

ロードセルを用いた津波漂流物の衝突力に関する検討*

秋田大学理工学部 高橋 陸

秋田大学大学院理工学研究科 齋藤憲寿・渡辺一也

1. はじめに

2011年の三陸沖で発生した津波は、過去に起きた津波よりもはるかに上回り、東日本に大きな被害をもたらした。津波発生時の避難方法として、耐久性のある構造物¹⁾やシェルター等の漂流物を用いた避難方法が有効であることが示されており、それらの耐久性や安全性の検討を行うため、模型を用いた実験が行われている。

また、秋田港周辺には、洋上風力発電施設やコンテナ群が近い距離に位置する。東日本大震災では津波によって漂流した廃棄物は、2000万トンを超え、コンテナ、流木、船舶等が挙げられる。東日本大震災のような地震がこれから秋田港沖で発生した場合のことを考慮する必要がある。

既往研究として、中尾ら²⁾は圧力計を用いた桁の圧力の検討、蒔苗ら³⁾は水路に固定したシェルター模型を使用し、重松ら⁴⁾は漂流物模型を使用して波力を計測している。荷重を受けるものに対しての研究は行われてきたが、衝突する影響を与える側についての研究はあまり多くない。

本研究は、構造物および漂流物にロードセルを用いて津波によって漂流物が構造物に衝突した際の荷重を計測し分析を行った。

2. 実験概要

(1) ロードセル

ロードセルは図-1に示す。既往研究では、四分力計を用いて津波による波力を計測してきたが、本実験ではロードセルを用いて荷重を計測した。ロードセルの計測方法はひずみゲージによる計測であるため比較的単純な構造であり、体重計や本実験のように用途に合わせた製作が可能である。

ロードセルの設置場所は、構造物上部、喫水5cmであることから漂流物下部から2.5cmとした⁵⁾。また、図-2で示すキャリブレーションを行い、実験に使用する上で異常がないか確認した。

荷計重計測間隔は、0.02秒ごととした。なお、ロードセルはArduinoと呼ばれる8ビットマイコンボード、Processing/Wiring言語を実装した統合開発環境より構成されるシステムを利用しパソコンと接続することで計測や記録を可能とした。ロードセル及びArduinoは小型かつ安価なため技術ハードルが低く、低コストである測定を可能としている⁶⁾。

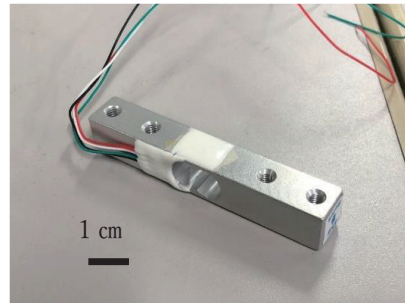


図-1 ロードセル

* Study on Impact Force of Tsunami Drifting Objects Using Load Cells by Riku TAKAHASHI, Noritoshi SAITO and Kazuya WATANABE

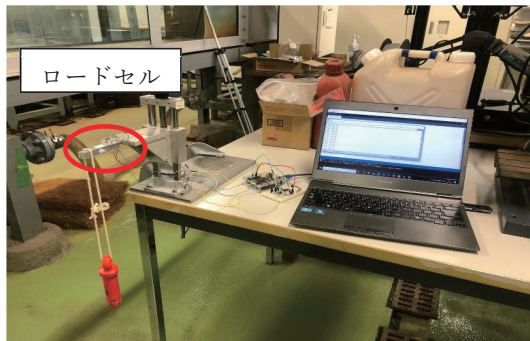


図-2 キャリブレーションの様子

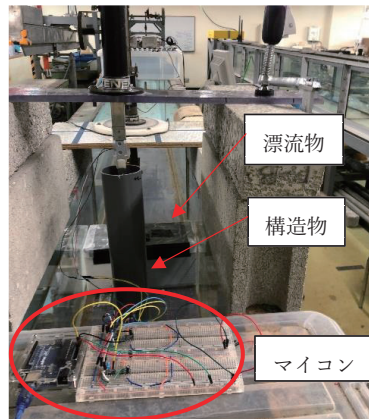


図-3 水路下端から見た模型配置

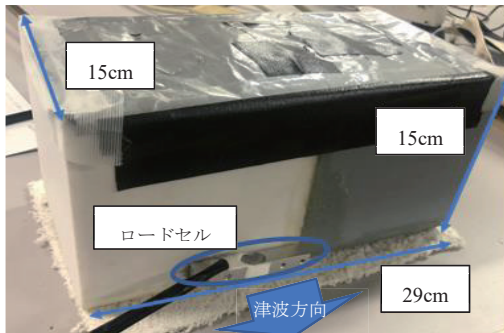


図-4 漂流物模型

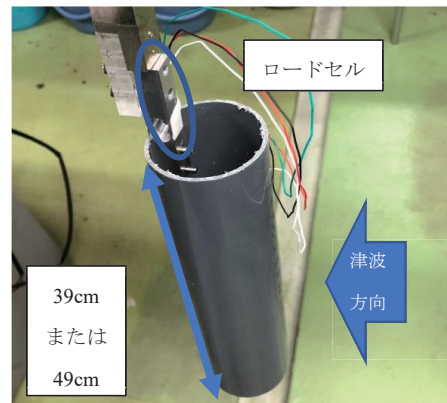


図-5 構造物模型

(2) 漂流物模型

構造物模型，漂流物模型，マイコンやPCの実際の配置は，図-3に示す。

漂流物模型は，既往研究と同様に3Dプリンターで作られた直方体の浮体を使用した。模型が津波によって左右に回転しないように全長を水路幅に合わせるため，模型のサイズは，幅29.0cm，高さ15.0cm，長さ15.0cmであり，模型の喫水は模型底面から5cm，内部のおもりは1051g入れ，全体の重さは2100gとなった。漂流物模型は図-4に示す。

(3) 構造物模型

構造物模型は，塩ビパイプを切断し，39cm，49cmの2つを想定した。構造物は，曲げによる影響や単純な荷重計測として扱いにくいことから底面から0.5cm離している。浸水深を0cmとする場合は39cm，浸水深を7.5，15cmとする場合は49cmの塩ビパイプを用いる2種類の塩ビパイプを用いるのは，浸水深の条件を変えることで構造物に漂流物が当たる高さが変わってしまいロードセルが計測する荷重に違いが生じることを防ぐためである。構造物模型は図-5に示す。

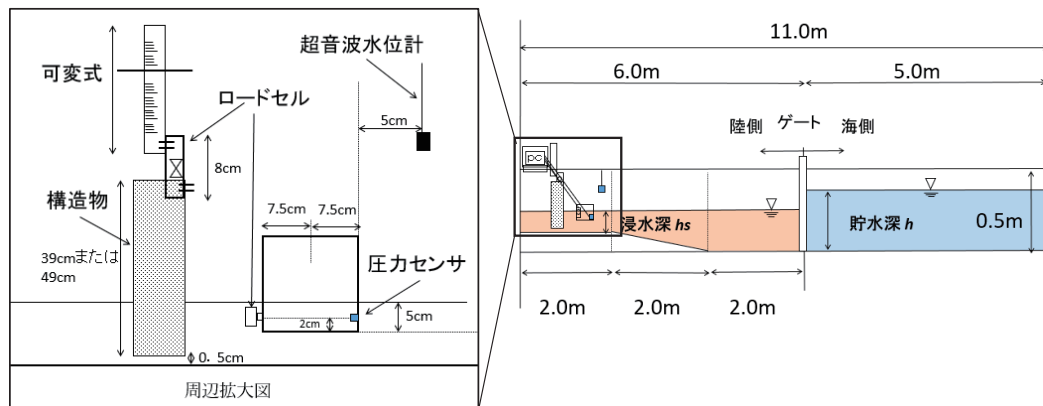


図-6 水路の概略と構造物周辺

(4) 実験水路

実験水路の概略と構造物周辺に関して図-6に示す。実験水路は幅 0.30 m、高さ 0.50 m、全長 11.0 m であり、海側 5.0 m、陸側 6.0 m、斜面勾配 1/26 の鋼製矩形水路を使用した⁷⁾。

貯水深は、ゲート右手側に溜めた水であり、 $h = 20 \sim 30$ cm、浸水深はゲート左手側に溜めた水であり $h_s = 0 \sim 15$ cm の間で実験を行うものとする。

実験手順は、水路の海側にある貯水槽に水を貯め、実験水路のゲートを急開することにより、模擬津波を発生させた。漂流物は、勾配斜面部を流れた後、漂流物模型に衝突する。本研究は、津波の第一波目を浸水深 0 cm、第二波目以降を浸水深 7.5 cm、15 cm とした。

本実験では、貯水深 30 cm の場合、津波によって構造物の治具が破壊されること、貯水深 20 cm、25 cm 時の浸水深 15 cm の条件の場合、津波が弱く、漂流物が構造物に衝突しないことから 5 通りの条件をもとに検討していく。実験条件について表-1 に示す。なお、実験は 5 つの各パラメータを 3 回ずつ計測した。

表-1 実験条件

	浸水深 h_s (cm)	貯水深 h (cm)
第一波目の津波想定	0	20, 25
第二波目以降の津波を想定	7.5	20, 25
	15	30

3. 実験結果

図-7, 8 に挙動の経時変化, 図-9, 10 に水位の経時変化, 図-11, 12 に荷重の経時変化を示す。

(1) 貯水深 20, 25 cm, 浸水深 0 cm

第一波目の津波を想定した浸水深 $h_s = 0$ cm において、貯水深 $h = 20, 25$ cm と変化させた。

貯水深と浸水深の差が広がったことにより流量が増え漂流物の移動速度も速くなった。図-7 に示す、貯水深が 0 cm の場合、水路の幅に合わせて作った漂流物の影響と喫水がないことから水路へ水

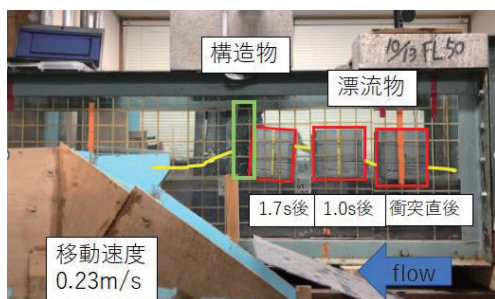


図-7 浸水深 0 cm 時の挙動の経時変化

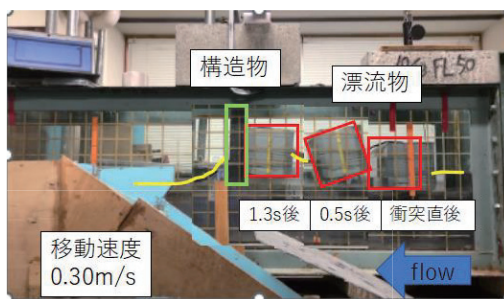


図-8 浸水深 7.5 cm 時の挙動の経時変化

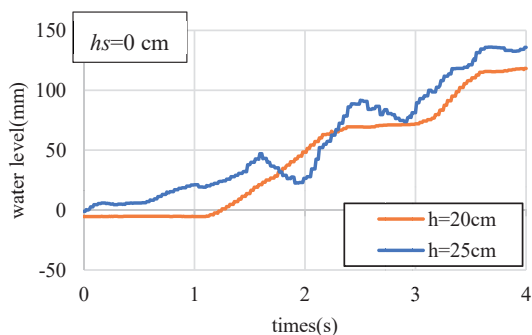


図-9 浸水深 0 cm 時の水位の経時変化

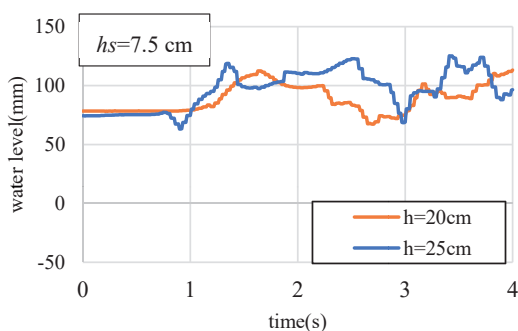


図-10 浸水深 7.5 cm 時の水位の経時変化

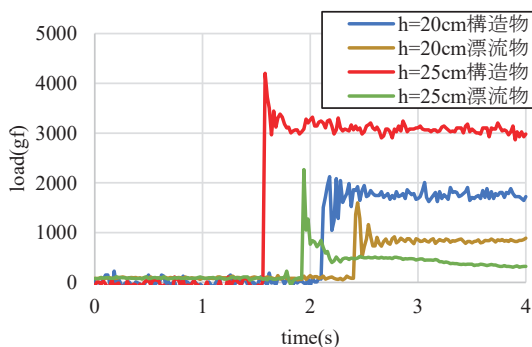


図-11 浸水深 0 cm 時の荷重の経時変化

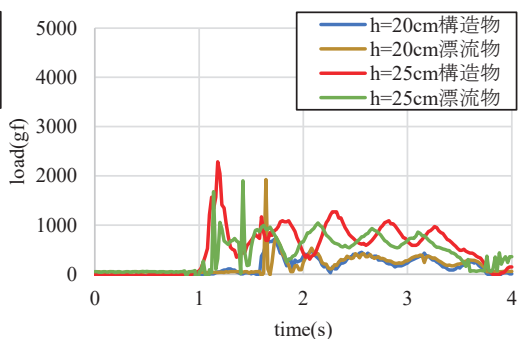


図-12 浸水深 7.5 cm 時の荷重の経時変化

があまり流れず、水をせき止めてしまうことから跳ね返りの影響で階段状の水位となり、急上昇していると考えられる。模型は津波の衝突直後に強く押し出され、やや傾きながら構造物へと衝突した。

荷重の経時変化は、構造物荷重を先に計測し、0.36 秒後に漂流物の荷重を計測した。荷重は、貯水深に関係なく津波衝突直後のピークが最大値としていた。同時に荷重が計測できなかった要因として、津波によって傾いた漂流物の上部に構造物が衝突した後、下部に取り付けていたロードセルに衝突したことで計測時間にずれが生じたと考えられる。

(2) 貯水深 20, 25 cm, 浸水深 7.5 cm

第二波目以降の津波を想定した、浸水深 $h_s=7.5$ cm において貯水深 20, 25 cm と変化させた。浸水深が 7.5 cm 時は、図-8 のように漂流物に喫水があることで、図-10 で示す、浸水深 0 cm 時のように水がせき止められることはなく、漂流物の下部より排出された。荷重の経時変化は、浸水深に水があることから緩やかに上昇している。貯水深 $h=25$ cm の時、ピークが2度測定されているが、津波衝突直後ではなく2度目のピークが最大値としていた。浸水深 0 cm 時と比べ、構造物、漂流物荷重は同時に計測し、荷重のピークの差は貯水深 20 cm では、608 gf、25 cm では、1204 gf となった。

(3) 貯水深 30 cm, 浸水深 15 cm

挙動の経時変化を図-13、水位の経時変化を図-14、荷重の経時変化を図-15 に示す。第二波目以降の津波を想定し、水位差を増加させた浸水深 $h_s=15$ cm において、貯水深 $h=30$ cm として実験を行った。浸水深 15cm の場合、喫水を十分に設けられることから津波発生後、漂流物は前後に傾きながら構造物へ衝突、水は水路下端へと排出され、反射波の影響も少なく漂流物の影響を受けず、水位を計測できた。しかし、漂流物荷重は、上記の4パターンとは傾向が異なり、荷重のピークを複数計測していた。荷重のピークを複数測定し、構造物や漂流物に対する直接的な荷重は計測できたが、継続的な荷重については正確に計測することが出来なかった。

(4) 貯水深と浸水深の差による比較

図-16 に各実験の貯水深及び浸水深の条件ごとに水位差に対する津波衝突直後の荷重の最大値の関係を示す。既往研究⁸⁾では、津波衝突時において水深の差が大きいほど波力の最大値が大きくなっていったが、本研究でも同様に、漂流物が計測した荷重は第一波目、第二波目以降ともに貯水深と浸水深の差が大きくなるほど荷重の最大値が大きくなった。

しかし、構造物が計測した荷重は第一波目、第二波目以降どの条件においても 1000~2000 gf と漂

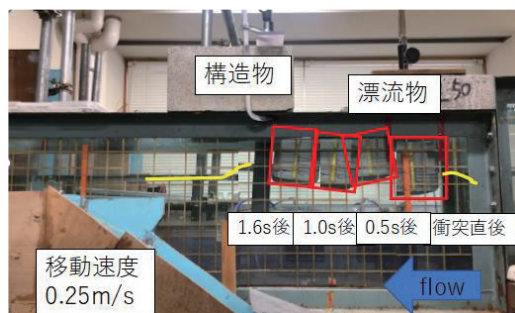


図-13 浸水深 15 cm 時の挙動の経時変化

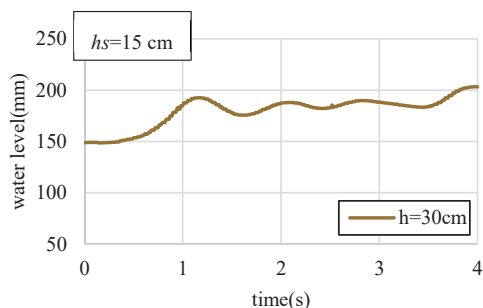


図-14 浸水深 15 cm 時の水位の経時変化

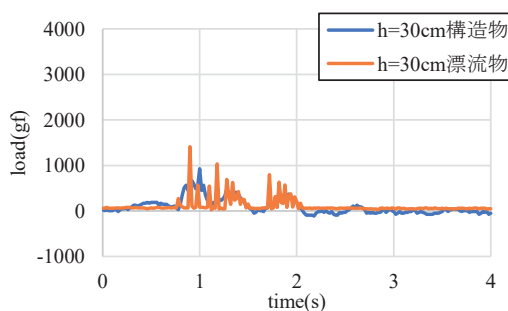


図-15 浸水深 15 cm 時の荷重の経時変化

流物荷重の傾向とは異なり、横ばいの傾向を示した。漂流物衝突時、構造物の固定はしているが構造物に用いた塩ビパイプが衝突によって後ろに傾く挙動を示したことから、受ける荷重を受け流し荷重を過小評価した要因となつたと考えられる。

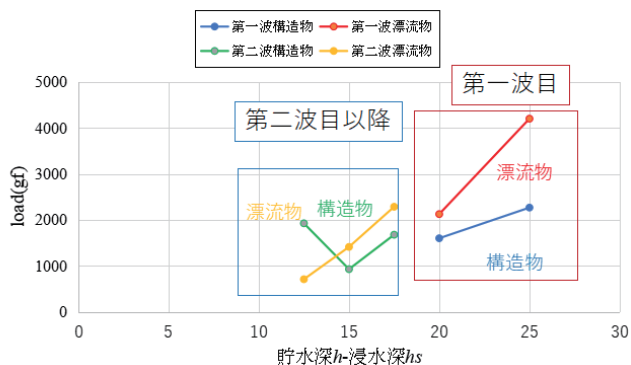


図-16 貯水深と浸水深の差による比較

4.おわりに

本研究では、ロードセルを用いて津波発生時の洋上風力発電施設にコンテナや船舶のような漂流物が衝突することを前提に、構造物及び漂流物に作用する荷重を計測することが確認できた。津波が発生すると、シェルター模型は津波と同方向に構造物へと向かい衝突する。条件ごとに貯水深や浸水深は異なるが、今回実験で用いた条件の範囲では、水位差が大きいほど漂流物、構造物の受ける荷重が増えるが、一定の荷重が加わると塩ビパイプが後ろに傾き荷重を過小評価していた。浸水深 0 cm 時と浸水深 7.5 cm, 15 cm の場合では、0 cm 時は喫水がないことから反射波を受け水位が上がり、浸水深のある状態とは異なる挙動を示した。

今後の展開として、浸水深の有無や貯水深の範囲を変えると云った条件ごとの水位と荷重の位置関係を合わせ津波による影響を細かく分析することや、最大ピーク値の差、水位差によって起こる違いがあるのか検討していく予定である。

参考文献

- 1) 小尾博俊：津波避難タワーの構造形式と漂流物の衝突挙動に関する数値解析的検討，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol.71, No.2, pp.I_1201-I_1206, 2015.
- 2) 中尾尚史，糸永航，野坂克義，伊津野和行，小林紘士：矩形断面桁に作用する津波の圧力特性に関する実験的研究，Vol.68, No.4, pp.I_1145-I_1150, 2012.
- 3) 蒔苗 純，齋藤憲寿，渡辺一也：ロードセルを用いた浮体式津波避難シェルターの波力に関する検討，東北地域災害科学研究，Vol.55, No.56, pp.101_106, 2020.
- 4) 重松孝昌，中東大輔：二重式浮体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.I_751-I_755, 2011.
- 5) 木村修一，近藤博，本間重雄：動的ロードセルの設置条件に関する一考察，土木学会論文集，Vol.65, No.777, pp.I_187-192, 2004.
- 6) Arduino 基礎入門!電子工作初心者のためのまとめ (前編) (<https://deviceplus.jp/Arduino/arduino-listicle-01/>) (2022-12-10 アクセス)
- 7) 望月良純，齋藤憲寿，渡辺一也：加速度センサを用いた漂流物の波力に関する検討，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，第 78 巻, No.56, pp.I_505-I_510, 2022.
- 8) 石塚大智，齋藤憲寿，渡辺一也：圧力センサを用いた漂流物の波力に関する検討，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，Vol.78, No.2, pp.I_103-I_108, 2021.