

論文 鉄骨コンクリート複合構造橋脚の地震時における破壊性状に関する実験的研究

伊藤始^{*1}・原夏生^{*2}・小原孝之^{*1}・河野一徳^{*3}

要旨: 著者らが開発を進めている鉄骨コンクリート複合構造橋脚の地震時における破壊性状の把握を目的として、靱性破壊タイプとせん断破壊移行タイプの柱試験体について正負交番載荷実験を実施し、その地震時挙動について鉄筋コンクリート構造試験体との比較を行った。その結果、前者は、耐力、破壊性状について後者とほぼ同等であり、変形性能、エネルギー吸収性能については、同等以上であることが判明した。

キーワード: 橋脚、鉄骨コンクリート複合構造、正負交番載荷試験、耐震性能

1 はじめに

鉄骨コンクリート複合構造（以下SC構造と呼ぶ）橋脚¹⁾とは、鉄筋コンクリート構造（以下RC構造と呼ぶ）橋脚の軸方向鉄筋をすべて突起付きH形鋼（フランジ面に突起を設けたH形鋼）に置き換え、型枠として鋼繊維補強プレキャスト埋設型枠（以下プレキャスト型枠と呼ぶ）を使用することにより、施工の合理化を可

能にした橋脚の構造形式である。なお、プレキャスト型枠には、鋼繊維が混入してあるため、曲げひび割れ幅抑制効果²⁾、せん断補強効果³⁾があることが報告されている。

本研究は、鉄骨コンクリート複合構造橋脚の地震時における破壊性状を把握することを目的として靱性破壊タイプとせん断破壊移行タイプの異なった2つのタイプの柱試験体について正

表-1 試験体諸元

シリーズ	試験体名 *1	主鋼材種類 *2	主鋼材降伏点 fsy (N/mm ²)	主鋼材比 p	帯鉄筋径/ピッチ (mm)	帯鉄筋降伏点 fsy (N/mm ²)	帯鉄筋比 ps	コンクリート強度 f'c (N/mm ²)	曲げ終局耐力 Pcal (kN)	せん断耐力 Vcal (kN)
D	D-RC-1	鉄筋	386	0.025	D10/100	385	0.0048	30.0	664	1438
	D-SC-1	SH	274	0.030	D10/100	385	0.0048	33.5	601	1475
	D-SC-2	SH強	274	0.030	D10/100	385	0.0048	35.0	609	1483
	D-SC-3	NH	274	0.037	D10/100	385	0.0048	33.0	694	1509
	D-SC-4	NH	274	0.037	D10/200	385	0.0024	32.9	693	1032
S	S-RC-1	鉄筋	378	0.024	D13/120	385	0.0038	30.5	409	603
	S-SC-1	NH	349	0.037	D13/120	370	0.0038	29.4	446	557
	S-SC-2	SH	349	0.030	D13/120	370	0.0038	30.6	382	543
	S-SC-3F	SH	353	0.030	D13/120	385	0.0038	29.4	382	551
	S-SC-4F	SH	353	0.030	D13/180	385	0.0026	25.2	370	438
SH	SH-RC-1	鉄筋	378	0.024	D13/150	385	0.0031	47.9	425	519
	SH-SC-1F	SH	353	0.030	D13/150	385	0.0031	47.5	424	478

*1: シリーズ名(D・S(SH))、構造形式(RC・SC)の区別、シリーズ内番号、+F=鋼繊維補強プレキャスト型枠の有無を表現。

*2: NHは通常のH形鋼を、SHは突起付きH形鋼を、SH強は強軸(載荷方向に対してH形鋼の断面係数が大となる方向)

向きの突起付きH形鋼を表現。材質はRC構造がSD345を、SC構造がSS400を使用。

Dシリーズ: 矩形充実断面、寸法120×60cm、軸応力1.2N/mm²

Sシリーズ: 矩形充実断面、寸法55×55cm、軸応力なし

SHシリーズ: 矩形中空断面、寸法55×55(中空15×15)cm、軸応力なし

^{*1} 前田建設工業 (株) 技術本部技術研究所研究員 工修 (正会員)

^{*2} 前田建設工業 (株) 技術本部技術研究所主任 工修 (正会員)

^{*3} 前田建設工業 (株) 技術本部技術研究所課長代理 工修 (正会員)

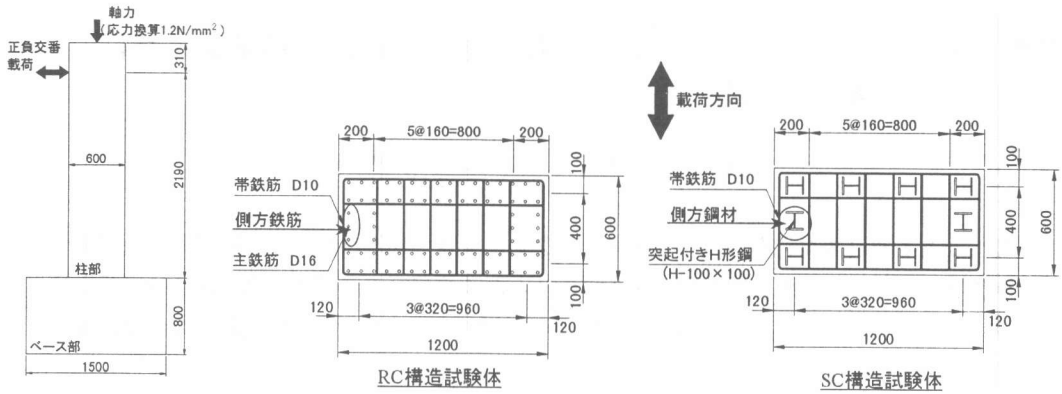


図-1 試験体図 (Dシリーズ)

負交番荷重実験を実施し、RC構造試験体との比較に加え、SC構造試験体の構造諸元による破壊性状の違いについても検討したものである。

2 靱性破壊試験体 (Dシリーズ)

2.1 試験体

試験体の諸元を表-1に、代表的な試験体の形状寸法を図-1に示す。試験体は、せん断余裕度を大きく(主に 2.5)するため、十分な帯鉄筋を配置するとともに、曲げ破壊が支配的となるようにせん断スパン比を比較的大きく(4.4)した。本実験では、構造形式の違い、荷重方向に対するH形鋼の向き、H形鋼の突起の有無、帯鉄筋ピッチの4項目をパラメータとした。なお、本試験体には、プレキャスト型枠を配置していない。

2.2 実験方法

実験は、水平加力方式の静的な正負交番荷重により行った。荷重は主鋼材の降伏変位を基準とする変位制御で行い、同一変位の繰り返し回数を1回とした。荷重点高さは基部から2.19m、軸力は応力換算で 1.2N/mm^2 を与えた。

2.3 試験結果

(1) 荷重-水平変位

図-2に荷重-荷重点変位の履歴図を示す。RC試験体は、水平変位 100mm を越えたあたりで荷重が減少し、逆S字型の履歴曲線になっている。それに対し、SC試験体は、水平変位 100mm を越えたところから徐々に荷重が下がっているものの、紡錘型の履歴曲線を示しており、200mm 付近まで健全な状態を保っている。また、荷重については、主鋼材の断面積や降伏

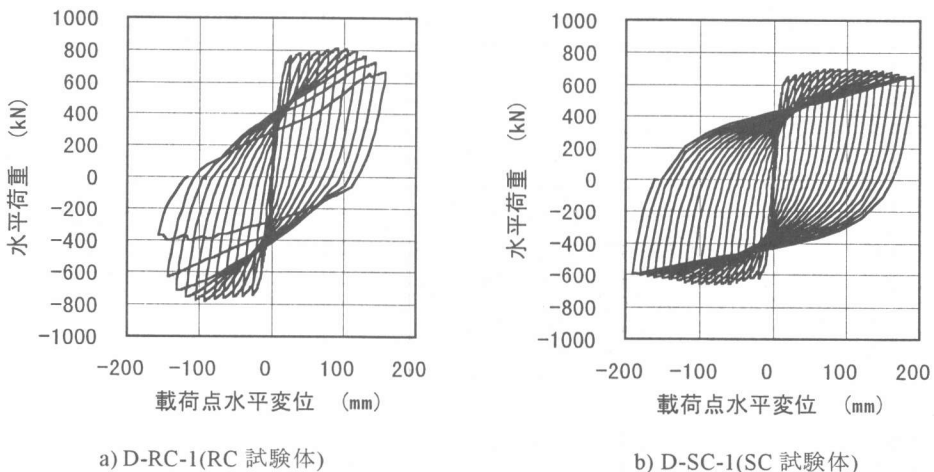


図-2 荷重-変位関係 (Dシリーズ)

強度に依存するものの構造形式の違いによる差は見られない。それらのことを考え合わせると S C 構造は R C 構造に比べ、耐力については同等であり、変形性能については優れていることがわかる。各試験体の荷重-変位関係の包絡線を図-3に示す。H 形鋼の向きについて、弱軸向きの D-SC-1 と強軸向きの D-SC-2 を比較する。弱軸に比べ強軸は耐力が優るものの水平変位が 200mm 付近ではほぼ同等になっており、H 形鋼の向きは、変形性能に影響しないことがわかる。突起の有無について、突起付き H 形鋼を用いた D-SC-1 と通常の H 形鋼を用いた D-SC-3 を比較した場合も、挙動に差異は認められず、突起の有無も変形性能に影響を与えないことがわかる。

帯鉄筋ピッチの違いについて、100mm の D-SC-3 と 200mm の D-SC-4 を比較する。両試験体の耐力はほぼ同等であるが、水平変位が 100mm を越えるあたりから、D-SC-4 は耐力が低下し、負側 150mm 付近で終局に至っている。しかしながら、帯鉄筋ピッチを 2 倍にした場合でも R C 試験体の変形量を上回っており、十分な変形性能を有していると言える。

(2) 等価粘性減衰定数

各試験体について算定した等価粘性減衰定数 h_{eq} を図-4に示す。ここで、等価粘性減衰定数は図-5で定義したものをを用いた。結果を見ると、突起付き H 形鋼を使用した D-SC-1、D-SC-2 については、 $19\delta y$ まで健全であることがわかる。通常の H 形鋼を用いた D-SC-3 は $13\delta y$ 付近で、また帯鉄筋ピッチを 2 倍にした D-SC-

4 は $10\delta y$ 付近で徐々に低下している。それに対して、R C 試験体は $10\delta y$ で急激にエネルギー吸収能力が低下しており、S C 試験体との差

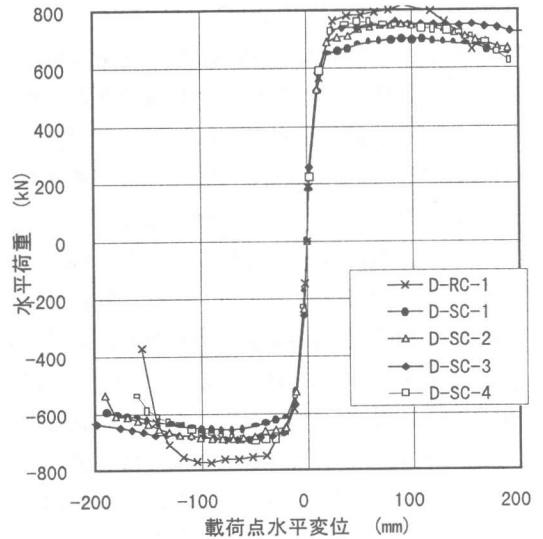


図-3 包絡線 (Dシリーズ)

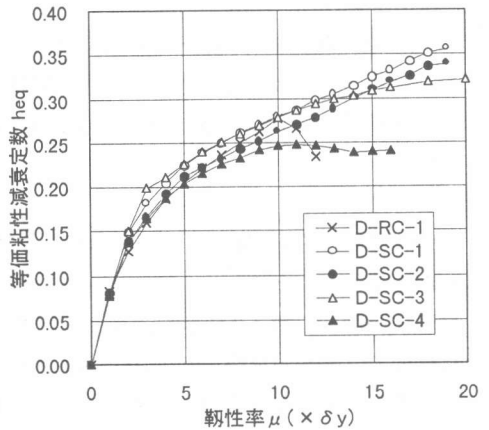


図-4 等価粘性減衰定数 (Dシリーズ)

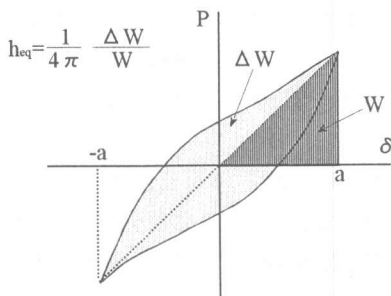


図-5 等価粘性減衰定数の定義^{4),5)}

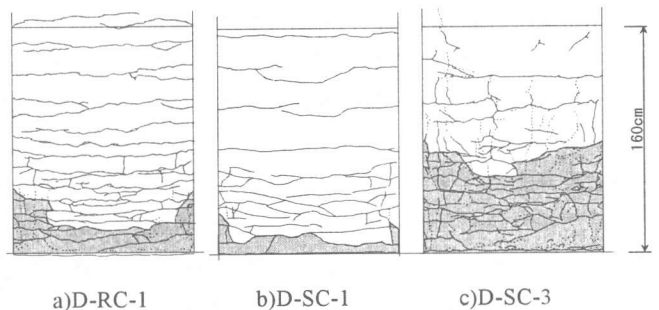


図-6 ひび割れ図 (Dシリーズ)

は顕著となった。

(3) ひび割れ図

主な試験体のひび割れ図を図-6に示す。試験体は、RC試験体のD-RC-1およびSC試験体突起付きH形鋼を用いたD-SC-1と通常H形鋼を用いたD-SC-3である。図は載荷面方向のものであり、実線は引張時に発生したひび割れ、点線は圧縮時に発生したひび割れ、ハッチング部分はかぶりコンクリートの剥落部分を示す。

RC試験体についてはひび割れが広い範囲に約15本と多数分布している。それに対してSC試験体は基部から60cmまではRCに近い性状であるが、上部についてはひび割れ間隔が20cm~30cmとなっている。一方、ひび割れ性状についてD-RC-1、D-SC-1ではほぼ水平なひび割れが発生しているが、D-SC-3では縦ひび割れや斜めのひび割れが目立つ。また、広い範囲でかぶりコンクリートの剥落も生じている。

(4) 塑性領域

図-7に軸方向鉄筋およびH形鋼における塑性率ごとの降伏領域の高さを示す。終局時において、SC構造はRC構造と同じ塑性領域を示している。

3 せん断破壊移行試験体 (S・SHシリーズ)

3.1 試験体

試験体の諸元を表-1に示す。また、代表的な試験体の形状寸法を図-8に示す。試験体は、曲げ降伏後にせん断破壊を起こすようにせん断余裕度を比較的小さく(1.2~1.5)した7体とした。本実験では、構造形式の違い、鋼繊維補強プレキャスト型枠の有無、H形鋼における突起の有無、帯鉄筋ピッチ、高強度コンクリートの使用による断面寸法・形状の違いの6項目をパラメータとした。

3.2 試験方法

試験方法はDシリーズと同様に、正負交番載荷で行った。載荷点高さは基部から1.275mとした。軸力は導入せず、繰り返し載荷の過程でのせん断耐力低下も含めて評価するため、同一

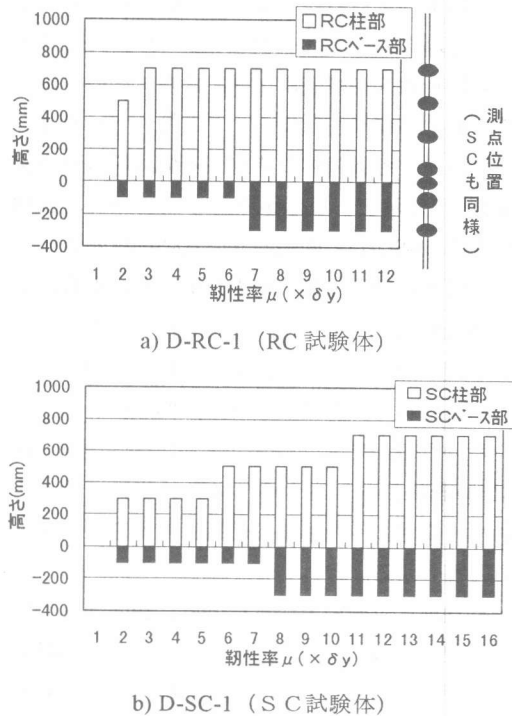


図-7 塑性領域

変位の正負繰り返しを3回とした。

3.3 試験結果

(1) 荷重-水平変位

図-9に各試験体の包絡線を示す。各試験体とも正側 $2 \delta y$ 時に最大応力に達し、それ以降、耐力が減少している。これは、S・SHシリーズの試験体が側方鉄筋および側方鋼材(図-1参照)を持たず、軸力を作用させていないことに起因し、引張側主鋼材の引張降伏と圧縮側主鋼材の圧縮降伏が生じたあとは主鋼材のみで力の釣り合いが取れ、モーメントアーム長が小さくなるためである。これらのことより、本シリーズにおける終局の定義は、降伏時に主鋼材のみで負担するモーメントを下回った時点と考えた。

帯鉄筋比が同じであるS-RC-1、S-SC-1、S-SC-2、S-SC-3Fについて終局変位を比較すると、RC構造は載荷点変位が40mmに達する前に脆性的に荷重が落ちている。一方、その他の試験体は降伏荷重程度を保ち続けている。特に表面にプ

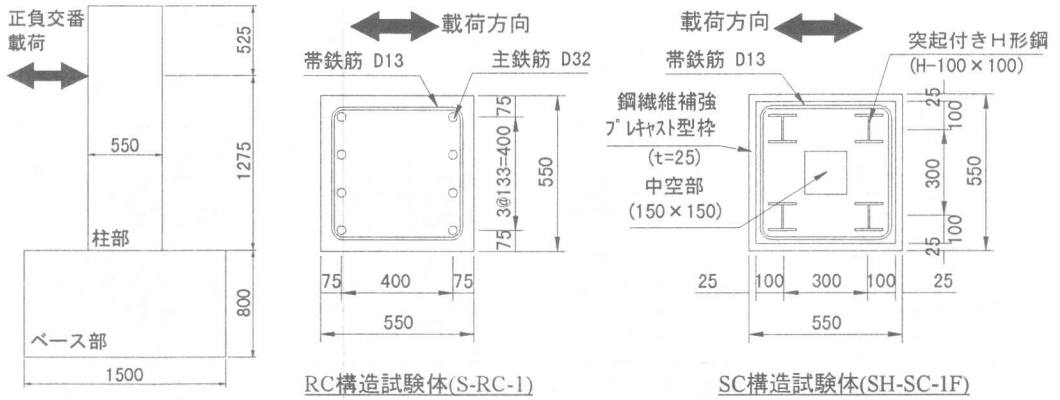


図-8 試験体図 (S・SHシリーズ)

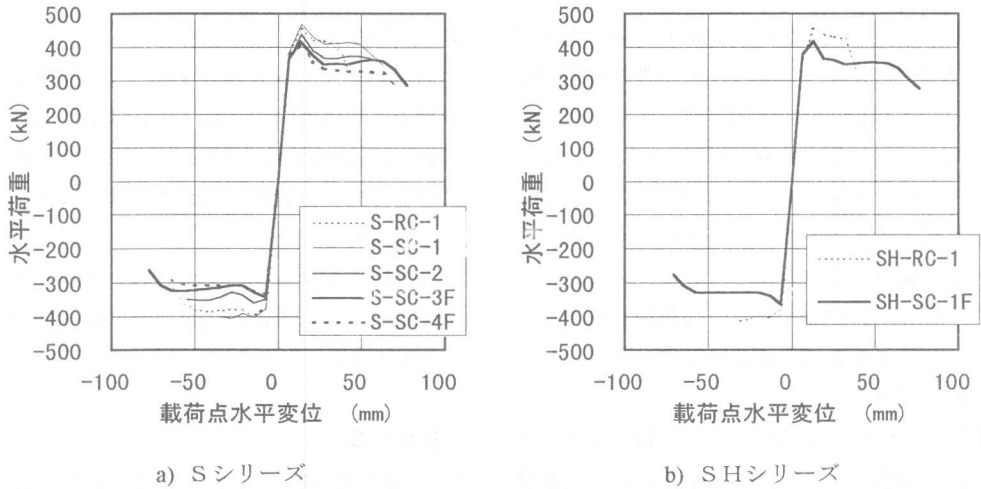


図-9 包絡線 (S・SHシリーズ)

レキャスト型枠を配置した S-SC-3F は荷重点変位が 70mm を越えたところで終局に至っている。これらのことより、せん断余裕度の小さい試験体においても S C 構造は R C 構造に比べ変形性能については優れていること、プレキャスト型枠を配置することにより変形性能が向上することがわかる。

また、断面を中空とした SH-RC-1, SH-SC-1F についても中実の場合と同様の知見が得られた。

(2) 等価粘性減衰定数

各試験体についての等価粘性減衰定数 h_{eq} を図-10に示す。図を見ると、突起付きH形鋼とプレキャスト型枠を用いた S-SC-3F, SH-SC-1F は $5 \delta_y$ 付近まで健全であり、それ以降も h_{eq}

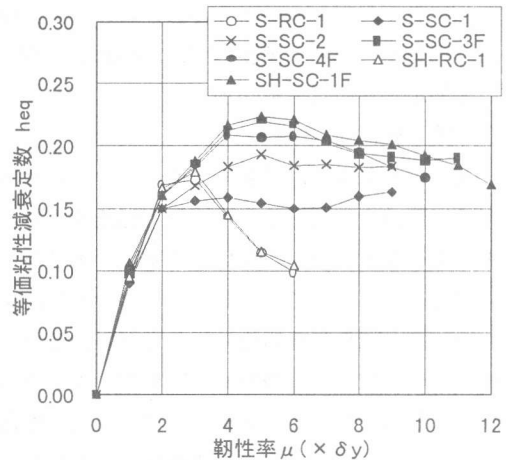


図-10 等価粘性減衰定数 (S・SHシリーズ)

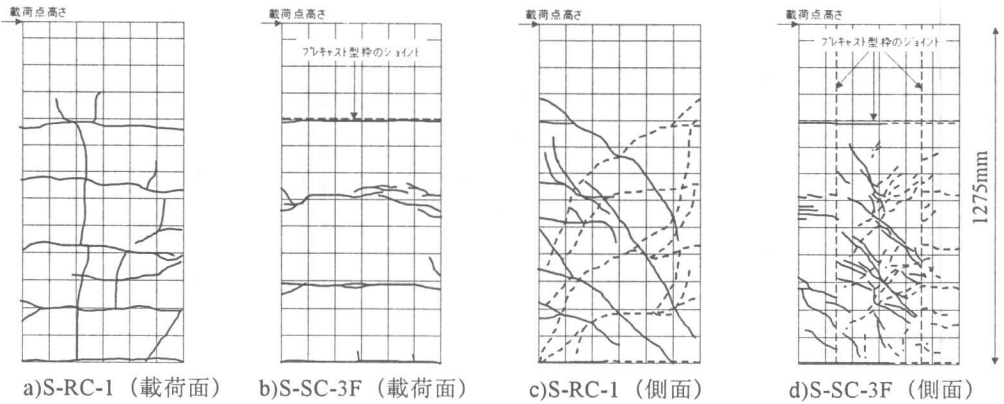


図-11 ひび割れ図 (Sシリーズ)

に急激な低下は見られない。通常のH形鋼を用いた S-SC-1 およびプレキャスト型枠を配置していない S-SC-2 は早い段階でエネルギー吸収能力が低下している。S-SC-4F については、Sシリーズの他の試験体に比べ、帯鉄筋ピッチが1.5倍と粗くなっているにもかかわらず、S-SC-3F とほぼ同様なグラフとなっている。それらに対して、RC試験体は、 $3\delta_y$ で急激に低下しており、ここでもSCとの差は顕著である。

(3) ひび割れ図

主な試験体のひび割れ図を図-11に示す。載荷面図を見ると、RC試験体に比べSC試験体では、曲げひび割れの本数が少ない。これは、プレキャスト型枠による曲げ補強効果と考えられる。また、SC試験体には柱軸方向に縦ひび割れが発生していないことがわかる。一方、側面図を見ると、SC試験体では、斜めひび割れの進展が少ないことがわかる。

(4) プレキャスト型枠

前述したように、試験体側面にプレキャスト型枠を配置することにより、変形性能やエネルギー吸収能力の向上、曲げひび割れの本数が少ないことがみられる。このことについては、プレキャスト型枠が鋼繊維で補強されているため、せん断補強鉄筋と同様のせん断補強効果が得られることおよびコアコンクリートが健全に保たれること、曲げひび割れ幅の抑制効果があることによるといわれている。³⁾

4 まとめ

本研究より、鉄骨コンクリート複合構造橋脚の耐震性能について、以下の結論が得られた。

- ① RC構造に比べ、耐力および破壊性状はほぼ同等であり、変形性能およびエネルギー吸収性能は同等以上である。
- ② 鋼繊維補強プレキャスト型枠を配置することにより、変形性能およびエネルギー吸収性能は向上する。

参考文献

- 1) 河野一徳ほか：PCa埋設型枠を有する鉄骨コンクリート複合構造橋脚の耐震性能に関する実験的研究,コンクリート工学年次論文報告書 Vol.18, No.2, pp.1325-1330, 1996.6
- 2) 原夏生ほか：ステンレスファイバーで補強したPCa型枠の曲げひび割れ幅抑制効果について,土木学会年次学術講演概要集,第5部, pp.120-121, 1995.9
- 3) 原夏生ほか：ステンレスファイバー補強プレキャスト型枠のせん断補強効果の定量的評価,コンクリート工学年次論文報告書 Vol.20, No.3, pp.307-312, 1998.7
- 4) 柴田明德：最新耐震構造解析, 森北出版, pp.48-49, 1981.6
- 5) 町田篤彦：鉄筋コンクリート構造物の耐震設計法に関する研究の現状,土木学会論文集, 第336号/V-4, pp.1-11, 1986.2