

## (31) RC梁の曲げ・せん断試験動画に対する ひび割れ判読・検出・図化支援策の一提案

広田 健一<sup>1</sup>・勝尾 伸一<sup>1</sup>・小島 尚人<sup>2</sup>  
大和田 勇人<sup>3</sup>・植原 光俊<sup>4</sup>・岡田 正人<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 日本シビックコンサルタント(株) (〒116-0013 東京都荒川区西日暮里2-26-2)  
E-mail: hirota-ken@nccnet.co.jp

<sup>2</sup>フェロー会員 東京理科大学 理工学部 土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

<sup>3</sup>正会員 東京理科大学 理工学部 経営工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

<sup>4</sup>非会員 東京理科大学大学院 理工学研究科 土木工学専攻 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

<sup>5</sup>学生会員 東京理科大学大学院 理工学研究科 経営工学専攻 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

本研究は、RC梁の「曲げ・せん断試験動画」に対する「ひび割れ判読・検出・図化」支援を目的として、「ひび割れ検出動画」を作成し、その有用性を示したものである。ひび割れ検出動画は「RC梁の曲げ・せん断試験動画を構成する静止画の取り込み→テクスチャ特徴画像生成→エンボス処理(光の擬似照射方向8方位)→元画像への合成・動画化(錯視誘発画像特徴合成動画<sup>3)</sup>)→ひび割れ検出動画生成」といった処理を通して作成される。このひび割れ検出動画を利用すれば「曲げ・せん断ひび割れ挙動」の判読精度が向上し、曲げ・せん断ひび割れ発生時等、各種実験値と計算値の比較・分析、ひび割れ進展状況の図化・分析支援に寄与することを示した。

**Key Words :** crack detection of concrete surface, flexural-shear failure test, reinforced concrete beam, moving image, texture feature extraction, visual illusion

### 1. はじめに

RC梁の曲げ・せん断試験では、曲げやせん断ひび割れが発生する時点の荷重(以下、初期ひび割れ荷重、せん断ひび割れ発生荷重)、終局せん断耐力、終局曲げ耐力、破壊形式等の実験結果を記録し、計算値と比較・分析する。ひび割れ発生から破壊までのひび割れ挙動を把握することが必要となる<sup>1)</sup>。

デジタルカメラ等によって撮影される静止画像(以下、静止画)からのひび割れ検出とその精度に関する研究は枚挙にいとまがない<sup>2,3)</sup>。静止画から曲げひび割れの発生予兆をとらえることを目的とした興味深い研究もある<sup>3)</sup>。これは離散的に撮影される静止画の差分値によるひび割れの変化検出方法であり、動的なひび割れ発生・進展挙動と荷重とを対応付け、実験値と計算値を比較・分析する上で限界がある。特に、発生時点の曲げおよびせん断ひび割れは、極めて微細であり、その発生時点に対応する荷重を読み取ることが難しい。一般には「ひずみゲージの値と目視」、「荷重-変位曲線と目視」によって、それぞれ「初期ひび割れ」と「せん断ひび割れ」の発生時点を判定している<sup>1)</sup>。

ビデオ映像(以下、動画)を利用したひび割れ動的挙動の可視化に関する検討もみられる。しかし、載荷過程におけるひび割れ履歴としてのスケッチ図、いわゆる「ひび割れ履歴図」の出力に関する検討までは言及されていない。RC梁の曲げ・せん断試験動画から「ひび割れを判読・検出」し、その結果を「図化・記録」する支援策が求められている。

このような技術的背景とはステージを別にすると、各種検査・計測画像(静止画&動画)の画像特徴の合成強調・判読支援を目的として、筆者らは「擬似回転錯視と残像錯視」を誘発する「錯視誘発画像特徴合成動画(Feature Composite moving image inducing visual illusion:FC動画)」を提案し、この動画を用いれば「元画像の画質維持・鮮鋭化」と「テクスチャ特徴の強調」効果を同時に得られることを示した<sup>4)</sup>。「FC動画」の見方には、動画の「画像濃度値変動」そのものが反映される点に着目し、さらに研究を進め、画像濃度値変動のパワースペクトルを可視化した「視認性評価図(静止画&動画)」の提案にも至っている<sup>5)</sup>。

RC梁の載荷試験動画に対するFC動画と視認性評価図の適用効果は未知数であるが、FC動画は「ひび割れ判

読」支援に、視認性評価図（静止画&動画）は「ひび割れ検出・図化」支援につながるものと期待できる。

以上の背景のもとに、本研究は、RC梁の「曲げ・せん断試験動画」に対する「ひび割れ判読・検出・図化」支援を目的として、「ひび割れ検出動画」を作成し、その有用性を示したものである。

## 2. ひび割れ検出動画の作成

### (1) 処理の流れ

本研究で開発したプロトタイプシステム（以下、CD system: Crack Detection system for moving image of flexural-shear failure test of reinforced concrete beam）では、RC梁の曲げ・せん断試験動画からFC動画を作成し、それに対して「ひび割れ検出動画」を作成する。具体的には、以下の6つのステップからなる。

#### a) STEP1：合成元画像と合成対象画像の定義

処理対象となる動画を構成する静止画（合成元画像）をシステムに取り込む。これをR, G, B画像に分解し、それらに対して画像特徴量を計算し、「特徴画像」を作成する。これを「合成対象画像」とする。合成元画像そのものに対するエンボス処理画像も特徴画像となり得る。本研究では、初期検討として、合成元画像に対するエンボス処理画像を合成対象画像とした（STEP2）。CD systemでは、画像特徴量として、広く利用されている11種類（平均、分散、データレンジ、エントロピー、コントラスト、エネルギー、ラプラシアン4方向、ラプラシアン8方向、鮮鋭化ラプラシアン、ソーベル垂直方向強調、ソーベル水平方向強調）を選択できるようになっている。

#### b) STEP2:エンボス処理画像の作成（凹凸強調処理）

合成対象画像（画像特徴）に対して「エンボス処理」を施す。陰影・凹凸情報によって画像特徴が強調される。光の擬似照射方向8方位（0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°）それぞれに対応するエンボスフィルタによって、8種類のエンボス処理画像を作成する。

#### c) STEP3:錯視誘発画像特徴合成動画（FC動画）の作成

合成元画像に8種類のエンボス処理画像をオーバーレイし、「画像特徴合成画像（静止画）」を8種類作成する。これらを連続表示したものがFC動画となる。

#### d) STEP4：画像濃度値変動の抽出

同一画素における画像濃度値の変動がFC動画の「見え方」に反映されていることになる。そこで、同一画素における「画像濃度値変動」を画素単位で抽出する。

#### e) STEP5：画像濃度値変動に対する離散フーリエ変換

抽出した画像濃度値変動に対して離散フーリエ変換を実施し、パワースペクトルを求める。空間周波数成分ケ

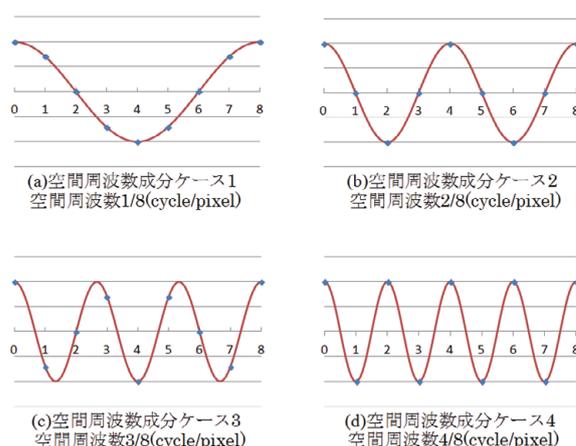


図-1 空間周波数成分ケース（基底関数）の種類

ースは以下の4種類に大別される（図-1参照）。

ケース1: 1/8(cycle/pixel) ケース2: 2/8(cycle/pixel)

ケース3: 3/8(cycle/pixel) ケース4: 4/8(cycle/pixel)

#### f) STEP6：ひび割れ検出動画作成（シュードカラー化）

上記ケース別のパワースペクトルを0~255の濃度値に正規化し、シュードカラー表示する。これが「ひび割れ検出動画」となる。CD systemでは、上記4種類の空間周波数成分それぞれに対して、パワーレベルを10クラスに分けて表示できるようになっている。FC動画上での画像特徴の「見え方」、すなわち「視認性」を「全40クラス」にわたって定量化・分析できることになる。

### (2) FC動画とひび割れ検出動画の表示速度

前述したとおり、元動画を構成する1つの静止画に対して8種類の画像特徴合成画像（静止画）を連続表示するとFC動画となり、さらにこれが連続表示されて元動画と対応する動画表示となる。つまり、FC動画は、元動画のfps（frame per second）の8倍のfpsで表示される。一方、元動画を構成する1つの静止画から作成されるFC動画に対して、1つのひび割れ検出動画が作成されることから、ひび割れ検出動画は元動画と同じfpsで表示される。

## 3. ひび割れ判読・検出・図化支援効果

### (1) 画像特徴合成動画（FC動画）上のひび割れ判読効果

作成したFC動画を図-2に示す。図-2(a)は、曲げひび割れ発生時の元動画であり、ひび割れは判読しづらい。一方、図-2(b)のFC動画を見ると、曲げひび割れが強調されて明瞭に判読できる。FC動画を用いれば、曲げひび割れ発生時点と位置の判定支援につながる。

図-2(c)は、せん断ひび割れ発生時の元動画である。コンクリート表面の他の画像特徴のために、ひび割れ部

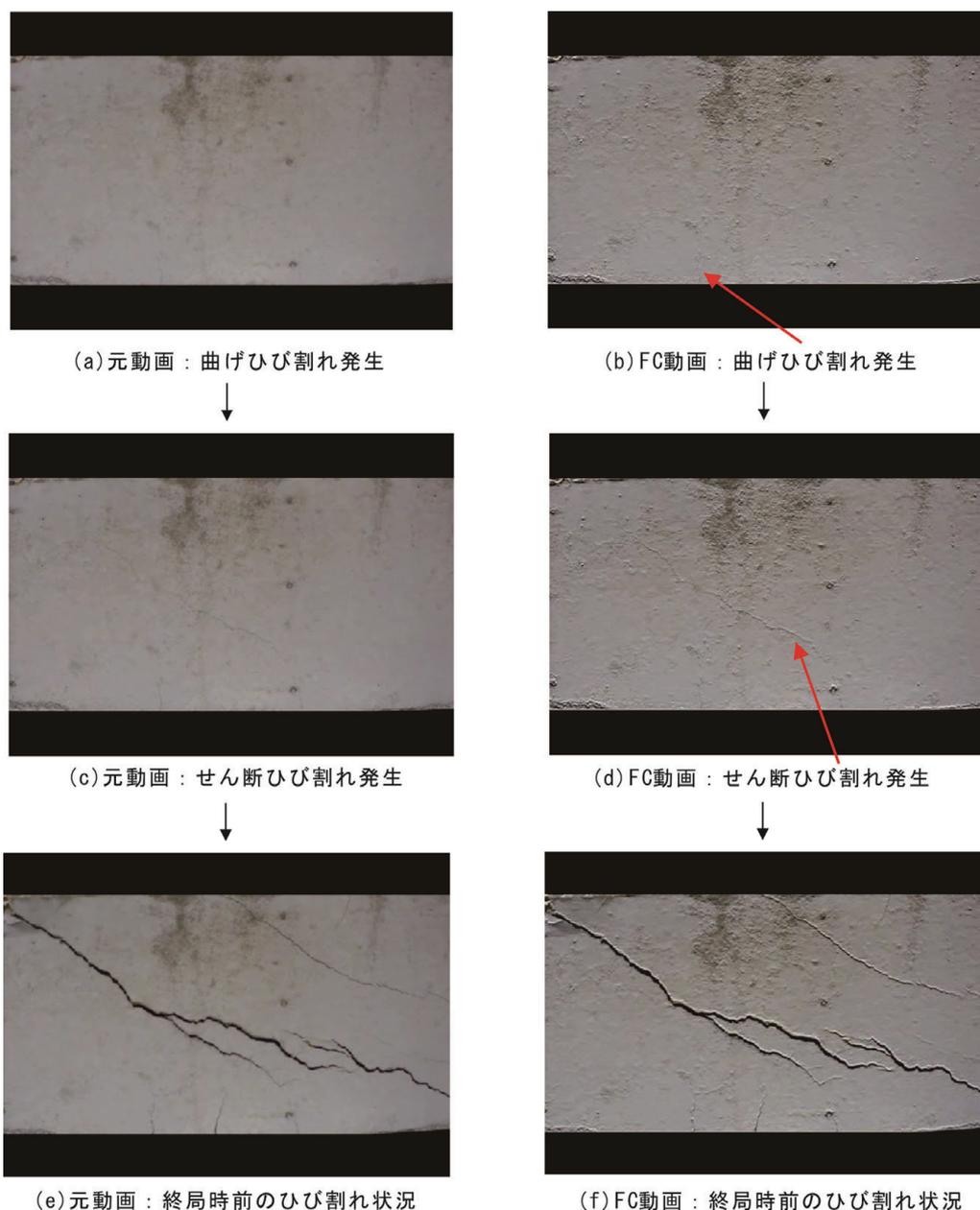


図-2 錯視誘発画像特徴合成動画 (FC動画) 上のひび割れ強調・判読効果

の画質が悪く、判読しづらい。これに対して図-2(d)のFC動画をみると、斜めひび割れが複数強調・鮮鋭化されている。せん断ひび割れ発生時点の特定とともに、複数の斜めひび割れ分布の判読支援にも寄与できる。

図-2(e)と図-2(f)は、それぞれ終局時前の元動画とFC動画である。FC動画上のひび割れ強調・鮮鋭化効果は高い。終局に至るまでのひび割れの進展を判読する上で有用となる。FC動画上に誘発される擬似回転錯視は「ひび割れ強調」、残像錯視は「鮮鋭化」を担う。図-2の画像はすべて動画であり、擬似回転錯視と残像錯視誘発に伴うFC動画上のひび割れ強調・鮮鋭化効果は、この紙面から視認できる画質に比べてさらに高いことを付記しておく。

## (2) ひび割れ検出動画によるひび割れ検出・図化効果

作成したひび割れ検出動画を図-3に示す。図-3(a)は、図-2(b)に示したFC動画から作成したひび割れ検出動画である。梁下縁部から発生している曲げひび割れが検出できている。FC動画上のひび割れの動的な見え方(視認性)がこのような履歴図として出力できる。

図-3(b)は、図-2(d)に示したFC動画から作成したひび割れ検出動画である。FC動画上で視認されるせん断ひび割れを明瞭に図化できている。

図-3(c)は、図-2(f)に示した終局前のFC動画から作成したひび割れ検出動画である。終局時はもとより、終局前の破壊状態の履歴図として保管・利用できる。

このようにFC動画から静止画として得られる「ひび割れ検出動画」は、ひび割れ進展の記録・履歴図となり、目視によるスケッチ図に代わるものとして活用できる。

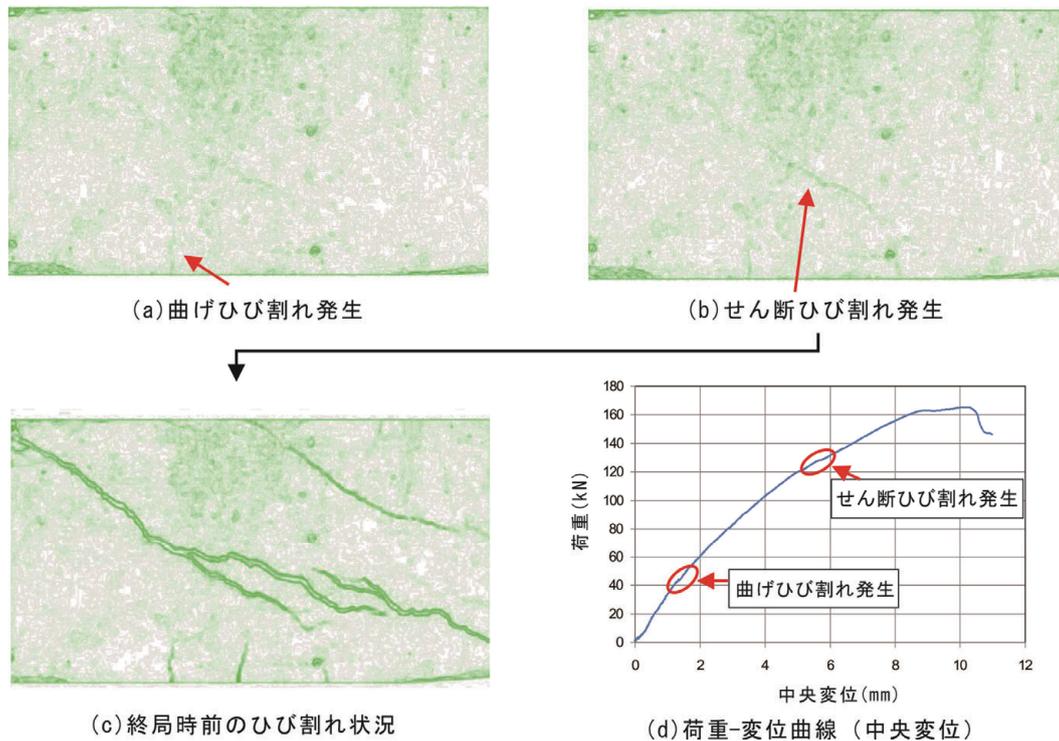


図-3 ひび割れ検出動画の例, 1/8 (cycle/pixel) : 錯視誘発画像特徴合成動画 (FC動画) の見え方 (視認性) を定量化

前述したとおり、曲げひび割れやせん断ひび割れ発生時点を厳密に特定することは難しく、実験値（読み取り荷重）が計算値より大きくなる要因の一つでもある。FC動画とひび割れ検出動画を併用することは、この差を小さくする上での一支援策になる。

さらに、コンクリート表面のテクスチャ（キメや粗さ）も強調・鮮鋭化でき、微細なひび割れの進展状況が動的に検出できることから、動的載荷試験動画からのひび割れ伸縮状況把握、ひび割れ幅分析支援にもつながることが期待できる。

#### 4. まとめ

本研究の内容は、以下の2点にまとめられる。

(a) RC梁の曲げ・せん断試験動画に対して、錯視誘発画像特徴合成動画 (FC動画) を作成し、元動画に対するひび割れの判読結果とを比較した。FC動画上でのひび割れの強調・鮮鋭化効果は高く、曲げ・せん断ひび割れ発生時点の特定とともに、複数の曲げ・せん断ひび割れ分布の判読支援にもつながることを示した。

(b) さらに、FC動画上の「ひび割れの視認性」を定量化した「ひび割れ検出動画」を提示した。このひび割れ検出動画を利用すれば、曲げ・せん断ひび割れ発生時等の各種実験値と計算値の比較・分析、ひび割れ進展状況の図化・分析支援に寄与することを示した。

本検討では、元動画を画像特徴としたエンボス処理画像を合成してFC動画を作成した。CD systemでは、2章でも述べたとおり、11種類の画像特徴を合成してFC動画とひび割れ検出動画を作成できる。RC梁載荷試験動画に対するひび割れ強調・鮮鋭化に有効な画像特徴を提示することが今後の課題となる。

謝辞：本研究で使用したRC梁の曲げ・せん断試験動画は、大島義信准教授（京都大学工学研究科）からご提供いただいた。記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 横井克則, 天羽和夫, 水口裕之: 2層構造ポーラスコンクリートはりの曲げせん断性状, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.1, pp.151-156, 2001.
- 2) 藤田悠介, 中村秀明, 浜本義彦: 画像処理によるコンクリート構造物の高精度なひび割れ自動抽出, 土木学会論文集 F (土木情報学), Vol.66, No.3, pp.459-470, 2010.
- 3) 佃 善彦, 宮里心一, 畷田道雄: 進展期の RC 梁に対するデジタル画像相関法を用いた曲げひび割れ発生の早期検出方法の提案, 材料 (Journal of the Society Materials Science, Japan), Vol.62, No.11, pp.702-709, 2013.
- 4) 広田健一, 二宮建, 小島尚人, 大和田勇人: 画像特徴複数合成強調・判読支援動画作成アルゴリズムの構築とその実用化への一提案, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.67, No.2, pp.I\_44-I\_56, 2012.
- 5) 重岡 匠, 広田健一, 小島尚人, 金子和弘: 錯視を誘発する画像特徴合成動画に対する視認性定量評価の試みとその実用化, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.68, No.2, pp.I\_9-I\_18, 2013.