

外来塩供給環境における場所打ちPC構造物のASR劣化対策

川田建設(株) 正会員 修士(工学) ○鈴木 聡
 川田建設(株) 正会員 北野 勇一
 川田建設(株) 正会員 陳内 真央

キーワード：アルカリシリカ反応，デンマーク法，フライアッシュ，高炉スラグ微粉末

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)の複合劣化事例が報告されており、双方への劣化対策が必要とされる。近年、プレストレストコンクリート(PC)橋において塩害とASRの双方に劣化抑制効果があるフライアッシュや高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートが注目されている¹⁾。

本稿では、場所打ちコンクリートを対象として、ASR促進試験を行い混和材のASR抑制効果を確認した。混和材は、北陸電力のフライアッシュⅡ種と高炉スラグ微粉末6000の2種類を選定し、塩害^{2),3)}とASR⁴⁾に対する劣化抑制効果が見込める置換率とした。また、凍結防止剤の浸透による劣化を対象とするため、飽和NaCl溶液浸せき法(デンマーク法)によりASR抑制効果を確認した。

2. 試験概要

2.1 使用材料

実験に使用した材料を表-1に示す。セメントおよび混和剤は、北陸地方の生コン工場A工場の通常品を用い、混和材はフライアッシュⅡ種と高炉スラグ微粉末6000⁵⁾を用いた。細骨材および粗骨材は、常願寺川産の骨材で、化学法(JIS A1145)により「無害でない」と判定された骨材を用いた。

表-1 使用材料

種類	記号	仕様
セメント	C	早強ポルトランドセメント 密度3.13g/cm ³ 、比表面積4420cm ² /g、全アルカリ0.57%
	F	フライアッシュⅡ種(七尾大田火力発電所産) 密度2.48g/cm ³ 、比表面積4490cm ² /g、全アルカリ1.24%
混和材	B	高炉スラグ微粉末6000 密度2.91g/cm ³ 、比表面積6440cm ² /g、全アルカリ0.35% SO ₃ =3.56%
	SP	高性能AE減水剤 ポリカルボン酸系、全アルカリ2.00%
細骨材	S	陸砂、表乾密度2.62g/cm ³
粗骨材	G	陸砂利、表乾密度2.65g/cm ³

2.2 配合

表-2に配合表を示す。設計基準強度は50N/mm²とし、スランプおよび空気量はそれぞれ、12±2.5cm、4.5±1.5%を目標に混和剤で調整した。H配合は早強ポルトランドセメントのみを用いた配合である。FA配合およびB6配合は、塩害とASR劣化に対する抑制効果のある置換率からフライアッシュの置換率を15%、高炉スラグ微粉末の置換率を50%とした配合である。また、場所打ちポストテンション方式PC桁を想定し、材齢3日以降の緊張強度を確保するため、水結合材比を4%低減した。なお、アルカリ総量は、H配合で2.57kg/m³、FA配合で3.33kg/m³およびB6配合で2.35kg/m³である。

表-2 コンクリート示方配合

記号	水結合材比 (%)	混和材置換率 (%)	単位量 (kg/m ³)						高性能AE減水剤 (kg/m ³) SP	アルカリ総量 (kg/m ³)
			W	C	F	B	S	G		
H	36.0	-	160	444	-	-	751	971	1.998	2.57
FA	32.0	15	160	425	75	-	688	971	2.250	3.33
B6	32.0	50	160	250	-	250	689	971	2.500	2.35

2. 3 試験方法

(1) ASR 促進試験

凍結防止剤の浸透にともなう ASR 劣化を想定したため、ASR 促進試験は試験体にアルカリを添加しない飽和 NaCl 浸せき法 (デンマーク法) により行った。コンクリート試験体は 100×100×400mm の角柱であり、配合ごとに 3 本ずつ作製した。所定の養生後、コンクリート試験体を温度 50℃ の飽和 NaCl 溶液に浸せきし、所定の促進材齢で長さ変化率と質量変化率を測定した (図-1)。デンマーク法の判定は、促進材齢 13 週で 0.10% 未満の膨張を「無害」、0.10~0.40% の膨張を「不明確」、0.40% 以上の膨張を「有害」とした⁶⁾。

(2) 圧縮強度試験および超音波伝播速度の測定

ASR 促進試験後、試験体の超音波伝播速度の測定、圧縮強度試験および静弾性係数の測定を実施した。

超音波伝播速度の測定方法は、試験体の長辺方向と短辺方向、それぞれ 3 点を測定した (図-2)。圧縮強度試験は 100×100×400mm の試験体を 2 分割し実施した。

ASR 試験体と比較するため、同時に製作した健全な試験体について、材齢 28 日で同様の測定を行った。

3. 試験結果

3. 1 ASR 促進試験

長さ変化率の経時変化を図-3 に、質量変化率の経時変化を図-4 に示す。

H 試験体は促進材齢 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」となった。一方、FA 試験体と B6 試験体は、促進材齢 26 週でも膨張することなく、混和材の混入による ASR 膨張の抑制効果が認められた。

次に、H 試験体の質量変化に着目すると、ASR 膨張が生じる前の促進材齢 2 週から増加し始め、促進材齢 26 週程度まで増加し続けた。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る。H 試験体について、ASR 膨張が顕在化した促進材齢 6 週以降に着目すると、長さ変化率と質量変化率に相関が認められた (図-5)。なお、長さ変化率は質量変化率の 50% 程度であった。



図-1 試験材齢および試験体の保管方法

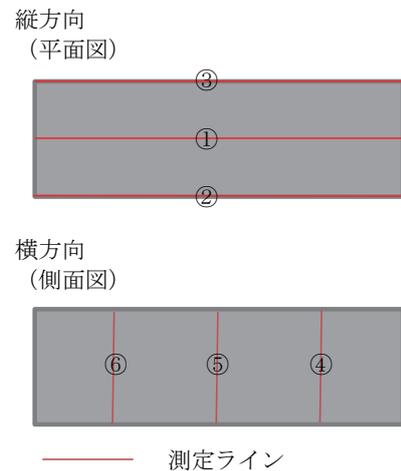


図-2 超音波伝播速度の測定箇所

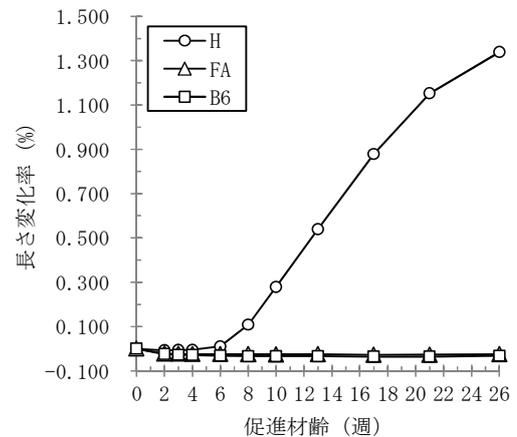


図-3 長さ変化率の経時変化

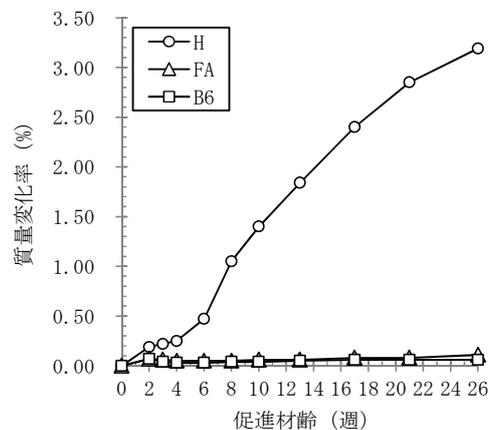


図-4 質量変化率の経時変化

3. 2 試験体のひび割れ状況

ASR 促進試験後の試験体のひび割れ状況を表-3 に示す。ASR 膨張が生じた H 試験体は幅 1mm を超えるひび割れが確認された。ASR 膨張が生じていない試験体のうち、B6 試験体はひび割れなしであったが、FA 試験体については試験体の角部に微細なひび割れ発生が確認された。

3. 3 ASR が強度特性に与える影響

健全試験体と ASR 試験体について各種調査を行った結果を表-4 に示す。ASR 膨張が生じた H 試験体は、健全試験体と比べ、圧縮強度および静弾性係数の大幅な低下が認められた。一方、ASR 膨張が生じていない試験体は圧縮強度および静弾性係数の変化は比較的小さいが、FA 試験体の圧縮強度は健全試験体の 89% に低下した (図-6)。超音波伝播速度に着目すると、B6 試験体の縦横方向および FA 試験体の縦方向は健全試験体と同程度であるのに対し、FA 試験体横方向は健全試験体の 88% に低下した (図-7)。促進試験後、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した。塩分浸透深さは H 試験体で全浸透、B6 試験体で 15mm、FA 試験体で 18mm であった。試験後の試験体のひび割れと塩分浸透深さから、B6 試験体および FA 試験体とも内部は ASR 劣化が顕在化していないと考えられ、FA 試験体の表面部のみ ASR 劣化が進行し、圧縮強度および超音波伝播速度の低下につながったと推察される。

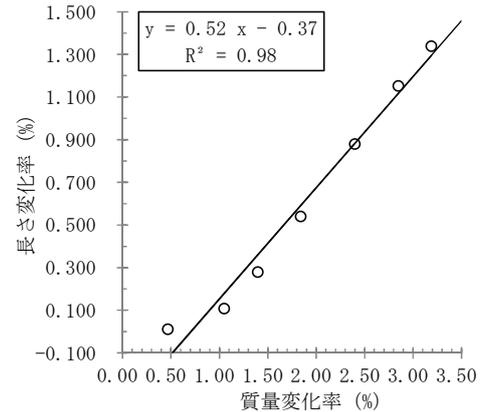


図-5 H 試験体の長さ変化率と質量変化率の関係

表-3 ASR 試験後の試験体状況

配合	試験体の外観	ひび割れ状況
H		幅1mmを超えるひび割れを含め、試験体の全体に渡り多数のひび割れが確認された。
B6		ひび割れなし。
FA		試験体の角部に微細なひび割れが多数確認された。

表-4 強度耐久性に関する調査結果

調査項目	調査条件	H	B6	FA
圧縮強度 (N/mm ²)	健全試験体	76.9	80.2	81.0
	ASR試験体	10.1	85.3	72.2
静弾性係数 (kN/mm ²)	健全試験体	31.8	32.1	32.1
	ASR試験体	6.1	31.7	34.7
超音波伝播速度 (m/sec)	健全試験体	縦4787	縦4697	縦4751
		縦3430	縦4711	縦4784
	ASR試験体	横3661	横4793	横4185

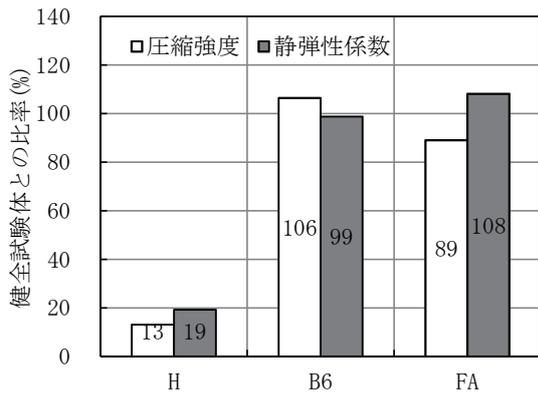


図-6 ASR が強度特性に与える影響

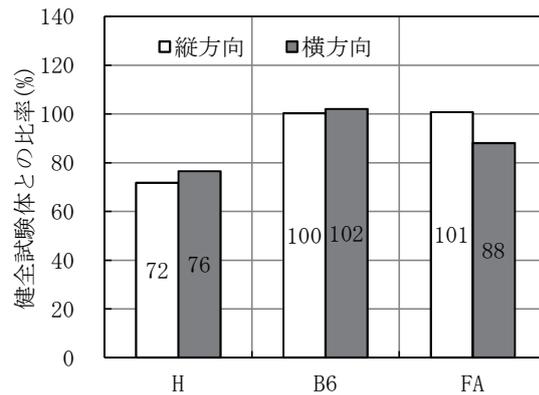


図-7 ASR が超音波伝播速度に与える影響

4. まとめ

場所打ちコンクリートを対象とし、凍結防止剤の浸透による ASR 劣化に着目し、混和材の ASR 抑制効果を実験により確認した結果を以下にまとめる。

- 1) 早強ポルトランドセメントのみを用いた H 試験体は促進材齢 6 週頃から膨張し促進材齢 13 週で 0.539%、促進材齢 26 週で 1.339%となったのに対して、混和材を用いた FA 試験体および B6 試験体は促進材齢 26 週でも膨張することはなく、混和材の混入による ASR 抑制効果を確認した。
- 2) ASR 膨張が生じた H 試験体では、健全試験体と比べ、圧縮強度および静弾性係数の大幅な低下が認められた。一方、ASR 膨張が生じていない FA 試験体および B6 試験体では、圧縮強度および静弾性係数の変化は比較的小さかった。
- 3) FA 試験体では表面部のみ ASR 劣化が進行し、圧縮強度および超音波伝播速度の低下につながったと推察される。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人土木研究所，一般社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会：低炭素型セメント結合材の利用技術に関する共同研究報告書（Ⅱ）-混和材を用いたプレストレストコンクリート橋の設計・施工マニュアル（案）-，共同研究報告書 472 号，2017. 2
- 2) 北野勇一，塩井健太，堀池一男：高炉スラグ微粉末 8000 を用いた PC 用コンクリートの基礎性状，第 22 回シンポジウム論文集，pp. 499-502，プレストレストコンクリート工学会，2015. 10
- 3) 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 25 回シンポジウム論文集，pp. 415-418，プレストレストコンクリート工学会，2016. 10
- 4) 日本工業規格 JIS A5308 「レディーミクストコンクリート」付属書 B アルカリシリカ反応抑制対策の方法，2014.
- 5) 岩瀬祐二，山田稔，本庄正樹，今井平佳：北陸自動車道早月川橋床版更新工事の設計・施工，第 26 回シンポジウム論文集，pp. 379-382，プレストレストコンクリート工学会，2017. 10
- 6) 日本コンクリート工学会：コンクリート診断技術' 17（基礎編），p. 207，2017.