

日仏のセメント種類および日本の環境条件が DEF 膨張に及ぼす影響の検討

埼玉大学大学院 学生会員 〇泉 杏紗, 正会員 浅本 晋吾
港湾空港技術研究所 正会員 川端 雄一郎
長岡技術科学大学 正会員 下村 匠
琉球大学 正会員 富山 潤
Université Gustave Eiffel Renaud-Pierre Martin, François Toutlemonde, Célia Khetib

1. 目的

エトリンガイト遅延生成(DEF)はコンクリートの内部膨張反応のひとつであり、アルカリシリカ反応(ASR)と同様に亀甲状のひび割れを引き起こす膨張現象である。DEFは、コンクリートが材齢初期に70℃以上の高温作用を受け、水分供給を受けることで発生し得、無拘束下では1%~2%という大きな膨張を呈する。フランスをはじめとした国外では、場所打ちコンクリートでのDEFによる劣化事例が報告されている一方、日本でのDEF劣化はコンクリート二次製品で確認されているものの、DEFと明確に判断された場所打ちでの劣化事例はない。その要因として、日本のセメントの低アルカリ性といった化学成分に対する厳格な管理や環境条件が可能性として考えられる。

そこで、本研究では、日仏のセメントと国内環境の違いによるDEF膨張特性の把握を目的として、日仏の異なるセメントを用いたコンクリート供試体をフランスで作製し、埼玉、横須賀、長岡、沖縄で屋外曝露試験を行った。

2. 実験方法

本研究では、日本の早強ポルトランドセメント(以下、RJ)、日本の耐硫酸塩ポルトランドセメントに相当するフランスのセメント(以下、R0F)、早強ポルトランドセメントに相当するフランスのセメント(以下、R1F)の3種類のセメントを用い、骨材はフランスのものを用いた。配合はフランスの材料設計に基づいた表1とし、R1FにはDEFの膨張を促進するため、KOHを添加した。既往の研究¹⁾に基づき、DEFを効果的に促進する図1の高温履歴を与えた。

COVID-19によりパリでは度重なるロックダウンがあったため、R1Fは、2020年10月16日、R0Fは2021年1月27日、RJは2021年4月1日と異なる作製時期となった。作製後、アルミテープで封緘状態した状態でGustave Eiffel Universityの室内で静置したのち、2021年12月にフランスから日本に向けて封緘のまま輸送し、2022年2月に日本に到着、2022年3月より埼玉、横須賀、長岡、沖縄で曝露実験を開始した。膨張の計測は上面2か所、南東面2か所、南西面2か所の計6か所にコンタクトチップを貼り付け、コンタクトゲージ(基長200mm、精度0.001mm)により行った。

表1 コンクリートの示方配合表

	W/C	単位量(kg/m³)					
		セメント	水	細骨材	粗骨材(大)	粗骨材(小)	KOH
RJ	0.488	410	200	860	100	840	-
R0F	0.495	410	203	866	100	831	-
R1F	0.495	410	203	864	100	829	1.745

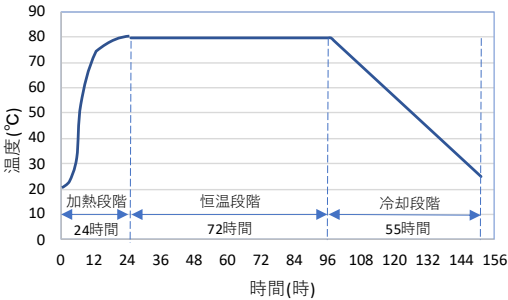


図1 温度履歴

キーワード DEF, フランス, セメント種類, 環境条件, 膨張ひび割れ
連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255
埼玉大学 理工学研究科 TEL 048-858-3739

3. コンクリート供試体曝露試験結果・考察

図 2-4 は、埼玉、長岡、横須賀、沖縄の各所で、RJ, R0F, R1F それぞれの DEF 膨張に伴う平均ひずみの変化である。R0F では環境条件による膨張挙動の違いは確認できなかった。R1F, RJ では曝露環境で異なる膨張特性が確認された。共通して横須賀での膨張は小さく、R1F, RJ では長岡と埼玉での膨張は、200 日以降概ね同等の膨張挙動を示した。初期の膨張を比較すると、長岡では、RJ が 100 日以前から膨張していたのに対し、R1F は 100 日以降急激に膨張し、埼玉では、RJ, R1F とともに初期から膨張が進行している。沖縄での膨張は、R1F と RJ で大きく挙動が異なっており、各環境での膨張特性の傾向は明確には確認できなかった。

セメントの種類による膨張量は R1F と RJ が同等、あるいは R1F, RJ, R0F の順で大きい。これは RJ, R1F が早強ポルトランドセメントであり、 SO_3 の量が多く (R1F : 3.5%, RJ : 3.0 %), エトリンガイトが生成しやすいためである。一方で、R0F は耐硫酸塩ポルトランドセメントであり、 C_3A が少なく (2.4%), エトリンガイトは R1F, RJ に比べ生成しにくく、膨張は小さくなったと言える。膨張促進の添加材を入っていない RJ でも R1F と概ね同等の膨張が観察されたことから、本実験の厳しい高温履歴を与えた場合、日本とフランスのセメント成分の違いが DEF 膨張に及ぼす影響は小さい可能性がある。埼玉・沖縄の供試体において、RJ が大きい亀甲状のひび割れ、R1F は細かい亀甲状のひび割れを呈しており、R1F は膨張が均一に大きく発生した一方で、RJ は不均一に膨張している可能性が示唆された。

紙面の都合上、各計測面での膨張ひずみは掲載していないが、RJ, R1F の供試体では、いずれの曝露環境でも、膨張初期は上面より側面の膨張ひずみが大きくなった。曝露は 3 月から開始したため、夏場に上面は強い日射を受け乾燥し、温度も上がったため、エトリンガイトが再生成しにくかった可能性がある。一方で、R0F の供試体では、いずれも上面のひずみが大きくなり、膨張ひび割れも上面で顕著であり、RJ, R1F と異なる傾向となった。日射で同じく乾燥はするため、膨張速度の温度依存性がセメントの種類によって異なる可能性も考えられる。これらについては、フランスでの室内実験で検証中である。

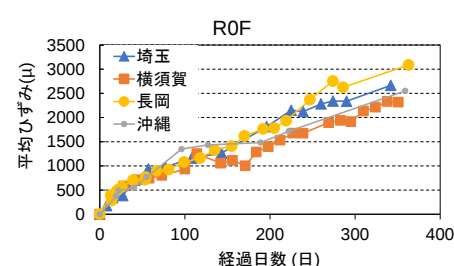
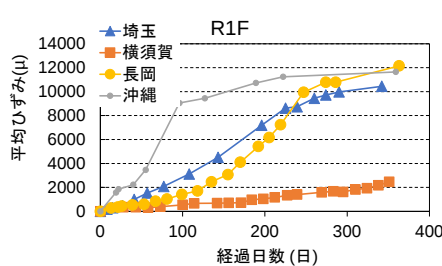
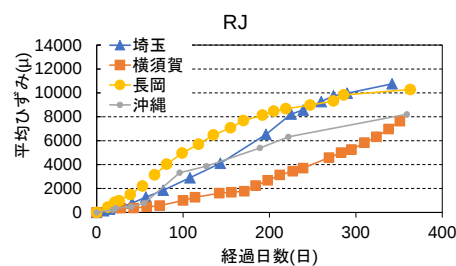


図 2 RJ コンクリートの膨張量 図 3 R1F コンクリートの膨張量 図 4 R0F コンクリートの膨張量

4. まとめ

DEF 膨張に対する環境条件の影響は、セメント種類によって異なった。これは、DEF の膨張速度の温度依存性がセメント成分に依存する可能性を示唆している。一方で、RJ と R1F については、横須賀の供試体のみ、明らかに小さい膨張挙動を示しており、フランスから日本に運搬した際、熱帯地域を経由したため供試体の置き場所で温度や乾燥状況が異なったことで、各供試体の初期状態が異なった可能性もある。各配合で日本とフランスでセメントによる違いは観察されなかったことから、日本のセメントを用いて再度各地で環境条件の影響について検討を続ける予定である。

参考文献

- 1) Renaud-Pierre Martin, François Toutlemonde: Theoretical and experimental validation of a simple method to reproduce representative DEF-prone conditions in laboratory, Materials and Structures volume 46, pages 1245–1255 (2013)