

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010 ～ 2012

課題番号：22360194

研究課題名（和文） 波・流れ・透水性地形相互作用の直接数値解析手法の構築と海浜変形予測への適用

研究課題名（英文） DEVELOPMENT OF NUMERICAL SIMULATION METHOD FOR DYNAMIC INTERACTION AMONG WAVE-CURRENT-PERMEABLE BEACH AND APPLICATION TO ESTIMATION OF BEACH PROFILE CHANGE

研究代表者

水谷 法美 (MIZUTANI NORIMI)

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：10209760

研究成果の概要（和文）：七里御浜井田地区海岸を対象に、ウェブカメラによって連続撮影された海岸線の画像解析を行い、その変化特性を現地海岸の波浪特性と関連づけて解析した。まず、画像から汀線を検出する方法を新たに提案し、従来の手法より信頼性の高い安定した検出が可能であることを確認した。そして、この手法により検出した汀線の変動特性から、入射波の特性に起因した汀線変化の特徴があることを明らかにした。そして、暴浪時に汀線の交代が生じることを明らかにした。一方、三次元 full nonlinear の数値解析モデルを開発し、波流れ共存場における海水の流動場の特性を明らかにした。特に淡水と海水の混合する状況が密度比によって変動することや、波向きとの関係で変化することを明らかにした。また、人工リーフの存在が波流れ共存場の流動特性に大きく影響を及ぼすこと、人工リーフ背後の水位に人工リーフの配置が影響を及ぼすことなどを明らかにした。さらに、三次元のマウンド上の漂砂特性も明らかにし、波にとまらう変形特性も数値計算手法により予測できることを示した。

研究成果の概要（英文）：Web camera monitoring system has been installed in Shichiri-mihama Ida beach. New detecting method of a shoreline from camera image has been proposed and characteristic of shoreline change was discussed in relation with incident wave properties. Fully nonlinear direct numerical simulation method has been developed in this study and applied to simulate flow field where wave and current co-exist. Results show that the density profile affects on the flow field and that artificial reef has an influence of mean surface level and flow field. Also sediment transport on the trapezoidal mound has been investigated and it was found that profile change due to wave can be estimated by the numerical method proposed in this study.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	10,500,000	3,150,000	13,650,000
2011年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2012年度	2,200,000	660,000	2,860,000
総計	14,700,000	4,410,000	19,110,000

研究分野：海岸工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：波・流れ相互作用、数値波浪水槽、海岸侵食、画像解析、ウェブカメラ、人工リーフ

1. 研究開始当初の背景

我が国における砂浜・礫浜海岸（以下砂礫浜海岸）の多くで海岸侵食が深刻な問題となっている。海岸侵食の原因は、砂礫の供給源である河川でのダム建設や土砂採取などによる供給土砂の減少や海岸における防波堤や突堤などの設置による漂砂環境の変化などが主たる要因として挙げられるが、これらがどの程度海岸侵食に影響を及ぼしているかについては、量的に見積もることは困難である。与えられた土砂供給量や沿岸漂砂量に対して海浜の変化を求める手法はいくつかあり、それによって海浜変形の予測は行われているものの、必ずしも精緻な予測とは言い難い。

2. 研究の目的

上記背景に関し、(1)漂砂を運ぶ河口域および沿岸の流動場を十分な精度で推算する手法が確立されていないこと、(2)砕波や沿岸流が存在する波動場における構造物（透過性構造物・不透過性構造物）と流動場の相互作用を十分な精度で推算するモデルが確立できていないこと、(3)砕波帯から打上帯において重要な寄与をする砂礫浜内部の流動場を考慮した漂砂モデルが確立されていないこと、そして、(4)砂礫浜の波に対する時間変化のデータセットが無いこと、が挙げられる。本研究では、これまで未解明であったそれぞれの問題を明らかにするとともに、これらの成果を統合して、波・流れ・構造物・海浜の相互作用を考慮した流動場と海浜地形変化を同時に計算するスキームを構築するとともに、有効な海岸侵食対策工法を提言することを目的とする。

3. 研究の方法

上記の4つの課題に対し、(a)波・流れ場の相互作用の解明、(b)三次元波動場における波と透水性構造物の相互作用の解明、(c)浸透流と地盤の波浪応答を考慮した漂砂モデルの構築、(d)リモートカメラによる海岸の連続観測と波浪応答の解明、という4つの研究を並行して実施する。具体的には、三次元の数値波動水槽の技術を応用し、河口部における波と流れ共存する場を直接数値計算により解き、流動場の特性を明らかにする。さらに波作用時における人工リーフのような透水性を有する三次元構造物内外の流動場を解析する数値解析手法を開発し、波流れ共存場への影響を考究した。また、地形変化の予測に必要な漂砂モデルについても、透水層からの滲出流や浸透流の影響を考慮したモデルを提案し、地形変化の予測精度の向上も行った。一方、七里御浜井田地区海岸に Web カメラを設置し、インターネットを通じて海岸の連続画像を入手するシステムの構築を行った。そ

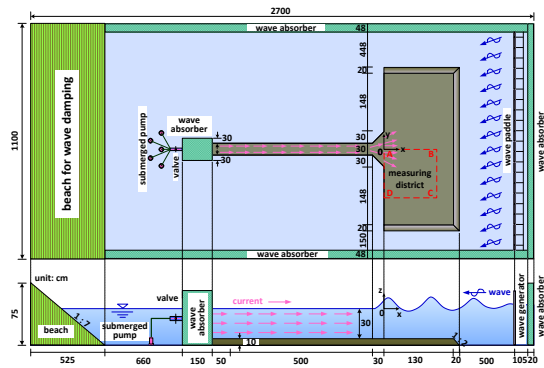
して、画像から汀線を検出する方法も新たに提案し、汀線の移動を入射波浪と関連づけた解析も実施した。

4. 研究成果

本研究の成果を以下に要約する。

(1)波流れ相互作用の解明

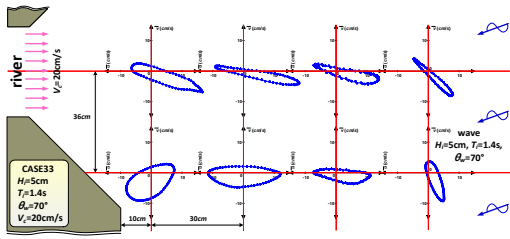
波と流れの共存場における波高分布だけでなく、底質移動に直接影響を与えると考えられる底面流速を対象として、河口部周辺での水理特性について考究した。



対象領域

そして、下記の結論を得た。

- 波と流れの共存場では河道の流速 (V_c) が増加するほど波高が増加し、波の入射角 (θ_w) が小さくなるほど（斜めになるほど）、部分重複波の腹の位置が河動の中心軸からずれるからずれるだけでなく、腹が沿岸方向に長くなることを確認した。
- 河口部における波と流れの相互作用による底面流況の特性の検討から、直角入射波 ($\theta_w = 90^\circ$) の場合では対称的な流況のパターンが発生する一方で、斜入射波 ($\theta_w = 70^\circ$) の場合では非対称的なパターンとなることが確認された。
- 河口部での底面流速ベクトルの軌跡を比較検討した結果、波高の変化にともなって流速が増大することを示し、周期の変化が部分重複波による流速分布に影響を与えることを示した。また、河川から流れが流入する場合は河道の流速 (V_c) にしたがって底面流速が増大することを示し、斜め波が入射した場合には波と流れの相互作用により傾斜した軌跡を示すことを確認した。
- 底面流速ベクトルの軌跡の空間分布から、河川の流れが流入する場合には沖側に軌跡が発達し、斜め波と流れの共存場では沖側下向きに軌跡が発達することを確認した。

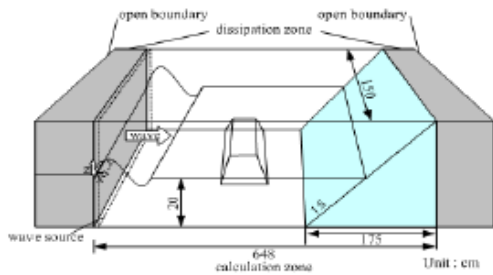


河口域における流速ベクトルの軌跡

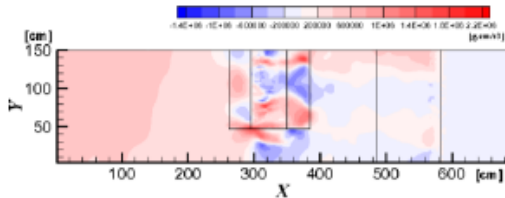
(2) 三次元波動場における波と透水性構造物の相互作用の解明

波と透水性構造物の相互作用を解明するため、透過層を構成する粒径による抵抗力が考慮可能な 3 次元数値モデルを構築するとともに、人工リーフを模した透過性構造物が沖合に存在する場合を想定し、人工リーフ周辺の水面変動特性、エネルギー減衰および輸送特性について解析を行った。

そして、人工リーフ天端上では、エネルギーフラックスは複雑な分布をしており、また、背後域ではエネルギーフラックスが大きな値を示す。また、開口部では沖側にプラス、岸側にマイナスのエネルギーフラックスの存在が確認された。すなわち、透過性人工リーフ天端上で碎波をする場合は、碎波をしない場合と比べ、岸へのエネルギー輸送を減少させるが、人工リーフ開口部では大きく複雑なエネルギー輸送を引き起こすことが明らかとなった。



対象領域



エネルギーフラックスの分布例

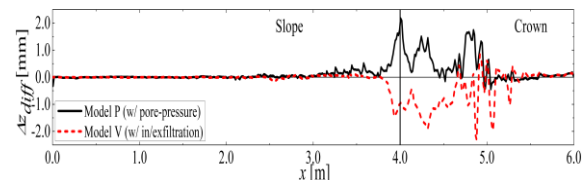
(3) 浸透流と地盤の波浪応答を考慮した漂砂モデルの構築

間隙水圧の影響を受ける可能性が指摘されている浅場の地形変化特性に関する水理実験を行うとともに、その結果に対し、底質表層の間隙水圧の影響を考慮した漂砂モデル

を提案し、適用する。そして、水理実験結果との比較によりモデルの妥当性を検証するとともに、漂砂の計算に底質表層の間隙水圧の影響を考慮した効果を考究した。

漂砂の計算に底質表層の間隙水圧の影響を考慮した数値計算モデルは、メインソルバーと 3 つのモジュールから構成されている。メインソルバーは、底質の間隙内部の流体を含む非圧縮性粘性流体からなる全気液相に適用できるように一般化し、さらに地形変化や可動構造物を考慮できるように拡張した連続式と Navier-Stokes 方程式に基づく LES である。そのメインソルバーには、気液界面を追跡する MARS に基づく VOF モジュール、底質の巻き上げ、移流拡散、沈降の各輸送過程を考慮して浮遊砂の解析を行うとともに、掃流砂と浮遊砂の輸送に伴う地形変化を計算する底質輸送モジュール、可動構造物の解析を行う体積力型 IB 法に基づく IB モジュールが、流体・構造・地形変化の相互作用を考慮できるように Two-Way カップリング手法により組み込まれている。そして、底質輸送モジュールは、地形変化を計算する底質の質量保存式、地形変化の計算に必要な掃流砂量を求める掃流砂モデル、地形変化の計算に必要な底質の巻き上げと沈降による浮遊砂輸送フラックスを求めるとともに、浮遊砂の濃度分布を計算する浮遊砂モデル、地形変化の計算後に底質斜面の崩壊を計算する斜面崩壊モデルから構成されている。そして、掃流砂モデルと浮遊砂モデルのうち限界 Shields 数と掃流砂量に対して底質表層の間隙水圧の効果が組み込まれている。

その結果、浅場の法面の中央部から法先にかけての地形変化には漂砂の計算に間隙水圧の影響を考慮した影響はほとんど認められず、侵食傾向にある水理実験結果との相関を確認した。一方、法面の上部から天端にかけての地形変化には漂砂の計算に間隙水圧の影響を考慮した効果が現れており、間隙水圧の影響を考慮しなかった場合には水理実験でみられた侵食を過大評価する傾向があったものの、間隙水圧の影響を考慮することで過大評価が抑えられたことが判明した。

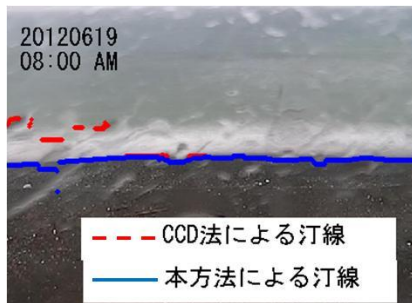


間隙水圧または浸透流出の考慮の有無による波作用 60 秒後の地形変化量の差

(4) リモートカメラによる海岸の連続撮影と波浪応答の解明

本研究では、Web カメラを使った画像解析から汀線を安定して検出する方法として浜

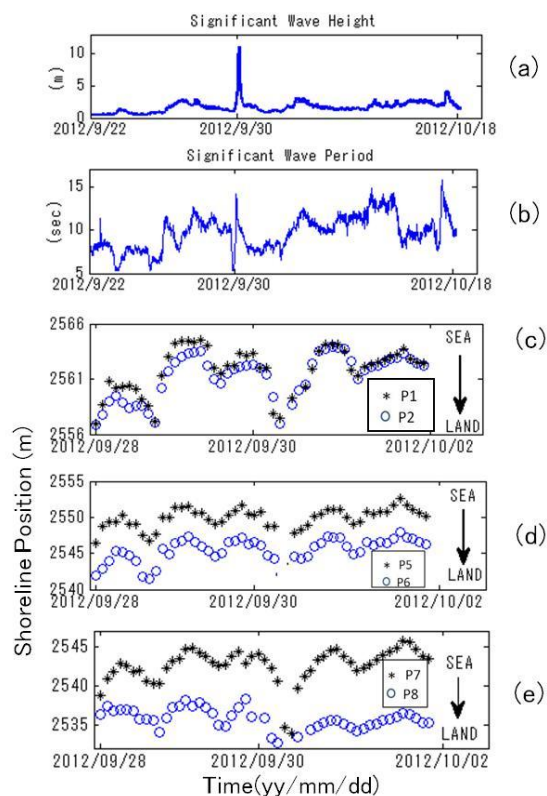
の色調に着目した新たな手法を提案した。すなわち、砕波帯手前では、陸地から海岸へ行くほど赤の輝度値が減少する。特に汀線近傍で赤の輝度値が急に下がる。この点の輝度に着目して汀線を検出した。その結果、従来の CCD 法による結果に比べて安定した汀線の検出が可能となった。



本手法による汀線の検出結果

このように検出した汀線の変化特性を三重県が実施している HF レーダーによる波浪観測結果とナウファス波浪データ（尾鷲）に基づき、現地海岸の波浪特性と関連づけながら解析した。本研究では 2012/1/30 ~ 2012/11/19 の間に撮影された平均画像を対象に解析を行った。

まず、七里御浜海岸には南方からの入射波が卓越する。そして、北端に位置する人工リーフの北側で汀線が急に後退しているが、卓越波向きより、人工リーフが背後の汀線の後退の減少に寄与していることが確認された。また、本研究の結果より、台風の高波浪時に汀線が大きく後退し、その後汀線が徐々に回復する傾向が確認でき、高波浪時の汀線変化の機構解明の重要性が確認された。



波浪と汀線変化の関係

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 12 件)

- (1) 中村友昭, 水谷法美 (2012) : 底質表層の間隙水圧を考慮した漂砂モデルの提案と津波による局所洗掘現象への適用に関する研究. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 68, pp. I_216-I_220. (査読有り)
- (2) 李佑東, 水谷法美, 許東秀 (2012) : 波と流れが共存する河口部周辺の波高及び流速の空間分布に関する実験的研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 68, pp. I_431-I_435. (査読有り)
- (3) 中村友昭, 水谷法美 (2011) : 浸透滲出流による層流・乱流抵抗の影響を考慮した漂砂モデルとその適用に関する研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 67, No. 2, pp. I_36-I_40 (査読有り)
- (4) 中村友昭, 水谷法美 (2011) : Large-Eddy Simulation における漂砂計算への渦の効果の導入と遡上津波による洗掘現象への適用に関する研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 67, No. 2, pp. I_1183-I_1188 (査読有り)
- (5) 李佑東, 水谷法美, 許東秀 (2011) : 波と流れの相互作用に及ぼす交差角度の影響に関する研究, 海洋開発論文集, Vol. 67,

pp. 256-261 . (査読有り)

- (6) 李光浩, 福田直也, 水谷法美 (2010) : 3次元直接数値解析による波・流れ共存下にある人工リーフ周辺の流動場に関する研究, 海洋開発論文集, Vol. 26, pp. 1191-1196. (査読有り)
- (7) 中村友昭, 水谷法美 (2010) : 浮遊砂の移流拡散現象を解析できる三次元連成数値計算モデルの開発とその適用に関する研究, 海洋開発論文集, Vol. 26, pp. 1197-1202. (査読有り)

[学会発表] (計 7件)

- (1) VU THI LAN HUONG, 水谷法美 : WEBカメラにより連続撮影された画像解析に基づく汀線変化の解析に関する研究, 平成24年度土木学会中部支部研究発表会, 愛知工業大学, 2013年3月8日.
- (2) 石原遼, 中村友昭, 水谷法美 : 浚渫土砂から成る人工浅場の地形変化に及ぼす波動場の影響に関する2次元数値解析, 平成23年度土木学会中部支部研究発表会, 信州大学, 2012年3月8日.
- (3) 福田直也, 李光浩, 水谷法美 : 3次元直接数値解析による透過性人工リーフ周辺の水理特性・エネルギー輸送過程に関する研究, 平成23年度土木学会中部支部研究発表会, 信州大学, 2012年3月8日.
- (4) VU THI LAN HUONG, 鈴木高二朗, 水谷法美 : WEBカメラにより連続撮影された画像解析に基づく汀線変化の解析に関する研究, 平成23年度土木学会中部支部研究発表会, 信州大学, 2012年3月8日.
- (5) Vu Thi Lan Huong, 水谷法美 : 七里御浜井田地区海岸の汀線変化に関する一考察, 平成23年度全国大会第66回年次学術講演会, 愛媛大学, 2011年9月7-9日.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.coast.civil.nagoya-u.ac.jp/wiki.cgi?page=%B2%CA%B8%A6%C8%F1>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

水谷法美 (MIZUTANI NORIMI)
名古屋大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号 : 10209760

(2) 研究分担者

中村友昭 (NAKAMURA TOMOAKI)
名古屋大学・高等研究院・特任講師
研究者番号 : 90 569328

李光浩 (LEE KWANG-HO)

名古屋大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号 : 00 447830

鈴木高二朗 (SUZUKI KOJIRO)

港湾空港技術研究所・海洋水工部 チーム
リーダー
研究者番号 : 50360764

(3) 連携研究者

該当なし