

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

Experimental Study on the Half-Precast Beams with Recycled Aggregate Concrete

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、再生骨材を 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 構法とし、外殻部を普通コンクリートで造った U 字型ハーフ PCa はり部材の後打ちコンクリートに再生コンクリートを用いたはり部材の曲げせん断実験を行い、再生コンクリートを後打ちコンクリートとして用いることの可能性について検討を行った。実験の結果、後打ちコンクリートに再生コンクリートを用いたものは普通コンクリートのそれと同等な力学的性状を示すことが認められた。

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

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、現在、破碎され道路の路盤材などとして利用されているが、その一方で廃棄処分されているものも多いと言われている。コンクリート塊の廃棄処分量を減少させることは将来的にも地球環境にとって好ましいと考えられる。筆者等は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から再生骨材を造り、その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って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。その場合、建築物の上部構造への再生骨材の利用の可能性が問題となるが、

筆者等は文献 1) において再生粗骨材を用いた RC 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、文献 2) などで報告されているように、再生コンクリートは乾燥収縮が大きいなど普通コンクリートに比べ材料の性能が劣る。一方、鉄筋コンクリート造建物の生産性の向上を考えた場合、部材のプレキャスト（以下、PCa）化は必須である。再生コンクリートを PCa 構造に利用しようとした場合、外殻部を普通コンクリートで造ったハーフ PCa 部材の後打ちコンクリート部分に再生コンクリートを使用し、普通コンクリートと複合的に用いることによって再生コンクリートの材料性能上の欠点を補い得るものと考えられる。既往の研究³⁾では、後打ちコンクリートに普通コンクリートを用いた部材実験は報告されているが、再生コンクリートを用いた部材に関する研究は殆どない。そこで本報では後打ちコンクリートに再生コンクリートを用いたハーフ PCa はり部材の力学的性状を把握することを目的として、曲げ破壊型の部材について実験を行ったので報告する。ちなみに本実験で使用した再生コンクリートは、粗骨材のみ再生骨材を用い、細骨材は川砂を用いている。

* 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

§ 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 はり部材で、外殻部は普通コンクリートであり、下端主筋とせん断補強筋を内蔵している。試験体は後打ちコンクリートに再生コンクリートを用いた再生コンクリートシリーズ（以下、再生シリーズ）2 体と、普通コンクリートを用いた普通コンクリートシリーズ（以下、普通シリーズ）2 体の 2 シリーズに大別されている。普通シリーズは比較用である。外殻部のコンクリートには全試験体とも同一バッチのコンクリートを使用した。後打ちコンクリートに用いた再生および普通コンクリート強度はほぼ同一強度のものである。各シリーズの試験体は、引張鉄筋比 0.53%, 0.95% の 2 種であり、いずれも曲げ降伏するように設計されたものである。

表-1 試験体種別

	試験体名	後 打 ち コンクリート	外 殻 部 コンクリート	主筋	Pt(%)	共通事項
再生 コン クリ ート シ リ ー ズ	R-PC-B1	再 生 コンクリート 24.2N/mm ²	普 通 コンクリート 35.4N/mm ²	D10	0.53	B×D=25cm×25cm 試験区間 125cm せん断スパン比 2.5 主筋SD345 せん断補強筋 SD345 2-D6@75
	R-PC-B2			D13	0.95	
普通 コン クリ ート シ リ ー ズ	N-PC-B1	普 通 コンクリート 24.3N/mm ²		D10	0.53	
	N-PC-B2			D13	0.95	

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。形状、寸法の一例を図-1 に示した。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

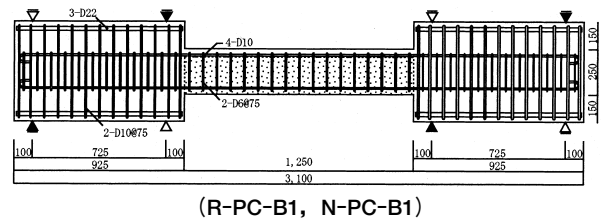


図-1 試験体の形状、寸法の一例

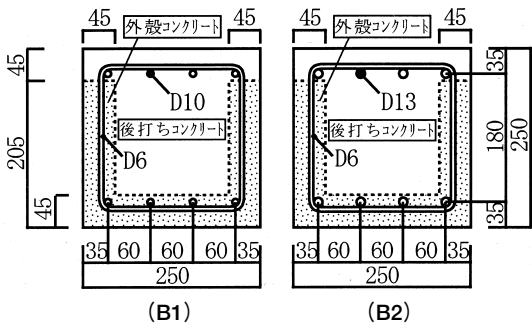


図-2 断面配筋の詳細

ン比 (a/D) は 2.5 である。断面配筋の詳細を図-2 に示した。主筋は SD345 の D10, D13 を用いている。せん断補強筋は全試験体 SD345 の 2-D6@75 で共通である。

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。

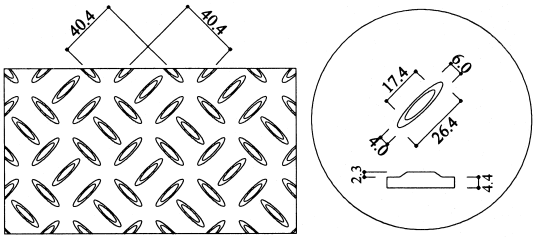


図-3 シアコッターの詳細図

§ 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 ($\sigma_B = 23.9\text{N/mm}^2$) をジョークラッシャーを用い破碎

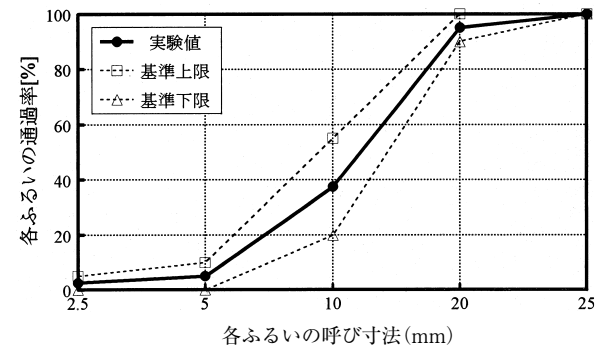


図-4 再生粗骨材の粒度分布

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	2.16
吸 水 率 (%)	8.27
洗い損失量 (%)	0.07

表-3 再生骨材暫定品質基準 (案)

種 別	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		

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）」⁴⁾（以下、基準（案））に示されている粒度曲線の上限値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。

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コンクリートの再生コンクリートと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に示した。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に示した。外殻部の普通コンクリートの圧縮強度は $\sigma_B=35.4\text{N/mm}^2$ 、ヤング係数は $E_C=3.26\times 10^4\text{N/mm}^2$ 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 $\sigma_B=24.2\text{N/mm}^2$ 、ヤング係数は $E_C=2.33\times 10^4\text{N/mm}^2$ であり、普通コンクリートは圧縮強度が $\sigma_B=24.3\text{N/mm}^2$ 、ヤング係数は $E_C=3.15\times 10^4\text{N/mm}^2$ 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

水セメント比 [%]	スランブ [cm]	空気量 [%]	細骨材率 [%]	単位質量 [kg/m ³]				
				水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
60	18	3.0	50	182	308	876	800	3.39

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	35.4	0.188	3.26×10^4
後打ち	再生	24.2	0.180	2.33×10^4
	普通	24.3	0.136	3.15×10^4

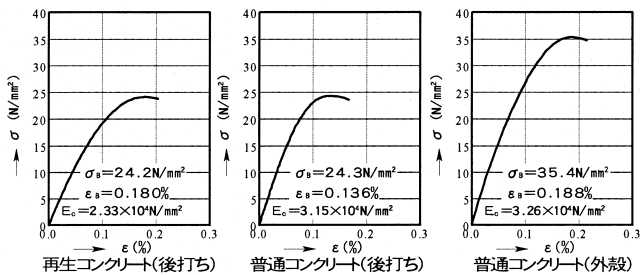


図-5 $\sigma-\epsilon$ 曲線

3-3 鉄筋

使用鉄筋の機械的性質を表-6に示した。主筋はSD345のD10、D13の2種を、せん断補強筋は全試験体ともにSD345のD6を用いた。主筋の降伏耐力はD10、D13でそれぞれ $\sigma_y=366.2, 351.7\text{N/mm}^2$ であった。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の降伏耐力は $\sigma_y=404.7\text{N/mm}^2$ 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

鉄種	筋別	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	366.2	0.230	1.73×10^5
		D13	351.7	0.195	1.82×10^5
あばら筋		D6	404.7	0.232	1.75×10^5

§ 4. 加力および変位測定方法

加力装置を図-6に示した。加力は大野式逆対称加力で行なった。載荷は、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形制御とし、 $(R=)3.0/100\text{rad.}$ 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。変形測定方法を図-7に示した。変形は、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。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。

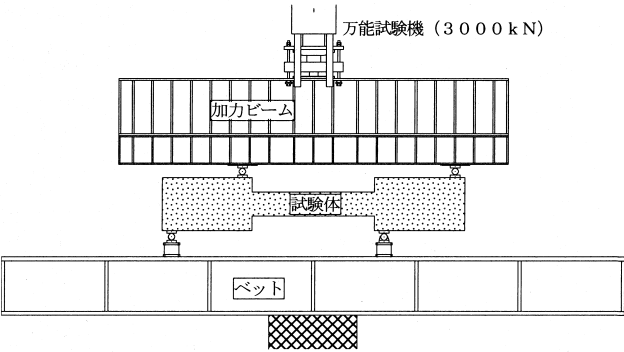


図-6 加力装置

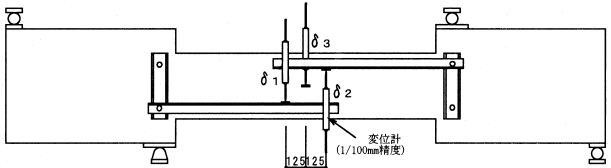


図-7 変形測定方法

§ 5. 実験結果および検討

5-1 実験結果

各試験体の実験結果を表-7に示した。表には各試験体の最大荷重, 最大荷重時部材角, および最大荷重と既往の曲げ終局強度の計算値との比率を示した。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。全試験体とも曲げ破壊であった。

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.)	実験値/ 計算値
再 生 シリーズ	R-PC-B1	40.9	5.0	1.26
	R-PC-B2	70.0	4.8	1.26
普 通 シリーズ	N-PC-B1	41.6	5.0	1.28
	N-PC-B2	71.9	6.0	1.29

5-2 検討

ここでは, 後打ちコンクリートに再生コンクリートを用いたもの(再生シリーズ)の力学的性状を普通コンク

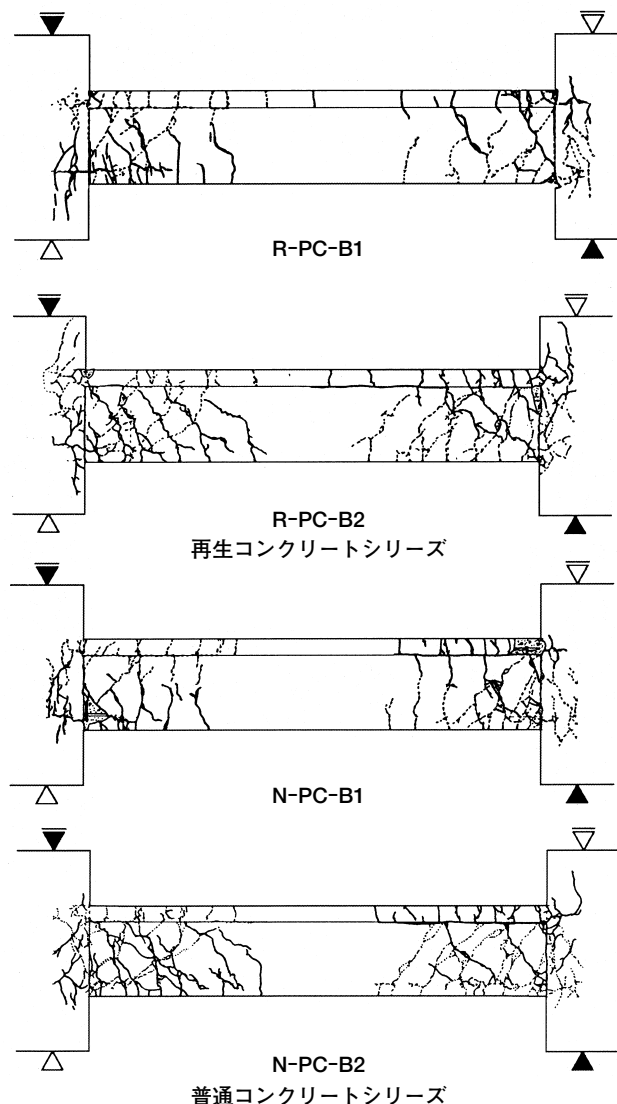


図-8 最大荷重時のひび割れ状況

リートを用いたもの(普通シリーズ)と比較し検討する。

(1)破壊経過およびひび割れ状況

再生シリーズと普通シリーズにおける各試験体の最大荷重時のひび割れ状況を対比させて図-8に示した。図-8から分かるように最大荷重時のひび割れ状況は再生シリーズ, 普通シリーズとも類似しており, 両シリーズ間には明確な相違は見られなかった。また, 破壊経過も両シリーズは近似しており明確な差は見られなかった。B1 および B2 試験体の両シリーズでの破壊経過は次の通りであった。B1 試験体では材端に曲げひび割れが発生し, 次に曲げせん断ひび割れが発生したが, 曲げひび割れの進展が目立った。その後, 主筋が降伏した。曲げ降伏後の耐力の上昇は小さく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。B2 試験体もB1 試験体と同様であるが, 曲げせん断ひび割れの数 はB1 試験体よりも多かった。曲げ降伏後はB1 試験体と同様に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。

(2)Q-R 曲線

再生シリーズと普通シリーズのQ-R曲線をB1 および B2 試験体について比較したのが図-9である。図-9におけるQは, 試験体区間の作用せん断力であり, Rは図-7の δ_1 , δ_2 の平均値 $\delta = (\delta_1 + \delta_2)/2$ を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。B1 試験体での再生シリーズと普通シリーズのQ-

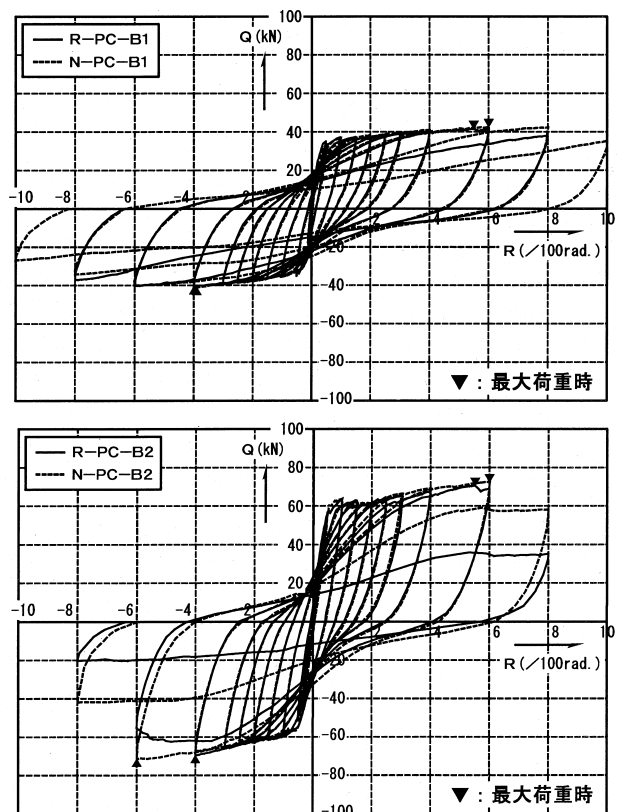


図-9 Q-R曲線の比較

R 曲線の傾向は近似しておりほぼ同型の履歴ループを示した。性状は主筋の降伏後、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最大荷重に達し、最大荷重後の耐力低下も緩やかで靱性に富んだ Q-R 曲線が得られた。B2 試験体でも再生シリーズと普通シリーズの傾向は近似していた。最大荷重は B1 試験体より大きかったが、最大荷重後の耐力低下は B1 試験体よりも急激であった。これらのことより、後打ちコンクリートに再生コンクリートを用いても普通コンクリートを用いたものと同形の履歴ループ傾向を示し、Q-R 曲線に与える再生コンクリートの影響が非常に小さいことが分かった。

(3) 最大荷重および最大荷重時部材角

再生シリーズと普通シリーズの最大荷重を比較して示したのが図-10 である。また、図-11 には最大荷重時部材角も比較して示した。図-10 から分かるように B1, B2 試験体とも再生シリーズと普通シリーズの最大荷重は近似しており、同程度の最大荷重を示すことが認められた。最大荷重時部材角については、図-11 から分かるように多少のばらつきはあるが、両者の最大荷重時部材角はほぼ同程度の値を示すことが認められた。

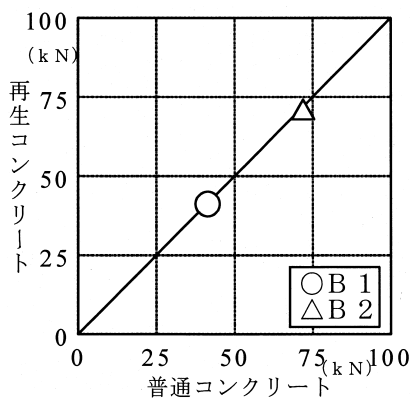


図-10 最大荷重の比較

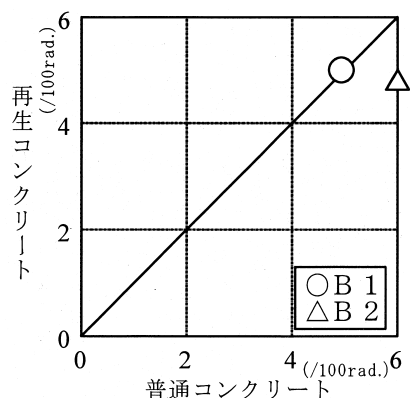


図-11 最大荷重時部材角の比較

(4) 等価粘性減衰定数

等価粘性減衰定数の定義を図-12 に示した。式(1)を用い、再生シリーズおよび普通シリーズの等価粘性減衰

定数 (h_{eq}) を求め図-13 に比較して示した。図-13 から分かるように等価粘性減衰定数については再生シリーズと普通シリーズの値は近似しており、再生コンクリートの影響が小さいことが認められた。B1, B2 試験体とも長期荷重時以降 h_{eq} の値が増加し、 $R=2.0/100$ rad. で増加する割合が急激に低下する傾向が見られた。

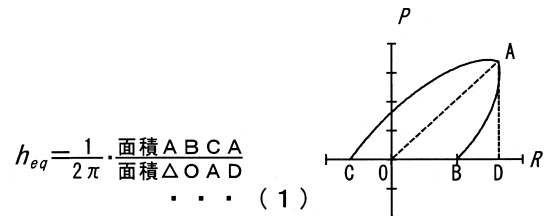


図-12 等価粘性減衰定数の定義

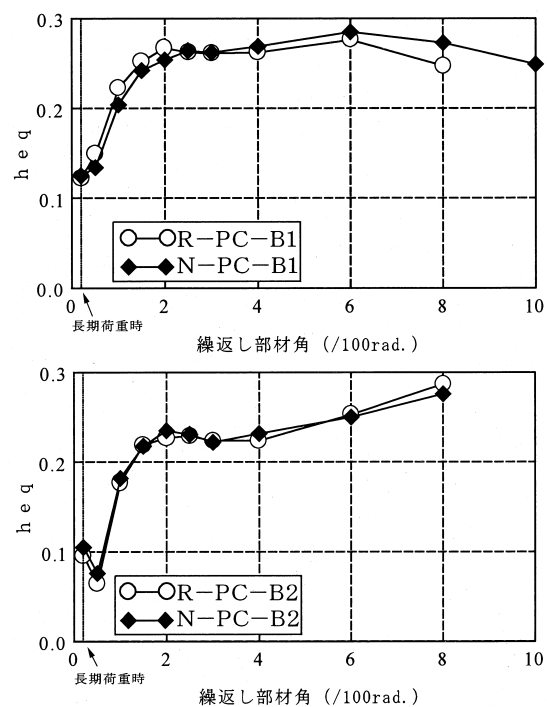


図-13 等価粘性減衰定数の比較

(5) 既往の計算式との比較

普通コンクリートの一体打ち部材を対象とした既往の曲げ終局強度式の式(2)⁵⁾ との比率を表-7 に示した。計算値との比率は、再生シリーズでは 1.26, 普通シリーズでは 1.28~1.29 となり、両シリーズとも近似した比率を示した。これらのことから、普通コンクリートを用いた一体打ち部材の既往の算定式は、後打ちコンクリートに普通コンクリートを用いた場合と同様再生コンクリートにも適用可能であることが認められた。

○曲げ終局強度

$$\mu = 0.9at \cdot \sigma_y \cdot d \quad \dots\dots(2)$$

at : 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

後打ちコンクリートに再生コンクリートを用いたハーフ PCa はり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後打ちコンクリートに再生コンクリートを用いたハーフ PCa はり部材の破壊経過並びにひび割れ状況は普通コンクリートを用いたものと類似していた。
- ②後打ちコンクリートに再生コンクリートを用いたハーフ PCa はり部材の最大荷重は普通コンクリートを用いたものと近似していた。
- ③後打ちコンクリートに再生コンクリートを用いたハーフ PCa はり部材の履歴ループ形状は普通コンクリートを用いたものとよく近似していた。
- ④後打ちコンクリートに再生コンクリートを用いたハーフ PCa はり部材の等価粘性減衰定数は普通コンクリートを用いたものとよく近似していた。
- ⑤後打ちコンクリート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は既往の一体打ち普通コンクリートを対象とした算定式を用いて評価できることが認められた。

謝辞：本研究に関し、実験および検討でお世話になりました東北工業大学工学部建築学科教授田中礼治先生、大芳賀義喜先生にここに記して謝意を表します。

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) 例えば，黒田泰弘，法量良二，山崎庸行，齊藤順一：再生コンクリートによるモデル建物の試行建設，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 727-728，1998，9.
- 3) 例えば，星野恒久，松崎育弘，中根博，森本仁：U字型プレキャスト部材内で主筋を重ね継手したRC梁部材に関する実験研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 973-974，1994，9.
- 4) (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
- 5) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，1988.