

2011年東北地方太平洋沖地震による建築物等の被害調査結果に基づく津波荷重の評価 (その1) 比較的単純な工作物を主とした被害に基づく検討

中埜良昭¹⁾・○浅井竜也²⁾・館野公一³⁾・福山洋⁴⁾・藤間功司⁵⁾・芳賀勇治³⁾・菅野忠⁶⁾・岡田恒男⁷⁾

- 1) 正会員 東京大学生産技術研究所, 東京都目黒区駒場 4-6-1, iisnak@iis.u-tokyo.ac.jp
- 2) 学生会員 東京大学生産技術研究所, 東京都目黒区駒場 4-6-1, tasai@iis.u-tokyo.ac.jp
- 3) 非会員 (財)日本建築防災協会, 東京都港区虎ノ門 2-3-20, kenboky@kenchiku-bosai.or.jp
- 4) 正会員 (独)建築研究所, 茨城県つくば市立原一番地, fukuyama@kenken.go.jp
- 5) 正会員 防衛大学校, 神奈川県横須賀市走水 1-10-20, fujima@nda.ac.jp
- 6) 正会員 (財)日本建築防災協会, 東京都港区虎ノ門 2-3-20, kenboky@kenchiku-bosai.or.jp
- 7) 名誉会員 (財)日本建築防災協会, 東京都港区虎ノ門 2-3-20, kenboky@kenchiku-bosai.or.jp

1. はじめに

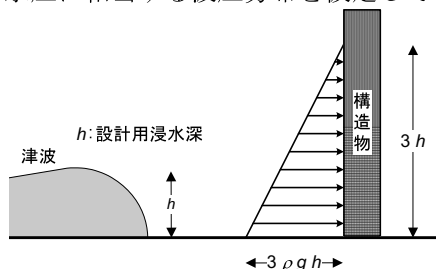
津波に強い建築物を構造設計するためには, 建築物に作用する津波荷重を定量的に評価し設計荷重に適切に反映することが第一歩である. しかしながら, 特に建築構造の分野ではこれまで津波被害の定量的調査や津波荷重の評価に関する研究は極めて少ない.

本稿では 2011 年東北地方太平洋沖地震による被災地域を対象に筆者らが中心になり収集したデータより, まず(その1)で主に比較的単純な工作物等を, 次に(その2)で建築物を対象に, 津波荷重と被害程度の関係の現時点での分析結果を文献 1), 2)に基づきその概要を報告する.

2. 調査と分析の方針

調査と分析は 2004 年スマトラ島沖地震津波の被害調査時³⁾と同様, 以下の基本方針で行った. すなわち, ①津波被害を受けた建築物等の計測浸水深と構造諸元, 被害程度等を現地調査により把握し, ②内閣府の「津波避難ビル等に係るガイドライン」⁴⁾

(以下, ガイドラインと呼ぶ)で参照されている(財)日本建築センターの津波避難ビルの構造設計法等⁵⁾⁶⁾を参考に, 構造物の耐力相当時の津波浸水深を算定し, ③これを計測浸水深と比較しつつ被害形態・程度との整合性を検討した. 図1にガイドラインで参照される津波波圧算定式を示す. 同式では, ある想定された設計用浸水深 h の3倍に相当する, 高さ $3h$ の静水圧に相当する波圧分布を仮定している.



津波波圧算定式: $q_x = \rho g(3h - z)$

- q_x : 構造設計用の進行方向の津波波圧(kN/m²)
- ρ : 水の単位体積質量(t/m³)
- g : 重力加速度(m/s²)
- h : 設計用浸水深(m)
- z : 当該部分の地盤面からの高さ ($0 \leq z \leq 3h$) (m)

図1 津波波圧算定式

調査は4月初旬から6月下旬にかけて5回にわたり青森県久慈市から福島県相馬市にかけて実施し, 建築物に加えて橋脚や防潮堤などの土木構造物, 塀や門柱などの単純な工作物も調査対象とした. いずれも構造種別は主としてRC造系で, 調査事例は130件を超える. 写真1に収集した被害事例を示す. 建築物に加えて土木構造物や工作物を対象とした理由は, 一般に架構形式や破壊形態が建築物より単純で, そのため構造耐力評価にばらつきが生じにくく, 津波荷重を構造耐力から評価する際にその不確定要因のより少ない「基本問題」として扱えると考えたためである. 一方, 例えばいわゆるピロティ構造のように架構形式としては単純でも, 建物がピロティ層より上部で波力を受けた場合の受圧面のとり方やピロティによる津波荷重低減効果の評価方法など解決すべき事項が多く, 架構形式が単純であっても構造耐力に基づく津波荷重評価の観点からは「応用問題」に分類されるものもある点には留意する必要がある.

3. 分析結果

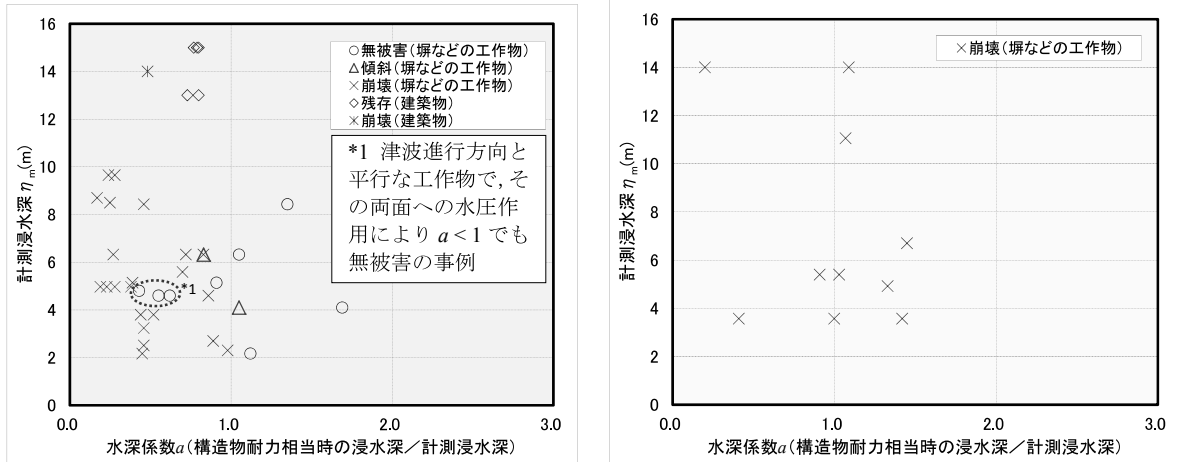
調査事例のうち比較的単純な工作物 42 件およびRC造建築物 6 棟について, 津波荷重と被害形態・程度との対応関係を検討すべく, 図2に「計測浸水深 η_m 」と「構造物の耐力相当時の浸水深 $a\eta_m$ 」を計測浸水深 η_m で除した比として定義した水深係数 a 」との関係を示す.

図中の○と◇は被害のない工作物と残存する建築物を, ×と*は崩壊した工作物と建築物(但し転倒した建築物を除く)を, △はわずかに傾斜, ひび割れ等の軽微な損傷が見られる工作物を, それぞれ示している. すなわち○と◇は作用した津波波力が構造物の耐力より小さかったこと, ×と*は作用した津波波力が構造物の耐力より大きかったこと, △は両者が同程度であったこと, をそれぞれ意味する. ここではまず津波波力が構造物の立地条件により異なることを想定し, 津波高さと防波堤や防潮堤などの津波防災施設の規模等を総合的に勘案し, 海側に津波の波力低減を期待し得る遮蔽物がある構造物と, ない構造物とに分類し, 図2の○および◇と×および*の境界を探ることで津波波力の推定を試みた.



層崩壊した建築物 (陸前高田市, RC造平屋) 残存する建築物 (女川町, RC造4階) 崩壊した鉄道橋 (田野畑村, RC造) 崩壊・転倒した防潮堤 (山田町, RC造) 崩壊したブロック塀 (亘理町, CB造)

写真1 被害事例と調査地域



(a) 遮蔽物による波力低減効果が期待できる場合

(b) 遮蔽物による波力低減効果が期待できない場合

図2 計測浸水深と被害程度の関係 (比較的単純な工作物およびRC造建築物)

同図によると遮蔽物による波力低減効果が期待できる場合 (図2(a)) は、計測浸水深が概ね10m以下の場合では図中の*1のデータ群を除けば被害の有無 (○と×等) の境界は水深係数 $a=1$ 程度 (計測浸水深相当) であると考えられる。また計測浸水深が概ね10mを超える場合では水深係数 a が1を下回る建築物も残存し、これらには計測浸水深相当の静水圧荷重は作用しなかったと推察される。

一方、波力低減効果が期待できない場合を同図(b)に示す。調査対象群には該当する建築物はなく、比較的単純な工作物のみである。×が水深係数 $a=1$ を超えて数例プロットされており、計測浸水深の概ね1.5倍以上の静水圧に相当する波力が作用したものと考えられ、遮蔽物の有無による波力低減効果の差が見られる。

なお女川町などで見られた転倒被害事例については、被害に対する浮力や杭の引き抜き抵抗の影響を考慮した検討が必要であるが、これらを見逃した建築研究所による予備検討結果によると、水深係数 a と被害程度には前記と同様の傾向にあるようである。

一方、2004年スマトラ島沖地震津波を経験した構造物を対象とした結果³⁾によると、水深係数 a は2~2.5程度で本調査研究による結果と比較して大きい。これは、前者の調査³⁾では遮蔽物による波力低減効果を期待できる構造物が全くない海岸直近の工作物および建築物に直接的に津波が作用した事例が多かったことが理由の一つとして考えられる。

4. まとめ

実被害を説明しうる事象や定量的データの分析・解釈には、浮力や杭の引き抜き抵抗の影響、開口による波圧低減効果、漂流物や洗掘の影響など検討すべき事項は残されているが、現在設計用津波荷重評価の提案につながる基礎的かつ定量的分析結果が蓄積されつつあり、本稿ではその一部を紹介した。一方、構造設計に直接的に影響する重要なパラメータである設計用浸水深については、津波シミュレーションによる解析値と計測浸水深との関係を整理・分析した上で定義・設定する必要がある。今後は津波工学分野との緊密な連携を図りながら、必要な条件を建築構造分野から提示することで構造設計に直ちに利用できる情報を含む津波ハザードマップの作成を目指すことが肝要である。

参考文献

- 1) 東京大学生産技術研究所：平成23年度 建築基準整備促進事業「40.津波危険地域における建築基準等の整備に資する検討」中間報告，平成23年7月
<http://www.nilim.go.jp/japanese/organization/kenchiku/iinkai/20110818pdf/siryoul.pdf>
- 2) 中埜良昭：津波と建築構造，建築雑誌，pp.34-35，2011.10
- 3) 中埜良昭：スマトラ島沖地震津波の被害調査結果に基づく津波避難施設の設計外力評価，日本建築学会技術報告集，第13巻 第25号，pp.337-340，2007.6
- 4) 内閣府：津波避難ビル等に係るガイドライン，2005.6
- 5) 岡田恒男，菅野忠，石川忠志，扇丈朗，高井茂光，浜辺千佐子：津波に対する建築物の構造設計法について -その1：予備検討-，ビルディングレター，2004.10
- 6) 同上 -その2：設計法(案)-，ビルディングレター，2004.11