

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420597

研究課題名(和文) RC造建築物における網目状ひび割れの制御技術の開発

研究課題名(英文) Development of control technology of the mesh-like cracks in the RC structure

研究代表者

中村 成春 (NAKAMURA, SHIGE HARU)

大阪工業大学・工学部・准教授

研究者番号：50282380

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、収縮変形に起因する網目状のプラスチック収縮ひび割れと、膨張変形に起因する凍害やアルカリシリカ反応に顕著な網目状ひび割れのパターン形成の制御技術を開発することを目的とし、弾性バネ要素のネットワークモデルで表現する解析手法を検討した。すべての弾性バネ要素数のうち一定数を乱数で抽出し、バネ弾性係数を0にして、材料不均一性を与えることで、収縮変形と膨張変形それぞれでの網目状ひび割れのパターン形成を表現することができた。

研究成果の概要(英文)：This study was aimed to develop a control technique of cracking pattern formation for mesh-like cracks in shrinkage deformation and the expansion deformation. Therefore, this study was to investigate the technique of the network model analysis of the elastic spring element. In the analysis, extracts a portion of the resilient spring elements by a random number, an elastic modulus is set to 0, representing the non-uniformity of the material. As a result, in each of shrinkage deformation and expansion deformation, it was possible to express the pattern formation of the reticulated cracks.

研究分野：工学

キーワード：コンクリート ひび割れ 網目状 収縮 膨張

1. 研究開始当初の背景

既存 RC 造建築物の経年変化に伴うひび割れ劣化現象は、耐久性や美観を損なうことから、その修繕の合理的な対策について社会的関心が高い。成熟社会に達した現在、建築・都市は、「安心・安全」を確保しながら、「自然環境」を維持し「文化」を形成しつつ、生活の質の保証といえる「住みやすさ」が希求され、持続可能性といえるサステナブルな設計・生産・管理・保全の制御技術が模索されている。すなわち、私たちの住まう現代社会では、適切な維持管理により長期的に建物的健全かつ人的健康を保った RC 造建築物の実現に関する技術確立が強く望まれている。

ひび割れ劣化現象のうち、網目状ひび割れにおいて、プラスチック収縮ひび割れは、収縮変形に起因して生じ、凍害やアルカリシリカ反応に顕著な網目状ひび割れは、水分凍結や骨材の膨張に起因して生じることが知られているが、実際の網目状ひび割れパターンの形成状況を検討した既往研究は少ない。日本建築学会の各種指針等の現在の範囲内では、プラスチック収縮ひび割れや凍害やアルカリシリカ反応に顕著な網目状ひび割れ現象について、そのパターン形成を定量評価する制御技術は確立されていない。

2. 研究の目的

本研究は、収縮変形に起因する網目状のプラスチック収縮ひび割れと、膨張変形に起因する凍害やアルカリシリカ反応に顕著な網目状ひび割れのパターン形成の制御技術を開発することを目的としている。

3. 研究の方法

(1) プラスチック収縮ひび割れ発生実験

収縮変形に起因する網目状のプラスチック収縮ひび割れについては、ひび割れ発生実験を行って、画像相関分析により、そのひび割れ形成過程を検討した。

(2) 凍害とアルカリシリカ反応の網目状ひび割れ調査

膨張変形に起因する凍害とアルカリシリカ反応で発生した網目状ひび割れについては、実構造物の調査により、そのひび割れ形成過程を検討した。

(3) 網目状ひび割れパターン形成解析

収縮変形と膨張変形のそれぞれに起因した網目状ひび割れのパターン形成を、弾性バネ要素のネットワークモデルで表現する解析手法を検討した。すべての弾性バネ要素数のうち一定数を乱数で抽出し、バネ弾性係数を 0 にして、材料不均一性を与えている。

4. 研究成果

(1) プラスチック収縮ひび割れ発生実験

図 1 に、打込みから約 24 時間後の硬化状況結果を示す。網目状のプラスチック収縮ひび割れが発生した試験体は、test3, test4, test13 の 3 体であった。


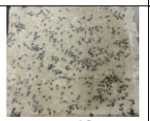




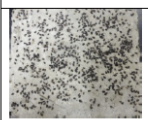
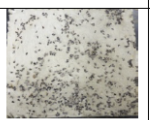
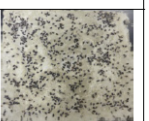
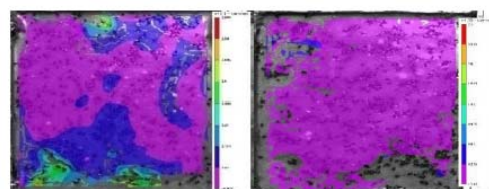
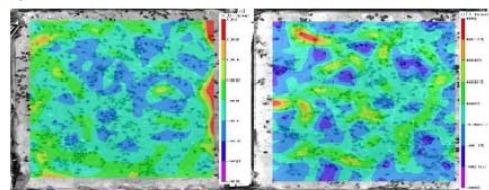
		W/C=70%		
		S/C		
湿度(%RH)		0	0.25	0.5
	30			
40				
50				
55				
	1		1.5	2.5
				

図 1 打込後から 24 時間後の硬化状況結果

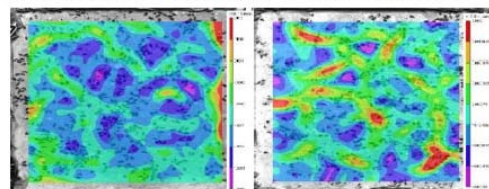
図 2 に test12 (ひび割れ無し) と test13 (ひび割れ有り) のひび割れ発生過程の画像相関分析結果を示す。表面水蒸発以降の画像分析にて、c) 図で最大主ひずみが test12 で 0.0012 に対し、ひび割れた test13 で 0.0052 となり、ひび割れ周辺で大きなひずみが確認できた。



a) 打込み直後から 20 分後の画像分析結果



b) 水分蒸発後から 340 分後と 390 分後の分析結果



c) 水分蒸発後から 360 分後とひび割れ発生直後 410 分後
test12(ひび割れ無) test13(ひび割れ有)

図 2 test12 (ひび割れ無し) と test13 (ひび割れ有り) のひび割れ発生過程の画像相関分析結果

図 3 に test3 (砂無し) と test4 (砂有り) のひび割れ発生過程の画像相関分析結果を

示す。a)図のひび割れ発生数十分前に、その後ひび割れる周辺で大きなひずみ発生が確認できた。b)図のひび割れ発生直後と c)図のひび割れ進展の結果から、ひび割れ発生の前兆となるひずみが捉えられた。砂有りの test4 は、砂無しの test3 よりひび割れが分散しており、砂がひび割れ発生させやすい拘束体の役割を担っていることがわかった。

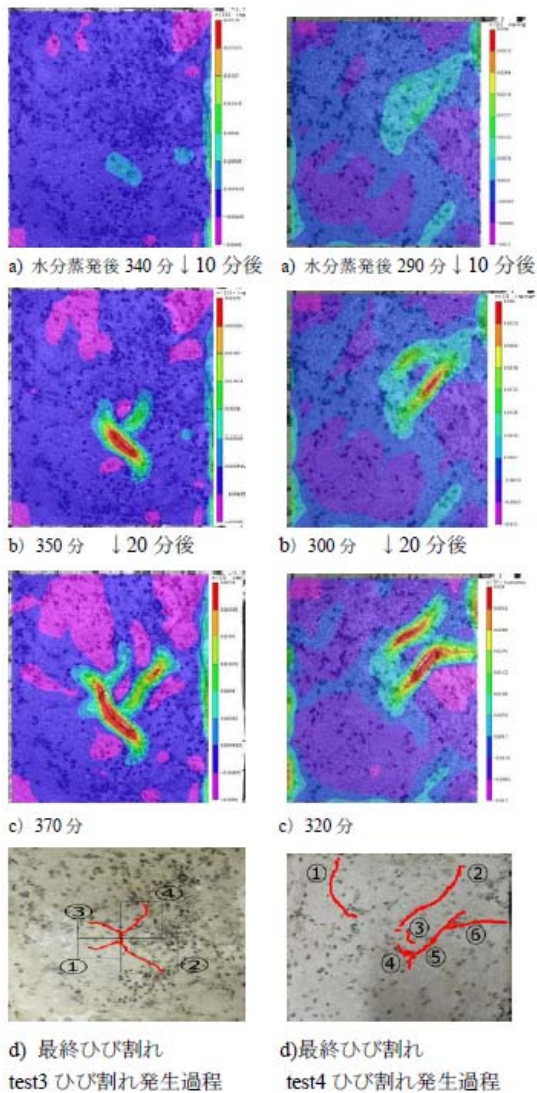


図 3 test3 (砂無し) と test4 (砂有り) のひび割れ発生過程の画像相関分析結果

(2) 凍害とアルカリシリカ反応の網目状ひび割れ調査

①凍害でのひび割れ状況

図 4 に水分凍結膨張に起因する凍害でのひび割れ状況の調査結果を示す。実構造物表層に生じた b) 図のポップアウトが累積成長して、a) 図のひび割れ間隔が小さい網目状ひび割れパターンを形成していることがわかる。また、ポップアウトは、c) 図の表層部の浮きに成長して、b) 図や c) 図の表層スケーリングの原因になっていることがわかる。



a) 網目状ひび割れ b) ポップアウト



c) ポップアウトによる表層部の浮きと表層スケーリング

図 4 水分凍結膨張に起因する凍害でのひび割れ状況の調査結果

②アルカリシリカ反応でのひび割れ状況

図 5 に骨材膨張に起因するアルカリシリカ反応でのひび割れ状況の調査結果を示す。凍害同様に、b) 図のポップアウトが累積成長して、a) 図の網目状ひび割れパターンを形成していることがわかるが、凍害ほどひび割れ間隔は小さくなく、表層スケーリングも生じていない。



a) 網目状ひび割れ b) ポップアウト

図 5 骨材膨張に起因するアルカリシリカ反応でのひび割れ状況の調査結果

図 6 にアルカリシリカ反応の網目状ひび割れから切り出したコア供試体のひび割れ状況を示す。コア供試体の両端部とともに側面にも網目状ひび割れの一部が形成されており、網目状ひび割れは、コンクリート内部に 3 次元で形成されていることがわかる。

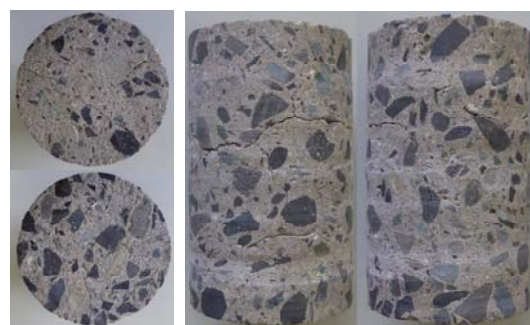
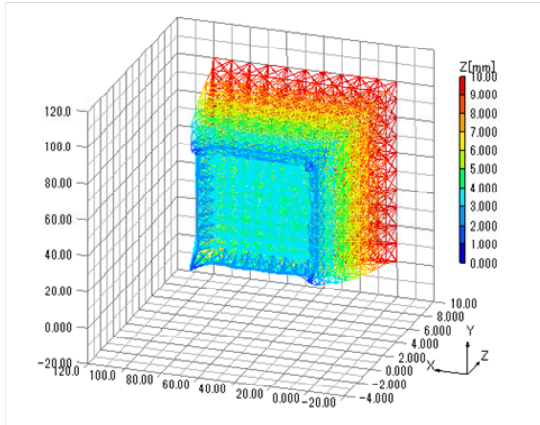


図 6 アルカリシリカ反応の網目状ひび割れから切り出したコア供試体のひび割れ状況

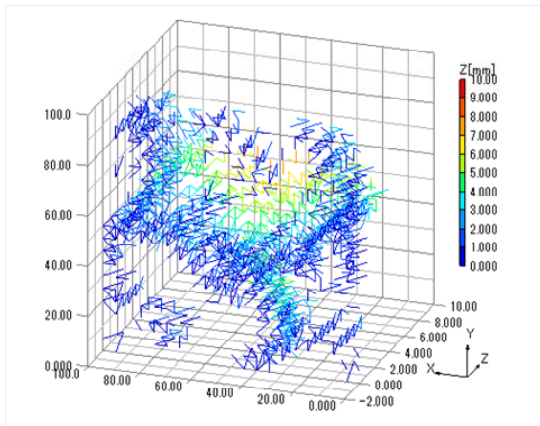
(3) 網目状ひび割れパターン形成解析

①網目状のプラスチック収縮ひび割れパターン

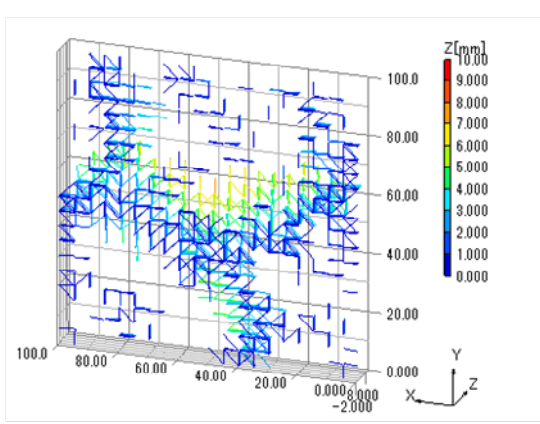
図7に網目状のプラスチック収縮ひび割れパターンの形成解析結果を示す。寸法を100mm×100mm×10mmとした平板を対象に、収縮変形を、Z軸寸法が0mmの表面側で大きく、10mmの奥側で小さく与えて、パネル表面側の乾燥収縮をモデル化した。解析結果は、パネル表面側において、ひび割れ累積進展が局所化し、プラスチック収縮ひび割れ発生実験結果と同じような網目状を形成したひび割れパターンを得た。



a) 奥側XY平面を1面拘束した収縮変形（正味の変形量の変形倍率を5000倍に拡大）



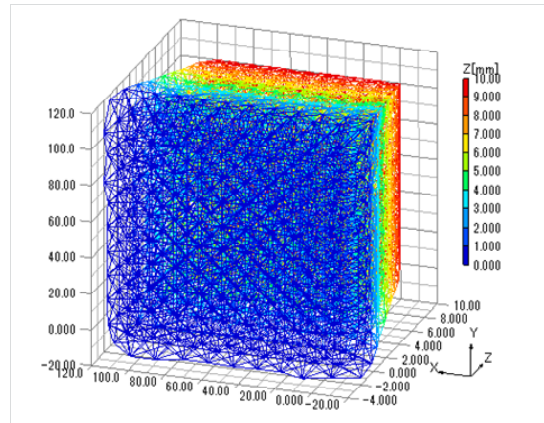
b) 表面側XY面以外を5面拘束したひび割れパターン



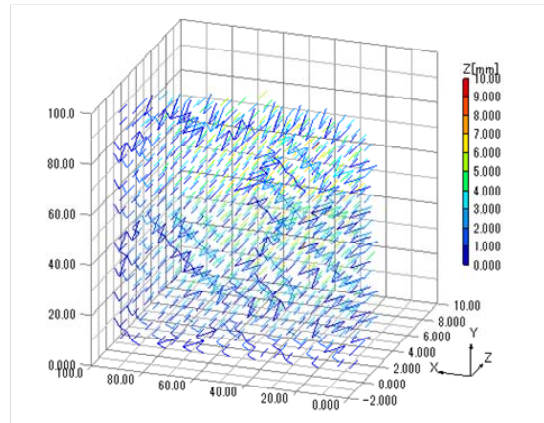
c) 手前側XY面以外を5面拘束したひび割れパターン（Z軸寸法をX&Y軸寸法と同じ表現）
図7 網目状プラスチック収縮ひび割れパターンの形成解析結果

②凍害の網目状ひび割れパターン

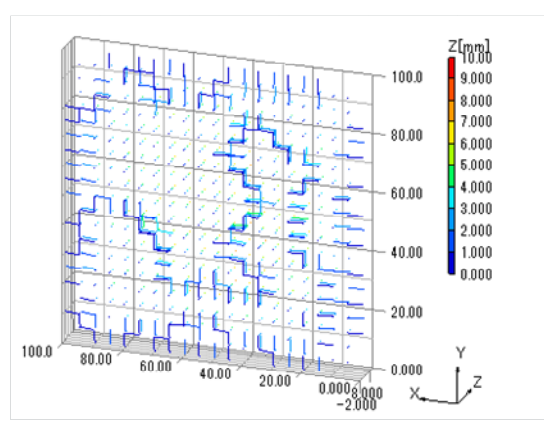
図8に凍害の網目状ひび割れパターンの形成解析結果を示す。寸法を100mm×100mm×10mmとした平板を対象に、膨張変形を、Z軸寸法が0mmの表面側で大きく、10mmの奥側で小さく与えて、パネル表面側の水分凍結膨張をモデル化した。解析結果は、パネル表面側において、凍害のひび割れパターン調査結果と同じポップアウトが主体の網目状ひび割れの形成と、表層スケーリングの原因となる表面全体に分散した微細ひび割れ形成が組み合わさったひび割れパターンを得た。



a) 奥側XY平面を1面拘束した膨張変形（正味の変形量の変形倍率を5000倍に拡大）



b) 表面側XY面以外を5面拘束したひび割れパターン（a）図変形量の4.5倍膨張変形入力

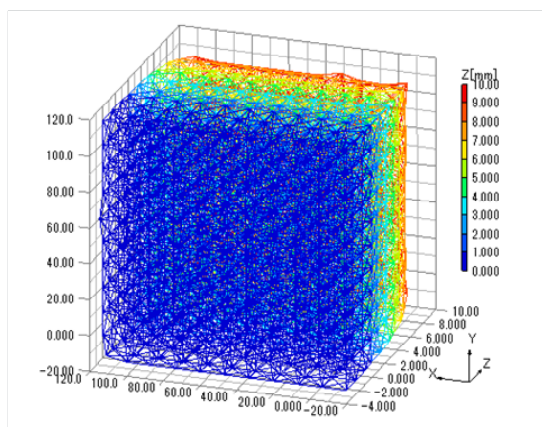


c) 手前側XY面以外を5面拘束したひび割れパターン（Z軸寸法をX&Y軸寸法と同じ表現）
図8 凍害の網目状ひび割れパターンの形成

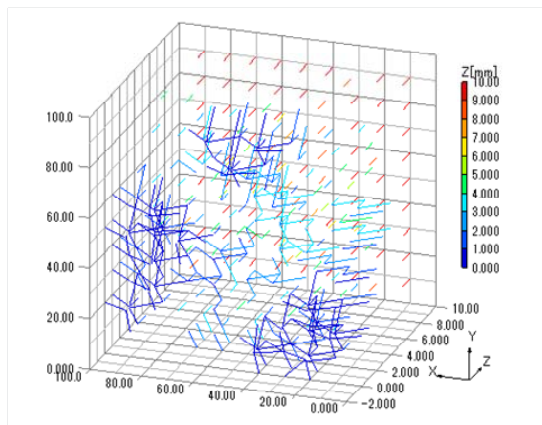
解析結果

③アルカリシリカ反応の網目状ひび割れパターン

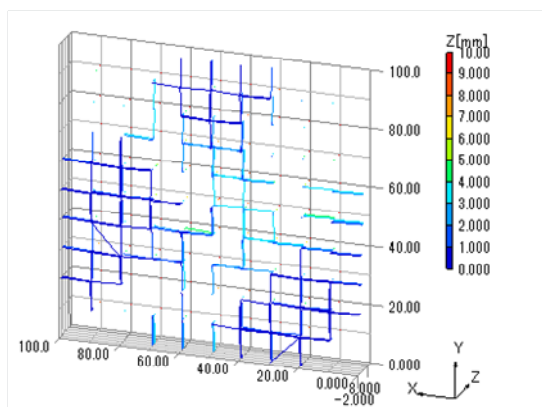
図9にアルカリシリカ反応の網目状ひび割れパターンの形成解析結果を示す。寸法は、アルカリシリカ反応に必要な水分を常時受ける領域を想定して、かぶり表面 100mm×100mm×10mm とした平板を対象に、Z 軸寸法が 0mm の表面側から 10mm の奥側まで同一の膨張変形を与え、骨材膨張をモデル化した。解析結果は、アルカリシリカ反応のひび割れパターン調査結果と同じポップアウトが主体の網目状ひび割れが形成したひび割れパターンを得た。



a) 奥側 XY 平面を 1 面拘束した膨張変形 (正味の変形量の変形倍率を 5000 倍に拡大)



b) 表面側 XY 面以外を 5 面拘束したひび割れパターン (a) 図変形量の 9 倍膨張変形入力)



c) 手前側 XY 面以外を 5 面拘束したひび割れパターン (Z 軸寸法を X&Y 軸寸法と同じ表現) 図 9 アルカリシリカ反応の網目状ひび割れパターンの形成解析結果

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① 中村成春, 透湿度を利用した仕上材による水分蒸発抑制効果の解析的検討, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol. 36, No. 1, 2014, pp. 652-657
DOI:なし

[学会発表] (計 4 件)

- ① 中村成春, 仕上材を考慮したコンクリートの中性化進行に関する拡散モデルの提案, 日本建築学会 2015 年度大会(関東)学術講演会, 2015 年 9 月 6 日, 東海大学湘南キャンパス (神奈川県・平塚市)
- ② 中村成春, 若材齢セメント硬化体の初期ひび割れに対する画像相関分析での基礎的検討, 日本建築学会 2014 年度大会(近畿)学術講演会, 2014 年 9 月 12 日, 神戸大学鶴甲第 1 キャンパス (兵庫県・神戸市)
- ③ 中村成春, 若材齢モルタルの初期ひび割れ発生に関する基礎的実験, 第 57 回日本学術会議材料工学連合講演会, 2013 年 11 月 25 日, 京都テルサ (京都府・京都市)
- ④ 中村成春, 若材齢におけるセメント硬化体の初期ひび割れに関する基礎的研究, 日本建築学会 2013 年度大会(北海道)学術講演会, 2013 年 8 月 30 日, 北海道大学 (北海道・札幌市)

[図書] (計 2 件)

- ① 中村成春, 大野義照, 山崎順二, 峯秀和, 他 25 名, フライアッシュ使用コンクリートの特性に関する調査研究 技術資料, 日本建築学会近畿支部 材料・施工部会, 2014 年, 総ページ数 320 ページ (執筆担当部分 pp. 1-1~1-2, pp. 4-9~4-15, pp. 7-1~7-61, pp. 8-1~8-2)
- ② 中村成春, 岩清水隆, 山崎順二, 林典男, 赤崎晋也, 穴沢雅明, 阿部由美, 伊藤栄治, 江良弘樹, 大藤肇, 岡田裕, 嘉村武浩, 栗延正成, 杉山龍志, 長友昌章, 橋井眞文, 前田朗, 安田慎吾, 山路克昌, 渡邊聡, 暑中コンクリート工事における対策マニュアル, 日本建築学会近畿支部材料・施工部会, 2013 年, 総ページ数 275 ページ (執筆担当部分 pp. 2-1~2-18, pp. 資 1~資 81)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 成春 (NAKAMURA SHIGEHARU)
大阪工業大学・工学部・准教授
研究者番号: 50282380

- (2) 研究分担者 なし
- (3) 連携研究者 なし