

収縮補償型膨張コンクリートの ASR による膨張挙動とその抑制対策

金沢大学 学生会員 ○菊地 弘紀
太平洋セメント（株） 正会員 杉山 彰徳

（株）ピーエス三菱 正会員 鈴木 雅博
金沢大学 正会員 鳥居 和之

1. はじめに

昨年, NEXCO などの道路橋の大規模更新事業が認可され, 塩害や ASR にて劣化した RC 床版の取替えがすでに始まっている. 本事業には, 工事期間の短縮や経費削減の目的で, 高耐久プレキャスト PC 床版が採用される予定である. 一方, 現場打設となる, PC 床版を接合する間詰め部は, ひび割れ発生防止の目的で, 収縮補償型膨張コンクリートを標準化している¹⁾. 現在, 北陸地方では, 高品質のフライアッシュの供給体制が整ったため, 大規模更新事業でも PC 床版, 間詰め部ともにフライアッシュコンクリートを使用することが決定している. しかし, 収縮補償型膨張コンクリートの ASR に及ぼす膨張材の影響やそのフライアッシュによる ASR 抑制対策に関してはこれまで検討されていないのが実状である.

そこで本研究では, 富山県常願寺川産の反応性骨材を使用した収縮補償型膨張コンクリートの ASR による膨張挙動を調べるとともに, フライアッシュによる ASR の抑制効果とそのメカニズムについて実験的に検討した.

2. 実験概要

2. 1 使用材料と配合

膨張コンクリート(間詰め部)には, PC 床版と同程度以上の強度と耐久性が要求されるので, 早強セメント(T 社, 密度:3.14 g/cm³, ブレーン値:4410 cm²/g, 略号 HC)を使用して, 設計基準強度を 50 N/mm² (28 日材齢) 及び拘束膨張量を (200±50) ×10⁻⁶ とした.

膨張材(石灰系)は低添加型汎用品(T 社, 密度: 3.16 g/cm³, ブレーン値: 3400 cm²/g, 略号 Ex)を使用した. また, フライアッシュは七尾大田火力発電所産の分級品(密度: 2.39 g/cm³, ブレーン値: 4650 cm²/g, Ig. Loss: 2.0%, 平均粒径: 7 μm, 略号 FA)である. 常願寺川産の川砂(密度: 2.65 g/cm³, 吸水率: 1.85%)及び川砂利(密度: 2.65 g/cm³, 吸水率: 1.45%)は, 反応性鉱物としてオパール, クリソタブライト及びトリディマイトを含有しており, 化学法(JIS A1145)により「無害でない」と判定されたものである. 収縮補償型膨張コンクリートの配合を表 1 に示す. コンクリート試験体は 75 mm×75 mm×400 mm の直方体であり, 封緘養生(2 週間)後に ASR 膨張試験に供した.

2. 2 試験方法

(1)偏光顕微鏡観察と各種機器分析

凍結防止剤(NaCl)が散布される環境条件では, NaCl のコンクリートへの浸透過程でフリーデル氏塩(C₃ACaCl₂・10H₂O)が生成し, その際に解離した Na⁺イオンと水酸化カルシウム(CH)との反応により OH⁻イオンが生成する. これが ASR を促進する要因の 1 つとされている. このメカニズムを検証するために, コンクリートの薄片研磨試料(厚さ: 20μm)を偏光顕微鏡にて観察し, CH クラスターの残存形態を観察した. また, SEM-EDS, DSC, XRD によりフライアッシュ(FA)のポゾラン反応の材齢にともなう進行状況と CH の残存量を測定した.

(2)飽和 NaCl 溶液浸漬法(デンマーク法)によるコ

表 1 収縮補償型膨張コンクリートの配合

配合名	目標 空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						化学混和剤 ((HC+Ex+FA)×%)	
				W	HC	Ex	FA	S	G	SP*	DF**
HC	4.5	35.0	45.0	165	471	—	—	755	915	0.5	0.1
HC+Ex		35.0	45.0	165	449	22	—	755	915	0.5	0.1
HC+FA+Ex		35.0	45.0	165	382	22	67	747	905	0.5	0.1

*SP: ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤, **DF: 消泡剤

キーワード 収縮補償型膨張コンクリート, ASR, フライアッシュ, 飽和 NaCl 浸漬法, 偏光顕微鏡観察
金沢大学大学院 自然科学研究科博士前期課程環境デザイン学専攻(学生会員)

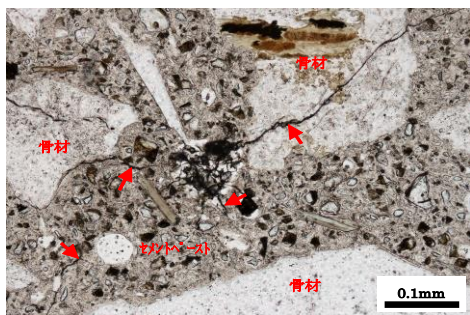


写真 1 (HC+Ex)の偏光顕微鏡観察結果

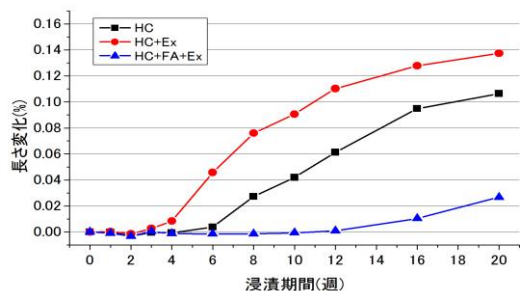


図 1 膨張コンクリートの長さ変化

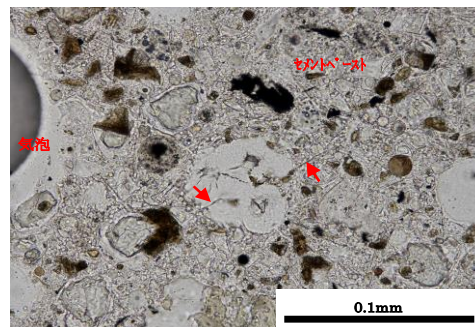


写真 2 (HC+FA+Ex)の偏光顕微鏡観察結果

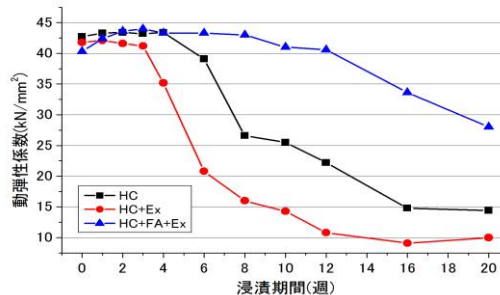


図 2 膨張コンクリートの動弾性係数の変化

コンクリートの膨張試験

温度 50℃の飽和 NaCl 溶液にコンクリート試験体（セメント以外からのアルカリ添加無し）を完全に浸漬し、浸漬期間にともなう長さや動弾性係数の変化を測定した。本試験法は凍結防止剤の浸透にともなう ASR 劣化を模擬したものである。

3. 試験結果および考察

3. 1 偏光顕微鏡による CH クラスターの観察

膨張コンクリート（2 週材齢）の薄片研磨試料（(HC+Ex), (HC+FA+Ex)）の偏光顕微鏡観察の結果を写真 1 および写真 2 に示す。両試験体には、膨張材の粗粒子に由来する CH のクラスター（最大径 0.1mm）がセメント硬化体に残存しており、このクラスターの周囲には CaO が Ca(OH)₂ を生成する際に発生した放射状の膨張ひび割れが観察された。同時に、細骨材の一部には膨張によるひび割れの発生が認められた、この膨張性ひび割れの発生頻度と規模（進展長さ）は、(HC+Ex)試験体よりも(HC+FA+Ex)試験体が効果的に低減されていた。また、FA のポゾラン反応の進行による CH の減少はその後の材齢の経過とともにさらに顕著であった。

3. 2 コンクリートの ASR による膨張挙動

膨張コンクリート（HC, (HC+Ex), (HC+FA+Ex)）の長さ及び動弾性係数の変化を図 1 および図 2 に示す。飽和 NaCl 浸漬法では、塩水が試験体の内部（20

mm 程度）まで浸透した段階で砂粒子から ASR の反応が順次始まる。このため、浸漬 4 週後に(HC+Ex)試験体、次いで HC 試験体の順番で膨張が発生し、コンクリートの膨張量の増大に比例して動弾性係数が大きく低下している。一方、(HC+FA+Ex)試験体は浸漬 5 ヶ月においても膨張は軽微である。以上より、膨張コンクリートでは、残存する CH クラスターの影響により ASR による膨張が促進されることが明らかとなった。

4. まとめ

収縮補償型膨張コンクリートでは、残存する膨張材（CH クラスタ）の影響により ASR による膨張が促進されることが明らかになった。一方、FA による ASR 膨張の抑制効果は顕著であり、浸漬 5 ヶ月の時点で ASR 膨張は軽微であった。FA による ASR 抑制効果は、(1)外部からの塩分浸透の抑制、(2)FA のポゾラン反応層（CSH）のアルカリ吸着、(3)CH クラスターの減少によるものと想定される。このメカニズムの詳細に関してはさらに検討する予定である。

参考文献

- 1) 鈴木雅博, 杉山彰徳, 村松達也, 鳥居和之: 分級フライアッシュを用いた収縮補償コンクリートの材料特性に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, 2016 (投稿中)