

# PHC 杭および SC 杭を用いた杭基礎の 水平変位の制限を緩和した設計例

石田雅博\* 大岩健治郎\*\*

\* 独立行政法人土木研究所 構造物研究グループ 基礎チーム 主任研究員

/ つくば市南原 1-6

\*\* (社)コンクリートパイル建設技術協会 設計委員長 / 港区浜松町 2-7-15

## 1. はじめに

道路橋示方書下部構造編<sup>1)</sup>では、従来、常時、暴風時およびレベル1地震時の杭基礎の許容変位について、「下部構造から決まる許容変位量は杭径の1%とするが、1.5m以下の杭についてはこれまでの実績を考慮して15mmとする」とされている。

しかし、比較的軟弱な地盤における杭基礎では、杭体応力度や鉛直支持力に余裕があっても、レベル1地震時の許容変位によって基礎の規模が決まる場合も多い。

そこで、平成14年の道路橋示方書の改訂において、「許容水平変位は弾性解析により求めることを前提としており、また地盤の硬軟、杭種にかかわらず許容水平変位を一定としているため、条件によっては、許容水平変位以下とすることによって杭体応力度および鉛直支持力に著しく余裕が生じる場合がある。このような場合には橋脚基礎に限り12.8(5)水平変位の制限を緩和する杭基礎の規定により照査するのがよい」との記述が追加された。

水平変位の制限を緩和する条件、および過度の残留変形が残らない変位量については、鋼管杭について検討結果が公表されている<sup>2)</sup>。本論文では、PHC杭およびSC杭を用いた杭基礎の検討結果について示す。

## 2. 水平変位の制限を緩和する条件

### 2.1 これまでの研究

常時、暴風時およびレベル1地震時の杭基礎の許容変位は、杭基礎に過度の残留変形が残らない範囲(耐

震性能1を確保するうえで、基礎を支持する地盤の力学特性に大きな変化が生じない範囲)および弾性解析法を適用するうえでの地盤バネの適用範囲としての2つの意味を持つ。

この内、<sup>3)</sup>に関しては、地盤抵抗の非線形性を考慮した解析法を用いればよい。

に関しては、岡原ら<sup>3)</sup>は水平載荷試験結果の荷重~変位曲線をワイブル曲線で近似して降伏変位を推定し、降伏変位量を対数正規分布として統計処理を行っている。その結果、基準変位量を降伏変位の平均値から0.5~1.0の安全性を考慮した値として、全杭種・全地盤を対象として杭径の1~2%と導き出している。

しかし、地盤が軟弱な場合には杭径(D)に対する降伏変位量( $S_y$ )の比 $S_y/D$ は大きくなるものと考えられる。

また、岡原らの研究では、杭体のクラックの影響等により場所打ち杭は他の杭種に比べて降伏変位が小さくなっている。PHC杭やSC杭は、場所打ち杭と異なり、杭体が比較的大きな変位まで弾性範囲を保つ<sup>4)</sup>。

そこで、鋼管杭の場合<sup>2)</sup>と同様に、比較的軟弱な地盤でのPHC杭およびSC杭の水平載荷試験における降伏変位を整理した。

### 2.2 比較的軟弱な地盤での降伏変位量の検討

PHC杭およびSC杭について、比較的軟弱な地盤での水平載荷試験データとして、表層地盤(1/の範囲)の平均N値が10以下を対象に、降伏変位量の検討を行った。

統計処理に用いるデータは、過去に行われた水平載荷試験および新たに行った水平載荷試験の内、次のものを除外した。

- 標準貫入試験データが不備のもの
- 杭諸元が不明なもの、特殊な杭種・工法によるもの
- 荷重点高さ  $h$  が杭径  $D$  より大きいもの
- 荷重  $P$  ~ 変位  $S$  データがワイブル分布曲線式に適合しないもの（曲線回帰が発散するなど）
- ワイブル曲線回帰による降伏荷重  $P_y$  および極限荷重  $P_u$  の 80% が実最大荷重  $P_{max}$  より大きいもの
- 実最大変位  $S_{max}$  が杭径  $D$  の 1% および 15mm に満たないもの
- $\log P$  ~  $\log S$  線図上に折れ点の確認できないもの

#### (1) PHC 杭

岡原ら<sup>3)</sup>が行ったデータ 30 例のうち上記の条件で選別した 16 例と追加データ<sup>5)</sup> 3 例について、ワイブル曲線回帰による降伏変位  $S_y$  を求めた。 $S_y$  に対する杭径比  $S_y/D$  が岡原らと同様に対数正規分布するものとした統計処理の結果を表 1 および図 1 に示す。

その結果、非超過確率を 15.9 ~ 30% (平均値より 0.5 ~ 1.0 の安全性) に設定した場合、 $S_y/D$  は 2.83 ~ 3.33% となり、現時点では水平変位の制限値を 3% 程度に緩和してもよいものと考えられる。

#### (2) SC 杭

新たに行った水平載荷試験 15 例と過去 1 例の 12 現場計 16 例<sup>5)</sup> について、前項と同様に行った統計処理の結果を表 1 および図 2 に示す。非超過確率 15.9 ~ 30% の  $S_y/D$  は 3.84 ~ 4.25% となり、水平変位の制限値を 4% 程度に緩和しても良いものと考えられる。

### 3. 橋脚基礎の設計例

#### 3.1 設計条件

- 上下部構造：支間長 35m、全幅員 12.3m
- 橋脚寸法 6.5×2.2×12.5m、フーチング厚 2.5m
- 土被り厚 0.5m
- 杭仕様：既製コンクリート杭 1000mm-50m
- 地盤条件：種地盤、液状化・地盤沈下は生じない。
- 土質条件：表 2 に示す

表-1  $S_y/D$  の統計処理結果

杭種	PHC杭	SC杭
試料数	19	16
平均値(%)	4.2	4.87
標準偏差(%)	1.45	1.07
変動係数(%)	34.5	22
非超過確率15.9%	2.83%	3.84%
非超過確率30.0%	3.33%	4.25%

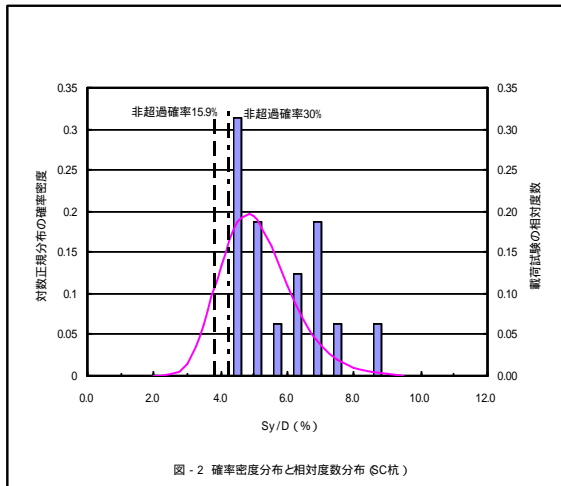
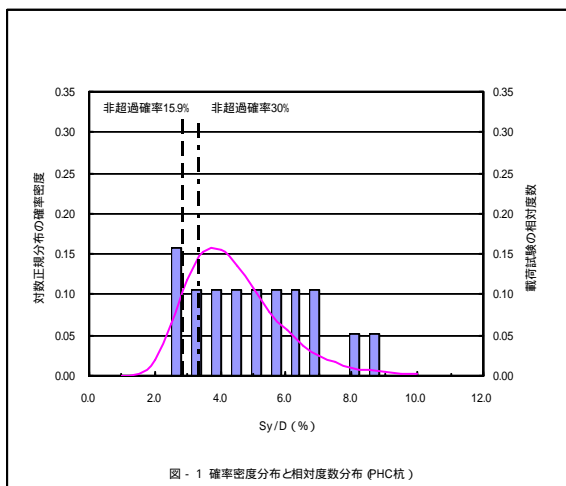


表-2 土質条件

層No.	層種	層厚 (m)	平均 N値	E0 (kN/m <sup>2</sup> )		f (kN/m <sup>2</sup> )
				常時	地震時	
1	粘性土	3.0	2.0	5600	11200	16.0
2	粘性土	22.0	2.0	5600	11200	7.0
3	粘性土	23.0	5.0	9130	18260	6.0
4	砂質土	2.0	51.0	142800	285600	10.0

表-3 レベル1地震時のフーチング下端作用力

許容水平変位の制限	15mm (ケース1)	4% (ケース2)
計算法	変位法 (弾性解析)	保耐モデル (弾塑性解析)
鉛直力 (kN)	19,186	17,781
水平力 (kN)	5,525	5,157
曲げモーメント (kN・m)	53,796	53,337

(注) 作用外力は、橋軸・橋軸直角方向と同一。

表-4 レベル1地震動の計算結果(杭1本当りの反力・変位・応力)

許容水平変位の制限	15mm (ケース1)	4% (ケース2)
計算法	変位法 (弾性解析)	保耐モデル (弾塑性解析)
杭配置		
杭径 (mm)	1000	1000
本数 (本)	16	12
杭諸元	上杭(SC杭, SKK400/6mm)9m + PHC杭(A種)41m	上杭(SC杭, SKK400/9mm)10m + PHC杭(B種)10m + PHC杭(A種)30m
杭長 (m)	50.0	50.0
最大押込み力 (Kn/本)	2988 5392(Ra)	4223 5386(Ra)
最大引抜き力 (kN/本)	589 2017(Pa)	1025 2023(Pa)
水平変位 (mm)	13.8 15.0	36.1 40.0
曲げモーメント (kN・m)	589	983
上杭	圧縮応力 (N/mm <sup>2</sup> ) 8.23 40( ca ) 引張応力 (N/mm <sup>2</sup> ) 174 210( sa )	10.34 40( ca ) 188 210( sa )
中、下杭	圧縮応力 (N/mm <sup>2</sup> ) 16.74 40( ca ) 引張応力 (N/mm <sup>2</sup> ) 2.24 3.0( ba )	21.33 40( ca ) 4.43 5.0( ba )

荷重条件：表 3 に示す

施工方法：中掘り杭工法 (セメントミルク噴出攪拌方式)

### 3.2 計算結果

レベル1地震時における杭反力および変位の計算結果を表 4 に示す。杭本数は両ケース共に許容水平変位により決定されており、押込み力・引抜き力に対して余裕がある。また、両ケースそれぞれの反力に対して、杭体に生じる応力が許容値を満足するように杭の種類が選定されている。

なお、レベル2地震時では、このレベル1地震時で決定された基礎が、杭本体の耐力、基礎の降伏・許容塑性率・許容変位に対して安全であることを確認してい

る。

この結果、ケース1に対してケース2のフーチングを含めた基礎の諸元は、20%程度削減される。

### 4. あとがき

今回は限られた載荷試験結果の整理ではあるが、比較的軟弱な地盤 (表層深さ1/程度までの地盤の平均N値10程度以下、または液状化の可能性のある地盤) の場合、PHC杭は3%程度、SC杭は4%程度まで水平変位の制限を緩和することができることがわかった。

SC杭の設計例で示したように、比較的軟弱な地盤の場合には水平変位の制限を緩和することにより、杭体応力度に見合った杭種が選定でき、経済的な設計が可能である。

今後とも、既製コンクリート杭の載荷試験データを増やし、地盤種別などに応じた水平変位の制限値の検討が必要と考える。

### 【参考文献】

- 1) 道路橋示方書・同解説(下部構造編) 日本道路協会 2002.3
- 2) 西谷・龍田: 水平変位の制限を緩和した杭基礎の設計例 基礎工 Vol.30, No.5, 2002.5
- 3) 岡原・高木・中谷・田口・坂本: 載荷試験データによる杭の水平抵抗特性、土木研究所資料、第2721号、1989.
- 4) 大岩・津田: 既製コンクリート杭のM~ 関係とPHC杭のせん断耐力、橋梁と基礎 98-2、1998.2
- 5) コンクリートパイル建設技術協会: 杭基礎の許容水平変位の緩和について(PHC杭・SC杭)、2004.3