

# 論文 原コンクリートの品質が再生骨材コンクリートの諸物性に及ぼす影響

笠井哲郎\*<sup>1</sup>・内田賢吾\*<sup>2</sup>

**要旨:** コンクリート塊のコンクリート用骨材としての有効利用に関し, 原コンクリートの品質が再生骨材コンクリートの強度および乾燥収縮に及ぼす影響および再生コンクリートから回収した二次再生骨材とそれをを用いた二次再生骨材コンクリートの品質について実験的検討を行った。その結果, 元のコンクリートの W/C が小さいほど一次再生および二次再生コンクリートの品質および粗骨材としての再利用率が向上することが明らかとなった。このことより, 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。

**キーワード:** 再生コンクリート, W/C, 圧縮強度, 乾燥収縮, 再利用率, リサイクル性

## 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<sup>1)</sup>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を指摘している。これは, 排出されるコンクリート塊の全量を路盤材として使用したとしても, 廃棄されるコンクリート塊が増加することを示すものである。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<sup>2)4)</sup>。これは, 再生骨材の品質が再生骨材に付着しているモルタルの量と特性の影響を強く受けるため, 原コンクリートの内, 最も低強度なコンクリートのモルタル部分の特性に再生骨材コンクリートの強度が支配されるためであると考えられる。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。

そこで本研究では, 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品質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検討した。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二次再生骨材およびそれをを用いた二次再生骨材コンクリートの品質について実験的検討を行い, 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。なお, 本研究では原コンクリートおよび一次再生コンクリートの品質の内, それらのモルタル強度を支配する水セメント比のみに着目し検討した。

## 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) のみを 25 ~ 65%まで変化させ, その他の条件は一定と

\*1 東海大学助教授 工学部土木工学科 工博 (正会員)

\*2 東海大学大学院 工学研究科土木工学専攻

表-1 使用材料及び配合条件

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 <sup>3</sup> 比表面積=3280 cm <sup>2</sup> /g
	粗骨材	富士川産砕石 (原粗骨材)	密度=2.67 g/cm <sup>3</sup> 吸水率=0.65%
	細骨材	富士川産砕砂	密度=2.63 g/cm <sup>3</sup> 吸水率=1.60%
	混和材	シリカフェューム (SF)	密度=2.19 g/cm <sup>3</sup>
	混和剤	高性能AE減水剤 AE剤	マイティ-2000WHZ Vinsol
配合条件	W/B: 25, 35, 50, 65% (B=C+SF) s/a: 45% (一定) 粗骨材容積: 300 l/m <sup>3</sup> (一定) 目標スランプ: 10±2.5 cm 目標空気量: 4±1.5%		

した。なお、W/B=25%の場合のみシリカフェ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。

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)し作成した。圧縮強度試験は、JIS A 1108 に準じて行った。

コンクリートの収縮試験は各配合のコンクリートに関し、10X10X40cm供試体を用いて24時間後脱型20℃で6日水中養生後、20℃相対湿度60%の室内に静置し、長さおよび質量変化の測定を行った。

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成した。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フルイに留まるものとした。作成した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10%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: 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, 50, 65%と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。

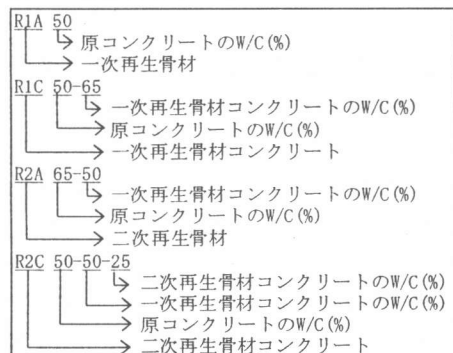
## 2.3 二次再生骨材および二次再生骨材コンクリート

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成した。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

本文および図中に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-2に示す。以下、再生骨材およびコンクリートについて

表-2 再生骨材およびコンクリートの種類



は、これらの記号を用いて示す。

### 3.1 原コンクリートのW/Bが再生粗骨材の品質に及ぼす影響

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、原コンクリートの W/B 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。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成し、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、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思われる。

図-4, 5は R1C の W/B が R2A の密度および吸水率に及ぼす影響を示したものである。R2A

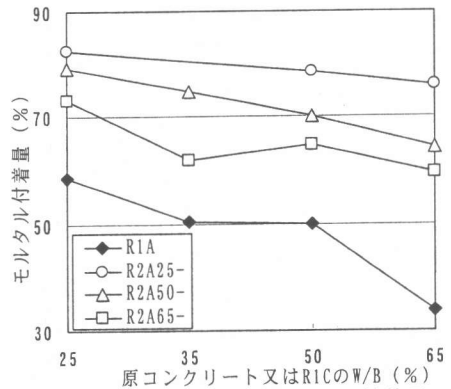


図-1 再生粗骨材のモルタル付着量

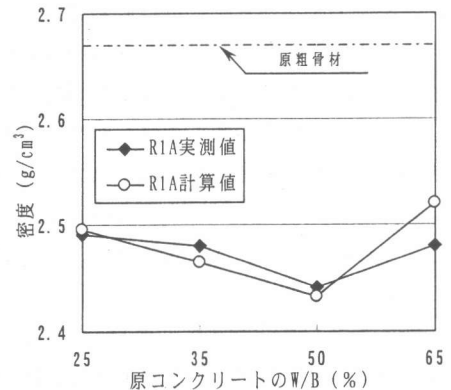


図-2 R1Aの密度

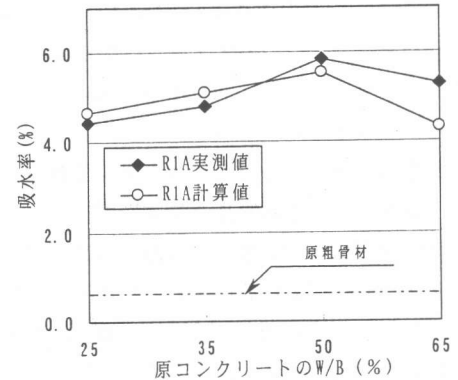


図-3 R1Aの吸水率

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 が 25%では、原コンクリートの W/B の値

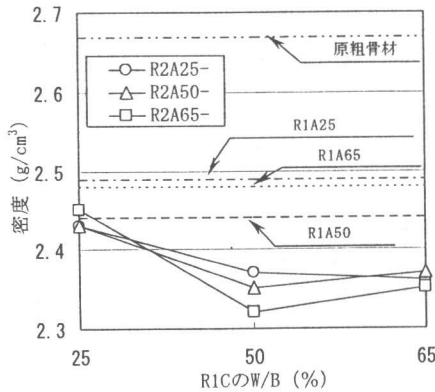


図-4 R2Aの密度

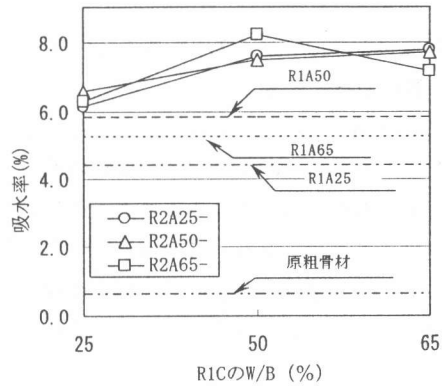


図-5 R2Aの吸水率

ならず、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-6は、原コンクリートから R1A をおよび RIC から R2A を製造するときの再生粗骨材回収率に及ぼす原コンクリート又は RIC の W/B の影響を示したものである。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 原コンクリートのW/Bが一次再生骨材コンクリートの品質に及ぼす影響

図-7は RIC 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。図の結果は長瀧ら<sup>3)</sup>が指摘していると同様に、RIC 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、RIC 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、RIC 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、RIC が高強度 (W/B=25%) ではその影響が顕著に現れ、原コ

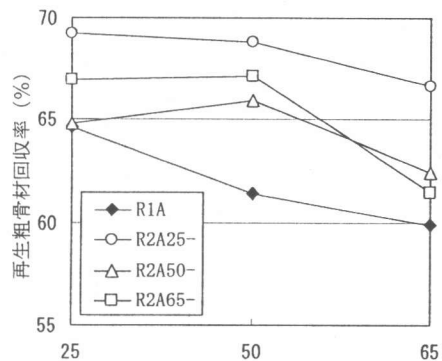


図-6 再生骨材回収率

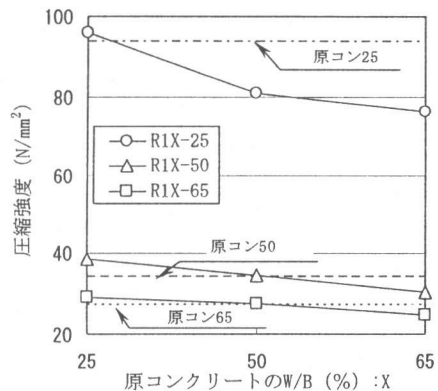


図-7 RICの圧縮強度

ンクリートの W/B が大きいほど RIC 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-8は W/B を 65% とした RIC の乾燥材齢と

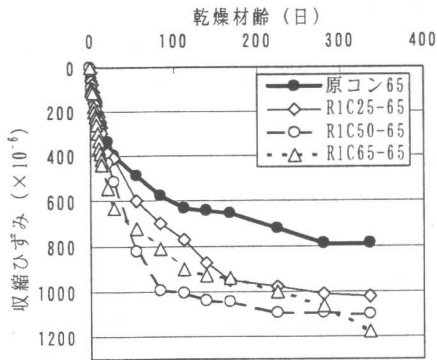


図-8 R1Cの乾燥収縮(W/B=65%)

長さ変化の測定から求めた収縮ひずみとの関係を示したものである。R1Cの乾燥収縮は原コンクリートのW/Bの相違による差は小さいが、原粗骨材コンクリートの乾燥収縮より大きくなるっている。一方、図-9に示すW/Bが25%のR1Cの材齢に伴う収縮ひずみは、原コンクリートのW/Bに関わらず、原粗骨材コンクリートとほぼ同様な傾向を示している。このことは、R1Cの乾燥収縮は原コンクリートのW/Bの影響は小さく、R1CのW/Bの影響を強く受け、R1CのW/Bを小さくすることで原粗骨材コンクリートと同程度にできることを示すものである。

### 3.3 原コンクリートおよびR1CのW/Bが二次再生骨材コンクリートの品質に及ぼす影響

図-10, 11は、それぞれ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%(図-10)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%(図-11)の

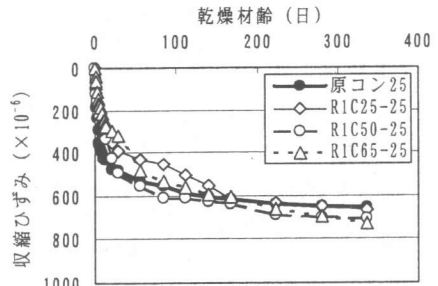


図-9 R1Cの乾燥収縮(W/B=25%)

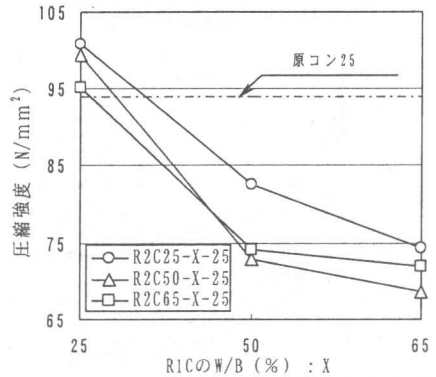


図-10 R2Cの圧縮強度(W/B=25%)

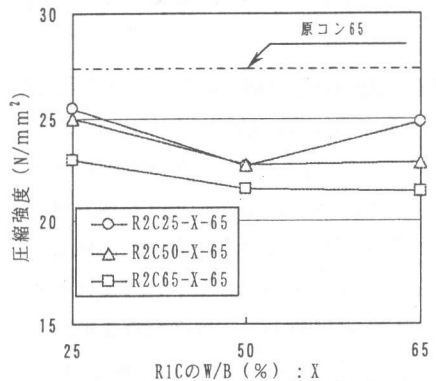


図-11 R2Cの圧縮強度(W/B=65%)

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-12, 13は、それぞれW/Bを25%および65%としたR2Cの乾燥材齢と収縮ひずみとの関係を示したものである。R2Cの乾燥収縮は、3.2で述べたR1Cの場合と同様に、原コンクリートのW/BおよびR1CのW/Bの影響は小さく、R2CのW/Bが25%の場合原粗骨材コンクリートと同程度の収縮ひずみとなっている。

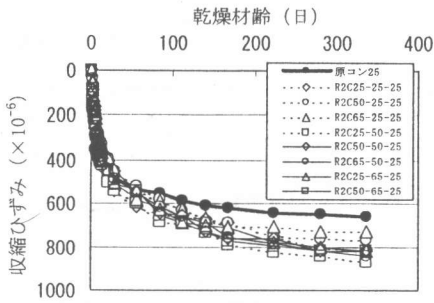


図-12 R2Cの乾燥収縮 (W/B=25%)

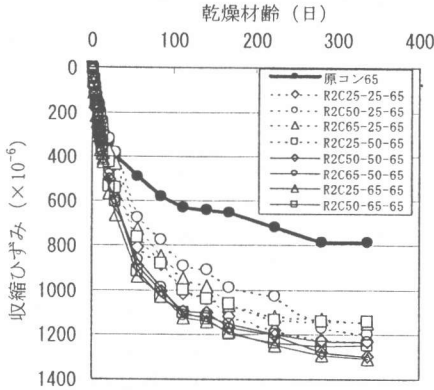


図-13 R2Cの乾燥収縮 (W/B=65%)

なお、図-9および図-12に示す W/B が 25% の R1C および R2C の収縮ひずみは、乾燥材齢 10 ~ 20 日までは、原コンクリートの収縮ひずみより小さくなっている。これは軽量骨材コンクリートの収縮特性に見られるのと同様に、再生コンクリートでは高い吸水率の再生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、この影響が低 W/B の場合ほど顕著に現れたものと思われる。

#### 4. まとめ

W/B を 25 ~ 65% とした原コンクリートまたは再生コンクリートからジョークラッシュにより製造した一次再生および二次再生粗骨材を用いたコンクリートに関し実験的検討を行った結果、本研究の範囲内で以下の結論が得られた。

(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もより良好な二次再生骨材が回収できる。

(3) 再生粗骨材の回収率は、原コンクリートまたは R1C の W/B の影響を受け、破砕処理前のコンクリートの W/B が小さい程向上する。

(4) 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。

以上より、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、構造設計上求められるコンクリートの W/B よりも更に小さい W/B とすることで、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ものと考えられる。

#### 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のからの高品質骨材回収技術の開発，コンクリート工学系次論文報告集，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，コンクリート工学系次論文報告集，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，コンクリート工学系次論文報告集，Vol.22，No.2，pp.1129-1134，2000.6
- 5) 長瀧重義 他：再生骨材を用いたコンクリートの諸特性，セメント・コンクリート論文集，No.52，pp.462-467，1998.12