

沖縄自動車道 億首川橋に使用するコンクリートの耐久性について

オリエンタル白石(株) 福岡支店 正会員 工修 ○吉村 徹
 オリエンタル白石(株) 福岡支店 正会員 田中 正裕
 西日本高速道路(株) 九州支社 工修 福永 靖雄
 西日本高速道路(株) 九州支社 山戸 隆秀

1. はじめに

沖縄自動車道の億首川橋では、初期内在塩分により RC 中空床版橋部の劣化が進行しており、その抜本的な補修対策として、プレテンション方式連結中空床版橋への架替え工事を実施している。本工事では、設計耐用年数 100 年に対して予防保全を基本とした維持管理が行えるように、全てのプレキャスト部材および場所打ち部にセメントの 50 %を高炉スラグ微粉末 6000 に置換したコンクリートを使用することで耐久性の向上を図っている。これは、高炉スラグ微粉末を混入したコンクリートは、アルカリ骨材反応や塩化物イオンの浸透を大幅に抑制することが各種の研究で確認されているためである^{1), 2)}。さらに、本工事に使用するコンクリートに対しては、これらの抑制効果を確認するために、①カナダ法による促進膨張試験、および、②電気泳動による塩化物イオン実効拡散係数試験を実施した。適用したカナダ法促進膨張試験(図-1)は、カナダで規格化された測定手法であり、遅延膨張型のアルカリ骨材反応を推定する試験方法である。

本稿では、上述した 2 種類の品質確認試験(カナダ法促進膨張試験、塩化物イオン実効拡散係数試験)についてそれぞれ報告する。

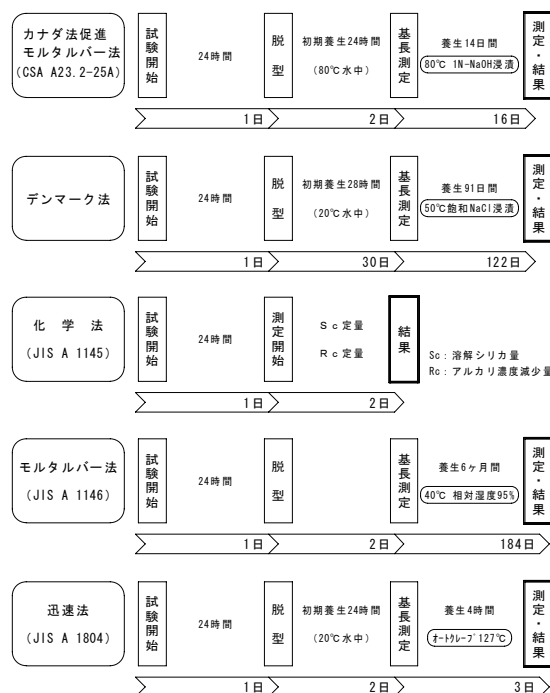


図-1 各種のアルカリ骨材反応性試験

2. コンクリートの配合

本工事で使用したコンクリートの配合を、表-1に示す。これらの配合の中、本橋の主構造部材である主桁および横梁のコンクリートに使用する材料および配合に対して、促進試験および電気泳動試験を実施した。

表-1 使用コンクリートの配合

部位	呼び強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	水結合材比 (%)	単位量 (kg/m ³)							
				水	セメント	スラグ	粗骨材	細骨材	膨張材	減水剤	A E 剤
主桁、横梁※	60	12.0	31.9	150	235	235	1094	778	—	4.465	0.061
連結部	40	18.0	38.9	158	193	193	808	961	20	2.233	—
地覆・壁高欄	36	12.0	42.3	155	173	173	975	837	20	1.830	—

※：工場製作のプレテンション方式中空桁およびポストテンション方式横梁

3. カナダ法による促進膨張試験

3. 1 細骨材の岩種構成試験

主桁および横梁に使用する粗骨材(砕石)および細骨材(砕砂)は、同一切羽より採掘された岩石である。こ

の細骨材に対して偏光顕微鏡を用いて定量した結果、岩種構成は緑色片岩 76%と砂泥質片岩 24%であり、砂泥質片岩中には粒径の小さい微晶質石英が僅かに確認された。表一2に、細骨材の岩種構成試験結果を示す。ここで、僅かに確認された微晶質石英は、遅延膨張性のアルカリシリカ反応を誘発する可能性があることから、カナダ法促進モルタルバー法試験ならびにコンクリートコア試料を用いたカナダ法に準じた促進膨張試験を実施して、潜在的反応性の確認を行った。

表一2 細骨材（砕砂）の岩種構成試験結果

岩種	岩相	体積%	
緑色片岩	緑色片岩（層状：緑泥石・緑閃石）	44	76
	緑色片岩（層状：モザイク状長石・緑泥石・緑閃石）	10	
	緑色岩（塊状：緑泥石・緑閃石）	8	
	緑色岩（塊状：ソーシュライト・長石）	7	
	緑色岩（塊状：粗いモザイク状長石）	7	
砂泥質片岩	砂泥質片岩（層状：黒雲母・レンズ状石英・長石）*	18	24
	砂質片岩（塊状：モザイク状石英）*	6	

*：一部に微晶質石英（潜在反応性）が含まれる

3. 2 カナダ法促進試験

(1) カナダ法促進モルタルバー法試験

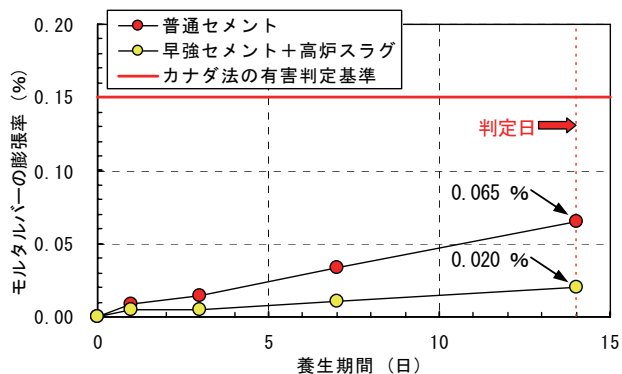
カナダ法促進モルタルバー試験では、標準試験用に普通セメント (Na₂Oeq 0.63 %) を、比較試験用に早強セメント (Na₂Oeq 0.49 %) と高炉スラグ微粉末 (Na₂Oeq 0.43 %) を 1 : 1 に混合したものを、Na₂Oeq が 0.9 % になるように NaOH を添加して供試体を作製した。この供試体を 80 °C 1 規定 NaOH 溶液に浸漬し、14 日後までの膨張率を測定した。写真一1に、モルタルバー試験の状況を示す。図一2に試験結果を示す。普通セメントを用いた供試体の 14 日後の膨張率は 0.065 % であり、カナダ法での有害判定基準値 0.15 % 以下となった。さらに、高炉スラグ微粉末を混入した供試体の 14 日後の膨張率は 0.020 % であり、普通セメントを用いた供試体に比べて膨張率は 1/3 以下になっており、本試験においてもアルカリ骨材反応の大幅な抑制効果が確認された。



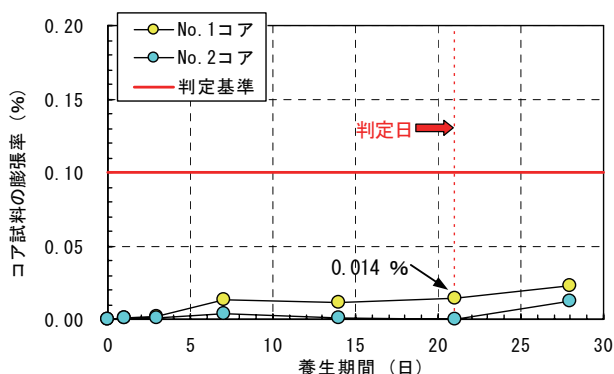
写真一1 モルタルバー法試験状況

(2) コンクリートコア試料を用いたカナダ法に準じた促進膨張試験

コンクリートコア試料を用いた促進膨張試験では、実配合・実養生で製造したコンクリートよりコア試料 (φ50×200 mm) を 2 体採取し、カナダ法促進モルタルバー法試験に準じた促進条件下で材齢 21 日後の膨張量を測定した。図一3に試験結果を示す。コア試料の 21 日後の膨張率は 0.014 % であり、有害判定基準値とされる 0.10 % 以下となった。



図一2 カナダ法促進モルタルバー法試験結果



図一3 コンクリートコアのカナダ法促進試験結果

4. 電気泳動法による塩分浸透性能試験

4. 1 試験方法

使用するコンクリートの塩化物イオン拡散係数については、比較的短時間で評価が可能な電気泳動法 (JSCE-G 571-2007) による試験を行い、得られた結果から実効拡散係数および見掛けの拡散係数をそれぞれ算定した。供試体には、実配合で材齢 28 日まで現場封緘養生を行った円柱供試体 (φ100×200 mm) から、厚さ 50 mm の円盤状に切断したものを 3 体切出して用いた。電気泳動試験装置の概要を図-4 および写真-2 に示す。試験は、陰極側セルに 0.5 mol/L の NaCl 溶液を、陽極側セルに 0.3 mol/L の NaOH 溶液を入れ、電極間の電位差が 15 V になるように電圧を制御し、陽極側の塩化物イオン量の経時変化を測定した。塩化物イオンの拡散係数は、経過日数に対する陽極側の塩化物イオン濃度の増加割合が一定に達した時点まで塩化物イオンの移動が定常状態に達したと判断して、その時の塩化物イオンの泳動速度から流束を求め、電気化学法則 (Nernst-Planck の式) より計算される。

4. 2 実効拡散係数の算出

図-5 に、電気泳動により透過した陽極側の塩化物イオン濃度の増加量の試験結果を示す。定常状態における塩化物イオンの流束は、測定した増加量を用いて式 (1) より算出する。さらに、実効拡散係数は式 (1) で算出された塩化物イオンの流束を用いて式 (2) より算出される。

式 (2) より算出した塩化物イオンの実効拡散係数は、3 体平均で 0.32 cm²/年となった。一方、実際の塩化物イオンの拡散は、塩化物イオンの固定化や吸着を伴いながら進行することから、本試験で求められた実効拡散係数は、見掛けの拡散係数より大きい値を示す。そこで、コンクリート標準示方書³⁾を参考にし、図-6 より求めた換算係数 (0.065) を実効拡散係数に乗じて見掛けの拡散係数を算出した。ここで、高炉 B 種の換算係数を用いたのは、高炉スラグ微粉末の混入率が同等であるためである。換算した見掛けの拡散係数は、3 体平均で 0.021 cm²/年となった。

$$J_{Cl} = \frac{V^{\text{II}}}{A} \frac{\Delta c_{Cl}^{\text{II}}}{\Delta t} \quad (1)$$

ここに、 J_{Cl} : 塩化物イオンの定常状態における流束 (mol / (cm²・年))

V^{II} : 陽極側の溶液体積 (L)

A : 供試体断面積 (cm²)

$\Delta c_{Cl}^{\text{II}} / \Delta t$: 陽極側塩化物イオン濃度の増加割合 ((mol/L) / 年)

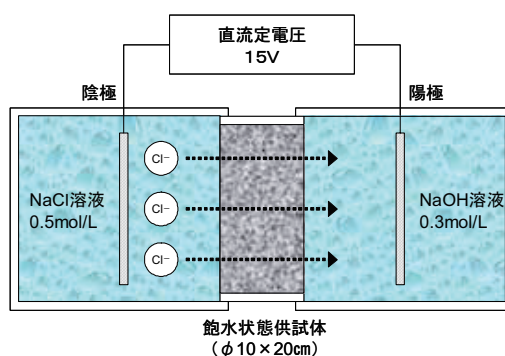


図-4 電気泳動法試験



写真-2 電気泳動法試験状況

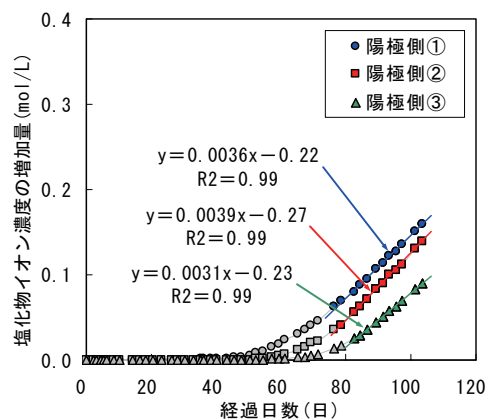


図-5 陽極側の塩化物イオン濃度の増加量

$$D_e = \frac{J_{Cl}RTL}{|Z_{Cl}|FC_{Cl}(\Delta E - \Delta E_c)} \times 100 \quad (2)$$

ここに、 D_e : 実行拡散係数 (cm²/年)
 R : 気体定数 (8.31J/ (mol・K))
 T : 絶対温度測定値 (K)
 Z_{Cl} : 塩化物イオンの電荷 (= -1)
 F : ファラデー定数 (96,500C/mol)
 C_{Cl} : 陰極側の塩化物イオン濃度測定値 (mol/L)
 $\Delta E - \Delta E_c$: 供試体表面間の測定電位 (V)
 L : 供試体の厚さ (mm)

4. 3 かぶり位置の塩化物イオンの検証

電気泳動試験から得られた見掛けの拡散係数と実配合での塩化物イオン初期混入量を用いて、鋼材かぶり位置(35 mm)の塩化物イオン濃度が設計耐用年数内に鋼材腐食発生限界の1.2kg/m³に達しないコンクリート表面の塩化物イオン濃度を算出した結果を表-3に示す。表-3の①は、水セメント比が道路橋示方書の想定値で検証しており、②は文献1)に示された沖縄県大宜味村での暴露試験結果で算出された拡散係数を使用した検証結果である。本橋で使用した配合(③)が、プレテンション桁で用いられる一般的なコンクリートに比べて、塩化物イオンの浸透が大幅に抑制されていることわかる。

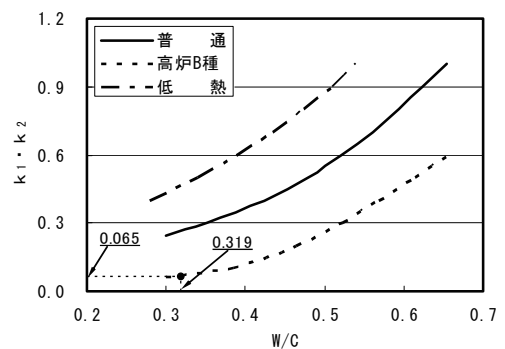


図-6 見掛けの拡散係数への換算係数

表-3 拡散係数の比較と許容されるコンクリート表面濃度

コンクリートの仕様	拡散係数 (cm ² /年)	初期混入量 (kg/m ³)	許容表面濃度 (kg/m ³)
①早強セメント, W/C=36%	0.187	0.300	1.9
②高炉スラグ微粉末混入, W/C=35%	0.071	0.300	2.9
③億首川橋実配合	0.021	0.025	13.4

①は道路橋示方書の想定値

②の拡散係数は文献1)に示された大宜味村での暴露試験結果

5. おわりに

沖縄自動車道の億首川橋では、耐久性の向上を図るために、全てのプレキャスト部材および場所打ち部にセメントの50%を高炉スラグ微粉末6000に置換したコンクリートを適用した。使用したコンクリートの効果を検証するために、①カナダ法による促進膨張試験、および、②電気泳動による塩化物イオン実効拡散係数試験を実施した。試験結果より、本橋で使用した高炉スラグ微粉末6000を混入した配合は、アルカリ骨材反応および塩化物イオンの浸透を大幅に抑制できることが確認できた。

参考文献

- 1) 小島, 豊福, 小林: 塩害に対応した高耐久性PC構造物の建設と性能評価に関する研究, 土木学会論文集, 2005.
- 2) 蔡, 鳥居, 横山, 古川: 促進養生法による高炉スラグ微粉末のASR抑制効果の評価, コンクリート工学年次論文集, 2005.
- 3) 土木学会: コンクリート標準示方書[規準編], 2007.