

3 3 . クラックスケール内蔵光波測量器とデジタル写真画像による ひび割れ抽出ソフトを用いた構造物のひび割れ計測

現場への適用とその効果について

関西工事測量株式会社
関西工事測量株式会社

○ 交久瀬磨衣子
中庭和秀

1. はじめに

コンクリート構造物に生じたひび割れは、構造物の機能を低下させる原因であり、その調査は全ての社会基盤を管理する上で必要不可欠である。現在多くの現場では、仮設足場や高所作業車等を用いて、直接ひび割れにクラックスケールを当てる方法で計測が行われている。しかし、この計測方法は、ひび割れを目視によってスケッチするため、個人差が生じることや経年変化が観察できない。さらに、計測者の安全確保が困難であるなど様々な問題を抱えている。

これらの問題を解決するために、写真画像処理によるひび割れ計測も行われ始めている。この方法は現場での作業時間が少ないという利点がある。しかし、デジタル写真画像によってひび割れを自動抽出するため、壁面の汚れ等をひび割れと誤認してしまうことやひび割れ幅の精度に対する信頼性が低いなどの問題がある。

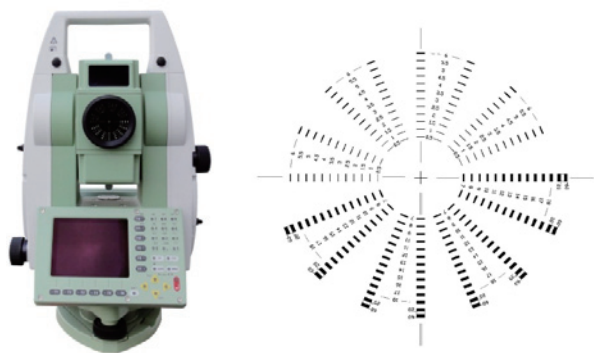


図-1 「KUMONOS」(左) 内蔵クラックスケール (右)

クラックスケール内蔵光波測量器 (以下、「KUMONOS」) は、光波測量器にオリジナルのクラックスケールを内蔵しており、非接触でひび割れ計測を行うことができる (図-1)。計測できるデータはひび割れの幅・長さ・形状・3次元位置座標であり、それらは専用アプリケーションソフトを介し、CAD 図面として瞬時に自動描画できる¹⁾。

光波測量器を用いてひび割れ計測を行うため、全ての測点は3次元座標データとして記録され、橋梁・擁壁・堰堤などの展開図、およびトンネルなどのアーチ状構造物の展開図も高精度に作成できる。

本稿では、「KUMONOS」の概要、スケッチによる従来方法との比較、現場での計測方法、さらにデジタル写真画像との併用について検討を行った結果を紹介する。

2. 「KUMONOS」の概要

本システムを用いた計測では、「KUMONOS」の視野内で確認できるひび割れと内蔵クラックスケールを比較することで、ひび割れ幅を計測することができる。ひび割れの幅は「KUMONOS」と計測面との距離と角度によって補正される。

2.1 内蔵クラックスケール

内蔵しているクラックスケールは、幅の異なる線 (ゲージ) に 0.5 番から 18 番までの番号がついており、これらが放射状に配置されている (図-1)。従来は様々な方向に生じているひび割れに対して、計測者がクラックスケールの向きを変えることでひび割れ幅を計測していた。しかし、光波測量器の焦点鏡は機能上、上下左右にしか動かすことができない。つまり、焦点鏡に組み込まれている内蔵クラックスケールは回転させることができないため、様々な方向に生じたひび割れを計測するために放射状にデザインされている。

2.2 ひび割れ幅の計測方法

ひび割れ幅の計測は以下のようにして行う。

- ① 光波測量器の焦点鏡に組み込んだクラックスケールを使って、ひび割れ幅と一致するゲージ番号を選択する。
- ② 測量器からひび割れ計測箇所までの距離と角度を計算する。
- ③ 取得した距離・角度・ゲージ番号を用いて実際のひび割れ幅を測量器内の計算プログラムで自動計算した後、液晶画面に表示する。

2.3 長さ・形状・3次元位置座標の計測方法

長さ・形状・3次元位置座標の計測は、以下のように行う。

- ①器械から各測点（ひび割れの端点、および各変化点）の斜距離、鉛直角、水平角を順に計測する。
- ②各測点の3次元座標は専用アプリケーションソフトで自動計算する。
- ③各測点のデータを用いてスクリプトファイルを出力し、CAD上に自動描画する。

2.4 距離別最小計測幅および幅計測の補正

「KUMONOS」は42倍の望遠レンズを搭載しており、覗きながらひび割れ計測を行う。人の目によるチェックを行いながら計測するため、壁面の汚れをひび割れと誤認することはない。

「KUMONOS」で計測できる距離別最小計測幅を表-1に示す。

表-1 距離別最小計測幅

器械からの距離(m)	1.5	5	10	15	20	25	30
最小計測幅(mm)	0.007	0.022	0.044	0.066	0.088	0.110	0.132
器械からの距離(m)	35	40	45	50	60	70	80
最小計測幅(mm)	0.155	0.177	0.199	0.221	0.265	0.309	0.353

ひび割れの幅は、正対して見た場合と斜めから見た場合では太さが異なって見える。実際のひび割れ計測では、常に測量器がひび割れと正対した状態に設置できる訳ではなく、限られた設置場所から上下左右方向を計測しなければならない。本システムは斜め方向からひび割れを計測した場合でも、補正計算プログラムによって正対した状態と同じひび割れ幅を計測することができる。

2.5 計測内容

本システムはひび割れ計測を行う対象物および計測内容によって計測モードを変えて計測する。計測モードおよび具体的な計測内容を表-2に示す。現況計測の壁面モードは、実際に距離を計測する測距計測以外に測角計測も行うことができる。これは、ひび割れ計測を開始する前に壁面上の任意の3点を計測することで器械点を含めた3次元の

仮想面を作り、距離を計測することなく壁面に対する入射角度のみを計測する方法である。この計測方法は測距計測と比べ短時間で計測でき、工期短縮が可能である。

3. スケッチによる従来方法との比較

本システムでは、従来方法で行っていた足場等の設置やスケッチ図面をCAD図面にトレースするという作業を簡略化できる。

3.1 計測状況

従来方法では、計画準備の後に足場や高所作業車等を手配しなければならず、コストがかかるとともに計測者の安全が確保できていなかった。図-2に従来方法との作業フロー比較を示す。

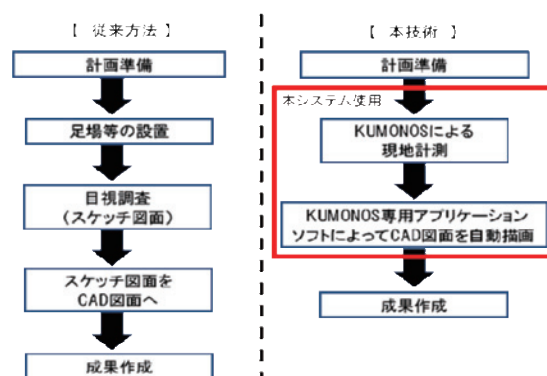


図-2 従来方法との作業フロー比較

3.2 コスト

現地での計測作業日数が12日の現場計測について、従来方法で計測した場合と本システムを使った場合を比較した結果、高所作業車のレンタル費用及び運転手の労務費の合計375,600円を削減できた。また、室内作業では、専用アプリケーションソフトの自動描画機能により、従来行っていた模倣図面からのトレース作業が不要となった。このことにより、24日かかっていた室内作業を5日間で行うことができ、19日間の工期短縮を行うことができた。すなわち、「KUMONOS」は従来方法と比べコスト面からも優位な計測手法であるといえる。

表-2 計測モードおよび計測内容

測定モード	簡易計測	視準角度補正計測	現況計測		
			壁面モード	平面モード	アーチモード
測定内容	ひび割れ幅のみ	変化点2点とひび割れ幅	ひび割れ幅・長さ・形状		
測定対象	器械に正対している ひび割れ	器械に正対していない ひび割れ	橋脚 法面 擁壁など	床版 路面 天井など	トンネル 立坑 曲面のある構造物など
図化の種類	3次元図 展開図	3次元図 展開図	3次元図 展開図	3次元図 平面図	3次元図 展開図

3.3 計測機能

「KUMONOS」を用いると、計測データを3次元座標データ化することで、定量的な数値データとして計測結果を記録することができる。これにより、点検毎に前回点検時からのひび割れの成長等の変化を把握することが可能になるため、構造物のより高度な管理手法である定量データに基づく経年変化管理を行うことができる。

4. 現場での計測方法

本システムを用いたひび割れ計測は、計測者が「KUMONOS」を1台ずつ用いて、1箇所もしくは数箇所から計測を行う。また、複数名で同時に計測する場合は、合成用の基準点を設け、その基準点を共有し計測を行う。このことにより複数の計測データを同時にCAD上に自動描画することができる。設置場所は測量用三脚が設置できるスペースだけでよく、揺れや震動があるような不安定な場所を除き、設置場所の制限はほとんどない。計測データの正確性を確保できる計測限界は、水平角左右それぞれ60度、仰俯角60度であり、この角度を超える場合は「KUMONOS」を移動させ計測を行う。写真-2はダム堤体の計測状況、写真-3は擁壁の計測状況である。



写真-2 ダム堤体の計測状況



写真-3 擁壁の計測状況

5. 「KUMONOS」とデジタル写真画像との併用

「KUMONOS」を使用したひび割れ計測では、亀甲クラックが生じている場合やひび割れ本数が極端に多い場合、正確に計測することはできるが、時間とコストが必要となる。そこで、より効率化を行うためにデジタルカメラで撮影した写真画像を使ったひび割れ抽出ソフトとの併用を写真-4の現場を使って検討した。



写真-4 調査対象現場

5.1 現況計測

デジタル写真画像を使ったひび割れ計測では、ひび割れ抽出ソフトを使用する前にデジタル写真画像の補正を行わなければならない。そこでまず現地で写真を撮影するとともに、「KUMONOS」を使って正確な調査対象壁面の形状を記録する。「KUMONOS」は光波測量器であり、構造物の距離や形を計測することができる。今回使用したひび割れ抽出ソフトの画像補正には、点間がわかる四角形が必要である。したがって、任意の四角形を「KUMONOS」で計測し、その正確な4点の距離を用いてデジタル写真画像の補正を行う(図-3)。

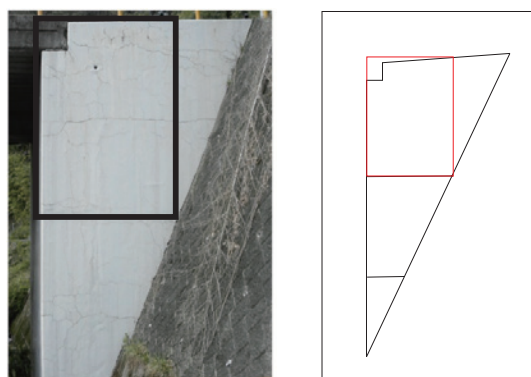


図-3 補正用の計測位置（左）および「KUMONOS」を使って計測した図面（右）

5.2 ひび割れの自動抽出および「KUMONOS」を使用した幅測定

「KUMONOS」で計測した距離をもとにデジタル写真画像を補正した後、ひび割れの自動抽出を行う。デジタル写真画像を用いたひび割れ計測では、ひび割れ幅の精度と汚れやツタをひび割れと誤認するという問題点が挙げられる。したがって、これらの問題を補うために自動抽出済みの図面を現場に持参し、「KUMONOS」を覗きながらひび割れが誤認されていないか確認を行う。さらに、形状はひび割れ抽出ソフトを用い、自動抽出ソフトで最も幅が大きいと判断された箇所の幅のみ「KUMONOS」を使って計測する。このことにより、デジタル写真画像の問題点とひび割れが多い場合に生じる「KUMONOS」を使ったひび割れ計測の問題点を解決することができる(図-4, 5, 6)。



図-4 デジタル写真画像(補正済)

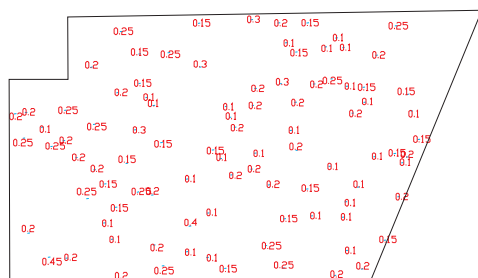


図-5 「KUMONOS」計測図面(ひび割れ幅)



図-6 合成図面

5.3 併用の効果について

ひび割れが多い場合、デジタル写真画像と併用することにより、「KUMONOS」のみで形状と幅を計測した場合と比較して、現場作業で4人工、室内作業では1人工の省力化を行うことができた。つまり、形状は自動抽出ソフトを用い、幅のみを「KUMONOS」で計測することは有効であるといえる。また、データを図面だけでなく、デジタル写真画像で見ることができ、データの可視化を行える。今回の調査では、ひび割れの幅のみを「KUMONOS」で計測したが、ひび割れの端点も「KUMONOS」を使って計測しておくことで、ひび割れの成長の経時変化も計測することができると思う。

6. おわりに

本システムは従来のスケッチによる目視点検と比較して安全性、正確性、経済性の点で格段に進歩したものであり、社会資本の計画的な補修や維持管理に大きく貢献すると考えられる。

今回行ったデジタル写真画像との併用のように本システムは3Dレーザースキャナや赤外線サーモグラフィーと併用することも可能である。赤外線サーモグラフィーによる外壁調査は、計測時の気温、季節、時刻、方位などの環境要因が影響することから、様々な制約があるとされている²⁾。しかし、特殊建築物において、赤外線サーモグラフィーによる全面「浮き」調査を行う前に本システムを使ったひび割れ調査を行い、あらかじめ外壁が落下する可能性がある箇所を厳選した後赤外線サーモグラフィーによる調査を行うことで、赤外線サーモグラフィーが抱える制約を最小限に抑えて計測することができる³⁾。また、本システムで取得したデータを使ってGISを構築することで、効率的な維持管理や経年変化管理のデータベース化を行うことができると考える。

参考文献

- 1) 前田穰・中庭和秀・石澤徹・小山幸則・朝倉俊弘：クラックスケール内蔵光波測量器を用いたひび割れ点検システムの開発と現場適用，2007年度土木情報利用技術論文集，VoL.16，pp.167～174，2007年10月
- 2) 天野勲・山川和夫・伊藤秀和：特殊建築物の外壁診断における赤外線調査ガイドライン，建設の施工企画，No.708，pp.70～76，2009年2月
- 3) 建山和由・中庭和秀・久瀬磨衣子：非接触型ひび割れ計測器と赤外線サーモグラフィーの併用による外壁診断技術，近畿地方整備局研究発表会論文集，2010年7月