

神戸大学大学院 学生員○大山慎一

神戸大学工学部 正員 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 正員 宮本文穂

神戸市

正員 久保田裕二

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現場試験に基づく安全性評価があり, 著者らは, これまでに7橋に対して本手法を用いて安全性評価を行ってきた¹⁾. 本研究では, 得られた評価データを統計解析することによって, 現場試験を経ずに対象橋梁の安全性評価および余寿命予測を行う評価式を作成し, 実橋試験結果を用いてその評価法の妥当性を検討した.

2. 現場試験に基づく安全性評価の流れ¹⁾: ①まず現場非破壊試験として静的載荷試験と重錘落下振動試験を行い, たわみ, 振動数, 振動モード等の力学的挙動を測定する. ②得られた測定データに対してS I (System Identification)法を適用し, 主桁剛性等の構造パラメータを同定する. ③この構造パラメータと別途実施する材料試験結果を用いて断面力および耐荷力の確率分布を評価し, 安全性指標 β を算定する.

3. 影響因子による変動を考慮した安全性評価式の作成: 過去数橋

に対する安全性評価結果から, 外桁に関しては橋齢と安全性指標 β との間に負の相関が認められるが, 標本に用いた各橋梁で回帰式からのばらつきがみられる. 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影響因子によるものであると考えられる. 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性を明確にする必要がある. 影響因子として, 施工状態, 荷重分配, 通行車両の質と量, 環境条件等が挙げられるが, 本研究では比較的安全性への影響が大きいと考えられるコンクリートの施工状態と密接な関係があると考えられる中性化速度係数について検討することとした. 図1にコンクリートの圧縮強度と中性化速度係数の関係を示す. 図から両者には負の相関が認められる. 中性化速度係数はコンクリートの圧縮強度, 弾性係数を評価するための指標として考えられる. この関係における回帰式を次式に示す.

$\mu_{fc} = 250 \exp(-1.07A)$: 相関係数 $-0.798 \cdots (1)$, ここで, μ_{fc} : 圧縮強度 (kgf/cm^2), A : 中性化速度係数. 次に, 影響因子による変動を考慮した安全性 $F = \beta^2$ は次式で表される.

$$F(t) = \bar{F}(t) + \delta F = a \exp(bt) + \sum_i p_i \left[\exp(q_i t) \{ \exp(r_i \delta_i) - 1 \} \right] / r_i \cdots (2), \delta_i: \text{影響因子の変動量}, a, b, p, q, r: \text{定数}$$

式(2)の第1項が影響因子を基準値に設定したときの安全性評価式を表し, そこからの影響因子による変動量を第2項で評価する. ある対象橋梁において, ある時点で影響因子の測定値が得られれば, 式(2)により安全性の推定が可能である. 次に, 対象橋梁のそれ以後の安全性の経年変化は次式で評価できる.

$$R(t) = \frac{F(t)}{A} = \exp\{B(t-t_1)\} \cdots (3), A = F(t_1), B = \frac{1}{t-t_1} \ln \left[\frac{a}{A} \exp(bt) + \sum_i \frac{p_i}{r_i} \{ \exp(q_i t + r_i \delta_i) - \exp(q_i t) \} \right], t_1 < t$$

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(3)により対象橋梁固有の安全性経年変化予測式が作成できる. 評価式の作成に際し, 影響因子に基準値とそこからの変動量を設定し, 各ステップでの安全性指標 β の算定を行った. 図2に曲げおよびせん断に関する中性化速度係数の各ステップにおける橋齢と安全性指標 β との関係を示す. 図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である. 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て作成した中性化速度

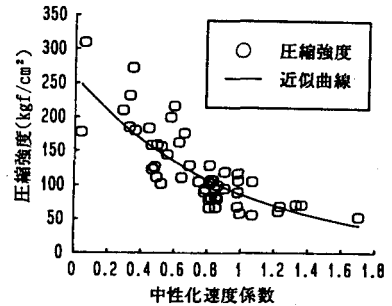


図1 圧縮強度と中性化速度係数との関係

係数の変動 δA を考慮した安全性評価式は次式で表される。

$$\beta^2 = 20.4 \exp(-2.91 \times 10^{-2} t) + 6.31 \exp(6.60 \times 10^{-2} t) \{ \exp(-3.13 \times 10^{-3} \delta A) - 1 \}, \delta A > 0 : \text{曲げ破壊} \cdots \cdots (4)$$

$$\beta^2 = 20.4 \exp(-2.91 \times 10^{-2} t) + 5.04 \exp(5.79 \times 10^{-2} t) \{ \exp(-3.13 \times 10^{-3} \delta A) - 1 \}, \delta A < 0 : \text{曲げ破壊} \cdots \cdots (5)$$

$$\beta^2 = 14.7 \exp(-2.02 \times 10^{-2} t) + 8.43 \exp(2.02 \times 10^{-3} t) \{ \exp(-2.22 \times 10^{-1} \delta A) - 1 \}, \delta A > 0 : \text{せん断破壊} \cdots \cdots (6)$$

$$\beta^2 = 14.7 \exp(-2.02 \times 10^{-2} t) + 12.4 \exp(6.38 \times 10^{-2} t) \{ \exp(-2.22 \times 10^{-1} \delta A) - 1 \}, \delta A < 0 : \text{せん断破壊} \cdots \cdots (7)$$

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現場試験に基づいて算定された安全性指標 β を対応づけることにより、現行の管理基準に基づく余寿命評価式を作成した。

$$T = 2.69 \beta^2 - 4.62 : \text{曲げ破壊} \cdots \cdots (8), T = 1.78 \beta^2 + 1.89 : \text{せん断破壊} \cdots \cdots (9), T : \text{余寿命(年)}$$

4. 安全性評価式および余寿命予測式の妥当性の検討: 3.において検討した評価式の妥当性を、今回新たに実橋試験を行った3主桁のRC-T単純桁橋「榎谷橋」(橋齢41年)の評価結果を用いて検証した。本橋の中性化速度係数は架橋当初から変化しないと仮定し、式(2)より次式を求めた。ただし、 $t_1=30$ (年)とした。

$$\beta^2 = 8.48 \exp\{-2.91 \times 10^{-2}(t-30)\} : \text{曲げ破壊} \cdots \cdots (10), \beta^2 = 7.47 \exp\{-1.66 \times 10^{-2}(t-30)\} : \text{せん断破壊} \cdots \cdots (11)$$

図3に影響因子を基準値に設定したときの安全性評価式(実線)と、「榎谷橋」に関して影響因子による変動を考慮した安全性評価式(10)(11)(点線)と、「榎谷橋」に対する現場試験による安全性評価結果(+印)を示す。図から曲げに関しては両曲線がほぼ一致しており、影響因子による変動がほとんどないことがわかる。せん断に関しては評価式(点線)の方が安全側に評価されているが、これは設計当初から施工品質がやや低いことによる影響があらわれていると考えられる。評価式(点線)と現場試験による安全性評価(+印)を比較すると、曲げに関しては両者の間にやや相違がみられるが、せん断に関して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、やや安全側の評価を示している。次に余寿命予測に関して表1に示す。表から、評価式の結果がやや安全側の評価を行っているものの、経験年数10年以上の技術者のアンケート結果がほぼ一致している。

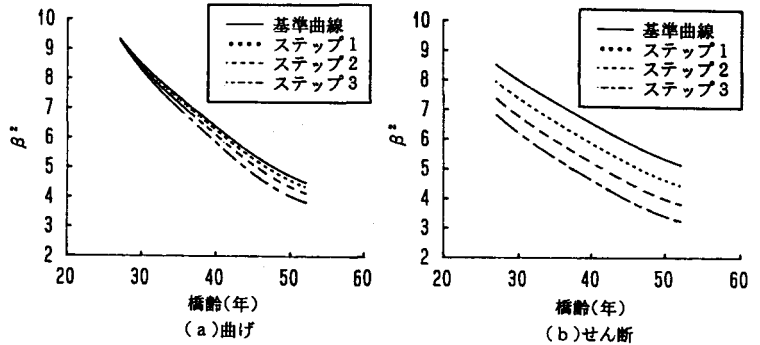


図2 安全性指標 β と橋齢との関係

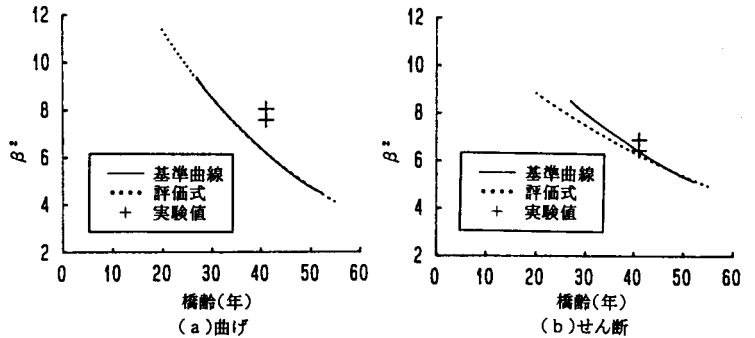


図3 評価式による安全性評価結果

果は、やや安全側の評価を示している。次に余寿命予測に関して表1に示す。表から、評価式の結果がやや安全側の評価を行っているものの、経験年数10年以上の技術者のアンケート結果がほぼ一致している。

5. まとめ: ①統計解析に基づき、橋梁の安全性に影響因子を用いて評価することが可能であると考えられる。②「榎谷橋」に関する余寿命評価式はアンケート結果とほぼ同程度となった。

参考文献①宮本文徳・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, Vol. 15, 1992. 12.

表1 評価式およびアンケートによる余寿命評価結果

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年以下	10年以上
曲げ	11.91	16.67	15.91	13.00
せん断	12.95	16.67	15.91	13.00

※5年以下、10年以上は経験年数を表す。