

低強度コンクリート部材の耐震性能評価に関する基礎的研究 (その4)

正会員 ○南 宏一*1
 準会員 川上 裕佳*2 正会員 高月 行治*3
 正会員 塚越 英夫*4 正会員 根口 百世*5

低強度コンクリート 耐震補強 耐震性能
 炭素繊維巻き付け補強 丸鋼 異形鋼

1. はじめに

現行の耐震診断基準において、圧縮強度 13.5 N/mm² 未満のコンクリート [以下、低強度コンクリートという] 建物は、その社会的ニーズが高いにも拘らず、耐震診断および耐震改修の対象外とされている。本論では、(その3)に引き続いて、10 N/mm² 級の低強度コンクリートを用いた柱部材に炭素繊維巻き付け補強を行い、その耐震性能実験を実験的に確認する。

2. 実験計画

圧縮強度 10 N/mm² 級の低強度コンクリートを用いて、図-1 に示すような柱試験体 (柱断面 300×300 mm², 内法高さ

900mm) を4体製作する。主筋の定着は、主筋の上下端とも定着板を介して行い、帯筋は余長 64mm の 135° フックとした。

表-1 に示される実験変数は、補強量の違いによる耐震性能の違いと、主筋に丸鋼を用いたものと異形鋼を用いたものとの違いを明確にするためのものを選択した。実験結果の比較検討を行うために、(その3)の無補強試験体 [試験体 No.8 および No.12] を併せて示す。

材料試験結果を図-2 および表-2 に示す。図-2 (a)には、1 体目の実験開始時 [材齢 38 日] におけるコンクリートの応力度-ひずみ度曲線を示し、同図 (b)には、主筋 [16φ, D16] およびせん断補強筋 [D6], および炭素繊維シートの応力度-ひずみ度曲線を示す。コンクリートは無補強試験体と同じ調合を用いたが、圧縮強度は実験開始時において、無補強試験体のコンクリート圧縮強度 12.32 N/mm² を下回る 9.43 N/mm² と異なる

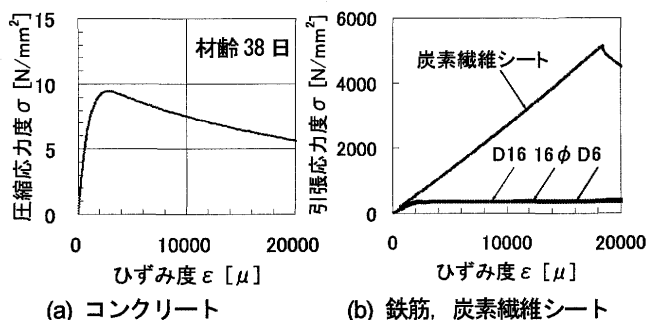
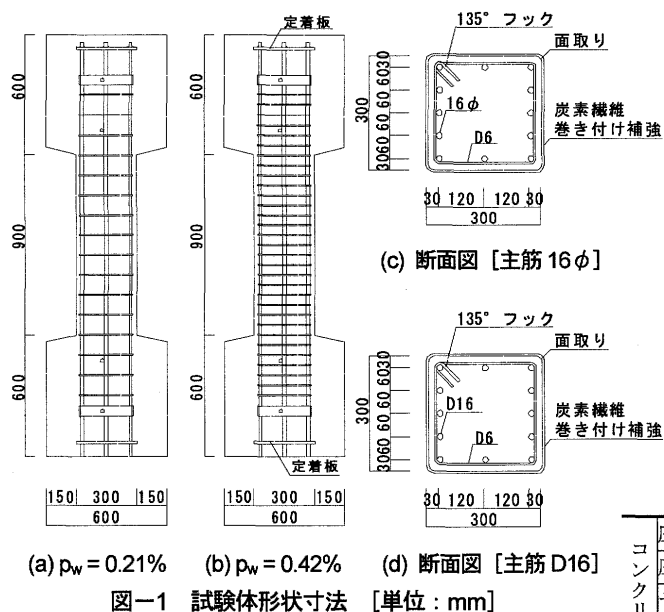


図-2 応力度-ひずみ度曲線

表-2 材料試験結果

表-1 実験変数

| 試験体番号 | 試験体名 | 主筋 | せん断補強筋比 pw [%] | 軸力比 N/(bD・σ _B) |
|-------|----------|-----|----------------|----------------------------|
| 8 | L10240 | 16φ | 0.21 | 0.4 |
| 13 | L1024C1 | | | |
| 14 | L1024C2 | | | |
| 12 | DL10240 | | | |
| 15 | DL1024C1 | D16 | 0.21 | 0.4 |
| 16 | DL1024C2 | | | |

| | | | |
|--------|-------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| コンクリート | 圧縮強度 (28 日) | [N/mm ²] | 8.21 |
| | 圧縮強度 (実験前: 38 日) | [N/mm ²] | 9.43 |
| | ヤング係数 (実験前: 38 日) | [10 ⁴ N/mm ²] | 0.95 |
| スランブ | [mm] | 180 | |
| 空気量 | [%] | 4.9 | |
| 主筋 | 降伏強度 | [N/mm ²] | 16φ : 340 D16 : 372 |
| | ヤング係数 | [10 ⁵ N/mm ²] | 16φ : 1.79 D16 : 1.79 |
| 帯筋 | 降伏強度 | [N/mm ²] | 275.0 |
| | ヤング係数 | [10 ⁵ N/mm ²] | 1.85 |
| 炭素繊維 | 引張強度 | [N/mm ²] | 4700 |
| | ヤング係数 | [10 ⁵ N/mm ²] | 2.69 |

炭素繊維資料提供: 日鉄コンポジット(株)

Fundamental Study on Seismic Performance Evaluation of RC Members with Low Strength Concrete (Part 4)

MINAMI Koichi, KAWAKAMI Hiroka, TAKATSUKI Yukiharu, TUKAGOSHI Hideo and NEGUCHI Momoyo

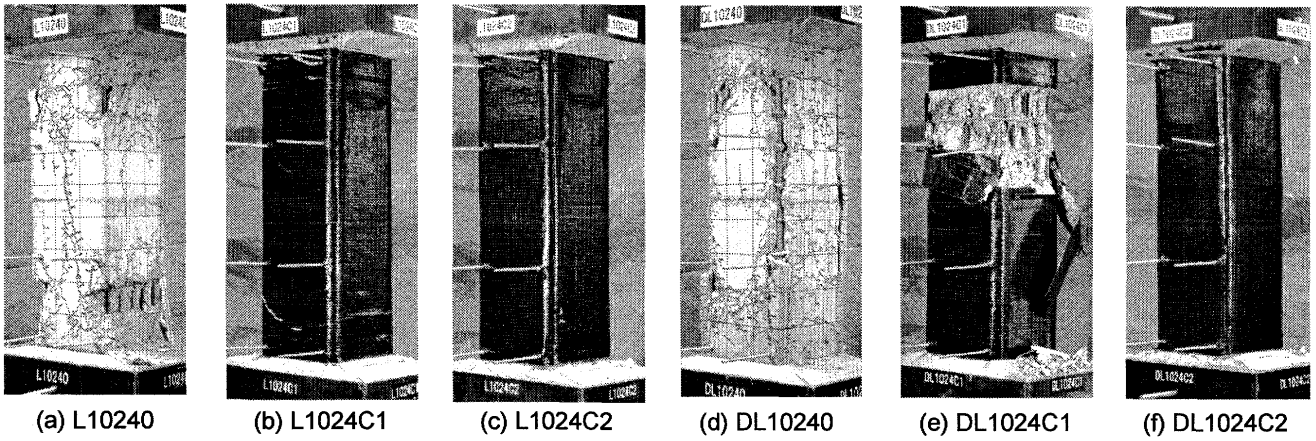


写真-1 最終破壊状況

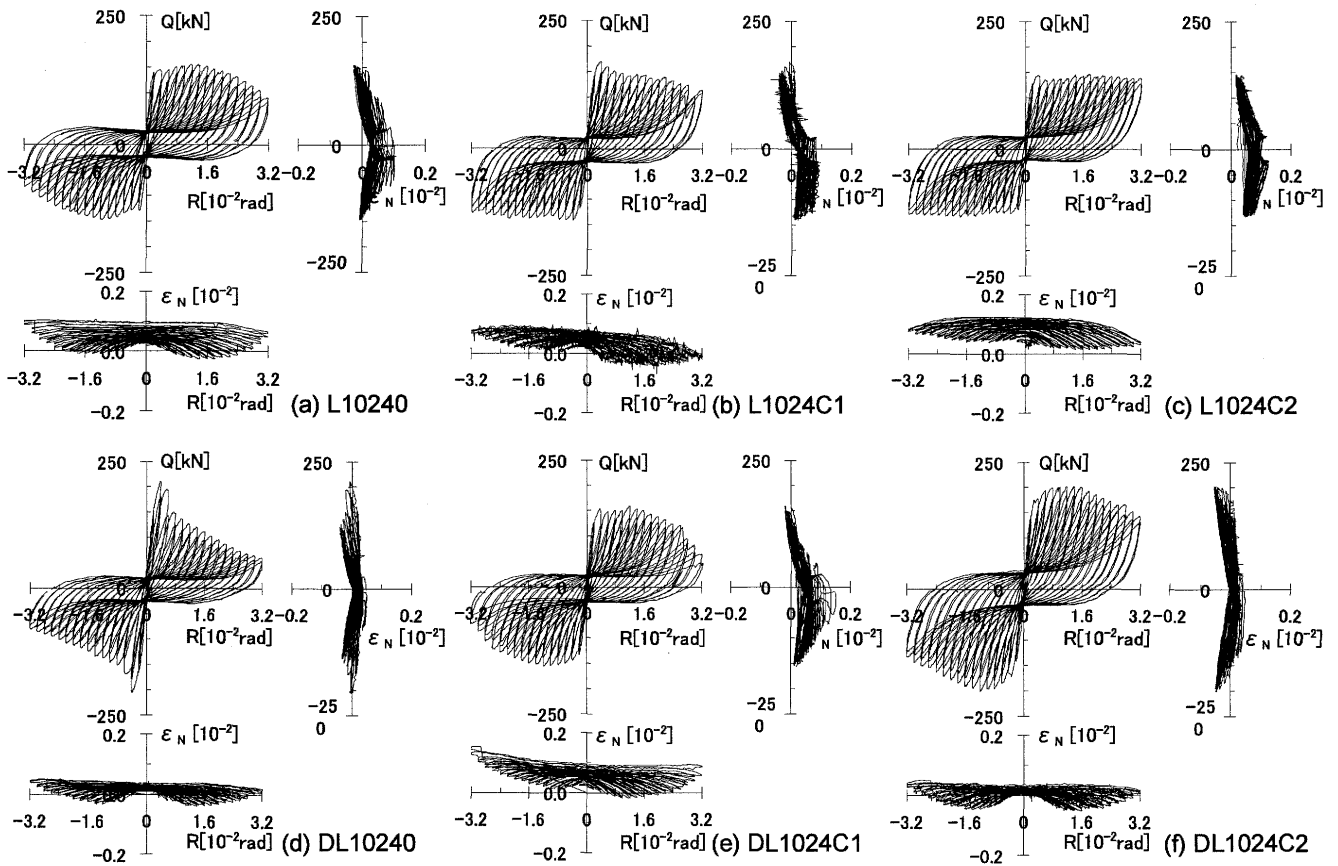


図-2 履歴曲線

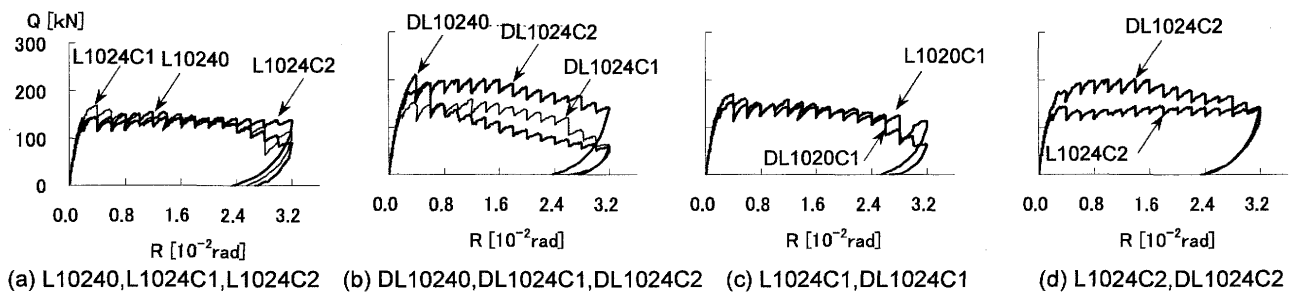


図-3 包絡線の比較

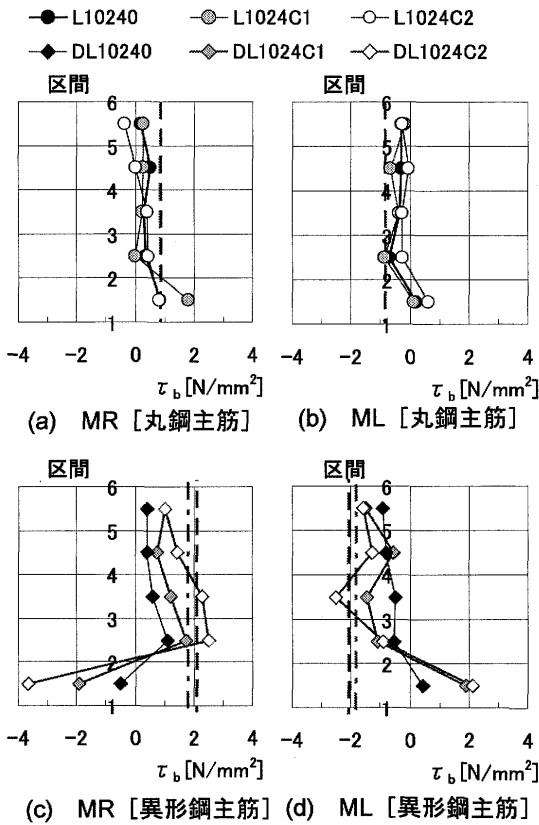


図-4 主筋の付着応力度の比較

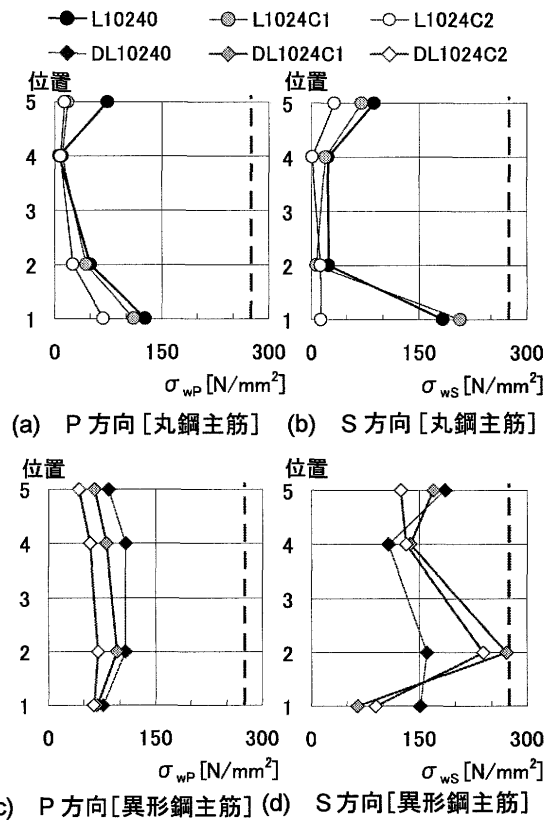


図-5 帯筋の引張応力度の比較

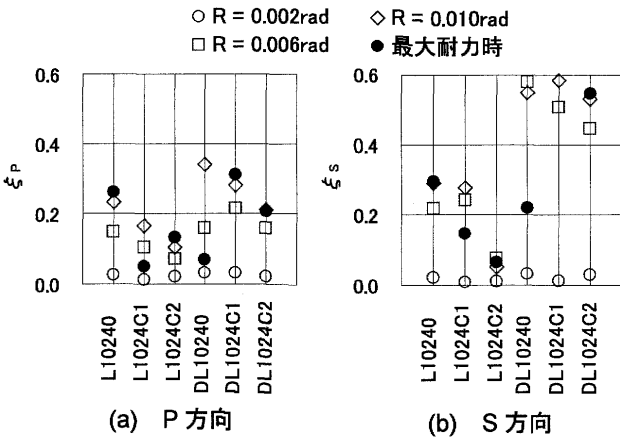


図-6 ξ_Pとξ_Sの比較

表-3 実験結果一覧

| 試験体名 | 正荷重時 | | 負荷重時 | |
|----------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|
| | Q _{max} [kN] | R [10 ⁻² rad] | Q _{max} [kN] | R [10 ⁻² rad] |
| L10240 | 155.44 | 1.16 | -148.47 | -1.17 |
| L1024C1 | 169.99 | 0.40 | -141.99 | -0.39 |
| L1024C2 | 147.61 | 1.75 | -134.62 | -1.78 |
| DL10240 | 210.96 | 0.38 | -204.97 | -0.37 |
| DL1024C1 | 160.34 | 1.20 | -157.32 | -1.17 |
| DL1024C2 | 202.29 | 1.18 | -201.33 | -1.19 |

っている。主筋およびせん断補強筋は、無補強試験体で使
用したものと同一材料を使用している。

3. 荷重方法

荷重は建研式荷重装置を用い、制御方法は変位振幅 R による変位制御によって行う。0.2×10²rad の変位振幅で正負 2 回ずつ繰り返した後に、0.2×10²rad ずつ増加させて荷重を行い、変位振幅 3.2×10²rad で 2 回繰り返した時点で実験を終了する。

4. 破壊状況

写真-1 に最終破壊状況を示す。
主筋に丸鋼を用いた無補強試験体の(a)は、材端のせん断圧

縮破壊を呈していたが、炭素繊維巻き付け補強を行った(b)および(c)は、最終変位振幅までほとんど表面上の変化はなかった。

一方、異形鋼を用いた無補強試験体(e)は、試験体中央部の斜張力ひび割れや、主筋に沿ったひび割れが生じ、コンクリートの剥落がみられる付着割裂破壊の様相を呈していた。この試験体に炭素繊維巻き付け補強を行った(e)および(f)は、最大耐力以後、炭素繊維シートにひずみが発生し、ひび割れが生じた。さらに、炭素繊維シート 0.5 層巻の(e)は荷重を続けるとひび割れが進行し、シートが試験体から剥離したことが大きな特徴であった。

5. 実験結果

せん断力と部材角の関係 (Q-R 関係)、せん断力と材軸方向平均ひずみ度の関係 (Q-ε_N関係)、材軸方向の平均

ひずみ度と部材角の関係 (ε_N-R 関係) を図-2 に示す。また、表-3 に実験結果の一覧を示す。

同図(a)~(c)試験体は丸鋼を用いた試験体である。無補強試験体の(a)は、元々、最大耐力以後の耐力低下の割合が小さい試験体であることが特徴として挙げられる。炭素繊維巻き付け補強を行った(b)および(c)は、最大耐力以後の耐力低下が無補強試験体よりもさらに生じない傾向にあることがわかる。補強量が増えるほど耐力低下が生じにくい傾向にあることが指摘される。

一方、異形鋼を用いた試験体の(d)~(f)は、炭素繊維巻き付け補強を行うことによって、最大耐力以後の耐力低下を軽減する効果が認められ、補強量が大きいくほど耐力低下の小さい傾向が認められた。最大耐力は、炭素繊維巻き付け補強を行った試験体は(e)および(f)は、無補強試験体(d)よりも小さい結果が生じているが、この理由としては、コンクリート強度の違いによるものと考えられる。(d)のコンクリート強度は 13.87 N/mm^2 であるが、炭素繊維シート 0.5 層巻きの(e)は 9.74 N/mm^2 、炭素繊維シート 2 層巻きの(f)は 9.94 N/mm^2 とコンクリート強度が小さいことから、直接的に耐力の大きさの比較をすることはできない。

図-3 は、各試験体の包絡線の比較を行ったもので、同図(a)および(b)は、炭素繊維シートによる補強量の違いをみたもので、(c)および(d)は同じ補強量の試験体において、使用した主筋の違いをみたものである。

図-3 (a)は、丸鋼を主筋とした試験体の補強量の違いを比較したものである。炭素繊維シート 2 層巻の試験体 L1024C2 は、最終変位振幅まで全く耐力の低下が生じていないことが特徴として挙げられる。炭素繊維シート 0.5 層巻の L1024C1 は、無補強試験体 L10240 に比して、コンクリート強度が小さいにも関わらず、耐力がわずかに上昇しているが、最大耐力以後の耐力低下が特別に緩やかになるような傾向はみられなかった。

同図(b)は、異形鋼を主筋とした試験体における補強量の違いを比較したものである。包絡線の比較によって、炭素繊維による補強量が大きくなるほど、最大耐力以後の耐力低下が緩やかになる傾向が、より明確に表れていることが特徴である。シート 2 層巻の試験体 L1024C2 は、最終変位振幅まで全く耐力の低下が生じていないことが特徴として挙げられる。炭素繊維シート 0.5 層巻の L1024C1 は、無補強試験体 L10240 に比して、コンクリート強度が小さいにも関わらず、耐力がわずかに上昇しているが、早い時期に最大耐力に達しているが、最大耐力以後の耐力低下が緩やかになるような傾向はみられなかった。

同図(c)は、炭素繊維シート 0.5 層巻の試験体における主筋の種類の違いを比較したものである。最大耐力に違いはみられず、主筋が丸鋼であれば、異形鋼であれば、最大耐力以後の耐力低下は、概ね緩やかな傾向にあるが、変位振幅 $2.6 \times 10^2 \text{ rad}$ 以後の耐力低下の割合に差が認められた。

同図(d)は、炭素繊維シート 2 層巻の試験体における主筋の種類の違いを比較したものである。主筋に異形鋼を用いた試験体は、最大耐力の上昇が認められ、最大耐力以後は

最終変位振幅まで緩やかな耐力低下が生じている。

6. 主筋およびせん断補強筋のひずみ度

図-4 には変位振幅 $1.0 \times 10^2 \text{ rad}$ における主筋の付着応力度の比較を行ったものを示す。縦軸には右側図面の主筋ゲージ貼付位置を示し、横軸には、変位振幅 $1.0 \times 10^2 \text{ rad}$ 時の各試験体の主筋の付着応力度を示す。

同図(a)および(b)は丸鋼を用いた試験体について示したものである。図中の破線は、付着応力度の計算値である 0.846 N/mm^2 を示したものであるが、L1024C1 試験体の 2-3 区間の付着応力度が計算値を上回っている。同図(c)および(d)は、主筋に異形鋼を用いた試験体について示したものである。図中の一点鎖線は、炭素繊維シート 0.5 層巻の場合の付着応力度の計算値 1.81 N/mm^2 を示し、破線は、2 層巻の場合の付着応力度の計算値 2.10 N/mm^2 を示している。炭素繊維シート 2 層巻の補強を行った DL1024C2 は、3 つの区間で計算値を上回る付着応力度となっており、他の 2 つの試験体よりも全体的に大きな付着応力度を示しているのが特徴である。異形鋼を主筋に用いた試験体は、補強量が増加するほど、主筋の付着応力度も大きくなる傾向にあることが示された。

変位振幅 $1.0 \times 10^2 \text{ rad}$ における帯筋の引張応力度の比較を行ったものを図-5 に示す。図中の破線は、帯筋の降伏強度を示したものである。帯筋の引張応力度は、補強の量に無関係であることが示された。S 方向については、主筋に異形鋼を用いた試験体は、丸鋼を用いた試験体に比して大きい値となっていることが示された。

図-6 は、変位振幅 $0.2 \times 10^2 \text{ rad}$ 、 $0.6 \times 10^2 \text{ rad}$ 、 $1.0 \times 10^2 \text{ rad}$ および最大耐力時における P 方向 [作用せん断力の方向と直交方向] および S 方向 [作用せん断力の作用方向] の帯筋の引張応力度 [σ_{wp} 、 σ_{ws}] の降伏応力度 [σ_{wy}] に対する比率 $\xi_p = [\sigma_{wp}/\sigma_{wy}]$ 、 $\xi_s = [\sigma_{ws}/\sigma_{wy}]$ の平均値を各試験体に対して示したものである。ほぼ全ての試験体において最大耐力時の ξ_p および ξ_s の値は小さく、最大耐力時にはせん断補強筋が降伏していないことが示された。また、変位振幅が大きくなるにつれて、 ξ_p および ξ_s は大きくなることが示されるが、異形鋼を用いた試験体は、丸鋼を用いた試験体に比してその変化率が大きいことが示された。

7. まとめ

低強度コンクリートを用いた柱部材に対して、炭素繊維巻き付け補強は有効で、最大耐力以後の耐力低下の軽減に効果を発揮する。特に異形鋼を主筋に用いた場合については、最大耐力の増大および最大耐力以後の耐力低下の軽減に顕著な効果を示した。

参考文献

- 1) SR-CF 工法研究会・清水建設株式会社：既存建築物の耐震改修設計施工指針 SR-CF 工法 (改訂版)，4 章，pp.19-23，2006.6

*1 福山大学工学部建築・建設学科 教授・工博

*2 福山大学工学部建築学科

*3 広島県東部生コンクリート協同組合

*4 清水建設 (株) 技術研究所・工博

*5 福山大学大学院博士課程地域空間工学専攻・修士(工学) Course of Regional Space Planning and Systems Eng., Doctoral Program, Grad. School, Fukuyama Univ., Ms. Eng.

Prof., Dept. of Architecture and Civil Engineering, Faculty of Eng., Fukuyama Univ., Dr. Eng.O

Dept. of Architecture, Faculty of Eng., Fukuyama Univ.

East Hiroshima Ready Mixed Concrete Cooperative

Institute of Technology, Shimizu Corporation, Dr. Eng.