

社会資本長寿命化計画
トンネルガイドライン
改訂版



平成 28 年 3 月
静岡県交通基盤部道路局道路保全課

目 次

1 はじめに	1
2 総則.....	3
2.1 適用範囲.....	3
2.2 用語の説明	3
3 トンネルマネジメントの基本方針	6
3.1 トンネルマネジメントの基本的な考え方.....	6
3.2 トンネルマネジメントの体系.....	10
4 維持管理目標	11
4.1 維持管理区分.....	11
4.2 維持管理指標と維持管理水準.....	11
5 状態把握・評価・データ管理	13
5.1 状態把握.....	13
5.2 状態評価.....	15
5.3 劣化予測による将来状態の推定	15
5.4 データ管理	16
6 中長期管理計画の立案	17
6.1 LCC 分析・予算の平準化	17
6.2 優先順位付け.....	20
7 事業実施・モニタリング・事後評価・フィードバック	22
7.1 事業実施.....	22
7.2 モニタリング・事後評価・フィードバック	22
8 今後必要な取り組み.....	23

1 はじめに

本県では、平成 16 年 3 月に策定した「土木施設長寿命化行動方針（案）」¹⁾（静岡県土木部）に基づき、山岳工法で建設された道路トンネルの維持管理や運営方法を定めた「トンネルガイドライン（案）」²⁾（以下、「旧ガイドライン」という。）を平成 19 年 6 月に策定した。

その後、「土木施設長寿命化行動方針（案）」が、平成 25 年 3 月に「社会資本長寿命化行動方針」³⁾（以下、「行動方針」という。）として改定され、行動方針の対象施設が拡大されたほか、維持管理区分の見直し等についても行われた。

また、平成 24 年 12 月 2 日に中央自動車道笹子トンネル天井板落下事故が発生したことを受け、「道路法」及び「道路法施行令」が平成 25 年 6 月に改正され、平成 26 年 7 月の「道路法施行規則の一部を改正する省令」及び「トンネル等の健全性の診断結果の分類に関する告示」（以下「省令・告示」という。）の施行により、トンネル、橋等は、国が定める統一的な基準のもと、5 年に 1 回の頻度で近接目視による点検（定期点検）を行うことが義務化された。あわせて、この省令・告示の規定に基づく具体的な点検方法を定めた定期点検要領が国土交通省から通知され、本県においても、省令・告示やこれら点検要領の点検方法等との整合を図るため、「静岡県道路トンネル点検要領」⁴⁾（以下、「県点検要領」という。）を平成 27 年 4 月に改定した。

県では、これまでに平成 18 年度から平成 23 年度と平成 24 年度から平成 25 年度の間の 2 回、トンネル点検を実施し、その点検結果を基に、現在トンネル本体工の補修作業に着手している。これらデータによって得られた最新の知見や行動方針の内容等を反映し、より一層の効率的、効果的な道路トンネルの維持管理・運営を行っていくため、トンネルガイドラインを改定するものである（図 1.1）。

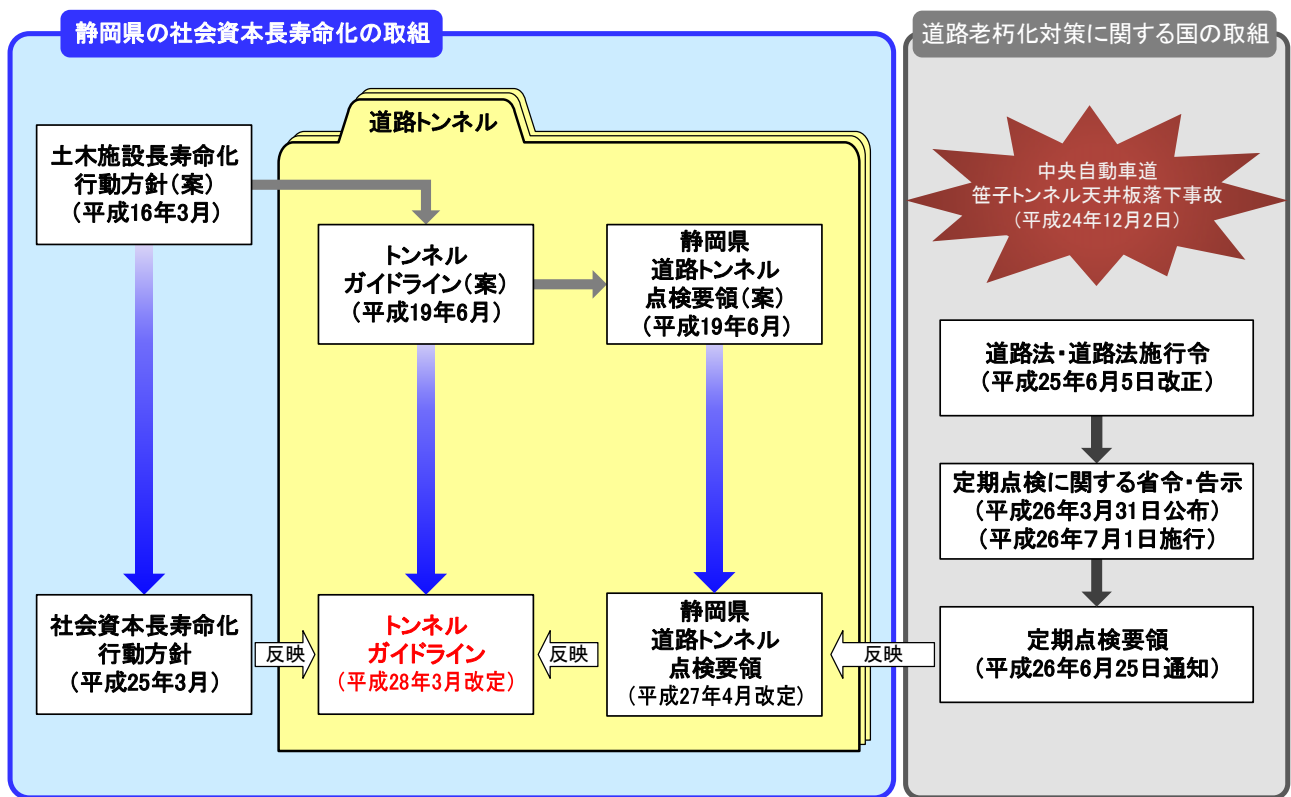


図 1.1 本ガイドラインの改定経緯

旧ガイドラインからの主な改定点は、以下のとおりである。

1) 維持管理区分の見直し

行動方針に基づき、トンネル本体工及び附属施設の維持管理区分を見直した。

2) 維持管理指標、状態把握・評価方法の見直し

県点検要領に基づき、維持管理指標、状態把握及び評価方法を見直した。

3) 維持管理水準の見直し

県点検要領で定める変状の健全度ランクの状態や措置の内容、トンネルの基本的な維持管理の考え方を考慮し、目標管理水準及び限界管理水準を見直した。

4) 劣化予測手法の見直し

変状の原因が複雑で、その進行度合いが変状毎に異なる実態を考慮し、対策余寿命に幅を持たせることとした。

2 総則

2.1 適用範囲

本ガイドラインは、静岡県が管理する山岳工法で建設された道路トンネル（以下、「トンネル」という。）におけるマネジメントに適用する。

2.2 用語の説明

本ガイドラインにおいては、以下のように用語を定義する。

(1) トンネル本体工

覆工、坑門、内装板、天井板、路面、路肩、排水施設及び補修・補強材をいう⁴⁾。

(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う。また、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する⁴⁾。

(3) 変状

トンネルの本体工の覆工、坑門等に発生した劣化の総称をいう⁴⁾。なお、トンネルにおける変状の区分は、変状対策の目的や対応から、外力に起因する変状、材質劣化に起因する変状、漏水に起因する変状に分類される。

(4) 健全度ランクの判定

点検または調査結果により把握されたトンネル本体工の個々の変状の程度を5段階の健全度ランクに判定することをいう。健全度ランクの判定はトンネルの変状・異常が、利用者に及ぼす影響を詳細に把握するとともに、必要な措置の方法等を立案する上で必要な情報を得るために行う⁴⁾。

(5) 健全性の診断、トンネル毎の健全性の診断

健全度ランクの判定結果において5段階の健全度ランクに判定されたトンネル本体工の変状の程度を省令・告示に規定されているⅠ～Ⅳの4段階の判定区分に分類することをいう。健全性の診断においては、健全度ランクⅡaとⅡbを併せてⅡとして扱う。定期点検では、変状単位（外力に起因する変状は覆工スパン単位）に実施する「変状等の健全性の診断」を行った後に、覆工スパン毎及びトンネル毎の構造物単位で実施する「トンネル毎の健全性の診断」を行う。変状等の健全性の診断において、外力、材質劣化、漏水に起因する変状で、覆工スパン内の判定区分が最も厳しいものをその「覆工スパン毎の健全性」とする。また、全覆工スパンで判定区分が最も厳しいものを、その「トンネル毎の健全性」とする⁴⁾。

(6) 措置

トンネル本体工において、点検または調査の結果に基づいて、トンネルの機能や耐久性等を回復させることを目的に、対策、監視を行うことをいう。具体的には、対策、定期的あるいは常時の監視、緊急に対策を講じることができない場合などの対応として、通行規制・通行止めがある。措置は、健全度ランクの判定に基づいて検討するものとする⁴⁾。

(7) 対策

対策には、短期的にトンネルの機能を維持することを目的とした応急対策^{※1}と中～長期的にトンネルの機能を回復・維持することを目的とした本対策^{※2}がある⁴⁾。

※1 応急対策

定期点検等で、利用者被害が生じる可能性が高い変状が確認された場合、調査や本対策を実

施するまでの期間に限定し、短期的にトンネルの機能を維持することを目的として適用する対策をいう。

※2 本対策

中～長期的にトンネルの機能を回復・維持することを目的として適用する対策をいう。

(8) 予防保全管理

1) 構造物系予測計画型³⁾

施設の使用中の不具合の発生を未然に防止するために規定の間隔又は基準に従って修繕等を実施し、施設の機能劣化又は不具合の確率を低減するために行う保全。

2) 構造物系状態監視型³⁾

施設の使用中の不具合の発生を未然に防止するために、状態監視に基づき行う保全。

3) 設備系状態監視型³⁾

設備の使用中の故障の発生を未然に防止するために、状態監視に基づき行う保全。

4) 設備系時間計画型³⁾

定められた時間計画に従って遂行される予防保全。

(9) 事後保全管理

1) 構造物系事後保全型³⁾

施設の不具合発見後、要求機能遂行状態に修復させるために行う保全。

2) 設備系事後保全型³⁾

故障発見後、設備を要求機能遂行状態に修復させるために行う保全。

(10) 目標管理水準

管理上の目標とする施設状態（水準）のことをいう。これを下回ったら対策や更新を実施する³⁾。

(11) 限界管理水準

管理上、絶対に下回れない施設状態（水準）のことをいう³⁾。

(12) 中長期管理計画

将来状態の推定から、中長期的に必要となる対策費（補修・補強費）や更新費等を推計し、効率的・効果的な投資計画を立案することをいう。計画の立案にあたっては、ライフサイクルコスト（以下、「LCC」という。）最小化の観点から、想定される複数の維持管理手法について LCC 分析を行い、最適案を検討する。

(13) 対策余寿命

LCC 計算において、変状対策が必要となる（対策工実施）までの推定期間（年数）のことをいう。

(14) 耐用年数

耐用年数（寿命）は、大きく物理的、機能的、経済的耐用年数の3つの概念に分けられる³⁾。なお、本ガイドラインにおける耐用年数（寿命）は、物理的耐用年数を扱う。

1) 物理的耐用年数

構造物の物理的寿命から考えられるもので、構造材料の劣化（腐食、損傷、摩耗、疲労など）により構造物の性能（使用性能、耐荷性能）が低下し、一定の規準を満足できなくなるまでの期間であり、構造力学的、構造工学的な構造物の寿命。

2) 機能的耐用年数

技術革新、需要の急激な変化等により、当初期待されていた機能とは異なる機能が社会的に要請されるようになったため、構造物が新しく要請される機能を満足出来なくなるまでの期間。

3) 経済的耐用年数

維持・管理のコストから考えて、新規構造物と比較すると経済的に見合わなくなるまでの期間。

(15) 更新

構造物全体を作り替える行為。トンネルは地山と支保工・覆工が一体化した構造物であるため、トンネルの更新は考慮しないものとし、部位・部材を取替える行為は、補修の一種としている。

なお、本ガイドラインにおける更新は、付属施設全体の撤去、新設のことをいう。

(16) 外力 (=通常の外力)

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⁴⁾。

(17) 材質劣化

使用材料の品質が時間の経過とともに劣化が進行するものであり、コンクリートの中酸化、アルカリ骨材反応、鋼材の腐食、凍害、塩害、温度変化、乾燥収縮等の総称をいう⁴⁾。

(18) 漏水

覆工背面地山の地下水が、覆工コンクリートに生じたひび割れ箇所や目地部を通過し、トンネル坑内側に流出するなどの現象の総称をいう。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⁴⁾。

(19) 突発性の崩壊

見かけ上の変状がほとんどみられない状況で、突然トンネルの覆工が崩壊する可能性があることをいう。とくに、矢板工法で建設されたトンネルにおいて留意すべき事項であり、覆工背面に大規模な空洞が残存し、有効な覆工厚さが薄く、背面地山が岩塊となって崩落する可能性がある場合に突発性の崩壊を生じた事例がある⁵⁾。

3 トンネルマネジメントの基本方針

3.1 トンネルマネジメントの基本的な考え方

3.1.1 トンネル本体工

- (1) トンネルの耐用年数（寿命）は考慮しない。
- (2) トンネルの劣化予測は困難であるため、トンネルの変状対策が必要となるまでの推定期間（対策余寿命）を設定し、将来状態の推定を行う。
- (3) トンネルの変状においては、劣化進行（健全度の低下）により、対策範囲、対策工法及び対策費が基本的に変わることはない。また、変状対策後は、実施した対策工の再補修が必要となる。
- (4) トンネルの維持管理は、トンネルの変状に管理上対策が必要と判定された段階で対策を実施することが、経済的で効果的である。

- (1) トンネルは、地山自体が有している支保機能を活用するもので、トンネル内側から行う支保工・覆工は、地山の支保能力を有効に利用するための補助手段である（図 3.1）。このように、トンネルは地山と支保工・覆工が一体となって空間を保持する構造物であるため、橋梁等の一般の土木構造物とは異なり、更新（作り替え）が困難な構造物であることから、適切な維持管理のもと、長期間にわたり使用するものとし、構造物の耐用年数（寿命）は考慮しないものとした。

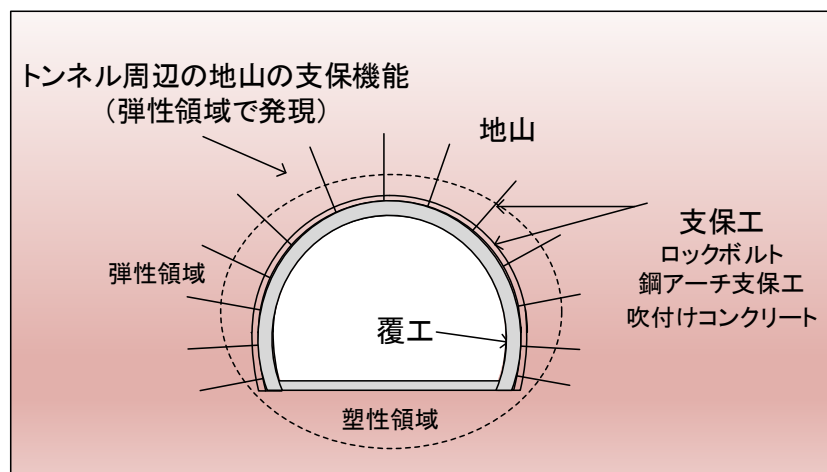
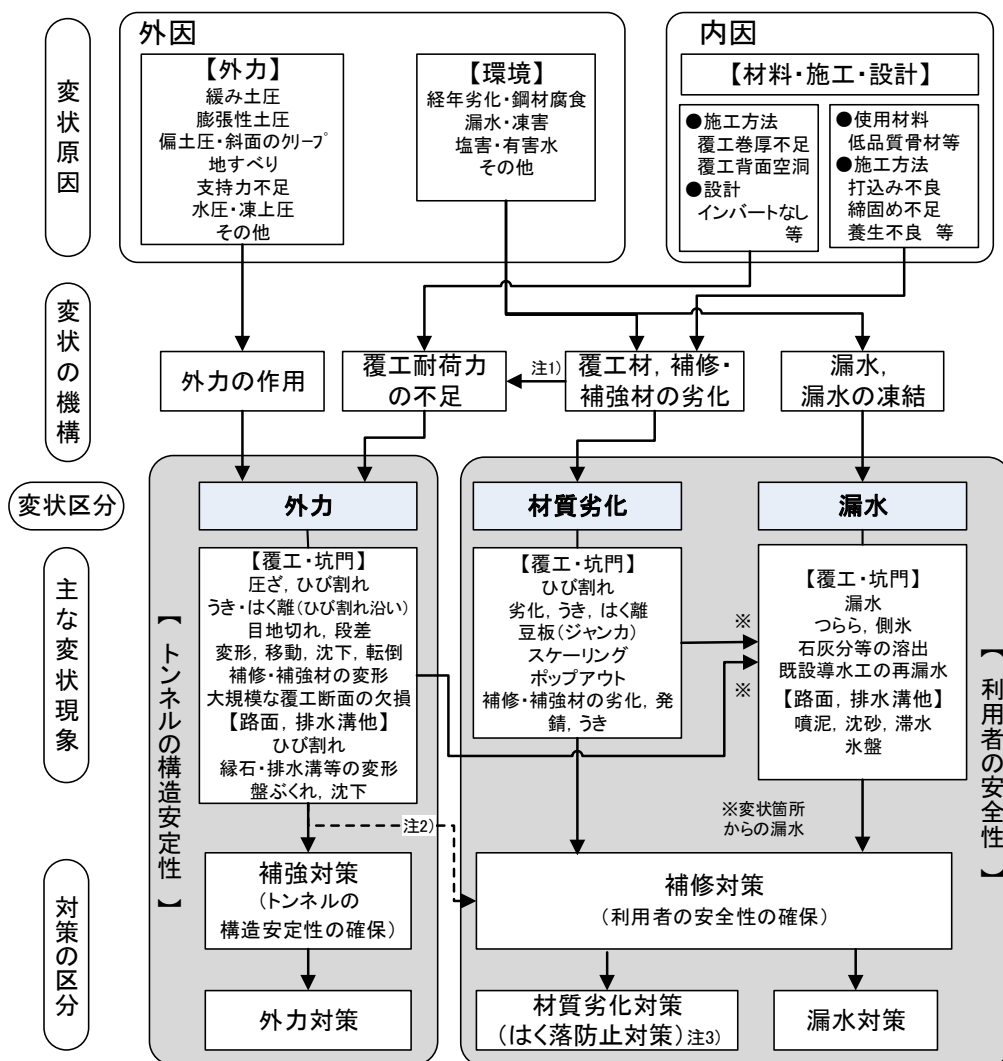


図 3.1 トンネル構造の概念（NATM トンネルの場合）

- (2) 将来的に必要な対策費を推計するためには、劣化予測による構造物の将来状態の推定を行うことが必要であるが、トンネルの劣化予測には、以下のような課題がある。
 - ① トンネルの変状は、交通荷重により発生、進行するものではない。
 - ② 変状の原因は、部位、部材そのものの老朽化に加え、使用材料・施工方法等によるものや周辺地山の地質の変化等の影響も受けることから、変状原因が複雑で（図 3.2）、また、個々のトンネルの状態によって、変状の進行度合いも変状毎に異なる。
 - ③ 構造物の一部である周辺地山も、不均質で不確実性が大きく、覆工等により地山が覆われているため、その状態を直接把握することが困難である。

このようなトンネルが持つ特殊性により、トンネルの変状の進行予測（劣化予測）を行うことは困難である。このため、劣化予測手法の確立は、十分な点検データ等が蓄積された後の課題とし、現時点では、点検で確認された変状において、対策が必要となるまでの推定期間（対策余寿命）を設定することで、将来的に必要な対策費の推計を行う。



注1) 覆工材の劣化が広範囲に進むと、覆工の有効巻厚が減少して覆工耐力の不足を生じる場合がある。
注2) 変状の状態によっては、補修対策(材質劣化対策・漏水対策)を併用する場合がある。
注3) 道路トンネル(無筋コンクリートの覆工が主体の山岳工法によるトンネル)では、覆工材等の落下を防ぐことを主目的として「はく落防止対策」が適用されるケースが多い。

図 3.2 変状原因と変状区分及び対策の区分との関係 (文献⁵⁾を加筆修正)

(3) (4) 橋梁等の一般的な土木構造物(鉄筋コンクリート構造物)では、表 3.1 の概念図に示すとおり、鉄筋等の腐食開始時期に行う対策 A (鉄筋防錆対策等) と、鉄筋等が著しく腐食した段階で行う対策 B (部材や構造物全体の取替え等) では対策工法が異なるほか、対策費も劣化進行に伴い大幅に増加する。

一方、トンネルは無筋コンクリートの覆工を主体としているため、鉄筋等の腐食により部材や構造物全体の性能が著しく低下することはない。また、トンネル本体内に発生した外力(通常の外力)、材質劣化及び漏水に起因する変状は、変状規模が拡大する可能性のある地すべりや凍害等の一部の變状を除き、図 3.3 に示すとおり、その進行過程で対策範囲や対策工法が基本的に変わることはない。このため、トンネルの変状は、橋梁等の一般的な土木構造物のように、劣化進行により対策費が増加することはない(表 3.1)。

また、変状対策実施後は、補修材の経年劣化等により実施した対策工の再補修が必要となる。このため、比較的健全性の高い変状の予防保全的な対策は、対策工の再補修が前倒しされることから、

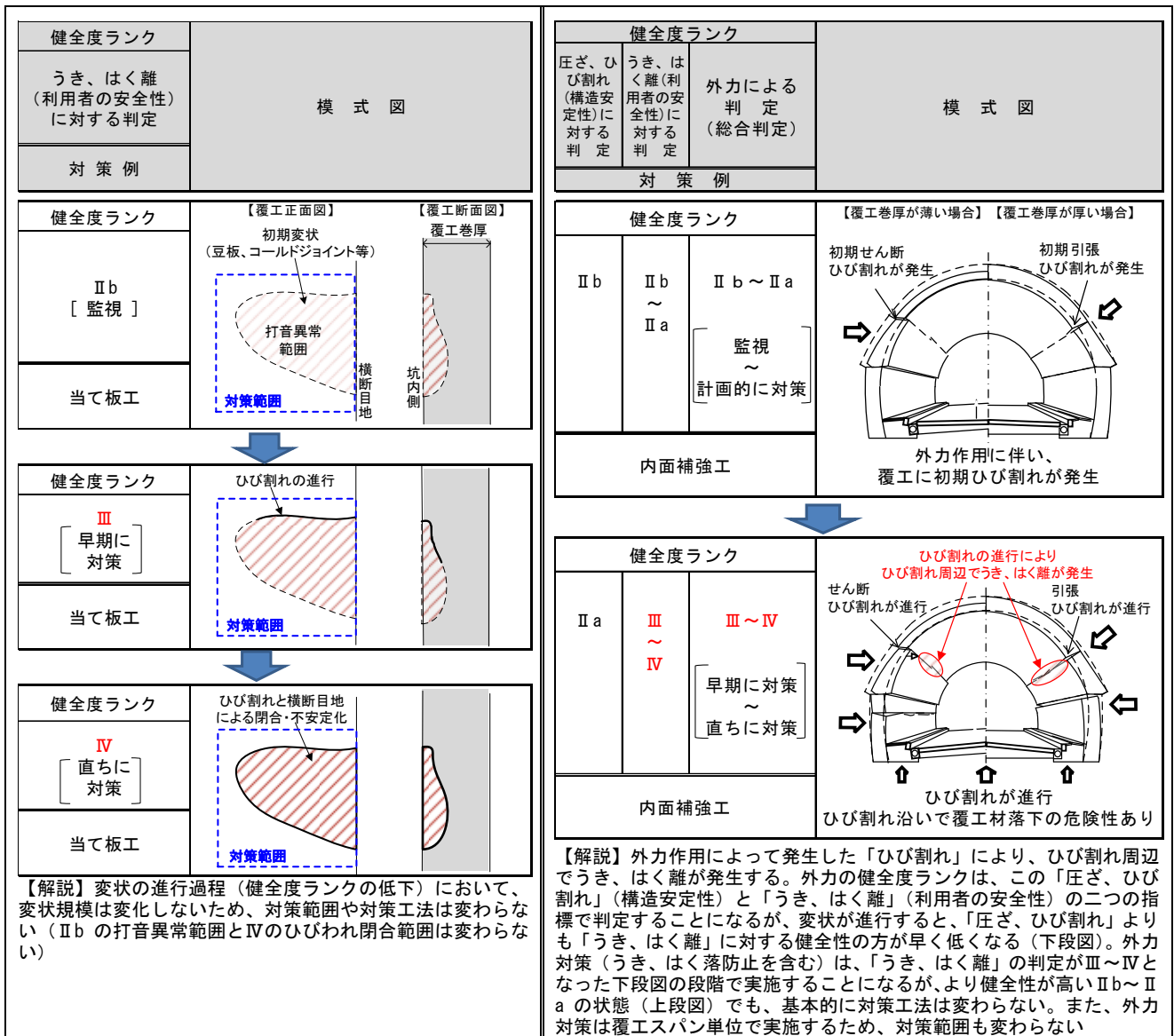
LCCにおいて経済的に不利となる。加えて、対策の実施により、補修材の落下等による利用者被害のリスクも高まる。

以上により、トンネルでは、管理上当面支障とならない変状は、その状態を点検によって継続的に監視し、管理上対策が必要と判定された段階で対策を実施することが、より経済的で効果的な維持管理手法と言える（表 3.1）。

表 3.1 施設状態と維持管理手法のイメージ

	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)
概念図		
維持管理上の特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・ 構造安定性のみで健全度を評価する ・ 鉄筋等の腐食により、構造体としての耐荷力が著しく低下する ・ 劣化の進行（健全度の低下）に伴い対策費は増加する ・ 予防保全と事後保全の対策費を比較し、LCC分析を行う 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 構造安定性（外力）と利用者の安全性（材質劣化、漏水）の二つの観点で健全度を評価する ・ 鉄筋等の腐食により構造体としての耐荷力が、著しく低下することはない ・ 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注1)（図 3.3） ・ 変状対策後は、実施した対策工の再補修が必要となるほか、補修材の落下等による利用者被害のリスクも高まる ・ 管理上、対策が必要と判定されてから変状対策を行うことが経済的で効果的である

注 1) 変状規模が拡大する可能性のある地すべりや突発性の崩壊等、一部の対策を除く。



(a) 材質劣化に起因する変状例

(b) 通常の外力（膨張性土圧）に起因する変状例

図 3.3 変状の進行と対策範囲・対策工法との関係

ただし、突発性の崩壊（図 3.4）に対する空洞充填対策（裏込め注入工）は、対策実施後の再補修の必要性がないため、予防保全的な対策は可能である。とくに、掘削法や覆工コンクリートの打設方法に起因して背面空洞が残存する矢板工法のトンネルにおいては、背面地山の崩落に伴う覆工の大規模損傷・崩壊の未然防止や外力に対するトンネルの構造安定性の確保を目的に、空洞充填対策を予防保全的に実施していくことが望ましい。

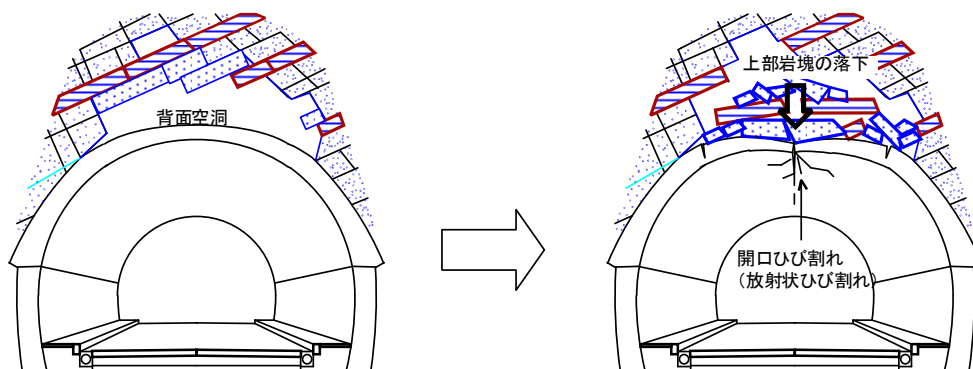


図 3.4 突発性の崩壊の例

3.1.2 付属施設

付属施設は、既存施設の耐用年数や過去の点検履歴等を考慮し、更新時期を個別に設定し、将来的に必要な更新費の推計を行う。

付属施設は多数の設備（装置や機器等）で構成されており、それらの破損や故障等の異常の発生原因は、設備の疲労等によるものや外部からの要因によるものなど多岐にわたるほか、異常の発生時期やその進行度合いも異なる。このため、付属施設の異常発生やその進行速度の評価は、今後の点検データの蓄積・分析後の課題とし、現時点では、既存施設の耐用年数や過去の点検履歴等を基に、個別に更新時期を設定することで、将来的に必要な更新費の推計を行うこととする。

3.2 トンネルマネジメントの体系

トンネルのマネジメントの手順は下図に示すフローに従う。

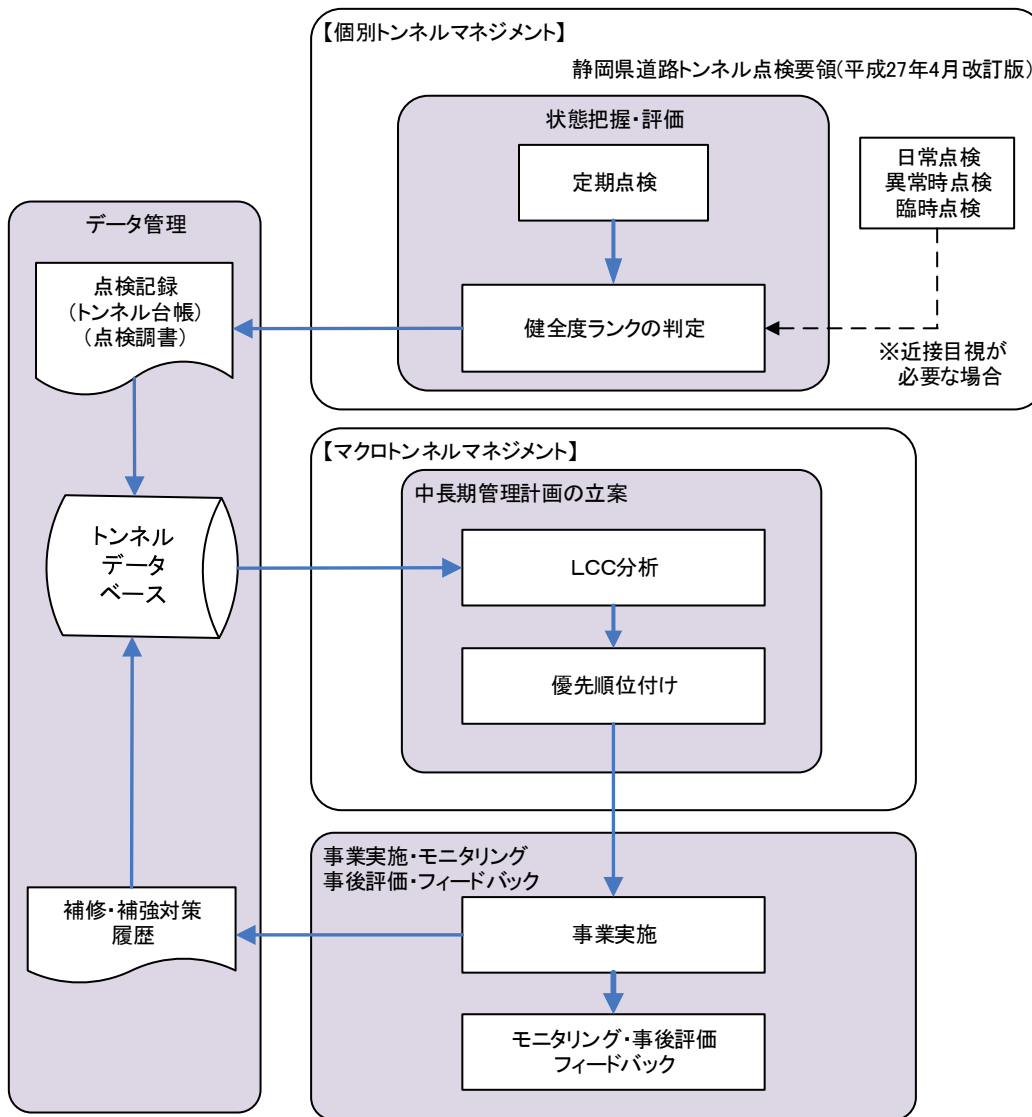


図 3.5 トンネルマネジメントの流れ

4 維持管理目標

4.1 維持管理区分

トンネルの維持管理は、トンネル本体工、付属施設ともに「予防保全管理（状態監視型）」³⁾ で実施する。

トンネル本体工の維持管理区分は「予防保全管理（状態監視型）」で実施する。定期点検により、トンネルの変状の状態を監視し、管理上対策が必要と判定された（目標管理水準を下回った）段階で対策を実施していくことを基本とする。

また、付属施設の維持管理区分についても、「予防保全管理（状態監視型）」とする。点検により施設の機能を確認するとともに、機器や部品の劣化状態を監視し、施設の機能が喪失する前の適切な時期に計画的に更新を行っていく。

4.2 維持管理指標と維持管理水準

- (1) 維持管理指標は、トンネルの変状毎の「健全度ランク」とする。
(2) トンネルの変状の限界管理水準は健全度ランクⅣとⅢとの境界、目標管理水準は健全度ランクⅡaとⅢとの境界とする。

- (1) トンネルの維持管理指標は、定期点検で判定する変状毎の健全度ランク（5段階区分）とする（表4.1）。

表 4.1 健全度ランク表⁴⁾

健全度ランク ^{注1)}	状態	措置の内容	
I	変状が全くないかあっても軽微で、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もの	—	
II	II b	変状・損傷があり、将来的に、利用者に対して影響が及ぶ可能性があるが、進行性が認められず、現状では監視と定期点検の対応で問題ないもの	監視
	II a	変状・損傷があり、それが進行して将来的に、利用者に対して影響が及ぶ可能性があるため、監視を併用し、予防保全の観点から計画的に対策を行う必要があるもの	監視 計画的に対策
III	変状・損傷があり、早晩、利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、早急に対策を行う必要があるもの。また、進行性がある変状で、次回の定期点検時には、健全度ランクⅣとなる可能性が高いもの	早期に対策	
IV	変状・損傷が著しく、利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、緊急 ^{注2)} に対策を行う必要があるもの	直ちに対策	

注1) 健全度ランクは「道路トンネル定期点検要領（国土交通省道路局国道・防災課）」で規定している「対策区分」に対応する。

注2) 健全度ランク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いう。

(2) 限界管理水準は、管理上、絶対に下回れない施設状態（水準）であり、表 4.1 の健全度ランク表の状態、措置の内容から、健全度ランクⅣとⅢとの境界とする。

また、目標管理水準は、健全度ランクⅡa とⅢとの境界とし、定期点検等による状態監視の上、健全度ランクⅡa の変状が健全度ランクⅢに推移した段階で、対策を実施することを基本とする*（図 4.1）。

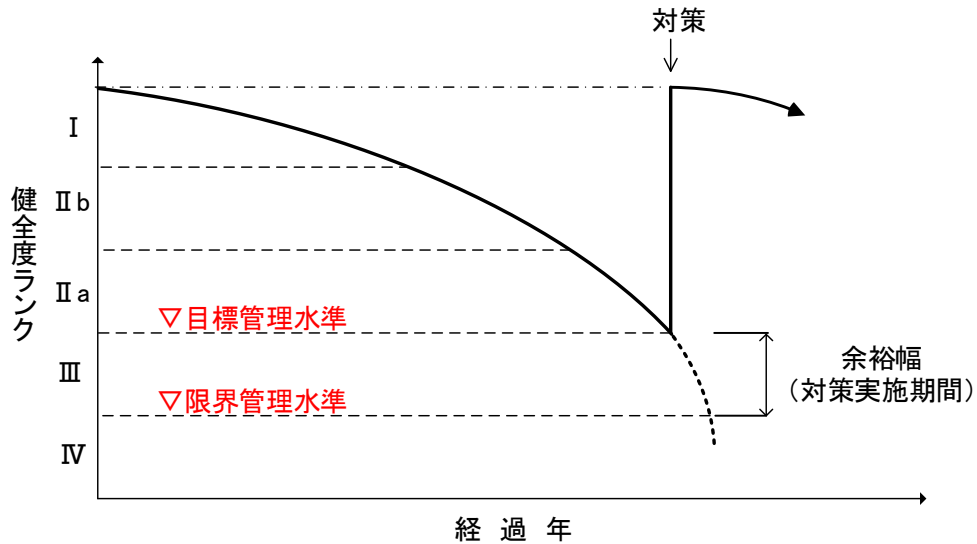


図 4.1 トンネル変状の健全度ランクと維持管理水準との関係

*突発性の崩壊に対する対策時期は個別に検討する。

5 状態把握・評価・データ管理

5.1 状態把握

トンネルの点検は、日常点検、異常時点検、定期点検、監視、臨時点検及び付属施設点検から構成されるが、トンネルマネジメントに必要な情報は定期点検によって得ることを基本とする。

静岡県が管理するトンネルの点検は、表 5.1 に示すように日常点検、異常時点検、定期点検、監視、臨時点検及び付属施設点検から構成され、トンネル本体工における各点検の関係は図 5.1 に示すとおりとする。

トンネルマネジメントに必要となる変状毎の健全度ランクは、定期点検によって得ることを基本とする。なお、状態の把握方法については、県点検要領に準拠する。

表 5.1 静岡県トンネル点検の体系⁴⁾

点検種別	目的	点検間隔	点検項目	点検実施者	備考
日常点検	利用者の安全性を阻害する状態の発見	月に3回以上	車上目視	職員 (必要に応じ委託)	通常パトロールにて実施 ^{注1)}
異常時点検	日常点検で利用者の安全性を阻害する変状・異常が認められた場合の対応を判断	日常点検で変状・異常が認められた場合	遠望目視 ^{注2)}	職員 (必要に応じ委託)	
定期点検	措置の方法や修繕計画の検討のための健全度ランクの判定(状態把握)叩き落とし等の応急措置による利用者の安全確保	5年に1回	近接目視 打音検査触診	専門技術者 (外部委託)	附属物の取付状態も併せて確認する
監視	健全度ランクの判定の結果、当面は本対策の適用を見送ると判断された箇所に対し、変状の挙動を追跡的に把握する	健全度ランク Ⅳ、Ⅲ： 2～3年程度 に1回	遠望目視 ^{注2)}	職員 (必要に応じ委託)	
		健全度ランク Ⅱa、Ⅱb： 日常点検で実施	車上目視 ^{注3)}	職員 (必要に応じ委託)	
臨時点検	利用者の安全性を阻害する状態の発見	異常気象時、地震時等	車上目視 遠望目視 ^{注2)}	職員 (必要に応じ委託)	異常気象時等パトロールにて実施 ^{注1)}
付属施設点検	付属施設の動作状態の把握	法定点検、詳細な点検等は別途施設ごとに必要に応じ実施			

注1) 静岡県道路パトロール実施要領に定める。

注2) 遠望目視で変状状況に変化が認められた場合、または変状状況が確認できない場合は近接目視等を行う。

注3) 日常点検時に利用者被害を及ぼす可能性があると思われる場合は、異常時点検に準じて変状状況を遠望目視で確認する。

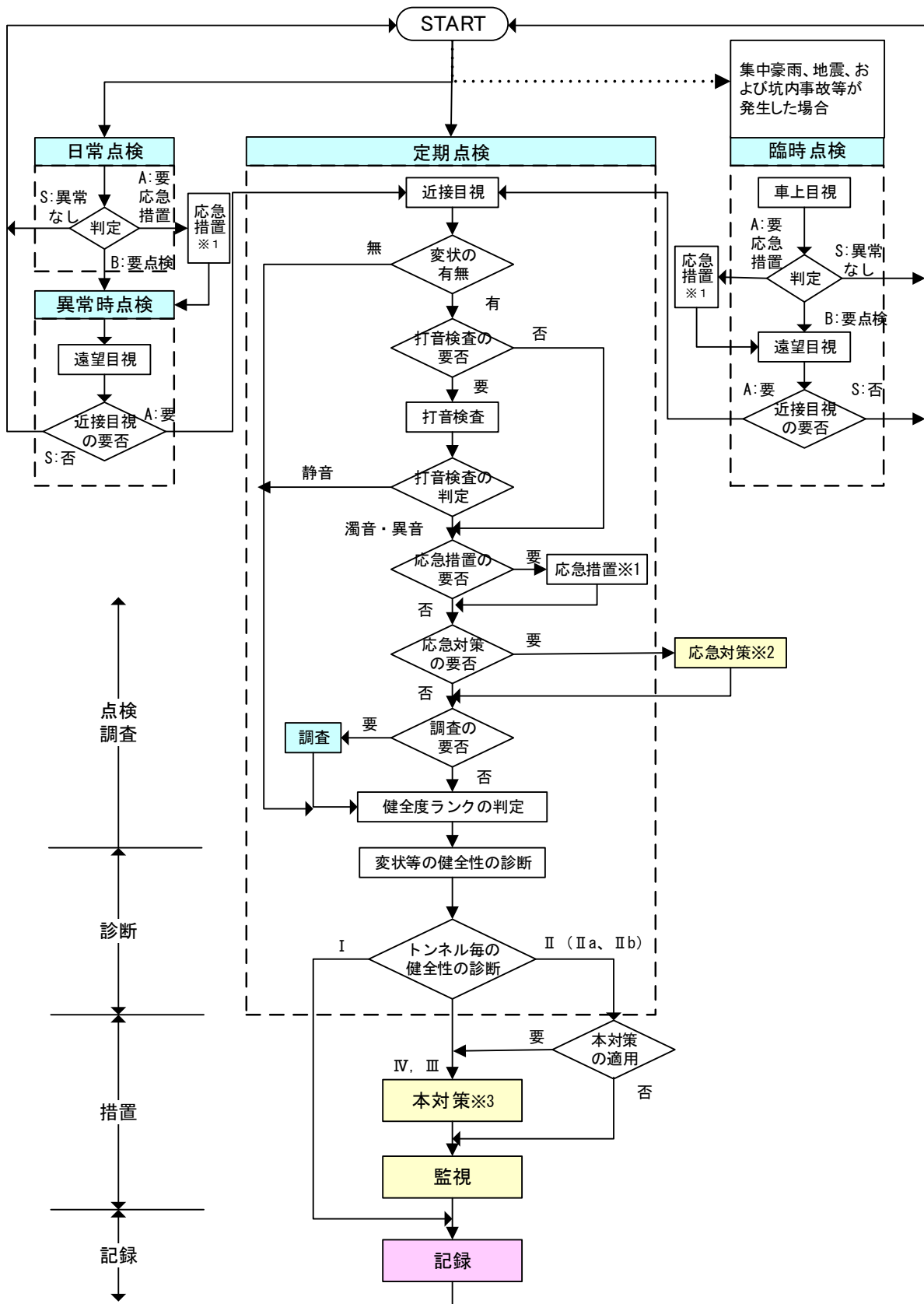


図 5.1 トンネルメンテナンスサイクルの基本的なフロー（文献⁴⁾を加筆修正）

※1 応急措置：点検時に、利用者被害の可能性のあるコンクリートのうき・はく離部を撤去したり、附属物の取付状態の改善等、点検作業の範囲内で行うことができる程度の応急的に講じられる処置をいう。

（定期点検時例：うき・はく離箇所等のハンマーでの撤去、附属物の固定アンカーボルトの締直し等、日常点検及び臨時点検時例：交通規制、落下物の除去等）

※2 応急対策：定期点検等で、利用者被害が生じる可能性が高い変状が確認された場合、調査や本対策を実施するまでの期間に限定し、短期的にトンネルの機能を維持することを目的として適用する対策をいう。

（例：金網・ネット工（はく落防止対策）等）

※3 本対策：中～長期的にトンネルの機能を回復・維持することを目的として適用する対策をいう。

（例：鋼板接着工（外力対策）、繊維シート系当て板工（はく落防止対策）等）

5.2 状態評価

トンネルの状態評価は、トンネルの変状を外力、材質劣化及び漏水の変状区分に分類して、変状毎に健全度ランクを判定する。

トンネルの状態評価は、トンネルの変状を外力、材質劣化及び漏水の変状区分に分類し、変状毎に表 4.1 に示す 5 段階の健全度ランクに区分する。

健全度ランクの判定は、外力に起因する変状は覆工スパン単位に、材質劣化及び漏水に起因する変状は変状単位に判定を行う。補修・補強対策工の本対策を実施した変状に対しては、健全度ランクを I とする。応急対策を実施した変状は、本対策を実施するまで健全度ランクは変更しない。

状態の評価方法については、県点検要領に準拠する。

5.3 劣化予測による将来状態の推定

トンネルの変状の劣化予測は困難であるため、対策が必要となるまでの推定期間（対策余寿命）を設定し、将来状態の推定を行う。

将来的に必要な対策費を推計するためには、劣化予測による変状の将来状態の推定を行う必要がある。しかし、トンネルは一般的な構造物と異なり劣化要因等が明確でなく、変状の劣化予測は困難である。そのため、対策が必要となるまでの推定期間（対策余寿命）を設定し、将来状態の推定を行う。

旧ガイドラインでは、健全度ランク毎の対策余寿命を単年として設定していたが、トンネルの変状原因は多岐にわたり劣化の進行速度も変状毎に異なること、健全度ランクの高い（健全性の高い）変状ほど対策時期に不確実性が大きくなること、また、これまで実施した点検結果においても、変状の劣化進行に規則性が認められなかったことを考慮し、対策余寿命に幅を持たせることとした（表 5.2）。

現時点では、変状の劣化進行を予測するための十分な点検データが蓄積されていないため、対策余寿命に対して、変状の進行度合いの実態や措置の緊急度に応じた幅を仮定しているが、今後、蓄積されていく点検データ等を分析することによって、変状の進行予測（対策余寿命の幅等）の精度を向上させていくものとする。

なお、対策余寿命による変状の健全度推移の概念図を図 5.2 に示す。

表 5.2 LCC 計算における健全度ランク毎の対策余寿命^{注1)}

健全度ランク		措置の内容	対策余寿命（目安）
I		—	—
II	II b	監視	15～45 年
	II a	監視 計画的に対策	5～14 年
III		早期に対策	2～4 年
IV		直ちに対策	1 年

注 1) 上記の表は、LCC 計算における健全度ランク毎の対策工実施までの期間の目安を、健全度ランクの状態や措置の緊急度を参考に仮定したものである。

- ・健全度ランク IV の変状：緊急に対策を行う必要がある状態。
- ・健全度ランク III の変状：次回の定期点検前（2～4 年）に対策を行う必要がある状態。
- ・健全度ランク II a の変状：次回以降の定期点検で変状進行が明らかになる状態。
- ・健全度ランク II b の変状：II a の対策余寿命以降に変状進行が明らかになる状態。

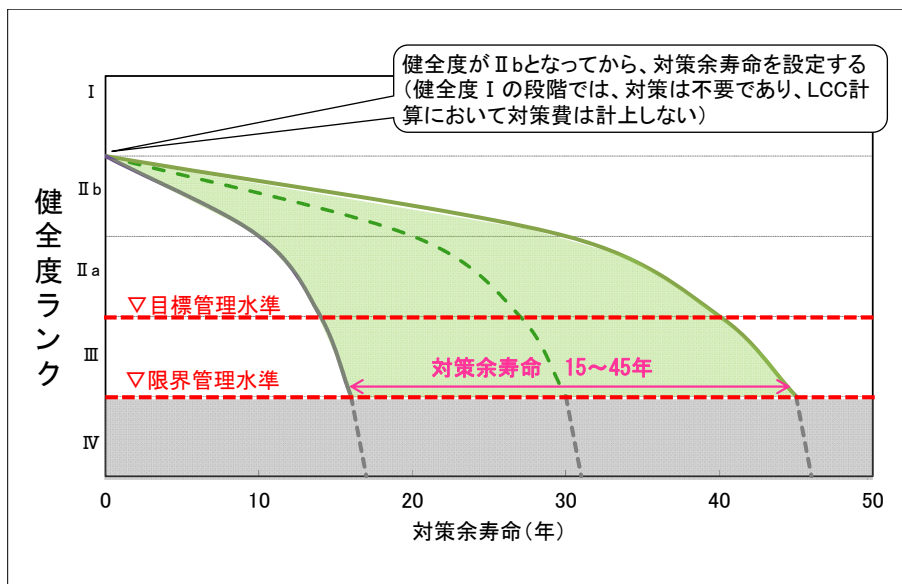


図 5.2 対策余寿命による健全度推移の概念図

5.4 データ管理

トンネルマネジメントに必要な情報は、点検記録様式に記録するとともにトンネルデータベースへ登録し、管理する。

定期点検の点検結果は、県点検要領で定める点検記録様式（トンネル台帳、点検調書）に記録する。また、定期点検以降（定期点検の業務期間内も含む）に実施した調査や措置（対策、監視）は、前回の定期点検の点検記録様式にその履歴を確実に記録するとともに、補修・補強工事等を実施した場合は、設計図面や関連資料を保管するものとする。

これら点検記録や補修・補強対策履歴は、トンネルデータベースシステムに登録・蓄積し、適切に管理していくとともに、図 3.5 に示すマネジメントの各段階の検証データとして活用していく。

6 中長期管理計画の立案

6.1 LCC 分析・予算の平準化

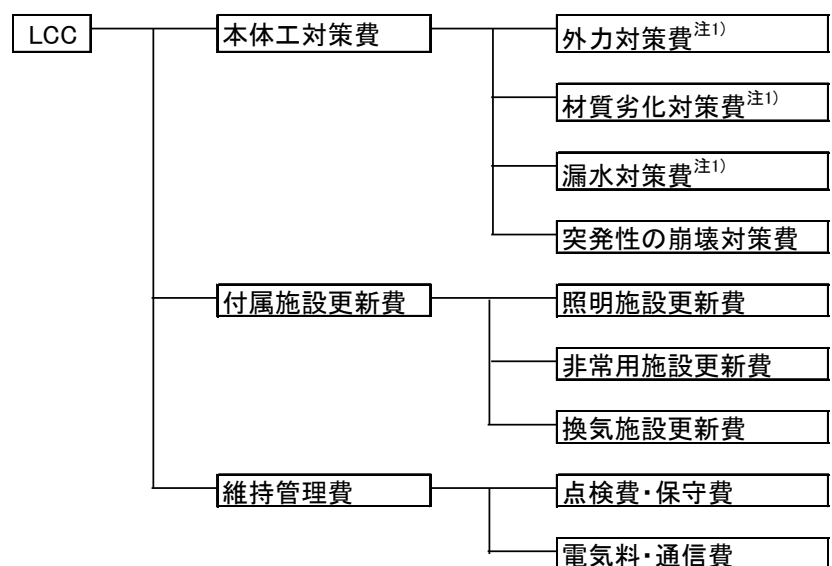
- (1) 中長期管理計画の立案にあたっては、LCC 分析を行い、LCC 最小化（コスト縮減効果）を考慮した投資計画を検討する。
- (2) トンネルの LCC は、本体工対策費、付属施設更新費及び維持管理費を計上する。
- (3) トンネルの LCC 分析において、耐用年数（寿命）は考慮しない。また、LCC 分析における評価期間は 45 年程度を目安とする。
- (4) LCC 分析によって検討した投資計画において、限られた財源の中で効率的なトンネルの維持管理を実施していくため、年間投資額の平準化（予算の平準化）を図る。

(1) 中長期管理計画の立案にあたっては、LCC 分析を行い、LCC 最小化（コスト縮減効果）を考慮した投資計画を検討する。

(2) LCC は、次式のとおり計算する。

$$\text{LCC} = \text{【1】 本体工対策費} + \text{【2】 付属施設更新費} + \text{【3】 維持管理費}$$

なお、各構成費目の内訳を図 6.1 に示す。



注 1) 実施した対策工の再補修費も含む。

図 6.1 LCC 計算における各構成費目の内訳

1) 本体工対策費

外力、材質劣化及び漏水に起因する変状は、定期点検で判定された健全度ランク毎の対策余寿命年に対策費を配分して計上する。対策費は、定期点検で採寸した変状数量（対策数量）に、表 6.1 で示す標準対策工の単価を乗じて算出する。なお、実施した対策工は、補修材の経年劣化等により再補修が必要になるため、適用した対策工の耐用年数経過年に再度同額の対策費（再補修費）を計上する。

覆工背面空洞・巻厚不足等に起因する突発性の崩壊に対する対策費は、外力、材質劣化及び漏水に起因する変状の対策費と区分して計上する。

2) 付属施設更新費

付属施設（照明施設、非常用施設及び換気施設）は、既存施設の耐用年数や過去の点検履歴等を

考慮し、更新時期を個別に設定し、施設の更新が必要となる年に更新費を計上する。

3) 維持管理費

点検費や照明ランプ交換等の保守費、付属施設運転に係る電気料等を計上する。

表 6.1 対策工の代表例

変状区分	代表的な変状現象	対策の区分	対策工 ^{注1)}	LCC 計算において再補修が必要となるまでの年数 ^{注2)}	備考	
外力	ひび割れ変形	外力対策	裏込め注入工	可塑性エアモルタル	永年	
				発泡ウレタン	永年	
			ロックボルト工		永年	
			内面補強工	鋼板接着工	30	
				繊維シート補強工	30	
				格子筋補強工	30	
内巻補強工	◎プレキャスト工	100				
	鋼材補強工	50				
材質劣化	うきはく離	はく落防止対策	はつり落とし工	30		
			断面修復工	30		
			金網・ネット工	金網工、エキスパンドメタル工		10
				ネット工 (FRPメッシュ、樹脂ネット)		25
			当て板工	形鋼系 (平鋼、山形鋼等) 当て板工		20
				パネル系 (鋼板、成型板) 当て板工		30
				◎繊維シート系当て板工		30
補強セントル工	鋼アーチ支保工	50	主に応急対策で適用			
漏水	漏水路面滞水つらら側水	漏水対策	樋工	20		
			溝切り工	20		
			止水注入工 (ひび割れ注入)	20		
			◎面導水工 (防水パネル工)	20		
			水抜きボーリング、水抜き孔	50		他漏水対策工と併用

注 1) 表中、◎黄色着色を LCC 計算の標準対策工とする。標準対策工は、汎用性があり施工実績が高い工法を選定。

注 2) 対策工の耐用年数のことをいう。対策工の耐用年数は、一部のメーカーヒアリングにより暫定的に設定しており、今後の点検結果や補修実績等の分析により検証する。

(3) トンネルの LCC 分析において、耐用年数 (寿命) は考慮しない。なお、LCC 分析の評価期間は、トンネルの変状の対策余寿命の最大値が 45 年 (健全度ランク II b) であることを考慮し、45 年程度を目安とする。

なお、LCC 分析における社会的割引率や外部費用 (社会的コスト) の考え方は以下のとおりとする。

1) 社会的割引率

社会的割引率は、将来発生するコストを現在価値に割り戻して評価するためのものであり、LCC を算出する際に用いられる。

$$C = I + \sum_{k=1}^n \left[\frac{\text{k年目のコスト}}{(1+i)^k} \right]$$

ここで、C : ライフサイクルコスト

n : 計算期間

i : 社会的割引率

新規事業の場合、社会的割引率を 4%として費用便益を算出する手法が国土交通省の指針で定められているが、既設構造物の維持管理計画を対象とした場合の扱いが明確化されていない。また評価期間が長期間となった場合、将来の事業が過小評価され実務者の直感と矛盾する評価結果となる。

以上より、LCC 分析においては、社会的割引率を考慮しない。

2) 外部費用（社会的コスト）

同一路線内の管理が主となる国土交通省や各高速道路会社では、走行時間損失、走行経費損失、事故損失等を LCC 分析に考慮している。

しかし、対象路線が多数ある静岡県の場合、路線の条件（交通量、規制の難易度、迂回路の有無等）が異なることや、損失額が巨額となり実際に発生する工事費用が対策工法を選定するための判断材料とならなくなる恐れがある。このため LCC 分析では、これらの外部費用は考慮せず、中長期管理計画における対策の優先順位を評価する際に反映させる。

(4) LCC 分析によって検討された投資計画において、限られた財源の中で効率的なトンネルの維持管理を実施していくためには、突出した年間投資額を平準化（予算の平準化）する必要がある。

本土工対策費の予算の平準化は、原則として、変状の健全度ランク毎の対策余寿命の範囲内で行うものとするが、平準化の検討にあたっては、以下の点に留意する。

- ① 健全度ランクⅡb 及びⅡa の変状の対策余寿命前の対策実施は、3.1.1 (3) で述べたように、再補修の前倒しにより経済的にならないこと、加えて補修材による落下リスクも高まるため、慎重に検討する必要がある。
- ② 早期に対策が必要な健全度ランクⅢの変状は、措置の緊急度や利用者の安全性を早期に確保する観点から、前倒しして対策を実施することは望ましい。
- ③ やむを得ず、健全度ランクⅢあるいはⅣの変状の対策（本対策）を、対策余寿命を超えて実施せざるを得ない場合は、応急対策等の措置を実施する必要がある。
- ④ 突発性の崩壊に対する背面空洞充填対策（裏込め注入工）は、3.1.1 (4) で述べたように、対策工の再補修が必要ないため、前倒しして実施することが望ましい。

附属施設更新費の平準化にあたっては、とくに非常用施設については、機能喪失によりトンネル運用に支障を来す恐れがあるため、無理な延命化はしない。

6.2 優先順位付け

対策は、トンネル毎の健全性⁴⁾が低いトンネルから優先して実施する。
 ただし、トンネル毎の健全性が同じ場合の優先順位は、路線の重要度、利用頻度（交通量）、迂回路の有無、トンネル長さから評価した優先順位決定指数により決定する。

対策は、トンネル毎の健全性が低い（健全度ランクの低い変状を有する）トンネルから優先して実施する。

ただし、トンネル毎の健全性が同じ（同ランクの変状を有する）場合は、以下に示す優先順位決定指数 α の高いトンネルから優先して対策を実施する。

$$\text{優先順位決定指数 } \alpha = W_a \times X_a + W_b \times X_b + W_c \times X_c + W_d \times X_d$$

ここで、 X_a :路線の重要度の基礎評点

X_b :利用頻度（交通量）の基礎評点

X_c :迂回路の有無の基礎評点

X_d :トンネル長さの基礎評点

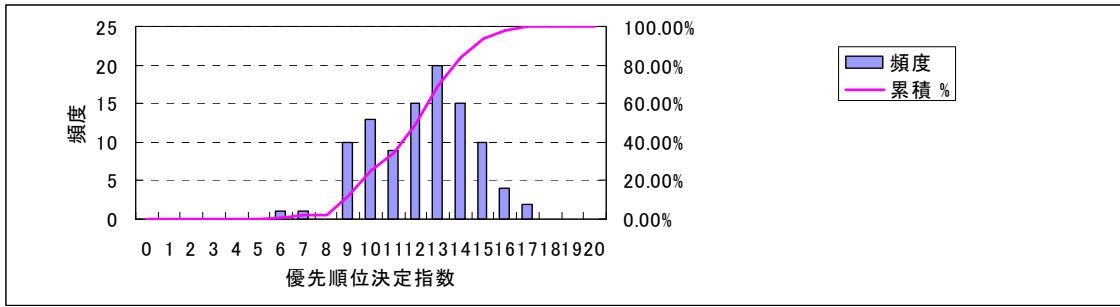
$W_a \sim W_d$:各基礎評点に乗じる重み係数

表 6.2 評価項目毎の基礎評点（暫定）

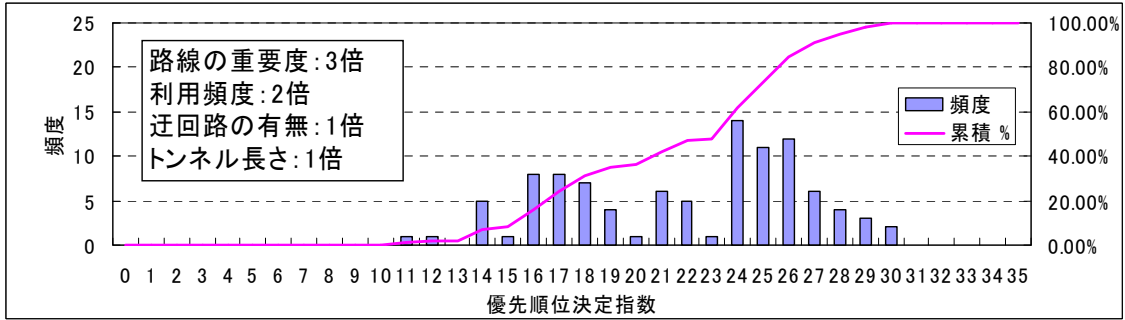
評点	X_a :路線の重要度	X_b :利用頻度（交通量）	X_c :迂回路の有無	X_d :トンネル延長
5	緊急輸送路 (1次・2次)	10,000台/日以上	なし	500m以上
4	一般国道	5,000台/日以上～ 10,000台/日未満	あるが遠い (+30分程度)	200m以上～ 500m未満
3	主要地方道	1,000台/日以上～ 5,000台/日未満	あるが中程度 (+15分程度)	100m以上～ 200m未満
2	一般県道	500台/日以上～ 1,000台/日未満	あるが近い (+5分程度)	50m以上～ 100m未満
1	その他（歩道等）	500台/日未満	あり（至近）	50m未満

各重み係数の設定は、優先順位の頻度分布が分散するよう、 $W_a \sim W_d$ を変えて試行計算を行い、図 6.3 (b)に基づき、以下のように設定した。なお、評価項目の評点や重み係数は暫定的に設定しているため、実態に応じて適宜見直しを図っていくものとする。

$$\text{優先順位決定指数 } \alpha = 3X_a + 2X_b + X_c + X_d$$



(a) 重み係数 $W_a \sim W_d$ を全て 1 とした場合の頻度分布



(b) 頻度分布を分散させた場合の重み係数 $W_a \sim W_d$

図 6.2 優先順位決定指数計算結果

7 事業実施・モニタリング・事後評価・フィードバック

7.1 事業実施

定期点検の点検結果に基づいて、中長期管理計画の見直しを行うとともに、健全度ランクⅢ及びⅣの変状は修繕計画を策定し、対策を実施することを基本とする。

5年に1度の頻度で行う定期点検の点検結果に基づいて、中長期管理計画の見直しを行うとともに、健全度ランクⅢ及びⅣの変状は修繕計画を策定し、対策を実施することを基本とする。また、健全度ランクⅡb及びⅡaの変状(Ⅲ・Ⅳの変状も含む)は、定期点検に加え県点検要領で定める「監視」(表5.1)により、その状態を追跡的に把握していくものとする。

なお、修繕計画の策定にあたっては、基本的に健全度ランクⅢ及びⅣの変状を対象とするが、交通量が多く交通規制により多額の規制経費を必要とするトンネル等、健全度ランクⅡaの変状も含めて対策を実施した方が、経済的、効率的な場合は、当該変状の対策も含めて計画を検討するものとする。

7.2 モニタリング・事後評価・フィードバック

トンネルの変状の状態や措置の実施状況を把握し、定期的(5年に1回程度)に健全度分布の推移を分析することで、投資した予算と実施した対策の事業効果を検証する。

定期点検の点検結果、監視や対策の履歴を点検記録様式(トンネル台帳、点検調書)に記録し、トンネルデータベースに蓄積していくことで、トンネルの変状の状態や措置の実施状況を把握していく。

また、健全度分布の推移(図7.1参照)を変状毎、トンネル毎等に算出し、定期点検のサイクルが一巡する5年に1回程度、その変化を分析することで、投資した予算と実施した対策の事業効果を検証する。

あわせて、今後蓄積されていく点検データや事業実施による補修・補強実績等の分析・解析により、変状の劣化進行(対策余寿命の幅等)や実施される対策工の耐用年数等を検証し、検証結果をガイドラインに反映していくものとする。

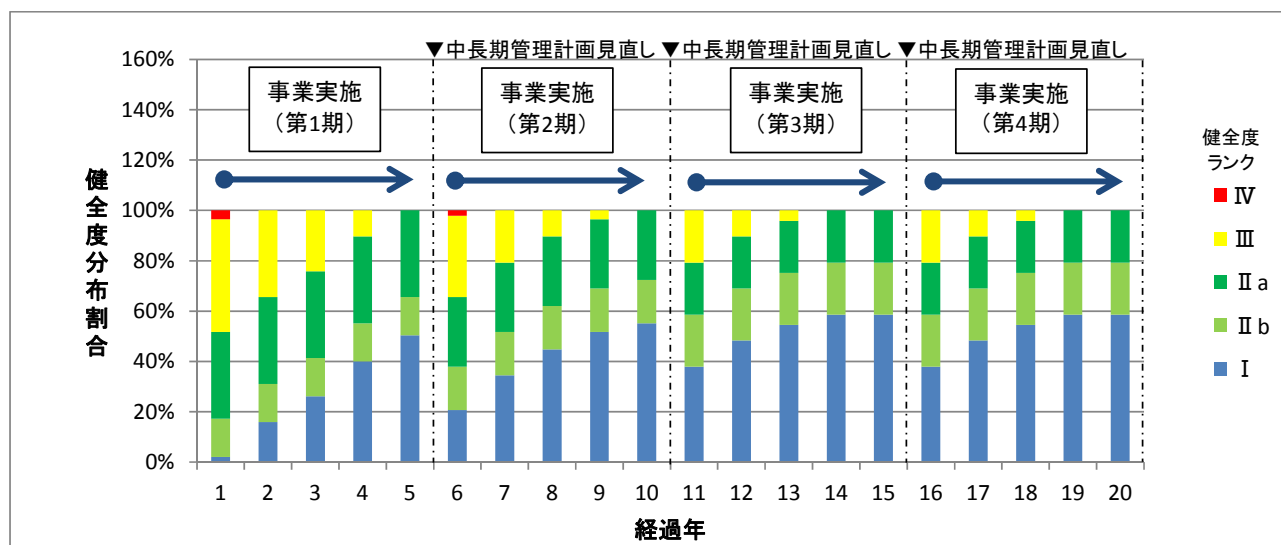


図 7.1 対策の事業実施に伴う健全度分布の推移 (イメージ)

8 今後必要な取り組み

トンネルの維持管理に関する取り組みは、今後の研究や技術開発に期待されるところが大きい。今後、新技術が開発され、より効率的で効果的な知見・技術が確立された場合は、本ガイドラインへ適時反映していくものとする。

本ガイドラインは、作成した時点においてはトンネルに関する最新の情報や知見を反映させたものではあるが、今後、新技術が開発され、より効率的で効果的な技術が確立された場合には、本ガイドラインの内容が陳腐化する可能性がある。したがって、本ガイドラインでは下記に示す新技術等が確立された段階で、適時、それを取り込む方針とする。

1) 評価、予測手法に関する技術

より精度の高い評価手法や将来予測手法等が確立された場合。

2) 点検、調査、補修・補強に関する技術

より効率的、効果的な点検、調査方法や補修・補強技術が確立された場合。

3) 照明施設等の付属施設の技術革新

ランニングコストの低減や施設の延命化に関する新技術が確立された場合。

点検、調査手法に関しては、近年、高感度ビデオカメラやレーザー光等を用いて覆工表面の連続画像撮影を行える走行型計測システムが開発されてきている。これらのシステムは、近接目視と同等の評価が行えるところまで確認されていないが、変状展開図作成において、人力によるスケッチに比べて変状の位置や規模等の把握、精度向上等につながることから、点検と併用して実施している事例がある。また、打音検査の機械化に関する研究開発も進められている。

補修・補強工法に関しては、新工法の開発、既存工法の改良が各社で進められており、今後、より効率的で経済的な工法が実用化されるものと期待される。

現在、照明施設において、従来のナトリウム灯に比べ、低電力で耐久性の高いLED灯が一般化され、トンネル照明施設にも普及が進んでいる。このように技術革新によって新技術が確立された場合、初期コストやランニングコストを考慮した上で、その導入について検討するものとする。

【参考文献】

- 1) 土木施設長寿命化行動方針（案） 平成 16 年 3 月 静岡県土木部
- 2) トンネルガイドライン（案） 平成 19 年 6 月 静岡県建設部道路局道路保全室
- 3) 社会資本長寿命化行動方針 平成 25 年 3 月 静岡県交通基盤部
- 4) 静岡県道路トンネル点検要領（改訂版）平成 27 年 4 月 静岡県交通基盤部道路局道路保全課
- 5) 道路トンネル維持管理便覧【本体工編】 平成 27 年 6 月 （公社）日本道路協会

【改定履歴】

年 月	主な改定内容	備考
平成 19 年 6 月	トンネルガイドライン（案）策定	
平成 28 年 3 月	① 維持管理区分の見直し トンネル本体工及び付属施設の維持管理区分の見直し ② 維持管理指標、状態把握・評価方法の見直し 県点検要領に基づく維持管理指標、状態把握・評価方法 への見直し ③ 維持管理水準の見直し 県点検要領に基づく目標管理水準及び限界管理水準への 見直し ④ 劣化予測手法の見直し 対策余寿命に幅を設定	