土木学会第46回年次学術講演会（平成３年９月）

Ｖ－10　アスファルト舗装のひび割れに関する幾何学的分析

東北工業大学　正員　村井貞規
正員　高橋彦人

１．はじめに

舗装に生じるひび割れはその維持修繕における供用性指数ＰＳＩなどの基準や、乗り心地を決定する最も基本的な要因になっている。アスファルト舗装においては、ひび割れ率として、ひび割れの生じている０．２５m^2 ごとの面積の和の、全体の面積に対する百分率として定義されている。しかしながらこの値はその定義からも明かなようにかなり巨視的なものであり、これだけではひび割れ自体の状態、その破壊の進展に対する表現としてはきわめて不十分であるといえよう。

本研究は混合物層が比較的薄いアスファルト舗装に生じたひび割れに幾何学的な分析を行い、その特性を明らかにすることを試みたものである。

２．ひび割れ調査

ひび割れが発生し易いのは表層の薄いＬ、Ａ交通対象の舗装であることから、調査対象は宮城県内の地方道とした。地下埋設物などに起因すると思われるひび割れを除き、１２０箇所でひび割れを撮影した。撮影面積は1m^2 とし、得られた写真をスライドにして、ひび割れをトレースした。さらに０．２５m間隔で格子を引き、この面積内のひび割れ率を求めた。

３．グラフ理論による分析

アスファルト舗装のひび割れにおいて特徴的なのは、ヘアクラックから始まりアリゲータクラックにいたる過程である。実際にはその後骨材のレベルまで分離するが、そこまでは対象としない。この過程を表現するためにグラフ理論を導入する。グラフ理論は辺、頂点から構成される図形に関する幾何学であり、その長さを問題にしなければ、ひび割れを表現するには最も適当なモデルであると考えられる。ここでは次式で定義される回路階数μ、ベータ示数βを用いることとする。

$$\mu = m - n + p \qquad \cdots (1)$$

$$\beta = m / n \qquad \cdots (2)$$

ここに　μ：回路階数、β：ベータ示数、m：辺数、n：頂点数、p：コンポーネント数

回路階数はグラフにサイクルを含む程度に応じて増加することからヘアークラックからアリゲータクラックの進展を表していると解釈できる。ベータ示数は辺数を頂点数で割った単純な値であるが、やはりひび割れの程度を表すとともに木グラフ、非連結グラフの場合に相当するひび割れについても何らかの値を与えるので初期のひび割れについても比較が可能になる。

２．で得られたサンプルの内から辺数・頂点数が徐々に増加するように１９箇所を取り、ひび割れとひび割れの交点及びひび割れの先端を頂点、ひび割れを辺、連結しているひび割れを１個のコンポーネントとして回路階数、ベータ示数を求めた。なお境界からはみ出したひび割れについては境界上に頂点を設定した。この領域内でのひび割れ率は１２．５％～１００％であった。

得られた結果を図－１、図－２、図－３に示す。ひび割れの成長は辺の発生と枝分かれであり頂点はそれに付随して表れることから横軸に辺数mを取ってその他の指標との関係を表した。図－１は辺数と頂点数の関係を示したものである。辺数が少ないうちは木構造や孤立したひび割れが生じることから頂点数がやや多くなるが、回路が増え１つの頂点に多くの辺が集まるようになると辺数の方が頂点数より多くなる。図－２は辺数と回路階数の関係を示したものであるが辺数が少ないうちは回路階数はほぼ０であるが、５０を越え

るようになると１０程度になり、その後は直線的に増加している。これは初期には、ひび割れが木構造で成長するのに対し、ひび割れの辺数が５０前後から相互に交差、結合するようになり、周りの構造から分離して回路を形成する事を意味していると考えられる。したがって構造的にはこのあたりから耐荷力が大きく失われると考えられる。

回路階数はひび割れが少なく木構造の場合は０であるのに対してベータ示数は何らかの値をとる。それを示したものが図－３である。ベータ示数は初期のひび割れの成長にきわめて敏感であるが、辺数が５０を越えるあたりからそれほど大きく変化しなくなる。従って初期ひび割れの記述にはベータ示数が、ひび割れの成長と孤立した回路の記述には回路階数が有効であることが分かる。

４．フラクタル次元による分析

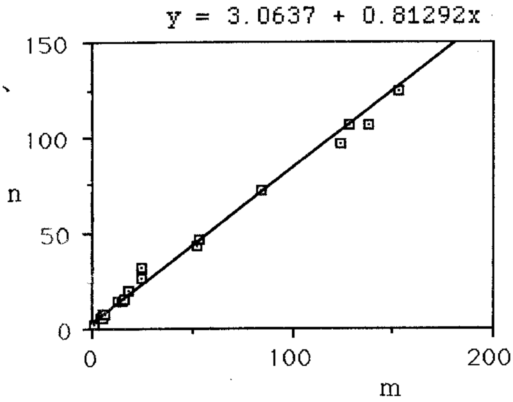
ひび割れのような幾何構造の定量化手法としてグラフ理論の他の有力な方法にフラクタル次元がある。フラクタル次元は自然の中に存在する現象に対しても有効であることが知られており、アスファルト舗装に生じるひび割れについても何らかの特徴的な値を得ることが期待できる。

分析は３．で得られたもののなかからひび割れの比較的多く発生した３段階のサンプルを対象とした。これらからメッシュ法によりフラクタル次元を求めた。メッシュ法は前述のひび割れ率同様対象とする領域を格子に分けて、ひび割れが存在する格子の数から以下の式によって次元を決定するものである。

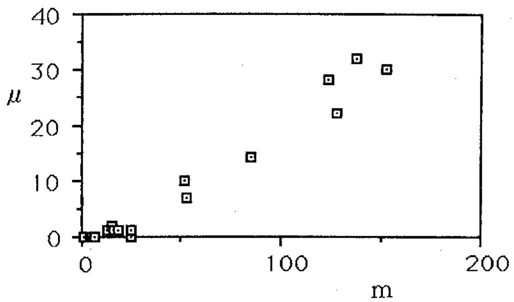
$$N(r) \propto r^{-D} \quad \cdots (3)$$

ここにｒ：格子間隔、Ｎ（ｒ）：対象図形を含む格子数、Ｄ：次元

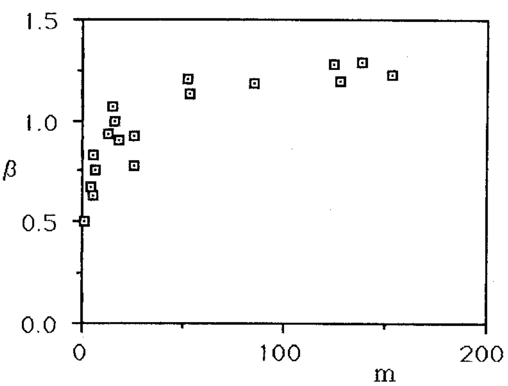
得られた結果を表－１に示す。これから分かるように平面回路が存在するときのフラクタル次元fdは１と２の間の値を取るが、辺数の増加につれてやはり増加しており、ひび割れに対する幾何学的な表現としても有効であることが分かる。通常のひび割れ率を求めるような寸法の粗い格子を用いる方法は、格子の位置と格子寸法の任意性によって変動が大きいが、フラクタル次元では対象となる図形特有の値として決定することができた。最後に本研究をまとめるに際しご協力いただいた東北大学土木工学科学生（元）蕎麦切克己氏へ謝意を表します。



図－１辺数と頂点数の関係



図－２辺数と回路階数の関係



図－３辺数とベータ示数の関係

表－１グラフ指標とフラクタル次元

m	n	μ	β	fd
25	27	1	0.9259	1.27645
85	72	14	1.1806	1.33031
128	107	22	1.1963	1.48762