

DEF 膨張に伴うセメント系硬化体の圧縮強度変化に関する研究

山梨大学大学院 学生会員 ○小池 拓斗
山梨大学大学院 正会員 佐藤 賢之介
山梨大学大学院 正会員 齊藤 成彦

1. はじめに

DEF (Delayed ettringite formation)は、高温履歴を受けたセメント硬化体内部で“エトリングライトが遅延生成する現象”を指し、数%オーダーの著しい膨張を生じさせて損傷をもたらす。近年、工場製品やマスコンクリートにおける DEF が海外を中心に報告され、DEF に関する研究が活発に行われている。特に DEF の発生条件や抑制方法に関しては検討事例が比較的多く、使用材料や温度管理等を適切にすることにより DEF を抑制できることが明らかにされてきている。

一方で、DEF 膨張が発生した場合、セメント硬化体の内部損傷を誘引し、各種性能や物性が刻々と変化すると考えられる。しかし、この観点からの DEF に関する研究は乏しく、不明な点が多い。今後、DEF 膨張が発生した場合の性能予測手法の構築へと発展させるためには、DEF の進行に伴う硬化体の力学特性や空隙構造等の経時変化を適切に評価する必要があると考える。

そこで著者らは、DEF 膨張を生じさせたセメントペースト供試体について、その膨張量および圧縮強度の変化と空隙構造変化の関係について報告した¹⁾。本研究では、研究対象をセメントペースト・モルタル・コンクリートに拡大することで、セメント系硬化体の DEF の進行に伴う圧縮強度および空隙構造の変化について比較検討を行った。

2. 実験概要

2. 1 試料作製

国内において市販されている早強ポルトランドセメントを使用して、セメントペースト・モルタル・コンクリート供試体を作製した。セメントに対して、

SO₃添加率として 0%, 2%, 4%となるように硫酸カリウム (K₂SO₄) を添加して、水セメント比 (W/C) を 40%, 60%とした配合で練り混ぜを行い、セメントペースト・モルタルは直径 50mm×高さ 100mm、コンクリートは直径 100mm×高さ 200mm の円柱供試体を作製した。打ち込み後は 20°C環境で 4 時間の前養生を行い、昇温速度約 20°C/h で加熱した。最高温度 85°Cにて 12 時間保持した後、降温速度約-20°C/h で室温まで冷却後、材齢 1 日で脱型し、後養生は 20°C水中養生とした。なお、養生水は後養生開始後 1 ヶ月毎に交換した。

2. 2 膨張量および圧縮強度の測定

脱型時の長さを基長とし、デジタルノギスを用いて後養生開始から 2 週間毎に直径および高さの長さ変化を測定した。直径の長さ変化量から膨張量を算出した。圧縮強度試験は、後養生開始後 0, 28, 91, 181 日において行った。

2. 3 分析項目

後養生開始後 0, 28, 91, 181 日の試料について、ダイヤモンドカッターを用いて円柱供試体の高さ方向における中央部を厚さ 1cm に切り出し、粗砕後アセトン浸漬を行い分析に使用した。試料中のエトリングライトの生成状況を確認するため、XRD 測定を実施した。試料は、アセトンを減圧乾燥した後、90μmふるいを通るように粉碎し、20°C RH11%の真空デシケータで恒量まで乾燥したものを使用した。また空隙構造の変化の把握を目的として、5mm 角程度に粗砕し、20°C の真空デシケータ内でシリカゲルを用いて恒量となるまで乾燥した試料について、水銀圧入式ポロシメータにより空隙径分布を取得した。

キーワード DEF, 膨張, 圧縮強度, 空隙構造

連絡先 〒400-8511 山梨県甲府市武田 4-3-11 山梨大学工学部土木環境工学科 TEL 055-220-8530

3. 実験結果および考察

3. 1 DEF 膨張挙動

図1, 2にW/C=60%のセメントペーストとモルタル供試体の膨張率の経時変化をそれぞれ示す。図中の凡例は「硬化体種類 W/C-SO₃添加率」として表記した。後養生開始から56日までの時点では、W/C=40%, W/C=60%ともにSO₃添加率0%, 2%では顕著な膨張は発生しなかった。一方SO₃添加率4%では膨張が発生し、56日時点での膨張率はW/C=40%で0.9%程度、W/C=60%で1.3%程度となった。また、モルタル供試体の方が膨張率は大きい値を示した。これはモルタルの方がセメントペーストよりも空隙が粗大であり、供試体内に水が浸透しやすくなったことが原因でDEFによる膨張がより大きくなったと考えられる。

3. 2 DEF 膨張に伴う圧縮強度の変化

図3, 4にW/C=60%のセメントペーストとモルタル供試体の圧縮強度の経時変化をそれぞれ示す。セメントペースト、モルタルともにSO₃添加率0%では強度の増加が認められた一方で、2%, 4%では強度の減少が確認された。またモルタルではSO₃添加率が高いほど、圧縮強度が小さくなる傾向を示した。

図1, 2に示したように、28日材齢時点ではどの供試体も外観的に顕著な膨張は確認できないが、供試体内部でDEFによる損傷が発生していることにより圧縮強度が減少した可能性が考えられる。

4. まとめ

本研究では、DEF膨張がセメント硬化体の圧縮強度に及ぼす影響について検討を行った。その結果、SO₃添加率の高い供試体はDEF膨張が早期かつ顕著に発生した。また、SO₃を添加した膨張傾向にある供試体は圧縮強度の低下も確認された。膨張と強度は連動して変化していると考えられた。今後は空隙構造の分析・評価も行い、DEF膨張と圧縮強度、および空隙構造の関係について詳細な検討を行っていく予定である。

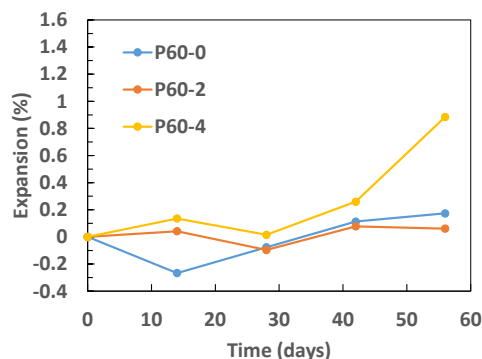


図1 セメントペーストの膨張率の経時変化

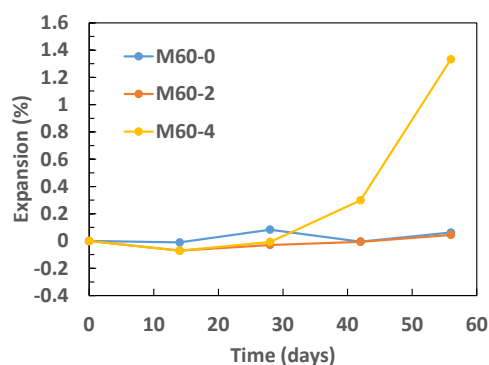


図2 モルタルの膨張率の経時変化

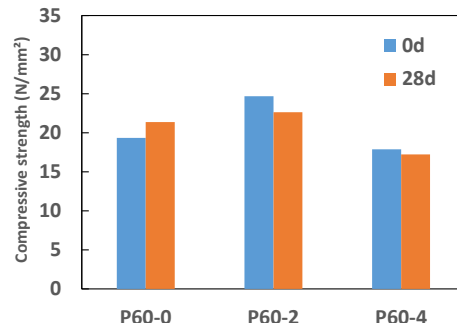


図3 セメントペーストの圧縮強度の経時変化

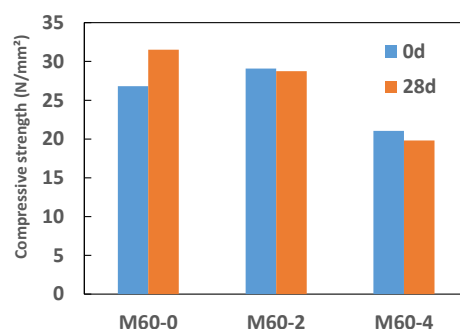


図4 モルタルの圧縮強度の経時変化

参考文献

- 1) 佐藤賢之介ほか：DEF膨張に伴うセメント硬化体の圧縮強度および空隙構造の変化，令和4年度土木学会全国大会講演要旨，V-201（2022）