

DEF 膨張のひび割れの方向性による力学特性低下に関する実験

名古屋大学 学生会員 ○長尾 僚一郎
名古屋大学大学院 正会員 三浦 泰人, 中村 光

1. はじめに

コンクリートが材齢初期に 70 度以上の高温履歴を経ると、水和初期に生成されるエトリンガイトが分解され、その後、時間とともにエトリンガイトが生成される。この現象をエトリンガイトの遅延生成 (DEF) と呼び、コンクリート内部に膨張ひび割れを発生させ、力学特性を大幅に低下させる可能性がある。自由膨張の膨張量と力学特性低下の関係は多くの研究者によって実験的に明らかにされている。しかしながら、拘束下におけるこの関係性については実験データがなく、自由膨張時の関係が適用できるか不明である。そこで、本研究では、拘束下における膨張量と力学特性の低下の関係性を明らかにするために実験を行った。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

実験では、一辺 125mm の立方体の試験体を 4 体作製した。試験体は 2 体を自由膨張、2 体を一軸方向に拘束した。示方配合を表-1 に示す。使用したセメントは早強ポルトランドセメントであり、水セメント比 50% のコンクリートとした。DEF 膨張を促進するため、硫酸カリウムを SO_3 量が内割で 2.0% となるように添加した。水和初期の高温履歴として、注水から 4.5 時間後に試験体を水中に入れ、温度 25°C から 36.7°C/時間 で 80°C まで昇温し、80°C で 12 時間保持した後、室温になるまで放置した。その後 14 日間水中養生を行った。なお、長さ変化測定用のチップの貼付は養生中に行った。

2.2 膨張試験の概要

養生終了後、拘束試験体に拘束治具を取り付けた上で、自由膨張試験体と同じ環境にて膨張試験を実施した。自由膨張では、2 つの丸棒の上に試験体を設置した。拘束試験体の拘束条件は、コンクリートの膨張に応じて拘束力が発現する passive な拘束とした (図-1)。拘束には 205×325×20mm の鋼板、D11 ねじ切り鉄筋 (断面積 44.2mm²) を用いた。試験体を拘束板で挟み、拘束板に鉄筋を通して、ナットで締めて拘束した。この時、コンクリートの膨張後すぐに拘束力が作用するように 50 μ のひずみを導入した。また、拘束板とコンクリートとの摩擦によって無拘束方向のコンクリートの膨張が拘束されることを防ぐために、2 枚のテフロンシートを挿入した。なお、拘束板とテフロンシートおよびテフロンシート間にグリースを塗布した。膨張試験は加湿器によって十分に水分が供給される密閉された環境で実施した (図-2(a))。図-2(b) に示す通り、膨張試験環境は常に高湿度に保たれており、水分が可能な限り供給されるようにした。膨張量の計測は試験体表面の四隅に貼付したチップ間の長さ (100mm 程度) を基長とし、その長さ変化をマイクロストレインゲージによって測定した。自由膨張の試験体には 3 面に、拘束試験体には、拘束面以外の 4 面にチップを貼付した。計測した長さ変化をチップ間の元の長さで割ることでひずみを算出し、これを膨張量とした。拘束試験体は鉄筋があるため、膨張試験中は 2 面のみ計測可能であり、計測不可能な面は拘束前後の長さ変化から膨張量を計測した。

表-1 示方配合

単位量	W	C	S	G	K ₂ SO ₄
kg/m ³	175	343	825	918	15.236

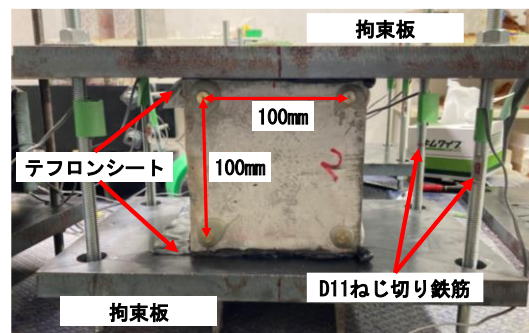


図-1 試験体の拘束概要



(a) 膨張試験環境 (b) シート内の様子
図-2 曝露の様子

2.3 圧縮試験

自由膨張試験体と拘束試験体の無拘束方向の膨張量が 1.0%程度に到達した後に圧縮試験を行う。拘束試験体は拘束方向の膨張が制限される。そのため、ひび割れが拘束直交 2 方向に生じることになる。この拘束による、ひび割れの方向性が圧縮特性に及ぼす影響を評価するために、図-3 に示すように 2 つに試験体を切断して、それぞれ圧縮試験を行う。図-3 の黄色矢印に示す方向に载荷し、拘束試験体は载荷方向に対して試験体内部のひび割れが直交および平行になるように载荷する。ひずみは試験体四方に変位計を設置し、4 つの変位の平均値を試験体高さで除して算出する。

3. 実験結果

膨張量変化を図-4 に示す。自由膨張についてはまだ目標膨張量に達していない。拘束試験体については膨張 155 日の時点で膨張量が 1%に到達したため、拘束を解放し、その時点で膨張量を測定した。無拘束方向のうち、膨張試験中に膨張量の計測が可能な方向を無拘束方向 1、計測不可能な方向を無拘束方向 2 とする。なお圧縮試験は今後実施する予定である。

自由膨張では、膨張 100 日程度から膨張が開始され、現在 0.56%である。拘束試験体では、拘束方向と無拘束方向 1 の膨張量をみると、無拘束方向 1 の膨張量は自由膨張より 2 倍程度大きい結果となった。既往の研究¹⁾では、拘束下の無拘束方向の膨張量が自由膨張を下回ることが確認されており、本実験は異なる傾向であった。ここで、拘束解放後に計測可能な無拘束方向 2 の膨張量をみると、無拘束方向 1 の膨張量を大きく下回り 0.25%程度を推移していることが確認できる。無拘束方向の膨張量が大きく異なる理由については、試験体の高温履歴や水分供給のむらが膨張速度に影響した可能性を考えている。無拘束方向 1、2 の膨張量の平均値は 0.56%であり、自由膨張と同程度であった。また、拘束方向の膨張量は無拘束方向に比べて小さいものの膨張が生じていることから、拘束力が想定より小さい可能性がある。

試験体の表面ひび割れ性状を図-5 に示す。自由膨張では、ひび割れの方向性に大きな偏りは見られず、網の目状のひび割れが確認された。拘束試験体では、無拘束の面で主として拘束方向と平行なひび割れが主に生じており、一定の拘束の効果が確認できる。しかしながら、中央部に拘束直交方向のひび割れが一部生じた。この要因としては、試験体の拘束面の摩擦が除去できておらず、摩擦により拘束板付近の膨張が拘束され、中央部の膨張が大きくなったことが考えられる。

4. まとめ

コンクリート試験体の DEF 膨張試験を行い、拘束試験体の結果から拘束が膨張量とひび割れ性状に影響を与えていることが確認された。このことから、圧縮特性においてもひび割れの方向性の影響が出る可能性がある。膨張試験後の圧縮特性の結果については当日発表する。

参考文献

1) Bouzabata, H., Multon, S., Sellier, A., and Houari, H. (2012) : Effects of restraint on expansion due to delayed ettringite formation, Cement and Concrete Research, Vol. 42, pp. 1024-1031

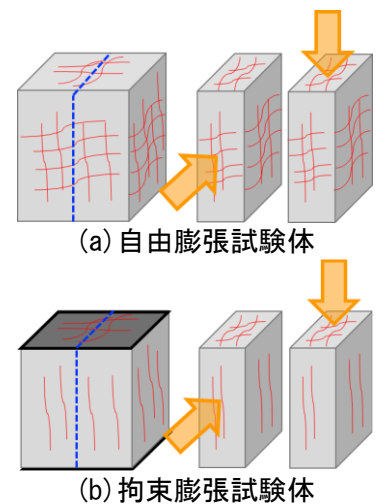


図-3 各試験体の载荷方向

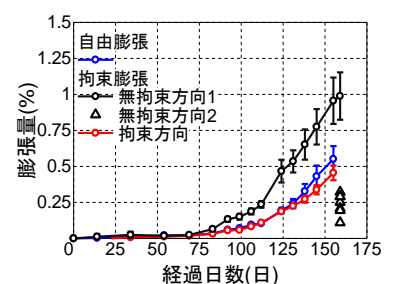
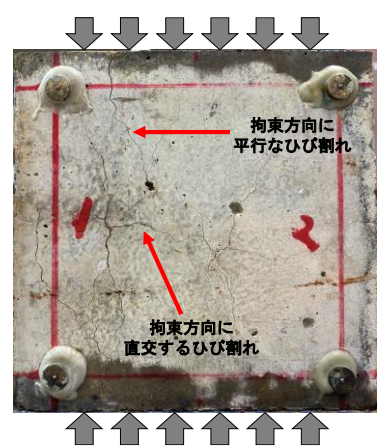


図-4 試験体の膨張量変化



(a) 自由膨張試験体



(b) 拘束膨張試験体
図-5 表面ひび割れ性状