

コンクリートの凍結融解・ASR複合劣化における膨張・損傷過程の分析

東京大学 学生会員 ○瀬川 出 正会員 高橋 佑弥
 横浜国立大学 Fuyuan Gong フェロー会員 前川 宏一

1. 背景と目的

凍結融解とASRの複合劣化が生じるコンクリートについて、既往の数値計算でASRゲルが先に材料内組織に入り込んだ場合にエントレインドエアの膨張圧緩和の役割が損なわれ、凍結融解抵抗性が低下する結果が示されている。本研究は上記既往の解析結果の検証と複合劣化機構の解明を目的とし、凍結融解とASRの順序を変えた複合劣化条件下での膨張挙動ならびに力学的特性の変化を計測し、膨張・損傷過程の分析を行うものである。

2. 実験条件

表-1に試験体シリーズと示方配合を示す。空気量は1%、6%の2水準、W/Cは35%、50%、60%の3水準を用意した。ASR反応性のある粗骨材を用い、ASR促進の為NaClをNa₂O換算10.0kg/m³となるよう添加した。各配合で10×10×40cmの角柱試験体とφ10×20cmの円柱試験体を作成し、打設2日後脱型、4週間水中養生を行った。養生終了後、試験体を凍結融解試験とASR促進試験に供した。半数の試験体は先に凍結融解試験を、もう半数の試験体は先にASR促進試験を行い、異なる複合劣化順序で試験を実施した。表-1中の硬化後の空気量ならびに気泡間隔係数は養生後の円柱試験体底面より2cm部分を切り出し、ASTM C457に基づき計測した。

表-1 試験体シリーズ (※1 硬化前計測時の空気量 ※2 硬化後計測時の空気量)

	air(%)	W/C(%)	W	C	S	G	NaCl	AE減水剤	AE	空気量 ^{※1} (%)	スランプ(cm)	空気量 ^{※2} (%)	気泡間隔係数(μm)
35-1	1	35	175	500	717	914	17.17	C×0.7%	20T	1.7	5.5	1.3	1156
50-1		50	175	350	836	999	18.87	C×1.0%	20T	2	6	0.9	1422
60-1		60	175	292	839	1044	19	C×1.0%	20T	1.9	4.1	0.8	1154
35-6	6	35	175	500	736	845	17.17	C×0.7%	4.0A	6.6	16.5	4.3	273
50-6		50	175	350	777	928	18.87	C×0.9%	6.0A	6.2	11.2	2.7	336
60-6		60	175	292	781	971	19	C×1.0%	8.5A	6.5	15.4	4.8	302

凍結融解試験は、JIS1148のA法を参考に温度サイクル条件を変え、最高温度7°C最低温度-18°C、冷却・加熱時間50分、温度保持時間70分の1サイクル240分とした。試験中測定された膨張量が1500μになるか150サイクル経過するまで試験を行った。ASR促進試験は、試験体に水で湿らせた布を巻き付け、ラップで封緘した状態で40°C、RH95%環境に設置し行った。膨張量が1500μになるか促進13週間経過するまで試験を行った。

角柱試験体を用いて膨張量を測定した。各劣化促進試験開始前に基長を測定し、コンパレータによる長さ変化測定によって膨張量を追跡した。円柱試験体を用いて各劣化試験終了後の圧縮強度を測定した。各シリーズ2本ずつ圧縮試験を行い、平均値を算出した。角柱・円柱全試験体に対してJIS11271に基づき共鳴周波数を測定し、相対動弾性係数の推移を測定した。

3. 劣化順序による膨張挙動の変化

図-1に角柱試験体の膨張量推移を示す。それぞれ(i)凍結融解試験時、(ii)凍結融解後のASR促進試験時、(iii)ASR促進試験時、(iv)ASR試験後の凍結融解試験時の膨張量を示している。結果を見ると、(i)より凍結融解のみが作用した場合は空気量6%の試験体が膨張しないか膨張が遅いことがわかるが、(iv)よりASR後の凍結融解による膨張量を見ると空気量の大小に関わらず全試験体が膨張している。凍結融解前にASRが発生することにより、凍結融解に有効な空気泡の機能が損なわれることが示されており、既往の解析的検討結果や事例報告を支持する結果が得られた¹⁾²⁾。一方、ASR膨張については、(ii)および(iii)の膨張傾向に大きな差異が見られない。別途計測を行っていた質量変化率を見てもあまり変化が無かったことから、凍結融解による膨張・損傷は、その後生じるASR膨張の挙動にはあまり影響を及ぼさない可能性があることが示された。

キーワード 凍結融解 ASR 複合劣化 空気量 水セメント比

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1 東大本郷キャンパス工学部1号館230

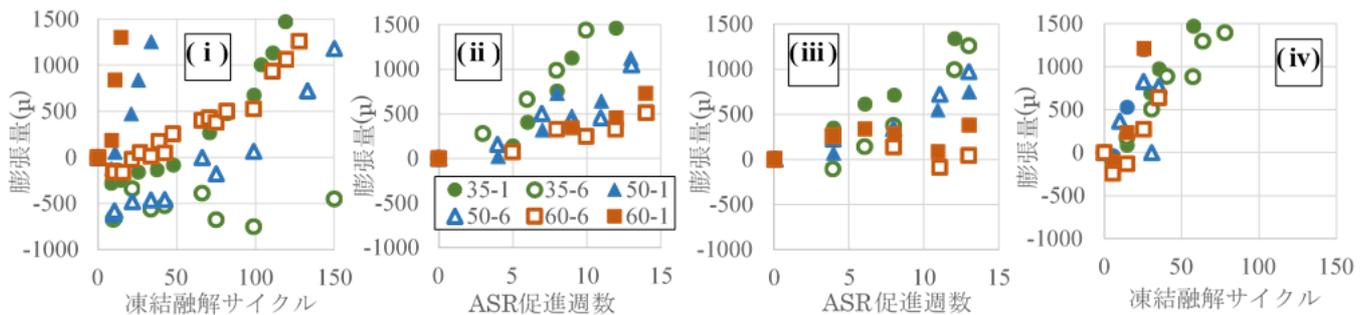


図-1 角柱試験体の膨張量推移

4. 相対動弾性係数推移と力学的性能変化

図-2 に空気量 6%のシリーズの圧縮試験結果を示す. なお単一劣化終了時の圧縮試験は W/C50%のシリーズのみ行った. 全ての試験体で劣化作用を受けることで圧縮強度は低下しているが, 50-6 シリーズで, 凍結融解後よりも凍結融解→ASR の複合劣化後の圧縮強度の方が高い結果となっている. ここで, 凍結融解→ASR のシリーズの相対動弾性係数推移を図-3 に示す. 50-6 と 60-6 の試験体において, ASR 促進時に相対動弾性係数が上昇している. 凍結融解による損傷部分に ASR 生成ゲルが一部入り込み, 材料の連続性が向上したことで圧縮強度や相対動弾性係数が回復したのではないかと考えられる. この時図-1(ii) に示すように試験体は膨張を継続している. 凍結融解-ASR 複合劣化条件で, 膨張挙動のみからは力学性能を予測することが難しいことを示しているものと思われる.

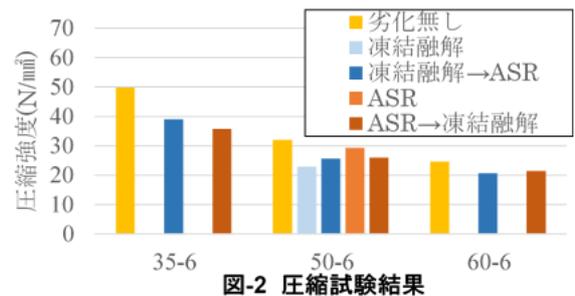


図-2 圧縮試験結果

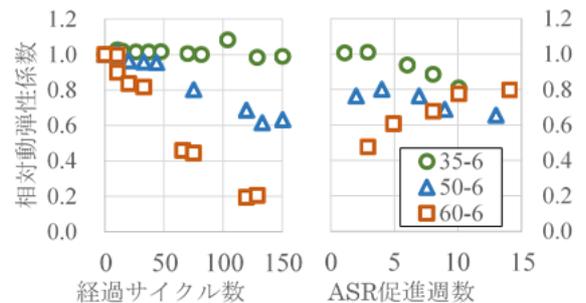


図-3 相対動弾性係数の推移

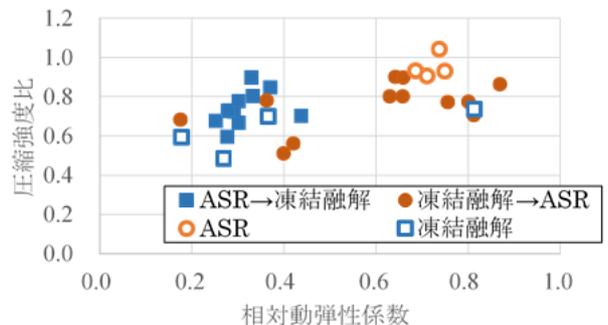


図-4 各試験終了時の圧縮強度比と相対動弾性係数の関係

図-4 に全ての円柱試験体の圧縮強度比と相対動弾性係数の関係を示す. 圧縮強度比は, 養生後に劣化試験を行わずに水中養生での保管を継続させた試験体の圧縮強度を 1 として算出した. 図より, 凍結融解のみの場合だけではなく, 凍結融解と ASR が様々な順序で作用した場合でも相対動弾性係数と圧縮強度比にはある程度の相関があるように見える. 複合劣化時の力学的性能の変化は, 相対動弾性係数によってある程度評価できる可能性がある.

5. まとめ

コンクリートの凍結融解と ASR の複合劣化試験を実施し, 先行する ASR によって凍結融解抵抗性が低下すること, 凍結融解後に ASR が発生すると損傷部に一部ゲルが入り込むことにより力学性能が回復する可能性があること, また相対動弾性係数によって力学性能変化をある程度追跡できる可能性があることが示された.

謝辞:本研究はJSPS 科研費 15H05531, SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)の助成を受けたものです。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) Gong, F., Takahashi, Y., & Maekawa, K. (2017). Strong coupling of freeze-thaw cycles and alkali silica reaction-multi-scale poro-mechanical approach to concrete damages. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 15(7), 346-367.
- 2) 小林孝一, 鹿野裕, 六郷恵哲 (2014). 山間寒冷地における RC 床版の ASR と凍害による複合劣化の事例とその検証実験. *土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造)*, 70(3), 320-335.