

劣化を考慮した常時・地震時の LCC 評価モデルの基礎研究

東電設計（株） 正会員 吉田郁政
 東京電力（株） 正会員 赤石沢総光
 東電設計（株） 正会員 鈴木修一

1. はじめに

近頃、リスクやライフサイクルコストに対する関心が高まっており、最近では各種構造物に対して常時、地震時のリスク評価が行われている。しかし、常時と地震時では損傷事象の時間方向への性質が異なり、別々の取り扱いが必要となる。また、劣化や損傷のメカニズムは対象構造物によって大きく異なり、同じ物理的指標で表すことはできない。そこで、物理的な意味をもたない劣化度（余寿命に関連した量）をもとに劣化状態を記述し、常時、地震時の損傷確率の評価を統一的方法について検討を行った。

2. 状態量マトリックスと状態推移マトリックス

何らかの劣化モデルが存在するとし、平均的に劣化が進行した場合の j 年後の状態を劣化度 j と定義する。確定的に劣化が進行する場合は状態量 j は状態推移行列によって $j+1$ に確率 1.0 で推移する。それに対して図-1 に示すようにばらつきを考慮した状態推移とすることもできる。

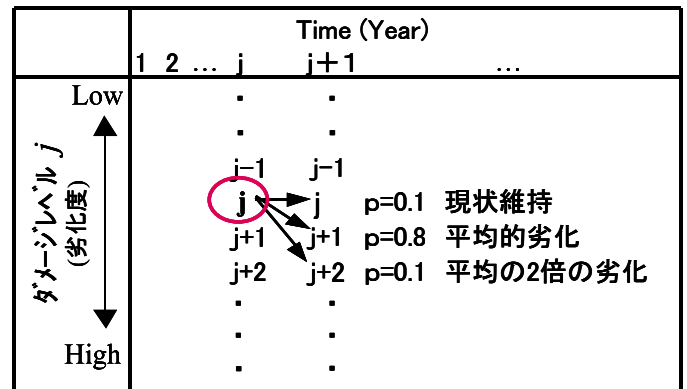


図-1 状態推移の考え方

損傷事象を単位時間（例えば1年間）で考える場合、時間方向への相関の考え方が問題になる。地震時であれば不確定性に関する主要因は偶発的な地震動となるため、時間方向へは独立性が高く、完全独立と仮定してリスク評価¹⁾を行うことが一般的である。一方、常時の損傷モードでは従属性が高く、完全相関とすることが多い。図-2 に示すように完全相関の仮定の下で常時の損傷確率を算定するためには既往最悪な状態を記憶しておく必要がある。そこで現在の状態量と既往最悪の状態量をあらわす、図-3 に示す状態量マトリックスを定義する。現在の劣化度が既往最悪な劣化度よりも進んでいることはありえないので下三角成分は0になる。対角成分は現在が既往最悪の劣化度になっていることを表し、 S_{ij} は現在の劣化度が i で既往最悪の劣化度が j であった成分を意味する。地震時のような独立事象であれば現在の状態だけから損傷確率が決まるので縦方向の総和に対して損傷確率を算定すればよい。一方、完全相関の事象に対してはその対角成分だけから損傷確率を算定すればよい。状態量マトリックスの状態推移の式及び常時の損傷確率算定式を次式に示す。

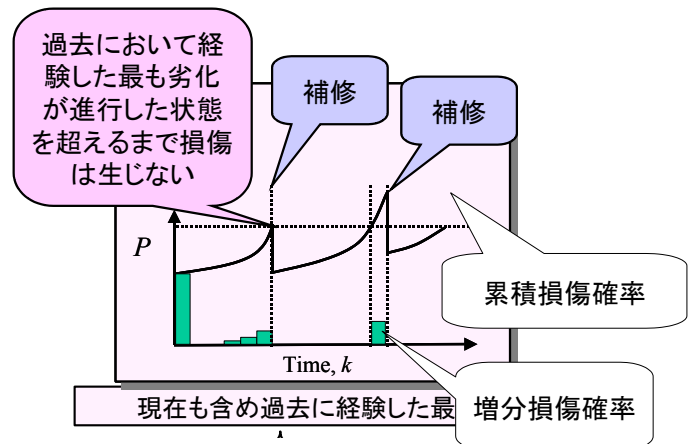


図-2 常時の損傷確率のイラスト

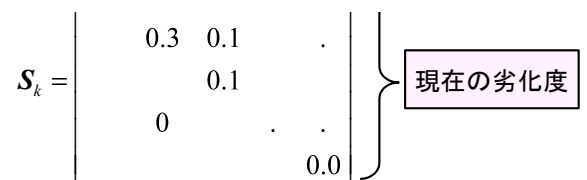


図-3 状態マトリックスの定義

$$S_{k+1} = \text{uptr}(FS_k + \text{diag}(FS_k L)), \quad p_f(k+1) = \sum_{i=1} [FS_k L]_{ii} p_i \quad (1)$$

キーワード LCC, リスク評価, 劣化, 維持補修, 損傷確率

連絡先 東京都台東区東上野 3-3-3 東電設計株式会社 地盤・構造部 (tel) 03-4464-5525

ここに、 $uptr$: 上三角の成分だけを抜き出す操作、 $diag$: 対角成分だけを抜き出す操作、 p_i : ダメージレベル i に対応する増分損傷確率、 F : 状態推移行列、 L : 下三角成分、対角成分は 0 で上三角成分が全て 1 の行列、である。式で記述すると複雑に見えるが状態推移により現在の状態が既往最悪を上回る矛盾した成分 S_{ij} 、 $i > j$ を S_{ii} に移動させているだけで実際の計算は単純である。

3. LCC の試算例

ある鉄筋コンクリート製の取水設備を対象に別途算定した常時、地震時の劣化を考慮した損傷確率²⁾をもとに LCC の試算を行った。LCC 算定には補修効果、補修コスト、損傷時コストのモデル化も必要となる。補修効果は補修前の劣化度に対してどれだけ劣化度が回復するかを定義することになる。本検討例では表面被覆工法を想定し一度補修を行うと 5 年間劣化度の進行が止まると仮定した。そのコストは再構築コストの 7.5%、損傷時コストは再構築費用の 1 倍と仮定した。試算結果を図-4 に示す。図には補修なしも含めて 5 ケースの結果を示してある。下記の各ケースにおける年数は補修年を表す。

ケース 1 : 9, 15 年 ケース 2 : 5, 10 年, ケース 3 : 15, 20 年, ケース 4 : 5, 20 年

この中ではケース 1 がリスクも考慮した LCC の観点からは最も有利という結果となった。

4. 結論

損傷の物理的メカニズムによらない一般的な記述を行うことにより、種類の異なる構造物、損傷モードを同時に記述することのできる方法を提案した。常時、地震時の損傷リスクを効率的に扱うことができる表現形式となっており、Frangopol らの研究³⁾のような分岐を考えた常時のリスク計算に対してもイベントツリー解析は不要であり比較的簡易に計算できる。ここでは 1 年ごとに平均的に 1 劣化度が進むモデルとしたが 2 年ごとでも 0.5 年ごとでもよい。また、劣化度レベルを経過年数とは直接関係なく 5-9 程度に少なく分割して、状態推移行列を定義すると、米国の PONTIS タイプのモデルと同じこととなる。その場合にもこの考え方でリスク評価を行うことができる。

参考文献 1)赤石沢,他,R C 構造物の点検補修頻度の最適化に関する研究,構造工学論文集 Vol.47A, pp.277-284, 2001 2)鈴木,他,地中 RC 構造物の劣化を考慮した常時・地震時の信頼性評価に関する基礎研究,土木学会学術講演会,2002 3)Frangopol, et al : Life-Cycle Cost Design of Deteriorating Structures, J. of Struct. Engrg., ASCE, Vol.123, No.10, pp.1390-1401,1997.

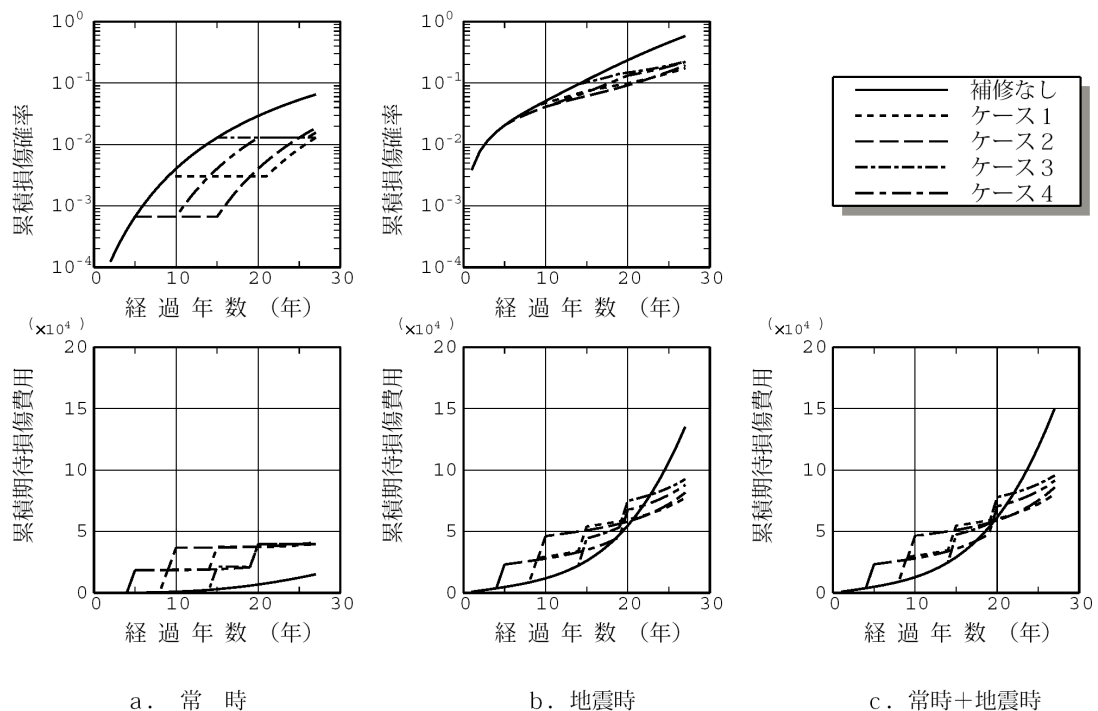


図-4 補修を考慮した損傷確率及びライフサイクルコストの試算結果