

リスクコストを考慮した道路橋床版の性能評価手法に関する提案

早稲田大学大学院 学生員 ○秋元 礼子
早稲田大学 フェロー会員 依田 照彦

1. はじめに

近年、新技術導入や重交通路線の増加などから、合成床版やPC床版などの高機能床版の採用が増える中、従来重要視されてきた一般の供用状態における耐荷力の評価のみではなく、耐久性の低下や災害等によるリスクを考慮した破壊損失に対する性能の表現が求められている。しかしながら、破壊に対する損失コスト（以下、リスクコスト）の算出には、性能関数や破壊確率の設定、損失が発生した場合の社会的影響、経済的価値変動などの様々な不確定要因を含み、その評価を実用的な設計において導入することは容易ではない。

本研究では、実用的な設計の場において適切な道路橋床版の管理手法を検討する手段として、RC床版の疲労損傷リスクによるリスクコストを考慮したライフサイクルコストの算出方法を提案する。

2. 構造物のライフサイクルコスト

供用期間中に発生する可能性のある事象に起因する潜在的コストをリスクコストとして考慮したライフサイクルコストは式(1)のように定義される。ここで、 C_I 、 C_M 、 C_R 、 C_F はそれぞれ初期建設コスト、維持管理コスト、更新廃棄コスト、リスクコストである。リスクコスト C_F は、ハザード（ここでは疲労損傷による耐荷力の低下）が発生した場合の所定の被害に伴う損失復旧額 C_f （ここでは床版打ち換え）とハザードが発生する確率 $p_f(t)$ の積であり、式(2)のように表される。

$$LCC = C_I + C_M + C_R + C_F \quad (1), \quad C_F = p_f(t) \times C_f \quad (2)$$

破壊確率 $p_f(t)$ は時間の関数であるが、維持管理の実施によりその値は減少し、潜在的なリスクコスト C_F を大幅に低減することが可能となる。しかしながらその場合、点検や補修に要する顕在化した維持管理コスト C_M が増加する。すなわち、維持管理に要するコストとリスクを保有する事によるコストの最小和を求めることが、ライフサイクルコストを最小にする維持管理手法を決定することになる。

3. 押し抜きせん断耐力のばらつきによる疲労破壊確率の算定

RC床版の機能低下に影響の大きい、疲労による押し抜きせん断耐力の低下について、静的押し抜きせん断耐力と疲労強度の関係は式(3)のように提案されている¹⁾。

$$P = (1 - \log N_{eq} / 14) \times V_{pcd} / k \quad (3)$$

ここで N は疲労寿命、 V_{pcd} は押し抜きせん断耐力²⁾、 k は道路橋の移動荷重を考慮した交番载荷の影響係数である。式(3)に対し、輪荷重分布の実測値³⁾にマイナー則を適用して算出した代表荷重 P と等価回数 N_{eq} を適用することにより、強度 V_{pcd} の床版の疲労寿命が推定できる。

一方、既往の研究において実施された実験結果と V_{pcd} の関係を整理すると、86体の供試体に対する押し抜きせん断強度の実験値と計算値は表-1に示すよ

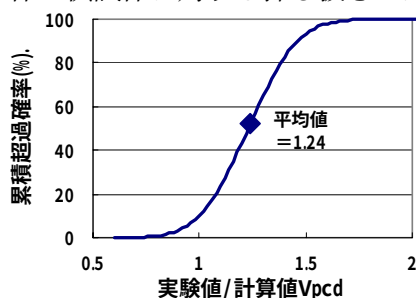


図-1 確率分布（強度）

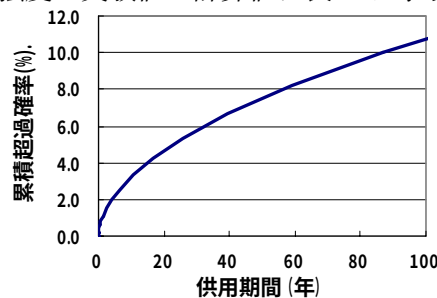


図-2 破壊確率（時系列）

表-1 V_{pcd} のばらつき⁴⁾

確率変数	実験値／計算値
個体数	86 体
平均値	1.25
標準偏差	0.18
変動係数	0.15

表-2 検討諸元

交通実態 荷重 ³⁾	大型車混入率 45%分布
RC 床版	$V_{pcd}=395\text{kN}$ S39 制定道路橋示 方書による設計

うなばらつきを有している^{4),6)}。ここでは、このばらつきを正規分布と仮定し、累積超過確率を算定し(図-1)、その横軸を上述の式(3)を用いて疲労寿命に変換したもの(図-2)を、時系列での破壊確率関数 $p_f(t)$ と定義する。なお、本検討に用いた諸元を表-2に示す。

4. ライフサイクルコストの算定

表-2に示す床版および荷重に対し、以下の3つの維持管理計画における維持管理コスト C_m と、維持管理の状態によって変化するリスクコスト C_r を算出した結果を図-3に示す。

- ケース1：損傷が発生する前に対策（50年で打ち換えを計画）
 ケース2：入念な維持管理（20年ごとに鋼板補強等を計画）
 ケース3：損傷リスク保有（補修・補強対策を計画せず）

表-3 コスト原単位⁵⁾

点検	2 千円/㎡・回
補修 (鋼板接着)	26 千円/㎡ 橋面の 40%
打ち換え	200 千円/㎡ プレキャスト RC
復旧 (受忍値)	1,100 千円/㎡ ケース2・3が等価 になるよう逆算

各コストの原単位は、既往の研究^{5),6)}等を参考に表-3の値を用いた。なお、復旧コストについては、単に再建設にかかるコストのみではなく、便益損失や人命被害の可能性等も考慮した値とするべきであるが、現実的な値の算出には未だ多くの検討が必要である。そこで、ここでは実際に昭和39年制定の道路橋示方書によるRC床版が建設後40年以上経過して補修補強を行いながら供用している実状を踏まえ、補修を行うケース2と全く行わないケース3が同等のトータルコストと評価される場合の復旧コストを逆算した。この値は、実際にかかる復旧コストを表すものではないが、現社会における潜在的な受忍リスク値と考える事ができる。

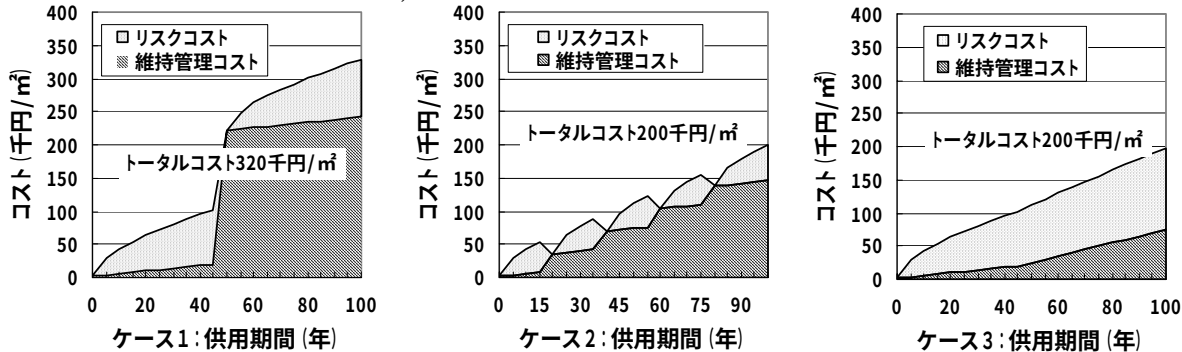


図-3 リスクコストと維持管理コスト

5. まとめおよび今後の課題

道路橋床版のリスクを考慮したライフサイクルコスト算定の結果、以下のように考察される。

- 1) 復旧コストとして、単に再建設費のみを考慮した場合、リスクコストは極めて小さな値となり、リスク保有のケース3が最も経済的となるが、実際には一定の割合で床版の補修は実施されていることから、潜在的なリスク保有の受忍値としての復旧コストを求める事で、他のケースでの比較が可能となる。
- 2) 時系列での性能関数を設定することで、リスクコストと維持管理コストの関係を示すことが可能であり、類似の性能関数を設定すれば、他の床版構造についても一般的な応用が可能となる。

また、本手法をさらに具体化・実用化するためには、今後以下のような課題を解決する必要がある。

- 1) 本来、破壊確率とは耐力側と荷重側の差($Z=R-S$)を性能関数として算定するものであり、ここでの耐力に対する検討に加え、荷重についても同様な時間軸を持った破壊確率への換算が必要である。
- 2) 押し抜きせん断耐力に加え、疲労寿命評価式のばらつきの影響に対する検討も必要である。
- 3) 補修や打ち換えの工法やそれにかかるコストは、個々のケースによって異なるため、精査が必要である。

参考文献

- 1) 川畑篤敬, 秋元礼子: RC床版の疲労耐久性評価方法の提案, 第四回道路橋床版シンポジウム講演論文集, pp25-32, 2004.11
- 2) 土木学会: コンクリート標準示方書【構造性能照査編】, pp.117-118, 2002
- 3) 藤原実, 岩崎泰彦, 田中良樹: 限界状態設計法における設計活荷重に関する検討II, 土木研究所資料第2700号, 1988.1
- 4) 浜田, 松尾, 藤岡: 実験結果に基づくRC床版の押し抜きせん断強度算定式の安全係数, 土木学会論文集 N0.676/V-51, pp.51-63, 2001.5
- 5) 西川, 村越, 他: ミニマムメンテナンス橋に関する検討, 土木研究所資料第3506号, 1997.6
- 6) 藤岡靖: 疲労荷重を受ける道路橋RC床版のリスクコスト算出方法に関する研究, 山口大学大学院博士論文, 2004.5
- 7) 土木学会道路橋床版の調査研究小委員会: 道路橋床版の設計の合理化と耐久性の向上, 2004.11