

鉄筋を配したコンクリート供試体の DEF による膨張挙動

太平洋セメント（株） 正会員 ○森 寛晃
 （株）太平洋コンサルタント 正会員 小川 彰一

1. はじめに

アルカリシリカ反応(以下, ASR)と類似のひび割れを生じるコンクリートの劣化現象として, 遅延エトリンサイト生成(Delayed Ettringite Formation, 以下 DEF)がある。いずれの劣化も網目状のひび割れを生じる上に, 同時に生起することが多く, 劣化原因の特定を困難にしている。

DEF は蒸気養生を行うコンクリート製品以外にも, セメントの水和発熱によりマスコンで発生した事例が海外で報告されている。近年, DEF 膨張とその特性変化に関して鋭意検討されている¹⁾が, 材料レベルあるいは小型供試体の検討が多く, 鉄筋を配したコンクリート部材での事例は極めて少ない。

DEF 膨張によるひび割れ状況と膨張挙動を部材レベルで把握するため, ASR と DEF をそれぞれ単独, あるいは同時に生起させたコンクリート部材を作製し, 屋外へ暴露した。本検討は, 各部材のひび割れ状況と暴露10年目までの膨張率を比較したものである。

2. 実験概要

試験水準を表-1に示す。使用材料として, セメントは早強ポルトランドセメント(全アルカリ量0.49% ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$), SO_3 量2.86%), 細骨材は山砂, 混和剤は高性能減水剤を用いた。粗骨材は, 水準AとA(S)ではASR急速膨張性を有する安山岩系砕石(A)を, 水準B(S)では化学法で無害の硬質砂岩系砕石(B)を用いた。水準AとA(S)ではASRを促進させるため, セメントの全アルカリ量を $C \times 2.5\%$ に調整した(試薬NaOHを練混ぜ水に溶かして添加)。水準A(S)とB(S)ではDEFが生じるよう試薬 K_2SO_4 を粉末で添加し, 全 SO_3 を $C \times 4.7\%$ に増加させた。コンクリート配合は, いずれも $W/C=50\%$, $W=168\text{kg/m}^3$ とした。

供試体寸法は $20 \times 20 \times 40\text{cm}$ で, 部材軸方向にD10を4本(軸筋比0.7%), 横拘束として丸鋼 $\phi 6$ を15cm

ピッチで配置した(腹鉄筋比0.19%)。供試体はいずれも最高温度 90°C で12h保持の蒸気養生を行って, 脱型, 基長測定の後, 材齢28日から屋外(千葉県佐倉市, 平均気温 14°C , 年間降水量1400mm)へ暴露した。

膨張率の測定は, 部材軸方向(検長250mm, 型枠側面2箇所)と軸直角方向(検長100mm, 打設面以外3箇所)とでコンタクトゲージ法により行い, 併せて供試体の質量を測定した。但し, 水準B(S)の軸直角方向における材齢3700日のみ測定限界を超えたため, ゲージプラグ間のひび割れ幅の合算値を用いて膨張率を推定した。

3. 実験結果と考察

写真-1に水準AとB(S)の型枠側面のひび割れ状況を示す。いずれの供試体にも亀甲状ひび割れが生

表-1 試験水準

水準	粗骨材	K_2SO_4	想定する劣化
A	A	無添加	ASR
A(S)	A	添加	ASR と DEF
B(S)	B	添加	DEF

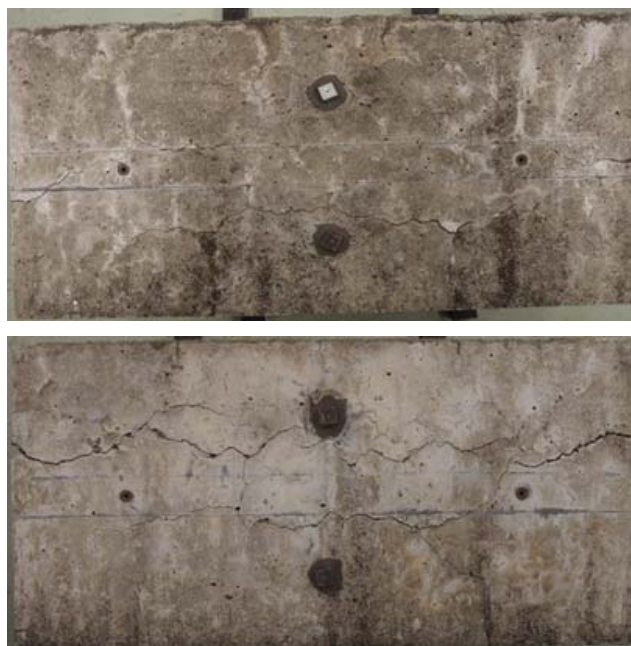


写真-1 供試体のひび割れ状況(上: A, 下: B(S))

キーワード 遅延エトリンサイト生成, アルカリシリカ反応, 膨張, 鉄筋コンクリート部材, 長期暴露

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作2-4-2 太平洋セメント(株) 中央研究所 TEL. 043-498-3804

じ、供試体全長にわたり繋がっている。特に、B(S)は軸方向に水平なひび割れが卓越し、その幅は端部付近で 1mm を超えている。水準 B(S)のひび割れは DEF 膨張に起因すると考えられるが、ASR 劣化と類似しており、その識別は困難である。但し、水準 B(S)のひび割れには ASR ゲルの滲出しの痕跡は見られず、この点で水準 A や A(S)の外観とは異なっていた。

供試体の部材軸方向の膨張率変化を図-1 に、軸直角方向の膨張率変化を図-2 に、質量変化を図-3 に示す。水準 A と A(S)は、暴露直後から大きく膨張する傾向を示したが、暴露 3 年で膨張進行は緩やかになった。対して、水準 B(S)は、膨張開始までに時間を要するが、暴露約 2 年から急激に膨張し、DEF が進行したと考えられる。最終的な膨張率はいずれの方向も他の水準より大きくなり、特に、軸方向の膨張率は約 0.4%を超えており、鉄筋は降伏している可能性が高い。4×4×16cm のモルタルを用いた既往の知見¹⁾では、DEF 膨張は拘束により抑制されるが、ASR とは異なり拘束の少ない方向へ膨張が移行することはないとされている。コンクリート部材を長期暴露した本検討の結果もこれに合致した。

なお、水準 A と A(S)について、水準 A では ASR 単独劣化を、水準 A(S)では ASR と DEF の複合劣化を想定したがほぼ同様の膨張挙動を示した。この理由は不明であるが、用いた粗骨材の反応性や脱型時の ASR ゲルの生成状況からは、蒸気養生の段階から ASR が生じて、それによる膨張が DEF よりも卓越した可能性、あるいは水準 A にも DEF が生じて ASR との複合で膨張した可能性などが考えられる。

4. まとめ

DEF によるひび割れは ASR と類似しているが、鉄筋による拘束がある場合の膨張異方性はコンクリートにおいても DEF と ASR とでは異なり、また、拘束下であっても DEF では大きく膨張する可能性があることが分かった。今後、部材断面内のひび割れ発生状況やアルカリ分布を調べるとともに、偏光顕微鏡や SEM を用いた観察によって劣化原因の裏付けを行いたい。

謝辞：本検討を進めるにあたり、港湾空港技術研究所 川端雄一郎博士に貴重なご意見を賜りました。謹んでここに謝意を表します。

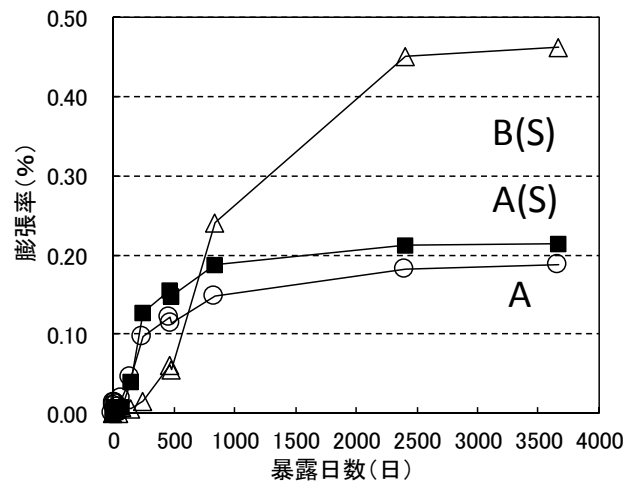


図-1 軸方向の膨張率

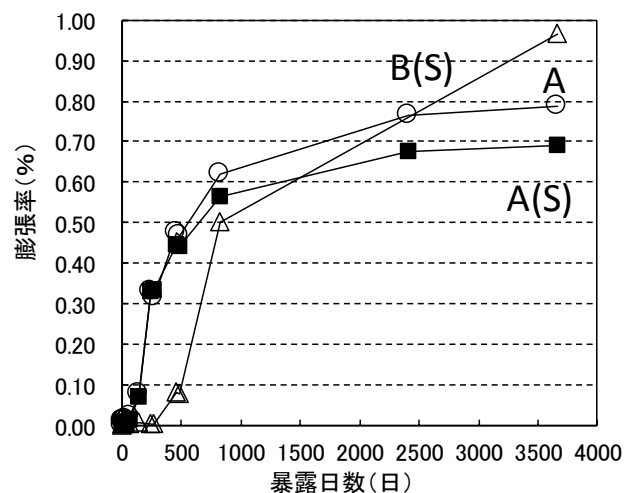


図-2 軸直角方向の膨張率

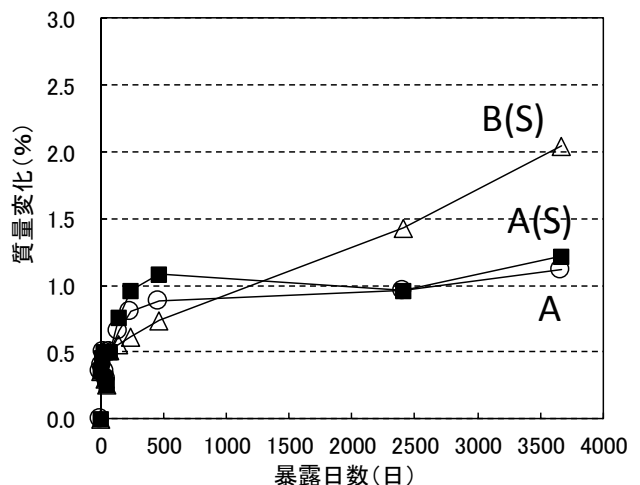


図-3 質量変化

参考文献

- 1) H. Bouzabata, S. Multon, A. Sellier, H. Houari: Effects of restraint on expansion due to delayed ettringite formation, Cem. Conc. Res. 42(2012)1024-1031.