

コンクリート表面気泡検出システム

1. はじめに

高速道路や鉄道のトンネルに使用されるコンクリートセグメントは、円筒を分割した構造となっている。セグメントは同一形状であり、それらは継手により建設現場で順次、結合される⁽¹⁾。それらの製造では、工場内で専用の型枠の中にコンクリートを打ち込み、締固めを行った後、コンクリートの気泡を除去するためにプレート型挿入振動機を使用する。しかし、表面の気泡を完全に除去することは不可能で、これらが機能上の弱点や美観の低下の原因となる。

現状では、円に換算すると直径 3mm 以上となる気泡を対象に、その表面をモルタルで覆う補修を行っている。しかし、人間の目では 3mm 以上の気泡を正確に検出することは、困難で時間のかかる作業となる。また、コンクリート表面に気泡を出さない打設方法の研究が進められており⁽²⁾、提案方法の有効性を確認するためには、その方法の実施前後の気泡の個数や大きさなどを、定量的に測定する必要がある。そのような理由により、デジタルカメラによりコンクリート表面を撮影し、リアルタイムに気泡の大きさなどを測定、検出するシステムを開発した⁽³⁾。

2. システムの概要

対象とするコンクリートセグメントの代表的な形状を図 1 に示す。このセグメントには、セグメント同士を接続するための継手穴が左右にあり、穴内面の鋼製部分の直径（黒い箇所）は、29.4mm の一定値となっている。コンクリートセグメントを対象にした本システムの使用方法は、以下のとおりである。

- (1) コンクリートセグメント脱型後、フラッシュ ON の状態でデジタルカメラによりセグメントの半分の面積となるコンクリート表面を撮影し、LAN 通信機能を持つ SD カードに記録する。その際、1 つの継手穴を一緒に撮影する。
- (2) 現場用のノートパソコンと SD カードとの無線通信により、撮影した画像データを取り込む。ノートパソコンで気泡検出処理を行い、最小外接円で直径 3mm 以上となる気泡を検出する。
- (3) 図 2 のソフトウェア画面のセグメント表面上に、検出した気泡がマーキング表示される。また、各気泡の平面座標値、撮影したセグメント面積に対する気泡の合計面積の割

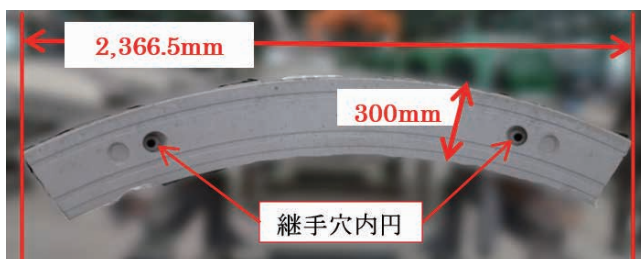


図 1 コンクリートセグメントの形状



図2 気泡検出処理画面

合（面積率）、個数などが表示される。

- (4) 複数のセグメントを対象に撮影を繰り返し、測定結果を参考にして3mm以上の気泡の補修作業を行う。

3. 作業向上のための方策

コンクリート表面の空洞を検出するための作業時間や精度に影響を与える因子としては、以下の項目がある。

- (1) 使用機器
- (2) ソフトウェアの構成
- (3) コンクリート表面の明るさ

- (4) 撮影距離と撮影位置
- (5) 気泡の定義
- (6) 撮影誤差

3.1 使用機器

システムが高価とならないように、また、汎用性を持たせ現場で使用できるように、市販品を組み合わせた。構成は、デジタルカメラ、画像の記録用に無線LAN機能を持つSDカード、ノートパソコンであり、今回使用した機器を表1に示す。現場でリアルタイムに測定結果が得られるよう、ノートパソコンから無線通信でSDカードの撮影画像データを読み取り、処理する方法を取った。

3.2 ソフトウェアの構成

気泡を検出するために、Microsoft .NET Framework⁽⁴⁾と画像処理ライブラリであるHALCON⁽⁵⁾を使用し、セグメント表面を白、気泡を黒と判断する二値化処理を行う。HALCONは、MV Tec Software社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パターンマッチングなどを提供している。システム構築時のバージョンは.NET Framework 4.5とHALCON 10.0.4である。撮影された画像の中の既知の長さを基準にして、セグメント表面の気泡の大きさを測定する。

表1 本システムの機器構成

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：Windows10 64bit CPU：Intel Core m5-6Y57 メモリ：4GByte 無線LAN：IEEE802.11b/g/n

3.3 コンクリート表面の明るさ

気泡の検出や面積率を算定するために、コンクリートセグメントの形状を認識する必要がある。コンクリートセグメントの上下は、**図1**のように円弧状となっている。パターンマッチングで円弧形状を認識させるためには、セグメントの境界が明確に判断できることが必要となる。また、コンクリートセグメント用の継手穴の大きさを基準にして、3mmの大きさの円を定義しているため、その穴を鮮明に撮影する必要がある。これらのことを踏まえて、デジタルカメラのフラッシュをON / OFFで撮影した場合の評価結果を比較した。**図3**にグレースケールに変換した両者の撮影結果を示す。両者の結果から、フラッシュをONにすることにより、円弧形状を明確にでき、検出できた気泡の数も多くなった。



(a) フラッシュ ON



(b) フラッシュ OFF

図3 コンクリートセグメント撮影結果

3.4 撮影距離と撮影位置

カメラ撮影ではセグメントから離れすぎると気泡のエッジが不明瞭になり検出しにくくなる。また、作業性を考えて、継手穴を含めセグメントの5割以上を画像に収める必要がある。これらを満足するために、カメラをセグメントの距離から1m以内にセットし、セグメント表面に垂直となる位置でセグメントを半分ずつ撮影すればよいことがわかった。

3.5 気泡の定義

コンクリート表面にできた気泡は、つねに1つで円形ではなく、いろいろな形状パターンがある。本システムでは、以下の仮定に基づいて気泡を定義した。

- ①気泡の最小外接円を円として定義する。この円が3mm以上となる気泡を検出する (**図4**)。
- ②複数の隣接する気泡はつながっていることが多いので、1つの気泡と定義する (**図5**)。

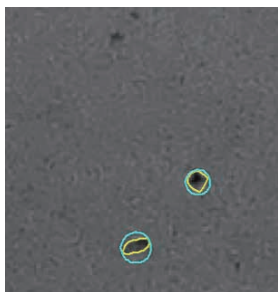


図4 最小外接円の定義

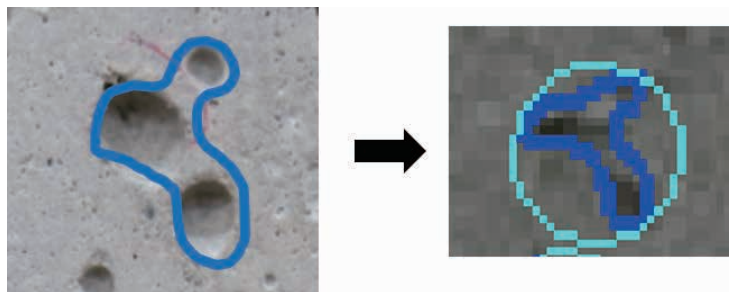


図5 複数の気泡が隣接している場合の処理方法

3.6 撮影誤差

気泡の直径のしきい値は3mmである。撮影距離1m以内で、コンクリートセグメント左右半分を撮影した場合、分解能は0.3mm/pixelとなる。気泡を最小外接円として検出する際に生じる誤差は、1pixelの中の黒い部分が50%未満の面積では気泡と認識しないので $\pm 0.5\text{pixel}$ となる。気泡の判定基準を直径とすると、両端のエッジの検出が必要となるので $\pm 1.0\text{pixel}$ の誤差となる。したがって、分解能が0.3mm/pixelでは、誤差 $\pm 0.3\text{mm}$ となる。

高い精度で気泡の大きさを検出するには、継手穴の径を正確に測定する必要がある。継手穴はセグメントの中央にはなく、カメラの設置位置から垂直に撮影することは困難となる。撮影結果では、**図6**のような状態になることも考えられる。楕円形では最長となる長さを直径と定義しないと、穴を正確なマーカーとして定義できない。このような問題点を解決するために、最初に継手穴の長さを定義し、画像上でその長さを360度回転させて最大の長さとなるものを選定する。その長さを29.4mmと定義し、コンクリート表面の気泡の大きさを決定する。

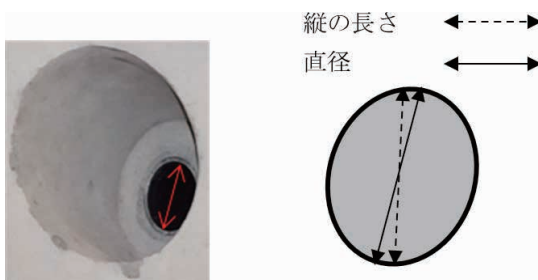


図6 継手穴直径の定義方法

4. おわりに

本システムを使用すれば、製造直後のコンクリートセグメントの効率的な補修が可能となる。しかし、各製造工場では床の色や採光の状態、また、セグメントごとに継手形状や位置などが異なる。そのような場合にも、本システムを微調整すれば使用可能になると考えている。

文責

研究開発センター 技師長 西土 隆幸

参考文献

- (1) 株式会社 IHI 建材工業ホームページ：セグメント事業、<http://www.ikk.co.jp/business/products01.html>
- (2) 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
- (3) 畑伸佳、久山岳、西土隆幸、黒澤隆：コンクリート表面の気泡検出方法に関する研究、IIC REVIEW、No.61、2019/04、pp.43-49
- (4) Microsoft 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>
- (5) MVTec Software 社ホームページ：HALCON、<https://linx.jp/product/mvtec/halcon/>