

鉄筋コンクリート橋脚モデルの水平・鉛直二軸同時加振による動的損傷防止のための補強方法

大嶽 秀暢*, 秋山 芳幸*, 平澤 征夫**, 森本 恵三***, 山下 正樹****

Reinforcing Method of the RC Pier Model subjected to Horizontal and Vertical Direction Tests

Hidenobu OOTAKE*, Yoshiyuki AKIYAMA*, Ikuro HIRASAWA**
Keizou MORIMOTO*** and Masaki YAMASHITA****

(Received June 15, 2004)

The object of this study is to clarify the effects of seismic motion and the reinforcement methods. Two kind of reinforcement specimens were tested: one is reinforced by the spiral steel and the other is reinforced by the steel pipe arranged in the center of the section.

Test results show that the specimen reinforced by the steel pipe is more effective than that by the spiral steel reinforcement for seismic damage.

Keywords: RC Pier Model, Up and Down motion, Damage, Seismic Design Retrofit

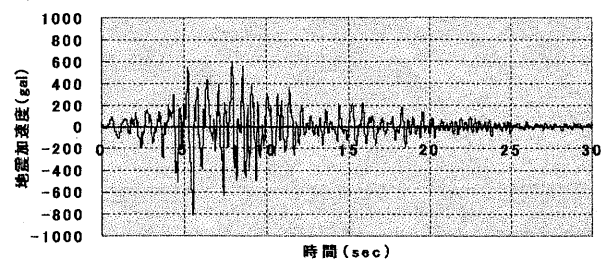
1. はじめに

兵庫県南部地震発生後より、RC 構造物における耐震設計が大きく見直されており、鋼板補強や炭素繊維シートによる補強、アラミド繊維シートによる補強などの様々な耐震対策が積極的に行われている。そこで本研究では、効果的な補強方法を考え、補強方法を変化させた RC 橋脚の供試体を用いて、振動台による水平・鉛直二軸同時加振実験を行う。その結果から、兵庫県南部地震における RC 橋脚の動的挙動を明らかにし、補強方法の違いにより、どの程度動的損傷を抑えることができるかを明らかにすることを目的とする。本研究での「補強」とは、「耐力向上」を意味する。また、本年度より兵庫県南部地震後の平成 14 年度改訂道路橋示方書(V耐震設計編)に基づき、帯鉄筋間隔を 75mm(横拘束筋比の上限値を 1.8%)とし、拘束による動的損傷度の違いについても明確化することを目的とする。

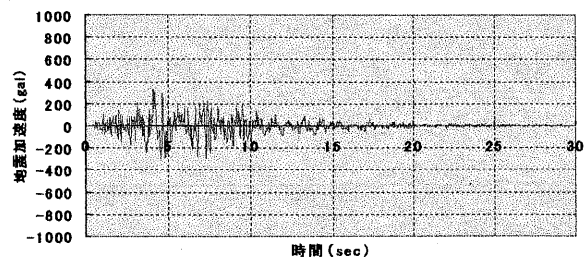
2. 研究方法

図 1 に兵庫県南部地震波形を示す。供試体名と加振方法を表 1 に示す。補強方法は帯鉄筋間隔 75mm の供試

体を RC1-75、帯鉄筋間隔 75mm にらせん鉄筋を中心配置した RC2-75-SP、帯鉄筋間隔 75mm に鋼管(外径 60.5mm 厚さ 2.3mm)を中心配置した RC3-75-CS、鋼管(外径 101.6mm 厚さ 3.2mm)にコンクリートを打設した RC4-S の 4 種類とした。図 2 に補強方法を示す。



(a) N-S 方向



(b) U-D 方向

図 1 兵庫県南部地震波形

*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)

***清水建設 (Shimizu Construction Co., Ltd.)

****山田商会 (Yamada Shoukai Co., Ltd.)

表1 実験計画

供試体名	加振方法	供試体数
RC1-75	水平・鉛直同時加振	1
RC2-75-SP		1
RC3-75-CS		1
RC4-S		1



RC2-75-SP(らせん鉄筋配置)



RC3-75-CS(鋼管配置)



RC4-S(充填鋼管柱)



図2 供試体の補強方法

2.1 供試体形状及び寸法

供試体の形状寸法を図3に示す。フーチング部からの高さは、1110mm(載荷点又は錘の重心位置まで985mm)、軸方向鉄筋にはD10mm(8本)を、帯鉄筋にはφ6mmを75mmピッチで使用した。また、N面とS面の柱基部にコンクリートゲージを各2枚ずつ計4枚貼り付けた(柱基部面から50mm、側面から20mmの位置)。また主鉄筋と鋼管には、鉄筋用ゲージ(ゲージ長2mm)を添付した。

実験時のコンクリートシリンダー供試体圧縮強度は、43.3~54.7N/mm²であり、ヤング係数は、25.0~38.7kN/mm²であった。使用鉄筋(D10mm)の降伏点応力度は392.7~399.7N/mm²であり、ヤング係数は188~223kN/mm²であった。

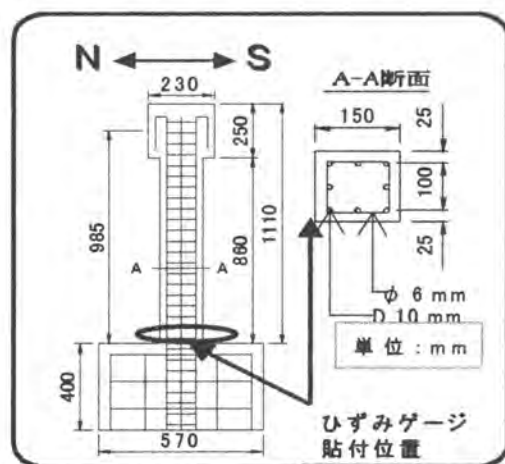


図3 供試体形状寸法

2.2 載荷方法

載荷方法は水平・鉛直同時加振とし、兵庫県南部地震波形(神戸海洋気象台観測M7.2)の最大地震加速度を0.5/10、1.0/10、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4に水平・鉛直振動台装置および計測器の配置を示す。供試体と振動台の示す動きは、それぞれに取り付けた加速度計、レーザー変位計によって計測した。鉄筋ひずみは、DL750 スコープコーダと動ひずみ計、TDS-601(コンクリートゲージのひずみ及び柱基部の変位を小変位計(検長25mm))にて計測した。

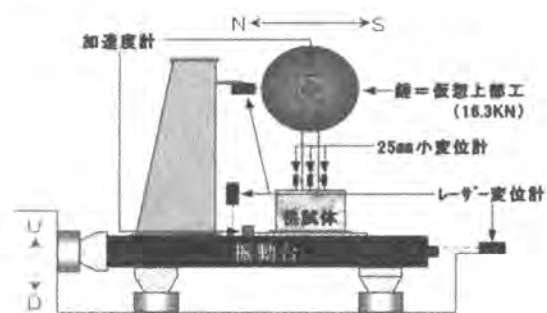


図4 水平・鉛直振動台装置

3 結果と考察

3.1 応答荷重～応答変位包絡線

図5にそれぞれの供試体の最大応答荷重～最大応答変位包絡線を示す。図5では、最大応答変位のプラス側とマイナス側で差が見られ供試体による違いが明らかでない。そのため、図6にプラス方向、マイナス方向の応答荷重と応答変位をそ

れぞれ平均した平均応答荷重～平均応答変位包絡線を示す。さらに表2は、それぞれの供試体の最大応答荷重～最大応答変位結果を示した。図6よりRC1-75とそれぞれの包絡線と比較すると、RC2-75-SPは加振倍率6.5/10倍まではあまり大きな違いが見られなかったが、加振倍率7.0/10倍にかけて応答変位が増大した。また、実験終了時の加振倍率8.0/10倍で応答荷重が急激に減少した。これは補強のためにらせん鉄筋を柱部材断面中に配置したことで横拘束筋比が示方書の上限值1.8%を超え、塑性ヒンジ領域が小さくなり、弾性的傾向が弱くなったと考えられる。次にRC1-75とRC3-75-CSでひび割れ点に到達した点を比較すると、RC1-75は加振倍率0.5/10倍で、RC3-75-CSは加振倍率4.5/10倍と大きな違いが見られた。さらに加振倍率4.0/10倍を超えると応答荷重の差が大きく開き始め、加振倍率7.0/10倍での応答荷重は30%程度高く、応答変位は40%程度低いことがわかる。このように鋼管を中心に配置することにより弾性的傾向が強くなったと考えられる。RC1-75とRC4-Sで包絡線の開きを比較すると、ひび割れ点を超えたあたりから開き始めているが、加振倍率7.0/10倍の段階ではあまり大きな違いが見られなかった。

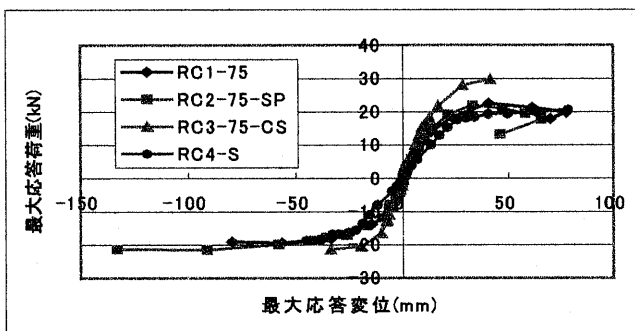


図5 最大応答荷重～最大応答変位包絡線

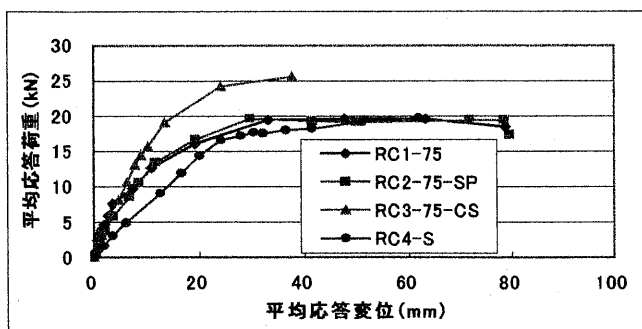


図6 平均応答荷重～平均応答変位包絡線

3.2 残留変位～加振倍率関

図7に錘の重心位置の水平方向の残留変位と、加振倍率との関係を示す。縦軸のマイナス方向はS側、プラス方向はN

側の残留変位量を示す。この残留変位は、載荷前と載荷後の柱頂部の水平変位量の差とした。RC1-75は加振倍率5.0/10倍～7.0/10倍でS側の鉄筋が降伏し塑性変形が蓄積したことでいったんN側に残留変位が生じ、次の7.5/10倍の加振によりN側の鉄筋がS側の鉄筋より大きな塑性変形を生じたことにより加振倍率7.5/10倍でS側に残留変位が生じたと考えられる。同様の理由によりRC2-75-SPでは加振倍率7.5/10倍～8.0/10倍にかけて残留変位が急激に増加した。さらにRC2-75-SPの7.5/10倍～8.0/10倍でS側の残留変位が大きくなった理由は他の供試体に比べ柱基部のコンクリートのN、S面に圧壊が生じ、S面の柱基部に剥離が生じたからであると考えられる。RC3-75-CSとRC4-Sの残留変位は載荷の終局点までは、N側のみに残留変位が片寄っている。これら2つの供試体は鋼管で補強した柱であり、この終局点7.0/10倍での応答変位は、鉄筋コンクリートの柱であるRC1-75とRC2-75-SPの応答変位よりも少なかったためである。

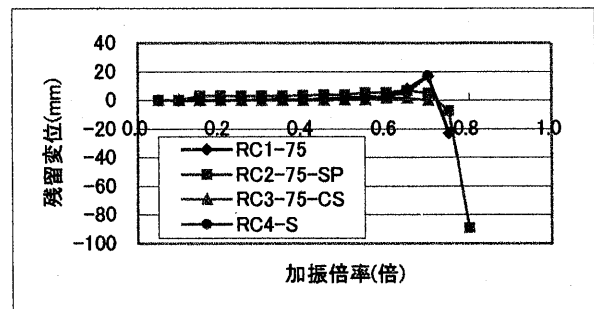


図7 残留変位～加振倍率関係図

3.3 柱基部の伸び量～加振倍率関係

図8は各加振後の柱基部のフーチング表面から10cmの間で計測した伸び量とそのときの加振倍率との関係を示したものである。この伸び量には、主鉄筋の伸び出しによる変形量も含まれている。X軸のプラス方向をN側の伸び量、マイナス方向はS側の伸び量を示す。RC1-75、RC2-75-SP、RC4-Sは加振倍率3.5/10倍、RC3-75-CSは加振倍率6.0/10倍で柱基部の伸びが確認でき、その後徐々に伸び量は増加した。RC1-75、RC2-75-SPの伸び量は加振倍率7.0/10倍から急激に増加し、RC2-75-SPは他の供試体に比べ大きな伸びが計測された。これは、柱基部のコンクリートの圧壊、剥離とともに伸び量が急激に増大したためと考えられる。同一加振倍率で比較するとRC3-75-CSの伸び量が小さいことが確認できる。これは鋼管にコンクリートを充填することにより水平耐力及び弾性性能が向上し、基部の伸びが低く抑えられたと考えられる。図9に実験終了時の供試体柱基部の損傷状況を示す。

表2 最大応答荷重～最大応答変位結果表

供試体名		ひび割れ点	降伏点	部材降伏点 ^{*1)}	最大荷重点	終局点
RC1-75	応答荷重(kN)	0.721(0.5/10)			22.8(6.0/10)	17.9(7.5/10)
	応答変位(mm)	0.074(0.5/10)			40.9(6.0/10)	70.0(7.5/10)
RC2-75-SP	応答荷重(kN)	3.61(2.5/10)			22.2(5.5/10)	13.2(8.0/10)
	応答変位(mm)	1.84(2.5/10)			33.0(5.5/10)	46.2(8.0/10)
RC3-75-CS	応答荷重(kN)	15.4(4.5/10)	21.7(6.0/10)	28.0(6.5/10)	29.9(7.0/10)	29.9(7.0/10)
	応答変位(mm)	8.90(4.5/10)	16.8(6.0/10)	28.2(6.5/10)	41.5(7.0/10)	41.5(7.0/10)
RC4-C	応答荷重(kN)	3.80(1.0/10)	18.6(4.5/10)	19.3(5.5/10)	20.8(7.0/10)	20.8(7.0/10)
	応答変位(mm)	4.01(1.0/10)	32.0(4.5/10)	40.4(5.5/10)	78.5(7.0/10)	78.5(7.0/10)

*1) 部材降伏点とは、包絡線においてもっとも曲率が増加した直前の点と定義する。

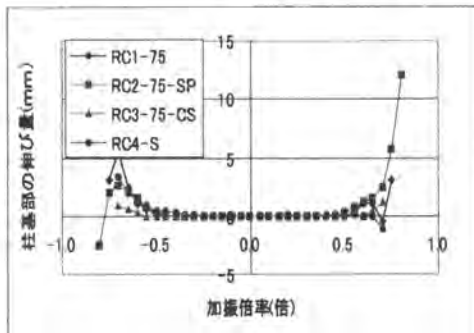


図8 柱基部の伸び量～加振倍率関係図

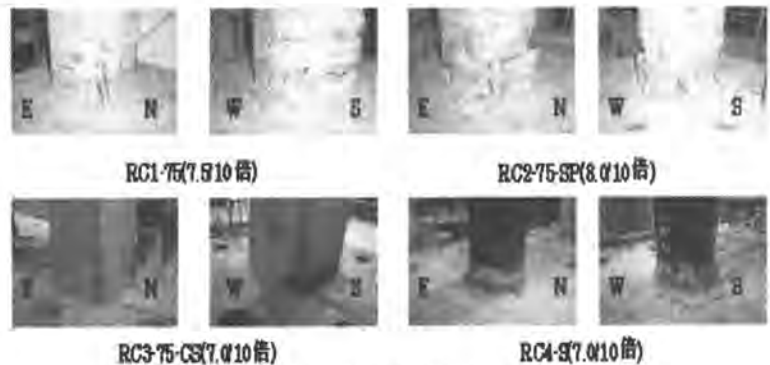


図9 実験終了時の供試体柱基部の損傷状況

4. まとめ

本研究では、兵庫県南部地震の水平および上下動加速度波形を用いて、水平・鉛直二軸同時加振実験を行い、補強方法の違いによる部材の損傷状態や損傷過程の違いを比較した。結果をまとめると以下になる。

- (1) 補強方法の違いが柱損傷に与える影響は、平均応答荷重～平均応答変位包絡線より比較すると、RC1-75とRC2-75-SPでは最大荷重到達後以降荷重が低下し、RC3-75-CSとRC4-Sでは最大荷重到達後も荷重を保持した。このことより、RC3-75-CSとRC4-SはRC1-75とRC2-75-SPよりも弾性的傾向が強いことがわかった。
- (2) 供試体柱基部の損傷状況は、RC1-75は加振倍率6.5/10倍でN-E側のコンクリートが圧壊、7.5/10倍(終局点)で剥離した。RC2-75-SPは加振倍率7.0/10倍でN、S両側が圧壊、8.0/10倍(終局点)で剥離した。RC3-75-CSは圧壊、剥離がまったく見られなかった。RC4-Sは柱部とフーチング部との間でひび割れが生じたが、局部座屈や縦割れは生じなかった。これは鋼管にコンクリートを充填したことにより鋼管の座屈や縦割れを防ぐことができたと考えられる。
- (3) 残留変位～加振倍率関係より、RC1-75は加振倍率5.0/10倍～7.0/10倍でS側の鉄筋が降伏し塑性変形が蓄積したことでいったんN側に残留変位が生じ、次の7.5/10倍の加振によりN側の鉄筋がS側の鉄筋より大きな塑性変形をしたために加振倍率7.5/10倍でS側に残留変位が生じたと考えられる。

- 同様の理由によりRC2-75-SPでは加振倍率7.5/10倍～8.0/10倍で残留変位が急激に増加した。RC2-75-SPの7.5/10倍～8.0/10倍でS側の残留変位が大きくなった理由は他の供試体に比べ柱基部のコンクリートのN、S面に圧壊が生じ、S面の柱基部に剥離が生じたからであると考えられる。RC3-75-CSとRC4-Sの残留変位はN側のみに残留変位が片寄っている。これら2つの供試体は鋼管で補強した柱であり、この終局点7.0/10倍での応答変位は、鉄筋コンクリートの柱であるRC1-75とRC2-75-SPの応答変位よりも少なかったためである。
- (4) 柱基部の伸び量～加振倍率関係より、RC1-75、RC2-75-SP、RC4-Sは加振倍率3.5/10倍、RC3-75-CSは加振倍率6.0/10倍で柱基部の伸びが確認でき、その後徐々に伸び量は増加した。RC1-75、RC2-75-SPの伸び量は加振倍率7.0/10倍から急激に増加し、RC2-75-SPは他の供試体に比べ大きな伸びが計測された。これは、柱基部のコンクリートの圧壊、剥離とともに伸び量が急激に増大したと考えられる。同加振倍率で比較するとRC3-75-CSの伸び量が小さいことが確認できる。これは鋼管にコンクリートを充填することにより水平耐力が向上し、またこれを中央部に配置したことにより柱の弾性的性質も向上し、変形が小さく保たれたと考えられる。そのため柱基部の伸びが低く抑えられたと考えられる。

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) 土木学会編：「コンクリート標準示方書（耐震性能照査編）」，土木学会
- 2) 土木学会編：「コンクリート標準示方書（設計編）」，平成8年，土木学会
- 3) 社団法人日本道路協会：「道路橋示方書・同解説（V 耐震設計編）」，平成14年改訂
- 4) 岡田清、伊藤和幸、不和昭、平澤征夫：「[新版]鉄筋コンクリート工学」，1997年