

日本道路公団の損傷度判定法に基づく
道路橋RC床版の補修工法選定のためのエキスパート・システム

関西大学工学部 正会員 三上 市蔵
関西大学大学院 学生員 田中 成典
日本電子計算機 正会員 小森 宏昭
機東洋情報システム 正会員 安藤 黄太

1. まえがき ここ数年、各方面でAI (Artificial Intelligence)の応用分野の1つであるES (Expert System)が興味的となっている。専門家の経験や知識をESに組み込めば、その分野において、それほど専門知識を持たなくても、膨大な量の専門知識が利用可能になる。

著者らは、これまで、RC床版の損傷度判定と補修工法選定のためのESを構築してきた。^{1) 2)}点検システム、損傷メカニズムに対する考え方、損傷度の判定基準は、機関によって異なるが、日本道路公団は、10年に及ぶ、実績調査・実験的研究・アンケート調査の結果を踏まえて、損傷項目と補修工法の関連を考慮した健全度判定基準³⁾を作成した。本報告では、その知識に基づいて損傷度判定、損傷度と部分・全体補修工法の関連づけを行い、文献4)5)の補修工法に関する知識を用いて、ESを構築した。

2. RC床版の点検と補修 片側2車線以上の高架道路橋の未補修RC床版を対象とする。RC床版の点検・補修に関する手順は、種々の機関によって、微妙に異なっている。ここでは、文献³⁾の考えに従い、図-1に示す流れ図を想定した。多くの場合、点検員が床版を点検して、補修の必要性を報告した場合や報告に疑義のある場合、責任技術者が現場を再点検するような手順が組み込まれているが、図からは省いてある。

3. 知識ベースシステム 機東洋情報システムのESシェル「BRAINS」を用いて、知識ベースシステムを図-2のように構築した。知識ベースシステムは15個の知識ユニットからなっている。

まず、現場で見受けられる損傷をパネル毎に点検する。点検項目は遊離石灰と遊離石灰以外（はく離、主鉄筋の露出、豆板、空洞）の2つに大別して考える。ここで、遊離石灰以外の損傷は、施工不良によりきわめて部分的に起こり、補修工法も異なってくる。損傷パネルに遊離石灰のない場合は部分補修工法を選定する。損傷度と損傷区分の関係（表-1、2）に従い、パネル別の損傷度をA, B, C, D, a, b, cに区分する。決定した損傷区分のうち、それぞれ最上位の区分を取り、損傷ランクを表-3に従って決定する。

パネルの損傷ランクが決定された後、当該パネルに対する部分補修工法の選定に入り、³⁾表-4に示す①～⑨から適切な工法^{4) 5)}を選ぶ。ここに、防水、パテ、防錆処理は、工法①～⑨と併用する³⁾ものである。この知識をESに適するように、各

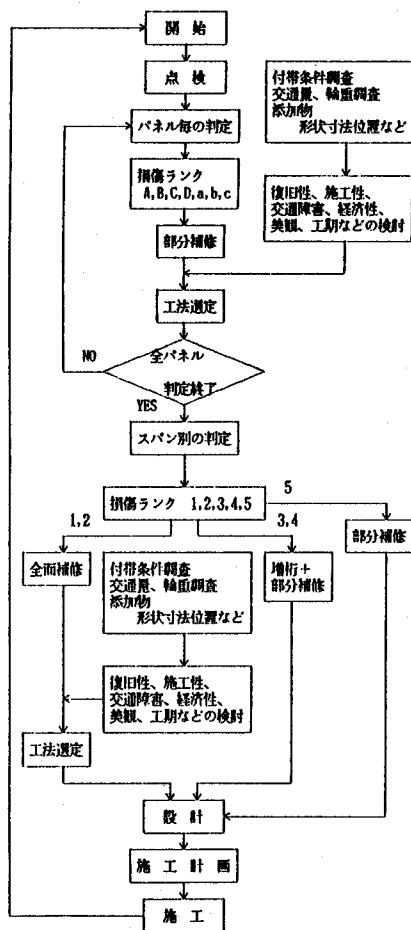


図-1 RC床版の点検・補修の流れ

損傷ランクに対する不適性工法を表-5のように、C F値-1によって絶対否定する。ランクcの場合を除き、部分補修工法の選定に進む。ランクbの場合には、パテ、防錆処理のみを行う。

次に、工法選定の根拠となる「選定条件」を整理する。文献⁴⁾の知識を基に、文献⁵⁾を参照し、選定条件として(a)耐荷力増加、(b)可能な交通規制、(c)施工性、(d)経済性、(e)美観を取り上げた。各選定条件に対する不適性工法との関係表(表-6)を作成し、不適性な工法を除外するため、CF値-1を与えた。表-7には、選定条件に対する適切な工法の知識を整理し、CF値を-0.5~0.5の範囲で与えた。さらに、現場の状況に適合するため、各選定条件に対して重みづけができるようにした。ESのユーザが、重みを0~10の数値で与えると、表-7のCF値に重みが乗じられ、10で除される。この手続きはBRAINSのコマンドで定義するときわめて冗長になるので、UTILISPを使って記述した。

なお、選定条件(b)「交通規制の可能性」は工法決定の際に極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

表-1 未補修床版の損傷度の判定基準

点検項目	区分	A	B	C	D
遊離部	一般	「B」において 泥水、錆汁で黄 色している	「C」において 泥水、錆汁で黄 色している	「D」において 泥水、錆汁で黄 色している	
	縦目	泥水、錆汁で黄 色している	2方向に発生し ている ・両方向とも間 隔が60cm以下	2方向に発生し ている ・いずれかの方 向の間隔が60cm 以上	1方向に発生し ている
灰部	縦目	泥水、錆汁で黄 色している	色が白い		

表-2 未補修床版の損傷度の判定基準 (遊離石灰灰以外)

点検項目	区分	a	b	c
はく離		径50cm以上の範囲	径10~50cmの範囲	径10cm以下の範囲
主鉄筋の露出		50cm以上の範囲	50cm以下の範囲	
豆板		径50cm以上の範囲	径10~50cmの範囲	径10cm以下の範囲
空洞		径50cm以上の範囲	径10~50cmの範囲	径10cm以下の範囲

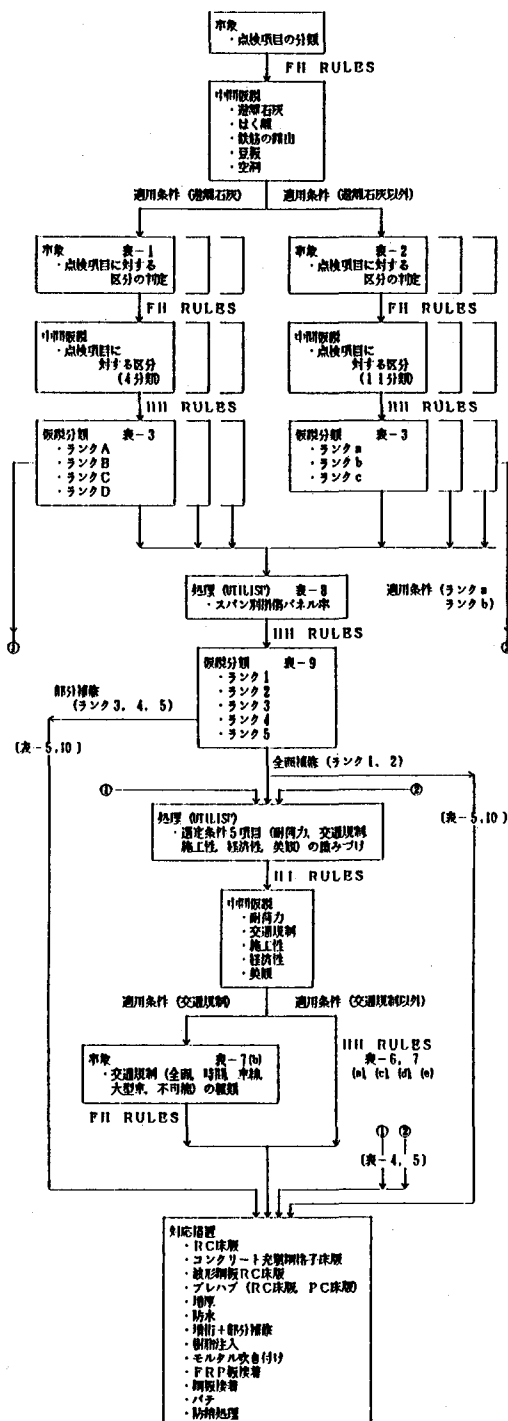


図-2 R/C床版の点検・補修ESのルール適用概念図

を実施して、打替え工法⑥～⑨を選択する方が望ましい場合がある。このような判断は、このESではできないが、選定条件(b)に対する重みを0とすることで、ほぼ同様の結果を得ることができる。

以上が、図-1のパネル毎の判定である。この判定には、繰返し作業がともなうが、BRAINSでは、一度値が設定されると、二度と問われない。そこで、パネル毎にBRAINSで推論し、パネルの状況をUTILISP上に格納する方法をとった。

1スパン中の全パネルについて判定が終了すると、全パネルの損傷状況を集計した結果に基づき、表-8に示すスパン別の判定に入る。例えば、スパン内のパネル40%以上が損傷ランクAまたはBであれば、そのスパンの損傷ランクは1となる。複数の損傷度が得られた場合は、最上位のものを当該スパンの損傷ランクとする。その意味は表-9のようである。ランク1～5に対する不適性な工法を表-5のように絶対否定する。

表-10から、損傷ランクに対応する補修方法（全面補修か部分補修）が定まる。ランク3、4の場合には部分補修に増桁工法を併用し、ランク5の場合には部分補修のみ採用する。ただし、すでに決定した各パネル毎の部分補修工法に従う。ランク1、2の場合は、全面打替えとし、⑤～⑨の中から適切な工法を選ぶ。全面打替え工法選定にあたっては、表-7の知識を適用し、重みづけ処理も施す。

4. システムの評価 首都高速道路橋⁶⁾のRC床版に対して本システムを適用した結果を述べる。例では、損傷項目に遊離石灰は無く、ひびわれに関する損傷を遊離石灰のものとして入力した。その他、不明な点は推測した。

まず最初のパネルについて判定を行う。損傷項目については、このパネルでは、一般部に二方向性の遊離石灰が生じているものとした。損傷程度が問われので入力する。入力が終わると、判定中のパネルについての、補修工法の選定に入る。工法選定条件の内、耐荷力については現行の床版設計耐荷力を確保するために、重みを"10"と入力した。その他の工法選定条件（交通規制、施工性、経済性、美観）に対しては"5"を選んだ。また、交通規制は、不可能とした。

ここまでで、最初のパネルについての判定が終了し、推論結果が表示される。この例では、パネル別の損傷ランクがCで、部分補修、部分打替えが必要であり、選定工法は鋼板接着工法であることが示される。

この後、他のパネルを判定し、最後のパネルに対して応答する。このパネルでは、遊離石灰は見られず、はく離が生じているものとした。パネル別の損傷ランクがbの場合は、工法選定条件には

表-3 パネル別の損傷ランク

状 況	ラ ン ク	
	遊離石灰	遊離石灰以外
損傷が著しく、第三者に被害を与える恐れがある	A	a
損傷が大きい	B	b
損傷が大きくなりつつある	C	-
損傷は小さい	D	c

表-4 パネル別損傷度と補修工法

工 法	部分補修工法									
	①鋼筋注入	②モルタル吹き付け	③FRP板接着	④鋼板接着	⑤増厚	⑥RC床版	⑦コンクリート床版	⑧波形鋼筋RC床版	⑨プレハブ床版	防水 バチ 防錆処理
損傷度										
遊離石灰	A					○		○	○	
遊離石灰	B			○		○		○	○	
遊離石灰	C			○		○		○		
遊離石灰	D	○	○	○						
その他	a					○		○		
その他	b									○
その他	c									○

表-5 各ランクに対する各工法の不適性

対 象	補 修 工 法									
	①鋼筋注入	②モルタル吹き付け	③FRP板接着	④鋼板接着	⑤増厚	⑥RC床版	⑦コンクリート床版	⑧波形鋼筋RC床版	⑨プレハブ床版	
工 法										
損傷度										
ランクA	-1	-1	-1	-1	-1		-1		-1	
ランクB	-1	-1	-1		-1		-1		-1	
ランクC	-1	-1	-1		-1		-1		-1	
ランクD				-1	-1	-1	-1	-1	-1	
ランクa	-1	-1	-1	-1	-1		-1		-1	
ランクb	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
ランクc	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
ランク1	-1	-1	-1	-1						
ランク2	-1	-1	-1	-1						
ランク3					-1		-1		-1	
ランク4					-1		-1		-1	
ランク5					-1		-1		-1	

関係なく、パテ+防錆処置が行われる。推論結果は、はく離が区分bで、部分補修が必要であることが示される。

最後にスパン全体についての判定がなされる。既に判定された全パネルの推論結果を集計し、スパン別の推論が行われる。推論の結果、スパンの損傷ランクは3であったため、部分補修に増桁工法を併用することが表示される。推論された工法は、実際に首都高速道路公団が用いた工法である。

5. あとがき 日本道路公団の損傷度判定法に基づく道路橋RC床版の補修工法選定のためのエキスパート・システムを構築した。実例による結果から、このシステムが妥当な結果を示すことが分かった。

なお、別報⁷⁾のESは、阪神高速道路公団の損傷度判定基準⁸⁾に基づくもので、損傷度判定から補修工法選定に至るプロセスは、本ESとは全く異なる。

参考文献

- 1) 三上市蔵・江澤義典・森澤敬文・田中成典・朝倉隆文：電算機利用に関するシンポジウム講演集，1986-10。
- 2) 三上市蔵・江澤義典・田中成典・朝倉隆文：構造工学論文集，Vol.33A, 1987。
- 3) 日本道路公団試験所コンクリート試験室：道路橋鉄筋コンクリート床版の損傷機構に基づく健全度判定と補修工法の選択，試験所技術資料，No.413，1985-3。
- 4) 土木学会関西支部：既存橋梁の耐荷力と耐久性，1985-7。
- 5) 高架構造研究会編：道路橋の点検補修，理工図書，1978。
- 6) 阿保 進・加藤竜彦：都市内高速道路の床版補強工事，橋梁，Vol.22，No.5，pp.10-16，1986-5。
- 7) 三上市蔵・田中成典・安藤黄太・小森宏昭：電算機利用に関するシンポジウム講演集，1987-10。
- 8) 阪神高速道路公団：道路構造物の点検基準（土木構造物編），1985-9。

表-6 各選定条件に対する各工法の不適性

工 法 選 定 条 件	補 修 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 増厚	⑥ RC床版	⑦ コンクリート格子床版	⑧ 波形鋼板RC床版	⑨ プレハブ床版
(a) 耐荷力増加を要む	-1	-1	-1						
全面交通規制が可能									
時間的・交通規制が可能									
(b) 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
(c) 施工性が良い工法を要む									
(d) 経済性が良い工法を要む									
(e) 美観を重んじる									

表-7 各選定条件に対する各工法の補償度

工 法 選 定 条 件	補 修 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 増厚	⑥ RC床版	⑦ コンクリート格子床版	⑧ 波形鋼板RC床版	⑨ プレハブ床版
(a) 耐荷力増加を要む	—	—	—	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
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
(b) 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
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
交通規制が不可能	0.5	-0.5	0.5	-0.5	—	—	—	—	—
(c) 施工性が良い工法を要む	-0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
(d) 経済性が良い工法を要む	0.5	0.5	0.5	0.0	0.5	0.0	-0.25	-0.25	-0.25
(e) 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

表-8 スパン別の損傷度の判定基準

パネル別 ランク	該当パネル率 (%)		
	～40	～30	～0
A	1	2	5
B	1	2	5
C	3	4	5
D	3	4	5

表-9 スパン別の損傷ランク

ランク	状 況
1	損傷が著しく、第三者に被害を与える恐れがある
2	損傷が大きい
3	損傷が大きくなりつつある
4	損傷は小さい
5	上記以外

表-10 スパン別損傷度と補修工法

工 法	全 面 補 修					部 分 補 修	
	⑤ 増厚+防水	⑥ RC床版	⑦ コンクリート格子床版	⑧ 波形鋼板RC床版	⑨ プレハブ床版	増 桁 を 併 用	表-4の 工 法
損傷度							
スパン別 損傷 ランク	1	○	○	○	○		
	2	○	○	○	○		
	3					○	○
	4					○	○
	5						○