

橋梁の損傷要因分析に関する研究

金沢大学工学部 ○山田 宏

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

橋梁点検は通常目視によって行われるものであり、その結果から損傷因果の分析や重大な損傷原因を特定する際、専門家の適正な判断が必要となると考えられる。そこで本研究では、FB (Fish Bone) を用いて、問題点とその原因との因果関係を明らかにし、ISM (Interpretive Structural Modeling)¹⁾ により得られた損傷要因階層図の各要因間の関係を明らかにして FT (Fault Tree) 図で表現するまでの手法を連動化し、橋梁の初期診断における損傷要因分析に関する支援手法としてパーソナルコンピュータ上での作成、利用を試みる。

また、本研究では上記のシステムをさらに発展させ、そこにグラフィック視覚的ツールであるペトリネット (Petri Net ; 以下 PN) を導入してモデル化し、視角的、数学的に解析して、橋梁の初期診断における損傷要因分析の支援手法への応用を試みていく。

2. 本システムの流れ (FB - ISM - FT 図)

Fig. 1は、橋梁の損傷要因分析の流れを示したものである。ここでは鉄筋コンクリート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

本手法では、構造物の損傷とその原因との関係を表す FB（特性要因図）を作成することにより、まず、損傷要因とその特性を整理し (Fig. 2)、ISM によって損傷要因因果図を作成する。その過程は、まず損傷に関連が強いと思われる要因を抽出し、そのうえで、それらの各要因に対して直接的な因果関係があるかどうかについて一対比較を行い (Fig. 3)、要素間の関係を形づくり、要因階層図を作成する (Fig. 4)。さらに、この階層図を基に、各要因間の関係を明らかにし、AND ゲート、OR ゲート、条件付きゲートを区別するなどを行って^{2), 3)}、FT 図を作成する (Fig. 5)。

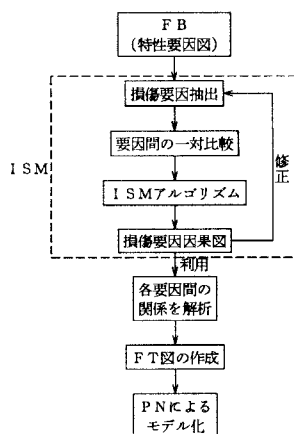


Fig. 1 : 損傷要因分析の流れ

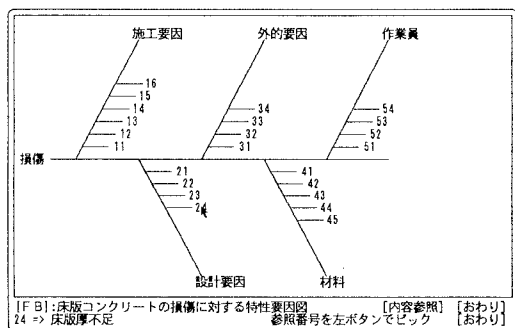


Fig. 2 : FB (特性要因図)

上位項目

下位項目

1. 床版の損傷
2. 剥離・鉄筋露出
3. 遊離石灰の析出
4. 貫入ひび割れ
5. 貫入
6. 鉄筋の発錆
7. ひび割れ発生
8. 荷重条件
9. 漏れ
10. 伸縮継手から浸入
11. 排水能力の劣化
12. 構造条件
13. 繰り返しの荷重
14. 温度
15. 衝撃振動
16. 輸荷重の通行動静
17. 主桁の不同沈下
18. かみより不足
19. 不適当な養分配置
20. 床版厚みの減少
21. 主筋数量の増加
22. 主筋位置の偏重
23. 車両振動
24. 凸凹の存在
25. 橋梁の増設
26. 発生原因
27. 設計
28. 主筋で不足
29. 日本橋による経路

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29

床版の損傷は、荷重条件、排水能力の劣化、構造条件、繰り返しの荷重、温度、衝撃振動、輸荷重の通行動静、主桁の不同沈下、かみより不足、不適当な養分配置、床版厚みの減少、主筋数量の増加、主筋位置の偏重、車両振動、凸凹の存在、橋梁の増設、発生原因、設計、主筋で不足、日本橋による経路と相関がある。

Fig. 3 : ISM における一対比較

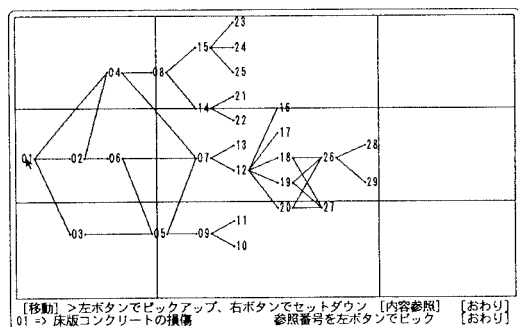


Fig. 4 : ISM による損傷要因階層図

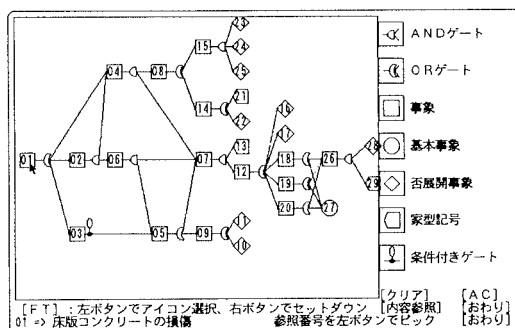


Fig. 5 : 損傷の FT 図

3. 分析の過程

損傷分析例として、鉄筋コンクリート床版について、損傷の原因および因果要因と考えられる要因を抽出し、共通因子をまとめた後、Fig. 1 から Fig. 5 で示したように FB, ISM, FT 図を作成する。

FB では、損傷に寄与する要因を、例として、施工方法・外的要因・作業員・設計要因・材料の 5 種類に分類し、建設のどの段階で生ずる要因かを明確にしようとした。そして、抽出された項目について ISM を用いて一対比較により上位項目、下位項目の関係を決定して階層化した。FT は、損傷の原因となりうる事象が存在するときに、どの事象との関係を経て損傷に至るかという道筋を示すものである。さらに FT について、これを視覚的、数学的にシュミレートしてとらえるために PN の導入を考える。

PN⁴⁾ は、システム構造の可視的な表現手段として利用できるだけでなく、トークン (token) を使用することにより、システムの並行的でダイナミックな事象をシュミレートすることができるという利点がある。そこで、こういった性質をもつ PN を利用すれば、複数の外的作用が影響を及ぼし合う損傷の進行過程をより理解しやすくモデル化できる。

たとえば、PN を使って FT の論理記号を表現すると、Fig. 6 のようになる。これを利用し、かつ、改良していくことによって橋梁の損傷に至る過程を視覚的にとらえられるネットを得ると考える。そして、得られたネットにおいて種々の状況を仮定してシュミレートさせた結果を整理することによって、橋梁の損傷がどうやって進行していくか、あるいは損傷の要因は何か、などの分析を試みる。

4. あとがき

一般に、構造物の損傷は、多くの事象が同時進行し、かつ各事象が互いに影響を及ぼして発生するため、その過程を記述していくことは容易なことではない。そこで、本研究は初期診断における支援手法について既存の方法論の応用と発展を試みた。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、こうした支援手法を有機的に利用して問題解決を図っていくことも重要であると考えた。

本研究では、ペトリネットという手法を取り入れて、本システムの手法の充実、分析を図っていくことを課題としている。

最後に、本研究を進めるにあたり、本学大学院の 川上 直之 氏に謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 寺野 寿郎：システム工学入門，共立出版，1985。
- 2) 阪神高速道路公団：第 2 編 活荷重分科会報告，1984。
- 3) 小堀 為雄：既設道路橋の実態調査と耐用性診断法の研究，1988。
- 4) James L. Peterson：ペトリネット入門，共立出版，1984。
- 5) 川上 直之，城戸 隆良，近田 康夫，小堀 為雄：橋梁診断における要因分析の支援手法について，土木学会第 49 回年次講演会講演概要集，I-244，1994-9。