

建築物に作用する津波荷重のシミュレーション

構造研究グループ 上席研究員 奥田 泰雄

I はじめに

我が国の津波被害については、平成5年の北海道南西沖地震による奥尻島の被害が有名であるが、今後、東海・南海・東南海地震等の発生によっては、再び大規模な津波に見舞われる可能性が指摘されている。しかしながら、津波に関する研究が主に土木分野で行われてきたため、港湾の土木構造物を対象としたものが多く、建築物に作用する津波の研究はこれまでなかった。

平成16年度の日本建築センター（BCJ）による「津波避難ビルに関する調査検討」において、初めて建築物に作用する津波荷重について検討がなされた。その際に土木構造物を対象として求めた実験式（津波の浸水深の3倍高さの静水圧²⁾）が津波荷重として採用された¹⁾。その後、BCJでは開口部を有する建築物に作用する津波荷重の推定式を提案した。

本研究では建築物に作用する津波の数値シミュレーションを実施し、上記の実験式と比較することでシミュレーションの妥当性を検討した。さらに、建築物前面の開口部の影響も調べ、BCJが提案した推定式を検証しその適用範囲を示した。

II 解析手法と解析条件

津波の数値シミュレーションはVOF法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（不等間隔格子：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
初期条件：フルード数1.5、対象建築物の手前80mの位置での波高0.5m、1.0m、2.0m、5.0m
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

図1に対象とした建築物（RC造3階建て校舎 幅約50m×奥行約16m×高さ約12m¹⁾）とシミュレーションにより求めた建築物表面上の津波の流れの一例を示す。

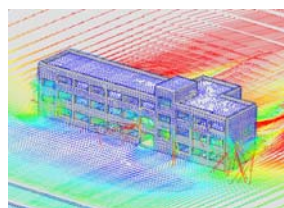


図1 建築物表面上のの流れ

III 解析結果

(1) 津波波圧分布

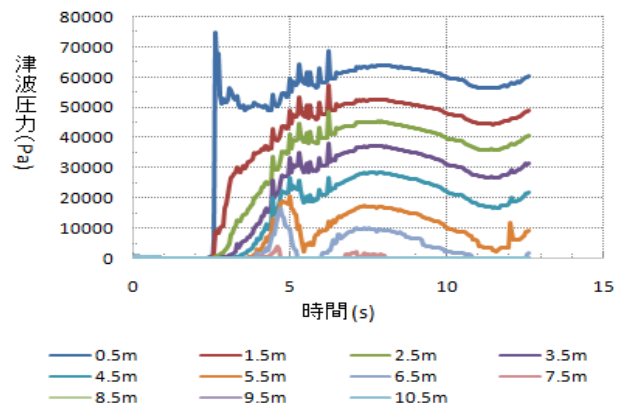


図2 閉鎖型建築物の前面に作用する津波波圧の時刻歴（初期条件：波高2m）

図2は、図1の建築物の前面の開口部がない場合の建築物の中央線上に作用する津波波圧の時刻歴である。凡例の数値は各波圧を求めた建築物前面での高さである。2.6秒前後の津波の先端が建築物に到達した時刻で、最下層の高さで衝撃的な波圧（約 7.5×10^4 Pa）が発生している。その後8.0秒付近で各高さの波圧は極大値（約 6.5×10^4 Pa）をとる。

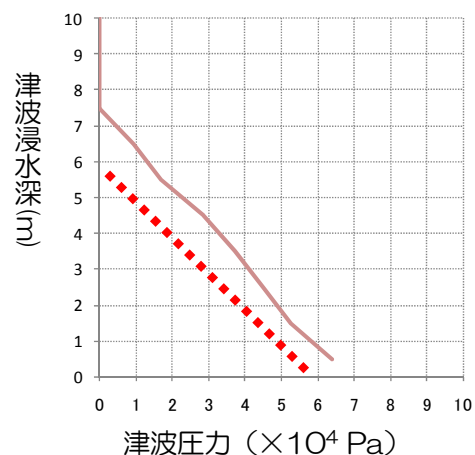


図3 閉鎖型建築物の前面に作用する津波圧力分布（初期条件：津波波高2m） 点線：非ソリトン分裂時の最大波圧の実験式²⁾

図3は、図2中での8.0秒付近で津波圧力が極大値をとった際の津波圧力分布である。図中の点線は、朝倉ら²⁾が実験により求めた津波浸水深の3倍高さの静水圧分布を示しており、このシミュレーションによって実験とほぼ同等の津波波圧が発生していることが確認できる。

(2) 開口部の影響

建築物は一般に開口部を有し、津波力はそれに従って低減すると考えられる。BCJ¹⁾での検討では、建築物前面の開口部面積によって線形的に津波力を低減する推定式を提案した。

対象建築物は図1に示すRC造3階建ての校舎（単位面積当たりの重量 13kN/m²）である。窓ガラスの耐風圧は高々数千Pa程度であり、津波波圧は数万Pa以上あるため、津波が作用した際には窓ガラスは破損すると考え、開口部には窓ガラスは設けていない。建築物前面の開口部の高さを変えて開口面積を変化させることとした。また、建築物の背面の開口部の状況は変えていない。建築物は外壁・内壁とも十分剛なものとして仮定し、津波の作用による破壊等はここでは考慮していない。

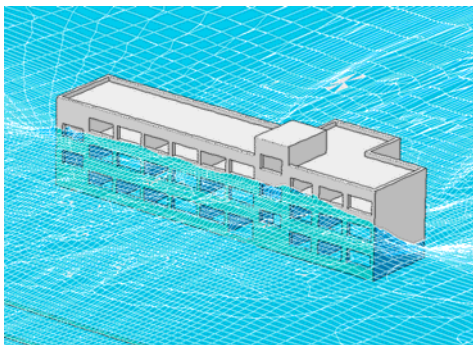


図4 建築物に作用する津波の様子

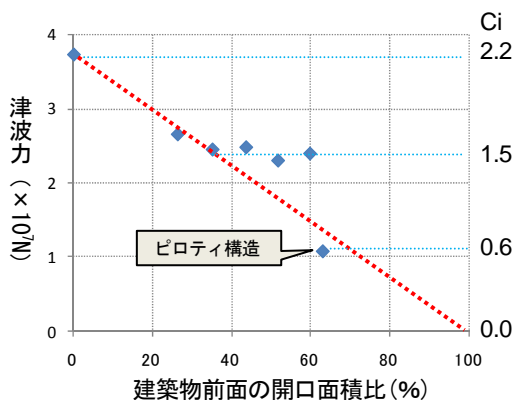


図5 建築物全体に作用する開口面積比と最大津波力（初期条件：波高5m）

図4は前面に開口部をもつ建築物に作用する津波のシミュレーションの様子である。津波は開口部を通して建築物の内部に流れ込み背面の開口部より流れ出る。時々刻々の建築物全体に作用する津波力は、建築物の外壁だけでなく内壁に作用する津波波圧も含めて積分し求めた。

図5は津波力の最大値を建築物前面の開口面積比（＝開口部の面積/建築物前面の面積）に対して求めた。津波の浸水深が5mの場合、建築物の前面に開口部がないとすると、最大で約 $3.7 \times 10^7 \text{N}$ の津波力が建築物に作用する。これはベースシアー係数 C_i に換算して2.2に相当し、BCJのガイドライン¹⁾ではこの建築物はこの5mの浸水深の津波には耐えられず、津波避難ビルの検討対象外であることを示している。しかし、建築物の前面に開口部を設けると津波力は軽減し、ベースシアー係数 C_i は1.5となり、要検討ではあるが検討対象に入ることになる。

点線は開口部がない場合（開口面積比 0%）を最大として線形的な低減（BCJ 推定式¹⁾）を示したものであるが、シミュレーション結果はほぼこの点線上にあることが分かった。しかし、開口面積比が約40%以上では、津波力は横這いとなり、これ以上は軽減せず、推定式に適用範囲があることも分かった。これは建築物前面の開口面積比が大きくなってでも内壁や背面に壁がある場合には、その部材を通じて津波力が作用するので、必ずしも0に近づくことはないからである。

一方、1階部分をピロティ構造とした場合にはほぼ線形的に軽減し、ベースシアー係数で0.6となった。これまでにも指摘されていたように、津波力に対してピロティ構造は非常に有効であることを示す結果となったが、ピロティ構造では耐震性に対して十分な配慮が必要であり、また2階床の浮力に対する構造設計も必要であることを指摘しておく必要がある。

IV. まとめ

建築物に作用する津波のシミュレーションを実施し、土木構造物を対象として求めた実験式と比較し、シミュレーションの妥当性を示した。建築物前面の開口面積比の影響を調べ、津波避難ビルで提案された推定式を検証し、その適用範囲を示した。

参考文献

1. 日本建築センター：津波避難ビルの技術的検討調査、2006. 3
2. 朝倉ら：海岸工学論文集、第47巻、pp. 911-915、2000