

各種粗骨材を用いた舗装コンクリートの材料分離抵抗性に関する検討

土木研究所 正会員 ○加藤 祐哉、森濱 和正、古賀 裕久、勝畑 敏幸

1. はじめに

コンクリート舗装は耐久性が高く、普及促進に向けて材料面や施工面での自由度拡大が重要である。舗装コンクリートはスランプ 2.5cm が一般的だが、施工条件などによりスランプがより大きなコンクリートも用いられる。また、粗骨材にスラグ骨材を用いる場合、電気炉酸化スラグのように密度の大きい骨材もある。

筆者等は、東京農業大学、セメント協会、太平洋セメント、日本道路と共同で種々の粗骨材や配合の舗装コンクリートへの適用性を検討している。本報告では、スランプの大きな舗装コンクリートや密度の大きな粗骨材の適用も想定し、施工性に影響を及ぼす材料分離抵抗性について検討を行った結果を報告する。

2. 粗骨材の品質

本検討で用いた骨材の種類と品質を表 1 に示す。電気炉酸化スラグ (D20) の密度は他のものと比べて  $1\text{g}/\text{cm}^3$  程度大きく、一般的なフレッシュコンクリートの密度 ( $2.3\text{g}/\text{cm}^3$  程度) からの乖離が大きかった。

3. 材料分離抵抗性の検討

D20 のように密度が大きい粗骨材を舗装コンクリートに適用した場合、特にスランプが大きい場合は粗骨材の沈降による材料分離が生じやすいと考えられる。このような粗骨材の利用を想定し、材料分離抵抗性を検討した。また、材料分離が生じやすくなるのは、流動性が大きく変形しやすい場合と振動締固め時間が長い場合などが考えられる。これらの要因を検討するために、単位粗骨材かさ容積 (以下、かさ容積) を 4 水準、かさ容積 0.72 の時の目標スランプ (以下、目標 SL) を 3 水準、締固め時間を 3 水準変化させたコンクリートを用いて図 1 に示す手順で供試体作製を行い、切断面で粗骨材の分布状況を確認することで材料分離抵抗性を評価した。コンクリートの配合条件を表 2 に、締固め時間を表 3 に示す。ここで、棒状パイプを用いた振動締固めを行った際、曲げ供試体の適切な締固めに必要な時間 (気泡がほぼ出なくなる時間) を締固め時間 1 (斜体) と表現し、その約 2、3 倍の時間を締固め時間 2、3 とした。

4. 検討結果

粗骨材分布状況の例として、供試体の切断面写真を表 4 に示す。(a) は、全体に粗骨材が分布し、打設面付近まで粗骨材が確認できるため、分離しなかったと評価した。(c) は、粗骨材が沈降して打設面付近に粗

表 1 使用した骨材の物性

| 骨材の種類       |          |     | 粒度<br>範囲 | 表乾<br>密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 絶乾<br>密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 実積率<br>(%) |
|-------------|----------|-----|----------|----------------------------------|----------------------------------|------------|
|             |          | 記号  |          |                                  |                                  |            |
| 粗<br>骨<br>材 | 硬質砂岩碎石   | A20 | 2005     | 2.67                             | 2.66                             | 60.5       |
|             |          | A40 | 4005     | 2.68                             | 2.67                             | 61.6       |
|             | 石灰石碎石    | B20 | 2005     | 2.70                             | 2.69                             | 59.1       |
|             | 高炉スラグ    | C20 | 2005     | 2.66                             | 2.58                             | 58.5       |
|             | 電気炉酸化スラグ | D20 | 2005     | 3.72                             | 3.69                             | 56.8       |
| 細骨材         |          |     |          | 2.56                             | 2.52                             | 66.9       |

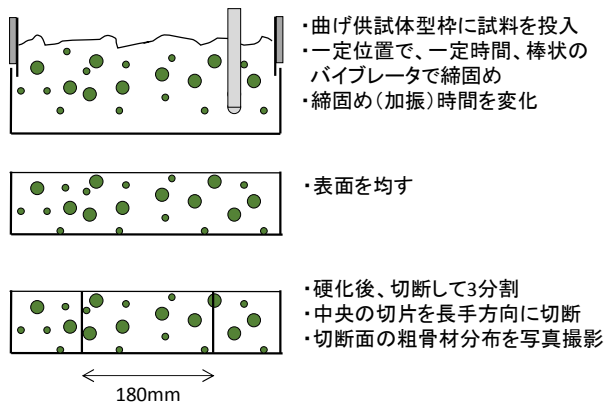


図 1 粗骨材分離試験の手順

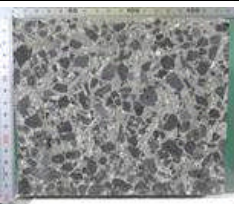
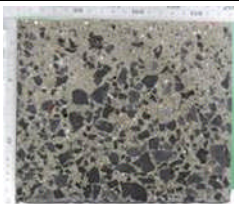
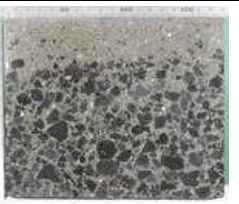
表 2 コンクリートの配合条件

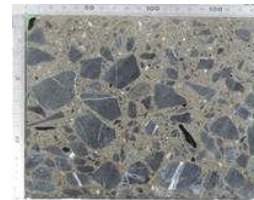
|       |                           |
|-------|---------------------------|
| W/C   | 45%                       |
| かさ容積  | 0.62、0.67、0.72、0.76       |
| 目標SL  | 2.5cm、6.5cm、10.5cm        |
| 単位水量  | かさ容積0.72の時に目標スランプとなるように設定 |
| 目標空気量 | 4.5±1%                    |

表 3 締固め時間

| 目標SL(cm)  | 締固め時間(秒) |    |    |
|-----------|----------|----|----|
| 2.5       | 10       | 20 | 30 |
| 6.5       | 8        | 15 | 30 |
| 10.5      | 5        | 10 | 20 |
| 締固め時間の呼び値 | 1        | 2  | 3  |

表 4 切断面の粗骨材分布状況と分離の判定例 (D20)

| ○:分離しなかった                                                                         | △:やや分離した                                                                          | ×:分離した                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
| (a) 粗骨材D20、実測SL2.4cm、かさ容積0.72、締固め時間1                                              | (b) 粗骨材D20、実測SL1.7cm、かさ容積0.62、締固め時間1                                              | (c) 粗骨材D20、実測SL2.4cm、かさ容積0.72、締固め時間3                                               |



粗骨材A40、実測SL5.6cm、かさ容積0.67、締固め時間2

写真 1 切断面の粗骨材分布状況 (A40)

骨材がほとんど確認できなかったため、分離したと評価した。(b)のように、打設面付近は粗骨材が少ないまたは粒径の小さなもののみが確認できるものについては、やや分離したと評価した。

分離状況の一覧を表 5 に示す。締固め時間 1 では、D20 を除く粗骨材の場合は、材料分離はほぼ生じなかったが、密度の大きな D20 の場合は実測 SL4.7cm 以下で材料分離が生じず、それより実測 SL が大きくなると材料分離が生じやすかった。

締固め時間 2 では、D20 の場合は材料分離が生じた。最大寸法の大きな A40 の場合は実測

SL2.5cm 程度以下で材料分離がほぼ生じにくい、それより実測 SL が大きくなると材料分離が生じやすかった。実測 SL5.6cm、かさ容積 0.67 の場合の粗骨材分布(写真 1)を見ると、粒径が大きく重い骨材はほぼ沈降しており、最大寸法の大きな粗骨材を利用する際も留意が必要と考えられる。A20 と B20 の場合は実測 SL6cm 程度以下、C20 の場合は実測 SL10cm 程度以下で材料分離がほぼ生じず、材料分離抵抗性は比較的高かった。

締固め時間 3 では、C20 の場合のみ実測 SL2.5cm 程度以下で材料分離が生じなかったが、ほとんどの粗骨材、配合で材料分離が生じた。

かさ容積を増加させると、コンクリート中で粗骨材の占める割合が増えるので、粗骨材が沈降する空間が制約され、粗骨材の分離抵抗性が増加すると予想したが、本検討では逆に分離しやすい傾向を示す結果になった。これは、本検討の実験ケースでは、かさ容積の大きい配合ほどスランプも大きい傾向があったためと考えられる。かさ容積と分離抵抗性の関係は、スランプを固定してかさ容積を変化させた場合の検討を別途行う必要があると考えられ、今後の課題である。

## 5. まとめ

本研究の結果、D20 (電気炉酸化スラグ) のような密度の大きな粗骨材や A40 のような最大寸法の大きな粗骨材を使用する場合は、粗骨材の沈降による材料分離の懸念があると考えられる。このような場合、施工時に材料分離を生じているかを確認することは困難なため、事前に本検討で示したような粗骨材の材料分離試験を行い、配合設計時にかさ容積、スランプの制限などの検討を行うことが必要と考えられる。

表 5 粗骨材分離試験結果

| 凡例： ○：分離しなかった △：やや分離した ×：分離した |      |      |       |   |   |      |       |   |   |      |       |   |   |      |       |   |   |   |  |  |
|-------------------------------|------|------|-------|---|---|------|-------|---|---|------|-------|---|---|------|-------|---|---|---|--|--|
| かさ容積                          |      | 0.62 |       |   |   | 0.67 |       |   |   | 0.72 |       |   |   | 0.76 |       |   |   |   |  |  |
|                               |      | 実測   | 締固め時間 |   |   | 実測   | 締固め時間 |   |   | 実測   | 締固め時間 |   |   | 実測   | 締固め時間 |   |   |   |  |  |
|                               |      | SL   | 1     | 2 | 3 | SL   | 1     | 2 | 3 | SL   | 1     | 2 | 3 | SL   | 1     | 2 | 3 |   |  |  |
| 使用骨材                          |      | A20  |       |   |   |      |       |   |   |      |       |   |   |      |       |   |   |   |  |  |
| 目標SL<br>(cm)                  | 2.5  | 1.8  | ○     | ○ | △ | 3.5  | ○     | ○ | △ | 2.7  | ○     | ○ | △ | 4.0  | ○     | ○ | ○ | △ |  |  |
|                               | 6.5  | 2.5  | ○     | ○ | △ | 3.7  | ○     | ○ | △ | 5.2  | ○     | ○ | △ | 4.4  | ○     | ○ | ○ | △ |  |  |
|                               | 10.5 | 6.2  | ○     | △ | × | 9.2  | ○     | △ | × | 9.1  | ○     | △ | × | 13.5 | ○     | △ | × | × |  |  |
| 使用骨材                          |      | A40  |       |   |   |      |       |   |   |      |       |   |   |      |       |   |   |   |  |  |
| 目標SL<br>(cm)                  | 2.5  | 0.8  | ○     | ○ | △ | 1.4  | ○     | ○ | △ | 3.3  | ○     | ○ | △ | 2.6  | ○     | △ | × | × |  |  |
|                               | 6.5  | 3.2  | ○     | △ | × | 5.6  | ○     | △ | × | 5.6  | ○     | △ | × | 7.4  | ○     | × | × | × |  |  |
|                               | 10.5 | 7.1  | ○     | × | × | 10.1 | ○     | × | × | 10.7 | ○     | × | × | 14.2 | △     | × | × | × |  |  |
| 使用骨材                          |      | B20  |       |   |   |      |       |   |   |      |       |   |   |      |       |   |   |   |  |  |
| 目標SL<br>(cm)                  | 2.5  | 0.6  | ○     | ○ | △ | 1.5  | ○     | ○ | △ | 2.4  | ○     | ○ | △ | 2.7  | ○     | △ | △ | △ |  |  |
|                               | 6.5  | 2.5  | ○     | ○ | △ | 5.3  | ○     | ○ | △ | 6.2  | ○     | ○ | × | 6.5  | ○     | △ | △ | △ |  |  |
|                               | 10.5 | 6.6  | ○     | △ | × | 9.6  | ○     | △ | × | 9.0  | ○     | ○ | × | 9.9  | ○     | △ | × | × |  |  |
| 使用骨材                          |      | C20  |       |   |   |      |       |   |   |      |       |   |   |      |       |   |   |   |  |  |
| 目標SL<br>(cm)                  | 2.5  | 1.7  | ○     | ○ | ○ | 2.4  | ○     | ○ | ○ | 2.7  | ○     | ○ | ○ | 2.7  | ○     | ○ | ○ | ○ |  |  |
|                               | 6.5  | 4.7  | ○     | ○ | ○ | 5.4  | ○     | ○ | △ | 5.2  | ○     | ○ | △ | 4.8  | ○     | ○ | △ | △ |  |  |
|                               | 10.5 | 10.6 | ○     | ○ | △ | 14.8 | ○     | ○ | △ | 10.2 | ○     | △ | × | 12.6 | △     | △ | × | × |  |  |
| 使用骨材                          |      | D20  |       |   |   |      |       |   |   |      |       |   |   |      |       |   |   |   |  |  |
| 目標SL<br>(cm)                  | 2.5  | 1.7  | ○     | △ | × | 2.6  | ○     | × | × | 2.4  | ○     | × | × | 3.5  | ○     | × | × | × |  |  |
|                               | 6.5  | 4.7  | ○     | × | × | 7.2  | △     | × | × | 6.6  | △     | × | × | 6.0  | △     | × | × | × |  |  |
|                               | 10.5 | 8.7  | △     | × | × | 12.6 | ×     | × | × | 9.7  | ×     | × | × | 11.1 | ×     | × | × | × |  |  |

※ 本検討ではかさ容積 0.72 の場合に目標 SL となるよう単位水量を設定したため、かさ容積が変化すると目標 SL との乖離が大きい場合もあった。