

津波漂流物の衝突による構造物の変形に関する研究

A Study on Deformation of Structure by Collision of Tsunami Drifting Object

○松岡晃弘¹, 増田光一², 居駒知樹², 惠藤浩朗²
*Akihiro Matsuoka¹, Koichi Masuda², Tomoki Ikoma², Hiroaki Eto²

The purpose of study was to grasp the deformation of the structure by collision of tsunami drifting objects using numerical calculation. To compare the predictions with the results of hydraulic experiment to verify whether this model is applicable.

1. 緒言

2011年3月11日に発生した東日本大震災による津波によって、港湾に存在するコンテナや船舶、自動車などが漂流した。これらの漂流物は陸上の多くの沿岸域構造物と衝突するような被害が生じた。特に岸壁に係留されている船舶は津波によって岸壁に乗り上がり、陸上を漂流し、沿岸域構造物への衝突被害をもたらした。このような被害を踏まえて、2015年に日本建築学会の荷重指針¹⁾では、沿岸域構造物に作用する津波荷重とは津波波力と漂流物の衝突荷重と定義されている。一般的に物体間の衝突問題では衝突荷重は衝突物の質量、衝突速度、衝突物および被衝突物の剛性、衝突時間などに大きく依存する。荷重指針が推奨する衝突荷重の推定法は荷重算定式^{2) 3) 4)}を用いることを推奨している。しかし、荷重算定式は水理模型実験に基づいて定式化された式であり、コンテナ、流木、自動車などを対象としている。そのため、東日本大震災で沿岸域構造物に大きな被害を与えた船舶などの質量が大きい物体については示されていない。また、津波漂流物の場合、漂流中に介在する流体による影響を考慮しなくてはならないため、気中衝突における衝突現象と比較するとさらに複雑な現象になることから津波漂流物の衝突荷重および衝突挙動の把握が困難になると考えられる。

この問題に対して増田ら⁵⁾は粒子法の一つであるMPS法を用いて津波漂流物の構造物への衝突問題の解決を行った。従来のMPS法では、剛体としてモデル化された津波漂流物が構造物に衝突する際の衝突力は、構造物を粒子でモデル化しているためシミュレーション時間刻みや浮体の空間解像度によって最大衝突力が変化してしまうなどの問題が発生する。そこで増田ら⁵⁾は仮想弾性境界モデル（以降MPS-VEBモデルとする）を導入したMPS法の衝突問題への応用について水

槽実験と比較を行いその有用性について示した。また、津波漂流物は津波に乗り、傾きながら陸上を漂流し構造物に衝突すると想定し、津波漂流物は構造物に片あたり状態で衝突すると仮定した。そのため、水槽実験との比較では衝突位置での構造物の変形について妥当性は示されているが構造物全体の変形については示されていない。

以上より、本研究では津波漂流物の衝突による構造物の全体変形について把握することを目的とする。また、この目的に対して有効的な津波漂流物の衝突による構造物の変形までを把握する一連の計算法を提案する。また、本研究で提案する計算手法は津波漂流物の構造物への衝突までの一連の現象については増田ら⁵⁾によって提案されたMPS-VEBモデルを用い、構造物の変形については構造解析に信頼性が高い有限要素法を用いる。また、有限要素法については商用の汎用FEMプログラムFemapを用いる。Figure1に提案する計算フロー図を示す。本紙では増田ら⁵⁾が行った水槽実験と本研究で提案する一連の計算法の妥当性を明らかにする。

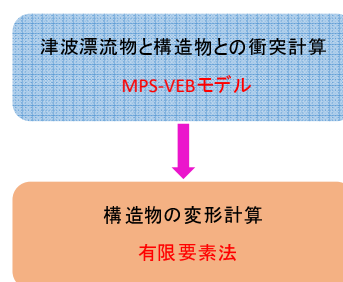


Figure1. Calculation Flow chart

2. 研究手法

本研究では津波漂流物の構造物への衝突に関する一連の現象については先行研究⁵⁾と同様にMPS-VEBモ

1 : 日大理工・院 (前)・海建 Department of Oceanic Architecture and Engineering/CST/Graduate School of Nihon University
2 : 日大理工・教員・海建 Department of Oceanic Architecture and Engineering/CST/Nihon University

デルを用いて計算を行う。構造物全体の変形については有限要素法を用いる。ただし、本研究では MPS-VEB モデルで得られた最大衝突力を用いた静的解析を行う。また、その時の変形量について実験値と比較を行い、提案する計算法の有用性を評価する。

3. 数値計算概要

MPS-VEB モデルでは流入境界を用いて、増田ら^[2]の実験と同様の孤立波を造波させた。浮体模型は岸壁先端に接するように配置し、岸壁先端から 0.6m 地点に仮想弾性境界を設定した。Figure2 に数値計算概要図を示す。数値計算条件を Table1 に示す。有限要素法については実験で用いた丸鋼 ($\phi=28.0\text{mm}$) をメッシュ幅 0.01m で実験と同様に上端を完全固定した片持ち梁としてモデル化した。作用点高さは実験で津波漂流物が衝突した支持点から 0.76m の地点とする。

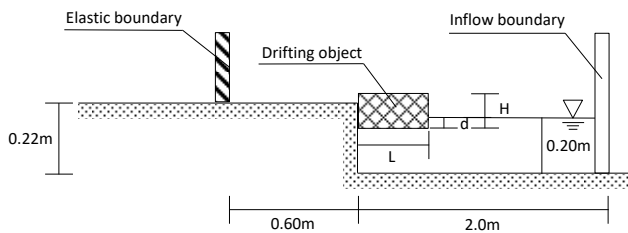


Figure2.Outline of numerical experiment

Table1.Calculation condition

Simulation time [s]	3.0
Dt [s]	5.0×10^{-4}
Particle distance [m]	0.01
L [m]	0.55
B [m]	0.50
H [m]	0.15
d [m]	0.06
Stiffness [N/m]	2.4×10^4

4. 結果および考察

津波漂流物の衝突位置における最大衝突力を計測した時の最大変形量についての比較を Table2 に示す。比較すると、有限要素法で求めた値がわずかに MPS-VEB モデルで求めた値よりも低い値になっているが結果としては 9 割程度等しくなった。また、実験値と比較すると、本研究で提案する計算法で求めた値は 9 割程度の再現性があるため、妥当性は十分にあるというこ

とができる。有限要素法で得られた構造物全体の変形のスナップショットを Figure 3 に示す。

Table2.Maximum amount of deformation

	Experiment	MPS-VEB	FEM
Deformation [m]	0.024	0.023	0.022

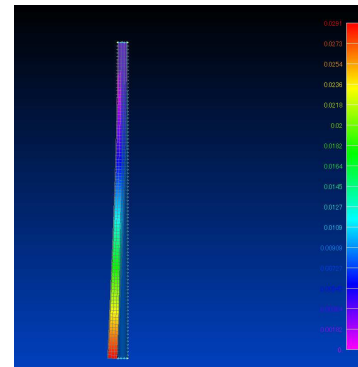


Figure3. Snapshot of maximum amount of deformation

5. 結言

MPS-VEB モデルと有限要素法を用いた計算法と水槽実験で得られた最大変形量についての比較を行ったところ、9 割程度の再現性があったことから妥当性はあったといえる。今回は有限要素法の静的解析でのみの比較となったが今後は時系列の応答解析を行い、本研究で提案する計算法の有用性について明らかにしていく予定である。

6. 参考文献

- [1] 日本建築学会:「建築物荷重指針・同解説<2015>」, p585, 第 5 版, 2015
- [2] FEMA:「Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation」, FEMA P646, 2012
- [3] 有川太郎, 大坪大輔, 中野史丈, 下迫健一郎, 石川信隆, 富田孝史:「陸上遡上津波によるコンテナの漂流挙動と漂流衝突力に関する研究」, 海岸工学論文集, 第 54 巻, pp.846~850. 2007
- [4] 有川太郎, 鷺崎誠:「津波による漂流木のコンクリート壁面破壊に関する大規模実験研究」, 土木学会論文集 B2 (海洋工学), Vol.66, No.1, pp.781~785, 2010
- [5] 増田光一, 相田康洋, 居駒知樹, 恵藤浩朗:「仮想弾性境界の有用性について 津波漂流物と構造物の衝突問題への MPS 法の応用に関する研究その 1」, 日本建築学会構造系論文集, Vol 81, No.722, pp.813-823, 2016