

I-7 橋梁診断での損傷要因分析の一支援手法

A SUPPORTING PROCESS BY DAMAGE HIERARCHY ANALYSIS
FOR BRIDGE MAINTENANCE

城戸隆良* 近田康夫** 小堀為雄*** 川上直之****
Takayoshi KIDO Yasuo CHIKATA Tameo KOBORI Naoyuki KAWAKAMI

【抄録】 橋梁の維持管理者における意思決定の支援方法として、橋梁の損傷原因推定、あるいは対策案選定における要因分析の支援方法を検討する。方法論としては、パーソナルコンピュータのレベルでISM, SAD, およびAHPの各手法の連動化を試み、有機的に各手法を利用しようとしている。本手法では、ISMにより、損傷とその原因の因果階層図の作成を進め、SADによって各要因が損傷に与える影響度を相対的に評価、支援する。また、AHPにより補修代替案の評価、支援を図る。このような各手法の連動化によって問題解決の支援を図ろうとする。

【Abstract】 In this paper, to support decision making in bridge maintenance, an approach by damage hierarchy analysis is proposed. Firstly, by ISM, the relations between causes and effects of bridge damages are described as hierarchy. Secondly, each link of hierarchy is given a numerical value as the influence of damage factor, and analysis is made by SAD. Finally, the repair alternatives are evaluated by AHP. The presented approach is realized by successive application of different analysis method to a problem on a personal computer system.

【キーワード】 損傷要因, 階層化分析, 橋梁維持管理

【Keywords】 damage factor, hierarchy analysis, bridge maintenance

1. はじめに

橋梁の維持管理に関しては多くの課題があると考えられる。橋梁の損傷問題については、橋梁点検によって順次に発見され、新しい課題が与えられる。点検結果から損傷因果の分析や重大な損傷原因の特定を行う過程においては専門家の適正な判断が必要になると考えられる。そこで本研究では、ISM (Interpretive Structural Modeling) により損傷結果とその原因の因果関係の階層モデル化を行ったうえで、SAD (System Accommodation & Design) を用いて各要因間の影響度を数値化し、損傷原因の相対的評価を行う方法を考

える。これを橋梁の初期診断における損傷要因分析の支援手法として検討を図る。この場合の要因間の影響度の比較判断においては、点検によって外観状態などから得られる定性的データを基に判断を行う。

そしてさらに、対象とする損傷問題に関する対策案や補修代替案の相対評価の方法として、AHP (Analytic Hierarchy Process) の適用を考える。

本研究では、これらの手法を連動化し、橋梁の損傷要因の分析、および、対策案検討に関する支援手法としてパーソナルコンピュータでの作成、利用を試みる。

本研究は、橋梁の維持管理者における意思決定の支

* 〒920 金沢市小立野2-40-20 金沢大学工学部土木建設工学科 TEL. 0762-34-4635

** 金沢大学工学部土木建設工学科

*** 金沢大学工学部土木建設工学科

**** 金沢大学大学院工学研究科

援手法として、管理者の判断を支援する要因分析的なひとつの方法論として試みる。

2. ISMとSADおよびAHPの連動化

(1) ISM

ISM¹⁾は、問題の設定を行い、その問題にかかわる要素となる項目を選定したうえで、各要素項目の一对比較を行って各項目間に関係づけ、そして、各要素間の関係を有向グラフ化し、要素間の構造モデル図を形づくる方法の一つである。作成された構造モデルについて問題構造の意味解釈を行い、もし、修正を要する場合は適切な構造モデルとなるように、幾度かは修正を繰り返す。

問題にかかわる要素項目の選定を図る方法は、関連する文献や資料を基にキーワードを抽出したり、関係する分野の人から収集するなどのほか、KJ法、ブレインストーミング、あるいは、NGT (Nominal Group Technique)¹⁾などによって検討する方法がある。

問題に関する要素項目が抽出された後、要素の取捨選択を行い、構造モデルが余り複雑にならないように関連性の薄いと考えられる要素を取り除く。

要素選定のあとは、各要素間の一对比較作業を行い、要素間の関係を形づくる。一对比較作業では大小、多少、優先関係、包含関係、影響度、あるいは重要度などを基に順位づける。各要素間について順次一对比較を進め、その結果、直接関係データが作成される。

一对比較された直接関係データを基に有向グラフ化を進めるために可到達行列を作成し、行列の並べ替えを順次進めて簡単な有向グラフで表すようにする。

(2) SAD

SAD²⁾は、ある問題に対して、達成したい目的を設定し、それに向かって問題を整理し、解決の糸口を見つけ出す方法の一つである。

SADでは、定性的な問題をそのまま扱ってSADモデルを作成し、目的からみた各要因の影響度、重要度を数値的に検討ができる。

その過程は、ある問題に対して資料調査などを行い、問題体系図を作成するSADモデル作成の段階と、その作成された問題体系図のモデルに対するモデル分析の段階、および、改善案策定の段階からなる。

モデル作成の段階は、問題に関わる要因を列挙し関連づけながら、問題体系図の作成を進める。問題とその原因に至る因果関係図を作成する。要因には外因

(外的要因)と内因(内的要因)、および、目的要因がある。目的要因は、目的とする問題の事柄をいう。因果関係図では外因からは矢印が出るだけで矢印が入り込まない要因であり、基本的には原因と考えられる要因が設定される。内因は、外因や内因からの矢印が入り込み因果関係のある次の内因あるいは目的要因に矢印がでるような、因果の途中に介在する要因である。各要因間にはウェイトの数値を与え、関係の強さを相対的に与えてSADモデルとする。

モデル分析の段階は、SADモデルの数理²⁾によって分析を進め、作成された問題体系図を基に、事前の分析を行ったり、分析によって得られる数値について、影響度の分析などを行う。

改善案策定の段階は、問題解決に必要な原因や因果がモデル分析によってわかってきた場合に、その問題の解決に向かっの改善策を検討する。改善案を種々作成し、数値的に評価を進め、また、その分析結果の報告を行う段階である。

このような段階を経て問題構造の要因分析を進め、問題解決の糸口を探る。

(3) AHP

AHP^{3), 4)}は階層分析法で、意思決定を支援する方法の一つである。AHPにより問題解決を図るには、問題の要素を、問題(最終目標)、最終的な選択の対象となる幾つかの代替案、そして、各代替案から1つに絞り込むための最終目標と各代替案の両者間における評価基準を設定する。これらの関係をとらえて階層構造を作成する。

最終目標からみた評価基準の重要性を求め、また、各評価基準からみた代替案の重要度を評価し、そして、最終目標からみた代替案の評価に換算して評価をする。

代替案や評価基準の候補数が多数ある場合には、事前に分析可能な範囲の優位な項目を選定してから、それに対してAHPにより代替案評価をすることが望ましい。

(4) 連動化について

これら問題解決型の方法論を有機的につなぎ合わせることで、橋梁の維持管理や種々の問題点をかかえた橋梁の診断の場面に応用することを考える。

ある問題の解決に向けて、問題の構造を整理するために問題構造図を作成する方法、そして、問題解決のために重要な要因を探し出す方法を連動することによ

り、維持管理のための支援手法の作成を試みる。

まず、図-1のように課題の設定を、橋梁の損傷要因分析とその補修案の選定とする。橋梁損傷に関する要因構造図をISMにより作成し、ISMによって作成された構造図を基にSAD法を適用することによって、対策や補修の対象となる損傷の因果や原因の推定などを行う。そして、損傷とその原因に対する対策や補修方法の代替案に関する比較検討はAHPを用いた支援を試み、これらの各手法の連動化を検討する。

各手法の連動で関連性の強いのがISMとSAD法であり、データの受け渡しや作業性、操作性を配慮する。そして、その分析結果を基にAHPにより対策や補修方法の選定に関する検討を行うことになる。これらの連動化により、損傷の要因分析、および、管理者の意思決定支援への利用を考える。

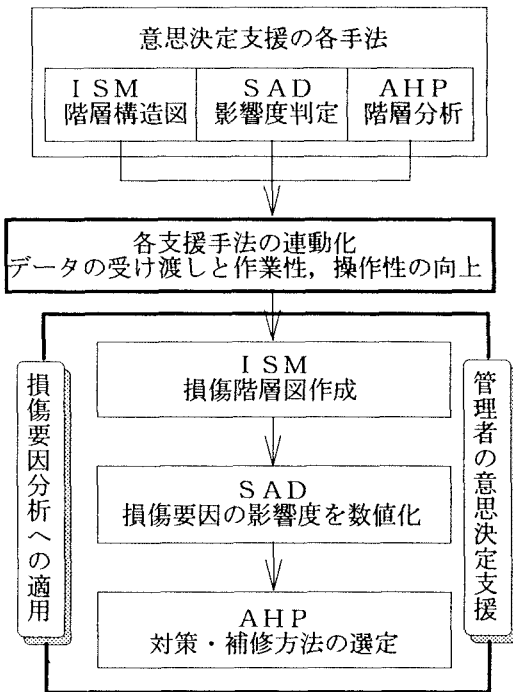


図-1 意思決定支援の各手法の連動化

3. ISMとSADによる損傷要因分析例

橋梁に発生する損傷の種類は「土木研究所資料」^{5),6)}によれば、32種類に大別される。鋼が6（腐食、亀裂、ゆるみ、脱落、破断、塗装劣化）、コンクリートが8（ひび割れ、剥離・鉄筋露出、遊離石灰、豆板・空洞、すりへり・浸食、抜け落ち、鋼板接着部の

損傷、床版ひび割れ）、その他が6（遊間の異常、段差・コルゲーション、ポットホール、舗装ひび割れ、わだち掘れ、その他）、共通が12（変色・劣化、漏水・滯水、異常音、異常振動、異常たわみ、変形、土砂詰まり、沈下、移動、傾斜、洗掘、欠損）に大別される。これらの橋梁損傷は、一般にいくつかの原因が重なりあって生じている場合が多い。同じ損傷であっても原因が異なる場合があり、また、原因の順位が異なる場合がある。損傷原因には、設計要因、施工要因、および、外的要因の3つに大別される⁷⁾。たとえば、災害や事故などによる原因は外的要因となる。

ここでは、損傷例の多い「床版の損傷」を対象として分析を試みる。床版の損傷過程あるいは原因の推定を行うためには、これらの損傷過程の因果構造を整理する必要がある。分析の流れは図-2のようである。

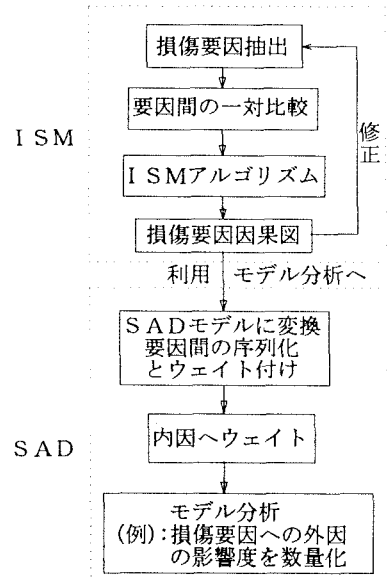


図-2 損傷要因分析の流れ

分析例として、文献6),8),9)などを基に床版の損傷とその原因、および、その間に介在する要因を抽出し、ISMにより損傷要因の因果図の作成を試みる。その過程においては、まず損傷に関係がある23項目の要因の抽出を行った。そのうえで、図-3のようにそれらの要因(23項目)に対して直接的な因果関係があるかどうかについて一対比較を行う。本研究では、一対比較の方法として、比較する要素を順次2つずつ表示して比較を行っていく方法と、図-3のような表の形式で表示し、直接的に画面上でスクロールしながら一対

上位項目 \ 下位項目	1 配力	2 上部	3 凹凸	4 車両	5 輪荷	6 主桁	7 走行	8 大型	9 床版	10 集中	11 支承	12 衝撃	13 主筋	14 主桁	15 ひび	16 繰り返し	17 配力	18 格子	19 貫通	20 ひび	21 雨水	22 遊離	23 床版
1. 配力鉄筋不足																							
2. 上部・下部構造の変位																							
3. 凹凸の有無																							
4. 車両振動																							
5. 輪荷量の通行軌跡																							
6. 主桁の振動・ねじれ																							
7. 走行台数																							
8. 大型車交通量																							
9. 床版厚不足																							
10. 集中荷重		⊗																					
11. 支承機能の劣化			⊗																				
12. 衝撃振動				⊗																			
13. 主筋方向ひび割れ					⊗	⊗																	
14. 主桁のねじれ・不同沈下											⊗												
15. ひび割れ集中							⊗	⊗				⊗											
16. 繰り返し荷重									⊗														
17. 配力鉄筋方向ひび割れ													⊗	⊗									
18. 格子ひび割れ															⊗	⊗							
19. 貫通ひび割れ																			⊗				
20. ひび割れ幅																				⊗			
21. 雨水浸入																					⊗		
22. 遊離石灰																						⊗	
23. 床版の損傷																						⊗	⊗

図-3 I SMにおける床版の損傷要因項目の一对比較

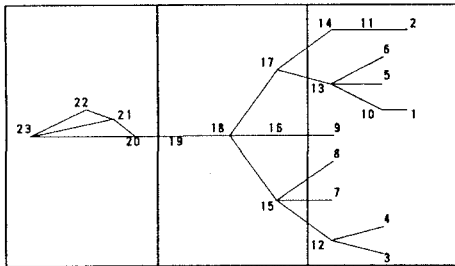


図-4 I SMによる床版の損傷要因階層図の結果

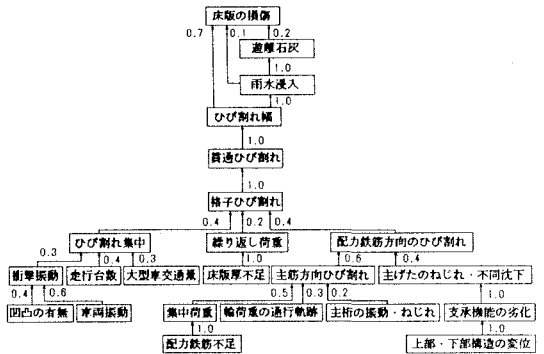


図-5 床版の損傷に関するSADモデル

比較して、対応する欄に⊗マークのチェックをつける方法、の2つの方法を考えた。いずれの方法によっても、結果的に直接関係データ（1:関係あり、0:関係なし）の数値データが作成される。本例では23項目であるので23×23の直接関係データのマトリックスが得られる。その結果を基にして分析を進め、修正を行って図-4のような階層図が作成されたとする。なお、図-4の図中の数字は図-3の項目の番号に対応する。

この階層図を因果図として読みかえてSADモデルに置き換え、ウェイトを付ける作業を行う。図-5はI SMの階層図をSADモデルに変換したものを示す。

図-5には矢印が付けられ、数値が記入されている。この数値は要因間の因果関係の強弱を判断して付けた例である。相対的に序列化し、強弱に応じてウェイトの値の大きさを与える。なお、一つの要因に入り込む

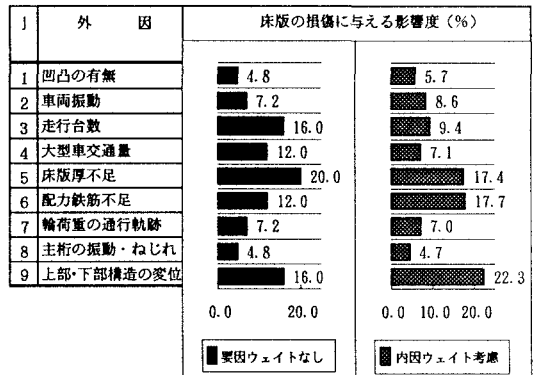


図-6 SADによる分析結果（外因が床版の損傷に与える影響度）

矢印に関するウェイトの合計は1.0になるように設定する（たとえば、図-4の衝撃振動の要因に入り込む矢印のウェイトの合計は $0.4+0.6=1.0$ になる）。最終目的（床版の損傷）に至る中間過程の要因が内因であり、モデルの最下層に位置し損傷の主な原因と考えられる要因が外因である。つぎに外因に対して分析を試みる。

図-6には、図-5のSADモデルについて、SADモデルの数理²⁾によって求められる外因による最終目的（床版の損傷）への影響度の分析結果の例を示す。

分析の途中では、内因ベクトル y と外因ベクトル x が $y = \Delta x$ の関係になり、結果として各外因の各内因へ与える影響度を表す Δ マトリックスが得られる。その内因 y の中の最終目的（床版の損傷） y_1 に関する各外因 x_j による影響度の結果が図-6の「内因ウェイトなし」の場合である。視覚的に理解できるように棒グラフ化して示した。なお、影響度の合計は1.0(100%)になる。

結果に対しては、内因にさらに損傷の度合いや重要度などにより内因に適当なウェイトを付加することにより、重要度の違いを与えて評価することができる。この各内因に関するウェイトは合計して1.0に正規化して与える。このウェイトの付け方については課題が残るが、考え方としては、点検結果を基に内因の現状の状態を考慮して管理者が判断し数値を与えるものと仮定する。また、このウェイトの付け方によって、感度分析としても利用が可能になる。

図-6の結果の「内因ウェイトなし」と「内因ウェイトを考慮」は、ウェイトによる結果の違いを調べる例である。この内因にウェイトを考慮した例は、任意の大きさの数値を与えた後で正規化し、分析を行った例である。表-1には、図-6の「内因ウェイトを考慮」した場合について、内因とその内因に付けたウェイト w_i ($i=1, 2, \dots, 14$)を示す。

表-1より、ウェイトの大きい内因は、主に雨水浸入とひび割れ幅である。

図-6の「内因ウェイトなし」の結果は、一般的な因果についての各外因が床版の損傷に与えるであろう影響度の結果を示す。また、「内因ウェイトを考慮」の結果は、内因に関する現状状態、重要度などを考慮したウェイト（表-1）の列ベクトルと影響度を表す Δ マトリックスとをさらにかけた結果である。

表-1 内因とウェイト w_i

番号 i	要因	ウェイト
1	床版の損傷	0.048
2	遊離石灰	0.050
3	雨水浸入	0.120
4	ひび割れ幅	0.130
5	貫通ひび割れ	0.050
6	格子ひび割れ	0.072
7	ひび割れ集中	0.048
8	衝撃振動	0.072
9	繰り返し荷重	0.080
10	配力鉄筋方向ひび割れ	0.070
11	主筋方向ひび割れ	0.080
12	集中荷重	0.060
13	上げたのねじれ・不同沈下	0.070
14	支承機能の劣化	0.050
ウェイトの合計		1.000

図-6の分析結果では、この両者を比較しても床版厚不足、配力鉄筋不足、上部・下部構造の変位の影響が相対的に大きく、その他の外因の影響は小さく出ていることがわかる。

以下、この結果の床版厚不足を損傷原因と推定した場合について、AHPによる分析例として、補修対策の代替案評価の分析を述べる。

4. AHPによる補修代替案評価の分析

ISM, SADによる分析を基に床版の損傷原因の検討を行い、そして、結果として床版厚不足と推定した場合について、その対策のための代替案を検討する。具体的な方法としてはAHPにより補修方法（補修工法）選定を試みる。

図-7はAHPによる代替案評価の過程を示す。代替案を抽出し、図-8のような3つのレベル（目的、評価基準、代替案）をもつ階層図を作成した。

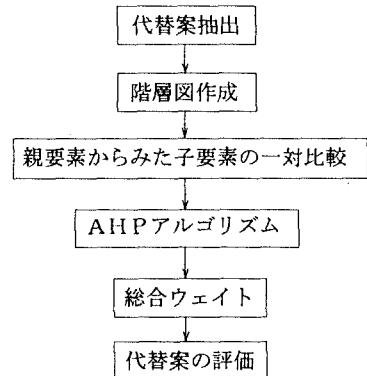


図-7 AHPの分析プロセス

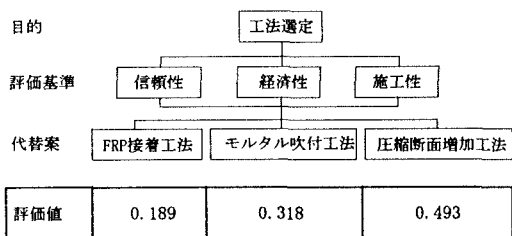


図-8 AHPにおける階層図と評価値の結果の例

図-8は、AHPで分析を行う階層図、および、その分析結果による評価値の例を示す。

AHPでは、まず目的（工法選定）（親要素）から見て評価基準（信頼性、経済性、施工性）（子要素）の重要度を求め、次に、各評価基準（信頼性、経済性、施工性）から見て代替案（FRP接着工法、モルタル吹付工法、圧縮断面増加工法）の重要度を評価し、最終的にAHPのアルゴリズムによって目的からみた代替案の評価値に換算する。この場合に重要度は、一対比較により与える値を1 [同じように重要] から9 [極めて重要] までの整数に表現して、「要素 i は要素 j に比べてどのくらい重要か」という一対比較を行い決定する。

たとえば、表-2では、評価基準(LEVEL2)についての一対比較を行った例を示す。ひとつの比較例を示すと、目的である工法選定から見て信頼性は経済性に比べてやや重要である場合には重要度は3となる。逆に、経済性は信頼性に比べて逆数の1/3の重みが代入されるようにする。よって、対角線上より上の三角部分の比較を行えばよいことになる。実入力では、重要度が逆の評価値となる場合は、分数の入力となるが、分数の代わりに入力しやすくマイナス記号を付けて入力し、内部処理によって分数化することにした。たとえば、1/3であると評価した場合は、-3を入力する。

表-2 評価基準の一対比較

	信頼性	経済性	施工性
信頼性	1	3	4
経済性	1/3	1	2
施工性	1/4	1/2	1

同様にして、信頼性に関して代替案の重要度を比較し、つぎに経済性、そして、施工性に関して代替案の一対比較をする（順に、LEVEL31, 32, そして、33）。

たとえば、このAHPに関する分析例に用いたデー

タファイルの一例を図-9に示す。データは後で述べる[DATA]アイコンを選び、テキストエディタで入力するなどの方法により作成する。

```

工法選定          :コメント
4                :一対比較の回数
3                :代替案の数
                 :空白行
LEVEL2           :コメント
3                :一対比較要素数
3 4             :一対比較結果の重要度
2                :一対比較結果の重要度

LEVEL31          :
3                :
3 -5            :
-7              :

LEVEL32          :
3                :
-4 2            :
6                :

LEVEL33          :
3                :
-5 3            :
7                :

図-9 AHP用のデータファイルの例
    
```

図-9の右側には、:付で説明文を示す。LEVEL2の下の3行分が表-2の一対比較に対応するデータであり、3,4と2が表-2の上三角部分のデータになる。なお、このデータファイルの末文には、データ構造についての注意書きを前もって入力しておく。入力時は注意書きを基にデータ部分を順に入力、編集する。

結果として、それぞれについて正規化したウェイトが求められ、結果として総合ウェイトが得られる。求めた総合ウェイトは、図-8の代替案の下に示した評価値の0.189, 0.318, 0.493のようになる。

この分析は、代替案として、FRP接着工法、モルタル吹付工法、および、圧縮断面増加工法の3つをあげ、評価基準として、信頼性、経済性、施工性によって分析を行う例である。このAHPによる分析例の結果では、評価値の大きい圧縮断面増加工法が望ましいことが示唆される。

なお、このような補修代替案や評価基準の設定とその一対比較は、より専門的に深い課題であり、このような簡単なモデル設定で評価は終始しない。どの対策が最も効率がよいかを評価するには、やはり、施工実績や効果の持続および費用対効果、関連する最新技術

情報など洗練された代替案と評価基準の設定を行い、専門家による評価を進める必要がある。その場合に、AHPは階層化意思決定法として、それらの定性的な評価、相対的な評価支援を行う簡便な一手法となる。ただし、一対比較作業数を多くしたり評価構造を複雑化しないことが必要である。よって項目数やレベル数を適度の数にすることが必要である。

5. 連動化の操作過程

以上、ISM, SAD, および、AHPによる階層化分析の特徴や分析の流れ、そして、床版損傷とその補修対策課題について分析例をあげて順に分析過程を述べた。ここでは、本研究で作成した支援手法について具体的にどのような操作で分析を進めるかを述べる。プログラムの開発環境は、PC-9801上でのQuick basic Version 4.5言語によりメイン・モジュールおよびサブ・モジュール構成により作成を行った。

まず、各手法の操作を連動化するためにメインとなるメニュー画面を作成した。プルダウンメニューやアイコンによるメニュー形式など種々の方法があるが、今回の作成は図-9のように簡単にアイコンを配置し、マウスで目的のアイコンを選択し、作業を実行するように設定した。[DATA]はISM, SAD, AHPのサブ・モジュールで用いるデータを入力編集するためのアイコンで、[ISM][SAD][AHP]はそれぞれの手法に関するサブ・モジュール、[PRT]は各実行結果の印刷に関する処理を、そして、[END]は終了処理を行う。

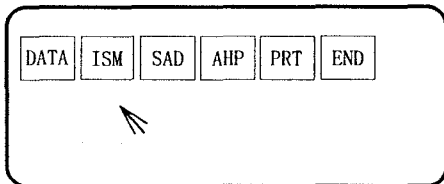


図-9 アイコンによるメインメニュー画面

分析例の場合の操作過程は、[DATA]でデータの編集を行う。この部分は、市販（あるいはフリーウェア）のテキストエディタを起動し、編集後に目的のデータファイルを作成した後で、メニューにもどる。

まず、ISMの分析過程である。最初は[ISM]を選択し、ISMのメニュー画面を表示し、損傷項目データの入力、一対比較、および、損傷要因の階層図作成を順に選択実行し、分析し、修正を行う。

要素（損傷項目）データのを入力を選択すると、テキスト

データを起動して、ISMの一対比較を行うための要素項目（図-3の23個の項目）を順に入力しデータファイルを作成した後、ISMのメニュー画面にもどる。

つぎに、メニュー画面で一対比較を選択すると、一対比較のサブメニューでは、要素を順次比較する方法、あるいは、表形式で一対比較する方法（たとえば図-3）のどちらかを選んで一対比較作業を行う。終わると、直接関係データが作成され、ISMのメニュー画面にもどる。

つぎに、メニュー画面で階層図作成を選択し、指示に合わせて操作すると、最終的に、図-4で示したような階層図を結果として表示する。ただし、最初は各レベルごとに順序よく要素番号と関連する要素とが線でつながれているだけで、完全な並びになっていないために、マウスを使って要素並びを視覚的にわかりやすいように並びかえて、図-4の表示結果を完成することになる。要素番号と要素内容との対応表示はマウス操作で確認しながら、階層構造の分析を行う。階層構造が適切でない場合は、修正過程にもどる。修正過程は、一対比較にもどる、あるいは、要素データの入力からやり直す。

最終的にISMによる階層図が適切であるならば階層図データがファイルとして保存され、また、SADに引き渡すための内因と外因の項目データファイルが作成される。これで、ISMを終了し、メニュー画面にもどる。結果を印刷するには[PRT]を選び印刷を行う。印刷は結果がデータファイルに保存されているので、データファイルをワーウェアの印刷用のユーティリティを起動し印刷する（他に、画面結果のハードコピーの方法がある。印刷、ハードコピーはプリンタ機種に依存する問題点がある）。

つぎに、SADの分析過程である。まず、[DATA]を選択し、内因と外因の項目以外に必要なデータを入力する。データは要因間のウェイト、内因のウェイト、そして、外因の改善度（最初は仮の値）であり、SAD用のデータファイルを作成する。

メニューにもどり、[SAD]を選択し、分析過程をチェックしながら、外因が最終目的（頂上事象）に与える影響度、外因としての全体的な改善度など、どの項目を改善すればよいかの分析を行い、全体的な問題解決への方向を検討する。分析結果はデータファイルに保存されるので、[DATA]を選択し、目的のデータファイルをテキストエディタにより確認することができる。再度の分析や感度分析の繰り返しなどは、[DATA]、[SAD]の繰り返しになる。結果の印刷は[PRT]を選択する。

最後に、AHPの分析過程である。まず、[DATA]を選択し、問題解決のための目的、改善策として幾つかの代替案、AHPの分析に必要な評価基準の一对比較用のデータファイルを作成し、[AHP]を選んで、AHPを起動し分析を進め、各改善策の順位づけを行う。結果を確認しながらAHPを終了し、メニューにもどり、結果の印刷は[PRT]を選択する。

それぞれの分析において修正が必要なときは、メニュー画面に戻り、[DATA]を選んで目的のファイルを選びデータの修正を行い、その後目的の分析を再度繰り返す。

以上が操作の全体的な過程である。分析は、連動を考慮して、各手法を別々に作成し、メニューを介してそれぞれに連動化し、編集や印刷についても他のユーティリティを連動させるようにした。連動化により、比較的容易に目的の分析を進めることができるようにした。

このようにそれぞれの分析のたびにファイル名の入力を行ってプログラムを起動する必要がなく、メニューから一連の目的の処理過程を繰り返して行えるようにした。

メニューは、アイコン(アイコンエディタにより作成)の追加を行い、それに関係するメイン・モジュールに処理部分を追加し、サブ・モジュールとしてその他の関連分析手法の作成と追加を行うことで、追加や拡張が容易にできる利点がある。

なお、基本的に分析途中での操作やデータ入力の手間を備え、それまで入力したデータを無駄にしないことを考え、また、データの編集や印刷のことを考えて、入出力の多くをデータファイルへの読み書きの方法としている。今後は、より具体的に利用するための改良やバックアップ、エラー対策などの改善が必要と思われる。

6. あとがき

(1) 研究の成果

橋梁の診断の過程は、点検から初期診断、調査・試験、詳細診断、判定、そして、補修の検討までの段階がある。橋梁診断の客観的な分析手法の確立が大きな課題ではあるが、本研究では、初期診断と補修方法の検討に対する支援手法として、既存の方法論の組み合わせを試みた。問題解決へ向けて本研究のような支援手法の連動化を図ることも重要であろう。これらの手法は調整が簡便であるので、ある問題解決について複数で議論する際に、目標に向けて主要な要因を選定、ピックアップし、要因の階層図化を行ったり、定性的な問題であっても数値的に評価を行うことが可能とな

る。一对比較や分析作業には若干の手間を必要とするが、作成された階層図や各ウェイトに対する評価が容易にできるため、分析結果を参考にした判断を進められ、意思決定が合理的に行えるという利点がある。

(2) 今後の展望

これらの評価は、項目間の相対的な評価を行っているので、分析結果は絶対的な評価値を示すものではない。管理者は、これらの手法が支援手法であるという認識のうえで、分析結果を参考として主體的に判断するとともに、さらに詳細な調査が必要であれば、それらの調査結果を基に定量的評価を加えることが望ましい。なお、本手法の課題には、SADにおける内因のウェイト値の決定について評価者に若干の負担がかかると思われるので、それに代わる何らかの客観的な評価方法を設けるなどの工夫が必要と考えられる。また、分析手法としては他の視点からみた分析手法もあるのでそれらを追加し、支援手法としての機能強化を図ることも今後の課題である。

最後に、本手法の研究およびプログラミングにご協力いただいた、岡田裕行氏(現:滋賀県職員)に謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 寺野寿郎:システム工学入門, pp.103-110, 共立出版, 1986.
- 2) 森 彰:コンピュータ創造工学, 日刊工業新聞社, 1981.
- 3) 刀根薫:ゲーム感覚意思決定法, 日科技連, 1988.
- 4) 刀根薫, 眞鍋龍太郎:AHP事例集, 日科技連, 1990.
- 5) 建設省土木研究所 構造橋梁部橋梁研究室:土木研究所資料 橋梁損傷事例写真集, 1988.
- 6) 建設省土木研究所:土木研究所資料 橋梁点検要領(案), 1988-7.
- 7) 関西道路研究会 道路橋調査研究委員会:橋梁機能小委員会報告書 補修設計分科会, pp.69-70, 1989-3.
- 8) 古田均・小尻利治・宮本文穂・秋山孝正, 大野研・背野康英共著:ファジィ理論の土木工学への応用, pp.200-203, 森北出版, 1992.
- 9) 阪神高速道路公団:阪神高速道路における活荷重実態調査と荷重評価のための解析, p.202, 1984.