

2011年東北地方太平洋沖地震による津波被害調査に基づく建築物の転倒に関する検討

○浅井竜也¹⁾・館野公一²⁾・崔琥³⁾・高橋典之⁴⁾・中埜良昭⁵⁾

- 1) 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
- 2) 非会員 鹿島建設株式会社, 東京都港区元赤坂 1-3-1, tateno@kajima.com
- 3) 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, choiho@iis.u-tokyo.ac.jp
- 4) 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, ntaka@iis.u-tokyo.ac.jp
- 5) 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

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震により発生した津波は、複数のRC造建築物を転倒させた。今次津波ほど大規模なRC造建築物を転倒させた例は過去に無く、この転倒現象について定量的な検討を行うことは、今後の津波防災の観点から急務となっている。津波により建築物が転倒に至る現象を把握するためには、津波荷重の他、浸水した建築物に作用する浮力、建築物が有する杭の引抜抵抗などを考慮する必要がある。そこで本報では、今次津波の荷重評価結果¹⁾を用いるとともに、さらに被害調査に基づき建築物に作用する浮力、杭による抵抗力を定量的に評価・考慮することで、今次津波により複数のRC造建築物が転倒した現象と原因について検討を行う。

2. 検討方針

検討に用いるデータは、2011年東北地方太平洋沖地震により発生した津波の被害調査結果²⁾に示される調査構造物より、本検討に必要な建築物寸法が計測された残存および転倒建築物の計17棟とした。写真1に検討対象建築物の一例を示す。

検討は、それぞれの建築物の寸法、およびその近傍で計測された浸水深を用いて評価した「転倒モーメント比」(抵抗モーメント/転倒モーメントにより定義する)と、それぞれの建築物の被害実態(残存・転倒)を比較することにより行った。抵抗モーメントは、①自重(浮力による低減を別途考慮)と②杭の抵抗による、転倒に抵抗するモーメントとし、転倒モーメントは、③津波波力による転倒方向のモーメントとした。以下に、①から③それぞれの評価方法を記す。

①自重による抵抗モーメント

自重による抵抗モーメントは、建築物の自重とその津波進行方向における奥行から算出される抵抗モーメントおよび、建築物が浸水した時に存在していたと推定される、垂れ壁下端から上階のスラブ下端までの空隙体積により生じる浮力による抵抗モーメントの低下量 b_1 、躯体体積分の浮力による抵抗モーメントの低下量 b_2 、をそれぞれ考慮した。

②杭による抵抗モーメント

杭による抵抗モーメントは次のように評価した。まず、杭を有する建築物の内、基礎構造の破壊・露出により杭の配筋等の詳細が判明している建築物は、その破壊形式(杭の鉄筋破断)に基づき杭の鉄筋破断時強度により評価した。ただし、多くの杭鉄筋で破断が生じたものの、一部の杭が地盤より引き抜かれ、地盤の液状化の可能性が指摘されている建築物^{3)・4)}については、全杭について鉄筋破断時強度に基づき評価した場合と、杭の引抜抵抗を無視した場合の2ケースを設定した。一方、杭を有するものの、破壊に至っていないためにその配筋等の詳細が不明な建築物については、これらが判明している建築物の情報を参考に杭本数ならびに全配筋量を仮定し、鉄筋降伏時強度により杭抵抗力の上限値として評価した。なお、杭と躯体の定着が有効でない転倒建築物については、杭の影響は無視した。杭の有無が不明な残存建築物については、杭が有る場合と無い場合を上下限值として考慮し、杭が有ると仮定した場合の抵抗モーメントは、前述と同様の仮定を用いて評価した。

③津波波力による転倒モーメント

今次津波の被害調査に基づく津波荷重評価結果¹⁾



RC造2階建て建築物
女川町, 転倒

RC造4階建て建築物
女川町, 転倒

RC造2階建て建築物
女川町, 残存

RC造5階建て建築物
陸前高田市, 残存

写真1 検討対象建築物例

を用いて評価を行った。すなわち、津波荷重の波圧分布を(1)式により定め、式中の津波荷重に関わる水深係数 a を、計測浸水深が 10m 以下の地域では 1.0、計測浸水深が 13m 以上の地域では 0.7、として定まる津波波圧を用い、文献 1) と同様に転倒モーメントを算定した。

$$p_z = \rho g (a \eta_m - z) \quad (1)$$

p_z : 計測浸水深 η_m 時の津波波圧 (kN/m²)

ρ : 水の単位体積質量 (t/m³) (1.0 を仮定)

g : 重力加速度 (m/s²)

a : 水深係数

η_m : 計測浸水深 (GL からの実測値で定義) (m)

z : 当該部分の地盤面からの高さ (m) ($0 \leq z \leq a \eta_m$)

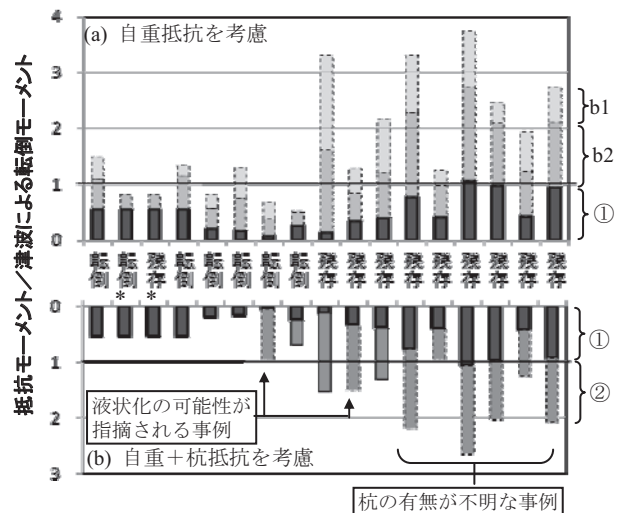
なお、前記①および③の評価では、津波波力、浮力が共に最大となり、建築物が最も転倒しやすい状況として、最大浸水深時 (本調査においては計測浸水深に相当する) を考えた。ただし、最大浸水深に達する以前に建築物内外の水位が大きく異なる場合は、その時に浮力が最大になる場合が考えられるが、津波来襲時の記録映像によると水位上昇は遅いこと (例えば宮城県女川町では約 30 秒で 1m の水位上昇³⁾)、対象建築物の規模が大きくないことなどを考慮すると、建築物内外の水位は同程度と考えられる。

3. 検討結果

以上を考慮して算出された転倒モーメント比 (抵抗モーメント/転倒モーメント) の検討結果を図 1 に示す。図 1 の横軸には本検討を行った建築物を並び、それぞれの被害実態を記している。図中の*で記す 2 棟は同形式の建築物であり、異なる被害形態が混在した事例である。縦軸は各建築物の転倒モーメント比を示しており、その値が 1.0 以上の建築物は残存、1.0 以下の建築物は転倒、と分類されれば、検討結果と被害実態が整合したことになる。

まず図 1(a)に、自重による抵抗モーメントのみを考慮した場合の転倒モーメント比を示す (杭の抵抗は無視)。図中の点線で示した部分は、浮力を考慮することによる抵抗モーメントの低下量を表す。図 1(a)より、浮力を考慮しない場合の転倒モーメント比 (すなわち①+ b1 + b2) は、複数の転倒建築物でその値が 1.5 程度となり、被害実態と整合しない。また、浮力低減を考慮した場合の転倒モーメント比 (すなわち①) は、転倒建築物のみならず、多くの残存建築物でも転倒モーメント比が 1.0 を下回り、こちらも被害実態と整合しない。

次に、図 1(b)に、浮力による抵抗低減を考慮した自重による抵抗モーメントに加え、杭の引抜抵抗を考慮した転倒モーメント比を示す。図中の点線で示した部分は、2 章の定義による、地盤の液状化の可能性が指摘される建築物および、杭の有無が不明な建築物の杭抵抗寄与分である。図 1(b)によると、浮



- ① : 自重による抵抗モーメント
- ② : 杭による抵抗モーメント
- b1 : 空隙体積分の浮力による抵抗モーメント低下量
- b2 : 躯体体積分の浮力による抵抗モーメント低下量
- * は同形式の建築物で転倒/残存の両被害形態が混在する。

図 1 抵抗モーメント比と被害程度の関係

力および杭の抵抗を考慮した転倒モーメント比 (すなわち①+②) は、仮定した杭の引抜抵抗を考慮すると、転倒モーメント比が 1.0 以上の建築物は残存、1.0 以下の建築物は転倒、と概ね分類され、検討結果と被害実態が概ね符合した。

4. まとめ

2011 年東北地方太平洋沖地震による津波により複数の建築物が転倒に至った現象について、被害調査に基づく津波荷重評価結果および、浮力と杭の引抜抵抗を考慮して検討を行った。検討は杭の本数や鉄筋強度などに仮定を含むものの、浮力による抵抗低減および杭の引抜抵抗を考慮した検討結果は、概ね建築物の残存/転倒という被害実態と符合した。また、本検討によると、浮力による抵抗低減および杭の引抜抵抗が建築物の転倒現象に与える影響は無視できず、津波に耐え得る建築物を構造設計する上では、これらを十分に考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 浅井竜也, 舘野公一, 中埜良昭, 福山洋, 藤間功司, 芳賀勇治, 菅野忠, 岡田恒男: 2011 年東北地方太平洋沖地震による建築物等の被害調査に基づく津波荷重の評価—比較的単純な工物および建築物の被害調査結果に基づく検討, 構造工学論文集, Vol.58B, pp.97-104, 2012.3
- 2) 東京大学生産技術研究所: 2011 年東北地方太平洋沖地震による建築物の地震被害および津波被害報告, 2012.3
<http://sismo.iis.u-tokyo.ac.jp/Research.files/topic4.files/topic4-018.files/T4-18-1.pdf>
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所, 建築研究所: 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震被害調査報告, 2012.3,
<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/20110311/0311report.html>
- 4) 日本建築学会: 2011 年東北地方太平洋沖地震災害調査速報, 2011.7