

津波漂流物の衝突荷重に与える流体力及び喫水の影響に関する基礎的研究

A Study on Effects of Fluid Forces and Draft of a Tsunami Drifting Object on Collision

○武川芽生¹, 居駒知樹², 相田康洋²*Mebae Takekawa¹, Tomoki Ikoma², Yasuhiro Aida²

Abstract: An objective of this study is to quantitatively investigate effects of draft on hydrodynamic forces acting on a tsunami drifting object by using the explicit MPS method. From numerical collision simulations of a tsunami drifting object, it was found that a collision force clearly increased due to an increase of the draft. In addition, numerical simulations regarding the collision force in the air were performed in order to proof validity of the equation to predict the collision force without effects of hydrodynamic forces. When the draft is smaller, an equation introduced by the energy conservation law overestimated the collision force.

1. 緒言

2011年3月11日の東日本大震災で発生した津波により、沿岸域における建造物の多くが津波漂流物の衝突被害を受けた。これを受け漂流物の衝突力を求める設計式がいくつか提案されている。しかし、漂流物の衝突時に作用する流体力の影響に関しては未だ十分な知見が得られているとはいえず、質量係数等によってより安全側で設計できる評価式となっている。したがって、衝突時の流体影響を適切に考慮し、津波漂流物による衝突力をより精度よく評価することは重要であると考えられる。Aidaら^[1]は、MPS法の計算時間短縮化に着目し、MPS陽解法による津波漂流物の衝突シミュレーション手法を構築し、津波漂流物の衝突実験と数値計算の比較により計算手法の妥当性を示した。そして、流体力の影響を顕著にするために深喫水の浮体でのみ衝突力の評価を行った。しかしながら、津波漂流物の衝突時に作用する流体力に関して十分に定量的な検討は行われていない。

そこで本研究では、MPS陽解法による津波漂流物の衝突シミュレーションを用いて、津波漂流物の喫水の違いによる流体力の変化が衝突力に与える影響について定量的な考察を行うことを研究目的とした。

2. 研究手法

本研究では、日本大学理工学部が所有しているテクノプレース15内海洋建築実験棟室の2次元水槽の一部をMPS法で再現し、津波漂流物の衝突シミュレーションを行った。Fig.1に計算領域および漂流物模型や被衝突物・配置等、浮体挙動計算と弾性応答計算の概要図を、Fig.2に漂流物模型の諸元を示す。本研究で対象とする漂流物の規模は大型船舶の規模を想定しており、浮体形状を長さ0.5m、幅を0.1m、高さを0.1mの直

方体で近似した。喫水については、浮体を構成する粒子の密度を変えることで、0.020m~0.095mまで0.0050m刻みの範囲で変化させた。これにより喫水変化に応じた衝突力に占める流体力の影響を定量的に考察する。

Table 1に漂流計算条件、Table 2に被衝突物の弾性応答計算条件を示す。漂流計算では弾性応答解析を行わないため、被衝突構造物は剛体とした。被衝突構造物の弾性応答計算は、計算時間短縮のため衝突直前の状態から計算に考慮することで計算効率の向上を図った。

漂流物の岸壁乗り上げから被衝突構造物への衝突直前までの計算時間刻みを 5.0×10^{-4} secとして計算を行った。また、被衝突構造物の弾性応答計算では、流体粒子としての計算時間刻み Δt_f を 1.0×10^{-4} sec、弾性体粒子としての計算時間刻み Δt_s を 5.0×10^{-6} secと設定した。衝突力は、計算結果から得られた構造物変位と鋼材の衝突位置における剛性を用いて(1)式のフックの法則から求めた。

$$F = kx \quad (1)$$

ここで、 F : 衝突力、 k : 有効剛性、 x : 鋼材の変位である。流体力の影響を除いた衝突力は、衝突直前速度を用いて、流体力影響を考慮していない運動エネルギーとひずみエネルギーのエネルギー保存則を用いた式である(2)式で求める。衝突時に作用する流体力は、(3)式のように漂流物の最大衝突力から(2)式を引くことで求める。

$$F_t = v_{max} \sqrt{km} \quad (2)$$

$$F_f = F - F_t \quad (3)$$

ただし、 F_t : 流体力の影響を除いた最大衝突力、 v_{max} : 漂流物の衝突直前速度、 m : 漂流物の質量、 F_f : 流体力である。

衝突力の理論値(2)式を粒子法で再現できているかについては確認できていないため、本研究の流体中での

1: 日大理工・院(前)・海建, 2: 日大理工・教員・海建

衝突直前の速度，圧力，密度を用いて気中衝突の計算を行い理論値との比較を行った。

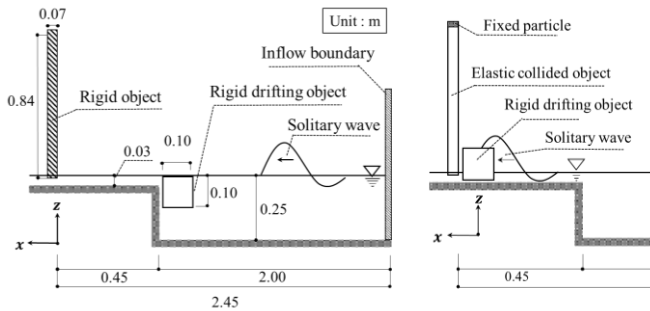


Figure 1. Layout and dimensions of the water tank simulation

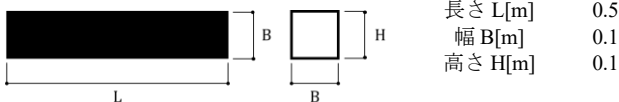


Figure 2. Specifications of drifting models

Table 1. Conditions for drift simulation

計算時間 [sec]	3.50
Δt [sec]	5.0×10^{-4}
粒子間距離 [m]	0.01

Table 2. Conditions for impact simulation

計算時間 [sec]	0.60
Δt_f [sec]	1.0×10^{-4}
Δt_s [sec]	5.0×10^{-6}

3. 結果および考察

Fig.3は，流体力影響を考慮していない衝突力 F_t で流体力 F_f を無次元化し，喫水ごとに比較した。喫水0.080 mを除き，喫水の増大に伴い(2)式に対する流体力が增加することが確認できた。これにより，衝突力の増大は浮体質量が増大したことで慣性力が大きくなっただけではなく，流体力の増大にも大きく影響を受けていることが分かった。流体力の増大は衝突物体と一緒に移動する流体の慣性力によると考えられる。すなわち，物体が引き連れている流体体積が大きくなるためである。しかしながら，喫水が0.080 mの場合のみ流体力が大きくなっていることが確認できる。これはFig.4に示すように衝突面付近の圧力が大きく出ているためであり，流体粒子が弾性体と浮体との間に挟まってしまい圧力が増大したと考えられる。この点に関しては改めて実験との比較や，計算例を増やして考察する必要がある。

各喫水で(2)式から求めた衝突力の理論値と，MPS法による気中衝突のシミュレーションから得られた最大衝突力をFig.5に示す。喫水が増大すると衝突力も増大

することが確認できる。しかし喫水が小さくなると理論式による値との差が大きくなっている。したがって，流体力の影響を除いた衝突力の式は質量が小さいものについては過大評価であると考えられる。これについても今後の実験による確認が必要である。

4. 結言

漂流物自体の衝突力と間接的に構造物に作用する流体力の比は，喫水の増加に対応し大きくなり，その流体力は最大で津波漂流物自体の衝突力と同程度まで上昇する。ただし，浅喫水の漂流物が衝突する場合の流体力は，漂流物のみによる荷重の2割程度であり，喫水に対して流体力は線形に増大するわけではない。

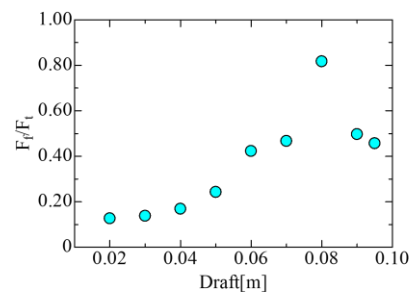


Figure 3. Relationship between draft and non-dimensional collision force (F_f/F_t)

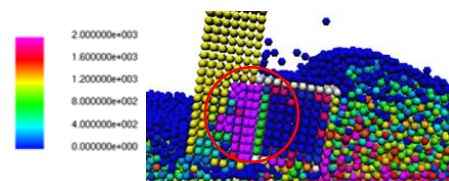


Figure 4. Snapshot at the time impact (d=0.095m Time=0.020sec)

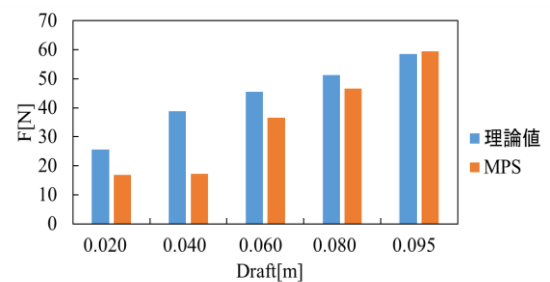


Figure 5. Comparison of impact force by air impact

参考文献

[1]Yasuhiro Aida, Tomoki Ikoma, Koichi Masuda: DEVELOPMENT OF A SIMULATION SYSTEM FOR ESTIMATING THE IMPACT FORCE OF TSUNAMI DRIFT USING THE EPLICIT MPS METHOD, Proceedings of the ASME 2021 40th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2021