

コンクリート再生骨材の諸性質と 再生骨材使用コンクリートの強度・耐久性に関する研究

Properties of recycled aggregates made of concrete and strength and durability of concrete using the recycled aggregates

岩月 栄治* 木村 由香** 森野 奎二*
Eiji IWATSUKI, Yuka KIMURA and Keiji MORINO

Abstract: Properties of recycled aggregates made of concrete, and strength and durability of concrete using the recycled aggregates are clarified in this study. In the experiment, three kinds of recycled aggregates were used, namely, primary recycled aggregate (recycled aggregate produced crushing concrete specimens made in laboratory), secondary recycled aggregate (marketed recycled aggregate) and AIT recycled aggregate (recycled aggregate produced crushing debris obtained from the demolished concrete structure in AIT). Density, absorption, grading, crushing value and particle shape of the recycled aggregates were investigated. And compressive strength, flexural strength, freezing and thawing test of the concrete using the recycled aggregates were carried out, and interfacial zone of recycled aggregates was also observed under a polarizing microscope. In the result, the particle shape of the recycled aggregate was better than that of natural crushed stone aggregate. Bond between recycled aggregate and cement past was good adhesion because of unhydrated cement and irregular surface on recycled aggregate particle.

1. はじめに

解体コンクリート塊の発生量は、平成 10 年度には 5,430 万トンであり、今後も増加することが予測されている¹⁾。現在、これらの再利用先は、低品質であっても利用できる路盤材や裏込め材が主体である。今後、循環型社会の構築、資源・環境保全のためには、再利用の用途を広げていくことが必要であり、コンクリート塊を再度コンクリート用骨材として利用することが望まれている。法令においても「特定建設資材に係わる分別解体等及び特定建設資材廃棄物の再資源化等の促進に関する基本方針」（建設リサイクル法基本方針）が平成 13 年 1 月に告示されている。

コンクリート塊をコンクリート用骨材として利用する上で問題となるのは、密度や吸水率といった物理的な性質や安定性であり、これらはコンクリートのワーカビ

リティや耐久性に大きく影響する。この問題に関しては数々の研究がなされており、平成 6 年に再生骨材の品質基準案が提案され、再生骨材の利用と製造に関する一つの基準となっている²⁾。再生骨材の物理的性質の改善方法については、一般的に骨材に付着しているモルタルや脆弱な粒子を破砕・摩砕によって除去する方法である^{3,4)}。しかし、この方法は、設備の大型化や製造に伴う微粉末の発生、改善に必要な電力等のエネルギー消費などの問題があり、最小限の破砕で全てを利用する方法を検討することも必要である⁵⁾。

本研究では、実験室で作製したコンクリート供試体をブレイキジョークラッシャーで 1 回破砕しただけの再生骨材（以下、1 次再生骨材）と、実際の再処理プラントのクラッシャーで 2 回破砕されて製品として市場に流通している再生骨材（以下、2 次再生骨材）、さらに 1966 年に完工された本学の鉄筋コンクリート構造物の解体現場から採取したコンクリート塊を、実験室のブレイキジョークラッシャーで 1 回破砕して作製した再生骨材（以下、AIT 再生骨材）の 3 種類を用いて、骨材の粒子形状（ワーカビリティ等）と吸水率（強度や耐久性）の測定を行

* 愛知工業大学工学部土木工学科

** 愛知工業大学 建設システム工学専攻

った。また、1 次再生骨材、2 次再生骨材を用いてコンクリートを作製し、強度試験と凍結融解試験を行い、耐久性について検討した。

2. 実験方法

2.1 使用した再生骨材

実験に使用した再生骨材を表 1 に示す。1 次再生骨材は、実験室でコンクリート供試体を作製し、20℃水中養生を 28 日間行った後に圧縮・曲げ強度試験を行い、その試験片をブレーキジョークラッシャーで破碎したものである。1 次再生骨材を作製するためのコンクリートの材料を表 2 及び表 3 に、その配合を表 4 に示す。細骨材の川砂は土木学会標準粒度の範囲であったのでそのまま使用したが、粗骨材砂岩碎石は標準粒度の範囲をはずれていたため調整して使用した。

2 次再生骨材は、稼働中の再処理プラントの製品で、2 回破碎されている。この再生骨材は、原骨材に碎石と砂利が混入しており、その他にアスファルト塊や木片等の不純物も混入していた。実験に使用する前に手作業で不純物を取り除き、土木学会の標準粒度に調整して使用した。

AIT 再生骨材は、鉄筋コンクリート構造物の解体現場から 30×30×20cm 程度のコンクリート塊を採取して、ブレーキジョークラッシャーで破碎したものである。2 次再生骨材と較べて不純物は含んでいなく、1 次、2 次再生骨材と同様の粒度に調整した。この構造物の設計基準強度は基礎部で 14.7MPa、軸組で 17.7MPa、土間で 13.2MPa であり、AE 減水剤が使用されていた。コンクリート塊から採取した φ5×10cm のコアの強度試験では、圧縮強度は 21.9MPa、静弾性係数は 20.6×10⁴MPa であり、設計時の強度を上回っていた。コアの表面には粗骨材に砂利が多くみられた。

2.2 再生骨材作製に使用したブレーキジョークラッシャーの調整

再生骨材の作製に用いたブレーキジョークラッシャーの性能は、投入塊寸法 80cm 以下、歯間隔 5~20mm、製造量は 350kg/h である。1 次、AIT 再生骨材を製造する前に破碎前に、再生骨材の粒度が最適になるように試験破碎を行って歯間隔を調整した。1 次再生骨材や AIT 再生骨材はクラッシャーに投入できる大きさに粗割りしてから破碎した。

2.3 骨材粒子の形状測定

1 次再生骨材、2 次再生骨材、AIT 再生骨材を、5~10mm、10~15mm、15~20mm にふるい分け、それぞれの粒径か

表 1 使用した再生骨材

呼び名	説明
1次再生骨材	実験室で作製したW/C=55%のコンクリート供試体をブレーキジョークラッシャーに1回通すだけで作製した再生骨材
2次再生骨材	種々の建設解体現場から発生するコンクリート塊を再処理プラントのクラッシャーで2回破碎した再生骨材
AIT再生骨材	1966年に完工された愛知工業大学教養棟1号館の鉄筋コンクリート構造物解体現場から採取したコンクリート塊を実験室のブレーキジョークラッシャーに1回通して作製した再生骨材

表 2 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	砂岩碎石	愛知県春日井産

表 3 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	0.76	1.60	58.9

表 4 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	細骨材 S	粗骨材 G	
55	8.0	4.0	45	165	300	822	1013	1.5

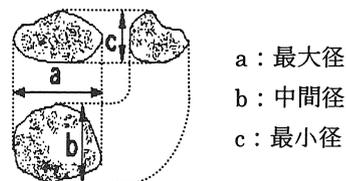


図 1 形状測定方法

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)をノギスを用いて 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。測定後に、図 2 の球形率によ

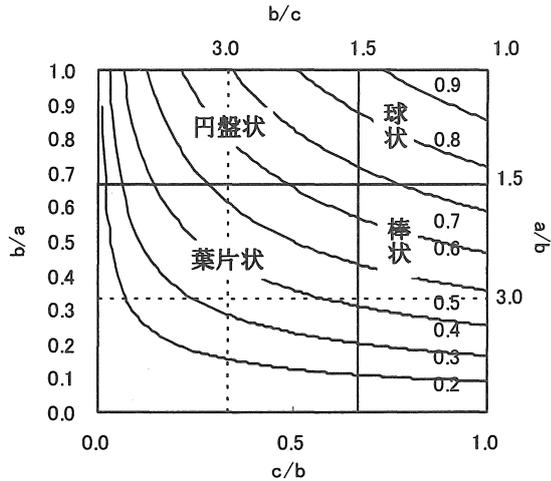


図2 球形率による分類

る分類や、表5にまとめられている種々の分類方法で検討した(5, 6, 7, 8, 9, 10)。

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法の気中凍結水中融解に従った。凍結温度は供試体の中心温度が-17.8℃、融解温度は+5℃とした。試験には、1次再生骨材、2次再生骨材と、比較のために砂岩碎石を用いた普通コンクリート供試体を用いた。再生骨材を用いたコンクリートの配合を表6に示す。供試体寸法は、10×10×40cmの角柱形供試体とし、試験前に20℃水中養生を14日間行った。また、凍結・融解の温度管理を行うために、角柱形供試体の中心部に温度センサーを挿入できるように、φ6mmの鉄筋を埋め込んだ供試体も1本作製した。脱型後に鉄筋を引き抜いて、センサーを挿入した。凍結融解試験中は、10サイクル毎に試験槽から供試体を取り出し、共振法による動弾性係数(たわみ振動)と質量の測定を行った。300サイクル終了後に劣化度を確認するため曲げ強度試験を行った。

2・5 再生骨材コンクリートの微細構造の観察

各種再生骨材を用いたコンクリートの微細構造を、実体顕微鏡と偏光顕微鏡を用いて観察した。観察では再生骨材の付着性状やひび割れに着目して行った。

3. 結果及び考察

3・1 再生骨材の物理的性質

図3に再生骨材の絶乾密度、図4に再生骨材の吸水率を示す。絶乾密度は1次再生骨材と2次再生骨材は粒径が大きくなるほど密度も大きくなっているが、AIT再生

表5 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
Zinngの分類方法	分類	b/a c/b	T.Zinng 1935
	球状	>2/3 >2/3	
	円盤状	>2/3 <2/3	
	棒状	<2/3 >2/3	
	葉片状	<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

表6 再生骨材使用コンクリートの配合

骨材	W/C (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)			AE減水剤 (l/m ³)	
					水	セメント	粗骨材		
1次再生骨材	55	8.0	4.0	45	165	300	658	891	6.0
2次再生骨材							649	859	

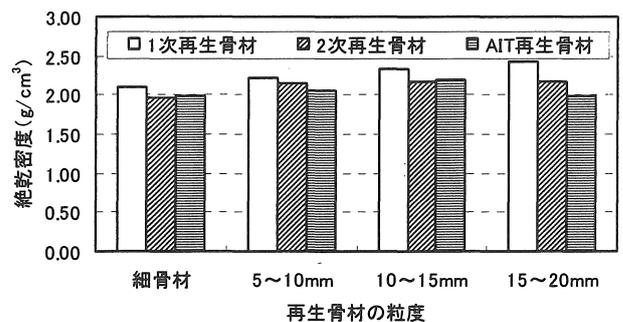


図3 再生骨材の絶乾密度

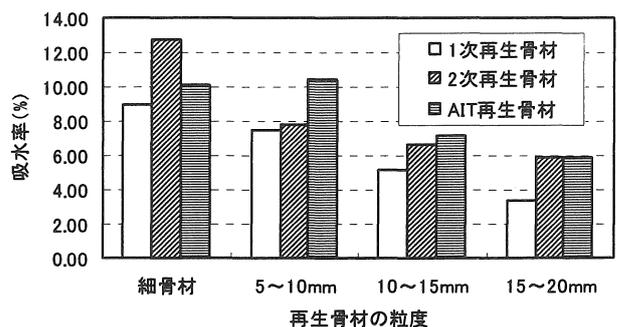


図4 再生骨材の吸水率

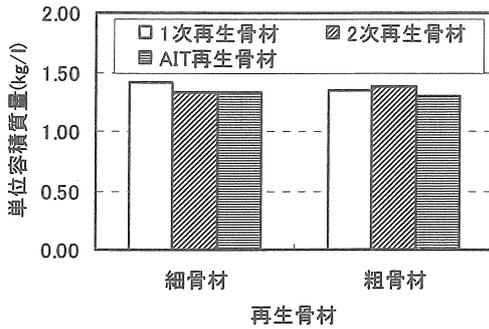


図5 再生骨材の単位容積質量

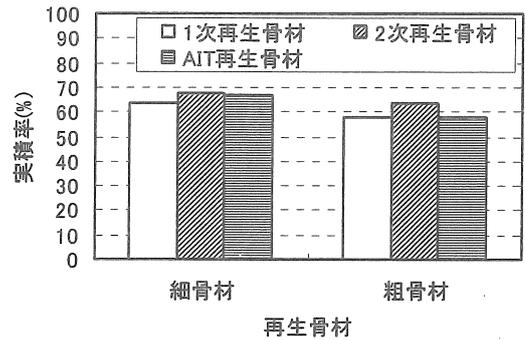


図6 再生骨材の実積率

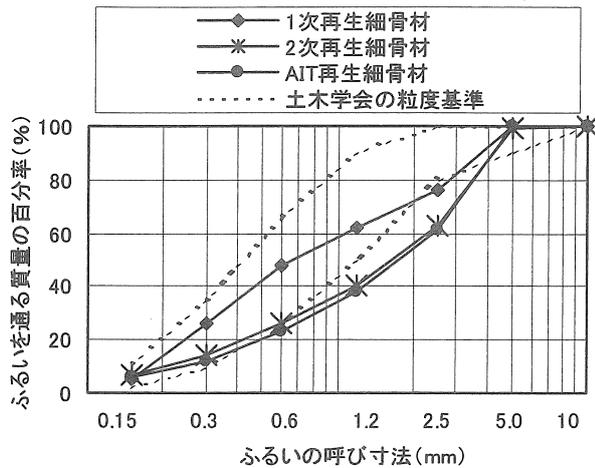


図7 再生骨材のふるい分け試験結果

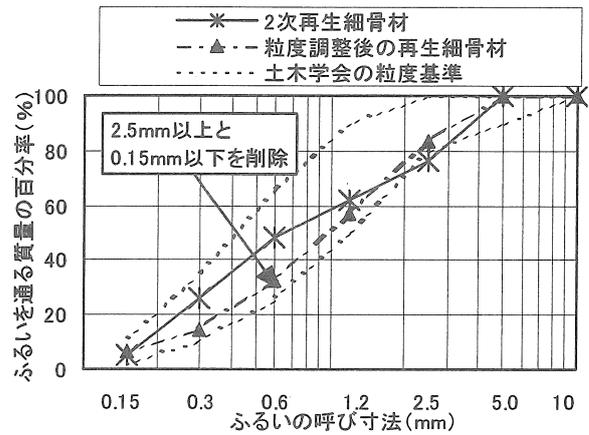


図8 再生骨材の粒度調整

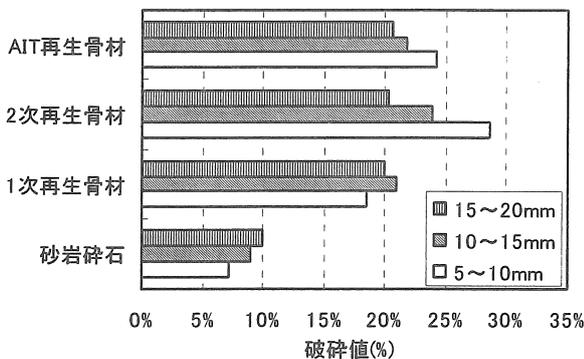


図9 再生骨材の破砕値

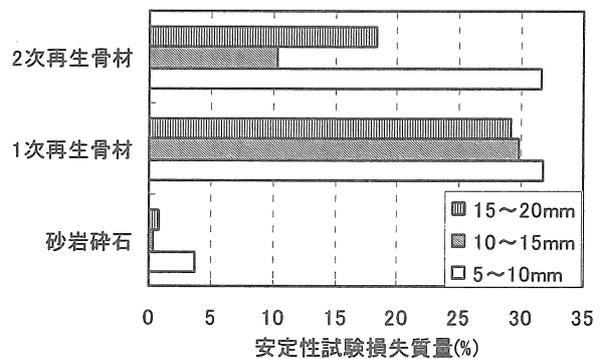


図10 再生骨材の安定性試験結果

骨材は 15~20mm で密度が小さくなっている。また、粗骨材の粒度毎の吸水率の変化は、2 次再生骨材は 1 次及び AIT 再生骨材よりも変化が小さい。これは、2 回破砕されたために再生骨材に付着しているモルタルが他よりも少なかったためと考えられる。

図 5 に単位容積質量、図 6 に実積率を示す。単位容積質量は、細骨材 1.31~1.41kg/l、粗骨材 1.29~1.38、実積率は、細骨材 63.3~67.1%、粗骨材 57.4~63.4%であり再生骨材の違いによる差は少ない。天然の砕砂、碎石と較べると、単位容積質量はモルタルが付着しているため

に若干値が小さいが、実積率は通常の骨材の下限付近である。

再生細骨材のふるい分け試験結果を図 7 に示す。1 次再生骨材は 2.5mm が範囲の下限付近であるが、その他は範囲内であった。2 次及び AIT 再生骨材は、0.6~2.5mm が範囲から外れていた。粒度調整では図 8 のように粒径 2.5mm 以上と 0.15mm 以下をカットすると標準粒度範囲内となり、供試体作製ではこのように粒度調整した再生骨材を用いた¹¹⁾。

3・2 再生骨材の破碎値と安定性

再生骨材と砂岩碎石の破碎値を図9に示す。1次再生骨材の破碎値は、粒度が15~20mmで20.0%、同粒度で2次再生骨材は20.2%、AIT再生骨材は20.6%であり、ほぼ同じである。しかし、15mm以下になると、2次再生骨材やAIT再生骨材は破碎値が大きくなる。この原因は、コンクリートの破碎時に強度の低いモルタルが細かく剥がれ、粒径が小さいほどモルタルを多く含む粒子の割合が増加したためと考えられる。

1次再生骨材、2次再生骨材及び砂岩碎石の安定性試験結果を図10に示す。2次再生骨材の10~15mmと15~20mmの損失量は1次再生骨材と較べて低い。これは、2次再生骨材は2回破碎によって脆弱な骨材やモルタルが除去されたためと考えられる。

3・3 各種骨材の粒子形状

3・3・1 球形率による分類

再生骨材及び砂岩碎石骨材粒子の球形率による分類を粒径毎に、5~10mmを図11、10~15mmを図12、15~20mmを図13に示す。球形率(ψ)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。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。再生骨材は砂岩碎石と較べて各点の分布が図の右上に分布しており、球状が多いと判定されることから、砂岩碎石よりも形状が良いといえる。これは、再生骨材は製造時に付着していたモルタルが剥がれたり、角が欠けたりすることによって球形に近い形状になる。しかし、砂岩碎石は岩質が硬いため、破碎時に摩砕されず、角張った粒子が多くなることが原因であると思われる。また、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。

3・3・2 Zinggによる分類

Zinggの方法による分類結果を、砂岩碎石を図14、1次再生骨材を図15、2次再生骨材を図16、AIT再生骨材を図17に示す。2次再生骨材(図16)では、球状の割合が粒径15~20mmで45%を占めており、5~10mmでは38%に減少している。葉片状は、同粒径順に2%から7%へと増加している。また、1次再生骨材は球状が同粒径順に46%から21%に減少しており、葉片状は4%から19%に増加している。一方、砂岩碎石は円盤状が最も多く、同粒径順に42%から45%に増加しているが、球状は最大でも37%に過ぎない。葉片状は同粒径で7%から18%に増

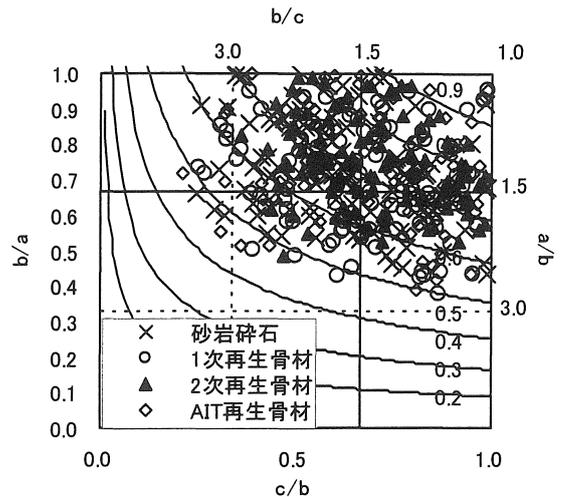


図11 粒径5~10mmの球形率による分類

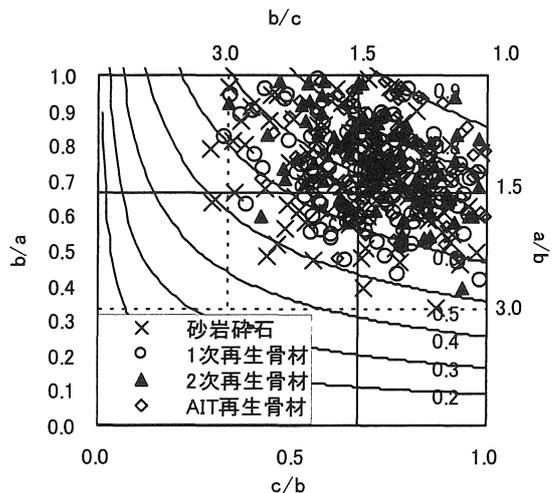


図12 粒径10~15mmの球形率による分類

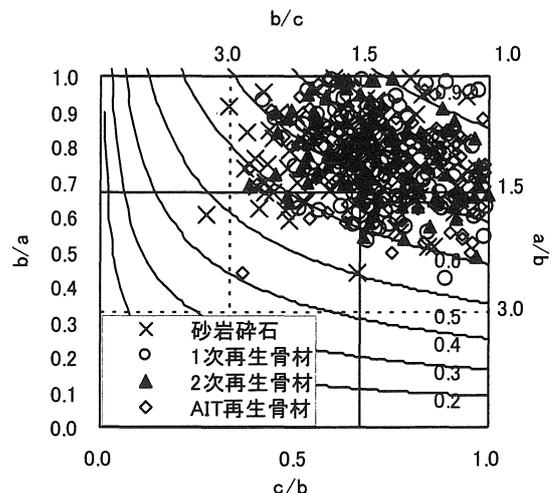


図13 粒径15~20mmの球形率による分類

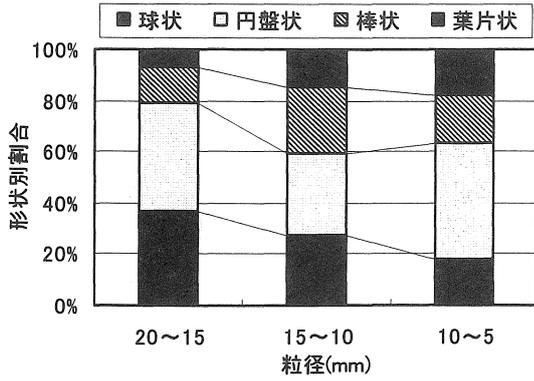


図 14 砂岩碎石の Zingg の方法による分類

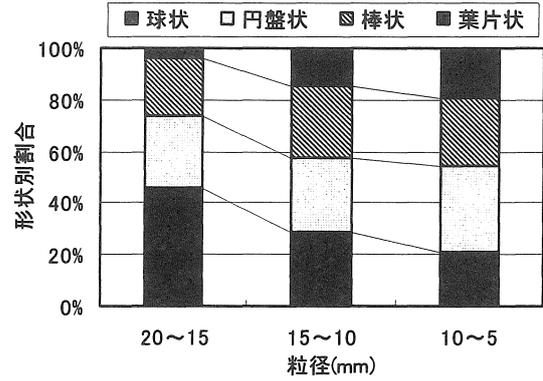


図 15 1 次再生骨材の Zingg の方法による分類

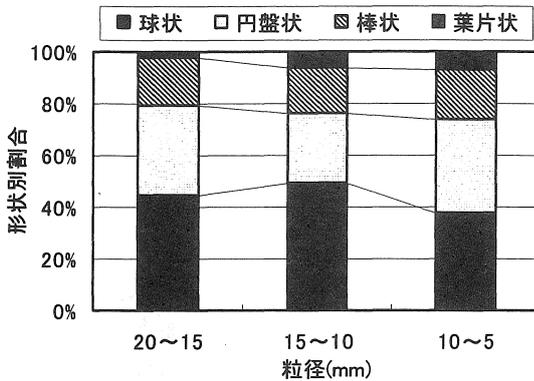


図 16 2 次再生骨材の Zingg の方法による分類

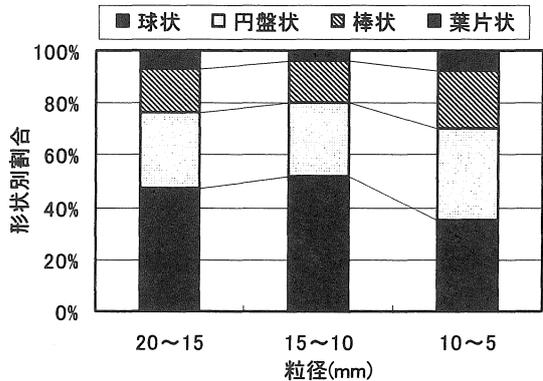


図 17 AIT 再生骨材の Zingg の方法による分類

表 7 各種骨材の形状係数

形状係数	粒径	砂岩碎石(mm)			1次再生骨材(mm)			2次再生骨材(mm)			AIT再生骨材(mm)		
		20~15	15~10	10~5	20~15	15~10	10~5	20~15	15~10	10~5	20~15	15~10	10~5
形状係数	F	1.900	1.994	2.162	1.664	1.880	2.005	1.702	1.659	1.782	1.691	1.650	1.904
Zinggの分類 形状別割合 (%)	球状	37	27	18	46	29	21	45	49	38	47	52	35
	円盤状	42	32	45	28	28	33	34	27	36	29	28	35
	棒状	14	26	19	22	28	27	19	18	19	17	17	22
	葉片状	7	15	18	4	15	19	2	6	7	7	3	8
球形率	ψ	0.720	0.680	0.674	0.744	0.692	0.673	0.742	0.733	0.723	0.737	0.749	0.711
標準偏差		0.091	0.094	0.097	0.086	0.089	0.109	0.078	0.074	0.085	0.088	0.083	0.109
細長率	e	2.175	2.367	2.527	1.905	2.221	2.455	1.937	1.958	2.058	1.958	1.884	2.225
方形率	s	1.343	1.485	1.439	1.350	1.469	1.509	1.332	1.365	1.379	1.379	1.341	1.418
扁平率	f	4.298	3.769	2.175	3.889	3.576	2.329	3.970	3.060	1.874	3.790	3.007	2.105
容積係数	K	0.410	0.433	0.421	0.388	0.369	0.460	0.190	0.381	0.614	0.434	0.378	0.466
球形率	R	0.782	0.827	0.804	0.740	0.705	0.878	0.363	0.727	1.172	0.829	0.722	0.890
容積係数	C (フランス式)	0.303	0.273	0.256	0.316	0.243	0.246	0.157	0.294	0.448	0.344	0.313	0.332
球形率	ψ (フランス式)	1.542	1.614	1.668	1.514	1.662	1.845	1.998	1.543	1.377	1.482	1.517	1.521

加している。これらのことから、前述の球形率の分類と同様に、再生骨材は砂岩碎石よりも球形が多く形状が良いと言える。さらに、どの骨材も粒径が小さくなるほど葉片状が増加するという傾向を示している。

3.3.3 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 7 に示す。細長率(a/c)は、砂岩碎石では粒径 20~15mm で 2.175、10~5mm

で 2.527 であり、1 次再生骨材では同粒径順に 1.905、2.455、2 次再生骨材は 1.937、2.058、AIT 再生骨材は 1.958、2.225 であった。どの骨材も粒径が小さくなるにつれて細長率は大きくなり、粒径が小さいほど細長い骨材粒子が増加していることを示している。また、砂岩碎石は 3 種類の再生骨材と較べて細長い粒子が多かった。また、方形率(a/b)は、砂岩碎石の 20~15mm は 1.343、10~5mm は 1.439、1 次再生骨材では同粒径順に 1.350、1.509、2

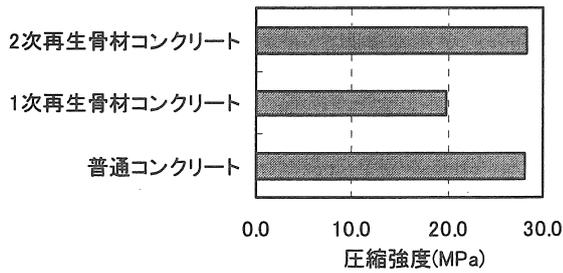


図 18 各種コンクリート供試体の圧縮強度

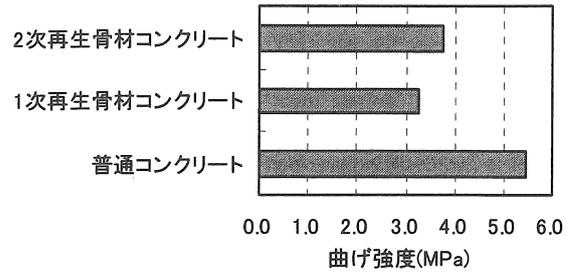


図 19 各種コンクリート供試体の曲げ強度

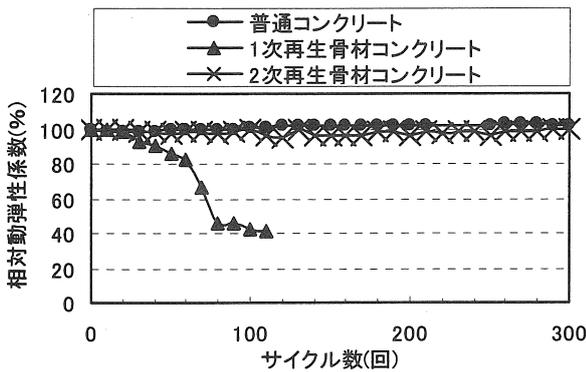


図 20 各種コンクリートの凍結融解試験結果

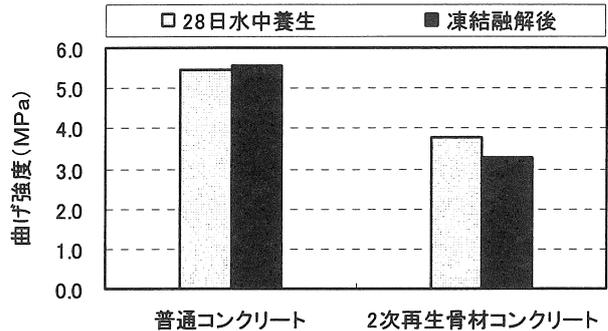


図 21 凍結融解試験後の曲げ強度

次再生骨材は 1.332, 1.379, AIT 再生骨材は 1.379, 1.418 と大きく、細長い粒子が増える。扁平率(ab/c)では粒径 20~15mm で骨材毎では、砂岩碎石で 4.298、1 次再生骨材で 3.889、2 次再生骨材で 3.970、AIT 再生骨材で 3.790 であり、再生骨材は砂岩碎石と較べて形状が良い。

3・4 再生骨材使用コンクリートの強度試験結果

1 次再生骨材、2 次再生骨材及び普通骨材を用いたコンクリートの圧縮強度を図 18、曲げ強度を図 19 に示す。圧縮強度では普通骨材と 2 次再生骨材はほぼ同等の値を示している。また、曲げ強度では、2 次再生骨材は 1 次再生骨材と較べて高い。これは 2 次再生骨材は 2 回破砕されていることから脆弱な骨材やモルタルが除去されているためと考えられる。

3・5 再生骨材使用コンクリートの凍結融解試験結果

凍結融解試験結果を図 20 に示す。普通コンクリートは 300 サイクルを超えても相対動弾性係数は変化していないが、1 次再生骨材は 25 サイクルから動弾性係数が低下している。その後、80 サイクルでひび割れが確認されたので 110 サイクルで終了した。しかし、2 次再生骨材は 300 サイクルを超えても変化がみられなかった。この原因としては、2 次再生骨材は、①1 次再生骨材と較べて長期材齢であり、モルタル部分が緻密で強度が高いこと、②2 回破砕によって脆弱な骨材やモルタルが除去されて

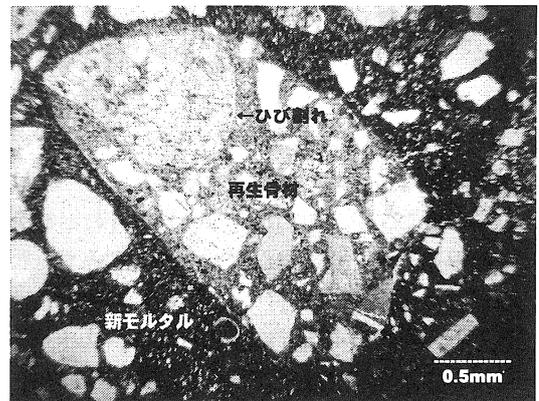


写真 1 再生骨材コンクリート中の再生骨材の付着状況

いること、③実際の現場で施行されたコンクリートを原料にしていることから骨材に付着しているモルタルには AE が十分に入っていること、が考えられる¹²⁾。なお、試験終了後に行った普通コンクリートと 2 次再生骨材コンクリートの曲げ強度試験結果(図 21)では、強度低下ではなく、凍結融解による劣化も受けておらず、1 次再生骨材とは対比的である。

3・6 再生骨材使用コンクリートの微細構造

1 次再生骨材を使用したコンクリートの偏光顕微鏡写真を写真 1 に示す。モルタルや細骨材が結合して 1 つの骨材粒子を構成している再生骨材の中にひび割れがみら

れたが、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、付着は良好であった。この原因は、再生骨材の未水和セメントが再度水和反応を起こすことや、骨材粒子表面の適度な凹凸によると考えられる。このような状況は、他の再生骨材コンクリートでも観察された。

4. 結論

本研究では、1次再生骨材、2次再生骨材、AIT再生骨材を使用して、再生骨材の諸性質と、それらを骨材に使用した再生骨材コンクリートの強度や安定性について検討した。結果をまとめると以下のようである。

- (1) 本研究で使用した再生粗骨材の吸水率は、1次再生骨材は 5.70%、2次再生骨材は 6.88%、AIT再生骨材は 8.07%であり、天然骨材の砂岩碎石と較べて 8~10 倍の吸水率であった。
- (2) 再生骨材の粒子形状は球形率、Zingg の方法、その他の形状係数において、天然の砂岩碎石よりも良好であった。これは、再生骨材は破碎時に強度の低いモルタル部分が摩砕されることによって球形に近い形状になったと考えられる。
- (3) 1次再生骨材を用いた再生骨材コンクリートの凍結融解試験では、25 サイクルから相対動弾性係数が低下し始め、80 サイクルでひび割れが発生した。
- (4) 2次再生骨材を用いた再生骨材コンクリートの凍結融解試験では、300 サイクルを超えても劣化はみられなかった。この原因は、1次再生骨材と較べて長期材齢でモルタル部分が緻密であることや、2回破碎によって脆弱な骨材やモルタルが除去されていること、実際の現場で施行されたコンクリートを原料にしていることから骨材に付着しているモルタルには AE が十分に入っていること、が考えられる。
- (5) 偏光顕微鏡観察では、再生骨材の付着性状は良好であった。これは、再生骨材の未水和セメントが再度水和反応を起こしたことや、骨材表面の適度な凹凸によって付着が良好になったと考えられる。

謝辞

本研究は、文部省平成 11 年度私立大学等研究設備補助金及び愛知工業大学重点研究助成金によった。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 建設副産物リサイクル広報推進会議：平成 13 年度版総合的建設副産物対策, 2001
- 2) 建設省技調発第 88 号建設大臣官房技術調査室長通達：コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準(案), 1994
- 3) 山田 優、川本祐章、長谷川俊和、本多淳祐：コンクリートがらからの骨材回収に関する研究、資源・素材学会 建設用原材料、Vol.3、No.1、pp.16-20、1993
- 4) 森野奎二、岩月栄治：再生骨材のコンクリートへの適応のための品質改善、資源・素材学会、建設用原材料、Vol.9、No.1、pp.26-33、1999
- 5) 木村由香、森野奎二、岩月栄治：コンクリート再生骨材の諸性質、コンクリート工学年次論文集、Vol.23、No.1、pp.247-252、2001
- 6) 森野奎二、山口典良：高強度コンクリート用骨材の品質特性、骨材資源、通巻 No.99、pp.113-127、1993
- 7) 沓沢新：骨材の粒度と形状のパラメーター、とくに空げき率との関係(1)、セメント・コンクリート No.179、pp.3-11、1971
- 8) Th. Zingg: Beitrag zur Schotteranalyse, Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen, Vol.15, pp.39-140, 1935
- 9) 藤井真透：道路用骨材の性質に及ぼす粒子形状の影響について、土木試験所報告、第 27 号、pp.1-47、1934
- 10) 木村由香、森野奎二、岩月栄治：コンクリート再生骨材の粒子形状の測定と評価、土木学会中部支部、pp.469-470、2000
- 11) 森野奎二、岩月栄治：コンクリート用再生骨材及び副産物骨材の特性評価システム、資源・素材学会 春季大会講演集(I)資源編、pp.250-251、2001
- 12) 鳥居和之、川村満紀、竹本邦夫、柳場重正：再生骨材の舗装コンクリート用骨材としての適用性、第 6 回コンクリート工学年次講演会論文集、pp.85-88、1984

(受理 平成14年 3月19日)