

礫浜を対象とした水理模型実験における 3 次元地形計測の妥当性

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

1. 背景と目的

三重県南端に位置する礫浜海岸の七里御浜では著しい侵食が問題となっており、侵食対策として消波ブロックが礫浜上に多数設置されている。しかし、海岸侵食に対する消波ブロックの有効性は不明であるため、その効果を評価する必要がある。そこで、本研究では、水理模型実験により地形変化を計測し、消波ブロックの機能性を検討する。

消波ブロックを礫浜に設置した場合、地形は 3 次元的に時々刻々と変化することから、地形変化の特性や消波ブロックの機能性を解明するには、地形変化の様子を 3 次元的に観測する必要がある。国本¹⁾は、水路上部に設置した 8 台の USB カメラを用いてインターバル撮影を行い、撮影画像から DSM (Digital Surface Model, 数値表層モデル) を作成することで、時間的に変化する地形の侵食・堆積を量的に評価するためのシステムを構築した。しかし、作成した 3D モデルの精度に課題があり、さらなる検討が必要となっていた。そこで、本研究では、DSM の精度を向上させ、再現性の高い 3 次元地形を得るための計測システムの構築を目的とする。

2. 水理模型実験の概要

(1) 実験装置

岐阜工業高等専門学校の断面 2 次元造波水路 (長さ 25 m, 幅 0.7 m, 高さ 1 m) を用いて水理模型実験を行った。縮尺は 1/25 とし、図-1 に示すように、1/7 の一様勾配を有する木製の不透過斜面上に

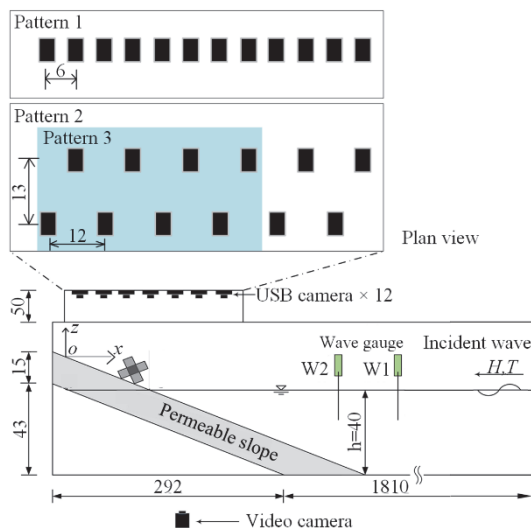


図-1 実験装置の概略図

15 cm 厚の底質 ($d_{50}=3.4$ mm) を敷きならして地形を製作した。

(2) 3 次元地形計測システム

本研究では、500 万画素の USB カメラを 12 台用いた。1 台の Raspberry Pi に接続できる USB カメラは 2 台のため、6 台の Raspberry Pi の時刻を同期し、motion スクリプトによってインターバル撮影するよう設定した。

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 Agisoft Metashape を用いてオルソモザイク画像と DSM を作成した。Python スクリプトを用いて Metashape での 3D モデル構築を全自動化し、作業の効率化を図った。なお、3D モデルに実距離を与えるには、マーカが必要となる。そこで、Metashape にて自動抽出可能なマーカを等間隔に 7 つ配置した板を陸側に設置し、このうち 1 つのマーカの中心を原点とした。

3. 水がない状態での計測システムの精度検証

(1) USB カメラを 1 列に配置した場合

図-1 中の Pattern 1 で USB カメラを配置して写真を撮影し、Metashape にて作成した DSM の精度検証を行った。3D モデルから出力したオルソモザイク画像を図-2 に示す。レーザー距離計を用いて図中の格子節点の標高を計測し、実測値とした。

図-2 中に示す測線の標高について、実測値と計測システムにて作成した DSM の比較を図-3 に示す。同図から、実測値と計測システムともに、1/7 勾

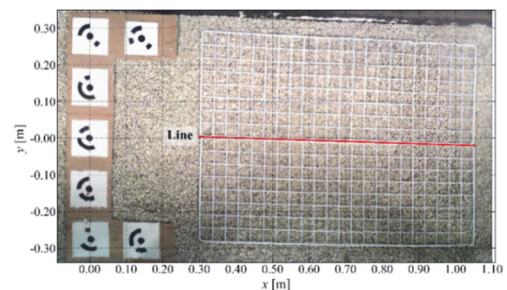


図-2 オルソモザイク画像(Pattern 1)

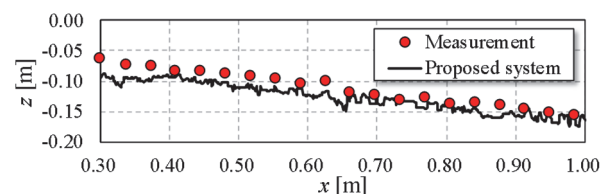


図-3 Pattern 1 での実測値と計測システムの標高比較

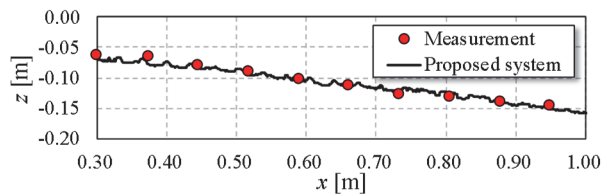


図-4 Pattern 2 での実測値と計測システムの標高比較

配の傾向を確認できる。特に、計測システムでは、格子枠による細かい標高の起伏を捉えられている。ただし、実測値と比較すると、沖側は概ね一致しているものの、陸側の差異は大きい。両者の差異は最大で 0.032 m であり、計測システムは標高を過小評価していることがわかる。

(2) USB カメラを 2 列に配置した場合

本計測システムで用いる SfM/MVS 技術では、浅い静水面であれば水面下の地形を捉えることができる。しかし、碎波を含む遡上帯の解析は困難であるため、本検討では陸側($x = 0.5 \sim 0.7$ m)の計測精度が重要となる。そこで、USB カメラの配置を図-1 の Pattern 2 とし、オーバーラップだけでなくサイドラップを設けることで計測精度の向上を図った。

図-2 と同様に、水路中央の測線について実測値と計測システムの標高を比較した結果を図-4 に示す。同図から、Pattern 1 よりも実測値と計測システムの差が小さくなり、両者の最大差は 0.012 m となった。これは、サイドラップを設けたことで地形を多角的に捉えられたためだと考えられる。

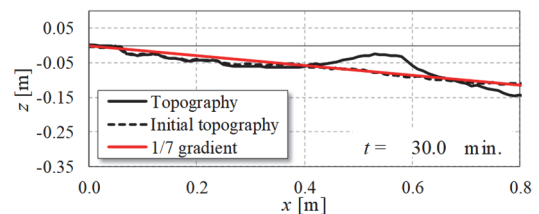
以上から、DSM の精度向上には、USB カメラを 2 列に配置する Pattern 2 が効果的であるといえる。

4. 造波時における計測システムの再現性

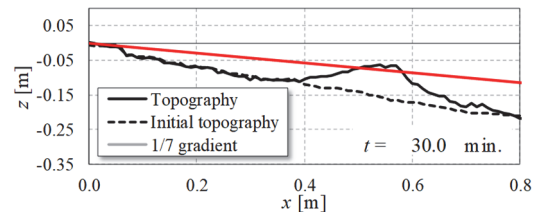
本計測システムでは、造波中における陸上の地形変化を捉えることが重要となる。そこで、水深 $h = 40$ cm の下、波高 $H = 4$ cm 周期 $T = 1.5$ s の規則波を作用させ、30 s 毎のインターバル撮影を行った。

前述のとおり、本計測システムでは、碎波を含む遡上帯の解析が困難であるため、遡上帯を含む撮影画像が 3D モデルの構築に影響を及ぼす可能性がある。そこで、図-1 のうち、全 12 台の USB カメラを用いた Pattern 2 と、陸側の 8 台の USB カメラを用いた Pattern 3 において、作成される DSM の再現性について検討した。

Pattern 2 および Pattern 3 からそれぞれ DSM を作成し、水路中央の標高を抽出した。造波後 $t = 30$ min. の標高を図-5 に示す。同図中には、初期地形 ($t = 0$ min.) と 1/7 勾配の直線を併記している。同図 (b) から、Pattern 3 では初期地形が 1/7 勾配よりも急斜面になっており、地形を再現できていない。この



(a) Pattern 2



(b) Pattern 3

図-5 USB カメラの台数が DSM に及ぼす影響

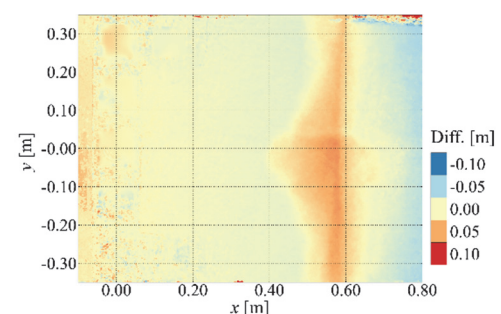


図-6 初期地形と造波 30 分後の DSM の差分

ことから、地形の勾配を再現するには、撮影画像に水面が含まれていても問題なく、沖側に多くのカメラを設置することが重要であるとわかった。同図(a)において、 $x = 0.0 \sim 0.2$ m には遡上波が到達しておらず、地形変化が生じていないことを考慮すると、Pattern 2 では、波の作用による汀線近傍での地形変化を捉えられているといえる。

図-6 は、Pattern 2 における初期地形と造波 30 分後の DSM の差分であり、3 次元的な地形変化が確認できる。以上から、USB カメラの配置を Pattern 2 とすることで、造波中に陸上で生じる 3 次元的な地形変化を計測できることが確認された。

5. 結論

本研究では、礫浜を対象とした水理模型実験において、時間的に変化する地形の侵食・堆積を量的に計測するためのシステムを構築するとともに、その再現性を向上させるための方法について検討した。その結果、地形を多角的・広範囲に撮影することが重要であるとわかった。本システムによって、造波中に消波ブロックによってもたらされる陸上の地形変化を 3 次元的に計測可能となった。

参考文献：1) 国本直樹，菊 雅美：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，平成 29 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集，II-057，pp. 77-178，2018。