

杭の静的載荷試験法における剛性のばらつきを評価する提案

杭, 載荷試験, ばらつき

ジャパンパイル(株) 正 小嶋 英治
寒地土木研究所 国際 富澤 幸一
ジャパンパイル(株) 齊藤 彰 遠藤 勝美

1. 目的

杭の載荷試験は、鉛直試験¹⁾と水平試験²⁾に分類され、そのおのにおに静的試験と動的試験がある。静的試験は反力装置を用いて試験杭を載荷する試験法で、反力装置の組立が必要で、動的試験に比べ試験費および工期が掛かる。それに対して、動的試験は反力装置が不要で試験費が低価格であり、一日に何本かの試験が可能である。鉛直方向の動的試験では、衝撃載荷試験^{1),3)}と急速載荷試験¹⁾が標準化されている。一方水平方向では、実現場で動的載荷試験が試みられ⁴⁾、データの蓄積が行われている。

本ペーパーは杭の静的載荷試験に関する提案である。設計時に設定された水平地盤反力係数などの妥当性確認のために、実現場で杭の静的試験を用いた確認試験を行う場合がある。確認試験は一現場で複数の杭で試験を行うことが好ましいが、経費および工期の関係で一現場一試験杭でしか行われていないのが実状である。この場合に、選定した試験杭がその現場の代表の杭と評価して妥当なのか(以下、試験杭の妥当性と称す)が問題となる。

橋梁の橋台および橋脚の杭基礎では、一般に同種同径の杭が採用されており、実現場で行われる確認試験では、試験杭および反力杭は同じ杭となる。筆者らはここに注目した。すなわち、実現場で行われる載荷試験では、従来の一現場一試験杭の載荷試験であっても、反力杭全体に生じる載荷荷重を試験杭と等価と仮定すれば、反力杭の平均の、荷重 - 変位量曲線を求めることができる。これを利用して、筆者らは、従来の一現場一試験杭で行われる杭の静的載荷試験で、杭体および地盤の剛性(以下、杭の剛性と称す)のばらつきを評価し、試験杭の妥当性を確認する試験法を試みた。

2. 杭の載荷試験法の提案

静的試験は、反力杭を用いて試験杭を載荷する試験法で、従来の試験法では試験杭のみが試験対象であった。すなわち、試験対象は試験杭で、試験杭の載荷荷重および杭頭の変位を計測する。試験の安全性確認として、試験杭では杭の曲げびずみを計測し、反力杭では杭頭の変位を計測する。そこで、発想を転換し、計測法も含む試験法は従来と同じであるが、反力杭も試験対象と位置づける試験法を提案する。

試験法が従来と同じであるから、反力杭の載荷荷重

は未知である。そこで、作用反作用の法則から、反力杭全体の載荷荷重を試験杭と等価と評価し、反力杭の平均載荷荷重を求める。それに対応する反力杭の平均変位は計測値から求め、これ等を用いて、反力杭の平均の荷重 - 変位量曲線を求めようという提案である。試験杭と反力杭との荷重 - 変位量曲線を比較することで、試験杭の妥当性の確認ができる。

本方法の最大の特徴は、試験杭と反力杭が同じ杭との条件はあるが、既に行った従来の試験から、杭の剛性のばらつきが把握でき、試験杭の妥当性の確認ができるという点にある。当然のことながら、反力杭に生じる荷重範囲は試験杭に比べて反力杭の本数だけ狭くなるが、双方の杭を比較することで、杭の剛性のばらつきが把握でき、試験杭の妥当性が判断できる。また、最小二乗法などの解析を駆使し、試験杭と対比することで、試験杭と同じ範囲の反力杭の荷重 - 変位量曲線を推定することは可能であると考えられる。

3. 試験例

提案した試験法を杭の水平載荷試験に適用したので紹介する。ここで紹介する試験は、試験杭と反力杭が1列に並ぶ直列配置で行った。なお、紙面の関係で、土質柱状図の記載は割愛した。

場所打ち杭に適用した事例を図1~3に、鋼管杭に適用した例を図4に示す。

図1は事例1の場所打ち杭(コンクリート杭:杭径1,500mm,杭長16.0m)の荷重 - 変位量曲線である。また、試験杭一本,反力杭一本の、一方向載荷試験である。試験杭と反力杭の載荷方向は逆方向であるが、双方を対比させるために、図では同じ方向で表現した。試験杭と反力杭の荷重 - 変位量曲線は若干のばらつきはあるものの良い対応を示している。

図2は事例2の場所打ち杭(コンクリート杭:杭径1,200mm,杭長48.56.0m)の荷重 - 変位量曲線である。本試験は、試験杭一本,反力杭二本の水平交番載荷試験である。試験杭と反力杭の載荷方向は逆方向であるが、図1に倣い同じ表記法を用いた。本例は交番載荷試験であるが、試験杭の荷重 - 変位量曲線が原点に点対称でなく、杭の剛性にばらつきが見られる。また反力杭と試験杭も重ならず、若干のばらつきが見られる。

図3は事例3の場所打ち杭(コンクリート杭:杭径1,200mm,杭長46.0m)の荷重 - 変位量曲線である。載荷型式は、試験杭一本,反力杭二本の一方向試験で、反力杭の載荷荷重は試験杭の1/2の範囲であるが試験

杭と反力杭の非線形性まで良く一致していることが確認できる。

図4は、事例4の鋼管杭(杭径800mm,杭長44.0m,油圧ハンマー打撃工法)の荷重-変位曲線である。既製杭であるため、杭体の剛性が安定していることから、地盤の剛性のばらつきが小さかったと推定される。図4の荷重-変位曲線は、試験杭一本、反力杭二本の交番载荷試験であるが、試験杭と反力杭の非線形性まで完全に一致している。鋼管杭の試験では、曲げひずみを計測するため、本杭のみにひずみゲージの保護材に溝形鋼を用いている。この試験結果から、杭の剛性に対する溝形鋼の影響が小さかったと推定できる。この溝形鋼の剛性の影響が大きい場合は、試験杭と反力杭の比較では、杭の剛性のばらつきが把握できない。この場合は、载荷試験のデータから、溝形鋼の剛性を考慮した地盤の逆算k値を求めることにより、溝形鋼の剛性を取り除くことができる。

場所打ち杭であるコンクリート杭と既製杭である鋼管杭の、試験杭と反力杭(平均値)の荷重-変位曲線を示した。提案した試験法を用いた結果、杭の剛性のばらつきの小さいことが確認できた。以上の結果から、従来の一現場一試験杭の载荷試験法であっても、本試験法を適用すれば杭の剛性のばらつきと試験杭の妥当性の確認ができると考える。

杭の水平载荷試験では、杭を押し側の前方5D(D:杭径)、後方3D間に構造物などがあると、試験杭に影響があるとされている。杭の水平抵抗特性の把握を目的とする捨て杭を用いる試験特性調査試験では、杭間を十分に確保できるので問題はないが、実際の橋台や橋脚で行われる確認試験では、杭間隔が充分とれない場合がある。この場合は、杭基礎の一番外側の杭を試験杭とし、今回提案した試験杭と反力杭を比較することで、杭間隔の影響を確認すべきと考える。

4. 今後の展望

今回提案した試験法は、試験杭と反力杭が工学的に同種同径での提案で、反力杭全体の荷重を試験杭と同じと仮定している。この方法の長所は、既に終了した試験から試験杭の妥当性の確認ができることにある。ただし、個々の反力杭の荷重を計測すれば、個々の反力杭の荷重-変位曲線が求まり、かつ反力杭に試験杭と異なる杭が混在する場合にも適用できる。

5. まとめ

従来の一現場一試験杭の静的水平载荷試験を用いて、試験杭の妥当性を評価する試験法を提案し、同法の検証を行った。本ペーパーは過去に行った試験データで検証したもので、反力杭と試験杭が同じ杭であることは、図面上だけの確認で、試験時の施工の記録はないが、十分な成果が得られたと考える。

本ペーパーでは、場所打ち杭と既製杭である鋼管

杭の荷重-変位曲線の解析例を示した。場所打ち杭の方が鋼管杭より杭の剛性にばらつきが見られたが、これらのばらつきは許容範囲で、選定した試験杭を現場の代表的な杭であったと判断する。

反力杭の荷重範囲は試験杭に比べ、反力杭の本数分、荷重範囲が狭くなるが、最小二乗法などの解析を駆使すれば、試験杭と同等範囲の荷重-変位曲線などが得られると考える。

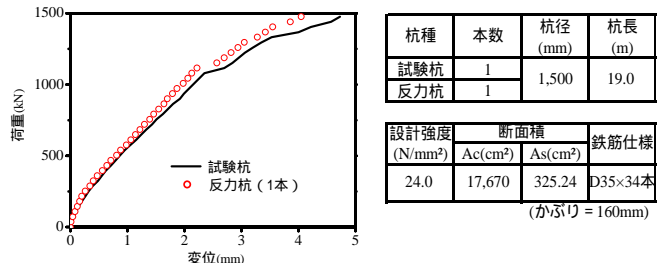


図1 場所打ち杭の荷重-変位曲線の事例1

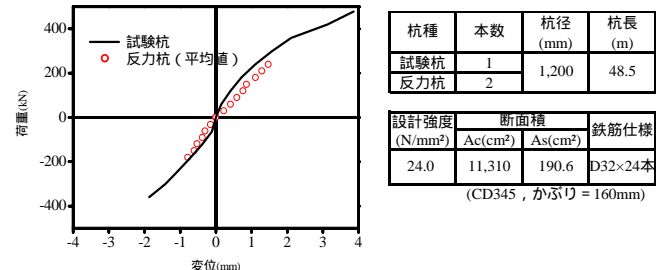


図2 場所打ち杭の荷重-変位曲線の事例2

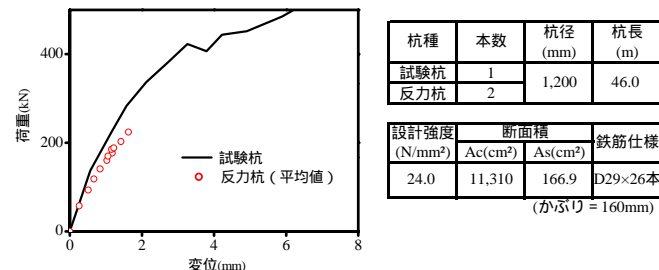


図3 場所打ち杭の荷重-変位曲線の事例3

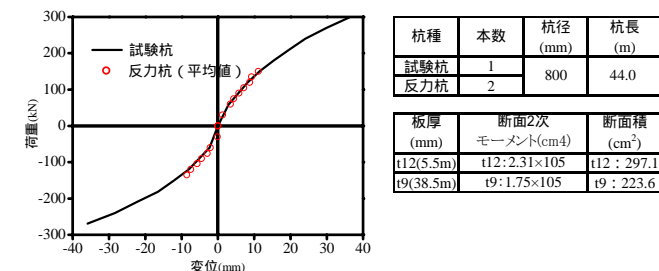


図4 鋼管杭の荷重-変位曲線の事例4

参考文献

- 1)地盤工学会：杭の鉛直载荷試験方法・同解説，第1回改訂版，2002.
- 2)地盤工学会：杭の水平载荷試験方法・同解説(改訂中)，2010.
- 3)小嶋英治，桑山晋一：杭の鉛直载荷試験の開発と実験による検証，第48回地盤工学シンポジウム，pp.99-106，2003.
- 4)富澤幸一，三浦清一，松本樹典，Kitiyodom P.，小嶋英治，熊谷裕道：動的水平载荷試験システムによる鋼管杭の地盤反力評価，応用力学論文集 Vol.10，pp.1055-1062，2007.