

不確実性を考慮した橋梁のLCC算定事例

鹿島建設(株)	正会員	○光成 康一
	正会員	高橋 祐治
	正会員	大谷 芳輝
	正会員	右近 八郎

1. はじめに

日本における道路橋の平均経過年数は30～40年とされており、今後20年間に耐用年数(50年)に達する橋梁が急増する。このため集中的な更新を避け、計画的に維持管理を行うアセットマネジメントが必要とされている。

構造物のアセットマネジメントにおいては、将来の劣化進行の不確実性により、その補修費用が大きく変動する。劣化進行のばらつきを考慮した幅をもったLCC(Life Cycle Cost)予測システムにより、LCCのばらつきによる将来リスクの評価を行うことができる。

本稿では、橋梁維持管理データをもとに、点検データからのばらつきパラメータの設定、劣化進行の不確実性を考慮したLCC算定結果について報告する。

2. システムの概要

本検討では、既開発のBMS^{1)～3)}をベースにモンテカルロ法により、ばらつきをもったLCCを算定する。基本となる確率変数として、劣化進行速度のばらつきと点検誤差によるばらつきの二つの確率変数を採用する。

(1) 劣化進行速度のばらつき

健全度に応じた潜伏期～劣化期の5つの時間間隔を、図-1に示すように完全相関の正規確率変数とする。橋梁のおかれた環境条件の違いと橋梁を構成する要素の局所的な条件の違いによるばらつきを考慮し、各々の変動係数を cov_1 、 cov_2 、対応する正規乱数を α_1 、 α_2 として、式1で各期の時間間隔を評価する。

$$\text{時間間隔} = \text{時間間隔(平均値)} \times (1 + cov_1 \times \alpha_1) \times (1 + cov_2 \times \alpha_2) \quad \dots \text{式1}$$

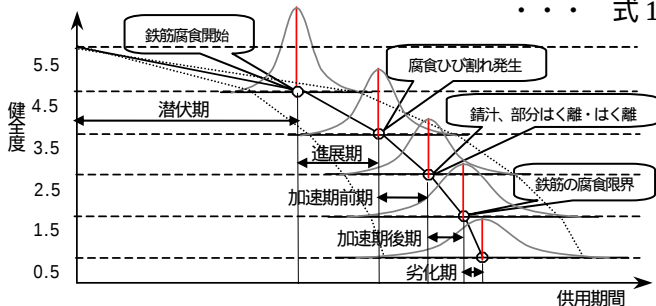


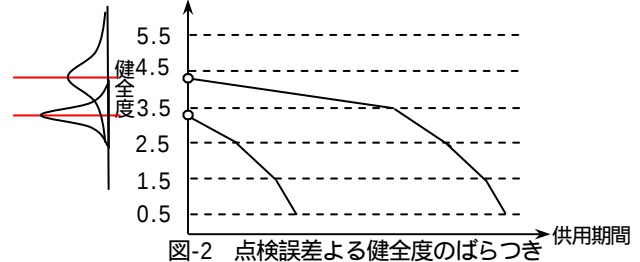
図-1 劣化進展の期間のばらつき

(2) 点検時（現時点）における健全度のばらつき

点検時（現時点）の健全度を、図-2に示すように要素毎に完全独立の正規確率変数とする。このばらつきには

点検者の個人差に起因する誤差と供用開始から点検時までの経年劣化によるばらつきの蓄積が含まれる。各誤差による健全度の標準偏差を std_1 、 std_2 、対応する正規乱数を β_1 、 β_2 として、式2で評価する。

$$\text{健全度} = \text{健全度確定値} + std_1 \times \beta_1 + std_2 \times \beta_2 \quad \dots \text{式2}$$



3. 点検データからのばらつきパラメータの設定

ここでは、点検データから塩害を受けるコンクリート主桁部材についてばらつきのパラメータを設定する。劣化現象が健全化する健全度4.5以下のデータを分析する。

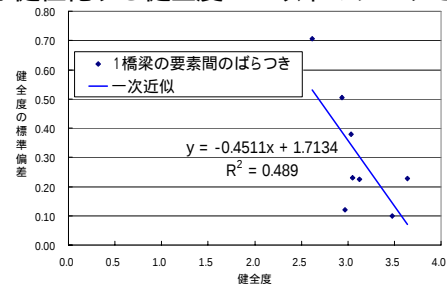


図-3 健全度とばらつきの関係

一般に、平均的な健全度とばらつきの大きさの間には、図-4の青線で示すような関係があると考えられる。健全度2.6～3.6の間は、健全度と標準偏差の間に図-3のような線形関係を仮定、健全度5.5～3.6の間はデータが得られないため健全度5.5で標準偏差が0となるよう補間、また、健全度0～2.6の間は、健全度2.6のときの標準偏差で一定と仮定し図-4のような関係を設定した。

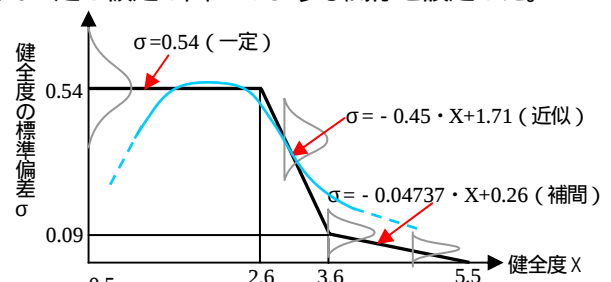


図-4 健全度とばらつきの関係

キーワード：アセットマネジメント、LCC、ばらつき、モンテカルロ法、健全度

連絡先：〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島建設株式会社土木設計本部 設計技術部 Tel 03-6229-6703 FAX 03-5561-2153

ここで用いた点検データは点検結果を複数人で照査しており、個人差による点検誤差を極力排除しているため、点検時における健全度のばらつきは経年劣化のみに起因すると判断し、経年劣化の変動係数(cov_2)を算定する。

経年劣化によるばらつきは、健全度に対応する時間間隔に対する変動係数として与えているので、健全度の標準偏差を時間間隔の変動係数に変換する必要がある。

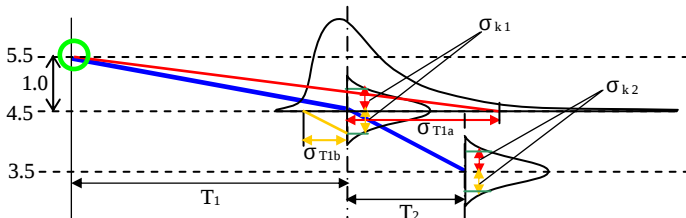


図-5 健全度とばらつき時間間隔の変動の関係

健全度 4.5 の平均的劣化曲線まわりの健全度の標準偏差 σ_{k1} に対応した時間間隔のばらつき σ_{T1a} , σ_{T1b} を求める。時間経過 T_1 の時の平均値から上に σ_{k1} 健全度がずれた時の劣化曲線から健全度 4.5 となる時期を算定し、健全度のばらつき σ_{k1} に対する時間間隔のばらつき σ_{T1a} を以下のように求める。

$$T_1 + \sigma_{T1a} = T_1 / (1.0 - \sigma_{k1}) \quad \sigma_{T1a} = T_1 / (1.0 - \sigma_{k1}) - T_1$$

また、4.5 から下に σ_{k1} 健全度がずれた時は、 σ_{k1} と σ_{T1b} の関係は T_2 に対応する劣化曲線に対応するとみて、完全相関の仮定から、以下の関係式で求める。

$$1 / (T_2 - \sigma_{T1b}) = \sigma_{k1} / \sigma_{T1b} \quad \sigma_{T1b} = \sigma_{k1} \cdot T_2 / (1.0 + \sigma_{k1})$$

健全度に正規分布を仮定すると、時間間隔のばらつきは、図-5 に示すような平均値前後で大きさが異なる分布となるが、ここでは変動係数を平均値前後の平均的なばらつきを表すものとして以下の式3で算定する。

$$COV_{21} = (\sigma_{T1a} + \sigma_{T1b}) / 2 / T_1 \quad \dots \text{式3}$$

同様にして健全度 3.5 以下の各時間間隔($T_2 \sim T_5$)に対する変動係数 $COV_{22} \sim COV_{25}$ を算定することができる。算定結果を表-1 に示す。

表-1 健全度代表値と標準偏差の関係

健全度	標準偏差	時間間隔の標準偏 σ_{Ta} , σ_{Tb}	変動係数
4.5	0.047	0.493 , 0.224	$COV_{21}=0.036$
3.5	0.135	0.780 , 0.595	$COV_{22}=0.138$
2.5,1.5,0.5	0.540	5.870 , 1.753	$COV_{23}=0.762$

4. LCC ばらつきの変動を考慮した試算結果

ここでは、経年劣化による時間間隔のばらつき（変動係数）を、健全度のばらつき一定として求めた場合と、変化した健全度に応じて求めた場合で、50 年間の LCC を算定し、超過確率 10% の LCC 予測値を比較した。

健全度のばらつきを変化させた場合（図-6）は、点検結果から求めた健全度の標準偏差の最大値 0.54（一定値）を採用した場合（図-7）に比べ LCC 予測値が 21% 小さくなる。また、平均的な変動係数 0.30（一定値）の場合（図-8）と比較しても 10% 小さくなり、ばらつき一定の場合は LCC が過大評価されていることがわかる。

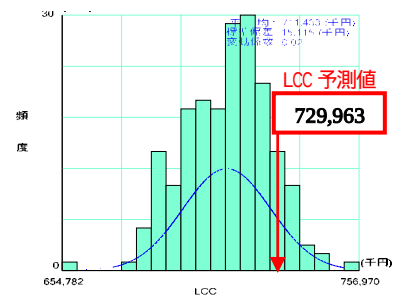


図-6 健全度のばらつきを変化させた場合の LCC 分布

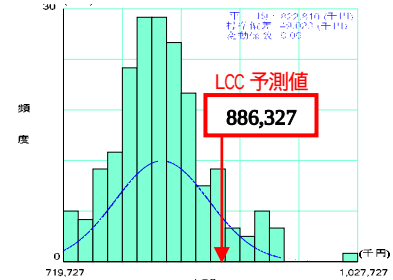


図-7 点検結果による最大標準偏差を採用した場合の LCC 分布

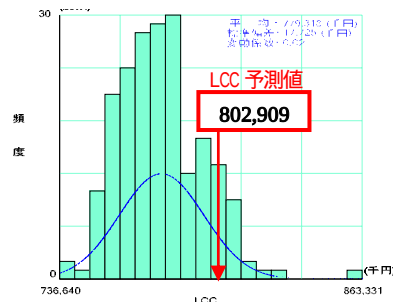


図-8 点検結果による平均的標準偏差を採用した場合の LCC 分布

5. まとめ

本検討では、ばらつきを持った LCC 算定に用いるため、点検データからばらつきのパラメータを評価する手法を提案し、実際の橋梁点検データに同手法を適用した試算を行った。試算結果から、健全度に応じたばらつきを採用することにより、LCC 予測値の過大評価を補正できることがわかった。

今後点検データが蓄積され、劣化要因や環境毎の経年劣化傾向が明らかになれば、点検データから経年劣化によるばらつきと点検誤差の分離が可能となり、より精度の高いパラメータ推定ができると考えられる。

<参考文献>

- 1) Kaneuji, M et al. Development of BMS for large number of bridges. Bridge Maintenance, Safety, Management, Life-Cycle Performance and Cost(IABMAS),2006,p.597-598
- 2) Yamamoto, N et al. Implementation of bridge management system in Aomori prefectural government, Japan. Bridge Maintenance, Safety, Management, Life-Cycle Performance and Cost(IABMAS),2006,p.599-600
- 3) Matsumura, E et al. Condition evaluation standards and deterioration prediction for BMS. Bridge Maintenance, Safety, Management, Life-Cycle Performance and Cost(IABMAS),2006,p.601-603