

京都大学工学部地球工学科 学生会員 ○家根 拓矢
京都大学大学院地球環境学堂 正会員 奥村 与志弘
京都大学大学院地球環境学堂 正会員 清野 純史

1. 本研究の背景と目的

東日本大震災では、宮城県女川町でこれまで津波に強いと考えられてきた鉄筋コンクリート造（以下、RC 造）の建物が杭基礎ごと引き抜かれ、流出するという被害が報告された。本研究の目的は、2011 年東北津波で転倒・流出した杭基礎を有する RC 構造物と残存した同種の構造物が混在する宮城県女川町に注目して、被災したメカニズムおよび被災しなかったメカニズムを明らかにすることである。

2. 本研究の方法

2.1 津波氾濫解析

2.1.1 支配方程式

海域における津波伝搬と対象建物を含む陸域における津波氾濫の再現計算には、いずれも平面 2 次元の津波氾濫解析手法を用いる。この津波の挙動は長波理論で表される。式 (1) ~ (3) は非線形長波理論の基礎方程式である。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

ここに、 η , M , N , h , D , n , g はそれぞれ、水位変動、 x 方向および y 方向の流量フラックス、静水深、全水深、Manning の粗度係数、重力加速度を表す。staggered 格子を用いた leap-frog 方式の差分法を用いた。堤防は計算格子境界に設定し、決壊はしないと仮定した。

2.1.2 津波氾濫解析

図 1 に本研究で対象とする建物の位置関係を示す。対象地域の流速・浸水深の時刻歴から対象建物それぞれにどのタイミングで、どの方向から、どのような波力が作用するのかを算出し、対象建物 6 棟に働いていたと考えられる津波波力をそれぞれ比較検討する。なお、残存建物が市街地に氾濫する津波の挙動に及ぼす

影響の大きさについても注目するため、空間解像度を 2m まで細かくして残存建物を地形モデルで表現する解析だけでなく、建物を粗度で表す解析も行う。後者の解析では、建物が津波の流れを局所的に変化させる状況までは表現できず、算出される津波の物理量は、実際の津波の物理量を空間平均したものとみなせる。

2.2 建物を粗度で表現した津波氾濫解析

大領域から小領域まで順に、1350m, 450m, 150m, 50m, 10m と計算格子間隔を小さくした。計算時間 3 時間、計算時間間隔 0.2 秒、計算潮位 T.P.±0.0m とする。この結果から求められる流速を次式で表される抗力式に代入して建物にかかる波力を求めた。(図 2)

$$F_d = \frac{1}{2} B \rho_s C_d (hu^2)_{max}$$

2.3 建物を地形モデルで表現した津波氾濫解析

大領域から小領域まで順に、1350m, 450m, 150m, 50m, 10m, 2m と計算格子間隔を小さくし、計算時間 3 時間、計算時間間隔 0.05 秒、計算潮位 T.P.±0.0m として計算を行い、建物周りの平均浸水深を求めた。また建物に働く波力を求める際には、この平均浸水深を用いて、建物に働く津波波力を求めた。(図 3)

3. 建物の杭に作用する断面力の検討

次に算出した浸水深から求めた波力を外力として線形有限要素解析による全応力解析を行うことで、杭基礎破壊時の地盤の状況と建物の転倒のメカニズムを検討する。本研究では、対象建物上躯体、杭をビーム要素、フーチング、地盤をソリッド要素でモデル化した。対象としている 6 棟とも同じ地盤条件と仮定し、地盤は建物 A から東約 100m の地点におけるボーリング調査の結果を基にした。この地盤モデルを図 4 に示す。ジョイント要素も組み込んだ。各建物の杭の断面力の状態を比較したものを図 5 に示す。

4.主要な結果

建物を粗度で表現する場合，また同様に建物を地形モデルで表現する場合においても，津波波力の大小だけでは，建物の転倒する，転倒しないを判断するのは難しい．また杭の破壊に関して，対象建物をみると，全体的に転倒した建物は杭が曲げ破壊，またはせん断破壊している傾向がみられる．このことは杭の破壊という観点からみると，地盤モデルを同一条件で比較しても，転倒した，転倒していないを説明することができることを示唆していると考えられる．また転倒する，転倒しないにかかわらず杭には引張り破壊は生じていない．これは本解析が浮力を考慮していないことから杭にかかる引張り応力が小さくなったため考えられる．

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人建築研究所：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）調査研究（速報），第 6 章津波による建築物の被害，2011.05.
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人建築研究所：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）調査研究（速報），6.2 鉄筋コンクリート造建築物の被害，2011.03.
- 3) 土木学会：土木学会東日本大震災被害調査団緊急地震被害調査報告書，土木学会，第 11 章その他の被害，2011



図 1 対象構造物の配置

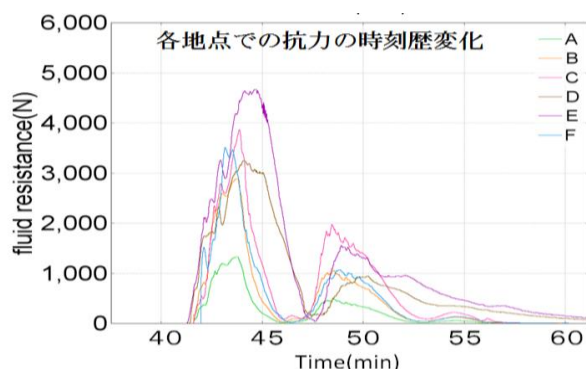


図 2 各地点での抗力の時刻歴変化

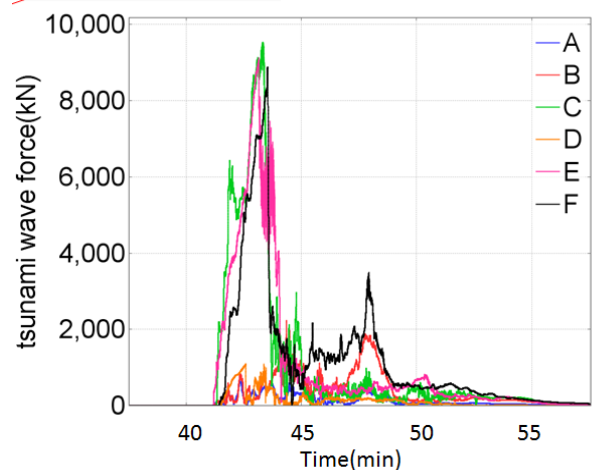


図 3 各建物に働く津波波力

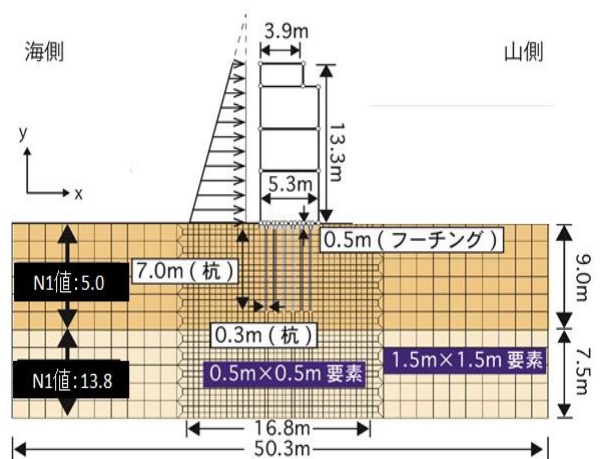


図 4 地盤モデル

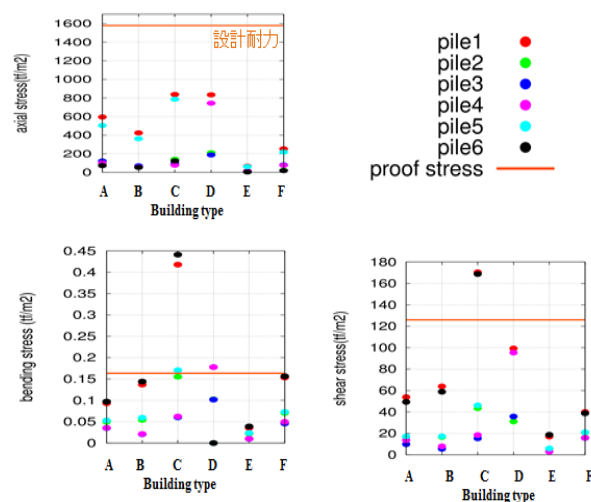


図 5 各建物の杭の最大応答値