

舗装ひびわれのフラクタル解析

阿部忠行*・小川 進**

舗装ひびわれの形態や程度を定量的に表現する方法として、アスファルト舗装ではひびわれ率が、コンクリート舗装ではひびわれ度が用いられている。しかし、これらの数値ではひびわれの状態や進行状況を明確に表現することは困難である。ここでは、舗装ひびわれの評価手法として、フラクタル解析によるフラクタル次元 D 、形状因子 ϕ 、ひびわれ長 L を導入し舗装ひびわれの定量化を検討した。

Keywords: fractal, pavement cracks, pavement maintenance

1. はじめに

舗装の主な破損形態として、ひびわれ、わだち掘れ、平坦性がある。それらの進行程度は、ひびわれはひびわれ率等で、わだち掘れはわだち掘れ量で、平坦性は縦断方向の凹凸の標準偏差で示される。これらを総合的に評価する式 PSI (Present Serviceability Index)¹⁾ や MCI (Maintenance Control Index)²⁾ においても、ひびわれ率は %、わだち掘れ量は cm、平坦性は mm で扱われ、物理量の次元が不統一である。また、現行の破損の定量化についての再検討も必要である。とくに、ひびわれについて、ひびわれ率やひびわれ度では、ひびわれの形態の推定は困難である。例えば、ひびわれ率やひびわれ度が与えられても、ひびわれが線状か面状かも区分できない。そのため、機能的破損か構造的破損なのかの推定が難しいため補修工法の選択に対する十分な情報ともなりがたい。

ところで、最近になり、理工学の各分野で非線形現象の取扱いにフラクタル (fractal) という理論が応用されつつある^{3)~5)}。フラクタルではひびわれのような不規則図形や地形のような凹凸の曲面を数学的に表現することができる。そこで、本論文では舗装のひびわれを対象とし、フラクタルによるひびわれの定量的評価を試みた。

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、Mandelbrot³⁾ 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 (Hausdorff) 次元が位相次元よりも大きい図形をさす。フラクタルに基づく解析により、自然界に在る不規則な形状、非線形な事象が極めて簡便に表現することができる^{3)~5)}。

図-1 に代表的なフラクタル図形の生成を示すが、部分と全体が相似であることが分かる。図-1 には $n=1$ ~10 まで分割していく過程が示されている。すなわち、 $n=10$ の図形は $n=1$ の図形から構成されており、前者は自己相似であることが分かる。この図形を特徴づけるハウスドルフ次元、すなわちフラクタル次元は被覆法⁴⁾ により簡便に求めることができる。自然界において、岩石等に生じるひびわれは典型的なフラクタルであると言われる³⁾。このため、舗装のひびわれについてもフラクタルであることが容易に推定される。もし、舗装のひびわれがフラクタル次元で整理できれば、線状、面状あるいは亀甲状等と視覚による分類で曖昧な表現をせざるを得なかったものが、連続的かつ数学的に厳密な表現が可能となる。

3. フラクタル解析

ここで用いた解析手法は、被覆法のうち Box Counting 法⁶⁾ によった。Box Counting 法は図-2 に示すように、ひびわれを一辺の長さ 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 が式 (1) の関係にあることからフラクタル次元 D を求める。

$$N \propto r^{-D} \dots \dots \dots (1)$$

なお、対象とする両者の関係が式 (1) の関係にあることは、この図形がフラクタルであることを示すことにもなる。

実際には、図-3 に示すごとく N と r を両対数上に

* 正会員 東京都土木技術研究所主任研究員
(〒136 江東区新砂 1-9-15)

** 正会員 工博 東京都土木技術研究所研究員(同上)

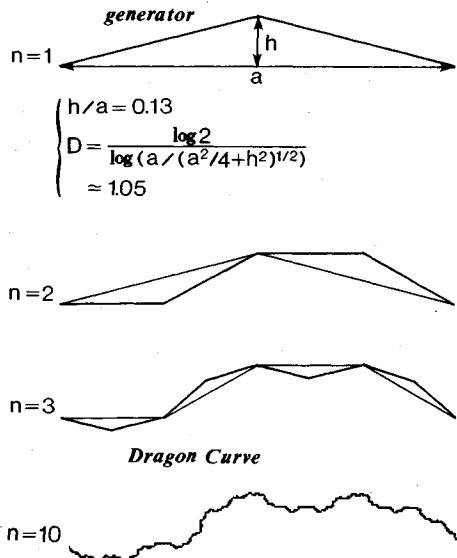


図-1 フラクタル図形の生成

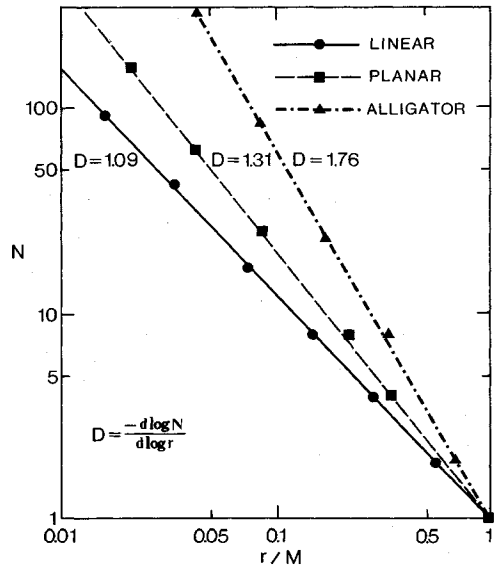


図-3 $N \sim r$ の両対数プロット

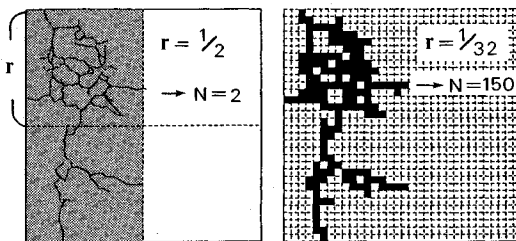


図-2 Box Counting 法

プロットし、その勾配からフラクタル次元 D を求める。図-3 には、線状ひびわれ、面状ひびわれ及び亀甲状ひびわれ (図-4 参照) の解析例を示してある。図-3 において、 $N \sim r$ がすべて直線関係を示すことから舗装のひびわれがフラクタルであることが証明されたことになる。

すなわち、図-4 に示されるひびわれは平面上の曲線であり、その位相次元は当然 1 であるが、そのハウスドルフ次元は図-3 に示すように、1.09, 1.31, 1.76 であり、位相次元よりも大きくフラクタルであることを裏付けている。ひびわれの形状と次元の大きさの関係は図-4 に示すように、直線的な線状ひびわれのフラクタル次元は 1.0 に近く、亀甲状ひびわれの次元は 2.0 に近くなる。

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、国道および主要地方道の 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。

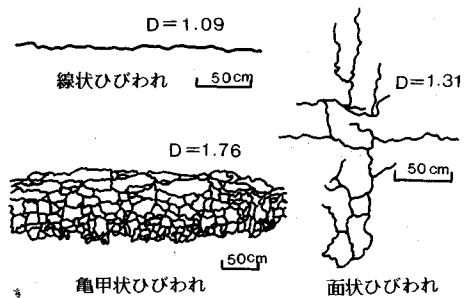


図-4 ひびわれ形状とフラクタル次元

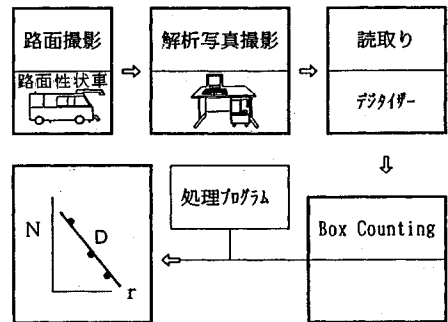


図-5 解析の手順

その結果を Box Counting 法によって得られた $N \sim r$ の関係からフラクタル次元 D を求める。

4. ひびわれ率とひびわれ度のフラクタル表示

従来、ひびわれの評価は、線状、面状、亀甲状といった形態的な区分とともに、アスファルト舗装ではひびわれ率、コンクリート舗装ではひびわれ度という別々の定

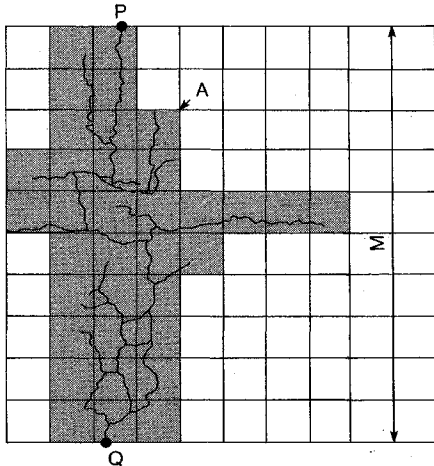


図-6 ひびわれのパラメータ A, M

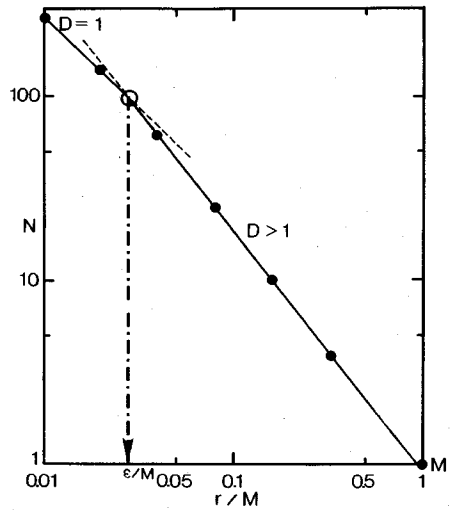


図-7 フラクタルの下限

量的な指標が用いられている。ここでは、これらの指標をフラクタルで表現することを試みる。

式(1)において、 r の上限と下限を考える。まず、連続するひびわれ X の直線距離を $d(X)$ とし、その上限 M を次式で定義する⁷⁾。

$$M=d(X)=\sup \{d(P, Q) | P, Q \in X\} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 \sup ：集合の上限 (superior), P, Q ：ひびわれ X の任意の2点である。具体的には、 M はひびわれの最も離れた点を結ぶ最大直線距離に相当する。

図-6に路面性状測定車で撮影したひびわれ像上にプロットとした点 P, Q とひびわれの最大距離 M とを示す。なお、撮影したビデオフィルムから路面の連続写真ロールが得られるので、いかなる規模のひびわれも解析が可能である。

次に、ひびわれ率の分子に相当する、ひびわれを含む正方形メッシュ (通常 50 cm 四方の正方形) の総面積を A とし、ひびわれのフラクタル次元を D とし、式(1)において、 r の上限を考える。

すなわち、

$$r=M \text{ のとき, } N=1 \dots\dots\dots (3)$$

ただし、

$$M=\phi\sqrt{A} (\phi \geq 1) \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 ϕ ：形状因子 (shape factor) であり、 $M=\sqrt{A}$ のとき、すなわち正方形メッシュの集合の形状が正方形である時に限り ϕ は1となる。式(3)は、ひびわれの最大距離 M に相当する正方形で被覆することになるから、 $N=1$ 、すなわち、一辺 M の正方形1個でひびわれ全体を被覆することを意味する。式(4)は、 $r=M$ のとき M と \sqrt{A} の関係を ϕ で表わしたもので、 ϕ は正方形メッシュの集合が正方形の時に最小の1となり、直

線状に並ぶ時に最大となる。すなわち、亀甲状や面状ひびわれの時に小さく、線状ひびわれの時に大きくなり、ひびわれのマクロな形状を表現している。式(3)、(4)を式(1)に代入すると、次の関係が得られる。

$$N=\phi^D A^{D/2} r^{-D} \dots\dots\dots (5)$$

一方、 r の下限はひびわれの総延長 L から定義できる。すなわち、被覆する正方形の数 N と一辺 r との積 Nr は、 r が小さくなるにしたがって大きくなる性質 (フラクタル性) があるが、あるスケール以下ではフラクタル性を失い、 $D=1$ となり、有限値 (ひびわれ長さ) に収束する (図-7 参照)。なお、このことについては考察(2)において、ひびわれ下限長の物理的意味として詳述する。

このときの r を ϵ 、その有限値を L とすれば、

$$r \rightarrow \epsilon \text{ のとき, } Nr \rightarrow L \dots\dots\dots (6)$$

式(5)にこの条件を与えると、

$$L=\phi^D \epsilon^{1-D} A^{D/2} \dots\dots\dots (7)$$

この式がフラクタルで表現されたひびわれの総延長の式である。ひびわれの下限長 ϵ は、自己相似の下限を意味し、フラクタル次元 $D=1.0$ となるひびわれの最小単位長さである。従って、ひびわれ率とひびわれ度は、式(4)、(7)より次のように定式化できる。

$$\text{ひびわれ率} = A/A_0 = (M/\phi)^2 / A_0 \dots\dots\dots (8)$$

$$\begin{aligned} \text{ひびわれ度} &= L/A_0 = \phi^D \epsilon^{1-D} A^{D/2} / A_0 \\ &= M^D \epsilon^{1-D} / A_0 \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

ここで、 A_0 ：調査対象面積である。ただし、式(8)のひびわれ率にはパッチング面積は含んでいない。

5. 解析結果

(1) フラクタル解析

解析によって求めたパラメータは、フラクタル次元

表-1 フラクタル解析結果

種類	数	D		ϕ		ϵ (m)	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
線状ひびわれ	54	1.251	0.096	2.274	0.393	0.474	0.998
面状ひびわれ	50	1.433	0.096	1.705	0.170	0.218	0.312
亀甲状ひびわれ	48	1.679	0.093	1.528	0.243	0.207	0.068
全体	152	1.446	0.200	1.853	0.431	0.305	0.631

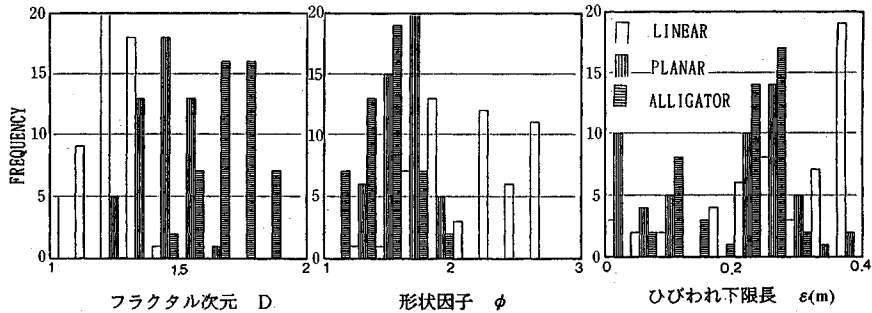


図-8 結果の頻度分布

D, 形状因子 ϕ , 下限長 ϵ である。解析結果は表-1 および図-8 に示すとおりである。なお、各ひびわれについては、補修工法の選択で一般的に用いられる形態分けに準じて著者らの主観によって線状 (linear), 面状 (planar), 亀甲状 (alligator) に分類した。分類の基準としては、線状は分岐の少ない直線的なひびわれ、面状は分岐が発達した樹枝状のひびわれ、亀甲状は分岐がさらに発達したメッシュ状のひびわれとした。

フラクタル次元は、線状ひびわれで 1.0~1.4 の範囲で平均値は 1.25, 面状ひびわれで 1.2~1.6 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。形状因子 ϕ は、線状ひびわれで 1.3~2.8 の範囲で平均値は 2.27, 面状ひびわれで 1.4~2.0 の範囲で平均値は 1.71, 亀甲状ひびわれで 1.0~2.0 の範囲で平均値は 1.53 であった。これらの結果は、何れも、図-8 に示すようにほぼ正規分布しており、ひびわれの分類と強い相関のあることを示している。一方、下限長 ϵ (単位:m) は、線状ひびわれで平均 0.47, 面状ひびわれで平均 0.22, 亀甲状ひびわれで平均値 0.21, 全体で平均 0.31 であったが、正規分布せず、ひびわれの分類との相関がない広い分布をしている。

以上の解析にあたって、形状因子 ϕ は、写真撮影の制約上、最大 2.8 であった。また、下限長 ϵ は、今回使用したデジタイザーの読み取り時の精度から約 10 cm の誤差を含むものとなっている。したがって、実際のひびわれの ϕ および ϵ は、それぞれ 2.8 以上、10 cm 未満

の可能性あることを否定できないことを付記する。

(2) 判別分析

先に行った著者らのひびわれの形態分類をもとに、フラクタル次元 D と形状因子 ϕ による多変量解析の判別分析を試みた⁸⁾。ただし、下限長 ϵ は、先述したように誤差が大きいと考えられたので解析からは除外した。

ここでは、解析したひびわれについて、2変量 D および ϕ が正規分布することを利用して、標準偏差による正規化を行い、正規化した変量間の距離、すなわちマハラノビス距離による判別を行った。

判別分析の結果を図-9、表-2 に示した。図-9 には、ひびわれ形態分類ごとにそれぞれ D および ϕ に対する標準偏差 σ の 2 倍の範囲を楕円形で表示してある。すなわち、それぞれ 95.5% はこの範囲に含まれていることになる。また、同図において黒く潰した記号 (●, ▲, ■) は、著者らの判別が統計的には判別を誤った事を示している。黒く潰した記号は各楕円の境界上に集中していることから、区分の境界の判定に対して、人間による判断は曖昧なものになることを端的に示している。すなわち、著者らの主観的なひびわれの分類とフラクタルに基づく統計的分類との相違を示している。

表-2 には、判別分析の結果を示すが、縦の欄には著者らの判断した分類を、横の欄には多変量解析により判別した分類を表している。数値は統計的にも正しいと考えられると判断した事象の割合を示しており、完全に異なる集合と判定されるときには、1.0 となる。すなわち、

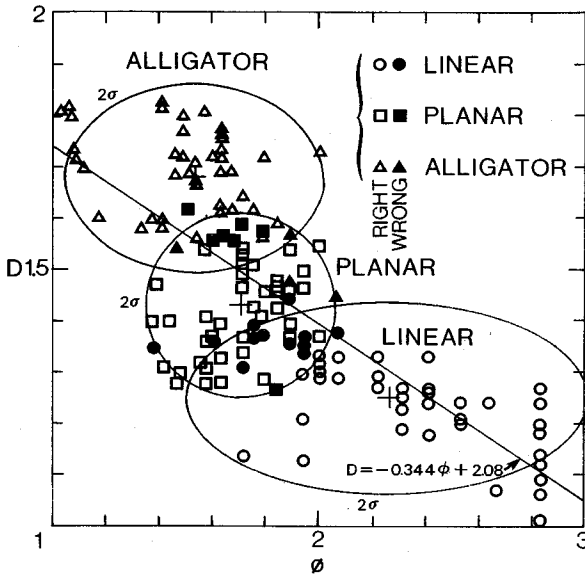


図-9 D-φ 相関の分析結果

表-2 判別分析結果

種類	線状	面状	亀甲状
線状	*	0.778	1.0
面状	0.980	*	0.880
亀甲状	1.0	0.917	*

これらのことから、線状ひびわれと亀甲状ひびわれとは明確に判別されるが、面状ひびわれとの境界が明確でないことが分かる。とくに、線状ひびわれと面状ひびわれの境界が不明確で誤判別しやすい。

次に、フラクタル次元 D と形状因子 ϕ との関係からひびわれの判別は図-9 から次のことがいえる。①形状因子 ϕ を加えることによってひびわれの判別はより明確になる。②形状因子 ϕ は亀甲状と面状ひびわれでは2以下であり、一部1.0にほぼ等しく正方形の形状となっている亀甲状ひびわれがあることがわかる。③一方、線状ひびわれではほぼ2.0~3.0までの広い範囲に分布している。④フラクタル次元 D と形状因子 ϕ の間には、全体では式(10)に示すような関係があるが、亀甲状及び面状ひびわれと線状ひびわれでは明らかに異なる関係となっている。すなわち、面状及び亀甲状ひびわれでフラクタル次元が大きくなるにしたがって形状因子 ϕ が小さくなり、形状全体が正方形に近づいていることを示している。しかし、線状ひびわれではフラクタル次元の変化に形状因子は追従せず、ほぼ独立している。形状因子 ϕ はひびわれの分岐(付記参照)によりその値が小さくなるが、分岐の未発達な線状ひびわれでは、それほど大きな影響を受けないことが分かる。

以上のことから、フラクタル次元でひびわれの形状を明確に整理分類することができることが分かった。また、これらの数値を用いればひびわれの状態に関し客観的な認識ができるとともに、舗装の維持補修工法の選択にあたってひびわれ率やひびわれ度とは異なった具体的な工法の選択にも有効に活用できると考えられる。

(2) 形状因子 ϕ 及びひびわれ下限長 l_c

フラクタルの本質は、自己相似性にあり、そのスケールには数学的に上限や下限の制限は存在しない。しかしながら、現実の世界に現れるフラクタルには、有限の図形ということから上限と下限が存在する。まず、ひびわれの上限の制約から、形状因子 ϕ が定義されるが、形状因子 ϕ は、既述したように分岐の発達状態を表わしていると考えられる。分岐の未発達な線状ひびわれでは、 $\phi \geq 2$ と広く分布している。それに対し、分岐の発達した面状ひびわれでは $\phi \leq 2$ で、亀甲状ひびわれでは $\phi \approx$

表-2において線状ひびわれと著者が判断した集合のうち、77.8%が統計的にも線状ひびわれと判別され、残る22.2%が面状ひびわれの方が妥当であり、亀甲ひびわれと判別されるものは0%であることを示している。同様に、面状ひびわれと著者が判断した集合のうち、統計的には2%が線状に、12%が亀甲状に判定されることを示している。さらに、亀甲状ひびわれと著者が判断した集合のうち、8.3%は面状ひびわれに判別されることを意味している。このように、目視による判断ではどうしても個人差や判断ミスあるいは集合の境界上での曖昧さが残ることがわかる。また、2変量、 D と ϕ の相関は、次式で表わされる。

$$D = -0.344\phi + 2.08 \text{ (相関係数} = -0.74) \dots \dots (10)$$

6. 考 察

(1) 線状、面状及び亀甲状ひびわれの判別

ひびわれを主観的に線状、面状及び亀甲状に判別した結果とそれぞれをフラクタル次元で示すとフラクタル次元は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 を考慮して境界での重なりをみると、図-9及び表-2のとおりである。すなわち、 2σ の範囲での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判別した割合は約22%である。しかし、亀甲状ひびわれと誤判別したものはない。②面状ひびわれを線状ひびわれと誤判別したのは、2%と少なかったが亀甲状ひびわれとは12%誤判別している。③亀甲状ひびわれを線状ひびわれと誤判別したものはないが、面状ひびわれとは8%誤判別していた。

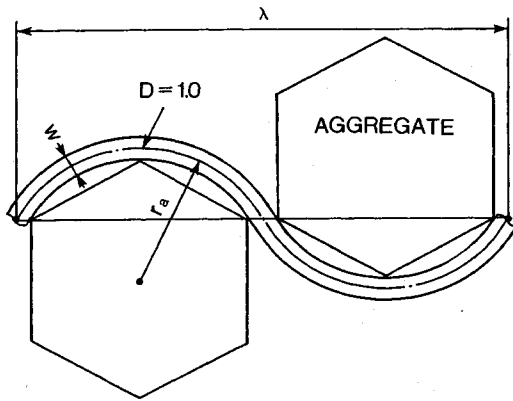


図-10 ひびわれの最小波長

1のものもある。すなわち形状因子 ϕ は分岐が未発達なひびわれではフラクタル次元 D と相関が小さい。逆に、分岐の発達したひびわれではフラクタル次元 D との相関が高い。このことから、ひびわれのフラクタルの構造は、フラクタル次元 D が1に近く、形状因子 ϕ が2以上と広く変動し線状に延びるひびわれと、分岐の発達により、フラクタル次元 D が2に近づき、形状因子 ϕ が2から1へ向かう、面状に広がるひびわれに分類することができる。

次に、ひびわれの下限について考えれば、ひびわれの大きさは骨材の大きさなどでひびわれの最小単位が規定される。すなわち、舗装のひびわれは骨材によってマイクロな形状が規定されていることは観察などで容易に理解できるところである。

ひびわれのフラクタル下限は、正方形メッシュを小さくしていく過程で、ひびわれの特徴である“ぎざぎざ”が失われる最大の正方形メッシュで表現される。すなわち、ひびわれ下限長 ϵ により下限が与えられる。物理的には、舗装の破壊強度の分布がひびわれ形状を規定しているので、破壊強度を決定する骨材の分布にこの下限長 ϵ は規定される。したがって、ひびわれ下限長 ϵ は骨材の大きさに相当する長さのはずである。図-10に示すように、骨材の隙間にひびわれが形成されるならば、ひびわれ下限長 ϵ は、ひびわれの最小波長 λ に等しいか小さくなることが考えられる。なぜなら、波長 λ で示される波形は、フラクタル次元が1であるからである。

そこで、図-10に示すひびわれの波形に対し、 $N \sim r$ 関係をみたのが図-11である。 $r = \lambda$ (図では $r = 1$) から小さくなるにつれて、フラクタル次元 $D = 1$ に漸近することがわかる。 $r = \lambda/2$ 付近ではほぼ $D = 1$ の直線に一致することがわかる。このことから、 ϵ はほぼ $\lambda/2$ に等しいことが推定できる。

$$\epsilon \approx \lambda/2 \dots \dots \dots (11)$$

すなわち、測定精度が十分に高ければ、ひびわれ下限長

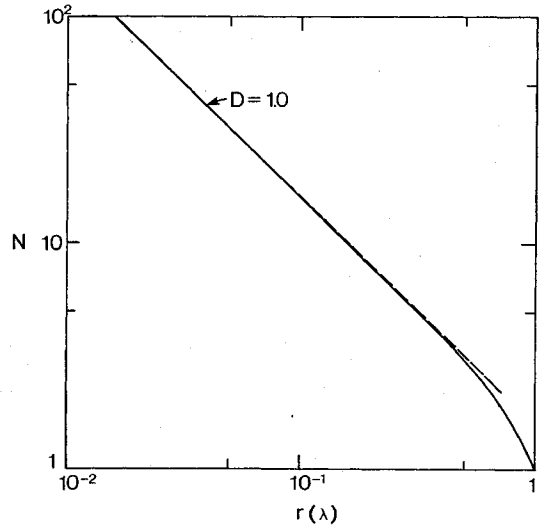


図-11 ひびわれ波形の $N \sim r$ 関係

ϵ は骨材の大きさとほぼ等しくなる。

しかし、今回の解析においては、ビデオ、写真及びデジタルタイザーを経由する過程で、ひびわれ下限長 ϵ は10 cm程度まで拡大し、マイクロな情報が欠落した結果となっている。

フラクタル次元 D に形状因子 ϕ も加えて評価すればひびわれの分岐の発達状態、すなわちひびわれの進行範囲についての推定も可能である。さらに、ひびわれの経年変化や累積輪荷重等との相関をとればひびわれの進展経過を定量的に把握することができ、舗装のひびわれ原因の究明やひびわれ防止対策の検討に資することができると考えられる。

(3) ひびわれ率及びひびわれ度

現在、ひびわれの評価指標は、アスファルト舗装ではひびわれ率を、コンクリート舗装ではひびわれ度を適用している。これらの指標は、式(8)、(9)に示すようにフラクタルにより簡便に表現できる。もし、ひびわれの大きさ M とフラクタル次元 D が与えられれば、式(10)より形状因子 ϕ が求まり、測定手段が固定されれば、ひびわれ下限長 ϵ は一定と見なせるので、ひびわれ率とひびわれ度が算出される。すなわち、ひびわれのパターンからフラクタル次元 D を推定し、ひびわれの大きさ M を測定すればこれらの指標が簡便に算定できる。

7. 結 論

舗装のひびわれについて種々な面からフラクタル解析を試みた結論は以下のとおりである。

(1) 舗装のひびわれはフラクタルであることが分かった。ひびわれの程度はフラクタル次元 D で示すこ

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。

舗装の補修工法を選択する場合、フラクタル次元 D 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等の判断基準として利用もできる。

(2) 現在、用いられているひびわれの評価指標であるひびわれ率とひびわれ度もフラクタルで表現できることがわかった。

(3) フラクタル解析結果と、路面性状測定装置に連動することによって広範囲な舗装の評価に利用できるとともに、試験舗装などにおけるひびわれの発生から進展のメカニズムを解析するためにも有効な手法となる。

すなわち、舗装ひびわれの評価にフラクタルを導入することによってひびわれの量的な評価だけでなくひびわれの質的な側面についても評価が可能となる。

フラクタルは、応用範囲の広い理論である。ここでは、舗装の破損のひびわれについて検討を加えた。舗装の供用性を定量化する総合評価式として、PSI や MCI が使用されている。これらの経験式では、ひびわれ、わだち掘れ、縦断凹凸の 3 要因からなっているが、それぞれの要因は、(%)、(cm)、(mm) とそれぞれ異なる次元で構成されている。そのため、これらの評価式を累積交通荷重等の物理量と対応させて検討することには理論的に不合理である。しかしながら、わだち掘れ及び縦断凹凸についてもフラクタル次元で示せば次元が統一され物理量との対応にも論理性が期待できる。ここでは、その第一段階としてひびわれのフラクタル解析を行ったが、今後、わだち掘れや縦断凹凸についてもフラクタル解析を実施する予定である。さらに、舗装工学の分野においてフラクタルの活用がなされれば著者らの望外の喜びである。

なお、本論で使用したひびわれの写真は、日瀝化学工業(株)の提供によるものであり、深く感謝の意を表したい。

【付記】 自己相似と分岐

フラクタルの形態的特徴を大別すれば、自己相似と分岐に分けることが出来る。自己相似は、図-1 に示すように、縮小写像を繰り返すことで生成されるが、 $n=10$ で十分収束している。この場合、分岐率 α 、縮小率 $1/\beta$ ($\alpha, \beta > 1$) として、フラクタル次元 D は次式で与えられる。

$$D = \log \alpha / \log \beta \dots \dots \dots (1)$$

ただし、図-1 では $\alpha=2.0$ で、 β は次式で表わされる。

$$\beta = a / (a^2 / 4 + h^2)^{1/2} \dots \dots \dots (2)$$

逆に、 h/a を与えれば、 D が規定される。すなわち、任意のフラクタル次元の線状ひびわれが生成できる。通常の意味での分岐は、むしろ線状ひびわれが発達し、面状ひびわれになる過程をさし、数学的な分岐とは異なっている。厳密には、自己相似を生成する縮小写像で形成されるフラクタルは「自己相似集合」と呼ばれ線状の進展を表現する。ひびわれでは、自己相似集合のフラクタル次元、すなわち線状ひびわれ自身の次元 D はほぼ 1.0~1.1 であり、線状の発達では、フラクタル次元は変化しない。一方の分岐により、面状の広がりを示すフラクタルは、「内部自己相似集合」と呼ばれ、分岐の面状の進展を表現する。「内部自己相似集合」のフラクタル次元、すなわち線状ひびわれが分岐して面状ひびわれから亀甲状ひびわれに進展する過程では、 D はほぼ 1.2~2.0 となり、 D の増加とひびわれの進展が対応している。

フラクタル解析と各指数の意味について

D : フラクタル次元

$L(m)$: ひびわれの総延長、ひびわれをプランメータで測定した延長

$M(m)$: ひびわれの最大長、ひびわれの端から端までの最も長い距離

$A(m^2)$: 正方形メッシュの総面積、50 cm 四方の正方形を総計したもの。

ϕ : 形状因子、 ϕ は正方形メッシュの集合が正方形の時に最小の 1 になり、直線状に並ぶ時に最大となる。

$\epsilon(m)$: 自己相似の下限を意味し、フラクタル次元 $D=1.0$ となるひびわれの最小単位長さである。

参 考 文 献

- 1) (社)日本道路協会: 道路維持修繕要綱, 1978.
- 2) 道路局国道第一課・建設省土木研究所: 舗装の管理水準と維持修繕工法に関する総合的研究, 第 41 回建設省技術研究会, 1987.
- 3) Mandelbrot, B.B.: The Fractal Geometry of Nature, W.H. Freeman and Company, New York, 1983.
- 4) 高安秀樹: フラクタル, 朝倉書店, 1986.
- 5) 高安秀樹: フラクタル科学, 朝倉書店, 1987.
- 6) Richardson, L.F.: Beitr. Phys. Freien. Atmos. 15, 24, 1929.
- 7) 石村貞夫, 石村園子: フラクタル数学, 東京図書, 1990.
- 8) 田中 豊, 垂水共之, 脇本和昌: パソコン統計解析ハンドブック, II. 多変量解析編, 共立出版, 1984.

(1991. 4. 2 受付)

PAVEMENT CRACKS EVALUATION METHOD BY FRACTAL ANALYSIS

Tadayuki ABE and Susumu OGAWA

We proposed a new evaluation method for pavement distress by fractal. Fractal means irregular shaped figures characterized by Hausdorff dimension. Pavement cracks are typical fractal figures. However, they have been evaluated by the empirical method such as PSI and MCI.

Fractal analysis for pavement distress can lead to not only strictly mathematical method but also the comprehensive one that evaluates both pavement cracks and spatial variation of pavement profile and cross section. Especially, though the cracks has been classified to the three categories ; linear, planar and alligator, fractal analysis can express them continuously by fractional dimension.
