

地方自治体向けの簡易なトンネル点検手法の研究

工藤 宗治¹、平川 昌寛²、吉武 徳浩³、松井 謙二⁴、福田 善郎⁵、黒木 淳司⁶

著者1 独立行政法人国立高等専門学校機構 大分工業高等専門学校、

著者2&著者3&著者4 九建設計株式会社、

著者5 松本技術コンサルタント株式会社、著者6 株式会社菅組

概要：本研究では、地方自治体向けの遠望目視による低コストな道路トンネルの簡易点検手法を提案し、その判定の有効性と従来法に対するメリットを検証した。その結果、簡易法は従来法と比較して、3人編成で点検を行えば同等の精度で有効な結果が得られ、コストを1/7とすることができた。

1. はじめに

わが国では高度成長期に整備された構造物が一斉に老朽化しつつあり、補修・補強対策や予算措置などの維持管理問題が表面化している。その対策として国土交通省は「長寿命化修繕計画策定事業費補助制度」を策定し、地方自治体の橋梁に対するアセットマネジメント(Asset Management、以下 AM という)の導入をあと押ししている。AM とは、橋梁、トンネル、舗装等を道路資産ととらえ、その損傷・劣化等を将来にわたり把握することにより、最も費用対効果の高い維持管理を行うための方法をいう。

一方、道路トンネルは基本的に健全かつ強固で維持管理コストがかからない構造物との認識から、AM に対する取り組みが遅れている。ところが、1999年6月のJR山陽新幹線の福岡トンネルコンクリート剥落事故を契機として、第三者被害防止の重要性が認識されるようになった。また、事故後の一斉点検、一斉補修による多額の発生コストが問題となって、トンネルAMが注目されはじめた。

今後、効率よく効果的な維持管理を行うためにはトンネルAM導入が不可欠であり、現状での健全度を把握するための点検が、AM導入に向けて最初に取り組むべき重要な課題となる。

わが国の道路トンネルは2008年度で9,173箇所

所、総延長3,457kmである。その中で地方自治体のトンネルは図.1¹⁾のように箇所数で約80%、延長で約60%を占める。維持管理予算が確保可能な高速道路や直轄国道では、全トンネルに対して少なくとも一度は点検済であると考えられるのに対し、多くの地方自治体ではトンネル点検が進捗していないのが現状である。

本研究では、このような地方自治体向けに、低コストで交通規制が不要な道路トンネルの点検手法を検討し、その手法の有効性について検証した。

2. 従来の点検手法とその問題点

(1) 従来法の概要

直轄国道では、維持管理便覧²⁾の基本的な考え方を踏襲して図.2に示す手順によりトンネルの維持管理を行っている(以下、この維持管理の手順を直轄方式という)。直轄方式の運用は、福岡トンネルの事故を契機とした2000年の「道路トンネル耐久性検討委員会」の提言をもとに、第三者被害を未然に防止することを目的として2002年に国土交通省が定期点検要領³⁾を作成のち本格化し、直轄国道のトンネル点検が進捗しはじめた。これに追従する形で、地方自治体も直轄方式道と同様の維持管理手順により、トンネル点検に取り組んでいる。

直轄方式では、トンネルの健全度を把握する手段は点検と調査とに区分されており、まず最初に実施するのが点検である。図.2の判定Iでは、点検結果に基づいて表.1に示す基準で応急対策や調査の要否を判定する。調査は、判定Iでより詳しく変状の状況や程度を把握する必要があると判断された場合に実施するものである。図.2の判定IIでは、調査結果に基づいて表.2に示す基準でトンネルの健全度を判定する。

点検の方法は、国土交通省の定期点検要領では、本研究対象の初回点検(以下、従来法とい

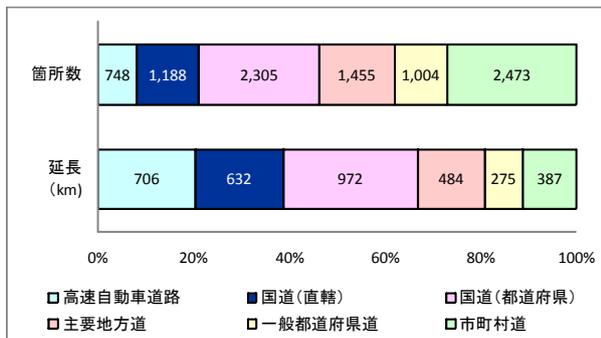


図.1 道路トンネルの箇所数、延長

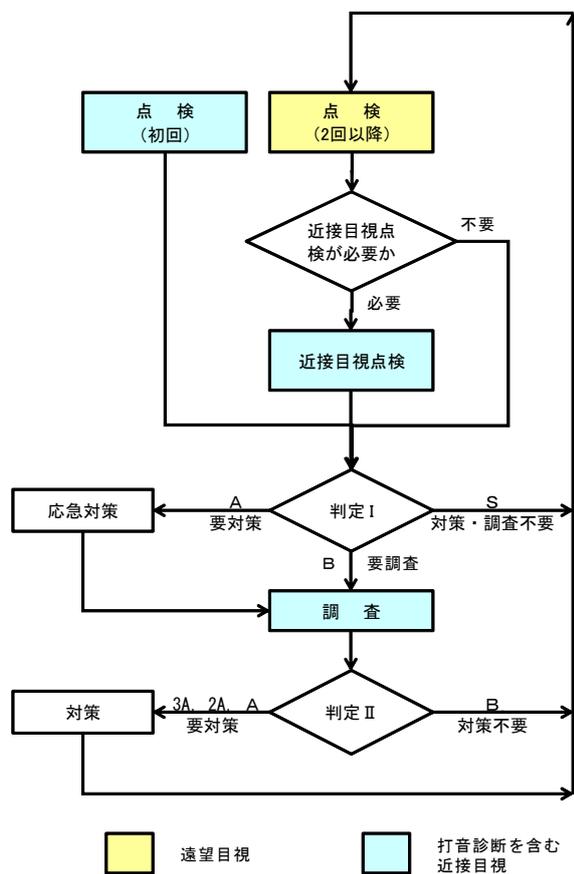


図.2 維持管理の手順

う)と2回以降の点検とに区分されている。

初回点検は、交通規制下で高所作業車を使用し、打音診断を併用する近接目視点検である。変状箇所をマーキングし、点検表に記録するとともに、打音診断で抽出された浮き・剥離は、応急措置としてハンマー等を用いてその場でたたき落とす。

2回目以降の点検は、徒歩による遠望目視点検を基本としている。ただし、前回の点検記録と照合して変状が進行している箇所や新たな変状が見つかった場合、あるいは前回の点検以降に補修・補強対策が行われた場合には、初回点検と同様の近接目視点検を行い、必要に応じて打音診断を併用する。

直轄方式によらず、トンネルAMの導入に向けて独自の維持管理手順を運用している地方自治体もある。管理トンネル数149箇所の静岡県では、点検・調査の手順は直轄方式と同じ（初回点検は詳細点検という呼び方にかわる）であるが、判定基準が従来手法よりもきめ細かく、65項目の点検結果に基づいて劣化指標DI値(Deterioration Index)を算定、DI値から健全度を5段階評価することで、対応・措置を決定している。

表.1 点検判定基準 (判定 I)

A	変状が著しく通行車両の安全を確保できないと判断され、応急対策を実施したうえで補修・補強対策の要否を検討する標準調査が必要な場合。
B	変状があり、応急対策は必要としないが補修・補強対策の要否を検討するための標準調査が必要な場合。
S	変状はないか、あっても軽微で応急対策や標準調査の必要がない場合。

表.2 調査判定基準 (判定 II)

3A	変状が大きく、利用者に対して危険があるため、ただちに何らかの対策を必要とするもの。
2A	変状があり、それらが進行して、早晚、利用者に対して危険を与えるため、早急に対策を必要とするもの。
A	変状があり、将来、利用者に対して危険を与えるため、重点的に監視をし、計画的に対策を必要とするもの。
B	変状がないか、あっても軽微な変状で、現状では利用者に対して影響はないが、監視が必要なもの。

(2) 従来法の問題点

従来法のように初回点検で詳細な点検を行う方法は、管理するトンネル数が少ないか、あるいは維持管理のための予算確保が可能な地方自治体に適した方法である。維持管理費に制約のある多くの地方自治体にとって、従来法は交通規制が必要で高コストなため、点検を行いたくてもできず、また、限られた予算で点検を行う際も優先順位を決める情報がないため、どこから手をつけてよいのかわからない、というのが現状である。

3. 新しい点検法(簡易法)の提案

地方自治体のニーズが、低コストかつ短期間で実施可能な点検であると仮定すると、その実現には交通規制が不要な遠望目視点検が適する。そこで、本研究では維持管理便覧の徒歩による遠望目視での点検手法の問題点を改善することとし、判定精度の低下はある程度許容しても以下の目標を達成できる、新しい点検法「簡易法」を検討した。

- ① 低コストであること
- ② 交通規制が不要であること
- ③ 打音診断や調査が必要な変状を確実に抽出でき、かつ点検者間の判定のバラツキを少なくできること
- ④ 維持管理に役立つ必要最小限の点検データを収集し、記録できること

(1) 簡易法の概要

a) 位置づけ

簡易法は、調査や打音診断が必要なトンネルを抽出するための予備的な点検と位置づける。すべてのトンネルに対して従来法のような詳細な点検を実施するのではなく、まず簡易点検で状況を把握し、変状の程度に応じて段階的に詳細な調査を実施し、必要に応じて対策を実施するという手順が合理的であると考えたためである。

遠望目視による点検の難しさは、高度なトンネルの専門知識が要求されるうえに、経験則に基づいた個々の判定がバラツキやすいことにある。そこで本研究では、以下に示す①～④の経験則と、2本の実トンネルの試行点検で得た考察⑤～⑧に基づいて、点検ツールを開発した。

- ① 変状はひび割れが突出して多い(トンネルは軸圧縮力が卓越した無筋コンクリート構造であり、ひび割れ自体が問題となることは少ない。ひび割れでブロック化した領域が落下する場合が問題であり、重視すべきはひび割れパターンや貫通ひび割れか否かの見極め)
- ② 判断が難しい進行性のある変状は例外的で少ない(進行性があり、覆工耐力の減少や内空減少など、性能低下を招く変状が発生する割合は全トンネルの10%以下という報告⁴⁾がある。数が少ないうえ、遠望目視で進行性を判断するには高度な知識を必要とするため、点検では進行性の判断を省略する)
- ③ 変状は古い矢板工法に多く、新しいNATM工法では少ない(矢板工法を対象とした点検ツールとする)
- ④ 変状の原因はほとんどの場合が初期欠陥に起因する材料劣化である(これらの多くは劣化進行が緩やかなため、手間をかけて詳細な記録を残す必要性が低い)
- ⑤ 第三者被害の恐れがある浮き・剥離は変状の割合としては少ないうえ、遠望目視では浮きの確認が困難(剥離痕の存在や、ひび割れパターンから推定する)
- ⑥ 変状の定義内容でみると、判定のバラツキの原因は、目分量による定量評価項目が多い(ひび割れ密度などの点検項目は、客観的な定量評価であっても遠望目視では正確さに欠けるため省略する)
- ⑦ 点検作業の手順でみると、判定のバラツキの原因は、変状の見落とし、記録ミス・記録漏れの順に多い(現場での点検シート記

入時間と、変状の見落としや記録ミス・漏れの発生量とは比例する傾向があるので、チェック項目の少ないシンプルな点検シートがよい)

- ⑧ 変状を見落とす原因は、点検者の視力、観察力、点検速度等の個人差に関係する(個別に実施した試行点検では個人差の解消が困難であった。個人差解消の手段として、最低限の編成人数を規定する必要がある)
- なお、簡易法の判定区分は点検結果の精度を確認するため、従来法と同じ表.1の判定基準Iを採用した。

b) 点検精度を確保するための工夫

点検箇所および点検対象とする変状を表.3に示す。点検箇所および点検対象の変状は、前回の位置づけ①～⑥に基づき、第三者被害の恐れがあり、目視で判定できるものに絞った。

点検箇所は、変状があった場合に第三者被害の恐れのある覆工本体および路面・路肩とした。

点検対象とする変状は、従来法の“点検結果の判定基準一覧表”に示されている変状の種類と、その程度を表すキーワードの中から、覆工8項目と路面3項目を選定した。これらの点検項目の選定では、図.3に示す“損傷が多く発生し、注意しているもの損傷種別は?”という道路管理者へのアンケートの結果⁵⁾も参考にした。

表.4および表.5は、表.3に示す項目がどのような程度のとときに変状とみなすのかを定義したものである。

表.4の変状①～⑤は、実トンネルの試行点検結果をふまえて、判定が揺らぎやすい従来法の変状程度の表現を一部修正したものである。表.6はひび割れに関する定義の修正例で、5つの設問からなる従来法に対して、簡易法では3つの

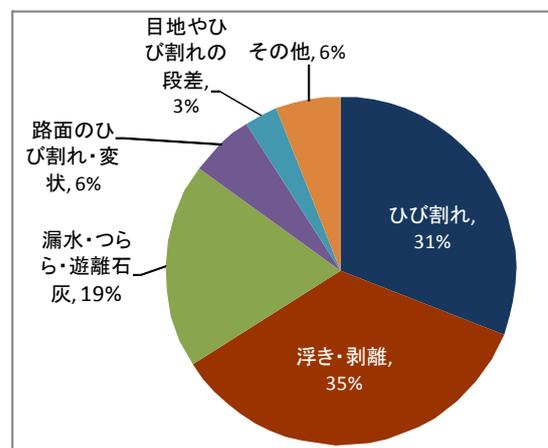


図.3 多く発生し、注意している損傷種別

表.3 点検対象とする変状

点検箇所	点検対象とする変状
覆工	1) 浮き、剥落 (表 3.3 変状①a) 2) 補修材料浮き、剥落 (表 3.3 の変状①b) 3) ひび割れ (表 3.3 変状②c,d) 4) コールドジョイント (表 3.3 変状②c,d) 5) 目地切れ・段差 (表 3.3 変状②e) 6) ジャンカ (表 3.3 変状③f) 7) 漏水 (表 3.3 変状④g) 8) 遊離石灰 (表 3.3 変状④h)
路面・路肩	1) 滞水 (表 3.3 変状④g) 2) 縁石・側溝の変状 (表 3.3 変状⑤i) 3) 舗装の段差、ひび割れ (表 3.3 変状⑤j)

表.4 変状の定義(1)

変状①	a	剥離痕 (覆工)
	b	剥離痕 (補修材)
変状②	c	幅 0.3mm 以上のひび割れ (水平・斜め打継目の開口部=コールドジョイント, 補修材のひび割れも含む)
	d	幅 1.0mm 以上のひび割れ (水平・斜め打継目の開口部=コールドジョイント, 補修材のひび割れも含む)
	e	スパン鉛直目地の目地切れ、段差
変状③	f	ジャンカ (肌荒れ除く。“おこし”状で骨材の隙間が明確なもの)
変状④	g	漏水、漏水ともなう土砂流出、路面滞水
	h	遊離石灰
変状⑤	i	縁石・側溝の変状 (覆工の変形・移動ともなう変状と疑われるもの)
	j	舗装の段差、地盤の隆起・沈下が疑われるひび割れ

表.5 変状の定義(2)

変状⑥	1	ひび割れ[c, d]および目地等[e]により、閉合ひび割れの領域がある
	2	ジャンカに骨材が抜け落ちた形跡がある
	3	補修材に発生しているひび割れがある
	4	固形状の遊離石灰で、ひび割れをともなう

設問 (ただし、貫通ひび割れの有無は 3 項目のいずれかに該当する場合で判断) からなる判定基準に改めている。従来法の設問(イ)、設問(ハ)および(ホ)は試行点検の結果、判定の個人差が大きく判定根拠も説明困難な設問であった。

表.5 の変状⑥は、変状②～④のうち、落下の恐れがあり第三者被害が懸念されるものである。“閉合ひび割れ”は従来法でいう“ブロック化したひび割れ”と同義であるが、新しい知見⁶⁾に基づき、ひび割れ単体のみならずコールドジョイントや目地で形成された領域と定義した。

表.6 変状の定義の修正例 (ひび割れ)

設問	従来法	簡易法
イ	急激に進行しているか	目視できるか ・幅 0.3mm 以上
ロ	ブロック化して落下する可能性があるか	閉合ひび割れの領域があるか
ハ	天端や肩部で幅 3mm 以上かつ延長方向に 5m 以上の規模を有するか	貫通ひび割れか ・幅 1.0mm 以上 ・漏水をともなう ・遊離石灰をともなう
ニ	交通の支障となる恐れがあるか	
ホ	ひび割れが多いか	

c) 判定のバラツキを少なくするための工夫

判定のバラツキを最小限とするため、前出の位置づけ⑦、⑧に基づき、現場では図.4 に示す点検シートを用いて点検結果を記録し、内業では図.5 に示す判定フローチャートを用いて判定を行うこととした。

点検シートは、該当する変状の有無をスパンごとに素早くチェックできるように、試行点検を経て改訂を重ねたものである。

内業でフローチャートを用いて判定することとしたのは、現場作業の軽減と誤記防止のためである。フローチャートは Excel を利用して数式化し、点検結果を入力すれば誰にでも判定が行えるようにした。

4. 実トンネルでの点検の実施

2010.2.3～2.4 に大分県内の H トンネルで点検を実施し、簡易法と従来法とを比較検証した。

H トンネルは矢板工法で 1960 年に竣工、10 スパン、延長 110m である。

点検に使用した設備・機材は表.7 のとおりである。照明器具はいずれの方法とも 2 基のエンジン式投光機 (メタルハライド 400W×2 灯) を使用し、簡易法では補助灯具として懐中電灯を使用した。簡易法の点検状況を図.6 に、従来法の点検状況を図.7 に示す。

簡易法は 1～3 人編成の計 12 組で点検した。往路で変状の確認・記録を行い、復路で記録のチェック・修正を行った。複数人編成での各人の役割は記録者のみ固定し、ほかの制限は加えていない。肉眼での視認が困難な変状については双眼鏡やカメラで確認した。簡易法の点検者は、すべてトンネル点検または橋梁点検の経験者である。

トンネル名	所在地	点検日	平成	年	月	日	天候	点検員	スパン番号	
変状 (大分類)		変状の定義		記録欄 (該当するものをチェック、または○囲み)						
		存在する変状 (a~o)		部位コード		付加情報① (1, 0)		付加情報② (1, 0)		備 考
変状①	剥離、浮き	・剥離痕 ・浮き (段差があり、明らかに剥落しそうなもの)		a	<input type="checkbox"/> 剥離痕、浮き、圧ざ (覆工)	L, A, R	<input type="checkbox"/> 漏水をともなう			
				b	<input type="checkbox"/> 剥離痕、浮き (補修材)	L, A, R	<input type="checkbox"/> 漏水をともなう			
変状②	ひびわれ ・覆工、補修材 ・目地開口部 等	覆工に発生している開口幅0.3mm以上のひび割れ		c	<input type="checkbox"/> 覆工ひび割れ (幅1.0mm未満)	L, A, R	<input type="checkbox"/> 漏水をともなう			
		補修材に発生している開口幅0.3mm以上のひび割れ		d	<input type="checkbox"/> 補修材ひび割れ (幅0.3mm以上)	L, A, R	<input type="checkbox"/> 漏水をともなう			
		開口幅0.3mm以上のコールドジョイント (水平・斜め打継目)		e	<input type="checkbox"/> コールドジョイント (幅1.0mm未満)	L, A, R	<input type="checkbox"/> 漏水をともなう			<input type="checkbox"/> c~hによる閉合ひび割れがある
		スパン鉛直目地の目地切れ、開口、段差		f	<input type="checkbox"/> コールドジョイント (幅1.0mm以上)	L, A, R	<input type="checkbox"/> 漏水をともなう			
		スパン鉛直目地の目地切れ、開口、段差		g	<input type="checkbox"/> スパン鉛直目地の目地切れ、開口、段差	L, A, R	<input type="checkbox"/> 漏水をともなう			
変状③	ジャンカ	"おこし" 状で骨材の隙間が明瞭なもの (航業を除く)		i	<input type="checkbox"/> ジャンカ	L, A, R	<input type="checkbox"/> 漏水をともなう	<input type="checkbox"/> 骨材が抜け落ちた形跡がある		※起り点のみ詳細
変状④	漏水	覆工からの漏水、路面等からの浸透水		j	<input type="checkbox"/> 漏水	L, A, R	<input type="checkbox"/> にじみ <input type="checkbox"/> 滴下	<input type="checkbox"/> 流下 <input type="checkbox"/> 噴出		
	土砂流出	漏水に起因する土砂流出		k	<input type="checkbox"/> 土砂流出	L2, L1, R1, R2	<input type="checkbox"/> 漏水をともなう			
	路面湧水	漏水に起因する路面湧水		l	<input type="checkbox"/> 湧水	L2, L1, R1, R2	<input type="checkbox"/> 漏水をともなう			
	遊離石灰	ひび割れや漏水の存在が疑われる遊離石灰		m	<input type="checkbox"/> 遊離石灰	L, A, R	<input type="checkbox"/> 漏水をともなう	<input type="checkbox"/> 固形でひび割れをともなう		
変状⑤	緑石・側溝の変状	覆工の変形・移動が原因と疑われる緑石・側溝の変状		n	<input type="checkbox"/> 緑石・側溝の変状	L2, L1, R1, R2	<input type="checkbox"/> 漏水をともなう			
	舗装の段差、ひび割れ	地盤の隆起・沈下が原因と疑われる舗装の変状		o	<input type="checkbox"/> 舗装の段差、ひび割れ	L2, L1, R1, R2	<input type="checkbox"/> 漏水をともなう			

スパン変状図 (見下げ図)

※ SLは視線高さとする

変状記号凡例

表示	目視点検での変状種類	表示	目視点検での変状種類
	剥離痕		ジャンカ
	浮き・圧ざ		漏水 (噴出、流下)
	ひび割れ (1mm未満)		漏水により濡れている箇所
	ひび割れ (1mm以上)		湧水、土砂流出
	数値は開口幅		遊離石灰
	段差 (変位量)		補修箇所
	矢印無変出、数値は段差mm		
	コールドジョイント		
	数値は開口幅		
	スパン鉛直目地		
	矢印無変出、数値は段差mm		

図.4 点検シート

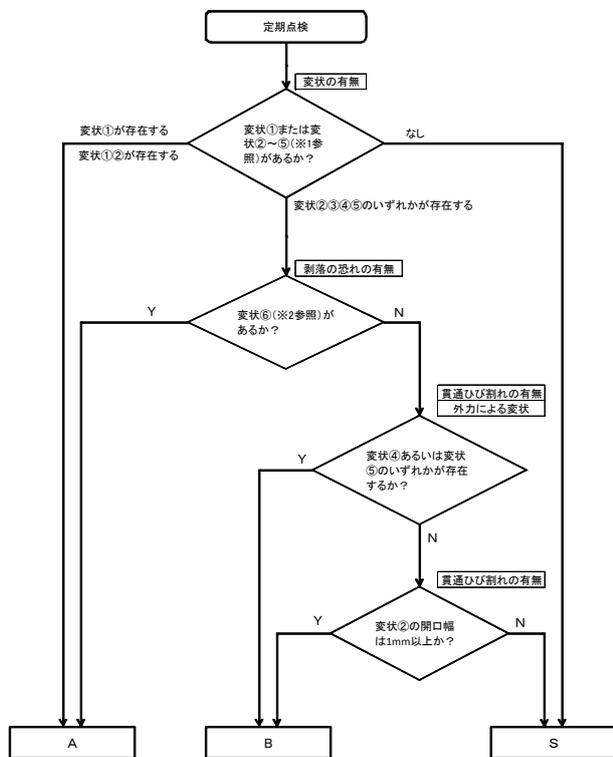


図.5 判定フローチャート

従来法は、最初の 2 スパンに対しては正規な手順で点検、変状図まで作成した。残り 8 スパンに対しては、近接目視での変状確認、主要なひび割れ幅の計測および打音診断を実施し、判定のみを行った。従来法の点検者は、すべてトンネル点検 10 年以上の経験者である。点検等の所要時間は表.8 のとおりであった。

5. 点検結果の分析

ここでは、従来法の結果が真値と仮定して簡易法の有効性を検証する。従来法による点検の結果、打音診断で全スパンに剥落の恐れがある浮きや空洞が確認できたため、すべてのスパンが A 判定 (調査が必要) となった。この結果は、既往の点検実績や試行点検結果に比べると特殊であり、H トンネルは変状が著しかった。

表.9 は、簡易法と従来法の判定結果一覧である。この表から簡易法は、1 人または 2 人編成では従来法の判定結果より過小評価となるが、3 人編成では従来法の判定結果と同等になり、有効な結果が得られることがわかる。また、編成人数が多いほど判定のバラツキも減少している。

表.7 設備・機材

項目	簡易法	従来法
点検方法	徒歩目視	近接目視 打音診断 ひび割れ幅測定
人員構成	1~3人編成で 12組 ・1人×7組 ・2人×3組 ・3人×2組	合計5人 点検員1名 点検補助員2名 作業補助員1名 運転手1名 交通誘導員2名
主要機材	照明器具	リフト車 照明器具 交通規制資材
通行制限	不要	片側交互通行

表.8 所要時間

項目	簡易法	従来法
点検時間	・往復1回 ・12組平均で 5.5hr/110m	・片側交互規制の下、 正規手順で2スパン (変状マーキング省略した8スパン除く) ・3.50h/30m
資料整理	・10min/スパン	・70min/スパン



図.6 簡易法の点検状況

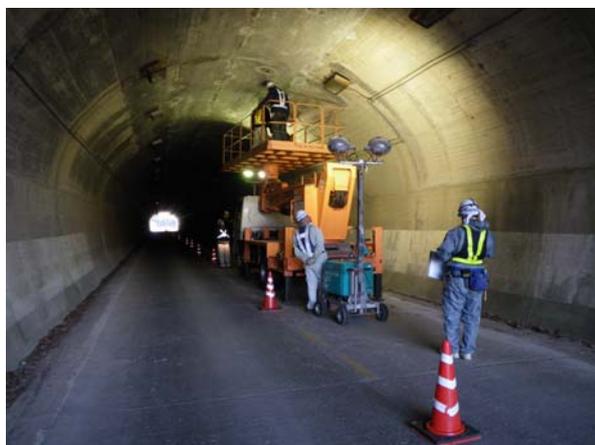


図.7 従来法の点検状況

1人での点検結果は、橋梁点検の経験しかない点検員（A、G）のほうがトンネル点検の経験者（A、G以外）よりも評価が辛いこと、平均よりも時間がかかった点検者（E、F、G）のほうが判定精度が高いことが、傾向としてうかがえる。なお、トンネル点検経験者の評価が甘かったのは、これまでの点検実績から、浮き・剥離は変状に占める割合が少ないはずという経験的判断が作用した結果と考えられる。

表.10は、A・B・S判定の際に図.6のフローチャートのどの判定経路で決まったかを表す変状コード（表は一部抜粋したもの）である。コードA11等の標記は、先頭のアルファベットが表.1判定基準によるA・B・S判定結果を示し、2番目と3番目の数字が変状の種類や複数の変状の組合せ等を示す識別番号である。

表.11は、表.9の判定を決めた変状が、表.10のどれに該当するのかを示したものである。表.11からも、3人編成のときに有効な結果が得られることがわかる。

表.12は、スパン別の変状有無の判定結果について、簡易法と従来法とが一致している割合を変状別に示したものである。この表においても3人編成の場合に、多くの項目で従来法に近い判定精度が得られている。ただし、“目地切れ”と“ジャンカ”については誤認が多く、課題が残った。いずれも従来法の変状の定義を流用したものであるが、判断基準が曖昧でどのような状況を変状ととらえるのか、点検者が判断に迷ったのが原因である。今後、変状写真例を収集・整理する、変状を再定義するなどにより、精度向上を図る必要がある。また、“ひび割れ幅1mm以上”のように、定量評価項目を加えて変状を定義すると、判定精度が低下する傾向がある。定量評価項目についても、今後、変状定義の表現に改善の余地がある。

図.8および図.9は、それぞれ従来法と簡易法で作成した変状図である。簡易法の変状図は覆工面の変状マーキングがない状態でスケッチするため個人差が甚だしい。記入方法を改善しても効果なく、有効な記録とはならなかった。

表.9 簡易法と従来法の判定結果一覧

点検方法・点検者		スパン番号										従来法判定との一致率		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
簡易法の判定結果	点検員 A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	90%	60%
	点検員 B	B	B	B	S	B	A	S	S	S	A	A	20%	
	点検員 C	A	A	B	B	B	A	B	B	B	A	A	40%	
	点検員 D	B	B	B	S	S	A	S	B	B	A	A	20%	
	点検員 E	A	A	S	A	A	A	A	A	A	A	A	90%	
	点検員 F	B	A	B	B	A	A	A	A	A	B	A	60%	
	点検員 G	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	100%	
	2人編成第1組	A	A	B	A	A	A	B	A	A	A	A	80%	77%
	2人編成第2組	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	90%	
	2人編成第3組	A	B	A	A	B	A	S	S	A	A	A	60%	
	3人編成第1組	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	100%	95%
	3人編成第2組	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	90%	
	従来法の判定結果		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A		

表.10 変状コード

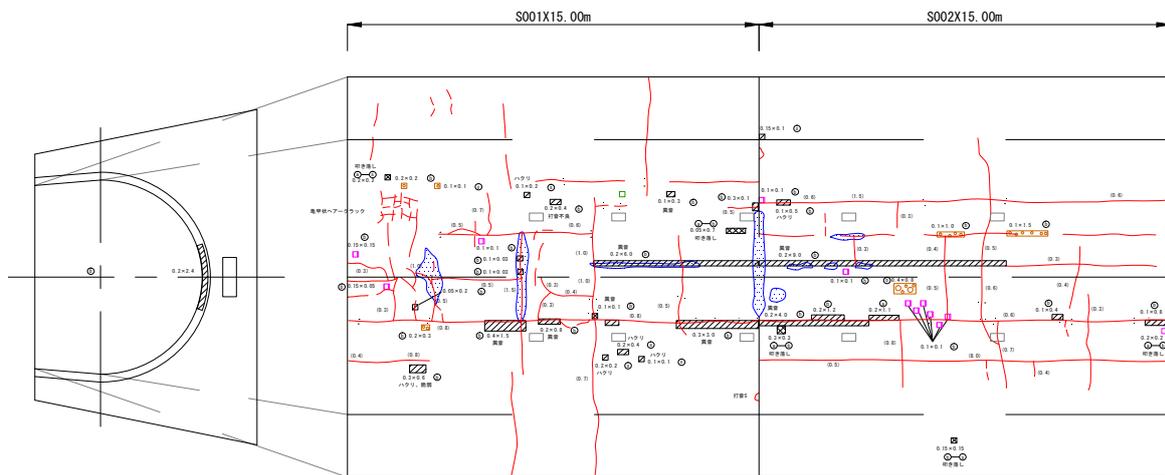
コード	変状
A11	剥離浮き
A21	閉合ひび割れ
B31	貫通ひび-漏水
B34	貫通ひび-エフロ
B41	貫通ひび-ひび幅
S	変状なし、軽微

表.11 判定を決めた変状の一覧

点検方法・点検者		スパン番号										従来法判定との一致率		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
簡易法の判定結果	点検員 A	A11	A11	B31	A11	90%	57%							
	点検員 B	B41	B31	B41	S	B41	A11	S	S	S	A11	A11	20%	
	点検員 C	A11	A11	B31	B31	B34	A11	B34	B34	B31	A11	A11	40%	
	点検員 D	B31	B31	B34	S	S	A11	S	B34	B31	A11	A11	20%	
	点検員 E	A11	A11	S	A11	A11	A11	A21	A11	A21	A11	A11	70%	
	点検員 F	B31	A11	B31	B31	A11	A11	A11	A11	A11	B31	A11	60%	
	点検員 G	A11	A11	A11	A11	A11	A11	A11	A11	A11	A11	A11	100%	
	2人編成第1組	A11	A11	B31	A11	A11	A11	B34	A11	A11	A11	A11	80%	73%
	2人編成第2組	A11	A11	B31	A11	A11	A11	A21	A11	A11	A11	A11	80%	
	2人編成第3組	A11	B31	A11	A11	B41	A11	S	S	A11	A11	A11	60%	
	3人編成第1組	A11	A11	A11	A11	A11	A11	A11	A11	A11	A11	A11	100%	95%
	3人編成第2組	A11	A11	A11	A11	A11	A11	A11	A11	A11	B31	A11	90%	
	従来法の判定結果		A11											

表.12 変状別にみた簡易法と従来法との判定の一致率

記号	項目	簡易法 (従来法判定との一致率)			従来法	
		1人	2人編成	3人編成	変状あり	変状なし
a	剥離浮き	57%	73%	95%	10スパン	0スパン
b	剥離浮き-補修材	99%	97%	100%	0	10
c	ひび割れ1mm未満	67%	73%	100%	10	0
d	ひび割れ1mm以上	59%	60%	70%	4	6
f	コールドジョイント幅1mm未満	69%	73%	85%	1	9
g	コールドジョイント幅1mm以上	69%	80%	100%	0	10
h	目地切れ	39%	47%	35%	10	0
i	ジャンカ	36%	23%	45%	10	0
j	漏水	60%	57%	95%	9	1
m	遊離石灰	60%	43%	95%	10	0
e	補修材	左記変状は詳細調査で確認できず、かつ簡易調査において全員一致で「変状なし」判定のため省略				
k	土砂流出					
l	滞水					
n	側溝縁石					
o	路面変状					



表示	目視点検での変状種類	表示	目視点検での変状種類	表示	目視点検での変状種類	表示	打音検査
---	施工目地	■	圧ぎ	①	漏水(漏水量 1リットル/分)	Ⓐ	異常(ゴゴゴ)がし、 はく落し可能な状態がある。
〰	ひび割れ(0.3mm未満)	〰	浮き、剥離 (ハンマー打診異常状態)	②	漏水(漏れている部分)	Ⓑ	異常がする。
〰	ひび割れ(0.3mm以上) 断面はひび割れ幅は5mm	〰	剥落(剥離跡)	③	濁水、水盤、沈砂 (OC測定)	Ⓒ	清音を発し、反応がある。
〰	検定 水の出発点、数値は読取(mm)	〰	骨材の露出(ゴツゴツ部)	〰	溶脱物(定礎石灰等)		
〰	コールドジョイント	〰	鉄筋露出	〰	浮線跡		

図.8 従来法による変状図 (スパン 1、2)

6. 簡易法によるコスト削減効果

簡易法のコストは表.13のように、従来法の約1/7となった。

表.13 点検費用の比較

項目	簡易法	従来法
日当たり作業量	210m/7hr	100m/7h
直接調査費	102,270 円	293,230 円
間接調査費	10,000 円	91,500 円
調査費計	112,270 円	384,730 円
1m 当り単価	535 円/m	3,847 円/m
単価比率	1.00	7.19

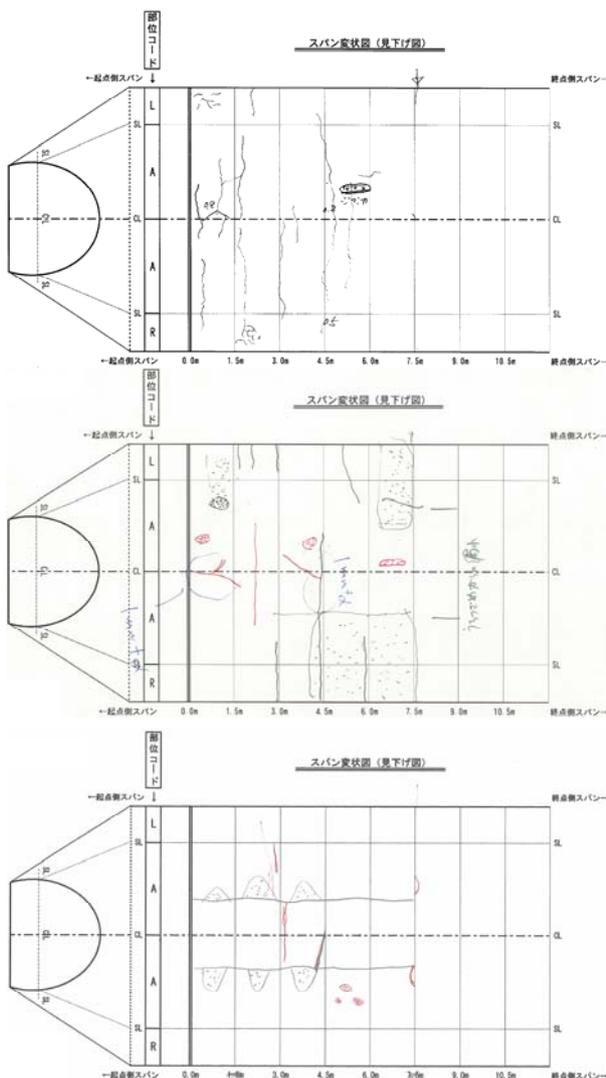


図 .9 簡易法による変状図の例 (スパン 1)

日当たり作業量は、簡易法は H トンネルの実績に基づいて、従来法は過去の実績に基づいてそれぞれ算定した。日当たり作業量は変状の多寡により変化し、その変化幅は、シートへの記録のみの簡易法では小さく、変状のマーキングを行う従来法では大きくなる。

1 日当たりの作業時間は 7hr と仮定した。ただし、従来法はトンネル延長が長いと通行規制の際の準備・片付け時間が増加するため、実働時間は減少する。さらに従来法は、簡易法では不要な道路使用許可申請や高所作業車の手配など、事前準備に要する手間や時間的なロスが多い。

7. まとめ

本研究では、地方自治体向けの遠望目視によるトンネルの簡易点検手法を提案し、その判定の有効性と従来法に対するメリットを検証した。本研究で得た知見は以下のとおりである。

- (1) 簡易法は3人編成で点検すると、1) 従来法の点検結果と同等の精度とすることができ、2) 点検者間の判定にバラツキが少なくなり、3) 第三者被害の懸念のある変状を確実に抽出できたことで、有効な結果が得られた。
- (2) 簡易法の点検シートおよび判定フローチャートを用いることにより、(1)を実現することができた。また、フローチャートを用いることで、A・B・S判定を決めた変状を特定・記録ができるため、点検記録としても有効である。
- (3) 簡易法は交通規制が不要なうえ、コストが従来法の1/7となる。

また、本研究にはつぎのような課題が残っており、今後研究を継続していく必要がある。

- (1) 本研究での結論は1トンネルでの検証結果に基づくものであり、今後、複数のトンネルに対しても検証を行う必要がある。
- (2) 本研究では従来法の判定結果を真値と仮定したが、従来法にもバラツキを有する可能性あるため、その影響についても検証が必要である。
- (3) 簡易法による点検の結果、従来法による点検が必要と判定されたトンネル群に対して優先順位づけすることをめざし、今後、簡易法の評価指標を健全度などに改良していきたい。

以上のように、簡易法には課題や改善点が多少残るものの、変状定義の見直し、点検シートおよび判定フローチャートの改良を重ねていけば解消できる見とおしである。今後も研究を継続し、地方自治体のニーズを満たすトンネル点検手法を具現化していきたい。

本研究の成果は、平成22年7月に大分市で開催予定の大分県地域環境コンソーシアム(O-REC)講演会で発表予定である。

参考文献

- 1): 国土交通省道路局企画課、道路統計年報2008年版、全国道路利用者会議、表74-1、2008.11
- 2): 社団法人 日本道路協会、道路トンネル維持管理便覧、丸善(株)、1993.11

- 3): 国土交通省道路局国道課、道路トンネル定期点検要領(案)、2002.4
- 4): 大西有三、第5回新都市社会技術セミナー資料“道路トンネル健全性評価技術の研究”、pp15、新都市社会技術融合創造研究会道路トンネル健全性評価プロジェクト、2008.1
- 5): 大西有三、第6回新都市社会技術セミナー資料“道路トンネル健全性評価技術の研究”、pp11、新都市社会技術融合創造研究会道路トンネル健全性評価プロジェクト、2009.5
- 6): たとえば、財団法人 鉄道総合技術研究所、鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編 トンネル)、丸善(株)、2007.1