

技術紹介

混和材を用いた高耐久コンクリートの開発

～プレキャスト PC 部材・現場打ち部材の耐久性向上～

Development of High-Durability Concrete Using Supplementary Cementitious Materials

鈴木 聡 *1
Satoshi SUZUKI

陳内 真央*2
Mao JINNAI

北野 勇一*3
Yuichi KITANO

1. はじめに

冬期に凍結防止剤が多量に散布される厳しい環境下のコンクリート構造物において、塩害とアルカリシリカ反応（ASR）の劣化事例が報告されています。川田建設では、プレキャスト PC 製品を対象に、混和材を用いた高耐久コンクリートを開発しています^{1),2)}（表 1、写真 1、写真 2）。引き続き、現場打ちコンクリートへの適用を考え、地産地消に配慮した混和材使用高耐久コンクリートに関する各種実験を実施しました。本稿では、プレテンション PC 部材配合の塩分浸透抵抗性と、場所打ちコンクリートの ASR 抑制効果について報告します。

2. 塩分浸透抵抗性に関する検討

(1) 試験概要

混和材使用が塩分浸透抵抗性に与える影響を確認するため、コンクリート試験体を作製し、10%NaCl 水溶液への浸せき試験を所定の期間実施しました。配合を表 2 に示します。各配合はプレテンション PC 部材用の配合でプレレスト導入時強度 35 N/mm²（材齢 1 日）および設計基準強度 50 N/mm²（材齢 28 日）を確保しました。

(2) 塩分浸透抵抗性試験

塩分抵抗性試験結果を表 3 に示します。高炉スラグ微粉末コンクリート（I-B6）と改質フライアッシュコンクリート（II-CFA）の浸せき期間が異なるため、塩分浸透性試験結果を早強コンクリート（I-H、II-H）との比率で示しました。その比率に着目すると、I-B6 と II-CFA の

拡散係数は概ね等しく、早強コンクリートの 0.5 倍でした。鋼材位置への塩分到達年数は、早強コンクリートの 4 倍程度になると概算されます。

表 1 実績表

混和材種類	プレキャストPC部材	現場打ちPC部材
BS6	7件	1件
CfFA	2件	0件

BS6：高炉スラグ微粉末 6000，CfFA：改質フライアッシュ



写真 1 高炉スラグ微粉末 6000 を使用した橋梁



写真 2 改質フライアッシュを使用した橋梁

表 2 塩分浸透性試験の配合表

	配合名	混和材	W/B (%)	置換率 (%)	単位量 (kg/m ³)				
					W	B		S	G
						C	混和材		
シリーズ I	I-H	-	38.4	-	162	422	-	765	980
	I-B6	BS6	35.5	内割50		228	228	737	964
シリーズ II	II-H	-	38.4	-		422	-	765	980
	II-CFA	CfFA	32.0	外割20		84	663		

表 3 塩分浸透性試験結果

	配合名	浸せき期間	拡散係数 (cm ² /年)	比率
シリーズ I	I-H	6ヶ月	0.83	1.00
	I-B6		0.38	0.46
シリーズ II	II-H	12ヶ月	0.63	1.00
	II-CFA		0.30	0.48

*1 川田建設株式会社技術本部技術開発課 係長

*2 川田建設株式会社技術本部技術開発課

*3 川田建設株式会社技術本部技術開発課 課長

3. ASR に関する抵抗性

(1) 試験概要

表 4 に配合を示しますが、設計基準強度は 50N/mm² としました。凍結防止剤の浸透に伴う ASR 劣化を想定し、ASR 促進試験をデンマーク法により行いました。デンマーク法は所定の養生後、コンクリート試験体を温度 50℃ の飽和 NaCl 溶液に浸せし、所定の促進材齢で長さ変化率を測定する方法です。促進材齢 13 週で長さ変化率が 0.10 %未満の場合に ASR 抑制効果があるとした。さらに、ASR 促進試験後、試験体表面の観察、塩分浸透深さと水溶性全アルカリ量の測定を行いました。

(2) ASR 促進試験（デンマーク法）

長さ変化率の経時変化（図 1）より、Ⅲ-H は促進材齢 6 週頃から膨張を開始し、促進材齢 13 週では 0.539 %、促進材齢 26 週では 1.339 %となり、デンマーク法の判定結果「有害」となりました。一方、Ⅲ-FA とⅢ-B6 は、促進材齢 26 週でも膨張することなく、混和材の ASR 抑制効果を確認しました。

デンマーク法では、塩水が試験体の内部に浸透してから ASR 反応による膨張が顕在化すると考えられます。そのことを確認するため、ASR 促進試験後の試験体について、ひび割れの観察、塩分浸透深さとアルカリ浸透量の測定を行いました。

(3) ASR 促進試験後の試験体状況

ASR 膨張が生じたⅢ-H では試験体に幅 1 mm を超えるひび割れを確認しました。また、ASR 膨張が生じていない試験体、Ⅲ-B6 ではひび割れを確認できませんでしたが、Ⅲ-FA では角部に微細なひび割れを確認しました。

次に、試験体を割裂し割裂面に硝酸銀水溶液を噴霧することで塩分浸透深さを測定すると、Ⅲ-H で全浸透、Ⅲ-B6 で 15 mm、Ⅲ-FA で 18 mm でした。

(4) 水溶性アルカリ浸透状況

ASR 促進試験後の試験体からコアを採取し、塩分浸透深さの測定結果をもとに、コアの切断箇所を表面から 0~10 mm、10~20 mm および 40~60 mm の水溶性アルカリ量を測定しました⁴⁾。なお、試験前の水溶性アルカリ量を測定し、試験後の水溶性アルカリ量から減ずることで浸透した水溶性アルカリ量を算出しました（図 2）。

水溶性の全アルカリ量は、塩分浸透した箇所が高く、Ⅲ-H、Ⅲ-FA、Ⅲ-B6 の順に高い値となっています。フライアッシュコンクリートの塩分浸透抵抗性が十分に発揮される前に促進試験を実施したため、フライアッシュコンクリートのアルカリ量が高くなったと推定されます。

4. おわりに

高炉スラグ微粉末 6000 を用いた橋梁は 7 件、フライアッシュを用いた橋梁は 2 件と、関係各位の協力もあり、

表 4 ASR 促進試験の配合表

配合名	混和材	W/B (%)	置換率 (%)	単位量 (kg/m ³)				Rt (kg/m ³)	
				W	B		S		G
					C	混和材			
Ⅲ-H	-	36.0	-	160	444	-	751	971	2.57
Ⅲ-B6	BS6	32.0	内割50	160	250	250	689	971	2.35
Ⅲ-FA	FA	32.0	内割15	160	425	75	688	971	3.33

FA：フライアッシュⅡ種

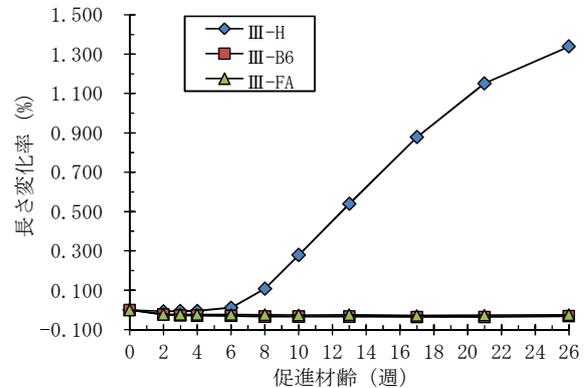


図 1 ASR 促進試験結果

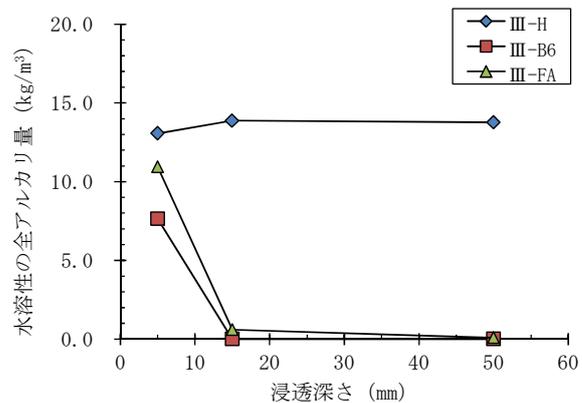


図 2 水溶性の全アルカリ浸透量

採用件数を着実に増やしています。今後も混和材を用いた高耐久コンクリートを多方面で採用頂けるよう、品質耐久性のさらなる向上に資する取組みを継続する予定です。

参考文献

- 1) 川口千大, 北野勇一, 堀池一男: プレストレストコンクリート部材への高炉スラグ微粉末の適用性検討 (後養生の必要性), V-567, pp.1133-1134, 第 67 回年次学術講演会, 土木学会, 2012.9.
- 2) 北野勇一, 水戸健介: フライアッシュの品質と使用量が PC 用コンクリートの諸性状に与える影響, 第 26 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.545-548, PC 工学会, 2017.9.
- 4) (財) 土木研究センター: コンクリートの耐久性向上技術の開発 平成元年 5 月, pp.159-160, 1989.