

第 4 章

周辺海域の波・海浜流 ・海浜変形の評価技術

第4章 周辺海域の波・海浜流・海浜変形の評価技術 目次

我孫子研究所 水理部 主任研究員 池野 正明
我孫子研究所 水理部 上席研究員 清水 隆夫
前我孫子研究所 上席研究員 研究参事 鹿島 遼一

4 - 1 はじめに55
4 - 2 既往の評価手法とその適用性55
4 - 3 新しい海浜変形評価手法の提案とその適用性57
4 - 4 まとめ61



池野 正明（1987年入所）
人工島式海上立地方式の原子力発電所や既存の臨海発電所周辺の海浜変形予測手法の開発、浮揚式海上立地方式の原子力発電所の風波や津波に対する動揺評価手法や既存の臨海発電所港湾施設の耐波浪・耐津波設計手法の開発に従事。今回開発した海浜変形予測手法を現地へ適用するための実用化および混合粒径砂海浜へ適用するための改良に努めている。



清水 隆夫（1979年入所）
入所と同時期に完成した当時世界最大の大型造波水路で海浜変形実験に従事して以来、海浜変形の予測、放水口前面の洗掘対策、海上工事中の濁りの予測に取り組んできた。最近ではウェットランドの保全・修復に向けた干潟の地形変化に関する研究を開始した。

鹿島 遼一（8ページに掲載）

コラム2 トンボロ63

清水 隆夫（上記掲載）

4 - 1 はじめに

砂浜海岸の沖合いに人工島式原子力発電所が建設されると周辺海域の波、海浜流が大きな影響を受け、人工島背後の静穏海域に砂が堆積してトンボ口(コラム参照)ができたり、少し離れたところでは逆に砂浜が侵食されたりすることが考えられる。これらは波、ならびに波によって生じる海浜流が海岸の砂を運ぶ「漂砂」によって起こる海浜変形と呼ばれる現象である。したがって、建

設計画立案時にこれらについて十分な評価を行い、それを人工島と陸の間の静穏海域など周辺海域の利用計画に反映させるとともに、必要に応じ海岸変形に対する事前の対応策をとることが考えられる。

波、海浜流、海浜変形については既に開発された評価法があるが、ここでは上記の目的に十分応えるための高精度化の検討を行う。

4 - 2 既往の評価手法とその適用性

海浜変形は、古くから重要な研究課題であり、我が国では、昭和50年代に大規模な現地観測と水理実験ならびにそれらに立脚した数値シミュレーション手法の開発に関する研究プロジェクトが精力的かつ組織的に実施された⁽¹⁾。これを契機として、数値シミュレーションによる海浜変形モデルの実務問題への適用が盛んに試みられるようになってきた⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。その結果、既に開発された評価法が存在する。

図4-2-1は、既存の3次元海浜変形モデルのひとつである3D-SHOREの計算フローを示したものである。このモデルは比較的簡便なため、計算に要する時間も短くて済む実用的な手法である。しかし、人工島式原子力発電所の周辺海域における海浜変形問題への適用を考えた場合には、次のような問題点を有している。

① このモデルは、規則波実験によりその妥当性が確かめられているが、人工島式海上立地の場合に重要な不規則波作用下の海浜変形に対する適用性は十分に調べられていない。

そこで、不規則波を用いて海浜変形の模型実験を行い、3次元海浜変形モデル3D-SHOREによる計算結果と比較検討した(清水ほか、1996)⁽¹⁾。

図4-2-2に、3D-SHOREによる海底地形変化の計算結果と、縮尺1/150の人工島を対象とした移動床上での模型実験結果⁽⁷⁾との比較を示す。用いた砂の粒径は0.2mm、

初期海底地形は1/50勾配一様斜面である。図は波作用後58hr後の結果である。3D-SHOREによる計算結果は、突堤間に砂が堆積する様子や両突堤の外側が侵食される様子を定性的に再現できている。3D-SHOREは、流れによる漂砂量のみを考慮しているため、長時間波を作用しつづけた結果、人工島の設置に伴う回折波による漂砂が平衡状態に達し、人工島背後に生じる循環流による漂砂が卓越した状態となるような長期的な地形変化予測に優れている。しかし、実験では2つの突堤間に凸状に堆積するのに対し、計算では凹状に堆積しているなど、実験結果と計算結果が一致しない点がある。

図4-2-2の計算結果は、用いる漂砂量係数の値を変えれば当然変化する。そこで、実験結果を最も説明できるように漂砂量係数の値を定めたと、その値は従来推奨されている規則波実験を対象とした場合の値よりも小さかった。このことの原因は以下のように考えられる。

② このモデルでは、砂は海底面近傍を動く掃流漂砂を仮定して漂砂量を計算している。このため、人工島周辺海域のように砕波等により水面付近まで海底砂が巻き上げられ、浮遊状態で輸送される浮遊漂砂の評価は十分でない。

また、3D-SHOREによる計算結果を現地観測や現地規模の大型実験と室内実験規模の海浜変形の実測結果と一致させるためには、対象のスケールに応じて3D-

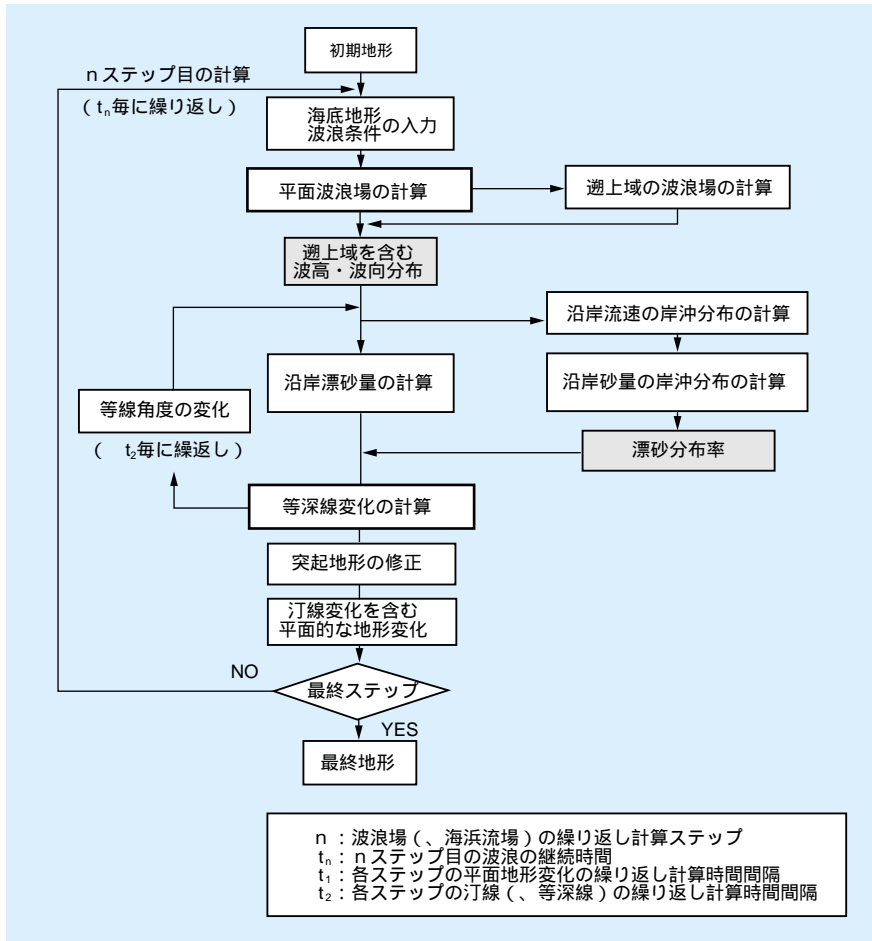


図4-2-1 汀線変化を考慮した3次元海浜変形モデル(3D-SHORE)の計算フロー(土木学会、1996)⁵⁾

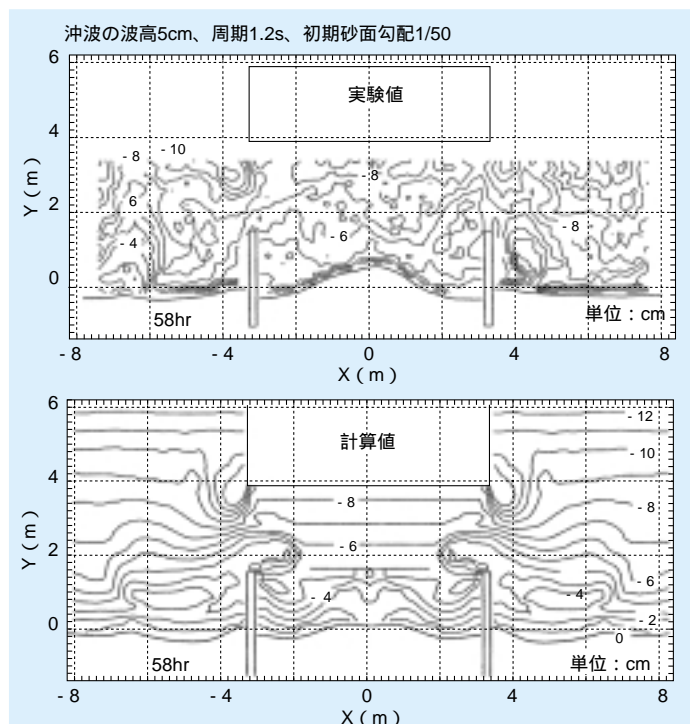


図4-2-2 3D-SHOREによる海底地形変化の再現例(対策工あり)

SHORE 中で用いる漂砂量係数を変化させなければならぬという不整合が生じることが報告されている。

このように、既存の3次元海浜変形モデルでは実験結果を合理的に説明できない場合があることが明らかにな

った。従って、人工島式原子力発電所の周辺海域における海浜変形を高精度に予測するためには、既存の3次元海浜変形モデルを改良する必要がある。

4 - 3 新しい海浜変形評価手法の提案とその適用性

4-3-1 新しい海浜変形評価手法の提案

砕波帯内では、海底砂が顕著に巻き上げられ、浮遊砂現象が卓越する。海浜変形予測モデルの精度向上のためには、浮遊漂砂の特性を十分把握し漂砂量の算定に適切に反映させる必要がある。さらに、実際の海の波は多方向不規則波である。例えば、海浜斜面に波が直入射する場合を想定すると、海浜変形を引き起こす外力となる水位や流速が沿岸方向に空間変動し巻き上げられるタイミングが同時刻ではない。さらに、巻き上げられた砂は浮遊漂砂として輸送される。このような不規則波としての諸特性を適切に反映できる3次元海浜変形モデルはこれまでに無かった。また、前節の既往モデル3D-SHOREでは、上記のような諸特性が十分考慮されていないので、前述のような漂砂量係数の不整合性が生じる原因の一つとなる。そこで、波の多方向不規則性と砕波帯内の浮遊漂砂現象を考慮した新たな3次元海浜変形数値予測モデルを開発したのでその概要を示す。

図4-3-1に本モデルの計算フローを示す。本モデルでは、波と海浜流を区別することなく同時に計算し、その海底面付近の流速を外力として、底質巻き上げ量の判定、巻き上げられた砂の浮遊砂濃度としての鉛直移流・拡散の計算、これと流速との積を水深方向に積分することによる浮遊漂砂量の算定および掃流砂量公式による掃流漂砂量の算定により、地形変化の連続式にあてはめ海底地形変化を計算するものである(池野・清水、1998)⁷⁾⁽⁸⁾。

まず、不規則波100波分相当の時間内で、多方向不規則波による波浪変形計算、浮遊砂濃度計算、浮遊砂量や掃流砂量の計算を実施し、時々刻々不規則変動する物理

量を計算する。そして、海底地形変化の連続式に、全漂砂量(掃流漂砂量と浮遊漂砂量の和)の時系列を入力し、海底地形の更新時間が来るまで連続式を計算しつづける。その際、汀線付近より陸上側の遡上域では、代表遡上高まで全漂砂量を外挿する。つぎに、海底地形の更新時間に新たな海底地形に更新し、新しい海底地形を用いて再び多方向不規則波による波浪変形計算、浮遊砂濃度計算、浮遊砂量・掃流砂量計算を実施し上記を繰り返す。また、更新後の地形で、局所的なP-の形成等により、浮遊砂濃度の鉛直移流・拡散を計算するのに最低必要となる鉛直方向の1計算格子分よりも水深が浅くなった場合には、浮遊砂量の計算は行わず近接した計算格子点での漂砂量を内挿して求める。

ここで、波浪場の計算には、外力波の多方向不規則性、有限振幅性および砕波減衰を考慮できる修正ブシネスク方程式を用いる⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。これには、砕波による戻り流れが考慮されていない。そこで、渦粘性を仮定したモデルに基づき、砕波による戻り流れの鉛直分布を付加する⁽¹¹⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾。また、浮遊砂濃度については、巻き上げ時の鉛直移流効果を付加した鉛直1次元拡散方程式により計算する⁽¹⁴⁾。底質の巻き上げ量は、底面流速の向きが沖から岸あるいは岸から沖へ反転した際に巻き上がると仮定し、巻き上げ量を実験結果からモデル化した。

4-3-2 新しい海浜変形モデルの適用性

(1) 戻り流れと浮遊砂フラックスおよび岸沖地形変化の再現性

図4-3-2は、大型岸沖海浜変形実験⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾における砕波帯内の岸沖定常流速および浮遊砂フラックスの鉛直分

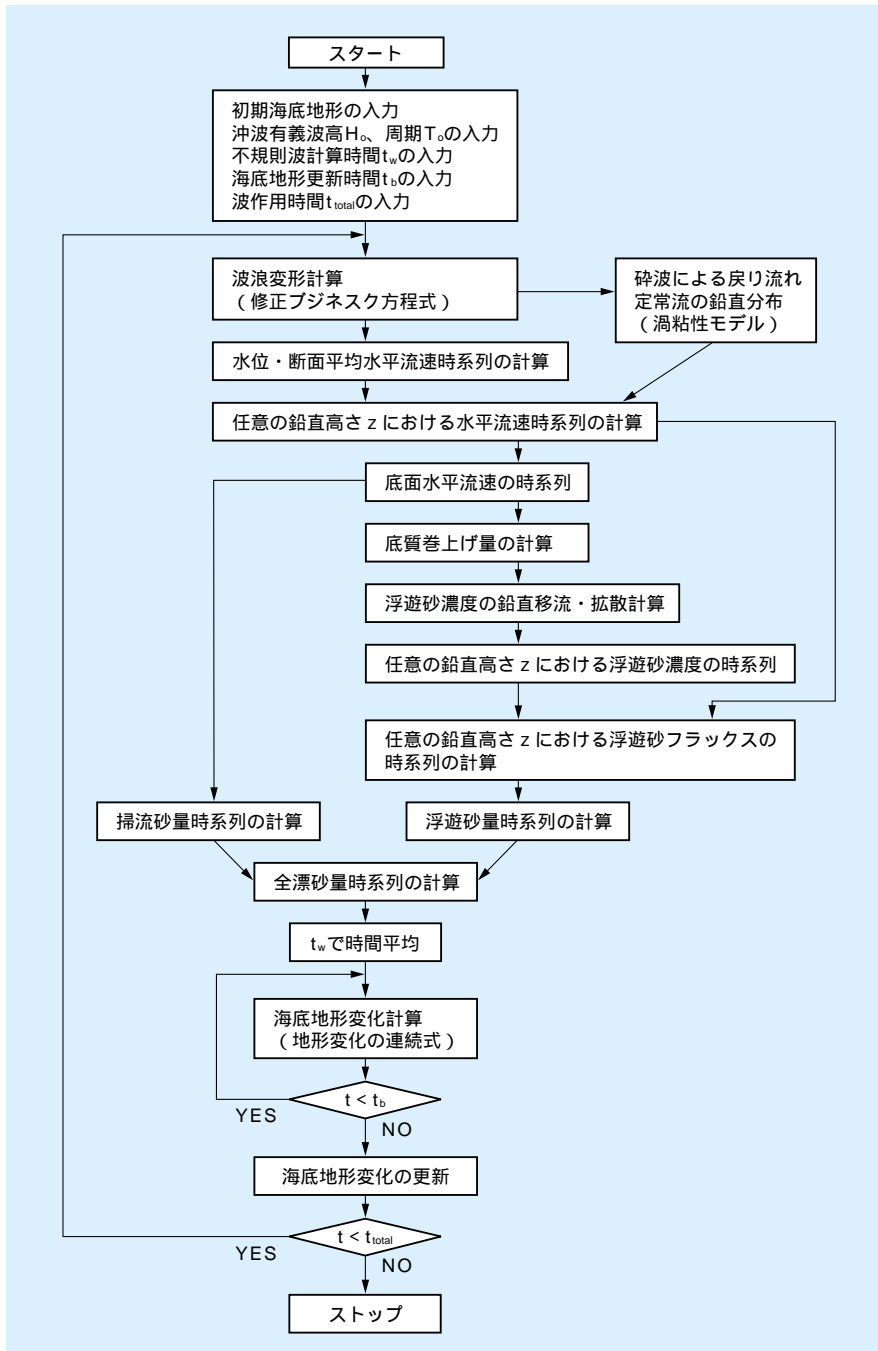


図4-3-1 本海浜変形モデルの計算フロー（土木学会、1999）⁶⁾

布と本計算結果とを比較した例である。図4-3-2によると、本提案式による砕波帯内定常流速の鉛直分布の再現性とこれを考慮した浮遊砂フラックスの鉛直分布の再現性は良好である。

図4-3-3は、大型岸沖海浜変形実験における有義波高分布と岸沖地形変化の実験結果と本計算結果を比較した例である。用いた砂の粒径は1mm、初期海底地形は1/10勾配一様斜面である。図4-3-4は、岸沖地形変化が

ら求めた全漂砂量の実験結果と本計算結果を比較した例である。また、図中に示した計算結果は、浮遊漂砂量のみ、掃流漂砂量のみ、全漂砂量を入力して地形変化を計算した場合を示している。図4-3-3および図4-3-4によると、バ - 形成地点やその背後の侵食域および冲向き全漂砂量のピークが生じる場所やピーク値の再現性は良好である。また、高波浪の場合は、掃流漂砂量よりも浮遊漂砂量がかなり卓越することがわかる。

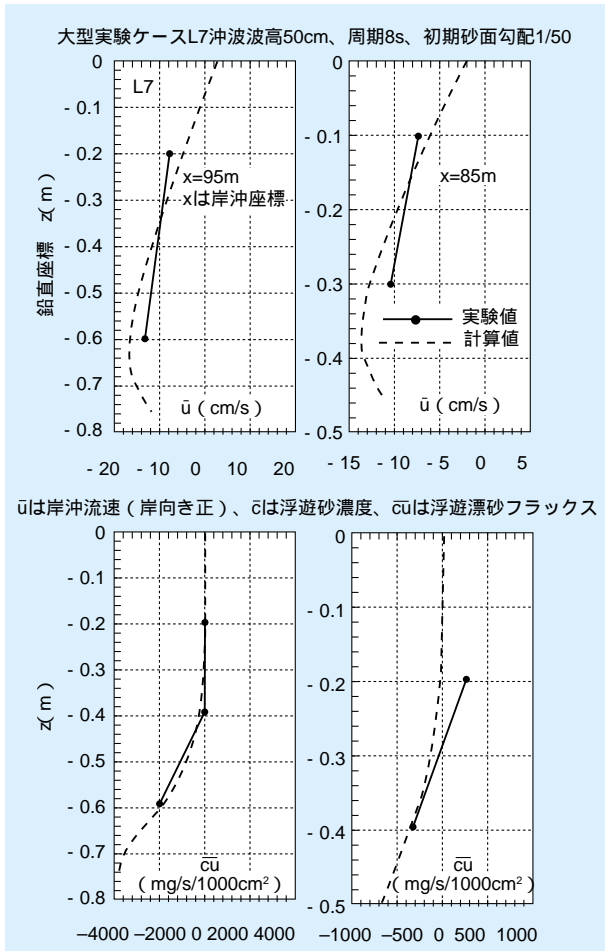


図4-3-2 碎波帯内の定常流速と浮遊砂フラックスの鉛直分布の比較

(2) 人工島周辺海域への適用性

図4-3-5および図4-3-6に、対策工ありの場合の人工島背後の有義波高分布と海浜流分布について、縮尺1/150の人工島を対象とした移動床上での模型実験結果⁽⁷⁾と本計算結果との比較を示す。用いた砂の粒径は0.2mm、初期海底地形は1/50勾配一様斜面である。図4-3-5によると、波高分布の計算結果と実験結果の対応は概して良好である。図4-3-6によれば、海浜流分布の計算結果と実験結果の対応は概ね良好であり、人工島背後の循環流が突堤により遮られて弱くなる特徴を再現している。

図4-3-7は、対策工がある場合の人工島周辺の海底地形の侵食・堆積量について、計算結果と実験結果を比較した代表例である。図では波作用後20～40hrの間の海底地形変化量を示している。

図4-3-7によれば、人工島斜め背後域では、本海浜変形モデルによる侵食・堆積場所や地形変化量の再現性は良好である。直背後域では堆積が若干過大評価となっている。また、突堤が人工島背後に形成されるトンボ口の発達を抑制する効果を再現できている。

前出の図4-3-3および図4-3-4に示した実規模スケールの実験と図4-3-7の小スケールの室内実験への適用時の浮遊砂・掃流砂モデル中に含まれる無次元係数値は前節の既往モデルの場合と異なり、統一した値を使用してい

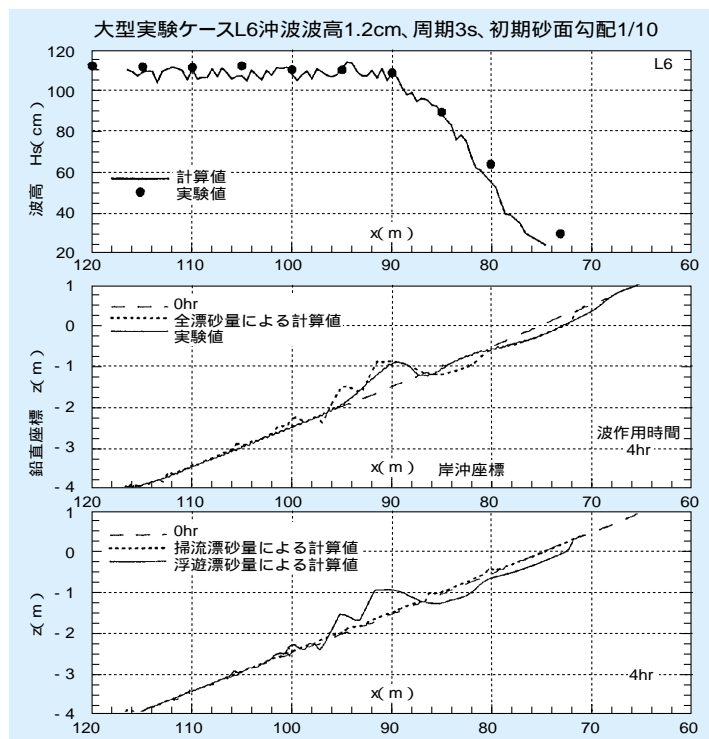


図4-3-3 岸沖地形変化の比較

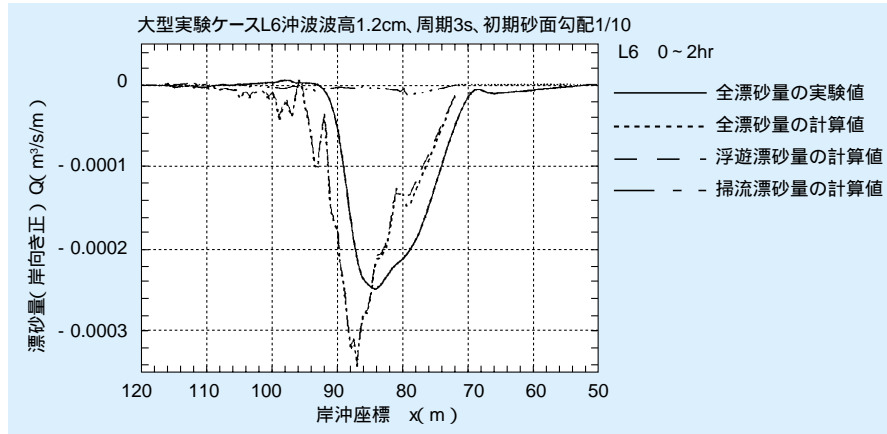


図4-3-4 岸沖漂砂量の比較

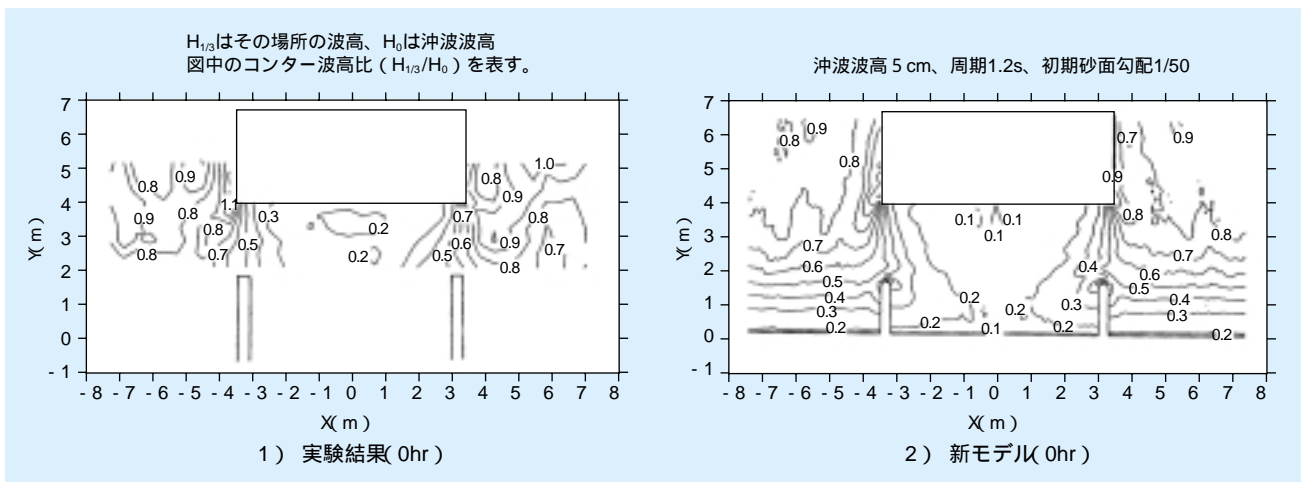


図4-3-5 人工島背後の波高分布の比較 (多方向不規則波、移動床、対策工あり)

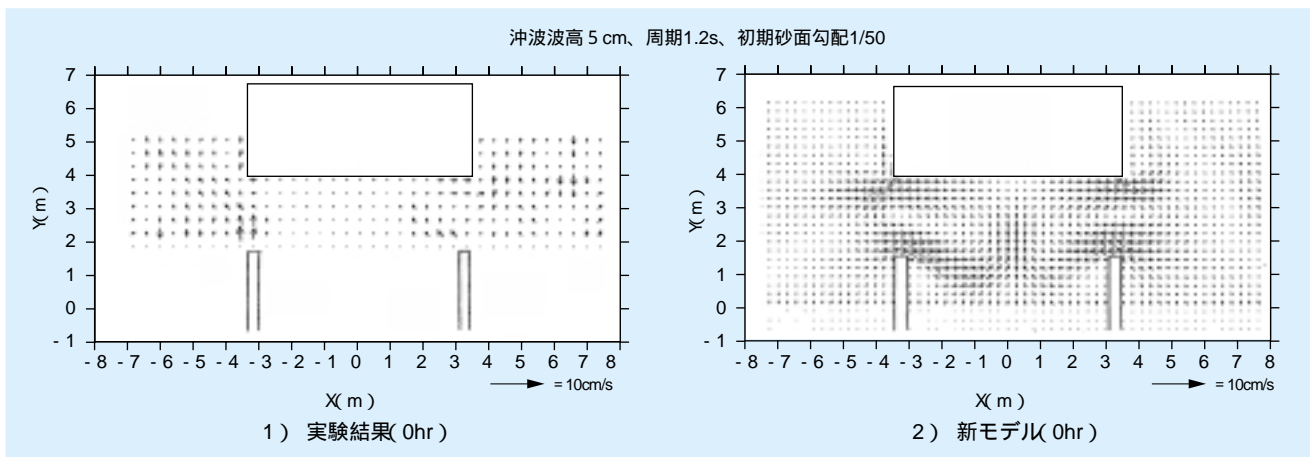


図4-3-6 人工島背後の海浜流分布の比較 (多方向不規則波、移動床、対策工あり)

る。すなわち、既往モデルの漂砂量係数中に含まれるスケール効果に関する部分がある程度排除したより普遍性のあるモデルとなっている。

しかしながら、本モデルでは、遡上域での漂砂量を使

宜上岸側計算点から代表遡上点までの外挿値として算定しているため、実験でのスオッシュゾーンでの砂の動きと異なっていると考えられる。今後はこれについても本海浜変形モデルに取り込む必要がある。

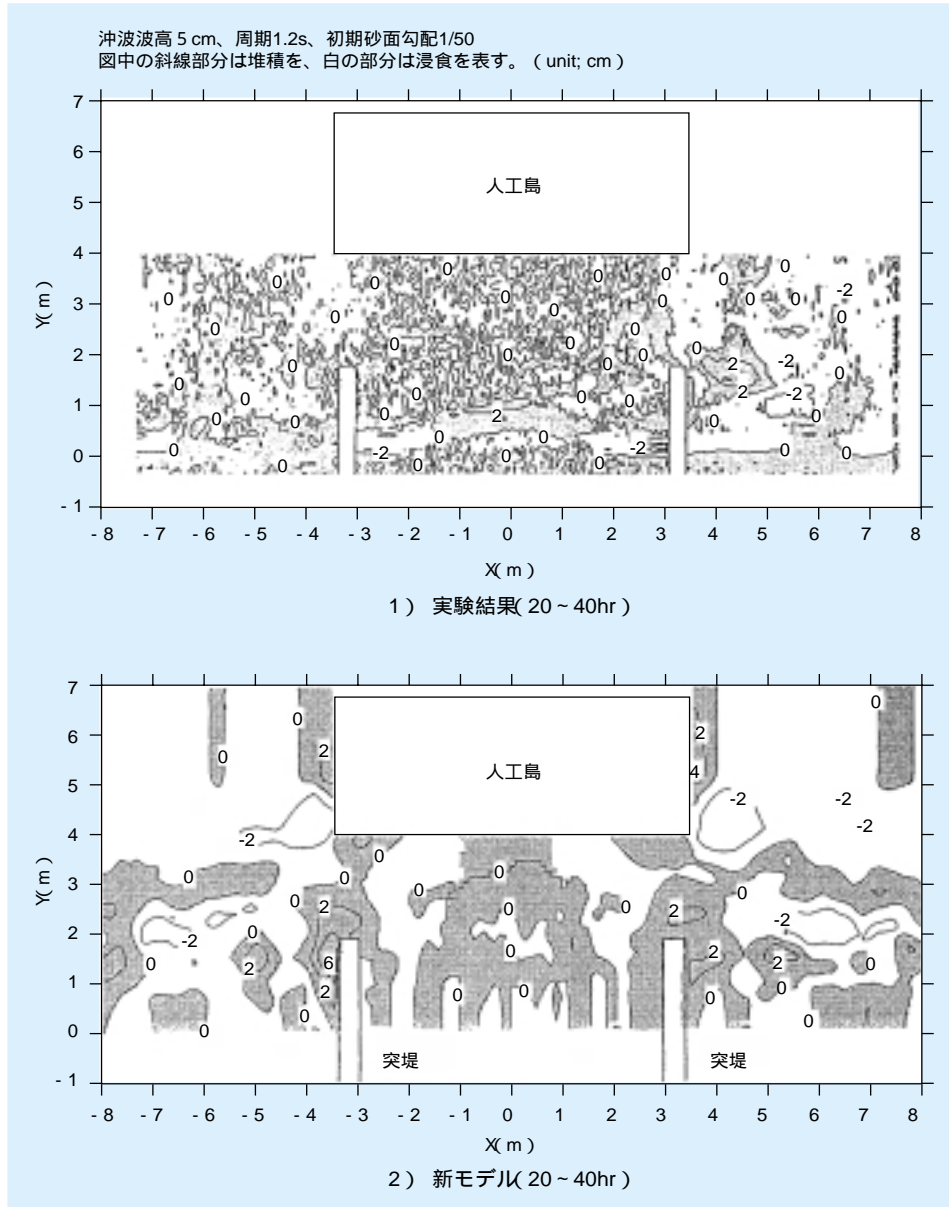


図4-3-7 人工島背後の侵食・堆積量の実験結果と計算結果の比較(対策工あり)

4 - 4 ま と め

- ① 既存の海浜変形評価手法の多方向不規則波への適用性を検討した結果、用いる漂砂量係数を従来の推奨値よりも小さくすることにより、実験結果の再現が可能であることがわかった。この手法は、計算時間が比較的短いため、長さ 1km 程度の沖合人工島を含む 3km 四方程度の海域を計算対象とし、数年間の海浜変形計算を容易に行うことができるので、実用上有益な手法である。
- ② ただし、既往モデルでは、掃流漂砂量式を使用し考慮されていない現象を漂砂量係数の中に押し込めているので、漂砂量係数の不整合性が生じる。そこで、波の多方向不規則性と砕波帯内の浮遊漂砂現象を考慮した新たな 3 次元海浜変形数値予測モデルを開発した。
- ③ 新しい海浜変形モデルの適用性を検討した結果、波高分布、砕波帯内もどり流れの鉛直分布、海浜流、海底地形変化量を概ね再現できる。

④ 提案したモデルは、従来では考慮できなかった、砂の粒径、海底勾配、入射波諸元等の変化に伴う掃流・浮遊漂砂量の割合や各々の向きの変化を反映することができるので、既往モデルの漂砂量係数中に含まれるスケール効果に関する部分がある程度排除したより普遍性のあるモデルである。このため、将来的に岩礁

が露出している場合や混合粒径砂を対象とした場合にも容易に拡張できる。

今後は、本提案モデルに取り入れられていない遡上域での漂砂量を実現現象に則してモデル化する必要がある。さらに、既存モデルよりも計算時間がかかるので、実用化を図り現地での適用性を高めていく必要がある。

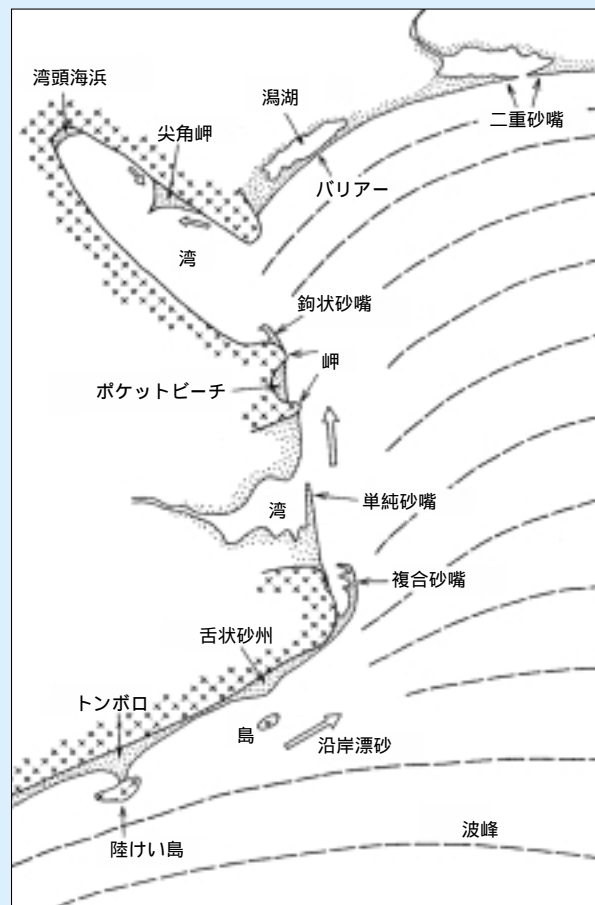
コラム2 トンボロ

トンボロ？ 初めて聞く人はこれが砂浜の形を表わす言葉であることなど思いもよらないことでしょう。トンボロは島と対岸の陸地が砂浜でつながった地形をさします。日本では江ノ島などが有名です。実は函館市街も函館山と亀田半島をつなぐトンボロの上にあります。トンボロは島の背後に回りこむ回折波と海浜流によって砂が運ばれ島の背後の静穏な海域に貯まってできます。男鹿半島や島根半島はあまりにスケールが大きくて、トンボロの中に八郎潟や宍道湖、中海が残っています。小さなものでは離岸堤の背後に必ずといってよいほどトンボロが見られます。

ところで、トンボロ、妙な名前ですが辞書を調べてみると、この言葉がラテン語のテムラス、塚とか古墳という意味の言葉に由来するものであることが分かります。なるほど、盛り上げた土の上に墓石をのせた塚の形に似ています。島と陸地

がつながりきっていないものは舌状砂州といいます。舌状砂州では潮が大きく引くときだけ島が陸続きになるところがあります。特に昼間大きく潮が引く春の大潮の日に人々が太鼓をたたいて歩いて島に渡るのが習わしになっているというところもあります。

砂浜の形には他にも面白いものが沢山あります。日本地図を開いて海岸の形を見ると、半島やリアス式海岸のような男性的な形と、砂浜海岸の優美な曲線を連ねた女性的な形があります。砂浜の形をつぶさに見ていくとトンボロ以外にも様々なバリエーションがあることに気が付きます。万葉集に歌われた片男波の砂嘴、日本三景の一つ天橋立のバリアー、三保の松原や野付半島の鉤状砂嘴、富津岬の尖角岬など、波と流れによる自然の造形の美しさに感心します。



本間仁監修「海岸環境工学」から転載