

外壁タイル診断の自動化技術（その3）

－ ひび割れ（クラック）画像の取得 －

遠藤 健* 中村 聡* 上野 隆雄**

要 約： 本研究は外壁タイルの劣化診断を、コスト低減や品質・安全性の向上を目的として、壁面作業自動化技術による機械化診断の実現を目指した一連の研究である。前報では、外壁タイルのひび割れ・その他の壁面性状（汚れ、シール材の劣化、付属物の劣化状況など）を画像データとして取得し、画像データ解析による劣化診断の可能性と課題を提示した。

本報では、壁面作業自動化技術によるクラック診断作業の施工イメージの策定と、剥離診断装置との統合を前提とした開発すべき診断装置等に求められる能力等の仕様について提示した。また要素技術である撮像装置の検討とクラック判定ソフトを選定し、基礎実験による評価を行った。さらに撮影用の実験機を試作した。

キーワード： タイル外壁面、壁面診断、ひび割れ

- 目 次：**
- | | |
|-------------------|---------------------|
| 1. はじめに | 4. クラック解析ソフトによる基礎実験 |
| 2. クラック撮影と診断方法の検討 | 5. 撮影用実験機の試作 |
| 3. 撮像装置の検討 | 6. まとめ |

1. はじめに

近年、高度成長期に建てられた多くの建築物は老朽化が進み更新時期を迎えている。一方、従来の建替えに関する価値観はコストや環境面への配慮からスクラップ&ビルドからストックへと移り、建物リニューアルにおける外壁面の診断・補修工事は建物の長寿命化や、外壁面の崩壊等による災害防止の面からも重要視されている。

鷹巣ら¹⁾による外壁面作業の自動化・無足場化装置の開発に始まった一連の壁面作業自動化技術をベースとして複数の研究開発事例が報告されている。中村ら²⁾は人力検査を模した外壁タイルの浮き（剥離）診断装置の試作実験とそれに続く現場での実験施工により、壁面作業自動化技術の外壁タイル診断作業への可能性を示した。

本研究は、外壁タイル診断においてタイルの浮き（剥離）診断と同じく診断項目であるタイルのひび割れ（クラック）、およびその他の壁面性状（汚れ、シールの劣化、付属物の状況など）を確認するための画像取得・画像処理に関する研究である。前報³⁾で提示した技術課題は以下の通りである。

- 1) 取得画像の仕様検討（分解能、撮像範囲など）
 - 2) 画像処理技術の導入などによる人為的な判断に左右されないひび割れ幅特定法の検討
 - 3) 撮影条件の安定化対策、および吊下げ方法の検討
- 本報では上記課題を受け、撮像装置の検討、クラック

ク解析ソフトの選定と基礎実験、撮影条件の安定化を考慮した実験機の試作についてまとめた。

2. クラック撮影と診断方法の検討

まず壁面作業自動化システムによるクラック診断作業のイメージを作成した。過去に実施したタイル浮き診断装置の施工実験から、経験的にクラック診断についても同様なスタイルで臨めると考えた。図1に診断作業のイメージを示す。

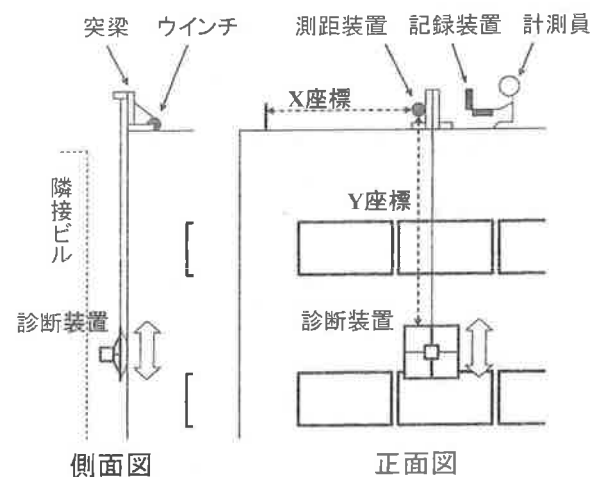


図1 診断作業のイメージ

図1に示すように、屋上に計測員と吊上げ設備を配置し診断施工は計測員1名で可能なものとする。診断装置は小型・軽量を目指し、機器の移設は装置が地上側、屋上側どちらにあっても可能とする。またデジタルデータを評価対象とし、アナログ情報は補助的情報としてメディアに記録するにとどめる。

10階建て幅10m(約300㎡)のオフィスビルの正面一面を1日で完了することを前提に診断作業イメージへの数値的要求目標を設定した。

- ・人員配置 2名
計測員：1名、補助員(ガードマン)：1名
- ・施工能力 300㎡/日
診断速度：20min/列、単位幅：50cm以上
- ・設備重量 10kg程度
ウィンチ(吊上げ能力100kg)＋突梁
- ・診断装置質量/寸法 15kg程度/奥行き50cm以下
撮像機構(クラック判定)＋打診機構(剥離検知)
- ・解析対象最小クラック幅 0.3mm

一般的な外壁診断のフローを図2に示す。壁面作業自動化システムによるクラック診断作業は現地調査ステップと解析ステップに該当する。このうち現地調査ステップのフローを図3のように定めた。これは過去実施した壁面作業自動化技術の施工実績やタイル浮き診断装置の実験などで用いた標準的なスタイルである。

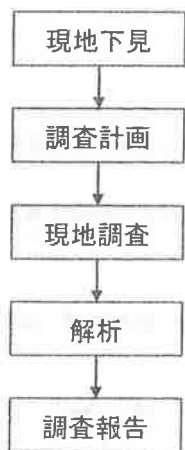


図2 外壁診断の基本フロー



図3 現地調査ステップの基本フロー

3. 撮像装置の検討

撮像装置の候補に挙げたのは、ハイビジョン方式のデジタルビデオカメラとデジタル一眼レフカメラである。デジタルビデオカメラの場合は比較的低価格の民生品から高価な業務用のものまで多々あるが、外壁タイル診断の実情を踏まえた上で、コストと装置への実装を考慮し

て市販のハイビジョン方式のものを対象とした。

選定のための要求仕様は以下の項目である。

- ①解像度と撮像範囲
- ②データ形式
- ③記録メディア
- ④耐久性
- ⑤操作性

これらの観点でハイビジョン方式デジタルビデオカメラとデジタル一眼レフカメラの代表機種(それぞれ以下HC-1 および D200)を選定し、カタログデータを比較検討した結果を表1にまとめた。

表1 撮像装置の比較

項目	ハイビジョン方式デジタルビデオカメラHC-1 (SONY)	デジタル一眼レフカメラD200 (Nikon)
解像度	縦1,080/横1,440	縦2,592/横3,872
データ形式	HDV1080i	JPEG
記録メディア	MiniDVテープ	フラッシュメモリ
耐久・信頼性	防塵・防滴機能なし	防塵・防滴機能あり
操作性		遠隔操作可能 プレビュー画面出力 LAN接続可能

比較の結果、解像度や耐久性、操作性の点でD200が有利である。特に解像度の違いは一画素に同サイズの実寸を当てはめると4倍以上の面積比となり、D200がはるかに大きな撮像範囲を持つことが判る。また一般にクラック解析ソフトは静止画画像のデジタルデータを対象とするため、HC-1による動画は一度静止画キャプチャ操作を通じて静止画データを作成する工程が生ずる。さらにHC-1の動画データはアナログメディア(MiniDVテープ)に記録するほかなく、保存や再生の自由度が限られるなどの点からD200を選定すべきと考えた。

また実機によるクラックスケールの撮影実験を行い撮像範囲、解像度、鮮明さなどの検証も行った。クラック幅0.3mmの特定に必要な分解能と装置の奥行き寸法制限を考慮し、カメラは下記①、②の条件を満たすように設置した(レンズの焦点距離はそれぞれ図中に表記)。

- ①一画素相当の実寸は0.2mm以下とし縦実寸をそろえる
- ②撮影面からカメラ背面部までの距離は50cm以内

図4はそれぞれで取得した静止画画像データの写真とその部分拡大映像を比較したものである。撮像範囲の違いは明らかであり、クラックスケール表示文字やラインもD200の方が鮮明である。またそれぞれの写真から一画素あたりの実寸を算出すると下記の通りとなり、計算上もD200の方が解像度が高いことが判る。

【SONY HC-1】

縦実寸：0.148mm(撮像範囲160mm/画素数1,080)
横実寸：0.194mm(撮像範囲280mm/画素数1,440)

【Nikon D200】

縦実寸：0.143mm(撮像範囲370mm/画素数2,592)
横実寸：0.145mm(撮像範囲560mm/画素数3,872)

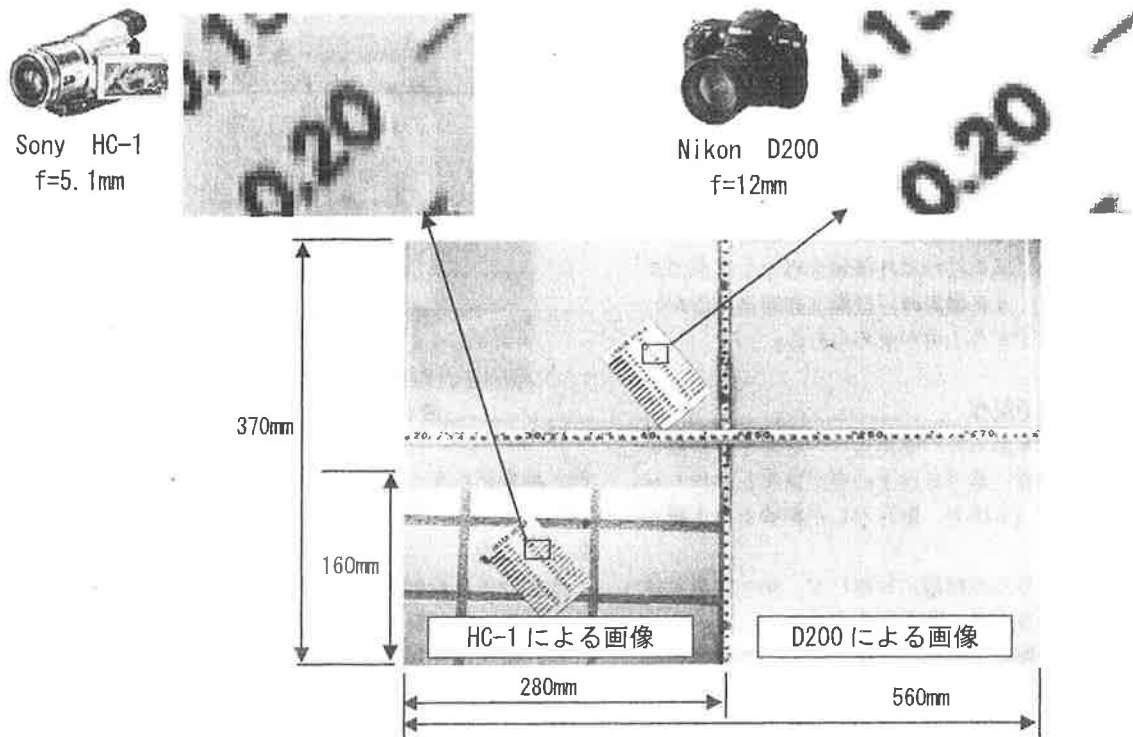


図4 HC-1 と D200 による撮影画像の比較

図4の部分拡大映像はどちらもオリジナル画像にグレースケール処理を施した後、コントラストを強調したものである。これを観察するとスケール表記の線幅が画素数分の実寸と一致していないように見える。二値化表記されたクラックスケールの黒色部（線）と白色部（下地）の境界に当たる CCD 素子がグレーの中間色と捉え、コントラストの強調によって実際の線幅より膨らんで見えたためである。ソフトの解析時には留意すべき点であるが、逆に肉眼で視認する場合などは低解像度のカメラでも幅の特定はできないまでも画素に満たない線幅の細かいクラックを検知できる可能性を示唆している。

4. クラック解析ソフトによる基礎実験

クラック解析ソフトは数社から市販されている調査用ソフトウェア（研究目的のものを含む）の中から候補を挙げ、機能面で適当と考えられる画像診断支援ソフトGS-1を選定した。GS-1の主な機能を下記に記す。

- ・クラック測定機能（トレース、ラベリング、計算等）
- ・画質調整（明度、彩度、グレースケール、二値化等）
- ・画像補正（収差補正、あおり補正等）
- ・画像合成機能（継ぎ、座標統合等）

図5はGS-1を用いてサンプル写真中央のクラックに線幅ラベルを表示した基礎実験の結果である。クラックスケールに着目すると、グレースケール処理（図5写真上）では一画素の実寸（0.143mm）に満たない線幅も全て視認できる情報として写り込んでいる。対して特定の

一画素の実寸に満たないものは除去されている。このように画像処理では二値化の設定で特定の線幅（この場合しきい値で二値化処理を施した方（図5写真下）では、

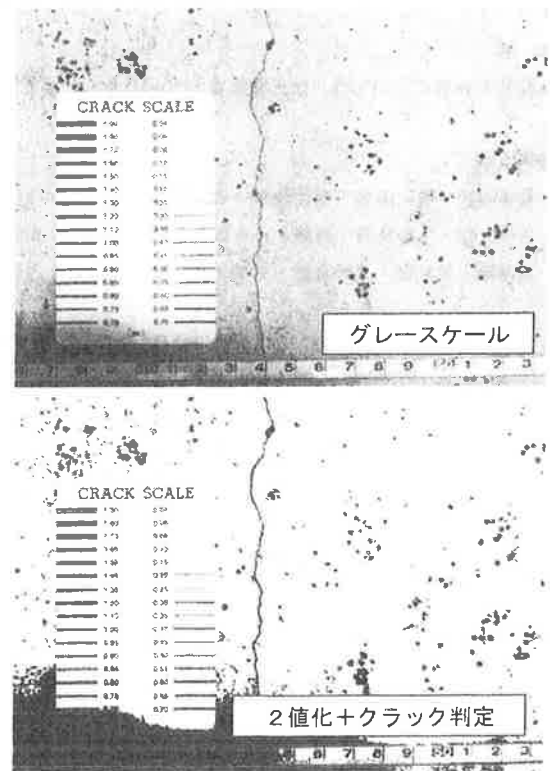


図5 クラックサンプル画像（上下とも）

一画素)以上を情報として残すことが可能である。一般的にソフト解析は二値化処理後の線幅判定が望ましいが、二値化設定に大きく左右される一画素に満たない幅のクラックをどのように取扱うかは今後の課題である。

次に写真左下方に写る影部に着目する。これは撮影時の外乱(影)によって生じたものであるが、グレースケール、二値化ともに視認が困難であり、二値化にいたっては周辺情報が全て黒色につぶれ情報を得ることができない。したがって、写真撮影時には撮像範囲全域において極力外乱を除去できる工夫が求められる。

5. 撮影用実験機の試作

撮影用実験機は撮影条件の安定化への配慮や診断施工イメージの要求仕様に基づき以下の点に留意し試作した。

①写真撮影に外乱(太陽光、影など)が影響を与え難い構造とすること

②軽量(吊下げながらの移設が可能)で、かつ装置本体と構造物に損傷を与え難い構造とすること

図6が試作した撮影実験機の外観である。軽量で強度の高いフレームを用いてカメラの撮像範囲を最小限の大きさで覆い、機器実装用の架台を中心に据えた。さらに暗幕で全体を覆い遮光した。中心架台内部にはデジタル一眼レフカメラ D200、付属の AC アダプタ、プレビュー出力ライン、遠隔操作シャッター機構、遠隔操作省配線システムなどを実装している。

装置前面には壁面との接触緩衝、凹凸部などの乗越え

謝 辞

本論分の執筆においては、社内関係者の方々に多大なるご協力をいただきました。ここに記し、感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 鷹巣征行・福田澄男：壁面診断ロボットの開発-タイル剥離検知と補修のシステム化-，東急建設技術研究所報，No.19，1993年
- 2) 中村 聡・上野隆雄：外壁タイル診断の自動化技術，東急建設技術研究所報，pp.77-82，No.30，2005年2月
- 3) 遠藤健・中村聡・上野隆雄：外壁タイル診断の自動化技術(その2) 東急建設技術研究所報，pp77-80，No.31，2006年2月

AUTOMATION OF THE BUILDING EXTERIOR WALL TILE INSPECTION (PART3)

K.Endou, S.Nakamura and T.Ueno

The purpose of this research is performing improvement in diagnostic quality, improvement in safety, and cost reduction by automating degradation diagnosis of an outer wall tile.

In the last paper, the crack of an outer wall tile and the other degradation situations (the dirt of the surface of a wall, degradation of seal material, degradation of add-on, etc.) of the surface of a wall were captured, and the possibility and the subject of degradation diagnosis in image analysis were stated.

This paper showed decision of the image of the crack diagnostic work by automatic equipment, and the specification of diagnostic equipment.

Moreover, examination of the camera used for crack diagnostic equipment and crack detection software were selected. Furthermore, the test prototype of the equipment which captures the surface image of a wall was manufactured.

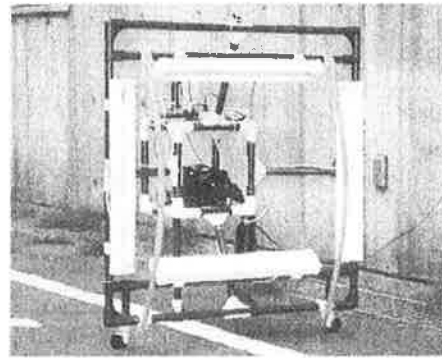


図6 試作した撮影実験機

用に曲線状のガイドバーを設けた。

6. まとめ

今回のまとめを以下に記す。

- 1) 壁面作業自動化技術による診断施工イメージを作成し、要求仕様を決定した。
- 2) 撮像装置とクラック判定ソフトを選定し、サンプルによる評価を行った。
- 3) 撮影用実験機を試作した。

今後は実験機を用いて実大の外壁面での撮影実験を行い、取得した画像データの分析による撮影条件の安定化の検討や、取得データの処理方法の検討、さらに打診装置との統合などを課題とし研究していきたい。