

# マーカーとデジタルカメラを利用したひび割れ計測システムの開発

Development of a Crack Measuring System Using a Marked Sheet and a Digital Camera.

佐野 浩 (さの ひろし)  
(株)吾妻製作所 顧問

後藤 和夫 (ごとう かずお)  
(有)ジーテック 代表

大澤 廣 (おおさわ ひろし)  
日本サミコン(株) 営業本部副部長

堀内 宏信 (ほりうち ひろのぶ)  
山形設計(株) 技術営業課長

## 1. はじめに

コンクリート構造物の維持・管理のため、コンクリート表面に発生したひび割れを長期間にわたり定期的に定点観測を行うケースは比較的多い。

従来、簡略な計測の場合には、計測箇所を目印をつけて、その都度クラックスケールやクラックゲージで計測を行い、高い精度が要求される場合には、ひずみゲージや伸縮計などのセンサーをひび割れ直上に設置して計測を行うことが、一般的な方法であった。

しかし前者の方法では、測定者によって計測結果に大きな、あるいは特有のばらつきが生じる、計測と数量管理が別なので、計測以外の作業を必要とし、結果的に作業効率が低くなる、等の問題が発生していた。

また後者の方法でも、ひび割れが大きく進展すると測定レンジを越えて計測不能に陥る等の可能性があった。

このような背景から、貼付け型のマーカーとデジタルカメラを用いたひび割れ計測システムの開発を行ったので、その内容について本稿で紹介する。開発のコンセプトは、現場作業の省力化・効率化および測定者に依存しない計測精度の確保である。

## 2. 計測方法と精度

### 2.1 基本原理

本システムの基本原理は、微小なエリアでの三角測量に基づく距離と座標の測定といえる。

ひび割れをまたいだ三角形の各頂点を標点とし、この三角形の原点と校正点を結ぶ1辺(基準長さ)を既知、

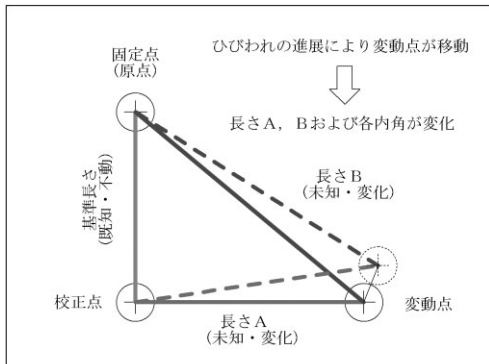


図-1 計測原理の説明

かつ不動とすることで、未知の残り2辺の長さを基準長さに対する相対比率より求め、最終的に原点・校正点に対する変動点の座標を算出している。このため、ひび割れ幅を直接計測しているのではなく、厳密にはひび割れ両側の二つの面の相対移動量を計測していることになる。

### 2.2 計測方法

実際の計測は、以下の手順により行う。

#### (1) マーカー設置

計測対象箇所のひび割れをまたいで写真-1に示す要領でマーカーを貼り付け、初期値を計測する。なおこれに先立って、各マーカーの基準長さを測定顕微鏡などによりあらかじめ検定しておく。

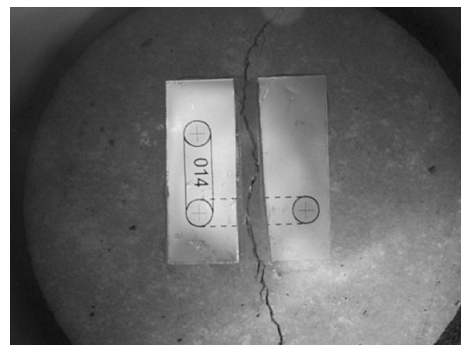


写真-1 マーカー設置状況

またマーカーは、表-1に示す3種類の材質のものを設置環境に応じて使い分けている。

表-1 マーカーの種類

ランク	設置環境	素材と標点	固定方法
I	乾燥屋内	ポリエステルシートに印刷	エポキシ樹脂
II	屋外・単純湧水	印刷紙にエポキシ樹脂含浸	エポキシ樹脂
III	激しい湧水、流水 異常 pH	SUS316 にケガキ	ホールアンカー

#### (2) 計測

計測は、デジタルカメラを用いて、マーカー全体を垂直方向より撮影することで行う。

撮影において被写体との距離が一定でなくても基準長

さが既知であるため、原理的には計測可能であるが、撮影距離によって計測精度にばらつきが生じる。これを防ぐために、垂直性を保ち、被写体との距離が常に等しくなるよう、アダプタを装着して撮影を行う。



写真 - 2 計測状況

### (3) 解析

撮影した画像上の各標点位置と基準長さを基に、残り2辺の長さや各々の内角を求め、原点・校正点に対する変動点の座標を算出する。

ただし現場作業の省力化が重要な開発コンセプトであることから、現場での計測作業は基本的に写真撮影だけとする。したがって、ひび割れ幅の解析はすべてパーソナルコンピュータ(PC)上の専用ソフトウェアで後処理として行っている。

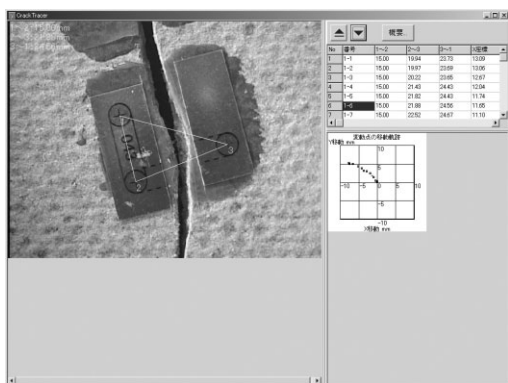


写真 - 3 ひび割れ幅の解析

また同一ひび割れごとにデータを集積することにより、ひび割れ幅を経時変化として管理している。

### 2.3 計測精度

計測精度に影響を与える以下の3点の要因について検証を行った。

#### (1) 基準長さ

本システムは、三角形の未知の2辺の長さを、基準長さに対する相対比率より求めている。したがって、基準長さ(L)に誤差( $\Delta$ )があると、その比( $\Delta/L$ )に等しい長さの誤差が常に発生するため、基準長さの管理は計測精度に直接影響を与える要因となる。

しかしマーカーの材質により標点の印字方法が違うので、製造段階における精度はそれぞれ異なっている。そこで、実際の計測に用いる前にすべてのマーカーの基準

長さを測定顕微鏡または読取顕微鏡により  $1.0 \times 10^{-2} \text{mm}$  の精度で検定を行うこととした。これによりマーカーの材質や製造ロットに依らず基準長さの精度を確保し、計測結果に誤差が発生することを防いでいる。



写真 - 4 測定顕微鏡による検定

#### (2) 撮影時の距離と解像度

本システムの計測精度に影響を与える要因として、撮影時の被写体との距離と解像度との関係が最も大きなウエイトを占めている。

一例として、600万画素級(2800×2100~3000×2000pixel)のデジタルカメラを用いて、写真-1程度の画角で撮影を行った場合を想定する。各標点間の距離が2.5cm、それに対応する画素数が500pixelと仮定すると、分解能は理論上0.05mmとなる。

しかし各標点の中心の特定には、画面上で1pixel程度の誤差を持つことから、実際の分解能は0.1mmとなる。

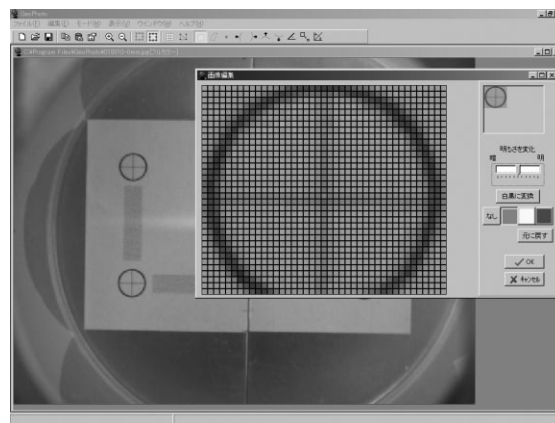


写真 - 5 画面上での標点中心部の拡大

なお本システムの精度は固定されたものではなく、マーカーの大きさ(標点間の距離)、撮影時の距離および解像度によって良くも悪くも変化し、またそれが大きな特徴の一つになっている。

一般に市販されているデジタルカメラの解像度(600~1000万画素)と、画像にゆがみを生じない撮影距離から、現時点での分解能の上限は0.05mmと判断している。

またデジタルカメラに解像度で勝る銀塩フィルムからフィルムスキャナーで画像を取り込んだ場合でも最大

2400 万画素程度<sup>注1)</sup>であることから、分解能を飛躍的に向上させることは原理的に難しい。

### (3) 温度変化

マーカーはエポキシ樹脂、またはホールアンカーでコンクリート表面に固定しているため、コンクリートの温度変化による影響を受ける。

このため、コンクリートの温度変化による伸縮が計測精度に与える影響について検証を行った。

普通コンクリートの線膨張係数は、

$$= 10 \times 10^{-6} \quad (1/ \quad )$$

標点間の距離が 2.5 cm、季節変動などによる温度変化を 50 とした場合、線膨張による標点間の伸縮量は、

$$L = 10^{-6} \times 25 \times 50 = 0.0125 \quad (\text{mm})$$

となり、先に求めた分解能と比較しておおむね 1 桁小さい伸縮量に留まっている。

したがって、ひび割れ自体が温度変化の影響を受けて伸縮している場合には温度も併せて計測するが、ひび割れ幅の解析においては温度補正を行う必要はない。

## 3. 特徴

本システムの技術上および運用上の特徴を以下に整理する。

### 3.1 技術上の特徴

ひび割れ両側の二つの面の相対移動を、大きさや方向を持つベクトルとして把握することができる

ひび割れ直上にはセンサー等を設置していないので、ひび割れが大きく進展しても計測不能とならない。

計測精度が固定されておらず、標点間の距離、撮影時の距離、および解像度によって可変する。

ひび割れ幅の算出において、温度補正などの補正操作は通常の場合不要である。

### 3.2 運用上の特徴

計測箇所にはシート状のマーカーを貼り付けるだけなので、場所をとらず、準備作業が簡便である。

マーカーはコンクリート表面からほとんど突出していないため、衝突などによる破損の可能性が低い。

計測は、マーカーをデジタルカメラで撮影するだけなので、計測作業が簡便である。

測定者によって計測結果にばらつきを生じない。

マーカーに計測箇所を示すユニークな記号をあらかじめ印字しておき、また日時・時間を入れて撮影することで、撮影画像をそのまま計測データおよび数量管理記録として利用できるため、作業効率が高い。

### 3.3 適用範囲

これらの特徴などから、本システムを効果的に適用できるのは、要求される分解能が 0.05mm で、変位が長期間継続し、かつ計測点数が多いフィールドと考えられる。

このような条件を満たしていれば、従来方法と比較して効率的に計測が可能であり、費用的にも安価となる。具体的には、以下に示す現場などでの適用を想定している。

地すべりや近接施工などの影響を受けるトンネル。軟弱地盤上の道路盛土下を横断するトンネル、カルバート、または道路盛土側面の擁壁、など。

また上記以外の現場においても、簡易な変位計、伸縮計として様々な用途での利用が可能である。

## 4. 計測事例

本システムにより実験的に計測した事例を紹介する。中部地方の山岳地に建設された構造物の基礎スラブ同士の目地間隔を 1 年間に亘り計測した結果である。

主に温度変化によって、ほぼ 1 方向に最大で約 2.5mm の伸縮が季節変動として生じている様子が伺える。

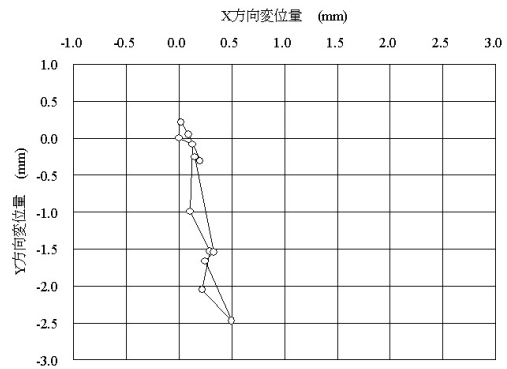


図 - 2 床版同士の目地間隔の季節変動

## 5. おわりに

マーカー、デジタルカメラ、および PC を組み合わせることで、簡便なひび割れ計測システムを開発することができた。今後は、実際のフィールドでその有用性を実証して行く予定である。

PC やデジタルカメラなど、使用しているデバイスは最新技術に基づいたものであるが、基本原理や計測方法などから見れば本システムはいわゆる“ローテク”に属している。むしろローテクであるがゆえに、ブラックボックス的な部分のない単純明快な仕組みとなっている。

未だ多くの現場において人の手で計測が行われている現状から、このような計測手法が有効に活用できる場面は少なくないと考えている。

(原稿受理 2003.12.12)

注1) 35mm フィルムから 4000dpi で取り込んだ場合。