鉄筋コンクリート構造におけるコンクリートの 永久リサイクル使用の可能性に関する実験研究[†]

田 中 礼 治^{*} 三 浦 誠 司^{**} 大芳賀 義 喜^{***}

Experimental Study on the Possibility of Using Permanently Recycled Concrete for Reinforced Concrete Structures

by

Reiji TANAKA^{*}, Seiji MIURA^{**} and Yoshiki OHAGA^{***}

RC structures using the recycled aggregate concrete composed of recycled aggregate will evidently become concrete waste in due time. Such concrete waste has to be recycled as well in order to reduce concrete waste. In other words, the ideal goal is to use the recycled aggregate continuously. The purpose of this study is to determine whether the permanently recycled concrete is possible to use for reinforced concrete structures in terms of structural properties. For a structural property, aseismatic property was studied and discussed, taking into consideration the susceptibility of Japan to frequent earthquakes. The beam specimens of the flexural, shear and bond failure were tested on two types of concrete made of different concrete aggregate: recycled coarse aggregate made of original concrete, and mortar aggregate which was the final product of continually recycled concrete coarse aggregate. The test results showed that the beams using mortar aggregate concrete were equal in aseismatic property to normal concrete beams of the same concrete strength. From the above mention, it was verified that the permanently recycled concrete is possible to use for reinforced concrete structures.

Key words: Permanent recycling of concrete, Recycled coarse aggregate, Mortar aggregate, Flexural failure, Shear failure Bond failure, Aseismatic performance

1 目 的

近年、我が国の廃棄物の処分場は不足ぎみだと言われている。そのことからすれば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廃棄処分量を減少させることは将来的に地球環境にとって好ましいと考えられる。筆者等はそれらコンクリート塊から再生粗骨材を製造し、その再生粗骨材を建築物の上部構造へ適用してコンクリート塊の使用範囲を拡大することによってコンクリートの廃棄処分量の減少が可能であると考えている。

本報で再生粗骨材を対象としている理由は、コンクリート塊の破碎エネルギーが少なく、省エネルギー化に役立つものと考えているからである。その意味で本報で扱っている再生粗骨材はジョークラッシャーのみで処理(以下、一次処理)して製造した、モルタル分が多量に付着している粗骨材である。再生粗骨材からなる再生骨材コンクリート(以下、再生コンクリート)を用いた構造物も時を経て廃棄物となるのは明らかであり、それらもリサイクル使用しない限り廃棄物の発生抑制にはつながらない。即ち、コンクリートを再生粗骨材として永久的にリサイクルするのが理想と考えられる。そのようなことから、前報¹⁾ではコンクリートを再生粗骨材として多

数回リサイクル使用した場合に、再生粗骨材の材料的性質がリサイクル回数によってどのように変化するかを実験的に解明した。その結果、リサイクル回数が多くなる程、再生粗骨材がモルタル化することを示すと同時に、究極的には永久リサイクル使用した再生粗骨材はモルタルに収斂することを明らかにした。しかし、前報では、多数回リサイクル使用した再生粗骨材が鉄筋コンクリートの上部構造へ利用できるのかは不明のままであった。そこで本実験では、多数回リサイクル使用した再生粗骨材が鉄筋コンクリートの上部構造に利用可能なのかを実験的に検討することを目的としている。

再生粗骨材を上部構造に利用する場合、耐久性、耐火性等の因子についての検討も必要であるが、骨組の設計上は、構造性能が最も重要であると考えられる。そこで本報では実物大の1/2程度のはり部材に関して正負繰返し加力実験を行い、多数回リサイクル使用した再生粗骨材が構造性能的に実際に鉄筋コンクリートの上部構造に利用し得るのかを検討した。鉄筋コンクリート構造は一般には、柱、壁など種々の部材で構成されているが、本報でははり部材を取り上げ実験を行った。その理由は、コンクリートの因子が鉄筋コンクリートの力学的性能に

[†] 原稿受理 平成 13 年 8 月 31 日 Received Aug. 31, 2001

^{*} 正 会 員 東北工業大学工学部建築学科 〒982-8577 仙台市太白区八木山香澄町, Dept. of Architecture Faculty of Eng., Tohoku Inst. of Tech., Taihaku-ku, Sendai, 982-8577

^{**} オデッサ・テクノス(株) 〒983-0004 仙台市宮城野区岡田西町, Odessa Technos Construction, Miyagino-ku, Sendai, 983-0004

^{***} 東北工業大学工学部建築学科 〒982-8577 仙台市太白区八木山香澄町, Dept. of Architecture Faculty of Eng., Tohoku Inst. of Tech., Taihaku-ku, Sendai, 982-8577

与える影響ははり部材の性能から十分把握できると考えられるからである。また、本報で検討対象とした構造性能は、我が国が地震国であることから、耐震性能が最も重要な因子であると考え、耐震性能に関係する曲げ、せん断および付着の耐力ならびに変形性能について検討した。実験に用いた再生粗骨材は原コンクリートを破碎して製造した再生粗骨材とコンクリートを永久リサイクルした究極の状態を想定したモルタル骨材の2種である。モルタル骨材を用いた理由は、もし、モルタル骨材を用いた構造部材が耐震性能的に問題ないことが検証されれば、コンクリートを再生骨材として永久リサイクルできる可能性が見いだされ、ひいては任意回数リサイクル使用した再生コンクリートも十分に耐震性能的に利用可能であると推測し得るためである。実験の結果、多数回リサイクルした究極状態のモルタル骨材を用いたはり部材でも、その耐震性能はコンクリート強度が同一であれば、普通コンクリートと同等の性能を示すことが認められた。これらのことから推測すれば、構造性能的には鉄筋コンクリート構造におけるコンクリートの永久リサイクル使用の可能性は十分あると判断できる。

本報の結果は、将来、鉄筋コンクリート構造におけるコンクリートの永久リサイクル使用を考えるうえで有用な資料になると思われるので報告する次第である。

2 実験概要

2・1 試験体種別

Table I に試験体種別を示した。試験体は粗骨材のみに原コンクリートから製造した再生粗骨材を用いた再生コンクリートシリーズ3体、モルタル粗骨材を100%用いたモルタル骨材コンクリートシリーズ3体および比較検討用の普通コンクリートを用いた普通コンクリートシリーズ3体の合計9体である。各シリーズの変動因子は破壊形式で、曲げ破壊型 (F型)、せん断破壊型 (S型)、付着破壊型 (B型) の3種である。コンクリート強度は再生コンクリートは普通コンクリートとほぼ同等であるが、モルタル骨材コンクリートは、普通コンクリートより多少低い値を示している。

2・2 試験体の形状、寸法および配筋

試験体の形状、寸法は全試験体とも同一である。試験

体形状としては、実際の建物のはり部材に近似させ、正負くり返し加力による部材内での応力伝達の再分配が可能な形状のものを採用している。Fig. 1 に試験体の形状、寸法および配筋の一例を示した。はりせい $D = 40\text{cm}$ 、はり幅 $B = 20\text{cm}$ 、試験区間長さ $l = 160\text{cm}$ ($a = 80\text{cm}$) であり、せん断スパン比 (a/D) は2.0である。断面配筋は曲げ、せん断、および付着破壊形式によって異なる。各破壊形式ごとの断面配筋の詳細を Fig. 2 に示す。また、各試験体の引張鉄筋、あばら筋の配筋詳細を Table II に示した。全試験体とも主筋は D32、あばら筋は D10 である。破壊形式の違いは、主筋の本数およびあばら筋のピッチにより調整した。曲げ破壊型の試験体は主筋を2本とし、あばら筋のピッチを 75mm と小さくしてせん断破壊を防止している。また、せん断破壊型の試験体は、主筋を2段配筋で4本とし、あばら筋のピッチを 150mm と大きくしてせん断破壊が先行するようにしている。付着破壊型の試験体は、主筋3本を一段に配筋し、あばら筋のピッチも 150mm と大きくして、サイドスプリット型の付着破壊が先行するように設計している。

2・3 使用材料

ここでは再生コンクリートおよびモルタル骨材コンクリートの性質について示す。

本報告では、コンクリートの圧縮強度試験は全て JIS

Fig. 1. Shape and dimension of specimen.

Fig. 2. Reinforcing bar arrangement of cross section.

Table I. Types of specimen.

Series	Notation	Aggregate	Concrete strength	Type of Failure
Recycled concrete series	SR-F	Recycled coarse aggregate	25.6 N/mm ²	F
	SR-S	Normal fine aggregate		S
	SR-B			B
Mortar concrete series	MR-F	Mortar coarse aggregate	23.2 N/mm ²	F
	MR-S	Normal fine aggregate		S
	MR-B			B
Normal concrete series	N-F	Normal coarse aggregate	25.4 N/mm ²	F
	N-S	Normal fine aggregate		S
	N-B			B

Table II. Bar arrangement of specimen.

Type of failure	Tension steel and Tension steel ratio	Stirrup and Stirrup ratio	Note
Flexural [Type F]	2-D32 pt=2.27%	2-D10@75 pw=0.95%	D=400mm B=200mm Test length $l = 1600\text{mm}$ Shear span ratio $a/D=2.0$
Shear [Type S]	4-D32 pt=4.54%	2-D10@150 pw=0.48%	
Bond [Type B]	3-D32 pt=3.41%	2-D10@150 pw=0.48%	

A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」によった。ひずみの測定は測定区間 15cm とし、ダイヤルゲージ (精度 1/1000mm) で測定した。コンクリートの強度試験供試体は JIS A 1132「コンクリートの強度試験供試体の作り方」によった。供試体寸法は直径 10cm、高さ 20cm である。コンクリートの養生は標準養生とし、材齢 4 週にて試験を行った。

2・3・1 再生コンクリート 再生粗骨材の元となる最初のコンクリートを原コンクリート、また原コンクリートに用いる骨材を原骨材 (原細骨材, 原粗骨材) と定義する。

1) 原骨材

原細骨材は宮城県大和町鶴巣産の山砂で、最大寸法 2.5mm である。原粗骨材は宮城県白石市下小倉産の陸砂利で、最大寸法は 20mm である。Table III に原細骨材および原粗骨材の材料試験結果を示す。試験は JIS (A1104, A1109, A1110) の試験方法に基づき行った。Table III から分かるように原細骨材および原粗骨材の性質は JASS5 (コンクリート材料および鉄筋)²⁾ に示されている、砂利・砂の品質の規定を満足している。

2) 原コンクリート

現在、再生骨材の研究に当たって、再生粗骨材と原コンクリートの関係について規定したものはない。そこで本研究では原コンクリートを次のような考え方で製造した。現在、RC 建物に使用されているコンクリートの設計基準強度は日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (1991 一部改定)」³⁾ によると $F_c = 15 \sim 36\text{N/mm}^2$ の範囲にある。再生粗骨材に与えるコンクリート強度の影響については今後の課題として残るが、本研究では、既存 RC 建物のコンクリート強度は $F_c = 15 \sim 36\text{N/mm}^2$ 程度の範囲に分布していることからそのほぼ中間値である $F_c = 25\text{N/mm}^2$ 程度のコンクリート強度を代表値として採用し調合を決定した。使用材料はセメントに早強ポルトランドセメント ($K_{28} = 66.2\text{N/mm}^2$, 比重 3.14), 混和剤に AE 減水剤標準型 1 種リグニンスルホン酸化合物を使用した。原コンクリートの調合表を Table IV に、原コンクリートの圧縮強度および弾性係数を Table V に示す。

Table III. Quality of original aggregate.

	Coarse	Fine
Surface-dry gravity of aggregate (D _s)	2.57	2.55
Oven-dry gravity of aggregate (D _D)	2.50	2.50
Percentage of water absorption (Q) [%]	2.46	2.55
Unit mass of aggregate (T) [kg/ℓ]	1.61	1.61
Percentage of solid volume of aggregate(V) [%]	64	—

Table IV. Mix proportion of original aggregate concrete.

W/C [%]	Slump [cm]	Air [%]	s/a [%]	Unit mass [kg/m ³]				
				W	C	S	G	wra
55	18	4.5	42	173	315	735	1013	3.15

Table V. Properties of original aggregate concrete.

Compressive strength σ_B [N/mm ²]	Compressive strain ϵ_B [%]	Elastic modulus E_c [N/mm ²]
24.8	0.21	2.20×10^4

3) 再生粗骨材

再生粗骨材は原コンクリートを製造後、ジョークラッシャーを用いて破砕し製造した。再生粗骨材は一次処理しかしておらず、モルタル分が多量に付着した状態のものである。製造した再生粗骨材はふるい分けし、骨材粒度を選別した後、「再生骨材の暫定品質基準 (案)」⁴⁾ に示されている粒度曲線の基準値上限通過率と基準値下限通過率の平均値となるよう粒度分布を調整した。本実験で用いた再生粗骨材の粒度曲線を Fig. 3 に示す。また、粒度調整後の再生粗骨材の材料試験結果を Table VI に示す。Table VI の結果より再生粗骨材は「再生骨材の暫定品質基準 (案)」に示されている。1 ~ 3 種のいずれにも該当せず基準外のものであった。

4) 再生コンクリートの調合

再生コンクリートは粗骨材のみが再生粗骨材であり、細骨材、セメントおよび混和剤は原コンクリートに用いたものと同一の材料を使用した。再生コンクリートの調合表を Table VII に示す。表中のスランプ値は計画値である。再生コンクリートの強度は $\sigma_B = 25.6\text{N/mm}^2$, 圧縮

Fig. 3. Grading of recycled coarse aggregate.

Table VI. Quality of recycled coarse aggregate.

D _s	2.33
D _D	2.16
Q [%]	8.15
T [kg/ℓ]	1.27
V [%]	59

Table VII. Mix proportion of recycled aggregate concrete.

W/C [%]	Slump [cm]	Air [%]	s/a [%]	Unit mass [kg/m ³]				
				W	C	S	G	wra
47	18	4.5	42	190	409	692	900	4.10

強度ひずみは $\varepsilon_B = 0.18\%$ 、ヤング係数は $E_c = 2.50 \times 10^4$ N/mm²であった。再生コンクリートの σ - ε 曲線を Fig. 4 に示した。

2・3・2 モルタル骨材コンクリート

1) 原モルタル

モルタル粗骨材を製造するための原モルタルは次の要領で製造した。原モルタルの調合は Table IV のモルタル部分の調合をそのまま用いた。その理由は、Table IV の調合で再生コンクリートを多数回リサイクル使用した場合、再生粗骨材は Table IV のモルタルに収斂すると考えられるためである。なお、原モルタルの強度は 38.6N/mm²であった。

2) モルタル粗骨材

モルタル粗骨材は原モルタルを、ジョークラッシャーで破碎して製造した。製造したモルタル粗骨材は、前述した再生粗骨材同様、ふるい分けを行い骨材粒度を選別した後、「再生骨材の暫定品質基準（案）」に示されている粒度曲線の基準値上限値通過率と下限通過率の平均値となるよう粒度分布を調整した。製造されたモルタル粗骨材は JIS の骨材試験に基づき比重、吸水率、単位容積重量、洗い損失量および実績率の試験を行った。試験結果を Table VII に示す。モルタル粗骨材は洗い損失量こそ「再生骨材の暫定品質基準（案）」を満足しているが、吸水率は基準値を大きく上回っており、モルタル粗骨材は基準外の品質であることが分かる。

3) モルタル骨材コンクリート

本実験ではモルタル骨材コンクリートの試し練りを多数回行い、普通コンクリートの強度と同一強度になるよ

Fig. 4. Stress-Strain curve of recycled aggregate concrete.

Table VIII. Quality of coarse aggregate made from mortar.

D _s	2.34
D _D	2.16
Q[%]	8.27
Π[kg/ℓ]	1.37
V[%]	63

うにモルタル骨材コンクリートの調合を Table IX のように決定した。モルタル骨材コンクリートの性質を Table X に示した。調合では、普通コンクリートと同じ強度を得ることを目標としたが、コンクリート強度は Table X に示すように普通コンクリートより多少低い値であった。モルタル骨材コンクリートの σ - ε 曲線を Fig. 5 に示した。

2・3・3 普通コンクリート 普通コンクリートは JIS 工場で製造されたレディーミクストコンクリートを用いた。Table XI に普通コンクリートの調合表を示した。普通コンクリートの性質を Table XII に示した。普通コンクリートシリーズの 3 体の試験体は同一バッチのコンクリートにより製作した。コンクリート強度は $\sigma_B = 25.4$ N/mm²、圧縮強度ひずみは $\varepsilon_B = 0.160\%$ 、ヤング係数は

Table IX. Mix proportion of mortar aggregate concrete.

W/C [%]	Slump [cm]	Air [%]	s/a [%]	Unit mass [kg/m³]				
				W	C	S	G	wra
60	18	3.0	48	185	308	848	769	3.39

Table X. Properties of mortar aggregate concrete.

Compressive strength σ_B [N/mm²]	Compressive strain ε_B [%]	Elastic modulus E_c [N/mm²]
23.2	0.260	1.81×10^4

Fig. 5. Stress-Strain curve of mortar aggregate concrete.

Table XII. Mix proportion of normal concrete.

W/C [%]	Slump [cm]	Air [%]	s/a [%]	Unit mass [kg/m³]				
				W	C	S	G	wra
55	18	4.5	42	173	315	735	1013	3.15

Table XII. Properties of normal concrete.

Compressive strength σ_B [N/mm²]	Compressive strain ε_B [%]	Elastic modulus E_c [N/mm²]
25.4	0.16	2.54×10^4

$E_c = 2.54 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ であった。普通コンクリートの σ - ϵ 曲線を Fig. 6 に示した。

2・3・4 鉄筋 使用鉄筋の機械的性質を Table XIII に示した。使用鉄筋は全試験体とも共通で、主筋およびあばら筋は異形鉄筋の D32 および D10 で、それぞれ同一のロッドの SD345 を使用した。D32, D10 とも明確な降伏点を有する鉄筋である。

2・4 加力装置および変形測定方法

加力装置を Fig. 7 に示した。加力は大野式逆対称加力とし多数回正負繰り返し载荷を行った。加力の制御は最初の 1 サイクルは荷重制御とし、長期荷重時を想定し、主筋の長期許容引張応力度 $f_t = 200 \text{ N/mm}^2$ 時の荷重で繰り返した。その後、2 サイクル目からは変位制御とし部材角で制御した。 $R = \pm 3/100 \text{ rad}$ 。までは $R = 0.5/100 \text{ rad}$ 。間隔で、 $R = \pm 3/100 \text{ rad}$ 。を超えてからは $R = 1/100 \text{ rad}$ 。間隔で、 $R = \pm 4/100 \text{ rad}$ 。まで実験を行った。但し、せん断破壊型の試験体については $R = \pm 3/100 \text{ rad}$ 。までとした。変位測定方法を Fig. 8 に示した。測定は試験体中

Fig. 6. Stress-Strain curve of normal concrete.

Table XIII. Mechanical Properties of steel reinforcement.

Type	Bar size	Yield Strength $\sigma_y [\text{N/mm}^2]$	Yield Strain $\epsilon_y [\%]$	Elastic modulus $E_c [\text{N/mm}^2]$
Longitudinal reinforcement	D32	385.1	0.210	1.88×10^5
Stirrup	D10	363.6	0.190	1.91×10^5

Fig. 7. Loading apparatus.

央部の相対たわみを変位計 (1/100mm 精度) で、主筋およびあばら筋のひずみはワイヤーストレインゲージ (検長 2mm) で測定した。

3 実験結果および検討

ここでは、再生コンクリート部材およびモルタル骨材コンクリート部材の力学的性状に関する実験結果および検討を主に普通コンクリートより部材の力学的性状を指標値として比較する形式で示す。

3・1 破壊経過およびひび割れ状況

曲げ破壊型、せん断破壊型および付着破壊型として設計した試験体は、再生コンクリート、モルタル骨材コンクリートおよび普通コンクリートの試験体の場合ともそれぞれ想定通りに曲げ破壊、せん断破壊、および付着破壊を生じた。曲げ破壊、せん断破壊、および付着破壊の破壊経過に関しては 3 者に大きな相違は見られず、ほぼ同様な破壊経過をたどり破壊に至った。各破壊型試験体の破壊経過は次の通りであった。曲げ破壊型試験体では、材端に曲げ初きれつが発生し、次に曲げせん断きれつが発生した。その後、きれつ数の増加ときれつの進展に伴い、主筋が曲げ降伏した。せん断破壊型および付着破壊型の試験体は、全試験体とも曲げ降伏以前に最大荷重に達した。せん断破壊型の試験体では、材端に曲げ初きれつ発生後、せん断きれつが材端および中央に多数発生した。全試験体ともあばら筋降伏によるせん断引張破壊であった。付着破壊型の試験体では、材端に曲げ初ひび割れ発生後、曲げせん断ひび割れも発生するが、主筋に沿った付着割裂ひび割れが多数発生しサイドスプリット型の付着破壊を生じた。

以上のことより、破壊経過およびひび割れ状況は再生コンクリート、モルタル骨材コンクリートおよび普通コンクリートでは大きな差は認められなかった。

3・2 荷重-変位曲線性状

Fig. 9 は再生コンクリート試験体およびモルタル骨材コンクリート試験体の荷重-変位曲線 (以下、Q-R 曲線) を破壊型式ごとに普通コンクリート試験体と比較して示したものである。Fig. 9 から各破壊形式の場合とも再生コンクリート試験体およびモルタル骨材コンクリート試験体の Q-R 曲線は、普通コンクリート試験体のそれとよく近似していることが分かる。このことより、コンクリート強度がほぼ等しい場合には再生コンクリートおよびモルタル骨材コンクリートを用いても Q-R 曲線に大きな影響を与えないことが認められた。

Fig. 10 には再生コンクリート試験体およびモルタル骨材コンクリート試験体の等価粘性減衰定数 (heq) を式 (1) より求め、普通コンクリート試験体と比較して示し

Fig. 8. Method of displacement measurement.

Fig. 9. Comparison of recycled aggregate concrete, mortar aggregate concrete and normal concrete.

Fig. 10. Comparison of recycled aggregate concrete, mortar aggregate concrete and normal concrete.

た. Fig. 10 より, 再生コンクリート, モルタル骨材コンクリートおよび普通コンクリートの同じ破壊形式のものは, 等価粘性減衰定数の値がよく近似しており, その傾向も類似していることが認められた. このことは, コンクリート強度がほぼ同等で破壊形式が同一であれば再生コンクリートおよびモルタル骨材コンクリートを用いたものの履歴ループ面積は普通コンクリートのそれとほぼ同等であることを示している.

$$h_{eq} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\text{面積 ABCA}}{\text{面積 } \Delta OAD} \quad (1)$$

3・3 最大荷重および限界部材角

最大荷重および限界部材角について再生コンクリート試験体およびモルタル骨材コンクリート試験体と普通コンクリートのそれを比較して Fig. 11 および Fig. 12 に示した. なお, それぞれの値は正負荷重時の値を平均したものである. また, 限界部材角については荷重が最大荷重の 80% まで低下した時の部材角とした. Fig. 11 から各破壊形式の場合とも再生コンクリート試験体およびモルタル骨材コンクリート試験体の最大荷重は普通コンクリート試験体の最大荷重とよく近似していることが認められる. 即ち, コンクリートに再生コンクリートおよびモルタル骨材コンクリートを用いてもコンクリート強度が同等であれば, 再生骨材のリサイクル回数に関わらず, はり部材の曲げ, せん断および付着に関する耐力は普通コンクリートのそれと同等になることが認められた.

Fig. 11. Comparison of maximum load.

限界部材角については, Fig. 12 から分かるように, 各破壊型式の場合とも再生コンクリート試験体, モルタル骨材コンクリート試験体および普通コンクリート試験体の 3 者の値はともに近似していることが認められた.

3・4 最大荷重に関する実験値と計算値との比較

Fig. 13 に再生コンクリート試験体およびモルタル骨材コンクリート試験体の最大荷重と普通コンクリートを用いた部材を対象とした既往の終局強度式の計算値を比較して示した. 計算に用いた各終局強度式を以下に示す.

曲げ破壊型は式 (2),³⁾ せん断破壊型は式 (3),⁵⁾ 付着破壊型は式 (4)⁶⁾ により算定した値である.

○曲げ終局強度

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

○せん断強度

$$Q_{su} = b \cdot j_t \cdot P_w \cdot \sigma_{wy} \cdot \cot \phi + \tan \theta \cdot (1 - \beta) \cdot b \cdot D \cdot v \cdot \sigma B/2 \quad (3)$$

Fig. 12. Comparison of ultimate deformation angle.

○付着強度

$$Q_{bu} = {}_a Q + {}_b Q \quad (4)$$

$${}_a Q = (ab/2) \cdot \left(\sqrt{1 + (L/D)^2} - L/D \right) \cdot D \cdot vFc$$

$${}_b Q = \tau_b \cdot \Sigma \psi \cdot Jt$$

Fig. 13 より再生コンクリート試験体およびモルタル骨材コンクリート試験体の実験値は計算値ときわめてよい相関性を示していることが分かる。

以上のことより、普通コンクリートを対象とした既往の各種破壊形式に関する終局強度式は再生コンクリートおよびモルタル骨材コンクリートへも適用可能であることが認められた。

Fig. 13. Comparison of calculated and experimental value.

4 ま と め

本報では原コンクリートを破碎して最初に造った再生粗骨材による再生コンクリートと、再生粗骨材を永久リサイクル使用した状態を想定したモルタル粗骨材によるモルタル骨材コンクリートの両者からなる鉄筋コンクリートはり部材に関して耐震性能実験を行った結果、次のことが認められた。

(1) 再生コンクリートおよびモルタル骨材コンクリートを用いた試験体の曲げ破壊、せん断破壊、および付着破壊の破壊経過は、普通コンクリートのそれとよく類似していた。

(2) 再生コンクリートおよびモルタル骨材コンクリートを用いた試験体の Q-R 曲線の性状、等価粘性減衰定数、最大荷重および限界部材角は普通コンクリートのそれと近似していた。即ち、コンクリート強度が同一であれば、再生コンクリート並びにモルタル骨材コンクリートを用いたはり部材の耐震性能は普通コンクリートのそれと同等の性能を示すことが認められた。

(3) 再生コンクリートおよびモルタル骨材コンクリートを用いた試験体の曲げ破壊、せん断破壊、および付着破壊の最大荷重と、普通コンクリートを対象とした既往の各種破壊形式に関する終局強度式の計算値とはよい相関性を示した。即ち、普通コンクリートを対象とした既往の各種破壊形式に対する既往の終局強度式は再生コンクリートおよびモルタル骨材コンクリートを用いたものに対しても適用できることが認められた。

(4) 以上のはり部材の耐震性能の実験結果から推測すると、柱部材の軸方向力の因子についての検討は残るものの、構造的には鉄筋コンクリート構造におけるコンクリートの永久リサイクル使用の可能性は十分あると判断できる。

本研究に際し、オデッサ・テクノス㈱の工藤定實氏、㈱ボゾリス物産の小島真一郎氏には再生コンクリートの調合で御世話になりました。また、東北工業大学四戸英男教授には材料試験に関して御世話になりました。鉄筋は㈱北越メタルに御寄贈いただきました。ここに深謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 三浦誠司, 大芳賀義喜, 田中礼治, 材料, 49, 1075 (2000).
- 2) 日本建築学会, 建築工事標準仕様書・同解説, JASS5, 鉄筋コンクリート工事 (1997).
- 3) 日本建築学会, 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (1991).
- 4) (財)国土開発技術開発センター, 建設副産物の発生抑制・再利用技術の開発報告書 (1996).
- 5) 日本建築学会, 鉄筋コンクリート造の終局強度型耐震設計指針・同解説 (1990).
- 6) 奥出久人, 高木仁之, 狩野芳一, コンクリート工学年次論文報告集, 81 (1989).