

砂質粘土層を含む浚渫粘土埋立地盤の沈下予測精度の向上策について

王丸冬二*・山本修司**・片桐雅明***・樋口晃****・中島秀樹*****

* (一財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

** (一財) 沿岸技術研究センター 参与

*** 株式会社 日建設計シビル

**** 国土交通省 九州地方整備局 北九州港湾・空港整備事務所 第二工務課長

***** 国土交通省 九州地方整備局 北九州港湾・空港整備事務所 第二工務課 港湾保安調査官

現在、関門航路周辺の航路・泊地の整備のため、浚渫工事が進められている。新規土砂処分場の稼働までには未だ数年を要するので、浚渫土砂を受け入れてきた新門司沖土砂処分場（3工区）の果たす役割は非常に重要である。今後の浚渫計画を実施していくうえで、3工区の受入可能容量を高精度で予測することが必須である。

3工区は、原地盤高がエリア毎に異なるうえに、性状の異なる投入土砂、受入容量増大のための地盤改良等の有無により、エリア毎に様々な地盤状況となっている。本稿ではこれらを考慮し、3工区の泥面高さを予測する地盤モデルを設定して将来予測する手法とその結果を紹介する。

キーワード：圧密沈下解析、埋立層の地盤改良、土砂処分場の容量拡大

1. はじめに

航路整備事業で発生する浚渫土砂のほとんどは、海域に構築された土砂処分場に埋立処分される。投入された土砂の状態は浚渫方法に依存し、ドラグサクシオン船を用いる、いわゆるポンプ浚渫は主に細粒分が多い粘性土を対象としたもので、浚渫中に海水と混ざりあって高含水比状態で堆積する。一方、グラブ浚渫は浚渫中にほとんど海水が混入しないため地山の含水比に近い状態で堆積する。しかも、粘性土の圧縮性は堆積時の含水比に依存し、含水比が低いほど圧縮性は低くなる。

新門司沖土砂処分場3工区（以下、3工区）は、おおむねポンプ浚渫土砂が投入されていたが、ある時期、西側護岸からグラブ浚渫された砂質粘土がリクレーマで揚土された。そのため、この西護岸周辺には低圧縮性の砂質粘土層が部分的に堆積している。3工区の受入容量が残り少なくなってきた現在、今後の浚渫計画を詳細に策定するためには、受入可能容量を高精度で予測することが必須であり、そのためには堆積している浚渫土砂の圧縮性を含めた特性の違いを把握し、その堆積面積を考慮した予測解析を行う必要がある。

本稿では、3工区において浚渫土砂を受け入れた経緯や地盤改良工法の施工範囲から想定する堆積面積の設定方法とそれぞれの地盤モデルを設定し、泥面高さを予測精度を向上させる方法とその結果について報告する。

2. 3工区の浚渫土砂受入履歴

図-1に、3工区と浚渫事業の対象である関門航路ならびに新門司航路の位置関係を示す。対象としている3工区は、1996年から整備されはじめた新門司沖土砂処分場の一角であり、先行して埋め立てられた工区には北九州

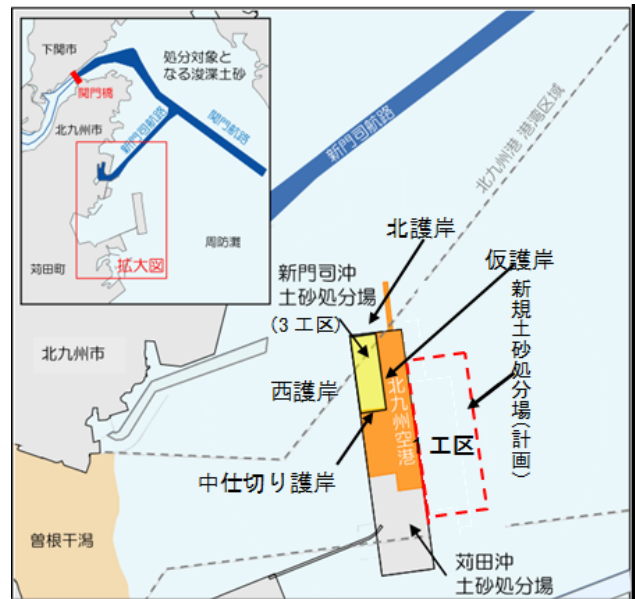


図-1 対象とする処分場と整備する航路の位置関係

空港が整備された。3工区の埋立前の在来地盤高さはDL-7 m程度で、層序は5~7 mの沖積粘土層に続いて、火山灰質砂層、洪積粘土層、洪積砂層が堆積し、この洪積砂層の下端深度はDL-25 m程度である。構築された護岸の天端高さはDL+8.0 mであり、浚渫土砂の受入計画高さはDL+7.5 mと設定されていた。なお、外海のH.W.L.はDL+4.04 m、L.W.L.はDL+0.08 mである。

3工区の整備状況ならびに浚渫土砂受入履歴を表-1に示す。1997年の護岸概成後、空港用地造成の埋立柱とするため、1998~1999年には南側の海底部で、2000年には北側の海底部で床掘が行われ、その掘削深度は南側でDL-22.4 m、北側でDL-21.5 m程度であった。図-2に3

工区全体の平面図及びA-A', B-B' 断面の模式図を示す。南・北の深掘部にはポンプ浚渫された土砂が、西護岸側にはリクレーマ船で揚土されたグラブ浚渫土砂が堆積している。また、高上げ築堤のために岩ずりによる置換、VDおよび真空圧密による地盤改良を施工している。

2002年から2004年に開口部が閉じられるまではドラグサクシオン船から直捨てで、それ以降は排砂管で揚土された。なお、浚渫実施時期は、毎年10月から翌年の6月までであり、その間の土量を表-1に示している。また、表中のマイナス表示は、空港用地造成のための埋立ならびに機械脱水処理土の原材料として3工区から搬出した土量である。

また、2005~2010年にかけて、グラブ浚渫された砂分が多い土砂が西護岸背後にリクレーマによって揚土された。グラブ浚渫土砂の投入が終わった2012年までの投入量は、地山の土量で換算して、ポンプ浚渫土が505万 m^3 程度、グラブ浚渫土が358万 m^3 程度と、グラブ浚渫土の割合は全体の40%程度であった。

表-1 3工区に投入された浚渫土量実績(地山土量)

年	状況	掘削土量	ポンプ浚渫	グラブ浚渫	脱水土母材*
1997	H9 護岸側成				
1998	H10 床掘	2,110,000			
1999	H11 仮置き				
2000	H12 床掘		1,350,000		
2001	H13 投入実績	1,130,000	-910,000		
2002	H14 "		727,000	35,319	
2003	H15 "		874,360		
2004	H16 "		454,410		
2005	H17 "		584,140	278,236	
2006	H18 "		491,860	212,577	
2007	H19 "		450,950	78,093	
2008	H20 "		492,950	1,259,954	
2009	H21 "		539,540	1,518,922	
2010	H22 "			195,842	-253,000
2011	H23 "		510,000		-249,000
2012	H24 "		482,000		-249,000
2013	H25 "		499,000		-181,000
2014	H26 "		365,000		-3,000
2015	H27 "		471,000		
2016	H28 "		786,000		
総計		3,240,000	8,168,210	3,578,943	-935,000
H22年度までの総計			5,055,210	3,578,943	-253,000

(単位: m^3) * 処分場内の堆積土砂体積

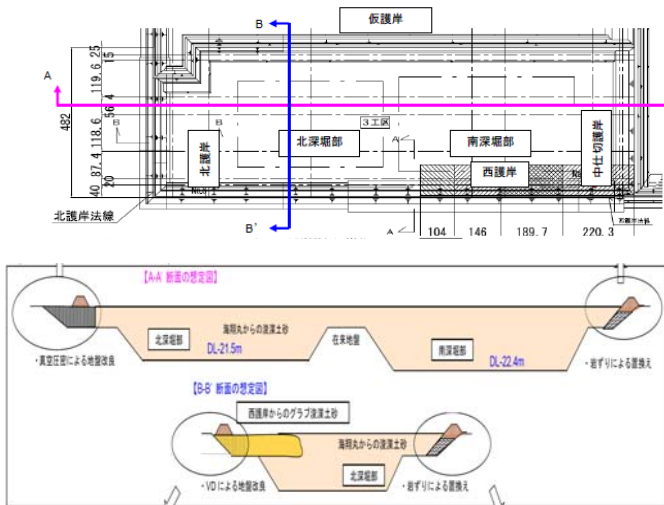
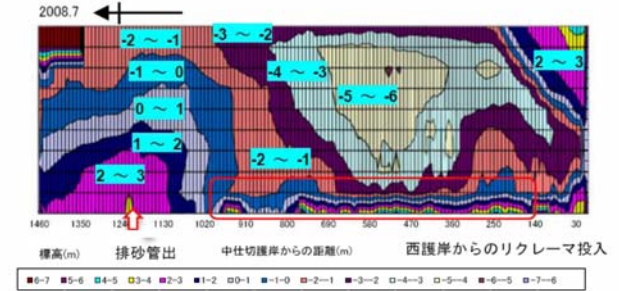


図-2 処分場内の想定地盤状況

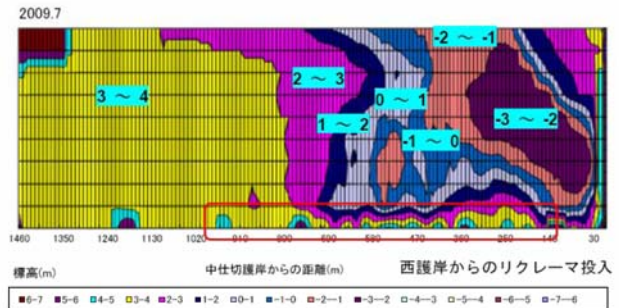
3. 3工区受入状況と受入容量増大対策前の地盤内性状

3工区は直捨てで浚渫土が投入されはじめ、2004年2月には、護岸際を除いた泥面高はDL-9~-3mとなった。2004年に北護岸部の開口部が閉じられ、図-3(a)に示すように西護岸北側の1350m付近に設置された排砂管から浚渫土砂が投入されたため、その周辺の泥面高がDL+2~3mと、その周辺よりも高くなっている。また、西護岸南側からリクレーマ船で揚土された土砂が西護岸周辺に高く堆積していることがわかる。さらに、西護岸の中仕切護岸から140~360m付近では、西護岸から200m程度離れた位置まで泥面高が周囲よりも高いことが確認できる。これは、西護岸から揚土されたグラブ浚渫土が、それまでに堆積していた浚渫土を押し出したためと思われる。

図-3(b)は、2009年7月の泥面高のコンター線である。2008年7月からの1年間に、2008年度分の土量、およそ175万 m^3 の浚渫土が投入されて、平均地盤高さは3m程度上昇した。



(a) 2008.7の状況



(b) 2009.7の状況

図-3 3工区内の泥面高の形状

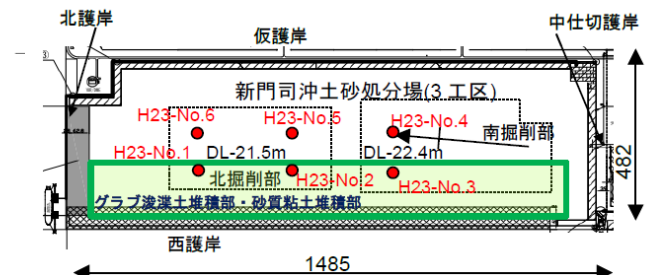
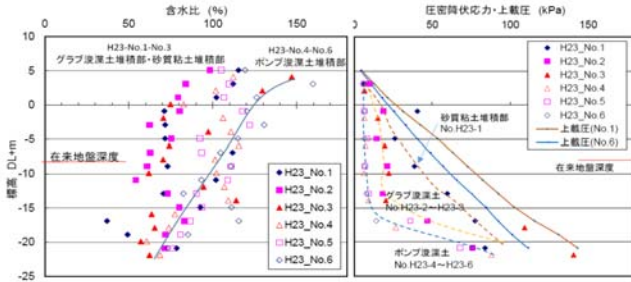


図-4 H23年の地盤調査位置と推定堆積区分エリア

図-4 に、2011 年(H23)に実施した 3 工区内の地盤調査位置およびグラブ浚渫した土砂ならびに砂分が卓越したポンプ浚渫土が堆積したと想定した範囲を示す。これは、この時の泥面高が DL+5.5 m 程度であったこと、2010 年までに投入したグラブ浚渫土の土量(表-1 参照)を基に、グラブ浚渫土のふくらみ率を 1.0 として、旧海底地盤である DL-7m から 2011 年の地盤高さ(DL+4.5m)となる面積を求め、西側護岸から一律の範囲(150 m)と仮定したものである。



(a) 含水比分布 (b) 圧密降伏応力分布
図-5 H23 (2011)年に実施した地盤調査結果

図-5(a)は、2011 年(H23)に調査した含水比の深度分布である。No. H23-1~H23-3 が西側部のもので、DL-10 m よりも浅い部分の含水比は浅くなるにつれて高くなり、60~80 %であった。一方、処分場へ中心線に近い No. H23-4~H23-6 の同深度の含水比は 100~120 %と、明らかに西側のデータよりも高いことがわかる。また、DL-10 m 以深のデータは調査位置にかかわらずほぼ同じ領域に分布していることが確認できる。

図-5(b)は、圧密降伏応力の深度分布で、No. H23-1 と H23-6 の含水比分布から換算した全応力分布も併せて示してある。圧密降伏応力の分布は、有効単位体積重量や透水性の違いに起因して、分布している位置が異なっていること、概ね全層が未圧密状態にあることが確認できる。

4. VD 打設後の地盤内性状と堆積エリア区分の評価

3 工区全面積の 54%のエリアに、受入容量拡大を目的としてプラスチックボードドレーン(以下、PBD)が H25 年~H27 年の 3 カ年で打設された。

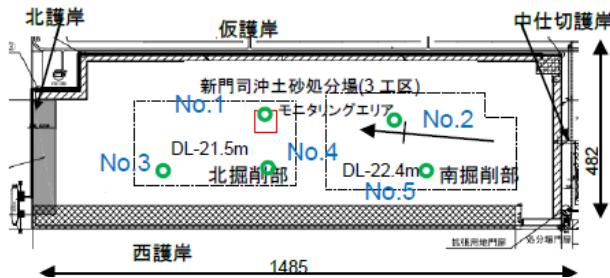


図-6 VD 打設後の H28, H29 年に実施した地盤調査位置

その後、浚渫土砂層が厚く堆積している深掘部の 5 か

所(図-6 参照)で、H28, H29 年に、地盤調査が行われた。

図-7 に、H28, H29 年の地盤調査結果としての自然含水比、液性限界、自然含水比/液性限界、細粒分含有率の深度分布を示す。各所に設置した沈下板によると、PBD 打設面の標高は、DL+2 m 前後であり、ほぼ、 $w/wL = 1.0$ の深度に対応していた。DL-5 m 以浅では、各特性とも比較的狭い範囲にあるが、それ以深ではばらつきが大きい。特に、DL-5~-10 m では、西側の No. 3~5 の含水比、液性限界、細粒分含有率が低くなっていた。

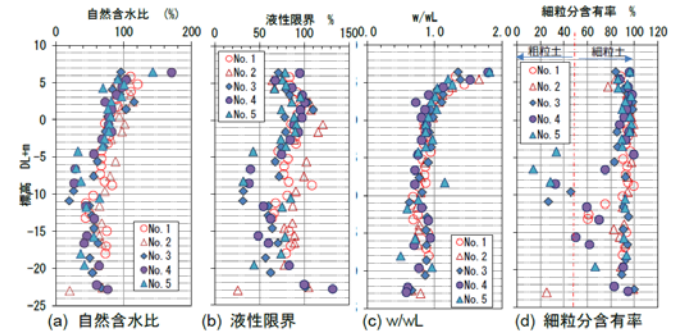


図-7 地盤調査から求めた含水比、物性値の分布

図-8 に、PBD 打設範囲と、油圧抵抗値から推定した砂層厚のコンター、護岸周辺の地盤調査結果から推定した砂層厚のコンター、ならびに、図-3 で設定したグラブ浚渫土、砂質粘土堆積部の範囲を示す。ここで、緑の点線は、砂層厚さのコンター線をベースにして、グラブ浚渫土砂・砂質粘土堆積部の境界を設定したもので、砂層厚さが 1 m のコンター線から 30 m 程度の範囲までと設定した。このように砂層厚を考慮して設定したグラブ浚渫・砂質粘土堆積部の範囲は、図-3 で示した初期設定値よりも、2000 m²程度狭くなった程度であった。

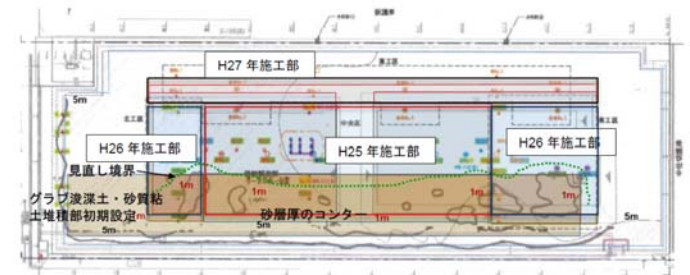


図-8 グラブ浚渫土・砂質粘土の初期設定した堆積範囲と見直し結果

5. 地盤モデルの修正と修正結果

現在用いている埋立解析手法³⁾では、粘土層の圧縮性と圧密速度の 2 つの定数が必要であり、それら 2 つを同定するためには、2 つの異なる事象が必要となる。今回は、泥面高さの経時変化と地盤内の含水比分布を用いた。

モデルの修正方法は國田らが提案した次の方法⁴⁾を用い、中道らが示した予測解析⁵⁾の地盤モデルを初期モデルとした。

i) 初期モデルの 1 m 厚さあたりの実質土量高さ hsu 分

- 布と初期モデルの全層の実質土量高さ hs_o を求める。
- ii) 地盤調査で得られた深度方向含水比分布から、 hsu_m 分布と地盤調査結果としての全層の実質土量高さ hs_m を求める。
- iii) hs_m と hs_o が同じとなるように、全層の実質土量高さを修正して、修正モデルの hs_{mm} とする。
- iv) 修正モデルの hs_{mm} で事後解析を行い、地盤調査時の含水比分布と泥面高さの経時変化が実測値と合致するか判断する。
- v) 表現できていない場合には、圧密パラメータを修正して、iv)に戻り、事後解析を行う。
- vi) 表現できた場合には、解析に用いた圧密パラメータが妥当かどうか判断する。

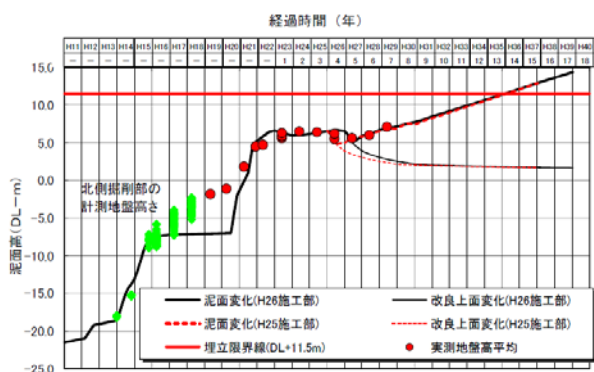
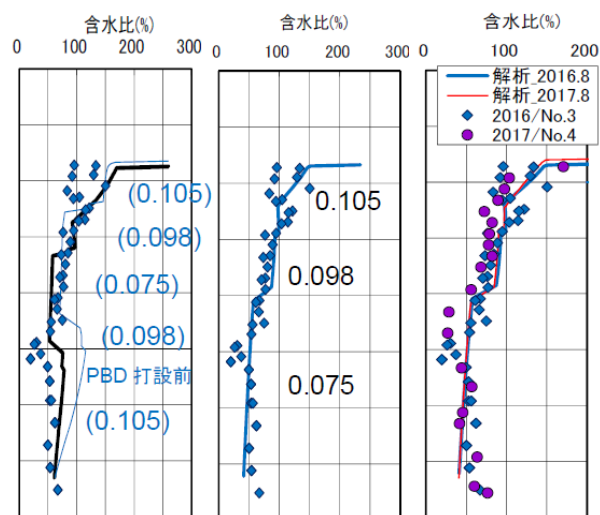


図-9 北掘削部西側（地盤調査位置 No. 3, No. 4）泥面高さの経時変化



(a)No. 3 初期モデル (b)No. 3 修正モデル (c)No. 3, No. 4
図-10 含水比分布の比較

図-9は、設計時の初期モデル²⁾から実測値を表現できるように圧密パラメータを修正した時の泥面高さの経時変化である。なお、H20年までの数年間の解析値が実測値と合致していない期間は、グラブ浚渫土がH20年から投入され、DL-7m程度まで置き換わったという計測結果を表現するための手段として、その高さからグラブ浚渫土が堆積したと設定したからである。図-10(a)～(c)は、

地盤調査位置 No. 3 の含水比分布で、(a)図が地盤モデルを修正する前(PBD 打設前も併記)、(b)図が修正後のものである。図中の数字は、圧縮性を示す $\log f - \log p$ 関係の傾きであり、初期モデルはカッコ内に数字で示した。(c)図は 2016 年と 2017 年の解析結果と、その時点で計測された含水比分布である。場所的な違いの可能性はあるが、No. 4 の含水比が No. 3 のものよりも低く、圧密の進行について 1 年の経過時間の違いがみられる。また、泥面が高く浚渫土が堆積したことが表現できている。なお、同定した圧密パラメータは既存の液性限界との関係に対応していることを確認している。

6. まとめ

本稿では、延命化のため稼働途中でバーチカルドレーンの打設や嵩上げ築堤による容量拡大方策を実施した新門司沖土砂処分場（3工区）の残受入容量を高精度で予測するために、圧密特性が異なる浚渫土の堆積分布を設定する方法を提案するとともに、地盤調査結果を踏まえた地盤モデルに対する圧密パラメータの同定結果と評価を取りまとめた。以下、主要な結論をまとめる。

- ・浚渫土の投入履歴、深浅測量、地盤調査の結果、PBD 打設の油圧抵抗値などのデータを用いることにより、ある程度の精度で堆積状況を設定できた。
- ・地盤調査結果を用いる地盤モデルの修正方法を、異なる浚渫土が堆積したエリアで適用し、圧密定数を同定した。

謝辞

本稿は、国土交通省九州地方整備局発注の「平成 29 年度 新門司沖土砂処分場（3工区）技術検討業務」での成果の一部をまとめたものである。本業務の検討にあたり技術検討会（委員長：善功 九州大学大学院特任教授）において貴重なご助言をいただいた。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Katagiri, M. and Imai, G.: A new in-laboratory method to make homogeneous clayey samples and their mechanical properties, *Soils & Foundations*, Vol. 34, No. 2, pp. 87-93, 1994.
- 2) 中道ら：浚渫粘土処分場の受入容量拡大方策としてのVD工法の適用，第12回地盤改良シンポジウム，pp. 9-16, 2016.
- 3) 江頭ら：浚渫粘土による埋立の予測と評価，*土木学会論文集*，No. 715/III-60, pp. 147-164, 2002.
- 4) 國田ら：地盤調査結果を用いた埋立解析モデルの修正，第52回地盤工学研究発表会概要集，pp. 795-796, 2017.
- 5) 中道ら：新門司沖土砂処分場の受入容量拡大プロジェクト，第59回地盤工学シンポジウム，pp. 667-674, 2014