

滋賀県下水道建設課 堀井 孝郎 林田 民生 荒谷 裕介
 日本工営株式会社 (正) 小阪 陽克 (正) 平井 孝治 佐藤 友哉

1. はじめに

兵庫県南部地震での下水道処理施設の被害の特徴は、液状化に伴う側方流動により基礎杭の破壊が顕著であった点である。このような状況を踏まえた処理場・ポンプ場の耐震設計の考え方が規定されたのを受けて、下水道処理施設の耐震性能の照査が全国規模で行われている。本報文は、大津市、草津市等5市14町の琵琶湖流域下水道処理場の主要施設の基礎杭の耐震性能を、新しい耐震対策指針に基づき、2次元有限要素解析、梁・バネモデル解析により基礎杭の損傷の程度を検討した成果の内、電気棟基礎杭に関する検討成果を報告する。

2. 施設の概要と地盤条件

検討対象とした電気棟は広大な埋立地に築造されており、護岸からの距離が100m範囲内に立地している。電気棟の概要図と地盤条件を図-2に示す。大きな地震動(L2地震動)が発生した場合、埋土層とその下方の沖積砂層が液状化するため、これに伴う側方流動による護岸および基礎杭の損傷の程度を推察したものである。

3. 解析手法

基礎杭の耐震性能の評価は①「下水道施設の耐震対策指針と解説：(下水道耐震指針)」、②「道路橋示方書・同解説V耐震設計編：(道示)」に基づいて設定した側方流動圧を梁・バネモデル計算で行う方法と、③液状化による地盤の永久変形をFEM解析により求め、梁・バネモデルに強制変位として与える方法により行った。また、護岸に作用する側方流動圧は、兵庫県南部地震でその妥当性が確認されている図-3に示した壁状構造物に適用可能な地震時動土圧法により設定した。なお、FEM解析は地震時の永久変形は地盤内の間隙水圧が上昇したことにより剛性が低下し、初期応力状態に対する初期ひずみとの静的釣り合いが崩れることによって発生するとした安田らの手法をさらに一般化し、剛性の低下による内部不平衡力を初期応力に見立てた初期応力解析手法とした。有限要素モデルを図-4に示す。

4. 解析結果

4.1 護岸の耐震性能

周辺護岸は図-5に示したように、斜杭の引拔力が極限引抜力を上回り、琵琶湖側に大きく変位し、鋼矢板、直杭、斜杭の曲げ応力は、降伏応力を上回る結果が得られた。

4.2 基礎杭の耐震性能

電気棟 No.10 基礎杭の梁・バネモデル解析結果を表-1に示した。表中には東灘処理場のエアレーションタンク基礎

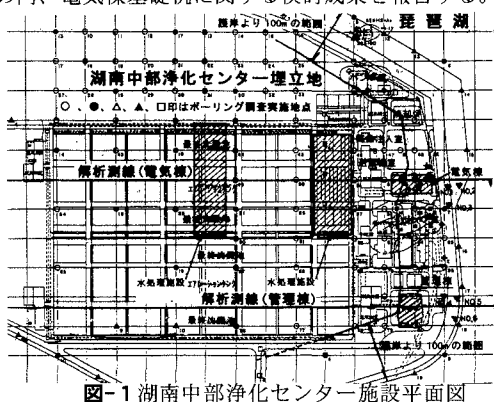


図-1 湖南中部浄化センター施設平面図

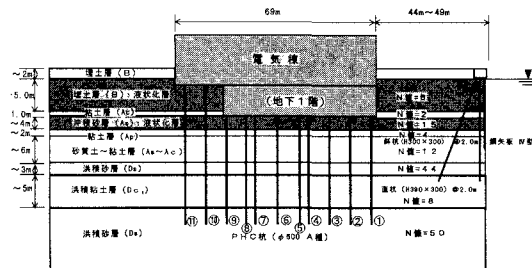
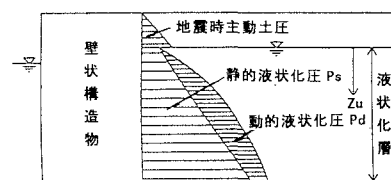


図-2 電気棟概要図と地盤条件



注：規模の縮尺が異なる。

$$P_s = \sum (\gamma \cdot Z) + \gamma_w \cdot Z_w = \text{土圧} + \text{静水圧}$$

$$P_d = (7/8) \cdot K \cdot \gamma_{sat} \cdot \sqrt{H} \cdot Z_w = \text{動土圧}$$

K: 設計水平震度
 γ : 土の単位体積重量 (地下水位以下は有効重量)
 γ_{sat} : 土の飽和単位体積重量
 Z_u : 動土圧計算位置

図-3 地震時動土圧法の概要

キーワード：下水道処理場、側方流動、基礎杭の耐震性能の評価手法

連絡先：大阪市福島区福島7-20-1 日本工営(株)大阪支店、Tel: 06-6343-1206, FAX: 06-6344-6635

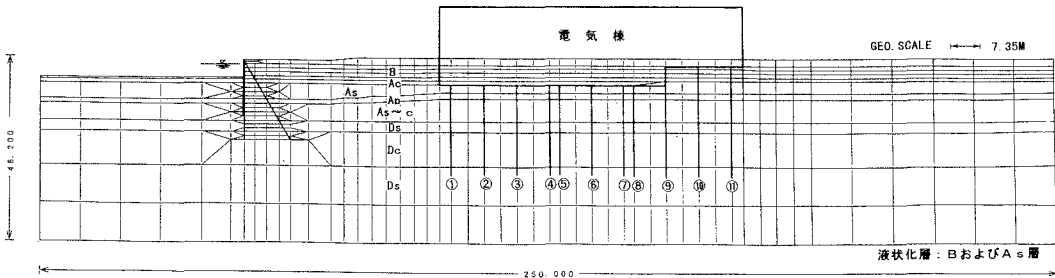


図-4 有限要素モデル

杭を対象した解析結果も示した。これらの解析結果より、
 ①側方流動圧の設定方法の違いにより最大曲げモーメントの大きさに相違が認められること、②杭周辺の地盤が液化化しても液化化層の層厚の違い、杭種と分担荷重の大きさにより、基礎杭の耐震性能はなんら問題ない場合があること、③本施設の杭配列の場合、「下水道耐震指針」と「道示」では基礎杭の最大曲げモーメントは概ね同一であるが、「道示」で地盤ばねをゼロとした場合は、最大曲げモーメントが若干大きくなる傾向にあること、また④FEM解析から得られた基礎杭周辺の相対地盤変位を強制変位として解析した結果が最も発生曲げモーメントが大きい（ただし、地盤ばねの低減係数 $\beta=1/10$ の条件）との知見が得られた。

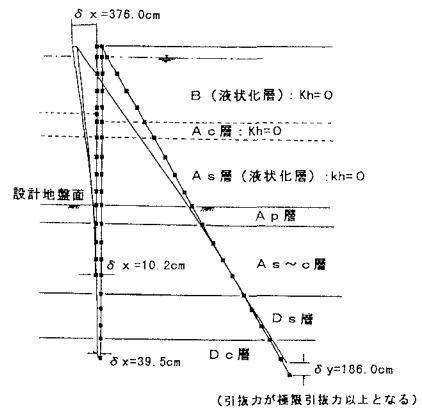


図-5 護岸の梁・バネモデル解析結果

表-1 梁・バネモデル解析結果一覧（電気棟 No. 10 杭）

対象施設	検討ケース	分担荷重 W(tf/本)	側方流動圧 設定方法	液状層厚 D(m)	液状化層の ばね低減率 β	最大曲げモーメント Mmax(tf·m)	許容曲げモーメント Ma(tf·m)	判定	ひび割れモーメント	判定	終局モーメント	判定	
									Mcr(tf·m)		Mu(tf·m)		
東瀬処理場基礎杭	A PC杭 φ350A種	40	下水道耐震	10.8	0	11.77	-	NG	-	NG	-	NG	
		1	140	下水道耐震	6.1	0	2.67	25	OK	35	OK	49.5	OK
湖南中部浄化センター 電気棟基礎杭NO.10	2 PHC杭 φ600A種	140	道示	6.1	1.0	2.16	25	OK	35	OK	49.5	OK	
		3	140	道示	6.1	0	7.09	25	OK	35	OK	49.5	OK
		4	140	FEM解析結果	6.1	1/10	11.55	25	OK	35	OK	49.5	OK

5. まとめ

検討対象とした基礎杭は保有すべき耐震性能の目標水準を十分満足しているとの知見が得られた。しかしながら、解析手法、解析モデルにより杭に発生する最大曲げモーメントの大きさに相違が認められた。側方流動の発生メカニズムに関しては、まだ不明な部分が多い。このため、今後とも基礎杭配列構造を睨んだ解析手法、解析モデル（特に地盤ばね定数の考え方）に係わる研究、設計への反映方法などの研究が必要である。

なお、FEM解析を行うにあたり、(株)地盤ソフト工場の安達健司氏に多大なご協力を頂きました。記して感謝の意を表します。

【参考文献】1)規矩矩義：液状化による地盤の永久変位に関する研究、平成5年、九州工業大学博士論文

2)規矩・安田ら：液状化した砂の強度変形特性に関するねじりせん断試験、第9回日本地震工学シンポジウム発表論文集、Vol.1, pp871~876, 1994.

3)Ishihara,K.,Yoshimine,M.: Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes, Soils Foundations, Vol. 32, No. 1, pp173~188, 1992.