

デジタル画像処理を利用したひび割れ抽出による道路トンネル健全性評価

半田 兼一^{1*}・大西 有三¹・西山 哲¹・矢野 隆夫¹・西川 啓一²・下澤 正道³

¹京都大学大学院 工学研究科都市環境工学専攻 (〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂)

²三菱電機株式会社 IT宇宙ソリューション事業部 (〒100-8310 東京都千代田区丸の内2-7-3(東京ビル))

³計測検査株式会社 (〒807-0821 北九州市八幡西区陣原1丁目8番3号)

*E-mail: handa@geotech.kuciv.kyoto-u.ac.jp

道路トンネルに対する健全性評価手法の確立が求められる中、道路トンネル壁面に生じるひび割れを評価することが健全性評価に必要であることが分かってきた。しかしコストが高く、交通規制を伴う従来の目視検査では、ひび割れ評価に必要なデータを取得することが困難であり、目視検査に変わる手法の確立が必要とされている。そこで、目視検査に比べて低コスト・交通規制を伴わないなどの利点を有するデジタル画像処理を用いることで、ひび割れを検出・評価し、健全性評価を行なうシステムの確立を目指した研究を行なった。本論文では、デジタル画像によるひび割れ計測の有効性を示すとともに、フラクタル次元による評価を取り入れることで、ひび割れ検出の自動化が可能であることを示す。

Key Words : tunnel, integrity evaluation, crack, fractal, image processing

1. はじめに

平成11年6月に山陽新幹線福岡トンネル坑内で起きた剥落事故を契機に、土木構造物の安全性が強く問われることとなり、老朽化が進む日本の社会資本の維持管理の重要性が再確認されることとなった¹⁾。このような背景の下、現在では、社会資本の根幹を成す道路資産の効率的な維持管理が必要とされ、補修等が困難な道路トンネルに対する検討が課題となっている。これは、道路トンネルの供用期間の長期化に伴い、老朽化したトンネルが増大している一方で、道路トンネルに対する最終的な健全性評価が専門家の経験的判断に基づいて行なわれており、客観的な基準・手法がないためである。さらに、今後はこのような社会資本整備のための財源が限られていくと考えられるため、限られた財源の中で、計画、設計、施工、維持管理までをトータルに考慮した、すなわちライフサイクルコスト (LCC) を考慮に入れた効率的な道路トンネルの維持管理が求められているといえる。

以上のような背景の下で、本研究グループは、道路トンネルの効率的な維持管理を行なうための健全性評価技術およびその手法の研究を行う。図-1に研究のフローチャートを示す。本研究の最終的な目的はトンネルアセットマネジメントシステムの構築であり、そのために図-1に示すフローチャートに従って研究を行なっている。

本論文では、研究フローチャート中の有効な計測技術の選定において得られた成果を報告する。すなわち、トンネル維持管理のための効率的な計測技術として、デジタル画像処理の利用を提案し、実際のモデルトンネルでの計測結果から、この計測手法の有効性についての検討を行う。特に、画像処理においてはフラクタルを用いることで、処理の自動化の可能性を示す。さらに、デジタル画像による処理と3次元可視化システムとを融合することで、非常に強力な管理ツールを構築でき、健全性評価に用いることが可能であることを示す。

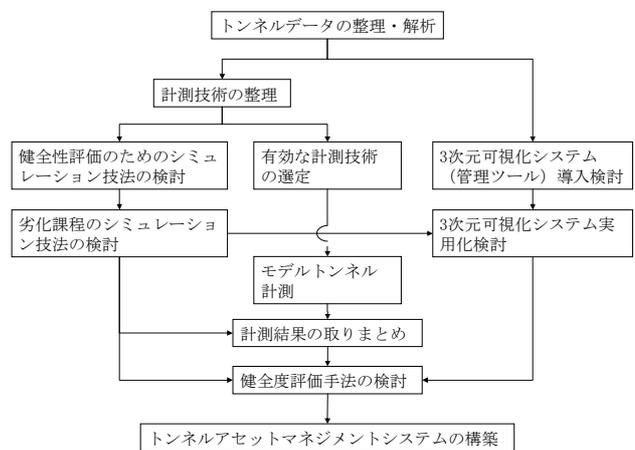


図-1 研究フローチャート

2. 有効な計測技術の選定

(1) 現状の管理状況の把握調査

まず、現状の道路トンネル維持管理における問題点を把握するため、トンネル管理者に対するアンケート調査を実施した。対象は、近畿地区の119のトンネルを管理する8事務所である。結果を図-2に示す。

現状のトンネル管理は人による目視・打音の点検がベースとなっているが、これに対する課題として図-2(a),

(b) で示されているように、交通規制が伴い危険であること、人件費等の点検費用が高いことが挙げられる。さらに図-2(c)より、管理上、重要な損傷として上げられるのが、うき・剥離、ひび割れ、漏水・つらら・遊離石灰となっている。ここで、うき・剥離や漏水・つらら・遊離石灰がひび割れの周りに生じることを考慮すると、管理上最も重要と考えられる損傷種別はひび割れであるといえる。さらに、図-2(d)からは、評価に必要なひび割れの特徴として、ひび割れの幅と本数が特に重要であることがわかる。

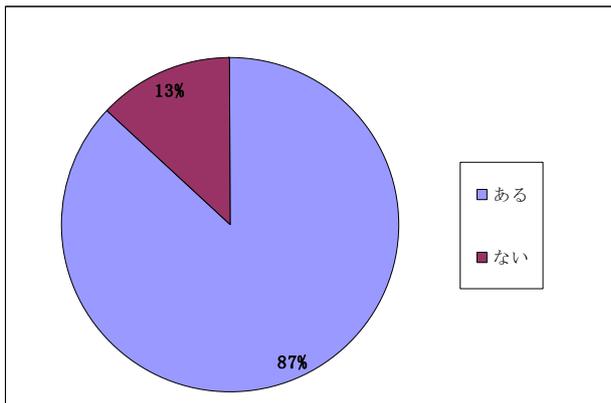
(2) デジタル画像処理の導入

2(1)で示した結果から、道路トンネルの管理のための計測技術が備えるべき性能として、

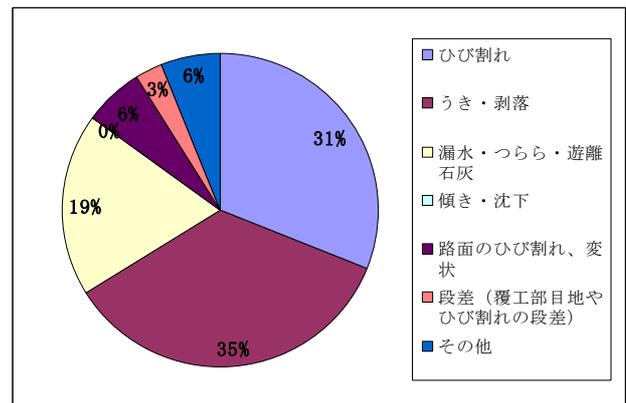
- ・交通規制の伴わない安全な方法であること
- ・点検費用が高すぎず頻繁に行なえること
- ・ひび割れを検出でき、しかもその幅・本数などの特徴が測定可能であること

が挙げられる。

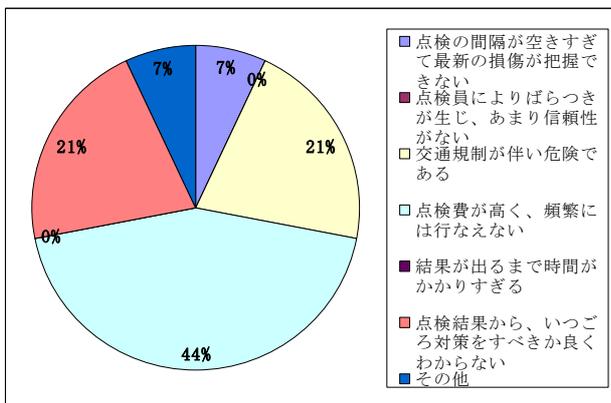
ここでは以上の要求を満たすような新たな計測手法としてデジタル画像処理による計測手法を提案する。デジタル画像はカメラを車載して走行することで交通規制なしに安全に画像が得られることに加え、ピクセルで構成されるため、ひび割れの本数はもとより、その幅の測定が可能であることが利点として挙げられる。これにより、健全性評価に必要なひび割れの測定が従来の目視による手法よりも効率的に行なえるといえる。さらに電子データであるためアナログデータに比べて管理が容易であり、経年変化などの判別のためのデータ比較がしやすいなどの利点があるといえる。



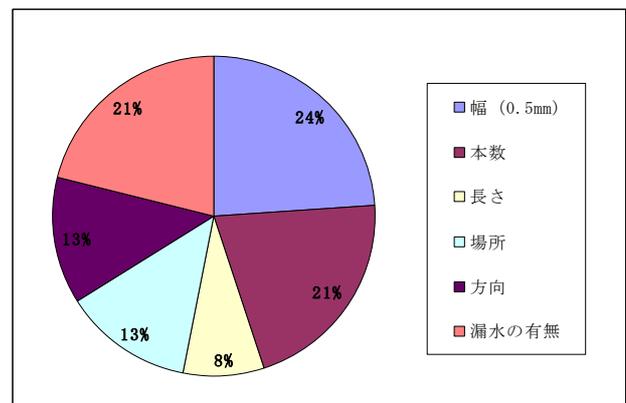
(a) 現状の定期点検に対する課題は？



(c) 最も多く発生し、注意している損傷種別は？



(b) 課題の具体的な内容は？



(d) ひび割れのどの状態に注目して管理しているか？

図-2 道路トンネル管理者に対するアンケート調査結果

3. モデルトンネルでの計測

(1) 計測状況

デジタル画像による計測をモデルトンネルで行なった。モデルトンネルは背面での地すべり発生のために現在は供用されていない大谷第一トンネル(福井河川国道事務所管轄)であり、総延長82mである。なお、比較のために、打音・目視による点検も行なった。

図-3に撮影機材、図-4に撮影機材とトンネルの位置関係、表-1に撮影機材の仕様を示す。本研究で用いた撮影方法は、効率的な撮影方法とするため、車載型のデジタルビデオカメラと近赤外光を含んだ強力なハロゲンライ

トによる走行撮影であり、得られる画像を合成することでトンネル内側壁面の展開図が得られるものである。

図-3に示すようにカメラ・照明器取り付け架台、録画装置等の撮影に必要な機材および、電源装置(発電機、ACアダプタ等)の機材はすべて撮影車両(4t車)に搭載している。また、図-4に示すように、走行方向左側を撮影し、上下往復することにより両面の撮影が可能である。このときの撮影撮影速度は、トンネル延長が短いため10km/hとしたが、性能上は40km/hであっても十分撮影が可能である。

このようにして得られる壁面展開図から画像処理を施すことで、ひび割れの検出を試みた。



図-3 撮影機材

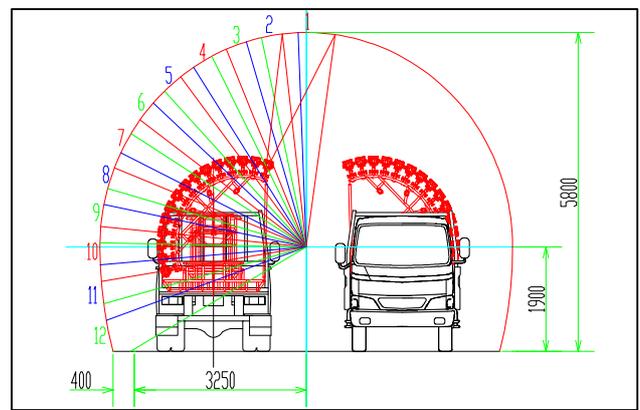


図-4 撮影機材とトンネルの位置関係

表-1 撮影機材の仕様

品名		仕様
撮影	デジタルビデオカメラ 13台	画素数 : 3 CCD 34万画素 (有効画素) 寸法 : 93x112x193mm 重量 : 900g
	照明器 28台	消費電力 : 1KW, 0.5KW 寸法 : 290x213x195mm 定格電圧 : 100V 重量 : 2.3kg
	デジタル録画装置 13台	記録方式 : DV-CAM 寸法 : 221x44x250mm 記録時間 : 3時間 (max) 重量 : 5.8kg
	発電機 1台	出力 : 45kVA/台 寸法 : 980x1,800x900mm 重量 : 1,000kg/台
	ACアダプター 2台	供給電力 : 15A*15 寸法 : 500x500x500mm 重量 : 50kg
撮影車両	4 t 車	
撮影速度		時速10km

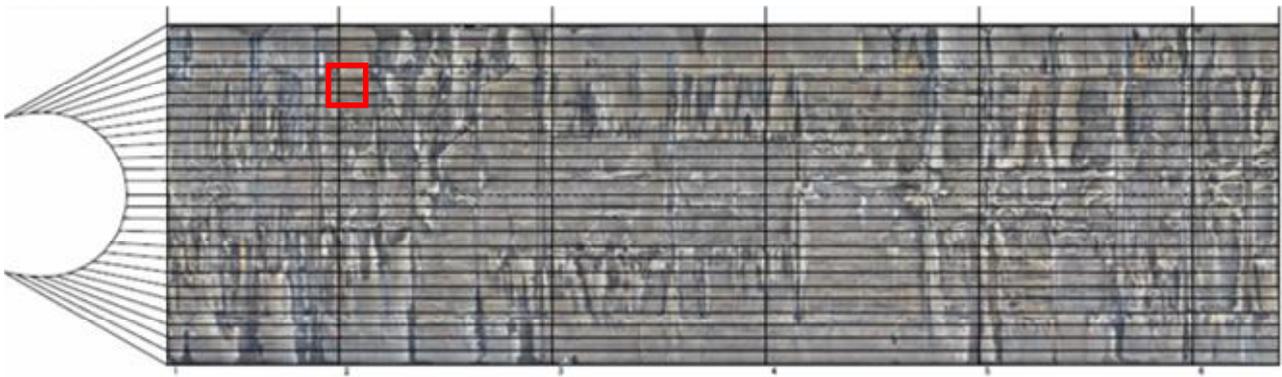


図-5 トンネル壁面展開図

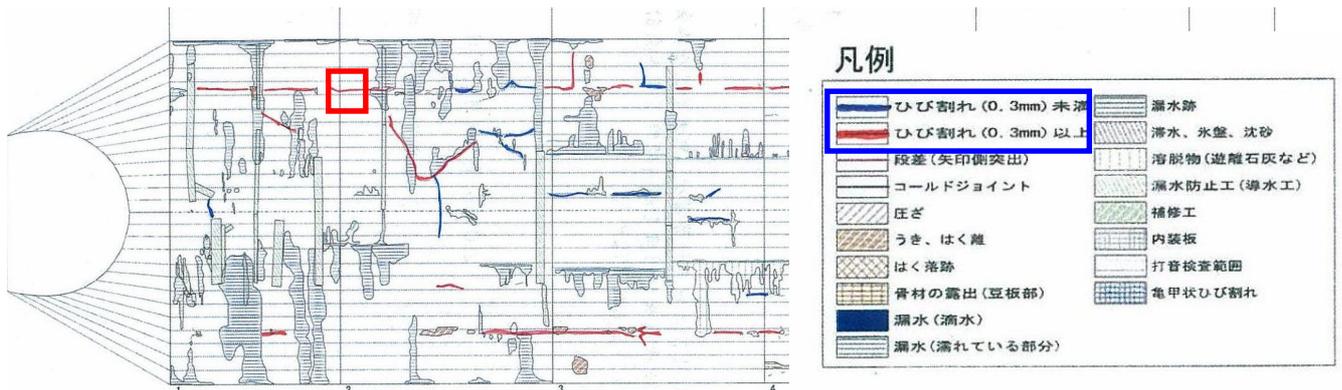


図-6 画像処理によるひび割れ抽出処理後

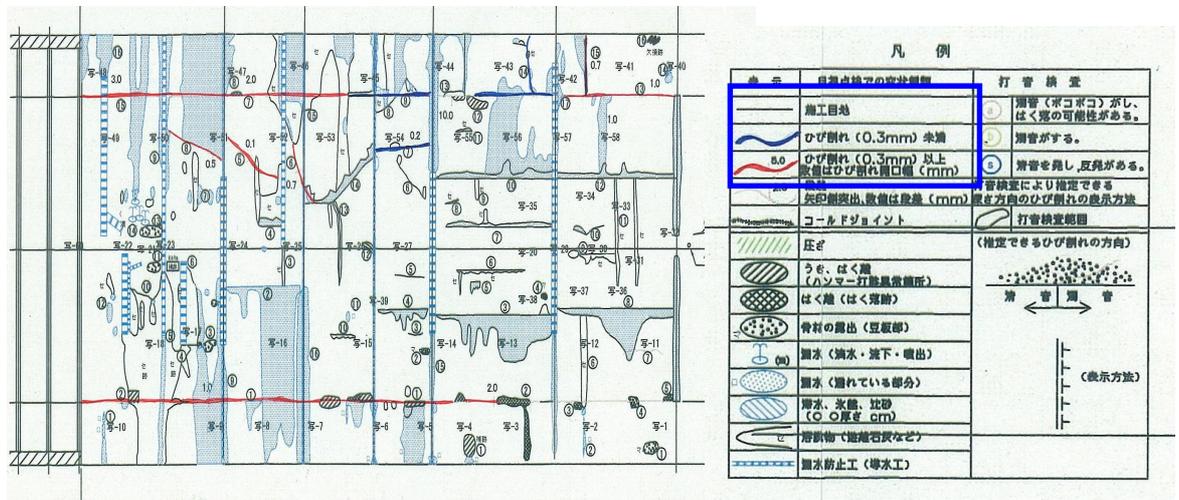


図-7 目視・打点検による壁面検査結果

(2) 計測結果

図-5に走行撮影で得られた壁面展開図のデジタル画像を示す。図-6は図-5の展開図に画像処理を施し、ひび割れなどを抽出した後の画像である。さらに図-7は、目視・打音による壁面調査結果である。図-6の処理結果から、ひび割れ幅においては0.3mm以上と0.3mm未満を区別した検出が可能であったことが示されている。これは、図-2(d)で要求される0.5mm精度でのひび割れ検出が

可能であることを示している。また、図-6と図-7を比較すれば、ひび割れの検出においてデジタル画像による検出と、目視・打音による検出の両者において同様な精度での検出が可能であったといえる。つまり、両者ともに0.3mm精度での検出が可能であり、ひび割れ本数の検出状況においても差は見られなかった。これより、デジタル画像によるひび割れ検出は目視による検査と同精度の検出が可能であることが示された。

4. ひび割れ検出の自動化

(1) 画像処理とその問題点

2, 3章に示したように, デジタル画像処理を利用した計測は, 従来の目視検査によるひび割れ検出に比べて, 安全かつ効率的な検出が可能である. しかし, 現状の画像処理は半自動処理であり²⁾, ひび割れ検出作業には人が介入している. これは, トンネル壁面画像が必ずしも一様ではないため, ひび割れの自動認識が難しいためであるが, いっそうの効率化のためには完全な自動処理にすることが望ましいといえる.

(2) フラクタルとその応用

フラクタルとは自己相似性を持つ図形のことであり, スケールにおいて幾何学特性が不変であるという性質を有する. 自然界におけるさまざまな不規則な形 (海岸線, 雲, 木の枝など) がフラクタルであるとされている. さらに, 既往の研究から, 岩盤亀裂の分布などの工学分野への適用も図られており, 一定の成果が得られている³⁾. 本研究では, 従来のような色濃度による画像処理に加え, ひび割れをフラクタル次元で表現することで形状を評価し, トンネル壁面からひび割れを自動抽出することを目指した. 図-8に処理フローチャートを示す.

まず, 展開画像を白黒の2値化画像に変換するために, 濃度によるフィルタ処理を行なった. これは, 雑音処理とともに, ひび割れ部分を鋭敏化させることが目的であり, ラプラシアンフィルタ等を用いた. 次に, 雑音処理された画像を2値化した. この場合, 閾値の設定は手動で行なった. さらに, 2値化された画像を連結成分ごとに同一の番号をつけるラベリング処理を行った. 連結成分とはお互いにつながりを持つ一つの成分であり, 例えば図-9では3つの連結成分に分けられる.

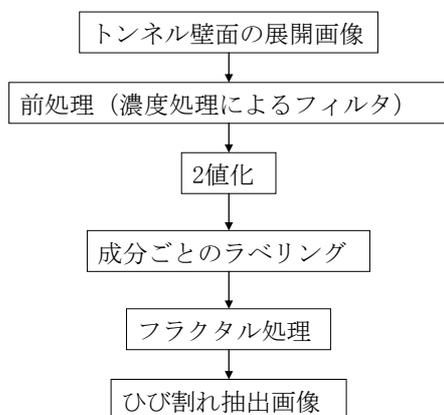


図-8 画像処理フローチャート

ここで, 画像に対して連結成分ごとのフラクタル次元をボックスカウンティング法⁴⁾を用いて求めた. さらに抽出アルゴリズムとして, フラクタル次元が1.2以上1.3未満の成分をひび割れとする処理を取り入れた. この閾値設定は本研究においては試行錯誤的に決定された. これはフラクタル次元が連結成分同士の比較においてのみ意味を持つ, 相対的な値であることに起因する. しかしこの抽出アルゴリズムは, ひび割れがフラクタルの性質を有し, その次元が直線構造よりは大きい面構造ほどは大きくない, という物理的意味を表現するものである. 図-10に処理結果を示す. 図-10は図-5の四角で囲った部分であるが, 一部に誤認識があるものの, 中央部のひび割れが抽出されたことがわかる.

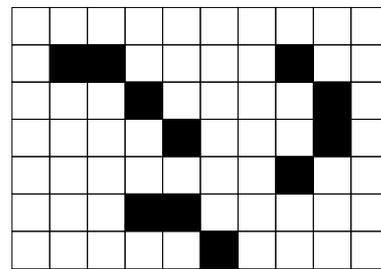


図-9 3つの連結成分に分けられる例



(a) フラクタル処理前の壁面画像



(b) フラクタル処理によるひび割れ抽出 (赤色)

図-10 ひび割れ抽出画像

5. 管理ツールとしての利用

これまでに示した画像処理による計測技術は、3次元可視化システムと融合させることで、強力な管理ツールとして用いることができる。具体的には、走行撮影で得られた画像データをもとに、トンネルを3次元上に再現し、その3次元システム内において、ひび割れ幅などの計測が可能となる。さらに、計測されたひび割れなどのデータをもとにした健全性評価基準を構築することで、計測から健全性評価までをこのシステム上で一貫して行なうことが可能であるといえる。図-11に3次元可視化システムにより再現されたトンネルの例を示す。

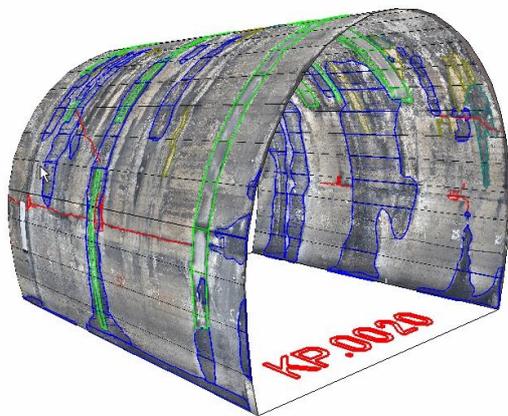


図-11 3次元可視化システム

6. まとめ

本論文では、道路トンネルの健全性評価技術およびその手法の研究の一環として、特に計測技術に関する成果の報告を行なった。その結果、従来の目視による点検技術の欠点を補いつつ、それと同精度でのひび割れ検出が可能であるデジタル画像処理による計測手法の有効性が示された。また、フラクタルによる自動検出の可能性も示された。しかし、2値化の段階での閾値設定や、フラクタルの画面サイズによる影響など、自動化に関しては今後もさらなる検討が必要である。さらに、3次元可視化システムの導入により有効な管理ツールとなる可能性も示した。

今後は、計測により得られたひび割れのデータを、道路トンネルの健全性評価にどのように用いるかについての検討が必要である。つまり、現状のような経験的な判断によらない客観的な基準の選定が必要である。

参考文献

- 1) 小島芳之：トンネル維持管理技術の発展，土と基礎，11号，pp.26-29，2006.
- 2) 河村圭ほか：対話型遺伝的アルゴリズムによるデジタル画像からのひび割れ抽出，土木学会論文集，742号，pp.115-131，2003.
- 3) 大西有三，堀田政國，大谷司郎：画像処理システムを用いた岩盤割れ目のフラクタル幾何学的特性評価について，土木学会論文集，412号，pp.61-68，1989.
- 4) 高安秀樹：フラクタル，朝倉出版，1986.

INTEGRITY EVALUATION OF TUNNEL BY CRACK DETECTION METHOD USING DIGITAL IMAGE PROCESSING

Ken-ichi HANDA, Yuzo OHNISHI, Satoshi NISHIYAMA, Takao YANO,
Kei-ichi NISHIKAWA and Masamichi SHIMOZAWA

A lot of old tunnels have needed to be kept or repaired appropriately in Japan, and we have to make criteria which enable us to make a decision how to deal with these old tunnels. From the investigation to administrators of tunnels, we found that most of them are checking cracks on the walls of tunnels when managing them. This indicates that cracks are the most important index to evaluate the integrity of tunnels, and therefore we need to measure cracks of tunnel for integrity evaluation. In this paper, we propose a new measurement method of cracks by digital image processing. Finally we show that this new method is superior to conventional method and can be applicable to establish integrity evaluation system.