

3次元画像形状計測法による消波ブロック構造物の定量的性能評価

Image measurements of deformations of coastal structures composed of wave dissipating blocks

北海道大学大学院工学院 ○学生会員 三戸部佑太 (Yuta Mitobe)

北海道大学大学院工学研究院 正会員 渡部靖憲 (Yasunori watanabe)

1. はじめに

従来から防波堤などの海岸構造物の設計は、想定する最大波による波力に対する構造物の抵抗のつり合いをもとに、許容応力度設計法および安全率の概念に基づき行われてきた。しかし近年、確率的な事象を考慮に入れ、要求される性能に対し照査を行う信頼性設計法が導入されている。信頼性設計法ではある期間中にどの程度変形するかといったような性能が照査される。特に防波堤では堤体自体の滑動量や消波ブロックの移動量などその変形量が越波に対する性能や消波性能などに大きく関わっている。しかしながら、堤体自体の変形量・破壊量は計測が可能であるが、消波ブロックの変位を計測することは現状では困難であり、消波ブロック構造物の性能を定量的に評価するうえでの課題となっている。

一方、渡部・三戸部(2009)¹⁾は物体表面の3次元形状を座標化する新たな画像計測法を開発した。この計測法はプロジェクターから投影されるカラーパターン照明下にある物体表面をデジタルカメラで撮影することで、その物体表面の3次元座標を取得するものであり、固体・液体双方に適用が可能である。本研究ではこれを消波ブロック被覆堤の形状計測に適用し、その消波ブロックの安定実験に対する適用性・有効性を検証する。

2. 計測アルゴリズム

本計測法では既知である投影カラーブロックをPCプロジェクターにより物体に照射し、その物体表面における反射光を1台のデジタルカメラで撮影することで計測を行う(図-1参照)。なお、投影カラーブロックは隣接する色のパターンがすべて異なるように配置されており、すべてのカラーブロックの座標をその色の配置から決定できる。カメラおよびプロジェクター双方に対しピンホールモデルを適用する。カラーブロックを投影するプロジェクタ座標、個々のブロックが照射された物体の実座標、そのカラーパターンを撮影するカメラ座標の3つの座標系をピンホールモデルに基づく幾何学的な関係に基づき決定する。非線形方程式系となるこれらの関係は予め実座標が既知であるグリッドボードに対して行うキャリブレーション撮影から得られた対応する3つの座標に対し最小二乗法により決定される。

本計測法の計測精度は計測距離70cmの実験室スケールにおいて誤差の最頻値が0.09mm程度(渡部・三戸部、2009)¹⁾、大スケールの物体に対しても計測距離の

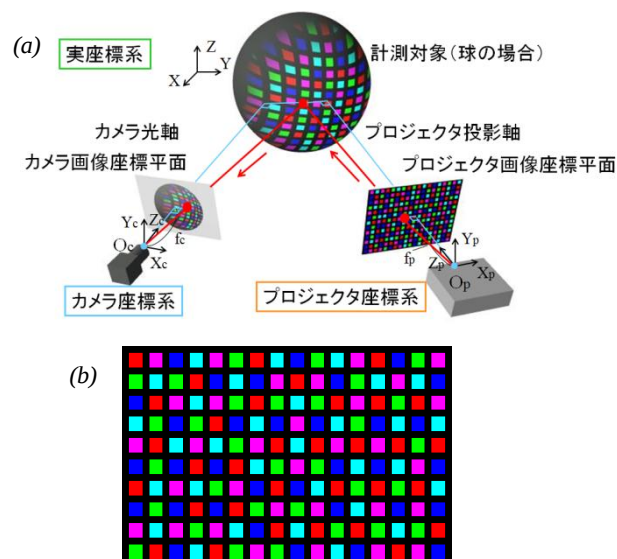
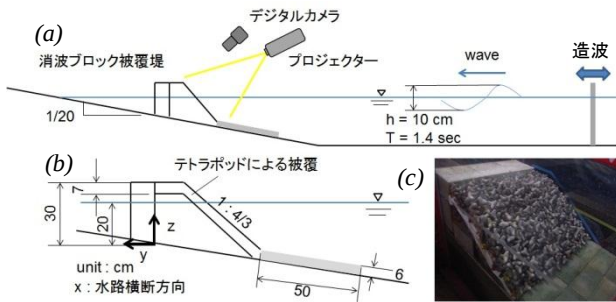


図-1 ピンホールモデルと座標系(a)、投影カラーパターン(赤・緑・青・シアン・マゼンタ)(b)

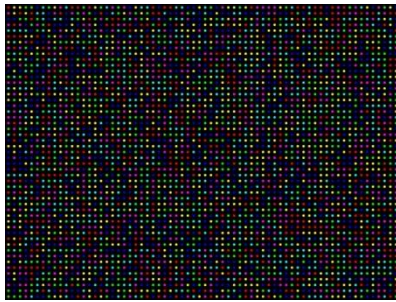
0.1%以下の誤差しか生じない実用上十分な精度で計測可能であることが確認されている。また、本計測法の計測の解像度は投影カラーパターン画像および計測距離の調整により任意に設定が可能である。

3. 実験方法

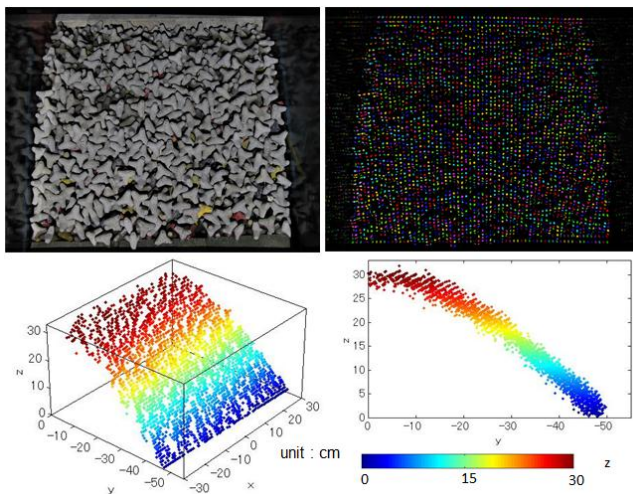
天端高30cm、法面勾配1:4/3の消波ブロック被覆堤を、勾配1/20、延長25m、幅0.6m、高さ1mの2次元造波水槽中に設置する(図-2)。水路一端に設置した造波板により発生させた周期1.4sec、波高10cmの規則波が、消波ブロック被覆堤の法先から沖側50cmにわたり設置した厚さ6cmのコンクリート床上で碎波し消波ブロックに衝突することで消波ブロック被覆部に変形が生じる。本実験ではその変形前後の堤体表面の形状の計測を行い、その変形量について評価を行う。水深は直立部前面において20cmとした。消波ブロックには高さ4cmのテトラポッド模型を使用した。デジタルカメラ(解像度2816×2112、シャッタースピード1/60sec)およびプロジェクター(解像度1024×768)を水路上部に設置し、プロジェクターから6色に色分けしたカラーパターン(図-3)を照射し計測を行った。本実験における計測解像度、すなわち物体上でのカラーブロック間隔は約1cm程度であった。プロジェクター照明光は水面を通過す



図—2 実験装置の概要図(a)、消波ブロック被覆堤部分の拡大図(b)、消波ブロック被覆堤の写真(c)



図—3 実験で使用したカラーパターン（赤・緑・青・マゼンタ・シアン・イエローの6色）

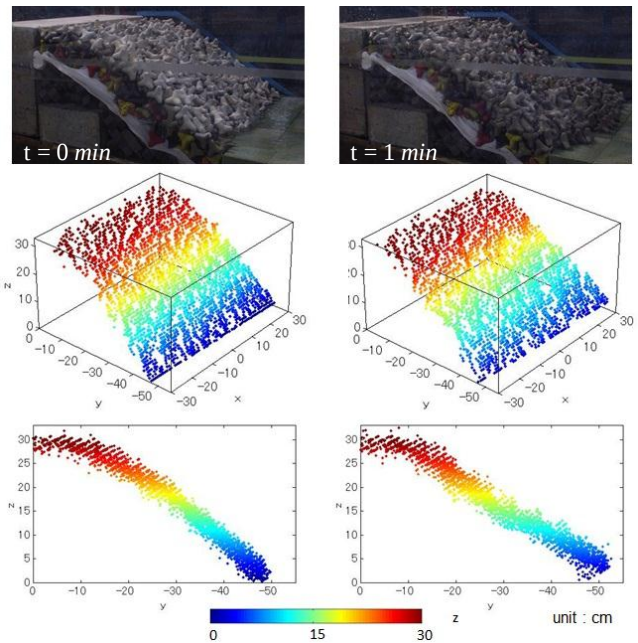


図—4 変形前の消波ブロック被覆堤の撮影画像（左上）、カラーパターン撮影画像（右上）計測結果（下）。計測結果の色は高さを表す

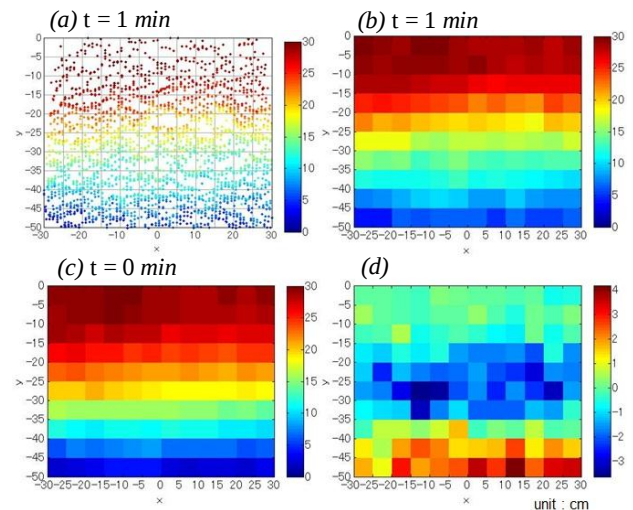
る際に屈折するため、水中に位置する物体の表面形状は水面を介して適切に計測することができない。本実験では消波ブロック被覆部分全体の形状を計測するために、水槽から水を抜き水面による屈折の影響を受けない状態で計測を行った。なお本実験は模型縮尺 1/50 を想定している。

4. 結果

変形前の消波ブロック被覆堤に対する表面形状計測結果を図—4 に示す。テトラポッドの脚部の陰になっている部分や消波ブロック被覆層内部の形状は計測することができないが、プロジェクターから投影されるカラーパターン照明がカメラにより撮影される全領域において、



図—5 変形前（造波時間 $t = 0 \text{ min}$ ）の写真および計測結果（左）と波浪により変形した消波ブロック被覆部の形状（ $t = 1 \text{ min}$ ）の写真および計測結果（右）



図—6 造波時間 $t = 1 \text{ min}$ の計測結果に分割メッシュを描いたもの(a)、およびその各分割領域内での鉛直方向座標平均値 (b) $t = 1 \text{ min}$, (c) $t = 0 \text{ min}$ とその造波開始 1 分後の初期状態からの変化(d)。色は高さを表す

その多数の模型テトラポッドからなる複雑な表面座標を取得することができた。次に造波開始から 1 分後の形状を計測し、変形前の形状と比較したものを図—5 に示す。図—5 (右) の計測結果から、斜面中腹に位置していた消波ブロックが減少し、他の部分と比較して大きく破壊が進んでいることが見て取れる。取得した表面座標をもとにこのような局所的な変形・破壊に対し定量的な評価を行うことが可能である。計測領域を x, y 方向にそれぞれ 5 cm 間隔のメッシュ状に分割し、各領域内に位置する計測点の鉛直方向座標 z の平均値をとったものを図—6 に示す。この各分割領域内における鉛直方向座標の平均値についてその初期状態からの変化量（図—6(d)）をと

ることで、面的かつ定量的に構造物の変形量を評価することができる。

5. 結論

渡部・三戸部（2009）¹⁾が開発したプロジェクターとデジタルカメラによる3次元表面形状計測法を消波ブロック被覆堤の形状計測に適用した。多数の模型テトラポッドからなる複雑な構造物形状が適切に座標化された。

本計測法により、現在までその定量的な計測が困難であった消波ブロックの飛散状況など波浪による消波ブロック構造物の変形・破壊量を定量的かつ面的に評価することが可能となる。

この物体形状計測法は本論でのべたような実験室スケールだけではなく、高輝度プロジェクターを用いることで屋外での計測も可能であり、実験室内のみでなくフィールドにおける消波ブロック等構造物の変位計測も可能とするような計測法である。

参考文献

- 1) 渡部靖憲、三戸部佑太：固体・液体表面の3次元形状計測法の開発、土木学会論文集 B2（海岸工学）、Vol. 65(2009)、No.1、pp.1466-1470、2009.