

神戸大学大学院 学生員○大山慎一

神戸大学工学部 正会員 森川英典

神戸大学大学院 学生員 北村敦彦

神戸大学工学部 正会員 宮本文徳

兵庫県土木部 正会員 竹内和美

1. まえがき: コンクリート橋の維持管理を合理的に行う一手法として著者らは現場試験に基づく安全性評価法を検討し、数橋の実橋に対して適用してきた¹⁾。本研究では、これまでに蓄積された評価データに対して種々の影響因子を考慮した統計解析を行って評価式を作成し、簡易的な材料試験のみを行うことにより安全性およびその経年変化特性の推定を行う手法を検討した。また、本手法による評価結果を橋梁技術者の診断結果と対応づけることにより、現状での維持管理基準に基づく余寿命評価法を検討した。

2. 影響因子による変動を考慮した統計解析に基づく安全性評価: 著者ら¹⁾は現場試験に基づく安全性評価法を数橋のRC-T桁橋に適用した結果、外桁に関して橋齢と安全性指標 β との間に負の相関が認められることを示したが、標本に用いた各橋梁で回帰式からのかなりのばらつきが認められた。このようなばらつきは物理的、統計的な誤差および橋梁の安全性に直接影響を与える要因としての施工状態、荷重状態、環境条件等が挙げられる。前者については標本データの蓄積により軽減可能であるが、後者については安全性評価との相関を明確にした上で、その影響を考慮する必要がある。本研究では、とりあえず、後者の各要因と関連があると考えられるコンクリートの中性化速度を影響因子の一つとして取り上げることとした。影響因子による変動を考慮した安全性 $F=\beta^2$ は橋齢 t の関数として次式で表される。

$$F(t) = \bar{F}(t) + \delta F(t) = a \exp(bt) + \sum_i \frac{p_i}{r_i} [\exp(q_i t) (\exp(r_i \delta_i) - 1)] \quad \text{--- (1)} \quad \delta_i: \text{影響因子の変動}, a, b, p, q, r: \text{定数}$$

ある対象橋梁において、ある時点で検査等により影響因子の測定値が得られれば、式(1)により安全性の推定が行える。次に、その橋梁の安全性の現時点からの経年変化は次式のように表される。

$$R(t) = \frac{F(t)}{A} = \exp[B(t-t_1)] \quad (2), \quad A = F(t_1), \quad B = \frac{1}{t-t_1} \ln \left[\frac{a}{A} \exp(bt) + \frac{1}{A} \sum_i \frac{p_i}{r_i} \{ \exp(q_i t + r_i \delta_i) - \exp(q_i t) \} \right], \quad t_1 < t$$

つまり、 t_1 時における影響因子の変動量が求められると、式(2)により対象橋梁固有の安全性経年変化予測式が評価できる。まず、評価式(1)の第1項(基準式)の作成に際し、影響因子としての中性化速度の基準値の設定は、過去の実橋における中性化速度係数の測定結果を図1に示すように統計的に処理することにより行い、この基準値を用いて、標本としての各橋梁の安全性を求

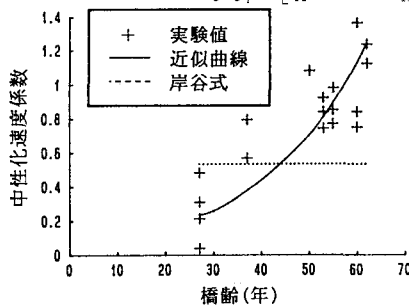
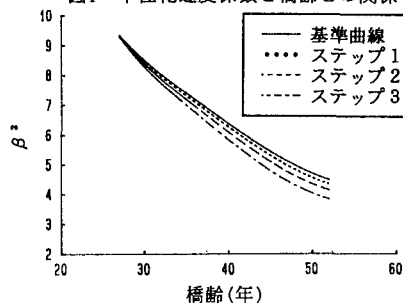


図1 中性化速度係数と橋齢との関係



(a) 曲げ

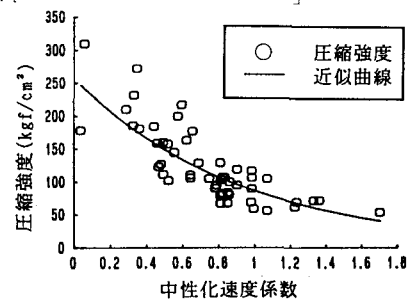
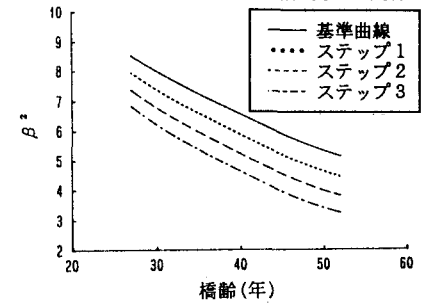


図2 中性化速度係数と圧縮強度との関係



(b) せん断

図3 安全性指標 β^2 と橋齢との関係

め直した。図2に数橋の実橋において測定された中性化速度係数と強度との関係を示す。つまり、中性化速度係数による安全性への影響は、コンクリート強度による主桁耐力への影響とコンクリート弾性係数による断面力への影響として考慮した。次に、式(1)の第2項(変動評価式)の作成に際し、中性化速度の基準値からの変動が安全性に及ぼす影響を調べるため、中性化速度係数を基準値から増加および減少方向に3ステップずつ変化させた場合のハートリク解析を行った。図3に曲げおよびせん断破壊安全性における解析結果を示す。この結果から、曲げに関しては橋齢とともに変動量が大きくなっているが、せん断については橋齢に関わらずほぼ一定となっていることがわかる。また曲げよりもせん断の変動量が大きいことから中性化の進行と関係のあるコンクリート強度の低下は曲げよりもせん断に大きく作用すると考えられる。これらの結果を用いることにより、中性化速度係数の変動 δA に対する安全性評価式が作成できる。

$$\beta^2 = 20.4 \exp(-2.91 \times 10^{-2} t) + 6.31 \exp(6.60 \times 10^{-2} t) \{ \exp(-3.13 \times 10^{-3} \delta A) - 1 \}, \delta A > 0 : \text{曲げ破壊安全性} \quad \text{---- (3)}$$

$$\beta^2 = 20.4 \exp(-2.91 \times 10^{-2} t) + 5.04 \exp(5.79 \times 10^{-2} t) \{ \exp(-3.13 \times 10^{-3} \delta A) - 1 \}, \delta A < 0 : \text{曲げ破壊安全性} \quad \text{---- (4)}$$

$$\beta^2 = 14.7 \exp(-2.02 \times 10^{-2} t) + 8.43 \exp(2.20 \times 10^{-3} t) \{ \exp(-2.22 \times 10^{-1} \delta A) - 1 \}, \delta A > 0 : \text{せん断破壊安全性} \quad \text{--- (5)}$$

$$\beta^2 = 14.7 \exp(-2.02 \times 10^{-2} t) + 12.4 \exp(6.38 \times 10^{-2} t) \{ \exp(-1.22 \times 10^{-1} \delta A) - 1 \}, \delta A < 0 : \text{せん断破壊安全性} \quad \text{--- (6)}$$

さらに、橋梁技術者に対して行った数橋の実橋に関する耐用性と余寿命のアンケート調査結果と実橋試験に基づいて評価された β を対応づけることにより、次式のように、現行の管理基準に基づく余寿命評価式を作成した。

$$T = 2.45 \beta^2 - 2.45 \text{ (年)} : \text{曲げ破壊} \quad \text{---- (7)}, \quad T = 1.56 \beta^2 + 2.76 \text{ (年)} : \text{せん断破壊} \quad \text{---- (8)}$$

3. 実橋における妥当性の検討: 本評価法を橋齢41年のRC-T桁橋「榎谷橋」へ適用した。まず、主桁コンクリートの中性化深さを測定し、式(3)～(6)により現時点での安全性を評価した。本橋の中性化速度係数は0.542、コンクリート強度の平均値は166(kgf/cm)であった。次に、安全性経年変化を評価するに際して、ここでは、中性化速度係数は架設当初から変化せず、またコンクリート強度も低下しないとの仮定を設け、式(2)より次式を求めた。

$$\beta^2 = 8.48 \exp\{-2.91 \times 10^{-2} (t-30)\} : \text{曲げ破壊} \quad \text{-- (9)}, \quad \beta^2 = 7.47 \exp\{-1.66 \times 10^{-2} (t-30)\} : \text{せん断破壊} \quad \text{--- (10)}$$

図4, 5にこれらの評価式に基づく推定結果と実際に载荷試験を行った評価された安全性の結果を比較して示す。この結果から曲げ破壊に関しては、推定値と実験値との間にやや相違が見られるが、せん断破壊に関しては両者はほぼ一致している。いずれの場合でも、評価式による結果は試験次橋梁においては、やや安全側の評価を示している。次に、表1に余寿命評価結果を、「榎谷橋」について新たに行ったアンケート調査結果と比較して示す。この結果から、経験年数の多い技術者ほど安全側の評価を行っており、本評価式による結果に近くなっていることがわかる。

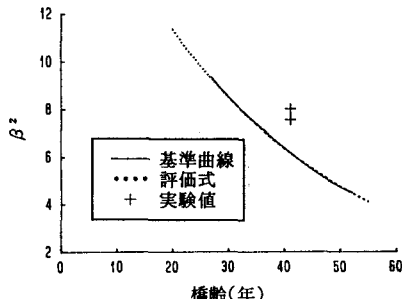


図4 曲げに関する安全性評価結果

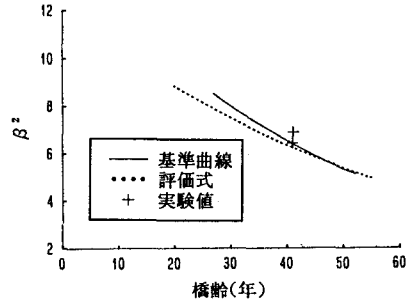


図5 せん断に関する安全性評価結果

表1 余寿命評価結果

破壊形式	余寿命予測結果(年)			
	余寿命評価式	アンケート調査結果		
		全体	5年以上	10年以上
曲げ	12.63	16.67	15.91	13.00
せん断	12.46	16.67	15.91	13.00

※5年以上、10年以上は経験年数を表す

4. まとめ: ①中性化速度を影響因子とし、その変動を考慮した統計解析による安全性経年変化の予測法を検討し、実橋に適用してその妥当性を示した。②橋梁技術者に対するアンケート調査結果を利用した余寿命評価法を検討し、経験年数の豊富な技術者の判断基準に合うことを示した。

【参考文献】 1)宮本文穂・森川英典・北村敦彦・石川浩:統計データに基づくコンクリート橋の構造安全性評価と余寿命評価, 第11回材料・構造信頼性シンポジウム講演前刷集, 1992. 12.