

津波 シミュレーション 開口部 気液二相流れ 圧力 VOF 法

### 1. はじめに

日本では、これまでも海溝型の大規模地震が多数発生しており、これに伴って発生する津波によって沿岸部を中心に甚大な津波被害を受けてきた。津波から人命を守るには、まず住民が高台等に避難することが大原則であるが、高台等までの避難に時間を要する平野部や背後に急峻な崖等を伴う海岸集落等のように、迅速な避難が困難である地域では、避難経路や避難地の整備の必要性が中央防災会議<sup>1)</sup>でも指摘されている。

内閣府は「津波避難ビル等に係るガイドライン」<sup>2)</sup>において、堅固な中高層建築物を一時的な避難施設として利用する、いわゆる津波避難ビルの指定方法、利用・運用方法等を示した。このガイドラインの技術的要件をまとめる目的で、国土交通省は津波避難ビルの構造安全性、避難計画等、津波避難ビルを構成する要件の整理を行った<sup>3,4)</sup>。津波避難ビルの構造安全性に関して、岡田ら<sup>5)</sup>はRC造建築物に作用する津波荷重を朝倉ら<sup>6)</sup>が提案する最大遡上水深の3倍の静水圧として、各階における津波の水平荷重が構造骨組みの保有水平耐力以下であることを確認する、といった検討方法を提案した。

陸上に建つ構造物に作用する津波荷重については、朝倉ら<sup>6)</sup>のほか池野ら<sup>7)</sup>、飯塚・松富<sup>8)</sup>が提案しているが、これらは開口部をもたない構造物を想定している。現実の建築物は窓ガラスや外壁等といった非構造部材で覆わ

れており、非構造部材が津波によって破壊することにより、結果的に建築物に作用する津波荷重は軽減される可能性がある<sup>4,9)</sup>。津波避難ビルの構造安全性の検討<sup>4)</sup>では、開口部の窓ガラスの破壊耐力を建築基準法の許容耐力の2.5倍とし、朝倉らの静水圧分布を建築物の開口部の面積に応じて線形的に低減した荷重分布を仮定している。

一方津波シミュレーションについては、津波による浸水を予測するため海洋や港湾といったスケールを対象としたものが多く、建築物レベルでの津波シミュレーションを実施した例はこれまでなかった。

本研究では建築物に作用する津波のシミュレーションを実施し、開口の有無による津波荷重について検討した。

### 2. 解析手法と解析条件

本解析はVOF法<sup>10)</sup>による気液二相流れの解析であり、解析手法と解析条件は以下のとおりである。

解析領域：幅160m×長さ400m×高さ60m  
基礎方程式：NS方程式、連続の式、VOF移流方程式  
空間の離散化：構造格子（不等間格子：最小格子間隔0.5m）  
時間の離散化：SMAC法  
移流項：ハイブリッド中心差分  
乱流モデル：なし  
自由表面トラッキング：VOF法<sup>10)</sup>  
初期条件：フルード数を1.5、対象建築物の手前80mの位置（水深5m）で波高2m（速度4.7m/s）と8m（速度9.4m/s）の津波  
境界条件：沖合側・内陸側－速度既定条件、海底・地表面－Non Slip、側面・天空面－Free Slip

対象建築物は図1に示すRC造3階建ての校舎<sup>4)</sup>で、幅約50m、奥行き約10m、高さ約12mで、窓ガラスの部分を開口としたモデルと窓ガラスのない閉鎖モデルの2つを用いた。開口をもつモデルでは床や内壁等の内部構造も再現した。また、対象構造物の各部材は十分剛であり、津波荷重に対して変形や破壊はしないものとした。対象建築物を解析領域の中心で海面から1mの位置に教室側が海側に正対するように設置した。

### 3. 解析結果

図2は建築物まわりの津波の流れの例である。建築物に開口がある場合は、津波は建築物の内部を通過し建築物の背後から流出する。

図3は建築物全体に作用する水平方向の津波力（前面圧力－背面圧力）の時刻歴の例である。津波が建築物に

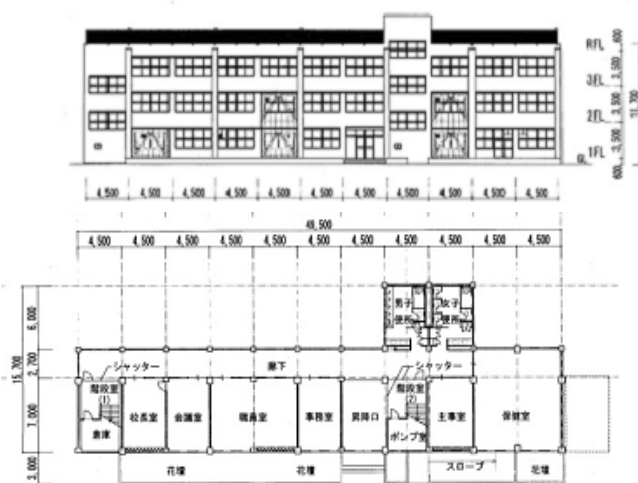
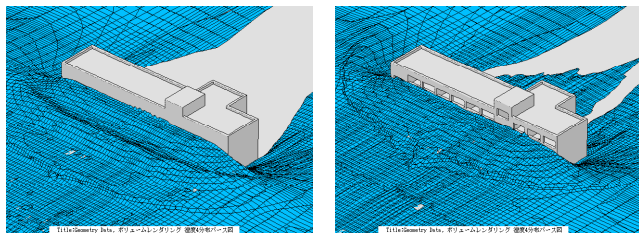


図1 対象建築物<sup>4)</sup>



(a) 開口なし (b) 開口あり

図2 建築物まわりの津波の流れ（初期条件波高2m）

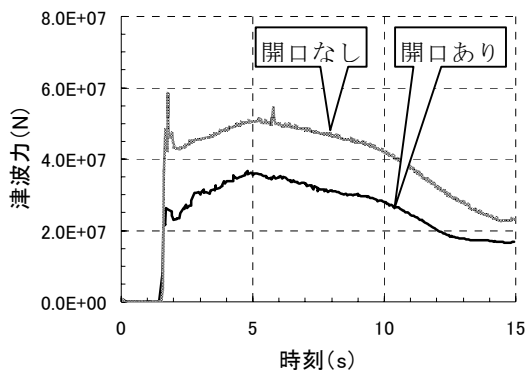
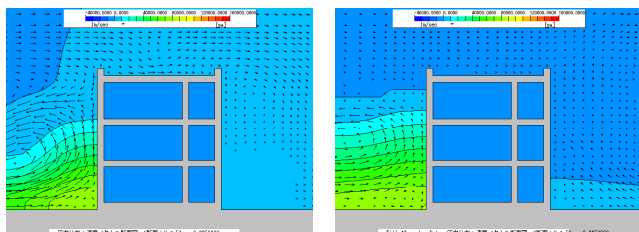
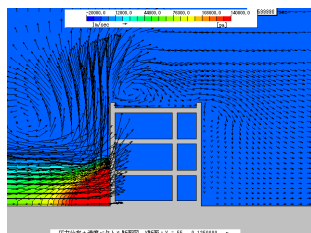


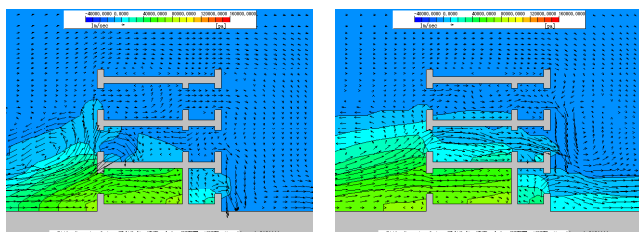
図3 建築物に作用する水平方向の津波力の時刻歴（初期条件波高8m）

図4 建築物中央断面内の圧力分布（初期条件波高8m、開口なし、最大津波荷重時  $t=1.76s$ ）



(a)  $t=5s$  (b)  $t=10s$

図5 建築物中央断面内の圧力分布（初期条件波高2m、開口なし）



(a)  $t=5s$  (b)  $t=10s$

図6 建築物中央断面内の圧力分布（初期条件波高2m、開口あり）

衝突する瞬間（1.8 秒前後）にスパイク状の大きな荷重が作用する（図 4）。ただしその作用時間は極めて短く、建築物の前面にのみ極めて大きな圧力が作用する。その後押し寄せた津波の流れにより建築物全体に抗力が発生する。このような津波力の時刻歴は水槽実験でも確認されており、開口がある場合には衝突時のスパイク状の荷重も小さく、開口がない場合の 70%前後の荷重となった。

図 5 は  $t=5, 10s$  の開口部がない場合の建築物中央断面内の圧力分布である。建築物壁面上の圧力は静水圧分布に近いが、建築物海側の圧力分布は右上がりの分布と層状分布となっている。津波は建築物の屋上近くまで到達している。一方、図 6 は  $t=5, 10s$  の開口部がある場合の建築物中央断面内の圧力分布である。どちらの場合も開口部から津波が建築物内に流入し、津波の波高は 3 階付近までで開口がない場合よりも低くなった。

開口部のある建築物に作用する津波は、開口部のない建築物に比べて、津波の最大波高と津波荷重が低減されることがシミュレーション結果より分かった。津波に対しては 1 階がピロティ構造の建築物の方が構造的には有利であると言われているが、ピロティ構造は地震に対して層崩壊を起こしやすく、構造的に有利とは言えない。むしろ、一般的な開口部をもつ建築物であっても、その開口部を海側に向けることで、積極的に 1 階部分に津波を流入させると、建築物全体に作用する津波荷重や最大波高を軽減させる効果があると考えられる。

#### 4. まとめ

VOF 法による気液二相流れ解析により、建築物に作用する津波のシミュレーションを実施した。開口部の有無による津波荷重、最大波高を軽減させる効果があることを確認した。

本研究を開始する契機となった津波避難ビルの技術的検討委員会（委員長：岡田恒男、日本建築センター）に感謝します。また、シミュレーション結果については、津波災害の軽減方策に関する研究委員会（委員長：松富英夫、日本地震工学会）においてご検討いただきました。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

1. 中央防災会議：東南海・南海地震対策大綱、2003.12  
<http://www.bousai.go.jp/chubou/no9.html>
2. 内閣府：津波避難ビル等に係るガイドライン、2005.4
3. 日本建築センター：津波避難ビルに関する調査検討、2005.3
4. 日本建築センター：津波避難ビルの技術的検討調査、2006.3
5. 岡田ら：津波に対する建築物の構造設計法について、-その 2：設計法（案）-、ビルディングレーター、pp.1-8、2004.11
6. 朝倉ら：海岸工学論文集、第 47 巻、pp.911-915、2000
7. 池野ら：海岸工学論文集、第 48 巻、pp.846-850、2001
8. 飯塚・松富：海岸工学論文集、第 47 巻、pp.911-915、2000
9. 加納ら：津波外力による RC 造・S 造建物への被害想定、NTT BTI 2005、<http://www.ntt-bti.co.jp/kenkyu/index.html#42>
10. Hirt, et al.: A Solution Algorithm for Transient Fluid Flow with Multiple Free Boundaries, Los Alamos Scientific Laboratory, pp.1-32, 1980