

黒潮町 トンネル長寿命化修繕計画

〔令和 4 年度 簡易版〕



町道中角熊井線 熊井隧道



土木学会選奨土木遺産 2014

【目次】

1. 黒潮町が管理するトンネルについて.....	1
1.1 管理するトンネルの概要.....	1
1.2 個別施設（トンネル）の状況.....	3
2. トンネル長寿命化修繕計画全体の方針.....	7
2.1 老朽化対策における基本方針.....	7
2.2 新技術等の活用方針.....	10
2.3 費用の縮減に関する具体的な方針.....	11
3. 今後の措置計画.....	12

1. 黒潮町が管理するトンネルについて

1.1 管理するトンネルの概要

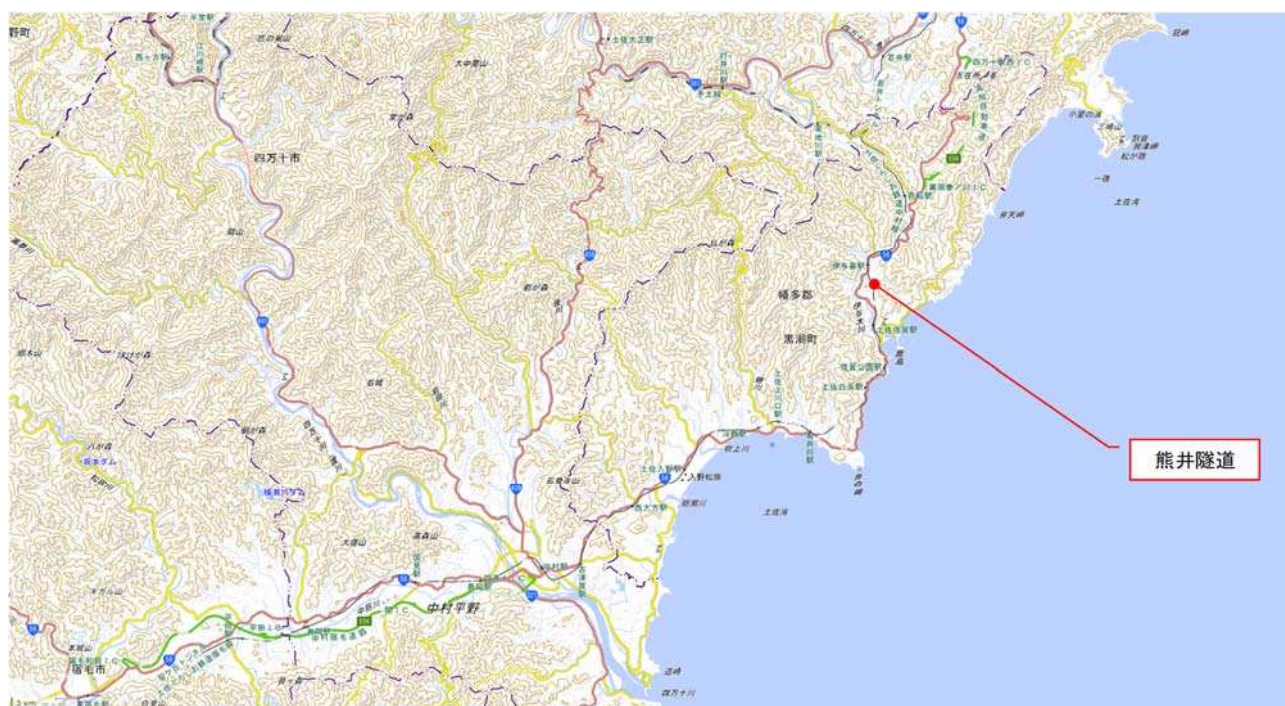
黒潮町が管理する道路トンネルは、熊井隧道のひとつのみであり、下表にその概要を示す。

熊井隧道は、矢板工法で施工され明治 38 年 12 月に竣工した延長 95.6m の山岳トンネルであり、道路幅員は 2.4m である。

また、本トンネルは覆工がレンガ＋石材からなり、竣工後 117 年経過（R5.2 現在）している歴史あるトンネルであり、土木学会選奨土木遺産として登録されている。

直近の定期点検（平成 30 年度）の結果における健全度は、Ⅲ（早期措置段階）となっている。

また、令和 2 年度にはトンネル補修補強設計を行い、令和 3 年度から補修補強工事を順次進めているところである。



※地理院地図（電子国土 Web）

図 1.1.1 黒潮町が管理する道路トンネルの位置図（熊井隧道の位置図）

表 1.1.1 熊井隧道（町道中角熊井線）の概要

トンネル名	熊井隧道		
路線名	町道中角熊井線	管理者	黒潮町
所在地	高知県幡多郡黒潮町 起点：佐賀 終点：熊井		
延長	95.6m	掘削工法	矢板工法（覆工は石積み＋煉瓦）
施工年月	明治38年12月（1905年12月）	施工業者	不明
幅員	3.40m（0.50-2.4-0.50）	高さ	3.5m（H1:1.8+R1:1.7）
緊急輸送道路	無し	代替路	有り
交通量	不明（近隣県道 1,583台/日）※	トンネル等級	D
照明施設	無し	主な非常用施設	無し
トンネル健全度	Ⅲ（早期措置段階）：H30年度実施	次回の定期点検	令和5年度
実施済みの措置	令和3-4年度実施 一次対策 ：裏込め注入工、はく落防止工（はつり落とし＋断面修復工）、路面補修工		
今後の措置予定	定期点検の結果に応じた二次対策（漏水対策、外力対策）		

※交通量は近隣の中土佐佐賀線の24時間自動車類交通量の合計（小型車＋大型車）である。



起点側坑口



終点側坑口

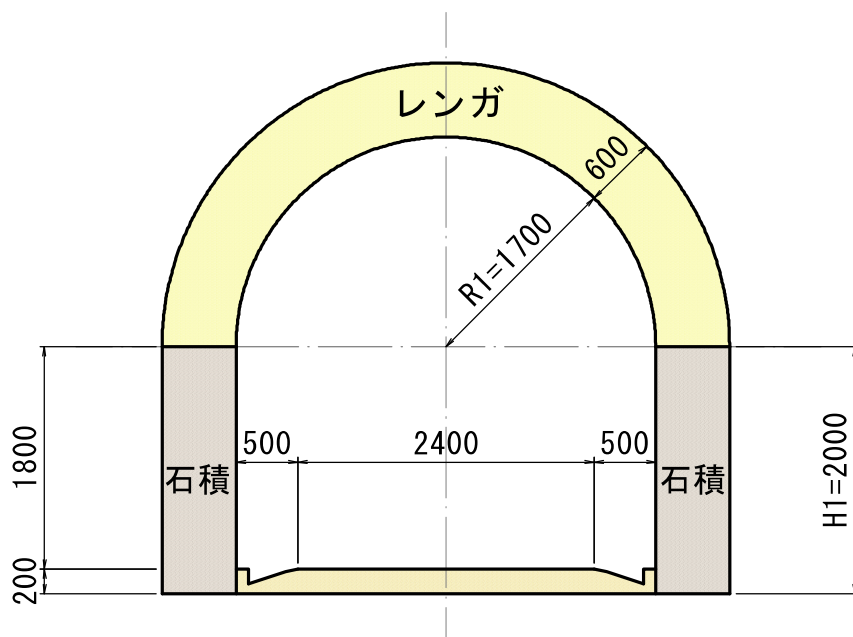


土木学会選奨土木遺産のプレート



終点側坑口の隧道紹介の看板

写真 1.1.1 トンネル両坑口の状況



※現地測量に基づき推定した標準断面図

図 1.1.2 熊井隧道標準断面図

1.2 個別施設（トンネル）の状況

1.2.1 トンネル定期点検の結果

熊井隧道は、明治 38 年の竣工以来、これまで適切に維持管理を行い供用されてきている。
直近の定期点検は平成 30 年度に実施されており、健全度Ⅲ（早期措置段階）に評価されている。

[平成 30 年度定期点検]

- ・実施年月日 : 平成 30 年 11 月 20 日
- ・準拠した点検要領: 「道路トンネル定期点検要領」: 国土交通省道路局、平成 26 年 6 月
- ・トンネル健全性 : Ⅲ（早期措置段階）

表 1.2.1 定期点検（平成 30 年度）の結果

健全性の評価		外力	材質劣化	漏水
I	健全	7	2	4
II	予防保全段階	4	6	5
III	早期措置段階	1	4	3
IV	緊急措置段階	0	0	0
付属物の異常判定区分		付属物なし		
トンネルの健全性		Ⅲ		

※数値はスパン数を示す

表 1.2.2 道路トンネル毎の健全性の判定区分

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

※「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】」: 令和 2 年 8 月、日本道路協会より抜粋

1.2.2 詳細調査の結果

(1) 定期点検・詳細調査の総括

熊井隧道は、顕著なひび割れが分布するとともに、それに伴うレンガのはく落・崩落懸念箇所が認められる。漏水は、坑口部を主体としてトンネル全線に認められる。外力は、S8（70～80m）と終点側坑口のひび割れが外力性の可能性がある。これらの変状は、いずれもⅢ（早期措置段階）に評価されている。

また、電磁波探査の結果、レンガの積層数として 2～5 層（覆工巻厚として 20～50cm）が確認された。また、覆工背面空洞は、坑口部を除きトンネル全線で 10cm 程度のものが確認され、その最大値は 30cm 程度であった。

〔令和 2 年度トンネル調査〕

- ・ 調査目的：トンネル補修補強設計に必要となる情報取得（覆工巻厚・背面空洞調査）
- ・ 調査内容：電磁波探査、覆工コア採取、一軸圧縮強度試験、内空断面測量、その他
- ・ 調査業務：「2 防安第 580-212-1 号 熊井トンネル修繕設計委託業務」

：令和 3 年 1 月、(株)第一コンサルタンツ

(2) トンネルの変状状況

1) 材質劣化（うき・はく離、はく落）

レンガで構築されている覆工及び坑門工の一部は、ひび割れが発生し、それによりブロック化している箇所が認められる。これらの一部は浮いており、はく落・崩落の懸念がある。この変状は、道路利用者への直接的な影響を与える可能性があることから、優先的に実施する必要がある。



写真 1.2.1 ひび割れでブロック化したレンガのはく落懸念箇所

2) 漏水

漏水は、坑口部を主体としてトンネル全線で認められ、レンガ及び石材の目地やひび割れからの漏水が主体となっている。常に路面が濡れている状態であることから、早期に漏水対策を施す必要がある。

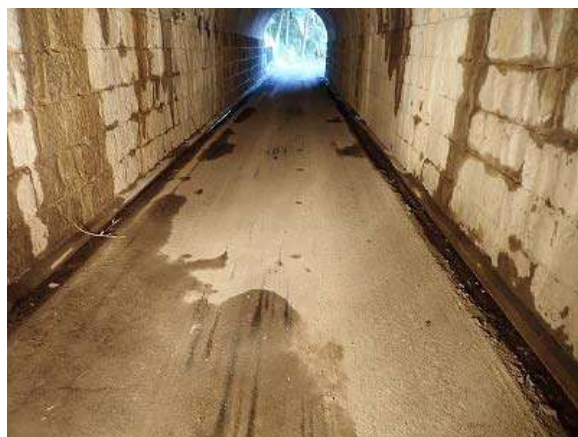


写真 1.2.2 側壁の石積みとアーチからの漏水と路面の滞水状況

3) 外力（ひび割れ）

本トンネルのひび割れの内、S8（70～80m）と終点側坑口のひび割れは外力性の可能性がある。

また、側壁の石積みと上半のレンガとの境界となる水平打ち継ぎ目付近において、連続する縦断ひび割れが認められる。これらは異種材料の温度収縮により発生していると推定されるが、経年的に進展する可能性もある。

これらのひび割れが進展する場合は、ひび割れ注入工を施し、レンガ・石積みの一体化を図り、覆工としての機能を回復させることが望ましい。なお、この対策によりはく落・崩落の防止も兼ねることが可能となる。



写真 1.2.3 連続する覆工ひび割れ

4) 覆工の構造及び覆工背面空洞

・覆工の構造

電磁波探査の結果から、熊井隧道の覆工のレンガの積層数は、2層～5層であり、大きく4タイプのレンガ支保構造が確認された。そこで、便宜的に現在のトンネルの支保パターンと同様にA～Dパターンとして区分した。

これらのレンガ支保構造は、施工当時の地山状況を反映しているものであり、積層数が少ないAやBパターンは地山状況が良好であったと推定される。それに対し積層数の多いDパターンは地山状況が悪かったものと推定される。実施にDパターンの区間には、トンネル天端付近に縦断ひび割れが発生しており、脆弱な地質を素因とした経年的な緩み土圧が作用している可能性がある。

（A～Dパターンの詳細については図1.2.1参照）

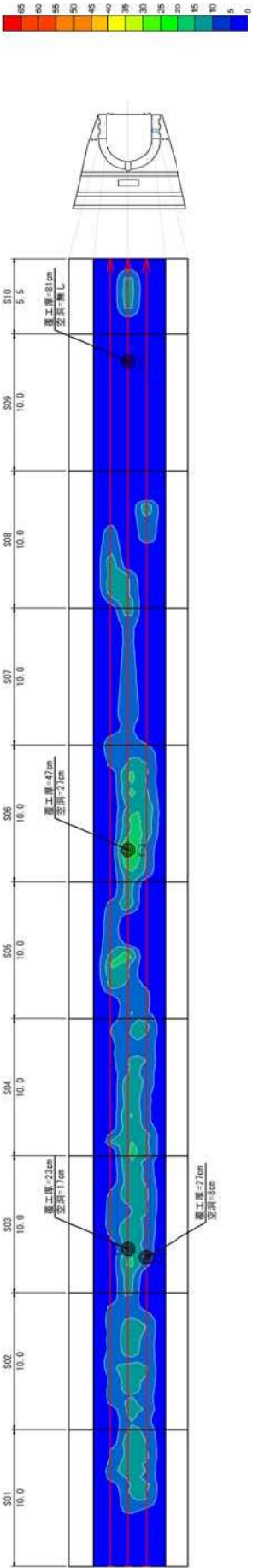
・覆工背面空洞

電磁波探査の結果、空洞厚は0～30cm程度と推定された。空洞の分布は、起点側坑口と終点側坑口部の一部で0cmの区間があるものの、トンネル全体に10cm以上の空洞が点在している。

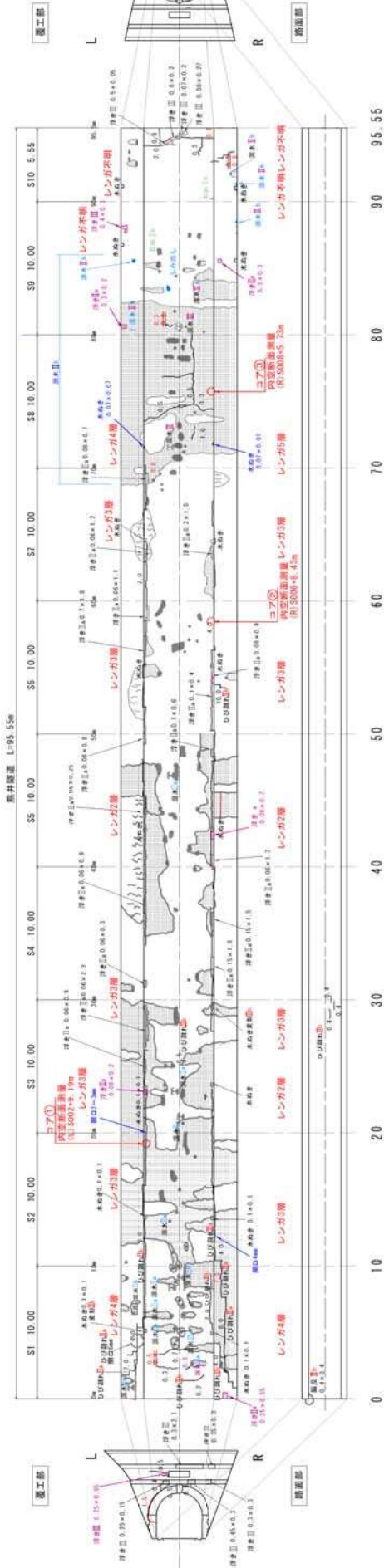
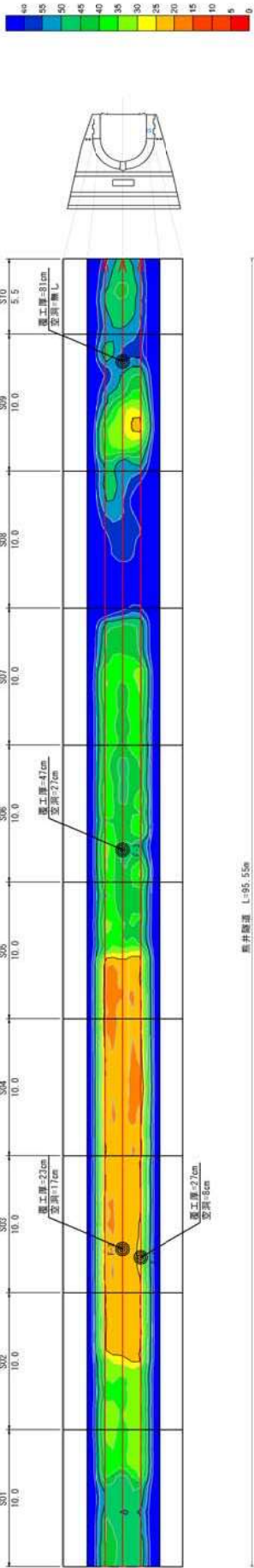
特に巻厚の薄い測点15～45mのAパターン区間は、10～30cmの背面空洞が分布している。突発性崩壊の目安となる「覆工厚30cm以下、空洞厚30cm以上」を評価の目安とすると、覆工厚は薄いものの、背面空洞の規模は小さいことから、突発性崩壊の危険は少ないと考えられる。しかし、トンネル構造上、覆工背面空洞は緩み土圧を含め外力に対する大きな弱点となる可能性があることから、裏込め注入工を実施することが望ましい。

なお、この覆工背面空洞は、内空側からレンガを積み上げ、最後に地山側のレンガを積むことを考えると、人の手が入る程度の空間的な余裕が残存していることは必然と考えられる。

空洞厚分布図



覆工厚分布図



スパン区分	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
レンガ支保構造	C	B	A	B	B	B	D	B	C	
レンガ積層数	4層	3層	2~3層	3層	3層	3層	4~5層	3層	4層	
記事 (変状と推定地山状況)	・坑口部 ・ひび割れ 多い ・漏水多い	・ひび割れ多い ・漏水多い	・最もレンガ積層数が薄い ・良好な地山と推定 ・漏水あり	・漏水少ない			・最もレンガ積層数が 厚い ・悪い地山と推定 ・ひび割れ、漏水が 多い	・漏水あり	・坑口部 ・ひび割れあり	

図 1.2.1 熊井隧道の点検調査総括図

2. トンネル長寿命化修繕計画全体の方針

2.1 老朽化対策における基本方針

黒潮町が管理する道路トンネルは、熊井隧道の1トンネルのみである。

以下に、熊井隧道の老朽化対策の基本方針、計画期間、健全度評価及び補修補強措置の着手状況を整理する。

2.1.1 老朽化対策の基本方針

本トンネルの老朽化対策は、下記に示す道路トンネルとしてのメンテナンスサイクルに則った維持管理と土木遺産の保全を考慮したふたつの基本方針に準じて実施する。

- ・基本方針1：メンテナンスサイクルに則った維持管理
- ・基本方針2：土木遺産としての構造物保全

1) 基本方針1：メンテナンスサイクルに則った維持管理

道路トンネルの維持管理は、1回/5年の定期点検を実施し、その結果を踏まえて長寿命化修繕計画を策定する。そして、新たな点検結果を得た場合は、計画の見直しを行い、長寿命化修繕計画の更新を行うものとする。

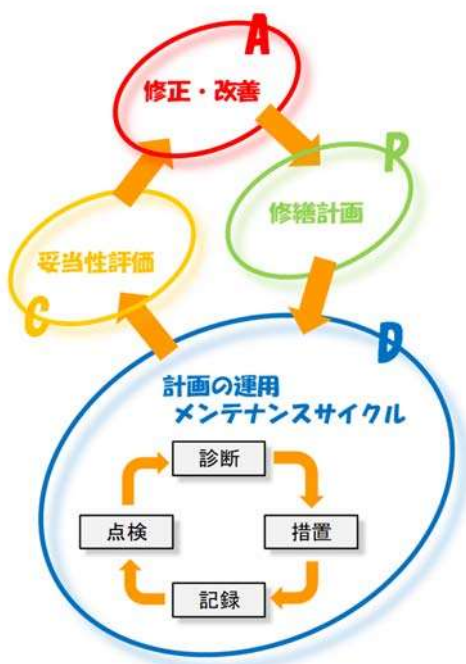


図 2.1.1 メンテナンスサイクルと長寿命化修繕計画のイメージ図

2) 基本方針2：土木遺産としての構造物保全

熊井隧道は、明治38年竣工のレンガと石材により構築された古く美しいトンネルであり、土木学会選奨土木遺産として選定されている。したがって、道路管理者は、土木遺産として良好な状態で後世に引き継ぐ責務があり、建設当時の景観を損なわない補修補強工とする必要がある。

そこで、以下の基本方針に準じて措置を行うこととする。

〔熊井隧道の土木遺産としての補修補強設計の基本方針〕

- ①使用されているレンガ・石材を傷つける事（切削や削孔）は必要最低限とする
- ②土木遺産としての景観を損なわないように構造物を覆ってしまう工法は避ける
- ③損傷や変状が著しく進展し、道路利用者の安全確保が必要となった場合はこの限りでない（土木遺産としての配慮は行うものの道路利用者への安全確保が最優先）

2.1.2 計画期間

本トンネルは下記の通り、これまで2回の定期点検を実施してきており、直近の定期点検は平成30年度に実施している。

この定期点検及び調査に基づき、トンネル補修補強工事を令和3～4年度に実施した。実施した補修補強工事は、1次対策工である裏込め注入工、はく落防止工、路面補修工である。

今後、令和5年度に定期点検を実施する予定である。この定期点検の結果、漏水やひび割れが道路利用者へ著しく悪影響を与える可能性がある場合、2次対策工のトンネル補修補強工の実施を検討する。

いずれにしろ将来も、点検→診断→措置→記録のメンテナンスサイクルを1回/5年の頻度で行って行くとともに、その結果に応じてトンネル長寿命化修繕計画も見直していく計画である。

以上から本トンネルの長寿命化修繕計画の計画期間は、令和5年度から令和20年度の定期点検をひとつの区切りとし、16年間計画とする。

表 2.1.1 熊井隧道の点検計画と長寿命化修繕計画期間

区分	点検年度	点検実施年月	措置（補修補強工）	付属施設の措置	計画期間
過年度の定期点検	平成25年度	H25.9		付属物なし (将来設置予定なし)	R5 ↓ 計画期間 16年間 ↓ R20
	平成30年度	H30.11	一次対策工：裏込め注入工・はく落防止対策工・路面補修工の施工完了（R3-4工事）		
今後の定期点検	令和5年度		経過観察期間 (道路利用者被害の可能性大となった場合)		
	令和10年度		ひび割れ止水注入、ひび割れ注入工、水抜きボーリング、覆工補強工等の2次対策工の施工		
	令和15年度				
	令和20年度				

2.1.3 トンネルの健全度評価

トンネルの健全度評価は、下表に示す通りⅠ～Ⅳの4段階に区分される。

本トンネルの健全度評価は、平成30年度の定期点検の結果、Ⅲ（早期措置段階）と評価された。その後、令和3～4年度にトンネル補修補強工事を実施しており、その対策効果を含めた健全度の再評価は、令和5年度定期点検で実施する予定である。

表 2.1.2 熊井隧道の健全度評価（平成30年度定期点検）

トンネルの健全性	Ⅲ
材質劣化	Ⅲ
漏水	Ⅲ
外力	Ⅲ

2.1.4 補修補強工など措置の着手状況

(1) 調査・補修補強工設計

本トンネルは、令和2年度に下記業務において電磁波探査などの調査とトンネル補修補強工設計を実施した。

・「令和2年度 2 防安第 580-212-1 号 熊井トンネル修繕設計委託業務」：令和3年1月

(2) トンネル補修補強工事

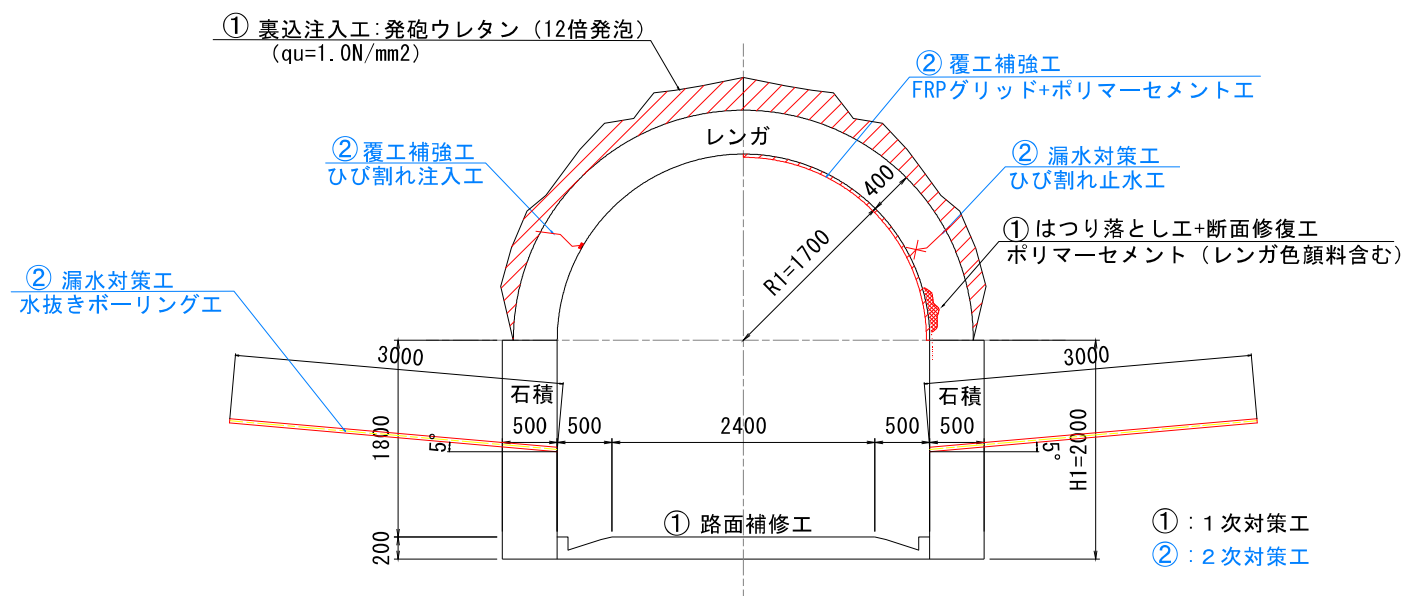
本トンネルは、令和3・4年度に下記工事においてトンネル補修補強工事を実施した。

工事内容は、一次対策工としての裏込め注入工、はつり落とし+断面修復工及び路面補修工を実施している。

なお、残りの二次対策工は、今後の定期点検などのメンテナンスサイクルの過程で、必要となった段階で実施する予定である。

・「令和3年度 道補第 32-5 号 熊井トンネル修繕工事」：令和3年12月

・「令和4年度 道補第 42-2 号 熊井トンネル修繕工事」：令和5年3月



・裏込め注入工：トンネルの構造的安定性の向上（外力対策）

・はつり落とし+断面修復工：道路利用者への直接的被害防止のはく落防止工

図 2.1.2 熊井隧道の補修補強工標準断面図

2.2 新技術等の活用方針

2.2.1 定期点検の効率化・高度化

(1) トンネル画像点検システムの活用

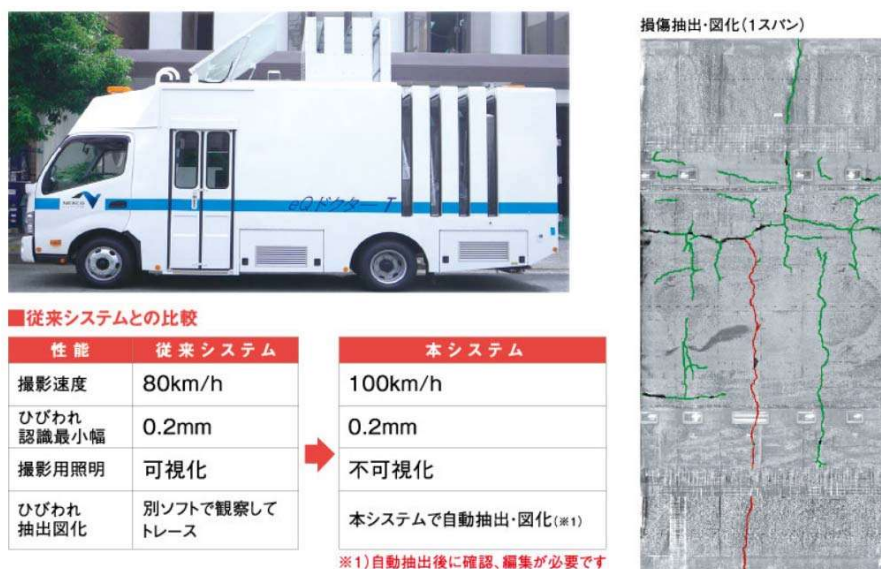
本トンネルの定期点検は、従来手法である人による近接目視、触診・打音により実施してきており、変状展開図の作成も人力のスケッチにより作成している。

本トンネルは延長が短いことから通常の維持管理上は、これまでの従来手法による定期点検を実施しても特に問題は無いと考えられる。しかし、レンガ＋石材積みの貴重な土木遺産の保全の観点からは、以下の理由からトンネル展開画像の取得とそれによる維持管理を行うことが望ましいと考えられる。

なお、本トンネルは内空断面が小さいことから、このシステムの採用に際しては計測車両の大きさに留意する必要がある。

〔トンネル画像点検システムの利点〕

- ・土木遺産保全の観点から、どのようなレンガ・石材がどのように積み上げられているかを記録・保存することができる
- ・ひび割れ、うき・はく離、漏水などの変状が、個別のどのレンガ・石材に発生しているのか具体的かつ正確に把握できる



※「トンネル覆工点検システム eQ ドクターT」：西日本高速道路(株) NETIS 登録 QS-170015-VR

図 2.2.1 トンネル画像取得システムの一例

(2) 従来手法との経済比較

このトンネル画像取得システムと従来手法との経済比較は、下記資料を参考に行った。

比較の結果、従来手法 100%に対し新技術 98%と新技術が若干有利となった。しかし、この 98%の値が、トンネル延長が短く通行規制による影響が少ない本トンネルでそのまま適用することは難しいことから、経済的な優劣は付けがたいと判断する。

ただし、前述の土木遺産保全の観点においては、定期点検の高度化を図る効果はあるものと考えられる。

〔参考資料〕

- ・「道路トンネル点検記録作成支援ロボット技術に関する試験結果等を公表します
～新技術の活用に向けて～」：平成 2 年 6 月 30 日、国土交通省

表 2.2.1 熊井隧道の定期点検の従来手法と新技術の経済比較

手法	従来手法	新技術
	人による目視、触診・打音点検	トンネル画像点検システム
工法概要	片側交互通行規制を行い、人力による点検・写真撮影とスケッチから変状展開図を作成し、点検調書などを作成する。	通行規制を伴わずにトンネル覆工表面画像を取得し、そのデータからトンネル変状を抽出し、点検調書などを作成する。
		
経済性	1,500千円 ※1	1,470千円 ※2
	100%	98% ※2

※1：平成30年度定期点検業務の発注金額（実績）

※2：「道路トンネル点検記録作成支援ロボット技術評価表」：令和2年3月、国土交通省の資料参考値
従来技術とのコスト比率の5社平均値：添付資料参照

2.2.2 トンネル補修補強工の新技術活用

熊井隧道の補修補強工の内、早期に必要となる一次対策（裏込め注入工、はく落防止工）は令和3～4年度で完了した。

今後は、定期点検を実施していく中で、ひび割れ進展や顕著な漏水が発生するなど道路利用者への悪影響が懸念された場合に二次対策を実施する計画としている。

現在、計画している二次対策は以下の工種であり、いずれも技術的に確立された従来技術である。本トンネル長寿命化修繕計画の検討に際しては、トンネル補修補強工の工法選定において「NETIS新技術情報提供システム」（令和4年12月段階）を確認した。工法確認は、「道路維持修繕工」→「トンネル補修補強工」により検索したが、現状では現設計に替わる有用な技術は確認できなかった。

なお、今後、2次対策工を施工する必要がある場合は、その段階における新技術活用について再検討することとする。

〔二次対策の工種〕

- ・ ひび割れ止水注入工
- ・ ひび割れ注入工
- ・ 水抜きボーリング工（漏水が著しくひび割れ止水工等での対応が困難となった場合）
- ・ FRP グリッド+ポリマーセメント工（覆工塊のはく落が懸念された場合の覆工補強）

2.3 費用の縮減に関する具体的な方針

本トンネルは、尾根を隔てた集落を結ぶ重要な町道であるとともに、貴重な土木遺産でもあることから、集約・撤去、機能縮小などによる維持管理費用の縮減は行うことができないと判断する。

3. 今後の措置計画

下表に、熊井隧道の今後の定期点検及び措置の計画を示す。

本トンネルは、先に示した老朽化対策の基本方針に準じて、定期点検を1回/5年の頻度で実施することとする。

トンネル対策工事は、特に緊急性が高く土木遺産保全上重要となる一次対策工（はく落防止工、裏込め注入工）を令和3～4年度に完了している。今後は、定期点検の結果により必要に応じて追加の二次対策工（漏水対策工、覆工補強工など）を実施する予定である。

表 3.1.1 熊井隧道の措置の計画

	年度	定期点検	トンネル補修補強工事
		回数	工種
R5 年度 起 点 年 次	H25	初回	
	H26		
	H27		
	H28		
	H29		
	H30	第2回	
	H31・R1		
	R2		調査・修繕工設計
	R3		裏込め注入工、はく落防止工（はつり落とし+断面修復工）、その他
	R4		
1	R5	第3回	定期点検等の結果、ひび割れ進展や漏水により第三者被害が懸念された場合に追加の補修補強工を実施
2	R6		
3	R7		
4	R8		
5	R9		
6	R10	第4回	漏水対策工、覆工補強工（変状の進展や利用者被害の状況に応じて）
7	R11		
8	R12		
9	R13		
10	R14		
11	R15	第5回	
12	R16		
13	R17		
14	R18		
15	R19		
16	R20	第6回	

黒潮町トンネル長寿命化修繕計画
・平成 31 年 3 月 策定
・令和 5 年 4 月 令和 5 年改訂版