

DEF 膨張の標準試験条件について

岩手大学大学院 学生会員 ○福田 峻也
 岩手大学 非会員 平野 雄大
 岩手大学 正会員 羽原 俊祐
 岩手大学 正会員 小山田 哲也

1 はじめに

エトリングタイトの遅延生成(Delayed Ettringite Formation)とは、コンクリートに起こる新しい劣化事例でコンクリートが硬化後に数ヶ月から数年で膨張破壊する現象である。DEF による劣化の被害例は欧米で 90 年以降に報告されており¹⁾、硫酸塩量が多く、且つ蒸気養生したコンクリートで起こりやすいとされている。最近の研究では、添加する硫酸塩の量は添加するほど膨張が大きくなること、蒸気養生後の保管条件については 20℃の水中でないと膨張しないことを明らかになっている(図1)²⁾³⁾。しかし、未だ将来 DEF が発生するか判定する試験方法は開発されていない。そこで、DEF に及ぼす蒸気養生条件、添加する硫酸塩の条件及びモルタル条件について調べ、DEF 膨張における標準試験方法について検討した。

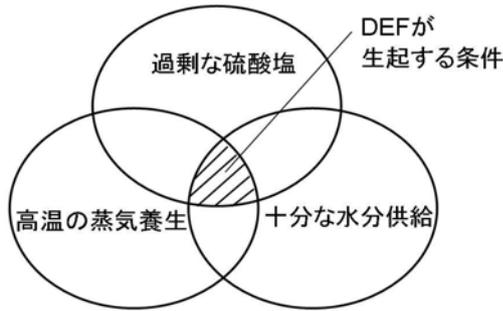


図1 DEFの生起条件³⁾

2 実験方法

早強セメント及び 2.5mm以下の骨材を用いて 4×4×16cm のモルタル供試体を各々3 本作製し、長さ変化をダイヤルゲージ及びノギスにより測定し、表1に示す水準で検討を行った。添加する硫酸塩は、セメント中の SO₃ 量(2.8%)にさらに SO₃ を2%加算して混合添加した。蒸気養生の条件としては最高温度で 12 時間加熱後、徐々に常温まで冷却し、8 時間後に取り出し、その後、各保管条件で保管した。尚、試験期間を 180 日として、判定条件を選定し、試験方法として提案するものとした。

表1 検討水準

蒸気養生温度	90, 80, 70, 60, 55, 50, 20℃
前養生時間	1, 4, 8, 16, 24時間 2日, 1週間
保管条件	20, 40, 60℃水中, 40℃湿空
硫酸塩の種類	硫酸カリウム, 無水石膏
添加量	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0%
水セメント比	30, 40, 50, 60%
砂セメント比	1.0, 1.5, 2.0
骨材	ケイ石, 石灰石, アルカリ反応性骨材

3 実験結果及び考察

3.1 蒸気養生条件

蒸気養生条件として、蒸気養生温度、前養生時間及び蒸

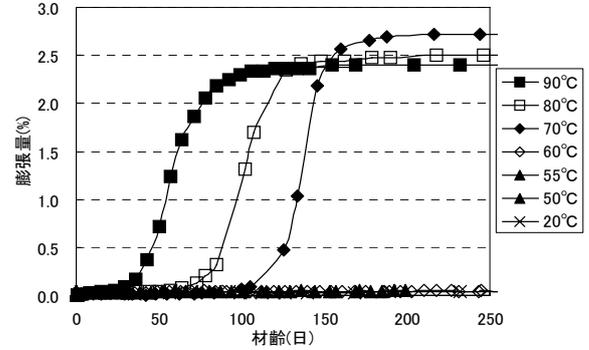


図2 蒸気養生温度の影響

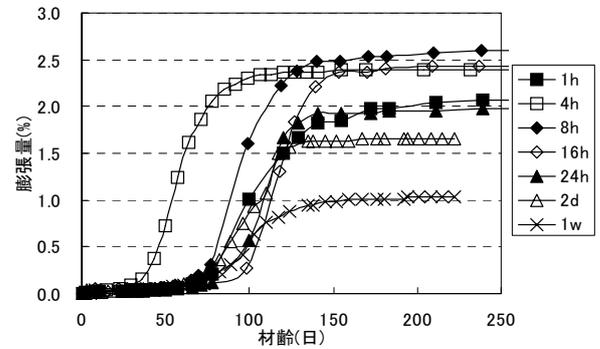


図3 前養生時間の影響

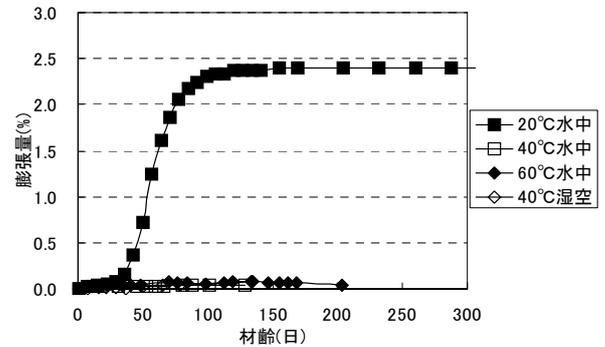


図4 保管条件の影響

気養生後の保管条件の影響について図2, 3, 4に示す。蒸気養生温度については 90℃で 30 日、80℃で 50 日、70℃で 100 日から膨張し始め、養生温度が高いほど早期に膨張を開始した。しかし、60℃以下の温度では 20℃標準養生と同様に膨張しない。前養生時間は 4 時間が最も早く 30 日から膨張し始める。その後、1, 8 時間が続き、あとは材齢が長くなるにつれて膨張開始材齢が遅くなる。前養生 2 日、1 週間でも膨張量は、それぞれ 1.7%、1.0%を示す。蒸気養生後の保管条件は 20℃の水中でのみ膨張を示した。水中でも温度が高い 40, 60℃や 40℃の湿空では膨張しない。

このことから、試験方法として蒸気養生温度と前養生時間は最も早く膨張する 90℃、4 時間、保管条件については

20°Cの水中が妥当であると考えられる。

3.2 硫酸塩の種類と添加量

添加する硫酸塩として、硫酸カリウムと無水石こうの添加量の影響について図5に示す。どちらの硫酸塩でも、添加量が多くなるにつれて、膨張開始材齢が早くなる。硫酸塩の種類で比べると、同じ添加量でも硫酸カリウムのほうが膨張開始材齢は早く、膨張量も大きい。

このことから、試験方法として硫酸塩として硫酸カリウムを用いて、添加量は1.5%以上加えることが妥当であると考えられる。ただし、硫酸カリウムを過剰に添加するとDEF以外の膨張が発生してしまう可能性があるため注意が必要である。

3.3 モルタル条件の影響

モルタル条件として、水セメント比、砂セメント比及び骨材の影響について図6, 7, 8に示す。水セメント比については、水セメント比が高いほど早期に膨張し、60%は30日、50%は70日から膨張し始め、40%以下では材齢150日以降でも膨張は示さない。砂セメント比は、いずれも材齢70日から膨張し始め、最終の膨張は砂セメント比が低いほど大きく、1.0で3.0%、1.5で2.0%、2.0では0.7%の膨張量になる。骨材は、ケイ石骨材が最も早く材齢30日から膨張し始め、続いて反応性骨材が材齢50日から膨張する。石灰石骨材

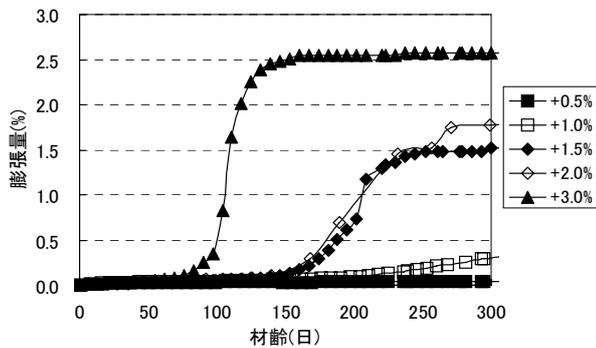
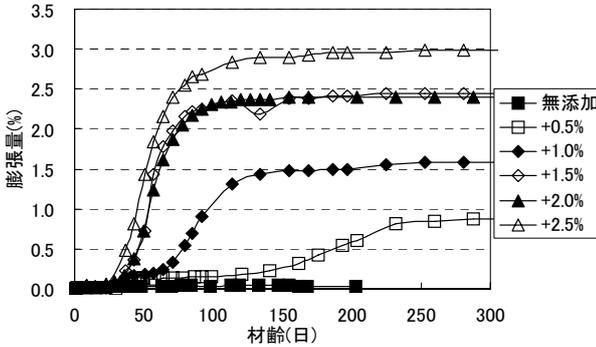


図5 硫酸塩の種類と添加量の影響 (上: 硫酸カリウム 下: 無水石こう)

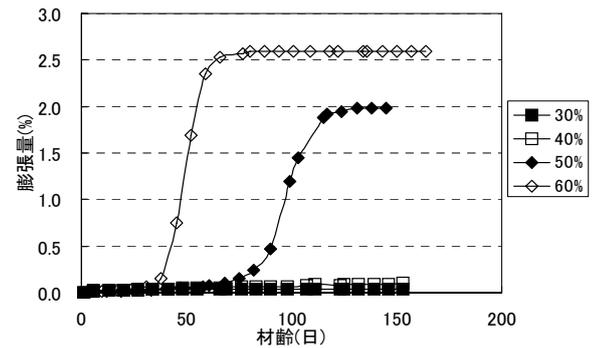


図6 水セメント比の影響

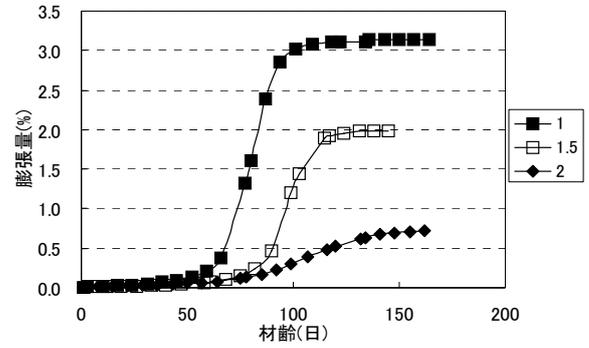


図7 砂セメント比の影響

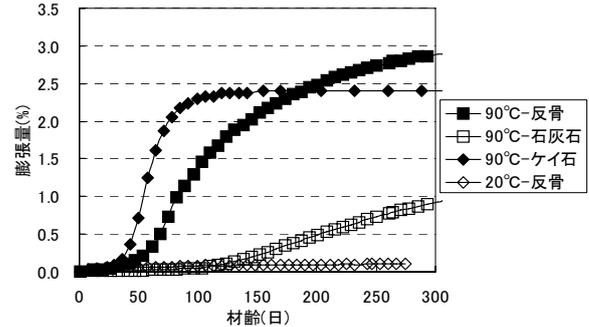


図8 骨材の影響

は膨張開始材齢が他の骨材に比べ、著しく遅く材齢130日から膨張する。

このことから、試験方法として水セメント比、砂セメント比はブリーディングの影響を考えそれぞれ50%、1.5、骨材はケイ石骨材を用いるのが妥当であると考えられる。

4 まとめ

DEFに及ぼす蒸気養生条件、添加する硫酸塩の条件及びモルタル条件のDEF膨張における標準試験方法について検討した。それぞれの実験結果からDEFの標準試験条件は表2に示すとおりになる。

表2

蒸気養生温度	90°C
前養生時間	4時間
保管条件	20°C水中
硫酸塩の種類	硫酸カリウム
添加量	1.5%以上
水セメント比	50%
砂セメント比	1.5
骨材	ケイ石

参考文献

- 1) H.F.W.Taylor, C.Famy and K.L.Scrivener: Delayed Ettringite Formation, CEMENT and CONCRETE RESEARCH, Vo31, pp.683-693, 2001
- 2) 羽原俊祐ほか: 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報告集、Vol.28, pp.743-748, 2006
- 3) 羽原俊祐、福田峻也: コンクリートのエトリンタイト遅延生成 —DEF劣化によるコンクリート製品のひび割れ現象と対策—、コンクリートテクノ、印刷中、(2006)