

## 実測点検データを用いた橋梁劣化傾向の決定木分析

東京大学 学生会員 ○稲垣博信  
 東京大学 フェロー 藤野陽三  
 東京大学 正会員 水野裕介  
 山口大学 正会員 河村 圭

## 1. 研究背景および目的

社会基盤施設の維持管理の必要性が唱えられ、多くの研究が今まで成されてきた。現在主流となっている維持管理フローは、①点検、②性能評価、③劣化予測、④維持管理計画の立案、である。その中でも、③劣化予測は、正確な予測手法が未だに提唱されておらず、具体的かつ信頼性の高い維持管理計画の立案に大きな支障をきたしている。本研究の対象である橋梁の劣化予測では、主として、縦軸を橋梁全体もしくは、橋梁部材の健全度とし、横軸を経年とした劣化曲線が用いられている。この劣化曲線は、一般的に実測点検データを回帰分析することにより算出され、例えば、ニューヨーク市管理橋梁の点検データに基づいた劣化曲線<sup>[1]</sup>などが挙げられる。しかし、これらの手法では、構造、環境条件などの違いを考慮せず、明らかに劣化速度の異なる条件にある橋梁を含めて回帰分析を行っているため、予測精度が低いことが推測される。

この予測精度の改善手法としては、劣化速度の傾向により橋梁を分類し、それぞれのグループにおいて劣化曲線を作成する手法が考えられる。これを実施するには、まずどのような橋梁が劣化しやすいのか、もしくは劣化しづらい傾向にあるのかを把握する必要がある。以上の背景により、本研究では、政令指定都市A市橋梁を研究対象として、劣化しやすい部材を持つ橋梁の寸法、交差物、用途などの条件把握を目的とした。

2. 決定木分析<sup>[2][3]</sup>

各部材の劣化速度に関連する橋梁の条件を把握するために、本研究では、政令指定都市A市の橋梁点検データを、データマイニングの1つである決定木を用いて解析した。

決定木とは、データベースから個々のルールを抽出し、データ分類、モデリング、値の予測に応用する代表的な手法である。図1は、決定木解析の結果例として、地覆・高欄の欠損の解析結果を示している。

図1の決定木では、木の各ノードにデータを分類するための分割ルールが示されている。例えば、ノード0からノード1、ノード2にデータを分割する際、橋梁の経年が39.5年以下のものはノード1、39.5年以上のものはノード2に分類されている。このようなルール構築が各ノードで行われ、木構造を形成している。この決定木は、

C&R Tree と呼ばれるモデルを使用している。C&R Tree での木は必ず2分木構造を形成するため、ルールは二者択一のものとなる。

いくらかの2分木で分類された橋梁は、何れかの終端ノードに行き着く。図1では、ノード3~6が終端ノードにあたる。例えば、経年40年で橋面積が120 m<sup>2</sup>である橋梁はノード6に分類される。ノード6を見ると半分の橋梁が「損傷あり」、10%弱の橋梁が「重大な損傷あり」とされている。よってこの条件を満足する橋梁の地覆・高欄は欠損している可能性が高いことがいえる。

以上のような手順により、橋梁データベースに保存されたデータを分割するのだが、どのデータ分割が有効であるかを判断する為にC&R Tree モデルでは、ジニ係数と呼ばれる多様性を表す指標を用いて、データを分割する。次式は、ジニ係数Gを算出する式を表している。

$$G=1-(P_1^2+P_2^2+P_3^2+\cdots)$$

ここで、 $P_1$ は損傷の具合が○(損傷なし)である確率、 $P_2$ は損傷の具合が△(損傷あり)である確率、 $P_3$ は損傷の具合が×(重大な損傷)である確率を表す。ジニ係数とは、集団内でランダム選択を2回行う際に違う健全度を選ぶ確率を示す。このジニ係数が少ないほどランダム選択が2回行われても同じ健全度を選ぶため、そのノードの正確性が保障される。各ノードにおいてこの係数は算出され、木構造はこの係数が最小値になるように構築される。例えば、図1の最初の分割では、ノード0の0.3891からノード1およびノード2の値を重み付き平均した0.3758までジニ係数が減少している。

## 3. 橋梁データベースの内容

本節では、決定木を構築する際に用いたデータを説明する。表1は、政令指定都市A市の橋梁データベースの主な項目を示している。橋梁点検データは、コンクリート橋の場合、14部材に関わる43種の損傷について、鋼橋の場合、14部材に関わる42種の損傷について以下の基準で評価される点検結果を示している。

○：損傷なし △：損傷あり ×：重大な損傷あり  
 本研究では、2003年度の300橋分のデータを用いて、決定木分析を行い、橋梁の劣化傾向を調べた。決定木は、各部材の損傷毎に構築されるため、コンクリート橋では43本、鋼橋では42本の木構造が構築される。

キーワード：橋梁の劣化予測、決定木

連絡先：〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1 TEL 03-5841-6099 FAX 03-5841-7454

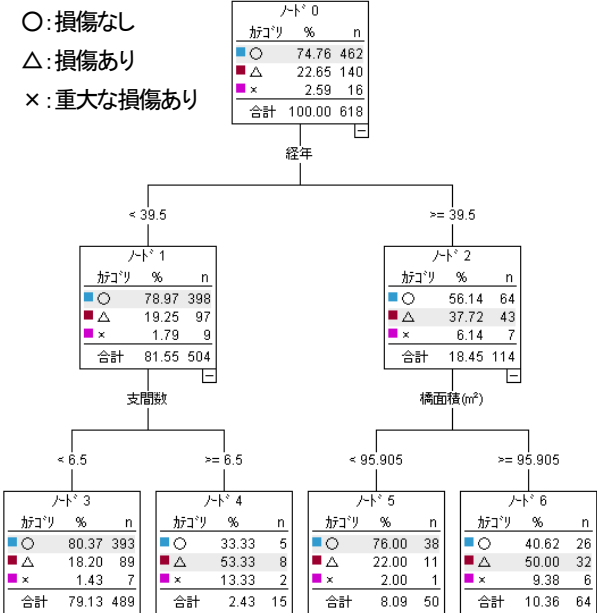


図1 決定木の例(地覆・高欄の欠損)

表2 損傷している確率の高かった終端ノードのデータ

| 部材 | 損傷名     | 全サンプル数 | ○である確率(%) | △である確率(%) | ×である確率(%) | ルール   |      |        |      |       |
|----|---------|--------|-----------|-----------|-----------|-------|------|--------|------|-------|
|    |         |        |           |           |           | 橋長    | 幅員   | 橋面積    | 経年   | 平均支間長 |
| 床版 | 抜け落ち    | 68     | 54.41     | 33.82     | 11.76     |       |      | 467未満  | 40以上 |       |
|    |         | 12     | 25.00     | 75.00     | 0.00      | 139未満 |      | 467以上  | 29以上 |       |
|    |         | 11     | 18.18     | 45.45     | 36.36     | 139以上 |      | 467以上  | 29以上 |       |
|    | 剥離・鉄筋露出 | 53     | 47.17     | 28.30     | 24.53     |       |      | 92～386 | 32以上 |       |
|    |         | 30     | 40.00     | 60.00     | 0.00      |       |      | 386以上  | 32以上 |       |
|    | 漏水・滞水   | 18     | 61.31     | 38.89     | 0.00      |       | 13以上 |        | 29以上 | 9以上   |
|    | 遊離石灰・・・ | 28     | 15.38     | 84.62     | 0.00      | 60以下  | 6以上  |        | 41以上 |       |
|    |         | 36     | 25.00     | 61.11     | 13.89     | 60以上  |      |        | 13以上 |       |

橋梁諸元データは、橋梁の規模や用途、架橋地点の条件などを示しており、決定木の分類条件に使用される。項目の1つである「経年」は、補修履歴データを基に、部材毎に修正を加えた。

4. 解析結果

解析により、多くの木構造を構築したが、ページの都合上、主な結果のみを示す。表2は、主部材である床板の各損傷を解析した際に、全サンプル数が多く、△、もしくは×の確率が高かった終端ノードのデータを示している。

今回の解析においては、表1のように構造形式や交差対象物、また緊急輸送路など交通用途に関するデータを入力したにも関わらず、アルゴリズムが最適な分類方法として算出した分割ルールはほとんど経年と、橋面積や橋長など橋梁の規模を表すパラメータにより構成されていた。以上より、橋梁部材の劣化速度には橋梁の規模が大きく作用することがわかる。表2の結果では、どのような規模の橋梁が劣化しやすいかを明確な閾値で判断するのは困難といえる。また、この結果が、橋梁の規模によるものなのか、それとも規模の大きい橋梁を通過する大量の交通量によるものなのかを判断することは出来ない。さらなる点検データの蓄積および交通量データ

表1 橋梁データベース

| 整理番号<br>区名<br>橋梁名称 |      | 6<br>南区<br>うぐいす橋 |            |                      |           |
|--------------------|------|------------------|------------|----------------------|-----------|
| 橋梁点検データ            |      | 橋梁諸元データ          |            |                      |           |
| 橋面工                | 舗装   | 段差               | ○          | 入道橋                  | NO        |
|                    |      | ポットホール           | △          | 支間数                  | 1         |
|                    |      | わだちぬれ            | △          | 上部工形式                | 単純PC中空床版橋 |
|                    |      | ひび割れ             | ×          | 路線名 道路名称             | 一般市道      |
|                    | 伸縮装置 | 段差               | ○          | 交差 区分                | 道路        |
|                    |      | 遊間異常             | ○          | 平均支間長                | 27.8      |
|                    |      | 変形               | △          | 橋長(m)                | 27.8      |
|                    |      | 破損               | △          | 幅員(m)                | 4.5       |
|                    | 縦目地  | 腐食               | △          | 橋面積(m <sup>2</sup> ) | 125.1     |
|                    |      | 変形               | ○          | 橋種                   | コンクリート橋   |
| 地覆・高欄              | 欠損   | ○                | 架設年        | 1987                 |           |
|                    | 腐食   | ○                | 経年         | 16                   |           |
|                    | 変形   | ○                | 交差(1) 交差相手 | 市道高速2号線              |           |
|                    | ひび割れ | △                | バス路線?      | NO                   |           |
| 上部工                | 床版   | 剥離・鉄筋露出          | △          | 緊急輸送路第一次路線           | NO        |
|                    |      | 遊離石灰・・           | △          | 緊急輸送路第二次路線           | NO        |
|                    |      | 漏水・滞水            | △          | 土木事務所認定路線            | NO        |
|                    |      | 亀裂・破断・・          | △          | 優先整備路線(物流路線)         | NO        |
|                    | 鋼桁   | 腐食・塗装劣化          | ×          | 土木遺産                 | NO        |
|                    |      | ボルトの腐食・・         | ○          |                      |           |

などの整備を行い、解析する必要がある。

さらに、ルールを構築する際、どの年代の橋梁が劣化しやすいかを判断するために経年データを入力したが、このデータを入力してしまうとただ古い橋梁のみが分類されてしまい、どの橋梁が劣化しやすい傾向を持っているのかが判断出来なくなってしまう。以上より、今回の解析では、このデータを除去して決定木を作成する必要がある。

5. 結論

橋梁部材の劣化速度には橋梁の規模が大きく作用することが判明したが、明確な閾値で劣化速度を分類する条件を設定するには更なるデータ蓄積を必要とする。また、各橋梁の交通量との因果関係を判明させることが今後の課題といえる。

参考文献

[1] 貝戸 清之・阿部 允・藤野 陽三：実測データに基づく構造物の劣化予測，土木学会論文集，No. 744/IV-61，p28-p38，2003. 10.  
[2] 福田 剛志・森本 康彦・徳山 豪：データサイエンスシリーズ3 データマイニング，共立出版，p93-p130，2001.9  
[3] マイケルJ.A.ベリー ゴードン・リノフ：マスタリング・データマイニング 理論編，海文堂，p149-p162，2002.10