

学校建築に対して津波作用のシミュレーションと作用力の検討

東日本大地震 シミュレーション 津波 2相流体 学校構造物 OpenFOAM

正会員 同 同 ○金 徳印* 趙 衍剛** 齊藤 隆典***

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災により発生した津波は石巻市の大川小学校に甚大な被害をもたらした。従来、津波は発生頻度の低い自然現象とされていたため、陸上建築物の主たる設計外力として検討されることはほとんどなく、この大川小学校でも付近に来る津波が1m未満であると想定していた。そして、今回の津波は想定をはるかに超え、2階建ての校舎を乗り越え、裏山のふもとから10mほども駆け上る規模のものであった。予想を超える事態に対応できず、全児童108人の7割にあたる74人が死亡もしくは行方不明となっている。この経験から学校建築は被災の際児童の安全性や避難所としての機能性の保持などを加味し、その被害をシミュレーションし未然に対策を講じることは有意義であると考えられる。

そこで本研究では、学校建築を対象とし、構造物にかかる津波外力のシミュレーションを作成し、津波による構造物への破壊を解明しに初期検討を目的とする。

2. モデルとなる学校建築

文献1)によると、学校建築のうち、2~4階建て建物76棟について図面調査を含めた診断結果の詳細な分析を行った結果、それぞれの平均値は張間(以下、Y)方向長さが9.5~10m、桁行(以下、X)方向が4.5m、各階の階高(以下、Z)が3.7~3.8mとなっていることがわかる。そこで、本研究ではこの文献をもとに1区画の柱間、梁間のスパンを定めて、図1、図2に示す学校建築をモデル化する。図1にはメイン建物の正面図と附校舎の側面図を表し、また、図2にはL型に校舎を配列した上面図を表示している。



図1 学校建築・立面図

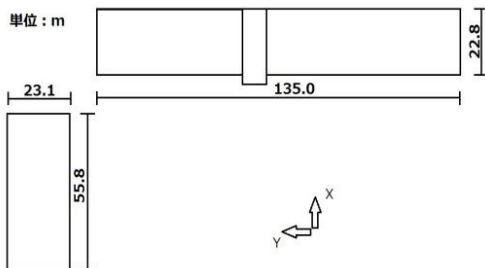


図2 学校建築物のレイアウト

3. 解析方法

3.1 解析方法の概要

本研究では解析ツールとして OpenFOAM を用いて海水と空気の2相流体をモデル化し、変動する境界条件により構造物に作用する津波外力を計算する。流体の運動を表す方程式は Navier-Stokes 方程式が用いられ次式のように表される。

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \nabla v \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 v$$

ここで、 ρ は水の密度、 v は水の水速度、 μ は粘性係数、 p は水圧を表す。粘性係数 μ は、 $\mu = 1.48 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ である。

また、離散化解析手法は VOF 法が用いられており、津波の入力波が境界の移動により生成され、建物及び海底の固定境界が接触することにより、波の入射や反射を自動的に計算する。図3に OpenFOAM の計算方法を簡略化した図を示す。波生成の推板の運動により、海底の水が押しだされることによって波が発生し、陸地にある建築物に到達するシステムである。

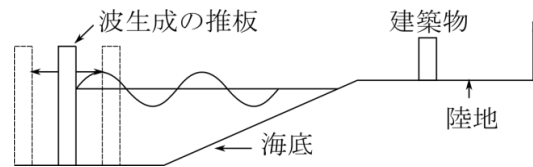


図3 解析ツールの簡略図

3.2 解析モデル

本研究において学校建築の特徴である開口部の多さと建物の配置について検証する必要があるということが念頭に置かれる。そこで、文献1)の典型的な学校建築のデータを参照し、学校建築の開口部があるものとないものと二種類のモデルを用いてシミュレーション化および津波外力の計算と比較を行う。



図4 解析領域とメッシュ

図4に計算領域とメッシュの分割を示す。波の計算範囲では長さ1000m、幅300m、高さ300mの空間および勾配約1:5である斜め海底面に囲まれる。

図 1、図 2 の設計図に基づき Blender を用いて 3D のモデルを作成した。図 5、図 6 に作成されたメッシュの図を開口部なしのモデルと開口部ありのモデルをそれぞれ示す。

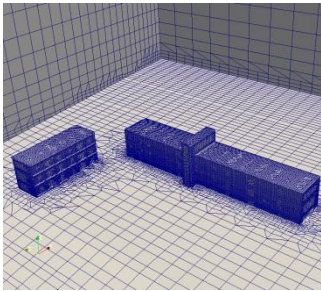


図 5 開口部なしモデル

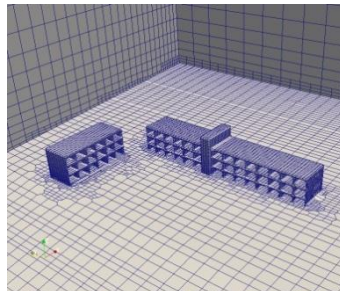


図 6 開口部ありモデル

4.結果・考察

4.1 シミュレーションの結果

OpenFOAM を用いて完成した 3D モデルに入力波を算入し、毎秒ごとの連続的なシミュレーションを作成した。図 7 に波面が衝突する時点の静止画を示す。

建物の形状による津波外力が建物の幅を高さで割った辺長比の値が小さくなるほど、波面上昇、圧力ともに小さくなることを確認されている。本研究により得られた津波水圧の散布図を図 8 と図 9 に示す。

図 8、図 9 により、正面に配置された本校舎は、側面に配置された第二校舎より津波外力が大きく作用していることが分かる。これは建物配置が原因であると考えられる。本研究の学校のモデルは L 字型のブロックプランであり、第二校舎に津波がぶつかり、滞留した流れが合流することにより大きな圧力が生じ、本校舎に強まった津波外力が加わったと考えられる。

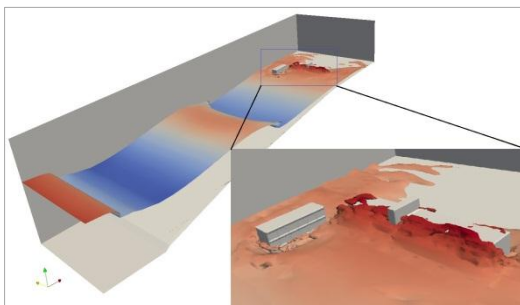


図 7 波面のシミュレーション

4.2 開口部による考察

図 10 は時間ごとの X 方向の津波外力を表したグラフであり開口部なしのモデルを表す破線が、開口部がある実線より大きくなっているということが分かる。これは窓などの二次部材が主要部材より先に壊れてしまい、建築物内が浸水することで水流を外に逃がすことで、津波外力は開口部がない建物よりも小さくなると考えられる。

5.まとめ

本研究では学校建築に対する津波外力をシミュレーシ

ョン化し解析を行った。シミュレーションは時間ごとの波面が忠実に再現されており、それに伴う外力計算も津波の特性をとらえた妥当な結果が得られた。この結果から学校建築に対する津波外力のシミュレーション化の実用性は十分に見込まれるといえる。建物への津波作用力計算は入力波形状や周辺地形なども関係であり、今度結果では初期検討として今後研究展開へ準備しておく。

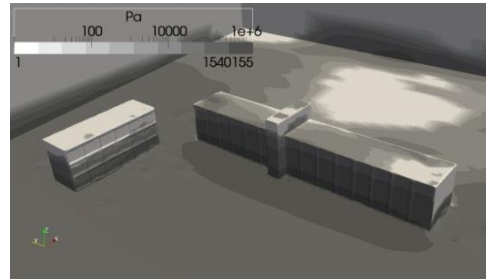


図 8 建物と地面への水圧力（開口部なし）

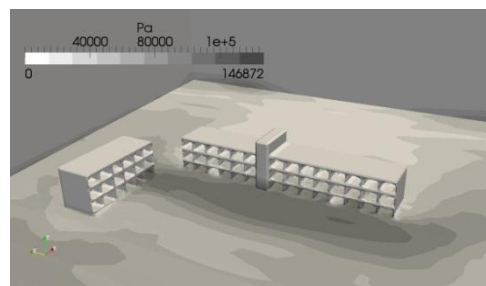


図 9 建物と地面への水圧力（開口部あり）

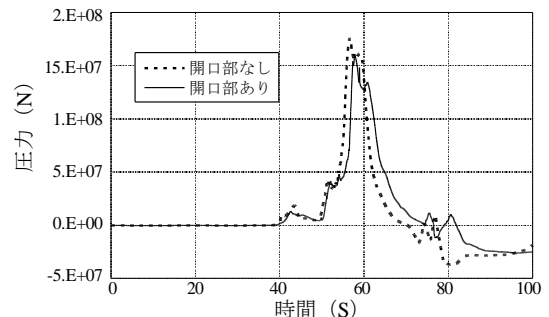


図 10 X 方向津波外力のグラフ

【参考文献】

- 1) 竹生修治、既存 RC 造学校建築物の耐震性能に関する研究、名古屋大学平成 16 年度大学院博士論文、2004
 - 2) 日本建築学会、2011 年東北地方太平洋沖地震および一連の地震災害調査報告書、2011 年 7 月
 - 3) 高橋智幸、津波防災における数値計算の利用、日本流体力学会、数値流体力学部門 Web 会誌、第 12 巻、第 2 号、2004 年 11 月
 - 4) <http://www.openfoam.com/>, User Guide, 2012
- 謝辞：本稿作成には当時神奈川大学趙研究室学生菊池君の計算とまとめに謝意を表す。

*(株)フォーラムエイト 工博

**神奈川大学工学部建築学科 工博 教授

***神奈川大学工学部建築学科 工博 助手

* FORUM8 Co., Ltd., Dr. Eng.

**Prof. Faculty of Eng., Dept. of Arch., Kanagawa Univ., Dr. Eng.

***Assistant, Faculty of Eng., Dept. of Arch., Kanagawa Univ., Dr. Eng.