

論文 原コンクリートの配合条件が再生骨材の品質に及ぼす影響

笠井 哲郎*1・内田 賢吾*2・岩野 慎平*2

要旨：コンクリート塊をせん断式クラッシャ等で破碎して得られる再生粗骨材の品質は、再生粗骨材に付着したモルタルの量と質の影響を強く受ける。この付着モルタルの量と質は、コンクリート塊（原コンクリート）の配合により異なる。本研究では、原コンクリートの配合条件の内、水セメント比と細骨材率に着目し、これらが再生骨材の品質に及ぼす影響について実験的検討を行った。原コンクリートの細骨材率が小さいほど付着モルタルの量が少なくなるため、また水セメント比が小さいほど付着モルタルの品質が向上するため、再生骨材の品質が向上した。

キーワード：再生骨材, 原コンクリート, 水セメント比, 細骨材率, 付着モルタル

1. はじめに

現在、コンクリート塊の再利用の用途は、ほとんどが埋め戻し材・路盤材としてであるが、島¹⁾らの予測では、今後急増するコンクリート塊の排出量が2005年前後には路盤材の需要量を上まわること指摘している。この予測から、また枯渇資源の有効利用の観点からも、コンクリート塊のコンクリート用再生骨材としての用途拡大を図る必要がある。

これまで行われてきたコンクリート用骨材として再利用する研究開発の主なものは、強度レベルの異なるコンクリートが混在する原コンクリートから回収した再生骨材を原コンクリートより強度レベルの低いコンクリートへの使用を指向しているものが多い²⁾⁴⁾。これは、コンクリート塊のコンクリート用骨材としての利用の範囲を制限し、その利用拡大を妨げる要因となる。

そこで、著者ら⁵⁾は再生骨材の利用拡大を目的として、コンクリート塊の高強度コンクリート用骨材としての利用を指向し、原コンクリート中のモルタルの水セメント比が、再生骨材コンクリートの諸物性に及ぼす影響について研究を行っており、原コンクリートの水セメント比が小さいほど再生骨材の品質の向上および、それを用いたコンクリートの高強度化が容易である

ことを示した。これより、コンクリート構造物の設計において、廃棄後のリサイクル性を考慮する場合、設計上求められるコンクリートの水セメント比より更に小さい水セメント比とすることで、廃棄後のコンクリート塊の高強度コンクリートへの利用が可能となりその用途を拡大できることを提案した。

本研究はこれまでの研究に加え、原コンクリートの細骨材率にも着目し、それらの要因が再生骨材コンクリートに及ぼす影響について検討した。これらの結果から、リサイクル性を考慮した、コンクリートの配合設計に関する提案を行った。

2. 実験概要

2.1 原コンクリートの製造および試験

原コンクリートの使用材料および配合条件は、表-1に示す通りである。表に示すように、配合条件としては水結合材比(W/B)を25~65%、細骨材率(s/a)を37~55%の間で変化させ、その他の条件は一定とした。なお、W/B=25%の場合のみシリカフュームをセメントに対し外割で10%置換し用いた。高性能減水剤およびAE剤の添加量は、各W/Bの配合ごとスランプおよび空気量が目標の範囲内になる量とした。

*1 東海大学助教授 工学部土木工学科 (正会員)

*2 東海大学大学院 工学研究科土木工学専攻

表一 使用材料および配合条件

使用材料	セメント	普通ポルトランドセメント (C)	密度=3.16 g/cm ³ 比表面積=3280cm ² /g
	粗骨材	富士川産碎石 (原粗骨材)	密度=2.67 g/cm ³ 吸水率=0.65% 最大寸法=20mm 粗粒率=6.75
	細骨材	富士川産砕砂 (3. 使用細骨材)	密度=2.63 g/cm ³ 吸水率=1.60%
		大井川産砕砂 (4. 使用細骨材)	密度=2.60 g/cm ³ 吸水率=2.05%
	混和材	シリカフェューム (SF)	密度=2.19 g/cm ³
混和剤	高性能AE減水剤 AE剤	マイティー2000WHZ Vinsol	
配合条件	3.1・3.2の条件	W/B : 25, 35, 50, 65% (B=C+SF) s/a : 45%(一定) 粗骨材容積 : 300l/m ³ (一定)	
	3.3・3.4の条件	W/C : 35, 50, 65% s/a : 37, 46, 55%	
	共通	目標スランプ : 10±2.5cm 目標空気量 : 4±1.5%	

圧縮強度試験用供試体は、上記の各配合のコンクリートに関し、φ10X20cmの円柱供試体を用い24時間後脱型し、20℃で27日水中養生（標準養生）し作製した。圧縮強度試験は、JIS A 1108に準じて行った。

再生骨材製造用供試体は、各配合のコンクリートに関し、木製型枠を用いて40X60X5cmの寸法の供試体を所要の個数作製した。この養生条件は、再生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（長期養生）した後更に14日間気中養生とした。なお、この温水養生期間は積算温度から換算すると、20℃で84日間の養生に相当する。

2.2 一次再生骨材および一次再生骨材コンクリート

一次再生粗骨材（以下R1Aと記す）は、長期養生した再生骨材製造用供試体をジョークラッシャーで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に対し、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に、R1Aを105℃で24時間乾燥（絶乾状態）後、約4倍希釈の塩酸溶液に投入・攪拌し、モルタルの溶解を確認後5mmふるいを用いて水洗いし、ふるいに留まる試料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)を次の式によって計算した。

$$M(\%) = (1-b/a) \times 100 \quad (1)$$

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）の配合は、粗骨材にR1Aを用いW/Bを25～65%、s/aを37～55%の間で変化させその他の条件を原コンクリートと同一とした。これらのコンクリートに対し、原コンクリートと同様な試験を行った。

2.3 二次再生骨材および二次再生骨材コンクリート

二次再生粗骨材（以下R2Aと記す）は、長期養生したR1Cから2.2と同様な方法により作製した。また、二次再生骨材コンクリート（以下R2Cと記す）の配合および試験は粗骨材にR2Aを用い、W/Bを25, 65%し、その他2.2と同様にした。

3. 実験結果および考察

3.1 原コンクリートおよびR1CのW/Bが再生粗骨材の品質に及ぼす影響

3.1および3.2ではR1A50, R1C50-25等の記号を用いるが、これは再生骨材およびコンクリートの種類を表すもので、その説明を表二に示す。以下、再生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て示す。

表二 再生骨材およびコンクリートの種類

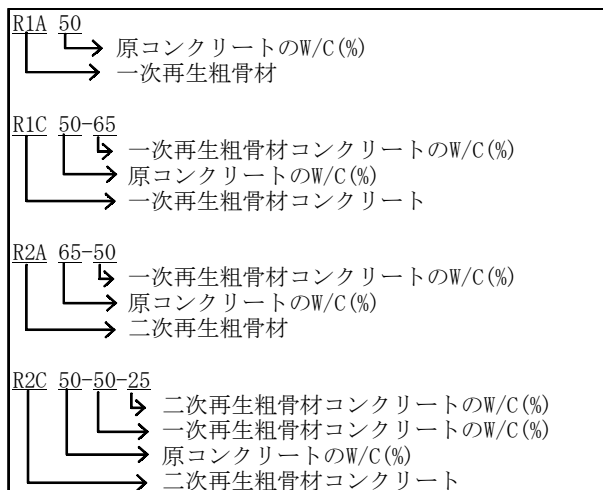


図-1はR1AおよびR2Aのモルタル付着量を示したものである。R1Aに比べR2Aのモルタル付着量が大幅に大きくなっている。このことは、ジョークラッシュ等で再生粗骨材を回収する方法で、コンクリート塊の再生利用を繰り返した場合、再生粗骨材へのモルタル付着量が増加することを示すものである。またR1AおよびR2Aとも、破碎処理時のコンクリートのW/Bすなわち原コンクリートおよびR1CのW/Bが小さい場合ほどモルタル付着量が大きくなっている。これは、これらのW/Bが小さいほどモルタルと原粗骨材との付着強度が大きく、破碎処理時の剥落が少なくなるためであると考えられる。

図-2, 3は、原コンクリートおよびR1CのW/BとR1A・R2Aの密度および吸水率の関係をそれぞれ示したものである。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および吸水率の値と図-1のモルタル付着量から算出したものである。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と同一の配合となるモルタルの長期養生供試体を作製し、これを2.2の方法で破碎し回収した試料の密度および吸水率の値を用いた。図より原コンクリートの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⁶⁾、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予想される。

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、図-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

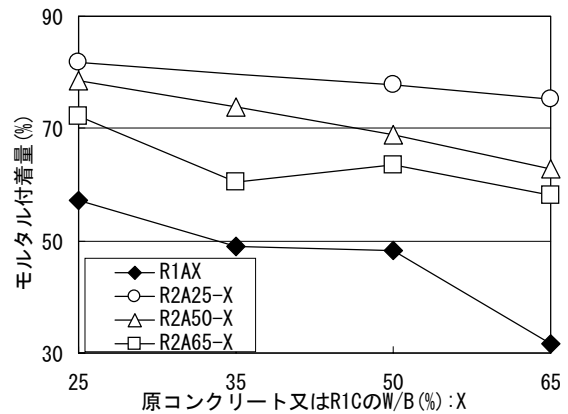


図-1 R1A および R2A のモルタル付着量

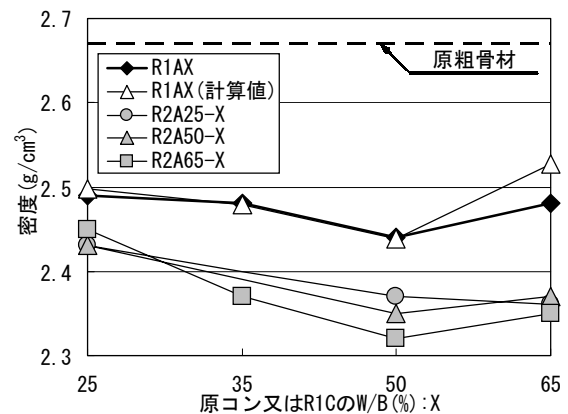


図-2 R1A および R2A の密度

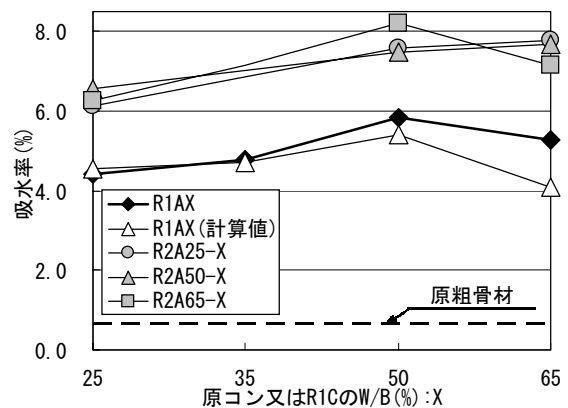


図-3 R1A および R2A の吸水率

が25%では、原コンクリートの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。このことは、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ことを示唆するものである。

図-4は、原コンクリートから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原コンクリート又はR1CのW/Bの影響を示したものである。R1AおよびR2Aとも破砕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なっており、再生粗骨材としてのリサイクル率は向上する。

3.2 原コンクリートおよびR1CのW/Bが再生骨材コンクリートの品質に及ぼす影響

図-5はR1Cの圧縮強度に及ぼす原コンクリートのW/Bの影響を示したものである。図の結果からR1Cの圧縮強度はW/Bが小さく高強度の場合ほど原コンクリートのW/Bの影響を強く受けている。原コンクリートのW/Bが25%の場合、R1Cの圧縮強度はどのW/Bにおいても原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。一方、原コンクリートのW/Bが50%、65%の場合、R1Cが低強度域では原コンクリートのW/Bの影響が僅かであるが、R1Cが高強度域(W/B=25%)ではその影響が顕著に現れ、原コンクリートのW/Bが大きいほどR1Cの強度が大幅に小さくなっている。このことは、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。

図-6は、W/Bを25%および65%としたR2Cの圧縮強度を示したものである。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原コンクリートの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、原コンクリート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、その強度には原コンクリートのW/Cの影響は小さく、R1Cすなわち破砕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および原コンクリートのW/Bの影響は僅かである。

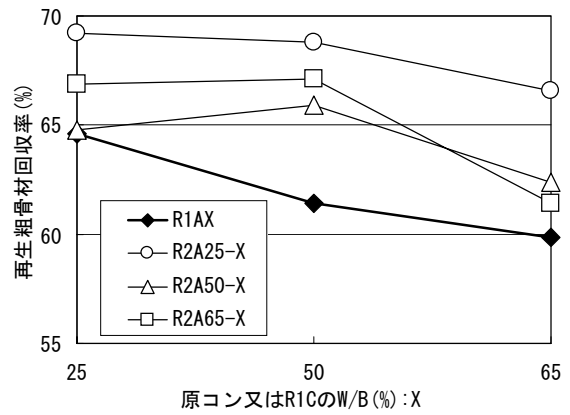


図-4 R1A および R2A の回収率

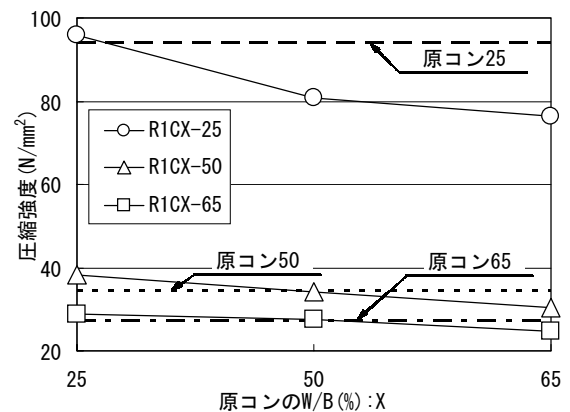


図-5 R1C の圧縮強度

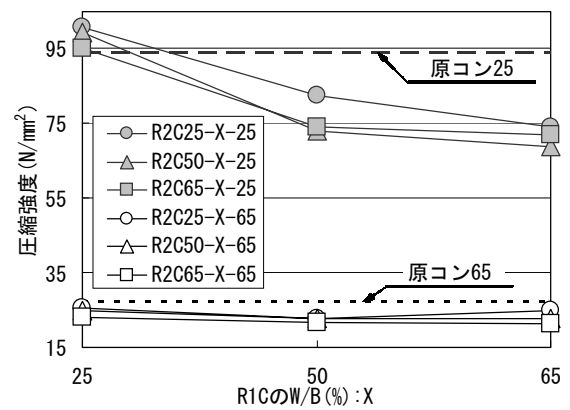


図-6 R2C の圧縮強度

3.3 原コンクリートのs/aが再生粗骨材の品質に及ぼす影響

3.3および3.4ではR1A50(37)、R1C50(55)-25(46)等の記号を用いるが、これは再生骨材およびコンクリートの種類を表すもので、その説明を表-3に示す。以下、再生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て示す。

表-3 再生骨材およびコンクリートの種類

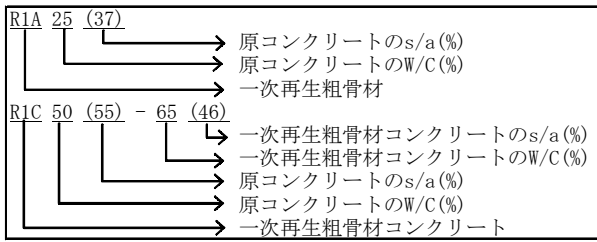


図-7はR1Aのモルタル付着量に及ぼすs/aの影響を示したものである。原コンクリートのs/aが小さいほど、製造されるR1Aのモルタル付着量が少なくなっている。このことは、原コンクリートの配合条件の内s/aが小さいほど、原コンクリート中のモルタル量が少ないため、再生粗骨材のモルタル付着量が減少したためであると考えられる。

図-8, 9は原コンクリートのs/aとR1Aの密度および吸水率の関係をそれぞれ示したものである。どのR1Aにおいても、s/aが小さくなるほど、密度は大きく、吸水率は小さくなること分かる。これは、図-7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。

図-10は原コンクリートからR1Aを製造する際の再生粗骨材回収率に及ぼす原コンクリートのs/aの影響を示したものである。原コンクリートのs/aが37%の場合、回収率が最も大きくなっている。これは、原コンクリートのs/aが小さいことにより、原コンクリート中のモルタルの占める割合が少なくなるため、クラッシュで破碎する際に、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、原コンクリートの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、原コンクリートのs/aが55%の場合、原コンクリート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。

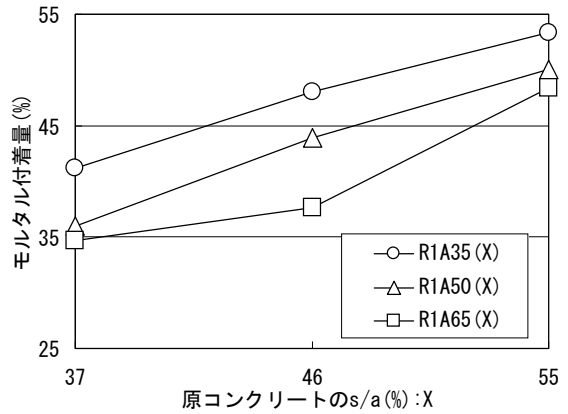


図-7 R1Aのモルタル付着量

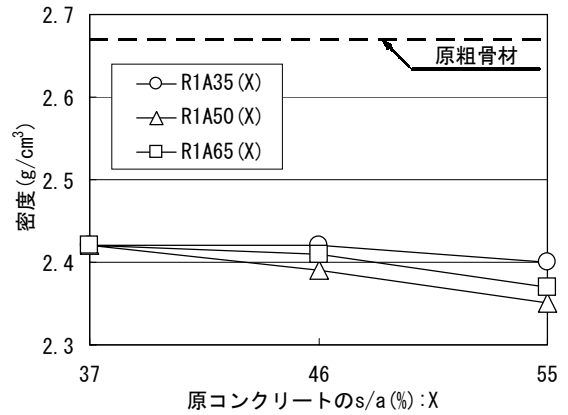


図-8 R1Aの密度

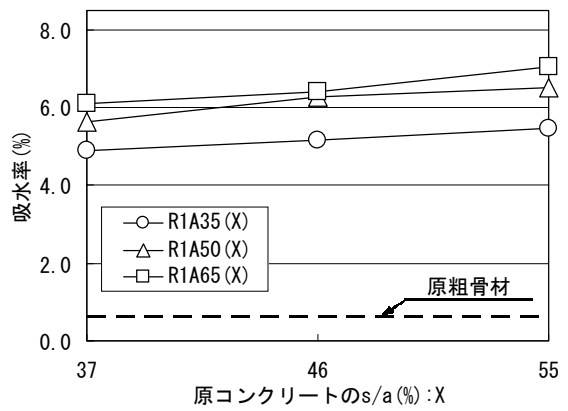


図-9 R1Aの吸水率

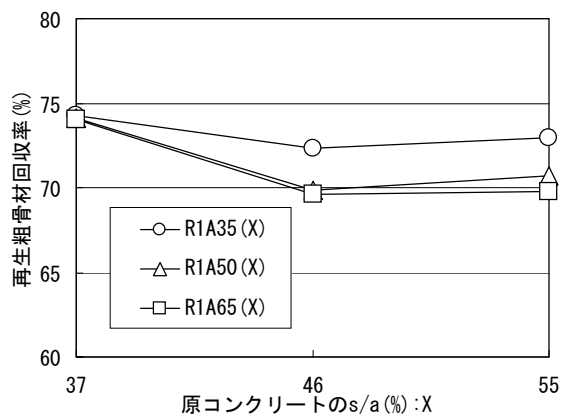


図-10 R1Aの回収率

3.4 原コンクリートの s/a が再生骨材コンクリートの品質に及ぼす影響

図-11 は R1C の圧縮強度に及ぼす原コンクリートの s/a の影響を示したものである。s/a が 37%の原コンクリートから回収された R1A を R1C に用いた場合、原コンクリートの W/C の大きさに関係なく、R1C の圧縮強度が原コンクリートとほぼ同等、またはそれ以上となっている。これは、原コンクリートの 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/C に着目すると、R1C の W/C が小さいほど、原コンクリートの 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/C 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/C が 65%である低強度な場合は、使用 R1A の違いによる影響は僅かであった。

4. まとめ

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) 再生骨材の密度および吸水率は、付着モルタルの量と品質の影響を受ける。また、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、R1Cでは原コンクリートのW/Bの影響を受けるが、R2Cでは原コンクリートの影響は小さくR1CのW/C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、高強度コンクリートへの利用が可能である。
- (4) 一次再生骨材のモルタル付着量は、原コン

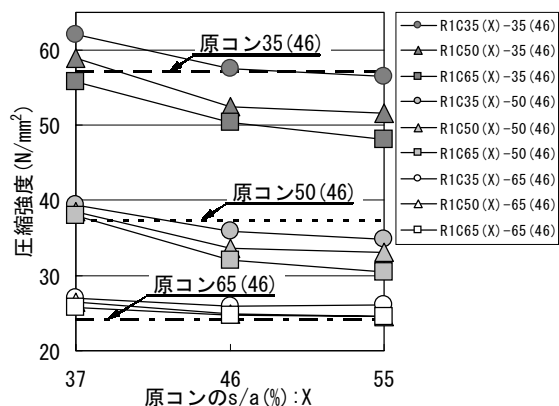


図-11 R1C の圧縮強度

クリートのs/aが小さいほど減少する。

- (5) 一次再生骨材の密度および吸水率は、破砕処理を行う前の、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品質面でより良好な一次再生骨材が回収できる。
- (6) 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、R1C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、高強度コンクリートへの利用が可能である。

参考文献

- 1) 島 裕和 他：加熱すりもみ法によるコンクリート塊からの高品質骨材回収技術の開発，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.22，No.2，pp.1093-1098，2000.6
- 2) 田中 順 他：海洋環境下における再生コンクリートの耐久性に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20，No.2，pp.1087-1092，1998.6
- 3) 田澤栄一 他：資源有効利用の現状と課題，コンクリートライブラリー96（土木学会），pp. 98-106，1999.11
- 4) 松村典人 他：コンクリート塊を用いた再生コンクリートの強度特性に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.22，No.2，pp.1129-1134，2000.6
- 5) 笠井哲郎 他：原コンクリートの品質が再生コンクリートの諸物性に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.23，No.1，pp.241-246，2001.7
- 6) 内川 浩：組成と構造の観点から見た硬化セメントペースト，モルタルおよびコンクリートの類似点と相違点，セメント・コンクリート，No.507，pp.33~46，1989