

維持管理と信頼性について

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
鹿島建設 正員○尾崎美伸

1. まえがき 現在、橋梁構造物の維持管理業務が重要となっている。ところが、維持管理業務は個々の構造物の構造特性や使用環境などの特殊性から画一的に行うことができず、技術者の経験、判断にゆだねられている部分が多い。本研究では、橋梁構造物のRC部材を対象とし、ファジィ理論に基づく信頼性解析を用いた維持管理計画策定のための方法論を提案することを試みる。特に、RC部材の損傷機構に注目し、RC床版の疲労解析、RC桁の抵抗強度の経時的変化、の2つの課題について検討する。

2. RC床版の疲労解析と維持管理計画 従来の疲労解析では、現在の交通量を基にして疲労寿命の推定を行っていたが、現在の交通量が将来とも同じである保証はなく、むしろ変化すると考えた方が自然である。そこで、ファジィ時系列解析¹⁾を用いて将来の交通量を予測し、その結果を疲労寿命推定に反映させることを考える。この方法によって、現存する橋梁のDamageの程度を基に将来の損傷の進行を予測することができ、これからの維持補修計画を算定するにあたっての有用な情報が得られるものと思われる。阪神高速道路公団神戸西宮線における大型車通行台数の経年変化²⁾を図1に示す。通行台数はほぼ経年的に比例して増加しており、その累積通行台数は2次関数で表せるとみなせる。いま、累積交通量をファジィ数 $\tilde{n}$ で表し、経年数 T の2次関数で定義すると、

$$\tilde{n} = \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 T + \tilde{A}_2 T^2 \quad (1)$$

ここで、係数 $\tilde{A}_0$ 、 $\tilde{A}_1$ 、 $\tilde{A}_2$ はファジィ時系列解析に従い、ファジィ数として表されている。41年度初めを $T=0$ として求めた結果を以下に示す。

$$A_0 = 6.294 \quad C_0 = 0 \quad A_1 = -9.978 \quad C_1 = 0 \quad A_2 = 6.500 \quad C_2 = 1.468 \quad (2)$$

ここで、例えば A_0 、 C_0 はファジィ数 $\tilde{A}_0$ の中央値、広がりを示すパラメータである。得られた結果を図2に示す。図2で、実線は $\tilde{n}$ の中央値を表わし、破線は $h=0.5$ (h :各データのファジィ時系列モデルへの包含度)の場合の幅を表わす。当然のことながら将来交通量の予測は先になればなるほどあいまいなものとなり、推定値に大きな幅をもつことになる。ただし、高速道路には交通量の上限ともいえるべき許容交通量が渋滞回数などの関連から考えられるため、許容交通量に対する配慮は必要である。

ここで、寿命推定の基本式(累積損傷則)では荷重の載荷回数 n や破壊に至るまでの回数 N などがファジィ数として与えられているため、破壊の定義を単純に $D=1$ とするよりも、等号(=)をもう少し柔軟な形で定義した方がよいと思われる。すなわち $\tilde{D} = \tilde{F}$ のとき破壊が生じるということを $\tilde{D} \approx \tilde{F}$ として $\approx$ を半順序関係を用いて定義する。

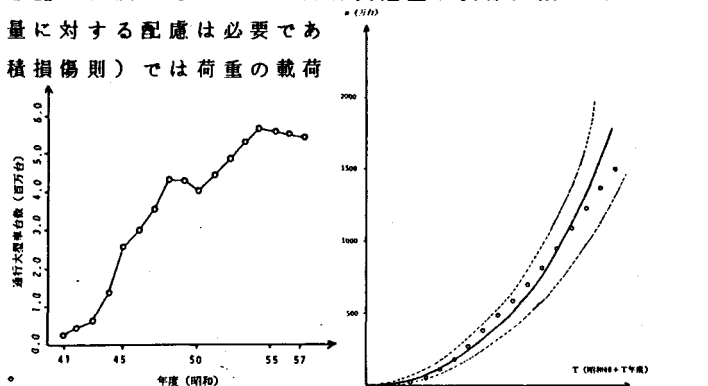


図1 通行大型車台数の経年変化(神戸西宮線, 4車線)

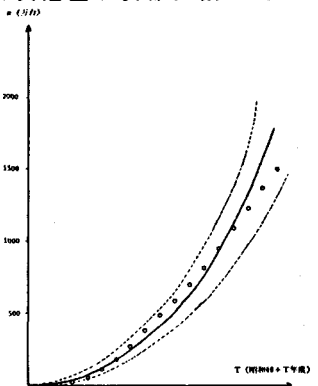


図2 時間-累積交通量のファジィ時系列解析による結果

ここで、 F は破壊事象を表すファジィ

集合である。半順序関係の考え方を用いると、疲労寿命 T は

$$\text{Max}(\tilde{D}, \tilde{F}) \neq \tilde{D} \text{ or } \tilde{F} \quad \text{and} \quad \text{Min}(\tilde{D}, \tilde{F}) \neq \tilde{D} \text{ or } \tilde{F} \quad (3)$$

の条件から得られる。このようにして得られた疲労寿命 T を各床版パネルについて比較することにより、その床版を補修すべきか、あるいは打換えるべきかの判定を下すことができる。表1に、得られた疲労寿命の結果を示す。ここでは、将来も荷重 S が一定と仮定して、各々限界状態を終局限界と使用限界に分けて寿命推定を行った。3. 抵抗劣化を考慮した場合の維持管理計画

次に、RC桁の抵抗強度の劣化の影響を考慮して、維持管理計画を算定する方法について検討を加える。ここでは、維持管理効果を大きく点検と補修・補強に分け、それぞれの効果が強度に与える影響について考える。「点検効果」は、実際に強度には影響を与えないが、その時点での強度の推定精度を向上さす効果があると思われる。いま、 t' という時間軸を、 $t' = 0$ の時点を現在の状態として設定することを考える。このとき、 $t' = 0$ すなわち現在において点検が行われたとすると、点検後の状態は t' 軸で表される。ところが、 t' 軸とも軸との値は異なることが予想されるので、 t 軸上の $t = T$ という時刻に点検を行った場合、図3のようになるとと思われる。図3をみると、点検には、現在の強度が確認できる、推定値のずれを示唆する、将来の状態が明らかになる、などの効果があると思われる。このような情報が抵抗強度をファジィ数 $R(t)$ で表現することにより得られることがわかる。「補修効果」については、実際に劣化を防止する、あるいは強度を復元させる(図4)、というような効果が考えられる。補修には様々な方法があり、例えば桁の交換を考えると強度はほとんど元の状態に戻ると考えられるが、樹脂注入などの簡易補修では表面的、美観的な効果はあるが、強度に対する効果は概して小さいと思われる。また、樹脂注入などを行うことによって応力形態が変わり、抵抗関数がある程度変わることが予想される。このように、補修効果は補修直後の変化、あるいは変遷ということに対して、点検効果と比べて複雑であり、推定することが困難であろうと思われる。

4. まとめ 将来の交通量の予測をファジィ時系列分析を用いて行い、その結果を寿命予測に導入することを試みた。実際の都市高速道路には許容交通量があるため、この結果をそのまま適用することはできないが、将来の交通量の推移が寿命推定にどのような影響を与えるかを知るために有用な情報となろう。また、維持管理を点検と補修・補強の大きく2つに分けて、それぞれに対して強度との関係を検討した。点検に対してはある程度の有用性が期待できるが、補修効果に対しては未だ未解決な部分が多く、さらに今後の研究が望まれる。

参考文献 1)和多田淳三, 田中英夫, 横山宏, 浅居喜代治: ファジィ時系列モデルとその予測問題への応用, 日本経営工学会誌, Vol.34 No.3 別冊
2) 亀田弘行, 森田信吾: 都市高速道路橋における損傷の要因分析とRC床版の疲労における活荷重の影響に関する解析, 都市高速道路の荷重評価と設計規準の最適化に関する研究報告書-阪神高速道路公団報告書, pp.108~146, 1984
3) 田中英夫, 和多田淳三, 浅居喜代治: ファジィ集合による多属性代替案の評価, システムと制御, Vol.27, No.6, pp.403~409, 1983

表1 疲労寿命推定結果

$S(\text{ton})$	疲労寿命 T (年)	
4.715	終局限界	$11.1 < T < 55.3$
	使用限界	$3.2 < T < 13.6$
2.835	終局限界	$57.5 < T < 300.6$
	使用限界	$32.8 < T < 169.3$

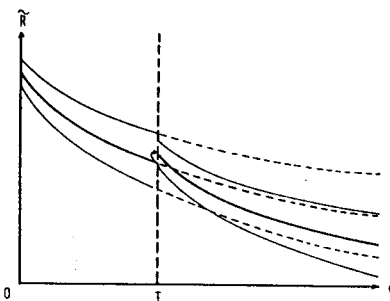


図3 $t = T$ で点検を行った場合の抵抗関数のモデル

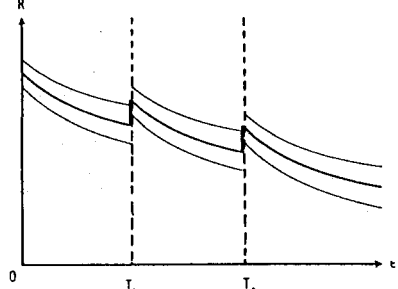


図4 補修効果のモデル