

摩擦杭の地震被災事例の分析結果を読む

—3つの地震の場合、摩擦杭の復活(その8)—

(一社)基礎構造研究会代表理事 杉村義広

前号に引き続いて、小椋仁志さんが送ってくれた摩擦杭の地震被害についての文献のうち、印象に残った論文があるのでそれについて書いてみたい。「奥村豪悠、本多剛、内田明彦、田屋裕司、山中龍：液状化地盤における摩擦杭基礎建物の沈下被害と地盤条件の関係-その1 被災事例分析-」(第51回地盤工学研究発表会、pp.1275~1276、2016.9)がそれである。

被災事例は3つの地震、1995年兵庫県南部地震〔「榊ジオトップ：平成7年兵庫県南部地震 節杭を用いた建物の調査報告書、1996.4」による〕、2000年鳥取県西部地震〔「榊ジオトップ：平成12年(2000年)鳥取県西部地震 節杭を用いた建物の調査報告書、2000.2」による〕、2011年東北地方太平洋沖地震〔「浦安市液状化対策技術検討調査委員会：浦安市液状化対策技術検討調査報告書」による〕から収集されている。施工法による差が出ないように埋込み〔アースオーガーによる掘削孔にソイルセメントを流し込み、杭を建て込む〕工法によるものだけ〔全58件〕に限定した上で整理しているが、沈下挙動としては、1) 抜け上がり〔地盤沈下が卓越、29件〕、2) 共下がり〔地盤沈下と建物沈下が同程度、26件〕、3) めり込み〔建物沈下が卓越、3件〕の3つのタイプに分類できるとしている。この考察は高く評価すべき内容であるとの感想を持つたと同時に、もう少し別の観点から記述した方がよいとの印象もあったので、それについて触れてみたい。

これらのタイプの比率を計算すれば、抜け上がりタイプ50%、共下がりタイプ45%、めり込みタイプ5%となる。この結果について、論文では「抜け上がりタイプが半数であり、めり込み沈下は10%以下であった」と表現され、どういうわけか共下がりタイプには触れられず、めり込みタイプについても少し大き目に10%以下と表現し直されている点が少し気にかかる。続いて論文では「当初想定されていた摩擦杭が支持力を喪失し、建物沈下が卓越するめり込み沈下の事例は少なく、杭の抜上り事例が多数を占めていることがわかった」と結ばれているが、筆者には以下のような感想が芽生えるのである。〈液状化地盤では摩擦杭が支持力を失うのではないか〉との思いは多くの人が持つのではないかと想像されるからよいとして、被災事例の分類としては別の方法もあるのではないかと考えが浮かぶからである。すなわち、まず〈当初想定していた摩擦杭が支持力を喪失し、建物沈下が卓越するめり込み沈下の事例は5%と意外に少なかった〉との事実を述べて、次に〈抜け上がりタイプと共下がりタイプで95%を占めている〉とのこれもまた事実を述べた上で、〈この差はどこから来ているのかを考えてみる〉とするのである。被災事例の実態を正確に伝えることと、全体的として地盤と共に沈下していると見られるが、摩擦杭の先端抵抗の差が微妙に出て、杭頭が地表から抜け上がる結果になる例が多い事実を指摘することの重要性を強調するべきであると考えからである。

論文では3つのタイプの典型例として図3が挙げられているが、この図を見て個

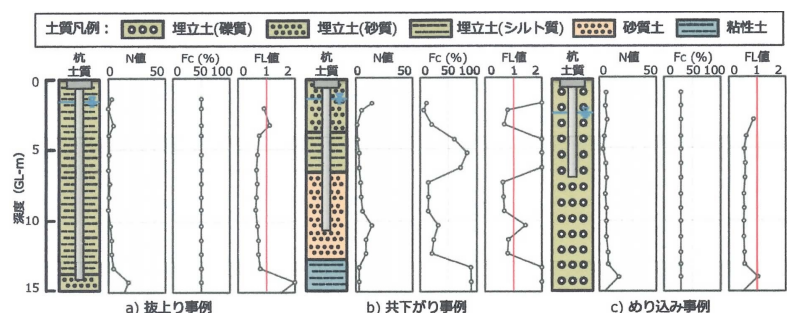


図3 沈下挙動と地盤条件が特徴的な事例

別に気が付く点を以下に挙げてみる。

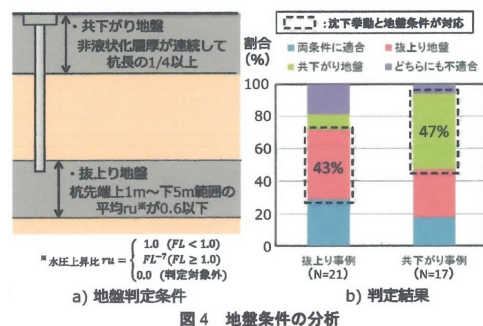
1) 同図 a) は、鳥取県堺市の平屋冷蔵倉庫で、杭の設計支持力は 300kN/本 [報告書では旧単位 30t/本と表現されている] であり、鳥取県西部地震 (2000) で被災した結果、地盤が約 20cm 沈下したので抜け上がったとされている事例である [報告書の物件番号 26 号 B 棟とされているものと推定される]。構造床として設計されていたので、床に不同沈下などは生じておらず、床下で噴砂が確認されている。N 値の分布は杭先端に至るまでほとんどゼロのシルト質埋土で、杭先端だけが 20 程度の砂質土となっている。Fc 値は全長にわたって 50%、F_L 値もほぼ全長にわたって 1 以下で、杭先端以深で 2 と大きくなっていることから、杭全長にわたって液状化したようであるが、杭先端支持力は残っていたので、そこで突っ張るように支持した結果、周辺地盤だけが沈下して抜け上がり状態となったと推論される [いしずえ通信の前号で述べたポートアイランド各地で観察した事例もこのタイプに分類されると思われる]。

2) 同図 b) は、千葉県浦安市で東北地方太平洋沖地震 (2011) の際に被災した平屋建て屋内運動場であり、杭の設計支持力は不明であるが、周囲の事例から 80~100kN/本と推定されている。建物周囲では噴砂が確認されているが、目立った被害はなく、犬走りなどでの段差も認められていない。杭長約 10m 間が上からほぼ 1/3 ずつ砂質土、粘性土、砂質土で構成され、杭頭付近と杭先端付近が N 値 15 程度とやや大き目であるが、総じて 0~3 程度のどちらかと言えば軟弱地盤である。判定結果では表層近くの F_L 値が 1.0 を超えているカ所が多く、液状化しなかったと想像される一方で、杭先端付近が液状化したため地盤と一体的に沈下したものと考えられると記述されている。深い位置で液状化が生じて噴砂が起きると、噴砂は杭周面を伝わって地表へ向かうことはよく知られている事実であるから、周面摩擦力の低下は十分にあり得る。それとともに、杭先端以深での液状化もあったと考えられるので先端支持力が低下して杭が地盤とともに沈下したとするこの推定は説得力がある。

3) 同図 c) はポートアイランドで兵庫県南部地震 (1995) の際に被災した平屋建て物流倉庫 (杭の設計支持力 140kN/本) であるが [ジオトップの報告書 1996.4 ではポートアイランド⑦に対応し、設計支持力は旧単位の 14t/本と示されている]、柱間で最大 200mm 以上 (傾斜) の不同沈下を生じているとされ、杭全長にわたっての液状化で支持力を喪失したと説明されている。ただ、この事例は設計時に礫質埋土の液状化の恐れがあることを見落とししたというミスがあったのではないかと疑問も生じる。そのために、地震時に液状化による支持力不足が現出したのではないかと疑いである。もし、設計時に液状化の検討もそれなりになされていたら、あったとしても同図 a) あるいは b) のタイプであって、めり込みを起こすことはなかったのではないかとすることは十分考えられる。

以上が、典型的なパターンとして示された摩擦杭支持の建物の被災例に対する筆者の感想である。めり込み事例は設計時のミスによって現れたものとして省くことにすれば、〈摩擦杭支持建物の被災例は抜け上がりと共に下がるのどちらかのパターンになると言い換えることもでき、先端支持力が僅かでも発揮されるか否かの違いによる〉と単純化される。どちらも上部構造の甚大な被害は避けられるが、〈地震後に何らかの修復工事を必要とする抜け上がりよりも共下がるの事例の方が望ましい〉というのが筆者の結論的見解である。

論文ではその後、図 4a) のような〈杭頭では共下がり地盤が杭長の 1/4 以上あるか否か〉、〈杭先端より上 1m~下 5m の範囲に図示したような水圧上昇比 r_u が 0.6 以下となる抜上り地盤があるか否か〉で判定した結果、同図 b) が得られたという。図に見られるように抜上り 43%、共下がり 48% が適合したとの結果であるが、論



文では両方を合わせて「40%程度で、精度にはやや難がある」と大雑把な表現で小さ目の評価がなされている。その理由として、限られた情報の中で仮定した条件が多いことや、非液状化層の摩擦力が考慮されていないことが挙げられ、さらに精度を上げるためには液状化時の摩擦杭の支持力を定量評価する必要があると結んでいる。そのために、(その2)「遠心力模型実験」と題して〔著者は少し違って「山中龍、奥村豪悠、本多剛、時松孝次」とされている〕それぞれの沈下タイプを模した模型実験が行われている。その考察は、それぞれの沈下タイプにおける支持力機構の特徴を示しているという点では参考になるものが大きい、あくまで傾向の抽出として受け取っておくべきであると思われる。したがって、ここでは詳細について触れることは省略する。

以上、液状化地盤における摩擦杭基礎支持建物の沈下被害に関して強く関心を惹かれた論文について述べたが、その分類を試みた内容は高く評価したい。ただ、分類は3つではなく、“めり込みタイプ”とされたものは設計時の液状化に対する検討が甘かったための事例として扱うことの方が適切とも思われるので除くことにし、沈下被害は“共下がりタイプ”と“抜上がりタイプ”の2つであるとして受け取りたいというのが筆者の感想である。

“杭先端支持力が発揮されたかどうかとの微妙な差がその境界条件になっている”ことが摩擦杭基礎の重要点であると考えからである。この点については今後も考え続けたいと思っている。