

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6. 10 N/mm<sup>2</sup>級の低強度コンクリート柱の耐震性能に関する実験

正会員 ○川上 裕佳<sup>1</sup>  
 正会員 高月 行治<sup>2</sup> 正会員 根口 百世<sup>4</sup>  
 正会員 塚越 英夫<sup>3</sup> 正会員 南 宏一<sup>5</sup>

低強度コンクリート 耐震性能 セン断圧縮破壊  
 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/mm<sup>2</sup> 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。昨年の 5 N/mm<sup>2</sup> 級の低強度コンクリート<sup>1)</sup> に引き続いて、本論では、10 N/mm<sup>2</sup> 級の柱部材の耐震性能実験を行い、主に以下の項目について確認を行う。

- (1) 主筋の丸鋼と異形鋼をいた場合の破壊性状の違い
- (2) 作用軸力の大きさの相違
- (3) 炭素繊維巻き付け補強の有無

2. 実験計画

圧縮強度 10 N/mm<sup>2</sup> 級の低強度コンクリートを用いて、図-1 に示すような無補強柱試験体を 6 体、炭素繊維巻き補強の試験体 4 体をそれぞれ製作する。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、主筋には丸鋼と異形鋼を用い、4 体の補強では炭素繊維巻き付け補強 [SR-CF 工法] を行い、主筋による種類および炭素繊維の巻き数を実験変数としている。

材料試験結果を図-2 および表-2 に示す。同図(a)には、無補強および補強の実験開始時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、主筋およびせん断補強筋、および炭素繊維シート [以下、CF シートという] の応力度-ひずみ度曲線を示す。コンクリートはどちらの試験体も同じ調査を用いたが、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/mm<sup>2</sup> を下回る 9.43 N/mm<sup>2</sup> と異なっている。

表-2 材料試験結果

無補強	圧縮強度 (材齢 28 日)	12.18	主筋	降伏強度	16φ : 340 D16 : 370
	圧縮強度 (材齢 35 日)	12.32		ヤング係数	16φ : 1.79 D16 : 1.79
	ヤング係数 (材齢 35 日)	0.97		帯筋	降伏強度
補強	圧縮強度 (材齢 28 日)	8.21	ヤング係数		1.85
	圧縮強度 (材齢 35 日)	9.43	炭素繊維	引張強度	4700
	ヤング係数 (材齢 35 日)	0.95		ヤング係数	2.69

鉄筋ヤング係数 : [10<sup>5</sup> N/mm<sup>2</sup>]  
 コンクリートヤング係数 : [10<sup>4</sup> N/mm<sup>2</sup>]  
 応力度 : [N/mm<sup>2</sup>]

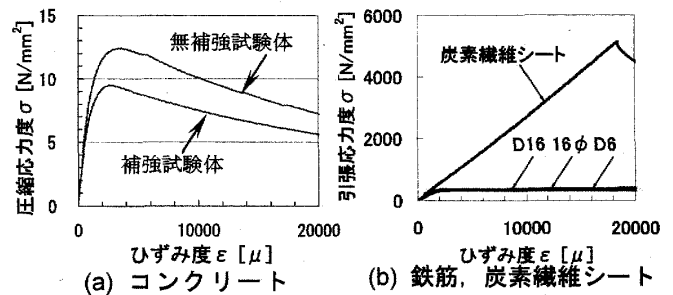


図-2 応力度-ひずみ度曲線

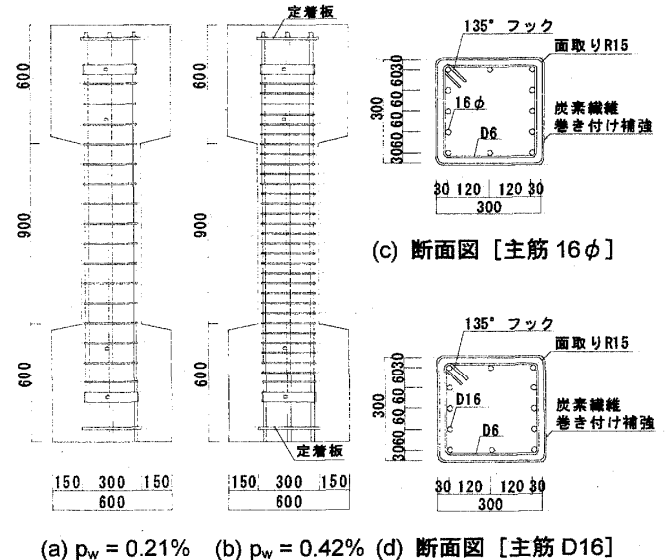
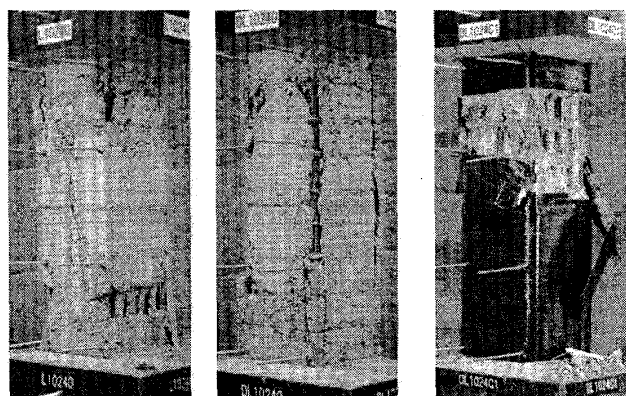


表-1 実験変数

試験体番号	試験体名	主筋	せん断補強筋比 p <sub>w</sub> [%]	軸力比 N/(bD・σ <sub>B</sub> )	補強有無
7	L10200	16φ	0.21	0	-
8	L10240			0.4	-
9	L10400		0	-	
10	L10440		0.4	-	
11	DL10200	D16	0.21	0	-
12	DL10240			0.4	-
13	L1024C1	16φ	0.21	0.4	C1
14	L1024C2				C2
15	DL1024C1	D16			C1
16	DL1024C2				C2



(a) L10240 (d) DL10240 (e) DL1024C1

写真-1 破壊状況写真

### 3. 載荷方法

載荷は建研式載荷装置を用い、制御方法は変位振幅  $R$  による変位制御によって行う。  $0.2 \times 10^{-2} \text{rad}$  の変位振幅で正負 2 回ずつ繰り返した後に、  $0.2 \times 10^{-2} \text{rad}$  ずつ増加させて載荷を行い、変位振幅  $3.2 \times 10^{-2} \text{rad}$  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 に最終破壊状況の数例を示す。同写真 (a) は、主筋に丸鋼を用いた無補強試験体を示したもので、材端のせん断圧縮破壊を呈していた。同写真 (b) は、異形鋼を用いた無補強試験体を示したもので、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。同写真 (c) は異形鋼を主筋に用いた CF シート 0.5 層巻の補強試験体を示したもので、載荷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が、他の炭素繊維巻き付け補強を行った試験体は、最終変位振幅までほとんど表面上の変化はなかった。特に、CF シート 2 層巻きの試験体ではシートの破断や、ひび割れは生じずに最終変位振幅まで耐力を維持していた。

### 5. 実験結果

せん断力と部材角の関係 [Q-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)~(d)は丸鋼を用いた試験体のである。無補強試験体は、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(g)および(h)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、異形筋を用いた試験体の(e)および(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

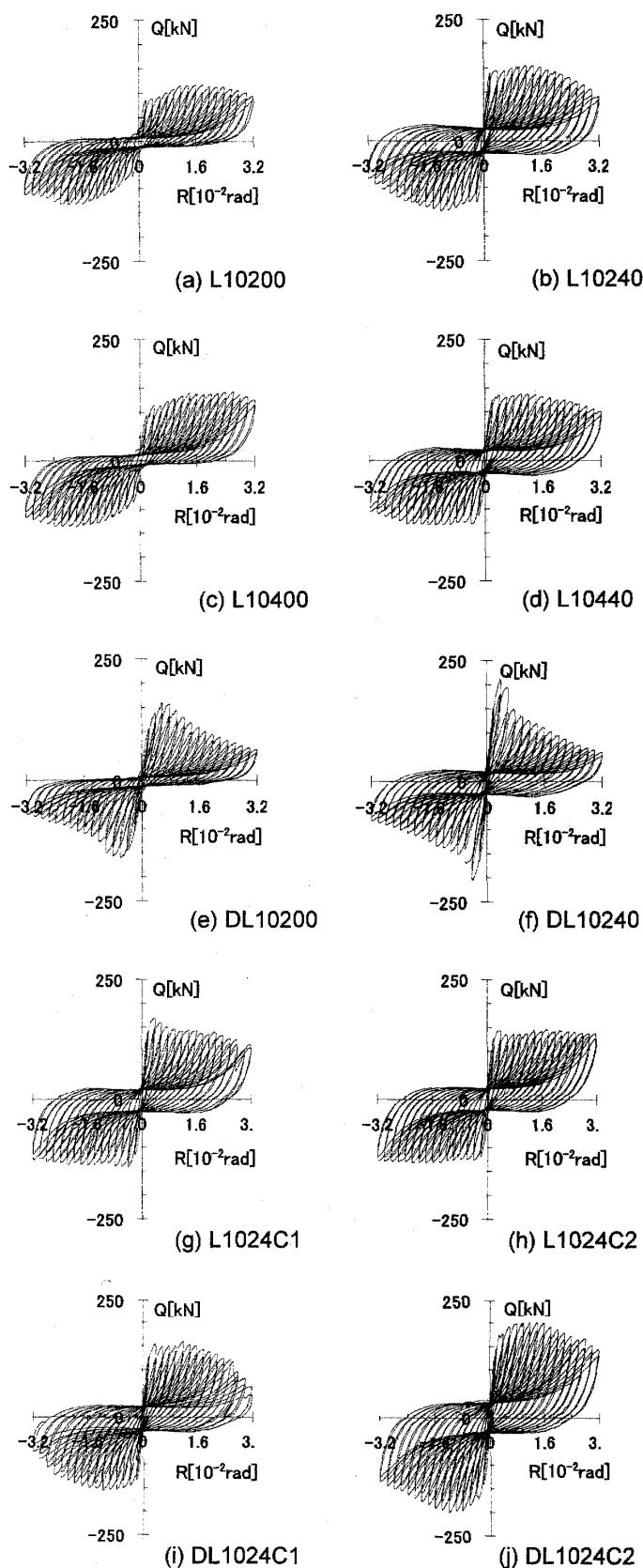


図-2 履歴曲線

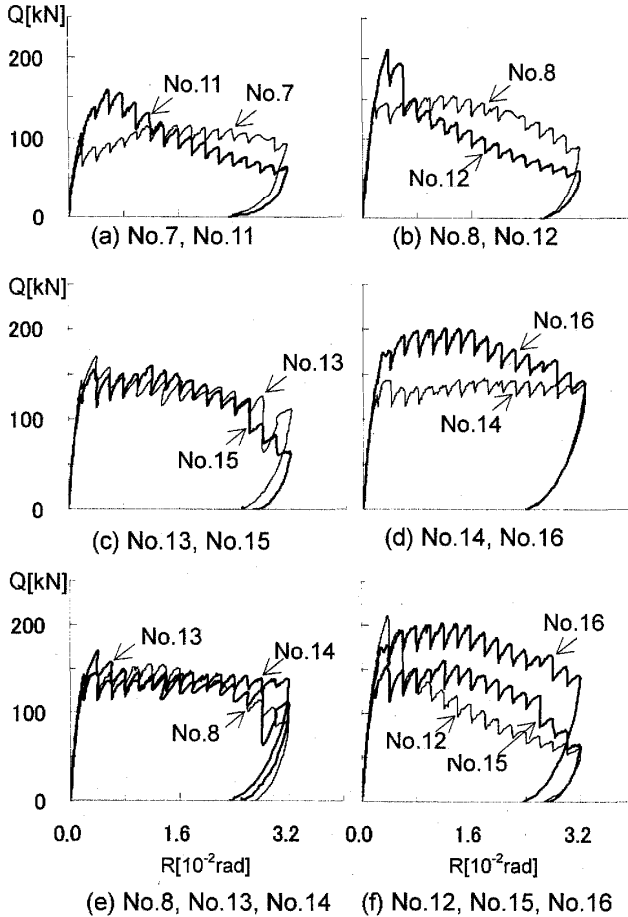


図-3 正荷重時の包絡線の比較

繊維巻き付け補強を行った試験体(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  $13.87 \text{ N/mm}^2$  であるが、CFシート0.5層巻き(e)は  $9.74 \text{ N/mm}^2$ 、CFシート2層巻き(e)は  $9.94 \text{ N/mm}^2$  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示す。(a)~(d)は主筋の違いをみたものでせん断補強筋比および軸力比は同じものである。(a)および(b)において、主筋に丸鋼を用いた試験体 No.7 および No.8 は、異形鋼を用いた試験体 No.11 および No.12 に比べて、最大耐力は小さいものの、最大耐力以後の耐力の低下が小さいことが示された。

(c)および(d)は炭素繊維巻き付け補強を行った試験体について比較したもので、主筋に異形鋼を用いた試験体 No.15 および No.16 は、最大耐力以後の急激な耐力低下が生じていないことが特徴で、主筋に丸鋼を用いた No.13 および No.14 よりも、それぞれ炭素繊維巻き付け補強による補強効果が顕著に表れた。

(e)および(f)は、炭素繊維巻き付け補強を行った試験体とそれに対応する無補強試験体の包絡線を示したもので

ある。(e)は主筋に丸鋼を用いた試験体であるが、炭素繊維巻き付け補強を行った No.13 および No.14 は、コンクリート強度が無補強試験体 No.7 よりも小さいにも関わらず、いずれも最大耐力の向上が示された。

主筋に異形鋼を用いた(f)では、無補強試験体の No.12 に、付着割裂破壊が顕著にみられ、最大耐力以後の耐力の低下がみられた。No.15 は炭素繊維の破断にともなう耐力低下が生じ、No.16 は最大耐力以後、耐力は徐々に低下したものの耐力低下の割合は小さく、最終変位振幅まで比較的高い耐力が維持される結果となった。主筋に異形鋼を用いた柱は、炭素繊維巻き付け補強の効果が丸鋼を用いた柱よりも、より明確に現れたが、主筋の種類に関わらず、この補強方法は低強度コンクリート柱に対して有効であることが示された。

### 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  $0.846 \text{ N/mm}^2$  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、CFシート0.5層巻の場合の付着応力度の計算値  $1.81 \text{ N/mm}^2$  を示し、破線は、2層巻の場合の付着応力度の計算値  $2.10 \text{ N/mm}^2$  を示している。CF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[作用せん断力の作用方向]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方向の帯筋の引張応力度  $[\sigma_{wp}, \sigma_{ws}]$  の降伏応力度  $[\sigma_{wy}]$  に対する比率  $\xi_p$   $[\xi_p = \sigma_{wp}/\sigma_{wy}]$ 、 $\xi_s$   $[\xi_s = \sigma_{ws}/\sigma_{wy}]$  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

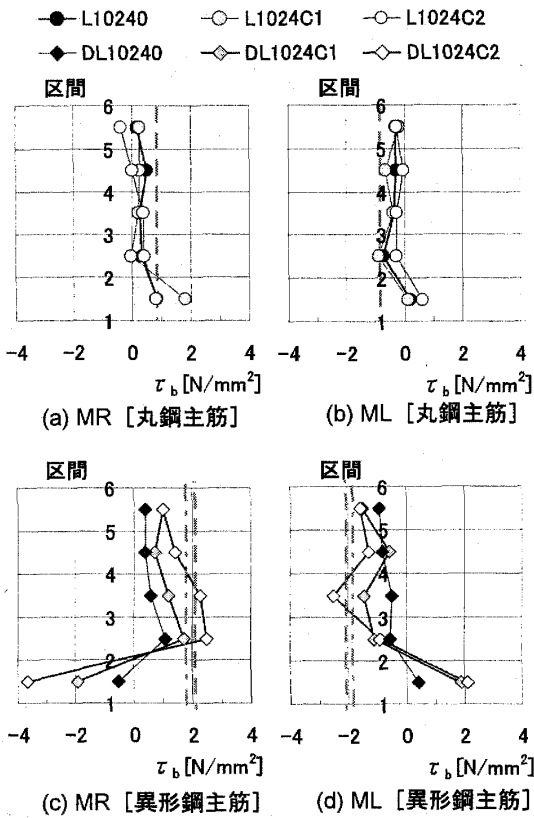


図-4 主筋の付着応力度の比較

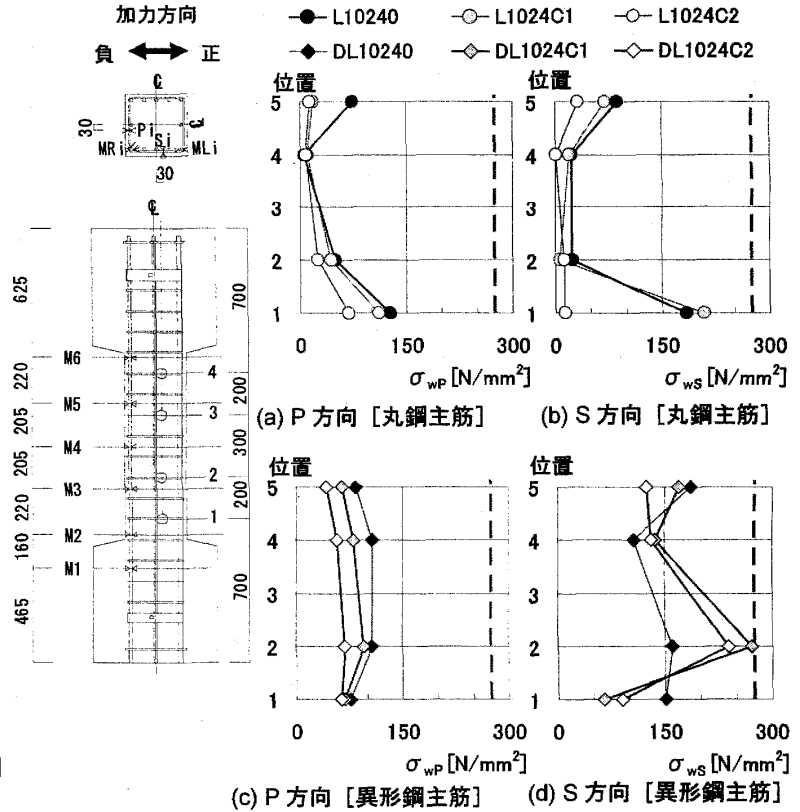


図-5 帯筋の引張応力度の比較

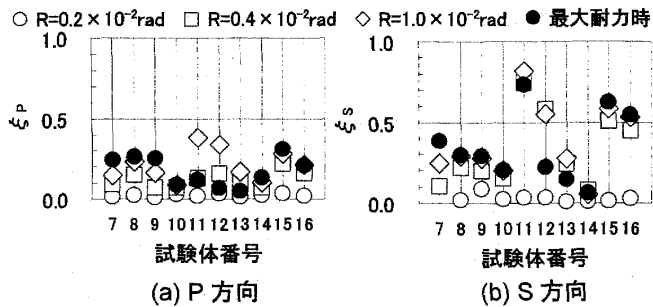


図-6 ε<sub>p</sub>とε<sub>s</sub>の比較

大耐力時のε<sub>p</sub>およびε<sub>s</sub>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、ε<sub>p</sub>およびε<sub>s</sub>は大きくなるが、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

表-3 実験結果一覧

試験体名	正荷重時		負荷重時	
	Q <sub>max</sub> [kN]	R [10 <sup>-2</sup> rad]	Q <sub>max</sub> [kN]	R [10 <sup>-2</sup> rad]
L10200	116.9	1.59	132.9	1.97
L10240	154.9	1.16	147.9	1.17
L10400	142.9	2.60	136.9	1.79
L10440	137.9	0.99	132.9	1.17
DL10200	159.8	0.58	160.8	0.57
DL10240	210.8	0.38	204.8	0.37
L1024C1	169.8	0.40	141.9	0.39
L1024C2	146.9	1.75	133.9	1.78
DL1024C1	159.8	1.20	156.8	1.17
DL1024C2	201.8	1.18	200.8	1.19

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) 日本建築防災協会：2001年改訂版 既存鉄筋コンクリート造建造物の耐震診断基準・同解説，2001
- 2) SR-CF 工法研究会：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 オリエンタル白石株式会社 Oriental Shiraishi Corporation  
 \*2 広島県東部生コンクリート協同組合 East Hiroshima Ready Mixed Concrete Cooperative  
 \*3 清水建設（株）技術研究所・工博 Institute of Technology, Shimizu Corporation, Dr. Eng  
 \*4 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.  
 \*5 福山大学工学部建築・建設学科 教授・工博 Prof., Dept. of Architecture and Civil Engineering, Faculty of Eng., Fukuyama Univ., Dr. Eng.