

曲げを受けるコンクリートはりに生じたひずみ分布のマルチフラクタル性

岐阜大学 工学部 市川 博

岐阜大学 工学部 ○栗原哲彦 内田裕市 六郷恵哲

1. はじめに

マンデルブロ博士により提案されたフラクタル理論は、様々な分野においてその有用性が研究されている。フラクタル理論は複雑さを定量化する方法として注目を集めており、コンクリート工学の分野においてもひびわれ評価等への適用が検討されている。本研究においては、曲げを受けるコンクリートはりの引張縁に生じたひずみ分布をフラクタル理論の観点から検討したものである。

2. マルチフラクタル

フラクタル (Fractal) とは自己相似な図形の総称である。これを自然界に適用する場合、ある構造の全体と部分との複雑さが同じであるという考え方を基本にしている。この考え方を「ある構造全体は、複雑さの度合いが異なる構造が絡まり合って形成されている」と発展させた場合（つまり、観測スケールの変化にともない次元が変化することを意味している）、このような構造をマルチフラクタル (Multifractal) と呼ぶ[1]。

3. 実験概要

筆者らが文献[2]において報告した無筋コンクリートはりの実験のうち供試体寸法 $20 \times 20 \times 80 \text{cm}$ （スパン 60cm ）のものを取り上げる。3 等分点曲げ載荷試験を実施し、モーメントスパン内のひずみ分布の計測を連続して貼付したひずみゲージ（検長：3、10、30mm）により行った。最大荷重時のひずみ分布を図-1に示す。

4. マルチフラクタルによるシミュレーション

図-1 よりひずみが局所的に大きくなる箇所およびその箇所でのひずみ値は、ゲージ長が小さくなるにつれて増加した。ゲージ長の変化が観測スケールの変化に相当すると考えた場合、ひずみ分布の形状はマルチフラクタル性を有している可能性があると考えられる。文献[3]においてマルチフラクタルの一例が示されている。そこで、この例を参考にして図-2に示すような簡易シミュレーションを行った。以下にその手順を示す。

手順1：Step1において、スパン全域でひずみ ($200 \mu : P=1.0$ とする) が一定であるとする。

手順2：Step2において、スパンを3等分し、それぞれのサブスパンについて図-2(b)に示す割合

($P_1 : P_2 : P_3 = 0.24 : 0.50 : 0.26$) でひずみを分布させる。

手順3：Step3以降では、3等分したそれぞれのサブスパンについて手順2と同様の操作をする。

ひずみ分配の割合は、何回かの試行により決定した。これよりシミュレーション結果のひずみ分布の形状（図-2）は実験結果（図-1）と似通った形状のものが得られ、実測のひずみ分布の形状は、フラクタル性を有している可能性があると考えられる。

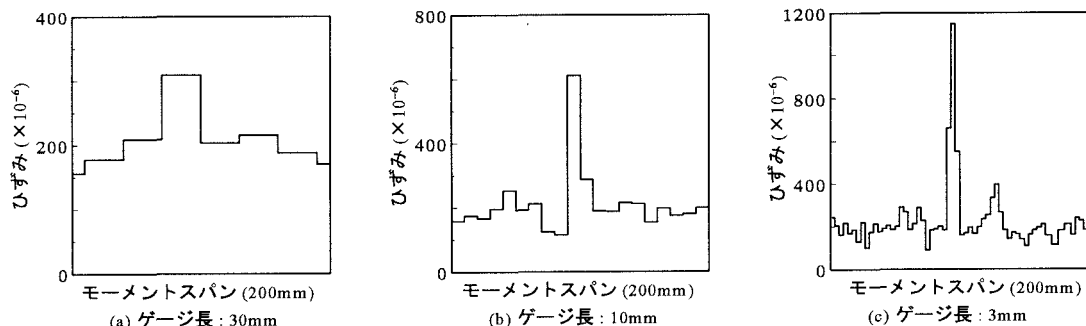


図-1 最大荷重時における無筋コンクリートはりの引張縁のひずみ分布

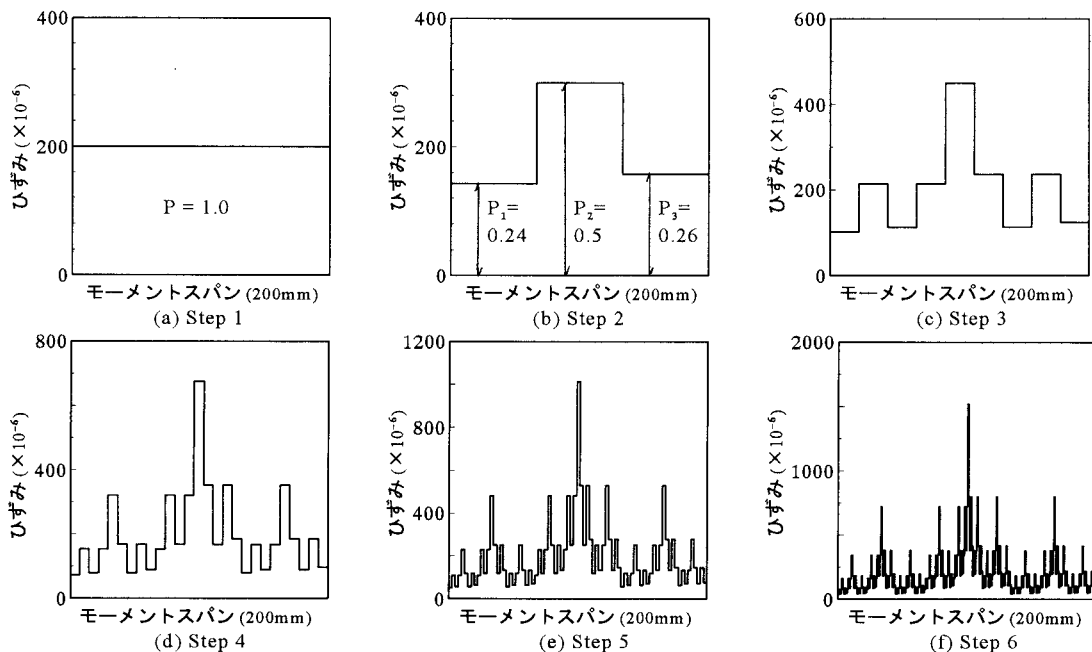


図-2 ひずみ分布のシミュレーション結果

5. ボックスカウンティング法によるフラクタル次元

図-1および図-2のひずみ分布の形状のフラクタル次元をボックスカウンティング法 (Box Counting Method) により算出した。この場合、図-1～2の両軸とも無次元化している (縦軸: 最大ひずみで除す、横軸: スパンで除す)。表-1にフラクタル次元を、図-3にフラクタル次元と無次元化した水平部の長さ (図-1～2の棚部) の関係を示す。これより Stepが進むにつれフラクタル次元が大きくなっているのがわかる。また、実験結果においてもゲージ長つまり観測スケールの変化にともない次元が変化している。図-3に示すようにシミュレーション結果(●)と実験結果(○)はほぼ似通った箇所にプロットされた。このことからシミュレーション結果が実際の現象に近いことがわかる。

6. まとめ

曲げを受けるコンクリートはりの引張縁に生じたひずみ分布をフラクタル理論の観点から検討した。シミュレーションを行った結果、引張縁に生じるひずみ分布の形状はフラクタル性を有している可能性があることを示した。さらに、このことはコンクリートに発生するひびわれ性状を理解するのに役立つと考えられる。

【参考文献】

- [1] 品川嘉也、瀬野裕美；医学・生物学とフラクタル解析、東京書籍、1992。
- [2] 栗原哲彦、安藤貴宏、内田裕市、六郷恵哲；曲げを受けるコンクリートはりの複数ひびわれ、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.16、No.2、pp.27-32、1994。
- [3] T.Vecsek 著、宮島佐介訳；フラクタル成長現象、朝倉書店、1990。

表-1 フラクタル次元

ゲージ長	フラクタル次元	Step	フラクタル次元
30 mm	1.142	1	1.000
10	1.182	2	1.098
3	1.321	3	1.168
		4	1.325
		5	1.480
		6	1.544

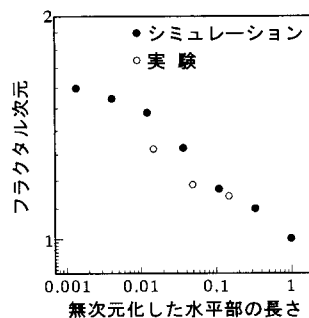


図-3 フラクタル次元の変化