

沖合構造物背後の海浜変形機構に関する 実験的研究

AN EXPERIMENTAL STUDY OF SEDIMENT TRANSPORT PATTERNS BEHIND OFFSHORE STRUCTURE

申 承鎬¹・山口 洋²・入江 功³
Seungho SHIN, Hiroshi YAMAGUCHI and Isao IRIE

¹正会員 工博 九州大学大学院研究員 工学研究院 (〒821-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

²正会員 工修 (株)若築建設土木本部技術研究所 (〒160 東京都目黒区下目黒2-23-18)

³正会員 工博 九州大学大学院教授 工学研究院 (〒821-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

Recently, it is frequent that securing a vast space on the land region in turning out to be difficult and obliged to seek it in the sea area, and because of this, the coastal region has been faced to more wide-ranging beach erosion problems. In planning offshore structures such as artificial islands, it is necessary to forecast the influence of the structure construction on the beach and adjacent coast.

In the present study, the sediment movement pattern behind offshore structure was studied through a series of three dimensional movable bed experiments in an aim to develop the numerical model which forecasts morphological change including beach erosion. From the experimental results, it has been understood that the sediment movement patterns near the surf zone and offshore zone are clearly separated and this was adopted in the model. The numerical model of morphological change of the coast thus developed has been found to reproduce physical model satisfactory.

Key Words : *Offshore structure, 3-dimensional movable bed experiment, fluorescent sands, sediment transport pattern.*

1. はじめに

現在, 全国各地で問題となっている海岸侵食などの望ましくない海浜変形は, ほとんどが何らかの土砂収支の不均衡に起因するものであり, 土砂収支の不均衡は該当沿岸域における河口あるいは海崖からの漂砂供給の減少や海岸構造物による沿岸漂砂の遮断および変化によって引き起こされる。

近年, 陸域で広い用地を確保することが困難であるため, これを海域に求めること(例えば, 海上空港など)が多くなっており, 沿岸域は広範囲にわたる海浜変形問題に直面している。したがって, 人工島などといった沖合構造物を計画する際には, 構造物建設が隣接海域の海浜変形に及ぼす影響を予め適切に予測する必要がある。

海上空港等の沖合構造物背後の海浜変形予測についてはこれまで多くの研究がなされているが, 物理的な漂砂の移動機構をよく調べてモデル化した例はほとんどない。

著者らは, 3次元移動床実験に蛍光砂トレーサーを用い, 沖浜帯および砕波帯の移動パターンを詳細に調べ, その結果を数値モデルに取り入れることを

試み, ここでは主にその移動機構について述べる。

2. 蛍光砂を用いた3次元移動床実験

(1) 実験方法

実験には, 図-1に示す長さ20m, 幅9m, 深さ60cmの平面水槽を用いて行った。まず, 中央粒径0.16mmの砂を厚さ約6cmに敷き均し, 初期断面として1/20勾配の一樣勾配斜面をつくって直角入射の条件で波を作用させた。実験を通して, 一樣水深部の水深は30cm, 入射波の沖合波高は, 5.0cm, 周期は1.0sという一定条件に固定した。沖合構造物としては現象の対称性を利用して沿岸方向延長の半分の領域を対象にし, 自然海浜に近い初期地形とするため, 初期の1/20直線勾配に4時間波を作用させた後, 極力地形を乱さないように注意して沖合構造物を設置し(離岸距離=3.0m), さらに波を作用させて地形変化, トレーサー追跡を行った。一方, 蛍光砂を用いた移動床実験における蛍光砂(トレーサー)は, 実験砂として使ってきた中央粒径0.16mmの砂に赤・緑の蛍光塗料を着色して製作した。

蛍光砂の投入位置は図-2に示されている。これは,

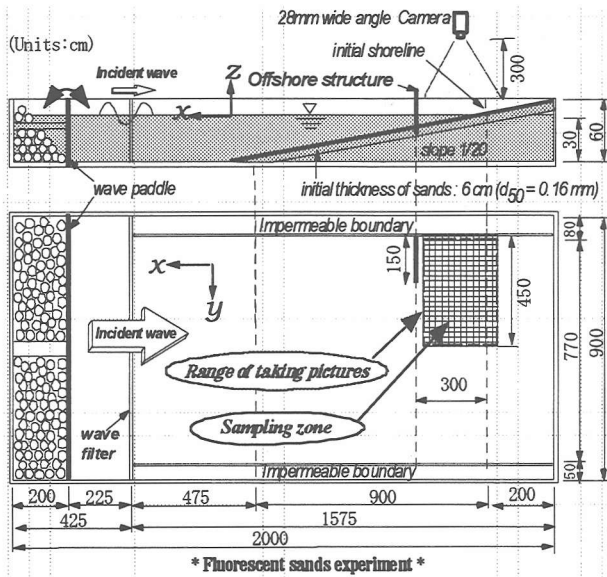


図-1 実験水槽の概要と座標系

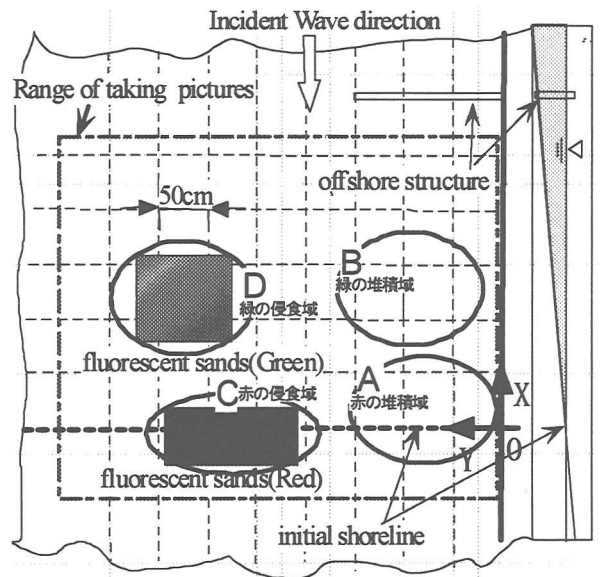


図-2 蛍光砂の投入位置

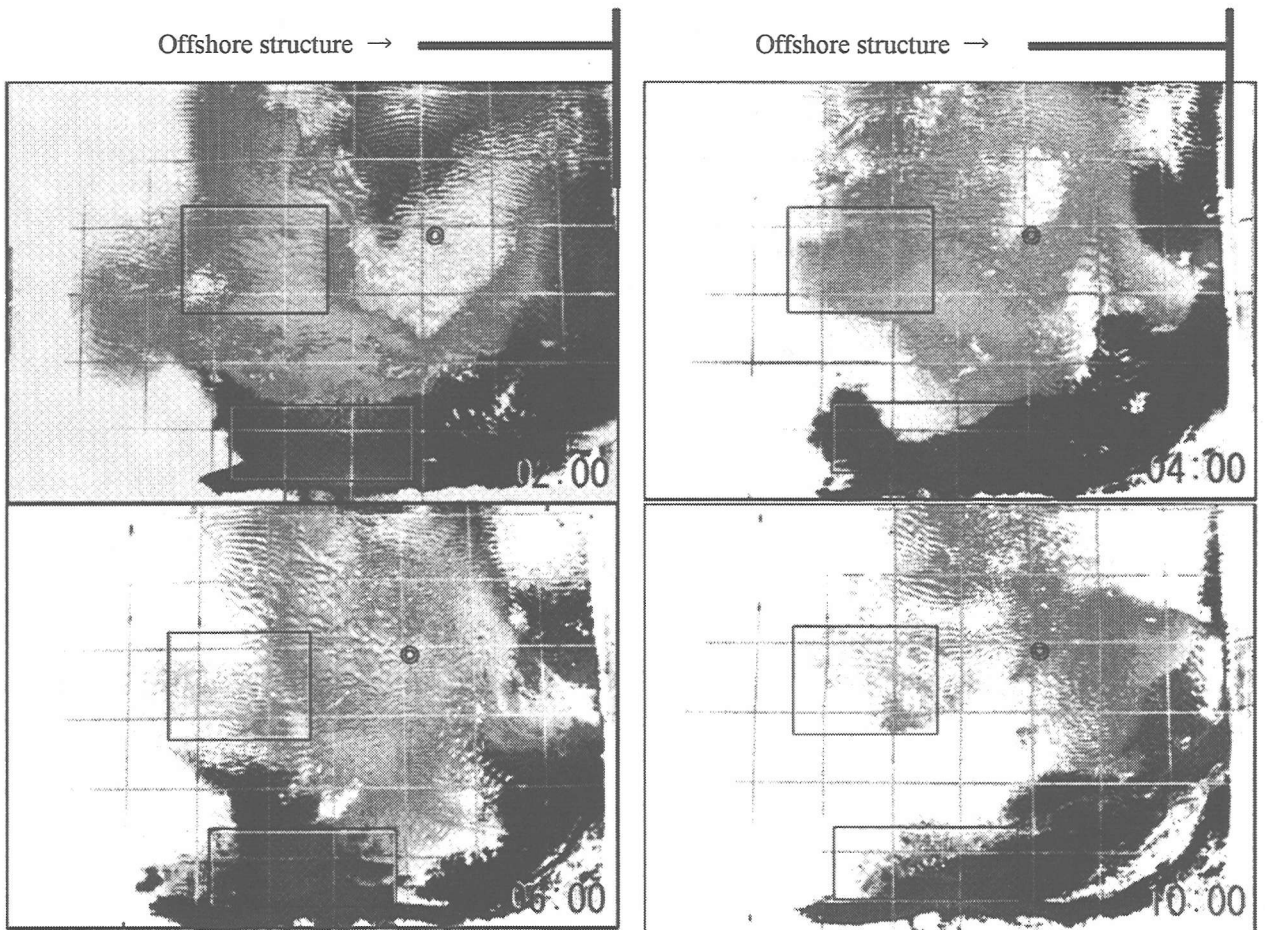
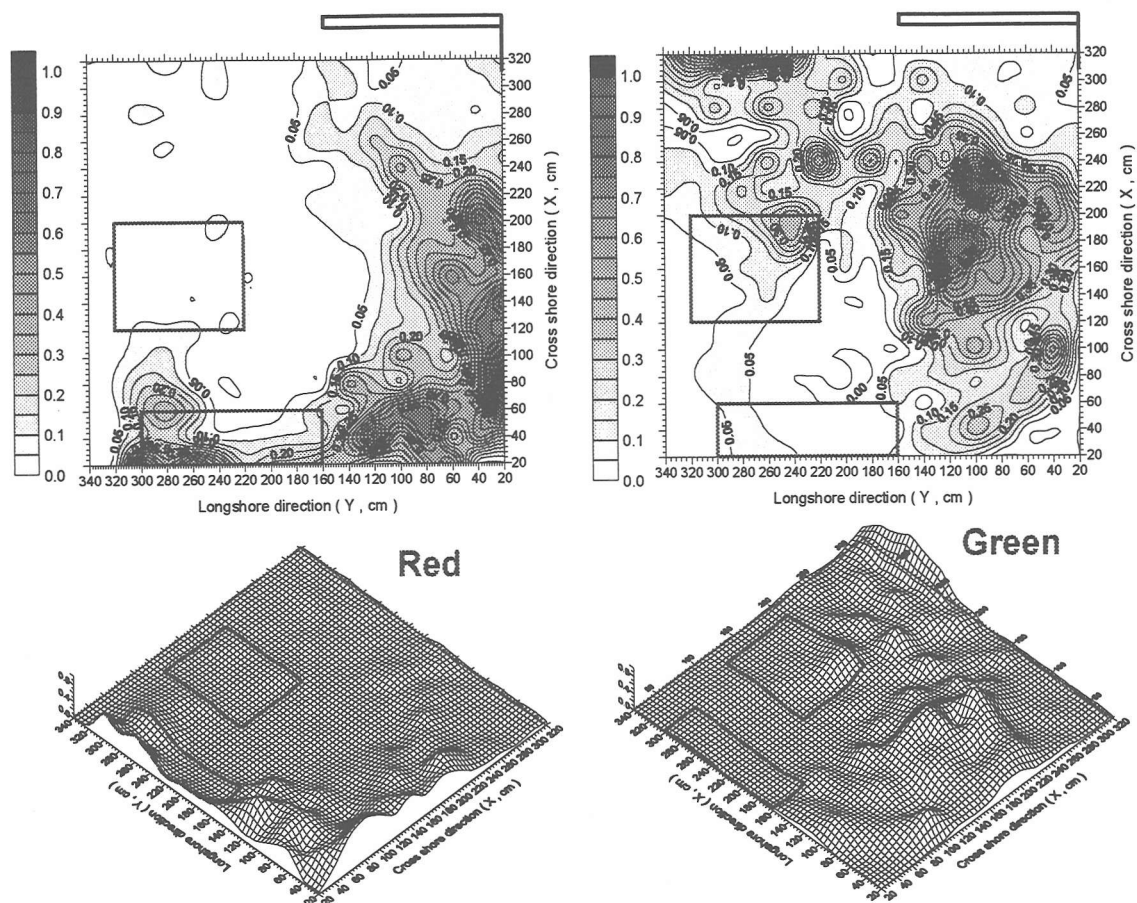


図-3 蛍光砂の移動パターン(2, 4, 6, 10時間, ■:赤, □:緑, ⊙:循環の中心)

著者らの離岸距離が異なる沖合構造物建設に伴う構造物背後の海浜変形に関する実験¹⁾および沖合構造物背後の海浜変形の対策に関する実験²⁾などの結果から、常に侵食域であった2箇所、すなわち汀線側(C域)および水面下の区域(D域)にあったところであり、それぞれ赤の蛍光砂($X = -40 \sim 20$ cm, $Y = 160 \sim$

295 cm, 厚さ 2.5 cm), 緑の蛍光砂($X = 80 \sim 160$ cm, $Y = 220 \sim 320$ cm, 厚さ 2.5 cm)を同量投入した。

蛍光砂の投入時点は、著者らの実験^{1), 2)}と同様に、初期1/20の一樣勾配斜面から4時間造波後の自然海浜に近い条件になった時であり、同時に離岸距離3mの沖合構造物を設置した。蛍光砂投入に際しては、



(a) 赤蛍光砂の移動パターン

(b) 緑蛍光砂の移動パターン

図-4 蛍光砂の採集分析結果(10時間後)

投入する蛍光砂量に相当する砂を掘り出した後再び極力地形を再現しながら蛍光砂を同量埋め込んだ。

蛍光砂による漂砂移動パターンの追跡は、28mmの広角カメラ(ブラック・ライト使用、露出10秒)で行い、蛍光砂投入後の造波開始時点から6時間までは30分間隔、その後は1時間間隔で10時間まで撮影し、最後10時間目にサンプリングをおこない蛍光砂の粒数計測を行った。

(2) 実験結果の考察

図-3は、時間ごとに蛍光砂の移動を追跡した結果の中の一部(2, 4, 6, 10時間目)を示したもので、図-2の一点鎖線に囲まれた部分を表したものである。

図-3中の空白部分は蛍光砂が存在しないことを示し、また矩形で囲まれた部分は赤・緑蛍光砂それぞれの最初投入域を表しており、◎は、沖合構造物により背後に形成される海浜循環流の中心を表している。

図-3から分かるように、汀線付近と遡上帯に置かれた赤の蛍光砂は、汀線付近の激しい波の運動(遡上帯のジグザグ運動および汀線付近の強い流れ)により比較的早い速度で移動し、構造物背後の汀線形状が波の入射方向とほぼ直角になるまで(造波開始

後4時間)活発に移動する様子がうかがえる。しかし、この赤蛍光砂の移動は、汀線から限られた距離内に拘束されており、移動方向は主に沿岸方向となっていることが分かる。

沖浜帯の侵食域に置かれた緑蛍光砂の運動パターンは、主に波の周期に応じた岸沖方向の往復運動が基本になっているが、沖合構造物背後の海浜循環流により徐々に移動し、循環の中心付近まで移動している。また、緑蛍光砂の移動は、汀線側の赤蛍光砂の移動に比べ遅く、汀線付近の形状がある程度整った後(2時間後以降)、本格的な移動が起こっていたように見えた。

一方、図-3の経時的な蛍光砂の移動を追跡して見ると、赤・緑の蛍光砂の移動は、実験の全般を通して2つの独立した移動パターンに明確に拘束されていることが分かる。このことは、造波開始後10時間で砂を採集し、カウントした結果にもよく現れている(図-4)。蛍光砂の採集は、沖合構造物背後において、沿岸方向3.4m、岸沖方向3.2mの範囲で20cm間隔(図-1のサンプル範囲参照)で行い、内径5mmの円筒管を用いて採集点における砂の表面から水槽底面までの全砂を採集し、色別に区別しながら粒数を計測した。

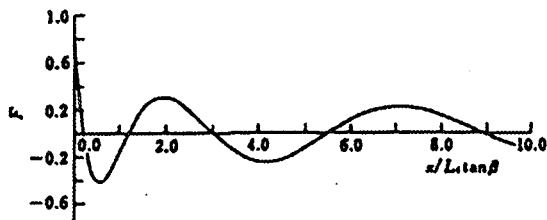


図-5 一様勾配斜面上の反射定常波の波形(加藤, 1990)

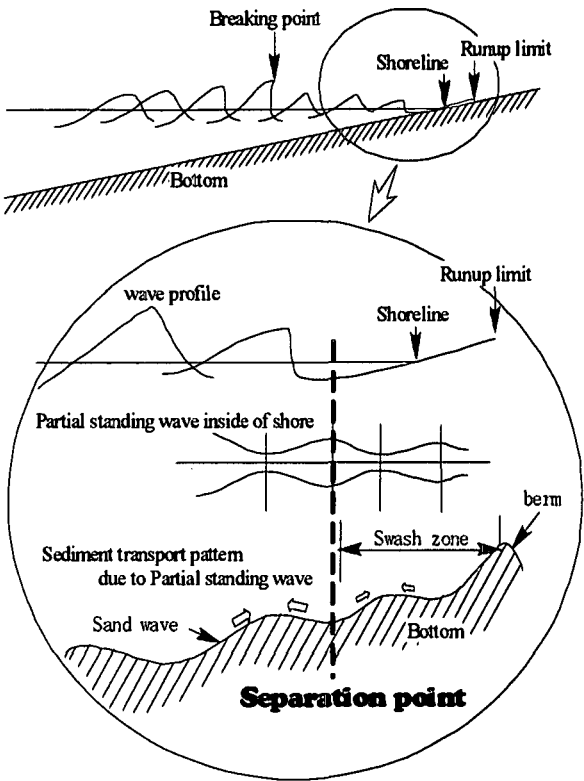


図-7 浜からの反射による部分重複波と漂砂移動パターンの分離境界

3. 漂砂移動パターンの分離境界

赤または緑の蛍光砂の境界は、遡上帯および汀線付近の波の運動に大きく関係しており、漂砂移動パターンが領域によって分けられるようになる原因としては、平衡状態の海浜断面における岸からの反射波による部分重複波の形成が考えられる。

入江・灘岡らの研究³⁾では重複波のもとでの海底地形変化を二次元移動床実験を基に調べ、浮遊砂量と掃流砂量の相対的な割合によって底質が重複波の節から腹の位置に移動したり、その逆のパターンを示したりする重複波と底質の移動の関係を明らかにした。また、加藤の研究⁴⁾では平衡海底断面上の正味の漂砂量への長周期波の寄与分に対して論じ、浜によって反射されて形成される一様斜面上の長周期重複波を式(1)のような0次のBessel関数で表せることを示した。そして海底勾配が $\tan \beta$ の場合、汀線における振幅 A を1とし、 $t=0$ における反射定常波の水面波形を図-5のように図示した。

$$\zeta = A \cdot J_0(\xi) \cdot \cos(\omega t) \tag{5.7}$$

ここに、 $J_0(\xi)$ は0次の第1種Bessel関数で、 $\xi = \sqrt{x} \cdot (4\omega^2 / g \cdot \tan \beta)^{1/2}$ で、 $\xi = 2.40485.5201, \dots$ で節を、 $\xi = 0.38317, 7.0156, \dots$ で腹を有する。

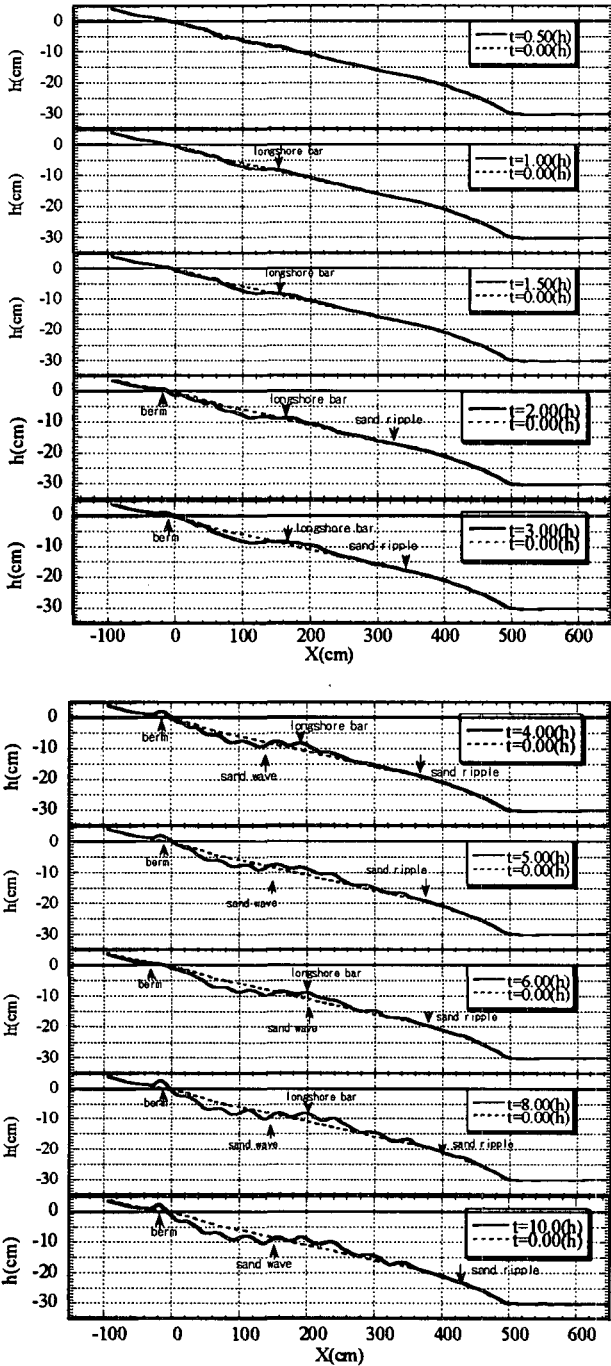


図-6 断面2次元移動床実験において各経過時間においての断面形状とサンド・ウェーブの出現

一方、中野・小野ら⁵⁾は断面2次元移動床実験から規則波による平衡断面の形成過程と底質移動特性を調べ、砂の移動が少なくなって、ある程度安定した海浜断面が形成されると、前浜が急勾配になるにつれ浜からの波の反射率が増加し、部分重複波の腹・節の位置に対応したサンド・ウェーブが急速に発達することを見出した。また、彼らは蛍光砂を用い、上記の部分重複波に伴うサンド・ウェーブ上において岸沖方向の底質の移動が拘束されていることを明らかにし、さらに、部分重複波の節から腹へと向いた底質の移動を確認した。これらのことは、本研究の予備実験であった同スケールの断面2次元移動床実験でも同じ現象が起こった。すなわち、1/20の一樣斜面からの造波による断面形状の経時変化(図-6)において、造波4時間後、砂れんはもちろん沿岸砂州、バームなどの典型的な自然海岸の断面形状が形成された後、やがてサンド・ウェーブが現れ始め、浜からの部分重複波による底質移動の拘束効果が裏付けられる。従って本研究の漂砂移動パターンの分離現象においても図-7に表したように、部分重複波の腹の位置にその境界が存在すると考えられる。

遡上帯に打ち上げられた波は、打ち下げの時遡上帯からの反射波として沖に向かって戻って行くが、再び入射する波と遭遇し、岸側で部分重複波を形成すると考えられる。この時、岸から第一の腹の位置に遡上帯の打ち下げ限界が存在し、第二の腹の位置に赤または緑の蛍光砂の境界が生じていた。

これらの現象は、造波初期から最後まで続いており、海浜変形予測モデルの開発において重要な鍵になっていると考えられる。

4. 物理的な漂砂の移動機構を考慮した海浜変形予測モデルの方向づけ

海浜変形の数値モデルは大きく分けて海岸線モデルと水深変化モデルに大別される。

海岸線モデルは、海浜断面がその形状を変えずに一樣に前進・後退すると仮定しており、海岸の代表線の変化で地形変化を代表させるという考え方でつくられており、中でも1本の汀線を基本にした汀線モデルが代表的である。汀線モデルは沿岸流による砂移動を砕波点における波高と波向きでマクロ的に取り扱っており、実際の現象をかなり単純化したモデルである。構造物背後などの沖向き流れや海浜循環流が考慮されていないことによる限界はあるものの、沿岸漂砂が卓越する地形変化の予測にはかなりの精度をもっている。

一方、水深変化モデルは、漂砂の外力である波浪・海浜流場の計算結果に基づいた局所漂砂量の空間的な収支から平面的な地形変化を計算する最も本質的なモデルといえることから、現在汀線および波打ち帯まで取り込む試みが進められており^{6),7)}など、実用的に適用される段階にまで達しているが、汀線側などの一致性が悪く、まだ十分な精度であるとは

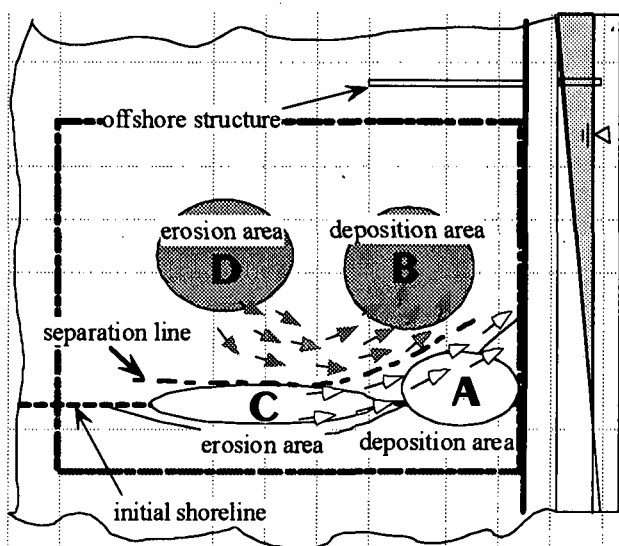


図-8 沖合構造物背後の漂砂移動パターンの模式図

言いにくい。これは、現実には遡上帯および砕波帯内の極浅い水深域における波や海浜流および漂砂量の計算方法がまだ完全に確立されていないのも、その原因の一つであると考えられる。

本研究における沖合構造物背後の海浜変形に対する一連の実験から得られた結果をまとめると、沖合構造物背後における漂砂の移動パターンは；

- (1) 汀線側と水深域の海浜変形の機構が相互に独立しており、
- (2) 遡上帯を含む汀線側は等深線に沿った沿岸漂砂の形で移動し、
- (3) 沖浜帯から砕波帯では波の往復運動による掃流・浮遊砂が海浜流に乗って移動し、
- (4) 両者がある境界を基準に分離されている。
- (5) また、汀線側と水深域での地形変化速度においても差があり、汀線側の変形が先行し、水面下の海浜変形は汀線側の変形の後を追って生じているように見えた。

これらの分析から、沖合構造物背後における、沖合の水深域、汀線付近および遡上帯など、地形変化が生じる全領域を対象にした3次元海浜変形予測モデルの構築には、両現象の支配領域別に計算することが計算の精度向上につながると考えられる。

4. おわりに

本研究では、3次元移動床実験に蛍光砂トレーサーを用い、沖浜帯および砕波帯の移動パターンを詳細に調べ、沖合構造物背後における漂砂移動機構を明らかにした。この結果は引き続き行われる3次元海浜変形予測モデルの開発において有効に活用できると期待される。

謝辞：本研究の実験を進めるにあたり，九州大学大学院工学府の一田 剛君(修士課程)および元技官牛房幸光氏からの大きなご協力を頂いた．ここに謝意を表する．

参考文献

- 1) 申 承鎬，入江 功，一田 剛：沖合人工島の設置位置による海浜変形の相違について，海洋開発論文集，第16巻，pp. 303-308，2000.
- 2) 申 承鎬，山口 洋，入江 功，一田 剛：沖合構造物背後における海浜変形の対策と数値シミュレーション，Proc. of Techo Ocean 2000, Vol. II, pp. 487-492, 2000.
- 3) 入江 功，灘岡和夫，近藤隆道，寺崎賢次：重複波による防波堤前面での二次元的海底洗掘—底質の移動機構に注目した研究—，港湾技術研究所報告，第23巻，1984.
- 4) 加藤一正：漂砂と海浜地形変化に及ぼす長周期波の影響に関する研究，東京工業大学学位論文，1990.
- 5) 中野 優，小野信幸，入江 功，武若 聡：規則波による平衡断面の形成過程と底質移動特性について，土木学会第51回年次講演会講演概要集，pp. 126-127，1996.
- 6) 佐藤慎司，Michael Kabiling：波打ち帯を含む三次元海浜変形数値モデル，海岸工学論文集，第41巻，pp. 406-415，1994.
- 7) 清水琢三，山田晶子，内山一郎，渡辺 晃：汀線変化を考慮した3次元海浜変形モデルの現地適用性，海岸工学論文集，第42巻，pp. 606-610，1995.