

北海道の橋梁のユーザーコストとBMSに関する一試み

On user costs of bridges in Hokkaido and their application to BMS

北海学園大学工学部土木工学科

北海学園大学大学院

北海学園大学大学院

北武コンサルタント㈱

室蘭工業大学工学部建設システム工学科

正 員 杉本 博之 (Hiroyuki Sugimoto)

○学生員 後藤 晃 (Akira Goto)

学生員 首藤 諭 (Satoshi Sudo)

正 員 渡辺 忠明 (Tadatomo Watanabe)

正 員 田村 亨 (Tohru Tamura)

1. まえがき

近年、社会基盤施設の設計段階や維持管理計画を立てる上で、構造物のライフサイクルコスト (LCC) を低減させようとする考え方が着目されている。米国では、1998年9月、米国連邦道路庁 (FHWA) より道路舗装のライフサイクルコスト分析 (LCCA in Pavement Design) に関するガイダンス¹⁾が発行され、道路事業を実施するに当たっては、LCCAを無視することは出来ないものとなっている。我が国においても、平成13年度に性能照査型基準として改訂が予定されている道路橋示方書には、LCC低減の概念が導入されるということからもその理論の有効性は確立したものとなっている。ゆえに、橋梁維持管理システム (BMS) においてもLCCに関する研究は数多くなされている。ここで、橋梁のLCCとは、橋梁の企画から廃棄までに至る総費用と理解される。しかし、初期建設費、維持・補修工費、解体・撤去費、あるいは架け替え工費等のいわゆる事業者コストは比較的良好に考慮され、検討されているものの、橋梁を実際に利用する利用者 (国民) が蒙るコスト、いわゆるユーザーコスト (UC) については項目もしくは記号としてのみ挙げられるものが多く^{2) 3)}、UCが実際にどの程度影響があるかについての試みは数少ない。

一方、新規建設の時代を終えた社会基盤施設は、今後ストックの時代を迎え、公共事業予算の大幅な削減の見通しをあわせて考えると、より効率的で、合理的な維持管理システムを構築する必要性が増してくる。しかし、国民の公共事業への関心は決して高くなく、それは間接的にはあるが、維持管理業務の難しさにつながっている。社会基盤施設はあって当たり前という認識で、その存在効果・価値を認めていないということがその原因と言っても過言ではない。しかしそれは、そのような説明を行ってこなかった技術者の責任であり、何らかの形で社会基盤施設の存在効果・価値を定量化し明確化する義務がある。

このような背景をもとに、本研究は、北海道内の道道・国道の橋梁を対象にして、UCを計算し、定量化しようとするものである。

一般に、橋梁におけるUCとは、地震災害、または大幅な補修工事等が発生したときに、橋梁が通行不能となった場合の、利用者 (国民) が負担する費用と理解される。その内容は、必然的に迂回路交通をした場合に生じる走行時間の遅れによる時間的損失、貨物車両が迂回路

交通をした場合に生じる物品の痛みや遅れ等による経済的損失、渋滞等の影響下の運転により発生する事故的損失が含まれ、これらの損失は費用に換算される。

本研究ではこの内、UCの大部分を占めるであろう迂回路交通による時間的損失を計算し、コスト換算することによってUC定量化を試みた。ここで算定されるUCは橋梁の存在価値としての意味ももつ。「橋梁の順位付け」の、今後の維持管理計画、意思決定に対する貢献は大きい。また、その値によっては、少なくとも橋梁の維持管理業務においては、否が応でもその業務の重要性、また橋梁自体の重要性を納得せざるを得ないものとなる。そして、これまで曖昧とされてきたLCCの中のUCは明確化され、LCC分析はより有用な評価方法となる。

以上を目的として本研究は北海道内の多数の橋梁を対象とし、迂回路交通による時間損失を計算し、UCの定量化の試みを行おうとするものである。以下に、UCの計算方法、計算結果・集計・考察、UCのBMSへの応用例を説明する。

2. UCの計算方法

本研究のUC計算は以下の順で行われる。

2. 1 対象橋梁の選定

本研究では 1/15,000,000~1/1,000 まで連続的に縮尺可能な電子地図⁴⁾を用い、水面を越える道道及び国道に架かる橋梁を対象として選定を行った。選定順序は基本的に任意であるが、データ入手の関係上、市町村単位で選定を行った。

選定は、個々の橋梁を対象とするものであるが、近くに迂回路が確認できず、橋梁を個々に扱えない場合がある。その場合は路線上の橋梁群をグループとして扱い、そのグループに対するUCとして計算することとした。このとき、一橋でも通行不能な場合、同一のUCが発生するので、グループ内全ての橋梁それぞれに等しいUCを与えた。

2. 2 起終点及び迂回路の設定

次に、図-1のように通行車両が対象路線、迂回路線共に必ず通ると考えられるノードを起終点に設定する。本研究ではノードを、その前後で道路種別、制限速度、交通量のいずれかが変わる路線上の点として定義している。迂回路は道道、国道、市町村道の区別なく選定した。ここで、対象路線、迂回路の距離は電子地図の機能を用いてリンク (ノード間の路線) 毎に計測している。

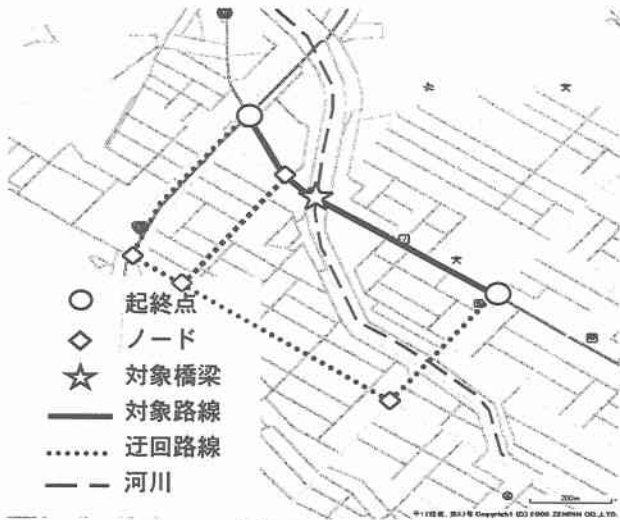


図-1 起終点、迂回路の設定



図-2 複数の起終点の設定

場合によっては多数の起終点を設定する必要が生じた。例を図-2に示す。ここで、路線A B Eが橋梁の存在する道道、路線C B Dが国道である。AからBに向かう交通の流れを考える。橋梁を通行した後Bに到達した交通はそこには留まらず、C方向、E方向、D方向に分岐すると推定される。そこで、それぞれの方向に対応する終点が設定される。

このような場合、各起終点に対する交通量を計算する必要がある。図-2の例では、対象路線（A B）の交通量を路線C Dの上下線のピーク交通量の比で、C点、D点にそれぞれ分配し、各起終点に対する交通量とした。

2. 3 各リンクのQ-V曲線の推定

走行速度と交通量の関係であるQ-V曲線は道路構造令より参照した。このQ-V曲線は道路種別、規格の級別と設計速度、車線数で区分されている。

対象路線、迂回路それぞれのリンクのQ-V曲線を設定するために、表-1に示すデータから道路規格の級別（車線幅員から道路構造令より判断）、車線数、制限速度を参照した。北海道における路線の道路種別はほとんどの区域が第3種であるため、図-3の第3種のQ-V曲線を用いた。ここで、最高速度は路線に標示されている制限速度を用いたが、最低速度は一定値の時速5kmとした。

表-1 入力データに用いた資料

	データ	資料
Q-V曲線	車線幅員	道路交通センサス ⁵⁾ 市町村道の場合はFAX
	車線数	
	制限速度	
時間係数の設定	24時間別交通量	道路交通情勢成果表 ⁶⁾
対象路線の時間別交通量	ピーク交通量	道路交通センサス ⁵⁾
対象路線の詳細データ	12時間交通量	道路交通センサス ⁵⁾
	対象路線名	
対象橋梁の詳細データ	橋梁名	橋梁現況調査報告書 ⁸⁾
	河川名	
	橋梁形式	
	橋梁年次	
	橋長	

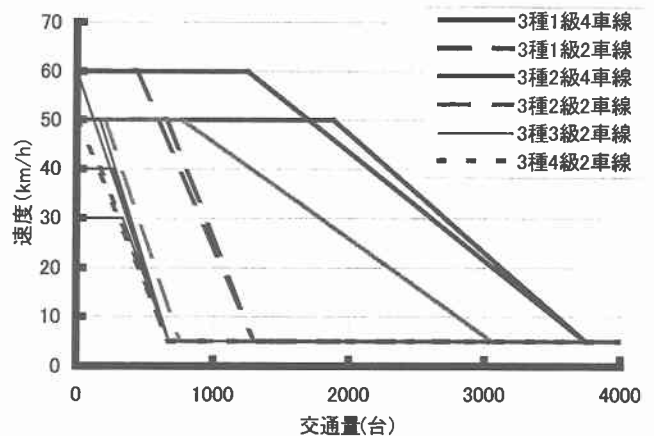


図-3 本研究で使用したQ-V曲線

市町村道に関しては公表されている参考資料がない。そのため、対象橋梁を確認できる近郊の橋梁の場合は、実際に現地調査をしてQ-V関係の推定を行った。調査が難しい場合は各市町村にFAXで送り、その回答を元に入力データを作成した。

2. 4 時間交通量の算定

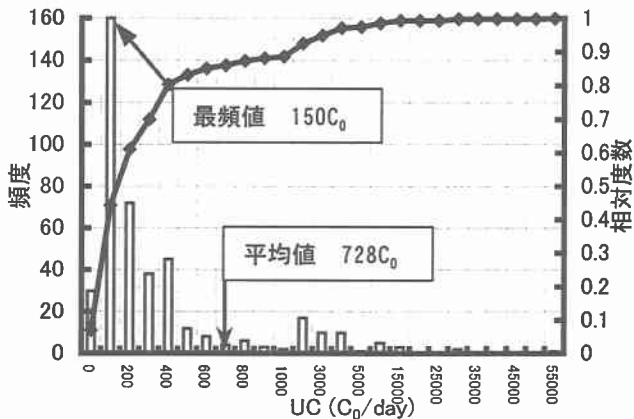
交通量の配分計算は、全国道路交通情勢調査データ等を用いて、0時から24時までの1時間毎の交通量を推定し、1時間毎に行った。これは一般に1日の交通量は時間帯で大きな差があり、24時間あるいは12時間交通量を一括配分するのでは実態と大きな差が出ると考えたためである。

交通量に関して、表-1に示す資料からは24時間交通量、12時間交通量、及びピーク交通量は参照できるが、1時間毎の交通量は記載されていない。そこで、まず全国道路交通情勢調査データに掲載されている24パターンの1時間毎の時間別交通量を平均した。そして平均化された時間別交通量のピーク交通量を1として係数化したもの（時間係数）に、対象路線のピーク交通量を乗じ、対象路線の24時間の時間別交通量を算出した。

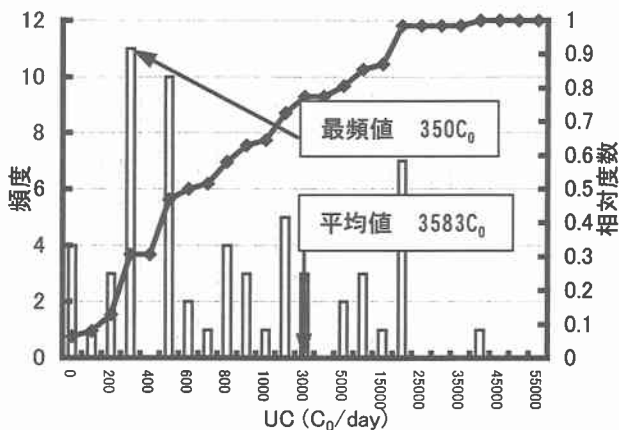
これは近似計算であるが、資料にある24時間交通量と、算定した時間別交通量の和との差は微小であり実用上は問題ない。

表－２ ＵＣ計算結果

	平均値	最大値	全橋梁の合計	橋梁数
道道	728C ₀	50015C ₀	329174C ₀	452
国道	3583C ₀	37268C ₀	222182C ₀	62
計	1073C ₀	50015C ₀	551356C ₀	514



図－４ 道道のＵＣの頻度分布（４５２橋）



図－５ 国道のＵＣの頻度分布（６２橋）

２．５ 交通量の配分計算

交通量の配分方法として等分割配分法を使用した。これは対象路線の１時間毎の交通量を１０分割し、リンクごとのＱ－Ｖ曲線の交通量と速度の関係から最も起終点まで時間のかからないルートを選択し、選択されたルートに含まれる全リンクに分配した交通量を加える。この作業を分割数だけ繰り返すことにより、１時間の交通量を配分し、走行時間を計算した。つまり、同じリンクが複数回選択されると、Ｑ－Ｖ曲線の交通量が増え、速度が低下し、走行時間が増加する。この作業を２４時間分繰り返すことにより、一日の総走行時間を算定した。

迂回路に道道や国道が選択された場合、それぞれの時間別交通量をピーク交通量から推定し、１時間の配分計算の初期交通量として対象のリンクのＱ－Ｖ曲線に加算して計算を行っている。

迂回路への配分計算の場合、速度の低下が大きく、迂回路の渋滞現象として、与えられた１時間交通量を１時間以内に捌ききれない場合がある。この場合は式（１）により求められた残留交通量を次の時間の交通量に加え

て再び配分計算を行うこととした。

$$Rev = \frac{(Det - 60)}{Det} \times Dev \quad (1)$$

Rev: 残留交通量 (台)

Det: 迂回路交通に要した合計時間 (分)

Dev: 迂回路を通行した時間別交通量 (台)

２．６ コストへの換算

以上の方法で対象路線の現状の交通量を、対象路線のみに流した総走行時間と迂回路に流した総走行時間の差を取り、時間価値 C₀(unit/時/台)を掛け合わせたものが UC となる。

３．計算結果・考察

現段階ではあるが、北海道内の道道に架かる 452 橋、国道に架かる 62 橋、計 514 橋の橋梁の一日当たりの UC 計算結果を表－２に示す。また、道道、国道の頻度グラフ、累積相対度数図をそれぞれ図－４、図－５に示す。

表－２より、道道の UC の平均値にくらべ、国道の UC の平均値は約 5 倍の値となった。これは、道道に比べ国道の交通量が多いことが原因と考えられる。また、国道はトリップ長の長い幹線道路であるため、近くに迂回路が存在しない場合が多いことも理由と考えられる。

図－４より、道道の約 8 割の橋梁において 500C₀/day 以下の UC が算出され、最頻値で約 150C₀/day となった。一方、国道の橋梁は図－５より、約 8 割の橋梁が 2000C₀/day 以下となった。これは道道の橋梁と比べると非常に高い値である。前述した原因に加え、サンプル数の少なさゆえのばらつきが考えられるため、今後さらに計算数を増やしていく必要がある。また道道、国道の両方において、UC が 10000C₀/day 以上と高い値となって算出された橋梁数は 23 橋であるが、その原因として、代替道路ネットワークが貧弱（迂回路数が少ない、車線数が少ない、制限速度が低い等）、対象路線の交通量が多い場合、迂回路線の初期交通量が多い場合や、対象路線距離に対して迂回路距離が非常に長い場合に算出されることが分かった。逆に、代替道路ネットワークが充実していると、UC は低い値となって算出される。

４．ＢＭＳ補修戦略への応用の一例

４．１ ＵＣと部材・構造劣化度による補修戦略例

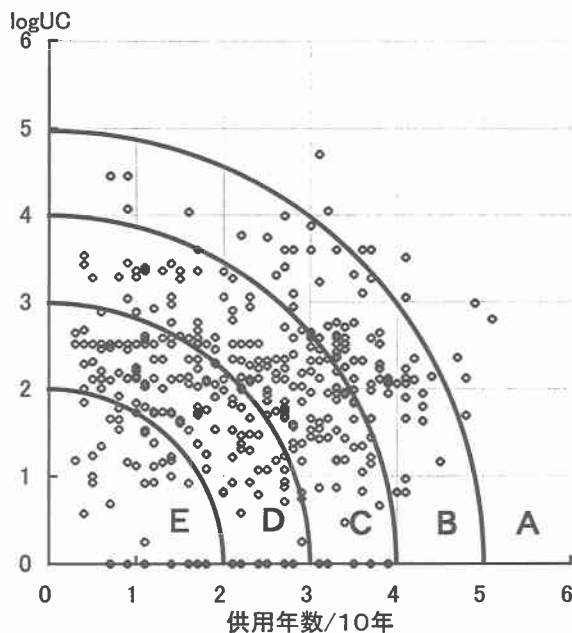
UC の値によって橋梁の重要度を判定することにより、橋梁周辺の迂回路ネットワークの評価を考慮に入れた橋梁点検や維持補修の計画を立てることができる。その概念的説明として、重要度と部材・構造劣化度別に表－３のような BMS の戦略例が考えられる。

部材・構造劣化度が○は、点検により健全であると判定された評価（１～７の７段階評価での６または７）、△は劣化してはいるが、機能にはさほど支障がないと判断された評価（４または５）、×は劣化が激しく、機能していないと評価（３以下）されたものである²⁾。

表は例えば、評価の重要度がＢランクの橋梁を点検した結果、部材・構造劣化度が○から△へ変化した場合、２年毎の点検を１年毎に早めるか、あるいは予算との関係で補修を行うようにすることを意味する。

表－3 橋梁維持補修戦略例

ユーザーコストの 評価		評価	部材・構造劣化度		
			○	△	×
代替道路ネット ↑ 悪 ↓ 良	価値 ↑ 高 ↓ 低	重要度	A	点検(1年)	補修 架け替え
			B	点検(2年)	補修 交通制限
			C	点検(5年)	補修 交通止め



図－6 U Cと供用年数の関係

UCが高いということは、その橋梁価値も高いということであるが、それは代替道路ネットワークが貧弱であるとも言える。重要度をUCの高い順から例えば、A,B,Cと区分することによって、周辺の迂回路ネットワークの評価を考慮する効率の良い点検・維持補修戦略を立てることが出来ると考えられる。

4. 2 供用年数を考慮したUCによる補修順位決定例

橋梁を道路ネットワークの一要素とみなしたマクロ的な資本の投資順位及び点検・補修順位の決定は、経年劣化による判断が合理的と考えられるが、それに加え、橋梁の重要度であるUCを考慮することでさらに確定的な補修順位決定がされることとなる。

ここで、本研究で計算されたUCと供用年数の関係を図－6に示す。縦軸はUCを対数変換し、横軸は供用年数を10年で除し、無次元化して表している。

ライフサイクルコストに着目した最適保守計画に関する多くの研究は、一般的な耐久性能の経年的低下を考慮している。つまり、供用年数は、最適保守計画の構築にとって重要な因子となる。ここで例えば図－6のように、原点からの距離によりゾーン化し、重要度を高い順からA,B,C,D,Eと設定すれば、橋梁価値のみでなく供用年数を考慮した橋梁の点検・補修順位が決定され、より効率的で、合理的な維持管理計画の作成が可能となる。

本報告ではUCのBMSへの応用として以上の2つの例を挙げたが、これらを組み合わせた橋梁の維持補修戦略も考えられ、今後検討を加えていくつもりである。

5. あとがき

LCCの計算におけるUCの位置付け、橋梁の維持管理における資本の投資順位決定等への貢献を目的として、北海道内の514橋の橋梁を対象とし、対象橋梁が通行できなくなった場合に現状の交通量が迂回路に流れると仮定して、現交通と迂回路交通の総走行時間差を計算しコストに換算して示した。地域により差はあるが、UCのオーダーは予想以上に高い数字で示され、耐震構造設計におけるLCC試算⁹⁾で示しているように、橋梁設計に対する初期投資、及び補修戦略に支配的な項目となることが予想される。

また、今回計算されたUCの値は、一般に理解しやすい内容であり、橋梁の価値という見方もあると思われる。これを国民に示すことができれば、社会基盤施設の維持管理に対する国民の合意を得る上での支援になることも期待される。

今後、対象橋梁の数を増やすこと、迂回路の設定範囲を橋梁周辺の他に広域に設定すること、迂回路交通による時間的損失のみでなく、経済的損失、社会的損失等も検討対象に加え、より実証的なBMSの確立に貢献できることを願っている。

謝辞：本研究は、平成11年度ホクサイテックおよび文部省私立大学学術フロンティア拠点推進事業の援助を受けた。また、資料提供に協力いただいた、北海道建設部の田中実氏、北海道開発局開発土木研究所の高橋守人氏、及び総ては記せないがアンケートに回答いただいた道内の多くの市町村の担当の方々、及び貴重な意見をいただいた北海道大学小幡卓司氏に、末筆ではあるが、記して謝辞に代える。

参考文献

- 1)FHWA : Life-Cycle Cost Analysis in Pavement Design, 1998.
- 2)B.S.Yanev : Infrastructure management systems applied to bridges, Operation and Maintenance of Large Infrastructure Projects, 1998.
- 3)P.Xanthakos : Bridge Strengthening And Rehabilitation, Prentice Hall, 1996.
- 4)Zenrin : 電子地図帳ZⅢ, Zenrin, 2000.
- 5)北海道開発局：平成9年度版 北海道版 全国道路交通情勢調査（道路交通センサス）一般交通量調査箇所別基本表, 1998.
- 6)北海道建設部道路計画課：平成9年度版 道路交通情勢成果表, 1997.
- 7)日本道路協会：道路構造令の解説と運用, 丸善, 1983.
- 8)北海道建設部道路計画課：平成10年度 橋梁現況調査報告書, 1998.
- 9)土木学会：コンクリート技術シリーズ コンクリート構造物の耐震性照査 一検討課題と将来像一, 2000.