

底開式バージによる投入土砂堆積形状に関する予測モデルの 現地適用性について

荒井 清* ・ 矢内 栄二** ・ 五明美智男***
坂井 彰**** ・ 阪井田 茂**** ・ 松見 吉晴*****

1. ま え が き

関西国際空港 2 期工事のような大水深における海上工事を円滑にかつ迅速に施工するには, 大型バージで土砂を投入し, 所定の設計土層厚を効率よく施工することが重要であり, 土砂投入位置決めを事前に把握しておく必要がある。そのためには, バージによる投入土砂の堆積形状に関する予測手法の確立が不可欠である。著者ら (1998, 1999a, 1999b) は, 既に全開式バージによる直投土砂の堆積形状が投入水深の増加に伴って「一山型→台形円錐→二山型→平型」への変化パターン (例えば, 武藤ら; 1974) を評価できる予測モデルを確率論に基づいて開発するとともに, その予測モデルに含まれる確率パラメータ値に関する算定式をバージ模型による土砂投入の実験結果および現地計測結果より提案してきた。また, 底開式バージを対象にバージ全土倉から一括投入する場合の土砂堆積形状を水理模型実験および現地投入結果を用いて予測することにより, 本予測モデルの適用範囲を全開式バージから, 底開式バージによる直投土砂堆積形状予測に広げてきた。

本予測モデルを現地の底開式バージに適用する場合, 種々の土倉数や積載土量を有するバージによる土倉別投入 (土倉別に時間差をもたせた投入方法) に対する適用性の検証が必要である。さらには土砂投入に関する施工管理計画として, 深浅測量システムと本予測モデルを取り込んだバージ配船計画法の確立が残された課題である。本研究は, まず現在施工が進められている関西国際空港 2 期工事の地盤改良区域において底開式バージにより土倉別投入された土砂堆積形状の計測結果を資料として, 本予測モデルの土倉別投入および一括投入方法別に対する現地適用性の検証を行うものである。土倉別投入法の場合, 後に投入される土砂群の落下散乱に関する確率パラメータについては, 先に投入された土砂による周辺流域の誘起流速の影響を考慮する必要があると推察で

きる。そのために土砂群の落下に伴って誘起される周辺流速場に関する数値シミュレーションより, 確率パラメータの補正値を検討している。また本研究では, 施工土層厚を均一化するための適正な投入位置に関する底開式バージの配船計画について, 本予測モデルと深浅測量システムを組み込んだ施工管理システムを提案している。

2. 現地投入の概要

(1) 現地地形および投入土砂の条件

現地は, 図-1 に示す 2 期空港島護岸築造工事 (その 6) の工事区域で, 海底地盤に対して層厚 1.5 m の敷砂を砂撒き船で施工した後に, サンドドレーンによる地盤改良が完了している。したがって, 土砂投入区域の地盤面は平坦で, 平均水深は約 18 m である。対象とした投入土砂は粒径 300 mm 以下の山砂で, 平均中央粒径および均等係数はそれぞれ 1.3 mm および 10.7 である。土砂投入時の工事水域は, 懸垂式および自立式の汚濁防止膜で水面下 5 m, 海底面上 7 m が閉鎖された状態である。

(2) 底開式バージの種類と投入方法

本研究で対象とした底開式バージは, 土倉数が 2~5, 積載土砂が 2,000 m³~5,000 m³ の 11 隻の内, 表-1 に示す 7 隻である。図-2 は, 表-1 に示した底開式バージ B

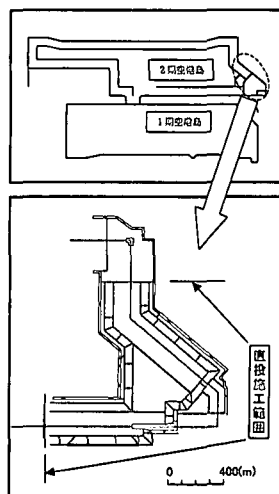


図-1 現地投入工事区域の説明図

* 正会員 工修 東亜建設工業(株)大阪支店
** 正会員 工博 東亜建設工業(株)土木本部設計部
*** 正会員 水修 東亜建設工業(株)技術研究所
**** 関西国際空港(株)建設事務所
***** 正会員 工博 鳥取大学助教授 工学部社会開発システム工学科

表-1 底開式バージの種類、投入法、寸法

種類	土倉数	投入方法	L_1 (m)	L_2 (m)	L_3 (m)	a_1 (m)	a_2 (m)
A	5	分割	9.0	0.0	2.0	2.0	2.0
B	4	分割	7.0	1.0	2.0	2.0	2.0
C	4	一括	7.0	1.0	1.0	2.0	1.4
D	3	分割	9.6	1.2	1.2	2.0	1.8
E	2	分割	7.6	1.2	1.2	2.2	1.8
F	2	一括	7.2	1.2	1.2	1.2	0.8
G	2	一括	7.2	1.2	1.2	1.2	0.8

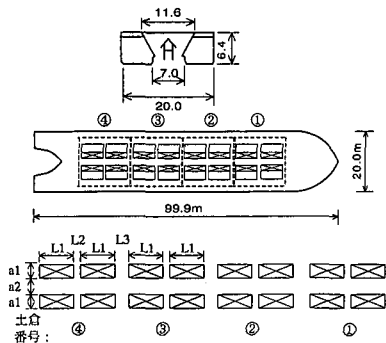


図-2 底開式バージ B と寸法説明図

を示したもので、表-1 に示す寸法 L_1 , L_2 , L_3 , a_1 , a_2 , a_3 は同図下の土倉数 4 のバージ模式図に示す各開口部の長さである。投入方法の内、土倉別分割投入は、原地盤への投入土砂による衝撃載荷を制御するために採用された投入方法である。具体的な分割方法については、例えば、土倉数が 5 の場合(ケース A)、船首から土倉番号を①, ②, ③, ④, ⑤としたとすると、①③⑤土倉の土砂を先行投入後に時間差をもたせて②④の土砂を投入する方法である。

(3) 堆積形状の計測方法

土砂投入前の海底地形および投入後の深浅測量には、東亜建設工業が開発されたペルーガシステムを用いた。このシステムは、GPS による測位システムと、広範囲の地形データを一度に取得可能なナローマルチビーム測深ソナー、さらには計測作業船の動揺に関する動揺補正装置を組み合わせることにより水深の 2 倍の幅で海底面の 3 次元情報をリアルタイムで高精度に処理できるものである。計測データの解析に当たっては、平面的に 50 cm 間隔で投入土砂の出来形高さをデータ化している。

3. 予測モデルの現地への適用性

(1) 確率パラメータの設定

本予測モデル(松見ら, 1992)は、水深方向に等分割した各区間の土砂の落下散乱の確率特性に対して同一の平均値および標準偏差をもつ正規分布で近似し、区間間の落下土砂の確率過程に対してマルコフ・チェーンを適

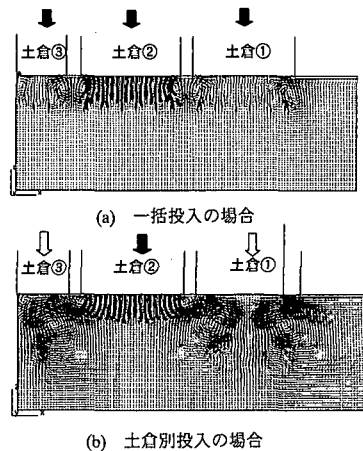


図-3 投入土砂による誘起流速場のシミュレーション

用して算定される各水深区間における土砂の到達位置に関する平面確率分布に投入土砂体積を掛け合わせることで、出来形を予測する方法である。本予測モデルに含まれる未知パラメータは、水深を等分割した水深区間における平均値 m と標準偏差 σ である。本研究では、船幅方向および船首尾方向のそれぞれの m と σ に対して、著者ら(1998)が先に行った同一の山砂を用いた底開式バージによる水深 15 m の軟弱地盤上に直投した現地結果と計算結果の比較検討より得られた値を採用することにした。

土倉別投入法の場合、時間差をおいて後に投入される土砂群の船首尾方向の落下散乱に関する確率パラメータの値については、特に先に投入された土砂によって誘起された周辺流体の流速の影響を受けるであろうことが予測できる。そこで本研究では、先行投入の場合の確率パラメータを基準値として、その平均値に対して割り増し係数を掛けることにより補正することにした。その補正値は、土砂群の落下に伴って誘起される周辺流速場に関する数値シミュレーションより検討を行った。

図-3 は、土倉数が 5 の場合(表-1 の A バージ)の一括投入と分割投入を対象として、 $k-\varepsilon$ 方程式を基礎式とした流体解析汎用ソフト「STREAM」を用いて行った船

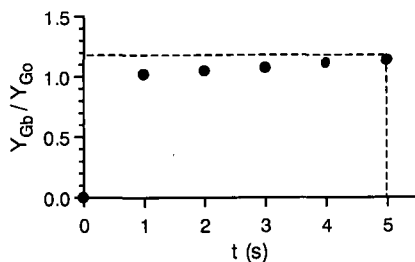


図-4 土砂粒子の水平方向への移動距離に関する分割投入と一括投入の比較

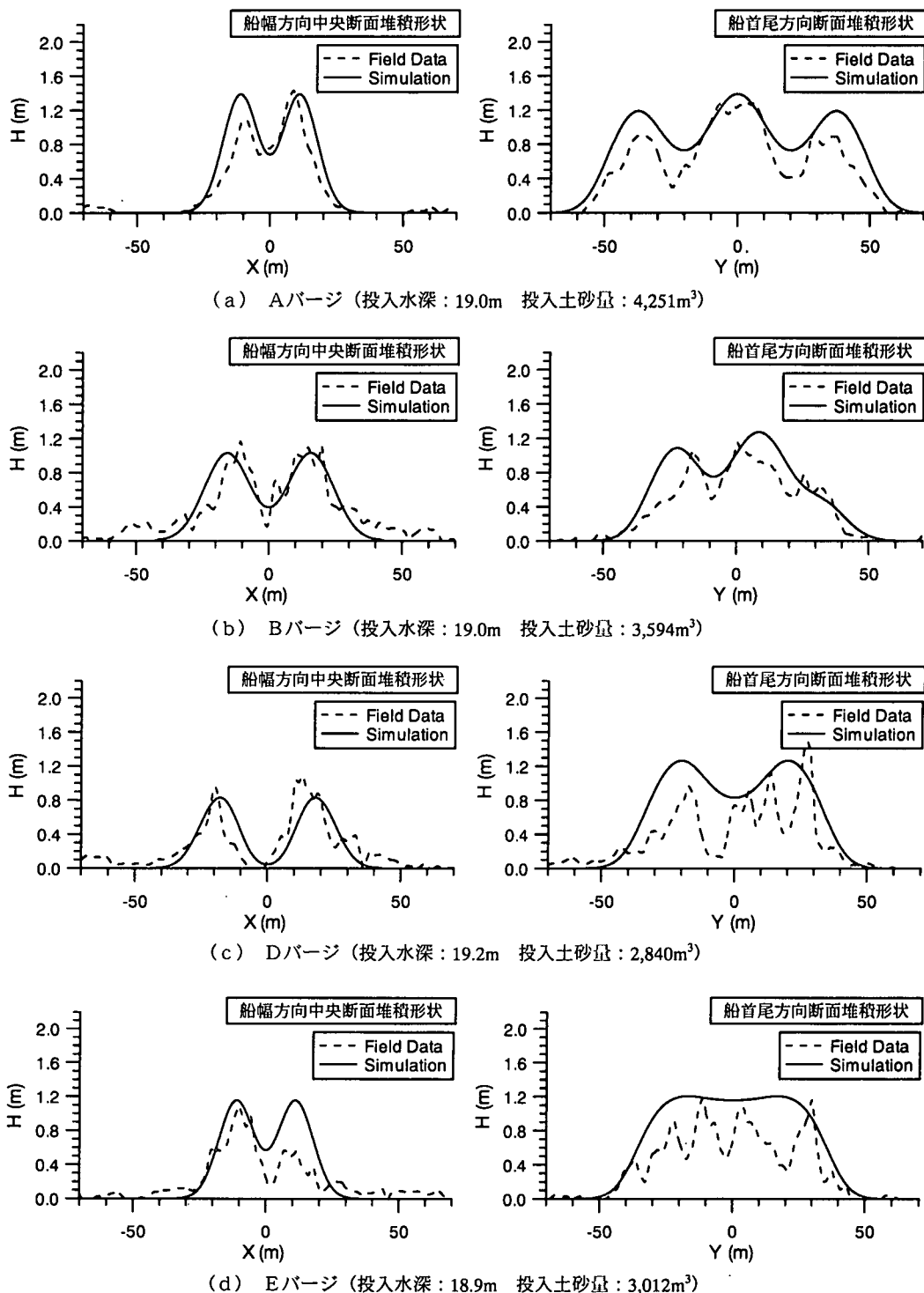


図-5 現地投入結果と計算結果の比較 (分割投入の場合)

首尾方向断面における投入土砂による誘起流速場のシミュレーション結果である。なお、解析では鏡像法を利用して中央土倉 (③土倉) の中央部から船首方向のみに

ついて計算を行っており、各図には第②土倉から投入された土砂群の落下状況についてマーカー・パーティクル (図中、黒丸で表示) によって模式的に示している。図(a)

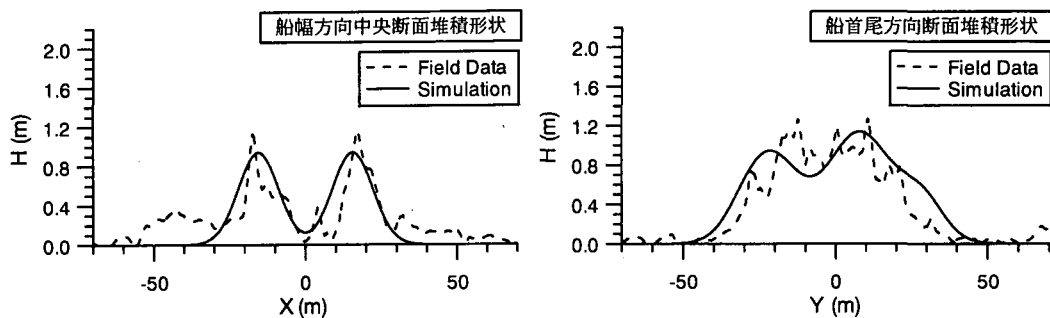
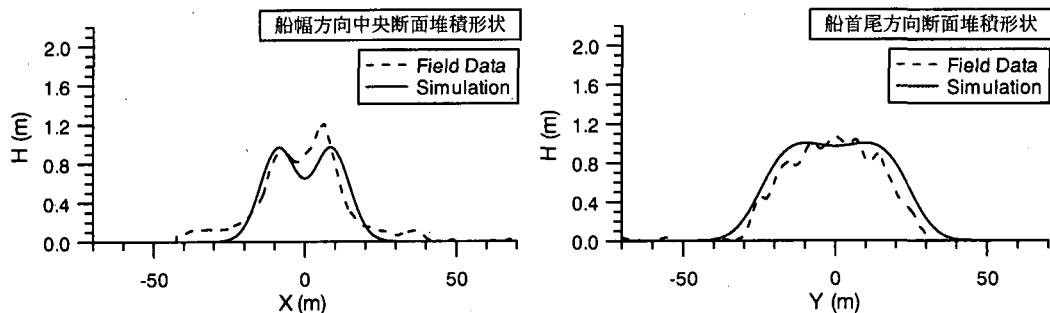
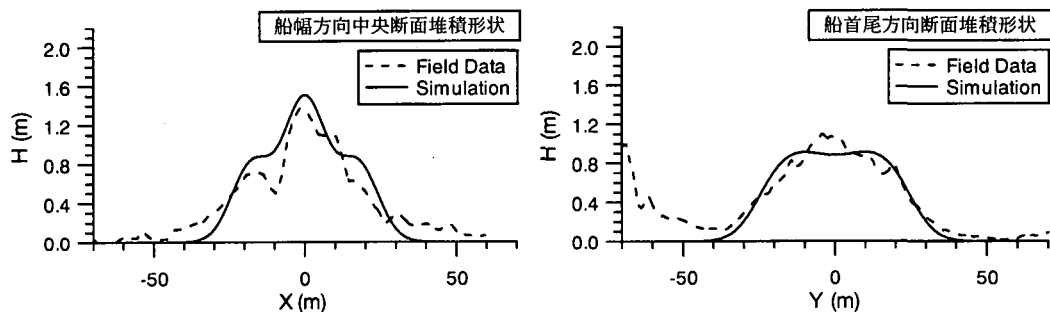
(a) C バージ (投入水深: 19.2m 投入土砂量: 2,398m³)(b) F バージ (投入水深: 19.0m 投入土砂量: 1,481m³)(c) G バージ (投入水深: 18.9m 投入土砂量: 2,699m³)

図-6 現地投入結果と計算結果の比較 (一括投入の場合)

の一括投入の場合は投入3秒後の結果であり、図(b)の第②土倉から5秒の時間差をおいて投入した土倉別分割投入の場合は先行投入8秒後の結果である。したがって、両図における第②土倉からマーカー・パーティクルの落下状況の違いが先に投入された土砂によって誘起された周辺流体の流速の影響である。

次に、このマーカー・パーティクルの重心位置の移動距離に関して計算ステップ毎に分割投入(Y_{00})と一括投入(Y_{00})を比較したものが図-4である。この図より、時間差をおいて投入される土砂群の落下散乱に関する確率パラメータの補正值として1.2程度の値となり、予備

計算で1.2を補正值として現地計測結果と比較検討した結果、堆積形状の中央部において計算結果と計測結果の間に差異が認められた。そこで本研究では、補正係数を変化させて検討した結果、平均値と標準偏差に対してそれぞれ1.5の割り増し係数を用いることにした。

堆積形状に関する計算条件としては、バージの開口部の分割幅を20 cm、水深方向の分割間隔を10 cmに設定している。また、投入土砂堆積に伴う原地盤の沈下は考慮していない。

(2) 現地堆積形状結果と計算結果の比較

図-5は、表-1にあげた土倉別分割投入の4種類の底

開式バージによる投入土砂堆積形状について、船幅方向中央断面堆積形状、船首尾方向断面堆積形状の計測結果と予測計算結果を比較したものである。図中、縦軸の H は堆積高さである。船首尾方向の結果については、船幅方向中央断面形状における二山の頂部の計測結果と計算結果を比較している。これらの図より計算結果は、大水深域での現地結果における一般的な特徴である二山型の堆積断面形状を再現するとともに、底開式バージの土倉別分割投入による土砂堆積形状をよく再現している。

次に、一括投入の3種類の底開式バージによる投入土砂堆積形状について、計測結果と予測計算結果を比較したものを図-6に示す。図(a)および(b)ともに計算結果は、投入土砂の堆積高さおよび拡がり幅をよく再現している。また、図(c)に示すGバージとは、Fバージを2隻船幅方向に隣接して並べて、2隻から同時に一括投入した場合(多点投入に該当するケース)の結果であり、船首尾方向断面堆積形状の結果は船幅方向断面形状における小段法肩部の中央部について計測結果と予測計算結果を示したものである。図(c)より、計算結果は船幅方向および船首尾方向ともに現地の計測結果とほぼ一致していることから、本予測モデルの多点投入に対する適合性についても確認できる。

以上の計測結果と予測計算結果に関する比較より、本予測モデルは底開式バージによる投入土砂の堆積高さおよび拡がり幅に関する事前把握に対して実用性があると言える。

4. 土砂投入に関する管理手法のシステム化について

(1) 土砂投入管理方針

土砂投入作業を実施する工事区域は、約26mの沖積粘土層をサンドドレーンにより地盤改良している。この地盤改良区域に対して、直投土砂が載荷することにより圧密沈下と強度増加が生じるが、初期段階における載荷を極力薄層で均一に行うことは、より安定性の高い断面を構築するためにも重要である。そこで、均等な載荷が行われるよう土砂投入後の海底面の平坦性を向上させるために、底開式バージによる投入土砂堆積形状に関する本予測モデルとリアルタイム計測システムを組み込んだ土砂投入位置管理システムを構築した。

(2) 土砂投入位置管理システム利用状況の一例

護岸築造工事では、幅員約400m、護岸延長約2.2kmの範囲(図-7に外郭の一部を直線で示す)に対して層厚約6.0mの盛砂を施工する。施工中の水深を考慮した堆積形状予測結果より求めた層厚が1.0~1.3mであることから、盛砂断面を5つの土層に分割して各土層を平面的に施工し高い平坦性を持つよう投入位置の決定を行っ

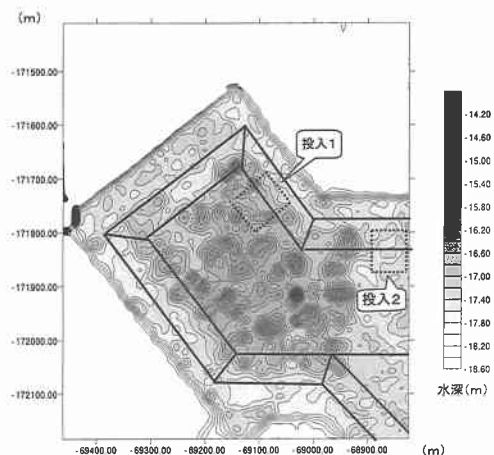


図-7 土砂投入位置管理システム利用状況

た。

図-7は、土砂投入位置管理システム利用状況の一例を示したものである。現地の深浅測量結果の深度が深い領域に対し、各底開式バージの堆積形状予測結果から求めた堆積土砂の拡がり領域を破線で示し、投入位置を概略設定する。続いて堆積厚予測結果を加えることにより投入後の海底地盤高を表示させ、平坦性の評価、投入位置の微修正を含めた調整等を土砂投入管理者が視覚情報を有効利用しながら、対象とする底開式バージに関する最適な土砂投入位置を決定する。これらの投入結果は全てデータベースに蓄積され、堆積形状予測モデルの精度向上のための基礎データとして利用されている。

5. まとめ

本研究では、7種類の底開式バージを対象に土倉別分割投入および一括投入の場合の土砂堆積形状に関する予測モデルの現地適用性を確認するとともに、投入土砂の堆積高さおよび拡がり幅に関するシミュレーション結果と深浅測量を利用した土砂投入に関する管理手法のシステムを確立した。今後は、予測海底面の平坦性の評価方法に関する検討を進める予定である。

参考文献

- 荒井 清・太田正規・五明美智男・矢内栄二・松見吉晴 (1999a): 底開・全開バージによる土砂投入形状の現地比較実験, 海洋開発論文集, 第15巻, pp. 225-229.
- 太田正規・荒井 清・五明美智男・矢内栄二・松見吉晴 (1999b): 投入土砂堆積形状予測モデルにおけるパラメータ設定と流れ場への適合性, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 976-980.
- 松見吉晴・泉 一幸 (1992): 底開式バージによる投入捨石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, pp. 966-970.
- 松見吉晴・荒井 清・太田正規・矢内栄二・増田 稔 (1998): 軟弱底面上に投入した土砂の堆積形状とその予測, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 891-895.