

## 最適化手法による橋梁長寿命化計画における初期投資に関する一考察

北海学園大学大学院工学研究科 学生員 ○澁谷 直隆  
 北海学園大学大学院工学研究科 正会員 齋藤 善之  
 北海学園大学工学部社会環境工学科 正会員 杉本 博之

1. まえがき 維持補修計画は、本来は予防保全が最適であり、LCC 最小化に直結する。しかし予防保全が良いと分かっているにもかかわらず、なかなかその状態に移行できないのが現実である。その理由は、維持補修計画の初期において部材の状態が悪い一部の橋梁に対して集中的に予算を投資せざるを得ないためであり、その間に他の橋梁部材の劣化が進行し、なかなか予防保全の状態に移行できないためである。その解決策として、維持補修計画の初期に投資を集中し、状態の悪い橋梁を出来るだけ早く健全な状態にする方法が考えられる。しかし、やみくもに多目の投資をすればよいわけではなく、やはり中長期的な LCC 最小化の中で予算計画を考えるべきである。以上の観点のもとに、本論文では従来から検討している最適化手法をこの種の問題に応用し、LCC 最小化のもとで初期の予算計画をどのようにすればよいか検討を加える。

2. 北海道建設部の橋梁点検 北海道建設部では、管轄する橋梁に対して5年に一度遠望目視による定期点検が行われている。<sup>1)</sup>北海道建設部の橋梁点検では、各径間の部材ごとに劣化状況が5段階の健全度で評価されており、5が健全、1が最も劣化した状態を表す。定期点検の対象部材のうち、本論文では橋梁を構成する部材を床版、主桁、躯体、伸縮装置、支承、橋面工の6部材とし、多径間橋梁のように一つの部材の健全度が多数存在する場合はその平均を取り、代表値としてまとめた。図-1に、北海道のある地域の橋梁群における部材健全度の分布を示す。この地域の橋梁数は170橋であり、図-1では6つの橋梁部材を全てひとまとめに集計している。本論文では、維持補修計画の初期における橋梁群の健全度が初期投資に及ぼす影響を確認するため、実状に基づく健全度分布(図-1)を持つ標準モデルに加え、健全度の分布を恣意的に操作し、健全度状態を悪化させた「悪化モデル」、健全度状態を良好な状態にした「良好モデル」のそれぞれに対して、後述する最適化を行い比較する。なお、「悪化モデル」および「良好モデル」は「標準モデル」の橋梁諸元はそのままに、全体の40%の橋梁を無作為に抽出し、「悪化モデル」では各部材の健全度を1減、「良好モデル」では各部材の健全度を1増することにより作成した。なお、健全度の最大値は5であり、また健全度が1となるような部材は即時補修が行われることから、「良好モデル」において健全度が5以上となる場合は健全度を5、「悪化モデル」において健全度が2未満となる場合は健全度を2としている。

3. 最適設計問題の定式化 以下に目的関数、制約条件、設計変数をそれぞれ示す。

目的関数：
$$OBJ = \sum_{i=1}^{NB} \sum_{y=1}^{NY} C_{iy} \rightarrow \min \quad (1)$$

制約条件：

・ 予算の制約条件

$$g(y) = \sum_{i=1}^{NB} C_{iy} - B_y \leq 0 \quad \begin{cases} (y = I \sim NY_I) \\ (y = NY_I + I \sim NY) \end{cases} \quad (2)$$

・ 健全度の制約条件

$$g(NY + i) = 2 - R_i^{\min} \leq 0 \quad (i = 1 \sim NB) \quad (3)$$

設計変数： 補修レベル  $h_i \quad (i = 1 \sim NB) \quad (4)$

点検間隔  $s_i \quad (i = 1 \sim NB) \quad (5)$

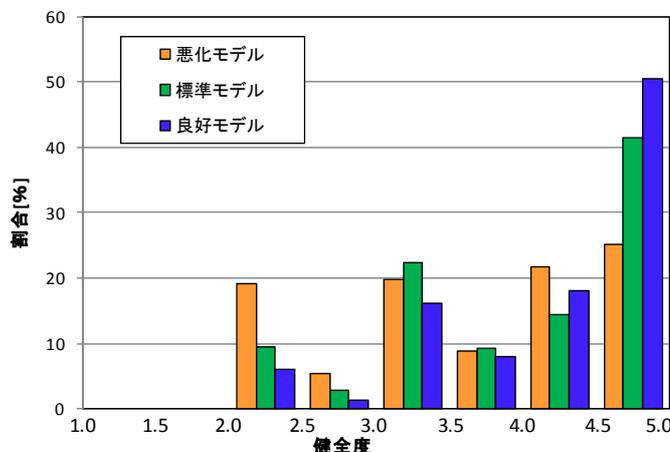


図-1 ある地域の橋梁群の部材健全度分布

キーワード 橋梁長寿命化計画, 初期投資, 最適化, LCC, 部材健全度

連絡先 〒064-0926 札幌市中央区南26条11丁目 北海学園大学工学部社会環境工学科 TEL011-841-1161

ここで、 $OBJ$  は目的関数、 $NB$  は対象橋梁数、 $NY$  はライフサイクル期間、 $NY_1$  は初期期間、 $C_{iy}$  は橋梁  $i$  において  $y$  年度に発生する総費用、 $g(y)$  は  $y$  年度の予算の制約条件、 $B_y$  は  $y$  年度における年度予算、 $g(NY+i)$  は橋梁  $i$  における健全度の制約条件、 $R_i^{min}$  は 11 年目以降 (後期) における橋梁  $i$  の健全度の 6 部材中の最小値、 $h_i$  は橋梁  $i$  の補修レベル、 $s_i$  は橋梁  $i$  の点検間隔を表す。ここで、補修レベルとは補修実行の判断基準となる値であり、点検時の健全度が  $h_i$  以下であった場合に翌年度に補修を行う。また、点検間隔とは点検を行う間隔年を表す。本論文では補修レベルを 2.5, 3.0, 3.5, 4.0 の 4 種、点検間隔は 4 年から 11 年の 8 種とし遺伝的アルゴリズムを用いて最適化を行った。

**4. 初期予算と総費用の関係** 本研究では、前節で説明した 3 種類の部材健全度分布を有する橋梁群に対して初期予算と後期予算を制約して初期予算と LCC (総費用) の関係を考察する。計算は以下のような手順で進めた。

第 1 段階の計算は、初期予算制約と後期予算制約を同一にした。予算平準化の観点からは求められる一つのシナリオである。図-2 に概念図を示すように、最初はすべての制約条件に対して余裕のある予算設定をし、徐々に少なくしていき、最初に何らかの制約条件がアクティブになる点を  $A$  とする。さらに予算を適当な間隔で減らしていき、

今度は、どうしても制約条件を満足せず、許容設計が得られない最小の予算設定に対応する点を  $B$  とする。次に得られた  $AB$  間を等間隔に分割しそれぞれの予算制約に対する最適化を行い、結果を図にプロットする。この時、図-2 では総費用が急に増加する点を  $C$  としている。この計算では、後期の予算制約はほとんどアクティブにはならず一般にかなり余裕がある。第 2 段階では、初期の予算制約に対して後期の予算制約を許容設計が得られる限界まで少なくする計算を行った。得られる関係は図-2 と同様であるが、総費用は、横軸の初期予算制約に対し、当然初期と後期を同じ予算制約にする場合と比べてかなり上昇することになる。

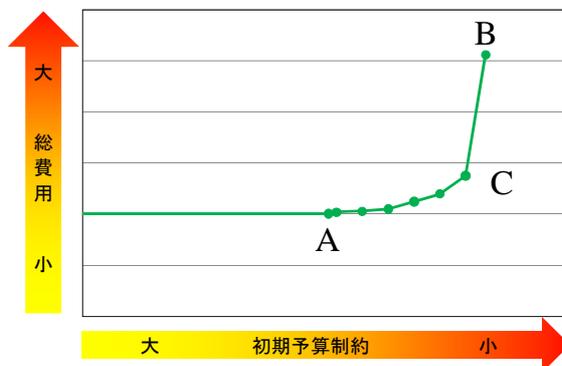


図-2 初期予算制約と総費用の概念図

**5. 計算結果** 以上の考え方で、3 モデルに対して計算した結果を図-3 に示した。図では横軸に初期の予算制約値、縦軸に総費用を示し、緑の実線は「標準モデル」、橙の実線は「悪化モデル」、青の実線は「良好モデル」を示す。各モデルに共通して、予算制約値が低くなるにつれ総費用の増加が始まる  $A$  点および許容設計が得られる限界となる  $B$  点を確認できる。第 2 段階の計算は「標準モデル」のみ行った (図中破線) が、予算制約が緩い範囲で、5 億円強の総費用の増加がある以外は同じ傾向である。いずれの場合も、総費用が急に増加する  $C$  点は存在する。  $B$  点が初期の部材健全度が悪いほど左にシフトしていることと併せて、初期の予算の設定は重要であり、低すぎる設定は総予算の大幅な増大、あるいは劣化が進んだ橋梁数の増加を招くことになる。

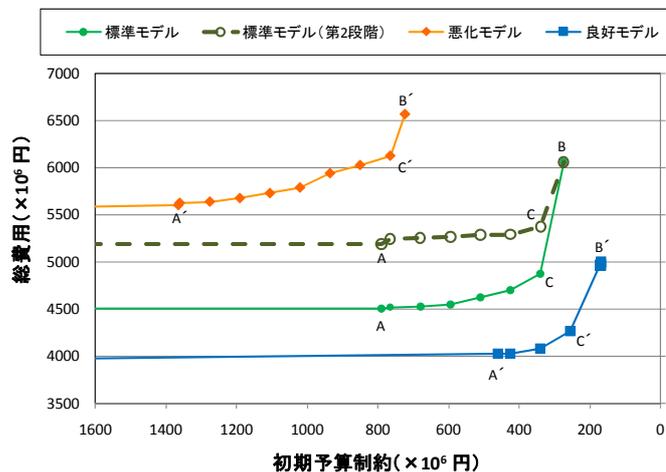


図-3 初期予算制約に対する総費用の推移

初期の予算制約の抑制が総費用の増加につながることを確認できた。実務に近いと思われる第 2 段階の計算でも同じ傾向が見られた。本研究では、「標準モデル」、「良好モデル」、「悪化モデル」の 3 種類検討したが、初期の部材健全度が悪いほど高額 of 初期投資が要求されることになる。図-3 の  $C$  点は汎用化の中で定量化すべきと考えられるが、今回は傾向の把握にとどまった。今後の課題とすべきと考えている。

**6. まとめ** 初期の予算制約の抑制が総費用の増加につながることを確認できた。実務に近いと思われる第 2 段階の計算でも同じ傾向が見られた。本研究では、「標準モデル」、「良好モデル」、「悪化モデル」の 3 種類検討したが、初期の部材健全度が悪いほど高額 of 初期投資が要求されることになる。図-3 の  $C$  点は汎用化の中で定量化すべきと考えられるが、今回は傾向の把握にとどまった。今後の課題とすべきと考えている。

**参考文献** 1) 北海道建設部：公共施設長寿命化検討委員会報告書，2006。