

信頼性解析に基づいた社会基盤構造物のマネジメントに関する研究

株式会社 鴻池組 正 員 倉戸 亮
北海道大学大学院工学研究科 正 員 小幡卓司
北海道大学大学院工学研究科 F 会員 林川俊郎

1. まえがき

近年の社会情勢において、交通基盤構造物をとりまく現況に着目すると、車両等の大型化、交通量の飛躍的な増大等の影響を強く受け、種々の損傷が数多く発生している可能性が極めて高いと考えられる¹⁾。よって、今後は維持管理を強化し、必要に応じて補修を行うことにより橋梁の長寿命化を目指すことが重要であるが、効率的な維持管理を行うためには、構造物の損傷状態や様々な要因によって予測される将来の劣化状況の把握、ならびに点検・補修回数とライフサイクルコスト（LCC）の関係を求めた上で、それらを総合的に検討する必要があると考えられる。

本研究においては信頼性解析に基づき、システムとしての橋梁構造物に対して、上・下部構造の腐食、疲労等のパラメータを考慮した劣化予測を行うことで、対象とする構造物の最適な維持管理計画支援への適用可能性等について基礎的検討を行うことを目的とする。具体的には、鋼桁および床版・橋脚の鉄筋の腐食と鋼桁の疲労を劣化パラメータとして、構造システム全体系における劣化予測を行い、同時に供用期間中に要するトータルコストも算定し、検査・補修の有無の組み合わせパターンを想定したイベントツリー解析を導入することで、橋梁維持管理計画におけるその適用性および有効性等に関して考察を試みるものである。

2. 信頼性理論を用いた劣化予測

効率的な維持管理を行うためには、ある程度正確な劣化予測が不可欠であるが、いわゆる確定論的な手法のみではこの種の解析は困難であると考えられ、なんらかの確率論的解析法を導入することが有効であると思われる。信頼性理論²⁾では荷重と耐力がばらつきをもつ確率量であるとして、両確率変数から構造物の信頼性指標を示すことにより、実現される性能の程度を明らかにすることが可能である。本研究では、耐力や荷重の平均値と分散を用いて破壊確率 p_f に対応する信頼性指標 β を求める二次モーメント法によって構造物の劣化予測を行うこととした。劣化を生じさせる主な要因としては、鋼桁および床版・橋脚の鉄筋の腐食と鋼桁の疲労を対象とし、それらの破壊モードの和事象により構造システム全体系の破壊確率および信頼性指標を算出した。なお本研究では、使用限界状態に対する許容値として許容信頼性指標 β^* を3.72に設定した。

3. 検査・補修とイベントツリー解析

検査によって損傷が発見されれば、補修・補強の対策を速やかに講じることが構造物の劣化防止と安全確保には不可欠である。しかしながら、検査で構造物全体における全ての損傷を発見することは物理的に不可能であり、劣化予測と対応する損傷の度合いや検査技術の質による損傷を発見する確率を考慮する必要がある、その確率に応じた補修を想定することで、補修による性能回復も考慮した構造物の劣化予測を行うこととする。また、検査方法によってその精度は異なるものであり、一般に検査のコストについては検査精度が高いものほどそのコストも高く、劣化の進行速度やLCCとの関係から適切な検査方法を選択する必要がある、多数存在する検査時における補修の有無の組み合わせパターンについては、イベントツリー解析³⁾を用いることとした。イベントツリー解析とは、ある事象が発生した時、イベントツリーと呼ばれる樹状図を用いて、事象が発生する確率、ある事象が次の事象に分岐する確率を与えることにより、その進行を時系列に解析し、最終的な事象の発生確率を評価する手法である。本研究では、この事象の発生確率および分岐確率は構造物の破壊確率と検査により損傷を発見する確率を用いて表現し、検査精度については高度なものから検査A, B, Cの3種類を考慮して解析を行った。

4. ライフサイクルコスト評価

LCCは、一般には初期コスト、メンテナンスコスト、検査コスト、修理コスト等の和であるが、本研究では構造物が供用中に限界状態を超過した場合に社会的に失われるコストも考慮することとする（以下、破壊コストと称す）。この破壊コストについては、例えば1日あたりのユーザーコストと、信頼性解析で求められた破壊確率の積で評価する。そしてこのLCCの最小化を図ることにより、最適な維持管理計画の意思決定支援について検討を加える。

5. 維持管理計画シミュレーション

本研究で用いる信頼性解析手法について、橋梁構造物に対する適用性を検討するために、橋梁の構造形式としてもっとも一般的なものの一つである鋼鈑桁橋を対象とし、解析ケースは表-1に示すように、腐食率に

キーワード：橋梁マネジメントシステム, 信頼性解析, 劣化予測, ライフサイクルコスト(LCC)

連絡先：〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL:011-706-6172

ついて3ケースを考えており、Case2を平均値として、標準偏差 ± 0.025 [mm/year]³⁾を考えたCase1, Case3を設定している。また、鋼桁の疲労による劣化については文献4)等を参考にして評価し、全ケースにおいて1日平均の疲労の損傷累積度を 4.58×10^6 [(MPa)³/日]^{4), 5)}として解析を行った。

解析結果としては、検査回数に応じたトータルコストの変化と、その際の構造物の劣化曲線が得られる。各ケースにおける、トータルコストとコスト最小の場合の維持管理計画における劣化曲線を、図-1に示す。まず、検査精度についてはCase1, Case3で最も精度の高い検査A、Case2で検査Bと全体的に高精度な検査を用いた維持管理計画が最適であると選定された。検査精度が高度なものはそのコスト自体は高いが、より確実に損傷を発見し得るため、1回の補修時に大きく性能を回復させることが可能であり、それによって破壊コストを小さく抑え、すなわちトータルコストを抑え得ることにつながると考えられ、全体的に高精度な検査が選定されたものと思われる。次に検査・補修回数については全てのケースにおいて、最小回数以上の補修を行い構造物の破壊確率を低減させることで、破壊コストを抑え、すなわちトータルコストを抑え得るという結果になっている。またCase2に着目すると、1回目と3回目の補修はかなり小規模のものであり、ほとんど性能回復がなされていないが、これは他の2ケースと比して検査性能が低いことから、ある程度の損傷でなければとらえることができないため、補修を行う可能性が低く、すなわち大きな補修効果が望めないためと考えられる。解析で用いたパラメータは対象構造物の断面構成や環境条件、また供用期間中の要求性能等によって異なるものであり、個々の構造物の条件に応じた解析を通じて維持管理計画の選定を行う必要があるものと思われる。以上の結果より、本研究の手法ではLCCと劣化曲線の双方が得られ、それらを同時に最適化することが可能であり、維持管理システムへの十分な適用性を有するものと思われる。

6. あとがき

以上のように、本研究では信頼性解析に基づき、システムとしての橋梁構造物に対して、上・下部構造の腐食、疲労等のパラメータを考慮した劣化予測を行い、対象とする構造物の最適な維持管理・補修計画支援への適用可能性あるいは有効性等に関して考察を加えたものである。

解析結果からは、トータルコストの比較を行うことにより容易に最適維持管理計画の選定が可能であり、またその際に用いられる適切な検査方法の選定も可能であることから、本研究の手法は維持管理システムへの十分な適用可能性を有することが判明した。また本研究の手法では、供用開始時のパラメータと劣化関数を与えることにより、既存の社会基盤構造物に対しても適用する可能性を有すると考えられる。

【参考文献】

- 1) 西川和廣：道路橋の寿命と維持管理，土木学会論文集，No.501/I-29，pp.1-10，1994.
- 2) 星谷勝，石井清：構造物の信頼性設計法，鹿島出版会，1986.
- 3) Frangopol, D.M., Lin, K.-Y., and Estes, A. C. : Life-Cycle Cost Design of Deteriorating Structures, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.123, No.10, pp1390-1401, 1997.
- 4) 石川敏之，大倉一郎：信頼性理論を用いた鋼橋の疲労寿命評価，土木学会第59回年次学術講演会講演概要集，第I部，pp463-464，2004.
- 5) 阪神高速道路公団：阪神高速道路15号堺線—鋼桁長期応力頻度データ／車両重量・軸重データ，1997.

表-1 解析ケース

		腐食率[mm/year]		検査精度
		鋼桁	鉄筋	
Case1	(A)	0.100	0.064	A (高)
	(B)			B (中)
	(C)			C (低)
Case2	(A)	0.125	0.089	A (高)
	(B)			B (中)
	(C)			C (低)
Case3	(A)	0.150	0.114	A (高)
	(B)			B (中)
	(C)			C (低)

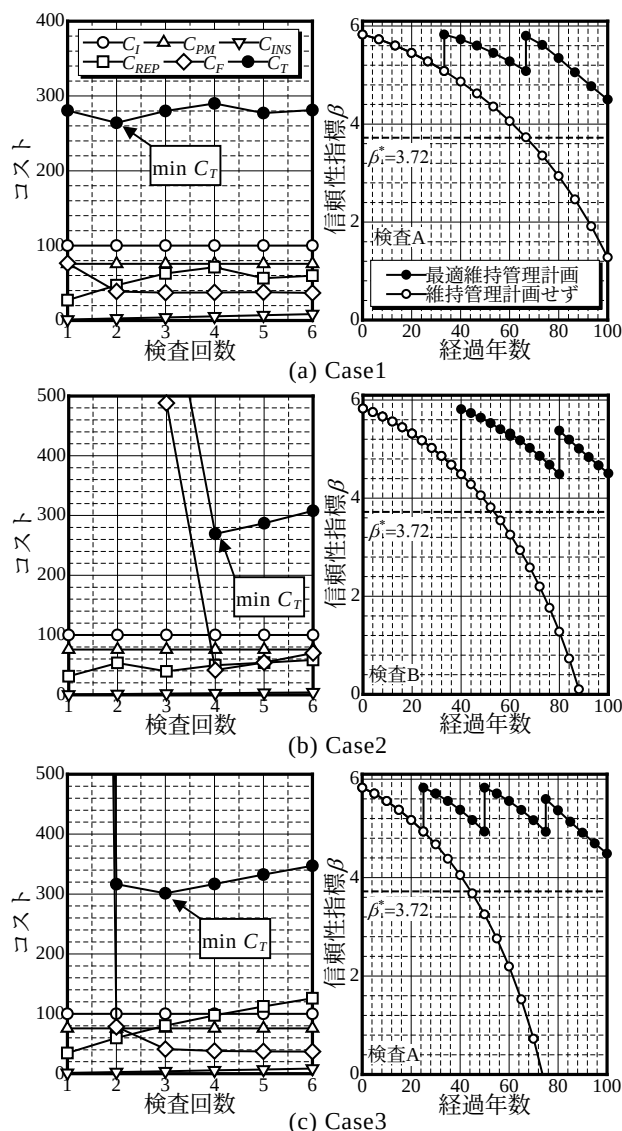


図-1 トータルコストと劣化曲線