

橋梁モデルの維持・補修を考慮に入れた初期安全性レベルの設定について

信州大学大学院

学生員

○高澤 和典

信州大学社会開発工学科

正会員

小山 健

1. はじめに

土木構造物の経済性の評価は、モデルの代替案の比較によって行われる。ここでは橋梁をモデルとして、設計耐用年数が過ぎたら撤去する取り替えモデルと、設計耐用年数期間は補修を行い寿命を延ばすことにより、取り替えモデルより長い期間使用する補修モデルの2つの代替案を比較して総費用最小化原則にもとづいて経済性の評価を行い、総費用が最小となるような建設時の初期安全性レベルの設定を目指すものとする。

2. 総費用最小化原則について

一般に総費用最小化原則に基づく期待総損失費用は以下のように表される。¹⁾⁻³⁾

$$E(C_T) = C_i + C_r \cdot p_r + \Sigma F \quad (1)$$

ここで、 $E(C_T)$ は総損失費用の期待値を、 C_i は構造物の初期費用を、 p_r は構造物が目的とする機能が果たせなくなる何等かの限界状態が発生する確率を、 C_r はその様な事態が発生することによる社会的損失費用を、 ΣF は補修を行う場合での総補修費用を取り替えの代替案では、 $\Sigma F = 0$)それぞれ表すものとする。ただし、ここでは問題を単純化するために、点検等にかかる費用については考慮から外してある。一般に構造物の安全性レベルを上げると、構造物にかかる初期費用及び総補修費用は増加するが、その分構造物が何等かの悪い限界状態に陥りにくくなり、その結果としての社会的損失費用は減少する。供用中の構造物は補修を行い安全性のレベルを上げることによって社会的損失費用は減少する。構造物のライフサイクルにおける期待総損失費用はある安全レベルにおいて最小となる。本研究ではこの安全レベルでの設計をめざして、耐用年数をパラメーターにし、経済性の評価を試みるものとする。社会的損失費用については次のように仮定した。建設時で限界が来たとしたときの社会的損失の価値を C_r と仮定したとき、経過年数 N 年の時に限界が来たときの社会的損失の価値 $C_r(N)$ は利率 i を考え次のようになる。

$$C_r(N) = C_r \cdot \xi^{N-1} \quad (2) \quad \text{ここで、}\xi = 1.0 + i, N \text{は建設時からの経過年数である。}$$

3. 最適安全性レベルと経年劣化について

本研究では簡単なため以下のように表される安全性指標を採用することにする。

$$\beta = \frac{\ln \bar{\theta}}{\sqrt{V_R^2 + V_S^2}} \quad (3)$$

ここで $\bar{\theta}$ は一般に中央安全率と呼ばれるもので、構造物全体の強度 R (=抵抗値)の平均値に対する、想定荷重 S によって生ずる断面力の平均値との比として表され、 V_R 、 V_S はそれぞれの変動係数を表すものとする。このとき式(1)の p_r は以下のように表される。

$$p_r = \Phi(-\beta) \quad (4) \quad \text{ただし } \Phi(\cdot) \text{ は標準正規分布関数である。}$$

また、構造物の初期建設費用と中央安全率には次のような関係を仮定する。

$$C_i = a(1 + b \cdot \bar{\theta}) \quad (5) \quad \text{ただし } a, b \text{ は定数である。}$$

式(4)より β が大きくなるほど、構造物が何らかの限界状態に達し本来有する機能が果たせなくなる確率が低くなり、安全性レベルが高くなることを表している。また経済性から見るとある安全性レベルにおいて期待総費用は最小となり、そのときの β を最適安全性指標 β_{opt} と表すことにする。

経年劣化についてはド・ウィースのフラクタルによるルベークの特異関数⁴⁾を $F(\cdot)$ としたとき以下のように表すものと仮定し、その様子を図-1に示した。

$$\beta_N = \beta_i \cdot F(\lambda \cdot N/N_0) \quad (6) \quad \text{ここで } \beta_i \text{ は建設時の安全レベルを、} \beta_N \text{ は } N \text{ 年経過時の安全レベルを、} N_0 \text{ は設計耐用年数を、} N \text{ は経過年数を表す、} \lambda \text{ は劣化の度合いを表しここでは } \lambda = 0.68 \text{ とした。限界状態が生じるまでの経過年数 } N \text{ は確率変数で特定できないので、式(1)中の } p_r, C_r \text{ については } N \text{ 年間の期待値を用いることにする。}$$

3. 補修について

予想しにくい補修を行う年数は疑似乱数を発生させることによって決定し、その期待値をAVKとした。なお補修を行うことによって、劣化した安全性レベルは建設時の初期安全性レベルまで回復できると仮定した。また補修費用に関しては、補修を行う年数の劣化状況に比例して多くの補修費がかかると考え、建設時よりN年経過の時の補修費は以下のように仮定した。

$$F_N = e \cdot \beta_i (1 - F(\lambda \cdot N/N_0)) \quad (7)$$

ここで、 e は補修費を決定するパラメーターであり、補修モデルに付いては100回のシミュレーションを行いその期待値を計算結果とした。

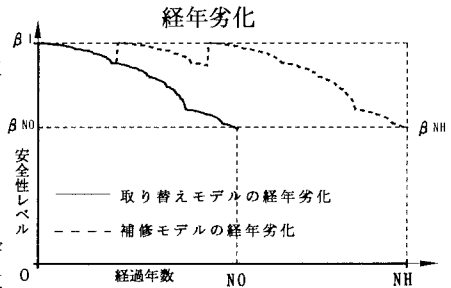


図-1

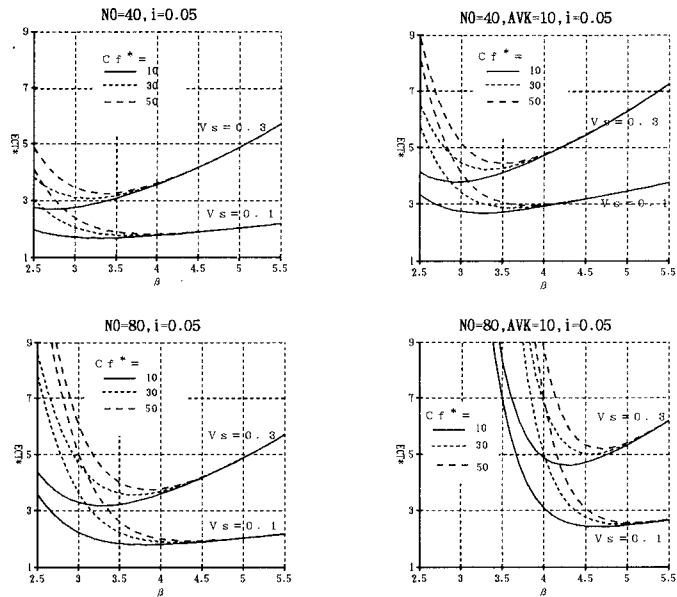
4. 計算結果およびまとめ

以上のことから式(1)は利率 i を考慮に入れて以下のようになる。

$$E(C_T) = a(1 + b\bar{\theta}) + p_f \cdot c_f (\xi^N - 1)/N(\xi - 1) + \sum e \cdot \beta_i (1 - F(\lambda \cdot N/N_0)) \cdot \xi^{-N} \quad (8)$$

式(8)より求められた結果を以下の図-2(a), (b)に示した。横軸に建設時の安全レベル β をとり縦軸に $E(C_T)^*$ をとった。ここで、 $E(C_T)^* = (E(C_T) - a) / (a \cdot b)$ で無次元化してある。 $C_f^* = C_f / (a \cdot b)$ として、実践、点線、波線によって $C_f^* = 10, 30, 50$ の3通りを区別した。図に示した計算例の条件は以下の通りである。①想定荷重に対する変動係数 $V_s = 0.1, 0.3$ 、補修費を決定するパラメーター $e / (a \cdot b) = 1.0$ 、構造物全体の強度に対する変動係数 $V_R = 0.1$ とした。これらの図より以下のことがいえる。(1)想定荷重に対する変動係数を大きく設定すれば

期待総損失費用 $E(C_T)^*$ は大きくなり、また最適安全性レベルは小さめに設定したほうが経済的となる。(2)設計耐用年数が長くなるほど最適安全性レベルは大きく設定した方がよい。(3)設計耐用年数が等しい場合は、補修モデルの方の建設時の初期安全レベルを取り替えモデルに比べて相対的に上げておいた方が経済的に有利である。(4)最適安全レベルは、取り替えモデルの場合には約3.5程度を目安とし、補修モデルの場合では、設計耐用年数が比較的短い場合では3~3.5程度設計耐用年数が比較的長い場合では約4.5とするのが望ましい。



(a) 取り替えモデル

(b) 補修モデル

図-2 安全レベルと期待総損失費用の関係

参考文献

- 1) 野沢三三：メインテナンスの経済的側面，土木学会誌，pp. 17-21, 10月号, 1979
- 2) 小堀為雄：土木構造物の耐用年数-劣化減少としての考え方，土木学会誌，pp. 8-12, 10月号, 1983
- 3) 菅原 操：メインテナンス-今後への展望，土木学会誌，pp. 57-62, 10月号, 1979
- 4) 高安秀樹：フラクタル，朝倉書店, 1987. 12.