

既製RC杭基礎模型を用いた正負交番載荷試験

岡田太賀雄¹・鬼木浩二²・河野哲也³・星隈順一⁴

¹正会員 修(工) (国研)土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 主任研究員
(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

²正会員 修(工) (国研)土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 交流研究員 (同上)

³正会員 博(工) (国研)土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 主任研究員 (同上)

⁴正会員 博(工) (国研)土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 上席研究員 (同上)

1. はじめに

既設橋の耐震性能の評価を行うにあたっては、地震時に橋がどのような挙動を示すのかを把握する必要があるが、特に古い基準で設計された基礎の耐力や変形能の評価については、そもそもレベル2地震動に対する耐震性能の照査を行っていないことから、どのような破壊性状となるのか知見が十分ではなく、限界状態についても明確ではない。木村ら¹⁾は組杭模型を用いた気中での正負交番載荷実験により、杭基礎の塑性変形能について評価しているが、対象が場所打ち杭、PHC杭（JIS杭、JIS強化杭）である。既製コンクリート杭については昭和46年道路橋耐震設計指針²⁾よりも前の基準で設計されている事例が多く、古い年代ではPHC杭よりもRC杭が使われている事例も多いが、RC杭については文献1)では対象とされておらず、破壊性状についての知見は十分ではない。

新設橋においては、一般的に基礎に塑性化を考慮せず、橋脚基部に主たる塑性化を考慮した設計が行われているが、既設橋においては求める耐震性能を踏まえて、基礎に塑性化を考慮することも考えられる。そのため、当時の設計基準で示されていた許容応力度等の値を用いて基礎の照査で必要となる降伏耐力やせん断耐力を評価するよりも、既設橋基礎の構造条件や地盤条件等が明確であれば、より実際の値に近い耐力特性や変形特性を評価することができ、橋全体として耐震性能の評価や耐震補強の必要性の検討が合理的に行えるようになってくると考えられる。

本研究では、古い基準で設計された既製RC杭を

用いた杭基礎の大規模地震時における限界状態を把握することを目的として、杭基礎模型を用いた気中での正負交番載荷試験を行った。耐力や変形能および最終的な破壊性状について確認した結果を報告するものである。

2. 実験概要

(1) 供試体

図-1に実験で用いた既製RC杭模型を示す。杭模型は直径Dが300mm、内径が180mmの中空の断面であり、長さは両端にフーチングへの埋め込み長として杭の直径Dと同じ300mmを含む長さ2,400mm、本体部分が1,800mmの杭模型である。この杭長については文献1)を参考に水平力Hと曲げモーメントMの比率 $M/H=2.5m$ となるように設定している。また、杭の軸方向鉄筋はコンクリート厚の中央位置に設置している。当時の基準を参考に、杭の軸方向鉄筋は $\phi 9mm$ (SR235)を10本とした。鉄筋比は1.41%である。用心鉄筋はスパイラル筋とし $\phi 3.2mm$ (SWM-B)の普通鉄線を100mm間隔で設置した。完成した鉄筋かごを鋼製型枠にセットし、コンクリート打設後に遠心成形し製作した。杭のコンクリートの設計基準強度は $40N/mm^2$ である。なお、遠心成形により製作しているが、製作機の都合により脱水が十分にできず、写真-1に示すように内部部にセメントミルクのようなものが養生時に堆積し固結している。ただし、ハンマーで叩くと壊れ、コンクリートのような強度を有していないことを確認している。

この杭を2列×3本配置し、両端をフーチングと結合した。杭中心間隔は $2.5D$ である。杭は載荷方向に対して軸方向鉄筋が最外縁に配置されるように設置

している。杭とフーチングの結合方法は当時の基準を踏まえ道路橋示方書Ⅳ下部構造編(H14.2)³⁾における結合方法Aとした。杭径分の300mmを埋め込んでおり、結合部の中空断面内には中詰めコンクリートを打設している。中詰めコンクリートの範囲は、杭の両端から450mmずつであり、フーチングとの境界面から杭径の半分である150mmまでの範囲である。杭の中詰めコンクリートおよびフーチングのコンクリートの設計基準強度は21N/mm²である。フーチングに用いた鉄筋には、当時用いられていたSD295は入手が困難であったことからSD345を用いた。

表-1に材料試験結果を示す。表内の数値は3試験体の試験結果の平均値である。ただし、杭のスパイラル筋については、材料試験は実施しておらずミルシートの値である。

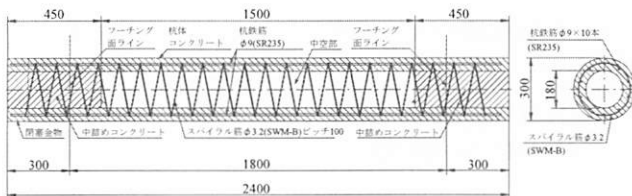


図-1 既製RC杭



写真-1 既製RC杭模型の断面

表-1 材料試験結果

		圧縮強度	弾性係数
コンクリート	杭本体	53.2N/mm ²	26.6kN/mm ²
	杭の中詰め部	20.2N/mm ²	17.7kN/mm ²
	フーチング(固定側)	27.4N/mm ²	19.9kN/mm ²
	フーチング(載荷側)	26.4N/mm ²	21.0kN/mm ²
		降伏強度	弾性係数
杭の主鉄筋(φ9, SR235)		355.0N/mm ²	206.3kN/mm ²
フーチング(D19, SD345)		382.3N/mm ²	194.2kN/mm ²
杭のスパイラル筋(φ3.2, SWM-B)		626N/mm ²	-
		引張強さ	-

(2) 供試体のセットアップと載荷方法

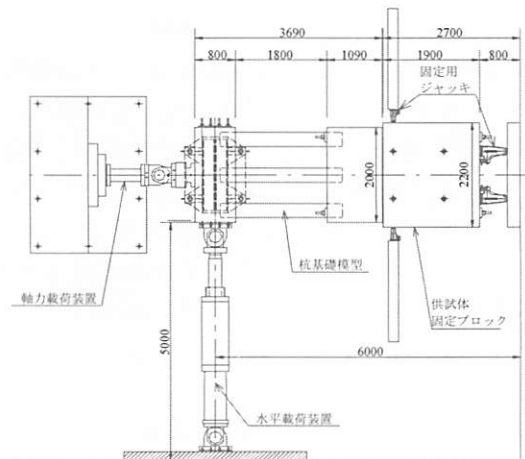
図-2および写真-2に供試体のセットアップの状況を示す。供試体は床面に対して平行になるように横向きに設置し、反力床に固定された鉄筋コンクリート製の供試体固定ブロックに杭基礎模型の固定側フ

ーチングをPC鋼棒にて緊張固定した。なお、供試体に作用する水平力に対して確実に固定する必要があることから、供試体固定ブロックはPC鋼棒で反力床に取り付けるとともに、側面をジャッキにより固定している。

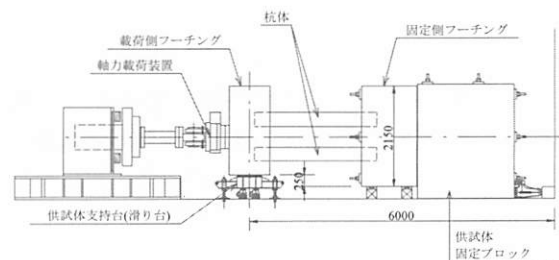
鉛直方向荷重は、載荷側フーチング頭部に軸力載荷装置を設置し、供試体に杭一本あたりの軸力が137.2kNとなるように824kNを載荷した。一本あたりの軸力は文献1)を参考に一般的な橋脚の杭基礎となるように設定している。なお、軸力載荷装置は供試体の水平変位に対して追従することができる。

水平方向荷重は、載荷側フーチング側面中央部に水平載荷装置を設置し、基準変位 δ_y の整数倍の水平変位を各載荷ステップにおいて3回繰返す漸増載荷とした。基準変位は道路橋示方書⁴⁾で規定する杭基礎の降伏となる状態とし、供試体の3列の杭に取り付けられた軸方向鉄筋のひずみが3列とも降伏値に達した時点の水平変位である7.2mmを基準変位 δ_y とした。

なお、杭体については、水平載荷装置が取り付けられた側から順に上段をA杭、B杭、C杭、下段をD杭、E杭、F杭と呼称する。また、各杭の側面については水平載荷装置側をL側、その逆側をR側と呼称する。



(a) 上面図



(b) 側面図

図-2 供試体の設置状況

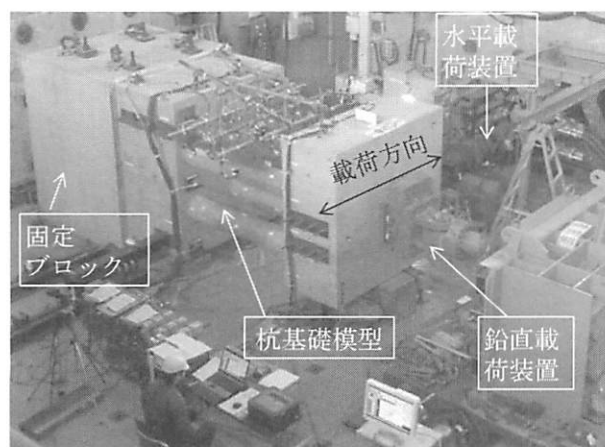


写真-2 供試体の設置状況

(3) 計測項目

主な計測項目は、載荷装置に内蔵されているロードセルによる鉛直荷重および水平荷重、載荷点位置でのフーチングの水平変位および各杭体の水平変位、杭模型の軸方向鉄筋およびフーチング内の杭結合部周りの鉄筋のひずみ、杭体のフーチングからの伸び出し量とフーチングとの結合部の杭の曲率である。

各杭体の水平変位については固定側フーチングから450mm間隔の位置で計3点計測した。杭模型の軸方向鉄筋に貼り付けたひずみゲージについては、軸方向に対しては、両フーチングと杭との結合位置およびその両側に150mmの間隔をあけた位置と、杭中央位置とその両側に375mmの間隔をあけた位置の9段面に対して設置しており、各段面においては、最外縁の両軸方向鉄筋の外側にひずみゲージを設置している。杭体のフーチングからの伸び出し量とフーチングとの結合部の杭の曲率については、各杭とフーチング結合箇所において、各杭体の中央位置から75mmずつ離れた2箇所に変位計を設置し、フーチング面からの杭軸方向への変位量を計測し、その平均値を杭体の伸び出し量、その差分と設置間隔から算出される値を曲率として算出している。

なお、杭の変位および杭の軸方向鉄筋のひずみについては、2列の杭が概ね同様の挙動を示すと考えられたことから、上段の1列分を計測した。また、水平変位および水平荷重は押し側を正としている。

3. 実験結果

図-3に載荷試験により得られた水平荷重と水平変位の関係を示す。載荷変位が6.0mmで引抜き側の杭と中央の杭の軸方向鉄筋が降伏に達し、載荷変位が7.2mmで押し込み側の杭の軸方向鉄筋も降伏に達した。この水平変位を降伏変位 δ_y とした。載荷変位を

$1\delta_y$ として3回繰返しの正負交番載荷を行った後、ほとんどの杭でフーチング部との付け根部にクラックが発生している。また、この時の最大水平荷重は正側で290.5kN、負側で267.5kNであった。2 δ_y において、クラックが進展するとともに、正側で最大水平荷重320.8kNとなった。3 δ_y 、4 δ_y と変位を増加させると、最大水平変位時にフーチングと杭との付け根部の境界において、杭が伸び出したような様子が確認された。また、負側で最大水平荷重291.5kNとなった。5 δ_y においては最大水平変位時に写真-3に示すように明確に伸び出した跡が確認された。また、新たなクラックの発生は少なくなった。6 δ_y 、7 δ_y においては新たなクラックの発生はほぼ無くなり、杭とフーチングの付け根部の剥離箇所が増えてきた。また、7 δ_y 時の負側の最大水平荷重は1 δ_y 時の負側の最大水平荷重よりも小さくなった。8 δ_y においてはかぶりコンクリートの剥離が進展するとともに、写真-4に示すように1サイクル目の負側の載荷中に載荷側フーチング近傍のF杭のL側においてスパイラル筋が破断した。また、正側の最大水平荷重は1 δ_y 時の正側の最大水平荷重よりも小さくなった。9 δ_y においてもかぶりコンクリートの剥離が進展するとともに、2サイクル目の正側の載荷中に写真-5に示すように載荷側フーチングの近傍のD杭とE杭のL側においてスパイラル筋が破断した。杭の軸方向鉄筋ははらみだしているのが確認できる。また、3サイクル目のゼロ点に戻る最中に載荷側フーチングの近傍のC杭のL側においてスパイラル筋が破断した。10 δ_y においてもかぶりコンクリートの剥離が進展した。最大水平荷重は正側で238.0kN、負側で210.3kNであり、1 δ_y 時の約8割程度まで減少した。変形能がある程度確認されたことから、最終的な破壊形状を確認するために20 δ_y の載荷を行った。正側においては、写真-6に示すように載荷側フーチングの近傍B杭、C杭、E杭に縦方向にひび割れが発生した。負側においては、載荷途中の変位が130mm程度に達した時に写真-7に示すようにD杭の載荷側フーチングの近傍およびA杭の固定側フーチングの近傍においてせん断破壊が生じた。杭のコンクリートには大きな亀裂が生じていたが、軸方向鉄筋については、破断してるかどうかは外側からは確認できなかった。これ以上載荷することは困難であるため、この段階で載荷試験を終了とした。このせん断破壊の損傷状況は文献1)に示されているPHC杭（JIS杭）と同様の破壊性状であった。

図-4に杭体の水平変位分布を示す。なお、杭体は概ね同様の変形であったため、杭Bについて代表し

て示している。各変形量において、杭体は概ね直線的な変形をしていることがわかる。図-5に基礎の水平変位と各杭体の曲率の関係を示す。各杭体とも、水平変位量の増加にともない、概ね同様に曲率も増加している。負側の曲率が 20δ 時にばらついているのは、A杭D杭がせん断破壊したことにより、押し込み側の杭であるB杭E杭に負担する荷重が大きくなったことや、A杭D杭では杭体とフーチングの結合部付近に取り付けられた変位計に異常が生じたためと考えられる。水平変位の増加にともない、杭体とフーチングの結合部付近のコンクリートの剥離等が生じている載荷試験の結果と、これらの結果は整合するものであることが確認できる。

図-6に杭体の伸び出し変位量を示す。杭体と載荷側および固定側のフーチング部との結合部に取り付けた変位計の3本の杭の平均値である。杭体が伸び出している方向を正としている。変位量が増加するとともに、伸び出し量も増えていることがわかる。また、せん断破壊後に少し伸び出し量が減っているが急変していないことがわかる。図-7に鉛直荷重と水平変位の関係を示す。せん断破壊後も概ね所定の鉛直荷重を保持できていることがわかる。これは、全杭がせん断破壊したわけではないため、鉛直支持力が喪失するということではなかったものと考えられる。

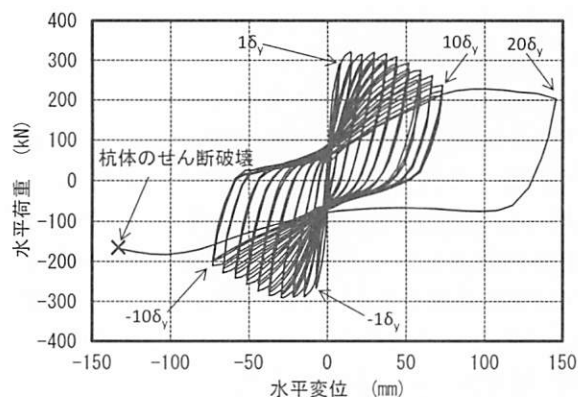


図-3 水平荷重—水平変位関係



写真-3 杭の抜け出しの状況 (-5δ 時)

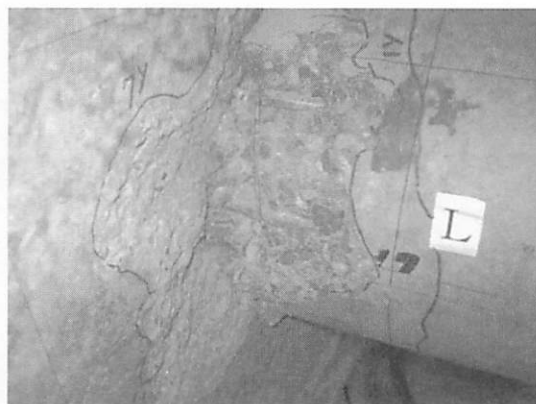
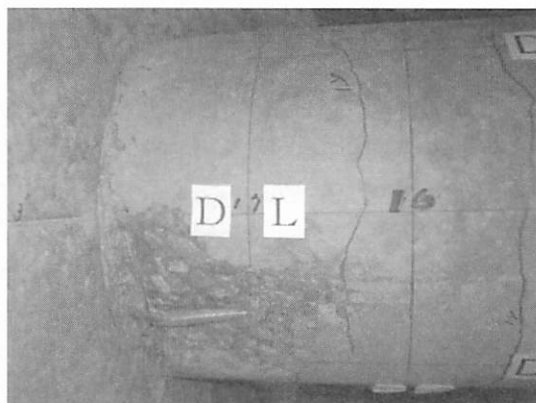


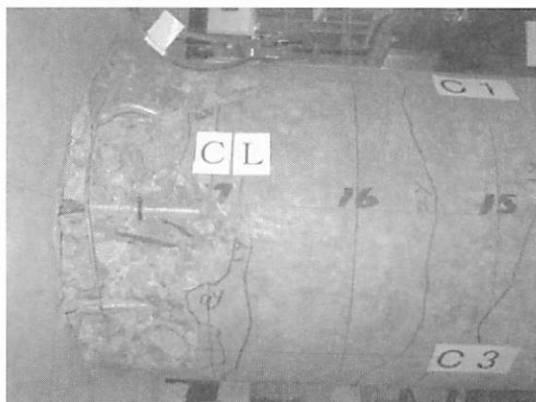
写真-4 F杭のスパイラル筋の破断状況 (-8δ 時)



(a) D杭



(b) E杭



(c) C杭

写真-5 スパイラル筋の破断・軸方向鉄筋のはらみ出しの状況 (9δ 時)

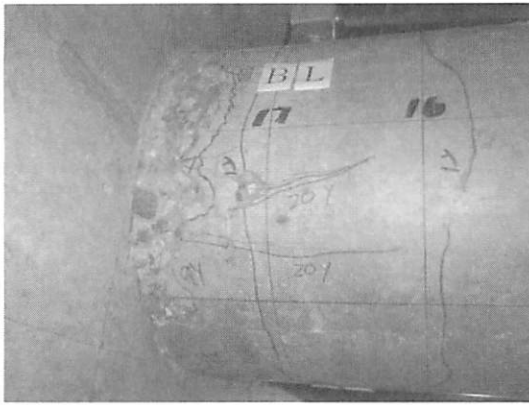
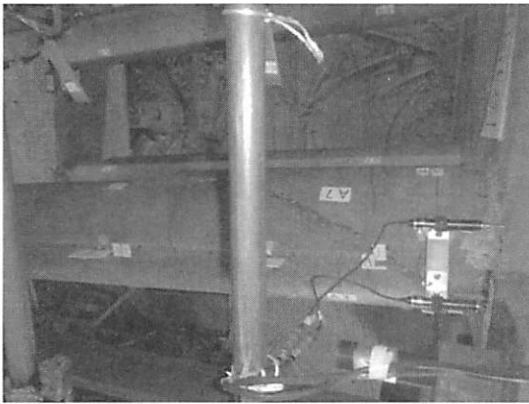
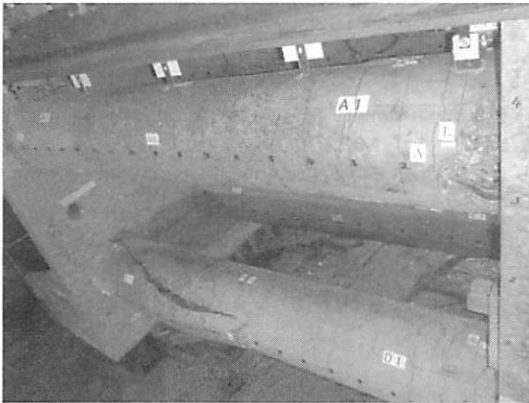


写真-6 縦方向のクラックの発生状況 (20 δ 時)



(a) A杭



(b) D杭

写真-7 杭のせん断破壊の状況 (-20 δ 時)

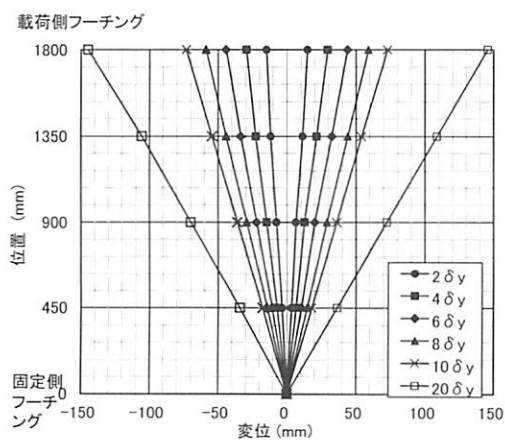


図-4 杭体の水平変位分布

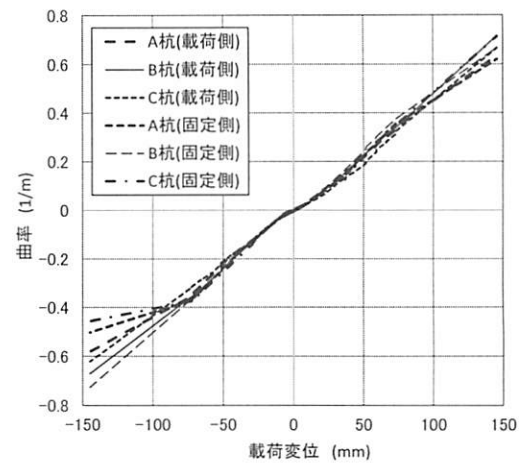
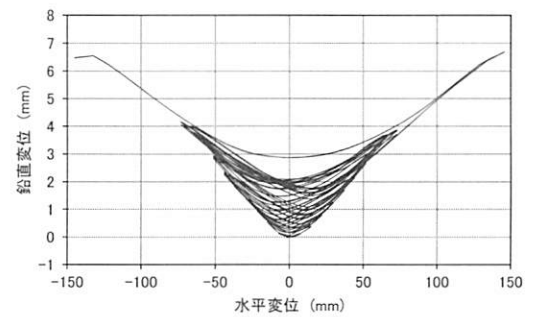
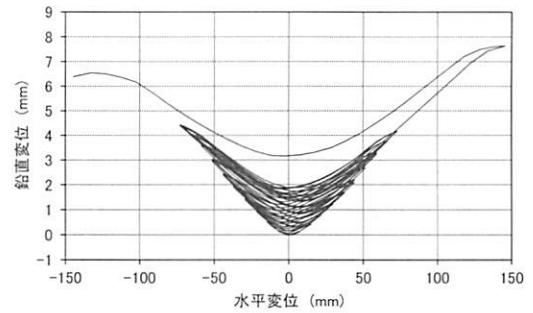


図-5 各杭体の曲率と水平変位の関係



(a) 可動側フーチングからの杭体の伸び出し



(b) 固定側フーチングからの杭体の伸び出し

図-6 杭体の伸び出し量 (鉛直変位)

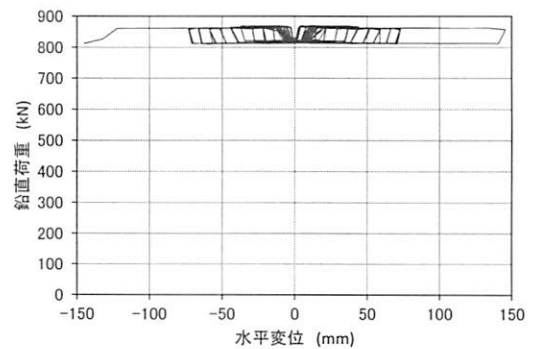


図-7 鉛直荷重と水平変位の関係

4. 既製RC組杭のせん断耐力

既製RC杭模型を用いた正負交番載荷実験の結果から既製RC杭においても変形能が確認できるとともに、最終的な破壊性状がせん断破壊であることが確認された。ただし、RC橋脚のように正負交番繰り返しによる斜めクラックの増加後にせん断耐力が減少し、破壊するという損傷形態ではなかった。既製RC杭のせん断耐力について道路橋示方書の規定に基づき算出し、実験結果との比較により、既製RC杭を用いた杭基礎のせん断耐力について考察する。

既製RC杭のせん断耐力はコンクリートが負担するせん断耐力 S_c とせん断補強鉄筋が負担するせん断耐力 S_s の和で表される。コンクリートが負担するせん断耐力 S_c は以下の式で表される。

$$S_c = c_c \cdot c_e \cdot c_{pl} \cdot c_N \cdot \tau_c \cdot b \cdot d = c_N \cdot \tau_a \cdot b \cdot d$$

ここで、

c_c ：荷重の正負交番繰り返し作用の影響に関する補正係数

c_e ：有効高 d に関する補正係数

c_{pl} ：軸方向引張鉄筋比 p_l に関する補正係数

c_N ：軸方向圧縮力による補正係数

τ_c ：許容せん断応力度

b ：部材断面幅で $b = t \cdot \sqrt{\pi}$ ，

ここで t は杭の肉厚で60mm

d ：部材有効高で $d = \frac{h}{2} + \frac{2}{\pi} \sqrt{rs}$ ，

ここで rs は円中心から軸方向鉄筋重心までの距離で120mm， h は等積箱桁断面の部材断面

での部材高で $h = \frac{1}{2} \sqrt{\pi} \cdot D$

τ_a ：文献3)に基づき、 $c_c \cdot c_e \cdot c_{pl} \cdot \tau_c = 1.5 \tau_c$

である。

既製RC杭の許容せん断応力度については文献3)に規定されており、設計基準強度が40N/mm²の場合は $\tau_a = 0.54\text{N/mm}^2$ である。既製RC杭の許容せん断応力度は道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編⁵⁾の規定に基づき定められていることから、本実験ではコンクリートの圧縮強度が53.2N/mm²であることを踏まえ、設計基準強度が40N/mm²と60N/mm²の値を元に線形補間し算出した値である0.66N/mm²を許容せん断応力度として評価することとした。 c_N については死荷重による杭頭での軸力を考慮して $c_N = 1.16$ とした。なお、図-7に示すように鉛直軸力は載荷中に変動しているが、設定した死荷重時である杭一本あたりの軸力である137.2kNを用いている。

スパイラル筋が負担するせん断耐力については設

計上見込むことはできないが、寄与した場合の影響について確認することとした。鉄筋の降伏点については明確ではないこと、どの程度の応力まで見込むことができるか不明であることから、引張強さを用いた場合と、文献3)で規定される上限値である345N/mm²とした場合の2パターンで評価した。また、鉄筋と鉛直軸がなす角度は90°とした。

この他、中詰めコンクリートについても有無による差を確認することとした。中詰めコンクリートの圧縮強度は20.2N/mm²であり設計基準強度である21N/mm²に達していないが概ね同様の値であると考え、文献3)に基づき $\tau_c = 0.33\text{N/mm}^2$ として算出することとした。なお写真-2に示すように杭体によってコンクリートが中詰めできる断面積は異なるが一律中空の断面積の0.6倍とした。また、安全側に考え軸力については作用しないとした。

表-2に各ケースのせん断耐力を示す。実験結果では最大水平荷重は正側で320.8kN、負側で291.5kNであり、この荷重においては実験供試体にはせん断破壊は生じていないが、いずれのケースにおいてもせん断耐力としてこの荷重レベル以下の評価値となっている。なお、杭体をファイバー要素でモデル化して杭基礎の降伏となる各杭体の軸方向鉄筋が降伏した時の水平荷重を別途解析したところ236.8kNであった。この解析との比較からも、基礎の降伏に達する前に杭体がせん断破壊する評価となり、実験結果とは異なる結果を示している。

コンクリートが負担するせん断耐力については、 $c_c \cdot c_e \cdot c_{pl} \cdot \tau_c = 1.5 \tau_c$ としており、有効高に関する効果については設計に用いる値として安全側に設定されていると考えられるため、寸法効果の及ぼす影響を検討した文献6), 7)を参考にコンクリートが負担するせん断応力度について評価することとした。ただし、この寸法効果の影響については、強度が大きなコンクリートを対象に検討したものではないが同様の傾向があると考えたものである。本試験で用いた杭体の有効高 d は241mmであることから、文献6), 7)に基づきコンクリートが負担することができるせん断応力度を算出すると、平均値から-2 σ 安全側に設定した値は0.86N/mm²、平均値は1.15N/mm²である。これらを用いて算出した結果を表-3及び表-4に示す。どちらのケースも全ての効果を考慮したケースで最大水平荷重である正側320.8kN、負側291.5kNと同程度の値になる結果となった。また、コンクリートの負担するせん断耐力を平均値とした場合は、スパイラル筋の効果として345N/mm²までとした場合でも、中詰めコンクリートの効果を考慮できれば、同程度

の値となった。

一方、せん断破壊時の水平荷重は168.9kNである。最大水平荷重が発揮された後、変位の増加にともない、コンクリートの剥落、スパイラル筋の破断等により、せん断耐力が低下したためであると考えられる。せん断破壊時には既にその前の載荷ステップにおいてスパイラル筋が計4本切れていたことから、これらの杭にはスパイラル筋の効果が無いと考えられる。そのため、せん断破壊時にはスパイラル筋の効果を見込みすぎていると考えられるため、スパイラル筋の負担するせん断耐力を杭2本分として算出した結果を表-5および表-6に示す。それぞれ、平均値から-2σ安全側に設定した値である0.86N/mm²、平均値である1.15N/mm²を用いて算出したケースである。いずれもスパイラル筋の効果を考慮した場合はせん断破壊時の水平荷重168.9kNを超えており、せん断破壊した結果と整合しない。これは、実験では軸方向鉄筋が確認できるほどコンクリートが剥離しておりせん断耐力として負担できるコンクリートの断面積が減少している影響や、コンクリートが負担するせん断耐力の算出に用いたせん断応力についても文献6), 7)に基づき設定した値よりも小さい可能性などが考えられる。この他、実際には軸力は杭体毎に異なり、作用せん断力も杭体毎に異なることから、全杭体の合計したせん断耐力は杭全体の作用せん断力を上回ると評価できる場合でも、押し込み杭のみで作用せん断力とせん断耐力を比較検討した場合は、せん断耐力を超過している場合もあると考えられる。せん断破壊という破壊性状を再現するためには、解析的な検討等を用いて作用軸力や作用せん断力について評価し、各杭体のせん断耐力を把握して評価する必要があると考えられる。

5. まとめ

既製RC杭を用いた杭基礎の大規模地震時における限界状態を把握することを目的として、杭基礎模型を用いた気中での正負交番載荷試験を行った。本研究により確認できた事項を以下に示す。

- ・文献1)で実施されていたPHC杭（JIS杭）を用いた組杭よりも古い時代に用いられていた既製RC杭を用いた組杭の正負交番載荷実験を行った結果、塑性変形能についてはPHC杭（JIS杭）の実験結果よりも大きいことが確認できた。ただし、最終的な破壊形状は杭体のせん断破壊であることが確認され、PHC杭（JIS杭）と同様の結果であった。
- ・文献3)に示す既製RC杭のコンクリートが負担するせん断応力度である $c_c \cdot c_e \cdot c_{pr} \cdot \tau_c = 1.5 \tau_c$ については、

表-2 既製RC杭模型のせん断耐力

各部材が負担するせん断耐力(kN)	せん断耐力(kN)			
	S_c	S_c+S_s	S_c^+ $S_{c(中詰め)}$	全部
コンクリートが負担するせん断耐力 S_c	117.9	●	●	●
スパイラル筋が負担するせん断耐力 S_s (上段：引張強度、下段345N/mm ²)	126.6 69.8	●		●
中詰めコンクリート負担分 $S_{c(中詰め)}$	30.2		●	●
合計 (上段：引張強度、下段345N/mm ²)	117.9 117.9	244.5 187.7	148.1 148.1	274.7 217.9

表-3 既製RC杭模型のせん断耐力（コンクリートのせん断耐力を文献6), 7)に基づき平均値から-2σ安全側に設定した場合）

各部材が負担するせん断耐力(kN)	せん断耐力(kN)			
	S_c	S_c+S_s	S_c^+ $S_{c(中詰め)}$	全部
コンクリートが負担するせん断耐力 S_c	154.3	●	●	●
スパイラル筋が負担するせん断耐力 S_s (上段：引張強度、下段345N/mm ²)	126.6 69.8	●		●
中詰めコンクリート負担分 $S_{c(中詰め)}$	30.2		●	●
合計 (上段：引張強度、下段345N/mm ²)	154.3 154.3	280.9 224.1	184.5 184.5	311.1 254.3

表-4 既製RC杭模型のせん断耐力（コンクリートのせん断耐力を文献6), 7)に基づき平均値に設定した場合）

各部材が負担するせん断耐力(kN)	せん断耐力(kN)			
	S_c	S_c+S_s	S_c^+ $S_{c(中詰め)}$	全部
コンクリートが負担するせん断耐力 S_c	205.8	●	●	●
スパイラル筋が負担するせん断耐力 S_s (上段：引張強度、下段345N/mm ²)	126.6 69.8	●		●
中詰めコンクリート負担分 $S_{c(中詰め)}$	30.2		●	●
合計 (上段：引張強度、下段345N/mm ²)	205.8 205.8	332.4 275.6	236 236	362.6 305.8

表-5 既製RC杭模型のせん断耐力（スパイラル筋を杭2本分のみとし、コンクリートのせん断耐力を文献6), 7)に基づき平均値から-2σ安全側に設定した場合）

各部材が負担するせん断耐力(kN)	せん断耐力(kN)			
	S_c	S_c+S_s	S_c^+ $S_{c(中詰め)}$	全部
コンクリートが負担するせん断耐力 S_c	154.3	●	●	●
スパイラル筋が負担するせん断耐力 S_s (上段：引張強度、下段345N/mm ²)	42.2 23.3	●		●
中詰めコンクリート負担分 $S_{c(中詰め)}$	30.2		●	●
合計 (上段：引張強度、下段345N/mm ²)	154.3 154.3	196.5 177.6	184.5 184.5	226.7 207.8

表-6 既製RC杭模型のせん断耐力（スパイラル筋を杭2本分のみとし、コンクリートのせん断耐力を文献6), 7)に基づき平均値に設定した場合）

各部材が負担するせん断耐力(kN)	せん断耐力(kN)			
	S_c	S_c+S_s	S_c^+ $S_{c(中詰め)}$	全部
コンクリートが負担するせん断耐力 S_c	205.8	●	●	●
スパイラル筋が負担するせん断耐力 S_s (上段：引張強度、下段345N/mm ²)	42.2 23.3	●		●
中詰めコンクリート負担分 $S_{c(中詰め)}$	30.2		●	●
合計 (上段：引張強度、下段345N/mm ²)	205.8 205.8	248 229.1	236 236	278.2 259.3

文献6), 7)に示す鉄筋コンクリート部材に用いる寸法効果を考慮したせん断応力度よりも安全側に設定されているが, 実験結果からも安全側に設定されていることが確認された。また, 既製RC杭のせん断耐力については, スパイラル筋や中詰めコンクリートについてもせん断耐力として負担することができる可能性があることが実験結果から確認された。

ただし, 本研究においては, せん断耐力の評価として, どの杭体も同一の耐力があるとして評価しており, 実際には各杭体の作用軸力と作用せん断力は杭体毎に異なることが想定されることから, 解析的な検討等により杭体毎の作用軸力や作用せん断力を評価し, 軸圧縮応力に応じたせん断耐力を杭体毎に評価することで, 破壊性状について再現可能であるかどうか検討する必要がある。

参考文献

- 1) 木村嘉富, 大越盛幸, 中野正則, 福井次郎, 横山功一: 杭基礎の変形特性に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol. 44A, pp.1597-1606, 1998.3.
- 2) (社)日本道路協会: 道路橋耐震設計指針・同解説, 1972.4.
- 3) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説IV下部構造編, 2002.3.
- 4) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説V耐震設計編, 2012.3.
- 5) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説IIIコンクリート橋編, 2002.3.
- 6) 河野広隆, 渡辺博志, 菊森佳幹, 大型RCはり供試体のせん断強度に関するデータ集, 土木研究所資料, 第3426号, 1996.1.
- 7) (社)日本道路協会: 「道路橋」に関する地区講習会講義要旨, 1996.