

種々の制約下における橋梁維持補修のための公共投資の最適化に関する一考察

北海学園大学 正員 杉本博之, 北海学園大学 ○学員 阿部淳一
(株)開発工営社 正員 赤泊和幸, 北武コンサルタント(株) 正員 渡邊忠朋

1. まえがき 既存橋梁の今後の状態は、技術の開発、発展と共に、投資される予算にも大きく影響される。芳醇な予算が保証されていれば、予防保全の概念のもとにかなりの長寿命化が期待される。しかし現状は、公共事業に対するバッシングと共に地方公共団体の経済的な逼迫の下、公共投資は縮減の一途である。近い将来の人口の減少¹⁾を考慮に入れば、現状の道路ネットワークをそのまま保持することの合理性には疑問があり、ある程度の縮減は受け入れられる。しかしそこには下限の値があるはずであり、それを超して低レベルの公共投資が続けば、将来必要な道路ネットワークは保証されないし、その対策は今から始めなければ間に合わないと考えられる。

そのために、本研究では、北海道の一行政単位における橋梁群を対象とし、橋梁の健全度²⁾に関する種々の制約の下で、公共投資の最適化を試み、どのような条件下では、どの程度の公共投資が必要であるかについて検討を行なうことを目的とする。予算額、あるいは劣化に伴う補修費用³⁾は実際の値を用いている。その下での、各橋梁各部材の補修順位を決め、年度予算までの補修が行なわれるとして、橋梁健全度の種々の制約下で経年的な予算投資額総和の最小化を求める。補修順位は、各橋梁の各部材の費用便益比の大きい順に定めている。この時、便益は、各橋梁毎に計算されている UC の値⁴⁾を基本として求めている。便益の計算は種々の議論があると思われるが、ここでは補修順位のために用いるので、相対的な値の関係が重要であり、絶対的な値としての精度を上げることは、本研究の目的とする全体的な傾向を考察する場合には必要ないと考え、UC を用いることにした。また、劣化曲線も重要な要因であるが、ここでは、各部材毎に耐用年数の幅を設定し、そこから任意に選ぶ方法³⁾で各橋梁各部材の耐用年数を設定し、直線的に部材の健全度が下がると仮定して計算に用いている。

2. 費用便益比の算定 費用便益比のうち、費用は各部材の点検健全度に対する補修工事費とする。また便益は、今年度補修を行うことにより生ずる価値とし、2つに分類する。1つは、橋梁毎に計算されている UC を価値とする。UC を各部材に配分し、劣化に伴い価値が減少すると考える。劣化した部材が補修により元に戻るとして、減少した価値と元の価値との差を便益とした。価値の減少度合いは、減少係数として直線的に与えた。点検健全度 1～5 に対応する減少係数は、1.00, 0.75, 0.50, 0.25, 0.00 とする。また、各部材への UC の配分は、表-1 の係数を用いた²⁾。さらに 1つは、今年度補修を行う

ことにより、次年度に補修を行うよりも一般的に補修費用が低いと考え、この費用の差を、今年度補修を行うことの便益とした。これらより、k 年度における部材の費用便益比は下式により与えられる。

$$BC_{ij}^k = \frac{UC_i \cdot D_j \cdot H(R_{ij}^k) + (C_{ij}^{k+1} - C_{ij}^k)}{C_{ij}^k} \quad \text{-----} \quad (1)$$

ここで、 UC_i は i 橋梁の UC、 D_j は部材の重み係数、 R_{ij}^k は k 年度における i 橋梁、j 部材の点検健全度、 $H(R_{ij}^k)$ は R_{ij}^k に対応する低減係数、 C_{ij}^k は k 年度における i 橋梁、j 部材の補修費である。

表-1 部材の重み係数

部材名 (j)	重み係数 D_j
床版 (1)	0.100
主桁 (2)	0.300
橋脚 (3)	0.250
橋台 (4)	0.250
伸縮装置 (5)	0.025
支承 (6)	0.050
橋面工 (7)	0.025

3. 年度予算の最適化 費用便益比による補修順位に基づき、各年度の予算内で補修を行う。この予算は、遺伝的アルゴリズム（以下、GA）を用いて最適化を行った。目的関数は、計画年度内に発生する補修費の総和とし、最小化問題（式(2)）とする。設計変数は各年度の予算とし、50 変数となる。また制約条件は、維持管理を行う上での管理水準として、橋梁健全度指数 BHI²⁾を用いた。全ての部材の点検健全度が 2 だと BHI は 0.25、全ての部材の点検健全度が 3 だと 0.50 となる。これを参考に制約条件として以下の 4 つの case を設定した。

以下に目的関数、各 case の制約条件式を示す。

キーワード 維持管理、費用便益比、UC、遺伝的アルゴリズム

連絡先 〒064-0926 札幌市中央区南 26 条西 11 丁目 TEL(011)841-1161 FAX(011)551-2951

$$OBJ = \sum_{k=1}^{50} \sum_{i=1}^{227} \sum_{j=1}^7 C_{ij}^k \rightarrow \min \quad \text{-----} \quad (2)$$

$$g = \begin{cases} \begin{cases} \text{ave} B_i^k \geq 0.8 & (k=2 \sim 50) \\ \min B_i^k \geq B_0^k & (k=2 \sim 50) \end{cases} \end{cases} \quad \begin{cases} B_0^k = 0.25 & \text{(case1)} \quad \text{-----} \quad (3) \\ B_0^k = 0.50 & \text{(case2)} \quad \text{-----} \quad (4) \\ B_0^k = 3.125 \times 10^{-3}(k-2) + 0.25 \leq 0.5 & \text{(case3)} \quad \text{-----} \quad (5) \\ & \text{(case4)} \quad \text{-----} \quad (6) \end{cases}$$

ここで、OBJ は目的関数、 C_{ij}^k は式(1)である。g は制約条件、 B_i^k は k 年度における i 橋梁の BHI、 B_0^k は k 年度における BHI の下限値である。case 1 は、各年度の平均健全度が 0.8 以上とし、式(3)を適用した、case2～4 には各年度における各橋梁の BHI の下限値を定め、式(4)～(6)をそれぞれ適用した。また、計画 2 年目から最低 BHI を 0.5 以上とするには、初年度の予算を多く必用とするため、case3 の初年度のみ、予算の上限値を上げた。

4. 計算結果 最適化計算の結果の、各 case の目的関数と予算配分を比較する。図-1～4 に各 case における、各年度の予算と年度平均及び最低の BHI、BHI の下限値を示す。図中の棒グラフが予算、赤線が各年度平均 BHI、緑線が各年度最低 BHI、青線が BHI の下限値である。case1 で目的関数は $7.29 \times 10^9 \text{unit}$ となり、全 case 内で最小となった。だが計画開始から 15 年で最低 BHI が 0.0 となる橋梁が現れ、使用不能の橋梁が存在することになる。case 2 では目的関数は $1.01 \times 10^{10} \text{unit}$ となり、case 1 の約 1.4 倍の予算が必要となる。また、計画開始から約 15 年まで、比較的高い予算が連続的に必要となる。case 3 で目的関数は $1.25 \times 10^{10} \text{unit}$ となり、case 1 の約 1.7 倍の予算が必要となる。さらに、計画開始初年度に集中的な補修が行われている。case 4 で目的関数は $1.38 \times 10^{10} \text{unit}$ となり、case 1 の約 1.9 倍と、各 case 内において目的関数は最大となったが、予算のばらつきは少なく、全ての橋梁の健全度は 10 年以降、0.5 以上に保たれている。

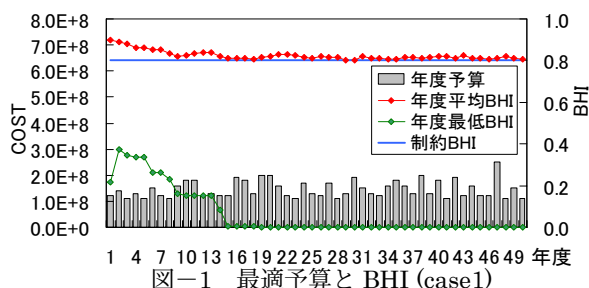


図-1 最適予算と BHI (case1)

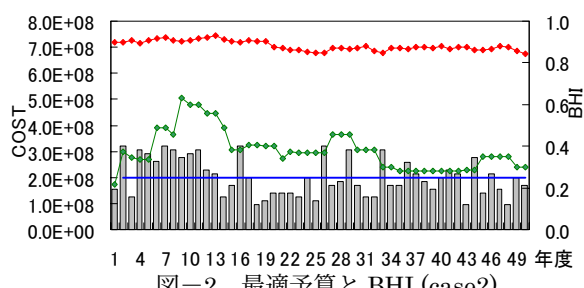


図-2 最適予算と BHI (case2)

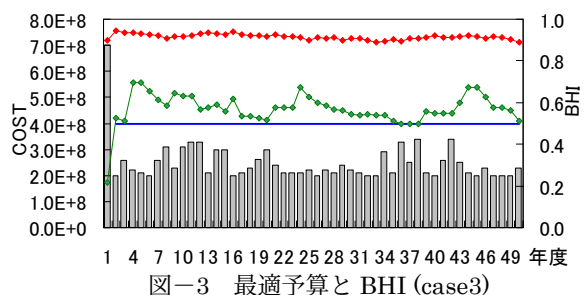


図-3 最適予算と BHI (case3)

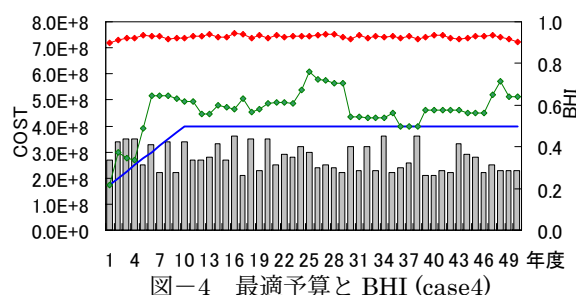


図-4 最適予算と BHI (case4)

5. あとがき 種々の制約条件の下、GA を用いて公共投資の最適化を行った。現状の予算は、1 橋あたり 45 万 unit と言われており、これが将来 50 年間一定としても、227 橋で合計 $5.1 \times 10^9 \text{unit}$ である。これを基に今後の公共投資額を考えると、平均の健全度を維持するとしても(case1)、予算は現状の約 1.4 倍必用である。全ての橋梁を維持すると、最低の健全度を 0.25 とした場合は、case1 に対して約 1.4 倍、0.50 で約 1.7 倍、経年的に管理水準を上げると約 1.9 倍必用となる。現状の公共投資が今後続くとしても、全ての橋梁の維持管理は困難であり、道路ネットワークの縮減、または公共投資の増額の必要性が考えられる。

参考文献 1) 丹保憲仁：人口減少化の社会資本整備，土木学会，2002. 2) 大島他：橋梁健全度評価に用いる評価方法の検討と影響要因の解析，土木学会論文集，No.675/I-55，2001. 3) 杉本他：北海道の橋梁の補修費計算モデルの構築と最適維持管理計画について，応用力学論文集，Vol.6，2003. 4) 杉本他：北海道の橋梁のユーザーコストの定量化の試みとその利用について，土木学会論文集，No.682/I-56，2001.