

短繊維補強コンクリートの剥落防止性能評価のための解析手法の提案

清水建設 技術研究所 正会員 ○小倉 大季

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の鉄筋腐食によって引き起こされるコンクリート片剥落に対する予防手段の一つに、コンクリートへの短繊維混入が挙げられる。短繊維による剥落防止効果は実験による検証¹⁾がなされているものの、剥離ひび割れ発生からコンクリート片剥落までの変状挙動ならびにその変状に対する短繊維の寄与は必ずしも明確にはなっていない。このため、剥落防止性能を付与するために必要となる繊維の混入量、長さおよび径を最適化することは難しいのが現状である。そこで、本研究では剥落防止性能評価への適用を目的として、短繊維を離散化してモデル化したメソスケール解析手法を提案し、その適用性を確認した。

2. 解析手法

本研究では、解析手法としてコンクリートのひび割れの発生・進展を容易に扱うことが可能な3次元剛体-バネモデル(RBSM)²⁾を用いた。図-1に、要素剛性マトリクスを構成する1組のヴォロノイセルを示す。セルを剛体と仮定し、各セルの母点に6自由度を設定する。各セルの境界面には境界と垂直、平行、回転方向にばねを配置した。垂直、平行ばねの材料モデルは、コンクリートの材料特性(引張強度、破壊エネルギー)を用いてモデル化を行った²⁾。

短繊維は、解析対象となる要素中に所定の混入率となるように1本1本離散的にモデル化した。繊維の補強効果は、図-2に示すようにセルの境界面(ひび割れ面に相当)を跨ぐ繊維位置に長さ0のばねを配置し、このばねに当該繊維の付着特性を考慮して算出した架橋力を作用させることで表現する³⁾。短繊維-コンクリート間の付着特性に関するパラメータは、単繊維引抜き付着試験⁴⁾の結果から同定した。

3. 実験および解析概要

本研究では、図-3に示す剥離ひび割れ誘発試験を解析対象とした。試験は、細田らにより提案された実験方法¹⁾を採用し、150×150×600mmのコンクリート角柱の側面にφ20mmの貫通孔を60mm間隔で設け、材齢14日に膨張材を孔に充填することで、鉄筋腐食による

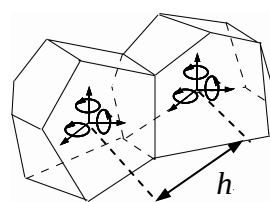


図-1 ヴォロノイセル

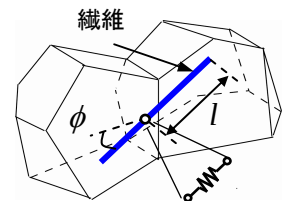


図-2 繊維の離散モデル

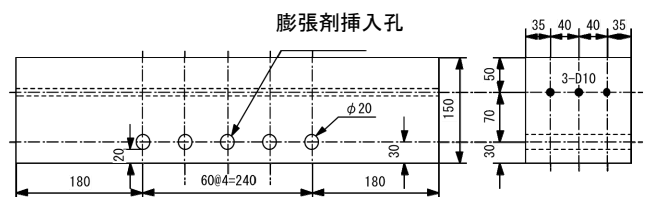


図-3 剥離ひび割れ誘発試験の供試体形状

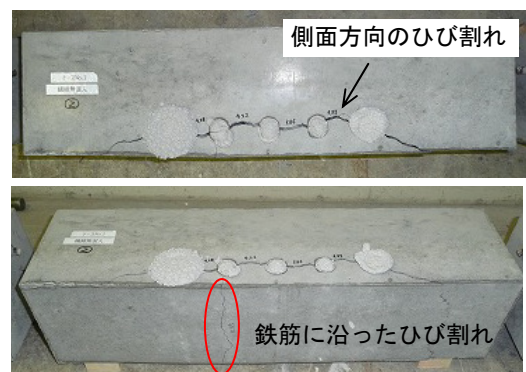


図-4 剥離ひび割れの一例

膨張圧を模擬した。貫通孔は、かぶり20mm、あき40mmの配筋を想定して配置した。供試体は、ポリエチレンテレフタレート繊維(長さ45mm、径0.7mm)を体積比で0.3%混入したものおよび短繊維無混入のものを用いた。膨張剤により誘発された剥離ひび割れの一例を図-4に示す。鉄筋に沿ったひび割れに比べて側面方向のひび割れが卓越し、各貫通孔間を跨ぐように側面方向のひび割れが進展する様子が観察された。

本研究における剥離ひび割れ進展解析は、膨張剤要素をモデル化し、その垂直ばねに様な膨張ひずみを初期ひずみとして漸増付与することで行った。コンクリートの材料特性は、圧縮強度を67.7MPa、引張強度を3.82MPa、ヤング係数を35GPa、引張破壊エネルギーを119N/mとした。膨張剤要素は、材齢に伴うヤング係数

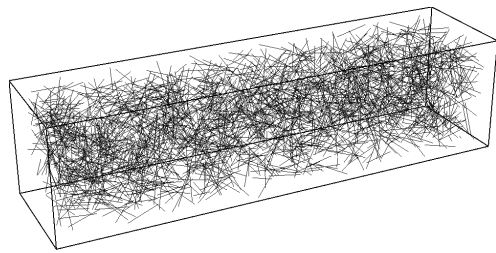


図-5 短繊維のモデル化

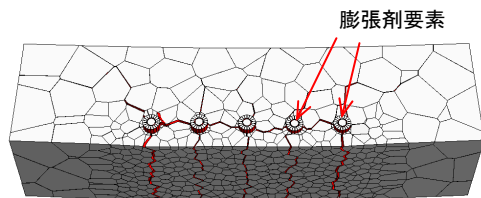
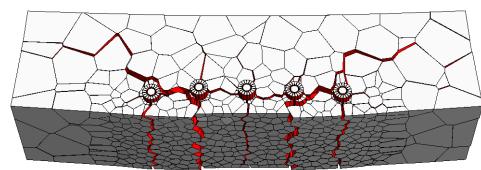
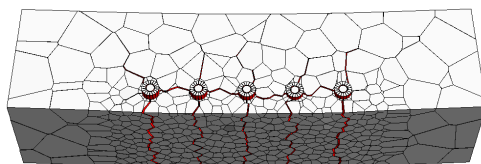
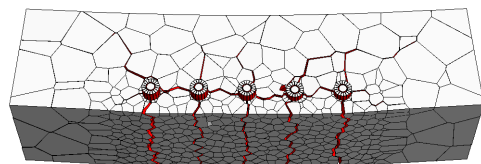
(a) 繊維無混入, 膨張ひずみ 20000 μ (b) 繊維無混入, 膨張ひずみ 30000 μ (c) 繊維 0.3%混入, 膨張ひずみ 20000 μ (d) 繊維 0.3%混入, 膨張ひずみ 30000 μ

図-6 ひび割れ性状図

の発現を考慮せずに一定とし、コンクリートと同様の値を用いた。コンクリート-膨張剤界面は表面処理を行っておらず、付着が期待できないため、界面の平行ばねを除去することで界面の付着を無視した。短繊維は、図-5に示すように乱数を使用することで供試体中にランダムに配置し、鉄筋は一連のはり要素としてモデル化しリンク要素を介してコンクリート要素に結合させた。

4. 解析結果

図-6に、解析より得られたひび割れ性状図を示す。各図は、短繊維無混入の供試体および短繊維を0.3%混入した供試体の各膨張剤要素に20000, 30000 μ の一様な膨張ひずみを付与したときの結果である。ひび割れ

は、400 μ の膨張ひずみを付与したときに発生し、側面方向のひび割れ、鉄筋に沿ったひび割れはほぼ同時に発生した。その後、ひび割れの進展ならびにひび割れ幅の拡大が徐々に起こり、繊維無混入の場合、30000 μ の膨張ひずみを導入したときに側面方向のひび割れ幅が急激に大きくなる挙動が確認された。このときの最大ひび割れ幅は、3.1mmである。一方、繊維を混入した場合、膨張ひずみを30000 μ 導入したときの最大ひび割れ幅は1.6mmであり、短繊維によるひび割れ幅抑制効果が認められた。実験における膨張剤材齢が7日時点に確認された最大ひび割れ幅は、繊維無混入、繊維0.3%混入のそれぞれにおいて3.7mm, 2.3mmであった。なお、実験では鉄筋に沿ったひび割れに比べて側面方向のひび割れが卓越する挙動が認められたが、解析においては鉄筋に沿ったひび割れ進展が実験と比較して大きい傾向にあった。

5. まとめ

本研究では、短繊維を離散化した3次元メゾスケール解析を短繊維補強コンクリートの剥落防止性能評価へ適用した。その結果、初期の剥離ひび割れ進展挙動ならびに短繊維の架橋効果により剥離ひび割れ幅が低減する挙動を定性的に評価できることが確認された。なお、本解析では剥離ひび割れの発生・進展挙動までに着目して評価を試みたが、コンクリート片剥落発生に対する短繊維の補強効果に関してはより詳細な検証が必要になると考えられる。この点に関しては今後の課題としたい。

【参考文献】

- 1) 細田暁ほか：合成短繊維添加によるコンクリート片の剥落対策，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.25, No.1, pp.275-280, 2003
- 2) Bolander, J.E. and Berton, S. : Cohesive Zone Modeling of Fracture in Irregular Lattices, Fracture Mechanics of Concrete Structures, pp.989-994, 2004
- 3) 小倉大季ほか：メゾスケール解析による短繊維補強セメント系複合材料の力学特性の評価，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.29, No.1, pp.309-314, 2007
- 4) 福岡賢紀ほか：再生PET繊維の力学特性と保護工・覆工への適用性の検討，第34回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，Vol. 34, pp.507-512, 2005