

実地盤中に埋め込まれた超高耐力 RC 杭体の正負交番載荷実験

東北大学 学生会員 ○長谷川 俊
 東北大学大学院 学生会員 荒川 岳 東日本高速道路 正会員 青木 直
 東北大学大学院 正会員 秋山 充良 東北大学大学院 フェロー会員 鈴木 基行

1. はじめに

杭基礎の地震時保有耐力の向上を目的として、構成材料の高強度化、および断面中心部へプレストレスを導入した鉄筋コンクリート製の杭体（以下、高強度RC杭体）を開発した。気中での単調曲げ載荷実験と正負交番載荷実験を実施し、開発した高強度RC杭体は高い曲げ耐力と適度なじん性を有することを確認した^{1), 2)}。一方、実地盤中では、周辺地盤から杭体に与えられる横拘束圧や繰返し変形による地盤の剛性低下が杭の復元力特性や変形性能に影響を与える³⁾。そのため、既存のコンクリート杭に比べて高い曲げ耐力と剛性を持つ高強度RC杭体が実地盤内で示す地震時挙動を明らかにする必要がある。

本研究では、実地盤中に高強度RC杭体を設置し、杭頭部に正負交番の荷重を与えることで、高強度RC杭体と地盤との連成、特に、杭体の破壊特性や杭頭荷重に及ぼす地盤の影響を実験的に確認した。また、比較のため、同条件下で既製PRC杭体の正負交番載荷実験を行い、杭体の力学特性の違いが杭頭部の水平荷重—水平変位関係に及ぼす影響などを検証した。

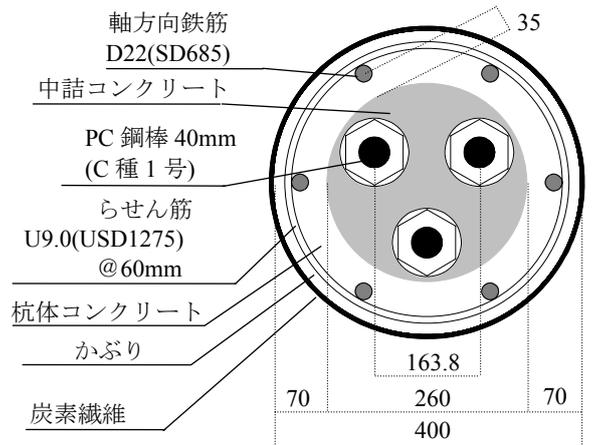


図-1 高強度 RC 杭体断面図

2. 高強度 RC 杭体の概要

正負交番載荷実験に用いた高強度RC杭体の断面図を図-1に示す。高強度RC杭体の主な特徴は、次の通りである。(1) コンクリートの高強度化を杭体の曲げ耐力の向上につなげるため、大きなプレストレスを杭体に加え、曲げを受けたときの断面内の曲げ圧縮領域を大きくしている。プレストレスを導入するPC鋼棒は、その塑性化を防ぎ、また、荷重除荷後の残留変位を低減するため、アンボンドの状態でも断面の中心部に配置している。(2) 高強度RC杭体が安定した曲げ破壊を呈するように、高強度ならせん筋を密に配筋している。(3) 杭体のじん性確保のために遠心力成形にて杭体コンクリートを作製後、中空部に中詰コンクリートを充填している。(4) 杭体断面に占めるかぶりの割合が大きいため、炭素繊維シート（以下、CFS）で杭体を被覆し、その剥落を防止することで、かぶりが曲げを負担できるようにしている。

3. 正負交番載荷実験の結果

(1) 実験概要

試験体は高強度 RC 杭体、および既製 PRC 杭体（CPRC パイル IV種）の 2 本である。両試験体ともに、杭体断面直径は 400mm であり、杭長は 10m である。試験体の諸元を表-1に示す。また、杭体設置地盤周辺の N 値分布および柱状図を図-2に示す。表層付近は平均 N 値 10 程度以下の比較的軟弱な地盤である。杭体の打ち込みはプレボーリング併用打撃工法を採用し、打設深さは 9.1m である。杭体打設時の杭周辺地盤の乱れの回復を待つため、杭体の打設後 4 週間目に実験を行っている。

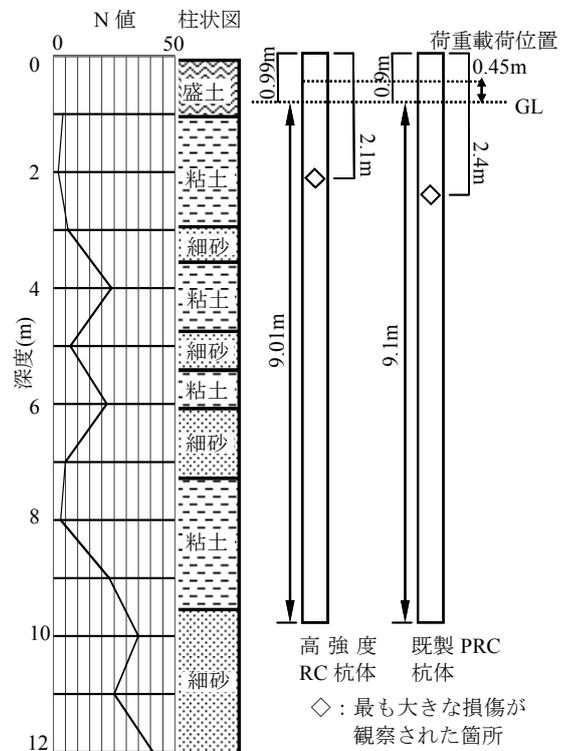


図-2 試験地盤の N 値分布・土質柱状図と杭体打ち込み状況

キーワード：高強度 RC 杭，PRC 杭，高強度コンクリート，水平載荷試験，地盤と杭の相互作用

連絡先：〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 電話番号：022-795-7449 FAX：022-795-7448

表-1 試験杭諸元一覧

供試体名	コンクリート強度 σ_c' (MPa)		PC 鋼棒		軸方向鉄筋		プレストレス f_{pe} (MPa)	らせん筋			炭素 繊維 ⁴⁾
	杭体	中詰	本数-径	本数-径	鉄筋比 ρ_s (%)	径		間隔 (mm)	鉄筋比 ρ_w (%)		
高強度 RC 杭体	117.8	19.0	3-40mm ¹⁾	6-D22 ²⁾	1.8	22.0	U9.0 ³⁾	60	1.12	有	
既製 PRC 杭体 ⁵⁾	117.9	-	8-10mm ⁶⁾	8-D22 ⁷⁾	5.45	5.5	6.5 ⁸⁾	65	0.358	無	

1) C種1号, 0.2%耐力 1184MPa, 引張強さ 1307MPa; 2) SD685, 降伏強度 734.3MPa, 引張強度 938.3MPa;
 3) USD1275, 0.2%耐力 1423MPa, 引張強さ 1475MPa; 4) 弾性係数 232000Mpa, 引張強度 4620MPa;
 5) 材料諸元はすべて公称値; 6) 0.2%耐力 1275MPa, 引張強さ 1420MPa; 7) SD345; 8) 80K, 引張強さ 785MPa

地盤工学会基準「杭の水平載荷試験方法・同解説」⁴⁾を参考にして
 載荷方法を決定した。具体的には、地表面高さ 0.45m の位置で水平荷
 重を与え、 $\delta=15\text{mm}$ を基準に、 δ の整数倍の載荷ステップ毎に 1 サイ
 クルの交番載荷を変位制御にて与える。14 δ (=210mm) までこの載
 荷方法であり、高強度 RC 杭体については、さらに、片押しにて 400mm
 までの変位を与えた。なお、載荷方式は、連続載荷方式である。



写真-1 CFS の破断 (高強度 RC 杭体)

(2) 水平荷重 - 水平変位関係と残留変位

荷重載荷位置で得られた両試験体の水平荷重 - 水平変位関係の骨
 格曲線を図-3 に示す。軸方向鉄筋のひずみ値から判断した降伏点を
 図中に「□」で示している。高強度 RC 杭体は、既製 PRC 杭体に比
 べて高い水平荷重を負担し、さらに、荷重載荷位置で、その杭径の 1
 倍 (400mm) の水平変位を与えても荷重低下が生じなかった。

次に、各載荷サイクルで荷重を除荷し、荷重がゼロとなったとき
 の変位 (残留変位) を図-4 に示す。正側載荷の載荷変位が小さい場
 合に、高強度 RC 杭体の方が既製 PRC 杭体よりも残留変位が大き
 いときがあり、その理由の検証が必要である。しかし、全体としては、
 高強度 RC 杭体が持つ PC 鋼棒の存在により、大きな水平変位を受け
 た後も相当に残留変位を低減できることが確認できた。なお、PC 鋼
 棒に貼付したひずみゲージの値から、載荷中に全ての PC 鋼棒が降伏
 していないことを確認している。

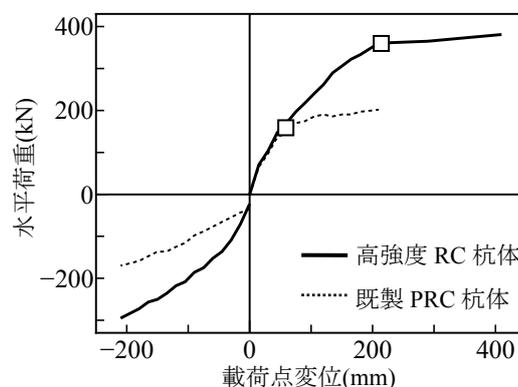


図-3 水平荷重 - 水平変位関係

(3) 損傷状況

試験終了後に杭体を地盤から引き抜き、損傷状況を観察した。高強
 度 RC 杭体は地盤面から深さ 2.1m 付近で CFS が破断していた。破断
 の状況を写真-1 に示す。既製 PRC 杭体は地盤面から深さ 8m 付近ま
 で杭体表面に曲げひび割れの残留が観察された。最も大きなひび割れ
 が生じていたのは深さ 2.4m 付近である。ただし、気中での実験で観
 察されるようなかぶりの大きな剥落は生じていない。地盤から杭体に
 与えられる横拘束圧の効果と思われる。なお、両杭体で観察された最大の損傷位置を図-2 に示している。

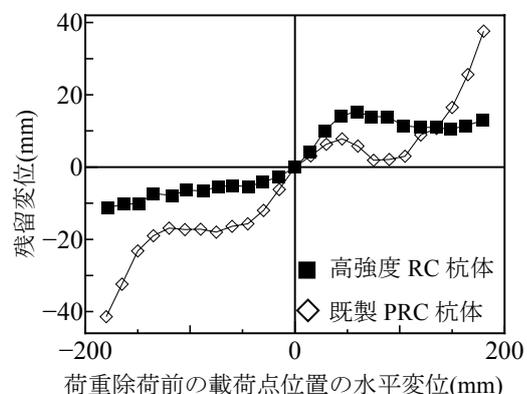


図-4 残留変位

5. まとめ

実地盤中に設置した高強度 RC 杭体および既製 PRC 杭体の正負交番載荷実験を実施した。高強度 RC 杭体は、大
 きな水平荷重に抵抗でき、また、荷重除荷後の残留変位も相当に低減できることから、開発した高強度 RC 杭体
 を用いた杭基礎は既存のコンクリート杭を用いた場合に比べ高い耐震性能を発揮することが期待される。

参考文献 1) Akiyama, M., Suzuki, M. and Abe, R.: Flexural Strength of Prestressed Reinforced Concrete Piles Using
 High-Strength Material, Proceedings of the 3rd fib congress, CD-ROM (ID: 17), 2010. 2) 阿部遼太, 秋山充良, 佐藤啓,
 鈴木基行: 炭素繊維シートで被覆した高強度RC杭体の正負交番載荷実験, コンクリート工学年次論文集, Vol.32,
 No.2, pp.877-882, 2010. 3) 牧剛史, 睦好宏史, RabinTULADHAR, 醍醐宏治: 実地盤中に設置された実大コンク
 リート杭の杭頭水平復元力特性と変形性状, 土木学会論文集E, Vol. 63, No.3, pp.396-409, 2007. 4) 地盤工学会:
 杭の水平載荷試験方法・同解説, 2010.