

中土佐町道路トンネル長寿命化修繕計画

1. トンネル維持管理計画の概要

1.1 中土佐町の道路トンネルの現状と課題

中土佐町では、町道伊勢川長野線に計 2 本（総延長 404.2m、2023 年 3 月現在）の道路トンネルを管理しています。いずれも平成年代初頭に施工された比較的新しいトンネルですが、今後、経年とともにトンネルの老朽化が進行し（図 1-1 参照）、これまでのような事後保全的管理（構造物の損傷が顕在化してから補修対策を実施）では、大規模な補修が一時期に集中することとなり、限られた予算の中でトンネルを適切に維持管理できなくなる恐れがあります。

このことから、今後、安全性を確保しつつ合理的にトンネルの保守管理を継続的に取り組むための、戦略的な維持計画の策定が求められています。

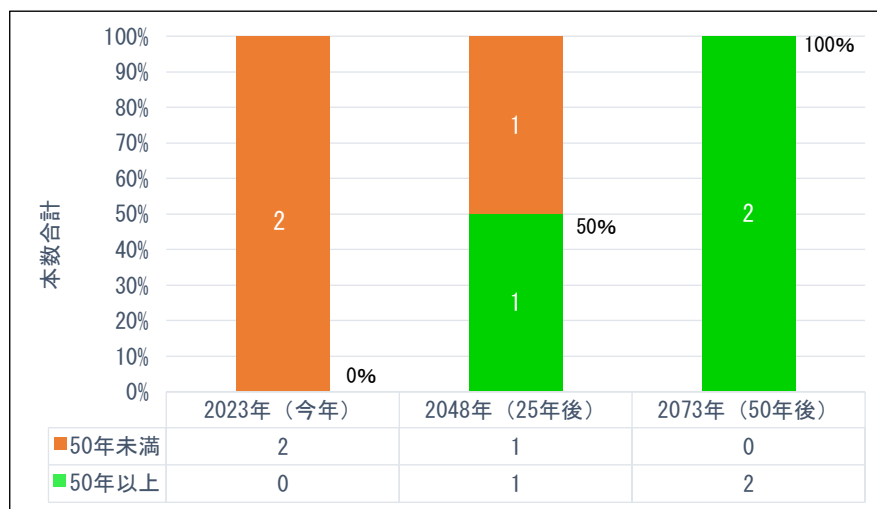


図 1-1 経年に伴うトンネル築年数割合の推移

1.2 中土佐町の道路トンネル維持管理計画の策定に向けて

中土佐町では、道路トンネル維持管理計画の策定に向けて、以下のような方針で臨みます。

1.2.1 道路トンネル維持管理計画の対象

道路トンネルでは、経年に伴ってトンネル本体工の老朽化（ひび割れ、材質劣化、漏水等）が進行するだけでなく、付属施設も標準的な耐用年数を過ぎると、機能低下・故障が発生する場合があります。このため、道路トンネル維持管理計画においては、図 1-2 に示す本体工と付属施設の双方を対象として計画策定を行います。

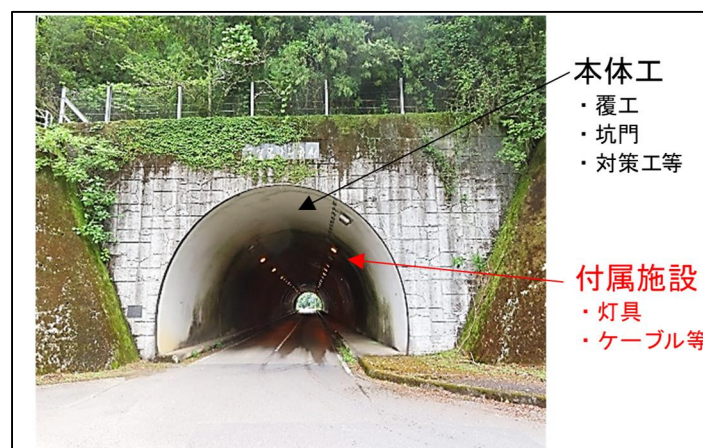


図 1-2 トンネル構造

1.2.2 道路トンネルの定期点検による健全性の診断

中土佐町では、高知県土木部道路課策定の「高知県道路トンネル点検要領（令和3年3月）」に準拠して、管理するトンネルの状況を把握し、トンネルの損傷状況等に応じて適時適切に対応するため定期点検を継続して実施し、変状毎に表1-1に示す判定区分で健全性の診断を行います。また同表に示すIV判定の変状が確認された場合は、トンネル利用者被害を防ぐために応急対策を実施してトンネルの安全性を確保します。点検には、定期点検のほか、日常点検、異常時点検、臨時点検があります。

表 1-1 トンネルの変状区分¹⁾

健全度 ランク ^{注1)}	状態	措置の内容
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。	監視
	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、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。	監視 計画的に対策
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。	早期に対策
IV	利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、緊急 ^{※2)} に対策を講じる必要がある状態。	直ちに対策

注 1) 「道路トンネル定期点検用要領」(H31.3、国土交通省道路局 国道・技術課)に定める対策区分の判定に用いる区分に対応。

注 2) 判定区分IVにおける「緊急」とは、早期に対策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いう。

1.2.3 費用の縮減等に関する具体的な方針

(トンネル維持管理に係るライフサイクルコストの算出と予算最適化)

定期点検結果に基づいて、トンネル維持管理に係るライフサイクルコスト（以下、「LCC」という）を算定します。なおLCC算定に際しては、本体工の補修対策費とともに、図1-2に示した附属施設について、標準的な耐用年数を設定して、施設の全面更新費も計上します。また算定したLCCは、年次によっては予算が集中する場合があるため、優先順位をつけて年間予算の最適化を図ります（図1-3）。

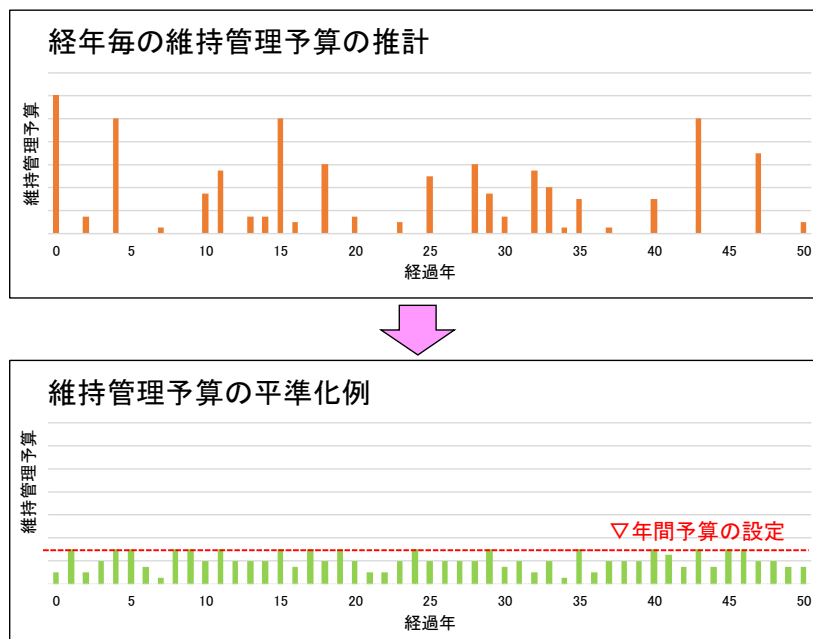


図 1-3 LCC 予算の最適化の概念

1.2.4 老朽化対策における基本方針 (トンネル維持管理計画の策定と実施)

上記の LCC 最適化予算に基づいて、年次計画を策定し、効率的にトンネルの本体工補修対策や付属施設更新を実施していきます。なお以上のような取組は、図 1-4 に示すようなメンテナンスサイクルの一環として、今後、継続的に取り組みを強化し、安全で合理的なトンネルの維持管理を進めていきます。

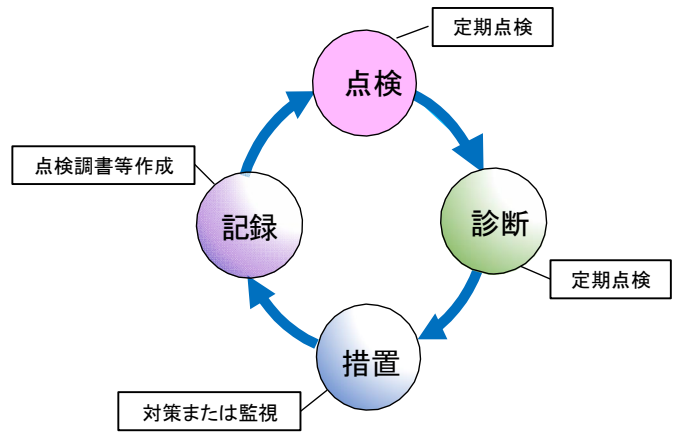


図 1-4 メンテナンスサイクル

2. 計画内容

2.1 対象施設

維持管理計画対象のトンネルは中土佐町が管理する、表 2-1 に示す道路トンネル（山岳工法）を対象とします。

表 2-1 対象トンネルの諸元

番号	路線	トンネル名	建設年次	延長 (m)	幅員(m)			有効高 (m)	側壁	照明施設	点検年度	判定
					車道	歩道	路肩					
1	中土佐町道伊勢川長野線	伊勢川トンネル	平成 11 年	263.20	6.50	3.00	0.50	450	内装なし 覆工	ナトリウム灯	令和 5 年	Ⅲ
2	中土佐町道伊勢川長野線	三ツ又トンネル	平成 6 年	141.00	6.00	1.50	0.50	450	内装なし 覆工	ナトリウム灯	令和 5 年	Ⅲ

また、対象施設は図 2-1 に示した下記の施設を対象とします。

- 1) 本体工：覆工、坑門、路面、路肩、排水施設及び補修・補強材をいいます。
- 2) 付属施設：道路構造令第 34 条に示されるトンネルに付属する換気施設（ジェットファン含む）、照明施設及び非常用施設をいいます。また、上記付属施設を運用するために必要な関連施設、ケーブル類等を含めるものとします。ただし、中土佐町では換気施設及び非常用施設を有するトンネルはないため、照明施設のみが対象となります。



図 2-1 トンネル構造

2.2 トンネル維持管理画策定の考え方

山岳工法で構築された道路トンネル（以下、「トンネル」という）の維持管理計画の策定に際しては、LCC の最適化を目指す予防保全的手法による維持管理を目指す方針とします。

ただし、トンネルは覆工が無筋コンクリートで中性化の影響を受けない、あるいは交通荷重が覆工に作用しない等、構造体の特徴および経年による機能低下（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ことから、表 2-2 に示す考え方に沿ってトンネル長寿命化修繕計画を策定します。

表 2-2 橋梁等一般構造物と山岳トンネルの長寿命化修繕計画の考え方の比較

		橋梁等の一般土木構造物 (鉄筋コンクリート構造物)	山岳トンネル(無筋コンクリート覆工)
維持管理上の特徴	耐用年数	鉄筋等の腐食の進行等により、構造体としての耐荷力が著しく低下する時期が必ず到来するため、 <u>更新(架け替え)時期＝耐用年数(寿命)を考慮する必要がある</u>	トンネルは周辺地山と支保工・覆工等が一体となって地下空間を保持する構造体であるため、地すべり等の特殊要因で地山が不安定化しない限り構造体としての耐荷力が、著しく低下することはない。このため、 <u>トンネルの耐用年数(寿命)は考慮しない</u>
	劣化予測	中性化の進行による鉄筋腐食や、交通荷重の作用による疲労破壊等によって、 <u>構造体の劣化は、ほぼ一律に進行するため、構造物として劣化予測が行える</u>	地質・地下水、気象、コンクリート品質等の諸条件により、同一トンネルでも <u>変状毎に覆工の劣化の進行程度は異なるため、トンネル全体としての劣化予測は困難</u>
長寿命化修繕計画の考え方	事後保全に代わる合理的な維持管理手法	【劣化予測型予防保全】 構造物の劣化がほぼ一律に進行する特徴を有するため、 <u>劣化の傾向を予測し、適切な時期に予防的に対策を実施し、(耐用年数の)延命化を図る</u>	【状態監視型予防保全】 <u>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予防的に対策を実施する</u>
	対策時期	劣化予測により、所定の健全度に達する時期を推定	変状の状態(健全度)に応じて、対策が必要となるまでの推定期間(対策余寿命)を想定
	対策費の特徴	<u>劣化の進行(健全度の低下)に伴い対策費は増加する(鉄筋発錆前と後では対策工種が大きく異なる)</u>	無筋コンクリート主体のため、 <u>変状の進行過程(健全度の低下)で、対策範囲、対策工法及び対策費は基本的に変わらない場合が多い 注¹⁾</u>
	長寿命化修繕計画の考え方	<u>計算期間内で予防保全と事後保全の対策費を比較し、最適な計画を立案(予防保全による延命化により更新費を先送りする)</u>	5年ごとの定期点検(状態監視)によって、目標管理水準を下回った変状(判定区分Ⅲ、Ⅳ)の対策(<u>短期修繕計画</u>)と、目標管理水準に達する前の変状(Ⅱa、Ⅱb)の計画的対策(<u>中長期修繕計画</u>)とを併せて修繕計画を策定し、将来的に <u>対策予算を確保する</u>

注¹⁾ 突発性の崩壊など、一部の変状を除く

2.3 計画期間

トンネル本体工の LCC 評価期間は、1 回の定期点検結果に基づいて判定される健全度毎に設定した対策余寿命（対策が必要とされるまでを推計した期間）の精度等を考慮し、50 年に設定しました。なお、定期点検は、高知県土木部道路課策定の「高知県道路トンネル点検要領（令和 3 年 3 月）」（以下、点検要領）に準拠し、5 年に 1 回の頻度で実施することになることから、この評価期間は定期点検 10 回分の期間を考慮していることになります。

なお、今後定期点検を繰り返す中で、対策余寿命等の精度を向上し、LCC の見直しを適時、実施していく方針とします。

2.4 対策の優先順位の考え方

計算対象のトンネルの優先順位としては、対象となる 2 トンネルが隣接しているため、交通量等に差がありません。そのため、Ⅲ 判定箇所が多い伊勢川トンネルを優位として設定しました。

表 2-3 優先順位付け結果

番号	路線	トンネル名	建設年次	延長 (m)	幅員(m)			有効高 (m)	側壁	照明施設	判定	優先度
					車道	歩道	路肩					
1	中土佐町道伊勢川長野線	伊勢川トンネル	平成 11 年	263.20	6.50	3.00	0.50	450	内装なし 覆工	ナトリウム灯	Ⅲ	1
2	中土佐町道伊勢川長野線	三ツ又トンネル	平成 6 年	141.00	6.00	1.50	0.50	450	内装なし 覆工	ナトリウム灯	Ⅲ	2

2.5 個別施設の状況等

2.5.1 本体工

LCC 計算に用いるデータは、令和 5 年に実施した点検調書より収集しました。収集したデータを集計すると、中土佐町が管理するトンネルの健全度および変状規模の集計結果を表 2-4 に示します。なお、健全度ランクは、表 2-5 に示す 5 段階を用いました。

表 2-4 本体工変状規模の設定

番号	トンネル名	点検年度	過年度および最新の本体工健全度判定結果(対策区分の判定) 変状の規模														
			外力					材質劣化					漏水				
			判定区分	延長(m)				判定区分	変状面積 (㎡)				判定区分	変状面積 (㎡)			
				健全度Ⅳ	健全度Ⅲ	健全度Ⅱa	健全度Ⅱb		健全度Ⅳ	健全度Ⅲ	健全度Ⅱa	健全度Ⅱb		健全度Ⅳ	健全度Ⅲ	健全度Ⅱa	健全度Ⅱb
1	伊勢川トンネル	R5	Ⅱb	0.00	0.00	0.00	7.30	Ⅲ	0.00	0.91	4.12	2.60	I	0.00	0.00	0.00	0.00
2	三ツ又トンネル	R5	I	0.00	0.00	0.00	0.00	Ⅲ	0.00	1.10	0.49	0.66	I	0.00	0.00	0.00	0.00

表 2-5 判定区分（対策区分の判定）

対策区分		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、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。

2.5.2 付属施設

付属施設について下表に整理しました。

表 2-6 付属施設更新費

番号	トンネル名	延長(m)	建設年次	対策費用(千円)							計
				照明施設			非常用施設				
				設置の有無	設置後	更新費千円)	設置の有無	設置年	設置後	更新	
1	伊勢川トンネル	268.2	1999	あり	24	30,510	-	-	-	-	30,510
2	三ツ又トンネル	141.0	1994	あり	29	22,200	-	-	-	-	22,200
計											52,710

注1) 付属施設耐用年数:20 年(一般的な環境でのSUSプレス加工器具の耐用年数)

注2) 更新費は、道路規制費等を含む工事原価である

2.6 対策内容と実施期間

2.6.1 本体工補修対策

トンネル本体工の変状の評価は、点検要領に基づいて表 2-7 に示すように外力、材質劣化、漏水に区分して実施するため、補修対策費もそれぞれの変状区分に対して標準的な対策工法（工事単価）を設定し、変状規模（対策面積等）に工事単価を乗じて対策費 Y を算定します。

表 2-7 変状区分と標準的な対策工の例

区分	外力	材質劣化	漏水
変状状況の例	 偏土圧により斜め方向にひび割れ発生	 覆工面がはく落し、骨材が露出する	 歩道および路面に滞水が発生
標準対策工の例	 ○内巻補強工(繊維シート)	 ○当て板工(繊維シート)	 ○溝切工

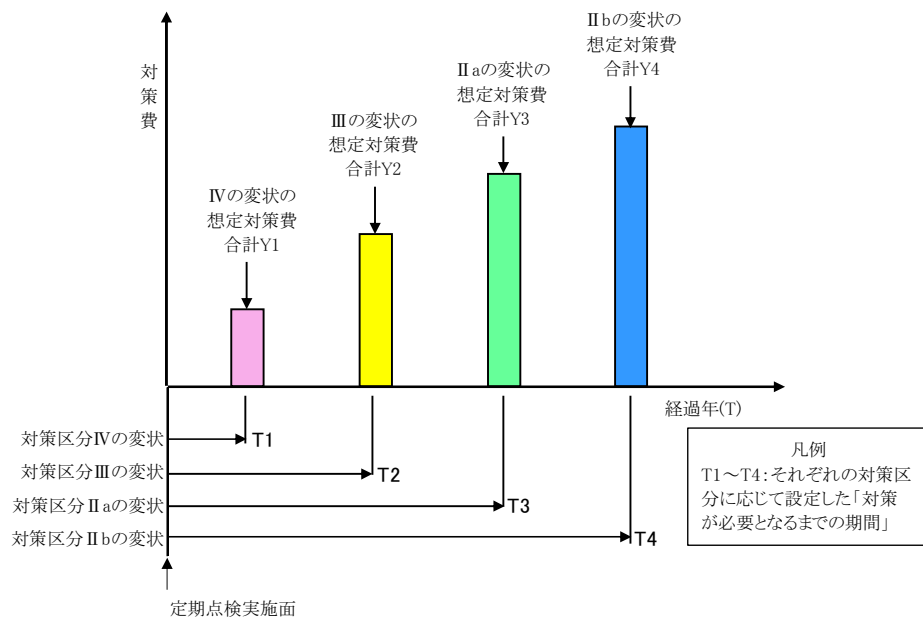
また、対策時期（対策年 T）に関しては、表 2-2 で述べたように道路トンネル（山岳工法）の特徴を考慮して、変状毎に判定した対策区分ごとに、対策が必要となるまでの期間を推計した「対策余寿命」を設定しました。（表 2-8 参照）

表 2-8 対策区分の判定区分と対策余寿命

区 分		定 義	LCC 計算上、対策が必要となるまでの年数の目安 (対策余寿命)
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。	30 年
	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。	10 年
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。	3 年
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。	1 年

※I 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。

以上より対策年 T 毎に対策費 Y を集計することで、将来の一定期間内で発生する補修費用をライフサイクルコスト LCC として算出（図 2-2）します。



注) 各工法において、対策実施年より想定耐用年数が経過した年に、その対策工の更新費(再施工)を別途、見込む。

図 2-2 LCC の算出の考え方

2.6.2 付属施設更新費

中土佐町のトンネルには非常用設備が設置されたトンネルはないため、照明設備のある 2 トンネルで更新費を検討しました。通常、照明設備の概算工事費は、トンネル延長に比例して照明灯具個数が増加するため、トンネル延長との相関関係から概算単価が決定することが多いとされます。しかしながら照明設備更新費は高額になり維持管理計画に大きく影響を及ぼすことが容易に想定され、また費用はトンネル断面および坑口野外輝度により金額が大きく異なります。このことから、対象トンネルの具体的な照明灯具の配置を考慮したうえで工事費を算出しました。

2.6.3 その他費用

維持管理計画には定期点検や各種設計に要する費用についても考慮しています。

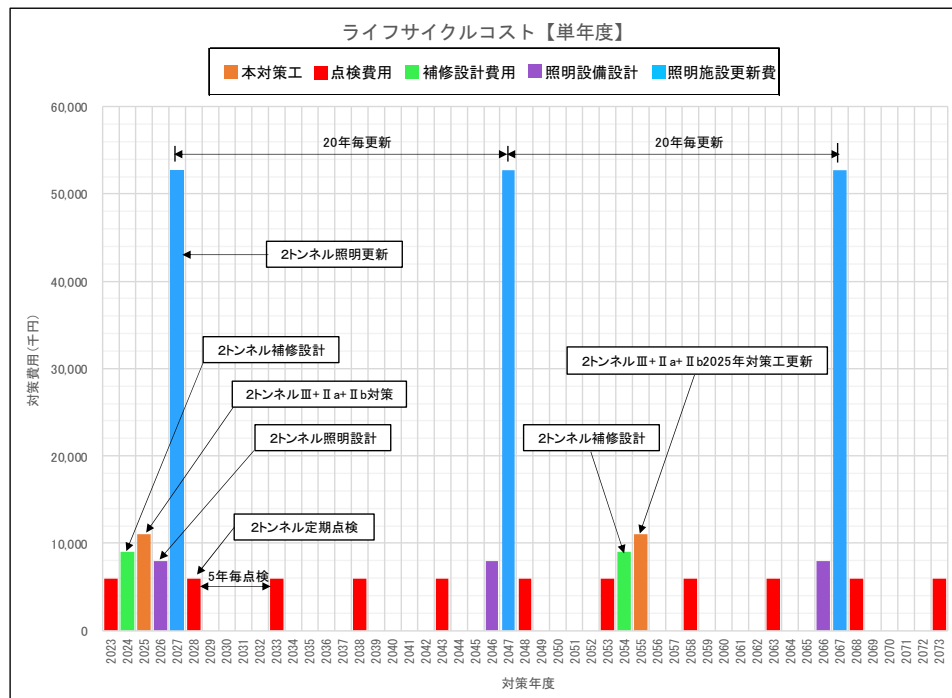
2.7 対策費用

LCC 評価期間内に発生する概算費用の推計結果は図 2-3 に示した通りです。

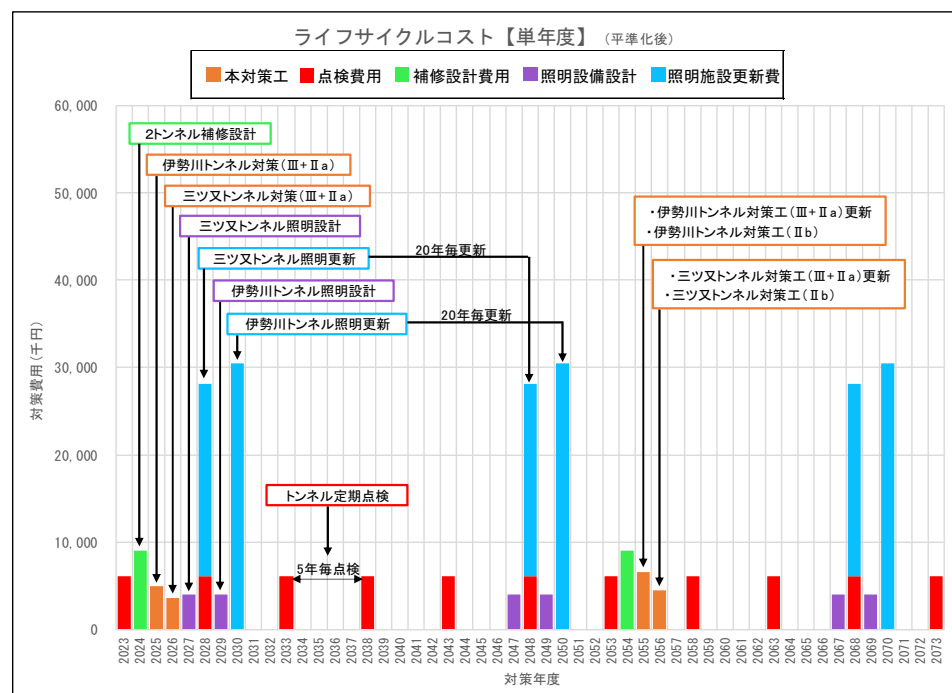
点検結果より 2 トンネル共にⅢ判定（早期に対策を講じる必要がある）が確認されています。また、三ツ又トンネルで照明設備本体に一部腐食が見られますが緊急性は有りません。

よって、CASE1 及び CASE2 共にⅢ判定は点検後 3 年程度以内での対策が必要（表 2-8 参照）でありますので本対策工を優先とし照明更新を後送りとする計画としました。

CASE1 では照明更新費が高額になることが解ります。維持管理の実情としてⅢに合わせてⅡaを一括対策することが多いことから、CASE2 ではⅢあわせてⅡaを対策し、対策余寿命（表 2-8 参照）に余裕のあるⅡbの対策を後送りとする計画としました。ここで各年の対策費用の概算を設定しました。



(a) CASE 1：予算平準化なし



(b) CASE 2：トンネル毎を基本に対策

図 2-3 維持管理計画策定の結果

また、図 2-3 における（2073 年まで）年間対策費を算出し、巻末に付しました。

2.8 今後の課題

以上、中土佐町のトンネル維持管理計画を策定しましたが、同計画を更新していくことに際し、以下のような課題が考えられます。

- ① 本対工補修計画更新に際しては、5 年に 1 度定期点検において正規の健全性の診断を実施して、変状を再評価し、長寿命化修繕計画予算の精度を向上する必要があります。
- ② LCC 計算による補修・更新工事費は、概算額を設定していることから、今後、実態に合わせて調整することが望まれます。
- ③ 付属施設更新費用は高額ですが、今回の計画策定では標準耐用年数を設定して、画一的に更新時期を決定しています。このため、定期点検時に各施設の経過年数とともに、詳細な設備点検を実施して施設の状態評価を行って、更新時期を設定した上で、これを維持管理計画に反映させることが重要です。

2.9 新技術の活用

修繕工事等の高率化に繋がる新技術の積極的な活用を図るため、下記の方針を目指します。

(1) 新技術等の活用方針

従来技術と新技術を比較検討し、有効な技術は積極的に活用していくことで、従来技術から新技術へと技術の転換」を図り、修繕工事および照明更新工事において費用縮減を目指します。

(2) 新技術等の活用に関する短期的な数値目標

今後予定する 2 施設の修繕工事等に新技術を活用することで事業の効率化を図るとともに、2030 年度までに約 450 万円のコスト縮減を目指します。

修繕工事は材質劣化箇所のはく落防止対策において、照明更新工事では照明灯具において NETIS 掲載の工法（あるいは新技術に類する工法）を活用（表 2-9）し、コスト縮減を目指します。

表 2-9 修繕工事及び照明更新工事における新技術活用事例

区分	修繕工事	照明更新工事
活用事例	 簡易な工法を採用した施工の効率化	 軽量コンパクトタイプを採用した施工の効率化

2.10 集約化・撤去の検討

町が管理する 2 トンネルは地域を結ぶ重要なアクセス道の同一路線上に連続しており、現在のトンネルの場所やその必要性から集約化・撤去の検討を進めることは困難であると考えられます。

今後の道路整備に伴う道路ネットワークの状況、社会情勢の変化による道路利用状況、損傷状況等を踏まえ、地域住民の利便性を考慮し必要であれば施設の集約化・撤去による費用縮減の検討を行います。

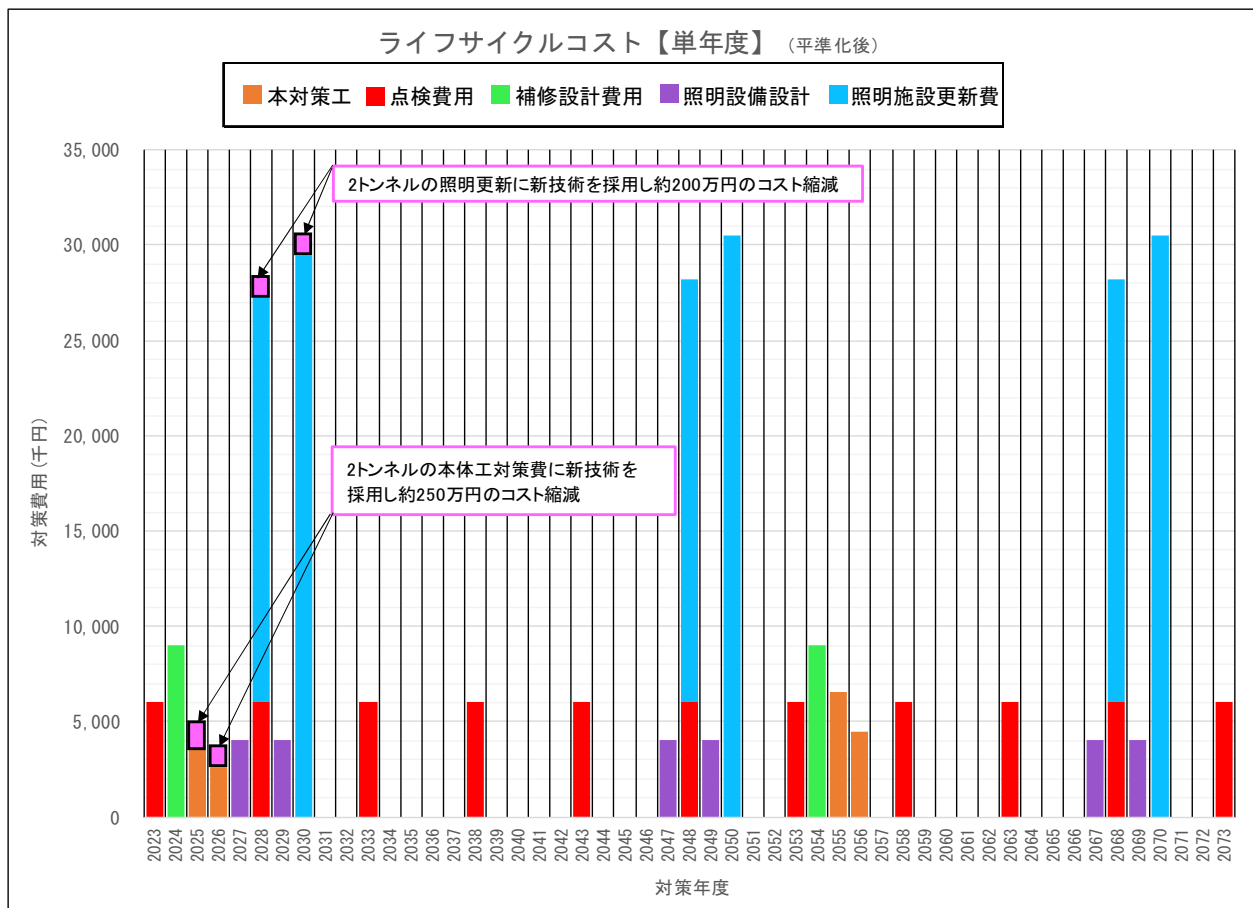


図 2-4 CASE3 : CASE2 に新技術を採用したコスト縮減計画

【参考資料】

- 1) 高知県土木部道路課：高知県道路トンネル点検要領、令和 3 年 3 月

年間概算対策費試算結果[2023 年～2073 年分]

(新技術を採用したコスト縮減計画)

対策費用集計		各費用別内訳(千円)					
		2トンネル全体					
対策年度(平準化後)	年度	本体工対策費 (覆工:はく落防止工)	点検費用	補修設計費用 (覆工:はく落防止工)	照明設備 設計	照明施設 更新費	合計
	2023		6,000	-	-	-	6,000
	2024	-	-	9,000	-	-	9,000
	2025	3,740	-	-	-	-	3,740
	2026	2,740	-	-	-	-	2,740
	2027	-	-	-	4,000	-	4,000
	2028	-	6,000	-	-	22,200	28,200
	2029	-	-	-	4,000	-	4,000
	2030	-	-	-	-	30,500	30,500
	2031	-	-	-	-	-	0
	2032	-	-	-	-	-	0
	2033	-	6,000	-	-	-	6,000
	2034	-	-	-	-	-	0
	2035	-	-	-	-	-	0
	2036	-	-	-	-	-	0
	2037	-	-	-	-	-	0
	2038	-	6,000	-	-	-	6,000
	2039	-	-	-	-	-	0
	2040	-	-	-	-	-	0
	2041	-	-	-	-	-	0
	2042	-	-	-	-	-	0
	2043	-	6,000	-	-	-	6,000
	2044	-	-	-	-	-	0
	2045	-	-	-	-	-	0
	2046	-	-	-	-	-	0
	2047	-	-	-	4,000	-	4,000
	2048	-	6,000	-	-	22,200	28,200
	2049	-	-	-	4,000	-	4,000
	2050	-	-	-	-	30,500	30,500
	2051	-	-	-	-	-	0
	2052	-	-	-	-	-	0
	2053	-	6,000	-	-	-	6,000
	2054	-	-	9,000	-	-	9,000
	2055	5,030	-	-	-	-	5,030
	2056	3,180	-	-	-	-	3,180
	2057	-	-	-	-	-	0
	2058	-	6,000	-	-	-	6,000
	2059	-	-	-	-	-	0
	2060	-	-	-	-	-	0
	2061	-	-	-	-	-	0
	2062	-	-	-	-	-	0
	2063	-	6,000	-	-	-	6,000
	2064	-	-	-	-	-	0
	2065	-	-	-	-	-	0
	2066	-	-	-	-	-	0
	2067	-	-	-	4,000	-	4,000
	2068	-	6,000	-	-	22,200	28,200
	2069	-	-	-	4,000	-	4,000
	2070	-	-	-	-	30,500	30,500
	2071	-	-	-	-	-	0
	2072	-	-	-	-	-	0
	2073	-	6,000	-	-	-	6,000