

1. まえがき

今日、わが国では、高度経済成長期に整備された社会基盤施設の老朽化が問題になっている。行政には、限られた予算の中で社会基盤施設を維持管理することが求められる。予算が平準化された維持管理計画が立案できれば、長期的な予算の見通しとそれに立脚した維持管理が実現できる。ここでは、道路橋 RC 床版を対象に、予算平準化を目指した維持管理計画を立案した。得られた結果と維持管理費用を最小化した計画を比較し、予算平準化の有効性について言及した。

2. 道路橋 RC 床版の維持管理の評価指標

2.1 維持管理費用の最小化

道路橋 RC 床版の T 年間にわたる維持管理における費用の最小化は、金銭的価値の時間変動を考慮し、

$$C_{\min} = \sum_{y=1}^T \left[\frac{1}{(1+r)^y} \sum_{i=1}^n C_{(i,y)} \right] \quad (1)$$

でなされる。ここに、 $C_{\min}$ は維持管理費用の総和、 $C_{(i,y)}$ が橋梁 i の y 年目の維持管理費用、 n が橋梁数、 r が社会的割引率である。

2.2 予算の平準化

現行の公会計制度によれば、事業予算は年度ごとに立てられ、余剰金は次年度に繰り越せない。それゆえ、事業の効率的な継続には、年度ごとに事業費の振れが少なく、平準化された事業の執行が望まれる。すなわち、年度ごとの維持管理費用が一定の予算額 C_{BR} に近づけばよい。この場合、維持管理計画案の良し悪しは

$$R_{\min} = \sum_{y=1}^T \left[\frac{1}{(1+r)^y} \sum_{i=1}^n |C_{(i,y)} - C_{BR}| \right] \quad (2)$$

で判定される。

2.3 RC 床版の安全性評価

RC 床版の疲労損傷度は、松井ら¹⁾が提案した劣化度算定法に基づき、ひび割れ密度 C_d で判定できる。文献 2) を参考に、ひび割れ密度 C_d に対する健全度ランク k と劣化度 D_c を関連づければ、表 1 を得る。

表 1 健全度ランクと劣化度の関係

健全度ランク	健全度 S	劣化度 D_c	ひび割れ密度 C_d
1	1.0~0.80	0~0.20	~2.0 (m/m ²)
2	0.80~0.70	0.20~0.30	2.0~3.0 (m/m ²)
3	0.70~0.40	0.30~0.60	3.0~6.0 (m/m ²)
4	0.40~0.20	0.60~0.80	6.0~8.0 (m/m ²)
5	0.20~0	0.80~1.0	8.0 (m/m ²) 以上

RC 床版の劣化損傷過程は、マルコフの確率過程で表現される。すなわち、 y 年後の損傷状態 $\{S(y)\}$ は

$$\{S(y)\} = [P]^y \{S(k)\} \quad (3)$$

で求められる。ここに、 $[P]$ が遷移確率マトリクス、 $\{S(k)\}$ が健全度ランク k に対応する損傷ベクトルである。また、床版の劣化曲線 $P_{d(i,y)}$ は、

$$P_{d(i,y)} = \{P_{w(k)}\}^T \{S(y)\} \quad (4)$$

から求められる。ここに、 $\{P_{w(k)}\}$ は健全度ランク k での重み係数で、健全度ごとに適切な値が設定される。

安全性能 $P_{s(i,y)}$ は、劣化度 D_c と劣化曲線 $P_{d(i,y)}$ を用い、

$$P_{s(i,y)} = 1 - D_c \quad (y=1) \quad (5)$$

$$P_{s(i,y)} = 1 - \{D_c + (P_{d(i,y)} - P_{d(i,y-1)})\} \quad (y \geq 2) \quad (6)$$

で求められる。橋梁の安全性は、それぞれの安全性能が管理水準を下回らないように判定される。

3. 橋梁群の維持管理計画の最適化

3.1 計画案の最適化

図 1 に示す仮想エリアの道路網上に点在する橋梁群の RC 床版を対象に、予算が平準化された年次ごとの維持管理案を計画する。橋梁数は 20 橋とし、支間ごとに RC 床版を過去に分析された損傷形態を参考に 9 分割した。また、橋梁の重要度に応じて 0.3~0.7 の管理水準を設けた。維持管理費用の最小案を立案するため、単年度の予算を 1 億円とした。

RC 床版の補修・補強工法と費用は文献 3) を参考に

設定した．大規模組合せ最適化問題となる道路橋 RC 床版の維持管理案を遺伝的アルゴリズム（GA）によって求めた．GA パラメータは交叉率 60%，突然変異率 10%，個体数 50 個体，世代数 100 世代とした．制約条件を①損傷状態・原因に対して不適切な工法を選択した場合，②補修・補強費が予算制約を上回る場合，③橋梁の安全性能値が管理水準を下回る場合とし，これらの条件に合う解集団は捨てた．

3.2 計画案の比較とその考察

道路橋 RC 床版の維持管理において，その費用最小化案と予算平準化案に対する年ごとの予算推移を求めれば，図 2 と図 3 を得る．この場合，100 年間の総費用は費用最小化案が 6,282,548,773 円，予算平準化案が 5,827,450,187 円で，平準化案の総費用が最小化案のそれを下回る結果となった．

RC 床版の安全性能の最小値と平均値の推移を描けば，図 4 を得る．図から分かるように，安全性能の平均値は，0～20 年間は最小化案が平準化案を上回り，その後は同様に推移した．また，安全性能の最小値は，0～25 年間は平準化案が最小化案を大きく下回った．これは，予算制約上，多くの橋梁を対象に一年に回復効果が上がる補強工法を選択することができず，対策が先延ばしされた結果である．しかし，25～70 年の間になると，両計画案とも高い性能を保持する．これは，補修・補強の対策が一巡した後は予防保全的な維持管理に移行するからである．また，橋梁の安全性は最小化案が優れているが，年度ごとの費用の変動が大きい．このように，予算平準化案は予算最小化案に比べて安全性能に多少劣るものの，それでも要求性能を満たしながら同額の予算で維持管理が行えるので，予算計画上，効果的である．

4. あとがき

本研究の結果をまとめれば，つぎのとおりである．

- 1) 経年劣化する道路橋 RC 床版の維持管理に対する費用最小化案と予算平準化案を GA によって求めた．
- 2) 費用最小化案では高い安全性能を保持するが，年ごとに維持管理費用が変動する．
- 3) 橋梁の安全性を確保しつつ予算の平準化が可能なことを明らかにした．予算の平準化によって長期的にわたる維持管理の見通しが立ち，財政に裏打ちされた効率的な維持管理が実現できることを示した．

参考文献

- 1) 松井繁之：道路橋 RC 床版の劣化度判定法の一提案，土木学会論文集，No.374，pp.419-426，1986.10.
- 2) 国土交通省：橋梁定期点検要領(案)，2004.3.
- 3) 小林岳彦：コンクリート系床版の保全技術について，日本橋梁建設協会，橋梁技術発表会資料，平成 24 年度発表会，2012.

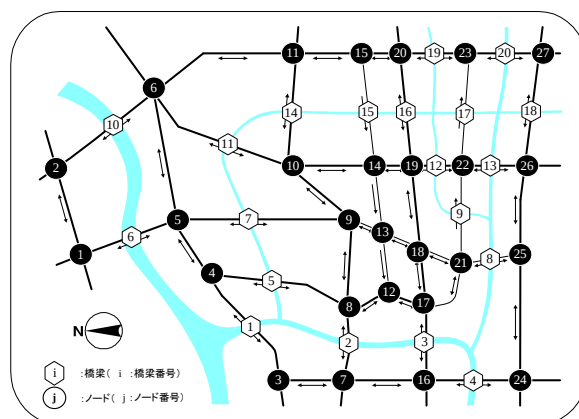


図 1 維持管理計画策定エリア

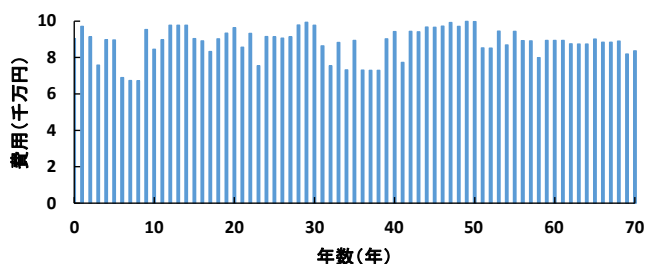


図 2 維持管理費用の推移（費用最小化案）

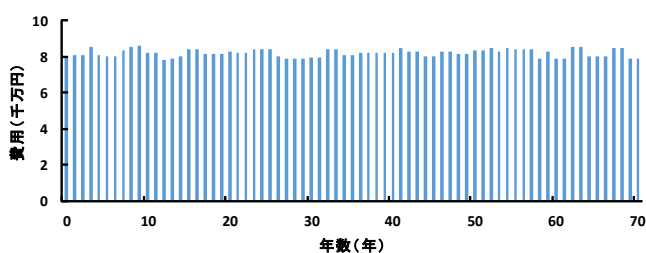


図 3 維持管理費用の推移（予算平準化案）

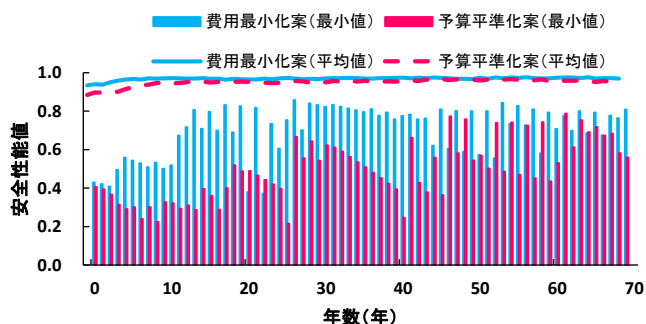


図 4 安全性能値の推移