

京都大学工学部 学生員 尾崎 美伸

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

1. まえがき 本研究では、機能損失の概念をファジイ理論と組合せることにより、維持管理効果を信頼性解析に導入することを試みる。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、それぞれに関して橋梁の各要素および各個所について様々な点検・補修・補強方法が挙げられる。これらの方法が構造物全体としての維持管理システムにおいて、どの程度の有効性をもっているかを調べることは、合理性・経済性等の観点から非常に重要であろう。

2. 維持管理項目間の関連及びWeightの決定 点検・補修業務は経済的・時間的な制約を受け、それによって業務の良悪は様々で、確定的な形で評価するのが難しい。そこでここでは、各項目における点検・補修業務内容の評価を言語変数によって表現する。各業務の実行程度を「良好」というような曖昧な表現で規定し、この「良好」という言葉を $[0, 1]$ の台集合で定義する。すなわち、台集合を x で表わし、「業務内容無し」を0、「完璧」を1として、言語変数は $0 \leq x \leq 1$ の値を取るものと規定する。次に、図1のように各業務の実施程度を「非常に綿密」、「綿密」、「普通」、「粗雑」、「非常に粗雑」の5段階に分類し各々を $\tilde{A}$, $\tilde{B}$, $\tilde{C}$, $\tilde{D}$, $\tilde{E}$ のファジイ集合で規定し、 x のその集合に属する度合い(グレード)を設定する。ここでは、帰属度関数の定義にDubois, Prade¹⁾によるL-R関数の考え方を採用してファジイ集合を3つの代表値で表わし、計算の簡略化を図る。このL-R関数の3つの代表値とは、中央値(m)、左側(α)あるいは右側(β)の広がりである。これによって、帰属度関数 $\mu(x)$ は次式で定義される。

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

このとき、ファジイ集合 $\tilde{A}$ は (m, α, β) のように3つの代表値で表現できる。

次に、維持・補修効果を評価するために、これらの作業内容を関連グラフで表現する。点検・補修関連グラフの、それぞれの頂上事象は、道路橋全体の点検・

補修業務の総合的な評価を示し、最下位に位置する各項目を表わす基本事象では、業務の実施程度をデータとして入力する。頂上事象と基本事象の間に存在する中間事象は、基本事象間の関係を表わしている。ある事象に複数個の下位事象が関係している場合には、それらに重みを考えて、より正確な評価を行うことを考える。この重みにより評価項目の重要性が、頂上事象に的確に反映されることになる。ここでは、Wagenknecht, Hartmann²⁾によるFuzzy Weightの考え方を採用し、重みそのものもファジイ数で定義する。このWeight $\tilde{W}_i$ を用いることにより事象 m に関する評価値 $\tilde{P}_m$ は n 個の下位事象が存在する場合次式で計算される。

$$\tilde{P}_m = \tilde{P}_1 \odot \tilde{W}_1 \oplus \tilde{P}_2 \odot \tilde{W}_2 \oplus \cdots \oplus \tilde{P}_n \odot \tilde{W}_n \quad (2)$$

ただし、 $\oplus$, $\odot$ は拡張原理にもとづく和・積を表わしている。この操作を頂上事象まで繰り返すことにより最終的な総合的な評価値がファジイ数として得られることになる。

3. 維持管理効果の信頼性解析への導入 いま、点検・補修に関する総合的な評価を、点検; $\tilde{I}(m, \alpha, \beta)$ 、補修; $\tilde{R}(n, \gamma, \delta)$ と表わすと、これは橋梁全体における点検・補修各々の業務遂行による効果を代表している。まず、点検・補修効果の判定基準として初期入力データ全てを先の5段階評価の $\tilde{E}$ とした場合、すなわち全ての項目に対して非常に粗雑な点検・補修が実施された場合と全てが $\tilde{A}$ すなわち非常に綿密な作業が行われた場合を考える。全てが $\tilde{E}$ の場合の帰属度関数を、点検; $\tilde{I}_E$ 、補修; $\tilde{R}_E$ で表わし、全てが $\tilde{A}$ の場合の帰属度関数を、点検; $\tilde{I}_A$ 、補修; $\tilde{I}_A$ とする。こ

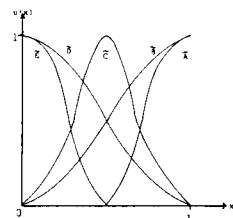


図1. $\tilde{A} \sim \tilde{E}$ の帰属度関数

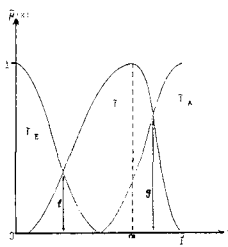


図2. 順位づけの指標、fとg

の両者は点検・補修作業の極端な場合の限界水準を表わしていると考えられ、よって通常の点検・補修作業に対して得られた総合的評価の帰属度関数はこの2つの間に存在することになる。すなわち、判定基準パラメータをXとして、全てが $\tilde{E}$ の時 $X=0$ 、全て $\tilde{A}$ の時 $X=1$ とすると、全ての点検作業は $0 \leq X \leq 1$ の範囲内のある値として表現できる。補修の判定基準をYとすると、この場合も点検の場合と同様の事がいえる。

いま、ある点検作業から得られた $\tilde{I}$ のL関数と $\tilde{I}_E$ のR関数との交点のメンバーシップ値をf、 $\tilde{I}$ のR関数と $\tilde{I}_A$ のL関数との交点をgで表わす。このf、gの2つのパラメータと $\tilde{I}$ の中央値mを用いて判断基準となるXを定義することを試みる。(図2参照)ここで、 $0 \leq f \leq 1$, $0 \leq g \leq 1$, $0 \leq m \leq 1$ である。このうち、fとgは共に帰属度関数の広がりを出すパラメータであるので、 $(g-f)$ として1つにまとめ、これを以下のように正規化する。

$$\frac{1 + (g - f)}{2} \quad (3)$$

つぎに、中央値mの影響を考慮して、最終的に次式でX(あるいはY)を定義する。この式においてもXとYの正規化が行われている。

$$X \text{ or } Y = \frac{\frac{1 + (g - f)}{2} + m}{\frac{1 + (g - f) + 2m}{4}} \quad (4)$$

($0 \leq X, Y \leq 1$)

このX、Yをそれぞれ $\tilde{I}$ 、 $\tilde{R}$ の評価順位の判定基準とする。

いま、ある構造物が点検も補修も非常に粗雑な場合の機能損失確率 $\tilde{P}_f$; (m, α, β) が図3の破線部で示されたグラフ(1)で与えられているとする。すなわち、グラフ(1)においては $X=0$ かつ $Y=0$ である。ここで、この構造物にある程度の点検を行う。点検するということは、構造物に構造的・力学的変化をもたらさないため、 $\tilde{P}_f$ の値自体には減少あるいは増加という変化は生じないが、 $\tilde{P}_f$ の推定の精度は上がると考えられる。すなわち、その帰属度は中央値の近傍で相対的に大きくなり、結果として帰属度関数の広がり狭くなると考えられる。よって、 $X=0$ からXの値が大きくなるにつれて $\tilde{P}_f$ はグラフ(2)のようになる。一方、点検作業に対して補修作業は構造系を物理的に変化させるわけであるから、補修業務を実行す

る、すなわちYの値が大きくなると、 $\tilde{P}_f$ は明らかに減少し、グラフ(3)のようになる。

4. 数値計算例

数値計算例として、図4、表1に示すような点検項目のグラフを作成し、各項目間のWeightを決定した。図5に床板に関する点検項目が $\tilde{A}$ で他の項目が $\tilde{E}$ の場合と、下部工・支承・本体が $\tilde{A}$ で他が $\tilde{E}$ の場合の総合的評価をそれぞれグラフ(e)、(f)として示す。この総合的評価値を用いることによりそれぞれの場合

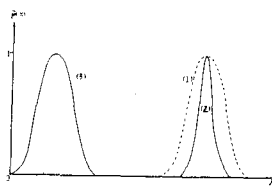


図3. 点検・補修業務の帰属度関数への影響

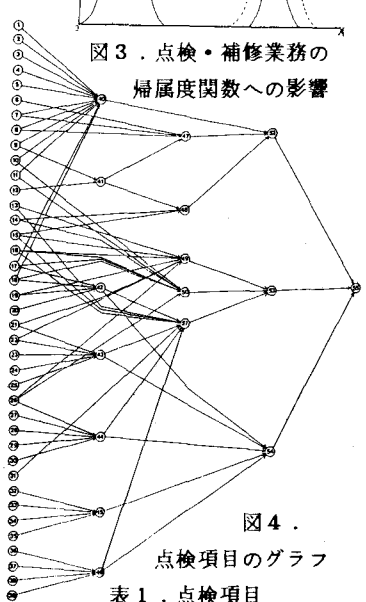


図4.

点検項目のグラフ

表1. 点検項目

RAANK 1 1. 点検 2. 点検 3. 点検 4. 点検 5. 点検 6. 点検 7. 点検 8. 点検 9. 点検 10. 点検 11. 点検 12. 点検 13. 点検 14. 点検 15. 点検 16. 点検 17. 点検 18. 点検 19. 点検 20. 点検 21. 点検 22. 点検 23. 点検 24. 点検 25. 点検 26. 点検 27. 点検 28. 点検 29. 点検 30. 点検 31. 点検	RAANK 2 32. 点検 33. 点検 34. 点検 35. 点検 36. 点検 37. 点検 38. 点検 39. 点検 40. 点検 41. 点検 42. 点検 43. 点検 44. 点検 45. 点検 46. 点検 47. 点検 48. 点検 49. 点検 50. 点検 51. 点検 52. 点検 53. 点検 54. 点検 55. 点検 56. 点検 57. 点検 58. 点検 59. 点検 60. 点検 61. 点検 62. 点検 63. 点検 64. 点検 65. 点検 66. 点検 67. 点検 68. 点検 69. 点検 70. 点検 71. 点検 72. 点検 73. 点検 74. 点検 75. 点検 76. 点検 77. 点検 78. 点検 79. 点検 80. 点検 81. 点検 82. 点検 83. 点検 84. 点検 85. 点検 86. 点検 87. 点検 88. 点検 89. 点検 90. 点検 91. 点検 92. 点検 93. 点検 94. 点検 95. 点検 96. 点検 97. 点検 98. 点検 99. 点検 100. 点検
---	---

に対する機能損失確率 $\tilde{P}_f$ が計算できる。(詳細は当日発表)

5. あとがき

本研究の手法を用いると、ファジィ性の概念を導入することによって人間の過誤、社会的・経済的拘束等の定性的な不確定性を取り扱うことができる。

参考文献1) D. Dubois, H. Prade: Fuzzy real algebra, Fuzzy Sets and Systems 2 (1979)
 2) M. Wagenknecht, K. Hartmann: On fuzzy rank-ordering in polyoptimization, Fuzzy Sets and Systems 11 (1983)

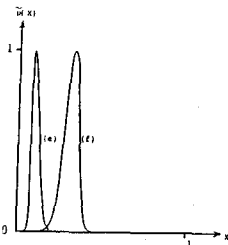


図5. 頂上事象の帰属度関数の一例