

岩盤を主体とした斜面上深礎杭の原位置水平載荷試験

西日本高速道路（株） 正会員 ○安里 俊則 正会員 安部 哲生
 鹿島建設（株） 正会員 下條 和寿 正会員 松木 聡
 応用地質（株） 正会員 村重 直邦

1. はじめに

斜面上の深礎基礎は山岳部に設置されることが大半であるため、岩盤を支持地盤とすることが多い。NEXCO 設計要領では、深礎基礎の設計を行う際に岩盤部の塑性化後のせん断定数及び杭周面のせん断地盤反力度について制限値を設けており、結果、過度に安全側の設計となっていると考えられた。

そこで、NEXCO 西日本では岩盤の塑性化前後のせん断強度特性を評価するために実施した多段階三軸試験結果¹⁾等から上記定数に対する基準値を新たに設け、岩盤の力学特性を考慮した深礎基礎の設計基準（以下、合理化基準）を提案している²⁾（表-1 参照）。本報文では岩盤を主体とした斜面上の深礎基礎の挙動及び支持力特性を確認し、設計の合理化を図ることを目的に行った岩盤斜面上の試験杭に対する原位置載荷試験結果について報告する。

表-1 NEXCO 西日本における設計基準

杭周面の最大せん断地盤反力度 f (kN/m ²)		塑性化領域のせん断定数			
現行基準	合理化基準	現行基準		合理化基準	
i) 砂質土および岩盤 $f = \min[5N, C + P_o \cdot \tan \phi] \leq 200$	i) 岩盤 弾性領域 $f = C + P_o \cdot \tan \phi$ 塑性領域 $f_o = C_o + P_o \cdot \tan \phi_o$ ただし、 $0 \leq C_o \leq 1/3C$, $\phi_o = 2/3\phi$	土砂～軟岩 (C_L)	中硬岩 (C_u 以上)	土砂～軟岩 (C_L)	中硬岩 (C_u 以上)
ii) 粘性土 $f = C + P_o \cdot \tan \phi \leq 150$	ii) 砂質土 $f = \min[5N, C + P_o \cdot \tan \phi] \leq 200$ iii) 粘性土 $f = C + P_o \cdot \tan \phi \leq 150$	粘着力 C_o $C_o = C$	$C_o = 0$	$C_o = C$	$0 \leq C_o \leq 1/3C$
		せん断抵抗角 ϕ_o $\phi_o = \phi' (\phi' = \phi \leq 30^\circ)$	$\phi_o = 2/3\phi' (\phi' = \phi \leq 30^\circ)$	$\phi_o = \phi$	$\phi_o = 2/3\phi$

2. 試験概要

原位置の斜面上において深礎杭の試験杭（縮小モデル）を施工し、水平載荷試験を行った。図-1 に試験杭配置図、写真-1 に載荷試験の全景を示す。

(1) 試験杭諸元

試験杭は、実大の大口径深礎杭（杭径 $\phi 11000$ ，杭長 15.5m）の 1/5.5 倍とし、杭径 $\phi 2000$ ，杭長 2.8m とした。配筋仕様は、主筋およびせん断補強筋の鉄筋比が実大深礎杭と同等になるよう設定した。なお、試験杭の鉄筋は SD345 を用いた。

(2) 地盤条件

試験地点の主な岩種は溶結凝灰岩である。深礎杭の受働側および反力体側では、部分的に CH 級・CL 級岩盤も確認されるが、全体として CM 級岩盤を主体とする中硬岩が分布する。

(3) 載荷方法

「杭の水平載荷試験方法・同解説」³⁾に準拠して載荷パターンを設定した（図-2）。1 回目の試験時の載荷荷重 10000kN で基礎の降伏が確認できなかったため、ジャッキを 1 連増設し 15000kN まで載荷する計画で水平載荷試験（2 回目）を行った。また、載荷試験時の計測方法については、図-3 に示す。

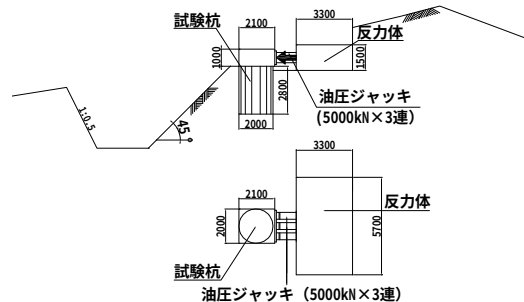


図-1 試験杭配置図



写真-1 試験杭載荷試験

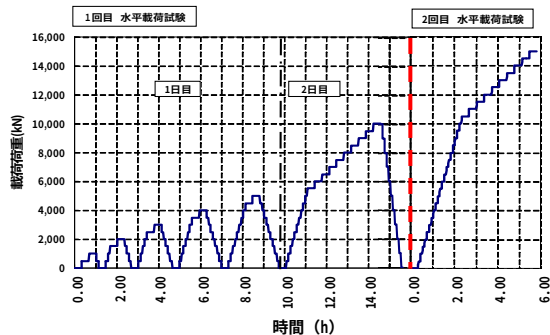


図-2 水平載荷試験 載荷パターン図（1,2 回目）

キーワード 大口径深礎杭，水平載荷試験，支持力機構，岩盤斜面

連絡先 〒567-0871 大阪府茨木市岩倉町1丁目13番地 西日本高速道路（株）関西支社 TEL 06-6344-8888

3. 合理化基準に基づく解析

合理化基準に基づいて試験杭水平載荷試験の解析を行い、現行基準での解析結果との比較を行った。解析は、基礎・地盤の非線形を考慮したフレームモデルを用いた。地盤条件は原位置の岩盤 CM 級の地盤定数を用いた⁴⁾。図-4 に杭頭部の載荷荷重－変位曲線を示す。合理化基準による解析では試験杭の降伏荷重は約 5000kN となり、現行基準での降伏荷重約 4000kN よりも大きくなっている。これは、新たに設けた基準値によって、杭周面摩擦抵抗が見直されたことによるものである。

4. 載荷試験結果

載荷試験結果と合理化基準に基づく解析結果について比較・検証を行う。

(1) 荷重と変位の関係

図-4 に杭頭部の載荷荷重－変位曲線を示す。載荷試験における変位量は、載荷荷重が 10000kN を超えると増加傾向が顕著になり、11000kN で変位量は 30mm 以上となる。この時点で基礎が降伏したと考えられ、その後変位が急増し荷重が頭打ちになった。また、合理化基準に基づく解析における杭の降伏荷重（最大水平荷重）は約 5000kN と推定されたが、実際の水平載荷試験では載荷荷重 10000kN でも降伏していないことが判る。

(2) 鉄筋ひずみ

図-5,6 に杭の引張主鉄筋と帯鉄筋の載荷荷重－鉄筋ひずみ曲線を示す。計測位置は 3 深度 GL-0.5m, 1.5m, 2.5m である。引張主鉄筋は解析と同様の GL-1.5m, 帯鉄筋はひずみが最大となる深度 GL-2.5m (解析は GL-1.5m) の結果をプロットした。いずれも降伏ひずみ 1725μ ($\epsilon_y = f_y / E_s = 345 / 200000 = 1725 \times 10^{-6}$) に達していない。また、合理化基準に基づく解析結果よりも載荷試験での鉄筋のひずみは小さいことがわかる。

(3) 深礎杭の挙動

図-7 に傾斜計で自動計測した杭体の変位量を示す。基礎降伏後も深礎杭の挙動がほぼ剛体変形であることから、ピーク荷重 (11000kN) 後は杭前面の地盤の塑性化が進行していることがわかる。

5. おわりに

岩盤を主体とした斜面上の深礎杭の原位置水平載荷試験を実施することにより、岩盤地盤での深礎杭の支持力特性を確認した。また、合理化基準に基づく解析における杭の降伏荷重が、実験結果を大きく下回り、現行基準よりも上回ることから、合理化基準による設計は一定の安全率を持ち、現行基準よりも合理的な設計といえる。

参考文献

- 1) 安部哲生, 萩野千晶, 橋豊, 前田良刀, 柳浦良行, 栗津和也: 亀裂性岩盤の塑性化前後のせん断強度特性について土木学会第 65 回年次学術講演会, 2010.09
- 2) 設計要領第二集橋梁建設編: 西日本高速道路株式会社, 2010.02 (一部修正)
- 3) 杭の水平載荷試験方法・同解説: 地盤工学会編, 2010.05
- 4) 松木聡, 田島新一, 安里俊則, 萩野千晶, 安部哲生: 岩盤斜面上深礎杭の合理的設計に関する基礎的研究 第 66 回年次学術講演会, 2011.09
- 5) 大城壮司, 橋豊, 前田良刀, 奥谷淳平: 岩盤の地盤抵抗が深礎基礎の設計に与える影響土木学会第 65 回年次学術講演会, 2010.09

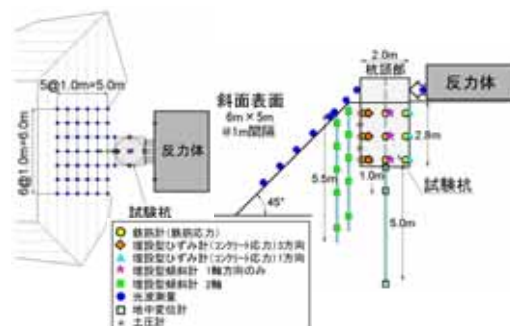


図-3 計測器配置図

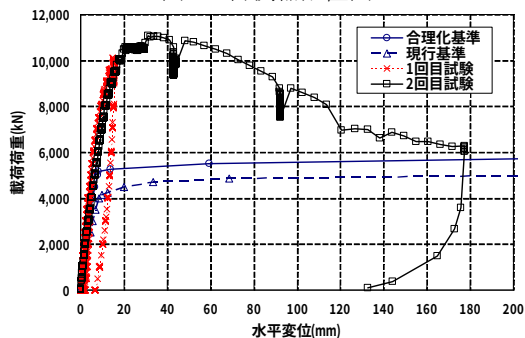


図-4 解析結果の比較 (荷重－水平変位)

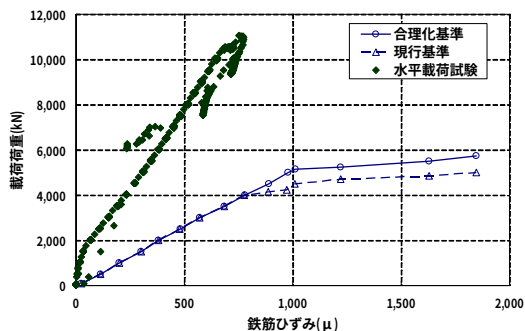


図-5 荷重－鉄筋ひずみの比較 (引張主鉄筋)

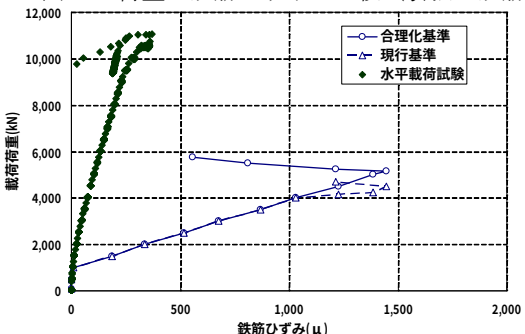


図-6 荷重－鉄筋ひずみの比較 (帯鉄筋)

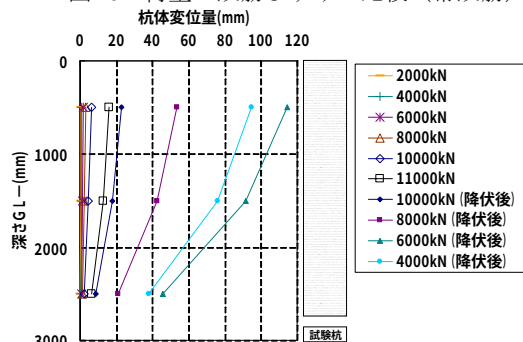


図-7 杭体の変位量