

トンネル維持管理のための車載撮影装置の開発

Development of Mobile Imaging System for Tunnel Maintenance

塩崎 正人 MASANDO SHIOZAKI

千葉 史隆 FUMITAKA CHIBA

三上 博 HIROSHI MIKAMI

老朽化したトンネルの維持管理が問題となっている。従来はトンネルを通行止めにして高所作業車等を用いる「近接目視点検」が一般的であったが、近年ではデジタル画像機器の発達から、専用車両で高速走行しながら撮影・計測を行う「走行型計測」も実用化されている。一方で、計測費用が高額となる場合もあり、地方自治体において継続的な運用を難しくしている。筆者らは全ての道路管理者が運用出来る「走行型計測」を目指し、低コストの車載撮影装置を製作した。

キーワード：トンネル，維持管理，車載撮影システム，デジタルビデオカメラ，ひび割れ

Maintenance of aging tunnels has become a problem. High elevation work vehicles have been generally used to examine the deterioration of tunnels by stopping the traffic temporarily. In the recent development of digital imaging devices, "mobile mapping systems" have been applied to practical use, which can photograph and measure tunnels by high speed moving special vehicles. But in some cases, the cost using such special vehicle becomes high, so it is difficult to use repeatedly in the local government's works. The authors have developed a low cost mobile imaging system which is aiming at applicable to all of the road administrator's works widely.

Key Words: Tunnel, Maintenance, Mobile Imaging System, Digital Video Camera, Crack

1. はじめに

既設トンネルでは、道路管理者による日常的な点検として徒歩やパトロールカーでの遠望目視点検が実施されている。遠望目視点検によって発見された変状箇所については、高所作業車等を用いての近接目視や打音検査といった詳細調査が実施される。平成26年6月に策定された『道路トンネル点検要領』では、基本的に定期点検を5年に1度実施する¹⁾と具体的な点検サイクルが記載されたことから、効率的な維持管理に向けた技術開発が喫緊の課題となっている。また、紙ベースの点検調書からデジタルデータによる管理への移行も求められており、自動車にデジタルビデオカメラやレーザー計測機器を搭載し、高速走行しながら計測が可能な「走行型計測システム」の導入も始まっている。

「走行型計測システム」の利点として、①道路占用が不要であること、②撮影・計測したデジタルデータを記録できることが挙げられる。しかし、高速走行が可能かつ高精度な計測が可能な専用車両を使用することから、計測費用が高額となる場合がある（写真-1）。このため、



写真-1 走行型計測システム【MIMM】²⁾

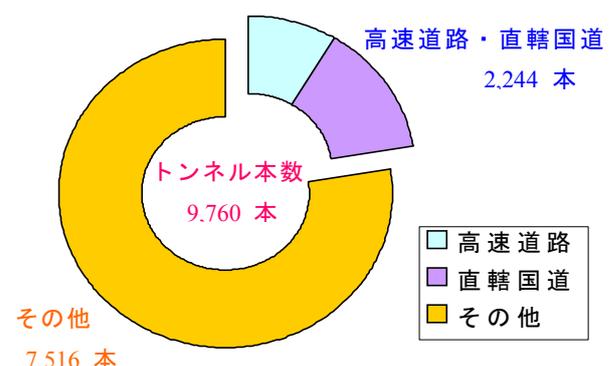


図-1 トンネル本数と管理者の関係

高速道路会社や国土交通省直轄国道など限られたトンネルでの運用にとどまっている。

『道路統計年報2013』³⁾によると、国内のトンネル本数は9,760本であり、高速道路・直轄国道が管理するトンネルが2,244本(23%)、地方自治体等が管理するトンネル7,516本(77%)となっている(図-1)。しかし、全体の77%のトンネルを管理する地方自治体では、「走行型計測システム」を導入する予算が確保できない自治体が多く、従来からの点検方法を継続しているため、維持管理の効率化は進んでいない。

そこで「走行型計測システム」の幅広い普及を図るため、筆者らは全ての道路管理者が運用を可能とするため、安価な撮影装置の開発した。

2. 車載撮影装置の開発

(1) 車載装置の仕様

全ての道路管理者が、点検等で継続的に運用できることを前提とした安価な撮影装置を開発するため、装置仕様は以下のように決定した。

- ① 専用車両を必要とせず自動車屋根上に搭載する。
- ② 分解可搬型で脱着可能とする。
- ③ 0.2 mm以上のひび割れを抽出可能とする。
- ④ 発電機を使用せずバッテリーで駆動する。
- ⑤ 運用は一般道に限り低速での撮影とする。

地方自治体では、道路維持管理に使用しているパトロールカー(写真-2)があるため、この屋根上に搭載する方法が可能であると考えた。また、一般道の点検が主となるため、低速走行を前提とした。

ひび割れの抽出精度は、日常点検に加えて定期点検での適用を考慮し0.2 mmとした。

一般的にトンネル内の撮影には投光器が必要である。この場合、光量を増やした方が撮影は容易となるが、電力消費も大きくなるため発電機等が必要となる。加えて、照明台数が増加することはコスト増加にも繋がる。筆者

らは、低電力・低コスト化を図るためバッテリー駆動が可能な高輝度LED投光器を用いることとした。

また、撮影に使用するビデオカメラには入手が容易な民生品を使用することでコスト低減を図った。

(2) 撮影機器

ビデオカメラは入手が容易な民生品(SONY製HDR-CX630V)とした。計測対象を一般道としている。片側一車線のトンネルでは撮影距離が3.5-4.0 mとなる。この撮影距離から0.2 mmひび割れを抽出する場合、ビデオカメラの分解能は0.143 mm(サブピクセル化)であった。その結果、トンネル半周を撮影するためには18台必要となった(図-2)。18台のビデオカメラを購入した場合1,500千円弱の費用が必要である。このコストを減らすため、ビデオカメラ装着部にスライド機構を採用することとし、6台のビデオカメラで1回計測し、それを3回繰り返すこととした。

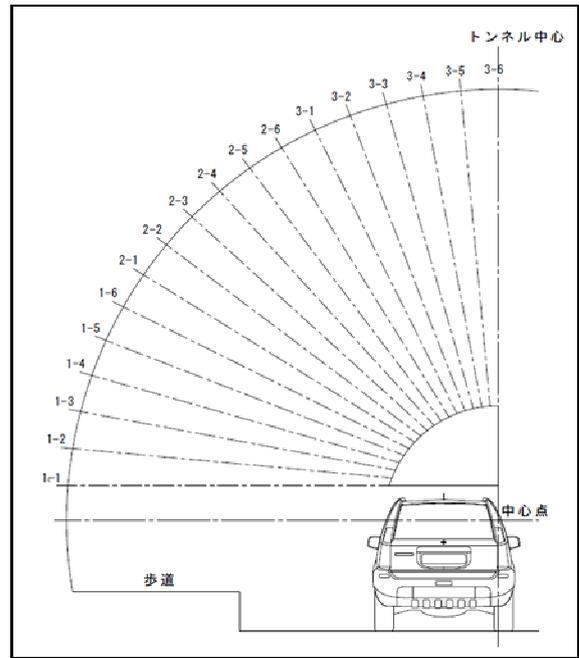


図-2 ビデオカメラの配置



写真-2 道路維持パトロールカー⁴⁾

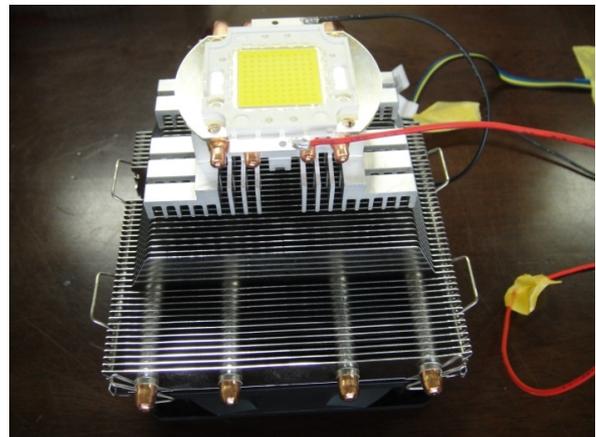


写真-3 LEDユニット

(3) 高輝度 LED 照明

a) LED 開発

また、筆者らが過去に実施した実験⁵⁾から、撮影時に 600 lx の光量が必要であるが、バッテリー駆動が可能な市販の LED 投光器では光量不足であったため、LED 投光器を開発した。

LED は様々な電圧に対応しているが、用途に応じて選択することが可能である。今回は、必要照度・照射時間および電源となるバッテリー入手の容易さを考慮して、DC24 V の LED ユニットを使用した(写真-3)。バッテリーは自動車用バッテリーを 2 台直列配置で使用する。

LED は発熱量が少ない照明であるが、LED 本体は熱に弱いため、高輝度のものは放熱対策が施されている。投光器として使用する場合、熱が庫内に籠もることから、パソコンで使用する放熱ファンを併せて設置し、冷却機能を向上させている。

b) 照明台数と配置

照明台数と配置に関しては、必要な光量および斑を抑

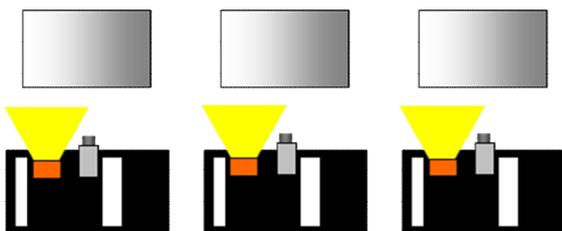


図-3 照射位置による走行時の画像濃淡

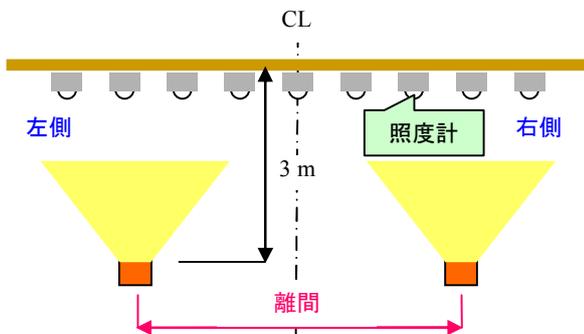


図-4 実験模式図

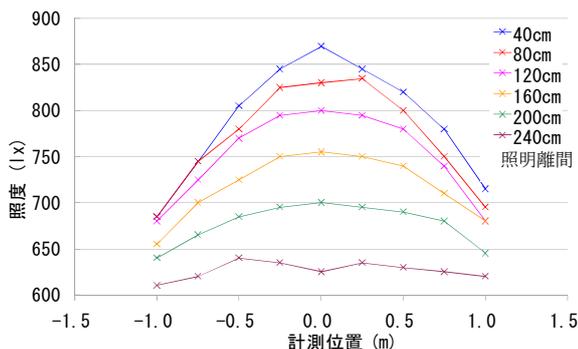


図-5 照明離間と照度の関係

えた均一な照射を行う目的で実験を行った。

光量の斑は、撮影した画像に濃淡を発生させるため、画像の結合精度に影響する。図-3に示した例では、走行撮影した画像の左右に濃淡が発生している。これらを結合した場合、画像端部の濃淡による影響で、結合精度が低下する可能性が高い。このため、濃淡を低減するには、なるべく均一に照明を当てる必要がある。

実験は、壁から 3 m の距離に配置した 2 台の投光器を、左右に移動させて離間を変えながら照度計で測定した。

(図-4)。図-5に示すように、離間が小さい場合、中央と端部に大きな照度差が発生する。一方、離間が大きい場合、照度差は小さいが、照射した範囲全体の照度も低下する。このため、必要光量と照度差を考慮して、離間は 2 m とし、車載撮影装置には 3 台の投光器を配置することとした。

c) フレネルレンズ

さらに、この投光器を効率よく照射するため、照射面前面にフレネルレンズを装着した(写真-4)。フレネルレンズは、一方向に集光することができるレンズである。カメラの撮影画角に合わせた照射幅を設定することで、少ない投光器で効率よく照射することが可能となる。

このフレネルレンズの効果について実験を行った結果、フレネルレンズを装着しない場合と比較して 1.6 倍となった(図-6)。



写真-4 フレネルレンズ

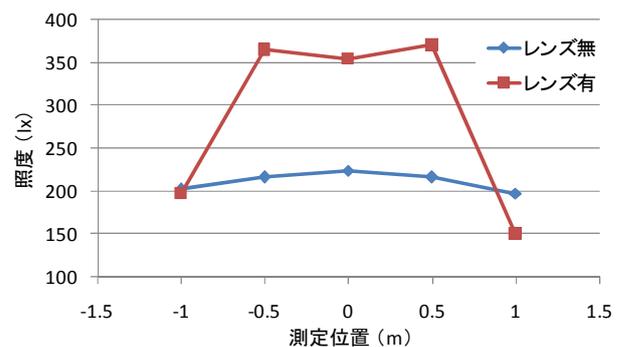


図-6 フレネルレンズの有無による照度比較

(4) 車載装置の製作

カメラ・照明の台数を決定した後、車載撮影装置の製作を行った。撮影装置はスライド部、円弧部およびベース部に3分割が可能であり、各パーツに取っ手を付けて持ち運びを容易にしている。スライド部はウィンチで円弧部を可動する機構とし、撮影装置背面側に手動のウィンチを装着した。ハンドル位置が地上より1.5m程度にあるため、地上からスライド装置の昇降作業が可能である(写真-5)。

ここで、問題となったのがデジタルカメラの固定方法である。民生用デジタルカメラは三脚での固定を想定しており1点での固定である。この場合、走行中の振動によるぐらつきが発生する可能性が高いため、設置角度に合わせてビデオカメラの台座がはまるようにスライド部を切削し溝を設けた(写真-6)。これによりぐらつきを防止し、カメラを固定することが可能となった。

3. まとめ

今回開発を行った車載撮影装置により、専用車両を必要としない低コストの「走行型計測システム」の運用に可能性を見出した。しかし、以下のような課題もあり今



写真-5 スライド式車載撮影装置



写真-6 ビデオカメラ固定用の溝

後の対応が必要である。

① スライド機構により装置全体の装置重量が増加する。

② 民生用ビデオカメラは販売サイクルが短く、継続的な製品調達が難しい。

③ 民生用ビデオカメラは遠隔操作・制御が困難。

専用車両を必要としない「走行型計測システム」では、道路管理者が所有する車両での「走行型計測」が可能となるため、管理者を選ばない運用により、効率的な維持管理に寄与できるものと考えている。

今後は、装置の軽量化を図ることに加え、長期運用を見据えた撮影機器の選定が必要である。あわせて、日常点検についても効率化するため、計測機器を簡素化した車載撮影装置の開発を進める計画である。また、地方自治体での運用を考えた場合、既存の「走行型計測システム」での計測費に対して70%程度のコストダウンを図ることが必要であり、これを目標とした車載撮影装置の開発を進める計画である。

謝辞: 車載撮影装置製作にあたりご協力頂きました双葉電機製作所株式会社の磯崎泰宏様、吉村忠雄様および飛田正人様に感謝の意を表します。

本研究は、平成25年度独立行政法人科学技術振興機構研究成果展開事業 A-STEP フィージビリティスタディシリーズ顕在化タイプ【AS2511142H】における成果の一部です。ここに関係各位への感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局国道防災課：道路トンネル定期点検要領, p.8, 2014.6
- 2) パシフィックコンサルタンツ株式会社：MIMM, <<http://www.pacific.co.jp/service/summary/cate05/mimm.pdf>>
- 3) 国土交通省：道路統計年報2013, 表 74 トンネル現況総括表, <http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/tokei-nen/2013/pdf/t_genkyou74.pdf>
- 4) 豊明市：土木課ホームページ, 道路維持パトロールカー, <<http://www.city.toyoake.lg.jp/doboku/>>
- 5) 塩崎正人, 掛橋孝夫, 加藤健一, 菊地典明, 河村圭：デジタルビデオカメラを用いた車載型計測に関する基礎実験, 第67回土木学会年次学術講演会, CS8-019, DVD-ROM, 2012.9