

論文 コンクリート再生骨材の諸性質

木村由香*1・森野奎二*2・岩月栄治*3

要旨：実験室で作製したコンクリート供試体と解体現場から採取したコンクリート塊をジョークラッシャーを用いて1次破碎して再生骨材を作製した。その再生骨材の粒子形状をはじめとする骨材性状を調べ、2次、3次破碎無しの可否について検討した。また、この再生骨材を用いてコンクリートを作製し、強度試験、凍結融解試験、顕微鏡観察を行った。それらの結果では再生骨材は1次破碎のみでも良い粒形を示したが、耐久性には優れていなかった。

キーワード：再生骨材、コンクリート塊、粒子形状、耐凍害性、顕微鏡観察

1. はじめに

解体コンクリート塊の用途のほとんどは路盤材や裏込め材である。この解体コンクリート塊をコンクリート用骨材として活用するためには吸水率、強度等の改善が必要となる。現行の品質改善の一般的な方法は、骨材に附着しているモルタルや脆弱な粒子を破碎・摩砕によって除去する方法である。しかし、これは設備の大型化や製造に伴い微粉末が発生し、新たな廃棄物・副産物が発生する。そこで最小限の破碎で全てを利用する方法を考えることも重要である。

本研究では、実験室で作製したコンクリート供試体と解体現場から採取したコンクリート塊をプレーキジョークラッシャーに1回通すだけで再生骨材を作製した。そのためにクラッシャーの歯間を最適粒度・粒径になるように調整した。このような1次破碎のみで、2次、3次破碎を行わなくても、コンクリートに使える形状・吸水率のものが出来るかどうかの可否について検討した。形状の測定は Zingg 等の方法によって詳細に測定した。また、コンクリート供試体から作製した再生骨材を用いてコンクリートを作製し、再生骨材の吸水率、その他の影響を調べるために凍結融解試験や顕微鏡観察を行い耐久性についても検討した。

2. 実験方法

2.1 使用骨材

再生骨材を作製するために作製したコンクリート供試体に使用した骨材は表-1 に示すような川砂と砕石である。また、解体コンクリート塊は 1966 年に完工された鉄筋コンクリート構造物の解体現場より採取したものであり、その設計基準強度は基礎で 14.7 MPa、軸組で 17.7 MPa、土間コンクリートで 13.2MPa であり、全てに AE 減水剤が使用されている。採取した解体コンクリート塊から $\phi 5 \times 10$ cm のコアを抜き、強度を調べた結果、圧縮強度は 21.9MPa、静弾性係数は 20.6GPa を示した。

2.2 普通コンクリート供試体の作製

再生骨材作製のコンクリート供試体に用いた骨材の密度、吸水率、単位容積質量及び実積率を表-2 に示す。コンクリートの配合を表-

表-1 使用材料

材料	種類	概要
セメント	普通ポルトランドセメント	密度:3.16g/cm ³
混和剤	AE減水剤 (ポリアルキルアリルスルホン酸塩)	密度:1.06g/cm ³
細骨材	川砂	静岡県天竜川産
粗骨材	砂岩砕石	愛知県春日井産

*1 愛知工業大学大学院 工学研究科建設システム工学専攻 (正会員)

*2 愛知工業大学教授 工学部土木工学科 理博 (正会員)

*3 愛知工業大学講師 工学部土木工学科 工修 (正会員)

3に示す。供試体寸法はφ10×20cm 円柱形供試体及び10×10×40cm 角柱形供試体とした。養生は20℃水中養生とし、28日養生後の強度は圧縮強度28.1MPa、曲げ強度5.47MPaであり、静弾性係数は32.3GPaであった。

2.2 再生骨材の作製

圧縮及び曲げ強度試験を行った後のコンクリート供試体と解体コンクリート塊をブレイキョークラッシャーを用いて破碎した。ブレイキョークラッシャーの構造は、投入塊寸法80mm以下、歯間幅5-20mm可変、製造量350kg/hである。円柱形供試体は圧縮試験によって破断した2片を投入し、角柱形供試体については1断面が80mm以下(長さは200mmでも可)になるように粗割りしてから投入した。解体コンクリート塊は投入できる大きさの塊を採取した中から選んで破碎した。

2.3 骨材粒子の形状測定

作製した再生骨材を20~15mm, 15~10mm, 10~5mmにふるい分け、それぞれの粒径のものから無作為に100個ずつ抽出し、図-1に示す最大径(a)、中間径(b)、最小径(c)をノギスで0.05mmまで測定した。また、比較用に普通コンクリート作製に使用した砂岩碎石も同様に測定した。測定後、球形率による分類(図-2)、Zinggの形状による分類、及びその他の提案されている表-4のような種々の形状係数も求めた。

2.4 凍結融解試験

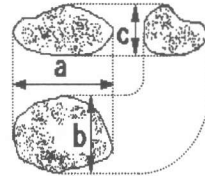
再生骨材コンクリートの耐凍害性を調べるために、凍結融解試験を行った。試験方法はASTM C666 B法に準じた(凍結:-17.8℃, 融解:+5℃)。試験に用いる

表-2 コンクリート供試体作製用骨材の性質

項目	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/l)	実積率 (%)
骨材				
細骨材	2.61	0.85	1.72	65.7
粗骨材	2.63	0.763	1.60	58.9

表-3 再生骨材製造用の普通コンクリートの配合

水セメント比 W/C (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m ³)			AE減水剤 (l/m ³)	
				水 W	セメント C	粗骨材 S G		
55	8.0	4.0	45	165	300	822	1013	1.5



a : 最大径
b : 中間径
c : 最小径

図-1 形状測定方法

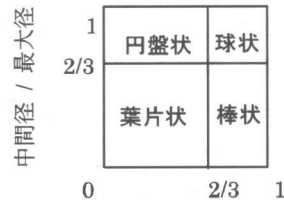


図-2 球形率による分類

表-4 骨材粒子の形状係数の一覧

形状表現の種類	表現方法(研究者)		研究者・規格・年等
形状係数	F	$F=(a+b)/2c$	C.K.Wentworth 1922
Zinggの分類方法	分類	b/a c/b	T.Zingg 1935
	球状	A >2/3 >2/3	
	円盤状	B >2/3 <2/3	
	棒状	C <2/3 >2/3	
葉片状	D <2/3 <2/3		
球形率	ψ	$\psi=(bc/a^2)^{1/3}$	W.C.Krumbein 1941
細長率	e	$e=a/c$	藤井真透 1934
方形率	s	$s=a/b$	
偏平率	f	$f=ab/c$	
容積係数	K	$K=V/(abc)$	
球形率	R	$R=6V/(\pi abc)$	
容積係数	C	$C=6V/(\pi a^3)$	フランス
球形率	ψ	$\psi=a/D$	

V: 粒子の体積 D: 粒子の容積を球としたときの直径

再生骨材コンクリートの配合を表-5 に示す。比較のために普通コンクリートの 10×10×40cm 角柱形供試体も作製した。また、凍結融解試験後の供試体を用いて曲げ強度試験と、はりの切片による圧縮強度試験を行った。なお、再生骨材コンクリートの凍結融解試験後の供試体には著しくひび割れが発生しており、上記の試験を実施することは出来なかった。

表-5 再生骨材コンクリートの配合

水セメント比 W/C (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	細骨材率 s/a (%)	単位置量 (kg/m ³)				AE 減水剤 (l/m ³)
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	
55	8.0	4.0	45	165	300	658	891	6.0

2.5 再生骨材コンクリートの観察

再生骨材コンクリートの内部を実体顕微鏡を用いて観察し、また薄片を作製し、偏光顕微鏡を用いて骨材境界面、その他の観察を行った。

3. 結果及び考察

3.1 コンクリート供試体及び解体コンクリート塊から作製した再生骨材の性質

再生骨材の密度、吸水率、単位容積質量及び実積率の測定結果を表-6 に示す。再生骨材は粒径が大きくなるにつれて吸水率は 5~10mm で 7.49%、15~20mm で 3.36%と小さくなっている。また解体コンクリート塊より作製した再生骨材の試験結果も表-7 に示すように吸水率は粒径が大きくなると同様に 10.4%、5.88%と小さくなっている。これらは粒径が小さいほど再生骨材に付着するモルタルやセメントペーストが相対的に多くなるからであると考えられる。

コンクリート供試体及び解体コンクリート塊から作製した再生骨材と砂岩砕石の破碎値を表-8 に示す。両再生骨材は 15~20 mm で 20.0%、20.6%でありほぼ同じ破碎値である。また、砂岩砕石は骨材の粒径が大きくなるにつれて 7.2%から 9.9%と破碎値が大きくなっているが、逆に解体コンクリート塊から作製した再生骨材では 24.2%から 20.6%と小さくなっている。これは岩石粒に付着している強度の低いモルタルやセメントペーストが剥がれて試料中の弱い部分の割合が増加したことにより破碎値が低くなったものと考えられる。

表-6 コンクリート供試体から製造した再生骨材の試験結果

項目 粒径(mm)	絶対密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/l)	実積率 (%)
5~10	2.21	7.49	1.34	57.8
10~15	2.34	5.13		
15~20	2.43	3.36		

表-7 解体コンクリート塊から製造した再生骨材の試験結果

項目 粒径(mm)	絶対密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/l)	実積率 (%)
5~10	2.06	10.4	1.29	57.5
10~15	2.20	7.17		
15~20	1.98	5.88		

表-8 砕石と再生骨材の破碎値

項目 粒径(mm)	砂岩砕石	コンクリート供試体	解体コンクリート塊
5~10	7.2%	18.5%	24.2%
10~15	9.0%	20.9%	21.8%
15~20	9.9%	20.0%	20.6%

3.2 各種骨材の粒子形状

(1) 球形率による形状測定

各種骨材の球形率による分類を粒径ごとに 5~10mm を図-3 に、10~15mm を図-4 に、15~20mm を図-5 に示す。球形率(ϕ)は、 $(b \times c/a^2)^{1/3}$ によって求めたもので、値が 1.0 に近いほど形状が球に近くなるが、各図のいずれの粒径も 1.0 近くに散在しており、良い形の粒子が多い。また各図は図-2 に示したとおり、 c/b 、 b/a ともに 2/3 の線によって球状、棒状、円盤状、葉片状と分類され、おおよその粒形を連想することができる。砂岩砕石の方が各点の分布が広がっており、球状が少なく他の形状のものが多く形が悪い。このことは砂岩砕石の硬

い岩質によると思われる。各図を見ると全てにおいて、粒径が小さいほど分布範囲が広がっており扁平で細長い骨材が増加している。また、コンクリート供試体及びコンクリート塊から製造した再生骨材においても砂岩碎石より球状が多く形状が良い状態を示している。これは再生骨材にはモルタルが付着しているので、破碎時に強度の低いモルタルが剥がれたり、角が欠けたりするために球形に近い形状になるからであると考えられる。

(2) Zingg の方法による分類

Zingg の方法による分類結果を解体コンクリート塊から作製した再生骨材は図-6 に、コンクリート供試体から作製した再生骨材を図-7 に、砂岩碎石を図-8 に示す。図では球状の割合が、コンクリート塊から作製した再生骨材では 20~15mm で 47%を占めており、10~5mm で 35%へと減少している。葉片状は、同粒径順に 7%、8%とほとんど変化していない。また、コンクリート供試体からの再生骨材は球状が同粒径順に 46%、21%と減少しており、葉片状は 4%、19%と増加している。一方、砂岩碎石は円盤状が最も多く、同粒径順に 42%、45%となっており、球状は最大でも 37%に過ぎない。葉片状については、7%、18%と供試体から作製した再生骨材とよく似た状態を示してい

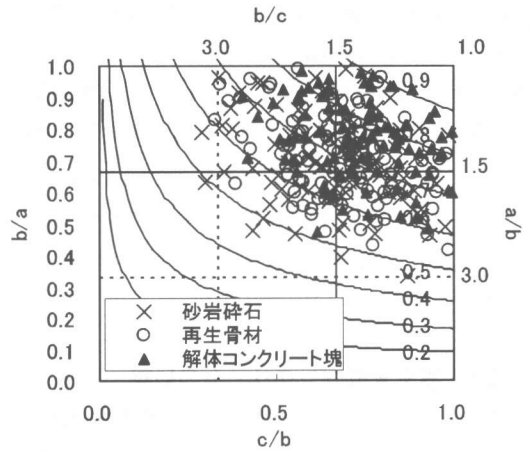


図-4 粒径 10~15mm の球形率による分類

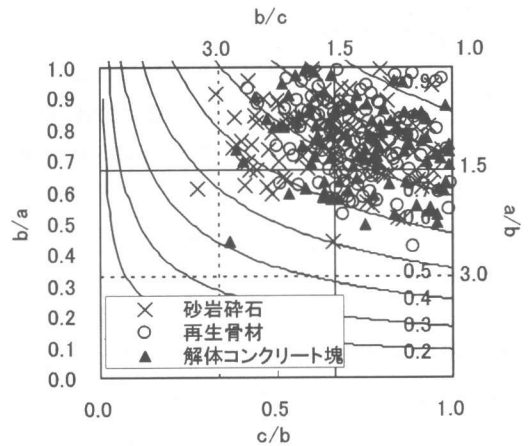


図-5 粒径 15~20mm の球形率による分類

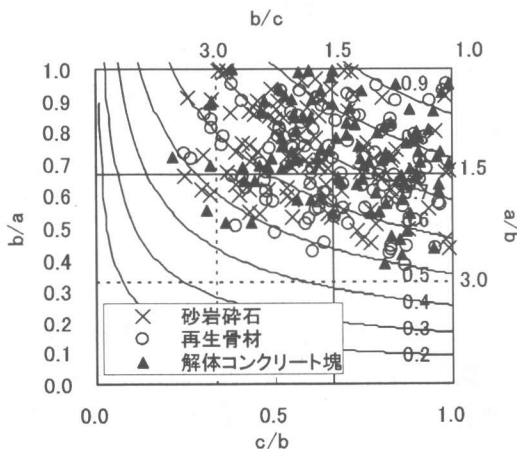


図-3 粒径 5~10mm の球形率による分類

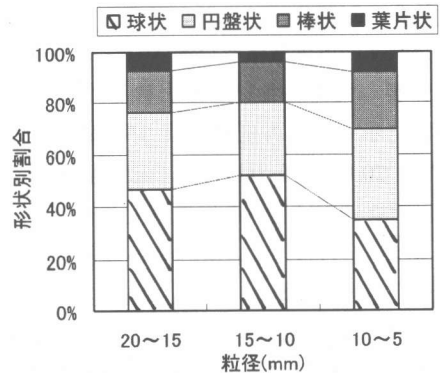


図-6 解体コンクリート塊から作製した再生骨材の Zingg の方法による分類

る。全体的に見て、コンクリート供試体及び解体コンクリート塊から作製した再生骨材の方が砂岩碎石よりも形状が良いと言える。

(3) 各種形状係数による分類

各種の方法で求めた形状係数を表-9に示す。表より粒径が小さくなるにつれて方形率(a/b)ではコンクリート塊から作製した再生骨材は粒径20~15mmで1.379, 10~5mmで1.418であり、供試体からの再生骨材では同粒径順に1.350, 1.509, 砂岩碎石では1.343, 1.439と大きくなっており、細長い粒が増える。また、扁平率(ab/c)では粒径20~15mmで骨材ごとに比較してみると、コンクリート塊からの再生骨材で3.790, 供試体からの再生骨材で3.889, 砂岩碎石で4.298となっており、解体コンクリート塊再生骨材, コンクリート供試体再生骨材, 砂岩碎石の順に形状が悪くなるのが分かる。

3.3 再生骨材を用いたコンクリートの凍結融解試験結果

コンクリート供試体から作製した再生骨材を用いたコンクリート(圧縮強度: 19.8MPa, 曲げ強度: 3.26MPa, 静弾性係数係数: 31.1GPa)と普通コンクリート(圧縮強度: 28.1MPa, 曲げ強度: 5.47MPa, 静弾性係数係数: 32.3GPa)の凍結融解試験を行った結果を図-9に示す。

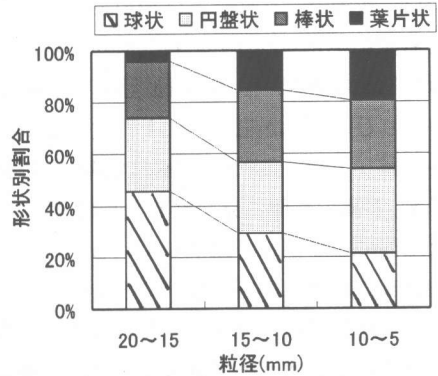


図-7 コンクリート供試体から製造した再生骨材のZinggの方法

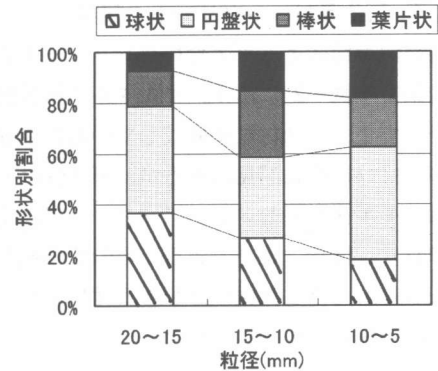


図-8 砂岩碎石のZinggの方法による分類

表-9 各種骨材の形状係数

形状係数	粒径	解体コンクリート塊(mm)			再生骨材(mm)			砂岩碎石(mm)		
		20~15	15~10	10~5	20~15	15~10	10~5	20~15	15~10	10~5
形状係数	F	1.691	1.650	1.904	1.664	1.880	2.005	1.900	1.994	2.162
Zinggの分類形状別割合(%)	球状	47	52	35	46	29	21	37	27	18
	円盤状	29	28	35	28	28	33	42	32	45
	棒状	17	17	22	22	28	27	14	26	19
	葉片状	7	3	8	4	15	19	7	15	18
球形率	ψ	0.737	0.749	0.711	0.744	0.692	0.673	0.720	0.680	0.674
標準偏差		0.088	0.083	0.109	0.086	0.089	0.109	0.091	0.094	0.097
細長率	e	1.958	1.884	2.225	1.905	2.221	2.455	2.175	2.367	2.527
方形率	s	1.379	1.341	1.418	1.350	1.469	1.509	1.343	1.485	1.439
扁平率	f	3.790	3.007	2.105	3.889	3.576	2.329	4.298	3.769	2.175
容積係数	K	0.434	0.378	0.466	0.388	0.369	0.460	0.410	0.433	0.421
球形率	R	0.829	0.722	0.890	0.740	0.705	0.878	0.782	0.827	0.804
容積係数	C _丸	0.344	0.313	0.332	0.316	0.243	0.246	0.303	0.273	0.256
球形率	$\psi_{丸}$	1.482	1.517	1.521	1.514	1.662	1.845	1.542	1.614	1.668

V: 粒子の体積 D: 粒子の容積を球としたときの直径

図では、普通コンクリートは300サイクルを超えても変化が見られない。再生骨材コンクリートは凍結融解作用による劣化が著しく、80サイクルよりひび割れが発生したため110サイクルで終了した。このひび割れ状態を写真-1に示す。写真の左側に見られるように角が欠け、また全面にひび割れが発生している。これは再生骨材自体の吸水率が大きいことによる¹⁾²⁾。なお、動弾性係数の低下が見られなかった普通コンクリートの曲げ強度試験結果では、凍結融解試験前の28日-20℃水中養生強度で5.47MPaであったものが、試験後では5.55MPaを示し強度の面からも劣化は見られなかった。

3.4 再生骨材コンクリートの観察

偏光顕微鏡による再生骨材コンクリートの観察結果を写真-2に示す。モルタルや粗骨材が結合して1つの骨材粒を構成している再生骨材の中にはひび割れが見られるが、再生骨材の周囲は、モルタルやセメントペーストと一体化しており、付着は良好である。その他の観察結果からも、再生骨材の方が岩石骨材よりも付着の良い状態が多く見られた。

4. 結論

コンクリート供試体及び解体コンクリート塊から作製した再生骨材、砂岩碎石の形状測定と、再生骨材コンクリートの凍結融解試験及び顕微鏡観察結果をまとめると次のようである。

- 1) 本研究で作製した再生骨材は1次破碎のみで市販の砂岩碎石よりも良い形状が得られた。
- 2) 再生骨材、砂岩碎石とも粒径が小さくなるほど扁平、細長粒が増加する。
- 3) 再生骨材を用いたコンクリートの凍結融解作用に対する抵抗性は低い。
- 4) 再生骨材の付着状態は良好であった。

参考文献

- 1) 藤本直史, 佐藤靖彦, 今野克幸, 今村晃久:
繰り返し利用された再生骨材コンクリート

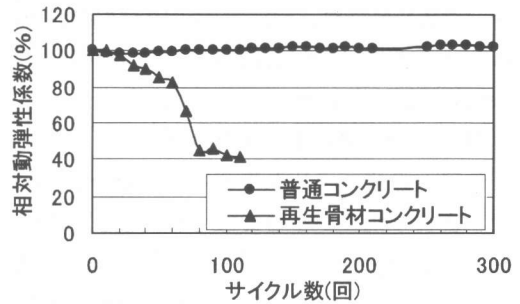


図-9 再生骨材コンクリートの凍結融解試験結果

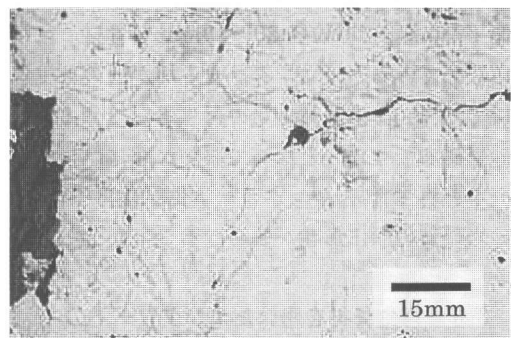


写真-1 凍結融解試験後の劣化状況

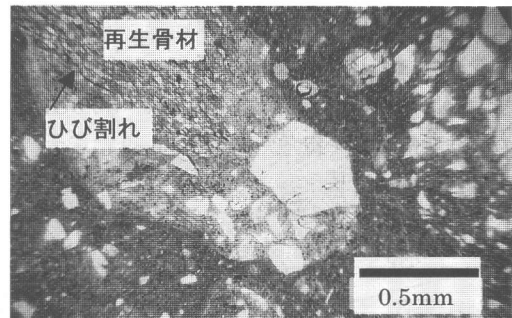


写真-2 再生コンクリート中の再生骨材の付着状況

凍害性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.22, No.2, pp.1165-1170, 2000

- 2) 後藤彰, 堺孝司: 再生骨材を用いたコンクリートの耐凍害性と乾燥収縮, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, No.1, pp.1105-1110, 1997