

期待ライフサイクルコストの最小化による鉄筋コンクリート橋梁部材の維持・管理計画に関する研究

広島工業大学大学院 学生員 ○田中 滋士
 広島工業大学工学部 フェロー会員 中山 隆弘

1. はじめに

我が国では、高度経済成長期において膨大な量の社会基盤構造物を建設してきた。しかしながら、多くの場合、かなり損傷が進んだ段階で補修・補強を行っているのが現状である。また、最近ではアセットマネジメントという概念の下に公共構造物の維持管理計画を立案する動きが活発になっており、その意味でも維持管理計画における、より厳密なライフサイクルコスト（以下LCCと称する）の算定法および最小化手法の開発は重要な課題であるといえる。そこで、本研究では、作用力と抵抗力に不確実性が存在する鉄筋コンクリート（RC）橋梁部材を対象として、構造信頼性理論によって構造物の安全性を評価するFrangopolの期待LCC（以下では単にLCCと称する）最小化による最適維持管理計画手法¹⁾に関わりの鉄筋腐食によるひび割れモデルの研究成果²⁾を適用し、補修及び補強の判断基準がLCCや最適維持管理計画に与える影響を数値的に検討した。

2. 信頼性理論に基づくLCC算定法の概要³⁾

2.1 鉄筋の腐食の定義

RC構造物の劣化要因には、塩害、中性化、アルカリ骨材反応、凍害など多く存在し、それらの複合的劣化について予測することが本来望ましい。しかし劣化予測法についてはまだ発展途上である。そこで、本研究では比較的劣化予測の研究が進んでいる塩害に注目し、腐食要因として塩害のみを考慮した。本研究では、塩害による鉄筋の腐食率について種々の文献を参考にして、表2-1に示した数値を用いて解析を行った。なお、塩化物イオン量と腐食量の算定式はコンクリート標準示方書を参考にした。

表2-1 腐食率の定義

	海岸からの距離	腐食率(%/年)	
		進展期	加速期
腐食環境 ↑良 ↓悪	0.5km	0.05	0.4
	0.25km		0.5
	0.1km		0.6
	汀線付近		0.7
	飛沫帯		0.8

2.2 補修・補強の判断基準

本研究では式(2.3)を腐食によるひび割れ幅の算定式とし²⁾、点検時にこのひび割れ幅が限界値まで達している時補修を行うこととした。

$$W_c = \frac{\gamma}{\pi(\rho-1)} \left(\alpha_0 \beta_0 \frac{0.22 \{ (2c+d)^2 + d^2 \}}{E(c+d)} f_c^{1/3} w \right) + \alpha_1 \beta_1 \frac{(c+d)}{(5c+3d)} \quad (2.1)$$

W_c : 腐食量(mg/mm²), γ : 鉄筋の密度(mg/mm³), ρ : 腐

食生成物の体積膨張率, c : かぶり(mm), d : 鉄筋径(mm),
 w : ひび割れ幅(mm), α , β : 補正係数

補強に関しては、構造物の安全性を定量的に示すとされる信頼性指標 β により要否を判断することとした。信頼性指標は簡単のため最も基本的な2次モーメント法により算定し、詳細点検時に設定した限界（本研究では補強判断値と称している）を下回っている場合に補強を行うこととした。

2.3 LCC算定法の概要¹⁾

本研究では、山崎⁴⁾と同様Frangopolの考え方を参考にし、供用期間における期待総費用LCC(C_T)を、初期費用 C_i 、点検費用 C_{INS} 、維持管理費用 C_{MAIN} 、補修費用 C_{REP} 、補強費用 C_{REF} 、破壊時の期待損失費用 C_F によって、式(2.5)のように定義した。

$$C_T = C_i + C_{INS} + C_{MAIN} + C_{REP} + C_{REF} + C_F \quad (2.2)$$

この総費用を最小とする維持補修計画を立てる方法論の一つについて検討することが本研究の目的である。

3. LCC算定プログラム

3.1 プログラムの概要

本研究では山崎のプログラムを参考にし、図3-1に示すようなフローチャートに従ってLCC算定プログラムを新たに構築した。

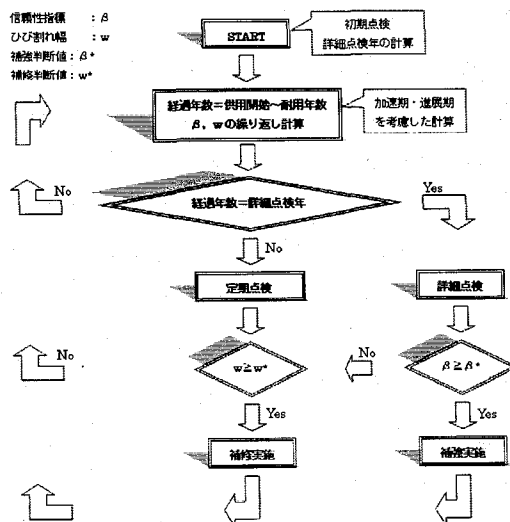


図3-1 フローチャート

4. 解析概要及び解析結果

4.1 解析モデル

図4-1に示す解析モデルはFrangopolらが解析例として用いたT形RC桁であり、初期断面の抵抗モーメントの期待値は250(kN・m)、初期信頼性指標は $\beta=3.48$ である。ま

た、抵抗モーメントの確率分布は正規分布、変動係数は0.15と仮定した。また、本研究では諸費用を表4-1のように仮定して解析を行った。

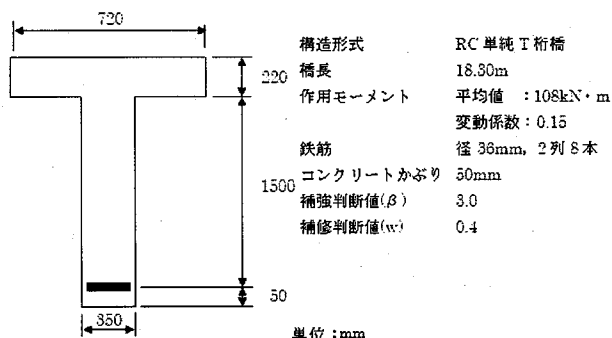


図4-1 RC桁の断面 (解析対象)

表4-1 諸費用

初期費用(円)	C_i	1,580,000
日常・定期点検費用(円/回)	C_{MAIN}	50,000
詳細点検費用(円/回)	C_{INS}	158,000
補修費用(円/回)	C_{REP}	1,120,000
補強費用(円/回)	C_{REF}	1,570,000
破壊時損失費用(円)	C_f	127,160,000
割引率(%)	r	0.04

4. 2 ケーススタディの結果

本研究では、1) 海岸から橋梁までの距離がLCCに与える影響(定期点検間隔1回/5年、詳細点検回数3回と仮定)、2) 定期点検間隔がLCCに与える影響(詳細点検回数3回と仮定)、3) 詳細点検回数がLCCに与える影響(定期点検間隔1回/5年と仮定)を検討することを目的とした解析を行った。これらの結果を図4-2～図4-4に示す。

1) 海岸からの距離がLCCに与える影響

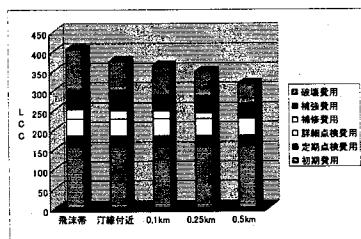
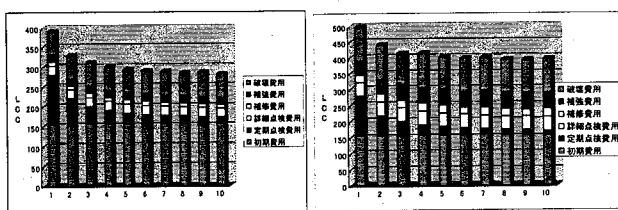


図4-2 海岸からの距離とLCCとの関係

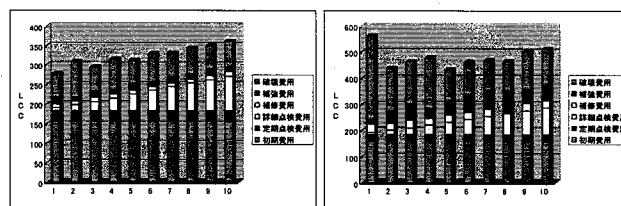
2) 定期点検間隔がLCCに与える影響



(a) 腐食環境・良 (b) 腐食環境・悪

図4-3 定期点検間隔とLCCとの関係

3) 詳細点検回数がLCCに与える影響



(a) 腐食環境・良 (b) 腐食環境・悪

図4-4 詳細点検回数とLCCとの関係

5. まとめ

本研究でのまとめを要約して次に示す。

1. 海岸からの距離がLCCに与える影響

予想した通り海岸からの距離が短くなるほどLCCが大きくなる傾向を得た。

2. 定期点検間隔がLCCに与える影響

定期点検を毎年または2年に1回行うのは予防保全型の維持管理計画ではあるが、点検費用が大きくなり、点検回数が過剰である可能性を指摘できた。

3. 詳細点検回数がLCCに与える影響

腐食に対する環境が良い場合は、詳細点検回数が少なくても信頼性を維持することができ、LCCを低くできることが分かった。しかし、劣化速度が速くなるとある程度の点検回数を必要とし、点検回数を必要以上に多くすると過剰な予防保全となり、LCCが大きくなることが分かった。

6. 今後の課題

本研究では、アセットマネジメントにおけるミクロな部分となるLCCの算定法に対して研究を行った。また、解析対象も塩害を受けるRC桁のみとした。今後は複合劣化等、他の劣化要因についても考慮すると共に、橋梁全体を対象としたLCCの算定プログラムの構築が必要である。

【謝辞】 本研究を行うに当たり、(財)広島県建設技術センター技術部(当時)の長谷川 寿男氏には、広島県の橋梁に対するアセットマネジメントの方針等をご教示いただいた。また、本研究は平成17年度科学研究費基盤研究(C)(研究代表者 中山隆弘)の補助を受けた。ここに記して謝意を表する。

【参考文献】

- 1) Frangopol, D.M, Kai-Yung Lin, Allen C.Estes : Life-Cycle Cost Design of Deteriorating Structures, JOUR. OF STRUCT. ENG., pp.1390-1401, OCT. 1997.
- 2) 元路寛, 関博: 鉄筋腐食によるコンクリートのひび割れ発生状況およびひび割れ幅に関する研究, 土木学会論文集, No.669/V-50, pp.161-171, 2001.2.
- 3) (社)土木学会: 2001年度制定コンクリート標準示方書[維持管理編], 2001.1
- 4) 山崎雅夫: 期待ライフサイクルコストに基づく鉄筋コンクリート橋梁部材の最適維持・管理計画に関する基礎的研究, 広島工業大学大学院工学研究科修士論文, 2005.2.