

デジタル画像相関法によるメッシュ系補強材料のひずみ分散効果の評価

太平洋セメント(株) 工修 ○内田 雅隆
 太平洋セメント(株) 正会員 博(工) 早野 博幸
 太平洋セメント(株) 江里口 玲
 佐賀大学大学院 博(工) 伊藤 幸広

Abstract : In this study, the strain distribution which calculated by digital image correlation method (DICM), was used to evaluate the efficacy of alkali-resistant glass fiber net (ARGFN) in controlling stress distribution due to drying shrinkage. Under the dry environment (30°C, 40%RH), the surface strain dispersions of mortars embedded ARGFN were calculated by DICM after acquiring digital image by full-field strain measuring device using line scanner. As a result, the concentrated strain of mortar with ARGFN was dispersed effectively, which also depended on the orientation of ARGFN placed in the mortar. The DICM method can be applied in detecting the strain concentration and the development of micro cracks, and predicting the generation of cracks in concrete.

Key words : strain dispersion, digital image correlation method, full-field measurement, alkali-resistant glass fiber net

1. はじめに

コンクリートの乾燥収縮や温度応力で発生するひび割れを抑制する方法として、耐アルカリ性ガラス繊維ネット（以下、ARG繊維ネット）を設置する工法がある。この工法はARG繊維をひび割れの発生が懸念される箇所のかぶりにメッシュ状に設置することで、効率的にひび割れ発生を抑制するとともにひび割れ幅を低減することができる¹⁾。この効果は、コンクリートに局所的に発生するひずみをARG繊維ネットによって分散するためといわれているが、実際に定量的な効果が検証された事例はない。本研究では、乾燥環境下においてデジタル画像相関法（以下、DICM）²⁾を用いてARG繊維ネットを配置したモルタル試験体の面内ひずみ分布を可視化することにより、ARG繊維ネットの収縮ひずみ分散効果について検討した。

2. 実験概要

2. 1 使用材料およびモルタル配合

使用材料を表-1、モルタル配合を表-2に示す。乾燥収縮を短期間に促進させるため単位水量が300kg/m³のコンクリートのモルタル部分を模したものであり、W/Cを60%とした。単位水量増大に伴う過剰なブリーディングの発生を抑制するため、石灰石微粉末を所定量混和した。乾燥開始時および乾燥期間7、28日におけるモルタルの強度特性（試験体サイズ：φ50×100mm）を表-3に示す。

表-1 使用材料

材料	種類・名称	記号	概要・物性
水	上水道	W	上水道水
セメント	早強ポルトランドセメント	H	密度：3.14g/cm ³
混和材	石灰石微粉末	LSP	密度：2.71g/cm ³
細骨材	山砂	S	表乾密度：2.56g/cm ³ 吸水率：2.33%
補強材料	耐アルカリ性ガラス繊維ネット	ARG	弾性係数：74,000N/mm ² 引張強さ：15,000N以上/幅 格子寸法：30mm×30mm

2. 2 実験方法

2. 2. 1 型枠および実験水準

用いた型枠を図-1に示す。試験体サイズは600×600×50(mm)とし、型枠4辺の側面にスタッド(各辺10本、定着長50mm)を配置し、試験体側面を拘束した。本型枠を用いた場合、試験体には図-2に示すような試験体隅角部45°方向にひび割れが発生することを事前に確認しており、このひび割れ部のひずみがARG繊維シートの配置によってどのように分散されるかを検討した。

図-3 に実験水準を示す。実験水準は、ARG 繊維ネットを配置していないプレーンモルタル (以下, PL), ARG 繊維ネットを配置した 2 水準 (以下, ARG0, ARG45) の計 3 水準を準備した。ARG 繊維ネットは一軸配向であるため試験体が等方性になるよう, ARG0, ARG45 は 2 枚の ARG 繊維ネットを繊維の配向が直交するよう重ねた状態で用いた。ARG0 は ARG 繊維方向を型枠の各辺に対し平行になるよう配置し, ARG45 は ARG 繊維方向を型枠の各辺に対し 45°になるよう配置した。なお ARG45 の繊維方向は, ひび割れに対しほぼ直角になるよう配向したものである。試験体は, 20℃, 80%RH 環境下で作製・養生し, 材齢 3 日で型枠底面のみ脱型をし, 材齢 5 日から 30℃, 40%RH の乾燥環境下で促進養生を行った。

2. 2. 2 デジタル画像の取得およびデジタル画像相関法によるひずみ分布の測定

画像の取得は、写真-1 に示すラインセンサタイプ全視野ひずみ計測装置 (読取り解像度: 1200dpi, 撮影範囲: 210×375mm) を用いた。本装置は、試験体に密着して撮影できるため照明条件を一定にすることが可能であり、ラインセンサを用いるためレンズの収差がなく、高精細な画像が取得できるものである。ひずみ分布は、DICM により求めた。DICM は、変形前後における測定対象物表面のデジタル画像を、輝度値をもとに数値解析し、解析範囲内の任意の位置における変位やひずみを求めることができる手法である。本手法は視野全体のひずみ分布が測定可能であることや、局所的な変形挙動を把握できることが特徴である。前処理として、測定面に輝度値の分布を持たせる

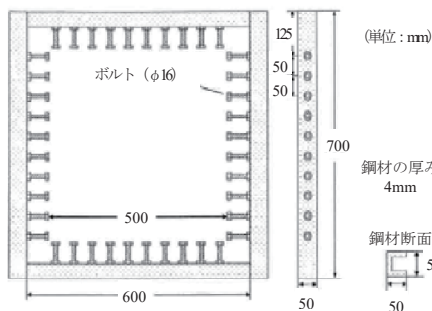
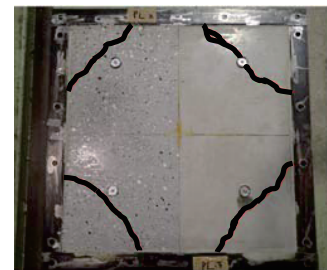


図-1 4 辺拘束型枠



※-: ひび割れ発生箇所
図-2 ひび割れ発生状況

PL	ARG0	ARG45
—	—	ひび割れに対し直角

※: ARG 繊維ネットの配置方向

図-3 実験水準



写真-1 ラインセンサタイプ
全視野ひずみ計測装置

表-2 モルタル配合

W/C (%)	単位量(kg/m ³)			
	W	H	LSP	S
60	427	711	271	631

表-3 強度特性

項目	乾燥開始時	乾燥期間 7 日	乾燥期間 28 日
圧縮強度 (N/mm ²)	47.2	51.8	50.8
引張強度 (N/mm ²)	2.30	2.38	2.77
静弾性係数 (kN/mm ²)	16.1	16.6	16.6

ために、測定面に黒色、灰色、白色のスプレーを吹付け斑模様を施した。画像の取得は、乾燥期間 2, 5, 7, 12, 15 日に実施した。

2. 2. 3 長さ変化率の測定

試験体中央部に生じる表面ひずみの把握および DICM との計測結果を比較するため、試験体表面中央部の垂直方向、水平方向にひずみゲージ (種類: ポリエステルゲージ, ゲージ長: 60mm) を貼付して測定した。また、拘束度を把握するため併せて自由収縮ひずみ測定用試験体 (以下, Fr) を作成し、他の試験体同様に試験体表面中央部の表面ひずみを測定し、拘束度 $K(t)$ を算出した。なお、拘束度 $K(t)$ は式 (1) より算出した。

$$K(t) = (\varepsilon_{fr}(t) - \varepsilon_{r(t)}) / \varepsilon_{fr}(t) \cdots (1)$$

ここに、 $K(t)$: 時点 t における拘束度, $\varepsilon_{fr}(t)$: 時点 t における自由収縮ひずみ, $\varepsilon_{r(t)}$: 時点 t における拘束収縮ひずみ

3. 実験結果

3. 1 試験体中央部のひずみと平均ひび割れ幅

図-4にひずみゲージにより測定した試験体中央部のひずみ測定結果, 図-5に試験体中央部の拘束度, 図-6に乾燥期間12日でのクラックスケールにより測定した平均ひび割れ幅を示す。なお, 図-4は水平方向, 垂直方向の平均値, 図-6は試験体内に発生した各ひび割れについて3箇所測定しその平均値を用いた。また, PLは乾燥期間3~5日, ARG0, ARG45は乾燥期間5~6日に視認可能なひび割れが発生し

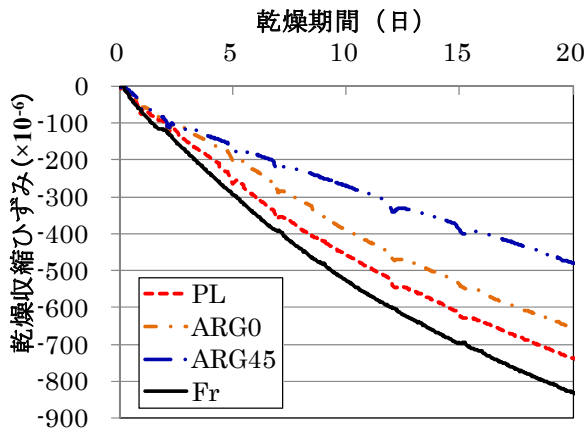


図-4 試験体中央部のひずみ測定結果 (測定方法: ひずみゲージ)

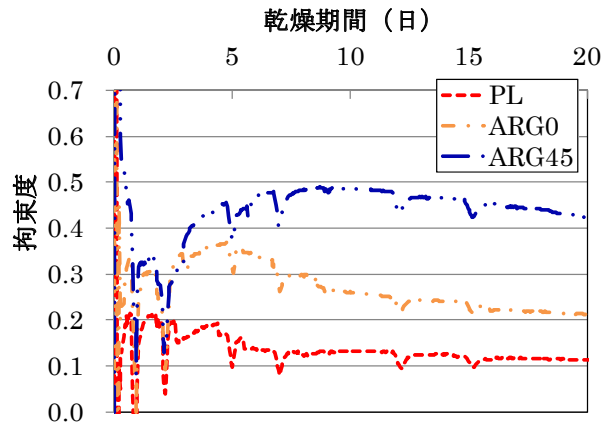


図-5 試験体中央部の拘束度

た。図-4よりARG繊維ネットの配置により収縮ひずみが低減していることがわかる。特にARG45はPLに比べ0.7倍程度の値を示し、収縮ひずみの低減が顕著であった。図-5より乾燥期間7~9日頃から拘束度は安定し、PLは0.13程度、ARG0は0.24程度、ARG45は0.47程度であり、ARG繊維ネットが試験体中央部においても拘束に寄与していることがわかる。図

水準	PL	ARG0	ARG45
試験体			
平均ひび割れ幅	0.19(mm)	0.07 (mm)	0.11 (mm)

※実線はひび割れ, 点線は画像解析範囲 (195×359mm) を示す。

図-6 平均ひび割れ幅 (乾燥期間 12 日)

-6においてもARG繊維ネットの配置によって、PLより、0.4~0.6倍程度のひび割れ幅の低減を確認できた。

3. 2 ひずみゲージとDICMにより求めたひずみの比較

図-7にPLにおける表面に貼付したひずみゲージとDICMにより求めた収縮ひずみ結果を示す。DICMによる収縮ひずみは、ひずみゲージ貼付位置とほぼ同じ箇所を解析して求めたひずみの平均を用いた。水平方向と垂直方向を比較すると、垂直方向のひずみが低い傾向を示した。本装置は、水平方向が主走査方向、垂直方向が副走査方向である。ひずみゲージとDICMによるひずみ測定結果を比較すると、主走査方向、副走査方向ともに両者の結果と傾向は概ね一致しており、両者の差は平均で $\pm 40 (\times 10^{-6})$ 程度であったことから、DICMによる結果は主走査方向、副走査方向ともに一定の精度を確保しており、妥当性のあるものと判断できる。

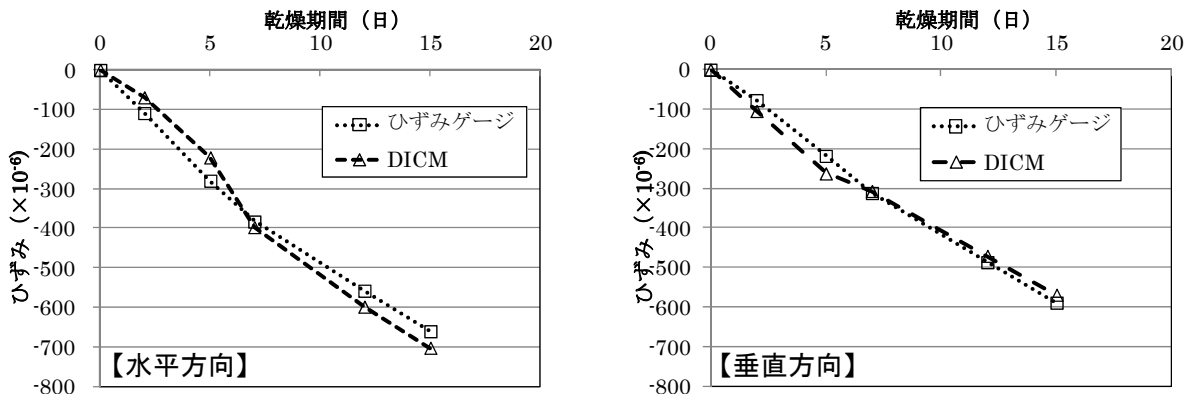


図-7 ひずみゲージと DICM によるひずみ測定結果

3. 3 DICMにより求めたひずみ分布

図-8~10にDICMにより求めた乾燥期間2, 7, 12日の最大主ひずみ分布を示す。画像解析範囲は図-6内の点線枠内(195×359mm)である。

本結果のひずみレンジは引張(膨張)側で1600($\times 10^{-6}$)、圧縮(収縮)側で-1600($\times 10^{-6}$)である。

全ての水準で乾燥期間が進むにつれ、試験体全面が緑色から青色(モノクロではマイナス側の暗色)へと変化し、試験体全面の収縮が進んでいることが確認できる。

図-8~10内の矢印は視認可能なひび割れが発生した箇所である。PLは、乾燥期間2日では視認可能なひび割れは発生してい

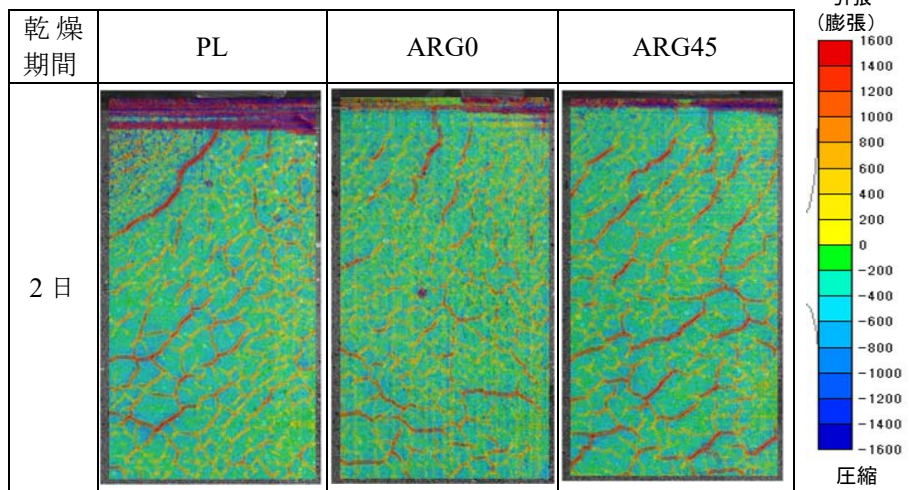


図-8 最大主ひずみ分布(乾燥期間2日)

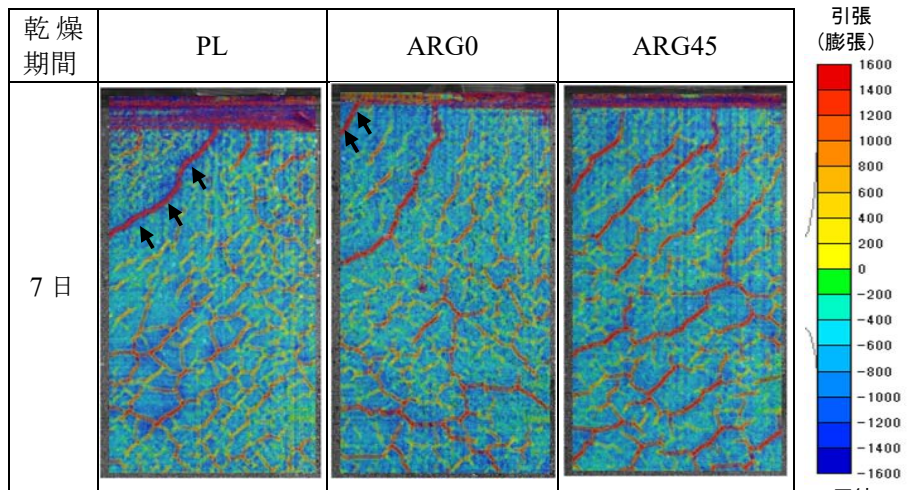


図-9 最大主ひずみ分布(乾燥期間7日)

※←: 視認可能なひび割れを示す。

引張（膨張）側に着目した最大主ひずみ分布を図-14に示す。図-14は図-10のひずみレンジを引張（膨張）側のみ示したものであり、0以下は黒、0～10000（ $\times 10^{-6}$ ）は凡例に示す色、10000（ $\times 10^{-6}$ ）以上は赤色（図-14内○箇所）で示している。図-14より、視認可能なひび割れは10000（ $\times 10^{-6}$ ）以上のひずみ値を示し、デジタル画像で拡大（ピクセル等倍）して確認できた微細ひび割れは2000～10000（ $\times 10^{-6}$ ）程度のひずみ値を示した。ARG0、45では、

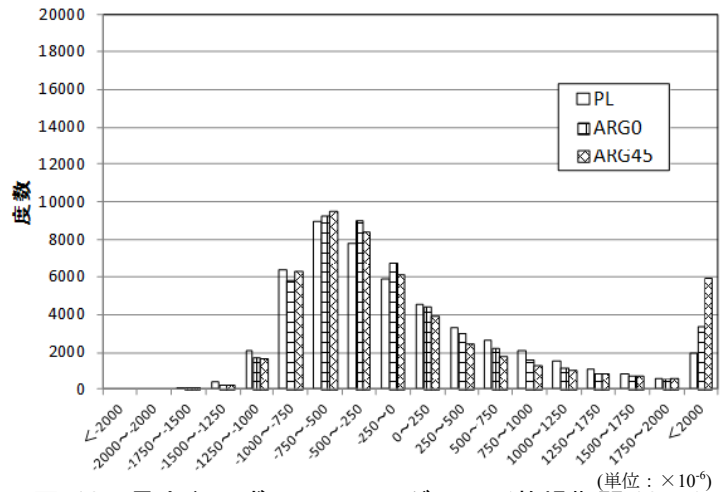


図-13 最大主ひずみのヒストグラム（乾燥期間 12 日）

10000（ $\times 10^{-6}$ ）以上を示す領域がPLに比べ少ないこと、2000～10000（ $\times 10^{-6}$ ）のひずみ値を示す領域が測定面全面に分布していること、図-13に示すとおり2000（ $\times 10^{-6}$ ）以上の最大主ひずみを示す度数が増加していることから、ARG繊維ネットの配置により過大なひび割れの発生に至るようなひずみの集中を分散させ、その

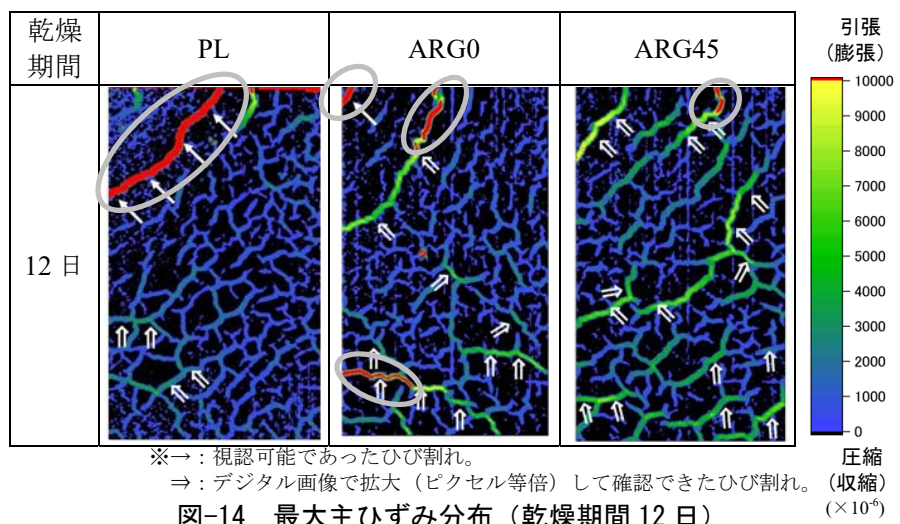


図-14 最大主ひずみ分布（乾燥期間 12 日）

結果測定面全体に微細ひび割れが発生し視認可能なひび割れ発生抑制に繋がった、と考えられる。また、概ね高い引張ひずみを示す箇所とひび割れ発生箇所は一致しており、本手法がひずみの集中から微細ひび割れの発生、進展把握および視認可能なひび割れの発生予測に活用できる可能性を示した。

4. まとめ

ラインセンサタイプ全視野ひずみ計測装置を用い、乾燥環境下でのARG繊維ネットを配置したモルタル試験体のひずみ分布をDICMにより求めた結果、以下のことがわかった。

- 1) DICMにより求めた平均ひずみは、ひずみゲージと同等の測定結果であった。
- 2) 本手法により、ARG 繊維ネットの配置によって、局所的に集中するひずみがひび割れ発生前に分散していることを確認できた。
- 3) ARG繊維ネットの収縮ひずみ分散効果は、ARG繊維ネットの配置方向により異なり、ひび割れに対して直角に配置することでひび割れ抑制に効果的なひずみ分散を示した。
- 4) 引張ひずみ発生領域とひび割れ発生位置はおおよそ一致しており、本手法がひずみの集中から微細ひび割れの発生、進展把握および視認可能なひび割れの発生予測に活用できる可能性を示した。

【参考文献】

- 1) 郭 度連, 竹下永造: 耐アルカリ性ガラス繊維ネットによる収縮ひび割れの抑制, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.487-488, 2009
- 2) 出水 享ほか: デジタル画像関連法のひずみ計測向上に関する基礎的研究, 土木学会論文集A2 (応用力学), Vol.68, No.2, pp.I_683-I_690, 2012