

橋梁の損傷要因診断事例からのラフ集合を用いた ルール型知識の獲得および共有方法に関する研究

A STUDY OF TECHNOLOGY FOR ACQUIRING AND SHARING ROUGH SET BASED RULE TYPE KNOWLEDGE
FROM DIAGNOSIS DATA OF BRIDGE DAMAGE FACTORS

古田 均*, 木村壽夫**, 広兼道幸**, 田中成典**, 三雲是宏***

Hitoshi FURUTA, Toshio KIMURA, Michiyuki HIROKANE, Shigenori TANAKA, and Yukihiro MIKUMO

*工博 関西大学教授 総合情報学部 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1)

**工博 関西大学助教授 総合情報学部 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1)

*** (株) ニュージェック 情報技術部 (〒542-0082 大阪府中央区島之内 1-20-19)

Many of the existing structures present an ever-increasing demand for maintenance and repair. It is needed in the first place to diagnose such structures correctly. The diagnoses have been dependent to date upon experts of long experience. To meet the increasing demand for maintenance and repair and perform diagnoses efficiently and correctly, the development of expert systems is hoped for. The present paper discusses the acquisition and sharing of the diagnosis data of experts by using techniques based on the Internet.

Key Words : Acquiring and Sharing of Diagnosis Data, Rule Type Knowledge ,
Diagnosis of Structures, Damage of Bridges

1. はじめに

現存する構造物の中には、建設後から現在に至るまでの間に、地震、台風、衝撃などの様々な外的作用によって使用性や安全性に関する問題が発生しており、これらの既存構造物の維持管理は重要な問題となっている。

構造物が明らかな損傷を呈している場合には、これらの判断はさほど難しくはないが、内部に重大な損傷を含んでいる場合にはかなり難しく、複雑な損傷状況に関する判断を適切に行なうには、表面にみられる損傷の状況、あるいは、利用できる情報（損傷原因、損傷の進行状況、構造物の重要度、構造物の設計諸元、周囲の環境など）を相互に関連させ、総合的な見地から構造物の健全性を評価する必要がある。しかしながら、健全性の評価に利用できるデータはあいまいなものであり、これらのデータを種々の側面から検討し、直感や経験を基に、損傷原因や損傷の進行状況などを評価していかなければならないのが現状である。

著者らは、構造物の健全性評価において経験豊富な専門家の直感や工学的判断に頼らざるを得ないというこれまでの方法を効率化することを目指し、ラフ集合を用い

て専門家の経験的知識から評価を決定付けるために必要な知識か否かを識別しながら、評価に必要な知識を抽出して ES (エキスパートシステム) を構築する際のルールを単純化する方法について研究してきた¹⁾。それらの研究では、専門家が橋梁の鉄筋コンクリート床版の表面上の損傷状況から損傷要因を評価した事例²⁾に対してラフ集合を適用し、事例と同等の評価が下せる極小決定アルゴリズムを生成する手順を示した。現在、この極小決定アルゴリズムに含まれる要因をもとに、ES を構築する際の「IF 条件部 (条件属性) THEN 結論部 (決定属性)」のような知識型ルールを誘導し橋梁の損傷要因を推定するシステムを開発している。

しかしながら、現段階では、提案したこの方法を有効に活用するためのチューニングを実施するほどまでには、専門家による橋梁の損傷要因を評価した事例データが充実していない。

そこで本論文では、専門家による事例データを広く獲得し、さらに土木技術者が事例データならびに前述の知識型データを共有して橋梁の健全性評価に役立てることをめざし、最近普及の著しいインターネット上で活用で

きる事例データの獲得・共有システムの構想を立案した。

まず、第2章では、事例データの獲得・共有システムを実現するためのハードウェア、ネットワーク構成を示しシステムの概略について説明する。

次に、第3章では、システムをインターネット上に展開し事例データを獲得する方法について検討する。さらに、事例データの共有と公共事業にもたらされる効果³⁾が注目されているCALSへの将来的な対応を考え、データの標準化方法について検討する。

第4章では、獲得した事例データからルール型知識を抽出する過程について説明する。

第5章では、獲得した事例データおよびこれらによって得られるルール型知識の提供による維持管理支援方法について検討する。

最後に、本研究の成果について述べ、今後の研究課題を明らかにする。

2. 事例データの獲得・共有システムの概略

前報¹⁾で提案した方法を有効に活用するためには、より多くの事例について専門家が損傷要因を評価したデータが必要となる。この事例データを効率的に獲得するためには、一般に広く普及し土木技術者の多くが容易にアクセスすることが可能なインターネットを利用するのが有効である。

インターネットを利用して事例データを獲得・共有するには、①システムを構築したサーバ、②コンピュータを電話回線に接続するための機械（モデムまたはTA）、③電話回線、④一般の土木技術者がインターネットに自由にアクセスするためのクライアント・パソコンが必要となる。図-1にこのようなハードウェア、ネットワークの構成を示す。

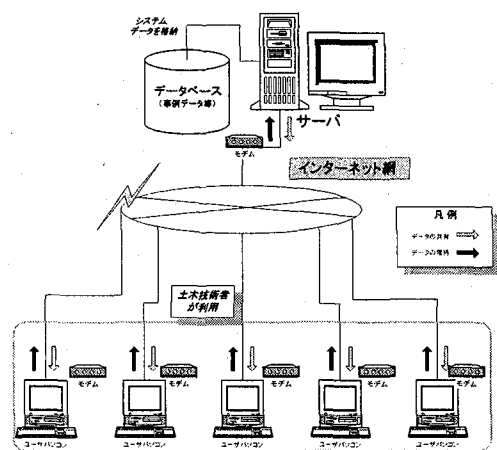


図-1 ハードウェア、ネットワークの構成

事例データは次の手順で獲得できる。まず、任意の土木技術者が自分のパソコンを使って、橋梁の診断事例に

関するデータを入力し、インターネットを介してサーバ側へアップロード（データ送信）する。データを受信するサーバにはデータを体系的に保管するデータベースを構築しておき、任意の土木技術者から送られてきたデータが自動的に既存のデータ群に追加されて新しいデータ群が生成される。この動作が繰り返されることによって新しい事例データがデータベース内に獲得される。土木技術者がデータを入力する際には、簡単なアンケートを実施するなどの方法により、土木技術者の判断レベルがある程度ランクわけできるような工夫を行う。

また、土木技術者はインターネットを利用して、サーバに構築されたデータベースにアクセスしダウンロード（データ受信）を行うことによって、全部または必要なデータを共有することができる。本システムで取扱うデータとその利用目的を表-1に示す。

表-1 データと利用目的

データ	利用目的
専門家の評価事例	専門家が橋梁の健全性について評価した結果からルール型知識を導くために利用
写真	全景の把握、損傷箇所の把握
図面	形状の把握、構造の確認
諸元データ	橋梁のスペックの確認

3. 損傷要因を評価した事例データの獲得方法

インターネットを利用した情報の獲得・共有というデータ交換は、Web Pageを用いたデータのアップロード（送信）とダウンロード（受信）によって行う。

ここでは、インターネットを利用して獲得する事例データについて明らかにし、事例データの獲得・共有方法を次に説明する。

3.1 獲得する専門家の評価事例

インターネットを利用して獲得しようとする専門家の評価事例は、橋梁の鉄筋コンクリート床版の目視できる損傷から損傷要因を診断したものである。

橋梁の損傷要因は、損傷の特性から表-2に示すように（A：荷重等、B：設計・構造上、C：施工上、D：その他）の4つに整理した。これらの損傷要因を判定するための判定要因は、専門家の着眼点によってまとめられた事例を参考にして表-3のように「ひびわれ状況」、「はく離による露出」など16の判定要因に整理した。そして、判定要因(1)を除く判定要因に対しては、①多くある、②ある、③若干ある、④ない、という4つの項目を設定した。専門家による診断は、これらの各判定要因に対して該当する項目を選択したうえで総合的な評価を下して損傷要因（A：荷重等、B：設計・構造上、C：施工上、

表-2 橋梁の損傷要因とその詳細

損傷要因：A (荷重等)	損傷要因：B (設計・構造上)	損傷要因：C (施工上)	損傷要因：D (その他)
・ 過大な輪荷重の作用 ・ 衝撃作用 ・ 輪荷重通行位置と支持桁配置の関係	・ 床版厚不足による剛性不足 ・ 鉄筋量不足による剛性不足 ・ 配力鉄筋量の不足 ・ 主鉄筋の曲げ上げ位置の不適性 ・ 主桁作用の乾燥収縮による引張り応力 ・ 不等沈下による付加曲げモーメント ・ 床版の負の曲げモーメント引張り力 ・ 荷重分配横桁の有無	・ コンクリートの低品質 ・ 打設時における冬場の凍結影響 ・ 養生の施工不良 ・ 施工打継目の処理不十分 ・ 配筋の誤差 ・ かぶり不足	・ 気象作用による凍結、融解等の影響 ・ 塩分（凍結防止剤） ・ 表面排水の良否

表-3 専門家の着眼点による損傷要因とその判定要因

判定要因	項 目	判定要因	項 目
(1) 損傷箇所	①ハンチ部 ②支間中央 ③片持ち	(9) かぶり欠落	①多くある ②ある ③若干ある ④なし
(2) 橋軸方向のひびわれ	①多くある ②ある ③若干ある ④なし	(10) 破壊	①多くある ②ある ③若干ある ④なし
(3) 幅員方向のひびわれ	①多くある ②ある ③若干ある ④なし	(11) 遊離石灰流出	①多くある ②ある ③若干ある ④なし
(4) 縦横方向のひびわれ	①多くある ②ある ③若干ある ④なし	(12) 漏水	①多くある ②ある ③若干ある ④なし
(5) 格子状のひびわれ	①多くある ②ある ③若干ある ④なし	(13) かぶり不足による露出	①多くある ②ある ③若干ある ④なし
(6) 亀甲状のひびわれ	①多くある ②ある ③若干ある ④なし	(14) はく離による露出	①多くある ②ある ③若干ある ④なし
(7) 貫通ひびわれ	①多くある ②ある ③若干ある ④なし	(15) 鉄筋発錆	①多くある ②ある ③若干ある ④なし
(8) 浮き有り	①多くある ②ある ③若干ある ④なし	(16) 鉄筋腐食	①多くある ②ある ③若干ある ④なし

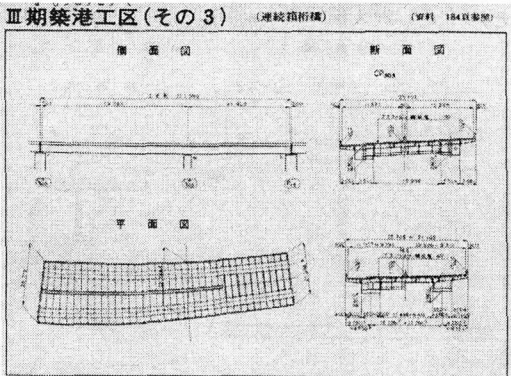


図-3 入力する図面の例

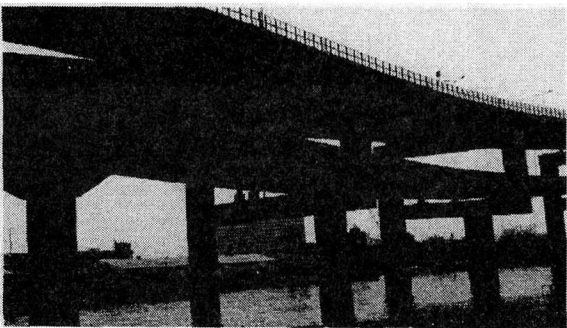


図-4 入力する写真の例

D:その他)を決定するように定型化した。なお、本研究では目視情報のみ取り扱うため、中性化は考慮していない。

3.2 事例データの入力方法

入力対象とするデータは、表-1 に示すように専門家による評価事例と橋梁年鑑に基づき付属情報として役立つ橋長や幅員などの諸元、図面、写真とした。諸元、図面、写真の例をそれぞれ図-2、図-3、図-4 に示す。

図面は、側面図、平面図、断面図を入力対象とする。写真については損傷箇所を撮影したものも入力対象とする。

橋 長	101.999	橋 幅	15.000(上・下・中・外)
橋 高	(A) 11.700(上・下・中・外)	コンクリート	コンクリート
支 間 距	50.000+41.400	鉄 筋 材	鉄 筋 材
幅 員 数	40.000	鉄 筋 材	鉄 筋 材
橋 梁 種 別	RC 橋	橋 梁 種 別	RC 橋
材 質 内 容	RC 橋	材 質 内 容	RC 橋

図-2 入力する諸元の例

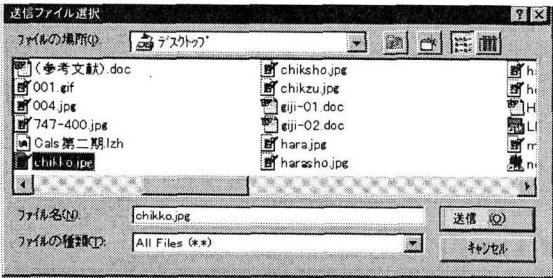


図-5 入力インターフェイスの例

専門家による評価事例は、土木技術者側のパソコン上に Web Page で作成した入力インターフェイスを表示し、ある橋梁の事例について 3.1 節で述べた 16 の判定要因に対する項目と総合的な評価である損傷要因を入力する。多数の土木技術者によってデータ入力が繰り返されると、一例として表-4 に示すようなデータ群が形成される。

橋梁年鑑に基づく付属情報のうち、写真データは土木技術者側のパソコン上に Web Page で作成した入力インターフェイスを表示し、入力しようとする写真ファイルを選び送信ボタンをクリックして入力する (図-5)。

図面データは、土木技術者側のパソコン上に Web Page で作成した入力インターフェイスを表示し、入力しようとする図面ファイルを写真の場合と同様の方法で選び、送信ボタンをクリックして入力する。

諸元データは、土木技術者側のパソコン上に Web Page で作成した入力インターフェイスを表示し、そこに設けられた入力欄に数値を打ち込んで入力する。入力された数値データは、サーバに構築されたシステム側でデータベースへ登録する。

表-4 専門家の評価事例

事 例	判定要因																損傷要因
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	
事例 1	1	2	3	2	2	2	2	2	2	1	4	2	4	1	4	4	A
事例 2	1	3	2	2	2	2	2	2	2	2	4	3	4	2	4	4	A
事例 3	1	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2	1	4	1	4	4	B
事例 4	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	2	2	4	1	4	4	B
事例 5	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	4	2	4	4	B
事例 6	1	1	3	1	1	1	1	2	2	1	4	2	4	1	4	4	B
事例 7	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	B
事例 8	1	4	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	B
事例 9	1	4	2	2	2	2	2	4	4	2	2	3	4	4	4	4	B
事例 10	1	4	2	2	2	2	2	4	4	3	3	3	4	4	4	4	B
事例 11	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	3	3	C
事例 12	1	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4	3	4	3	3	3	C
事例 13	1	4	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	C
事例 14	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	2	2	2	2	C
事例 15	1	4	3	3	3	3	3	2	2	2	4	4	1	1	2	2	C
事例 16	1	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	D
事例 17	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	2	2	D
事例 18	1	4	4	4	4	3	3	4	4	3	1	1	4	3	2	2	D
事例 19	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	4	2	4	2	1	1	A
事例 20	2	4	4	1	1	2	1	2	2	2	4	4	4	4	4	4	A
事例 21	2	4	4	4	4	2	2	4	4	2	4	4	4	4	4	4	A
事例 22	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	3	4	4	4	4	4	B
事例 23	2	1	2	2	2	2	2	4	4	4	3	4	4	4	4	4	B
事例 24	2	1	4	2	2	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	B
事例 25	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	B
事例 26	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4	B
事例 27	2	2	4	2	2	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	B
事例 28	2	2	4	3	3	2	2	4	4	3	2	3	4	4	4	4	B
事例 29	2	4	4	2	2	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	B
事例 30	2	3	3	3	3	2	2	3	3	2	4	4	3	3	4	4	C
事例 31	2	4	4	2	2	2	2	2	3	2	4	4	4	4	4	4	C
事例 32	2	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	C
事例 33	2	3	4	3	3	2	2	3	3	3	3	1	4	3	3	3	C
事例 34	2	4	4	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	2	4	4	C
事例 35	2	3	4	3	3	3	3	2	2	3	4	4	3	3	4	4	C
事例 36	2	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4	D
事例 37	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	D
事例 38	2	4	4	4	4	4	4	4	4	1	3	4	4	4	4	4	D

3.3 事例データの共有方法

土木技術者の入力するデータにおいて、写真、図面、諸元データは出所が多岐にわたることが考えられるため、インターネット上に公開するにはデータを標準化することを考えなければならない。

標準化についての規格は、国際標準化機構 (ISO: International Organization for Standardization) で定められている。ISO には設計・製造・保守に関する全ての図面データをまとめて扱う規格 STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data)、図・表・イラストといった線画グラフィックデータを対象とした規格 CGM (Computer Graphics Metafile)、数値・文章などのテキストデータを対象とした規格 SGML (Standard Generalized Markup Language) などがあるが、本研究ではこれらの規格と提案するシステムの制約などを考慮に入れて標準化方法を検討した。

(1) 専門家による評価事例データの標準化

専門家による評価事例データは、文書の標準化に関する規格としてよく知られている SGML によって標準化する。これらの事例データは、数値、テキストで構成され、文書とほぼ同等に扱うことが可能である。

SGML は、米国 DoD の CALS 規格においてドキュメント記述形式として採用されていることで知られ、1986 年に ISO で承認されている。この規格は「SGML 宣言」、「文書型定義」、「文書インスタンス」という 3 つの要素により構成されている。SGML 宣言 (SGML Declaration) では、SGML 化された文書に関する記述規約が宣言されている。文書型定義 (DTD: Document Type Definition) では、文書の階層構造が定義されている。文書インスタンス (Document Instance) は、文書内容の記述となっている。

最近ではワープロ等で作成した既存の文書データを容易に SGML へ変換するソフトウェアが開発されている。Windows 上で容易に SGML 文書を作成できるソフトウェアとしては、アンテナハウス社の「Tagme R2 for Windows95」等がある。このような変換ソフトウェアを導入することにより、専門家による評価事例のデータは SGML 化することが可能である。

(2) 写真データの標準化

写真データは、画像データの規格としてよく知られている JPEG によって標準化する。写真を画像データとして取り扱い、インターネットのような通信ネットワークを利用してデータ交換する際には、ファイルのデータ容量を小さくすることが重要な課題となる。画像データの規格には JPEG のほかに、GIF、TIF、BMP など多くの形式がある。これらの規格のうち、JPEG は実際の写真情報を圧

縮して記録するファイル形式であり、他の形式に比べて容量を小さくすることができる。この JPEG の他にも写真情報を圧縮して記録するファイル形式として、最近注目されている米国 Adobe 社の PDF もあるが、実際に写真を記録するデジタルカメラやフィルムスキャナでは、PDF 形式ではなく JPEG 形式で画像データを記録するものがほとんどである。

ファイル形式が JPEG でない既存の画像データについても、米国 Adobe 社の PhotoShop 等のソフトウェアで簡単に JPEG 化することができ、イメージスキャナやデジタルカメラで撮った画像もダイレクトに JPEG 形式で保存することが可能である。

(3) 図面データの標準化

図面データは、米国 Adobe 社の提供する PDF によって標準化する。図面を電子データに変換する場合、図面データは大別して紙面に描かれた図面をスキャンしたラスターデータか CAD で描かれたベクトルデータのいずれかで提供される。図面データの場合も、写真データの場合と同様にインターネットのような通信ネットワークを利用してデータ交換を行う際には、ファイルのデータ容量を小さくすることが重要な課題となる。ベクトルデータは使用した CAD ソフトによって特有のデータフォーマットがあり、作成する際に用いたソフトが異なるベクトルデータ同士では互換性がない。CAD ソフトの多くは独自のデータフォーマットを持っているが、米国 AutoDesk 社の CAD ソフト「AutoCAD」のデータフォーマットである DXF 形式へ変換する機能を持っている場合が多い。しかし、この機能を用いて「AutoCAD」の DXF 形式で生成されたベクトルデータは、図面内に併記されている文字が正常に表示されないという問題があり、実際の使用には困難が伴う。このような状況から、本研究では図面活用の目的を橋梁の形状と寸法の把握としてとらえること、獲得する図面データがラスターデータとベクトルデータの混在型であることに留意した。

(4) 諸元データの標準化

諸元データは、数値、テキストで構成され、文書とほぼ同等に扱うことが可能であるため、専門家による評価事例のデータと同様に SGML 化して標準化する。

4. 事例データによるルール型知識の抽出

本システムでは、獲得した事例データをもとに前報で提案した極小決定アルゴリズムを生成させ、このアルゴリズムに含まれる要因をもとに ES を構築する際のルール型知識を抽出する。

ここでは、ルール型知識の導出過程について説明する。

表-5 判定要因の数が極小となる組み合わせの例

ケース	判 定 要 因	ケース	判 定 要 因	ケース	判 定 要 因
CASE 1	(3) (4) (10) (14)	CASE 2	(3) (5) (10) (14)	CASE 3	(1) (3) (4) (10) (14)
CASE 4	(1) (3) (5) (10) (14)	CASE 5	(1) (4) (10) (11) (14)	CASE 6	(1) (4) (10) (13) (14)
CASE 7	(1) (5) (10) (11) (14)	CASE 8	(1) (5) (10) (13) (14)	CASE 9	(1) (6) (9) (11) (14)
CASE10	(2) (3) (4) (10) (14)	CASE11	(2) (3) (5) (10) (14)	CASE12	(2) (3) (9) (10) (14)
CASE13	(2) (4) (10) (11) (14)	CASE14	(2) (5) (10) (11) (14)	CASE15	(3) (4) (5) (10) (14)
CASE16	(3) (4) (6) (10) (14)	CASE17	(3) (4) (6) (11) (14)	CASE18	(3) (4) (7) (10) (14)
CASE19	(3) (4) (8) (10) (14)	CASE20	(3) (4) (9) (10) (14)	CASE21	(3) (4) (10) (11) (14)
CASE22	(3) (4) (10) (12) (14)	CASE23	(3) (4) (10) (13) (14)	CASE24	(3) (4) (10) (14) (14)
CASE25	(3) (4) (10) (14) (16)	CASE26	(3) (5) (6) (10) (14)	CASE27	(3) (5) (6) (11) (14)
CASE28	(3) (5) (7) (10) (14)	CASE29	(3) (5) (8) (10) (14)	CASE30	(3) (5) (9) (10) (14)
CASE31	(3) (5) (10) (11) (14)	CASE32	(3) (5) (10) (12) (14)	CASE33	(3) (5) (10) (13) (14)
CASE34	(3) (5) (10) (14) (15)	CASE35	(3) (5) (10) (14) (16)	CASE36	(3) (6) (9) (10) (14)
CASE37	(3) (6) (9) (11) (14)	CASE38	(3) (7) (8) (10) (14)	CASE39	(3) (7) (9) (10) (14)
CASE40	(4) (6) (8) (11) (14)	CASE41	(4) (6) (9) (11) (14)	CASE42	(4) (7) (8) (11) (14)
CASE43	(4) (7) (9) (11) (14)	CASE44	(4) (8) (10) (11) (14)	CASE45	(4) (8) (10) (13) (14)
CASE46	(4) (9) (10) (11) (14)	CASE47	(4) (9) (10) (13) (14)	CASE48	(4) (10) (11) (12) (14)
CASE49	(4) (10) (12) (13) (14)	CASE50	(5) (6) (8) (11) (14)	CASE51	(5) (6) (9) (11) (14)
CASE52	(5) (7) (8) (11) (14)	CASE53	(5) (7) (9) (11) (14)	CASE54	(5) (8) (10) (11) (14)
CASE55	(5) (8) (10) (13) (14)	CASE56	(5) (9) (10) (11) (14)	CASE57	(5) (9) (10) (13) (14)
CASE58	(5) (10) (11) (12) (14)	CASE59	(5) (10) (12) (13) (14)	CASE60	(6) (9) (10) (11) (14)

4.1 極小決定アルゴリズムの生成

最初に、専門家の評価事例である事例データ（表-4）に対し、ラフ集合の考え方に基づいて個々の事例の決定規則について検証しながら損傷要因の評価において影響を与えていない判定要因を見つけ出す。実際には、取り除く判定要因の任意の組み合わせを考えて、すべての組み合わせについて試行錯誤的に判定要因から取り除き、個々の事例について矛盾が含まれているか否かを検討する。各々の判定要因に工学的判断として重み付けの問題等の検討が必要となるが、以上の検討結果により、各事例の決定規則に矛盾が含まれていない判定要因の組み合わせを導き、判定要因の数が極小となる決定規則を抽出する。判定要因の数が極小となる組み合わせの例を表-5に示す。

ここで、得られた組み合わせのうち CASE1 を例にすると、決定規則を表す決定表は表-6 のようになる。この決定表は、すべての判定要因に対する 1 つ 1 つの項目について検討することによってさらに極小化することができる。具体的には、それぞれの判定要因に対する項目番号を 1 つ 1 つ取り除き、その操作によって決定表に矛盾が含まれているか否かを検討する。以上の検討結果により、各事例の決定規則に矛盾が含まれていない判定要因の組み合わせを導き、判定要因に対する項目の数が極小となる決定規則を抽出する。最終的に、表-7 に示すあらたな決定表を得ることができ、これを極小決定アルゴリズムと呼ぶ。

4.2 ルール型知識の抽出

生成された極小決定アルゴリズムは、「IF 条件部（条件属性） THEN 結論部（決定属性）」のようなルールで容易に記述することができる。ここで、表-7 に示した極小決定アルゴリズムは、表-8 に示すような 23 のルールで記述することができる。

例えば、表-7 における事例 1 の決定規則は、条件属性

である判定要因 (4), (14) に対する該当する項目がそれぞれ 2, 1 であれば、決定属性である損傷要因が A であることを示している。

したがって、これをルールで記述すると、

IF (4) = 2 and (14) = 1 THEN 損傷要因 = A

となる。

このようにして、すべての事例をルールで記述すると、これをもとに ES を構築することができ、システムを実行して結論部である損傷要因を決定できる。ただし、すべての条件部が成立するか否かを評価する必要がある。また、ES を構築する際のルールの数は、知識の更新などを考慮して少なくなるようにし、効率化や推論時間の短縮化を図る必要がある。

表-6 決定規則を表す決定表の例 (CASE1)

事 例	判 定 要 因				損 傷 要 因
	(3)	(4)	(10)	(14)	
事例 1	3	2	1	1	A
事例 2	2	2	2	2	A
事例 3	2	1	1	1	B
事例 5	1	1	2	2	B
事例 6	3	1	1	1	B
事例 7	4	4	4	4	B
事例 8	2	2	4	4	B
事例 9	2	2	2	4	B
事例 10	2	2	3	4	B
事例 11	3	3	3	3	C
事例 12	3	3	2	3	C
事例 13	3	3	2	2	C
事例 14	3	3	3	2	C
事例 15	3	3	2	1	C
事例 16	3	3	4	4	D
事例 17	4	4	3	3	D
事例 18	4	4	1	3	D
事例 19	2	1	2	2	A
事例 20	4	1	2	4	A
事例 21	4	4	2	4	A
事例 24	4	2	4	4	B
事例 28	4	3	3	4	B
事例 31	4	2	2	4	C
事例 32	3	2	3	4	C
事例 33	4	3	3	3	C
事例 34	4	4	3	2	C
事例 36	3	4	4	4	D
事例 38	4	4	1	4	D

表-7 極小決定アルゴリズムの例 (CASE1)

事 例	判定要因				損傷要因
	(3)	(4)	(10)	(14)	
事例1	-	2	-	1	A
事例2	-	2	-	2	A
事例3	-	1	-	1	B
事例5	-	1	2	2	B
事例7	4	-	4	4	B
事例8	-	2	4	-	B
事例9	2	-	-	4	B
事例11	-	3	-	3	C
事例12	-	-	2	3	C
事例13	-	3	-	2	C
事例14	-	-	3	2	C
事例15	-	-	2	1	C
事例16	-	3	4	-	D
事例17	-	-	4	3	D
事例18	-	4	-	3	D
事例19	-	-	1	2	A
事例20	-	1	-	4	A
事例21	-	4	2	-	A
事例28	-	3	3	4	B
事例31	4	2	2	-	C
事例32	3	-	3	-	C
事例36	3	-	4	-	D
事例38	-	-	1	4	D

これにより、CASE1～CASE60の中でルール数が最も少なくなるケースの極小決定アルゴリズムから前述のようなルール記述で妥当な決定規則を誘導することになる。

これにより、CASE1～CASE60の中でルール数が最も少なくなるケースの極小決定アルゴリズムから前述のようなルール記述で妥当な決定規則を誘導することになる。

5. 獲得した情報による維持管理業務の支援方法

一般にコンクリート床版の維持管理業務では、現場技術者の目視点検または各種試験調査から得られた損傷状

況を図面等を含む台帳にまとめて管理している。しかし、これらの構造物に関する維持管理資料は膨大な量となり、次のような管理上の問題を抱えている。

- ①膨大な資料を管理するためのコストと信頼性の問題
- ②多元管理に起因する検索性の低下と資料の見落としの問題
- ③過去の資料と現状における損傷との比較における困難さと有効利用に関する問題
- ④維持管理業務におけるノウハウの分散の問題

これらの問題点に対し、本研究で考案した事例データの獲得・共有システムは、従来は紙ベースで作成、保管されていた維持管理資料をインターネットを利用して、標準化された電子データとして収集しているところに特長がある。

5.1 システム化の方針

本論文で考案した事例データの獲得・共有システムは、従来は紙ベースで作成、保管されていた維持管理資料を電子データとして収集しているところに特長があり、しかもデータの標準化についても考慮している。

本システムでは、維持管理業務を支援するために、事例データの獲得・共有システムをベースに前述のような問題の解決とデータの一元化をはかり、図-6に示す統合的な概念の構成からなる維持管理支援システムの実現をめざす。

表-8 極小決定アルゴリズムのルール型記述の例 (CASE1)

事 例	ルール番号	ルール型記述			
事例1	1	IF (4) = 2	and (14) = 1	THEN	損傷要因 = A
事例2	2	IF (4) = 2	and (14) = 2	THEN	損傷要因 = A
事例3	3	IF (4) = 1	and (10) = 1	THEN	損傷要因 = B
事例5	4	IF (4) = 1	and (10) = 2	and (14) = 2	THEN 損傷要因 = B
事例7	5	IF (3) = 4	and (10) = 4	and (14) = 4	THEN 損傷要因 = B
事例8	6	IF (4) = 2	and (14) = 4	THEN	損傷要因 = B
事例9	7	IF (3) = 2	and (14) = 4	THEN	損傷要因 = B
事例11	8	IF (4) = 3	and (14) = 3	THEN	損傷要因 = C
事例12	9	IF (10) = 2	and (14) = 3	THEN	損傷要因 = C
事例13	10	IF (4) = 3	and (14) = 2	THEN	損傷要因 = C
事例14	11	IF (10) = 3	and (14) = 2	THEN	損傷要因 = C
事例15	12	IF (10) = 2	and (14) = 1	THEN	損傷要因 = C
事例16	13	IF (4) = 3	and (10) = 4	THEN	損傷要因 = D
事例17	14	IF (10) = 4	and (14) = 3	THEN	損傷要因 = D
事例18	15	IF (4) = 4	and (14) = 3	THEN	損傷要因 = D
事例19	16	IF (10) = 1	and (14) = 2	THEN	損傷要因 = A
事例20	17	IF (4) = 1	and (14) = 4	THEN	損傷要因 = A
事例21	18	IF (4) = 4	and (10) = 2	THEN	損傷要因 = A
事例28	19	IF (4) = 3	and (10) = 3	and (14) = 4	THEN 損傷要因 = B
事例31	20	IF (3) = 4	and (4) = 2	and (10) = 2	THEN 損傷要因 = C
事例32	21	IF (3) = 3	and (10) = 3	THEN	損傷要因 = C
事例36	22	IF (3) = 3	and (10) = 4	THEN	損傷要因 = D
事例38	23	IF (10) = 1	and (14) = 4	THEN	損傷要因 = D

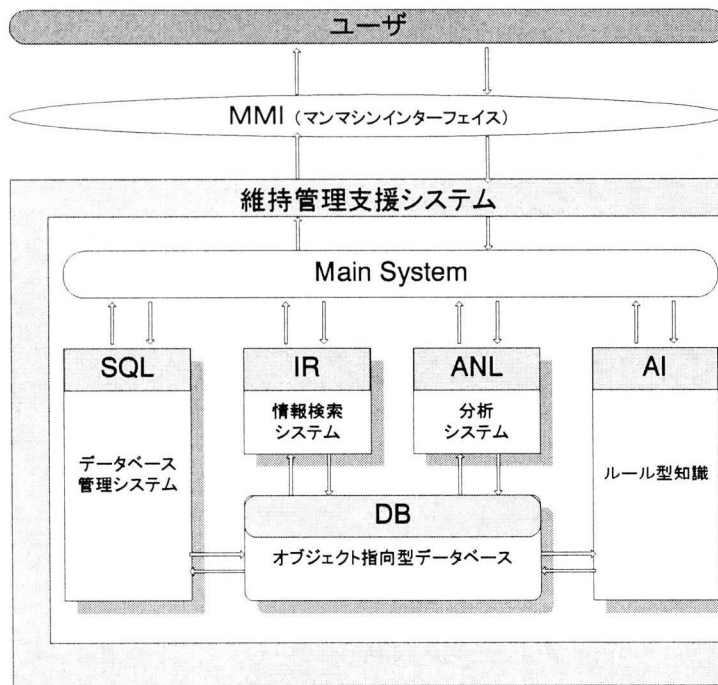


図-6 システムの概念構成

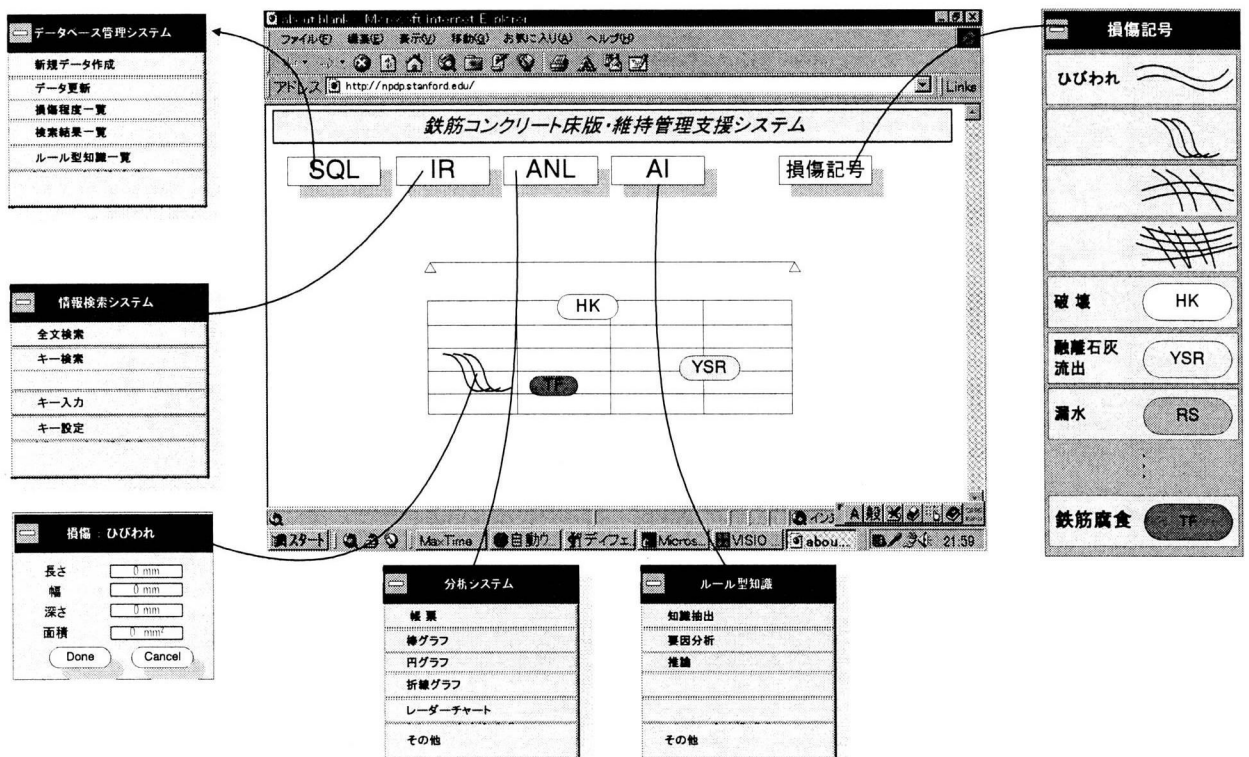


図-7 マンマシンインターフェイス (MMI)

5.2 システム機能と特徴

この維持管理支援システムは、図-7 に示すように、グラフィカルユーザインターフェイスで表現し、アイコン化したビジュアルデータを図面にマッピングする方法を採用する。ビジュアルデータは、損傷記号、イメージデータを用いる。実装する機能は、データベース機能、SQL 機能、IR 機能、ANL 機能と AI 機能とした。各機能の内容を次に示す。

- ① MMI : 端末画面上にビジュアルに表現された損傷データ等をユーザからみて扱いやすいインターフェイスをととして操作効率を高める機能
- ② DB : 文書、図面、写真、事例データ等の膨大なデータを効率よく取り込み、データを一元管理するとともに紙ベースの情報を少なくすることで無駄なスペースを節約する機能
- ③ SQL : 迅速な検索機能により、時系列やカテゴリー別にストックされているデータを有効活用するとともにノウハウの共有を可能とする機能
- ④ IR : 土木技術情報を参照する情報検索機能を駆使して情報や知識の収集の高速化をはかる機能
- ⑤ ANL : 各種検査データを的確な図表やグラフで表し、分析検討、状況把握等の作業効率を高める機能
- ⑥ AI : 専門家の評価事例から抽出したルール型知識を提供し、その知識を利用する推論機能を用いることによって、熟練した技術者でなくても的確な構造物診断を可能にしたり、技術者の負担を軽減する機能

6. あとがき

本論文では、インターネットを活用することで多くの土木技術者から橋梁の診断事例のデータを獲得し、その事例データからラフ集合によって抽出したルール型知識を共有する構想を提案した。事例データの共有方法についても検討し、建設業における効果が期待されている CALS への将来的な対応方法について考察した。また、従来の維持管理業務を踏まえた上で、種々のデータを統合的に管理し的確に提供する機能により維持管理業務を支援するシステム化へのアプローチ方法について考察した。

今後は、建設分野における維持管理業務の現実についてより深くほりさげた調査を行い、さらに詳細に具体的な支援方法とシステム化のアプローチについて検討する。

(謝辞)

本研究は、平成 10 年度関西大学重点領域研究助成金の補助を得て実施された。関係諸氏に対し深く感謝致します。

参考文献

- 1) 古田均, 広兼道幸, 田中成典, 三雲是宏: 橋梁の損傷要因診断事例からのラフ集合を用いたルール型知識の獲得方法, 構造工学論文集, 土木学会, Vol. 44A, 1998. 3.
- 2) 三上市蔵, 松井繁之, 田中成典, 新内康芳: 道路橋鉄筋コンクリート床版の損傷要因推定のためのルールとフレームによる知識ベースシステム, 構造工学論文集, 土木学会, Vol. 34A, 1988. 3.
- 3) 平岡成明: キャルス(CALS)がもたらす高度情報通信社会と建設産業, 山海堂, 1996.

(1998年9月18日受付)