

速硬系補修材料における DEF 膨張の発生メカニズムに関する基礎的研究

金沢大学 学生会員 ○川口 勇作

金沢大学 正会員 久保 善司

(一社) 施工技術総合研究所 正会員 渡邊 晋也

1. はじめに

近年、コンクリート二次製品を対象に、異常膨張を起因とした劣化損傷の事例が報告されている¹⁾。その要因の一つに、DEF と呼ばれる、エトリングタイトの熱分解と再水和によって膨張が生じる反応が指摘されている。一般的 DEF の発生条件としては、セメント中の多量の SO_3 量、高温の熱履歴、周囲の十分な水分湿潤環境が挙げられる。一方、断面修復等で使用される速硬系補修材料は、早期強度発現のためエトリングタイトの生成を活用することもある。しかし、速硬系補修材料が用いられた構造物において、熱履歴を受ける場合に DEF の発生およびその膨張に関する検討はなされていない。本研究では、速硬系補修材料の化学成分の相違が DEF 膨張に与える影響について実験的な検討を行った。

2. 実験概要

(1) 使用材料および配合

使用用途や特徴の異なる 4 種類の補修材料を使用した。各種補修材料の特徴を表-1 に示す。また、蛍光 X 線回折分析によって得られた各種補修材料の化学成分を表-2 に示す。Zhang ら²⁾によると、セメントの SO_3/Al_2O_3 (モル比) は DEF 膨張発生に関する重要な指標であるとし、 SO_3/Al_2O_3 (モル比) が約 0.8 未満である場合、DEF 膨張が生じにくいことを報告している。本研究で使用した補修材料のうち、補修材料 B, C, および D は、 SO_3/Al_2O_3 (モル比) が 0.8 を超えているため、DEF による膨張が発生する可能性が高いものと推察される。

配合は、全ての補修材料において W/P(水/補修材料比)=15%とした。

(2) 膨張発生に関する検討

異なる補修材料を用いてモルタル角柱供試体 (40×40×160mm) を作製し、化学成分の相違による DEF 膨張発生の有無に関する検討を行うこととした。打設後、水中養生を行い、加熱履歴を与えた後、水中に静置 (再水和) した。実験条件を表-2 に示す。再

表-1 各種補修材料の特徴

記号	補修材料	用途	特徴
A	一材型断面修復用 ポリマーセメントモルタル	構造物の欠損部の 断面修復等	早期強度発現
B	セメント系無収縮モルタル	各種耐震補強 改修工事等	・流動性に優れる ・安定した強度発現性
C	速硬型 ポリマーセメントモルタル	床版・スラブ上面 の補修等	・速硬性能に優れる ・収縮が小さく、損傷が少ない
D	速硬型 ポリマーセメントモルタル	構造物全般の 断面修復等	・鉄筋防錆性に優れている。 ・セメント系のためコンクリートに近い基礎物性を有す。

表-2 実験条件

供試体	養生条件	加熱条件	再水和条件
40×40×160mm	水中養生(23°C) 28日間	200°C 6時間	水中養生(23°C)
Φ300×30mm	封緘養生 28日間		

表-3 蛍光 X 線回折分析結果

名称	化学成分(%)					SO_3/Al_2O_3 (mol比)	$Al_2O_3 + SO_3$ (%)
	Al_2O_3	SiO_2	SO_3	CaO	Fe_2O_3		
A	13.9	16.3	4.8	42	1.9	0.63	10
B	12	10.6	10	50.7	1.8	1.07	22.1
C	12.8	17	13	47.1	1.7	1.26	25.4
D	5.2	14.5	3.3	51.5	1.9	0.81	8.5

水和開始後の供試体の膨張は、速やかに基長を測定し、その経時変化を計測した。膨張測定には、コンタクトゲージ法およびノギス法の 2 つの方法により実施した。

(3) 膨張圧に関する検討

鋼材拘束により DEF 膨張を拘束した場合のコンクリート力学的性能に関する既往の研究³⁾においては、DEF 膨張の拘束によって、コンクリートの圧縮強度が維持されている結果が報告されている。

上記 2.(1)と同様のモルタルを鋼製の円筒型リング (拘束リング: φ300mm, 高さ 30mm, 厚さ 8mm) 内に打設した供試体を作製し、拘束リングのひずみから膨張圧を測定することとした。DEF 膨張はセメントペースト部の膨張に起因とするため、膨張に伴い組織が弛緩し、場合によっては、自壊することもある。実構造物においては、内部に配置された鋼材によってこれらの膨張は拘束される。ここでは、化学成分の異なる補修材を用いたモルタルの拘束下における DEF 膨張の膨張圧を比較検討することとした。実験条件は角柱供試体と同様とした。なお、膨張圧は、円筒型リングに対角に 4 カ所貼付けたひずみゲージによって計測されたひずみから算出した。

3. 結果および考察

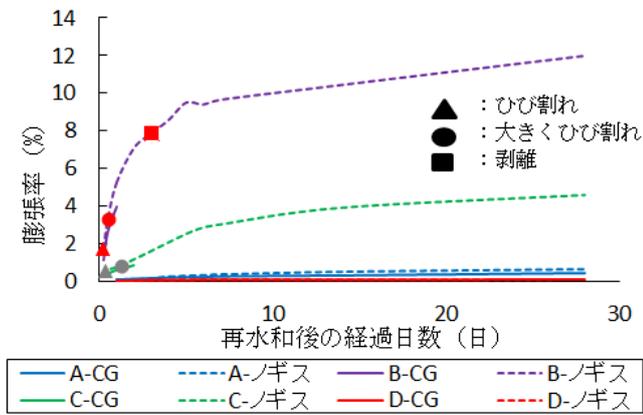


図-1 水中浸漬時間と膨張率の関係

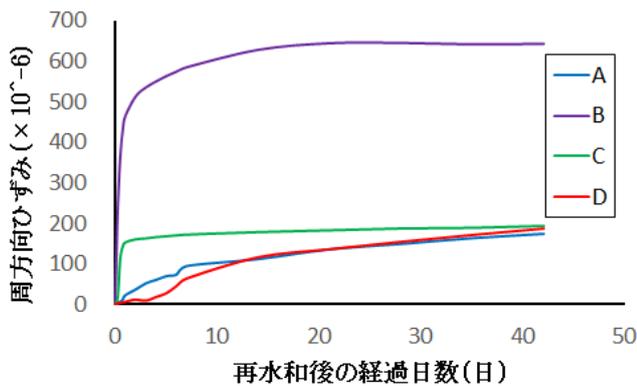


図-2 拘束リング供試体に与える膨張率の影響

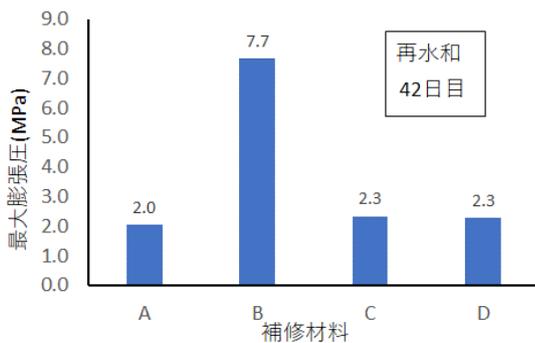


図-3 各種補修材料の再水和 42 日後の膨張力

(1) 膨張発生

再水和後の角柱供試体の膨張率の経時変化を図-2 に示す。図中の凡例は、(補修材料名)-(測定方法)を示す。補修材料 A および D のものは、28 日間の浸漬においても膨張は確認されなかった。一方、 SO_3/Al_2O_3 (モル比) が 1 より大きい補修材料 B および C のものは、再水和直後から急激に膨張を生じ、28 日後において、いずれも 2% を上回る大きな膨張を示した。 SO_3/Al_2O_3 (モル比) の大きなものが膨張し、既往研究²⁾からの推定結果と概ね一致した。

(2) 膨張圧に関する検討

再水和後の拘束リング供試体の膨張率の経時変化および 42 日後の膨張圧を図-2 および図-3 に示す。膨

張速度および膨張率は異なるものの、すべての補修材料において膨張が認められた。補修材料 B は、角柱供試体の結果と同様、膨張速度が大きく、最大の膨張量を示した。なお、補修材料 B の膨張圧は最大 7.7MPa を示した。今回の拘束条件は実構造物内での拘束条件とは異なるものの、構造物において DEF が生じた場合、鋼材の拘束によってこれらの膨張圧がケミカルプレストレスと同様の効果を持つことが推察される。なお、詳細な部材性能への影響についてはさらなる検討が必要であろう。

他方、角柱供試体では膨張を示さなかった補修材料 A および D のものも膨張を生じた。この相違の原因としては、角柱供試体と拘束リング供試体の再水和における供試体体積と浸漬溶液容積の比、すなわち、液固比が異なったためと考えられる。角柱供試体の液固比約 1.3 に対して、拘束リング供試体では約 8.1 であった。既往の研究⁴⁾によれば、同一条件の熱履歴を与えたコンクリートにおいては、外部へのアルカリ溶出が大きいほど、DEF が発生しやすいと指摘もされている。この場合、供試体容積に対して浸漬溶液容積の大きい、拘束リング供試体では、外部へのアルカリ溶出が大きくなり、DEF が発生しやすくなった可能性が高い。今後は、これらの諸物性、あるいは化学分析などの検討を行い、それらの詳細を明らかにする必要がある。

参考文献

- 1) 藤兼雅和, 中原慈, 仲村哲男: エトリンガイトの遅延生成 (DEF) によるコンクリート製品の劣化に関する報告, 土木技術資料, Vol. 51, No. 11, pp. 38-41 (2009)
- 2) Zhang, Z., Olek, J. and Diamond, S.: Studies on delayed ettringite formation in heat-cured mortars: II.Characteristics of cement that may be susceptible to DEF, Cement and Concrete Research, Vol.32,No.11,pp.1737-1742(2002)
- 3) Hassina Bouzabata, Stephane Multon, Alain Slier, hacene Houari:Effects of restraint on expansion due to delayed ettringite formation, Cement and Concrete Research 42 (2012) 1024-1031
- 4) C.Famy,K.L.Scrivener,A. Atkinson,A.R.Brough,:Influence of the storage conditions on the dimensional changes of heat-cured mortars,Cement and Concrete Research,Vol. 31,pp. 795-803, 2001