

RC構造物に対する耐震補修効果の定量的評価

京都大学工学部 正員 山田 善一 京都大学工学部 正員 家村 浩和
 京都大学工学部 正員 伊津野和行 (株)奥村組 正員 大川 俊紀

1. はじめに

本研究では、コンクリート、鉄筋および修復材料であるエポキシ樹脂の応力-ひずみ関係構成則を用いて、補修RC部材の地震応答解析を行ない、その耐震補修効果を損傷度指標を用いて評価するという、定量的な解析手法を提案した。また、補修RC部材に対する地震応答載荷試験の結果と比較することで、本手法の妥当性を示した。更に、段落し部に修復が施されたRC橋脚をモデルとし、本手法を用いて耐震補修効果の評価を行ない、修復方法の違いが耐震性に及ぼす影響を検討した。

2. 修復材料を含んだファイバー要素分割モデル

RC構造物の地震時に示す挙動をシミュレーションする際、Fig.1(a), (b)に示すようなコンクリート及び鉄筋の応力-ひずみ関係を用いて、軸力の釣合いを満足させながら断面の曲げモーメント-曲率関係(M-φ関係)を決定するファイバーモデル¹⁾が用いられる。今回、補修断面において、鋼板を巻き立てる場合には、鋼板自体を鉄筋の一部としてファイバー内に取り入れた。

エポキシ樹脂を注入する場合には、Fig.1(c)のようなエポキシ樹脂の応力-ひずみ関係を仮定し、断面の占有面積比率を与えることでファイバー内のコンクリートと置き換えた。こうして軸力の釣合いに補修の効果を組み込み、部材軸方向の断面ごとのM-φ関係を求める。M-φ関係は、かぶりコンクリートにひび割れの発生するcrack、鉄筋の降伏

するyield、かぶりコンクリートの圧壊するmaximum及び終局状態のultimateという4点を結んだ4本の直線で構成される。次に各断面のM-φ関係より、構造物の荷重-変位関係包絡線(P-δ関係)が求まる。更にP-δ関係をスケルトンカーブとし、非線形履歴復元力モデルを仮定する。今回、履歴復元力モデルには、3パラメータモデル²⁾を用いた。最後に地震波に対する非線形時刻歴応答解析を行ない、損傷度指標により耐震性を評価する。損傷度指標には履歴エネルギー吸収量、ダメージインデックス³⁾を用いた。

3. 本解析手法の実験値との比較

本解析手法の妥当性を示すため、エポキシ樹脂注入及び鋼板巻き立て補修を施した、横拘束鉄筋を有する複鉄筋RC部材のハイブリッド地震応答載荷試験結果と比較・照査を行なった。エポキシ樹脂注入修復ケースについて履歴曲線による比較を行なったのがFig.2である。修復されて縦長型を示すループの形状など本解析手法により実験結果がうまく再現されている。

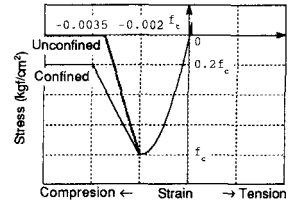
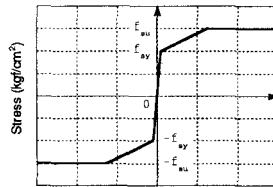
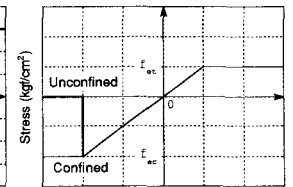


Fig.1 (a) Concrete

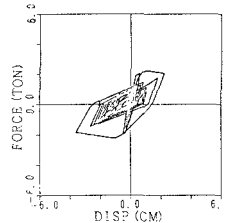


(b) Steel

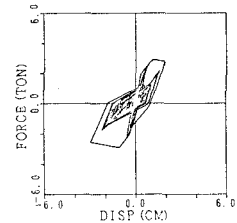


(c) Epoxy resin

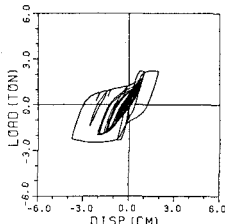
Fig.1 Assumed stress-strain relationship.



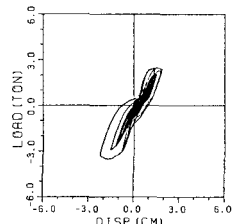
(a) Analytical result for original specimen



(b) Analytical result for repaired specimen



(c) Experimental result for original specimen



(d) Experimental result for repaired specimen

Fig.2 Comparison of hysteretic loops between analysis and experiment for original and repaired specimens.

数種類の地震波入力レベルで履歴エネルギー吸収量、ダメージインデックスによる比較を行なったのが、Fig. 3, 4である。両損傷度指標ともに解析結果は実験結果に近い値を示している。

4. 段落しを有するRC橋脚における耐震補修効果の定量的評価

古い橋脚の中には、主鉄筋の定着長が十分ではなく、段落し部に損傷を受ける可能性を有するものも多い。そこで橋脚基部より3mの位置に段落しを有する高さ13mのT型橋脚をモデル化し、本解析手法を用いて鋼板巻き立てを施した場合の耐震補修効果を検討した。柱軸方向の曲率分布を示したのがFig. 5である。未補修では、大変形時には段落し部で曲率が最大となり損傷を被っていたのが、補修されることにより曲率は橋脚基部で最大となり、損傷が橋脚基部に移動している。入力地震波として「道路橋示方書」に記されるⅢ種地盤用波形を用いて、時刻歴応答解析を行ない、巻き立てる鋼板の厚みによる差を示したのがTable 1である。鋼板の厚みが増すにつれて剛性が上昇し、靱性が低くなるのでダメージインデックスは大きくなり耐震性は低下する。また、鋼板を巻き立てる際、損傷断面の再生に用いられるエポキシ樹脂の充填率による差を表すのがFig. 6である。履歴エネルギー吸収量、ダメージインデックスともにエポキシ樹脂の量による影響は少ないといえる。

5. 結論

- ①修復部材を組み込んだファイバーモデルより得られるP-δ曲線を用いて、非線形地震応答解析が行なえる。
- ②本解析手法により得られた履歴曲線、履歴吸収エネルギー及びダメージインデックスは、実験結果との比較から妥当なものであることが証明された。
- ③補修RC橋脚の地震時挙動を解析し、巻き立てる鋼板の厚みは、薄いほうが耐震上有効であること、また、鋼板を巻き立てる際に伴うエポキシ樹脂の注入量の影響は少ないことが判明した。

《参考文献》

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，平成2年2月。
- 2) Y. J. Park, A. M. Reinhorn and S. K. Kunnath：Seismic damage analysis of reinforced concrete buildings, Proc. 9th WCEE., Vol. VI, 211-216, 1988.
- 3) Y. J. Park, A. H-S. Ang and Y. K. Wen：Seismic damage analysis and damage-limiting design of RC buildings, University of Illinois, Structural Research Series No. 516, Oct. 1984.

Table 1 Hysteretic energy and damage index for original and strengthened bridge pier.

	Energy (tonf·cm)	Index
Original	59487	0.631
Strengthened (1 mm steel)	58463	0.706
Strengthened (2 mm steel)	57825	0.769

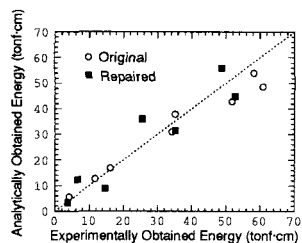


Fig. 3 Comparison between analytical and experimental absorbed hysteretic energy during experiments.

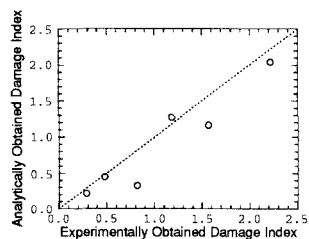


Fig. 4 Comparison of damage index obtained by analysis and experiment.

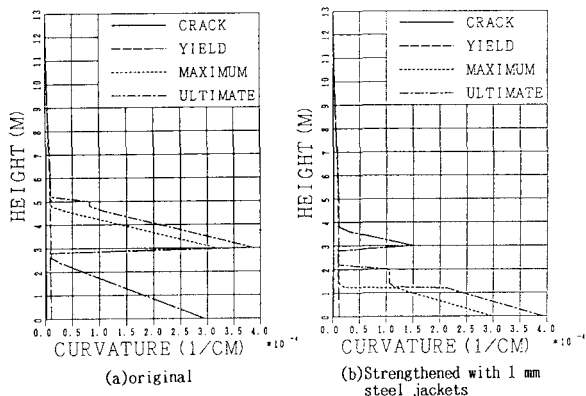


Fig. 5 Moment-curvature relationships at each section of the bridge piers.

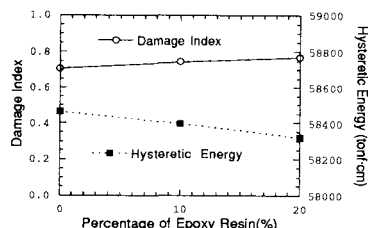


Fig. 6 Damage index and hysteretic energy according to amount of epoxy resin.