

トンネル点検作業の効率化と 劣化診断ツールの現場適用性に関する考察

The Study on Effective Tunnel Site Inspection Works and The Structural Deterioration Analysis Tool

黒澤保¹・清水隆史²・吉田靖¹・高橋剛²・新弘治³
Tamotu Kurosawa, Takashi Shimizu, Yasushi Yoshida, Takeshi Takahashi
and Koji Shin

¹正会員 株式会社建設技術研究所 東京本社道路・交通部 (〒103-8430 東京都中央区日本橋浜町3-21-1)

E-mail:kurosawa@ctie.co.jp

²正会員 株式会社建設技術研究所 東京本社アセットマネジメント室 (〒103-8430 東京都中央区日本橋浜町3-21-1)

³非会員 株式会社ウォールナット 調査部 (〒190-0002 東京都立川市幸町1-19-13)

“The Tunnel Asset Management System Method” has been employed in the study on effective tunnel site inspection works and the deterioration analysis tool for tunnel structures. Adequate and easier analysis methods of the existing database system of tunnel site inspection and structural soundness are the important factors to develop the tunnel asset management system.

A tunnel surface photograph taken by a vehicle-mounted Charge Coupled Devices (CCD) camera and the effectiveness and adaptability of the tunnel deterioration analysis system developed by Professor Uomoto has been verified in the study for a road tunnel in Yamanashi Prefecture.

Key Words : the tunnel asset management, tunnel site inspection works, the deterioration analysis

1. はじめに

公共投資が減少している中、安全で快適な道路サービスを提供するためには、既存道路構造物の計画的な維持管理への取り組みがこれまで以上に必要とされている。中でもトンネルは、建設工事費が高価であること、補修や改築を行うことが困難であること、からアセットマネジメント手法を導入した、より効率的な維持管理を実現していくことが望まれている。筆者らは、トンネルのアセットマネジメントを進める上で、既設トンネルの点検データ蓄積や、現状の健全度を的確かつ容易に把握することが、非常に重要と考えている。しかしながら、実際の点検実務においては、大掛かりな交通規制や多大な労力、時間を必要とし、結果として点検コストも高価になりがちである。このような現状に対し、筆者らは、トンネル点検作業の高速化、省力化の実現が当面の課題と認識し、既存技術の応用である車両搭載型CCD

カメラによるトンネル壁面画像撮影と、魚本等が開発したトンネル劣化診断ツールを、山梨県内の道路トンネルにおいて導入し、その適用性等の検証を試みたものである。

2. 点検および健全度判定の現状

トンネル点検作業において最も時間を要するものは、覆工コンクリート表面の諸情報（ひび割れの位置・長さ、剥落箇所の位置・範囲、湧水箇所等）を点検記録として変状展開図に整理することにある。一般には近接目視を行い、覆工コンクリート表面を観察、ひび割れ等の位置を計測した上で、記録が行われている。これらは、最終的にはCADデータ等として電子化されるが、全てが人力による手作業であり、労力および時間を費やしていた。また、精度としても実施者によるバラツキを有していた。したがって、トンネル点検作業を効率的に実施するためには、ク

リティカルとなる点検記録の図化作業時間の短縮が課題と考えた。

一方、トンネル点検結果に基づく健全度評価（＝劣化度診断）は、専門的な知識や経験を有する熟練技術者の裁量で行われてきた。しかし、昨今の専門技術者の減少に対して老朽化トンネルはますます増加するという実状では、従来の熟練技術者に依存した健全度評価には限界があると考えられた。熟練技術者ほどの専門的知識を有しなくとも、簡易にトンネルの健全度評価が可能なツールを実用化する必要があった。

3. 新たな点検方法および健全度判定手法

点検記録のより正確な図化、将来的な画像データの重ね合わせによる経時変化の把握を目的として、覆工コンクリート表面を車両搭載型CCDカメラで撮影し、トンネル壁面画像としてデータ取得する方法を実トンネルの点検業務に適用した。

また、トンネルの健全度評価（＝劣化度診断）の効率化については、魚本等が開発したトンネル劣化診断ツールをトンネル点検の実務に試験的に適用した。この時、実際に熟練技術者が行った健全度評価との比較を試み、現状の劣化診断ツールが有する課題の抽出、整理を行った。

4. 車両搭載型CCDカメラシステムの適用

(1) 機器の開発目的

これまでトンネル維持補修のための表面変状調査は、主に目視と打診によって行われてきた。ところが、目視・打診調査は人間の判断に多くを依存するため、個人差があり、変状の位置情報も曖昧になる。最終成果品をなるべく客観的に表現することにより、情報は普遍化し、再調査時に系統的な参照が可能となる。このためには、トンネル表面の画像をそのまま撮影し、データベースとして保存する方法が最適である。

このような要望を満たすために、費用や効率等の問題点も考慮した技術的検討を重ね、走行しながら撮影が可能な車両搭載型CCDカメラシステム「TIPS (Tunnel Image Processor System)」を開発した。

(2) 機器の全体構成

前述の設計思想に基づいて開発された車両搭載型CCDカメラシステムの概念図を図-1に示す。本システ

ムはコントロール装置、ラインセンサカメラ、距離検出装置から構成される。以下に各部の機能概要を示す。

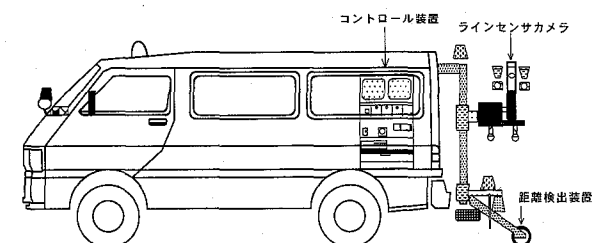


図-1 車両搭載型CCDカメラシステム (TIPS)

a) コントロール装置

取得画像をリアルタイムで表示すると共に、記録・保存を行う。記録媒体にはHDDを採用し、最大50kmの壁面画像撮影が可能である。

b) ラインセンサカメラ

カラーデジタル方式のカメラを採用し、広角レンズを取り付けることにより広範囲の撮影を可能とした。カメラの仕様を表-1に示す。

表-1 カメラ仕様

方式	CCDカラーラインセンサー方式
解像度	1049ピクセル/ライン
スキャン速度	1kHz

c) 距離検出装置

画像記録方法は、ラインスキャン方式を採用した。この方法では、距離検出装置が車両移動量に応じたパルスを定常的に発信し、取得したスキャン画像にリンクさせることにより位置情報の正確な全体画像を得る。要求される画像精度に応じて車両速度を変えることができるように、距離検出装置の精度は可変とした。撮影には、通常、図-1、2に示すようなワゴン車型を使用するが、高速道路などの大断面トンネルでは十分な光量を確保するため、大型投光機を搭載できるトラック型車両を使用する。



図-2 ワゴン型システム

このように、当システムは専用車を必要としないため、撮影対象の状況に応じてシステムを組み立てることができるため汎用性が高い。図-2はワゴン車型システム、図-3はトラック型システムの撮影状況を示した写真である。



図-3 トラック型システム

(3) CCDカメラシステムの適用

本システムを用い、2001年に供用開始された道路トンネル（延長約1.9km、幅員9.5m）において壁面撮影調査を実施した。撮影結果である画像とコメント入りトンネル変状図の例について以下に示す。

a) 壁面撮影画像

調査対象の道路トンネルは供用中であるため、交互通行規制を適用して撮影作業を行った。同時に全断面を撮影することも可能であるが、反対車線方向では車両の映り込みが発生するため、規制内の半断面毎に壁面の撮影を実施した。撮影後、ソフトウェアにより画像合成を行い、全体のトンネル壁面画像を作成した。撮影した画像を図-4に示す。この画像は全体概観用に出力したもので、保存されているデジタルデータを全て使用すれば、さらに拡大表示が可能である。図-4の左上部に見えている消火栓BOXの拡大反転画像を図-5に示す。最小約1mmの画素情報を保有しているため、非常に鮮明な画像が得られている。

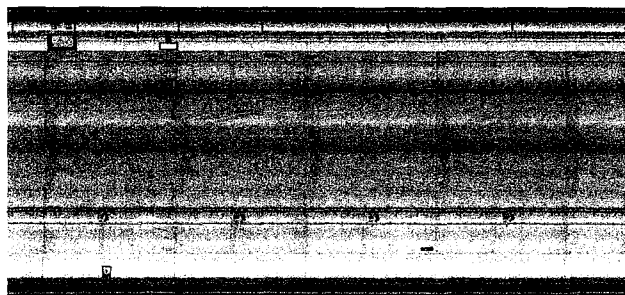


図-4 撮影画像

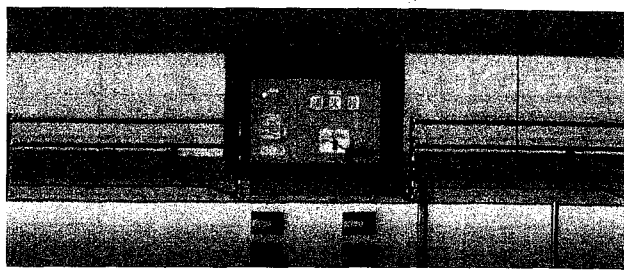


図-5 拡大した撮影画像

b) トンネル変状図

図-6は最終成果であるトンネル変状図を示したものである。撮影画像をベースとしてその上にクラック等の変状を重ねて図示した。また、並行して実施した打音調査の結果も付加した。現実の姿である画像と、判定結果である変状記号やコメントを同時に示すことにより、わかりやすく、また判定の再吟味を行うことも可能である。

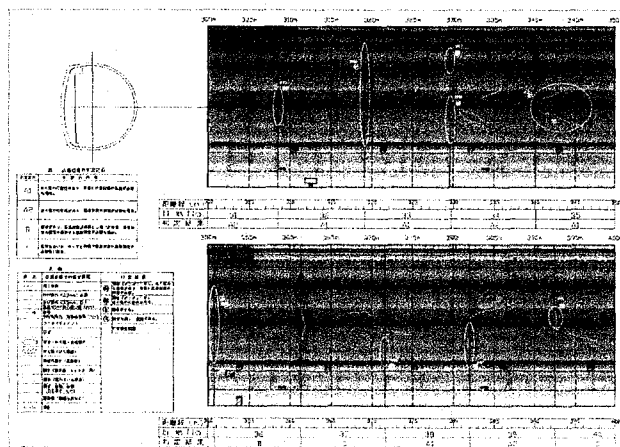


図-6 トンネル変状図

5. トンネル劣化診断ツールの適用

(1) 劣化診断ツールの概要

本ツールは東京大学生産研究所魚本研究室と民間10社との共同研究により開発され、トンネルの基本データ、スパンごとの変状（ひび割れ、剥離、鉄筋露出等）を入力し、入力された変状の程度から、変状原因、劣化程度、第三者影響度を判定するものである。

(2) 基本データの入力

基本データはトンネルの諸元、環境条件、供用条件、施工条件を入力する。

a) トンネルの諸元

「トンネルのスパン数、スパン長」「所在地」「建設年、工法」等

b) 環境条件

「海岸からの距離」「凍結防止剤散布頻度」「AS R反応性骨材の使用」等

c) 供用条件

「偏圧地形」「地下水位」「地山の種類」等

d) 施工条件

「表面被覆等」「水セメント比」「鉄筋の有無」等

(3) 変状データの入力

変状データはスパン毎の各部位に確認されたトンネルの変状を入力する。トンネルの部位は側壁、アーチ、クラウンに分け、さらに覆工コンクリートと目地部に分ける(図-7)。変状の入力はひび割れの性状とひび割れ以外の変状を入力する。

a) ひび割れの性状

ひび割れの方法、幅、長さ

b) ひび割れ以外の変状

浮き、剥離、鉄筋露出、腐食、漏水、豆板、コールドジョイント、錆汁等の程度

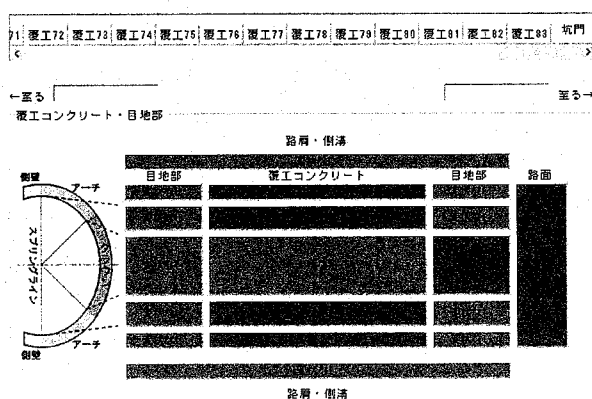


図-7 変状データの入力例

(4) 判定結果の出力

基本データと変状データのひび割れ幅や長さ等を基に変状原因、劣化程度、第三者影響度を判定する。

a) 変状原因

トンネルの部位毎に変状の原因として可能性の高い5候補を表示する(図-8)。

b) 劣化程度

トンネルの部位毎に劣化程度を4段階で表示する(図-9)。

劣化程度の判定例(4段階)を以下に示す。

[3A-II]: トンネル自体の安定に問題があり、早急に対策を要す。

[2A-II]: 変状が進めば、トンネルの安定に問題が発生するため、計画的に対策を要す。

[A-II]: 変状があり、将来的にトンネルの安定に問題が生じる可能性があり、継続的調査または再調査を要す。

[B-II]: 軽微な変状で日常点検、定期点検で注意を要す。

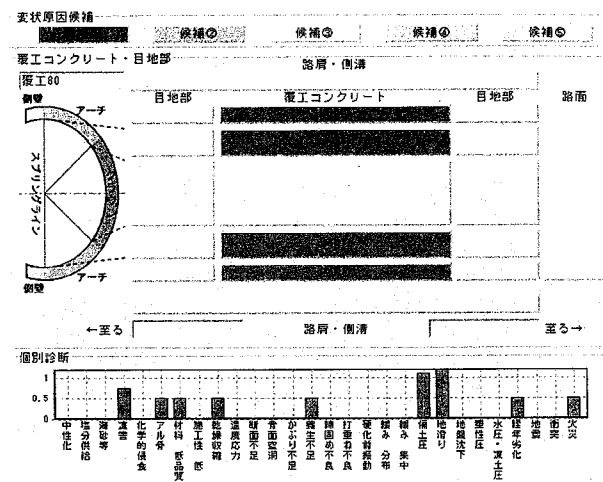


図-8 変状原因の表示例

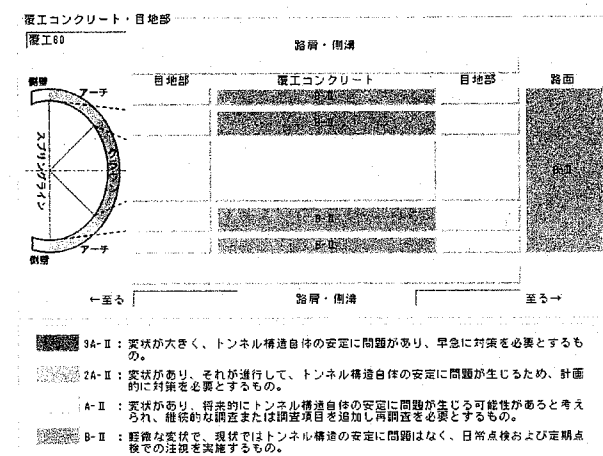


図-9 劣化程度の表示例

c) 第三者影響度

トンネルの部位毎に第三者影響度を4段階で表示する(図-10)。

第三者影響度の判定例(4段階)を以下に示す。

[3A-I]: 変状が大きく、歩行者・通行車両に対して危険があり、直ちに対策を要す。

[2A-I]: 変状が進めば、歩行者・通行車両に対して危険を与えるため、早急に対策を要す。

[A-I]: 変状があり、将来、歩行者・通行車両に対して危険を与える可能性があり、必要に応じて対策工を計画的に実施する。

[B-I]: 軽微な変状で、歩行者・通行車両に対して大きな影響はない。日常点検・定期点検での注意を要す。

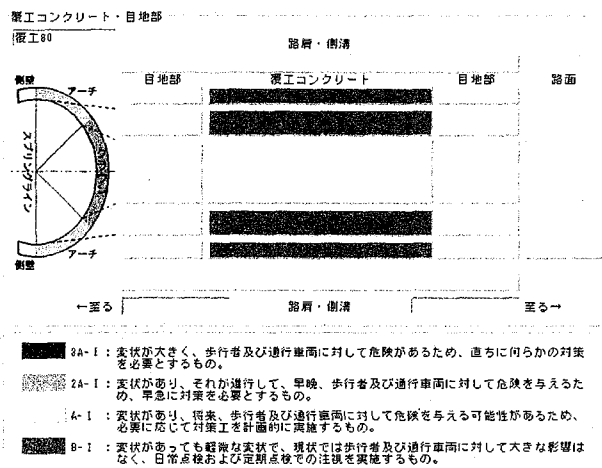


図-10 第三者影響度の表示例

(5) 劣化診断ツールの適用

実トンネルを点検し、点検結果を劣化診断ツールに入力した。点検対象は2000年に供用開始されたトンネル（延長802m、幅員9.5m）である。

トンネルの変状は坑門から数スパンにかけて亀甲状のひび割れが広く分布しており、トンネル中間部のアーチ天端においては縦断方向のひび割れが見られた。また漏水はほとんど認められなかった。

a) 判定結果

坑門について「方向性なしのひび割れ多数」と入力した場合の劣化程度は、計画的な対策を要する「2A-II」と判定された（図-11）。その他のトンネル内部の各スパンでは軽微な損傷である「B-II」と判定された。

坑門のひび割れは外力によって発生した場合、進行するとブロック化して落下する可能性がある。したがって、ツールの判定結果も4段階中2番目に危険な「2A-II」となったと考えられる。一方、トンネル内部の各スパンでは同様な亀甲状ひび割れが広く分布していても、外力的なものではなく、乾燥収縮等の材質的な劣化と判断し4段階中最も安全側の「B-II」と判定されたものと考えられる。

b) 熟練技術者の判定との比較

熟練技術者の判定では、坑門は「B」、トンネル覆工部では大半が「B」で一部「A」と判定された。

劣化診断ツールとの判定結果に相違が生じた原因として、「坑門では、劣化診断ツールの場合トンネル覆工の一部を坑門と評価」「トンネル覆工部では、劣化診断ツールの場合、浮き・はく離の情報が未入力」が考えられ、変状データを修正・追加入力することによりこれらの相違は解消した。

c) 劣化診断ツールの現時点での課題

トンネル内部の判定は、スパン毎に入力される変

状データをもとにスパン毎に判定される。したがって、数スパンにわたるひび割れ等の比較的大きな変状の影響評価が現状では困難である。

また、変状データを入力する部位は側壁、アーチ、クラウンであり、それらをまたぐひび割れ等の影響も考慮されていない。

坑門

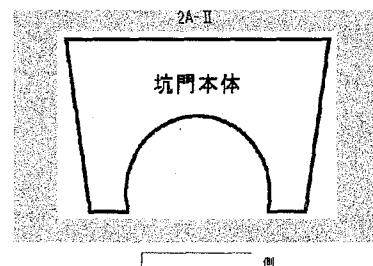


図-11 坑門劣化程度判定結果

6. まとめ

覆工コンクリートの壁面画像データを取得したことにより、ひび割れ等の位置が正確に図化できたことはもとより、次回点検時の画像データを重ね合わせる事が可能であり、変状状況の経時変化が容易に判断可能であることが明らかになった。新設トンネル建設完了時の壁面画像を初期データとして撮影し、点検ごとのデータを蓄積することで、効率的な維持管理が実現すると考えている。

劣化診断ツールについては、変状データをより詳細に入力すれば、より高精度な変状原因の推定が可能になることが分かった。また、変状入力単位が覆工打設スパン毎であり、スパンをまたいで生じている縦断方向クラック等の評価が現状では困難であり課題の一つである。今後はさらに、実トンネルにおける適用事例を増やし、ツールの改良を図る必要があると考えている。

参考文献

- 1) 清水隆史, 松山公年, 金田尚志, 魚本健人: コンクリート構造物の劣化診断ソフトの開発, コンクリート工学テクニカルレポート Vol.43, No.2, 2005.