

コンクリート表面の気泡検出方法に関する研究

畑 信佳^{*1} 久山 岳^{*1} 西土 隆幸^{*2} 黒澤 隆^{*3}
Hata Nobuyoshi Hisayama Takeshi Nishido Takayuki Kurosawa Takashi

コンクリートセグメントでは、製造時にできたコンクリート表面の気泡の補修作業がある。気泡の大きさについては、目視で評価されている。しかし、その評価結果は、人によりばらつきが生じるとともに、手間がかかるという問題がある。そこで、デジタルカメラで撮影した対象物の画像データに対し、コンピュータ処理により気泡の評価を行うシステムを開発した。

キーワード：コンクリート表面気泡、画像データ処理、パターンマッチング

1. はじめに

コンクリートセグメントでは、製造時にできたコンクリート表面の気泡の補修が行われる。これらの作業は、美観維持や構造上の欠点と考えられる一定値以上のものを対象にしている。しかし、この補修は、作業工程の中でも多くの時間を占めている。気泡を発生させないことが作業の効率化につながることから、現在、気泡の大きさを一定値以内に抑えるための研究が進められている⁽¹⁾。また、製造条件に応じて気泡の発生がどのように変化するのかを定量的に把握することが必要となる。そこで、工場で簡易的に気泡の状態を評価できるシステムを開発した。本稿では、その評価システムの紹介を行う。

2. 画像処理による気泡の検出

2.1 現状の問題点とデジタルカメラを用いた気泡検出方法

コンクリート製品の表面の欠陥・傷の評価基準

にはひび割れ、豆板（コンクリートの仕上がり表面上に凹部が生じ、表面がザラつき粗骨材が確認できる状態）、および気泡がある。このうちコンクリートセグメントのひび割れおよび豆板については、現在、機器・装置を用いて評価しており、気泡については、目視で評価されている。しかし、目視での評価には、その結果が人によってばらつきを生じるとともに、手間がかかるという問題がある。それらの問題を解決するため、デジタルカメラで撮影した対象物の画像データに対し、コンピュータ処理により気泡の評価を行うシステム（以下、本システム）を開発した。

2.2 システム機能要件

本システムの機能要件は、画像データのコンクリート部分に含まれる直径が一定値以上の気泡の選定と気泡面積率を算出することである。本システムでは、以下の3つの機能により要件を実現することとした。

(1) 直径が一定値以上の気泡の検出

*1：制御システム事業部 コンピュータ制御部

*2：研究開発センター センター長 工学博士 技術士（建設部門） P. E. (Civil Eng.) 芝浦工業大学大学院非常勤講師

*3：株式会社 IHI 建材工業 土木・建築統括部 土木部 課長

- (2) 検出した各気泡の相対位置、面積の算出
 (3) 気泡面積率の算出（以下に算定式を示す）
 気泡面積率（％）
 =（気泡面積の合計／対象物の面積）×100

2.3 システム概要

本システムは図1に示すとおり、デジタルカメラ、無線LAN機能内蔵のSDカード、そしてノートPCで構成される。検出対象物のコンクリートセグメントをデジタルカメラで撮影してSDカードに記録し、ノートPCから無線通信でSDカード内の画像データにアクセスすることで、撮影した画像をリアルタイムに評価させる。



図1 システム構成

本システムを構築する各機器と、気泡検出ソフトウェアの構成を2.3.1項、2.3.2項に、検出対象物を2.3.3項にそれぞれ示す。

2.3.1 機器

本システムを構築する機器を表1に示す。デジタルカメラは、検出対象物の表面にある直径数mmの微細な気泡を検出するため、高解像度で撮影できるものを採用した。SDカードは、無線LAN機能を内蔵しており、アクセスポイントを介さずにノートPCと直接無線通信できるものを採用した。またノートPCは、持ち歩きが容易で無線LAN機能を内蔵するものを採用した。それらを組み合わせることにより、製造物や組立治具などが多くある工場内でも容易にコンクリート製品の表面にある気泡を評価できる。

2.3.2 ソフトウェアの構成

本システムのソフトウェア構成図を図2に示す。気泡検出ソフトウェアは、Microsoft .NET Framework⁽²⁾を土台に画像処理ライブラリであるHALCON⁽³⁾を使って構築した。HALCONは、MVTec Software社（ドイツ）製の工業用画像処理ライブラリであり、高速で高精度な文字認識や計測法、パターンマッチングなどを提供している。構築時の.NET FrameworkとHALCONのバージョンはそれぞれ4.5、10.0.4である。

表1 本システムを構築する機器

No	項目	メーカー	機器名型式	備考
1	デジタルカメラ	SONY	Cyber-shot DSC-WX500	有効画素数：約1,820万画素 （解像度：4,896×3,672画素）
2	SDカード	TOSHIBA	FlashAir SD-UWA064G	容量：64GByte 無線LAN：IEEE802.11b/g/n
3	ノートPC	Panasonic	Let's note CF-RZ5PDDVS	OS：Windows7 32bit CPU：Intel Core m5-6Y57 メモリ：4GByte 無線LAN：IEEE802.11b/g/n



図2 ソフトウェア構成図

2.3.3 検出対象物

検出対象物は厚さ約300mm、長さ約2,370mmの円弧形状コンクリートセグメントとする(図3)。コンクリートセグメントの長側面の左右に1つずつ継手穴がある。継手穴とは、コンクリートセグメント同士をボルト締結するために設けられている穴で、円形のくぼみの底にボルト穴が開いている。ボルト穴の寸法は既知であるため、本システムでは寸法計測の基準値として用いる。以下、ボルト穴のことを継手穴内円と記載する。

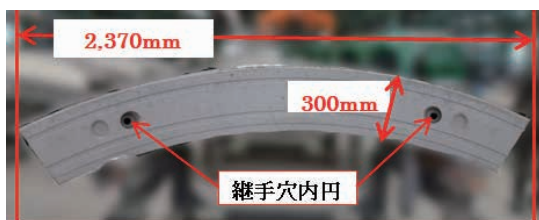


図3 検出対象物

2.3.4 本システムの操作手順

本システムの操作手順は次のとおりである。図4に検出手順のフローチャートを示す。

- (1) 気泡検出ソフトウェアを立ち上げて、デジタルカメラに挿入したSDカードとの無線通信を開始させる。
- (2) 検出対象物を識別するための番号を入力する。

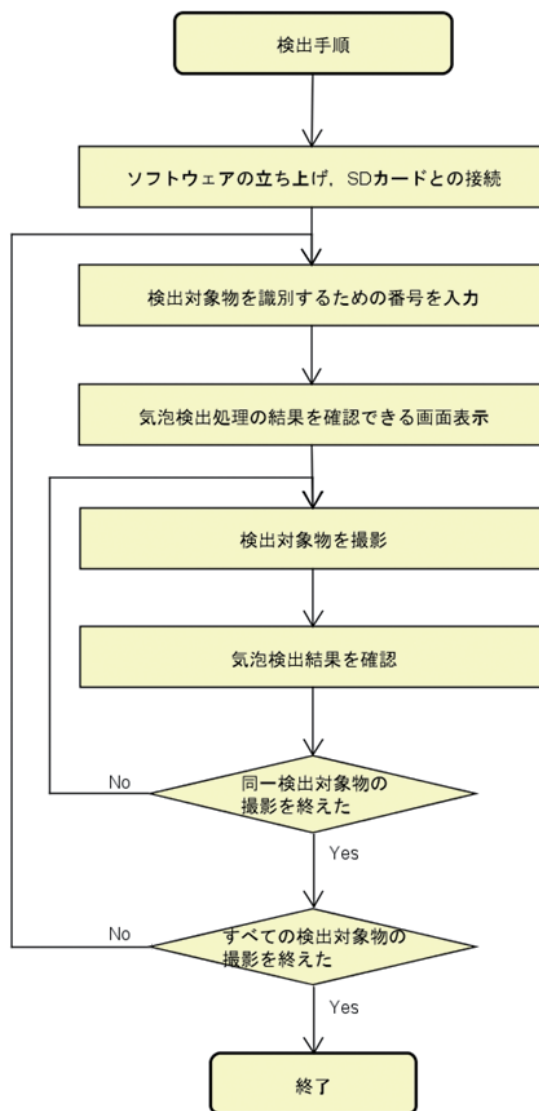


図4 検出手順のフローチャート

- (3) 気泡検出処理の結果が確認できる画面が表示される(図5)。
- (4) 検出対象物をデジタルカメラで撮影する。
- (5) 検出対象物を撮影すると、自動的に気泡検出処理が開始され、気泡面積率などが算出される。
- (6) 1つの検出対象物に対して撮影を終えるまで、(4)～(5)を繰り返す。
- (7) すべての検出対象物に対して撮影を終えるまで、(2)～(6)を繰り返す。

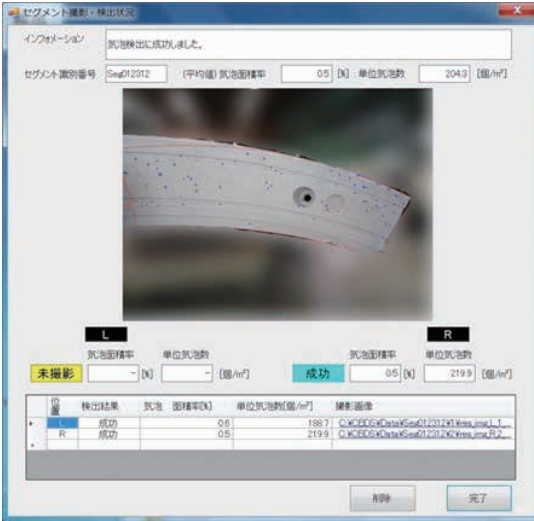


図5 気泡検出ソフトウェア画面

2.4 気泡検出の画像処理アルゴリズム

ここでは検出する気泡直径の判定閾値を3mmと設定した。検出対象物と正対して左右半分ずつを画像内におさまるよう撮影した場合に、分解能は1画素あたり0.3mmとなる。気泡を検出するためには、画像処理により気泡外形のエッジを検出する必要があるが、その際に生じる誤差は、理論上で ± 0.5 画素となる。気泡の判定基準が直径であるため、気泡の両端のエッジの検出が必要で、それぞれの誤差を考慮すると、合計で ± 1.0 画素の誤差が生じる。分解能が0.3mm/画素であるため、誤差は ± 0.3 mmとなり、直径3mmの微細な気泡を計測するのに十分な精度が確保できると判断した。以下に、本システムでの画像処理のアルゴリズムについて説明する。

検出対象物の長側面1面に対して左右半分ずつ撮影をして、気泡の評価を行い、その際に画像処理により撮影位置（撮影対象が検出対象物の左側か右側か）を判定する。直径3mm以上の気泡を検出するため、HALCONが提供する計測法とパターンマッチング、そして二値化処理を使って画像処理アルゴリズムを構築した。構築した画像処理ア

ルゴリズムによる画像処理の流れは以下のとおりとした。そのフローチャートを図6に示す。

2.4.1 直径が一定値以上の気泡の検出

- (1) 検出対象物の継手穴内円をパターンマッチングで検出する。
- (2) 継手穴内円の実際の半径と、画像上の半径から像倍率を算出する。

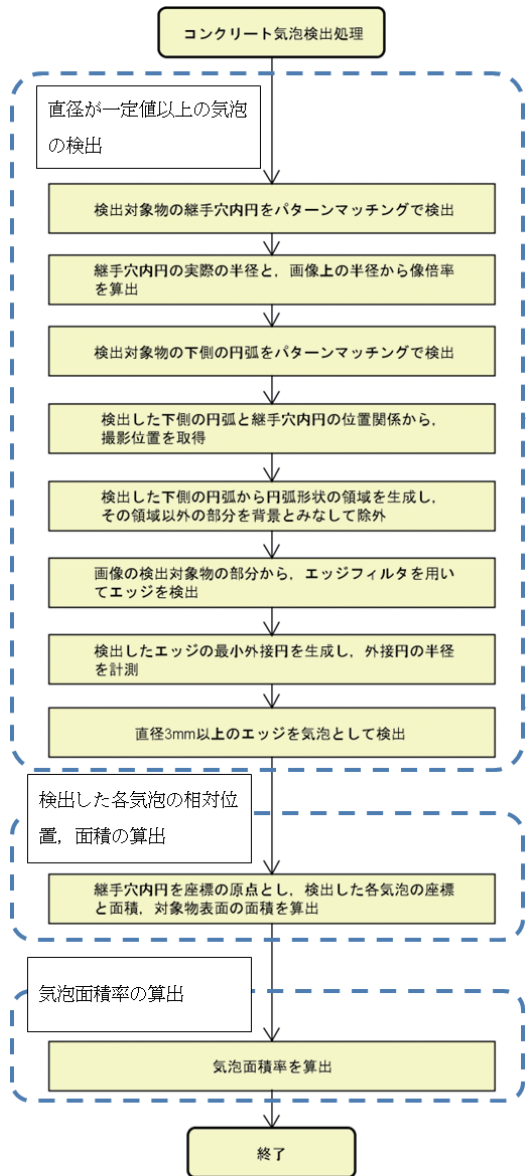


図6 画像処理アルゴリズムのフローチャート

(3) 検出対象物の下側の円弧をパターンマッチングで検出する。

(4) 検出した下側の円弧と継手穴内円の位置関係から、撮影位置を取得する。

(5) 検出した円弧から円弧形状の領域を生成し、その領域以外の部分を背景とみなして除外する。

(6) 画像の検出対象物の部分から、エッジフィルタを用いてエッジを検出する。

(7) 検出したエッジの最小外接円を生成し、外接円の直径を計測する。

図7に示すように、黄線は検出した気泡、水色の円は検出した気泡の最小外接円。最小外接円の直径が一定値以上(3mm)であれば気泡として検出する。

(8) 直径3mm以上のエッジを気泡として検出する。

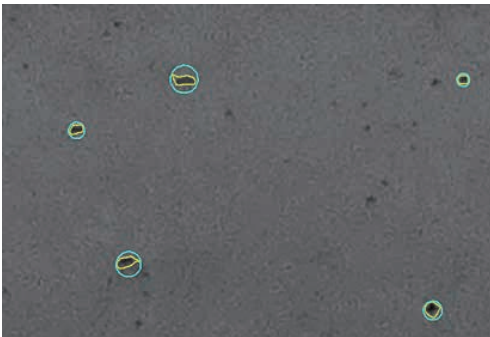


図7 検出した気泡と最小外接円

2.4.2 検出した各気泡の相対位置、面積の算出

継手穴内円を座標の原点とし、検出した各気泡の座標と外接円の面積、検出対象物表面の面積を算出する。

2.4.3 気泡面積率の算出

2.2節の(3)の算定式により気泡面積率を算出する。

2.5 本システム構築時の問題と対策

気泡面積率算出のための画像処理アルゴリズム

を構築する時に、対象物形状を識別して画像から対象物のみを取り出す過程に問題があった。また、像倍率の算出や撮影位置の認識について、当初の方法では問題があったために変更した。これらの問題と対策方法について説明する。

2.5.1 対象物形状の識別

対象物の下側の円弧の検出では、撮影した画像をグレースケール変換して画像処理する。しかし、グレースケール画像では床などの背景と検出対象物の色が似ており、境界が明確でなかった。エッジが強くないためにパターンマッチングで検出することができず、円弧形状の領域を生成できないために背景を除外できなかった。検討の結果、撮影時にフラッシュを使用するとエッジが強くなり、検出対象物の下側の円弧を検出できることがわかった。図8に検討結果を示す。2枚ともグレースケール変換した画像である。フラッシュを使用した図8(a)の方がコンクリートセグメントと床などとの境界が比較的明確であるため、円弧を検出できるようになる。



(a) フラッシュを使用して撮影



(b) フラッシュを使用せずに撮影

図8 検出対象物の下側の円弧の検出

2.5.2 像倍率の算出と対象物に対する撮影位置の自動認識

当初は黒丸のマーカと番号の入った識別シールを検出対象物に貼り、検出した画像上の黒丸の半径で像倍率を、検出した識別シールの文字で撮影位置を取得する方法を考えた。黒丸のマーカと識別シールを気泡検出処理の邪魔にならないよう小さくしていた。しかし、検出対象物との撮影距離に対して小さすぎたため画像処理での検出が困難になった。また、検出対象物ごとに貼るのは手間がかかってしまう。そのため、検出対象物の継手穴を検出し、検出した継手穴の半径から像倍率を、継手穴の位置から撮影位置を取得する方法とした。

3. 評価結果と今後の課題

3.1 本システムの評価

製造工場を対象物を撮影した画像を用いて本システムの評価をした。

3.1.1 気泡の検出性

ほとんどの気泡は、検出できることを確認した。しかし3mm以上の気泡であっても、気泡の深さが浅いため影が薄くなり検出できない。あるいは、気泡が角や溝のそばにあるため、それらの一部とみなして検出しない場合があった。

3.1.2 検出した気泡の輪郭の描画度

検出した気泡の輪郭が画像上の気泡に沿って描画されているかどうかについて、結果を描画した画像を確認した。大部分の気泡は画像上の気泡に沿って描画されていることを確認した。しかし画像上の気泡の一部しか描画されていない、あるいは、複数の気泡を1つの気泡として描画される場合があった。

3.1.3 気泡検出処理

デジタルカメラで撮影した画像に対する気泡検出処理では、撮影時に検出対象物に近づきすぎ、または離れすぎると、継手穴を検出できず気泡検出処理に失敗することがあった。

そのため撮影時には、検出対象物との適切な距離を把握する必要がある(今回の場合約1m)。また、フラッシュを使用せずに撮影すると、検出対象物の下側の円弧を検出できず気泡検出処理に失敗する場合があった。

3.2 今後の課題

今後の課題は、次のとおりである。

(1) 像倍率と撮影位置の取得に継手穴を使っており、このような大きな穴が検出対象物にない場合、他の識別方法が必要となる。

(2) 検出対象物表面の面積や単位気泡数(検出した気泡の個数を面積で割った値であり、単位は個/m²)は、像倍率の誤差の影響を大きく受ける。検出した継手穴の半径の誤差がわずか数画素であっても、表面の面積や単位気泡数の値は大きく変動してしまう。表面の面積や単位気泡数の誤差を小さくするには、継手穴をほぼ誤差なく検出できるようにする必要がある。

(3) 検出対象物の角や溝などを気泡として検出することがあり、その誤検出が気泡面積率に影響を与えてしまう。

4. おわりに

本システムは、今後セグメント製造工場で実際に使用され、上述した問題点の解決など、順次改良や、バージョンアップを進めていく予定である。また、工場は立地場所により測定条件が変わるので、各工場に応じたカスタマイズが必要になると考えている。

参考文献

- (1) 倉田幸宏、塩永亮介、木作友亮、黒澤隆、武藤香穂、伊藤祐二：コンクリート構造物における気泡消失理論の提案と実験的検証、IHI 技報、Vol.59、No.1、2019、pp.97-106
- (2) マイクロソフト社ホームページ(.NET Framework のシステム要件)：<https://docs.microsoft.com/ja-jp/dotnet/framework/get-started/system-requirements>
- (3) MVTec Software 社ホームページ (HALCON)：<https://linx.jp/product/mvtec/halcon/>



制御システム事業部
コンピュータ制御部

畑 信佳

TEL. 042-523-8315
FAX. 042-523-8320



制御システム事業部
コンピュータ制御部

久山 岳

TEL. 042-523-8315
FAX. 042-523-8320



研究開発センター センター長
工学博士 技術士(建設部門)
P. E. (Civil Eng.)
芝浦工業大学大学院非常勤講師

西土 隆幸

TEL. 045-791-3522
FAX. 045-791-3547



株式会社 IHI 建材工業
土木・建築統括部 土木部
課長

黒澤 隆

TEL. 03-6271-7374
FAX. 03-6271-7298