

1. はじめに

液状化や液状化による側方流動の生じる可能性のある地盤では、杭基礎構造物はその影響を考慮して設計する必要がある。この影響を考慮する一方法として応答変位法がある。ここでは、設計などで想定される簡易な方法で側方流動による地盤の変位やその際の地盤バネを設定し、それらの違いによって杭の応答断面力がどのように影響を受けるかについて、実際の被害の調査事例と比較し、検討を行った。

2. 検討対象構造物と検討手法

検討対象は、1995年兵庫県南部地震の際に、液状化・側方流動により杭が損傷した護岸近傍の建築構造物で、被災状況についての調査や検討がなされている<sup>1)2)3)4)5)</sup>。図-1に被災状況の概要を示す。表-1に既往文献の柱状図の記述やN値などを基に設定した本検討に用いる地盤物性値を示す。杭は径400mmのPC杭であり、非線形性などの諸元は表-2に示す。杭は液状化・側方流動により損傷したと考えられることから、ここでは、応答変位法によって地盤バネを介して側方流動変位を杭に作用させ、杭に見られる残留変形被害の説明を試みる。その際に地盤バネあるいは地盤の変位は調査結果にフィッティングするように定めるのではなく、設計で考えるような比較的簡単な方法で設定するものとする。本検討では、地盤変位は水道施設耐震工法指針・同解説の方法<sup>6)</sup>で地表面変位を規定し液状化層内は深さ方向にcos分布とする方法(case-1)、および社本らの簡易評価法<sup>7)</sup>(case-2)で設定した。また、地盤バネはPS検層から求まるせん断剛性にポアソン比0.5を仮定して変形係数を求める方法(case-a)、建築基礎構造設計指針<sup>8)</sup>に示されているように、N値から $E=7N$ で変形係数を求め、そこから地盤バネを求める方法(case-b)を用いた。このとき地盤の非線形性は解析時には考慮せず非液状化層では変形係数の初期値の1/10を、液状化層では1/100、1/1000とする(それぞれcase-a1,case-a2およびcase-b1,case-b2)ことで考慮した。液状化層での剛性の低下の程度は、既往の地震動記録からの推定値<sup>9)</sup>、室内試験結果<sup>10)</sup>などを参考としている。これらの検討ケースを整理して表-3に示す。応答変位法のモデルは護岸から距離の違う2本の杭が杭頭部でフーチングに結合された形式の基礎を梁とウインクラバネでモデル化した。解析モデルの概要を図-2に示す。

3. 地盤変位と地盤の変形係数、および杭の応答

得られた地盤の変形係数を図-3、地盤の変位を図-4に示す。変形係数はPS検層の値を用いた場合とN値から求めた場合とでは1桁違いが見られ、地盤反力係数を求めるためのパラメータとしては、設計基準などに示されている、求め方の違いによる補正が必要である。補正した場合には、ほぼ同程度の関係となるが、ここでは影響度をみる目的から、この補正を行わずに用いた。それぞれのケースの中で液状化層の変形係数は他の層の変形係数に比べ非常に小さな値となっている。地盤の変位はcase-1では地表変位が大きく、2本の杭位置で差が小さい、また変位分布は液状化層下部で大きい。

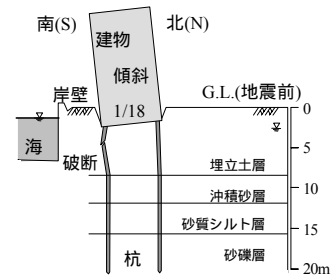


図-1 杭の被害の模式図 (文献1)を参考に描写)

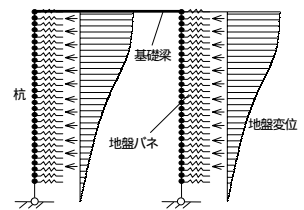


図-2 解析モデル

表-1 地盤モデル

層 No.	土層名	層厚 (m)	層下端深さ (m)	密度 (t/m <sup>3</sup> )	N 値	せん断波速度 (m/s)	せん断抵抗角 (°)	細粒分含有率 (%)	液状化強度 R <sub>120</sub>
1	埋立土	2.0	2.0	1.8	4	125	38	10	
2	埋立土	3.0	5.0	1.8	4	125	38	10	0.16
3	埋立土	3.5	8.5	1.8	10	170	39	10	0.23
4	砂	1.7	10.2	1.8	15	200	41	10	0.27
5	砂	1.7	11.9	1.8	30	250	41	10	0.64
6	砂質シルト	4.4	16.3	1.7		120	39		
7	礫質砂	3.6	19.8	1.9		310	44		
8	礫質砂	10.7	30.5	1.8		350	44		

表-2 杭の諸元

	ひび割れモーメント Mcr(kN・m)	終局モーメント Mu(kN・m)	ひび割れ後の剛性低下率 1	降伏後の剛性低下率 2
PC杭A種	68	110	0.2	0.0001
	杭長(m)	ヤング率E (kN/m <sup>2</sup> )	換算断面積(cm <sup>2</sup> )	換算断面2次モーメントI(cm <sup>4</sup> )
PC杭A種	20	34,300,000	705	102,539

表-3 検討ケース

地盤変位	水道施設耐震工法指針・同解説 (case-1)	社本らの簡易評価法 (case-2)
地盤バネ		
PS 検層から算出 (case-a)	液状化層のせん断剛性, 初期値の 1/100(case1-a1)	液状化層のせん断剛性, 初期値の 1/100(case2-a1)
	液状化層のせん断剛性, 初期値の 1/1000(case1-a2)	液状化層のせん断剛性, 初期値の 1/1000(case2-a2)
N 値から算出(E=7N) (case-b)	液状化層のせん断剛性, 初期値の 1/100(case1-b1)	液状化層のせん断剛性, 初期値の 1/100(case2-b1)
	液状化層のせん断剛性, 初期値の 1/1000(case1-b2)	液状化層のせん断剛性, 初期値の 1/1000(case2-b2)

非液状化層のせん断剛性は初期値の 1/10

一方 case-2 では 2 本の杭の位置での変位差が大きく、変位分布は表層近くの方が大きいという特徴が見られる。図-5 に杭の変位分布を、図-6 に杭の曲げモーメント分布を示す。杭変位の液状化層内の深さ方向分布は地盤バネが小さくなるにしたがい地盤変形に追従した形から直線的となる。Case-1 では 2 本の杭とも地盤との相対変位は同様なモードで現れるのに対し、case-2 では 2 本の位置の地盤変形量に違いがあることから、杭頭を連結した杭との相対変位の分布に違いが見られ、これらが曲げモーメント分布にも反映されている。

曲げモーメントは、いずれの case もほぼ液状化層の上下端付近でひび割れモーメントから終局モーメントに至る大きな値が生じ、杭の損傷という意味では評価できている。しかし、その分布はまちまちである。Case-1 の場合、2 地点間の変位分布がほぼ同じであるため、2 本の杭で比較的良好な分布となる。海側の杭については地盤バネの大きい case では傾斜計などの調査結果から推定される杭の変形をほぼ説明できるが、山側の杭については変形が大きめの評価となっている。case-1 では 2 本の杭の位置での変位分布の最大値の評価が調査結果に近づけば、変位分布やモーメント分布の違いが表現できると考えられる。case-2 では 2 本の杭の曲げモーメント分布やその結果としての変位分布の違いが表現されているが、海側の杭の変位極大点や曲げモーメントの最大値の位置が被害よりも浅い位置に生じる 2 地点の地盤変位の最大値の違いはほぼ表現できているものの、深さ方向分布にやや違いがあったためと考えられ、地盤の深さ方向の液状化強度の評価や液状化の程度の評価が課題となる。

#### 4. まとめ

応答変位法によって側方流動が杭に及ぼす影響を評価する場合、様々な方法で地盤バネや側方流動による地盤の変位分布の評価・設定がなされる。その評価の違いによって、杭に及ぼす影響は、杭が終局状態に至るかどうかといった判断はほぼ可能としても、変位や断面力分布などには相互にかなりの違いが見られ、簡易な方法であっても入力値の設定が重要であることが分かった。これらの設定の精度向上が今後の課題である。

謝辞：データ処理に御協力いただいた鈴木重良氏に謝意を表します。

#### 参考文献

- 1)大岡弘,飯場正紀,阿部秋男,時松孝次: 孔中内視カメラと弾性波非破壊試験を併用した建物基礎の震害調査, 土と基礎, Vol. 44, No. 3, pp. 28-30, 1996. 3.
- 2)時松孝次,大岡弘,社本康広,浅香美治: 兵庫県南部地震の側方流動による杭の破壊・変形モード, 日本建築学会構造系論文集, 第 495 号, pp. 95-100, 1997. 5.
- 3)山頭紀明,大岡弘: 護岸近傍に位置する建物基礎杭被害のケーススタディ, 第 10 回日本地震工学シンポジウム論文集, pp. 383-388, 1998. 12.
- 4)淵本正樹,社本康広,大岡弘: ポスト液状化を考慮した側方流動変形量の予測手法, 第 10 回日本地震工学シンポジウム論文集, pp. 31-36, 1998. 12.
- 5)堀田洋之,難波伸介: 地盤の側方流動で被災した杭基礎の簡易法による評価, 第 10 回日本地震工学シンポジウム論文集, pp. 37-42, 1998. 12.
- 6)日本水道協会: 水道施設耐震工法指針・同解説, 1997.
- 7)Shamoto Y., Zhang, J. M. and Kohji Tokimatsu: Method for Evaluating Residual Post-Liquefaction Ground Settlement and Horizontal Displacement, Special Issue of Soils and Foundations, pp. 69-83, 1998. 10.
- 8)日本建築学会: 建築基礎構造設計指針, 1988.
- 9)三輪滋,池田隆明,鬼丸貞友: 兵庫県南部地震における埋立地盤の地震時挙動の検討(その 2: 液状化したまき土に生じたひび割れの検討), 第 33 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp. 875-876, 1998. 7.
- 10)小笠原政文,牧田篤宏,安田進,黨廣志,原田克之: 液状化した地盤のせん断剛性率の評価,地震時の地盤・土構造物の流動性と永久変形に関するシンポジウム発表論文集, pp. 321-324, 1998. 5.

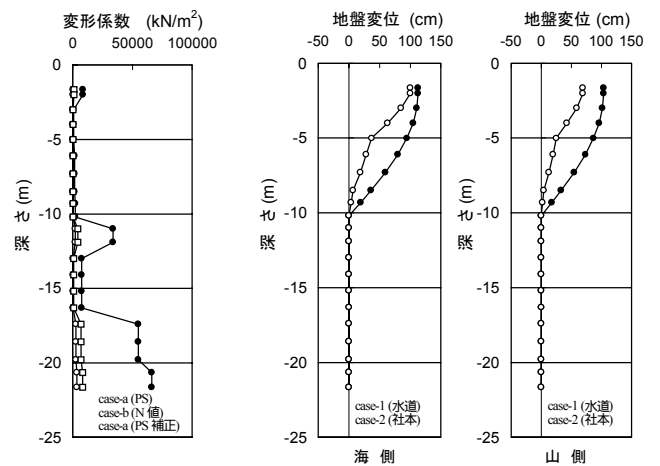


図-3 地盤の変形係数

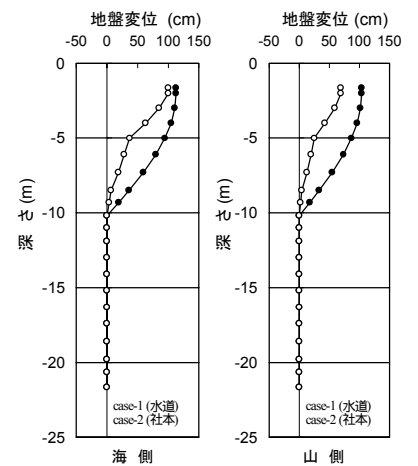


図-4 地盤変位

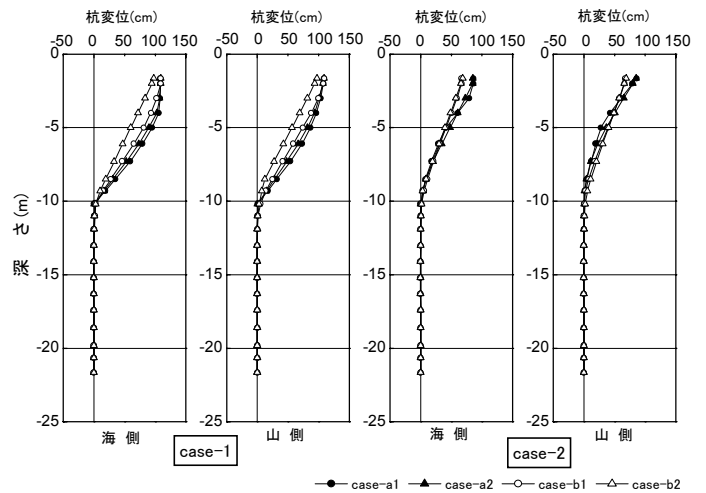


図-5 杭の変位

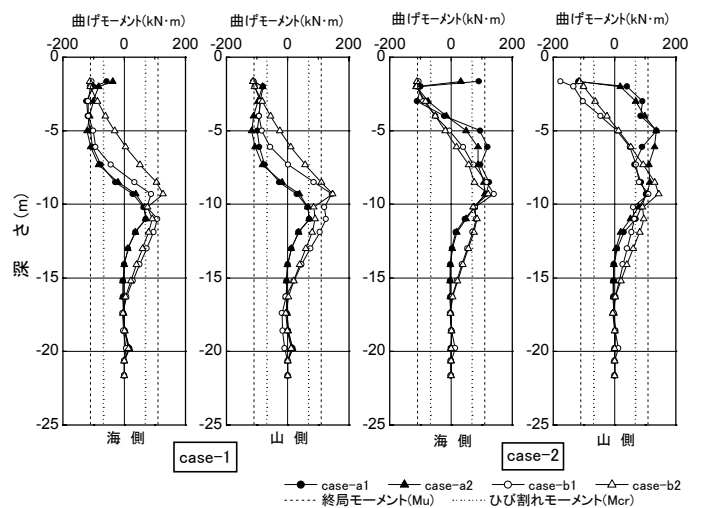


図-6 曲げモーメント