

ファジイ測度を用いたひび割れ診断 エキスパートシステムの構築

武蔵工業大学 学生会員 黒木礼則*
武蔵工業大学 正会員 吉川弘道**

1. はじめに

コンクリート構造物のひび割れ原因の推定は、その複雑さから系統的な記述が困難である場合が多く、また経験的な要素が大きいため熟練した技術者でないと難しいという問題がある。

本研究は、ファジイ測度を推論機構に取り入れたひび割れ診断エキスパートシステムを構築し、ひび割れ原因の推定を容易かつ的確に行うことが目的である。

2. システムの概要

本システムは従来プロダクションシステムを拡張し、その推論機構にファジイ測度的一种である可能性測度¹⁾を用いたファジイプロダクションシステム(FPS)である。プロダクションシステムは推論機構、推論規則、ワーキングメモリ(以下、WMとする)の3つのブロックより構成され、WMに入力されたデータと推論規則のマッチング処理を行うことで推論を行う。推論機構に可能性理論を応用することで、従来のシステム²⁾で取り扱っていた「推論規則条件部のファジイな表現」に加え、「不完全な入力データ」、「信頼性の高くないデータ」、「推論規則条件部と結論部の不確実性」といったより多様な曖昧さを取り扱うことが可能になった。

本システムでは、入力データとして、コンクリート構造物に発生したひび割れの症状Y(以下、症状とする)とコンクリート構造物の施工条件・配合条件Z(以下、条件とする)(表-1)を与え、ひび割れ原因Xの推定を行う。入力データである症状と条件は真理値空間[0,1]上の可能性分布[0,1]で与え、推論結果は真理値空間[0,1]上の可能性分布[0,1]として得られる。技術者の知識を表す推論規則は、16人の専門家に対して行ったアンケート調査³⁾を基に決定し、IF-THEN形式で記述している。

3. 事例分析

本システムを用いて、箱形RCラーメンの側壁に生じたひび割れ⁴⁾(図-1)について原因推定を行った。

事例 「箱形RCラーメンの側壁(厚さ約1m)に、2~5m間隔でひび割れが発生した。ひび割れの多くは上下の打ち継ぎ目までつながり、その幅は0.2~1.0mmである。ひび割れは型枠を撤去した時(打設から2週間後)に発見された。」

表-1 原因、症状の各項目

ひび割れ発生原因 X	
x 1	セメントの異常凝結
x 2	反応性骨材
x 3	沈下、ブリージング
x 4	プラスチック収縮
x 5	乾燥収縮、自己収縮
x 6	初期凍害
x 7	かぶり厚さ不足
x 8	支保工の沈下
x 9	温度応力(外部拘束)
x 10	温度応力(内部拘束)
x 11	凍結融解
x 12	鉄筋発錆
x 13	荷重(過荷重等)
x 14	構造物の不等沈下
ひび割れ症状 Y	
y 1	規則性あり
y 2	形態、表層
y 3	形態、貫通
y 4	形態、打設面上
y 5	パターン、網状・亀甲状
y 6	パターン、一方向複数
y 7	パターン、二方向複数
y 8	パターン、配筋状(鉄筋上)
y 9	方向性、水平方向
y 10	方向性、鉛直方向
y 11	方向性、斜め方向
y 12	方向性、部材長手直方向
y 13	方向性、ランダム
y 14	発生時期
y 15	ひび割れ幅
y 16	スケールリングあり
y 17	剥離、剥落あり
y 18	ポップアウトあり
y 19	錆汁発生
ひび割れ条件 Z	
z 1	施工、打設温度
z 2	施工、打設時期
z 3	施工、締め固めの程度
z 4	施工、養生の程度
z 5	施工、型枠・支保工撤去時期
z 6	鉄筋のかぶり
z 7	配合、単位セメント量
z 8	配合、単位水量
z 9	配合、スランプ
z 10	配合、空気量
z 11	配合、水セメント比
z 12	配合、反応性骨材の使用
z 13	配合、海砂の使用
z 14	配筋量
z 15	気温
z 16	湿度状態
z 17	設計外荷重
z 18	支持基盤の程度
z 19	拘束あり

キーワード：ひび割れ診断，エキスパートシステム，プロダクションシステム，ファジイ測度，可能性測度

* 武蔵工業大学大学院工学研究科土木工学専攻(〒158 世田谷区玉堤1-28-1, TEL:03-3703-3111(ext. 3241)

FAX:03-5707-2125, e-mail:kuroki@shear.civil.musashi-tech.ac.jp)

** 工博 武蔵工業大学教授 武蔵工業大学工学部土木工学科

このような状況の記録を基に、症状 Y 及び条件 Z を表-2のように設定した。 Y_2 、 Y_3 についてはひび割れが貫通しているかどうか判らないため、「不明」として扱い、入力値は全真理値の可能性測度を1.0に設定した。 Y_{14} 発生時期は真理値0.5が2週間目に対応しており、 Y_{15} ひび割れ幅は真理値の値がそのままひび割れ幅に対応している。

診断結果を図-2に示す。真理値は1.0に近づくほどその原因が真であることを表し、表中の可能性測度はその真理値が真である可能性を表している。即ち真理値1.0の可能性測度が1.0であるとその原因が真であると推論されたことになる。

図-2より X_9 と X_{10} における高い真理値の可能性測度が大きく、この2原因のどちらかがひび割れ原因であることが分かる。詳しく比較すると X_{10} の可能性測度の方が X_9 より若干大きく、ひび割れの主原因は X_{10} 温度応力（内部拘束）、副因として X_9 温度応力（外部拘束）であるという結果が得られた。これは文献の判断、セメント水和熱による温度ひび割れと矛盾しない。

また、入力データの値を無作為に±0.2した場合について推論を行った。推論結果は元データ入力時とほぼ同様の値となり、本システムは入力の変動に柔軟に対応できることがわかる。

5. まとめ

プロダクションルールの推論機構にファジイ測度を用いることで、従来のファジイ関係の逆問題を用いたシステムより柔軟性に富んだひび割れ診断システムを構築できることがわかった。

しかし、ひび割れ原因が複合した場合については、入力データが推論規則と矛盾するため推論結果が得られないことが多い。また、入力値に1項目でも規則と違う値を入力しても推論結果が得ることができない。これらの問題は推論規則を増やしより細かい推論を行うことで解決可能であると考え。その他、推論結果をよりわかりやすく直感的に表現することも考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 日本ファジイ学会：講座ファジイ3 ファジイ測度，日刊工業新聞社，1993。
- 2) 田中・吉川・皆川：ひび割れ診断エキスパートシステムへのファジイ関係式の適用，土木学会第51回年次学術講演会論文集，土木学会，pp. 286-287，1996。
- 3) 田中功：ひび割れ診断エキスパートシステムの開発，平成8年度武蔵工業大学修士論文，1997。
- 4) 日本コンクリート工学協会：コンクリートのひびわれ調査，補修・補強指針，pp. 218-222，1987。

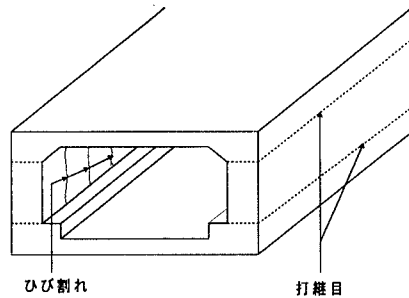


図-1 ひび割れ図

表-2 入力データの可能性測度

真理値	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Y_1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.6	0.9	1.0	1.0	1.0
Y_2, Y_3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Y_6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.6	0.9	1.0	1.0	1.0
Y_9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.6	0.9	1.0	1.0	1.0
Y_{12}	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.6	0.9	1.0	1.0	1.0
Y_{14}	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Y_{15}	0.0	0.0	0.6	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.6	0.6
その他	1.0	1.0	1.0	0.9	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Z_1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.6	0.9	0.9	0.9	0.9
Z_2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0
Z_9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.6	1.0	1.0	1.0	0.6	0.3
Z_7	0.0	0.0	0.3	0.6	0.9	1.0	0.9	0.6	0.3	0.0	0.0

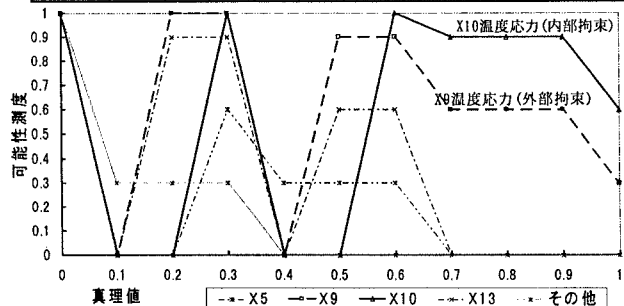


図-2 推論結果