

# 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部材に関する実験研究

西浦範昭<sup>\*1</sup>・笠松照親<sup>\*2</sup>・宮下剛士<sup>\*3</sup>・田中礼治<sup>\*4</sup>

**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建物の上部構造利用が考えられる。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U型断面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試験体の曲げせん断実験を行い、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部材の耐震性能を究明した。実験の結果、重ね継手で接合した再生コンクリートを用いたハーフ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部材, 重ね継手, 曲げせん断実験, 耐震性能

## 1. 目的

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有効利用のため、筆者らは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しコンクリート塊の使用範囲を拡大することにより廃棄処分量を減少させることが可能であると考えている。対象とする再生コンクリートは、低品質な再生粗骨材を100%使用した再生コンクリート(以下、単に再生コンクリートという)であり、その場合、建築物の上部構造への利用の可能性が問題となるが、筆者らは文献1)において再生粗骨材を用いた一体打ち部材の耐震性能は普通骨材を用いたものと同等であることを検証している。しかし、再生コンクリートは、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性能に関し課題が残り、部材の剛性低下などに関して懸念が残る。そこで、文献2)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2)では、後打ち部に

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もので比較した結果、シヤーコッター等の影響は見られず、両者は同等の耐震性能を示した。本報では、実際にハーフPCa部材として利用することを前提とした場合、当然のことながら部材同士を接合することとなるが、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することを想定している。また、ハーフPCa部材は現場作業の低減をはかるため外殻部に主筋とせん断補強筋を内蔵した形式としており、本実験の試験体は文献2)と同形状のものを用いた。このハーフPCa部材を重ね継手で接合する場合、重ね継手筋は後打ち部の再生コンクリート内部で継ぐことになり、重ね継手の応力伝達は外殻部と内殻部のコンクリート界面を介在した機構となる。そこで、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部材の曲げせん断実験を行い、一体打ち部材と比較検討し、その耐震性能を明らかにすることを目的としている。また、重ね継手で接合する時には、当然のことながら部材接合面では有効せい(d)が減少する。本報では、有効せいの減少に

\*1 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)

\*2 西松建設(株)技術研究所技術研究部 工修

\*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)

対し、重ね継手筋の高強度化の影響についても検討を行っている。

## 2. 試験体概要

### 2.1 試験体種別

試験体種別を表-1に示す。試験体は外殻部形状がU型断面のハーフPCa部材であり、外殻部に下端主筋とせん断補強筋を内蔵している。使用コンクリートは外殻部を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。全試験体の主筋強度はSD295である。上端主筋は通し筋とし、下端主筋は重ね継手により主筋を接合している。ちなみに重ね継手長さは全試験体ともに40dである。重ね継手で接合されたハーフPCa部材の力学的性状を把握するため、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。また、主筋の接合は重ね継手筋の高強度化の影響を把握するために、SD295、SD345、SD490と継手筋の強度を変化させた。ハーフPCa部材の試験体は全部で3体であり、一体打ちの試験体1体を含め合計4体である。全試験体とも曲げ破壊するように設計している。

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
BRPC-295	ハーフ PCa	普通 $\sigma_B = 37.0$ N/mm <sup>2</sup>	再生 $\sigma_B = 35.8$ N/mm <sup>2</sup>	SD295	SD 295	B×D= 250×250mm 試験区間 1250mm
BRPC-345				SD345		
BRPC-490				SD490		
BN-295	一体打	普通 $\sigma_B = 34.4$ N/mm <sup>2</sup>		主筋SD295	せん断スパン 比2.5	

### 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。形状と寸法の一例を図-1に示す。部材せいD=25cm、部材幅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。断面配筋の詳細を図-2に示す。ハーフPCa部材内蔵の下端主筋、上端通し筋の主筋および一体打ち試験体の主筋はSD295、4-D10である。ハーフ

PCa部材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であり、全試験体共通である。下端主筋を接合する重ね継手筋はSD295、SD345、SD490を試験体ごとで使用している。

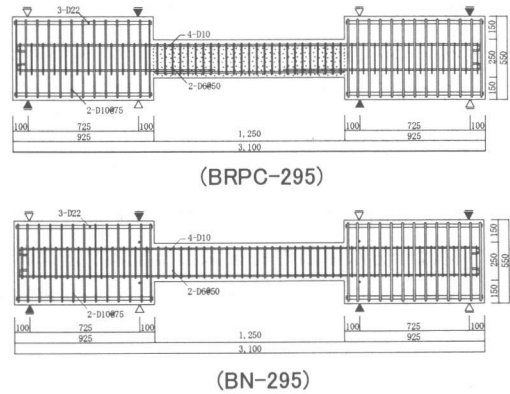


図-1 試験体の形状と寸法の一例

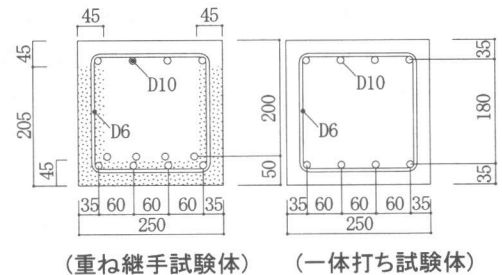


図-2 断面配筋の詳細

### 2.3 シヤーコッター

U型ハーフPCa部材の外殻部の厚さは全て45mmである。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。

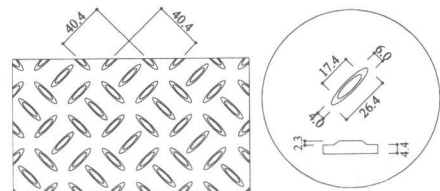


図-3 シヤーコッターの詳細図

## 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( $\sigma_B = 23.9$  N/mm<sup>2</sup>)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に対し「再生骨材の暫定品質基準(案)」<sup>3)</sup>(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と基準(案)に示されている再生粗骨材の品質基準を

それぞれ表-2と表-3に示す。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。

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

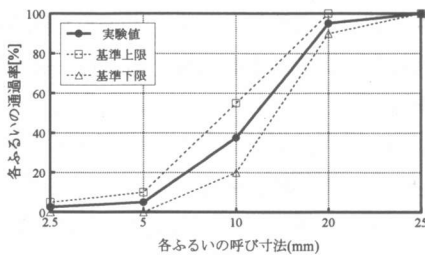


図-4 再生粗骨材の粒度分布

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を超え5以下	5を超え7以下
洗い損失量(%)	1.5以下		

### 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査表を表-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、また、 $\sigma - \epsilon$  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 $\sigma_B = 37.0 \text{ N/mm}^2$ 、ヤング係数は $E_c = 3.15 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 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 $\sigma_B = 35.8 \text{ N/mm}^2$ 、ヤング係数は $E_c = 2.47 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ であり、一体打ちの普通コンクリートは圧縮強度が $\sigma_B = 34.4 \text{ N/mm}^2$ 、ヤング係数は $E_c = 3.82 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 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あったが、ヤング係数に関して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査表

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

表-5 コンクリートの性質

部位	コンクリート種別	圧縮強度 $\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮強度時ひずみ $\epsilon_B$ (%)	ヤング係数 $E_c$ (N/mm <sup>2</sup> )
外殻	普通	37.0	0.192	$3.15 \times 10^4$
後打ち	再生	35.8	0.222	$2.47 \times 10^4$
一体打	普通	34.4	0.147	$3.82 \times 10^4$

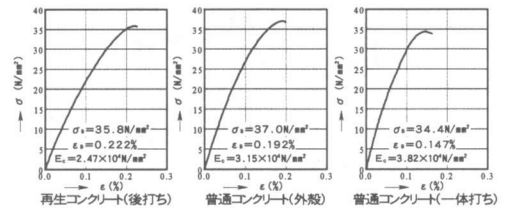


図-5 コンクリートの $\sigma - \epsilon$  曲線

### 3.3 鉄筋

使用鉄筋の機械的性質を表-6に示す。主筋はSD295のD10を、重ね継手筋はSD295, SD345, SD490のそれぞれD10を、せん断補強筋は全試験体ともに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り、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	鉄筋種別	降伏耐力 $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	降伏点ひずみ $\epsilon_y$ (%)	ヤング係数 $E_s$ (N/mm <sup>2</sup> )
主筋および重ね継手筋	D10	SD295	351	0.186	$1.90 \times 10^5$
		SD345	376	0.203	$1.85 \times 10^5$
		SD490	530	0.269	$1.97 \times 10^5$
あばら筋	D6	SD345	404	0.232	$1.76 \times 10^5$

#### 4. 加力および変位測定方法

加力装置を図-6に示す。加力は大野式逆対称加力方法により静的载荷を行なった。载荷は、正負1回ごとに繰り返し、加力の制御は最初の1サイクル目は主筋が長期許容引張応力度 $f_t = 215.7\text{N/mm}^2$ 時の荷重とした。2サイクル目からは変位制御とし、 $(R=)3.0/100\text{rad}$ までは $0.5/100\text{rad}$ ごとに、それ以後は $1.0/100\text{rad}$ ごとに制御した。変位測定方法を図-7に示した。変位は、試験体中央部の相対たわみを変位計(1/100mm精度)で測定した。

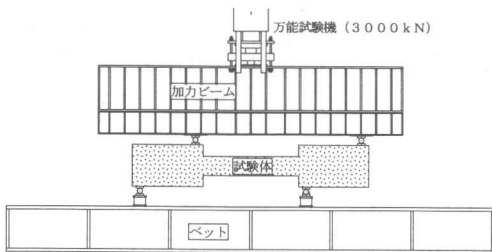


図-6 加力装置

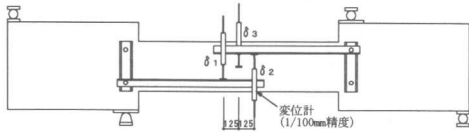


図-7 変形測定方法

#### 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

全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す。最大荷重と最大荷重時部材角は正負荷重の平均値である。全試験体とも主筋の降伏が確認された。

###### (2)破壊経過

最大荷重時のひび割れ状況に関しては、若干PCa部材より一体打ち部材の方が全体的にひび割れの発生量が多い傾向にあった。PCa部材は危険断面位置のひび割れ幅が目立ったが、全試験体ともに傾向は同様であった。PCa部材同士で比較すると、重ね継手筋の強度の低いSD295

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
BRPC-295	35.0	8.0	FC
BRPC-345	37.2	5.0	
BRPC-490	43.6	3.0	
BN-295	37.2	4.9	

FC:主筋降伏後の圧縮部圧壊による曲げ破壊型

の試験体のひび割れはあまり発生していないが、重ね継手筋の強度が増加するに従い、ひび割れの発生量が増加する傾向にある。以上、ハーフPCa部材を重ね継手で接合しても一体打ち部材と大差のない性状を示すことが認められた。

##### (3)Q-R曲線

全試験体のQ-R曲線を図-8に示す。Qは、試験体区間の作用せん断力であり、Rは図-7の $\delta_1$ と $\delta_2$ の平均値を試験区間の長さで除して試験区間以外を剛域と仮定して求めた試験区間の部材角である。全試験体ともにQ-R曲線の傾向は近似しており、主筋の降伏後大きな荷重の増加はなく、変形が増大してもほぼ一定の荷重を維持した。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。

##### 5.2 検討

###### (1)重ね継手で接合したPCa部材の力学的特性

重ね継手で接合したPCa部材の力学的特性を把握するために、使用鉄筋強度がSD295であるPCa部材のBRPC-295と一体打ち部材のBN-295とのQ-R曲線を図-9に比較して示す。PCa部材の方が一体打ち部材に比べ全体的に荷重の小さいループ性状を示したが、両者のループ形状および傾向は近似している。全体的に荷重の小さい履歴性状を示した理由としては、PCa部材の方が有効せい(d)が小さいためである。等価粘性減衰定数(heq)の定義を図-10に示す。(1)式を用いBRPC-295とBN-295の比較を図-11に示す。両者のheqの傾向は近似しており、大きな違いは認められなかった。以上、再生コン

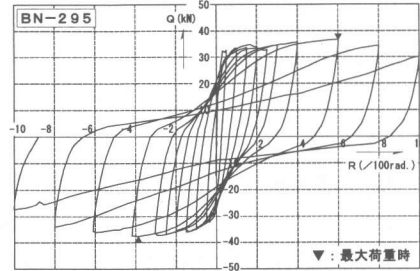
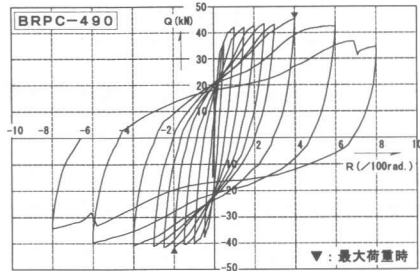
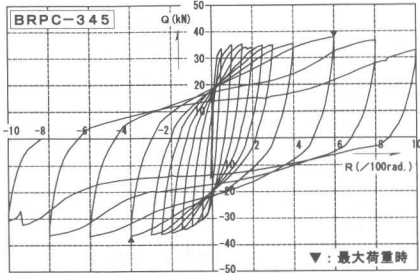
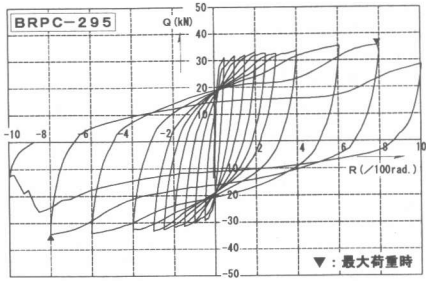


図-8 Q-R曲線

クリートを用いたハープPCa部材を重ね継手で接合しても、一体打ち部材と履歴ループ形状、面積等が近似していることが認められた。また、シヤーコッターの影響も特に見られなかった。力学的特性に関し、一体打ち部材と遜色のない力学的特性をもつことが確認された。

(2)重ね継手の高強度化の効果

重ね継手筋の高強度化の効果を把握するために、BRPC-295, BRPC-345, BRPC-490試験体の

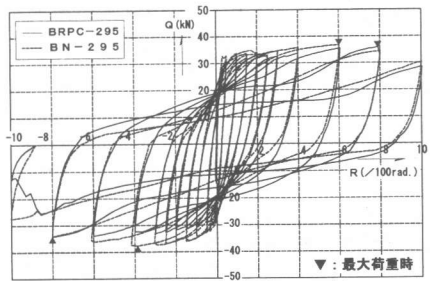


図-9 Q-R曲線の比較

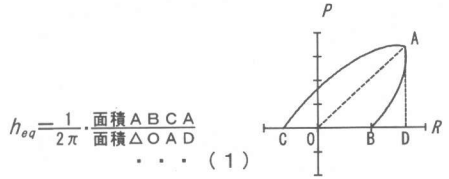


図-10 等価粘性減衰定数の定義

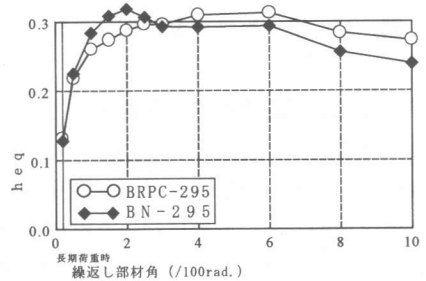


図-11 等価粘性減衰定数の比較

包絡線を図-12に比較して示す。降伏荷重および最大荷重は、重ね継手筋の強度の小さいSD295で接合した部材が最も小さく、重ね継手筋の強度を増加させるごとに各荷重が増大する傾向にある。有効せいの減少に対し重ね継手筋を高強度化する効果が認められた。しかし、最大荷重時の部材角は、重ね継手筋の強度が高くなるに従い小さくなる傾向にあった。図-13に図-10の(1)式よりBRPC-295, BRPC-345, BRPC-490試験体の $h_{eq}$ を比較して示す。重ね継手筋の強度の小さいSD295で接合したBRPC-295の $h_{eq}$ が全体的に一番高く、重ね継手筋の強度を増加させるごとに値が減少していく傾向を示した。このことより、重ね継手筋の高強度化は、部材の最大荷重等の増大には寄与するが、部材の $h_{eq}$ は減少することが認められた。

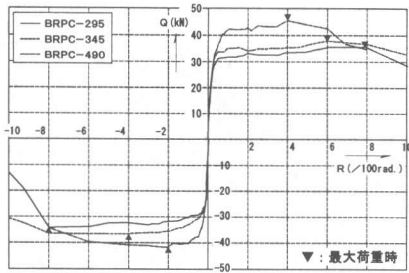


図-12 包絡線の比較

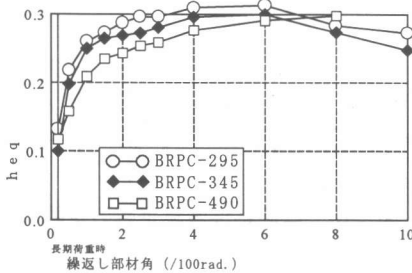


図-13 等価粘性減衰定数の比較

○曲げ終局強度

$$\mu_u = 0.9 a_t \cdot \sigma_y \cdot d \quad \dots \quad (2)$$

$a_t$  : 引張鉄筋の断面積

$\sigma_y$  : 引張鉄筋の降伏耐力  $d$  : 有効せい

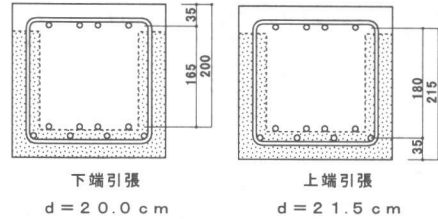


図-14 断面の有効せい

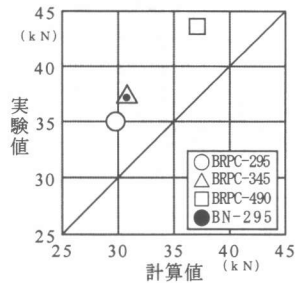


図-15 最大荷重の実験値と計算値の比較

(3)最大荷重の実験値と計算値の比較

一体打ち部材の計算式として通常用いられている曲げ終局強度<sup>4)</sup>の(2)式を用いて計算値を求め実験値と比較した。計算に用いた有効せいを図-14に示す。曲げ終局強度の計算値と実験値との比較を図-15に示す。一体打ちの計算式を用い、後打ち部に再生コンクリートを用いたハーフPCaはり部材の曲げ終局強度を安全側に評価できることが認められた。

6. まとめ

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部材の曲げせん断実験を行った結果、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部材の破壊経過、Q-R曲線、および等価粘性減衰定数は一体打ち部材と類似していた。
- 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部材の重ね継手筋の高強度化の効果は、降伏荷重および最大荷重の増大につながるが、等価粘性減衰定数が減少するの

で注意が必要である。

- ③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部材の曲げ終局強度は、既往の一体打ち部材を対象とした算定式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) 田中礼治, 鳩山順夫, 但木幸男, 西浦範昭, 大芳賀義喜:再生コンクリートを用いた鉄筋コンクリート構造に関する研究(その1 はり部材の曲げ,せん断,および付着破壊に関する実験), 日本建築学会構造系論文集, 第518号, pp 79-86, 1999.4
- 2) 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
- 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