

既存コンクリート橋の安全性評価と補修・補強に関する統計解析

神戸大学大学院 学正員 〇北村敦彦
神戸大学大学院 学正員 久保田裕二

新日本製鐵(株) 正員 石田宗弘
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. まえがき

コンクリート橋の維持・管理では、架設当初の状態および現在の状態を正確に把握することが重要である。その一手法として現場試験に基づく安全性評価法があるが、本手法の実用化のためには、過去に得られた試験結果および安全性評価結果の統計データに基づく評価基準を確立する必要がある。また評価データが十分蓄積された場合、これらの統計解析により得られる評価式を用いて簡易的に安全性評価、寿命予測を行うことが可能となる。本研究では、これまでに行った5橋¹⁾に対する実橋試験およびそれに基づく安全性評価の結果を統計的に分析し、各種統計的評価指標の有効性とその利用による安全性評価の可能性を検討した。

2. 現場試験に基づく安全性評価の流れ¹⁾

本安全性評価法では、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う。静的載荷試験は試験車(重量20tf)を各主桁に最も不利になるように順次載荷し、各主桁のたわみを測定するもので、重錘落下振動試験とは重量300kgfの重錘を約70cmの高さから落下させ、重錘の入力加速度と各測点の応答加速度を測定し、モード解析により振動特性を求めるものである。次に現場試験より得られたデータにSI(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。この構造パラメータと別途実施するコンクリートの材料試験結果を用いて断面力および耐荷力の確率モデルを評価し、破壊確率 P_f を算定する。

3. 統計解析

対象橋梁の形式は単純RC-T桁橋で、横桁を有するものが3橋、有さないものが2橋であった。

3.1 破壊確率の経年変化: 図1に曲げおよびせん断に関する破壊確率増加比と経過年数との関係を示す。ただし、破壊確率増加比の基準値は設計目標値 P_{fd} (ここでは、 10^{-4} と仮定)としている。横桁を有する単純桁橋3橋の結果から、曲げ、せん断ともに外桁の破壊確率が中桁よりも大きく、その増加速度も大きいことがわかる。これは、外桁にあるコンクリート高欄の剛性が荷重分配に影響を及ぼし、断面力が外桁に集中しているためである。またこれら3橋の外桁、中桁に関する破壊確率増加比と経過年数との間には相関が認められ、それぞれ、図中に示した回帰式を求めた。一方、横桁がない橋梁の場合、荷重分配作用が小さく、外桁、中桁間での差が小さくなり、曲げに関しては、横桁を有する橋梁の外桁と中桁の中間的な値を示す。しかし、せん断に関しては、データにかなりのばらつきがみられる。また図中の最も橋齢の古い橋は横桁がない上に増し桁(橋齢20年)が設置されているため、架設当初からの桁は破壊確率がさらに小さくなり、増し桁に断面力が集中し、経過年数に対して破壊確率が非常に大きくなっている。また、このことから橋梁の一部を補強した場合、荷重分配のバランスが崩れ、補強部の破壊確率およびその増加速度が大きくなるといえる。

3.2 破壊確率の経年変化に及ぼすコンクリート中性化速度の影響: 図1に示したデータのばらつきの原因には統計的な誤差によるものと施工状態による

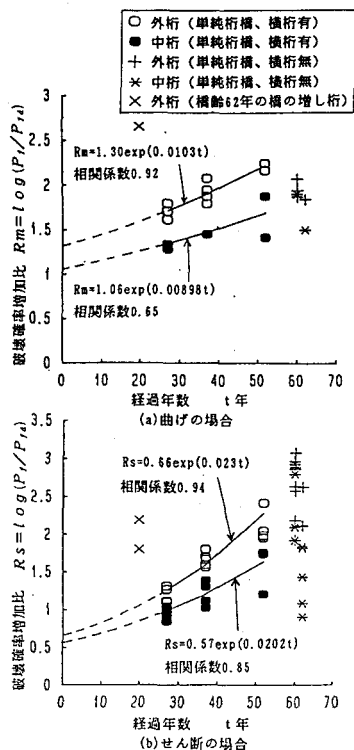


図1 破壊確率増加比と経過年数の関係

Atsuhiko KITAMURA, Munehiro ISHIDA, Yuji KUBOTA, Hidenori MORIKAWA, Ayaho MIYAMOTO

ものとがある。このうち、後者は別途評価した上で安全性評価に考慮する必要がある。そこで、ここでは施工状態との相関が考えられるコンクリートの中性化進行速度に着目し、中性化速度係数 ($A=C/\sqrt{t}$,

C :中性化深さ) と破壊確率増加速度との関係を図2に示した。横桁を有する3橋の外桁、中桁をみると、曲げの場合は、破壊確率低下速度は中性化速度によらずほぼ一定の値を示しているが、せん断の場合、中性化速度による影響が非常に大きいといえる。つまり、中性化の進行に影響を及ぼす一要因と考えられる施工の状態はせん断破壊の安全性評価に影響を及ぼすため、中性化速度等を測定することによりこの影響を考慮して評価を行う必要がある。

3.3 コンクリート強度と中性化速度との関係: 3.2で検討したコンクリート中性化については破壊確率との直接的因果関係は考えにくく、その間にコンクリートの圧縮強度および弾性係数が要因として介在するものと考えられる。これらの要因は、破壊確率の評価において、荷重分配の変化として荷重作用に影響を及ぼす一方、曲げ耐荷力に対しては主に引張鉄筋と中立軸との距離の変化、せん断耐荷力に対してはコンクリートせん断強度の変化として影響を及ぼすため、曲げよりもせん断破壊の安全性評価に対して直接的に大きく作用すると考えられる。まず、図3にコンクリート強度低下と経過年数との関係を示す。この結果からコンクリート強度低下の経年変化を評価することができるが、データのばらつきが大きく、特に、経過年数が大きくコンクリート強度低下比の値が小さい領域における変動係数が非常に大きくなっているため、同一橋梁内でも施工状態のばらつき等による劣化進行の大きな相違が存在すると考えられる。そこで、次に、コンクリート強度低下速度と中性化速度係数との関係を図4に示す。この結果から、中性化速度の小さい(つまり施工状態が非常に良い)領域では両者の間に相関は認められないが、中性化速度係数が0.7程度以上になると、明確な相関が現れていることがわかる。また、中性化速度はコンクリート強度と相関がある弾性係数にも影響を及ぼすことになる。このように、コンクリート強度、弾性係数を中間要因として取り上げる

ことにより、施工状態～中性化速度～破壊確率の経年変化の関係づけを行うことができ、統計データに基づく安全性評価、寿命予測へと結びつけることが可能であると考えられる。

4. まとめ

①破壊確率の経年変化は橋梁形式毎にモデル化することが可能である。また補強の影響もデータの蓄積により評価が行える。②施工状態と相関がある中性化速度はせん断破壊安全性の評価に影響を及ぼす。③中性化速度、コンクリート強度等の要因を取り上げることにより、施工状態を考慮した安全性評価を行うことが可能となる。

4. まとめ

①破壊確率の経年変化は橋梁形式毎にモデル化することが可能である。また補強の影響もデータの蓄積により評価が行える。②施工状態と相関がある中性化速度はせん断破壊安全性の評価に影響を及ぼす。③中性化速度、コンクリート強度等の要因を取り上げることにより、施工状態を考慮した安全性評価を行うことが可能となる。

参考文献 1)宮本文徳・森川英典・熊谷稔:コンクリート橋安全性の経年変化と寿命予測, JCOSSAR'91論文集, 1991.

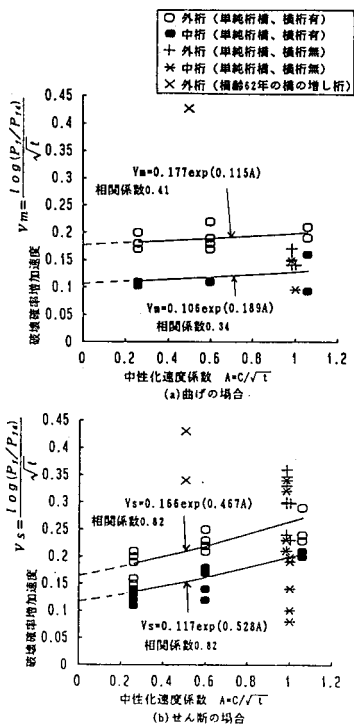


図2 破壊確率増加速度と中性化速度係数との関係

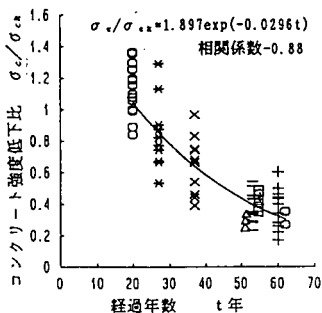


図3 コンクリート強度低下比と経過年数との関係

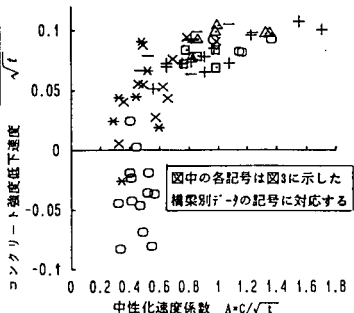


図4 コンクリート強度低下速度と中性化速度係数との関係