

那珂川町トンネル長寿命化修繕計画 (個別施設計画)

【令和7年度改定版】

令和7年12月



那 珂 川 町 建 設 課

目 次

	ページ
§ 1. 現地の状況	
1-1. 気象条件の整理	1
1-2. 地形・地質概要	5
1-3. 現地踏査結果	7
§ 2. 個別施設の老朽化の状況	
2-1. 既往資料の検討	11
2-2. トンネル諸元	12
2-3. 既往点検結果の抽出・整理	13
2-4. 調査結果及び変状要因の推定	18
2-5. 健全度判定	25
§ 3. 長期的劣化度の検討	
3-1. 劣化予測曲線の検討	42
3-2. TCI による劣化度予測	47
§ 4. 対策優先度の検討	
4-1. 対象施設の概要	54
4-2. 対策時期の検討	55
4-3. 優先度評価の基本的考え方	56
4-4. 対策優先順位設定	58
§ 5. 長寿命化修繕計画の策定	
5-1. 計画全体の方針	59
5-2. 老朽化対策方における基本方針	62
5-3. 新技術等の活用方針	68
5-4. 費用の縮減に関する具体的な方針	75
5-5. 計画全体の目標	82
5-6. 仁中隧道・個別事項	85
5-7. 維持管理計画における基本方針	87

§ 1. 現地の状況

1-1. 気象条件の整理

トンネル変状の発生について、気象との関連性を考えた時、①降水量－漏水量、②凍結融解－岩盤の亀裂の開口、コンクリート劣化、③塩化物イオンの増大－鉄筋腐食の関係が挙げられる。①については、雨量の増加によって漏水量の増加に至る同調性であり、②については、凍結融解によるひび割れ拡大（岩盤やコンクリートに発生した亀裂に水分が浸入し、凍結融解作用による水分の膨張収縮が発生して亀裂が拡大していく現象）が推測され、また③については、塩化物イオンの増大（海岸からの塩分の飛来または路面凍結防止剤散布による）により、コンクリート中の塩化物イオン濃度が発錆限界を超え、鉄筋が腐食し鉄筋膨張によりコンクリートのひび割れを発生させる。長寿命化修繕計画の策定対象施設である仁中隧道は山岳トンネルであり、基本的に無筋コンクリート構造物と素掘り構造物であることから、坑口部以外は、塩害の被害はない。また、寒冷地に該当しないため、凍害危険度も低い地域である。

1-1-1. 気象観測所

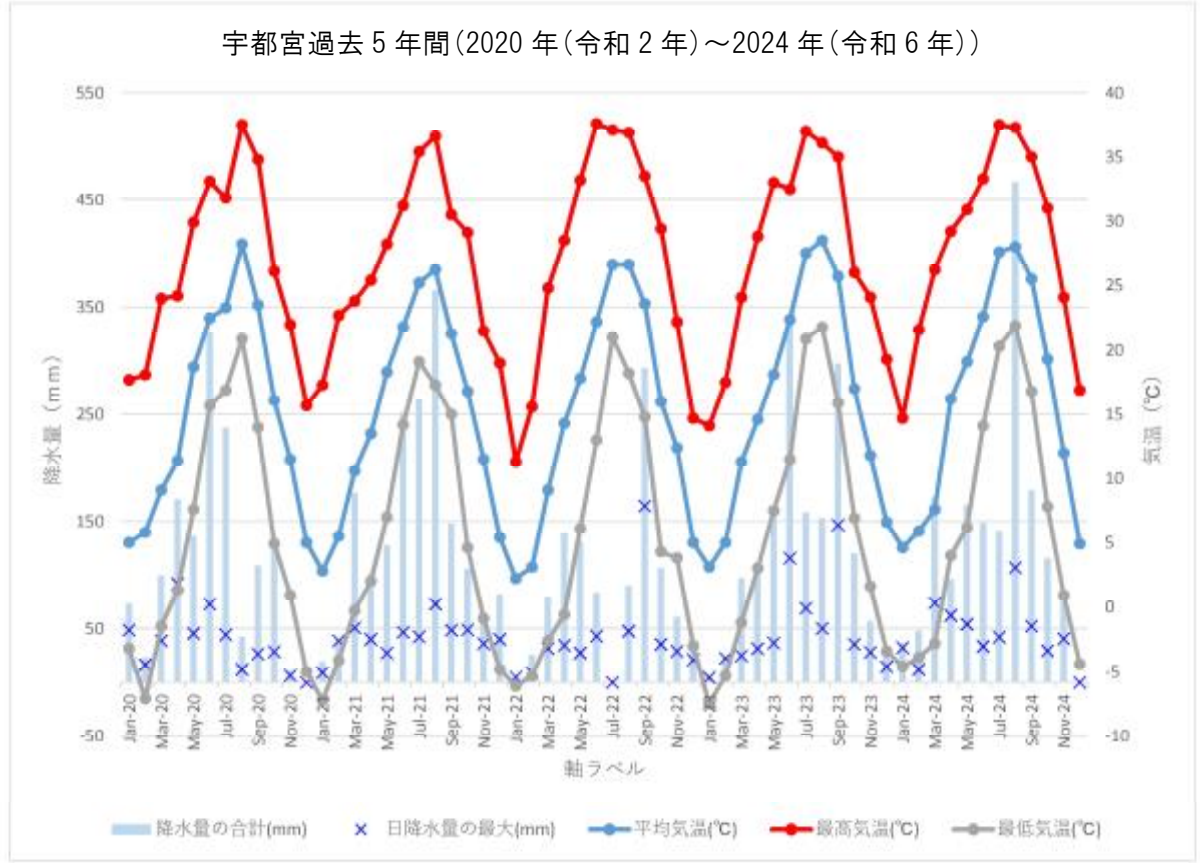
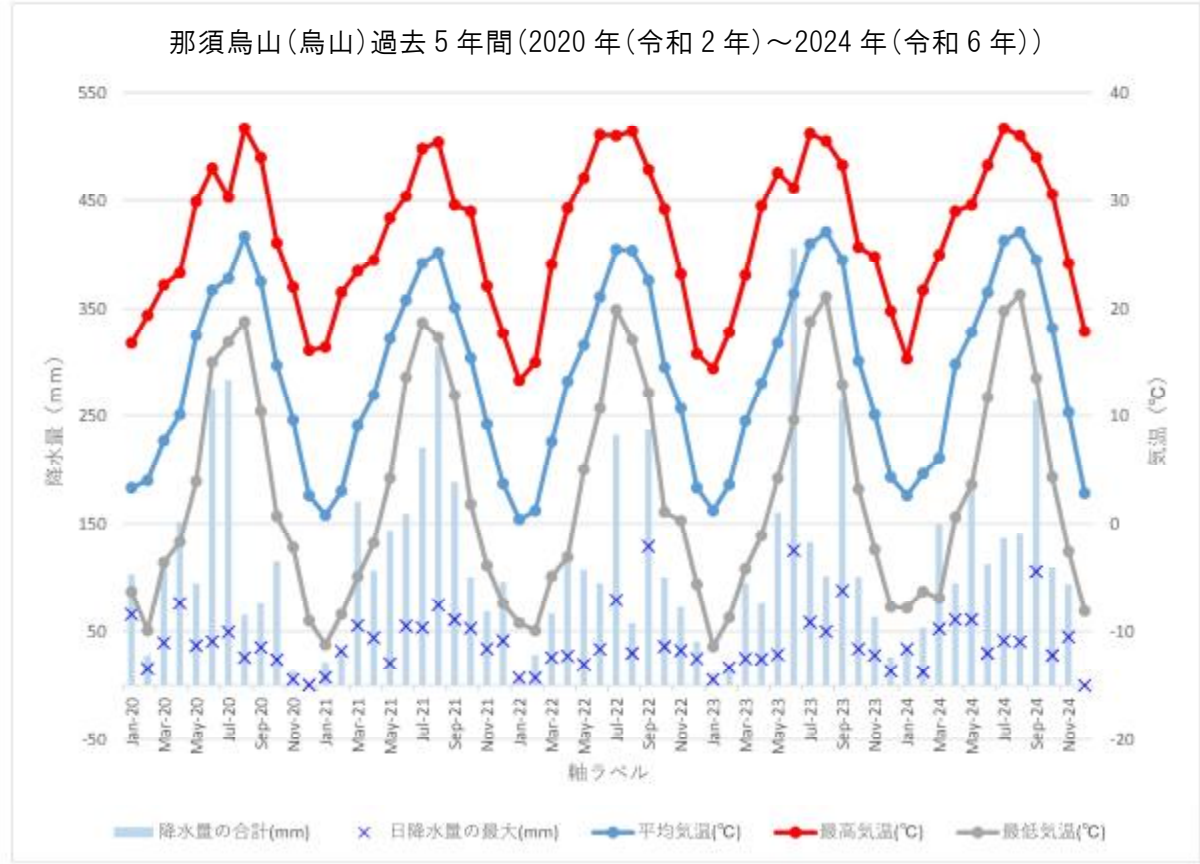
気象庁の「気象統計情報」より、那珂川町周辺の観測所における気象データを抽出し整理する。



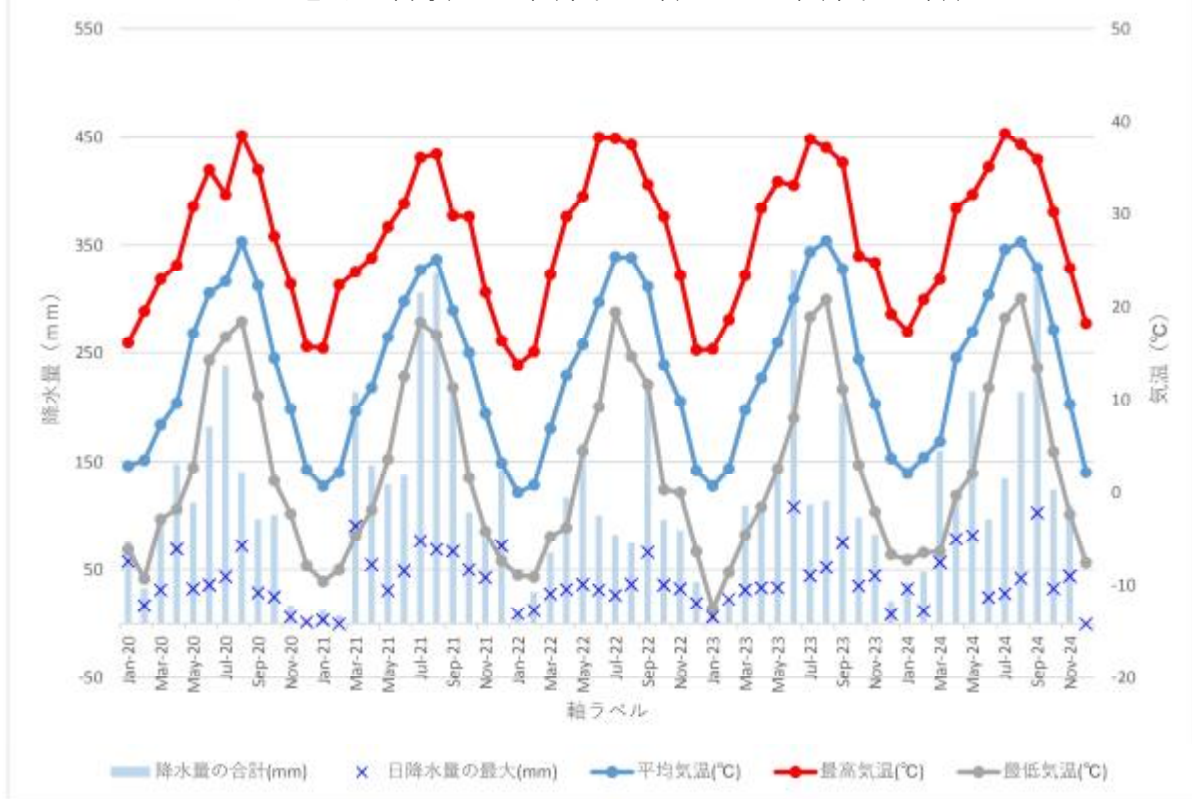
図 1.1 観測所位置図

※以下に各観測所の気象データについて添付する。

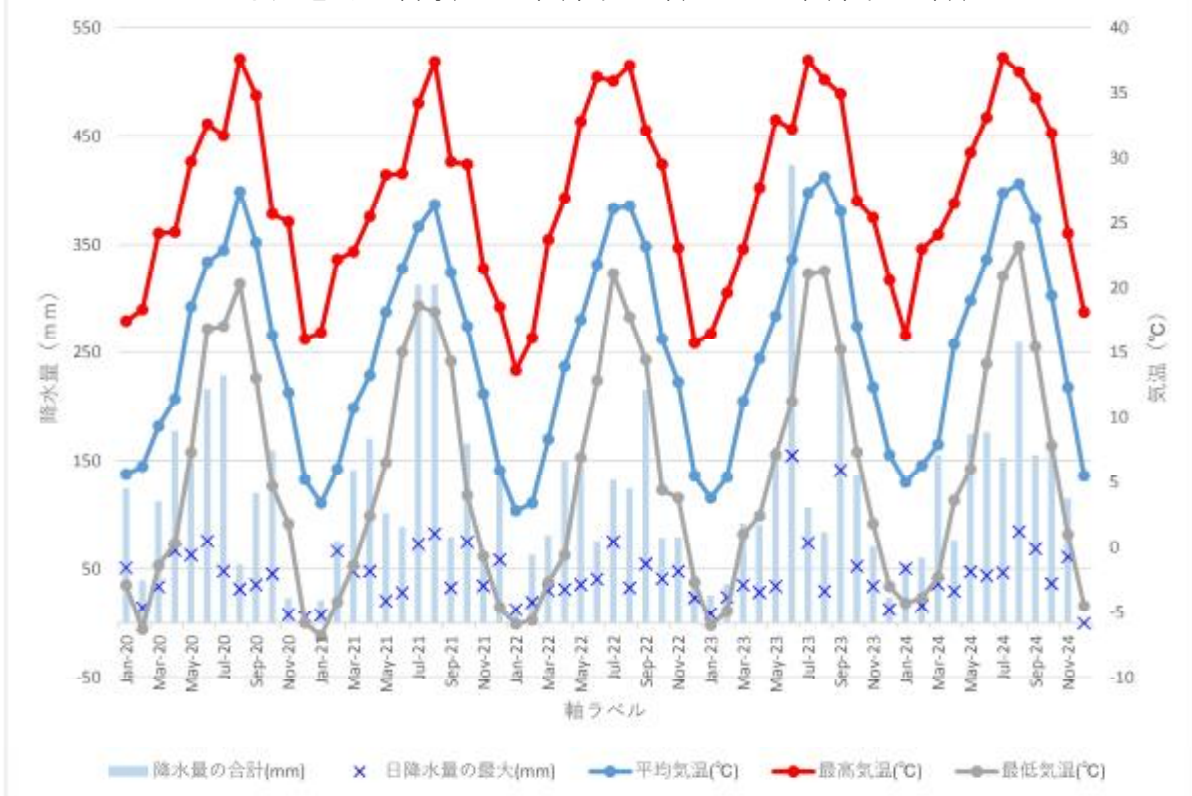
《4 観測所の過去5年間の気象データ》



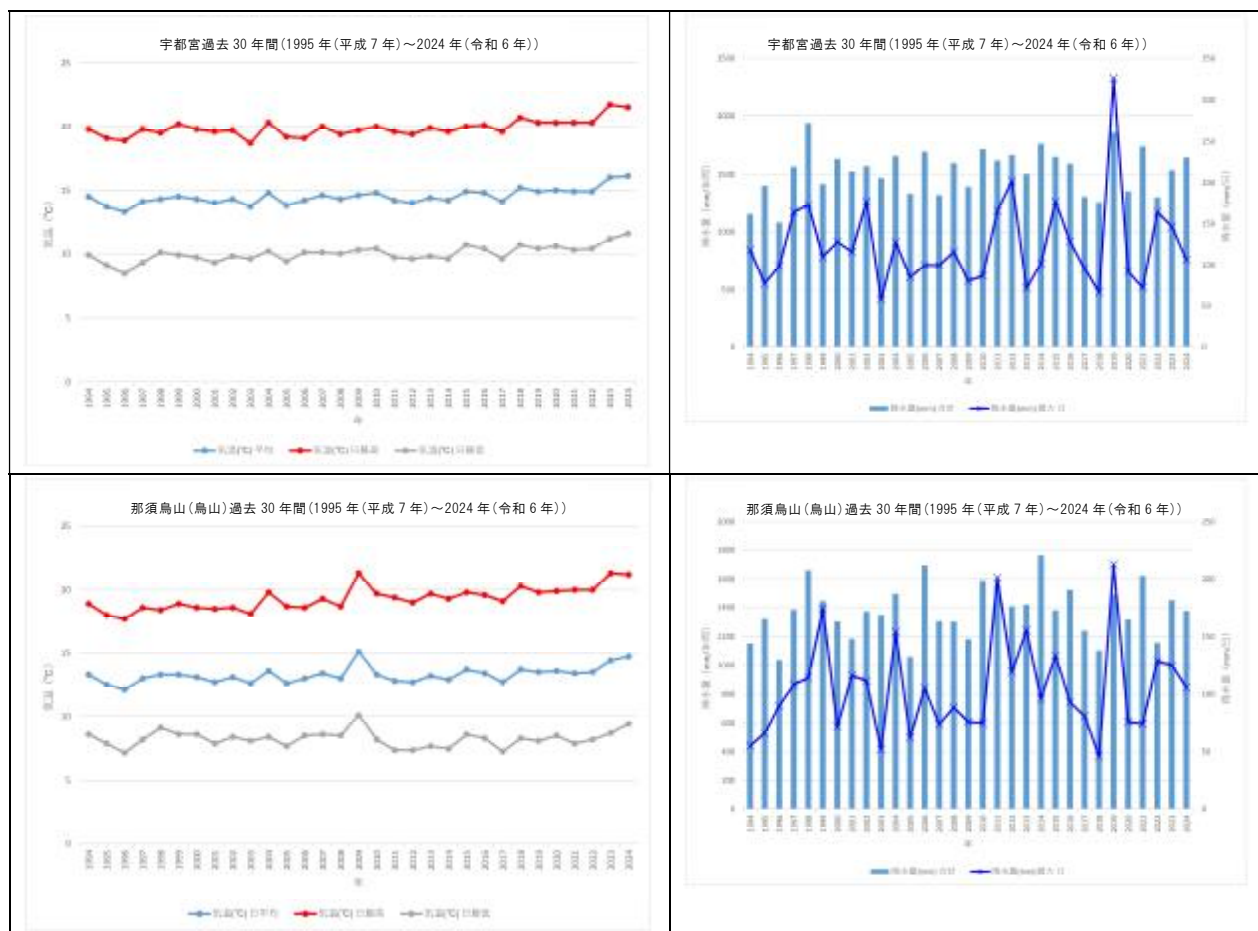
大子過去 5 年間(2020 年(令和 2 年)～2024 年(令和 6 年))



水戸過去 5 年間(2020 年(令和 2 年)～2024 年(令和 6 年))



《宇都宮・那須烏山観測所の過去 30 年間の気象データ（他の 2 観測所はデータ無し）》



1-2. 地形・地質概要

仁中隧道の地形・地質概要について、『デジタル標高地形図（国土地理院）』『栃木県の地質』等より抜粋し、以下にまとめることとする。

1) 地形概要

以下に地形分類図を示す。

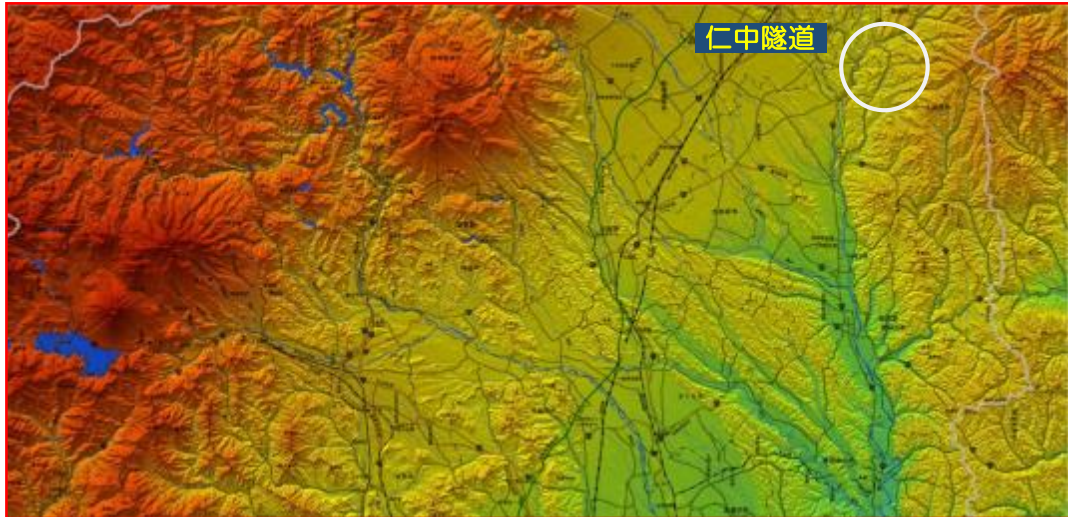


図 1.2 仁中隧道周辺の地形図

仁中隧道は、栃木県北東部に位置し、那須火山群に影響を受けた東側の扇状地形～大子町の新田山・南山山系麓の傾斜地形を形成する。

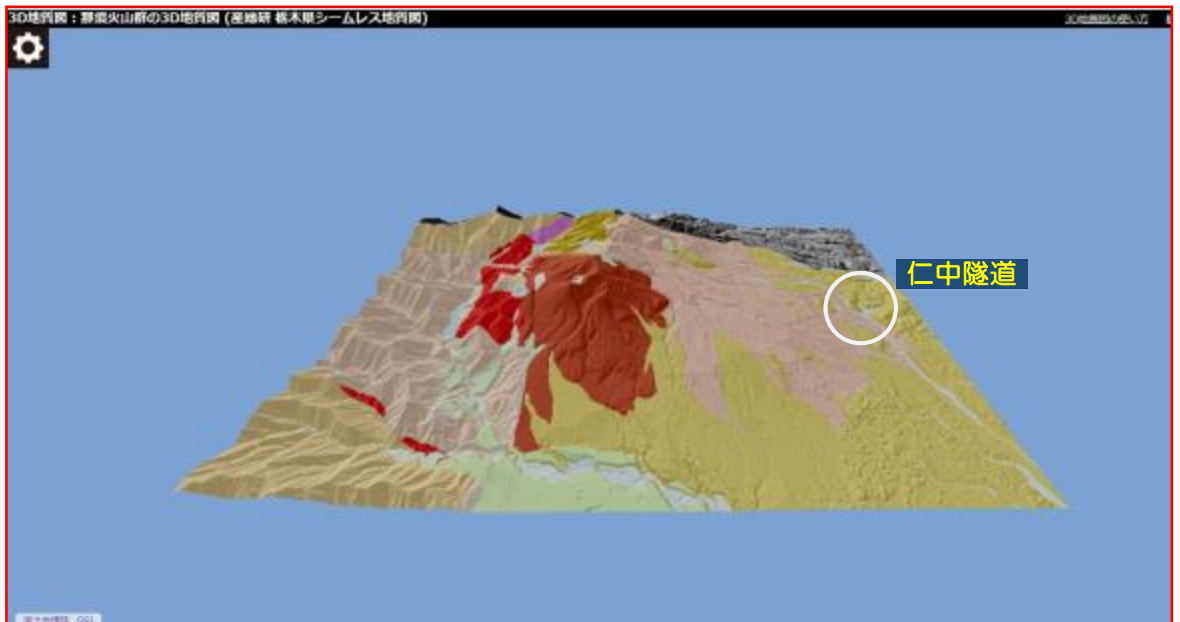


図 1.3 仁中隧道周辺の三次元標高図

2) 地質概要

仁中隧道は、地質状況について、公表される情報より推測する。

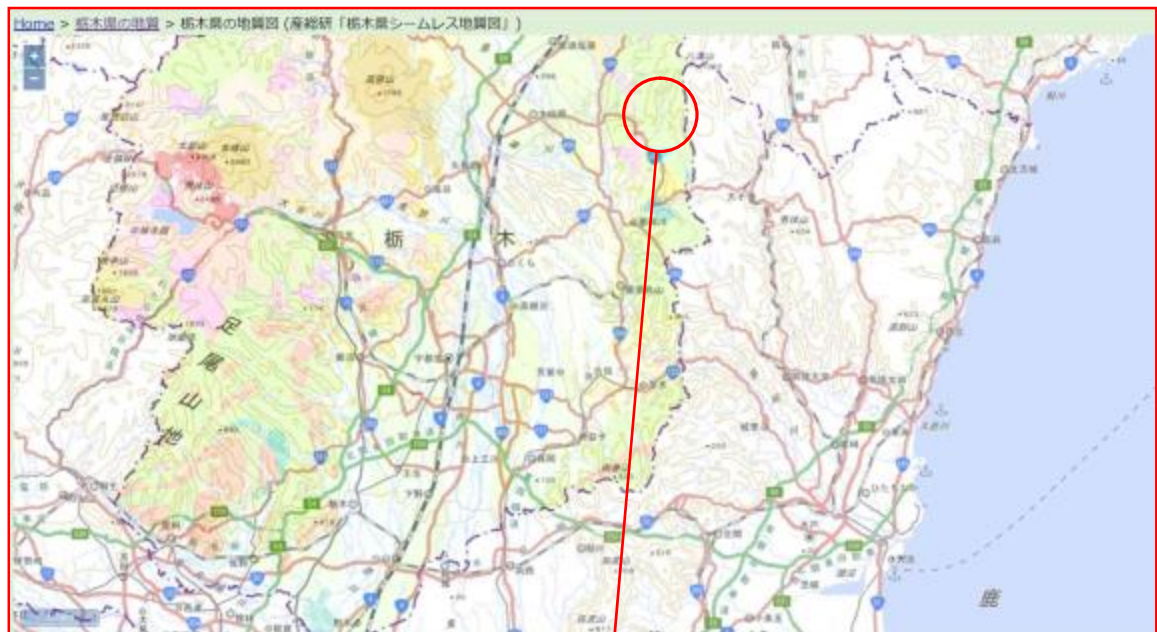


図 1.4 仁中隧道の平面地質図（全県）



図 1.5 仁中隧道の平面地質図
（周辺）








仁中隧道周辺の地質は、「中新世～鮮新世の堆積岩類（砂岩、泥岩、凝灰岩等）」、「中新世～鮮新世の火山岩類」が分布しているものと推測される。









84 Q2vf	中期更新世(Q2)の非アルカリ斑状玄武岩類
96 Q2vp	中期更新世(Q2)の火山岩類(非アルカリ火砕岩)
100 Q2vb	中期更新世(Q2)の非アルカリの岩漿質火山岩類
4 Q1sr	前期更新世(Q1)の海成または非海成堆積岩類
97 Q1vp	前期更新世(Q1)の火山岩類(非アルカリ火砕岩)
101 Q1vb	前期更新世(Q1)の非アルカリ岩漿質火山岩類
6 N3sn	後期中新世-鮮新世(N3)の海成または非海成堆積岩類
86 N3vf	後期中新世-鮮新世(N3)の非アルカリ斑状玄武岩類
102 N3vb	後期中新世-鮮新世(N3)の非アルカリ岩漿質火山岩類
122 N3gp	後期中新世-鮮新世(N3)の延長質深成岩類
7 N2sn	中-後期中新世(N2)の海成または非海成堆積岩類
87 N2vf	中-後期中新世(N2)の非アルカリ斑状玄武岩類
103 N2vb	中-後期中新世(N2)の非アルカリ岩漿質火山岩類









1-3. 現地踏査結果

現地踏査結果を以下に示すものとする。

	
集落側～起点側三叉路	起点側三叉路～集落側
	
起点側坑口部（遠景）	起点側坑口部の現道状況
	
起点側坑口覆工区間～素掘り状況	起点側坑口部（近景）
	
起点側坑口右側法面の状況	起点側坑口左側法面の状況

	
<p>起点側～終点側坑内を望む</p>	<p>起点側～終点側坑内を望む</p>
	
<p>側壁下部の状況</p>	<p>坑内肩部の岩盤状況</p>
	
<p>側壁下部の状況</p>	<p>側壁部のオーバーハング状況</p>
	
<p>起点側～中間部素掘り区間の天端状況</p>	<p>起点側～中間部素掘り区間の天端状況</p>

	
起点側～終点側坑内を望む	起点側～終点側坑内を望む
	
終点側坑門工の背面棲部	終点側～起点側坑内を望む
	
終点側坑口覆工区間～素掘り状況	終点側素掘り状況
	
終点側坑口部（近景）	終点側坑門工

	
終点側坑口部に既存する石碑	終点側坑口の状況
	
終点側坑口右側法面の状況	終点側坑口右側法面の状況
	
終点側坑口左側法面の状況（オーバーハング）	終点側坑口左側法面の状況
	
終点側現道～坑口へ	終点側坑口（遠景）

§ 2. 個別施設の老朽化の状況

2-1. 既往資料の検討

長寿命化修繕計画の策定に先立ち、仁中隧道に係る資料(断面図、諸元・一般事項、点検結果など)の収集・整理を行うものとする。

2017 年(平成 29 年)度
道路施設点検診断監理業務委託その 2

報告書

2018 年(平成 30 年)3 月

とちぎ建設技術センター

2020 年(令和 2 年)度
トンネル長寿命化修繕計画策定業務
(仁中隧道)

報告書

2021 年(令和 3 年)3 月

株式会社ピーシーレールウェイコンサルタント

2022 年(令和 4 年)度
那珂川町トンネル長寿命化修繕計画策定業務
(仁中隧道)

報告書

2023 年(令和 5 年)3 月

株式会社ピーシーレールウェイコンサルタント

2-2. トンネル緒元

那珂川町が管理する「仁中隧道」の諸元について以下に示す

表 3.1 対象トンネル諸元

番号	路線名	トンネル名称	所在地	トンネル分類	延長 (m)	有効幅員 (m)	完成年
1	町道久通仁中線	仁中隧道	那珂川町	陸上トンネル 矢板・素掘り構造	42	3.0	1951 (昭和 26)



終点側坑口部に既存する開通記念碑



起点側坑口の状況



終点側坑口の状況

2-3. 既往点検結果の抽出・整理

トンネルの健全度評価は、2022 年（令和 4 年）定期点検で得られた打音検査および覆工観察を整理して、「**道路トンネル定期点検要領：国土交通省道路局国道技術課（2019 年（平成 31 年）3 月）**」に従う。

同要領において、点検結果の判定は、対策の緊急度と変状の程度を主に、歩行者の安全通行、構造物としての安全性および維持管理作業量に及ぼす影響に基づき、対策区分を表 2.2 に示すように「I」から「IV」までの4区分としている。

1) 点検要領判定基準

総点検実施要領による判定基準を以下に示す。

表 2.2 変状等の健全性の診断における判定区分

区 分		状 態	定 義	定期点検要領 2019(H31).3)
I	健全	構造物の機能に支障が生じていない状態。	利用者に対して影響が及ぶ可能性がないため、措置を必要としない状態。	I
II	予防保全 段階	構造物の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態。	将来的に、利用者に対して影響が及ぶ可能性があるため、監視、又は予防保全の観点から対策を必要とする状態。	II b
				II a
III	早期措置 段階	構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。	早晩、利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、早期に対策を講じる必要がある状態。	III
IV	緊急措置 段階	構造物の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。	利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、緊急に対策を講じる必要がある状態。	IV

『道路トンネル定期点検要領 2019 年（平成 31 年）3 月 国土交通省道路局国道・技術課』
に加筆

2) 対策区分の判定

以下に対策区分ならびに各点検要領における判定区分の対比について示す。

表 2.3 対策区分

区分		定義
I		利用者に対して影響が及ぶ可能性がないため、措置を必要としない状態。
II	II b	将来的に、利用者に対して影響が及ぶ可能性があるため、監視を必要とする状態。
	II a	将来的に、利用者に対して影響が及ぶ可能性があるため、重点的な監視を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態。
III		早晩、利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、早期に対策を講じる必要がある状態。
IV		利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、緊急に対策を講じる必要がある状態。

「道路トンネル定期点検要領 2019 年（平成 31 年）3 月 国土交通省道路局国道・技術課

P19」

3) 変状種類別判定区分

「道路トンネル定期点検要領：国土交通省道路局国道技術課（2019年（平成31年）3月）」においては、変状の健全性の診断に際し、変状種類及び変状区分別に個別の判定区分を示している。

表 2.4 変状種類及び変状区分との関係

変状種類	変 状 区 分		
	外 力	材質劣化	漏 水
①圧ざ、ひび割れ	○	○	
②うき、はく離	○	○	
③変形、移動、沈下	○		
④鋼材腐食		○	
⑤有効巻厚の不足または減少		○	
⑥漏水等による変状			○

「道路トンネル定期点検要領 2019年（平成31年）3月 国土交通省道路局国道・技術課

P20」

（1）圧ざ、ひび割れに対する判定

表 2.4 圧ざ、ひび割れに対する判定区分

区 分	定 義
I	ひび割れが生じてない、または生じていても軽微で、措置を必要としない状態
II	II b ひび割れがあり、その進行が認められないが、将来的に構造物の機能が低下する可能性があるため、監視を必要とする状態
	II a ひび割れがあり、その進行が認められ、将来的に構造物の機能が低下する可能性があるため、重点的な監視を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態
III	ひび割れが密集している、またはせん断ひび割れ等があり、構造物の機能が低下しているため、早期に対策を講じる必要がある状態
IV	ひび割れが大きく密集している、またはせん断ひび割れ等があり、構造物の機能が著しく低下している、または圧ざがあり、緊急に対策を講じる必要がある状態

「道路トンネル定期点検要領 2019年（平成31年）3月」P44

（2）うき、はく離に対する判定

表 2.4 うき、はく離に対する判定区分

区 分	定 義
I	ひび割れ等によるうき、はく離の兆候がないもの、またはたたき落としにより除去できたため、落下する可能性がなく、措置を必要としない状態
II	II b ひび割れ等により覆工コンクリート等のうき、はく離の兆候があり、将来的に落下する可能性があるため、監視を必要とする状態
	II a ひび割れ等により覆工コンクリート等のうき、はく離の兆候があり、将来的に落下する可能性があるため、重点的な監視を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態
III	ひび割れ等により覆工コンクリート等のうき、はく離等がみられ、落下する可能性があるため、早期に対策を講じる必要がある状態
IV	ひび割れ等により覆工コンクリート等のうき、はく離等が顕著にみられ、早期に落下する可能性があるため、緊急に対策を講じる必要がある状態

「道路トンネル定期点検要領 2019年（平成31年）3月」P48

(3) 漏水等による変状の判定

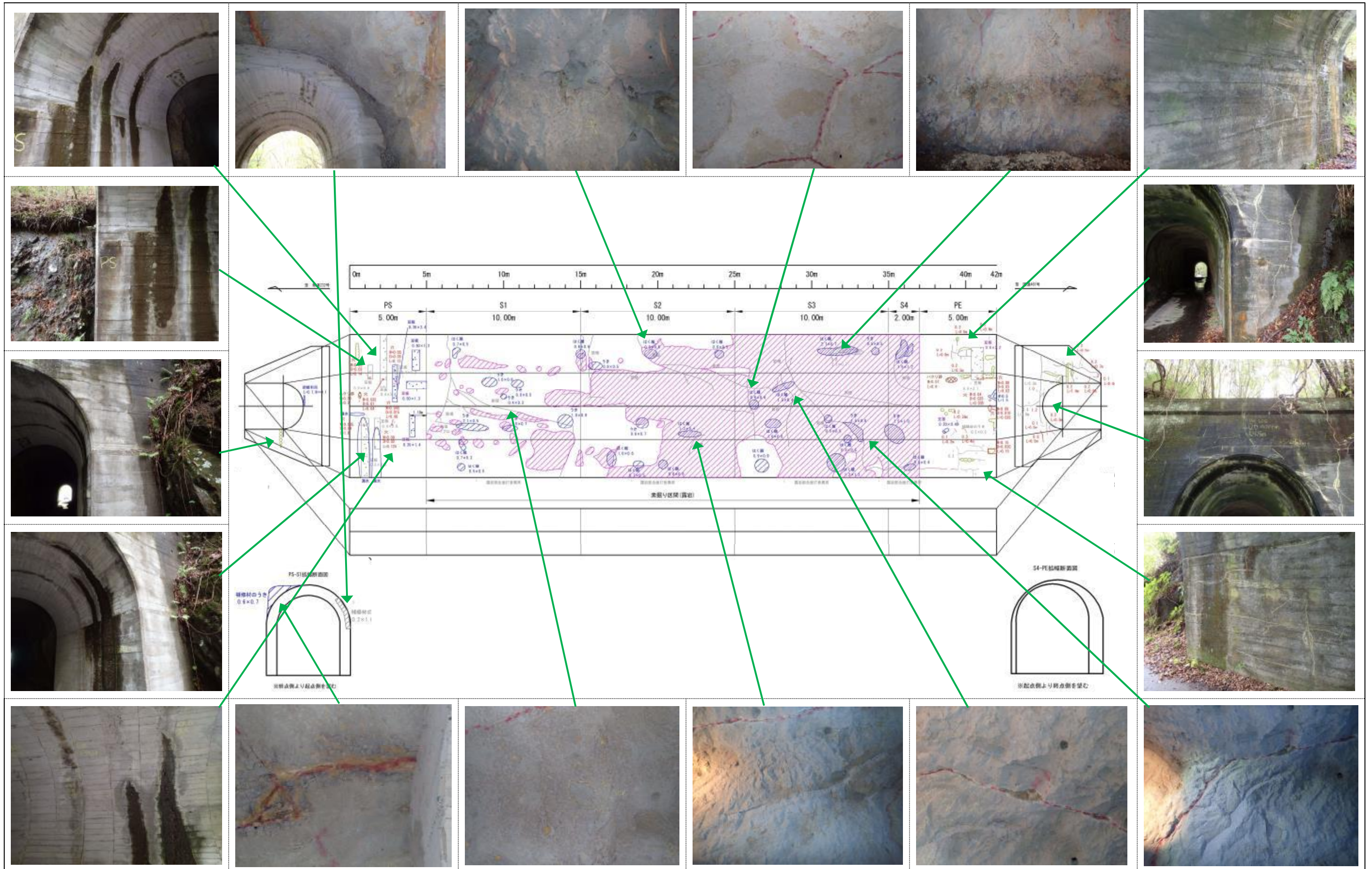
表 2.5 漏水等による変状に対する判定区分

区分		定 義
I		漏水がみられないもの、または漏水があっても利用者の安全性に影響がないため、措置を必要としない状態
II	II b	コンクリートのひび割れ等から漏水が浸出しており、利用者の安全性にはほとんど影響がないが、監視を必要とする状態
	II a	コンクリートのひび割れ等から漏水の滴水があり、将来的に利用者の安全性を損なう可能性のあるもの、または、排水不良により、舗装面に滞水を生じおそれのあるため、重点的な監視を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態
III		コンクリートのひび割れ等から漏水の流下があり、または、排水不良により舗装面に滞水があり、利用者の安全性を損なう可能性のあるため、早期に対策を講じる必要がある状態
IV		コンクリートのひび割れ等から、漏水の噴出あり、または、漏水に伴う土砂流出により舗装が陥没したり沈下する可能性があり、寒冷地において漏水等により、つららや側氷等が生じ、利用者の安全性を損なうため、緊急に対策を講じる必要がある状態

「道路トンネル定期点検要領 2019 年（平成 31 年）3 月」P61

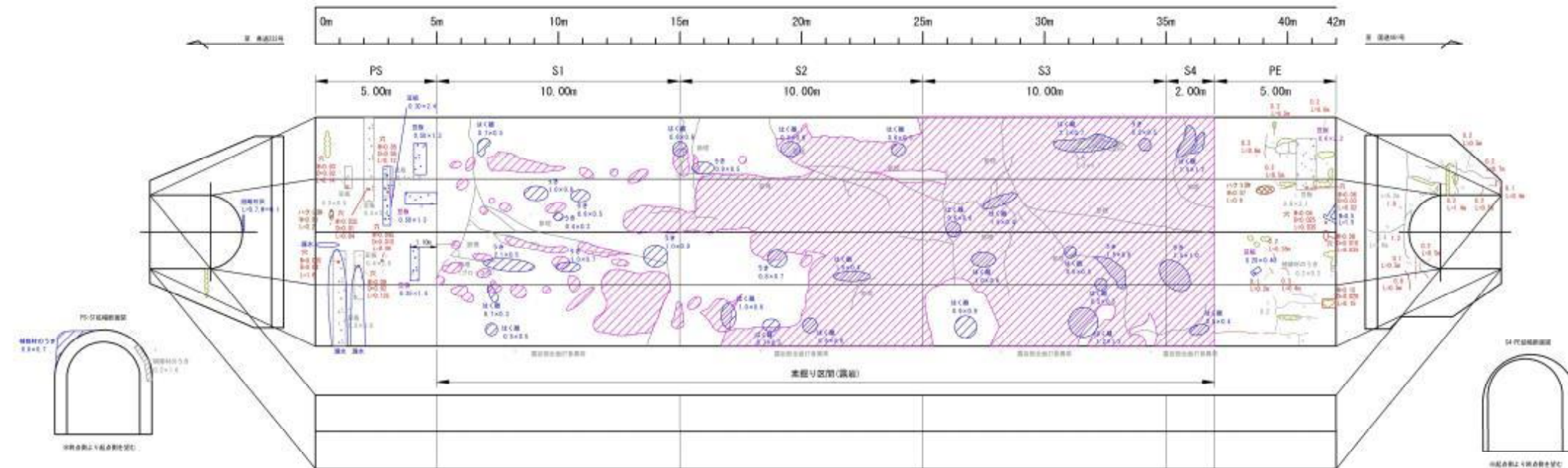
※次頁に 2022 年度（令和 4 年度）点検業務における判定の総括を添付する。

【仁中隧道 2022 年度（令和 4 年度）定期点検結果総括】



仁中隧道変状展開図

S=1:200



H 29 点検	スパン毎の健全性	Ⅱa	Ⅱa	Ⅱa	Ⅱa	Ⅱa	Ⅱa
	外力	I	Ⅱb	Ⅱb	Ⅱb	Ⅱb	I
	材質劣化	Ⅱa	Ⅱa	Ⅱa	Ⅱa	Ⅱa	Ⅱa
	漏水	I	I	I	I	I	I
R 2 調査	スパン毎の健全性	Ⅱa	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱa
	外力	I	Ⅱb	Ⅱb	Ⅱb	Ⅱb	I
	材質劣化	Ⅱa	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱa
	漏水	I	I	I	I	I	I
R 4 点検	スパン毎の健全性	Ⅱa	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱa
	外力	I	Ⅱb	Ⅱb	Ⅱb	Ⅱb	I
	材質劣化	Ⅱa	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱa
	漏水	I	I	I	I	I	I

凡 例

表 示	目視点検で変状種類	表 示	目視点検で変状種類	表 示	目視点検で変状種類	表 示	目視点検で変状種類
—	施工目的	〰	コールドジョイント	〰	骨材の露出(豆板類)	〰	溶融物(遊離石灰など)
〰	ひび割れ(0.3mm未満 数値は開口幅(mm)、延長(m))	〰	圧ぎ	〰	漏水 (漏水量 リットル/分)	〰	その他の変状
〰	ひび割れ(0.3mm以上 数値は開口幅(mm)、延長(m))	〰	うき、はく離 (ハンマー打診異常箇所)	〰	漏水(漏れている部分)	〰	叩き落とし
〰	段差 矢印側突出、数値は段差(mm)	〰	はく離(はく離部)	〰	漏水	〰	漏水防止工(漏水工)

※「2022 年度（令和 4 年度）那珂川町トンネル長寿命化修繕計画策定業務」報告書より抜粋

2-4. 調査結果及び変状要因の推定

2-4-1. 健全度判定～対策検討の流れ

仁中隧道の「健全度判定」に際し、過年度の定期点検結果～長寿命化修繕計画策定に伴う現地調査結果より、「変状原因の推定」～「健全度の判定（見直し）」～「長寿命化計画策定（対策工法の抽出・比較検討・選定等）」の流れを以下に示す。

2017 年度（平成 29 年度）定期点検結果（健全度判定）



仁中隧道の変状イメージ

仁中隧道の健全度

スパン毎の判定			トンネルの健全性
外力	材質劣化	漏水	
Ⅱb	Ⅱa	I	Ⅱ

《変状原因の推定・推察》

- ①外力（Ⅱb）・・・・・・・・素掘り区間の天端、側壁の節理
- ②材質劣化（Ⅱa）・・・・・・・・素掘り区間の側壁部の浮き
素掘り区間のアーチ、側壁部の全面打音異常
- ③漏水（Ⅰ）・・・・・・・・坑門工、覆工部分の遊離石灰

2020 年度（令和 2 年度）長寿命化修繕計画策定（健全度判定見直し）

- 判定区分：道路トンネル維持管理便覧（本体工編）に準拠

I	健全
Ⅱb	予防保全段階
Ⅱa	予防保全段階
Ⅲ	早期措置段階
Ⅳ	緊急措置段階

仁中隧道の健全度（見直し結果）

スパン毎の判定			トンネルの健全性
外力	材質劣化	漏水	
Ⅱb	Ⅲ	I	Ⅲ

変状展開図への判定結果記入

2022 年度（令和 4 年度）定期点検結果（健全度判定の精査）

- 判定区分：道路トンネル定期点検要領（2019 年（平成 31 年）版）にもとづく

I	健全
Ⅱb	予防保全段階
Ⅱa	予防保全段階
Ⅲ	早期措置段階
Ⅳ	緊急措置段階

仁中隧道の健全度（精査結果）

スパン毎の判定			トンネルの健全性
外力	材質劣化	漏水	
Ⅱb	Ⅲ	I	Ⅲ

変状展開図への判定結果記入

変状状態・変状要因に適用可能な工法抽出～比較検討

- ①材質劣化に伴う剥離、剥落対策・・・・・・・・支保材による保持対策
- ②漏水（ひび割れ）対策・・・・・・・・漏水対策工（ひび割れ注入工）

2-4-2. 変状の原因および特徴

本体工の変状原因は下表に示すように、外力の作用等の外因と使用材料等の内因に大別できる。また、これらの変状原因と変状の特徴を一覧表にて示す。

表 2.6 変状原因の区分

			変状原因
外因	外力	地形・地質	緩み土圧、膨張性土圧、偏土圧・斜面のクリープ、地すべり、支持力不足
		地下水	水圧、凍上圧
		その他	近接施工、地震、地殻変動等
	環境	経年	経年劣化(中性化)、鋼材腐食
		地下水	漏水、凍害
		劣化促進	塩害、有害水
内因	材料	骨材、セメント	セメントの異常凝結、水和熱(温度応力)、低品質骨材、反応性骨材等
		コンクリート	ブリーディング、乾燥収縮等
	施工	コンクリートの施工	打込み不良、締固め不足、養生不良、巻厚不足、背面空洞残存等
		鉄筋組み立て	配筋の乱れ、かぶり不足等
		型枠	型枠変形、早期脱型、支保工の沈下等
	設計		インバートなし、地すべり対策、支持力対策等への配慮不足

一般には、上表に示す外因、内因それぞれの変状原因が複合的に作用して、変状が発生し顕在化する場合が多い。

下図は個々の変状原因と、それが複合して関与する変状の機構、発生する変状区分と主な変状現象、および対策の区分との関係を整理したものである。

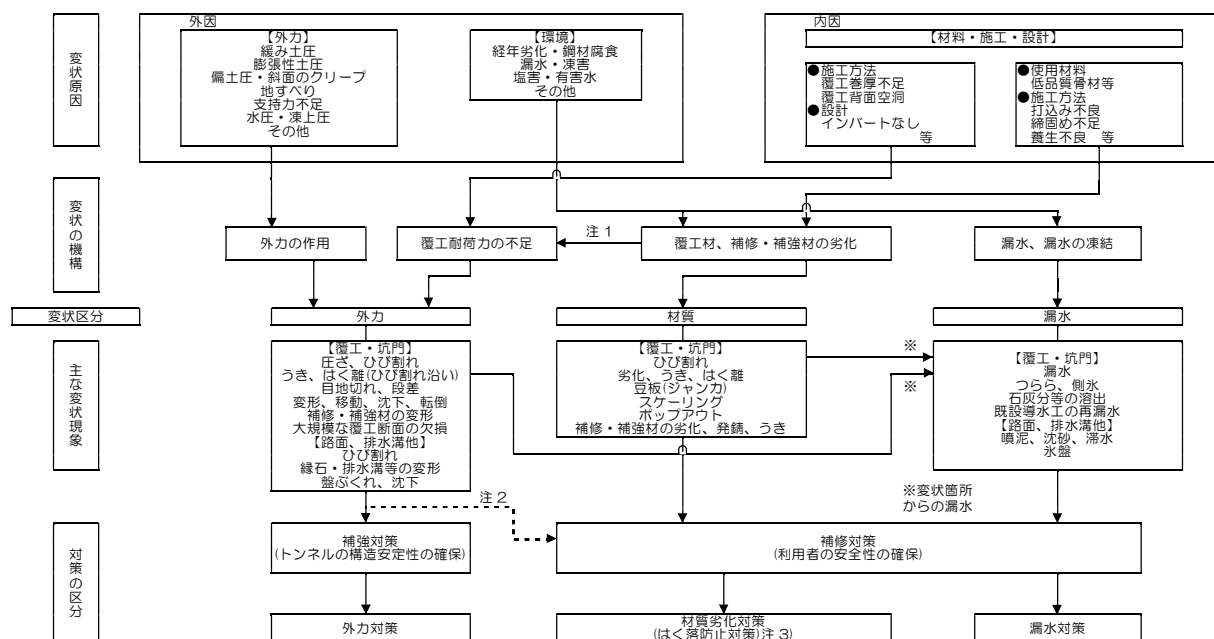


図 2.1 変状原因と変状区分および対策の区分との関係

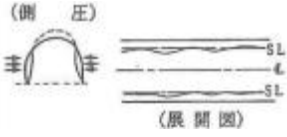
表 2.7 変状原因と特徴一覧表(1)

変状原因		概要
外因(外力)	緩み土圧	<p>緩み土圧は、地山が緩み、自重を支えられなくなり、覆工に荷重として作用する鉛直圧を主体とするものである。このため、アーチの天端にトンネル縦断方向の引張りひ割れを生じるものが多い。ただし集中荷重として土圧が作用すると、放射状もしくはクモの巣状にひび割れが発生する場合がある</p> <p>また、トンネルの上部に比較的大きい空洞があり、空洞の上部の岩塊が何らかの理由で地山と分離し落下し、衝撃的に覆工に衝突する場合がある。覆工の強度・巻厚が十分でなければ覆工を破壊し、岩塊もろともトンネル内へ岩塊が落下した事例があるが、このような現象は「突発性の崩壊」と称する</p>
	膨張性土圧	<p>膨張性土圧による変状では、左右の側壁あるいはアーチの両肩に、複雑な水平ひび割れが生じやすく、アーチと側壁間に打継ぎ目がある場合には段差が生じることがある。また盤ぶくれが発生する場合がある</p>
	偏土圧・斜面のクリープ	<p>斜面下や、傾斜した片理方向に緩みが生じて偏土圧が作用し、トンネルが変状するものである。山側アーチ肩部に引張りひび割れ、段差が生じることが多い</p>
	地すべり	<p>地すべりによってトンネルが変状するものをいう</p> <p>地すべりによる変状は、トンネルとすべり面の位置関係により変状の発生形態が異なる</p>
	支持力不足	<p>支持力不足がトンネルの変状と結びつきやすいのは、縦断的、あるいは横断的な不等沈下である。前者の場合、トンネル横断方向のひび割れが生じやすい。また、後者の場合はトンネル軸の回転をともない、斜め方向のひび割れが生じる</p>

「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】2020年（令和2年）8月（財）日本道路協会 P45」

仁中隧道は坑口部で一部覆工構造ではあるが、当該部分での変状外的要因に伴う変状は確認されない。一般部は素掘り状態であるため掘削に伴う緩み領域がトンネル上部に生じ、土圧の作用となって素掘り構造の岩盤に作用し続けている現象より、露頭岩盤の節理・亀裂が進行しているものと考えられる。

表 2.8 変状原因と特徴一覧表(2)

変状原因		概要
外因 (外力)	水圧・凍上圧	水圧・凍上圧は、漏水と深くかかわっており、トンネルに作用する場合は通常、側圧が卓越し、側壁あるいはアーチ肩部の水平ひび割れが生じることが多い 
	その他	近接施工や地震等によってトンネル周辺地山が変形するのにもない、覆工や坑門が変形し、せん断ひび割れ等がある
外因 (環境)	経年劣化	コンクリートの経年劣化の代表的な原因は中性化である。コンクリートの中性化は、主としてコンクリート中の強アルカリ生成物である水酸化カルシウムが、大気中の炭酸ガスと反応してアルカリ性を失い、中性化する現象をいう
	鋼材腐食	坑門等の鉄筋コンクリート構造物では、中性化の進行等で鋼材の腐食・体積膨張により、鉄筋に沿ったひび割れの助長および鋼材断面の減少・耐荷力低下を生じる可能性がある
	漏水	漏水は、外力による変状(水圧等)の原因にもなるが、それ以外にも漏水自体が材質劣化を促進する原因となる場合がある
	凍害	寒冷地のトンネルでは、凍害は覆工の劣化要因の中でもっとも問題となることが多い要因である。凍害の発生機構は、コンクリート中の水分の凍結およびそれにともなう体積膨張にある
	塩害	コンクリート中への塩分浸透は、鋼材腐食を促進させる可能性があり、鋼材腐食による体積膨張でコンクリートひび割れ等が生じる
	有害水	背面地山中の地下水には、火山地帯にみられる酸性水などのように、覆工にとって有害成分を含むものがあり、覆工劣化をもたらす原因となる
	その他	通行車両の事故による火災時には、コンクリートは高温条件にさらされる。火災による覆工の劣化としては、強度、弾性係数等の力学的性質の低下、コンクリートの表面および内部での爆裂現象、はく離、ひび割れ等が考えられる また通行車両の排気ガスや煤煙に含まれる窒素酸化物等が漏水中の水分と化合して強い酸性水を生成する可能性がある。これまでのところ同現象による直接的変状の例は少ない

「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】2020年(令和2年)8月 (財)日本道路協会 P46」

仁中隧道の岩盤露頭の素掘り構造により、上表の「経年劣化(コンクリート)」は該当しないものであるが、表面の風化進行に伴う劣化要因により岩盤の節理・亀裂が進行し、前回調査時(2020年(令和2年)12月)からの2年の経過(前回点検:2022年(令和4年)10月)~本業務現地調査時において、岩盤表面の剥離が顕著となっている。

表 2.9 変状原因と特徴一覧表(3)

変状原因		概要
内因 (材料・施工・設計)	使用材料	使用材料に起因する変状は、発生時期は早期なものが多い。使用材料の不適切な選定として、セメントの異常凝結や低品質骨材による膨張等がある。またアルカリ骨材反応等の事例も報告されている
	施工方法	コンクリートの打込み不良や締固め不足によりコールドジョイントや豆板等が形成される場合がある。またセメントの水和熱による温度変化とそれにとまなう体積変化が地山の拘束を受けた場合に、ひび割れが生じる場合がある
	覆工背面の空洞	覆工背面の空洞は、地山を緩め、土圧を増加させる原因となるばかりでなく、受動土圧の発生を阻害して、覆工の構造的な強度低下の原因となる
	覆工巻厚不足	設計巻厚で不足していることにより、設計時に想定した値以下の土圧が作用しても変状が発生する場合がある
	設計	坑口部等で支持力対策や、偏土圧・地すべり対策等が設計時に十分に見込まれていない場合に、覆工や坑門が変形・移動することがある
	インバートなし	施工時には大きな土圧の作用がなくインバートを設置しなくとも地山の安定が得られたトンネルにおいて、施工後に何らかの要因によりトンネル下方の地山の強度が低下し、膨張性土圧が増大することで、インバートを設置していないことにより、盤ぶくれ等の変状が発生することがある。

「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】2020年（令和2年）8月（財）日本道路協会 P47」

仁中隧道は坑口部で一部覆工構造ではあるが、当該部分での内因（材料・施工・設計）の要因に伴う変状は確認されない。

2-4-3. 山岳トンネル工法の変遷

変状原因の推定にあたり、山岳トンネル工法の変遷について示し、トンネル構造や、施工方法による変状について検証を行うものとする。

年 代	代表的な断面	掘削工法	覆 工 工 法		
			材料	型枠	打設機械
昭和20年代～ 昭和30年代中期		木製支保工による掘削 ・底設導坑先進工法 ・頂設導坑先進工法 ・側壁導坑先進工法	レンガ 石材	木製 鋼製組立枠	人力 (富車・ショベル)
昭和30年代中期～ 昭和50年代中期		鋼製支保工と矢板による掘削 ・上部半断面先進工法 ・底設導坑先進工法 ・側壁導坑先進工法	コンクリート	スライディングセントラルフォーム	旧式コンクリートポンプ ブレースリート
昭和50年代中期～		NATM工法 ・上部半断面先進工法 ・ショートベンチ工法 ・ミニベンチ工法 ・CD中壁工法 ・TBM導坑先進拡幅工法	コンクリート	移動式型枠 ロックボルト・吹付けコンクリート	油圧式コンクリートポンプ ハコンクリート吹付け機・ロボット

図2.2 山岳工法による道路トンネル断面および施工法の変遷

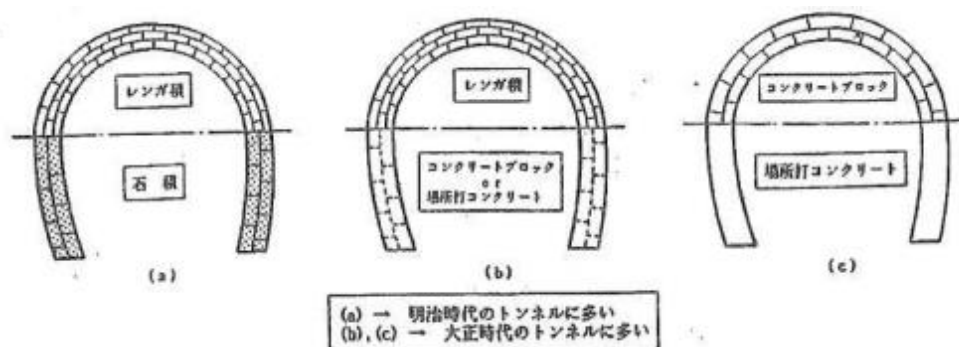


図2.3 覆工材料事例

		1874- 1883	1884- 1893	1894- 1903	1904- 1913	1914- 1923	1924- 1933	1934- 1943	1944- 1953	1954- 1963	1964- 1973	1974- 1983	1984- 1993	1994-
		建設年代(西暦)												
掘削		頂設導坑(旧式)			新式		底設導坑		底設導坑先進		NATM			
	支保方式	木製支柱式支保工								鋼製支保工				
掘工 方式	材料	レンガ・石積み			コンクリートブロック			場所打ちコンクリート						
	施工方 法	人力									掘削(ポンプ、ブレーサ)		(ポンプ)	
											引抜き器		吸上げ	

図2.4 山岳工法の変遷

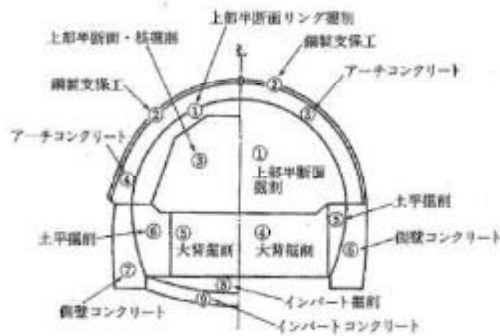


図2.5 上部半断面先進工法

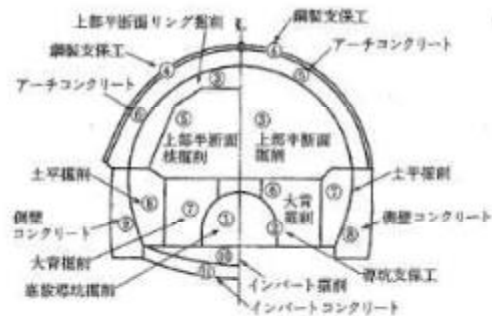


図2.6 底設導坑先進上部半断面工法

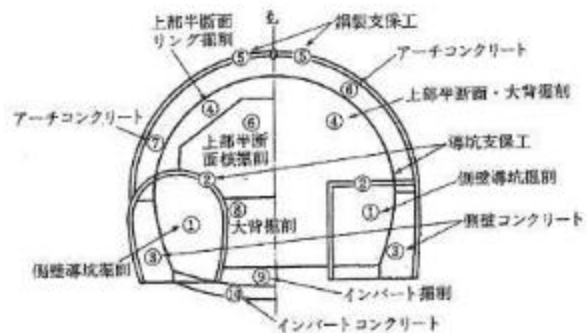


図2.7 側壁導坑先進上部半断面工法

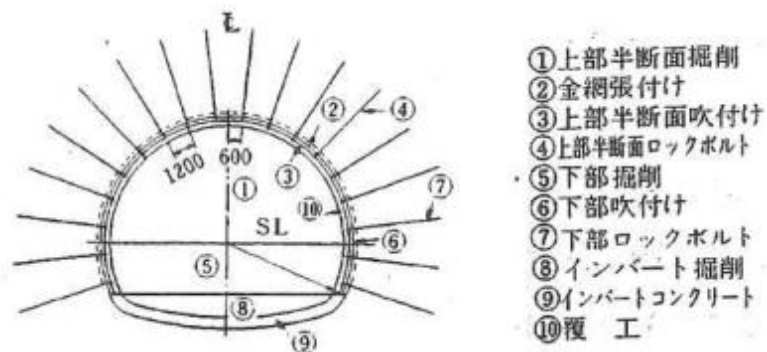


図2.8 NATMによるトンネル

仁中隧道は坑口部で一部覆工構造ではあるが、一般部の素掘り構造は、上記のいずれの工法にも該当しない。

2-5. 健全度判定

長寿命化修繕計画策定に伴う現地調査結果よりトンネル健全度の判定を行うにあたっての流れ・判定基準(判定区分、判定の目安となる変状現象の程度)について述べる。

2-5-1. 健全性の判定の流れ

点検・調査後に行う健全性の判定の流れについて以下に例を示す。

表 2.10 健全性の診断の流れ(例)

点検・調査後に行う健全性の判定	対策区分の判定	点検・調査結果にもとづく対策区分			
		スパン 1	スパン 2	スパン 3	スパン 4
		● IIb	● IIa ● III(外力)		● IV ● I ● IIa(外力)
	変状等の健全性の判定	変状単位(外力に起因する変状は覆工スパン単位)			
		スパン 1	スパン 2	スパン 3	スパン 4
	外力		III		II
	材質劣化	● II			● IV
	漏水		● II		I
	覆工スパン毎の健全性の判定	構造物単位			
		スパン 1	スパン 2	スパン 3	スパン 4
		II	III	I	IV
	トンネル毎の健全性の判定	構造物単位			
		IV			

「道路トンネル維持管理便覧(本体工編)2020年(令和2年)8月 日本道路協会 P226」を編集

※「変状等の健全性の判定」について、今回調査においては「外力(圧ざ、ひび割れ)」「うき・剥離(材質劣化)」「漏水」による変状について、覆工スパン単位に判定を行うものとする。

2-5-2. 健全度判定基準

トンネルの健全度評価は、2022 年（令和 4 年）定期点検で得られた打音検査および覆工観察を整理して、「**道路トンネル定期点検要領：国土交通省道路局国道技術課 2019 年（平成 31 年）3 月**」に従う。

同要領において、点検結果の判定は、対策の緊急度と変状の程度を主に、歩行者の安全通行、構造物としての安全性および維持管理作業量に及ぼす影響に基づき、対策区分を表 2.11 に示すように「Ⅰ」から「Ⅳ」までの 5 区分としている。

以下に対策区分ならびに各点検要領における判定区分の対比について示す。

表 2.11 対策区分

区分		定義
Ⅰ		利用者に対して影響が及ぶ可能性がないため、措置を必要としない状態。
Ⅱ	Ⅱb	将来的に、利用者に対して影響が及ぶ可能性があるため、監視を必要とする状態。
	Ⅱa	将来的に、利用者に対して影響が及ぶ可能性があるため、重点的な監視を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態。
Ⅲ		早晚、利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、早期に対策を講じる必要がある状態。
Ⅳ		利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、緊急に対策を講じる必要がある状態。

「道路トンネル定期点検要領 2019 年（平成 31 年）3 月 国土交通省道路局国道・技術課 P19」

表 2.12 各点検要領等における判定区分の対比

道路トンネル 維持管理便覧(2020 年(令和 2 年)) 道路トンネル 定期点検要領(2019 年(平成 31 年)) ※	道路トンネル 定期点検要領(案) 国土交通省道路局国道課 (2002 年(平成 14 年)4 月)	道路トンネル 維持管理便覧 日本道路協会 (1993 年(平成 5 年)11 月)
判定区分(5 区分)	判定区分(3 区分)	判定区分(4 区分)
Ⅰ：健全	S (変状無、軽微)	—
Ⅱb：予防保全段階	B (変状あり： 危険性低、要調査)	B (軽微：要監視)
Ⅱa：予防保全段階		A (変状あり： 重点的監視 計画的に対策)
Ⅲ：早期措置段階		2A (変状あり：早期に対策)
Ⅳ：緊急措置段階	A (変状大： 危険性高、要応急対策、要調査)	3A (変状大： 直ちに対策)
本業務の判定で適用		

※「道路トンネル維持管理便覧（本体工編）2020 年（令和 2 年）8 月 日本道路協会」の判定区分は、「道路トンネル定期点検要領 2019 年（平成 31 年）国土交通省道路局国道課」を基に作成されているため同等となる。

2-5-3. 変状種類別判定区分

「道路トンネル定期点検要領：国土交通省道路局国道技術課（2019年（平成31年）3月）」においては、変状の健全性の診断に際し、変状種類及び変状区分別に個別の判定区分を示している。

以下に各変状種類に対する判定区分及びその目安例ならびに変状写真を示す。

表 2.13 変状種類及び変状区分との関係

変状種類	変 状 区 分		
	外 力	材質劣化	漏 水
①圧ざ、ひび割れ	○	○	
②うき、はく離	○	○	
③変形、移動、沈下	○		
④鋼材腐食		○	
⑤有効巻厚の不足または減少		○	
⑥漏水等による変状			○

「道路トンネル定期点検要領 2019年（平成31年）3月 国土交通省道路局国道・技術課 P20」

表 2.14 対象トンネルの変状種類・対象スパン

変状種類	仁中隧道	
	該当	対象スパン
①圧ざ、ひび割れ	○	S01～S04
②うき、はく離	○	S01～S04
③変形、移動、沈下		
④鋼材腐食		
⑤有効巻厚の不足または減少 （巻厚不足に伴う突発性の崩壊）		
⑥漏水等による変状	○	PS、PE

※仁中隧道の現状より上記：「圧ざ、ひび割れ（外力）」「うき・剥離（材質劣化）」「漏水」の変状区分に該当するため、当該変状に対する判定を行うものとする。

1) 圧ざ、ひび割れに対する判定

圧ざ、ひび割れに着目し判定は、表 2.15 に示す判定区分を参考にして行うものとする。

表 2.15 圧ざ、ひび割れに対する対策区分

区 分		定 義
Ⅰ		ひび割れが生じてない、または生じていても軽微で、措置を必要としない状態
Ⅱ	Ⅱb	ひび割れがあり、その進行が認められないが、将来的に構造物の機能が低下する可能性があるため、監視を必要とする状態
	Ⅱa	ひび割れがあり、その進行が認められ、将来的に構造物の機能が低下する可能性があるため、重点的な監視を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態
Ⅲ		ひび割れが密集している、またはせん断ひび割れ等があり、構造物の機能が低下しているため、早期に対策を講じる必要がある状態
Ⅳ		ひび割れが大きく密集している、またはせん断ひび割れ等があり、構造物の機能が著しく低下している、または圧ざがあり、緊急に対策を講じる必要がある状態

「道路トンネル定期点検要領 2019 年（平成 31 年）3 月 国土交通省道路局国道・技術課 P44」

外力による圧ざ(断面内で圧縮による軸力と曲げモーメントの影響が顕著に現れ、トンネルの内側が圧縮によりつぶされるような状態で損傷等を生じる状態)が生じたり、ひび割れが進行した場合、構造物の機能低下につながる。ひび割れの進行の有無が確認できない場合について、ひび割れ規模(幅や長さ)等に着目した判定の目安例を示す。

ひび割れの判定の目安は、ひび割れの進行性の有無が確認できない場合を表 2.16、ひび割れの進行性の有無が確認された場合を表 2.17 に示すものとする。

表 2.16 点検時（ひび割れの進行の有無が確認できない場合）の対策区分の目安例

対象箇所	部位区分	ひび割れ						判定区分
		幅			長さ			
		5mm 以上	3～5mm	3mm 未満	10m 以上	5～10m	5m 未満	
覆工	断面内			○	○	○	○	I～IIa※
			○				○	IIa
			○			○		III
			○		○			III
		○					○	IIb～III
		○				○		III
		○			○			IV

※注 1) 連続したひび割れ内で幅が変化する場合、最大幅を当該ひび割れの幅とする。

注 2) 覆工スパンをまたがる連続したひび割れは、覆工スパンをまたがって計測される長さを当該ひび割れの長さとする（覆工スパン単位のひび割れ長さでは評価しない）。

注 3) 3mm 未満のひび割れ幅の場合の判定例:

IIb: ひび割れが軽微で、外力か材質劣化か判断が難しい場合

IIa: 地山条件や、周辺のひび割れ発生状況等から、外力の作用の可能性がある場合。なお、地山条件や、周辺のひび割れ発生状況等から、外力の作用が明らかに認められる場合は、その影響を考慮して判定を行うのが望ましい。

注 4) ひび割れ幅が 5mm 以上で長さが 5m 未満の場合の判定は、ひび割れの発生位置や発生原因を考慮して判定を行う。

「道路トンネル定期点検要領 2019 年（平成 31 年）3 月 国土交通省道路局国道・技術課 P45」

表 2.17 調査の結果、ひび割れの進行の有無が確認された場合の対策区分の目安例




対象箇所	部位区分	外力によるひび割れ				判定区分
		幅		長さ		
		3mm 以上	3mm 未満	5m 以上	5m 未満	
覆工	断面内		○	○	○	IIa～III
		○			○	III
		○		○		IV

「道路トンネル定期点検要領 2019 年（平成 31 年）3 月 国土交通省道路局国道・技術課 P45」

不規則なひび割れ等が確認された箇所は、集中的な緩み土圧が作用している可能性があり、有効巻厚の不足または減少が伴う場合、突発性崩壊につながる可能性が懸念されるため、このような変状が確認された箇所については必要に応じて点検時、調査時に計画的に確認を行った上で、判定を実施するのが望ましい。

仁中隧道は坑口部・覆工部分についてひび割れの進行は確認されないが、一般部・素掘り部分については、2017 年度（平成 29 年度）点検時～2020 年（令和 2 年）12 月調査時～2022 年（令和 4 年）定期点検～本業務現地調査において、剥離・剥落が顕著な状態であるため、明らかに亀裂（節理の発達）が進行しているものと推測されるが、外力によるものとは判断できないことから、IIb 判定を継続するものとする。

表2.18 圧ざ、外力によるひび割れに対する対策区分別変状例

判定区分		変状写真	変状概要
I			ひび割れが生じていない、または生じていても軽微で、措置を必要としない状態
II	IIb		ひび割れがあり、その進行が認められないが、将来的に構造物の機能が低下する可能性があるため、監視を必要とする状態
	IIa		ひび割れがあり、その進行が認められ、将来的に構造物の機能が低下する可能性があるため、重点的な監視を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態
III			ひび割れが密集している、またはせん断ひび割れ等があり、構造物の機能が低下しているため、早期に対策を講じる必要がある状態
IV			ひび割れが大きく密集している、またはせん断ひび割れ等があり、構造物の機能が著しく低下している。または圧ざがあり、緊急に対策を講じる必要がある状態
備考		ひび割れについては将来的な進行を考慮の上、判定することが望ましい	

「道路トンネル定期点検要領 国土交通省道路局国道・技術課 P47」

2) うき、はく離に対する判定

うき、はく離による覆工コンクリート等の落下に着目し判定は、表2.19 に示す判定区分を参考にして行うものとする。

表2.19 うき、はく離に対する対策区分

区 分		定 義
Ⅰ		ひび割れ等によるうき、はく離の兆候がないもの、またはたたき落としにより除去できたため、落下する可能性がなく、措置を必要としない状態
Ⅱ	Ⅱb	ひび割れ等により覆工コンクリート等のうき、はく離の兆候があり、将来的に落下する可能性があるため、監視を必要とする状態
	Ⅱa	ひび割れ等により覆工コンクリート等のうき、はく離の兆候があり、将来的に落下する可能性があるため、重点的な監視を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態
Ⅲ		ひび割れ等により覆工コンクリート等のうき、はく離等がみられ、落下する可能性があるため、早期に対策を講じる必要がある状態
Ⅳ		ひび割れ等により覆工コンクリート等のうき、はく離等が顕著にみられ、早期に落下する可能性があるため、緊急に対策を講じる必要がある状態

「道路トンネル定期点検要領 国土交通省道路局国道・技術課 P48」

うき、はく離の落下の危険性は、ひび割れ等の状況や打音以上で判断する。判定区分がⅡb～Ⅳに対する判定の目安例として、表2.20 に示すものとする。

なお、うき、はく離の判定は、打音検査時にたたき落としを行った後に実施する。

表 2.20 うき、はく離等に対する対策区分の目安例

対象箇所	部位区分	ひび割れ等の状況	打音異常	
			有	無
覆工	断面内	ひび割れ等はあるものの、進行しても閉合の恐れがない	Ⅱb	
		ひび割れ等は閉合してはいないものの、ひび割れの進行により閉合が懸念される	Ⅲ	Ⅱb
		ひび割れ等が閉合しブロック化している	Ⅳ	Ⅱb～Ⅲ
		漏水防止モルタルや補修材が材質劣化している	Ⅲ～Ⅳ	Ⅱb～Ⅲ
		覆工コンクリートや骨材が細片化している、あるいは豆板等があり材質劣化している	Ⅳ	Ⅱb～Ⅲ

補足 1) ブロック化とは、ひび割れ等が単独またはひび割れと目地、コールドジョイント等で閉合し、覆工が分離した状態をいう

補足 2) 打音異常が認められない場合、判定区分Ⅱbによることを基本とするが、下記の場合は判定区分ⅡaまたはⅢとする等を検討することが望ましい。

- ・ブロック化の面積が大きい場合
- ・ひび割れの発生状況から落下の危険性が考えられる場合
- ・ブロック化が進行している場合
- ・劣化要因が明確な場合や寒冷地等の厳しい環境条件下にある場合

補足 3) 補修材等のうき・はく離については、本体工に生じるうきに比べてその厚さが薄いことが多いため、発生位置等を考慮し、判定することが望ましい。

「道路トンネル定期点検要領 国土交通省道路局国道・技術課 P49」

仁中隧道は坑口部・覆工部分について、うき・剥離～打音異常は確認されないが、一般部・素掘り部分については、2017 年度（H29 年度）点検時～2020 年（令和 2 年）12 月調査時～2022 年（令和 4 年）定期点検～本業務調査時において、打音異常、剥離・剥落が顕著な状態であり、これは露頭表面の岩盤露頭の風化劣化に伴うものと推測されることから、Ⅲ判定の継続を行うものとする。

表2.21 うき・はく離に対する対策区分別変状例

判定区分		変状写真	変状概要
I			ひび割れ等によるうき、はく離の兆候がないもの、またはたたき落としにより除去できたため、落下する可能性がなく、措置を必要としない状態
II	IIb		ひび割れ等により覆工コンクリート等のうき、はく離の兆候があり、将来的に落下する可能性があるため、監視を必要とする状態
	IIa		ひび割れ等により覆工コンクリート等のうき、はく離の兆候があり、将来的に落下する可能性があるため、重点的な監視を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態
III			ひび割れ等により覆工コンクリート等のうき、はく離がみられ、落下する可能性があるため、早期に対策を講じる必要がある状態
IV			ひび割れ等により覆工コンクリート等のうき、はく離等が顕著にみられ、早期に落下する可能性があるため、緊急に対策を講じる必要がある状態
備考		<p>覆工コンクリートのうき、はく落については、落下のおそれがある場合、アーチ部に比べ、側壁部では落下による利用者被害の可能性が低いこと等も勘案し、判定することが望ましい。</p> <p>「道路トンネル定期点検要領 国土交通省道路局国道・技術課 P50」</p>	

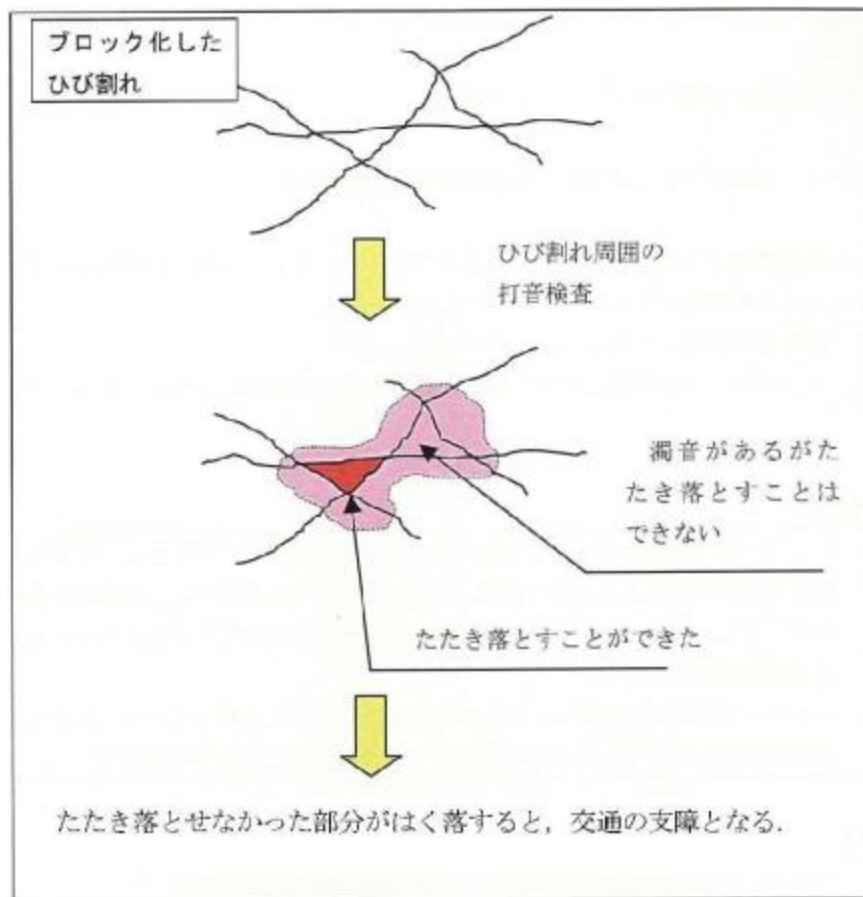


図2.9 ブロック化したひび割れの例



写真2.10 ブロック化したひび割れの例

3) 漏水等による変状の判定

漏水等による変状の判定は、表 2.22 に示す判定区分を参考にして行うものとする。

表 2.22 漏水等による変状に対する対策区分

区分		定 義
I		漏水がみられないもの、または漏水があっても利用者の安全性に影響がないため、措置を必要としない状態
II	IIb	コンクリートのひび割れ等から漏水が浸出しており、利用者の安全性にはほとんど影響がないが、監視を必要とする状態
	IIa	コンクリートのひび割れ等から漏水の滴水があり、将来的に利用者の安全性を損なう可能性のあるもの、または、排水不良により、舗装面に滞水を生じるおそれのあるため、重点的な監視を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態
III		コンクリートのひび割れ等から漏水の流下があり、または、排水不良により舗装面に滞水があり、利用者の安全性を損なう可能性のあるため、早期に対策を講じる必要がある状態
IV		コンクリートのひび割れ等から、漏水の噴出あり、または、漏水に伴う土砂流出により舗装が陥没したり沈下する可能性があり、寒冷地において漏水等により、つららや側氷等が生じ、利用者の安全性を損なうため、緊急に対策を講じる必要がある状態

「道路トンネル定期点検要領 国土交通省道路局国道・技術課 P61」

仁中隧道は坑口部・覆工部分について、一部漏水跡が確認されるものであるが、微小な痕跡であり恒常的に滴水等があるものではないと推測でき、かつ利用者への安全性に影響を与える変状ではないことから、I 判定を継続するものとする。なお、一般部の岩盤部においての漏水は確認されない。

漏水等による変状について、判定区分が IIb～IV に対する判定の目安例として、表 2.23 に示すものとする。

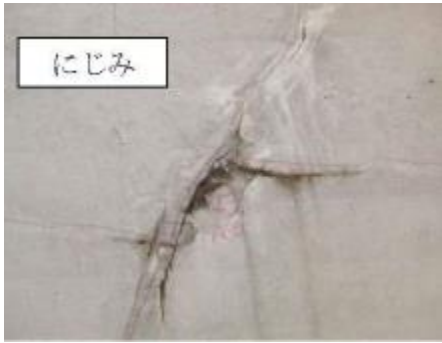
表 2.23 漏水などによる変状に対する判定の目安例

箇所	主な現象	漏水の度合				利用者への影響		判定区分
		噴出	流下	滴水	浸出 (にじみ)	有	無	
アーチ	漏水				○		○	IIb
				○		○		IIa
			○			○		III
		○				○		IV
	つらら						○	IIb
						○		III～IV
側壁	漏水						○	IIb
				○		○		IIa
			○			○		IIa
		○				○	○	III
	側氷						○	IIb
						○		III～IV
路面	土砂 流出						○	IIb
						○		III～IV
	滞水						○	IIb
						○		III～IV
	凍結						○	IIb
						○		III～IV

補足) 土砂流入等による排水機能の低下が著しい場合、路面・路肩の滞水による車両の走行障害が生じている場合、路床路盤の支持力低下が顕著な場合、舗装の劣化、氷盤の発生、つらら、側氷等による道路利用者への影響が大きい場合は判定区分を 1 ランク上げて判定することが望ましい。また、判定にあたっては、降雨の履歴や規模、及び部位区分の影響を考慮し判定することが望ましい。





「道路トンネル定期点検要領 国土交通省道路局国道・技術課 P62」

表2.24 漏水等による変状に対する判定区分別変状例

判定区分		変状写真	変状概要
I			漏水がみられないもの、または漏水があっても利用者の安全性に影響がないため、措置を必要としない状態
II	IIb		コンクリートのひび割れ等から漏水が浸出しており、利用者の安全性にはほとんど影響がないが、監視を必要とする状態
	IIa		コンクリートのひび割れ等から漏水の滴水があり、将来的に利用者の安全性を損なう可能性があるため、重点的な監視を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態
III			コンクリートのひび割れ等から漏水の流下があり、利用者の安全性を損なう可能性があるため、早期に対策を講じる必要がある状態
IV		—	コンクリートのひび割れ等から漏水の噴出があり、利用者の安全性を損なうため、緊急に対策を講じる必要がある状態
備考		漏水範囲の拡大や漏水量の増加は、背面の地山の緩みや降水量の増加と関連がある。特に前者の場合は地山の緩みの増加によって透水のしやすさが促進したり、地山が浸食されたりするケースがあるので、突発性の崩壊の防止をはかる観点から検討及び判定をすることが望ましい。	

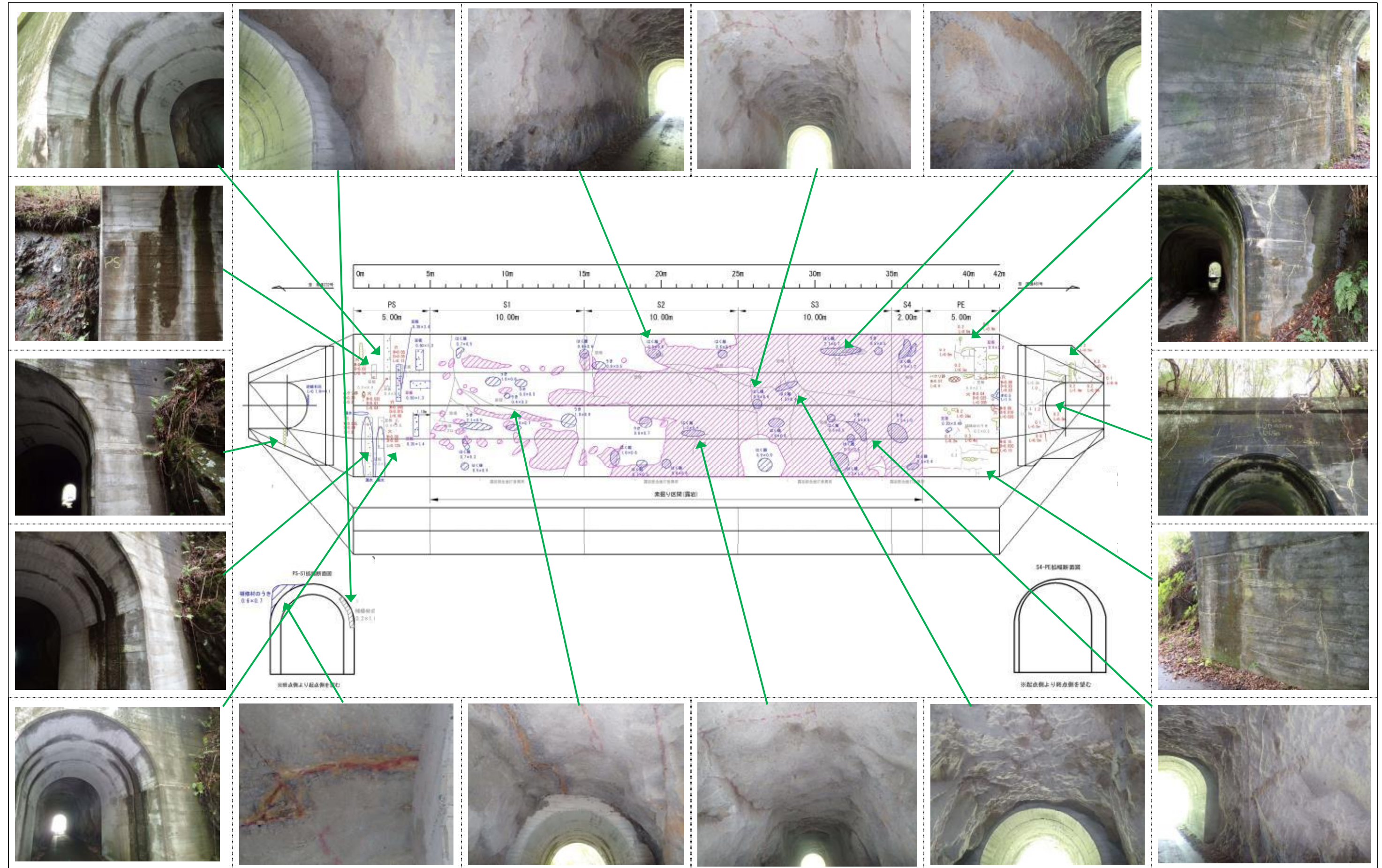
「道路トンネル定期点検要領 国土交通省道路局国道・技術課 P63」

表 2.25 側水、土砂流出に対する対策区分別変状例

判定区分		変状写真	変状概要
I			漏水がみられないもの、または漏水があっても利用者の安全性に影響がないため、措置を必要としない状態
II	IIb		コンクリートのひび割れ等から漏水が浸出しており、利用者の安全性にはほとんど影響がないが、監視を必要とする状態
	IIa		排水不良により、舗装面に滞水を生じるおそれがあるため、重点的な監視を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態
III			排水不良により、舗装面に滞水があり、利用者の安全性を損なう可能性があるため、早期に対策を講じる必要がある状態
IV			漏水に伴う土砂流出により舗装が陥没したり沈下する可能性があり、寒冷地において漏水等によりつららや側氷等が生じ、利用者の安全性を損なうため、緊急に対策を講じる必要がある状態
備考		路面の滞水は単に車両走行の障害を招くのみでなく、路床路盤の支持力を低下させ、舗装そのものの破壊を招いたり、寒冷地では冬期に氷盤を発生させやすいことを踏まえ判定することが望ましい。	

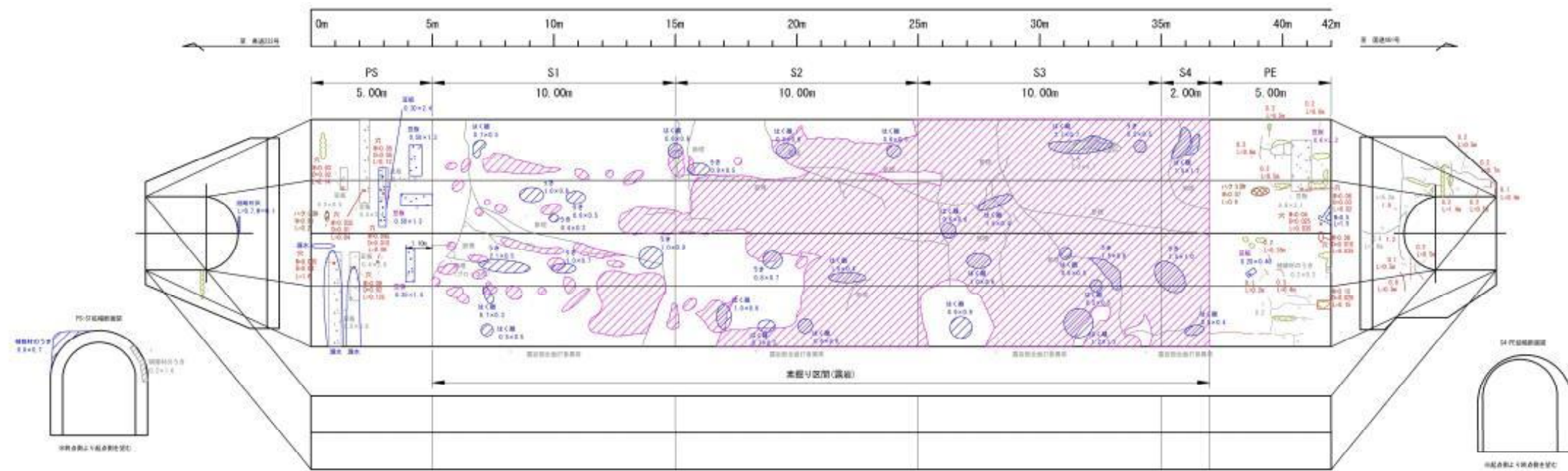
「道路トンネル定期点検要領 国土交通省道路局国道・技術課 P64」

《1. 仁中隧道現地状況写真：2022年（令和4年）10月24日点検 → 2025年（令和7年）8月7日現地調査》



仁中隧道変状展開図

S=1:200



H 29 点 検	スパン毎の健全性	Ⅱa	Ⅱa	Ⅱa	Ⅱa	Ⅱa	Ⅱa
	外力	I	Ⅱb	Ⅱb	Ⅱb	Ⅱb	I
	材質劣化	Ⅱa	Ⅱa	Ⅱa	Ⅱa	Ⅱa	Ⅱa
	漏水	I	I	I	I	I	I
R 2 調 査	スパン毎の健全性	Ⅱa	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱa
	外力	I	Ⅱb	Ⅱb	Ⅱb	Ⅱb	I
	材質劣化	Ⅱa	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱa
	漏水	I	I	I	I	I	I
R 4 点 検	スパン毎の健全性	Ⅱa	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱa
	外力	I	Ⅱb	Ⅱb	Ⅱb	Ⅱb	I
	材質劣化	Ⅱa	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱa
	漏水	I	I	I	I	I	I

凡 例

表 示	目視点検で変状種類	表 示	目視点検で変状種類	表 示	目視点検で変状種類	表 示	目視点検で変状種類
—	施工目的	—	コールドジョイント	—	骨材の露出(豆板部)	—	溶脱物(遊離石灰など)
〰	ひび割れ(0.3mm未満 数値は開口幅(mm)、延長(m))	〰	圧ぎ	〰	漏水 (漏水量:リットル/分)	〰	その他の変状
〰	ひび割れ(0.3mm以上 数値は開口幅(mm)、延長(m))	〰	うき、はく離 (ハンマー打診異常箇所)	〰	漏水(漏れている部分)	〰	叩き落とし
〰	段差 矢印側突出、数値は段差(mm)	〰	はく落(はく落部)	〰	漏水	〰	漏水防止工(漏水工)

仁中隧道

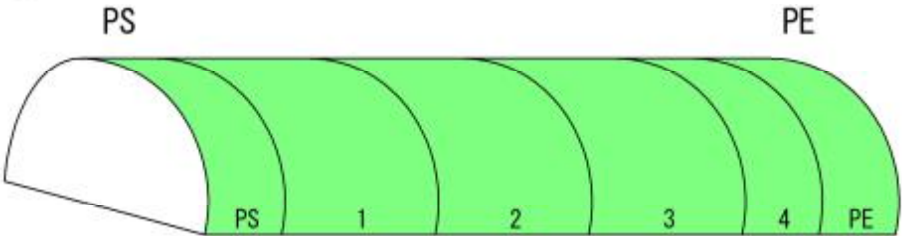
健全度判定図

スパン毎

凡 例

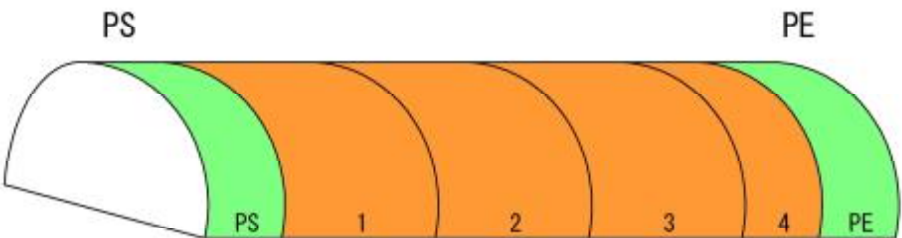


H29 年度



外力	I	IIb	IIb	IIb	IIb	I
材料劣化	IIa	IIa	IIa	IIa	IIa	IIa
漏水	I	I	I	I	I	I
変状種類	うき	打音異常	打音異常	打音異常	打音異常	うき
健全度評価	IIa	IIa	IIa	IIa	IIa	IIa
総合評価	II					

R4 年度



外力	I	IIb	IIb	IIb	IIb	I
材料劣化	IIa	III	III	III	III	IIa
漏水	I	I	I	I	I	I
変状種類	うき	打音異常	打音異常	打音異常	打音異常	うき
健全度評価	IIa	III	III	III	III	IIa
総合評価	III					

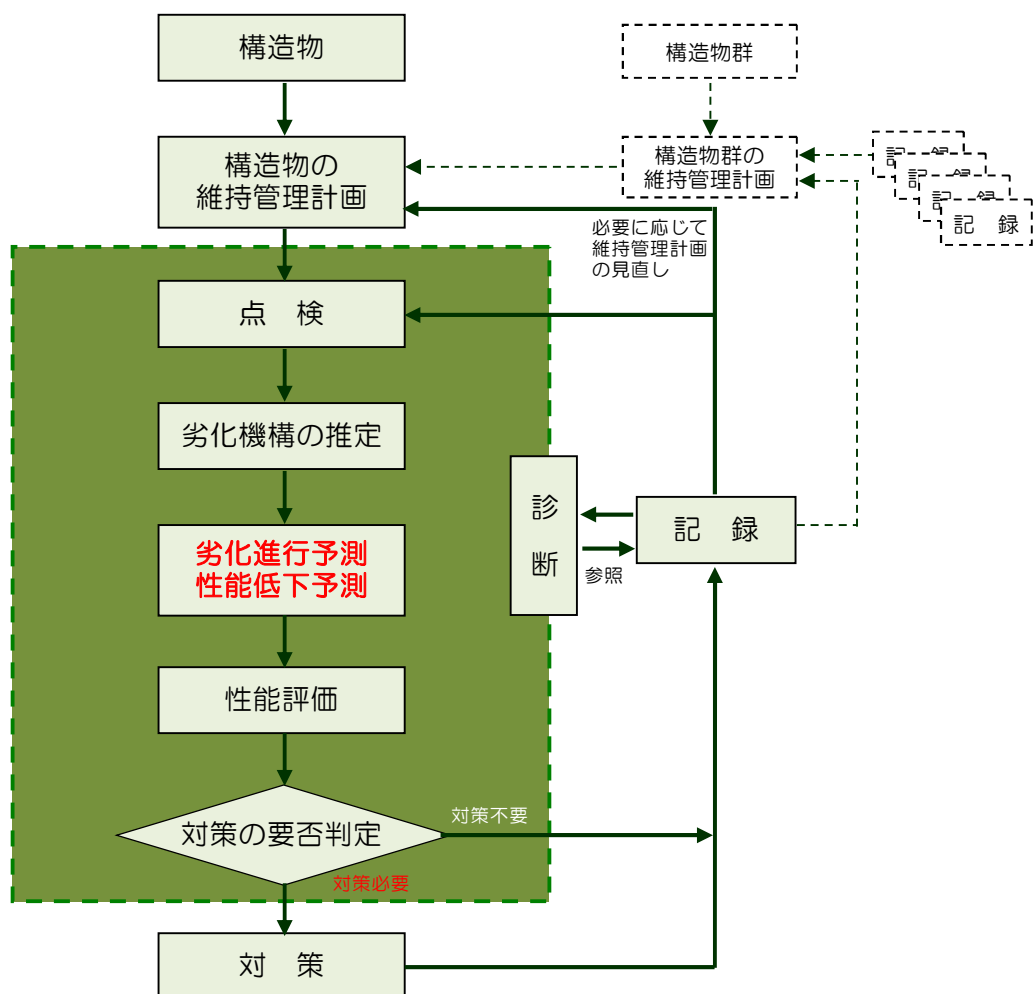
§ 3. 長期的劣化度の検討

3-1. 劣化予測曲線の検討

3-1-1. 劣化予測の位置付け

構造物の維持管理とは、予定供用期間中における構造物の性能を所要の水準以上に保持するための行為の総称であり、点検、劣化機構の推定、劣化進行あるいは性能低下の予測、構造物の性能評価および対策の要否判定からなる診断、診断結果に基づいて必要に応じて実施される対策ならびにそれらの記録から構成される。

構造物の維持管理手順を以下に示すとともに、本検討の目的である劣化予測の位置付けについて確認する。



「コンクリート標準示方書 維持管理編 2018 年（平成 30 年） 土木学会 P14」に加筆

図 3.1 構造物の維持管理の手順

本項においては、「コンクリート（岩盤）」の劣化進行による性能低下予測を行うこととする。

3-1-2. 劣化進行による性能低下予測

1) 劣化曲線

供用開始時点で所要の性能を示していた構造物は、時間の経過とともにその性能を低下させる。この性能の低下状況を示すものが劣化曲線である。

劣化曲線は、構造物を構成する部材の性質や使用条件に支配され、耐久性に富んだ部材を用いた場合には劣化速度は遅くなり、使用条件が厳しい場合には劣化速度は早くなる。

性能低下の過程で維持管理を行わない場合、劣化曲線は将来的に限界状態に至りトラブルや事故等、様々な問題をもたらすこととなる。

しかしながら、点検作業によって限界状態に至る前に補修・補強あるいは再生が行われると、その構造物には新たな寿命が与えられ、予定供用期間を延長することも可能となる。

構造物の維持・補修の概念について、以下に示す。

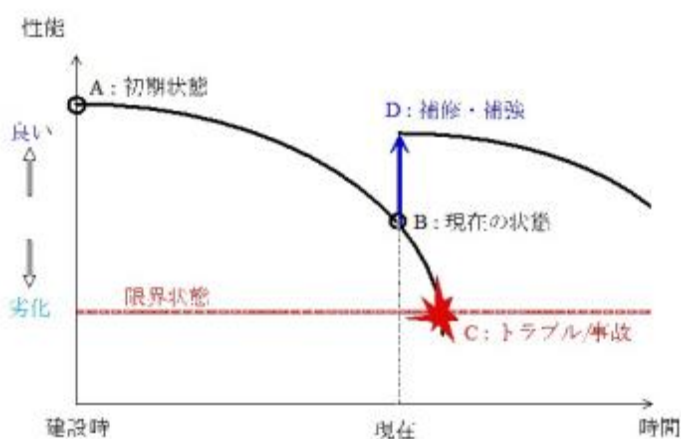


図3.2 構造物の維持・補修の概念

「地下構造物へのアセットマネジメントの適用の現状と課題 2011 年（平成 23 年）11 月 土木学会論文集 P3」

2) 山岳トンネルにおける劣化予測手法

山岳トンネルは劣化予測が困難な構造物であり、各機関において劣化予測手法についての研究がなされている。

本検討における予測材料は、1951 年（昭和 26 年）竣工時の健全状態～2017 年度（平成 29 年度）に実施された初回点検～2020 年（令和 2 年）12 月の長寿命化修繕計画時の現場調査～2022 年度（令和 4 年度）の 2 回目定期点検～本業務現地調査結果であるため、予測手法としては、「確率過程に基づく劣化予測」または「点検履歴から確率過程を用いた劣化予測」が適しているといえるが、変状データが 3 点検・調査分（2017 年（平成 29 年）、2020 年（令和 2 年）、2022 年（令和 4 年）、2025 年（令和 7 年））と入力情報が少ないため、本検討では構造別の耐用年数を維持管理限界とし、供用開始からの劣化曲線を推定することで劣化予測を行うこととする。

3-1-3. 耐用年数の設定

劣化曲線の作成にあたり、地下構造物の耐久性を考える一つの方法である耐用年数について設定することとする。

1) 地下構造物の耐用年数

地下構造物の耐用年数は、一般に以下の3つの要因により決定されている。

① 物理的耐用年数

施設を構成する材料が、時の経過による老朽化、漏水や塩害の作用を受けた腐食によって必要な材料強度を保てなくなるまでの年数。

② 機能的耐用年数

社会の変化により要求される空間が不足の状態を生じるまでや、性能・機能が不足の状態を生じるまでの年数。

③ 社会的耐用年数

新しいニーズの出現や変化等により、当初目的とした機能が不必要となるか、または別の機能を要請されるようになるまでの年数。

「地下構造物の耐久性と維持管理 地下空間シンポジウム論文・報告集第5巻 2000年（平成12年）1月 P234」

実際の構造物は、上記複数の要因が絡んで寿命が決まると考えられる。

しかしながら、設計時の条件や使用する構造材料の物性が明確である橋梁などの構造物とは異なり、地盤そのものが構造体である山岳トンネルのような地下構造物は、材料特性が千差万別であり荷重作用についても不明確であるため、**耐用年数の判断は非常に困難**である。

よって本検討においては、適切な維持管理が行われながら**現時点まで通行止めを伴うような大きな変状が生じていないこと**を前提に、利用に耐えることができる期間として定められた**「法定耐用年数(標準耐用年数)」**を用いて劣化予測を行うこととする。

2) 法定耐用年数（標準耐用年数）

（1）償却資産としての耐用年数（財務省）

2003 年（平成 15 年）4 月に国土交通省道路局より発表された「道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する提言」の中で、「道路を資産としてとらえ、構造物全体の状態を定量的に把握・評価し、中長期的な予測を行うとともに、予算的制約の下でいつどのような対策をどこに行うのが最適であるかを決定できる総合的なマネジメントシステムの構築が必要」とアセットマネジメントの重要性について提言している。

道路構造物を「資産」として捉えると、税法上の減価償却資産となり、「減価償却資産の耐用年数等に関する省令（1965 年（昭和 40 年）3 月 31 日大蔵省令第 15 号）」において定められている耐用年数を引用することができる。

以下に、同省令別表第一である『機械及び装置以外の有形減価償却資産の耐用年数表』より「トンネル」についての耐用年数を抜粋し示すこととする。

表 3.1 減価償却資産(構造物)の耐用年数表

種 類	構造又は用途	細 目	耐用年数
構築物	鉄道業用又は軌道業用のもの	線路設備	
		トンネル	
		鉄筋コンクリート造のもの	60 年
		れんが造のもの	35 年
		その他のもの	30 年
	その他の鉄道用又は軌道用のもの	トンネル	
		鉄筋コンクリート造のもの	60 年
		れんが造のもの	35 年
		その他のもの	30 年
	鉄筋コンクリート造又は鉄筋コンクリート造のもの	トンネル	75 年
	コンクリート造又はコンクリートブロック造のもの	トンネル	30 年
	木造のもの	トンネル	10 年

「機械及び装置以外の有形減価償却資産の耐用年数表」より抜粋

山岳トンネルのコンクリートは無筋コンクリートが主体であり、本隧道においても、坑口区間でコンクリート構造が採用されており、かつ一般部の素掘り区間においても現時点において岩盤崩壊等の変状が生じていないことから、**耐用年数は 75 年**と設定する。

3) 本検討における耐用年数設定

本検討では、「コンクリート」の耐用年数については財務省で定められている法定耐用年数を引用することとする。

表 3.2 構造別耐用年数

トンネル構造	耐用年数	参 照
コンクリート・素掘り	75 年	表 3.1



3-1-4. 耐用年数からの推定劣化曲線

前項にて設定した耐用年数より劣化曲線を推定する。

1) コンクリート構造（素掘り構造）

トンネル構造物は他の一般的な土木構造物と違い「空間保持」していれば性能水準を満足するものであり、荷重作用による疲労劣化、二酸化炭素供給によるコンクリート中性化による鉄筋腐食は生じない構造物である。

本来の劣化曲線は、鉄筋コンクリート構造物(橋梁、カルバート等)の中性化速度、鉄筋腐食速度等の理論値に基づき劣化予測を行っている。しかし、トンネル構造物は基本的に無筋コンクリートであり、トンネルによっては百年以上機能している構造物も存在しているものであるため、劣化曲線が理論上正確な曲線にはならないものとなる。

ここでは、トンネル構造の特殊性を踏まえ、法定耐用年数並びにトンネル点検結果(対策区分)に基づく現況として以下の通り推定劣化曲線を示す。

(1) 仁中隧道

① 検討条件表

表 3.3 仁中隧道検討条件

項目	内容
耐用年数（現状より推測）	法定耐用年数 75 年
築造年度	1951 年（昭和 26 年）
点検・調査年度（最新）	2025 年（令和 7 年）
点検・調査時供用年数	74 年
定期点検時対策区分	Ⅲ

② 推定劣化曲線

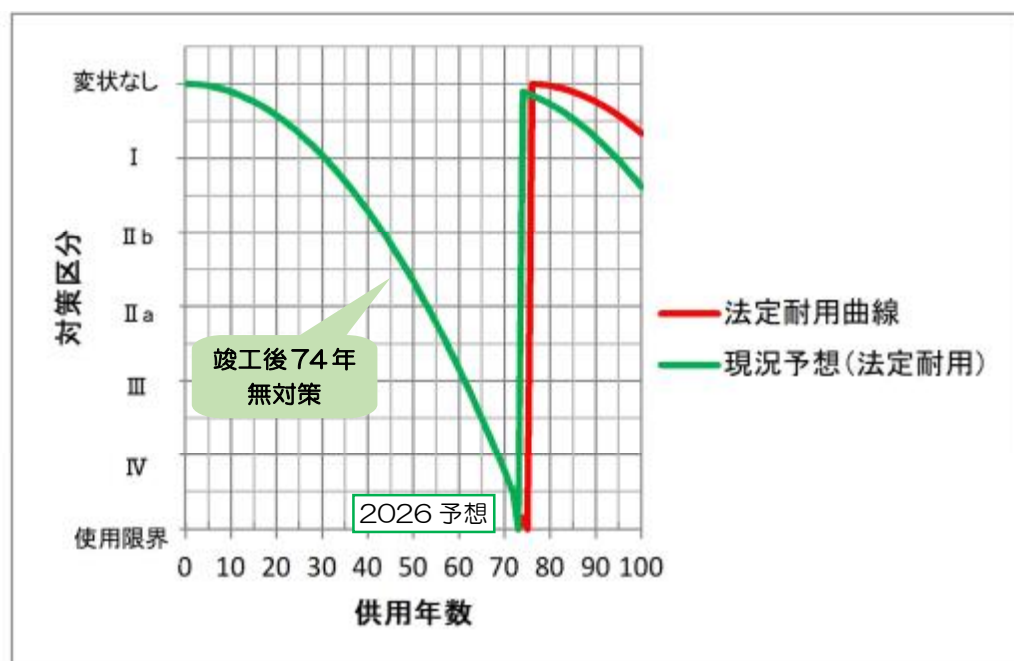


図 3.3 耐用年数を表現した劣化曲線

仁中隧道の一般部においては、岩盤の節理・亀裂の発達も顕著であり、**耐用年数：75年後の2026年（令和8年）頃が隧道機能の耐用限界と推測されることから、早急な対策実施の検討が必要である。**

3-2. TCI (Tunnel-lining Crack Index) による劣化度予測

仁中隧道の長期的劣化度の検討に際しては、1951 年（昭和 26 年）の竣工後～2017 年度（平成 29 年度）までの初回点検まで、調査・点検が実施されていないことで、変状の進行性に係る経時変化が確認されないことから、岩盤の亀裂の進行を推測のパラメータとした「TCI (Tunnel-lining Crack Index: トンネル覆工ひび割れ指数)」により今後の劣化度の推測を行うものとする。

3-2-1. TCI の概要¹⁾

TCI (Tunnel-lining Crack Index: トンネル覆工ひび割れ指数) とは、覆工コンクリートに生じたひび割れの幅・長さ・密度だけでなく、ひび割れの方向性や発生部位等を考慮した新指標である。

岩盤工学の分野で、節理を考慮した岩盤物性を総括的に定量化する研究の一環として「クラックテンソル」と呼ばれるひび割れ（節理）の密度・方向性・規模を定量化する指標が導出された。この考え方を参考に TCI が考案されている¹⁾。

そのため、TCI は、段階的な評価法である健全度評価法と比べ、覆工コンクリートの健全度をより詳細に、また客観的に定量化出来る評価手法であると言える。

また、それ以外にもトンネル覆工のひび割れの進行具合やパターンを把握することで、劣化予測に関しても有用性があると考えられている。

TCI の概要を以下に述べる。

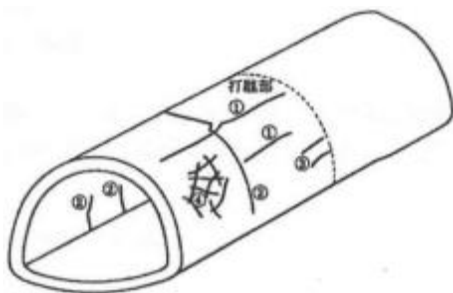
1) TCI の算出式

(1) 覆工の劣化（クラック）の定量化

覆工のクラック状況を定量化する際に必要となる情報を以下に列挙する。

- (a) クラックの本数 n (本)
- (b) クラックの開口幅 t (mm)
- (c) クラックの方向 θ (°)
- (d) クラックの長さ l (m)

一方、覆工ひび割れパターンは、土木学会：「トンネルコンクリート施工指針（案）」に示されている図 3.4 のようなパターンが代表的なものとして挙げられる。



①	トンネル軸方向に直線的に伸びるひび割れ
②	トンネル軸直角方向に直線的に伸びるひび割れ
③	継ぎ目部近傍でトンネル軸方向に伸びるひび割れ
④	亀甲状あるいは網目状のひび割れ

図 3.4 クラックの代表的なパターン

2) クラックテンソルを用いたトンネル覆工ひび割れの定量化

クラックテンソルの一般式は、以下の形で与えられる。

$$F_{ij\dots k} = \frac{\pi\rho}{4} \int_0^{tm} \int_0^{rm} \int_{\Omega} r^a t^b n_i n_j \dots n_k E(n,r,t) d\Omega dr dt \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 ρ ：ひび割れの体積密度
 r ：ひび割れの直径の最大値
 t ：ひび割れの開口幅の最大値
 $E(n,r,t)$ ：確率密度関数
 Ω ：全立体角
 定数 a, b は、任意の指数

ここで、図 3.5 のように覆工ひび割れの状況を 2 次元の平面に展開し、劣化の規模をひび割れの幅と長さの 1 乗にそれぞれ比例するものと仮定すれば、上の式は以下の形に変形できる。

$$F_{ij} = \frac{1}{A} \sum_{k=1}^m \left(t^{(k)} l^{(k)} \right) \cos \theta_i^{(k)} \cos \theta_j^{(k)} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 A ：対象とする覆工の面積 (m²)
 n ：対象とする覆工に存在するひび割れの本数 (本)
 $l^{(k)}$ ： k 番目のひび割れの長さ (m)
 $t^{(k)}$ ： k 番目のひび割れの幅 (m)
 $\theta_i^{(k)}$ ： k 番目のひび割れの法線ベクトルが i 軸となす角度 (°)
 $\theta_j^{(k)}$ ： k 番目のひび割れの法線ベクトルが j 軸となす角度 (°)

この式(2)を TCI (覆工ひび割れ指数；Tunnel lining Crack Index) 算出式と呼び、式(3)で示す F_{11} 値は TCI のトンネル縦断成分、 F_{22} 値は TCI のトンネル横断成分であり、その和を F_0 値として TCI と呼ぶ。

$$F_0 = F_{11} + F_{22} \dots \dots \dots (3)$$

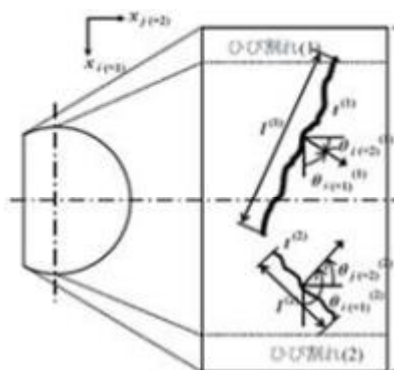


図 3.5 トンネル覆工におけるクラックテンソルの概念図

3) TCI の算出例

図 3.6 に示すようなクラックモデル時の TCI 計算例を以下に示す。また、 F_0 は算出する部位の総和であるため、図 3.6 の範囲内の TCI を算出する場合、式(3)と同様にこの範囲内の F_0 値はひび割れ番号 1 とひび割れ番号 2 の F_{11} 値と F_{22} 値を足し合わせる。

以下にサンプルデータを用いた際の算出式を示す。

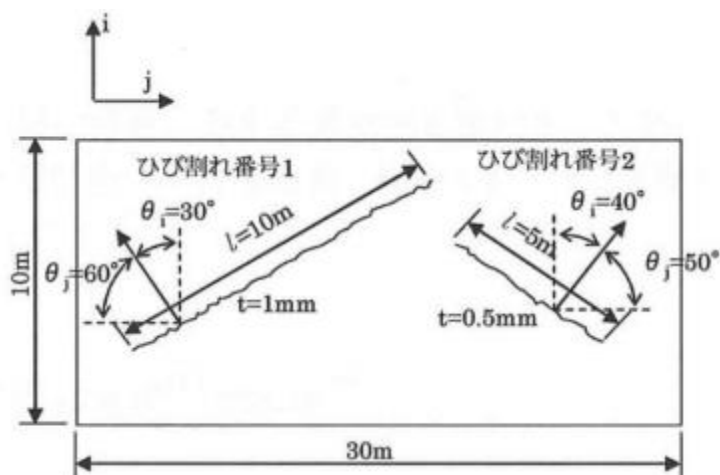


図 3.6 クラックのモデル図

$$F_{11} = \frac{1}{10 \times 30} \times 0.001 \times 10 \times \cos 30 \times \cos 30 + \frac{1}{10 \times 30} \times 0.0005 \times 5 \times \cos 40 \times \cos 40$$

$$= 2.99 \times 10^{-5}$$

$$F_{22} = \frac{1}{10 \times 30} \times 0.001 \times 10 \times \cos 60 \times \cos 60 + \frac{1}{10 \times 30} \times 0.0005 \times 5 \times \cos 50 \times \cos 50$$

$$= 1.18 \times 10^{-5}$$

$$F_0 = F_{11} + F_{22} = 2.99 \times 10^{-5} + 1.18 \times 10^{-5} = 4.17 \times 10^{-5}$$

4) TCI の活用

近年、NEXCO ではトンネル点検のさらなる効率化に向け、定量的な評価が可能な当手法を用いて、ひび割れ形態の整理だけでなく変状原因推定や変状評価に関する論文を数多く投稿^{例えば 2)、3)}しており、大規模修繕工事の補修計画の立案等に寄与できるよう手法の確立を目指している。

このように、覆工展開図の記載された情報を数値化する手法である TCI を活用することで、一定のランク分けによる健全度評価法からさらに一步踏み込んだ、客観的また、定量的な評価が期待できる。

参考文献

- 1) 重田佳幸, 飛田敏行, 亀村勝美, 進士正人, 吉武勇, 中川浩二: ひび割れ方向性を考慮した覆工コンクリートの健全度評価法, 土木学会論文集 F, Vol.62, No.4, pp.628-632, 2006
- 2) 前田佳克, 八木弘, 海瀬忍, 増田弘明, 水野希典, 重田佳幸, 前田洸樹: ひび割れ指数 (TCI) を用いた覆工に発生するひびわれ形態の整理、トンネル工学報告集、第 26 巻、I-30、2016.11.
- 3) 前田洸樹, 前田佳克, 海瀬忍, 伊藤哲男, 水野希典, 重田佳幸: TCI を用いた覆工コンクリートの変状原因推定、トンネル工学報告集、第 28 巻、I-21、2018.11.

3-2-2. 仁中隧道における進行性予測

仁中隧道について、岩盤亀裂の進行性予測などを検証するために TCI（トンネルクラックインデックス）を実施した。

結果について以下に示す。

（図 3.8 の内の A～I は別のトンネルの傾向：実線は矢板、破線は NATM）

■**条件**：岩盤の節理・亀裂幅を 10～50mm と設定…現地点検時の壁面状況より、スパン 2～4 に掛けて部分的に剥離・剥落が生じていることより、浮き・剥離箇所の亀裂幅に設定

■**理由**：本点検時において、点検用ハンマーによる触診のみで岩盤表面の剥離・剥落が確認されることで、亀裂は相当に開口していることを考慮し暫定的に 10～50mm（ひび割れ開口幅の危険値）と設定した。（下記写真参照）



仁中隧道一般部岩盤亀裂の状況

仁中隧道に生じている岩盤の節理・亀裂の発達を定量的評価手法である TCI（Tunnel-lining Crack Index）に適用し、スパン毎の変状度合いについて算出した。結果を以下に示すが、坑口部の覆工コンクリート区間を除く一般部（素掘り区間）は、経年経過に伴う TCI の伸び率が顕著である。よって、竣工後の健全状態より供用後 70 年を経た現時点において亀裂幅＝10～50mm は妥当性が高いものと推測できる。

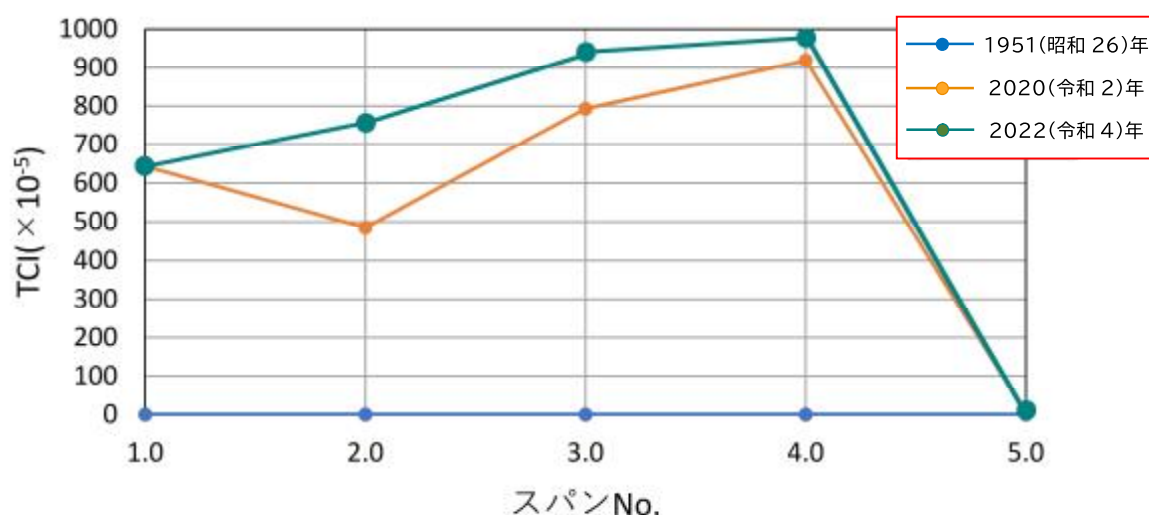


図 3.7 仁中隧道 TCI 解析結果①

(1) 仁中隧道と他のトンネルとの TCI 結果の対比

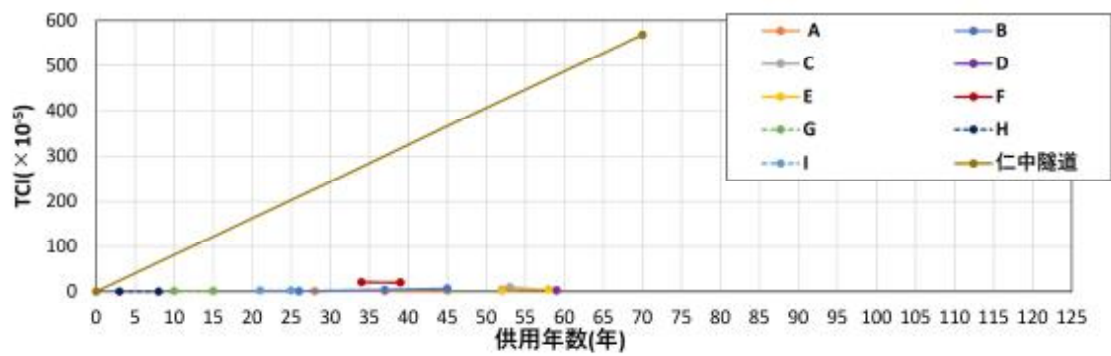


図3.8 仁中隧道 TCI 解析結果②

横軸に供用年数、縦軸に TCI を示したグラフに「仁中隧道」解析データを掲載したものを示す。図の実線は矢板工法による施工、破線は NATM 工法によって施工されたトンネルを示している。

図に示すように、TCI は進行の一途をたどり、今後も変状の増加傾向は顕著である。

(2) 仁中隧道と他のトンネルとの TCI 結果の対比

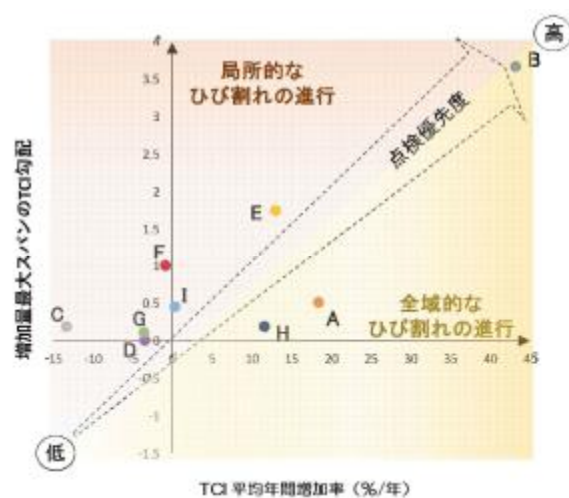
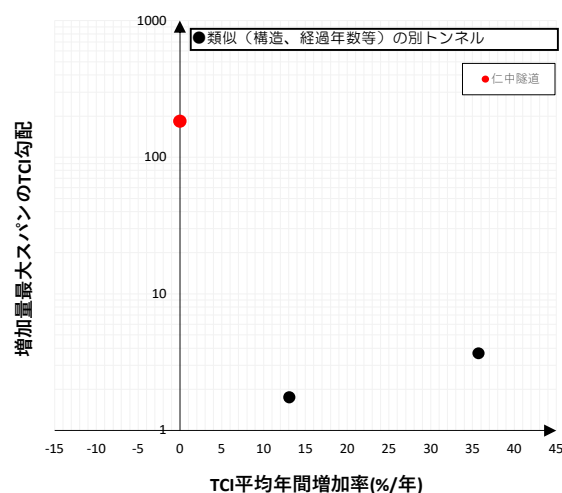


図 3.9 ひび割れ進行部の全域性と局所性

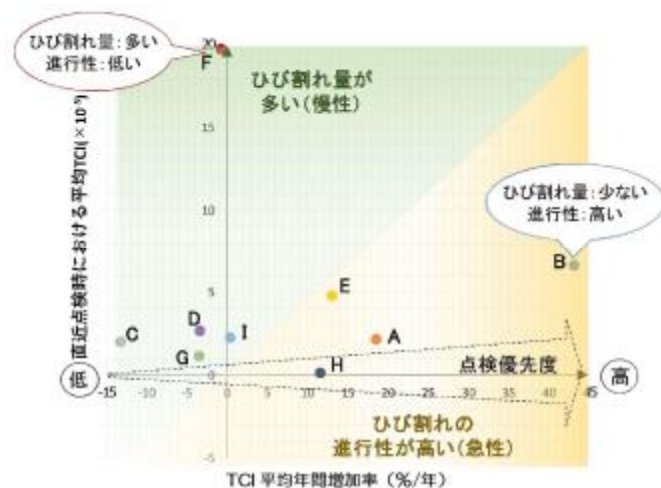
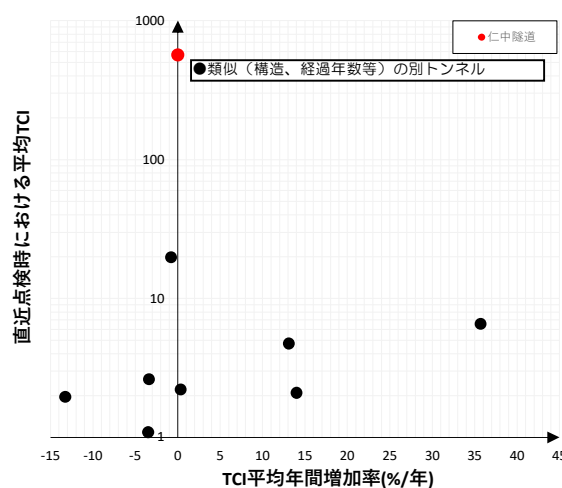


図 3.10 ひび割れ量と進行性の相関図

図 3.9 より、仁中隧道は、局所的においてもひび割れの進行性が進んでいることから対策実施の優先度は非常に高いと考えられる。

又、図 3.10 に示すように、平均増加率は 0 を示しており、ひび割れの進行性は見られないものとなるが、これは掘削時点で素掘り岩盤の節理が顕著であり、剥離・剥落の要因となる亀裂が、これらの節理に起因するものであると推測されるため、増加率自体は少ない値を示すものである。

§ 4. 対策優先度の検討

4-1. 対象施設の概要

対策優先度の検討を行うに際し、対象施設の概要を以下に示す。

表 4.1 対象隧道の諸元

番号	路線名	トンネル名称	所在地	トンネル分類	延長(m)	有効幅員(m)	完成年
1	町道久通仁中線	仁中隧道	那珂川町	陸上トンネル 矢板・素掘り構造	42	3.0	1951 (昭和 26)

表 4.2 仁中隧道概要

仁中隧道（1車線：L=42m）		
全体平面図		
		
現地の状況		
		
起点側坑口部	起点側覆工区間～一般部	起点側一般部（SO4～O3 付近）
		
終点側一般部（SO1～O2 付近）	終点側覆工区間～一般部	終点側坑口部

4-2. 対策時期の検討

仁中隧道の経緯を以下に示す。

- ① 1951 年（昭和 26 年）： 竣工
- ② 2018 年（平成 30 年）： トンネル定期点検（初回）
- ③ 2020 年（令和 2 年）12 月： 長寿命化修繕計画策定に伴う詳細調査
- ④ 2022 年（令和 4 年）10 月： トンネル定期点検（2 回目）
- ⑤ 2025 年（令和 7 年）8 月： 長寿命化修繕計画策定に伴う現地調査

標準的なトンネルは点検・診断・措置（必要に応じて）について、1 サイクルを5年とすることが標準であるが、本隧道の場合、素掘りの岩盤露頭部において節理・亀裂の発達が顕著であり、崩落・剥落が懸念されることから、早期に対策を講ずる必要性が高いものである。（今回実施した調査の結果～健全度判定の見直し結果参照）※坑内の状況について、以下の各写真参照。

対策時期の検討にあたって、本隧道の変状状態の最新情報は 2025 年（令和 7 年）8 月の現地調査によるものとなるが、過年度点検結果に伴う健全度判定の精査結果～現地進行性確認より、早期段階に対策工を行う必要性が高いものである。



点検ハンマーの小打撃で剥離する岩片



オーバーハングする岩塊
（下面は節理・亀裂が発達）



令和 7 年 8 月現地調査時

4-3. 優先度評価の基本的考え方

修繕は健全度が低下したトンネルの機能を回復し、健全度向上のために行われるものであることから、管理トンネルが複数ある場合には健全度の低いトンネルを優先して実施することを標準とし、健全度判定区分（Ⅰ～Ⅳ）が同列の場合は、緊急輸送道路の有無・交通量・トンネル延長等を考慮して優先度を決定するのが一般的である。

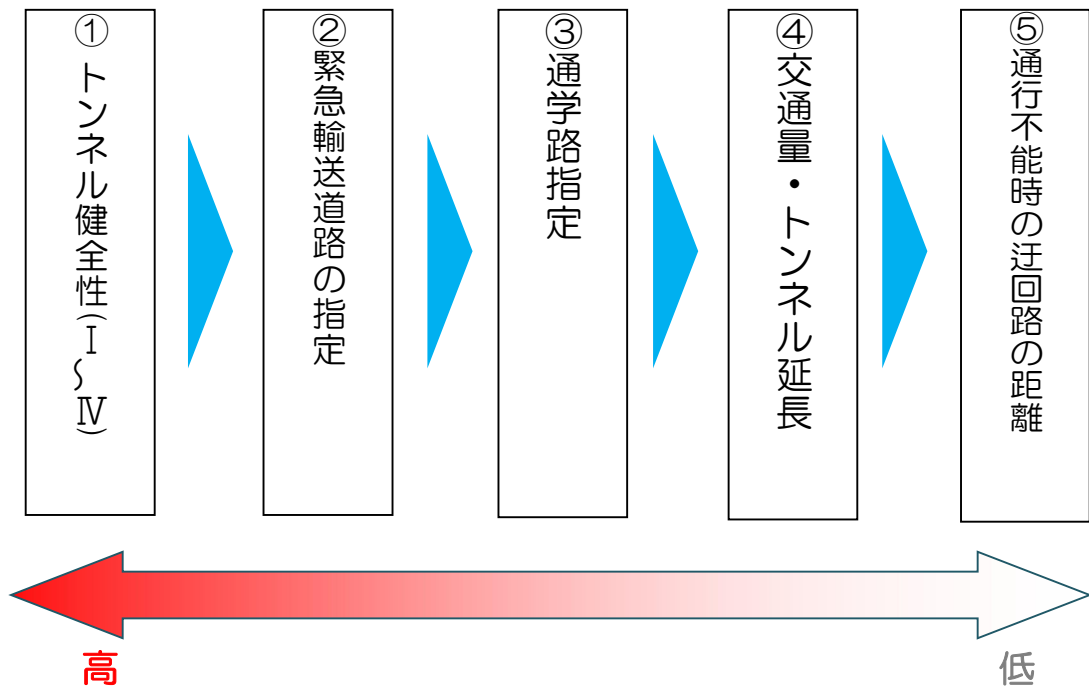


図 4.1 仁中隧道の対策優先度評価の考え方

1) 仁中隧道の条件

- ① トンネル健全性：Ⅲ（早期に対策を要する）
- ② 緊急輸送路の指定：指定なし
- ③ 通学路指定：指定なし
- ④ 交通量・トンネル延長：交通量 50 台未満／日、延長 42m
- ⑤ 通行不能時の迂回路距離：通常 1.2km ⇒ 迂回約 2.7km
（盛泉下～大内・大畑方面への動線）
⇒ 但し交通量より社会的影響小

仁中隧道の道路周辺状況図及び通行不能時の迂回計画ルートを次頁に示す。

本町における管理トンネルは仁中隧道 1 本のみであるため、補修の優先度は上記条件①「トンネル健全性（Ⅰ～Ⅳ）」のみを考慮して決定する。

《仁中隧道周辺の道路状況図》

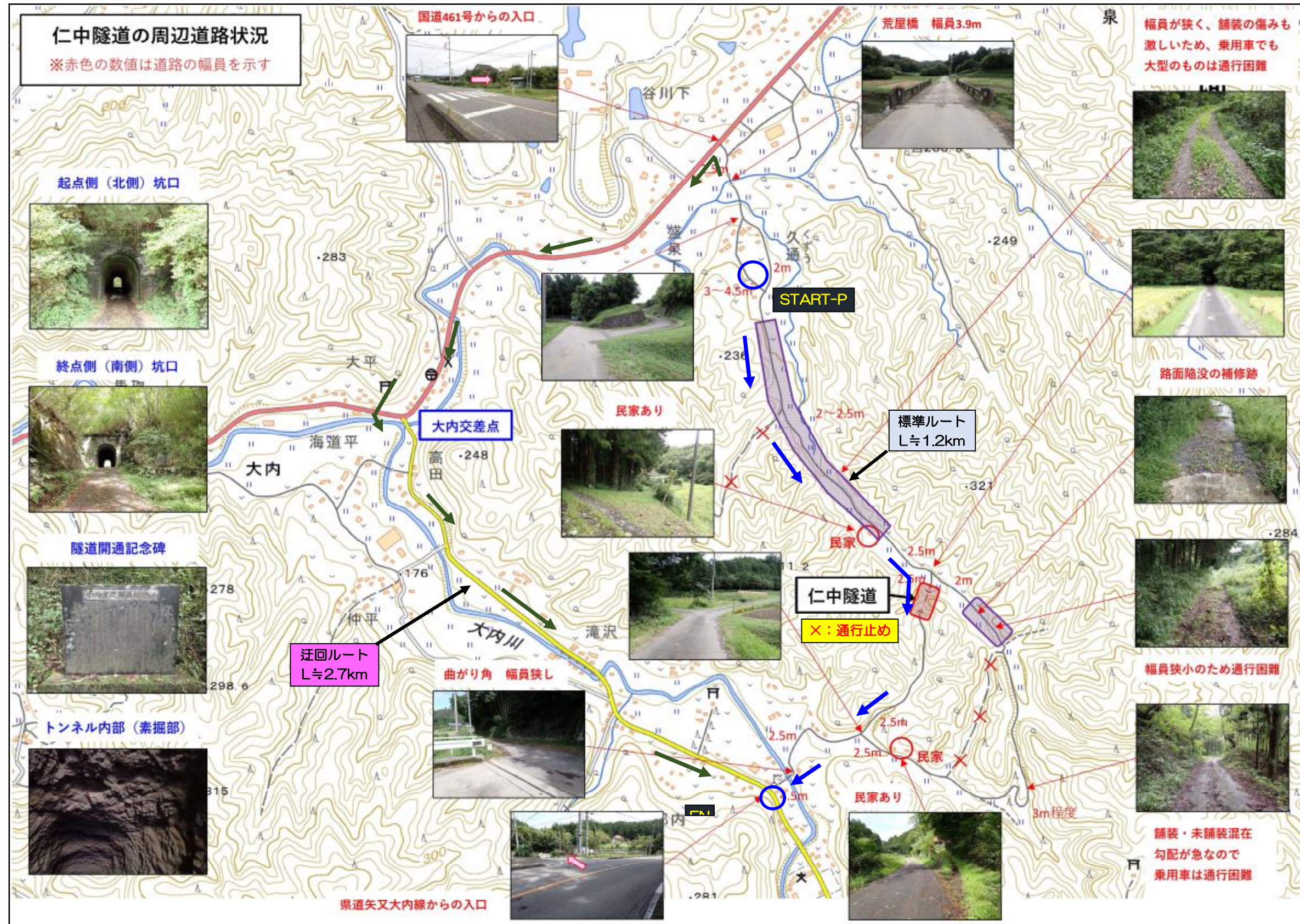


図 4.2 仁中隧道周辺の道路状況図

4-4. 対策優先順位設定

1) トンネル健全度評価による対策優先順位

健全度評価結果にもとづく対策の優先度としては、下記の対応方針により実施するものとする。

表 4.3 健全度判定に係る対策区分～対策方針（案）

区 分		定 義	対策方針
I		利用者に対して影響が及ぶ可能性がないため、措置を必要としない状態。	—
II	II b	将来的に、利用者に対して影響が及ぶ可能性があるため、監視を必要とする状態。	変状の将来予測により 予防保全対策実施 を検討する
	II a	将来的に、利用者に対して影響が及ぶ可能性があるため、重点的な監視を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態。	
III		早晩、利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、早期に対策を講じる必要がある状態。	点検・診断後5年以内 に対策実施
IV		利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、緊急に対策を講じる必要がある状態。	緊急対応として対策 実施

「道路トンネル定期点検要領 2019 年（平成 3 年）1 月 国道・技術課」P19 に加筆

2) 変状種別による対策優先順位

変状の種別による対策優先度評価は、変状進行に伴う第三者被害を想定し変状毎に以下のグループ分けにより優先順位付けを行うものとする（案）。

表 4.4 健全度判定区分～対策方針（案）

分類（任意）	変状種類	仁中隧道
●変状グループ1	背面空洞、巻厚不足、変形・移動・沈下 うき・剥離（突発性崩壊が懸念される物）	
●変状グループ2	うき・剥離、ひび割れ、漏水（通行に 支障があるもの）があり、早期に修繕 が必要と判断されるトンネル	○
●変状グループ3	うき・剥離、ひび割れ、漏水があり、予 防保全のための修繕が必要なトンネル	
●変状グループ4	変状がない、若しくは予防保全のための 修繕も必要のないトンネル	
●変状グループ5	初回点検を実施するトンネル	

仁中隧道は 2022 年（令和 4 年）10 月時の 2 回目定期点検結果より、剥離・剥落による判定が「Ⅲ」であることから、上表の変状グループ 2 に該当することとなる。

よって、対策実施の優先度としては“点検・診断後5年以内に対策実施が必要”に該当するものと判断する。

§ 5.長寿命化修繕計画の策定

5－1．計画全体の方針

1) 検討の目的

栃木県那珂川町では、令和7年度現在、「仁中隧道」の管理を行っている。

本計画対象の仁中隧道は1951年(昭和26年)に完成し、既に74年が経過している“山岳トンネル(坑口部の一部覆工コンクリート構造＋一般部は素掘り構造)”である。

過年度の2017年度(平成29年度)に初回定期点検が実施され、その後、2022年度(令和4年度)に長寿命化計画策定に伴う現地調査及び2回目定期点検、本業務における現地調査による変状把握により、今後の管理方法の検討を行っている状況である。

本隧道における長寿命化修繕計画の策定は、道路利用者の安全性や利便性、構造物としての機能を維持するために、損傷が軽微～中程度の段階で予防的な修繕を行うことで、限られた財源の中、長期にわたり安全に利用できるよう効果的な計画を策定することを目的に実施するものである。

今後は、今回策定する長寿命化計画にもとづき、従前の「事後保全型修繕」から「予防保全型修繕」に切り替えることで、本隧道を常に良好な状態に保ち、利用者の安心・安全の確保や施設の延命化に向けて取り組んで行くものである。


表 5.1 維持管理手法の違い

維持管理手法	管理区分の考え方
予防保全型	■予防的な保全を行う管理手法 定期的な点検によってトンネルの状態を把握し、損傷が軽微な段階で修繕等の対策を実施することで、トンネル修繕の効率化や利用者への事故を回避する等、リスクの低減を図る管理手法
事後保全型	■緊急措置を必要とする管理手法 発生している損傷により不具合が生じ、機能が果たせなくなった後に抜本的・応急的な修繕等の対策を行うことで、トンネルの性能を回復させる管理手法

2) トンネル予防保全の考え方

山岳トンネルでは、橋梁・舗装で用いられている劣化予測・予防保全の考え方をそのまま適用できない。

- ① 橋梁は、部材の劣化・損傷が均一的に進行するので、いずれは寿命が来て全面的に架け替えが必要となる。一方トンネルは、覆工コンクリートに交通荷重が加わることも無く、同じトンネルでも地質（土圧）や地下水（漏水）の分布状況が異なるので、一律に劣化が進行することはない。地すべりなど特別な原因がない限り、トンネルは劣化した箇所を適切に補修して維持管理すれば継続的に使用は可能で、耐用年数は永年に近いと考えるのが実態に即している。
- ② RC 橋梁では、コンクリートにひび割れが発生すると、中性化が深部まで進み鉄筋が発錆して耐荷力が大きく減少するため多大な補修費用が発生する。このため、ひび割れ初期に安価な対策工種（ひび割れ注入工など）を行うことで結果的にLCCを低減して長寿命化を図れることになる。一方、道路トンネルの大半を占める山岳工法トンネルの場合、本体工覆工（仁中隧道の場合、岩盤含む）の大半が無筋コンクリートであるため、鉄筋の発錆を防ぐような軽微な対策工種というものはなく、覆工コンクリート（仁中隧道の場合、岩盤含む）のはく離防止対策（当て板工）や漏水対策など対策工種（大分類）は限定され、どのタイミングで補修しても変状規模が変わらない場合は、コストはそれほど変わらない。また変状の大半が材質劣化（うき・はく離）と漏水であり、外力作用によってトンネルが圧壊するような事例は極めて少ない。



上記の課題に対応するため、トンネルは以下に示す考え方により、常に健全度の状態を把握して対策までの余命期間を予測して管理する方法を「予防管理」と定義し、同方法を用いて長寿命化計画の策定を行う。

- ・従来、トンネル補修は道路トンネル維持管理便覧に規定する健全度（＝対策時期の規定）に応じて、適時、対策を実施しており、問題なく維持管理が行われている。
- ・このことから、トンネルが劣化する時間を予測するのではなく、便覧に準じて、個々の変状の健全度を把握すれば、それに応じた対策までの余裕期間（＝対策余命期間）を実績から設定することで、LCC計算に必要な対策時期は把握できることになる。
- ・トンネルでは交通荷重が覆工に作用しないことから、地質条件等で、同じ健全度でも場所によって変状の進行は異なる。このため、中長期的な維持管理を行っていくには一旦、評価した健全度＝対策時期を適時、再評価してLCCに反映させる必要がある。このため、継続的に変状の健全度の状態を把握する定期点検を組み合わせ、対策時期を実態に合わせて修正していくことが重要となる。

3) 予防保全型による管理手法

予防保全型および事後保全型の健全度（管理）レベル設定を以下に示す。

- ① 予防保全型：健全度がC（もしくはD）となった時点で補修対策を実施する。
- ② 事後保全型：健全度がEとなった時点で施設の更新を実施する。

表 5.2 変状等の健全性の診断における判定区分

区 分		状 態
I (A)	健全	構造物の機能に支障が生じていない状態。
II (B) (C)	予防保全段階	構造物の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態。
III (D)	早期措置段階	構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。
IV (E)	緊急措置段階	構造物の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。

表 5.3 対策区分

区 分		定 義
I (A)		利用者に対して影響が及ぶ可能性がないため、措置を必要としない状態。
II	II b (B)	将来的に、利用者に対して影響が及ぶ可能性があるため、監視を必要とする状態。
	II a (C)	将来的に、利用者に対して影響が及ぶ可能性があるため、重点的な監視を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態。
III (D)		早晩、利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、早期に対策を講じる必要がある状態。
IV (E)		利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、緊急に対策を講じる必要がある状態。

「道路トンネル定期点検要領 2019 年（平成 31 年）3 月 国土交通省道路局国道・技術課 P19」

5-2. 老朽化対策における基本方針

仁中隧道の対策工については、後述の工法比較検討結果より、下表中の『内巻補強：鋼材補強工（セントル補強工）』『漏水対策：ひび割れ注入工』を選定することとした。

表 5.4 対策の区分と本対策工の種類

期待する対策効果※1)			対策区分	対策工法		摘要
外力	はく落防止	漏水				
	○		はく離部の事前除去対策	はつり落とし工		
	○		はく落除去後の処理対策	断面修復工		
	○		覆工の一体性の回復対策	ひび割れ注入工		
	○		支保材による保持対策	金網・ネット工	金網工(クリンプ金網、エキスパンドメタル) ネット工(FRP※2、メッシュ、樹脂ネット)	
	○			当て板工	形鋼系(平鋼、山形鋼、溝型鋼)当て板工	
	○				パネル系(鋼板、成型板)当て板工※3)	
	○				繊維シート系※4)当て板工	
	○			補強セントル工	鋼アーチ支保工	
○	△		覆工内面の補強対策	内面補強工	繊維シート※4)補強工	
					格子筋補強工	
					成型版接着工	
					鋼板接着工※3)	
				内巻補強工	吹付け工	
					場所打ち工	
					プレキャスト工	
					埋設型枠・モルタル充填工	
					鋼材補強工※5)	
		○	漏水対策	線状の漏水対策工	導水樋工	
					溝切り工	
					止水注入工(ひび割れ注入)	
					止水充填工(Vカット充填)	
				面状の漏水対策工	防水パネル工	
					防水シート工	
					防水塗布工	
○※6)				地下水位低下工	水抜きボーリング、水抜き孔	
△※7)		○(凍結防止)	凍結対策	断熱工	排水溝	
					断熱材を適用した線状・面状の漏水対策工	
					表面断熱処理工	
○			覆工背面の空洞充填対策	裏込め注入工		
○	△		地山への支持対策	ロックボルト工	ロックボルト工、アンカー工	
○			地山改良対策	地山注入工	薬液注入工	
○	△	△	覆工改築対策	覆工改築工	部分改築工、全面改築工	
				インバート工	インバート新設または改築	

凡例：○対策の主目的として効果を期待するもの。△対策を行う事で同時に効果が期待できるもの

注 1) トンネル内部より施工する工法の分類であり、トンネル外部より実施する外力対策工(アンカー、抑止杭等)は除外している

注 2) FRP:Fiber Reinforced Plastic

注 3) 鋼板の場合は、重量が重く、樹脂などで接着する場合は、将来的な劣化による落下への留意が必要である。

注 4) 現在トンネル覆工の内面補強工として使用されている繊維材料は、炭素繊維とアラミド繊維がある。当て板工として用いられる繊維材料は、炭素繊維、アラミド繊維、ビニロン繊維、ナイロン繊維、ガラス繊維がある。

注 5) 補強セントル工に対し内巻補強工(鋼材補強工)は、ライナープレート等(鋼アーチ支保工と組み合わせる方法もある)を覆工内空側に設置し、鋼材と覆工面の間にエアモルタル等を充填し、両者の一体化を図る工法であり、工法分類では両者を区分している。なお、補強セントル工に吹付け工または現場打ち工を組み合わせ内巻補強を行う場合もある。

注 6) 水圧が外力として作用する場合。

注 7) 凍上圧が作用する場合。

「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】 2020年(令和2年)8月 日本道路協会 P280」

【2022 年度（令和 4 年度）定期点検結果】

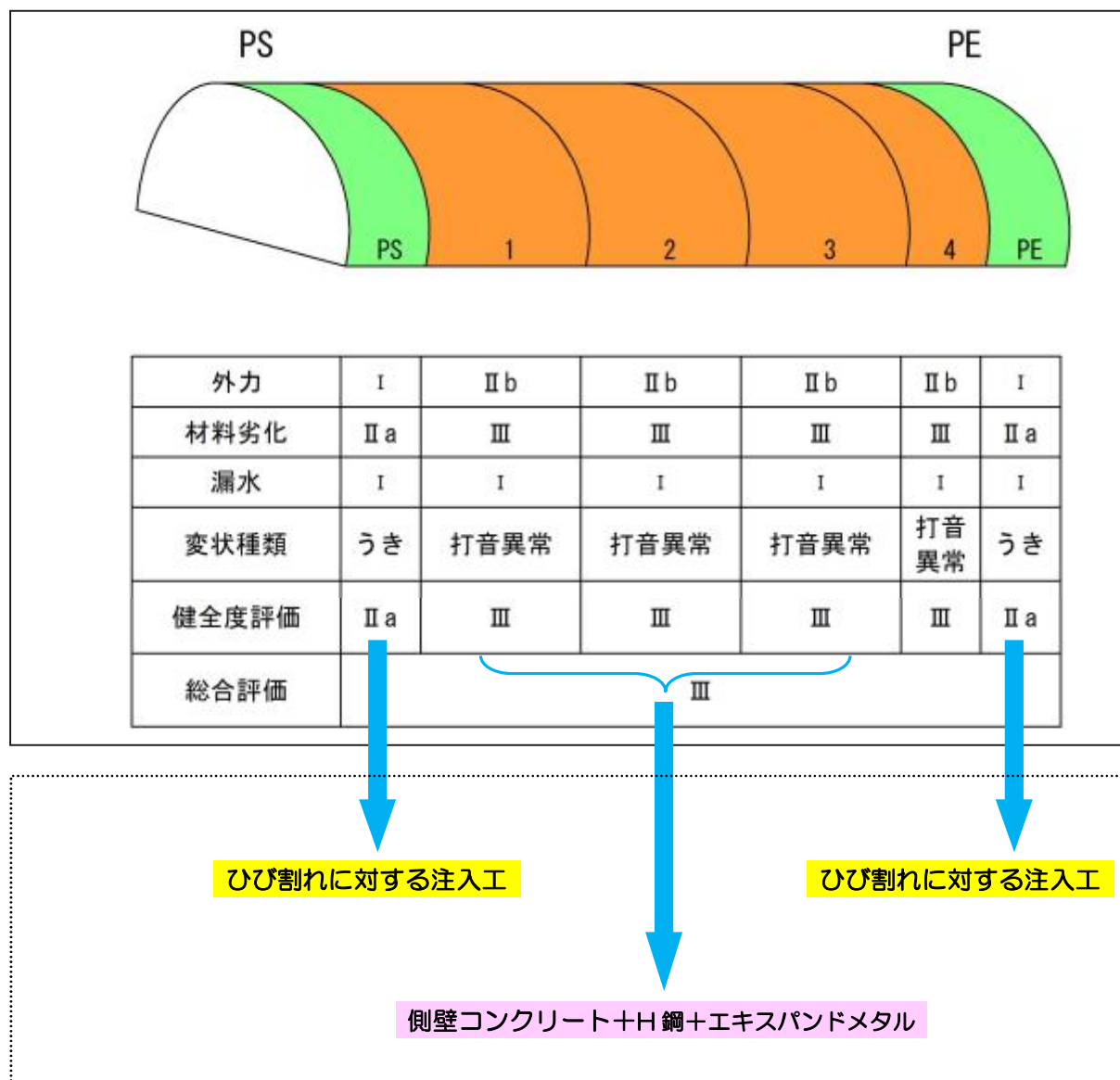


図 5.2 仁中隧道健全度判定図

《対策工概要図》

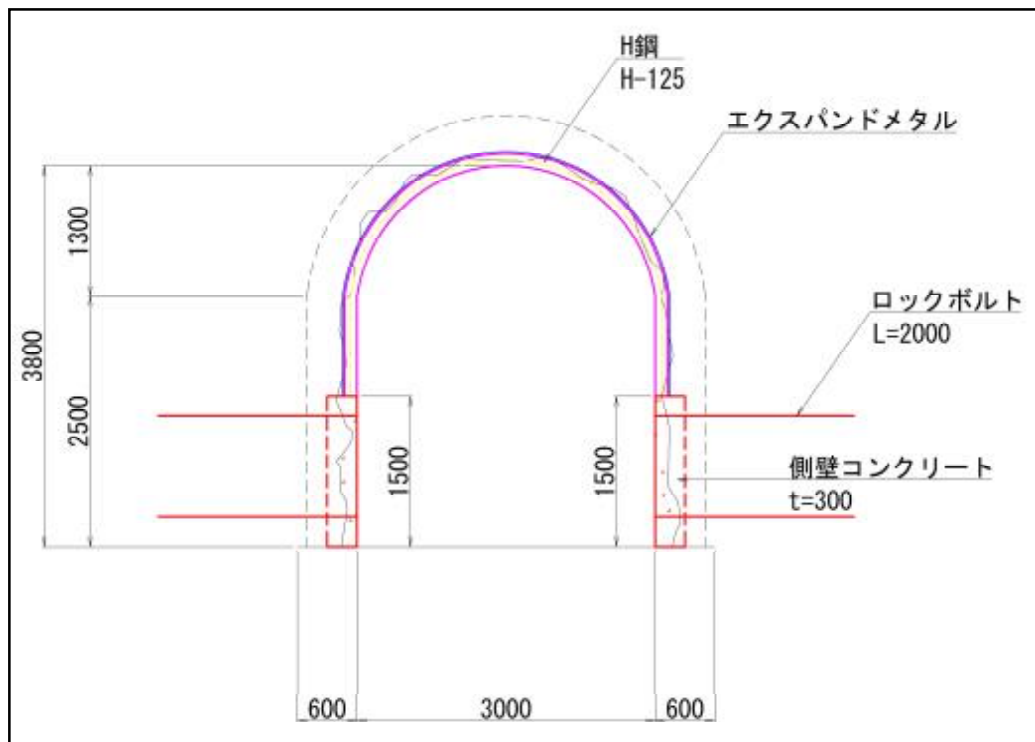
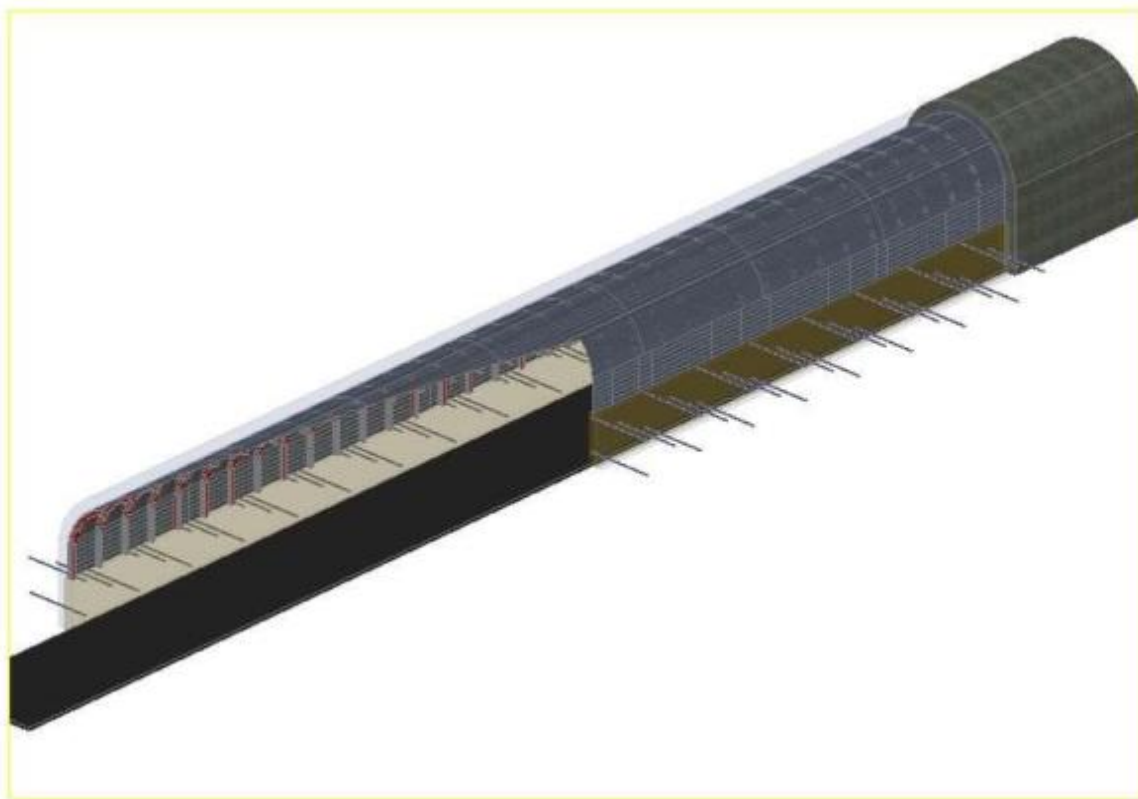


図 5.3 仁中隧道（一般部：Ⅲ判定）対策工断面図

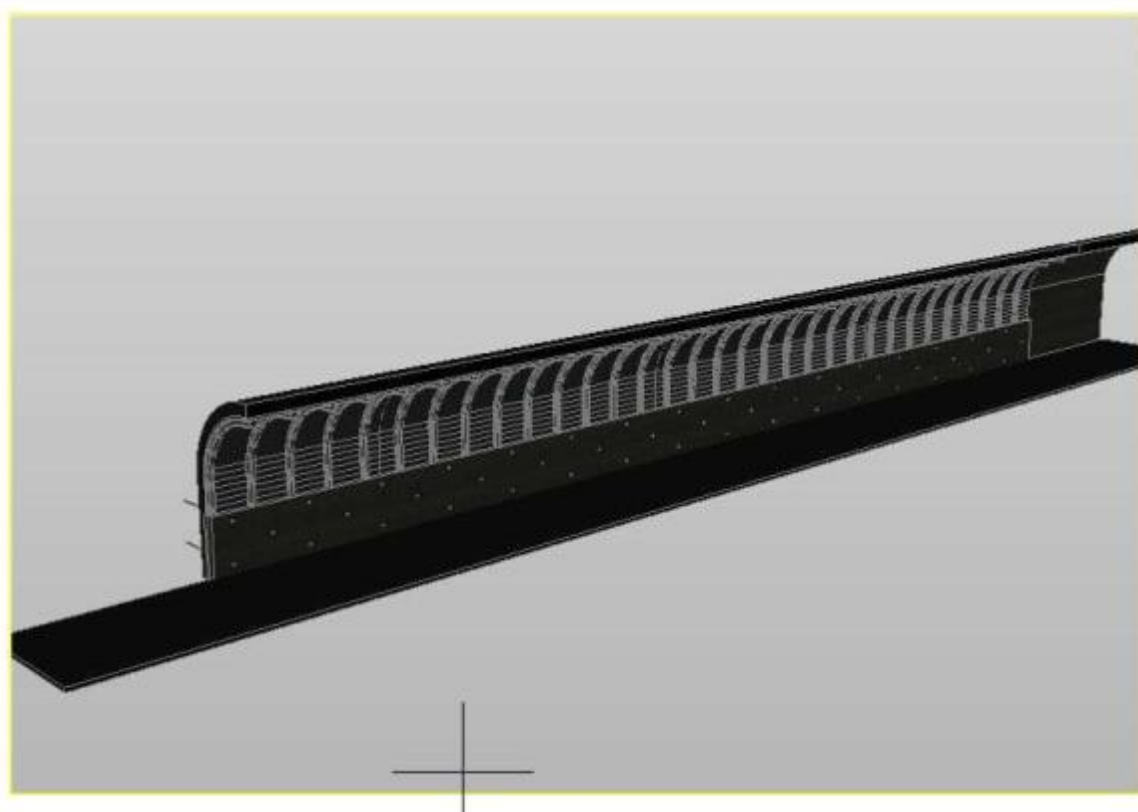
表 5.5 仁中隧道対策規模（一般部）

工 種	規格・仕様	施工延長・規模	横断ピッチ	縦断ピッチ	摘 要
側壁コンクリート	B300×H1500	32m	—	—	
ロックボルト	L=2000mm	31 箇所×4 本	1.0m 左右	—	
鋼製支保工	H-125	32 基	—	1.0m	
エキスパンドメタル	t=6mm 程度	150m ² (4.65m ² ×32m)	—	—	

■対策工3Dイメージ図①



■対策工3Dイメージ図②



■対策工3Dイメージ図③



5-2-1. 補修対策費用の算出

表 5.6 仁中隧道補修対策費用（概算）

工 種	細 別	単 位	数 量	単価（円）	金額（円）	摘 要
①壁面洗浄工		m2	150	2,000	300,000	面壁～坑口部
②表面保護工	モルタル塗布	m2	90	12,000	1,080,000	両坑口部
③ひび割れ止水工	ビックス工法	m	25	35,000	875,000	坑口部
④内巻補強工	H 鋼＋側壁 Co	m	32	500,000	16,000,000	一般部
		合計（直接工事費）			18,255,000	
		共通仮設費			6,232,500	×30%
		間接費（率計上）			15,516,750	直工×85%
		総合計（工事価格）			40,004,250	

5-3. 新技術等の活用方針

5-3-1. 定期点検における新技術の活用方針

1) 背景

インフラの急速な老朽化時代を迎え、非破壊検査技術やロボット技術等の新技術やITの活用により、維持管理・更新システムを高度化し、インフラ管理の安全性、信頼性、効率性の向上を図ることが求められている。

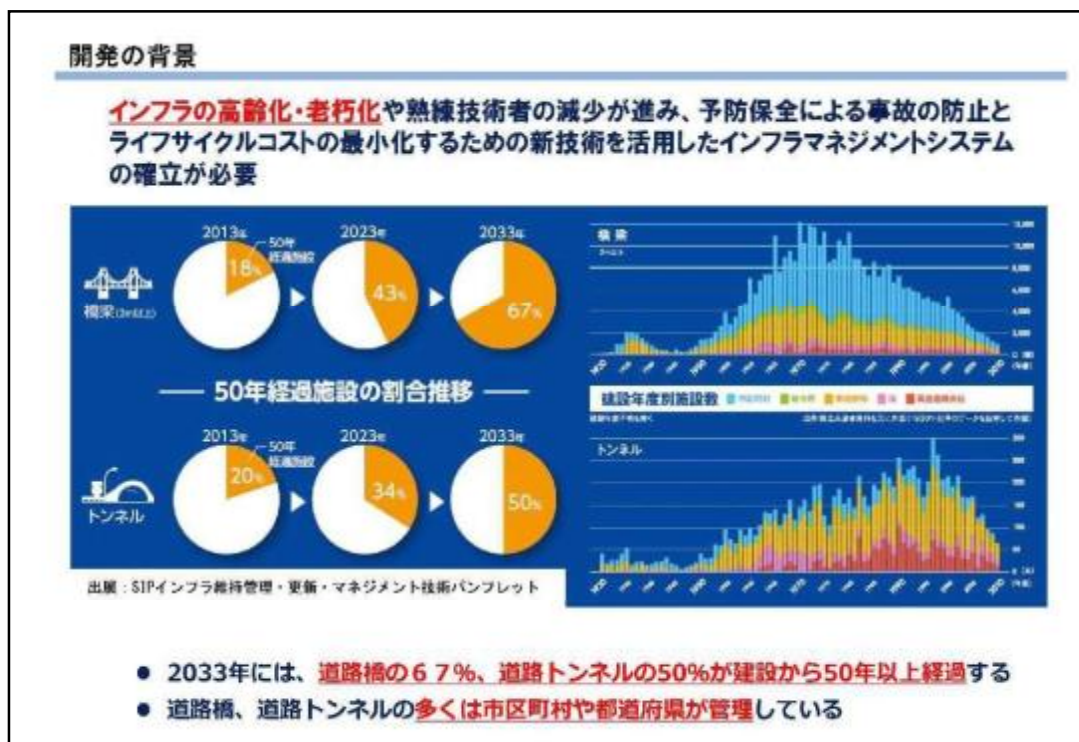


図 5.4 開発の背景

2) 新技術（新工法・新材料）導入の目標

トンネルにおける維持管理の新技術として、補修工法及び材料等の技術開発は、日々進んでいる状況ではあるが、安定性・実績のある技術にまで成熟していない。しかし、新技術の活用を行うことで、公共工事における品質確保やコスト縮減等の様々な課題解決に大きく貢献するため積極的な活用が求められている。

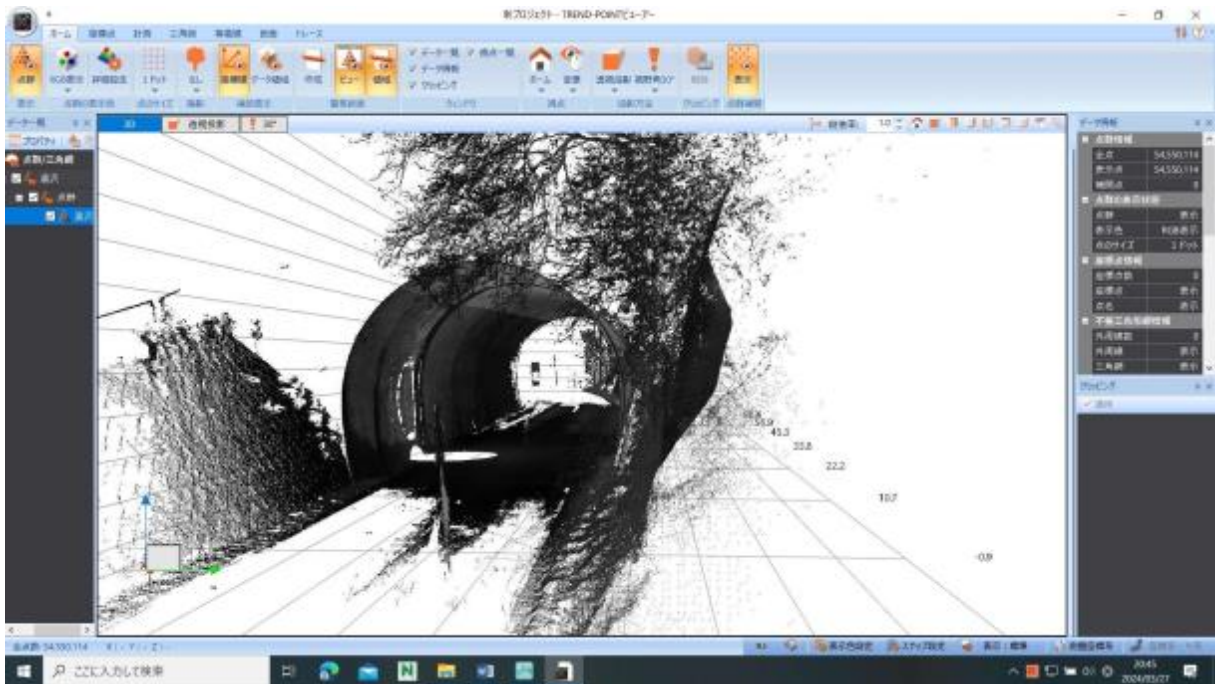
各新技術の活用にあたっては、劣化要因や施工条件等によって適用できる条件がトンネルにより異なるため工種選定に留意する必要がある。

3) 測量・調査における新技術の活用

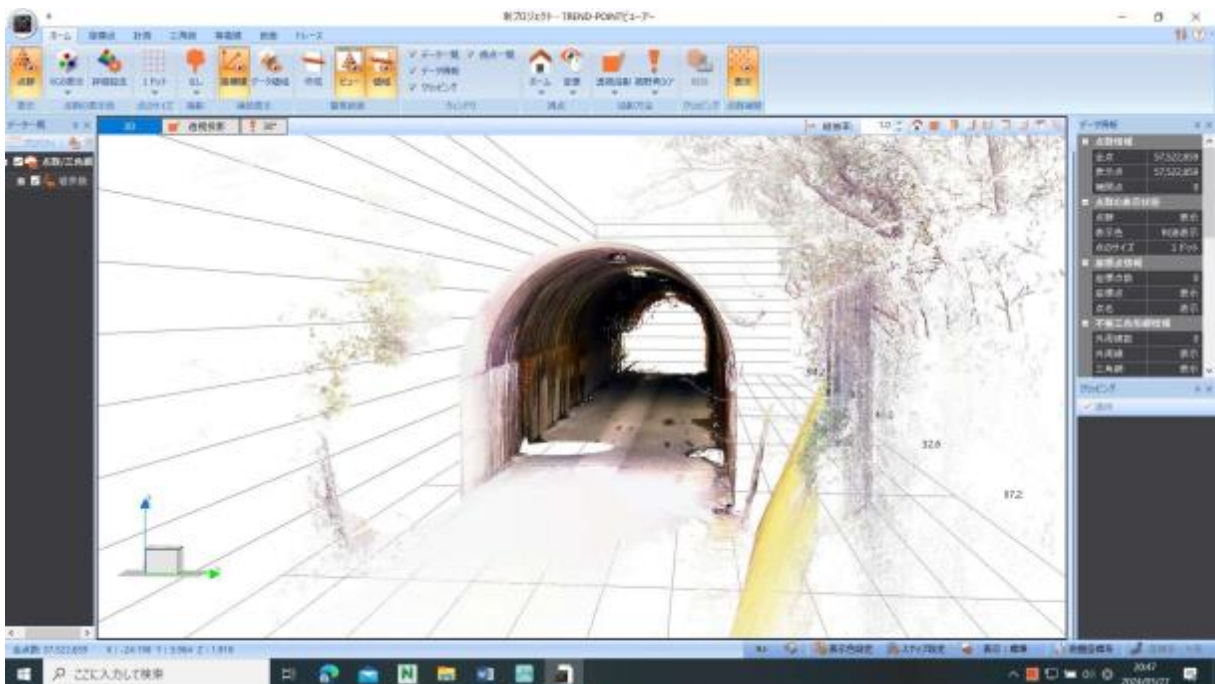
仁中隧道の長寿命化修繕計画・補修計画を履行するにあたり、適用可能な新技術を以下に示す。

(1) 活用技術：『地上型3Dレーザースキャナー測定』

(2) 活用目的：トンネルの詳細な内空断面の把握



地上型3Dレーザースキャナーによる断面測定（例）①



地上型3Dレーザースキャナーによる断面測定（例）②

新技術の活用については、コスト縮減や維持管理の効率化を図るため、補修工事の実施にあたっては、国土交通省「新技術情報提供システム（NETIS）」に掲載されている技術を検討・活用するなど、維持管理に関する最新のメンテナンス技術の積極的な活用を図る必要がある。加えて、点検・補修設計時においても、国土交通省「新技術利用のガイドライン（案）」を参考に、最新の新技術等の活用を検討することを目標とする。

項目	参考とする文献	出典
補修工法の選定	新技術情報共有システム（NETIS）	国土交通省
点検・補修設計	新技術活用のガイドライン（案） 平成31年2月	国土交通省

コンクリート含浸材
 無機リチウム系ミックスタイプ
 【ケイ酸塩系＋シラン混合型】
 コンクリートキーパーシリーズ

コンクリートキーパー & コンクリートキーパー neo

NETIS 登録商品
 登録番号：KT-120118-VE

西セメント工業株式会社 登録商標

F ★★★★★

TEL：03-6362-1111 FAX：03-6362-1112
 E-MAIL：info@concrete-keeper.co.jp



**コンクリートの
補修、劣化防止に**







70

各種試験結果一覧

試験名称	試験規格	結果
外観観察試験	JSCE-K-572	外見変化なし
透水試験	JSCE-K-572	透水抑制率51%
中性化促進試験	JSCE-K-572	中性化抑制率57%性能グレードFA
塩化物イオン浸透抵抗率	JSCE-K-572	塩化物イオン浸透抑制率36%
アルカリ性回復試験	JIS A 1152	24mm以上回復
圧縮強度試験	JIS R 5201	基本物性に影響なし
圧縮強度試験	JIS R 5201	基本物性に影響なし
摩耗試験	JIS A 1453	34%抵抗性向上

荷重15kgペール缶



透水試験結果

抑制率**51%**



中性化促進試験

抑制率**57%**

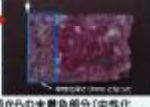


*1 土木学会 けい・建築現場養生工法の研究施工設計(第2) 2012年度第1版発行 けい・耐アルカリ性養生材料の市場調査報告書

アルカリ性回復試験

24mm以上回復

右図は、材料41年の経年の床面をコア抜き試験とし、採取直後のコア断面にフェノールフタレイン1%エチルアルコール溶液を塗布し、コア断面での中性化深さを測定したものです。



コア抜き試験に「コンクリートキーパー」を塗布した5日後に、コア抜き試験の断面にフェノールフタレイン1%エチルアルコール溶液を塗布して、断面からの未着色部分(中性化領域が未着色、非中性化領域は着色)を測定しました。中性化深さ最大で24mm、全ての測定箇所がアルカリ性が回復されたことが確認されました。

品質向上

施工方法

標準散布量(散布率は施工面に応じてお問い合わせ下さい)
新設の場合 0.04Kg/m² 既設の場合 0.15Kg/m²

①劣化部の補修



下地にクラックや欠損がある場合は先に補修をしてください。

②床面調整



コンクリート表面に汚れ、付着物がある場合、十分に清掃を行ってください。

③塗布



コンクリートキーパーシリーズを原液のままローラー、ホウキ、撒布機等で施工面に対して塗布します。

④養生



塗布後、凍害が起るまで凍結しないように養生、十分に乾燥させてください。

コンクリートキーパーシリーズ施工事例



コンクリートキーパーシリーズ製品規格表

成分情報	製品規格値		品質規格値
	コンクリートキーパー	コンクリートキーパーneo	
リチウムシリケート酸化物	7~13wt%	5~10wt%	製品規格値内
アミノシラン誘導化合物	0.5~1.5wt%	1~5wt%	製品規格値内
メチルシリコンカリウム	1~5wt%	1~5wt%	製品規格値内

コンクリートキーパーシリーズ技術データ

	コンクリートキーパー	コンクリートキーパーneo	
種類	難燃リチウム系ミックスタイプコンクリート表面材		
外観	灰色で透明な水膜状		
臭気	なし		
比重	約1.1		
pH	約11		
沸点	100℃		
氷点	0℃		
浸透深さ	2~7mm以上(7日経過後による)、特にリチウムイオンが浸透		①標準モルタル、標準量700kg
耐酸性 (Na ₂ SO ₄ 5%)	最高値なし		
耐凍水性	(凍結1回/凍結2回/凍結3回) 0.10		
耐塩性	177mmHg/20℃		
耐塩性	1以下		
耐塩性	1以下		
標準配合	15kgペール缶		

コンクリートキーパー、コンクリートキーパーneoに関する詳細 <https://r-ck.co.jp>



販売元: 株式会社DTF
〒160-0023
東京都新宿区西新宿6丁目21番1号 アイタウンプラザ107
TEL: 03-6276-8305 FAX: 03-6276-8304
e-mail: dtk-info@r-ck.co.jp

共同開発: 昭和化学

お問い合わせフリーダイヤル
0120-062-117

ポイント名: 062-117 (ポイント) . ck はコンクリートキーパーを表しています。

5-3-3. 新技術導入促進の根拠基準・情報

1) 新技術情報

新技術導入に関する根拠基準・情報は、下表の国土交通省で策定された内容をもとに、地方自治体等の各機関で作成されたものに準拠することを基本とする。

表5.7 国土交通省の新技術活用方針

機 関	名 称
国土交通省	NETIS 新技術情報提供システム
国土交通省	道路分野における新技術導入促進方針(案)
国土交通省	点検支援技術性能カタログ(案)
国土交通省	新技術利用のガイドライン(案)
国土交通省	モニタリング技術も含めた定期点検の支援技術の使用について
各 県	新技術情報HP

2) 新技術等の選定方法

新技術等の選定使用については、新技術利用ガイドライン(案)に示されているように「点検支援技術使用計画」により検討を行い、選定する。

表5.8 新技術品質・性能 確認項目

選定時に確認が必要な項目	
工法名	施工方法
情報掲載元	施工実績
技術概要	概算金額
技術の特徴	概算工程
適用性（性能等）	特筆事項
選定比較表	経済性
適切性	新技術性能の適正性

3) 新技術・新材料の活用

ICT技術革新が推進されるなか、生産性・安全性の向上、点検技術の高度化、コストの縮減等を目指し、ICT等のデジタル技術や新材料などの導入・活用が図られている。

トンネルの長寿命化対策やその後の点検・維持補修において、「点検支援技術性能カタログ(案)」の掲載技術、以下のような新技術、新材料を積極的に導入・活用していく方針とする。

(1) 点検診断技術の導入・活用

UAV（ドローン）・レーザー搭載車両・点検ロボットカメラ等を用いた点検技術が開発され、実用化に向け実証実験が進められており、導入・活用を検討する。

なお、UAV等で撮影した膨大な画像データを用いて、AIにより損傷個所を自動検出するなど、効率的な点検診断に資する「AIの導入・活用」も視野に入れる。

(2) モニタリング技術の導入・活用

トンネルの長期的な変動や地震時の状況などをリアルタイムで把握するため、長寿命化対策と併せて重要構造物については変位計やひずみ計を設置するなど、新たなモニタリング技術の導入・活用を検討する。

(3) 修繕施工に関する新材料・新工法の活用

トンネルの修繕施工に関し、効果的かつ効率的な長寿命化対策を行うために、施工性が良く早期供用が図られる新材料や新工法等の活用を検討する。

5-3-4. 新技術の活用事例

仁中隧道の点検・診断において活用が可能な技術として、画像計測技術、非破壊検査技術、計測モニタリング技術などが挙げられる。

下記に画像計測技術を示す。

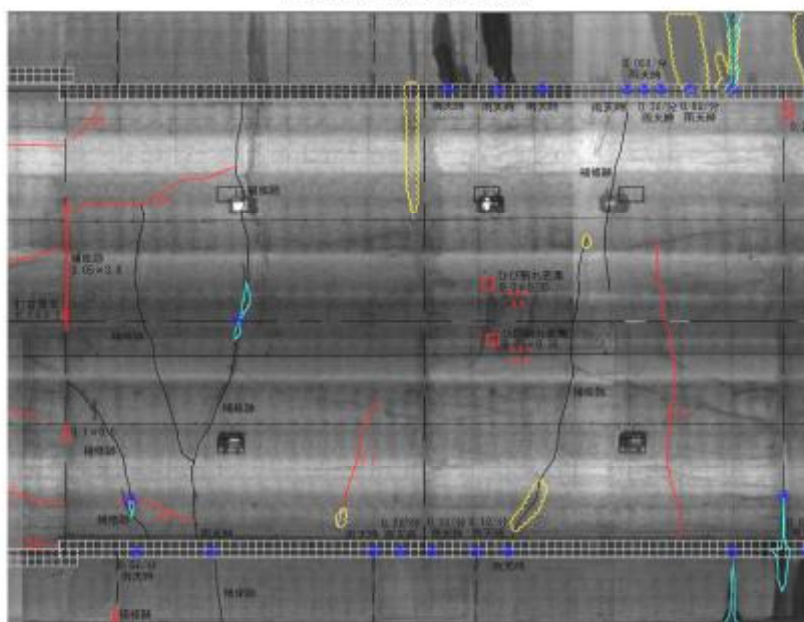
■画像計測技術の例

走行している車両からトンネルの覆工画像を撮影できる新技術となり、マーキングのスケッチ等の省力化及び坑内変状確認の精度向上、作業の効率化を図る技術である。

なお、仁中隧道は素掘りで壁面の岩盤が露出していることで、画像計測では岩盤の節理等が不明確になるものと推測されるため、対策施工後（側壁コンクリート＋防護セメント工等）に適用の検討を行うものとする。



▲走行型画像撮影車（例）



▲新技術活用による変状の見える化（例）

5-4. 費用の縮減に関する具体的な方針

5-4-1. 集約化・撤去等に関する方針

1) 計画方針

那珂川町が管理するトンネルは当該「仁中隧道」のみであり、坑内の変状状態より2026年度（令和8年度）の補修工事が予定されている。

本隧道は、耕作地利用のために必要不可欠なルートであることや、近隣に代替ルートも存しないことから、撤去しない。

表 5.9 対象トンネル諸元

番号	路線名	トンネル名称	所在地	トンネル分類	延長(m)	有効幅員(m)	完成年
1	町道久通仁中線	仁中隧道	那珂川町	陸上トンネル 矢板・素掘り構造	42	3.0	1951 (昭和 26)

表 5.10 仁中隧道概要

仁中隧道（1車線：L=42m）		
全体平面図		
		
現地の状況		
		
終点側坑口部	① 終点側坑口左側の耕作地	② 終点側坑口右側の耕作地

5-4-2. コスト縮減の基本的方針

仁中隧道の長寿命化及び修繕に係る費用の縮減に関する基本的な方針を、“**予防的な修繕等の実践の徹底によるトータルコストの縮減**” という視点から、以下のように設定する。

管理水準の設定と施設状態の適切な把握	⇒ 目標設定、状態把握、劣化予測、健全度評価
修繕計画の立案と実践	⇒ 計画（10年）
アカウンタビリティの確保	⇒ ホームページによる公開
情報管理の高度化	⇒ GISの活用など
PDCAサイクルの構築	⇒ モニタリング、事後評価、フィードバック

予防的な修繕等の実施の徹底によるトータルコストの縮減

具体的な実施方針

1) 施設の管理水準と施設状態の適切な把握

- ・既存データ・情報を整理するとともにデータ蓄積を行う。
- ・管理水準は長寿命化計画（本報告書）・個別設定するガイドラインに準じて設定する。

2) 修繕計画の立案と実践

- ・点検結果に基づき、将来的な劣化状態を予測することで、今後の必要となる対策費用（ライフサイクルコストなど）を把握する。
- ・点検結果より今後10年間の計画（予防的な修繕等）を実施する。但し、今後、点検結果や社会情勢の変化等を踏まえ、大幅な変更が必要となる場合は、適宜見直しを行う。

3) アカウンタビリティの確保

- ・現状、将来の施設状態をふまえた維持管理計画を策定することで、透明性を高めるとともに、外部・内部に向けた予算面での定量的な説明根拠とする。

4) 情報管理の高度化

- ・施設データ、点検データなどのデータベース化する。
- ・データベース化、システム化を図ることで、さらに効率的な維持管理（過去の点検結果、履歴の活用など）、高度な分析（施設の将来的な状態と必要な予算の関係、その結果の将来的な予算への影響などの評価）の実施を図る。

5) PDCAサイクルの構築

- ・計画の実施状況、管理目標の達成状況などや劣化の進行度合い、補修後の状態などの継続的なモニタリングを行い事後評価、フィードバックすることで、さらなる維持管理の効率化・高度化を図る。

5-4-3. 対策工施工に係るコスト縮減

本隧道の壁面岩盤の変状状態（Ⅲ判定）に対し、**適応性の高い工法：側壁コンクリート＋防護セントル工**により、現状の内空断面を有効利用しながら、ライフサイクルコストに優れた対策とすることで、トータルコストの縮減を図るものとする。

※次頁に工法選定比較表を添付する。

表 5.11 はく落対策工比較検討表

工 法		内巻補強工：はく落対策工			
		1 案：側壁コンクリート+H 鋼+エクスパンドメタル	2 案：側壁コンクリート+ライナープレート工	3 案 全面改築（新設覆工コンクリート）	4 案：金網工+吹付けコンクリート工+ロックボルト工
概 要 図					
工法概要		<ul style="list-style-type: none">岩盤露頭部の不陸を修正、起終点坑口の断面形状（内空）と合致させるために、必要な支保部材設置範囲まで掘削し、側壁コンクリートを打設⇒ロックボルトで固定（必要に応じて）した後に上部に H 鋼（H-125）を 1.0m ピッチで建て込む工法。岩盤からの小剥離・剥落に対しては H 構背面に設置したエクスパンメタルで抑制し第三者被害を防止する。背面岩盤（崩落岩塊の規模を推測）、上部土圧への対抗性を考慮した仕様決定が必要となる場合もある。	<ul style="list-style-type: none">岩盤露頭部の不陸を修正、起終点坑口の断面形状（内空）と合致させるために、必要な支保部材設置範囲まで掘削し、側壁コンクリートを打設⇒ロックボルトで固定した後上部にライナープレートを設置し、背面岩塊の崩落～岩片の小剥落・剥離を抑制する。背面岩盤（崩落岩塊の規模を推測）、上部土圧への対抗性を考慮した仕様決定が必要となる場合もある。	<ul style="list-style-type: none">岩盤露頭部の不陸を修正、起終点坑口の断面形状（内空）と合致させるために、必要な支保部材設置範囲まで掘削し、新たな覆工コンクリートを築造するものである。新設トンネル同様な仕上がりとなる。背面岩盤、上部土圧への耐抗性が必要な場合は、構造計算により各部材の仕様を決定する必要がある。	<ul style="list-style-type: none">岩盤露頭の形状を一定程度修正し、剥落防止剤としてラス網・コンクリート吹付けを行う工法。ラス網・水付けコンクリートの定着については、地山へのロックボルト打設によって縫い付けを図るものとする。背面岩盤、上部土圧への耐抗性が必要な場合は、構造計算により各部材の仕様を決定する必要がある。
①工事工程（施工手順）		①掘削（岩盤不陸修正） ②側壁コンクリート打設（③ロックボルト固定） ④上部 H 鋼設置 ⑤H 鋼背面エクスパンドメタル設置	①掘削（岩盤不陸修正） ②側壁コンクリート打設 ③上部ライナープレート設置（裏込め注入は行わない）	①掘削（岩盤不陸修正） ②側壁コンクリート打設 ③上部ライナープレート設置（裏込め注入は行わない）	①不陸修正 ②金網設置 ③吹付けコンクリート ④ロックボルト打設
②施工性		<ul style="list-style-type: none">●支保材設置範囲の地山掘削が必要○H 鋼は重量物ではあるが、2 ピース分割で特に問題は生じない。●ロックボルトを打設する場合、施工工程が多いため、2・4 案に比べて工期が長くなる。○覆工の形状に柔軟に対応できる。	<ul style="list-style-type: none">●支保材設置範囲の地山掘削が必要●狭小断面内でのライナープレート建込み方法に検討を要する。○施工工程はシンプルであり、工期は短い。○覆工の形状に柔軟に対応できるが、ライナープレートの工場加工に手間を要する場合もある。	<ul style="list-style-type: none">●支保材設置範囲の地山掘削が必要●施工工程はシンプルであるが、狭小断面内において曲面型枠が必要になるとともに、覆工打設用のセントルの組バラシを数回行うことで施工性は劣る。●吹付けコンクリート用機械が必要であるとともに、覆工打設はポンプ車が必要であり、狭小範囲での設備配置計画に検討を要する。○覆工の形状に柔軟に対応できるが、曲面部のセントル加工に手間を要する場合もある。	<ul style="list-style-type: none">○基本的に現況岩盤面の修正程度となるため掘削量は少ない。●隧道内(狭所)でのロックボルト打設において施工機械の配置等に検討を要する。（吹付けコンクリート用機械を要する）●岩盤表面の風化深度が大きい場合、固定用ロックボルトの定着見直しが必要。
③出来高品質	耐荷性	耐荷性能として、岩塊の一定規模の崩落に対しては、均一ピッチで建て込んだ H 鋼によるものとする。（小岩片はエクスパンドメタルで抑止）	ライナープレートの大きな耐荷力で岩塊の一定規模の崩落に対して抑止が可能。 二次製品であるため、高品質である。	吹付けコンクリートで岩盤表面を固定し、新設の覆工コンクリートにより耐荷力を確保する。	耐荷性能としては、吹付けコンクリートの内圧機能及びロックボルトの耐引抜力によるものであり、周面摩擦抵抗が取れば一定の耐荷能力を発揮する。
	耐久性（耐用年数）	H 鋼・エクスパンドメタルの防錆性に留意が必要。 （耐用年数：コンクリート部は概ね 50～75 年程度、鋼材部は概ね 20 年程度）	新設トンネルと同程度の耐久性を確保できるが、ライナープレートの防錆性に留意が必要。（耐用年数：コンクリート部は概ね 50～75 年程度、鋼材部は概ね 20 年程度）	新設トンネルと同等の耐久性がある。 （耐用年数：コンクリート部は概ね 50～75 年程度）	地山が保持している周辺摩擦抵抗によってロックボルトが機能すれば耐久性は確保される。（耐用年数：吹付け部は概ね 25～50 年程度、鋼材部は概ね 20 年程度）
④経済性		○イニシャルコストは中位である。ランニングコスト面でも優位となるが、岩塊の剥離・剥落等に対し定期的なメンテナンスが必要 ○350,000 円／m	●イニシャルコストは、改築工法以外に対し、高いものとなる。 ランニングコストは、抑えられるが、二次製品であるため、再補強の工法は限定される。 ●400,000 円／m	●トンネルを新設する様なものであるため、イニシャルコストは高いものとなるが、ランニングコストは抑えられる。 ●550,000 円／m	○イニシャルコストは抑えられるが、長期的な安定性に懸念が残る。 ○250,000 円／m
⑤環境性(景観)		○工事において特殊な機械を要しない。一部ロックボルトの打設において騒音・粉塵が生じるが、当該現場において問題になることはない。 ●内空の仕上がり面における景観性においては、3 案より劣る。	○特に環境面に配慮が必要な施工を要しない。 ●内空の仕上がり面における景観性においては、3 案より劣る。	○特に環境面に配慮が必要な施工を要しない。 ●内空の仕上がり面における景観性においては、新設同様となる。	○工事において特殊な機械を要しない。一部ロックボルトの打設において騒音・粉塵が生じるが、当該現場において問題になることはない。 ●内空の仕上がり面における景観性においては、不陸状態であることから、3 案より劣る。
⑥安全性		○特殊材料を用いないため、施工時および供用後（経年経過）においても、個々の材質に対する安全性は問題ない。	○特殊材料を用いないため、施工時および供用後（経年経過）においても、個々の材質に対する安全性は問題ない。	○特殊材料を用いないため、施工時の安全性は問題ない。 ○供用後は、新設トンネルと同等の安全性である。	○ロックボルト定着長さを所定まで確保することで、周辺摩擦抵抗力により支持力が確保でき安全性が向上する。
本隧道への適用性		○施工後の観察が容易であり、変状進行の状況に応じて追加施工も可能。 ※施工性・経済性・維持管理性（変状監視）に優れた本案を採用する。	●アーチ部は二次製品であるため、品質が高く、施工不良が起きにくい、施工後の観察が不可能である。	●新設トンネルと同様の仕上がりとなるが、施工後の背面地山の状態が把握不可となり、将来的に別途覆工対策が必要となる場合もある。	○吹付けコンクリート面の変状により、施工後の観察が容易であり、変状進行の状況に応じて追加施工も可能である。 ●但し、相当な岩塊の崩落に対しての抑止機能は小さい。
判 定		◎（採用）	○	△	△

5-4-4. 新技術の活用におけるコスト削減

本項においては、「補修対策（工事）」と「補修対策後の定期点検」のそれぞれにおいて新技術等の活用におけるコスト削減効果を検討するものとする。

1) 補修対策工（工事）

表 5.12 従来（標準）工法による補修対策費用（概算）

工 種	細 別	単位	数 量	単価（円）	金額（円）	摘 要
①壁面洗浄工		m2	150	2,000	300,000	面壁～坑口部
②表面保護工	モルタル塗布	m2	90	12,000	1,080,000	両坑口部
③ひび割れ止水工	ピックス工法	m	25	35,000	875,000	坑口部
④内巻補強工	H 鋼＋側壁 Co	m	32	500,000	16,000,000	一般部
		合計（直接工事費）			18,255,000	
		共通仮設費			6,232,500	×30%
		間接費（率計上）			15,516,750	直工×85%
		総合計（工事価格）			40,004,250	※1.00

表面保護工の新技術採用に伴う
コスト削減

表 5.13 新技術活用による補修対策費用（概算）

工 種	細 別	単位	数 量	単価（円）	金額（円）	摘 要
①壁面洗浄工		m2	150	2,000	300,000	面壁～坑口部
②表面保護工	無機リチウム系ミックス含浸材 ※KT120118-VE	m2	90	6,000	540,000	両坑口部
③ひび割れ止水	ピックス工法	m	25	35,000	875,000	坑口部
④内巻補強工	H 鋼＋側壁 Co	m	32	500,000	16,000,000	一般部
		合計（直接工事費）			17,715,000	
		共通仮設費			5,314,500	×30%
		間接費（率計上）			15,057,750	直工×85%
		総合計（工事価格）			38,087,250	※0.95

2) 補修対策後の定期点検

補修対策後の定期点検実施に際し、新技術活用におけるコスト縮減計画を以下に立案する。

仁中隧道の現場状況・坑内の規模・延長等を考慮し、今後の点検・診断においては、国交省「点検支援技術性能カタログ（2025 年（令和7年）4月）」に登載される以下のシステムを活用しコスト縮減を図るものとする。

■活用技術：電動カート撮影による変状展開画像作成システム

表 5.14 従来型トンネル点検・診断費

工 種	細 別	単 位	数 量	単価（円）	金額（円）	摘 要
【直接人件費】						
1. 現場点検	素掘り構造 覆工 Co	式	1		398,000	
計画準備・計画		式	1	150,000	(150,000)	
点検員		人	2	47,200	(94,400)	1 人×2 日
		人	4	38,400	(153,600)	2 人×2 日
2. 調書作成		式	1		350,000	
3. 健全度診断他		式	1		250,000	
		直接人件費合計			998,000	①
【直接経費】						
高所作業車賃料		台日	2	35,000	70,000	
高所作業車運転手		人	2	25,000	50,000	
規制費	誘導員含む	日	2	80,000	160,000	
		直接経費合計			430,000	②
【間接費】						
その他原価・管理費		式	1	1,200,000	1,200,000	③
		点検・診断業務費合計			2,628,000	①+②+③
		改め			2,600,000	※1.00

- ① 画像記録システム活用に伴う現場スケッチの省略
② 変状展開図作成の両録化

表 5.15 新技術活用によるトンネル点検・診断費

工 種	細 別	単位	数 量	単価（円）	金額（円）	摘 要
【直接人件費】						
1. 現場点検	索掘り構造 覆工 Co	式	1		274,000	
計画準備・計画		式	1	150,000	(150,000)	
点検員		人	1	47,200	(47,200)	1 人×1 日
		人	2	38,400	(76,800)	2 人×1 日
2. 調書作成		式	1		350,000	
3. 健全度診断他		式	1		250,000	
		直接人件費合計			874,000	①
【直接経費】						
自動変状展開図 作成システム賃料	電動カート搭載型 ※TN010041-V0025	日	1	150,000	250,000	
システム移動費		回	1	120,000	120,000	
高所作業車賃料		台日	1	35,000	35,000	
高所作業車運転手		人	1	25,000	25,000	
規制費	誘導員含む	日	1	80,000	80,000	
		直接経費合計			510,000	②
【間接費】						
その他原価・管理費		式	1	1,050,000	1,050,000	③
		点検・診断業務費合計			2,434,000	①+②+③
		改め			2,400,000	※0.92

3) 新技術活用におけるコスト縮減効果

表 5.16 新技術活用による補修対策費用（概算）

工 種	金額（千円）		効果（割合）	摘要
	従来技術	新技術活用		
1. 補修対策工事	40,004	38,087	95%	
2. 点検・診断費	2,600	2,400	92%	

補修対策工事及び点検・診断費は、新技術の活用することで従来手法による費用を下回る結果となった。よって、新技術の活用により 2034 年度（令和 16 年度）までに 210 万円の費用縮減することを目標とする。

5-5. 計画全体の目標

5-5-1. 短期的な数値目標

仁中隧道の変状状況～健全度判定～長期的劣化度予測～対策工検討結果等より、現状の補修費用を算出した上で維持管理を踏まえた短期的な数値目標を立案する。

＜短期的な数値目標における条件＞

- ① 仁中隧道における長寿命化修繕計画の計画期間は、2023年度（令和5年度）～2032年度（令和14年度）までの10年間とする。
- ② 本計画において、補修対策工実施に係る設計費は見込まないものとする。
- ③ 坑内の変状状況より、2026年度（令和8年度）に本対策を実施する計画とする。
- ④ 初回点検は2017年度（平成29年度）、2回目点検は2022年度（令和4年度）、今年度の長寿命化修繕計画策定業務（2回目）における現地再確認結果にもとづき、対策工の施工を2026年度（令和8年度）に予定することから、次回点検については「対策効果の確認」を兼ねて『前回点検の5年後並びに対策施工の2年後』となる2028年度（令和10年度）と計画とする。

1) 維持管理上（点検・診断）の費用算出

表 5.17 トンネル点検・診断費

工 種	細 別	単位	数 量	単価（円）	金額（円）	摘 要
【直接人件費】						
1. 現場点検	素掘り構造 覆工 Co	式	1		398,000	
計画準備・計画		式	1	150,000	(150,000)	
点検員		人	2	47,200	(94,400)	1人×2日
		人	4	38,400	(153,600)	2人×2日
2. 調書作成		式	1		350,000	
3. 健全度診断他		式	1		250,000	
		直接人件費合計			998,000	①
【直接経費】						
高所作業車賃料		台日	2	35,000	70,000	
高所作業車運転手		人	2	25,000	50,000	
規制費	誘導員含む	日	2	80,000	160,000	
		直接経費合計			430,000	②
【間接費】						
その他原価・管理費		式	1	1,200,000	1,200,000	③
		点検・診断業務費合計			2,628,000	①+②+③
		改め			2,600,000	

2) 補修対策費用の算出

(1) 小規模修繕（応急対策）のケース

表 5.18 仁中隧道補修対策費用（概算）

工 種	細 別	単位	数 量	単価（円）	金額（円）	摘 要
①壁面洗浄工		m2	150	2,000	300,000	面壁～坑口部
②ひび割れ止水工	ビックス工法	m	25	35,000	875,000	坑口部
③壁面保持対策	はく落防止工 （金網・ネット工）	m2	280	20,000	640,000	一般部
		合計（直接工事費）			1,815,000	
		共通仮設費			907,500	×30%
		間接費（率計上）			1,815,000	直工×100%
		総合計（工事価格）			4,537,500	

(2) 大規模修繕（恒久対策）のケース

表 5.19 仁中隧道補修対策費用（概算）

工 種	細 別	単位	数 量	単価（円）	金額（円）	摘 要
①壁面洗浄工		m2	150	2,000	300,000	面壁～坑口部
②表面保護工	無機リチウム系ミ ックス含浸材 ※KT120118-VE	m2	90	6,000	540,000	両坑口部
③ひび割れ止水	ビックス工法	m	25	35,000	875,000	坑口部
④内巻補強工	H 鋼＋側壁 Co	m	32	500,000	16,000,000	一般部
		合計（直接工事費）			17,715,000	
		共通仮設費			5,314,500	×30%
		間接費（率計上）			15,057,750	直工×85%
		総合計（工事価格）			38,087,250	

5-5-2. コスト縮減効果

1) ライフサイクルコスト（LCC）縮減の修繕シナリオ

ケース①：小規模修繕

ケース②：大規模修繕

仁中隧道においては、竣工後、現在まで補修対策が実施されていないことから、一般的な「予防保全」「事後保全」の各対策に該当しないことから、『大規模修繕』『小規模修繕』の各対策費用の対比により、コスト縮減効果を検証する。

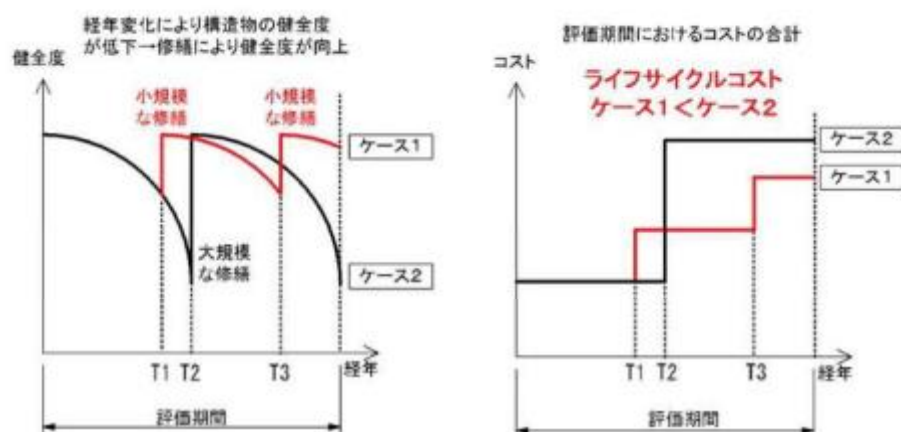


図 5.5 ライフサイクルコスト計算のシナリオ

(1) コスト縮減効果

表 5.20 仁中隧道補修対策費用（概算）

修繕種別	主たる対策工	工事費 (千円)	補修サイクル (50年供用)	金額：LCC (千円)	比率	摘 要
ケース①小規模修繕	はく落防止工 (金網工)	4,538	10回	45,380	1.19	※金網5年耐久 として試算
ケース②大規模修繕	内面補強工 (H鋼+側壁Co)	38,087	0回	38,087	1.00	

仁中隧道においては、素掘り壁面の剥落防止対策としての“小規模修繕(ケース①)”を繰り返すよりも、“大規模修繕(ケース②)”による抜本的対策を施す方がライフサイクルコストの低減が図れるものとなる。

5－6. 仁中隧道・個別事項

仁中隧道の個別事項について、以下の各項目に従い次頁に整理する。

- ① トンネル諸元
- ② 点検結果及び次回点検計画
- ③ 対策内容
- ④ 対策の着手・完了予定年度
- ⑤ 対策に係る全体概算事業費
- ⑥ 短期の維持管理計画工程表

表 5.21 仁中隧道・個別事項

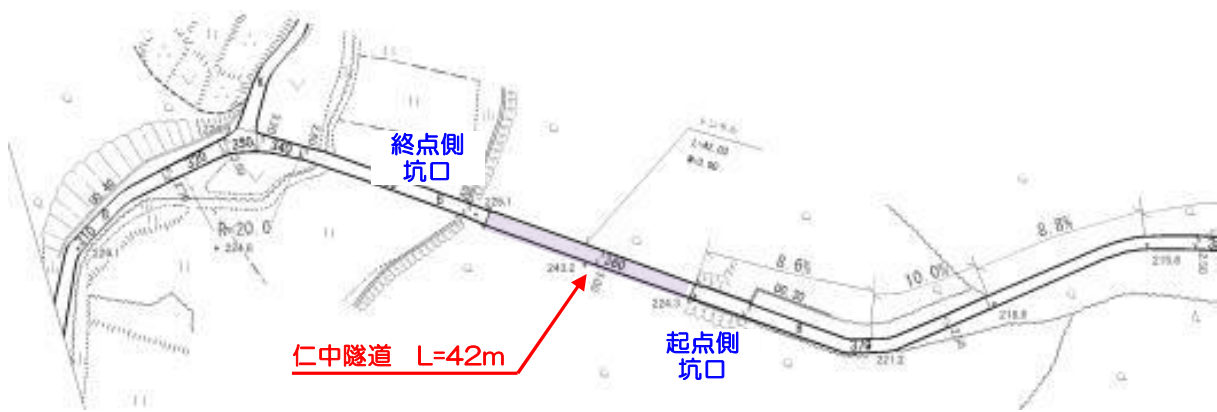


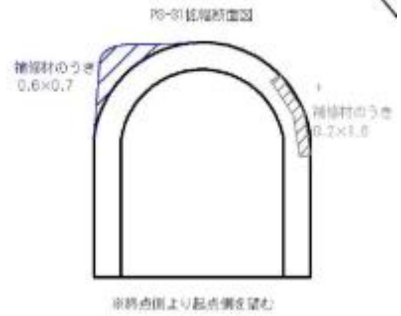
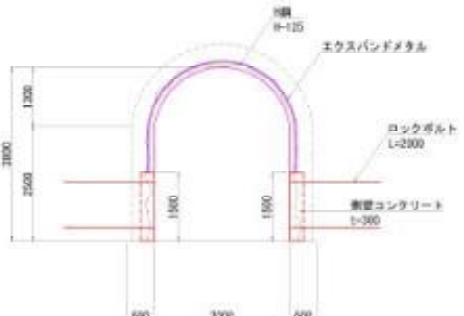
諸 元		平面図		坑口状況写真	
トンネル名称	仁中隧道			起点側	終点側
路線名	町道久通仁中線				
所在地	栃木県那珂川町大内地内				
トンネル分類	陸上トンネル（矢板・素掘り構造）				
延長（m）	42.0				
有効幅員（m）	3.0				
完成年度	1951 年（昭和 26 年）				
現況断面図		点検結果及び次回点検計画			
		直近における点検結果（2022 年度（令和 4 年度）定期点検結果）		次回点検計画	
対策工断面図		R4 年度 定期点検結果（健全度判定の精査）		表 健全度判定に係る対策区分～対策方針（案）	
		●判定区分：道路トンネル定期点検要領（H31 版）にもとづく		表 健全度判定に係る対策区分～対策方針（案）	
		仁中隧道の健全度（精査結果）		表 健全度判定に係る対策区分～対策方針（案）	
		スパン毎の判定		表 健全度判定に係る対策区分～対策方針（案）	
		外力 材質劣化 漏水 トンネルの健全性		表 健全度判定に係る対策区分～対策方針（案）	
		IIb III I III		表 健全度判定に係る対策区分～対策方針（案）	
				対策施工 2 年後（2028 年（令和 10 年））で点検を計画する	
		対策内容			
対策工法	① 壁面洗浄工：L=10m ② ひび割れ止水工：L=25m ③ 内巻補強工（H 鋼＋側壁 Co）：L=32m	対策着手年度	2026 年度（令和 8 年度）予定		
		対策完了年度	2026 年度（令和 8 年度）予定		
		全体概算事業費	36,926,000 円		

表 5.22 短期の維持管理計画工程表（案）

年度		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	合 計	摘 要
費目・工種		(基準)	(2年目)	(3年目)	(4年目)	(5年目)	(6年目)	(7年目)	(8年目)	(9年目)	(10年目)	(費目毎)	
対策工施工費	剥落・漏水対策							■					38,087,250
	(金額：円)	0	0	0	0	0	0	38,087,250	0	0	0	38,087,250	
維持管理費	長寿命化修繕計画	●		●（見直し）			●（見直し）						6,700,000
	点検・診断			●						●（対策効果確認）			
	対策工設計費						●						
	(金額：円)	2,900,000	0	4,100,000	0	0	6,500,000 (1,800,000)	0	0	2,600,000	0	6,700,000	
合 計（年度毎）		2,900,000	0	4,100,000	0	0	8,300,000	38,087,250	0	2,600,000	0	53,087,250	
		※今年度業務											

5-7. 維持管理計画における基本方針

5-7-1. 管理水準の設定

1) 維持管理水準

道路トンネルでは、交通量や道路種別、緊急輸送路の有無などに係わらず、どのようなトンネルであっても、覆工片のはく落等による事故や、照明施設や非常用施設の故障によるトラブルによって利用者の安全性が損なわれることは避けるべきである。

このため、本町のトンネルにおける維持管理水準とは、利用者に危険を与えないレベルとして、トンネルの重要度に係わらず、健全性ランクⅣにならないように、適宜点検・パトロール等を実施し、**ランクⅢの段階に達するまでの間に、速やかに修繕等を実施することで健全性を回復するものとする。**

2) 健全性と実際の対応

健全性に応じて対策までの余裕年数（Ⅲの場合、判定後5年以内）を設定しているが、健全性ランクⅣと判定された変状に対し、直ちに本対策工（トンネルの場合は、恒久対策と呼ばず、本対策と称する）を適用するには、予算措置上あるいは工程上、現実的には対応が難しいケースが生じる。

このため、健全性ランクⅣとなったトンネルは、これまでも行われていたように、応急対策（小破修繕：叩き落とし工やネット工など）を適時、実施しして健全性ランクⅢの状態に回復させた上で、優先して本対策を実施することとする。

また健全性ランクⅢの変状に関しても、定期点検によって健全性ランクⅣに移行していないか確認し、万一健全性ランクⅣに達した場合は、同様に応急対策（小破修繕）を講じる。

以上のようにトンネルの安全性を確保した上で、健全性ランクⅣおよびⅢについては、5年度計画（定期点検見直し）で優先順位をつけて本対策を逐次、実施していくこととする。

5-7-2. 維持管理計画

1) 適用基準

本隧道における維持管理に期する基準については、以下によるものとする。

- ① 道路トンネル定期点検要領 2019 年（平成 31 年）6 月 国土交通省道路局
- ② 道路トンネル維持管理便覧 2020 年（令和 2 年）8 月 公益社団法人日本道路協会

2) 点検の種類

点検の種類は、その実施内容や実施時期等により通常点検、臨時点検、定期点検、および異常時点検に区分する。

- ① 通常点検とは、変状等の早期発見を図るために、実施する点検をいう。
- ② 臨時点検とは、地震や豪雨およびトンネル内の事故災害等が発生した場合に主にトンネルの安全性を確認するために行う点検をいう。
- ③ 定期点検とは、トンネルの保全を図るために定期的に実施する点検をいう。
- ④ 異常時点検とは、通常点検および臨時点検により異常が発見された場合に実施する点検をいう。

※次頁にトンネルの標準維持管理フローを示す。

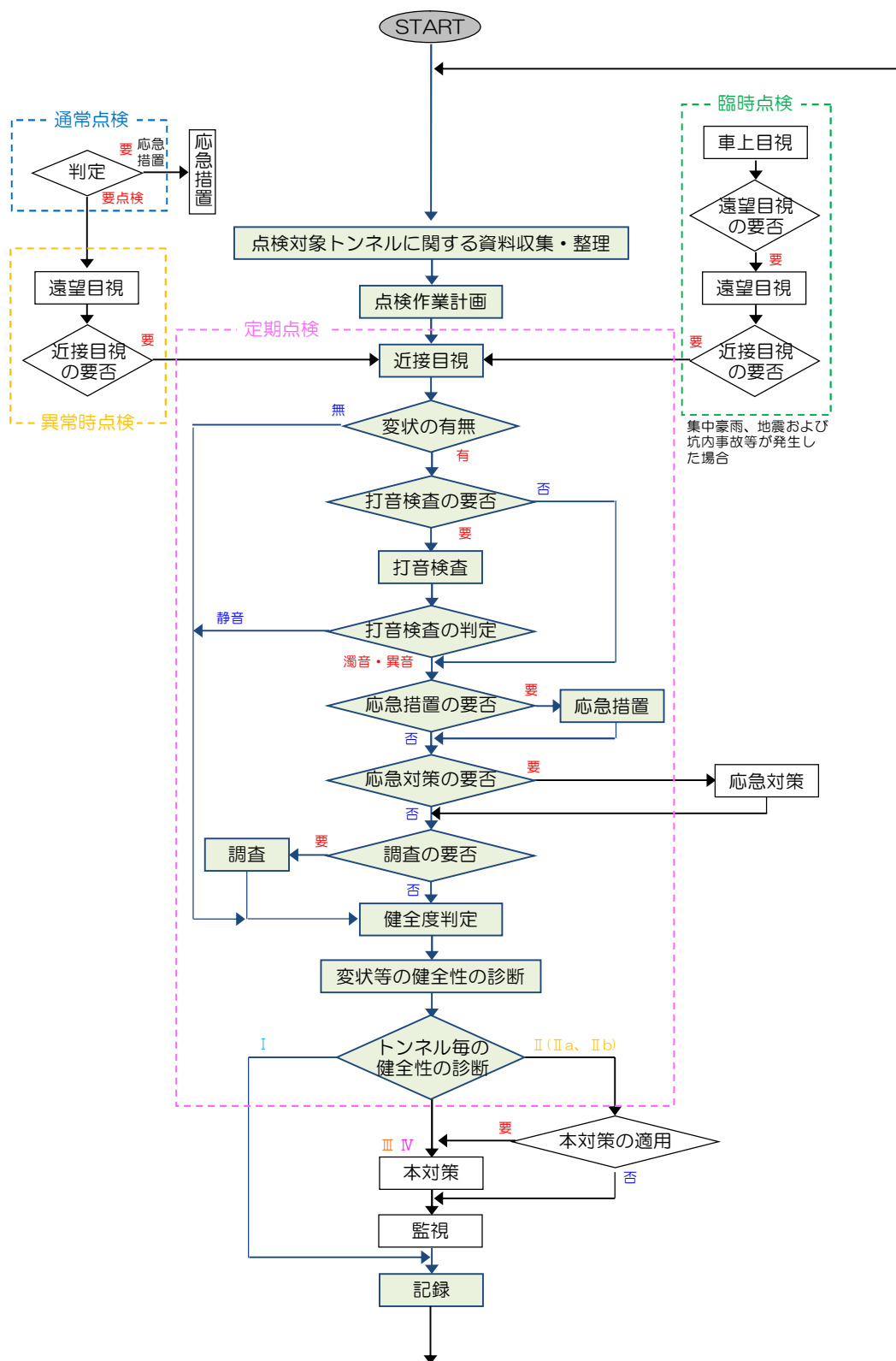


図 5.6 本体工の維持管理に関するフロー

3) 各点検の内容

(1) 通常点検

①点検頻度

通常点検は、年 1 回の頻度で実施するものとする。

②点検方法

通常点検は、遠望目視による点検を基本とする。

但し、坑内空間が狭隘な仁中隧道は近接目視的な点検も可能である。

③点検体制

通常点検は、職員 2 名以上を 1 班として行うものとする。

④点検項目

通常点検で着目する変状は、路面上におけるコンクリート片や岩盤剥落片等の落下物の有無、坑内のつららや漏水等による路面の滞水・着氷とする。

これらの変状は利用者に対して支障となる場合が考えられることから、発見した場合は速やかに路面清掃や着氷除去等の応急措置を行うものとする。

(2) 臨時点検

①臨時点検の実施

臨時点検は、地震や豪雨、事故等が発生した際に実施する。

②点検方法等

臨時点検の方法や体制等については、通常点検に準ずる。

(3) 定期点検

①点検頻度

定期点検は、5 年に 1 回の頻度で実施することを基本とする。

②点検方法

定期点検は、近接目視により行うことを基本とする。

また、必要に応じて触診や打音等の非破壊検査等を併用して行う。

③点検体制

道路トンネルの定期点検を適正に行うために必要な知識および技能を有する者がこれを行う。

(4) 異常時点検

①異常時点検の実施

異常時点検は、通常点検および臨時点検において、さらに詳細な点検が必要と判断される場合に実施する。

②点検方法等

異常時点検の方法、体制、健全性の診断、措置および記録は、定期点検に準ずる。