

杭基礎に被害を受けた学校建物の耐震性能に関する研究  
(その2) 単杭モデルによる検討

鉄筋コンクリート造 水平地盤バネ 荷重増分解析  
2011年東北地方太平洋沖地震

正会員	○秋田知芳*1	同	東田実樹*2
同	稲井栄一*3	同	向井智久*4
同	柏尚稔*5	同	平出務*4
同	金子治*6		

1. はじめに

本報その2では検討対象建物の下部構造に着目して単杭モデルの荷重増分解析を行い、上部構造から作用する軸力やせん断力を含めて検討する。

2. 杭基礎概要

図1に杭伏図、図2に柱状図を示す。基礎は杭基礎で、杭にはPHC杭(B種)400φが用いられており、現行の技術基準に従った耐震設計(許容応力度設計)が行われていた。杭長は1~4通りが13m(48本)、5~9通りが14m(71本)、10~12通りが16m(36本)となっており、計155本である。地盤は第2種地盤である。

3. 解析概要

図3にモデル図を示す。杭は単杭モデルとし、100cmずつの要素に分割してモデル化している。杭断面は標準的なPHC杭(φ400)を参考にし、杭断面を36分割したFiberモデルでモデル化した。杭の要素の節点に水平地盤バネを取り付け、杭先端をピン支持とした。なお、本モデルでは杭長は地表面から杭先端までの長さとした。

図4に水平地盤バネの骨格曲線のモデル化の考え方を示す。水平地盤バネは、参考文献<sup>2)</sup>に基づいて水平方向の極限地盤反力 $P_{max}$ を求め、水平地盤反力 $P$ と水平変位 $d$ の関係を表す曲線を描き、 $d=0.1m$ のときの地盤反力を $F_u$ とし、 $1/3F_u$ となる点を第1折れ点の地盤反力 $F_c$ とする。また、第2折れ点後の剛性を初期剛性の $1/1000$ として、面積が等価となる点を第2折れ点とし、そのときの地盤反力を塑性地盤反力 $F_y$ とした。なお、解析に用いる地盤定数は文献<sup>1)</sup>に基づいた。単杭モデルは検討対象建物の杭基礎に従って13、14、16mの3種類を作成した。それぞれの長さのモデルに一定の軸力(-500、0、500、1000、2000、圧縮側は正、引張側は負、単位は全てkN)をかけ、基礎梁位置に上部構造の慣性力に相当する水平力を与えて荷重増分解析を行った。解析は杭が概ね最大耐力を発揮する時点で終了した。

4. 解析結果

4.1 杭頭せん断力—杭頭水平変位関係

図5に杭頭せん断力と杭頭水平変位の関係を示す。図中の○印は、杭頭降伏時を示している。杭頭降伏時は、杭頭において最も外側の鉄筋が降伏した時のステップとする。

最大耐力時の杭頭せん断力は、軸力2000kNのとき13mの杭でおよそ350kN、14mの杭でおよそ600kN、16mの杭でおよそ550kNとなり、13mの杭が最も小さい。一方、杭頭降伏時の杭頭せん断力は、軸力2000kNのとき13mの杭でおよそ300kN、14mの杭でおよそ500kN、16mの杭でおよそ450kNとなり、13mの杭が最も小さい。

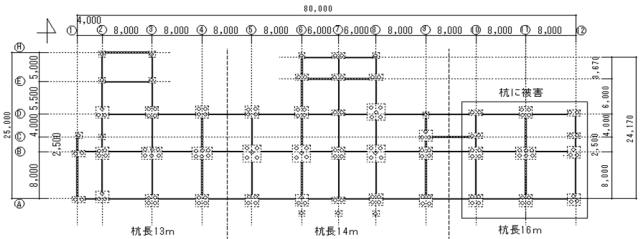


図1 杭伏図

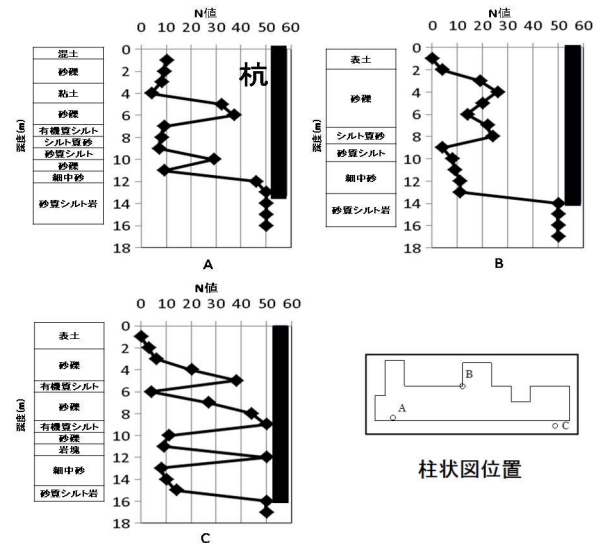


図2 柱状図

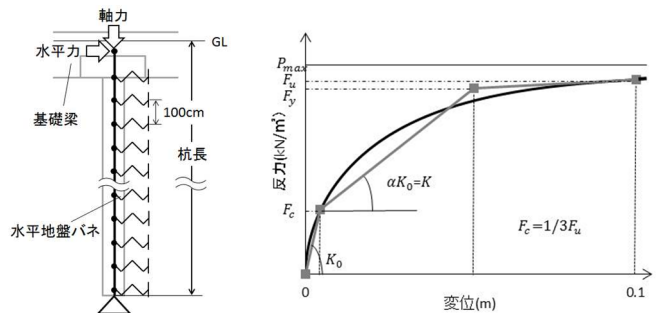


図3 杭のモデル化 図4 水平地盤ばねのモデル化

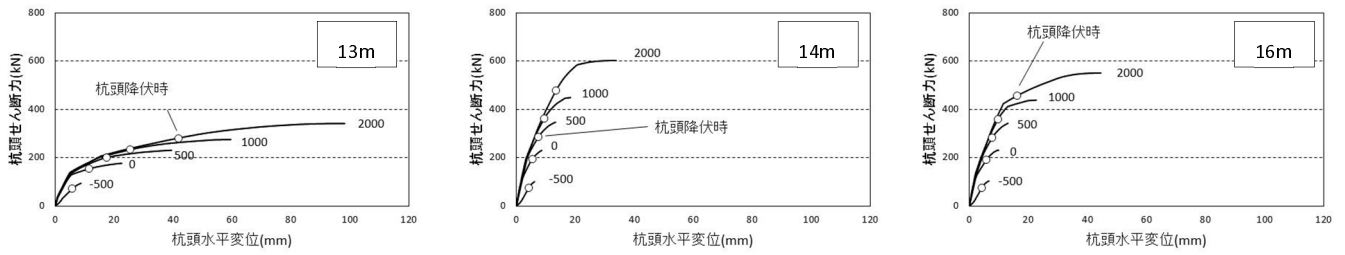


図5 杭頭せん断力—杭頭水平変位の関係

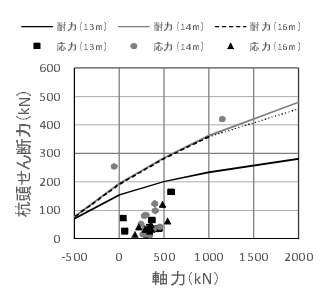
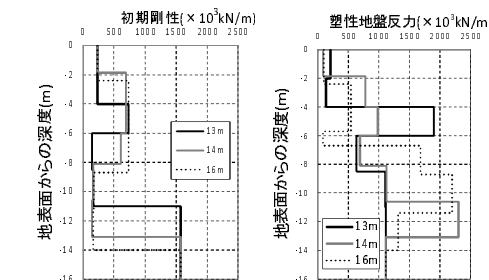
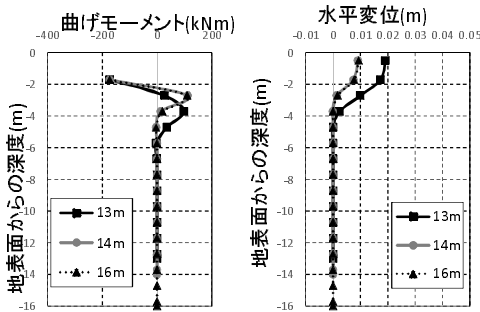


図6 杭の曲げモーメントおよび水平変位 図7 地盤の初期剛性および塑性地盤反力分布 図8 杭頭せん断力と軸力

#### 4.2 杭の曲げモーメントおよび水平変位の分布

図6に軸力500 kNを作用させた場合の杭頭降伏時の曲げモーメント分布図および杭頭水平変位図を、図7に地盤の初期剛性の分布および塑性地盤反力の分布をそれぞれ示す。曲げモーメントおよび水平変位は圧縮軸力が大きい方が大きくなった。曲げモーメントは3つの杭で地表面からの深度が4m付近で最大となり、13mの杭は6m、14mの杭は5m、16mの杭は6m以深でほぼ0になっている。また、水平変位はいずれの杭も5m以深でほぼ0となった。図7より13mの杭では4mで、他の2本の杭では2mで地盤の初期剛性および塑性地盤反力が大きくなるのがわかる。これが13mの杭が他の2本の杭に比べてせん断剛性が低く、曲げモーメントおよび水平変位の現れる範囲が広がっている原因と考えられる。

#### 4.3 杭頭せん断力と軸力の関係

図8に杭頭せん断力と軸力の関係(杭頭降伏時の耐力)に杭1本あたりにかかるせん断力と軸力をプロットした図を示す。ここで、杭1本あたりにかかるせん断力には地下震度0.1に相当する外力を加えている。軸Dの8、9通り(14mの杭)のように耐震壁などの影響で応力が集中するところでは杭頭が降伏するが、それ以外ではいずれの杭も上部構造からの応力のみでは杭頭は降伏しないという結果が得られた。この理由として、地盤変形の影響が加味されていないことや、解析で得られた上部構造からの応力が実

際の地震時よりも小さかった可能性が挙げられる。

#### 5. まとめ

単杭モデルによる検討で得られた知見を以下に示す。

- 1) 杭の応力及び変形は杭頭から6mより浅い範囲に集中しており、杭頭が降伏するときの杭頭せん断力は表層地盤の条件の影響を大きく受ける。
- 2) 耐震壁などの影響で応力が集中するところでは、杭頭が降伏するという結果が得られたが、それ以外では上部構造からの応力だけでは杭頭は降伏しなかった。

本論では杭1本に作用する上部構造からの応力に着目して検討を行った。今後は、地盤変形を考慮したケースや複数杭での解析、一体解析による検討が必要である。

#### 謝辞

本研究は科研費(課題番号:26242035)「大地震後に防災拠点施設の機能を維持できる耐震性能技術の開発」の助成を受けたものである。また、被害調査の一部は平成24、25年度国土交通省建築基準整備促進事業「基礎ぐいの地震に対する安全対策の検討」および建築研究所の重点研究課題「庁舎・避難施設等の地震後の継続使用性確保に資する耐震性能評価手法の構築」において実施したものである。後者の課題は、建築研究所、千葉大学、芝浦工業大学、山口大学、戸田建設との共同研究である。本研究の遂行にあたり共同研究者の方々から多大なるご協力を頂いた。ここに記して謝意を示します。

#### 参考文献

- 1) 金子治、中井正一：東日本大震災において被害を受けた杭基礎の耐震性の評価、日本建築学会構造系論文集、第695号、pp.83-91、2014.1
- 2) 間瀬辰也、中井正一：単杭の杭周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、第77巻 第680号、pp1527-1535、2012.10

\*1 山口大学大学院創成科学研究科講師 博士(工学)  
 \*2 山口大学大学院理工学研究科 大学院学生  
 \*3 山口大学大学院創成科学研究科教授 博士(工学)  
 \*4 国立研究開発法人 建築研究所 博士(工学)  
 \*5 国土技術政策総合研究所 博士(工学)  
 \*6 戸田建設株式会社技術開発センター 博士(工学)

Lecturer, Graduate School of Science and Technology for Innovation, Yamaguchi Univ., Dr. Eng.  
 Graduate Student, Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi Univ.  
 Professor, Graduate School of Science and Technology for Innovation, Yamaguchi Univ., Dr. Eng.  
 Building Research Institute, Dr. Eng.  
 National Institute for Land and Infrastructure Management, Dr. Eng.  
 Toda Corporation, Dr. Eng.