

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

Experimental Study of Recycled Aggregate Concrete Half-Precast Beams with Lap Joints

西浦 範昭* 飯塚 信一*
 Noriaki Nishiura Shinichi Iizuka
 宮下 剛士* 阿世賀 宏**
 Takeshi Miyashita Hiroshi Asega

要 約

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 建物の上部構造への利用が考えられる。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。

目 次

- § 1. 目 的
- § 2. 試験体概要
- § 3. 使用材料
- § 4. 加力および変位測定方法
- § 5. 実験結果および検討
- § 6. まとめ

§ 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。本研究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、この場合、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、筆者らは前報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により、再生コンクリートが保有している材料的課題を構造的に補い得ることを検証した。そこで、本報では、実際にハーフ PCa 構造に利用することを前提として、その手法を検討するものとした。ハーフ PCa 構造に利用するには部材同士を接合する必要があるが、本研究では、力学的自由度が高く、安価な重ね継手で接合することを想定している。図-1 に対象とするハーフ PCa 部材の断面詳細の一例を示す。ハーフ PCa 部材は現場作業低減のため外殻部に主筋とせん断補強筋を内蔵した形式である。この部材を重ね継手接合する施工手順の一工程例を図-2 に示す。はり部材と柱部材の接合時に、先組み（接合部せん断補強筋含む）しておいた重ね継手筋である十字型鉄筋かごを落とし込み主筋を接合する一例である。これより、部材接合に特殊な技能を必要とせず、工期短縮並びに設計の自由度が図れると考えている。こ

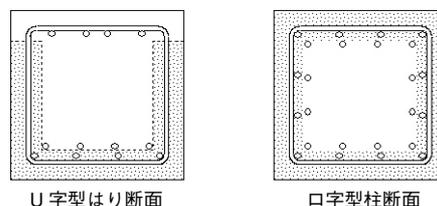


図-1 はり、柱断面詳細の一例

* 技術研究所技術研究部建築技術研究課

** 技術研究所技術研究部

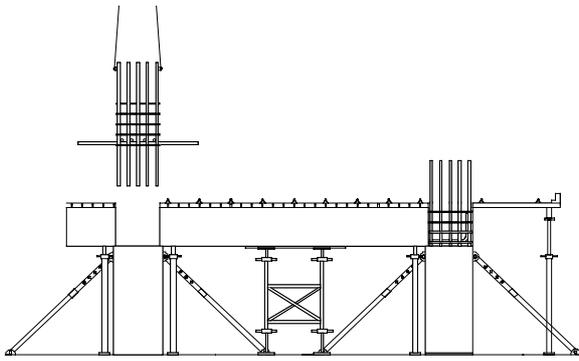


図-2 施工手順の一例

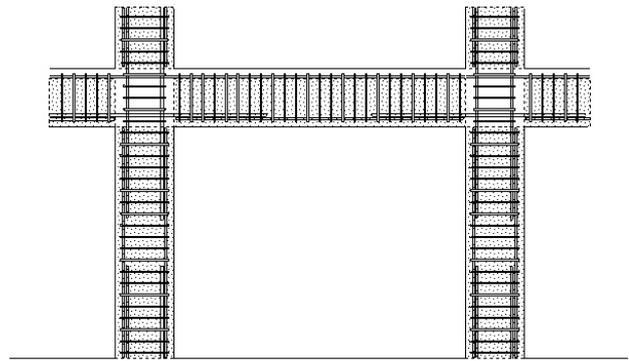


図-3 重ね継手で接合した配筋状況の一例

の様に接合した配筋状況の一例を図-3に示す。はり部材として、上端主筋は通し配筋とし、下端主筋は重ね継手で接合する。柱部材は全主筋とも重ね継手で接合する。重ね継手の特徴は、後打ち部コンクリート内で継ぐことになり、応力伝達は外殻部の主筋と後打ち部の重ね継手筋と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。

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

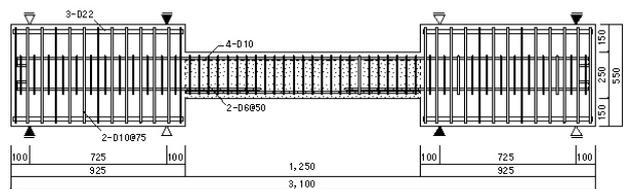
§ 2. 試験体概要

2-1 試験体種別

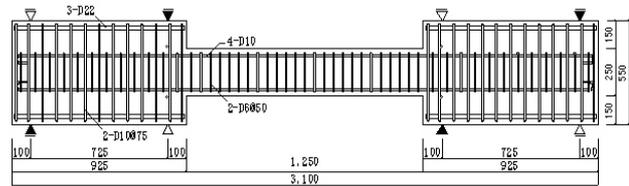
試験体種別を表-1に示す。試験体は外殻部形状がU型断面のハーフ PCa 部材であり、外殻部に下端主筋とせん断補強筋を内蔵している。使用コンクリートは外殻部を普通コンクリートとし、後打ち部に再生コンクリートを用いている。全試験体の主筋強度はSD295である。上端主筋は通し筋とし、下端主筋は重ね継手により主筋を接合している。ちなみに重ね継手長さは全試験体ともに40dである。重ね継手で接合されたハーフ PCa 部材の力学的性状を把握するため、比較用として主筋にSD295を用いた一体打ち試験体を設けた。また、主筋の接合は重ね継手筋の高強度化の影響を把握するために、SD295, SD345, SD490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。

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-4に示す。部材せいD=250mm、部材幅B=250mm、試験区間長さl=1250mm、せん断ス

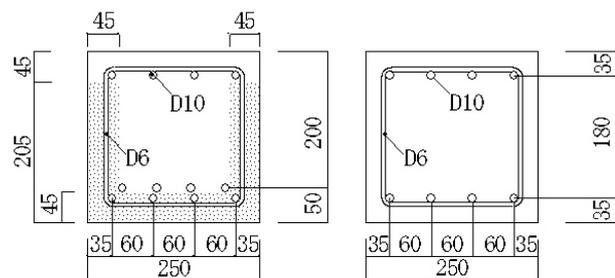


(BRPC-295)



(BN-295)

図-4 試験体の形状と寸法の一例



(重ね継手試験体)

(一体打ち試験体)

図-5 断面配筋の詳細

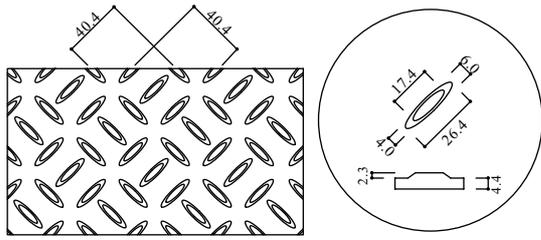


図-6 シヤーコッターの詳細図

パン比(a/D)は2.5である。断面配筋の詳細を図-5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を試験体ごとに使用している。

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-6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て破碎し, 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)」²⁾ (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-7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。

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, また, σ - ϵ 曲線を図-8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

表-2 再生粗骨材の材料試験の結果

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

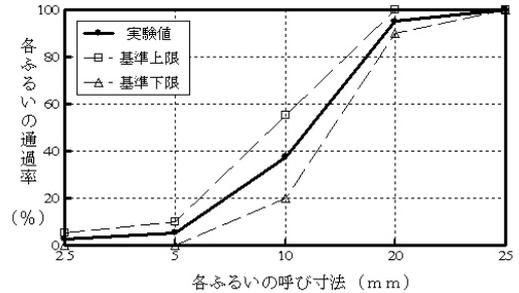


図-7 再生粗骨材の粒度分布

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		

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	Ad.
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_B (N/mm ²)	圧縮強度時ひずみ ϵ_B (%)	ヤング係数 E_C (N/mm ²)
外殻	普通	37.0	0.192	3.15×10^4
後打ち	再生	35.8	0.222	2.47×10^4
一体打	普通	34.4	0.147	3.82×10^4

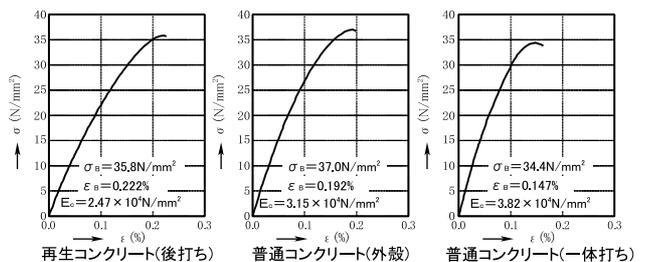


図-8 コンクリートの σ - ϵ 曲線

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。

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。

§ 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=)3.0/100rad.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。

§ 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の試験体のひび割れはあまり発生してないが、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 δ_1 と δ_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軟

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 σ_y (N/mm ²)	降伏点ひずみ ϵ_y (%)	ヤング係数 E_y (N/mm ²)
主筋 および 重ね 継手筋	D10	SD295	351	0.186	1.90×10^5
		SD345	376	0.203	1.85×10^5
		SD490	530	0.269	1.97×10^5
あばら筋	D6	SD345	404	0.232	1.76×10^5

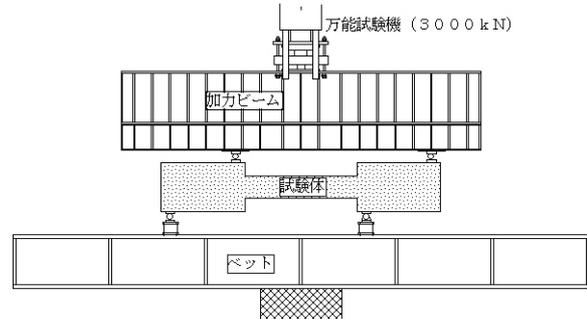


図-6 加力装置

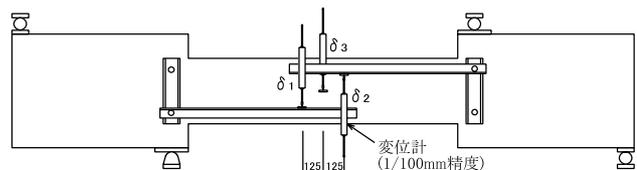


図-7 変形測定方法

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 (主筋降伏後の 圧縮部圧壊による 曲げ破壊型)
BRPC-345	37.2	5.0	
BRPC-490	43.6	3.0	
BN-295	37.2	4.9	

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

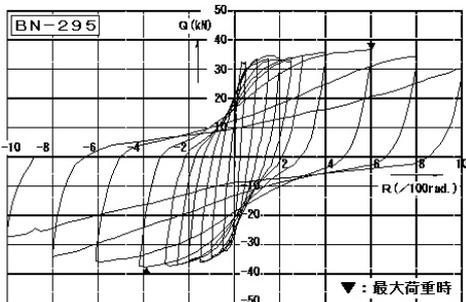
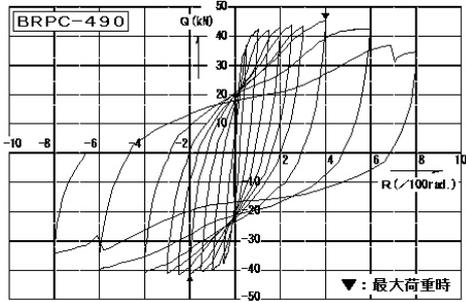
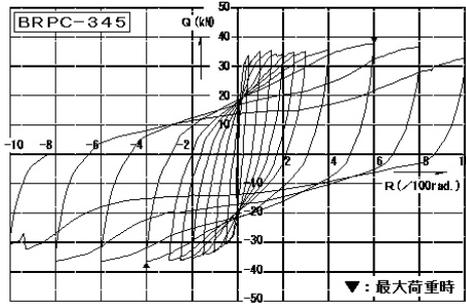
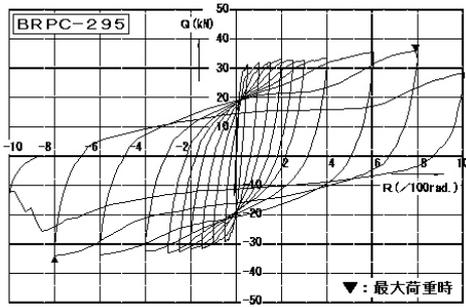


図-8 Q-R 曲線

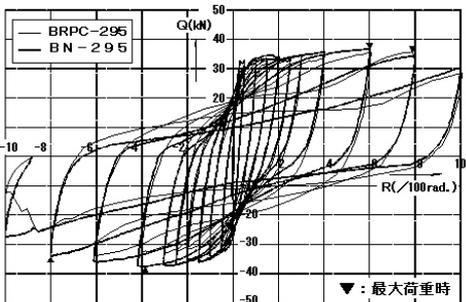


図-9 Q-R 曲線の比較

は近似しており、大きな違いは認められなかった。以上、再生コンクリートを用いたハーフ 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

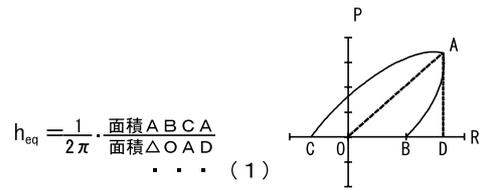


図-10 等価粘性減衰定数の定義

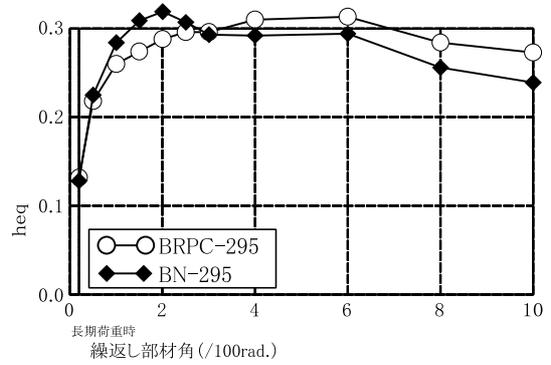


図-11 等価粘性減衰定数の比較

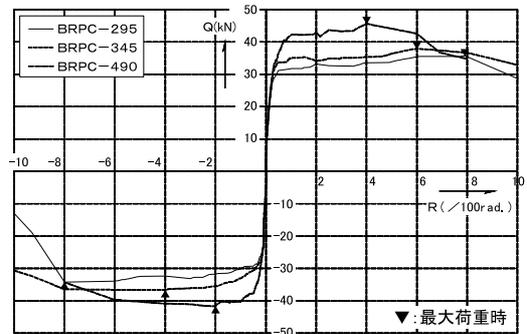


図-12 包絡線の比較

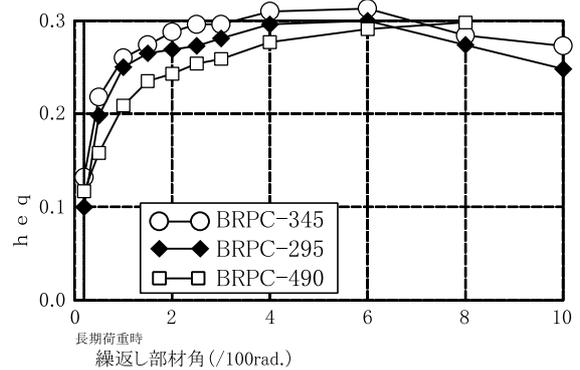


図-13 等価粘性減衰定数の比較

が近似していることが認められた。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을把握するために、BRPC-295, BRPC-345, BRPC-490 試験体の包絡線を図-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hep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hep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hepは減少することが認められた。

(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³⁾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。

○曲げ終局強度

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

a_t : 引張鉄筋の断面積

σ_y : 引張鉄筋の降伏耐力 d : 有効せい

§ 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。

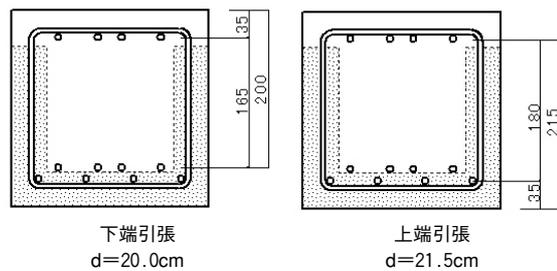


図-14 断面の有効せい

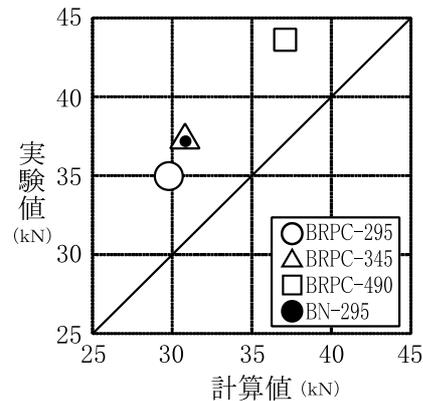


図-15 最大荷重の実験値と計算値の比較

- 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。
- ④コンクリート界面を介在する重ね継手の応力伝達に関し、シャコッターの影響を究明することが必要と考えられており、今後の課題としている。

【参考文献】

- 1) 西浦範昭, 飯塚信一, 宮下剛士, 阿世賀宏: 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, 西松建設技報 VOL. 25, pp. 19-24.
- 2) (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.
- 3) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 1988.