

RC床版の点検・補修に関するエキスパート・システム

関西大学工学部	正会員	三上	市臧
関西大学工学部		江澤	義典
関西大学工学部	正会員	○森澤	敬文
関西大学大学院	学生員	田中	成典
関西大学大学院		朝倉	隆文

1. まえがき 近年, AI (Artificial Intelligence: 人工知能) を応用したシステムの研究や開発が種々の分野で行われるようになってきた。¹⁾ 中でも実用化が最も進んでいる分野にエキスパート・システム (Expert System: 以下, ES と略記) がある。^{2) - 5)} 工学の分野に対するESの適用もずいぶんなされておき、⁶⁾ その対象は化学,⁶⁾ 機械工学,⁷⁾ 航空工学,⁸⁾ 造船工学,⁹⁾ 土木工学^{10) - 12)} など広範囲に渡っている。すでに実用システムとして稼動しているものもある。¹³⁾ 土木工学分野のESは米国でここ2年程の間に精力的に研究・開発され、米国土木学会は1986年4月, Washington州Seattleで、第1回の「土木工学におけるエキスパートシステムに関するシンポジウム」¹⁴⁾ を開催した。構造工学の分野のES^{15) - 17)} もかなりの数に上るが、はり,¹⁸⁾ プレートガーダー,^{19) - 21)} 海洋構造物²²⁾ などのCAD (Computer Aided Design) に関するものが多く、また、CADとDBMS (Data Base Management System) のリンクを試みた研究²³⁾ もある。

わが国でも、ここ2年程の間に、土木工学の分野でもESが研究されだした。解析にFEMを利用する場合の構造物のモデル化に関するES²⁴⁾ では、①境界条件を導入して対象を孤立化する知識、②対象を理想化する知識、③境界条件を数理モデル化する知識、④メッシュ分割法の知識 がプロダクショナルルールを用いて表されている。設計に関しては、橋梁の形式選定を対象とするES²⁵⁾ がある。また、維持管理に関しては、鋼桁橋の耐用性評価のES²⁶⁾ がプロダクショナルルールで構築されている。ダムゲートの寿命予測のES²⁷⁾ は、データの経時変化を把握し、①安全性の判定、②余寿命の推定、③補修までの期間の推定、を後ろ向き推論によって行う。マスコンクリートのひび割れの判定と対策に関するES²⁸⁾ は、温度ひび割れに限定し、原因の推定、ひび割れ発生の可能性判定、その対策の提示、その理論的根拠となる文献の表示を行う。斜面宅地開発における法面崩壊診断のES²⁹⁾ は、①自然斜面の表層崩壊に対する概査の診断、②切り土斜面における基岩崩壊に対する精査の診断を行う。

文献24)-29) のESのうち、文献26) 27) 29) のESでは、確信度CF (Certainty Factor) を用いて、確からしさが評価されている。

さて、土木工学の分野においては、時代の趨勢として構造物を新しく建設するよりも、既設のものを維持・補修することに重点が移りつつあり、構造物の保全管理業務の重要さが増してきている。土木構造物は、鋼構造物、コンクリート構造物、土構造物に分けられるが、コンクリート構造物の占める割合は非常に大きい。コンクリート構造物は、一般に鋼構造物に比べて維持管理の面で有利であるとされているが、一方ではひび割れなどの損傷が常に問題となっている。それは施工の良否、材料の良否など、多くの不確実な要因が品質に大きな影響を及ぼすためである。RC床版は、たとえ高品質でも、常時、直接に輪荷重を受けるので、摩耗や疲労などによる損傷が著しく、また、供用荷重が設計荷重を超過する場合が増えてきたこともあって、他の部材に比べて損傷が著しい。このため、RC床版の点検結果に基づく損傷度の判定と補修工法の選定は維持管理業務において重要である。RC床版の損傷判定・補修工法については多くの報告があるが、これらに関する知識は数値計算的に取り扱い得るものでなく、通常のアプローチでは記述しにくい。まさしくESを利用するに相応しい。本稿では、RC床版の損傷度判定および補修工法選定に関するESのプロトタイプを構築する。

2. エキスパートシステム構築支援ツールBRAINS

ES記述のためのコンピュータ言語としては、初期はBASIC やFORTRAN が用いられた。文献18)20)のESはBASIC で書かれている。その後、LISPやProlog が用いられるようになった。文献19)26)27)ではLISPを使用しており、文献30)は破壊解析の知識ベースをLIPSで記述できることを示している。文献29)ではPrologが用いられ、文献25)ではPrologとFORTRAN が使用されている。

BASIC やFORTRAN に比べれば、LISPやPrologは知識ベース記述言語として適しているが、最近、ES構築支援ツールであるエキスパート・シェルが実用段階に入った。これを使用すればES開発効率は少なくとも2～4倍になるだろう。現在、わが国で利用できるメインフレーム用シェル^{1)3)31)～33)}には、BRAINS(東洋情報システム)、ESHELL(富士通)、KEE(CSK)、ART(ニチメン)、OPS(日本DEC)、OPS83(Carnegie-Mellon大)、Knowledge Craft(Carnegi Group社)、EXCORE(日本電気)、ES/KERNEL(日立)、MENDEL NTT(東芝)、KBMS(NTT横須賀研究所)などがある。文献24)28)はESHELLを用いている。

本研究では、BRAINS(日本語版)³⁴⁾を用いた。これには、次のような特徴³¹⁾³⁵⁾がある。①対象となる問題の知識体系を整理するだけで、知識ベースを構築できる。②知識表現は「IF-THEN」形式のプロダクション・ルールを基本としているため、知識の記述が簡単である。③日本語で記述できるので、わかりやすい。④大規模な知識ベースも、「知識ユニット」の概念を導入し、処理効率を向上させることができる。⑤システムの変更が簡単で、プロトタイプの開発が容易である。⑥FORTRAN やLISPで記述されたユーザプログラムを推論実行中に使用したり、その処理結果を推論に反映させたりすることが可能である。⑦推論実行機能として、入力データに基づいてどのような仮説が成立しているかを推論する前向き推論(Forward Chaining)と、指定された仮説が成立しているかどうかを検証する後向き推論(Backward Chaining)の機能を持っている。

知識ベースの構成要素は仮説(Hypotheses)、事象(Finding)、処理(Process)、ルール(Rule)の4つからなる。仮説は推論の結果として表示される仮説分類(Taxonomy)、推論の過程で使用する中間仮説(Intermediate Hypotheses)、推論結果に基づいて対応策を呈示する対応措置(Treatment)があり、階層的な記述が可能である。事象は結論を導くために必要な各種データであり、一価選択型、多枝選択型、数値型、真偽型などの形式がある。処理は推論に使用するユーザプログラムの実行処理を定義する。ルールは事象、仮説、処理の関係を記述する。

プログラムは、仮説や事象を定義するデータ定義(Data Definition)、ユーザプログラムなどの

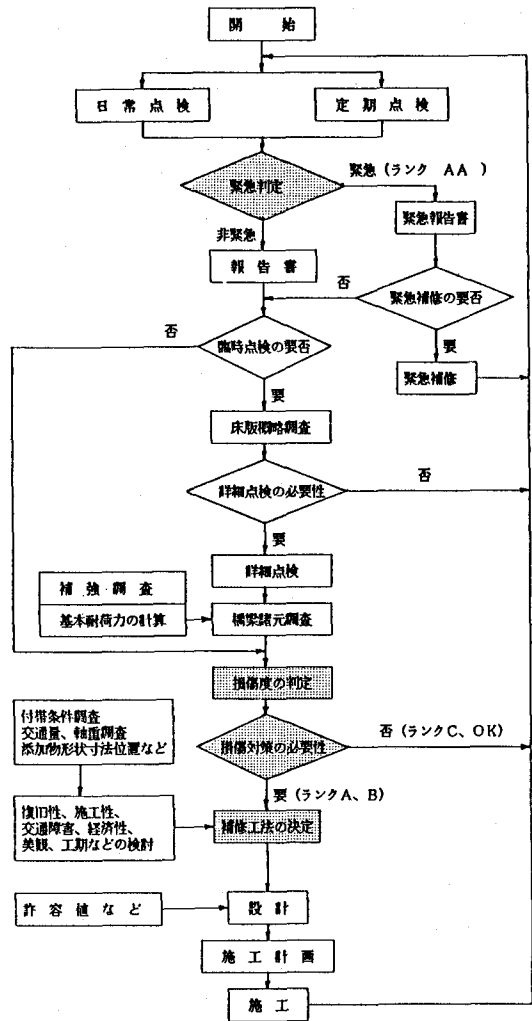


図-1 RC床版の点検・補修の流れ

処理を定義する処理定義 (Process Definition), 事象・仮説・処理に関するルールを定義する知識ベース定義 (Knowledge Base Definition) から構成される。

また、医療診断 E S "MYCIN"³⁶⁾ において初めて用いられた確信度が推論の制御に使用されており、あいまいさをこの確信度で表現できる。

3. RC床版の点検と補修 プロトタイプなので、片側2車線の都市高架道路橋を想定し、未補修のRC床版のみを対象とする。RC床版の点検・補修に関する手順は、種々の機関^{37)~39)}によって微妙に異なっているようなので、ここでは、阪神高速道路公団³⁷⁾の点検・損傷判定システムと文献40)の補修・補強工法選定システムとを基にして、図-1に示す流れを想定した。そして、図中の網かけを施した部分を対象としてESを構築することにした。

RC床版は表-1に示す損傷項目³⁷⁾について点検し、その結果に基づいて、表-2のように5ランクに区分する。まず、緊急判定によって緊急補修の要否を判定する。必要な場合がランクAAで、不要な場合がランクA、B、Cのいずれかである。

損傷度の判定を行う。ランクAAでない場合、表-1に基づいて各点検項目に対する損傷度をA、B、Cに区分する。

損傷対策の必要性を判定する。各点検項目に対する区分のうち、最上位の区分を取り、床版の補修に対するランクとする。すなわち、1項目でもAがあれば、ランクAである。ランクAは速やかな補修が必要な場合で、ランクBは必要に応じて補修する場合、ランクCおよびOKは補修が不要の場合である。

ランクAまたはBと判定された場合、補修工法の決定に入り、表-3に示す①~⑩の工法⁴⁰⁾の中から適切な工法を選ぶ。まず、各損傷項目に対して不適切な工法を除かなければならない。そのため、表-3に示すように確信度-1(絶対否定)を与える。

次に、工法を選定するにあたって根拠となる「選定条件」を整理する必要がある。文献40)の知識を基本に、種々の文献⁴¹⁾⁴²⁾を参

表-1 未補修床版の損傷度の判定基準

区分 点検項目	A	B	C
(ア) ひびわれ	①ひびわれ幅0.2mm程度以上かつ間隔が50cm程度以下 ②ひびわれ幅0.2mm程度以上の集中的なひびわれがある	①ひびわれ幅0.2mm程度以上かつ間隔が50cm~1m程度 ②ひびわれ幅0.1~0.2mm程度の集中的なひびわれがある	ひびわれ幅0.1~0.2mm程度でかつ間隔が1m程度以下
(イ) はく離	0.3 m ² 以上のはく離がある	0.3 ~ 0.1 m ² のはく離がある	0.1 m ² 以下のはく離がある
(ク) 鉄筋露出 腐食	①長さ50cm以上の主鉄筋の露出がある ②主鉄筋に腐食がある	①長さ30~50cm程度の主鉄筋の露出がある ②主鉄筋に錆がある	長さ30cm程度以下の主鉄筋の露出がある
(ニ) 漏水 遊離石灰 錆の流出	0.3 m程度以上の漏水、遊離石灰、錆の流出がある	0.3 m程度以下の漏水、遊離石灰、錆の流出がある	漏水、遊離石灰がわずかにある
(オ) 豆板	豆板によって長さ50cm以上の鉄筋露出、遊離石灰がある	豆板によって長さ30~50cm程度の鉄筋露出、遊離石灰がある	豆板によって長さ30cm程度以下の鉄筋露出、遊離石灰がある
(カ) 空洞	0.2 m ² 程度以上の不良音が観測される箇所がある	0.2 m ² 程度以下の不良音が観測される箇所がある	不良音がわずかにある
(キ) その他の損傷	①端横桁からの浮きがある ②床版周囲が著しく不良である		

表-2 RC床版の補修ランク

ランク	状 況
AA	損傷が著しく道路構造物の機能低下を招き、交通安全確保上または第三者への影響が大であり、支障をきたす恐れがあると考えられ、緊急補修の必要がある場合
A	損傷が著しく、補修する必要がある場合
B	損傷があり、必要に応じて補修する場合
C	損傷が軽微である場合
OK	上記以外の場合

表-3 各損傷項目に対する各工法の不適性

対 策	補 修			補 強			打 ち 換 え			
工 法	① 樹脂注入	② モルタル吹き付け	③ FRP板接着	④ 鋼板接着	⑤ 増桁	⑥ 増厚	⑦ RC床版	⑧ コンクリート床版	⑨ 波形鋼板RC床版	⑩ プレハブ床版
損 傷 項 目										
ひびわれ										
はく離	-1									
鉄筋露出、腐食	-1	-1	-1							
漏水、遊離石灰、錆の流出		-1	-1							
豆板	-1		-1							
空洞	-1	-1	-1	-1						
その他の損傷	-1	-1	-1	-1						

照して、表-4に示す選定条件を採り上げた。すなわち、(a)耐荷力を増すようにするか、(b)施工時に可能な交通規制の程度、(c)施工性、(d)経済性、(e)美観を良くするか、(f)部分パネル単位で補修工事をする必要があるか、(g)補修後に床版の点検が不可能になる工法でもよいか、である。

まず、選定条件に対応して、不適切な工法を除外するため、確信度-1を表-4のように与える。さらに、選定条件(a)~(e)に対する、工法①~⑩の適切さの知識を整理し、表-5に示すように確信度の値を-0.5~0.5の範囲で選んだ。この表-5を単純に適用することと避け、工夫を凝らした。すなわち、このESのユーザーが選定条件(a)~(e)に対する工法の評価に重みを付けられるようにした。重みを各選定条件に対して0~10の数値で与えると、表-5のCF値に重みが乗じられ、10で除される。このような手続きをBRAINSのコマンドで定義すると、きわめて冗長なものになる。そこで、UTILISP^{4,3)}を使ってユーザ・プログラムを記述した。

表-4 各選定条件に対する各工法の不適性

対 策	補 修			補 強			打 ち 換 え			
工 法	① 樹脂注入	② モルタル吹き付け	③ FRP板接着	④ 鋼板接着	⑤ 増桁	⑥ 増厚	⑦ RC床版	⑧ コンクリート床版	⑨ 波形鋼板RC床版	⑩ プレハブ床版
選 定 条 件										
耐荷力増加を望む	-1	-1	-1							
全面交通規制が可能										
時間的・交通規制が可能										
車線交通規制が可能										
大型車交通規制が可能										
交通規制が不可能						-1	-1	-1	-1	-1
施工性が良い工法を望む										
経済性が良い工法を望む										
美観を重んじる										
部分的な施工が必要					-1	-1		-1		-1
補修後の床版調査を行う			-1	-1						

選定条件(b)「交通規制の可能性」は工法決定の際にきわめて重要な条件になる。補修工法①~③によって一時的に補修しても将来的に損傷がひどくなることが予想されるような場合は、あえて交通規制を実施して、打ち換え工法⑦~⑩を選択する方が最良の結果を与え、工費も安い。³⁾このような判断はこのESでは直接できないが、選定条件(b)に対する重みを0とすることで、ほぼ同様の結論を得ることができる。

4. 知識ベースシステムの構築

知識ベースは12個の知識ユニットに分けて、各知識ユニット内には次の4種のルールを使って知識を記述した。①FFルール：事象と事象の関連を表すルール、②FHルール：事象と仮説の関連を表すルール、③HHルール：仮説と仮説の関連を表すルール、④HIルール：仮説と処理の関連を表すルール。これらの知識ユニットは適用条件によって関連付ける。

RC床版の点検・補修のルールを適用し、2~3の技法を駆使して、知識ベースシステムを図-2のように構築した。

緊急補修が必要ならば、FHル

表-5 各選定条件に対する各工法の確信度

対 策	補 修			補 強			打 ち 換 え			
工 法	① 樹脂注入	② モルタル吹き付け	③ FRP板接着	④ 鋼板接着	⑤ 増桁	⑥ 増厚	⑦ RC床版	⑧ コンクリート床版	⑨ 波形鋼板RC床版	⑩ プレハブ床版
選 定 条 件										
耐荷力増加を望む	—	—	—	0.25	0.25	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
全面交通規制が可能	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
時間的・交通規制が可能	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	0.5
車線交通規制が可能	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	-0.5	0.5	-0.5
大型車交通規制が可能	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
交通規制が不可能	0.5	-0.5	0.5	-0.5	0.5	—	—	—	—	—
施工性が良い工法を望む	-0.5	0.5	0.5	0.5	0.25	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
経済性が良い工法を望む	0.5	0.5	0.5	0.0	0.25	0.5	0.0	-0.25	-0.25	-0.25
美観を重んじる	-0.5	-0.5	0.25	0.25	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

ールによりランクAAと表示され、終了する。

緊急補修が不要ならば、FFルールにより表-1に進み、点検項目を事象とする。ここで、発見された損傷に対応する点検項目を入力すると、FHルールにより中間仮説が成立する。

点検項目の適用条件により、表-1の損傷度判定基準に基づいて、各点検項目に対する区分の判定を行う。そして、結果をFHルールにより集計する。すなわち、区分Aの項目があればランクAのCF値を1.0に、区分Bの項目があればランクBのCF値を1.0に設定し、ランクCのCF値は1.0とする。

表-2のランクと表-1の区分を仮説分類にする。表-2のランクはHHルールにより総合的に決定される。ランクAのCF値が1.0のときは、ランクBとランクCのCF値を0.0にする。ランクBのCF値が1.0のときは、ランクCのCF値を0.0にする。区分Aまたは区分Bの一つでもあればランクCにならない。

以上でRC床版の損傷度の判定が終わる。ディスプレイ画面には、総合判定ランク(表-2)と、該当する点検項目とその損傷区分(表-1)が表示される。

次に、適用条件によりランクAまたはランクBのとき補修工法選定に進む。まず、表-3が適用され、該当する損傷項目に対して不適切な工法がHHルールで絶対否定される。

表-4が適用され、部分的な施工の必要性和、補修後の床版調査の必要性和に対して、不適切な工法がFHルールで絶対否定される。

5つの選定条件(a)~(e)は中間仮説として定義する。外部処理で重みを入力し、HIルールで中間仮説に重みを持たせておく。HHルールで4つの中間仮説(耐荷力、施工性、経済性、美観)の重みを、表-5の確信度に適用して、工法に確信度を持たす。また、残りの中間仮説(交通規制)は5つに細分されるために、事象定義を行い、FHルールで交通規制の程度を問う。それに、中間仮説としての重みを適用して、工法に確信度を持たせる。ただし、工法①~⑩は対応措置として定義しておく。

以上のすべてを考慮すると、各工法の最終の確信度が得られ、CF値の大きい工法が画面に表示される。

5. システムの評価 2つの使用例を示す。

図-3に首都高速道路⁴²⁾のRC床版に対する推論結果を示す。項目1では緊急補修でないので"N"を入力する。損傷項目が不明なので、二方向性ひびわれとはく

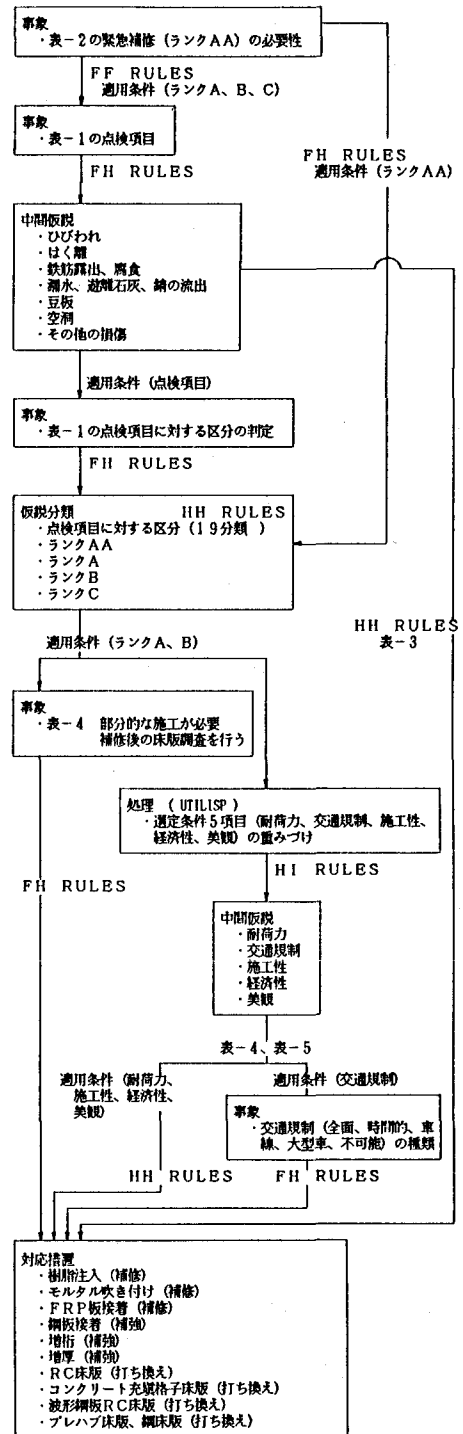


図-2 RC床版の点検・補修ESのルール適用概念図

1 損傷が著しく道路構造物の機能低下を招き、交通安全確保上または第三者への影響が大きいとあり、支障をきたす恐れがあると考えられ、緊急補修の必要がありますか？
YかNで答えて下さい。 — > N

2 床版の状態はどれに該当しますか。
1 ひびわれが生じている。
2 はく離が生じている。
3 主鉄筋の露出、または、腐食がある。
4 漏水、遊離石灰、錆の流出が見られる。
5 豆板による鉄筋露出、遊離石灰等が見られる。
6 空洞があり、不良音が観測される。
7 涵橋桁からの浮きがある。
8 床版遊離が著しく不良である。
該当する番号を入力して下さい。 — > 1 2

3 ひびわれの状態は？
1 一方向性のひびわれ。
2 二方向性のひびわれ。
該当する番号を1つ入力して下さい。 — > 2

4 ひびわれの幅と間隔はどの程度ですか。
1 ひびわれ幅0.1mm程度以上で、間隔が40cm以下。
2 ひびわれ幅0.1mm程度以上で、間隔が40～60cm。
3 ひびわれ幅0.1mm程度以上で、間隔が60cm以上。
該当する番号を1つ入力して下さい。 — > 1

5 床版のはく離面積はどの程度ですか。
1 0.3平方メートル以上。
2 0.1～0.3平方メートル。
3 0.2平方メートル以下。
該当する番号を1つ入力して下さい。 — > 2

6 補修後も床版を点検する必要がありますか？
YかNで答えて下さい。 — > N

7 パネル毎の施工が必要ですか？
YかNで答えて下さい。 — > N

工法の選択に当たって考慮する項目に
0から10までの重みを与えて下さい。
1. 耐荷力増加を望む
2. 交通規制の程度に応じた工法を選ぶ
3. 施工性が良い工法を選ぶ
4. 経済性が良い工法を選ぶ
5. 美観を重んじる
入力例 (4 2 10 0 1) => (10 10 5 5 5)

8 どの状態の交通規制が実施できますか？
1 施工期間中の全面交通規制が可能。
2 時間的に全面交通規制が可能。
3 施工する車線の交通規制が可能。
4 大型車の通行禁止が可能。
5 交通規制が不可能。
該当する番号を1つ入力して下さい。 — > 5

** 推論結果は次のとおりです。
1. 0 ランク A ***損傷が著しく速やかに補修が必要がある(ランクA)
1. 0 点検項目「はく離」***区分B (はく離B)
1. 0 点検項目「ひびわれ」***区分A (ひびわれA)
**従って、次の措置をとるべきです。
0. 78 補強*****増桁(増桁工法)

図-3 適用例①: 首都高速道路の場合

1 損傷が著しく道路構造物の機能低下を招き、交通安全確保上または第三者への影響が大きいとあり、支障をきたす恐れがあると考えられ、緊急補修の必要がありますか？
YかNで答えて下さい。 — > N

2 床版の状態はどれに該当しますか。
1 ひびわれが生じている。
2 はく離が生じている。
3 主鉄筋の露出、または、腐食がある。
4 漏水、遊離石灰、錆の流出が見られる。
5 豆板による鉄筋露出、遊離石灰等が見られる。
6 空洞があり、不良音が観測される。
7 涵橋桁からの浮きがある。
8 床版遊離が著しく不良である。
該当する番号を入力して下さい。 — > 2

3 床版のはく離面積はどの程度ですか。
1 0.3平方メートル以上。
2 0.1～0.3平方メートル。
3 0.1平方メートル以下。
該当する番号を1つ入力して下さい。 — > 1

4 補修後も床版を点検する必要がありますか？
YかNで答えて下さい。 — > N

5 パネル毎の施工が必要ですか？
YかNで答えて下さい。 — > N

工法の選択に当たって考慮する項目に
0から10までの重みを与えて下さい。
1. 耐荷力増加を望む
2. 交通規制の程度に応じた工法を選ぶ
3. 施工性が良い工法を選ぶ
4. 経済性が良い工法を選ぶ
5. 美観を重んじる
入力例 (4 2 10 0 1) => (10 10 5 0 5 0)

6 どの状態の交通規制が実施できますか？
1 施工期間中の全面交通規制が可能。
2 時間的に全面交通規制が可能。
3 施工する車線の交通規制が可能。
4 大型車の通行禁止が可能。
5 交通規制が不可能。
該当する番号を1つ入力して下さい。 — > 2

** 推論結果は次のとおりです。
1. 0 ランク A ***損傷が著しく速やかに補修が必要がある(ランクA)
1. 0 点検項目「はく離」***区分A (はく離A)
**従って、次の措置をとるべきです。
0. 67 補強*****増桁(増桁工法)
0. 62 打換*****プレハブ(RC床版、PC床版)(プレハブ)
0. 62 補強*****鋼板接着(鋼板接着)
0. 12 補強*****増厚(増厚工法)

図-4 適用例② 奈井江大橋の場合:

離が生じているものとして、項目2では、"1"と"2"を選んだ。項目6の補修後の点検の必要性も、項目7の部分的な施工の必要性もないものとした。工法選定条件の重みは、耐荷力、交通規制に対して"10"、

施工性、経済性、美観に対して"5"を選んだ。交通規制に関しては交通規制が不可能とした。

推論の結果、補強工法の一つである増桁工法が確信度0.78で表示された。他の工法は確信度が0.1以下なので表示されていない。実際に、首都高速道路公団が用いた工法は増桁工法であり、妥当な結果が推論された。

図-4に奈井江大橋⁴⁴⁾のRC床版に対する推論結果を示す。本システムは対象を片側2車線の都市高架道路橋の未補修床版に限定しているが、この例は片側1車線の橋梁であり、かつ補修済み床版である。このような場合にも本システムが適用可能であることを示す。

この橋は昭和33年に完成し、約25年間にわたり供用されてきたが、交通量の増大と車両の大型化により、コンクリートの劣化が著しくなり、過去数年の補修にもかかわらず、損傷がひどく、床版の各所で抜け落ちが生じたため、再補修されたものである。⁴⁴⁾ 図-4では、点検項目として、区分Aのはく離を入力し、項目4の補修後の点検の必要性和項目5の部分施工の必要性はないものとした。工法の選定条件に対する重みは、耐荷力：交通規制：経済性に対して"10：10：5"とし、施工性と美観は犠牲にした。この橋の場合も、交通規制は工法決定の重要な要因となっている。すなわち、一日4往復のバス路線が通過しているので、通行禁止にはできない。かといって、有効幅員は5.5mと狭いので、 $\frac{1}{2}$ 幅員ずつの反復施工ではバスの通行が困難となる。したがって、夜間のみの全断面施工が可能な工法に限定される。そこで、項目6では時間的に全面交通規制を行うものとして"2"を選んだ。

推論の結果、増桁工法（補強工法）、プレハブ床版工法（打換工法）、鋼板接着工法（補強工法）の3種類に絞られた。確信度はそれぞれ0.67, 0.62, 0.62で、大差はない。実橋では、プレキャスト合成床版による打ち換え工法が施工された。これはプレハブ床版工法の一つなので推論結果は妥当である。他の工法（増桁工法と鋼板接着工法）は、この橋の補修歴からいって不適当である。したがって、補修歴に関する知識を追加できれば、本システムを補修済み床版に対して拡張できるであろう。

6. むすび エキスパートシェルBRAINSを用いて橋梁のRC床版の点検・補修に関するプロトタイプESを構築した。若干の実例による評価によって、このシステムが妥当な推論結果を与えることがわかった。

今後の改良が望まれる諸点をあげておく。(1)床版の損傷度の判定に関しては、確信度を採用することなく、阪神高速道路公団保全技術課による表-1の判定基準をそのまま利用した。これに関する知識を詳細に調査・整理して、確信度を採用した詳細な判定ができるようにする必要がある。(2)損傷項目に対応して不適切な工法は表-3で除いたが、損傷項目と工法との関連に関する知識を、確信度を導入してより深く知識ベース化するべきであろう。(3)未補修床版に限ってみても、供用年数や荷重履歴などが工法選定に関連するから、この点の知識も記述しなければならない。(4)プログラムの一部分をUTILISPで直接記述したため、後向き推論が有効に機能しなかったが、今後の問題としたい。

本研究には関西大学情報処理センターのコンピュータ FACOM M380 およびソフトウェア「BRAINS」と「UTILISP」を使用した。阪神高速道路公団保全技術課長の沖野 真氏からは、知識ベースの源となった資料の入手と、本システムの補修工法選定に対する評価と助言を頂いた。東京工業大学助教授の三木千壽博士からは本システムの点検と補修工法に関して討議を頂いた。同社の大塚雄吉氏からはエキスパートシステム構築の指針を助言され、同社の牧野真也氏からはBRAINSの詳細な機能について教示を頂いた。関西大学工学部土木工学科の小森宏昭君と安藤黄太君には卒業研究として協力を頂いた。また、BRAINSの導入については関西大学情報処理センターの木村作郎氏と朝東洋情報システムの松永秀嗣氏に助力を頂いた。ここに記して、深謝するものである。

- 1) 知識工学特集, 大阪大学大型計算機センターニュース, Vol.15, No.2, 1985-8, Vol.15, No.3, 1985-11, pp.27-37.
- 2) 特集: 知識工学, 情報処理, Vol.26, No.12, 1985-12.
- 3) 特集: エキスパートシステムズ, Computer Today, サイエンス社, No.11, 1986-1.
- 4) 溝口理一郎・角所 収: エキスパートシステムの課題と実例, 京都大学大型計算機センター第17回研究セミナー報告, 1985.12.19, pp.50-73.
- 5) F. Hayes-Roth: The knowledge-based expert system: a tutorial, Computer, IEEE, Sept., 1984, pp.11-28.
- 6) Rychener, M.D.: Expert Systems for Engineering Design: Problems Components, Techniques, and Prototypes, Report DRC-05-02-83, Design Research Center & Robotics Institute, Carnegie-Mellon Univ., Pittsburgh, PA, Mar., 1984.
- 7) Dixon, J.R., and Simmons, M.K.: Computers that design: expert systems for mechanical engineers, CIME-Computers in Mechanical Engineering, Vol.2, No.3, Nov., 1983, pp.10-18.
- 8) Elias, A.L.: Computer-aided engineering: the AI connection, Astronautics and Aeronautics, AIAA, July-Aug., 1983, pp.48-54.
- 9) MacCallum, K.J.: Creative ship design by computer, Computer Applications in the Automation

- of Shipyard Operation and Shipyard Design IV, ed. by D.F. Rogers, B.C. Nehrling and C. Kuo, North-Holland, 1982.
- 10) Lambert, J.L.: Trends in computerization in the eighties, Computer Aided Design in Civil Engineering, ed. by C.N. Kostem and M.S. Shephard, ASCE, 1984,
 - 11) Fenves, S.J., Maher, M.L., and Sriram, D.: Knowledge-based expert systems in civil engineering, Computing in Civil Engineering, ed. by C.S. Hodge, ASCE, 1984, pp.248-257.
 - 12) Fenves, S.J., Maher, M.L., and Sriram, D.: Expert systems: C.E.potential, Civil WEngineering -ASCE, Oct., 1984, pp.44-47.
 - 13) Godfrey, K.A., Jr.: Expert systems enter the marketplace, Civil Engineering-ASCE, May, 1986, pp.70-73.
 - 14) Kostem, C.N. and Maher, M.L. (ed.): Expert Systems in Civil Engineering, ASCE, 1986.
 - 15) Adeli, H.: Knowledge-based expert systems in structural engineering, Proc. 2nd International Conference on Civil and Structural Eng. Computing, London, Dec. 1985.
 - 16) Sriram, D., Maher, M.L. and Fenves, S.J.: Applications of expert systems in structural Engineering, Proc. of the Conference on Artificial Intelligence, Apr., 1983.
 - 17) 古田 均, K.S Fu, J.T.P. Yao: 知識工学—エキスパートシステム—の構造工学への応用, 土木学会誌, 1985-9, pp.28-33.
 - 18) Rooney, M., and Smith, S.E.: Artificial intelligence in engineering, Computers & Structures, Vol.16, No.1-4, 1983, pp.279-288.
 - 19) Adeli, H. and Phan, K.: A comparative study of designs based on AISC and LRFD specifications, Civil Engineering for Practicing and Design Engineers, Vol.4, 1985, pp.807-845.
 - 20) Adeli, H., and Paek, Y.J.: Computer-aided design of structures using LISP, Computers & Structures, Vol.22, No.6, 1986, pp.939-956.
 - 21) Adeli, H. and Phan, K.: Interactive computer-aided design of nonhybrid and hybrid plate girders, Computers & Structures, Vol.22, No.3, 1986, pp.267-289.
 - 22) Jain, A.K., Agarwal, A., and Gupta, A.: WAVE: An expert offshore structural analysis system, Computing in Civil Engineering, ed. by C.S. Hodge, ASCE, 1984, pp.594-603.
 - 23) Lopez, L.A., Elam, S.L., and Christopherson, T.: SICAD: A prototype implementation system for CAD, Computing in Civil Engineering, ed. by C.S. Hodge, ASCE, 1984, pp.84-94.
 - 24) 瀬口靖幸・多田幸生・田中正夫・菅沼真一郎: FEMモデル化過程のエキスパートシステム構築の一つの試み, 情報処理学会第31回全国大会, 2M-2, 1986, pp.925-926.
 - 25) 白石成人・松本 勝・谷川浩司: 新しいコンピュータ言語Prologの橋梁形式選定システムへの適用, 橋梁, 1985.5, pp.2-10.
 - 26) 白石成人・古田均・川上宏一郎: エキスパートシステムを用いた橋梁構造物の耐用性評価に関する基礎的研究, 土木学会関西支部年次学術講演会講演概要, I-115, 1986.5.
 - 27) 中村秀治・松浦真一・松井正一・寺野隆雄: 知識工学的手法に基づく水力鋼構造物の寿命予測, 土木学会論文集, No.368/I-5, 1986.4, pp.301-310.
 - 28) 早川和一・横井尚子: コンクリートのひび割れを判定, 対策を提示するエキスパート・システム — ESHELLの適用 —, NIKKEI COMPUTER, 1986.6.23, pp.179-190.
 - 29) 松尾義弘・枝村俊郎・宮垣直也: 斜面宅地開発コンサルテーションの試み, 土木学会年次学術講演会講演概要集, IV-92, 1985.9.
 - 30) Weiss, V.: Towards failure analysis expert systems, ASIM Standardization News, Apr., 1986, pp.30-34.
 - 31) New Trend: エキスパートシステム構築ツール, インフォメーションサイエンス, 第33号, Vol.4, No.11, pp.21-55.
 - 32) AI (人工知能): 実用化の夜明け, 日経コンピュータ別冊, 1985.11.
 - 33) 石塚 満: AIシステムの開発ツール, 日経コンピュータ, 1986.7.21, pp.112-132.
 - 34) 佛東洋情報システム: 推論システムBRAINS 利用者マニュアル.
 - 35) 山本 稔: 知識ベースシステムの開発を支援汎用推論「BRAINS」, 日経メカニカル, 1984.10.8, pp.78-87.
 - 36) Shortliffe, E.H.: Computer Based Medical Consultations: MYCIN, Elsevier Computer Science Library, Elsevier, 1976.
 - 37) 阪神高速道路公団: 道路構造物の点検標準 (土木構造物編), 1985.9.
 - 38) 河村忠孝: 高速道路における橋梁・高架の維持管理, 橋梁, Vol.22, No.5, 1986-5, pp.2-9.
 - 39) 谷口紀久: 橋りょうの保守<上部工の変状, 検査, 修繕>, 鉄道土木, Vol.23, No.3, 1982-3, pp.157-163.
 - 40) 土木学会関西支部: 既存橋梁の耐荷力と耐久性, 1985.7.
 - 41) 高架構造研究会編: 道路橋の点検補修, 理工図書, 1978.
 - 42) 阿保 進・加藤彦彦: 都市内高速道路の床版補強工事, 橋梁, Vol.22, No.5, 1986-5, pp.10-16.
 - 43) 富士通㈱: UTILISP 手引書.
 - 44) 浦本元人・高橋健・本堂直和: 奈井江大橋プレキャスト合成床版 (コンボスラブ) による床版打換え, 橋梁, Vol.22, No.5, 1986.5, pp.30-37.