

地盤に埋め込んだ超高耐力 RC 杭の正負交番載荷実験

東北大学 学生会員 ○長谷川 俊
早稲田大学 正会員 秋山 充良

東日本旅客鉄道(株) 正会員 荒川 岳
前田製管販売(株) 佐藤 啓
東北大学 フェロー 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。

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を与え、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。

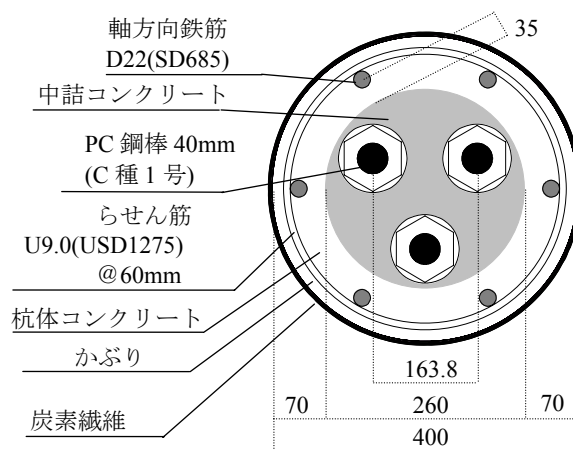


図-1 高強度 RC 杭体断面図

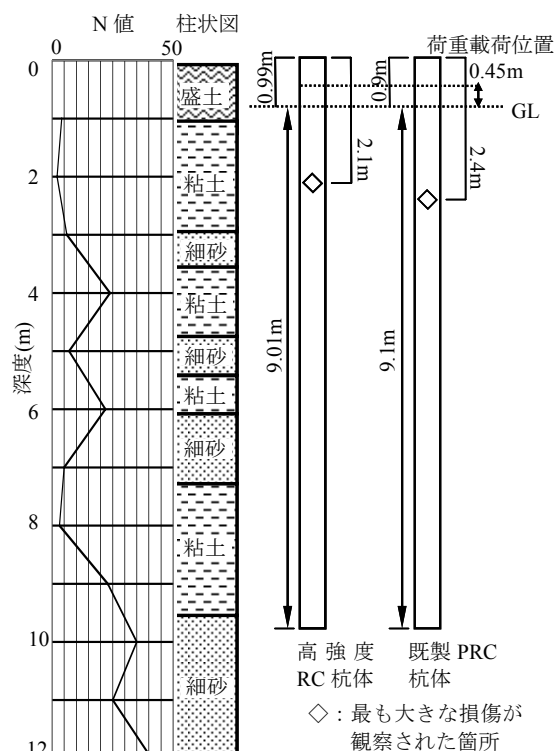


図-2 試験地盤のN値分布・土質柱状図と杭体打ち込み状況

キーワード：高強度 RC 杭，PRC 杭，高強度コンクリート，正負交番載荷試験，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 TEL：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 鉄筋比 ρ_g (%)	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			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	22.1	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⁾を参考にして荷重方法を決定した。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 の整数倍の荷重ステップ毎に 1 サイクルの交番荷重を変位制御にて与える。14 δ (=210mm) までこの荷重方法であり、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、荷重方式は、連続荷重方式である。

(2) 水平荷重 - 水平変位関係と残留変位

荷重荷重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、荷重荷重位置で、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、各荷重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。正側荷重の荷重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 杭体を持つ 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、荷重中に全ての PC 鋼棒が降伏していないことを確認している。

(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。

4. まとめ

実地盤中に設置した高強度 RC 杭体および既製 PRC 杭体の正負交番荷重実験を実施した。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。



写真-1 CFS の破断 (高強度 RC 杭体)

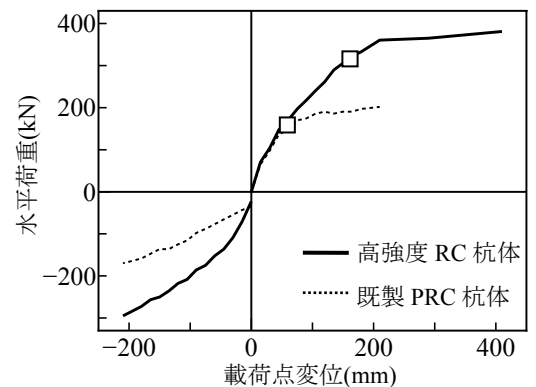


図-3 水平荷重 - 水平変位関係

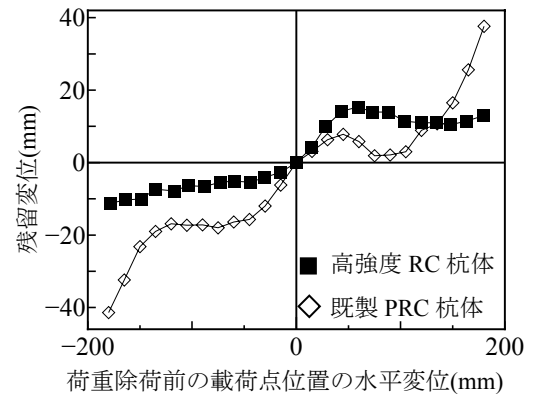


図-4 残留変位

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杭体の正負交番荷重実験, 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, Rabin TULADHAR, 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.