

I-9 BMSにおける補修・補強工法選定支援機能の構築

Development of selection supporting system of repair / strengthening method for bridge management system

○小野正樹* 宮本文穂** 中村秀明*** 山岡健一****
Masaki Ono Ayaho Miyamoto Hideaki Nakamura Ken-ichi Yamaoka

【抄録】 本研究は、従来より著者らが開発してきた「橋梁維持管理支援システム (Bridge Management System: BMS)」の1機能として、点検時における橋梁の損傷状態から劣化要因を推定し、その時点における最適補修・補強工法を選定することを目的とした「補修・補強工法選定支援機能」を、専門家に対するアンケート調査結果を用いて構築した。また、実際に架設されている既存橋梁に対して適用し、その妥当性を検証した。

【Abstract】 This paper describes the selection of recommendable repair / strengthening methods which is one of the function in bridge management system (BMS). The function aims to presume factor of deterioration from bridge damages at inspection and then select optimum repair / strengthening methods. Furthermore by applying this function to actual in-service bridges, it have verified that employed methods are effective.

【キーワード】 BMS (橋梁維持管理支援システム), アンケート, 補修, 補強, 維持管理計画

【Keywords】 *BMS(Bridge Management System), Questionnaire, Repair, Strengthening, Maintenance Planning*

1. はじめに

高度経済成長以降の全国的な道路交通網の整備事業により、我が国には数多くの橋梁が架設されている。しかし、近年における通行車両の大型化や交通量の増大などの要因により、劣化が進み何らかの維持管理対策が必要なものが年々増加している¹⁾。しかしながら、維持管理の重要性は比較的近年になり認識され始めたため、体系的にも整備されておらず、経験豊富な専門家の判断に頼っているのが現状である。また、橋梁管理機関が維持管理対策に割り当てることのできる予算には限界があることから、橋梁の損傷原因を正しく把握し、橋梁の機能回復を目的とした適切な補修・補強工法の選定が可能なシステムの開発が注目されている。そこで、本研究では従来よりRC橋梁を対象とした橋梁維持管理支援システム「Bridge Management Sy-

stem (以下BMS)」²⁾の開発を行ってきた。これは、対象橋梁に関する主として目視点検程度の情報を入力することで、現在の劣化状態の診断を行う「コンクリート橋診断ニューロ・ファジィエキスパートシステム (以下劣化診断機能)」³⁾の出力結果を利用して、劣化診断、劣化予測、維持管理計画の最適化、などを行うものである。しかし、現在の維持管理計画の策定方法では、損傷程度は考慮していても劣化要因を考慮していない。そこで本研究では、劣化診断機能の出力結果を利用して、現時点における劣化要因および施工条件を考慮した補修・補強工法を選定する「補修・補強工法選定支援機能」(以下本機能)の開発を試みるとともに、実際の既存RC橋梁に対して適用し、その有効性を検証したものである。

*学生員 工学士 山口大学大学院 理工学研究科博士前期課程 (〒755-8611宇部市常盤台2557)

**正会員 工博 山口大学教授 工学部知能情報システム工学科 (〒755-8611宇部市常盤台2557)

***正会員 博士(工学) 山口大学助教授 工学部知能情報システム工学科 (〒755-8611宇部市常盤台2557)

****正会員 修士(工学) ㈱東洋情報システム 東京産業事業部 (〒135-0016 東京都江東区東陽4-11-38)

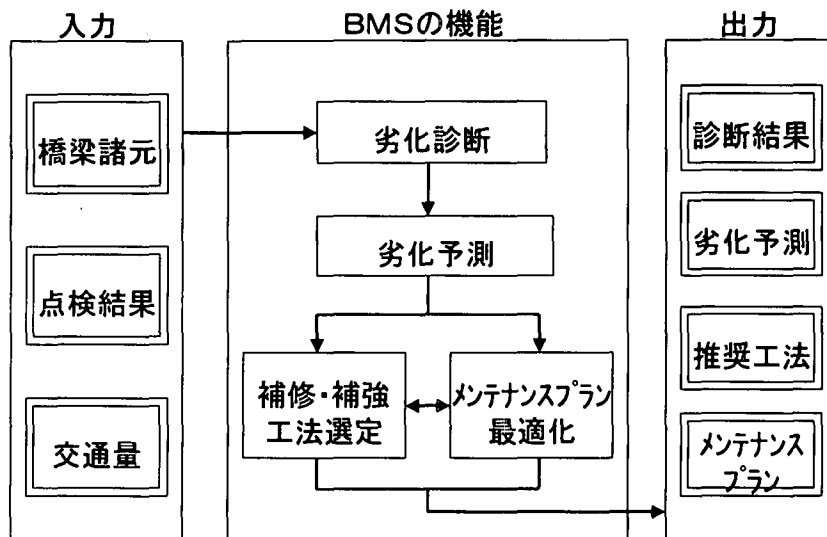


図1 BMSにおける本機能の位置づけ

2. BMSにおける本機能の位置づけ

本研究で開発した補修・補強工法選定支援機能は、著者らが従来より開発しているBMSの1機能として付与されている。本機能のBMSにおける位置づけは図1のように示すことができる。まず、橋梁諸元および点検データなどの対象橋梁に関するデータを入力する。次にこれらのデータをもとに「劣化診断機能」により現在の劣化状況が診断される。さらにこの診断結果を用いて、これからの劣化の進行状況を「劣化予測機能」により予想劣化曲線を仮定して予測する。ここで劣化診断の結果から劣化要因を推定し、「補修・補強工法選定支援機能」により橋梁の現在の状況に応じた補修・補強工法を選定する。またこれとは別に「メンテナンスプラン最適化機能」により費用の最小化と品質の最大化を考慮に入れた補修・補強計画を提示できる。

3. 補修・補強工法選定支援機能

現在、橋梁の補修・補強工法の選定は、特別な場合を除き専門技術者の判断で行われていることがほとんどである。工法選定時に考慮すべき条件には、損傷程度、劣化要因、経済性、工法の特徴、施工条件（交通条件、環境条件）等といった諸条件があげられる。本研究では、BMSで考慮している橋梁主部材である主桁および床版に対して、対象橋梁の現在の劣化状況、劣化要因、施工条件を考慮した工法選定のできる機能を構築した。具体的には、劣化要因の推定を劣化診断機能の出力により行い、その劣化要因に対する工法選

定手順を専門家へのアンケート調査を用いることで構築した。

3-1. 劣化状況・劣化要因の把握

補修・補強工法の選定を行うには、まず橋梁の損傷状態を点検し、その状態から劣化要因を推定し、その結果をもとに工法を選定しなくてはならない。各部材の劣化要因としては、過大な輪荷重の作用のような物理的要因と、アルカリ骨材反応のような化学的要因が考えられるが、BMSでは主として目視点検程度の情報を用いて点検を行っているため、塩害、アルカリ骨材反応などの劣化要因は主としてひび割れ状況に特徴的に表れるため、ここでは劣化の主要因としては物理的要因のみを考慮した。その上で専門家に対して点検時に見られた損傷と物理的劣化要因との関係についてのアンケート調査を行った。表1および表2にその結果を示す。表中の数字はその損傷が見られた際に、該当する要因であると回答した専門家の人数である。

アンケート調査の結果において他に考慮すべき要因としてあげられたものとしては、走行衝撃、雨水の浸入、床版厚の妥当性があげられた。走行衝撃については診断プロセスにおいて交通条件の活荷重によって路面が平坦性をなくして衝撃が起きるようになるか、施工不良によって路面がもともと平坦ではなく衝撃を生じさせるようになったと考えられるため、こちらが提示した過大な輪荷重の作用と施工不良の二つの要因の中に含まれるものとした。雨水の浸入については、排水管の掃除や、設置といったような処置を行うことになる。また、雨水の浸入の繰り返しが凍結融解作用に

表1 床版の物理的要因と損傷の関係

要因 \ 損傷	ひび割れ	剥離	断面欠損	鉄筋露出・腐食	豆板	抜け落ち
過大な輪荷重	4	1		2		4
施工不良	2		3	4	3	
配力鉄筋の不足	4	1		2		3
鉄筋間隔の不揃い	4	2		2	1	1

表2 主桁の物理的要因と損傷の関係

要因 \ 損傷	ひび割れ	剥離	断面欠損	鉄筋露出・腐食	豆板	抜け落ち
過大な輪荷重	4	1	1	3		
施工不良	1	1	3	4	4	
鉄筋間隔の不揃い	4	2	1	3		

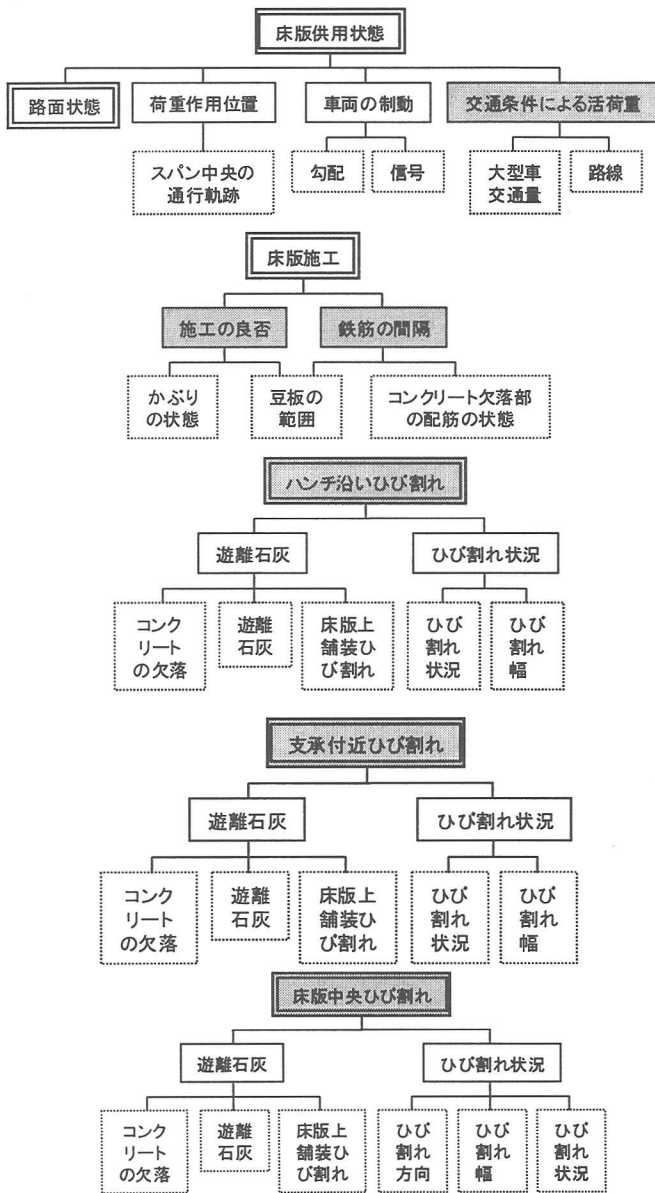


図2 要因推定に用いる診断プロセスの一部

つながるため、化学的要因との関係を考えて、物理的要因としての考慮は見送ることとした。床版厚の妥当性については、劣化診断機能で用いている診断プロセスでは、床版厚の不足という一つの主観的判断の大きい要因のみで決定されるため、要因への追加は見送ることとした。

実際の劣化要因の推定は、著者らが従来より研究してきた劣化診断機能の出力を用いて行う。劣化診断機能は、専門家の持つあいまいさを含む知識を取り込んだニューロ・ファジーエキスパートシステムであり、主として目視点検程度の情報から、対象橋梁の現在の劣化状態を診断できる機能である。この機能では、劣化診断を専門家へのアンケート調査に基づいた階層構造として表現した診断プロセスで行っている。図2にその一部を示す。図中の2重線の項目はsub goalであり、以下に実線の項目である下位goalと、点線の項目である点検項目からなっている。各項目での出力は、劣化程度の5段階評価(safe, s_safe, moderate, s_danger, danger)および0~100で表される平均健全度である。網掛け部分が本研究で用いた項目である。

このような診断プロセスの中で、先のアンケート調査より抽出された劣化要因である過大な輪荷重、施工不良、配力鉄筋の不足、鉄筋間隔の各要因について出力された平均健全度の点数を入力として、その値が境界値より小さい場合にその損傷の劣化要因であると判別することとした。境界値は、劣化診断機能において s_dangerまたはdangerと判断される平均健全度の値、37.

5を用いることとした。この値は普通の状態 (moderate) から少し危険 (s_danger) に変わる境界値であり、本機能では少しでも危険ならば補修・補強工法の推奨を行うためにこの値をとることとした。

3-2. 補修・補強工法のまとめ^{4) 6)}

次に、対象橋梁の損傷状態から劣化要因が推定できた際にその劣化要因に適した工法の選定を行うために、各工法の施工条件などの整理を行った。

① シール工法 (補修) : 主桁, 床版

シール工法は、ひび割れ表面をエポキシ樹脂やその他のシーリング材でシールする工法で、軽微で進行性のないひび割れに有効である。漏水の場合、セメントペースト・モルタルを用いる。

② グラウト注入工法 (補修) : 主桁, 床版

グラウト注入工法は、ひび割れの進行を止めコンクリート内部への通気・通水を遮断してコンクリートや鉄筋の劣化防止を目的とする。進行性でないひび割れに有効である。ひび割れ部分の遊離石灰・錆汁等の除去が必要がある。

③ 縦桁増設工法 (補強) : 床版

縦桁増設工法は、縦桁を増設し床版の支間を短縮することでたわみを抑え耐荷力を確保する。補強後、床版裏面が見えるので点検が容易で過大な作用荷重や耐荷力不足による損傷に有効である。他の部材に与える影響も考える必要がある。

④ 床版増厚工法 (補強) : 床版

床版厚を増加して抵抗断面の増大で耐荷力を確保する。主桁などに対する死荷重応力が大きくなる。上面増厚工法と下面増厚工法があり、上面増厚工法は交通規制が必要となる。

⑤ 鋼板接着 (補強) : 主桁, 床版

コンクリート断面の外面に鋼板を接着して既存部材の主鉄筋量または配力鉄筋量不足を補い、既存部材との一体化をはかり合成構造とすることにより必要な耐荷力を確保する。補強後の損傷状態の確認が困難になる。鉄筋不足や断面不足による損傷に有効である。適切な下地処理とともに漏水がある場合には防水対策を行う必要がある。

⑥ FRP接着工法 (補強) : 主桁, 床版

コンクリート断面の外面に繊維材を接着して既存部材との一体化をはかり、その上に有機系の材料を塗り重ねて炭酸ガス、塩化物イオン水分などの浸入を防ぐ

とともに必要な耐荷力を確保する。鉄筋不足や断面不足による損傷に有効である。不陸整正の際、接着面に断面欠損の箇所や豆板などがある場合はパテ材の補修が必要である。鋼板接着ほど剛性増しは期待できない。

⑦ 床版打換え工法 (補修・補強) : 床版

既存部材を全面あるいは部分的に撤去し新しいコンクリートで打換えるかプレキャスト材を設置することで必要な耐荷力を確保する。コンクリートの剥離・劣化に有効である。床版の損傷状態がかなりひどい場合にのみ使用され、交通規制が可能でなければ使用できない。

⑧ ガラスクロス工法 (補修) : 主桁

ガラス糸を織って布状にしたものを使用するため、施工が容易で鉄筋の防錆および主桁の防水性が期待できる。軽微な塩害やアルカリ骨材反応による損傷に有効である。適切な下地処理、使用材料に応じた温度・湿度の管理が必要である。

⑨ モルタル吹付け工法 (補修) : 主桁

鉄筋あるいは鉄筋網を配置し、モルタルを吹付けて既存部と一体化を図る工法である。適切な下地処理を行うとともに使用材料に応じた温度、湿度の管理が必要である。鉄筋不足や断面不足による損傷などに有効である。

⑩ 外ケーブル工法 (補強) : 主桁

耐荷力の大幅な向上が期待できるが、施工が大がかりになり費用も高価になる。過大な作用荷重や変形に伴う損傷およびプレストレス不足による損傷に有効である。

⑪ パテ工法 (補修) : 主桁, 床版

パテ工法は、部分的な剥離や劣化などの欠陥を生じている箇所をはつり、パテ材で断面整形する工法である。部分的な豆板や剥離に有効である。下地処理を十分に行い適切な養生が必要である。

⑫ プレパッドコンクリート工法 (補修) : 主桁, 床版

プレパッドコンクリート工法は、不健全なコンクリート部分をはつり、型枠を設けて骨材を充填し樹脂類などを充填して断面整形する工法である。断面的に大きな欠陥が生じている場合や塩害による損傷に有効である。適切な下地処理、使用材料に応じた温度・湿度の管理が必要である。

以上のような工法の特徴に基づいて、それぞれの劣化要因に対する推奨工法についての、専門家に対する

表3 劣化要因と推奨する工法の対応表の一部

劣化要因	基本工法	条件付き工法		
		①ひび割れ程度	②桁間隔	③交通規制
過大な輪荷重	下面増厚, 鋼板接着	グラウト注入	縦桁増設	上面増厚 打換え
施工不良	パテ, プレパックドコンクリート	シール, グラウト注入		
配力鉄筋不足	下面増厚, 鋼板接着, FRP接着		縦桁増設	上面増厚
鉄筋間隔の不揃い	シール, グラウト注入, パテ 下面増厚, 鋼板接着, FRP接着			上面増厚

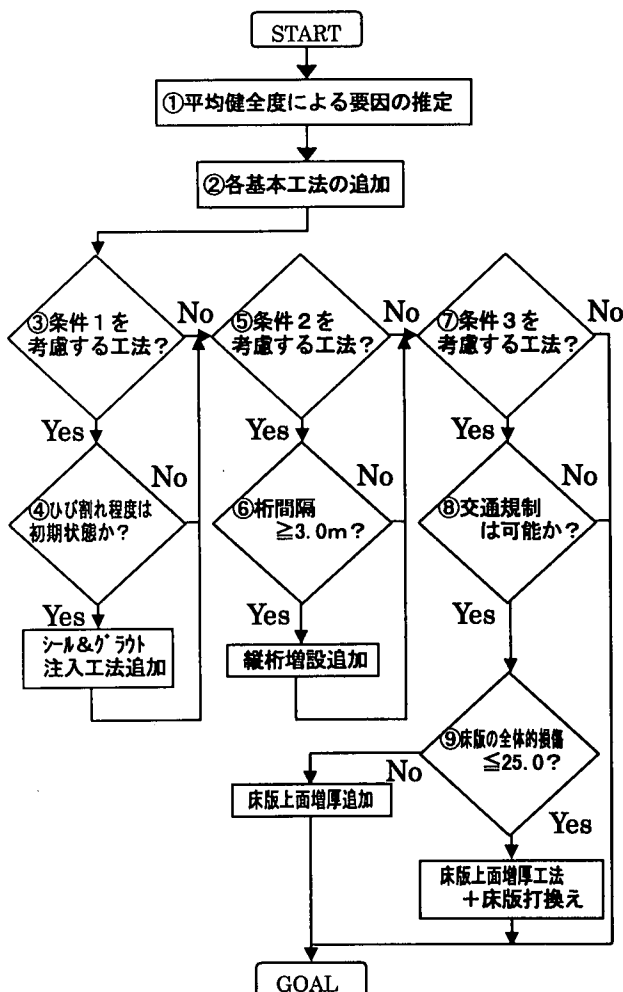


図3 機能の流れ (床版)

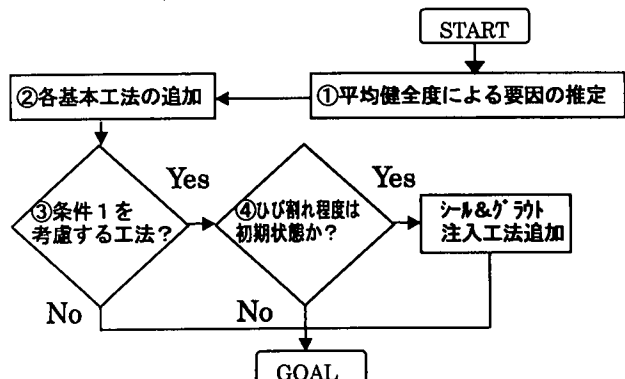


図4 機能の流れ (主桁)

アンケート調査を行った。このアンケート結果において、複数の専門家が同一回答した工法をもとに、判別された劣化要因に対する推奨工法を決定した。表3にその一部を示す。ここで、基本工法とは施工条件を考慮せずに用いることのできる工法であり、条件付き工法とは、施工条件が満たされたときに可能な工法である。各工法に対する条件としては、曲げひび割れ、せん断ひび割れ、付着ひび割れ、鉄筋腐食ひび割れ、ハチ沿いひび割れ、支承受ひび割れ近、床版中央ひび割れの各ひび割れの5段階評価の値を、シール工法、グラウト注入工法を推奨するかどうかの判定に用い、また桁間隔は縦桁増設を推奨するかどうかの判定に、さらに交通量、迂回路の有無、仮橋設置の可否、桁下クリアランスで交通規制が可能かどうかの判定にそれぞれ用いることによって、床版上面増厚工法および床版打換え工法を推奨するかどうかの判断を下すものとした。

3-3. 補修・補強工法選定支援機能の流れ

本機能の基本的な流れとしては、まず損傷状態を入力してその劣化要因を決定し、その基本工法に基づいて工法を推奨する。その時、条件付きで推奨される工法があればその条件を満たしているかどうかの判定を行い、満たしていれば推奨する工法に追加していく。本機能の主な流れを床版および主桁に対してそれぞれ図3および図4に示す。なお文中括弧内の"床"および"主"はそれぞれ床版および主桁を表しており、丸付き番号はフロー図内の番号を表している。まず劣化診断機能の出力の劣化要因に対応する判定項目の平均健全度の値が37.5以下のものを橋梁の劣化に影響を与えている劣化要因と判断する(床①, 主①)。その劣化要因の組み合わせにより基本工法を決定する(床②, 主②)。次にその劣化要因では条件を考慮する工法を使用する

表4 専門技術者の補修・補強工法選定結果(床版)

橋梁名	必要性	選定した工法
HA橋	無	樹脂注入, FRP接着, 鋼板接着
NO橋	無	
GE橋	無	
OU橋	無	
NI橋	有	
TO橋①	無	パテ, プレパクトコンクリート
TO橋②	無	
MI橋①	有	パテ, プレパクトコンクリート
MI橋②	有	

表5 専門技術者の補修・補強工法選定結果(主桁)

橋梁名	必要性	選定した工法
HA橋	有	パテ, プレパクトコンクリート
NO橋	無	
GE橋	無	
OU橋	無	
NI橋	有	パテ, FRP接着, 鋼板接着
TO橋①	無	
TO橋②	有	パテ, プレパクトコンクリート
MI橋①	無	
MI橋②	無	

かしないかを判断する(床③,⑤,⑦, 主③)。使用しないときは, そのまま基本工法のみとなり本機能から出力される。使用する場合は, それぞれ条件を満たすことができるかできないか判断する(床④,⑥,⑧, 主④)。条件を満たさないときは, そのまま基本工法のみとなる。条件は, ひび割れ損傷度が初期(safe, s_safe)のとき, シールもしくはグラウト注入工法を基本工法に追加する(床④, 主④)。対象橋梁の桁間隔が3.0m以上であれば, 縦桁増設工法を基本工法に追加する(床⑥)。交通規制が可能な場合, 床版上面増厚工法を基本工法に追加し(床⑧), もしその時, 劣化診断機能の判定項目である床版の全体的損傷が25.0以下ならば, 床版打換え工法も基本工法に追加する(床⑨)。一般に床版打換え工法は, 損傷がかなりひどいときのみを使用されるため, 5段階評価でdangerと判断される値25.0を用いることにした。

4. 補修・補強工法選定支援機能への適用と検証

本機能の妥当性を検証するため, 実際の橋梁の点検調

表6 本機能からの補修・補強工法選定結果(床版)

橋梁名	必要性	選定した工法
HA橋	無	FRP接着, 鋼板接着, 下面増厚工法
NO橋	無	
GE橋	無	
OU橋	無	
NI橋	有	
TO橋①	無	FRP接着, 鋼板接着, 下面増厚工法
TO橋②	無	
MI橋①	有	FRP接着, 鋼板接着, 下面増厚工法
MI橋②	有	

表7 本機能からの補修・補強工法選定結果(主桁)

橋梁名	必要性	選定した工法
HA橋	無	FRP接着, 鋼板接着, パテ
NO橋	無	
GE橋	無	
OU橋	無	
NI橋	有	
TO橋①	無	FRP接着, 鋼板接着, 外ケーブル
TO橋②	有	
MI橋①	無	
MI橋②	無	

査をもとに, 本機能を適用し, 専門家の回答と比較することで妥当性の検証を行った。

4-1. 橋梁の点検調査方法 橋梁の点検調査は, 山口県内あるいは広島県内の建設コンサルタント会社(4社)の専門技術者7名によって行われた。調査対象は山口県内の橋梁で, 補修・補強を行っておらず, 点検可能な7橋9スパンとした。

点検は目視点検調査表を用いて橋梁の状態に該当する点数をチェックしてもらい, 専門家が対象橋梁を点検して判断した補修・補強工法について回答してもらった。

4-2. 橋梁点検調査結果

点検調査を実施した結果, 専門技術者が回答した補修・補強工法を表4および表5に示す。表中の丸付き文字はスパンを表している。今回検証を行った橋梁は, ほとんどが早急に補修・補強工法を行う必要はないとの判断を得た。

4-3. 本機能の実橋への適用

実際に診断機能から得られた値を本機能へ入力して

得られた補修・補強工法選定結果を表6および表7に示す。表6および表7を比較すると、診断結果から比較的健全な値が得られたため、本機能はほとんどの橋梁に補修・補強を必要としないとする結果を出力した。これは、専門家の選定結果とほぼ一致している。

次に、実際に補修・補強を必要とした橋梁についての本機能の出力を検証する。

4-4-1. 対象橋梁の概要

「N I 橋」は、昭和14年9月に架設された橋齢58年の3主桁6径間のRC単純T桁橋である。工事車両等の大型車の通行が目立った。付近に信号機等はなく、路面も目立った損傷は受けていない。排水管は設置されているものの、詰まっているものが多く、排水機能はかなり低下していると思われた。床版については、ハンチ沿いおよび床版の中央部にひび割れが多く発生しており、そのひび割れは格子状あるいは亀甲状を呈して走っていた。主桁については、曲げひび割れおよび鉄筋腐食によるひび割れが発生しており、コンクリートが欠落した部分では、腐食した鉄筋が露出していた。また、豆板も一部で見受けられた。

4-4-2. システムからの出力結果の検証

専門家へのアンケート調査では、床版にはひび割れへの樹脂注入、強度増加のためのFRP接着工法、鋼板接着工法、主桁には剥離があり鉄筋の腐食につながるとしてFRP接着、鋼板接着、パテ工法という回答が得られた。次に実際に本機能に入力した、診断機能より得られた平均健全度の値を表8に示す。施工条件としては、桁間隔は3.0m未満で、交通規制は不可能であることを考慮した。

床版においては、配力鉄筋の不足が1.3と低い値をとっており、劣化の要因として影響していることが考えられた。実際に本機能に入力を行った結果としては、鋼板接着工法、FRP接着工法、下面増厚工法が推奨された。これは、実際専門家が推奨する工法とほぼ一致した。下面増厚工法が推奨されたのは、本機能では、橋梁の劣化要因は考慮しているものの劣化程度を考慮していないため、専門家は劣化要因と同時にその劣化要因がもたらしている損傷の程度を見極め、工法を推奨しているので限られた工法が選択されたと考えられる。

主桁においては、施工不良が26.5、鉄筋間隔の不揃いが32.6と低い値をとっており、この2つが劣化の要

表8 本機能への入力値

床版		主桁	
劣化要因	入力値	劣化要因	入力値
過大な輪荷重	46.9	過大な輪荷重	44.9
施工不良	83.1	施工不良	26.5
配力鉄筋の不足	1.3	鉄筋間隔の不揃い	32.6
鉄筋間隔の不揃い	57.5	せん断ひび割れ	94.9
ハンチ沿いひび割れ	32.4	鉄筋腐食ひび割れ	46.8
中央付近ひび割れ	51.8	曲げひび割れ	32.7
支承付近ひび割れ	62.7	付着ひび割れ	92.6
床版全体的損傷	50.9		

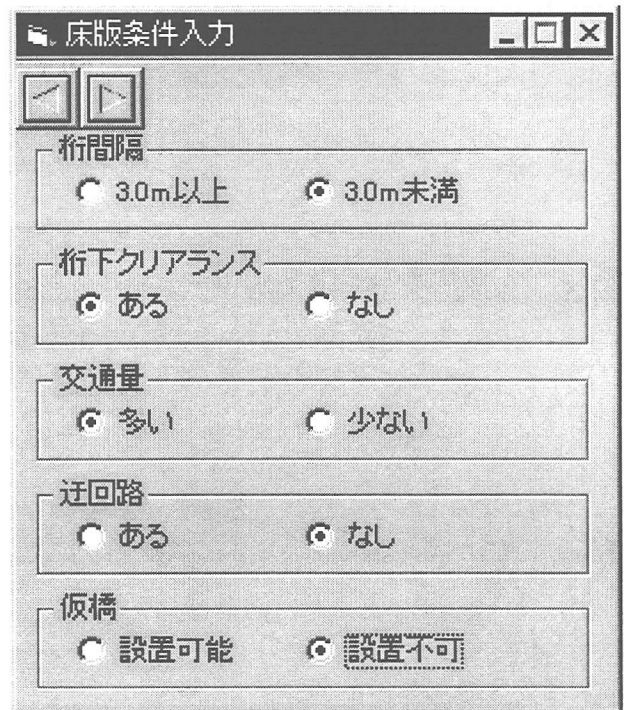


図5 条件入力画面(床版)

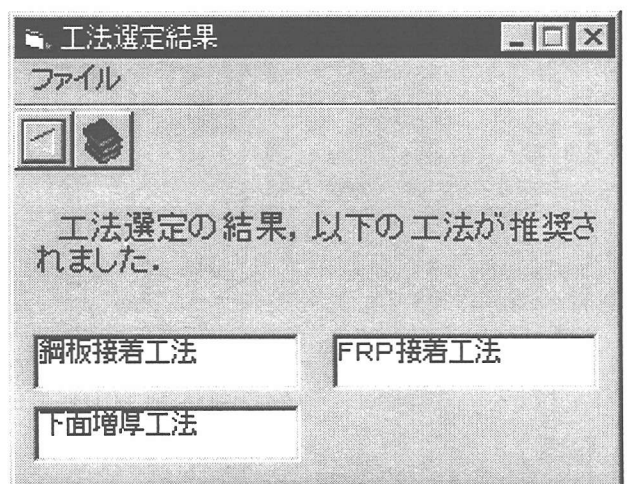


図6 工法選定結果画面(床版)

要因として影響しているといえる。本機能が出力した結果では、鋼板接着工法、FRP接着工法、パテ工法が選定された。これも、実際に、専門家が推奨する工法とほぼ一致した。

その他の専門家の意見と食い違う出力については、床版の補修・補強工法を必要とするMI橋において、専門技術者からは、パテ工法、プレキャストコンクリート工法が得られたが、本機能からは、鋼板接着工法、FRP接着工法、下面増厚工法が得られた。この違いは、点検調査の段階で、比較的橋梁の状態が良く、鉄筋の状態が見えなかったために、診断機能の入力段階で不明とされ、内部処理で実際よりも悪い状態とみなしたためと考えられる。主桁の補修・補強工法を必要とするHA橋は、専門技術者は、パテ工法、プレキャストコンクリート工法を選んでいるが、本機能では、補修・補強の必要はないとした。これは、橋梁の状態が比較的健全で劣化要因がないと見なしたためである。TO橋の主桁において、専門技術者からは、パテ工法、プレキャストコンクリート工法が得られたが、本機能からは、鋼板接着、FRP接着、外ケーブル工法が得られた。専門技術者の多くは、鉄筋腐食によるひび割れに重点をおいた工法を選定しているものと考えられるが、本システムでは、ひび割れを、劣化要因とみなさないため、過大な輪荷重が要因となって工法が選定されてしまったことが考えられる。

今回の検証において、劣化の進行している橋梁に対しては、ほぼ正確な工法が選定されたといえる。しかし、損傷程度が軽微な橋梁に対して、本機能は損傷程度を考慮していないために比較的大規模な工法を選定してしまうことがわかった。

5. 結論

本研究で得られた主な成果をまとめると以下の通りである。

- ① 補修・補強工法選定機能を構築することで、劣化要因を決定し、最適な工法の推奨を可能にした。
- ② 専門技術者にアンケート調査を行うことで、本機能の構築を行った。

- ③ 工法の特徴・留意点を整理することにより、工法を推奨するさいに、各工法の特徴を活かした選定が可能になった。

- ④ 実際に山口県内の既存橋梁に対して本機能を適用し、本機能の妥当性を検証した。

最後に、本機能をさらに実用的なものにするための今後の課題を列挙する。

- ① 工法を詳細に推奨するために、橋梁を劣化させている要因がどの程度の損傷をもたらしているかを考慮する必要がある。
- ② 劣化予測に用いるため、各工法に対しての予想劣化曲線を仮定し、各工法が適用されたときの効果を整理する必要がある。
- ③ 各工法の費用を算出し、他の工法と比較検討できるようにする必要がある。
- ④ 化学的要因を診断できる機能を追加し、物理的要因と同様に工法の推奨ができるようにする必要がある。

謝辞：本研究にあたり、種々のご援助を頂いた名倉明子氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 小村 敏, 太田 実: 新体系土木工学36コンクリートの維持・補修・取り壊し, 技報堂出版, 1983.11
- 2) 宮本文穂, 串田守可, 足立幸郎, 松本正人: Bridge Management System(BMS)の開発, 土木学会論文集, No560/VI-34, pp.91-106, 1997.3
- 3) 宮本文穂, 串田守可, 森川英典, 木下和哉: コンクリート橋診断ニューロ・ファジィエキスパートシステムの開発と信頼性の向上, 土木学会論文集No510/VI-26, pp.91-101, 1995.3
- 4) 土木学会: コンクリート構造物の維持管理指針(案), pp.61, 1995
- 5) 最新 橋梁設計・施工ハンドブック編集委員会: 最新 橋梁設計・施工ハンドブック, pp.9, 建設産業調査会, 1990.3