

強度の異なるコンクリートのアルカリシリカ反応による膨張と力学性能変化

九州大学大学院 学生会員 〇川上隆
国立環境研究所 山田一夫
港湾空港技術研究所 正会員 川端雄一郎
九州大学大学院 正会員 佐川康貴, 学生会員 北川空良

1. はじめに

アルカリシリカ反応（以下、ASR）によるコンクリートの膨張や損傷を、劣化メカニズムに基づいて予測、対策することは、コンクリート構造物の長期的な維持管理において重要である。ASR の劣化機構に関してはこれまでさまざまな研究がなされているものの、すべての実験結果を説明できるようなメカニズムは明らかになっておらず、各種要因の影響度を実験的に明らかにする必要がある。ここで、ASR に影響を与えるパラメータの一つとして、水セメント比が考えられる。これはマトリクスの強度や空隙水量、生成するアルカリシリカゲルの拘束状況や物質の移動性に関係する。多くのASR 研究では RC 構造物を想定し普通強度のコンクリート、単一の水セメント比で行っている場合が多く、また、類似する既往の検討では促進試験時のアルカリ溶脱の影響によって、膨張挙動を正確に評価できていない懸念があることから、より実現象に即した確からしい試験法でこれを検証する意義がある。

本研究では、ASR 膨張メカニズムの整理において、コンクリートの強度が ASR に及ぼす影響を把握することと目的とし、水セメント比の異なるコンクリートで ASR 促進試験を実施した。無拘束条件で長さ変化と圧縮強度の測定を行うことで、強度の違いと膨張挙動、力学的性能変化の関係を実験的に検討した。

2. 実験概要

2.1 材料および配合

本研究では結合材として普通ポルトランドセメントを、細骨材に非反応性の石灰石砕砂、粗骨材に高反応性の安山岩碎石と非反応性の石灰石砕砂を使用した。

表-1 にコンクリートの配合を示す。水セメント比（W/C）を3水準設定し、単位水量、単位反応性粗骨材量を統一した。粗骨材について、反応性骨材と非反応性骨材をペシマムである体積比 3:7 で使用した。アルカリ総量（Na₂O 当量）については、W/C が 32%と 40%のものはセメントアルカリが 0.65mass%に相当するように設定し、W/C が 50%のものは 32%のものと比較できるように 3.25 kg/m³に合わせた。いずれもアルカリ総量は練混ぜ水に NaOH を添加することで調整した。

2.2 測定および促進養生方法

それぞれの配合で長さ測定用の角柱供試体を 3 体ずつ作製し、膨張が設定値（0.05%）に達するか表面に損傷が確認された時点で、同時に作製した円柱供試体を圧縮試験に供した。

長さ測定としては AW-CPT（Alkali-Wrapped Concrete Prism Test）を行った¹⁾。この手法は角柱コンクリート供試体（本検討では 7.5×7.5×25 cm）を、空隙水を模擬した NaOH 水溶液で封緘することで、アルカリ溶脱と乾燥を抑制し、コンクリートとしての膨張性の過小評価

表-1 コンクリート供試体の配合（kg/m³）

水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	水	セメント	細骨材	粗骨材 G		アルカリ総量 Na ₂ Oeq
		W	C	S	反応性	非反応性	
32	40	160	500	672	289	722	3.25
40	43	160	400	756	289	722	2.60
50	45	160	320	823	289	722	3.25

キーワード アルカリシリカ反応，水セメント比，促進膨張試験，アルカリラッピング

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 TEL：092-802-3387

を防ぐものである。ダイヤルゲージ法にて室温 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 50%以上の部屋で測定を行った。同時に質量も測定し、測定ごとに不織布が 50g の溶液を含むように蒸留水を追加することで湿潤状態を維持した。

材齢 1 日で促進を開始し、養生温度は 40°C 、強度試験用の円柱供試体も基準の 28 日標準養生のものを除いて、長さ測定用の角柱供試体同様の促進条件である。なお、コンタクトゲージによる円柱の長軸方向の測定で、角柱供試体と円柱供試体の膨張率は同等であることを確認している。

3. 結果および考察

図-1 と図-2 に、AW-CPT による供試体の膨張率と質量増加率の経時変化をそれぞれ示す。ここで、凡例は水セメント比を表す。アルカリ量の等しい W/C が 32%と 50%のものを比較すると、W/C の低いものの方が膨張率は小さい。この結果は質量増加の傾向と矛盾しているように見えるが、硬化体の剛性を反映していると解釈でき、既往の知見と合致する傾向である²⁾。しかし材齢 13 週以降においてアルカリ量の低い 40%のものの膨張曲線の傾きが大きい点など、長期挙動や自己乾燥の度合に由来する吸水量の差については引き続き詳細な検討が必要である。

図-3 と図-4 に、圧縮強度と静弾性係数の測定結果を示す。ここでは標準養生 28 日における値を膨張率 0 とし、横軸を試験時の膨張率で整理した。また、表面に幅 0.1mm 程度の損傷が確認された膨張率は、水セメント比 32%の場合は 0.06%，50%と 40%の場合は 0.1%であったため、これらに相当する材齢でひび割れの確認できるものを使用して圧縮試験を実施した。図から、膨張率によらず圧縮強度は同程度で、これは材齢の経過による強度増進と ASR の進行による影響が現れた結果と思われる。一方で弾性係数は膨張 0.05%時点、つまり供試体表面に損傷が確認される前から大きく低下し、その後は表面にひび割れが目視できるレベルに達しても大きな変化はない。弾性係数の変化を残存率（損傷後／損傷前）で表すと、水セメント比 32%，40%，50%それぞれに対し 84%，62%，70%であった。

4. まとめ

- 1) 同じアルカリ量、温度条件であっても、マトリクスの強度が異なる場合、強度が低いほうが膨張は早期に大きく現れた。ASR による膨張、損傷を予測する際にはマトリクスの強度を考慮する必要がある。
- 2) 強度によって損傷の発生するタイミングが異なった。目視でひび割れが確認された段階では、コンクリートの圧縮強度はほとんど低下しない。一方で、弾性係数は表面のひび割れ発生前から著しく低下した。

参考文献

- 1) Y. Kawabata et. al. : Alkali-Wrapped Concrete Prism Test (AW-CPT) – New Testing Protocol Toward a Performance Test against Alkali-Silica Reaction – , Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.16, pp.441-460, 2018
- 2) 高木祐介ほか: ASR により劣化したコンクリートの圧縮強度の低下と促進養生の影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.39, No.1, pp.895-900, 2017

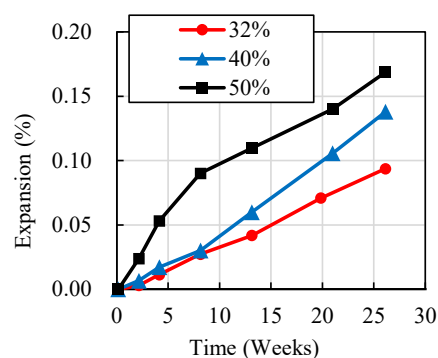


図-1 膨張率の経時変化

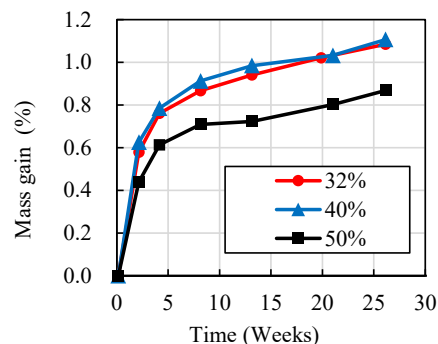


図-2 質量増加率の経時変化

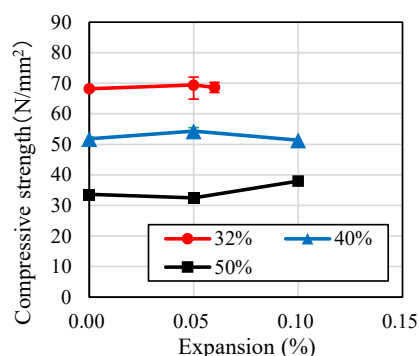


図-3 膨張率と圧縮強度の関係

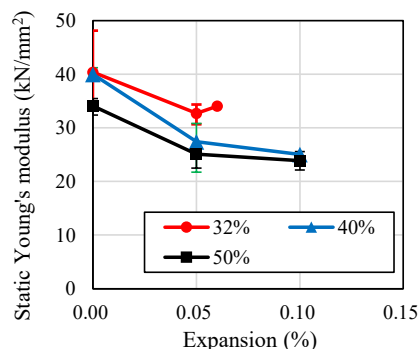


図-4 膨張率と静弾性係数の関係