

プレストレストコンクリート橋脚の小型モデルによる 残留変位に与える横拘束鉄筋の影響

秋山 芳幸*, 大嶽 秀暢*, 平澤 征夫**, 堀 圭一郎***, 山崎 信吾****

Effects of Confined Reinforcement on Residual Displacement of Pre-stressed Concrete Small Pier Models of Reinforced Concrete

Yoshiyuki AKIYAMA *, Hidenobu OHTAKE*, Ikuo HIRASAWA**
Keiichiro HORI*** and Shingo YAMAZAKI****

(Received June 15, 2005)

The object of this study is to clarify the effects of pre-stress and confinement on the ultimate strength and deformations of pre-stressed concrete small column models subjected to Kobe earthquake-like conditions. Six small specimens were tested on a shaking table. The size of cross-section used was 75mm×75mm on a 1/18-scaled model. Peak table acceleration was increased up to the collapse limit state. Horizontal and vertical waves simulating the scaled-down acceleration of the Kobe earthquake were applied simultaneously. Based on the test results, the envelope curves of load-response displacements were examined. It was shown that the observations made in this study confirm the correctness of test results performed on the 1/18 scaled models. As for residual displacement, when the acceleration level was not reached up to the yield point of longitudinal reinforcement at the column base, adequate confinements were required. But after peak load, the over-confinements (<0.18%) were not efficient because of strain intensity in the longitudinal steel at the column base.

Keywords: Shaking table test, PC pier model, Dynamic behavior, Kobe earthquake

1. 研究目的

兵庫県南部地震の都市直下型地震において鉄筋コンクリート橋脚の倒壊が見られた。倒壊要因の一つとして直下型地震による上下動の影響も考える必要がある。直下型も含めた損傷防止対策のうち、特に残留変位を減じる対策として鉄筋コンクリート橋脚の軸方向にプレストレス(PC)を導入することが提案されている。しかし、我国では実際に動的試験が行われた例はまだない。そこで本研究は、前年度定めたPC鋼棒の有効な配置位置¹⁾の柱に対して横拘束鉄筋の鉄筋量を変化させ、横拘束鉄筋量が残留

変位に与える影響を実験的に明らかにすることを目的とする。

2. 研究方法

2.1 供試体の形状および作成方法

PC橋脚モデルの柱部断面 75mm×75mm, 柱頭部は錘をはめ込むため 220mm×75mm×160mm とする。軸方向鉄筋には D 6mm を、帯鉄筋には φ 3.2mm を 30mm, 40mm, 50mm ピッチで配置し、PC 鋼棒 (φ 6mm) を通すため、シースの替わりにビニールホース (内径 7.5mm) を使用した。今年度は、軸力を増加させる目的で柱部の断面積を 1/4 に縮小したモデルを用いることにした。また、従来までの研究では¹⁾、フーチング部と柱部を一体化した供試体を用いていた。

* 建設工学専攻大学院学生

(Graduate Student, Constructional Engineering)

** 都市建設工学科 (Department of Civil Engineering)

*** 河和 (Kowa Co., Ltd.)

**** 協和設計 (Kyowa Co., Ltd.)

が, 本研究では実験の効率化を図るために, 柱部をはめ込み式とした。また, 表 1 に柱部のコンクリート強度, 表 2 に軸方向鉄筋の強度, 表 3 に PC 鋼棒の強度を示す。

表 1 各供試体コンクリート強度

シリーズ名	圧縮強度試験 σ'_c (N/mm ²)	引張強度試験 σ'_t (N/mm ²)	ヤング係数 E_c (KN/mm ²)
PVH04-A1	60.1	4.65	25.5
PVH04-A2	47.2	4.92	24.3
PVH04-B1	54.6	4.46	23.9
PVH04-B2	61.8	4.34	24.7
PVH04-C1	47.0	4.86	22.7
PVH04-C2	58.4	3.40	24.8

表 2 軸方向鉄筋強度

軸方向鉄筋	降伏点応力度 σ_s N/mm ²	降伏ひずみ ϵ μ	ヤング係数 E_s KN/mm ²	最大応力 σ_{su} N/mm ²
	467	2655	189	581

表 3 PC 鋼棒の強度

PC 鋼棒	ヤング係数 E_p KN/mm ²	最大応力 σ_{pu} N/mm ²
平均	188	1298

2.2 供試体要因

従来の研究¹⁾をもとに, 図 1 に示すように PC 鋼棒を十字に配置し, 帯鉄筋間隔を 30, 40, 50mm の 3 種類とし, 30mm のものを Type A, 40mm のものを Type B, 50mm のものを Type C とする。供試体名は下の表 4 に示す。はめ込み式のため, 柱頭部の両面をモルタルブロックで挟む形式とした。同一供試体は 2 体ずつとし, A1, A2 のように番号を付けた。

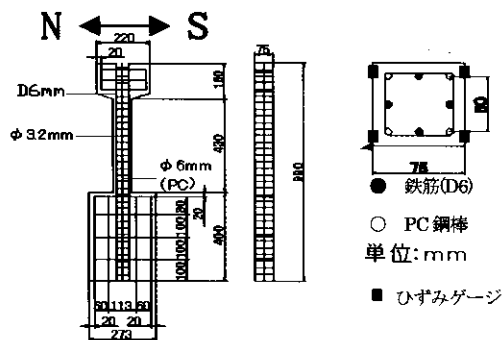


図 1 供試体寸法および配筋

表 4 供試体名及び帯鉄筋間隔

ピッチ mm	30	40	50
供試体名	PVH04-A1 PVH04-A2	PVH04-B1 PVH04-B2	PVH04-C1 PVH04-C2

2.3 プレストレスの導入方法

プレストレスの導入は, PC 鋼棒の両端をねじ切りし, 鉄板とナットを用いトルクレンチで締め導入する。TDS301 により, N 面と S 面の隅角部に近い両端に 1 枚ずつ合計 4 枚貼り付けたコンクリートゲージの平均値が所定の量 (206×10^6) に達するまで導入した。すなわち, 4 箇所のコンクリートゲージによるひずみの値が平均 200μ になるまで対角線上の対応するナットを締めて調整した。

2.4 実験方法および測定方法

載荷方法は水平・鉛直二軸方向同時加振とし, 兵庫県南部地震の最大地震加速度を 0.25/10, 0.5/10, 0.75/10, …… のように 0.25/10 きざみで増加させ, 柱が破壊するまで行う。

柱の挙動は, 柱頂部と振動台に取り付けた加速度計, 振動台の水平および上下の動きをレーザー変位計で, 図 1 に示す柱基部 4 箇所のコンクリートひずみは, ひずみゲージにより TDS301 を介して計測する。

また, 柱基部の中心の伸び量を小型変位計により記録する。

柱の挙動はビデオカメラでテープに記録した。図 2 に水平・鉛直振動台装置, 図 3 に兵庫県南部地震波形を示す。

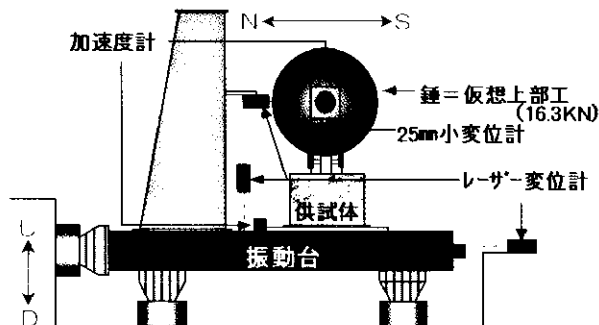


図 2 水平・鉛直振動台装

3. 実験結果

3.1 最大応答荷重～最大応答変位連絡線

図 4 に PVH04-A1 から PVH04-C2 の最大応答荷重～最大応答変位包絡線を示す。図 5 に同ピッチの供試体の最大応答荷重～最大応答変位を平均した包絡線を示す。横軸のプラス方向は S 側の値, マイナス方向は N 側の値を示す。図 5 より, 最大応答荷重と最大応答変位を比較すると PVH04-A, B, C とともに S 側の最大応答変位が N 側に比べ大きくなり, PVH04-A, PVH04-B, PVH04-C とともに柱頂部が S 側に傾いていることがわかる。加振倍率 0.25 倍の時点では, $A < B < C$ の順に最大応答変位は小さくなることがわかる。

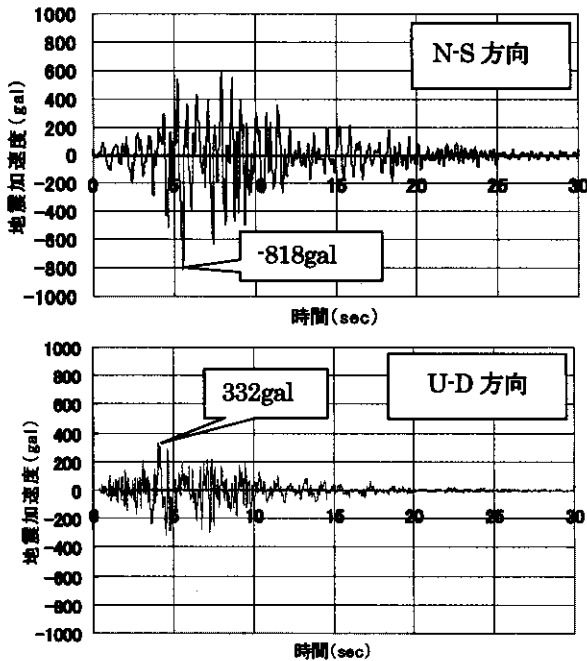


図3 兵庫県南部地震波形

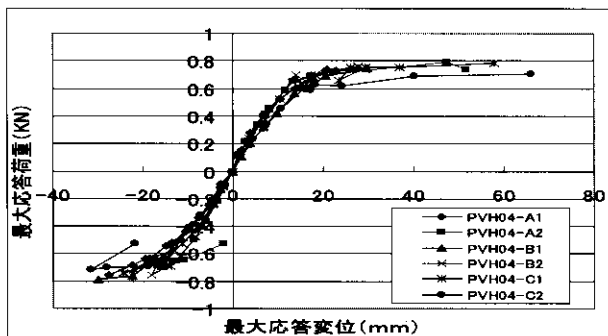


図4 最大荷重～最大応答変位包絡線

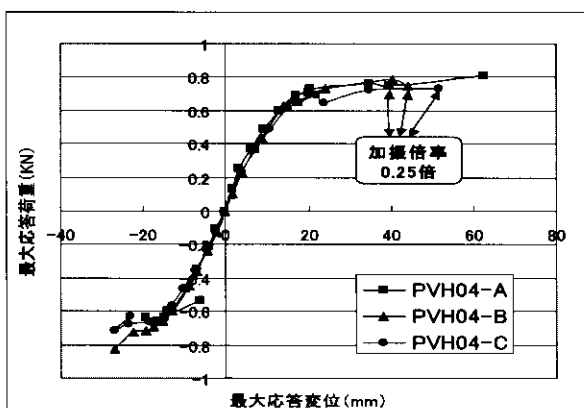


図5 最大荷重～最大応答変位包絡線(平均)

3.2 平均応答荷重～平均応答変位連絡線

図6にPVH04-A1からPVH04-C2の正負を平均した平均応答荷重～平均応答変位包絡線を示す。また、図7に同ピッチの供試体の平均応答荷重～平均応答変位を平均した包絡

線を示す。図6、7より、各供試体の平均応答荷重と平均応答変位を比較すると、最大応答荷重～最大応答変位と同様に加振倍率0.25倍の時点では、 $A < B < C$ の順に平均応答変位が小さいことがわかる。図7のグラフの傾きの変化より、部材が降伏し始めたのは加振倍率0.15倍のときであることがわかる。

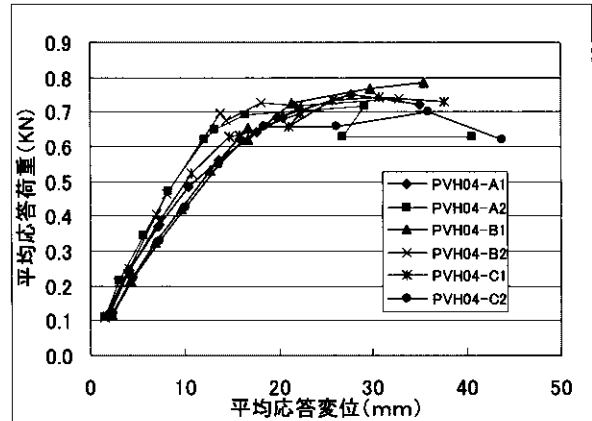


図6 平均荷重～平均応答変位包絡

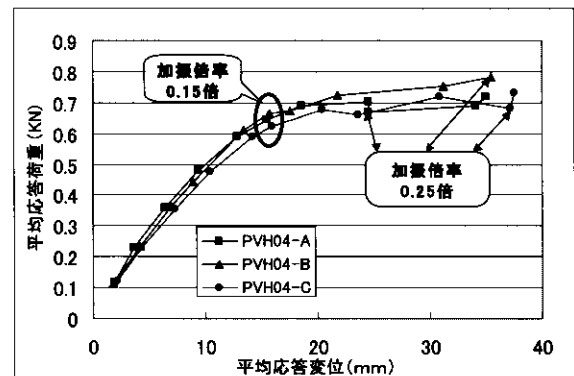


図7 平均荷重～平均応答変位包絡線(平均)

3.3 残留変位～加振倍率関係

(レーザー変位計による測定より)

図8と図9に錘の重心位置における水平方向の残留変位と加振倍率関係を示す。図9は、帯鉄筋量が同じ2供試体を平均して示したものである。図9より、PVH04-A, B, Cとも、加振倍率0.15倍で残留変位に増加が見られるという、ほぼ同じ挙動を示した。下図より、部材の降伏開始が加振倍率0.15倍であった結果から、変位が残り始めたこの加振倍率0.15倍が部材の降伏点であることが確認できた。

3.4 柱基部両面の伸び量

図10と図11にN面とS面に取り付けた小変位計で計測した柱基部両面の伸び量と加振倍率の関係を示す。横軸のプラス方向はS面の伸び量を示した時の加振倍率、マイナス方向はN面の伸び量を示した時の加振倍

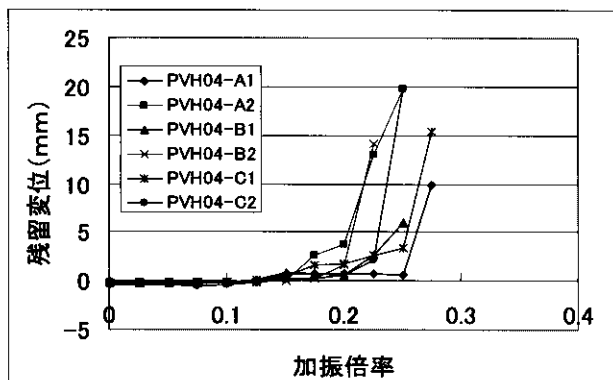


図8 残留変位～加振倍率関係

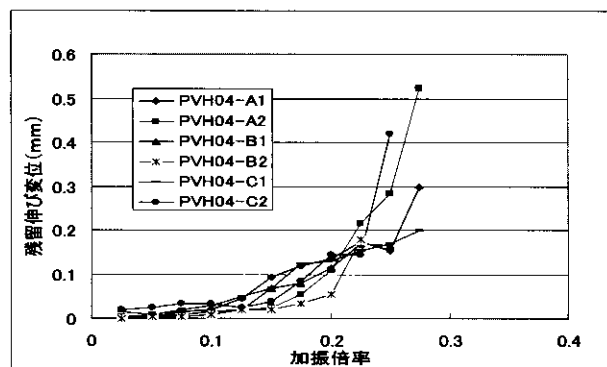


図12 柱基部の残留伸び変位～加振倍率関係

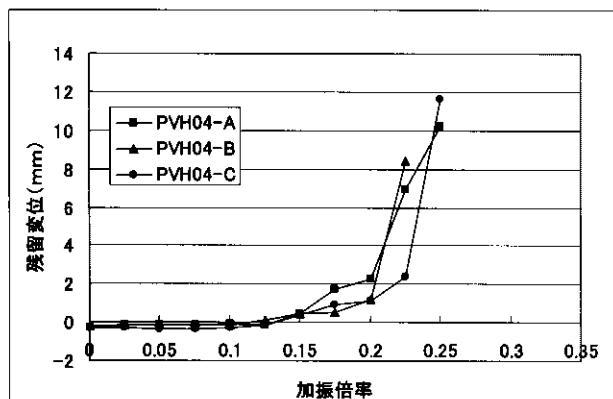


図9 平均残留変位～加振倍率関係

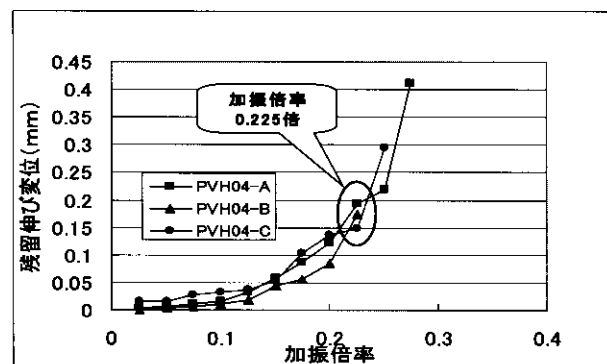


図13 柱基部の残留伸び変位～加振倍率関係(平均)

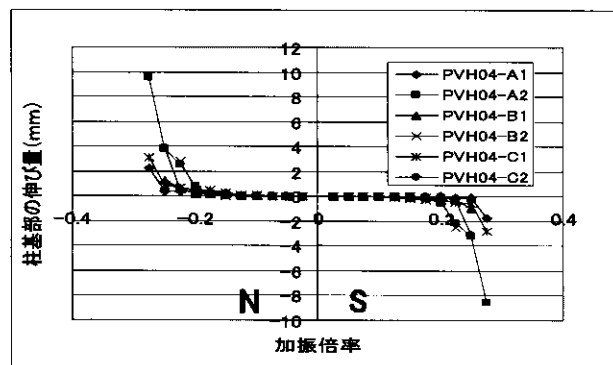


図10 柱基部の伸び量～加振倍率関係

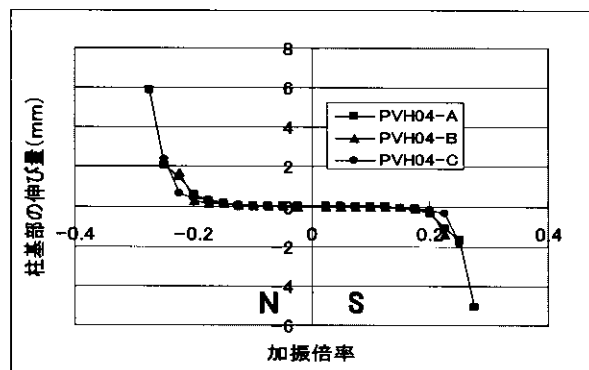


図11 柱基部の伸び量～加振倍率関係(平均)

率を示す。また、縦軸のプラス方向は伸び量を示し、マイナス方向は縮み量を示す。全ての供試体とも、加振倍率0.2倍を境にして柱基部の伸縮が確認でき、その後急激に増大した。これは、部材が降伏し柱基部に貫通ひび割れが発生し、さらに降伏がその部分に集中したためと考えられる。最も大きな伸び量を示したのは、帯鉄筋ピッチが小さい30mmのTypeA供試体であった。このことから、柱基部拘束鉄筋量が多い程大きな伸縮に耐えられることがわかった。

図12と図13は柱基部の中心位置での残留伸び変位と加振倍率関係を示したものである。図13より、加振倍率0.225倍を見るとPVH04-A>B>Cの順に変位が多く残っていることがわかる。以上より、拘束鉄筋量が多い程、柱中心の残留伸び変位が多いということが明らかとなった。

4. まとめ

- 1) 平均応答荷重～平均応答変位包絡線とレーザー変位計による水平方向の残留変位～加振倍率関係について結果を比較すると、横拘束鉄筋間隔が狭い程、柱頂部の揺れ(応答変位)が少なかったにも拘わらず頂部の水平残留変位は大きく現れた。この理由は、横拘束鉄筋量が増えることによって、柱基部にひび割れが入り

やすく、拘束鉄筋間隔が狭いため変形が基部に集中し残留変位が残りやすくなったためと考えられる。

- 2) 小変位計により計測した柱基部両面の伸び量と加振倍率関係から、柱基部拘束鉄筋量が多い程、大きな伸び量に耐えられることがわかった。また、柱基部の伸び量に対応して柱中心位置の伸びの残留量も柱基部拘束鉄筋量が多い程、多く残ることがわかった。これは、基部コンクリートが拘束されたことによると考えられる。
- 3) 柱基部の残留伸び変位～加振倍率関係より、加振段階が小さいときは、横拘束鉄筋間隔が狭い程、残留伸び変位が小さく、また、加振段階が大きいときは、横拘束鉄筋間隔が広い程、残留伸び変位が小さかった。このことより、基部残留伸び変位に関していえば、弱い揺れには狭い横拘束鉄筋間隔が適しており、強い揺れには広い横拘束鉄筋間隔が適していることがわかった。このように、適切な横拘束鉄筋量は、対応する地震の揺れの大きさに依存していることがわかった。

謝 辞

本研究は、平成 16 年度中部大学特別研究費および総合工学研究所第 5 部門による研究費により行ったものである。ここに深謝申し上げる。また、実験に当たっては、材料構造実験施設の水平・鉛直 2 軸同時地震波再現装置振動台を用いた。供試体作製は平成 16 年度平澤研究室所属の卒業研究生諸君の協力によった。

実験施設の管理者、水谷完治・岡田良夫両氏のご協力に厚い感謝を申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 平澤・秋山・大嶽・服部・吉田：水平および水平・鉛直同時加振を受けるプレスとレストコンクリート橋脚モデルの効果的な鉄筋配置に関する実験的研究，中部大学工学部紀要，第 40 巻，pp.35～38，2004 年 12 月