

エキスパート・システム構築のための鋼橋疲労損傷事例の分析と知識の整理

関西大学工学部	正会員	三上	市藏
東京工業大学工学部	正会員	三木	千壽
(株)東洋情報システム	正会員	田中	成典
大日本コンサルタント(株)	正会員	○本田	博幸
関西大学大学院	学生員	土田	貴敬

1. まえがき

近年、土木工学分野においては、既存の土木構造物の維持・管理・補修が重要な課題となってきた。しかし、構造物の保全管理業務は、予算や人員の制約を受け、点検作業一つを取ってみても、きわめて複雑である。そこでは、高度な知識を有する少数の専門家と呼ばれる経験者の能力に頼っている。また、損傷度の判定、補修時期や補修方法の決定には困難が多く、担当者の知識による判断に委ねられることが多い。そのため、維持・管理・補修業務の記録を整理し、構造物の履歴を容易に読み取れるようにしておかなければならない。

文献1)では、日本や米国などで発生した損傷事例を収集し、データベースが構築されている。データベースは、情報の存在の項目を知っていて、詳しい情報を探すときに有効な手段である。しかし、エキスパート・システム(Expert System; 以下、ESと略す)による場合、知識の構造を知る必要はなく、システムが専門家の知識に基づいて発する端末からの問い掛けに即答していくだけで、知りたい情報に導かれる。このような背景のもとで、著者らは、鋼橋の疲労損傷について、過去の損傷事例を知識とし、それを整理・分析し、ルールとフレームを用いたES²⁾を構築した。

本研究は、このESの知識ベースに記述された知識(事例)が十分に洗練されていない点に鑑み、エキスパート・シェル Super Expert Plus (文殊)³⁾の機能を用い、事例を分析・整理し直した。また、先のESでは、知識はプロダクション・ルールとフレームを用いてシステム化されたが、その限界を乗り越えるための手法についても論じる。

2. エキスパート・シェル

多くのエキスパート・シェルは、ユーザが知識を整理しそれらを明確に知識ベース上に記述することを期待している。しかし、知識を整理するには多大の労力が必要となり、また、断片的知識をルール化するのはきわめて困難である。これに対して、エキスパート・シェル『文殊』は以下の利点を持っている。

①専門的な判断事例を多数入力すれば、その中に含まれる規則性が自動的に誘導される。

②不必要な知識およびルールのパターンを見つけ出すことができる。

この機能を利用すると、知識の整理が困難なく実施できるとともに、専門家の知識を洗練することもできる。

3. 既存ESの概要

著者ら²⁾は、鋼道路橋(桁橋、トラス橋、およびアーチ橋)上部構造の溶接構造に発生する疲労亀裂を対象に、疲労亀裂の点検から補修方法選定に至るES(点検リストの提示・損傷要因と作用力の推定・補修方法の選定をするES)を構築した。これには知識の源として、過去の損傷事例を文献1)4)に基づき、他の文献5)-17)も参照しながら、90ケース収集した。結果は表-1²⁾のように整理した。

点検から補修に至る維持管理業務の流れを図-1のように考え、このうち、網掛け部分を次の3つのESとした。

第1のESでは、構造形式、桁形式、平面形から、該当する損傷事例にみられる損傷構造を捜し出し、これを点検すべき構造部分としてリストアップする。第2のESでは、このリストに基づいて点検・調査を行い、損傷が発見された場合、損傷構造、損傷部分、溶接種類、継手種類、損傷要素を入力して、損傷要因と作用力を推定する。第3のESでは、補修の必要性がある場合、推定結果の損傷要因と作用力と別の情報、亀裂様式、亀裂方向から、補修方法が選定される。

4. 知識の整理

既報のES²⁾の知識ベースに記述した知識を整理し直す。第1のESに用いた知識に関して、表-1における各項目（構造形式、桁形式、平面形）から得られる結果（損傷構造）を順に『文殊』に記述し、ルールを誘導すると図-2のような結果が得られる。これは、桁形式をツリーの先頭識別とし、構造形式、平面形を場合分けし、損傷構造を探索のツリーを意味する。ここで、（衝突）は、複数の損傷構造があり得る場合を、（不足）は、事例がなくルールが生成できない場合を表す。

表-1 鋼道路橋の疲労損傷事例

番号	橋名 (国名)	構造形式	桁形式	平面形	損傷構造	損傷部分	溶接種類	継手種類	損傷要素	損傷要因	
										レベル1	レベル2
1)	橋名不明 (日本)	鋼橋	下路アーチ	直橋	吊材と補脚の溶接部	ガセットプレート 補脚上フランジ	隅肉溶接	丁継手	補脚上フランジ	風による振動	応力集中
2)	橋名不明 (日本)	鋼橋	下路アーチ	直橋	吊材部	吊材溶接 吊材フランジ	隅肉溶接	丁継手	吊材溶接	風による振動	応力集中
3)	橋名不明 (日本)	鋼橋	上路アーチ	直橋	支材と補脚の溶接部	補脚溶接板 補脚下フランジ	隅肉溶接	丁継手	補脚溶接板	吊座の作用 ディテールの不適性	2次応力
4)	橋名不明 (日本)	鋼橋	上路アーチ	直橋	支材と補脚の溶接部	ガセットプレート 補脚下フランジ	隅肉溶接	丁継手	ガセットプレート	ディテールの不適性	2次応力

作用力	亀裂様式	亀裂方向	補修方法	損傷状況	調査年度	発見年度	備考	参考文献
丁継手の作用力 ①	d	溶接に垂直な亀裂	補修方法不明	隅肉溶接溶接部から発生	1955年	1983年		5) a, 21
丁継手の作用力 ②	c	溶接に平行な亀裂	ケーブルによる吊材損傷 吊材溶接部	隅肉溶接溶接部から発生 吊材溶接部	1980年	3年以内		5) b, 21
丁継手の作用力 ③	f	溶接に垂直な亀裂	ストッパー 吊材溶接部	補脚上フランジ切欠き部の補脚溶接部 下フランジ隅肉溶接部から発生	1983年	20年以内	補脚上フランジ切欠き部 又フランジ	5) b, 21
丁継手の作用力 ④	f	垂直な亀裂	補修方法不明	ガセットプレート溶接部から発生 補脚上フランジに進展	1983年	19年以内	補脚上フランジの耐力が不足不適 損中実部	5) a, 21

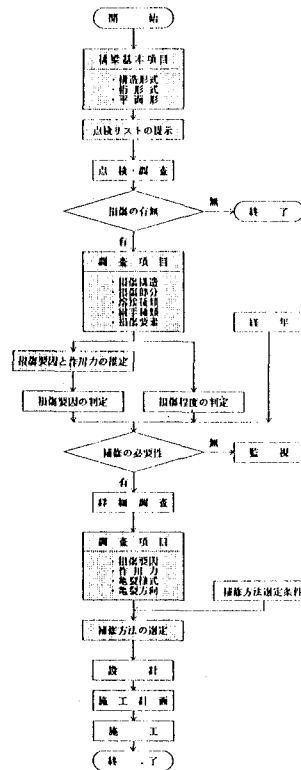


図-1 鋼道路橋の疲労損傷に関する点検から補修までの流れ

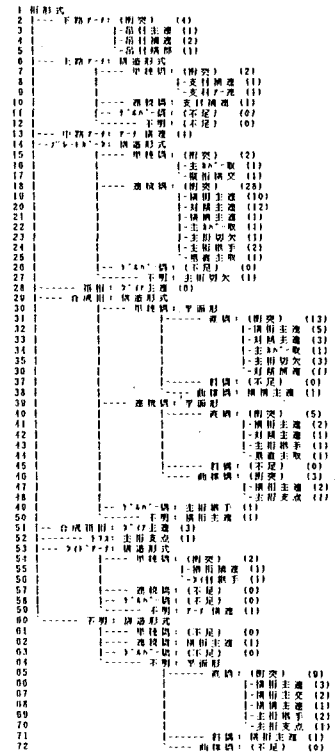


図-2 構造形式、桁形式、平面形と結果（損傷構造）のルール誘導

このツリーを基に知識を整理していく。桁形式「上路アーチ」、構造形式「ゲルバー橋」では、（不足）という結果が誘導されているが、このような（不足）の結果を導く項目は、削除する。桁形式「プレートガーダー」、構造形式「不明」の場合は、「単純橋」と、「連続橋」のケースに該当すると判断する。桁形式「合成桁」、構造形式「単純橋」、平面形「曲線橋」の場合、損傷構造として「横構主連」（横構と主桁の連結部）という結果が誘導されているが、平面形が「直橋」の場合にも起こり得ると考えられるので、「直橋」にも含ませ、桁形式「合成桁」、構造形式「連続橋」の場合も同様に考える。桁形式「合成桁」、構造形式「ゲルバー橋」の場合、「主桁継手」（主桁の継手）という結果が誘導されているが、構造形式「連続橋」と比べると、後の項目（損傷部分、損傷要素、損傷要因、補修方法など）は類似しているので、「連続橋」は「ゲルバー橋」を含むものとする。構造形式「不明」の場合、「横桁主連」（横桁と主桁の連結部）という結果が誘導されているが、これは、「単純橋」、「連続橋」の場合にも結果として誘導されているので、削除してよいと考える。桁形式「タイドアーチ」の場合、構造形式「不明」の事例は「単純橋」の事例に含ませる。

以上を考慮して、整理されたツリーを図-3に示す。図-3を基にして整理すると表-2が得られる。これは、桁形式と、構造形式からみた損傷の発生する構造に関する知識を表す。このことから、文献2)の既存システムで取り扱った「平面形」の項目が不必要な知識であることが分かった。また、桁形式さえ分かれば、損傷構造が絞り込める場合と、桁形式と構造形式が分かっ

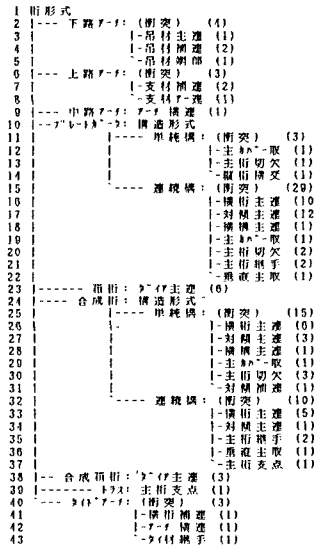


図-3 整理された誘導結果

表-2 桁形式、構造形式からみた損傷構造

桁形式	構造形式	損傷構造
上路アーチ	不明	支材と補剛桁の連結部 支材とアーチリブの連結部
中路アーチ	不明	アーチリブと横桁の連結部
下路アーチ	不明	横桁と主桁の連結部 主桁と補剛桁の連結部 主桁切欠き部
タイドアーチ	不明	横桁と補剛桁の連結部 タイドの継手 アーチリブと横桁の連結部
プレートガーダー	単純橋	主桁のカバープレート取り付け部 主桁切欠き部
	連続橋	横構と主桁の交差部 横構と主桁の連結部 主桁の継手 主桁切欠き部 横構と主桁の連結部 横構と主桁の連結部
合成桁	単純橋	主桁のカバープレート取り付け部 主桁切欠き部 横構と主桁の連結部 横構と主桁の連結部
	連続橋	主桁の継手 主桁切欠き部 主桁の継手 主桁切欠き部 主桁の継手 主桁切欠き部
合成桁箱桁	不明	ダイヤフラムと主桁の連結部
トラス	不明	主桁の支点部

始めて損傷構造が絞り込める場合の二つのケースが考えられることが分かった。例えば、桁形式が「上路アーチ」の場合、構造形式に関係なく、損傷構造として（支材と補剛桁の連結部、支材とアーチリブの連結部）が考えられる。桁形式が「合成桁」の場合、構造形式に関係なく損傷構造として（横構と主桁の連結部、対傾構と主桁の連結部）がリストに上げられる。また、構造形式が「単純橋」であれば、上記の損傷構造に加え、（主桁のカバープレート取り付け部、……、横構と主桁の連結部）があげられる。

第2のESに記述した知識を同様な考え方で整理する。表-1の各項目（損傷構造、損傷部分、損傷要素、溶接種類、継手種類）から得られる結果（損傷要因、作用力）を「文殊」に記述し、ルールを誘導し、その結果を表に整理すると、損傷構造・損傷部分・損傷要素からみた損傷要因レベル1（表-3）、損傷構造・損傷部分・損傷要素からみた損傷要因レベル2（表-4）、損傷構造・損傷部分・損傷要素からみた作用力（表-5）が得られる。

表-3 損傷構造, 損傷部分および損傷要素からみた損傷要因レベル1

損傷構造	損傷部分	損傷要素	損傷要因レベル1										
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
横桁と主桁の連結部	主桁腹板	主桁上フランジ	—	○	—	—	○	○	—	—	—	—	—
		垂直補剛材	—	—	—	—	○	○	○	—	—	—	—
	主桁上フランジ 垂直補剛材		—	○	—	—	○	○	—	—	—	—	—
	横桁腹板		—	—	—	—	○	○	—	—	○	—	—
対傾構と主桁の連結部	主桁腹板	主桁上フランジ	—	—	—	—	○	○	—	—	—	—	—
		垂直補剛材	—	—	—	—	○	○	○	—	—	—	—
	主桁上フランジ 垂直補剛材		—	—	—	—	○	○	—	—	○	—	—
	主桁フランジ		—	—	—	—	○	○	—	—	—	—	—
ダイヤフラムと主桁の連結部	主桁腹板	垂直補剛材	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—
		主桁フランジ	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—
横桁と主桁の交差部	主桁腹板	横桁下フランジ	—	—	—	—	○	○	—	—	—	○	—
横構と主桁の連結部	主桁腹板		—	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—
吊材と主桁の連結部	ガセットプレート		—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	—
主桁のカバープレート取付部	主桁上フランジ		—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	○
	主桁下フランジ	カバープレート	—	—	—	—	—	—	—	—	○	○	○
主桁の切欠部	主桁腹板		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
主桁の支点部	主桁腹板		—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	—
横桁と補剛桁の連結部	垂直補剛材		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
主桁の継手	主桁腹板		—	—	—	—	○	—	—	—	—	○	○
	主桁下フランジ		—	—	—	—	—	—	—	—	○	○	○
	水平補剛材		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	タイプレート		—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—
アーチリブと横桁の連結部	—		—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—
縦桁と横桁の交差部	—		—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—
吊材と補剛桁の連結部	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
支材と補剛桁の連結部	補剛桁腹板		—	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—
対傾構と補剛桁の連結部	ガセットプレート		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
吊材端部	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	—
支材とアーチリブの連結部	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
垂直補剛材の主桁取付部	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○
タイ材の継手	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

ただし、損傷要因レベル1は以下のとおりに定義する。

A: 原による振動

B: 沿河流の作用

C: 地震による振動

D: 荷重

E: 横断力作用

F: ディテール不適性

G: 2次的変形

H: 材質不良

I: 溶接不良

J: 製作誤差

K: 輸送架設荷重

表-4 損傷構造, 損傷部分および損傷要素からみた損傷要因レベル2

損傷構造	損傷部分	損傷要素	損傷要因レベル2				
			A	B	C	D	E
横桁と主桁の連結部	主桁腹板	主桁上フランジ	—	○	○	—	—
		垂直補剛材	—	—	—	—	—
	主桁上フランジ 垂直補剛材		—	○	○	—	—
	横桁腹板		—	○	—	—	○
対傾構と主桁の連結部	主桁腹板	主桁上フランジ	—	○	○	—	—
		垂直補剛材	—	—	—	—	—
	主桁上フランジ 垂直補剛材		—	○	○	—	—
	主桁腹板		—	—	—	—	—
ダイヤフラムと主桁の連結部	主桁腹板		—	—	○	—	—
横桁と主桁の交差部	主桁腹板	横桁下フランジ	—	○	—	—	○
横構と主桁の連結部	主桁腹板		—	—	○	—	—
吊材と主桁の連結部	ガセットプレート		—	—	○	—	—
主桁のカバープレート取付部	—		—	○	—	—	—
主桁の切欠部	—		—	—	—	—	—
主桁の支点部	主桁腹板		—	—	—	—	—
横桁と補剛桁の連結部	垂直補剛材		—	—	—	—	—
主桁の継手	—		—	○	—	—	—
アーチリブと横桁の連結部	アーチリブ		—	○	○	—	—
縦桁と横桁の交差部	—		—	—	—	—	—
吊材と補剛桁の連結部	—		—	○	—	—	—
支材と補剛桁の連結部	—		—	—	—	—	—
対傾構と補剛桁の連結部	—		—	—	—	—	—
吊材端部	—		—	○	—	—	—
支材とアーチリブの連結部	—		—	—	—	—	—
垂直補剛材の主桁取付部	—		—	—	—	—	—

ただし、損傷要因レベル2は以下のとおりに定義する。

A: 応力集中

B: 2次応力の応力集中

C: 2次応力

D: 応力集中による座屈

E: 2次応力

表-5 損傷構造、損傷部分および損傷要素からみた作用力

損傷構造	損傷部分	損傷要素	T継手の作用力							突合せ継手		片面溶接		
			①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
横桁と主桁の連結部	主桁腹板	主桁上フランジ		○										
		垂直補剛材			○									
	主桁上フランジ 垂直補剛材				○									
	横桁腹板							○						
斜隅構と主桁の連結部	主桁腹板	主桁上フランジ		○										
		垂直補剛材			○									
	主桁上フランジ 垂直補剛材				○									
	主桁上フランジ 垂直補剛材				○									
ダイヤフラムと主桁の連結部	主桁腹板	主桁上フランジ		○	○									
		垂直補剛材			○									
ダイヤフラム							○							
横桁と主桁の交差部				○										
横桁と主桁の連結部		主桁腹板		○	○									
吊材と主桁の連結部		ガセットプレート		○	○									
主桁のカバプレート取付部		主桁上フランジ								○				
		主桁下フランジ										○		
主桁の切欠部				○	○									
主桁の支点部				○	○									
横桁と補剛桁の連結部				○	○									
主桁の継手	主桁腹板	主桁上フランジ								○	○			
		垂直補剛材								○	○			
		タイプレート											○	
		アーチリブ		○	○									
アーチリブと横桁の連結部		アーチリブ		○	○									
縦桁と横桁の交差部				○	○									
吊材と補剛桁の連結部				○	○									
支材と補剛桁の連結部		補剛桁腹板		○	○									
		ガセットプレート		○	○			○						
斜隅構と補剛桁の連結部				○	○									
吊材端部				○	○									
支材とアーチリブの連結部				○	○									
垂直補剛材の主桁連結部				○	○									

第3のESに用いた知識にも上記で示した処理を施す。表-1の各項目（損傷要因、作用力、亀裂様式、亀裂方向）から得られる結果（補修方法）を「文殊」に記述し、ルールを誘導し、その結果を表に整理すると、損傷要因レベル1と補修方法の相関関係（表-6）、損傷要因レベル2と補修方法の相関関係（表-7）、作用力と亀裂様式からみた補修方法（表-8）、損傷要因レベル1と損傷要因レベル2の相関関係（表-9）、損傷要因レベル1と作用力の相関関係（表-10）、損傷要因レベル2と作用力の相関関係（表-11）が得られる。ここで、表-6～11は、2項間の関係として整理してある。

表-6 損傷要因レベル1と補修方法の相関関係

補修方法	損傷要因レベル1	応力による振動	活荷重の作用	低温	過分配作用	ディテールの不適性	2次の変形	材質不良	溶接不良	製作誤差	輸送架設荷重
ストップホール			○	○	○	○	○		○		○
ガウジング					○	○		○			
グラインダ			○						○		○
ピーニング			○						○		
腐食ギャップ増大					○	○					
腹板厚の増大						○					
切り抜き									○		
再溶接	○	○			○	○		○	○		
フランジと補剛材を溶接						○					
再溶接		○									
補剛材付き溶接板								○			
高力ボルト		○			○	○	○	○	○		○
溶接板		○				○			○		
挿入板									○		
ケーブルによる吊材相互の繋結	○										
横桁と主桁のフランジ連結					○	○					
斜め構と主桁のフランジ連結					○						
ダイヤフラムと主桁のフランジ連結						○					
横桁とアーチリブのフランジ連結						○					
縦桁支梁の交換			○								
主桁の交換						○					
連結板の交換											
新補剛材の設置										○	
斜め構の設置										○	

表-7 損傷要因レベル2と補修方法の相関関係

補修方法	損傷要因レベル2	応力集中	2次応力の 応力集中	2次応力	応力集中 による座屈 2次応力	残留応力
ストップホール		○	○	○	○	○
ガウジング		○	○		○	
グライディング		○	○	○		
ピーニング		○				
脂版ギャップ増大			○		○	
脂版厚の増大						○
切り抜き		○				
再溶接		○	○	○	○	
フランジと補剛材を溶接			○			
再溶融		○				
補剛材付き溶接板						○
高力ボルト		○	○	○	○	○
溶接板		○		○		○
挿入板		○				
ケーブルによる吊材相互の緊結		○				
横桁と主桁のフランジ連結			○		○	
斜剛梁と主桁のフランジ連結			○		○	
ダイヤフラムと主桁のフランジ連結			○			
横桁とアーチリブのフランジ連結			○			
縦桁支承の交換		○				
主桁の交換		○				
連結版の交換		○			○	
新補剛材の設置		○				
斜剛梁の設置		○				

表-8 作用力と亀裂様式からみた補修方法

補修方法	亀裂様式	作用力				T継手 ②				T継手 ③				T継手 ⑦		突合せ 継手 ⑧	突合せ 継手 ⑨	片面溶接 継手 ⑩	片面溶接 継手 ⑪
		(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)	(m)	(n)	—	—	(i)	(j)
ストップホール		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
ガウジング		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
グライディング		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
ピーニング			○											○					○
脂版ギャップ増大										○	○								
脂版厚の増大										○									
切り抜き										○								○	
再溶接			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○
フランジと補剛材を溶接			○					○		○	○								
再溶融																			○
補剛材付き溶接板											○								
高力ボルト		○	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○
溶接板			○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
挿入板																		○	
ケーブルによる吊材相互の緊結		○		○															
横桁と主桁のフランジ連結		○						○	○										
斜剛梁と主桁のフランジ連結		○							○	○									
ダイヤフラムと主桁のフランジ連結		○								○									
横桁とアーチリブのフランジ連結											○								
縦桁支承の交換				○										○					
主桁の交換																			○
連結版の交換																			○
新補剛材の設置																○			
斜剛梁の設置																○			

表-9 損傷要因レベル1と損傷要因レベル2の相関関係

レベル1	レベル2	応力集中	2次応力の 応力集中	2次応力	応力集中 による座屈 2次応力	残留応力
風による振動		○				
活荷重の作用		○		○		
地震による振動		○				
低温		○				
横分配作用		○	○			
ディテールの不適性		○	○	○	○	○
2次的変形			○	○		
材質不良		○			○	
溶接不良		○	○			○
製作誤差		○				
輸送架設荷重				○		

表-10 損傷要因レベル1と作用力の相関関係

レベル1	作用力	T継手 ②	T継手 ③	T継手 ⑦	突合せ継手 ⑧	突合せ継手 ⑨	片面溶接 継手 ⑩
風による振動		○					
活荷重の作用		○	○	○			○
地震による振動			○				
低温		○				○	
横分配作用		○	○				○
ディテールの不適性		○	○	○			
2次的変形		○	○				
材質不良			○		○		○
溶接不良		○	○	○	○	○	○
製作誤差				○			
輸送架設荷重			○				

表-11 損傷要因レベル1と作用力の相関関係

レベル2	作用力	T継手 ②	T継手 ③	T継手 ⑦	突合せ継手 ⑧	突合せ継手 ⑨	片面溶接 継手 ⑩
応力集中		○	○	○	○	○	○
2次応力の応力集中		○	○				
2次応力		○	○	○			
応力集中による 座屈2次応力		○	○				
残留応力				○			

5. ESへのアプローチ

文献2)では、知識をプロダクション・ルールとフレームを用いシステム化を図った。推論には、マッチング手法を用いて、過去のデータを検索した。そこでは、知識は複数の階層属性からなっているため、フレーム構造で記述したが、検索されたデータの属性を即座に知るのに有効であることが分かった。しかし、全ての項目に関してマッチングを採用しているため、該当しないケースが多く発生した。これには、以下に示すような要因が考えられる。

- ①事例ケースが少なく、知識不足であること。
- ②単純に推論可能な場合と複雑に推論しなくてはならない場合とを区別せずに、全ての知識がある形式に沿っていると考えていること。
- ③全ての問い掛けに答え、それとデータのマッチングを採らないと推論されないこと。
- ④項目間の相関関係が詳細に記述されていないこと。

本研究では、②に関しては、「文殊」を用いて、限られた事例の中で単純に決定できる知識については整理し直した。しかし、③、④に関しては、別な推論方法を検討すべきである。

従来の推論では、「IF A THEN B」と定義されたルールは、「A」が見受けられたとき初めて「B」になにがしかのアクションが起こり、「B」が見受けられたときには、「A」に対してノンアクションであった。このような推論は不適切であり、本来の知識を有効に使用しているとは言えない場合がある。図-4に網かけで示した場合がそうである。

- ・損傷要因レベル1と損傷要因レベル2の相関関係
- ・損傷要因レベル1と作用力の相関関係
- ・損傷要因レベル2と作用力の相関関係
- ・損傷要因レベル1と補修方法の相関関係
- ・損傷要因レベル2と補修方法の相関関係
- ・作用力と亀裂様式の相関関係
- ・亀裂様式と補修方法の相関関係

これらの相関関係を用いて意味を持たせるのがよい。図-4における網かけ部分以外の「→」マークで関係づけられているものについては、従来の表層システム¹⁰⁾で扱うことができる。2項間の相関関係において関係づけられた知識の推論方法として次のようなものが考えられる。

- ①逆方向の推論
- ②複数属性の階層関係による推論
- ③対偶関係による推論
- ④因果、階層による推論
- ⑤現象想定による推論

ここで、①に関しては、2項間の関係「A→B」から「A←B」の関係を生成して推論を行う。②に関しては、ある状態の属性を考慮した推論を行う。③に関しては、関係「A→B」から「not A←not B」の関係を生成して推論を行う。④に関しては、ネットワークをたどり推論された仮説が、下位の全ての仮説で否定されているときに、その推論された仮説を否定する推論を行う。⑤に関しては、想定された現象から推論された仮説が、全ての現象をネット

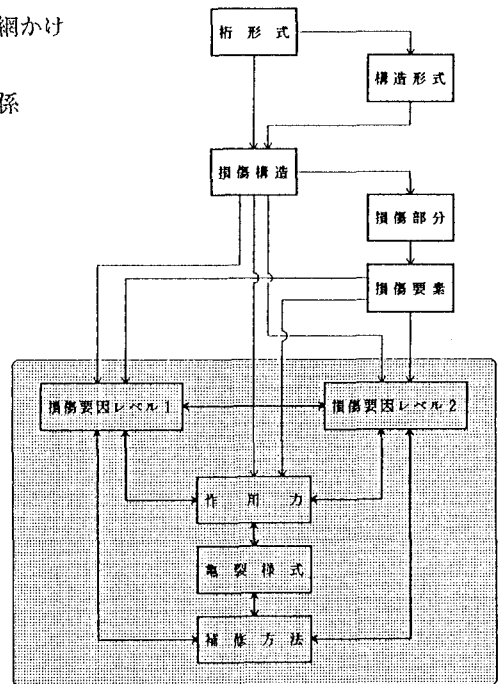


図-4 プロダクション・ルールと
中間仮説間の因果関係

ワークをたどり推論できれば、その仮説の有効性を高める推論を行う。上記の推論方法を用いて、ネットワーク内の推論を行い、そこから得られる情報を使用者が判断する方法を採用。また、ネットワークが学習する機能を付加し、常に最新情報をシステムの使用者が得られることを想定することも今後の研究課題である。

6. あとがき

本研究では、鋼橋の疲労損傷エキスパート・システム²⁾に用いた知識を、エキスパート・シェル(文殊)を用いて分析・再検討を行い、整理し直した。本研究で得られた結果を以下に示す。

- (1)知識の規則性を見出すことができた。
- (2)規則性から、知識の必要・不必要を見出すことができた。
- (3)複雑な知識の簡略化が図れた。
- (4)2項間の関係づけが可能になった。その結果、知識間の相関関係が明確になった。
- (5)熟練技術者の断片的知識に近づけることが可能になった。

知識を整理した結果得られた表-2~11が多くのエキスパートの知識と比較して妥当であるのかが興味あるところである。また、表-6~11の相関関係を用いて多方向からの推論を行い、知識ベースを検討してゆきたい。

参 考 文 献

- 1) 三木千寿・坂野昌弘・館石和雄・福岡良典：鋼橋の疲労損傷事例のデータベースの構築とその分析，土木学会論文集，No.392/I-9，pp.403-410，1988.4.
- 2) 三上市蔵・三木千寿・田中成典：鋼道路橋の疲労亀裂に関するルールとフレームによる知識ベース・エキスパートシステム，構造工学論文集，Vol.35A，pp.977-990，1988.3.
- 3) ㈱第一コンピュータリソース：SuperExpert Plus Version 4.0『文殊』USER'S MANUAL.
- 4) 福岡良典：鋼橋の疲労損傷診断に関するエキスパート・システム，東京工業大学卒業論文，1987.3.
- 5) 西川和弘：道路橋における疲労問題と補修・補強，橋梁と基礎，Vol.17，No.8，pp.19-23，1983.8.
- 6) 三木千寿・Fisher, J.W.：海外の橋梁における疲労問題と補修・補強，橋梁と基礎，Vol.17，No.8，pp.18-24，1983.8.
- 7) J.W. Fisher・三木千寿：米国の溶接橋梁に生じた疲労被害例，橋梁と基礎，Vol.16，No.10，pp.18-24，1982.10.
- 8) 鋼構造委員会疲労変状調査小委員会：鋼橋の疲労変状調査，土木学会論文集，土木学会，第368号/I-5，1986.4.
- 9) 西川和宏：プレートガーダー橋の疲労損傷事例，道路，pp.58-63，1985.7.
- 10) J.W. Fisher・阿部英彦・三木千寿：鋼橋の疲労と破壊—ケーススタディー—，建設図書，1987.
- 11) 阪神高速道路における土木構造物補修事例集，阪神高速道路公団保全設置部，(株)阪神高速道路管理技術センター，1982.7.
- 12) 日本技術検査協会：(連載1) 鋼道路橋の点検マニュアル，橋梁，Vol.23，No.9，pp.38-49，1987.9.
- 13) 日本技術検査協会：(連載2) 鋼道路橋の点検マニュアル，橋梁，Vol.23，No.10，pp.50-60，1987.10.
- 14) 日本技術検査協会：(連載3) 鋼道路橋の点検マニュアル，橋梁，Vol.23，No.11，pp.45-53，1987.11.
- 15) 日本技術検査協会：(連載4) 鋼道路橋の点検マニュアル，橋梁，Vol.23，No.12，pp.33-39，1987.12.
- 16) 三木千寿：米国における道路橋の破損と保守，道路，pp.26-30，1982.11.
- 17) 三木千寿・西川和宏・Fisher, J.W.：鋼橋の疲労損傷とその検査，橋梁と基礎，Vol.20，No.5，pp.17-21，1986.5.
- 18) 上野晴樹：知識工学入門(改訂2版)，オーム社，1989.