

硫酸塩を添加したコンクリートの DEF 膨張と膨張後の力学特性に関する実験的研究

関西大学環境都市工学部 非会員 竹村 菖
 関西大学環境都市工学部 学生会員 ○岩本 広海
 関西大学環境都市工学部 正会員 上田 尚史

1. はじめに

近年、コンクリートの DEF 膨張に対するリスクが懸念されており、精力的に研究が進められている。しかし、DEF 膨張が、圧縮強度や静弾性係数等の力学特性に及ぼす影響については明らかにされていない。そこで、本研究では、DEF によるコンクリートの膨張と DEF 膨張が力学特性に与える影響について実験的に検討した。硫酸塩の添加量の違いがコンクリートの DEF 挙動に及ぼす影響を確認するとともに、膨張後の圧縮強度や静弾性係数に及ぼす影響について検討した。

2. 供試体概要および膨張試験

コンクリート配合は、水セメント比を52.9%、細骨材比を45.9%、単位水量を174kg/m³とした。また、短期間でDEF膨張を生起させるため、硫酸カリウムをセメント重量に対して2~5%添加した。SO₃の単位量は、9.7~14.0kg（セメント重量の2.9~4.3%）である。

養生方法は、既往の研究¹⁾に基づき打設後に高温加熱養生を行った。具体的には、前養生として20℃の環境に4時間静置後、2時間かけて90℃まで昇温した。90℃の環境にて12時間静置後、6時間かけて20℃まで除熱した。打設後24時間後に脱型をし、直ちに供試体の長さを測定し、初期値とした。その後、20℃の水道水にて水中養生を行った。

膨張量の測定には、100×100×400mmの角柱供試体

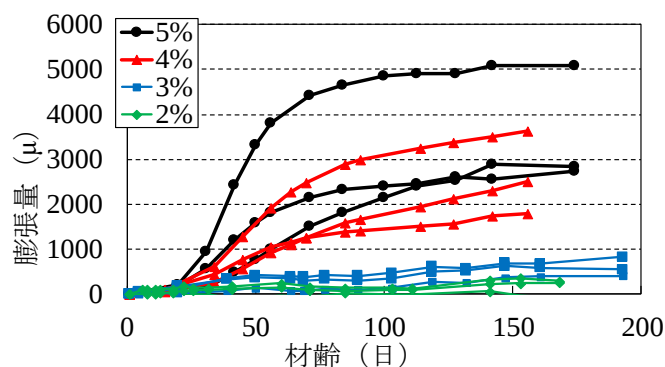


図-1 DEF 膨張挙動

を用いた。膨張量の測定はJISA1129-3「モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法—第3部:ダイヤルゲージ方法」に基づいて行った。

3. 硫酸カリウム添加量の違いが膨張挙動に及ぼす影響

図-1にDEF膨張挙動の経時変化を示す。図より、ばらつきはあるものの、硫酸カリウムの添加量が多くなるに従い、膨張が開始する材齢が早く、材齢初期に急激な膨張を示す傾向が得られた。モルタルを用いた既往の研究²⁾では、硫酸塩添加量が多いほど最終的な膨張量は大きくなるが、膨張開始材齢は遅くなることが報告されている。今後、コンクリート中の硫酸イオン量やアルカリ量との関係等について詳細な検討を要すると考える。

4. 繰返し載荷試験

所定の膨張量に達した段階で一軸の漸増繰返し圧縮載荷試験を行った。供試体には、φ100×200mmの円柱供試体を用いた。繰返し載荷の制御方法は、圧縮強度以前のプレピーク領域では5MPaごとに、ポストピーク領域では2000μごとに載荷と除荷を繰返した。なお、除荷時の最小応力は、載荷板と供試体が離れないよう、0.25MPaとした。載荷は、最大応力が圧縮強度のおよそ1/10に至るまで行った。

繰返し載荷により得られた応力-ひずみ関係から、圧縮強度、静弾性係数を求めた。ここで、静弾性係数はプレピーク領域における圧縮強度の1/3付近における応力-ひずみ曲線の接線剛性により求めた。また、除荷開始時のひずみを最大ひずみとし、最小応力時の残留ひずみを塑性ひずみ、除荷開始点と最小応力点を結んだ直線の傾きを除荷剛性と定義し、それぞれ最大ひずみとの関係を求めた。

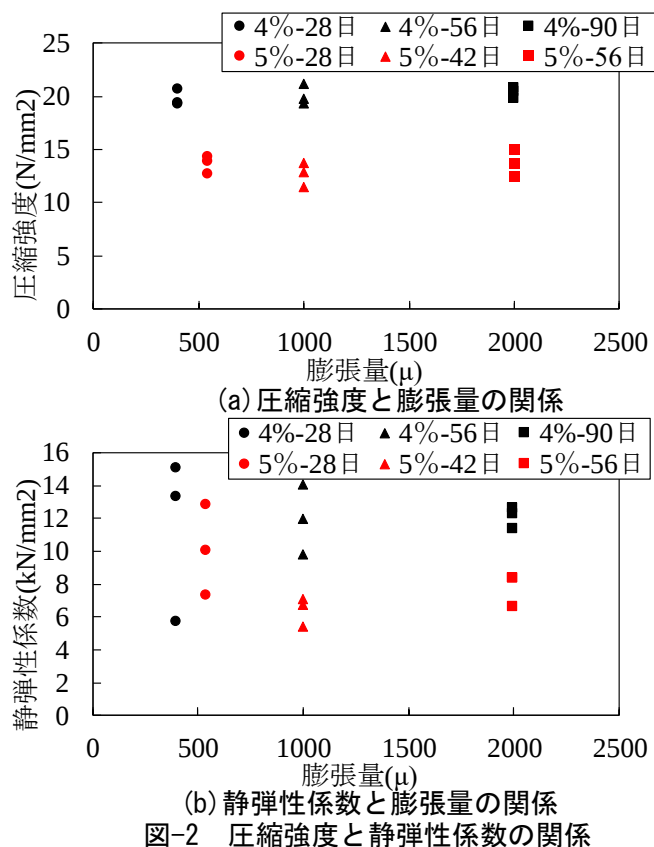
5. DEF 膨張が力学特性に及ぼす影響

(1) DEF 膨張の進展に伴う圧縮強度および静弾性係数

図-2に材齢28日、膨張量1000μ、2000μにおける圧

キーワード DEF, 圧縮強度, 静弾性係数, 除荷剛性

連絡先 〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3-35 関西大学理工学研究科環境都市工学専攻 TEL:06-6368-1121



縮強度および静弾性係数の関係を示す。凡例は、硫酸カリウム添加量－材齢を表す。図より、圧縮強度は、硫酸カリウムの添加量にかかわらず、膨張に伴う低下は見られなかった。一方、静弾性係数は、硫酸カリウム添加量が4%の場合は膨張に伴う低下は見られなかったが、添加量が5%の場合には、膨張に伴い6～8割程度まで低下する傾向が得られた。今後はエトリンタイトの生成状況や内部の微細な損傷状態を観察するなどして、力学特性の低下の理由を明らかにする必要があると考える。

(2) DEF膨張の進展に伴う塑性ひずみおよび除荷剛性

コンクリートの力学挙動は、塑性と損傷により整理することができる³⁾。そこで、膨張による巨視的な応答の違いを確認するために、力学特性に低下がみられた硫酸カリウム添加量が5%で膨張量が2000 μ のケースを対象とし、塑性ひずみと除荷剛性の変化に着目した。

図-3に最大ひずみと塑性ひずみならびに除荷剛性の関係を示す。図には、材齢28日の結果も併せて示している。図-3(a)より、塑性ひずみの進展挙動に膨張の影響は、一方、図-3(b)より、最大ひずみが5000 μ 以前では、膨張の影響により除荷剛性は若干低下する結果となったが、5000 μ 以降では、同程度の大きさとなった。以上のことから、DEF膨張が力学特性に及ぼ

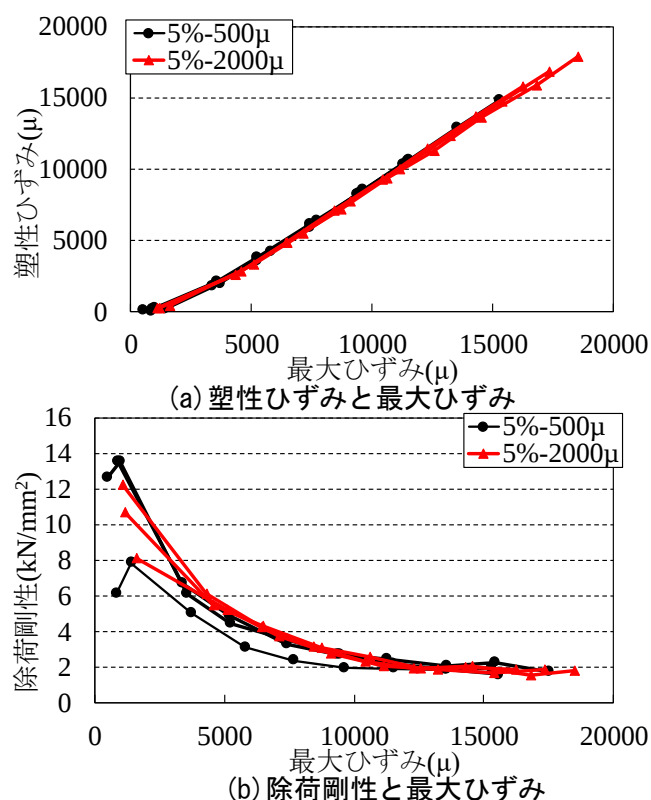


図-3 繰返し载荷に伴う塑性と損傷の進展

す影響としては、塑性よりも損傷であることが示唆される。また、膨張による損傷は、ポストピーク挙動には大きく影響しないことが示唆された。ただし、円柱供試体の膨張挙動にもばらつきが考えられるため、今後、より多くの試験体による再評価が必要であるとともに、膨張がより進展した際の影響についても検討が必要であると考えられる。

6. 結論

本研究で得られた知見は以下の通りである。

- (1) DEF 膨張については、硫酸カリウムの添加量が増加するに従って、膨張開始材齢は早くなり、急激な膨張を示した。
- (2) 膨張ひずみが 2000 μ 程度の範囲では、圧縮強度への影響は見られなかったが、静弾性係数は低下する傾向が見られた。

参考文献

- 1) 福田ら：モルタル及びコンクリートにおける DEF 膨張について，コンクリート工学年次論文集，Vol.30, No.1, p723-728, 2008.
- 2) 羽原ら：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, p743-748, 2006.
- 3) 前川ら：コンクリートの構成則の研究と動向と課題，コンクリート工学，Vol.32, No.5, p13-22, 1944.