実験における $x/L = 0.4 \sim 0.6$ の堆積土とはほぼ一致することになる。

## 5. 圧密特性

### 5.1 間隙比 $e$ ～有効応力 $p$ 関係

自重圧密終了後の含水比分布から、飽和度 $S_r = 100\%$ と仮定すると、次式によって堆積土の低応力域での $e \sim p$ 関係を得ることができる。

$$e_i = \frac{G_s w_i}{G_w}, \quad p_i = \sum_{j=1}^{i-1} \gamma'_j \Delta z_j + \frac{1}{2} \gamma'_i \Delta z_i \quad (1)$$

ここに、 $\gamma' = (G_s - 1) \gamma_w / (1 + G_s w / G_w)$ 、 $G_w$ は人工海水の比重である。

図-17は、実質土量一定での沈降実験における $w_o = 1000\%$ と $12000\%$ およびCase-2の堆積実験における $d$  ( $x/L = 0.44$ )と $h$  ( $x/L = 0.94$ )地点について、堆積土の含水比分布から求めた $e \sim p$ 関係を示している。 $w_o$ あるいは $x/L$ が大きくなると同一の $p$ に対する $e$ が増加する。また、 $w_o = 12000\%$ を除くと、 $w_o = 1000\%$ 、 $d$

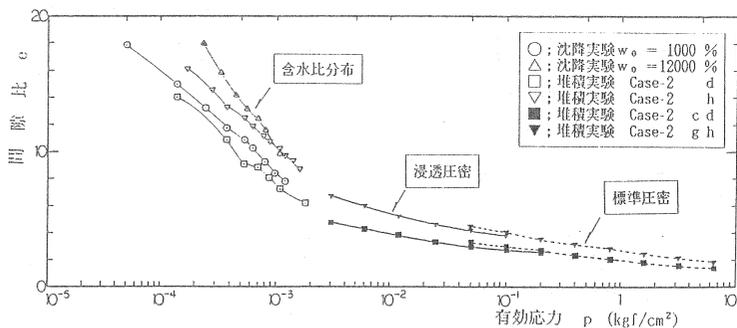


図-17 含水比分布から求めた $e \sim p$ 関係

および $h$ の各 $e \sim p$ 関係は $e \sim \log p$ 座標上ではほぼ平行になる傾向がある。 $d$ と $h$ はともに粒度組成が均一、一方 $w_o = 1000\%$ は幾分の粒度分離が認められた。しかし、 $w_o = 1000\%$ の沈降実験における粒度分離の程度 ( $z/H_f \geq 0.5$ )では、 $e \sim p$ 関係に大きな影響を与えないと言える(図-6参照)。なお、 $w_o = 12000\%$ の $e \sim p$ 関係の勾配が他の結果よりも大きくなったのは、堆積土層上部の含水比が特に大きくなっているからである

(図-5 参照)。

図-18は、浸透圧密と標準圧密試験の結果を示している。現地のBとDは、それぞれ5月7日時点におけるB地点の-2mおよびD地点の-3m付近の堆積土である。BとDを比較すると、両者の粒度組成がほぼ同一であるので、 $e \sim p$ 関係もほぼ一致している。一方、Case-2のcd ( $x/L=0.38$ )、ef ( $x/L=0.63$ )およびgh ( $x/L=0.88$ )地点での堆積土においては、各 $e \sim p$ 関係がほぼ平行となる傾向がある。この結果、分離堆積した細粒土の $e \sim p$ 関係は、コロイドおよび粘土分が増加するほど同一の $p$ に対する $e$ は大きくなると言える。一方、室内と現地を比較すると、現地の $e \sim p$ 関係はcdとefのほぼ間にある。従って、現地細粒堆積土の $e \sim p$ 関係はCase-2の堆積実験によって予測することが可能と考えられる。

また、図-17に示したdとhによると、浸透圧密と標準圧密の $e \sim p$ 関係にはよい連続性がある。一方、自重圧密終了後の含水比分布から求めた $e \sim p$ 関係は、その勾配がより急となった。全体的な $e \sim p$ 関係の形状は $e \sim \log_e p$ 座標上で下に凸の曲線になる傾向がある。

### 5.2 透水係数k

図-19は、現地のBとDおよびCase-2の実験でのcd、ef、ghの堆積土について、 $k \sim p$ 関係を示している。各 $k \sim p$ 関係には有意な差はない。また、浸透圧密と標準圧密の $k \sim p$ 関係にはよい連続性があり、全体の形状は $\log_e k \sim \log_e p$ 座標上でほぼ直線になる傾向がある。

## 6. 結論

柳井粘土のついて、一次元の沈降と二次元の堆積実験および現地調査の結果を比較し、各種条件下での堆積土の特性と特に埋立地内に堆積する細粒土の圧密特性の予測に関する考察を行った。主な結果と考察は次のようである。

- (1) 浚渫土の沈降形態は、沈降と堆積の両実験において、初期含水比が $w_0 \leq 3000\%$ 以下では界面沈降およびそれ以上では凝集自由沈降となった。
- (2) 実質土量一定の沈降実験では、 $w_0 \geq 2000\%$ での沈降終了時間 $t_i$ と自重圧密終了時間 $t_r$ はほぼ同一となる。しかし圧密終了後の堆積土高 $H_r$ は $w_0$ が増加するほど幾分大きくなった。この理由は形成されたフロックの大きさが初期沈降高さ $H_0$ によって異なるためと思われる。
- (3) 沈降実験での無次元化した同一の深度 $z/H_r$ における粒度組成は、初期含水比 $w_0$ と初期沈降高さ $H_0$ とは無関係にほぼ同一となる。

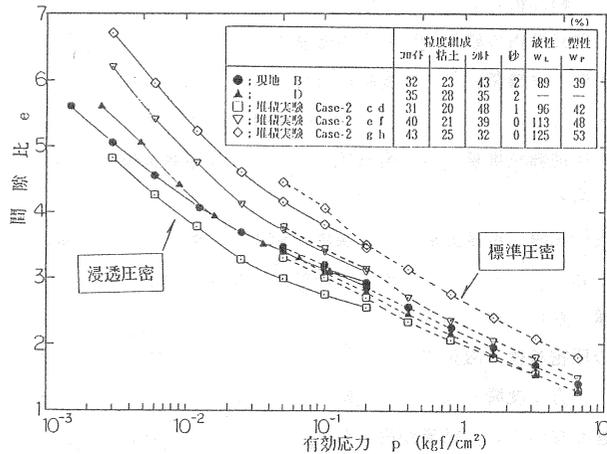


図-18 浸透圧密と標準圧密試験結果

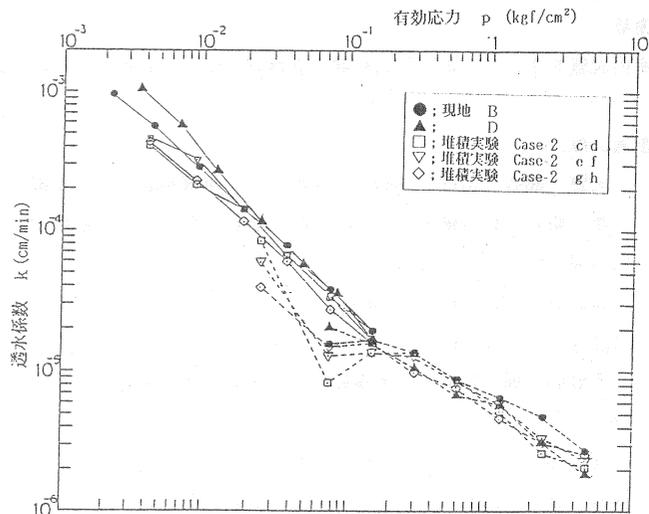


図-19 透水係数

- (4) 沈降実験では深度方向、一方堆積実験では水平方向に分離堆積が生じた。しかし、堆積実験の細粒土堆積区域における粒度組成は、深度方向で同一となる。また沈降とCase-2の堆積実験において、 $z/H_f$  と  $x/L$  が等しい位置における粒度組成はほぼ同一となった。
- (5) 堆積実験での粒度組成は、Case-1では水平距離が大きくなるにつれてシルト分が増加し、一方Case-2では逆に減少した。この相違は浚渫土の投入流速  $v$  と容器の大きさとの比などによって、水平方向での堆積土の特性が異なることを示すものである。
- (6) 現地での上部懸濁状態の含水比は約  $10^5 \sim 10^6\%$  の範囲にある。この結果をCase-2の堆積実験と比較すると、その約10倍となった。
- (7) 埋立地内の砂分10%以下の堆積土について、その粒度組成を調べると、浚渫土の投入口からの距離および深度とは無関係に、粒度組成はほぼ同一となる傾向がある。また、この平均粒度組成をCase-2の堆積実験と比較すると、 $x/L = 0.4 \sim 0.6$  の堆積土とよい対応がある。
- (8) 現地細粒土堆積土の圧密特性は、Case-2の堆積実験から得られた土の圧密試験によって予測することが可能である。

室内の沈降と堆積実験および現地の結果を比較すると、現地の状況を室内実験で予測することは非常に困難であると言える。すなわち、浚渫土の沈降と堆積は、浚渫土の投入状況（流量  $q$  と流速  $v$ ）および埋立地の大きさ（面積、形状、深さ）などによって大きく異なるものになるからである。しかしながら、埋立地内に堆積する細粒土の圧密特性に限定するならば、そのおよその予測は可能と思われる。すなわち、Case-2の堆積実験を行えばよい。一方、沈降とCase-2の実験での圧密特性を比較すると、低応力域では沈降実験での粒度分離の影響はあまり大きくないという結果が得られた。したがって、沈降実験での細粒土を取り出して圧密試験を行っても、その推定が可能と思われる。

（謝辞）

室内実験を手伝って頂いた同社調査実験課の山口了也氏および現地調査に御協力下さった方々に謝意を表します。

（参考文献）

- 1) 矢野, 鶴谷, 山内 (1984) ; 浚渫泥土の分離堆積, 土と基礎, Vol.32, No.5, pp.23-28.
- 2) 渡, 新舎, 林, 網干 (1985) ; 埋立粘性土の自重圧密解析に基づく浚渫土量予測, 広大工学部研究報告, Vol.34, No.2, pp.159-173.
- 3) Umehara, Y. and K. Zen (1982); Consolidation characteristics of dredged marine bottom sediments with high water content, Soils and Foundations, Vol.22, No.2, pp.40-54.
- 4) 矢野弘一郎 (1985) ; 浚渫粘土による軟弱埋立地盤の性状とその予測, 土木学会論文集, No.364, pp.1-14.
- 5) Imai, G., Tsuruya, K. and K. Yano (1979) ; A treatment of salinity in water content determination of very soft clays, Soils and Foundations, Vol.19, No.3, pp.84-89.
- 6) Imai, G. (1980); Settling behavior of clay suspension, Soils and Foundations, Vol.20, No.2, pp.61-77.
- 7) たとえば、土質工学会編, 土質試験法, p.87.
- 8) 渡, 新舎, 林, 網干 (1985) ; 浚渫粘性土の沈降と分離堆積, 広大工学部研究報告, Vol.34, No.2, pp.175-187.
- 9) たとえば、石黒隆 (1980) ; 海岸・港湾・海洋工事, 山海堂, p.223.
- 10) Imai, G. (1979); Development of a new consolidation test procedure using seepage force, Soils and Foundations, Vol.19, No.3, pp.45-60.