

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24年 5月14日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560534

研究課題名（和文） 乱流特性を考慮した底質 pickup 関数の提案と統一漂砂量モデルの構築

研究課題名（英文） Development of a Sediment Pickup Function with Effect of External Turbulence and Integrated Model for Sediment Transport

研究代表者

岡安 章夫 (OKAYASU AKIO)

東京海洋大学・海洋科学部・教授

研究者番号：20213994

研究成果の概要（和文）：海浜の地形変化予測を高精度化するため、浅海の碎波に伴う砂の巻上げ量を正しく評価できるモデルの開発を行った。実験水槽内に碎波に類似した流れの状態を再現し、底面付近の流れの特性と砂の巻上げ量の関係を調べた。実験にあたっては、底面に作用する力や砂移動を計測するための新しい方法の開発を合わせて行った。実験結果から、表層由来の乱れが巻上げを増大させることが示され、両者の関係が定式化された。

研究成果の概要（英文）：A new model of sediment pickup rate accounting for effects of breaking-wave induced turbulence was developed for better predictions of coastal morphodynamics. A series of laboratory experiments were conducted to investigate the relationship between nearbed flow characteristics and sediment pickup under different flow conditions with turbulence supplied from above. New measurement techniques were attempted for quantification of sediment fluxes as well as fluid forces acting on the bed. The experimental results suggested the positive relationship between the turbulence intensities and the pickup rate, from which a new pickup model was formulated.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,800,000	1,140,000	4,940,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：海岸工学，漂砂，碎波，乱流，底質巻き上げ

1. 研究開始当初の背景

海岸付近の底質移動は、波が砕けた後の碎波帯あるいは遡上域において極めて活発なことが実験や観測から確認されているが、これらの領域において流体運動と底質輸送を適切に関連付けるモデルは十分に確立されていない。従来の漂砂・流砂量モデルの多くは、定常流下で求められたものであり、流体運動の非定常性や碎波に伴う表層由来の乱

れの影響が考慮されておらず、高精度な地形変化予測の要求に応えることは難しい。

2. 研究の目的

本研究の目的は、碎波に伴う表層乱れや流れの強い非定常性が底質 pickup 量に及ぼす影響を定量的に評価することである。そのために、室内水槽実験を通して、碎波に類似した流れ場での流体運動特性と底質 pickup 量

を計測することで、両者の定量的な関係を明らかにする。さらに、こうして得られた実験的知見を踏まえて、砕波に伴う流体運動と底質移動を関連付ける新たな底質 pickup 関数の構築を行うとともに、数値モデルに組み込むことでその検証を行う。

3. 研究の方法

まず、外部乱れが底質 pickup に及ぼす影響の評価については、大きく二通りの条件を対象として行った。一つ目は、定常流下で乱流格子により底面付近に乱れを供給する条件であり、二つ目は、ゲート急開によって生ずる段波下での流れ場とした。いずれも格子構造物や段波により上層から下層に向かって乱れが供給される場となるが、前者はまず、底面境界層由来の乱れに加え、上層から強制的に輸送される乱れが底質 pickup 量にどのような変化をもたらすのかを検討する目的で行われた。幅 50cm、水深 1m 程度の定常流水路内の底部に中央粒径 0.2mm の砂を敷き、底面少し上に格子状乱流発生装置を設置し、上層からの強制的な乱流による底質移動の影響について実験を行った。砂面の変動は高精度のレーザー変位計を用いて行い、底質を底面の一部に限ることによって、上流からの底質移流の影響を受けない条件で pickup 量の計測を行った。流速あるいは乱流特性については、レーザードップラ流速計 (LDV) を用い、底面直上での流速特性について高精度の計測を行った。また、予備実験として、格子状乱流発生装置を用いない場合には、計測結果が既往の実験結果と整合することの確認を行った。

一方後者は、前者に加えて流れに強い非定常性が存在するため、より現実の砕波に近いものとなる。このように段階的に実現現象に近づけることによって、各過程の寄与を明らかにすることが可能となる。実験には、幅 30cm の 2 次元小型水路を用いた。実験に先立って、段波発生用ゲート等、水路内で段波生成を可能とするための水路の改造を行った。段波波高を変化させながら、波状段波から乱流性段波に至る幅広い条件で、流速場の計測を行うとともに、直接計測および間接計測を通して底面剪断力の変動特性を調べた。直接計測とは後述する剪断力計を用いるものであり、間接計測とは流速分布形状の変化から剪断力を推定する方法である。

流体運動と底質運動を関連付けるためには、底面に作用する流体力および底質輸送量の両方を精度良く定量化する必要がある。しかしながら、これら二つの量の計測には確立された方法が存在せず、従来法では定量化が困難な面が多い。したがって、本研究では本実験と並行して各計測技術の開発を行った。流体力として重要な底面剪断力に関しては、

未だ発展途上にある剪断力の直接計測センサの適用を試みた。一方の底質輸送の定量化については、申請者らがこれまでに開発した底質濃度の画像計測法を発展させ、底質フラックス計測が可能となるよう拡張を行った。

具体的には、2 次元断面水路の一端に取り付けられた任意波形造波機により波浪を作用させ、水用の底面剪断力計により底面剪断力の変化を計測した。これにより上層からの乱流供給がない単純な波動運動下での波動運動、特に波動の非線形性が底面剪断力の変動に及ぼす影響について検討を行った。また、底面の粗度が境界層あるいは底質移動に及ぼす影響を検討するため、剪断力計表面について、滑面および粗面の二通りで実験を行った。

底質フラックスの計測については、まず標準資料として、直方体アクリル容器に封入された既知濃度の参照用底質混合水を準備した。これを攪拌することによって標準濃度を作成し、面光源である EL シートからの透過光をビデオ撮影した。計測された輝度値と底質濃度との関係を整理して、高濃度でも安定した底質濃度の計測手法を開発した。また、高速度ビデオカメラを用いることで PIV を行い、同じ画像から底質濃度と底質移動速度の双方を評価し、底質移動フラックスの評価を行った。

以上のような種々の実験により得られた剪断力変化、および底質 pickup 量計測に関わる実験的知見に基づいて、新たな底質 pickup 関数の構築を試みた。従来広く用いられてきた van Rijn 型関数をベースとし、新たに乱れや非定常性の影響を加味するための項を加えることで、砕波帯を含む広範な領域での地形変化予測に適用可能なものとした。さらに、数値波動水槽を用いて底質移動量を評価する場合に、pickup 関数の妥当性の評価や、漂砂量則への応用についての検討を行った。

4. 研究成果

研究方法で述べた各検討における成果を以下にまとめる。

(1) 乱れを考慮した pickup 関数の改良

本研究に先立つ予備実験の結果を踏まえて実施した定常流下での実験では、乱流格子によって生成された乱れの影響による有意な底質 pickup 量の増大が確認された。条件によっては乱れが存在しない場合の 3 倍程度の pickup 量となることが示された。また、LDV による精細な計測により、底面直上での乱れ特性と底質 pickup 量との関係についても一定の知見を得ることができた。さらに、流れや格子の条件を様々に変化させて実験を行った結果、底質 pickup 関数構築の基礎

となるデータが多数得られた。このような実験は国内外でも実施例が少なく、関連現象の理解を深める上で貴重なデータが蓄積された。

(2) 段波下での実験

小型段波水路を用いた実験では、段波波高を変化させながら、波状段波から乱流性段波に至る幅広い条件で、レーザー流速計により流速場の計測を行うとともに、直接計測および間接計測を通して底面剪断力の変動特性を調べた。特に、発達した乱流性段波の場合には、表層由来の乱れの影響が底面に及び、底面剪断力を上昇させることが確認された。したがって、外的乱れの影響を考慮するにあたっては、拡散係数の増大として底面剪断力の上昇に寄与する効果と、大規模な渦が底面に到達することで直接巻き上げに寄与する効果の両方を勘案する必要があることが示唆された。

(3) 底面剪断力の直接計測

流砂・漂砂問題を扱う上で重要な底面剪断力の計測に関して、ひずみ計測に基づく直接計測センサの適用を試みた。一般的な水槽実験スケールで生じる底面剪断力の大きさは非常に小さく、一般に直接検出するのは困難とされてきた。本実験への適用に先立って、比較的単純な条件の流れ場での計測に適用することで精度検証を行った。計測対象としたのは、定常流や正弦波、非対称波動下での底面剪断力であり、層流状態での理論値との比較を通してセンサの特性を調べた。センサは剪断力の定性的な変動特性は十分に捉えられるが、定量的な知見を得るためには細心のキャリブレーションや他の影響の補正が必要であることが示された。より信頼性の高い計測のためには剪断力以外の効果を排除するための機構の工夫が課題として残った。

(4) 底質フラックス計測手法の開発

底質巻き上げ量評価のために画像計測手法の開発を行った。申請者らがこれまでに開発した EL バックライトを用いた底質濃度の画像計測手法に、PIV による底質移動速度計測を加えることでフラックス計測が可能になるよう拡張を行った。通常の PIV とは異なりバックライトによって影となって現れる粒子像を追跡するため、多くの追跡アルゴリズムを適用して最適な手法の同定を行った。各点での濃度および粒子速度が得られれば、それらの積として面的にフラックスを求めることが可能となる。限られた条件での検証ではあったが、PIV が適用可能な一定濃度までの範囲であれば、15%以内の誤差でフラックス計測が可能であることが示された。この手法を用いれば従来の方法では困難であった

様々な底質輸送現象の定量化につながることを期待され、関連研究への波及効果が期待される。

(5) 底質 pickup 関数の構築

上記(1)で得られたデータを用いて、Shields 数による van Rijn 型の底質 pickup 関数に乱流特性量による効果を加えた改良を行い、新たな底質 pickup 量を表現する式を提案した。非定常な場において、碎波に類似した条件を想定し、外部乱れによる影響を考慮した底質 pickup 関数を提案した。この関数を用いて、計測した底面変動量が十分に精度良く推算できることを確認し、数値波動水槽等で計算される流速や乱れ量を用いて、底質の巻き上げ・移流・拡散のプロセスが再現でき、浮遊漂砂を含めた底質移動が良好に評価できることを確認した。

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 7 件)

(1) 下園 武範, 眞覚康栄, 小林恵太, 岡安章夫: “透過光を利用した水流による底質フラックスの画像計測法”, 混相流, 25(1), (2011), 435-442, 査読有。

(2) 下園 武範: “段波下の底面境界層流れに関する実験的研究”, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 67(2), (2011), 46-50, 査読有。

(3) 下園 武範: “一般非定常流に対する滑面境界層理論の展開および底面剪断力評価への応用について”, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 67(1), (2011), 1-17, 査読有。

(4) 松林 由里子, 岡安 章夫: “運動量移流型単相 LES モデルによる気泡領域を含む碎波計算”, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 66(1), (2010), 31-35, 査読有。

(5) A. Okayasu, K. Fujii and M. Isobe: “Effect of External Turbulence on Sediment Pickup Rate”, Proceedings of the 32th International Conference on Coastal Engineering, sediments.13(on-line), 査読有。(2010)

(6) T. Shimozone, A. Okayasu and T. Mishima: “On the Bottom Shear Stress in Long Wave Runup and Backwash”, Proceedings of the 32th International Conference on Coastal Engineering, currents.46(on-line), 査読

有. (2010)

(7) T. Shimozono and A. Okayasu:
"Light-transmission Measurement of
Sediment Concentration based on Image
Analysis", Asian and Pacific Coasts 2009,
210-216 (2009), 査読有.

〔学会発表〕 (計 1 件)

下園 武範: "透過光を利用した底質フラックス
計測手法の開発", 日本混相流学会年会講演会,
2011 年 8 月 6 日, 京都工芸繊維大学.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡安 章夫 (OKAYASU AKIO)
東京海洋大学・海洋科学部・教授
研究者番号: 20213994

(2) 研究分担者

下園 武範 (SHIMOZONO TAKENORI)
東京海洋大学・海洋科学部・助教
研究者番号: 70452042

松林 由里子 (MATSUBAYASHI YURIKO)
岩手大学・工学部・助教
研究者番号: 00586414

(3) 連携研究者

該当せず