

## 論文 廃プラスチック製粗骨材の吸水特性とコンクリート強度への影響

小出 英夫<sup>\*1</sup>・佐々木 徹<sup>\*2</sup>・外門 正直<sup>\*3</sup>

**要旨：**廃プラスチック製粗骨材（廃ペットボトルである廃ポリエチレンテレフタレートが主原料）を用いた軽量コンクリートの製造に関し、以下の知見を得た。1) 当該廃プラスチック製粗骨材は、105℃に加熱しても水分以外の物質の散逸・形状変化はなく、またその吸水特性からも、吸水率・密度測定に際し、既定の JIS A 1135, JIS A 1110 のどちらに從っても良い。なお、吸水率は約 1%である。2) 当該軽量コンクリートのフレッシュ時の性状、圧縮強度は、練混ぜ時の当該粗骨材の洗浄の有無、気乾・表乾状態の影響を受けない。3) 当該軽量コンクリートから製造された再生廃プラスチック製粗骨材もコンクリート用骨材として有効である。

**キーワード：**リサイクル、リユース、軽量コンクリート、軽量骨材、廃プラスチック

### 1. はじめに

現在、コンクリート用天然骨材に関しては、枯渇や、採取に伴う環境破壊等の問題から、可能な限り代替品を用いた方が良い状況にあり、廃コンクリート塊から製造される再生骨材も代表的な代替品の一つである。また、各種スラグ、石炭灰等の各種副産物も、それらの処分場の許容量の問題等から有効活用の必要性があり、コンクリート用材料として用いることによりフレッシュ・硬化コンクリートの性能が改善されることから、コンクリート材料として広く利用されてきている。

一方、1995年に制定された「容器包装リサイクル法」によって、使用済みペットボトル等の廃プラスチックの回収が広く行われているが、その回収品のリサイクル等による有効活用はまだ十分とは言えず、何らかの形態で用途が決らないまま中間処理施設に長期蓄積される場合も多い。使用済みペットボトルに関して言えば、回収率が年々増加し、その用途も、マテリアルリサイクル、サーマルリサイクルによって全国的な視点から見ればかなりの量がリサイクルされている。しかしながら、独自の一次処理施設

を有さない小さな自治体や、自治体による回収ルートが適用されないコンビニ等の事業所から中間処理業者が引き取った使用済みペットボトルにおいては、様々な理由から、先に記した有効なリサイクルルートにのれず、独自の活用方法が模索されている状況も多い。

これらの状況から、著者らはこれまでに、使用済みペットボトル（廃ポリエチレンテレフタレート）を主原料とする“廃プラスチック製骨材”の、コンクリート用軽量骨材への適用に関しての研究<sup>1),2),3)</sup>を行い、非構造用であること等の若干の用途の制約があるものの、実用化可能であるとの結論を得ている。

本研究では、これらの結果をふまえ、これまでに明確していなかった、当該廃プラスチック製骨材の吸水特性、コンクリート練混ぜ時における当該廃プラスチック製骨材の吸水状態等の違いによるフレッシュ・硬化コンクリートへの影響を明らかにした。さらに、当該廃プラスチック製骨材を用いた軽量コンクリートのさらなる再利用の観点から、当該コンクリートの破砕によって作成した“再生廃プラスチック製骨材”を用いたコンクリートの製造も試みた。

\*1 東北工業大学助教授 工学部建設システム工学科 工博（正会員）

\*2 ドービー建設工業（株） 東北支店ビジネスグループ統括部長（正会員）

\*3 東北工業大学教授 工学部建設システム工学科 工博（正会員）

## 2. 廃プラスチック製骨材

### 2.1 概要

本研究で用いた廃プラスチック製骨材は、原料となる廃プラスチック類およびその混合割合がほぼ限定され、環境に対する問題点もない既存の廃プラスチック塊（写真－1,エコマーク認定商品）を中間材料として用い、これをジョークラッシャーで破砕することによって製造した。

中間材料である廃プラスチック塊は、原料となる廃プラスチック類及び混合割合が、ポリエチレンテレフタレート（PET）（主に使用済みペットボトル）約80～90%、残りがポリプロピレン（PP）・ポリエチレン（PE）・ポリスチレン（PS）であり、これらを約1cmのチップに粉砕、上記の割合で約270℃で熔融・押出成型することにより製造され、軟化点は約240℃である。

なお、当該廃プラスチック製骨材の価格は、製造している中間処理業者は自治体等から廃プラスチック類を引き取る際にある程度の料金を受取っているため、工場出荷時において、約1,000～1,500円/m<sup>3</sup>程度と想定され、普通骨材よりも安価な骨材である。

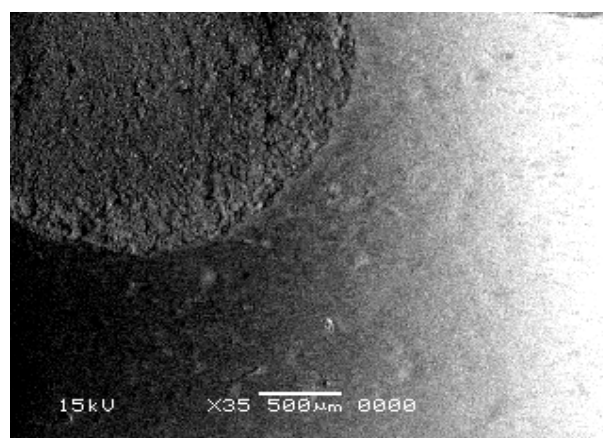
### 2.2 本研究で用いる廃プラスチック製骨材

本研究では、2.1で記した手法により製造された廃プラスチック製骨材のうち、既往の研究結果<sup>1),2)</sup>（マトリックス部分と廃プラスチック製骨材との付着が不十分であることに起因するコ

ンクリート強度等の観点から、粗骨材としてのみ使用し、さらに粒径は5～10mmに限定)より、粒径は5～10mmのもの（写真－2）のみを対象とした。写真－2に示すように、骨材表面は、廃プラスチック塊の破砕によって表面となったザラツキのある面（写真－3、4、画面左側）と、廃プラスチック塊の成型時に既に表面とし



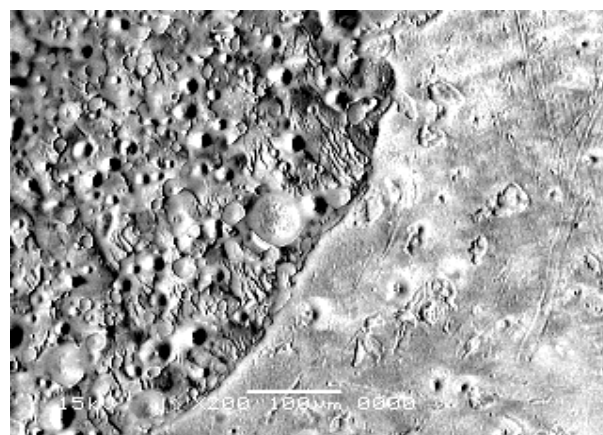
写真－2 廃プラスチック製粗骨材



写真－3 骨材表面 (SEM, ×35)



写真－1 廃プラスチック塊（中間材料）



写真－4 骨材表面 (SEM, ×200)

て存在していた光沢のある面（写真－3，4，画面右側）から構成されている。

物性に関しては，中間材料である廃プラスチック塊の製造時期によって若干のばらつき（原料となる廃プラスチック類の混合割合の変動に起因）及び破碎条件によるばらつきがあるものの，吸水率（詳細は3.に記載）は約1%，絶乾密度は約 $1.2\text{g/cm}^3$ ，実積率は約57%であり，JIS A 5002「構造用軽量コンクリート骨材」において，MB-2,19 または MB-1,19 相当品である。

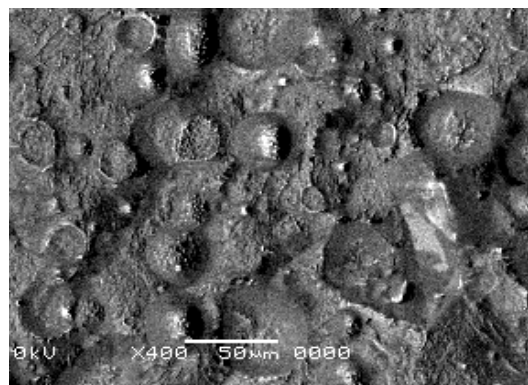
なお，コンクリート用骨材として廃プラスチックを使用する場合，マトリックス部との付着を改善する目的で，骨材表面を何らかの方法で加工する試み<sup>4)</sup>もなされている。しかしながら，それらの効果は十分とは言えず，経済性も考慮し，本研究で用いる廃プラスチック製骨材は何ら表面に細工を施していない。

### 3. 廃プラスチック製骨材の吸水特性

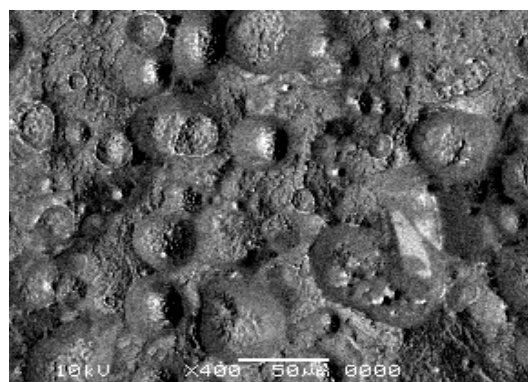
#### 3.1 実験概要

廃プラスチック製骨材は，表面に廃プラスチック塊内部に存在していた独立空隙が露出しているが，原料の化学的性質から吸水率は小さいと想定される。ここでは，実用化時の廃プラスチック製骨材の管理に必要な基礎資料を得る目的で，吸水時間と吸水時間終了時の表乾状態より求めた吸水率の関係について実験を行った。

なお，粗骨材の吸水率の測定に関しては，JIS A 1135, JIS A 1110 の双方とも105℃で絶乾状態にする必要があり，熱により何らかの影響（水分以外の物質の散逸や骨材そのものの変形等）が生じ，常温での廃プラスチック製骨材の真の物性値を得ることができない可能性が考えられる。この点に関しては予備実験より，40℃で質量変化が無くなるまで約100時間の加熱後，更に105℃で再加熱しても骨材の質量変化は生じなかったこと，写真－5，6に示すように105℃の加熱前後で骨材同一表面に変化がなかったことから，105℃で加熱することに問題は無いものと推定された。



写真－5 加熱前の骨材表面（SEM，×400）



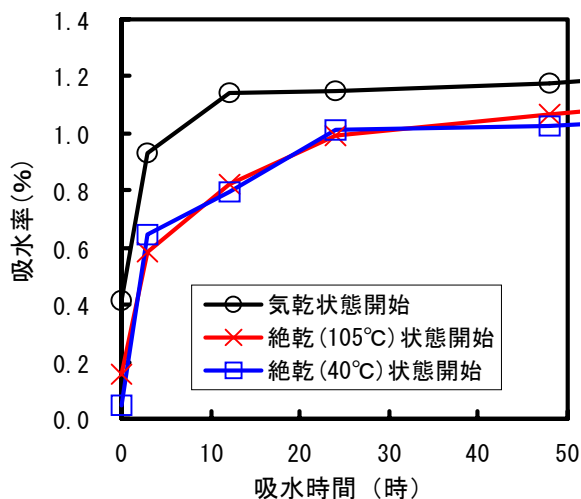
写真－6 105℃加熱後の骨材表面（SEM，×400）

上記の点を確認する意味も含めて，本実験では，室内に放置した気乾状態，40℃で120時間かけて絶乾にした状態，105℃で絶乾にした状態の3種類の状態を，吸水開始の初期条件とした。

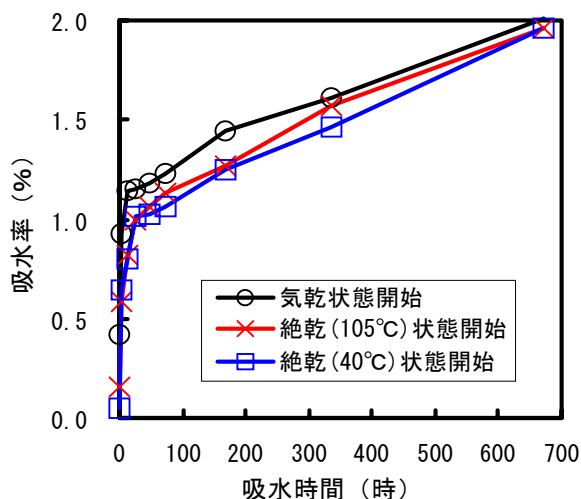
#### 3.2 実験結果及び考察

図－1，2に，各初期条件における，吸水時間と，その吸水時間終了後の表乾状態から測定した吸水率の関係を示す。図より，気乾状態吸水開始と絶乾状態吸水開始の骨材では，吸水率が同一になるのにほぼ1ヶ月の吸水時間を要するが，ともに吸水時間24時間で，コンクリート練混ぜ時に影響を与えられとされる初期の急激な吸水が終了し，吸水率約1%を示すことがわかる。

また，吸水開始時に40℃で絶乾にした骨材と，105℃で絶乾にした骨材では，同様の結果であるため，105℃での加熱に問題は無く，吸水時間も含めて，当該廃プラスチック製骨材の吸水率・密度の測定においては，JIS A 1135, JIS A 1110 のどちらに従っても良いことが確認された。



図－１ 吸水時間と吸水率の関係（１）



図－２ 吸水時間と吸水率の関係（２）

#### 4. 廃プラスチック製骨材の吸水状態等によるコンクリート圧縮強度等への影響

##### 4.1 実験概要

ここでは、当該軽量コンクリートの実用化を前提に、練混ぜ時の廃プラスチック製粗骨材の吸水状態や事前洗浄の有無が、製造されるコンクリートのフレッシュ時の性状、圧縮強度にど

の程度影響を与えるのかについて実験を行った。

実験に用いた配合を、表－１に示す。既往の研究結果<sup>1),2),3)</sup>より、圧縮強度が約 20N/mm<sup>2</sup>、硬化コンクリートの単位容積質量（表乾状態）が約 1.8g/cm<sup>3</sup>となる配合で、細骨材はすべて普通細骨材（鶴巣大平産山砂、表乾密度 2.54g/cm<sup>3</sup>）、粗骨材はすべて廃プラスチック製粗骨材（最大寸法 10mm、絶乾密度 1.24g/cm<sup>3</sup>）、配合時における粗骨材絶対容積率は 37%である。セメントは普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm<sup>3</sup>）、混和剤は、目標スランプ 9±1cm、空気量 6±0.5%となるよう、ポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤（標準形 1 種、密度 1.08g/cm<sup>3</sup>）と AE 剤（1 種、密度 1.02g/cm<sup>3</sup>）を用いた。

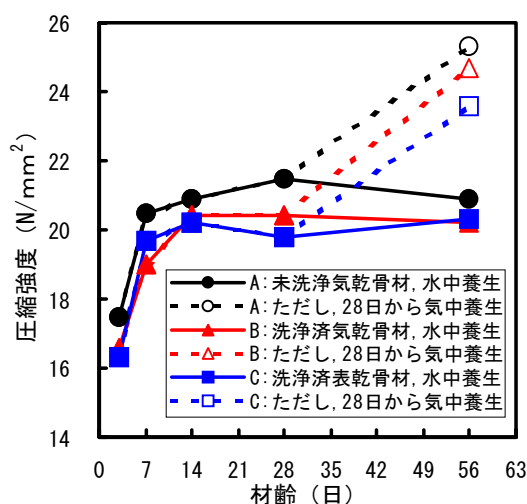
各配合における廃プラスチック製粗骨材の状態は、中間材料の廃プラスチック塊をジョークラッシャーで破碎後、ふるい分けのみの処理（未洗浄）で室内気中保管（含水率 0.4%）していたもの（シリーズ A）、ふるい分け後に骨材表面の洗浄（水道水）を行い室内気中保管（含水率 0.4%）していたもの（シリーズ B）、ふるい分け後に骨材表面の洗浄を行い 24 時間吸水後に表乾状態（吸水率 0.92%）としたもの（シリーズ C）の 3 種類を用いた。

##### 4.2 実験結果及び考察

図－３に各コンクリートの、20℃水中養生での材齢 3, 7, 14, 28, 56 日での圧縮強度、及び 28 日水中養生後 56 日目まで 20℃湿度 50%で気中養生した場合の圧縮強度を示す。なお、各配合において、目標スランプ及び空気量を得るための混和剤量には若干の差異が認められる（表－１）が、これらは、練混ぜ時の気温等による影響であり、廃プラスチック製粗骨材の各種状

表－１ 廃プラスチック製粗骨材を用いた軽量コンクリートの配合

| シリーズ | 水セメント比 (%) | 細骨材率 (%) | 粗骨材絶対容積率 (%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |        |       |         |                   |             |
|------|------------|----------|--------------|-------------------------|--------|-------|---------|-------------------|-------------|
|      |            |          |              | 水 W                     | セメント C | 細骨材 S | 軽量粗骨材 G | 高性能 AE 減水剤 C× (%) | AE 剤 C× (%) |
| A    | 35         | 41.8     | 37.0         | 165                     | 471    | 676   | 459     | 0.81              | 0.0060      |
| B    |            |          |              |                         |        |       |         | 0.62              | 0.0028      |
| C    |            |          |              |                         |        |       | 464     | 0.60              | 0.0020      |



図－3 廃プラスチック製粗骨材の各種状態とコンクリートの圧縮強度の関係

態の違いによるフレッシュ時の性状への影響は、ほとんど無いものと考えられる。

図－3より、圧縮強度に関しても、骨材の状態の違いによる影響はほとんど無く、いずれも材齢7日ではほぼ最終強度に達することがわかる。なお、供試体を乾燥させることにより、普通コンクリート同様に、見かけの圧縮強度が約2割程度増加することもわかった。また、ヤング係数が普通コンクリートの約半分<sup>1)</sup>であることから、普通コンクリートとは破壊形態が異なり、供試体全面のひび割れ発生後に破壊に至った。

以上の結果より、当該廃プラスチック製粗骨材は、練混ぜ時において、未洗浄のまま、水分管理等も特に行うことなく使用することが可能であり、管理が容易な骨材であると考えられる。

## 5. 再生廃プラスチック製骨材

### 5.1 実験概要

廃プラスチック製骨材をコンクリート用骨材として活用することを考えた場合、そのまたり

サイクルを考慮する必要がある。その点、当該廃プラスチック製粗骨材は、マトリックス部との付着が悪いため、あらかじめ骨材に何らかの表面処理<sup>5)</sup>をすること無しに、当該軽量コンクリートの破碎と密度の違いによる選別のみで、比較的容易に、モルタルをあまり含まない“再生廃プラスチック製骨材”の製造が可能<sup>6)</sup>な骨材である。ここでは、再生廃プラスチック製骨材の実用化のための基礎資料として、破碎のみによって製造された再生廃プラスチック製粗骨材を用いたコンクリートの圧縮強度について実験を行った。

### 5.2 再生廃プラスチック製粗骨材の製造

ここでは、4.の実験で用いた軽量コンクリート廃材をジョークラッシャーで破碎し、粒径5～10mmの破碎材すべて（モルタルのみの物も含む）を再生廃プラスチック製粗骨材として用いた。製造された粗骨材は、絶乾密度 $1.63\text{g/cm}^3$ 、吸水率7.0%であり、目視と手作業によって選別及びプラスチックとモルタルとの分離を行った結果、モルタルの付着が無い廃プラスチックのみで構成されている骨材の割合は、容積比で35%、質量比で26%、再生廃プラスチック製粗骨材中のモルタルの割合は、容積比で40%、質量比で55%であった。

### 5.3 再生廃プラスチック製粗骨材を用いたコンクリートの製造

5.2に示した再生廃プラスチック製粗骨材（モルタル分も含む）を用い、表－2に示す配合で、コンクリートを製造した。

表－2の配合（シリーズD）は、実験結果の比較のため、再生廃プラスチック製粗骨材の原コンクリートである表－1の配合の廃プラスチック製粗骨材を、同一の容積の再生廃プラスチ

表－2 再生廃プラスチック製粗骨材を用いたコンクリートの配合

| シリーズ | 水セメント比 (%) | 細骨材率 (%) | 粗骨材絶対容積率 (%) | 単位量( $\text{kg/m}^3$ ) |        |       |           |                   |             |
|------|------------|----------|--------------|------------------------|--------|-------|-----------|-------------------|-------------|
|      |            |          |              | 水 W                    | セメント C | 細骨材 S | 再生軽量粗骨材 G | 高性能 AE 減水剤 C× (%) | AE 剤 C× (%) |
| D    | 35         | 41.8     | 37.0         | 165                    | 471    | 676   | 646       | 0.64              | 0.0020      |

ック製粗骨材で置換したものであり、目標スランプ・空気量も同じとした。なお、表－2の配合における廃プラスチックの絶対容積率は実質22.2%であり、硬化コンクリートの単位容積質量（表乾状態）は $1.97\text{g/cm}^3$ 、コンクリート練混ぜ時には、24時間吸水後の表乾状態の再生廃プラスチック製粗骨材を用いた。

#### 5.4 再生廃プラスチック製粗骨材を用いたコンクリートの圧縮強度

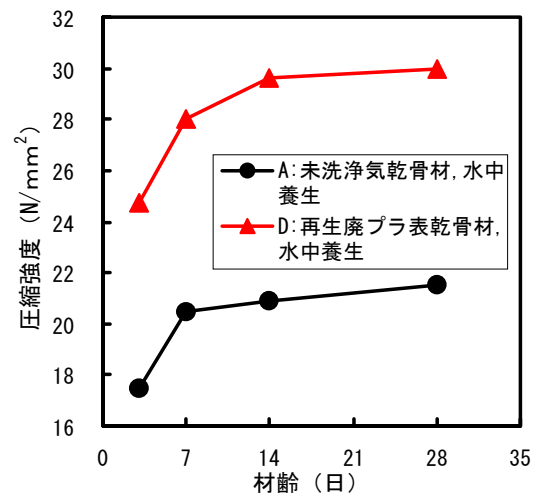
図－4に、20℃水中養生での材齢3, 7, 14, 28日での再生廃プラスチック製粗骨材を用いたコンクリート（シリーズD）の圧縮強度と、比較のため、4.で得た同一配合のシリーズAの圧縮強度を示す。図より、シリーズAと比較し、圧縮強度が大きいことがわかるが、これは、廃プラスチックの容積率が低いことと、再生廃プラスチック製骨材に付着しているモルタルは付着が良い部分のみが残存している影響で、廃プラスチック製骨材よりも再生廃プラスチック製骨材の方がモルタル部との付着がコンクリート強度へ寄与しているためと考えられる。以上の結果から、再生廃プラスチック製粗骨材もコンクリート用骨材として有効であると考えられる。

なお、圧縮破壊の形態は、4.2で示した廃プラスチック製粗骨材を用いたコンクリートと同様の、普通コンクリートと異なる挙動を示した。

#### 6. まとめ

本研究から、以下のことがわかった。

- (1) 当該廃プラスチック製粗骨材は、105℃に加熱しても問題なく、また絶乾・気乾状態に関わらず24時間吸水でほぼ一定の吸水状態となることから、吸水率・密度測定に際し、既定のJIS A 1135, JIS A 1110のどちらに従っても良い。
- (2) 当該廃プラスチック製粗骨材は、練混ぜ時の洗浄の有無、気乾・表乾状態の違いがコンクリートのフレッシュ時の性状・圧縮強度へ影響を与えず、管理が容易な材料である。
- (3) 再生廃プラスチック製粗骨材もコンクリート用骨材として有効である。しかしながら、コ



図－4 再生廃プラスチック製粗骨材を用いたコンクリートの圧縮強度

ンクリートの軽量化の観点からは、モルタル除去等に工夫が必要である。

#### 謝辞

本研究で用いた廃プラスチック塊を提供して頂いた（株）丹秀工務店、各種混和剤を提供して頂いた太平洋セメント（株）小島丈治氏に対し、心より感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 小出英夫, 外門正直, 佐々木徹：廃プラスチック製骨材を用いた軽量骨材コンクリートに関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.2, pp.295-300, 2000.6
- 2) 小出英夫, 外門正直, 佐々木徹：廃プラスチック製骨材を使用した軽量コンクリートの諸特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.1, pp.349-354, 2001.7
- 3) 小出英夫, 佐々木徹, 外門正直：廃プラスチック製粗骨材を用いた軽量コンクリートの諸特性, 土木学会第57回年次学術講演会概要集, V-416, pp.831-832, 2002.9
- 4) 太平洋セメント（株）：廃プラスチックを原料とした軽量骨材製造, 廃棄物等用途開発・拡大実施事業報告書, 平成13年度通商産業省委託事業, (財)クリーン・ジャパン・センター, pp.C1-C22, 2002.3
- 5) 田村雅紀, 野口貴文, 橘高義典：骨材回収型リサイクル指向コンクリートの基礎的物性, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.1353-1358, 2002.6
- 6) 長瀧重義ほか：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, 平成8～12年度日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業研究成果報告書, pp.234-235, 2001.4