マンホール未入孔点検技術 2－上床版撮影画像を用いた劣化部位検知システム

日本電信電話（株）アクセスサービスシステム研究所　正会員　○齋藤 千紘，奥津 大，古川 貴之
日本電信電話（株）アクセスサービスシステム研究所　非会員　柳 秀一

1. 概要

鉄筋コンクリート製構造物では露筋・剥離等の劣化の有無を定期点検し，補修・補強および更改の判断を実施している．マンホール等の地中構造物については，作業員が中に入孔して目視により点検を実施する必要があり，点検作業毎に構造物内溜まり水の排出が必要になるので多大な作業時間とコストを要する．そこでアクセスサービスシステム研究所では，マンホールの耐力低下進行および劣化の発現が上床版に顕著であるとの研究結果の下，上床版の健全度評価を未入孔で実現する装置・アルゴリズムを開発した．本稿では，装置が取得する上床版点検画像から劣化部位を自動で検知するソフトウェア処理について報告する．

2. 光点検知を活用した点検画像取得

未入孔点検装置は図 1(a)に示す通り，魚眼カメラを備えたアームを上床版と平行に走査させ，図 1(b)のような複数の上床版画像を取得する．上床版の 1 枚画像を得るには画像連結が必要だが，各画像はアームたわみによる撮影距離・撮影角度のばらつきを含んでいるため，これを補正するために光点検知を活用する．光点検知とは，装置から出力される赤色レーザ光を検知して座標を取得する画像解析手法である[1]．

取得した画像にて，図 1(b)に示されるような赤の色相(H=1)と高い輝度(V=1)の中心を持つ領域を抽出し，領域の重心から 4 つの光点座標を導出する．画像中，4 光点が同一の大きさに映るよう画像を拡大縮小することで，アームたわみによる影響を補正することが可能である．

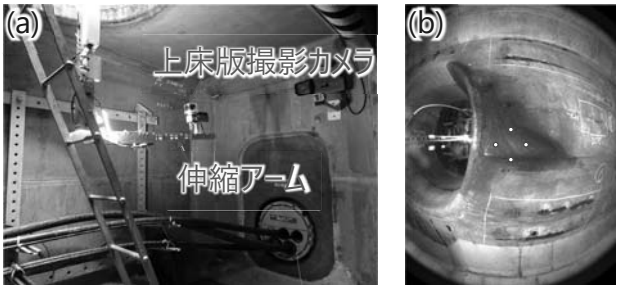

図 1. 未入孔点検装置と取得画像

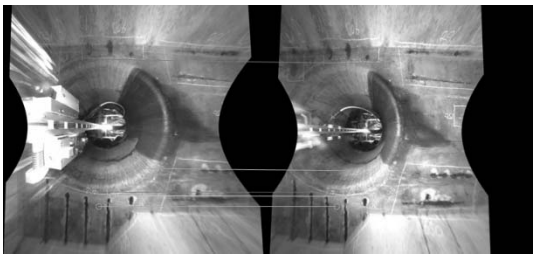

図 2. AKAZE 特徴量による類似オブジェクト検知

補正画像を各アーム送り量の前後について比較し結合するために AKAZE 特徴量(OpenCV3.0.0.ライブラリ)を用いた．図 2 のように AKAZE 特徴量の一致する類似オブジェクトを検知し，アーム送り量に対応する画素ズレを導出することで，画像連結を行い一枚の上床版画像を得た．

3. 劣化部位検知技術

マンホールが補修対象として認定される顕著な劣化は露筋および剥離であり，これを上床版連結画像から検知する．各劣化部位は顕著な色を示すが，色特徴のみで劣化部位検知を試みると表面の土汚れや壁面模様による誤検知が多く，実用上の問題がある．そこで，劣化部位が内部鉄筋に沿って直線状に現れることに注目し，鉄筋幅相当の直線形状を特徴とする形状検知を色検知と併せることで，検知精度の向上を試みた．

3.1.色検知

色検知について下記に記す．色検知にあたっては，マンホール内の撮影環境が様々であることから，明度や色相に頑健であることが求められる．そのため，健全なコンクリート表面の色を取得し，劣化部位の色を判定する閾値の設定に供した．健全コンクリート肌色は，図 4 のように減色した画像のうち最大頻度で現れる色に代表させている．

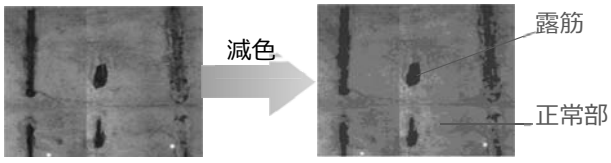

図 3. コンクリート正常色の検知

キーワード:画像解析　画像処理　コンクリート　露筋　剥離
〒305-0805　茨城県つくば市花畑 1-7-1　齋藤 千紘(さいとう ちひろ) Tel:029-868-6218

色検知は画像を L*a*b*色空間に変換して実施した．L*a*b*色空間であれば図 4 のように b*(青色差)により錆汁と鉄筋をよく分離できる．これにより図 5 のように鉄筋と隣接しない壁面汚れをより効果的に露筋と分離することが可能となる．

鉄筋・錆汁・剥離の各劣化部位について，相当する領域を抽出すべく，コンクリート正常色の色(L^*_N,a^*_N,b^*_N)から閾値 t を設定した．

$$t_{N,M} = \alpha_{N,M}N + \beta_{N,M}$$

ただし　N=L^*_N，a^*_N，b^*_N　M=鉄筋，錆汁，剥離

導出した閾値を用いて L*a*b*色空間画像を 2 値化し，以下のような論理積を取ることで各劣化部位の候補領域を得た．

鉄筋 $F = B_{L^*,鉄筋}\&B_{a^*,鉄筋}\&B_{b^*,鉄筋}$

錆汁 $R = B_{L^*,錆汁}\&B_{a^*,錆汁}$

剥離 $S = B_{L^*,剥離}\&not(B_{a^*,錆汁})$

B は設定した各閾値で 2 値化処理をした 2 値化画像をである．

3.2.形状検知

マンホールの内部鉄筋は，一般に 8 mm~12 mm の幅を持つ．鉄筋幅 d_F(mm)が占める画素 G_F は，2 節で導出できる上下の光点距離 Y_L と実際のレーザ間距離 d を照合し，実長比 Y_L/d(px/mm)を求めることで $G_F = Y_L d_F/d$ と換算できる．

導出した画素値 G_F と等しい列幅を持つフィルタ s を用意し，画像中走査させて適用することで，図?のように鉄筋幅を持つ直線形状を抽出できる．

s = [-1 … -1 -0.5… -0.5 2…2 -0.5 …-0.5 -1 … -1]

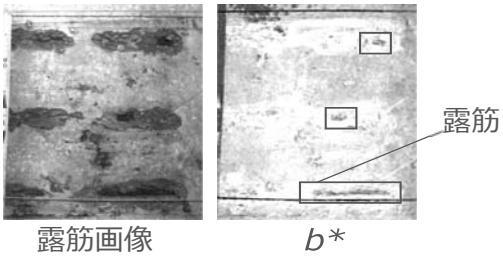

図 4. L*a*b*表色系による変換

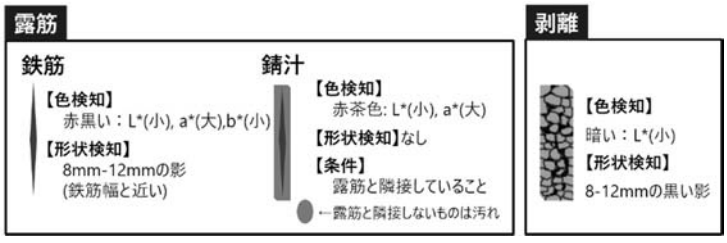

図 5. 各劣化部位の色特徴

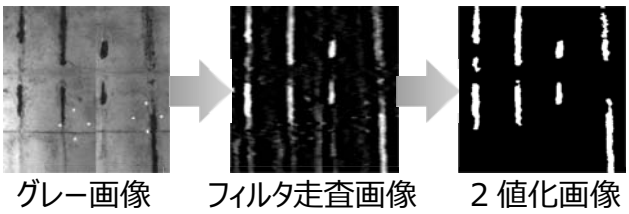

図 6. 鉄筋幅相当の形状検知

4. 露筋判定

3 節の色・形状検知結果を下記のように統合して劣化部位を判定した．

鉄筋領域：$F \wedge F_{MAP} \wedge L$

錆汁領域：R のうち鉄筋 $F \wedge F_{MAP} \wedge L$ と隣接

剥離領域：S&L

更に，鉄筋領域の各オブジェクトについて縦横比を計算し，縦長であれば x 座標距離の小さいオブジェクトを，横長であれば y 座標距離の小さいオブジェクトを関連付け，一本の鉄筋とみなすよう判定を行った．その結果を図 7 に示す．

以上の劣化部位検知を 30 箇所の劣化部位に実施したところ，露筋見落とし 0 箇所，誤検知 6 箇所となり，20%の誤検知精度で劣化部位検知が可能であると判明した．

5. まとめ

マンホール未入孔点検技術に資するソフトウェア処理について報告した．上床版一枚画像の取得と劣化部位検知を自動化することで，品質の良い点検結果を低コストで得ることが可能となった．

以後，露筋の誤検知低減と，ひび割れ等のより微細な劣化部位を検知することが課題となっている．

参考

1)田中航，内堀大輔，川端一嘉，高橋宏行:”レーザーポインタの光を活用した撮影画像内のひび割れ長計測方法”，土木学会年次学術講演会講演概要集 70th，　VI-167, 2015-08-01.

謝辞　本装置開発にご協力下さった，日本電信電話㈱先端集積デバイス研究所の高橋宏行氏に感謝いたします．

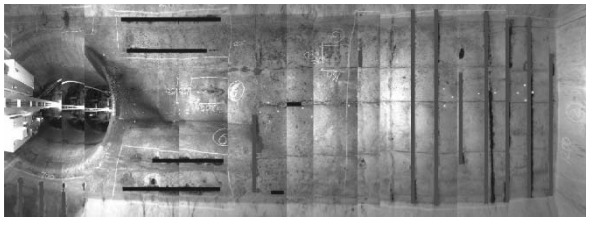

図 7. 露筋判定結果