兵庫県南部地震による建物 杭基礎の被害調査報告 (芦屋市の事例)

INVESTIGATION ON PILE FOUNDATIONS OF A BUILDING DAMAGED BY HYOGOKEN-NANBU- EARTHQUAKE (A Case in Ashiya City)

中澤明夫 — *1
穂鉄盛史 — *2

難波伸介 — *3
中澤瑤子 — *4

Akio NAKAZAWA
Atsushi SOTETSU

Shinsuke NANBA
Yohko NAKAZAWA

On Hyogoken-Nanbu-earthquake (1995.1.17), lateral flow and liquefaction occurred on the ground near by the sea in Ashiya City. A number of buildings in the area were inclined to seaside. This report is the results of the observation on the damage of pre-cast concrete piles (diameter: 50cm, length: 26m) on a damaged building. At the southern footings of the building, the piles were inclined largely and were broken both at about 3.4m depth and at pile-top. On the other hand, the piles at northern footings were broken only at pile top. We estimate that the collapse of the piles of northern footings occurred by inertia force of the superstructure and that the collapse of the piles of southern footings occurred by landslip. The northern footings are not included in landslip area, then the slip angle is larger than 15°.

キーワード：
杭, 被害, 側方流動, 地震

Keywords:
Pile, Damage, Lateral flow, Earthquake

1 はじめに

本報は、兵庫県南部地震（1995年1月17日）によって著しい地盤変状が生じた芦屋市の臨海部における、建物杭基礎の被害の詳細な調査報告である。

この事例では、建物は海岸に近接して建っており、地震後に海側へ大きく傾いている。また、護岸も海側に大きく移動し、傾斜や多数のひび割れが生じている。さらに、敷地地盤や周辺地盤では、液状化や多くの広い幅の地割れ、建物まわりでの地盤沈下などが観察された。このような地盤変状に対して杭基礎が受けた損傷や変形の被害状況を、杭周辺を掘削して目視によって調査した。これらの杭基礎の破壊状況と外力の関係を限られた範囲ではあるが考察もしておいた。なお、本事例に比べて地盤の変状が軽微であり、それに反して、上部架構の被害が大きかった場合の杭被害の調査結果を、すでに文献¹⁾に報告しておいたので参考にされたい。

2 建物概要とその被害状況

敷地は旧海底を埋め立て、盛土を行って造成した平坦な地盤である。平面形状は東西約160m×南北約60mのほぼ長方形で、南側は海、東側および西側は川で囲まれており、これら3方はそれぞれ

れ護岸によって仕切られている。敷地全体図および建物配置図を図1に示す。

建物は11階建ての共同住宅であって、南側の護岸にはほぼ平行に、3棟がエキスパンション・ジョイント部分で連続した形で建設されている。設計は1980年、竣工は1982年である。主要構造体は、6階柱の階中央までが鉄骨鉄筋コンクリート造、それ以上の階は鉄筋コンクリート造である。3棟とも地下部分はない。建物高さは30.3mであり、A棟の西側の一部のみが9階以上でセットバックしている。建物の平面形は東西方向に長方形であって、西から東にA、B、C棟が接している。桁行方向架構はラーメン構造で、桁行長さは、AおよびC棟が6.8m×1スパン+6.3m×5スパン=38.3m、B棟が6.3m×8スパン=50.4mである。梁間は耐震壁つきラーメン構造であって、3棟ともに7.2m+6.2mの2スパン、合計13.4mの長さである。壁厚は、雑壁、耐震壁ともに12cmであり、床スラブ厚は15cmで、1階部分も構造スラブとなっている。基礎梁断面は、幅40cm×成180cmであって、地盤へ150cm根入れされている。

建物は、梁間方向に海側へ大きく傾斜しているのが目視でも分かる状態である。A、B、C棟の傾斜角は、それぞれ約1/58、1/39および1/1211である。また、水平方向の相対移動量は、

*1 (株)新井組技術研究 部長
(〒663 西宮市津門西口町2-26)
*2 (株)新井組技術研究部構造研究室
*3 (株)新井組技術研究部構造研究室 修士 (工学)
*4 (株)アルマチュール構造設計事務所 工博

*1 General Manager, ARAIGUMI Co., Ltd, Technical Research Dept.
*2 Engineer, ARAIGUMI Co., Ltd, Technical Research Dept.
*3 Engineer, ARAIGUMI Co., Ltd, Technical Research Dept., M. Eng.
*4 ARMATURE Construction Bureau, Dr. Eng.

1階床レベル位置でC棟を基準にして、B棟は西へ約15cm、南へ約4cm、A棟は西へ約12cm、南へ約3cmとなっており、全体的に西方向を主にやや南方向へ移動している傾向が確認できる。各棟の傾斜角が異なり水平方向の相対移動量にも差があるため、B～C棟間の廊下のエキスパンション・ジョイント部に、最大で約50cmの開きが生じた。しかし、主要構造体におけるひび割れなどの被害は、棟全体の傾斜の大きなA、B棟では軽微であり、1～3階の雑壁などに最大幅約2mmのひび割れが生じた程度である。一方、棟の傾斜の少ないC棟での被害はやや大きく、同じく1～3階の雑壁などのひび割れはX型に発生し、最大幅は1cmを超えている。

3 基礎の概要

基礎杭の配置を図2に示した。基礎は独立フーチングの杭基礎である。杭はA種PC杭で、杭径500mm、杭全長は26m（13mの杭の2本継ぎ）である。杭先端深さはGL-2.4m以深の洪積砂質土層である。埋込み工法によって設置された。杭は各フーチングあたり3～7本ずつ配置されている。杭の設計支持力は長期で $R_a = 7.8 \text{ t/本}$ である。なお、杭基礎の設計において水平力に対する規定が明らかに導入されたのは、1984年の「地震力に対する建築物の基礎の設計指針」¹⁾である。本杭の設計時には、杭に作用する

図1 敷地全体図、建物配置図、建物周辺の地盤および護岸の変状

図2 基礎杭配置図

図3 建物南側外観、杭姿および地層推定断面図

水平力は考慮されておらず、杭頭高さはハツリによってそろえ、フーチングに5 cm程度埋め込まれた状態で施工されている。

4 地盤概要と地盤の変状

建物建設時点における地盤調査資料によって想定した地層断面図を、建物の外観、杭姿とともに図3に示した。GL-8 mまでは埋土および盛土であって砂礫を主体としている。それ以下に層厚約8 mのN値2~40とばらつきのある沖積砂質土層が分布し、その下方に層厚2 mでN値10以下の沖積粘土層がある。さらに下方に、約6 mの厚さでN値30~50の薄い粘土層と沖積砂質土層の互層があり、GL-2.4 m以深がN値40以上の洪積砂質土層となっている。本建物群はこの砂質土層を杭の支持層としている。

周辺の地表面では、地震直後に広範囲にわたって噴砂が確認されており、液状化が生じたと考えられる。地盤および護岸のひび割れ状況などを図1に併記した。西側護岸の上端にはひび割れ幅5 mm~16.5 mmの範囲で多数のひび割れが見られ、大きなひび割れだけの合計幅は約50 cmにもなる。建物北面から北側道路の間はアスファルト舗装を施した当共同住宅用の駐車場であって、約40 cm沈下し、東西方向に幾本もの地割れが走っている。図1に一点鎖線で示したa、b、cの各位置での地割れ幅の合計の平均は約4.8 cmであって、護岸のひび割れ幅の合計とほぼ一致している。また、海側の護岸は平均で約1 m海側へ移動していると推定⁹⁾され、護岸内側のコンクリート道路面は15 cm程度沈下し、護岸と道路の間には5~10 cmほどの隙間が生じている。また、建物と護岸道路間の地盤(専用庭)は約60 cm沈下していた。

5 杭の調査とその結果

5.1 調査概要

杭の調査は、図2にフーチング番号F1~F6で記した6箇所の

図4 杭頭部の傾斜角

基礎について行うこととし、調査対象の杭を黒丸印で示し、No. 1~No. 18の番号で呼んでおく。杭の片側を約2 m掘り下げ、目視によって杭のひび割れ、杭の傾斜角などを観察調査した。

5.2 杭頭部の被害とその考察

杭頭部の傾斜量測定の結果を図4に一覧にして示す。測定は、基礎版の下方約1 mの範囲について、杭の倒れを下げ振りをを用いて計測した。建物の南(海)側フーチングF1、F2における杭No. 1~No. 6は北西側へ傾斜しており、最大傾斜角は北および西にそれぞれ1/4ずつである。F3フーチングの杭はこれよりも最大傾斜角は小さく、北へ1/8、西へ1/18である。建物北側フーチングF4、F5における杭の傾斜角は南側フーチングの杭に比べて小さく、最大で南へ1/60、西へ1/22である。F6フーチング

の杭の傾斜角はさらに小さい。

杭頭部の被害状況を目視観察した結果を写真1 (a) ~ (f) および図5に示し、以下に被害の詳細を記述する。

建物の南側に位置するF1~F3フーチングの杭の杭頭部がフーチングに埋め込まれたままフーチング底部位置で水平に破断され、杭体が傾いた状態で杭頭部の北側はフーチングから離れ、南側はコンクリートが圧壊している。これらのうち、No. 2杭の圧壊状態がもっとも著しく、軸筋が折れ曲がりフープ筋が切断されているのが観察された。しかし、文献¹⁾の曲げせん断圧縮破壊の状況に比べれば格段に軽度である。なお、いずれの杭も杭頭部を除いて掘削範囲では杭体にひび割れはなかった。

一方、建物北側フーチングの杭頭部の被害状況は以下である。F4フーチングでは、No. 10杭の杭頭から約20cm下方で、杭体の西面に水平ひび割れがあり、東面が圧壊している。また、杭頭から約2.5D (D: 杭径) の範囲に多数の縦方向のひび割れがあった。No. 11および12杭は、フーチングの捨てコンクリート下面位置で、杭体の北西面に水平ひび割れが見られたが、その他の損傷はなかった。F5フーチングのNo. 13杭は杭頭部の東側でコンクリートが圧壊し、西側に水平ひび割れがみられた。No. 14およびNo. 15杭では、杭体の東側表面付近に限られる狭い範囲のせん断破壊がみられた。F6フーチングのNo. 16および18杭では杭頭部に水平ひび割れがあり、東面が圧壊していた。No. 17杭では、南面にわずかな圧壊がみられ、杭体の北面には東上方から西下方への明らかな斜めせん断ひび割れがあった。さらに、約4Dの範囲で多数

(a) F1フーチング南側側面

(b) F6フーチング北側側面

図5 杭頭部被害のスケッチ

(a) F1, No. 2杭, 西から見る

(b) F1, No. 3杭, 南西から見る

(c) F2, No. 5 →
南西から見る

← (d) F2, No. 5杭,
西から見る

(f) F6, No. 17,
北から
見る →

(e) F4, No. 10, No. 11, 北東から見る
写真1 杭頭部被害の詳細

れが生じた後、最大曲げモーメントの発生位置が上方へ移動してゆき、これにともなひび割れも上方へとひろがって、ついには終局に至るといった状況と推察する。さらに、ひび割れの状況を推測すると、最大曲げモーメント位置が上昇することによって先に生じた曲げひび割れ位置にせん断力が作用することとなり、せん断ひび割れも生じて、結局全断面にわたるひび割れとなる。

なお、フーチング底と地盤の隙間を調べたところ、南側フーチングではほとんどなく、北側のF4フーチングでは約40cmであった。南側フーチング下部に隙間がほとんどなかった理由として、杭の破断部での圧壊などによって杭長さが短くなり、フーチングが下がったためと考えられる。なお、建物の傾斜がもっとも大きかったB棟での南側フーチング位置での推定沈下量は約35cm（建物傾斜角 $1/39 \times$ 南北フーチング間の距離13.4m）と計算される。さらに、杭体の傾斜角から杭体の破断深さでの地盤の水平移動量を求めたところ、最大で約0.9m（＝杭の最大傾斜角 $1/4 \times$ 破断深さ3.4m）であって、護岸の水平移動量の推定値⁹⁾とほぼ一致していた。

6 まとめ

これまでに述べた地盤の変状と杭の破壊の概念を全体的にまとめて、図6に示した。

建物南側の杭は、大きく滑りだした土塊の力で押し出されて杭頭部がフーチング底で破断し、杭頭から約1.9mの深さ（GL-3.4m）で杭体が破断したものと推定される。一方、北側の杭は傾斜角は小さく、破断されていないと推察されることから、滑りだした土塊の影響は少ないと考えられる。このことから、大きな動きを生じた土塊の滑り線は、15度以上と推定される。なお、この範囲外の地盤も、地盤上のひび割れ幅の合計が50cmと大きいことから、

南方向へ移動したことが推測される。また、これらの調査に先立って弾性波非破壊検査（IT試験）も実施した⁹⁾が、ひび割れあるいは破断箇所は6mおよび12mあたりと推定され、目視の結果とは一致しなかった。

謝辞

本調査は、日本建築学会が主体となり、住民の方々のご理解のもとに実施され、多くの貴重な資料を得ることが出来ました。実施にあたっては、摂南大学教授・工博・永井興史郎先生からご教示を賜りました。

また、調査は、(株)新井組建築本店工事部ならびに(株)東京ソイルリサーチの協力のもとに行いました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 藤鉄盛史:兵庫県南部地震による基礎構造物の被害調査結果,新井組技術研究報告集,第9号,1996.3
- 2) 日本建築センター:地震力に対する建築物の基礎の設計指針,1984.9
- 3) 濱田政則・磯山龍二・若松加寿江:1995年兵庫県南部地震液状化,地盤変位及び地盤条件,地震予知総合研究振興会,1995.9
- 4) 中澤瑠子・山肩邦男:上部架構を考慮した群杭基礎の水平抵抗理論解,日本建築学会構造系論文報告集,第389号,pp.132~143,1988.7
- 5) 中澤瑠子・山肩邦男:粘性土地盤における支持杭の終局水平耐力に関する解析的検討,日本建築学会構造系論文報告集,第454号,pp.85~94,1993.12
- 6) 日本建築学会:建築基礎構造設計指針,pp.246~255,1988.1
- 7) K.Terzaghi:Evaluation of Coefficients of Subgrade Reaction, Geotechnique, vol.5,1955,pp.297~326
- 8) 日本建築学会:建築基礎構造設計指針,pp.167~169,1988.1
- 9) 藤鉄盛史・中澤明夫:兵庫県南部地震による基礎構造物の被害と地盤の等価線形応答解析,第31回地盤工学研究発表会,pp.1705~1706,1996.7

[1996年6月27日原稿受理 1996年9月10日採用決定]