

中研コンサルタント(株) 正会員 王 鉄成
中研コンサルタント(株) 正会員 ○川島恭志

1. はじめに

フラクタル (fractal) とは、自己相似性 (self-similarity) を表わすものである。フラクタル解析はフラクタル次元¹⁾ という尺度によって不規則な形状を連続的、数学的かつ定量的に表現するものである。本研究は、非線形現象の取扱いに適用されているフラクタル理論¹⁾ をアルカリ骨材反応 (記: AAR) によるコンクリートの非規則的な膨張ひびわれに適用し、フラクタル次元によってひびわれ状態を定量的に評価し、さらに、解析したフラクタル次元からひびわれ状態を模擬し、AARひびわれの進展を予測するものである。

2. フラクタル次元解析システム

本研究では、フラクタル解析におけるフラクタル次元 D を求めるために、Box Counting法が採用された。この方法はひびわれを一辺の長さ r_0 の正方形格子間隔に分割し、ひびわれを含む一辺の長さ r_0 の正方形の数 N を求めるものである。 r_0 を変化するによって得られた一対一対応の実数の組 N と r_0 を両対数上にプロットし、その勾配から図形のフラクタル次元 D が求められる²⁾。本研究における解析と模擬は、AARの研究において約250種のコンクリート供試体 (40℃、R.H.100%保存) の膨張ひびわれパターンを対象とし、画像処理装置を使用して解析し、さらに、解析したフラクタル次元によってひびわれの模擬を行ったものである。画像解析と模擬のシステムのフローチャートを図-1に示す。

3. 解析結果と考察

3.1 フラクタル次元と劣化度合

AARによる膨張の進行と構造物のひびわれによる劣化度合は、一般に図-2に示すようなⅠ、Ⅱ、Ⅲ期に分けることができる。Ⅰaは膨張がまだ顕著に現われない時期である。Ⅰbは膨張が顕著に現われ、膨張速度は最大を示す時期である。Ⅱは膨張速度が低下し、次第に収束に向かう時期であり、Ⅲは膨張がほぼ収束した時期である。ひびわれが発生してから著しく進展するまでは、膨張の進行を示すⅠ期に対応することが考えられる。解析したフラクタル次元と劣化度合の関係を表-1に示す。表より、Ⅰb期は膨張量は0.1%以上でフラクタル次元 D は1.50~1.70の範囲にあり、Ⅲ期は膨張量は0.45%以上でフラクタル次元 D は1.80以上にあることが考えられる。一方、耐久性、防水性と鉄筋の腐食環境より、ひびわれの幅を補修の要否の限度とし、許容最大ひびわれ幅はほとんど0.20-0.25mmの範囲にある。

3.2 ひびわれ状態の模擬とその発展の予測

ここでは、AARによるコンクリートのひびわれ状態を把握するとともに、ひびわれの進展を予測するために、コンピューターによってひびわれ状態を模擬してみる。この模擬パターンは解析したフラクタル次元の値により、コンピューターでひびわれ状態を描き、さらに画像処理装置でそのひびわれパターンを処理したものである。

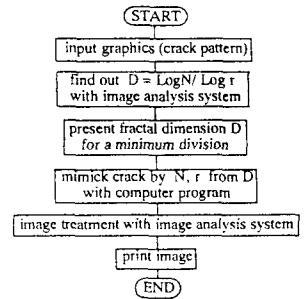


Fig. 1 System Flow of Mimic Analysis

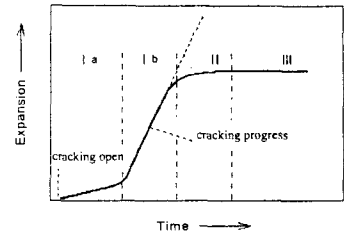


Fig. 2 Progress of expansion due to ASR

図-3 に模擬したひびわれと実際ひびわれとの比較の一例を示す。図の上側に示す模擬したひびわれと下側の実際ひびわれは同じフラクタル特性がある。ひびわれは時間の経過に伴って多くなり、フラクタル次元Dは大きくなる。フラクタル次元が1.5 以上になるとひびわれが面状へ発展し、材令12₁月以降、1.7 以上ではほとんど網状になる。

Table. 1 Fractal Dimension and Damage Degree

Period of cracking	Fractal dimension	Total width of crack (mm)	Expansion (%)
Ia	1.00~1.50	< 1.0	< 0.10
Ib	1.51~1.70	1.0~3.0	> 0.10
II	1.71~1.80	3.0~5.0	> 0.30
III	> 1.80	> 5.0	> 0.45

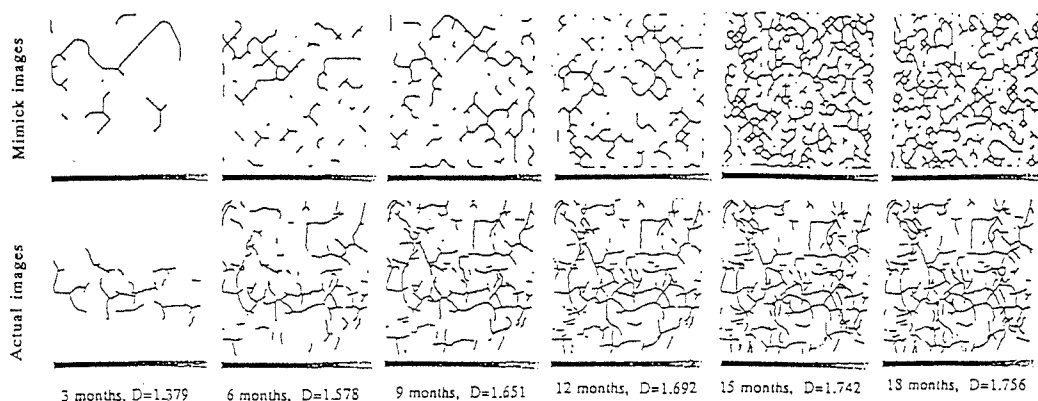


Fig. 3 Crack patterns

3.3 模擬結果の信頼性の検討

図-4 は模擬ひびわれのフラクタル次元と実際のひびわれのフラクタル次元を比較したものである。模擬ひびわれのフラクタル次元は模擬したひびわれパターンを用いて解析したフラクタル次元である。図より、両者の関係は直線で表わされるので、模擬したひびわれの信頼性は極めて高いことがわかる。このことから、ひびわれはフラクタル解析の結果を用いて、模擬することができる。この模擬ひびわれによってひびわれ状態の把握、ひびわれ進展の予測および補修要否決定に有益な参考になる。

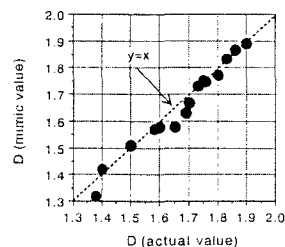


Fig. 4 A comparison of fractal dimensions between mimicked and actual cracking

4. まとめ

解析したフラクタル特性より、AARひびわれが発生してから著しく進展するまでは、膨張の進行を示すⅠ期に対応し、膨張が顕著に現われるⅡ期には膨張量は0.1 % 以上でフラクタル次元 Dは1.50~1.70の範囲であると考えられる。ひびわれの模擬と解析より、AARひびわれはフラクタル解析の結果から模擬できる。この模擬はひびわれ状態の把握、ひびわれ進展の予測などの参考になる。

参考文献

- 1) 高安秀樹：フラクタル科学，朝倉書店（1987）
- 2) 阿部忠行、小川 進：舗装ひびわれのフラクタル解析，土木学会論文集，No. 442/V-16，pp.119-126（1992）