

室内試験および屋外暴露試験による ASR 抑制対策の比較

港湾空港技術研究所 正会員 ○川端雄一郎, 染谷望, 田中豊
 国土技術政策総合研究所 正会員 河村 直哉

1. 目的

コンクリートのアルカリシリカ反応 (ASR) に対する抑制対策について, 従来の室内試験の結果が野外暴露試験よりも小さくなる場合があることが指摘されている¹⁾。この原因として, 室内試験ではコンクリート供試体からアルカリが溶脱することで早期に膨張が収束すること, また低アルカリ総量の場合に供試体が乾燥すること, などが推定されている²⁾。これらの問題を解決するため, アルカリ溶液を含んだ不織布で供試体を包んだ促進試験 (Alkali-Wrapped Concrete Prism Test: AW-CPT) が提案されている³⁾。本研究では, 室内試験である AW-CPT と野外暴露試験の結果を比較し, 各種 ASR 抑制対策の効果について比較した結果を報告する。

2. 実験概要

本研究では, ASR の抑制対策として亜硝酸リチウム (Li), フライアッシュ (FA, JIS II 種適合品), 高炉スラグ微粉末 (BFS, JIS 適合品) に着目した。セメント (C) には普通ポルトランドセメント (全アルカリ量 0.62%) を用いた。基本的な配合条件は ASTM C1293 に準拠し, セメント量を 420 kg/m^3 , コンクリートの水結合材比を 42.1% とした。また, NaOH を用いてコンクリートのアルカリ総量を 5.25 kg/m^3 (室内試験用) または 3.00 kg/m^3 (暴露試験用) に増加した。表-1 にコンクリートの配合を示す。Li の添加量として, Li/(Na+K)モル比の標準値 0.74, 半分の 0.37, 標準値の 1.5 倍 (1.11) の 3 要因とした。FA, BFS をセメントの一部に置換した系では, セメントに対して内割で FA 置換率 15, 25%, BFS 置換率 45, 55%とした。反応性骨材 (R) には安山岩, 非反応性骨材 (L) には石灰石骨材, 細骨材 (S) には石灰石砕砂を使用した。以降, これらの配合は表-1 に示す配合要因で記載する。

室内試験には $100 \times 100 \times 400 \text{ mm}$ の角柱供試体を用いた。1.5 mol/l の NaOH 水溶液を 50g 含んだ不織布 2 枚で供試体を包み, さらにラップフィルムで包むことでアルカリ溶脱および乾燥を防止した。さらに, 供試体を厚手のビニール袋に梱包し, 密封した上で恒温恒湿槽 (温度 38°C , 相対湿度 95%以上) の環境で促進試験を行った。試験体にはコンタクトゲージ用のチップ (標点距離 300 mm) を貼付し, 試験期間中の長さ変化を測定した。なお, 室内試験は現在も実施中であるが, 本論文では試験期間約 2 年までの結果を報告する。

暴露試験には $1000 \times 1000 \times 500 \text{ mm}$ の無筋コンクリートブロックを用いた。試験体表面 (1000×1000 断面, 打設面) にコンタクトゲージ用のチップ (標点距離 200 mm) を 16 枚貼付し, コンクリートブロックの長さ変化を測定した。横須賀市内にブロックを暴露し, 試験は 2014 年 2 月 19 日に開始した。気象庁によれば, 暴露場所の平均気温は 20.0°C (2014-2017 年), 年間降水量の平均値は 1650.9 mm (2014-2017 年) である。

3. 実験結果および考察

図-1 に室内試験における各配合 (アルカリ総量 5.25 kg/m^3) の膨張挙動を示す。無対策である Control では, 膨張

表-1 コンクリートの配合

配合要因	単位量 (kg/m^3)						
	セメント	フライアッシュ	高炉スラグ微粉末	水	細骨材	粗骨材	AE 剤
	C	F	B	W	S	R	L
Control	420	-	-	177	780	285	665
Li-0.37	420	-	-				
Li-0.74	420	-	-				
Li-1.11	420	-	-				
FA-15%	357	63	-		759	285	665
FA-25%	315	105	-		745	285	665
BFS-45%	231	-	189		767	285	665
BFS-55%	189	-	231		761	285	665
							(C+F+B)×%

キーワード アルカリシリカ反応, 抑制対策, 室内試験, 暴露試験

連絡先 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 港湾空港技術研究所 Tel:046-844-5059 E-mail:kawabata-y@pari.go.jp

が試験開始後から進行し、14週で約0.1%に達した。また、52週における膨張率が0.21%であり、CSA A23.2-27Aによれば、Extremely reactive ($>0.23\%$)に近いものの、Highly reactive ($>0.12\%$)と判定された。Liを添加した系では、標準添加量の半分であるLi-0.37で膨張挙動がほぼControlと同様になった。また、標準添加量のLi-0.74は緩やかな膨張挙動を示し、52週での膨張率は0.13%に達した。FAをセメントの一部に置換した系では、FA-15%で緩やかな膨張挙動が確認され、52週での膨張率は0.10%に達した。一方、FA-25%およびBFS-45、55%では膨張が確認されなかった。

図-2に暴露試験における各配合（アルカリ総量 3.00 kg/m^3 ）の膨張挙動を示す。無対策であるControlでは暴露後約10週から膨張し、現時点で膨張率0.24%となった。Controlは現行のASR抑制対策であるアルカリ総量 3.0 kg/m^3 のコンクリートであり、既往の研究²⁾と同様、アルカリ総量程度であってもASRによる膨張が発生することが確認された。また、膨張は材齢約100-150週で緩やかになり、今後膨張は収束傾向になると推測された。一方、Li-0.37は材齢50週まで全く膨張を示さなかったが、それ以降暴露期間にほぼ比例的に膨張した。室内試験では十分な抑制効果が得られなかったLi-0.74は現時点で高い膨張抑制効果を示した。FAを置換した系に着目すると、FA-15%で約0.04%の膨張率が確認されたが、FA-25%では収縮傾向となった（約-0.04%）。なお、FAを置換した系ではブロック表面にひび割れは確認出来なかった。BFSを置換した系では-0.05~-0.08%と収縮傾向を示した。またブロック表面に微細なひび割れが確認された。

図-3に室内試験（2年）と暴露試験（約4年）での膨張率の比較した結果を示す。図中の点線は膨張率0.04%を示している。赤丸で囲んだLi-0.37を除き、室内試験結果が暴露試験の結果よりも0.03~0.12%大きな膨張率を示すこと、また室内試験と現時点の暴露試験の結果には正の相関があることが確認された。したがって、本研究の範囲では、AW-CPTは現時点の暴露試験よりも厳しい試験結果となり、従来の試験法で指摘されていた点を改善できる可能性があることが示された。今後、膨張シミュレーションや分析等を行い、より詳細を検討する予定である。

4. 結論

- 1) Liを標準量未満で添加した系は室内試験および暴露試験いずれにおいても抑制効果が低かった。
- 2) FA-25%およびBFS-45、55%では室内試験および暴露試験で高いASR抑制効果を示した、また、FA-15%は室内試験での抑制効果が低く、また暴露試験では緩やかに膨張する傾向を示した。
- 3) Li/(Na+K)モル比が0.37の配合を除き、AW-CPTによる室内試験は野外暴露よりも高い膨張率を示した。

【参考文献】¹⁾ Ideker, J. H. et al.: The current state of the accelerated concrete prism test, *Cem. Concr. Res.*, Vol. 40, pp. 550-555, 2010, ²⁾ Kawabata, Y. et al.: Alkali-Wrapped Concrete Prism Test (AW-CPT) – New testing protocol toward a performance test against alkali-silica reaction-, *J. Adv. Con. Tech.* (submitted),

³⁾ 日本コンクリート工学会：ASR診断の現状とあるべき姿研究委員会報告書，2014

謝辞：本研究の一部は、科学研究費補助金（No. 16H04393）の助成を受けて行ったものである。ここに謝意を示す。

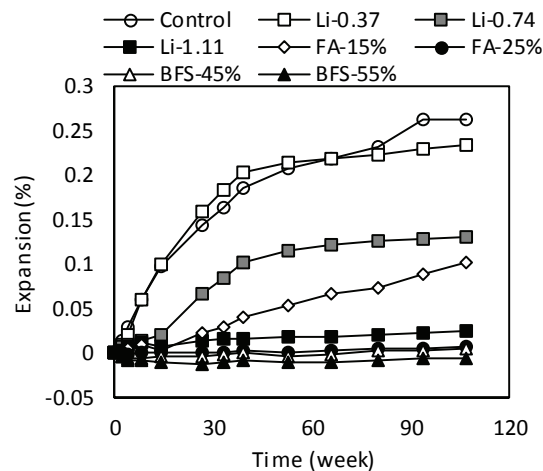


図-1 室内試験結果 (AW-CPT)

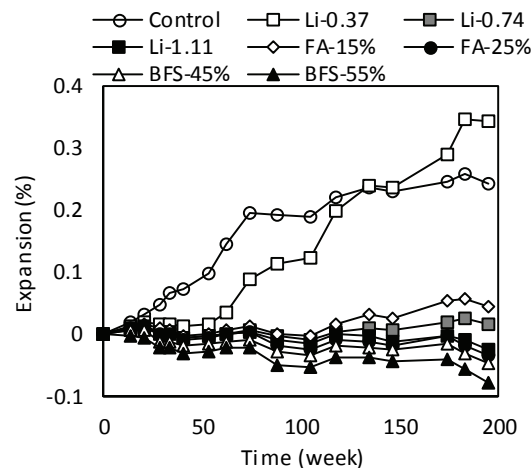


図-2 野外暴露試験結果（横須賀，約4年）

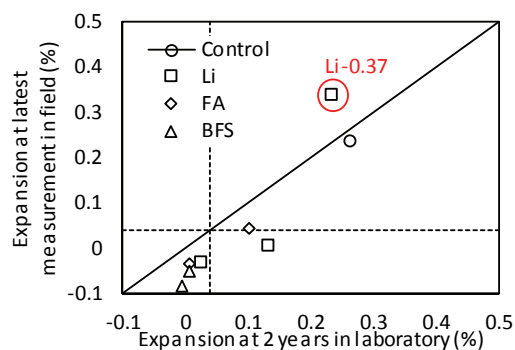


図-3 室内試験と暴露試験の膨張率の相関