

# 軟弱地盤下の軟岩を支持層とする長尺鋼管杭の水平載荷試験

東日本高速道路 正会員 加藤 真司  
 東日本高速道路 中谷 史規  
 地盤試験所 正会員 亀井 秀一  
 八千代エンジニアリング 後藤 雄一  
 八千代エンジニアリング 正会員 ○牧 岳志

## 1. はじめに

山形県置賜地方、米沢盆地の北端に面積約 6.8ha の小さな湖沼、白竜湖がある。この白竜湖の周囲の水田地帯は、極めて軟弱な地盤（以下「白竜湖軟弱地盤地帯」）を持つ地域として知られる。東北中央自動車道は、福島県相馬市を起点とし、福島市から国道 13 号に並行して山形県を北上し、秋田県横手市に達する。現在建設中の南陽高島 IC から山形上山 IC 間 24.4km のうち、約 3km の範囲がこの白竜湖軟弱地盤地帯のほぼ中央部を通過する（図-1）。



図-1 位置図

## 2. 地質の概要と水平載荷試験の目的

図-2 に、東北中央自動車道の白竜湖軟弱地盤地帯通過範囲のうち、北側約 800m の範囲についての地層地質縦断図を示す。東北中央自動車道は、南陽高島 IC を過ぎて白竜湖軟弱地盤地帯を通過した後、トンネルが連続する区間となるが、その最初のトンネルの南坑口から約 600m の範囲は、丘陵地帯から延びる凝灰岩層が確認できる。凝灰岩層の上部は、有機質土と粘性土が砂層を交えながら厚く層を成しており、特に最上部の高有機質土と高有機質粘性土は極めて軟弱である。また、この凝灰岩層は、ところどころ厚い強風化部が存在するため、N 値 50 以上の支持層線は複雑な起伏を示す。また、白竜湖軟弱地盤地帯の中心部に向かって急激に落ち込んでおり、これより南側は支持層として期待できないほど深くなる。

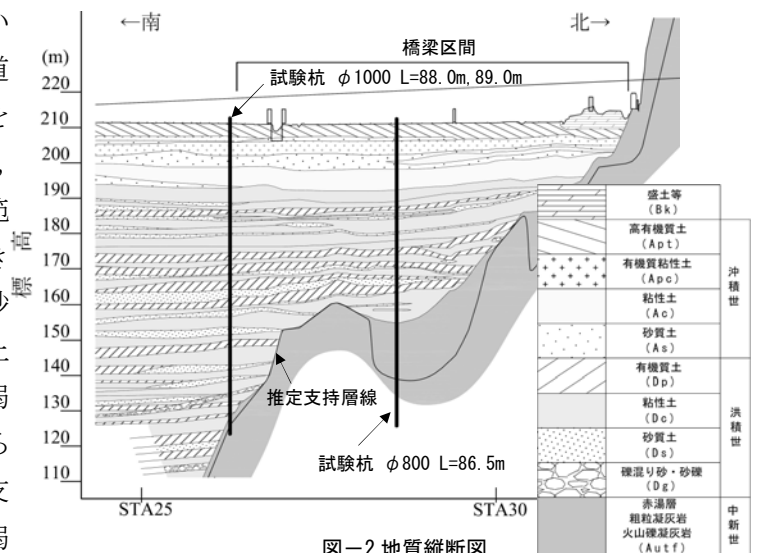


図-2 地質縦断図

このため、白竜湖軟弱地盤地帯の中央部の横断に際し、南陽高島 IC 付近で国道を横架した後、約 2km の範囲を軟弱地盤対策を併用した盛土構造、残りの支持層が確認できる範囲を橋梁で通過する計画としている。橋梁部の基礎杭の長さは最大で約 90m に達するため、中掘り杭工法を併用して施工精度を確保することとした。うえ、橋梁の設計着手に先立ち、試験杭を施工（φ 800 L=86.5m）して急速載荷試験を行い、実際の支持力を確認した。その結果、杭先端付近の支持力は十分なものであったが、周面摩擦力は想定を大きく下回る結果となり、杭の打設により乱された地盤の回復力の低さを疑う必要が生じた。本稿では、このような地盤条件下において水平地盤反力をどのように考慮すべきなのか、水平載荷試験により確認した結果を報告する。

## 3. 試験計画と試験状況

水平載荷試験は、直径 1m の杭 2 本（長さ 88.0m 及び 89.0m）を中心間隔 2.5m で打設して 1 本を反力杭とし、残りの 1 本を油圧ジャッキで加力するという方法を採用した。写真-1 に、試験杭の状況、写真-2 に試験状

キーワード 軟弱地盤、長尺鋼管杭、水平載荷試験、水平地盤反力、原位置せん断摩擦試験

連絡先 〒990-2226 山形県山形市西越 42-2 東日本高速道路(株)東北支社山形工事事務所 TEL023-625-8353

況を示す。杭の打設作業床として表層部を浅層混合処理したため、処理層を約 3m の深さで掘削して加力用の油圧ジャッキを掘削面から 800mm の高さに設置した。試験杭には合計 15 断面にわたり傾斜計・ひずみ計等を設置して、加力点位置から深度 14.5m までの杭の挙動を計測できるようにしたうえで、油圧ジャッキで試験杭を加力して杭を 10 段階（図-3）で変位させた。測定結果を深度と杭の変位量の関係として整理し、別途実施した原位置せん断摩擦試験（SBIFT）の結果から計算（杭の先端支持条件はピンと自由）した杭の変位量と比較する。その際、SBIFT の結果から得た水平方向地盤変形係数  $E_s (= \alpha E_0, \alpha = 2)$  を変動させながら水平載荷試験の測定結果と比較し、両者が概ね一致するのに必要な水平地盤変形係数の変動量 (X) を調べる。



写真-1 試験杭の状況



写真-2 水平載荷試験の状況

試験杭を加力して杭を 10 段階（図-3）で変位させた。測定結果を深度と杭の変位量の関係として整理し、別途実施した原位置せん断摩擦試験（SBIFT）の結果から計算（杭の先端支持条件はピンと自由）した杭の変位量と比較する。その際、SBIFT の結果から得た水平方向地盤変形係数  $E_s (= \alpha E_0, \alpha = 2)$  を変動させながら水平載荷試験の測定結果と比較し、両者が概ね一致するのに必要な水平地盤変形係数の変動量 (X) を調べる。

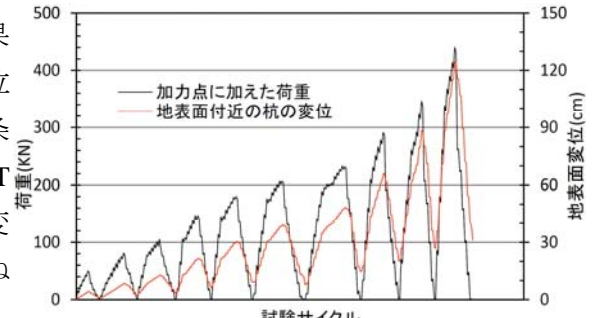


図-3 試験サイクル図

#### 4. 試験結果

図-4 は、水平載荷試験の結果から、杭の変位が地表面付近（加力点から 800mm 下方）で概ね 15mm と 50mm（加力点で 18mm と 60mm）となったときの荷重（15mm : 119kN, 50mm : 251kN）を求め、その荷重と同じ荷重を加えて計算（多層地盤解析）した杭の変位について、実測値と比較したものである。計算値は、先端支持条件をピン支持（回転のみ自由）として  $E_s$  を 0.5 倍～2.0 倍に変動させて図示したものである。図-4 から、実測値は地表面部の杭の変位量が 15mm の場合で  $E_s$  を 1.5 倍から 2.0 倍にしたときの間、50mm の場合で 0.5 倍から 1.0 倍にしたときの間位置していることが分かる。

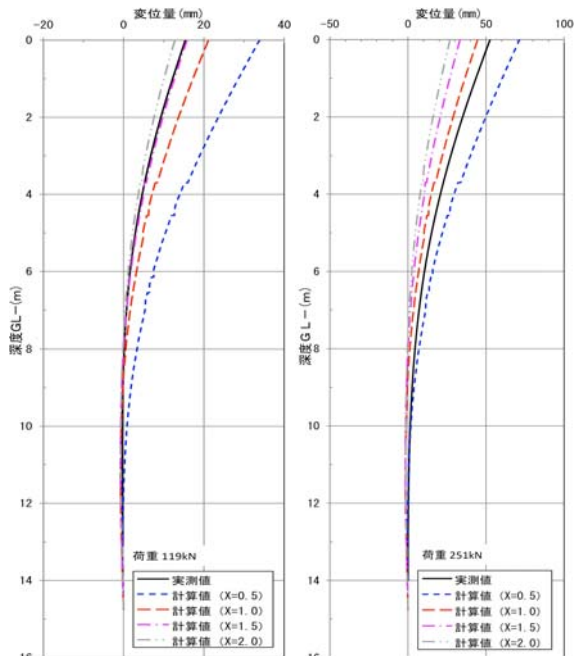


図-4 荷重一定条件下の変形量の比較

次に、図-5 は、杭を地表面付近で 15mm 変位させる場合と 50mm 変位させる場合に必要となる荷重について、 $E_s$  を 0.25 倍から 2.5 倍の範囲で変化させて求めたものである。水平載荷試験で杭を地表面部で約 15mm 変位させるのに 119kN の荷重が必要であったが、同じ荷重で同じ変位を発生させるためには、 $E_s$  を 1.67 倍すれば良いことが分かる。同様に、251kN で 50mm 変位させる場合の  $E_s$  は 0.99 倍であった。さらに、杭の先端支持条件を自由支持（鉛直変位のみ固定）とした場合、変位 15mm では 1.65 倍、変位 50mm では 0.90 倍となった。

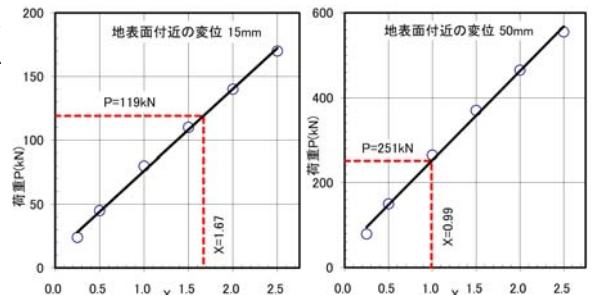


図-5 水平地盤変形係数の変動量 (X)

#### 5. おわりに

今回の計画範囲においては、杭頭の最大許容変位量を 15mm 程度とした場合、SBIFT の結果から得た水平方向地盤変形係数  $E_s$  を 1.6 倍程度に見積もれることが分かった。通常の方法で水平方向地盤反力係数を求めることが可能で、さらに、経済的な設計となる可能性もある。

#### 参考文献

- ・ 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説IV下部構造編，2012.3
- ・ 東日本高速道路(株)：設計要領第二集橋梁建設編，2012.7
- ・ 社団法人 地盤工学会：杭の水平載荷試験方法・同解説，2010.5