

水平および水平・鉛直同時加振を受けるプレスト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

平澤征夫*, 秋山芳幸**, 大嶽秀暢**, 服部真司***, 吉田 尊****

Experimental Study on the Effective Arrangement of the Model of Prestressed Concrete Pier subjected to the Horizontal Motion and Horizontal Vertical Motions

Ikuko HIRASAWA*, Yoshiyuki AKIYAMA**, Hidenobu OOTAKE**,
Sinji HATTORI*** and Takashi YOSHIDA****

(Received June 15, 2004)

The object of this study is to clarify the effects of seismic motion and the arrangement of pre-stressed bars. Two kinds of PC pier models are made that have different arrangements of PC bars, that is, Type A is arranged in four corners and Type B is arranged in the middle point of tied steels.

For seismic design condition, it is proposed that the type B arrangement is more effective than that of type A.

Keywords: Pre-stressed Concrete, Pier, Up and Down Motion, Seismic Wave, Residual Displacement, Energy Absorption

1. 緒 論

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、とく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を導入することが提案されている^{1,2,3)}。しかし、実際に動的試験が行われた例はまだない。

本研究では、主として PC 鋼材の配置位置が残留変位とエネルギー吸収性能に及ぼす影響を明らかにする目的で、PC 鋼棒の配置位置を 2 種類に変化させたプレストレスト橋脚モデルを作製し、振動台実験装置を用いて水平振動のみの場合と、水平および鉛直振動を同時に与えた場合の 2 種類の荷重方法による加振実験を実施する。その結果より、残留変位を減少させるのに有効な鋼棒の配置位置と方法を定めることを目的とする。

ング部から荷重点または錘の重心位置までの高さは RC 柱が 985mm、PC 柱が 1007mm である。PC 柱では PC 鋼棒 (C 種 $\phi 11\text{mm}$) を通すためシースを配置した。プレストレスの導入量は、中心軸圧縮耐力の約 20% (コンクリート応力度は平均で 6.34N/mm^2) である。

なお、本研究では、鋼棒とシースの間にグラウトは行っていない。

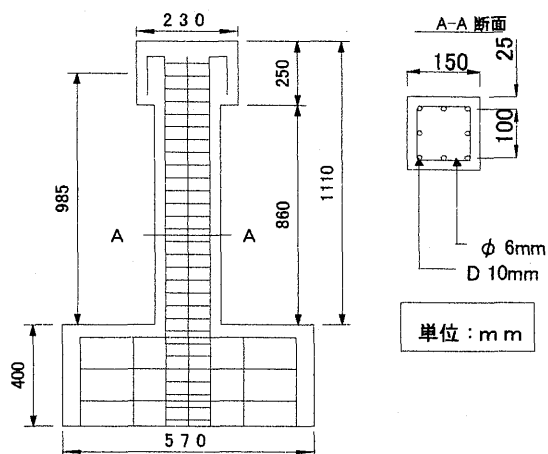


図 1 供試体寸法

2. 研究方法

2.1 供試体の形状・寸法

図 1 に基準とした RC 柱の断面寸法を示す。フーチ

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

**建設工学専攻大学院学生

(Graduate Student, Constructional Engineering)

***土屋組 (Tsujiya Construction Co., Ltd.)

****旭コンクリート工業 (Asahi Concrete Co., Ltd.)

2.2 供試体および実験計画

供試体の要因として、断面は図 1 に示すように、基準 RC 断面を基準（寸法は図 1 参照）とし、PC 鋼棒の配置位置を図 2 の残りの 2 種類とする。すなわち、Type-A は 4 隅角部に PC 鋼棒を配置したもの、Type-B は隅角部でない 4 つの中間部に十字型に配置したものである。表 1 に実験計画を示す。供試体名は水平加振のみを受けるものを PH03、水平・鉛直同時加振を受けるものを PVH03 とした。

表 1 実験計画

シリーズ名	加振方法	PC 鋼棒配置
PH03-A	水平加振	Type -A
PVH03-A	水平・鉛直二軸加振	Type -A
PH03-B	水平加振	Type -B
PVH03-B1	水平・鉛直二軸加振	Type -B

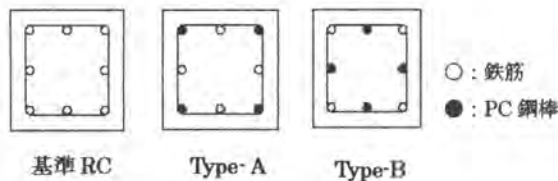


図 2 供試体形状寸法

2.3 プレストレスの導入

センターホールジャッキを用いて 4 本の PC 鋼棒を同時に緊張した。導入量は 4 本の PC 鋼棒に 1 枚づつ貼り付けたひずみゲージの値が予め計算しておいた所定の量に達するまで 3 回繰り返し導入した。目標とした導入量は、中心軸圧縮耐力に対する比が 0.2 となるようにした。表 2 にプレストレス導入量の計算値と実際の導入量を示す。

2.4 実験および計測方法

加振方法は、水平のみ、あるいは水平・鉛直同時加振とし、兵庫県南部地震の最大地震加速度を 0.5/10、1/10、1.5/10、・・・10/10 倍した地震加速度で供試体または実験装置の許容変位まで行う。

図 3 に供試体の振動台への取り付け状況を示す。また振動台への入力波形を図 4 に示す。柱の挙動は、柱頂部と振動台上面に取り付けた 3 軸加速度計、振動台の水平および上下の動きはレーザ変位計で、鉄筋ひず

みは動ひずみ計で計測した。また、加振後の柱基部の抜け出し量は小型変位計で計測した。

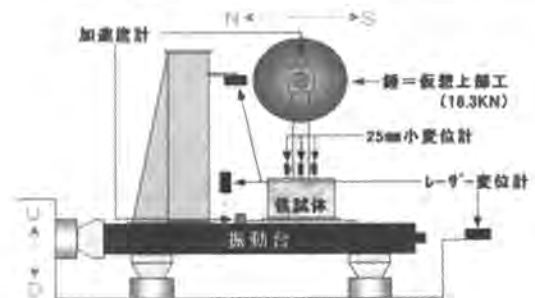


図 3 水平・鉛直振動台装置

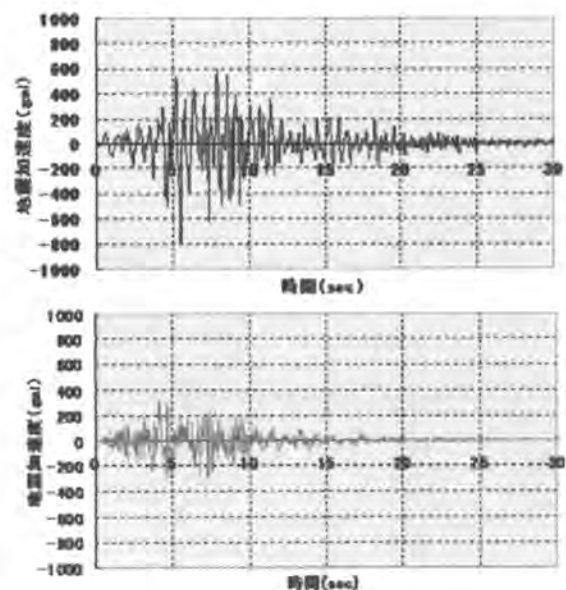


図 4 兵庫県南部地震波形

3. 実験結果

3.1 最大応答荷重～最大応答変位包絡線

図 5 に 4 体の PC 供試体の最大応答荷重～最大応答変位包絡線を示す。この図からは Type-A と Type-B の違いが明確でないで、図 6 のように応答荷重、応答変位ともに絶対値をとってその平均値で示すと両者の違いが明らかとなる。この結果、PH03-A と PVH03-A の包絡線は、ほぼ同じ傾きを示している。また、PH03-B と PVH03-B の包絡線もほぼ同じ傾きを示していることが分かる。Type-A と Type-B の結果を比較すれば、同一応答変位に対する応答荷重は Type-B の方が大きいことが分かる。さらに、この結果から、包絡線の傾きには、加振方法の違いによる影響は見られないことが明らかとなった。

表2 供試体およびプレストレス導入量

供試体名	計算値(kN)	実際の導入量(kN)
PH03-A	141(6.3N/mm ²)	143(6.3N/mm ²)
PH03-B	131(5.8N/mm ²)	140(6.2N/mm ²)
PVH03-A	131(5.8N/mm ²)	138(6.1N/mm ²)
PVH03-B1	141(6.3N/mm ²)	150(6.7N/mm ²)

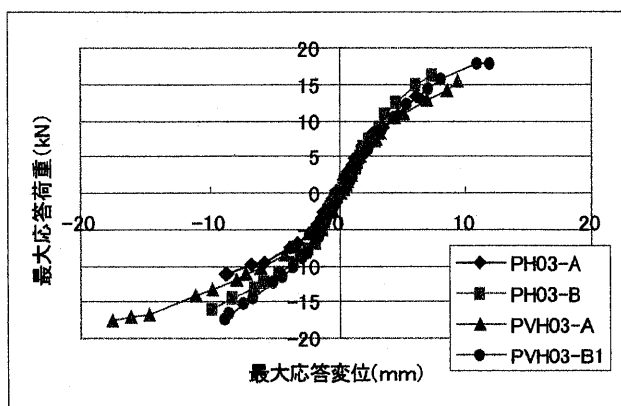


図5 最大応答荷重～最大応答変位包絡線

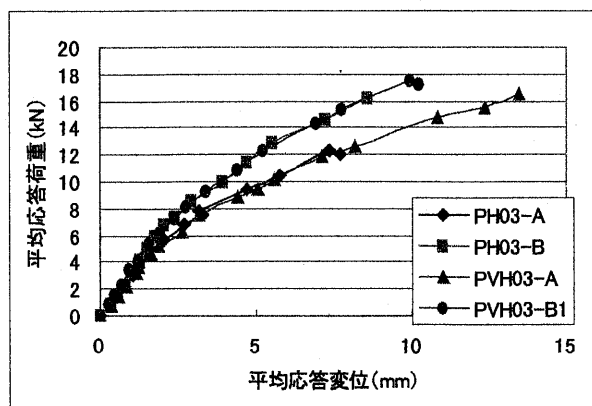


図6 平均応答荷重～平均応答変位包絡線

3.2 残留変位～加振倍率関係の結果と考察

図7に残留変位と加振倍率の増加に従って残留変位が増加する様子を示す。この図より、軸方向鉄筋が降

伏し残留変位が認められる段階の加振倍率に相当する 7/10 倍で加振方法の違いと PC 鋼棒配置位置の違いを比較する。この図より水平加振のみの場合 (PH シリーズ) と水平・鉛直同時加振の場合 (PVH シリーズ) では残留変位の大きさに差が見られ、水平加振のみの場合よりも水平・鉛直同時加振を受けた場合の方が残留変位が大きくなることが明らかとなった。また、PC 鋼棒の配置位置が異なる Type-A と Type-B を比較すると、Type-A よりも Type-B の方が残留変位が小さいことも明らかとなった。以上より、鋼棒の配置位置は Type-A よりも Type-B の方が残留変位を少なく抑える効果が大きいことが明らかとなった。

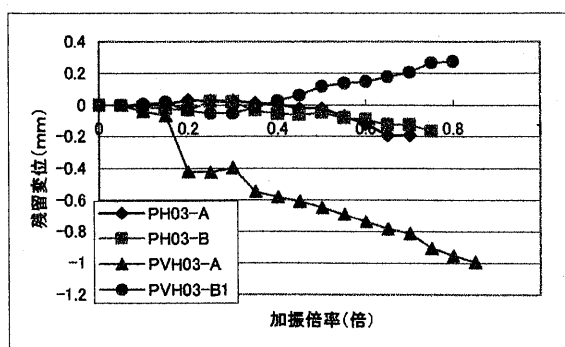


図7 残留変位～加振倍率関係

3.3 エネルギー吸収性能の結果と考察

表 3 は加振倍率の増加に伴って増加するエネルギー吸収能の変化の様子から求めたエネルギー吸収能のうち、水平のみの場合は 0.65 倍、水平・鉛直の場合は 0.7 倍の時の値を示す。ここで示したエネルギー吸収能は、図 6 の平均応答荷重～平均応答変位包絡線が下側に囲む面積と定義して求めたものである。

PC 鋼棒の配置位置の違いの影響を、加振方法別に比較する。まず、水平方向加振のみの場合について比較すると、加速度倍率 6.5/10 では、Type-A の方が Type-B よりもエネルギー吸収能が高いことが明らかとなった。つぎに、水平・鉛直同時加振で Type-A と Type-B を比較すると、両者の差が現れる加振倍率 7/10 で比較すると、Type-B の方がエネルギー吸収能が高いことが明らかとなった。

このように加振方法の違いにより、エネルギー吸収能が高くなる有効な PC 鋼棒の配置が異なる理由としては、載荷方法による柱基部への力の作用が異なることが影響していると考えられる。すなわち、水平振動のみが作用する場合は柱基部には大きな水平せん断力が作用するので、そのせん断力に高い抵抗力を発揮するのは隅角部に配置された PC 鋼棒による軸圧縮力によるせん断抵抗であると考えられる。

一方、水平・鉛直同時加振を受けた場合は、柱基部は、せん断力と同時に変動する軸方向力が作用するた

め、4 隅角部にある鉄筋がエネルギー吸収に寄与していると考えることができる。

表3 エネルギー吸収量

供試体名	エネルギー吸収量 (kN・mm)
PH03-A	55.2 (6.5/10倍)
PH03-B	40.7 (6.5/10倍)
PVH03-A	63.6 (7.0/10倍)
PVH03-B1	72.0 (7.0/10倍)

4. ま と め

本研究では、RC 橋脚の耐震性を高め、とくに残留変位を小さく抑えるため、軸方向にプレストレスを導入する方法について、PC 鋼棒の適切な配置位置について実験的に検討した。実験の要因は PC 鋼棒の配置位置を 2 種類、載荷方法は、振動台により、水平のみの場合と水平・鉛直同時載荷の場合の 2 種類の動的載荷である。

本実験の範囲で得られた結論をまとめると以下のようになる。

- (1) 残留変位に関しては、加振方法の違いによらず、Type-A よりも Type-B の PC 鋼棒配置位置の方が残留変位を小さく抑える効果が高い。
- (2) エネルギー吸収性能に関しては、加振方法の影響を受ける。水平加振のみの場合は、Type-B よりも Type-A の方がエネルギー吸収性能が高いことが明らかになった。一方、水平・鉛直同時加振の場合は、Type-A よりも Type-B の方がエネルギー吸収能が高くなった。
- (3) 実験終了後の供試体のひび割れ、基部の圧壊や剥落、抜け出しなどは確認されなかった。また柱の見た目の傾きや、明らかな損傷は確認されなかったのので、実際の地震被災後の供用性に問題はないと考えられる。

- (4) 残留変位とエネルギー吸収能から判断する限り、水平・鉛直同時加振を受ける柱の耐震性を増加させる目的で軸方向にプレストレスを導入して補強するには、Type-B のように PC 鋼棒を配置するのが効果的であることが判明した。

5. 謝 辞

本研究は、平成 15 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。供試体作成は平成 15 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・岡田の両氏のご協力にも厚い感謝を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 家村・高橋・曾我部 “アンボンド芯材を利用した高耐震性能 RC 構造の開発”, 土木学会論文集 No. 710/I-60, 283-296, 2003.
- 2) 日紫喜・須田 “PC 橋脚の耐震設計の動向”, プレストレストコンクリート Vol. 44, No. 6, Nov. 2002.
- 3) 朴・山口・池田 “PC 鋼材の緊張レベルを考慮した PC 橋脚の耐震性能と耐震設計に関する基礎的研究”, プレストレストコンクリート Vol. 43, No. 2, Mar. 2001.