

道路用シールドセグメントに用いる重量コンクリートの配合に関する検討

太平洋セメント（株）
首都高速道路（株）

正会員 ○ 高橋 悠 内田 雅隆 石田 征男
正会員 石田 高啓 遠藤 啓一郎

1. はじめに

シールドトンネルは、主に地下水位以下で構造物の規模に比べて土被りが小さい場合に浮き上がり現象が発生する可能性があり、必要に応じて適切な対策を講じる必要がある。浮き上がり対策のひとつとして密度の高い重量コンクリートを用いた重量負荷が有効と考えられるが、例えば道路用シールドセグメントへ適用する場合、セグメントには耐火性能が求められ、耐火性能を確保するためにポリプロピレン繊維（以下、PP 繊維）の混入が必要と考えられる。

そこで、道路用シールドセグメントに重量コンクリートを適用することを目的に、PP 繊維を混入した重量コンクリートの配合について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

使用材料を表-1 に、重量骨材の物性を表-2 に、重量コンクリートの物性を表-3 に、重量コンクリートの配合を表-4 に示す。使用した重量骨材の表乾密度は3.6~3.8g/cm³程度であった。また、本検討ではひび割れ抵抗性を高めるために膨張材を、材料分離抵抗性を高めるために増粘剤を、耐火性を高めるためにPP 繊維を用いた。

重量コンクリートの物性は、単位容積質量が3000kg/m³以上とした。繊維混入後のスランブは作業

表-1 使用材料

| 材料 | 記号 | 概要 |
|-----------------|-----|---|
| 上水道水 | W | 上水道 |
| 普通ポルトランドセメント | C | B 密度：3.16g/cm ³ |
| 膨張材 | EX | |
| 増粘剤 | V | 密度：1.30 g/cm ³ |
| 重量細骨材 | EFS | 電気炉酸化スラグ骨材 |
| 重量粗骨材 | EFG | 電気炉酸化スラグ骨材 |
| 高性能減水剤 | SP | ポリカルボン酸 エーテル系 |
| 空気量調整剤 (消泡剤) | DF | ポリアルキレングリコ ール誘導体 |
| ポリプロピレン 繊維 | PP | 繊維長：12mm、 密度：0.91g/cm ³ アスペクト比：185 |

表-2 重量骨材の物性値

| 骨材種類 | 表乾密度 (g/cm ³) | 吸水率 (%) | 実積率 (%) | 粗粒率 | |
|----------|------------------------------|------------|------------|------|------|
| 重量 骨材 | EFS | 3.79 | 0.99 | 68.5 | 2.73 |
| | EFG | 3.62 | 0.66 | 58.0 | 7.56 |

表-3 重量コンクリートの物性

| 物性 | 目標値 | |
|--|----------------------|-------|
| 単位容積質量 (kg/m ³) | 3000 以上 | |
| スランブ | 試験によって設定 (崩れないこと) | |
| 空気量 | 2.0±1.0% | |
| 圧縮強度 ¹⁾ (N/mm ²) | 材齢 24 時間 | 15 以上 |
| | 材齢 28 日 | 48 以上 |

表-4 重量コンクリートの配合

| 配合 No. | W/B (%) | s/a (%) | 単位量(kg/m ³) | | | | | V (kg/m ³) | PP* (%) | 混和剤 (B×%) | |
|-----------|------------|------------|-------------------------|-----|----|------|------|---------------------------|------------|--------------|----|
| | | | W | C | EX | EFS | EFG | | | SP | DF |
| 1 | 35 | 55 | 175 | 480 | 20 | 1354 | 1103 | 選定 | 0.3 | 選定 | 選定 |
| 2 | | | 185 | 509 | 20 | 1308 | 1061 | | | | |
| 3 | | | 190 | 523 | 20 | 1289 | 1043 | | | | |
| 4 | | | 200 | 551 | 20 | 1251 | 1013 | | | | |

※：PP は外割で体積に対し添加した。

性を考慮して定めることとし、かつ崩れないこととした。圧縮強度の目標は参考文献¹⁾を参考に定めた。

2.2 試験項目

コンクリートのフレッシュ性状はスランブ（JIS A 1101）またはスランブフロー（JIS A 1150）、空気量（JIA A 1128）、単位容積質量（JIS A 1116）を測定した。硬化性状は、圧縮強度（JIS A 1108）を測定した。

3. 実験結果

3.1 フレッシュ性状試験結果

重量コンクリートのフレッシュ性状を表-6 に示す。一般に、繊維を混入することで流動性が著しく低下することが知られているため、本検討では繊維混入前のスランブフローを 65cm 程度まで増加させた。PP 繊維混入前のスランブフローを写真-1 に示す。増粘剤を添加しない場合は、顕著な材料分離が認めら

キーワード：重量コンクリート、電気炉酸化スラグ、ポリプロピレン繊維

連絡先：〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント(株) 中央研究所 TEL：043-498-3915

れたのに対し、増粘剤を 0.1 kg/m³ 添加することで、材料分離が抑制可能であることを確認した。この結果より、増粘剤を 0.1kg/m³ 混入することを標準とした。ただし、繊維混入後のスランプは 4.0cm であり、締め固め性や仕上げ性に懸念が残る結果となった。

作業性改善を目的として、単位水量および SP 量を調整し、コンクリートの性状を評価した。SP 量とスランプの関係を図-1 に示す。単位水量の増加に伴いスランプは大きくなったが、スランプ 15cm 以上ではスランプが崩れた。このことから、良好な作業性を確保するには、スランプは 6~15cm 程度とすることが望ましいと考えた。また、これらの結果より、単位水量を 190~200kg/m³ 程度とすることが適切と判断した。

3.2 骨材量と単位容積質量の関係

重量骨材の単位量と単位容積質量の関係を図-2 に示す。コンクリートの単位容積質量には重量骨材の

表-6 フレッシュ性状試験結果

| 配合 No | バッチ No | V (kg/m ³) | PP (%) | 混和剤 (B×%) | | Sl または Slf (cm) ※ | 空気量 (%) |
|-------|--------|------------------------|--------|-----------|-------|-------------------|---------|
| | | | | SP | DF | | |
| 1 | ① | 0 | — | 0.6 | 0.008 | Slf:65.5 | 2.9 |
| | | 0.1 | — | | | Slf : 52.5 | 2.2 |
| | | 0.1 | 0.3 | | | Sl : 4.0 | 2.6 |
| 2 | ① | 0.1 | 0.3 | 1.00 | 0.02 | Sl : 15.5(崩れ) | 2.2 |
| 3 | ① | 0.1 | 0.3 | 0.75 | 0.02 | Sl : 17.5(崩れ) | 2.2 |
| | ② | 0.1 | 0.3 | 0.60 | 0.02 | Sl : 6.0 | 2.1 |
| 4 | ① | 0.1 | 0.3 | 0.80 | 0.02 | Sl : 18.0(崩れ) | 2.2 |
| | ② | 0.1 | 0.3 | 0.55 | 0.02 | Sl : 9.5 | 2.3 |

※Sl : スランプ、Slf : スランプフロー

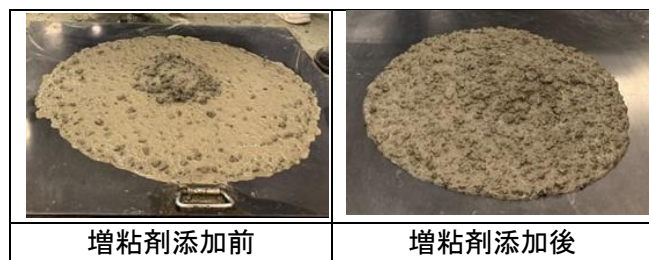


写真-1 繊維混入前のスランプフロー (配合 No. 1)

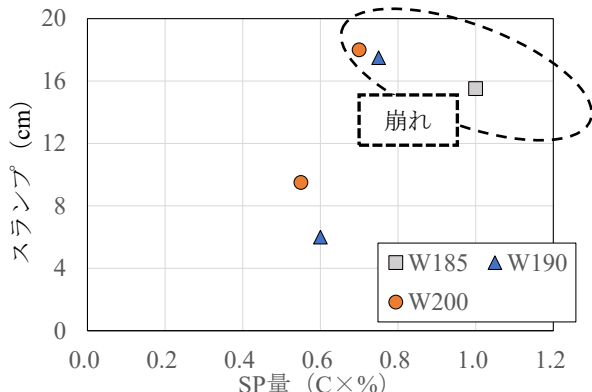


図-1 SP量とスランプの関係

単位量の影響が大きく、単位容積質量 3000kg/m³ を確保するためには重量骨材の単位量を 2200kg/m³ 以上にする必要があります。ただし、重量骨材の密度の変動や、乾燥による質量減少を考慮すると、骨材単位量の下限値を 2300kg/m³ 程度とし、単位水量の上限は本検討の結果から 190kg/m³ 程度が適切と判断した。

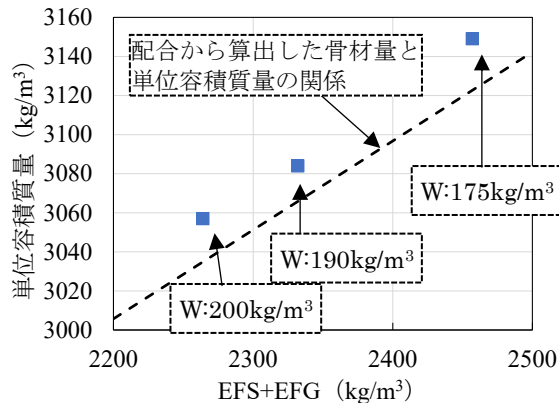


図-2 重量骨材の単位量と単位容積質量

3.3 圧縮強度試験結果

圧縮強度試験結果を表-7 に示す。圧縮強度は、単位水量 190 および 200kg/m³ の場合ともに、材齢 24 時間で 20N/mm² 以上、材齢 28 日で 78 N/mm² 程度を示し、目標値を満たすことを確認した。

表-7 圧縮強度試験結果

| 配合 No. | 圧縮強度 (N/mm ²) | |
|-------------------------------|---------------------------|---------|
| | 材齢 24 時間 | 材齢 28 日 |
| No.3(W:190kg/m ³) | 22.8 | 78.5 |
| No.4(W:200kg/m ³) | 24.1 | 79.3 |

4. まとめ

道路用シールドセグメントへの適用を目的に、PP 繊維を混入した重量コンクリートの配合について検討した。その結果、増粘剤の使用、スランプの範囲、単位水量および骨材の単位量を定めることで、セグメントの製作に適した良好な作業性、単位容積質量および力学特性を有する配合が得られることを確認した。

今後は、本配合での耐火性、耐久性の評価を行い、道路用シールドセグメントに適用する配合を最終決定する予定である。

謝辞

重量骨材は、(株)星野産商よりご提供頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 東京都交通局：土木工事標準仕様書，平成 30 年 4 月