

# 自動描画法を用いた構造物診断のための 階層構造モデルの構築

白倉篤志<sup>1</sup>・宮本文穂<sup>2</sup>・中村秀明<sup>3</sup>・前田剛志<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 工学士 (株)ニチワテック 技術コンサルティング 本部第1技術部 (〒551-0023 大阪市大正区鶴町2-15-26)

<sup>2</sup>正会員 工博 山口大学教授 工学部知能情報システム工学科 (〒755-8611 宇部市常盤台2-16-1)

<sup>3</sup>正会員 博士(工学) 山口大学助教授 工学部知能情報システム工学科 (〒755-8611 宇部市常盤台2-16-1)

<sup>4</sup>学生会員 工学士 山口大学大学院 理工学研究科博士前期課程 (〒755-8611 宇部市常盤台2-16-1)

著者らは、これまでに専門的な知識をあまり必要とせず専門技術者と同等な診断が行える「構造物維持管理支援システム」の開発を行ってきた。このシステムは損傷要因間の関連を階層構造モデルで表し、この階層構造モデルを基にファジィ推論を行い、構造物の診断を行うものである。このシステムでは、現実即した階層構造モデルの構築が最も重要であるが、これまでのシステムでは、階層構造モデルの視覚的表示を手作業で行っていたため、階層構造モデルの検討や再構築が十分に行えなかった。本研究では、階層構造モデルの視覚化において、「視認性」や「可読性」などを考慮した自動描画法を新たに提案することによって、FSM法から階層構造モデルの構築と視覚的表示を可能とするプロセスの構築を行った。

**Key Words :** *diagnosis, maintenance, fuzzy hierarchy structural model, automatic drawing, decision support system, fuzzy set theory*

## 1. はじめに

著者らは、専門的な知識をあまり必要とせずに専門技術者と同等の診断が行える「構造物維持管理支援システム」<sup>1),2)</sup>の開発を行ってきた。これは、専門技術者の持つ過去の経験や知識をベースとして、コンクリート構造物に見られる損傷要因間の関連性を階層化したあいまい階層構造モデル（以下、階層構造モデルと略記する）を用いて、対象構造物の点検結果を入力することにより損傷の推定を行うと同時に、最終的な診断にファジィ集合論を適用した耐用性診断を行うシステムである。このシステムでは、現実即した階層構造モデルの構築が最も重要であるが、これまでに著者らが開発してきたシステムは、階層構造モデルの視覚的表示を手作業で行っていたため、階層構造モデルの妥当性の検討や再構築が十分に行えなかった。そこで著者らは、階層構造モデルの視覚化アルゴリズムを考案することで、最終的にFSM法<sup>3)</sup>から階層構造モデルの構築と視覚的表示を可能とするプロセスの構築を行った。これにより階層構造モデルの検討が十分に行え、再構築（要因の追加・削除等）にも柔軟な対応が可能となった。

## 2. 階層構造モデル作成プロセス

### (1)階層構造モデル

一般に構造物に発生する損傷は、単一の原因だけ

ではなく、荷重の増加、過酷な環境条件、設計・施工の不備など、いろいろな要因が複雑に絡み合い発生している。これらの損傷と原因、また損傷発生による構造物諸機能への影響などに見られる関連性を1つのシステムとして捉え、各損傷要因をシステム工学的に階層化したものが、階層構造モデルである。この階層構造モデルは、損傷要因間の相関関係に専門技術者の豊富な知識や経験を反映させることによって、損傷がどのような原因で発生し、その後どのように耐荷性や耐久性などに影響を与えるか、一連の流れとして把握することが可能となる。

構造物の損傷要因間の関連性を整理し階層構造モデルを構築する手法として、ISM法やFSM法がある。FSM法では要因間に「あいまい二項関係」を導入しており、あいまい構造パラメータ $\lambda$ と境界値 $P$ を設定することにより一義的とならない柔軟な階層構造モデルを構築できる。

### (2)階層構造モデルの描画アルゴリズム

現実即した階層構造モデルを構築するためには、階層構造モデルを視覚的に表示し、モデルの妥当性検討や再構築のプロセスを幾度となく繰り返す必要がある。

本研究で用いる階層構造モデルは、下位の要因から上位の要因へ関連をたどることによって発生している損傷を予測することができ、逆に上位の要因から下位の要因へたどると、ある損傷が発生したとき

の原因を推定することができる<sup>1)</sup>。このように上から下、下から上へというある一つの流れに沿った階層モデルであることから、この階層構造モデルは有向グラフに相当し、また、FSM法による階層構造モデルには反射律および対称律が存在しないことから、閉路をもたない非閉路有向グラフに相当する。非閉路有向グラフの描画では、一般有向グラフの描画フローが適用でき、本研究では、杉山らによって提案されている一般有向グラフの階層的描画法の一貫した考え方<sup>3)</sup>を基に、次のような3ステップからなる自動描画アルゴリズムによって「視認性」や「可読性」などを考慮した階層構造モデルの視覚的表示を行った。以下に各ステップにおけるアルゴリズムについて簡単に述べる。

### 【Step 1】非閉路有向グラフの階層割当て

非閉路有向グラフを描画するための最初のステップは、頂点の階層割当てである。これは与えられた非閉路有向グラフの各頂点のy座標を描画規則「一様分布」、「辺長小」を満たすように決定することである。すなわち、各階層にできるだけ一様に頂点を割当て、階層数を最小にするとともに、各頂点を結ぶ辺のスパンの総和を最小にすることを意味する。

頂点の階層割当ての手法としては、階層数すなわち階層グラフの高さを最小とする最長パス階層化、各階層にばらつきなく頂点を配置する一様幅階層化、長い辺をできるだけ避ける階層化などがある。本研究では、計算機に適した手法として、階層数を最小にするISM法<sup>4)</sup>における階層化と、ダミー頂点を用いて長い辺をできるだけ避ける階層化の2つの手法を併用して階層割当てを行う方法について提案する。以下にその方法について解説する。

ISM法では、 $n$ 個の要素からなるシステム $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ を考え、各要素間に二項関係 $R$ が存在している。つまり $s_i$ が $s_j$ に直接関係しているならば $s_i R s_j$ と表す。ISM法におけるモデルの階層化は、まず頂点間の関係を用いて隣接行列 $B_{i,j}$ を作成する。隣接行列とは、関係 $R$ を二値行列として表したもので頂点 $s_i$ と頂点 $s_j$ 間に関係がある場合、 $B_{i,j}=1$ となる。次に、作成された隣接行列に単位行列 $I$ を加え、それを行列 $A$ とする。さらに、可達行列 $T$ あるいは推移包を $A$ のプール積として $T=A^p=A^{p-1}$ を求める。可達行列は、頂点数を $n$ とすると、必ず $n$ 以下のステップで求められる。可達行列に対して可達集合 $R(s_i)$ および先行集合 $A(s_i)$ を求める。 $R(s_i)$ 、 $A(s_i)$ をそれぞれ、

$$R(s_i) = \{s_j \in S \mid T_{i,j} = 1\} \quad (1)$$

$$A(s_i) = \{s_j \in S \mid T_{j,i} = 1\} \quad (2)$$

と定義する。定義から明らかのように $R(s_i)$ は、 $s_i$ 自身および $s_i$ から到達可能な全ての集合を表し、 $A(s_i)$ は $s_i$ 自身および $s_i$ に到達可能な全ての集合を表している。また、 $s_i$ は $R(s_i)$ 、 $A(s_i)$ のどちらにも含まれている。ここで、 $R(s_i)$ と $A(s_i)$ の共通集合 $R(s_i) \cap A(s_i)$ において、

$$S_0 = \{s_i \in S \mid R(s_i) \cap A(s_i) = R(s_i)\} \quad (3)$$

について考える。 $S_0$ は自分に属さない要素には到達することのない要素の集まり、つまり親を持たない要素の集まりであることから、 $S_0$ に属する頂点を第1レベルの頂点とする。この様にして第1レベルに属する要素が決定されたら $S_0$ を $S$ から取り除き、サブグラフ $S-S_0$ における第1レベルを求める。以下同様の処理を行うことによって $S$ の各要素に対してレベルが決定される。以下にレベル決定の例を示す。

### 【例】

式(4)のような可達行列 $T_{i,j}$ をもつシステム $S$ の階層化を行う。

$$T_{i,j} = \begin{matrix} & s_1 & s_2 & s_3 & s_4 & s_5 & s_6 & s_7 & s_8 & s_9 & s_{10} & s_{11} & s_{12} & s_{13} & s_{14} & s_{15} & s_{16} & s_{17} \\ \begin{matrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ s_4 \\ s_5 \\ s_6 \\ s_7 \\ s_8 \\ s_9 \\ s_{10} \\ s_{11} \\ s_{12} \\ s_{13} \\ s_{14} \\ s_{15} \\ s_{16} \\ s_{17} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4)$$

\*ここで示す可達行列 $T_{i,j}$ はレベル決定例を示すために用いるもので $s_1 \sim s_{17}$ の各要素に意味はない。

可達行列 $T_{i,j}$ より可達集合 $R(s_i)$ と先行集合 $A(s_i)$ および共通集合 $R(s_i) \cap A(s_i)$ を求める。 $R(s_i)$ と $R(s_i) \cap A(s_i)$ の一致したものが第1レベルに属する要素を表す。可達行列よりその要素を取り除き、同様の手続きを頂点がなくなるまで繰り返した結果を表-1に、また、階層構造図を図-1にまとめて示す。

この方法によって各頂点が可能な限り上位の階層に置かれ、階層数を最小とすることが可能となる。しかし、この手法は要素間の関係が0か1で表されるISMモデルに対して有効な方法であり、本研究で扱う要素間の関係が0から1までの間の数値によって表されるFSM法に有効なものとは限らない。そこで、本研究ではFSM法によって得られた要素間の関係をさらに隣接行列に変換することで、FSM法から各要素の階層割当てを実現した。

表-1 階層化の結果

レベル数	要素番号
第1レベル	1
第2レベル	3,5,6,7
第3レベル	2,4,8,17,D2,D3
第4レベル	10,11,12,14,15,16,D1
第5レベル	9,13

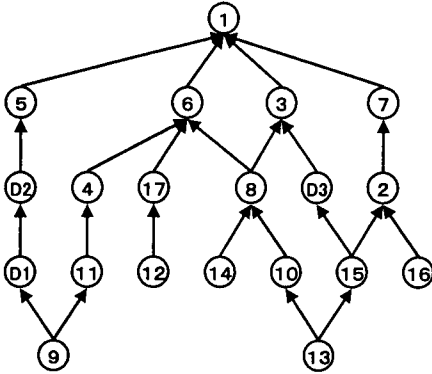


図-1 階層化後の構造図

ここで図-1を見ると、辺のスパン（任意の関係がある2つの要素間のレベル差）が2以上となるものが存在することがわかる。階層グラフにおける長い辺とは1より大きいスパンを持つ辺のことを意味しており、これは描画規則「辺長小」に反するものである。そこで、長い辺をできるだけ避けるために、スパンが2以上の辺に対してダミー頂点の追加を行った。図-1の例を用いて説明すると、要素③と要素⑩間の辺のスパンが2なので、ダミー頂点(D3)を1つ追加し、辺のスパンを1とする。この操作を全て辺のスパンが1のモデルに変換されるまで行う。

**【Step 2】各階層における頂点の配置順序決定**

このステップでは、先の階層割当てによって全ての要素が各階層に分けられたので、次に描画規則「辺交差最少」を達成するように各階層において要素に順序付けを行った。全ての辺のスパンは1なので、辺の交差数は、要素の細かな位置に依存せず各階層内での要素の順序にのみ依存することになる。そのため、辺の交差数減少化の問題は各階層に対する適切な順序付けを選択する組合せ問題として捉えることができる。この問題は、単純な組合せ問題であるが、階層数が2つだけでもNP-完全問題であり、実際に解を求めるのは非常に困難である。そこで、辺交差数の減少化を効果的に解決する手段として、2階層グラフに対して重心法<sup>9)</sup>、中央値法<sup>9)</sup>と呼ばれる発見的手法が考案されている。これらは、各頂点をその隣接頂点の近くに配置する方が良いという直観に基づいたものである。本研究ではこれらの手法のうち、計算機に適した重心法を用いて辺交差を最

小にする。

ここで重心法は、基本的に2階層グラフに対する方法であるため、 $n$ 階層グラフへの拡張が必要であり、様々な方法が考えられる。例えば1段目の順序付けを決め、次に $i$ 段目の順序を固定して $i$ 段目と $i+1$ 段目の間の交差数を減らすように $i+1$ 段目の順序付けを行う、上から順に適用する方法や、逆に最下段の順序付けを決め、下から順に適用する方法、その他にも $i$ 段目と $i+2$ 段目を固定し $i+1$ 段目の順序付けを行うことで $i+2$ 段目と $i+1$ 段目と $i$ 段目との間の交差数を減少させるような方法が挙げられる。階層構造モデルは基本的に2段以上の段数をもつグラフであり、重心法を適用するにあたり、より効果的に交差数を減らすことができるようにアルゴリズムを構築する必要がある。そこで本研究では、重心法を上から下へと処理するDown処理と下から上へと処理するUp処理の2つの方法を交互に行うことによって交差数の減少化を行っている。またこれらの処理を行う際、行の重心置換のときは一段下の結合行列が影響を受ける性質を考慮して、行の重心置換において等重心がある場合(ROR)や等重心がない場合(BOR)にはUp処理に、同様に列の重心置換において等重心がある場合(ROC)や等重心がない場合(BOC)にはDown処理に対応させることにした。これにより交差数の減少化を促進することが期待される。図-2に本研究で使用した多階層グラフの交差数減少化アルゴリズムのフローを示す。また、交差数減少化の例を図-3に示す。この例では、 $i=25$ 回、 $j=25$ 回の処理を行った。最終的に交差数0のグラフが求まっているが、これらの過程はあくまでも発見的手法であるため、繰り返し回数 $i,j$ によって結果は大きく変わってくる。実際に $i,j$ の値を大きくすることにより多くの組合せパターンを生み出すことが期待できる反面、逆に計算時間が長くなるという欠点をもつ。したがって、要素数や辺の数などから判断し、最も適当な繰り返し回数について検討する必要がある。

**【Step 3】各階層における頂点の配置位置決定**

ここでは、Step 2により交差数の少ない配置順序が決定されたので、4つの描画規則である「最小分離」、「近接性」、「バランス性」、「直線性」を満たすように各要素の配置座標を決定するアルゴリズムについて検討する。これを行う方法としてSugiyamaらが提案している優先度法<sup>9)</sup>がある。優先度法は、優先度という概念を用いることで計算時間の短縮化を図った手法であり、本研究では、より早く描画結果を得る目的から、優先度法に改良を施して配置座標の決定を行った。以下に優先度法について簡単に説明する。

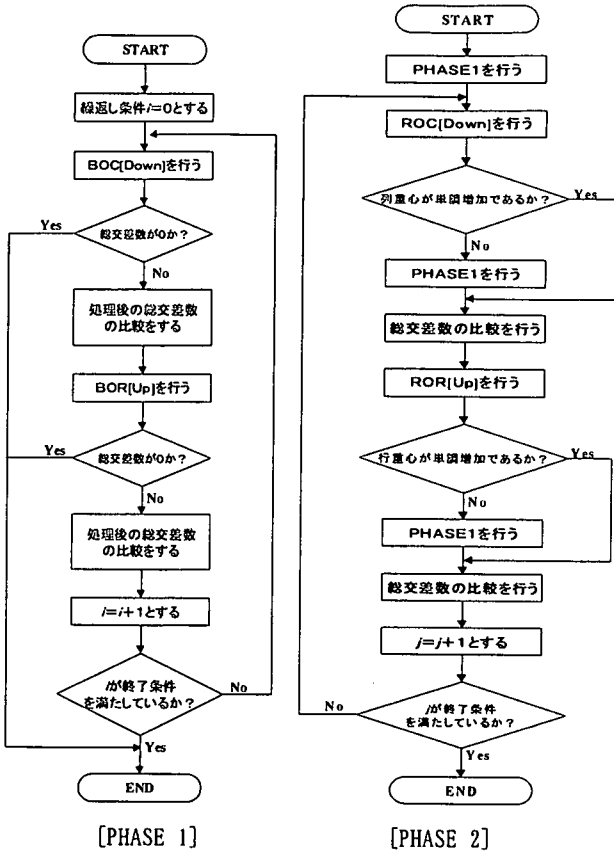


図-2 多階層グラフの交差数減少化アルゴリズム

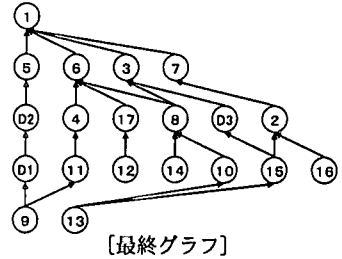
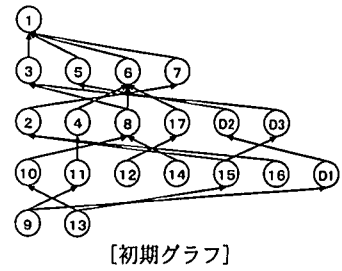


図-3 重心法による交差数の減少

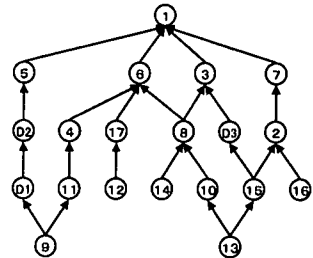
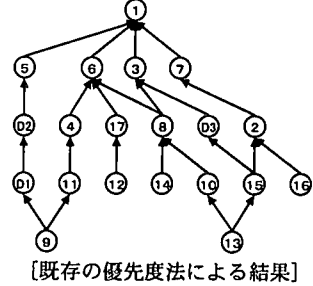


図-4 各優先度法による配置結果

優先度法の基本的な考え方は重心法と似ており、多階層グラフの各段における頂点配置座標の手順を全段にわたって上から下、下から上へと順次繰返すものである。図-3 で決定した最終グラフに優先度法を適用した結果を図-4 に示す。既存の優先度法による結果では、「最小分離」、「近接性」は満たしているものの、「バランス性」、「直線性」に関してはやや不十分な結果となった。これは全ての階層構造モデルに対して言うことではないが、今回の例のように特定のレベルに優先度の高い要素が特に多く集まっていると、優先度が同じかそれ以上の優先度をもつ他の頂点の影響を受け、最適と思われる配置となっていない。以上のことから「バランス性」、「直線性」を可能な限り満たすようなアルゴリズムが必要と考え、本研究ではこれらの問題点を解決する方法として、優先度の与え方について改良を行った。

まず、階層グラフは直線部分をできるだけ垂線で表せばモデルの可読性が増すことから、親頂点から子頂点または子頂点から親頂点への関係が1つしかないような場合に最も高い優先度を与えることにした。また複数の子(親)頂点をもつ場合でも、その中の1つが単独の親(子)頂点をもつような場合、

バランス性を満たすようにその結合次数を優先度として与えた。以上の条件を満たさない要素については優先度を0とし、優先度が0の頂点についてはそれ自身についての配置座標を決定するための処理を行わないことにした。以下に本研究で改良を行った優先度法のアルゴリズムを示す。

[改良後の優先度法のアルゴリズム]

- ① 各頂点(第  $i$  段の  $k$  番目とする)の初期座標を  $x_{ik} = x_0 + (k \times d_0)$  ( $x_0, d_0$  は任意の整数) で与える。
- ② 最上段→最下段→最上段→最下段と Down 処理を2回、Up 処理を1回行いながら各段において以下の操作を行う。  
(優先度の設定)  
[Down 処理の場合]

- ・ 親が自分しか子を持たず、かつ自分も親を一つしか持たないものに最も高い優先度を与える（直線性）。
- ・ 親が自分しか子を持たない場合、上結合次数を優先度として与える。
- ・ その他の場合は、優先度を0とする。

[Up 処理の場合]

- ・ 子が自分しか親を持たず、かつ自分も子を一つしか持たないものに最も高い優先度を与える（直線性）。
- ・ 子が自分しか親を持たない場合、下結合次数を優先度として与える。
- ・ その他の場合は、優先度を0とする。

(配置座標の改善)

優先度の高い順に各頂点 ( $k$  番目とする) の配置座標の改善を以下のように行う。なお、同値の優先度の場合は、左側の頂点から優先的に操作を行い、優先度が0の頂点は操作の対象とはならない。

$k$  番目の頂点を Down 処理のときは上重心に、Up 処理のときは下重心に下記の条件を満たすように近づける。

- 頂点の配置座標は整数とする。また、同一階層において頂点間隔は最小距離  $d_0$  (本研究では  $d_0=2$  とした) 以上とし、他の頂点と同一の座標を占めてはならない (最小分離)。
- 頂点の配置順序を変えてはならない (交差数最少化)。
- 動かすことができる頂点は改善の対象となっている  $k$  番目の頂点の優先度よりも低い値を持つ頂点に限る (近接性)。

図-4 に改良を行った優先度法による配置結果を併記して示す。改良後の優先度法による結果をみると「バランス性」については描画規則を十分に満たしているといえる。また、「直線性」については十分とはいえないが、改良前と比べ、より要素間の関係を見やすく表現しており、より良い結果を得ることができた。以上のことから改良を行った優先度法のアルゴリズムを用いた方がより良い配置図を得る方法としての機能に優れていると考えられる。

### (3)階層構造モデルの作成

図-5 に FSM 法から得られた階層構造モデルの結果を視覚的に表示するフローを示す。

階層構造モデル作成では、あらかじめ対象となる構造物において、その損傷要因を文献調査、アンケートなどより抽出し、要因間の関連性を数値化したファジマトリックスを作成した後に行う。このファジマトリックスと閾値  $P$ 、あいまい構造パラメータ  $\lambda$  を入力値とし、FSM 法による計算によって要素間の関連性の指標を導出する。次にこの指標を関連があるものを 1、ないものを 0 とする隣接行

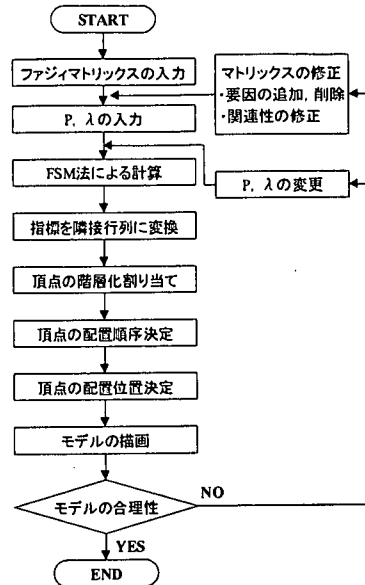


図-5 階層構造モデル作成・描画フロー

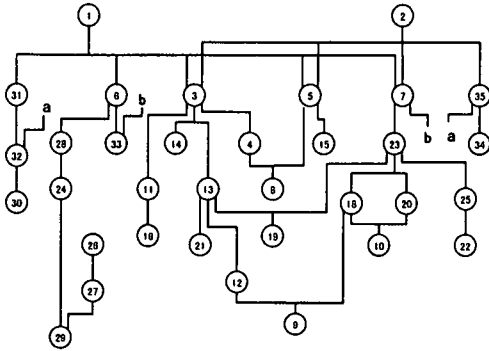
列に変換し、描画アルゴリズムに従って、階層構造モデルの表示を行う。階層構造モデルが自動的に描画されることにより、ユーザはその階層構造モデルを見ながらモデルの合理性の判定を行い、修正が必要な場合はマトリックス、パラメータを変更し、再計算を行う。この操作を納得の行くまで繰り返し行い、最終的な階層構造モデルを構築する。

### (4)自動描画妥当性の検討

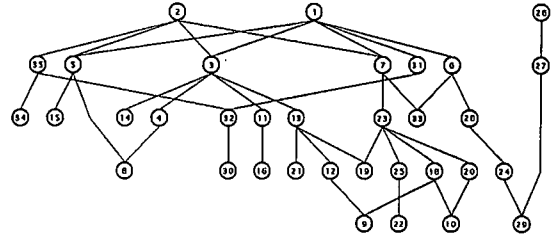
自動描画の妥当性を検証するため、図-6 に手書きによる描画結果<sup>7)</sup>と自動描画の結果との比較を行う。手書きによる描画は、独特の方法で描画されており、できるだけ辺交差を減らし、比較的容易に関連性を読み取れるよう工夫がされていることがわかる。一方、本機能による結果を見ると、要素の配置が少し横に広がっているため、図が横伸びに見えるような状態となっている点や、辺交差数が10あるため、人によっては手書きに比べ読み取りにくいとも思えるが、要因間の関連性を検討する上では読み取りは十分可能なレベルである。全体的な読み取りやすさの点では、今回検討した自動描画機能による描画は、現状では手書きと比べると見劣りする場合もあるが、描画に要した時間はわずか5分程度である。手書きの場合は、要因間の関連性が確定してから描画完了まで、少なくとも数時間から数十時間を要する。しかも要因間の関連性の妥当性を検討するにはその都度描画は不可欠であり、最終結果を得るまでに試行錯誤を実施するため、数回若しくは数十回の描画を実施しなければならない。これらの時間的労力は多大であり大きな負担となる。したがって、

表-2 配水管事故要因表

1 管体の損傷	10 埋戻土の種類	19 地下水位	28 管内流水の水質
2 継手のゆるみ	11 地盤状態	20 土壌の通気性	29 管内流水の流速
3 支持条件の変化	12 管基礎の有無	21 地質の差異(変化)	30 鑄造方法
4 土荷重	13 地盤の不同沈下	22 迷走電気	31 鑄造材料質
5 自動車荷重	14 他工事の有無	23 外面塗装	32 鑄造時の規格
6 内面腐食	15 交通量	24 内面塗装	33 埋設経年
7 外面腐食	16 道路勾配	25 電食対策	34 口径
8 埋設深度	17 管内外の温度差	26 管内流水の水圧	35 継手形式
9 土質	18 土壌の腐食性	27 管内流水の水撃圧	



(a) 手書きによる描画結果



(b) 自動描画結果

図-6 配水管事故要因の階層構造モデル<sup>7)</sup>

本自動描画機能ではこれまでの手書きによる時間的労力を極端に軽減できること、およびシステム入力者によらず常に同一の結果が得られることから、階層構造モデルを検討するのに非常に有効であると考えられる。

### 3. あとがき

本研究では、「視認性」や「可読性」などを考慮した階層構造モデルの自動描画手法の提案を行った。階層構造モデルの自動描画により、モデルの検討が十分に行え、再構築（要因の追加・削除等）にも柔軟な対応が可能となった。

#### 参考文献

1) 西村 昭, 藤井 学, 宮本文穂, 富田隆弘: 橋梁診断のシステム化に関する基礎的研究, 土木学会論文集, 第 378 号/V-6, pp.175-184, 1987.2.

2) 白倉篤志, 水口弘範, 宮本文穂, 中村秀明: 階層モデルを用いたコンクリート橋の維持管理支援システムの構築, 構造工学論文集, Vol.44A, pp.1025-1036, 1998.3.  
 3) 杉山公造, 田川正二郎, 戸田光彦: 構造情報の視覚表現に関する研究-階層構造モデルの自動平面描画アルゴリズムとその応用, 富士通(株)国際情報社会化学研究所研究報告第 2 号, pp.1-41, 1981.  
 4) 吉川和広: 新体系土木工学 52 土木計画のシステム分析, 土木学会, 1980.3.  
 5) Sugiyama, K., Tagawa, S. and Toda, M.: Effective Representations of ISM Hierarchies, *Proc. of Int. Conf. on Cybernetics and Society*, Denver, pp.413-418, 1979.  
 6) Eades, P. and Wormald, N.C.: The Median Heuristic for Drawing 2-Layered Networks, *Tech. Report, 69, Dept. of Computer Science, Univ. of Queensland*, pp.1-13, 1896.  
 7) 林一平, 安藤伸雄, 田中義昭, 宮本文穂: 配水管事故要因の階層化, 水道協会雑誌第 667 号, 1990.4.

(1999.12. 6 受付)

## DEVELOPMENT OF AUTOMATIC DRAWING SYSTEM FOR HIERARCHY MODEL IN STRUCTURAL DIAGNOSES

Atsushi SHIRAKURA, Ayaho MIYAMOTO, Hideaki NAKAMURA and Tsuyoshi MAEDA

The authors have been working for some time on the development of a maintenance support system for concrete structures based on a combination of both the fuzzy hierarchy structural model and the fuzzy set theory which deal with the subjective information related to the serviceability assessment. In this study, in order to improve the flexibility and practicality of the maintenance support system, an automatic drawing system for hierarchy modeling was newly developed and also verified by applying the system to some actual problems related to the structures under multiple damages.