

コンクリート表面のひび割れ評価方法

庄野 昭*・齋藤 淳*

コンクリート構造物の表面に発生するひび割れの評価方法として、カメラをひび割れに直接あてがい詳細なひび割れ幅を測定する方法、デジタルカメラで撮影した画像からひび割れを自動抽出するソフトウェアに対して、損傷（コールドジョイント、ジャンカ、はく離、補修跡等）の形状を描画し、その長さや面積を算出できるよう拡張した。

ひび割れ幅測定器は、長さ 15mm 程度の幅を多数点測定し、測定単位 0.01mm で表示できる。ひび割れ抽出ソフトウェアでは、レンズの焦点距離と被写体との距離から遠隔撮影画像のひび割れ、損傷等の長さや面積を算定する。

キーワード：ひび割れ、ひび割れ幅、ひび割れ分布、損傷、デジタル画像

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物に発生するひび割れは、鋼材の腐食による耐久性の低下、水密性・気密性等の機能の低下、過大な変形や美観の低下などの原因となる。

そこで、各種の工事仕様書や設計・施工指針などでは許容ひび割れ幅を定め、ひび割れ幅を制限するなどの対策が従来からとられている。

一方、コンクリート技術者にとってひび割れは昔からの大きな関心事であり、ひび割れ幅がコンクリート構造物に対して大きな影響を与えることが広く認識されているにも関わらず、ひび割れ幅自体の定義もない。そしてその測定方法や評価手法について標準化あるいは規格化されたものは今日でも見当たらない。

また、連続した一本のひび割れであっても、ひび割れ幅は一定でなく、測定位置によってひび割れ幅は異なるのが実状である。さらに、最大ひび割れ幅という用語があるが具体的にどの位置あるいはどのような評価に基づくものか定義されずに用いられている。

そこで、ひび割れ幅の評価に客観性を持たせることを目的として精度の高いひび割れ幅測定器を開発した。

また、デジタル画像からひび割れを自動的に抽出するソフトウェアを使用し、被写体距離を測定しておくことで遠隔撮影画像からひび割れ全長に対するひび割れ幅ごとの比率も計算することが可能であることを確認した。

2. ひび割れ幅測定器

コンクリート構造物の耐久性を確保するためにはひび割れ幅は重要な指標となっている。たとえば、土木学会

コンクリート標準示方書では、許容曲げひび割れ幅として表-1を与えている。かぶり C を 40mm とすると数値的には 0.01mm 単位として表わせる。

表-1 許容ひび割れ幅 $W_a^{1)}$

鋼材の種類	鋼材の腐食に対する環境条件		
	一般の環境	腐食性環境	特に厳しい腐食性環境
異形鉄筋	0.005C	0.004C	0.0035C
普通丸鋼	0.20mm	0.16mm	0.14mm
PC 鋼材	0.004C 0.16mm	—	—

また、日本コンクリート工学協会が定めている補修の要否を判定する場合のひび割れ幅を表-2に示したが、補修を必要としないひび割れ幅 0.1mm をコンクリート面の観察から客観的に判定することは容易ではない。

従来から用いられているひび割れ幅の測定方法としては、クラックスケールや測微鏡などがある。しかし、測定する位置によって測定値が異なったり、同じ測定位置であっても、測定者によって読み取り値が異なるなど、

表-2 耐久性または防水性から補修の要否を判定する場合のひび割れ幅 $^{2)}$

区分	環境 その他の要因	耐久性からみた場合			防水性から みた場合
		きびしい	中間	ゆるやか	
(A) 補修を必要とするひび割れ幅 (mm)	大	0.4以上	0.4以上	0.6以上	0.2以上
	中	0.4以上	0.6以上	0.8以上	0.2以上
	小	0.6以上	0.8以上	1.0以上	0.2以上
(B) 補修を必要としないひび割れ幅 (mm)	大	0.1以下	0.2以下	0.2以下	0.05以下
	中	0.1以下	0.2以下	0.3以下	0.05以下
	小	0.2以下	0.3以下	0.3以下	0.05以下

* 技術統括部

人為差なく正確に読み取ることは難しい。

このような背景に基づいて開発したひび割れ幅測定器を紹介する。

ひび割れ幅測定器は、写真-1に示すようにひび割れの生じたコンクリート面に直接当ててひび割れ画像を撮影するカメラおよびUSBケーブルで接続したパソコンから構成されている。

ひび割れ測定位置の誤差を回避するため、本測定器は、長さ10～15mmのひび割れに対して、400箇所前後のひび割れ幅を連続的に測定し、統計的に処理してこの区間のひび割れ幅を表示するものである。

適用要件は、次のとおりである。

- ①測定可能なひび割れ幅は、0.05mm以上2.0mm以下。
- ②ひび割れの長さは、10mm～15mmの範囲。
- ③測定精度は、±0.02mm、結果表示は0.01mm



写真-1 ひび割れ幅測定状況

本測定器のPC画面を写真-2に、特徴を以下に示す。

- ①PC上のひび割れ画面を見ながら、測定するひび割れ領域を選定する。枝分かれしたひび割れや欠け、気泡を測定対象から除外できる。
- ②ひび割れと認識したものについては青色に変色するので、ひび割れを適切に抽出できたかどうかをその場で判定可能。
- ③長さ10～15mmのひび割れに対して水平方向にひび割れ幅を多数測定し、統計的に処理してこの区間のひび割れ幅を表示。
- ④測定データのプロファイルおよびヒストグラム表示から測定結果の確認が可能。
- ⑤測定結果は測定場所や位置情報とともに保存できる。測定データはCSV形式で、測定画像はJPEG形式で保存される。

3. ひび割れ幅測定器の利用例

壁面に生じた全長2mのひび割れに適用した。全長を25mmの80区間に分け、区間ごとのひび割れ幅を測定し、集計した。ひび割れ幅の分布を図-1に示す。全測定値の平均値、最大から5%番目、10%番目の値、および中央値を表-3に示す。ひび割れの全長に渡って測定し、そのひび割れ幅を求める場合には、平均ひび割れ幅は平均値、最大ひび割れ幅は最大から5%番目(平均値+1×標準偏差)の値を用いることが適切と考えられる。

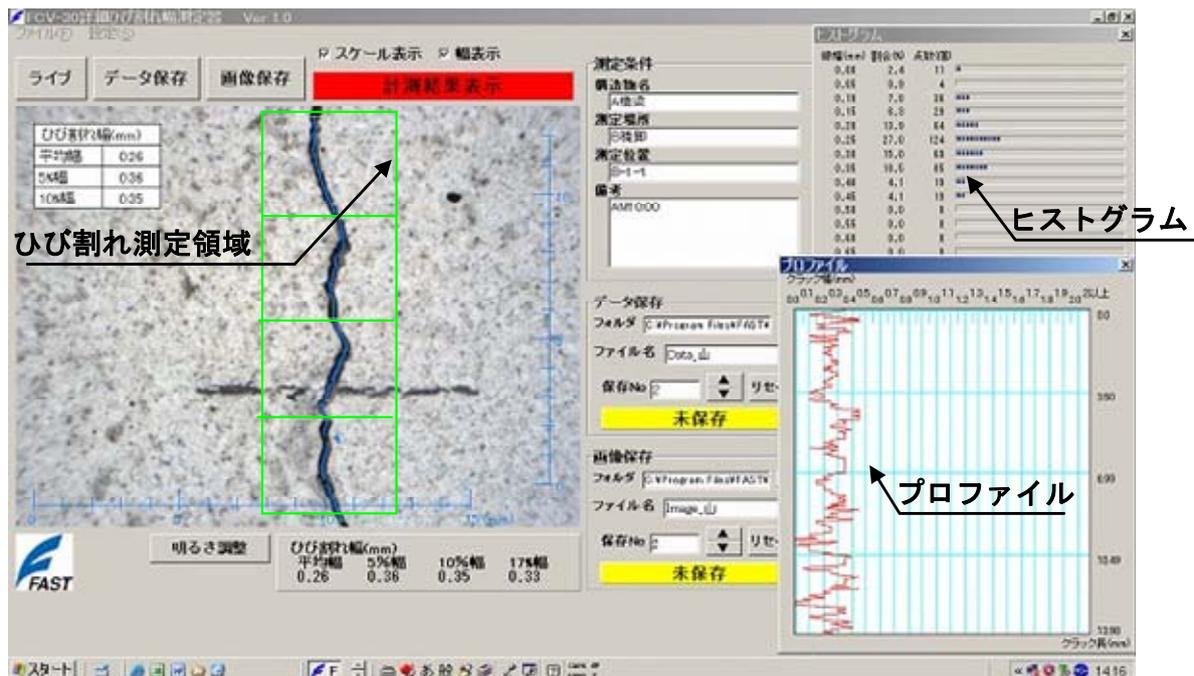


写真-2 パソコンの表示画面

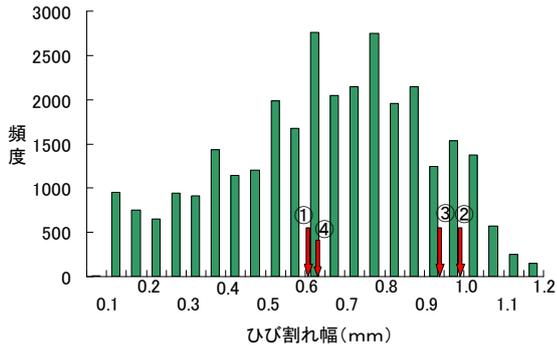


図-1 壁に生じたひび割れのひび割れ幅分布

表-3 ひび割れ幅の統計値

記号	統計値	単位	値
	データ数	個	30,613
①	平均値	mm	0.607
	最大値	mm	1.76
	最小値	mm	0.01
	標準偏差		0.02498
②	最大から5%番目	mm	0.99
③	最大から10%番目	mm	0.94
④	中央値	mm	0.63

R C梁の曲げ試験体梁底に発生した曲げひび割れの載荷荷重とひび割れ幅の関係を図-2に示す。曲げ区間に生じた3本のひび割れは、発生直後の微細ひび割れから破壊時の大きなひび割れまで、荷重の増加に合わせてその幅が詳細に測定できている。

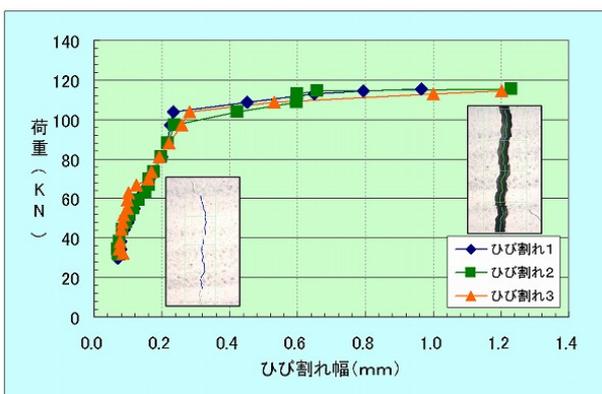


図-2 R C梁供試体の曲げひび割れ幅

4. ひび割れ抽出画像処理ソフトウェア

デジタルカメラで撮影した画像からひび割れ幅の自動測定やひび割れ分布図を自動作成する画像処理ソフトウェアが最近市販されている。

実構造物を対象とした実験結果に基づいて、デジタルカメラの仕様や撮影条件等が解析結果に及ぼす影響を考察し、ひび割れをデジタルカメラで撮影する場合の標準的な方法の一例が表-4に示されている。

表-4 鉄道構造物の調査における標準的な撮影方法³⁾

項目	留意点
カメラ	有効画素数約 500 万画素以上
画角	0.2mm 未満のひび割れを対象とする場合は 1m × 1m 程度
撮影距離	工学ズームにより画角を確保する。一般に 3 倍程度の工学ズーム機能を備えたデジタルカメラを使用する場合は、距離を 10m 以内にする事で条件を満足する。
撮影角度	正面からの角度が 45 度以内を標準
明るさ (照度)	照度は 100 ルクス以上 フラッシュは使用しない

撮影状態が良好な場合、抽出可能な最小ひび割れ幅は画素×1/2 程度となる。デジタルカメラの画素数と撮影時の被写体の横方向視野サイズ (撮影する被写体の幅) および抽出可能な最小ひび割れ幅の対応例を表-5に示す。

最近普及している 1000 万画素のカメラを用いて横方向視野を 1.5m 程度として撮影すると、幅 0.2mm 程度のひび割れを抽出できる。この際使用するカメラは、抽出精度を確保するため、一眼レフが推奨されている。

表-5 抽出可能な最小ひび割れ幅

カメラの画素数	横方向視野 (m)				
	抽出可能な最小ひび割れ幅 (mm)				
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
500 万	0.52	1.04	1.56	2.07	2.59
800 万	0.65	1.31	1.96	2.61	3.26
1000 万	0.73	1.46	2.19	2.92	3.62
2000 万	1.03	2.06	3.10	4.13	5.12

ところが、ひび割れ幅を算出する場合には、画像に寸法を与えなければならず、従来は、画像内にスタッフや目標となる標点間隔 (たとえば型枠の幅やモッコンのピッチなど) を写し込んで画像処理時点で実寸法に対する画素数を設定している。しかし、被写体に接近することが困難、あるいは適当な標点が見当たらない場合には、この手順を踏むことができない。また、離れた位置から幅数mの被写体を撮影するためには、望遠レンズあるいはズームレンズ付カメラを用いることが不可欠となる。

被写体からの寸法情報が得られない場合でも、画像に寸法を与える方法として、使用するカメラレンズの焦点距離と被写体間の距離から画像の横方向視野を決定する

こととした。

ズームレンズの焦点距離を固定し、被写体との距離と横方向視野の関係を近似した。種々の焦点距離について求めた関係を図-3に例示する。被写体とカメラの距離はレーザー距離計を用い、横方向最大視野は、水平に貼り付けておいた巻尺の撮影後の画像の左右端の目盛りから求めている。

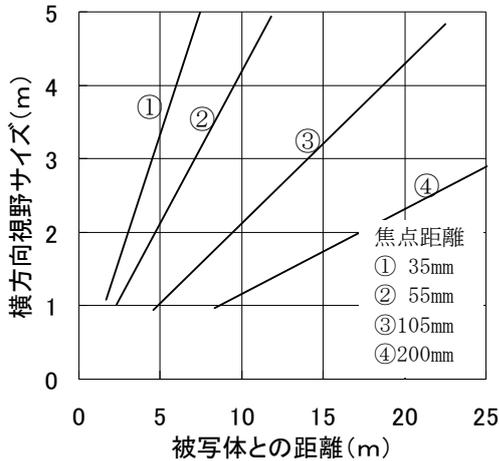


図-3 被写体距離と横方向最大視野の関係

焦点距離 200mm の状態で横方向視野サイズ 1.2m 程度を撮影する際の被写体距離は 10m 前後となる。

焦点距離 24~200mm, 被写体との距離 1.51~15.7m の条件で撮影した 31 枚の画像に対して、事前に求めた関係式を使って算出した横方向視野と、画像内の標点を使って正確に求めた横方向視野の差を図-4に示す。

最大で 3% 程度の誤差が生じる場合もあるが、大半が ±1% 程度以内の差であり、ひび割れ幅を抽出する際には実用上十分な精度である。

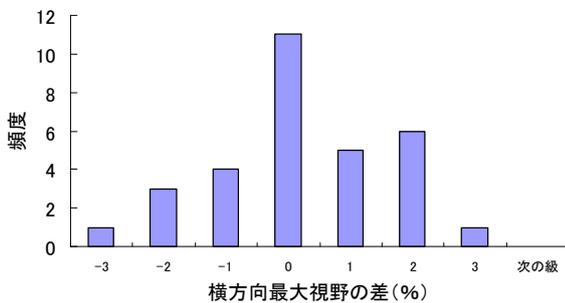


図-4 横方向視野の差のヒストグラム

コンクリートひび割れ抽出画像処理ソフトウェア (CFTracing) は、デジタル画像からひび割れを自動抽出し、分布図を作成するソフトウェアである。コンクリート表面の汚れや析出物などの影響で必ずしも自動抽出

できない場合には、描画ペンを使ってひび割れを追記することも可能である。ひび割れはその幅によって 5 段階に色分けして表示できる。操作は簡単で、熟練を要さないものである。

このソフトウェアに、ひび割れ以外の各種の損傷を描画し、それらの長さや面積を算出する機能を新たに追加した。

コールドジョイントやひび割れの補修跡などの線状形態のものはその長さが、ジャンカやはく離・はく落、漏水箇所などの面的なものはその面積を算出する。損傷パターン図の作成も可能である。

5. ひび割れ抽出画像処理ソフトの利用例

焦点距離が 24mm の広角レンズと 200mm の望遠レンズを使って写真-3に示す壁面のジャンカおよび検定用の四角形 (30cm×30cm) の面積を測定した。撮影には N 社製デジタル一眼レフカメラ (有効画素数 10.2 メガピクセル, 記録画素数 3872×2592 ピクセル, オート撮影モード) を使用。ズームレンズは焦点距離 18-55mmF3.5-5.6 および 55-200mmF4-5.6, 三脚は使用せず、また被写体との距離は、横方向視野がほぼ同一となる範囲を目測で確認して決めた。測定結果を表-6に示す。被写体との距離は広角レンズでは 1.51m, 望遠レンズでは 11.67m で焦点距離の比にほぼ比例している。横方向視野はどちらも 1.4m 程度であり、これを画素数約 3580 で除すと解像度 0.35 mm/pixel が得られる。この 1/2 程度のひび割れ幅が抽出できるので、この例では 0.17mm 程度のひび割れを抽出できることとなる。

また、ジャンカの面積、検定用に設けた四角形の面積とも数%の差であり、実用上十分な精度であるといえる。

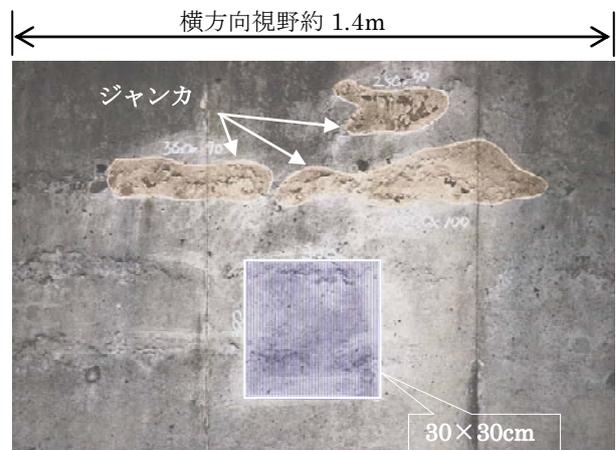


写真-3 ジャンカの撮影画像

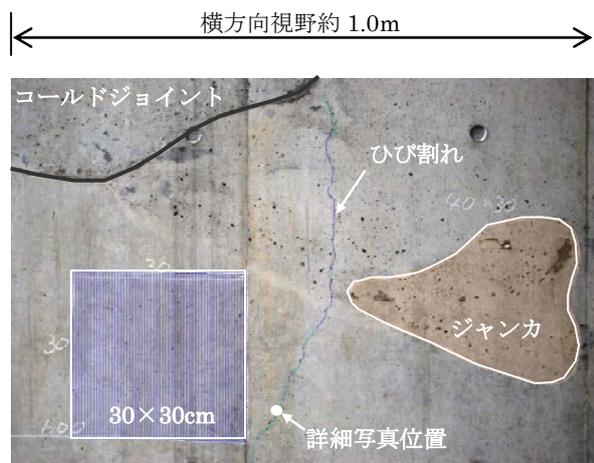
表一六 レンズの焦点距離が異なる同一画像の測定例

項目	レンズの焦点距離	
	24mm	200mm
被写体との距離 (m)	1.51	11.67
横方向視野 (m)	1.400	1.347
出力横画素サイズ	3847	3864
解像度 (mm/pixel)	0.364	0.349
ジャンカ面積 (m ²)	0.107	0.101
検定用四角形面積 (m ²)	0.093	0.093
全体面積 (m ²)	1.273	1.185

次に、焦点距離が 55mm の標準レンズを使用して、ひび割れやコールドジョイントを中心に写真一四に示す被写体を測定した。測定結果を表一七に示す。被写体との距離は 2.5m であるが、横方向視野が 1.0m と狭く、解像度は 0.263 mm/pixel であることから 0.13mm 程度のひび割れを抽出することができる。

測定結果によると、幅 0.1~0.2mm のひび割れが 0.37m(49%)、0.2~0.4mm のひび割れが 0.39m(51%)と抽出できている。一方、この全長 0.76m のひび割れに対して、25mm ごとに分けた 30 区間についてひび割れ幅測定器を用いて詳細に測定した。写真一四で詳細写真位置として示した箇所の拡大を写真一五に示す。さらに、総測線 16,198 のひび割れ幅のヒストグラムを図一五に示す。ひび割れ幅の平均値は 0.18mm であり、ひび割れ幅 0.2mm 以下の累積率は 45% である。画像処理によって得られた 0.2mm 以下のひび割れ率 49% とほぼ一致している。

また、コールドジョイントやジャンカについても、画像によって正確に測定、記録することが可能となる。

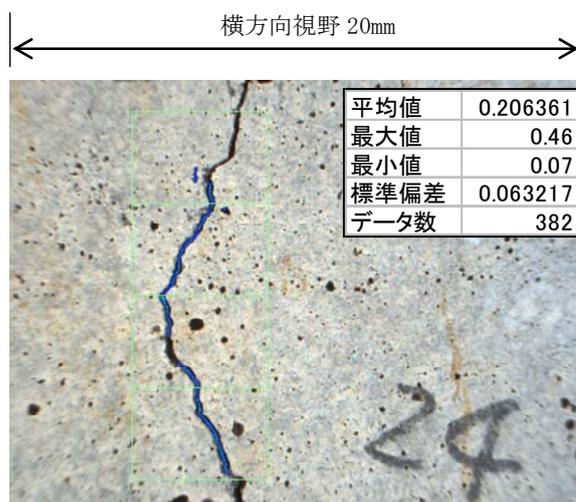


写真一四 ひび割れ等の撮影画像

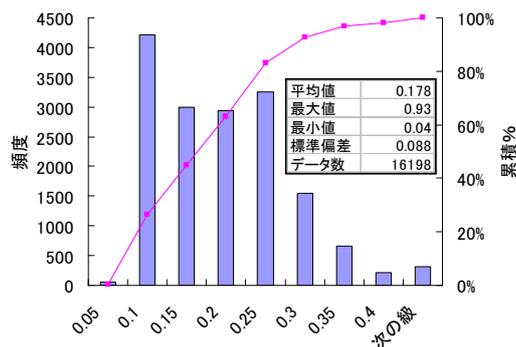
この例のように、横方向視野を 1m 以内として撮影することで、ひび割れ幅 0.2mm を境とするひび割れ比率を正確に求めることができる。

表一七 標準レンズによる測定例

項目	焦点距離	
	0.1~0.2mm	0.2~0.4mm
被写体との距離 (m)	2.49	
横方向視野 (m)	1.02	
出力横画素サイズ	3867	
解像度 (mm/pixel)	0.263	
ひび割れ幅	0.1~0.2mm	0.37
	0.2~0.4mm	0.39
コールドジョイント (m)	0.62	
ジャンカ面積 (m ²)	0.072	
検定用四角形面積 (m ²)	0.088	
全体面積 (m ²)	0.693	



写真一五 ひび割れ幅測定器の撮影画像



図一五 ひび割れ幅の分布

6. まとめ

ひび割れの影響を評価するためには単に、ひび割れの幅や長さだけではなく、分布などといったパラメータおよびその発生原因を含めて総合的に判断する必要がある。ここに紹介した二つの技術を併用することによってひび割れに対する合理的な評価がさらに可能になるものと期

待している。

なお、これらの製品は共同開発した(株)ファースト
(<http://www.fast-corp.co.jp>) が販売している。

本論文は、電力土木（電力土木技術協会），No. 338，
pp. 98-102，2008. 11 に掲載された論文を一部加筆・修
正したものである。

参 考 文 献

- 1) 土木学会. コンクリート標準示方書設計編, p. 113
- 2) (社)日本コンクリート工学協会. コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針, 2003, p. 61
- 3) 鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)コンクリート構造物, 付属資料 5-2 デジタルカメラによるひび割れ解析, 丸善(株). 2007. 1

Methods for Assessing Cracks Generated on Surface of Concrete Structures

Akira SHONO, Atsushi SAITO

Two methods for assessing cracks generated on the surface of concrete structures were developed. One of these is estimating crack width in detail by directly contacting a digital camera with a target crack.

Another method is automatically extracting target cracks from a photo image photographed and created by a digital camera. Using the photo image, the shape of damage (cold joint, honeycomb, detachment, and repair trace) can also be drawn. Additionally, the length and the area can be calculated from the photo image. The instrument newly developed for the first method has the potential of measuring the width of multi cracks of around 15mm length in one measuring activity. The displaying accuracy of the width is expected to lie within 0.01mm. When the instrument is used for photographing cracks from a remote place instead of directly contacting with the crack, the length and the area of the target cracks or damage can be estimated using the focus distance of the lens and the distance of the target.