

混合粒径下における波打ち帯の漂砂移動可視化実験

Visualization Experiment of Sediment Transport in Swash Zone under Mixture Grains

函館工業高等専門学校専攻科

○学生員 成田郁史 (Ikumi Narita)

函館工業高等専門学校社会基盤工学科

正会員 宮武誠 (Makoto Miyatake)

1. はじめに

荒天時波浪による砂浜斜面底質の粗粒化に伴う前浜勾配の急峻化や浜崖の形成といった汀線付近の海岸侵食現象を解明するためには、混合粒径を考慮に入れた波打ち帯の漂砂移動特性の把握が不可欠である。混合粒径を取り扱った既往の研究は、シートフロー漂砂の鉛直分級過程を主体に議論され、これまでに数多くの有用な漂砂量式や海浜変形モデルが提案されてきた¹⁾。近年では画像解析によって、混合粒径下での浮遊砂粒度を評価する試みも行われている²⁾。しかし、波打ち帯の漂砂移動は、遡上波水塊の水深が非常に希薄であることに加え、波の遡上・流下に伴い発生する砂層表面の浸透・滲出流の影響を受けるため、底質を混合粒径で取り扱った研究は、遡上域の底質の分級過程を実時間で計測した研究³⁾を除き、現象の複雑さや測定の高難度等の理由から活発に行われているとは言えない。

一方、著者ら⁴⁾は単一粒径に限定されるが、段波作用下における波打ち帯の漂砂移動に関し、蛍光砂を用いた可視化実験を行うとともに、越智らによる遡上波変形と飽和・不飽和浸透流を結合させた数値解析モデル及び透過斜面の無次元掃流力モデルから、実験結果の再現性を検証し、波打ち帯の漂砂移動を定性的ではあるが、その傾向を評価できることを明らかにしている。

本研究は、粒径毎に異なる色相の蛍光砂を敷設した混合粒径下の砂浜斜面に孤立波を作用させた模型実験を実施し、既往の画像計測法⁴⁾を準用した各粒径に対する蛍光砂の濃度変換曲線から混合粒径下における漂砂濃度を評価し、砂浜斜面の飽和度に応じた混合粒径下での波打ち帯の漂砂移動特性を明らかにする。また、それに伴う底質の粗粒化や縦断地形変化に及ぼす影響にも言及する。

2. 混合粒径下の飽和・不飽和斜面における波打ち帯の漂砂に関する可視化実験

実験は、図-1 に示す 2 次元造波水路内に海底勾配 1/10 の塩化ビニール製固定床斜面模型を設置し、その上部の水平床に長さ 3.5 m、高さ 30 cm、後浜天端 50 cm を有する海底勾配 1/10 の砂浜模型を製作して行った。砂浜模型を構成する底質は、3 粒径を表-1 に示す割合で配合した混合粒径珪砂である。この水路には図中の O 点を原点とし、静水位面上の岸沖方向に x 軸、鉛直方向に z 軸を設定し、水位は静水位からの鉛直距離として定義する。また、遡上波の流体運動は、砕波に伴う乱れや先行波による戻り流れとの干渉などの複雑な水理現象を呈している。そのため、本研究は底質の飽和度に応じた混合粒径下での波打ち帯の漂砂移動特性を把握するにあたり、現象を単純化させるため、入射波には孤立波を用いた。静止水深 35 cm のもと模型斜面後浜側には貯水槽を設け、その水深(図中の a)を表-2 に示す 30 cm 及び 5 cm とし、砂浜斜面を飽和及び不飽和状態にした上で、遡上波を砂浜模型の法肩まで到達させるため、沖側から表中に示す諸元を有する孤立波を 2 分間隔で 10 波作用させた。原点より 220 cm 沖側の砂層表面には、厚さ 1 cm、岸沖方向に 10 cm、水路横断方向一様に底質と同配合の蛍光珪砂を敷設し、暗転した実験室内でブラックライトを照射することで、遡上波による蛍光砂の移動を水槽側面から高速度カメラにより撮影した。水槽側面から撮影して得られる画像は既往の画像計測法により、混合粒径における RGB 形式の画像から、それぞれ蛍光砂の色相の閾値に相当する緑色、青色、赤色の成分を抽出した後、256 階調白黒濃淡画像に変換した。この画像から得られる標準偏差 10 以下の閾値を有する各色相に対する画像濃淡値は、図-2 に示す濃度変換曲線により、各

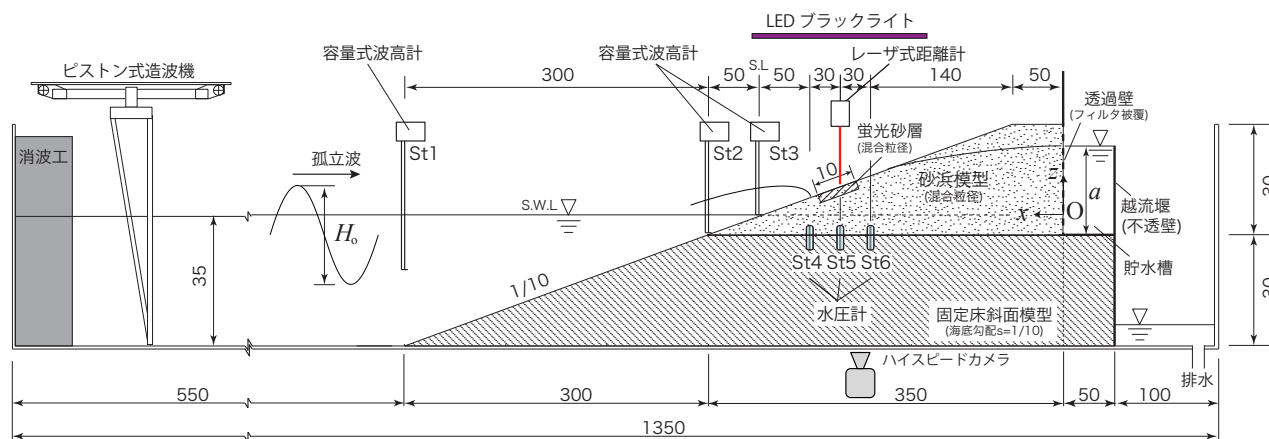


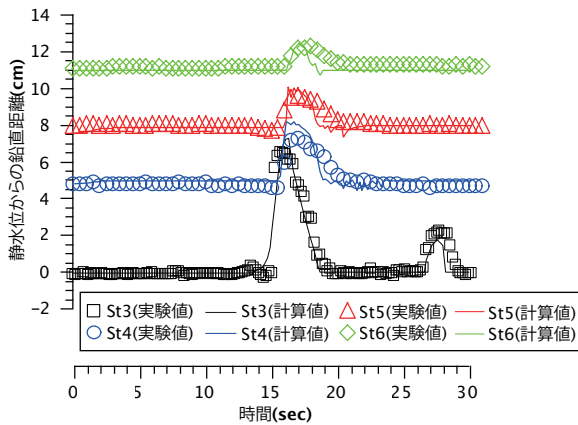
図-1 実験装置の概要 (単位: cm)

表-1 底質材料の諸元

粒 径 $d(\text{mm})$	蛍光砂 (色)	混合粒径の 割合 (%)
0.12	緑 (G)	53.4
0.28	青 (B)	33.3
0.42	赤 (R)	13.3

表-2 実験条件

ケース	波 高 $H_0(\text{cm})$	周 期 $T_0(\text{s})$	貯水槽の 水深 $a(\text{cm})$	遡上斜面の 保湿状態
Run1	8.0	4.50	30.0	飽 和
Run2	8.0	4.50	5.0	不飽和



(a) 飽和斜面の場合

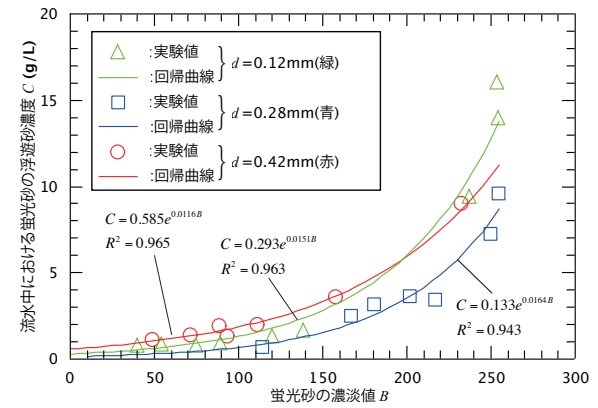
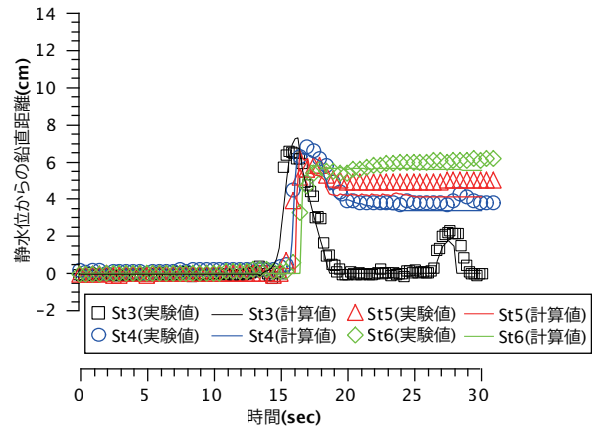
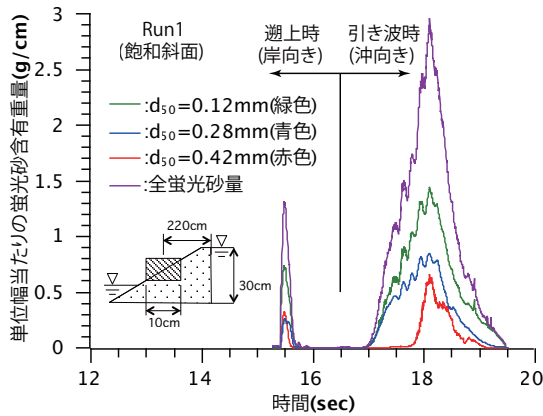


図-2 各粒径 (色相) の濃度変換曲線

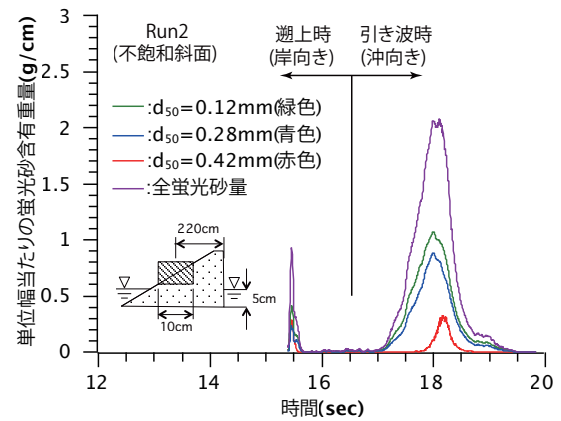


(b) 不飽和斜面の場合

図-3 遡上波水位及び地下水位の経時変化 (第1波目)



(a) 飽和斜面の場合



(b) 不飽和斜面の場合

図-4 蛍光砂量の経時変化 (第1波目)

粒径に対する流水中の浮遊砂濃度に変換した後、それらの合計を持って混合粒径下の蛍光砂に対する浮遊砂濃度とし、遡上波流水中に含まれる蛍光砂量を求めた。斜面上の遡上波変形及び砂層内の地下水位は、図中に示す3本の容量式波高計及び3本の水圧計によりそれぞれ計測した。実験終了時にはレーザー式距離計により地形変化量を測定した後、蛍光砂層部から地形変化後の底質を採取して粒度試験を行った。

3. 飽和・不飽和斜面の地下水位変動特性

図-3(a)及び(b)は、後浜貯水槽の水深 a を 30 cm 及び 5 cm としてそれぞれ砂浜斜面を飽和及び不飽和とした場

合における遡上波水位と地下水位の経時変化を示す。図中の□印は St 3 の遡上波水位、○、△及び◇印はそれぞれ、St 4、St 5 及び St 6 における地下水位の実験値を示す。飽和斜面の地下水位は、遡上波水位の上昇に追従して沖側から岸側の順で順次、やや遅れて応答上昇するが、上昇後は全ての地下水位において初期地下水位まで速やかに低下している。このことから飽和斜面の場合、遡上時に浸透した水のほとんどは引き波時の滲出流となって、速やかに前浜砂層外に流出したものと考えられる。一方、不飽和斜面の地下水位は、飽和斜面と同様に上昇するが、上昇後の過程は飽和斜面と異なり、いずれの地下水位も初期地下水位よりも高い水位を維持し、その高

さは後浜になるに従い高く分布する．これより不飽和斜面の場合、遡上時の浸透水のほとんどは砂層内に貯留され、その貯留量は後浜になるに従い大きくなるものと考えられる．

4. 混合粒径下の飽和・不飽和斜面の漂砂移動特性

図-4(a)及び(b)は、砂浜斜面を飽和及び不飽和とした場合における画像濃淡値から求めた単位幅あたりの遡上波流水中に含まれる蛍光砂量の経時変化を示す．飽和斜面の蛍光砂量は不飽和斜面に比較して、遡上時及び引き波時でともに高く推移し、特に蛍光砂層の底質から流出する細かい粒径分の増加が著しい．一方、引き波時に着目すると、蛍光砂量は斜面の飽和及び不飽和に関わらず、遡上時よりも引き波時の方が大きくなっているが、その傾向は飽和斜面において顕著となる．これらの飽和・不飽和斜面で見られた蛍光砂量の違いは、飽和斜面において初期地下水位が静水位よりも高い状態にあるため、実験開始時から恒常的に発生する冲向きの定常飽和浸透流及び引き波時に生じる滲出流による揚力効果が加ったことによるものと推察される．

5. 混合粒径下の飽和・不飽和斜面の粒度分布特性

図-5 は実験開始時及び孤立波 10 波作用後の飽和・不飽和斜面の蛍光砂層区間から採取した底質の粒度分布を示す．飽和及び不飽和斜面でともに、蛍光砂層底質からの細かい粒径分の流出が進行し、底質の粗粒化が進んでいることが認められる．特に、遡上時及び引き波時でともに細かい粒径分の流出が著しい飽和斜面においては、底質の粗粒化がより一層進んでいる．

6. 混合粒径下の飽和・不飽和斜面の縦断地形変化特性

図-6 は、孤立波 10 波作用後の飽和及び不飽和斜面における最終地形変化を示す．図中の矢印はそれぞれ、遡上波最大到達高及び侵食限界高を表示する．飽和斜面の最終地形は不飽和斜面に比較して、後浜の更に高い位置から侵食が始まり、その地点から蛍光砂層区間に渡る前浜域でより大きな侵食が発生する．この結果、飽和斜面の前浜域では斜面勾配の急峻化が、底質の粗粒化とともにより一層進行する．これに対し、不飽和斜面では飽和斜面とは異なり、侵食限界高よりも更に高い後浜域で堆積が認められる．これは、不飽和斜面では後浜になるに従い飽和度の低下に伴い、底質のサクションが増加するため、後浜域の遡上斜面で浸透効果が高まった結果、遡上波流水中の漂砂の一部が捕捉されたものと推定される．

7. 結論

飽和斜面の蛍光砂量は、不飽和斜面に比して常に高く推移し、特に底質からの細かい粒径分の流出が著しい．この結果、底質の粗粒化が加速するとともに、前浜勾配の急峻化がより一層進行する．この飽和・不飽和斜面による蛍光砂量の違いは、遡上時には実験開始時から恒常的に発生する冲向きの定常飽和浸透流及び引き波時の滲出流による揚力効果が加わったことによるものと推定さ

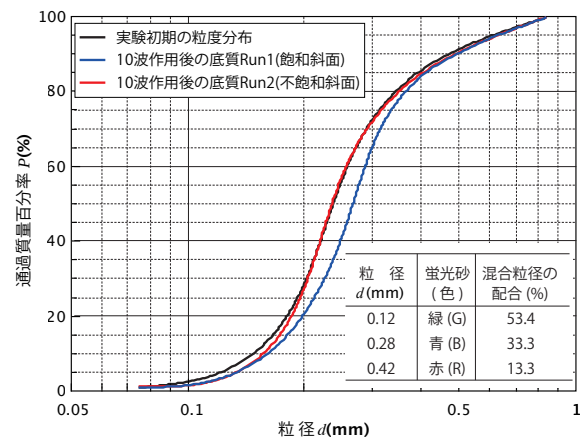


図-5 蛍光砂層部における粒度分布

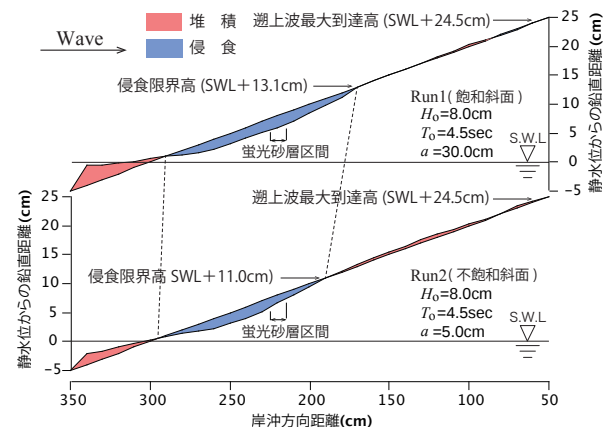


図-6 孤立波 10 波作用後の最終地形変化

れる．

今後は、粒度分布を変化させた混合粒径砂を用いた漂砂移動の可視化実験を行い、飽和度に応じた波打ち帯の漂砂移動特性及び、底質の粒度分布や縦断地形変化に及ぼす影響を考察する所存である．

謝辞

本研究は学術研究助成基金助成金 基礎研究(c)(課題番号 16K06521)の補助を受けた．ここに記して謝意を表す．

参考文献

- 1) 酒井哲郎, 後藤仁志, 沖 和哉, 高橋智洋: 混合粒径シートフロー漂砂の鉛直分級過程の可視化実験, 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp.516-520, 1999.
- 2) 柿木哲哉, 辻本剛三: 画像解析を用いた混合粒径の浮遊砂粒度計測, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp.376-380, 2005.
- 3) 柿木哲哉, 辻本剛三, 酒井大樹: 遡上域における底質の分級過程のリアルタイム計測, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 68, No.1, pp.521-525, 2009.
- 4) 宮武 誠, 阿部翔太, 木村克俊, 越智聖志: 底質粒径による飽和・不飽和浸透流が波打ち帯の漂砂移動に及ぼす影響, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 69, No.2, I_076-I_080, 2013.