

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420172

研究課題名(和文)津波消波ブロックの水理実験における時間的に変化する波の高さの3次元測定

研究課題名(英文)The measurement of the tsunami surface for the block to weaken the force of the wave by the waterway experiment

研究代表者

田代 発造 (Tashiro, Hatsuho)

富山大学・大学院理工学研究部(工学)・教授

研究者番号：80179689

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：津波を想定した水理実験で消波ブロックによる波の高さの3次元計測システムを作った。カメラ画像に歪があっても空間座標を記憶しておく方法に成功した、特徴点の無い水面に発砲ビーズを浮かべ実験を行った。その際、水面上の解析点を分離するために発砲ビーズに色を付けた。また、発砲ビーズの直径がわかっているので、それを利用したプログラムで特徴点を検出できた。静止水面における測定データの標準偏差は2.7[mm]であり、その程度の誤差が生じると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The damage of the tsunami which is the second damage of the earthquake is serious, and the block to weaken the force of the wave as the measures is studied. We used the stereograph method for the performance evaluation of the block. In addition, because the general stereograph method receives the distortion of the camera, we used technique to memorize coordinates in space to reduce the influence. Because there was not a characteristic point on the surface of the water, firing beads were floated there, and several times of experiments were performed. As a result, the standard deviation of the measurement is 2.7mm, and it is thought that errors at the same level occurs.

研究分野：工学

キーワード：機械計測 デジタル画像計測 津波 消波ブロック 防災

### 1. 研究開始当初の背景

東日本大震災以降、津波に関する研究は様々な方向から行われている。釜石港のケーソン式防波堤(高さ 8m, 厚さ 20m)は決壊、破損した。津波の破壊力を低減するための消波ブロックとして傾斜堤消波ブロックの研究があるが、ブロックが飛散する結果となっている。津波を堰き止めるのではなく、津波の破壊力を打ち消す構造の消波ブロックの研究が当大学で行われ、津波プロジェクト研究会を設置し、活動を行っている。考えられた消波ブロックの構造、流れのシミュレーション、水理実験、流速や圧力の測定、水面の高さ測定と評価が必要である。津波に関する実験は防波堤のような側面からの2次元モデルで行われることが多いが、2次的に置かれた消波ブロックの周りを流れる水の高さを3次的に測定することがプロジェクトでは望まれる。研究代表者は光による干渉測定、モアレや格子投影による物体形状の測定、デジタル画像計測による変形や形状の測定を行っており、非接触での3次元形状測定を行ってきた。今回は手法として図1に示すステレオ写真法を利用する。

一般にステレオ写真法は、2台のカメラにより同時に撮影した画像から、2台のカメラ位置と対象物体上の特徴点による三角測量法の原理を用いて、対象物との距離の計測を行う手法である。先行研究においては、背景を基準にしたステレオ写真法により、0.3mmの精度で静止物体の形状測定を行うことに成功している。背面を基準にすることで、測定の精度が向上し、さらに前面に置いた基準を事前に撮影することで、高精度にしている。

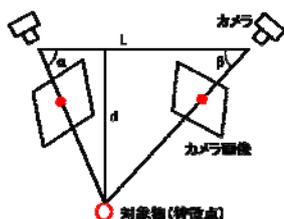


図1. ステレオ写真法の基本原理

### 2. 研究の目的

本研究は、津波に対する消波ブロックのための水理実験において、時間的に変化する水面の高さを3次元で測定する手法の検討とその測定精度の向上を目的とする。津波の破壊力を軽減できる構造を持つ消波ブロックの開発チームの発足に合わせ、その構造や効果のシミュレーション、水理実験とその計測、および評価を行う中で、本研究は津波を想定した水理実験において、時間的変化を3次元で測定し、評価に役立てるものである。

### 3. 研究の方法

#### (1) 測定装置と基本原理

ステレオ写真法では、カメラの歪により誤差が発生するという問題があり、計算をしない方法が求められる。その方法としてあらかじめ空間座標を覚える方法を使う。また、複数台のカメラを用いることで、陰の部分減らすと同時に、測定の精度を高められることが期待される。測定装置を図2に示す。4台のカメラをその相対位置が変化しないように固定した。カメラは正三角形の頂点位置と重心に置いた。カメラの向きは測定領域が適切に撮影できるように傾けた。その画像を図3に示し、得られた座標表示を図4に示す。座標はメモリの節約のために、XY座標をカラーで表現し、ファイル名で高さを記憶した。



図2. 測定装置

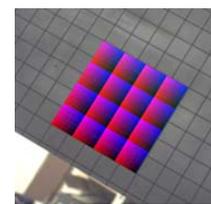
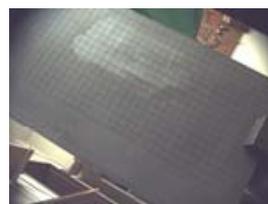


図3. 写真画像

図4. 座標解析画像

次に各カメラで共通する特徴点が、カメラのどの画素に写っているかの情報から特徴点の3次元座標を求めることができる。図5のように空間座標の位置が正しいとき各カメラで同一の座標に特徴点が存在し、近い場合や遠い場合は特徴点が交差しない。これにより特徴点の位置を算出する。

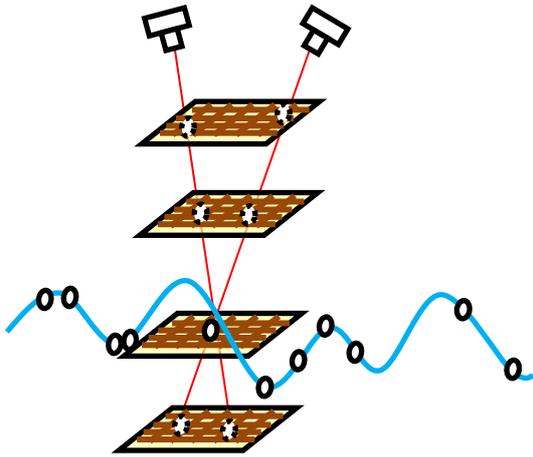


図5. 測定の基本原理

### (2) 水理実験装置の略図と消波ブロック

水理実験の装置および消波ブロックを図6に示す。水路の上部に4台のカメラを取り付けた固定枠を設置し、水路に消波ブロックを置いて津波を想定した水を流して撮影する。カメラの固定枠は相互の位置関係が空間座標を撮影した時と同じに保つためである。また、撮影の解析点として水路に色のついた発泡ビーズを撒いて使う。解析の際は発泡ビーズの中心点を特徴点とする。

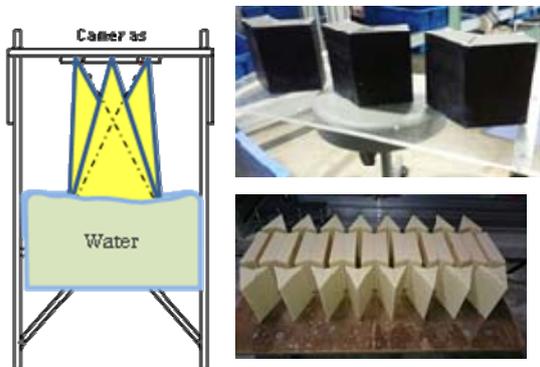


図6. 水理実験装置概略と消波ブロック A・B

### (3) 予備実験と問題の解決

はじめに、水面ではなく5mmごとの高さを持つ物体を測定した。その結果を図7に示す。次に発砲ビーズを水面に浮かべて解析を行ったが、発砲ビーズが水の表面張力によって連なってしまったため、図のように発砲ビーズに色を付け、色ごとに抽出を行うことで連なりの解消を図った。図8(a)は撮影画像の一部を拡大したもの、(b)はそこから青色の発砲ビーズを抽出したものである。色分けにより、ある程度の連なりが解消されているが、完全に解消されたわけではない。

そこで、発砲ビーズが同じ大きさであることを利用し、発砲ビーズと同程度の大きさの基準円を指定し、これを画像上で走査することで解析点を検出するプログラムの作成を行った。撮影した画像にエッジ処理を行い、輪郭線だけの画像に変換する。発砲ビーズと同じ大きさの基準円で走査を行い、基準円と輪郭線の一致が一定以上の時にその輪郭は発砲ビーズである、という判断を行う。これにより連なった発砲ビーズを切り離し、別々の解析点として処理を行うことができる。また、解析点を発見した際、基準円の中心点を特徴点とすることで、発砲ビーズが欠けて写っており、多少の歪があっても特徴点として処理することができる。その様子を図9に示す。これにより特徴点の数が飛躍的に増えた。

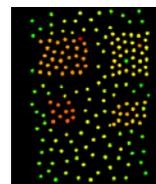
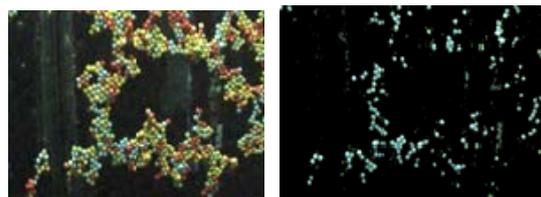


図7. 5mmごとの段差の測定結果



(a)画像 (b)青色のみを抽出

図8. 発砲ビーズの色分け

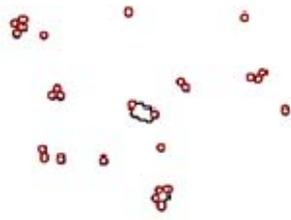


図 9. 特徴点の抽出

(4) 実験条件

実現象における津波の高さ 5m, 海の水深 10m, 津波の速度 6.06m/s として, 模型実験のサイズは 1/80 であり, 模型津波の高さ 0.06m, 模型水深 0.125m, 模型津波の速度 0.68m/s の実験を行った. 以後の実験結果は模型実験の単位で示す. 計測用カメラは最大 1 秒間に 180 コマの撮影が可能であるが, パソコンの性能を考慮して 1 秒間に 3 コマの画像を 4 台のカメラで撮影することにした.

(5) 実験結果 A

図 10 に解析結果の例を示す. 図(a)は左から波が押し寄せ, 消波ブロック A の終端で乗り越える瞬間の特徴点の高さを色で示している. 水面の形状の様子を理解しやすいように面状にして図(b)に示す. カメラからの距離 650[mm]を 0[mm]として表示している. また, ブロックの頂点は 20[mm]の位置にある.

静止水面時の平均水位は-56[mm], 波のブロック到達時のブロック付近の平均水位は 103[mm]であり, 波の高さはおおよそ 160[mm]であった. 静止状態の水面の計測データの標準偏差は 2.7mm であり, 各点の誤差は同程度である. 衝突後は水位が緩やかに変化しており, 3[sec]後の平均水位は 47[mm]であった.

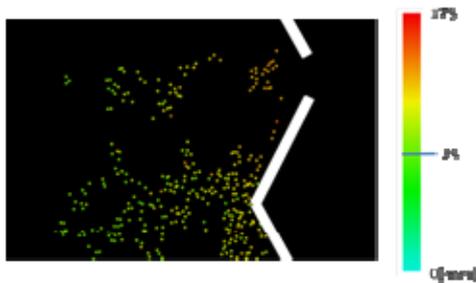


図 10. (a)消波ブロック A への津波と特徴点

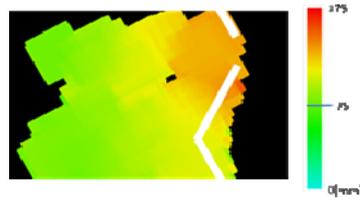
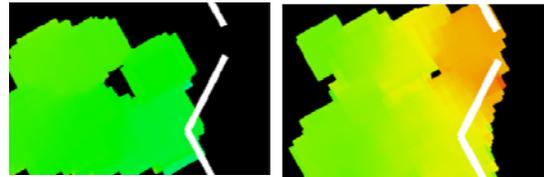


図 10. (b)津波のブロックへの衝突時波形状

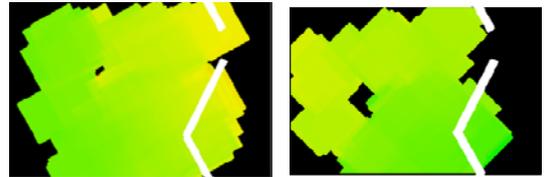
消波ブロック A に対して, 津波の最高水位になる前後 0.6 秒の変化を, 図 11 に示す.



(a)-0.6 秒: ほぼ静止水面 (b)-0.3 秒



(c)0 秒: 津波最高水位

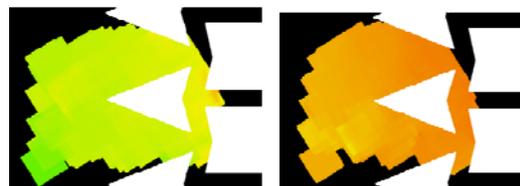


(d)0.3 秒 (e)0.6 秒: 反射波観察

図 11. 消波ブロック A による津波高さ

(6) 実験結果 B

消波ブロック B に対して, 津波の最高水位になる前後 0.6 秒の変化を, 図 12 に示す.



(a)-0.6 秒: ほぼ静止水面 (b)-0.3 秒



(c)0 秒: 津波最高水位



(d)0.3 秒

(e)0.6 秒

図 12. 消波ブロック A による津波高さ

#### (7) 結果

津波を想定した水理実験で消波ブロックによる波の高さの 3 次元計測システムを作った。カメラ画像に歪があっても空間座標を記憶しておく方法に成功した、特徴点の無い水面上に発砲ビーズを浮かべ実験を行った。その際、水面上の解析点を分離するために発砲ビーズに色を付けた。また、発砲ビーズの直径がわかっているので、それを利用したプログラムで特徴点を検出できた。静止水面における測定データの標準偏差は 2.7[mm]であり、その程度の誤差が生じると考えられる。

#### 4. 研究成果

水理実験で時間的に変化する津波水面の 3 次元表面形状を測定することができた。カメラのレンズによる歪の影響を無くすように、あらかじめ空間座標を覚えさせておくことに成功した。

しかし、サブピクセル処理による測定精度の向上はできなかった。直接的な測定対象である発砲スチロールの直径が 5mm あり、水面上に浮くこともあるが、わずかに沈むこともあり、測定精度の向上は望めなかった。

一方で、測定対象である発砲スチロールが水の表面張力により連なる問題に対して色による分割や直径が一定であることを利用して、連なりをプログラムの的に解決できた。2 種類の消波ブロックに対して、津波の条件をいくつか変えて実験を行った。それらの結果から、津波に対する消波ブロックの新しい形状の設計に役立つものと思われる。

#### 5. 主な発表論文等

[学会発表 2 件]

①水理実験における津波の表面形状の測定：北出稜，田代発造，笹木亮：精密工学会北陸信越支部講演会：2016 年 11 月 12 日：新潟大学

②水理実験における津波面形状測定：田代発造，北出稜，神谷和秀：2017 年度精密工学会春季大会学術講演会：2017 年 3 月 13～15 日：慶応大学

[図書 1 件]

①富山大学津波減災 PJ 研究会報告書：黒田，川口，松島，田代，小熊，竹内，們座：富山大学津波減災プロジェクト研究会：2017 年 3 月：全 89 ページ

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

田代 発造 (TASHIRO Hatsuzo)  
富山大学・大学院理工学研究部 (工学)  
・教授  
研究者番号：80179689