

都市高速道路橋の重要度を考慮した信頼性解析

京都大学工学部 正 員 白石 成人 京都大学工学部 正 員 古田 均

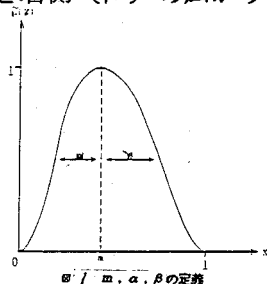
京都大学工学部 学生員○尾崎 美伸

1. まえがき 本研究は、都市高速道路橋を対象とし、その公共性、社会的・経済的諸因子を考慮した信頼性解析を行う。本研究では「破壊確率」の定義を拡張して、機能を遂行でき得る状況を対象とした「機能損失確率」とも言うべき尺度を設定し、維持管理事業を対象とした研究をすすめる。また、構造物を取巻く不確定性を総合的に取扱うため、ファジイ性の概念を導入して、より柔軟な形で定量的な評価を行う。さらに、社会的・経済的な重要性に関連づけて目標信頼性水準の決定法に一つの提案を試みる。

2. 維持管理効果の信頼性解析への導入 橋梁構造物の維持管理方法は、大きく分類して点検と補修・補強の2つに分かれる。そして、それぞれの業務内容がある評価値として表現されると、その値は機能損失確率に直接影響をおよぼすものである。本研究では維持管理効果の不確定性を考慮し、機能損失確率 $\tilde{P}_f$ をファジイ性の概念を用いて表わす。さらにL-R関数の考え方を用いてファジイ集合を3つの代表値で表わし、計算の簡略化を図る。この3つの代表値とは、図1に示す中央値(m)、左側(α)と右側(β)の広がりである。これを用いて、帰属度関数 $\mu(x)$ は次式で定義される。

$$\mu(x) = \begin{cases} L((m-x)/\alpha) & \text{for } x \leq m, \alpha > 0 \\ R((x-m)/\beta) & \text{for } x \geq m, \beta > 0 \end{cases} \dots (1)$$

ここで、L, Rは各々左右の関数形であり、対象とする問題に対応して選定されるべきものである。また、本研究では簡略のため、 $\tilde{P}_f$ の帰属度関数を左右対称形とみなして $\alpha = \beta$ とし、中央値 m_p と広がり α_p の2つのパラメータで表現する。



3. 重要度を考慮した目標信頼性の決定法 白石によると構造物を建設する際の総費用は

$$C_T = C_I + C_F \cdot P_f \dots (2)$$

で、総費用 C_T を最小にする P_f から、目標信頼性を決定することができる。ただし C_I は初期建設費、 C_F は構造物が破壊した場合の損失、 P_f は破壊確率である。ここで本研究では(2)式において P_f の代わりに $\tilde{P}_f$ を用いて、機能障害時の損失について考える。これより目標信頼性の決定は、次式に示す最小化問題に変換できる。

$$\tilde{C}_T = \tilde{C}_I + C_F \cdot \tilde{P}_f \rightarrow \tilde{Min} \dots (3)$$

この $\tilde{Min}$ はファジイ論的な最小化を表わし、ファジイ数の中央値とその左右の広がりを最小にすることを意味している。ここで、 $\tilde{C}_T$ の中央値および広がりを正規化して $\hat{m}_{CT}$ 、 $\hat{\alpha}_{CT}$ とすると、両者がともに0のとき $\tilde{C}_T$ は最小となる。しかし、両者を同時に0にすることは困難で、両者の”満足度”に当たるものを次式のように定義する。

$$\text{満足度 } Sa = \text{Min}(\hat{m}_{CT}, \hat{\alpha}_{CT}) \rightarrow \text{Max} \dots (4)$$

これは、目的関数の最悪の状態を想定したもとで自己の決定変数に関して最適化した解を求める方法(Min-Max法)で、このとき目的関数(満足度)は、 $\tilde{C}_T$ が $\tilde{P}_f$ の中央値

Naruhito SHIRAIISHI, Hitoshi FURUTA, Yoshinobu OZAKI

m_p と広がり α_p によって定義されているので、空間における交線として表現される。

4. 空間座標における一例 まず、 $\hat{m}_{CT}$ と m_p , α_p について考える。いま、 m_p がある値に固定されているとすると、 $\hat{m}_{CT}$ と α_p の関係は図2のようになる。これは精密な点検

(α_p が小さいほど精密な点検となる)を行うと経費が上ることを表わしている。また、 α_p が固定されている場合、 $\hat{m}_{CT}$ は m_p によって、例えば図3のようなグラフで表現される。すなわち、補修をしないと機能損失確率が大きくなり総費用が大きくなるが、一方必要以上に補修作業を行うとこの場合も経費の

浪費につながることを意味している。この関係は、通常の総費用と破壊確率の関係に対応している。この両者を組み合わせると、 $\hat{m}_{CT}$ と m_p , α_p の関係は図4のようになる。一方 $\hat{\alpha}_{CT}$ と m_p , α_p との関係は図5、図6のようになる。図5は m_p が大きくなるとファジィ数の積の定義から $\hat{\alpha}_{CT}$ も大きくなることを表わし、図6は点検が粗雑 (α_p が大) であれば $\hat{\alpha}_{CT}$ も大きくなることを表わしている。図5と図6とを空間座標で表現すると、図7のようになる。さらに $\hat{m}_{CT}$ と $\hat{\alpha}_{CT}$ は正規化してあるので、図4と図7を図8のようにそのまま重ねることができ、曲面F1と平面F2の交線が、満足度を表わす目的関数となる。ここで、満足度を最大にする点、というのは損失を最小にする点であるから、交線の最小点である。5. 結び

本研究で得られた結果は以下のとおりである。(1) ファジィ理論を取り入れることにより、専門技術者が維持管理についてのどの程度のものが必要か判断するときにも自己の判断を織り混ぜながら判断できるものと期待される。(2) 機能損失確率を考慮することにより、より実情に即した維持管理効果の評価ができ、さらにはより経済的な維持補修を行なうことが可能になるものと思われる。

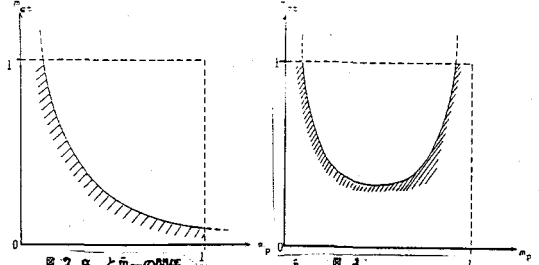


図2 α_p と $\hat{m}_{CT}$ の関係

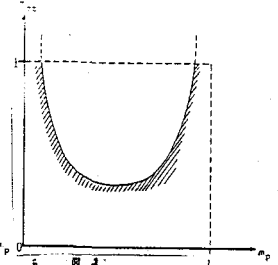


図3 m_p と $\hat{m}_{CT}$ の関係

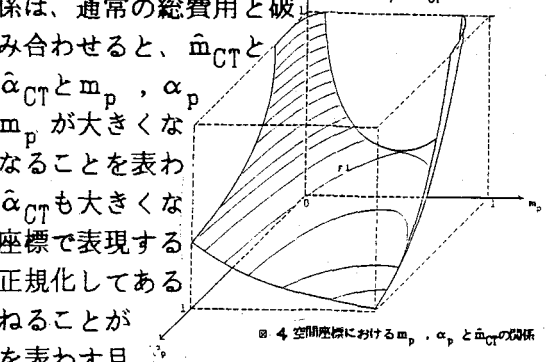


図4 空間座標における m_p , α_p と $\hat{m}_{CT}$ の関係

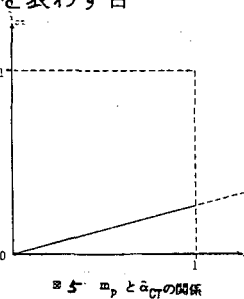


図5 m_p と $\hat{\alpha}_{CT}$ の関係

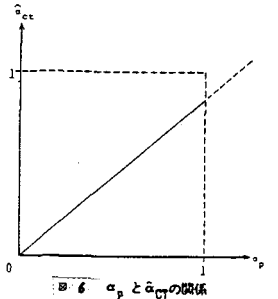


図6 α_p と $\hat{\alpha}_{CT}$ の関係

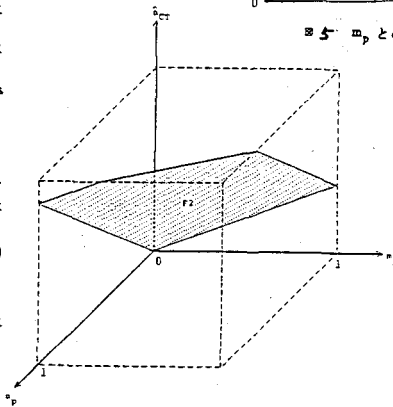


図7 空間座標における m_p , α_p と $\hat{\alpha}_{CT}$ の関係

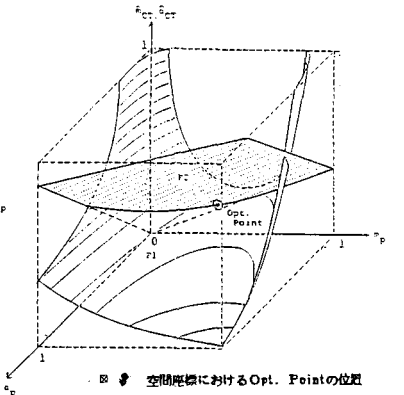


図8 空間座標における Opt. Point の位置