

ユーザーコストを考慮する LCC と割引率の関係について

Effect of discount ratio on life cycle cost considering user cost

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(株)

室蘭工業大学工学部建設システム工学科

正 員

○学生員

学生員

正 員

正 員

杉本 博之 (Hiroyuki Sugimoto)

首藤 諭 (Satoshi Sudoh)

後藤 晃 (Akira Gotoh)

渡辺 忠朋 (Tadatomo Watanabe)

田村 亨 (Tohru Tamura)

1. まえがき

高度成長期後に建設された大量の土木構造物は、もうじき供用期間を超え、維持管理が必要な構造物が急激に発生することになる。これは近い将来を考えると早急に対応しなければならない土木技術者の大きな課題の一つとなる。公共事業予算の大幅な削減の見通しとあわせて考えると、今後、国民に対する説得力のある税金の投入が強く要求され、費用便益あるいはライフサイクルコスト (LCC) の計算も従来よりも必要性が増すと思われる。

本研究は、以前より計算を行ってきた橋梁のユーザーコスト (UC) を定量化したものをを用いて、LCC 計算における UC の影響と割引率との関係を調べるものである。LCC の UC は利用者 (ユーザー) が橋梁を使用不可能な場合に蒙る損害と理解される。しかし LCC における UC はどの程度の影響があるのか明確にわかってはいない。

橋梁維持管理システム (BMS) の議論において、UC は、他のコストが定量的に示されるのに対し、定量的に示されることが少なく記号 "UC" で示されることが多い。^{1) 2)} しかし、一般的に社会基盤施設が使われることの頻度、また重要性を考慮するとそれらの価値は高く評価されることが予想され、設計、あるいは維持管理の初期の意思決定において UC を定量化して LCC の中に含めて検討することは重要と考える。

橋梁の LCC は設計・施工・供用の後、補修・補強を経て、架け替えというライフサイクルをたどる。橋梁の UC には、該当の橋梁が自然災害や構造劣化などの影響により通行不能になった場合、迂回路を通ることによる時間的損失、迂回路交通による物品の痛み等の経済的損失、交通事故、周辺地域の環境劣化等の社会的損失が含まれる。本研究は、北海道の多数の橋梁を具体的に対象として取り上げ、上記の時間的損失を求めて UC の定量化を試み、定量化した UC を用い、割引率を考慮することにより中規模の RC 橋梁の LCC を一例として計算し、設計がどのように変わるかを調べるものである。

時間的損失による UC は、対象橋梁の迂回路ネットワークが貧弱である場合に UC は高く算出される。逆に対象橋梁を通過する交通量が非常に大量であっても迂回路ネットワークが充実していれば、UC はさほど高くはならない。つまり UC を考慮した LCC 計算は、その対象橋梁周辺の道路ネットワークも考慮したコスト計算ができるものである。そのため今後の維持管理業務の予算投

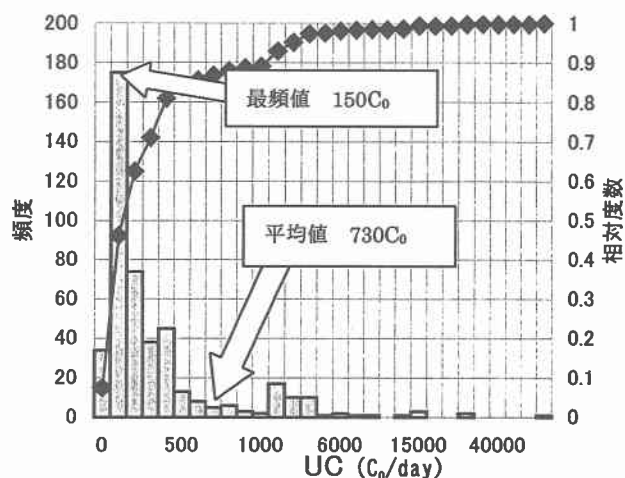


図-1 UC の頻度分布

表-1 集計結果

	平均値	最頻値	最大値
C_0	$730 C_0$	$150 C_0$	$50000 C_0$
1800unit ($\times 10^3$)	1300	250	90000

資順位を考えた場合 UC を考慮した LCC を算定することは効率の良い予算計画を立てるためにも重要な因子になると考えられる。

2. UC の計算結果^{4) 5)}

本研究では現在 452 橋の UC の計算が終了しており、集計したものを図-1、表-1 に示す。本研究の UC は上記の時間的損失を求めて算出している。ここで、時間コストを C_0 としているが、 C_0 を 1800unit/day とした結果も示している。今後、LCC の計算の単位には unit を用いて計算を行っている。図の左の縦軸は頻度、右の縦軸は累積相対度数を表す。棒グラフは頻度、折れ線グラフは累積相対度数を示している。表にも示したが、平均値は $730C_0$ (130 万 unit)、最頻値で $150C_0$ (25 万 unit)、最大値で $50000C_0$ (9000 万 unit) という値が一日あたりの橋梁に算出された。これは決して少なくない値である。ここで UC の平均値付近と最頻値程度の 2 つを LCC 計算の UC として計算を行い、集計したものを次章で示す。

表-2 パフォーマンスマトリックス

設計	耐震性評価			初期コスト ($\times 10^3$ unit)	補修コスト($\times 10^3$ unit)		
	L-1	L-1.5	L-2		sp1	sp 2	sp3 + 支承の交換
①	2	3	3	16,000	0	458	844+13,000
②	1	2	3	23,000	0	607	1,082+13,000
③	1	1	1	49,000	0	864	1,412+13,000
				復旧日数	補修無し	7日間の 通行止め	30日間の 通行止め

表-3 確定論的に算出した LCC ($\times 10^6$ unit)

設計	初期 コスト	補修 コスト	総コスト A	ユーザーコスト		総コストB	
				1.3	0.25	1.3	0.25
①	16.0	30.0	46.0	123.5	23.8	169.5	69.8
②	23.0	14.7	37.7	48.1	9.3	85.8	47.0
③	49.0	0.0	49.0	0.0	0.0	49.0	49.0

3. 耐震設計における LCC 計算例

前節で、UC の値が計算され、具体的な値の分布が求められた。これらが得られたので、LCC における UC の位置付けを検討することができる。

一例として、ここでは、支間 30~40m の RC 橋梁を対象として、性能設計を基本とする耐震構造設計における LCC 計算³⁾を示し、LCC における割引率の影響、UC の占める割合、これらの変化による設計の意思決定における影響の程度を検討する。

3. 1 確定論的に算出した LCC 計算

構造物は、その供用期間中に、異なる規模の地震動の影響を数回受けることになる。そこで、中規模な L-1 地震動、大規模な L-2 地震動、およびこれらの中間の地震動として L-1.5 地震動の 3 つの地震動を考える。また、橋梁の供用期間は 100 年とする。これらの基本的な条件のもとで、耐震性（ここでいう耐震性は、構造物が吸収できるエネルギーを意味し、力学的な耐震性を意味する）の異なる 3 種類の設計（低い初期コスト・低い耐震性、中程度の初期コスト・中程度の耐震性、高い初期コスト・高い耐震性）の LCC を計算し比較する。

3 種類の設計は表-2 のように設計条件毎のパフォーマンスマトリックスを持っている。これらは、初期コストが設計①は 1600 万 unit、設計②は 2300 万 unit、設計③は 4900 万 unit とした。つまり初期コストのみを考えれば、当然設計①が選択されることになる。各設計は、各地震荷重に対する耐震性のレベルにより補修費が異なり、大規模な被害を受けると維持補修に加え、支承の交換を含むため非常に高価な補修費がかかる。また、それぞれの地震が発生した時点でそれぞれの耐震性のレベルに応じて通行止めの日数も異なっている。微小な被害であれば補修無しで供用できるが、中規模、大規模な被害となるとある程度の通行止めの日数がかかることとなる。この走行止めの日数に UC が考慮されることになる。ここでは、橋梁の経年的な劣化は無視している。

耐震性の評価は 3 段階で考え、sp1、sp2、および sp3 とした。例えば、設計②（中程度の初期コスト）

では L-1.5 地震動に対して耐震性の評価は sp2 で設計される。この場合、L-1.5 地震動に対しての補修コストは 607,000unit になり、復旧日数は 7 日間となることを表-2 は意味する。計算に用いた地震荷重として供用期間の 100 年間に L-1 地震動が 5 回、L-1.5 が 1 回、L-2 地震動が 1 回発生する場合の結果を説明する。前節を参考にして、ここでは平均値付近の比較的高い場合（130 万 unit）、最頻値程度の低い場合（25 万 unit）の 2 つ UC の場合を考えた。それらの LCC の計算結果を表-3 に示す。また、これをグラフで表したものを図-3 に示した。初期コストと補修コストのみを加えた総コスト A (UC = none) では、設計②が最も経済的であった。しかし、UC を考慮すると関係は大きく逆転し、表-3 右欄あるいは図-2 に示すよう UC が平均値程度の場合に、設計③が最も経済的である結果となった。これは、UC が LCC 計算に与える影響は大きく、UC を考慮した場合、初期投資を多くし補修をできる限り少なくする設計が経済的な設計になることを示唆するものと思われる。表-3 の総コスト A は初期コストと補修コストの和であり、総コスト B はさらに UC を加えた値である。表に示すように、総コスト A と同程度あるいはより大きいオーダーの UC が計算されている。

3. 2 不確定性を考慮した LCC 計算

以上は、確定論的な計算だったが、実際には、補修コスト、初期コスト、復旧日数、UC、および地震の回数等の値には不確定要因があるため、幅があると考えられる。そこで、各パラメータに正規分布を与え 100 万ケース乱数を発生させ結果を集計した。

地震を受ける回数は L-1 地震動、L-1.5 地震動、L-2 地震動のそれぞれにおいて、前述の値を平均値とし、標準偏差を L-1 地震動は 1/3、L-1.5 地震動は 1/2、L-2 地震動は 1.0 と設定した。補修コスト、初期コストは表-2 に示した値を平均値とし、UC は前述の平均値付近の UC (130 万 unit)、最頻値程度の UC (25 万 unit) を平均値とした。また、標準偏差はどちらも平均値の 1 割の値をとった。復旧日数も平均値は、表-2 の値を用い、標準偏差は通行止めが 7 日間の場合は 1 日、30 日間の場合は 3 日で計算を行った。地震荷重の発生年度は 100 年間の供用期間の中でランダムに発生させている。

上記の条件のもとでの UC を考慮しない場合の LCC の計算結果を図-3 に示す。ここで黒の点線は設計①、灰色の実線は設計②、黒の実線は設計③を示している。多少のばらつきはあるが、設計②が最も低く、設計①、

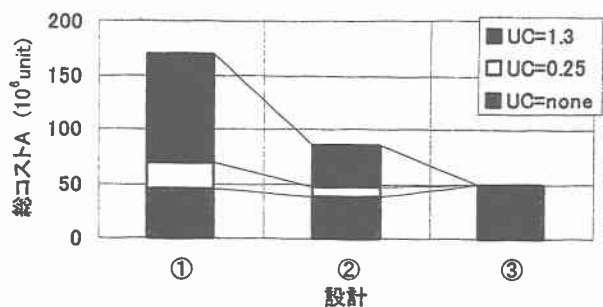


図-2 確定論的に算出した LCC 図

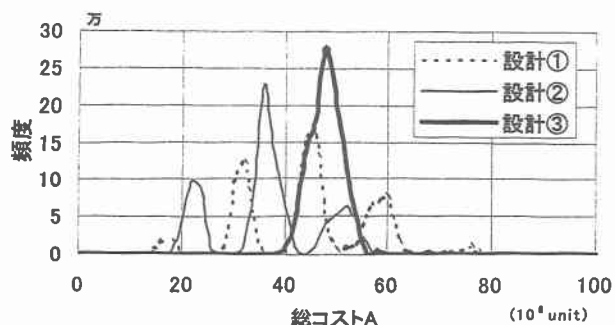


図-3 分布系を与え、UC を考慮しない場合

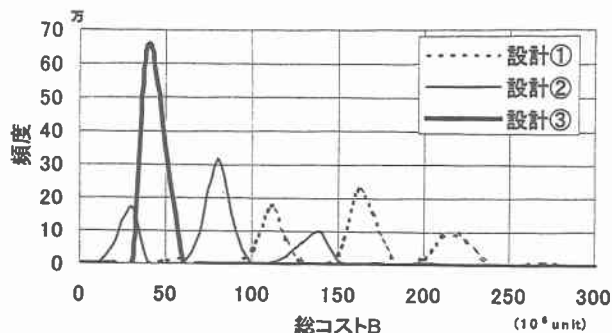


図-4 割引率を考慮せず、UC が平均値の LCC

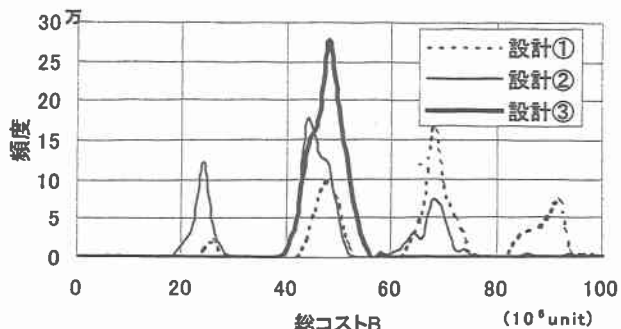


図-5 割引率を考慮せず、UC が最頻値の LCC

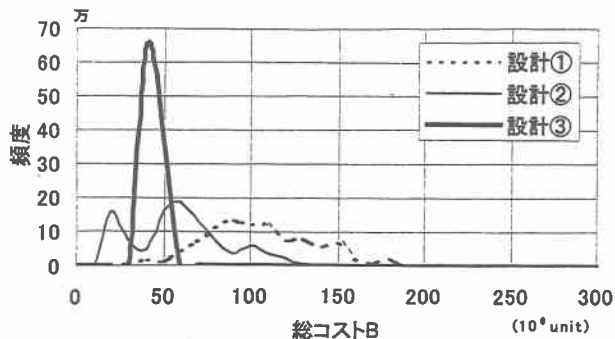


図-6 割引率 1%, UC が平均値の LCC

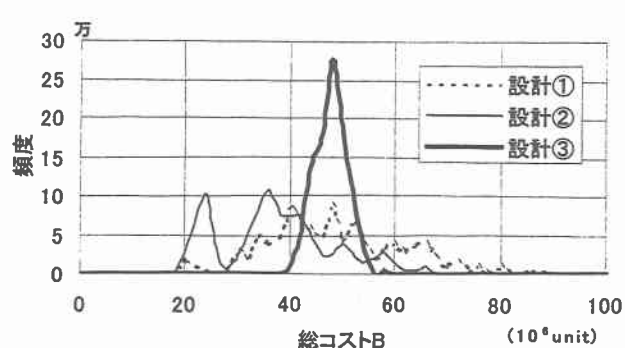


図-7 割引率 1%, UC が最頻値の LCC

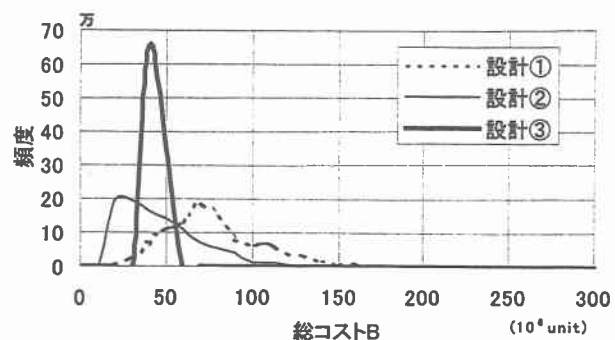


図-8 割引率 2%, UC が平均値の LCC

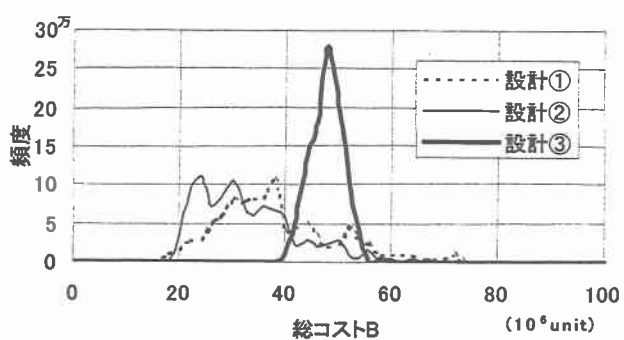


図-9 割引率 2%, UC が最頻値の LCC

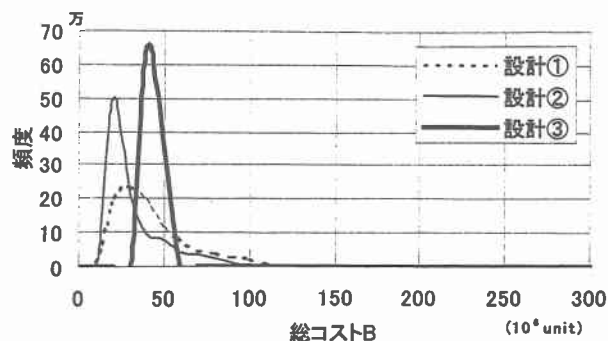


図-10 割引率 5%, UC が平均値の LCC

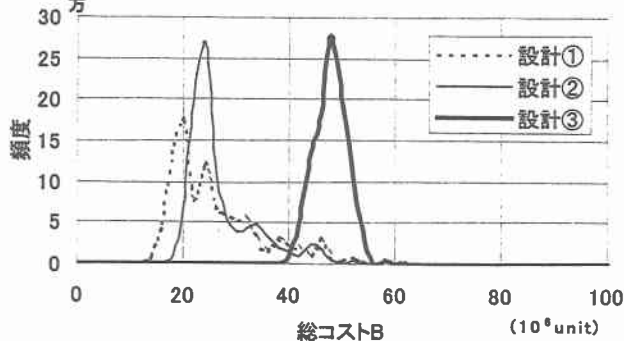


図-11 割引率 5%, UC が最頻値の LCC

設計③の順にコストが高くなっている。つまり、UC を考慮しない場合、設計③が選択される可能性はきわめて低いことを表している。

次に、UC の値が平均値付近な場合、最頻値程度な場合の前記した総コスト B の結果を図-4、図-5に示す。UC が平均値付近の場合(図-4)、初期コストを重視した設計③が経済的な設計になる可能性が最も高い設計と考えられる。一方、UC が最頻値程度の場合(図-5)は、UC を考慮しない LCC の結果と同じく、設計②が設計③より経済的になる可能性がやや高いという結果が得られた。結局、多少のばらつきはあるがパラメータを確率論的に与えても、前記の確定論的に得られた結論と同様な結論が得られたことになる。

一例ではあるが、これらの計算例から、設計あるいは維持管理における意思決定への UC の影響の程度が示されたと考える。初期コストのみを考えれば設計①、UC が低い橋梁においては設計②が選択されるが、本研究で得られた平均値付近の UC を有する橋梁では、UC を考慮しない総コスト A と UC を考慮した総コスト B を比較した結果、設計③つまり初期に多くの投資をする設計の方が経済的となり、選択が設計②から設計③へ移動することになる。これは、大きな設計変更である。

3. 3 割引率を考慮した LCC 計算

次に割引率を考慮した LCC 計算を行う。ライフサイクルを考えた場合、長期の年月を視野に入れる必要があることから、現在と供用期間後の金銭価値が同一とは考えにくい。そのため割引率を考慮することが妥当である。

前節同様に 2 種類の UC を考慮した総コスト B を計算した。前記の通り総コスト B は初期コスト、補修コスト、UC を加えた LCC である。ここで補修コスト、UC は現在の価値(現価)に引き戻して計算する必要がある。割引率を考慮した現価は、式(1)により算定される。ここでは、割引率(i)を 1%、2%、5%の 3 パターンを考慮した。地震の発生回数は前述の値を用い、100 万ケース乱数を発生させた集計結果を図-6～11に示す。

$$RC = (MC \text{ or } UC) \times \frac{1}{(1+i)^Y} \quad (1)$$

ここで RC は現価、MC は補修コスト、UC はユーザーコスト、 i は割引率、 Y は地震の発生年度である。

割引率を考慮することにより、分布系による頻度のピークが幾つかあったものが割引率を増加させるにつれ一つのピークに集中していることがグラフから見て取れる。また、どちらの UC のケースにおいても割引率が 2%程度から影響が大きくなり、設計の変更が見受けられる。

割引率を考慮した計算では、補修コスト、UC の重要性が低くなり、初期コストの重要性が増える。そのため、比較的高い平均値付近の UC の場合に選択されていた設計③が割引率を考慮することにより、設計②が選択される可能性があることがわかる。また、比較的低い場合の最頻値程度の UC においても割引率を高くすることにより、今まで選択をしていなかった設計①が設計②と同程度くらいのオーダーまで LCC が低く算出されており、設計③が選択される確率が少なくなり、割引率を考慮することにより大幅な設計変更があることがわかる。

4. あとがき

LCC 計算における UC の影響を検討した結果、UC は設計の選択に大きな影響があり、初期コスト、補修コストと同じオーダーの影響があることが確認できた。

各パラメータのばらつきを考慮した分布系を与えた LCC 計算の結果、幾つかのピークが算出されていたものが、割引率を考慮した計算では、割引率を増やすことにより一つのピークに集中することがわかった。このことにより割引率を考慮することは、将来のパラメータの不確定性を打ち消す効果があることがわかった。

また、割引率を高くするほど、UC や補修コストよりも初期コストのウェイトが高くなる。そのため、初期コストを低く抑え、補修や架け替えを複数回行う戦略が効果的となる。このように割引率も設計に大きくかわる指標であると考えられる。

しかし文献 1) によると割引率が増えるにつれ、維持による直接経費の節約分が重要ではなくなるため、割引率を考慮しない LCC で計算を行う考えもある。そのため、設計する段階で割引率を考慮する場合には、どの程度の割引率を使用するか判断は慎重に設定する必要があると考えられる。

本研究では新設橋梁の設計例であったが、既設の橋梁の維持管理戦略を考える場合にも同じことがいえると思われる。既設の橋梁の場合は UC を算定することが可能であるため、維持管理による戦略を考える上で割引率を熟慮する必要がある。

今後は、地震荷重の回数の組み合わせを変化させ、様々な UC を考慮することにより LCC にどのような影響を及ぼすのか検討していきたい。

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、及び貴重なご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) B.S.Yanev : Infrastructure management systems applied to bridges, Operation and Maintenance of Large Infrastructure Projects, 1998. (訳杉本博之: 橋梁のためのマネジメントシステム, 北米鋼橋技術調査団報告書: 北の技術者による北米 BMS の現状, pp58-68, 1999.6)
- 2) P.Xanthakos : Bridge Strengthening And Rehabilitation, Prentice Hall, 1996.
- 3) 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.
- 4) 杉本・首藤・後藤・田村: 橋梁のユーザーコスト算定に関する一考察, 土木学会北海道支部論文報告集第 56 号 (A), pp282-287, 2000.
- 5) 首藤・杉本・後藤・田村: 北海道の橋梁のユーザーコスト算定とその利用について, 土木学会第 55 回年次報告論文集 I-45, I-A321, 2000.