水理模型実験における礫浜地形の 3 次元計測に関する一考察

岐阜工業高等専門学校　学生会員　○　国本　直樹
岐阜工業高等専門学校　正 会 員　　菊　雅美

1. はじめに

近年，我が国では海岸侵食が顕著化し，生態系の保全や波浪災害の防止抑制として重要な役割を担っている海浜が失われつつある．一方で，局所的な砂礫の堆積もみられ，海岸構造物や航路の埋没などが問題となっている．これらの主な原因は，海岸構造物の建設による沿岸漂砂の堰き止めや，ダムの建設によって河川からの土砂供給量が減少していることなどが挙げられる．三重県南端に位置する礫浜海岸の七里御浜でも著しい侵食が問題となっており，侵食対策として養浜に加えて消波ブロックが設置されている．しかし，消波ブロックが礫に埋没している様子がみられ，高波来襲時には大きく海岸が侵食されている．したがって，養浜や消波ブロックなどの侵食対策が有効に作用しているか定かではなく，有効な礫浜海岸の侵食対策について検討する必要がある．馬ら [1)]は，水理模型実験によって，礫の移動機構を明らかにするとともに，礫浜の地形変化特性について考究している．しかし，一定の波を作用させた後の地形の断面的な変化への着目にとどまっている．また，礫浜に設置された消波ブロックの機能性について検討した既往の研究はほとんどなく，有益な知見は得られていない．消波ブロックを礫浜に設置した場合，地形は 3 次元的に変化することから，地形変化の特性や消波ブロックの機能性を解明するためには，地形変化の様子を 3 次元的に観測する必要がある．そこで，本研究では，礫浜に対する水理模型実験を行い，インターバル撮影によって得た画像から 3D モデリングソフトウェア PhotoScan を用いて DEM（数値標高モデル）を作成し，時間的に変化する地形の侵食および堆積を量的に評価するためのシステムの構築を目的とする．

2. 水理模型実験の概要

本実験は，岐阜工業高等専門学校の断面 2 次元造波水路（長さ 25.0 m，幅 0.7 m，高さ 1.0 m）を用いて行う．実験水槽の概略を**図-1** に示す．水理現象は重力および慣性力に支配されるため縮尺はフルードの相似則に従い 1/25 とした．造波板から 18.10 m 離れた地点に不透過斜面を設置し，その表層に 15 cm 厚の礫（d_{50} = 5 mm・比重 2.65）を敷き並べた．消波ブロックは，12 t 型のテトラポッドを実験の縮尺に合わせ 1/25 にスケールダウンしたものを使用した．消波ブロックは，1 列に並べる場合，2 列に並べる場合，角度を変化させて設置した場合など，様々なパターンで汀線付近に設置する．波はピストン型造波装置を用いて発生させ，水深 h ＝ 0.4 m の一定のもと，周期（T ＝ 1.5, 1.7, 2.0 s），波高（H = 4，6，8 cm）の 9 種類の異なる規則波を作用させる．

3. 地形変化観測システムの構築

水理模型実験にて時々刻々と変化する地形を面的に計測するため，本研究では画像解析に着目し，地形変化観測システムを構築した．

3.1 システムの概要

礫浜の面的な堆積・侵食の時間的変化を画像解析によって量的に算定するため，SfM/MVS 技術に着目した．本技術は，複数の画像から 3D モデルを再構築するものであり，DEM（数値標高モデル）の作成が可能である．本技術を適用するには，汀線近傍をオーバーラップ率 80 %以上で同時に撮影する必要がある．そこで，本研究では，500 万画素の USB カメラを 8 台用いることにした．1 台の Raspberry Pi 3 で 2 台の USB カメラを制御し，1 分間隔でインターバル撮影を行えるように設定した．4 台の Raspberry Pi 3 で同時に撮影を行う必要があるため，撮影の開始と終了はスクリプトによって実行できるようにした．

3.2 撮影方法の検討

画像の撮影範囲は，撮影高さによって変わる．そこで，最適な設置高さを検討するため，床にメジャーを

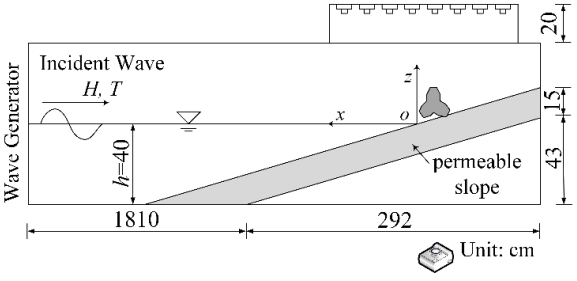
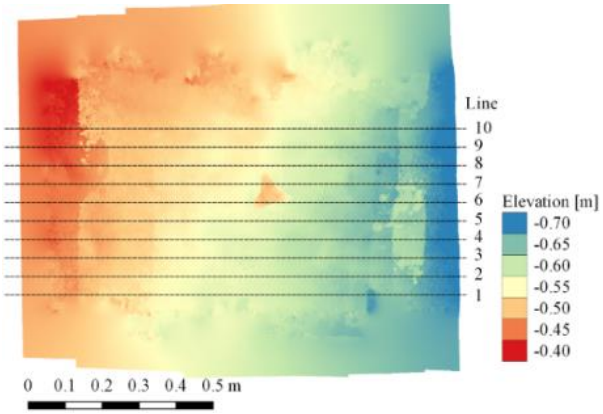


図-1　実験装置の概略

図−2　撮影画像から作成した礫浜斜面のオルソ画像



図−3　3D モデルから作成した DEM

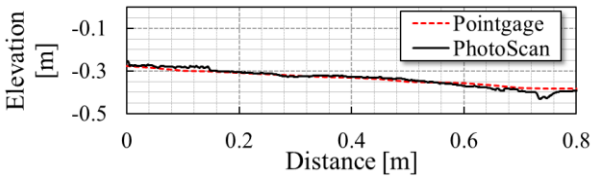
貼り付け，カメラの高さを様々に変化させて撮影を行った．その結果，水路幅 70 cm を横方向の撮影範囲に収めるには，撮影高度を 80 cm 以上にする必要があるとわかった．また，撮影高度を 80 cm としたとき，縦方向の撮影範囲は 55 cm 程度となることを確認した．

造波水路の上端から水面までの距離が 60 cm であるため，造波水路上に USB カメラを設置するための台を製作した．また，3 次元モデルの再構築精度を高めるとともに，点群に位置情報を与えるため，造波水路内にターゲットを 7 枚設置した．

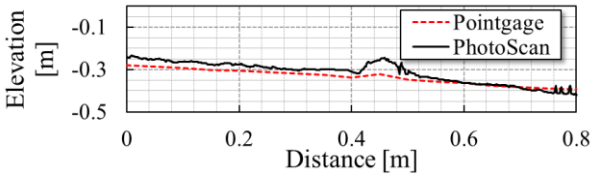
4.　画像解析によって作成した DEM の精度検証

PhotoScan にて作成した DEM の精度を検証するため，最低撮影高さ 105 cm，カメラの設置間隔 8 cm とし，水がない状態の礫浜を 8 台の USB カメラにて同時撮影した．また，ポイントゲージを用いて，礫浜表面の標高を計測し，これを実測値とした．測定領域は，長さ（x 方向）80 cm，幅（y 方向）45 cm とし，5 cm 間隔で計測を行った．

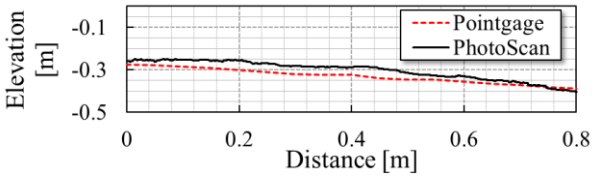
USB カメラによって撮影した画像から，PhotoScan により 3D モデルを構築した．3D モデルにおける対空標識間の長さと実測値の RMSE（二乗平均平方根誤差）は 5.8 mm であった．3D モデルから出力したオルソ画像と DEM を**図−2** および**図−3** にそれぞれ示す．**図−3** から，消波ブロックが再現されている様子や，岸から沖に向かって標高が低下する状況が確認できる．



(a) y = 5.5 cm



(b) y = 30.5 cm



(c) y = 50.5 cm

図-4　実測値と DEM の比較

図−3 中に示す測線について，実測値と DEM の標高の比較を行った．両者ともに原点を**図−2** に示すターゲット 5 としたものの，標高に一定の差が認められたため，DEM の標高値に一律 0.245 m を加算した．この差異は DEM において原点を正しく設定できていなかったためであり，今後改善する必要がある．**図−4** に，実測値と DEM の比較の一例を示す．同図(a)から，実測値と DEM の標高はほぼ一致しているといえるといえる．同図(b)の地点では，消波ブロック上のピークが実測値と DEM で差が生じている．実測値は 5 cm 間隔で測定しているため，消波ブロックのピークを捉えられていないためと考えられる．同図(c)では，同図(a)に比べて全体的に差異が生じている．ただし，沖側に向かって標高が下がっていくっていく傾向は確認することができた．以上より，DEM は概ね実測値の標高を再現しているものの，再現性の向上に向けてさらなる検討が必要といえる．

今後は，撮影画像をより鮮明にするなどの工夫を行うことで，3D モデルの精度を向上させる．その後，礫浜斜面の地形変化を経時的かつ 3 次元的に観測し，消波ブロックの効果を評価する．

参考文献：1）馬　賢鎬・水谷法美・江口　周，礫浜斜面上の流速場と漂砂移動機構に関する研究，土木学会論文集，No. 789，II-71，pp. 73-82，2005.