

138. CFRP により耐震補強された RC 柱の ハイブリッド実験解析

HYBRID TESTS OF RC-COLUMNS STRENGTHENED BY CFRP TO RESIST EARTHQUAKES

武蔵工業大学工学部
(株)奈良建設土木技術研究所

皆川 勝 小玉克巳 佐藤安雄
佐藤貢一

Masaru MINAGAWA *¹ Koichi SATOH *²
Katsumi KODAMA *¹ and Yasuo SATOH *¹

[KEY WORDS] Earthquake Resistance, CFRP Reinforcement, RC-Columns,
Hybrid Experiments.

[ABSTRACT] In this study, we investigated seismic behavior of RC columns strengthened using CFRP and polimar mortar. RC columns were strengthened by either CFRP bars or steel bars. We carried out pseudo-dynamic experiments using an unstrengthened specimen and some strengthened specimens.

Conclusions obtained here are as follows.

- (1) CFRP and polimar mortar can be used as strengthening material.
- (2) Specimens strengthened by CFRP were tougher than those strengthened by steel bars.
- (3) Maximum displacement amplitude can be one of some parameters available to evaluate degree of deterioration of RC specimens.

*1 Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Musashi Institute of Technology

*2 Nara Construction Company Ltd., Central Research Laboratory.

1. はじめに

昭和61年版・土木学会「コンクリート標準示方書」に限界状態設計法にもとずいた耐震設計法が規定され、さらに、同示方書平成3年版によって、これからの構造物には、従来の設計方法とは異なった耐震に関する検討を加え、従来の構造物には耐震補強をする必要性がでてきた。RC柱の耐震性能に関する基本的な研究としては、池田らによる仮動的実験による検討¹⁾、川島らによる静的加力実験による検討²⁾などがある。また、従来、橋梁のRC橋脚の鉄筋段落し部での損傷の危惧がなされていた³⁾・⁴⁾が、釧路地震においてそれが現実のものとなり、既存構造物の補強が緊急の課題となっており、補強方法として、鋼板接着³⁾やRC巻きたて⁴⁾等の一般的な方法のほか、炭素繊維巻きたて⁵⁾などが検討されている。一方、著者の佐藤・小玉は、炭素繊維強化プラスチック(CFRP)を補強材として用いた、ポリマーモルタルによるRC部材補強の有効性を検討し⁶⁾、この実績に基づいて日本道路公団は実橋のRC床版の補強にこれを適用し、さらに、補強効果に関する追跡調査を実施した⁷⁾。この実績を踏まえ、本研究ではRC柱を同様の方法で補強し、これに死荷重を想定した軸方向荷重を載荷し、横方向に地震を想定した荷重を載荷する二方

向外力場におけるハイブリッド実験を行い、地震時のRC柱の変位一復元力特性の面から補強効果を調べた。

Table1 Detail of specimen.

Specimen No.	Method of strengthening	Axial steel ratio (%)		Lateral tie	Lateral tie ratio (%)		Depth of fixing (mm)
		before supplementary strengthening	after supplementary strengthening		before supplementary strengthening	after supplementary strengthening	
No.1		0.95	0.95	D6	0.235	0.235	
No.2	D13	0.95	2.08	D10	0.235	0.469	80
No.3	CFRP	0.95	1.90	D10	0.235	0.473	80
No.4	CFRP	0.95	1.90	D6	0.235	0.473	80

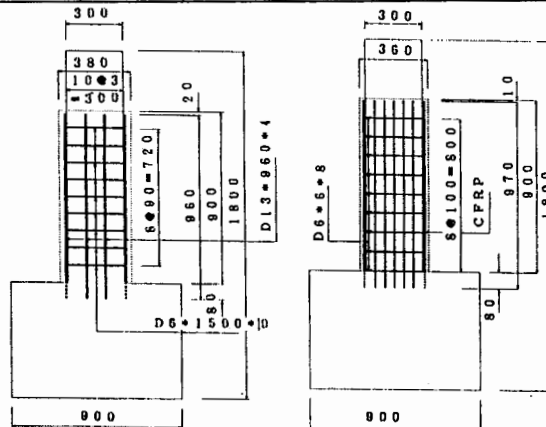
2. 実験概要

2.1 無補強供試体

はじめに、無補強供試体を4体作成した。使用したコンクリートの材令28日における圧縮強度は、275kgf/cm²あった。Table.1に供試体一覧、Fig.1に形状を示す。鉄筋の材質はすべてSD30とした。軸方向鉄筋としてはD10鉄筋を12本使用し、また、帯鉄筋は供試体No.1, No.4ではD6鉄筋を9cm間隔で配筋し、供試体No.2, No.3では、D10鉄筋を20cm間隔で配筋した。これらの帯鉄筋比はほぼ同じである。したがって、供試体No.3とNo.4の比較により、帯鉄筋の配筋方法の違いによる影響が把握されることから、間接的ではあるが無補強、鉄筋補強、CFRP補強の3者を比較することができる考えた。

2.2 供試体の補強

4体のうち、No.2についてはD13鉄筋を各面



(a) Strengthening by D13 (b) Strengthening by CFRP
Fig.1 Configuration of specimens

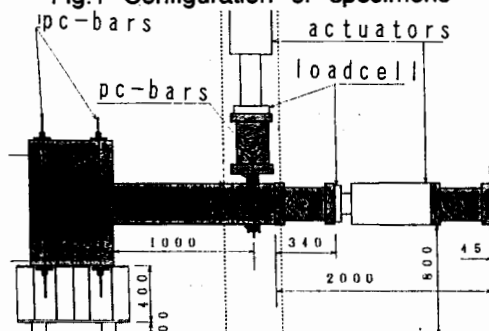


Fig.2 Loading setup.

2本ずつ計8本を、No.3およびNo.4についてはCFRPを格子状にあらかじめ加工したものを、補強材としてそれぞれ用いた。はじめに、無補強供試体に補強筋（鉄筋またはCFRP）を配置した。この際、フーチング基部に深さ約8cmのドリル孔をあけ、補強筋を差し込んだ後、これを後述のポリマーモルタルで固着した。次に、補強材とRC柱を一体化するために、アンカーボルトを柱上部に8本打ち込んだ。

その後、白セメントとケイ砂からなるエマルジョンとコンパウンドを1:8の割合で練り混ぜてポリマーモルタルを作成し、これを打設した⁹⁾。ポリマーモルタルの厚さは鉄筋補強供試体では4cm、CFRP補強供試体では3cmとした。補強後、材令7日をもって載荷試験を行った。載荷方法は定軸力下でのハイブリッド実験である⁹⁾。軸方向、及び横方向荷重は、Fig.2に示すように載荷した。軸方向の荷重は、死荷重を想定し設計軸方向耐力の6%に相当する9.3tを載荷した。横方向は、供試体をせん断型1自由度系と仮定し、低層の鉄筋コンクリート構造を想定して初期の固有周期を0.4sec、減衰定数を0.05とした。また、1自由度系換算質量は初期剛性と固有周期から算出した。入力地震波としては、Fig.3に示すエルセントロ波のNS成分の強震時8秒の波形を用いた。最大加速度は1,5,10,25,50,75,100及び125galと順次増大させた。この場合、載荷方向を変えないと永久変形が一方に偏って蓄積すると予想されるが、これは現実的な現象ではないと考え、各載荷レベルで載荷方向（上、下）を変えて実験を行った。

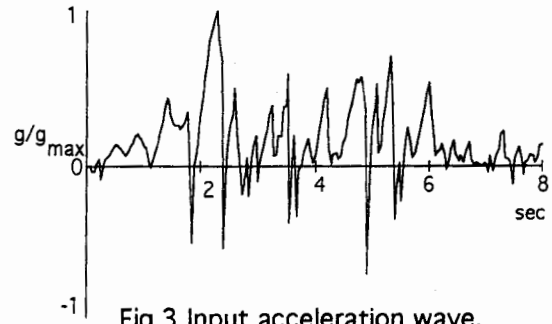


Fig.3 Input acceleration wave.

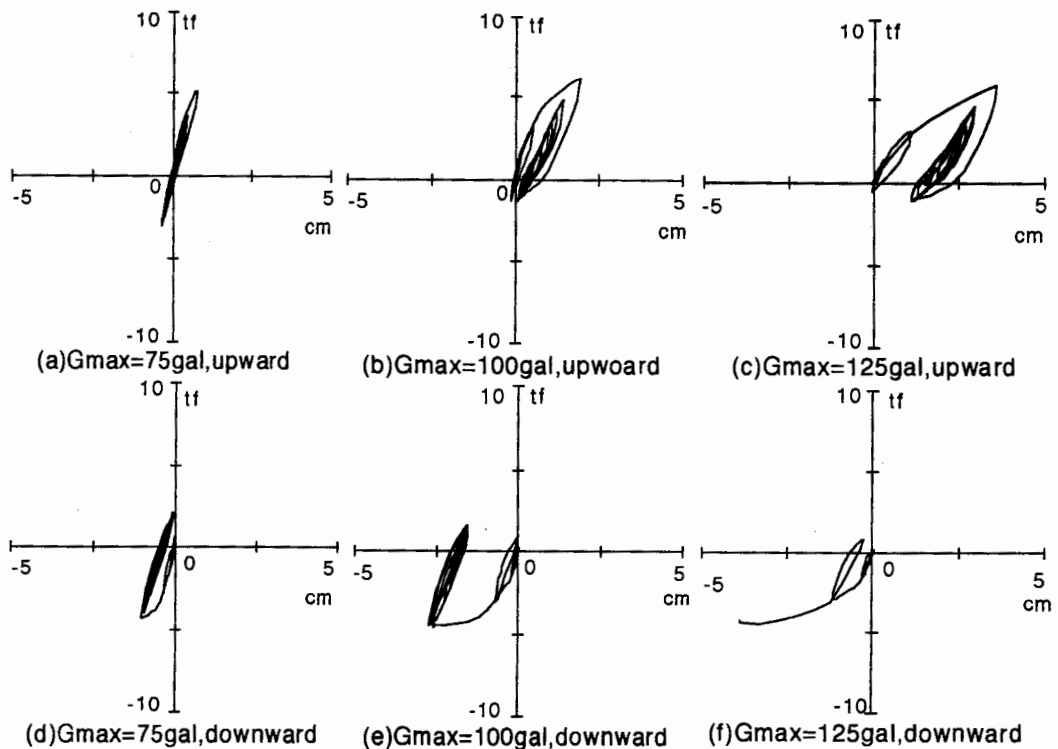


Fig.4 Restoring force-displacement relations(unstrengthened).

3. 実験結果

Fig.4からFig.6にそれぞれの試験における復元力-変位応答関係を示す。なお、最大入力加速度が75galより小さい試験に関する結果は、試験体による差がほとんどみられなかったので省略した。また、供試体No.3の結果はNo.4の結果と同様であるので紙面の都合で省略した。クラックは供試体No.1では、75galの上載荷でフーチングと柱の接合部から13cmの所に、100galの上載荷でフーチングと柱の接合部から34cmの所と接合部に入った。また、供試体No.2, No.3及びNo.4ではそれぞれ100galの上載荷、100galの下載荷、100galの下載荷でフーチングと柱の接合部にクラックが入ったが、いずれの場合も柱には入らなかった。

Fig.7に応答変位の時刻歴を示す。最大入力加速度が大きくなるに連れて、各供試体共に次第に永久変形が残るようになるが、その傾向は当然ではあるが無補強供試体が最も顕著であり、D13, CFRPとそれに続いていることがわかる。また、帯鉄筋にD10鉄筋を使用した供試体No.3とD6鉄筋を使用した供試体No.4を比べてみると、変位、復元力とも顕著な差は見られない。このことは、帯鉄筋比をほぼ同じにしたことによって、同等の復元力-変位特性が得られたことを示している。したがって、帯鉄筋の違いが復元力特性には大きく影響していないといえる。言い替えば、本研究におけるすべての供試体を補強の方法のみをパラメータとして比較して問題ないことを示していると考えられる。

Fig.8に各試験における最大入力加速度と最大応答変位振幅との関係を示す。ここで、最大応答変位振幅は供試体の劣化度を示す指標の一つと考えた。上載荷の場合で見ると、各加速度における最大応答変位振幅は、50galまではどの供試体についてもほぼ同程度となっているが、75galを超えると、CFRP

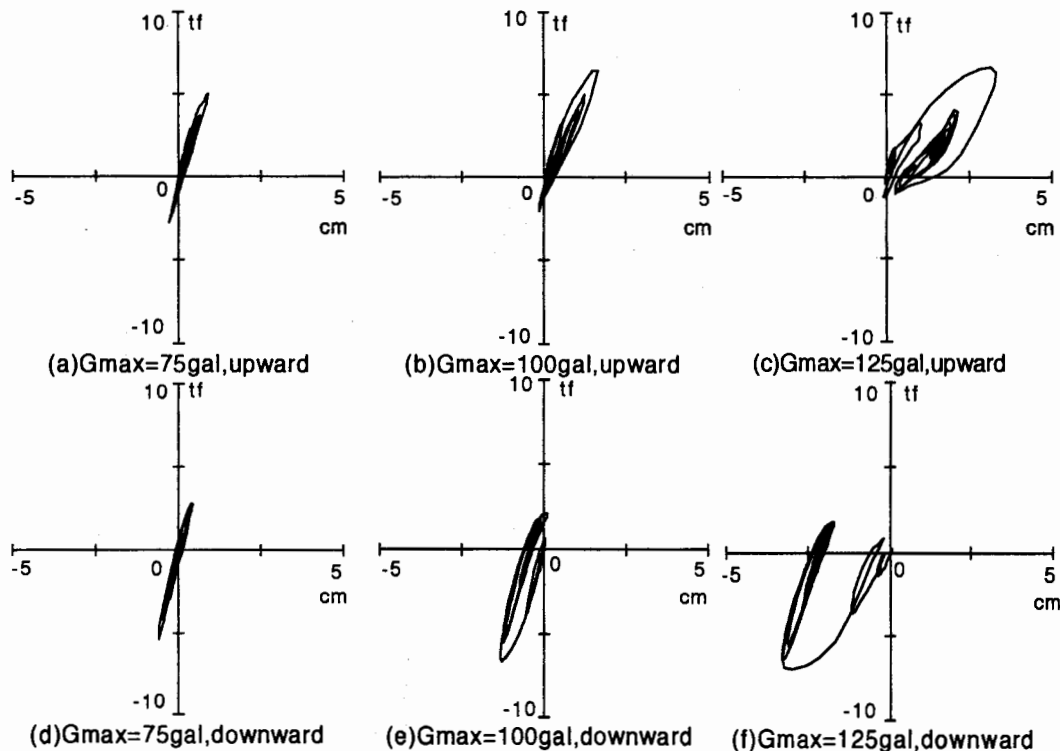


Fig.5 Restoring force-displacement relations(strengthened by D13).

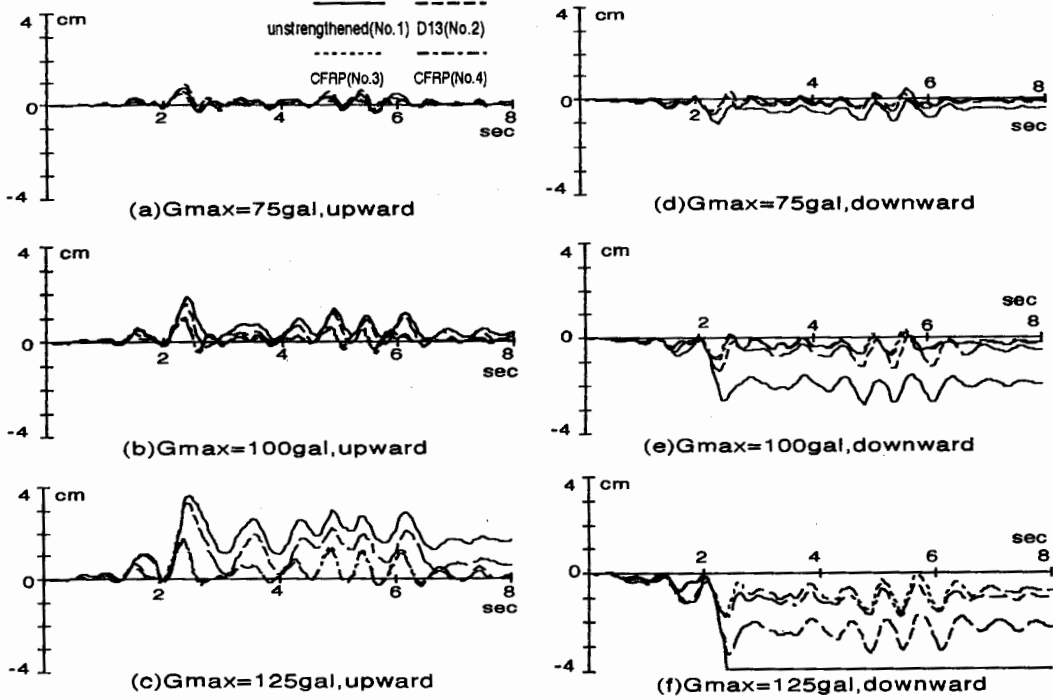
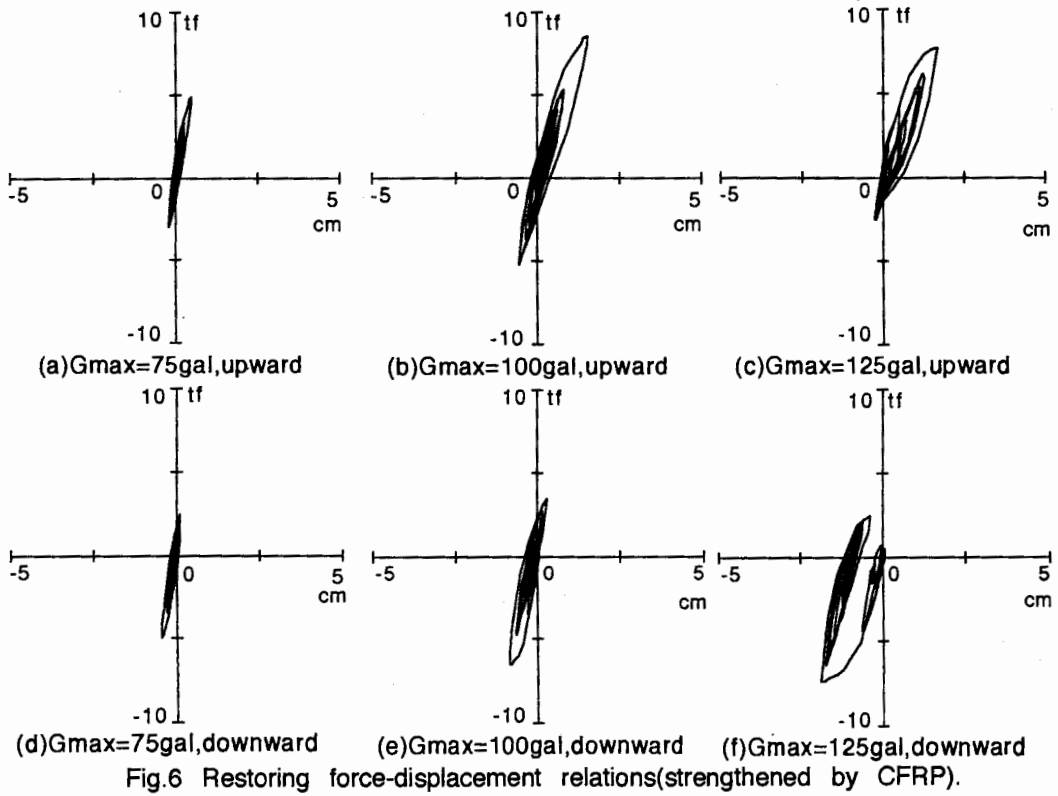


Fig.7 Displacement time histories.

で補強された供試体No.3, No.4に補強効果が現れて、他の供試体との差が大きくなっている。しかし、D13で補強された供試体No.2についてはその差は大きくなく、CFRPほどの補強効果は得られなかった。

4. まとめ

本研究で得られた主な結論は以下のとおりである。

- (1) ポリマーモルタルによる巻たて補強は、RC柱の補強工法として有効である。
- (2) 補強筋として鉄筋を用いた場合より、CFRPを用いた方が補強効果は大きい。
- (3) 補強筋のフーチングとの定着長は施工上8cmであったが、補強効果は期待できる。
- (4) 補強前供試体の帯鉄筋については、帯鉄筋比が同じであれば、同等の強度が得られる。

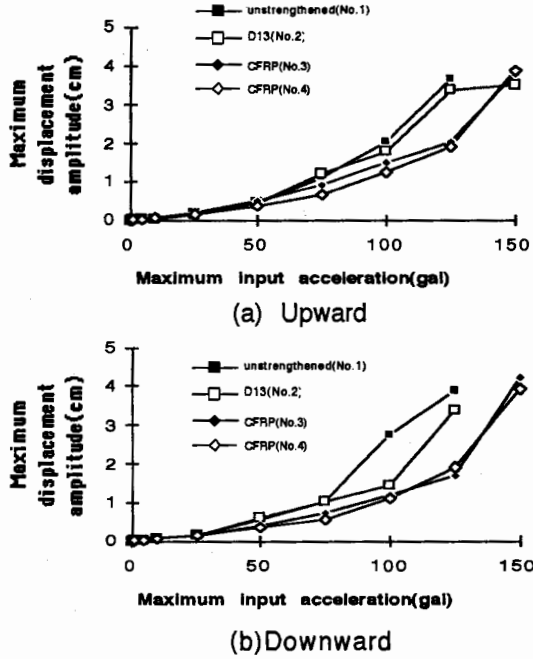


Fig.8 Max. displacement amplitude- Max. input acceleration relations.

[参考文献]

- 1)池田尚治, 山口隆裕, 鷗沢哲史; 地震動による鉄筋コンクリート柱の挙動と供用性能の評価, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.12, No.2, pp.119-124 (1990).
- 2)K.Kawashima and T.Koyama; Effects of cyclic loading hysteresis on dynamic behavior of reinforced concrete bridge piers, Structural Eng./Earthquake Eng., Vol5, No.1, pp.343s-350s (1988).
- 3)多久和勇, 石田博, 東田典雅, 安松敏雄; RC橋脚の補強効果について, 土木学会第45回年次学術講演会講演概要集, V-318, pp.662-663(1990).
- 4)多久和勇, 石田博, 東田典雅, 大橋健二他; 段落しを有する橋脚のRC巻立て補強における打継ぎ面処理方法の影響, 土木学会第45回年次学術講演会講演概要集, V-319, pp.664-665 (1990).
- 5)山田, 家村他; ハイブリッド実験による修復補強RC部材の地震時剛性劣化過程, 土木学会論文集, 第387号/1-8, pp.407-416(1987).
- 6)佐藤貢一, 小玉克己; FRPと各種モルタルで補強したRC梁の曲げ破壊性状に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.14, No.2, pp.979-984 (1992).
- 7)石井孝男, 佐藤貢一, 井口忠司, 大木浩靖他; 下面増厚による鋼橋RC床版の追跡調査, 土木学会第48回年次学術講演会講演概要集(1993)(掲載予定).
- 8)永井健, 小玉 克己, 佐藤貢一; 下面増厚したRC床版の補強効果に関する研究, 第47回セメント技術大会講演集, pp.898-903 (1993).
- 9)伯野元彦他; ハイブリッド実験の応用マニュアル, 文部省科学研究費補助金(総合研究A)研究成果(1990).