

タイトル	画像処理を用いたRC造建物ひび割れ長さの測定に関する検討
著者	串山, 繁; KUSHIYAMA, Shigeru
引用	北海学園大学工学部研究報告(40): 19-31
発行日	2017-01-13

画像処理を用いたRC造建物ひび割れ長さの測定に関する検討

串 山 繁*

Study on Measuring of Concrete Crack Length for RC Buildings using Image Processing

Shigeru KUSHIYAMA*

要 旨

RC造マンションの大規模修繕工事において、外壁のひび割れ補修は主要項目のひとつである。今回札幌市中央区の某マンションにおいて、外壁塗装面および外壁タイル下のコンクリートひび割れをデジタルカメラで撮影し、簡易な画像処理を行ってひび割れ長さを評価する機会を得た（調査日：2016/5/19, 6/2, 6/14）ので、その測定法の現場適用性について検討を行った。本論では、画像処理手法の概要および実際に適用する際の留意点等について述べる。

1 画像処理によるひび割れ長さの測定法

実際の現場では、コンクリートのひび割れを目視で確認した上で、ある一定のひび割れ幅（例えば、0.2mm）以上の場合にはUカットシール工法、前記の幅未満の場合にはポリマーセメントペースト擦込工法で処理している。ひび割れ補修の見積りににおいては、夫々の処理に応じて単位長さ（1m）当たりの単価が異なるので、各処理の累積ひび割れ長さを求める必要がある。現場においては、ガタガタと折れ曲がったひび割れに沿ってスケールを当て、ひび割れ両端の直線距離に適当な割増し係数を乗じて、ひび割れ長さとしているのが実状である。

本論で提案する手法は、デジタルカメラに拠り撮影したひび割れ写真を基に、コンピュータ上でひび割れ長さを算定するものである。基本的な考えは、写真内に基準長さを得るためのスケールをひび割れと共に写し込み、縦方向、横方向の単位ピクセル当たりの実長（mm）を規

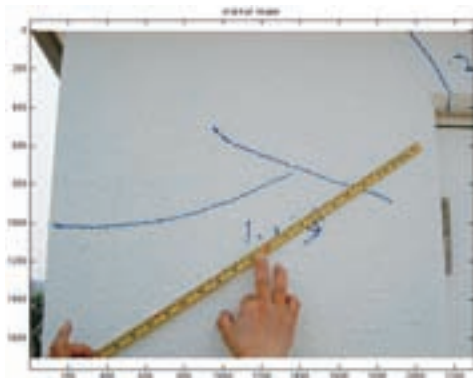
* 北海学園大学工学部建築学科

* Department of Architecture and Building Engineering, Hokkai-Gakuen University

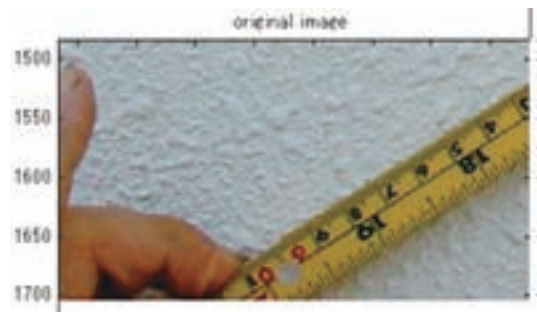
定し、ひび割れに沿ってマウスをクリックしながらその点のピクセル座標値を把握して、累積ピクセル長さを求め、それを実長に置き換えるだけである。以下に、Matlab言語を用いて作成したひび割れ長さ算定プログラムの詳細、実行手順について述べる。

プログラムの詳細、実行手順

- 1) ひび割れ方向の区別を入力。鉛直方向に近いとき 0，水平方向に近いとき 1 とする。
- 2) 2つのスケール基準点をクリック指定（基準点は、ひび割れの全長をカバーする様にひび割れ両端点付近を選択）
- 3) 上記手順 2) で指示した各基準点の拡大画像を確認し、スケール基準点をクリックする。その際、2基準点の目盛の差：基準点間距離を書き留める（図－1（b），（c）参照）。
- 4) Matlabのコマンドウィンドウにて 3) で書き留めた基準点間距離を参照し、基準点間の実長（mm）を入力する。（図－1（b），（c）の例では2つの基準点の目盛を600mm，0 mm としたので、表－1 に示す様， $\text{real_slope_length (mm)} = 600$ と入力）
- 5) プログラム取り込み画像の2値化処理→最終的には次の理由でこの手順を省略
2値化処理はひび割れ長さ算定の完全自動化には必要であるが、現場ひび割れ写真の中には明度が大きく異なるものもあり、2値化のために個別に閾値を設定する必要が生ずる。それ故、恣意的な閾値の判断は好ましくないと考えてこの手順を省略し、以下に示す手順を採用した。なお、ひび割れ算定の完全自動化は、2値化処理後更にノイズ処理、細線処理或いはウェーブレット変換を必要とし^{1), 2)}、計算負荷が過大となるので必ずしも得策ではない。
- 6) ひび割れ全体を包含する様に対角頂点をクリックし、オリジナル画像をトリミング。次いで、縦或いは横の青線によりトリミング画像を分割表示（図－1（d）参照）。
- 7) 上記分割画像において、ひび割れと青線の交点をクリックする。ただし、最初と最後の分割画像の外側端部境界線については、ひび割れの端点を鉛直或いは水平に延長した点付近をクリック。この操作は、次の手順において青線で区切られた各画像を拡大表示し、ひび割れを画像中央付近に寄せる準備である。
- 8) 拡大した分割画像（図－1（e）参照）を確認後、ひび割れの片方の端点をクリックスタート点とし、ひび割れ線に沿い適宜各ひび割れの折れ点をクリックする。もう片方の端点に到達したら、ひび割れが赤線で描画され、測定長が画像の左上部に表示される（図－1（f）参照）。



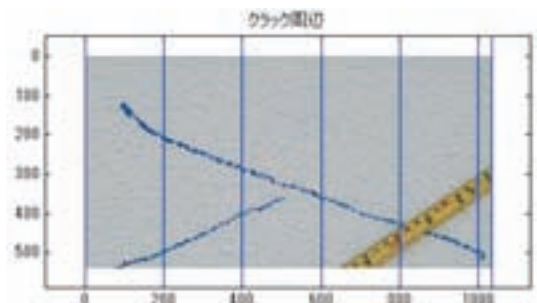
(a) オリジナル画像（塔屋外壁ひび割れ）



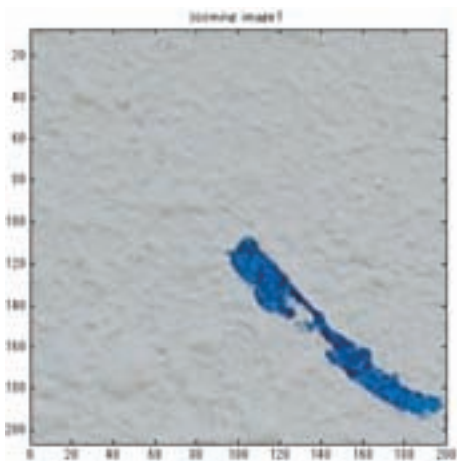
(b) 左下スケール基準点



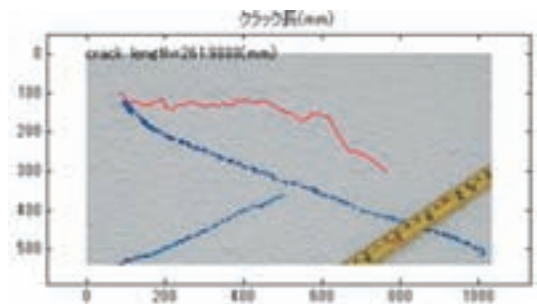
(c) 右上スケール基準点



(d) ひび割れトリミング画像の分割状況



(e) ひび割れ左端点側拡大画像



(f) ひび割れ長さ算定画像

図ー1 画像処理のフロー（有効画素数2304×1704pixel）

表－1 Matlabコマンドウィンドウ入力および入力補助ステートメント

```
>> photodirect_crack_length
クラック方向 (if 鉛直～斜め45°→0, 水平～斜め45°→1): 0/1.....1
ラバーバンド表示: 水平方向基準スケール1点をマウスクリック: 1点
ラバーバンド表示: 垂直方向基準スケール1点をマウスクリック: 1点
real_slope_length (mm) =600
h_scale=0.304899 (mm/pixel)
v_scale=0.304899 (mm/pixel)
ラバーバンド表示: クラックを囲む左上, 右下対角点を2点をクリック
ラバーバンド表示: 上或いは左からクラックをなぞる様にマウスクリック
please push enter-key at the last data
経過時間は139.967098秒です.
```

表－1は、図－1に示した例について画像処理を行った際のMatlabコマンドウィンドウ画面を示したものである。表中下から2行目は、各拡大画像でひび割れに沿い端までクリックしたら最後にエンターキーを押下して次の拡大画像へ進むことを示唆している。図－1 (f)に示される例では、ひび割れ測定値は約262mmで、プログラム実行開始から終了までの計算所要時間はノートパソコンPanasonic CF-S 9で表－1の最終行にある様に約140秒であった。上記手順に慣れないうちは所要時間5分程度を必要とするが、次第にその時間は短縮されるであろう。

2 ひび割れ長さ算定例および画像処理適用時の留意点

実際のひび割れ写真（有効画素数＝2304×1704pixel, 4608×3456pixelの2種類）には、以下に示す特徴がある。明瞭にひび割れが認識できるもの（ケース1）、ひび割れ画像を拡大して漸くひび割れが認識できるヘアークラック（ケース2）、水性アクリルウレタン仕上の外壁塗装ひび割れか躯体に到達しているひび割れかの判別が外見上困難なもの（ケース3）、更にはコンクリート、モルタルの微粉末によりタイル下のひび割れが目潰しされたもの（ケース4）、1本のひび割れ線上に上記各ケースが複数組合わさったもの（ケース5）、壁面方位や天候の影響に拠り画像が暗くなり（明度の低下）ひび割れの判別が難しいもの（ケース6）、撮影位置の制約からひび割れに対して斜め左右或いは上下からの撮影とならざるを得ないもの（ケース7）と様々である。例えば、図－1 (e)はケース2或いは3で且つ6に該当する。以下に夫々の代表例を示す。なお、図－9, 10は、45二丁掛タイルがスケール代わりとなり、スケールの写し込みが不要な例である。

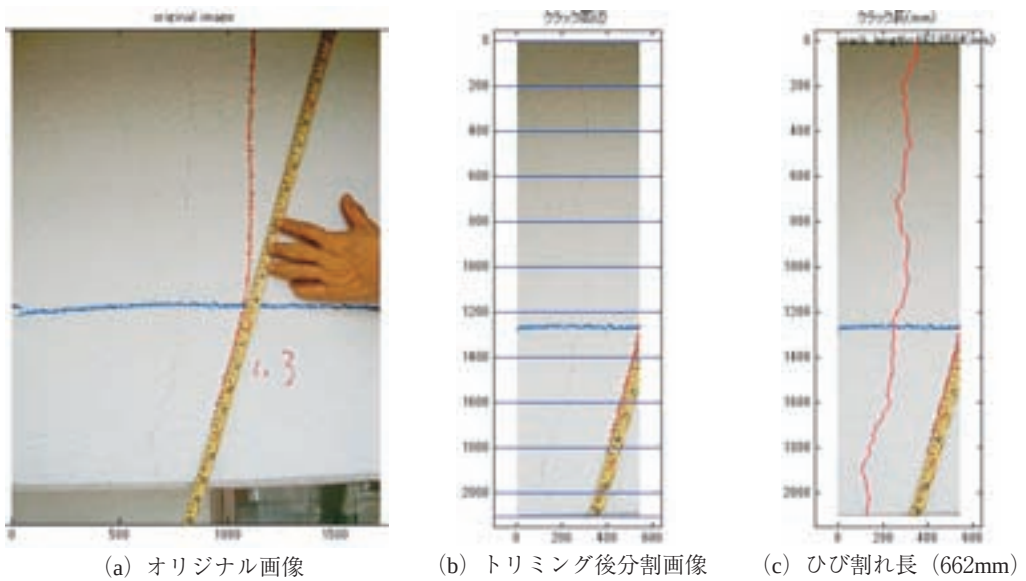


図-2 ケース1 (有効画素数2304×1704pixel)

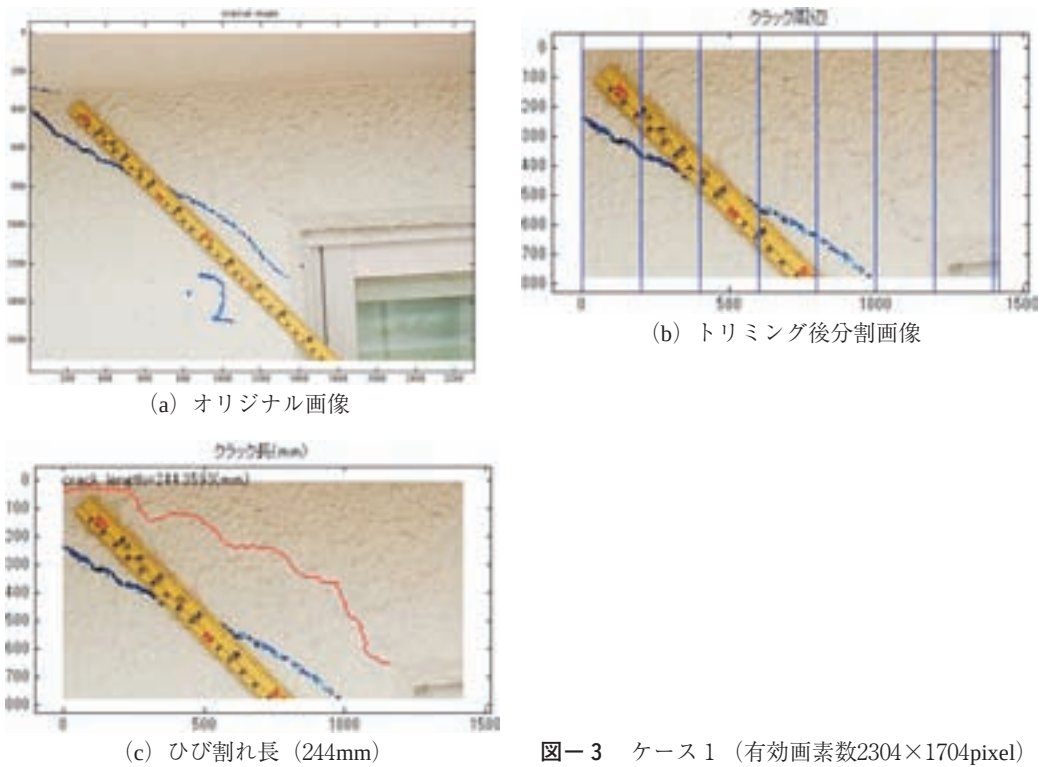
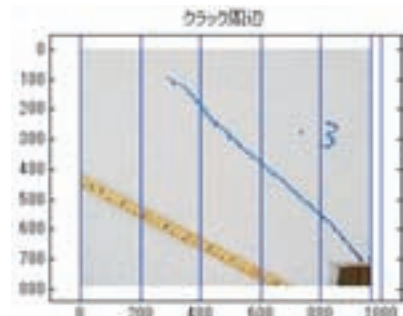


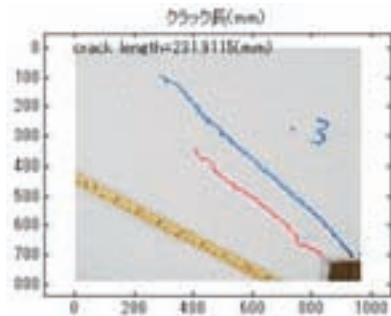
図-3 ケース1 (有効画素数2304×1704pixel)



(a) オリジナル画像



(b) トリミング後分割画像

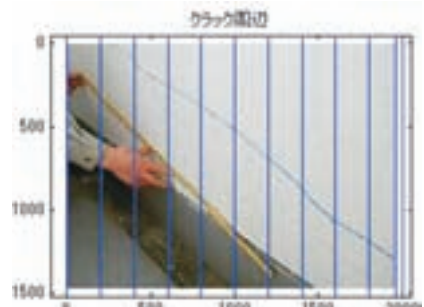


(c) ひび割れ長 (232mm)

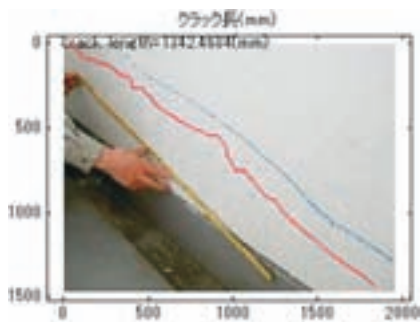
図-4 ケース1 (有効画素数2304×1704pixel)



(a) オリジナル画像



(b) トリミング後分割画像



(c) ひび割れ長 (1342mm)

図-5 ケース1, 7 (有効画素数2304×1704pixel)

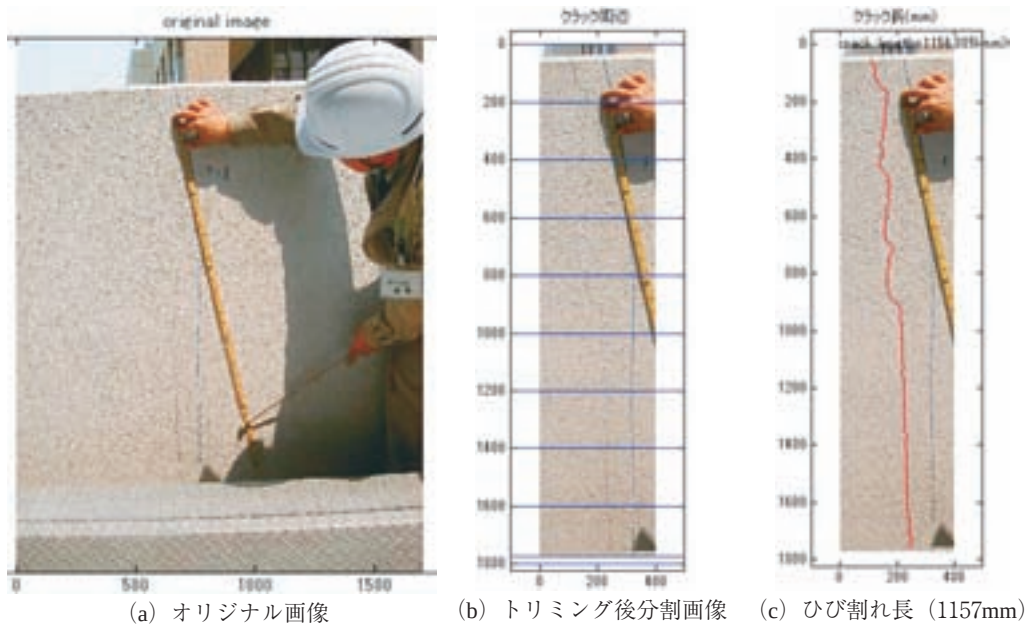


図-6 ケース1 (有効画素数2304×1704pixel)

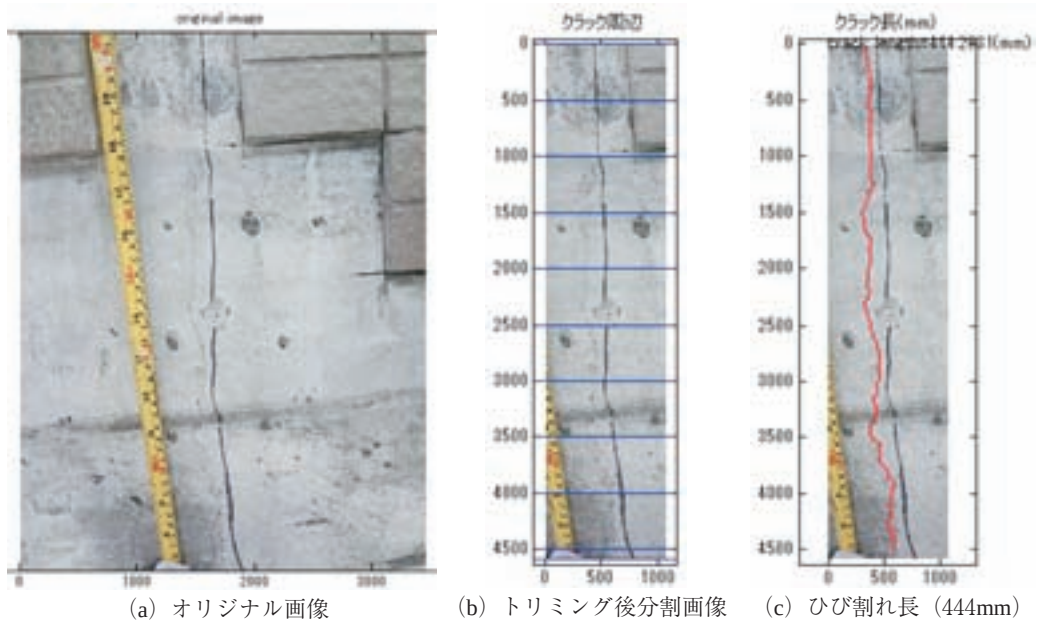
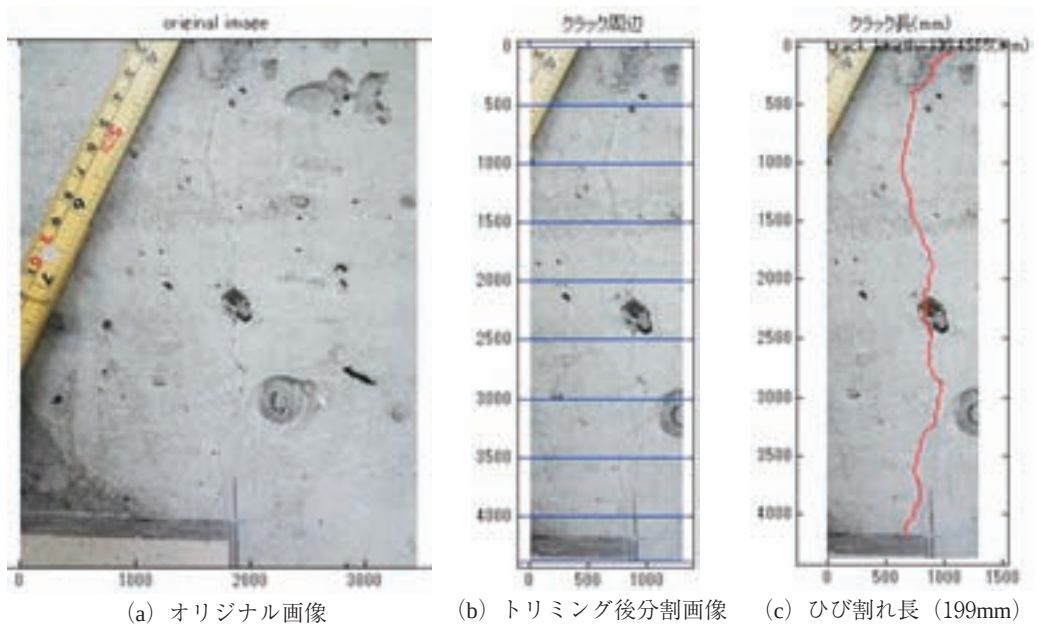
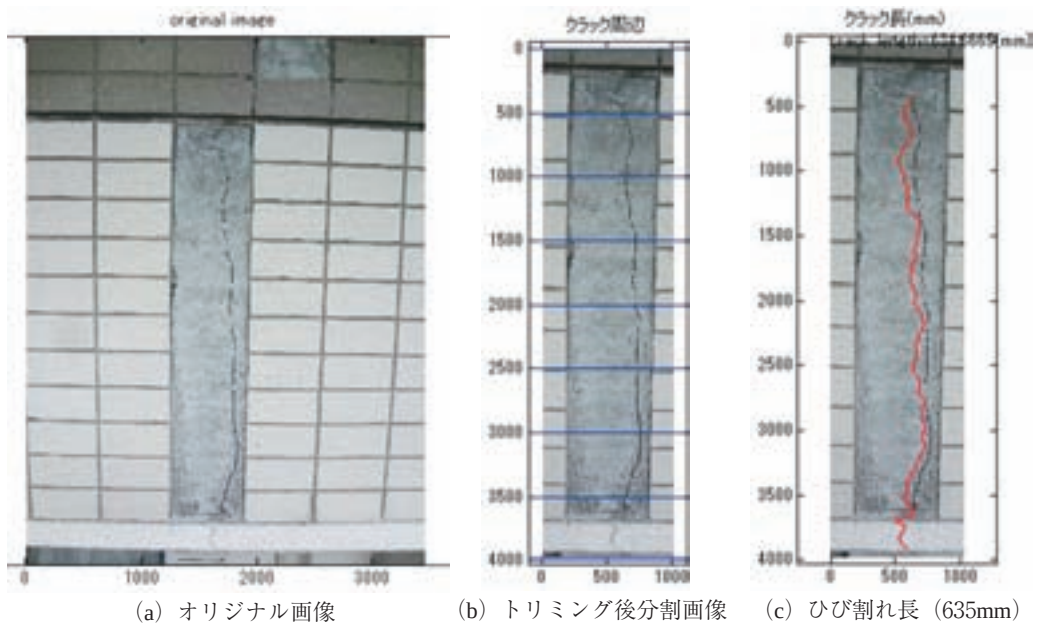


図-7 ケース5 (タイル下ひび割れ, 有効画素数4608×3456pixel)



図ー 8 ケース 1 (タイル下ひび割れ, 有効画素数4608×3456pixel)



図ー 9 ケース 4 (タイル下ひび割れ, 有効画素数4608×3456pixel)

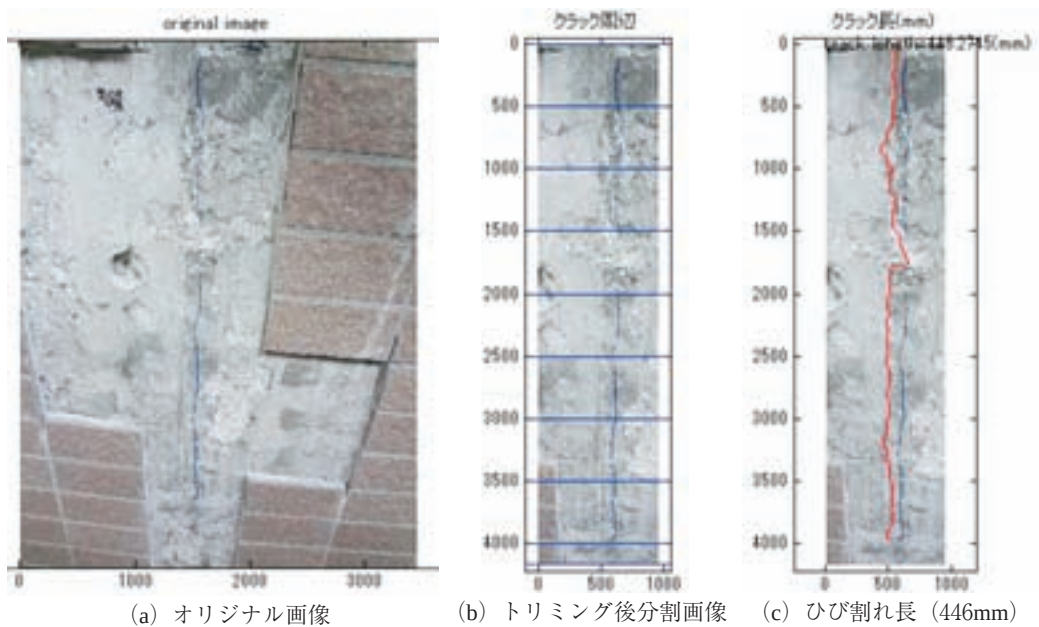


図-10 ケース 4, 7 (タイル下ひび割れ, 有効画素数4608×3456pixel)

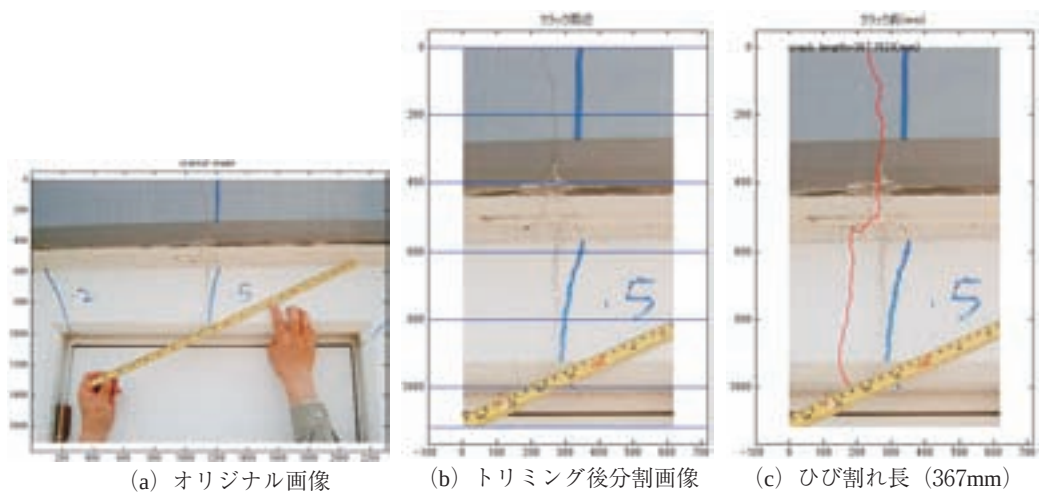


図-11 外壁面に凹凸を有する不適当な算定ケース (有効画素数2304×1704pixel)

以下にひび割れ調査における目視および画像処理の適用限界について述べる。目視および画像処理の両者に共通する限界としては、先に示したケース3：外壁塗装のひび割れが躯体に到達しているひび割れかの判別が外見上困難なもの、ケース4：コンクリート、モルタルの微粉末によりタイル下のひび割れが目潰しされたもの、が挙げられる。ひび割れの大部分が明瞭な

ケース1であってもひび割れ端部がケース3に該当する例は多々見られる。ケース4は、ひび割れタイルを除去する際、コンクリート或いはモルタルの微粉末が生じ、それがひび割れの隙間に入り込み、タイル下地の不陸も影響して、見えづらくなる例である。一方、ひび割れが途中で枝分かれして再度1本に纏まったり、少し先で留まったりする例は通常頻繁に見られる。これらについてはひび割れ長さを測定する際に適宜判断されるが、枝分かれしたひび割れ長さが短い場合には無視される場合が多く、現場で適用する割増係数にはその影響分も含まれている。このような取扱いひび割れを画像処理した場合にも当てはまり、2次的な短い枝分かれひび割れについては無視して、最後に累積ひび割れ長さを割増しする方が実状に即している。

次に画像処理を行った場合の留意点について述べる。これには、1) 撮影画像がひび割れに正対しない場合(①幅の狭いバルコニー内の長いひび割れに対する斜め左右方向からの撮影、②鋼製足場板を間に挟み上下に伸びる鉛直方向ひび割れに対する斜め上下方向からの撮影)、2) ひび割れが長く1枚の写真に納まらない場合、3) 撮影方位や天候の影響に拠る写真の明度低下がひび割れ判別の障害となる場合、が挙げられる。1)については、画像の手前と奥側とで単位ピクセル当たりの実長が異なるのを平均化してひび割れ長さを算定するため測定精度の低下要因となる。それ故、斜め方向からの撮影は可能な限り避けたい。また、スケールの写し込みも斜め方向からとなり(図-5(a)参照)、基準点を拡大した画像でも目盛の判読が難しい場合がある。2)については写真撮影前に測定補助の区切り線(即ち、個々の写真におけるひび割れ境界接続線)を引く手間と連続写真の双方に同一区切り線を写し込む配慮が必要となる。3)については、撮影後画像の明度調整に拠り画像を明るくするとそれに応じてひび割れもぼけてくるので、撮影条件が良好な時間帯を選ぶことが肝要となる。

上記とは異なり、撮影面が平面的な拡がり奥行を有する場合(図-11の例)、奥行面を下から見上げた写真撮影も必要となる。図-11の例では、へこみが2段あるので4回に分けてひび割れ長さを算定しなければならない。しかしながら、奥行面の撮影を省略して奥行方向も含め1回の算定に無理に纏めた場合、評価長さ(367mm)は実際より過小評価された結果となる。したがって、この様な処理は避けねばならない。

ひび割れの画像処理には以上に示した限界と留意点を有するが、ひび割れ算定を半自動化してひび割れ拡大画像を直接確認しながらひび割れをトレースすることに拠り、拡大画像上で目視同様の判別を再現でき、ひび割れを精度よく識別できることが分かった。先に述べた様に、本報の画像処理はひび割れ長さの完全自動測定ではなく半自動測定であるが、この措置には2値化のための閾値の恣意的な設定を回避できるメリットがある。

最後に画像処理で実測長を算定したデータのばらつきについて述べる。図-12はバルコニー手摺壁(逆梁を手摺壁に兼用)に生じたひび割れを示すもので、表-2はこのひび割れに関して画像処理を20回試行した結果である。同表に示す様に平均値602.0852 (mm)、標準偏差値 σ

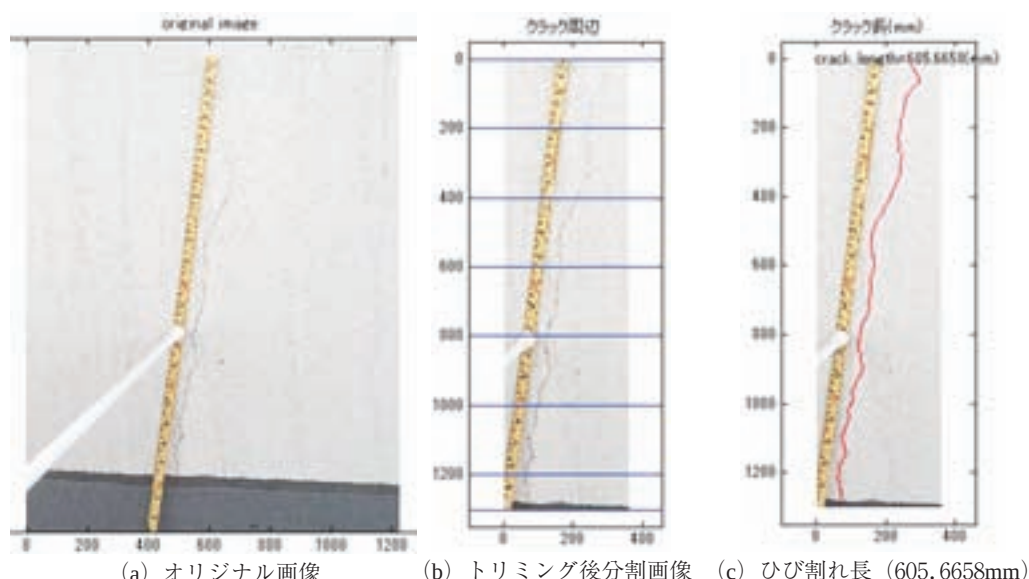


図-12 統計処理実施ひび割れサンプル (有効画素数2304×1704pixel)

表-2 画像処理測定長 (mm) および平均測定長, 標準偏差値

No.	測定長 (mm)	No.	測定長 (mm)	No.	測定長 (mm)	No.	測定長 (mm)
1	605.6658	6	606.3366	11	607.2011	16	600.2448
2	589.5585	7	605.8625	12	598.9699	17	603.2877
3	599.3766	8	602.9821	13	598.8827	18	603.0578
4	603.4106	9	606.5514	14	605.9823	19	596.9184
5	607.0952	10	605.4021	15	599.1937	20	595.7233

平均値=602.0852 (mm), 標準偏差値 σ =4.5313 (mm), (平均値+3 σ) / 平均値=1.0226

=4.5313 (mm) および (平均値+3 σ) / 平均値=1.0226の値が得られた。ばらつきの指標である標準偏差値が予想外に小さいのは、ひび割れの全長を分割した拡大画像がトレースを容易且つ正確にしたためと思われる。

なお、画像処理においてはトレースしたクリック点を折れ線で結び測定長としている都合上、実長より若干小さめな評価となり易い。一方で、先に述べた様に測定から除外された2次的な枝分かれひび割れも見込む必要があろう。以上のことを考慮すれば、一概に断定することは出来ないが、画像処理を行う場合の累積長さの割増係数として下限値3%, 上限値10%程度を見込み、最終ひび割れ累積長さを評価しても良いかと思われる。

一方、目視でひび割れを確認してひび割れ両端にスケールを当てた直線距離に適当な割増係数を乗ずる現場採用の方法は迅速で現実的な方法であるが、画像処理のひび割れ長さ測定値と

比較すると測定精度が高いとはいえない。ひび割れ長さにも拠るが、ひび割れ1本当たり3～5分程度の処理時間をかけることにより、より正確なひび割れ長さの把握が可能となる。

3 まとめ

デジタルカメラで撮影したひび割れ写真を基に、簡易な画像処理を行いひび割れの長さを求めた。ただし、様々な明度の撮影画像に対する2値化処理時の恣意的な閾値の設定を回避するため、完全自動化ではなく半自動化（ひび割れ全長を10分割程度に分け、拡大図を表示しながらひび割れを手動でトレースする方法）とする方法を採用した。

実際のマンション大規模修繕工事にこの手法を適用し、以下の結論を得た。

- (1) 目視でひび割れの判別が困難な下記ケースは、画像処理を適用しても同様に困難である。
 - ・ 外壁塗装のひび割れか躯体に到達しているひび割れかの判別が外見上困難なケース
 - ・ コンクリート、モルタルの微粉末によりタイル下のひび割れが目潰しされたケース
- (2) 画像処理適用に際して、下記に示す留意点が確認された。
 - ・ 撮影画像がひび割れに正対しない場合には、測定精度が若干低下する。
 - ・ ひび割れが長く1枚の写真に納まらない場合、写真撮影前に測定補助の区切り線（即ち、個々の写真に対するひび割れ境界接続線）を引く手間、連続した双方の写真に同一区切り線を写し込む配慮が必要となる。
 - ・ 撮影方位や天候の影響に拠る写真の明度低下がひび割れ判別の障害となる場合があり、撮影条件が良好な時間帯を選ぶ必要がある。
- (3) ひび割れ算定を半自動化する本提案手法は、ひび割れ画像を拡大するので目視同様の判別を再現でき、ひび割れのトレースを容易且つ正確にするので、測定のばらつきを小さく抑えることが期待できる。ひび割れ算定長さを統計処理した一例として、次の値が得られた。
$$(\text{平均値} + 3\sigma) / \text{平均ひび割れ長さ} = 1.0226 \quad \text{ただし、}\sigma: \text{標準偏差値}$$
- (4) 最終的に妥当なひび割れ累積長さとしては、上記手動トレースに拠るばらつきと測定から除外された2次的な短い枝分かれひび割れを考慮し、ひび割れ累積長さに大凡3～10%の割増係数を乗じて算定すればよからう。
- (5) 画像処理によるひび割れ長さ算定には、ひび割れ長さにも拠るがひび割れ1本当たりノートパソコンPanasonic CF-S9を用いて3～5分計算時間を要する。しかし、その手間をかける見返りとして、現場採用の方法（ひび割れ両端にスケールを当てた直線距離に適当な割増係数を乗ずる方法）より、かなり実状に近いひび割れ累積長さが得られることが期待できる。

謝辞

マンション大規模修繕工事実施中にも拘わらず今回のひび割れ調査に際し、伊藤組土建株式会社の関係各位，特に建築本部リニューアル部の岩嶋賢二氏には多大なるご協力を頂きました。関係各位に記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 武田宣典，石関嘉一，山田守：画像処理によるコンクリート構造物のひび割れ計測，大林組技術研究所報，No. 79，2015.
- 2) 大成建設技術センター土木技術研究所：コンクリート構造物のひび割れ画像解析技術，www.hkd.mlit.go.jp/topics/netis_skip/h21pdf/k_23.pdf.

