

リスクをベースとした橋梁維持管理対策の選定

日本電子計算（株） 正会員 今野 将顕 山口大学工学部 正会員 宮本 文穂
山口大学工学部 正会員 中村 秀明

1. はじめに

近年の国内経済事情の悪化により、既存橋梁に対して合理的な維持管理を行っていくことの重要性が指摘されている。このような背景のもと、著者らは、既存橋梁の劣化診断ならびに診断結果に基づく補修・補強工法の選定のみならず、限られた予算の中で最大の効果を得るための維持管理計画の策定が可能な統合型支援システムすなわち橋梁維持管理支援システム（Bridge Management System : BMS）の開発を行ってきた¹⁾。これは単一橋梁に対する維持管理業務を対象としたものである。合理的な維持管理を考えると、道路網に点在する複数の橋梁を対象とし、道路交通事情や周辺状況などの要因を考慮することが肝要である。しかし、これらの要因を全て包括することは困難である。そこで本研究では、現時点における橋梁の状態と交通量を用いて、橋梁の潜在的危険性の大きさをリスクとして評価する。次に、このリスクを指標とした対策の選定方法を提案する。

2. リスク評価

維持管理における研究の多くは現状における危険性（健全性）の情報を提供することが目標であるといえる。しかし、それには実際のなすべての面において不確定要因が存在する。このような条件下においては、危険性を確率的に定量化し、維持管理の優先度を定めるものである。しかし、損傷や被害のすべての事象を確率で表すことは現状の技術ではまだ困難である。そこで本研究では、準定量的手法を用いて、橋梁の潜在的危険性をリスクとして評価する。このリスクは、評価期間内における橋梁の「供用不可の起こりやすさ」と「供用不可による被害の大きさ」の積として定義するものとする。

（1）供用不可の起こりやすさ（Likelihood）

対象橋梁における床版や主桁などの各部材の状態を、性能評価システム²⁾の出力結果である耐荷性および耐久性の平均健全度より、図-1に示すようにⅣ～Ⅰの4段階に分類する。次に、各部材の状態より、評価期間内における「供用不可の起こりやすさ」を図-2に示すように4段階に分類する。

（2）被害の大きさ（Consequence）

橋梁が供用できなくなることによる「被害の大きさ」は、迂回路の渋滞や周辺経済への影響など、種々考えられる。本研究では、分割配分法から算出される、延べ走行距離、延べ走行時間およびODペア間到達量の各々において、橋梁が供用不可になったときと通常時との比を指標として被害の大きさを表-1のように算出する。

この両者より、現状における危険性をリスクとして、図-3に示すようにランキングを行う。図-3における各領域を右上から、回避Ⅰ、回避Ⅱ、条件付許容可能Ⅰ、条件付許容可能Ⅱ、許容可能と定義する。

3. 維持管理対策の選定

本研究では、基本的に補修は耐久性の低下に効果があり、補強は耐荷性の低下に効果があると仮定する。したがって、補修・補強対策を行うことで、性能すなわち耐久性または耐荷性が向上し、これによりリスク

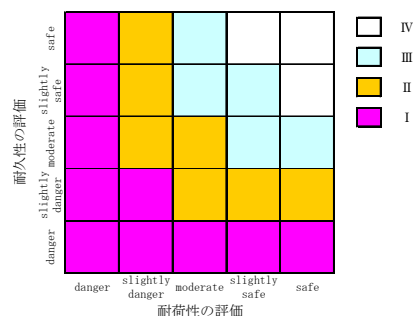


図-1 各部材の状態の分類

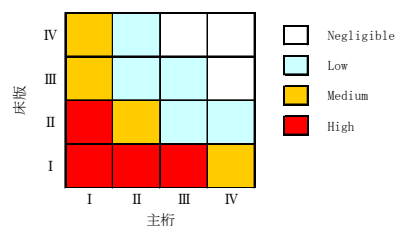


図-2 供用不可の起こりやすさの評価

表-1 被害の大きさの定義

Consequence	通常時比					
	OD間到達量		延べ走行距離		延べ走行時間	
Catastrophic	>	1.0	U	>	1.5	U
Critical	=	1.0	∩	≤	1.5	U
Major	=	1.0	∩	≤	1.2	U
Minor	=	1.0	∩	≤	1.0	U

のランクが変化する．この変化量を対策による効果とする．対策の目的としては，劣化因子の遮断，劣化進行の抑制，劣化因子の除去および性能の改善の4項目が挙げられる．この目的に該当する工法と対策による性能への効果および費用を表-2のように設定する．例えば，断面修復を行うことにより，耐久性はsafeまで回復し，耐荷性は現在の状態から1ランク上昇する．合理的な維持管理とは，効果を最大にする工法を選定することであるため，複数ある対策工法の中から効果を最大にする工法の組み合わせを求めるという組み合わせ最適化問題に帰着する．ここで，部材数を n ，工法数を m ，橋梁数を l とすると，組み合わせ数は $m^{n \times l}$ となる．このように大規模な解空間を有するため，大域的に効率的に準最適解を探索することが可能である遺伝的アルゴリズム³⁾を用いて，維持管理対策の選定を行う．

4. 計算例

図-4に示すような，RC橋4橋を含む道路網モデルにおいて本手法の適用を試みる．ここで，回避領域に近ければ近いほど優先的に対策を行う必要があるので，各領域におけるランクに{2.0, 1.0, 0.5, 0.25, 0.1}の値をそれぞれ設定する．ここで予算を制約条件とし，効果を最大にするような工法の組み合わせを求める．また，予算を上乗せすることにより多大な効果が得られることも考えられるので，予算制約を設けず，コストの最小化と効果の最大化を目的関数とした多目的最適化問題についても求める．後者の結果を図-5に示す．図-5の●印におけるリスクランクの変化の様子を図-3に示す．図-3において□印は現状，○印は対策後のランキング状態を表しており，危険性の低下すなわち効果を視覚的に示すことができる．

5. まとめ

本研究では，各橋梁における危険性をリスクとして算出し，このリスクを指標として維持管理対策を選定する方法を提案した．これにより，道路網における橋梁の重要度を考慮した対策選定が可能となった．

工法の組み合わせが異なる，つまりコストが異なるときでも同じ効果が得られるケースが存在した．これは，評価期間を短期であると捉え，補修すれば耐久性，補強すれば耐荷性が健全な状態まで向上するようにしたためである．同じ補修でも，長期的な観点では耐久性の劣化程度が異なる場合がある．また，本研究の入力項目である性能評価の結果は，橋梁に発生している損傷現象から得られるものであり，損傷および劣化を引き起こしている要因は考慮していない．以上より，今後の課題として，ライフサイクルおよび劣化要因を考慮した工法選定機能を設ける必要がある．

参考文献

1) 宮本文穂，河村 圭，中村秀明：Bridge Management System(BMS) を利用した既設橋梁の最適維持管理計画の策定，土木学会論文集，No.588/VI-38，pp.191-208，1998.3.

2) 宮本文穂，河村 圭，中村秀明，山本秀夫：階層構造ニューラルネットを用いたコンクリート橋梁診断エキスパートシステムの開発，土木学会論文集，No.644/VI-46，pp.67-86，2000.3.

3) 三宮信夫，喜多 一，玉置 久，岩本貴司：遺伝的アルゴリズムと最適化，システム制御情報学会編，朝倉書店，1998.

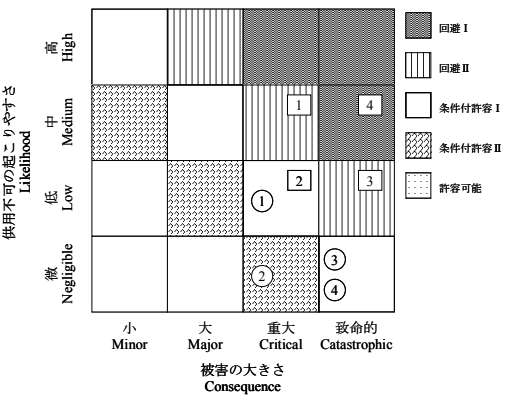


図-3 リスクランキングの定義

表-2 工法と効果および費用の関係

工法	耐久性	耐荷性	費用 (U)
ひび割れ補修	safe	-	10
表面処理	safe	-	20
断面修復	safe	+1	50
鋼板接着	+1	safe	70

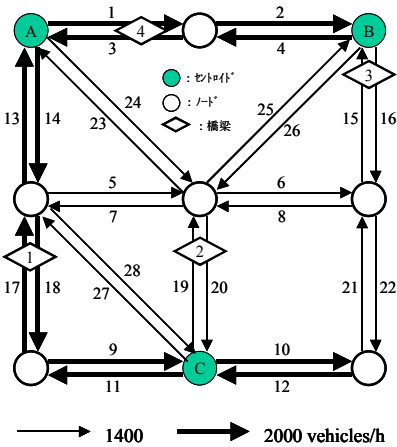


図-4 道路網と橋梁群

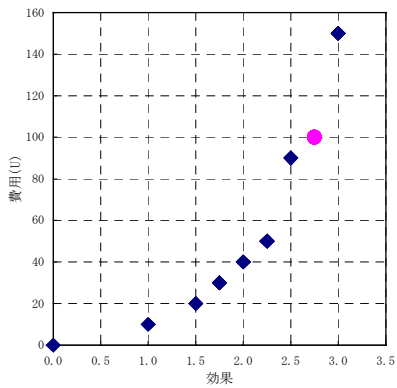


図-5 費用 - 効果の算出結果の例