

BMSにおける劣化要因を考慮した維持管理対策選定機能の構築

山口大学大学院 学生員○鬼丸浩幸 山口大学工学部 正会員 宮本文穂
山口大学大学院 学生員 河村 圭 山口大学工学部 正会員 中村秀明

1. はじめに

近年、限られた予算内で効果的な維持管理計画を策定可能とするシステムが注目されている。このような背景のもと、本研究では「橋梁維持管理支援システム：Bridge Management System」（以下、BMS）の開発を行ってきた¹⁾。効果的な維持管理を行うには、損傷を修復することはもちろん、その劣化要因を排除・抑制することが重要である。そこで本研究では、点検時に見られた損傷から劣化要因を推定し、損傷および劣化要因を考慮に入れた最適な維持管理対策を選定する維持管理対策選定システム（以下、本システム）の1機能である、「維持管理対策選定機能」（以下、本機能）を新たに開発し、BMSに追加した。

2. BMSにおける本機能の位置付け

BMSの各機能の構成を図1に示す。BMSの流れは、まず実橋梁に対して目視点検を行い、橋梁諸元および点検データをもとに劣化診断機能により部材の全体的な損傷程度を診断し、その結果を用いて劣化予測機能により余寿命などを予測する。その際、余寿命が予定供用年数を満たしていない場合は、何らかの維持管理対策が必要として、メンテナンスプラン最適化機能において維持管理計画を策定する。しかし、この維持管理計画は発生している損傷および劣化要因を考慮していないため、システムからの出力に従って損傷を修復しても劣化要因は作用し続け、同じ損傷が再び起こる効率の悪い維持管理対策を出力する可能性があった。そこで、本システムにおいて現在の損傷

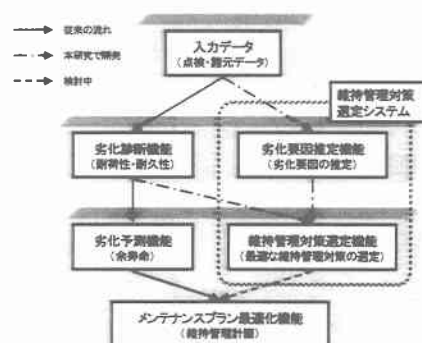


図1 BMSにおける本機能の位置付け

状態に即した維持管理対策を選定することを目指した。本システムは、点検時に見られた損傷からその劣化要因の推定を行う「劣化要因推定機能」と、その出力から最適な維持管理対策を選定する「維持管理対策選定機能」から構成されており、本研究では維持管理対策選定機能を構築した。

3. 劣化要因推定機能

劣化要因推定機能では劣化要因に関するルールをプロダクションルールとして記述し、推論機構として因果ネットワークを用いて劣化要因の推定を行っている。この機能では、点検で確認された損傷の有無とその損傷の程度を示す損傷ランクを入力し、事象（損傷または劣化要因）の確からしさを示す確信度を出力する。

4. 維持管理対策選定機能

4.1 事象ランク

最適な維持管理対策を選定するためには、対象部材に重大な事象に対して効果のある対策を優先的に維持管理対策に含めることが重要である。そこで、事象の重大性を示す事象ランクを定義し、各ランクに重みを設定することで、維持管理対策に事象の重大性を考慮できるようにした。

4.2 維持管理対策の選定問題

維持管理対策の選定を行う際の維持管理者の要求としては、「なるべく多くの損傷を修復し、劣化要因を抑制したい」、「ある一定の費用に抑えたい（なるべく費用を抑えたい）」の2つが考えられる。つまり、維持管理対策選定とは「数種類ある対策をどのように組み合わせれば2つの要求を最も満たせるか」という組み合わせ最適化問題であるといえる。そこで、制約条件を維持管理対策の施工に要する費用を予算内に抑えることとし、目的関数に対象部材に対する維持管理対策の「効果の最大化」、「費用効率の最大化」の二つ

を設定し、維持管理対策の選定問題を定式化した。ここで、対策の効果とは損傷を修復または劣化要因を抑制・排除することであり、各対策で事象に対する効果の有無を設定した。また、対策の効果には「主効果」と「従効果」を設定し、従効果は主効果に比べて効果が少ないとした。さらに、複数の維持管理対策が同じ事象に効果がある場合は、損傷に対しては2つ目以降の対策による効果は無いものとし、劣化要因に対しては効果が小さくなるものの2つ目以降の対策に対しても効果があると仮定した。このように定式化した維持管理対策の選定問題を、遺伝的アルゴリズム (GA) を用いて最適化した。

目的関数 1：維持管理対策による効果の最大化

(効果＝対策の施工で改善される事象の確信度×事象ランクの重み)

目的関数 2：維持管理対策による費用効率の最大化 (費用効率＝効果／費用)

4.3 施工条件の判定

維持管理対策を施す際に対象橋梁によっては施工できない対策がある場合があり、施工条件にあった対策から維持管理対策を策定しなければならない。また、ある対策には施工する際に他の対策と組み合わせて施工する必要のある対策がある。そこで本研究では、「交通規制ができない」という条件が生じた場合に施工できなくなる対策を「再舗装」・「床版上面増厚工法」・「床版打換え」とし、「排水管がある」という条件が生じた場合に施工できなくなる対策を「排水管設置」とした。また、「鋼板 (FRP) 接着工法」には「樹脂注入工法」を「床版上面増厚工法」・「床版打換え工法」には「再舗装」を組み合わせるものとした。

5. 実橋への適用

本機能からの出力の妥当性を検証するために、実橋梁調査および専門家へのアンケート調査を行い、本機能からの出力と比較した。維持管理対策の選定結果の一例を表1に示す。表中の「A～D」は各専門家の回答を、「本機能①」は「交通規制が可能」、「本機能②」は「交通規制ができない」という条件で最適化した結果を示している。また、本機能から出力された維持管理対策の“1”は目的関数1を、“2”は目的関数2を用いて最適化した結果を示している。これを見ると、専門家の回答した補修工法と同様の対策を本機能も出力している。さらに、本機能では床版下面増厚工法を推奨しているが専門家の多くも何らかの補強工法を回答している。また、専門家は橋梁の耐水性を向上するために橋面防水工といった本機能では考慮していなかった工法を回答しているが、本機能では表面清掃を出力しており、これは排水管の詰まりなどを改善するための工法と設定していることから、おおそ妥当な選定結果が得られているといえる。

表1 「琴影橋②」の選定結果の一例 (予算上限：150U)

回答者	維持管理対策	効果/効率	費用
A	床版(床版上面増厚, 床版下面増厚, 床版打換え, 橋面防水工), 主桁(断面修復, 架け換え)	7.55/0.06	137
B	床版(床版上面増厚, 表面保護, 表面清掃, 排水管設置), 主桁(断面修復, 表面保護)	3.45/0.02	142.4
C	床版(鋼板接着, 表面保護), 主桁(鋼板接着, 表面保護)	2.42/0.01	200.4
D	床版(樹脂注入), 主桁(樹脂注入, 断面修復)	2.20/0.04	61.6
本機能 ①	1. 床版(断面修復, 床版打換え, 表面清掃, 再舗装), 主桁(樹脂注入, 断面修復, 表面保護, 表面清掃): 2. 床版(床版打換え), 主桁()	9.90/0.13	147/45
本機能 ②	1. 床版(床版下面増厚, 断面修復, 表面保護, 表面清掃), 主桁(樹脂注入, 断面修復, 表面保護, 表面清掃): 2. 床版(表面清掃), 主桁()	4.70/0.11	147.2/5

6. まとめ

- ① 維持管理対策の効果を定式化し、維持管理対策の選定を組み合わせ最適化問題と捉え、GAを用いて比較的迅速に維持管理対策の選定を行うことを可能にした。
- ② 本機能の妥当性を検証するために、実橋梁調査および専門家に対するアンケート調査を実施し、本機能からの出力との比較を行った。
- ③ 本機能からの出力は専門家の回答とおおむね一致しており、妥当な選定結果が得られているといえる。

参考文献

- 1) 山岡健一, 小野正樹, 中村秀明, 宮本文穂: Bridge Management System の実橋への適用と実用性の向上, 土木学会第 53 回年次学術講演会講演概要集第 1 部-A, pp.534-535, 1998