

中之条町 トンネル長寿命化修繕計画

令和5年2月

吾妻郡中之条町建設課

－ 目 次 －

1. 背景と目的	1
1.1 背景	1
1.2 目的	1
2. 対象施設	2
2.1 対象施設	2
2.1.1 対象施設	2
2.1.2 点検結果による判定区分の割合	7
2.1.3 修繕着手状況	17
2.2 計画期間	18
3. 長寿命化修繕計画の策定	19
3.1 基本方針	19
3.2 管理水準とトンネル点検の対策区分	21
3.3 節 対策シナリオの説明	28
3.4 集約化撤去の方針	30
3.5 対策の優先順位の考え方	31
3.5.1 対策の優先順位の設定	31
3.5.2 対策の優先順位	33
3.6 新技術等の活用方針	34
3.6.1 定期点検の新技術活用検討	34
3.6.2 補修工事における新技術活用検討	40
3.7 ライフサイクルコストの算出 (LCC)	43
3.7.1 ライフサイクルコスト (LCC) の算出条件等	43
3.7.2 ライフサイクルコスト (LCC) の算出結果	54
3.8 予算制約による平準化	58
3.9 長寿命化修繕計画による効果 (費用)	61
3.10 費用縮減に関する検討	62
3.10.1 集約化撤去によるコスト縮減効果	62
3.10.2 定期点検時の新技術活用によるコスト縮減効果	62
3.10.3 補修工事の新技術活用によるコスト縮減効果	63
3.11 対策内容の実施時期及び対策費用	64

1. 背景と目的

1.1 背景

中之条町では、2022年度現在で管理しているトンネルは2箇所（総延長145.0m）である。

このうち、いずれのトンネルも昭和18年（1943年）に完成した古いトンネルで、建設後79年が経過しており、既に建設後50年以上となる。

このため、近い将来に老朽化による大規模な補強、補修が必要になることが懸念され、将来的な財政負担の低減を図る必要が生じている。

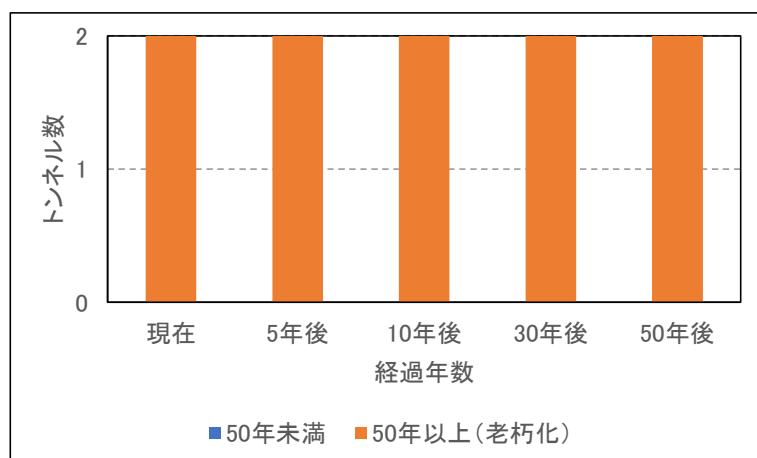


図 1-1 老朽化トンネルの割合

1.2 目的

このような背景から、より計画的なトンネルの維持管理を行い、限られた財源の中で効率的にトンネルを維持していくための取り組みが不可欠となる。

コスト縮減のためには、従来の損傷がある程度進行した後に大規模な補修を実施する維持管理方法から、目標管理水準を定め、“損傷が大きくなる前に予防的な対策を行う”予防保全型への転換を図り、コストバランスを考慮しながらトンネルの寿命を延ばす必要がある。

ここで、トンネルは一般的なコンクリート構造物と異なり、交通荷重等が覆工に作用することなく、覆工等と周辺地山が一体となって地下空間を保持する構造物である。

また、周辺地山を塑性圧等で不安定化させることなく継続的な使用が可能であり、構造体の特徴および経年による機能劣化（変状の発生と進行）のメカニズムが橋梁等の一般土木構造物と異なる。

よって、これを踏まえて将来的な財政負担の低減および道路交通の安全性の確保を図るために、トンネルに適した長寿命化計画の策定を行うことを目的として定めるものとする。

2. 対象施設

2.1 対象施設

2.1.1 対象施設

表-2.1 に、中之条町が管理するトンネル2箇所について示す。

表-2.1 管理トンネル一覧

トンネル名	路線名	所在地	道路種別	建設年次(年)	経年数※(年)	延長(m)	幅員(m)	路面	分類	附属物	直近点検年度	健全性	次回予定点検年度
愛宕第一隧道	町道太子中沢線	中之条町大字日影地内	その他	1943	79	55.7	3.9	As舗装	陸上トンネル(矢板工法)	無	2021	Ⅲ	2026
愛宕第二隧道	町道太子中沢線	中之条町大字日影地内	その他	1943	79	89.3	3.9	As舗装	陸上トンネル(矢板工法)	無	2021	Ⅲ	2026

※経年数は2022年度現在



図-2.1 位置案内図(縮尺任意)

両トンネルは、いずれも昭和18年に旧国鉄吾妻線太子支線（鉱石運搬用）の一部として「鉄道単線2号型断面」で建設されたものあり、鉄道の廃止に伴い、旧六合村に国鉄から譲渡され現在に到っている。

建設年代（昭和18年）から推測すると、NATM、底導先逆巻工法ではなく、木製支保工（合掌式、枝梁、後光）、もしくは、工期短縮のため無普請も採用されているものと推測される。

木製支保工の場合は、覆工時には支保工を撤去し、セントル背面の余掘り部分に発生ずり等を入れ固練りコンクリートを人力で施工され、特に天端付近は支保工・矢板の撤去が難しく、加えて矢板背面へのコンクリート充填は不可能のため、空洞が存在していると推測される。

トンネル覆工背面の空洞はトンネルの耐久性・健全性に影響する。

また、平成24年度にはトンネルの剥落防止を兼ねて、中之条町によりラス入りのモルタル吹付（厚10cm）が施工されているため本体の覆工の健全性については評価が不可能であり、吹付コンクリートの変状把握・推測となる。

さらに、平成29年度には路面が未舗装からアスファルト舗装となっている。

トンネル地質については、両トンネルとも溶結凝灰岩と思われ、地質的には比較的安定しており、トンネルの扁平率も1.1程度のため、円形断面に近く効果的断面である。

なお、両トンネルは、国道292号と交差、又は近接する線形となっている。



写真-2.1 愛宕第一隧道
(起点側入り口)



写真-2.2 愛宕第一隧道
(坑内状況 吹付コンクリート)



写真-2.3 愛宕第二隧道
(起点側入り口)



写真-2.4 愛宕第二隧道
(坑内状況 吹付コンクリート)

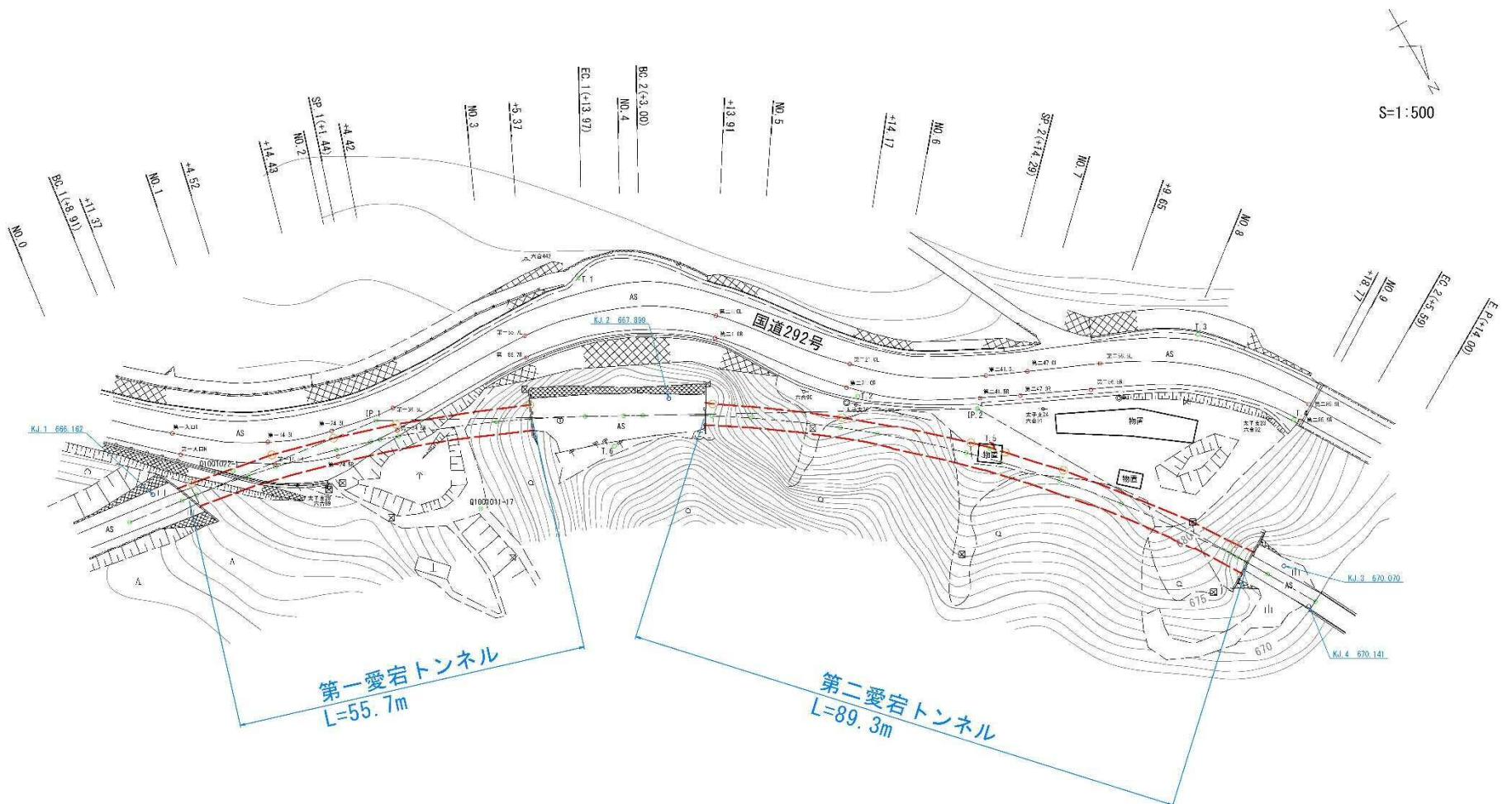


図-2.2 平面図

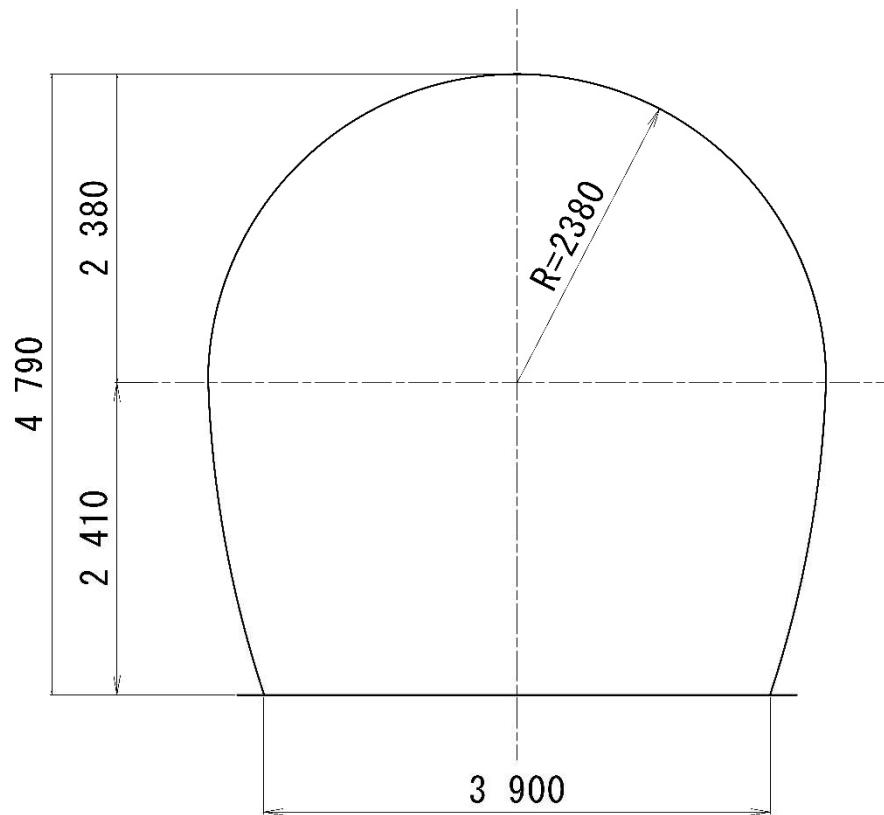


図-2.3 断面図

2.1.2 点検結果による判定区分の割合

中之条町では、5年に1度の定期点検を実施しており、最新の点検による管理トンネルの健全性は以下の通りである。

直近の国土交通省道路局国道・技術課『道路トンネル定期点検要領（平成31年2月）』（以下、『国定期点検要領』と称す。）に基づく令和3年度の定期点検結果では、表-2.2に示した通り「道路トンネル毎の健全性の診断」は両トンネルとも健全性はⅢ(早期措置段階)であった。

表-2.2 管理トンネルの健全性

トンネル名	建設年次（年）	経年数*（年）	延長（m）	幅員（m）	分類	附属物	直近点検年度	健全性	次回予定期検年度
愛宕第一隧道	1943	79	55.7	3.9	陸上トンネル (矢板工法)	無	2021	Ⅲ	2026
愛宕第二隧道	1943	79	89.3	3.9	陸上トンネル (矢板工法)	無	2021	Ⅲ	2026

*経年数は2022年度現在

ここで、『国定期点検要領』によるトンネル健全性の診断は、「変状等の健全性の診断」と、その後に構造物単位で実施する「道路トンネル毎の健全性の診断」の2段階で行う。

「変状等の健全性の診断」は、「状態の把握」及び「対策区分の判定」に基づき行い、その結果をもとに変状区分を材質劣化、漏水、外力に分類し、I～IVの区分により変状の健全性の診断を行う。

「道路トンネル毎の健全性の診断」は、「変状等の健全性の診断」結果をもとに、トンネル構造物としての健全性を診断するものであり、一般には、利用者や構造物の機能に影響をおよぼす変状等に着目して、最も厳しい変状等の評価で代表させることができる。

ただし、覆工スパン毎及び道路トンネル毎の健全性の診断は、トンネル本体工に関する変状の健全性の診断の結果に基づいて行うものとしている。

詳細については、「3.2 管理水準とトンネル点検の対策区分」を参照されたい。

以下、各トンネルについて令和3年度実施した定期点検結果を示す。

(1) 愛宕第一隧道

1) 本体工の変状について

表-2.3 に、愛宕第一隧道の令和3年度（2021年度）定期点検結果についてまとめた。

なお、愛宕第一隧道の最大対策区分はⅢであり、健全性はⅢである。

表-2.3 愛宕第一隧道の点検結果

対象部位	変状区分	変状種類	対策区分					変状数合計	備考
			I	IIb	IIa	III	IV		
覆工	材質劣化	ひび割れ	-	7	4	7	-	18	遊離石灰含む
		うき	-	9	16	5	-	30	
	漏水	漏水等による変状	-	-	1	-	-	1	
	外力	ひび割れ	-	2	4	15	-	21	遊離石灰含む
		うき	-	-	-	2	-	2	
坑門	材質劣化	ひび割れ	-	1	2	-	-	3	
		うき・はく離	-	8	-	-	-	8	
	漏水	漏水等による変状	-	1	-	-	-	1	
合 計			-	28	27	29	-	84	

※路面の変状は無し

※ひび割れ箇所の遊離石灰は、全てひび割れに含めた。

次に、図-2.4 に部位毎の変状の割合、図-2.5 に変状の割合をそれぞれまとめた。

これによれば、最も変状が多い部位は覆工である。

また、変状としては、ひび割れが最も多く生じており、次にうき・はく離であった。

ただし、ひび割れ箇所には遊離石灰が多く見られるが、漏水等による変状ではなく、ひび割れに全て含めて計上したことに留意されたい。

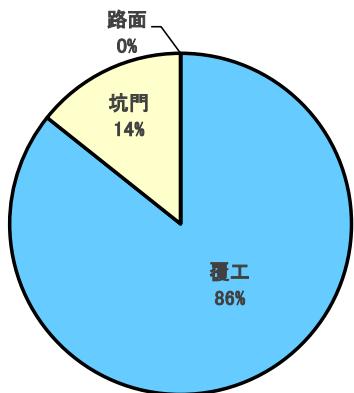


図-2.4 部位毎の変状の割合

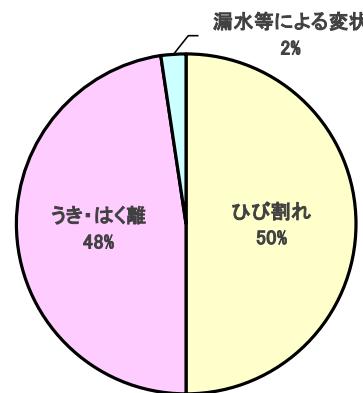


図-2.5 変状の割合

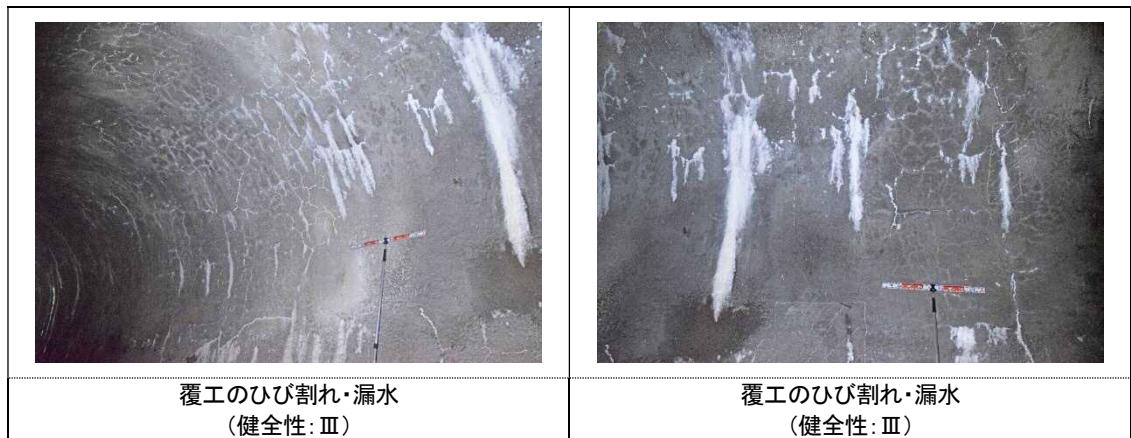
①外力

平成 24 年度にコンクリート吹付等の補修工が施されたが、ひび割れ等の変状が生じたものである。

格子状のひび割れも見られ、閉合ひび割れに進む恐れもありブロック化しやすくはく離防止についても検討する必要がある。

また、全体的にひび割れからは遊離石灰が多く生じている。

当該トンネルは、比較的土被りが薄い箇所で、県道がトンネルと交差する線形となっているため、トンネルに鉛直荷重が作用し、アーチ天端付近に格子状のひび割れが発生していると推測される。



覆工のひび割れ・漏水
(健全性: III)

覆工のひび割れ・漏水
(健全性: III)

②材質劣化

平成 24 年度にコンクリート吹付等の補修工が施されたが、ひび割れ等の変状が生じたものである。

ひび割れは目地が未施工であり、トンネル延長が短いため外部の環境等の影響を受けやすく乾燥収縮、温度変化によるひび割れが生じやすいと推測される。

コンクリート吹付はラス入りのため、極端な剥落を防止していると考えられる。

また、過去に実施されたコンクリート吹付の強度もリバウンドハンマーによる計測の結果より $180\text{kg}/\text{m}^2$ は満足しており、加えて吹付コンクリートの中性化も生じていないことから、ラスの品質が確保されていると推測される。

なお、コンクリート吹付のひび割れからは遊離石灰が全体に多く生じている。

坑門のひび割れについては、無筋構造物のため経年劣化、背面土圧により発生したと推測される。

無筋のためコンクリートの落下が懸念されるため、早急な補修が得策と考える。

また、坑門のはく離については、材質劣化により表面はく離が生じているもので、今後の状況に応じて補修を検討されたい。

	
覆工のひび割れ (健全性: III)	覆工のうき (健全性: II)
	
坑門のひび割れ (健全性: III)	坑門のはく離 (健全性: II)

③漏水

平成 24 年度にコンクリート吹付等の補修工事が施されたが、主にひびわれから漏水が見られ、全体に遊離石灰も生じている。

なお、当該トンネルは比較的土被りが薄いために降雨の影響を受けやすい状況にあると推測される。

この程度の漏水は、トンネル本体に与える直接的な影響は少ないと思われるが、利用者（特に観光客）に不快な印象を与えるため、天端からの漏水には配慮の必要がある。

	
覆工の漏水 (健全性: III)	覆工の漏水 (健全性: III)

ここで、表-2.4に愛宕第一隧道の本体工について、対策区分の各進行の推移を集計した。

愛宕第一隧道において、前回点検で変状が確認されており、なお且つ対策区分が進行した変状種類としては、以下のとおりである。

なお、覆工については進行した変状は確認されなかった。

- ・坑門-材質劣化-ひび割れ：IIa→III

表-2.4 対策区分の各進行の推移集計一覧【愛宕第一隧道】

対象箇所	変状区分	変状種類	2016年点検	2021年点検	覆エスパン番号										合計		
					PS	S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	S08	S09	S10	PE	
覆工	外力	ひび割れ	IIb	IIb								1		1		2	
			IIa	IIa								3				3	
			III	IIa						1						1	
		うき	III	III				1	1	4	2	3		1	2	14	
											2	1				3	
	材質劣化	ひび割れ	IIb	IIb						1		1	2		2	1	7
			IIa	IIa				1		1		2					4
			III	IIa					1	2							3
		うき	III	III							1		2	1			4
			IIb	IIb		1	2	2	1		1	1			1		9
坑門	外力	ひび割れ	IIa	IIa		1	2		1		2	3	2	5			16
			IIb	IIb													1
	材質劣化	ひび割れ	IIb	IIb													1
			IIa	IIa													1
		うき	IIa	III													1
			IIb	IIb													1
	漏水	漏水等による変状	IIa	IIa											1		1
合計					8	2	6	4	6	7	11	14	4	13		6	86

2)附属物について

当該トンネルに附属物は設置されていない。

(2) 愛宕第二隧道

1) 本体工の変状について

表-2.4に、愛宕第二隧道の令和3年度（2021年度）定期点検結果についてまとめた。

なお、愛宕第二隧道の最大対策区分はⅢであり、健全性はⅢである。

表-2.5 愛宕第二隧道の点検結果

対象部位	変状区分	変状種類	対策区分					変状数合計	備考
			I	IIb	IIa	III	IV		
覆工	材質劣化	ひび割れ	-	16	7	-	-	23	遊離石灰含む
		うき	-	17	4	-	-	21	
	漏水	漏水等による変状	-	-	3	-	-	3	
	外力	ひび割れ	-	5	12	12	-	29	遊離石灰含む
		うき	-	-	-	2	-	2	
坑門	材質劣化	ひび割れ	-	1	-	-	-	1	
		うき・はく離	-	-	-	1	-	1	
	漏水	漏水等による変状	-	-	-	-	-	0	
	外力	ひび割れ		-	-	2		2	
合計			-	39	26	17	-	82	

※路面の変状は無し

※ひび割れ箇所の遊離石灰は、全てひび割れに含めた。

次に、図-2.6に部位毎の変状の割合、図-2.7に変状の割合をそれぞれまとめた。これによれば、最も変状が多い部位は覆工である。

また、変状としては、ひび割れが最も多く生じており、次にうき・はく離であった。

ただし、ひび割れ箇所には遊離石灰が多く見られるが、漏水等による変状ではなく、ひび割れに全て含めて計上したことに留意されたい。

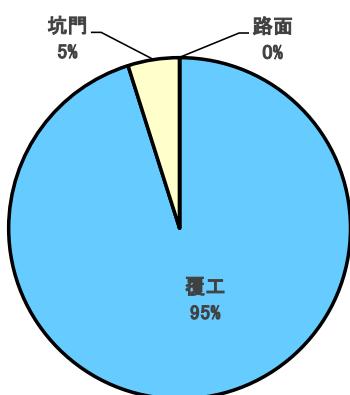


図-2.6 部位毎の変状の割合

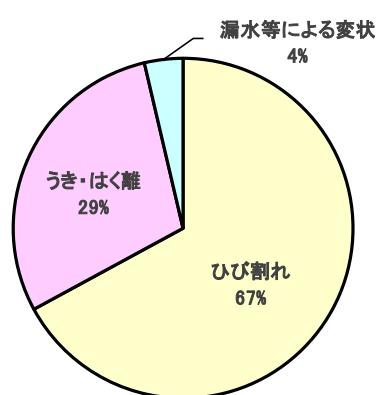


図-2.7 変状の割合

①外力

平成 24 年度にコンクリート吹付等の補修工が施されたが、ひび割れ等の変状が生じたものである。

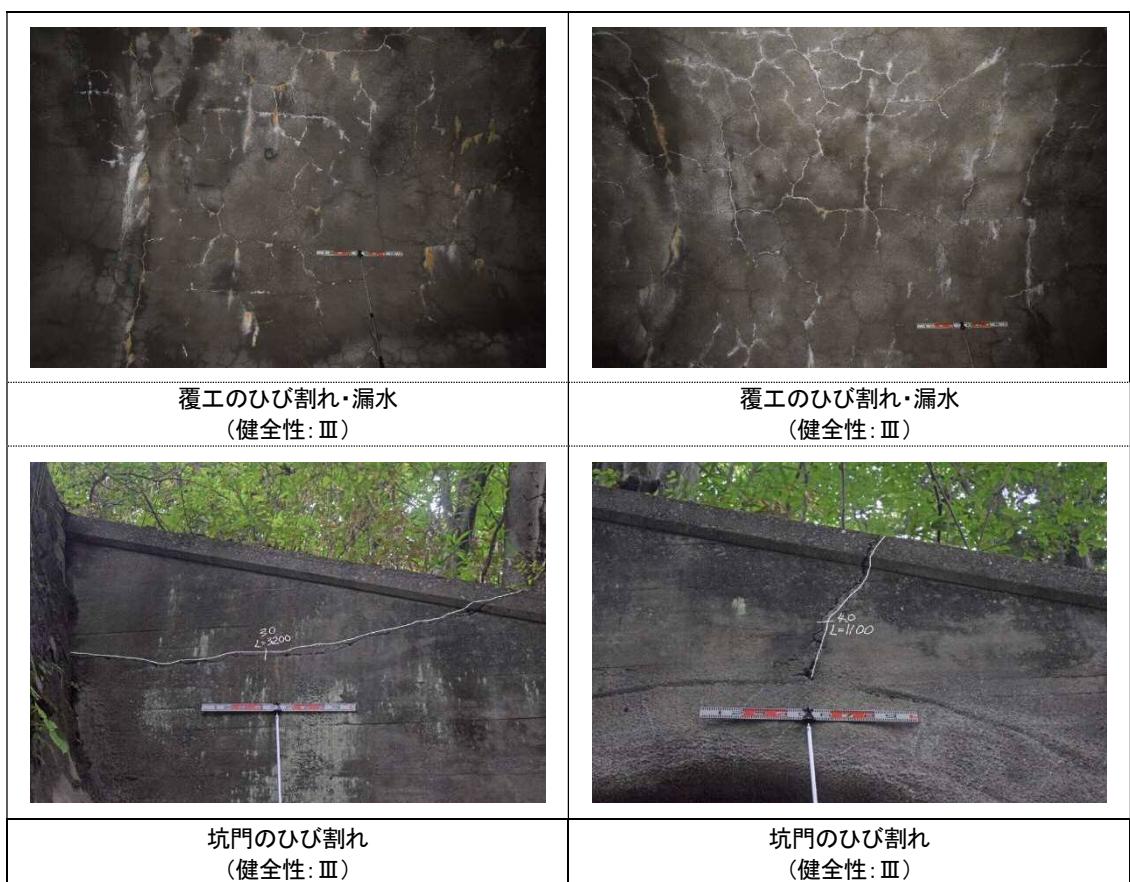
格子状のひび割れも見られ、閉合ひび割れに進む恐れもありブロック化しやすくはく落防止についても検討する必要がある。

また、全体的にひび割れからは遊離石灰が多く生じている。

当該トンネルは、トンネルと県道が近接し、トンネル上部の民地が水平に切り取りされていることから、偏圧の影響が懸念される、加えて入口部は横被りが少ない為、同様に左側からの偏圧も懸念される。

入口坑門のひび割れは、無筋構造物のため経年劣化、背面土圧により発生したと推測される。

無筋のためコンクリートの落下が懸念されるため、早急な補修が得策と考える。



②材質劣化

平成 24 年度にコンクリート吹付等の補修工が施されたが、ひび割れ等の変状が生じたものである。

ひび割れやうきは、愛宕第一隧道と同様にトンネル延長が短いため外部の環境等の影響を受けやすく乾燥収縮、温度変化により生じたものと推測され、格子状のひび割れも見られる。

また、全体的にひび割れからは遊離石灰が多く生じている。

吹付はラス入りのため、極端な剥落を防止していると考えられる。

また、過去に実施された吹付の強度は、リバウンドハンマーによる計測の結果、 $180\text{kg}/\text{m}^2$ は満足し加えて吹付コンクリートの中性化も生じていないことから、ラスの品質が確保されていると推測される。

出口坑門のうきは、無筋構造物のため経年劣化、凍害により発生したと推測される。

無筋のためコンクリートの落下が懸念されるため、早急な補修が得策と考える。

建設当時は、出口坑門は雑石コンクリートで構築後、化粧を兼ねた二次コンクリートを打設したものであり、その境界面が大きく剥離、はく落したと考える。

各坑門は同一の建設時代・施工会社のため、坑門は雑石コンクリートと二次コンクリートで施工されていることから同様な剥離・剥落が発生すると推測される。

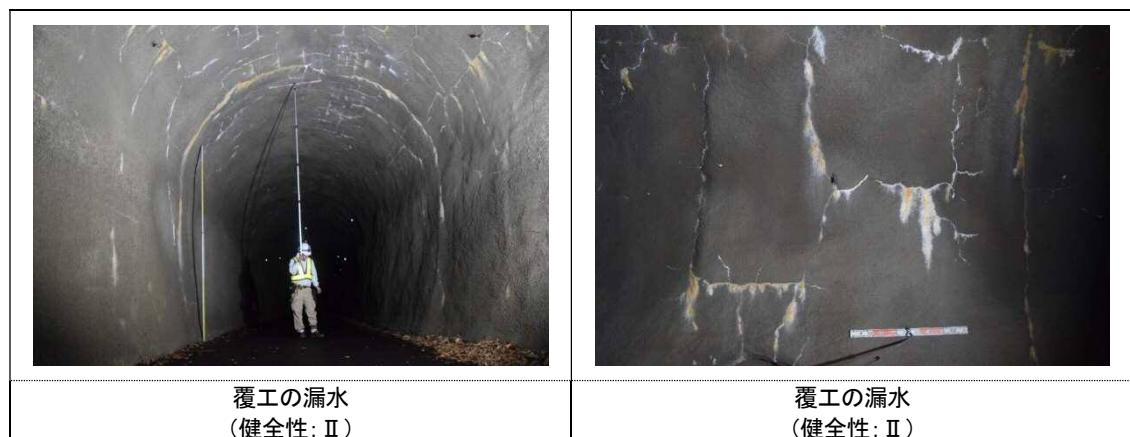


③漏水

平成24年度にコンクリート吹付等の補修工が施されたが、主にひびわれから漏水が見られ、全体に遊離石灰も生じている。

なお、当該トンネルは比較的土被りが薄いために降雨の影響を受けやすい状況にあると推測される。

この程度の漏水は、トンネル本体に与える直接的な影響は少ないと思われるが、利用者（特に観光客）に不快な印象を与えるため、天端からの漏水には配慮の必要がある。



ここで表-2.6に、愛宕第二隧道の本体工について、対策区分の各進行の推移を集計した。

愛宕第二隧道において、前回点検で変状が確認されており、なお且つ対策区分が進行した変状種類としては、以下のとおりである。

なお、覆工については進行した変状は確認されなかった。

- ・坑門-材質劣化-うき：IIa⇒III

表-2.6 対策区分の各進行の推移集計一覧【愛宕第二隧道】

対象箇所	変状区分	変状種類	2016年点検	2021年点検	覆工スパン番号															合計	
					PS	S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	S08	S09	S10	S11	S12	S13	S14	S15	
覆工	外力	ひび割れ	IIb	IIb		2		1								1					4
			IIa	IIa		3	1		1	4		2							1		12
			III	IIa		1							1					1			3
		うき	III	III		1			2					3	2	1		1			10
	材質劣化	ひび割れ	IIb	IIb				5	1	1	2	1	1	1		1			2	1	16
			IIa	IIa				1	2	1				2				1			7
		うき	IIb	IIb				3	4		2		2					3	3		17
	坑門	ひび割れ	IIa	IIa					1									2			4
			III	III		2															2
		うき	III	III																1	1
合計					3	7	10	9	4	8	2	5	2	7	2	4	0	7	4	4	80

2)附属物について

当該トンネルに附属物は設置されていない。

2.1.3 修繕着手状況

中之条町では、両トンネルについて、平成24年度に厚10cmのラス入りコンクリート吹付が内空断面全体に施工され、吹付背面に排水工（モノドレン）、覆工背面の空隙充填のため裏込注入も実施されている。

表-2.7 補修工事状況

実施期間	トンネル名	健全性※		対象部位	対策工
		補修前	補修後		
平成24年度 (2012年)	愛宕第一隧道 愛宕第二隧道	IV (3A)	I (S)	覆工	・ラス入りコンクリート吹付 ・排水工（モノドレン） ・覆工背面裏込注入

※（ ）内は、当時使用されていた（公社）日本道路協会『道路トンネル維持管理便覧（平成5年11月）』による判定である（表-2.8参照）。

表-2.8 判定区分

判定区分	判定の内容	(参考) 現況の 対策区分	(参考) 現況の 健全性
3A	変状が大きく、通行者・通行車両に対して危険があるため、直ちになんらかの対策を必要とするもの	IV	IV
2A	変状あり、それが進行して、早晚、通行者・通行車両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	III	III
A	状あり、将来、通行者・通行車両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	II a	II
B	変状がないか、あっても軽微な変状で、現状では通行者・通行車両に対して影響はないが、監視を必要とするもの	II b	
S	変状はなく、通行者・通行車両に対して影響はないもの	I	I

【出典：（公社）日本道路協会『道路トンネル維持管理便覧（平成5年11月）』3-4 調査結果の判定に加筆したもの】

2.2 計画期間

計画期間は、2023年度から50年間とする。

3. 長寿命化修繕計画の策定

3.1 基本方針

トンネルは、一般的なコンクリート構造物と異なり、交通荷重が覆工に作用することなく、覆工等と周辺地山が一体となって地下空間を保持する構造物である。

また、周辺地山を塑性圧等で不安定化させることなく継続的な使用が可能であり、構造体の特徴および経年による機能劣化（変状の発生と進行）のメカニズムが橋梁等の一般土木構造物と異なる。

よって、トンネルについては耐用年数は考慮せず、老朽化による更新は考慮しないこととし、定期点検で各変状の状態を監視し、劣化の進行（健全性の低下）が確認された変状に対して目標管理水準を下回った時点で予防的に対策を実施する『状態監視型予防保全』の考え方で維持管理を行うのが妥当である。

また、図-3.1に示したメンテナンスサイクルを基本に、トンネルの維持管理を定められた期間で確実に実施することが重要である。

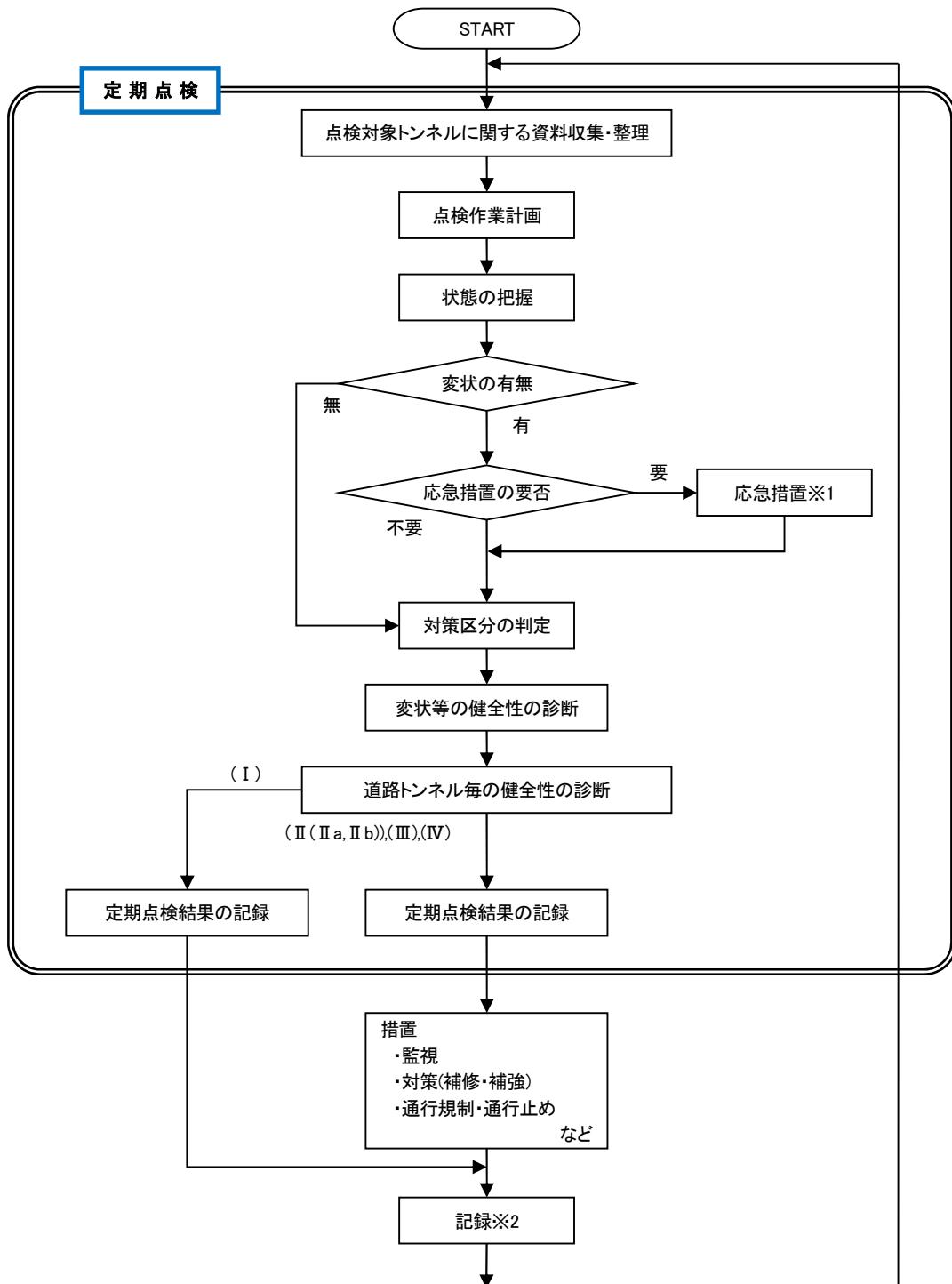
ただし、道路トンネルでは、変状状況に応じて個別に対応する本体工と、定期的に取替更新が必要な附属物とを区別して維持管理する。

ここで、本体工と附属物については表-3.1に示すとおりである。

表-3.1 本体工と附属物

該当部位及び施設	
本体工	覆工、坑門、内装板、天井板、路面、路肩、排水施設及び補修・補強材
附属物	付属施設[換気施設(ジェットファン含む)、照明施設及び非常用施設] 標識、情報板、吸音板等、トンネル内や坑門に設置されるもの

以上を踏まえ、長寿命化計画の策定を行う。



※1 通行規制・通行止め等が必要となる場合には、道路管理者の判断の下で行う。

※2 記録

措置の実施内容及び措置後の「対策区分の判定」や「健全性の診断」の再評価の結果については、定期点検結果の記録とは別に記録する。

図-3.1 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

【出典：国土交通省道路局国道・技術課『道路トンネル定期点検要領（平成31年2月）』、p.5.】

3.2 管理水準とトンネル点検の対策区分

トンネルの修繕は、定期点検結果に基づく損傷状況から対策を行う健全度に応じて実施することとなる。

すなわち、点検結果から把握できる損傷状況のレベルに応じて修繕を行う判断とする。以下に、本体工と附属物に区分して示す。

(1) 本体工

1) 対策区分の判定

表-3.2 に、『国定期点検要領』における対策区分を示す。

対策区分の判定は、道路トンネルの変状等が利用者に及ぼす影響を詳細に把握し、適切な措置を計画するために行うものであり、状態の把握により変状等に対して判定を行う。変状等の状況から、個々の変状・異常を対策区分の判定の単位とし、健全性を診断する。

なお、対策区分Ⅱbにおける監視とは、日常巡視等で状況を把握することであり、対策区分Ⅱaにおける重点的な監視とは、前回の定期点検または監視から2年程度以内を目安に近接目視を行うことである。

表-3.2 対策区分の判定

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、早期に措置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。	

【出典：国土交通省道路局国道・技術課『道路トンネル定期点検要領（平成31年2月）』、p.19.】

トンネル本体工の場合、「状態の把握」※の結果に基づき、対策区分の判定を表-3.3に示したように外力、材質劣化、漏水の各変状の種類によってI～IVの区分により行う。

※『国定期点検要領』より「状態の把握」とは以下のとおりである。

- (1) 道路トンネル毎に対策区分の判定や健全性の診断にあたって必要な情報が得られるよう、状態の把握を実施しなければならない。
- (2) 状態の把握は、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検査等の非破壊検査等を併用して行う。
- (3) 近接が可能な点検箇所の一部の状態の把握を(2)に示す方法によらない場合には、対策区分の判定及び健全性の診断を所要の品質で行うことができるよう方法を決定する。

表-3.3 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巻厚の不足または減少、背面空洞		○	
⑥漏水等による変状			○

補足1) 変状種類は変状として現れる事象であり、変状区分は基本的には変状の要因を区分したものである。したがって、ここで変状区分は、必要となる対策の区分とは異なることに注意する必要がある。例えば、材質劣化による巻厚不足や減少が生じている場合にも、必要に応じて外力への対策が必要となるなど。

補足2) 変状区分とは、変状現象の要因を3つに区分（外力、材質劣化、漏水）したものをいう。

- ・外力とは、トンネルの外部から作用する力であり、緩み土圧、偏土圧、地すべりによる土圧、膨張性土圧、水圧、凍上圧等の総称をいう。
- ・材質劣化とは、使用材料の品質や性能が低下するものであり、コンクリートの中性化、アルカリ骨材反応、鋼材の腐食、凍害、塩害、温度収縮、乾燥収縮等の総称をいう。なお、施工に起因する不具合もこれに含む。
- ・漏水とは、覆工背面地山等からの水が、トンネル坑内に流出することであり、覆工や路面の目地部、ひび割れ箇所等の水流出の総称をいう。なお、漏水等による変状には、冬期におけるつららや側氷が生じる場合も含む。

2) 健全性の診断

表-3.4に、『国定期点検要領』における健全性の判定区分を示す。

健全性の診断は、「変状等の健全性の診断」と、その後に構造物単位で実施する「道路トンネル毎の健全性の診断」の2段階で行う。

「変状等の健全性の診断」は、道路トンネルの状態の把握と次回定期点検までの間の措置の必要性について総合的な診断を行うために「状態の把握」及び「対策区分の判定」に基づき行い、その結果をもとに変状区分を材質劣化、漏水、外力に分類し、I～IVの区分により変状の健全性の診断を行う。

ここで、各変状に対しては、先に示した表-3.2のように対策区分の判定が5段階で行われているが、「変状等の健全性の診断」においては、IIbとIIaを併せてIIとして取り扱うこととしている。

ただし、対策区分の判定は必要となる措置を想定して行っているため、実際の措置は対策区分の判定結果も考慮して検討することとなる。

表-3.4 健全性の判定区分

区分		定義
I	健全	道路トンネルの機能に支障が生じていない状態。
II	予防保全段階	道路トンネル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	早期措置段階	道路トンネルの機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講すべき状態。
IV	緊急措置段階	道路トンネル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、緊急に措置を講すべき状態。

【出典：国土交通省道路局国道・技術課『道路トンネル定期点検要領（平成31年2月）』、p.22.】

判定区分I～IVに分類する場合の措置との関係についての基本的な考え方は、表-3.5に示したとおりである。

なお、診断は材質劣化または漏水に起因する変状はそれぞれの変状単位で、外力に起因する変状は覆工スパン単位で行う。

また、判定は本対策の必要性及びその緊急性を考慮して行う。

表-3.5 判定区分I～IVと措置との関係

区分		定義
I		監視や対策を行う必要のない状態をいう。
II		状況に応じて、監視や対策を行うことが望ましい状態をいう。
III		早期に監視や対策を行う必要がある状態をいう。
IV		緊急に対策を行う必要がある状態をいう。

【出典：国土交通省道路局国道・技術課『道路トンネル定期点検要領（平成31年2月）』、p.23.】

「道路トンネル毎の健全性の診断」は、変状等の健全性の診断結果をもとに、トンネル構造物としての健全性を診断するものであり、道路トンネルの管理者が保有するトンネルを含む構造物を一括管理し、効率的な維持管理を行うための指標となるよう、全構造物で統一した判定区分を与えることを目的としている。

変状等の健全性がトンネル全体の健全性に及ぼす影響は、環境条件や当該道路トンネルの重要度等によっても異なるため、「変状等の健全性の診断」の結果を踏まえて、道路トンネル毎で総合的に判断することが必要である。

なお、一般には、利用者や構造物の機能に影響をおよぼす変状等に着目して、最も厳しい変状等の評価で代表させることができる。

ただし、覆工スパン毎及び道路トンネル毎の健全性の診断は、トンネル本体工に関する変状の健全性の診断の結果に基づいて行うものとしている。

3) 本体工の管理水準

表-3.6 に、『国定期点検要領』に基づいた健全性と対策区分をまとめた。

表-3.6において、対策区分Ⅲ、Ⅳについては、次回定期点検までに対策を実施すべき変状であり、対策区分Ⅱaは予防保全の観点からの措置が望ましい変状である。

よって、目標管理水準は判定区分ⅡaとⅢの境界に設定する。

また、判定区分Ⅳは緊急に措置を講じるべき状態であることから、限界管理水準を判定区分ⅢとⅣの境界に設定する。

表-3.6 健全性と対策区分

健全性	定義	対策区分	定義
I	道路トンネルの機能に支障が生じていない状態。	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	道路トンネル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。	II	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。
			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	道路トンネル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。	III	早晚、利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、早期に措置を講じる必要がある状態。
IV	道路トンネル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。	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。

【出典：国土交通省道路局国道・技術課『道路トンネル定期点検要領（平成31年2月）』、p.19, 22.】

(2)附属物

1)対策区分の判定

表-3.7に、『国定期点検要領』における健全性の判定区分を示す。

附属物等の取付状態は、表-3.7を考慮して判定を行う（以下、異常判定）。

また、利用者被害を与えるような異常が発見された場合には、被害を未然に防ぐための応急措置として、ボルトの緩みの締め直し等を行うものとし、異常判定は応急措置を行った後の状態で行うものとする。

表-3.7 附属物等に対する異常判定区分

異常判定区分※	異常判定の内容
×	附属物等の取付状態に異常がある場合
○	附属物等の取付状態に異常がないか、あっても軽微な場合

※：異常判定区分×：

「×判定」は以下に示すような状況である。

- (a) 利用者被害のおそれがある場合。腐食の進行等により、近い将来破断するおそれがある場合も含む。
- (b) ボルトの緩みを締め直したりする応急措置が講じられたとしても、今後も利用者被害の可能性が高く、再固定、交換、撤去や、設備全体を更新するなどの方法による対策が早期に必要な場合。

異常判定区分○：

「○判定」は以下に示すような状況である。

- (a) 異常はなく、特に問題のない場合。
- (b) 異常はあるが、軽微で進行性や利用者被害のおそれではなく、特に問題がないため、対策が必要ない場合。
- (c) ボルトの緩みを締め直しする応急措置が講じられたため、利用者被害のおそれではなく、特に問題がないため、対策の必要ない場合。
- (d) 異常箇所に対策が適用されて、その対策の効果が明らかな場合。

【出典：国土交通省道路局国道・技術課『道路トンネル定期点検要領（平成31年2月）』、p.20, 22.】

附属物等の取付状態に対する異常は、外力に起因するものが少ないと考えられ、原因推定のための調査を要さない場合が少なくない。

また、附属物等の取付状態に対する異常は、利用者被害につながるおそれがあるため、異常箇所に対しては再固定、交換、撤去する方法や設備全体を更新するなどの方法による対策を早期に実施する必要がある。

一方で、トンネル本体工に比べて、対策も比較的容易に実施できる場合が多い。

以上を踏まえ、異常判定区分は「×」（早期に対策を要するもの）と、「○」（対策を要さないもの）の2区分としている。

2)健全性の診断

『国定期点検要領』における附属物等の取付状態に対する異常の判定は、表-3.7の「対策区分の判定」によるものとしている。

ここで、(公社)日本道路協会『道路トンネル維持管理便覧【付属施設編】(平成28年11月)』(以下、『維持管理便覧【付属施設編】』と称す。)における付属施設の取付状態に関する健全度の評価の参考例を表-3.8に示す。

付属施設の取付状態に関する異常箇所は、外力に起因するものが少ないと考えられ、その多くは材質劣化により発生すると考えられることから、原因推定の調査を要さない場合がある。

また、利用者被害につながるおそれがある場合は、異常箇所に対する再固定、交換、撤去する方法や設備全体を更新するなどの方法による対策を早期に実施する必要がある。

これらのこと考慮して、表-3.8では「○」、「△」、「×」の3段階の区分で行う健全度の評価としている。

表-3.8 付属施設の取付状態に関する健全度の評価の例

点検結果の異常判定区分	健全度の評価区分	異常判定の内容	付属物の取付状態の異常判定区分※1
×	×	付属物等の取付状態に異常がある場合	×
△	△	付属物等の取付状態に軽微な異常※2がある場合	
○	○	付属物等の取付状態に異常がないか、あっても軽微※3な場合	○

※1：本体工における附属物の取付状態の異常判定区分の結果。

表-3.7の『国定期点検要領』の附属物等に対する異常判定区分と同じ。

※2：取付状態の異常に進行性が認められ、今後、利用者被害が生じるおそれがある場合。

※3：取付状態の異常に進行性が認められず、今後、利用者被害が生じるおそれがない場合。

【出典：(公社)日本道路協会『道路トンネル維持管理便覧【維持管理編】(平成28年11月)』、p.80.】

3) 附属物の管理水準

表-3.9 に、附属物における『国定期点検要領』の判定内容と、(公社)日本道路協会『道路トンネル維持管理便覧【付属施設編】(平成28年11月)』(以下、『維持管理便覧【付属施設編】』と称す。)における健全度の評価について示す。

表-3.9において、評価区分×、△については、次回定期点検までに対策を実施すべきものとして、目標管理水準は判定区分○と△の境界に設定する。

また、評価区分×は緊急に実施すべき状態であることから、限界管理水準を判定区分△と×の境界に設定する。

表-3.9 附属物等に対する健全度及び異常判定区分

『維持管理便覧【付属施設編】』		『国定期点検要領』 ^{※1}	
健全度の評価区分	異常判定の内容	異常判定区分 ^{※2}	異常判定の内容
限界管理水準 ⇒ 目標管理水準 ⇒	× 付属物等の取付状態に異常がある場合	×	付属物等の取付状態に異常がある場合
	△ 付属物等の取付状態に軽微な異常 ^{※3} がある場合		
	○ 付属物等の取付状態に異常がないか、あっても軽微 ^{※4} な場合	○	付属物等の取付状態に異常がないか、あっても軽微な場合

※1: 国土交通省道路局国道・技術課『道路トンネル定期点検要領(平成31年2月)』、p.13.

※2: 異常判定区分×:

「×判定」は以下に示すような状況である。

(a) 利用者被害のおそれがある場合。腐食の進行等により、近い将来破断するおそれがある場合も含む。

(b) ボルトの緩みを締め直したりする応急措置が講じられたとしても、今後も利用者被害の可能性が高く、再固定、交換、撤去や、設備全体を更新するなどの方法による対策が早期に必要な場合。

異常判定区分○:

「○判定」は以下に示すような状況である。

(a) 異常はなく、特に問題のない場合。

(b) 異常はあるが、軽微で進行性や利用者被害のおそれではなく、特に問題がないため、対策が必要ない場合。

(c) ボルトの緩みを締め直しする応急措置が講じられたため、利用者被害のおそれなく、特に問題がないため、対策の必要ない場合。

(d) 異常箇所に対策が適用されて、その対策の効果が明らかな場合。

※3: 取付状態の異常に進行性が認められ、今後、利用者被害が生じるおそれがある場合。

※4: 取付状態の異常に進行性が認められず、今後、利用者被害が生じるおそれがない場合。

3.3 節 対策シナリオの説明

トンネルの維持管理手法は、変状状況に応じて個別に対応する本体工と、定期的に取替更新が必要な附属物とを区別して行う。

(1) 本体工

『状態監視型予防保全』

定期点検で各変状の状態を監視し、劣化の進行（健全度の低下）が確認された変状に対し、目標管理水準を下回った時点で対策を実施する。

目標管理水準は、判定区分ⅡとⅢの境界とする。

ただし、ライフサイクルコスト（LCC）の算出においては予防保全の観点から健全性Ⅱも含めて算出するものとし、その対策時期については表-3.10 の対策余寿命*を用いて行うものとする。

*本来であれば、各変状の特徴を踏まえ、構造物としての劣化予測を行い、これに基づいて対策時期を決定することとなる。しかし、今回の中之条町が管理する2箇所については、これまで定期点検を3回実施しているが、初回の点検時においては、現在の吹付補修が施されていない状態で行ったものであり、劣化予測に使用するには困難である。

また、2回目及び3回目だけでは先の「2.1.2 点検結果による判定区分の割合」で述べたように覆工の変状は進行していないこともあり予測するためのデータ数が少ない。

さらに、トンネルは地山条件、地下水、環境、気象、施工状況がトンネル内でも異なる場合があり、トンネル全体の劣化予測を行う事が困難な場合もある。

よって、今回は対策余寿命を設定し検討することとした。

表-3.10 本体工における健全性のランク表

健全性	定義	措置の内容	対策区分	対策余寿命
I	道路トンネルの機能に支障が生じていない状態。	監視や対策を行う必要のない状態。	I	-
II	道路トンネル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。	状況に応じて、監視や対策を行うことが望ましい状態。	II	30年
				10年
III	道路トンネル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。	早期に監視や対策を行う必要がある状態。	III	3年
IV	道路トンネル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。	緊急に対策を行う必要がある状態。	IV	1年

*健全性 I～IVは、国土交通省道路局国道・技術課『道路トンネル定期点検要領（平成31年2月）』によるものである。

(2) 附属物

『事後保全型』

附属物は耐用年数を目安に各設備の更新を図り、施設が正常に機能する状態で管理する。

附属物に関しては、まだ使用可能な状態の施設（照明施設等）においては、予防保全の考え方で先行して更新するより、事後保全（機能が停止する直前で交換修理）による管理手法が現実的かつ経済的である。

このため、劣化予測は行わず、既往の更新実績等に基づいて更新期間を設定する。

ただし、定期点検において表-3.11 に示した目標管理水準を下回った場合には更新とする。

※中之条町が管理しているトンネルは2箇所においては附属物は設置されていないが、今後照明施設が設置された場合を想定して附属物の対策シナリオを設定した。

表-3.11 附属物における健全性のランク表

『維持管理便覧【付属施設編】』		対 応	対策 余寿命
健全度の評価区分	異常判定の内容		
限界管理水準	×	<ul style="list-style-type: none"> 整備、更新については、緊急に実施する。 監視については、必要に応じて実施する。^{※3} 	1年
	△	<ul style="list-style-type: none"> 整備、更新については、早急に実施する。 監視については、必要に応じて実施する。^{※4} 	3年
	○	<ul style="list-style-type: none"> 整備、更新は実施しない。 監視は、実施しない。 	— ^{※5}

※1：取付状態の異常に進行性が認められ、今後、利用者被害が生じるおそれがある場合。

※2：取付状態の異常に進行性が認められず、今後、利用者被害が生じるおそれがない場合。

※3：利用者への影響を及ぼす恐れがある場合、整備、更新を行うまで必要に応じて交通規制等の応急措置を実施したうえで監視を行う。

※4：整備、更新を行うまで、必要に応じて実施する。

※5：今回附属物は両トンネルとも設置されていない。

3.4 集約化撤去の方針

今後、少子高齢化等による税収減少が懸念される一方で、老朽化によりインフラの維持管理費用の増加が想定され、インフラの維持管理費用の縮減が課題となっている。

限られた予算の中で効率的に維持管理を行うため、点検結果や利用状況等により、集約化や撤去検討を実施し、持続可能なメンテナンスを目指すことが重要である。

中之条町が管理する両トンネルについては、国道292号がトンネルと交差、又はトンネルと近接する線形となっており、旧国鉄吾妻線太子支線としての文化的価値もあることから、集約化撤去の検討を進めていくことは極めて困難であり、『状態監視型予防保全』の考え方で維持管理を行い、長寿命化を図るものである。

よって、集約化や撤去は行わないものとする。

ただし、構造上極めて危険な変状が確認された場合には、直ちに通行止めの措置を行うものとし、緊急に措置を講じる必要がある。

3.5 対策の優先順位の考え方

3.5.1 対策の優先順位の設定

対策は優先順位を定め、順次対策を行うものとする。

優先順位を決定するにあたり最も重要なのは安全性に係わる問題であることから、点検時に設定される「トンネル全体の健全性」（健全度）の低い順（IV⇒III⇒II⇒I）のトンネルを最優先とする。

ただし、健全性IIについては、対策区分がIIaとIIbとなっているが、IIaを優先的に補修を行うものとする。

次に、道路利用者の立場から、緊急輸送道路、道路種別、交通量等を考慮して、路線重要度の高いトンネルを優先的に補修を行うものとした。なお、評価項目については、表-3.12に示した通りである。

次に、トンネル周辺の使用状況が高いトンネルを優先的に補修を行うものとした。なお、評価項目については、表-3.13に示した通りである。

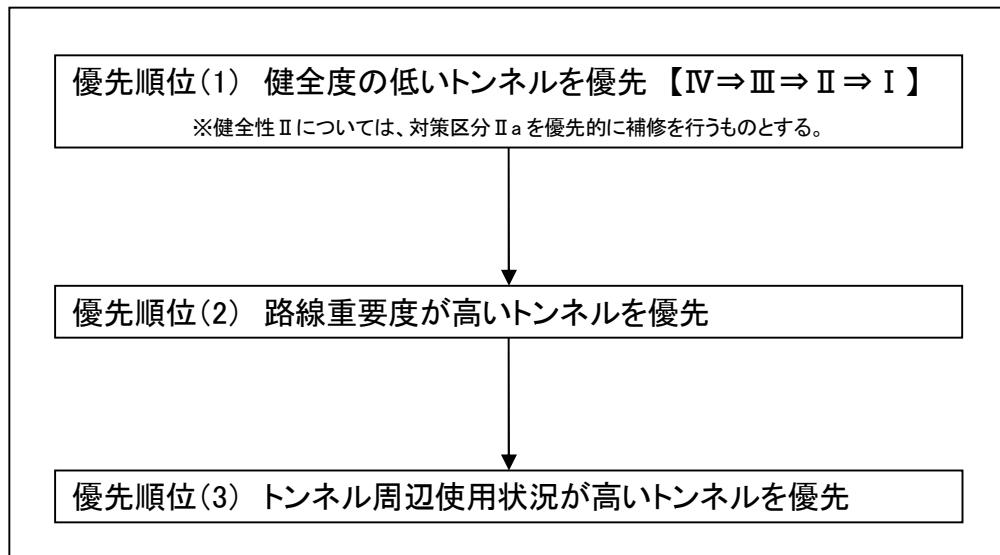


図-3.2 対策の優先順位

表-3.12 路線重要度

No	項目	評価項目	評点	重み係数	点数	備考
1	緊急輸送道路指定の有無	第1次	100	0.4	30	群馬県緊急輸送道路ネットワーク図で調査(平成30年3月)
		第2次	90		27	
		第3次	80		24	
		指定なし	0		0	
2	道路種別	1級	100	0.3	30	中之条町道路台帳より調査
		2級	90		27	
		その他	0		0	
3	交通量	多	100	0.2	20	交通量調査は実施していないため、現地の状況で評価
		中	50		10	
		少	0		0	
4	通学路指定	指定あり	100	0.1	100	中之条町より調査(ヒアリング)
		指定なし	0		0	
5	バス路線指定	指定あり	100	0.1	100	中之条町より調査(ヒアリング)
		指定なし	0		0	

表-3.13 トンネル周辺使用状況

No	項目	評価項目	評点	重み係数	点数	備考
1	トンネル周辺の避難施設	あり	100	0.3	30	中之条町ハザードマップ
		なし	0		0	
2	トンネル上部使用状況	あり	100	0.3	30	現地確認
		なし	0		0	
3	周辺主要施設の有無	あり	100	0.2	20	中之条町より調査(ヒアリング)
		なし	0		0	
4	イベント等の使用の有無	あり	100	0.2	20	中之条町より調査(ヒアリング)
		なし	0		0	

3.5.2 対策の優先順位

表-3.14 に、評価結果を示す。

これより、優先順位は以下の通りとする。

- ・優先順位 1: 愛宕第一隧道
- ・優先順位 2: 愛宕第二隧道

表-3.14 各トンネルの評価

No	項目	評価項目	点数	愛宕第一隧道	愛宕第二隧道	備考	
健全度							
1	健全度	IV	-	-	-	令和3年度定期点検結果より	
		III	-	○	○		
		II	-	-	-		
		I	-	-	-		
路線重要度							
1	緊急輸送道路 指定の有無	第1次	30	-	-	両トンネル共に指定外	
		第2次	27	-	-		
		第3次	24	-	-		
		指定なし	0	○	○		
2	道路種別	1級	30	-	-		
		2級	27	-	-		
		その他	0	○	○		
3	交通量	多	20	-	-	現地の状況で確認したものであり、季節や時期等により変化することに留意されたい。	
		中	10	-	-		
		少	0	○	○		
5	通学路指定	指定あり	100	-	-	両トンネル共にルート外	
		指定なし	0	○	○		
6	バス路線指定	指定あり	100	-	-	両トンネル共にルート外	
		指定なし	0	○	○		
路線重要度合計点			0	0			
トンネル周辺使用状況							
1	トンネル周辺の 避難施設	あり	30	-	-	両トンネル共に無し	
		なし	0	○	○		
2	トンネル上部使 用状況	あり	30	○	-	愛宕第一隧道においては、国道292号がトンネル上部にある。	
		なし	0	-	○		
3	周辺主要施設 の有無	あり	20	-	-	両トンネル共に無し	
		なし	0	○	○		
4	イベント等の使 用の有無	あり	20	-	-	両トンネル共に無し	
		なし	0	○	○		
トンネル周辺使用状況合計点			30	0			

3.6 新技術等の活用方針

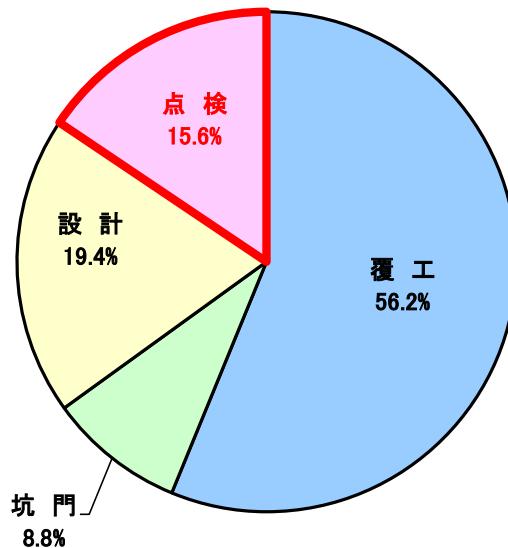
3.6.1 定期点検の新技術活用検討

(1)新技術活用の背景

平成 26 年 7 月に道路法施工規制の一部改正により、近接目視による定期点検（5 年に 1 回）が義務化され、中之条町においても管理トンネルの近接目視点検を実施している。

町が管理するトンネルは 2 箇所あり、老朽化に伴う補修費や、損傷状況把握のための定期点検に費用を要する。

なお、図-3.3 に示したように、今後 50 年間の維持管理費用（205 百万円）のうち、約 16%（32 百万円）が定期点検費用である。



※『状態監視型予防保全』での事業費の場合

図-3.3 今後 50 年間の維持管理費用（試算）の内訳

対象となるトンネルについては、これまでに 3 度の近接目視点検を実施し、その健全性を把握できている状況であり、今後継続的にメンテナンスサイクルを回していくためには、定期点検のコスト縮減が喫緊の課題である。

従来の近接目視点検のために活用されてきた点検方法を新技術に変換することで、点検の効率化、省力化を図ることができ、定期点検に係る費用縮減を目指すことができると考えられる。

(2)新技術活用検討の方針

トンネルの点検は、トンネル点検車を用いた近接目視が基本である。

中之条町の管理トンネル2箇所についても、これによる点検が実施されているが、近接目視、打音検査、スケッチ、写真撮影等に時間と労力を必要とする場合があることから、効率化、省力化を図ることが求められる。

検討する新技術は、「点検支援技術性能カタログ（R4.9 国土交通省）」に掲載のものから内容を確認し、中之条町の管理トンネルに対し汎用性が高い技術を選定する。

新技術（点検支援技術）の分類としては、画像計測技術（22技術）、非破壊検査技術（19技術）、計測・モニタリング技術（11技術）の3つに分類されるが、現状では全ての部位及び変状を点検できる新技術は開発されておらず、特異な部位や変状の種類に着目した新技術もあり、適用条件や範囲が限定される。

ここで、「点検支援技術性能カタログ（R4.9 国土交通省）」より、画像計測技術と非破壊検査技術についての対象とする部位と変状の種類について図-3.4及び3.5にまとめた。

これによれば、以下のとおりである。

- ・画像計測技術における対象部位は、覆工表面、附属物、補修箇所、その他が多く、あくまでも写真撮影等による画像上で確認できる部位である。
- ・画像計測技術における変状の種類は、圧ざ・ひび割れ、うき・はく離、漏水等広範囲を対象にしている。ただし、うき・はく離についてはチョーキングで示されたもの、うきが不可能なものも含まれており、別途打音検査が必要とされるものも多い。
- ・非破壊検査技術における対象部位は、覆工の表面、覆工内部、覆工の背面（地山）が多い。
- ・画像計測技術における変状の種類は、うき・はく離、表面近くの空洞、背面空洞、材質劣化を対象にしたものが多い。

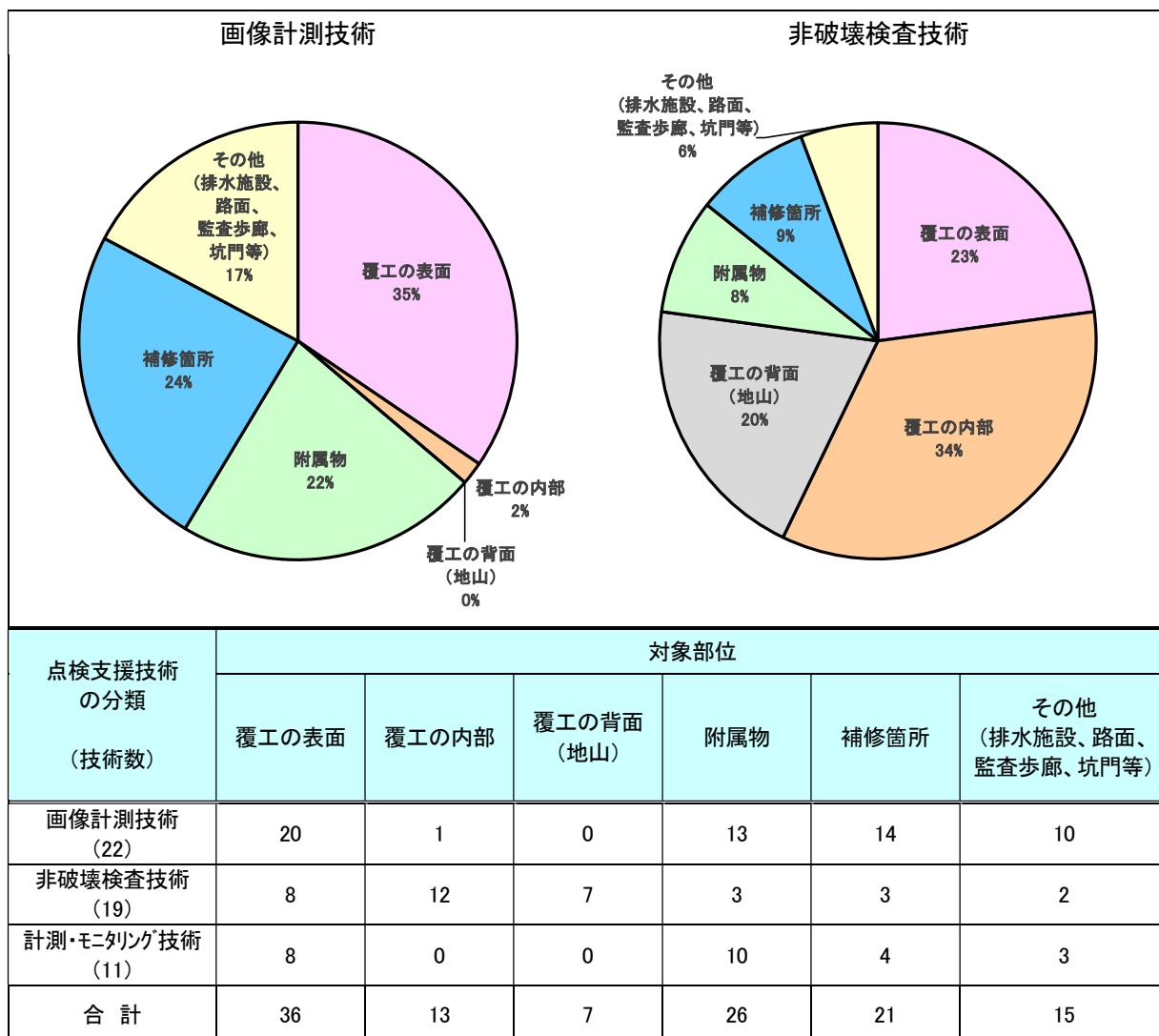
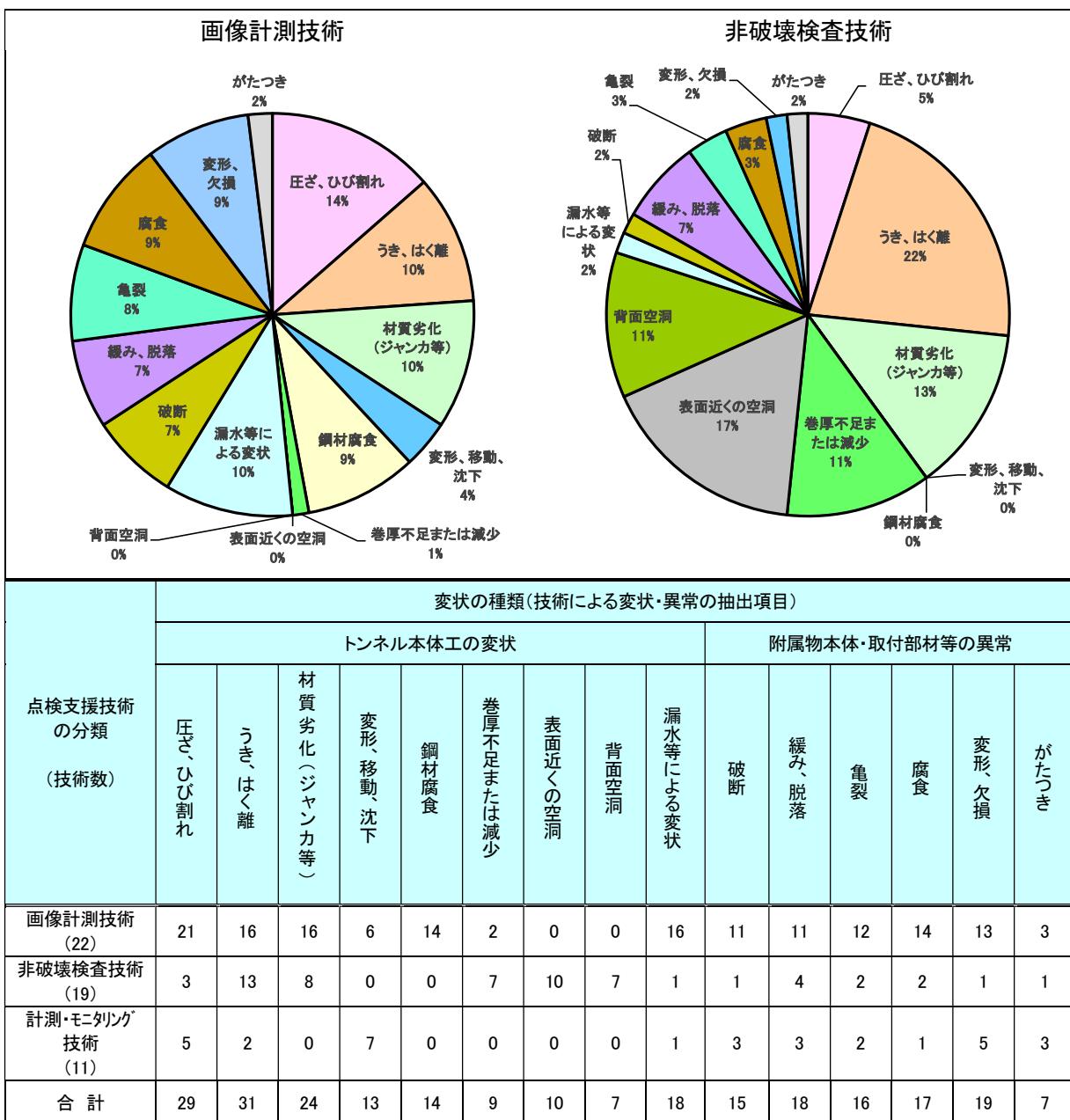


図-3.4 新技術の対象部位



※うき、はく離については、チョーキングで示されたもの、うきは不可能なものも含まれる。

図-3.5 新技術の対象とする変状の種類

また、先述の「2. 対象施設 2.1.2 点検結果の判定区分の割合」で示したように、中之条町の管理トンネル2箇所において、変状が生じている部位としては、覆工の表面が最も多く、変状の種類としては、ひび割れが最も多く生じており、次にうき、漏水等による変状となっている。

ただし、うきについては、愛宕第二隧道の覆工の上下半継目部である迫部がほとんどを占めていることに留意されたい。

以上より、今回は覆工表面のひび割れと漏水等による変状に着目し、新技術の選定を行った。なお、検討にあたっては、中之条町の管理トンネルが2箇所であることから、両トンネルの変状の種類等を踏まえ、各トンネルについて検討を行った。

(3)新技術活用検討の結果

検討する新技術としては、中之条町の管理トンネル2箇所の対象部位と変状の種類を考慮すると、覆工表面のひび割れと漏水等による変状が主体となっており、これに対する新技術としては、画像計測技術の活用が考えられる。

また、トンネル点検においては、トンネル点検車を用いた近接目視が基本であり、現地での変状箇所のスケッチや写真撮影等に時間と労力を費やし、交通規制等も必要となることから、選定にあたってはこれらも考慮して行った。

以上を踏まえ、表-3.15に示した新技術について検討した。

表-3.15 点検支援技術の選定

トンネル名	対象部材	変状種類	従来技術	検討した新技術	
愛宕第一 隧道	覆工の表面 附属物 補修箇所 その他(排水施設、路面、監査歩廊、坑門等)	圧ざ、ひび割れ うき、はく離 材質劣化(ジャンカ等) 鋼材腐食 漏水等による変状	トンネル点検車 による 近接目視	TN010006-V0322	走行型高速3D トンネル点検システム MIMM-R(ミーム・アール) ／MIMM(ミーム)
愛宕第二 隧道					

・走行型高速3Dトンネル点検システム MIMM-R(ミーム・アール)／MIMM(ミーム)

この新技術は、車上に搭載した連続画像撮影システム等を用いて、走行しながら連続撮影でき変状箇所のスケッチや写真撮影作業を削減できるもので、両トンネルに適用できるものと考えられる。

なお、検討にあたっては、MIMMの現場への交通費等を考慮すると、両トンネルを合わせた点検で行った方が有利であることから、両トンネルを合わせて点検した場合とした。

また、撮影した画像等を『国定期点検要領』の様式にそのまま反映することもできる。

以下に、検討結果を示したが、新技術活用によるコスト縮減は見込めないものであった。

点検の効率化・省力化は図れるものの、いずれも新技術の費用が高額であり、結果的には従来技術のコストが有利となる。

今後は、各トンネルの状況を踏まえ、定期点検時には常に新技術の活用を検討していく必要がある。

表-3.16 新技術活用検討結果(愛宕第一隧道・愛宕第二隧道)

	従来技術	新技術																																																		
点検方法	トンネル点検車	走行型高速3Dトンネル点検システム MIMM-R(ミーム・アール)／MIMM(ミーム)																																																		
技術番号 (NETIS番号)	-	TNO10006-V0322 (KK-130026-VE)																																																		
点検方法 概要	道路上に高所作業車を設置し、覆工、附属物等の点検を行う。	トンネル覆工壁面の連続画像撮影システム、高精度3次元レーザー計測システム、非接触レーダー探査システムを車両に搭載し、覆工表面ひび割れや漏水等の変状と、トンネル断面形状、巻厚、背面空洞等を計測する。																																																		
適用範囲	覆工、対策工、附属物等の点検に用いる。	覆工の表面、附属物、補修箇所、その他(排水施設、路面、監査歩廊、坑門等)の点検に用いる。																																																		
イメージ図		 走行型計測車両 MIMM-R 高密度レーザー(100万点/秒) 赤外線内部欠陥レーダー TYPE2内部欠陥センサ 全周18台ビデオカメラ(Full HD 200万画素) ひび割れ、変状を連続撮影装置 図-1 技術概要 國土交通省点検支援技術性能力タログより抜粋																																																		
特徴及び 使用上の 注意点	<ul style="list-style-type: none"> 交通規制が必要 交通誘導員、投稿機材、保安施設が必要 幅員3.5m以上の車道幅を有すること(トラック架装型・伸縮ブーム・プラットフォーム型・作業床高9.9mの場合) 	<ul style="list-style-type: none"> 交通規制が不要であるため、原則として事前の関係機関への申請等手続きは不要 投稿機材は不要 最小ひび割れ幅の検出分解能は0.3mm程度で、ひび割れ幅の検出は0.5mm刻み程度で運用 すす汚れ等がある場合は、一般的な場合は、照明が透過し撮影することは可能であるが、すすが固着して非透過の場合は撮影不能 降雨時はレンズに付いた水滴により鮮明な画像が撮影できないため不可 うきについては、別途打音検査が必要であり、トンネル点検車等も必要 																																																		
経済性	<p>【両トンネルの点検を行う場合】 ※予想点検日数:3.26[(2回目)]</p> <table border="1"> <tbody> <tr><td>①状態の把握(点検)</td><td>269,700円</td></tr> <tr><td>②定期点検記録様式の作成(ケース3)</td><td>61,132円</td></tr> <tr><td>③機械経費(トンネル点検車)</td><td>62,929円</td></tr> <tr><td>④安全費(交通誘導員)</td><td>27,500円</td></tr> <tr><td>⑤投光機材</td><td>8,091円</td></tr> <tr><td>⑥保安施設機材</td><td>80,000円</td></tr> <tr><td>直接人件費(①～②)</td><td>330,832円</td></tr> <tr><td>直接経費(③～⑥)</td><td>178,520円</td></tr> <tr><td>その他原価</td><td>178,153円</td></tr> <tr><td>業務価格</td><td>687,505円</td></tr> <tr><td>一般管理費</td><td>370,221円</td></tr> <tr><td>業務費計</td><td>1,057,726円</td></tr> </tbody> </table> <p>※点検日数及び業務費は、国土交通省道路局「道路トンネル定期点検業務積算資料(暫定版)(平成31年2月)」を参考とした。 ※覆工のみとし、舗装の点検は含まない。 ※④安全費は2人/日で算出。 ※保安施設機材は、実績に基づくものである。 ※定期点検に係る費用のみ算出しており、計画準備費や旅費交通費等は含めない。</p>	①状態の把握(点検)	269,700円	②定期点検記録様式の作成(ケース3)	61,132円	③機械経費(トンネル点検車)	62,929円	④安全費(交通誘導員)	27,500円	⑤投光機材	8,091円	⑥保安施設機材	80,000円	直接人件費(①～②)	330,832円	直接経費(③～⑥)	178,520円	その他原価	178,153円	業務価格	687,505円	一般管理費	370,221円	業務費計	1,057,726円	<p>【両トンネルの点検を行う場合】 ※予想点検日数:1.82[(2回目)]</p> <table border="1"> <tbody> <tr><td>①状態の把握(点検)</td><td>134,849円</td></tr> <tr><td>②定期点検記録様式の作成(ケース3)</td><td>35,960円</td></tr> <tr><td>③機械経費(トンネル点検車)</td><td>30,565円</td></tr> <tr><td>④安全費(交通誘導員)</td><td>8,750円</td></tr> <tr><td>⑤投光機材</td><td>4,045円</td></tr> <tr><td>⑥保安施設機材</td><td>80,000円</td></tr> <tr><td>⑦MIMM</td><td>1,817,000円</td></tr> <tr><td>直接人件費(①～②)</td><td>1170,809円</td></tr> <tr><td>直接経費(③～⑦)</td><td>1,940,360円</td></tr> <tr><td>その他原価</td><td>91,980円</td></tr> <tr><td>業務価格</td><td>2,203,149円</td></tr> <tr><td>一般管理費</td><td>1,186,395円</td></tr> <tr><td>業務費計</td><td>3,389,544円</td></tr> </tbody> </table> <p>※点検日数及び業務費は、国土交通省道路局「道路トンネル定期点検業務積算資料(暫定版)(平成31年2月)」を参考とした。 ※覆工のみとし、舗装の点検は含まない。 ※①状態の把握(点検)、④機械経費(トンネル点検車)等は50%を、②定期点検記録様式の作成は40%をそれぞれ低減した費用。 ※④安全費は2人/日で算出。 ※⑥保安施設機材は、実績に基づくものである。 ※⑦MIMMは、当社調べ(見積)による。 ※⑦MIMMの点検日数は、1日である。 ※定期点検に係る費用のみ算出しており、計画準備費や旅費交通費等は含めない。</p>	①状態の把握(点検)	134,849円	②定期点検記録様式の作成(ケース3)	35,960円	③機械経費(トンネル点検車)	30,565円	④安全費(交通誘導員)	8,750円	⑤投光機材	4,045円	⑥保安施設機材	80,000円	⑦MIMM	1,817,000円	直接人件費(①～②)	1170,809円	直接経費(③～⑦)	1,940,360円	その他原価	91,980円	業務価格	2,203,149円	一般管理費	1,186,395円	業務費計	3,389,544円
①状態の把握(点検)	269,700円																																																			
②定期点検記録様式の作成(ケース3)	61,132円																																																			
③機械経費(トンネル点検車)	62,929円																																																			
④安全費(交通誘導員)	27,500円																																																			
⑤投光機材	8,091円																																																			
⑥保安施設機材	80,000円																																																			
直接人件費(①～②)	330,832円																																																			
直接経費(③～⑥)	178,520円																																																			
その他原価	178,153円																																																			
業務価格	687,505円																																																			
一般管理費	370,221円																																																			
業務費計	1,057,726円																																																			
①状態の把握(点検)	134,849円																																																			
②定期点検記録様式の作成(ケース3)	35,960円																																																			
③機械経費(トンネル点検車)	30,565円																																																			
④安全費(交通誘導員)	8,750円																																																			
⑤投光機材	4,045円																																																			
⑥保安施設機材	80,000円																																																			
⑦MIMM	1,817,000円																																																			
直接人件費(①～②)	1170,809円																																																			
直接経費(③～⑦)	1,940,360円																																																			
その他原価	91,980円																																																			
業務価格	2,203,149円																																																			
一般管理費	1,186,395円																																																			
業務費計	3,389,544円																																																			

※本検討で算出した費用は、従来工法との比較のための参考値である。新技術による点検は、公的歩掛もなく、現地条件によって差が生じるため、正確な金額についてはトンネル毎に現地条件や点検範囲を明確にした上で算出する必要である。

上表に示す通り、予想点検日数3.26日から1.82日と縮減できるが、新技術への置き換えによるコスト縮減効果は得られなかった。理由としては、うきについては別途打音検査が必要であること、新技術の費用が大きいことが挙げられる。

3.6.2 補修工事における新技術活用検討

(1)新技術活用検討の背景

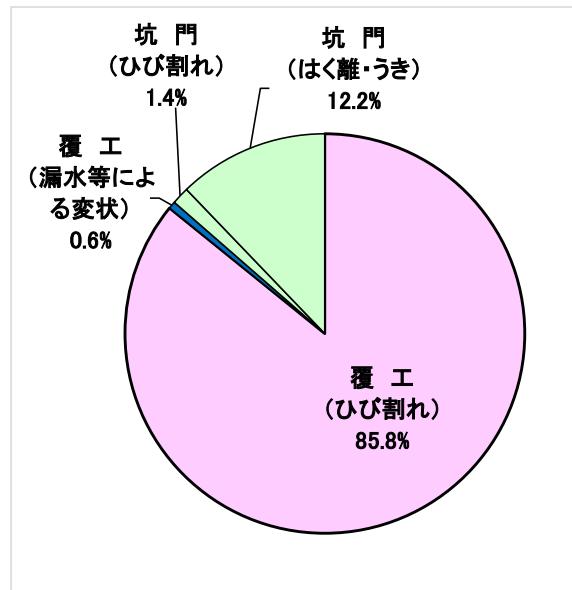
老朽化したトンネルの補修が多くなる一方で、少子高齢化等の影響で税収は減り、橋梁補修に充てられる予算減少が想定される。

このため、トンネルの補修費用を縮減することは、喫緊の課題である。

管理トンネルについて、今後 50 年間の補修費用を試算したところ、その額は約 133 百万円※になる。※『状態監視型予防保全』での事業費の場合

このため、メンテナンスコストの殆どを占める、補修費を削減することは、将来を見据えた時に大きなコスト縮減効果が期待できる。

(2)新技術の選定



※『状態監視型予防保全』での事業費の場合

図-3.6 今後 50 年間の補修工事費用(設計費用除く)の内訳

図-3.6 は、中之条町の今後 50 年間の補修工事費用の内訳である。

なお、定期点検費、補修設計費は含めていない。

これによれば、全体の補修費 約 133 百万円に対し、覆工の補修費が全体の約 86% (約 115 百万円) と多くを占めている。

本検討では、維持管理費の多くを占めている部位に着目して新技術活用の検討を行い、延命化を図るなどしてライフサイクルコストの縮減を目指すこととし、新技術活用検討の対象部位を補修費用の多くを占める覆工とする。

1)新技術選定に関する方針

新技術については、実績もありコスト縮減効果が認められている工法や、これから採用されるであろう実績が少ない工法もあり、様々である。

ただし、対象が補修ということから画期的な効果が見込めるものではなく、少しでもコスト縮減となる工法を採用、開発していくことが重要である。

ここで、中之条町が管理するトンネル2箇所について、定期点検で確認された変状から、想定される一般的な対策工の種類を表-3.17に示した。

表-3.17 対策工の種類(愛宕第一隧道及び愛宕第二隧道共通)

部 位	変状区分	変状種類	対策工の種類
覆工	外 力	ひび割れ うき	繊維シート補強工
		ひび割れ	ひび割れ注入
	材質劣化	ひび割れ うき	繊維シート補強工
		ひび割れ	ひび割れ注入
	漏 水	漏水等による変状	導水樋工
	坑門	ひび割れ	繊維シート補強工
		ひび割れ	ひび割れ注入
		ひび割れ	繊維シート補強工
		ひび割れ	ひび割れ注入
		はく離	断面修復工
		うき	はつり落とし工

今回の検討では、以下の新技術の選定を行った。

- ・愛宕第一隧道、愛宕第二隧道のひび割れ、うきに着目し、繊維シート補強工に代わる新技術の選定。

2)新技術の選定

上記の条件により「新技術情報提供システム（NETIS）」を参考に活用検討する技術を選定した。

表-3.18 補修工法の新技術選定結果

トンネル名	部材	変状種類	従来工法	検討した新技術 (NETIS 登録番号)
愛宕第一隧道 愛宕第二隧道	覆工	ひび割れ うき・はく離	繊維シート補強工	トンネルはく離対策工「ハードメッシュ」 (KT-190006-VR)

以下に、工法の概要とその経済効果の検討結果を示す。

表-3.19 はく落防止工における新技術とその効果(愛宕第一隧道・愛宕第二隧道)

新技術名称	トンネルはく落対策工「ハードメッシュ」
NETIS 番号	KT-190006-VR
工法概要	高剛性の難燃性炭素繊維製グリッドとガラスマッシュを一体化したネット系のトンネルはく落対策工法
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・ハードメッシュは炭素繊維 FRP 格子筋とガラスマッシュを一体化した、ネット系はく落対策用材料。 ・ガラスマッシュの目が細かいため、小さなコンクリート片のはく落も防止することができる。 ・固定用HMワッシャーには開口部を設けているため、設置後もアンカー近傍の軸体を確認することができる、湧水があっても施工可能。 ・日当り施工量が大きく、作業工程に要する時間が少なくなったため、施工性および経済性の向上、工程の短縮が図れる。経済性向上
概略図等	
経済性	覆工の繊維シート補強工の費用のうち、 41%程度 削減可能

経済効果は以下の通り、50年間で**約46百万円** (50年間の全補修工事費用のうち**約34%※**) のコスト縮減が可能。

※愛宕第一隧道及び愛宕第二隧道の繊維シート補強工 : $111,894 \text{ 千円} \times 0.59\% = 66,017 \text{ 千円}$

差額 $111,894 - 66,017 = 45,877 \text{ 千円}$

状態監視型の全補修工事費用 : $133,439 \text{ 千円}$

$(45,877 \div 133,439) \times 100 = 34.4\%$

(初回補修)								(単位:千円)	
工法	0年目	10年目	20年目	30年目	40年目	50年目	合計	比率	
従来工法	炭素繊維シート	47,780	-	-	47,780	-	-	95,560	1.00
新技術	ハードメッシュ	28,139	-	-	28,139	-	-	56,278	0.59

※対象トンネルは愛宕第一隧道及び愛宕第二隧道の両トンネルとした。
 ※従来工法及び新技術の単価は、当社調べ(メーカー見積)とした(直接工事費で、従来工法:34,300円/m³、新技術:20,200円/m³)。
 ※数量は両トンネルの覆工部で実施する繊維シート補強工の面積1,393m²とした。
 ※耐久性に関しては、従来工法及び新技術共に30年サイクルとした。

3.7 ライフサイクルコストの算出(LCC)

3.7.1 ライフサイクルコスト(LCC)の算出条件等

(1) ライフサイクルコスト(LCC)の算出方針

ライフサイクルコスト (LCC) は、維持管理費用の将来費用とし、単年度ごとの費用の積み上げとする。

算出方針は、以下の通りである。

- ・トンネルの耐用年数(寿命)を考慮せず、本体工の更新費(トンネル撤去・再施工)は計上しない。
- ・中之条町で管理するトンネルは2箇所であることから、各トンネルの本体工補修費(各対策費)をそれぞれ計上する。
- ・図-3.7に示したLCCの構成(本体工補修費、附属物更新費、定期点検費、設計委託費)で算出する。
- ・本体工補修費は、各トンネルのについて、外力、材質劣化、漏水に対する標準的な工種を設定し、各対策費を計上する。
- ・附属物は、両トンネルとも設置されていないことから計上しない。
- ・LCCの計算期間は本体工の変状の対策余寿命の最長期間30年を満足する期間として、50年に設定する。

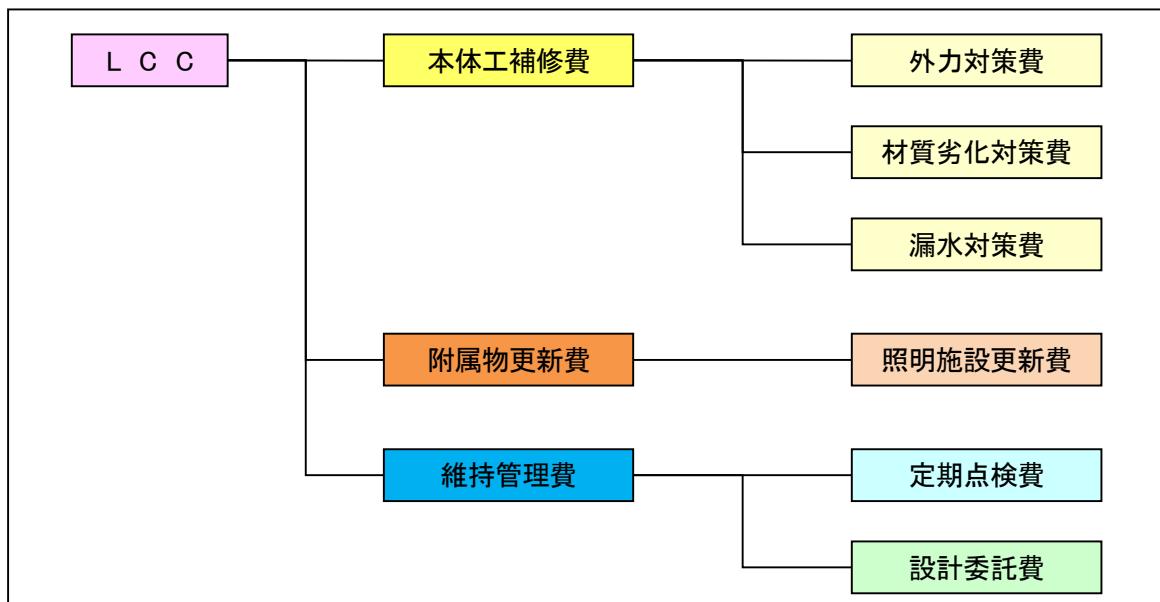


図-3.7 対策費用の構成

1) 本体工の対策工の種類

各トンネルの対策工の種類は、定期点検で確認された変状から、(公社)日本道路協会『道路トンネル維持管理便覧【本体工編】(令和2年8月)』の表-3.20～3.23を参考に、想定される一般的な対策工の種類を表-3.24に示した。

表-3.20 対策の区分と対策の種類

対策の区分 ^{注1)}			対策の分類	対策工の種類	
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 ^{注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 ^{注3)}
				補強セントル工	繊維シート系 ^{注4)} 当て板工 鋼アーチ支保工
○	△			内面補強工	繊維シート ^{注4)} 補強工
					格子筋補強工 成型版接着工 鋼板接着工 ^{注3)}
			覆工内面の補強対策	内卷補強工	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 ^{注5)}
	○		漏水対策	線状の漏水対策工 ^{注6)}	導水樋工 溝切り工 止水注入工(ひび割れ注入)
○ ^{注7)}				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
△ ^{注8)}		○ (凍結防止)		地下水位低下工	水抜き工(水抜きボーリング,水抜き孔) 排水溝工
○			凍結対策	断熱工	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,アンカーエ
○			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、△対策を行うこと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(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、重量が重く樹脂等で接着する場合は、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、ガラス繊維等がある。

注5) 補強セントル工に対し内卷補強工(鋼材補強工)は、ライナーブレート等(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場所打ち工を組み合わせて内卷補強を行う場合もある。

注6) Vカット充填工法も過去に使われていたが耐久性の観点から現在では採用していない。

注7) 水圧が外力として作用する場合

注8) 凍上圧が作用する場合

【出典】(公社)日本道路協会『道路トンネル維持管理便覧【本体工編】(令和2年8月)』、p.280.】

表-3.21 変状原因に対する外力対策工の一般的な適用区分の目安

変状の機構			外力の作用								覆工耐荷力の不足		備 考	
変状原因			緩み土圧	膨張性土圧	偏土圧・斜面のクリープ 注1)	地すべり 注1)	支持力不足	水圧	凍土圧	近接施工	覆工背面空洞	巻厚不足	インバートなし	
対策の分類と種類														
支保材による保持対策	補強セントル工	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	▽	
覆工内面の補強対策	内面補強工	○	○	○	○			△		○		○		
	内巻補強工	△	△	△	△			△	△	△	△	○		
	場所打ち工他	○	○	○	○			○	○	○	○	◎		
漏水対策	地下水位低下工				△*			○	△					※排水ボーリングとして坑内から施工する場合がある
凍結対策	断熱工								◎					
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	△	◎	◎	○	○			△	○			△	
	アンカーア	△	◎	◎	○	○			△	○			△	
地山改良対策	地山注入工					△*		△						※地山の細粒分の吸出し防止により沈下対策として有効な場合がある
覆工改築対策	覆工改築工	○	○	○	○	○		△	△	○	○	◎		部分改築または全面改築
	インバート工		◎	○	○	○	◎	△	△	△			◎	インバート新設または改築

【凡例】◎非常に有効、○有効、△場合により有効、▽主に応急対策

注 1)坑外からの斜面・地すべり安定化対策が主たる対策となる。

【出典：（公社）日本道路協会『道路トンネル維持管理便覧【本体工編】（令和2年8月）』、p.290.】

表-3.22 変形状態による応急対策工(はく落防止対策)選定の目安

変形状態 注1) と対象部位	変状規模 注2)	(a)パネル系・シート系当て板工					備考	(b)金網・ネット工 注12)		
		対策工(○印の工種を併用して適用)	はつり落とし 工他による 除去 注3)	断面 修復工	ひび割れ 注入工 注5)	当て板工 形鋼系 注6)		対策工(○印の工種を 併用して適用)	形鋼系 当て板工	金網 ・ ネット工 注13)
① ひび割れ沿 いの覆エコ ンクリートの うき・はく離 (ブロック化)	アーチ ・ 側壁	変状面積 A	~0.5 m ² 程度	○除去	○注4)	○		○注4)		○
			0.5 m ² ~1 m ² 程度			○		○	○	
			1 m ² ~4 m ² 程度			○	○注7)	○	○	○
			4 m ² 程度~				個別に検討する			個別に検討する
	横断目地 ・ 水平 打継ぎ目	変状幅 W	~W=0.1m 程度	○除去	○ 注4,注8)			○注4,注9)	注10)	○
			0.1m~0.5m 程度			○		○注4,注9)	注10)	○注14) ○ 注10)
			0.5m 程度~				個別に検討する			個別に検討する
② 覆工材の劣 化1 (豆板、スケ ーリング、巻 厚不足)	アーチ ・ 側壁	変状面積 A	~0.5 m ² 程度	○除去	○注4)	○		○注4)		○
			0.5 m ² ~1 m ² 程度	○除去	○	○		○		○
			1 m ² ~4 m ² 程度		○	○	○注10)	○	○	○
			4 m ² 程度~				個別に検討する			個別に検討する
	横断目地 ・ 水平 打継ぎ目	変状幅 W	~W=0.1m 程度	○除去	○ 注4,注8)			○注4,注9)	注10)	○
			0.1m~0.5m 程度			○		○注4,注9)	注10)	○注14) ○ 注10)
			0.5m 程度~				個別に検討する			個別に検討する
③ 覆工材の劣 化2 (鋼材腐食)	アーチ ・ 側壁	変状面積 A	~0.1 m ² 程度	○除去	○	○		○		
			1 m ² ~4 m ² 程度	○除去	○	○	○注11)	○		
			4 m ² 程度~				個別に検討する			適用外
④ 既設補修材 の劣化	全部位			- 変状した補修材の撤去の可否も含め、覆エコンクリート及び既設補修・補強材の変状状況に応じて、上記①~②に準じて個別に対応する - 材料の選定に当たっては、補修材の材質劣化等の変状原因を考慮したうえで材料、防錆対策等を計画する必要がある						

※本図は、変状の種類と対象部位、変状規模に応じたはく落防止対策の本対策工の選定・組合せの考え方を示したものであり、具体的な各対策工の仕様（材料、強度、設置範囲、固定方法等）については個別に設計して決定する。

注 1) 変状の種類は表-7.2.3 に示す材質劣化の変状の種類に対応する。

注 2) 変状規模の面積 A および幅 W は、図-7.3.3 に示す。

注 3) はつり落としの範囲・深さについては、変状規模や、その形状・厚さを考慮して適切に設定する。とくに、過度なはつり落としは、覆工の断面欠損による耐荷力の低下を招くおそれがあるため、十分注意する。

注 4) 変状規模が小規模なものや、横断目地付近の帶状のブロック化部分について、対策工の設計を行う者が「はつり落とし工」のみで「本対策」を完了できることを判断した場合は、「断面修復工」と「当て板工」を省略できる。この場合、下地処理の「ひび割れ注入工」も省略できる。また、はつり落とした部分の表面に、劣化防止コーティング剤を散布することが望ましい。なお、鉄筋コンクリート覆工においては、必要に応じて鉄筋の防錆対策を併用したうえで、必ず断面修復工を適用することを基本とする。

注 5) 経年で粉じん等が付着した無筋コンクリートのひび割れに対し、ひび割れ注入工を単独で適用しても、対策効果が期待できない。このため本工法は鉄筋コンクリート覆工の鉄筋防錆対策または当て板工（パネル系、繊維シート系）の下地処理のみに限って適用する。なお、建設直後の段階では、ひび割れの補修として単独で適用する場合もある。

- 注 6) 自重の重いパネル系当て板工（鋼板）や、形鋼系当て板工を適用する場合は、鋼板や形鋼が、発錆または定着力不足等で長期的に劣化して落下しないよう、防錆処理を講じたり、アンカー定着長を十分長くとるなどの考慮が必要である。また、繊維シート系当て板工は、炭素繊維シート（クロスマッシュ、200g/m²目付）を想定しており、同繊維シートより低強度のものを用いる場合は、変状規模に応じ個別に検討を要する。
- 注 7) 当て板工にパネル系（鋼板）を適用する場合は、繊維シート系に比べ剛性が高いため、対策工の設計を行う者の判断で形鋼の併用を省略できる。
- 注 8) 注 3) と同様であるが、目地モルタル（水平打継ぎ目部）には覆工上部の荷重を円滑に側壁に伝達する役割があり、目地モルタルを過度に除去した場合は、所定の強度のモルタルで断面修復を行うことを基本とする。なお、化粧モルタルや、目地モルタルであっても表層部分を除去した程度で、構造上の問題が生じない場合は、はつり落とし工のみで対応することができる。
- 注 9) 横断目地や水平打継ぎ目をまたいで繊維シート系当て板工を適用すると、漏水や目地等の開口量の季節変動（覆工コンクリートの温度膨張・収縮）等により、シートが破断・はく離するおそれがある。このため目地等をまたがない構造とする、他のパネル系当て板工等を適用するなど、繊維シート系当て板工の目地・打継ぎ目周辺への適用に際しては十分注意する必要がある。
- 注 10) 横断目地、水平打継ぎ目に漏水が発生している場合、導線樋工、溝切り工の適用によって、はく落箇所の防護もしくは除去ができる場合があるので「漏水対策」も含めて対策を検討する。
- 注 11) 当て板工（パネル系または繊維シート系）単独で対策効果が得られると対策工の設計者が判断した場合は、形鋼の併用を省略できる。
- 注 12) 金網・ネット工の適用条件には制約がある。詳しくは「7-3-2(4) 金網・ネット工の本対策工への適用について」を参照
- 注 13) 金網・ネット工は、応急措置（たたき落とし）を行ったうえで適用する。なお、はつり落とし工による変状箇所の過度な除去は避ける。
- 注 14) 金網・ネット工単独で対策効果が得られると対策工の設計者が判断した場合は、形鋼の併用を省略できる。

【出典：（公社）日本道路協会『道路トンネル維持管理便覧【本体工編】（令和2年8月）』、p.296-297.】

表-3.23 漏水形態による本対策工選定の目安

漏水箇所	漏水形態	漏水量 注2)	内空断面余裕	本対策工(該当工法を併用して適用)							備考	
				線状の対策			面状の対策		地下水位低下			
				導水 樋工 注3)	溝切り 工 注3)	止水 注入 工	防水 パネ ル工 注3)	防水塗 布工	水抜き 工 ^{注4)}	排水溝 工		
アーチ側壁	面状の漏水	複数ひび割れからの漏水 ^{注1)}	多量	あり			○		△			
				なし				△ ^{注6)}	△			
			少量	○ ^{注5)}	○				△		注7)	
				あり			○					
		豆板等の材質劣化部からの漏水	多量	なし				△ ^{注6)}	△			
				あり			○		△			
			少量	なし	○ ^{注5)}	○					注7)	
				あり			○				個別検討 ^{注8)}	
		単一ひび割れからの漏水 ^{注1)}	多量	なし	○ ^{注5)}	△ ^{注9)}			△			
				あり	○		△ ^{注9)}		△			
			少量	なし	○ ^{注5)}	△ ^{注9)}			△			
				あり	○				△			
横断目地	線状の漏水	横断目地からの漏水	多量	なし	○				△			
				あり	○				△			
			少量	なし	○				△			
				あり					△			
水平打継ぎ目	水平打継ぎ目からの漏水	多量	なし	○			○		△		注10)	
			少量	あり			○		△		注10)	
				なし	○				△			
				あり			△					
路面	滯水、自噴	—	—	—	—	—	—	—	△	○		
既設漏水対策工の劣化・破損		—	—	(公社)日本道路協会『道路トンネル維持管理便覧【本体工編】(令和2年8月)』p302の表-7.3.4 参照								

【凡例】○適用可能、△一定条件の下で適用可能

注1) 山岳トンネル工法のトンネルに発生したひび割れに対しては、調査等により外力対策の要否を判断したうえで、漏水対策のみ適用すればよい場合に、本表を適用することができる。また、水平方向のひび割れからの漏水に対して、樋工や溝切り工を適用しても、再漏水が生じやすいため、防水パネル工の適否についても比較検討して工法選定を行うことが望ましい。

注2) 漏水量少量：滴水、にじみ程度、多量：噴出、流下。湧水量少量で「判定区分IV」となるのは漏水が凍結（つらら、側氷発生）する場合であり、この場合「本対策」は寒冷地のみに適用される。

注3) 導水樋工、溝切り工、防水パネル工には断熱材製品があり、寒冷地で断熱工として適用できる。

注4) 漏水量が非常に多い場合は、水抜き工（水抜きボーリング、水抜き孔）を併用することで漏水量の低減を図る。

注5) 覆工に欠損部を生じさせる過度な溝切り工の適用は、覆工自体の耐荷力の減少を招くおそれがあり、十分注意する必要がある。

注6) 内空断面余裕が30mm程度であれば「防水塗布工」を適用できる。ただし「7-4-3 (2) 3」防水塗布工に示すように、直塗り（吹付け含む）タイプは長期的に材料が落下するおそれがあるため適用できない。また低温下の気象条件（防水シート背面で漏水が凍結膨張し、ひび割れが発生するおそれがある）では原則として適用を避ける。

注7) 内空断面余裕がほとんどない場合の方法。溝切り工と止水注入工を適宜組み合わせる。

注8) 標準的に適用できる対策工法がないため、部位や状況を考慮したうえで個別検討が必要である。

注9) ひび割れが複雑に屈曲している場合で、直線的な樋工、溝切り工の適用が困難な場合に併用する。

注10) 水平打継ぎ目に溝切り工を適用しても、再漏水が発生し易いため、防水パネル工を適用する方が望ましい。

注11) 本表に示す漏水の対策工法の組合せは、標準的な漏水対策を想定しており、下記の条件では個別に検討する必要がある。

①防水型山岳トンネル工法のトンネルもしくは、シールド工法等の山岳トンネル工法以外の工法で施工されたトンネル

②覆工コンクリートの巻圧が極めて薄く、あるいは材質劣化が進行していて、漏水対策材料の固定改良や、溝切り工等による断面欠損によって極端な覆工耐荷力の低下が予想される場合

③「はく落防止対策」ならびに「外力対策」の「本対策」を併用する場合

④山岳トンネル工法で施工されたトンネルで、ひび割れ等から漏水している場合。このような場合は、必ずしも漏水箇所で防水シートが破損しているわけではないので、止水注入工等の止水対策を適用すると、覆工と防水シートとの隙間に地下水が滯水し、覆工に水圧が作用する場合があることに留意する必要がある。

⑤寒冷地で断熱型導水材を用いても漏水が凍結する、あるいは凍上圧対策が必要な場合

【出典：（公社）日本道路協会『道路トンネル維持管理便覧【本体工編】（令和2年8月）』、p.301.】

表-3.24 対策工の種類(愛宕第一隧道及び愛宕第二隧道共通)

部 位	変状区分	変状種類	対策工の種類	備 考
覆工	外 力	ひび割れ うき	繊維シート補強工	ひび割れ及びうきは、既設補修材(吹付コンクリート)の劣化であり、表-3.22 の「④既設補修材の劣化」に該当する。 検討の結果、内面補強工(繊維シート補強工)とする。
		ひび割れ	ひび割れ注入	側壁部の単一ひび割れについては、ひび割れ注入とする。
	材質劣化	ひび割れ うき	繊維シート補強工	ひび割れ及びうきは、既設補修材(吹付コンクリート)の劣化であり、表-3.22 の「④既設補修材の劣化」に該当する。 検討の結果、内面補強工(繊維シート補強工)とする。
		ひび割れ	ひび割れ注入	側壁部の単一ひび割れについては、ひび割れ注入とする。
	漏 水	漏水等による変状	導水樋工	主として単一ひび割れからの漏水であり、漏水量も滴水及びにじみ程度であることから、表-3.23 より導水樋工とする。
	坑門	ひび割れ	繊維シート補強工	ひびわれ幅の大きいものについては、繊維シート補強工とする。
		ひび割れ	ひび割れ注入	ひびわれ幅の小さいものについては、ひび割れ注入とする。
		ひび割れ	繊維シート補強工	ひびわれ幅の大きいものについては、繊維シート補強工とする。
		ひび割れ	ひび割れ注入	ひびわれ幅の小さいものについては、ひび割れ注入とする。
		はく離	断面修復工	表面はく離であることから、断面修復工とする。
		うき	はつり落とし工	うきの箇所については、はつり落とし工とする。

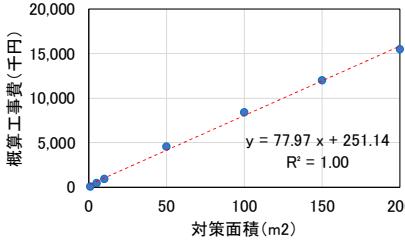
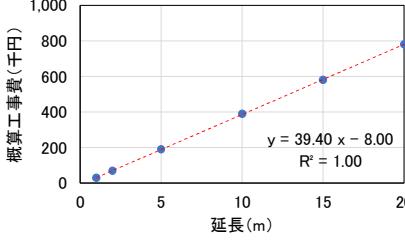
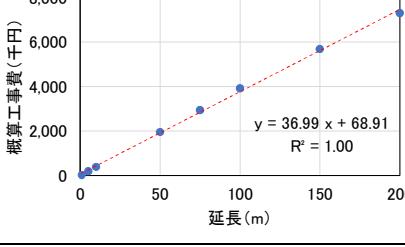
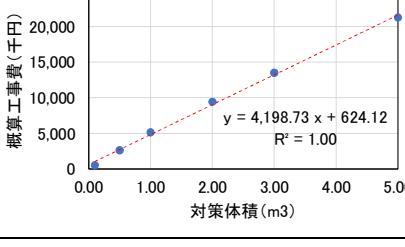
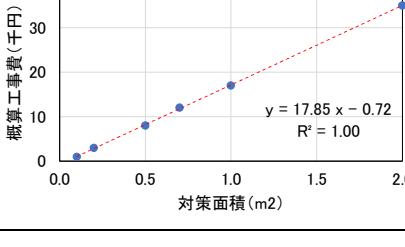
2)附属物の更新費用

附属物は、両トンネルとも設置されていないことから考慮しないものとする。

3) 対策工の費用

各トンネルの対策工の費用は、表-3.25 に示した通りである。

表-3.25 単価及び費用(愛宕第一隧道、愛宕第二隧道共通)

部位	変状区分	変状種類	対策工の種類	単価及び費用	
覆工 ・ 坑門	外力 材質劣化	ひび割れ うき	繊維シート補強工	 <p>概算工事費(千円)</p> <p>対策面積(m²)</p> <p>$y = 77.97x + 251.14$ $R^2 = 1.00$</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・x は対策面積(m²) ・繊維シートは炭素シート 2 方向を使用 ・下地処理、プライマー塗布、不陸修正、シート本体貼付、樹脂上塗工 ・高所作業車代除く
	外力 材質劣化	ひび割れ	ひび割れ注入	 <p>概算工事費(千円)</p> <p>延長(m)</p> <p>$y = 39.40x - 8.00$ $R^2 = 1.00$</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・x はひび割れ延長(m) ・両トンネルのひび割れ平均幅 0.40mm、深さ 15cm と仮定 ・ひび割れ幅 0.2mm 以上に適用 ・高所作業車代除く
覆工	漏 水	漏水等による変状	導水樋工	 <p>概算工事費(千円)</p> <p>延長(m)</p> <p>$y = 36.99x + 68.91$ $R^2 = 1.00$</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・x 導水樋延長(m) ・標準導水幅 300mm 透明色で算定 ・高所作業車代除く
坑門	材質劣化	はく離	断面修復工	 <p>概算工事費(千円)</p> <p>対策体積(m³)</p> <p>$y = 4,198.73x + 624.12$ $R^2 = 1.00$</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・x は対策体積(m³) ・高所作業車代除く
		うき	はつり落とし工	 <p>概算工事費(千円)</p> <p>対策面積(m²)</p> <p>$y = 17.85x - 0.72$ $R^2 = 1.00$</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・x は対策面積(m²) ・高所作業車代除く

※諸経費を含む。

4) 事後保全型の事業費

ここで、事後保全型の算出は、トンネルについては耐用年数は考慮せず、老朽化による更新は考慮しないことを踏まえ、補強工としての内巻補強工（プレキャスト工）を実施した場合とした。

内巻補強工（プレキャスト工）の算出は、覆工及び坑門（アーチ部）を対象としてひび割れ、うき、はく離等の変状について、先述の「表-3.10 本体工における健全性のランク表」の対策余寿命を用いて、スパン単位で行い、現況補修材（吹付コンクリート）のはつり落とし工も併せて計上した。

なお、坑門面壁の変状については、各変状種類に応じて、表-3.25の単価及び費用を用いて、「表-3.10 本体工における健全性のランク表」の対策余寿命を踏まえ加算した。

附属物については、両トンネルとも設置されていないことから考慮しないものとした。

また、定期点検費及び補修設計費用は、後述する表-3.28と表-3.29を使用した。

表-3.26に、各トンネルの本体工の内巻補強工（プレキャスト工）の数量を、表-3.27に事後保全型の事業費をそれぞれ示す。

表-3.26 内巻補強工（プレキャスト工）の数量

トンネル名	対策区分	対策余寿命	スパン数	対象スパン番号	延長(m)		備考
					各スパン	合計	
愛宕第一隧道	III	3	9	S2	3.39	52.65	
				S3	10.43		
				S4	4.59		
				S5	6.22		
				S6	6.19		
				S7	8.93		
				S8	4.67		
				S9	5.67		
				S10	2.56		
				IIa	10	0.87	0.87
愛宕第二隧道	IIb	30	2	PS			
				S1	1.58	2.18	
				PE	0.60		
				S1	6.90	33.14	
				S4	3.55		
				S9	5.46		
				S10	3.24		
				S11	4.86		
				S13	8.48		
				PE	0.65		
愛宕第二隧道	IIa	10	5	S2	13.73	41.23	
				S3	8.55		
				S5	7.93		
				S6	3.16		
				S7	2.38		
				S14	5.48		
				S8	2.86		
				S15	6.60		
						9.46	

※愛宕第二隧道のスパン番号：S12のみ損傷無し。

表-3.27 事後保全型の事業費

トンネル名	部位	対策工	対策区分	対策余寿命	単位	数量	工事費(千円)	備考
愛宕第一隧道	覆工	内巻補強工	Ⅲ	3	m	52.65	87,630	
			Ⅱa	10	m	0.87	1,730	
			Ⅱb	30	m	2.18	4,350	
		はつり落とし工	Ⅲ	3	m ²	652.9	11,654	
			Ⅱa	10	m ²	10.8	192	
			Ⅱb	30	m ²	27.0	481	
	坑門	ひび割れ注入	Ⅱa	10	m	0.9	27	
			Ⅱb	30	m	13.2	504	
		繊維シート補強工	Ⅱa	10	m ²	1.0	329	
		断面修復工	Ⅱb	30	m ³	3.7	16,159	
		はつり落とし工	Ⅱb	30	m ²	0.1	1	
		合 計					123,057	
愛宕第二隧道	覆工	内巻補強工	Ⅲ	3	m	33.14	52,860	
			Ⅱa	10	m	41.23	64,390	
			Ⅱb	30	m	9.46	16,900	
		はつり落とし工	Ⅲ	3	m ²	410.9	7,334	
			Ⅱa	10	m ²	511.3	9,126	
			Ⅱb	30	m ²	117.3	2,093	
	坑門	繊維シート補強工	Ⅲ	3	m ²	1.3	353	
		はつり落とし工	Ⅱb	30	m ²	5.0	89	
	合 計					153,145		

※内巻補強工の工事費（諸経費込み）については、以下に示した各トンネルの直接工事費（自社調べメーカー見積）を参考にして算出したものである。

- ・愛宕第一隧道：867,000 円/m
- ・愛宕第二隧道：789,000 円/m

(2)維持管理費

維持管理費用として、各トンネルの定期点検費用と補修設計費用を含めた。

1)定期点検費用

定期点検費は、両トンネル合わせて 320万円とする。

なお、両トンネルはこれまで同年度に定期点検を実施していることから、今後も同じサイクルで実施するものとする。

表-3.28 定期点検費用

項目	費用 (千円)	備考
定期点検費	3,200	・状態の把握(点検)(C<0.4 二回目以降) ・定期点検記録様式の作成 ケース3

※諸経費を含む。

2)補修設計費用

補修設計費用は、各トンネルの設計内容を考慮し、以下の通りとする。

表-3.29 補修設計費用

トンネル名	設計内容	補修設計費用 (千円)	備考
愛宕第一隧道	覆工・坑門、漏水対策	6,840	
	覆工・坑門	6,340	
	覆工	5,860	
愛宕第二隧道	覆工・坑門、漏水対策	7,540	
	覆工・坑門	6,810	
	覆工、漏水対策	7,060	
	覆工	6,330	

※当社調べによる。

※諸経費を含む。

※この設計費用はあくまでも参考値であることに留意されたい。実際の正確な金額についてはトンネル毎に現地条件や設計内容等を明確にした上で算出する必要がある。

※設計内容は以下の通りである。

- ・覆工・坑門：ひび割れ注入、表面保護工、繊維シート補強工、はつり落とし工、断面修復工等
- ・漏水対策：導水樋工等

3.7.2 ライフサイクルコスト(LCC)の算出結果

各トンネルの補修に要する概算工事費を表-3.30、3.31に示す。

表-3.30 【愛宕第一隧道】概算工事費(1回当たり)

トンネル名	部位	変状区分	変状種類	項目	対策区分	対策余寿命	単位	数量	単価	金額(千円)
愛宕第一隧道	覆工	外力	ひび割れ	繊維シート補強工	Ⅲ	3	m ²	350.8	y = 77.97 x + 251.14	27,603
					Ⅱa	10	m ²	9.1	y = 77.97 x + 251.14	961
					Ⅱb	30	m ²	5.6	y = 77.97 x + 251.14	688
		ひび割れ	ひび割れ注入	ひび割れ注入	Ⅲ	3	m	5.0	y = 39.40 x - 8.00	189
					Ⅱa	10	m	7.0	y = 39.40 x - 8.00	268
					Ⅱb	30	m	4.0	y = 39.40 x - 8.00	150
		材質劣化	うき	繊維シート補強工	Ⅲ	3	m ²		y = 77.97 x + 251.14	-
					Ⅲ	3	m ²	86.1	y = 77.97 x + 251.14	6,964
					Ⅱa	10	m ²	2.0	y = 77.97 x + 251.14	407
	坑門	外力	ひび割れ	繊維シート補強工	Ⅱb	30	m ²	-	y = 77.97 x + 251.14	-
					Ⅲ	3	m	11.0	y = 39.40 x - 8.00	425
					Ⅱa	10	m	4.5	y = 39.40 x - 8.00	169
		材質劣化	ひび割れ	ひび割れ注入	Ⅱb	30	m	4.6	y = 39.40 x - 8.00	173
					Ⅲ	3	m ²	64.7	y = 77.97 x + 251.14	5,296
					Ⅱa	10	m ²	8.4	y = 77.97 x + 251.14	906
		うき	繊維シート補強工	繊維シート補強工	Ⅱb	30	m ²	84.4	y = 77.97 x + 251.14	6,832
					Ⅱa	30	m	6.3	y = 36.99 x + 68.91	302
					Ⅱa	10	m	0.9	y = 39.40 x - 8.00	27
延長 L=55.7m		外力	ひび割れ	ひび割れ注入	Ⅱb	30	m	12.0	y = 39.40 x - 8.00	465
					Ⅱa	10	m ²	1.0	y = 77.97 x + 251.14	329
		材質劣化	ひび割れ	繊維シート補強工	Ⅱb	30	m ²	1.2	y = 39.40 x - 8.00	39
					Ⅱa	30	m ³	3.7	y = 4,198.73 x + 624.12	16,159
			ひび割れ	ひび割れ注入	Ⅱb	30	m ²	0.1	y = 17.85 x - 0.72	1
		はく離	断面修復工	断面修復工	Ⅱb	30	m ²			
		うき	はつり落とし工	はつり落とし工	Ⅱb	30	m ²			
									計	68,353

表-3.31 【愛宕第二隧道】概算工事費(1回当り)

トンネル名	部位	変状区分	変状種類	項目	対策区分	対策余寿命	単位	数量	単価	金額(千円)
愛宕 第二 隧道	外力	ひび割れ	繊維シート補強工	Ⅲ	3	m ²	303.2	y = 77.97 x + 251.14	23,892	
				Ⅱa	10	m ²	276.0	y = 77.97 x + 251.14	21,771	
				Ⅱb	30	m ²	—	y = 77.97 x + 251.14	—	
		ひび割れ	ひび割れ注入	Ⅱb	30	m	7.8	y = 39.40 x - 8.00	299	
		うき	繊維シート補強工	Ⅱb	30	m ²	—	y = 77.97 x + 251.14	—	
	材質劣化	ひび割れ	繊維シート補強工	Ⅱa	10	m ²	80.0	y = 77.97 x + 251.14	6,489	
		Ⅱb	繊維シート補強工	Ⅱb	30	m ²	119.4	y = 77.97 x + 251.14	9,561	
		ひび割れ	ひび割れ注入	Ⅱa	10	m	6.3	y = 39.40 x - 8.00	240	
		Ⅱb	ひび割れ注入	Ⅱb	30	m	17.8	y = 39.40 x - 8.00	693	
		うき	繊維シート補強工	Ⅱa	10	m ²	—	y = 77.97 x + 251.14	—	
		Ⅱb	繊維シート補強工	Ⅱb	30	m ²	3.5	y = 77.97 x + 251.14	524	
	漏水	漏水等による変状	導水樋工	Ⅱa	30	m	11.3	y = 36.99 x + 68.91	487	
	坑門	外力	ひび割れ	繊維シート補強工	Ⅲ	3	m	1.3	y = 77.97 x + 251.14	353
		ひび割れ	繊維シート補強工	Ⅲ	3	m ²	5.6	y = 77.97 x + 251.14	688	
		うき	はつり落とし工	Ⅱb	30	m ²	5.0	y = 17.85 x - 0.72	89	
延長 L=89.3m								計		65,086

次に、表-3.32 に、ライフサイクルコスト(LCC)の算出結果を示す。
 また、その内訳を表-3.33 及び3.34 に示す。

表-3.32 ライフサイクルコスト

トンネル名	分 類	建設年次	トンネル長(m)	ライフサイクルコスト(LCC) (千円)			コスト縮減シナリオ	
				状態監視型 予防保全	事後保全型	比較	シナリオ	LCC (千円)
愛宕 第一隧道	陸上トンネル (矢板工法)	1943	55.7	87,393	141,597	54,204	状態監視型 予防保全	87,393
愛宕 第二隧道	陸上トンネル (矢板工法)	1943	89.3	85,766	173,095	87,329	状態監視型 予防保全	85,766
定期点検費※				32,000	32,000	0	-	32,000

※定期点検費は、両トンネルを同時に実施した場合である。

表-3.33 【愛宕第一隧道】ライフサイクルコストの内訳

シナリオ	部位	変状区分	変状種類	項目	対策区分	対策余寿命	金額(千円)	備考				
状態監視型 予防保全	覆工	外力	ひび割れ	繊維シート補強工	Ⅲ	3	27,603					
					Ⅱa	10	961					
					Ⅱb	30	688					
		材質劣化	ひび割れ	ひび割れ注入	Ⅲ	3	189					
					Ⅱa	10	268					
					Ⅱb	30	150					
		うき	繊維シート補強工		Ⅲ	3	-					
					Ⅲ	3	6,964					
					Ⅱa	10	407					
	坑門	外力	ひび割れ	繊維シート補強工	Ⅱb	30	-					
					Ⅲ	3	425					
					Ⅱa	10	169					
		材質劣化	ひび割れ	ひび割れ注入	Ⅱb	30	173					
					Ⅲ	3	5,296					
					Ⅱa	10	906					
		うき	繊維シート補強工		Ⅱb	30	6,832					
					Ⅲ	3	302					
					Ⅱa	10	27					
事後保全型	覆工	外力 材質劣化	ひび割れ うき	ひび割れ注入	Ⅱb	30	465					
					Ⅲ	3	329					
					Ⅱa	10	39					
		材質劣化	ひび割れ ひび割れ はく離 うき	繊維シート補強工 ひび割れ注入 断面修復工 はつり落とし工	Ⅱb	30	16,159					
					Ⅲ	3	1					
					Ⅱa	10	11,654					
	坑門	外力 材質劣化	ひび割れ うき	はつり落とし工	Ⅱb	30	192					
					Ⅲ	3	481					
					Ⅱa	10	504					
		材質劣化	ひび割れ ひび割れ はく離 うき	繊維シート補強工 断面修復工 はつり落とし工	Ⅱb	30	329					
					Ⅲ	3	16,159					
					Ⅱa	10	1					
概算工事費							68,353					
補修設計費							19,040					
合計							87,393					
事後保全型	覆工	外力 材質劣化	ひび割れ うき	内巻補強工	Ⅲ	3	87,630					
					Ⅱa	10	1,730					
					Ⅱb	30	4,350					
		外力 材質劣化	ひび割れ うき	はつり落とし工	Ⅲ	3	123,057					
					Ⅱa	10	11,654					
					Ⅱb	30	192					
	坑門	外力 材質劣化	ひび割れ	ひび割れ注入	Ⅲ	3	54,204					
					Ⅱa	10	504					
					Ⅱb	30	329					
		材質劣化	ひび割れ ひび割れ はく離 うき	繊維シート補強工 断面修復工 はつり落とし工	Ⅲ	3	18,540					
					Ⅱa	10	16,159					
					Ⅱb	30	1					
概算工事費							141,597					
補修設計費							18,540					
合計							141,597					
比較				141,597 - 87,393			54,204					
コスト縮減シナリオ				シナリオ			状態監視型 予防保全					
				LCC(千円)			87,393					

※定期点検費については、両トンネルを同時に実施した場合とし、別途32,000千円の費用が発生する。

表-3.34 【愛宕第二隧道】ライフサイクルコストの内訳

シナリオ	部位	変状区分	変状種類	項目	対策区分	対策余寿命	工事費(千円)	備考		
状態監視型 予防保全	覆工	外力	ひび割れ	繊維シート補強工	III	3	23,892			
			ひび割れ		IIa	10	21,771			
			うき		IIb	30	-			
		材質劣化	ひび割れ	ひび割れ注入	IIb	30	299			
			うき		IIb	30	-			
			ひび割れ		IIa	10	6,489			
			ひび割れ		IIb	30	9,561			
			うき		IIa	10	240			
			うき		IIb	30	693			
			漏水		IIa	10	-			
			漏水等による変状		導水樋工	30	524			
	坑門	外力	ひび割れ	繊維シート補強工	III	3	487			
		材質劣化	ひび割れ	繊維シート補強工	III	3	353			
			うき	はつり落とし工	IIb	30	688			
			うき				89			
概算工事費							65,086			
補修設計費							20,680			
合計							85,766			
事後保全型	覆工	外力 材質劣化	ひび割れ うき	内巻補強工	III	3	52,860			
					IIa	10	64,390			
					IIb	30	16,900			
		外力 材質劣化	ひび割れ うき		III	3	7,334			
					IIa	10	9,126			
					IIb	30	2,093			
	坑門	外力	ひび割れ	繊維シート補強工	III	3	353			
		材質劣化	うき	はつり落とし工	IIb	30	89			
概算工事費							153,145			
補修設計費							19,950			
合計							173,095			
比較				173,095 - 85,766			87,329			
コスト縮減シナリオ				シナリオ		状態監視型 予防保全				
				LCC(千円)			85,766			

※定期点検費については、両トンネルを同時に実施した場合とし、別途 36,000 千円の費用が発生する。

3.8 予算制約による平準化

LCC の評価期間内に生ずる概算対策費用を推計した上で、年間予算水準を設定して平準化を図る。

また、長寿命化計画は、この最適化された予算に基づいて、前述の優先順位を考慮して対策を計画する。

対策優先度及び補修費用や架替え費用を反映し、3 つのケースの年間予算に合わせた事業費の平準化を行った。

平準化は、トンネルの部位単位で行うこととし、初めに補修年毎に補修を行うトンネルの部位を収集した。

次に部位を以下の項目で並び替えを行い、補修の優先順位を定めた。

- ①対策区分による優先順位(IV⇒III⇒Ⅱa⇒Ⅱb⇒Ⅰ)
- ②変状区分による優先順位(外力⇒漏水⇒材質劣化)
- ③部位による優先順位(覆工⇒坑門⇒路面)
- ④路線重要度
- ⑤トンネル周辺使用状況

これに基づき、補修の優先順に、部位毎の損傷の補修費用の集計を行った。

なお、補修費用の集計が年間予算を超えた場合、その部位以降の部位全ての補修年を先送りまたは前倒しとした。この手順を補修年全てで行い、補修費用の平準化を行った(図-3.7)。先送り・前倒しによる平準化のイメージを図-3.8 に示す。

ただし、状態監視型であることを踏まえ、定期点検を実施した次の年に補修設計を行うことを基本とした。また、事業は対策余寿命内に着手するものとし、補修設計の次の年から補修工事を行うものとした。さらに、定期点検については定期的なものとし、先送り・前倒しは行わないものとした。

手順(1) 補修を行うトンネル部位を収集



手順(2) 以下の項目で優先順位を設定

- ①対策区分による優先順位(IV⇒III⇒Ⅱa⇒Ⅱb⇒Ⅰ)
- ②変状区分による優先順位(外力⇒漏水⇒材質劣化)
- ③部位による優先順位(覆工⇒坑門⇒路面)
- ④路線重要度
- ⑤トンネル周辺使用状況



手順(3) 優先順に部材の補修費用を集計



手順(4) 補修費用の集計が年間予算を超えた場合、部材の補修年を先送りまたは前倒し

図-3.7 平準化手順(補修年毎)

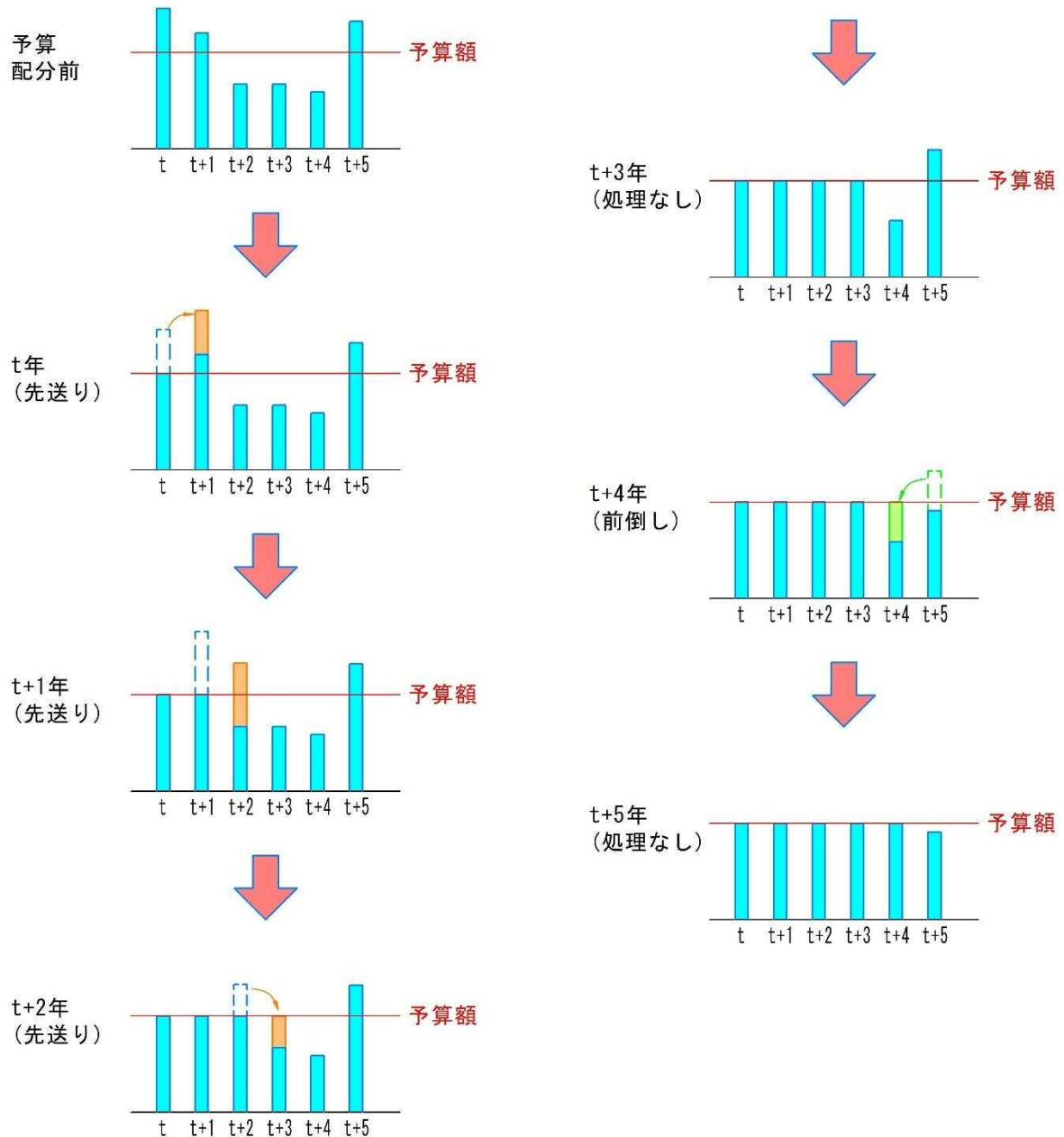


図-3.8 先送り・前倒しによる平準化イメージ

平準化前及び後の事業費用の推移を、図-3.9に示す。

なお、平準化の年間予算については、1,800万円とした。

これは、各トンネルについて、対策工事を概ね2~3年で実施できる予算である。

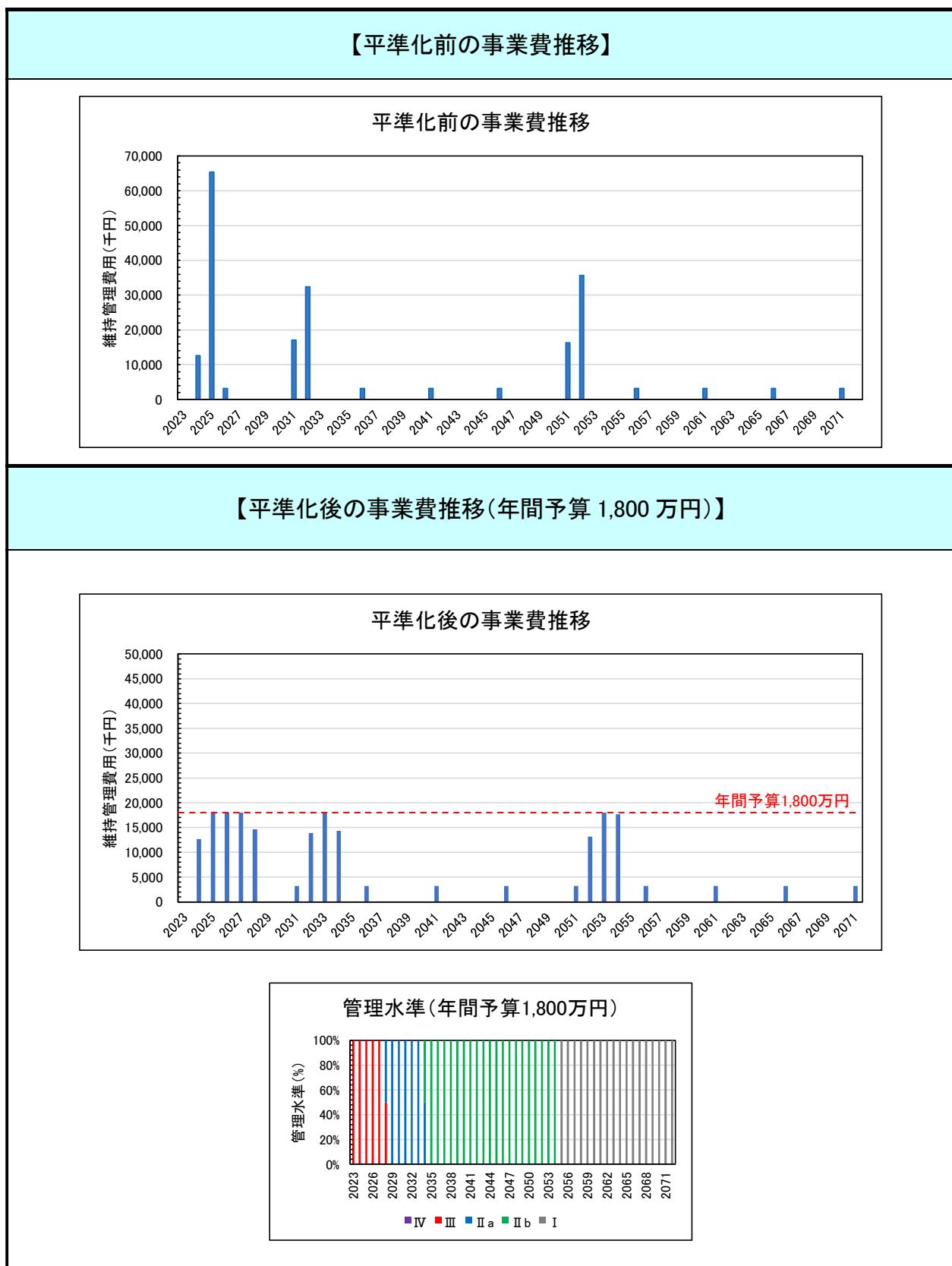


図-3.9 平準化による事業費用の推移

3.9 長寿命化修繕計画による効果(費用)

長寿命化修繕計画による 50 年間でのコスト縮減効果は「約 1.4 億円」である。

今回の長寿命化修繕計画においては、トンネルの耐用年数は考慮せず、老朽化による更新は考慮しないこととし、定期点検で各変状の状態を監視し、劣化の進行（健全性の低下）が確認された変状に対して目標管理水準を下回った時点で予防的に対策を実施する『状態監視型予防保全』の考え方で維持管理を行うものとした。

その結果、計画対象トンネル 2 箇所について「事後保全型」の維持管理による今後 50 年間の費用は、「約 3.5 億円」となり、「状態監視型予防保全」による維持管理を実施した場合の今後 50 年間の費用は、「約 2.1 億円」となる。

よって、長寿命化修繕計画による 50 年間でのコスト縮減効果は、「約 1.4 億円」のが見込まれる。

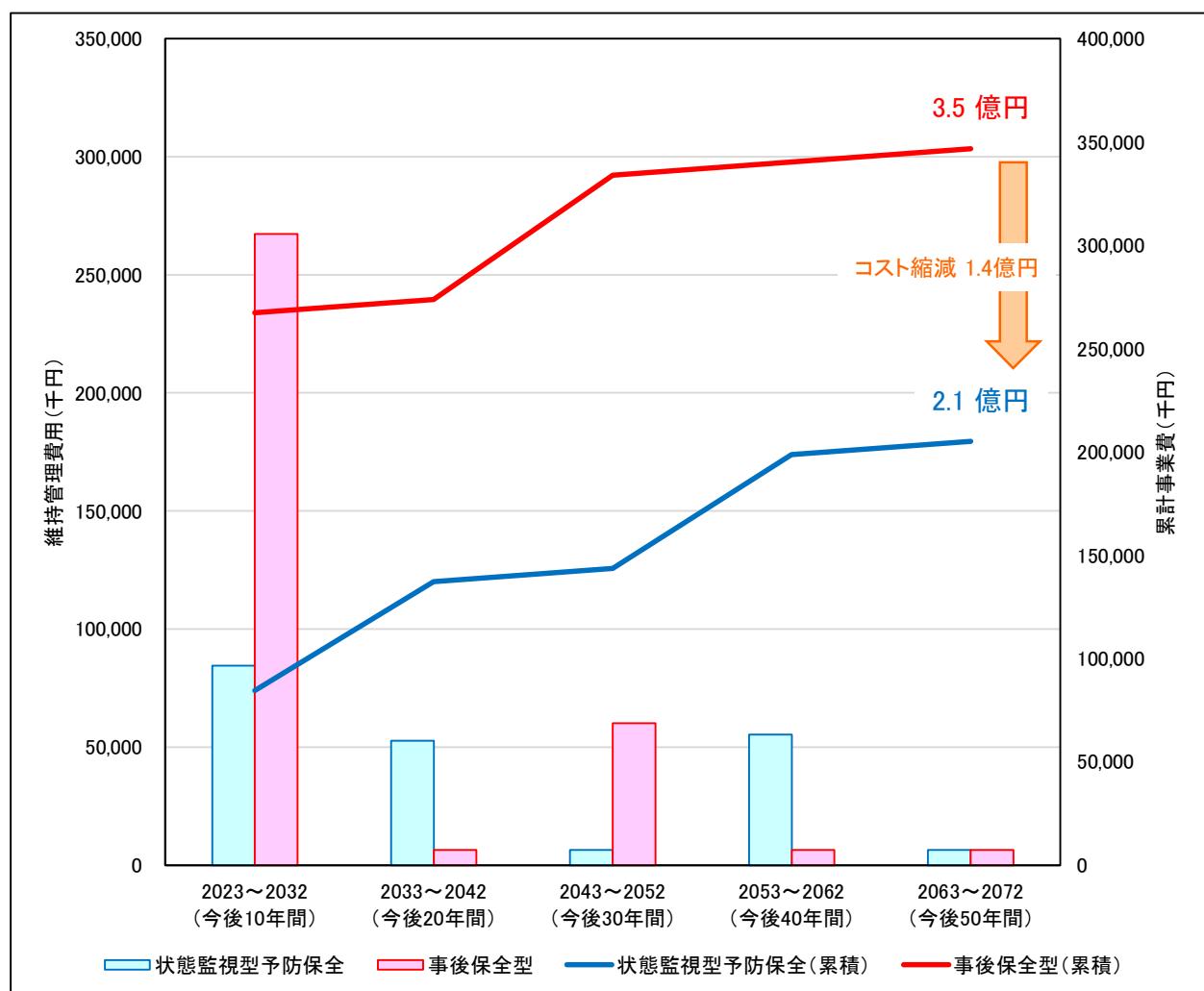


図-3.10 10 年毎の事業費比較図

3.10 費用縮減に関する検討

「3.4 節集約化撤去の方針」、「3.6 新技術等の活用方針」での検討事項を基に、費用縮減に関する検討を行う。

3.10.1 集約化撤去によるコスト縮減効果

「3.4 節集約化撤去の方針」の検討結果で述べたように、中之条町のトンネルについては、その設置場所や必要性から、集約化撤去の検討を進めていくことは極めて困難であり、『状態監視型予防保全』の考えで維持管理を行い、長寿命化を図るものである。

よって、集約化や撤去は行わないことからコスト縮減は見込めない。

3.10.2 定期点検時の新技術活用によるコスト縮減効果

表-3.35 に、「3.6 新技術等の活用方針」の検討結果を示した。

検討の結果、従来点検方法のコストが有利となり、新技術活用によるコスト縮減は見込めないものであった。

点検の効率化・省力化は図れるものの、新技術の費用が高額であり、結果的には従来点検方法のコストが有利となる。

今後は、各トンネルの状況を踏まえ、定期点検時には常に新技術の活用を検討していく必要がある。

表-3.35 点検支援技術の検討結果

検討した新技術	検討結果		
TN010006-V0322	走行型高速3D トンネル点検システム MIMM-R(ミーム・アール) /MIMM(ミーム)	従来点検方法金額 : 1,057,726 円 新技術による金額 : 3,389,544 円 差額 : -2,331,828 円	

※詳細については、「3.6 新技術等の活用方針」を参照されたい。

3.10.3 補修工事の新技術活用によるコスト縮減効果

定期点検と同様に、「3.6 新技術等の活用方針」の検討結果について、コスト縮減効果を整理する。

補修工事の新技術は、部材を延命化し、補修サイクルを延ばすことで、コスト縮減を目指すものである。

このため、5年程度の短期的な期間では、大きなコスト縮減効果を発揮できず、長期的なライフサイクルコストに着目して整理することが重要である。

・はく落防止工における技術活用検討によるコスト縮減効果

表-3.36 はく落防止工におけるコスト縮減効果(愛宕第一隧道・愛宕第二隧道 50年間)

①部材名	覆工		
②従来工法による補修工事金額		=	111,894 千円
③新技術による補修工事金額		=	66,017 千円
④縮減効果【金額】	111,894 - 66,017	=	45,877 千円
⑤縮減効果【率】	$(45,877 \div 111,894) \times 100$	=	41 %

※詳細については、「3.6 新技術等の活用方針」を参照されたい。

「3.6 新技術等の活用方針」及び上表より、新技術を活用することで、初回工事費は約20百万円、50年間で約46百万円のコスト縮減が期待できる。

なお、修繕工事においては、コンクリート部材に対する耐久性及び施工性向上などの新技術の採用を積極的に検討し、トンネル修繕におけるライフサイクルコストの縮減を目指すことが必要である。

3.11 対策内容の実施時期及び対策費用

今後 10 年間の対策内容の実施時期及び対策費用(短期修繕計画)を表-3. 37 に示す。

表-3.37 対策内容の実施時期及び対策費用(短期修繕計画)

優先順位	トンネル名	トンネル分類	延長(m)	LCC 【補修設計費込み】 (千円)	年別費用 (千円)	1年目		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		短期計 (千円)
						2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040			
					修繕費用	0	0	18,000	14,800	18,000	14,610	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
					補修設計費用	0	12,670	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,900		
					点検費用	0	0	0	3,200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,200	0	3,200	0			
					年合計 【対策費用】	0	12,670	18,000	18,000	18,000	14,610	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,900			
1	愛宕第一隧道	陸上トンネル (矢板工法)	55.7	64,285	覆工					繊維シート補強工他	18,000 0	繊維シート補強工他	14,800 0	繊維シート補強工	7,677									53,177		
					坑門																					
					路面																					
					補修設計		補修設計	5,860															補修設計	6,840		
					小計		5,860	18,000	14,800	7,677														6,840		
2	愛宕第二隧道	陸上トンネル (矢板工法)	89.3	82,137	覆工									繊維シート補強工	10,323	繊維シート補強工	13,569								38,803	
					坑門												繊維シート補強工	1,041								
					路面																					
					補修設計		補修設計	6,810															補修設計	7,060		
					小計		6,810							10,323	14,610									7,060		
愛宕第一隧道・愛宕第二隧道				点検費用									3,200										3,200		6,400	