

アルカリ骨材反応による損傷発生要因の階層化と健全度評価

京都大学工学部 正 員 藤井 学

神戸大学工学部 正 員 宮本文徳

神戸大学工学部 学生員 上中康司、○木村英幸

1. まえがき アルカリ骨材反応による損傷発生要因は多岐にわたり、しかもそれらの関連性は複雑となっている。本研究は、現在わが国で最も事例の多いアルカリ・シリカ反応（以下、ASRと略記）を対象とした文献調査を行うことによりASR発生要因の抽出を行い、各要因間の関連性をわかりやすく把握するためシステム工学的手法により階層化した。さらにこれを利用したASR判定システムの開発を行い、ASRによる損傷の可能性が明らかになった構造物の補修、補強要否判定の基礎となる健全度評価法を検討することを目的とした。

2. ASRによる損傷発生要因の抽出と階層化 本研究では、ASRによる損傷であるかどうかを最終的に判定するための上位に位置する要因の関連を図1のように決定した。すなわち、骨材の反応性とひびわれ進行性の2つの要因によって、ASRによる損傷か否かの判定を行うこととし、また、ひびわれ進行性はひびわれ幅とひびわれパターンによって決定されると定義した。階層モデルの要因は、文献調査¹⁾等の整理を行い、ASRの反応過程及び損傷の発生において必要と思われるものを網羅するように選んだ。

表1に選定した23個の要因を示す。次に、これらの要因について、各要因間の関連性を表す数値をあいまい2項関係に関する帰属度関数として設定し、要因間のマトリックスモデルの要素を決定した。このマトリックスから閾値 P とあいまい構造パラメータ λ の値を変化させることにより、複数個の有向グラフを作成し、合理性の検証の結果、 $P=0.6, \lambda=0.5$ の条件で得られた有向グラフ（図2参照）をASRによる損傷か否かの判定における要因間の関連性を表す合理的階層モデルと決定した²⁾。

3. ASR判定システムの概要 図2に示す階層モデルの連結線は、単に損傷要因間の関連性を示しているに過ぎないので、最下層要因から順次質問を設けてそれに対する回答によって、連結線を上に向かって進むか、そこで止まり、それ以降進まないかを決定する。各種質問に対する回答を入力した結果、「骨材の反応性」あるいは「ひびわれ進行性」に異常があることが判明したなら、調査結果に基づき、それぞれの判定要因に主観的評価を与えることにより「骨材の反

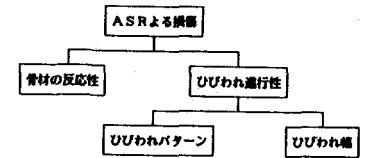


図1 ASR判定用階層ツリー

表1 階層モデルの要因名一覧

番号	要因名	番号	要因名
1	骨材の反応性	13	構造物の種類
2	ひびわれ進行性	14	影響量
3	ひびわれパターン	15	施工時期
4	ひびわれ幅	16	施工の良否
5	ひびわれ拘束度	17	立地条件
6	骨材若齢	18	排水の程度
7	骨材産地	19	単位セメント量
8	骨材の配合比	20	セメントの種類
9	反応リングの量	21	水セメント比
10	ゲルの性質	22	湿和剤の種類
11	鉄筋量	23	ひびわれ発生時期
12	部材寸法		

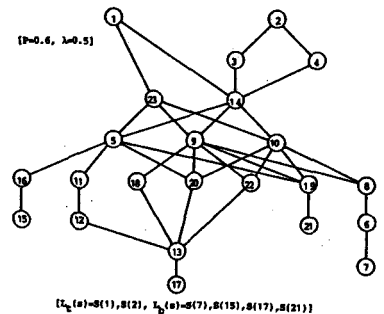


図2 階層構造モデル（最終案）

性」及び「ひびわれ進行性」の帰属度関数が決定される。判定は、このようにして求められた帰属度関数と、予め幾つかのパターンに理想化し決定しておいた帰属度関数との位置・形状の合致度を求めることによって行う。

4. ASR判定システムの適用例と他の判定法との比較

本研究で開発した「ASR判定システム」と、他の機関のASR判定方法である「建設省の方法」及び

「五洋建設の方法」の判定項目の一覧表を、表2に示す。また、判定方法の一覧表を表3に示す。表2によると、判定項目数が最も多いのはASR判定システムであるから、他の2つの方法よりも正確な判定結果を得ることができると考えられる。また、表3が示すように、ASR判定システムは「骨材の反応性」及び「ひびわれ進行性」という2要因を満足する程度を考慮して、判定結果を5段階に分類し、各段階に属する確率に準ずる値をもって判定結果を表示するものであるから、大きな誤りのない、しかもより定量的な判定結果を得ることができると考えられる。次に、3つの方法に、表4に示すデータの入力を行い、その結果得られた判定結果を以下に示す。1)「建設省の方法」では、「ASRである」と判定された。

表2 判定項目の比較

調査	判定項目	建設省	五洋建設	ASR判定システム
目	ひびわれ発生状況	○	○	○
視	ひびわれ幅	○		○
	ひびわれ発生時期		○	○
調	立地条件		○	○
	隣接物の種類			○
査	排水の状態		○	○
	発生部位及び断面			
資料	骨材産地		○	○
調査	骨材若種		○	○
	セメントの種類		○	○
	単位セメント量		○	○
	水セメント比			○
コア	膨張率	○	○	○
調査	ゲル状物質の有無	○	○	○
	反応リングの有無	○	○	○

* ○は考慮している判定項目を示す

表3 判定方法の比較

方法名	判定方法	判定結果の表示方法
建設省の方法	調査結果が判定項目に該当するなら、定められた点数を与え、合計点数が予め決まっている範囲のどこに属するかによって判定を行う。	4段階評価
五洋建設の方法		3段階評価
ASR判定システム	調査結果によって質問項目に回答しASRによる損傷発生の推定を行う。損傷発生が推定されたならファジー集合論によって総合判定を行う。	5段階評価であり各段階に属する確率に準ずる値で表示される。

2)「五洋建設の方法」では、「ASRの可能性大」と判定された。

3)提案した「ASR判定システム」では、「骨材の反応性に疑い有り」=42.0、「ASRの可能性大」=29.1、「ひびわれ進行性、骨材の反応性共に中程度」=28.9となり、骨材の反応性に大きな問題があり、ASRによる損傷の可能性もかなり大きいことが判明する。

表4 システムへの入力データ

判定項目	調査結果
骨材若種	安山岩
骨材産地	阪神地区
単位セメント量	500kg/m ³
セメントの種類	普通ポルトランドセメント
立地条件	水分の供給があり、乾燥の繰り返しを受ける
反応リング	存在する
ゲル状物質	析出している
コアの膨張率	3カ月で、0.05%を越えている
ひびわれパターン	マップ状のひびわれ
ひびわれ発生時期	施工してから2年後

5. ASRによる損傷を受けた構造物の健全度評価

以上のような方法により構造物の損傷の原因がASRであると判定されたなら、健全度評価を行い補修、補強の要否を決定する必要がある。ここでは、補修、補強の要否判定を、構造物の耐力、耐久性、及び防水性に基づいて、総合的に行うものとする。

6. あとがき

提案した「ASR判定システム」の特徴をまとめると以下のようになる。1)階層モデルを導入することにより、要因間の関連性が明確になり、どんな経路で損傷が発生したかを知ることができる。2)従来の判定方法より判定項目数が多く、また、質問に対する回答による損傷発生の推定とファジー集合論によるASRか否かの判定という2段階の判定が実行できる方法であるから、信頼性のある判定結果を得ることができる。3)判定結果が、「骨材の反応性」及び「ひびわれ進行性」にどの程度異常が生じているかを考慮した5段階評価の各段階に属する値で表示されるので、定量的な判定結果を得ることができる。

参考文献 1)阪神高速道路公団：アルカリ骨材反応に関する調査研究 委員会報告、1986

.9 2)田崎：あいまい理論による社会システムの構造化、数理科学、No.191、1979.5