

期待 LCC に基づく鉄筋コンクリート橋梁部材の最適維持・補修計画

(株)エイトコンサルタント

正会員 ○山崎 雅夫

広島工業大学工学部

フェロー会員

中山 隆弘

1. はじめに

わが国では高度経済成長期に建設された膨大な量の橋梁の老朽化が近年重要な社会問題となっており、より合理的な維持管理計画システムの確立が急務になっている。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、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 LCC 最小化による最適維持管理計画手法¹⁾と関らによる RC 構造物の鉄筋腐食によるひび割れモデルの研究成果²⁾に基づき、補修及び補強の必要性の判断基準をそれぞれひび割れ幅と構造信頼性指標によって行うものとして LCC を評価するシステムを構築した。そして、それによって、LCC や最適維持管理計画におけるパラメータの影響を数値的に検討した。

2. 期待ライフサイクルコストの算定

さて、紙面の関係で詳細に述べることはできないが、本研究ではこれまでと同様のアプローチ³⁾により、文献 3) で用いた計算プログラムを改良、発展させた。具体的には、福島は鉄筋コンクリート部材を鋼板接着工法によって補強する場合、接着鋼板の腐食が施工直後から直ちに始まると仮定していた。しかし、本研究では鋼板の腐食開始時期は重要な問題と考え、表 1 に示す条件の下でパラメトリックな解析を行った。なお、表中の塗装系の詳細は表 2 の通りである。

表 1 鉄筋腐食時期と鋼板腐食時期

場所	鉄筋腐食開始までの期間	塗装系	鋼板腐食開始までの期間
飛沫帯	5 年	No. 1	3 年
		No. 2	6 年
		No. 3	7 年
		No. 4	13 年
海岸からの距離 0.1 (km)	9 年	No. 1	5 年
		No. 2	8 年
		No. 3	8 年
		No. 4	14 年

表 2 塗装系

	工程			
塗装系 No. 1	塩系さび止め	フタル酸中	フタル酸上	
塗装系 No. 2	塩系さび止め	MIO 塗料	塩化ゴム中	塩化ゴム上
塗装系 No. 3	ジンクプライマー	塩化ゴム下	塩化ゴム中	塩化ゴム上
塗装系 No. 4	厚膜ジンク	エポキシ下	ウレタン中	ウレタン上

3. 解析モデルと解析ケース及び解析結果

3. 1 解析概要

対象とした構造モデルは図 1 に示す文献 3) と同じ T 形 RC 桁であり、断面の抵抗曲げモーメントの期待値は 250.0 (kN・m)、初期の信頼性指標は $\beta=3.48$ である。

また、抵抗曲げモーメントの確率分布は正規分布、変動係数は 0.1 と仮定している。なお、確定値とした作用曲げモーメントの大きさや材料の力学的特性は、供用期間中、変わらないとした。

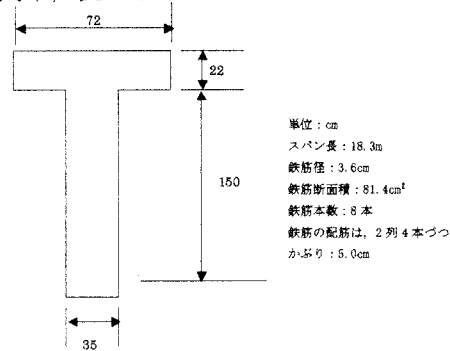


図 1 RC 桁の横断面

その他の解析条件として本研究では次の値を与えた。

- ・耐用年数: 100 年
- ・1 年目の維持費用: $C_{\text{main},1}=0.001C_I$
- ・初期費用: $C_I=158$ (万円)
- ・断面復旧費用: 112 (万円)
- ・補強費用 (断面復旧+鋼板接着): 157 (万円)
- ・破壊時に必要な費用: $C_F=12716$ (万円)
- ・割引率: 0.04 (供用期間中一定と仮定)
- ・物価上昇率: -0.0002 (過去 10 年の平均を見通しとし、その構造物の供用期間中一定と仮定)

補修及び補強を行うタイミングならびに補強後の維持期間を考慮した場合の LCC について検討するために、表 3 に示す各ケースについて解析を行った。なお、塗装系 No. 3 については、No. 2 と効果に差がないので解析から除外した。因みに、解析ケースは 198 ケースである。

表 3 解析ケース

補修後維持期間	補修後維持期間	耐用年数	断面割引率 %/年	補修費 (万円)	補修割引
飛沫帯 5年	塗装系 No.1 6年	100年	0.040506	0.5	21~31
	塗装系 No.2 6年				
	塗装系 No.4 13年				
海岸0.1km 9年	塗装系 No.1 6年	100年	0.040506	0.5	21~31
	塗装系 No.2 6年				
	塗装系 No.4 14年				

3. 2 解析結果及び考察

補強後の維持期間を考慮し、1 回から 15 回まで 100 年間一定の間隔で点検を行うものとして解析を行い、その中で最も期待総費用が小さくなった場合の費用を最小総費用とし、そのときの点検回数を最適点検回数とした。以下に解析結果を示す。

補修及び補強を行うタイミングと補強後の維持期間が期待 LCC (以下では単に LCC と称する) に与える影響を考察するために、断面減少率を 0.5 (%/年)、飛沫帯と海岸からの距離を 0.1 (km)、塗装系を No. 1 としたときの解析結果を図 2(a)～(d) に示す。なお、図 2(c) (d) は補強後の維持期間を考慮せず、同条件で解析を行った結果である。

まず図 2(a), (b) より、信頼性指標 β が 3.0 程度になったときに補強を行う場合に LCC が最小になることが分る。さらに、図 2(a) と (c) および図 2(b) と (d) との比較によって、補強後の耐荷性能の維持期間を考慮すれば、LCC がかなり低くなることが定量的に理解できる。因みに、各ケースの最小総費用は (a) 約 276 万円、(b) 約 266 万円、(c) 約 571 万円、(d) 約 493 万円である。ただし、いずれの場合も最適点検回数は 2 回である。なお、参考のために、図 3(a) に図 2 (a), (b) に示した解析ケースにおける β の経時変化を、図 3(b) に図 2(c), (d) に対応する β の変化を示しておく。

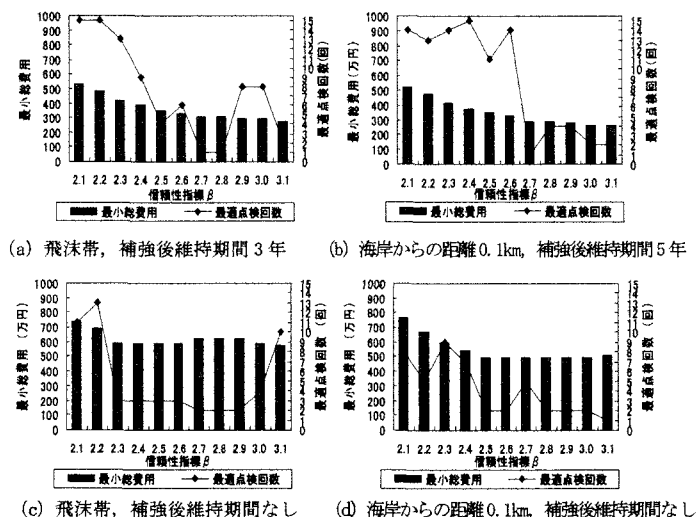


図 2 各ケースにおける最小総費用と最適点検回数

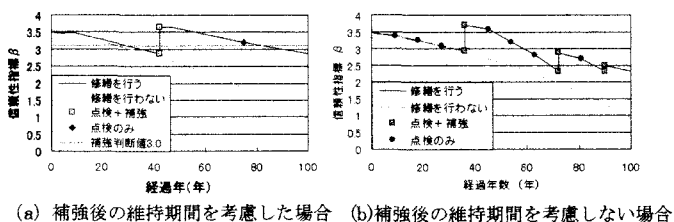


図 3 最適な維持管理が行われた場合の β の経時変化

本解析結果をまとめ、それぞれの解析ケースにおける最適点検回数、期待最小総費用を示したのが表 4 と表 5 である。

表 4 最適点検回数と最小総費用の比較 (飛沫帯)

鉄筋 の断面 減少率	飛沫帯					
	初期の維持期間 5 年間, 補修後の維持期間 5 年間					
	塗装系 No. 1		塗装系 No. 2		塗装系 No. 4	
	点検回数	最小総費用	点検回数	最小総費用	点検回数	最小総費用
0.4 (%/年)	2 回	260 万円	2 回	260 万円	2 回	260 万円
0.5 (%/年)	2 回	276 万円	2 回	276 万円	5 回	278 万円
0.6 (%/年)	2 回	302 万円	2 回	302 万円	5 回	300 万円

表 5 最適点検回数と最小総費用の比較 (海岸からの距離 0.1 km)

鉄筋 の断面 減少率	海岸からの距離 0.1 (km)					
	初期の維持期間 9 年間, 補修後の維持期間 9 年間					
	塗装系 No. 1		塗装系 No. 2		塗装系 No. 4	
	点検回数	最小総費用	点検回数	最小総費用	点検回数	最小総費用
0.4 (%/年)	2 回	257 万円	2 回	257 万円	2 回	257 万円
0.5 (%/年)	2 回	266 万円	2 回	266 万円	2 回	266 万円
0.6 (%/年)	2 回	280 万円	2 回	280 万円	2 回	280 万円

4. まとめ

本研究により得られた結論を要約して次に示す。

- 1) RC 桁の補強後における耐荷性能の維持期間を考慮した場合、予想された結果ではあるが、LCC はかなり減少する。今回の解析では、多くの場合、最適点検回数は 2 回で、補強の判断を行う信頼性指標の値は 2.9 ～ 3.1 であった。
- 2) これらの結果より、補強後の耐荷性能の維持期間や塗装系の種類を細かく検討することで、より厳密な期待 LCC を算定できると考えられる。

謝辞

お忙しい中、資料を提供していただいたショーボンド建設株式会社 納所明秀氏に深く感謝致します。

参考文献

- 1) Dan M. Frangopol, Kai-Yung Lin, Allen C. Estes: Life-Cycle Cost Design of Deteriorating Structures, JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING, October 1997.
- 2) Lukuan QI, 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) 福島康訓: 信頼性工学手法による RC 橋梁部材の維持・補修に関する基礎的研究, 広島工業大学大学院, 2003. 2.