

# アサリ漁場造成を目的とした 帯状覆砂技術に関する実験的研究

STUDY ON BAND-SHAPED SAND CAPPING FOR IMPROVEMENT AND  
DEVELOPMENT OF CLAM *Ruditapes philippinarum* FISHING GROUND

高橋研也<sup>1</sup>・西畑 剛<sup>1</sup>・平野忠彦<sup>2</sup>・照井英司<sup>3</sup>・

金巻精一<sup>4</sup>・沼野祐二<sup>5</sup>・的野博行<sup>6</sup>・柳瀬知之<sup>7</sup>

Kenya TAKAHASHI, Takeshi NISHIHATA, Tadahiko HIRANO, Eiji TERUI,  
Seiichi KANAMAKI, Yuji NUMANO, Hiroyuki MATONO and Tomoyuki YANASE

<sup>1</sup>正会員 修(工) 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)

<sup>2</sup>芙蓉海洋開発株式会社 水産システムセンター 技術部 (〒111-0051 東京都台東区蔵前3-15-7)

<sup>3</sup>芙蓉海洋開発株式会社 九州センター (〒839-0814 福岡県久留米市山川追分1-3-19)

<sup>4</sup>社団法人マリノフォーラム21 開発部 (〒110-0016 東京都台東区台東4-8-7 友泉御徒町ビル8F)

<sup>5</sup>正会員 工修 五洋建設株式会社 東京土木支店 (〒112-8576 東京都文京区後楽2-2-8)

<sup>6</sup>水産庁 漁港漁場整備部 (〒100-8907 東京都千代田区霞が関1-2-1)

<sup>7</sup>正会員 水産庁 増殖推進部 (同上)

Recently, the band-shaped sand capping method which yields wider clam *Ruditapes philippinarum* fishing ground than squared sand capping (conventional method) has been constructed in several tidal flats. Though the efficacy for the increase of clam catches is reported, design methodology for the band-shaped sand capping is not established.

In this paper, movable bed experiments in a planer tank are executed to confirm bathymetry changes and increasing rates of the sand capping area. Furthermore, we examine numerical models to reproduce the sand form change in our experiments. Increasing rates of the band-shaped sand capping area are approximately 2.5 after the experiments in suspended and sheet flow condition, while approximately 2.0 in the squared sand capping. Numerical analysis submits good agreement with the observations for both the sand form changes and the extension areas. Application of the simulation to efficient design for the band-shaped sand capping is expected.

**Key Words :** Band-shaped sand capping, squared sand capping, clam *Ruditapes philippinarum* fishing ground, tidal flats, movable bed experiment, numerical analysis

## 1. はじめに

近年, 干潟の減少や底質の細粒化など, 様々な原因によりアサリ漁獲量が激減している. このような中, アサリ漁場造成を目的として海砂を用いた覆砂が行われており, 漁獲量が回復傾向にある場所も報告されている. しかし, 海砂採取が規制あるいは禁止される方向にあることから, 著者らは方形に覆砂する場合と同じ海砂使用量でより広い漁場を造成可能な帯状覆砂技術の開発を進めてきた. 図-1に帯状覆砂技術の概念図を示す. これは, 細長い覆砂を適切な間隔で帯状に施工しておき, 波・流れの作用によって覆砂材が移動することで, 帯状覆砂間および周辺域への着底基質の供給を図るものである. また, 最初から広く薄層覆砂する従来手法よりも施工面積

および価格を抑えることができ, 効率的・経済的な施工方法である. 現地においては, 既に帯状覆砂技術の実証試験が実施され, アサリ分布範囲および漁獲量に対する有効性が確認されている<sup>1)</sup>. 本研究においては, 平面波浪場における帯状覆砂の形状変化および面積増加の特性を水理模型実験により明らかにすることを目的とし, 併せて数値シミュレーションにより覆砂形状の変化を再現することを試みた.

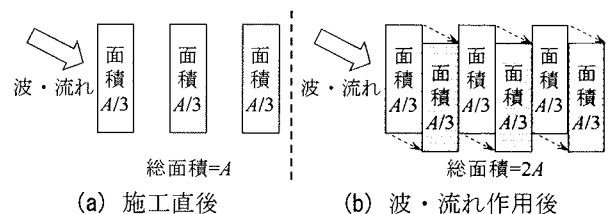


図-1 帯状覆砂技術の概念図

表-1 実験条件

| ケース | 覆砂形状 | 潮位  | 覆砂上での漂砂移動形態 | 水深 (cm) | 波高 (cm) | 周期 (s) | 時間 (分) | 覆砂厚 (cm) | 中央粒径 (mm) |
|-----|------|-----|-------------|---------|---------|--------|--------|----------|-----------|
| 1   | 方形   | 没水  | 掃流漂砂        | 31.5    | 5.0     | 1.5    | 270    | 10.0     | 0.16      |
| 2   |      |     | 浮遊漂砂        |         | 8.0     |        | 90     |          |           |
| 3   |      | 潮間帯 | シートフロー      | 10.0    | 6.0     |        | 90     |          |           |
| 4   | 帯状   | 没水  | 掃流漂砂        | 31.5    | 4.0     |        | 270    |          |           |
| 5   |      |     | 浮遊漂砂        |         | 8.0     |        | 90     |          |           |
| 6   |      | 潮間帯 | シートフロー      | 10.0    | 6.0     |        | 90     |          |           |

## 2. 水理模型実験

### (1) 実験方法

#### a) 実験水槽

図-2に水理模型実験の概要を示す。実験には、長さ20m×幅30m×高さ1.5mの平面造波水槽を使用した。造波機前面に約1/10の勾配部を設け、水平固定床上に覆砂を配置して実験を行った。なお、水槽壁前面には繊維状消波材を多層に設置して反射波の影響を最小限に留めた。

#### b) 実験条件

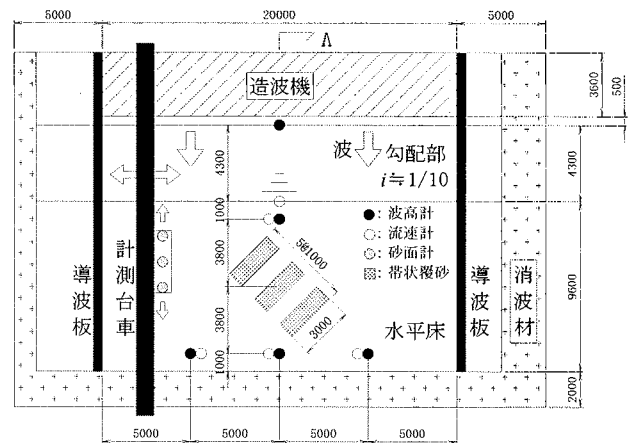
表-1に実験条件を、図-3に覆砂配置平面図を示す。既往の現地実証試験<sup>1)</sup>と条件を対応させるため、覆砂形状は(a)方形覆砂および(b)帯状覆砂の2種類とし、波向が覆砂形状に対し45°となるように、覆砂厚10.0cm、面積9.0m<sup>2</sup>にて配置した。ここで、入射波は単一方向規則波とした。覆砂材には中央粒径0.16mmの6号珪砂を用い、覆砂端部はGibsonによる水中安息角から30°として整形した。また、潮位条件は覆砂没水時および潮間帯を想定し、波浪条件は覆砂上での漂砂移動形態が、掃流漂砂～浮遊漂砂～シートフローとなるように設定した。

図-4に実験波浪条件における覆砂上での漂砂移動形態を柴山ほか<sup>2)</sup>に倣って分類した結果を示す。ここで、 $\Psi_m$ はシーلز数、 $u_b$ は底面流速振幅であり、沈降速度 $w_0$ の算出にはRubeyの式を用いた。潮間帯を想定したケース3および6においては遡上波により覆砂がシートフロー形式で移動することを考えると、本実験条件は漂砂機構を検討する上で必要となる全移動形態を包含していることが分かる。

以上の条件において、掃流漂砂のケースで270分間、浮遊漂砂およびシートフローのケースで90分間の造波を行った。

#### c) 計測項目

図-2(a)に示す位置で容量式波高計および電磁流速計によりサンプリング周波数 20Hz にて水位および流速を計測し、入射波およびシーلز数の確認を行った。なお、事前に通過波検定を行い、覆砂位置で所定の波浪が造波されていることを確認した。また、実験前後には超音波式砂面計を用いた砂面計測を5.0cm間隔で行い、地盤高および覆砂移動範囲を把握した。実験状況は適宜写真およびビデオにより撮影した。

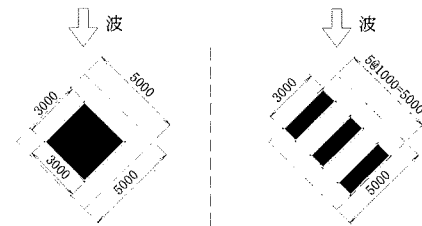


(a) 平面図



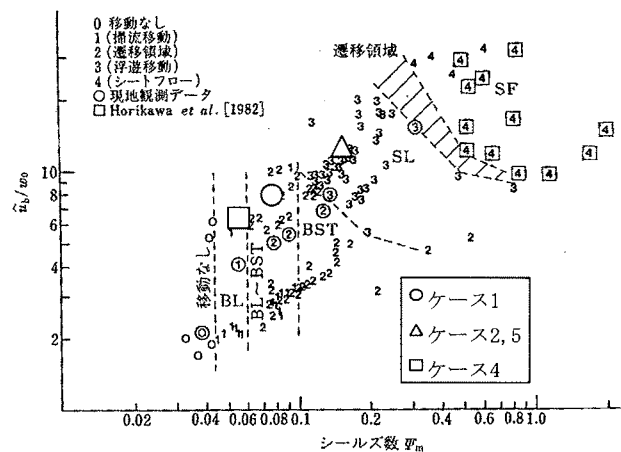
(b) 断面図(A-A)

図-2 水理模型実験の概要 (単位: mm)



(a) 方形覆砂 (b) 帯状覆砂

図-3 覆砂配置平面図 (単位: mm)

図-4 実験波浪条件における覆砂上での漂砂移動形態<sup>2)</sup>



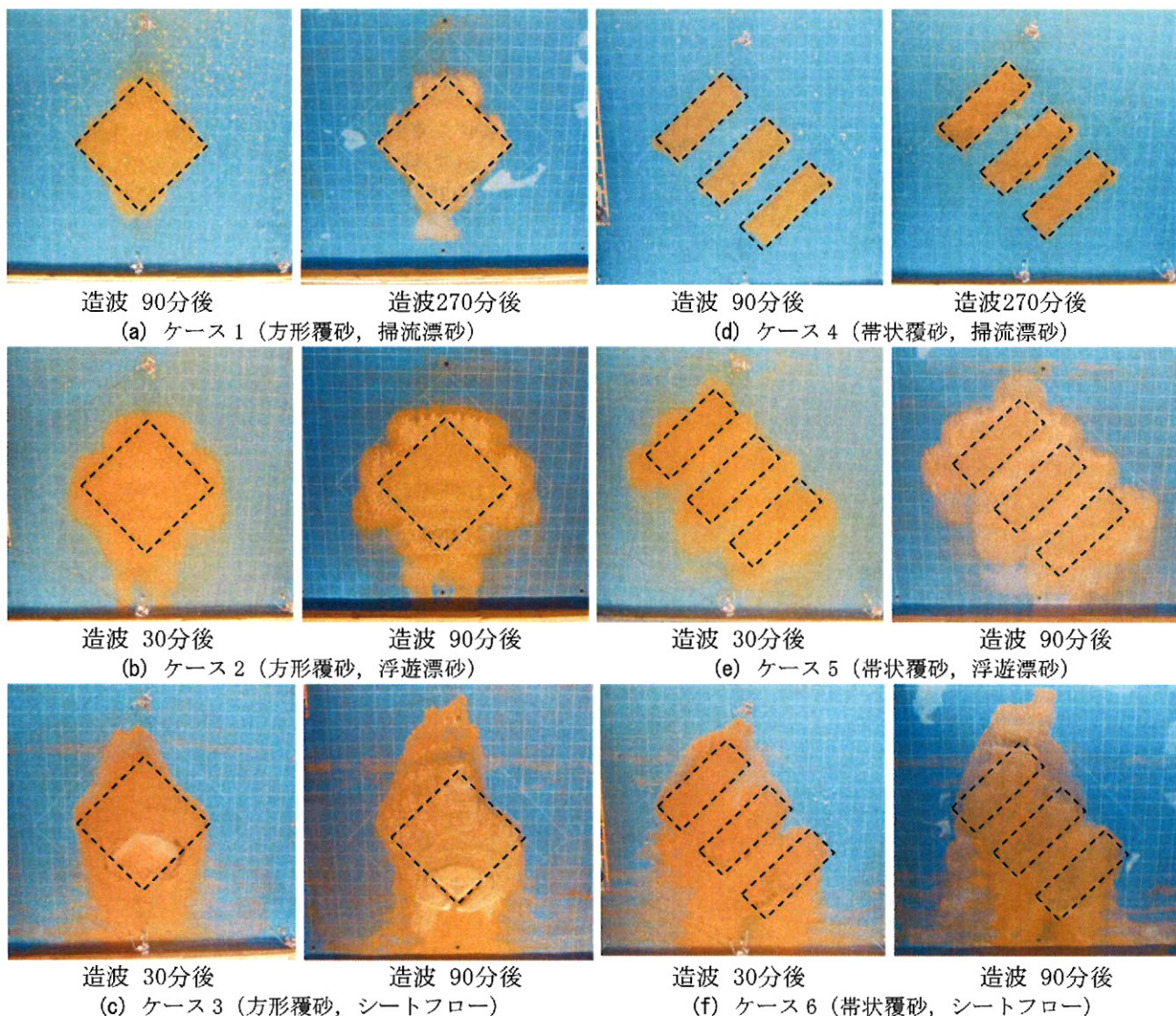


写真-1 実験結果

## (2) 実験結果

写真-1に実験結果を示す。なお、写真中の点線は造波前の覆砂位置である。全ケースにおいて造波時間経過に伴い覆砂域が拡大しており、その範囲はシルズ数が大きいケースほど広範囲であった。また、造波直後より砂れんが形成された他、覆砂上では屈折・回折・浅水変形に伴う波浪の集中等によって、さらに起伏の大きい凹凸（砂浪）が形成された。例として、帯状覆砂中心断面（図-2中の断面A-A）の経時変化を図-5に示す。砂浪の位置とスケールは、シートフロー条件で変形が継続中であるものの、他の条件では造波時間によらずほぼ安定している。また、覆砂の拡大面積に関してはどのケースもほぼ収束しており、覆砂の変形特性および拡大面積を把握するには十分な時間を造波したことがわかる。帯状覆砂のケースにおいては、掃流漂砂以外は覆砂列の間にまで砂が移動した。図-6に厚さ2.0mm以上の覆砂面積計測結果および増加率を示す。掃流漂砂においては覆砂面積に大きな変化は見られなかったが、浮遊漂砂およびシートフローにおいては方形覆砂で約2.0倍、帯状覆砂で約2.5倍の面積増加率となった。

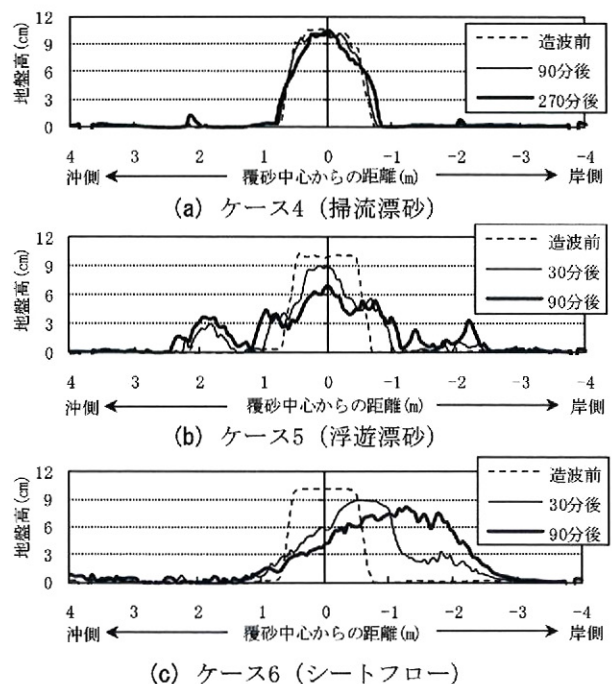


図-5 帯状覆砂中心断面の経時変化 (図-2中の断面A-A)

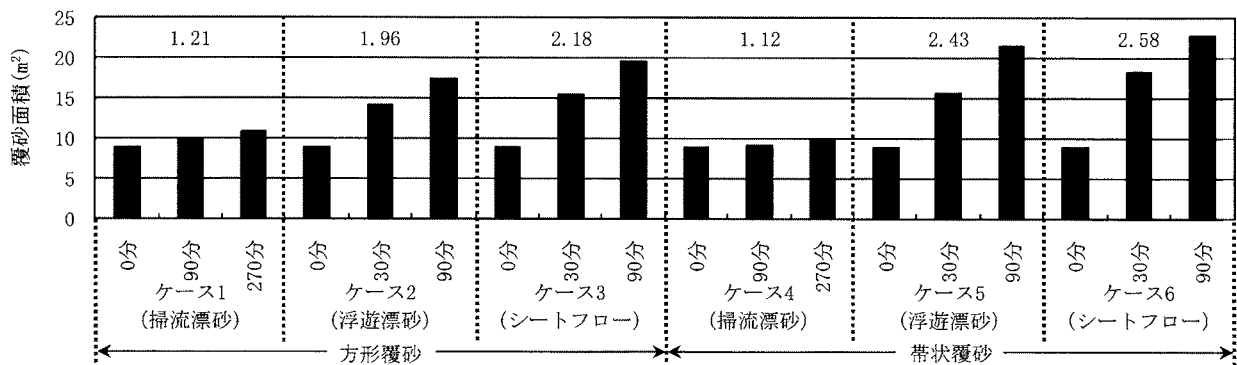


図-6 厚さ 2.0mm 以上の覆砂面積計測結果および増加率

なお、漂砂による覆砂材移動とアサリの安定した着底とは相反する関係であるが、一般的なアサリの産卵・着底時期は春や秋であり、この時期の漁場における漂砂移動形態は掃流漂砂がほとんどで覆砂変形は緩やかに進行する。よって、着底初期稚貝の巻き上げ輸送による減耗の危険性は小さい。一方、夏季の台風や冬季季節風に起因する浮遊漂砂・シートフローによる覆砂変形は大きく無視できないものの、発生頻度が低く波浪継続時間が短いため、常時はアサリ着底へ支障を来たす生息環境場は想定されない。ただし、低水温・貧栄養で高波浪が卓越する干潟域に本技術を適用する場合においては、波浪減耗の危険性が高まるため詳細な調査が必要と考えられる。

### 3. 数値シミュレーション

#### (1) 解析手法

実験結果の再現数値シミュレーションを試みた。図-7に解析概念図を示す。波浪場計算には非線形長波方程式を用い、解析波浪による漂砂を同時に計算した。地形変化は、覆砂の掃流移動のほか、底質の巻き上げ、沈降および浮遊砂の移流・拡散を考慮したフラックスモデルを基本とし、潮間帯における漂砂のみならず、限定的に堆砂した覆砂域を解析できるように修正した。基本となる数値解析モデルは西畑ほか<sup>3)</sup>を参照されたいが、ここではパラメータスタディと限定的堆砂域における漂砂に関して詳述する。

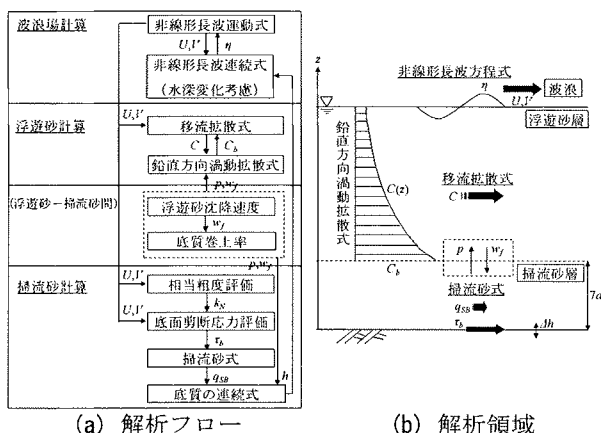


図-7 解析概念図

#### a) 波浪場の計算

波浪場の再現は非線形長波方程式による連続式および運動量式を基礎とし、スタッガード格子による水位および流速の解析を行った。なお、潮間帯における干出は小谷ほかによる手法<sup>4)</sup>に従った。

#### b) 掃流漂砂の計算

砂面の安定勾配を考慮したモデルであるTajima<sup>5)</sup>による掃流漂砂式を用いた。水深変化に関する連続式は次の式(1)を用いて計算される。

$$\frac{\partial h}{\partial t} = -(1-n)\nabla \bar{q}_{SB} - p + w_f C_b \quad (1)$$

ここで、 $h$ は水深、 $t$ は時間、 $n$ は底質空隙率、 $q_{SB}$ は掃流砂フラックス、 $\nabla$ は $(\partial/\partial x, \partial/\partial y)$ 、 $p$ は底質巻上率、 $w_f$ は沈降速度、 $C_b$ は底面付近浮遊砂濃度である。

#### c) 浮遊漂砂の計算

浮遊漂砂の計算では、鉛直方向の断面平均濃度 $C$ に対し、次の式(2)に示す移流拡散式を適用した。

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} \\ = p - w_f C_b + \frac{\partial}{\partial x} \left( \epsilon h \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \epsilon h \frac{\partial C}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 $x, y$ は岸沖、沿岸方向座標、 $U, V$ は $x, y$ 方向断面平均流速である。式(2)中の左辺第2項および第3項は浮遊砂の移流、右辺第1項は底質巻上率、右辺第2項は浮遊砂の沈降を表しており、限定的堆砂域における漂砂量則を適用する際に関係する項である。また、右辺第3項および第4項中の $\epsilon$ は水平方向渦動拡散係数であり、等方性乱流に対する $\epsilon = \kappa u_* b h/2$ を最初に仮定した。 $\kappa$ はカルマン定数( $=0.4$ )、 $u_* b$ は摩擦速度である。

なお、底面付近浮遊砂濃度 $C_b$ は、鉛直方向へ線形増加する1次元拡散方程式の解析形を仮定した場合は次の式(3)により、鉛直方向へ一様な拡散方程式を仮定した場合は式(4)により得られる。

$$C_b = \frac{C(1-m)(h-z_b)}{h(z_b/h)^m - z_b} \quad (3)$$

$$C_b = \frac{Cm}{1 - \exp(-m(h-z_b)/h)} \quad (4)$$



ここで、 $m$ はラウス数( $=w_f/ku_b$ )、 $z_b$ は基準点高さ( $=7d$ )、 $d$ は底質粒径である。

#### d) 底質巻上率の計算

Herrmann・Madsen<sup>6)</sup>による次の実験式を用いた。

$$p = 0.0022w_f(\tau_b/\tau_{cr,\beta} - 1) \quad (5)$$

ここで、 $\tau_b$ は底面せん断応力、 $\tau_{cr,\beta}$ は海底勾配の影響を考慮した移動限界せん断応力である。

#### e) 限定的堆砂域における漂砂量則

池野ほか<sup>7)</sup>の露岩域における砂層厚を考慮した式により砂層厚が薄い領域に対し漂砂量則を修正した。

$$q \rightarrow \frac{2h_{sd}}{\zeta} q \quad (\text{if } h_{sd} \leq \zeta/2) \quad (6)$$

ここで、 $q$ は掃流漂砂量、浮遊漂砂量、巻上げフラックス、沈降フラックス等の漂砂に関係する諸量、 $h_{sd}$ は砂層厚、 $\zeta$ は砂れん高さである。

### (2) 波浪場の再現計算

計算領域は図-2(a)に示す水平床部とし、導波板を反射境界、消波材を数値的なスポンジ層として設定し、通過波検定において解析された反射率0.2程度を実現する数値水槽とした。入射波は、水理模型実験と同様に単一方向規則波を沖側境界から与えた。格子間隔は水理実験における砂面計測間隔である5.0cmとし、時間間隔は0.005sとして計算を行った。

図-8にケース2における造波30分後の計算水位分布図を示す。図中のコンターラインは覆砂範囲・地盤高を示している。覆砂による屈折・回折・浅水変形がよく再現されており、波浪の伝播も良好である。

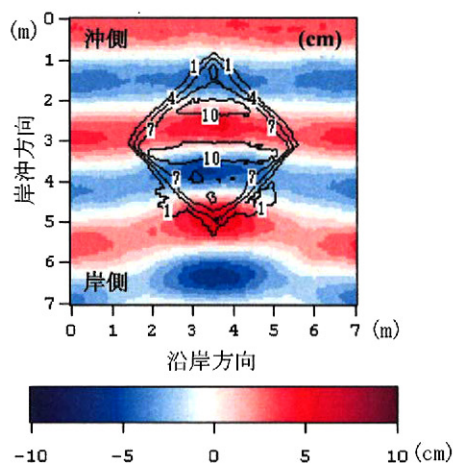


図-8 計算水位分布図 (ケース2, 造波30分後)

### (3) 地形変化の再現計算

#### a) パラメータスタディ

ケース2 (方形覆砂, 浮遊漂砂) における造波30分後の地形変化再現計算を通して, 各種パラメータスタディを行った。表-2にパラメータスタディの内容を示す。なお, 式(6)中の砂れん高さ $\zeta$ は水理模型

実験結果から1.5cmとした。

図-9にパラメータスタディの結果として実験および計算における覆砂変形結果を示す。No. 1では覆砂変形量が小さかったため, No. 2では限定的堆砂域における漂砂量則を底面付近の漂砂にのみ適用した。この場合, 覆砂上の凹凸の高さは概ね再現されたが, 岸沖方向への覆砂移動が過小であった。No. 3では, 浮遊砂の乱流拡散が大きくなるように鉛直方向へ一様な拡散分布を与えた。No. 2に比べ, 覆砂上の凹凸の高さや形成位置, 岸側への堆積状況は改善されたが, 造波前の覆砂位置からの移動量は過小であった。そこで, No. 4では浮遊砂の水平方向渦動拡散係数をパラメータスタディし,  $\varepsilon=0.05$ で一定とした。実験結果と比較すると堆積形状に若干の差は認められるものの, 覆砂上の凹凸や覆砂移動範囲が概ね整合した。参考までにNo. 5として, No. 4に限定漂砂量則を適用しない場合も計算した。この場合は, 初期の覆砂位置外において一部巻上げが過大となり, 覆砂移動形状が不連続となった。以上より, 本研究においてはNo. 4の条件にて再現計算を行うこととした。

表-2 パラメータスタディの内容

| 検討<br>番号 | ①限定漂砂<br>適用範囲    | ②浮遊砂<br>鉛直拡散式  | ③浮遊砂<br>水平拡散係数         |
|----------|------------------|----------------|------------------------|
| No. 1    | 掃流, 浮遊<br>巻上, 沈降 | 式(3)<br>(1次関数) | $\varepsilon=ku_b h/2$ |
| No. 2    | 掃流, 巻上           |                |                        |
| No. 3    |                  | 式(4)<br>(一様)   |                        |
| No. 4    |                  |                |                        |
| No. 5    | 適用しない            |                | $\varepsilon=0.05$     |

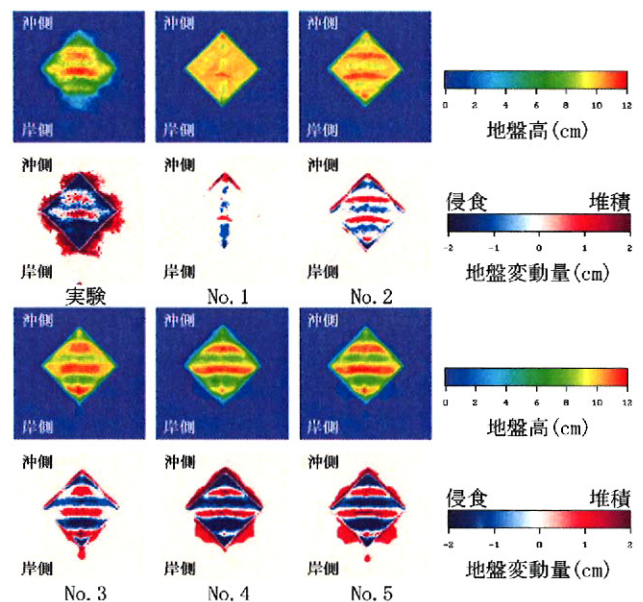


図-9 パラメータスタディ結果 (ケース2, 造波30分後)

#### b) 再現計算結果

図-10, 11に地形変化の実験結果と計算結果の比較を示す。潮間帯を想定したケース3および6 (シート



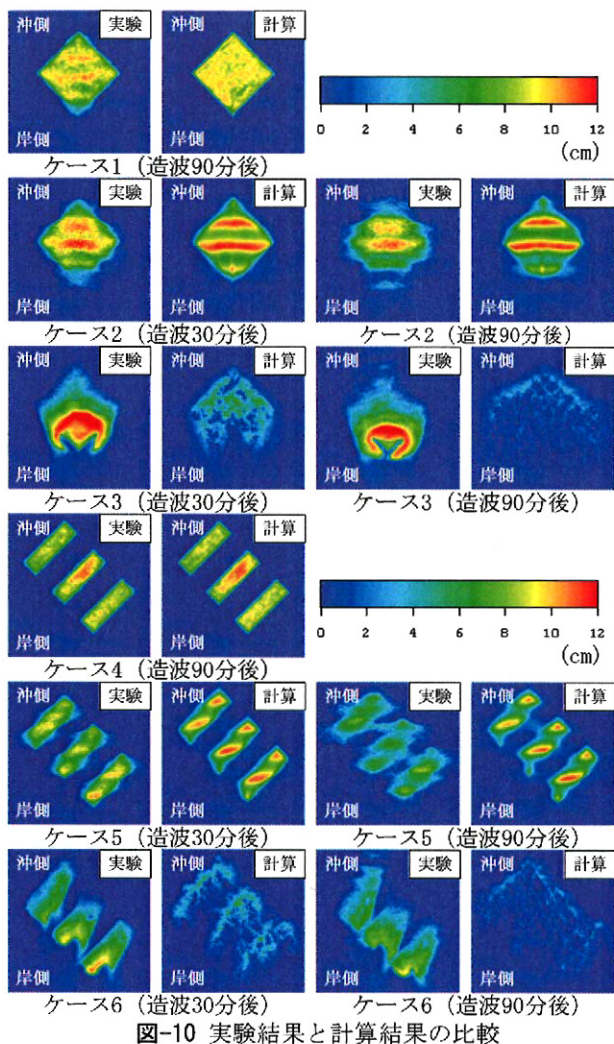


図-10 実験結果と計算結果の比較

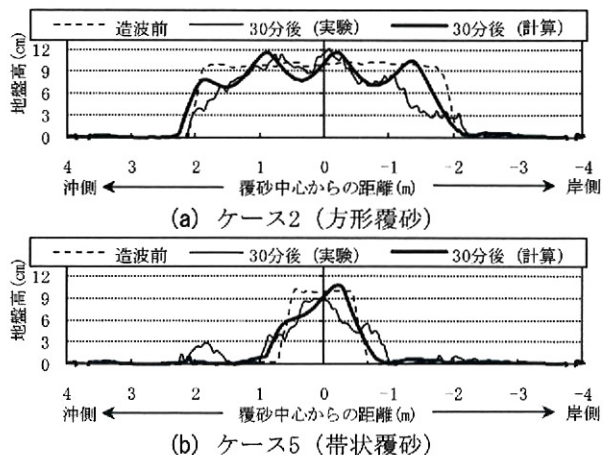


図-11 覆砂中心断面の比較 (図-2中の断面A-A)

フロー)においては、長時間計算すると侵食過多となったが、その他のケースにおいては覆砂上の凹凸や覆砂移動範囲が概ね整合した。

本計算手法は遡上域に波浪が長時間作用する場合に課題が残るものの、現地水深が長時間0となることは考えにくいので、上述の通り現地では掃流漂砂が卓越していることを考えると、実務上十分な精度で覆砂変形予測が可能となることが期待できる。なお、今回は実験スケールで再現計算を行ったが、計

算負荷がかかりすぎるといった問題が生じた。現地への適用に当たっては覆砂の耐用年数に応じた計算が望まれるため、計算負荷の軽減を図ることに加え、潮汐流を考慮したモデルへの改良や、原地盤と覆砂材が併存する場合での適用性の検証などが課題である。

#### 4. おわりに

本研究においては、方形に覆砂する場合と同じ海砂使用量でより広いアサリ漁場を造成可能な帯状覆砂技術に関する水理模型実験を行い、覆砂の移動特性を明らかにした。

また、非線形長波方程式をベースとした従来の浮遊砂フラックスモデルに対し、限定的堆砂域における漂砂量則を考慮してパラメータスタディを行い、地形変化の再現計算を行った。本計算手法は、遡上域における課題は残るものの、実務上十分な精度で覆砂の変形を再現可能であることを確認した。今後は、計算負荷の軽減やモデルの改良などの課題解決を図ることで、現地における帯状覆砂の設計手法への展開が期待できる。

**謝辞：**本研究は、水産庁「平成20年度有明海漁場造成技術開発委託事業」で報告した「緑川河口周辺域における帯状覆砂技術の開発（熊本県熊本市川口地先）」として実施した。関係各位から貴重なご指導をいただいたことをここに記し、謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 工藤倫彰, 石村忠昭, 中川元也, 佐貫 宏, 金巻精一, 野野行: 帯状覆砂によるアサリ漁場造成技術の開発, 平成 20 年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, pp. 107-110, 2008.
- 2) 柴山知也, 堀川清司, 矢吹信喜, 半田真一: 二次元海浜変形予測手法の実験による検討, 第 29 回海岸工学講演会論文集, pp. 249-253, 1982.
- 3) 西畑 剛, 田島芳満, 森屋陽一: 津波による地形変化の検証-2004 年スマトラ沖地震津波 スリランカ・キリンダ港-, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp. 1386-1390, 2005.
- 4) 小谷美佐, 今村文彦, 首藤伸夫: GIS を利用した津波遡上計算と被害推定, 海岸工学論文集, 第 45 巻, pp. 356-360, 1998.
- 5) Tajima, Y.: Waves, currents, and sediment transport in the surf zone along long, straight beaches, Doctoral Thesis in Massachusetts Institute of Technology, p.313, 2004.
- 6) Herrmann, J.M. and Madsen, O.S.: Effect of stratification due to suspended sediment on velocity and concentration distribution in turbulent flows, J. of Geoph. Res, 2007.
- 7) 池野正明, 清水隆夫, 小林英次, 石井敏雅, 齊藤知秀: 露岩域を有する砂浜海岸に港湾を建設する場合の 3 次元海浜変形数値予測モデルの適用, 海岸工学論文集, 第 48 巻, pp. 561-565, 2001.