

加熱履歴の相違が超速硬セメント硬化体の過膨張に及ぼす影響

金沢大学 学生会員 ○林 千晶

金沢大学 正会員 久保 善司

(一社)日本建設機械施工協会 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、エトリンタイトの遅延生成 (DEF : Delayed Ettringite Formation) と呼ばれる現象による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⁾。DEF の主な発生条件としては、過剰な硫酸塩、高温の熱履歴、十分な水分供給が挙げられ、エトリンタイト (以下, Ett) の熱分解と再水和によって膨張が生じると指摘されている²⁾。早期強度発現のために Ett 生成反応を活用する場合があります、それを活用した速硬系材料において DEF による過膨張の発生が懸念されている。本研究では、超速硬セメントを用いて、硬化後に受ける高温履歴の程度が過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

セメントには、早期に多量の Ett を生成する速硬系材料である超速硬セメントを使用した。蛍光 X 線分析によって得られた化学分析結果を表-1 に示す。

2) 供試体および検討概要

本研究では、W/C=40%のモルタルおよびセメントペースト供試体を作製し、いずれも円柱供試体 (φ50×100mm) とした。材齢 28 日まで 20°C で封緘養生を行った後に、所定時間の加熱を行い、水中浸漬によって再水和を行った。加熱は昇温を 20°C/h とし、所定時間保持後、10°C/h で 20°C の室温に戻した。実験条件 (加熱履歴) を表-2 に示す。材齢 28 日、加熱後、再水和後においてセメントペースト供試体を用いて試料を作製し、粉末 X 線回折分析 (XRD)、示差熱重量分析 (TG-DTA) を実施することで含有鉱物の同定を行った。また、モル

表-1 超速硬セメント化学成分(mass%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
13.98	13.94	1.98	54.72	11.6	0.2	0.25

表-2 実験条件

養生条件	加熱条件	再水和条件
材齢 28 日まで 封緘養生 (20°C)	70°C, 12 時間	水中保管 (20°C)
	150°C, 9 時間	
	200°C, 3 時間	
	200°C, 6 時間	

タル供試体を用いて、圧縮試験による圧縮強度の算定および膨張の計測を行った。膨張の計測は変位計 (感度 0.001mm) を用いて実施し、水中浸漬開始時からの経時変化を計測した。

3. 実験結果および考察

1) 膨張性状

再水和後の膨張率を図-1 に示す。加熱履歴を与えない 20°C 養生では、材齢 50 日においても膨張は約 0.02% であり、膨張を示さなかった。70°C・12 時間の加熱履歴のものでは、材齢 40 日においても約 0.13% 程度の膨張に留まり、顕著な膨張を示さなかった。150°C・9 時間および 200°C・3 時間の加熱履歴のものは、それぞれ約 1.54% および約 2.02% の膨張を示した。加熱温度が高いものほど、膨張開始時期は早く、膨張率も大きくなった。特に、200°C・6 時間の加熱履歴のものは浸漬 (再水和) 1 日以内に約 0.6%、4 日以内に約 5.0% の膨張に達し、急激に大きな膨張を示した。モノサルフェート (以下, Ms) や C-S-H 等の共存物質に強い前処理乾燥を与えて水和させると、Ett 生成量が増加したという報告もあり³⁾、200°C で 6 時間加熱を行うことで Ms が強

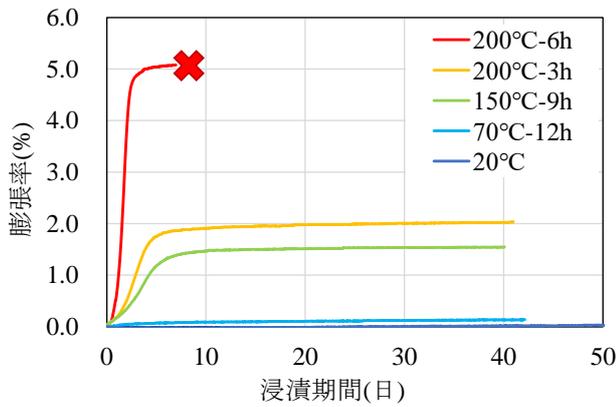


図-1 再水和後の膨張率

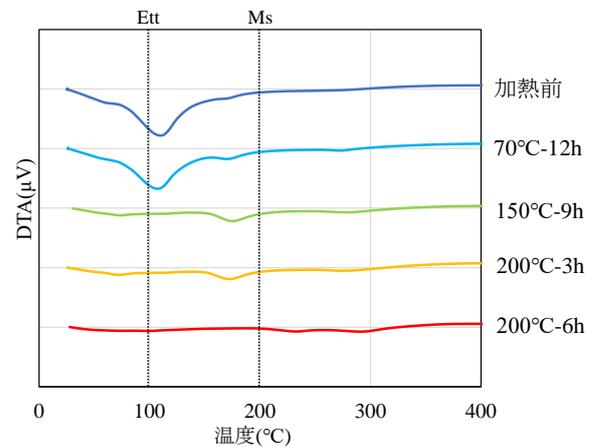


図-4 加熱前後での DTA 結果

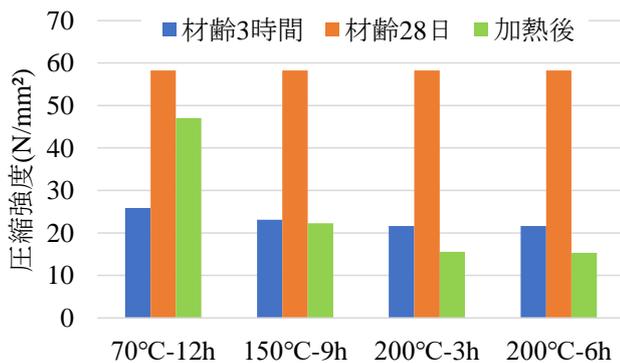


図-2 圧縮強度変化

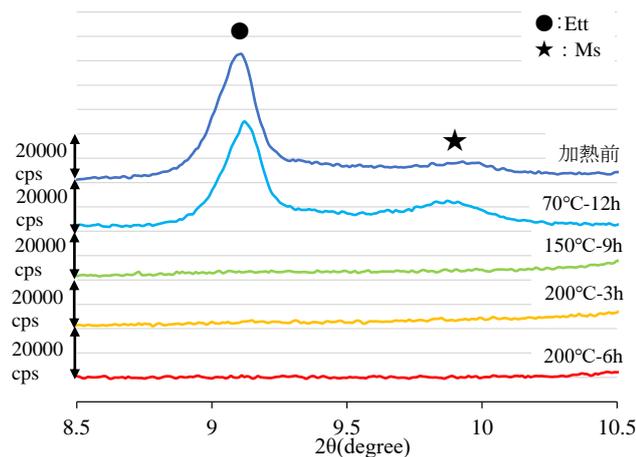


図-3 加熱前後での XRD 結果

い乾燥を受け、その後の ETT 生成に寄与した可能性が高いものと考えられる。

2) 圧縮強度変化

圧縮試験結果を図-2 に示す。水和の進行によって材齢 28 日まで強度は増加した。加熱の影響によって、加熱後の強度は低下した。これは結晶性鉱物の分解によるものと推察される。

3) エトリンガイトの生成・分解

加熱前および加熱直後の ETT の $2\theta=9^\circ$ 付近における XRD パターンを図-3 に示す。加熱前および 70°C 加熱を行った場合には ETT のピークが確認されたが、150°C および 200°C 加熱では ETT のピークが確認されなかった。ETT は 110°C 程度の高温で乾燥させると脱水してメタエトリンガイトと呼ばれる非晶質体に変化することが報告されており⁴⁾、XRD では非晶質体が検出されないことから、150°C および 200°C の加熱を受けたものは ETT が非晶質化したものと考えられる。また DTA によっても、100°C 付近に見られる ETT の吸熱ピークが消失しており、ETT が分解されていることが確認された (図-4)。

4. まとめ

本研究の結果、温度履歴によって過膨張の程度に相違が認められた。加熱温度が極めて高い場合に膨張が発生しやすく、同温度では加熱時間が長いものほど、膨張が急激に生じやすいことが明らかとなった。

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) 羽原俊祐ら: コンクリートの DEF による硫酸塩膨張の生起条件の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol. 28, No. 1 (2006)
- 3) 品川 英斗ら: モノサルフェートの前処理乾燥および共存物質の種類がエトリンガイト生成に及ぼす影響, セメント・コンクリート論文集, Vol. 71, No. 1, pp. 109-116 (2017)
- 4) Q. Zhou et al.: Metaettringite, a decomposition product of ettringite, Cement and Concrete Research, Vol. 34, pp. 703-710 (2004)