

再生粗骨材の付着モルタルの物性を考慮した 再生骨材コンクリートの品質に関する研究

竹中 寛^{*1} 笠井 哲郎^{*2}

Quality of Recycled Aggregate Concrete Taking into Account the Properties of Residual Mortar of the Original Concrete

by

Hiroshi TAKENAKA^{*1}, Tetsuro KASAI^{*2}

(Received on Sep. 27, 2007 and accepted on Dec. 25, 2007)

Abstract

The quality and quantity of the residual mortar greatly influence the quality of the recycled coarse aggregate and change with the mix proportion of the original concrete. In this study, an experimental examination was performed focusing on the water binder ratio and the fine aggregate content of the original concrete that influence the quality of recycled coarse aggregate and recycled aggregate concrete. As a result, it was found that the quality of the recycled coarse aggregate containing the residual mortar of the original concrete is almost equal to that of the original aggregate when the water binder ratio and the fine aggregate content of the original concrete are low.

Keywords: Recycled coarse aggregate, Original concrete, Water binder ratio, Fine aggregate percentage, Drying shrinkage

1. 緒 言

現在、コンクリート塊の再利用率は9割を超え、最終処分量は僅かとなった。しかし、未だ再利用される用途のほとんどは路盤材としての利用であり、今後想定される路盤材総需要の限界や、コンクリート塊の排出と路盤材の需要との関係における量と場所の偏りから、路盤材への利用推進だけでは消化が困難となることが予想され¹⁾、昨今では、コンクリート用再生骨材（以下再生骨材と称す）としての利用が促進されるようになった。再生骨材はその利用方法について多くの研究がなされており²⁾⁻⁶⁾、高品質再生骨材（再生骨材 H）を先駆けに JIS 規定されたことから、今後の利用拡大が強く期待されている。特に加熱すりもみ法等の高度処理技術を用いてモルタル分を破碎・研磨処理した、再生骨材 H については、JIS A 5021「コンクリート用再生骨材 H」に規定され、レディーミクストコンクリート用骨材としても適用されることから、需要量の観点からも非常に利用価値が高いといえる。しかし一方ではモルタル分を破碎・研磨処理することで微粉が発生するため、その処理方法について別途検討が必要となる。また低(中)品質の再生骨材については、製造工程が異なり、モルタル分も一緒に再利用できる利点があるが、低品質再生コンクリート用の骨材として利用されるなど利用範囲は制約される。

そこで本研究では、処理工程が単純で、モルタル分を多く含む再生粗骨材を高強度コンクリート用骨材として適用することを指向し、再生処理されるコンクリート（原コンクリート）中のモルタルの品質と付着量が再生コンクリートの諸物性に及ぼす影響について実験的検討を行った。更にコンクリート資源の循環利用を指向し、再生コンクリートから回収した骨材（二次再生骨材）とこの骨材を用いたコンクリート（二次再生コンクリート）の品質について検討を行い、天然骨材の繰返し利用を考慮したコンクリートの配合設計に関する提案を行った。

2. 実験の概要

2.1 使用材料

セメントは、普通ポルトランドセメント（記号 C、密度 3.16g/cm³）を使用した。細骨材は富士川産砕砂（記号：S1、密度 2.63g/cm³、吸水率 1.60%）および大井川産砕砂（記号：S2、密度 2.60g/cm³、吸水率 2.05%）、原コンクリートに用いる粗骨材は富士川産碎石（記号：G、密度 2.67g/cm³、吸水率 0.65%）とした。混和剤は高性能 AE 減水剤（記号：SP、ポリアルキルアリルスルホン酸塩と反応性高分子化合物）、および AE 剤（記号：AE）を、一部の配合では混和材としてシリカフューム（記号：SF、密度 2.19g/cm³）を使用した。

* 1 連合大学院理工学研究科総合理工学専攻 工修
* 2 工学部土木工学科教授 工博

2.2 原コンクリート

再生粗骨材を製造するためのコンクリートである原コンクリート（以下 OC と記す）の配合は Table 1 に示すとおりであり、水結合材比 (W/B) を 25~65%、細骨材率 (s/a) を 37~55% の範囲で変化させた。なお水結合材比 25% の配合においては、混和材としてシリカフュームをセメントに対し外割で 10% 置換した。目標スランプを 10±2.5cm、目標空気量 4±1.5% とし、これらの目標値を満足するよう高性能 AE 減水剤および AE 剤を添加した。

上記配合のコンクリートに対し、材齢 28 日における圧縮強度試験 (JIS A 1108 に準拠)、および長さ変化試験 (JIS A 1129 (ダイヤルゲージ方法) に準拠、乾燥開始材齢 7 日 (材齢 1 日脱型後、20℃ 水中養生)) を行った。

再生粗骨材を製造するための供試体は、40×60×5cm の寸法の木製型枠にコンクリートを所要量打設した後養生を行った。養生条件は、再生粗骨材が一般に長期材齢のコンクリートから製造されることを考慮し、脱型後 60℃ で 36 日間の温水養生 (以下長期養生と記す) の後、更に 14 日間の気中養生 (温度 20℃、湿度 60%) を行った。なおこの養生期間は積算温度から換算した場合、20℃ で 84 日間の養生に相当する。

2.3 一次再生骨材およびコンクリート

一次再生粗骨材 (以下 R1A と記す) は、長期養生した原コンクリートをジョークラッシャで 15mm 以下に破碎し、その内 5mm ふるいに留まるものとした。

作製した R1A の物性評価は、JIS A 1110 に準拠し、密度および吸水率試験を行った。また、R1A 中に含有するモルタル量を測定するため、R1A を 105℃ で 24 時間乾燥 (絶乾状態) し、4 倍希釈の塩酸溶液に投入・攪拌後 24~48 時間静置し、付着モルタルの溶解を目視で確認後 5mm ふるいを用いて水洗いした後、ふるいに留まる試料 (原骨材) の絶乾質量を測定した。この試験により R1A のモルタル付着量 (M) を (1) 式によって計算した。

$$M (\%) = (1 - \frac{b}{a}) \times 100 \quad \dots\dots(1)$$

ここに、a: R1A の絶乾質量

b: 5mm ふるいに留まる試料の絶乾質量

一次再生骨材コンクリート (以下 R1C と記す) の配合を Table 1 に示す。この配合は、原コンクリートの配合における天然粗骨材の部分を、R1A に置き換えた (粗骨材容積一定) のもので、W/B を 25~65%、s/a を 37~55% の範囲で変化させた。なお目標スランプおよび空気量は原コンクリートと同様とし、圧縮強度試験および長さ変化試験の実施、また二次再生骨材製造用の供試体を作成した。

2.4 二次再生骨材およびコンクリート

二次再生粗骨材 (以下 R2A と記す) は、長期養生した R1C から一次再生骨材と同様の方法により製造した。

二次再生骨材コンクリート (以下 R2C と記す) の配合は、Table 1 に示す OC の配合における天然粗骨材の部分を R2A に置き換えたもので、W/B を 25, 65% の 2 水準で検討した。なお試験については R1A および R1C と同様とした。

2.5 骨材およびコンクリートの表記

骨材およびコンクリートの種類を表す記号の説明を Table 2 に示す。以下、骨材およびコンクリートについてはこれらの記号を用いる。

3. 実験結果および考察

3.1 OC および R1C の W/B が再生粗骨材の品質に及ぼす影響

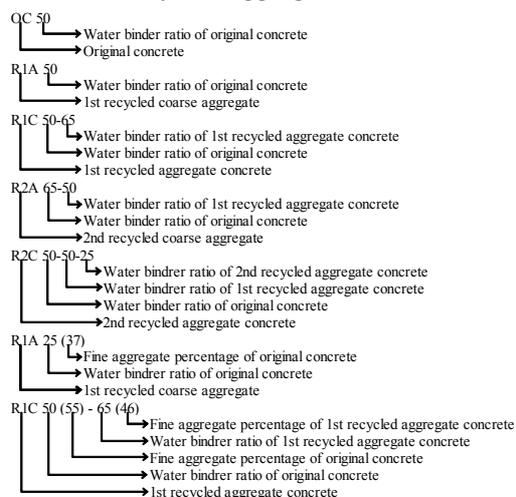
(1) モルタル付着量

R1A および R2A のモルタル付着量を Fig.1 に、骨材の写真 (R1A) を Fig.2 に示す。R1A に比べ R2A のモルタル付着量が大幅に大きくなっている。これは、ジョークラッシャ等で再生粗骨材を回収する方法でコンクリート塊の再生利用を繰り返した場合、再生粗骨材のモルタル付着量が増加することを示すもので

Table 1 Mixture proportions of original concrete.

Type of Concrete	G _{max} (mm)	W/B (%)	s/a (%)	Unit content(kg/m ³)						Chemical admixture (C×wt%)	
				W	C	SF	S1	S2	G	SP	AE
OC25	20	25	45	123	443	49	798	—	990	2.1	0.022
OC35		35		150	429	—		—		1.0	0.035
OC50		50		175	350	—		—		0.15	0.025
OC65		65		192	296	—		—		0	0.025
OC35(37)		35	37	150	429	—	—	649	1135	1.6	0.04
OC50(37)		50		175	350	—	—			0.54	0.045
OC65(37)		65		192	296	—	—			0	0.05
OC35(46)		35		46	150	429	—			—	807
OC50(46)		50	175		350	—	—	0.79	0.04		
OC65(46)		65	192		296	—	—	0.1	0.04		
OC35(55)		35	55		150	429	—	—	965	811	
OC50(55)		50		175	350	—	—	1.12			0.035
OC65(55)		65		192	296	—	—	0.67			0.035

Table 2 Sign of recycled coarse aggregate and recycled aggregate concrete.



ある。また R1A および R2A とも、破碎処理時のコンクリートの W/B, すなわち OC および R1C の W/B が小さい場合ほどモルタル付着量が大きくなっている。これは、これらの W/B が小さいほどモルタルと原粗骨材との付着強度が大きく、破碎処理時のモルタルの剥離が少なくなるためであると考えられる。

(2) 密度および吸水率

OC および R1C の W/B と R1A, R2A の密度および吸水率の関係をそれぞれ Fig.3, 4 に示す。また各図中の計算値は、原粗骨材および付着モルタルの密度 (D) および吸水率 (Q) の値を Fig.1 のモルタル付着量から(2)式および(3)式を用いて算出したものである。

$$D \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{\left\{ M_g \times \frac{Q_o}{100} + M_m \right\} + \left\{ M_m \times \frac{Q_m}{100} + M_m \right\}}{\left\{ \left(\frac{M_g \times \frac{Q_o}{100} + M_g}{D_o} \right) + \left(\frac{M_m \times \frac{Q_m}{100} + M_m}{D_m} \right) \right\}} \dots\dots(2)$$

$$Q \text{ (%) } = \left(\frac{M_g \times \frac{Q_o}{100} + M_m \times \frac{Q_m}{100}}{M_{g+m}} \right) \dots\dots(3)$$

- ここに、
 D_o : 原粗骨材密度
 Q_o : 原粗骨材吸水率
 D_m : モルタル密度
 Q_m : モルタル吸水率
 M_{G+m} : R1A の絶乾質量
 M_G : R1A 中の原粗骨材の絶乾質量
 M_m : R1A 中のモルタルの絶乾質量

この計算に用いた付着モルタルの密度および吸水率は、各 W/B のコンクリートのモルタル部に相当する配合となる、モルタルの長期養生供試体を作製し、これを 2・3 に示す方法で破碎・回収した試料から測定し

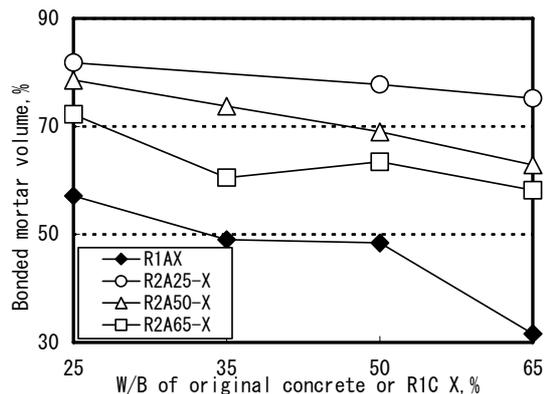


Fig.1 Bonded mortar volume of recycled coarse aggregate.



Fig.2 Section photograph of recycled coarse aggregate.

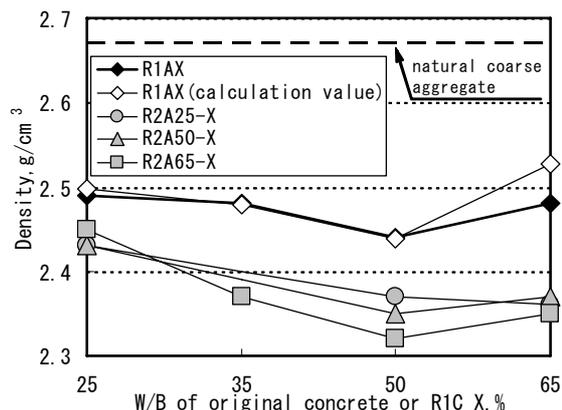


Fig.3 Density of recycled coarse aggregate.

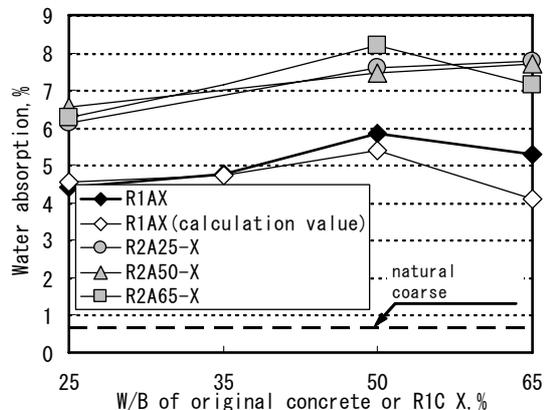


Fig.4 Water absorption of recycled coarse aggregate.

た値とした。図より OC の W/B が 50%以下の場合、密度および吸水率とも実測値と計算値はほぼ一致していることから、再生粗骨材の密度および吸水率は付

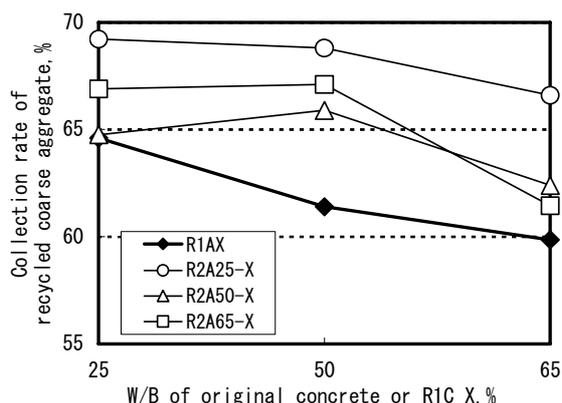


Fig.5 Collection rate of recycled coarse aggregate.

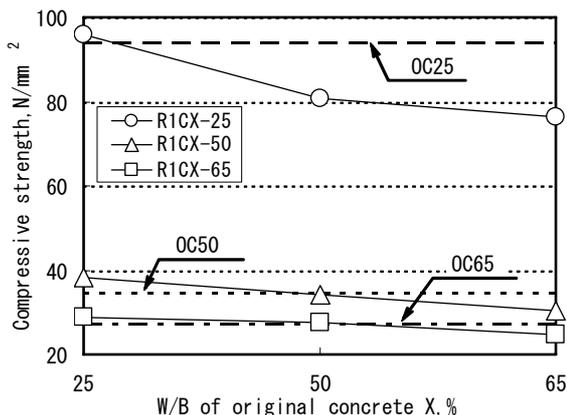


Fig.6 Compressive strength of R1C.

着モルタルの量と品質に依存することが伺われる。一方、W/B=65%の場合他のW/Bに比べ密度、吸水率とも実測値と計算値の差が大きくなっている。これはW/Bが大きいと粗骨材界面に密度が小さくポーラスな脆弱部（遷移帯）が多く形成されるため⁷⁾、遷移帯の影響を考慮していない計算値の方が、実測値より密度が大きく、吸水率が小さくなったものと推察される。

R2Aでは、R1Aに比べ更に密度は小さく、吸水率は大きくなっている。これは、Fig.1に示したように二次再生とすることで粗骨材へのモルタル付着量が更に増加するためであると考えられる。また、R1CのW/Bが小さいほどR2Aの密度は大きく吸水率は小さくなり、更にR1CのW/Bが25%では、OCのW/Bの値に関わらず、密度および吸水率がほぼ同一の値となっている。これは、二次再生利用を指向して、強度レベルの異なるコンクリートが混在するコンクリート塊から一次再生コンクリートを製造する際に、その配合条件を低水セメント比に設定することで、密度および吸水率の品質面でより良好な二次再生粗骨材が回収できることを示唆するものである。

(3) 再生粗骨材回収率

OCからR1AおよびR1CからR2Aを製造する際の再生粗骨材回収率に及ぼすOC又はR1CのW/Bの影響をFig.5に示す。R1AおよびR2Aとも破碎処理前のコンクリートのW/Bが小さいほど回収率は大きく、再生粗骨材としてのリサイクル率が向上する傾向を示した。

3.2 OCおよびR1CのW/Bが再生骨材コンクリートの品質に及ぼす影響

(1) 圧縮強度

R1Cの圧縮強度に及ぼすOCのW/Bの影響をFig.6に示す。長瀧らの指摘⁸⁾と同様に、R1Cの圧縮強度はW/Bが小さく高強度の場合ほどOCのW/Bの影響を強く受けている。OCのW/Bが25%の場合、R1Cの圧縮強度はどのW/Bにおいても天然粗骨材を用いたコンクリートと同等以上の値を示している。この理由として、OCのW/Bが25%から製造したR1Aに付着

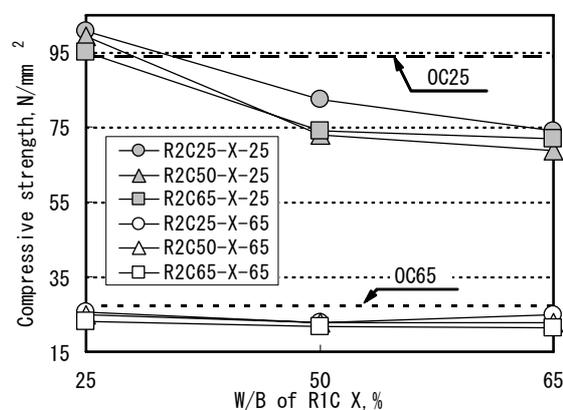


Fig.7 Compressive strength of R2C.

するセメントペーストまたはモルタルの強度が非常に高いこと、および天然骨材よりR1Aのほうが角張った形状をしているため粗骨材の付着強度がOCより向上したこと等が推察される。一方、OCのW/Bが50%、65%の場合、R1Cが低強度域ではOCのW/Bの影響が僅かであるが、R1Cが高強度(W/B=25%)ではその影響が顕著に現れ、OCのW/Bが大きいほどR1Cの強度が大幅に小さくなっている。これは再生粗骨材を高強度コンクリートに使用する場合、その強度は、再生粗骨材に付着しているモルタルの強度の影響を強く受けることを示すものである。

W/Bを25%および65%としたR2Cの圧縮強度をFig.7に示す。R2CのW/Bが25%の場合、R2Cの圧縮強度はR1CのW/Bが大きいほど大幅に低下しているが、R1CのW/Bが同一の条件で見るとOCのW/BによるR2Cの圧縮強度の差は小さいことがわかる。また、R2C25-25-25、R2C50-25-25、R2C65-25-25の圧縮強度は、OCのそれと同等以上の値を示している。このことは、R2Cが高強度域の場合、その強度にはOCのW/Bの影響は小さく、R1Cすなわち破碎処理前のコンクリートのW/Bの影響が大きく現れることを示すものである。一方、R2CのW/Bが65%の場合、R2Cの圧縮強度に及ぼすR1CのW/BおよびOCのW/Bの影響は僅かであった。

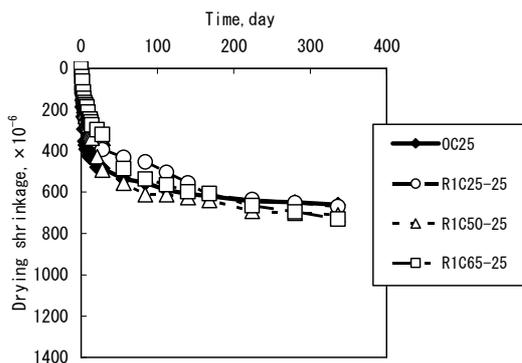


Fig.8 A change with the lapse of time of drying shrinkage.(R1C,W/B=25%)

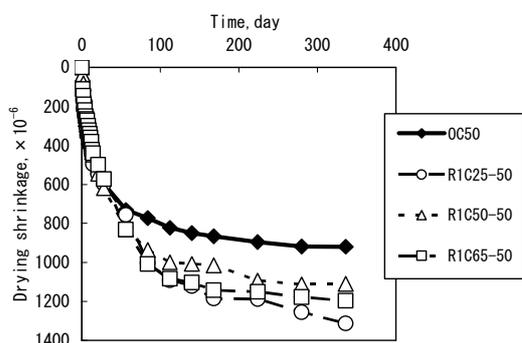


Fig.9 A change with the lapse of time of drying shrinkage.(R1C,W/B=50%)

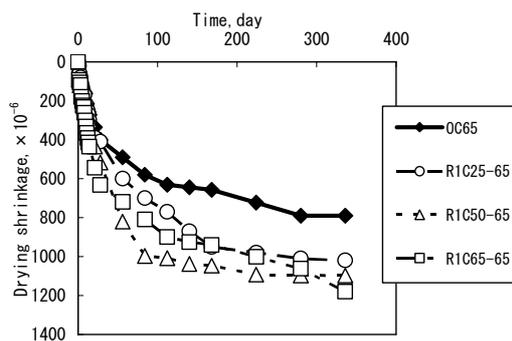


Fig.10 A change with the lapse of time of drying shrinkage.(R1C,W/B=65%)

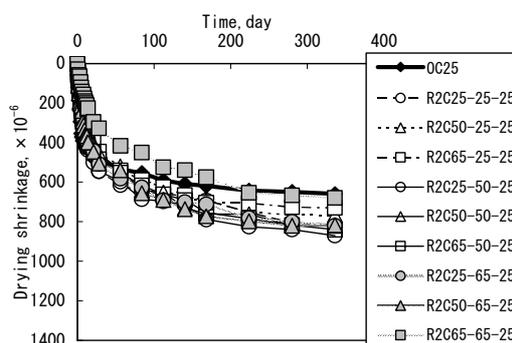


Fig.11 A change with the lapse of time of drying shrinkage.(R2C,W/B=25%)

(2) 乾燥収縮特性

OCおよびR1C, R2Cの乾燥材齢と収縮ひずみの関係を Fig.8~12 に示す. 高水結合材比の配合ではOCやR1CのW/Bによる影響を受け, OCに比べ収縮ひずみが大きくなる傾向を示したが, 低水結合材比の配合では, OCやR1CのW/Bによる影響は殆どなく, OCとほぼ同様の収縮傾向を示した. Fig.8において, R1C, R2CともにW/B=25%の配合における収縮ひずみが, 乾燥材齢10~20日まではOCの収縮ひずみより小さくなっているが, これは軽量骨材コンクリートの収縮特性にみられるのと同様に吸水率の高い骨材中の水がモルタル中に溶出し, 初期の収縮を低減したためであると考えられる.

また全ての配合において, OC 或いは R1C の W/B が収縮ひずみに及ぼす影響は小さく, 再生コンクリートの収縮量は, 練混ぜ時の W/B が支配的であることがわかる.

(3) 収縮量の推定

以上の結果から, 再生粗骨材を用いた再生コンクリートは, 原粗骨材を用いたコンクリートに比べ収縮量が大きくなる. この傾向は練混ぜ時の W/B が大きいほどより顕著となり, これは再生粗骨材中の付着モルタルが影響しているものと考えられる. そこで, この付着モルタルの影響に関し, コンクリート中のモルタル部に相当するモルタル供試体の収縮量を測定し, コ

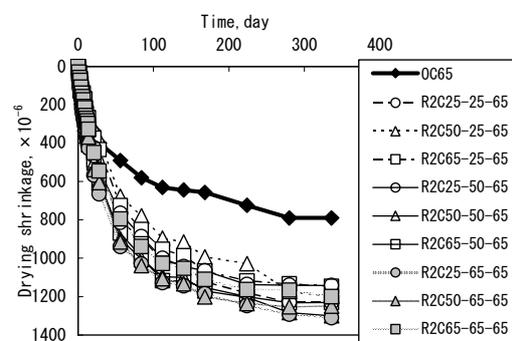


Fig.12 A change with the lapse of time of drying shrinkage.(R2C,W/B=65%)

ンクリートをモルタルと粗骨材の二相材料と仮定した複合則から導かれる収縮量の推定式を用いて R1C の収縮量を算出し, 計算値と実測値を比較することで検討した.

モルタルの収縮量の測定において, R1C 中のモルタルについては JIS A 1129 (ダイヤルゲージ方法) に準拠して行い, R1A 中の付着モルタルについては, 4×4×16cm の試験体を用い, 長期養生を模擬するため 2・2 に示す再生粗骨材を製造する際の条件で養生した後, JIS A 1129 (ダイヤルゲージ方法) に準拠して行った. 付着モルタルの影響を考慮した長さ変化率 (ΔL) と質量変化率 (ΔM) の推定式を(4)式および(5)式に示す.

$$\Delta L = \Delta L_m \times \left(1 - \frac{V_G}{V_C}\right) + \Delta L'_m \times \frac{V_{Gm}}{V_C} \quad \dots\dots(4)$$

$$\Delta M = \Delta M_m \times \left(1 - \frac{V_G}{V_C}\right) + \Delta M'_m \times \frac{V_{Gm}}{V_C} \quad \dots\dots(5)$$

ここに、
 ΔL_m : R1C 中のモルタルの長さ変化率
 $\Delta L'_m$: R1A 中の付着モルタルの長さ変化率
 ΔM_m : R1C 中のモルタルの質量変化率
 $\Delta M'_m$: R1A 中の付着モルタルの質量変化率
 V_G : 粗骨材の容積
 V_C : コンクリートの容積
 V_{Gm} : 粗骨材中の付着モルタルの容積

上記推定式から算出した、R1C の質量変化率および長さ変化率の計算値と実測値との比較を Fig.13～15 に示す。これらの図より、計算値と実測値はほぼ等しい値を示している。すなわち、付着モルタルの影響を考慮することで乾燥収縮量の計算値と実測値がほぼ一致することより、R1C の乾燥収縮量は、R1C 中のモルタル、および R1A 中の付着モルタルに依存していることがわかる。

3.3 OC の s/a が再生粗骨材の品質に及ぼす影響

(1) モルタル付着量

R1A のモルタル付着量に及ぼす s/a の影響を Fig.16 に示す。OC の s/a が小さいほど、製造される R1A のモルタル付着量が少なくなっている。これは、OC の配合条件の内 s/a が小さいほど、OC 中のモルタル量が少ないため、再生粗骨材のモルタル付着量が減少したためであると考えられる。

(2) 密度および吸水率

OC の s/a と R1A の密度および吸水率の関係をそれぞれ Fig.17, 18 に示す。全ての R1A において、s/a が小さくなるほど密度は大きく、吸水率は小さくなっている。これは、Fig.15 で示したように、R1A の s/a を小さくすることにより、回収される R1A のモルタル付着量が少なくなったためと考えられる。

(3) 再生粗骨材回収率

OC から R1A を製造する際の再生粗骨材回収率に及ぼす OC の s/a の影響を Fig.19 に示す。OC の s/a が 37% の場合、回収率が最も大きくなっている。これは、OC の s/a が小さいことにより、OC 中のモルタルの占める割合が少なくなるため、クラッシャーで破碎する際に、粉碎されるモルタル部分が減少したことが要因であると考えられる。

また、OC の s/a が 46% および 55% の R1A の回収率がほぼ等しい値となっている。これは、OC の s/a が 55% の場合、OC 中を占めるモルタルの割合が多いため、破碎処理の際、モルタルのみで構成された破碎材が、5mm ふるいに留まり R1A として回収されるためであると考えられる。

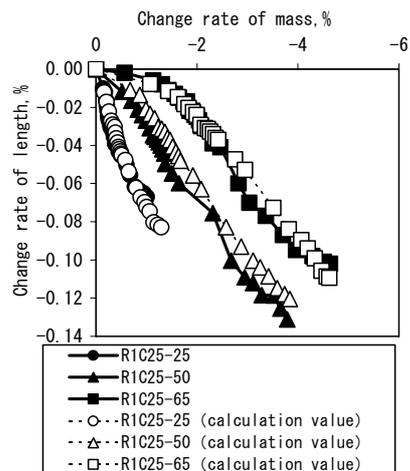


Fig.13 Relationship between change rate of length and change rate of mass. (W/B of original concrete=25%)

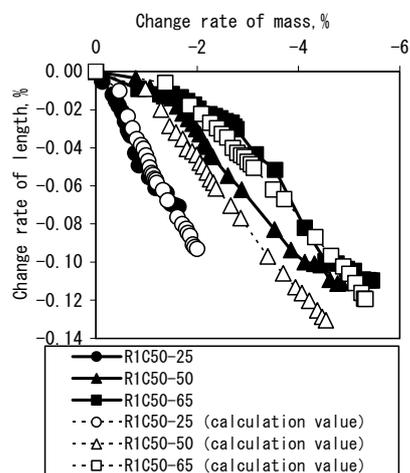


Fig.14 Relationship between change rate of length and change rate of mass. (W/B of original concrete=50%)

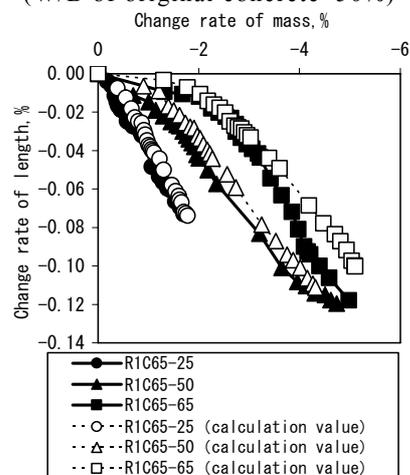


Fig.15 Relationship between change rate of length and change rate of mass. (W/B of original concrete=65%)

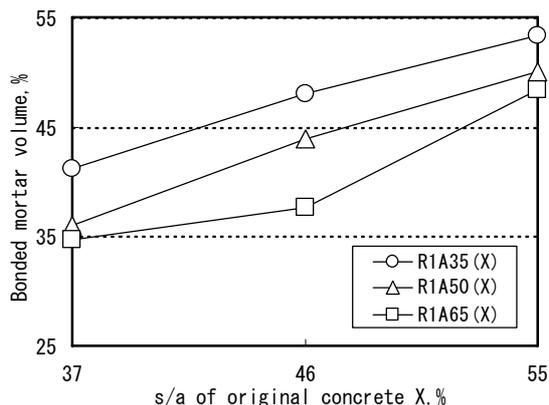


Fig. 16 Bonded mortar volume of recycled coarse aggregate.

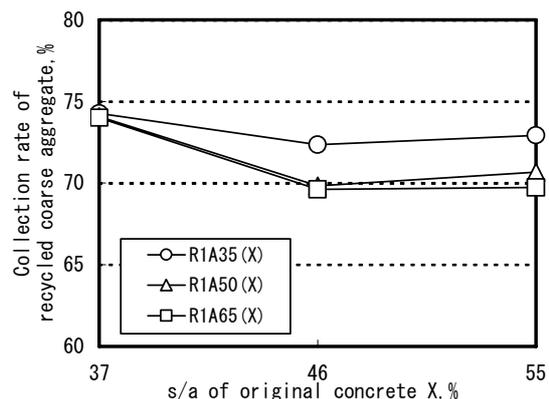


Fig. 19 Collection rate of recycled coarse aggregate.

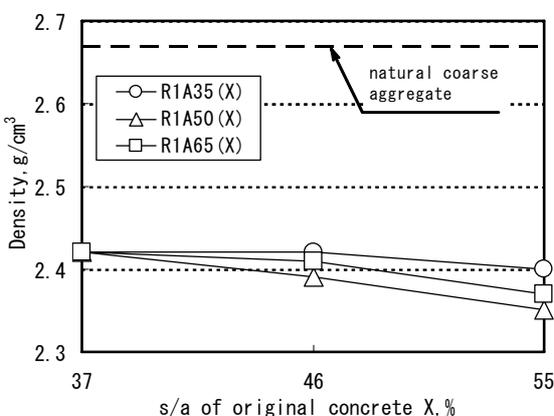


Fig. 17 Density of recycled coarse aggregate.

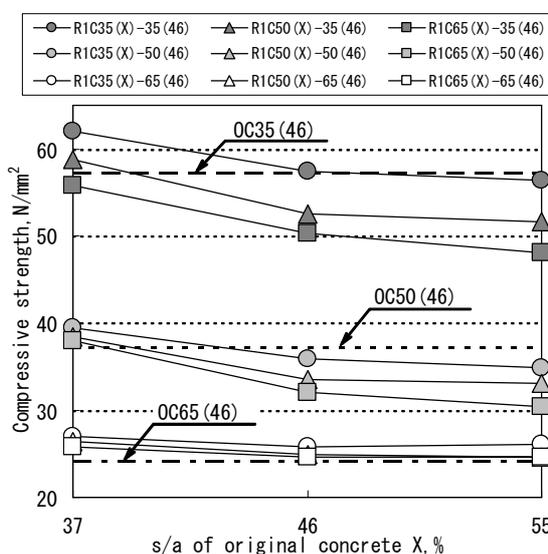


Fig. 20 Compressive strength of R1C.

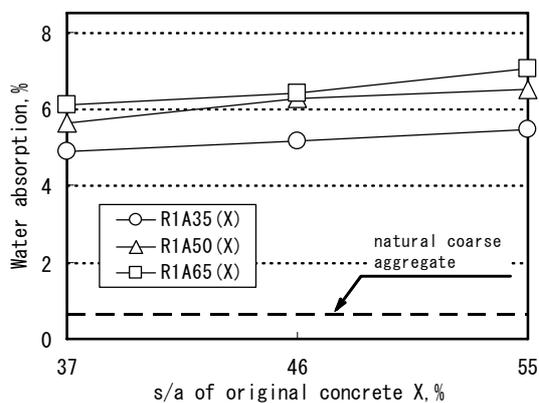


Fig. 18 Water absorption of recycled coarse aggregate.

3. 4 OC の s/a が再生骨材コンクリートの品質に及ぼす影響

R1C の圧縮強度に及ぼす OC の s/a の影響を Fig. 20 に示す. s/a が 37% の OC から回収された R1A を R1C に用いた場合, OC の W/B の大きさに問わず, R1C の圧縮強度が OC とほぼ同等, またはそれ以上となっている. これは, OC の s/a が小さいことにより, 製造される R1A 中のモルタル付着量が少ないためであると考えられる.

また R1C の W/B に着目すると, R1C の W/B が小

さいほど, OC の s/a の影響が顕著に現れている. これは, 3・2 と同様に R1C の W/B が小さいほど, 粗骨材の品質がコンクリートの強度に対しより支配的になるためであると考えられる. 一方, R1C の W/B が 65% である低強度域では, 使用 R1A の違いによる影響は僅かであった.

4. 結 論

本研究の範囲内で得られた結果を以下に示す.

- (1) 再生粗骨材のモルタル付着量は, 原コンクリートの水結合材比が小さいほど多くなり, また再生利用を繰り返した場合, モルタル付着量は増加する.
- (2) コンクリートの二次再生利用を指向する場合, コンクリート塊の品質に関わらず一次再生コンクリートを低水結合材比とすることで, 密度および吸水率の品質面でより良好な二次再生粗骨材が回収できる.
- (3) 再生粗骨材を高強度コンクリートに使用する場合, その圧縮強度は, 一次再生コンクリートでは原コンクリートの W/B の影響を受けるが, 二次再生

コンクリートでは原コンクリートの影響は小さく、一次再生コンクリートの W/B の影響を強く受ける。また、W/B の小さいコンクリートから回収した再生粗骨材は、モルタル付着量が多い状態でも原コンクリートと同程度の高強度コンクリートへの利用が可能である。

- (4) 再生コンクリートの乾燥収縮量は再生粗骨材の付着モルタルの影響を受けるが、コンクリートを低水結合材比に設定することで、原コンクリートと同程度の性能を期待できる。
- (5) 再生コンクリートの乾燥収縮量は、再生骨材中の付着モルタルの付着量や収縮量から定量的予測が可能である。
- (6) 一次再生粗骨材のモルタル付着量は、原コンクリートの s/a が小さいほど減少する。
- (7) 一次再生粗骨材の密度および吸水率は、破碎処理を行う前の、原コンクリートの s/a が小さいほど、密度および吸水率の面でより良質な一次再生粗骨材が回収できる。
- (8) 再生粗骨材を高強度コンクリートに使用する場合、その圧縮強度は、一次再生コンクリートでは原コンクリートの s/a の影響を受け、 s/a が小さいコンクリートから回収した再生粗骨材は、原コンクリートと同程度の高強度コンクリートへの利用が可能である。

以上の条件を初期の配合設計で考慮することにより、モルタル分を含む再生粗骨材も、高強度コンクリート用骨材として適用することが可能であると考えられる。また高度処理によって発生する微粉を抑制できることから、副産物の有効利用率が向上する。

参 考 文 献

- 1) Advanced use study group of concrete reproduction material, "The proposal towards the spread of concrete recycling systems", pp.9-20(2005)
- 2) J.Tanaka, T.Fukute, M.Ito, K.Hayakawa, "Study on durability of recycled concrete under marine environment", Proceedings of Japan Concrete Institute, Vol.20, No.2, pp.1087-1092(1998)
- 3) Japan Society of Civil Engineers, "The present condition and the subject of effective use of resources", pp.98-106(1999)
- 4) N.Matsumoto, E.Sueoka, T.Yamaji, H.Hamada, "Study on the strength characteristics of concrete with aggregate recycled from crushed concrete", Proceedings of Japan Concrete Institute, Vol.22, No.2, pp.1129-1134(2000)
- 5) K.Tetsuro, K.Uchida, S.Iwano, "Effect of mix proportion of original concrete on quality of recycled aggregate", Proceedings of Japan Concrete Institute, Vol.24, No.1, pp.1209-1214(2002)
- 6) M.Tamura, T.Noguchi, Y.Kittaka, "Fundamental physical properties of the concrete pointed to aggregate recovery type recycling", Proceedings of Japan Concrete Institute, Vol.24, No.1, pp.1353-1358(2002)
- 7) H.Uchikawa, "The points of comparison and difference between hardened cement, mortar, and concrete seen from a viewpoint of coherent structure", Cement & concrete, No.507, pp.33-46(1989)
- 8) S.Nagataki, T.Saeki, K.Iida, "Some properties of concrete used recycled aggregate", JCA Proceedings of Cement & concrete, Vol.52, pp.462-467(1998)