

塩害，炭酸化および ASR の 3 種複合劣化環境におけるコンクリートの ASR 膨張特性に関する研究

鹿児島大学 学生会員 ○松元 淳一 鹿児島大学 正会員 武若 耕司
 鹿児島大学 正会員 山口 明伸 鹿児島大学 学生会員 梅木 真理

1. はじめに

近年，鉄筋コンクリート構造物の複合劣化機構を定量的に明らかにするための研究が盛んに行われている¹⁾。しかしながら，多くの場合，2 つの単独劣化が組み合わさった場合を想定しており，3 つ以上の単独劣化が組み合わさった複合劣化については，殆ど検討されていないのが現状である。そこで著者らは，塩害，炭酸化および ASR の 3 つが複合した劣化について検討を試みており，今回は ASR 膨張の観点からとりまとめた結果を報告する。

2. 実験概要

表 - 1 供試体配合

W/B (%)	スラグ置換率 (%)	単位量 (kg/m ³)					
		W	C	GGBS	流下土砂 (反応性)	G	NaOH
50	0	195	390	0	762	955	3.27
	50	195	195	195	756	947	3.6

表 - 2 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント (Na ₂ O: 0.55%)
混和材	高炉スラグ微粉末 (ブレン: 4000cm ² /g, Na ₂ O: 0.42%)
細骨材	反応性: 流下土砂 (D: 2.58g/cm ³)
粗骨材	非反応性: 鹿児島産砕石

実験に用いた供試体は表 - 1 に示す配合で作製したコンクリート供試体である。なお，配合決定に際しては，単位水量を一定とし，目標スランプ値を 10 ± 2cm としして配合を定めた。使用材料を表 - 2 に示す。セメントは等価 Na₂O が 0.55% の普通ポルトランドセメント，高炉スラグ微粉末は，目標ブレンが 4000cm²/g で等価 Na₂O が 0.42% のものを使用し，セメント質量に対する高炉スラグ微粉末の置換率（以下，スラグ置換率）は，0% および 50% の 2 種類とした。なお，以下ではそれぞれ OPC，BB と表記する。細骨材としては，鹿児島県桜島で発生する土石流により砂防堤や河口に堆積した，いわゆる火山性細骨材である「流下土砂」を用いた。この流下土砂は，安山岩種で反応性鉱物のクリストバライトを含んでおり，ASR 反応性が極めて高い細骨材である。また，粗骨材には鹿児島県始良産の非反応性砕石を用いた。供試体内部の初期アルカリ量は，全粉体に対する等価アルカリ量 [(Na₂O)] が，1.2% になるよう NaOH 水溶液を混入して調整した。実験

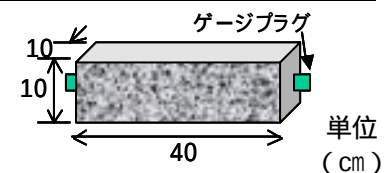


図 - 1 供試体形状

表 - 3 環境条件

1 サイクル	浸せき時間	3.5 日
	乾燥時間	3.5 日
浸せき条件	浸せき溶液	・ NaCl 5% 溶液 ・ 蒸留水
	炭酸化促進環境	CO ₂ 濃度 5% 温度 30 湿度 70 ~ 100%
乾燥条件	一般環境	CO ₂ 濃度 0% 温度 15 ~ 30 湿度 40 ~ 80%

供試体の形状は図 - 1 に示す 10 × 10 × 40cm の自由膨張供試体とし，初期養生については，養生中に NaOH が溶出しないよう 28 日間の密封養生とした。劣化促進試験としては，塩水浸せき，炭酸化促進および ASR 促進を複合させた劣化促進試験（以下，塩害-炭酸化-ASR 試験）とし，ASR 反応性細骨材を用いて作製したコンクリートを高 CO₂ 濃度室内で塩水乾湿繰り返しを行うことによって実施した。環境条件を表 - 3 に，促進試験方法を表 - 4 に示す。いずれの場合も塩水浸せき 3.5 日と乾燥 3.5 日の繰返しを 1 サイクルとし，50 サイクルまで

表 - 4 促進試験方法

試験名	塩害 - 炭酸化 - ASR	炭酸化 - ASR	塩害 - ASR	ASR 単独
浸せき環境	塩水浸せき	蒸留水浸せき	塩水浸せき	蒸留水浸せき
乾燥環境	炭酸化促進	炭酸化促進	気中乾燥	気中乾燥

合（以下，炭酸化-ASR 試験）と，炭酸化促進は行わず一般環境において塩水浸せきと乾燥を繰り返した行った場合（以下，塩害-ASR 試験），蒸留水による浸せきと乾燥を繰り返す場合（以下，ASR 単独）も同時に行った。なお，塩水浸せきに用いた溶液は NaCl 5% 水溶液とし，炭酸化促進については環境室内の CO₂ 濃度を 5% に設定して行った。また，長さ変化および重量変化については，所定のサイクル毎に塩水浸せき開始直前と塩水浸せき終了直後の 2 回ずつ測定を行った。

キーワード 高炉スラグ微粉末，複合劣化，塩害，炭酸化，アルカリシリカ反応

連絡先 〒890-0065 鹿児島市郡元 1-41-20 鹿児島大学工学部海洋土木工学科 TEL099-285-8480

3. 試験結果および考察

一例として、「塩害-炭酸化-ASR 試験」を 50 サイクルまで行った後の供試体表面のひび割れ状況を図 - 2 に示す。高炉スラグ微粉末を用いた供試体の表面には、ASR によるひび割れは認められなかったのに対し、普通コンクリート (OPC) の供試体表面には、亀甲状のひび割れが確認された。そこで、OPC 供試体において、ひび割れの状況を定量的に表すために、 $1 \times 1\text{cm}$ 正方形の柵目を劣化コンクリートに照らし合わせ、ひび割れとの交点の数をひび割れ交点数として算出した。その結果を図 - 3 に示す。いずれの複合劣化も「ASR 単独」に比べひび割れ交点数が多く、特に、塩害が作用するとひび割れ交点数は増加傾向にあったが、さらに、これに炭酸化の作用が加わるとかえって少なくなる傾向も見られた。

図 - 4 には、OPC あるいは BB 供試体の各劣化促進試験における膨張率の経時変化をそれぞれ示した。OPC 供試体について見てみると、「塩害-ASR 試験」の膨張開始時期およびひび割れ発生時期は他の複合劣化よりも早く、また、膨張の増加傾向も 50 サイクル終了時では、膨張率 0.55% と極めて大きな値を示した。一方、「塩害-炭酸化-ASR 試験」の場合、膨張開始時期は「ASR 単独」よりも遅いものの、50 サイクル終了時の膨張率は 0.4% と大きな値を示した。しかしながら、「塩害-ASR 試験」より膨張率は小さく、コンクリート中の pH の低下に起因する何らかの要因があったものと考えられる。また、「炭酸化-ASR 試験」については、ASR 単独と殆ど同様の増加傾向を示したが、40 サイクル以降になると、「ASR 単独」よりも小さくなる傾向を示した。一方、BB 供試体の膨張量は劣化促進環境の如何に拘らず小さな値となっており、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの場合、「ASR 単独」の環境だけでなく、塩害、炭酸化および ASR が複数に組み合わさった状況でも ASR 膨張の抑制効果は変わらないと考えられた。

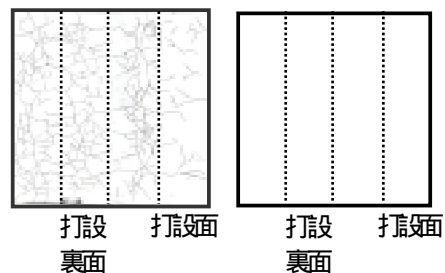
図 - 5 に各劣化促進試験を 50 サイクル行った後の供試体の曲げ試験結果を示す。なお、同時に著者らが行った反応性骨材混入率 0%，いわゆる普通コンクリートの「塩害-炭酸化-ASR 試験」における 50 サイクル終了後の曲げ強度の結果も併せて示す。ASR と判定されている OPC 供試体においては、曲げ強度の著しい低下が確認されたのに対し、セメントの 50% を高炉スラグ微粉末で置換した供試体については、強度の大きな低下は認められなかった。

4. まとめ

ASR を含む 2 つ以上の劣化機構が組み合わさった複合劣化促進試験を実施した結果、普通セメント使用の場合には、試験の中盤より膨張量が急激に増加する傾向が認められたものの、セメントの 50% を高炉スラグ微粉末で置換した場合、塩害あるいは炭酸化が ASR と複合するような環境においても ASR を抑制する効果は変わらないことが確認された。ただし、今回は ASR 膨張の観点からのみの結果であり、耐久性を考える上では、塩化物イオン浸透状況、中性化の状況および鉄筋腐食の影響なども考慮する必要があると考えられる。

【謝辞】本研究は、平成 19 年度、鉄鋼スラグ協会研究奨励金により実施した研究の一部である。関係者各位に感謝する次第である。

【参考文献】1) 宮川豊章ほか：複合劣化コンクリート構造物の評価と維持管理計画研究委員会報告、コンクリート工学年次論文集第 22 巻, No1, pp11-14, 2000



A) OPC 供試体 B) BB 供試体

図 - 2 塩害-炭酸化-ASR 試験のひびわれ状況

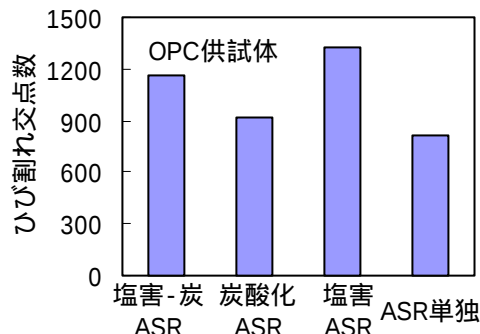


図 - 3 OPC 供試体の各試験におけるひび割れ交点数

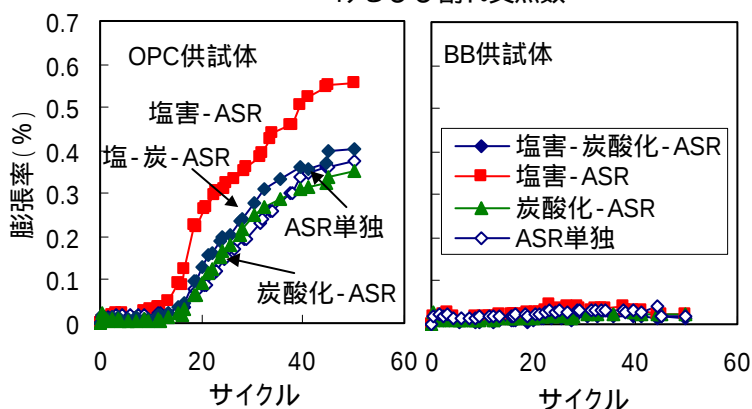


図 - 4 各試験の膨張率の経時変化

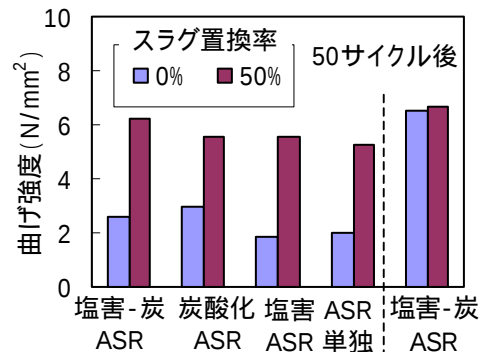


図 - 5 50 サイクル終了後の曲げ強度試験結果