

摩 擦 杭

Friction pile

たま の 野 はる みつ
玉 野 治 光*

1. ま え が き

摩擦杭をより活用し、なお一層の杭基礎の経済的設計を図るべきであり、現在は支持杭優先に過ぎるという意見はますます強くなってきた。この意見は杭の載荷実験あるいは摩擦杭を用いた構造物の追跡調査など、相当の根拠を踏まえたものであるだけに説得力は強い。

しかし、相変わらず摩擦杭に対する不信感が根強いことも否定できない。この不信感が、どのような事実によって育てられたかという、必ずしも明白でないが、過去に幾つかの失敗例があったため“なるべくならば摩擦杭は避けたほうが良い”と言われてきたためであろう。しかし最近の調査によると意外なほど摩擦杭の失敗例が少ないのは、過去における摩擦杭の使い方が適切であったということもあつたであろうし、我が国では失敗に対する追及が諸外国に比して異常なくらい厳しいため、失敗が表面化しないうち処置されたということもあるであろう。

また失敗と考えるか、許容限度内と考えるかの判定が難しく、失敗でないとした場合もあるであろう。例えば摩擦杭を採用したため大きな沈下が生じたが構造物に損傷を与えなかったので失敗ではないという意見と、構造物の大きな沈下は許せるものでないという意見とが対立した場合、失敗とする意見が公的に勝つことは少ないであろう。沈下しただけでは失敗作とならない例としてはピサの斜塔がある。ピサの斜塔を神の作り給うた大傑作という人はあつても、人間の作った恥ずかしい欠作という人はない。

支持杭を採用したくともできなかった時代と異なり、現在では支持杭にするか摩擦杭にするかは主として経済的な選択ということになるが、経済的な構造物にしたからといって、欠陥は許されないというのが我が国の社会通念である。

以上のように摩擦杭の使用をためらわせる理由があることは確かであるが、摩擦杭の中には支持杭に劣らないものもあるし、周面摩擦力の中には先端支持力に勝るものもあるので、これらの有効な利用への努力は、今後ますます盛んになっていくであろう。

2. 摩擦杭の定義

摩擦杭と支持杭の優劣を比較検討するとき、摩擦杭の定義に混乱があることに気づく。つまり、摩擦杭の定義が人により、また基準により異なっているため、議論が食い違ふことが少なくない。

そこでまず摩擦杭の定義を明確にしておきたいと思う。摩擦杭の定義には大きく分けて次の2とおりがある。

- ①杭の支持力が主として周面摩擦力による。
- ②杭の先端が良質な支持層に達してない。いわゆる浮き杭のことをいう。

杭を支持杭と摩擦杭に分類した当時は、杭の最大長はせいぜい10mであり、また良質な支持層への打込みも余りできなかったであろうから、良質な支持層に到達した支持杭の場合、支持力の大部分を先端支持力によっていると考えても間違いでなかったであろう。そこで支持杭と摩擦杭という分け方になったと思われるが、今日における摩擦杭に対する評価の混乱の原因の一つは、この分類に端を発していると言っても良いと思われる。摩擦杭となると①の定義はごく素直な定義となるが、摩擦杭が支持杭に劣るという先入観のため周面摩擦力は先端支持力より劣るという固定観念を育成する結果となったとも言える。

①の定義は極めて明快であり、分かりやすい定義ではあるが、現在のように多種多様の杭工法が実用に供されてくると、かえって分かり難い一面も有するようになる。

例えば、鋼管杭の場合、先端を開放しているのが一般的であるので、杭の先端面積は極めて小さい。つまり鋼管杭の場合には先端支持力の割合は内外面の周面摩擦力に比して比較にならないほど小さい。したがって、①の定義によれば鋼管杭は一般に摩擦杭ということになってしまう。

また場所打ちコンクリート杭の場合でも周面摩擦の占める役割が極めて大きいことが、多くの実験でほぼ一様に示されている。

場所打ちコンクリート杭の場合、いかに入念に施工したとしても、杭先端地盤を掘削の過程で緩めたり、あるいはスライムを完全に除去できなかったりして、先端抵抗は打込み杭に比してかなり低下しているのが一般的ようである。場所打ちコンクリート杭の先端抵抗は杭の沈下とともに増加することが認められるので最終的には先端抵抗の役

*首都高速道路公団 神奈川建設局 局長

論 説

割は大きくなるという意見もあるが、そのようなことになるためには、少なくとも杭径程度、時には杭径の数倍の沈下が生じないと先端抵抗が十分に発揮されないという報告もあり、杭の通常の戴荷試験で求めた設計荷重の3倍程度の荷重を戴荷したときにおける沈下程度では先端抵抗の占める比率は小さいのが普通のようなものである。特殊な例を除き場所打ちコンクリート杭も鋼管杭と同様に摩擦杭ということになる。

打込み杭の場合でも杭長が短い場合等特別の場合を除き一般に、許容荷重の範囲内では摩擦杭としての挙動を示すことが知られている。つまり良質な支持層に十分に打ち込まれた杭、通常は文句なしに支持杭と考えられている杭でも実用範囲では摩擦杭であることが多い。更に、この杭に荷重が増加してくると支持杭に変化してくる場合があり、同じ杭が摩擦杭から支持杭に変わる場合もあり得る。

また、同じ長さの杭でも打込み杭は支持杭で、場所打ちコンクリート杭は摩擦杭ということになり、①の定義を忠実に実際の杭に適用しようとする、少々無理が出てくるのが最近の実験結果から明らかになってきた。

道路橋示方書の摩擦杭の定義は“くい先端が良質な支持層に達してないくい”となっているが、これは明らかに②の定義を採用している。摩擦杭は浮き杭であるという定義は一見奇異の感を与えるが、何も最近始まったことでなく、昔からあった定義である。しかし、それまで多くの基準では①の定義を採用していたのであるから、その意義は意外と大きい。

つまり②の定義は周面摩擦力によって主として支持する杭でも良質な支持層に根入れしていれば支持杭であることを明確にしたことである。①の定義では摩擦杭となる杭の一部を支持杭の方に正式に移籍させたということは、摩擦杭のままにしておいたのでは、支持杭に匹敵する良質な摩擦杭に不当に低い評価が与えられるおそれがあるためである。

②の定義は、良質な支持層における周面摩擦力の高い信頼性に配慮し、良質な支持層での周面摩擦力を良質でない層の周面摩擦力と分離し、先端支持力と同格にまで格上げしたものとも言える。この定義が、先端支持力優位の思想を変革する切っ掛けとなるかもしれない。

以上のようなことから、筆者としては②の定義を支持するものであるが、道路橋示方書のみでなく、ほかの基準でも良質な支持層での周面摩擦力は再評価されつつあり、適正な位置を占めつつあるので①の定義は少なくなるのではないかと考えられる。

3. 周面摩擦力を低減しない工法

良質な支持層での周面摩擦力に高い評価が与えられるようになってくると、杭工法の一部に再検討の必要が生じてくるものがある。

摩擦杭に対する信頼感の欠如が周面摩擦力の不信感に直結し、周面摩擦力はほかの目的のためには犠牲にしても、元来余り頼りにしてないのだから良いという考え方が潜在的にあって幾つかの工法が開発された。この工法の大部分は現在、周面摩擦力を尊重する方向で改良されつつあるが、時に初めの思想を払拭できないまま施工されてしまう場合もあるようである。

その一つに埋込み杭工法がある。埋込み杭工法は低公害工法の開発の必要性から精力的、集中的に研究され、多くの工法が生まれたが、その中でもセメントミルク工法が特に有名である。セメントミルク工法は杭径より大きい孔をあけた後、既製杭を挿入し、杭の周面にできた間隙には根固め液を充てんする工法である。根固め液は水・セメント比70%の十分固結し得るものであり、これが杭の周面の間隙を完全に充てんできれば周面摩擦力は場所打ちコンクリート杭の周面摩擦力と同程度までの強度が期待できるはずである。場所打ちコンクリート杭の周面摩擦力は打込み杭と同等以上であることが、各種基準で認められているが、特に道路橋示方書では、砂層の場合打込み杭が0.2Nであるのに、場所打ちコンクリート杭では0.5Nまで良いことにしている。

ところが、セメントミルク工法で施工した杭の中には著しく周面摩擦力の低いものがある。これは本来根固め液が充てんされなければならなかったのに、ほとんどが水であるセメントミルク（掘削液）が充てんされているとか、スライムが残ったためと思われる。掘削孔の崩落を防止するため掘削中にセメントミルクを用いるが、セメント水を使うことによってある程度の強度を持った固形物が充てんされるように誤解されやすい。掘削液の水・セメント比は約400%であるので、ほとんどが水であり牛乳と同様である。

この工法には何回もの改良が加えられており、住宅都市整備公団などで定められたとおりに施工すれば問題はないと思われるが、現在の工法に改良される前に失敗例が重なっているため、この工法を避けている機関も少なくない。

あらかじめの杭孔をすべて掘削する埋込み杭でなくとも、中掘り工法で作成した杭にも周面摩擦力を著しく低減させてしまう場合がある。中掘りが先行掘削の場合は当然であるが、先行掘削しない場合でも非常に良好な施工でない限り周面摩擦力を低減する傾向にあることが実験結果によって示されている。

打込み杭の場合でも、打撃抵抗を軽減するためフリクションカットを設けるとか、あるいは杭先端部を補強するため外側にバンドを巻く場合には、周面摩擦力を低減することがある。フリクションカットまたは補強バンドの厚さと周面摩擦力の低減量との間の関係は、まだ明確でないが、数mm程度ではほとんど影響はないようであり通常は大きい問題でないという意見が多いが、なお検討の要がありそうである。

先端支持力を最大限に活用しようとして開発された拡底杭または球根杭についても同様の問題がある。周面摩擦力はもっと高く評価されてよいということは、先端支持力を軽視してよいということでは決してなく、先端支持力の重要性は変わらない。その意味では杭先端を拡大する工法は優れた工法と言えるが、杭先端の形状がバチ形であり、杭側面が傾斜しているため周面摩擦力が低減するのは、この場合致し方ないとしても、施工が容易でないため先端支持力を期待どおり増大させることができないこともあり得る。この工法の場合でも、その成否を一概に言うことはできないが、採用に当たっては十分な検討が必要であろう。

4. 浮き杭

良質な支持層での周面摩擦力を低減しないように施工し、杭の支持力の算定に当たって周面摩擦力を活用すれば不経済な設計は減少するであろうが、更に経済設計を図るためには、良質でない層の周面摩擦力を再評価する必要がある。

ここでまず良質な支持層とは何かを吟味する必要があるが、道路橋示方書では明快に“岩盤、砂礫層、 N 値30以上の砂質土層、 N 値20以上の粘性土層”としている。橋梁の場合には、この規定は正しいと考えられるが、ほかの構造物の場合にはもっと緩和してよいと思われるので、緩和の方向で検討が進められるのが望ましい。構造物によっては、 N 値10の粘性土層を良質な支持層とした方が適切な場合もあるであろう。

良質な支持層まで達していない場合、杭は浮き杭となるがこの場合でも現行の支持力算定式を用いれば、先端支持力の占める割合は大きく、前出の①の定義では摩擦杭でなくなる場合が多い。支持力算定式を用いて支持力を算出することは無理だという意見は強いが、実用上は大変重要であるのでなお一層の支持力算定式についての検討も必要であろう。

先端支持力優先の思想から小さな構造物にまで30m以上の長尺杭が採用されているのは経験的あるいは直観的におかしいという意見が多いが、これに対しての反論は難しい。もしも浮き杭の採用を全く考慮しないで長尺杭を採用したならば誤りであることは間違いない。

杭の水平抵抗あるいは引抜き抵抗は良質でない地層にも依存しているのであるから、鉛直荷重に対しては浮き杭を避けるといえるのでは片手落ちである。

許容周面摩擦力の値を適正に再評価すること、群杭の場合の沈下量の算出方法を確立すること、構造物の許容沈下

量を再検討することなどにより、浮き杭の採用の機会を増やす必要があると考えられる。

5. あとがき

杭の載荷試験から支持杭の優位が確認され、更に群杭となった浮き杭の沈下が、粘性土層の場合単杭の載荷試験からは推定し難いほど大きくなるということもあって、摩擦杭は支持杭に劣るということが定着したものである。摩擦杭が劣るということが周面摩擦力は先端支持力に劣るということになり、現行の支持力算定式の基本思想となつたのではないだろうか。

最近の計測技術の進歩により、良質な支持層の周面摩擦力の役割で大きいことが分かってくると、周面摩擦力に対する再評価が行われるようになってきた。先端支持力とは、杭先端面積×先端地盤の支持力度と考えるのではなく、周面摩擦を含めた先端抵抗と考えたほうがよいのではないかと思われる。そうすると、支持杭とは良質な支持層に荷重の大部分を直接伝えるように計画された杭ということになる。

次に支持杭の良質でない地層における周面摩擦力と浮き杭の周面摩擦力をどう再評価していくかであるが、その決め手の一つは長期載荷試験であろう。しかし、よく知られているように粘性土層の浮き杭の挙動は単杭と群杭で著しく異なる。そこで浮き杭基礎を有した構造物の追跡調査が重要となるが、昔の構造物の経験がすべてそのまま今に適用するかどうかは、大変疑問である。

最近の構造物には不同沈下に対して敏感な構造物、あるいは昔とは比較にならぬほど大きい規模の構造物等があり浮き杭の採用が全く考えられない場合も少なくない。

しかし昔の程度の剛性の高い構造物もたくさんあるので、このような場合には浮き杭の採用について配慮する必要がある。

周面摩擦力の再評価が進むと、小径杭が有利になってくる可能性がある。小径杭の場合には施工機械も小さくて済み結果的に低公害となり、この面からも有利となるが、総合的に考えて有利かどうか今後の課題であろう。

また杭外面に突起物を設けた杭が復活してくることも考えられるが、検討事項が残されている。

周面摩擦力の再評価とともに新たな問題が多々出てくるであろうが、その中でも最も大きいのは先端支持力の再評価ではなかろうか。いずれにしても杭の支持力に関する問題は尽きない。

(原稿受理 1981.9.18)