

フラクタルによる河川景観の設計手法に関する検討

研究第二部 次 長 関 克 己
研究第二部 主任研究員 鈴木 輝 彦
研究第二部 主任研究員 唐 裕 一

1. はじめに

近年、川づくりにあたっては、生活空間としての親水性や生態系への配慮など高度な技術が求められるようになった。

しかし、河川構造物の設計では、人間の主観による人工美が求められ、自然の持つそのままの美しさが設計に反映されることは少なかった。

自然の景観を反映させるには、設計対象地域の植生や河道特性など、自然を構成する要素を取り込んだ設計が必要であり、河川景観の設計上の課題であった。このような課題を解決するため、平成5年度からフラクタル (Fractal) 手法に着目し、河川景観設計の支援手法としてフラクタル手法の適用性の検討を行い、研究を進めてきた。

フラクタル (Fractal) 手法は、フラクタル (半端なという意味) 数学により自然を形成する景観構成要素に対して何らかの「かたちの法則性」を見いだす手法である。これまでの研究成果から河川を構成する主要な景観要素のなかで河床の石、河岸の樹木、水際線などに「かたちの法則性」を見いだすことができた。

平成6年度は、河川の景観設計の実用化の目処をつけるため設計のニーズについて調査を行い、具体的に落着工や護岸にフラクタル手法を適用し、景観設計を行った。

以下にフラクタル手法による景観設計について報告する。

2. フラクタル手法

(1) フラクタル手法の概要

フラクタルでは、図形や構造について部分と全体が関わりがある、すなわち自己相似性の成

立するものを対象として取り扱ってきたが、現在では完全に自己相似でなくても、特徴的な長さを持たない図形や尺度を持たない構造、現象などに対しても適用されている。

河川景観の設計については、自己相似性または自己アフィン^{*1}な性質を持つもの、すなわち大きなスケールでも小さなスケールでも同じように見える性質を持つ河川景観構成要素が対象となり、これを満たす景観構成要素は、河床の石、河岸の樹木、水際線(こうした性質を持つ要素に対してはフラクタル性を持つと言う)などである。

自己相似の典型的な例としてセルラオートマトンがあり、部分拡大してもおなじものが見える。フラクタル手法は、例えば自然界では海岸線や等高線の形状は、1/50000の地形図でも1/10000でも同じように見え、こうした性質を河川景観の主要な構成要素に見いだすことにより、数学的に自然性を評価しようと試みる手法である。

フラクタル手法では、ある集合図形の要素 a が、その要素に関連した個数 N との間で次の関

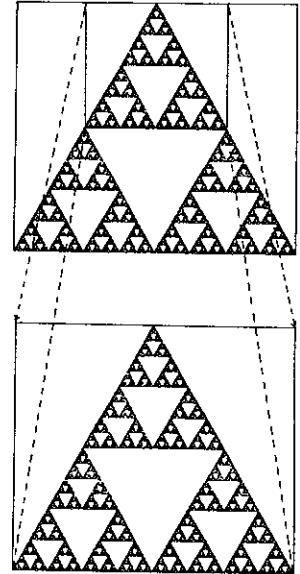


図-1 自己相似性の図形 (セルラオートマトン)^{*2}

係式が成立する。誠に簡単な式であるが、複雑な図形の解析をパソコンレベルで可能とするメリットがある。

$$\log N = c - D \log a$$

ここに、D：フラクタル次元

a：ある集合図形の要素

N：要素aに関連した個数

c：常数

具体的な解析では、図-2に示すように1辺rの正方形の格子メッシュ*3を作成し、例えば河岸の樹木群がいくつ存在するかについてrの長さで格子の数との関係を両対数に示し、図-3に示すように直線を得る。

この直線の勾配に逆符号をつけたものがフラクタル次元である。フラクタル次元は自己相似性を定量的に計る指標であり、整数ではない半端な値の次元である。一般的にフラクタル次元が高いほど複雑な図形である。ここで得られたD：フラクタル次元により河川構成要素の持つフラクタル性が評価されることになる。

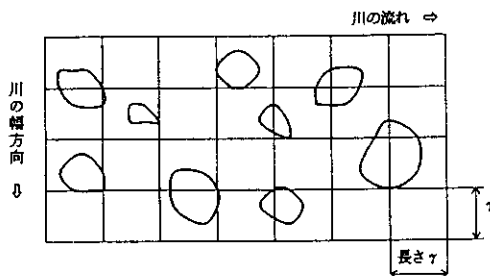


図-2 格子メッシュ
(ボックスカウンティング法)

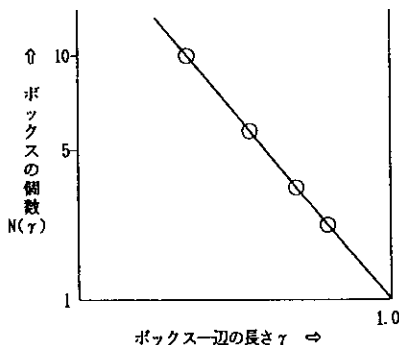


図-3 フラクタル次元

3. 設計のニーズ

フラクタル手法による景観設計の実用化にあたり、フラクタル手法で景観設計の支援が可能と考えられる河川構造物をあげると表-1のとおりである。

表-1 フラクタルの適用可能な河川構造物

水際線に関するもの	河床の石に関するもの	川岸の樹木に関するもの
護床工 根固め工 低水路法線 ワンド 護岸工	落差工 植石工 石積工 石張工 捨石工	植栽工 柳枝工

フラクタル手法による景観設計では、予め表-1に示す構造物の基本的な数量や形状などを把握し、河床の石、河岸の樹木や水際線などの解析結果を適宜組み合わせ、景観設計を行う。

4. フラクタル手法による景観設計のフロー

フラクタル手法を用いて景観設計の支援を行う場合の考え方と設計支援のフローについて述べる。

(1) 設計支援の考え方

より自然的な景観設計に取り組むにあたっての設計理念は、「多様な自然の保全・再生」や「良好な河川景観の保全・創出」により安全で快適な生活空間を創出することにある。このような設計理念に基づいた景観設計の問題点としては、

- ① 現状の設計は設計者の主観的な判断によるところが多いこと。
 - ② 経済性や安全性が基本であるため設計理念と相反する場合があること。
- があげられる。

①項については、フラクタル手法を用いて客観的な設計が可能となるが、②項については、フラクタル手法による経済性(費用)等について今後明らかにする必要がある。フラクタル手

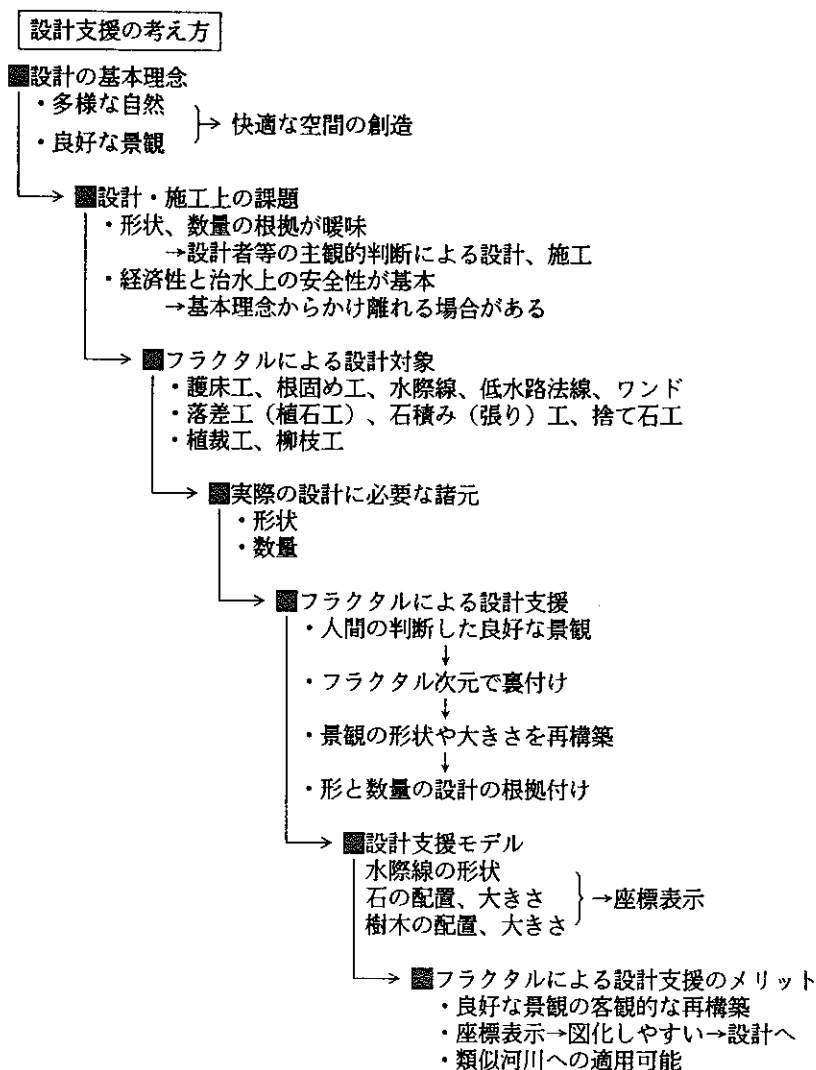


図-4 設計支援の考え方

法を適用する目的は、上記①項の解決と現状の景観設計における設計業務を支援することであり、図-4に設計支援の考え方を示す。

(2) 景観設計支援の流れ

設計支援の主なフローを示すと、図-5のとおりである。

計画する工種に対し、対象とする河川の形状や植生状況などを空中写真（1:7000程度）により調査する。次に現地の河川景観で自然の美観が形成されている区域について低高度の空中写

真撮影（ラジコン、カイト等による）を行い、河床の石、河岸の樹木、あるいは水際線などのフラクタル解析を行う。これらの結果は、それぞれを単独で用いたり、（河床の石+水際線）、（河岸の樹木+水際線）、あるいは（河岸の樹木+河床の石+水際線）というように組み合わせ、設計を行うことができる。

(3) フラクタル解析

フラクタル解析について、概要を述べると次のとおりである。

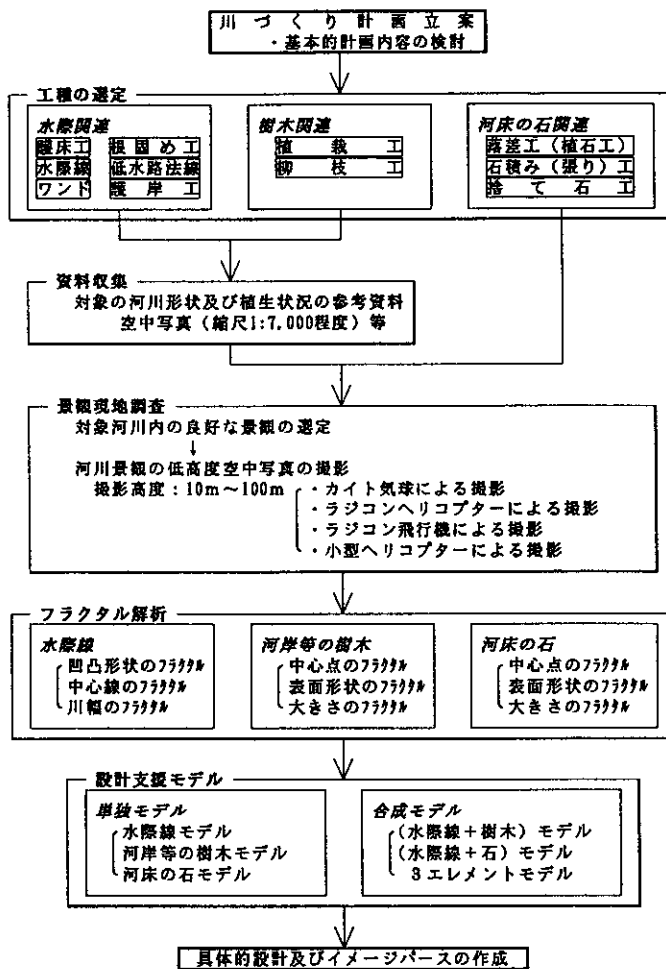


図-5 設計支援のフロー

① 平面座標の作成

景観の現地調査で、低高度空中写真や資料収集によって得られた空中写真から景観設計を行う対象物の平面座標を作成する。

◇ 水際線

右岸、左岸の平面座標

◇ 河岸等の樹木(ここでは柳止工)

樹幹の位置、樹冠幅(樹木の広がり方を円形近似したときの直径)の位置座標

◇ 河床の石

石を円形近似したときの中心点の位置座標と石径(石を円に近似したときの直径)

② 水際線のフラクタル解析

◇ 設計支援モデルの基礎データとして、川の中心線の長さデータと川幅データを平面座標より求め、これらの分布から中心線のフラクタル次元および川幅のフラクタル次元を求める。

◇ 景観設計対象地域の自然の度合いを検討する場合、ディバイダー法で凹凸形状の容量次元を求め、両対数グラフ上の相関性からフラクタル性を検討して判断する。

③ 河岸の樹木の場合のフラクタル解析

◇ 設計支援モデルの基礎データとして、樹木

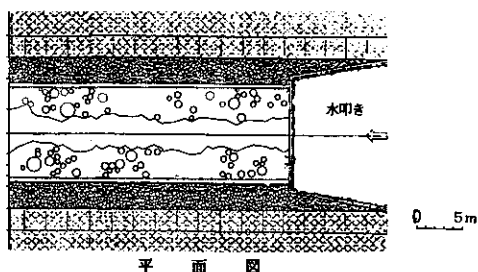
の樹幹位置、樹冠幅を平面座標より求め、これらの分布より樹木の樹幹位置の容量次元（樹木の中心点の配列の容量次元）と樹冠幅のフラクタル次元（樹木の大きさのフラクタル次元）を求める。

◇ 景観設計対象地域の自然の度合いを検討する場合、樹木の樹幹位置、樹冠の広がりも含めた樹木の位置、樹冠幅を求め、両対数グラフ上の相関性からフラクタル性を検討し、判断する。

④ 河床の石の場合のフラクタル解析

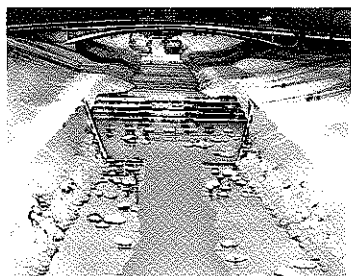
◇ 景観支援モデルの基礎データとしては、石の中心点の位置および石の径を平面座標より求め、これらの分布等から石の中心点の配列の容量次元と石の大きさのフラクタル次元を求める。

◇ 景観設計対象地域の自然の度合いを検討する場合、石の中心点の位置、石の広がりも含めた位置、石の半径を求め、両対数グラフ上の相関性からフラクタル性を検討し、判断する。



平面図

↓作成



イメージパース図

図-6 落差工の河床の石と水際線の配置

5. フラクタルによる河川景観の設計例

フラクタルによる河川景観の設計例として実際の落差工と護岸をとりあげると、落差工については河床の石と水際線をフラクタルで配置し、護岸については水際線と柳枝工をフラクタルで配置した。それぞれの設計例に用いたフラクタル次元は次のとおりである。

水 際 線：中心線のフラクタル次元

川幅のフラクタル次元

柳 枝 工：樹木の中心点の配列の容量次元

樹木の大きさのフラクタル次元

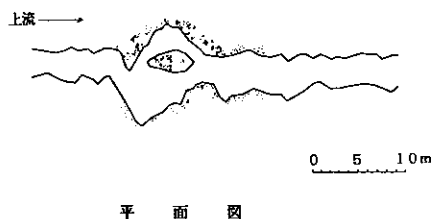
河床の石：石の中心点の配列の容量次元

石の大きさのフラクタル次元

設計にあたっての留意点は、次のとおりである。

① 設計支援モデルは、中心線のフラクタル次元で河道形状を設定し、川幅のフラクタル次元で水際線の凹凸をつける。ただし河道形状については、蛇行し易くするか直線的にするかは設計者が任意に判断する。

② 樹木の設計支援モデルの場合は、樹木の中



平面図

↓作成



イメージパース図

図-7 護岸の水際線と柳枝工の配置

中心点の配列の容量次元により樹幹の平面配置を設定し、樹木の大きさのフラクタル次元より樹冠幅を設定する。

- ③ 河床の石の設計支援モデルの場合は、石の中心点の配列の容量次元より、石の平面配置を設定し、石の大きさのフラクタル次元より石径を設定する。
- ④ 各景観対象を合成するモデルを作成する場合は、大きさなどのバランスに配慮して合成する。



実際の落差工

6. 平面図およびパース図の作成

河川景観の設計例では、落差工はフラクタル解析により求めた河床の石と水際線を組み合わせた平面配置図から、護岸は水際線と柳枝工を組み合わせた平面配置図からイメージ図が作成される。図-6および図-7に平面配置図からイメージ図を作成する過程を示す（ただし、現時点ではイメージ図は写真等を参考に人の手で描いた）。

図-8は実際の落差工とこれにフラクタルで河床の石と水際線を設計した図であり、図-9は実際の護岸とこれに水際線と柳枝工を設計した図である。



フラクタルにより河床の石と水際線を配置した落差工

図-8 落差工の例



実際の護岸



フラクタルにより水際線と柳枝工を配置した護岸

図-9 護岸の例

7. おわりに

平成6年度は、落差工や護岸工にフラクタルを適用し、イメージ図の作成を行って実用化に対して実証確認を行った。図-8、図-9に示すように実際の実施例とフラクタル手法による景観を比較してみると、自然の要素を考慮しただけで景観のイメージはかなり柔らかなものとなった。

この景観は、必ずしも人それぞれにより善し悪しの判定は異なると思うが、自然そのものの美観を取り入れ、かつ生態系にも無理のない設計手法という意味でそれなりの評価は得られると思われる。

将来的には、イメージ図の作成までCG等によるシステム化を行い、リアルタイムで設計のニーズに応えることが可能な手法として確立し、あわせてマニュアル化を図ってゆくことが課題である。

なお、本手法のプログラムソフトは、PC9800シリーズのパソコン、プリンターによる仕様である。

注) *1

ある集合図形においてある方向からみた場合、自己相似であるが、別な方向からみた場合自己相似でない集合図形を言う。

注) *2

機械的に動作する素子が規則正しく並んだものの。

注) *3

格子で点の解析を行う場合をボックスカウンティング法といい、曲線などの次元を図る方法をディバイダー法と言い、主に両方法を使用する。フラクタル解析についての詳細は、リバーフロント研究所報告第5号の「多自然型川づくりにおけるフラクタル手法の応用に関する検討」を参照されたい。