

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1）

—設計基準の策定と運用規定—

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
構研エンジニアリング 正会員 伊藤 雄二

1. はじめに

橋梁基礎設計法において、性能規定化に基づく建設コスト削減を目的に、平成14年3月に改訂された道路橋示方書IV下部構造編¹⁾(以下 道示)では、一定の条件下において水平変位制限を緩和する杭基礎設計法の考え方が示された。上記規定に基づき、北海道開発局では杭許容水平変位量を杭径4%まで緩和する橋脚鋼管杭の設計基準を策定した。本報では、杭許容水平変位量の基本的考え方を整理し、水平変位制限を緩和した杭基礎設計法およびその運用規定を示した。

2. 杭の許容水平変位量

杭基礎における許容水平変位量は、上部工から決まる許容水平変位量と下部工から決まる許容水平変位量に分類される。このうち、上部工から決まる許容水平変位量は上部構造の機能を損なわないための限界の変位量であり、一義的に決定するものではなく上部工形式や規模により変化する。一方、下部工から決まる許容水平変位量については、弾性体基礎を工学的に安定な状態に保ちつつ有害な残留変位を防止するために制限する変位量と定義されている。ただし、軟弱地盤中に設置される杭基礎の設計では、道示に統一規定されている杭径1%(杭径1.5m以下では $y=15\text{mm}$)の許容水平変位量のみを満足するように杭剛性を確保させた場合、杭体応力が著しく小さくなり経済性が損なわれるケースがある。このような杭基礎にあっては上部工構造の機能と安全性を考慮した水平変位量の許容値のみを規定し、杭設計地盤面における変位量は特に規定せずに杭前面の水平地盤反力の塑性化を考慮する弾塑性解析法の適用が考えられる。

一般的な杭水平載荷試験の実施結果では、各載荷サイクルの徐荷後の杭頭残留変位量 y_s と徐荷前の杭径 D に対する杭頭変位量 y の比率（杭頭ひずみ y/D ）の関係は、図-1に示すように、ある変位レベルを境界に杭頭残留変位量 y_s が急激に増加する傾向を示す²⁾。そのため、この残留変位量の急増点より杭頭の変位量を小さく、すなわち許容水平変位量を抑えれば基礎の過大な残留変位を防止することが可能となる。水平荷重に対する杭頭変位量および残留変位量の関係については、多数の杭水平載荷試験結果に基づき杭種別に整理されている。この成果に基づき、地盤相対密度のヒストグラムと杭頭残留変位量 y_s /杭径 D の関係を杭種別の度数分布で表したのが図-2である³⁾。この度数分布は対数正規分布に比較的適合する結果である。図によれば、 y_s/D の平均値は、鋼管杭で4.1%、PC・PHC杭で3.7%、場所打ち杭で1%強程度である。場所打ち杭の y_s/D が非常に小さいの

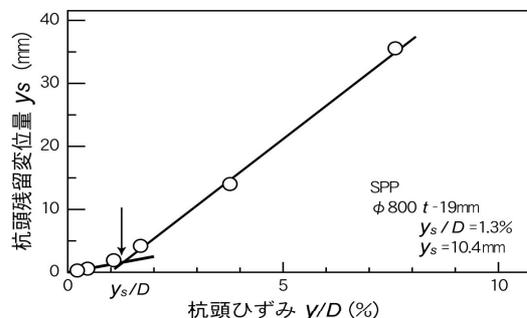
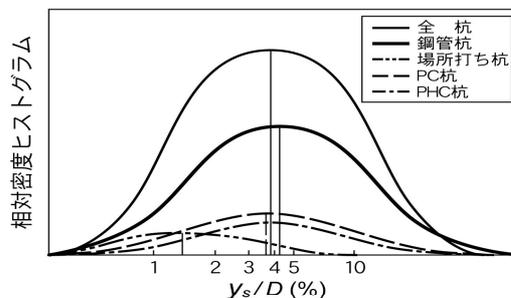


図-1 残留変位の急増点

図-2 y_s/D の確立度数分布

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

062-8602 北海道札幌市平岸1条3丁目1番34号 TEL 011-841-1709(365) FAX 011-841-7333

は、水平抵抗が小さいというよりもむしろ杭体のひび割れ発生が降伏点の判定に影響を与えているためと考えられる。

これらの成果より、改訂前の道示では杭許容水平変位量は安全側の統一した指標として杭径の 1%(\geq 最大 15mm)一定としている。また、杭基礎の挙動を弾性領域から塑性領域にわたり表現する際に基準となる水平変位量（基準変位量）は、弾性限界を示すと考えられる許容水平変位量と同等値として扱っている。このように、杭基礎の種類に関係なく許容水平変位量を一定とすることは一見合理的であるが、一部については過小評価になる場合もあり、建設コスト縮減を考慮し杭種条件に応じた適正な許容水平変位量を設定する必要がある。

3. 設計基準および運用規定

前記の既往研究成果を踏まえ、平成 15 年度に北海道開発局 道路橋設計施工要領³⁾（以下 要領）として、杭応力と杭反力に著しく余裕がある場合の以下の現場条件下で、常時、暴風時およびレベル 1 地震時に対する杭の水平変位量の制限値つまり杭許容水平変位量を、橋脚の鋼管杭基礎に限り杭径の 4%まで緩和する設計基準⁴⁾を策定した。

- ①. 比較的軟弱な地盤（表層深さ $1/\beta$ 程度までの地盤平均N値10程度以下、また液状化の可能性の地盤）
- ②. レベル 1 地震時において杭体が弾性体として扱える鋼管杭

この設計基準の運用規定は以下とした。

(1). 鋼管杭のみを4%許容水平変位量とする事由

鋼管杭は他の杭種に比べ曲げ剛性が小さく、許容水平変位量を杭径の 1%または 15mm に抑えた場合、支持力および杭体応力に余裕があるにもかかわらず下部工の規模が決定してしまい不経済となるケースが多く生じる。また、杭水平載荷試験の統計的な検討³⁾によれば、PC 杭、PHC 杭についても設計許容水平変位量を見直すことも可能となるが、PC 杭、PHC 杭の試験検証事例は必ずしも多くなく、現時点での設計運用は鋼管杭の許容水平変位量の見直しのみとする。

(2). 橋脚設計で運用する事由

道示によれば、水平変位の制限を緩和する条件は、地盤抵抗の非線形性を考慮して解析照査する橋脚の杭基礎に限るとしている。これは、杭変位量に関わる基礎安定設計が、橋脚を主体した地震時保有水平耐力照査法に基づき決定されることによる。そのため、この規定は橋脚設計での運用とし、杭断面力、杭頭反力および変位に関する設計照査は、杭と地盤の特性を適切に考慮し、条件に応じ杭基礎を非線形性の地盤反力モデルとし実施する。

(3). 設計水平地盤反力係数 K 値の設定

地盤工学理論に従えば、杭変位の変動に応じ地盤反力は変化する。つまり、杭（許容）水平変位量は大きくなるに従い水平方向地盤反力係数 K 値は低下することになる。ただし、鋼管杭の許容変位量 4%の緩和は、あくまでも杭の残留変位が過大とならない弾性挙動の範囲内を条件に設定されたものである。また、変位が大きくなる場合の杭設計は上層に受働土圧を最大とする塑性域を設定した複合地盤反力法により行われ、地盤反力は境界面以深の弾性域に設定されることから、道示において基準変位量（杭径の 1%相当）に対して算定される現行の水平方向地盤反力係数 K 値を、許容水平変位量を 4%とした設計でそのまま運用しても実用上問題ないものと判断する。

今後、本設計法を条件に従い運用することにより、合理的かつ経済的な杭基礎設計が可能となると考える。

参考文献

- 1). 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
- 2). 日本道路協会：杭基礎設計便覧 pp.173-177,平成4年3月
- 3). 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
- 4). 西谷雅弘・瀧田昌毅：水平変位の制限を緩和した杭基礎の設計例 総合土木研究所 基礎工 pp.55～57 2002.5