

曲げ損傷を受けた場所打ち杭の鉛直荷重支持能力の実験的検討

首都高速道路(株) 正会員 ○斎藤 聖 石原 陽介 須田 郁慧
(株)エイト日本技術開発 正会員 木野村 宏昭 非会員 松村 翔 正会員 押川 亮彦

1. 背景及び目的

首都高速道路の既設橋梁構造物の約 60%は場所打ち杭構造であるが、一部の橋梁は供用から 60 年経過しており、旧基準で設計されたものが殆どである。一方、大規模地震発生後に緊急輸送道路の役割を果たさなければならないことから早期の道路啓開が望まれる。本稿では、繰返し水平載荷することにより曲げ損傷を与えた後、鉛直荷重の 1 方向漸増載荷実験を行うことで、大規模地震後の損傷を模擬した杭の鉛直支持能力を確認し、実橋杭が大規模地震を受けた際に生じる鉛直変位を推定した。

2. 実験概要

2. 1 対象構造物の選定

首都高速道路の橋脚基礎を対象に基礎構造形式を整理した。最も割合の大きな場所打ちコンクリート杭について杭長・杭径・鉄筋量の観点で整理を行い、曲げ耐力が不足し、杭長が比較的短い、既設橋梁の橋脚基礎を実験の対象として選定した。

2. 2 供試体諸元及び地盤条件

実構造と供試体の諸元の比較を表-1、供試体の形状を図-1 に示す。供試体の形状は実構造の 1/4 とし、杭長は実験施設の土槽の大きさを考慮して設定した。人工地盤には東北珪砂（5 号）を選定し、転圧によって締め固めた。作成した人工地盤の想定 N 値は 2 である。

2. 3 載荷条件

載荷装置概要を図-2 に示す。実構造の軸力比と供試体（1/4 モデル）の軸力比が一定であるとし、死活荷重に相当する軸力（初期軸力）を鉛直載荷した状態で正負交番載荷にて杭の降伏変位（ δ_y ）の 3 倍まで段階的に水平載荷（繰返し回数 3 回）を行い、損傷度Ⅳ¹⁾以上に相当する曲げ損傷を杭に与えた。曲げ損傷後の鉛直載荷はレベル 2 地震によって生じる押込み力（死活荷重の 2 倍程度）や地盤の支持能力の喪失による影響が生じない荷重（死活荷重 4 倍以下）を考慮して死活荷重の 3 倍の荷重まで載荷した。載荷試験ケースは表-2 に示すように 3 ケースとした。ケース 1 に関しては残留変位の有無による鉛直支持能力の違いを把握するため、土槽から砂を撤去せずに地盤の拘束効果を保持した状態で曲げ損傷後の残留変位を 0 に戻してから鉛直載荷を開始した。ケース 2 に関しては残留変位を残した状態で鉛直載荷を開始した。ケース 3 に関しては地盤拘束効果が鉛直支持能力に与える影響を明らかにするため、曲げ損傷後の残留変位を残したまま、土槽の砂を撤去した状態で鉛直載荷を開始した。

3. 載荷試験結果

3. 1 水平載荷試験結果

表-1 供試体の諸元

主鉄筋					
	杭径 [mm]	かぶり [mm]	面積 [mm ²]	鉄筋種類	鉄筋比
実構造	1000	100	785398	D25	0.00516
供試体	250	25	49087	D6	0.00516

帯鉄筋					
	杭径 [mm]	かぶり [mm]	杭長 [mm]	鉄筋種類	配置間隔 [mm]
実構造	1000	100	12900	D13	250
供試体	250	25	1900	D4	110

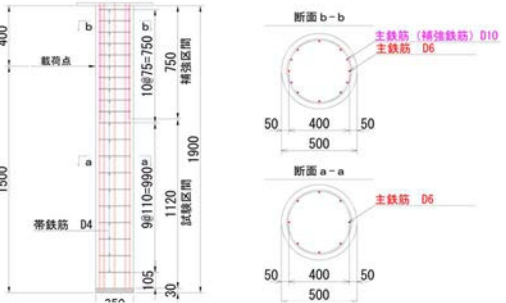


図-1 供試体の形状

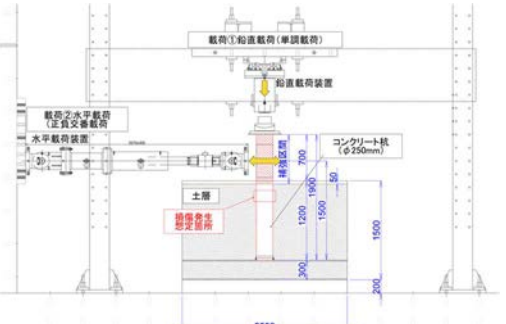


図-2 載荷装置概要

表-2 載荷試験ケース

ケース	地盤条件	残留変位
1	あり	なし (水平載荷後 0 に戻す)
2	あり	あり 水平載荷終了後の残留変位
3	なし	あり 水平載荷終了後の残留変位

キーワード 耐震，道路啓開，既設杭基礎，鉛直支持能力
連絡先 〒100-8930 東京都千代田区霞が関 1-4-1（日土地ビル）
首都高速道路(株) 技術部 技術推進課 TEL03-3539-9442

図-3 に各実験ケースの水平載荷試験で得られた骨格曲線を示す。水平載荷試験では、水平荷重が最大耐力に達し、降伏時の荷重以下となるまで繰返し水平載荷を行い、損傷度Ⅳ¹⁾以上に相当する曲げ損傷を杭体に十分与えられていることを確認した。

3. 2 鉛直載荷試験結果

(1) 残留変位の有無に関する検証

鉛直載荷開始時の初期軸力（死活荷重相当）を V1、その 2 倍の荷重を V2、3 倍の荷重を V3 とし、ケース 1 とケース 2 の鉛直荷重と鉛直変位の関係（残留変位有無の比較）を図-4 に示す。この荷重変位曲線は、鉛直荷重に対する鉛直変位の増加率に着目しているため、一時的な鉛直荷重の低下を補正したものである。V1 から V2 の間に対する鉛直変位の増加率は概ね同等（ケース 1、ケース 2 共に 0.014）であった。V2 から V3 の間には一時的に鉛直変位の増加率が大きくなる点（ケース 1：177.4kN、ケース 2：153.6kN）が確認されるが、その後は変化前の一定の増加率に推移しており、増加率の傾向はケース 1 とケース 2 の間に大きな差は確認されなかった。

(2) 地盤抵抗の有無に関する検証

ケース 2 とケース 3 の鉛直荷重と鉛直変位の関係（地盤抵抗有無の比較）を図-5 に示す。この荷重変位曲線も鉛直荷重に対する鉛直変位の増加率に着目しているため、一時的な鉛直荷重の低下を補正したものである。ケース 3（地盤抵抗無し）について、V1 載荷直後はケース 2（地盤抵抗有り）と概ね同様の鉛直変位の増加率（0.015）だが、121.7kN 以降でケース 2 と比較して鉛直変位の増加率（0.030）が大きくなることが確認された。地盤の拘束効果がない場合には鉛直変位の増加率がより大きくなることから、杭の鉛直耐力に対する地盤抵抗の影響は残留変位の有無に比べて大きいと考えられる。

(3) 実験結果に基づき推定される実橋における杭の鉛直変位

実験結果を用い、実橋杭の鉛直変位を推定した結果を表-3 に示す。周辺地盤が存在し支持層が健全である条件であれば、曲げ損傷後の残留変位を残した状態で L2 地震時に生じる押込み力よりも大きな荷重（死活荷重の 3 倍）が作用したと想定しても実橋杭の鉛直変位は 19.76mm 程度に留まると推定される。

5. まとめ

場所打ち杭の地震力を模擬して水平曲げ損傷を与えた上で、鉛直荷重を漸増載荷した結果、死活荷重の約 3 倍の鉛直耐力があることを確認した。また、周辺地盤が存在し支持層が健全であれば、約 3 倍の死活荷重作用時においても杭に生じる鉛直変位は 20mm 程度に留まると推定される。今後は解析等により挙動を確認できるか検証する予定である。

謝辞：本研究は(国研)土木研究所、(株)高速道路総合研究所との共同研究の一環として実施したものである。本実験は(株)熊谷組の実験施設を借用して実施した。ここに記して関係各位に感謝の意を表する。

参考文献 1) 土木研究所構造物メンテナンス研究センター：既設道路橋基礎の耐震性能簡易評価手法に関する研究，土木研究所資料 4168 号，pp.3-5，2010。

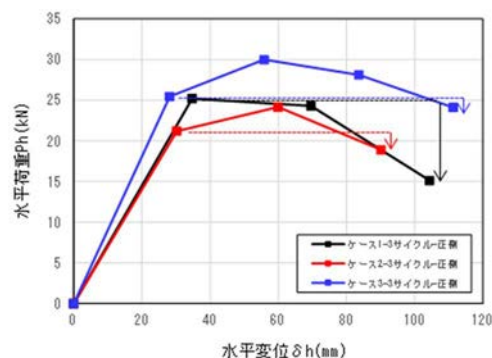


図-3 水平荷重—水平変位曲線

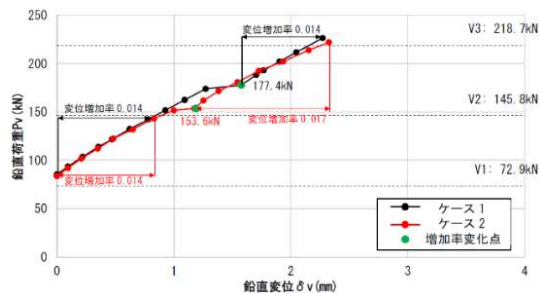


図-4 鉛直荷重と鉛直変位の関係
(残留変位有無の比較)

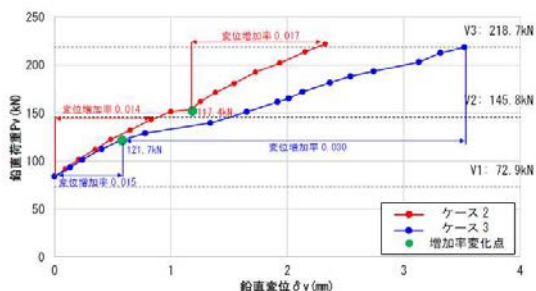


図-5 鉛直荷重と鉛直変位の関係
(地盤抵抗有無の比較)

表-3 ケース毎の実橋で想定される鉛直変位量

ケース	鉛直荷重	供試体 (1/4 モデル) における鉛直変位量	実橋で想定される鉛直変位量
ケース 1	V1	—	—
	V2	0.84mm	7.28mm
	V3	2.16mm	18.76mm
ケース 2	V1	—	—
	V2	0.89mm	7.70mm
	V3	2.26mm	19.64mm
ケース 3	V1	—	—
	V2	1.50mm	13.09mm
	V3	3.52mm	30.64mm