

支持層の不陸が大きい場合の杭の設計・施工時の対処方法

支持杭 支持層 不陸

ジャパンパイル 国際会員 ○小椋 仁志
 同上 正会員 小松 吾郎
 同上 細田 光美

1. はじめに

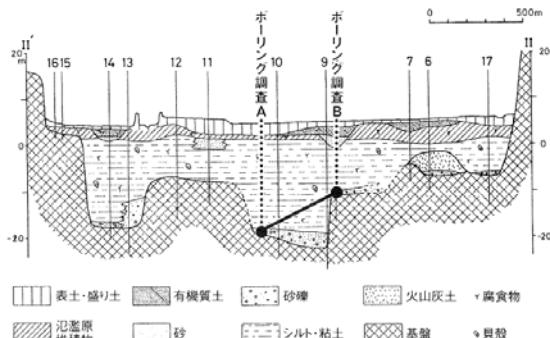
2015 年におきた横浜のマンションが傾斜したとされる問題では、杭の先端が所定の支持層に到達していないのが原因の一つとされた¹⁾。この問題を契機として、いわゆる「支持層未達問題」がクローズアップされたが、支持層の不陸が大きい地盤では、従来から建設後の建築物に不具合が発生しやすいといわれていた。本会が 2014 年に刊行した「杭基礎のトラブルとその対策（第一回改訂版）」²⁾でも、支持層の不陸によるトラブル事例が数件掲載されている。

本報では、既製杭・場所打ち杭の設計・製造・施工の専門業者の立場から、支持層の不陸が大きい地盤でも支持杭の先端が確実に支持層に到達するための設計・施工時の対処方法について検討する。なお、支持層深度が当初の想定より深い場合の対処方法については、筆者の一人が文献 3)で紹介しているので、合わせて参照されたい。

2. 支持層の不陸が大きい地盤

建築物に用いる支持杭の支持層には、一般的には N 値が 50 以上の締まった砂礫層が選定される。この層が現れない地盤では、N 値が 30 程度の砂層や土丹などの硬質粘土層、軟岩層などが支持層になる場合もある。

支持層の不陸が大きい地域としては、横浜市・川崎市・相模原市など神奈川県東部、静岡市などや、大阪上町断層など断層の近くが挙げられる。図 1 は、文献 4) に支持層の位置を誤りやすい地盤として紹介されている横浜市鶴見川低地の地盤断面図である。この例のように、支持層が大きく不陸している地盤では、ボーリング調査の数を十分に多くしておかないと、設計時には杭長を、施工時には支持層の深度を見誤りやすくなる。



横浜市環境科学研究所が作成した鶴見川低地の地盤断面図の例。鶴見川沿いの氾濫平野である LaLa 横浜の敷地周辺も、同様の地盤だと推測される。上野技術参事によると、こうした地盤では支持層の形状を、図のボーリング調査 A と B を結んだ直線状に見誤ることがある（資料：横浜市環境科学研究所の図面に本誌が加筆）

図 1 支持層の不陸が大きい地盤の例 4)

3. 支持層未達・貫通によるトラブル

支持層の深度が設計時の想定よりも深くして杭先端が所定の支持層に達していない場合（支持層未達）や、逆に支持層深度が想定よりも浅くして支持層を貫通して掘削し杭先端が下部の層に達してしまった場合（支持層貫通）には、杭の先端支持力が不足することになる。大半の杭は長期荷重より周面抵抗の方が大きいので、これが顕在

化することは少ないが、最悪の場合は供用後に建物が不同沈下するなど大きなトラブルになることもありうる。支持層の不陸が大きい地盤では支持層未達や貫通が生じやすいので、大きなトラブルを防止するためには設計時の入念な準備と施工時の十分な対応が必要となる。

既製杭の多くが打撃工法で施工されていたころは、一打当たりの貫入量やリバウンド量を測ることで支持層への到達を確認できた。杭頭が所定の位置よりも高い場合は、杭頭部分を切断するのが一般的であった。回転貫入鋼管杭も、回転トルク等の測定により支持層への到達を確認でき、鋼管杭のため杭頭も切断しやすい。

しかし、埋込み工法が主流になって、以前より支持層未達や貫通のリスクは高くなった。これは、①支持層への到達が、打撃工法より分かりにくくなった（ただし、最近積分電流を中心にした管理装置等により、分かりやすくなっている）、②杭とパイルキャップとの接合に杭頭の端板を利用する工法が増えたため杭頭を切断できなくなったうえ、杭頭高さを所定の位置に合わせることを求められるようになった、③支持層を貫通する掘削能力を持つ大型の施工機械が増えた、④ 6 章で示す対処等を行うには工期の延長や新たな費用を伴うこともあるが、工期やコストに厳しくなっている、などの事情による。

4. 設計時での不陸への対処方法

先端支持力を確実に発現させるには、杭先端を支持層に確実に根入れする必要がある。加えて、前述のように、杭頭の高さを所定の位置に合わせることも要求される。このため、設計時には、支持層深度に合わせて適切な杭長を設定する必要がある。そのためには、十分な数の地盤調査が必須となる。文献 2) のトラブル事例でも、地盤調査の数が十分ではなかったことに起因する事例が多く紹介されている。

支持層の不陸が大きい地盤では、通常の地盤調査に加えて、支持層深度の確認だけを目的とした調査（例えば、支持層付近のみの標準貫入試験、オートマチックラムサウンディング試験）を行うのが望ましい。可能であれば、杭を施工する全ての位置で調査を行って、支持層深度を把握しておくのがベストといえる。

支持層の不陸が大きく施工時に杭長の変更が予測される場合は、6 章で示す対処方法に応じて、上杭か下杭を長くする、短い中杭を準備する等の対策をしておく。

5. 施工開始時での不陸への対処方法

施工を始める時点で支持層の不陸が大きいことが分かった場合は、掘削状態や支持層の深度を確認する試験掘りの数を増やす必要がある。杭を施工する全ての位置で先行掘削を行って、支持層深度を調べて不陸に対応した例もある。

6. 施工開始後での不陸への対処方法

設計時に想定した杭長では不陸のために支持層未達や貫通の恐れがある場合は、杭種や施工法に応じて以下のような対処方法がある。

6.1 既製コンクリート杭（プレボーリング工法）

プレボーリング工法は、予め掘削してから杭を建て込

むため、支持層の位置は掘削時に確認できる。支持層深度が設計時と異なった場合の対処方法としては、杭長を支持層深度に応じて変更する方法と、杭長は変えずに設置位置や根固め長さを変更する方法に分けられる。前者としては、以下の対処方法が考えられる。

① 建て込む前に上杭を切断する

掘削後に杭を建て込む前に、予め長めに設定しておいた上杭を支持層深度に合わせて杭頭部分を切断する方法であり、実施例も多い。ただし、PHC杭やPRC杭の場合は、切断面から30cm程度まではプレストレスが抜けることによる水平耐力の低下への対策が必要となる。また、パイルキャップとの接合に杭頭の端板を利用する場合は、この方法は採用できない。

このため上杭を切断して杭長を調節する場合は、プレストレスや端板の問題は生じないSC杭を用いることが多い。SC杭とパイルキャップとは、鋼管にフレア溶接した鉄筋等によって接合する。ただし、SC杭は高価であること、切断に時間を要することなどが問題となる。

② 建て込む前に下杭を切断する

杭を建て込む前に、予め長めに設定しておいた下杭を支持層深度に合わせて杭先端部分を切断する方法であり、多く適用されている。杭先端付近は作用する水平力が小さいため、切断によってプレストレスが抜けて水平耐力が低下しても、杭先端の端板が無くなっても、杭の性能には問題は生じない。下杭に用いるPHC杭やPRC杭は、SC杭に比べて安価で切断に要する時間や費用も少なく済む。このように、下杭を切断する方法は、長所が多く短所がほとんど無い最も合理的な方法といえる。

ただし、下杭に通常の杭（節杭を含む）を用いる工法には適用できるが、ST杭や溝を付けるなど特殊な杭を下杭として用いる工法には適用できない。

③ 建て込む前に短い杭を継ぎ足す

予め2m程度の短い杭を準備しておいて、当初想定した杭長を伸ばす時に、短い杭を中杭として継ぎ足す方法である。既製の杭メーカーの多くは杭長が2m程度の杭も評定を取得しているため、この方法を用いることは可能であるが、あまり行われていない。これは、杭径が同じでも、PHC杭はプレストレス量（A～C種）、PRC杭は鉄筋量（Ⅰ～Ⅷ種）、SC杭は鋼管の厚さ（4.5～25mm）、杭の肉厚（標準厚、特厚等）が異なる多くの種類の杭が製造されている。さらに、杭の継手も溶接接手に加え、機械式継手のPJ（ペアリングジョイント）とTPJ（トリプルプレートジョイント）の計3種類あって、端板や補強バンドには互換性がない。したがって、継ぎ足すための短い杭を予め製造して準備しておくのは実際には難しい。また、新たに製造するのも、出荷できるのは製造後7日以降と決められているため工期の関係から難しい。

④ 杭頭露出後に杭頭を切断する・継ぎ足す

杭を施工し、根切りにより杭頭が露出したあと、杭頭を切断もしくは継ぎ足す方法であり、多く行われている。この方法では、杭を継ぎ足す場合でも杭の施工と切断の間に適した杭を製造する時間的余裕はある。切断する場合は①で述べたことに注意する必要がある。ただし、杭頭の切断・継ぎ足し作業のためには杭周部分の地盤をかなり深くまで掘削する必要があるのが難点といえる。

⑤ 同じ現場で今後使う予定の杭を使用する

支持層の不陸により杭長を変更せざるを得なくなった場合に、他の位置に施工する予定の杭が使える場合に流用する方法である。しかし、③で示したように杭や継手の種類は多く、未使用の杭が多く残されているなど、よほど条件が合わないとう適用できない。また、流用された位置の杭を再製造する必要も生じるが、これは工期の都合で難しいことが多い。

合で難しいことが多い。

次に、杭長は変えずに設置位置や根固め長さを変更する方法としては、以下の対処方法が考えられる。

⑥ 杭頭のパイルキャップを部分的に下方に伸ばす

杭頭位置が当初の想定より深くなった場合、杭頭部のパイルキャップを部分的に下方に伸ばす方法である。下方に伸ばす部分をラップルコンクリートとすることも考えられる。比較的簡便な対応方法であるが、下方に伸ばせる長さは2m程度が限度なので、杭頭位置が当初の想定より2m以上深くなると適用するのは難しい。

⑦ 杭先端の根固め部を下方に伸ばす

支持層深度が当初の想定より深い場合、杭の設置位置は変えずに、根固め部を各施工法が取得している大臣認定で定められた長さより下方に伸ばす方法であり、最も簡便な対処方法といえる。ただし、伸ばす長さは施工法によるが、1mや1D（D：杭の先端部の外径）程度が限度となる。また、認定の条件を逸脱することになる場合には、実施する前に関係者の了解を得ておく必要がある。

6.2 既製コンクリート杭（中掘り工法）

中掘り工法は掘削と同時に杭を建て込むため、支持層の位置を掘削によって確認してから杭長を変更することはできない。したがって、6.1の①～③の方法は適用できないが、④～⑦の方法は適用できる。

6.3 鋼管杭

鋼管杭には、端板が付いていないこと、切断しやすいことなどから、既製コンクリート杭よりも制約は少ない。このため、6.1で示した方法はすべて適用できる。

6.4 場所打ち杭

場所打ち杭は、掘削→鉄筋籠の建込み→生コンクリートの打設の順で施工される。支持層の不陸が大きく、当初想定した杭長を変更する必要が掘削工程で分かったときは、次の対処方法が考えられる。

① 鉄筋を切断するか継ぎ足す

杭長を短くする場合は鉄筋を切断し、長くする場合は鉄筋を継ぎ足す方法である。このとき、杭頭付近の鉄筋量は水平耐力により決まっているため、杭先端部分の鉄筋を切断・継ぎ足す方がよい。

② 鉄筋籠の継手部分の長さにより調節する

鉄筋の継手部分の重ね長さを少しずつ変えることにより、鉄筋籠全体の長さを調節する方法である。杭長を変更する長さが、おおむね1m以下の場合には適用できる。

③ 掘削深度のみを長くする

鉄筋籠の長さは変えずに、掘削深度を当初想定した位置より深くして、コンクリートを打設する方法である。コンクリート打設時には、鉄筋籠が杭頭から下がらないように吊っておく。この方法は、鉄筋籠を長くするのが難しい場合に用いられる。この場合、杭先端部分は無筋コンクリートとなり、評定等の最小鉄筋比の規定に抵触する可能性がある場合には、実施する前に関係者の了解を得ておくのが必要になることもある。ただし、杭の先端部分は作用する水平力は小さいため、杭の性能に及ぼす影響は小さいものと考えられる。

7. おわりに

本報では、建築分野で用いる支持杭に対して、支持層の不陸が大きい場合の対処方法について述べた。建築物の不同沈下等の防止に、本報が参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 日経アーキテクチャー、No.1059、pp.6～11、2015.11
- 2) 地盤工学会：杭基礎のトラブルとその対策（第一回改訂版）、2014.11
- 3) 細田光美：支持層深度が想定より深い場合の対処法、建築技術、No.822、pp.870～871、2018.7
- 4) 日経アーキテクチャー、No.1060、p.32、2015.11