

コンクリートのひびわれ原因推定に関するエキスパートシステムの構築

(株)大本組 正員 ○森 嘉仁

(株)大本組 寺川保雄

1 はじめに

ここ数年、AI(人工知能)を応用した各種の技術開発が各方面で活発に行なわれているが、その中で最も実用化に近いものとしてES(エキスパートシステム)が脚光を浴びており、建設分野においても各種のES構築が試みられている。筆者らは、ES構築のためのノウハウと実用化への手応えを探る目的で、コンクリートのひびわれ原因推定ESのプロトタイプを作成したのでその概要を報告する。

2 システムの概要

適用対象としては、手順が明確で、かつ、作成すべき知識ベース、ルールベースの数が多くないものとするため、コンクリートひびわれ調査・補修・補強指針(以下、指針と略記)に示す方法に準拠し、それに若干の常識的知識を加えるものとした。指針による方法は以下の4つの判別により、表-1の41種の原因の中から共通項目の多いものを主な原因として推定する、いわば加点法のようなものである。①原因のおおよその判別(表-1)、②パターンによる分類(表-2)、③設計図書などによる分類(表-3)、④その他の分類(表-4、表-5)

ES構築ツールは、パソコン用に千葉大学園芸学部 of 古在豊樹・星岳彦によって開発されたMICCSを使用した。ルールは全てプロダクションルール(if-then-else)である。推論方法としては、結果の確信度がある値(分岐値)に達するまでは前向き推論、以後は後ろ向き推論が自動的に採用される。あいまいな表現を扱うために質問に対する回答としてハイ(60%)という表現や不明を選択することも可能である。各ルールの結論部には確信度(-100%~100%)を設定しており、ルールの評価の概略は以下のようである。まず、結論部の確信度と条件部の一致度から結論に対する確信度(CF=X)が計算され、さらに他のルールで同一の結論に対する確信度(CF=Y)が計算されれば、その結論に対する確信度は見込み合計値法($CF=Z=X+Y-X*Y/100$)により計算される。結論に対する確信度の大きいものが主要な原因として推定される。なお、ルールに付加する確信度の設定方法は、技術者に対すると

表-1 ひびわれ発生の原因

大分類	中分類	小分類	番号	原因
A 材	使用材料	セメント	A1	セメントの異常凝結
			2	セメントの未加熱
			3	セメントの異常膨張
		骨材	4	骨材に含まれている水分
			5	低品質骨材
	コンクリート		6	反応性骨材
			7	コンクリート中の塩化物
			8	コンクリートの落下・ブリージング
			9	コンクリートの乾燥収縮
B 施	コンクリート	練りませ	B1	混和材料の不均一な分散
			2	夜時間の練りませ
		運搬	3	ポンプ送送時の配合の変更
		打込み	4	不適当な打込み順序
			5	急激な打込み
		締固め	6	不十分な締固め
		養生	7	硬化前の露筋や破面
			8	初期養生中の急激な乾燥
			9	初期凍害
		打継ぎ	10	不適当な打継ぎ処理
工	鉄筋	配筋	11	配筋の乱れ
			12	かぶり厚きの不足
	型枠	型枠	13	型枠のひびわれ
			14	漏れ(型枠からの、路盤への)
			15	型枠の早期除去
		支保工	16	支保工の沈下
C 使用環境	物理的	温度・湿度	C1	環境温度・湿度の急化
			2	部材表面の温度・湿度の差
			3	凍結融解の繰返し
			4	火災
	化学的	化学作用	5	炭化・硫酸の化学作用
			6	中性化による内部鉄筋の腐
			7	侵入塩化物による内部鉄筋の腐
			8	
D 構造・外力	荷重	永久荷重・長	D1	設計荷重以内の永久荷重・長期荷重
		短期荷重		設計荷重を超える永久荷重・長期荷重
		動的荷重・短		設計荷重以内の動的荷重・短期荷重
		期間荷重		設計荷重を超える動的荷重・短期荷重
	構造設計		4	断端・鉄筋量不足
			5	構造物の不同沈下
		支持条件	7	凍上
E	その他			その他

表-2 ひびわれのパターンによる分類

ひびわれのパターン			推定されるひびわれの原因	
発生時期	規制性	形態		
数時間 1日	有	網状	B2, B3	
		放射	A8, B2, B3, B5, B14, B16	
		円環	B2, B3, B4, B10, B16	
	無	網状	B8	
		放射	A1, B5, B7, B8, B13	
		円環	B4, B10	
数日	有	網状		
		放射	A2, B15, D5	
		円環	A2, B16	
	無	網状	A4, B9	
		放射	B7, B9	
		円環		
数10日 以上	有	網状	A9, B2, B3	
		放射	A7, A9, B2, B3, B11, B12, C1, C2, C7, C8, B11, B12, D5	
		円環	A9, B2, B3, B4, B10, C1, B2, D4, D5, B16	
	無	網状	A3, A4, A6, B1, B9, C3, C4, C5, C6	
		放射	A3, A4, A5, A6, B6, B9, C3, C4, C5, C6, B7	
		円環	B4, B10	

表-3 ひびわれの設計図書などによる分類

コンクリートの 発生原因	ひびわれの 発生原因	推定されるひびわれの原因
収縮性 ¹⁾	材 質	A1, A2, A4, A9, B1, C1, C3, C4, C5
	部 材	A2, A9, B2, B3, B8, B14, B15, C1, C2, C3, C4, C5
	構造体	A9, B2, B3, B8, B15, C1, C4, C5
	材 質	A3, A5, A6, B1, C1, C3, C4, C5, C6
膨張性 ²⁾	部 材	A7, B1, C1, C2, C3, C4, C5, C7, C8
	構造体	A7, C1, C4, C5
	材 質	A5, A6, C1
	部 材	A8, B4, B5, B6, B7, B9, B10, B11, B12, B13, B16
沈下、曲げ、 せん断等	部 材	C1, C2, D1, D2, D3, D4, D5, D7
	構造体	B6, C1, D1, D2, D3, D4, D6

表-4 ひびわれの配(調)合による分類

コンクリートの条件	推定されるひびわれの原因
高 配(調)合	A2, A6, A9
低 配(調)合	A8, C3, C6, C7, C8

表-5 コンクリート打込時の気象条件による分類

打込み時の気象条件	推定されるひびわれの原因
高 温	A2, B2, B8, B10
低 温	B9
低 湿	A4, A9, B8

ヤリングにより設定し、実例によるチェックをもとに適宜修正していった。

表-1~5による判定でいくつかの原因が推定されるが、さらに、図-1に示すような形で常識的な知識を追加して結論を絞り込んでいく。これらの知識は主に、結論の確認あるいは明らかに不適切な結論を消去するために用いられる。本ESに用いたルール数は86個である。

3 システムの評価

指針掲載の例1~例8の例題について本ESによる診断を行なった結果、いずれも指針に示す推定結果が、結論の上位に推定されることを確認した。

また、某現場における2連ボックスカルバートの側壁および隔壁コンクリートに発生したひびわれ原因について診断を行なった結果を図-2に示すが、得られた結論は、技術者が専門的知識のもとに判定した推定原因と適合するものであった。

4 あとがき

今回、指針の方法によるひびわれ原因推定の簡単なESプロトタイプを作成したが、指針の例題と実例による診断結果からこのシステムが妥当な結果を推定することを確認し、専門家が総合的な判断を行なう上での参考資料として利用可能であるとの感触を得た。

今後の課題と問題点は以下のとおりである。

- ①本システムでは、知識が指針により既に整理されているため、そのルール化は比較的容易であったが、一般的には専門家の持つ体系化されていない知識をいかにルール化するかがポイントとなる。
- ②確信度の値の設定方法に定まった方法がなく、さらにルール数が増せばその値決定の根拠付けが難しい。
- ③本システムでは、質問に対する回答自体にもかなりの専門的判断を要する。初級技術者を対象とするならば、よりかみくだいた質問形式にブレイクダウンする必要がある。

参考文献

- 1) 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、S62.2
- 2) 古在豊樹・星岳彦：農業用コンサルテーションシステム(MICCS)インフォメーションサイエンス社、S60.3

【規則-0076】 もし、 なら、 そうでなければ、	【1】:ひびわれは全面に発生している。 【2】:B10不適当な打置き処理であることという弱い根拠(50%)がある。 【3】:B13型わくのほらみであることという弱い根拠(20%)がある。 【4】:B18変置工の状況であることという弱い根拠(50%)がある。 【1】:A6反応性骨材であることという弱い根拠(20%)がある。 【2】:B2長時間の練り混ぜであることという弱い根拠(20%)がある。 【3】:B3ポンプ圧送時の配合の変更(C量、W量の増加)であることという弱い根拠(20%)がある。
【規則-0077】 もし、 なら、 そうでなければ、	【1】:C3凍結融解の繰返しであるか、またはC4火災であるか、またはC5表面火焼であるか、またはC6酸・塩の化学作用であるか、かつ 【2】:コンクリート表面は劣化している。 【1】:C3凍結融解の繰返しであることという弱い根拠(10%)がある。 【2】:C4火災であることという弱い根拠(10%)がある。 【3】:C5表面火焼であることという弱い根拠(10%)がある。 【4】:C6酸・塩の化学作用であることという弱い根拠(10%)がある。 【1】:C3凍結融解の繰返しであることという弱い根拠(50%)がある。 【2】:C4火災であることという弱い根拠(50%)がある。 【3】:C5表面火焼であることという弱い根拠(50%)がある。 【4】:C6酸・塩の化学作用であることという弱い根拠(50%)がある。
【規則-0078】 もし、 なら、 そうでなければ、	【1】:A2セメントの水和熱であるか、かつ 【2】:ヒビワは直線的で等間隔である。 【1】:A2セメントの水和熱であることという弱い根拠(10%)がある。 【2】:ヒビワは直線的であることという弱い根拠(20%)がある。
【規則-0079】 もし、 なら、 そうでなければ、	【1】:A6反応性骨材であり、かつ 【2】:多湿環境である。 【1】:A6反応性骨材であることという弱い根拠(20%)がある。 【2】:多湿環境であることという弱い根拠(20%)がある。
【規則-0080】 もし、 なら、 そうでなければ、	【1】:C8侵入炭化物による鉄筋の腐敗であり、かつ 【2】:鉄筋の多い環境である。 【1】:C8侵入炭化物による鉄筋の腐敗であることという弱い根拠(20%)がある。

図-1 ルール例(常識的知識)

質問および回答(一部)

質問6の内容は、「発生時期は数日で(1.ある, 2.ない, 3.不明)。」でした。これは、規則-19を評価するために必要なので質問しました。
それに対するあなたのお答えは、「発生時期(中期)は3。」でした。
質問7の内容は、「ひびわれパターンに規則性は(1.ある, 2.ない, 3.不明)。」でした。これは、規則-23を評価するために必要なので質問しました。
それに対するあなたのお答えは、「規則性は1。」でした。
質問8の内容は、「ひびわれ形態は(1.ある, 2.ない, 3.不明)。」でした。これは、規則-28を評価するために必要なので質問しました。
それに対するあなたのお答えは、「ひびわれ形態(表層)は2。」でした。
質問9の内容は、「ひびわれ形態は(1.ある, 2.ない, 3.不明)。」でした。これは、規則-26を評価するために必要なので質問しました。
それに対するあなたのお答えは、「ひびわれ形態(溝状)は2。」でした。
質問10の内容は、「ひびわれ形態は(1.ある, 2.ない, 3.不明)。」でした。これは、規則-30を評価するために必要なので質問しました。
それに対するあなたのお答えは、「ひびわれ形態(貫通)は1。」でした。
質問11の内容は、「ひびわれ発生部分が乾燥現象を呈(1.する, 2.しない, 3.不明)。」でした。これは、規則-48を評価するために必要なので質問しました。
それに対するあなたのお答えは、「乾燥現象を呈(1.する, 2.しない, 3.不明)。」でした。
質問12の内容は、「原因推定を要する範囲は材料で(1.ある, 2.ない, 3.不明)。」でした。これは、規則-54を評価するために必要なので質問しました。
それに対するあなたのお答えは、「範囲(材料)は1。」でした。
質問13の内容は、「原因推定を要する範囲は部材で(1.ある, 2.ない, 3.不明)。」でした。これは、規則-56を評価するために必要なので質問しました。
それに対するあなたのお答えは、「範囲(部材)は1。」でした。
質問14の内容は、「配合・養生条件に異常がみられるか(1.あり, 2.ない, 3.不明)。」でした。これは、規則-70を評価するために必要なので質問しました。
それに対するあなたのお答えは、「特殊条件はない(1.00%)。」でした。
質問15の内容は、「ひびわれは直線的で等間隔ですか。」でした。これは、規則-78を評価するために必要なので質問しました。
それに対するあなたのお答えは、「ヒビワは直線的で等間隔である(1.00%)。」でした。
質問16の内容は、「原因推定を要する範囲は(1.ある, 2.ない, 3.不明)。」でした。

最終結論

診断を行なうための規則がなくなりましたので、診断を終りました。

- ★A9コンクリートの乾燥収縮である(86%)。
- ★C1環境温度・湿度の変化である(86%)。
- ★A2セメントの水和熱である(83%)。
- ★A1セメントの異常凝結であるという可能性(64%)がある。
- ★A4骨材に含まれている水分であるという可能性(64%)がある。
- ★C2コンクリート部材表面の湿度・湿度の差であるという可能性(64%)がある。
- ★B1底面材料の不均一分散であるという可能性(62%)がある。
- ★B4不適当な打置順序であるという可能性(62%)がある。
- ★B8初期養生中の急激な乾燥であるという可能性(62%)がある。
- ★B10不適当な打置き処理であるという可能性(62%)がある。
- ★B14漏れ水(型わくからの、隠蔽への)であるという可能性(62%)がある。
- ★B15型わくの早期除去であるという可能性(62%)がある。
- ★B2長時間の練り混ぜであるという可能性(51%)がある。
- ★B3ポンプ圧送時の配合の変更(C量、W量の増加)であるという可能性(51%)がある。

それぞれの結果の詳しい解説は“?”を使用して表示させます。
診断を終了する場合は“?”の次のステップへいく場合は“?”と入力して下さい。

図-2 適用事例