

## 環境配慮コンクリートセグメントの構造性能に関する実験的検討

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 直町 聡子  
 大成建設（株）技術センター 正会員 堀口 賢一 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 沖 慎一郎

### 1. はじめに

近年、地球温暖化対策のひとつとして、各方面において二酸化炭素排出量を抑制することが試みられている。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などの製造時の二酸化炭素排出原単位が、ポルトランドセメントのそれよりも小さいため、これらのコンクリート用混和材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。このような観点から、著者らは、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ポルトランドセメントの使用を止め、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”の二次製品として、シールドトンネル構造物に適用するセグメントの研究・開発を進めてきており、配合選定、製作性や耐久性は一部を除き、通常の普通コンクリートセグメントと同等以上であることを確認した<sup>1),2)</sup>。本研究では、実構造物への適用においてセグメントに要求される項目のうち、強度発現性や構造性能について実験により確認した。

### 2. 実験概要

#### 2.1. 配合および供試体概要

表-1、表-2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うち、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、目標とするスランプは  $15\pm 2.5\text{cm}$  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  $1\text{m}^3$  あたり  $77.3\sim 89.1\text{kg}/\text{m}^3$  となり、同一強度レベルの通常使用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： $20^\circ\text{C}$ -4時間（ $20^\circ\text{C}$ 一定で4時間保持）、本養生： $50^\circ\text{C}$ -3時間（最高温度  $50^\circ\text{C}$  に到達後3時間保持）、後養生：水中（標準養生水槽）3日、それ以降以降は気中（屋内  $20^\circ\text{C}$  恒温室）とし、管理材齢は28日とした。

本研究では、圧縮強度発現性と構造性能を確認するため、 $\Phi 10\times 20\text{cm}$  円柱供試体と模擬セグメント試験体を製作した。これは実際のシールド工事で使用されるセグメントと同じ形状・配筋の供試体を製作したものである。1リングの外径は  $6600\text{mm}$  であり、これを6分割した1ピース当たりのセグメントの幅、厚さは、それぞれ  $1200\text{mm}$ 、 $300\text{mm}$  である。

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 ( $\text{kg}\text{-CO}_2/\text{ton}$ )
高炉スラグ微粉末	無水せつこう添加品、密度 $2.89\text{g}/\text{cm}^3$	26.5
消石灰	密度 $2.20\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $600\mu\text{m}$ ふるい全通	844.5
膨張材	石灰系、密度 $3.15\text{g}/\text{cm}^3$	768.6
細骨材①	兵庫県姫路産、密度 $2.57\text{g}/\text{cm}^3$	3.7
細骨材②	橋本市須河産、密度 $2.67\text{g}/\text{cm}^3$	3.7
粗骨材	兵庫県姫路産、密度 $2.63\text{g}/\text{cm}^3$	2.9
水	上水道水	0.2

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 (%)	単体量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )							
		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

キーワード 地球温暖化対策、二酸化炭素排出量抑制、環境配慮コンクリート、セグメント、構造性能

連絡先 〒245-0065 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設株式会社技術センター TEL 045-814-7228

配筋としては、円周方向に SD345 の D19, D16 を上下二段とした。

## 2.2. 試験概要

### 1) 圧縮強度、静弾性係数

試験は JIS に準拠し、脱型時（練混ぜから 20 時間後）、材齢 28 日、56 日および 91 日に測定を行った。

### 2) 構造性能

構造性能評価として、セグメントの曲げ耐荷を確認する“単体曲げ試験”，継手部の曲げ耐荷を確認する“継手曲げ試験”，シールド掘進の反力に耐えうるかを確認する“ジャッキ推力試験”および運搬・移動の際に吊手部分が引抜かれないかを確認する“吊手金具引抜試験”を行った。

## 3. 試験結果および考察

### 1) 圧縮強度、静弾性係数

図-1 に圧縮強度および静弾性係数の経時変化を示す。圧縮強度について、脱型時強度は通常 15~20N/mm<sup>2</sup> 程度が必要とされているが、本実験の検討結果によれば必要強度を上回っており、また長期強度発現性も認められる傾向にあった。一方、静弾性係数は、通常の普通高強度コンクリートと同等程度以上であり、強度発現性は良好であることが改めて分かる結果であった。

### 2) 構造性能

#### ①単体曲げ試験

表-3 に単体曲げ試験結果を示す。また、同一の強度レベルの普通高強度コンクリート配合についても併せて示した。環境配慮コンクリートセグメントのひび割れ発生荷重、終局荷重はそれぞれ 140kN, 414kN であり、実際のシールド工事における設計荷重 118kN, 終局荷重 262.8kN を大幅に上回る曲げ耐荷性能が確認できた。また、通常の普通コンクリートに比べて、ひび割れ発生荷重は同程度、終局荷重は大きくなる結果であった。

#### ②継手曲げ試験

表-4 に継手曲げ試験結果を示す。環境配慮コンクリートセグメントのひび割れ発生荷重、終局荷重はそれぞれ 80kN, 181.4kN であり、実際のシールド工事における設計荷重 66.2kN, 終局荷重 123.7kN を大幅に上回る継手耐荷性能が確認できた。また、通常の普通コンクリートに比べて、ひび割れ発生荷重は小さくなったが、終局荷重は同程度であった。

#### ③ジャッキ推力試験

本実験における規格値は実際の現場と同じ径のシールドマシンのジャッキ推力により算出し、ここでは、2000kN を超えても損傷が認められないこととした。その結果、環境配慮コンクリートでも通常のコンクリートと同じく、規格値を超えてもコンクリートに損傷等は認められなかった。

#### ④吊手金具引抜試験

本実験における規格値は実際の現場の 1 リング重量の 1.5 倍以上で引抜きを行っても損傷がないこととした。その結果、環境配慮コンクリートでも通常のコンクリートと同じく、規格値を超えてもコンクリートに損傷等は認められなかった。①~④を受けて、セメントを使わない高強度の環境配慮コンクリートは、セグメントとして適用できるだけの構造的な性能は十分にあると評価できた。

【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を使用したセグメントの実用化検討，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレードシンポジウム論文報告集，Vol.18, No.131, 2018.10

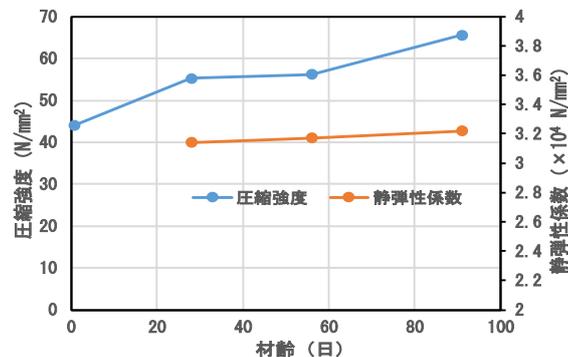


図-1 圧縮強度・静弾性係数の経時変化

表-3 単体曲げ試験結果

	規格値 (kN)	環境配慮 コンクリート (kN)	通常普通 コンクリート (kN)
ひび割れ 発生荷重	—	146.0	140.0
設計荷重	118.0	—	—
最終荷重	262.8	414.0	385.0

表-4 継手曲げ試験結果

	規格値 (kN)	環境配慮 コンクリート (kN)	通常普通 コンクリート (kN)
ひび割れ 発生荷重	—	80.0	105.0
設計荷重	66.2	—	—
最終荷重	123.7	181.4	185.0