

# ベイジアンネットワークを用いた構造物の維持管理手法に関する基礎的検討

東京都市大学大学院 学生会員 ○永井孝宏  
 東京都市大学 正会員 丸山 収  
 東北工業大学 正会員 須藤敦史  
 関西大学 正会員 兼清泰明  
 (独) 土木研究所 正会員 佐藤 京

## 1. はじめに

我が国の社会資本ストックは、膨大な量に達しており、点検データも大量に蓄積されている。財政難の社会情勢や、点検技術者の人員不足が懸念されている状況を鑑みると、今後、点検データを活用した効率的な維持管理が望まれる。

本研究では、人工知能の技術であるベイジアンネットワーク(以下、「BN」という)を用いて、構造物の維持管理手法に関する基礎的な検討を行っている。

## 2. ベイジアンネットワーク (BN)

BN とは、複数の確率変数間の定性的な依存関係をノードとエッジで構成されるグラフ構造で表し、個々の変数間の定量的な関係を条件付き確率で表す確率モデルである。BN では、確率推論を行うことができる。確率推論とは、一部の確率変数を観測した時に、その他の変数についての確率分布を求めることである<sup>1)</sup>。換言すると、物事の原因から結果を、あるいは、結果から原因を確率的に推定することができる。本技術を活用することにより、例えば、橋梁の劣化箇所推定等、点検・診断業務の効率化の一助にすることができる可能性がある。

## 3. 数値計算

文献<sup>2)</sup>を参考に、コンクリート橋における補修・補強の判断フローを仮定し、簡易的なBNを作成した。BNの構造を図-1に示し、各ノードにおける詳細と条件付確率表(以下、「CPT」という)を表-1、表-2に示す。なお、表-2のCPT値は数値計算用に仮定したものである。図-1において、ノードA,B,Cでは、要因を、ノードD,Eでは、現象を、ノードFでは、判断を表している。今回は、補修・補強が必要であると判断された時、要因が、作用荷重・気象/化学作用/材料・災害である確率(事後確率)を確率

推論により求める。すなわち、求める確率は、 $p(A=Y|F=Y)$ ,  $p(B=Y|F=Y)$ ,  $p(C=Y|F=Y)$ である。求める確率は、条件付き確率の公式よりそれぞれ次式で表される。

$$p(A=Y|F=Y) = \frac{p(A=Y, F=Y)}{p(F=Y)} \tag{1}$$

$$p(B=Y|F=Y) = \frac{p(B=Y, F=Y)}{p(F=Y)} \tag{2}$$

$$p(C=Y|F=Y) = \frac{p(C=Y, F=Y)}{p(F=Y)} \tag{3}$$

図-1のBNの構造より、同時確率分布 $p(A,B,C,D,E,F)$ は次式のように求めることができる。

$$p(A,B,C,D,E,F) = p(F|D,E)p(D|A,B)p(E|B,C)p(A)p(B)p(C) \tag{4}$$

式(1)から式(3)の分母にある同時確率分布 $p(A,B,C,D,E,F)$ の周辺確率 $p(F=Y)$ は、周辺化により次式で計算される。

$$p(F=Y) = \sum_A \sum_B \sum_C \sum_D \sum_E p(A,B,C,D,E,F=Y) \tag{5}$$

式(4)より式(5)は、

$$p(F=Y) = \sum_A \sum_B \sum_C \sum_D \sum_E p(F=Y|D,E)p(D|A,B)p(E|B,C)p(A)p(B)p(C) \tag{6}$$

と置き換えられ、同様に同時確率分布 $p(A,B,C,D,E,F)$ の周辺確率 $p(A=Y, F=Y)$ ,  $p(B=Y, F=Y)$ ,  $p(C=Y, F=Y)$ は、周辺化により次式で計算される。

$$p(A=Y, F=Y) = \sum_B \sum_C \sum_D \sum_E p(F=Y|D,E)p(D|A=Y,B)p(E|B,C)p(A=Y)p(B)p(C) \tag{7}$$

キーワード 維持管理, 点検データ, 人工知能, ベイジアンネットワーク

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL. 03-5707-0104 E-mail : g1681719@tcu.ac.jp

表-1 各ノードの詳細

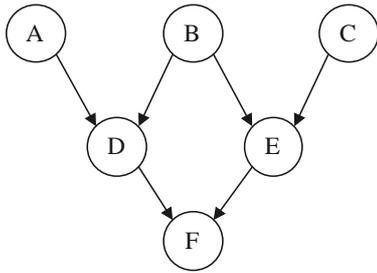


図-1 BNの構造

ノード名	詳細
A	作用荷重が増大しているか？(交通量増加・車両大型化)
B	気象・化学作用・材料などに不備があるか？(凍結融解・中性化・塩害・アルカリ骨材)
C	災害が起きたか？(地震・火災・衝突)
D	コンクリートのひび割れ・遊離石灰があるか？
E	コンクリートの品質が低下しているか？
F	補修・補強が必要か？

表-2 BNのCPT

A	P(A)	B	P(B)	B	C	E	P(E B,C)
Y	0.5	Y	0.6	Y	Y	Y	1
N	0.5	N	0.4	Y	Y	N	0
				Y	N	Y	0.5
				Y	N	N	0.5
				N	Y	Y	0.8
				N	Y	N	0.2
				N	N	Y	0.1
				N	N	N	0.9
C	P(C)	D	P(D A,B)	D	E	F	P(F D,E)
Y	0.01	Y	0.9	Y	Y	Y	1
N	0.99	Y	0.1	Y	Y	N	0
		N	0.6	Y	N	Y	0.5
		N	0.4	Y	N	N	0.5
		N	0.5	N	Y	Y	0.7
		N	0.5	N	Y	N	0.3
		N	0.1	N	N	Y	0.1
		N	0.9	N	N	N	0.9

(注) Y→YES, N→NO

$$p(B=Y, F=Y) = \sum_A \sum_C \sum_D \sum_E p(F=Y|D, E)p(D|A, B=Y) p(E|B=Y, C)p(A)p(B=Y)p(C) \quad (8)$$

$$p(C=Y, F=Y) = \sum_A \sum_B \sum_D \sum_E p(F=Y|D, E)p(D|A, B) p(E|B, C=Y)p(A)p(B)p(C=Y) \quad (9)$$

式(6)から式(9)の計算結果を式(1)から式(3)に代入することにより、それぞれの事後確率が求まる。ノードA,B,Cの事前確率と求めた事後確率を比較したグラフを図-2に示す。図-2より、ノードA,B,Cの事後確率は事前確率を上回っていることが分かる。また、要因として最も考えられるのが、気象/化学作用/材料であることが分かる。列挙法では、厳密解を算出することが出来るが、ノード数が増えるに従って、計算量は指数的に増大する。そのため、これと併せてサンプリング手法により近似解を求めている。詳細は、講演時に発表する。

4. おわりに

本稿では、コンクリート橋における補修・補強の判断のための簡易的なBNを作成したのち、補修・補強が必要であると判断された時の要因の推定を確率推論により行った。今後は、実際の橋梁・トンネルの点検データから、現場技術者の知見を取り入れたBNを作成し、確率推論を利用した構造物の維持管理手法に関する検討を行う。また、データよりBNの構造を決定する手法である構造学習についても理解を深めていく。

参考文献

- 1) 繁柘算男, 植野真臣, 本村陽一: ベイジアンネットワーク概説, pp.71-78, 培風館, 2006.
- 2) 土木学会関西支部: 道路橋の補修・補強～環境劣化・荷重変更・震災を踏まえて～, p.61, 1997.

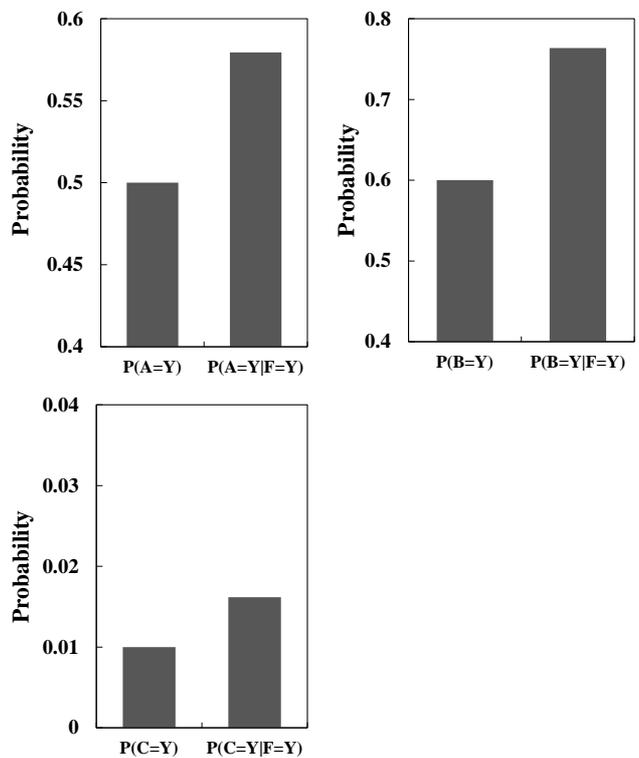


図-2 対象ノードの事前確率と事後確率