

1. まえがき

日本の経済状況を鑑みると，社会基盤施設の維持管理において，その劣化を時系列に定量的に予測し，優先的に補修・補強，更新・架け替えすべき橋梁を選択し，その時期を判断する必要がある．

本研究では，劣化の進行と構造物の性能の低下を時間とともに捉え，Multi State System (MSS)¹⁾ の設計思想のもとに，RC 桁の強度と変形を信頼性評価する．また，構造物の点検や補修・補強の適切な時期を決定するための MSS による方法論を展開する．この研究を通して，MSS による信頼性評価の必要性を述べる．

2. RC 桁の性能評価

2.1 対象橋梁の諸元²⁾

対象とする橋梁は，新潟県に建設されていた旧板貝橋である．その橋長 13.6m，幅員 6.5m，3 主桁からなる鉄筋コンクリート製 T 桁単純橋である．

RC 桁の塩害による劣化損傷過程と強度・変形特性を時系列に検討するため，かぶりの量を文献^{3), 4)} に則って表 1 のように 8 ケースとした．

表 1 数値解析に用いるかぶり量

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7	Case 8
かぶり(mm)	15	25	35	50	70	80	90	100

2.2 RC 桁の性能劣化モデル

RC 桁の劣化過程を図 1 のような 4 段階に設定した．すなわち，腐食開始時点 (t_{cr})，ひび割れ発生時点 (t_r)，耐力喪失時点 (t_f) である．

鉄筋コンクリートの鉄筋の断面減少率が 20%に達すると，鉄筋とコンクリートとの間の付着力がほぼゼロになり，耐力が急激に低下するといわれる．したがって，本研究では，鉄筋断面減少率が 20%に達した時点いわゆる耐力喪失時点を t_f とした．

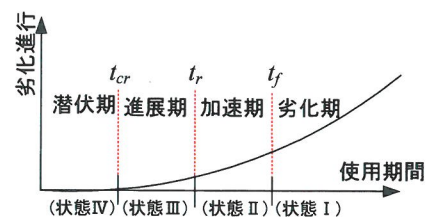


図 1 劣化進行のイメージ

2.3 性能発揮率の推定

性能発揮率 (g) は，要求性能を発揮する尺度を表し，時間ごとの耐力 (P_n) と状態 I の耐力の差を状態 IV と状態 I の耐力の差で除した値で与えられる．ちなみに，状態 IV の性能発揮率は 1.0，状態 I のそれは 0.0 である．

2.4 状態確率の推定¹⁾

RC 桁の時刻 t での状態 IV～状態 I の状態確率 ($p_4(t) \sim p_1(t)$) を求めるため，各状態へ転移する性能劣化をマルコフ過程でモデル化し，得られた微分方程式を解けば，時刻 t での状態 IV～状態 I のそれぞれの状態確率が求められる．図 2 には， $t=50$ 年における状態確率を示す．

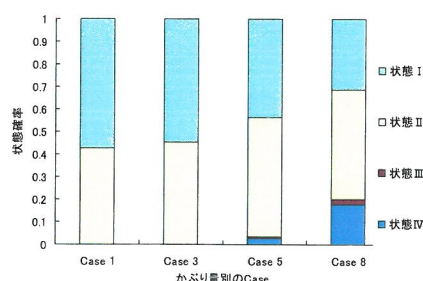


図 2 $t=50$ 年における状態確率

3. 信頼性評価

橋梁の要求性能 (w) をつぎのように定めた．すなわち，構造物の要求性能 (w) を設計段階での初期降伏断面モーメントを安全率で除した値 ($M_{max}=M_y/\gamma$) とした． t 年後の断面に対する降伏モーメント $M_y(t)$ が設計時の要求性能 (w) を下回ると ($M_y(t) \leq w$)，危険で

あると判断される.

3.1 稼働率 $A(t)$

稼働率は, MSS の性能発揮率 $p_k(t)$ が時間 $t>0$ において要求性能 w を上回っている部分の確率で,

$$A(t) = \sum_{k=1}^K p_k(t) 1(p_k \geq w)$$

から求められる. Case 1~Case 8 のかぶりに対し, これを求めれば, 図 3 を得る.

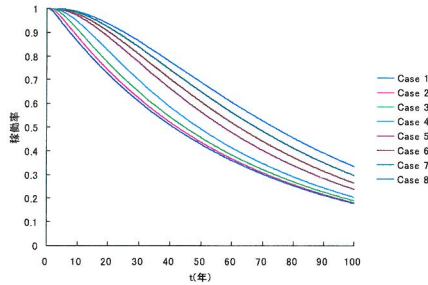


図 3 稼働率

図 2 から分かるように, Case 5~Case 8 の場合, 建設後 40 年経っても規定値以上の性能を保持している確率が 0.5 以上で, 大災害が起きない限り, 余裕を持って点検時期が設定できる. ここに, 稼働率 0.5 は初期の耐力を 9 割保持している状態である.

3.2 期待性能率 E_t

期待性能率は時間 $t>0$ における平均性能を表し,

$$E_t = \sum_{k=1}^K p_k(t) g_k$$

から求められる. Case 1~Case 8 のかぶりに対し, これを求めれば, 図 4 を得る.

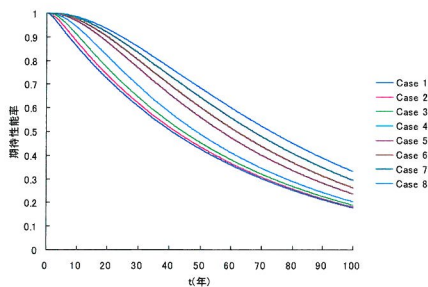


図 4 期待性能率

図 4 から分かるように, いずれの場合も, 平均的に高い性能を有している. これは, 桁の性能を耐力のみで評価すれば, 部分損傷の状態でも長期に使用できることを示している.

3.3 性能不足率 D_t

性能不足率は, MSS の性能発揮率が時間 $t>0$ にお

いて要求性能 w を下回っている部分の確率で,

$$D_t = \sum_{k=1}^K p_k(t) \max(w - g_k, 0)$$

から求められる. Case 1~Case 8 のかぶりに対し, これを求めれば, 図 5 を得る.

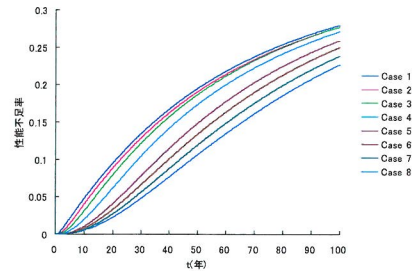


図 5 性能不足率

たとえば, Case 5 の場合を例とする. 橋梁の寿命を $t=50$ 年とすれば, その性能不足率は 0.15 である. 図 3 に示す稼働率で評価すれば, 0.5 を上回る. このことから, 性能不足率が 0.15 でも十分に使用できる状態にある. それゆえ, 構造物に求める重要度によって異なる水準を定め, 損傷の度合いを表す指標になる.

4. あとがき

本研究の成果をまとめれば, つぎのようである.

- ①状態確率が算定できれば, ある時間にどのような状態になっているかが確率論的に評価できる.
- ②耐力を性能とすれば, 十分な供用期間が保証できるかぶり量が決定できる.

構造物を設計する際に, MSS の考えに従って構造物の性能を経時的に把握すれば, 点検や補修・補強の必要性が指標によって判断できる.

MSS は構造物の種類や重要度によって, 多様な状態に適用でき有用である.

参考文献

- 1) A. Lisnianski and G. Levitin : Reliability and Engineering Statistics, Vol.6, World Scientific, 2003.
- 2) 建設省土木研究所・橋梁研究室: コンクリート橋の塩害に関する実況詳細調査, 土木研究所資料, 1988.12.
- 3) 土木学会編: コンクリート標準示方書・解説, 1958.12.
- 4) 日本道路協会編: 道路橋示方書・同解説 I 共通編・III コンクリート橋編, 2002.3.