

# 超臨界水処理による再生アスファルト舗装用骨材を用いた コンクリートの強度・耐久性

日大生産工 (PD) ○山本佳城 日大生産工 湯浅 昇  
日大生産工 松井 勇 日大生産工 秋葉正一

## 1 はじめに

アスファルト舗装発生材のリサイクルでは、バインダーであるアスファルトの劣化に起因するリサイクル材のひび割れ発生や疲労抵抗性、耐久性の低下等の課題から、その利用範囲が限定されている状況にある。本研究は、無害かつ反応溶媒として高い分解性能を有する超臨界水（臨界温度：374℃、臨界圧力：22.1MPa）を利用して、アスファルト混合物のバインダー除去技術<sup>1), 2)</sup> およびこれにより再生した骨材の有効利用方法について検討するものである。

アスファルト発生材のアスファルト舗装材料としてのリサイクルに関しては、これまでに多くの研究や適用事例が報告されているものの、アスファルト発生材のセメントコンクリートへの適用<sup>3)</sup> やアスファルト混合物がセメントコンクリートに混入された場合の影響<sup>4)</sup> に関する検討は少ない。そこで、著者らはこれまでに、超臨界水処理によりアスファルト舗装発生材から分離・再生した骨材のセメントコンクリート用骨材としての適用性に関する基礎検討として、骨材へアスファルトの付着程度がセメントモルタルの諸物性に及ぼす影響についての実験を行い、アスファルト付着率が0.55wt%以下であれば原骨材を用いた場合のモルタルと同程度の強度、乾燥収縮性状が得られることを示している<sup>5)</sup>。本報では、超臨界水処理により再生したアスファルト舗装用骨材を実際のセメントコンクリート用骨材として適用し、その強度・耐久性に及ぼす影響について検討する。

## 2 実験概要

### 2.1 超臨界水処理による骨材の再生

#### (1) アスファルト混合物

再生骨材の作製に用いたアスファルト混合物の使用材料を表1に示す。骨材の配合は、質量比で碎石59%、砕砂25.5%、洗砂10%および石粉5.5%とした。また、アスファルト量は一般的な密粒度アスファルト混合物の適用範囲である5.3%とした。

#### (2) 超臨界水処理装置および処理方法

超臨界水処理には、SUS316L製の反応容器（内径φ60×280mm、容積850cm<sup>3</sup>）と容器の加熱に、図1に示した攪拌機付の硝石槽（槽内寸法W200×D200×H450mm）を使用した。処理温度は400℃とし、処理時間は、容器内の温度が所定の温度に到達した後の5分間とした。

表1 アスファルト混合物の使用材料

|        |                                                         |
|--------|---------------------------------------------------------|
| アスファルト | ストレートアスファルト 60-80                                       |
| 粗骨材    | 栃木県産硬質砂岩碎石<br>(絶乾密度 2.62g/cm <sup>3</sup> 、最大寸法 13.2mm) |
| 細骨材    | 栃木県産硬質砂岩砕砂(絶乾密度 2.67g/cm <sup>3</sup> )                 |
|        | 茨城県産洗砂(絶乾密度 2.71g/cm <sup>3</sup> )                     |
|        | 石灰石微粉末(粒径 0.075mm 以下)                                   |

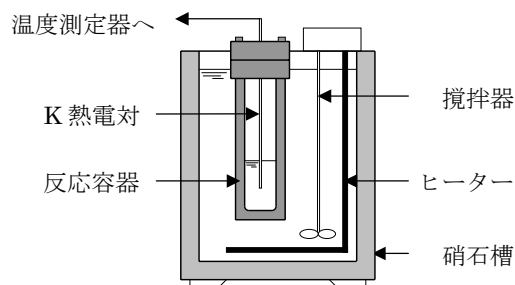


図1 超臨界水処理装置の概要

A Study on Application of Supercritical Water Treatment to Segregated Recovery of  
Asphalt Pavement Intended for Use as Aggregates in Cement Concrete

Keiki YAMAMOTO, Noboru YUASA, Isamu MATSUI and Shoichi AKIBA,

処理後は、分離したアスファルトを溶媒から除去し、骨材を炉乾燥(105℃)させた。

### (3) 再生骨材の物性

超臨界水処理後に乾燥させた再生骨材を5mmでふるい分けし、留まった骨材を粗骨材とした。一方、5mmのふるいを通した骨材については、0.15mm未満を除去し、JIS A 5005 (砕砂)の粒度範囲の下限を下回った2.5～1.2mmの骨材をJIS範囲内に調整して、これを細骨材とした。なお、前述2.1(1)でアスファルト混合物の作製に用いた骨材(以下、原骨材とする)も同様に粒度調整を行った。これらの骨材の物性を表2に示した。なお、表中のアスファルト残存率は、ソックスレー抽出試験(道路舗装用便覧)によるものである。

## 2.2 再生骨材コンクリートの物性実験

### (1) コンクリートの調合およびフレッシュ性状

セメントには普通ポルトランドセメント(3.16g/cm<sup>3</sup>)、骨材には表2に示した原骨材および再生骨材を使用した。また、空気量の調整には、AE減水剤(アレキルエーテル系)を使用し、W/Cごとに各骨材で同量とした。

コンクリートの調合表およびフレッシュ性状を表3に示す。いずれのW/Cにおいても、再生骨材を用いた場合では、原骨材を用いた場合よりもスランプが増加する傾向がみられた。これは、写真1にみられるように、再生骨材の表面が原骨材に比較して滑らかであるため、コンクリートの流動性が改善されたものだと考えられる。

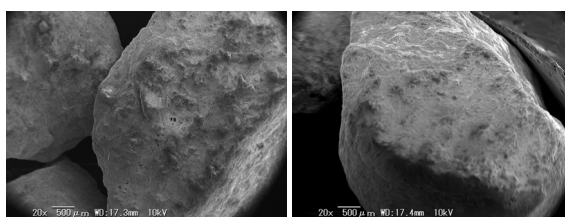
作製したコンクリートは材齢1日後に脱型し、その後、水中養生(20℃)を行なった。

### (2) 試験項目および試験方法

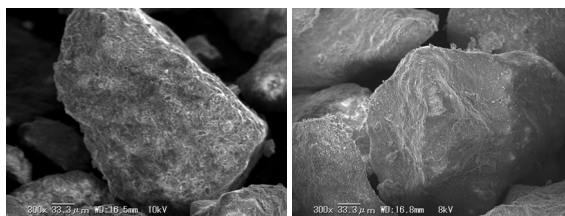
硬化コンクリートの試験項目および試験方法を表4に示す。圧縮強度については、材齢28日において温度を20、40および60℃に変化させた試験を行い、再生骨材に残存したアスファルトの軟化が強度に及ぼす影響について検討した。本実験では、圧縮試験の直前に、所定の温度に調整した水中にコンクリート供試体を浸漬することにより温度を変化させた。また、供試体中心に設置した熱電対により温度を管理し、所定の温度に到達した後、水中より取り出して直ちに圧縮試験を行った。

表2 骨材の物性

| 試験項目                        | 粗骨材  |      | 細骨材  |      |
|-----------------------------|------|------|------|------|
|                             | 原骨材  | 再生骨材 | 原骨材  | 再生骨材 |
| アスファルト残存率 (wt%)             | -    | 0.09 | -    | 0.72 |
| 粗粒率 (%)                     | 6.31 | 6.31 | 3.19 | 3.07 |
| 単位容積質量 (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.58 | 1.56 | 1.69 | 1.65 |
| 実積率 (%)                     | 60.2 | 60.1 | 65.2 | 67.3 |
| 表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )   | 2.64 | 2.52 | 2.63 | 2.52 |
| 絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )   | 2.62 | 2.59 | 2.59 | 2.46 |
| 吸水率 (%)                     | 0.81 | 1.11 | 1.31 | 2.44 |



(a)粗骨材(左:原骨材、右:再生骨材)[— 500 μm]



(b)細骨材(左:原骨材、右:再生骨材)[— 33.3 μm]

写真1 アスファルトの除去状況

表3 コンクリートの調合およびフレッシュ性状

| 骨材の種類              | W/C | sa   | 単位水量<br>kg/m <sup>3</sup> | 絶対容積<br>l/m <sup>3</sup> |     |     | 粗骨材容積<br>m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> | フレッシュ性状    |          |
|--------------------|-----|------|---------------------------|--------------------------|-----|-----|-----------------------------------------|------------|----------|
|                    |     |      |                           | セメント                     | 細骨材 | 粗骨材 |                                         | スランプ<br>cm | 空気量<br>% |
| 原骨材 <sup>*1</sup>  | 60  | 51.3 | 185                       | 97                       | 345 | 328 | 0.54                                    | 16.2       | 5.2      |
| 再生骨材 <sup>*1</sup> |     |      |                           |                          |     |     |                                         | 19.5       | 5.1      |
| 原骨材 <sup>*2</sup>  | 40  | 43.1 | 176                       | 136                      | 276 | 364 | 0.60                                    | 20.2       | 4.5      |
| 再生骨材 <sup>*2</sup> |     |      |                           |                          |     |     |                                         | 23.5       | 6.4      |

\*1 AE 減水剤(リグニンスルホン酸化合物、C×0.3%)を使用

\*2 高性能 AE 減水剤(ポリカルボン酸エーテル系化合物、C×1.0%)を使用

表4 試験項目および試験方法

| 試験項目  | 供試体形状         | 試験方法                    |
|-------|---------------|-------------------------|
| 圧縮強度  | 50 φ×100mm    | JIS A 1108              |
| 引張強度  |               | JIS A 1113              |
| 乾燥収縮  | 40×40×160mm   | 材齢 7 日から 20℃、60%R.H.で乾燥 |
| 凍結融解  |               | JIS A 1148 (A 法)        |
| 中性化促進 | 100×100×200mm | JIS A 1153              |

### 3 試験結果および考察

#### 3.1 強度性状

図2に圧縮強度、図3には材齢28日における引張強度の試験結果をそれぞれ示す。圧縮強度では、いずれの水セメント比、材齢においても、原骨材および再生骨材のコンクリート強度は概ね同程度であることがわかる。また、引張強度については、水セメント比60%の場合、再生骨材コンクリートの強度に若干の低下がみられたものの、水セメント比40%では同等かわずかに大きな値を示しており、明確な強度低下の傾向は認められない。

再生骨材に残存したアスファルトの温度上昇による軟化がコンクリート圧縮強度に及ぼす影響を図4、図5に示す。いずれの水セメント比においても、20～60℃の温度上昇に伴ってコンクリートの圧縮強度は徐々に減少したが、これは、モルタルと粗骨材との熱膨張係数の相違によって生じる自己応力による内部構造の弛緩<sup>6)</sup>が影響した可能性が考えられる。しかしながら、図5に示したように、各温度において原骨材コンクリートに対する圧縮強度比でまとめると、いずれの温度においても再生骨材コンクリートとの差は小さく、骨材に残存したアスファルトの軟化による強度への影響はみられない。

#### 3.2 乾燥収縮性状

図6および図7は、乾燥開始から63日までの長さ変化率および質量減少率を示したものである。水セメント比40%の場合、現時点では、原骨材および再生骨材コンクリートは同様の乾燥収縮性状を示している。一方、水セメント比60%では、質量減少率および長さ変化率は再生骨材の方が大きくなったが、これは、再生骨材の吸水率の増加に起因していると考えられる。

#### 3.3 凍結融解抵抗性

図8、図9は、100サイクルまでの凍結融解試験結果を示したものである。質量減少率では、水セメント比60%の場合に、原骨材に比較して再生骨材コンクリートの方が大きく、サイクル数に伴ってその差は増加している。これらの試験体表面は表層のペーストのみが剥離している状態であり、原骨材と再生骨材

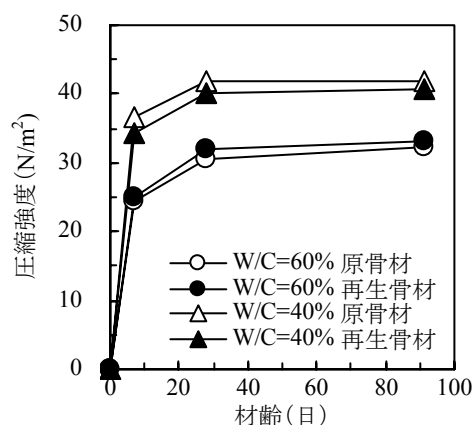


図2 圧縮強度

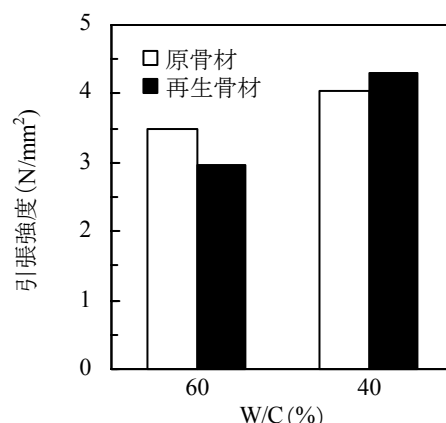


図3 引張強度 (材齢28日)

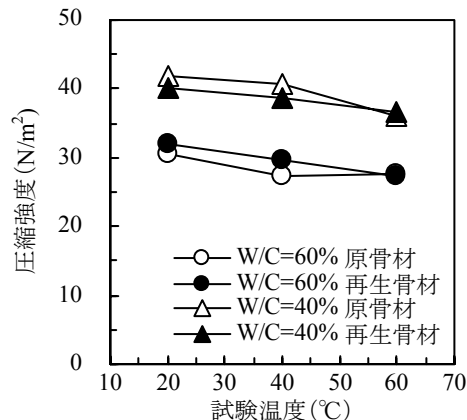


図4 温度と圧縮強度の関係

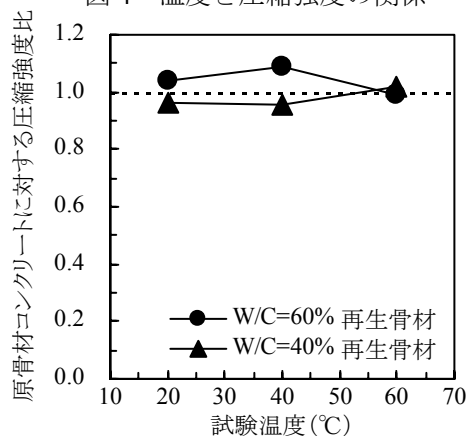


図5 温度別の圧縮強度比

コンクリートとでは明確な差は見られなかった。100 サイクルの時点では、いずれの水セメント比、骨材においても、相対動弾性係数の低下は認められない。

### 3.4 中性化抵抗性

促進4週目の時点では、水セメント比60%の場合、原骨材および再生骨材コンクリートの中性化深さはそれぞれ9.1および9.2mmで同程度、水セメント比40%の場合では、いずれも0mmである。

## 4 まとめ

- (1) 原骨材に比較して、再生骨材コンクリートのスランプは増加する傾向にある。
- (2) 再生骨材コンクリートの圧縮強度は原骨材と同程度であり、温度上昇によるアスファルトの軟化の影響は認められない。
- (3) 乾燥開始から63日までは、水セメント比60%の場合に再生骨材コンクリートの質量減少率および長さ変化率が増加した。
- (4) 凍結融解100サイクルまでは、水セメント比60%の場合、再生骨材コンクリートの質量減少率が増加したが、相対動弾性係数の低下は認められない。

### 参考文献

- 1) 長尾重夫ほか：超臨界技術を用いた超重質油改質技術の開発，平成15年度産業公害防止技術開発事業報告会，2003
- 2) Kano.Y, Akiba.S, Kuriyagawa.Y and Kawai.T : Removal of Binder from Asphalt Mixture Using High Temperature and High Pressure Water, J. Jpn. Petrol. Inst., 48, pp.358-364, 2005
- 3) 牧尾誠，久保善司，谷口克也，不破大仁：フライアッシュを用いたセメント安定処理による道路舗装材料のリサイクリング，土木学会年次学術講演概要集第5部，56巻，pp.128-129, 2001
- 4) 加藤俊二，河野広隆：アスファルト混合物の混入が再生コンクリートの物性に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18, No.1, pp.1053-1059, 1996
- 5) 山本佳城，湯浅昇，松井勇，秋葉正一：超臨界水処理によるアスファルト舗装用骨材のリサイクルに関する研究，コンクリート工学年次論文集第28巻1号，pp.1547-1552, 2006
- 6) 田澤栄一，南和考，渡辺恭史：高温・低温の影響を受けるコンクリートの複合特性，セメント技術年報41，pp.311～314, 1987

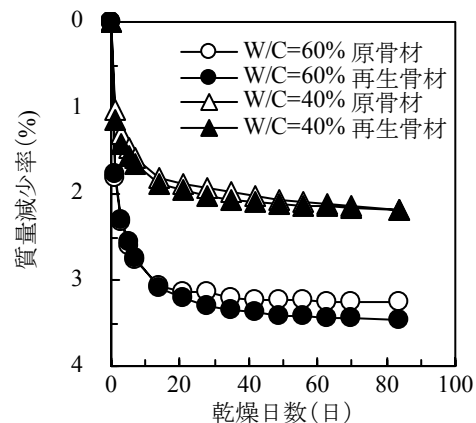


図6 乾燥時の質量減少率

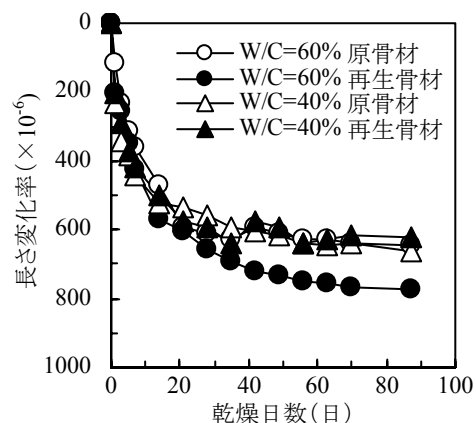


図7 乾燥時の長さ変化

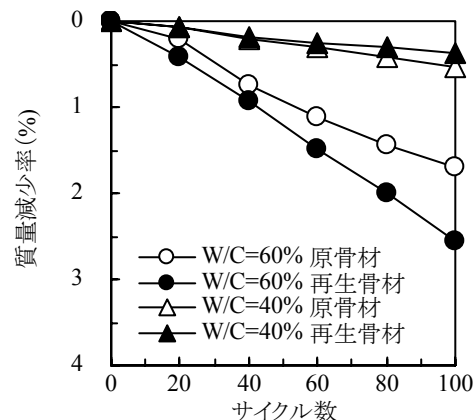


図8 凍結融解時の質量減少率

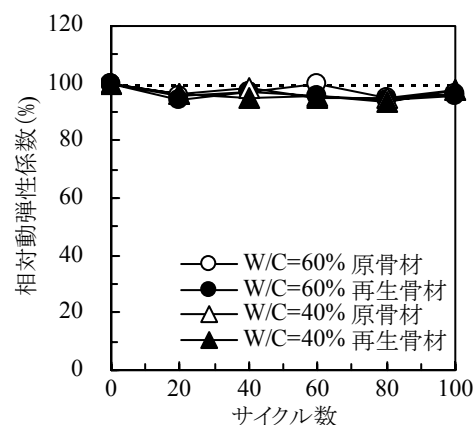


図9 相対動弾性係数