

柳井地区の浚渫土を利用した埋立地盤の土性変化とその管理

Time-Dependent Properties of Dredged Soils and Land Reclamation Management in Yanai

わたり 渡 新
よし 義 谷
はる 治* 登***
しん 新 吉
しや 舎 岡
ひろし 博** 己****

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余水中の懸濁物質濃度を $30\sim 50\text{mg/l}$ 以下に規制される場合が多い。このために、埋立地外へ流出させる余水の管理が行われ、コロイド、粘土等の細粒子も埋立地内に沈降堆積することから、堆積土の膨らみ率や圧密沈下量の相対的な増加が見られる場合がある。また、浚渫土の投入に際しては、計画での浚渫土量が限られた埋立地内に投入可能か否かを判断する必要がある、投入期間中の地盤の管理結果に基づいて、全浚渫土量投入時の堆積土高を予測することが重要であると考えられる。

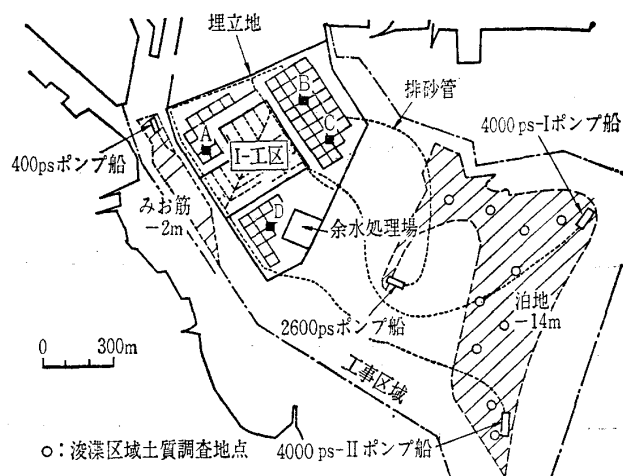
一方、埋立地盤に関しては、地盤がどのような過程で形成されるのか、また堆積土の土性は埋立期間中にどのように変化していくのか等を詳細に調査した事例は少ない。この理由は、浚渫期間が短く十分な調査期間がない事などの付属的な要因もあるが、主因は埋立地盤の調査方法ならびに管理手法が確立されていないためと思われる。

この報文では、山口県柳井での浚渫・埋立工事において、埋立地盤の調査と管理を行った結果について述べている。調査は埋立地内の平面分布調査と固定測点での鉛直分布調査とに区分され、平面調査としては濁度が 1000PPM の深度とレッド測量など、および鉛直調査としては含水比分布、粒度構成等の測定を実施した。ここでは、まず調査方法とその調査から把握できる事柄について述べる。次に、これらの調査結果と浚渫記録とを対比させることによって得た埋立地盤の一管理手法を述べる。この手法は浚渫土をある一定速度 ($Q_D: \text{m}^3/\text{日}$) で投入すると、埋立地内の堆積土面が一定速度で上昇する性質があることを利用するものであり、全浚渫土量が埋立地内へ投入可能か否かを簡易的に判断する際に役立つものである。

2. 調査概要

図一1は、浚渫・埋立工事の平面図を示している。

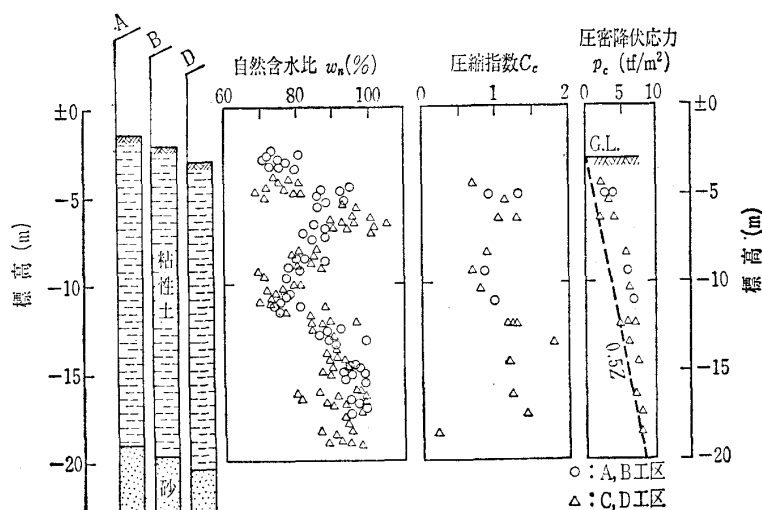
*五洋建設 技術研究所所長
**五洋建設 技術研究所主任研究員
***中国電力 柳井発電所工事所工事課長
****柳井(発)浚渫JV 所長



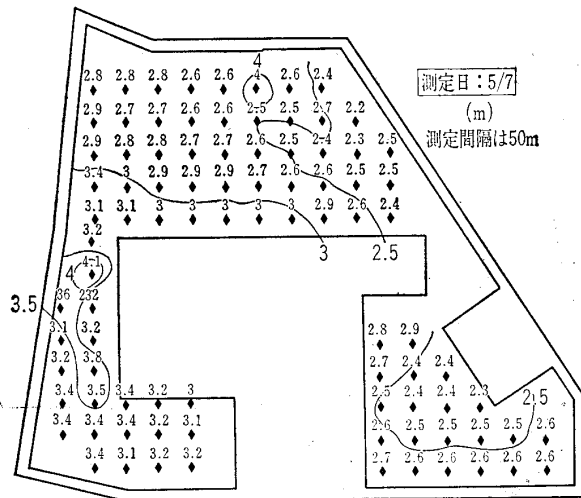
図一1 浚渫・埋立平面図

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り、浚渫区域での土質調査結果によると、全浚渫土に含まれる砂分含有量は重量比で平均約 60% であった。また、浚渫土の埋立地への投入に当たっては、土地利用の面から、もらし吹き¹⁾によってI工区に砂を主に堆積させることが行われた。この結果、I工区以外ではいわゆる“粘性土溜まり”が形成されるものと予想された^{2),3)}。

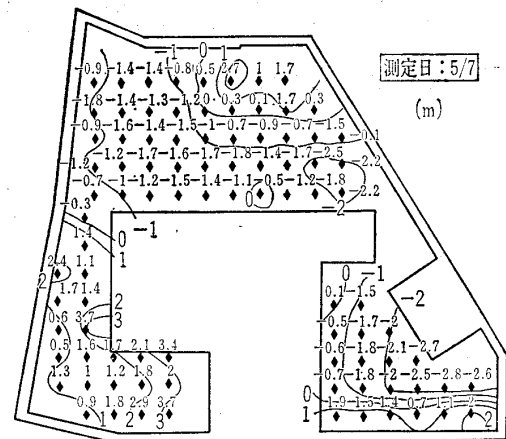
図一2は、浚渫土投入前の在来地盤の土質特性を示している。粘性土層厚は約 18m であり、地表面から -5m および -12m 以深で含水比がやや高いが、砂分は全層において 5% 以内であった。また圧密試験結果によると、やや過圧



図一2 在来地盤の土質特性



(a) 濁度計による調査



(b) レッド測量

図-3 平面分布調査結果

表-1

調査項目	平面分布調査	・濁度計による調査 ・レッド測量	(備考) 注) 試料採取が必要
	鉛直分布調査	・含水比分布 ・粒度分布	

密の傾向が認められた。

埋立地盤の調査は埋立地内を図-1に示す格子に区切り、平面分布調査をその交点で、また鉛直分布調査をA～Dの4地点で行った。調査項目は表-1に示すものであり、平面分布調査は船上からの調査が可能なものおよび鉛直分布調査は足場の確保が必要なものである。この現地では浮き足場(やぐら)を固定測点上に設置して調査を実施した。

3. 平面分布調査

3.1 濁度計による調査

図-3(a)は、浚渫土投入期間中における濁度(T_b)=1000PPMの深度を示している。この T_b =1000PPMは調査に用いた濁度計の測定限界であり、1000PPMに大きな意味はないが、 T_b =1000PPMの深度は近似的に堆積面高と見なせるものである(4.2に詳述)。

図-3(a)によると、堆積面はほぼ平たんであり、局所的な最大勾配を取っても約6%程度である。また、浚渫土の連続的な投入によって、堆積面は平たんを保ちながら上昇する傾向がある。

3.2 レッド測量

受圧力 $p=0.01 \text{ kgf/cm}^2$ の円板レッドを用いて、その貫入停止深度を測定した。レッドの概要を図-4に、その結果を図-3(b)に示す。

レッドの測定結果を $T_b=1000 \text{ PPM}$ の深度と比べると、レッドは $T_b=1000 \text{ PPM}$ の深度より1～4mも下方となり、また凹凸の程度もかなり大きくなっている。一般にレッドの結果は砂質堆積土の場合はその上面高となり、一方、粘性堆積土の場合はレッドの受圧力と粘性抵抗とが釣り合

重さ	1.48kgf
面積	148.4cm ²
受圧力	0.01kgf/cm ²

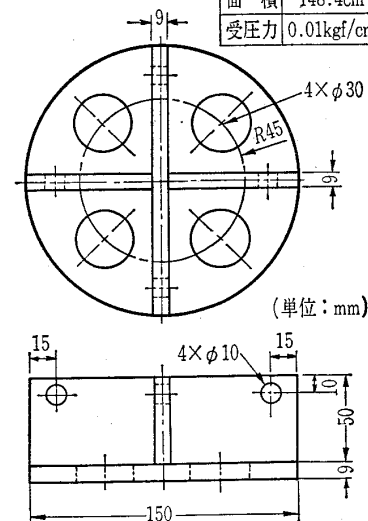


図-4 円板レッド

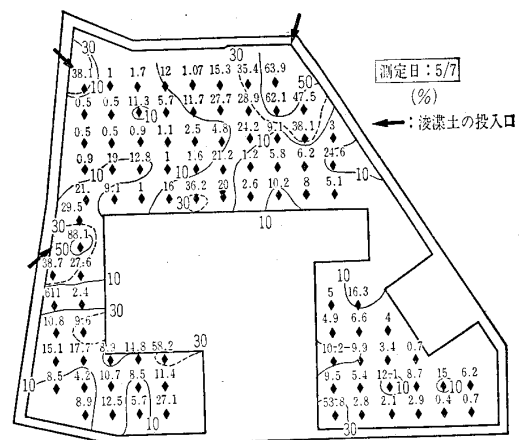


図-5 砂分含有量分布図

う深度となる。よって、局所的な凹凸がある場所は砂質堆積土であり、一方、平たんな所は粘性堆積土である場合が多い。図-5は、レッド貫入停止深度での試料を採取し、その試料の砂分含有量(M_s)の結果を平面分布として示し

ている。図-5と図-3(b)とを比べると、レッドの結果の凸の場所では砂分含有量が多いことが分かる。

4. 鉛直分布調査

4.1 含水比分布

図-6は、D地点における含水比 w の経時変化を対数座標上で示している。この内 $w > 10^4\%$ の結果は濁度(T_b)を測定して懸濁物質濃度(SS)に換算し、次式で含水比を求めた。この含水比への換算は水面から堆積土下端までの性状を同一指標のもとで考察するためである。

$$w \doteq \frac{10^8 \cdot \gamma_w}{SS} (\%) \quad (1)$$

なお、 T_b とSSの間にはほぼ正比例の関係($T_b = a \cdot SS + b$, a と b は定数)があることが実験で確かめられている。また、 $w \leq 10^4\%$ の結果はJIS A 1203の方法で求めた含水比に塩分補正⁴⁾を行ったものである。

図-6の含水比分布の結果によると、埋立地内では懸濁水状態を示す上部と浮泥を含めた堆積土を示す下部とに分けられ、その境界では急激な含水比の低下が生じていることが認められる。ここでは、含水比が急激に変化する深度を堆積土表面と考えることにする。なお、堆積土表面における含水比を図-6から読み取ると、各調査時点ごとにばらつきはあるものの、概ね $w = 10^3 \sim 10^5\%$ の範囲内となる。

一方、 $w = 10^3 \sim 10^5\%$ で示される堆積土表面は、余水処理の観点からもほぼ妥当であると考えられる。この理由は、埋立地内の余水処理場の設計において、処理場内に流入する余水の最大懸濁物質濃度は $SS_{\max} = 2000 \text{ mg/l}$ と設定される場合が多いが、この $SS_{\max} = 2000 \text{ mg/l}$ を含水比に換算した $w \doteq 5 \times 10^4\%$ とほぼ一致するからである。また、3.1述べた $T_b = 1000 \text{ PPM}$ を含水比に換算すると、ほぼ $w \doteq 10^5\%$ となる。よって、この値($T_b = 1000 \text{ PPM}$)の深度を近似的に堆積土表面と見なしてもよいと考えられる。

また、図-6によると、浚渫土の連続的な投入によって堆積面が上昇し、一方、堆積土層内では含水比の低下が認

められる。この含水比の低下は自重圧密の進行によるものである。

4.2 粒度構成

埋立地盤の粒度構成は、図-5に示したように排砂管の出口付近では粗粒土が多く堆積し、出口から約150m以上離れると、その砂分含有量は $M_s < 10\%$ となる。

図-7は、B、CおよびD地点における堆積土の M_s 分布を含水比の結果とともに示している。

BC工区での浚渫土の投入は排砂管の出口を護岸に沿って移動したため、BとC地点の粒度構成はかなり複雑である。すなわち、B地点は在来地盤から -1.5m の範囲では $M_s \leq 5\%$ 、 $-1.5\text{m} \sim +5.0\text{m}$ では $M_s = 20 \sim 40\%$ および $+5.0\text{m}$ 以浅では $M_s \leq 5\%$ となっている。またC地点は、 -1.5m 付近では $M_s = 50 \sim 60\%$ で、 $+1.0\text{m}$ の $M_s = 10 \sim 30\%$ まで深度が浅くなるにつれて M_s がほぼ直線的に減少し、 $+1.0\text{m}$ 以浅においては $+2.0\text{m}$ で $M_s = 40 \sim 60\%$ と一たん急に増加し、 $+2.0\text{m}$ 以浅では $+7.0\text{m}$ の $M_s = 0 \sim 20\%$ まで M_s がほぼ直線的に減少する傾向がある。このBとC地点に関しては、これらの測点と浚渫土の投入位置との距離が粒度構成を支配する最も大きな要因になっているからである。

一方、D地点はC工区から流れ込んだ余水中の細粒子が主に堆積したものであり、 -1.0m 以浅においては $M_s \leq 5\%$ で、含水比は $w > 200\%$ である。また、在来地盤から -1.0m の間に $M_s = 10 \sim 50\%$ の堆積土が認められるが、この砂はI工区でのもらし吹きの砂が流れ込んだものと思われる。

5. 埋立地盤の管理手法

5.1 土量変化率による管理

図-8(a)は、浚渫土投入期間中における土量変化率 ζ の変化を示している。ここでの土量変化率の定義は、

$$\zeta = \frac{\text{堆積土量}, V_R(\text{m}^3)}{\text{浚渫土量}, V_D(\text{m}^3)} \quad (2)$$

である。浚渫土量は浚渫後深浅測量(音波探査法)によって掘削後の断面形状を測定して求めた。また、堆積土量は $T_b = 1000 \text{ PPM}$ の深度を堆積面とし、埋立地内の形状と在来地盤の沈下およびもらし吹きによる砂の容積を加えて算出した。図-9は在来地盤の沈下の1例を示している。沈下板は一辺1.8mの角板の中央に約11m長の鋼棒が取り付けられており、この鋼棒を垂直に保つためにアンカーで周辺地盤に固定されているものである。

図-8(a)によると、5/15時点では $\zeta = 1.61$ であり、その後は浚渫土の投入速

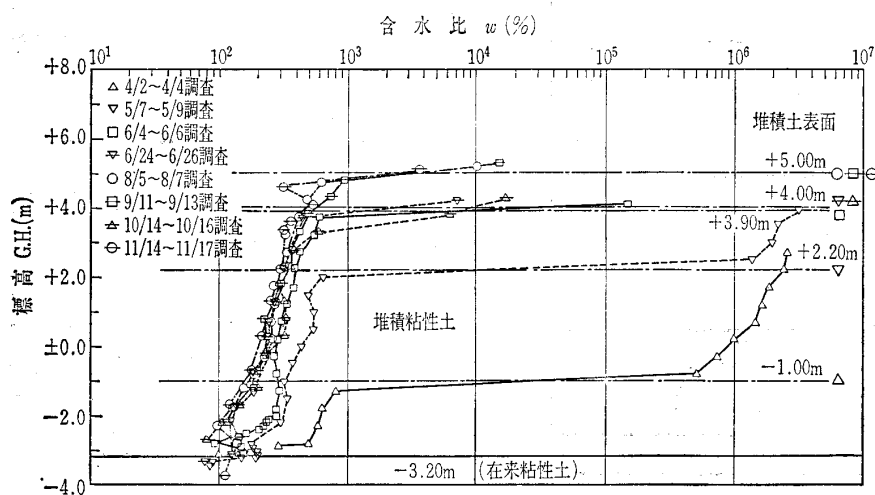
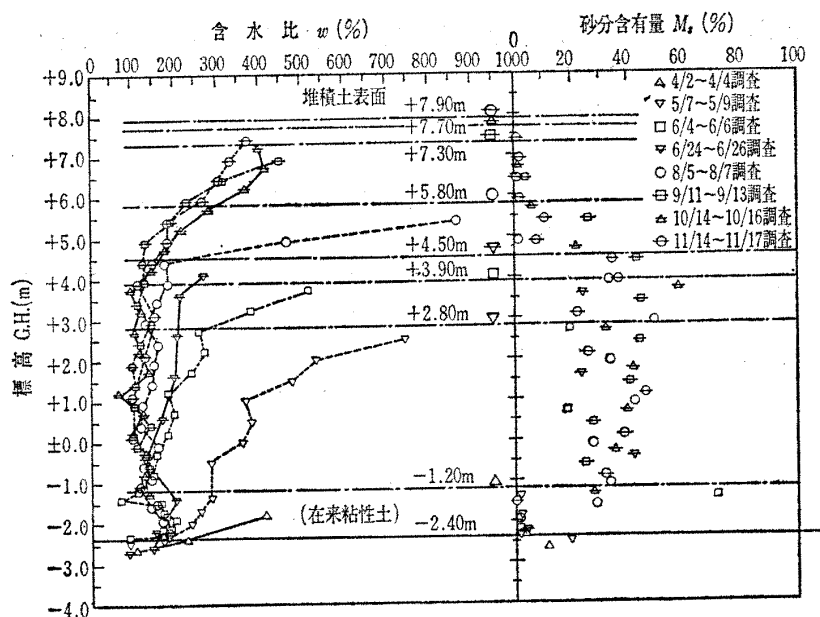
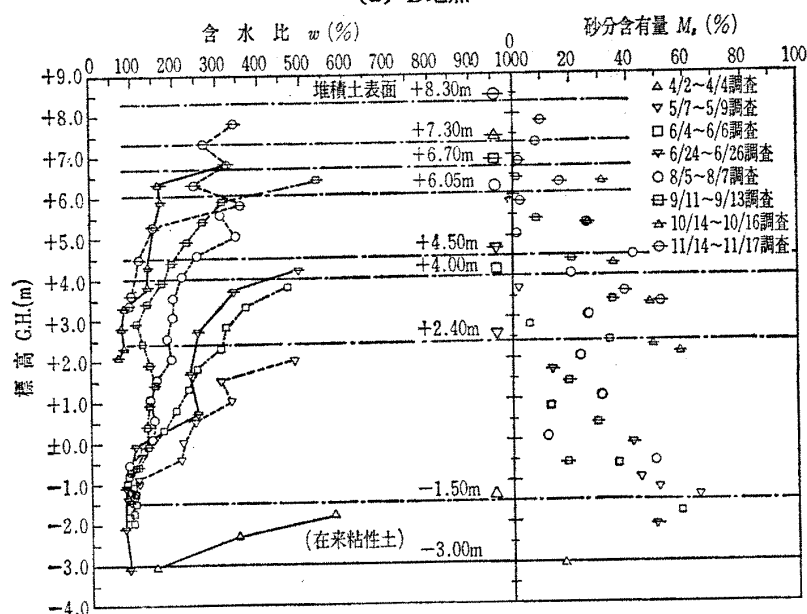


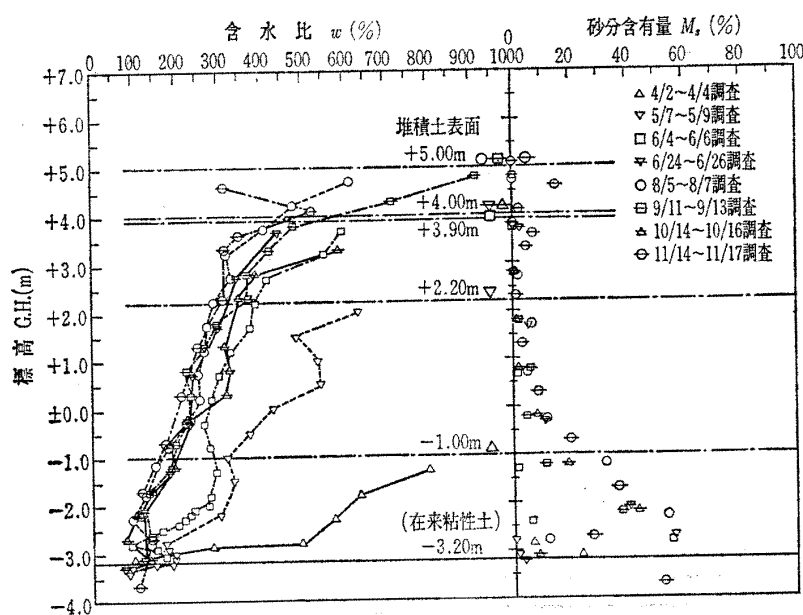
図-6 D地点における含水比の経時変化



(a) B地点



(b) C地点



(c) D地点

図-7 堆積土の含水比～砂分含有量関係図

度 Q_D が減少したことから、6/5時点では $\zeta = 1.53$ となっている。また、7月以降の ζ の変化によると、浚渫土の Q_D はほぼ一定であることから、 ζ は直線的に減少する傾向がある。図-8(a)の7月時点での予測線(破線)は、6/5から6/25までの結果を直線延長したものである。この予測線は、7/8から Q_D が減少したので ζ をやや過大評価しているが、仮に Q_D がほぼ一定となった8月以降で予測を行うとすると、高精度での ζ の予測が可能である。この Q_D 一定の時の ζ の直線的な減少は明らかに堆積土の自重圧密の進行によるものであり、投入速度の大小が ζ に与える影響も比較的大きい。なお、図-8(a)の ζ は累計浚渫土量に対するものである。

5.2 堆積面高による管理

図-8(b)は、A, B, C, D地点における堆積面高 H_{Tb} ($T_b = 1000$ PPMの深度)の推移を示している。なお、これらの各地点の H_{Tb} は各工区での平均的な堆積面高にほぼ等しい。この理由は図-3(a)に示したように、堆積面はほぼ平坦であることによる。

図-8(b)によると、投入開始から5月中旬までの期間は浚渫速度 Q_D がほぼ一定であることから、 H_{Tb} もほぼ直線的に上昇している。また、5月中旬以降においては、 Q_D の減少につれて H_{Tb} の上昇速度 v_H (cm/日) も減少する傾向がある。図-10は Q_D と v_H の関係を両対数紙上で示している。両者の間にはほぼ直線関係が成り立つと言える。この Q_D と v_H の関係を用いると、全浚渫土量 V_D 投入時の埋立堆積土高 H_{Tr} ($=H_R$) の予測が可能である。すなわち、

- (1) 浚渫速度が一定のもとで全浚渫土量を投入する場合には投入初期で得た Q_D に対する v_H を用いると、次式で予測できる。

$$H_R = \frac{V_D}{Q_D} \cdot v_H + H_0 \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 H_0 は埋立前の地盤高、 V_D/Q_D ($=t_D$) は浚渫に要する時間である。

- (2) Q_D が変化する場合には、①投入初期において、 Q_D が異なる v_H を2データ実測する、②図-10に示すような $\log Q_D \sim \log v_H$ の直線関係を求める、③浚渫計画での平均的な $\bar{Q}_D$ に対する $\bar{v}_H$ を求め、(3)式で H_R を予測する。

一方、 $\log Q_D \sim \log v_H$ の直線関係には次の

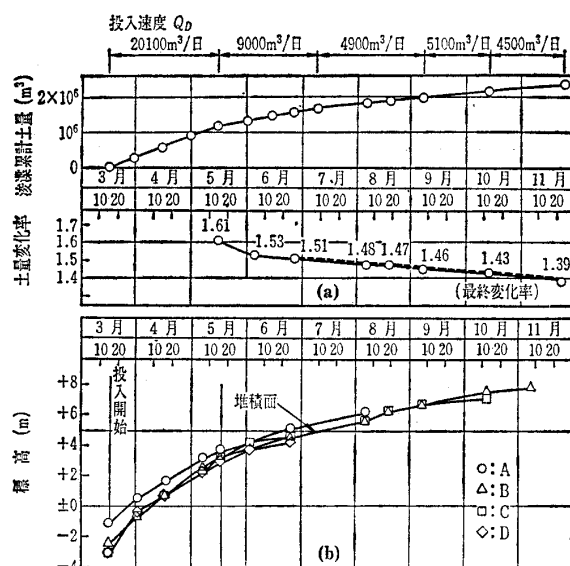


図-8 累計浚渫土量～土量変化率～堆積面高関係図

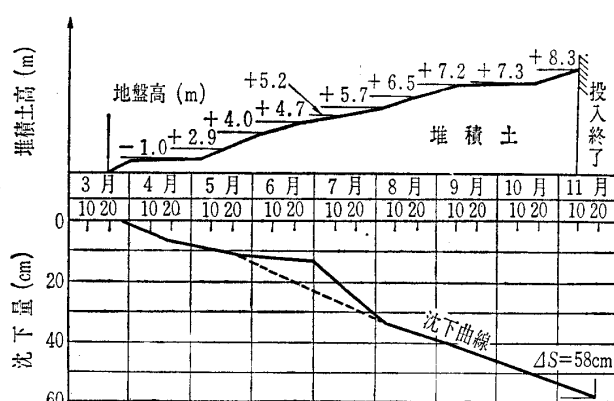


図-9 在来地盤の沈下測定結果 (B地点)

特徴がある。すなわち、全浚渫土量を 1 000 000 m³、浚渫速度を $Q_D=20\,000\text{ m}^3/\text{日}$ および $5\,000\text{ m}^3/\text{日}$ と設定すると、図-10からそれぞれの全浚渫土量投入時の高さは、

○ $Q_D=20\,000\text{ m}^3/\text{日}$ の場合： $v_H \approx 9.2\text{ cm}/\text{日}$

→ $t_D=50\text{ 日}$ より $H_R \approx 4.60 + H_0\text{ m}$

○ $Q_D=5\,000\text{ m}^3/\text{日}$ の場合： $v_H \approx 1.8\text{ cm}/\text{日}$

→ $t_D=200\text{ 日}$ より $H_R \approx 3.60 + H_0\text{ m}$

となる。この Q_D が減少した場合の H_R の減少は、投入期間の増加に伴う自重圧密沈下の進行によるものと考えられる。

5.3 管理手法の比較

土量変化率による管理を ζ 法、および堆積面の推移によるものを H_{Tb} 法と呼ぶ。この ζ 法と H_{Tb} 法とを比較すると、 ζ 法は累計土量および H_{Tb} 法は増分土量に対するものであると言える。すなわち、図-11を用いると、 $t+\Delta t$ 時間における土量変化率は、

$$\begin{aligned}\zeta(t+\Delta t) &= \frac{V_R + \Delta V_R}{V_D + \Delta V_D} \\ &= \frac{V_R + \Delta S_B \cdot A_B + \Delta H_{Tb} \cdot A_H}{V_D + \Delta V_D}\end{aligned}$$

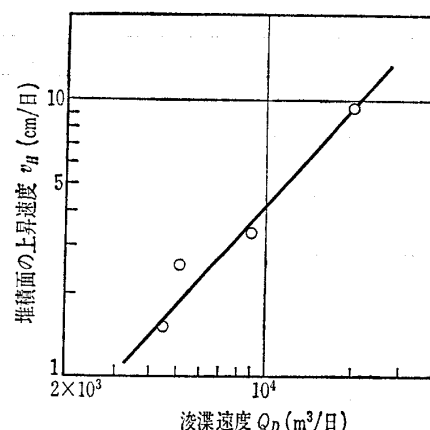


図-10 浚渫土の投入速度 Q_D ～堆積面高の上昇速度 v_H 関係図

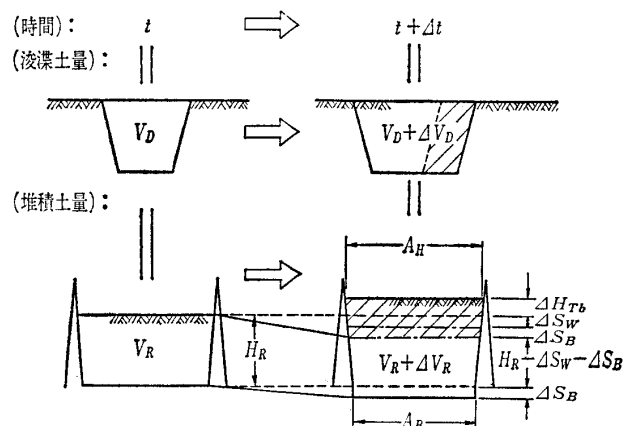


図-11 浚渫土量～堆積土量関係の概念図

と表される。ここに、 ΔS_B は在来地盤の沈下量、 ΔH_{Tb} は堆積土面の上昇量、 A_B と A_H はそれぞれ在来地盤表面および H_{Tb} の高さにおける埋立地面積である。また図-11中の ΔS_W は堆積土層の自重圧密沈下量である。一方、 Δt 時間での浚渫土量増分 ΔV_D とこの ΔV_D に対する埋立容積増分 ΔV_R との比を考えると、

$$\xi(t+\Delta t) = \frac{\Delta S_B A_B + \Delta H_{Tb} A_H}{\Delta V_D}$$

となる。また、 ξ の時間的変化を取ると、

$$\xi(t+\Delta t) = \frac{(\Delta S_B / \Delta t) \cdot A_B + v_H A_H}{Q_D}$$

となる。ここで、①在来地盤の沈下速度 $\Delta S_B / \Delta t$ は非常に小さい、あるいは② $\Delta S_B / \Delta t$ と v_H には一定の比例関係が存在すると仮定すると、埋立容積の時間的変化は Q_D に対しての v_H に注目すればよいと考えられる。

両手法の特徴を比較すると、表-2 のようである。 H_{Tb} 法は非常に手軽であるが、先の述べた①、あるいは②の仮定があること等から ζ 法より誤差を伴う。一方、 ζ 法は表-2 中の要因①が考慮されていないので完全な方法ではない。この理由は単位体積当たりの実質土量が増加すると、浚渫速度が一定でも堆積土の層厚増加速度が増大するからである。実際の予測に際しては短期的には H_{Tb} 法、およ

表-2

	くによる予測	H_{Tb} による予測
① 浚渫土 1m ³ あたりに含まれる実質土量の多少の影響 注)	× (考慮していない)	×
② 埋立過程における埋立地面積の変化の影響	○ (考慮しないとい けない)	×
③ 在来地盤の沈下の影響	○ (考慮しないとい けない)	×
④ 手軽さ	×	◎
⑤ 予測精度	○	△
評 価	◎	○

注) 浚渫土は均一で、自重圧密終了状態にあると仮定すると、地盤面からの深度が増加するにつれて単位体積当たりの実質土量が増加する。しかし、(2)式のくは単に容積比較であるので、この実質土量の多少の影響は考慮されていない。

び長期的で精度が要求される場合にはく法を使用するのがよいと思われる。

6. ま と め

ポンプ浚渫土を投入して形成された埋立地盤の調査から得られた主な結果を述べると、次のようである。

- (1) 濁度計によって測定された $T_b=1000$ PPM の深度は近似的に堆積面高と見なすことができる。
- (2) 堆積面は埋立地全体でほぼ平たんを保ちながら上昇し、局所的な最大勾配を取っても6%程度である。
- (3) 受圧力 $p=0.01$ kgf/cm² のレッドの貫入停止深度は、砂質堆積土がある場合にはその上面高となる。よって、レッド測量の結果から砂質土の堆積状況を概略知ることが

とができる。

- (4) 埋立地盤の粒度構成は、浚渫土の投入地点と大きく関連し、排砂管の近くでは砂分含有量 M_s が60%以上、少し離れる(=70~150m)と $M_s=30\%$ 、およびそれ以上離れると $M_s<10\%$ となる。

埋立地盤の管理手法として、土量変化率によるく法と堆積面の推移による H_{Tb} 法とを提案した。これらの手法は浚渫土を埋立地へ投入した際の堆積土高の予測に利用することができる。各方法の特徴は次のようである。

- (a) く法は、浚渫土の投入速度 Q_D が一定の場合に土量変化率くが一定割合で減少する性質を利用するものである。
- (b) H_{Tb} 法は、浚渫土の投入速度 Q_D が一定の場合に堆積面高 H_{Tb} がほぼ一定速度で上昇することを利用するものである。く法よりも精度は劣るが、非常に手軽で使いよいと思われる。

参 考 文 献

- 1) たとえば、石黒 隆：海岸・港湾・海洋工事，山海堂，p. 223, 1980.
- 2) 渡・新舎・林・網干：浚渫粘性土の沈降と分離堆積，広島大学工学部研究報告，Vol.34, No.2, pp.159~173, 1985.
- 3) 新舎・日野・渡・新谷：ポンプ浚渫粘性土の分離堆積と圧密特性，地盤と建設，Vol.4, No.1, pp.11~22, 1986.
- 4) Imai, G., Tsuruya, K. and K. Yano: A treatment of salinity in water content determination of very soft clay, Soils and Foundations, Vol.19, No.3, pp.84~89, 1979.

(原稿受理 1987.8.27)

学会新刊案内

現場技術者のための土と基礎シリーズ 14

土 質 調 査 計 画

—その合理的な計画の立て方—

第1章 総論

第2章 建築基礎および根切り・山留め

第3章 橋梁基礎

第4章 土構造物

第5章 トンネル

第6章 港湾構造物

第7章 特殊構造物—原子力発電所の例

第8章 耐震設計のための地盤調査

A 5 判 344ページ 送料 350円

定価 4,100円 会員特価 3,200円

発行：土質工学会 〒101 東京都千代田区神田淡路町2-23(青山ビル4階)
電話 03-251-7661(代)
FAX 03-251-6688