

## トンネル内コンクリート構造物における中性化進行に関する一考察

東海旅客鉄道株式会社 正会員 ○鈴木 迪彦 相場 俊希  
正会員 毛塚 貴洋 久保淳一郎

## 1. はじめに

コンクリート構造物の中性化の進行程度を適切に把握することは、維持管理計画を策定するうえで非常に重要である。中性化に関する報告は幾多もあり、中性化の進行程度はコンクリート構造物の施工条件に左右されるのは当然のこととして、その構造物が置かれる環境条件、すなわち特に温度、湿度、水の影響を強く受けることが知られている<sup>1-3)</sup>。今回、同時期に同じ構造形式で建設された2つのトンネルにおいて中性化深さの測定を行い、各測定点の中性化速度係数を算出した。また、当時の示方配合を最新の示方書に当てはめ、現行の照査式から中性化速度係数を算出した。これら2つの中性化速度係数を比較して、環境面からの考察を行った。

## 2. 中性化深さ測定

## 2. 1 対象および測定方法

構造形式の同じ2つのトンネル（トンネルA、Bと呼ぶ）内の同一コンクリート構造物について、250m毎に中性化深さの測定を行った。トンネルAは全長約5.9kmで西端から東端に向かい標高差約250mの下り勾配、トンネルBは全長約3.9kmで西端から東端に向かい標高差約150m程度の上り勾配となっている。中性化の測定はNDIS3419「ドリル削孔粉を用いたコンクリート構造物の中性化試験方法」に準じて実施した。1箇所での測定は、お互いに30～50mm離れた3点の測定結果の平均値を中性化深さとした。測定値の最大値と最小値に6mm以上の差がある場合は更に2点増やし5点での測定とし、最大値と最小値を除いた3点の平均値を中性化深さとした。

## 2. 2 測定結果

中性化深さ  $y$  は中性化期間の平方根に比例する<sup>4)</sup>とされ、中性化速度係数  $b'$  を用いて次式で表現される。

$$y = b' \sqrt{t} \quad \dots(\text{式 1})$$

ここに、 $y$  : 中性化深さ (mm)、 $t$  : 中性化に対する耐用年数 (年) である。

参考文献<sup>4)</sup>に示されている照査式に、中性化深さの測定を行ったコンクリートの示方配合を当てはめ照査する。設計条件から求める中性化速度係数  $b$  は次式で表現される。

$$b = \gamma_{cb} \cdot \beta_e \cdot \gamma_c (-3.57 + 9.0W/B) \quad \dots(\text{式 2})$$

ここに、 $\gamma_{cb}$  : 予測の精度に関する安全係数として1.15、 $\beta_e$  : 環境作用の程度を表す係数として乾燥しやすい環境の場合の1.6、 $\gamma_c$  : コンクリートの材料係数として1.0である。

なお、示方配合に示されていた粗骨材最大寸法は25mm、使用セメントはBBであったため、示方配合上の単位水量  $W$  は  $175\text{kg/m}^3$  とし<sup>5)</sup>、単位体積あたりの有効結合材質量  $B$  は有効結合材のうち40%を高炉スラグ微粉末に置換したと仮定し、 $W/B$  (有効水結合材比：一般的に水セメント比と異なる) を0.66とした。

式1をもとに2.1で測定した結果から各測定点の中性化速度係数  $b'$  を、式2をもとに設計条件から中性化速度係数  $b$  を算出した。設計値と測定結果の中性化速度係数を比較するため、図-1に設計値と各測定点の中性化速度係数の比率 ( $b'/b$ ) を示す。これらの結果は、既出の文献で報告されているとおりの広範囲なばらつきがみられるほか、同時期に同仕様で建設された同一構造物にもかかわらずトンネルAでは西から東に向かうにつれ中性化深さが減少する傾向を示し、トンネルBでは逆の傾向となっている。

## 3. 中性化に影響を与える環境面に関する考察

$\beta_e$  は環境作用の安全係数として、降雨や日射などからもたらされる二酸化炭素の侵入に影響を及ぼすコンクリートの乾湿の程度を考慮して2種類の値が設定されている<sup>4)</sup>。このうち2.2に示す通り式2より算出した中性化速度係数  $b$  は、厳しい条件である「乾燥しやすい環境： $\beta_e=1.6$ 」を用いて算出している。トンネルAおよびトンネルBは同時期に同じ構造形式で建設されたことから、コンクリートの品質に大きな差はない

キーワード 中性化、実環境、湿度、安全係数、維持管理

連絡先 東海旅客鉄道株式会社 TEL. 03-6711-9555 FAX.03-6711-9704

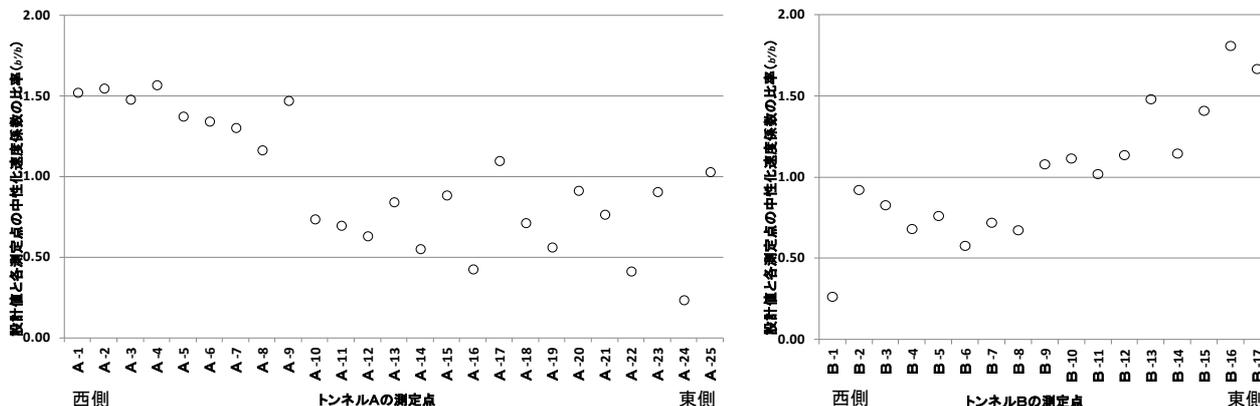


図-1 設計値と各測定点の中性化速度係数の比率 (b'/b)

え、中性化速度係数の大きさもほぼ均等であると考えていた。しかし同一構造物にもかかわらず、中性化が進行している箇所（特に図-1に示すトンネルA西側のA-1～7付近、トンネルB東側のB-15～17付近）の中性化速度係数  $b'$  は、設計条件から算出した中性化速度係数  $b$  と比べ 1.5 倍ほどの大きな値を示した。これらのばらつきが起こる理由として、中性化速度係数  $b'$  に影響を与える要因の一つに、場所ごとに  $\beta_e$  の想定を上回る環境要因があると考え現地の気温・湿度について調査を実施した。

表-1は、トンネルA、トンネルBの4地点において、年間の平均気温及び平均湿度を示したものである。なお湿度については、2016年の1年間を通じて10分ごとに測定した結果を、0~40%、40~60%、60~100%の各湿度帯になる合計期間の割合で評価した。平均気温については、各地点におけるその差は約3℃であり、中性化速度係数に影響を及ぼすような差異ではないと考えている<sup>6)</sup>。一方、平均湿度については、中性化速度係数が比較的小さな値となっているトンネルBの西側B-4では、湿度が40~60%となる期間の割合が11.7%と小さく、中性化速度係数が比較的大きいトンネルBの東側B-17では、湿度が40~60%となる期間の割合が30.0%と大きな値を示した。またトンネルAで中性化速度係数が比較的大きいA-1とA-7では、湿度が40~60%となる期間の割合が25.0%と23.2%とトンネルBと同様に大きな値を示した。参考文献<sup>7)</sup>において中性化の速度は、コンクリート内への二酸化炭素の侵入と中性化反応とが両方起きやすくなる湿度40~60%で最大になると記されている。これらの情報より、湿度に起因した水分が中性化速度係数  $b'$  に影響を与えていることが考えられる。

表-1 トンネルA、Bにおける湿度・温度の分布

トンネル名	直近測定点	平均気温 (°C)	平均湿度 (%)	年間で湿度◆~◆との状態になる期間の割合		
				0-40%	40-60%	60-100%
トンネルA	A-1	15.4	73.2	9.6%	25.0%	65.5%
	A-7	15.7	70.3	15.5%	23.2%	61.3%
トンネルB	B-4	12.9	79.9	2.4%	11.7%	85.9%
	B-17	15.7	69.3	6.7%	30.0%	63.3%

4. まとめ

同一トンネル構造物内のコンクリートの中性化深さの調査結果から中性化速度係数を算出したところ、既出の文献で報告されているとおりの広範囲なばらつきがみられた。しかし、既出の文献による報告は様々な構造物を調査した結果であり、降雨や日射などの影響を受けている構造物も含まれている。

一方、本稿の対象であるトンネル構造物は、降雨や日射などの影響を受ける環境にないため、中性化速度係数は湿度に起因した水分が影響していると考えている。よって今後の照査式における安全係数  $\beta_e$  は、降雨や日射の影響のみを考慮した2種類の値のみならず、湿度の影響を鑑みた安全係数を設けることも必要と考える。

参考文献

- 1) 石橋忠良、古谷時春、浜崎直行、鈴木博人、高架橋等からのコンクリート片剥落に関する調査研究、土木学会論文集、V56、pp125-134、2002.8
- 2) 松田芳範、上田洋、石田哲也、岸利治、実構造物調査に基づく中性化に与えるセメントおよび水分の影響、コンクリート工学年次論文集、V32、pp629-634、2010.7
- 3) 酒井正樹、神代泰道、小林利充、植松俊幸、RC造建築物の乾燥状態と中性化・鉄筋腐食の進行に関する考察、大林組技術研究所報、No.81、2017.
- 4) コンクリート標準示方書【設計編】、土木学会、pp146-148、2013.3
- 5) コンクリート標準示方書【施工編】、土木学会、pp82-83、2013.3
- 6) 岸孝一、西澤紀昭、他編、コンクリート構造物の耐久性シリーズ 中性化、技報堂出版、pp32-34、1986.4
- 7) コンクリート診断技術'16【基礎編】、日本コンクリート工学会、p31、2016.2