

改質した骨材回収型コンクリートによる二次副産材料の成因特性と骨材回収性向上に関する研究

1.材料施工－15.地球環境資源

準会員 ○ 太原亜実<sup>\*1</sup> 正会員 田村雅紀<sup>\*2</sup>

資源環境、解体コンクリート、リサイクル、骨材回収

1. はじめに

現在、コンクリート塊は 98%以上が再生砕石と再生コンクリート骨材として再利用が行われている。

再生砕石は、道路等の路盤用材料として用いられているが今後、道路建設事業が減少する一方で建物の経年劣化により解体建物の増加等が想定されている。

平成 17 年に排出されたコンクリート塊約 3500 万トンの内、再生砕石が約 3400 万トン、再生コンクリート骨材が約 5 万トンの再資源化が行われている。そのため、再生コンクリート骨材及び上記以外の再資源化の増加が求められる。

再生骨材製造にあたり、コンクリート塊は「再生骨材」「微粉」に分けられ、「再生骨材」の高品質化が目的化しているが、微粉が多く発生し、再資源化が難しい<sup>1)2)</sup>。微粉になる前の、「モルタル硬化体」として回収し、「再生骨材」と「モルタル硬化体」に分離する分解方法が望まれる。

本研究では、骨材回収型コンクリート<sup>3)</sup>のうち、高い骨材回収性のみでなく微粉分の発生が予め抑えられるようなコンクリートのうち、製造後 5 年を経過し、十分に硬化した試料を用いて、「再生骨材」「微粉」「モルタル硬化体」の二次副産材料の成因特性について、一般的なコンクリートと比較した形で実験的に検証する。

2. 研究概要

2.1 使用材料及び試験方法

表 1-3 に使用材料、実験要因、試験方法を示す。比較用となる一般型は材齢 1 年を経過したものであり、微粉、細骨材、粗骨材を硬質砂岩骨材、石灰石骨材、再生骨材の同一種類としたいわゆるファミリー型のコンクリートである。骨材回収型は、特性混和材とし

てメチルセルロースと熱溶融繊維（180℃溶解）を含みモルタル分の高粘性化を伴う結合により、モルタル硬化体としても多く取り出すことが考えられる。Lc シリーズは、図 2 の化学改質処理法により、原骨材表面の付着力を低減し、原骨材回収を促進することから、未処理の Ln シリーズとの比較ができる。

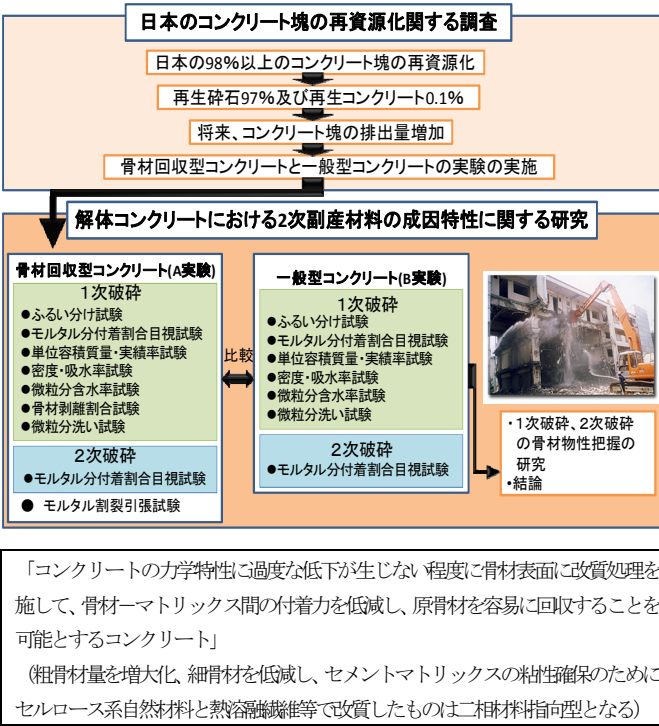


図 1 本試験の流れと骨材回収型コンクリートの定義

表 1 使用材料

| 試験体             | 材料             | 記号 | 種類            | 内容                                                   |
|-----------------|----------------|----|---------------|------------------------------------------------------|
| 一般型<br>コンクリート   | セメント           | FB | フライッシュセメント    | B 種、密度 3.04g/cm <sup>3</sup>                         |
|                 | 微粉             | B  | 陸砂            | 表密 2.58g/cm <sup>3</sup>                             |
|                 |                | L  | 石灰石微粉         | 表密 2.71g/cm <sup>3</sup> 比表 S 3370cm <sup>2</sup> /g |
|                 |                | L  | 再生微粉          | 表密 2.50g/cm <sup>3</sup>                             |
|                 | 細骨材            | B  | 陸砂            | 表密 2.58g/cm <sup>3</sup> 吸水率 2.21%                   |
|                 |                | L  | 石灰石砕砂         | 表密 2.66g/cm <sup>3</sup> 吸水率 1.13%                   |
|                 |                | R  | 再生砕砂          | 表密 2.52g/cm <sup>3</sup> 吸水率 4.20%                   |
|                 |                | B  | 砂岩砕石          | 表密 2.67g/cm <sup>3</sup> 実積率 62.9%                   |
|                 | 粗骨材            | L  | 石灰石砕石         | 表密 2.70g/cm <sup>3</sup> 実積率 60.5%                   |
|                 |                | R  | 再生砕石          | 表密 2.59g/cm <sup>3</sup> 実積率 61.5%                   |
| 骨材回収型<br>コンクリート | セメント           | N  | 普通 PC         | 密度 3.15 g/cm <sup>3</sup>                            |
|                 | 細骨材            | L  | 石灰石砕砂         | 表密 2.71 g/cm <sup>3</sup> 吸水率 0.33%                  |
|                 | 粗骨材            | L  | 石灰石砕石         | 表乾密度 2.71g/cm <sup>3</sup> 実積率 60.7%                 |
|                 | 分離低減用<br>特殊混和材 | M  | 特殊増粘材         | 天然素材由来のメチルセルロースをエーテル化した水溶性 MCE 系混合物で粉末               |
|                 |                | VF | 溶融型 PVA 特殊短繊維 | カット長 4mm、伸度 30%PVA 細繊維、アルカリ熱湿潤状態で緩やかに膨潤溶解            |

表 3 試験項目と評価方法

| 試験項目         | 評価方法                  |
|--------------|-----------------------|
| コンクリート破砕試験   | ジュークラッシャ、ボールミルによる破砕   |
| 再生材ふるいわけ試験   | JIS A 1102            |
| 単位容積質量・実積率試験 | JIS A 1104            |
| 密度及び吸水率試験    | JIS A 1109、JIS A 1110 |
| 骨材モルタル付着割合試験 | 目視観察抽出法               |

表 2 実験要因

| 一般型<br>コンクリート   | 項目      | 要因                   |
|-----------------|---------|----------------------|
|                 | 単位水量    | 175kg/m <sup>3</sup> |
|                 | 水セメント比  | 55%一定                |
|                 | 微粉量     | 1、3(%)               |
|                 | 骨材      | B、L、R ファミリー          |
| 骨材回収型<br>コンクリート | AE 減水剤  | C×0～2.0%             |
|                 | 単位水量    | 184kg/m <sup>3</sup> |
|                 | 水セメント比  | 40%一定                |
|                 | 細骨材     | L 一定                 |
|                 | 粗骨材     | L 一定                 |
|                 | 粗骨材かさ容積 | L(0.6、0.76)          |
|                 | 改質処理    | 無処理 (n)<br>化学処理 (c)  |

| 試験項目     | 評価方法             |
|----------|------------------|
| 割裂引張試験   | JIS A 1113       |
| 微粒分洗い試験  | JIS A 1103       |
| 平衡含水率試験  | 20℃、60%時環境での平衡重量 |
| 骨材剥離割合試験 | 画像解析による評価        |
| 中性化試験    | JIS A 1152、1153  |

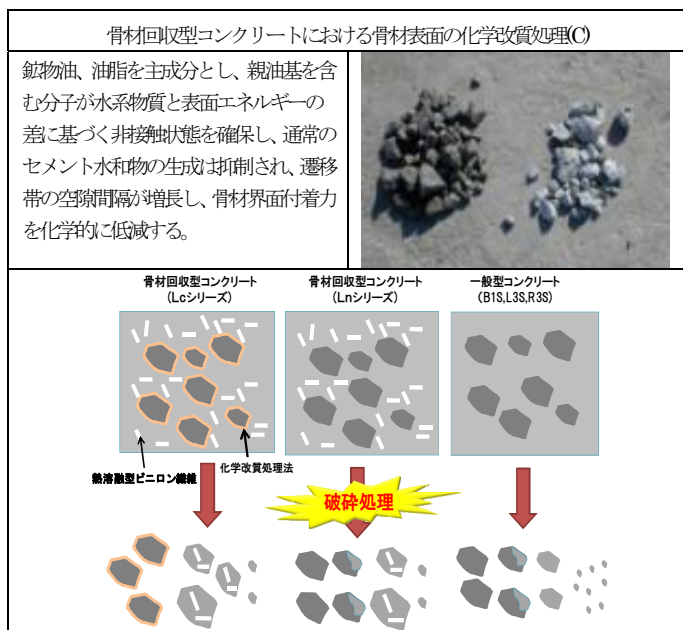


図 2 骨材回収型コンクリートの骨材界面処理（化学処理）

## 2.2 実験結果と考察

### (1) ふるい分け試験

図3、図4に一般型コンクリートおよび骨材回収型コンクリートのふるい分け試験の方法を示す。骨材回収型コンクリートについては、熱溶融型のメチルセルロースが含まれているため、破碎前に200℃の加熱を行い、内部繊維の一部が溶融することによる副産材の発生状態の検討も含めて行った。

図5～7に1次破碎、2次破碎10分、2次破碎20分の一般型コンクリート、骨材回収型コンクリートの各細骨材、粗骨材粒度分布を示す。ジョークラッシャーの1次破碎における一般型、骨材回収型コンクリートの各シリーズにおける、粒度分布による違いの影響は確認されなかった。微粒分洗い試験を行い、発生量を比較したが、一般型、骨材回収型の違いは明確ではなかった。2次破碎においては、骨材回収型の場合、若干ではあるが、破碎時間を10分から20分に増加させた場合の、2.5mm以下の微粒分および細骨材部分における通過重量%の増加率が低減しており、特に繊維が残存したシリーズに関しては、その傾向が大きいことから、骨材回収型の処理が微妙な破碎物形態の違いを生じさせている。

### (2) 骨材モルタル付着試験

図8に目視による骨材モルタル付着割合比較参考図を、図9、図10に一般型、骨材回収型コンクリートの骨材モルタル付着割合を示す。日本建築学会、建築研究振興協会における原子力研究委員会「モルタル塊量試験方法」<sup>1)</sup>では、二次副産材の目視による区分化の検討を参照し、モルタル分0%～1%を原骨材、モルタル分1%～50%を原骨材+モルタル、モルタル分50%～をモルタルと区分し、試験を行った。

全体を通じて、破碎の程度に応じて、a)2.5～5mm 粒径の再生細骨材から、b)、c)5mm以上の粗骨材になるにつれて、2.5mmまでのモルタル硬化体を含む量が減少し、原骨材の割合が多くなる傾向にあることが試験結果から確認することができる。



図 3 一般型コンクリートふるい分け試験方法

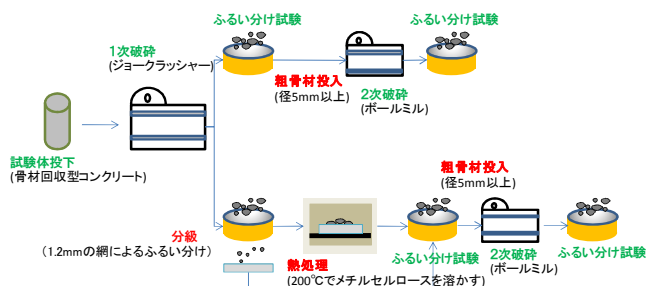
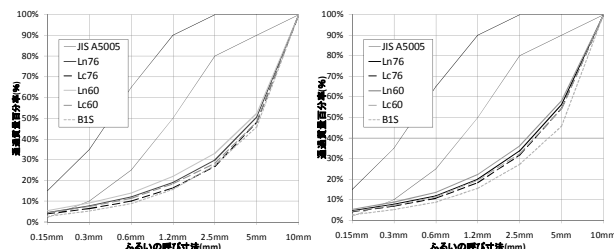


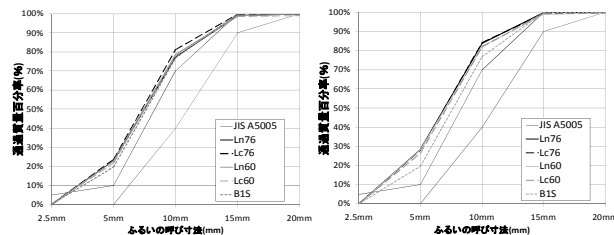
図 4 骨材回収型コンクリートふるい分け試験方法



(a) 繊維付着

(b) 熱処理

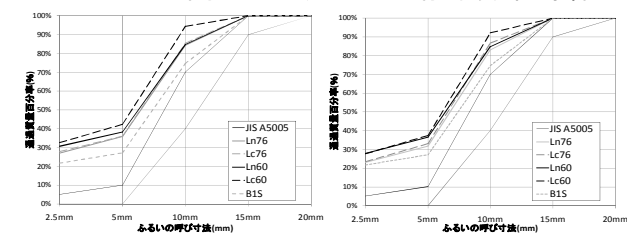
図 5 1次破碎時処理方法の違いによる細骨材粒度曲線の影響



(a) 繊維付着

(b) 熱処理

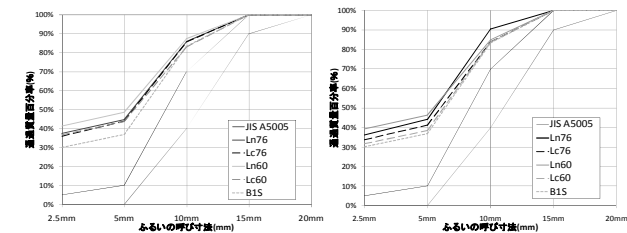
図 6 1次破碎時処理方法の違いによる粗骨材粒度曲線の影響



(a) 繊維付着

(b) 熱処理

(1) 破碎時間 10 分



(a) 繊維付着

(b) 熱処理

(2) 破碎時間 20 分

図 7 2次破碎時の破碎時間による粒度曲線への影響

続いて、破碎の程度に関して、図9の1次破碎時には、原骨材を含む硬化体の割合が多く、モルタル付着骨材も多い。一般型のBシリーズと比較し、骨材回収型のシリーズはこの段階でも原骨材回収率が多い傾向にあり、Lnシリーズはモルタル+原骨材付着が多く見受けられる。長滝らの研究<sup>2)</sup>で確認されているように、一般的に粗骨材の実積率が増加すれば、モルタル硬化体は低下する。その影響も反映されるといえるが、骨材回収型シリーズLcの原骨材回収

率はさらに増加し、モルタル硬化体発生率は低下しているため、コーティングを施した化学回収処理法の一定の効果があるといえる。なお、図10、11の二次破碎が進むにつれて、モルタル付着割合に違いは見られなくなり、原骨材と、モルタル分のどちらかに別れるため、ボールミル等による破碎頻度が多くなることで処理能力と処理程度の影響に依存した結果となる。

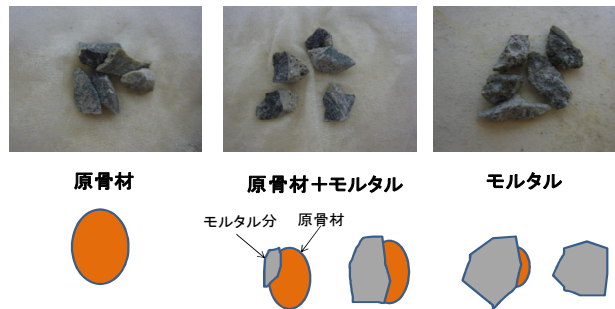
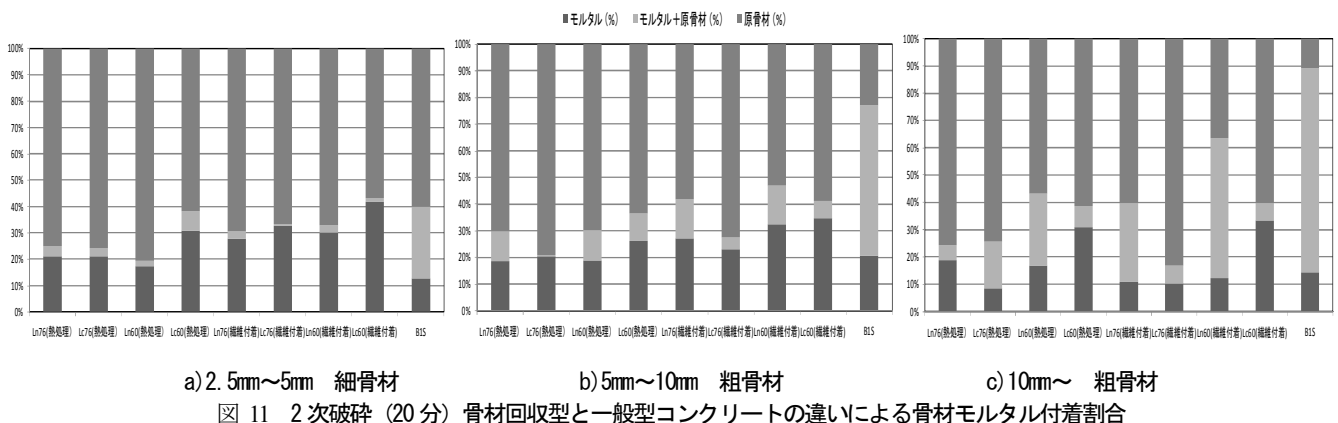
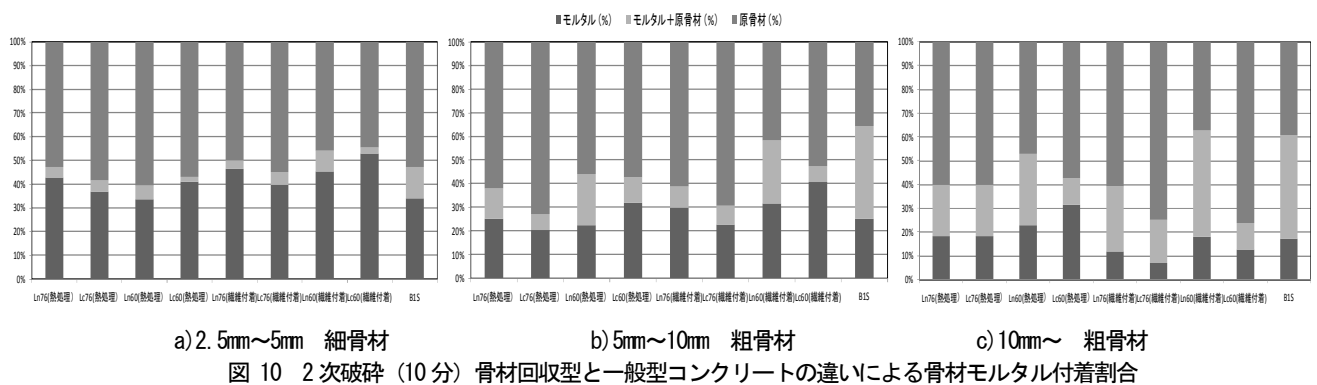
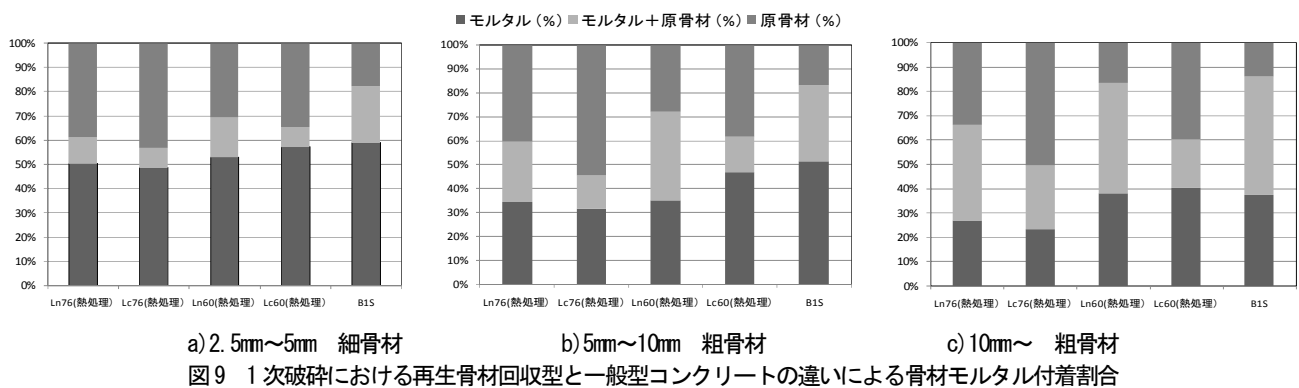


図8 目視による骨材モルタル付着割合比較参考図



### (3) 密度・吸水率試験

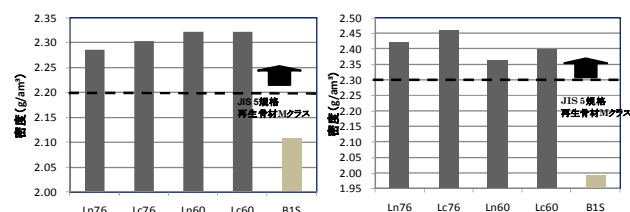
図 12、図 13 に一般型、骨材回収型コンクリートの骨材密度と吸水率を示す。骨材回収型は、Ln76、Lc76 は粗骨材を Ln60、Ln60 よりも多く含むために、粗骨材の密度は大きく、吸水率は小さくなる一般的な傾向がでている。なお、一般型コンクリートは大幅に性能が低下していることがわかる。なお、Ln、Lc シリーズともに 1 次破碎の段階で JASS5 規格、JIS 再生骨材 M クラスの基準を満足している。なお、コーティング処理を施した場合の方が、骨材性能が向上している。

### (4) 骨材剥離割合試験

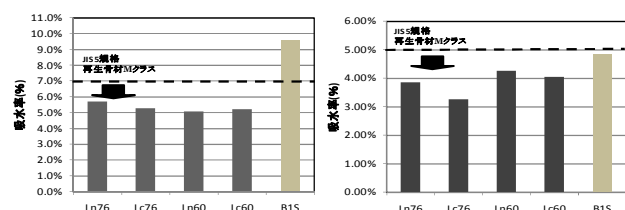
図に骨材回収型の画像解析状況（上：Ln76、下 Lc76）を、図 15 に骨材回収型コンクリートの割裂・剥離面積割合を、図 15 骨材回収型コンクリート割裂・剥離割合

を示す。(a) の試料破断面を高解像度写真で撮影し、画像解析処理によりモルタル部分と骨材に区別できる二値化写真に変換する（界面剥離部分と骨材割裂部分に区別）そして、(b) (c) より骨材剥離部分と骨材割裂部分を区別し、面積率を計算し骨材界面剥離効果を定量化した。

破断面全骨材に占める界面剥離部分の面積占有率は、実積率の違いによらず Lc シリーズにおいて骨材界面剥離が多くなり、割裂部分は低下する。剥離部分では、ひび割れが原骨材の界面に沿うように進展し、改質効果が作用し、結果、原骨材としての回収が容易になると考えられる。この効果が 5 年間を経過した後も発現したためコーティング効果が長期維持されたことも確認できた。また、式 1) に骨材界面剥離効果算定式を示す、図 15 の結果より、粗骨材の実積率が大きい場合 (Ln76、Lc76)、セメントモルタル量が低下するために、コーティング処理を行わない場合も、一定の剥離効果が得られるようになるが、無処理の場合と比較した効果の程度は、実積率 60% の場合の方が大きくなることが確認できた。つまり、骨材回収型とする場合、実積率を大きくすれば、無処理に対するコーティング効果の影響は小さくなるが、実際には骨材回収性は安定して得ることができる。

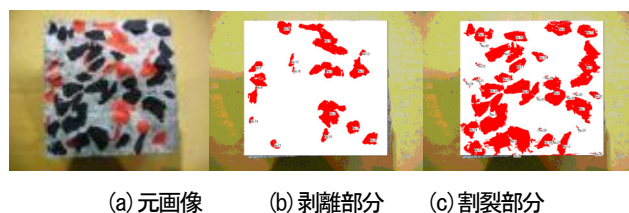


(a) 細骨材密度 (b) 粗骨材密度  
図 12 骨材密度による違い

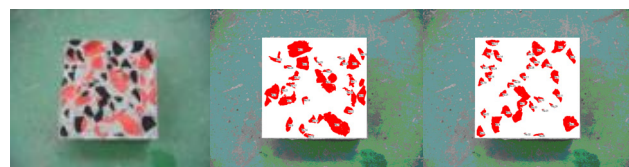


(a) 細骨材吸水率 (b) 粗骨材吸水率

図 13 骨材吸水率による違い



(a) 元画像 (b) 剥離部分 (c) 割裂部分



(a) 元画像 (b) 剥離部分 (c) 割裂部分

図 14 骨材回収型の画像解析状況（上：Ln76、下 Lc76）

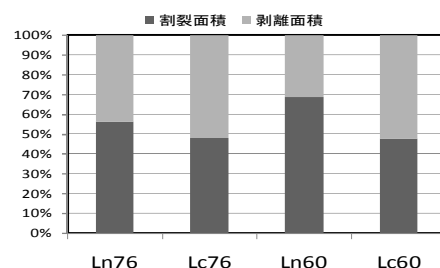
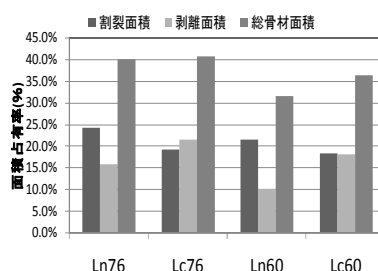


図 15 骨材回収型コンクリート割裂・剥離割合



| 粗骨材<br>かさ容積 | 骨材界面剥離<br>効果(%) |
|-------------|-----------------|
| 0.76        | 37.3%           |
| 0.60        | 80.4%           |

$$Ri = (Sc - Sn) / Sn \times 100 \text{ ————1)}$$

Ri : 骨材界面剥離効果 (%)

Sn : 骨材界面剥離部分の面積占有率（無処理の場合） (%)

Sc : 骨材界面剥離部分の面積占有率（改質処理の場合） (%)

図 16 破断面における骨材界面剥離効果

## 3. 結論

本研究により、骨材回収型は、化学改質処理により、長期保存後でも、簡易な破碎で原骨材が高い回収率が得られ、実積率を増加させた場合でも一定の効果が期待できる。また、破碎時に発生する微粒分量は破碎方法により増加するが、破碎程度を考慮することでモルタル硬化体として回収することも可能となる。

## 参考文献

- 1) 日本建築学会、建築研究振興協会、環境配慮技術導入に関する検討、原子力研究委員会関連資料、2009
- 2) 長滝重義他、建設材料 76 委員会、ライフサイクルを考慮した建設材料の新しいリサイクル方法の開発、2001
- 3) 田村雅紀ほか、材料保存を可能とする骨材回収型コンクリートの開発 その 5、6、セメント技術大会要旨 pp.144-147 (2007)

## 謝辞

本研究は平成 21 年度工学院大学都市減災センターPJ(中課題 3 震災廃棄物の再資源化と高機能化：阿部道彦・田村雅紀)の支援を得た

\*1 工学院大学工学部建築学科・学部 4 年

\*2 工学院大学建築都市デザイン学科准教授・博士(工学)