

土運船による土砂投入時の堆積形状 に関する水理模型実験

THE HYDRAULIC MODEL EXPERIMENT OF SEDIMENT DISCHARGING SOIL
FOR DUMPING HOPPER BARGE WITH BOTTOM DOORS

西山泰弘¹・稲葉徹²・折橋恒春³・法橋一賢⁴

Yasuhiro NISHIYAMA, Toru INABA, Tsuneharu ORIHASHI and Kazuyoshi HOKKYO

¹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・ビ' SOSAKA)

²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・ビ' SOSAKA)

³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・ビ' SOSAKA)

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

Rapid construction according [mound construction of the shore protection in the Kansai International Airport second construction] to a lot of sand injection using larger dumping hopper barge carried out. if sand are thrown in locally, formation of steep deposition form will be caused, and we are anxious about the intensity of the foundations improved by slide destruction falling.

It turns out that it is important for the stability of foundations as for predicting the form after sand injection in advance, and finishing uniformly over a reclamation zone at large by it from this. Then, this research performed deposition form of sand thrown in on foundations for the purpose of development of the technique predicted with sufficient accuracy.

Key Words : Kansai International Airport, sediment discharging soil, dumping hopper barge

1. 研究の目的

関西国際空港2期工事における護岸のマウンド築造は、大型土運船を用いて大量の土砂投入による急速施工が実施されている。マウンド築造工事において、土砂を局所的に投入すると急峻な堆積形状の形成を招き、すべり破壊によって改良した地盤の強度が低下することが懸念される。

このことから、土運船で土砂投入後の形状を事前に予測し、埋め立て区域全般にわたって均一に仕上げることは、地盤の安定性にとって重要であることがわかる。

そこで、本研究は、地盤上に投入した土砂の堆積形状を精度良く予測する基礎的な手法の開発を目的として行った。

2. 堆積形状予測手法

現在、土砂投入後の堆積形状を予測する手法として様々なモデルが提案されている。厳密なモデルとして土砂拡散シミュレーションを用いた堆積形状予測手法があるが、計算時間がかかること、境界条件などを設定する必要があることなどから、何千投もする大型マウンド造成等の実務への適用性は難しい。

そのため、これまでに行われているものとしては、

簡易的な予測手法が主に使用されている。

使用実績のある簡易堆積形状予測モデルの代表的なものとしては、2次元モデルである三菱モデル¹⁾や、仮想3次元モデルである造成I工区モデル²⁾等が挙げられる。

土運船から投下した土砂は土砂量、水深の大小、土運船の浮上状況との兼ね合いでそれぞれ異なる速度で海底面に衝突し、その後、側方へと流動する。流動規模は、海底面への衝突速度、流体抵抗、底面摩擦などの他に以下に示すような様々なパラメータが考えられる。

- ・土運船土倉の形状
- ・積載土量
- ・土砂特性(粘性、粒度、単位体積重量等)
- ・投下水深
- ・土運船扉の開閉速度
- ・海底形状
- ・海底土質(砂、年度、改良地盤等)

しかし、簡易モデルで算定する堆積厚は、単体の堆積形状算定結果を単純に重ね合わせしたものであるため、土砂投入時の衝撃圧で投入前海底面が締固められたり、堆積していた土砂が崩れたりするような、実際に生じている現象が反映されていない。

そのため、これらの簡易モデルで算出した堆積厚は、2割程度高めの値となっている（武藤ら、1974）。

本研究では、上記したような各種パラメータに対して3次元の水理模型実験を実施し、堆積形状の基礎データを計測することによって3次元の堆積形状データベースを構築することとした。

任意水深及び、土量に対する形状は、堆積形状データベースの値を線形補間して求めることにより、現地へ適用することが可能である。

本研究における堆積形状の予測手法を図-1に示す。

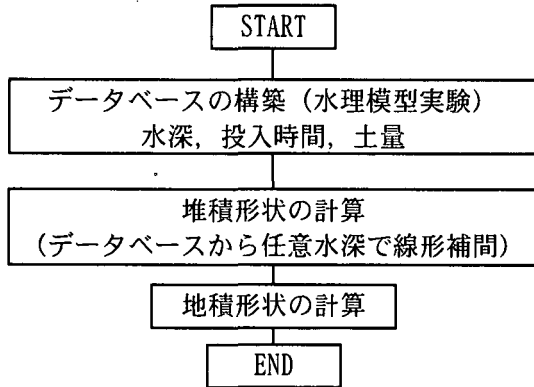
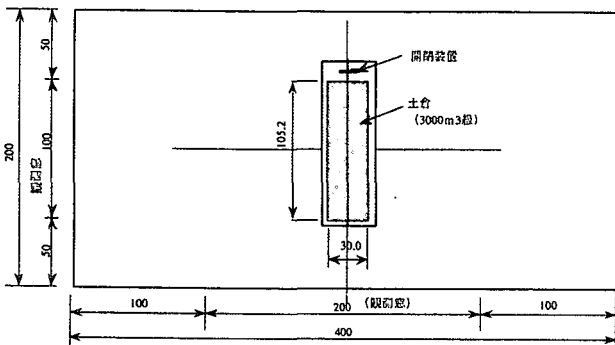


図-1 堆積形状予測手法フロー

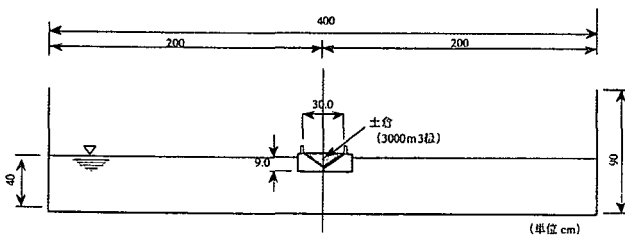
3. 実験内容

(1) 実験施設

水理模型実験は、図-2に示すアクリル製の観測窓（正面2m、側面側1m）を有する長さ4.0m×幅2.0m×深さ0.9mの水槽を用いて行った。



1) 平面図 (単位 cm)



2) 側面図 (単位 cm)

図-2 実験水層諸元

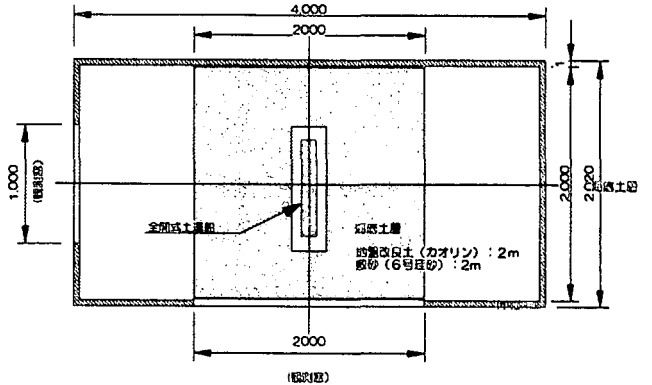
(2) 実験縮尺

実験に使用した土運船の模型縮尺は、現地規模と実験装置を勘案して、3,000m³級全開式土運船では1/50、6,000m³級全開式土運船で1/67、底開式土運船で1/100とした。

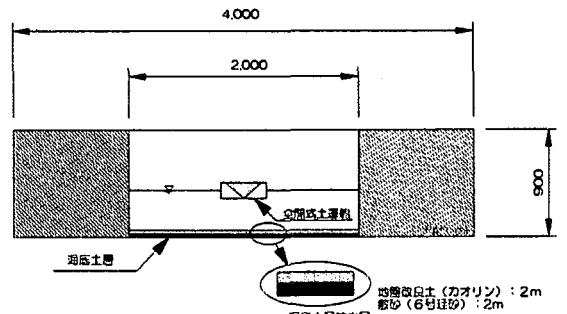
(3) 実験土層

水理模型実験で用いる海底地形としては、関西国際空港2期工事における現地の軟弱層を想定して、含水比50%に調節したカオリン粘土とその上に敷き砂（6号珪砂）を敷設したものを使用した。

実験土層を図-3に示す。



平面図



正面図

図-3 実験土層

(4) 実験機器

土砂投入後の堆積形状の測定は、水槽上部に3次元の超音波式砂面計（自動x yトラバース）を設置して5cmピッチで測定を行った。

4. 実験ケース

実験ケースは、投入水深（7.0m、10.0m、15.0m、20.0m）、土量（500m³、1,000m³、3,000m³、6,000m³）、開閉速度（70sec、140sec、210sec）を変化させて行った。

また、現地への適用性を考慮し、単体の堆積形状のみでなく、土運船の投入間隔（図-4参照）を変化させた場合の堆積形状の重ね合わせについても実験を行った。

本研究で行った水理模型実験ケースの一覧を表-1に示す。

表-1 水理模型実験ケース

| ケース | バージ | 土量 (m ³) | 開閉時間 (sec) | 投下水深 (m) | 投下間隔 (m) | 模型縮尺 | |
|---------|-----|----------------------|------------|----------|----------|-------|------|
| Case-1 | 底開式 | 500 | - | 7.0 | - | 1/100 | |
| Case-2 | | | | 10.0 | - | | |
| Case-3 | | | | 15.0 | - | | |
| Case-4 | | | | 20.0 | - | | |
| Case-5 | | 1,000 | | 7.0 | - | | |
| Case-6 | | | | 10.0 | - | | |
| Case-7 | | | | 15.0 | - | | |
| Case-8 | | | | 20.0 | - | | |
| Case-9 | 全開式 | 3,000 | 70 | 7.0 | - | 1/50 | |
| Case-10 | | | | 10.0 | - | | |
| Case-11 | | | | 15.0 | - | | |
| Case-12 | | | | 20.0 | - | | |
| Case-13 | | | | 140 | 7.0 | | - |
| Case-14 | | | | | 10.0 | | 0 |
| Case-15 | | | | | 15.0 | | 15 |
| Case-16 | | | | | 20.0 | | 30 |
| Case-17 | | | | 210 | 7.0 | | - |
| Case-18 | | | | | 10.0 | | - |
| Case-19 | | | | | 15.0 | | - |
| Case-20 | | | | | 20.0 | | - |
| Case-21 | | | 70 | 7.0 | - | | 1/67 |
| Case-22 | | | | 10.0 | - | | |
| Case-23 | | | | 15.0 | - | | |
| Case-24 | | | | 20.0 | - | | |
| Case-25 | | | 140 | 7.0 | - | | |
| Case-26 | | | | 10.0 | - | | |
| Case-27 | | | | 15.0 | - | | |
| Case-28 | | | | 20.0 | - | | |
| Case-29 | | | 210 | 7.0 | - | | |
| Case-30 | | | | 10.0 | - | | |
| Case-31 | | | | 15.0 | - | | |
| Case-32 | | | | 20.0 | - | | |
| Case-33 | 70 | 7.0 | - | | | | |
| Case-34 | | 10.0 | - | | | | |
| Case-35 | | 15.0 | - | | | | |
| Case-36 | | 20.0 | - | | | | |
| Case-37 | 140 | 7.0 | - | | | | |
| Case-38 | | 10.0 | - | | | | |
| Case-39 | | 15.0 | - | | | | |
| Case-40 | | 20.0 | - | | | | |
| Case-41 | 210 | 7.0 | - | | | | |
| Case-42 | | 10.0 | - | | | | |
| Case-43 | | 15.0 | - | | | | |
| Case-44 | | 20.0 | - | | | | |

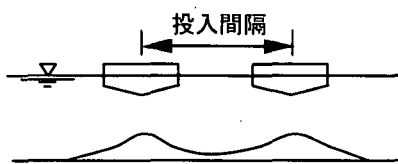


図-4 投入間隔

5. 研究結果

(1) 投入水深の特性

実験から投入水深が深くなると二山型に堆積することが分かった。図-5 (1)～(4)に土砂堆積形状の実験値と2次元モデルの比較結果を示す。図には2次元モデルである三菱モデルと造成I工区モデルによる計算値も示した。

実験の堆積形状は、水深が7mと10mのときは三菱モデルと一致し、水深が15mと20mのケースでは造成I工区モデルに近い形状となる。水深7m, 10m, 15m, 20mの実験値を用い12mの堆積形状を予測した計算結果の一例を図-6に示す。

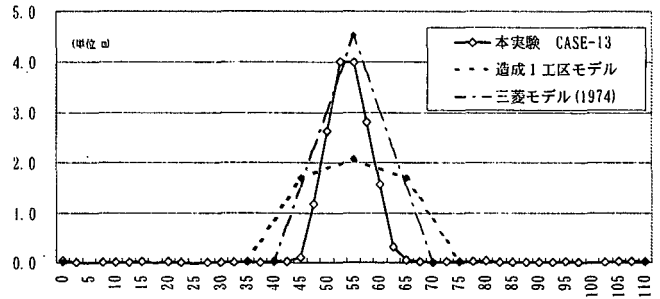


図-5 (1) 実験値と計算値の比較
(水深7m, 投入土量3,000m³, 投入時間2分20秒)

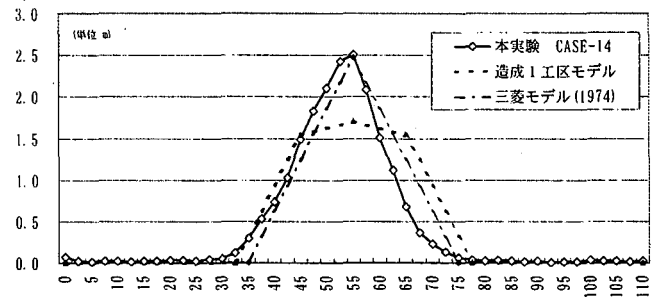


図-5 (2) 実験値と計算値の比較
(水深10m, 投入土量3,000m³, 投入時間2分20秒)

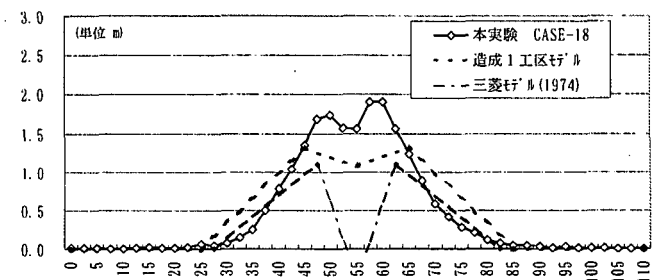


図-5 (3) 実験値と計算値の比較
(水深15m, 投入土量3,000m³, 投入時間2分20秒)

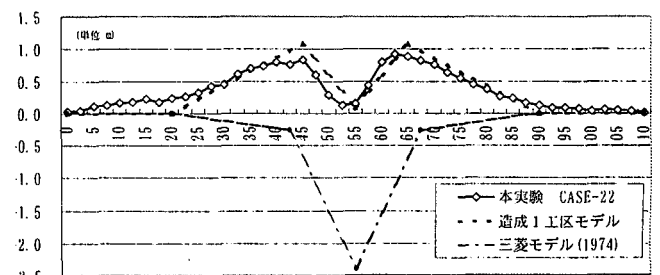


図-5 (4) 実験値と計算値の比較
(水深20m, 投入土量3,000m³, 投入時間2分20秒)

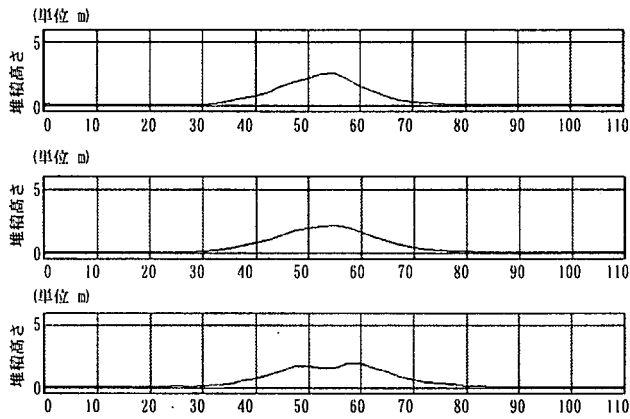


図-6 堆積形状予測結果 (水深12m)

(2) 開閉時間の特性

開閉時間70sec, 140sec, 210secの違いに対する堆積形状特性は、いずれの水深においても開閉時間が早い場合には、中央の高さは低く両サイドに広がる傾向にあることが分かった。逆に開閉時間が遅くなると中央部に高く堆積する傾向を示した。

実験結果を図-7 (1) ~ (3) に示す。

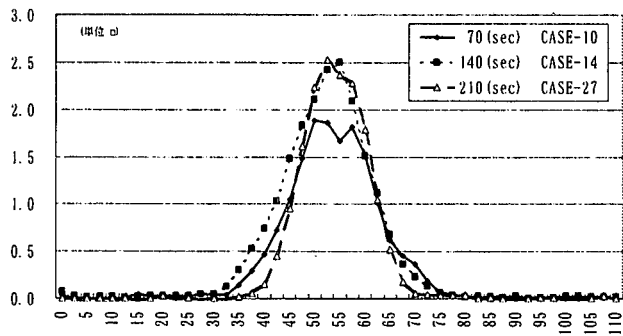


図-7 (1) 投入時間による堆積形状 (水深10m)

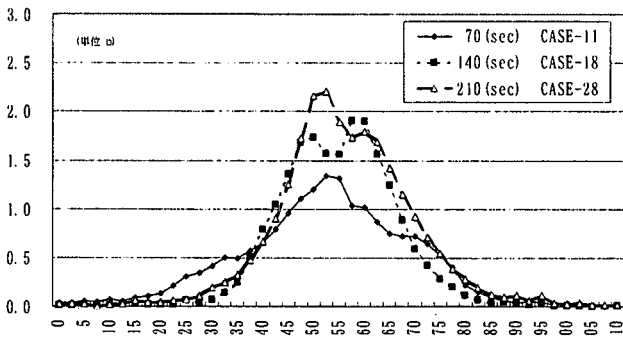


図-7 (2) 投入時間による堆積形状 (水深15m)

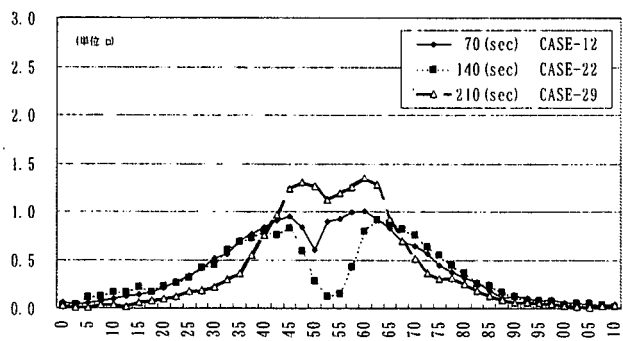


図-7 (3) 投入時間による堆積形状 (水深20m)

(3) 投入土容量の特性

投入土量容量が3,000m³, 6,000m³の場合の堆積形状は、いずれの水深においても堆積する範囲は、ほぼ同じであるが、投入土量によって堆積高さが変化することが分かった。

実験結果を図-8 (1) ~ (3) に示す。

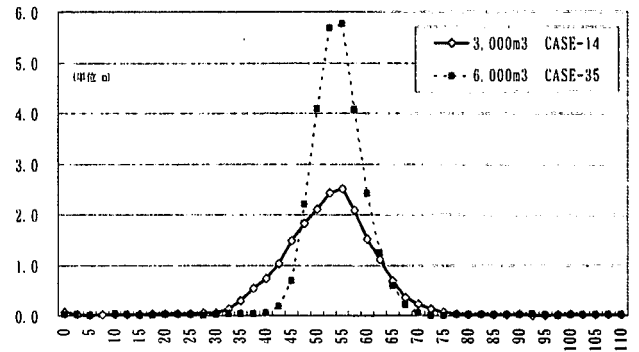


図-8 (1) 投入土量による堆積形状 (水深10m)

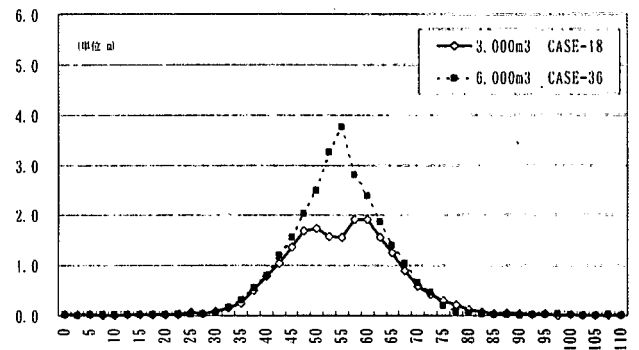


図-8 (2) 投入土量による堆積形状 (水深15m)

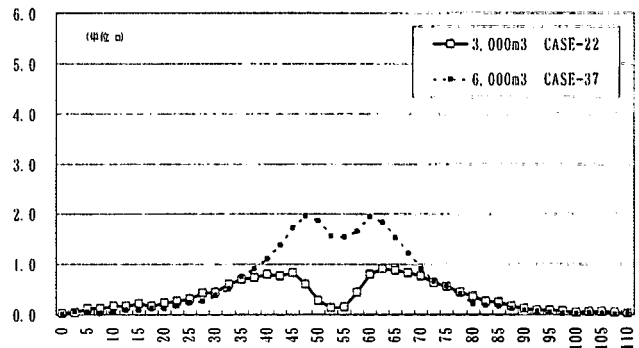


図-8 (3) 投入土量による堆積形状 (水深20m)

(4) 堆積形状データベースの構築

表-1 に示した水理模型実験結果を基に、土量、開閉時間、投下水深をパラメータとした3次元の堆積形状データベースを構築した。

この堆積形状データベースを線形補間して用いることで、土量500m³~6,000m³, 開閉時間70sec~210sec, 投下水深7.0m~20.0mまでの範囲であれば任意の条件下での3次元堆積形状を予測することが可能である。

また、このデータベースは実験値を基に構築しており、水深が7.0m, 10.0mでは前述した三菱モデル

の堆積形状とほぼ一致し、水深が15.0m, 20.0mでは造成I工区モデルと同様な堆積形状となることが本計算手法の特徴として挙げられる。

(5) 堆積形状の重ね合わせ

図-9 (1) ~ (4) は、単体の実験値 (Case-19 : 土量3,000m³, 開閉時間140sec, 投下水深15.0m) と堆積形状データベースを用いて計算した値を重ねて表示したものである。

図-10 (1) (4) 及び、図-11 (1) ~ (4) は、1投目と2投目の間隔を15m及び、30m間隔を開けて土砂を投下した場合の実験値と計算値を重ねて表示したものである。このときの計算値は、堆積形状データベースを用いて1投目、2投目をそれぞれ計算し、それらの堆積形状計算値を鉛直方向に積分 (重ね合わせ) することで1投目、2投目を重ね合わせた堆積形状を算定したものである。

図-10 及び、図-11 で計算値と実験値を比較した結果、図中の右肩部分で計算値が実験値よりも小さくなる傾向が見られた。これは、1投目の堆積土砂の法面に2投目の土砂を投入したことで落下に伴う流況が変化したことなどが影響しているためと考えられる。

このように、図中の右肩部分では若干ずれるものの、堆積高のピーク値付近での計算値は、実験値をほぼ再現しているものと考えられる。

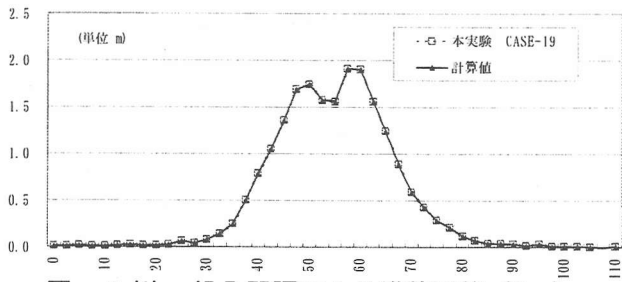


図-9 (1) 投入間隔による堆積形状 (0m)

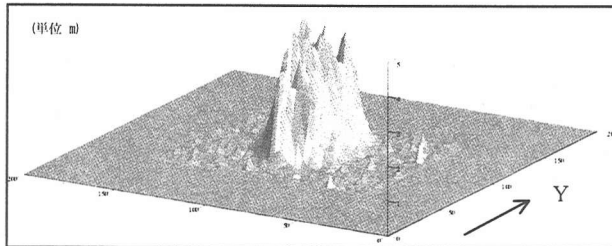


図-9 (2) 鳥瞰図 (投入間隔 : 0m)

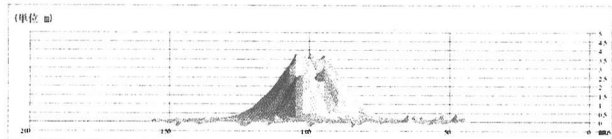


図-9 (3) X方向見通図 (投入間隔 : 0m)

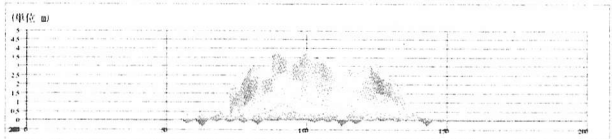


図-9 (4) Y方向見通図 (投入間隔 : 0m)

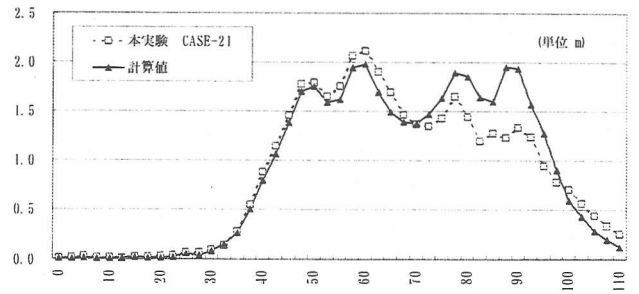


図-10 (1) 投入間隔による堆積形状 (15m)

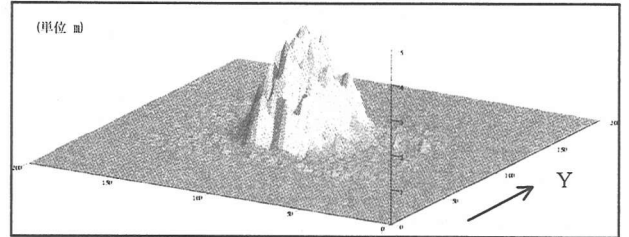


図-10 (2) 鳥瞰図 (投入間隔 : 15m)

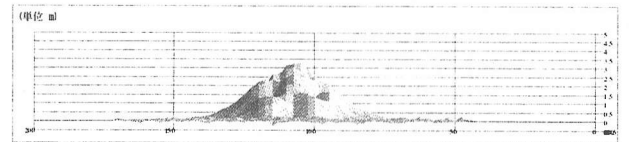


図-10 (3) X方向見通図 (投入間隔 : 15m)

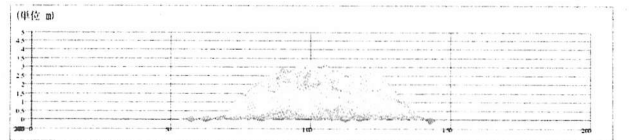


図-10 (4) Y方向見通図 (投入間隔 : 15m)

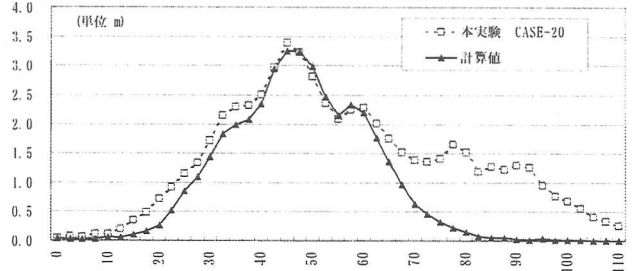


図-11 (1) 投入間隔による堆積形状 (30m)

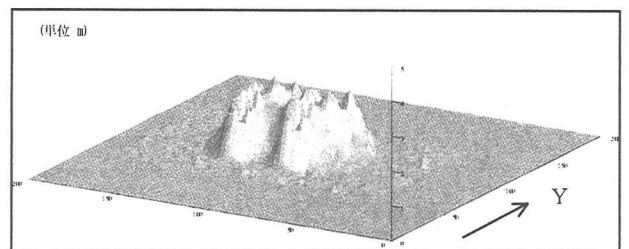


図-11 (2) 鳥瞰図 (投入間隔 : 30m)

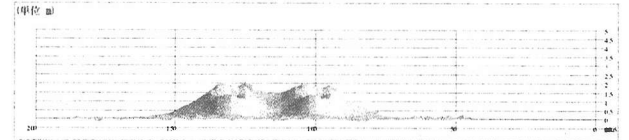


図-11 (3) X方向見通図 (投入間隔 : 30m)

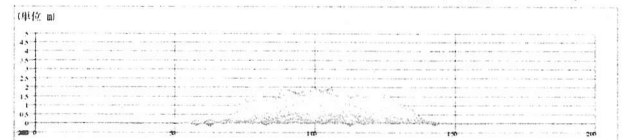


図-11 (4) Y方向見通図 (投入間隔 : 30m)

4. 結論

本研究の結論を以下に示す。

- 1) 水理模型実験における中央部の堆積形状は、投入水深が7m、10mでは2次元モデルである三菱モデルとほぼ一致し、投入水深15m、20mでは仮想3次元モデルである造成Ⅰ工区モデルとほぼ一致する。
- 2) 本研究で構築した3次元堆積形状データベースを用いることで土量、水深、開閉時間をパラメータとした任意の堆積形状を予測することが可能である。
- 3) 本計算手法は、堆積形状の重ね合わせについても適用可能である。
- 4) 3次元堆積形状データベースを更新することで、更に精度を向上させることが可能である。また、本研究で使用したパラメータ（土量、投入水深、

開閉時間）の他にも流れ（潮流）や、投入する土砂の物性値等を考慮することでより現地に即したデータベースを構築することが可能である。

謝辞：本研究の作成に当たり御指導および御協力して頂いた関西国際空港株式会社、五洋建設技術研究所に感謝致します。

参考文献

- 1) 武藤、吉井、石田：大規模埋立用底開バージによる土砂投下の研究、三菱重工技報、Vol. 11 No. 1, pp. 92-104, 1974-1.
- 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.