

橋梁部材の維持補修計画に関する信頼性工学的アプローチ

建設省四国地方建設局 正会員 ○新谷 大吾
広島工業大学工学部 正会員 中山 隆弘
広島工業大学大学院 学生会員 景山 繁

1.はじめに 近年，構造物の建設に関してライフサイクルコスト（LCC）の考えが広まりつつある．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，構造部材の劣化パターン，腐食率，点検技術の質等と供用期間における最適な点検回数との関係について基礎的な検討を行った．
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．

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

このとき，もっとも重要になるのが構造物の機能の劣化パターンである．今回は Frangopol が仮定したパターン（具体的には発表当日説明する．なお，ここでは，便宜上 TYPE1 と称する）の他に，文献 2) を参考にして図 1 (a) および図 1(b) に示すような 2 つのパターンを考えた．図中の β は信頼性指標である．

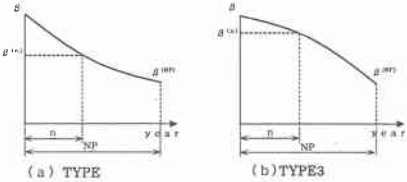


図 1 異なる劣化パターン

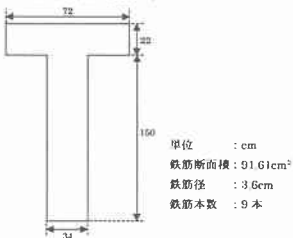


図 2 橋梁の RC びたの断面

3. 解析概要

3.1 対象部材と解析条件 今回は解析プログラムの有効性を確認するために，Frangopol ら¹⁾と同断面の RC 桁（図 2）を解析対象とした．この桁の建設初期の曲げに対する抵抗モーメントの期待値は 282.5 kN・m，信頼性指標は $\beta = 3.82$ である．また，この桁の初期建設費用 C_T はコンクリートの単位体積当たりの単価（ C_c ）を 1 としたとき 692.7 である．その他，解析において必要な諸条件も文献 1) に従い，代表的なものでは，割引率 r は 0.02 とし，供用期間中一定と仮定した．また，点検間隔も一定と仮定した．さらに 1 年目の維持費用 $C_{main,1}$ は $0.001 C_T$ ，復旧費用 C_f は $50000 C_c$ とした．

3.2 解析ケース

1) TYPE1 の劣化パターンに対する解析ケース

点検技術の質，腐食率の影響を検討するために，表 1 および表 2 に示す解析ケースを考えた．ここで，点検技術の質は発見できる確率が 0.5 のときの損傷度を表している．したがって，0.05 に対する点検の質が最も高いことになる．

2) TYPE2 および TYPE3 の劣化パターンに対する解析ケース

点検技術の質が最適点検回数に及ぼす影響を見るために，表 3 に示すケースに対する解析を行った．なお，腐食率 2.0 とは TYPE1 に対する 0.0089 cm/年 に相当する値である．さらに，腐食率の影響も検討するために，0.8 (0.0064 cm/年)，3.0 (0.0114 cm/年) としたときの解析も行っている．さらに，最終回復率（定義は紙面の都合で，当日，述べさせていただく）が最適点検回数に与える影響を検討するために，表 4 に示す各ケースも解析対象とした．

表 1 点検技術の質を変化させるケース (TYPE 1)

	調査開始年	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 2 腐食率を変化させるケース (TYPE 1)

	調査開始年	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4	3年目	2.0	75年	0.0064	0.05
ケース5				0.0114	0.10

表 3 点検技術の質を変化させるケース (TYPE 2)

	初年度回復率	最終年度回復率	耐用年数	腐食率 α	点検技術の質
ケース6	100%	70%	75年	2.0	0.05
ケース7					0.10
ケース8					0.15

表 4 回復率を変化させるケース (TYPE 2)

	初年度回復率	最終年度回復率	耐用年数	腐食率 α	点検技術の質
ケース15	100%	40%	75年	1.0	0.10
ケース16		60%			
ケース17		80%			

4. 解析結果および考察

1) TYPE1 の劣化パターン

に対する解析結果 図 3 に、表 1 に示したケース 1 と 3 における、諸費用の詳細と供用期間における信頼性指標の推移を示す。図 (a) と (b) との比較により、点検技術の質が高い場合、すなわちケース 1

では、点検時に腐食を発見し、直ちに修繕を行っていること、反対に点検の質が低いケース 3 では、腐食を発見できず、当然ながら修繕を行っていないことが理解できる。図 4 は点検技術の質と最小総費用との関係を示したものである。図より、点検の質を上げれば、総費用と点検回数が共に減少していることが分かる。図 5 は腐食率と最小総費用との関係を示したものである。図より、腐食率が高くなると点検回数が増え、同時に最小総費用が高くなっていることが理解できる。これらの解析結果より、点検技術の質と腐食率が、LCC 計画において重要な要素を占めることが数値的に確認できた。

2) TYPE2 の劣化パターンに対する解析結果 図 6 に、腐食率を 0.8、2.0、3.0 とし、点検技術の質を変化させたときの最小総費用の違いを示す。同図から、腐食率が高いときには点検技術の質を高くすれば、それに伴って総費用が増加することが分かる。また、図 7 に最終回復率と総費用との関係を示したが、点検回数に最終回復率はあまり影響を与えていない。しかし、総費用は最終回復率が高くなるに従い減少している。なお、今回、最終回復率を 30% としたときの解析も行ったが、点検回数によらず（ただし、10 回まで）、目標信頼度を上回るような維持・補修計画は立てられなかった。このことから、LCC 計画においては、最終回復率をある一定以上の値に設定する必要があると思われる。

3) TYPE3 の劣化パターンに対する解析結果 結果のみを述べれば、TYPE2 の場合と同様、腐食率が高いときには、点検技術の質が低いほど総費用が少なくなった。また、最終回復率の影響については 70% 以上に設定する必要がある結果が得られた。その理由としては、徐々に信頼性指標が低下していく TYPE2 の場合には、1 回の回復率が低くても点検回数を増やせば機能を維持できるが、急激に信頼性指標が低下する TYPE3 では、それが不可能であるためである。同時に、回復率は年数を経るごとに下がるため、供用期間の後半では機能を回復させることが難しいためである。

5. まとめ 劣化パターンによらず、点検技術の質を高くすると最適点検回数と最小総費用が減少させ得るが、その程度は鉄筋の腐食率に影響されるなど、限られた解析の結果ではあるが、構造部材の維持・点検計画に対する基礎的データが得られた。

【参考文献】 1) D.M.Frangopol, et al.: Life-Cycle Cost Design of Deteriorating Structures, Jour. of Structural Engineering, pp.1390-1401, Oct., 1997. 2) 高澤, 多田, 小山: 維持・補修を考慮に入れた橋梁のライフサイクルコストの評価について, 建設マネジメント研究論文集, Vol.3, pp.195-206, 1995.

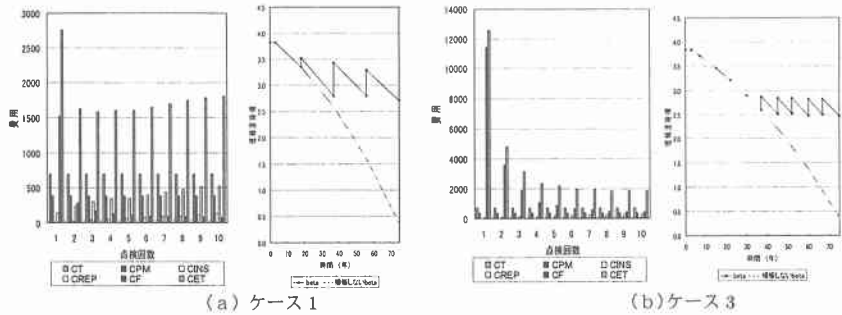


図 3 ケース 1, 3 解析結果

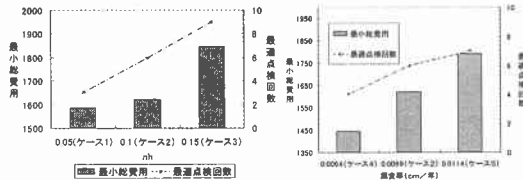


図 4 TYPE1: 点検技術の影響

図 5 TYPE1: 腐食率の影響

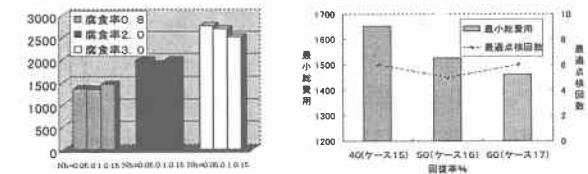


図 6 TYPE2: 点検技術の質変化の比較

図 7 TYPE2: 回復率の影響