

ライフサイクルコストを考慮した鉄筋コンクリート橋梁部材の 点検・補修計画に対する信頼性工学的アプローチ

広島工業大学工学部 正会員 中山隆弘
国土交通省中国地方整備局 正会員 景山 繁
広島工業大学大学院 学生会員 ○山本泰之

1. はじめに 近年，構造物の維持管理計画に関する研究が高まりを見せ始め，初期投資額だけでなく，維持や更新の費用まで含めて建設コストを評価するライフサイクルコスト(LCC)概念が徐々に広まりつつある．本研究では，構造物の維持・補修計画における Frangopol らの LCC 計画の考え方¹⁾に基づき，すでに報告²⁾した内容を発展させて，構造部材の劣化パターン，点検技術の質，修繕方法等が LCC や最適維持管理計画に及ぼす影響を数値的に検討した．

2. 構造物の建設と維持に必要な総費用 Frangopol の考え方に従えば，構造物を建設し，さらに供用期間において必要な機能を維持するために必要な期待総費用 C_{ET} は，初期建設費用 C_T ，維持費用 C_{PM} ，点検費用 C_{INS} ，修繕費用 C_{REP} および期待復旧費用 $P_f \cdot C_f$ によって次式で与えられる． P_f は破壊確率， C_f は復旧費用である．

$$C_{ET} = C_T + C_{PM} + C_{INS} + C_{REP} + P_f \cdot C_f$$

また，Frangopol は腐食率だけで鉄筋の劣化のパターンが決まるとしている．なお，ここでは，この考え方による維持・補修計画を便宜上 TYPE1 と称する．一方，本研究では，新たに，実際に行われている工法に基づいて断面修復のみを行う場合と，断面修復と同時に鋼板接着も行う場合についての検討も行った．この維持・補修計画をここでは TYPE2 と称する．

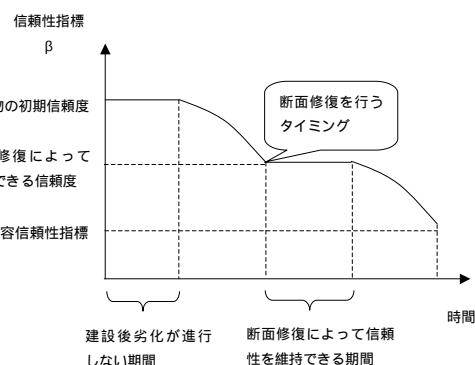


図1 断面修復工法を行う場合の構造物の劣化パターン

3. 対象とするモデルと解析ケース及び解析結果

3.1 解析概要及び解析ケース 対象とした構造モデルを図2に，信頼性指標を計算するために必要なデータを表1に示す．なお，この断面の初期の平均曲げ耐力は 249.9KN・m で，信頼性指標 β は 3.47 である．また TYPE1，TYPE2 によらず，割引率は 0.02，部材の耐用年数は 75 年，1 年目の予防・維持費用は $0.001 C_T$ と仮定した．

1) TYPE1 の劣化・修繕パターンに対する解析ケース

点検技術の質の影響を検討するために，表2に示す各ケースについて解析を行った．なお，点検技術の質は 0.05 の場合が最も高く，0.15 の場合が最も低い．次に修繕するかどうかの判断を行うための修繕判断値が LCC に与える影響を検討するために表3に示す解析を行なった．なお，桁の初期費用 C_T は，コンクリート 1 m^3 の費用を 1 としたとき 621.6 であり，腐食の始まる年は 3 年目，構造物の破壊時に予想される復旧費用 C_f は 50000 C_c と仮定した．

2) TYPE2 の劣化・修繕パターンに対する解析ケース

修繕方法を判断するための修繕及び補強判断値が LCC に与える影響を検討するために，腐食率を 0.0089 と固定して，修繕後，断面内の鉄筋の劣化が 10 年間進行しないとして，表4，5，6に示す各ケースについて解析を行なった．この劣化・修繕パターンにおいてはほぼ実態に

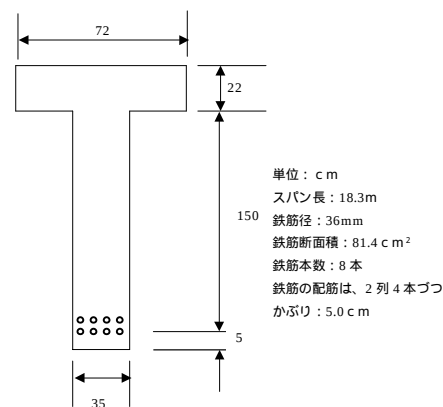


図2 橋梁のRCげたの断面

表1 解析モデル		
安全性照査	抵抗モーメント	分布形：正規分布
	作用モーメント	変動係数：0.1 一定値

表2 TYPE1: 点検技術の質を変動させるケース

ケース	腐食開始年	生涯目標信頼度	耐用年数	腐食率 (cm/年)	点検技術の質
ケース1	3年目	2.0	75年	0.0089	0.05
ケース2					0.10
ケース3					0.15

表3 TYPE1: 修繕判断値を変動させるケース

ケース番号	腐食開始年	耐用年数	腐食率 (cm/年)	点検技術の質	修繕判断値
6	3年目	75年	0.0089	0.05	2.1
15					3.0

キーワード：ライフサイクルコスト 信頼性指標 RC 部材 点検補修計画

連絡先 広島県広島市佐伯区佐伯区三宅二丁目 1 - 1 電話 (082) - 921 - 3121(428) FAX (082) - 923 - 7083

合うよう、全てのケースにおいて、初期費用 C_f を158万円、断面復旧費用を112万円、断面復旧を含めた鋼板接着による補強費用を157万円、構造物の破壊時に予想される復旧費用 C_f を12716万円とした。

3.2 解析結果及び考察

1) TYPE1 に対する解析結果 図3に高い点検技術を採用した場合、すなわち、表2に示したケース1に対する、要素別費用の詳細と信頼性指標の時間的変化を示した。図より、この場合には、損傷が比較的低い段階で劣化を発見して修繕を行っていることが分かる。次に、点検技術の差が総費用と最適点検回数に及ぼす影響は図4より明らかで、高い点検技術を用いた場合には、総費用と最適点検回数が共に減少していることが分かる。図5は表3に示したケース6から15に対する最小総費用と最適点検回数の変化を示したものである。同図よりケース14、すなわち修繕判断値 β を2.9とした場合に、最小総費用が最も小さくなることが理解できる。さらに、修繕判断値が低いときほど最小総費用が高くなっていることも分かる。

2) TYPE2 に対する解析結果 表4の結果を図6に、表5の結果を図7に、表6の結果を図8にそれぞれ示す。これらの図より、ケース40, 41, 42(修繕判断値が3.0), 50, 51, 52(修繕判断値が2.9), 59, 60, 61(修繕判断値が2.8)の場合に最小総費用となり、それらはいずれも約486万円(最適点検回数は6回)であることが分かる。この結果から、修繕判断値を2.8から3.0の間に置けば、いずれの場合も、補強判断値を2.5から2.7とすることによって、最適な維持管理がなされるものと判断できる。また、この9つのケースでは総費用、総点検回数ともまったく同じことから、信頼性指標の時間的変化も図9のように同じになる。図9より、三回目の点検($\beta = 2.77$)は、断面修復を選択してはりの耐力を維持させるにとどめ、5回目の点検($\beta = 2.44$)で、断面修復と同時に鋼板接着も行うことにより耐力を引き上げたことが分かる。

4. まとめ TYPE1 の考え方の場合には、点検技術の質を高くすれば、最適点検回数と最小総費用は共に減少すること、また、修繕判断値を用いて修繕の要否を判断する場合には、修繕判断値として2.9を採用した場合に最小総費用が最小になるとの結果が得られた。さらに、TYPE2 の考え方の場合には、修繕判断値を2.8から3.0の間に設定すれば、いずれの場合も補強判断値を2.5から2.7とすることによって最適な維持管理がなされるようである。ただし、破壊時の費用など、ここで用いた解析パラメータの数値の妥当性については今後の大きな課題であることは言うまでもない。

【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, pp.1390-1401, OCTOBER, 1997. 2) 新谷・景山・中山: 構造物の維持補修計画に関する信頼性工学のアプローチ, 第52回土木学会中国支部研究発表会発表概要集, pp.19-20, 2000.6.

表4 TYPE2: 断面補強判断値を変動させるケース(修繕判断値 3.0 固定)

ケース番号	施工後維持期間	耐用年数	腐食率(cm/年)	修繕判断値	補強判断値
36 45	10年	75年	0.0089	3.0	2.1 3.0

表5 TYPE2: 断面補強判断値を変動させるケース(修繕判断値 2.9 固定)

ケース番号	施工後維持期間	耐用年数	腐食率(cm/年)	修繕判断値	補強判断値
46 54	10年	75年	0.0089	2.9	2.1 2.9

表6 TYPE2: 断面補強判断値を変動させるケース(修繕判断値 2.8 固定)

ケース番号	施工後維持期間	耐用年数	腐食率(cm/年)	修繕判断値	補強判断値
55 62	10年	75年	0.0089	2.8	2.1 2.8

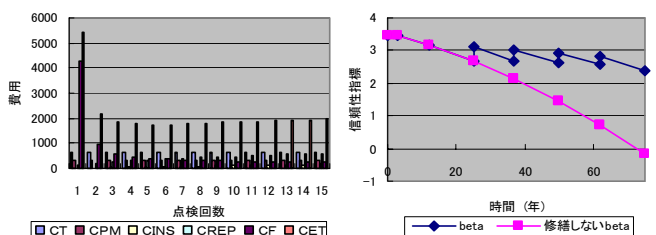


図3 ケース1の解析結果

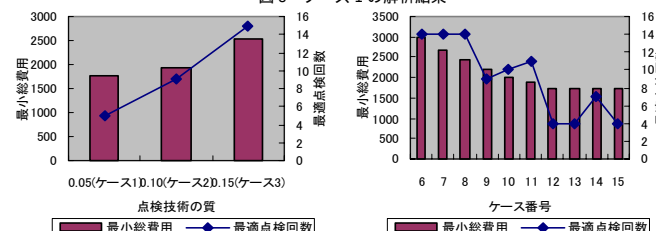


図4 TYPE1: 点検技術の質の影響

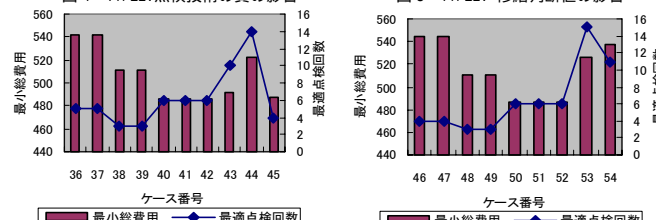


図5 TYPE1: 修繕判断値の影響

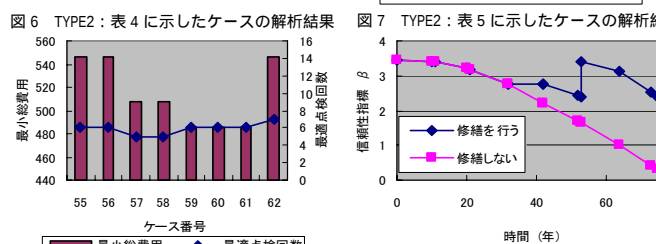


図6 TYPE2: 表4に示したケースの解析結果

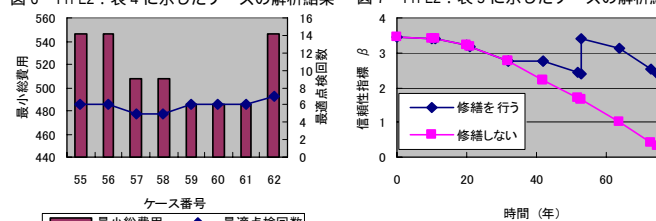


図7 TYPE2: 表5に示したケースの解析結果



図8 TYPE2: 表6に示したケースの解析結果

図9 構造物の信頼性指標の時間的変化