

神戸大学 正会員 西村 昭
 神戸大学 正会員 藤井 学
 神戸大学 正会員 宮本文穂
 高田機工㈱ 正会員 ○田中常夫

1. まえがき 現在、橋梁は、経年劣化、あるいは老朽化に対して十分な対策が求められる時期に達しつつあり、経済的・効率的で適切な維持管理が望まれている。本研究では、橋梁診断に際し、損傷の原因、損傷と損傷による影響を一連の流れとして把握するために損傷要因相関に基づく階層構造モデル（以下階層モデルと略記）の作成を試みた。ここでは、それらの概要と、この階層モデルを利用した橋梁診断のシステム化の検討と、目視点検、現場試験等から得られるデータを基にした実橋への適用例を示した。

2. 階層モデルの作成方法 階層モデルを作成する方法として、損傷要因間の相関に人間の主観や経験を反映できる、あいまい構造モデル法（Fuzzy Structural Modeling; F S M）¹⁾を用いる。F S M法では、要因間に、あいまい2項関係を導入し、それらの関連性を値域[0, 1]で表し、あいまい構造パラメータ及び境界値を、試行錯誤的に変えることによって自由度のある階層モデル化が可能となり、柔軟性を持った有向グラフを求めることができる。階層モデルの要因は、文献等に基づき、橋梁の診断に必要と思われるものを網羅するように選んだ。選定した76個の要因を表1に示す。また、これら要因間の関連性を表す数値を決定する際にも、経験、文献等の整理結果を基にした。

3. 損傷の予測及び原因追求用階層モデル これらの要因及び数値を用いて、F S M法によって得られた有向グラフを階層モデルとする。これを図1に示す。番号1~76は要因番号であり、a~xはバスの接続を示している。要因間の上下関係がそのまま従属関係を示し、ある2つの要因間で、下にある要因が上にある要因に従属している。この上下関係は、ある損傷が、その影響を受けて発生する可能性のある損傷に従属していることを表している。つまりこの階層モデルを下から上へとたどっていくことによって損傷の予測が出来る。また、この従属関係を逆転させ、ある損傷が発生した時、その原因はどういうものであるかと言うことを表すようにし、いままでの階層モデルの上下を逆転させると、損傷原因追求用の階層モデルを作成することができる。

表1 階層モデルの要因名

番号	要 因 名	番号	要 因 名
1	利用性	39	主桁コンクリートの疲労
2	周辺環境への影響性	40	主桁コンクリートの劣化
3	走行安全性	41	引張鉄筋量、PC調材量の減少と付着性状の変化
4	耐久性	42	スラップ鉄筋量の減少と付着性状の変化
5	主桁 曲げ耐力	43	鉄筋、PC調材の疲労
6	主桁 せん断耐力	44	支床機能の劣化
7	床版 全体的損傷	45	桁のひびわれ
8	床版 部分的損傷	46	鉄筋、PC調材の腐食
9	床版、ひびわれ面でのせん断伝達能力の低下	47	同一方向のひびわれ
10	主筋方向ひびわれ	48	支床付近のひびわれ
11	配筋方向ひびわれ	49	上部、下部構造の変位
12	格子状ひびわれ	50	腐食、腐蝕の変状
13	ハンチ沿いのひびわれ	51	基礎の変状
14	掘削集中したひびわれ	52	心力集中箇所の疲労
15	腐蝕ひびわれ	53	鋼ボックス、鋼構内への水の侵入
16	ひびわれ腐蝕	54	鋼材のひびわれ
17	床版コンクリートの疲労	55	結露、漏水
18	床版コンクリートの劣化	56	塗装の劣化
19	床版コンクリートの剥離	57	部材位置
20	角落ち、すりへり	58	鋼材の腐食
21	遊離石灰	59	凍融
22	床版での漏水	60	排水設備の破壊
23	輸送量の通行軌跡	61	泥づまり
24	配筋経路	62	凍結不足
25	床版厚	63	排水不良
26	主桁の剛性	64	路面清水
27	主桁のねじれ、不平等沈下	65	輸送量の増大と繰り返し頻度
28	主桁作用	66	大型車交通量
29	舗装の凹凸	67	示方書
30	舗装のひびわれ	68	腐食
31	道路形状	69	凍害
32	主桁の振動、たわみ	70	凍結融解作用
33	舗装面での漏水	71	道路条件
34	アスファルトの劣化	72	風地条件
35	伸縮装置の破壊とその付近の凹凸	73	凍害条件
36	騒音	74	施工不良
37	床版目地とその付近の凹凸	75	設計
38	主桁コンクリート部のせん断力分散能力の低下	76	災害

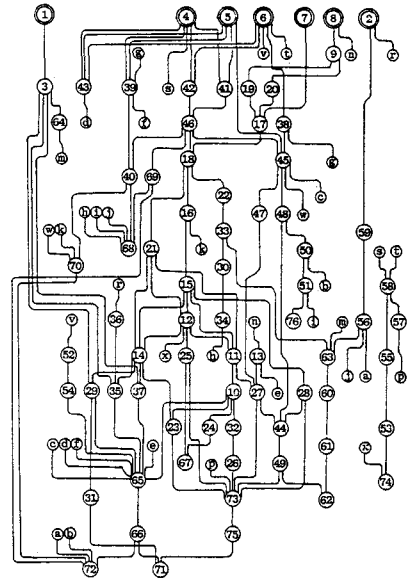


図1 階層モデルの全体図

4. 階層モデルの利用方法 図1に示した階層モデルには、耐久性や耐荷性には無関係な利用性や周辺環境への影響に関する項目、及びコンクリート桁、鋼桁及びRC床版に関する特有の損傷を表す項目も同時に存在している。そのため、橋梁の各機能についての損傷要因を理解するには不適當である。そこで各機能別に階層モデルを分割する。この分割を表2に示す。ただし相互の要因が重複することもある。

ここで、各種階層モデルの示すパスは、単に損傷要因間の関連性を示しているに過ぎない。これを利用して損傷の予測を行うためには、諸条件によってパスを上にとどめて行くべきか、そこで止まってそれ以上たどって行かないかを、決めなければならない。そこで、構造条件等に基づいて決定したり、質問を設けて、それに対する解答によって決定することにする。

5. 実橋に対する利用例 次に、香川県の垂水橋²⁾の床版全体的損傷（表2、H）に関して、このシステムの利用例を示す。橋梁の状態に関する質問に対して入力した解答の一部を表3に示す。この解答によって得られた階層モデルの状態は、図1のモデルを上部と下部に分割したパスで示すと図2、図3のようになる。ここで実線は実際にパスが進んでいるところで、破線は質問に対する解答によってパスが進まずに止まっているところである。以上より得られた3つの項目、つまり 18：床版コンクリートの劣化（ひび割れ状況）、21：遊離石灰、22：床版での漏水について細部調査等を行い、それに基づいてそれぞれの評価を下し診断を行うことになる。

6. まとめ 本研究では、過去の経験や知識から得られた橋梁の損傷要因間の関連性を整理し、階層化することによって、構造諸元や属地条件等から耐荷力、耐久性等に至る階層構造モデルを作成した。この階層モデルを用いて発生する可能性のある損傷の予測及び損傷による耐用性、供用性への影響推測を行った。各要因間の関連性を表す数値を決定するのに、本研究では文献調査のみに頼ったが、今後は技術者が持っている経験や知識を抽出し、数値の決定に役立てることが望ましい。また、要因数を76項目としたが、さらに細部にわたった階層モデルを作成するためには、要因数を増やす必要があると思われる。

参考文献 1)田崎：あいま理論による社会システムの構造化、数理学、No.191,1975.5 2)西村 他：香川県垂

表2 分割モデル一覧表

A. 利用性
B. 周辺環境への影響性
C. 耐久性
D. RC桁曲げ耐荷力
E. RC桁せん断耐荷力
F. 鋼桁耐久性
G. 鋼桁耐荷力
H. 床版 全体的損傷
I. 床版 部分的損傷

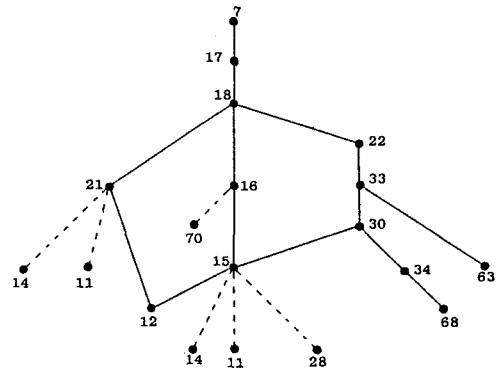


図2 床版全体的損傷上部モデルの状態

表3 入力した解答の一例

水橋の
耐用性
診断、
建設工
学研究
所報告、
第25号、
1983

- ・舗装にかなりの損傷がある
- ・道路線形に問題はない
- ・床版厚は 18 cm である
- ・支承部の点検は行っていない
- ・車両は床版スパン中央を走行する
- ・主桁に対する補強工事はない
- ・支承部に損傷がある
- ・路面の凹凸がある
- ・ひびわれは格子状である
- ・床版に漏水、遊離石灰がある
- ・角落ち、すりへりがある
- ・床版の設計荷重に比べ、実働荷重の方が大きい

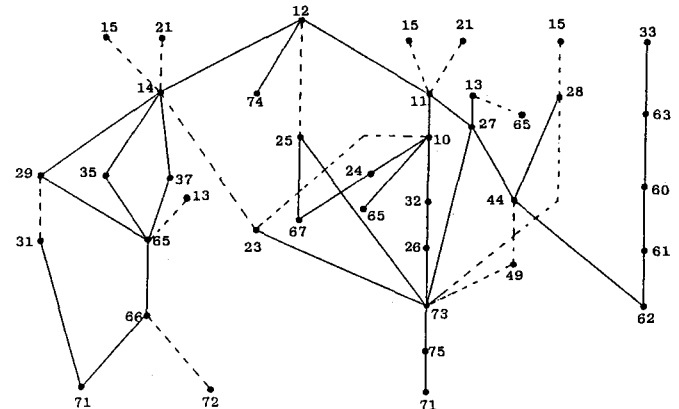


図3 床版全体的損傷下部モデルの状態