

部材寿命のばらつきを考慮した鋼橋のライフサイクルコスト

長崎大学大学院 学生会員 ○森屋 伸介 長崎大学工学部 正 会 員 中村 聖三
長崎大学工学部 フェロー 高橋 和雄

1. はじめに

土木構造物は初期建設コストと比較して、維持管理や更新に要するコストなどインフラ整備以後に発生するコストが非常に大きくなることが指摘されている¹⁾。そのため、橋梁の計画を行う際にも、初期建設コストによる評価だけでなく、計画当初から将来の維持管理コストや更新コストを十分に予測し、最適な技術を選定していくライフサイクルコスト(LCC)による評価を行うことが重要であるといえる。このような背景から近年橋梁のLCC算定に関する試みがなされているが、いずれも部材寿命を確定量として取扱っており、本来部材が有する寿命のばらつきまでは考慮されていない。そこで本報告では、アンケート調査により得られた実橋梁の部材寿命データに基づく部材寿命のばらつきを考慮したLCCの推定法の提案を行う。また、LCCの試算結果の一例についても示す。

2. アンケート調査

橋梁の構造仕様、部材の更新状況と更新理由等を把握し、各部材寿命のデータを収集することを目的として、平成11、12年に橋梁の管理を行っている官公庁、公団、公社を対象にアンケート調査を実施し、全国202橋におよぶデータを得た。本研究ではLCCの試算において部材の更新は物理的な限界状態をもって行うものとしたため、アンケート調査より得られた部材寿命のデータのうち、荷重や化学的要因による劣化で更新されたものについてのみ、LCCの試算に用いる部材寿命データとした。アンケート調査結果の一例として、5章でのLCCの試算に関連する部材についての平均値 μ と標準偏差 σ を表-1に示す。

表-1 部材寿命の平均値と標準偏差

部材	種類	data数	μ (年)	σ (年)
塗装	A-1	94	13.27	7.71
	B-1	19	10.79	2.25
床版	RC	38	27.95	14.57
	PC	8	20.88	22.10
支承	鋼製	24	21.54	8.72
	ゴム製	3	31.33	4.04
舗装	普通	24	21.58	13.19
	改質	13	21.77	11.88
伸縮装置	ゴム	10	15.60	5.27
防水層	塗膜系	5	30.20	9.15

3. 部材寿命の確率分布の推定と適合度の検定

アンケート調査より得られた部材寿命のデータに対するヒストグラムの一例を図-1に示す。図よりヒストグラムの形状が左に歪んでいること、対数をとることで確率密度関数を確率変数が正の領域のみで定義できる等の理由から、本研究では物理的な部材寿命の分布が対数正規分布に従うものと仮定した。対数正規分布の確率密度関数、分布パラメータを以下に記す²⁾。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\xi x} \exp\left[-\frac{(\ln x - \lambda)^2}{2\xi^2}\right] \quad (0 < x < \infty) \quad \cdots (1)$$

ここで、 λ と ξ は上式の分布パラメータであり、それぞれ $\ln x$ の平均値と標準偏差である。また、これらのパラメータは x の平均値 μ と標準偏差 σ と以下のような関係がある。

$$\lambda = \ln \mu - \frac{1}{2}\xi^2 \quad \xi^2 = \ln(1 + \sigma^2/\mu^2) \quad \cdots (2)$$

推定した確率分布に対して、比較的データが多く得られたA-1塗装とRC床版について χ^2 検定により適合度の検定を行った。その結果、それぞれ有意水準1%、5%のときに帰無仮説を棄却しないことから、両部材寿命の分布は対数正規分布に従うとみなしてもよいという結論を得た。検定の詳細については文献3)を参照されたい。

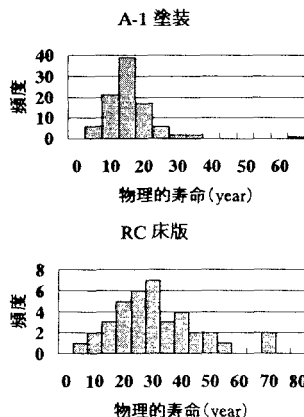


図-1 部材寿命のヒストグラム

4. LCCの算定方法

4.1 算定手順(図-2)

- ① アンケート調査で得られた部材寿命(物理的寿命)のデータより、その平均値 μ と標準偏差 σ を求める。
- ② 確率変数 X について $\ln X$ が正規分布に従うとき、 X の確率密度関数は(1)式で表される対数正規分布であり、この分布パラメータ λ 、 ζ を(2)式より求める。
- ③ モンテカルロ法により、②で求めた(λ 、 ζ)の分布パラメータを有する対数正規分布に従う乱数を発生させ、これを部材寿命(実数)とする。これより各部材の更新時期とLCCの算定期間内に要する更新回数が求まり、部材の更新回数に更新単価を掛け合わせたものを構造要素別の更新費とする。
- ④ ③で求めたLCCの試算対象となる橋梁の有する部材の構造要素別更新費と初期建設費、点検等に要する維持管理費を足し合わせたものを本報告における橋梁のLCCとする。

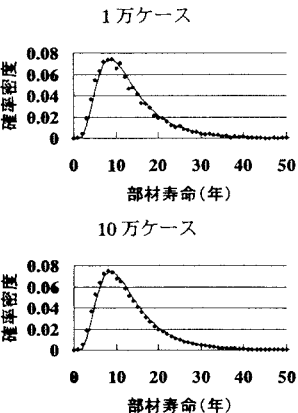
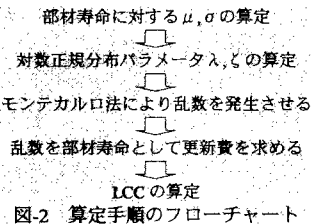


図-3 乱数の分布状態

4.2 乱数の発生回数

LCCの算定に用いる部材寿命はモンテカルロ法により発生させる乱数であるため、対数正規分布の確率密度関数と発生させた乱数のヒストグラムとの間にはズレが生じ得る。そのため、適切な乱数の発生回数を明らかにするために、乱数を1万個、5万個、10万個発生させ、分布状態の比較を行った(図-3)。比較の結果、10万個乱数を発生させた場合においてそのズレはほとんど見られず、それぞれの計算に要する時間にほとんど差がないことから、より高い精度のLCCを得るために10万ケースの試算を行うこととした。

5. LCCの試算結果

表-2に示す構造仕様を有する2つの橋梁について、算定期間100年におけるLCCの試算結果を図-4に示す。ここでは両者のLCCの相対的な比較を行うため、両者においてその差がほとんどないものと考えられ、値についても明確な把握のできていない維持管理費を除いた試算を行うものとした。試算結果を平均値で比較するとTYPE2がTYPE1の約2倍のコストを要する結果となっている。また、TYPE2の標準偏差が大きな値をとっており、図-4の分布形状からも部材寿命のばらつき(特にPC床版)がLCCに大きく影響することが伺えた。

表-2 構造仕様と更新単価

部材	TYPE1(更新費)	TYPE2(更新費)
塗装	A-1(11,610,000)	B-1(12,203,000)
床版	RC(18,783,000)	PC(69,315,000)
舗装	普通(1,971,000)	改質(2,334,000)
支承	鋼製(14,554,000)	ゴム製(14,300,000)
伸縮装置	ゴムジョイント(4,198,000)	
防水層	塗膜系(855,000)	

6. まとめ

本研究では物理的部材寿命データの平均値と標準偏差を分布パラメータとする対数正規分布に従う乱数を発生させ、それを部材寿命としてLCCの算定を行うことで、平均値だけでなくばらつきも検討できるLCCの推定法に関する提案を行った。また、その試算結果の一例についても示した。

[参考文献]

- 1) 横山ら：道路橋におけるライフサイクルコストの考え方と米国の事例、第1回鋼構造物の維持管理に関するシンポジウム資料集、pp.9~16、1999.7
- 2) 池守：土木計画のための確率・統計序説、1985.5
- 3) 中村ら：鋼橋の部材寿命に関する調査、鋼構造年次論文報告集第9巻、pp.89~96、2000.11

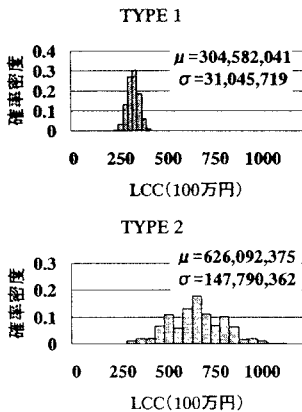


図-4 橋梁のLCC分布図