

論文 再生コンクリートを用いたハーフPCa部材接合の有効重ね継手長さに関する実験研究

西浦 範昭*1・宮下 剛士*1・但木 幸男*2・田中 礼治*3

要旨：コンクリート塊の再利用の用途拡大をはかる一つの方法として，再生骨材を構造用コンクリートの骨材として再利用し，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する利用方法を想定している。この場合，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あき重ね継手となる。普通コンクリートと同等強度とした再生コンクリートを使用した，あき重ね継手性状を実験的に把握することを目的としている。

キーワード：再生コンクリート，ハーフPCa部材，重ね継手

1. 目的

現在，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多くは，破碎され路盤材等として再利用されている。しかし，今後予想される解体工事などの増大に伴いコンクリート系廃棄物の発生量は増加傾向にある。将来のコンクリート系廃棄物の発生抑制のため，広く再利用方法を確立しておく必要があると考えられる。筆者等はそのひとつの方法として，コンクリート塊から再生骨材を造り，それらを構造用コンクリートの骨材として再利用することができれば，再生コンクリートを建築物の上部構造へ適用して，コンクリート塊の利用範囲の拡大ができるものと考えている。本報では低品質な再生粗骨材を用いた再生コンクリートを対象としているが，例えばヤング係数が小さいなど，材料的性能に関し課題が挙げられ，上部構造への適用性が問題とされる。しかし，筆者等は文献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普通コンクリートで造られた外殻部と複合的に用いることで再生コンクリ

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。また，文献2)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，部材の構造形態を施工の容易性から主筋とせん断補強筋を内蔵させ，部材接合には力学的にも自由度の高い重ね継手で接合した重ね継手接合部を持つ再生コンクリートを用いた1層1スパンのハーフPCa骨組の耐震性能を究明した。本報では，骨組実験に先立ち行った実験として，重ね継手の応力伝達が外殻部と後打ち部のコンクリート界面を介在したあき重ね継手の力学的性状を報告するものである。低品質な再生コンクリートは，各種強度発現の低下が課題のひとつであるが，強度不足は重ね継手の場合，鉄筋引抜けなどの力学的性能の低下が懸念される。しかし，低品質な再生コンクリートであっても普通コンクリートと同等強度とすれば，重ね継手性状においても同様な力学的性能が得られることが想定され，ここでは，その力学的性状を構造実験的に確認することを目的としている。

*1 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)

*2 職業能力開発総合大学校東京校 建築学科 工博 (正会員)

*3 東北工業大学 工学部建築学科教授 工博 (正会員)

2. 試験体概要

2.1 試験体種別

試験体種別を表 - 1に示した。試験体はU字型ハーフPCaはり部材同士を重ね継手で接合したもので、ハーフPCa部材の外殻部は普通コンクリートとし下端主筋とせん断補強筋を内蔵している。試験体は再生コンクリートを用いたPCa部材における重ね継手の応力伝達の挙動を把握するために、後打ち部に再生コンクリートを用いた。また、重ね継手長さの効果を把握するために、重ね継手長さ40dを中心として、その前後10dをパラメータとして重ね継手長さ30d、40d、50dと設定し、それらの比較用に重ね継手筋を1本物(通し配筋)とした試験体を設けた計4体である。ハーフPCa部材の外殻部のコンクリートは同一バッチの普通コンクリートを使用した。後打ち部に用いた再生コンクリートとの実験時圧縮強度は同等になるよう計画した。

表 - 1 試験体種別

No.	試験体名	部材	外殻部 コンクリート	後打ち部 コンクリート	継手長さ	備考
1	RPC-LP30	ハーフ PCa	普通 $\sigma_c=26.4$ N/mm ²	再生 $\sigma_c=29.9$ N/mm ²	30d	はりせい:250mm はり幅:250mm 試験体区間:1200mm
2	RPC-LP40				40d	主筋:SD295 せん断補強筋: 試験体区間:
3	RPC-LP50				50d	
4	RPC-LPA				通し配筋	2-D6@50(SD345)

2.2 試験体の形状、寸法、および配筋

試験体の形状、寸法は全試験体とも共通である。試験体はU字型ハーフPCaはり部材を二つ継ぎ合わせた形で形状、寸法の一列を図 - 1に示した。はりせいD=250mm、はり幅B=250mm、試験体全長2750mm、純曲げ区間1200mmである。純曲げ区間にコンクリート界面を介した重ね継手筋により部材を接合している。断面配筋の詳細を図 - 2に示した。使用した鉄筋は全試験体共通でハーフPCa内蔵の主筋および重ね継手筋はSD295の4-D10を用い、せん断補強筋は

SD345のD6を全試験体躯間とも@50で配筋した。

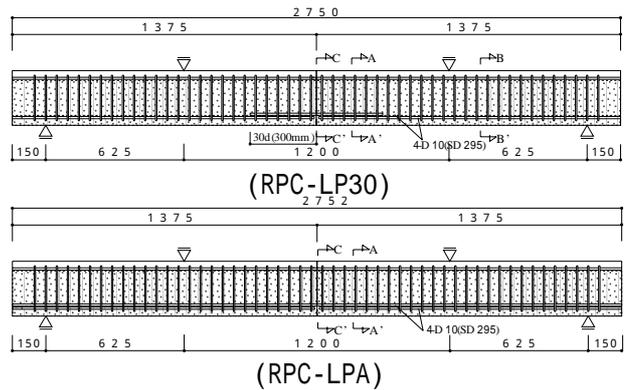


図 - 1 試験体の形状、寸法の一列

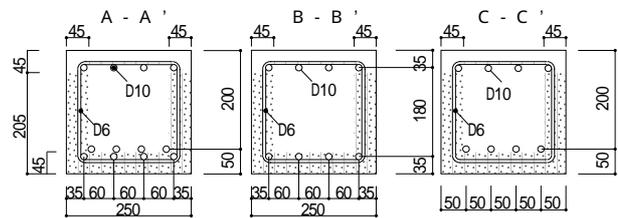


図 - 2 断面配筋の詳細

2.3 シアコッター

U字型ハーフPCaはり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に示すようなシアコッターを設けた。

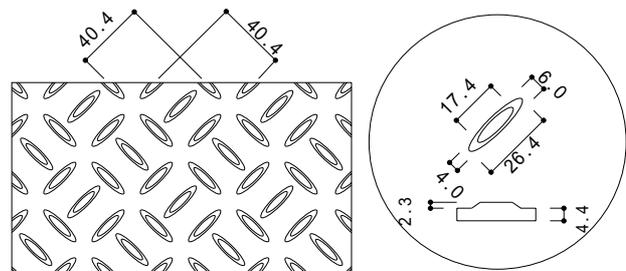


図 - 3 シアコッターの詳細図

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($\sigma_c=23.9$ N/mm²)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

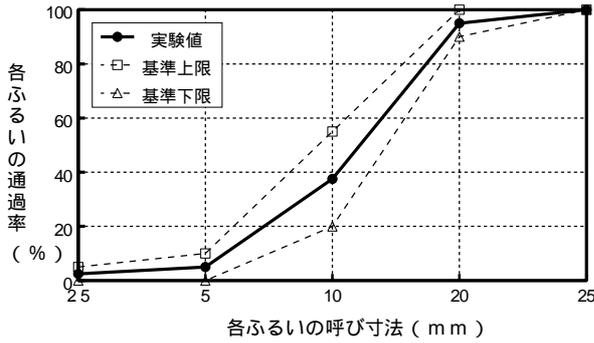


図 - 4 再生粗骨材の粒度分布

を図 - 4に示した。また，使用した再生粗骨材の材料試験の結果を表 - 2に示した。基準(案)に示されている再生粗骨材の品質基準を表 - 3に示した。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種にも属さないものであった。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

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

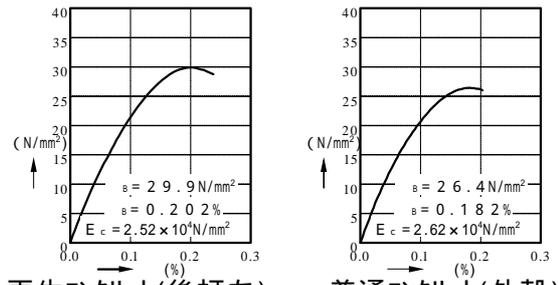
外殻部の普通コンクリートおよび後打ち部の再生コンクリートとも早強ポルトランドセメントを用いた。普通コンクリートは通常のレディーミクスト用いた。再生コンクリートの調合は，試し練りを行い普通コンクリート強度とほぼ同一になるよう調合を決定した。調合表を表 - 4に，コンクリートの性質を表 - 5， σ - ϵ 曲線を図 - 5に示した。再生，普通コンクリートは，ほぼ同等な圧縮強度，ヤング係数であった。

表 - 4 再生コンクリートの調合表

W/C [%]	スランジ [cm]	Air [%]	s/a [%]	単位質量 [kg/m ³]				
				W	C	S	G	wra
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 σ_c (N/mm ²)	圧縮強度時ひずみ ϵ_c (%)	ヤング係数 E_c (N/mm ²)
後打ち	再生	29.9	0.202	2.52×10^4
外殻	普通	26.4	0.182	2.62×10^4



再生コンクリート(後打ち) 普通コンクリート(外殻)

図 - 5 σ - ϵ 曲線

3.3 鉄筋

使用鉄筋の機械的性質を表 - 6に示した。主筋および重ね継手筋は全試験体ともにSD295のD10を，せん断補強筋は全試験体ともにSD345のD6を用いた。主筋および重ね継手筋のD10の降伏耐力は $\sigma_y=310$ N/mm²であった。主筋は明確な降伏点を有するものであった。せん断補強筋D6の降伏耐力は $\sigma_y=404$ N/mm²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	降伏耐力 σ_y (N/mm ²)	降伏点ひずみ ϵ_y (%)	ヤング係数 E_c (N/mm ²)
主筋	D10	310	0.165	1.90×10^5
あばら筋	D6	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に示した。加力は全試験体共通で中央に1200mmの純曲げ区間を持つ2点集中曲げ加力である。加力は3000kNアムスラーによる一方向くり返し载荷で，最初の1サイクル目は長期荷重時として，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形制御として1回のくり返しで行った。変位測定方法を図-7に示した。変形は、試験体全体のたわみと純曲げ区間の相対たわみを変位計により計測した。また、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。

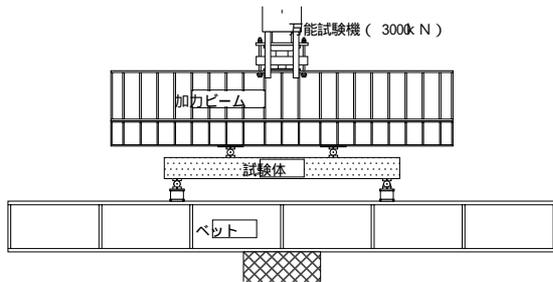


図-6 加力装置

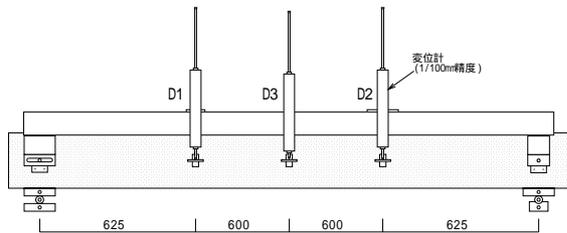


図-7 変形測定方法

5. 実験結果および検討

5.1 実験結果

(1) 最大荷重, 最大荷重時相対たわみ量および破壊形式

実験結果として各試験体の最大荷重, 最大荷重時相対たわみ量および破壊形式を表-7に示した。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

No.	試験体名	最大荷重 (kN)	最大荷重時 相対 たわみ量 (mm)	破壊 形式
1	RPC-LP30	70.7	26.3	FC
2	RPC-LP40	71.2	22.2	
3	RPC-LP50	68.0	15.1	
4	RPC-LPA	69.8	11.8	

FC: 主筋降伏後の圧縮部圧壊による曲げ破壊型

(2) 破壊経過

最大荷重時のひび割れ状況の一例として, RPC-LP40とRPC-LPAを図-8に示した。最大荷重時のひび割れ状況は全試験体ともほぼ同様の

性状を示した。破壊状況はPCaはり部材の重ね合わせ位置である鉛直界面のひび割れ幅が大きく増大して局所的な変形が目立った。また, 圧縮ゾーンにおいてもPCaはり部材の重ね合わせ位置の鉛直界面部の局所的な圧壊が目立った。重ね継手区間では, ひび割れ発生は少なくひび割れ幅の変化も少なかったが, 継手区間が終わる境目位置のひび割れの発生, ひび割れ幅の増加が目立った(重ね継手長さ30dのものは試験体中央から30cm区間。40dは40cm区間)。破壊経過は以下の通りであった。全試験体とも純曲げ区間の支点位置付近から曲げ初ひび割れが発生するが部材の重ね合わせ位置の鉛直界面部のひび割れが進展する。また, 重ね継手区間のひび割れはあまり目立たず継手区間との境目部のひび割れも顕著に発生する。その後, 鉛直界面部のひび割れ幅の増大とともに局所的な圧壊が進み最大荷重を迎える。主筋の降伏は張り付けたワイヤーストレインゲージから確認しており, 主筋の曲げ降伏後の圧縮部圧壊による曲げ破壊であった。

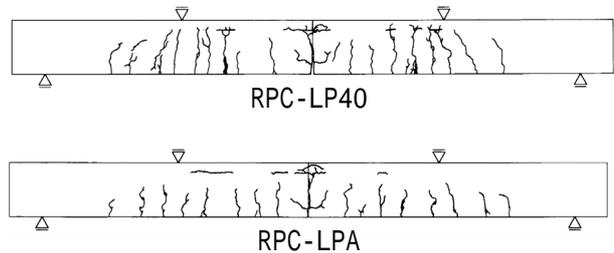


図-8 最大荷重時のひび割れ状況の一例

(3) 荷重 - 相対たわみ(P -)曲線

全試験体の荷重 - 相対たわみ(P -)曲線の一例として, RPC-LP40とRPC-LPAを図-9に示した。荷重Pはアムスラー試験機の載荷における荷重であり, 相対たわみは図-7のD1~D3変位計からの純曲げ区間の相対たわみ量である。図-9から分かるようにPCa部材のP -

曲線は継手長さに関わらず同様な性状を示した。全試験体とも主筋の降伏が認められたが, 主筋の降伏後も徐々に荷重が増大していく性状を示した。その原因は, 鉄筋のひずみが接合面に局所的に生じたため, 鉄筋のひずみ硬化が生

じ荷重が上昇したものである。また、重ね継手長さが短いほど最大荷重時の相対たわみ量が大きかった。

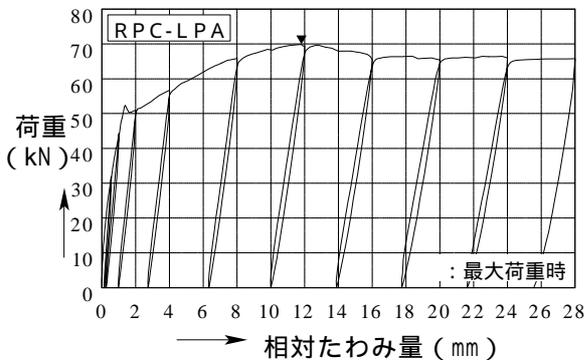
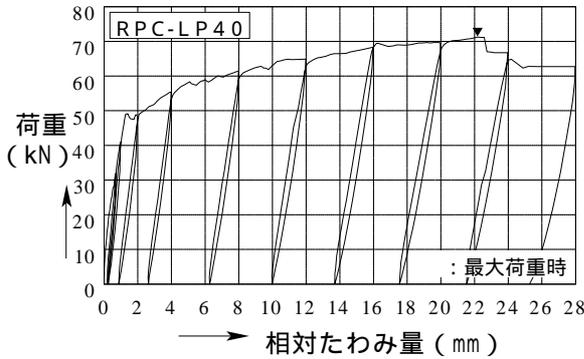
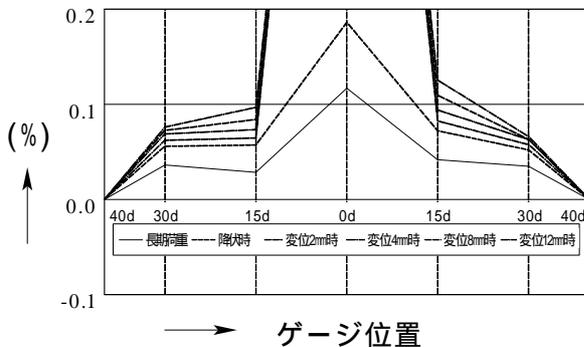
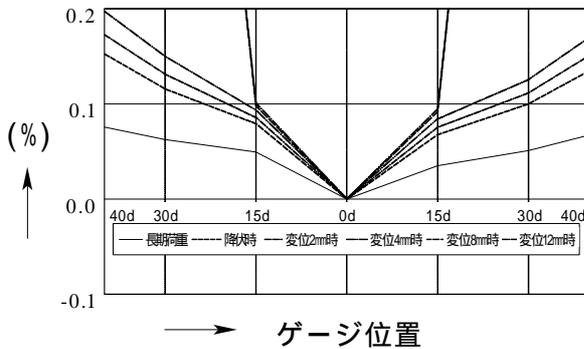


図 - 9 P - 曲線の一つ例



RPC-LP40 重ね継手筋



RPC-LP40 下端主筋

図 - 10 重ね継手部のひずみ分布の一例

5.2 検討

(1)再生PCa部材における重ね継手の応力伝達

重ね継手部分の鉄筋のひずみ分布の一例として、RPC-LP40を重ね継手筋と下端主筋とに分けて図 - 10に示した。図より、継手鉄筋のひずみと下端鉄筋のひずみの合計が継手区間ではほぼ一定値を示しており、重ね継手の応力がコンクリート界面を通して十分に伝達されていると考えられる。この傾向は全試験体とも共通であった。

(2)重ね継手長さの効果

図 - 10の重ね継手の鉄筋ひずみ分布をもとに、重ね継手の付着応力分布を(1)式から求めて示したのが図 - 11である。図 - 11は、RPC-LP30と40の付着応力を示した。

$$= \frac{(\sigma_{i+1} - \sigma_i) \cdot A_s \cdot E_s}{\pi \cdot d_s \cdot L_i} \dots\dots (1)$$

ここで、 σ_i : 付着応力度

σ_{i+1} , σ_i : 主筋のひずみ

A_s : 主筋の断面積

E_s : 主筋のヤング率

d_s : 主筋の周長

L_i : ゲージ間距離

図 - 11より次のことが言える。重ね継手長さが大きくなると、付着応力は継手中央部で小さくなる傾向が見られる。重ね長さが30dのものは付着応力分布が継手長さ全域にわたってほぼ同一の値を示し、継手の付着応力分布としては余裕度の少ない分布を示している。しかし、重ね長さ40dのものは、継手中央部での付着応力が極端に小さくなり分布に余裕が見られる。以上のことから、本実験の場合には重ね継手長さとしては40d以上あれば十分な継手性能が得られると判断できる。次に、重ね継手長さの効果をもとに、重ね継手長さの効果をP - 曲線で調べたものが図 - 12である。図 - 12は、重ね継手長さ30d ~ 50dの包絡線を比較して示したものである。図 - 12から分かるよう

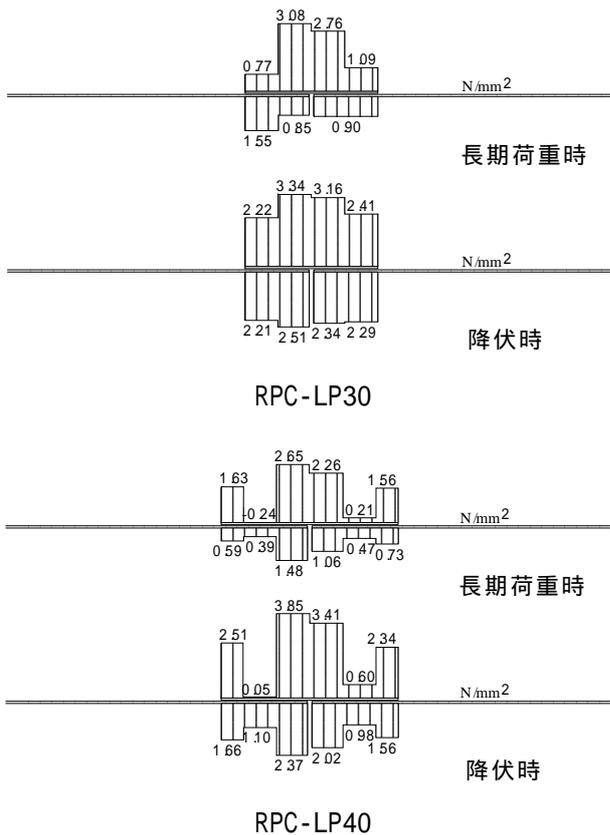


図 - 11 重ね継手の付着応力度分布

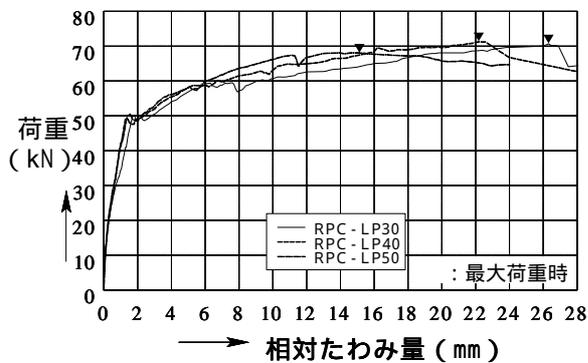


図 - 12 重ね継手長さ (30d ~ 50d) の包絡線の比較

に、重ね継手長さが長くなるほど最大荷重時の相対たわみ量が小さくなる傾向を示している。このことは、重ね継手長さが短くなると、重ね継手のすべり量が増大し、そのすべり量が接合面に集中して現れるために、接合面における曲率が増大することによって生じる現象である。決して、重ね継手長さが短いほど最大荷重時変形量が増大し、P - 曲線に好ましい影響を及ぼすという挙動でないことは注意が必要である。

6. まとめ

後打ち部に再生コンクリートを用いたハーフPCa部材の接合に重ね継手を用いた純曲げ実験より、本実験の範囲で次のことが認められた。

ハーフPCa部材の接合に重ね継手を用いた部材の継手長さの違いによる破壊形式の違いはなく、全試験体ともに継手破壊は起こらなかった。また、荷重 - 相対たわみ曲線の傾向も近似していた。

ハーフPCa部材の接合に重ね継手を用いた部材の鉄筋ひずみ分布より、重ね継手の応力伝達は、継手鉄筋のひずみと下端鉄筋のひずみの合計が継手区間ではほぼ一定値を示し、重ね継手の応力がコンクリート界面を通して十分に伝達されていることが認められた。

ハーフPCa部材の接合に重ね継手を用いた部材の付着応力分布より、重ね継手長さの効果は重ね継手長さが大きくなると付着応力は継手中央部で小さくなる傾向にあり、40dは重ね継手中央部での付着応力分布に余裕が見られた。

以上より本実験の範囲では、後打ち部に再生コンクリートを使用しても、圧縮強度を確保すれば十分なあき重ね継手性状を得られることが確認された。

【謝辞】本研究に関し、実験でお世話になりました東北工業大学の芳賀義喜先生を初め、田中研究室生の皆様にここに記して謝意を表します。

【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, pp.1189~1194
- 2) 西浦範昭, 宮下剛士, 田中礼治: 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骨組に関する弾塑性解析, コンクリート工学年次論文報告集Vol.24, No.2, 2002, pp.457~462
- 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