V-9　舗装ひびわれのフラクタル解析

東京都土木技術研究所　正会員　阿部忠行
同　　上　　正会員　小川　進

１．はじめに

舗装のひびわれには様々な形態があり、その程度や形態に応じて原因の究明や対策を講じている。しかし、その評価にあたっては線状、面状或いは亀甲状等と視覚による分類を行っている。そのために、その評価が曖昧となり、共通の認識となりづらい。ここでは、フラクタルという幾何学を用いて舗装ひびわれの解析を行ったものである。その結果、舗装ひびわれはフラクタルでありひびわれの程度はフラクタル次元で整理分類できることがわかったのでここで報告するものである。

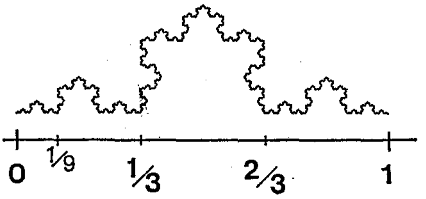
２．フラクタル

フラクタルとは、「自己相似性(self-similarity)」を有する図形のことであり、自然界に存在する、一見、複雑な形状を示すものが、その集合のどの部分をとってもそれを拡大すれば全体と相似の構造となる性質をもつ。フラクタルはMandelbrot[1]の造語で、不規則な形状の図形という意味で、ミクロなスケールからマクロなスケールまで相似である「自己相似性」を有し、そのハウスドルフ(Hausdorrf)次元が位相次元よりも大きい図形をさす（図－１）。

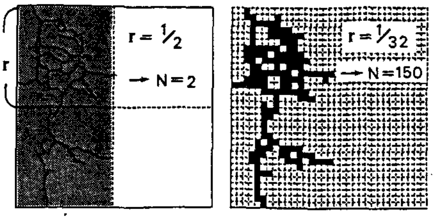
３．フラクタル解析

ここで用いた解析手法は、被覆法[2]のうちBox Counting法[3]によった。Box Counting法は図－２に示すように、ひびわれの一辺の長さｒ（ｒの値はそれぞれ異なる）で被覆し、そのとき形成される正方形の数Ｎを求め、Ｎとｒが(1) 式の関係にあることからフラクタル次元を求める。解析結果の一例を図－３，４に示す。図－３の３種類のひびわれについてＮ～ｒおよびフラクタル次元Ｄを求めたものが図－４に示す関係となった。線状ひびわれ(LINEAR)で1.09、面状ひびわれ(PLANAR)で1.31、亀甲状ひびわれ(ALLIGATOR) で1.76であった。ひびわれの形状とフラクタル次元の大きさの関係をみると、直線的な線状ひびわれのフラクタル次元は1.0 に近く、亀甲状ひびわれのフラクタル次元は2.0 に近くなることがわかる。

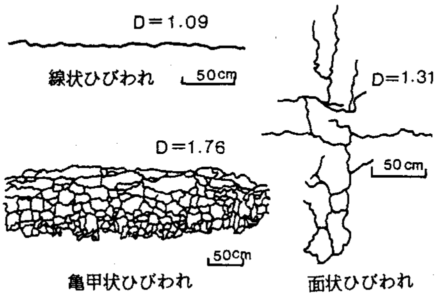
本論文では、供用中の舗装におけるひびわれのフラクタル次元を見出すために、国道及び主要地方道の152 地点において路面性状測定車でビデオ撮影したデータを用いて解析を行った。解析方法は、図－５に示すとおりである。ビデオから対象とするひびわ



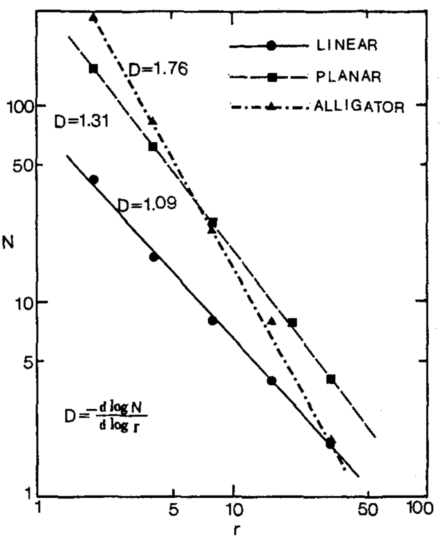
図－１　コッホ曲線



図－２　Box Counting法

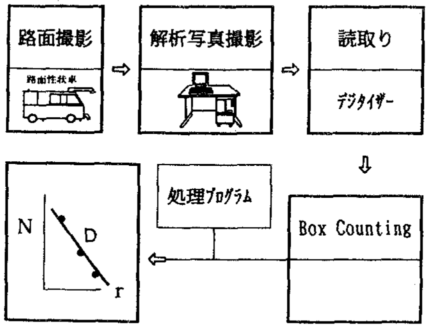


図－３　ひびわれ形状とフラクタル次元



図－４　Ｎ－ｒの両対数プロット

れを選択し、写真撮影をする。次に、デジタイザーでひびわれを読み込む。その結果をBox Counting法によって得られたN～rの関係からフラクタル次元を求めた。



図－５　解析の手順

４．解析結果

フラクタル次元の解析結果は表－１に示すとおりである。線状ひびわれでは1.0 ～1.4 の範囲で平均値は1.25、面状ひびわれで1.2 から1.6 の範囲で平均値は1.43、亀甲状ひびわれで1.5 ～1.8 の範囲で平均値は1.68であった。これらは、図－６に示すようにほぼ正規分布しており、系統的な変動をしている。

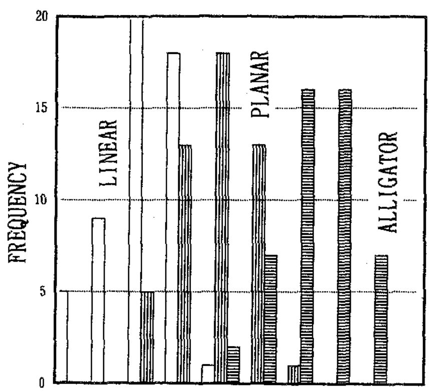
表－１　フラクタル次元解析結果

種　類	数	D	
		平均値	標準偏差
線状ひびわれ	54	1.251	0.096
面状ひびわれ	50	1.433	0.096
亀甲状ひびわれ	48	1.679	0.093
全　体	152	1.446	0.200

５．考察と結論

線状、面状および亀甲状ひびわれはフラクタル次元で示すとそれぞれのグループにおいて正規分布し、平均値では明確に区分されている。しかし、標準偏差σを考慮して重なりをみると次のようなことが分かる。

①線状ひびわれを面状ひびわれと誤認する例はわりと多い。
②面状ひびわれを線状ひびわれと誤認する例は少ない。
③亀甲状ひびわれを線状ひびわれと誤認した例はないが面状ひびわれと誤認する例は多少あった。



図－６　次元の頻度分布

舗装のひびわれはフラクタルであることがわかった。ひびわれの程度はフラクタル次元で定量的に示すことが可能である。フラクタル次元Dが1.3 以下であれば線状ひびわれで、1.3 ～1.6 であれば面状ひびわれ、1.6 以上であれば亀甲状ひびわれと分類することができる。この結果を利用し、舗装の補修工法を選択する場合の判断基準値として次のような例が考えられる。フラクタル次元が1.3 以下であればシーリング等で対応できるが、それ以上であれば切削カバーやオーバーレイ等の面的な対応が必要である。
さらに、1.6 以上となった場合は構造的な破損として打換えが必要となる、などの基準値として利用することができる。

ここでは、舗装のひびわれをフラクタル次元で評価した結果についてのみ報告したが、さらに形状因子ϕ等の導入によりひびわれの分岐やひびわれの進展状況の定量化についても検討を行っており、その結果についても次の機会に報告する予定である。

〔参考文献〕
１）Mandelbrot, B.B.:The Fractal Geometry of Nature,W,H.Freeman and Company,New York,1983.
２）高安秀樹：フラクタル，朝倉書店，1986.
３）Richardson,L.F.:Beitr.Phys.Freien.Atmos.15,24,1929.