

許容水平変位量を杭径4%まで緩和した橋脚鋼管杭設計法（その2）

－現場杭水平試験による設計法の実検証－

構研エンジニアリング 正会員○伊藤 雄二
 北海道開発土木研究所 正会員 富澤 幸一
 同 正会員 三田村 浩

1. はじめに

本報では、平成15年度に策定された北海道開発局「道路橋設計施工要領」¹⁾に従い、建設コスト削減の新技术として現場採用した杭許容水平変位量を杭径4%まで緩和する橋脚鋼管杭設計法に対して現場杭水平載荷試験により検証した事例を報告する。その際、弾性および弾塑性解析により、設計法の妥当性を含めた地盤の非線形性を考慮した実杭の水平地盤反力特性について考察した。

2. 現場概要

北海道開発局内で新たに杭基礎の水平変位の制限を緩和する設計法を採用した橋梁は、道央圏連絡道路 篠津運河橋である。篠津運河橋は篠津運河・町道との交差箇所に架橋予定の橋長 $L=249.6\text{m}$ の橋梁である。上部工形式は7径間連続合成鉄桁とし、従来橋の多主桁に対し3主桁の合理化橋とした。また、支承形式は従来方式の分散支承ではなく、橋脚6点固定方式としている。下部工基礎形式については、軟弱地盤上の比較的長尺な支持杭基礎とした。橋台および橋脚基礎には鋼管杭（杭径 $\Phi 800\text{mm}$ ）を採用している。P-1～P-6の6基の橋脚鋼管杭は杭反力・本体応力に大きく余裕をもつことから杭許容水平変位量 y を杭径4% ($y=32\text{mm}=800\text{mm} \times 4\%$)まで緩和する設計法を採用した。

図-1にP-2橋脚構造図および土質柱状を示す。

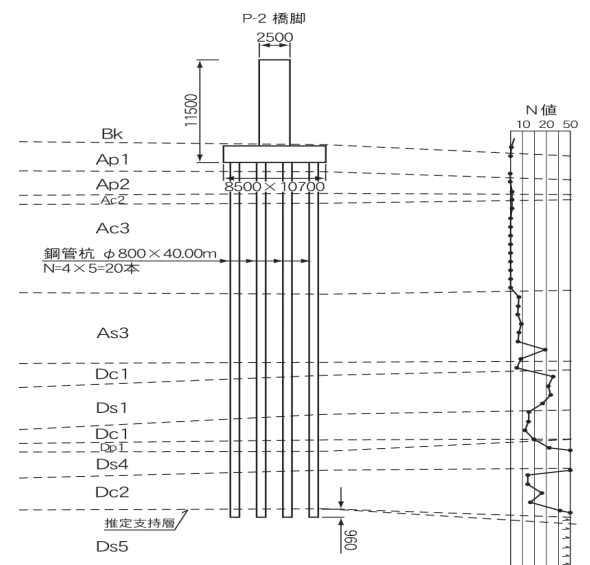


図-1 P-2橋脚構造図・土質柱状

本設計法の採用により、従来設計法に対し各橋脚基礎で杭本数を概ね1列減らすことができるため、フーチング寸法の縮小効果と併せて、下部工全体施工費における15%程度の建設コスト削減が可能となった。

3. 杭水平載荷試験法

杭許容水平変位量を緩和した設計法の妥当性、特に水平地盤反力特性を照査する目的で、P-2橋脚鋼管杭において杭水平載荷試験を実施した。現場杭水平載荷試験法は、地盤工学会基準「杭の水平載荷試験方法・同解説」²⁾に準拠した荷重制御による多サイクル方式の静的正負交番載荷法とした。計画最大荷重 H_{\max} は杭変位量 y を杭径4%の $y=32\text{mm}$ までとした。試験杭は、代表的位置の橋脚中央の杭とし隣接杭を反力とした。試験時に得られる水平荷重 H ～杭変位量 y 、傾斜角 θ 、残留変位量 y_s の関係から設計と対比した地盤反力特性が検証される。

4. 試験検証

4-1. 弾性地盤反力法

現位置における水平地盤反力特性を確認するため、弾性地盤反力法³⁾により、水平載荷試験で得られた水平荷重 H ～杭水平変位量 y の関係から水平地盤反力係数 K 値（逆算 K 値）を算定した。各水平変位における逆算 K 値の関係を図-2に示す。その結果、①本設計での緩和許容変位量杭径4% ($=32\text{mm}$)、②従来設計の許

杭、許容水平変位、載荷実験、水平地盤反力係数、弾塑性解析、建設コスト

065-8510 北海道札幌市東区北18条東17丁目1番1号 TEL 011-780-2816 FAX 011-780-2832

容変位量(15mm)、③基準変位量杭径 1%(8mm)に相当する水平地盤反力係数 K 値は、それぞれ K ①=4900kN/m³、 K ②=8100kN/m³、 K ③=12100kN/m³ と算出された。

当該の現場地盤において、杭の水平抵抗の関与範囲とされる $1/\beta$ 区間(深さ 6.18 m)の粘性土層の平均変形係数は $E_o=699\text{kN/m}^2$ であり、弾性地盤反力法として解析した際、設計水平地盤反力係数 $K_h=2070\text{kN/m}^3$ が算定される。この値に対する水平載荷試験から算定された K ①～ K ③は、2.4～5.8 倍の値を有している。設計水平地盤反力係数 K_h は弾性領域内の基準変位量に相当するものであることから、微小変形内の試験値 K ③と対比(5.8 倍=試験値 K ③=12100kN/m³ / 計算値 $K_h=2070\text{kN/m}^3$)することになる。その結果、弾性地盤反力法として設計を照査した場合、現場杭水平載荷試験の実施により、静的レベルにおいて杭水平支持機構上有利となる地盤反力特性が検証されたものとする。

4-2. 複合地盤反力法

当該の橋脚鋼管杭の設計は、杭変位量の緩和条件に従い非線形性を考慮した複合地盤反力法^{3,4)}により設計される。複合地盤反力法は、杭頭荷重・変位レベルに応じ地盤反力 P が極限抵抗土圧強度 P_u に達した後上層地盤に塑性域を設定しそれ以深は弾性域として境界条件を定める手法である。非線形性を考慮して算定した水平荷重 H に対する杭頭水平変位量 y の関係を、水平載荷試験値と合わせて図-3 に示した。図中には、線形弾性解析として試算した割線も示した。

非線形解析における設計地盤反力と水平載荷試験から得られた実測地盤反力の対比は、杭径 4%の許容変位量 32mm に対して行うのが妥当と考える。この結果、非線形解析における $y=32\text{mm}$ 相当の設計水平地盤反力係数 K ④=1600kN/m³ と算定される。これに対し水平載荷試験の実測 K ①=4900kN/m³ であり、実測値は設計値の約 3 倍程度

の地盤抵抗を有したことになる。これは、当初設定された設計地盤反力がさほど大きくないことも考慮すれば、弾性地盤反力法と同様に複合地盤反力法においても過大でない範囲の水平地盤反力特性と考えられる。また、3 倍の地盤抵抗を有する実測 K 値を用いた耐震性を照査した結果、レベル 2 地震動作用時では軟弱地盤の上層は塑性域(受働土圧)となるため、現設計に対する照査結果に大きな差異はない。

5. まとめ

水平載荷試験の実施により当該地盤のような軟弱な地盤においては、緩和規定で示されたとおり杭径の 4% までは残留変位の急増点である降伏変位に達していない結果が得られた。また、試験値から得られた過大でない範囲の水平地盤反力特性から、当該現場における水平変位制限を緩和した橋脚鋼管杭の設計法の妥当性が検証されたものと判断できる。

参考文献

- 1)北海道開発局建設部道路建設課 監修(社)北海道開発技術センター:道路橋設計施工要領 平成14年3月 F.質問・回答集 付-67
- 2)地盤工学会:杭の水平載荷試験方法・同解説 1984.10.
- 3)日本道路協会:道路橋示方書・同解説IV下部構造編平成14年3月
- 4)日本道路協会:杭基礎設計便覧 pp.173-177,平成4年3月

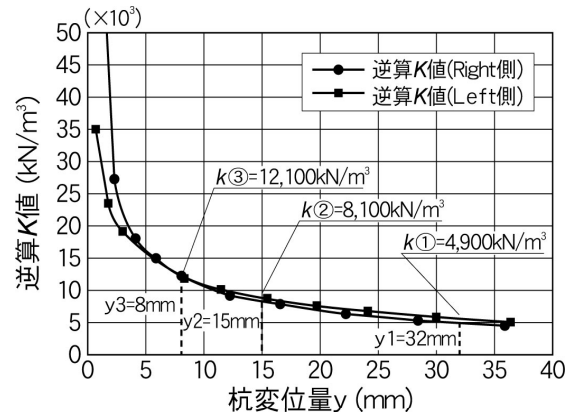


図-2 杭変位量 y ～逆算 K 値の関係

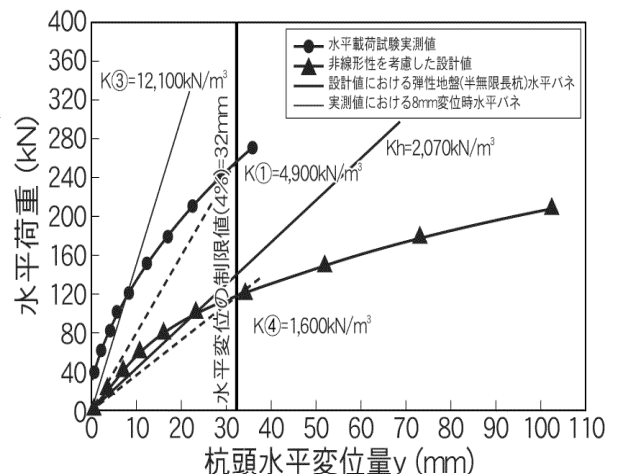


図-3 非線形を考慮した水平地盤反力係数