デジタル画像診断手法を用いた簡易トンネル変状点検システム

鹿島建設㈱　正会員　○山本拓治，大畑俊輔
株式会社中部 EEN　衣笠貢司
青森県道路公社　道路工務課　三上恵津子

１．はじめに

笹子トンネルの天井版落下事故以来，老朽化したトンネルの維持管理の重要性が叫ばれている．特に高度経済成長時代に建設されたトンネルは，数が膨大であり，間もなく建設後 50 年の節目を迎えることから，効率的な点検と適切な補修工事が重要となってきている．

一般にトンネルの変状展開図は，図-1 に示すように高所作業車上で 0.2ｍｍ以上のひび割れをチョークで覆工壁面にマーキングした後，路上より手書きのスケッチを行って作成されている．ひび割れ幅は，クラックスケールで主要な位置のみ計測されている．

近年，橋梁や舗装路面では，デジタルカメラを用いてひび割れ診断図を作成するシステムが使われるようになってきたが，トンネルでは覆工が曲面であり，カーブの個所や拡幅断面が存在するため，ゆがみや曲面の補正が必要となる．また，検査対象の延長も長く，交通規制が必要なため，これまで特殊なシステムを用いたものしか実用化されてなかった．

本システムは，点検車など特殊な機材を用いることなく市販のカメラとパソコン及び今回開発したソフトでそれらと同程度の精度が得られる．今回，既存の点検図作成方法と並行して本手法を適用し，精度と合理性を確認したので，以下に本システムの概要と適用事例を報告する．

図-1　トンネルの点検方法（従来）

図-2　画像診断システムの手順

２．システムの概要

本システムの作業手順を図-2 に示す．本システムでは，現場における作業は，デジタルカメラによる撮影のみである．そのため，打音検査や叩き落とし作業は別にして，従来の目視による点検やスケッチと比較すると，現場点検時間が短縮でき足場台車不要のため，点検費用が大幅に低減できる．事務所での作業は，まず図面を読み込み後に基準点座標の設定を行い，次に撮影画像と図面との相対座標を指示し，画像の正射影変換を行い，その正射影変換されたデジタル画像(正面から見た画像)の上で表面変状(ひび割れ，浮き箇所，骨材露出，錆汁，鉄筋露出)を直接トレース，または範囲を指定する．また，長さや面積を計測及び図面化すると，同時に数量集計ができるようになっている．ひび割れ幅測定機能により，正射影後の画像から任意のひび割れ幅（0.2㎜以上）を自動で検出することが可能であるため，従来方法と比較して，点検員の主観が影響せず客観的で精度の高いデータを，短時間で作成することができる．さらに，高度なデジタル画像処理によって得られた画像をデータベース化することにより，定期的に行われる点検の際には，前回検査結果と比較した劣化の進行判定を行うことができる．

３．現場での適用事例

本システムを，青森県・みちのく有料道路の滝沢トンネルに適用した事例を示す．当トンネルは，30 年前に矢板工法により施工されたトンネルであり，20 年前からトンネル坑門及び覆工コンクリートに変状が確認されており，一部補修もされている．

キーワード：トンネル維持管理，点検，ひび割れ検査，デジタルカメラ，赤外線カメラ
連絡先　〒182-0036　東京都調布市飛田給 2-19-1　鹿島建設㈱　技術研究所　TEL：042-485-1111

（１） 撮影方法

0.2mm のひび割れ幅を判別するためには，1500 万画素以上の性能を持つ一眼レフカメラを用いる必要がある．撮影に際しては，あらかじめ基準となるトンネルの付属設備等を設定し，撮影範囲が重なるように撮影する．45 度以内の角度で撮影された画像は，正射影変換が可能であるため，撮影の位置やアングルを気にする必要がほとんどない．さらに，センターラインに立って，展開画像を撮影する必要もないため，車両規制の必要がないのも長所である．撮影時の明るさも，通常はカメラ内臓のストロボを用いれば問題ない．

図-3　デジタルカメラでの撮影状況

今回，本手法を適用した滝沢トンネルは延長 550m であったが，撮影に要した時間は 1 人で 4 時間程度であった．

（２） 画像解析結果

撮影画像は正射影変換・曲面補正を行い，平面画像に展開し，変状展開図と同様に出力する．

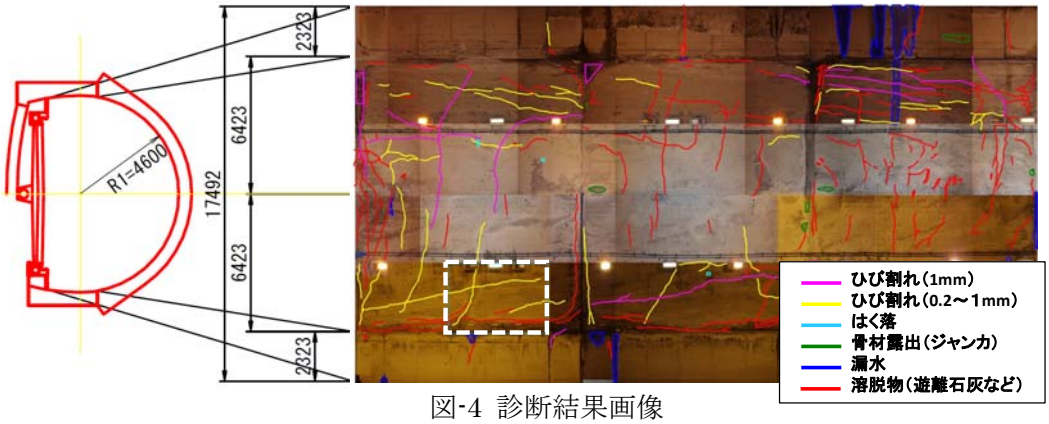
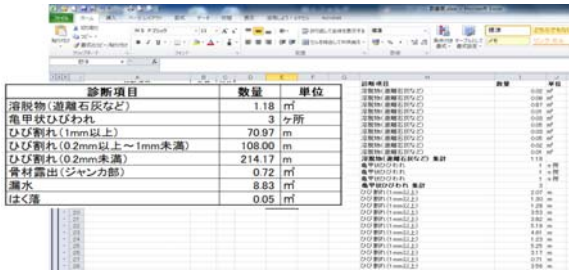


図-4 診断結果画像

次に，ひび割れ幅測定機能により，画像から任意のひび割れ幅を測定し，ひび割れ幅を区分する．画面上では区分ごとにひび割れ長さが自動計測される．(図-4) また，はく落，骨材露出（ジャンカ），湧水，溶脱物（遊離石灰）等の初期診断情報を入力すると，長さ・面積が自動で計測されて表示される．計測情報はエクセル帳票に連動し，診断項目ごとに集計表を出力することが可能である．(図-5)



診断項目	数量	単位
溶脱物(遊離石灰など)	1.18	㎡
亀甲状ひびわれ	3	ヶ所
ひび割れ(1mm以上)	70.97	m
ひび割れ(0.2mm以上～1mm未満)	108.00	m
ひび割れ(0.2mm未満)	214.17	m
骨材露出(ジャンカ部)	0.72	㎡
漏水	8.83	㎡
はく落	0.05	㎡

図-5　診断データと集計表

また，本システムは赤外線カメラによる診断も併用し，漏水個所をより精度良く判定することができる．図-6 は図-4 の白破線部分の赤外線診断結果であるが，覆工表面のみでなく覆工背面に水が存在する箇所が推定できる．この場所は過去にひび割れがあったが遊離石灰等により閉塞し，背面に水が溜まっていると考えらえる．このように潜在的な湧水箇所も判定可能であると思われる．

赤外線画像も一眼レフカメラで撮影した画像と同様に，正射影に変換することができるため，一眼レフカメラと同様に手持ちで撮影し展開図として整理することが可能である．

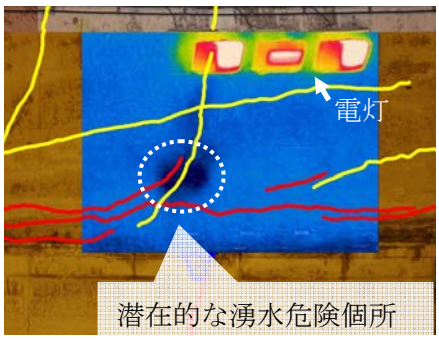


図-6　赤外線画像の正射影合成

４．まとめ

デジタルカメラとひび割れ診断ソフトを用いた，簡易トンネル変状点検システムを開発し，その精度と実用性の高さを確認した．今後は，施工者サイドにも初期点検や長期保証が義務付けられる可能性がある．そのため，施工者サイドも点検技術を高度化していく必要があると考えている．現時点では，高価なシステムを利用の現実的には難しいため，今後は新設トンネルの初期データの取得技術としても活用していく予定である．

５．謝辞

本開発において，貴重な機会をご提供いただきましました，青森県道路公社に感謝の意を表します．