

電流場におけるASRひび割れのフラクタル特性に関する基礎的研究

鳥取大学 正会員 西林新蔵 中研コンサルタント 正会員 上谷千絵

鳥取大学 正会員 黒田 保 大林道路 正会員 松本健市

鳥取大学 学生員 ○奥村英明

1. まえがき

近年、フラクタルという概念が注目を集めている。フラクタルとは自己相似性のことであり、フラクタルを定量的に表す量としてフラクタル次元が用いられる。この理論は岩石の亀裂や構造物のひび割れなどに応用されている。

そこで本研究では、電気防食法においてコンクリートに通電を行った場合のアルカリシリカ反応（ASR）によるひび割れを対象にフラクタル理論を適用することを試み、ASR膨張ひび割れに影響を及ぼすと考えられる各種要因とフラクタル次元との関係について検討を行った。

表 ー 1 実験計画

試験条件	骨材	反応性骨材	T2	セメントのアルカリ量	0.46
		非反応性骨材	NS	添加アルカリ	NaOH, NaCl
	配合条件	単位セメント量 (kg/m ³)	450	全アルカリ量 (eq. Na ₂ O%)	1.5, 2.0, 2.5
				細骨材率 (%)	50
				水セメント比 (%)	45
				電流密度 (mA/m ²)	0, 25, 50, 100
	供試体寸法 (cm)	10×10×40		陽極材料	Ti-Pt 単線

2. 実験概要

本研究の実験計画および使用した供試体の概形をそれぞれ表ー1，図ー1に示す。

3. ひび割れ解析

本実験では、ひび割れ解析としてトラバース法とフラクタル解析を行い、ひび割れのフラクタル次元の算出には正方形カバー法を採用した。正方形カバー法とは、一辺の長さ r_0 の正方形で対象領域をカバーし、ひび割れが生じている正方形の数 $N(r_0)$ を読み取り、得られた $N(r_0) \sim r_0$ の関係からフラクタル次元を求める方法である。但し、本実験においては供試体間の差を明確にするため、分割範囲を $r_0 = 5 \sim 2\text{cm}$ とした。(5cm:対象領域の短辺, 2cm:骨材の最大寸法)

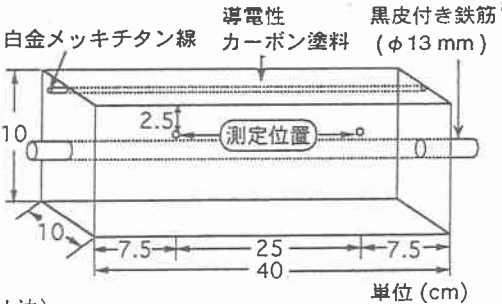


図1 供試体の概略図

4. 結果と考察

4. 1 フラクタル次元と各種要因の関係

図ー2に、添加アルカリをNaClとし、電流密度50mA/m²を供給した供試体のフラクタル次元とアルカリ量の関係を示す。図より、アルカリ量が増大するに従い、フラクタル次元が大きくなるのが分かる。これは、高アルカリにより、急速なASR膨張が発生し、ひび割れが伸展したためと考えられる。次に、図ー3に添加アルカリNaOH，アルカリ量1.5%とした場合のフラクタル次元と電流密度の関係を示す。図より、曲線は

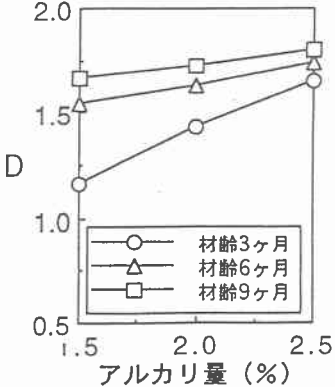


図-2 Dとアルカリ量の関係 (OPC(CI)-50mA/m²)

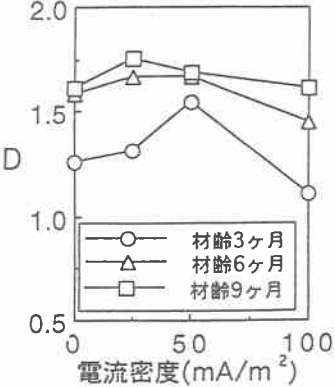


図-3 電流密度とDの関係 (OPC(OH)-1.5%)

凸型の形状を示しており、電流密度 $25\sim 50\text{mA/m}^2$ でフラクタル次元は最大となっている。一方、最近の研究で A S R 膨張に関するベシマム電流密度の存在が認められている¹⁾。これは、通電によりアルカリイオンが負極へ集中して鉄筋付近に濃縮されることで A S R が促進されるが、電流密度が過大になるとイオンの濃度が上昇しすぎるために反応生成物が流動化し、膨張圧が低下することに起因する。膨張率の増大に伴って伸展するひび割れもその影響を受けると考えられる。従って、フラクタル次元にもその値を最大にするような電流密度が存在すると推測できる。

次に、図-4 にアルカリ量 1.5%、添加アルカリを NaOH とし、電流密度 50mA/m^2 を供給した供試体におけるフラクタル次元の経時変化を示す。図より、フラクタル次元は材齢初期から急激に増加し、材齢 3 ヶ月以降収束の傾向にある。また同様の供試体の膨張率、総ひび割れ幅の経時変化をそれぞれ図-5、図-6 に示す。それぞれの図および図-4 より、材齢 3 ヶ月以降のフラクタル次元の値は、ほぼ収束傾向にあるのに対し、膨張率と総ひび割れ幅はまだ増加傾向にある。このことより、材齢 3 ヶ月以降は膨張率の増大とともに、ひび割れの伸展よりも個々のひび割れ幅の方が卓越するものと考えられる。

4. 2 フラクタル次元と膨張率の関係

図-7 に、フラクタル次元と膨張率の関係を示す。図よりフラクタル次元の値の増加に伴って膨張率も大きくなることが分かる。両者の関係の回帰式は次式となる。

$$\log(\text{Exp}) = 0.74D - 1.95 \quad (R = 0.91)$$

ここで、Exp: 膨張率(%), D: フラクタル次元, R: 相関係数
上式の相関係数は $R = 0.91$ であり、両者の関係は比較的相関が高いと言える。そのため、フラクタル次元を求めることによりその時の膨張率が推定できると考えられる。この回帰式によると、「A S R 反応性あり」と判定される膨張率 0.1% では、 $D = 1.3$ となる。従って、フラクタル次元の値が 1.3 以上になるとアルカリ骨材反応の反応性ありと判断できる。

5. まとめ

- 1) フラクタル次元は、アルカリ量の増大に伴って大きくなる。また、フラクタル次元に関するベシマム電流密度（本実験では、 $25\sim 50\text{mA/m}^2$ ）が存在すると考えられる。
- 2) ひび割れの伸展が少ない場合、膨張率の増大とともに個々のひび割れ幅は著しく増大する。
- 3) フラクタル次元は、ひび割れの分岐状態を知る指標としてだけでなく、骨材のアルカリ骨材反応性の評価にも有用であると考えられる。

参考文献：1) 西林新蔵他：コンクリート工学年次論文報告集

「アルカリ骨材反応に及ぼす電流場の影響に関する基礎的研究」, Vol. 14, No. 1, pp. 201-206, 1992

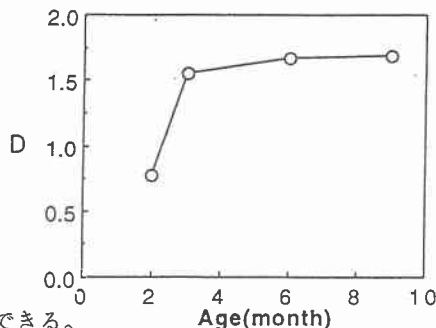


図-4 Dの経時変化
(OPC-1.5%(OH)-50mA/m²)

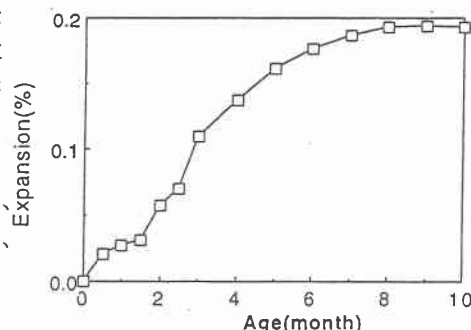


図-5 膨張率の経時変化(OPC-1.5%(OH)-50mA/m²)

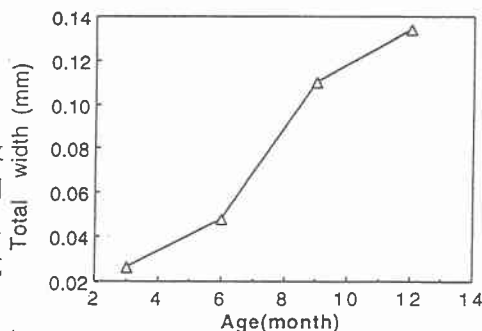


図-6 総ひび割れ幅の経時変化
(OPC-1.5%(OH)-50mA/m²)

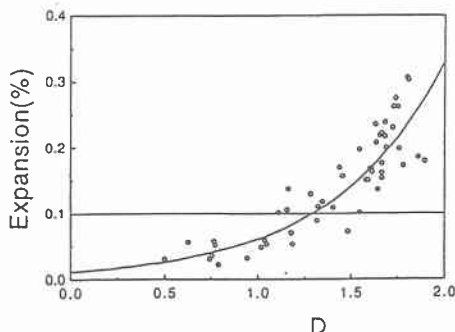


図-7 膨張率とDの関係(OPC)