2011 年東北津波により杭基礎が破断し転倒・流出した RC 構造物の被災メカニズムに関する研究

京都大学大学院工学研究科 学生員 〇佐藤 祐子 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. 研究目的

2011 年東北津波により,杭基礎を有する RC 構造物の転倒・流出という今までに例のない被害が発生した. 今後も同種の構造物を津波避難ビルとして活用するためには,同構造物の被災メカニズムの解明が肝要となる. 本研究では,女川町で被災した同種の構造物のうち**写真-1** に示す杭基礎が破断し転倒・流出した 1 棟に注目 して,津波氾濫解析と対象構造物の津波応答解析を行い,被災メカニズムを明らかにする.また,奥村ら(2012) は,対象エリアのような軟弱地盤に 10m を超える津波が来襲・作用した場合,氾濫流の水位変動が地盤の有 効応力に及ぼす影響が無視できなくなることを指摘しており,本研究ではその影響を考慮する.

2. 研究内容

本研究では、杭基礎が破断し転倒・流出した RC 構造物の被災メカニズムを地震動による地盤の液状化と津 波による地盤の硬化・軟化を考慮して解析的に検討した.具体的には、まず、対象構造物周辺の津波氾濫流の 浸水深と流速の時間・空間特性を明らかにするため、2011 年東北津波の再現計算を実施した.ここでは非線 形長波理論を staggerd-leapfrog スキームによる有限差分法で解く津波氾濫解析モデルを用いた.対象構造物周 辺の空間解像度は 10m とし、対象構造物周辺の建物が氾濫流に及ぼす影響はマニングの粗度係数を用いて考 慮した.次に、地盤条件、津波外力と杭基礎内の応力分布の関係から被災メカニズムを検討するため、地震動 と津波の地盤への影響に関する仮定が異なる4通りの地盤条件を作成し、それぞれの条件下で津波応答解析を 実施した(表-1).ここでは断面二次元の線形有限要素法を用いた.対象構造物の上躯体はビーム要素で、フー チング、杭基礎、地盤はソリッド要素でモデル化した.なお、ジョイント要素は使用していない、地盤条件は、 仮定によって異なる地震動や津波による地盤の軟化・硬化の状況を、地盤要素の剛性率を初期値の 1/1000 倍 あるいは2倍にすることによって定めた.例えば、Case4 は、地震動により深さ9m 以浅の地盤が液状化して いたところに津波が来襲し、氾濫流の水位上昇によって地下 3m までは地盤が硬化に転じている状況を仮定し ている.ただし、建物直下には津波の影響が及ばないとした.

3. 主要な結果

(1) 地盤条件の異なる 4 通りの津波応答解析の結果(図-1)からは、地震動により地盤が液状化しているとき に津波が来襲し、氾濫流の水位上昇によって(同構造物直下を除き)表層地盤が硬化(剛性が増大)すると仮 定した場合にのみ、杭基礎にせん断破壊と引張破壊の両方が生じ得ることが分かった.実際の杭基礎には引張 破壊が確認されており、上記の地盤条件が最も実現象を説明し得る.(2)液状化が発生しておらず十分な抵抗 モーメントが働く時、すなわち、地震発生前と同等の剛性を有する地盤を仮定する時、第一波により杭基礎が 破断しなければ抵抗モーメントが転倒モーメントよりも大きくなり同構造物は転倒しないことが分かった.よ って、杭基礎の破断は第一波が原因であると考えられる.この時、抵抗モーメントは対象構造物の自重、杭基 礎・地盤の間の周面摩擦、鋼線による引張抵抗を、転倒モーメントは津波の最大浸水深を考慮して算出した. ただし、転倒・流出は2波目以降の可能性もある.(3)津波再現計算の結果では同構造物の原位置における津 波の第一波(最大波)は、最大浸水深(16.9m)に達する前に引きに転じている(図-2).杭基礎に引張破壊が生

キーワード 津波と地震動の複合作用, RC 構造物, 杭基礎, 転倒, 東日本大震災 連絡先 〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂 C クラスターC1-2 棟 地震ライフライ工学講座

T E L 075-383-3253

じるためには、最大浸水深 16.9m から静水圧近似で求められる荷重だけでは不十分であり、海水が土砂を含ん でいる影響や漂流物の影響などを踏まえたより大きな水平力が荷重として作用していた可能性がある.

参考文献

- 土木学会東日本大震災被害調査団(地震工学委員会):緊急地震被害調査報告書, 2011. 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 2) (東日本大震災)調査研究(速報), 2011.
- 奥村ら:津波による地盤の液状化に関する1次元解析,土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol.68, No.4(地 3) 震工学論文集第 31-b 巻), I_1171-I_1178, 2012.



- 定した場合(地盤条件 Case2)
- (a) 地震動による地盤の液状化のみを仮 (b) 地震動による地盤の液状化時に津波による地盤 の硬化を仮定した場合(地盤条件 Case4)
 - **図-1** 杭に作用する応力分布の比較



写真-1 対象構造物の 被災後の様子

表-1 検討する地盤条件. Case1 は初 期地盤条件のままを仮定, Case2は地震動による地盤の液 状化のみを仮定, Case3 は津波 による表層地盤の硬化のみを 仮定, Case4 は地震動による地 盤の液状化時に津波による表 層地盤の硬化を仮定.

	G.L. 0.0m	$G.L.$ -3.0m \sim
	\sim -3.0m	-9.0 m
Case1	G_0	G_0
Case2	$G_0/1000$	$G_0/1000$
Case3	$2G_0$	G_0
Case4	$2G_0^{*}$	$G_0/1000$

G₀: N1 値=4.5 の地盤における剛性率 $(=3.65 \times 10^{3} \text{tf/m}^{2})$ ※対象構造物直下はGo/1000



-48-