

金沢大学大学院 学生員○川上直之
金沢大学工学部 正会員 城戸隆良
金沢大学工学部 正会員 近田康夫
金沢大学工学部 正会員 小堀為雄

1. はじめに

橋梁点検の多くは目視によって行われるが、点検結果から損傷因果や重大な損傷原因の特定を行う場合には専門家の判断が必要と考えられる。そこで本報告では、ISM(Interpretive Structural Modeling)により損傷結果とその原因の因果関係を階層モデル化し、外観状態などから得られる定性的データによって損傷原因を相対的に評価できる SAD(System Accommodation & Design) を用い、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した結果について報告する。さらに、補修代替案の評価方法として、AHP(Analytic Hierarchy Process) の適用を考える。これらの利用により、パソコンレベルで活用できる初期診断における損傷原因の分析方法、対策案検討の方法の支援手法を試みようとしている。

2. ISM-SAD による損傷要因分析

Fig.1 は、橋梁の損傷要因分析の流れを示したものである。ここでは床版の損傷をその例として分析を試みた。損傷とその原因の間には互いに関連をもちながら、一つのシステムを形成していると思われる。損傷過程あるいは原因の推定を明らかにするためにこれらの構造を整理する必要がある。本手法では ISM によって損傷要因因果図を作成する。その過程は、まず損傷に関係がある要因を抽出し、それらの要因に対して直接的な因果関係があるか一対比較を行い(Fig.2)、要因階層図を作成する(Fig.3)。この階層図を用いて SAD によるモデル分析を行う。

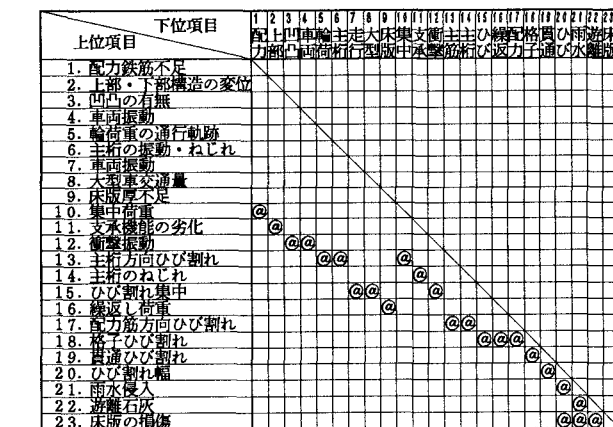
Fig.4 は ISM の階層図を SAD モデルに変換したものである。矢印につけられている数字は要因間の因果関係の強弱を序列化したもので影響度と呼ぶ。一つの要因に入る影響度の合計は 1.0 になるように設定する。最終目的(損傷)に至る過程や要因群を内因、モデルの最下層に位置し損傷の主な原因と考えられる要因を外因とし、この外因に対して分析を行う。

SAD においては、SAD モデル全体を行列式に変換し、以下の基本式¹⁾に従って計算を行う。

$$y = By + \Gamma x \quad (1)$$

式(1)において、 y, x は SAD モデルの外因、内因をベクトル表示したもの、 B, Γ は影響度をマトリックス表示したものを示している。

さらに各要因の損傷度として内因にウェイトを与えることで、対象となる橋梁において外因が床版の損傷に



@は上位項目と下位項目の間に結果・原因の関係があることを示している

Fig. 2: ISM における一対比較

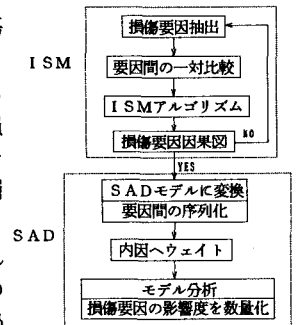


Fig. 1: 損傷要因分析の流れ

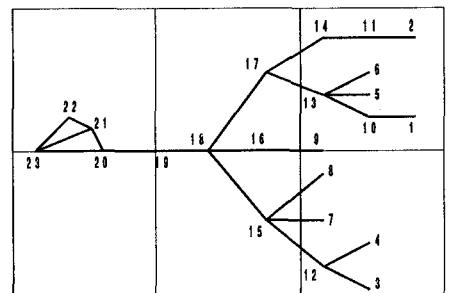


Fig. 3: ISM によって作成された要因階層図

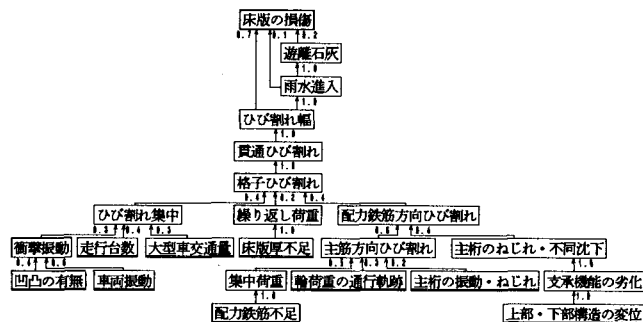


Fig. 4:床版の損傷に関する SAD モデル

1	外 因	床版の損傷に与える影響度 (%)	
2	凹凸の有無	4.8	5.7
3	車両振動	7.2	8.6
4	走行台数	16	8.4
5	大型車交通量	12	7.1
6	床版厚不足	20	17.4
7	配筋不足	12	17.7
8	輪荷重の通行軌跡	7.2	7.0
9	主桁の振動・ねじれ	4.8	4.7
10	上部・下部構造の劣化	16	22.8

■ 内因ウエイトなし ■ 内因ウエイトを考慮

Fig. 5:SAD による分析結果

与える影響度を数量化することが可能となる。この内因のウェイトは合計して1.0に正規化し、通常点検や定期点検から管理者が主観的に判断し数値を与えるものである。（ここでは任意の数値を選んで計算を行った。）Fig.5はSADにより得られた分析結果の例である。内因のウェイトを与えなかったものは、一般的な因果関係のみによる各外因が床版の損傷に与える影響度を表すものである。内因のウェイトを与えたものは、対象橋梁の損傷状態も考慮した影響度である。

この分析結果では、床版厚不足、配力鉄筋不足、上部下部構造の変位の影響が大きく、その他の要因の影響は相対的に小さく問題がないことがわかる。ここでは床版厚不足を損傷原因と推定して AHP による代替案の評価へと分析を進めることにする。

3. AHP による補修代替案評価

AHP²⁾により補修工法選定を支援する。Fig.6 は AHP による代替案評価の過程である。Fig.7 は AHP で分析を行った際に用いた階層図である。

AHP では、まず目的 (工法選定) からみて評価基準の重要度を求め、次に各評価基準からみて代替案の重要度を評価し、最終的に AHP のアルゴリズムによって目的から見た代替案の評価値に換算する。この場合重要度は、一対比較値を 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、「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。例えば工法選定からみて信頼性は経済性に比べてやや重要であるならこの場合の重要度は 3 となる。

この分析では、代替案として、FRP 接着工法、モルタル吹付け工法、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った。このAHPによる分析の結果では、評価値が最大の圧縮断面増加工法が望ましい工法であろうことが示唆される。

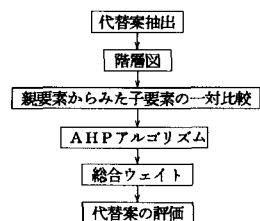


Fig. 6:AHP のプロセス

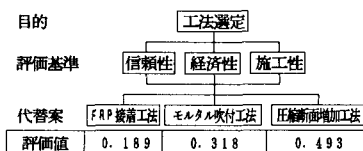


Fig. 7:AHP おける階層図と評価値

4. あとがき

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が、本報告では初期診断と補修工法の検討に対する支援手法を既存の方法論で試みた。橋梁診断の客観的な分析手法が確立されていない現状では、こうした支援手法で問題解決を図っていくことも重要であると考えられる。これらの手法は調整が簡便であるので複数によって議論する際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意思決定が合理的に行えるという利点がある。ところでこれらの評価は、項目間の相対的な評価を行っているので、分析結果が絶対的な評価値を示すものではない。管理者はこの分析結果を主体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、それらの結果をもとに定量的評価を加えることが望ましい。なお本手法の問題点には、SADにおける内因のウェイト値の決定について評価者に負担がかかると思われる。それに代わる客観的な判断方法を設けるなどの工夫が必要であろうと考えられる。

<参考文献>

- 1) 森彰著:「コンピュータ創造工学」, 日刊工業新聞社, 1981.
- 2) 刀根 薫, 眞鍋龍太郎編:「AHP 事例集」, 日科技連, 1990.