

東北地方太平洋沖地震において杭基礎が大破した建物の被害要因分析

その2 杭基礎の被害過程のシミュレーションによる評価

杭基礎 地震被害 群杭効果
地盤ばね 杭頭接合部

正会員 ○川股紫織*1 正会員 中井正一*2 正会員 関口 徹*2
正会員 金子 治*3 正会員 向井智久*4 正会員 平出 務*4
正会員 柏 尚稔*4

1. はじめに

本報(その2)では、(その1)で述べられた手法を用いてモデル化を行い、被害メカニズムを解明するための解析を実施した。応答変位法を用いた静的増分解析を行い、被害過程のシミュレーションを試みた。

2. 検討方法

被害メカニズムの検証にあたり、(その1)で示した手法による静的増分解析を行い杭応力を評価した。

2.1 地盤ばね

表2に地盤ばねの設定値、図1に地盤ばねモデルを示す。土質および V_s , N 値を考慮して表層地盤を8層とし、間瀬・中井の提案式¹⁾を用いてモデル化を行った。また杭の位置(前後)及び配置間隔に応じて水平地盤ばね定数および塑性地盤反力が異なる群杭効果について、建築基礎構造設計指針²⁾による提案式を用いた。塑性地盤反力に関しては各方向に載荷した場合のパイルキャップ内で後方に位置する杭のみ、水平地盤ばね定数に関してはパイルキャップごとに係数をかけた。

2.2 杭体および杭頭接合部

図2,3に杭体および杭頭接合部モデルを示す。

杭体は設定された負担軸力に対して断面分割法により得られた $M-\phi$ 関係をトリリニア型にモデル化した。

杭頭接合部は既往の研究³⁾で行われた同じ形状の接合部を用いた載荷実験結果を参考にモデル化を行った。直径を杭径 $\times 1.25 + 100(\text{mm})$ とした仮想断面を軸力に応じて $M-\phi$ 関係を求め、回転角 θ とし、 $M-\theta$ 関係をバイリニア型にモデル化した。

3. 解析ケース

被害の集中している西側通りの8本について、被害分布から3つのケースを考えた。図4に解析ケースと各載荷方向時に考慮した群杭効果を示す。南側のNo. 1, 2の杭が杭頭で損傷していることから、それらの杭の負担軸力が大きくなり上部構造物からの杭頭慣性力が南側に作用した場合を考える(NS-8)。次にそれによりNo. 1が杭頭部でせん断破壊し、杭頭慣性力や軸力を負担しなくなった場合を考える(NS-7)。No. 1, 2以外の杭は地中部で損傷しているため、杭の軸力が引張側に作用し、杭頭慣性力が

東側に作用し杭頭ではなく地中部で曲げモーメントが大きくなる場合を考える(EW-6)。この時、No. 1, 2は杭頭部でせん断破壊しているため解析モデルから除外している。せん断終局耐力および曲げ終局耐力に至った場合を破壊とし、ステップ途中で杭が破壊した場合、破壊した杭を取り除き、残りの杭を破壊時のステップでの杭頭水平力および応答変位から、水平力を再配分し解析を行った。

表1 解析ケース詳細

解析ケース	方向	杭頭慣性力 (kN)	負担軸力 (kN)							
			1	2	3	4	5	6	7	8
NS-8	S	400	1300	1300	700	700	700	500	500	500
NS-7	S	457	—	1300	700	700	700	500	500	500
EW-6	E	333	—	—	-350	-350	-350	-100	-100	-100

表2 地盤ばね設定値

層No.	下端深度 (m)	土質	S波速度 (m/s)	N値	内部摩擦角	粘着力 (kN/m ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	u
1	1.1	粘性土	102.6	4.50	0	30	18	20
2	3.3	粘性土	77.8	4.50	0	30	18	20
3	4.4	粘性土	66.8	25.00	0	156	18	20
4	8.8	砂質土	116.4	27.00	40	0	20	50
5	16.3	粘性土	167.2	16.13	0	113	16	50
6	22.5	砂質土	173.4	27.60	36.7	0	16	50
7	27.6	粘性土	216.2	14.75	0	105	16	100
8	33.0	粘性土	165.7	43.00	0	281	16	100

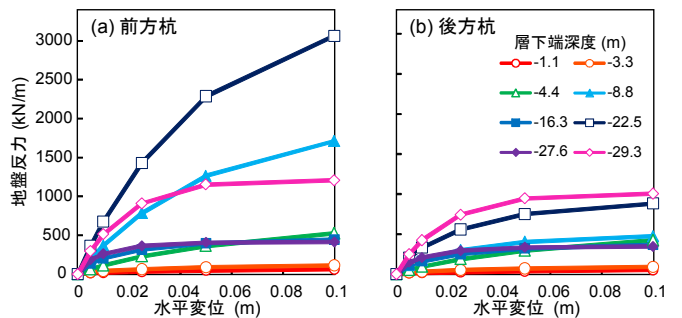


図1 地盤ばね(P-d関係)

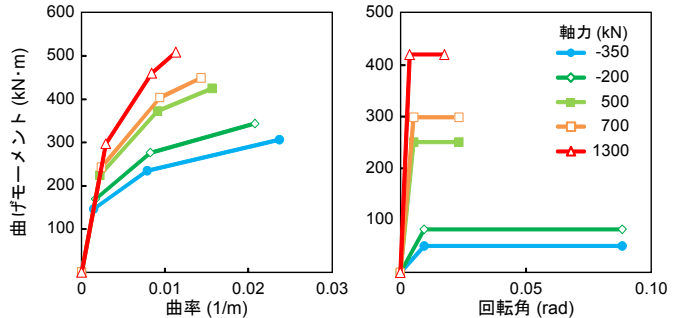


図2 杭体モデル

図3 杭頭接合部モデル

Analyses of damage factors to pile foundations during the 2011 off the pacific coast of Tohoku earthquake, Part2 Evaluation of damage process based on simulation analyses of pile-foundations

KAWAMATA Shiori, NAKAI Shoichi, SEKIGUCHI Toru, KANEKO Osamu, MUKAI Tomohisa, HIRADE Tsutomu, KASHIWA Hisatoshi

4. 解析結果

深さ方向の曲げモーメントおよびせん断力分布を図 5 に示す。ケース NS-8 では全 30 ステップ($C_B=0.41$)のうち $C_B=0.36$ で負担軸力の大きい No. 1, 2 のうち、前方杭である No. 1 が先にせん断破壊に至る。これは群杭効果により後方杭である No. 2 の地盤反力が低減されたためである。その後 No. 1 を取り除いたケース NS-7 では、No. 2 が前方杭となったことでせん断破壊に至る。どちらのケースも No. 6 の杭頭部のせん断力は終局耐力まで至ってはいないものかなり近いせん断力が生じており、ケース NS-8 および NS-7 でそれぞれ No. 1, 2 が破壊した次のステップで No. 6 が杭頭せん断破壊に至っている。ケース EW-6 では全 30 ステップ($C_B=0.34$)のうち $C_B=0.27$ で No. 7 を除くすべての杭が地中部で降伏耐力を越す曲げモーメントが生じており、No. 7 もほとんど曲げ降伏耐力に近い曲げモーメントが生じていることがわかる。

5. まとめ

本研究は杭の耐震性評価において有効と考えられる手法を用い、被害の要因およびこれらの手法の適応性を検討した。その結果、地震による杭被害の状況を概ね説明することができた。得られた知見を以下にまとめる。

1. 同じ通りや同じパイルキャップ内でも杭被害には違いが見られ、群杭効果(杭間隔および位置関係に応じた水平地盤反力の違い)を考慮することで被害を説明できる可能性がある。
2. 杭頭固定度や杭の耐力は軸力に大きく依存し、杭被害も外周部に集中していることから、杭軸力を適切に評価することが重要である。

参考文献

- 1) 間瀬, 中井: 単杭の地盤ばねの評価法に関する検討, 日本建築学会構造系論文集, vol. 77, No. 680, pp. 1527-1535, 2012
- 2) 日本建築学会: 建築基礎構造設計指針, pp. 280-284, 2001
- 3) 金子, 中井, 阿部, 向井: 東北地方太平洋沖地震における杭基礎被害の要因分析に向けた検討(その3) 杭基礎の強度・変形特性に関する実験, 日本建築学会 2014 年度大会学術講演梗概集 B-1, pp. 699-700, 2014. 9

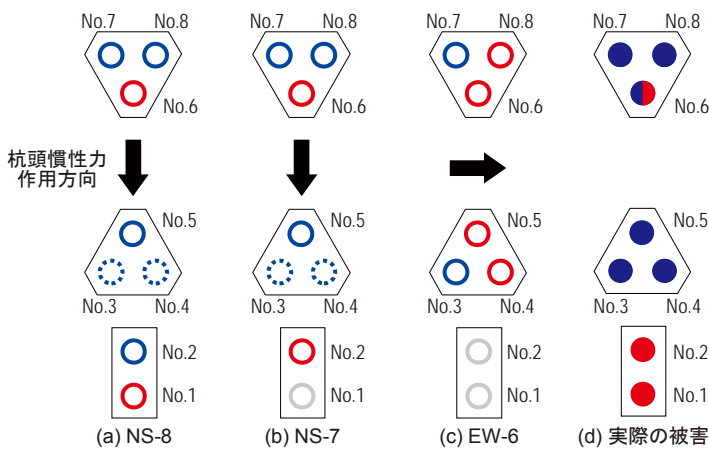
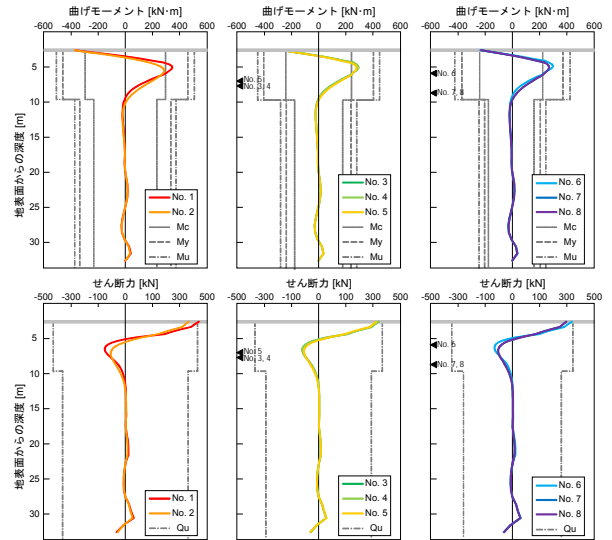
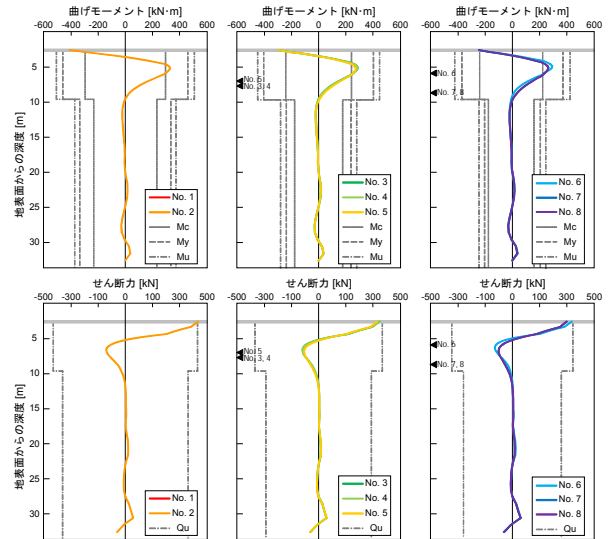


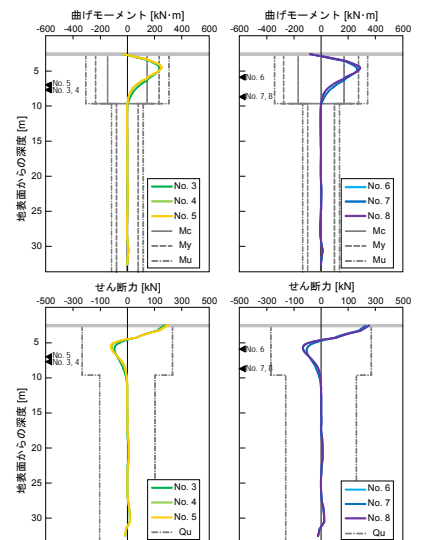
図 4 解析ケース



(a) ケース SN-8($C_B=0.36$)



(b) ケース SN-7($C_B=0.37$)



(c) ケース EW-6($C_B=0.27$)

図 5 応力深度分布

*1 ジャパンパイル(株)
*3 戸田建設(株)

*2 千葉大学
*4 建築研究所

*1 Japan Pile Corporation
*3 Toda Corporation

*2 Chiba University
*4 Building Research Institute