

山形市道路トンネル長寿命化修繕計画



ベニばなトンネル



大森トンネル

令和 6 年 1 月 改訂

山形市都市整備部道路維持課

目 次

1. 計画策定にあたって	1
1.1 背景	1
1.2 計画の位置づけ	1
1.3 対象とする施設	1
1.4 計画期間	4
1.5 施設の課題	4
2. 長寿命化修繕計画の策定方法	5
2.1 対象施設の詳細	5
2.2 トンネル長寿命化修繕計画策定の考え方	6
2.3 新技術等の活用の考え方	7
2.4 費用の縮減に関する考え方	7
2.5 LCC 評価期間	7
2.6 対策の優先順位の考え方	7
2.7 個別施設の状況等	7
2.8 対策内容と実施時期	9
2.8.1 トンネル本体工補修対策	9
2.8.2 附属施設更新	10
2.8.3 点検計画	10
2.9 対策費用	11
3. LCC の平準化検討	13
4. 長寿命化に係る個別施設計画	14

1. 計画策定にあたって

1.1 背景

山形市の市道を含む公共施設は、高度経済成長期をはじめとし、昭和50年代をピークに平成15年頃までに集中的に整備された。今後、これらの施設の大規模修繕や更新時期が一斉に到来することが想定されており、道路利用者への安全・安心なサービスを行うには膨大な更新・修繕費用が必要となる。道路トンネルについても、平成11年～平成14年に建設されており、附属物等については更新時期を迎えている。

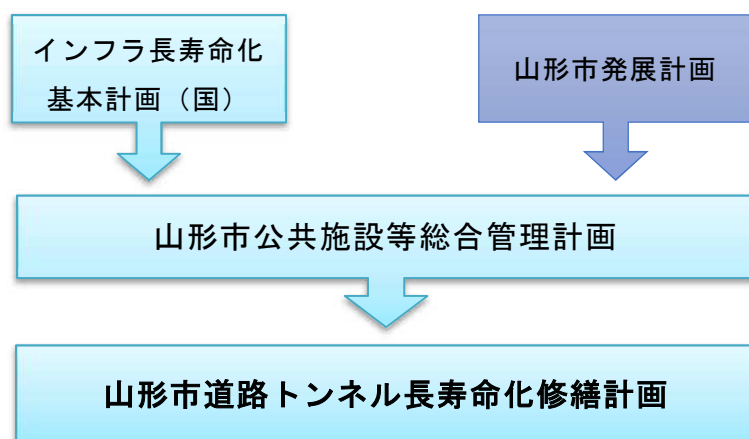
そのような中、平成24年12月に発生した中央自動車道笹子トンネルの天井板落下事故を受けて道路法改正が行われ、5年に1回の実施を基本とする道路構造物の法定点検が義務化された。さらに、道路構造物の点検要領が制定される等、道路の老朽化対策への積極的な取り組みが求められている。

一方、本市においても、住民福祉の増進を図るための扶助費の増加により、厳しい財政状況下にあることに加え、今後予想される道路トンネルの維持費用の増大に対応するため、道路施設の安全を確保しながら長寿命化および予算の平準化を図り、維持管理を着実に推進するための中長期的な取組の方向性を明らかにする必要がある。

以上のことから、山形市公共施設等総合管理計画の基本方針に沿って、道路施設を安全・安心な状態で次世代に引き継ぐために、それらを総合的にマネジメントしていくことを目的として「山形市道路トンネル長寿命化修繕計画」（以下、「本計画」という）を策定する。

1.2 計画の位置づけ

本計画は、国の「インフラ長寿命化基本計画」及び「山形市発展計画」の趣旨を踏まえて策定した「山形市公共施設等総合管理計画」に基づく個別施設計画に位置付けられるものである。



1.3 対象とする施設

本計画は、以下の施設を対象とする。

表 1 対象施設一覧表

No.	施設名	備考(トンネル延長)
1	べにばなトンネル	1971m
2	大森トンネル	343m

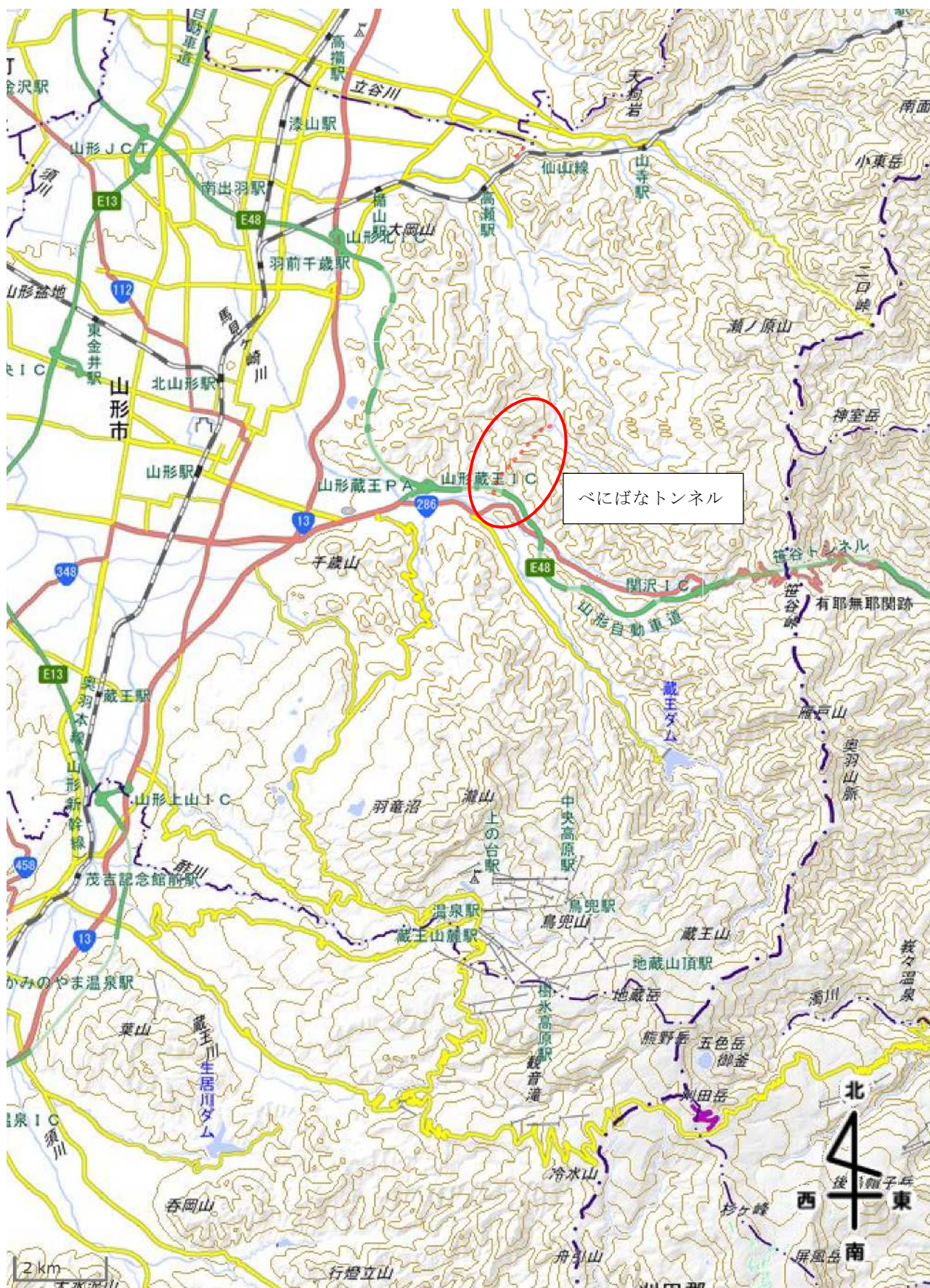


図1 ベにばなトンネル位置図

出典：国土地理院

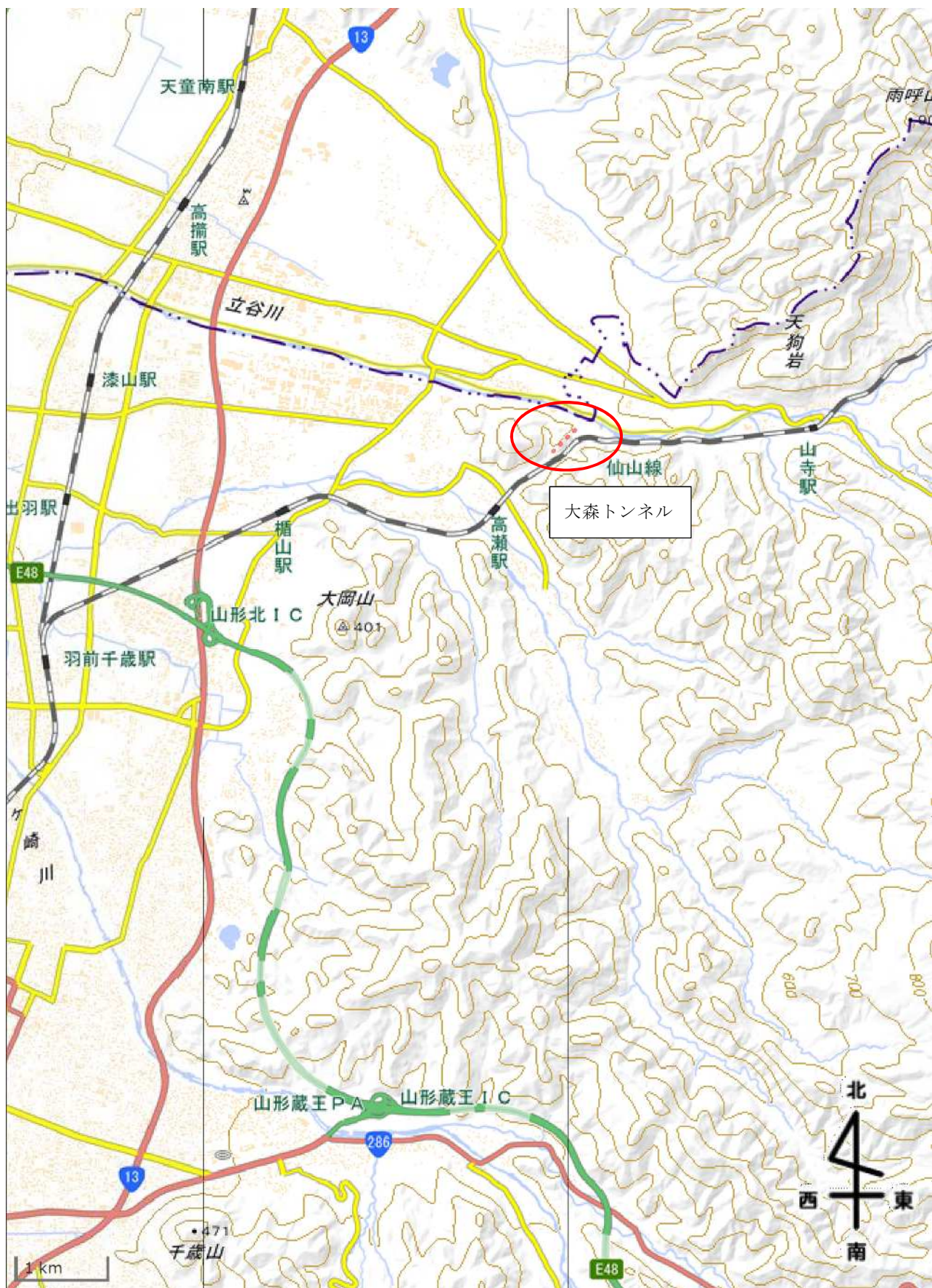


図 2 大森トンネル位置図

出典：国土地理院

1.4 計画期間

計画期間は令和 2 年度から令和 11 年度の 10 年間とする。但し、必要に応じて随時見直しを行うこととする。

1.5 施設の課題

道路トンネルは基本的に橋梁等の他の施設と異なり「更新」することが出来ず、既存のトンネルを適宜、補修補強を繰り返して維持管理していく必要がある。

2. 長寿命化修繕計画の策定方法

2.1 対象施設の詳細

本計画の対象トンネルの詳細を、表 2 に示す。

表 2 山形市管理のトンネルの内訳 (R2 年 3 月現在)

	トンネル名 (建設年)	トンネル延長 (km)			トンネル本数		
		矢板 工法	NATM ※1	計	矢板 工法	NATM ※1	計
一級市道	べにばなトンネル(平成 11 年)	0	1971	1971	0	1	1
二級市道		0	0	0	0	0	0
その他市道	大森トンネル (平成 14 年)	0	343	343	0	1	1
計		0	2314	2314	0	2	2

※1 NATM (New Austrian Tunneling Method) : 主に吹付けコンクリートとロックボルトによる支保工で地山を補強するトンネル工法。従来の矢板工法(支保工に矢板を使用)に代わり、概ね平成年代より山岳トンネルの標準工法となった。なお、素掘り・吹付けのみのトンネルは矢板工法に分類している。

また、トンネルを構成する要素と本計画の対象施設を表 3 に示す。

表 3 トンネル長寿命化修繕計画の対象施設

分類		構成要素	
トンネル 本体工	覆工	アーチ、側壁	
	坑門	坑門	
	その他	内装板、排水施設、補修・補強材	
附属物	付属施設	照明施設	照明、ケーブル
		非常用施設	通報・警報設備、消火設備他
		換気施設	ジェットファン
	その他	標識、その他	

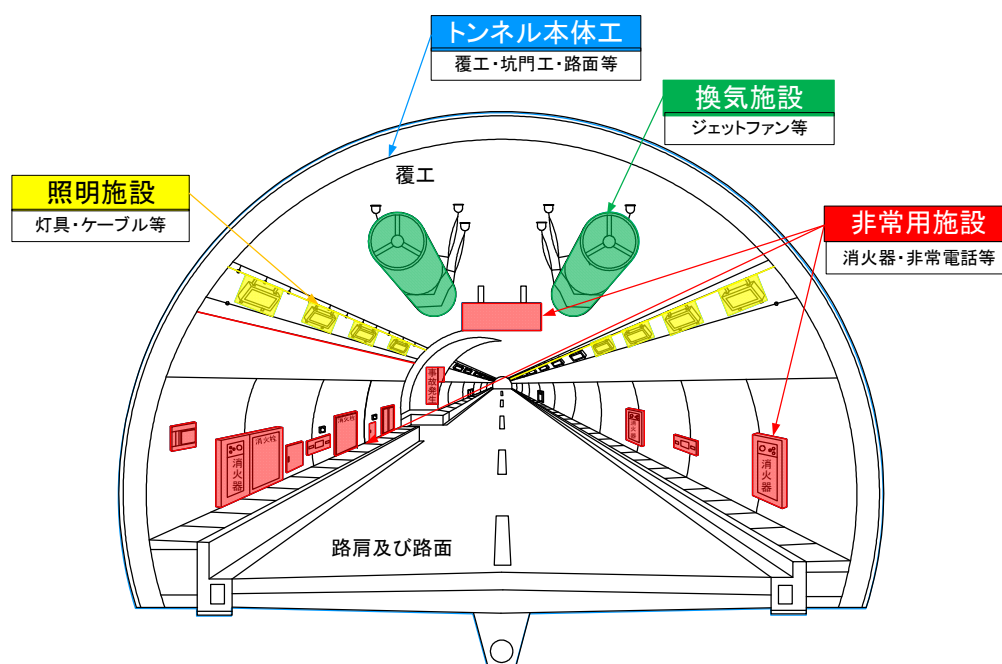


図 3 トンネル各施設の名称

2.2 トンネル長寿命化修繕計画策定の考え方

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）の維持管理については、ライフサイクルコスト（以下、「LCC」という）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する。

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4に示す「状態監視型予防保全」の考え方に沿って本計画を策定する。

表4 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）
劣化の進行と対策費（概念図）			
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>構造物の劣化は、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>
維持管理計画の考え方	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</u> （鉄筋発錆前と後では対策工種が大きく異なる：概念図参照）	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</u> ^{注1)}
	維持管理修繕計画の考え方	計算期間内で <u>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</u> （予防保全による延命化により更新費を先送りする）	5年ごとの定期点検（状態監視）によって、 <u>目標管理水準を下回った変状（判定区分Ⅲ、Ⅳ）の対策（短期修繕計画）と、目標管理水準に達する前の変状（Ⅱa、Ⅱb）の計画的対策（中長期修繕計画）とを併せて修繕計画を策定し、将来的に対策予算を確保する</u>

注 1) 突発性の崩壊など、一部の劣化を除く

2.3 新技術等の活用の考え方

令和7年度までに、本市で管理する2トンネル（べにばなトンネル及び大森トンネル）について、修繕や点検等に係る新技術等の活用の検討を行うとともに、全てのトンネルで費用の縮減や事業の効率化等の効果が見込まれる新技術等を活用することを目標とする。

2.4 費用の縮減に関する考え方

令和7年度までに、本市で管理する2トンネルについて、新技術等の活用を重点的に検討し、従来技術を活用した修繕及び点検と比較して100万円程度のコスト縮減を目標とする。

2.5 LCC 評価期間

トンネル本体工のLCC評価期間は、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年に設定する。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する。

2.6 対策の優先順位の考え方

複数のトンネルを有している場合は、交通量や緊急輸送路などを考慮して決定することが多いが、山形市の管理するトンネルは2施設のみであることから、点検結果を基に変状規模、対策区分、山形市の年間修繕予算等を考慮し、対策優先順位を決定する方針とする。

2.7 個別施設の状況等

本計画では、「道路トンネル定期点検要領」（以下、国定期点検要領という）に準拠して変状毎の対策区分の判定（表5参照）を行う方針とする。また、道路トンネル毎の健全性の診断の判定区分（表6参照）は、両トンネルともにⅡの予防保全段階と判定された。令和元年度の全トンネルの定期点検結果を表7及び表8に示す。

表5 変状毎の対策区分

健全度 ランク※1		状態・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、次回も点検を行う必要がある状態。
	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		利用者に対して影響が及ぶ可能性があるため、早期に対策を講じる必要がある状態。
Ⅳ		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。

表6 道路トンネル毎の健全性の診断の判定区分

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、早期に措置を講ずべき状態。
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、緊急に措置を講ずべき状態。

・ べにばなトンネル：Ⅱ（表 6 に基づく判定区分）

表 7 国定期点検要領による判定

変状別の対策区分	合計 / 対策面積 (㎡)
材質劣化	315.76
Ⅱ a	10.47
うき(将来的にひびわれ閉合する可能性がある)	10.47
Ⅱ b	305.29
うき	283.69
うき(ひびわれ閉合していない)	12.13
うき(補修モルタル)	9.47
漏水	40.5
Ⅱ b	11.00
遊離石灰(にじみ)	11.00
総計	326.75

・ 大森トンネル：Ⅱ（表 6 に基づく判定区分）

表 8 国定期点検要領による判定

変状別の対策区分	合計 / 対策面積 (㎡)
材質劣化	28.42
Ⅱ b	28.42
うき	18.47
うき (補修モルタル)	5.9
鉄筋露出	4.05
漏水	5.25
Ⅱ b	0.75
遊離石灰 (にじみ)	0.75
総計	29.17

2.8 対策内容と実施時期

2.8.1 トンネル本体内補修対策

(1) 標準的な対策工法の設定

トンネル本体内の変状の評価は、表 9 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、補修対策もそれぞれの変状区分に対する対策工法を変状毎に適用することになる。ただし、施工条件等の違いにより、トンネル毎に適用する補修対策工もそれぞれ異なるため、LCC 算定に際しては、同表に示す標準的な対策工法を設定（後述 表 11 参照）して対策費を計上する。

表 9 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	 つらら発生
標準的な対策工の例	 ○内巻補強工（プレキャスト工法） （想定耐用年数＝100 年）	 ○当て板工（繊維シート） （想定耐用年数＝30 年）	 ○面導水パネル工 （想定耐用年数＝20 年）

(2) 対策余寿命の設定

実施時期に関しては、道路トンネル（山岳工法）の特徴を考慮して、変状ごと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」を設定する（表 10 参照）。

表 10 対策区分の判定と対策余寿命

健全度 ランク	状態	措置の内容	対策余寿命（LCC 計算上の対策までの 年数）の目安※
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。	—	— （対策費は考慮しない）
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	15～ <u>30</u> ～50 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、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	5～ <u>10</u> ～14 年
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	2～ <u>3</u> ～4 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。	直ちに対策	1 年以内

※：各年数は LCC 計算において、対策工実施までの期間の目安を示すものであり、○内年数を仮にほぼ中央値として設定した。なお、これに対応する健全度ランクの状態は、以下に示すとおりである。

- ・健全度ランク IV（緊急に対策を行う必要がある状態）の変状は緊急に対応する必要がある。
- ・健全度ランク III の変状は、5 年後の次期（2 回目）定期点検前までに対策を行う必要がある。
- ・健全度ランク II a の変状は、2 回目～4 回目の定期点検の間で要対策となると想定。
- ・健全度ランク II b の変状は、II a の対策余寿命以降に変状進行が明らかになると想定。

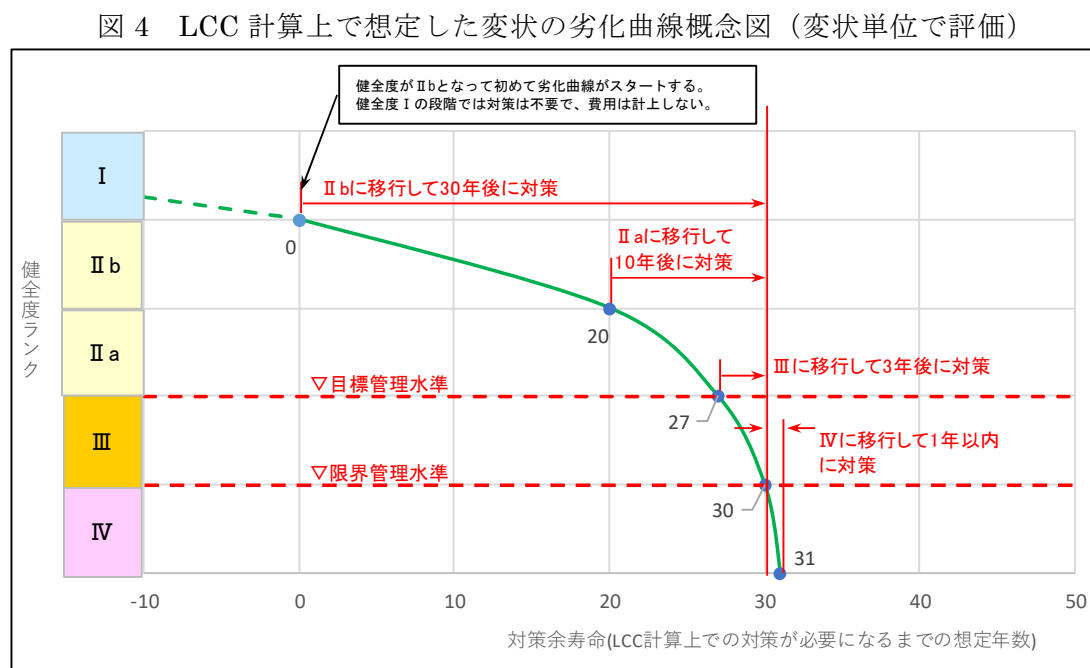
(3) 対策年の設定

点検年より対策余寿命に達した年を対策年として、LCC 上の対策費を計上する。

なお、表 10 に示す健全度ランクに対して、トンネル維持管理を行う上での管理水準は以下のよう

- ✓ 目標管理水準：健全度ランクⅢになった時点で対策を実施し、健全度ランクⅡを維持する。
- ✓ 限界管理水準：健全度ランクⅣの変状が把握された場合は直ちに対策する。

また、表 10 に示す健全度ランクと対策余寿命との関係を図 4 に示す。



なお、対策余寿命及び対策年の設定については、今後、点検データ等の蓄積により適時、再評価・見直しを行う必要がある。

2.8.2 附属施設更新

附属施設（照明施設、非常用施設、換気施設）については、それぞれ標準耐用年数を 20 年に設定し、現行施設の全面更新を行う。対策優先順位については、定期点検の結果を基本とするが、予算や施設の重要度も加味して選定する。

2.8.3 点検計画

トンネル本体工及びトンネル内に設置されている附属物を取り付けるための金属類や、アンカー等を対象とする道路トンネルの定期点検は、必要な知識及び技能を有する者が、近接目視により 5 年に 1 回の頻度で実施することを基本とする。ただし、有効な新技術等を活用することも検討することとする。

また、照明施設及び非常用施設（運用上必要な関連施設、ケーブル類を含む）等のトンネルに付属する施設については、動作状況等を確認するための年次点検を実施することとする。

2.9 対策費用

LCC 評価期間内に発生する概算対策費用を推計した上で、予算水準を設定して年間予算の最適化を図る。本計画では、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。

対策費用の構成を図 5 に示す。

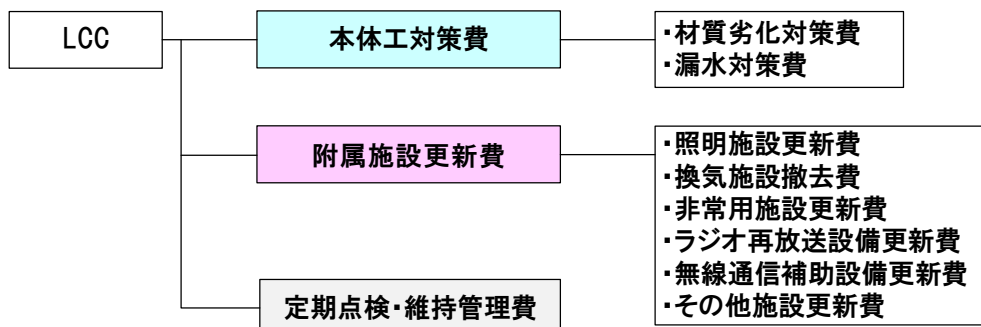


図 5 LCC の構成

(1) 本体工対策費

LCC 上の本体工対策費の算出に際しては、施工条件等の違いにより、トンネル毎に適用する補修対策工もそれぞれ異なるため、表 9 に示す標準的な対策工を設定して工事単価を算出した上で、変状規模（面積等）にこれに乗じて算出する。

当該施設については、既往の点検結果を基に概略設計を行い、そこで選定された工法を繰り返し施工する方針とする。

表 11 LCC 計算上の標準対策工の設定

対策区分	対策の分類	工 法 ^{※1}		工事単位	再補修 間隔 (年) ^{※2}	選定 工法
外力対策	覆工内面の補強対策	内面補強工	鋼板接着工	m ²	30	
			繊維シート補強工	m ²	30	
			成型板接着工	m ²	30	
		内巻補強工	吹付け工	m ²	30	
			鋼材補強工	m	50	
			プレキャスト工法	m	100	
材質劣化対策 (はく落防止)	支保材による保持対策	金網・ネット工	FRPメッシュ工	m ²	20	○
		当て板工	パネル系(鋼板)当て板工	m ³	30	
			繊維シート系当て板工	m ²	30	
漏水対策	線状の漏水対策工	樋工	樋工	m	10	○
			溝切り工	m	10	
	面状の漏水対策工	防水パネル工		m ²	20	

※1:「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】」(日本道路協会、2015.6)より適用実績の多い主要工法を抽出

※2: 施工後の再補修実績に基づいて設定した年数。LCC 計算期間内で、対策年から同年数を経過する年に再補修費を計上する

(2) 附属施設更新費

附属施設（照明施設、非常用施設、換気施設）の各施設の更新費は個別に設定する。なお、照明施設については、現在使用している照明（低圧ナトリウム）が 2019 年で製造中止となり、同等品の入手ができないため更新する照明施設は LED 照明を採用する方針とする。

(3) 定期点検・維持管理費

本土工定期点検および維持管理費の費用については、既往実績より費用を計上する。

3. LCC の平準化検討

令和元年度までのトンネル定期点検結果に基づいて、トンネルの本体工対策費と附属施設の更新費用について、LCC 計算および予算の平準化検討を行った結果を整理して表 12 に示す。

ここで LCC の平準化に関しては、道路トンネルの機能及び安全性の確保のため、以下の条件を満たす必要がある。

- ① 本体工の対策時期は、健全度ランクに応じて設定した対策余寿命（表 10）の範囲を超えて延伸しない。
- ② 附属施設の更新時期は、設定した耐用年数（20 年）に対し、これまでの更新期間の実情も考慮し、最大でも 30 年を超過しない。

以上の結果より、更新期間を超えることなく年間予算が最小となる CASE3 を採用する。

表 12 本体工対策費・付属施設更新費の LCC 計算結果（予算平準化）

CASE	年間予算	条件①、②を満たす
1	予算制約無	○
2	150 百万円/年	○
3	100 百万円/年	○
4	50 百万円/年	×

【凡例】

○ほぼ平準化した予算で対応が可能

×平準化した年間予算では補修・更新が追いつかない

※LCC 計算期間＝50 年

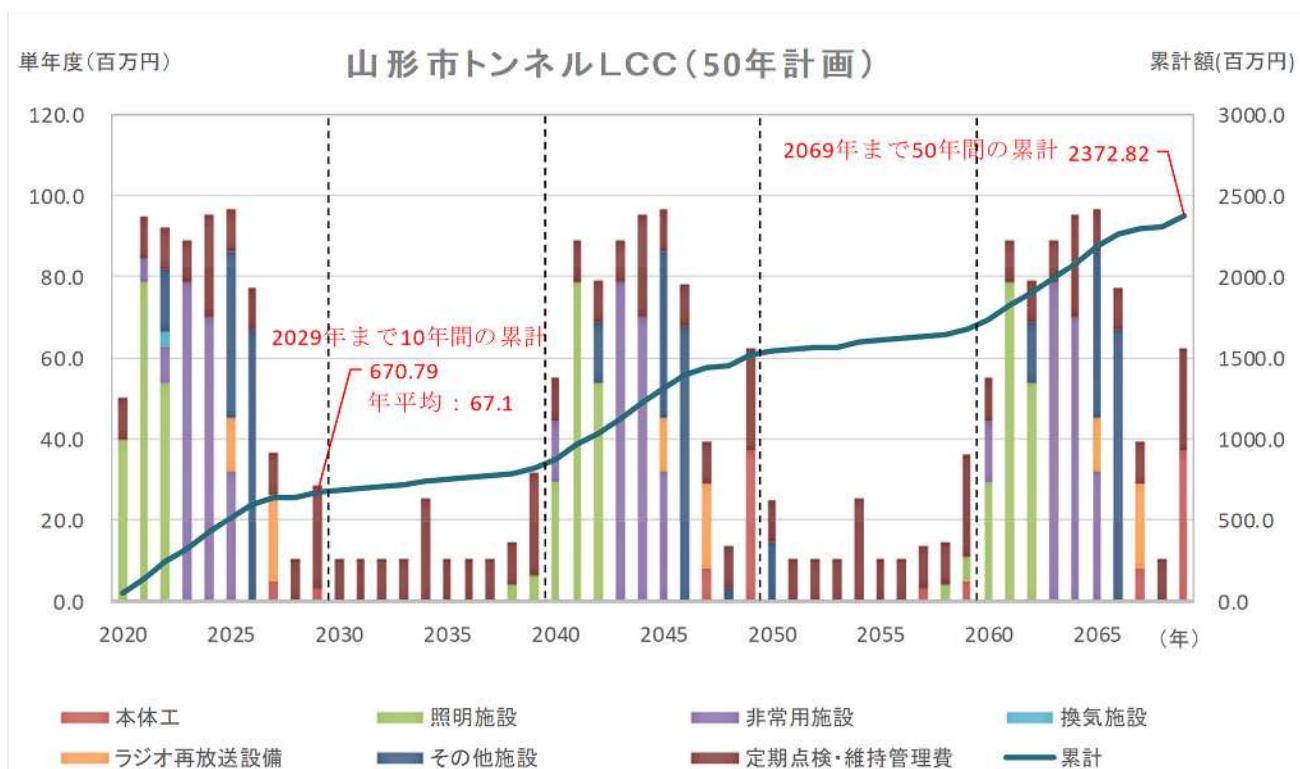


図 9 LCC 計算結果：CASE3（採用）

4. 長寿命化に係る個別施設計画

「状態監視型予防保全」の考え方に沿って最適な維持管理を行い、道路トンネルの機能及び安全性を長期的に確保するため、別表 1 の通り、点検及び修繕計画（個別施設計画）を設定する。ただし、緊急性を要する修繕等が必要となる場合は、この限りではない。

また、最新の点検結果等に応じて、適宜見直しを行うこととする。

なお、対策の実施については、国からの交付金の事情を踏まえて、優先度の高い箇所より実施していく方針である。

改訂履歴

令和 2 年 3 月 策定

令和 3 年 1 1 月 一部改訂

令和 6 年 1 月 一部改訂