

鋼管杭の動的水平載荷試験法 (その 2 - 実杭の試験検証)

載荷試験、杭、試験方法

ジャパンパイル技術開発部 正会員 小嶋英治  
金沢大学大学院 国際会員 松本樹典  
北海道開発土木研究所 国際会員 富澤幸一  
北海道大学大学院 国際会員 三浦清一

1. はじめに

実現場への載荷試験の有効活用を目的に、一連の研究により杭にハンマ打撃などの水平衝撃力を作用させ波動解析により杭水平抵抗を求める杭の動的水平載荷試験法を開発<sup>1,2)</sup>し、実用化した。本報(その2)では、(その1-システム開発)を踏まえ、開発したシステムにより動的水平載荷試験の鋼管杭への適用を試み、同時に実施した静的水平載荷試験成果との対比から本試験システムの妥当性を検討した。さらに、本試験システムの今後の活用性について展望した。

2. 試験現場概要と試験杭

鋼管杭の静的および動的水平載荷試験を実施した現場は、北海道開発局管内 道央圏連絡道路 キウス川橋 (A2 橋台) である。図 1 に地盤柱状および橋台基礎杭を示す。当該現場の上層には支笏火山灰が深く介在しており、静的水平載荷試験の目的は破砕性地盤である火山灰土の砂質土と対比した水平地盤反力を検証である。地盤柱状は、G.L.-6.00m 程度までが N 値 2 程度の火山灰土・シルト、G.L.-6.00 ~ -18.00 m までが N=5 ~ 7 程度の火山灰質シルト、それ以深が N 値 50 以上の強層の砂礫中間層および N=10 ~ 20 の砂質系地盤で構成されている。A2 橋台は、N=4×10=40 本の鋼管杭基礎を採用している。杭諸元は 800mm、L=30m で杭厚は t=15mm(上杭 6m)から t=12mm(中杭 12m、下杭 12m)に変化する。その際、杭は概ね摩擦杭として設計されている。鋼管杭はハンマ質量 W=10ton の油圧ハンマで打込み施工した。杭の静的および動的水平載荷試験は橋台中央部の別々の隣接した実杭を用いて実施した。

3. 静的水平載荷試験概要・結果

杭の静的水平載荷試験は、「土質工学会基準 杭の水平載荷試験方法・同解説」<sup>3)</sup>に準拠した正負交番の多サイクル方式で実施した。試験杭は、全長 L=30m の本杭を試験時の地表から h=800mm 露出した状態で行った。静的水平載荷試験の結果では、水平荷重 P ~ 杭変位量 y の関係から、現設計法に従い弾性地盤反力法で逆算した基準変位量(杭径 1% 8mm)相当の実測水平地盤反力係数 k' は k'=26000kN/m<sup>3</sup>であった。これは、設計時に 1/ 区間(深さ約 3 ~ 4m)の地盤定数から設定されている設計水平地盤反力係数 k=14330kN/m<sup>3</sup> の約 1.8 倍である。この結果、火山灰土中の本橋台基礎杭は設計に対し過大でない範囲で、安定性を確保しているものと判断される。

4. 動的水平載荷試験成果

動的水平載荷試験の結果から得られた、荷重 ~ 杭水平変位曲線を図 2 に示す。打撃力は、重錘の走行距離を変化させ打撃力を徐々に大きくなるように実験を行った。図中の数字は杭を加振した順番を示す。この荷重 - 変位量曲線から概ね以下のことが明らかになった。

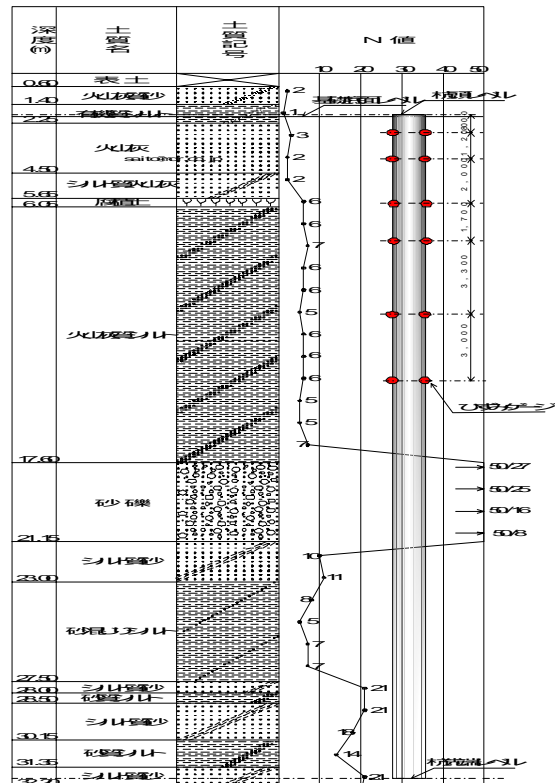


図 1 現場土質柱状図・杭諸元

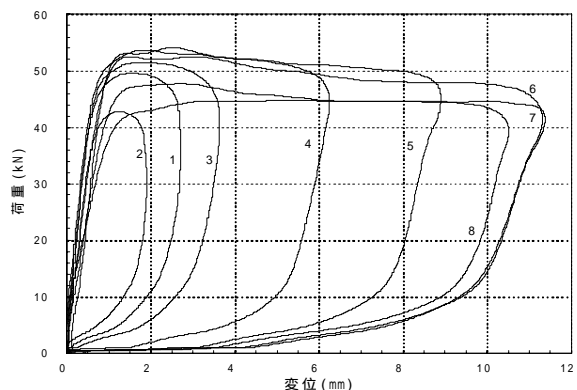


図 2 動的水平載荷試験の荷重 ~ 杭水平変位関係

Method for dynamic horizontal load test of steel-pipe-piles(part2-Verification for actual piles)

Eiji KOJIMA(JAPAN PILE Corporation), Tatusnori MATSUMOTO(Kanazawa University),  
Kouchi TOMISAWA (Civil Engineering Reserch Institute of Hokkaido), Seiichi MIURA (Hokkaido University)

小さな衝撃の動的荷重では弾性挙動を示すと推定される。

杭への衝撃の動的荷重が大きくなると徐々に弾塑性的な挙動を示す。

衝撃荷重の増加時と減少時で荷重と水平変位の勾配が異なっているが、塑性域が大きくなるに従い顕著となる。

一度、地盤が大きな塑性変形を経験すると塑性域の最大荷重が低下し経験したループをたどる傾向が確認される。

この際に、荷重の増加時と減少時で荷重と水平変位の勾配が異なる理由として、杭の変形が大きくなると地盤が塑性領域に入り、杭の荷重増加時では杭と地盤間に隙間が生じるためと推定される。この地盤の剛性を評価するモデルとしては、地盤の大変形の荷重増加時において地盤のばねを切るモデルなどが考えられる。また、理由として、地盤が数回変形することで地盤の耐力が低下するためと推定される。

## 5. 波形マッチング解析

鋼管杭の動的水平載荷試験の波形マッチング解析<sup>2)</sup>は、動的水平荷重を入力し出力の載荷点の変位波形を求め、変位計で計測した杭の変位波形と比較した。なお、マッチング解析に用いた入力データは図2に示す3番目の波とした。

図3(a)に入力とした動的水平荷重、(b)に実線で計測波形、一点差線でマッチングによる載荷点変位を示す。(b)の計測波とマッチングした変位波形を比較すると除荷点を過ぎるまで良い一致の見える。

ただし、入力の動的水平荷重の時刻歴が最大値が頭打ちとなり、その後なだらかに増減する波形で明らかに入力波形とマッチング波形の形状が異なっている。これは杭打撃後に杭頭背面に生じる隙間のためと考えられる。(c)に載荷点における荷重-変位量関係の計測結果とマッチング解析結果を示した。この結果より、良好なマッチング成果が得られたことが確認できる。ただし、マッチング解析の変位波形は、変位が0に戻っておらず残留変位が生じている。これは、荷重減少時における地盤ばねの性状を荷重増加時と同じとしているため、今後、荷重減少時における地盤と杭の間のギャップ発生を考慮できる地盤ばねモデルの導入が必要となる。図4に静的水平載荷試験から得られた荷重 $P$ -水平変位 $y$ 履歴に対する、動的水平載荷試験から算定した地盤の初期剛性の関係を示した。この結果、動的水平載荷試験から得られた地盤の初期剛性(図右上点線)は、静的水平載荷試験の結果と良い互換性を呈しており、試験システムの妥当性を示したものとする。

## 6. まとめ

杭の動的水平載荷試験システムを現場の実杭に適用した結果、概ね以下の知見を得た。

動的水平載荷試験値は概ね深さ1/区間の地盤反力を代表しているものと考えられる。その際、動的水平荷重に対応した地盤性状(弾性域~塑性域)は、動的水平荷重に対する杭変位の履歴から推定が可能である。動的水平載荷試験の地盤杭パネルモデルを用いた波動解析によるマッチングの結果、静的水平載荷試験値の荷重~杭水平変位量の関係に良い互換性を示した(図3、4)。その結果、開発した動的水平載荷システムの妥当性および有用性が概ね検証されたものとする。

今後、試験事例・解析シミュレーションを増やすことにより、動的水平載荷試験法をより精度の高い簡便なシステムとして確立し、杭施工管理法として実用化していく考えである。

**参考文献** 1)富澤・三浦・小嶋・松本(2006):鋼管杭の動的水平載荷試験法(その1-システム開発),第41回地盤工学研究発表会論文集。2)松本・Kitiyodom.P・小嶋(2005):鉛直および水平方向の動的・静的杭載荷試験の解析プログラム開発,日本建築学会大会学術講演梗概集。3)土質工学会(1993):土質工学基準 杭の水平載荷試験方法・同解説,pp.21-52。

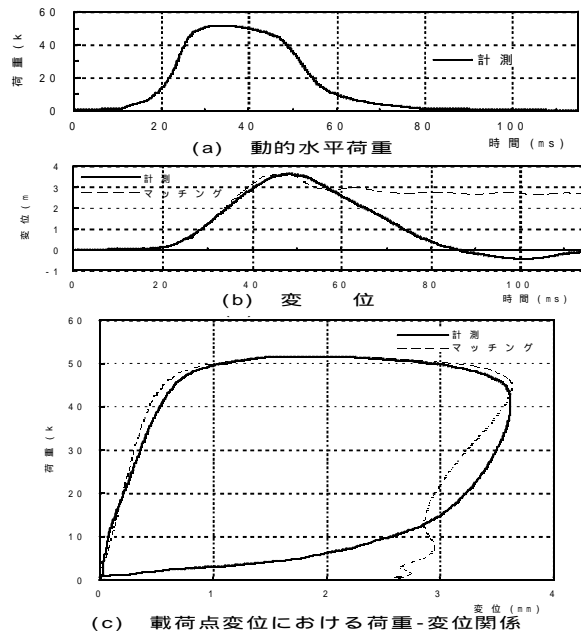


図3 動的水平載荷試験マッチング結果

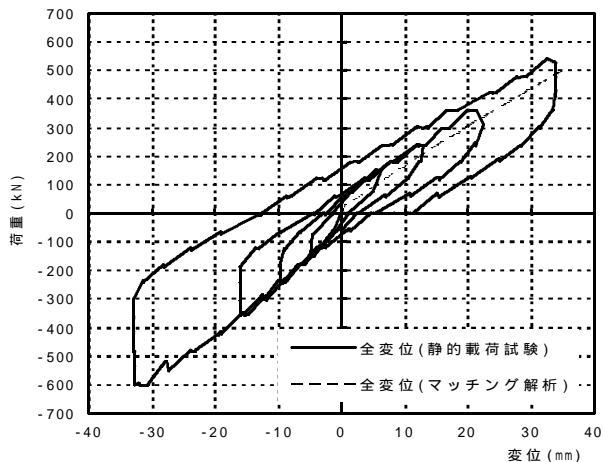


図4 荷重~杭変位(静的試験・動的試験)