

## 年度毎の点検・監視費用を平準化する最適保守計画の立案

05001038 関西大学大学院  
01308414 関西大学  
関西大学  
05001208 株式会社 構研エンジニアリング  
株式会社 構研エンジニアリング

\*山本 彩圭 YAMAMOTO Ayaka  
檀 寛成 DAN Hiroshige  
兼清 泰明 TANAKA-KANEKIYO Hiroaki  
佐光 正和 SAKOU Masakazu  
佐藤 直樹 SATOU Naoki

### 1. 本研究の背景と目的

国土交通省は、2014年6月よりトンネル定期点検に関する要領 [1] を設けた。この要領では「①全てのトンネルに対して5年に1回の頻度で定期点検を行い、健全性を評価する」、「②評価に応じて点検・監視後2年程度以内に重点監視を実施する」という点検・監視間隔に関するルールがある。これらのルールを遵守しつつ、効率的なトンネルの保守計画を立案することが求められている。一方で、自治体が採用する単年度会計の下では、年度毎費用に偏りが生じる可能性がある。

そこで我々は、先行研究 [2] で年度毎費用を平準化する点検・監視計画を立案した。本研究では、さらに補修によるトンネルの判定区分の改善を考慮した保守（点検・監視・補修）計画を立案する。この際、点検・監視総費用と補修費用の上限を考慮する。

### 2. 問題解決のアプローチ

全てのトンネルには、定期点検の際に健全性を表す（良）I/IIb/IIa/III/IV（悪）の判定区分が与えられる。[1]では、全てのトンネルが①を満たし、判定区分がIIa/III/IVのトンネルは①と②の両方を満たすことが求められている。

本研究では、点検・監視に関して次の2種類の計画を準備する。

- 標準計画：5年毎に点検を実施

判定区分	計画年度					
	0	1	2	3	4	5
I/IIb	i					i ...
IIa/III/IV	i	m		m	i	...

i: 点検 (inspection), m: 監視 (monitoring)

- 先行実施計画：4年毎に点検を実施

判定区分	計画年度					
	0	1	2	3	4	5
I/IIb	i				i	...
IIa/III/IV	i	m			i	...

[1]では、トンネルの状態によっては5年より短い間隔で点検を実施することを妨げていない。つまり、トンネルの定期点検では、標準計画に加え先行実施計画を選択可能である。

さらに、判定区分がIIa/III/IVのトンネルに対し、標準計画と先行実施計画に補修を加えた計画を準備する。この際、補修後の点検時に判定区分がI/IIbに改善し、補修後は重点監視が不要になると仮定する。

- 補修計画：前回点検の3・4年後に補修を実施

計画名	計画年度										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
標準	i		m		m	i		m		m	i ...
補修	i		m		mr	i <sup>†</sup>					i ...
先行実施	i		m		i		m		i		m ...
補修	i		m	r	i <sup>†</sup>					i	...

r: 補修 (repair), †: 改善

本研究では、このような標準/先行/補修計画の組合せを用いて前回点検年度に応じた適用可能なパターンを全て列挙した。ただし、経年劣化によりトンネルの判定区分が変化しないと仮定する。

### 3. 定式化

#### 3.1. 集合, パラメータ, 変数

- 集合
  - $T$ : トンネルの集合
  - $T'$ : 判定区分がI/IIbのトンネルの集合
  - $I$ : 計画期間の年度集合
  - $J$ : 平準化対象期間の年度集合
  - $K$ : 前回点検の年度集合
  - $P$ : 点検・監視・補修パターンの集合
  - $P^{\text{re}}$ : 補修パターンの集合
  - $P_k$ :  $k \in K$ 年に前回点検を実施したトンネルの点検・監視パターンの集合
- パラメータ
  - $a_t$ : トンネル  $t \in T$  の前回点検年度
  - $b_{p,i}^{\text{in}}, b_{p,i}^{\text{mo}}$ : 点検・監視パターン  $p \in P$  を選択し、計画年度  $i \in I$ 年に点検、監視を実施するとき1, それ以外0

- $c_t^{\text{in}}, c_t^{\text{mo}}, c_t^{\text{re}}$ : トンネル  $t \in T$  の点検, 監視, 補修費用
- $d$ : 点検・監視総費用の上限
- $e$ : 補修費用の上限
- 変数
  - $u, l$ : 平準化対象期間中の年度毎の点検・監視費用の上限, 下限
  - $x_{t,p}$ : トンネル  $t \in T$  が点検・監視パターン  $p \in P_{a_t}$  を選ぶとき 1, それ以外 0
  - $y_i$ : 計画年度  $i \in I$  年の点検・監視費用

### 3.2. 制約条件

- 各トンネルに点検・監視/補修パターンを設定

$$\sum_{p \in P_{a_t}} x_{tp} = 1 \quad (t \in T) \quad (1)$$

- 補修パターンを選択できるトンネルを制限

$$x_{t,p} = 0 \quad (t \in T', p \in P^{\text{re}}) \quad (2)$$

- 補修費用の上限

$$\sum_{t \in T, p \in P^{\text{re}}} c_t^{\text{re}} x_{t,p} \leq e \quad (3)$$

- 年度毎の点検・監視費用の算出

$$y_i = \sum_{t \in T, p \in P_{a_t}} x_{t,p} (b_{p,i}^{\text{in}} c_i^{\text{in}} + b_{p,i}^{\text{mo}} c_i^{\text{mo}}) \quad (i \in I) \quad (4)$$

- 年度毎の点検・監視費用の最大/最小値

$$l \leq y_j \leq u \quad (j \in J) \quad (5)$$

- 点検・監視総費用の上限

$$\sum_{j \in J} y_j \leq d \quad (6)$$

### 3.3. 最適化モデル

本研究では次の2つの最適化モデルを用いる。

$$(P1) \quad \begin{cases} \text{minimize} & \sum_{j \in J} y_j \\ \text{subject to} & (1), (2), (3), (4), (5). \end{cases}$$

$$(P2) \quad \begin{cases} \text{minimize} & u - l \\ \text{subject to} & (1), (2), (3), (4), (5), (6). \end{cases}$$

(P1) は平準化対象期間中の最小の点検・監視総費用を算出する。ただし,  $e$  の値は 0 に設定する。(P2) は平準化対象期間中の点検・監視総費用上限  $d$  と補修費用上限  $e$  の下で, 年度毎の点検・監視費用を平準化する。

## 4. 数値実験

本実験では, 平準化の対象期間を FY2019 から FY2030 までの 12 年間とし, 北海道のトンネル 284 本を対象に数値実験を行う。

なお, 数値実験で用いたデータは, 国土交通省ホームページからの情報, および北海道開発局から使用承諾を受けたものである。

### 4.1. 点検・監視/補修パターンの準備

前回点検年度に応じて次の2種類を準備した。

- 点検・監視パターン (32 パターン): 標準計画と先行実施計画の実施可能な組合せ
- 補修パターン (28 パターン): 標準計画と先行実施計画のそれぞれに補修を加えた実施可能な組合せ

### 4.2. 実験・考察

まず, (P1) を解くことで最小の点検・監視総費用が 4986.20 百万円 (★) だとわかった。

次に, (P2) を用いて実験を行った。 $d$  の値は (★) を基準として -3.0% から +2.0% まで,  $e$  の値は 0 から 200 百万まで段階的に増加させた。そして, これらの組合せ合計 55 ケースの実験を行った。

ここで, 表 1 と標準計画のみで構成された結果を比べる。解が得られた 38 ケース中 36 ケースで「差分値 ( $u - l$ )」が小さいことが確認できた。

表 1: (P2) を用いた結果 (単位: 100 万円)

点検・監視費用上限	補修費用上限				
	0	50	100	150	200
4836.62 (-3.0%)	-	-	-	-	-
4861.55 (-2.5%)	-	-	-	-	215.36
4886.48 (-2.0%)	-	s-	-	220.86	88.49
4911.41 (-1.5%)	-	-	**314.52	94.32	57.65
4936.34 (-1.0%)	-	-	103.30	61.91	32.37
4961.27 (-0.5%)	-	126.83	66.43	36.10	**11.20
4986.20 (+0.0%)	325.36	76.45	40.01	14.21	*0.70
5011.14 (+0.5%)	118.21	47.83	17.69	*0.74	*0.60
5036.07 (+1.0%)	73.15	24.67	**3.15	*0.58	*0.29
5061.00 (+1.5%)	44.63	6.92	*0.16	*0.55	*0.52
5085.93 (+2.0%)	21.27	*0.64	*0.25	*0.41	*0.33

(-): 解なし, (\*), (\*\*): 暫定解

(\*): 目的関数値が十分小さい, (\*\*): 上界と下界の gap が小さい

## 5. まとめと今後の課題

本研究では, 年度毎トンネルの点検・監視費用の平準化を行うための最適化モデルを提案し, 実データを用いてモデルの有効性を検証した。

今後は, 経年劣化後の補修による改善等, 判定区分の変化に対応した計画の立案を目標とする。

## 参考文献

- [1] 国土交通省, 道路トンネル定期点検要領 (2014), [http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/yobo3\\_1\\_9.pdf](http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/yobo3_1_9.pdf), 2019/7/4 確認。
- [2] 山本彩圭, 檀寛成, 兼清泰明, 須藤敦史, 丸山収, 佐藤京, 年度毎の費用を平準化するトンネル点検・監視計画の立案, 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集 (2019), 210-211.