

論文 重ね継手接合部を持つ再生コンクリートを用いたハーフPCa骨組に関する実験研究

三浦誠司^{*1}・西浦範昭^{*2}・宮下剛士^{*3}・田中礼治^{*4}

要旨:コンクリート系構造物の解体時に発生するコンクリート塊の再利用の用途拡大を図る一つの方法として、再生コンクリートとしてRC建物の上部構造へ利用する方法が考えられる。本報では上部構造をハーフPCa構造として、外殻部を普通コンクリートで造ったハーフPCa部材の後打ち部に再生コンクリートを用い、部材の接合を重ね継手で接合した1層1スパン骨組試験体の水平加力実験を行い、重ね継手接合部を持つ再生コンクリートを用いたハーフPCa骨組の耐震性能を究明した。実験の結果、ハーフPCa部材は、十分な耐震性能を保有しており、上部構造への利用の可能性が認められた。

キーワード:再生コンクリート, ハーフPCa骨組, 重ね継手, 水平加力実験, 耐震性能

1. 目的

「重ね継手接合部を持つ再生コンクリートを用いたハーフPCa部材に関する実験」(以下、部材実験という)に引き続き、本報ではコンクリート塊の有効利用のため、再生コンクリートとして再生骨材を建築物の上部構造へ適用する可能性を追求している。本報では低品質な再生粗骨材を用い、再生コンクリートとして利用しているが、その場合、例えばヤング係数が小さいなど普通コンクリートに比べ材料的性能に関し課題が残る。部材の剛性低下などに対して懸念が残る。そこで、文献1)において再生コンクリートをハーフPCa部材の後打ち部に用い外殻部の普通コンクリートと複合的に用いることにより再生コンクリートが保有している材料的課題を補い得ることを検証した。文献1)では、後打ち部分に再生コンクリートを用いたものと、普通コンクリートを用いたはり部材と耐震性能は同等であることを確認した。部材実験では、実際にハーフPCa部材として利用することを前提として、部材の接合には力学的にも自由度の高い重ね継手で接合し、重ね継手接合部を持つ再

生コンクリートを用いたハーフPCa部材の耐震性能を究明した。ハーフPCa部材の接合を重ね継手で接合する報告として、例えば文献2)があり、本報も重ね継手の応力伝達は外殻部主筋と後打ち部継手筋とのコンクリート界面を介在した機構であるが、施工の容易性からハーフPCa部材は主筋とせん断補強筋を内蔵しており、施工の容易性を旨とした構造形態からその力学的性状を究明するものである。本報では、部材実験より耐震性能を保有していると確認されたハーフPCa部材(はり部材に関してはU型断面、柱部材に関してはロ型断面)を重ね継手で接合し、1層1スパン骨組として水平加力実験を行い、部材同様に骨組としても十分な耐震性能を保有しているかを確認することを目的とし、一体打ち骨組と比較検討した。

2. 試験体概要

2.1 試験体種別

試験体種別を表-1に示す。試験体は、ハーフPCa骨組の試験体1体と、一体打ち骨組の試験体1体の計2体である。ハーフPCa骨組のは

*1 オデッサ・テクノス(株)オデッサ・システム技術部技術開発課 工修 (正会員)

*2 西松建設(株)技術研究所技術研究部建築技術研究課 工修 (正会員)

*3 西松建設(株)技術研究所技術研究部建築技術研究課 (正会員)

*4 東北工業大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

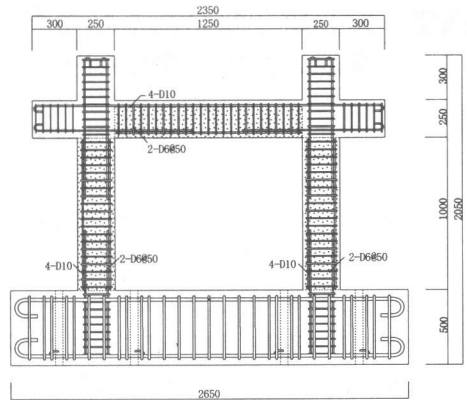
表-1 試験体種別

試験体名	種別	外殻部 コンクリート	後打ち部 コンクリート	重ね 継手筋	PCa 主筋	備 考
FRPC-295	ハーフ PCa	普通 $\sigma_a=38.8$ N/mm ²	再生 $\sigma_a=36.4$ N/mm ²	SD 295	SD 295	はり試験区間 1250mm 柱試験区間1000mm B×D=250×250mm
FN-295	一体 打ち	普通 $\sigma_a=$ 37.1N/mm ²		SD295		はりせん断スパン比 2.5 柱せん断スパン比2.0

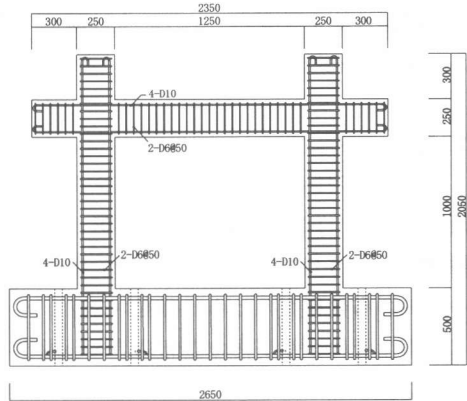
り部材にU型ハーフPCaはり部材を用い、柱部材にロ型ハーフPCa柱部材を用いた1層1スパン骨組である。U型ハーフPCaはり部材は外殻部に下端主筋とせん断補強筋を内蔵している。ロ型ハーフPCa柱部材は外殻部に主筋とせん断補強筋を内蔵している。使用主筋はSD295であり使用コンクリートは外殻部に普通コンクリートとし後打ち部に再生コンクリートを用いている。はり上端主筋は一本物として通し配筋とするが下端主筋は重ね継手により鉄筋を接合している。柱部材においては全主筋とも重ね継手で接合し、継手長さは全部材とも40dで共通である。重ね継手筋はSD295である。また、比較用として主筋にSD295を用いた一体打ち試験体を設けた。全試験体とも、はり降伏型の曲げ破壊型の骨組に設計している。外殻部の普通コンクリート強度と後打ち部に用いた再生コンクリート強度はほぼ同一強度のものである。

2.2 試験体の形状、寸法、および配筋

試験体の形状と寸法は全試験体とも共通である。形状と寸法を図-1に示す。はりせいD=25cm、はり幅B=25cm、試験区間長さl=125cm、せん断スパン比(a/D)は2.5である。柱せいD=25cm、柱幅B=25cm、試験区間長さl=100cm、せん断スパン比(a/D)は2.0である。断面配筋の詳細を図-2に示す。U型およびロ型ハーフPCa部材の外殻部の厚さは全て45mmである。主筋および重ね継手筋はSD295の4-D10、ハーフPCa内蔵のせん断補強筋および一体打ち試験体のせん断補強筋はSD345@50を用い全試験体とも共通である。

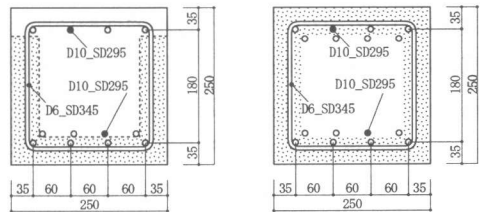


(BRPC-295)



(BN-295)

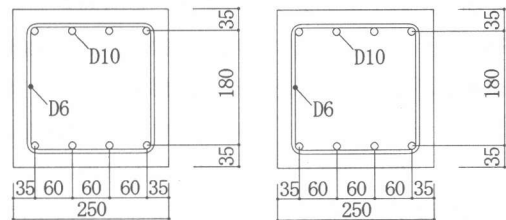
図-1 試験体の形状と寸法



はり部材

柱部材

(ハーフPCa試験体)



はり部材

柱部材

(一体打ち試験体)

図-2 断面配筋の詳細

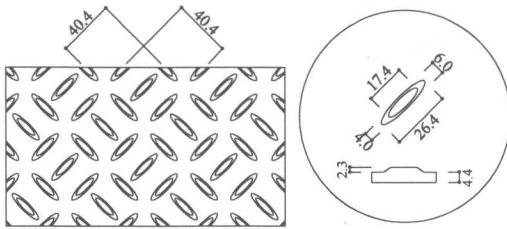


図-3 シヤーコッターの詳細図

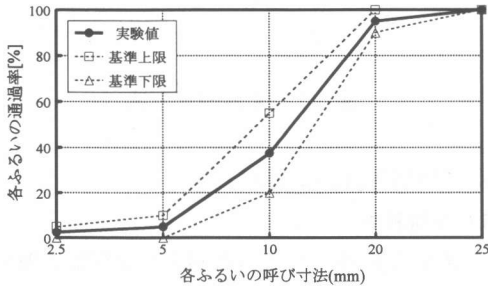


図-4 再生粗骨材の粒度分布

表-2 再生粗骨材の材料試験の結果

項目	測定値
表乾比重	2.34
絶乾比重	2.18
吸水率 (%)	7.40
洗い損失量 (%)	0.02

表-3 再生骨材暫定品質基準(案)

項目	再生粗骨材		
	1種	2種	3種
吸水率 (%)	3以下	3超え5以下	5超え7以下
洗い損失量 (%)	1.5以下		

2.3 シヤーコッター

外殻部の内部の表面には図-3に示すようなシヤーコッターを設けた。

3. 使用材料

3.1 再生粗骨材

再生粗骨材は、実験室で製造した普通コンクリート ($\sigma_B=23.9\text{N/mm}^2$) をジョークラッシャーを用い破碎し製造した。製造した再生粗骨材

を「再生骨材の暫定品質基準(案)」³⁾(以下、基準(案))に示されている粒度曲線の上限值と下限値の平均値に近づけるよう粒度分布の調整を行った。実験に用いた再生粗骨材の粒度分布を図-4に示す。また、使用した再生粗骨材の材料試験の結果を表-2に示す。基準(案)に示されている再生粗骨材の品質基準を表-3に示す。表-2および表-3より、本実験で使用した再生粗骨材は吸水率が大きく、3種にも適合しないものであった。なお、細骨材には川砂を用いた。

3.2 再生コンクリートおよび普通コンクリート

後打ち部の再生コンクリートおよび外殻部と一体打ちの普通コンクリートとも早強ポルトランドセメントを用いた。再生コンクリートの調合表を表-4に示す。普通コンクリートは通常のレディーミクストコンクリートを用いた。コンクリートの性質を表-5に、 $\sigma-\epsilon$ 曲線を図-5に示す。外殻部の普通コンクリートの圧縮強度は $\sigma_B=38.8\text{N/mm}^2$ 、ヤング係数は $E_c=3.49 \times 10^4\text{N/mm}^2$ であった。後打ちコンクリートの再生コンクリートは圧縮強度が $\sigma_B=36.4\text{N/mm}^2$ 、ヤング係数は $E_c=2.45 \times 10^4\text{N/mm}^2$ であり、一体打ちの普通コンクリートは圧縮強度が $\sigma_B=37.1\text{N/mm}^2$ 、ヤング係数は $E_c=3.32 \times 10^4\text{N/mm}^2$ で、強度は再生コンクリートと普通コンクリートともほぼ同程度のものではあったが、ヤング係数は再生コンクリートの方が小さかった。

表-4 再生コンクリートの調合表

W/C [%]	スランブ [cm]	Air [%]	s/a [%]	単位質量 [kg/m ³]				
				W	C	S	G	減水剤
45	18	3.0	42	181	411	693	895	4.52

表-5 コンクリートの性質

コンクリート種別	部位	圧縮強度 σ_B (N/mm ²)	圧縮強度時ひずみ ϵ_B (%)	ヤング係数 E_c (N/mm ²)
普通	外殻	38.8	0.179	3.49×10^4
	一体打	37.1	0.186	3.32×10^4
再生	後打ち	36.4	0.223	2.45×10^4

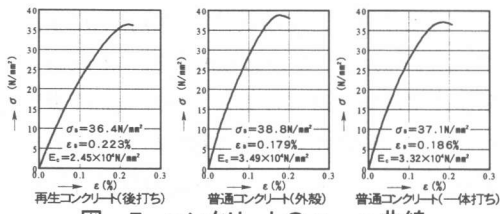


図-5 コンクリートの $\sigma - \epsilon$ 曲線

3.3 鉄筋

鉄筋の機械的性質を表-6に示す。主筋はSD295のD10を、せん断補強筋は全試験体ともSD345のD6を用いた。主筋は全て明確な降伏点を有するものであった。せん断補強筋D6は明確な降伏点を持たないものであった。

表-6 使用鉄筋の機械的性質

鉄筋種別	鉄筋径	鉄筋強度	降伏耐力 σ_y (N/mm ²)	降伏点ひずみ ϵ_y (%)	ヤング係数 E_s (N/mm ²)
主筋	D10	SD295	351	0.186	1.90×10^5
あばら筋	D6	SD345	404	0.232	1.76×10^5

4. 加力および変位測定方法

加力装置を図-6に示す。加力の方法は、まず、軸力を载荷し、次いで水平荷重を载荷した。実験中は軸力(1/8 σ_B)を一定に保持した。加力に変位制御とし、正負1回ごとに繰り返し、(R)=3.0/100rad.までは0.5/100rad.ごとに、それ以後は1.0/100rad.ごとに制御した。変位測定方法を図-7に示す。試験体の層間変位を変位計(1/100mm精度)で測定した。主筋とあばら筋のひずみをワイヤーストレインゲージ(検長2mm)で測定した。

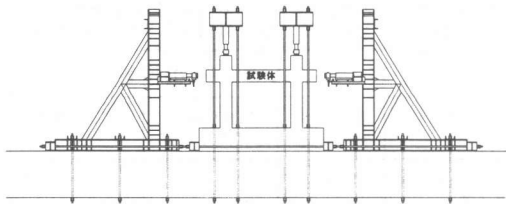


図-6 加力装置

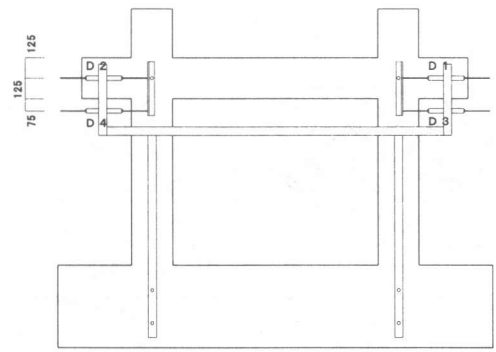


図-7 変位測定方法

5. 実験結果および検討

5.1 実験結果

(1)最大荷重,最大荷重時部材角および破壊形式

各試験体の実験結果を表-7に示す。表には各試験体の最大荷重,最大荷重時部材角,および破壊形式を示した。最大荷重と最大荷重時部材角は正負荷重時の平均値である。全試験体とも主筋の降伏が確認された。

表-7 実験結果一覧

試験体名	最大荷重 (kN)	最大荷重時部材角 (1/100rad.)	破壊形式
FRPC-295	165.6	2.4	FC
FN-295	165.4	1.8	

FC:主筋降伏後のコンクリート圧壊による曲げ破壊

(2)破壊経過

最大荷重時のひび割れ状況を図-8に示す。ひび割れは全試験体とも応力の大きいはり、柱材端に発生し、その傾向は同様であり、ハーフPCa骨組と一体打ち骨組の相違はなかった。破壊経過としても全試験体ともにはり降伏型であり、その傾向は近似していた。全試験体の破壊経過は次の通りであった。はり材端に曲げ初ひび割れが発生し、次に柱脚に曲げ初ひび割れが発生した。はり部材材端の曲げひび割れの発生が目立ち、次第に柱脚にも曲げひび割れが発生していく。はり部材、柱部材ともに曲げせん断ひび割れが発生するが曲げひび割れの進展が目

立った。柱頭にはほとんどひび割れは発生しなかった。主筋降伏後は、PCa骨組試験体に関してははり材端および柱脚の危険断面位置のひび割れ幅の増大が目立ち始めた。降伏後の耐力の増加は小さく、はり、柱材端のコンクリートが圧壊し最大荷重に達する曲げ破壊であった。なお、主筋の降伏順序は全試験体ともに以下の通りであった。まず、ほぼ同時にはり材端の主筋が降伏し、その後同時点で柱脚主筋が降伏した。柱頭に関しては主筋の降伏は認められなかった。

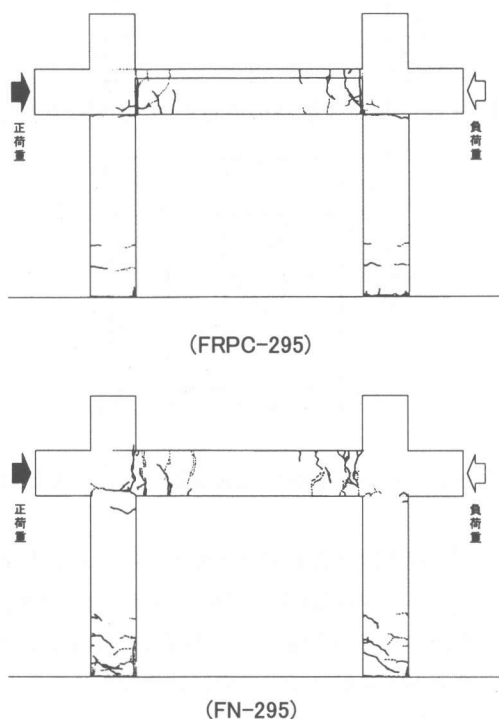


図-8 最大荷重時のひび割れ状況

5.2 検討

(1)重ね継手接合したPCa骨組の力学的特性

図-9にPCa骨組(FRPC-295)と一体打ち(FN-295)のQ-R曲線をそれぞれ比較して示す。図-9におけるQは、水平せん断力であり、Rは層間部材角である。層間部材角 $R=2.0/100\text{rad}$ 程度まではPCa骨組と一体打ち骨組の履歴曲線がよく近似している。しかし、 $R>2.0/100\text{rad}$ と層間部材角の大きい範囲ではPCa骨組の履歴

曲線は一体打ちのものより逆S傾向が強くなる性状が認められた。但し、全試験体とも主筋の降伏後は大きな荷重の増大があまり見られず変形が増大してもほぼ一定の荷重を維持し、最大荷重に達した後の耐力低下も緩やかな靱性に富んだ典型的な曲げ破壊型の履歴ループを示した。以上より、再生コンクリートを用いたハーフPCa部材を重ね継手で接合した骨組でも、一体打ちと同様な傾向を示し実用的な層間部材角 $R=2.0/100\text{rad}$ 程度の範囲までは履歴ループに与える影響は小さいことが認められた。

等価粘性減衰定数(heq)の定義を図-10に示す。図-10の(1)式より(heq)を求め図-11に比較して示す。heqは全試験体とも実験終了時までの値が右上がり増加していく傾向を示した。しかし、層間部材角 $R=2.0/100\text{rad}$ より大きい範囲ではPCa骨組の方が一体打ち骨組よりheqの増加が少なくなり小さい値を示した。このことは、Q-R曲線にも現れていたように逆S型の影響によるものと考えられる。以上のことより、再生コンクリートを用いたハーフPCa部材を重ね継手で接合した骨組の等価粘性減衰定数の性状は、 $2.0/100\text{rad}$ 程度までは一体打ち骨組と同様な傾向を示し等価粘性減衰定数に与える影響が小さいことが認められた。

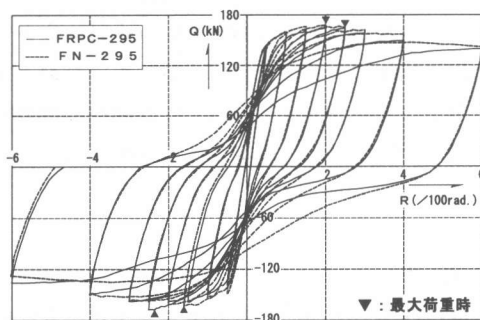


図-9 Q-R曲線の比較

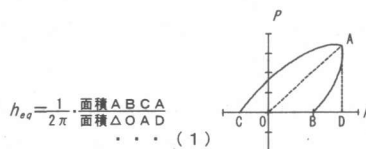


図-10 等価粘性減衰定数の定義

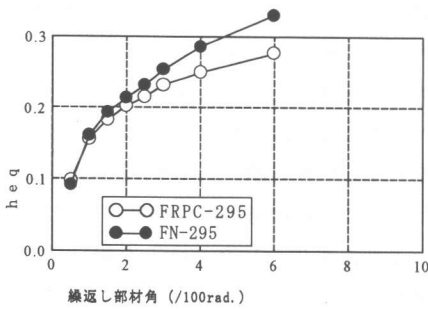


図-11 等価粘性減衰定数の比較

(2)最大荷重時に関する実験値と計算値の比較

曲げ降伏型の骨組の耐力を求める場合、崩壊機構を仮定して行うのが一般的である。重ね継手接合部を持つ再生コンクリートを用いたPCa骨組にも、従来使用されている崩壊機構を仮定した算定法が適用できるかを検討する。部材の曲げ強度の算定は一体打ちで通常用いられている⁴⁾(2), (3)式を用いた。本報の場合は、計画通りの破壊形式であったこともあり、はり材端が降伏した場合の崩壊機構を仮定した。図-12のモーメント図から骨組耐力を算定した。計算結果を図-13に示す。計算値は実験値を安全側に評価していることが分かる。これより、一体打ち部材を対象とした既往の曲げ終局強度式を用い、通常の崩壊機構を仮定して骨組耐力を算定する方法を用いて重ね継手接合した再生コンクリート用いたハーフPCa骨組の終局強度を安全側に評価できることが認められた。なお、安全率が大きい理由としては、はり部材の軸力を考慮せずに算定した仮定によるものであると考えられる。

6. まとめ

重ね継手で接合部した再生コンクリートを用いたハーフPCa骨組の水平加力実験を行った結果、本実験の範囲内で次のことが認められた。

- ①重ね継手接合部を持つ再生コンクリートを用いたハーフPCa骨組の破壊経過、Q-R曲線、および等価粘性減衰定数は一体打ち部材とよく近似している。

○はりの終局曲げモーメント

$$M_{BU} = 0.9 a_t \sigma_y d \quad \dots (2)$$

○柱の終局曲げモーメント

$$M_{CU} = (d_1 - d_{c1}) a_t \sigma_y D + ND \left(g_1 - \frac{k_2}{k_1 k_3} \frac{N}{b D F_c} \right) \quad \dots (3)$$

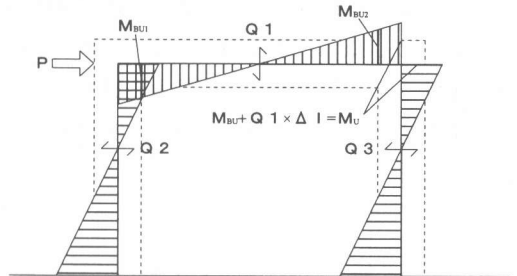


図-12 終局強度時の曲げモーメント図の仮定

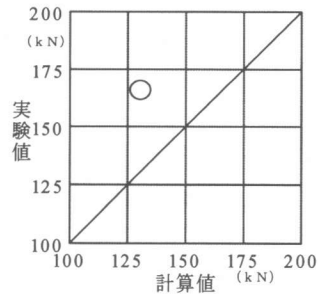


図-13 PCa骨組耐力の実験値と計算値の比較

- ②重ね継手接合部を持つ再生コンクリートを用いたハーフPCa骨組の曲げ終局強度は、通常用いられている既往の一体打ちを対象とした算定方法を用いて安全側に評価できることが認められた。

【参考文献】

- 1) 西浦範昭, 笠松照親, 宮下剛士, 田中礼治:再生コンクリートを用いたハーフPCaはり部材に関する実験研究, コンクリート工学年次論文報告集 Vol.22, No.2, 2000, pp1189~1194
- 2) 例えば, 東健二, 香取慶一, 林静雄:梁端接合部で重ね継手した鉄筋コンクリート梁の曲げせん断性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 16, No.2, pp295-300, 1994
- 3) (財)国土開発技術研究センター:建設副産物の発生抑制・再生利用技術の開発報告書, 平成9年度
- 4) 日本建築学会:鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 1988