

阿南工業高等専門学校・専攻科 正会員 松保 重之
 阿南工業高等専門学校・専攻科 学生員 〇荒木 幸輝
 阿南工業高等専門学校・建設システム 正会員 横田 健一

1. はじめに 土木構造物の建設を考える場合、計画、設計、施工、維持管理等の過程を通じたアベイラビリティとライフサイクルコストとの間でトレードオフを行う必要がある。これらは、計画設計段階において総合的に考える必要があるが、本研究では、その前段階として、維持管理の最適計画の手法について提案する。数値計算では、鋼橋の腐食を対象とし、塗装・局部補修の期間に関する最適計画を行い、本手法の有効性を示す。

2. 情報積算法による最適化問題の定式化 ここでは、複数の評価項目を有する最適化問題の定式化を行う。

2.1 情報量の定義 情報理論では事象 A が生起したときの情報量 $I(A)$ は、事象 A の生起確率 $P(A)$ を用いて次式(1)で定義される。

$$I(A) = \ln\{1/P(A)\} \text{ (単位: nat)} \quad (1)$$

式中、 $\ln$ は自然対数である。式(1)は、希な事象の起こるときには、それによって得られる情報量は大きくなり、重要な情報が得られることを示している。それゆえ、情報量 $I(A)$ は、システムをある状態に維持するために必要な情報、材料、エネルギー等であると理解できる。

2.2 システムの評価 システムパラメータ(S.P.)が必ず取り得る値の範囲はシステムレンジ R_s 、S.P.が設計上要求されている範囲はデザインレンジ R_d 、 R_s と R_d の重複部分はコモンレンジ R_c と定義される(Fig.1)。 R_s が曖昧な場合あるいは範囲ではなく1つの数値の場合には0～1の値で満足の度合いを示す満足度関数の概念を用いる(Fig.2)。以上の仮定のもとに式(1)は次式で書きかえられる。

$$I = (P_2 \text{ の生起に必要な情報量}) - (P_1 \text{ の生起に必要な情報量})$$

$$= \ln(1/P_2) - \ln(1/P_1) = \ln(P_1/P_2) = \ln(R_s/R_d) \quad (2)$$

式(2)中、 $P_1 = \text{Prob.}[x \in R_s]$ 、 $P_2 = \text{Prob.}[x \in R_d]$ である。システムの評価においては、その各評価項目に対して情報量を計算すれば、それらの総和(情報積算量)がシステムの評価を与える。すなわち、情報量の解釈より、積算情報量が小さいほど、良いシステムと判断できる。松保は、幾つかの仮定の下に、積算情報量を最適化問題における評価関数として用いれば、多制約条件下での多目的最適化問題が無制約条件の単一目的関数の最適化問題に変換される(式(3)参照)ことを示した¹⁾。

$$F(X) = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \rightarrow \text{最小} \quad (3)$$

式中、目的関数 $F(X)$ は基本変数ベクトル $X = (x_1, \dots, x_n)$ の関数、 $I_i (i=1, \dots, n)$ は各評価項目 i に対する情報量である。

3. 最適補修期間の計画法 鋼橋の腐食に対する最適補修の計画問題を前述の手法を用いて考える。本研究では、①補修費と②鋼橋の腐食に関する信頼性の2つを評価項目とする。腐食に関する時間依存の信頼性評価においては、鋼橋のI型主桁のフランジとウェブを対象にせん断に関する限界状態を考えた信頼性解析の結果²⁾を用いた。そして、信頼性解析の結果から「補修の必要性」を判断した。具体的には、補修の必要性が限界状態確率の増加とともに線形に増加し、初期の限界状態確率の約6倍となれば、即刻、補修が必要となるものとした。また、補修の必要性に関する情報量の計算においては、Fig. 3 に示す満足度関数を用いた。一方、補修費としては塗装および局部補修に関するものを考えた。劣化のために、補修費は補修時の経過とともに増大するものと考えられるが、本研究では文献³⁾を参考に、Fig. 4 に示すモデルを用いた。補修費に

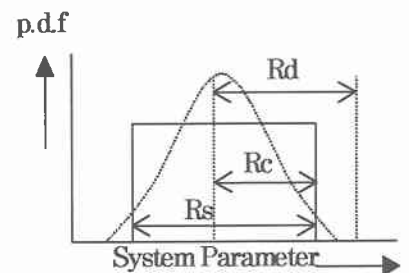


Fig. 1 p.d.f of System Parameter

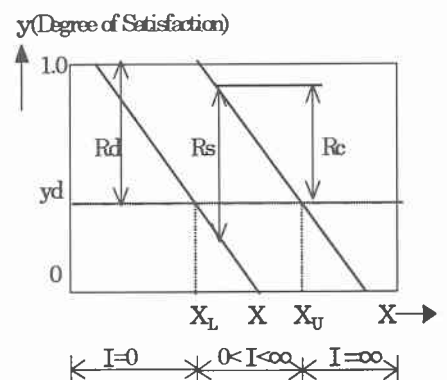


Fig. 2 Function of Satisfaction

関する満足度関数としては、Fig. 5 に示すものを用いた。なお、簡単のために、補修によって完全に建設初期の状態に戻るものと仮定し、供用期間は 50 年とした。以上の条件の下に、計算を行った結果を Table 1 に示す。積算情報量が最小の代替案が最適解となるので、表より、11 年ごとに補修を行うのが最適であることが分かる。一方、既定の限界状態確率となった時点で補修を行う従来の手法では、15 年ごとの補修となるが、本手法による 11 年ごとに補修を行えば、より安く、より安全性を維持できることが分かる。また、経済性だけの観点からは、13 年ごとの補修が一番経済的となるが、少しの投資でより高い安全性を維持することも表より分かる。

4. まとめ 情報積算法による多目的最適化の手法を定式化し、それを構造物の最適補修期間の計画問題に適用する方法を提案した。本手法を用いれば、従来の計画法に比べ、安全性かつ経済的な計画が立てられる可能性があることを数値計算例により示した。

参考文献 1) S.Matsuho and D.M.Frangopol: Optimization ... Infrastructure System, Optimal Performance of Civil Infrastructure Systems edited by D.M.Frangopol, ASCE, pp.127-138, 1998. 2) C.H. Park and A.S. Nowak: Time-Varying Reliability Model of Steel Girder Bridges, Proc. of Workshop on Structural Reliability in Bridge Engineering, pp.185-190, 1997. 3) (社)日本橋梁建設協会：橋梁技術者のための塗装ガイドブック，1996。

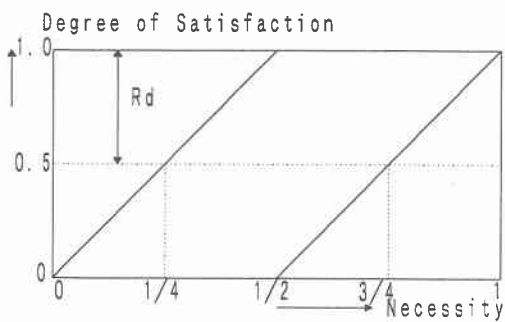


Fig. 3 functions of Satisfaction Concerning Repair Necessity

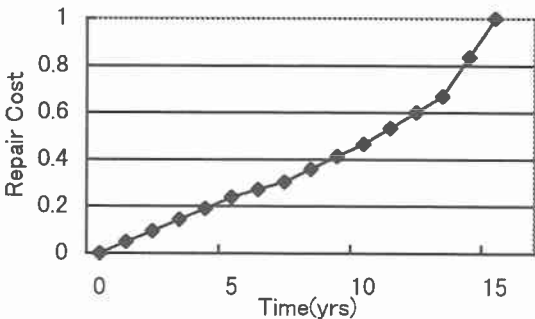


Fig. 4 Repair Cost vs. Time

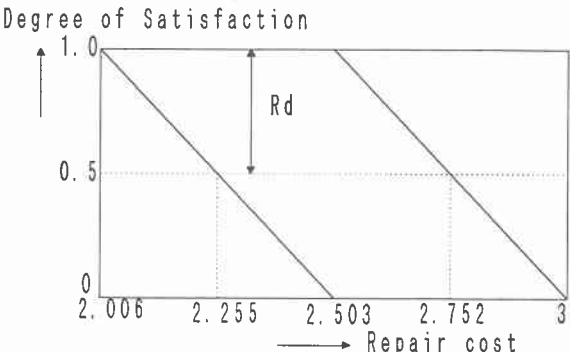


Fig. 5 Functions of Satisfaction Concerning Repair Cost

Table1 Calculation Results

Time(yrs)	Failure Prob.($\times 10^{-3}$)	Necessity	Cost	Integrated Info.
1	1.3	0.06	2.388	∞
2	1.6	0.12	2.388	∞
3	1.9	0.18	2.293	∞
4	2.2	0.24	2.293	∞
5	2.5	0.3	2.388	2.222
6	2.8	0.36	2.173	1.186
7	3.1	0.42	2.131	0.904
8	3.4	0.48	2.149	0.736
9	3.7	0.54	2.060	0.610
10	4.0	0.6	2.328	0.730
11	4.4	0.68	2.133	0.247
12	4.8	0.76	2.404	0.471
13	5.2	0.84	2.006	∞
14	5.6	0.92	2.503	0.693
15	6.0	1	3	∞