

## (20) ロードセルと Arduino を用いた簡易な 波力計測装置の開発

齋藤 憲寿<sup>1</sup>・渡辺 一也<sup>2</sup>・高橋 圭太<sup>3</sup>・蒔苗 純<sup>4</sup>・國井 優太<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 秋田大学大学院 理工学研究科技術部 (〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1)  
E-mail: nori@gipc.akita-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 秋田大学大学院 理工学研究科システムデザイン工学専攻  
(〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1)  
E-mail: kazuwata@gipc.akita-u.ac.jp

<sup>3</sup>非会員 秋田大学大学院 理工学研究科技術部 (〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1)  
E-mail: keitat@gipc.akita-u.ac.jp

<sup>4</sup>非会員 株式会社建設技術研究所東京本社  
(〒103-0007 東京都中央区日本橋浜町 3-15-1 日本橋安田スカイゲート)  
E-mail: jun-makanae@ctie.co.jp

<sup>5</sup>非会員 宮城県 (〒980-8570 宮城県仙台市青葉区本町 3-8-1)

東日本大震災の発生を受け、従来想定よりもかなり巨大な津波が来襲することが今後予測される。そのため、高所避難と浮体式シェルターを併用した複合的な避難に着目し、浮体式津波避難シェルターに四分力計を取り付けた津波実験が行われてきたが、四分力計は高価な機器であることや、段波のような衝撃圧に対して破損してしまうなど、取り扱いが難しい。本研究では、ロードセルと Arduino を用いた簡易な波力計測装置の開発して津波実験を行った結果、四分力計と同等に津波の水平方向の波力を計測できることが明らかとなった。

**Key Words:** load cell, arduino, wave force measurement equipment, Tsunami

### 1. はじめに

2011年の東日本大震災の発生を受け、従来想定よりもかなり巨大な津波が来襲することが今後予測される。また、津波発生時において避難行動を行う前の家族や隣人等への安否確認、またはその情報が得られないことが原因で避難が遅れるケースが多いことが判明している<sup>1)</sup>。そこで津波減災に寄与することを目的とした浮体式津波避難シェルターの利用が注目されており、これまでもシェルターが企業や高齢者向け住宅に設置されてきたが、近年では個人宅にも備蓄機能を備えたシェルターが設置されつつある<sup>2)</sup>。

浮体式津波避難シェルターに関する基礎的研究として、重松ら<sup>3)4)</sup>は第一波目が最大となる津波を想定し、シェルターに津波が作用したときの運動特性や波力を明らかにしている。また、渡辺ら<sup>5)</sup>や國井ら<sup>6)</sup>は高所避難と浮体式シェルターを併用した複合的な避難に着目し、第二

波目以降が最大となる津波を想定してシェルターに作用する挙動分析や流速・波力に関する検討を行っている。しかし、計測機器として用いられている四分力計は高価であることや、段波のような衝撃圧に対して破損してしまうなど、取り扱いが難しい。

本研究では汎用性に優れ、比較的安価なロードセル<sup>7)</sup>と Arduino<sup>8)</sup>を用いた簡易な波力計測装置の開発に伴い、電子回路の作製パラメータを決定するための載荷実験を行った。さらに、波力計測装置にシェルターを取り付けて第一波目または第二波目以降が最大となる津波実験を行い、四分力計との比較を行った。

### 2. 実験概要

- (1) 電子回路の作製パラメータを決定するための載荷実験

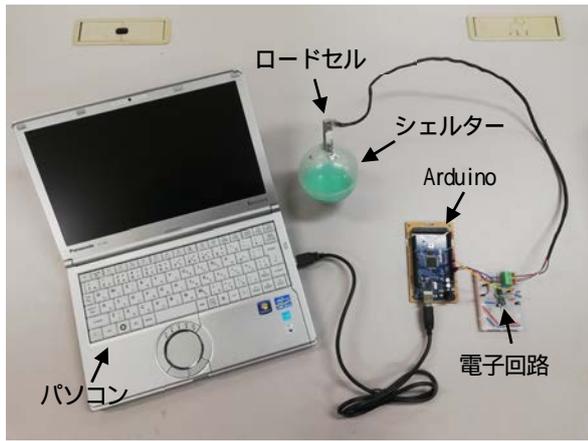


図-1 波力計測装置

表-1 電子回路の作製パラメータ

Step 1	電子回路なし
Step 2	高精度計装アンプ (LT1167CN8) により出力電圧を増幅
Step 3	DC-DCコンバータ (LTC1144CN8) により出力電圧を改善
Step 4	分圧回路により荷重計測範囲を拡張

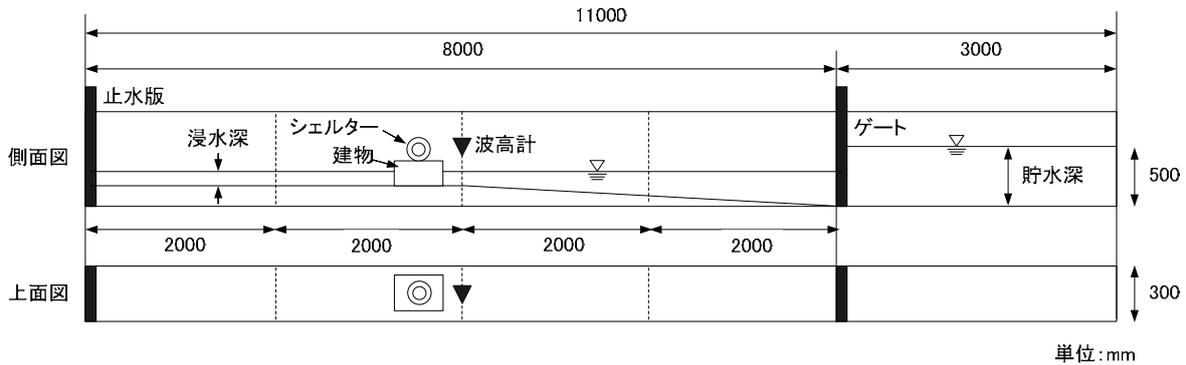


図-2 津波実験の概要

図-1 に波力計測装置を示す。シェルターの上部にロードセルを取り付けており、ロードセルの出力端子は電子回路を介して Arduino の ANALOG IN 端子に接続されている。また、出力電圧を AD 変換 (入力範囲 0~5V, 10 ビット) することで、デジタルデータとして PC に記録することができる。このような装置を開発するため、電子回路 (増幅回路, レベルシフト回路等を含む) の作製パラメータを決定する載荷実験を行った。実験方法はロードセルの片端を固定して出力端子を Arduino または電子回路へ接続し、端部に 82.7~494.3g のおもりを載荷して 5 秒間出力電圧を計測した。表-1 に電子回路の作製パラメータを示す。Step 1 では電子回路を使用せずにロードセルの出力端子を直接 Arduino Mega へ接続して出力電圧を計測した。Step 2 では出力電圧を増幅するための高精度計装アンプ (LT1167CN8) を経由して接続した。Step 3 では高精度計装アンプの電源電圧に DC-DC コンバータ (LTC1144CN8) から出力される負電圧を印加し、Step 4 では出力電圧をレベルシフトするための分圧回路を追加した。

## (2) 津波実験

図-2 に津波実験の概要を示す。ゲートを急開することで模擬段波を発生させ、段波は一様水深部、1/26 の一

表-2 津波実験のパラメータ

名称	浸水深 (cm)	貯水深 (cm)	シェルターの屋上設置位置	最大津波
No.1	0	40	前方	第一波目
No.2	0	40	後方	
No.3	7.5	35	後方	第二波目以降
No.4	7.5	30	中央	
No.5	15	30	中央	
No.6	15	40	中央	

様勾配斜面部を伝播した後、平坦な陸上部を氾濫するものとした。そして、20 ms ごとに建物の前方 9 cm の波高と建物屋上に設置したシェルター (縮尺 1/20, 直径 8.6 cm, 質量 78.0 g) へ作用する水平波力を計測した。

表-2 に津波実験のパラメータを示す。貯水深、浸水深およびシェルターの設置位置が異なる計 6 パターンとし、それぞれ 3 回ずつ行った。第一波目が最大となる津波を想定した実験は浸水深を 0 cm, 第二波目以降が最大となる津波を想定した実験は浸水深を 7.5 および 15 cm とし、浸水深は止水版を水路下端へ設置することで再現した。シェルターの設置位置は建物屋上の前方、中央、後

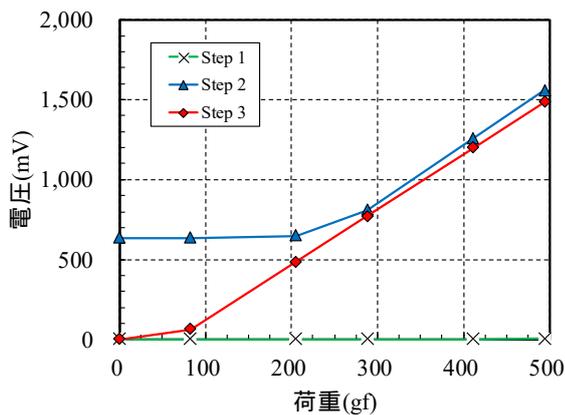


図-3 荷重と電圧の関係 ( Step 1~3 )

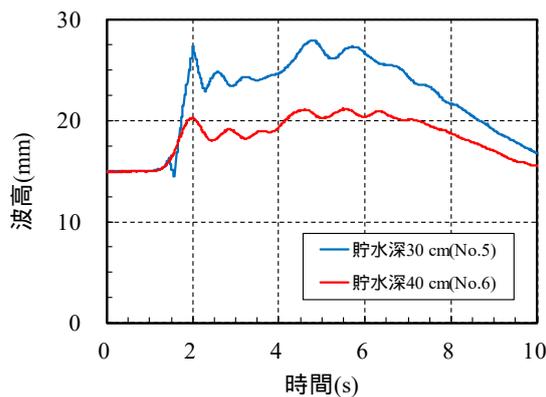


図-5 時間と波高の関係

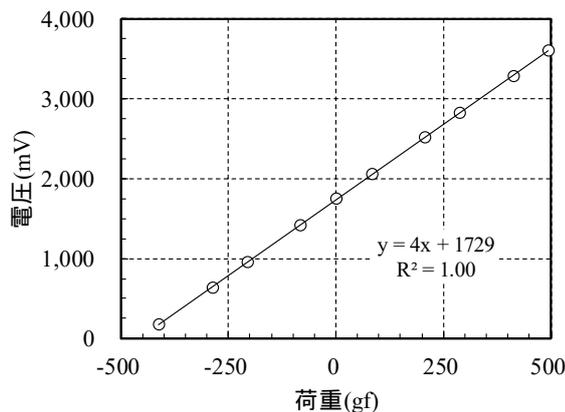


図-4 荷重と出力電圧の関係 ( Step 4 )

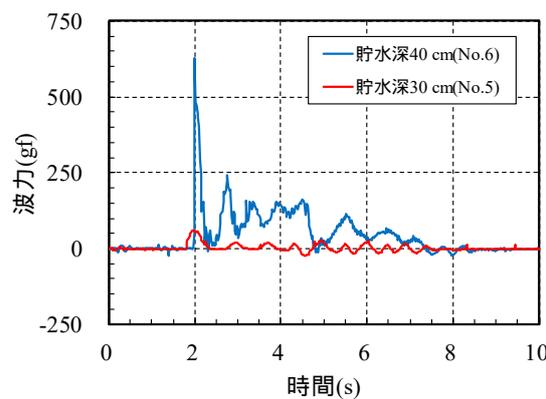


図-6 時間と波力の関係

方の3通りであり、それぞれ建物前面から後背面にかけて3 cm, 15 cm, 27 cmの位置とした。なお、シェルターは既往研究<sup>5)</sup>と同様にシェルターと建物の摩擦による影響を取り除くため、建物上部から5 mm浮いた状態で固定している。

### 3. 実験結果

#### (1) 載荷実験結果

図-3にStep 1~3におけるロードセルの荷重と出力電圧の関係を示す。Step 1では出力電圧が1 mV程度と非常に小さく、ArduinoのA/D変換の分解能以下(5 V/1024 = 4.9 mV)であるため計測は不可能であった。Step 2では高精度計装アンプを用いることで出力電圧を500倍程度増幅することにより、荷重の増加に伴う電圧の増加が見られたが、205.4 gf以下における電圧の変化は横ばいであった。Step 3ではDC-DCコンバータを追加することにより高精度計装アンプの出力電圧の範囲が-5 V~5 Vに拡張され、荷重100 gf以上では荷重と電圧の高い相関関係を得ることができた。しかし出力電圧の範囲が-5 V~5 Vであるのに対して、ArduinoのANALOG IN端子の入力範囲

が0~+5 Vであるため、荷重0~100 gf以下の計測精度の低下、および負の荷重の計測は不可能であった。

図-4にStep 4におけるロードセルの荷重と出力電圧の関係を示す。高精度計装アンプに備わっているレベルシフト回路と分圧回路の組み合わせにより、出力電圧を0~+5 Vの範囲に調整することができ、負の荷重から正の荷重に渡って電圧との高い相関関係を得ることができた。そこで電子回路をStep 4に決定し、波力計測装置の計測範囲は-437.5~+626.4 gf、分解能は0.22 g/mVであった。

#### (2) 津波実験結果

第二波目以降が最大となる津波(No.5,6)を対象に、波高およびシェルターに作用する水平方向の波力を計測した。図-5に時間と建物前方における津波の波高の関係を示す。貯水深に関係なく津波が建物に到達すると波高はやや上下するが、貯水深30 cmの最大波高は21.2 cm、貯水深40 cmの最大波高は28.0 cmであった。したがって、貯水深が大きくなるほど建物前方を通過する津波の最大波高は増加する傾向であったが、波高を維持する時間は同程度であった。

図-6に時間と津波の水平波力の関係を示す。貯水深30 cmの最大波力は61.4 gfであるが、貯水深40 cmでは

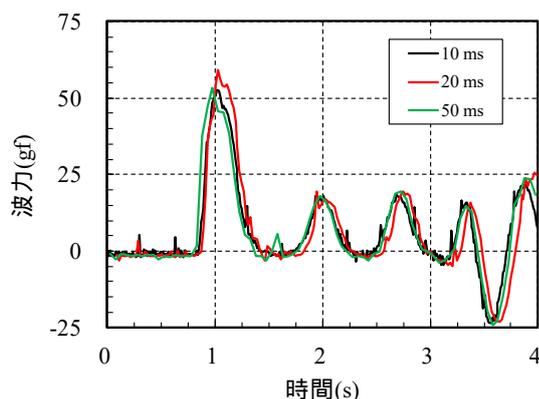


図-7 サンプリング間隔が異なる場合の時間と波力の関係 (No.5)

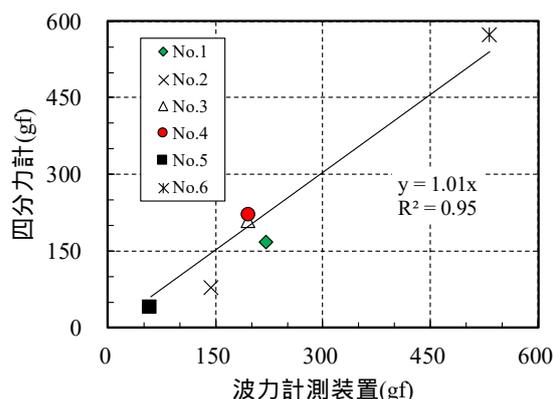


図-8 波力計測装置と四分力計の最大波力の関係

627.1 gf と増加していた．これは図-5 に示す最大波高の傾向と一致しているため，波力計測装置を用いて津波の水平波力を簡易に計測できることを確認した．しかし，本研究ではシェルターを建物屋上へ固定することで津波衝突後も継続的に波力を計測しており，実現象（シェルターへ津波が衝突後，浮いた状態で流される）とは異なるため，波力の計測方法については今後検討が必要である．

計測機器はサンプリング間隔ごとにデータを計測しており，間隔を適切に選択しなければ正確に計測できない場合がある．そこで No.5 を対象に，サンプリング間隔を変えてデータ計測を行った．図-7 にサンプリング間隔 10~50 ms における時間と波力の関係を示す．シェルターへ津波が衝突して大きな波力を計測した後も微小な波力を計測しているが，サンプリング間隔に関係なくデータ波形は概ね一致しており，間隔の違いが計測へ与える影響は小さいといえる．

波力計測装置と既往研究<sup>5)6)</sup>で用いられていた四分力計の比較を行うため，第一波目が最大となる津波 (No.1~2) および第二波目以降が最大となる津波 (No.3~6) の計 6 パターンについて最大波力の比較を行った．図-8 に波力計測装置と四分力計の最大波力の関係を示す．算出した近似直線の傾きは 1.01，相関係数は 0.95 と相関関係は良好であり，波力計測装置は四分力計と同等に波力を計測できることが明らかとなった．

#### 4. まとめ

本研究ではロードセルと Arduino を用いた簡易的な波力計測装置を開発し，波力計測装置にシェルターを取り付けて津波実験を行い以下の知見を得た．

- 1) 高精度計装アンプ (LT1167CN8) ，DC-DC コンバー

タ (LT1144CN8) および分圧回路を組み合わせることにより，ロードセルの荷重と出力電圧の高い相関関係を得ることができた．

- 2) 波力計測装置と四分力計の相関関係は良好であり，津波の水平方向の波力を簡易に計測できることが明らかとなった．また，Arduino を計測機器として使用する場合，サンプリング間隔に関係なくデータ波形は概ね一致しており，間隔の違いが計測へ与える影響は小さいといえる．

#### 参考文献

- 1) 内閣府：東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会 第 7 回会合，  
<<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chousakai/toho-kukyokun/7/pdf/1.pdf>>，（入手 2019.12.12）．
- 2) 光レジン工業：津波避難シェルター HIKARi ，  
<<https://www.shelter-hikari.com/>>，（入手 2019.12.12）．
- 3) 重松孝昌・明知顕三・小池敏也：浮体式津波避難シェルターの開発に関する基礎的実験，海洋開発論文集，Vol.24，pp.105-110，2008．
- 4) 重松孝昌・中東大輔：二重式浮体式津波避難シェルターの運動特性に関する実験的研究，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.67，No.2，pp.1\_751-I\_755，2011．
- 5) 渡辺一也・遠野雄樹：建物上に設置した浮体式シェルターの挙動分析と流速・波力に関する検討，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol.73，No.2，pp.1\_204-I\_209，2017．
- 6) 國井優太・渡辺一也：津波シェルターに作用する波力と運動特性に関する検討，東北地域災害科学研究，Vol.54，pp.31-36，2018．
- 7) SENSORCON：Single Point Load Cell - SC616C-500g ，  
<<http://akizukidenshi.com/download/ds/sacc/SC616C-500g%20data%20sheet%20.pdf>>，（入手 2020.1.10）．
- 8) IDEAHACK：Arduino シリーズ 15 種類の違いまとめ比較表，  
<<http://ideahack.me/article/134>>，（入手 2020.2.15）．