I-271　経時的変化を考慮したコンクリート梁の信頼性解析

京都大学工学部　正員　古田　均　京都大学工学部　正員　白石　成人
鹿島建設（株）　正員　尾崎美伸

1．まえがき　鉄筋コンクリート（ＲＣ）部材の場合、定量化が比較的容易であることから、損傷の評価尺度としてひび割れに関する諸量が用いられることが多い。しかしその値自身は定量的であっても、そのメカニズムの複雑さ、荷重との関係などよりひび割れ使用限界の設定には、不確定な要因が数多く存在する。本研究では、従来確定量として扱われてきた損傷評価尺度を拡張して、広がりのある値すなわちファジィ数として定義することによって、より現実的な限界状態の設定法を提案し、ＲＣ梁の強度劣化の経時的変化の信頼性解析への導入法について考究する。

2．抵抗強度の経時的変化を考慮した信頼性解析　本研究では、ひび割れ幅を用いて使用限界を規定する。一般によく用いられているコンクリート示方書によると、鋼材の腐食に対する許容ひびわれ幅Waは、かぶりｃを用いて次式で与えられる。

$$Wa = K \cdot c \qquad (1)$$

このとき、ある時刻ｔでのひび割れ幅Ｗ（ｔ）が以下の関係を満たせば、使用限界は満足されていることになる。

$$W(t) - Wa < 0 \qquad (2)$$

さてここで問題となるのは、いかにしてＷ（ｔ）を求めるかということである。本研究では、Ｗ（ｔ）を最大ひび割れ幅で定義する。最大ひび割れ幅は最大ひび割れ間隔 l_{max} の発生箇所で生じると考えられ、次式で求められる[1]。

$$W(t) = (\sigma s / Es - \sigma t / Es \cdot p - \varepsilon c - \varepsilon \phi) \cdot l_{max} \qquad (3)$$

$$l_{max} = k4 \cdot c / 1.45 \cdot (1 + 0.18 es / c) \qquad (4)$$

ここで、σｔはひび割れ間の付着による鉄筋応力の減少量を有効断面積Ａsの平均引っ張り応力に換算したものである。また、ｐ、ｅsはそれぞれ鉄筋比、鉄筋の純間隔であり、εｃは荷重によって生じたコンクリート表面のひずみで、εφは乾燥収縮・クリープによって生じた鉄筋とコンクリートの間の弾性ひずみ差である。いま、εφを次式で与える[2]。

$$\varepsilon \phi = -(\sigma csg / Ec + \omega\infty / \phi\infty) \cdot 1/\alpha s \cdot (1 - \exp(\alpha s \cdot \phi(t))) \qquad (5)$$

ただし、σcsg：引っ張り鉄筋の重心におけるコンクリート死荷重応力、ω∞：収縮率の最終値、φ∞：クリープ係数の最終値、αs：影響係数、φ(t)：時刻ｔにおけるクリープ係数。φ(t)とφ∞には以下の式を用いる。

$$\phi(t) = ab / (1.5 + 1.75t) \qquad (6)$$

$$\phi\infty = 4ab \qquad (a,\ b：定数) \qquad (7)$$

以上に示した抵抗強度決定に用いる理論式の係数や値そのものの中には、過去の実例や実験により求まるものがある。しかしながら、実験データが不十分のものや、工学的判断により決定されているものも多くある。本研究では、これらの値に含まれる不確定性を考慮するために、各々の値をファジィ数として定義することによって広がりを与えて、各係数の曖昧さを抵抗関数に反映さすことを試みる。

ここでは荷重は正規確率過程と仮定し、時間と共に変化する抵抗関数Ｒ（ｔ）を超過する確率を求めるのに以下の近似式を用いる[3]。

$$P_f(T) < 2\int_0^T h(t)\,dt + 2P\,[S(0) > R(0)] \quad (8)$$

3．数値計算例　本研究では簡単のため、単鉄筋長方形断面を有する単純梁を対象として計算を行う。抵抗強度関数を決定するに当たり、前に述べたように工学的判断を基に決定されている係数をファジィ数として表現する。ここでは計算を簡単にするために、メンバーシップ関数は左右対称な三角形分布形状の関数を用いる。各係数を次のように仮定する。k4＝（5.4,0.05,0.05）、K＝（0.005,0.0001,0.0001）、ω_∞＝（0.00015,0.0005,0.0005）、a＝（1.0,0.1,0.1）、b＝（0.75,0.25,0.25）。ここで、中央値m、左右の広がりCL、CRとして、例えばA＝（m, CL, CR）という形で表している。図1の数値計算結果をみると、抵抗関数の影響によって、破壊確率が時間と共に増加していることが分かる。また、Pfのファジィ数としての広がりを考えると、時間と共に広がりも増加し、Pfの曖昧さと時間との関係が明らかになっている。次に、破壊確率の許容値Pfaを設定することにより、寿命推定を行うことを試みる。まず、単純にPf(t)の中央値がPfaに達する時点を寿命と考えると、グラフより表1で示す値が推定される。ここでPf(t)がファジィ数であることを利用して寿命Tもファジィ数で表現することを試みると、図1のようにPf(t)のメンバーシップ値が0になる間の区間として、寿命Tが表現される。しかし、Pf(t)のメンバーシップ値が0に非常に近いところは、維持補修にそれほど有用な情報を与えないと考えられ、あまり意味がないと思われる。そこでメンバーシップ値がある値μ（$0<\mu<1$）以上となるようなtの区間を寿命として表すことを考える。この考え方を用いると、μの値に工学者の判断を導入することが出来る。

4．あとがき　本研究では、コンクリート梁の信頼性解析に注目し、抵抗強度の経時的変化の導入法について研究を行った。ひび割れに関する種々の理論式をファジィ理論を用いて定義し、ひび割れ幅をファジィ数として表現することを試みた。このようにすると、不規則関数論によって計算された破壊確率や寿命が、ある程度幅を持った値として表現することができ、使用者の判断を取り入れることによって、柔軟な維持管理計画策定が可能になると思われる。

参考文献　1)角田：鉄筋コンクリートの最大ひび割れ幅、コンクリートジャーナル,Vol.8,1970. 2)横道：コンクリート橋、技法堂、1962. 3)J.Yao and M.Shinozuka: On the Two-Sided Time-Dependent Barrier Problem, J. of Sound and Vib., 6, 1967.

表1　許容破壊確率と寿命

Pfa	s=9.0 ton	s=10.0 ton
10^{-2}	100年以上	12年
$10^{-2.5}$	50年	5年
10^{-3}	16年	2年

s：荷重の平均値

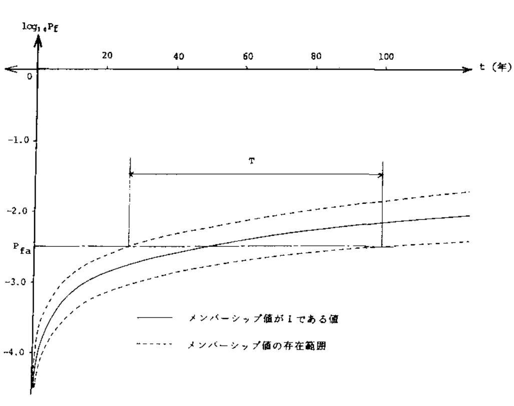

図1　強度劣化によるPf(t)の変化