

小型の画像撮影装置による 狭隘なトンネルの点検効率化

重岡 匠¹・斉藤 仁²・藤原 孝明³・土井 孝一⁴・中川 光貴⁵・作中 隆之⁶

¹正会員 東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所
土木・建築エンジニアリングセンター 都市土木技術グループ
(〒100-8560 東京都千代田区内幸町1-1-3)
E-mail: shigeoka.takumi@tepcoco.jp

²正会員 東京電力ホールディングス株式会社 経営技術戦略研究所
土木・建築エンジニアリングセンター 都市土木技術グループ
(〒100-8560 東京都千代田区内幸町1-1-3)
E-mail: saito.jin@tepcoco.jp

³株式会社東設土木コンサルタント 基盤情報部 情報・診断技術グループ
(〒113-0033 東京都文京区本郷1-28-10)
E-mail: fujiwara@tousetu.co.jp

⁴株式会社東設土木コンサルタント 基盤情報部 情報・診断技術グループ
(〒113-0033 東京都文京区本郷1-28-10)
E-mail: doi@tousetu.co.jp

⁵株式会社東設土木コンサルタント 事業推進部 (〒113-0033 東京都文京区本郷1-28-10)
E-mail: nakagawa@tousetu.co.jp

⁶株式会社東設土木コンサルタント 事業推進部 (〒113-0033 東京都文京区本郷1-28-10)
E-mail: sakunaka@tousetu.co.jp

本研究は送電用トンネルの点検効率化を目的に、狭隘部でも撮影可能な画像撮影装置を開発したものである。送電用トンネルの特徴として、トンネル壁面にケーブルが敷設されており、ケーブル裏に隠れた壁面の点検が困難となる点が挙げられる。そこでケーブル裏のような狭隘部でも撮影が可能な小型の画像撮影装置を開発した。開発の概要と画像撮影装置を送電用トンネルで運用した場合の点検効率と点検精度について検討した結果を示す。

Key Words : structural check, camera device, deterioration, crack, narrowness

1. はじめに

都市中心部や人口密集地、商業地区など過密化した地域に高圧の電気を送る場合、空間の制約から架空送電線や送電鉄塔が設置できないため、トンネルにより電気が送られている。

東京電力パワーグリッド株式会社では、首都圏の電力需要に対応し、長年にわたり送電用トンネルを構築しており、その延長は2018年現在、約420kmに達している。

図-1に経年ごとの設備量を示す。経年30年を超えた送電用トンネルが50%を超えており、15年後には経年50年を超える設備が約50%になる。高経年の送電用トンネルの増加に伴い、適切な維持管理を実施し、設備の健全性

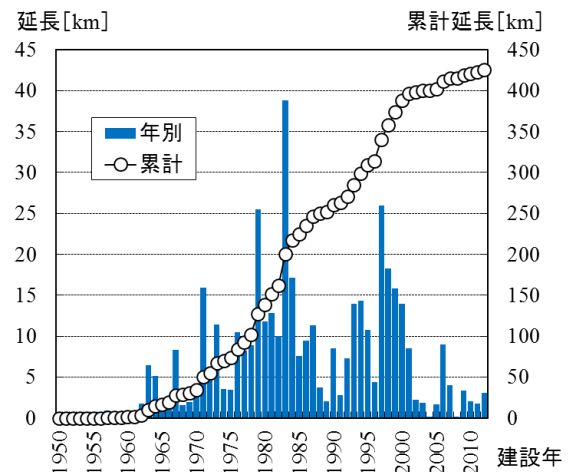


図-1 年代別送電用トンネル建設延長

を保つことが重要な課題となっている。

一方、労働人口の減少に伴い、設備の点検に携わる技術者の減少が懸念されており、点検の効率化が強く要求されている。本研究では点検効率化を目的として、画像撮影による目視点検の代替方法を検討した。

2. 送電用トンネルの特徴と点検における課題

トンネルの点検は、一般的に目視により実施している。主な作業は現場に技術者が出向し、トンネル壁面を近接目視する。変状を見つけた場合はチョーキングし、スケッチ図に描き留める。記録の保存のため、手描きしたスケッチ図をCAD図などに描き写す作業が別途必要となり、大きな労力が必要である。

道路や鉄道などの大断面のトンネルでは、車両や大型の装置を利用した点検効率化が進められており、例えばレーザー計測機や画像撮影装置を搭載した車両を走行させ、トンネル壁面の変状を記録する手法などが開発されつつあり²⁾、今後は無人による変状把握が中心的な技術になると考えられる。しかしながら、送電用トンネルなどでは、写真-1、図-2に示すように壁面付近にケーブルが敷設されており、ケーブル裏に隠れた壁面の撮影は難しい。この問題に対応するため、本研究ではケーブル裏のような狭隙部でも撮影が可能な小型の画像撮影装置を開発した。

3. 狭隙部でも撮影可能な画像撮影装置の開発

(1) 画像撮影装置のコンセプト

a) 画像撮影装置の形状

図-3に示すように、画像撮影装置は送電用トンネルに敷設されているケーブルの間に挿入し、ケーブルの隙間からトンネル壁面を撮影できる形状とした。

b) 撮影方法

撮影は装置を盛変えながら撮影範囲を移動させて行う。各撮影範囲は別々の画像として保存されるため、それぞれの画像を合成して1枚の画像を取得できるようにすることとした。

c) 撮影精度の目標

撮影した画像のみから点検を実施するため、画像から微細な変状を把握できる画質が必要である。目標として従来の目視点検でも検出対象としている0.1mm幅のひび割れを検出できることとした。

(2) 画像撮影装置の仕様

上記のコンセプトを実現するために、写真-2に示すよ



写真-1 送電用トンネルの状況

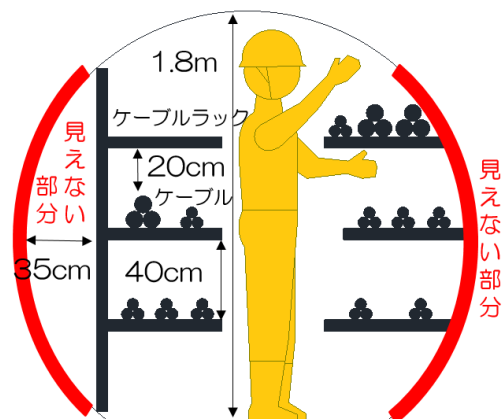


図-2 送電用トンネルの断面

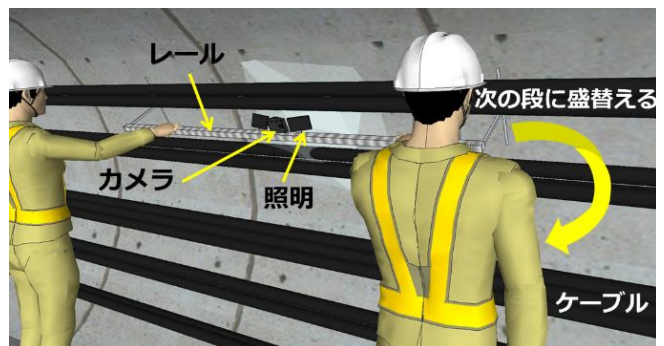


図-3 画像撮影装置の使い方

うに、カメラ、照明、レール、および脚にて構成する画像撮影装置を開発した。まず、撮影した画像を効率的に合成するには、それぞれの画像を壁面に対して同一の距離と角度で撮影することが要求される。そのため、台車にカメラと照明を乗せ、台車がレールを走行しながら対象物を撮影する装置を開発した。装置の使い方は、図-3に示すように、画像撮影装置を手持ちでケーブルの隙間に挿入して撮影を実施する。また、図-4に示すように、画像撮影装置は壁面に押し付けることにより固定できる。撮影範囲を移動する際は、画像撮影装置を壁面から離し、装置を次の範囲に移動させて盛り替えを行う。

それぞれの構成部品は市販品であり、市販品を組み合

わせて作成しているため、安価に作成できる。それぞれの特徴について説明する。

a) カメラ

表-1にカメラの仕様を示す。小型で手の平に乗るサイズであるが、高画質のカメラを採用した。また、最短撮影距離が20cmであり、短い距離からの接写が可能である。視野角は90°と広角であるため、接写でも広範囲を撮影できる。さらに、スマートフォンと直接通信可能であり、スマートフォンの画面からリアルタイムで撮影状況画像を確認できる。

b) 照明

表-2に照明の仕様を示す。写真-2に示したように、照明は陰になる部分をなくすために、カメラの両側に取り付けた。小型で手の平に乗るサイズであるが照度が高いものを採用した。検討の結果、照明が強すぎるとハレーションが起こるため、照明の照度や向きを工夫している。

c) レール

レールは非常に剛性が高いものを採用した。台車が走行してもたわみがないため、撮影時のブレを防止できる。また、台車は走行性のよいものを採用した。台車の走行が妨げられることなく、一定速度で撮影することにより、撮影した画像を効率よく合成することができる。

b) 脚

レールには脚が付いており、壁面とレールの距離を一定に保つことができる。一定距離で撮影できるため、画像上の寸法も一定に保つことができる。

また、脚の先端には治具が付いており、図-4に示すように、治具を対象に押し付けることにより、カメラと対象物を正対させることができる。



写真-2 画像撮影装置

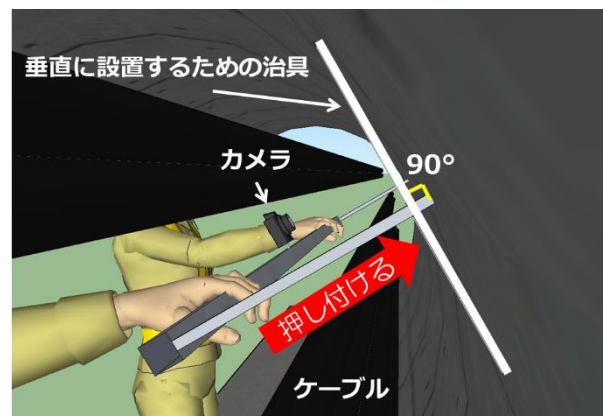


図-4 画像撮影装置の固定方法

表-1 カメラの仕様

項目	仕様
大きさ	6.2×4.6mm
画質	4k
画角	90°
最短撮影距離	20cm
バッテリー	2時間

4. 画像処理

(1) 画像処理の流れ

図-5に画像処理の流れを示す。それぞれの処理について説明する。

a) 動画を静止画へ変換

画像撮影装置により撮影した動画を静止画に分解する。

b) 静止画をスティッチ

動画から分解された静止画に対して、スティッチと呼ばれる、複数の画像を繋ぎ合わせて、一つの画像にする処理を実施する。スティッチは複数の画像から共通の部位を自動で抽出し、その部位を起点として自動で画像を合成している。図-6に示すように、静止画は動画の撮影方向に並べられており、スティッチをする

表-2 照明の仕様

項目	仕様
大きさ	54×85mm
照度	10800 ルクス
バッテリー	2時間

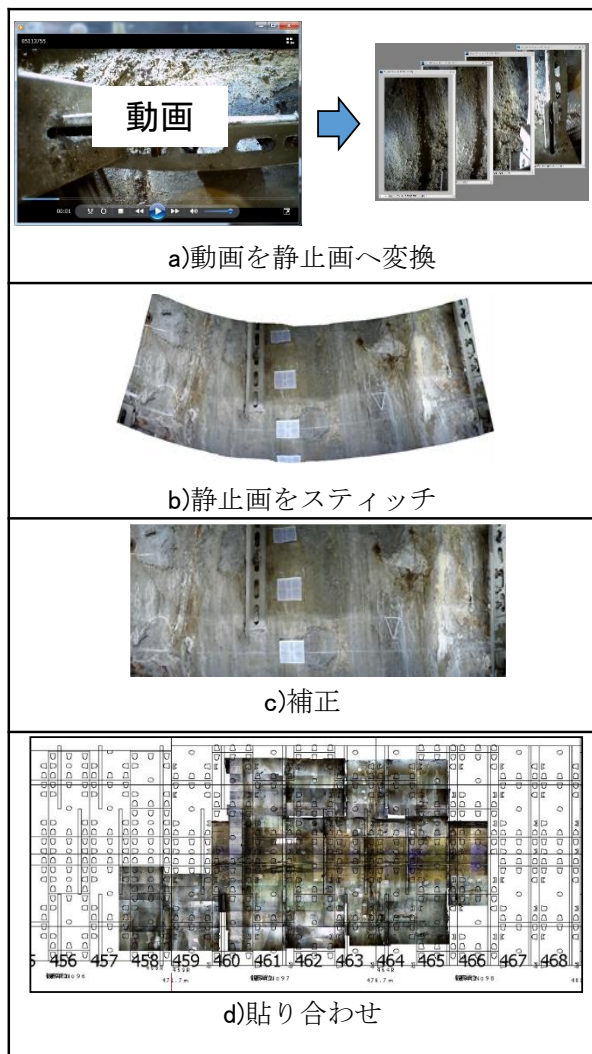


図-5 画像処理の流れ

と帯状の画像が作成される。

c) 補正

スティッチした画像はゆがみがあり、実際の直線部が曲線になる部分があるため、補正を実施する。正対して撮影されていない場合にゆがみが多く発生し、補正処理に時間を要する。検討の結果、トンネル壁面に対する角度が、 10° 以内であれば補正が可能であった。それ以上の角度では補正をしても歪みが補正しきれなかった。本画像撮影装置で撮影した場合は脚に付いた治具により、対象物とカメラを正対させて撮影できるため、補正処理にかかる時間を短くできることを確認した。

d) 貼り合わせ

図-7に示すように、補正後の画像を図面に貼り合わせる。図面に貼り合わせる際は、セグメントの目地や壁面に打ち込まれた金物などの任意の目標物が起点にできる。

(2) 画像合成にかかる時間

上記の処理はそれぞれ専用のプログラムにより自動で処理される。直径2mのトンネルを距離1.5m撮影した画像を合成するのにかかった時間を表-3に示す。処理時間は合計で3時間30分かかっており、画像処理には長い時

表-3 画像処理の時間

処理項目	時間 [分]
a)動画を静止画へ変換	50
b)静止画をスティッチ	130
c)補正	
d)貼り合わせ	30
合計	210

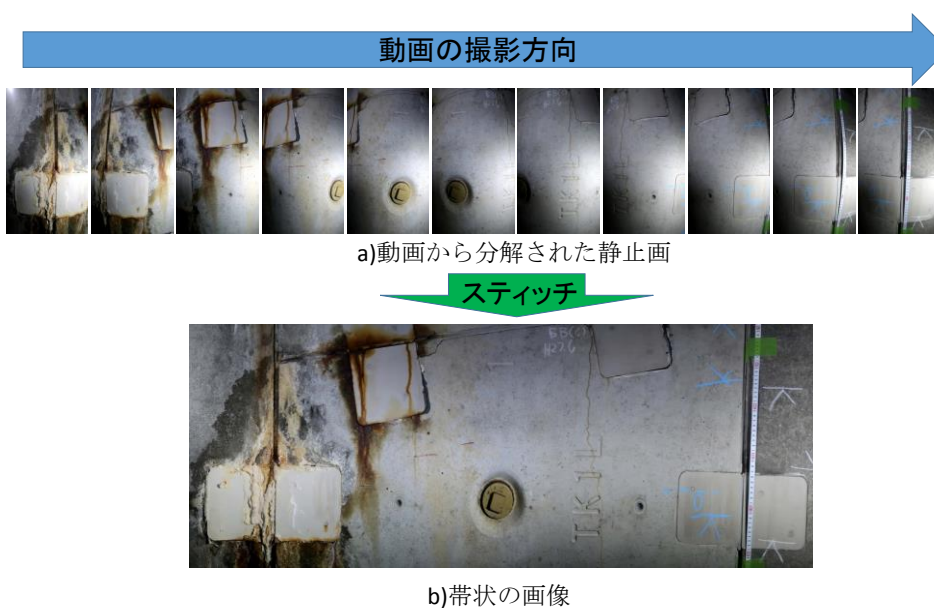


図-6 静止画のスティッチ

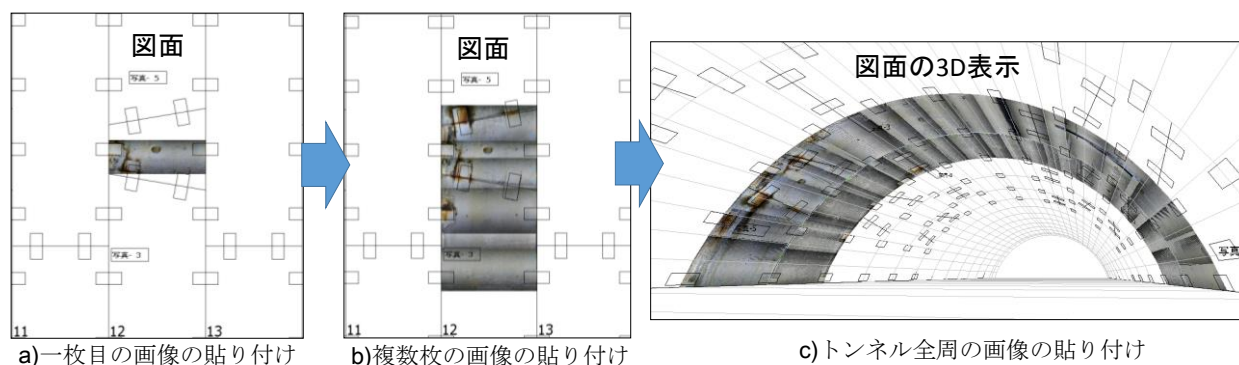


図-7 撮影画像の図面への貼り合わせ

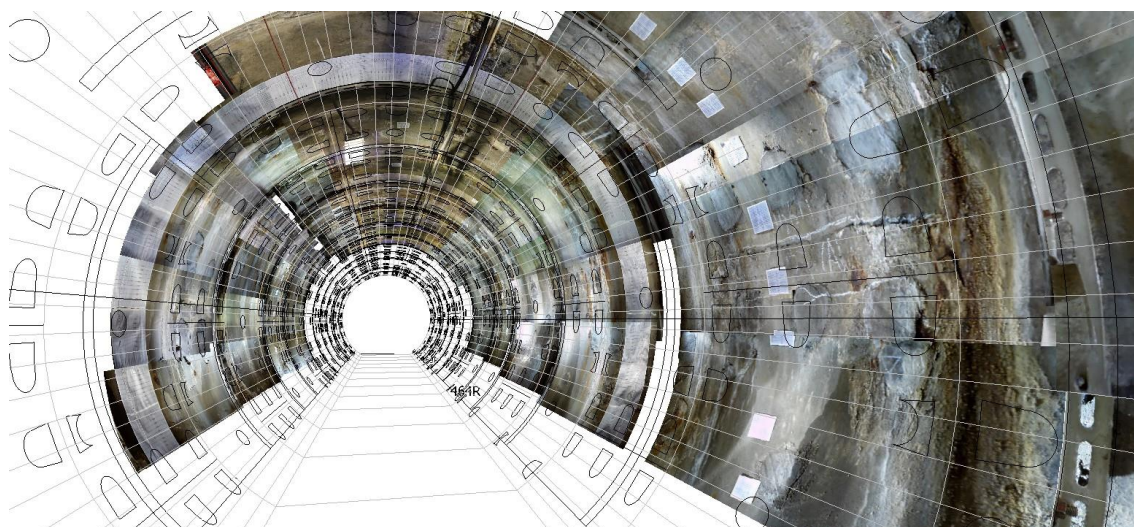


図-8 撮影画像の合成結果

間がかかる。しかし、自動で処理ができるため、大きな労力は必要としない。

を検出できなかった。また、20cmより短い距離では焦点が合わないことが確認できた。

5. 画像撮影の適用結果

(1) 撮影画像の合成結果

図-8に送電用トンネルを画像撮影装置で撮影し、合成した結果を示す。この送電用トンネルは実際には壁面にケーブルが敷設されているが、合成結果の画像はケーブルが映っておらず、壁面を効率的に観察できる。

(2) 画像からのひび割れ検出精度

写真-3に撮影距離毎の0.1mm幅のひび割れの撮影結果を示す。各撮影距離から目標としていた、0.1mm幅のコンクリートひび割れを検出できることを確認した。

さらに、撮影距離毎の撮影精度を確認した。撮影距離が20cmから35cmの場合、0.1mm幅のひび割れを検出することができた。撮影距離が40cm以降ではほぼひび割れ

(3) 画像撮影の効率

直径1.8mの送電用トンネルで、画像撮影装置により撮影を実施した際の効率を示す。撮影は図-9に示すよう、トンネルに敷設されたケーブルの隙間の撮影を完了する毎に盛替えをする。一回の撮影距離は1.5mとする。これは画像撮影装置のレールの長さとも一致する。ケーブルの敷設状況から、全周を撮影するのに10回の盛替えを行う必要があり、距離1.5mの全周の撮影に約4分かかった。1時間あたり換算すると距離22.5mの撮影が行える。従来の目視点検との比較する3倍程度早い結果となった。

6. おわりに

本研究で得られた知見は以下のとおりである。

(a)画像撮影装置を用いることにより、送電用トンネ

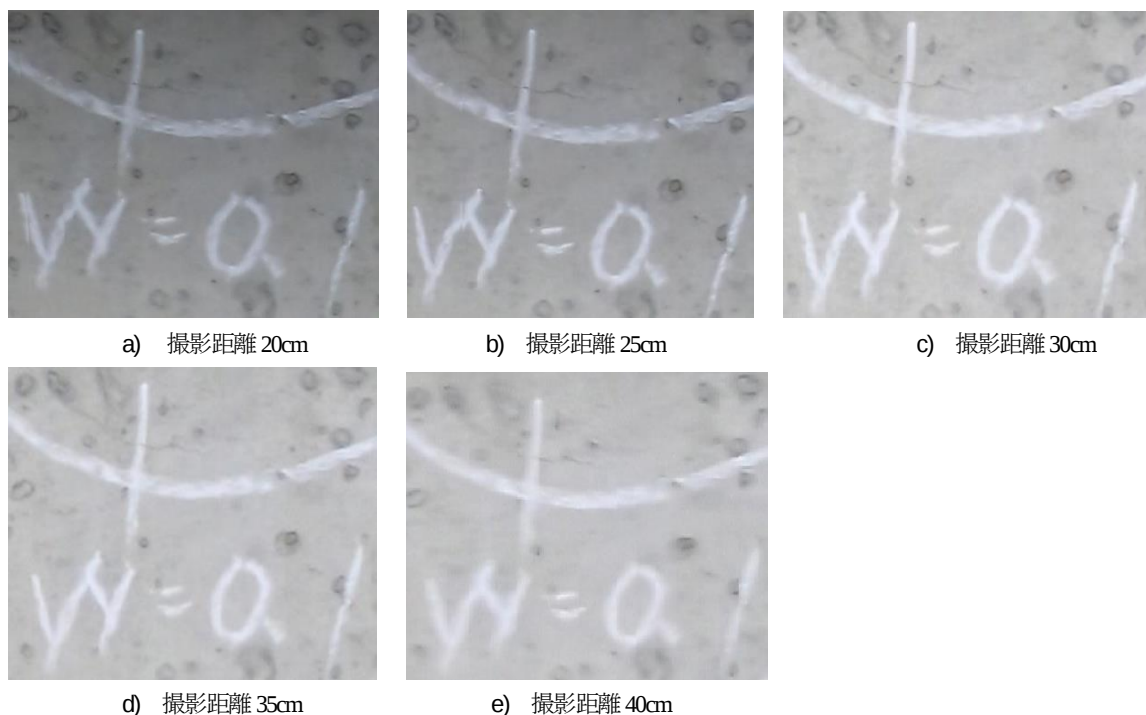


写真-3 撮影距離毎の0.1mm幅のコンクリートひび割れの撮影結果

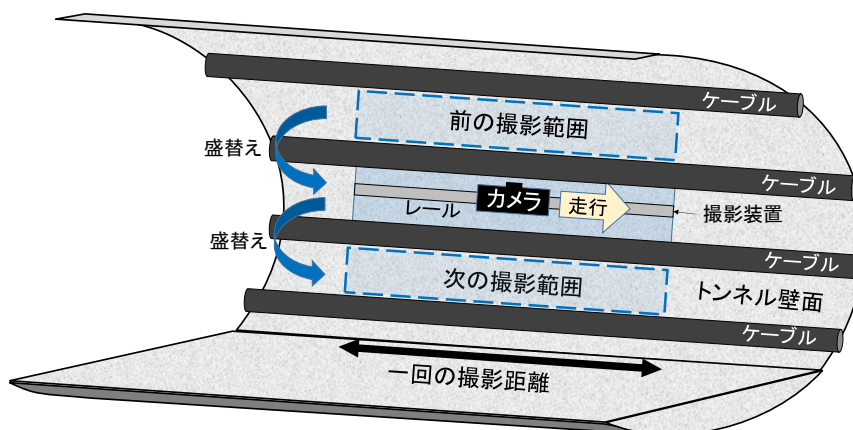


図-9 送電用トンネルの撮影の盛替え状況

ルのケーブルの隙間のような狭隘部を効率的に撮影することができた。撮影は従来の目視点検よりも3倍程度早い結果となった。

(b)撮影した画像は専用のプログラムにより、自動で合成処理し、トンネル全周の画像を取得することができた。合成処理にはある程度時間を要するが、自動で処理が行えるため作業効率が高いといえる。

(c)画像撮影装置による撮影は高画質のカメラで接写するため、高い撮影精度を確認できた。画像からは目標とする0.1mm幅のコンクリートひび割れを検出できた。

本研究では画像撮影装置により、目視点検の代替として、送電用トンネルを効率的に撮影した。しかし、現状では撮影した画像から変状を発見し、CAD図などに描き写す作業を人の手で行わなければならない。今後はAI

による変状の自動抽出や、撮影の自動化による無人点検の開発を進めていく所存である。

参考文献

- 1) 谷口, 徳田, 仲田, 蔭: トンネル覆工のひび割れ自動抽出技術の構築と健全度評価への適用, 第23回地下空間シンポジウム論文・報告集, c2-4 pp.7-18, 2018.1
- 2) 中村, 畠, 高岩: トンネル覆工レーザ・赤外線計測システム, 日本ロボット学会誌, vol.34 No.9, pp.593-594, 20016

(2018.8.10 受付)

SPEEDING UP THE STRUCTURAL CHECK OF A NARROW TUNNEL WITH APPLYING A SMALL CAMERA DEVICE

Takumi SHIGEOKA, Jin SAITO, Takaaki FUJIWARA, Koichi DOI,
Kouki NAKAGAWA, and Takayuki SAKUNAKA

A lot of power cables are generally set on the inner wall of a transmission tunnel. Therefore, it is very difficult to make the structural check of a wall due to the narrowness of this kind of a tunnel. In this paper, we discussed our developing small camera device, with which a sketch of cracks, water leakage and the other deterioration of a transmission tunnel could be drawn. In our applying test, it was clarified that the developed camera device speeded up the structural check in a narrow tunnel. Moreover, the accuracy of structural check with the camera device was very high.