

鋼管杭の動的水平載荷試験法(その4-実杭の試験検証その3)

鋼管杭, 動的水平載荷試験, 波形マッチング解析

ジャパンパイル(株) 正 熊谷 裕道
 ジャパンパイル(株) 正 小嶋 英治
 金沢大学大学院 国際 松本 樹典
 寒地土木研究所 国際 富澤 幸一

1. はじめに

杭基礎の性能規定化に伴い, 地盤性状を忠実に反映した杭設計を実施していくことが要求されている。しかし, 現状の設計では地盤反力係数や杭水平方向変位量は, 地盤調査結果から推定するケースがほとんどであり, その結果が実証されることは少ない。杭の実挙動を把握するには載荷試験の実施がより有効である。このような背景から, 杭の性能を検証する方法として実現場で活用される載荷試験において, コストの軽減化・試験時間の短縮化が求められている。この考えに基づいて, 杭の鉛直方向における載荷試験では動的手法が導入されている。しかしながら, 水平方向における載荷試験では動的手法が導入されるには至っていない。そこで, 筆者らは静的水平載荷試験に代わる新しい簡便な杭載荷試験法として, 杭頭に水平方向の動的外力を与えて, それにより得られる動的データを用いて波形マッチング解析を実施することにより, 杭の水平抵抗挙動を推定する動的水平載荷試験システムを開発してきた²⁾⁻⁵⁾。システムの妥当性を検証するには, より多くの検証事例が必要である。筆者らは今までに5箇所の地盤サイトで実大鋼管杭の載荷試験を実施してきた²⁾⁻⁵⁾。本論では既報²⁾⁻⁴⁾に続き, 新たな現場で実大鋼管杭の静的および動的水平載荷試験を実施し, 試験システムの妥当性を検討した。

2. 試験杭および試験地盤

図1に, 試験地盤の土質柱状図を示す。同図には, 試験杭(動的水平載荷試験用)の姿図を併記している。地盤は主に火山灰で構成されている。深さ約22m以深は礫混じり火山灰層で, 杭の支持層である。なお, 載荷試験時の地表面は深さ約7.1mであった。また, 後述する波形マッチング解析では, 赤字 ~ および赤線で示したとおり, 試験地盤を5分割してモデル化した。表1に, 動的水平載荷試験に用いた試験杭の仕様を示す。試験杭は, 外径600mm, 全長23.5mの鋼管杭で, 実際に橋脚を支持する用途に供するものである。施工方法は中掘り工法である。試験杭には, 軸ひずみを測定するためのひずみゲージを, 軸対称位置(5断面)に貼り付けた。ひずみゲージの保護材として, 溝形鋼を杭の両サイドに溶接した。そのため, 杭の断面二次モーメント I は, 表2に示すような値となる。なお, 動的水平載荷試験と静的水平載荷試験は, 別々の試験杭で実施した。静的用試験杭の上杭長は動的用試験杭とは異なり, 5.0mである。他の物性値は共通である。なお, 双方の杭における杭芯間距離は約7.5mであった。また, 載荷試験時には試験杭を地表面から, 動的用が約1.5m, 静的用が約1.0mそれぞれ突出させた。

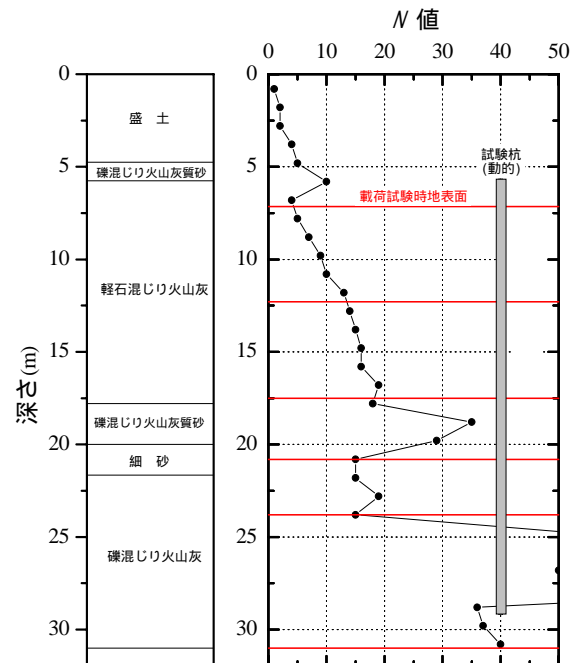


図1 試験地盤の土質柱状図

3. 試験装置, 試験方法および試験手順

静的水平載荷試験については, 土質工学会基準「杭の水平載荷試験方法・解説」⁶⁾に従い, 一方向多サイクル方式にて実施した。載荷点は, 地表面から約300mmの位置とした。荷重範囲は約0~+437kNで, 変位範囲は約0~+28mmである。動的水平載荷試験については, 質量3.0tonの重錘を地表面から500mmの位置に衝突させて, 杭体に載荷した。その際, 水平載荷荷重と載荷位置の水平変位を, それぞれ15 μ s間隔で測定した。

4. 試験結果および解析結果

図2に 動的水平載荷試験における水平載荷荷重を示す。これより, 荷重の載荷継続時間は約90ms, 最大荷重は約160kNである。図3~5に, 動的水平載荷試験結果と波形マッチング解析結果を示す。波形マッチング解析は, 解析プログラムKwaveHybrid¹⁾を用いて, 図2に示す測定水平載荷荷

表1 試験杭の仕様(動的水平載荷試験用)

杭種	外径 (mm)	杭長 (mm)	板厚 (mm)	ヤング率 (kPa)	密度 (t/m ³)
上杭	600	5.5	11	2.06 × 10 ⁸	7.8
下杭		18.0	9		

表2 解析における試験杭のパラメータ

断面 No.	杭頭からの 距離(m)	断面2次モーメント (m ⁴)	等価密度 (t/m ³)
1	0.00 ~ 1.25	0.883 × 10 ⁻³	9.7
2	1.25 ~ 5.50	1.144 × 10 ⁻³	10.6
3	5.50 ~ 6.10	0.993 × 10 ⁻³	11.3
4	6.10 ~ 23.50	0.730 × 10 ⁻³	10.2

Method for dynamic horizontal load test of steel-pipe-piles (part 4-Verification for actual piles part 3)
 E. Kojima, H. Kumagai (Japan Pile Corp.), T. MATSUMOTO (Kanazawa University)
 K. Tomisawa (Civil Engineering Research Institute for Cold Region)

重を入力条件として実施した。解析において、ひずみゲージ保護材を直接にモデル化していないため、杭各区間の重量が保護材を勘案したものとなるように、表2に示す等価密度の値を用いた。

図3~5は、それぞれ、時間-水平変位、水平荷重-変位関係、杭曲げモーメント深度分布の試験結果と、最終の波形マッチング解析結果である。解析による水平変位は、立ち上がり部分および最大変位量に関して、試験結果とよく一致した。また、解析による水平荷重-変位関係および杭曲げモーメント深度分布は、試験結果をよく表現している。表3に、以上の波形マッチング解析で求めた地盤パラメータを示す。なお、地盤のせん断剛性 G を同定するうえで、その初期値はImai⁷⁾による式(1)と波動理論による式(2)を用いた。

$$V_s = 91N^{0.337} \quad (1) \quad G_0 = \rho \times V_s^2 \quad (2)$$

ここで、 V_s ：せん断波速度(m/s)、 N ： N 値、 G_0 ：微小ひずみ時のせん断剛性、 ρ ：土の湿潤密度である。

表3に示したせん断剛性 G は、 $G = 0.2G_0$ となっている。

図6に、表2の地盤パラメータを用いて計算した静的な水平荷重-変位関係を試験結果と比較したものを示す。これより、計算による水平荷重-変位関係は試験結果をよく再現している。

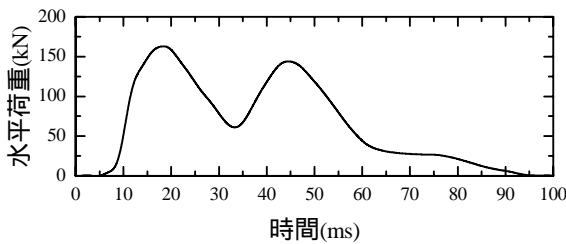


図2 水平載荷荷重

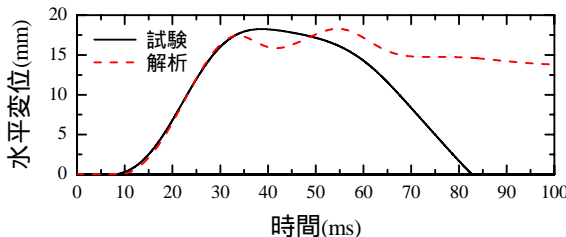


図3 水平変位 (試験結果と解析結果)

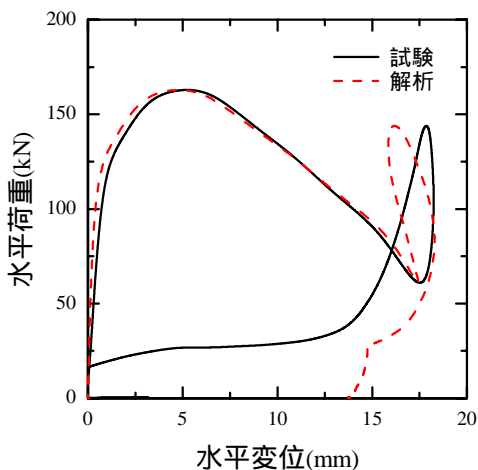


図4 動的な荷重-変位関係 (試験結果と解析結果)

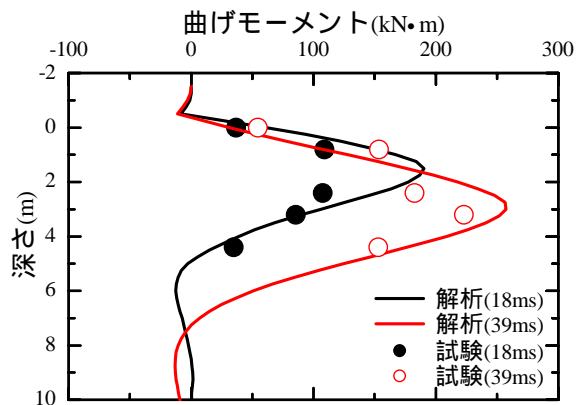


図5 杭曲げモーメント分布 (試験結果と解析結果)

表3 波形マッチング解析で求めた地盤パラメータ

深さ (m)	せん断剛性(kPa)	最大水平抵抗(kPa)
7.1 ~ 12.3	10,042	91
12.3 ~ 17.5	15,025	91
17.5 ~ 20.8	21,158	弾性範囲
20.8 ~ 23.8	16,098	弾性範囲
23.8 ~ 31.0	43,951	弾性範囲

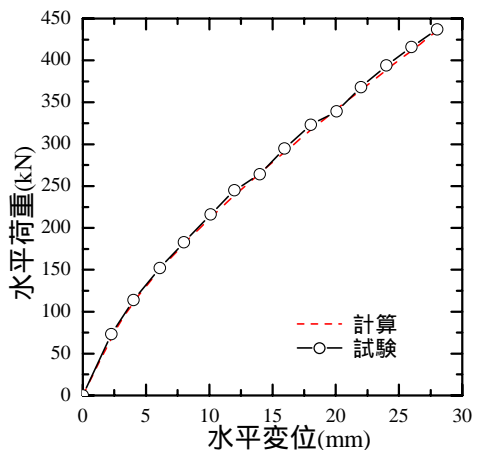


図6 荷重-変位関係 (静的載荷試験結果と計算結果)

5. まとめ

地盤が主に火山灰で構成されている実現場において、実大鋼管杭を用いた動的および静的水平載荷試験を実施した。動的水平載荷試験のデータを用いて波形マッチング解析を実施し、それに基づいて静的な水平荷重-変位関係を推定したところ、静的水平載荷試験結果とよい対応を示した。

【参考文献】

- 1) Kitiyodom, P., Matsumoto, T., 他(2006): Analysis of static and dynamic horizontal load tests on steel pipe piles. Proceedings of 10th International Conference on Piling and Deep Foundations
- 2) 富澤, 他(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
- 3) 小嶋, 他(2006): 鋼管杭の動的水平載荷試験法(その2-実杭の試験検証), 第41回地盤工学研究発表会
- 4) 小嶋, 他(2007): 鋼管杭の動的水平載荷試験法(その3-実杭の試験検証2), 第42回地盤工学研究発表会
- 5) 例えば小嶋, 他(2005): 杭の動的水平載荷試験システムの開発(その1 実大杭を用いた実験概要および実験結果), 土木学会第60回年次学術講演会
- 6) 社)土質工学会(1983): 土質工学会基準 杭の水平載荷試験方法・解説
- 7) Imai, T.(1977): P- and S-wave velocities of the ground in Japan, Proc. 7th ICSMFE, Tokyo, Vol.2