

構造物損傷要因の階層化とグラフ描画法による視覚化

山口大学大学院 学生員○前田剛志 (株)ニチゾウテック 正会員 白倉篤志
山口大学工学部 正会員 宮本文穂 山口大学工学部 正会員 中村秀明

1. はじめに

近年、構造物には様々な損傷が見られる。したがって、損傷状態を評価し、補修・補強の必要性を判定する必要があるが、構造物の数に対して専門技術者の絶対数が不足しているのが現状である。そのため、専門技術者に代わって構造物の状態を評価・判定できるシステムの必要性が高まっている。そこで本研究室では、従来より構造物維持管理支援システムの構築を行ってきた。これまでに構築したシステムでは点検、診断、対策、記録機能を構築済みである。しかし、診断で使用する階層構造モデルを構築する際に、その大部分を手作業で行っていた。そのため、階層構造モデル構築に多大な労力と時間をかけることとなり、本システムの特徴である高い柔軟性を発揮することができなかつた。本研究は、損傷要因の階層化と共にグラフ描画法による視覚化を行うことで本システムの使用性の向上を図った。

2. 損傷要因の階層化¹⁾

損傷要因間の関係を把握するために、各損傷要因間に対してあいまい二項関係を適用し、専門技術者の知識・経験を反映させたファジィマトリックス A を作成する。そして、作成されたファジィマトリックス A に FSM(Fuzzy Structural Modeling)法を適用し¹⁾、損傷要因群の階層化を行った。階層化された損傷要因群は「階層構造モデル」と呼ばれ、一つのシステムとして捉えることができる。この時点では要因間の関係は指標で表わされているため、次の視覚化のために二値関係で示される隣接行列 B に変換する。

3. グラフ描画法による視覚化

階層化された要因群を視覚化するために既往のグラフ描画法に変更を加えて適用することとした²⁾。階層構造モデルは、非閉路有向グラフとなることが FSM 法より判明しているため、グラフ描画法における非閉路有向グラフの描画方法の一つである階層的描画を用い、次の3つのステップを順次階層構造モデルに対して行う。

ステップⅠ 頂点の階層割当て

ステップⅡ 各階層における頂点の配置順序決定

ステップⅢ 各階層における頂点の配置座標決定

これらのステップは全て人間にとって見やすい描画となるように描画規則に従って行われる。以下に各ステップについて説明を行う。

3.1 頂点の階層割当て

階層割当てでは、グラフの各頂点を各階層にできるだけ一様に割当て（一様分布）、階層数を最小にし（高さ最小）、辺のスパンの総和が最小になるように割当てる（辺総長最小）。そこで本研究では、最長パス階層化及びできるだけ長い辺を避ける階層化を用いて階層割当てを行うこととした。最長パス階層化としては ISM 法における構造化手法を³⁾、できるだけ長い辺を避ける階層化としてはダミー頂点の追加を適用した。

3.2 各階層における頂点の配置順序決定

配置順序決定では、階層割当てを行ったグラフの頂点を辺の交差を最小にするように配置する（辺交差最少）。辺の交差数を計算するには、式(1)を用いるが、グラフ A を結合行列 $M^{(i)}$ に変換する必要がある。結合行列 $M^{(i)}$ とは $|V_i| \times |V_{i+1}|$ 行列であり、その成分 $m^{(i)}_{kl}$ は式(2)ようになる。

$$C(M^{(i)}) = \sum_{j=1}^{p-1} \sum_{k=j+1}^p \left(\sum_{\alpha=1}^{q-1} \sum_{\beta=\alpha+1}^q m^{(i)}_{j\beta} m^{(i)}_{k\alpha} \right) \quad (1)$$

$$m^{(i)}_{kl} = \begin{cases} 1: (v_k, v_l) \in A_i \\ 0: (v_k, v_l) \notin A_i \end{cases} \quad (2)$$

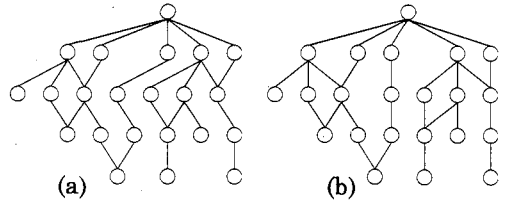


図-1 各優先度法による描画結果

本研究では、頂点の配置順序決定に発見的手法である重心法を適用することとした。h段グラフの結合行列 $M^{(h)}$

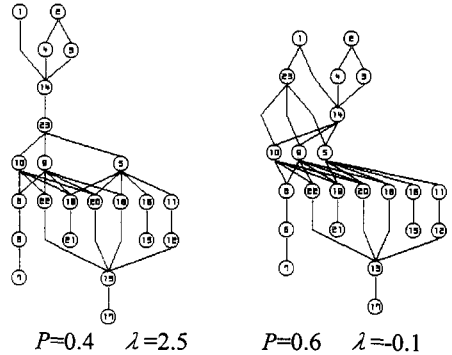
において行の重心置換 (ROR, BOR) は(i-1)段目の階層に、列の重心置換 (ROC, BOC) は(i+1)段目の階層に影響を与える性質があることに着目し、行の重心置換を $M^{(1)} \rightarrow M^{(h-1)}$ へ、列の重心置換を $M^{(h-1)} \rightarrow M^{(1)}$ へと行うこととした。

3.3 各階層における頂点の配置座標決定

配置座標決定では、各階層において頂点間は最小距離 d_0 以上離れ (最小分離)、隣接階層の隣接頂点はできるだけ近くに (近接性)、各頂点は隣接頂点の重心に (バランス性)、辺の折れ線を少なくし直線になる (直線性) ように各頂点に座標を与える。本研究では、発見的手法である優先度法に直線性、バランス性の向上が図られるように変更を加え適用することとした。

4. 視覚化による有効性の検証

既往のグラフ描画法に変更を加えたことでより可読性の高いグラフ描画が可能になったことを検証する。同一のグラフを用いて既往の優先度法による描画結果を図-1(a)に、本研究で用いた優先度法による描画結果を図-1(b)に示した。結果から判るように頂点間の直線性、隣接階層間のバランス性が向上し、可読性が高まった。



次に P, λ の値によるモデルの変化としてアルカリ骨材反応の階層モデルを図-2に示した。P, λにより要因間の関係が変化しているが、視覚化することにより可読性の高い階層構造モデルにおける要因間の関係を把握しやすくなった。グラフの描画時間も、従来数日から長いものでは1ヶ月かかっていたものが数時間から数週間となり、時間短縮と共にシステムの使用性に繋がった。

No.	要因名	No.	要因名
1	骨材の反応性	13	構造物の種類
2	ひびわれ進行性	14	膨張量
3	ひびわれパターン	15	施工時期
4	ひびわれ幅	16	施工の良否
5	ひびわれ拘束度	17	立地条件
6	骨材岩種	18	排水の程度
7	骨材産地	19	単位セメント量
8	反応性骨材混合比	20	セメントの種類
9	反応リングの量	21	水セメント比
10	ゲルの性質	22	混和材の種類
11	鉄筋量	23	ひびわれ発生時期
12	部材寸法		

図-2 アルカリ骨材反応の階層構造モデル

5. まとめ

- ① グラフ描画法による視覚化により可読性の高い階層構造モデルの描画が可能となった。
- ② 短時間で階層構造モデルの構築及び再構築が可能となり、システムの使用性の向上につながった。
- ③ 階層構造モデルを構築するために用いる損傷要因の関係を示したファジィマトリックスの作成を効率よく行う方法の検討及びそれに伴う適切な階層構造モデルの構築を行う必要がある。

参考文献

- 1) 宮本文徳、田中常夫：コンクリート橋損傷要因の階層化とその診断への適用、財団法人 建設工学研究所、「研究報告」第30号別冊, pp109~133, 1988.12.
- 2) 三末、杉山：図的思考支援を目的とした複合グラフの階層的描画法について、情報処理学会論文誌, 30-10, pp1324~1334, 1989.
- 3) 吉川和宏：新体系土木工学 52 土木計画のシステム分析、技報堂出版, pp29~56, 1980.3.