

公共投資の経年的シナリオと橋梁の健全度推移に関する一考察

On relation between secular scenario of public investment and transition of bridge health index

北海学園大学工学部土木工学科	正員	杉本 博之 (Hiroyuki Sugimoto)
北海学園大学大学院建設工学専攻	○学生員	赤泊 和幸 (Kazuyuki Akadomari)
北海学園大学大学院建設工学専攻	学生員	阿部 淳一 (Junichi Abe)
北武コンサルタント株式会社	正員	渡邊 忠朋 (Tadatomo Watanabe)

1. まえがき

公共投資額は年々減る傾向にあり、維持補修費に関しても増額の動きはない。一方で、膨大な量の社会基盤施設は日増しに劣化を進めている。公共投資に対する社会的合意形成の希薄さ、それによる公共投資の減額と維持すべき社会基盤施設の量との関係を考えれば、いつ破綻してもおかしくない深刻な状況と考えざるを得ない。これは、手をこまねいて傍観できることではないと思われるが、世界的にも前例のない状況であり、危機を具体的に説明し必要な提言をする研究はほとんど行われていない。

そこで本研究では、橋梁の維持管理を対象とし、公共投資額の経年的シナリオをいくつか作成し、それぞれの予算制約の中で最善の補修工事が投入された場合、橋梁の健全あるいは劣化の状態がどのように推移するかを求め、それにより現在の低公共投資の状態が何年継続した場合、どのような事態になるかを示し、あるいはどのような公共投資計画の下で健全な状態を保てるか等を提言することを目的とする。

各年の予算制約下での補修工事順の決定は、費用便益比を基に行う。橋梁の便益の計算は、すでに発表されている橋梁毎に計算されるユーザーコスト(以下UC)^{1),2)}を用いる。この研究は、社会的損失を評価する研究として紹介される事が多い^{3),4)}。しかし、現在存在しない諸施設の便益計算は、それが存在すると仮定して評価をし、現状との比較において便益を計算するように、UCは、社会的損失という側面以外に、その橋梁がもたらす便益とも考え得る⁵⁾。

橋梁の補修は、各部材毎に行われる。UCに基づく便益は各橋梁毎に算出されるが、それを各部材に配分する必要がある。本研究では、各部材が分担する便益は、橋梁のUCを基本とし、その値を部材の重み係数⁶⁾⁻⁸⁾と劣化度により配分することにより求めることとする。

以上を統合して、各年の予算制約の下で、費用便益比の高い順に補修工事を入れるという論理に基づき、公共投資額の経年的シナリオを種々作成し、その下での多くの数値実験を行う。最後に、結果を考察し、予算縮減の中で今後の橋梁の健全度はどう推移するかを示す。また、健全な状態に保つためにはどのような予算投入の最適シナリオがあり得るかについて考察する。

2. 費用便益費の計算方法と補修順位の設定

今後の橋梁の健全度を考察するためには、各年度の補修工事は出来るだけ最善の選択をする必要がある。そのために遺伝的アルゴリズム等の最適化手法を用いる研究が多

くなされている^{9),10)}。しかし、これらの研究は、ある程度の年度にわたる橋梁各部材の劣化進行の状況が把握できていれば、実用に供し得ると考えられるが、地方道としての北海道の橋梁に関しては、数年にわたる点検の蓄積はまだ無い。現在、各土木現業所において点検結果の蓄積が始められた状況である。ある程度信頼できる劣化進行の推定システムの構築にはまだ数年かかると考えざるを得ない。

そこで、本研究では、各橋梁のUCを便益と考えて費用便益比に基づく工事選択をすることを試みる。

費用便益比は、各橋梁、各部材毎に計算される。費用は、各部材の点検健全度(北海道の点検では劣化度と称される値)に対応する補修工事費とする⁹⁾。

便益は、今年度補修工事を実施したことにより生ずるプラスの価値と定義する。橋梁毎に計算されるUCをその橋梁の価値と考え、それは、各部材に分配され、部材の劣化により価値は下がると考える。補修による便益は、この劣化により下がった価値が元に戻ると考えて、初期の価値と現在の価値との差と定義する。部材への価値の配分は大島ら⁶⁾⁻⁸⁾の部材の重み係数等を参考にした。本研究で用いた部材の重み係数の値を表-1に示した。一方、部材の劣化による価値の低下に関しては、種々議論のあるところであるが、ここでは、点検健全度が5では初期の値、1では0になると考えその間は直線的に変化すると仮定した。その係数を仮に低減係数とすると、点検健全度の1~5に対応し、1.00, 0.75, 0.50, 0.25, 及び0.00の値をとる。

便益には、さらに、来年度でなく今年度補修を行うことにより補修費は一般に少なくなるので、この値も加えることにする。結局、k年度におけるある橋梁のある部材の費用便益比は次式で計算される。

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

ここで、 BC_{ij}^k はk年度におけるi橋梁j部材の費用便益比、 UC_i はi橋梁のUC、 D_j はj部材の重み係数、 R_{ij}^k はk年度におけるi橋梁の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i橋梁のj部材をk年度に補修を行った場合の補修費である。

式(1)により、ある年度の各橋梁各部材の費用便益比が計算されると、その値の大きい順に補修工事が施工されるとする。その時、ある部材の補修費が高く、当該年度の予算残額内に入らない場合には、その部材の補修は行わずに、次に費用便益比の高い部材の補修を施工する。これは、出来るだけ当該年度の予算を使い切るための処置である。

表-1 部材の重み係数 表-2 対象橋梁郡の分類

部材名(j)	j	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

橋梁構造形式	橋梁数
単純桁(合成)	119
単純桁(非合成)	27
連続桁(非合成)	18
ポステン桁	8
プレテン桁	3
ポステン中空床版	10
プレテン中空床版	42

合計 227橋

式(1)の次年度の補修工事費は、次年度の点検健全度が推定できないと算定は出来ない。本研究では、各橋梁各部材毎の劣化曲線を仮定し⁹⁾、それに基づき次年度の点検健全度を求めて工事費を算定している。実務的には、次年度の点検健全度を1ランク下げると仮定する等の対応が考えられる。

3. 計算対象の橋梁群モデルについて

著者らは、これまでに札幌土木現業所管轄の橋梁 764 橋の中から表-2に示す 227 橋の補修費モデルや劣化モデルの作成等を行った⁹⁾。本研究ではこれらを基にして費用便益費の計算を行う。補修費は工事原価と一般管理費等の2つから構成される。工事原価は、点検健全度に応じて選択される塗装・断面修復・部材取替え等の直接工事費と、足場仮設費用である間接工事費から構成される。

橋梁を構成する部材は7部材とし、それらは、床版、主桁(鋼桁あるいはコンクリート桁)、橋脚、橋台、伸縮装置、支承、橋面工である。

以前の研究では、初期の点検健全度は任意に与えていた。しかし、本研究の場合は、出来るだけ実際に近い推定をするために、総ての橋梁、総ての部材の初期点検健全度は、実測の点検結果を使うことにした。その時、今後の健全度の推定のためには、現在までの使用年数が問題になる。本研究の劣化曲線は、図-1の関係をを用いるが、例えば表-3に示すように同じ点検健全度が3でも使用年数は16年から19年の4つの可能性がある。過去の記録が残っていればこの値の特定は可能であるが、記録は保存されていない。それで使用年数に関しては、可能性のある年数の中から任意に選択することにした。

4. 橋梁健全度の算定

橋梁の健全の程度を表す指標としては、本研究では、次式を持って橋梁健全度とし補修効果の定量化を行った。

$$BHI_i = \sum_{j=1}^7 D_j \times a(R_{ij}) \quad (2)$$

ここで、BHI_iはi橋の橋梁健全度、iは橋梁番号、jは部材番号、D_jは前出のj部材の重み係数、a(R_{ij})はi橋梁のj部材のR_{ij}に対応する係数で点検健全度の1~5に対応し、0.00、0.25、0.50、0.75、及び1.00の値をとる。前記の低減係数と逆の関係にある。

式(2)の橋梁毎の健全度を、全体、あるいは後記の群毎に集計してそれらの平均値を出して検討している。

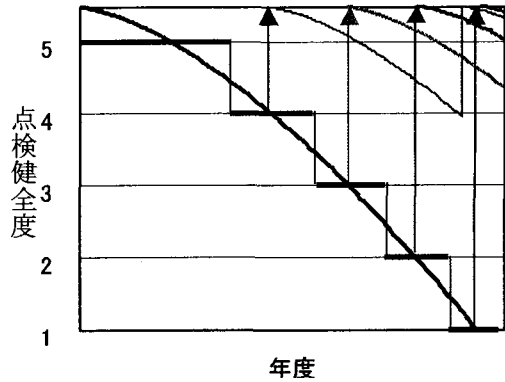


図-1 点検健全度と年度の関係

表-3 複数年に同一の点検健全度が出る例

年度	1	2	...	14	15	16	17	18	19	20	21	...
点検健全度	5	5	...	4	4	3	3	3	3	2	2	...

任意に選定

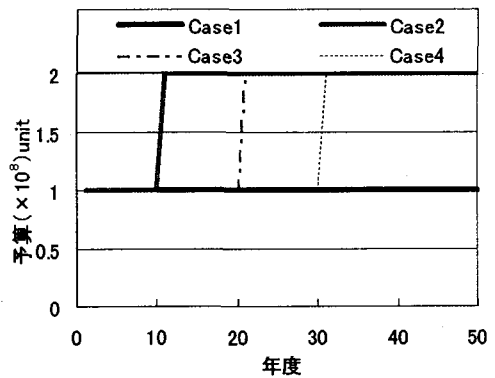


図-2 維持補修費の経年的シナリオ

5. 維持補修費の経年的シナリオの作成

公共投資の削減が続く中、橋梁の維持補修に当てられる予算は必ずしも十分とは考えられない。そこで、いくつかの維持補修費の経年的シナリオを設定し、その中で前記の補修工事が実施された場合、式(2)の橋梁の健全度がどのように推移するかを検討する。

シナリオはいくつかの可能性はあるが、ここでは、227 橋に対し維持補修費が年1億 unitを基本と考え、そのまま50年間推移する場合をcase1、10年後、20年後、及び30年後に維持補修費が年2億unitに上がる場合をそれぞれcase2、case3、case4の4ケースとし、それぞれの条件の下で最善の補修工事が行なわれた場合の橋梁の健全度を推定した。これらの予算シナリオを図-2に示した。

6. 計算結果

以上説明した費用便益比と、経年的シナリオに基づいて数値計算を試みた。期間は50年としている。

結果の検討は、橋梁群をそれぞれのUCの値に応じてA、B、及びC群に分類し、各群と全体の健全度の平均値などを比較検討した。なお、本研究における橋梁の健全度は、0~100%の値をとる。A群は、UCが1000C₀/day以上の

表-4 数値計算結果のまとめ

case	初年度の平均 橋梁健全度 (%)				初期の 年度 予測	変化後の 年度 予測	予測 変化の 年度	最終年度の平均 橋梁健全度 (%)			
	A群	B群	C群	全				A群	B群	C群	全
	×10 ⁸ unit							年			
1					-	一定	91	80	57	68	
2	94	89	90	90	1		10	93	90	82	86
3					2		20	93	90	79	84
4							30	93	89	73	81

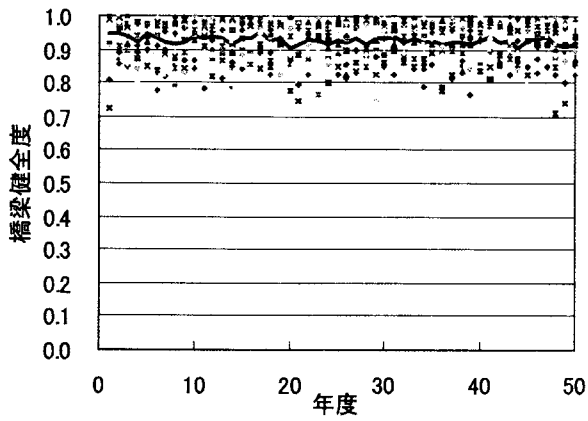


図-3 case1, A群橋梁の健全度の推移

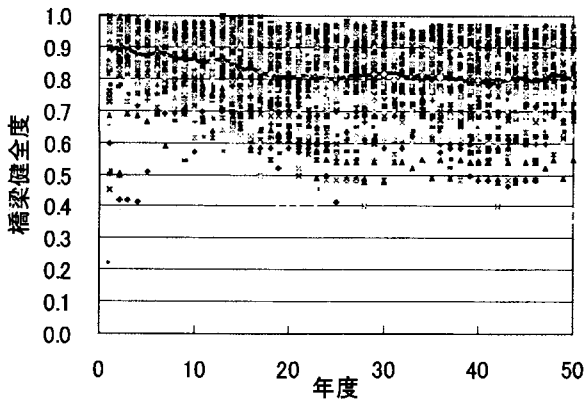


図-4 case1, B群橋梁の健全度の推移

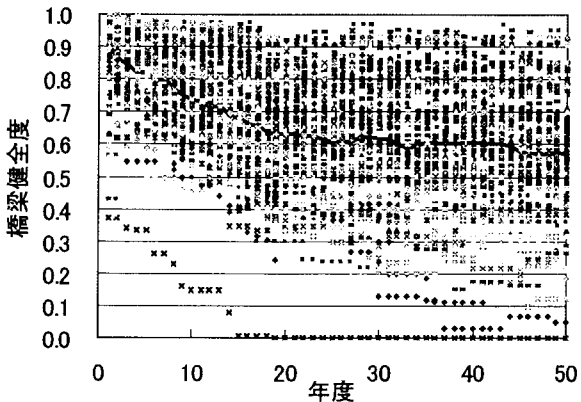


図-5 case1, C群橋梁の健全度の推移

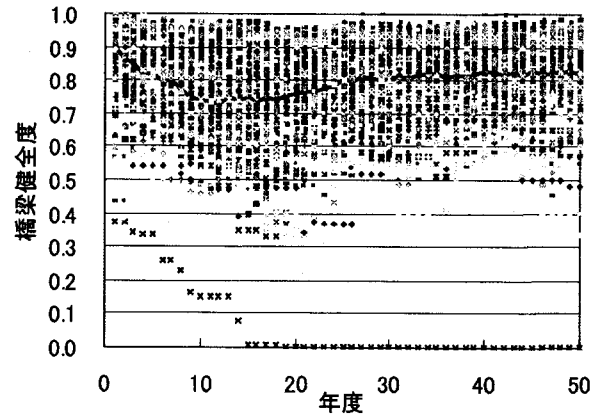


図-6 case2, C群橋梁の健全度の推移

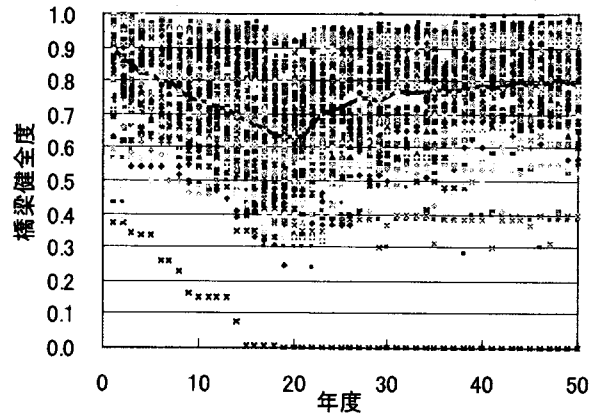


図-7 case3, C群橋梁の健全度の推移

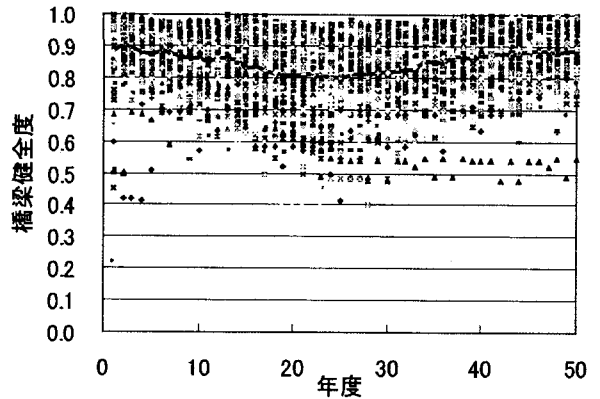


図-8 case4, B群橋梁の健全度の推移

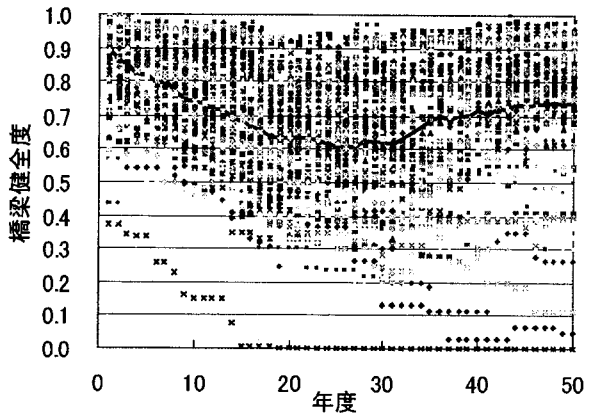


図-9 case4, C群橋梁の健全度の推移

UC が高い橋梁群で 15 橋, B 群は, UC が 200~1000C₀/day の UC が中くらいの橋梁群で 86 橋, C 群は, UC が 0~200C₀/day の UC が低い橋梁群で 126 橋である。ここで, C₀は一人 1 時間当りの単価である。

計算結果を, 表-4 及び図-3~図-9 に示した。

表-4 は, 結果をまとめたもので, 各群及び全体の初年度の平均健全度, 及び最終年度の平均健全度を示している。初年度においては, 全体平均で 90%, 群毎に一番低い B 群でも 89%を維持している。最終年度を見ても, case 1 の C 群以外は, 平均値ではほぼ良好な状態を保っていると考えることが出来る。

より詳細に健全度の推移を見るために, 各 case, 各群毎に個々の橋梁の健全度の推移を図-3~図-9 に表した。これらの図では, 橋梁毎に式 (2) で計算された値をプロットしている。橋梁数が多く判別は難しいが, 同じ記号が上がっていればその年度に補修が入ったことを意味し, 下がっていれば, その橋梁を構成する部材のいくつかの点検健全度が下がったことを意味する。図-3~図-5 は case 1 の群毎の各橋梁の健全度の推移, 図-6 は case 2 の C 群, 図-7 は case 3 の C 群, 図-8, 及び図-9 は case 4 の B 群及び C 群の各橋梁の健全度の推移である。

まず, 図-3~図-5 を考察する。case 1 は 50 年間, 1 億 unit の維持保守費が投入された場合である。この場合, A 群の橋梁は問題ない。しかし, B 群は, 平均値はあるレベルを保っているが, 健全度が 60%を切る橋梁も数橋出てくる。さらに C 群では, 最終平均値は 57%と低くなり, かなりの橋梁の健全度が 50%を切る状態になる。健全度が 20%を切る橋梁も出て来るが, これは, その橋梁のほとんどの点検健全度が 1 あるいは 2 ということの意味し, 供用するのは危険と考えざるを得ない。つまり, 227 橋に対して年 1 億 unit 程度の投入では, 10 年もしないうちに危険な状態になるということである。

それでは次に, 検討期間 50 年の途中で, 維持補修の予算額が倍の 2 億 unit になった場合を想定する。

case 2 は 10 年後から予算が倍増し, その後その予算レベルを維持すると想定した場合の結果である。表-4 で見るとおり, 平均値では良好なレベルと判断される。図-6 に C 群の各橋梁の健全度の推移を示したが, 10 年後から, 健全度の低下は避けられ, 逆に若干の増加を見ている。しかし, なお少数であるが, 劣化が進み危険な状態になる橋梁は存在する。

case 3 は 20 年後から予算が倍増し, その後その予算レベルを維持すると想定した場合の結果である。表-4 に示されるとおり, 平均値ではやはりよい状態と判断できる。しかし, 各橋梁の推移をみると, 図-7 に C 群の結果を示すとおり, 20 年付近では一度かなり悪い状態になる。その後は, かなり回復するが, 10 年時点での予算の改善後よりは, 状態は悪い。

case 4 は 30 年後から予算が倍増し, その後その予算レベルを維持すると想定した場合の結果である。表-4 に示されるとおり, 平均値ではそれほど悪い状態ではないと判断できる。しかし, 各橋梁の推移をみると, 図-8 に B 群, 図-9 に C 群の結果を示すとおりである。B 群では 30 年目から持ち直しているが, なお健全度が 50%を切る

橋梁が存在する。C 群では 30 年から持ち直し, 図-5 ほどひどくはないが, これでは間に合わなく, 道路網は機能できないと考えざるを得ない。

6. あとがき

今後の多くの社会基盤施設の維持補修対策においては, 費用便益比が重要な要素になると考えられる。その客観的な算出ができない限り, 各社会基盤施設間の予算配分, あるいは, 一つの社会基盤施設の中での順位付けの合理的な決定はできない。この時, 費用の計算はいかようにも可能であるが, 問題は便益の計算にある。本研究では, まず橋梁の便益として, UC を見直すことを提案している。また, 公共投資の縮減政策の中で, 種々のシナリオの下で今後の橋梁の健全度の推定を試みた。対象とした橋梁群は実在しているが, 想定した予算, あるいは健全度等の計算はまだ検討の余地があると思われるし, シナリオもまだ多数のモデルを検討する必要がある。ただ, 本研究の予算の設定はそれほど的外れな額ではなく, 示された結果は, 今後の公共投資の仕組みに示唆を与えるものと考えられる。

本文が, 多くの社会基盤施設の維持管理への公共投資に対する社会的合意形成のための一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 杉本・首藤・後藤・渡邊・田村: 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, pp.347-357, 2001.
- 2) 杉本・中野・後藤・高橋・渡邊: ユーザーコストに関する一考察, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 58 号, 4-7, 2002.
- 3) 杉本一朗: 既設鋼鉄道橋の LCC 評価事例, 土木学会平成 15 年度全国大会研究討論会資料 鋼構造物の LCC 評価の現状と将来展望, pp.18-21, 2003.
- 4) 伊藤義人・和田光永: イベントを考慮した交通基盤施設のライフサイクル評価手法に関する研究, 土木学会論文集, No.745/I65, 131-142, 2003.
- 5) 杉本・阿部・赤泊: 道路ネットワークの観点から見た橋梁の便益に関する一考察, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 60 号掲載予定
- 6) 大島・三上・山崎・丹波: 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, pp.201-217, 2001.
- 7) 大島・三上・丹波・佐々木・池田: 橋梁各部材の資産的評価と橋梁健全度指数の解析, 土木学会論文集, No.703/I-59, pp.53-65, 2002.
- 8) Oshima, T., S. Mikami, I. Tanba: Study on Bridge Integrity Evaluation and Analysis of Bridge Health Index for BMS, 2nd Int. Workshop on Life-Cycle Cost Analysis and Design of Civil Infrastructure Systems, Ube, pp.93-96, 2001.
- 9) 杉本・赤泊・中野・渡邊: 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, pp.1121-1130, 2003.
- 10) 古田・亀田・福田・中原: 多目的遺伝的アルゴリズムを用いた補修計画策定, 応用力学論文集, Vol. 6, pp.1141-1148, 2003.