

V-90

損傷劣化特性を考慮したコンクリート橋安全性の統計的予測

神戸大学大学院 学生員○大山 慎一 大阪府 正員 北村 敦彦
 神戸大学工学部 正員 森川 英典 神戸大学工学部 正員 宮本 文穂

1. はじめに: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法があり、著者らはこれまでに8橋に対して本手法を適用してきた¹⁾。本研究では、蓄積された評価データを統計解析することにより、安全性に対して橋梁毎に異なる影響を及ぼす損傷劣化特性を考慮し、簡易的に対象橋梁の安全性経年変化を予測する手法について検討した。さらに本評価法を実橋に適用し、その妥当性を検証した。

2. 統計解析に基づく安全性経年変化の評価法:著者ら¹⁾は現場試験に基づく安全性評価法を横桁を有する数橋のRC単純T桁橋に適用したところ、外桁の曲げおよびせん断破壊の安全性指標 β に関して橋齢との負の相関が認められた。しかし、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、荷重条件、環境条件、劣化状態等が挙げられる。前者については標本データの蓄積により軽減が可能であるが、後者については安全性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。そこで、以下にこれらの影響因子を考慮した安全性 $F=\beta^2$ の評価式を示す。

$$F(t)=\bar{F}(t)+\delta F(t)=a \cdot \exp(-bt_1)+\sum_i \frac{p_i}{r_i} [\exp(q_i t_1+r_i \delta_i)-\exp(q_i t_i)] \quad \cdots(1), \quad \delta_i: \text{影響因子の変動量}$$

次に、対象橋梁安全性の現時点以後の経年変化は、式(1)を正規化して、 $\bar{R}(t)=\frac{F(t)}{A}=\exp\{-B(t-t_0)\} \quad \cdots(2)$

$$\text{ただし, } A=F(t_0), \quad B=-\frac{1}{t_1-t_0} \ln \left[\frac{a}{A} \exp(-bt_1) + \frac{1}{A} \sum_i \frac{p_i}{r_i} (\exp(q_i t_1+r_i \delta_i^{t_1}) - \exp(q_i t_i)) \right], \quad (t > t_1 > t_0)$$

ここで、 a, b, p, q, r : 定数、 $\delta_i^{t_0}, \delta_i^{t_1}$: t_0, t_1 時における影響因子の変動量である。

つまり、 t_0 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の経年変化予測式が作成できる。本研究では、コンクリートの圧縮強度および弾性係数と相関があり¹⁾、コンクリートの施工状態と密接な関係があるコンクリートの中性化速度係数($A=C\sqrt{t}$, A : 中性化速度係数, C : 中性化深さ, t : 橋齢)と、主桁間の荷重分配パランスの指標となる中桁と外桁の剛性比(主桁間剛性比と定義)を損傷劣化特性に取り上げた。ただし、コンクリートの材料劣化と中性化速度との関係については完全に解明されているとはいえない難い状況にあるため、仮定を設けて場合分けを行うこととした。すなわち、「Case1: 中性化の進行に伴う材料劣化を考慮する」、「Case2: 中性化の進行に伴う材料劣化を考慮しない」である。Case1の場合、環境条件等の変化を無視するものとする、中性化速度が経年変化することはなく、 t_1 の中性化速度係数の変動量は t 時の測定結果と等しいとして算定する。Case2の場合、これまでの実橋試験より得られた橋齢による中性化速度係数の変化特性を利用して求めるものとし、Case1の仮定に基づく方法と合わせて、

上限、下限を持った評価を行うこととした。次に、図1, 2に評価式の作成に際して行った2つの影響因子の安全性に対するパラメータ解析の結果を示す。解析は影響因子に基準値とそこからの変動量を正負方向に3ステップ設定し、各ステップで安全性の評価を行った。図1から曲げ破壊安全性に関しては橋齢とともに変動量が大きくなっているが、中性化の正方向への変動によるせん断破壊安全性の変化については橋

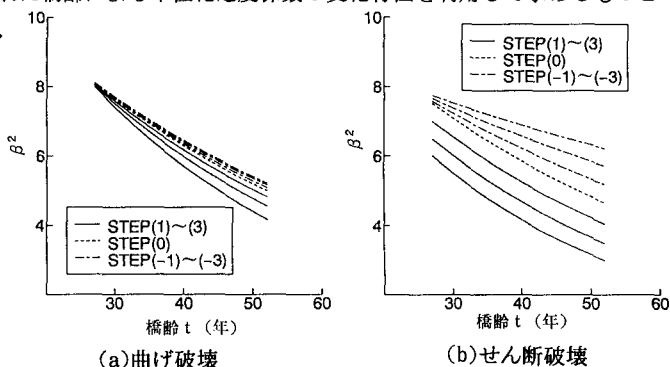


図1 中性化速度の変動による安全性の変化

齢に関わらずほぼ一定となっている。また曲げよりもせん断の変動量が大きいため、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影響すると考えられる。図2の主桁間剛性比については、曲げよりもせん断破壊安全性の方がわずかに変動量が大きくなっていることがわかる。以上の解析結果から、式(1)の第1項である安全性の基準式は、曲げ破壊、せん断破壊それぞれに対して次式で表される。

$$\text{曲げ破壊: } \beta^2 = 10.02 \cdot \exp(-9.67 \times 10^{-3} t) \quad \dots(3), \quad \text{せん断破壊: } \beta^2 = 11.46 \cdot \exp(-1.24 \times 10^{-2} t) \quad \dots(4)$$

次に、式(1)の第2項で表される影響因子による安全性の変動量の係数 p_i, q_i, r_i は表1のように求められる。その際、影響因子の変動量を正負に分けて算出した。

3. 実橋における安全性評価とその有効性:次に、2.で示した評価法を今回新たに実橋試験を行った橋齢41年のRC-T桁橋に適用し、式(2)を用いて安全性経年変化予測式を作成する。まずCase1の場合については次式のようになる。

曲げ破壊: $\beta^2 = 7.36 \cdot \exp\{-1.07 \times 10^{-2} (t-30)\} \quad \dots(5)$, せん断破壊: $\beta^2 = 7.00 \cdot \exp\{-1.01 \times 10^{-2} (t-30)\} \quad \dots(6)$
ただし、式(2)中の t_0 は、安全性評価式の作成に用いた標準データが橋齢27～52年の範囲であることから、 $t_0=30$ 年とした。次にCase2の場合については次式のようになる。

$$\text{曲げ破壊: } \beta^2 = 7.44 \cdot \exp\{-1.16 \times 10^{-2} (t-30)\} \quad \dots(7), \quad \text{せん断破壊: } \beta^2 = 7.41 \cdot \exp\{-1.92 \times 10^{-2} (t-30)\} \quad \dots(8)$$

図3に、Case1, Case2の両手法による曲げおよびせん断破壊に対する安全性指標 β^2 の経年変化の予測結果と実橋試験による評価結果を比較して示す。これらの結果から、曲げに関しては評価式による推定値と実験値との間にやや相違が見られるが、せん断に関しては両者はほぼ一致していることがわかる。また実験値は予測結果と比較して、曲げ破壊安全性については危険側に評価されたが、せん断破壊安全性に関してはやや安全側に

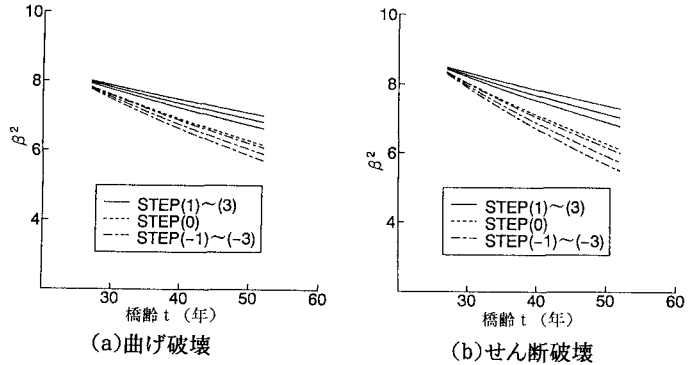


図2 主桁間剛性比の変動による安全性の変化

表1 安全性評価式の係数一覧

	影響因子の変動量	p_i	q_i	r_i
曲 げ	中性化速 度係数	$\delta A > 0$ -3.14×10^{-2}	6.00×10^{-2}	-2.51×10^{-3}
		$\delta A < 0$ -4.01×10^{-2}	4.08×10^{-2}	-2.64×10^{-3}
	主桁間剛 性比	$\delta EI > 0$ 1.58×10^{-1}	5.63×10^{-2}	-1.45
		$\delta EI < 0$ 1.21×10^{-2}	8.58×10^{-2}	-7.78×10^{-1}
せん 断	中性化速 度係数	$\delta A > 0$ -1.87	2.20×10^{-3}	-2.22×10^{-1}
		$\delta A < 0$ -1.51	6.38×10^{-2}	-1.22×10^{-1}
	主桁間剛 性比	$\delta EI > 0$ 7.69×10^{-2}	7.63×10^{-2}	-1.35
		$\delta EI < 0$ 1.01×10^{-2}	9.56×10^{-2}	-1.35

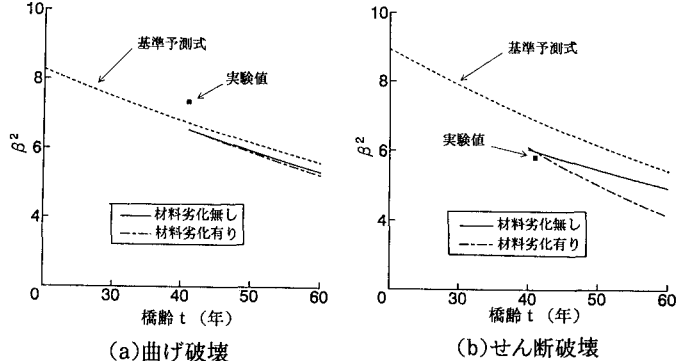


図3 安全性評価結果

評価された。また本橋の場合、安全性評価の結果、曲げ破壊安全性がせん断破壊安全性よりもかなり高くなったため、基本的には後者で管理すればよいものと考えられる。

4. まとめ:①統計解析に基づき、中性化速度係数と主桁間剛性比の2つの影響因子を用いて、既存コンクリート橋の安全性を比較的高精度で評価することが可能であると考えられる。②本手法を橋齢41年の実橋に適用した結果、曲げに関しては安全性評価値と実験値の間にやや相違が見られたが、せん断に関しては両者はほぼ一致した。参考文献1)宮本,他:統計データに基づく不確定性を考慮した既存コンクリート橋の安全性評価,土論, No472, 1993. 8.