地盤に埋め込んだ RC 杭の損傷と固有振動数の関係

岳	荒川	正会員	東日本旅客鉄道 (株)	孝和	○渡辺	学生会員	東北大学
英樹	内藤	正会員	東北大学	俊	長谷り	正会員	東北大学
啓	佐藤		前田製管販売 (株)	充良	秋山	正会員	早稲田大学
基行	鈴木	フェロー	東北大学				

1. はじめに

杭基礎などの地中構造物は直接目視ができないため、地震後の損傷状況を確認することは容易ではない.地 盤中の杭の非破壊検査手法として、ハンマーの打撃による衝撃弾性波法 (インティグリ試験)の実施が報告さ れている¹⁾.インティグリ試験は杭に生じたひび割れの位置を特定することができるが、杭体の降伏以前のひ び割れを検知することや、杭全体の損傷程度を定量的に示すことなどは難しい²⁾.

本研究は、このようなインティグリ試験を補うため、小型起振機を励振器とした強制振動試験による杭の損 傷評価法を検討する. 杭の損傷評価法の構築に必要な基礎的データとして、地盤に埋め込んだ杭の正負交番載 荷実験中に杭頭部での加振・振動計測を行い、水平変位と固有振動数との関係を整理した.

2. 実験概要

(1) 供試体の概要

杭長 10 m, 外径 400 mm, 内径 260 mm の既製杭 (プレストレス 5.5 N/mm², 中詰コンクリートなし) と開発 杭 (プレストレス 22 N/mm², 中詰コンクリートあり)を供試体とする. これらの供試体諸元や正負交番載荷実 験の条件などは,参考文献 3) に示した. コンクリートの材料特性を表-1 に示す.

(2) 振動試験の概要

著者ら⁴⁾は、小型起振機を励振器とした振動試験を検討している.本研究では、小型起振機によって調和振動を一定加速度で発生させ、周波数を連続的に変化させた周波数スイープ試験を行う.地盤に埋め込まれた2体の杭供試体の正負交番載荷実験において、写真-1に示すように、杭頭部からの杭長方向に加振および応答加速度の測定を行う.事前検討として、既製杭に対して、気中での振動試験も行った.

表-1	コンクリー	トの材料特性
-----	-------	--------

	動弹性係数 (N/mm ²)	密度 (g/cm ³)
既製杭・杭体	46500	2.41
開発杭・杭体	47000	2.41
・中詰	21200	2.05

3. 気中における杭の振動試験

実験状況を写真-1に示す. 既製杭に対して, 掃引周波数 100 ~800 Hzの測定を2分間で行った. 図-1に示す共振曲線(周波 数-応答加速度関係)より, 1~3 次の共振点が得られた. 1~3 次の固有振動数の実験結果と理論値を併せて表-2 に示す. 理 論値は, 次式を用いて算定した.

$$f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{E_d}{\rho}} \tag{1}$$

ここで、fは縦振動による固有振動数、nはモード次数、Lは杭長、 E_d はコンクリートの動弾性係数、 ρ は密度である.理論値



写真-1 既製杭の振動計測(気中)

キーワード RC 杭,正負交番載荷試験,振動試験,固有振動数 連絡先 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL 022-795-7449

-179-

の算定では,鉄筋の影響を無視した.

表-2より,実験結果と理論値が概ね対応しており,写真 -1の振動試験の妥当性を確認することができた.

4. 地盤中における杭の振動試験

(1) 健全時の振動特性

正負交番載荷実験の直前に地盤中に埋め込まれた杭の振動試験を行った. 共振曲線の一例と固有振動数をそれぞれ図 -2 と表-2 に示す. 気中における図-1 の共振曲線と比較 して,地盤中における図-2 の共振曲線では減衰の増加が見 られた. しかし, 1~3 次の固有振動数については, 気中と 地盤中では差異がなかった. これより,地盤による拘束は, 杭の固有振動数(縦振動)に影響しないことが示された.

(2) 正負交番載荷実験中の振動特性

所要の載荷ステップにおいて正側の最大変位点から除荷 をし、水平荷重が零となったときに杭の振動試験を行った. このとき、杭頭部は水平ジャッキから離されており、載荷フ レームや反力杭などの影響は受けない.式(1)より、残存 剛性率 $(f/f_0)^2$ を指標として、水平変位と1次の固有振動数 との関係を整理する.既製杭と開発杭の軸方向鉄筋の降伏 変位は、それぞれ 60 mm と 165 mm である.図-3より、 いずれの供試体でも振動試験は鉄筋降伏前のひび割れに よる剛性低下を示した.また、プレストレスが大きい開発 杭では、既製杭よりも剛性低下が小さいことが示された.

5. まとめ

本研究では、小型起振機を用いて杭頭部に調和振動を与 えることにより、地盤中の杭の振動特性を評価した. 杭の 正負交番載荷実験中に振動試験を行い、水平変位(載荷ス テップ)の増加に伴って杭の固有振動数と残存剛性率が低 下することを示した.

参考文献:

- 松井保,南荘淳,安田扶律,仲田慶正,今田和夫:非破壊 試験による基礎杭損傷調査における解析手法の開発と適 用性に関する研究,土木学会論文集,No.596/III-43, pp.261-270, 1998.
- 石田雅博,福井次郎,大越盛幸,阿部秋男:衝撃弾性波法 による杭の損傷調査手法の実験,土木学会第52回年次学 術講演会,V-354, pp.708-709, 1997.
- 3) 長谷川俊, 荒川岳, 青木直, 秋山充良, 鈴木基行: 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, 土木学会東北支部技術研究発表会, V-23, CD-ROM, 2011.
- 4) 大竹雄介,内藤英樹,中野聡,鈴木基行:小型起振機を用いたコンクリート橋の強制振動試験,コンクリート工学年 次論文集, Vol.32, No.2, pp.1459-1464, 2010.



表-2 健全時の固有振動数

(a) 既製杭

	実験結果 (Hz)		理論値
	気中	地盤中	(Hz)
1 次モード	231	236	220
2 次モード	449	440	440
3 次モード	675	641	660

(b) 開発杭					
	実験結果 (Hz)		理論値		
	気中	地盤中	(Hz)		
1 次モード		207	202		
2 次モード		407	404		



-180-