

アルカリ骨材反応の抑制効果の評価方法と膨張予測の新しい考え方

(独)国立環境研究所 正会員 ○山田 一夫, 大迫 政浩
 (株)太平洋コンサルタント 正会員 小川 彰一
 九州大学大学院 正会員 佐川 康貴
 (独)港湾空港技術研究所 正会員 川端 雄一郎

1. はじめに

アルカリシリカ反応(ASR)の抑制対策は,骨材試験とアルカリ総量($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$)制限もしくは混和材使用によっている。しかし,各種の骨材試験にはそれぞれ限界があり, $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ 制限と混和材使用についてはその効果の定量評価はできていない。何よりも長期にわたり安定性が求められる場合に対し,抑制効果の有効期間が不明である。本研究ではASRの抑制対策にかかわる各種の問題を整理し,新しい手法を提案し,今後必要な研究について考察する。

2. 現在の方法論と課題

(1) 骨材のアルカリ反応性評価の信頼性

各種の骨材のアルカリ反応性評価の方法の一覧と特徴を表-1にまとめる。

ASRの抑制対策の方法論には先進的で多くの因子を考慮した CSA A23.1&23.2がある。CSAでは骨材の反応性に関わる最も信頼性が高い判定方法は現場実績と考えられている。しかし,経験の範囲内での信頼性であり,より長期,異なる暴露環境での挙動を保障するものではない。

次に信頼性が高いのは大型コンクリート試験体(数10cm角程度)の暴露試験とみ

なされている。大型とすることでアルカリ溶脱の効果を低減している。見逃されている点として,暴露試験は環境が異なると異なる結果を与えうることがある。実構造物で過酷なのは継続的水分供給がある条件だが,暴露試験は異なる。室内試験と暴露試験の間に整合性がないとしてもその原因を探る必要がある。

暴露試験と対になるのが,コンクリートプリズムによる室内加速試験(CPT)である。CPTは骨材試験でもありえるが,配合試験,あるいは性能試験でもありえる。すなわち,骨材の粒径ペシマム現象,骨材組合せによる組成ペシマム現象,混和材の抑制効果を考慮できる。アルカリ量の設定が CSA や RILEM では 5.25 kg/m^3 もしくは 5.5 kg/m^3 としているが,これを加速条件と考えるか,現実でありえる最大値と考えるか,思想的な統一はない。加速のための温度上限が議論の対象となる。温度の影響を調べるための対比試験が行われてきたが,温度を上げることでアルカリ溶脱が促進されるという側面があり,従来の手法による比較は必ずしも適切でない。ASRが湿分とアルカリ濃度に敏感な現象であるので,これを制御した方法として JASS5N T603 は優れている。ただし,試験期間が短い。

現在最も多用しているのが骨材単体のモルタルバー法や化学法である。これらの方法の限界は周知のことである。

(2) CPTによる乾燥とアルカリ溶脱

図-1に RILEM の試験体寸法と養生条件(7.5×7.5×25cmを湿布なしで湿空雰囲気保管)による急速膨張性骨材をペシマム条件で混合したコンクリートの膨張および質量増加の挙動を示す。 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ を 2.4, 3.0, 3.6 kg/m^3 , 養生温度

表-1 骨材のアルカリ反応性評価の方法一覧と特徴

手法	特徴
現場経験	長期間の実績主義。最も信頼性が高いが,適用範囲(環境条件)は限られ,信頼できる期間は経験の範囲内。
コンクリート試験:骨材試験と共に配合試験の意味合いを持つ。	
大型試験体の暴露	長期間を要する。アルカリ溶脱の影響が少ない。暴露条件が限られる。
CPT (38°C: RILEM AAR-3 ほか, 40°C: JASS5N T603)	試験期間 0.5~2年。室内試験として高信頼性。AAR-3では水分確保とアルカリ溶脱防止が課題。JASS5N T603は試験体の梱包が煩雑で,試験期間と $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ 量が課題。
CPT (60°C: RILEM AAR-4)	試験期間 20週。AAR-3と同じ問題と利点がある。現実よりも高温で検証必要。アルカリ溶脱の抑制必要。
骨材試験:配合依存性がある現象は検出できず,それぞれ限界がある。	
加速モルタルバー (ASTM C1260)	2週間で結果が得られる。多くの骨材が反応性となる厳しい試験。粒径ペシマムを見落とす。
迅速法(JIS)	オートクレーブを用い,短期間で結果が得られる。反応条件が現実あまりに乖離し信頼性に疑問が残る。
モルタルバー法 (JIS A 1146)	急速膨張性には適するがペシマム現象を検出できない。遅延膨張性骨材には適さない。
化学法(JIS A 1145)	急速膨張性骨材に適する。遅延膨張性骨材には不適。

キーワード: ASR, コンクリートプリズム, ペシマム, アルカリ溶脱, 加速倍率, 将来予測
 連絡先: 〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2 E-mail: yamada.kazuo@nies.go.jp

を 40℃ と 60℃ にした。温度が高く $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ が多いほうが膨張率は高い。温度が高く $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ が多いほうが、質量増加は多くなった。 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ が 2.4kg/m^3 では乾燥が起きた。RILEM の湿空雰囲気条件は不完全であり、 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ が少ない条件では乾燥がおきえる。 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ が多いと空隙水の吸水性が高まることの影響している可能性がある。

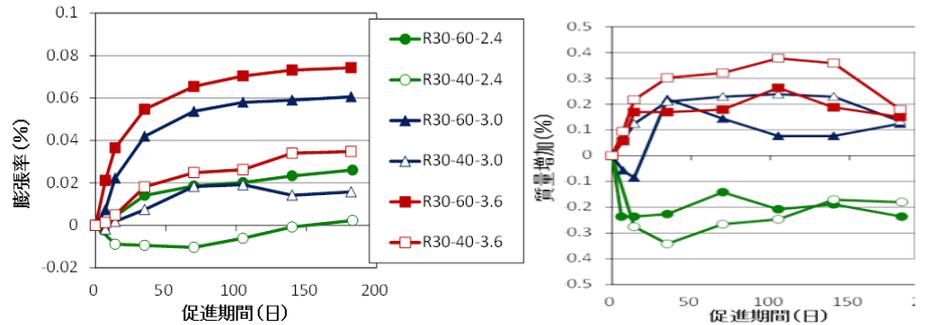


図-1 RILEM AAR-4 の CPT による膨張挙動 凡例：反応性骨材 R30%混合-温度℃- $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}\text{kg/m}^3$

JASS5N T603 では湿布で梱包するため質量減少は起きない。現実の ASR リスクが高い構造物は、水が連続的に供給されるのであるから、RILEM の方法は不十分である

図-2 に CPT におけるアルカリ溶脱挙動を示す。骨材は急速膨張性の A1, A2(同産地で違うロット), 遅延膨張性の D と T, 試験温度は 60 °C, 供試体寸法と養生方法は

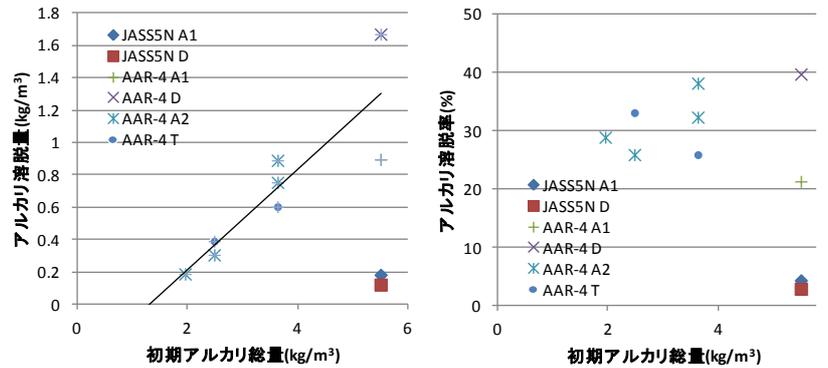


図-2 複数の骨材を用いた CPT におけるアルカリ溶脱挙動

JASS5N T603 と RILEM AAR-4 によった。AAR-4 では初期 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ に依存して直線的にアルカリ溶脱量が増加した。 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ が一定量以下では溶脱が生じないが、これは未反応セメントなどに含まれる非水溶性アルカリと解釈し、 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ から引き、差からの溶出量をアルカリ溶出率として再表示した。溶脱率は約 30%であるが供試体ごとに±10%程度の誤差があった。同一の試験場所で最大 1kg/m^3 程度の $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ が異なり、試験の再現性を得にくい。T603 では溶脱は限定的であった。あらかじめ空隙水のアルカリ濃度を予測し¹⁾、同濃度のアルカリ溶液で湿らせた布で梱包し、測定ごとに水のみを供給することで現実に起きる厳しい条件を再現できる。凍結防止剤は別途考慮する。

3. CPT の設計

上記の考察と結果を元に、理想的な ASR の抑制対策を提案する。岩石学的検討は述べないが当然必須である。

- ・試験体：実配合を用いる。7.5×7.5×25cm(約 3kg で取扱いが容易)。所定量のアルカリ溶液で濡らした布で梱包し薄いプラスチックフィルムで水とアルカリの出入りを防ぐ。測定ごとに水のみを一定量となるように湿布に追加。
- ・湿布のアルカリ濃度：混和材添加の場合を含め、空隙水の組成は、セメントのアルカリ量と文献の手法¹⁾で予測。
- ・養生：60℃ 保湿容器。温度を高め 20 週で判定する。測定期間は適宜設定。暫定的に 0.04%を判定基準とする。

4. 将来予測

CPT は加速試験なので加速倍率を考えれば将来予測はできる²⁾。ただし、実環境と加速環境での相関は把握する必要がある。明らかに温度は異なるので、その補正は可能である。さらに骨材種類ごとの依存性は他の要因も含めて検証が必要である。 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ に関する補正は、試験中にアルカリが再現性なく溶脱したのでは予測にならないので、その改善策(アルカリ溶液に濡らした湿布)は示した。温度との交互作用が予想されるのでその検証は必要である。

湿分補正については現状、適切な方法がない。安全側の方策として、十分に水分供給がありアルカリ溶脱がない手法で試験をするとして、現実にはこれは厳しすぎる場合が多くあり、この補正は将来の課題である。

ここで述べたのは膨張挙動の予測であり、本来は ASR 膨張が機能に及ぼす影響の予測こそが最終目的である。

【謝辞】 鳥田慎也氏(現 鹿島建設(株)), 諸岡俊祐氏(現(株)九電工)が九州大学大学院工学府建設システム工学専攻に在籍中、協力を得た。

【参考文献】

- 1) 川端雄一郎, 山田一夫, 松下博通:セメント系材料により生成される水和物の相組成と ASR 膨張抑制効果の関係, 土木学会論文集 E2, Vol.69, No.4, pp.402-420, 2013
- 2) 川端雄一郎, 山田一夫, 小川彰一, 佐川康貴:加速コンクリートブリズム試験を用いた ASR 膨張の簡易予測, セメント・コンクリート論文集, Vol.67, pp.449-455, 2014