

誘起流速を考慮した直投土砂堆積形状予測係数 設定方法に関する研究

荒井 清*・門田充史**・宗田 修***・出口 一郎****

海上工事において、土運船による土砂投入は広範に用いられている工法である。近年の土運船積載量の大規模化や多様な使用目的に適応可能となるよう全開式土運船や兼用式土運船などの土運船形状の変化によって、経験による堆積形状の蓄積が少ないという課題が生じている。本研究では、土運船による投入位置計画作成を合理的に実施するためのツールとなる堆積形状予測手法の確立を目指し、単位時間当たりの投入粒子数・投入水深・水槽底面の反発条件などをパラメータとして実施した水槽実験結果を報告し、土砂投入によって引き起こされる誘起流と堆積形状予測係数との関係性について検証を行うものである。

1. はじめに

海洋工事および建設残土等の処理においては、土運船を用いて土砂を海中に投入する直投作業が実施されてきた。近年、大規模海洋工事を対象として、高精度でかつ汎用性に富む堆積形状予測を組み込んだ施工管理手法の確立が求められるようになってきている。著者ら(2000)は、投入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)を評価できる堆積形状予測モデルを確率論に基づいて開発した。現場海域において、直投工の前後で実施された深浅測量結果を用いて、直投工による堆積形状を把握し、開発した堆積形状予測モデルを用いた予測結果と比較評価することにより、基本モデルの予測係数を改善させ、土運船形式、投入方式、積載土量、投入土砂、投入水深等の複合的な変動要因に対応可能であることの検証を行ってきた。

続いて、堆積形状予測を利用して土運船による直投位置を重点的に管理することにより、投入後の土砂を1層ごとに薄層で層状に施工することが可能であることを検証した。また、護岸設計断面を精度良く構築することが可能であることの検証も行った。以上、約3年間にわたり現場海域における土砂投入を対象として、堆積形状予測モデルを運用し、堆積形状予測を行なって翌日の投入位置を決定する手順を日常の施工管理に組み込み、堆積形状予測システムとして構築した。

一方、本予測モデルを運用した結果、1) 船腹方向の予測係数を土運船毎に変更する必要があること、2) 浅水深化に伴い予測係数の再設定が必要となること、が課題として残された。本研究は、水槽実験を通して、これらの課題を解決する合理的な予測係数設定方法を確立し、堆積形状予測システムの汎用性向上を目指す。

2. 土運船特性および投入水深が堆積形状予測係数に与える影響の検証

(1) 実験の概要

先述したように、現地において土運船直投により生じる堆積形状実測値である堆積厚さ・堆積幅を利用して、予測係数を逆算により求めたところ、土運船毎に異なる予測係数を持つ結果となった。本実験では、堆積形状に影響をおよぼす因子のうち、投入条件と底面条件を取り上げることとし、図-1に示す鋼製二次元水槽と土運船模型を用いて投入実験を行った。投入中の粒子群挙動はビデオ撮影し、発生する誘起流速の経時変化計測は、図中に示す位置に配置した3カ所の電磁流速計により計測し、投入後の堆積形状はレーザー変位計を用いて行いた。

投入装置は3,200 m³積土運船の船腹方向形状を1/36に縮尺した図-2、表-1に示す木製土運船模型である。

土運船喫水は11.1 cm一定とし、底部の開閉扉が全開するまでに要する時間を制御することにより、単位時間当たり投入粒子数を制御させた。

投入粒子には、 $d_{50}=5$ mmのほぼ単一粒径である砕石を使用し、底面条件は衝突吸収ゴム敷設の場合と防水ベニア敷設の場合とした。水深70 cmより自由落下させた粒子の水槽底面衝突直前における変位量を1とした時の衝突直後の変位量の割合は、衝突吸収ゴムでは0.058であり、防水ベニアでは0.170であり、変位量は約3倍であった。

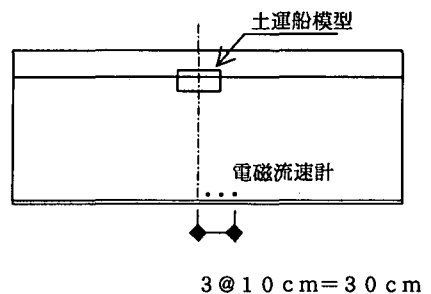


図-1 実験装置断面図

* 正会員 工 博 東亜建設工業(株)大阪支店 技術課長
** 修(工) 大阪大学大学院工学研究科土木工学専攻
*** (株)日本総合研究所
**** 正会員 工 博 大阪大学教授大学院工学研究科土木工学専攻

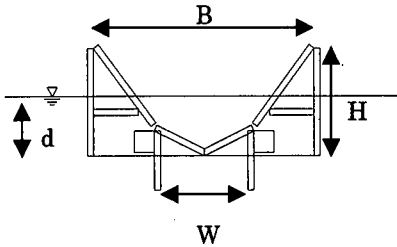


図-2 土運船模型断面図

表-1 土運船模型諸元

幅 B (cm)	高さ H (cm)	奥行 L (cm)	喫水 d (cm)	開口幅 W (cm)	体積 q (cm ³)
42.1	18.7	14.0	11.1	17.5	7,400

単位時間当たり投入粒子数, 投入総粒子数, 投入水深, 底面条件をパラメータとして表-2 に示す 11 ケースの投入実験を行った。

(2) 堆積形状予測係数逆算手順

本研究では, 水深方向に設定した単位区間を粒子群が沈降し, 堆積した後の水平方向移動距離に関する確率分布を式(2.1)で与えることとし, 堆積形状を予測を行う。

$$f(x^*) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left\{-\frac{(x^* \pm \mu_x)^2}{2\sigma_x^2}\right\}$$

$$f(y^*) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \exp\left\{-\frac{(y^* \pm \mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right\} \dots\dots\dots (2.1)$$

$x^* = x/d$, $y^* = y/d$ d : 土砂の中央粒径

σ_x , μ_x : 船腹方向の標準偏差, 平均値

σ_y , μ_y : 船首尾方向の標準偏差, 平均値

±: 船腹方向の場合, 左舷側(+)右舷側(-)

船首尾方向の場合, 船首側(+)船尾側(-)

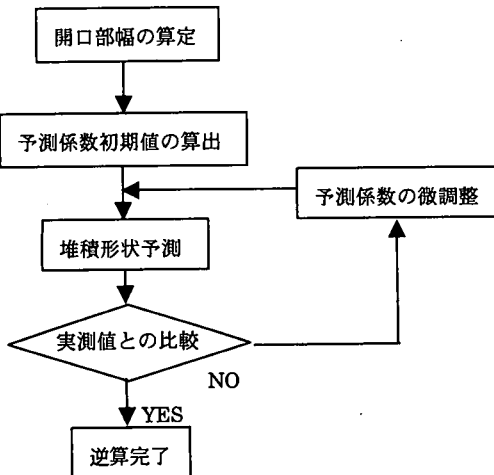


図-3 予測係数逆算手順

表-2 実験ケース一覧表

	重量 (kg)	開放時間 (s)	水深 (cm)	総粒子数	単位時間 当たり 投入粒子数	底面 条件
Case 1	10.3	24	70	11,500	105	衝突吸収ゴム
Case 2	10.3	16	70	11,500	191	衝突吸収ゴム
Case 3	10.3	8	70	11,500	219	衝突吸収ゴム
Case 4	10.3	4	70	11,500	233	衝突吸収ゴム
Case 5	10.3	0.3	70	11,500	539	衝突吸収ゴム
Case 6	10.3	24	70	11,500	105	防水ベニア
Case 7	10.3	4	70	11,500	233	防水ベニア
Case 8	10.3	4	55	11,500	233	衝突吸収ゴム
Case 9	7.0	0.3	70	7,800	539	衝突吸収ゴム
Case 10	5.0	0.3	70	5,600	539	衝突吸収ゴム
Case 11	5.0	0.3	70	5,600	539	防水ベニア

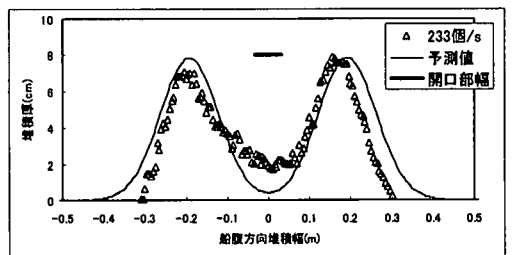
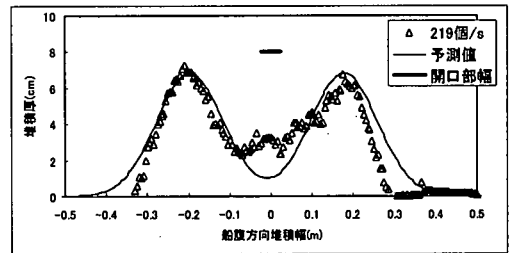
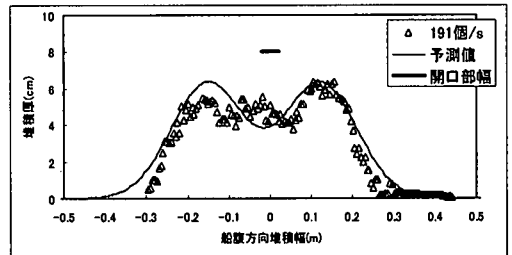
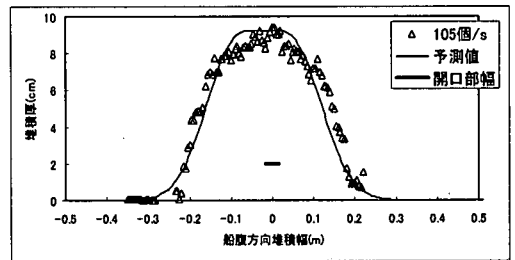
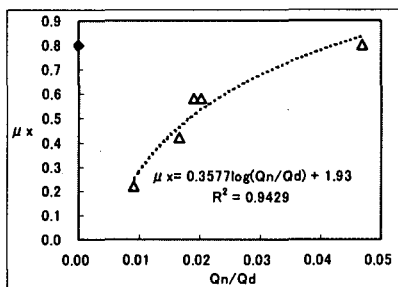
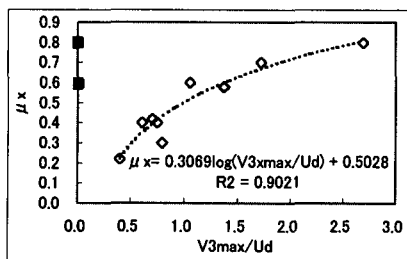


図-4 堆積形状予測結果と実測結果の比較 (その1)

図-5 μ と単位時間当たり投入粒子数の関係図-6 誘起流速最大値と μ_x

堆積形状を測定した後、予測係数を図-3 に示す手順で逆算した。

粒子群の投入が完了するまでの間、開口部幅は 0 から徐々に拡大していき、全開状態を待たずに投入が完了する。したがって、粒子群投入時の平均開口幅は、単位時間当たりの開口幅を累計し、所要時間で除して求めた。投入実験した 11 ケースを対象として、以上の手順で逆算した結果と堆積形状実測値を図示する。

投入水深を 70 cm、水槽底面の条件を衝撃吸収ゴム敷設に固定し、単位時間当たり投入粒子数を変動させた場合には、堆積幅や堆積頂間と投入数量の間に強い相関が生じていた。堆積形状予測係数のなかでも堆積幅に強い影響をおよぼす μ と総投入粒子数 Q_d で無次元化した Q_n/Q_d との間には、図-5 に示す相関係数 0.94 の関係が生じており、予測係数の設定を定式化できた。

続いて、投入水深条件、総投入粒子数条件、底面条件などを変動させた場合の堆積形状予測結果と実測結果を比較して図-7 に示す。

これらの条件下で共通の指標として、誘起流速最大値から予測係数 μ を導入することとした。

図-6 に誘起流速最大値と μ との関係を示す。

3. ま と め

同一投入水深、同一総投入粒子数のもとでは、単位時間当たり投入粒子数を変化させた場合、予測係数 μ を単位時間当たり投入粒子数で定式化することができた。

単位時間当たり投入粒子数の変化、総投入粒子数の変化、底面条件の変化による堆積形状の変化は、底面近傍における誘起流速最大値で評価することを仮定し、実験結果を利用して、堆積形状予測係数 μ を定式化することができた。

現場海域において、土運船毎に堆積形状予測係数が異なる要因の一つとして、短時間当たり投入粒子数の相違があると考えたが、同一の土運船においても積載量が大きく異なる場合は堆積形状が異なる結果を示すことが経験的に明らかとなっている。

水槽実験による検証を行ったところ、総投入粒子数の変化が、単位時間当たりの投入粒子数にも変化をあたえていることが明らかとなった。

本研究では、誘起流速を計測することにより堆積形状予測係数を設定する方法を提案した。

今後は投入条件や底面条件から発生する誘起流速を予測することで堆積形状予測係数を定式化する研究を進めることが必要であると考えられる。

参 考 文 献

- 荒井 清・太田正規・五明美智男・矢内栄二・松見吉晴 (2000): 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, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 986-990.
- 荒井 清・矢内栄二・五明美智男・坂井 彰・阪井田茂・松見吉晴 (1999): 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.
- 小田一紀・重松孝昌・菅野 寛 (1995): 粒子群の沈降・分散挙動に及ぼす流れの影響に関する数値実験, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp. 1271-1275.
- 堤 一高・内河栄作・半沢秀郎・島 正憲 (1975): 軟弱地盤上に投下された砂の状況調査—大型土捨船による砂投下実験—, 土と基礎, Vol. 23, No. 11, pp. 57-63.
- 林 泰造・大橋正和 (1980): 流体中を沈下する粒子の乱流特性について, 第 24 回水理講演会論文集, pp. 7-12.
- 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.
- 武藤碩夫・吉井総介・石山 勉 (1974): 大規模埋立用底開バージによる土砂投下の研究, 三菱重工業技報, Vol. 11, No. 1, pp. 92-104.
- 矢内栄二・横堀浩一・松見吉晴 (1997): 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, pp. 369-373.
- 吉川秀夫・福岡捷二・吉川勝秀 (1977): 流体と固体粒子の相互作用に関する研究, 土木学会論文集, No. 260, pp. 89-100.

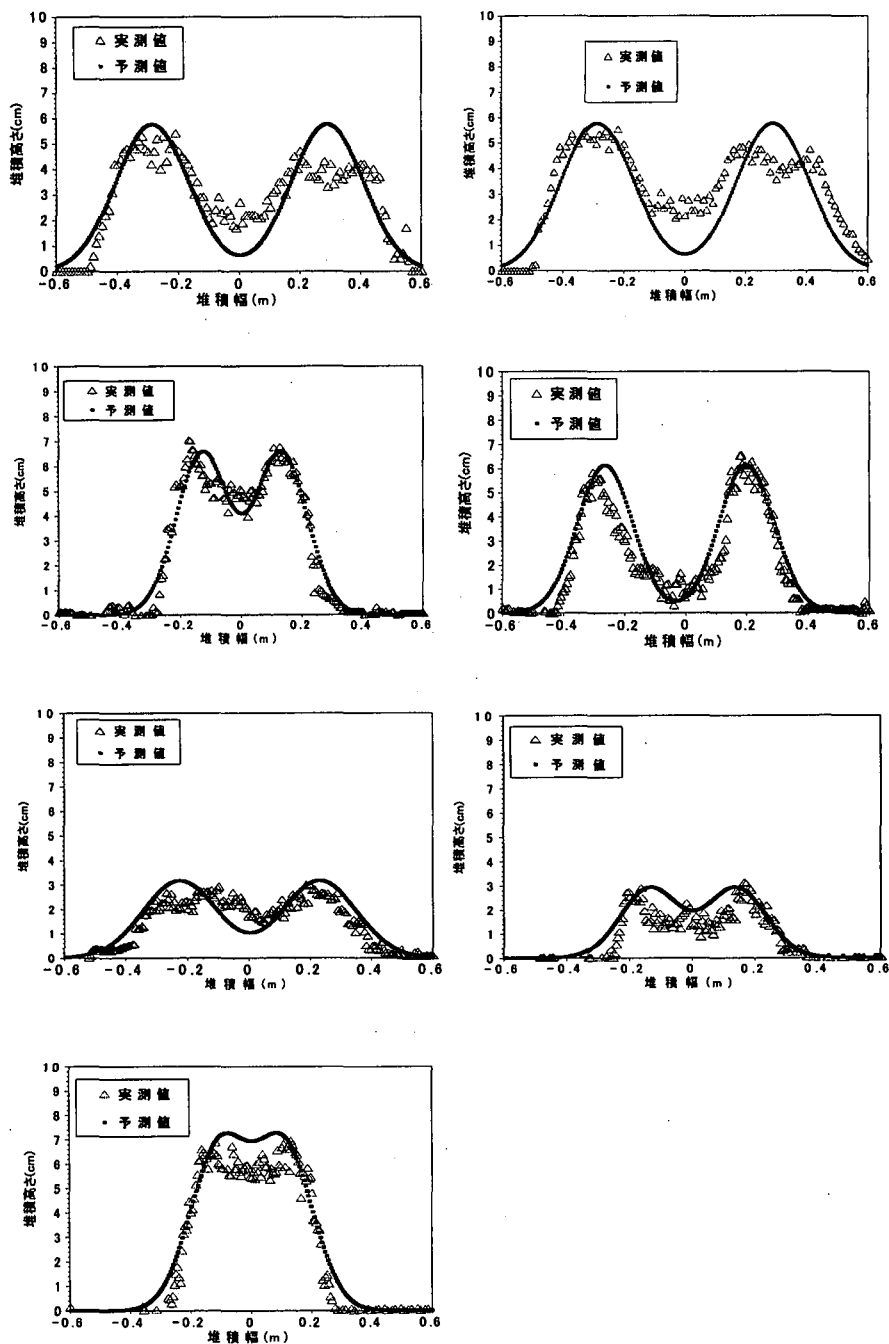


図-7 堆積形状予測結果と実測結果の比較 (その2)