

橋梁維持管理計画へのゲーム理論の適用における橋梁重要度の考慮

(株)日本海コンサルタント 正会員 ○喜多 敏春
金沢大学大学院自然科学研究科 正会員 近田 康夫

1. はじめに

ほとんどの自治体では橋梁補修の予算が限られているため、橋梁の最適な補修時期（ライフサイクルコスト（LCC）が最小になる補修時期）がある年度に重った場合には補修時期の前倒しや先送りをして、予算内におさめる必要がある。この場合に、どの橋梁を前倒しや先送りにするかを決める指標として、全対象橋梁の健全度の総和やサービス水準の総和の最大化を評価関数としている事例が多く報告されている。対象橋梁全体の評価関数の総和の最大化は、対象橋梁全体の評価関数が最大であっても、ある橋梁の健全度が必要以上に高い場合（一人勝ち）や必要以上に低い場合（一人負け）が生じることといった、多様なパレート解が存在する。一意な解を得るために、経済学の理論であるゲーム理論（ナッシュ交渉解）を援用して各橋梁をプレイヤーと考え、各プレイヤーが協力することによりバランスのよい前倒しや先送り補修時期の組合せを求める。ここでは、補修優先順位を決める健全度と重要度の効用関数における考慮を検討した。

2. ナッシュ交渉解のモデル

複数のプレイヤーが協力してゲームを行い、全てのプレイヤーの利得 u （効用）がこれ以上同時に増加しないパレート最適解がナッシュ交渉解である。

プレイヤーの集合を N 、 n 人のプレイヤーが合意のうえで共同戦略をとったときに期待される利得ベクトルの集合を U 、プレイヤー間の交渉が不成立時の利得集合を d とし、 (N, U, d) で表現され、4 つの公理を満たす解がナッシュ交渉解（式（1））である。
公理 1. パレート最適性、
公理 2. 対称性、
公理 3. 効用の正 1 次変換からの独立性、
公理 4. 無関係な結果からの独立性、

$$\begin{aligned} & \text{maximize} \prod_{i=1}^n (u_i - d_i) \\ & \text{subject to } u \in U, u_i \geq d_i \end{aligned} \quad (1)$$

3. 効用関数の設定

橋梁各部材の劣化曲線で示す健全度 2（管理目標）で補修した場合に LCC が最小であり効用値が高いと仮定する。図-1 の効用関数（単純減少）をもとに健全度（図-2）から図-3 に示す 50 年間の部材の効用関数が得られ、その積分値が各部材の 50 年間の効用である。

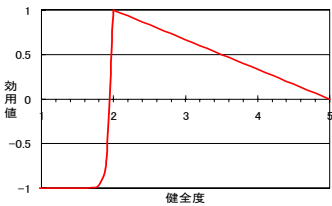


図-1 効用関数

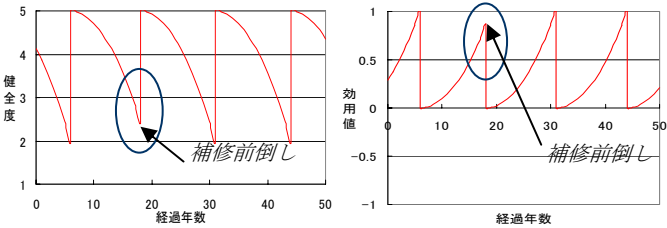


図-2 部材の健全度

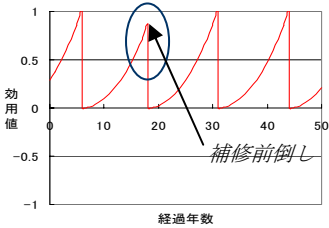


図-3 部材の効用関数

4. 橋梁補修部材の補修諸元の設定

対象補修橋梁 5 橋で各橋梁 2 部材の 10 部材について表-1 のように設定した。また、予算制約を 1,400 万円と設定する。

表-1 橋梁補修部材の橋梁諸元

橋名	補修工法	経過年数(年)	補修周期(年)	工事費(万円)
A 橋	桁塗装工事	5	8	345
	床版疲労補修工事	5	20	1,322
B 橋	桁塗装工事	5	10	283
	床版疲労補修工事	5	20	1,081
C 橋	桁経年劣化工事	20	13	120
	桁中性化補修工事	20	25	1,322
D 橋	桁経年劣化工事	5	13	120
	桁塩害補修工事	5	8	962
E 橋	桁塗装工事	5	7	218
	床版疲労補修工事	5	20	829

キーワード ゲーム理論、ナッシュ交渉解、効用関数、優先順位、橋梁維持管理計画

連絡先 〒921-8042 石川県金沢市泉本町 2-126 (株)日本海コンサルタント 技術本部 TEL 076-243-8258

5. ナッシュ交渉解による計算例

予算制約の中、全部材の効用関数を図-1 補修時期の前倒し先送りをする組合せの中から遺伝的アルゴリズム (GA) により求めた 5 サンプルを表-2、図-4 に示す。Sample5 が最も効用値のナッシュ積が大きく、各補修部材の効用値バラツキが小さい Sample5 がナッシュ交渉解に最も近いと考えられる。また、交渉が決裂した場合の利得 d_i を 0 とした式 (1)。表-3 に Sample5 の前倒し後の補修時期を示す。

表-2 サンプル毎の効用値の総和とナッシュ積

サンプル	効用値の総和		効用値のナッシュ積	
	Σ	比率	Π	比率
当初	166.732	1.000	1.654E+12	1.000
Sample1	163.796	0.982	1.382E+12	0.835
Sample2	164.336	0.986	1.426E+12	0.862
Sample3	163.791	0.982	1.379E+12	0.833
Sample4	162.106	0.972	1.245E+12	0.753
Sample5	165.082	0.990	1.411E+12	0.902

表-3 最適補修時期(Sample5)

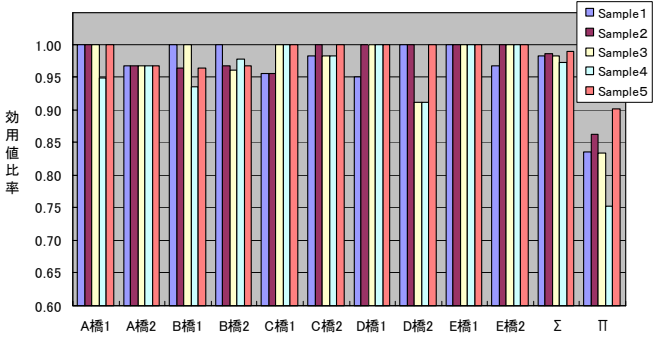
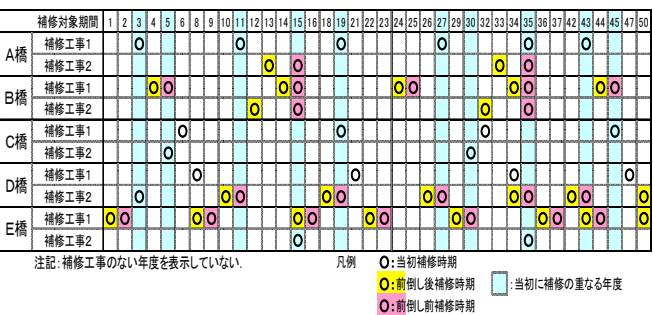


図-4 数値計算結果一覧

6. 効用関数の形状による優先順位の決定方法

効用関数を凹型 (リスク回避型) にすることにより、効用値が最も高くなる健全度 2 で補修することを優先できる。また、効用関数を凸型 (リスク選好型) にすることにより、健全度が 2 より大きい場合には効用値の減少率が小さくなるため、前倒し補修時期を選好する可能性が他の補修工事より高くなる。

B 橋補修工事 1 の効用関数を凹型 (図-5) にした場合には表-4 に示すとおり、当初の補修時期 (健全度

2) になっており補修時期の変更はない。また、E 橋の補修工事 2 の効用関数を凸型 (図-6) にした場合には、表-5 に示すとおり補修時期は 3 年前倒しになっている。効用関数の形状を凹型、凸型に変更することで補修時期の優先順位づけができる。

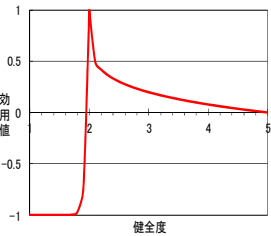


図-5 凹型効用関数

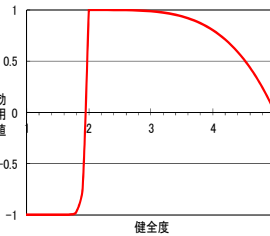


図-6 凸型効用関数

表-4 B 橋補修工事 1 の効用関数凹型の補修時期

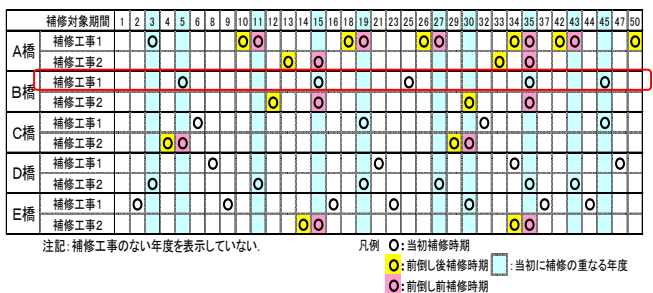
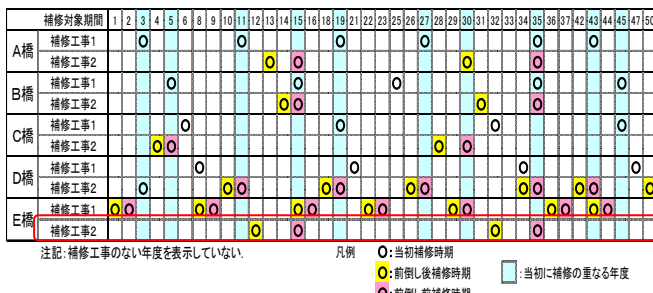


表-5 E 橋補修工事 2 の効用関数凸型の補修時期



7. まとめ

個々 (各橋梁) の効用の最大化と全体 (対象橋梁群全体) の効用の最大化を同時に図る手法を、ナッシュ交渉解を援用することで提示できた。

また、効用関数を単純減少関数ではなく、凹型や凸型も併用することによる優先順位づけの方法を提案した。

参考文献

1) 喜多敏春, 近田康夫: ゲーム理論 (ナッシュ交渉解) による橋梁維持管理計画の基礎的研究, 構造工学論文集, Vol.56A, 2010.3
2) 岡田章: ゲーム理論, 有斐閣, pp.257-292, 1996
3) 鈴木光男: 新ゲーム理論, 劉草書房, pp.147-172, 1994
4) 喜多敏春, 近田康夫: 土木学会第 65 回年講 (CD-ROM, IV-434), 2010.9.3 (札幌)