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開発

山口大学大学院　学生員　○水口弘範　山口大学工学部　正会員　中村秀明
（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

１．はじめに

従来、コンクリート構造物の寿命は半永久的であり、メンテナンスフリーであると考えられてきた。しかし近年、設計条件の不備あるいは施工不良等による早期劣化が問題となっている。また、橋梁においては交通量の増大や大型車両の増加等により、設計時よりも過酷な供用・環境条件を強いられる場合が多くなっている。そのため、構造物の延命化のための維持管理が要求されている。本研究では、コンクリート橋を対象に、その損傷要因間の関係を表す階層構造モデルを作成し、このモデルを利用した維持管理支援システムの構築を試みた。また構築したシステムに既存橋梁に対する点検結果を入力することにより、本システムの実用性を検証した。

２．コンクリート橋損傷要因の階層化[1)]

コンクリート橋に発生する損傷とその原因、また損傷の発生とそれによる構造物の諸機能への影響は、いずれも複雑な関連性を有していると考えられる。この損傷要因間の相関関係を把握するために、図１のフローに従ったシステム工学的手法により損傷要因の階層化を行った。すなわち、損傷要因の階層化は、最初に文献調査や専門技術者を対象としたアンケート結果などから階層モデルの各頂点となる損傷要因を抽出し、各要因間の関連性の強さを［0 ~ 1］の間の数値で表したファジィマトリクスを作成することからスタートする。次に、このマトリクスに FSM(Fuzzy Structural Modeling)法[2)] を適用することで、損傷の発生原因や安全性や機能性に影響を与える経路を把握することが可能な階層モデルを実現する。本研究では、この FSM を用いてファジィマトリクスから階層モデルの各損傷要因間の指標を求める一連の手順をプログラム化した。

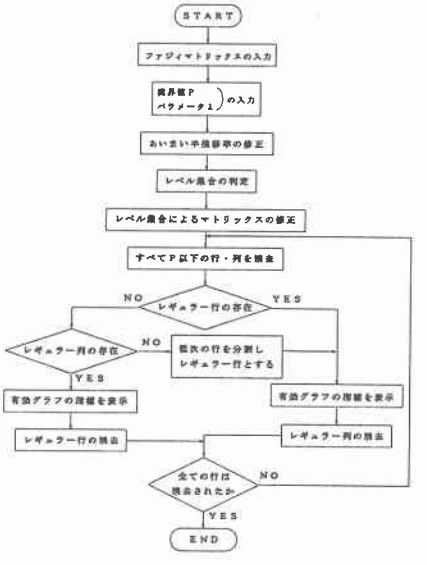

図１　階層モデル化プログラムのフロー

３．システムの構成

上述の階層モデルを利用したコンクリート橋の維持管理支援システムの構築にあたり、本研究では「Visual Basic For Windows」を使うことにした。これにより、GUI（Graphical User Interface）の機能を利用したシステムが構築できる。

図２に本研究で構築した維持管理支援システムの流れを示す。ここで、本システムの全体的な流れを説明すると、最初に維持管理を行うコンクリート橋の諸元と、点検結果の入力を行う（図３参照）。次にこの入力されたデータを基に、階層モデルのパスが成立するか否かの判定を行う。パスの成立の判定を行った階層モデルを利用して、まず「耐用性診断」の流れでは、階層モデルのパスの状態から、診断項目に影響を及ぼしている損傷要因を抽出し、それぞれの損傷（判定）因子ごとにファジィ理論の帰属度関数に対応させた判定ランクを入力していき、階層モデルの上層に向かって順次 Dempster の結合則[3)] を用いて結合していくことによって最上層要因の帰属度関数を導出し（図４参照）、最終的な診断を行う。一方、「損傷推定・対策」では、階層モデルのパスの状態によって発生していると推定される損傷について、それぞれの損傷ごとにその対策の表示（図５）を行う。

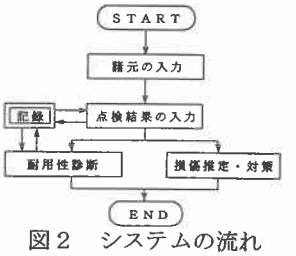

図２　システムの流れ

4．システムにおける診断部の検証

本システムでは先に説明したように橋梁諸元と点検結果を基に階層モデルのパスを判定し、最上層へ通っているパスを利用して耐用性診断を行う。この診断部の検証として、山口県内に架設されている「Ｙ橋」の橋梁諸元（表１）及び点検結果（表２）のデータを用いて、「耐久性」「主桁曲げ耐荷力」の診断を行った。

表１　「Ｙ橋」の諸元

橋梁名	Ｙ橋
橋長	11.0 m
橋齢	60 年
適用示方書	1925 年度版
橋梁形式	RC 単純Ｔ桁橋

図３　入力画面例

表２　「Ｙ橋」の点検結果（一部）

	Yes	No	Unkown
車は主桁をまたぐように通行していますか？	○		
ハンチに沿ったひび割れが多数見られますか？	○		
床版に抜け落ちした箇所が見られますか？		○	
スターラップに断面減少の兆候が見られますか？			○
空洞・豆板の箇所が見られますか？	○		

表３　診断結果

	VerySafe	Safe	Moderate	Severe	VerySevere
耐久性	0.0％	5.3％	50.1％	34.6％	0.0％
主桁曲げ耐荷力	0.1％	2.1％	38.8％	57.0％	1.9％

表１，２の「Ｙ橋」のデータをシステムに入力し、階層モデルから最上層要因にパスが通っている要因を抽出し、それぞれについて３段階または５段階の判定及び、影響度と確信度による修正によって、各要因ごとの帰属度関数を導出する。最終的に、これらの帰属度関数を結合させ、「耐久性」などの最上層要因の状態を表す帰属度関数と、あらかじめ設定しておいた帰属度関数との合致度を診断結果として表３に示す。「Ｙ橋」の診断結果は、「主桁曲げ耐荷力」の Severe を支持する値が 57 ％ともっとも高いことから、「Ｙ橋」は補強を主とした対策が必要であることが分かる。

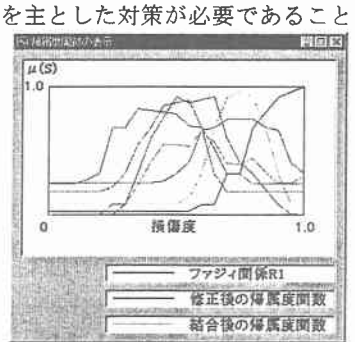

図４　帰属度関数の表示例

図５　損傷に対する対策の表示画面例

5．結論

本研究より得られた結果をまとめると以下のようになる。

①階層モデル化手法をプログラム化することで、新たな階層モデルの作成や既存モデルの修正時に、柔軟な対応が可能となった。

②本研究で開発したシステムでは、維持管理の基本的な考え方である、「劣化予測」→「点検」→「判定」→「記録」という一連の流れを実現することができた。

参考文献

1）金海鉦、葛目和宏、宮本文穂：コンクリート橋損傷要因のファジィ階層化と維持管理への適応、コンクリート工学論文集、1992.7.

2）田崎栄一郎：あいまい理論による社会システムの構造化、数理科学、No191、pp.54 ～ 66、1979.5.

3）古田均、小尻利治、宮本文穂、秋山幸正、大野研、背野康英：ファジィ理論の土木工学への応用、森北出版、pp.193 ～ 197、1992.8.