

防潮堤に作用する津波波力と衝突力の特性に関する模型実験

小野 秀平¹・平石 哲也²

Experimental study on characteristics of tsunami wave force and collision force acting on seawall

Shuhei ONO¹ and Tetsuya HIRAISHI²

Abstract

The Asakura et al. formula is used to estimate tsunami wave force acting on the land structure on the non-overflowing flow. The Matsutomi formula and the Ikeno et al. formula are used for the estimation of the collision force of the driftage thrust by the tsunami acting on the seawall. It is not clear whether these estimation formulas can be applied even in different situations from the proposed experimental conditions.

In this experiment, the tsunami wave force was measured in slope and upright topography. It is also done installing obstacles representing sandy beach or protective forest on the front of the seawall. We examined whether the experimental value can be evaluated by the past formula under these conditions different from the original Asakura et al. experiment.

In addition, we verified the collision force of the driftage acting on the seawall can be evaluated by the past formula by a different wave generation method from the Matsutomi and Ikeno et al. experiments.

キーワード：防潮堤，津波，波力，障害物，漂流物，衝突力

Key words: seawall, tsunami, wave force, obstacle, driftage, impact force

1. はじめに

2011年3月11日，宮城県沖を震源に東北地方太平洋沖地震が発生した。この地震によって引き起

こされた津波によって多くの防潮堤は倒壊や滑動，クラックが生じ，本来の機能を発揮できず，陸上部で甚大な被害が発生した。そこで従来の想

¹ 京都大学工学研究科社会基盤工学専攻
Engineering Department, Kyoto University

² 京都大学防災研究所
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

本報告に対する討議は平成30年2月末日まで受け付ける。

定規模をはるかに超えるレベル2津波が来襲しても防潮堤が本来の機能を発揮し、被害を縮小できるように防潮堤を粘り強い構造に設計していく必要がある。また、東北地方沖地震以前に建造された防潮堤はレベル2津波に対する設計外力を考慮していないため、来襲する津波による外力が設計外力を上回るか否かを把握することが必要になってくる。そのために、防潮堤が破壊される原因である津波波力や漂流物による衝突力を正確に評価することが求められている。

非越流時に陸上構造物に作用する津波波力の推定式として朝倉ら¹⁾の式がよく用いられている。朝倉らの実験は、沖から傾斜が続き、汀線位置で垂直に切り立つような、傾斜と直立が複合した地形で行われている。また、防潮堤前面に何も設置されていない。しかし実際には、沖から汀線まで傾斜が続いている地形や沖から傾斜が続き水平な地形を経たのち汀線位置で垂直に切り立つ地形も存在する。また、津波対策として防潮堤前面に砂丘や防護林を設けている地域も存在しており、様々な条件下でも朝倉らの式が適用できるか明らかにする必要がある。そこで本研究では、防潮堤前面の地形が先述したような傾斜地形、直立地形の場合、さらに防潮堤前面に砂丘や防護林を想定した障害物を設置した場合でも朝倉らの式が適用できるかを明確にすることを目的とした。また、障害物によって波力が低減される要因を考察した。

津波によって押し流される漂流物の衝突力は松富²⁾の式や池野ら³⁾の式等によって推定されている。これらの推定式が提案された実験では、貯水部のゲートを開放させることによって段波や陸上遡上流れを発生させている。本実験ではピストン式の造波機で波を起こしており、津波の先頭部分の立ち上がりを、より切り立った形状で再現している。孤立波の方が段波や陸上遡上流れよりも波先頭部分の波高が大きく、漂流物とともに運動する水量が大きくなることが予想されるため、付加質量が大きくなり、衝突力も大きくなると考えられる。さらに、模型が波の先頭部分と同時に衝突するように模型の初期設置位置を調整し、流体に

よる衝突力の緩衝効果を小さくするように試みた。よって本研究では、津波第1波先頭部分の立ち上がりを孤立波で再現し、ゲートの開放によって発生させた波より漂流物の衝突力が大きくなると予想される、より危険な条件でも既往の式的に正確に評価できるかを検証することを目的とした。

2. 既往の研究

防潮堤に作用する津波波圧の評価式として朝倉らの式と谷本⁴⁾の式の2式を採用した。2式を以下に示す。

$$p = 3\rho g \eta_{max} \quad (1)$$

$$p = 2.2\rho g \eta_{max} \quad (2)$$

ここで、 p ：構造物底面における波圧強度、 ρ ：水の密度、 g ：重力加速度、 η_{max} ：最大遡上水深である。朝倉らの式は浸水深のみの情報で津波波圧を推定することができるため、よく算定に用いられる。谷本の式は、国交省が耐津波設計ガイドラインにおいて海中に設置した防波堤に作用する津波波圧の算定式として採用している⁴⁾。本実験では陸上に設置している防潮堤が対象であるが、朝倉らの式同様、浸水深のみで津波波圧が推定できる簡便性を備えており、広く使用されている式であること、また防潮堤前面に障害物を設置した際、波力が小さくなることが予想されることから、朝倉らの式より静水圧補正係数が2.2と、小さな値の谷本の式を使用した方が実験値と近くなり、的確に評価できると考えたためである。初期浸水深を0として本実験で使用した。

漂流物の衝突力の算定式は運動量式、松富の式、池野らの式の3式を使用した。以下に3式を示す。

$$F = Mv / dt \quad (3)$$

$$\frac{F}{\gamma D^2 L} = 1.6 C_M \{v / (gD)^{0.5}\}^{1.2} \cdot (\sigma_t / \gamma L)^{0.4} \quad (4)$$

$$F / (gM) = S \cdot C_{MA} \cdot \{v / (g^{0.5} D^{0.25} L^{0.25})\}^{2.5} \quad (5)$$

ここで、 F ：漂流物の衝突力、 M ：漂流物の質量、 v ：漂流物の衝突直前の速度、 dt ：衝突作用時間、

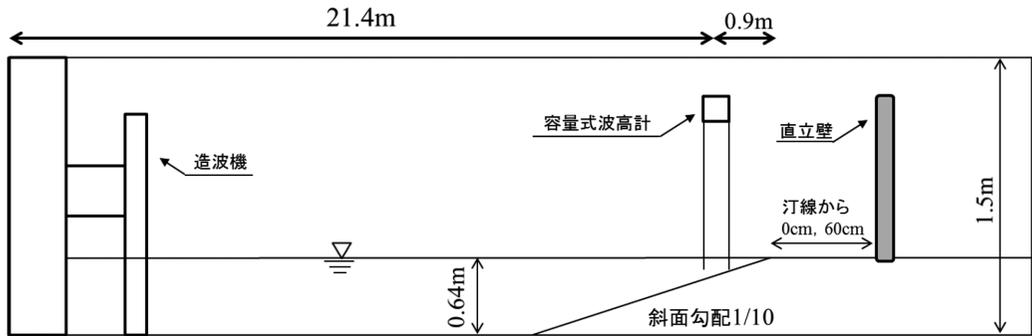
γ : 漂流物の単位体積重量, D (松富の式): 漂流物の直径, L (松富の式): 漂流物の長さ, C_M : 質量係数, σ_t : 漂流物の降伏応力, S : 係数, C_{MA} : 付加質量係数, D (池野らの式): 漂流物の代表高さ, L (池野らの式): 漂流物の代表高さである。松富の式, 池野らの式とは異なる造波方法を採用することで, 漂流物の衝突力が先行研究より大きくなると予想したが, 小さくなる場合に備えて, 付加質量が考慮されておらず, 2式より小さな衝突力を算出する運動量式も採用した。松富の式は流木を対象とした式なので流木模型の衝突力を算定し, 池野らの式は円柱, 角柱, 球を対象とした

式なので流木模型, 船舶模型の両方の衝突力を算定した。運動量式は流木模型と船舶模型の両方の衝突力の算定を行った。

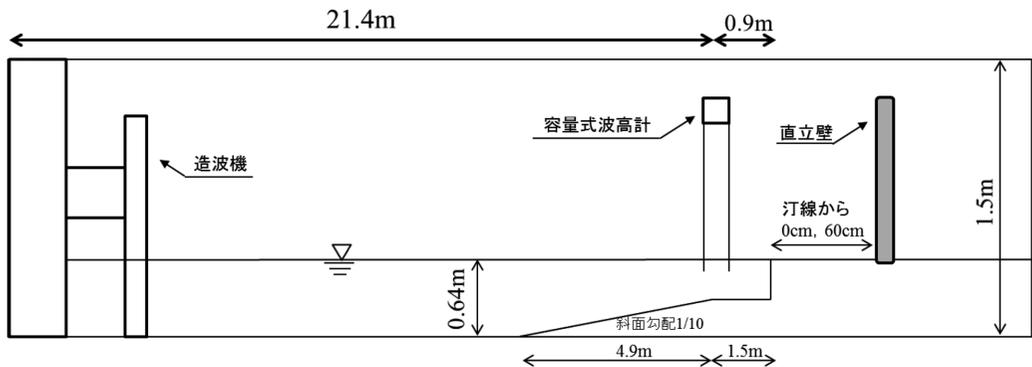
3. 津波波力実験

3.1 実験装置

実験で使用した水槽の概要を図1に示す。水路幅は1.0 mである。直立壁前面の地形は傾斜地形と直立地形の2種類である。傾斜地形の水路では, 津波造波機から勾配の始点までは一様水深64 cmとし, 陸上まで水平距離が6.4 mある1/10勾配の斜面を設けた。直立地形の水路では, 傾斜地形同



(a) 傾斜地形



(b) 直立地形

図1 実験水路概要図

様、津波造波機から勾配の始点まで一様水深64 cmであり、水平距離が4.9 mの1/10勾配の斜面を設け、1.5 mの水平部が汀線まで続く、陸上に切り立つ地形である。水槽底面はコンクリートである。直立壁前面の地形は砂で造成し、ゴム製のシートで覆うことによって不透水性としている。直立壁は高さが異なる2種類のステンレス板を用いた。両方とも幅は水路幅と同じ1.00 mで高さは1.10 mと0.95 mである。これは高さの違いでしぶきが堤内に入る越水状態と非越水状態の差別化を図ったためである。縮尺は1/40相当と仮定した。

3.2 計測方法

波高計、波圧計のいずれもサンプリング周波数を20 Hzで測定した。直立壁に設置している波圧計の位置を図2に示す。側線Aは直立壁の中心を通り、側線Bは側線Aより10 cm中心からずれている。実験値は側線A上の値を使用し、側線B上に設置した波圧計は、測定値に誤りがないか確認する目的で設置した。波圧計は直立壁底面から5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 30 cm, 50 cmの位置に設置しており、下から順に波圧計1、波圧計2、波圧計3、波圧計4、波圧計5、波圧計6とする。また、碎波の様子や波先端の衝突位置など波の微細な動きを観察するために高速度カメラを2台使用した。フレームレートは3000fpsである。

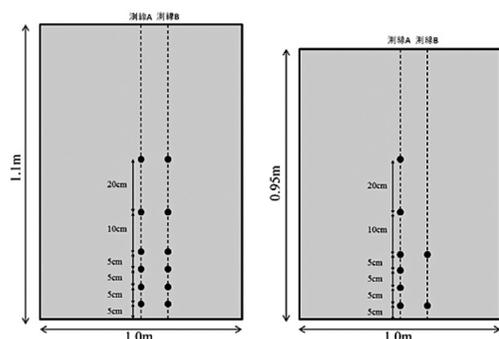


図2 越波させないように意識した直立壁(左)と越波を意識した直立壁(右)

3.3 実験結果(障害物なし)

(1) 実験条件

実験条件を表1に示す。実験で使用した孤立波の波高は7 cm, 11 cm, 15 cmである。高速度カメラの解析から、波高15 cmの波は汀線から数cm手前で碎波し、砕けた波の先端が地面に落下することなく直接直立壁底面に衝突する、最も波高が大きい波であることがわかった。防潮堤の安全評価を行うために波圧・波力が最も大きい状態が重要と考えため、波高15 cmを波高の上限とし、波高15 cmから等間隔で波高を小さくした波高11 cmと波高7 cmを採用した。他にも直立壁の設置位置、直立壁高さ、地形を変化させ、それぞれのケースで3回ずつ計測を繰り返した平均値を用いて解析を行った。なお、直立壁の高さを変えることによって、一方で越水を起こし、他方で越水を起こさないよう試みたが、越水を起こすように意識した0.95 mの直立壁が最大波高15 cmに対して大きかったため越水が起こらず、計測データの差が2種類の直立壁間で小さかった。しかし、データ数が多いほど精度が高い解析結果が得られると考え、2つの直立壁を区別して考えた。

(2) 最大波圧検出時の時刻

直立壁底面より5 cm上方から50 cm上方までの波圧を、高さ方向に積分して単位幅あたりの波力を算出した。波圧計間の未計測部は直線で補完した。波高15 cmの波を造波した時の、各ケースの各波圧計の時系列データを図3に示す。いずれのケースにおいても、波先頭部の衝突が確認されてから、約0.5秒経過した時刻に最大波力が検出されていた。最大波力を検出した時刻では、各波圧計の極値が揃っていることや緩やかに波圧が増加・減少していることから、重複波圧が作用していると推察した。波先頭部が防潮堤に衝突した

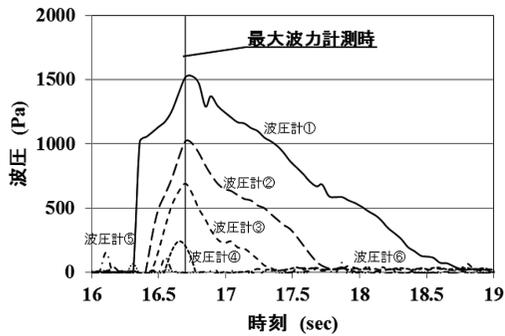
表1 実験条件

波高 (cm)	7, 11, 15
汀線からの位置 (cm)	0, 60
防潮堤高さ (m)	1.10, 0.95
直立壁前面地形	傾斜, 直立

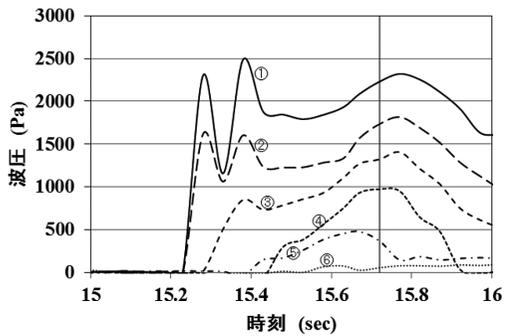
グラフには波高15 cm のケースのみを示しているが、波高7 cm・波高11 cm のケースでも、重複波圧を生じる時刻に波力が最大となっていた。

(3) 波力の評価

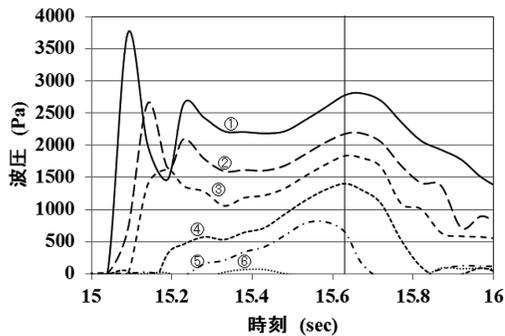
谷本の式と朝倉らの式で波圧を算出する際に用いる浸水深は、汀線から0.9 m 沖側に設置した波



(a) 波高 7 cm



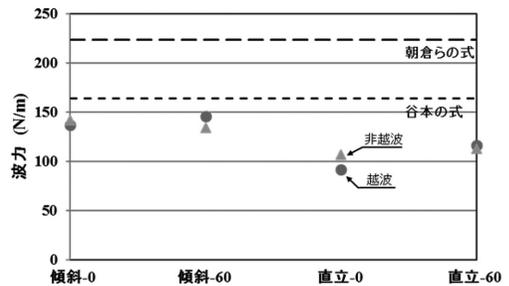
(b) 波高 11 cm



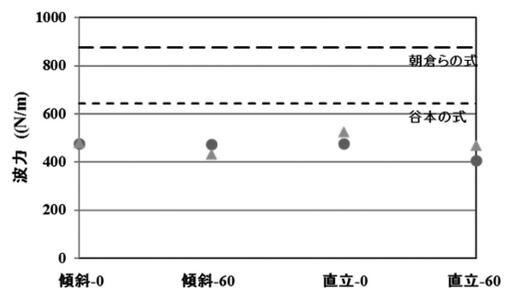
(c) 波高 15 cm

図3 最大波力検出時の各波圧系の時系列データ

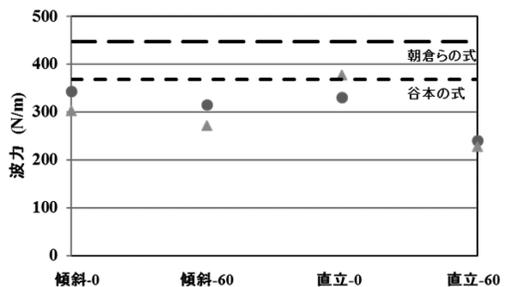
高計で計測した、各ケースの平均最大波高を用いた。直立壁に作用する単位幅あたりの最大波力を図4に示す。直立壁設置位置が同じとき、傾斜地形と直立地形それぞれで計測した最大波力に大きな差はないことがわかる。傾斜地形と直立地形では碎波開始位置が異なり、傾斜地形では汀線より手前で碎波が生じ、直立地形では汀線より陸側に30 cm 程度離れた場所で碎波が生じた。直立壁前面の地形や直立壁の設置位置によって、波先頭部が大きなしぶきを上げて衝突したり、波全体がし



(a) 波高 7 cm



(b) 波高 11 cm



(c) 波高 15 cm

図4 各ケースの最大波力(障害物なし)

ぶきを立てることなくきれいに反射したりしていた。しかし、図3で示したように波先頭部が衝突した後、約0.5秒のタイムラグで来襲する後方の波が重複波圧を作用する時に波力が最大となるため、波先頭部の挙動は関係なく、波高のみに依存するので傾斜地形と直立地形で最大波力に大きな差がないと推察した。

いずれのケースも、おおよそ谷本の式で算出した波力以下、または同等の波力が検出されており、谷本の式で安全かつ正確に評価できることが分かった。朝倉らの式で波力が過大評価となっているのは、朝倉らの式は多くの実験ケースの値を包括できるように余裕をもって静水圧補正係数3を設定しているためだと考えられる。本実験の実験条件においては、谷本の式の方でほとんど実験値を包括できており、実験値と算定値との差も小さいため、谷本の式の方が適切だと考えられる。

3.4 実験結果 (障害物あり)

(1) 実験条件

実験条件を表2に示す。汀線位置に障害物を設置するため、汀線位置に直立壁を置くことはできない。したがって、直立壁を汀線より30cm下げたケースを、障害物を設置しない場合での直立壁を汀線位置に設置したケースと比較した。障害物は5種類である。障害物を写真1に示す。それぞれの実験模型は木材と、消波材として用いられる人工樹脂素材の2種類の素材で構成されている。木材は砂浜を、人工樹脂(ヘチマロン)は樹木林を想定している。

(2) 波力低減効果の要因

各障害物を設置したケースの最大波力を、谷本の式で算出した波力と併せて図5に示す。障害物を設置していない場合でも実験値が谷本の式で算

表2 実験ケース

波高 (cm)	7, 11, 15
汀線からの位置 (cm)	30, 60
防潮堤高さ (m)	1.10
直立壁前面地形	傾斜
障害物	a, b, c, d, e

出した波力以下であったので、朝倉らの式で換算した波力では過大になってしまうためグラフには載せていない。障害物を設置していないケースと比較すると、すべての障害物で波力の低減効果が現れていることが確認される。波力の低減効果は、波の攪乱による空気の混入と障害物での反射による影響だと推察した。波の攪乱とは、砕波後の波の先端が障害物に衝突すること、また人工樹脂を透過することで気泡を含み、直立壁位置での実質浸水深が見かけの浸水深より小さくなることである。このことで重複波圧は小さくなったり、各波圧計のピーク値がずれたりする現象が生じる。例えば、直立壁を汀線より30 cm離れた位置に設置した、波高15 cmのケースの各波圧計の時系列データ(図6)を見ると、各波圧計の測定値が波打ち、不安定であり、最大波力が検出される時刻の各波圧計のピーク値がずれていることが確認される。高速度カメラの映像からも障害物に衝突後、波に多量の空気が含まれていた様子が観察された。障害物位置での反射とは、一部の波が障害物位置で反射を起し、障害物より陸側に流れ込む水量が小さくなることである。この現象は高速度カメラから確認された。障害物を設置していない時では、孤立波を造波しているので、盛り上がった1つの山の形状の波がやってきて直立壁位置で反射し、再び1つの山の形状の波が沖側へと帰っていく様子が確認された。しかし障害物を設置した時は、1つの山の形状で来襲した孤立波が、2つの山となって沖側へと帰っていく様子が観察された。これは障害物で一部の波が反射し、障害物を乗り越えた残りの波が直立壁で反射したためであると推察した。

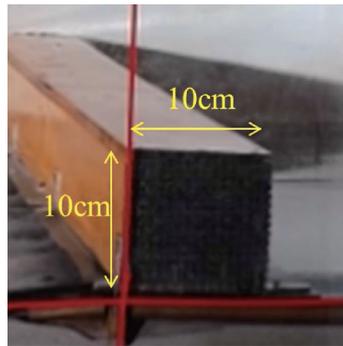
(3) 波力の評価

汀線より30 cm離れた位置に直立壁を設置した場合に、障害物bを用いた時に他の障害物と比較してわずかに波力が大きく検出された。これは障害物bのみが、障害物高さが5 cmと他の障害物より5 cm小さいため、砕波後の波の先端が障害物を乗り越える割合が大きいこと、障害物への衝突による波の攪乱が小さいこと、さらに反射の

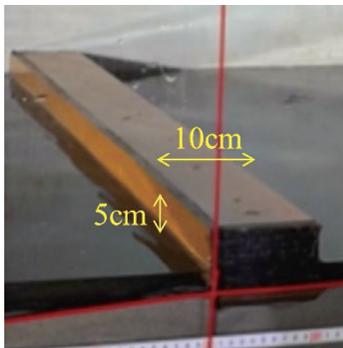
割合が小さいためだと考えた。

直立壁を汀線より60 cm 離れた位置に設置した時の、波高15 cm のケースの各波圧計の時系列データを図7に示す。直立壁を汀線より30 cm 離れた位置に設置したケースと比較すると、各位置での波圧の時系列グラフがさほど波打っていない

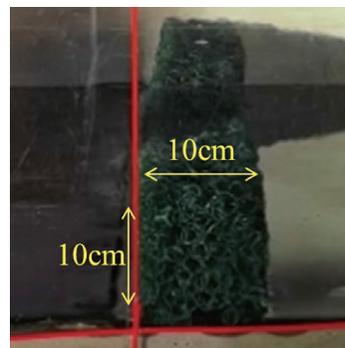
こと、また高速度カメラの映像より、陸上を遡上する過程で気泡が抜けていくことから攪乱による影響は小さいと判断できる。よって、攪乱の影響より反射の影響が波力の低減に大きく寄与すると考えた。障害物 b と障害物 c が他の障害物よりわずかに波力が大きく検出されたのは、障害物高さ



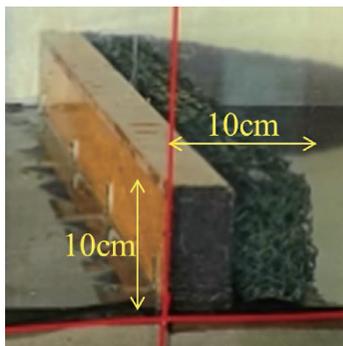
(a) 障害物 a



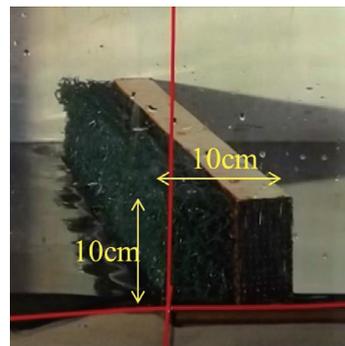
(b) 障害物 b



(c) 障害物 c



(d) 障害物 d



(e) 障害物 e

写真1 直立壁前面に設置した障害物 (左: 沖側, 右: 陸側)

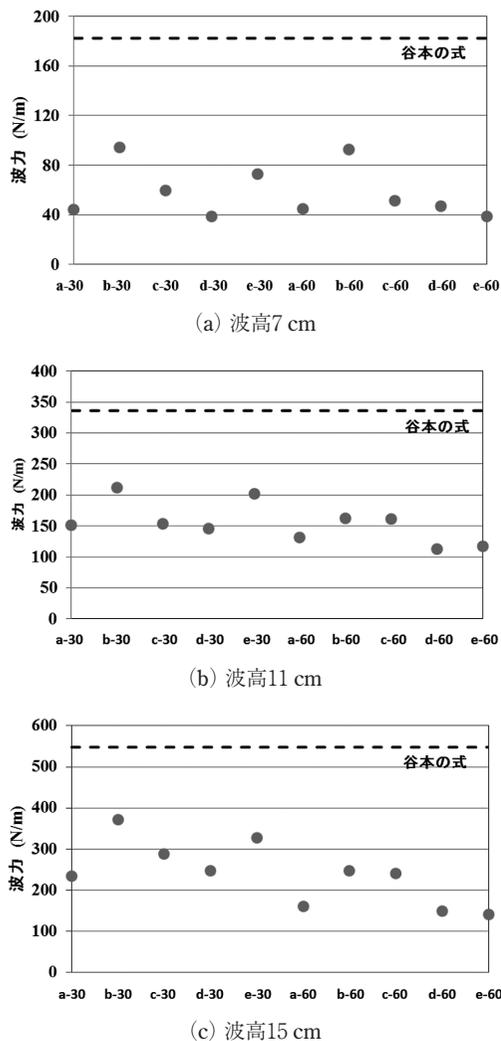


図5 各ケースの最大波力(障害物あり)

や障害物に対する流体の透過度合が原因であると考えた。

実験値は谷本の式で算出した波力の約20~70%となり、谷本の式では評価が適当ではなかった。障害物による波力低減の原因は、障害物高さや障害物に対する流体の透過度合が影響していると推察し、今後はそれらを変化させて実験を行い、波力と障害物高さ、障害物に対する流体の透過度合の関係を明らかにして推定式を提案する必要があると考える。

4. 衝突実験

(1) 実験装置

先の実験と同じ水路を用いて実験を行った。漂流物の模型として、流木と船舶を模した2つの模型を使用した。それぞれを写真2、写真3に示す。流木模型は衝突面積が小さいため、同様の模型を3本使用した。そのうち1本は20 gだが他の2本は19 gである。3本の模型を同一の形状に作る過程で1本のみ20 gと重くなってしまい、1本の模型のみが質量が異なる意図はない。船舶模型は衝突面積が大きく、容易に計測できたので1つの模型のみを使用した。質量は80 gである。流木模型、船舶模型のいずれも材質は木材であり、吸水による質量変動を避けるため、模型表面に防水塗装を施した。流木模型は熱帯性のラミン材、船舶模型は北洋材で作成した。

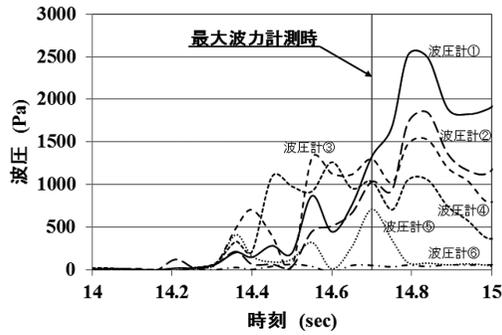
実際に防潮堤に作用する漂流物による外力は、波力と漂流物による衝突力を合算した合力である。したがって本研究で扱っている衝突力とは測定値をそのまま用いた、波力の影響も加味された値である。ロードセルによって衝突力を測定した。漂流物の模型に対してロードセル中心の感度部が小さいため、模型が衝突することは少なかった。そこで衝突力の検出の確率を上げるため写真4に示した装置を用いて測定した。アクリル板にロードセルを貼り付け、鉄板が貼り付けられた支持棒がロードセルの上を覆いかぶさるように取り付けられている。その支持棒を介して間接的に衝突力をロードセルの中心に伝える装置である。

(2) 計測方法

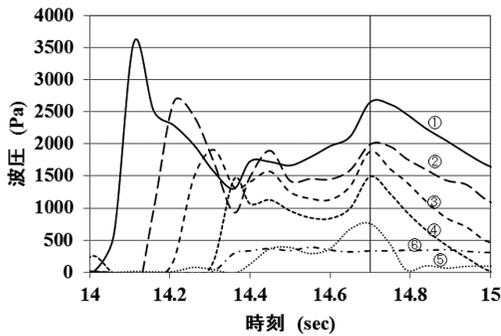
的確に模型が装置に衝突するように、模型の初期設置位置を変えて試行を繰り返すことで、初期設置位置を定めた。模型の初期設置位置を表3に示す。模型位置がずれないように、竹串やゴルフ用のティーを水槽底面に差し込み、その上に模型を置いた。ロードセルのサンプリング周波数は20 Hzで衝突力を測定した。

(3) 実験条件

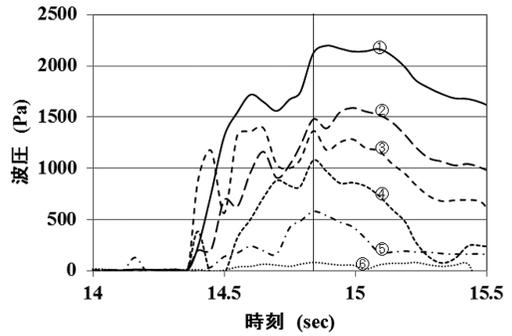
実験条件を表4に示す。直立壁前面を、傾斜地



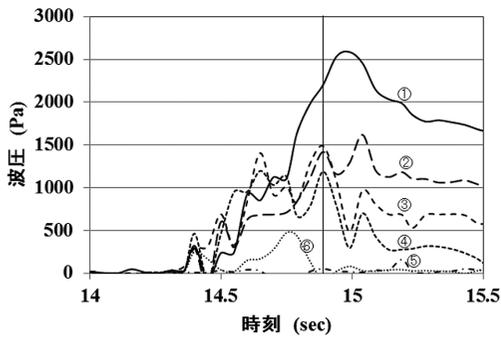
(a) 障害物 a



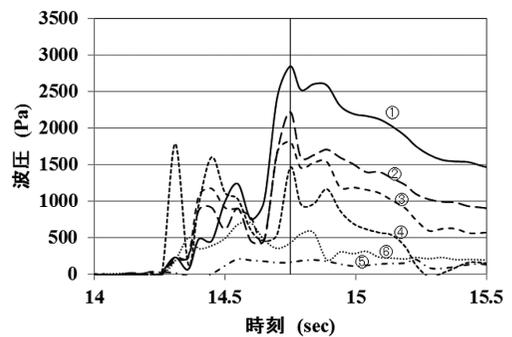
(b) 障害物 b



(c) 障害物 c



(d) 障害物 d



(e) 障害物 e

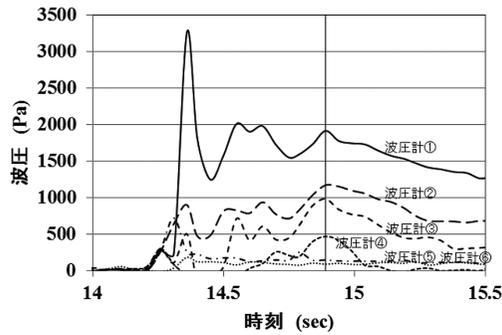
図6 最大波力検出時の各波圧計の時系列データ (波高15 cm 汀線より30 cm)

形と直立地形の2種類のケースで実験を行った。地形の違いによって、碎波開始点や汀線付近での波の挙動が異なることから、衝突力に違いが生じると考えられ、双方の地形で衝突力を既往の式を用いて評価できるか検証するために2種類の地形で実験を行った。それぞれのケースの試行回数は3回である。装置に当たるように適当な初期設置

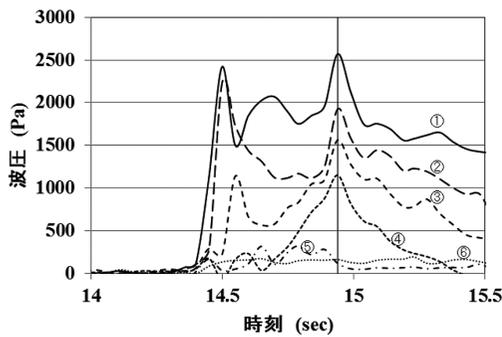
位置を定めてはいるが、計測不可になる割合が5回に1回程度であった。計測不可になった試行はやり直さず、測定値に含めなかった。3回の試行のうち計測された値の平均を衝突力とした。

(4) 開度の考慮

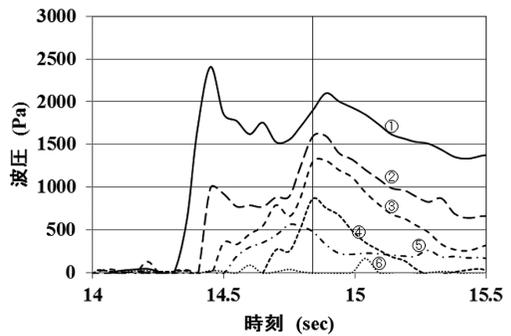
木材の降伏応力は圧縮強度とほとんど同じであ



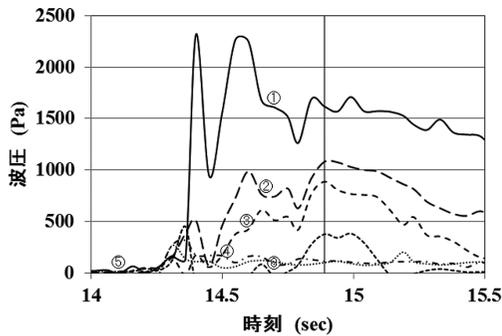
(a) 障害物 a



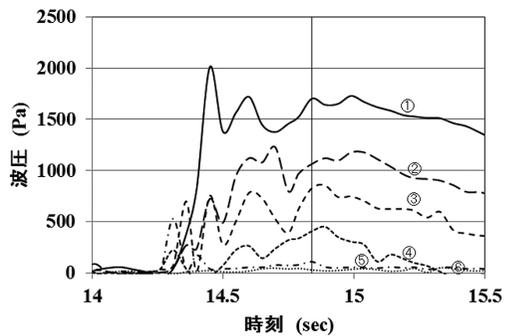
(b) 障害物 b



(c) 障害物 c



(d) 障害物 d

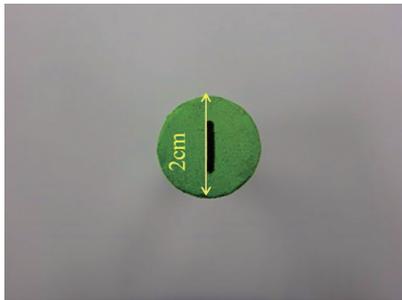


(e) 障害物 e

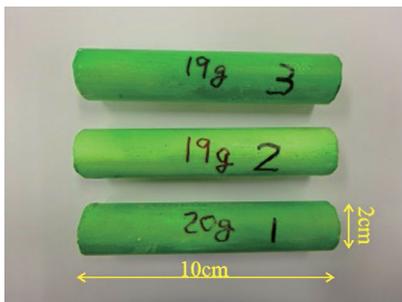
図7 最大波力検出時の各波圧計の時系列データ (波高15 cm 汀線より60 cm)

るため²⁾ラミンの圧縮強度67MPaを用いて衝突力を算出した⁵⁾。松富の式で衝突力を算出すると測定値の5～6倍となり、過大評価になったため、松富の式中の質量係数を本実験の実験条件に即した値を採用し、松富の式(修正後)とした。質量係数は直立壁の開度によって変化する。開度とは、受圧壁の縦切抜き幅を水路幅で除した値である。

水路幅に対して直立壁が半分の幅であれば開度が50%、水路幅と等しい場合だと0%である。松富の実験において質量係数は開度が40%まで比例し、40%以降は一定値1.7をとるとしている。松富の式中の質量係数は最も危険な場合の1.7を採用している。本実験では水路幅と直立壁の幅は一致しており、開度は0%である。本実験の開度に

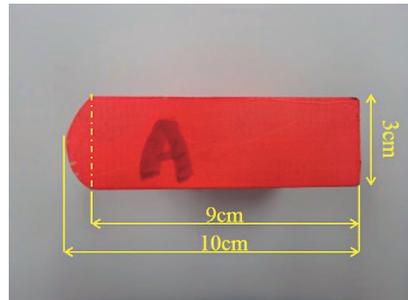


(a) 断面図

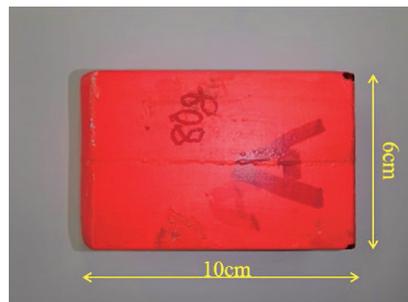


(b) 平面図

写真 2 流木模型



(a) 断面図



(b) 平面図

写真 3 船舶模型

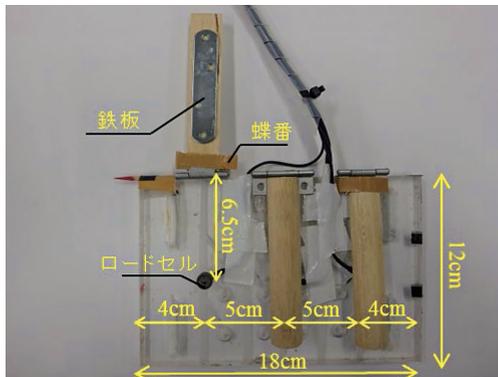


写真 4 衝突力検出の確率を上げる装置

対応した質量係数は0.5であり、質量係数を0.5として松富の式(修正後)とした。

(5) 流木模型の衝突力

流木模型のそれぞれのケースにおける衝突力を既往の評価式とともに図8に示す。運動量式と池

野らの式で算出した値は、実験値より小さく、過小評価となった。運動量式は空気中の式であり、漂流物とともに運動する水の影響が考慮されていないため、実験値より小さくなったのは容易に理解できる。池野らの式が提案された実験では、ゲートを急開することで津波を発生させており、本実験で発生させた造波機による孤立波の方が波高が大きい。そのために、漂流物と一緒に運動する水量が多くなるため付加質量が大きくなり、衝突力も大きくなると考えられる。また、池野らの実験では、直立壁から80 cm離れた位置を模型の初期設置位置に定めており、段波の衝突途中や衝突後に漂流物が直立壁に衝突している。本実験では、ケースごとに模型の初期設置位置を調整し、波先頭部と漂流物模型がほぼ同時に当たるようにした。漂流物より先に衝突した波は、漂流物が衝突する際にクッションの様な緩衝機能を有すると考えられるため、本実験では波先頭部と同時に漂流物模型が衝突しており、緩衝機能の影響が小さ

表3 漂流物模型の初期設置位置（汀線からの距離）

				(単位: cm)			
	波高7 cm	波高11 cm	波高15 cm		波高7 cm	波高11 cm	波高15 cm
流木	10.5	25.5	49.0	流木	7.5	25.5	58.7
船舶	13.5	35.5	65.7	船舶	10.5	25.5	65.7

(1) 直立壁設置位置 汀線-0

(1) 直立壁設置位置 汀線-60

表4 衝突実験の実験条件

波高 (cm)	7, 11, 15
汀線からの位置 (cm)	30, 60
防潮堤高さ (m)	1.10
直立壁前面地形	傾斜
漂流物模型	流木, 船舶

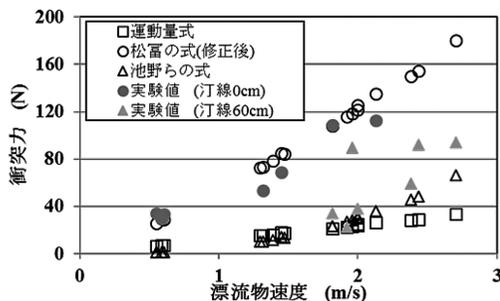


図8 流木模型の衝突力

く、衝突力が大きく検出されたと考えられる。松富の式（修正後）では実験値が包括され安全であり、かつ値が近いことから、適当な評価だと判断できる。

(6) 船舶模型の衝突力

船舶模型を使用したそれぞれのケースにおける衝突力を既往の評価式とともに図9に示す。船舶模型は流木模型よりも流れ方向の断面積が大きいので、模型と一緒に運動する水量が多く、船舶模型の方が流木模型よりも付加質量の影響が大きくなると予想される。2式で算出した衝突力が実験値より小さくなったのは、流木模型と同様の理由であり、さらに船舶模型の方が付加質量による影響が大きいためだと考えられる。

波先頭部とともに衝突する漂流物の衝突力を推定するには、既往の評価式中のパラメータの他に、

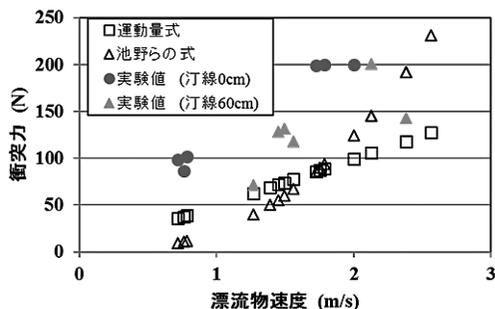


図9 船舶模型の衝突力

波先頭部と漂流物の衝突のタイミングを考慮する必要がある。しかし衝突のタイミングは、模型初期設置位置や津波波高、防潮堤前面の地形などで決定し、定量的に表すのは困難である。よって、本実験のように波先頭部が漂流物と同時に衝突する、最も危険な状態で直立壁に作用する漂流物の衝突力を様々なケースで測定した値を包括するように、新たに係数を加えることや付加質量係数を大きくする操作等を実施修正を加える必要があると考える。

5. まとめ

- ・ 傾斜地形、直立地形の両方において直立壁の設置位置に依らず、谷本の式で安全に評価できた。
- ・ 津波波力の低減効果は、障害物設置による波の攪乱と反射による作用が働くためであり、障害物高さが大きい方が、低減効果が大きい。同一高さで低減効果が大きい障害物は、透過性が小さい障害物 a, 障害物 d, 障害物 e であった。
- ・ 障害物を設置した時の直立壁に作用する津波波力は谷本の式では過大評価となっていた。障害物高さや障害物の透過度合を加味した、新たな推定式を提案することが今後の課題である。
- ・ 流木模型の衝突力は開度を考慮した松富の式を

用いて適切に評価できる。

・孤立波と同時に衝突する漂流物の衝突力は、運動量式や池野らの式では適切に評価できなかった。本実験のような、波先端部と漂流物が同時に衝突する条件の実験を繰り返し、新たに係数を加えたり、付加質量係数を大きくしたりするなどして新たな評価方法を提案することが課題である。

本研究は、平成27年度原子力施設等防災対策等委託費(耐津波設計・フラジリティ評価手法の整備に係る防潮堤水理試験(その2))事業の助成を受けたものです。

参考文献

1) 朝倉良介・岩瀬浩二・池谷 毅・高尾 誠・金

戸俊道・藤井直樹・大森政則：護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究，海岸工学論文集，第47巻，pp.911-915，2000.

- 2) 松富英夫：流木漂流物の実用的な評価式と変化特性，土木学会論文集，No621/ II -47，pp.111-127，1999.
- 3) 池野正明・田中寛好：陸上遡上津波と漂流物の衝突力に関する実験的研究，海岸工学論文集，pp.721-725，2003.
- 4) 国土交通省港湾局：防波堤の耐津波設計ガイドライン，2013.
- 5) 日本木材総合情報センター，木材の種類と特性のページ，<http://jawic.or.jp/woods/sch.php?nam0=ramin>，2016年12月1日

(投稿受理：平成28年12月14日
訂正稿受理：平成29年6月21日)

要 旨

非越流時に陸上構造物に作用する津波波力の推定式に朝倉らの式が、防潮堤に作用する津波によって押し流される漂流物の衝突力の推定式には松富の式や池野らの式がよく用いられている。これらの推定式が提案された実験条件とは異なる状況においても、推定式が適用できるのかは明らかではない。

本実験では、傾斜地形や直立地形を用いたり、防潮堤前面に障害物を設置したりと朝倉らの実験条件とは異なる条件で測定した津波波力を、既往の式で評価できるかを検討した。また、松富や池野らの実験とは異なる造波手法で、防潮堤に作用する漂流物の衝突力を既往の式で評価できるのかも検証した。