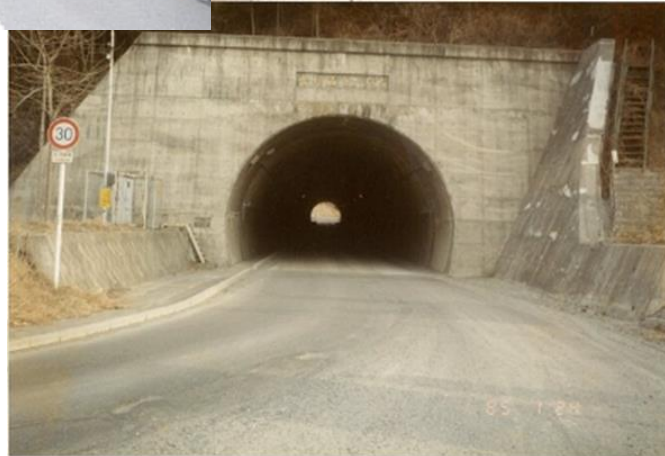

令和 4 年度

白河市トンネル長寿命化修繕計画



大信トンネル



舎利石トンネル

令和 5 年 3 月



白河市

目 次

1. 長寿命化修繕計画の目的	1
2. トンネル諸元.....	1
3. 点検履歴のとりまとめ	3
4. 点検結果概要.....	4
4-1 各トンネルの点検結果	4
4-1-1 H30 年度点検結果	4
4-1-2 H25 年度判定結果	6
5 老朽対策における基本的方針	7
5-1 トンネル長寿命化修繕計画における目的	7
5-2 道路点検の目的	7
5-3 定期点検を対象としたメンテナンスサイクルの基本的なフロー.....	8
5-4 維持管理の手順	9
6. 計画期間内の実施スケジュール	10
7. 各トンネルの劣化予測	11
7-1 変状原因の分類	11
7-2 各トンネルの変状箇所推移予測	12
8. 新技術の活用を踏まえた補修対策の検討.....	14
8-1 対策工法比較検討	15
8-2 対策工概算事業費.....	18
9. 予算シミュレーション	19
9-1 大信トンネルの予算シミュレーション	19
9-2 舍利石トンネルの予算シミュレーション	22
10. 費用削減に関する具体的方針	24
10-1 各トンネルの具体方針	24
10-2 その他費用の削減.....	24
11. 学識経験者との協議.....	25
12. 新技術活用工法.....	26
12-1 MIMM.....	27
12-2 新技術の活用によるコスト縮減効果	28
12-3 短期的数値目標	29
13. 集約化・撤去.....	30

1. 長寿命化修繕計画の目的

白河市が管理する市道の道路トンネル 2 箇所について、トンネル長寿命化修繕計画を策定することにより、トンネルの長寿命化並びにトンネルの修繕に係る費用の縮減・平準化を図りつつ、地域の道路網の安全性・信頼性を確保することを目的とするものである。

2. トンネル諸元

下記に長寿命化修繕計画対象のトンネルの諸元を表す。

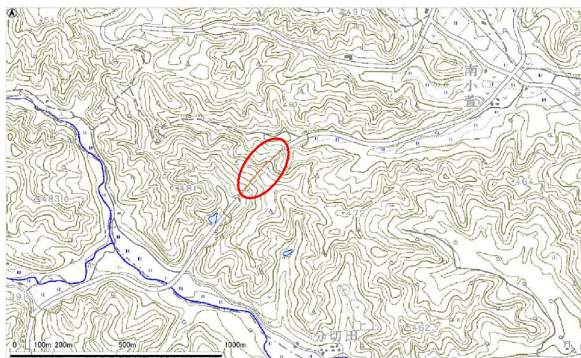
大信トンネル

■トンネル緒元

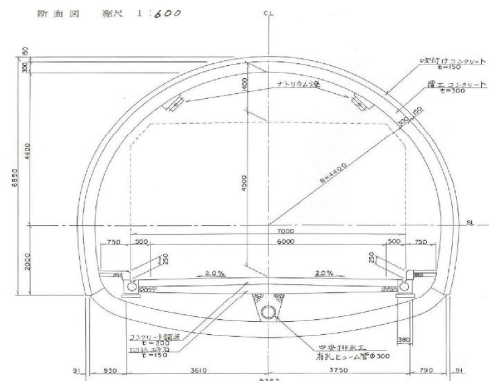
路線名	市道 上小屋西郷線	建築限界高	4.50m
所在地	福島県白河市大信隈戸	中央高	5.90m
完成年次	平成9年	有効高	4.50m
トンネル延長	325.4m	縦断勾配	－
工法	NATM	直線区間長	－
交通量	－	曲線区間長	－
土被り	－	トンネル等級	D
内空断面積	42.3m ²	内装板種類	内装版なし
道路幅	7.00m	舗装種類	コンクリート
車道幅	6.00m	照明種類	ナトリウム灯
歩道幅	1.50m	換気方式	自然

■現地状況

【位置図】



【標準断面図】



【起点側坑口】



【終点側坑口】



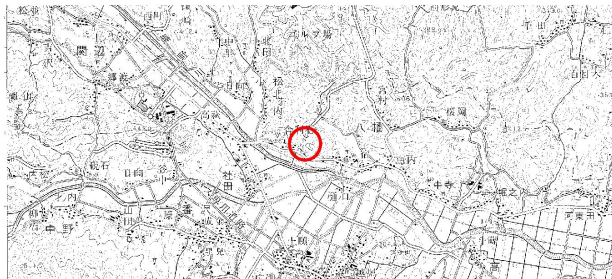
舍利石トンネル

■トンネル緒元

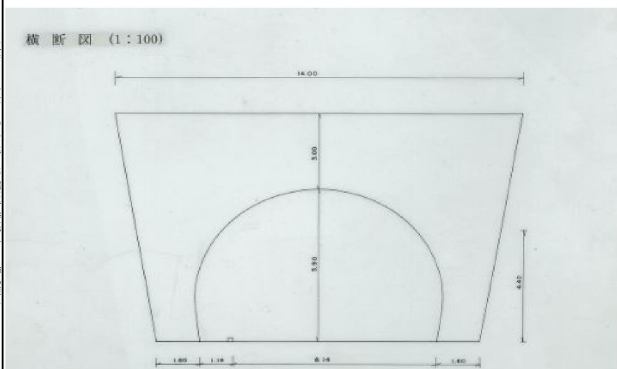
路線名	市道 舍利石関平線	建築限界高	-
所在地	福島県白河市表郷八幡字後山	中央高	6.00m
完成年次	昭和52年	有効高	4.40m
トンネル延長	192.3m	縦断勾配	-
工法	矢板工法(在来工法)	直線区間長	192.3m
交通量	-	曲線区間長	-
土被り	-	トンネル等級	D
内空断面積	-	内装板種類	内装版なし
道路幅	8.14m	舗装種類	コンクリート系
車道幅	5.50m	照明種類	ナトリウム灯
歩道幅	1.14m	換気方式	自然

■現地状況

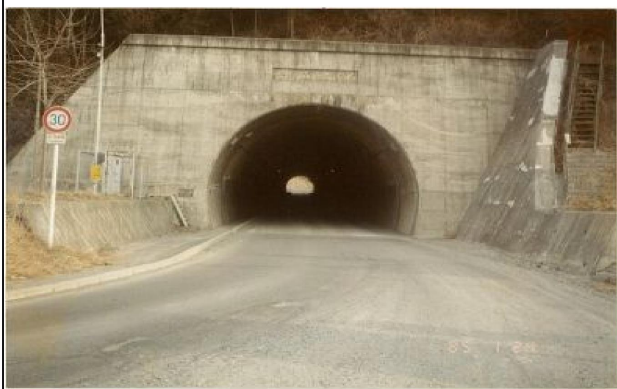
【位置図】



【標準断面図】



【起点側坑口】



【終点側坑口】



3. 点検履歴のとりまとめ

過年度に実施した点検・補修対策工事の実績を表 3-1 に示す。

表 3-1 過年度の点検・補修実施履歴

トンネル名	竣工	点検実施日・補修実施日
大信 トンネル	平成 9 年（1997 年）7 月	
		【総点検】 平成 25 年（2013 年）11 月 1 日
		【はく落対策工】 平成 27 年度（2015 年）
		【定期点検】 平成 30 年（2018 年）6 月 12 日
		【定期点検】 令和 4 年度（2022 年）
舍利石 トンネル	昭和 52 年（1977 年）6 月	
		【総点検】 平成 25 年度（2013 年）
		【はく落対策工、止水注入工】 平成 27 年度（2015 年）
		【定期点検】 平成 30 年（2018 年）6 月 14 日
		【定期点検】 令和 4 年度（2022 年）

4. 点検結果概要

4-1 各トンネルの点検結果

4-1-1 H30 年度点検結果

(1) 大信トンネル

トンネル名	大信トンネル			
坑口現況写真	起点側坑口		終点側坑口	
				
トンネル諸元	延長	325.4m	施工方法	NATM
	竣工年	平成9年	点検日	2018年6月12日
	設計巻厚	アーチ部30～35cm, 側壁部30～35cm		
	幅員	全幅員8.50m(車道部6.0m, 歩道部1.50m)		
	設備	照明		
主な変状	変状状況写真		変状概要	判定
	【写真3】 うき S015 変状番号2		終点側右アーチ下部のうき(0.3×0.05m)	Ⅱ
	【写真4】 うき S020 変状番号1		終点側左側壁目地下部のうき(0.5×0.1m)	Ⅱ
	【写真5】 うき(補修済み) S024 変状番号2		終点側右アーチ目地肩部のうき(0.5×0.05m)は、はく落対策工(2.2×1.0m)施工済み。	Ⅰ
付属物	【写真5】 付属物 S021 変状番号101		照明金具の固定不良。ボルト打設位置が目地にて固定不良。	×
対策区分判定	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ	措置(方針)
外力	0	0	0	該当なし
材質劣化	0	0	5	監視
漏水	0	0	0	該当なし
付属物	異常判定区分「×」: 2箇所			アンカーボルトの移設
点検結果概要	<ul style="list-style-type: none"> ・横断方向目地部にⅡ判定のうき変状が5箇所確認された。(アーチ部1箇所、側壁部4箇所) ・アーチ部の横断方向目地部のうきは、点検時に叩き落し除去した8箇所および、はく落対策工が平成27年度に施工済みの23箇所はⅠ判定としている。 ・漏水は確認されなかった。 ・付属物の×判定の異常が2箇所確認された。○判定の異常(点検時にボルトのゆるみの締め直し済み)は1箇所であった。 			

(2) 舍利石トンネル

トンネル名	舍利石トンネル			
坑口現況写真	起点側坑口		終点側坑口	
				
トンネル諸元	延長	192.3m	施工方法	矢板工法(在来工法)
	竣工年	昭和52年	点検日	2018年6月14日
	設計巻厚	アーチ部- cm, 側壁部-cm		
	幅員	全幅員8.14m(車道部5.5m, 歩道部1.14m)		
	設備	照明		
		変状状況写真	変状概要	判定
主な変状	【写真3】 うき S014 変状番号8		終点側左アーチ肩部のうき(0.3×0.05m)	Ⅲ
	【写真4】 水平目地部のうき S012 変状番号3		中間左側壁縦断方向打ち継目部のうき(0.1×1.3m)	Ⅱ
	【写真5】 漏水 S004 変状番号4		終点側右側壁の漏水(にじみ)	Ⅱ
	【写真5】 鉄筋露出 S017 変状番号3		終点側右アーチ下部の鉄筋露出は、はく落対策工(1.0×1.0m)施工済み。	Ⅰ
対策区分判定	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ	措置(方針)
外力	0	0	0	該当なし
材質劣化	0	2	66	はく落対策工(ネット工)
漏水	0	0	17	監視
附属物	異常判定区分「×」: 41箇所			再固定・交換・撤去、設備全体の更新
点検結果概要	<ul style="list-style-type: none"> ・アーチ部にⅢ判定のうき変状が2箇所確認された。 ・アーチ部、側壁部にⅡ判定のうきが65箇所確認された。縦断方向打ち継ぎ目部にうき変状が多く確認された。 ・アーチ部のうきは、点検時に叩き落し除去した3箇所および、はく落対策工が平成27年度に施工済みの35箇所はⅠ判定としている。坑門のうき2箇所もはく落対策工が平成27年度に施工済み。 ・導水工からの漏水、ひび割れからの漏水、滴下が17箇所確認されたが、にじみ程度で車道に帯水はない。 ・アーチ部に鉄筋露出が3箇所確認されたが、はく落対策工が平成27年度に施工済みのためⅠ判定としている。 			

4-1-2 H25 年度判定結果

H25 年に大信トンネル、舎利石トンネル共に総点検を実施している。
総点検の結果は○×判定である。

表 4-1 H25 年度総点検結果

	×判定
大信トンネル	23 箇所
舎利石トンネル	37 箇所

(H25 年 11 月大信 553 号線大信トンネルほか調査業務委託/ (財) ふくしま市町村支援機構)

5. 老朽対策における基本的方針

5-1 トンネル長寿命化修繕計画における目的

目的:「安心・安全で持続可能なトンネル維持の実現」

トンネル長寿命化修繕計画に基づき、効率的かつ計画的な維持管理を実現することで、利用者の安心・安全を確保するとともに、「市民の暮らし」を支える重要な社会基盤の一部として、持続可能性を確保します。

現状の課題

- ・ トンネルの老朽化対策
- ・ 早期措置が必要なトンネルの修繕
- ・ 維持管理コストの縮減

上位計画

- ・ 白河市基本構想（平成 25 年 3 月）
- ・ 白河市基本計画 2013-2022（平成 30 年 3 月）
- ・ 白河市第 5 期実施計画（平成 29 年 2 月）

白河市長寿命化修繕計画

事後保全及び一部予防保全型を基本とした管理を促進し、トンネルを長寿命化させ、安全性の確保と財源負担の軽減・平準化を図る。

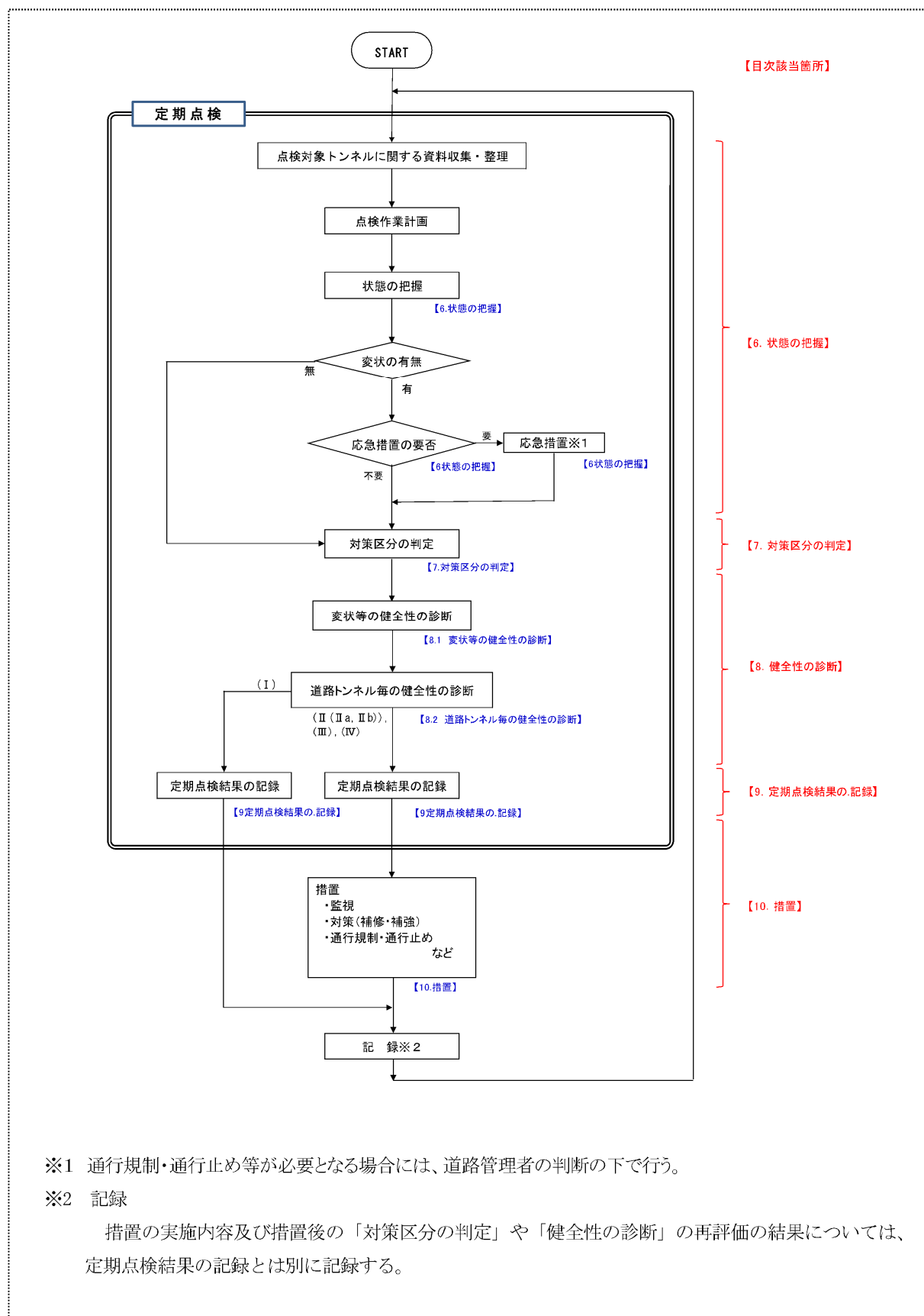
- 方針 1：点検、診断の実施による損傷の早期発見と健全性の把握
→安全性の確保
- 方針 2：トンネル特性に応じた効率的な維持管理の実施
→財政負担の軽減・平準化
- 方針 3：メンテナンスサイクルの構築と継続的改善
→効率的かつ効果的な維持管理の促進

安心・安全で持続可能なトンネル維持の実現

5-2 道路点検の目的

「道路トンネル定期点検要領 国土交通省」に基づき、5 年に 1 回の定期点検を実施し、維持管理を適切に行うための必要な情報を得るとともに、健全性の診断を行い、将来的な維持管理計画のために変状等の記録を行う。

5-3 定期点検を対象としたメンテナンスサイクルの基本的なフロー

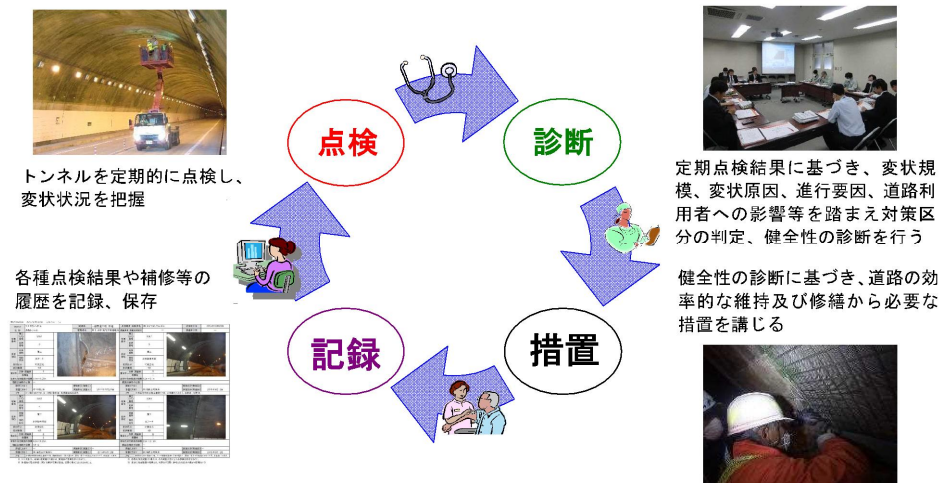


5-4 維持管理の手順

本体工の維持管理は、点検、診断、措置、記録の大きく4種類に分けて考えられる。道路管理者が定期的な点検、診断を行うことにより、構造物の安全性及び維持管理の効率性を確保できるよう、メンテナンスサイクル（点検⇒診断⇒措置⇒記録⇒（次の点検））を実施する。

また、適切なメンテナンスサイクルを実施していくためには、適切な措置とともに、記録の活用を踏まえた点検計画の立案が重要となる。

図 5-1 道路トンネルの維持管理の基本的な考え方



(道路トンネル個別施設計画 令和2年度版 国土交通省 東北地方整備局)

6. 計画期間内の実施スケジュール

★定期点検 ☆再劣化補修対策
△修繕設計 ○修繕工事

トンネル名称		延長 (m)	竣工年度	形式	直近点検結果	
					点検年度	トンネル健全性
1	舍利石トンネル	192.3	昭和 52 年	矢板	H30 年	Ⅲ
2	大信トンネル	325	平成 9 年	NATM	R4 年	Ⅱ

トンネル名称		実施スケジュール									
		R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13
1	舍利石トンネル	★	△	○			★	△	○		
2	大信トンネル	★	△	○			★				

トンネル名称		実施スケジュール									
		R14	R15	R16	R17	R18	R19	R20	R21	R22	R23
1	舍利石トンネル	★	△	○			★	△	○		
2	大信トンネル	★	△	○			★				

トンネル名称		実施スケジュール									
		R24	R25	R26	R27	R28	R29	R30	R31	R32	R33
1	舍利石トンネル	★	△	○			★	△	○		
2	大信トンネル	★	△	○			★				

トンネル名称		実施スケジュール									
		R34	R35	R36	R37	R38	R39	R40	R41	R42	R43
1	舍利石トンネル	★	△	○☆			★	△	○☆		
2	大信トンネル	★	△	○☆			★				

トンネル名称		実施スケジュール									
		R44	R45	R46	R47	R48	R49	R50	R51	R52	R53
1	舍利石トンネル	★	△	○☆			★	△	○☆		
2	大信トンネル	★	△	○☆			★				

7. 各トンネルの劣化予測

劣化予測を行うため、H25 年度および H30 年度点検の結果を 5 段階評価に道路トンネル定期点検要領に則り再判定を行った。

Ⅱa で対策を行うものを予防保全、Ⅲで対策を行うものを事後保全と定義し、経年年数により変状個数の増加を予測した。

山岳トンネルの材質劣化による変状は、外力の影響ではなく、経年劣化による変状であるため、時間の経過に比例し変状が増えていく傾向にある。

H25 年度の点検結果から、H27 年度に補修工事を実施している。そのため、H30 年度点検で確認された変状は、H25 年度から H30 年度の間に増えた変状であると考え劣化予測を行う。

7-1 変状原因の分類

トンネルに発生する変状原因は、以下の 3 項目で分類される。

表 7-1 トンネルの劣化及び損傷原因

①	トンネルに作用する外力によるもの →緩み土圧・偏土圧・地すべり・水圧・凍上圧など
②	コンクリートの材質劣化によるもの →経年劣化・凍害・塩害など
③	漏水自体が問題となるもの

表 7-2 判定区分（道路トンネル定期点検要領）

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有る状態。
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。

※判定区分Ⅳにおける「緊急」とは、早期に措置を講じる必要がある状態から、交通開放できない状態までを言う。

＜道路トンネル定期点検要領/平成 31 年 3 月/国土交通省道路局国道・技術課/p. 19＞

表 7-3 再判定結果

(1)大信トンネル変状箇所推移

健全性	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ a	合計
H25年度	0	0	19	19
H30年度	0	0	1	1

(2)舍利石トンネル変状箇所推移

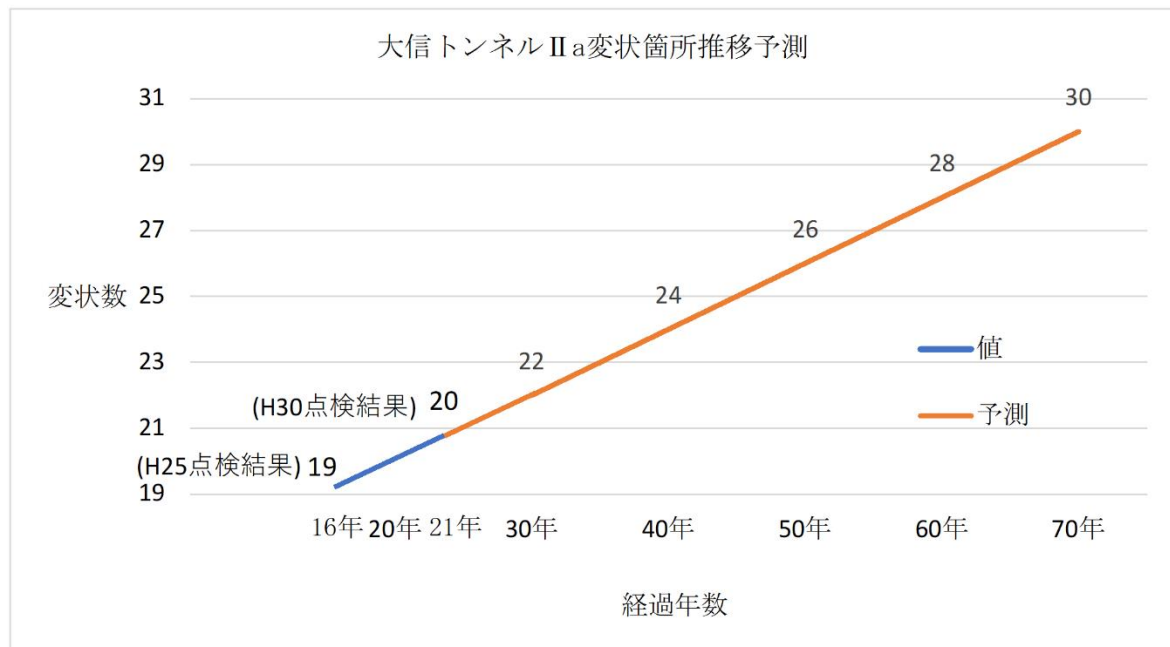
健全性	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ a	合計
H25年度	0	0	32	32
H30年度	0	2	6	8

7-2 各トンネルの変状箇所推移予測

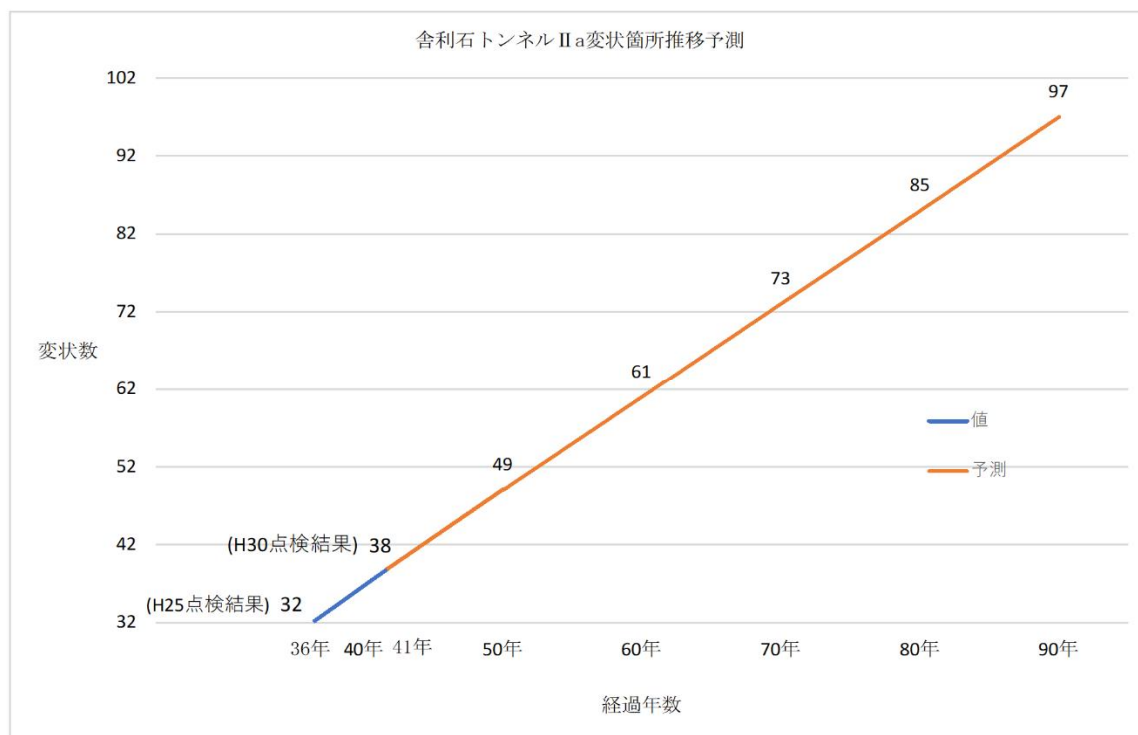
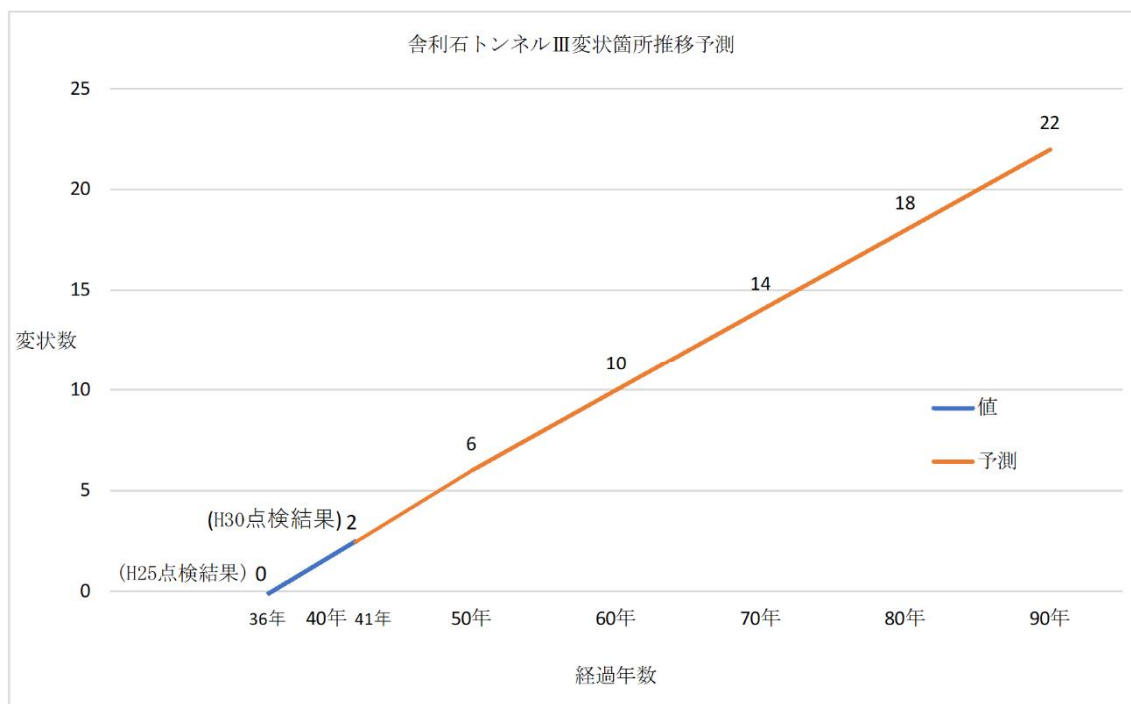
下記に各トンネルの変状箇所推移予測を示す。

(1) 大信トンネル

変状箇所Ⅲはない。



(2) 舍利石トンネル



8. 新技術の活用を踏まえた補修対策の検討

各トンネルの補修方法の選定及び補修対策の検討を行った。

(1) 補修対策工として、下記となった。

大信トンネル：はく落対策工

舍利石トンネル：はく落対策工、漏水対策工

(2) 対策工法としては、下記を選定する。

はく落対策工：FF-TCC 工法(V2 仕様)

漏水対策工：ビットパッカー工法(KK-020003-A)

：アーチドレーン工法(KK-120043-VE)

選定理由について、次頁以降に比較表を示す。

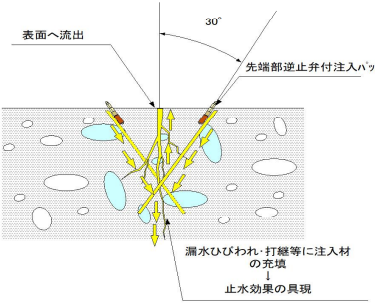
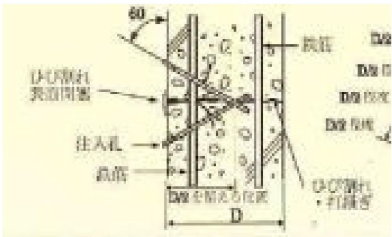

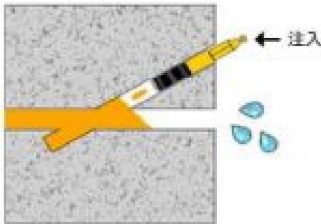
8-1 対策工法比較検討
(1) はく落対策工

工法	ネット工			繊維シート系			FF-TCC 工法(V2仕様)
	FORCA(フォルカ)トウメッシュ工法	ガイナメッシュ工法	ハードメッシュ工法	炭素繊維シート工法	アラミド繊維シート工法	NAV-G 工法	
NETIS 登録	KK-060042	-	KT-190006-A	QS-990014-V	-	KT-100023-A	KT-190047-A
工法	ガラスクロス連続繊維 FRP 格子筋「トウメッシュ」を用いてコンクリート塊のはく落を防止する。	高強度ビニロン繊維で構成されたメッシュシートを用いてコンクリート片のはく落を防止する。	FRP 格子筋、ガラスメッシュを用いてコンクリート片のはく落を防止する。	覆工内部に炭素繊維シートをエポキシ樹脂系接着剤で含浸接着し覆工と一体化させる工法。	覆工表面にアラミドシートをエポキシ樹脂系接着剤にて接着し、覆工と一体化させる工法。	透明特殊コーティング材をガラス連続繊維シートに含浸接着させる工法。	高伸度シート(ビニロンメッシュ)を含浸接着させる工法。特殊透明樹脂の採用により施工後の覆工可視化が可能。
施工概略図							
設置状況							
施工手順							
防止するはく落小片の規模	0.5 kN 以下	0.5 kN 以下	0.5 kN 以下	全ての規模	全ての規模	0.5 kN 以下	0.5 kN 以下
変状の継続監視	可能	可能	可能	不可	不可	可能	可能
構造的性	モニタリングが可能で不陸修正が不要。 コンクリートと付着させない為躯体の変位に追従が可能であり、トンネル覆工目地部への適用も可能。 海岸付近で発錆が著しい場合に適している。 材質劣化抑制効果は期待できない。 ○	モニタリングが可能で不陸修正が不要。 コンクリートと付着させない為、躯体の変位に追従が可能であり、トンネル覆工目地部への適用も可能。 材質劣化抑制効果は期待できない。 ○	モニタリングが可能で不陸修正が不要。 コンクリートと付着させない為、躯体の変位に追従が可能であり、トンネル覆工目地部への適用も可能。 材質劣化抑制効果は期待できない。 ○	補強部が薄い：1～3mm(シートのみ) 劣化、品質の低下が少なく維持管理が容易。 コンクリート表面に付着させる為、躯体の変位に追従できず目地を跨いでの対策には不向き。 ○	補強部が薄い：1～3mm(シートのみ) 劣化、品質の低下が少なく維持管理が容易。 コンクリート表面に付着させる為、躯体の変位に追従できず目地を跨いでの対策には不向き。 アラミド繊維は引張強度が低く効果が薄い。 ○	ナイロンクロスをアクリル樹脂系接着剤を塗布含浸することにより透明度の高い表面保護を形成するので継続した下地状態の点検が可能である。 目地を跨いでの施工には注意が必要。 ◎	高伸度シート(ビニロンメッシュ)をウレタン系透明接着樹脂で含浸接着させることにより、継続した下地状態の点検が可能である。 比較的伸びる素材によって躯体追従性が良好。 UV 対応 ◎
施工性	容易な施工で下地処理や止水、導水が不要。 施工速度が速い。 ○	容易な施工で下地処理や止水、導水が不要。 施工速度が速い。 ○	容易な施工で下地処理や止水、導水が不要。 施工速度が速い。 ○	湿潤状態での施工に不向き。 下地状態が悪い場合、断面修復工が別途必要。 気温、躯体温度が 5℃以下では施工できない。(プライマー及び樹脂の粘度増加による作業性の低下、それに伴う含浸不良、硬化反応の遅れや硬化不良を起こすことがある) ○	湿潤状態での施工に不向き。 下地状態が悪い場合、断面修復工が別途必要。 気温、躯体温度が 5℃以下では施工できない。(プライマー及び樹脂の粘度増加による作業性の低下、それに伴う含浸不良、硬化反応の遅れや硬化不良を起こすことがある) ○	アクリル樹脂を使用しているので硬化が早く工程が早い。 湿潤面でも施工可能な為、工程が早い。 ガラス繊維は凹凸に追従し、接着の工程を短縮できる。 ○	下塗りシートとシート覆工を一体としており、接着シート型では施工工程・施工時間が最も少ない。(下地処理を除くと 1 日で施工可能) 上塗りは施工状況によって省略可。 ◎
維持管理性 (点検時、第三者被害)	ボルト・ナットを施工するため、点検時に緩みの点検を行う必要がある。 ボルト・ナットの落下による第三者被害の可能性はある。 △	ボルト・ナットを施工するため、点検時に緩みの点検を行う必要がある。 ボルト・ナットの落下による第三者被害の可能性はある。 △	ボルト・ナットを施工するため、点検時に緩みの点検を行う必要がある。 ボルト・ナットの落下による第三者被害の可能性はある。 △	シートを接着させる工法であることから、ボルト等の取付け部材の点検が不要である。 また、取付部材の脱落による第三者被害の可能性はない。 ◎	シートを接着させる工法であることから、ボルト等の取付け部材の点検が不要である。 また、取付部材の脱落による第三者被害の可能性はない。 ◎	シートを接着させる工法であることから、ボルト等の取付け部材の点検が不要である。 また、取付部材の脱落による第三者被害の可能性はない。 ◎	シートを接着させる工法であることから、ボルト等の取付け部材の点検が不要である。 また、取付部材の脱落による第三者被害の可能性はない。 ◎
実績	多数あり ◎	多数あり ◎	多数あり ◎	多数あり ◎	少ない △	多数あり ◎	近年増加傾向 ○
経済性 材工込み (直工)	30,600 円/m ²	26,600 円/m ²	29,600 円/m ²	63,300 円/m ²	65,200 円/m ²	73,200 円/m ²	48,653 円/m ²
総合評価							トンネル坑口で、UV 対策が可能で、施工後に下地の目視が可能である。また取付治具等がないため、劣化落下による第三者被害もない。貼付タイプで最も経済的な FF-TCC(V2)を採用する。

【結論】 取付金具がなく、劣化落下による第三者被害もない、シート系では最も経済的で施工性にも優れる FF-TCC (V2) を採用する。

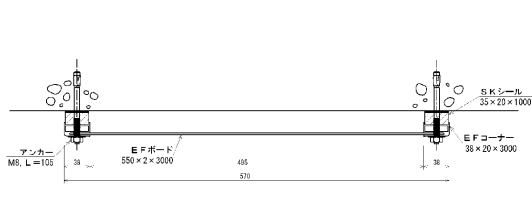
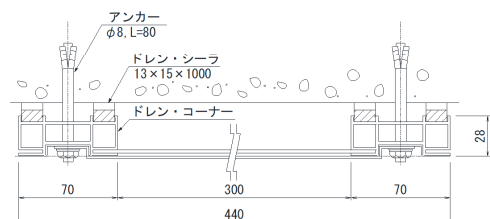
(2) 漏水対策工

1) 止水注入工：アーチ部の漏水対策工は止水注入工を行う。

工法名 (NETIS登録)	高圧注入工			
	ビットグラウト	ピングラウト工法	ハイセルOH	ハイドログラウト
	①案 ビトパッカー工法 (KK-020003-A)	②案 ピングラウト工法 (TH-000054-V)	③案 ハイセルOH (KTK-170007-A)	④案 ハドログラウトA (ー)
工 法 概 要	・注入孔を削孔し、専用の注入器具（ビトパッカー）からレッカノンGF（ウォーターセラミック）を先行注入し、ビトクラウトN（水性マイクロエマルジョン）を圧入することで、水の浸透箇所を閉塞し、漏水を止める方法である。	・水と化学反応し、膨張するNLペースト（親水性一液性ポリウレタン樹脂）の膨張圧力を利用した樹脂注入工法。	・TDI系の親水性ウレタン系止水剤を注入ノズル先端で水と混ぜて注入を行う工法。注入材は水と反応し固結する。親水性と疎水性タイプがある。	・ポリイソシアネート化合物を主成分とした薬液による止水材。注入された触媒と混合された薬液は水と反応することで炭酸ガスを発生し微細な空隙にも浸透し高強度で止水性の高い固結体、止水層を形成する。
施 工 概 要 図				
施 工 手 順	<div>削孔位置マーキング</div> → <div>注入孔削孔</div> → <div>注入器具取り付け</div> → <div>注入材注入</div> → <div>養生</div> → <div>注入器具撤去</div> → <div>清掃</div>			
構 造 性	・高圧でひび割れ深部より注入するため、ひび割れに確実に注入できる。 ・表面へのリークにより注入が確認できる。			
施 工 性	・注入用パッカー取り付けの削孔径は10mm程度で、ある程度のピッチであけるのみで、躯体損傷は軽微である。 ・はつりが不要で覆工厚が薄い場合でも適用可能（薄い箇所はひび割れ上に削孔して注入） ・ドライ・漏水部・目詰まりした箇所に適用可能。	・高圧でひび割れ深部より注入するため、ひび割れに確実に注入できる。 ・水と化学反応し、膨張することで微細なひび割れ等に浸透する。 ・表面へのリークにより注入が確認できる。	・注入パッカーをある程度のピッチで開けるのみであり、躯体損傷は軽微である。 ・現場の状況に合わせた材料選定を行い施工する。 ・トンネル、地下構造物等の換気が不十分な場所での作業は、排気が必要となる可能性あり。	・液と水の配合が必要（攪拌時間3分） ・水との反応硬化時に炭酸ガスが発生し、過大な発泡圧や突沸が生じる場合があるため、注意が必要であり施工者によって品質に差が生じる可能性がある。 ・トンネル内等の換気が悪い箇所では排気装置が必要な可能性あり。
耐 久 性	・ウレタン系と異なり、加水分解やバクテリア菌類の生物繁殖による風化がなく、20年の長期安定性が確認されている。	・耐久性は10年以上。 ・燃焼性についてはコンクリート中に注入されるため難燃性に位置づけられる。	・耐久性は10年以上。 ・燃焼性についてはコンクリート中に注入されるため難燃性に位置づけられる。	・耐久性は10年以上。 ・燃焼性についてはコンクリート中に注入されるため難燃性に位置づけられる。
実 績	多い	多い	多い	多い
経 済 性	48,400円／m	46,600円／m	48,800円／m	213,400円／m
総合評価	①②③案で経済的には大きな差がなく、①案のビトパッカー工法は他案のウレタン系と異なり耐久性（長期安定性）が確認されている。また施工実績も多いことから「ビトパッカー工法」を採用する。			

【結論】 経済性は多少劣るものの耐久性（長期安定性）で優れるピトパッカー工法を採用する。

2) 導水樋工：目地部の漏水対策工は導水樋工を行う。

工 法 名	①案 溝切り工	導水樋工	
		②案 ミエドレーン（EFシリーズ）	③案 アーチドレーン
	—	KK-150011-A	KK-120043-VE
工 法 概 要	巾90～110、導水材に厚さ30mmの単独発泡ゴムを使用し、導水溝挿入する中央に突起を残してゴムの両側と覆工補強部を樹脂で固定、密着する工法。	樋型の導水材を覆工表面にホールインアンカーで固定する工法。	樋型の導水材を覆工表面にホールインアンカーで固定する工法。
施工概要図			
材 質	単独発泡ゴム	特殊アクリル変性樹脂と塩ビの共重合体プレート	特殊アクリル変性樹脂と塩ビの共重合体プレート
施 工 手 順	<div>下地処理 → 位置出し → 溝切り → 導水材設置 → 流末処理</div>	<div>下地処理 → 位置出し → 導水樋設置 → 流末処理</div>	<div>下地処理 → 位置出し → 導水樋設置 → 流末処理</div>
構 造 性	<ul style="list-style-type: none">・内空側に突出する部分がなく、内空に余裕がないところでも施工可能・不陸への対応は可能。・導水材に保温効果があり、凍結しにくい。・導水面積が小さく、遊離石灰による詰りの危険性がある。	<ul style="list-style-type: none">・アンカー接着部と本体が個別タイプのため、曲線部の密着性が良好である。・アンカー設置部も導水機能があり、ダブルの止水効果が期待できる。	<ul style="list-style-type: none">・アンカー接着部と本体が個別タイプのため、曲線部の密着性が良好である。・アンカー設置部も導水機能があり、ダブルの止水効果が期待できる。
施 工 性	<ul style="list-style-type: none">・粉塵対策が必要。・コンクリートカッターでの巾と深さの施工精度が要求される。	<ul style="list-style-type: none">・粉塵対策は不要。・施工は比較的容易。	<ul style="list-style-type: none">・粉塵対策は不要。・施工は比較的容易。
耐久性	<ul style="list-style-type: none">・通水断面は大きく出来るが覆工厚さに影響を及ぼす。	<ul style="list-style-type: none">・難燃性・樋端末内の遊離石灰に対し、表面からのハンマー打撃による除去ができ、維持管理性に優れる。・透明タイプもあるため、覆工の監視が可能・止水材を貫いてアンカーを打つため、アンカーが腐食する恐れがある。	<ul style="list-style-type: none">・難燃性・樋端末内の遊離石灰に対し、表面からのハンマー打撃による除去ができ、維持管理性に優れる。・覆工と密着させる箇所を貫きアンカーを設置しないため、アンカー腐食などにより、止水効果を低下させることが少ない。・耐寒性・透明タイプもあるため、覆工の監視が可能
維持管理性 (点検時、第三者被害)	<ul style="list-style-type: none">・付属物がないため、付属物の点検を行う必要はない・ゴムの劣化により落下し第三者被害の可能性がある。	<ul style="list-style-type: none">・ボルト・ナットを施工するため、点検時に緩みの点検を行う必要がある。・ボルト・ナット。樋が落下し第三者被害の可能性はある。	<ul style="list-style-type: none">・ボルト・ナットを施工するため、点検時に緩みの点検を行う必要がある。・ボルト・ナット。樋が落下し第三者被害の可能性はある。
実績	多い	多い	多い
経済性 材工込み（直工）	31,800円/m	20,700円/m	22,300円/m
総 合 評 価	③案の経済性は②案に比べ1.08倍であるが、留め金具のアンカーが、止水材を貫かずに設置できるため。アンカー腐食および落下の可能性が他案に比べ低く、長期的に優位であると考える。		

【結論】 止水材を貫かず設置でき、アンカー腐食および落下の可能性が他案より低いアーチドレーン工法を採用案とする。

8-2 対策工概算事業費

概算費用の算出について、点検費用は実績費用。補修設計費用は事例から想定。補修工事費用は点検結果から補修費用を算出。再劣化対策費用は補修費用の1.5倍を想定した。

下記に各トンネルの概算費用をとりまとめた。

(1) 大信トンネル概算費用(単位：千円)

	点検費用	補修設計費用	補修工事費用	再劣化対策費用
予防保全型	2,808	3,000	833	1,250
事後保全型	2,808	3,000	833	1,250
事後保全及び 一部予防保全型	2,808	3,000	1,066	1,599

(2) 舍利石トンネル概算費用(単位：千円)

	点検費用	補修設計費用	補修工事費用	再劣化対策費用
予防保全型	2,484	5,000	9,619	14,429
事後保全型	2,484	3,000	1,223	1,835

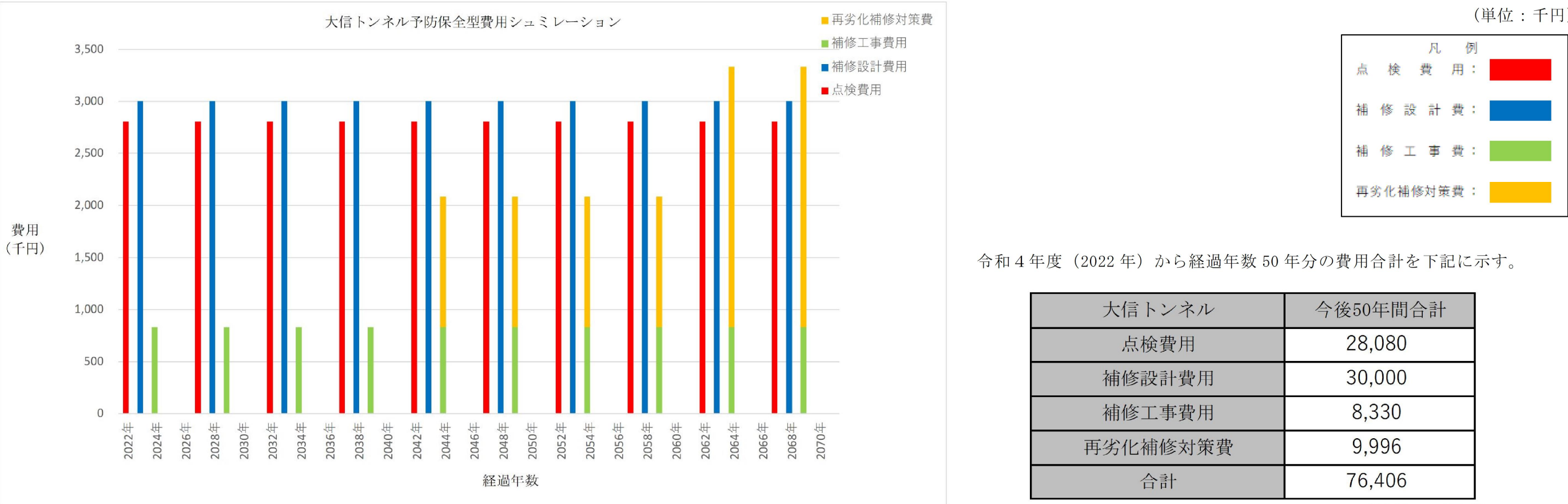
9. 予算シミュレーション
9-1 大信トンネルの予算シミュレーション

大信トンネルの区分型費用シミュレーションを点検 5 年毎に下記に示す。

(1) 予防保全型費用シミュレーション

点検費用	補修設計費用	補修工事費用	再劣化補修対策費	1サイクル					2サイクル					3サイクル					4サイクル					5サイクル				
				2022年	2023年	2024年	2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年	2035年	2036年	2037年	2038年	2039年	2040年	2041年	2042年	2043年	2044年	2045年	2046年
2, 808	3, 000	833	1, 250																									
点検費用				2, 808					2, 808					2, 808					2, 808					2, 808				
補修設計費用					3, 000					3, 000					3, 000					3, 000					3, 000			
補修工事費用						833					833				833					833					833			
再劣化補修対策費																								1, 250				
合計(千円)				2, 808	3, 000	833	0	0	2, 808	3, 000	833	0	0	2, 808	3, 000	833	0	0	2, 808	3, 000	833	0	0	2, 808	3, 000	2, 083	0	0

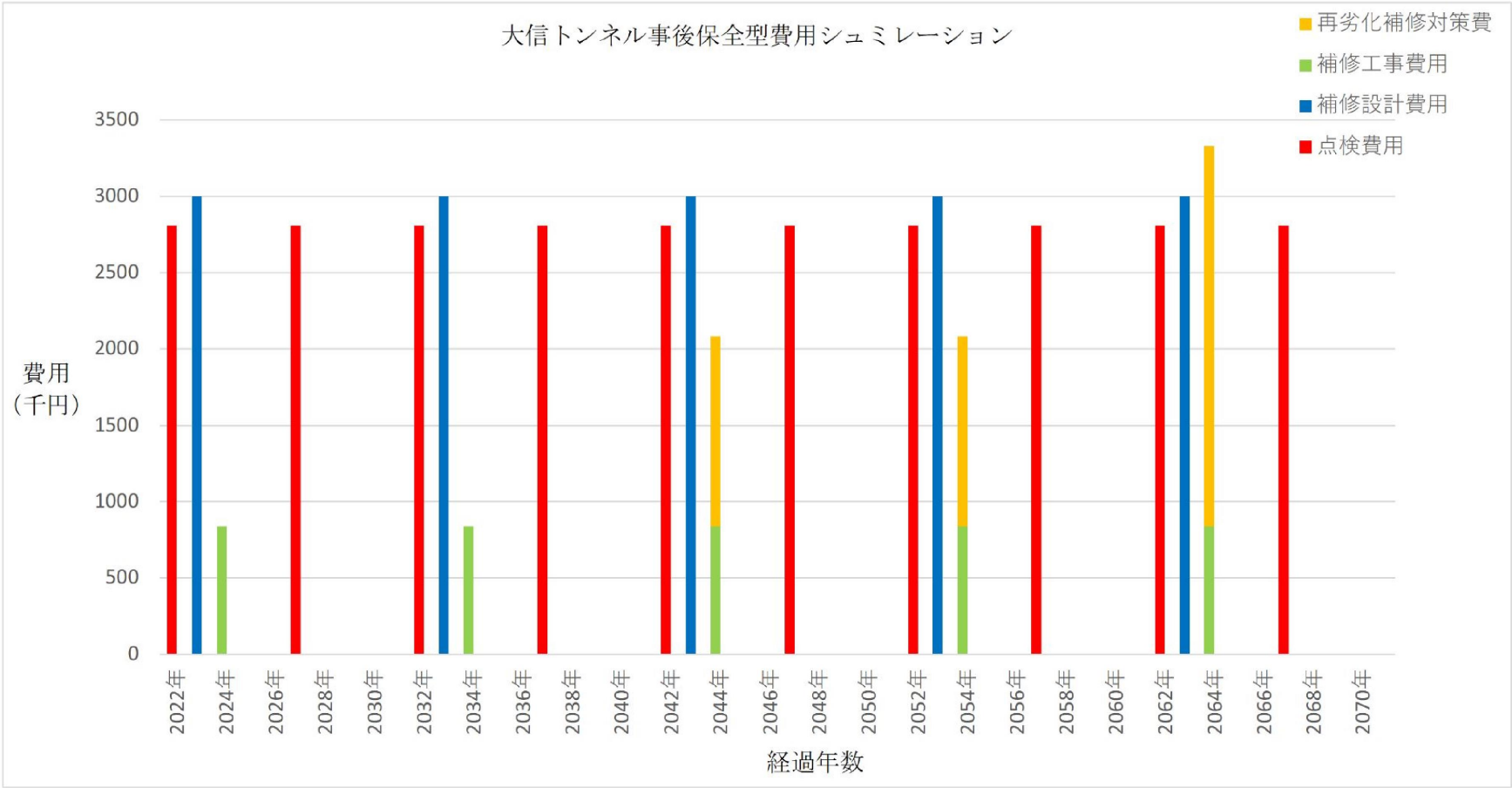
点検費用	補修設計費用	補修工事費用	再劣化補修対策費	6サイクル					7サイクル					8サイクル					9サイクル					10サイクル				
				2047年	2048年	2049年	2050年	2051年	2052年	2053年	2054年	2055年	2056年	2057年	2058年	2059年	2060年	2061年	2062年	2063年	2064年	2065年	2066年	2067年	2068年	2069年	2070年	2071年
2, 808	3, 000	833	1, 250																									
点検費用				2, 808					2, 808						2, 808							2, 808						
補修設計費用					3, 000					3, 000						3, 000							3, 000					
補修工事費用						833					833					833								833				
再劣化補修対策費						1, 250					1, 250					1, 250								2, 499				
合計(千円)				2, 808	3, 000	2, 083	0	0	2, 808	3, 000	2, 083	0	0	2, 808	3, 000	2, 083	0	0	2, 808	3, 000	3, 332	0	0	2, 808	3, 000	3, 332	0	0



(2) 事後保全型費用シミュレーション
大信トンネルではⅢ判定が出ていないが、今後Ⅲ判定が発生する可能性を考え、10年毎に約1箇所を増加をシミュレーションしている。

点検費用	補修設計費用	補修工事費用	再劣化補修対策費	1サイクル					2サイクル					3サイクル					4サイクル					5サイクル						
				2022年	2023年	2024年	2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年	2035年	2036年	2037年	2038年	2039年	2040年	2041年	2042年	2043年	2044年	2045年	2046年		
2, 808	3, 000	833	1, 250																											
点検費用				2, 808					2, 808						2, 808						2, 808					2, 808				
補修設計費用					3, 000											3, 000										3, 000				
補修工事費用						833											833										833			
再劣化補修対策費																											1, 250			
合計(千円)				2, 808	3, 000	833	0	0	2, 808	0	0	0	0	2, 808	3, 000	833	0	0	2, 808	0	0	0	0	2, 808	3, 000	2, 083	0	0		

点検費用	補修設計費用	補修工事費用	再劣化補修対策費	6サイクル					7サイクル					8サイクル					9サイクル					10サイクル				
				2047年	2048年	2049年	2050年	2051年	2052年	2053年	2054年	2055年	2056年	2057年	2058年	2059年	2060年	2061年	2062年	2063年	2064年	2065年	2066年	2067年	2068年	2069年	2070年	2071年
2, 808	3, 000	833	1, 250																									
点検費用				2,808					2,808					2,808					2,808					2,808				
補修設計費用										3,000									3,000									
補修工事費用											833									833								
再劣化補修対策費											1,250									2,499								
合計(千円)				2, 808	0	0	0	0	2, 808	3, 000	2, 083	0	0	2, 808	0	0	0	0	2, 808	3, 000	3, 332	0	0	2, 808	0	0	0	



(単位：千円)

凡 例

点 検 費 用： ■

補 修 設 計 費： ■

補 修 工 事 費： ■

再劣化補修対策費： ■

令和4年度（2022年）から経過年数50年分の費用合計を下記に示す。

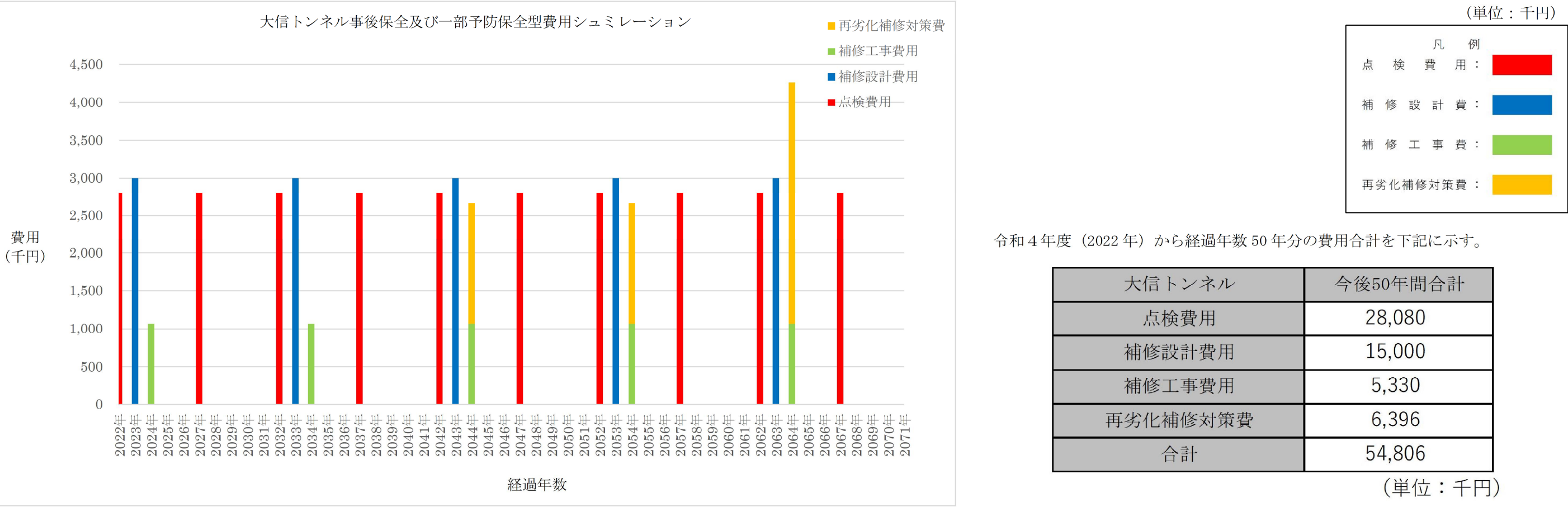
大信トンネル	今後50年間合計
点検費用	28,080
補修設計費用	15,000
補修工事費用	4,165
再劣化補修対策費	4,998
合計	52,243

(単位：千円)

(3) 事後保全及び一部予防保全型費用シミュレーション
5 年毎の点検を実施するが、Ⅲ判定が発生した点検時に、事後保全及び一部予防保全型も併せて補修工事を実施する。
Ⅲ判定は 10 年毎に約 1 箇所増加をシミュレーションしている。

点検費用	補修設計費用	補修工事費用	再劣化補修対策費	1サイクル					2サイクル					3サイクル					4サイクル					5サイクル				
				2022年	2023年	2024年	2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年	2035年	2036年	2037年	2038年	2039年	2040年	2041年	2042年	2043年	2044年	2045年	2046年
2,808	3,000	1,066	1,599																									
点検費用				2,808					2,808					2,808					2,808					2,808				
補修設計費用					3,000										3,000									3,000				
補修工事費用						1,066										1,066									1,066			
再劣化補修対策費																									1,599			
合計(千円)				2,808	3,000	1,066	0	0	2,808	0	0	0	0	2,808	3,000	1,066	0	0	2,808	0	0	0	0	2,808	3,000	2,665	0	0

点検費用	補修設計費用	補修工事費用	再劣化補修対策費	6サイクル					7サイクル					8サイクル					9サイクル					10サイクル				
				2047年	2048年	2049年	2050年	2051年	2052年	2053年	2054年	2055年	2056年	2057年	2058年	2059年	2060年	2061年	2062年	2063年	2064年	2065年	2066年	2067年	2068年	2069年	2070年	2071年
2,808	3,000	1,066	1,599																									
点検費用				2,808					2,808						2,808					2,808					2,808			
補修設計費用										3,000										3,000								
補修工事費用											1,066										1,066							
再劣化補修対策費											1,599										3,198							
合計(千円)				2,808	0	0	0	0	2,808	3,000	2,665	0	0	2,808	0	0	0	0	2,808	3,000	4,264	0	0	2,808	0	0	0	0



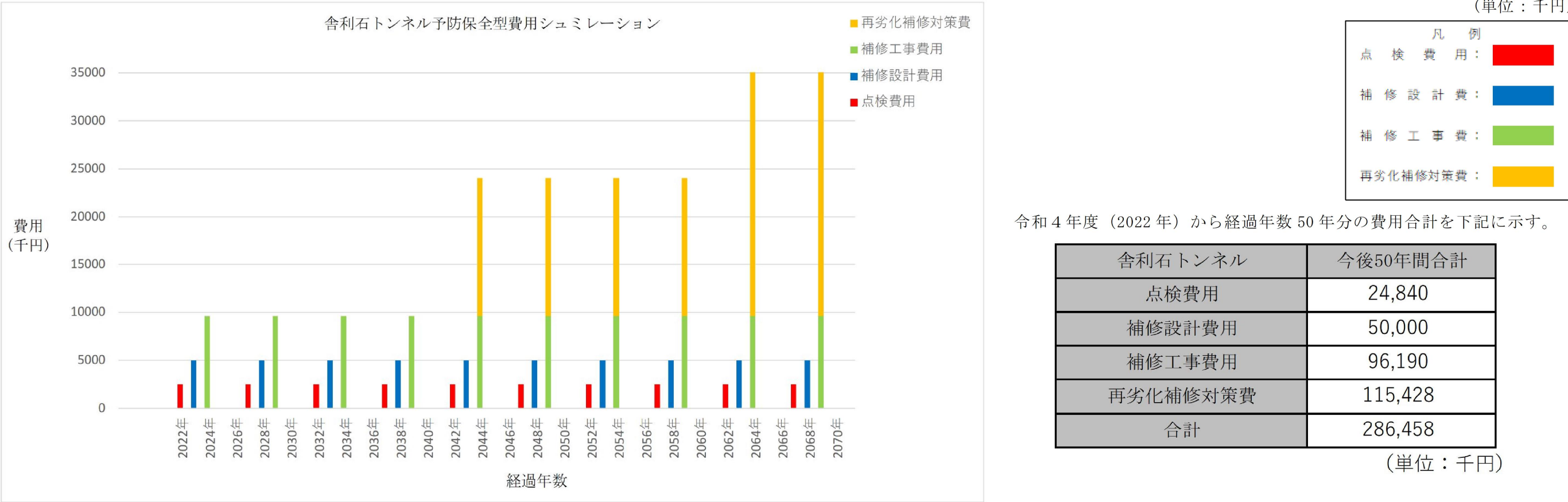
9-2 舍利石トンネルの予算シミュレーション

舍利石トンネルの区分型費用シミュレーションを点検5年毎に下記に示す。

(1) 予防保全型費用シミュレーション

点検費用	補修設計費用	補修工事費用	再劣化補修対策費	1サイクル					2サイクル					3サイクル					4サイクル					5サイクル				
				2022年	2023年	2024年	2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年	2035年	2036年	2037年	2038年	2039年	2040年	2041年	2042年	2043年	2044年	2045年	2046年
2,484	5,000	9,619	14,429																									
点検費用				2,484					2,484					2,484					2,484					2,484				
補修設計費用					5,000					5,000					5,000				5,000					5,000				
補修工事費用						9,619					9,619				9,619					9,619					9,619			
再劣化補修対策費																								14,429				
合計(千円)				2,484	5,000	9,619	0	0	2,484	5,000	9,619	0	0	2,484	5,000	9,619	0	0	2,484	5,000	9,619	0	0	2,484	5,000	24,048	0	0

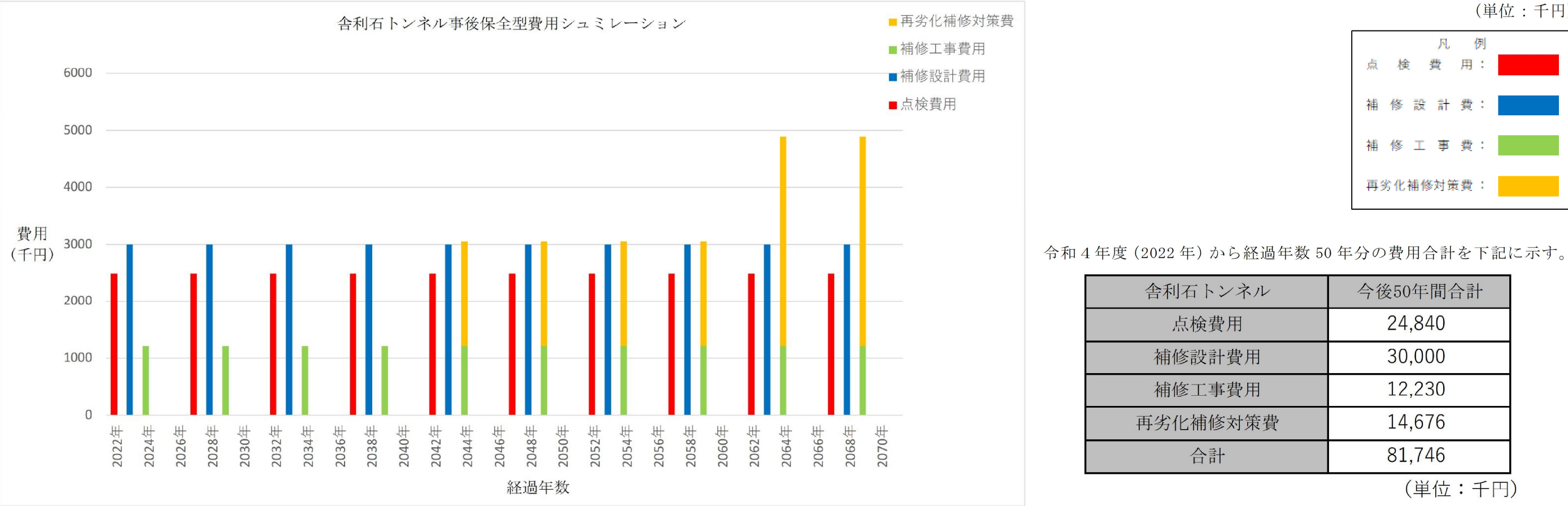
点検費用	補修設計費用	補修工事費用	再劣化補修対策費	6サイクル					7サイクル					8サイクル					9サイクル					10サイクル				
				2047年	2048年	2049年	2050年	2051年	2052年	2053年	2054年	2055年	2056年	2057年	2058年	2059年	2060年	2061年	2062年	2063年	2064年	2065年	2066年	2067年	2068年	2069年	2070年	2071年
2,484	5,000	9,619	14,429																									
点検費用				2,484					2,484						2,484								2,484					
補修設計費用					5,000					5,000						5,000								5,000				
補修工事費用						9,619					9,619					9,619				9,619					9,619			
再劣化補修対策費						14,429					14,429					14,429				28,857					28,857			
合計(千円)				2,484	5,000	24,048	0	0	2,484	5,000	24,048	0	0	2,484	5,000	24,048	0	0	2,484	5,000	38,476	0	0	2,484	5,000	38,476	0	0



(2) 事後保全型費用シミュレーション

点検費用	補修設計費用	補修工事費用	再劣化補修対策費	1サイクル					2サイクル					3サイクル					4サイクル					5サイクル				
				2022年	2023年	2024年	2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年	2035年	2036年	2037年	2038年	2039年	2040年	2041年	2042年	2043年	2044年	2045年	2046年
2,484	3,000	1,223	1,835																									
点検費用				2,484					2,484						2,484					2,484					2,484			
補修設計費用					3,000					3,000					3,000					3,000					3,000			
補修工事費用						1,223					1,223					1,223					1,223					1,223		
再劣化補修対策費																									1,835			
合計(千円)				2,484	3,000	1,223	0	0	2,484	3,000	1,223	0	0	2,484	3,000	1,223	0	0	2,484	3,000	1,223	0	0	2,484	3,000	3,058	0	0

点検費用	補修設計費用	補修工事費用	再劣化補修対策費	6サイクル					7サイクル					8サイクル					9サイクル					10サイクル				
				2047年	2048年	2049年	2050年	2051年	2052年	2053年	2054年	2055年	2056年	2057年	2058年	2059年	2060年	2061年	2062年	2063年	2064年	2065年	2066年	2067年	2068年	2069年	2070年	2071年
2,484	3,000	1,223	1,835																									
点検費用				2,484					2,484					2,484					2,484					2,484				
補修設計費用					3,000					3,000					3,000					3,000					3,000			
補修工事費用						1,223					1,223				1,223					1,223					1,223			
再劣化補修対策費						1,835					1,835				1,835					3,669					3,669			
合計(千円)				2,484	3,000	3,058	0	0	2,484	3,000	3,058	0	0	2,484	3,000	3,058	0	0	2,484	3,000	4,892	0	0	2,484	3,000	4,892	0	0



10. 費用削減に関する具体的方針

10-1 各トンネルの具体的方針

大信トンネルは、予防保全型に比べ50年間で250万程度高くなるが、事後保全型より2,100万程度経済的なⅢ判定が確認された時点でⅡaを含め対策を行う「事後保全及び一部予防保全型管理」を採用する。

舎利石トンネルは、予防保全型に比べ50年間で約2億円経済的なⅢ判定のみ対策を実施する「事後保全型管理」を採用する。

- (1) 大信トンネルの令和4年（2022年）から経過年数50年分の費用合計を、下記に対比する。

大信トンネル	予防保全型	事後保全型	事後保全及び一部予防保全型
点検費用	28,080	28,080	28,080
補修設計費用	30,000	15,000	15,000
補修工事費用	8,330	4,165	5,330
再劣化補修対策費	9,996	4,998	6,396
合計	76,406	52,243	54,806
差額	±0(基準)	-24,163	-21,600

(単位：千円)

- (2) 舎利石トンネルの令和4年（2022年）から経過年数50年分の費用合計を、下記に対比する。

舎利石トンネル	予防保全型	事後保全型
点検費用	24,840	24,840
補修設計費用	50,000	30,000
補修工事費用	96,190	12,230
再劣化補修対策費	115,428	14,676
合計	286,458	81,746
差額	±0(基準)	-204,712

(単位：千円)

10-2 その他費用の削減案

- ・走行型トンネル点検車による点検の効率化を行い点検費用の削減を図る。
- ・ライフサイクルコストに優れた対策工を選定し、対策費用の削減を図る。
- ・トンネル点検・設備点検等同時規制や集中工事を行う事により規制費の削減を図る。

11. 学識経験者との協議

トンネル長寿命化修繕計画策定について、山岳トンネル専門家 東京都立大学都市環境学部 都市基盤環境学科 河田助教授にご助言を頂いた。

令和4年12月26日 事前協議

令和5年2月8日 本協議

会議の結果、下記の意見を頂き、長寿命化修繕計画に反映した。

- ・ 予算シミュレーションでは、設置した補修材が劣化し再設置する費用を見込む必要がある。
- ・ 道路管理者が行う日常点検において変状に着目し行う事が重要である。

12. 新技術活用工法

(1) 点検における新技術活用

走行型トンネル点検車を利用した点検を行う事で、ひび割れの自動計測や変状展開図の自動生成を行い点検の効率化を図る。

(2) 補修材における新技術活用

可視化可能な新材料・新工法を使用した補修工事を実施。対策後も目視確認を行う事が可能となる。早期変状の確認が可能となり、第三者被害の防止につながる。



走行型トンネル点検車写真



はく落対策工(KT-120023-VR)



導水樋工(KK-120043-VE)

可視化可能な補修対策工写真

12-1 MIMM

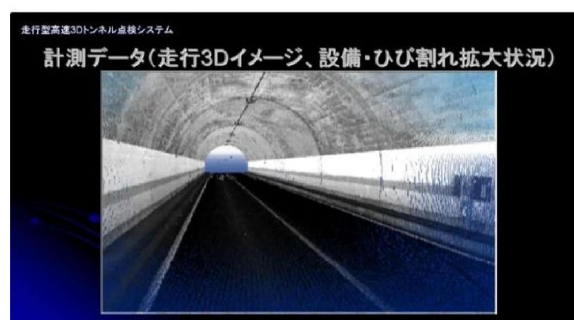
走行型計測車両 (MIMM)

新技術概要

- ・道路トンネル定期点検において、車両で走行しながらトンネルの覆工面カラー画像と高精度な 3 次元空間位置データのシステムにより変状箇所を抽出し、抽出箇所を高所作業車で打音検査により点検者が耳で聞き分け変状部(剥離等)をマーキングし応急措置として、うき・はく離をハンマーでたたき落とすものである。
- ・定期点検である近接目視点検を大幅に改善できる計測システムである。
- ・計測は時速 40～80km 程度の走行で実施できるため、道路利用者への負担が大きいトンネルの通行止めや交通規制の必要がなく、かつ安全に計測が可能となる。
- ・覆工壁面撮影システム(MIS)で取得したカラー画像からは、ひび割れ、漏水、表層劣化などの変状が認識でき、形状を計測するモービルマッピングシステム(MMS)で取得した 3D データからは断面形状、変形モード、段差、うきなどを求めることができる。
- ・判定内容では、3D データであるため、変状の客観的把握、打音検査必要箇所の抽出し、点検結果を適切に判定できるとともに、正確、客観的な変状展開図として記録できる。さらに二回目以降の点検結果と比較することで、進行性判定、変状原因の推定など、トンネル健全度診断、詳細調査や対策要否の検討を行うことができる。
- ・車両通行が可能な道路トンネル定期点検等に適用。

覆工壁面撮影システム(MIS:MobleImagingTechnologySystem)は、走行しながら連続画像撮影を行うことで覆工全延長のデジタル展開画像の取得が可能である。

モービルマッピングシステム(MMS:MobleMappingSystem)は、走行しながらレーザ点群計測が可能であり、覆工全延長の三次元座標の取得が可能である。



12-2 新技術の活用によるコスト縮減効果

(1) 点検・診断

今後 10 年間で実施予定の点検において、新技術等を適用することで期待されるコスト縮減額は以下のとおり。

表 12-1 点検に関する新技術等を適用したコスト縮減効果

点検費単位：千円

	従来工法点検費	新技術点検費	縮減額	縮減率 (%)
大信トンネル	3,266	2,596	-670	-20.5%
舍利石トンネル	1,930	1,534	-396	-20.5%
合 計	5,196	4,130	-1,066	-20.5%

(2) 措置

今後 10 年間で実施予定の工事において、新技術等を適用することで期待されるコスト縮減額は以下のとおり。

表 12-2 措置に関する新技術等を適用したコスト縮減効果

工事費単位：千円

	従来工法工事費	新技術工事費	縮減額	縮減率 (%)
大信トンネル	1,426	1,066	-360	-25.2%
舍利石トンネル	6,556	4,892	-1,664	-25.4%
合 計	7,982	5,958	-2,024	-25.4%

12-3 短期的数値目標

検討結果より、新技術等活用における考え方や取り組み、目標について以下のとおり取りまとめた。

表 12-3 新技術等の活用に関する取り組み方針と数値目標

	取り組み方針	短期的な数値目標
点 検	コスト縮減や点検の効率化を図るため、MIMM といった新技術等の活用を検討する。	今後、10 年間に於いて、新技術等の適用が見込めるトンネルに於いて、約 20%のコスト縮減効果を目指す。
修 繕	短期的なコスト縮減効果に加え、中長期の視点でトンネルのライフサイクルコストの縮減効果が期待される新技術等の活用を検討する。	今後、10 年間に於いて、新技術等の適用が見込めるトンネルに於いて、約 25%のコスト縮減効果を目指す。

13. 集約化・撤去

白河市で管理する道路の舍利石トンネルや大信トンネルについては山間部に位置しており、迂回路がない路線であること、隣接する迂回路を通行した場合、約 14km（所要時間 20 分）を迂回することとなり、社会活動等に影響を与えるため、集約化・撤去を行うことが困難であります。

しかしながら、今後の法定点検結果によって確認された劣化状況並びにトンネルの利用状況等を踏まえ、必要が生じた場合には集約化・撤去を検討していきます。