

「津波避難ビルに係る津波波力等の評価手法に関する研究」（平成24年度～平成26年度）評価書（事後）

平成27年 5月11日（月）
建築研究所研究評価委員会
委員長 深尾 精一

1. 研究課題の概要

（1）背景及び目的・必要性

建築研究所では2011年東北地方太平洋沖地震の発生後、建築物等に作用した津波荷重の定量的な評価を目的に現地被害調査を実施した。現地被害調査では、建築物の構造別に被害パターンを分類するだけでなく、津波被災地域の建築物の被害について、建築物等の位置・構造諸元・被害状況、周辺の被害状況、津波浸水深などのデータを収集し、調査建築物のデータベースを構築した。これらの調査研究成果は平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震調査研究（速報）（平成23年5月 国土技術政策総合研究所・建築研究所）にまとめられている。これらの調査研究成果を踏まえて、建築物等に作用した津波荷重の定量的な評価を、平成23年度建築基準整備促進事業の調査研究課題の採択者である東京大学生産技術研究所との共同研究で実施し、その成果はすでに2回の中間報告として7月と10月に公表（国土交通省や国土技術政策総合研究所 Website 等）されている。これらの中間報告では被害事例の分析結果に基づき、水深係数 a （計測浸水深に対する構造物の耐力相当時の等価な静水圧高さの比）を算定し、湾口防波堤などによる津波波力の低減効果の有無、汀線からの距離に応じて水深係数 a を設定することにより、津波避難ビルのための実用的な津波荷重算定式を提案している。

これらの中間報告を踏まえて、国土交通省は平成23年11月に技術的助言「津波に対し構造耐力上安全な建築物の設計法等に係る追加的知見について」を取りまとめた。さらに、平成23年12月に施行された「津波防災地域づくりに関する法律」施行規則第31条第一号及び第二号の関連告示（平23国交告第1318号）が公布され、津波避難ビル等に作用する津波荷重や耐津波設計法に関する技術基準が定められた。

このように被害に基づく津波荷重の定量的な評価は設計荷重を検討するうえで極めて重要ではあるが、その定量的な評価には被災後の現地調査結果だけでは限界がある。そのため実験的・解析的研究により不足領域（ギャップ）を埋める研究が必要不可欠である。つまり、平23国交告第1318号等で定められた津波避難ビルに作用する津波荷重に関して、課題の解決が不可欠であると考ええる。

なお、本研究で対象とする津波避難ビルとは、平23国交告第1318号に定める技術基準を満足する建築物をいい、津波荷重とは建築物等に作用する津波波圧、津波波力及び浮力の総称である。

（2）研究開発の概要

本研究は、平成23年度の基盤研究「津波避難ビルの構造安全性及び避難安全性に関する基礎的検討」の研究成果及び平成23年度建築基準整備促進事業の調査研究の成果を踏まえて、実験的・解析的研究により、建築物の開口形状と大きさによる津波波力の低減効果、浮力による建築物の転倒抵抗耐力の低減効果、障害物や地表面粗度等による津波波力の低減効果に関して定量的な評価を行い、津波避難ビルの津波荷重の評価手法に関する技術資料の整備に資するものである。

（3）達成すべき目標

以下のようにサブテーマ毎に目標を定め、地方行政が津波防災計画の策定に用いる技術基準（津波防災地域づくりに関する法律施行規則（平成23年）第31条及び関連告示等）の運用・改正に資する技術資

料をまとめる。

サブテーマ1：建築物の開口形状と大きさによる波力低減効果を定量的に評価する。

サブテーマ2：浮力による建築物の転倒抵抗耐力の低減を定量的に評価する。

サブテーマ3：障害物や地表面粗度等による波力低減効果を定量的に評価する。

(4) 達成状況

1) サブテーマ1：建築物の開口形状と大きさによる波力低減効果を定量的に評価する。

建築基準整備促進事業 S3 の事業主体との共同研究にて実施し、開口部の大きさを考慮したモデルと解放部分（ピロティ）を対象としたモデルの双方で検討した。

① 開口部の大きさを考慮したモデル

解析モデルとして「津波避難ビル等の構造上の要件の解説（2012年）」に掲げる10階建て事務所に開口率をパラメータにしたものを作成し、数値シミュレーションを実施した。浸水深とフルード数をパラメータとした波圧を作用させたシミュレーション結果から、高さ方向の波圧分布を得るとともに、開口率及び内部コア配置の違いが波力の低減に与える影響を明らかにした。

また、上記の解析モデル以外にも、開口の大きさを考慮した水理実験と数値シミュレーションを行い、開口率が小さい場合には内部構面に作用する波力の影響が小さい結果が得られた。これは上記のシミュレーション結果と定性的には同様の傾向であることを確認した。

② 開放部分（ピロティ）を対象としたモデル

津波の流入に対して奥行き構面数を1～8構面に变化させたピロティの解析モデルを作成し、第1構面の水平力に対する全構面の水平力の比から、構面数と水平力との関係を表す式を提案した。

平23国交告第1318号では、第1ただし書で“特別な調査又は研究の結果によって津波の作用に対して安全であることが確かめられた場合にあっては、告示に定める波力・波圧算定の方法によらないことができる”こととされている。上記①②の開口形状等による波力低減効果に関する知見は、当該ただし書の運用に資する参考情報として、技術資料（例えば、建築研究資料）にまとめて公表する予定である。

なお、この技術資料に基づいて技術基準の改正を図る場合、規制強化になる場合も想定されるが、基準化に反映させることは可能である。

2) サブテーマ2：浮力による建築物の転倒抵抗耐力の低減を定量的に評価する。

建築物の転倒に大きな影響を及ぼす浮力発生メカニズムを数値シミュレーション上で再現する手法を検討した。具体的には、基本形状の建築物モデルを対象にして、以下の3点を数値シミュレーションによって再現し、段波作用時に浮力の発生に寄与する現象の定量的評価を試みた。

- ・ 基礎底面と地盤面との間に水が浸入し、基礎底面に作用する鉛直上向きの力
- ・ 開口部から水が流入するときに、垂れ壁下面に作用する鉛直上向きの力
- ・ 開口部から内部に流入した水による鉛直下向きの力

数値シミュレーションの結果、基礎底面と垂れ壁下面には建築物前面に作用する波圧の変化に追随する傾向（相関がある傾向）が認められた。つまり、前面に作用する波圧の変化が基礎底面と垂れ壁下面にも伝播し、鉛直上向きの圧力として作用することがわかった。

平23国交告第1318号では、第一第二号イにおいて“津波の作用時に、津波による浮力の影響その他の事情を勘案し、建築物等が転倒し、又は滑動しないことが確かめられた構造方法を用いるものとする”とされている。

上記シミュレーションは限られた検討結果であり、今後さらに系統的なパラメトリックスタディが必要であるが、その解析手法は当該規定を運用するに当たり、浮力の影響の定量的な検証の参考にすることができる。例えば基礎の滑動や杭耐力の検討において、実状に近い鉛直上向きの力の作用や内部に水が流入する状況を適切に再現することによって、水の流入を考慮しない場合よりも合理的な検証ができると考えられる。

3) サブテーマ3：障害物や地表面粗度等による波力低減効果を定量的に評価する。

建築基準整備促進事業 S3 の事業主体との共同研究にて実施した。障害物として防潮堤を設けた場合と街区による地表面粗度と地形の勾配を考慮した場合について、水理実験及び数値シミュレーションを行い、障害物や地表面粗度等が建築物の波力に及ぼす定量的な影響について検討した。

実験等の結果から、防潮堤からの距離、地表面粗度の違いが流速に与える影響を考察し、波力算定のための静水圧式に用いる水深係数 a について、より実状に近い合理的な係数設定の考え方を提示した。

また、水理実験や数値シミュレーション結果を踏まえて、津波の流速と抗力係数を用いた波力算定式（抗力式）の適用に関する検討を行った。

平 23 国交告第 1318 号では、第 1 ただし書で“特別な調査又は研究の結果によって津波の作用に対して安全であることが確かめられた場合にあっては、告示に定める波力・波圧算定の方法によらないことができる”こととされている。本サブテーマで得た合理的な水深係数の設定、流速を用いた波力算定に関する知見は当該ただし書の運用に資する参考情報として、技術資料（例えば、建築研究資料）にまとめて公表する予定である。

なお、この技術資料に基づいて技術基準の改正を図る場合、水深係数に係る具体的な数値や図表を整理して示す必要があるが、基準化に反映させることは可能である。

2. 研究評価委員会（分科会）の所見（担当分科会名：構造分科会）

（1）所見

- ① 3 つのサブテーマについて、十分な成果が得られている。現状の安全側の評価に対し、より実態に近い評価を行える技術資料を整備したと評価する。重要な課題であるので、今後以下の点を考慮しながら、更なる成果の公表と研究の継続を期待する。
- ② 多角的に取り組んでいることは評価できるが、目的を明確にしつつ、各テーマを関連付けた全体像を示すことが必要ではないか。
- ③ 津波来襲前の強い揺れに対する耐震性確保、液状化による引き抜き抵抗力の喪失、堤防の損壊などに対する考え方の整理が必要。難しい課題なのでじっくりとメカニズムを解明することも大事であり、検討の継続が望まれる。
- ④ 開口を考慮したときの静水圧分布の評価、転倒抵抗のメカニズム、地表面粗度の現実的な評価、提案されている抗力式における浸水深と流速の設定など、残された課題も多い。更なる本格的な検討が望まれる。
- ⑤ 適切な開口率と開口部の考え方、海岸線からの距離など、より効果的な津波避難ビルのありかたを提示できるとよい。
- ⑥ 技術資料においては、限定された条件から得られた評価式や、評価式までは至っていないが現象として把握できたものを含めて、より多くの知見を公表することがよい。
- ⑦ さまざまな成果の発表がなされてはいるが、それらを取りまとめた査読付論文（日本建築学会論文集、技術報告など）の発表が望まれる。
- ⑧ 他機関（港湾空港技術研究所、土木研究所など）との役割分担と協力を進められたい。

（2）対応内容

所見②への対応

本研究の成果を技術資料にまとめる作業のなかで、本研究の目的、各サブテーマ同士の関係と全体像を明確に示すこととする。

所見③④への対応

本研究の成果を技術資料にまとめる作業のなかで、今後さらに検討すべき課題の抽出を行った上で、建築基準整備促進事業における課題との連携を視野に入れつつ、平成 28 年度をめどに、新規課題の提案を

（津波避難ビルに係る津波波力等の評価手法に関する研究）

検討する。

所見⑤⑥への対応

いただいた所見の視点に配慮しつつ、本研究の成果を技術資料にまとめることとする。

所見⑦への対応

日本建築学会への査読付論文の投稿を予定している。

所見⑧への対応

建築基準整備促進事業の検討委員会のなかでも港湾関係の学識経験者に協力頂いたが、今後、新規課題を実施する際には引き続き連携を取って課題に取り組むこととする。

3. 全体委員会における所見

この課題は、津波避難ビルにおける津波荷重の評価手法に関する研究であるが、現在、抱えている問題としては重要なものであるといえる。課題に対して十分な成果が得られたと判断されるため、分科会の評価を支持し、全体委員会の評価としたい。

なお、都市の状況や、海にどのように面しているかなどもによっても津波による影響は異なってくるので、建築物単体に関する検討だけでなく、もう少し広い範囲を対象とした課題を設定してほしい、という意見があった。

4. 評価結果

- A 本研究で目指した目標を達成できた。
- B 本研究で目指した目標を概ね達成できた。
- C 本研究で目指した目標を達成できなかった。