

## トンネル点検支援技術の性能カタログ作成における技術検証

伊藤 良介

現在、トンネル点検作業の効率化・省力化を目的として、民間の開発者等により様々な技術開発が進められている。このような中、国土交通省では、トンネル点検支援技術の性能等を取りまとめた性能カタログの公表に取り組んでいる。性能カタログ作成にあたっては、技術の性能を確認するための技術検証を実施しており、当研究所は新技術の導入促進機関として、技術検証を行った。本稿では、性能カタログについて概要を述べ、技術検証における取り組みについて紹介する。

キーワード：トンネル，点検，点検支援技術，性能カタログ，技術検証

### 1. はじめに

トンネルや橋梁といった道路構造物の点検作業においては、点検作業の効率化等を目的として、新技術の積極的な活用が求められている。国土交通省では、橋梁及びトンネルの点検作業の合理化に資する新技術の検証を行うとともに、新技術選定の際に参考となる点検支援技術の性能カタログ案（以降、性能カタログ）を作成し、公表している。

本稿では、当研究所が新技術の導入促進機関として実施した、トンネル点検支援技術の性能カタログ作成における技術検証について紹介するものである。

### 2. 新技術導入促進機関

国土交通省道路局では、令和元年12月に開催された「道路技術懇談会（座長：久田真東北大学大学院教授）」において、良い技術は活用するとの方針のもと、異業種・他分野技術や新材料など、これまで必ずしも十分でなかった分野も含めて導入を促進していくことを目的とする道路分野における新技術導入促進方針（案）が示された。また、令和2年4月に開催された道路技術懇談会において、道路局より令和2年度新技術導入促進計画（案）が提示され、有識者等による議論を経て、「道路分野における新技術導入促進方針」ならびに「令和2年度新技術導入促進計画」が公表された。新技術導入促進計画には、導入促進の対象となる技術分野と導入促進機関の関係が示されている。ここでいう導入促進機関とは、国土交通省と連携して

新技術の活用に必要な技術基準類の検討や技術の実証を行うための第三者機関等を指し、公募・選定の手続きを経て、本取り組みの対象となるトンネル分野では、当協会が指定されている。

### 3. 性能カタログ

#### (1) 性能カタログの概要

性能カタログは、性能カタログ内で定められた標準項目に対する性能値をカタログ形式で取りまとめたものである。定期点検業務の受注者は、新技術の活用を検討するにあたって、性能カタログを利用することで、掲載されている技術の現場への適用性や性能等を確認することができる。発注者においても、受注者が選定した新技術利用の協議にあたり、新技術の性能等を確認するための資料として性能カタログを利用することができる。

#### (2) 技術の分類

性能カタログにおける点検支援技術は、計測手法等の特性に応じて、「画像計測技術」、「非破壊検査技術」、「計測・モニタリング技術」、「データ収集・通信技術」に分類される。表1に、各分類の技術の概要を示す。

#### (3) 性能カタログの構成

表2に、性能カタログを構成する標準項目を示す。性能カタログでは、機器等の仕様・能力に対する開発者の保証及びその前提条件（利用条件等）が、類似の目的や原理の機器間で比較可能になることを意図し、

表一 技術の分類  
(国土交通省：点検支援技術性能カタログ(案)第1章<sup>1)</sup>を基に作成)

技術分類	技術の概要
画像計測技術	点検対象構造物(橋梁又はトンネル)の画像を撮影又は計測する技術, 画像を処理し調書作成を支援する技術
非破壊検査技術	点検対象構造物(橋梁又はトンネル)の変状を外部から非破壊検査により計測する技術
計測モニタリング技術	点検対象構造物(橋梁又はトンネル)をセンシング又はモニタリングする技術
データ収集・通信技術	点検対象構造物(橋梁又はトンネル)に設置したセンサ等により計測したデータを収集し, 通信技術によりデータ転送する技術

表二 性能カタログの標準項目  
(国土交通省：点検支援技術性能カタログ(案)  
付録1 点検支援技術性能カタログの標準項目<sup>2)</sup>を基に作成)

技術分類	標準項目
画像計測技術	1. 基本事項 2. 基本諸元 3. 運動性能 4. 計測性能 5. 画像処理・調書作成支援 6. 留意事項(その1)(その2) 7. 図面
非破壊検査技術	1. 基本事項 2. 基本諸元 3. 運動性能 4. 計測性能 5. 留意事項(その1)(その2) 6. 図面
計測モニタリング技術	1. 基本事項 2. 基本諸元 3. 運動性能 4. 計測性能 5. 留意事項(その1)(その2) 6. 図面
データ収集・通信技術	1. 基本事項 2. 基本諸元 3. 留意事項(その1)(その2) 4. 図面

表三 計測性能項目  
(国土交通省：点検支援技術性能カタログ(案)  
付録1 点検支援技術性能カタログの標準項目<sup>2)</sup>を基に作成)

技術分類	検証項目
画像計測技術	撮影速度
	計測精度(ひび割れ)
	長さ計測精度(長さの相対誤差)
	位置精度
	色識別性能
非破壊検査技術	計測速度
	計測精度(劣化, 表面近くの空洞/うき・はく離)
	位置精度
計測・モニタリング技術	計測レンジ
	検出性能
	検出感度
	S/N比
	分解能
	計測精度
	計測速度
位置精度	
	色識別性能

を同じ尺度で比較可能となることを期待して, 標準の検証方法が設定されている。表一三に各分類の計測性能の項目を示す。

国が標準項目や記載方法を指定している。一方で, 性能値他の具体的内容の記載は開発者の責任で行われる。

#### 4. 技術検証

##### (1) 技術検証の概要

技術検証は, 技術開発者がカタログ値として記載する性能値を求めるために実施されるもので, 検証結果は「性能確認シート」に取りまとめられ, カタログとともに公表されている。検証方法については, 各技術

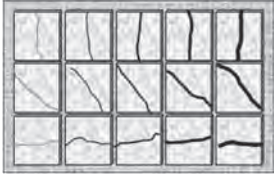
##### (2) 検証方法の立案

各検証項目に対して, 検証方法を立案した。ここでは, 一例として画像計測技術の検証方法を表一四～一六に示す。

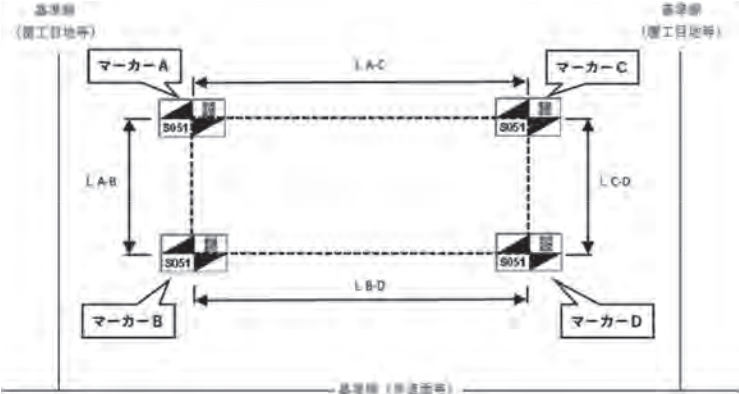
##### (3) 技術検証の実施

設定した検証項目と検証方法により, 各技術の技術検証を実施した。写真一に, 技術検証の状況を示す。表一七は, 技術検証等を経て, 令和2年6月に公表された性能カタログの掲載技術の一覧である。

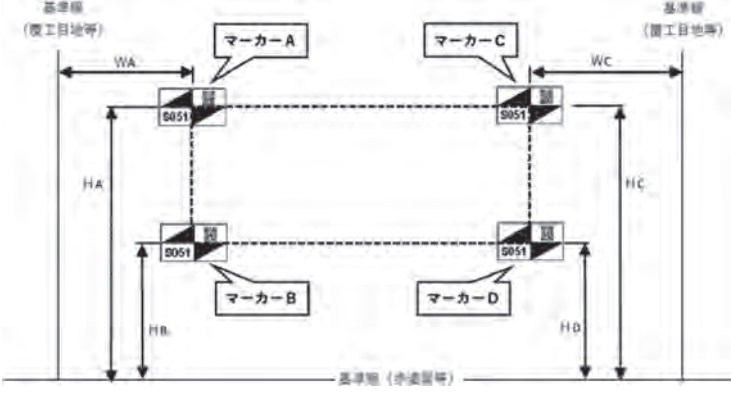
表一 4 画像計測技術 (最小ひび割れ幅・計測精度)  
(国土交通省:新技術利用のガイドライン (案)<sup>3)</sup>を基に作成)

指標の意図	どこまで細いひび割れ幅を画像から確認でき、画像からひび割れ幅を計測した結果の確からしさを評価する。
試験方法	<p>① 幅 0.1 mm ~ 3.0 mm の間で異なるひび割れ幅を模した供試体を作成する。作成する供試体の内容は以下の通りとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(a) ひび割れ幅 0.1 mm ~ 1.0 mm については 0.1 mm 間隔で作成</li> <li>(b) ひび割れ幅 1.0 mm ~ 3.0 mm については 0.5 mm 間隔で作成</li> <li>(c) 各供試体につき「縦」「横」「斜め」の 3 種類をそれぞれ作成</li> <li>(d) 現地でのひび割れ幅が既知の場合、現地でのひび割れを用いても良い</li> </ul> <p>② 最小ひび割れ幅の検証において撮影した画像から各模擬ひび割れ幅の計測結果と真値の誤差 (mm) の二乗平均平方根誤差が「計測精度」である。</p> <p>③ 環境条件として記載する日照条件として、想定している環境照度のパターンごとに、模擬供試体、あるいは、設定したひび割れのパターンを設置して、撮影する。以下は標準的なパターンだが、カタログの環境条件において別の境界値で定める場合は、それに従う。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● ○ klx 未満 (トンネル内の照度)</li> <li>● ○ klx 未満 / ○ klx 以上の混在 (照度差が ○ klx 以上)</li> </ul> <p>④ 撮影画像により検出可能なひび割れを判定する。なお、超解像技術等を適用する場合は、同技術適用後の画像に対して検出したひび割れを求める。得られた結果より、最小ひび割れ幅を求める。</p>
参考図	<div style="text-align: center;">  <p>模擬試験体のイメージ</p> </div>

表一 5 長さ計測精度 (長さの相対誤差)  
(国土交通省:新技術利用のガイドライン (案)<sup>3)</sup>を基に作成)

指標の意図	画像からひび割れ長さなど、複数の画像を合成したうえで計測した長さの確からしさを評価するもの。
試験方法	<p>① トンネル壁面の 4 箇所に、目印となるマーカーを設置する (下図)。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 全線直線のトンネルでは任意の 1 箇所 (目地をまたがっても良い) に設置</li> <li>・ 曲線を有するトンネルでは曲線区間の任意の 1 スパン (複数の曲率を有するトンネルでは曲率ごとに) の両側の壁面に設置</li> </ul> <p>② ロボットにより、走行撮影を行う。</p> <p>③ トンネル展開画像から、4 箇所のマーカー間の縦断・横断方向の距離を求める。</p> <p>④ 上記③で求められたマーカーの間の距離と設置場所の実測値との誤差を算出することによって検証する。</p> <p>※計測結果を手動で図面に合わせて伸縮させることで合成する機構の場合は、検証箇所を合成の起点としないこと。</p>
参考図	<div style="text-align: center;">  <p>マーカー設置イメージ</p> </div>

表一6 位置精度  
(国土交通省：新技術利用のガイドライン (案)<sup>3)</sup> を基に作成)

指標の意図	画像に座標を与えた際の真位置とのズレを評価するもの。
試験方法	<p>① トンネル壁面の4箇所に、目印となるマーカーを設置する (下図)。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・全線直線のトンネルでは任意の1箇所 (目地をまたがっても良い) に設置</li> <li>・曲線を有するトンネルでは曲線区間の任意の1スパン (複数の曲率を有するトンネルでは曲率ごとに) の両側の壁面に設置</li> </ul> <p>② ロボットにより、走行撮影を行う。</p> <p>③ 各マーカーの基準線からの距離 (覆工目地からの水平距離, 路面からの鉛直距離等) を求める。</p> <p>④ 上記③で求められた基準線 (目地・路面) とマーカー間の距離の実測値との誤差を算出することによって検証する。</p> <p>※計測結果を手動で図面に合わせて伸縮させることで合成する機構の場合は、検証箇所を合成の起点としないこと。</p>
参考図	 <p style="text-align: center;">マーカー設置イメージ</p>



写真一1 技術検証の状況  
(国土交通省：点検支援技術性能カタログ (案) 付録2 技術の性能確認シート<sup>4)</sup> より引用)

### 5. おわりに

現在、性能カタログの改定・更新作業が進められている。今後も技術の登録は続けられる予定であり、技術数も徐々に増えていくことになるとと思われる。性能カタログに掲載された技術が、現場条件や目的に応じて適切に採用され、点検作業の効率化・省力化が進められることを期待する。



#### 《参考文献》

- 1) 国土交通省：点検支援技術性能カタログ (案) 第1章 性能カタログの活用にあたって  
令和2年6月 (<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/inspection-support/zenbun.html>)
- 2) 国土交通省：点検支援技術性能カタログ (案) 付録1 点検支援技術性能カタログの標準項目  
令和2年6月 (<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/inspection-support/zenbun.html>)
- 3) 国土交通省：新技術利用のガイドライン (案)  
平成31年2月 (<https://www.mlit.go.jp/road/tech/>)
- 4) 国土交通省：点検支援技術性能カタログ (案) 付録2 技術の性能確認シート  
令和2年6月 (<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/inspection-support/zenbun.html>)
- 5) 国土交通省：点検支援技術性能カタログ (案) の掲載技術一覧  
令和2年6月 (<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/inspection-support/>)



表-7 性能カタログの掲載技術の一覧（トンネル点検支援技術）  
 （国土交通省：点検支援技術性能カタログ（案）の掲載技術一覧<sup>5)</sup>を基に作成）

技術番号	技術名
TN010001-V0020	画像解析を用いたコンクリート構造物のひび割れ定量評価技術
TN010002-V0020	社会インフラ画像診断サービス「ひびみっけ」
TN010003-V0120	走行型高精細画像計測システム（トンネルトレーサー）
TN010004-V0120	道路性状測定車両イーグル（L&L システム）
TN010005-V0020	社会インフラモニタリングシステム（MMSD <sup>®</sup> II）
TN010006-V0120	走行型高速 3D トンネル点検システム MIMM-R（ミーム・アール）/MIMM（ミーム）
TN010007-V0020	一般車両搭載型トンネル点検システム
TN010008-V0120	トンネル覆工表面撮影システム
TN020001-V0020	デジタル打音検査とデジタル目視点検の統合システム
TN020002-V0020	道路性状測定車両イーグル（トンネル形状計測）
TN020003-V0020	レーザー打音検査装置
TN020004-V0020	天秤方式移動型レーダ探査技術
TN020005-V0020	打音検査ユニット
TN020006-V0020	走行型高速 3D トンネル点検システム MIMM-R（ミーム・アール）-レーダ探査技術-
TN030001-V0020	OSV を活用したトンネル附属物の監視技術
TN030002-V0020	3 軸加速度センサを用いた傾斜計による、トンネル内付属物（照明器具・標識等）の傾斜角度変位モニタリングシステム
TN030003-V0020	MIMM-R（ミーム・アール）のレーザースキャナを活用したトンネル内装板背面の覆工変状の監視技術

【筆者紹介】

伊藤 良介（いとう りょうすけ）  
 （一社）日本建設機械施工協会  
 施工技術総合研究所  
 研究第一部

