

土運船の堆積形状予測と配船システムの 現地適用性

THE PREDICTION SYSTEM OF SEDIMENT DISCHARGING SOIL FOR HOPPER-BARGE WITH BOTTOM DOORS

下川義和¹・奥田章博²・富留宮直³・稲葉 徹⁴・大島香織⁵・国栖広志⁶
Yoshikazu SHIMOKAWA, Akihiro OKUDA, Tadashi FURUMIYA, Toru INABA,
Kaori OHSUMA, and Hiroshi KUNISU

¹正会員 関西国際空港株式会社 建設事務所 (〒549-0001 大阪府泉佐野市泉州空港北一番地)

²正会員 株式会社鴻池組 大阪本店 (〒541-0057 大阪市中央区久宝町3丁目6番1号)

³正会員 株式会社鴻池組 大阪本店 (〒541-0057 大阪市中央区久宝町3丁目6番1号)

⁴正会員 五洋建設株式会社 大阪支店 (〒530-0001 大阪市北区梅田2-5-25ハービ' SAKA)

⁵正会員 五洋建設株式会社 大阪支店 (〒530-0001 大阪市北区梅田2-5-25ハービ' SAKA)

⁶フェロー 日本海洋コンサルタント株式会社 技術第二部 (〒102-0082 東京都千代田区一番町27-4)

This paper shows a prediction method of soil sediment shape when hopper-barge dump at the sea bottom. This prediction system is developed for the second construction of Kansai International Airport. Firstly model shape of sediment is applied to hydraulic model tests. Secondly model shape of sediment is applied to site data, therefore shape of sediment is different each of dumping vessel. Shape of sediment is classified at single peak and double peak. Difference of sediment shape is mainly caused by bottom-doors type, full-open and bottom-open. And sediment shape is also different of 3 type dumping method, full-dumping, time-delay-dumping and part-dumping. Shape of sediment model is composed of 1000m³ volume. Dumping volume is adjusted to sediment height. This prediction system is used of reclamation work at Kansai Airport. Accuracy of this system is sufficiently.

Key Words *Hopper-barge, Soil sediment site data, Dumping method, Reclamation work*

1. はじめに

関西空港 2期空港島造成の護岸築造工事は全長約13kmであり、敷砂、サンドドレーンによる地盤改良、盛砂、捨石、被覆石、上部工の各工種がある。工期は1期空港島の1.4倍の埋め立て工事をほぼ同等の期間で急速施工が要望された。また、現地海域は水深20mの大水深で、海底面下25m前後に軟弱な沖積粘土が堆積する地盤条件である。このような厳しい工事条件の下で、サンドドレーンにより改良した地盤の沈下またはすべりに対する安定管理に留意しながら大量の土砂を急速に施工することが必要となった。

地盤改良した軟弱地盤上に土砂を土運船で直接投入する本工事において、地盤の安定を確保するとともに将来の不同沈下を引き起こさないため、可能なかぎり載荷荷重の履歴差を小さくすることや薄層で均一に施工することが重要である。このため、土運

船の規模や水深の違いによる投入土砂の堆積形状を事前に精度よく予測する技術が必要となった。

従来、堆積形状の予測手法は基本的に2次元モデルである三菱モデルや造成I工区モデルが提案されている¹⁾。しかし、本工事のような大水深での土運船による施工実績およびそのデータはほとんどなかった²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾。そのため投入条件に対する土砂の堆積形状の予測が出来なかった。

そこで、本検討では新たに土運船の堆積形状予測技術と配船システムの開発を行った。本システムの特徴は現地での堆積形状を精度よく予測するため3次元の堆積形状を予測することである。このため、当初、投入土砂の堆積形状は水理模型実験を行い、標準的な3次元堆積形状のデータを用いた。しかし、現地での堆積形状の連続計測結果から、土運船の違いや投入方法(全艙投入、段落し、時間差)によって堆積形状は1山型や2山型等の特徴があることが分かった。

そこで、本システムでは現地での堆積形状を収集し、各土運船の堆積形状を整理することにより精度よい堆積形状予測システムを構築した。

2. 研究の内容

(1) 土運船堆積形状予測システム概要

本システムは図-1に示すように、土運船堆積予測システム、配船システムおよび測量管理システムで構成される。以下に各システムの概要を述べる。

土砂堆積形状予測システムは土運船の投入隻数、投入位置、投入土量などの入力により事前に堆積形状の予測が可能である。予測に用いる地盤データは海底地形測量システムで計測された地形データベースを利用した。

計算はまず土砂投入範囲の地形データベースを読みこみ、3次元地形を画面上に出力し土砂の投入場所を決定する。

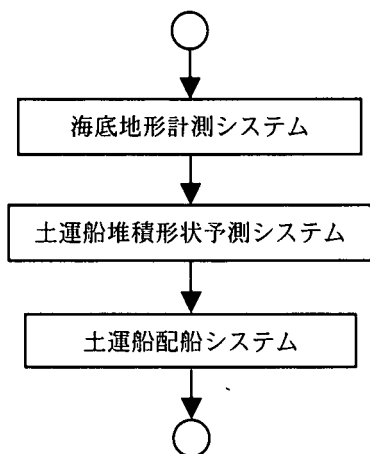


図-1 堆積形状予測システム

本システムは、土運船の土砂投入時の堆積形状データベースから、船の形式(底開式、全開式)、水深、開閉時間、投入量をパラメータとして、パソコン上で土運船の配船計画を行い、3次元堆積形状をシミュレーション可能なシステムである。出力は鳥瞰図、平面図、断面図などである。土運船の投入位置は凹地などを目標とし、地盤が均一な出来形になるよう配慮した。

着工時には、土砂堆積形状の現地実測データがなかったため、水理模型実験で得られた堆積形状を利用するとともに、施工経験者の意見も取り入れながら日々の投入計画を行った。しかし、現地測量による堆積形状の実測データと水理模型実験データを用いたシミュレーション結果を比較すると、底開式土運船の土倉別投入(段落し)への対応など、当初の設定パラメータでは表現できない土運船の土倉形状等によって堆積形状に違いのあることが分かった。

そこで、前述したマルチビームソナー方式深淺測量システムで各土運船投入ごとの堆積形状を収集、整理し、これらを新たなデータベースとして追加していくことでシステムの精度を向上させた。

システム概念図を図-2、シミュレーション例を

図-3、システム構築概念図を図-4に示す。

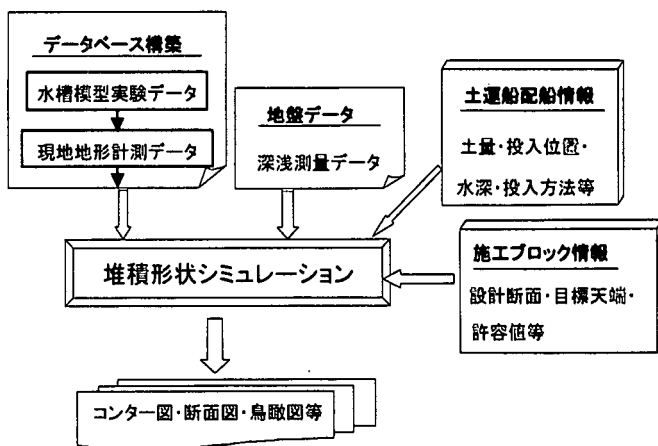


図-2 システム概念図

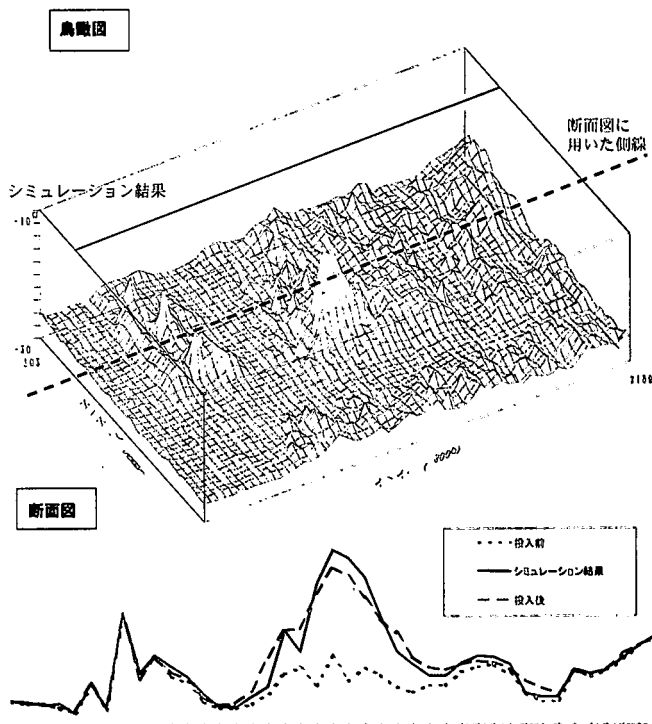
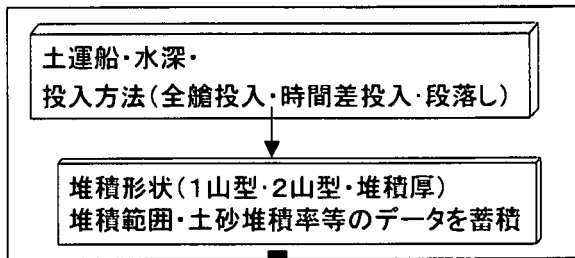


図-3 土砂堆積形状シミュレーション例

・投入前後の深淺測量結果より堆積形状データを抽出



堆積形状シミュレーションシステムに反映

精度の高い施工

図-4 システム構築概念図

(2) システム操作手順

本システムの操作フローを図-5に示す。操作手順はまず土砂投入範囲の地形データベースから読み込み、三次元地形を画面に出力し、土砂の投入場所を決定する。このとき、投入位置は地盤を均一に仕上げることを目安に地盤が凹となる位置に設定する。

投入位置が決定すると、投入位置、土量、開閉時間、水深を画面上で設定し計算する。投入位置や土量などの設定は複数の船を任意の位置に設定することが可能である。堆積形状の計算は瞬時に終了するとともに、結果はパソコンモニター画面上でコンター図、鳥瞰図、断面図によって確認することが出来る。

土砂投入後、均一な地盤になるように土運船の位置を決定する。計算では堆積形状の勾配チェックを行い、安定勾配を超える場合には画面上にその位置が表示される。安定勾配を超える位置が表示されたときや目標層厚にならない場合には、投入位置や配船を変更して再度入力し、目標を満足する堆積形状が求まるまで繰り返し計算し最終的な配船位置を決定する。システム操作手順を図-6に示す。

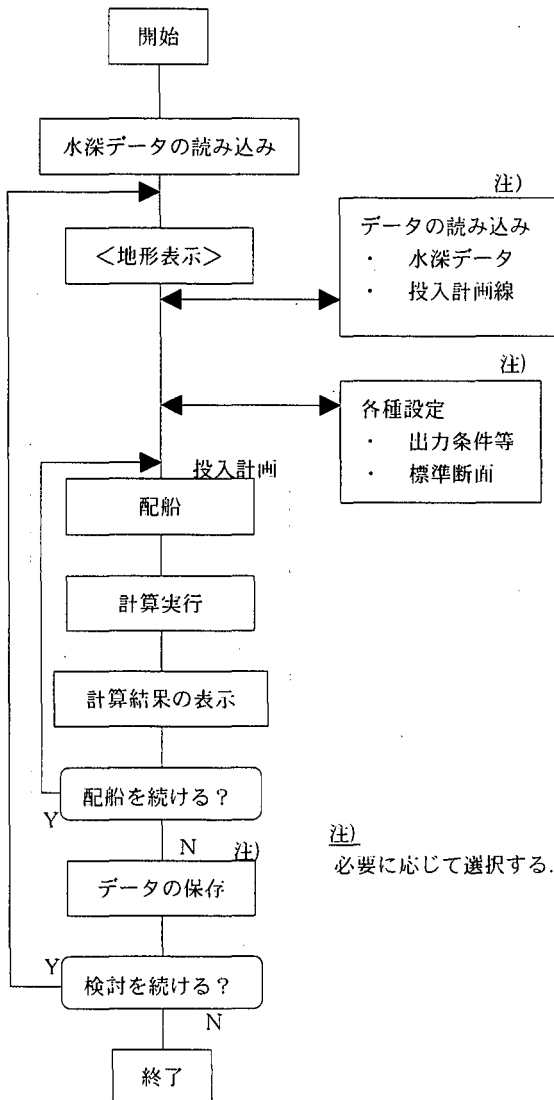


図-5 本システムの操作フロー

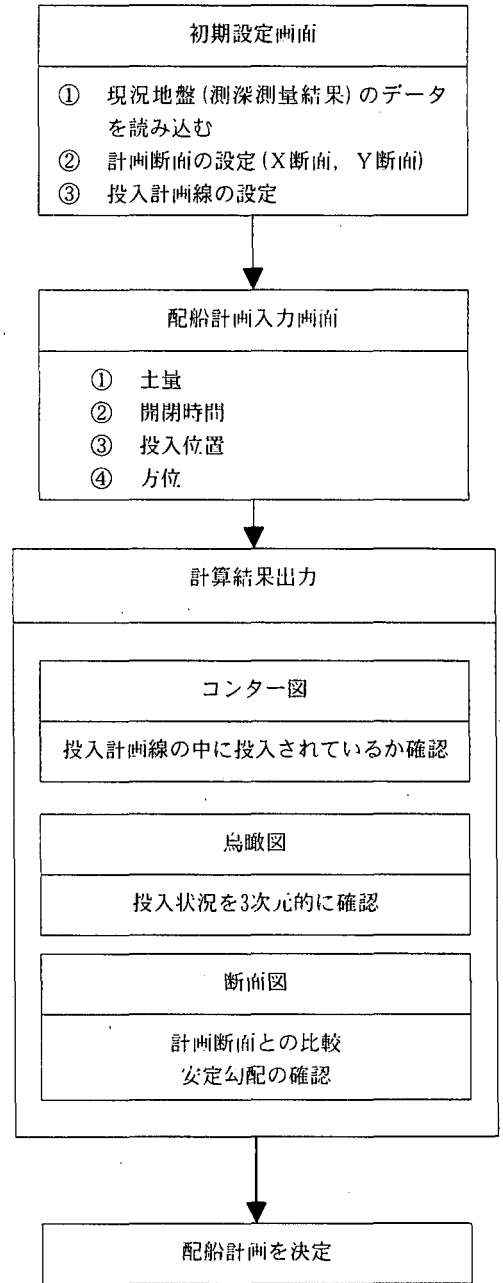


図-6 システムの操作手順

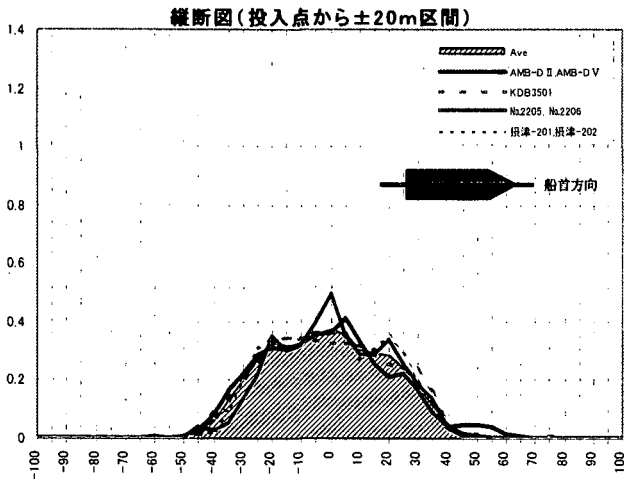
(3) 現地堆積形状特性

a) 堆積形状

現地施工結果の例として水深-12mから-20mに投入した土運船別堆積形状の平均堆積量の土運船別縦断面図(船首方向の±20m区間)の代表的例を図-7に示す。投入土量に対して堆積土量は0.6~0.7程度になったことから、堆積形状は土量の違いを調整するため図-8に示すように実際の土運船の堆積形状を高さ方向に比例配分して1,000m³に正規化した。

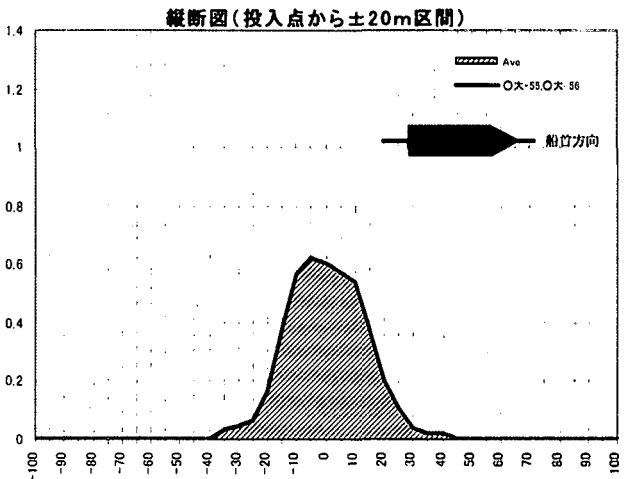
投毎に計測した堆積形状を土運船の種類別に整理した結果、底開式土運船の船幅方向の堆積形状は、概ね70%が2山型、26%が中間型、4%が1山型である。また、全開式土運船の堆積形状は90%が1山型で約10%が1山型である。

投入水深-13m



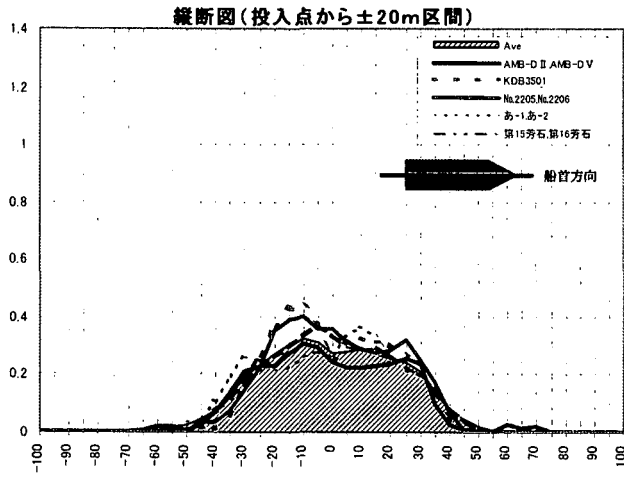
(1) 縦断面図 (船首方向断面)

投入水深-13m



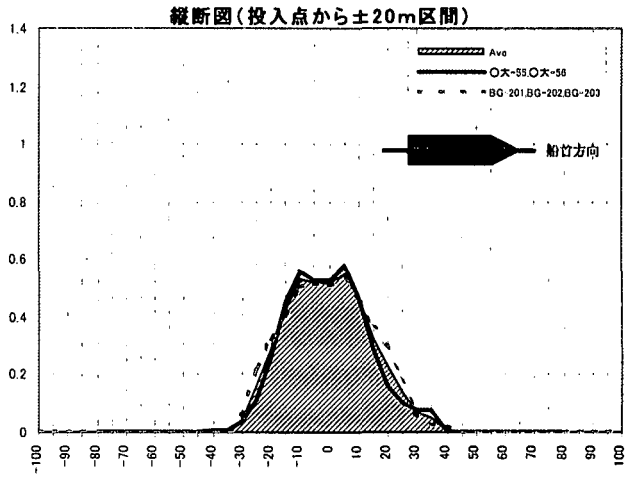
(1) 縦断面図 (船首方向断面)

投入水深-15m



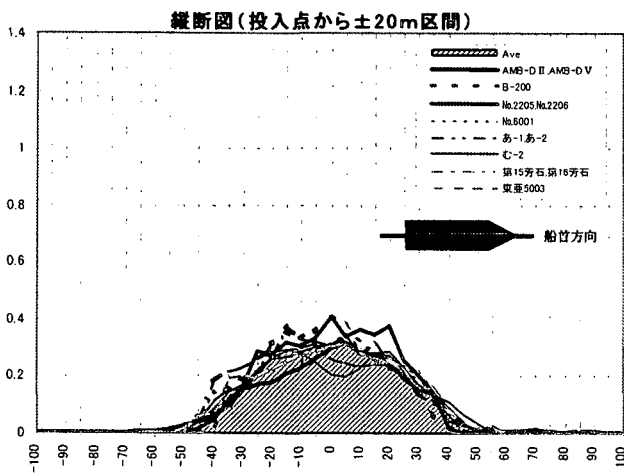
(2) 縦断面図 (船首方向断面)

投入水深-15m



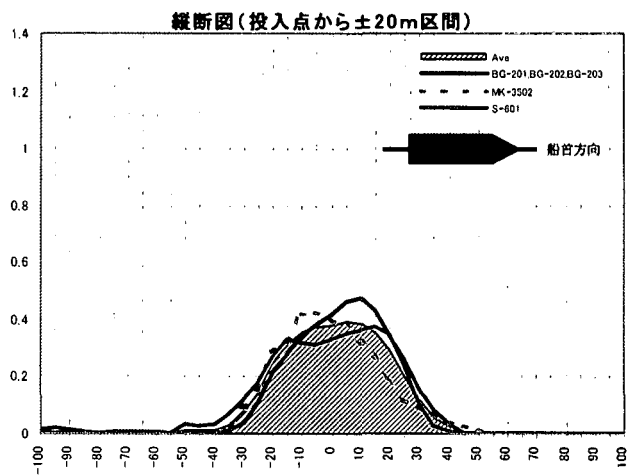
(2) 縦断面図 (船首方向断面)

投入水深-17m



(3) 縦断面図 (船首方向断面)

投入水深-17m



(3) 縦断面図 (船首方向断面)

図-7 (1) 底開式土運船(全艙投入)
の平均堆積形状 (各船とも1000m³に正規化)

図-7 (2) 全開式土運船(全艙投入)
の平均堆積形状 (各船とも1000m³に正規化)

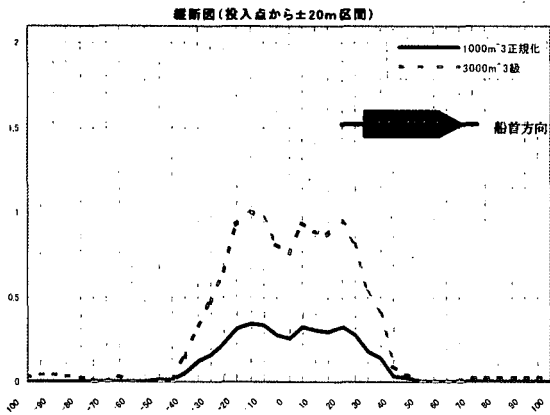
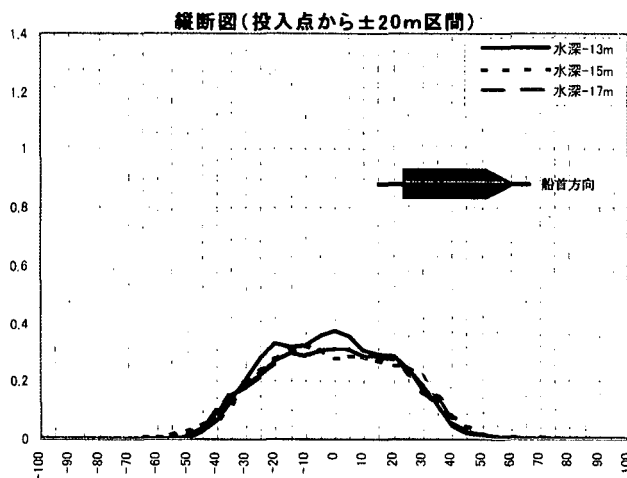
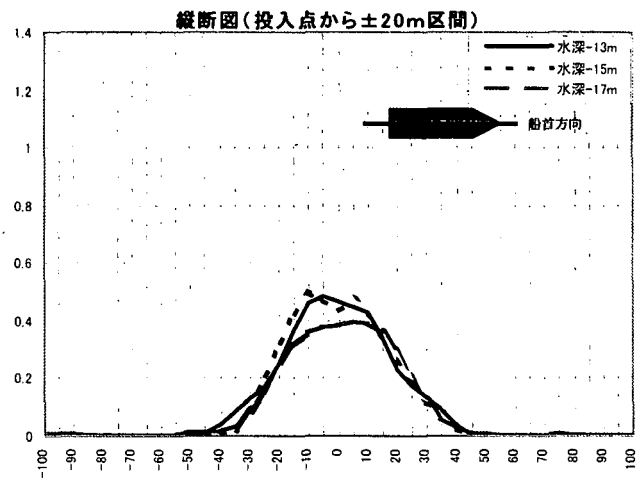


図-8 堆積形状の正規化方法

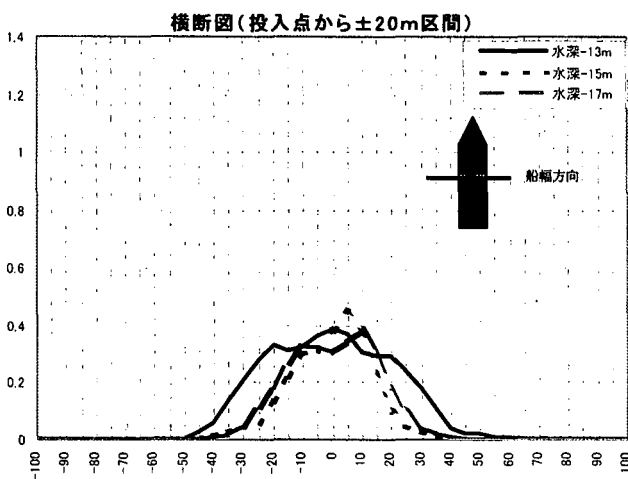
ことが可能である。図-9は底開式土運船図-10は全開式土運船の水深別平均堆積形状の横断面図と縦断面図である。図から底開式土運船の平均形状は水深の違いに対して横断方向への広がり若干違いが認められるものの大きな違いは認められなかった。また、全開式土運船の場合の縦断方向には水深の違いによる堆積形状の大きな違いは認められないものの、横断方向の堆積形状は水深が浅くなるにしたがって尖鋭な形状になる傾向が認められた。土運船の規格別に拡散幅と堆積厚について-12~20m程度の水深に対して整理したものを表-1に示す。船首方向の拡散幅は土倉長に比例し、土倉長の約1.2倍程度である。また、船幅方向の拡散幅は、土運船の種類や規格に関係なく50~55m程度である。



(1) 縦断面図 (船首方向断面)

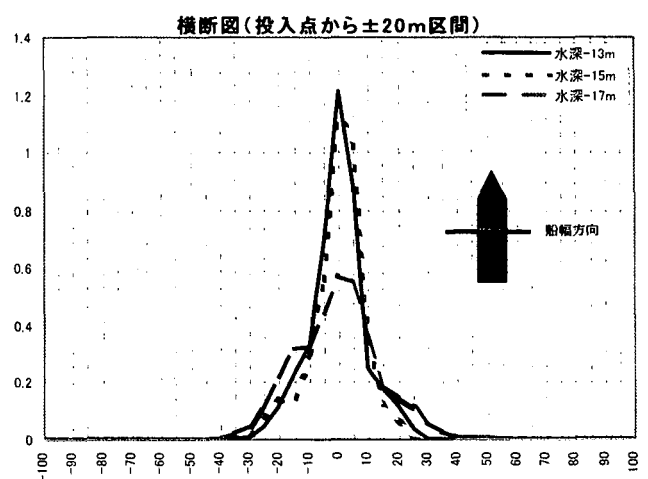


(1) 縦断面図 (船首方向断面)



(2) 横断面図 (船幅方向断面)

図-9 底開式土運船の水深別平均堆積形状



(2) 横断面図 (船幅方向断面)

図-10 全開式土運船の水深別平均堆積形状

図-8の堆積形状は、各土運船によって多少異なるものの概ね各水深における代表値と考えられる。そこで、各土運船全部の堆積形状の平均値を示したのが図-9である。この平均堆積形状を用いることにより、他の現場での施工計画や土砂投入計画に適用する

堆積厚については、底開式土運船と全開式土運船では大きく異なり、底開式土運船では規格に関係なく概ね1.0mであるが、全開式土運船は1.5m程度である。

表-1 土運船の拡散幅と堆積厚

区分	規格 (m ³ 級)	土倉形状 (m)		拡散幅 (m)		堆積厚 (m)	
		土貯長	開口幅	船首 方向	船幅 方向	平均値	最大値
小型底開船	2000	60	6	65	55	0.8	1.3
中型底開船	3000	68	7	80	55	0.9	1.8
大型底開船	4000	98	6	110	50	1.0	1.4
小型全開船	2000	39	12	50	50	1.5	3.1

b) 投入位置と堆積位置

土運船の土砂投入は、土運船の投入位置決め誤差、投入中の土運船の移動、潮流等の要因により投入予定位置と堆積位置にずれが生じる。盛砂工を精度よく施工するためには、投入予定位置に対し堆積位置がどの程度ずれるかを、あらかじめ把握しておく必要がある。そこで、船位誘導装置 (VS-10) の投入記録と深淺測量による堆積土砂の重心位置より整理を行った。

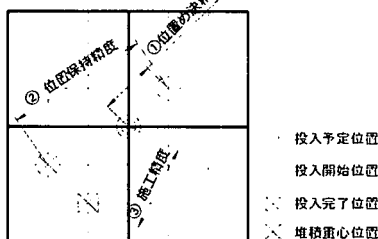
表-2に示すように施工精度は投入位置決め精度の平均が1.5m、投入中の土運船の移動量を示す位置保持精度の平均が2.8m、投入予定位置に対する堆積土砂のずれを示す施工精度の平均が4.4mであった。

土運船の位置決めや位置保持精度が高かったのは、船位誘導装置および補助船 (押船) の有効性を示すものと考えられる。また、潮流と堆積位置のずれの関係について、流速が0.4kt以上になると潮流方向にずれる傾向があることを確認した。これらの調査結果をもとに、実施工では投入位置決めに関する管理基準を設定し、投入管理を行った。

表-2 施工精度整理結果

区分	規格	平均ずれ量 (m)		
		①位置決め精度	②位置保持精度	③直接施工精度
小型底開船	2000m ³ 級	1.3	3.2	5.4
中型底開船	3000m ³ 級	1.6	2.5	3.6
大型底開船	4000m ³ 級	2.2	3.5	4.1
小型全開船	2000m ³ 級	1.1	1.3	4.0
全船平均		1.5	2.8	4.4

● 模式図



6. 主な結論

- 1) 底開式土運船の堆積形状は約95%程度が2山型か中間型である。一方、全開式土運船の堆積形状は90%程度が1山型または中間型である。
- 2) 目標とする出来形に対する最適な配船管理 (投入場所, 投入土量) が可能である。
- 3) 立体的な (3次元) 堆積形状を画面上で確認しながら予測することが出来る。
- 4) 計算結果 (コンター図, 鳥瞰図, 断面図) の出力により視覚的な判断が可能である。
- 5) 平均堆積形状を用いることにより, 他の現場での施工計画や投入計画に利用することが可能である。

参考文献

- 1) 武藤碩夫・吉井総介・石田勉：大規模埋立用底開バージによる土砂投下の研究、三菱重工技法 Vol.11 No.1, pp92-104, 1974
- 2) 関西国際空港株式会社 建設事務局：関西国際空港 空港島造成工事 (その1) 工事報告書, p.155, 1996-8.
- 3) 箭内寛治：砂および礫の水中落下の散らばりに関する研究 (静水中における場合)、土木学会論文集 第69号, pp51-57, 1960
- 4) 小田 紀・沢田充弘・樋口俊光・岩田潔：底開式バージから投入された砂石粒子群の堆積形状に関する研究、第34回海岸工学講演会論文集, pp281-285, 1987
- 5) 松見吉晴・泉 幸：底開式バージによる砂石粒子群の堆積形状に関する予測モデル、海岸工学論文集 第39巻, pp966-970, 1992
- 6) 矢内栄二・横堀浩一・松見吉晴：トレミー管および全開バージによる投入土砂の堆積形状、海洋開発論文集 Vol.13, pp369-373, 1997
- 7) 松見吉晴・矢内栄二・荒井清・増田稔：底開式バージによる投入土砂の堆積形状に関する予測モデルの現地検証実験、土木学会第52回年次学術講演会, pp46-47, 1997
- 8) 関西国際空港株式会社建設事務所、五洋・大新特定建設工事共同企業体：2期空港島護岸築造工事盛砂施工調査 (その3) 報告書 2000.3