

シールドセグメントへ適用した環境配慮コンクリートの性能評価および現地適用結果

大成建設（株）関西支店 正会員 ○木村 利秀
 大成建設（株）関西支店 正会員 小森 敏生
 大成建設（株）技術センター 正会員 松元 淳一
 大成建設（株）技術センター 正会員 堀口 賢一

1. はじめに

地球温暖化対策のひとつとして、コンクリートの分野では、産業副産物である高炉スラグ微粉末やフライアッシュを積極的に使用することで、二酸化炭素排出量の削減に寄与できる。著者らは、ポルトランドセメントの使用を止め、高炉スラグ微粉末などの副産物の使用を極限まで進めて、高炉スラグ微粉末を刺激材で硬化させる“環境配慮コンクリート”のセグメント適用性を評価した^{1), 2)}。

本稿では、そこで得られた長期強度発現性、耐久性、収縮特性のデータを取りまとめた結果に加え、国内で初めて構造体にセメントゼロの環境配慮コンクリートを現地適用した結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 配合および供試体概要

表-1 にコンクリートの配合と使用材料を示す。環境配慮コンクリートの仕様はポルトランドセメントの使用を止めたセメントゼロ型とした。製造時のコンクリートのスランプは $15 \pm 2.5 \text{ cm}$ を目標として配合を定めた。環境配慮コンクリートの二酸化炭素排出量は、表-2 の二酸化炭素排出原単位から算定したもので、コンクリート 1 m^3 あたり 83.2 kg/m^3 となり、同一強度レベルの普通ポルトランドセメントコンクリートの $1/4$ 程度であった。

養生は、(1) 前置き、(2) 前養生、(3) 本養生、および (4) 後養生の 4 つの工程から成る。ここでの養生方法は、前置き：製造から仕上げまでの 3~5 時間、前養生： 20°C -4 時間 (20°C 一定で 4 時間保持)、本養生： 50°C -3 時間 (最高温度 50°C 到達後 3 時間保持)、後養生：3 日水中、その後気中とした。

実験に用いた供試体は、圧縮強度試験用の $\Phi 10 \times 20 \text{ cm}$ の円柱供試体、中性化や乾燥収縮を評価用の $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ の角柱供試体とした。

表-1 環境配慮コンクリートの配合

水結合材比 W/B (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m^3)							
		水 W	セメント C	高炉 BS	消石灰 TK	膨張材 Ex	細骨材① S1	細骨材② S2	粗骨材 G
25	33.0	160	0	555	55	30	251	251	1045

2.2 各種試験方法

①長期圧縮強度発現性

材齢 1 年までの圧縮強度発現性を確認した。

②中性化進行特性

試験開始材齢を JIS に準拠した 56 日、実施工のスケジュールを想定した 1 年として促進中性化試験を実施した。

③乾燥収縮特性

JIS に準拠して材齢 182 日までの乾燥収縮試験を実施した。

表-2 コンクリートの使用材料

使用材料	産地・仕様	二酸化炭素排出原単位 ($\text{kg-CO}_2/\text{ton}$)
高炉スラグ微粉末	無水せっこう添加品、密度 2.89 g/cm^3	26.5
消石灰	密度 2.20 g/cm^3 、 $600 \mu\text{m}$ ふるい全通	844.5
膨張材	石灰系、密度 3.15 g/cm^3	768.6
細骨材①	兵庫県姫路産、密度 2.57 g/cm^3	3.7
細骨材②	橋本市須河産、密度 2.67 g/cm^3	3.7
粗骨材	兵庫県姫路産、密度 2.63 g/cm^3	2.9
水	上水道水	0.2

3. 実験結果および考察

図-1 に圧縮強度の経時変化を示す。ポルトランドセメントの使用を止めた環境配慮コンクリートでも、水結合材比を小さくすることで、所定材齢に通常のセメント配合と同様の圧縮強度を発現させることはでき、長期的にも強度低下を生じることはなく、かえって潜在水硬性の影響で強度増進する傾向が認められた。

キーワード 地球温暖化対策, 二酸化炭素排出量, 環境配慮コンクリート, シールドセグメント, セメントゼロ

連絡先 〒542-0081 大阪府大阪市中央区南船場 1-14-10 大成建設(株) 関西支店 TEL 06-6131-9626

図-2 には、試験開始材齢を56日開始および1年開始それぞれの促進中性化試験で得られた中性化速度係数を示す。

図-2 より、試験開始材齢が56日の場合、中性化速度係数は $18.7\text{mm}\sqrt{\text{年}}$ と大きい。ただし、建築学会の鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説³⁾を参考に試験で得られた

中性化速度係数を実環境相当に換算し、鉄筋腐食開始までの耐用年数を試算した。結果として、供用期間100年を超える115年という値を得た⁴⁾。一方で、実施工を想定し材齢1年後に試験を行った場合、中性化速度係数は $0.5\text{mm}\sqrt{\text{年}}$ と極めて小さくなった。これは、高炉スラグを大量に使用しているため、コンクリートの組織が密実になって劣化因子等の侵入を抑制していると考えられる。以上より、実態性能ではそれほど中性化深さが大きくはならないと考えられた。

図-3 に環境配慮コンクリートの乾燥収縮試験の結果を示す。試験はJISに準拠して行った。セメントゼロ型の環境配慮コンクリートは高炉スラグを大量に使用するため、乾燥収縮ひずみは大きいと予想された。しかし、膨張材を使用しているため、乾燥収縮は試験26週で 100×10^{-6} 程度であり小さくなる結果であった。

4. 現地適用

環境配慮コンクリートのセグメント製作性および構造性能を評価し、実際にシールドトンネル内のセグメントを設置した²⁾。

写真-1 に現地適用に先立ち実施した水平仮組試験状況を示す。この水平仮組試験はセグメント2リングを組み立て、リング間のずれがないことや、真円度の確認する試験である。この結果、リング間のずれや浮き等も認められず、所定の真円度を確保することができた。

写真-2および写真-3に環境配慮コンクリート製のシールドセグメントの現地適用状況を示す。現地への適用についても、通常の製品と同様の施工方法で設置可能であることを確認した。また、設置中の角欠け等も認められず、適切に設置することができた。

5. 結論

シールドトンネルの構造体であるセグメントに必要な性能評価として、セメントゼロ型の環境配慮コンクリートを使用した場合でも十分に有していることが示された。また、製作性や構造性能も併せて確認し、国内で初めて適用することができた。今後はセメントゼロの環境配慮コンクリート二次製品の更なる適用を進め、カーボンニュートラルへ貢献していく所存である。

【参考文献】1) 堀口賢一ほか：低炭素型コンクリートを使用したコンクリート二次製品の開発，コンクリート工学年次論文集，Vol.38，No.1，pp.213-218，2016.7 2) 松元淳一ほか：環境配慮コンクリートセグメントのシールドトンネルへの適用，令和3年度土木建設技術発表会 3) 建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説，pp.99，2016 4) 土木学会：コンクリート標準示方書 2012年版〔設計編〕：標準〕，pp.145，2012

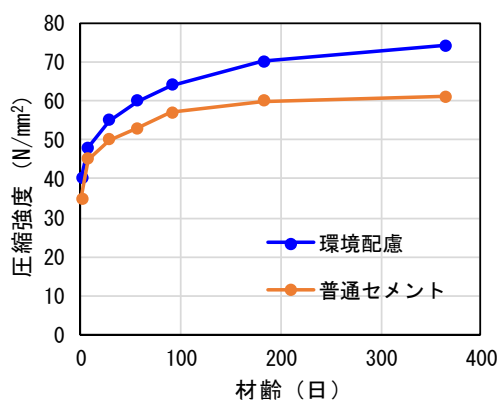


図-1 圧縮強度試験結果

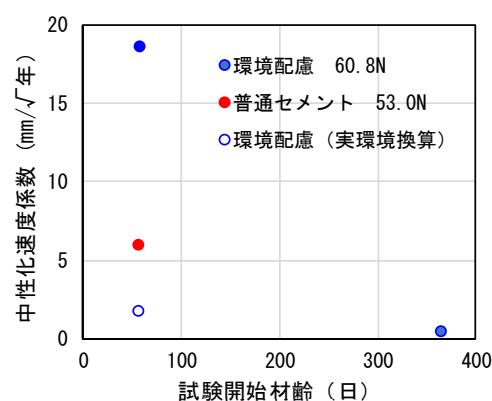


図-2 促進中性化試験結果

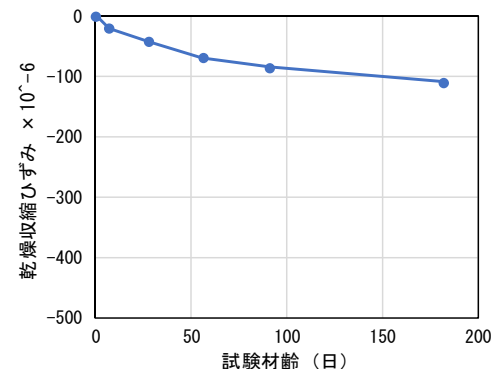


図-3 乾燥収縮試験結果

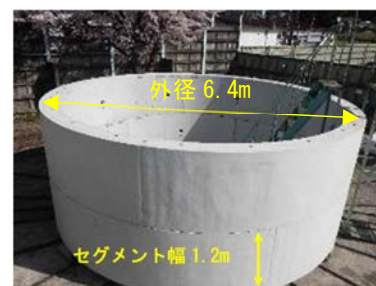


写真-1 水平仮組試験結果



写真-2 現地設置状況



写真-3 現地設置後状況