

粒子法による津波避難ビルに作用する流体力評価の妥当性検証

九州大学 学生会員 ○合田 哲朗

九州大学 正会員 浅井 光輝

九州大学 正会員 園田 佳巨

1. はじめに

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震による津波により、多くの土木・建築構造物が崩壊した。今後危惧されている巨大津波が発生する前に、沿岸地域の防災・減災技術の再検討を行なう必要性が高まっている。このような実状を踏まえて、現在、迅速な避難を困難とする人々の一時的な避難のための施設として、津波避難ビルの選定・指定が各地方自治体で進められている。構造物に作用する津波の影響は、津波そのものの流体力に加え、漂流物の衝突、基礎地盤の洗掘、あるいは構造物内に津波が流入した際の浮力などの複合的な判断し指標にて安全性を議論することが望ましい。

本研究では、上記の議論のために3次元流体解析をベースとした解析ツールを開発中であり、第一段階として、津波避難ビルに作用する津波流体力を評価のみに焦点をあてた基礎検討を行った。数値解析より得られた津波流体力は、国土交通省国土技術政策総合研究所により公表されている津波波力算定式などの設計式と比較し、数値解析結果の必要性を議論した。

2. 解析手法

本研究では、自由表面流れにおける波の形状が激しく変化するような3次元問題の再現性に優れ、Lagrange記述の格子法のようにメッシュに起因した問題を考慮する必要がなく、単純なアルゴリズムを維持したまま解析を行うことができるといったメリットを持つ粒子法の一つであるSPH法を用いる。SPH法は、連続体を有限個の粒子に離散化し、対象とする粒子の影響半径内に存在する近傍粒子に重み関数をかけて、一種の重み付き平均として近似する手法である。(図-1)粒子 j の質量 m^j 、密度 ρ^j とし、重み関数を W 、影響半径を h とすると、物理量 $f(x)$ は以下の式で表される。

$$f(x) = \sum_{j=1}^N \frac{m^j}{\rho^j} f(x) W(x-x^j, h) \quad (1)$$

流体運動の支配方程式として、ナビエ・ストークス方程式と質量保存則を解く。本解析では、SPH法の中でも圧力を陰的に、速度を陽的に解き、非圧縮性流体に適した解法とされる安定化ISPH法を採用した。これにより、物理的には瞬間的に微圧縮性を許容することで、安定した圧力分布を得ることができると同時に、長期的な体積保存性にも優れた結果を得ることが可能となる。

3. 解析例

解析モデルの概要を図-2に示す。粒子間隔は0.1m、総粒子数約3400万、時間増分0.001秒、実時間3.2秒とし、九州大学の高性能演算サーバシステム、HA8000-tc/HT21を用いて48時間の解析を行なった。初期条件として、全ての水粒子に7m/sの速度を付与した。また、境界条件として、津波避難ビルから10m離れた位置以降に存在する水粒子に7m/sの速度を強制的に与えることにより継続的な津波の勢いを再現した。津波避難ビルのモデルには、国土交通省国土技術政策総合研究所により設計された6階建て鉄筋コンクリート造共同住宅のパラペットと底面の基礎部分を取り除いたものを用いた。また、本解析では受圧面に作用する津波流体力を計算することのみを目的としたため、津波避難ビルの奥行き方向のモデル化は簡単なものとした。

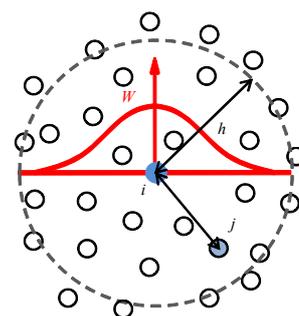


図-1. SPH法の概念図

キーワード 流体力 粒子法 津波避難ビル

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 TEL 092-802-3370

4. 解析結果

図-3に解析結果を示す。図-3中の破線は、津波波力算定式による津波波力の評価であり、図中の色はモデル毎に対応している。ここでの津波波力算定式とは、既往の研究に基づき、設計用浸水深に水深係数と呼ばれる「津波が来襲する方向に津波を軽減する効果が見込まれるような遮蔽物がある場合」や「海岸および河川から500m以上離れている場合」において低減される指標をかけ、静水圧を津波の受圧面積で積分することで、構造物に作用する津波波力を簡易的に評価するものである。

ここで示した例のように、擬似段波状の津波が作用する際には、撃力による非常に大きなピーク値が観測され、開口部有と開口部無によっては津波波力算定式による水平力を上回る危険性があることを示している。一方で、一階部をピロティとしてモデルにおいては、水平力は大幅に軽減された。以上に示す通り、津波波力は、津波の形状や、開口部の配置といった様々な要素と密接に関わっており、今後は津波避難ビルの設計基準を、さらに細分化することも可能であり、数値解析による検討が有効な手段の一つとなりえる。

5. 詳細な津波避難ビルモデルを用いた応用例

津波避難ビルモデルの内部空間までモデル化すれば、床板に作用する浮力や、津波避難ビル内部での流体の動きまでを評価することが可能となる。図-4に解析モデルの概要を、図-5に解析結果を示す。解析条件の付与方法等は、本論文の3節に示すものと同様である。また、本解析では、より複雑な形状のモデルに対する流体の動きを定性的に評価することを目的としたため、津波避難ビルのモデルは内部に複数の柱を任意に設置する程度に留めた。図-5より、流体の動きと圧力分布は妥当な結果が得られていることを確認した。

6. おわりに

津波避難ビル選定指針に役立つ数値解析シミュレータの確立のために、まずは流体力評価に焦点をあてた数値実験を行った。ビルの形状、津波の波頭形状などにより津波流体力が変化することが予想されるが、こうした予想と一致する妥当な数値解析結果を得た。加えて、詳細な津波避難ビルを用いた数値解析を行い、現時点での数値解析シミュレータの汎用的なモデルに対する適応可能性を知ることができた。今後は数値解析の検証と伴に、実設計への応用を検討する必要がある。

参考文献

- ・国土交通省国土技術政策総合研究所 一般社団法人 建築性能基準推進協会 協力 独立行政法人 建築研究所：津波避難ビル等の構造上の要件の解説
- ・田邊将一, 浅井光輝, 中尾尚史, 伊津野和行:3次元粒子法による橋桁に作用する津波外力評価とその精度検証, 構造工学論文集 Vol160A(2014年3月)

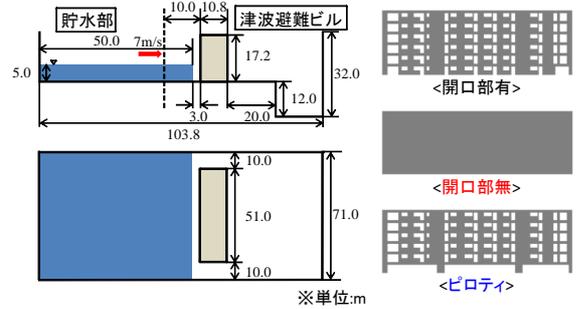


図-2. 解析モデル概要

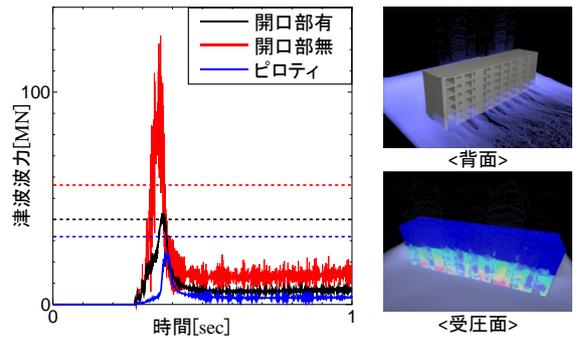


図-3. 解析結果

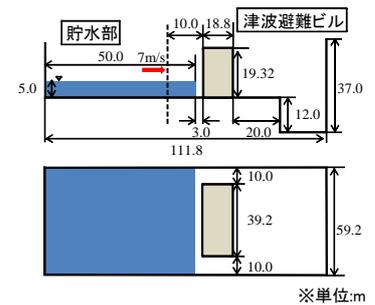


図-4. 解析モデル概要

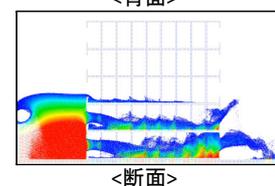
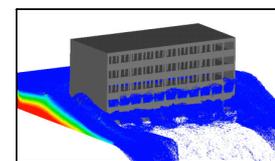


図-5. 解析結果