

IV-40

土木構造物の補修・更新投資モデル

京都大学工学部 正会員 内田 敬

京都大学工学部 正会員 黒田勝彦

1. はじめに

近年のメンテナンスへの関心の高まりを反映して、土木の分野においても既設構造物を対象とした研究が盛んである。その多くは耐荷力や耐久性などの構造物の物理的状態の評価の方法を研究対象としているが、合理的なメンテナンスを行うには代替案相互の比較が必要であって、そのためには状態の正しい評価と共に比較のための基準の明確化が必要である。本研究はそのような基準を経済的に与えようとするものである。

2. 評価基準

本研究ではメンテナンス行動をそれを行うために要する投資の面から捉え、費用・便益分析により最適なメンテナンス行動を定めることとする。評価基準としては純便益最大化基準を用いる。ただし土木構造物のように規模が大きくかつ寿命の長い財の場合、短期的な決定は長期を見通した場合にはむしろ不適切な決定となる危険性があるので、ある一定期間(計画期間と呼ぶ)をとりその間の総純便益を最大にするよう行動の時系列を決定するものとする。すなわちある代替案 a_i の評価関数 $V(a_i)$ を次式のように与える。

$$V(a_i) = \sum_{t=1}^n \{B(a_i, t) - C(a_i, t)\} \quad (1)$$

ここに

 $B(a_i, t)$: 代替案 a_i 下の第 t 期の便益(現在価値) $C(a_i, t)$: 代替案 a_i 下の第 t 期の費用(現在価値) n : 計画期間数

3. 劣化費用

同様なアプローチは既に、建設計画に関する研究¹⁾において用いられ、維持・補修を対象とした例²⁾もある。これら従来の研究との相違点を明らかにしておく。

建設計画においては主たる関心は、急激に増大する需要を満たすことにあった。したがってメンテナンスに注意は向けられず、構造物の機能は耐用年数の間は十全であって、耐用年数が経過した後は全く機能しない(サドンデス)と仮定していた。また参考文献²⁾では構造物は補修によって延命が可能であるが、その実施時期を決定する要因は、延命費用の年齢増加に伴っての増大と社会的割引であるとしている。それに対

し本研究では、1)構造物は年齢と共に徐々に機能を低下させ、2)補修が実施されるのは放置しておくとは不効用が生じ、むしろ補修投資を行う方が経済的に得策と判断されるからであると考ええる。

本研究における上述のような立場をモデルに組み込むために劣化費用なる概念を導入する。劣化費用は構造物の経年変化(劣化)に伴うペナルティであって、構造物が完全に機能するなら得られるはずが、劣化による機能低下によって逸失が期待される便益をもって与える。劣化費用は構造物の年齢(時刻 t)の関数である。しかし直接、年齢の関数とはせずに劣化指数を媒介にする。劣化指数は $[0, 1]$ なる確率変数であって、その値が0のとき構造物は全く健全な状態にあり、値が1のとき完全なる崩壊状態にあることを意味する。劣化指数なる概念を導入するのは次のような理由による。土木構造物の劣化現象は例えばRC構造のひび割れのように観測可能な兆候を示すものが多い。このような劣化の指標となるデータから劣化指数を導くならば、劣化費用を求める過程は①劣化の進行過程の予測(劣化指数の予測)と②劣化の影響の経済的評価(劣化指数に劣化費用を対応づける)の2つの段階に分けることができ、劣化費用の計量化が容易になる。

劣化指数は物理的な観点からの劣化の評価値であるから、年齢(時刻 t)と劣化指数を対応づける関数(劣化関数)の形は、劣化の進行パターンを表す。本モデルでは劣化関数を次式のように成長曲線と与える。

$$\bar{\alpha}(t) = \frac{1 - e^{-At'(t)}}{1 + M^2 e^{-At'(t)}} \quad (2)$$

ここに $\bar{\alpha}(t)$: 第 t 期の劣化指数の平均値 $t'(t)$: 構造物の見かけの年齢 A, M : パラメータ

式(2)のパラメータ A は劣化曲線を t 軸方向に伸縮させ、 M はその値によって図1のように劣化曲線の形を変える効果を持つ。したがって劣化関数を上式のように与えるならば、 A, M の操作によってかなり自由な劣化パターンを考えることが可能となる。

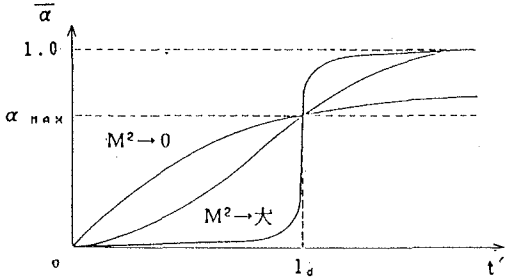


図1 劣化関数におけるMの影響

4. 考慮されるメンテナンス行動

本モデルではメンテナンス行動として、1)構造物の劣化指数に影響を与え、かつ2)構造物の施設規模を変更しないもののみを考え、補修及び更新と呼ぶ。補修は既存構造物に手を加えて延命するような行動で、延命年数 le を変数とする。更新は既存構造物を廃棄して新たに同一施設規模の構造物を建設するような行動で、新規に建設する構造物の設計耐用年数 ld を変数とする。これらの行動の劣化指数に与える効果を図2に示す。図から解るように補修によって構造物は“若返る”。このような若返りの効果を受け、かつ劣化指数を直接規定するような年齢を見かけの年齢と呼び、建設時からの暦年で与えられる実年齢と区別する。

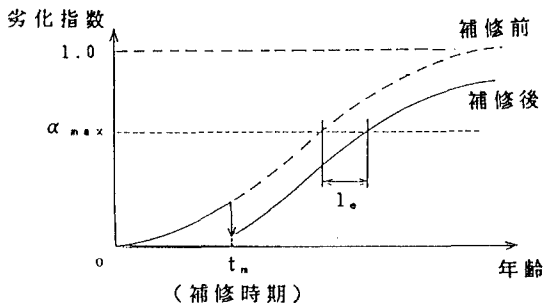


図2(a) 補修の効果

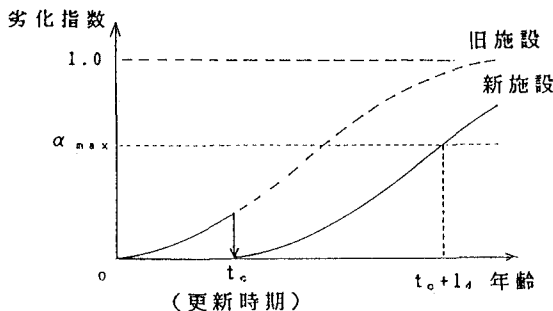


図2(b) 更新の効果

5. 補修・更新投資モデル

本モデルでは第1期から計画期間の間各期毎に1)補修、2)更新、3)何もしない、の内のいずれかの行動種類およびその程度(le あるいは ld)を選択するものとし、選択された行動の時系列(ベクトル)をもって一つの代替案とする。代替案が定まったならば式(1)に従って評価値 V を求め、これを最大にするような代替案が最適な代替案とされる。式(1)の右辺の項のうち便益 B は施設利用者の消費者余剰をもって与える。費用 C は1)償却費 RC 、および2)劣化費用 LC の和として与える。償却費は、補修及び更新によって構造物は価値を付与されるものとして、その価値を残存寿命の間に毎年等価償却するものとして与える。

本モデルは評価基準として総純便益の現在価値最大化基準を用いることにした。しかし行動として施設規模を変更しないもののみを考えることと、劣化による便益の減少分は劣化費用として評価することから、式(1)の B は代替案によらず一定である。したがって最適な代替案 a^* は次の関係を満たす。

$$V(a^*) = \min_{ai} \sum_{t=1}^n \{RC(t, ai) + LC(t, ai)\} \quad (3)$$

6. おわりに

本モデルの適用例として都市間高速道路の高架部を想定した簡単な問題を設定して解き、モデルの有効性を検討した。その詳細については紙数の都合上割愛するが、以下のような結論が得られた。①構造物の寿命がモデルに内生化され、サドンデスを仮定する必要がない。②物理的耐用年数のみならず不完全ながらも経済的・社会的耐用年数を表現できる。

また本モデルは若干の工夫により新設時からの適用も可能であって、構造物の生涯のあらゆる局面に対する適用の可能性を有している。

なお本モデルは概念モデルであって実証的な研究は関連する諸分野の今後の成果を待たねばならないが、本研究がそれらの発展の一助になるものと信じる。

参考文献

- 1) 長尾義三・森杉寿芳・吉田哲生：非弾力性需要のもとにおける段階建設について，土木学会論文報告集，1976。
- 2) 黒田勝彦：都市高速道路の設計荷重と耐用年数評価における信頼性概念の導入に関する研究 2. 道路橋設計耐用年数と維持・更新に関する経済的評価，阪神高速道路公団・（財）システム総合研究所，1987。