

劣化曲線の不確実性を考慮した橋梁の最適補修計画と考察

北海学園大学大学院 学生員 齋藤 善之

北海学園大学 正会員 杉本 博之

1. まえがき 橋梁維持管理システムでは、将来の劣化予測を行うことでライフサイクルコストを最小とする補修順位・補修部位を決定し、最適補修計画策定を行う。しかし、劣化には種々の不確実な要因が含まれているため、同一の構造材料および部材であったとしても劣化進行が全く同じになるとは限らないことから、不確実性を考慮する必要があると考えられる。そこで、本論文では北海道の橋梁点検の結果を元に作成した劣化曲線群を用いて、設計変数が異なる2種の最適化問題それぞれで劣化の不確実性を考慮した橋梁の最適補修計画を策定し検討を加える。

2. 劣化曲線群 筆者らは北海道の橋梁点検データを用いて不確実性を考慮した劣化曲線群を作成した¹⁾。その際、総組み合わせ数を抑えるため基準となる劣化曲線(基準曲線)の耐用年数の値に近い主桁、副部材、床版、基礎、支承の5部材を部材グループA、躯体、伸縮装置、橋面工の3部材を部材グループBとして部材を2グループに分け、構造材料および部材グループ別に図-1に示す劣化曲線群を作成し、橋梁点検データから各劣化曲線の生起確率を求めた。作成した劣化曲線群の耐用年数および生起確率を表-1に示す。

3. 最適化問題の定式化 設計変数の異なる2種の最適化問題で表-1に示す劣化モデルを用いたモンテカルロ法によるシミュレーション計算を行うことで劣化の不確実性を考慮した最適補修計画の策定を試みた。

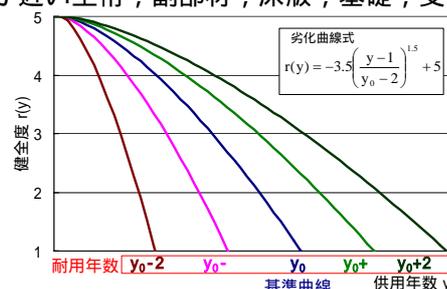


図-1 劣化曲線群

表-1 生起確率と耐用年数

劣化曲線	生起確率(耐用年数)			
	鋼橋		コンクリート橋	
	グループA	グループB	グループA	グループB
y ₀₋₂	0.1235 (16.4)	0.1263 (13.8)	0.1555 (19.2)	0.1401 (15.0)
y ₀₋	0.1805 (26.4)	0.1884 (23.8)	0.2037 (29.2)	0.1951 (25.0)
y ₀	0.2324 (36.4)	0.2295 (33.8)	0.2128 (39.2)	0.1788 (35.0)
y ₀₊	0.1928 (46.4)	0.1859 (43.8)	0.1641 (49.2)	0.1768 (45.0)
y ₀₊₂	0.0881 (56.4)	0.0895 (53.8)	0.0812 (59.2)	0.0971 (55.0)
総和	0.8173	0.8196	0.8173	0.7880

目的関数は計画年 T 年内における総費用の期待値とする。総費用は計画年内に発生する総補修費とユーザーコスト(以下、UC)の和とする。UC は補修に伴って発生する橋梁の通行止めによる利用者の時間的損失を表す。

$$OBJ = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T (C_{nt} + UC_{nt}) \quad \min \quad (1)$$

ここで、OBJ は目的関数、N は総試行回数、C_{nt}、UC_{nt} は試行回数 n 回目における t 年度の補修費および UC を表す。

制約条件は各年度の橋梁健全度(以下、BHI)の対象橋梁全体での平均値の期待値が 0.8 を下回らないこと、および総試行回数を通して BHI 平均値が 0.7 を下回る確率が 5%以下、0.5 を下回る確率が 0.01%以下であることとする。

$$0.8 - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N ABHI_{nt} \leq 0 \quad (t=1 \sim T) \quad (2) \quad P_{0.7} - 0.05 \leq 0 \quad (3) \quad P_{0.5} \leq 0.0001 \quad (4)$$

ここで、ABHI_{nt} は試行回数 n 回目における t 年度の BHI 平均値、P_{0.7} は BHI 平均値が 0.7 を下回る確率、P_{0.5} は BHI 平均値が 0.5 を下回る確率を表し、N 回の試行でその値を下回った回数を N で除することにより算出される。

設計変数は2つの最適化問題でそれぞれ異なり、年度予算を設計変数とした問題²⁾を「最適化問題1」、各部材の補修年度を設計変数とした問題³⁾を「最適化問題2」と呼ぶこととする。「最適化問題1」は T 変数問題、「最適化問題2」は 1 部材当たりの最大補修回数を P 回とすると、(総部材数 × P)変数問題となる。また、「最適化問題1」では部材間の補修の優先順位を次のように定めた。1)健全度の低い部材を優先する、2)健全度が同一の場合は維持管理区分 A,B,C の順に優先する、3)健全度 維持管理区分が同等の場合は BHI の値が低い橋梁に属する部材を優先する。ただし例外として、健全度 2 の維持管理区分 C の部材より健全度 3 の維持管理区分 A の部材を優先して補修する。このルールに則って、優先順位が高い部材から補修を行っていく。また、優先順位が高い部材の補修費が年度予算内に納まらない場合、次に優先順位が高い部材に補修を行うようにして年度予算を出来る限り使い切るようにした。

4. 計算結果 2種類の最適化問題で、不確実性を考慮しない場合および考慮する場合の両方で最適化を行った。

キーワード 不確実性, 劣化曲線, 健全度, 耐用年数, 生起確率

連絡先 〒064-0926 札幌市中央区南 26 条西 11 丁目 1-1 TEL(011)841-1161

不確実性を考慮しない場合は基準曲線のみを用いて確定的な劣化予測を行っている。不確実性を考慮する場合は全部材において1回の試行ごとに生起確率に基づいて劣化曲線群の中から1つの劣化曲線をランダムに決定した。また総試行回数Nは1000回としている。

表 - 2 対象橋梁

橋梁番号	橋梁諸元								初期健全度							
	構造材料	径間数	橋長	主桁高さ	有効幅員	橋脚高さ	主桁本数	UC [千円]	維持管理区分	床板	主桁	橋脚	橋台	伸縮装置	支承	橋面工
1	S	1	36	1.7	25	9.6	5	2767	A	3	3	-	5	4	5	5
2	S	3	94	1.8	9	16.3	4	676	A	5	5	5	5	5	5	5
3	S	1	21	0.93	11	6.8	5	133	A	5	5	-	5	5	5	4
4	C	1	20	0.75	16	8.1	22	2171	A	-	5	-	5	5	5	5
5	C	2	55	1.73	11	7.2	6	940	A	5	5	5	5	5	5	5
6	S	5	146	1.44	14	8.6	7	725	A	5	5	5	5	5	2	3
7	S	1	20	1.28	10	11.4	5	1446	A	5	5	-	5	5	4	4
8	C	1	20	0.7	16	7.6	24	267	A	-	5	-	5	5	5	5
9	C	3	27	0.58	22	5.8	1	126	A	-	5	5	5	5	5	5
10	C	2	46	0.71	9	11.6	1	254	A	-	5	2	2	2	5	4

a)最適化問題 1 計画年は50年,対象橋梁は表-2に示す10橋,年度予算は下限値を0円/橋,上限値を310万円/橋の10万円/橋刻みで計32候補としている。また,最適化にはGAを用い,人口サイズ500,交叉確率80%,突然変異2%,最大1000世代として最適化を行った。不確実性を考慮しない最適化から得られた補修計画における総費用は2億2827万円となった。一方不確実性を考慮した最適化から得られた補修計画における総費用期待値は3億2704万円となり,不確実性を考慮しない補修計画の総費用と比較して約43%増加した。これは,不確実性を考慮することによって,より劣化した状態での補修を行うケースが発生したためである。不確実性を考慮する場合およびしない場合における部材ごとの補修間隔の分布を図-2に示す。補修間隔は(計画年)÷(計画年内にその部材に対して行われる総補修回数)の期待値で算定される。不確実性を考慮しない場合と比べて不確実性を考慮した場合では全体的に補修間隔が短くなっている。

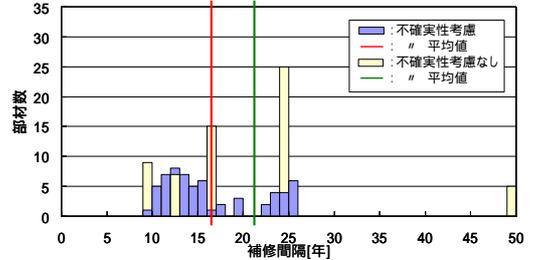


図 - 2 平均補修間隔の比較(最適化問題 1)

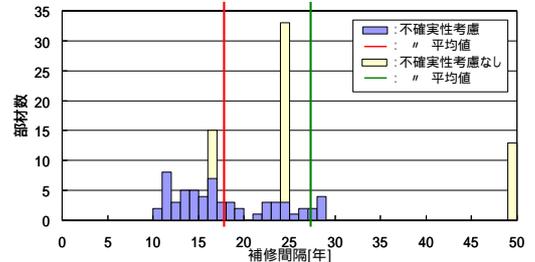


図 - 3 平均補修間隔の比較(最適化問題 2)

これは,急な劣化が発生した場合に補修を多く行うことから,総補修回数の期待値が大きくなったためである。
b)最適化問題 2 計画年は50年,対象橋梁は表-2に示す10橋,1部材当りの最大補修回数を15回としている。また,最適化にはGAを用い,人口サイズ500,交叉確率80%の20点交叉,突然変異5%,最大1000世代として最適化を行った。不確実性を考慮しない最適化から得られた補修計画における総費用は1億8730万円となった。一方不確実性を考慮した最適化から得られた補修計画における総費用期待値は2億8932万円となり,不確実性を考慮しない補修計画の総費用と比較して約54%増加した。総補修費は不確実性を考慮しない場合,する場合のどちらにおいても「最適化問題1」より低い値となった。これは,「最適化問題1」では予算を使い切るように補修を行っているため,比較的補修費が安い健全度4における補修が「最適化問題2」と比べて多く行われるためである。不確実性を考慮しない場合の最適補修計画の全部材における健全度4での総補修回数を比較すると,「最適化問題1」では130回,「最適化問題2」では81回とその差は49回にもおよぶ。そのため,「最適化問題1」では総費用が高くなる結果となった。不確実性を考慮する場合およびしない場合における部材ごとの補修間隔の分布を図-3に示す。「最適化問題1」の場合と同様に,不確実性を考慮することにより全体的に補修間隔が短くなる傾向が見られた。

5.まとめ 本論文では,複数の劣化曲線からなる劣化モデルを用いた複数回のシミュレーション計算を行うことにより,期待総費用が最小となる最適補修計画の策定を2種の最適化問題で試みた。「最適化問題1」は予算を使い切るように補修を行うために不確実性を考慮しない場合,する場合の両方において総費用(期待値)が高くなる結果となった。またどちらの最適化問題でも,不確実性を考慮することにより,総費用期待値が高くなり補修間隔が短くなる傾向が見られた。これらの傾向は急な劣化進行が発生した場合に補修を多く行うためであると考えられる。

参考文献 1)上田:将来の不確実性を考慮した橋梁の劣化予測に関する基礎的研究,北海学園大学平成20年度卒業論文。 2)杉本,阿部,赤泊,渡邊:公共投資の経年的シナリオに対する橋梁の健全度推移に関する研究,土木学会論文集, No.780/I-70, pp.199-209, 2005。 3)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。