

レーザ画像法による覆エコンクリートおよび路盤の現況把握

Measurement of the state of tunnel lining and floor by Full-Rotating Laser Scanning Method

杉浦 高広¹・中野 修²・杉山 邦彦³・小泉 和広⁴・杉田 信隆⁴

Takahiro SUGIURA¹, Osamu NAKANO², Kunihiro SUGIYAMA³, Kazuhiro KOIZUMI⁴ and Nobutaka SUGITA⁴

Laser imaging method has been applied to draw up the crack development instead of man-made tunnel inspection. However, with the existing state, laser imaging method is applied only for the observation of tunnel lining surface, or applied limitedly for above the level of the spring line. We have pay attention to the full-rotating laser scanning method which has an ability to measure the state such as cracks, temperature distributions, of the whole tunnel lining surface included floors and tunnel cross sections, and studied an application for the road tunnel.

The effectiveness of this method to the tunnel inspection and management, has been confirmed through the above mentioned results. Furthermore, this method is able to apply water tunnel and shed.

Key Words : tunnel inspection, laser scan, visual image, profiling image, thermal image

1. 諸言

近年、トンネル点検等では、目視や打音調査などの人力による従来手法に対して機械化・自動化が進み、見落としや個人差を回避するとともに、データベースとして活用可能な手法が実用化されてきている。筆者らは、全周スキヤニングのレーザ画像法を道路トンネルに適用し、トンネル壁面観察のみならず、内空断面測定・壁面温度測定を行い、トンネル点検・概査等に有効な手法であることを見出した。

本報告では、上記システムを用いた適用事例を通じて、従来手法との比較・検討を行い、その有効性について検討した結果を報告するものである。

2. システム概要

(1) システム構成

本システムは、図-1に示すように、スキャンヘッド部とコントロール部から構成され、それぞれ計測ケーブルで接続されている。このほか、電源装置と距離計を組み合わせ、ワンボックスカー等に搭載する(図-2, 3)。

-
- 1) (株)ダイヤコンサルタント 北海道支社
 - 2) (株)ダイヤコンサルタント 本社
 - 3) (株)ダイヤコンサルタント 中部支社
 - 4) (株)ダイヤコンサルタント ジオエンジニアリング事業部

スキャンヘッド部は、360° に高速回転する鏡を介して半導体レーザ光を外周の対象物に照射し、その反射光の強弱および往復時間を光センサで読み取る部分である。このため、トンネル天端～肩部～側壁部および路盤と、全周の可視画像を取得することが可能となっている。

コントロール部は、光センサで得た反射光の強弱を 256 階調のデジタル画像として取り込み、展開画像として高速記録媒体に蓄積し、これらのデータを制御するものである。

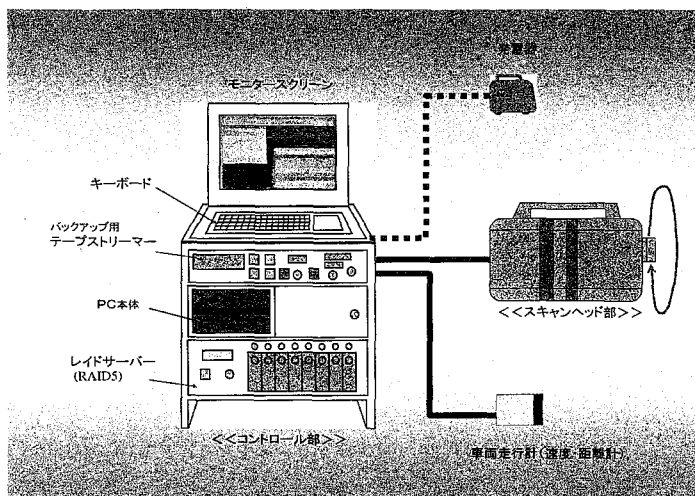


図-1 トンネルスキャンシステム全体構成図



図-2 スキャンヘッドと車載状況

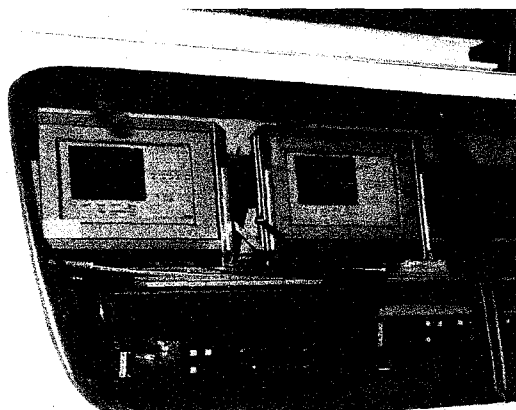


図-3 車内のコントロールユニット

(2) 主な仕様

本システムの主な仕様を表-1 にまとめて示す。本システムには機能別に、次の3種類がある。

i) ビジュアルスキャナ

最小幅 0.3mm のひび割れを認識できる高精度画像を捉える。

ii) プロファイリングスキャナ

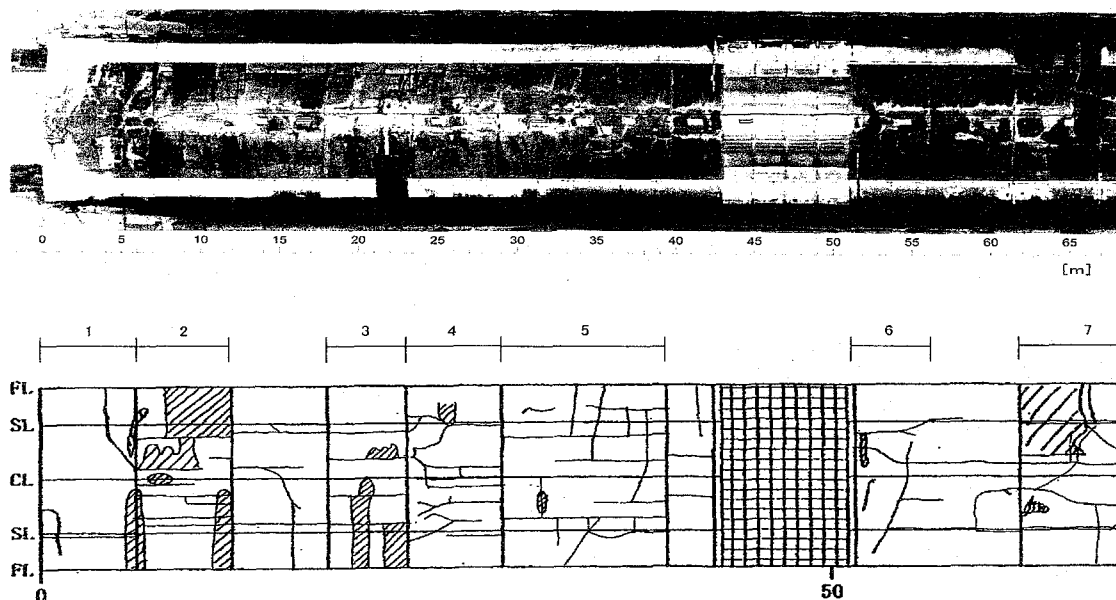
反射時間から断面形状の測定を行う (同時に可視画像も取得する)。

iii) サーマルスキャナ

赤外線カメラも搭載し壁面温度を計測する (同時に可視画像も取得する)。

表-1 トンネルスキャンシステムの主な仕様

使用レーザ	ダイオードレーザ 波長 639nm, 出力 10mW
赤外線 (サーマルスキャナのための機能)	8~12μm, 測定範囲 -10℃~60℃, 分解能 0.1℃
スキャンヘッド回転速度	最大 180Hz, 360 度回転
測定走行速度	1~4 km/h (断面寸法及びスキャナの種類による)
適用可能断面寸法(直径)	1.5m~20m 程度



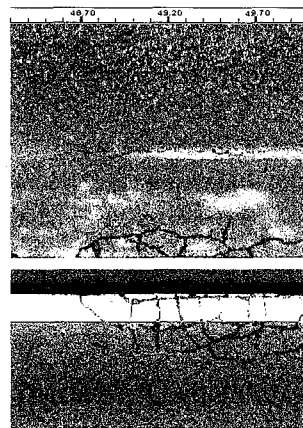
図－４ 亀裂展開図の比較（上がスキャナ画像，下が従来のスケッチ）

3. 従来の手法との比較

（１）亀裂展開図（壁面画像）の作成

従来、亀裂展開図はスケッチにより作成される。ビジュアルスキャナで得られた画像と比較すると、幅 1mm 未満の微細なクラックは見落とされ、壁面の湧水や汚れなども実情に合わないことがわかる（図－４）。近接目視の場合であれば、0.2mm 程度のクラックまでも抽出可能だが、正確な位置をスケッチに再現するには十分な熟練を要する。また速度も 100m/日（ $\approx 0.004\text{km/時}$ ）で、本システムの速度の $1/1000 \sim 1/500$ で時間もかかる。

本システムでは路盤状況も把握が可能である。図－４（上図）は、センターライン位置で展開した図を示しており、路盤状況は左車線と右車線が別々に図の上端、下端に表示されている。これらを合わせ、拡大すると図－５に示すとおりで、亀裂が明瞭に捉えられ、路盤の変状も把握可能である。



図－５ 路盤状況の拡大画像

（２）内空断面測定

プロファイリングスキャナでは、亀裂展開図のほかに、任意位置での内空断面形状が得られる。図－６に示すように、画像上で任意位置（矢印①）を指定すれば、図中②のような断面が得られ、予め建築限界を入力することで両者のクリアランスがわかる。内空形状は DXF ファイルにて CAD 化が可能で、設計断面と比較すれば、変状の状況も把握が可能となる。なお、図中②ではケーブル配線も確認できる。

図中③の拡大図を図－６に示すが、左肩部で建築限界を犯す箇所では、車両の接触跡がある。この箇所には、面導水断熱パネルが設置されており、表面に防護鋼板が貼り付けられているが、損傷を受けていることがわかる。現状では肩部のパネルを外すようにしているが、本システムで取得した断面図を基に盤下げ等の予備検討が行われている。

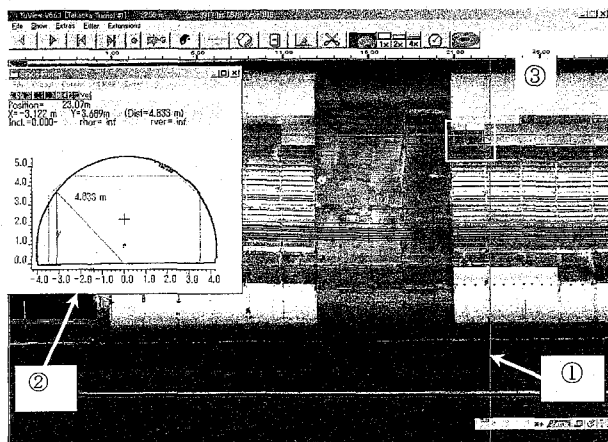


図-6 任意内空断面の抽出と建築限界との比較

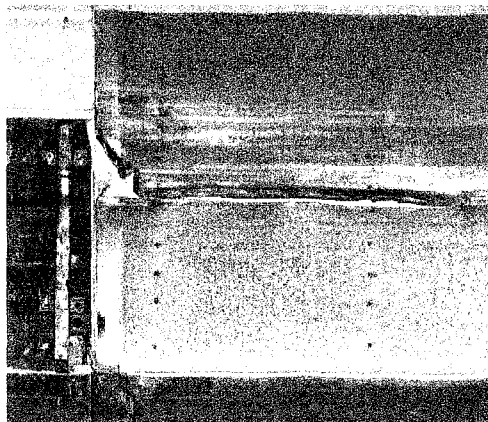


図-7 左肩部の車両接触跡
(図-6③の拡大図)

通常、トンネルの断面測定には、レーザ測距式内空断面測定装置が用いられる。レーザはダイオードレーザで 670nm 程度の可視光が用いられ、距離精度は $\pm 5\text{mm}$ 程度である。一方、プロファイリングスキャナは移動式で路盤状況がよければ $\pm 5\sim 15\text{mm}$ の精度である。前者は固定式である分だけやや高精度といえる。ただし、測定は予め設定した位置でしか行えず、1日当たり10断面程度の能率である。仮に1kmの2車線道路トンネルで10mずつの間隔で計測するとすれば、断面数は100断面となり、レーザ測距式内空断面測定装置では約2週間の作業を要する。これに対し、プロファイリングスキャナでは時速4km/時で、片側ずつの計測として半日(実測時間は、 $1/4 \times 2 = 0.5$ 時間)もかからない。さらに、必要に応じ、任意の計測断面を作成できるので、トンネル全線にわたる詳細な情報が得られる。

(3) サーマルスキャナ

赤外線画像が得られるサーマルスキャナでは、図-8に示すように、可視画像では見にくい覆工背面の滞水状況が低温部として捉えられる(図中①)。画面上では2つの画像が同期しているので、見た目の状況と比較しながら漏水や滞水状況などを把握することができた。温度条件が整えば、背面空洞や剥離箇所等を認識できそうである。

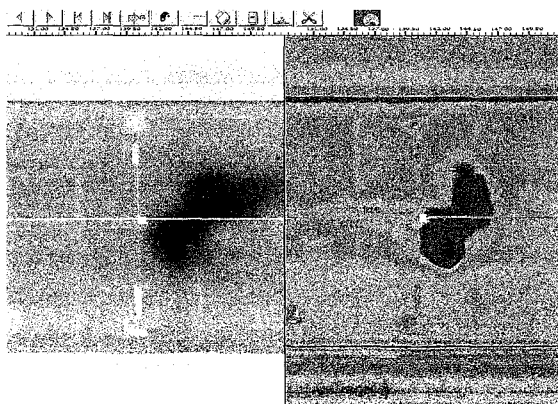


図-8 覆工背面の滞水状況
(左側は可視画像、右側は赤外画像)

4. 結言

現在実施されている全国一斉トンネル点検では、従来の目視と打音を主とした手法が用いられてる。写真やスケッチ、コメントなどの結果は、電子データとして処理されデータベース化が図られている。

本手法のようなトンネル点検・調査に関する新技術を活用すれば、さらに精度の良い維持管理情報が得られる。そしてこれら膨大な情報を全てデジタルデータとして管理すれば、道路や鉄道などの交通施設やその他の施設の維持・管理に大いに役立つものと考えられる。