

## 斜面の安定性評価におけるフラクタル理論の適用の試み

長崎大学工学部 正会員 後藤恵之輔

長崎大学大学院 学生員○渡邊 浩平

長崎大学大学院 後藤 健介

### 1. はじめに

長崎市に代表される斜面都市では、平坦な土地が少ないため、斜面地に住宅を建てざるを得ない。さらに、勾配の急な急傾斜地への急激な住宅建設が行われてきた。このような住宅建設などの斜面地への開発では、多くの斜面で斜面の安定性が開発前後で変化してくるため、斜面地開発時の斜面安定の検討は重要なことである。著者らは、斜面地の安定性評価へのフラクタル理論の適用を考え、斜面地の開発前後でのフラクタル次元の算出を行った。さらに、開発前後でのフラクタル次元の変化から斜面地の安定性に関して、また既存の安定解析から求めた安全率と開発前後のフラクタル次元との関係についても検討を行った。

### 2. 研究方法

本研究では、解析斜面の開発前後でのフラクタル次元と安全率の比較・検討を行い、新たな斜面安定性評価の方法の提案を行うことを目的としている。フラクタル次元を測定する方法として、ボックスカウンティング法を用いた。この測定方法は、ある境界線で表された図形を一边  $d$  の正方形  $N(d)$  個で覆った場合、ある定数  $k$  において  $d$  と  $N(d)$  を測定すると、両者の間には下記の比例関係が成り立つ。

$$N(d) = \mu d^{-k} \quad (\mu, -k \text{ は定数})$$

このとき、この式の自然対数をとれば、

$$\log N(d) = -k \log d + \log \mu$$

となり、 $\log N(d)$  と  $\log d$  の関係は直線の式を意味している<sup>1)</sup>。したがって、一辺の長さ  $d$  とその正方形の個数  $N(d)$  を測定し、 $\log N(d)$  と  $\log d$  の間に傾き  $-k$  の直線の関係があれば、 $k$  をフラクタル次元とするという測定方法である。この方法は、対象物（又は対象地）を正方形に細分すれば、その個数をコンピュータで計算することにより、容易にフラクタル次元の測定ができる利点を持つ。

### 3. フラクタル次元による斜面安定性解析

斜面解析では、団地開発時の地形図より対象斜面の断面図をプロットし、ボックスカウンティング法を用いてフラクタル次元の算出を行った（表-1 参照）。表-1 の次元比の結果を、0.980～0.989 を分類A、0.990～0.999 を分類Bと分類する。また、開発前後のフラクタル次元から求めたフラクタル次元比についても同表に示す。次元比は、2つの集まりに分かれた。フラクタル次元比の値が小さいということは、前後のフラクタル次元値に差があることを示す。しかし、開発後の斜面で理論的（フラクタル次元：線=1、面=2）に、フラクタル次元が 1.000 以下になることはないため、フラクタル次元が 1.000 以上必要である。このことより、開発前の次元値は、開発後より大きな値を示す必要がある。

しかし、面を覆うような曲線は描かないため、開発前でも次元が開発後に比べて極端に大きくはなら

表-1 斜面前後のフラクタル次元と次元比

| 断面  | フラクタル次元 |       | 相関係数   | フラクタル次元比 |
|-----|---------|-------|--------|----------|
|     | 開発前     | 開発後   |        |          |
| 断面① | 1.017   | 1.000 | -1.000 | 0.983    |
| 断面② | 1.018   | 1.006 | -1.000 | 0.988    |
| 断面③ | 1.018   | 1.002 | -1.000 | 0.984    |
| 断面④ | 1.018   | 1.006 | -1.000 | 0.988    |
| 断面⑤ | 1.006   | 1.000 | -1.000 | 0.994    |
| 断面⑥ | 1.009   | 1.002 | -1.000 | 0.993    |
| 断面⑦ | 1.007   | 1.001 | -1.000 | 0.994    |
| 断面⑧ | 1.014   | 1.007 | -1.000 | 0.993    |
| 断面⑨ | 1.011   | 1.002 | -1.000 | 0.991    |
| 断面⑩ | 1.013   | 1.004 | -1.000 | 0.991    |
| 断面⑪ | 1.015   | 1.006 | -1.000 | 0.991    |
| 断面⑫ | 1.019   | 1.010 | -1.000 | 0.991    |

ない。これらの理由より、分類Aでは、開発前の斜面の形状が、分類Bよりも凹凸が大きかったためであると考えられる。一方、分類Bでは、開発前後の斜面の形状に大きな差が生じなかったためであると考えられる。

4. 既存の安全率とフラクタル次元の関係

各斜面の開発前後のフラクタル次元から求めた次元比と安全率の比較検討を行なった（表-2、図-1 参照）。安全率の計算には、一般的な簡便法（円弧すべり）を用いた。実際の地盤条件は、各斜面ごとに異なるが、同一斜面でフラクタル次元を用いて解析を行い、開発前後の間の関係について考察を行うため、同一に固定して計算を行った。

表-2 各斜面の安全率

| 断面  | 次元比   | 安全率:Fs |               |
|-----|-------|--------|---------------|
|     |       | 開発前    | 開発後(前を1とした場合) |
| 断面① | 0.983 | 0.918  | 1.092         |
| 断面② | 0.988 | 0.656  | 1.527         |
| 断面③ | 0.984 | 0.840  | 1.193         |
| 断面④ | 0.988 | 0.751  | 1.334         |
| 断面⑤ | 0.994 | 0.897  | 1.116         |
| 断面⑥ | 0.993 | 0.919  | 1.088         |
| 断面⑦ | 0.994 | 0.756  | 1.325         |
| 断面⑧ | 0.993 | 0.596  | 1.681         |
| 断面⑨ | 0.991 | 0.672  | 1.490         |
| 断面⑩ | 0.991 | 0.562  | 1.781         |
| 断面⑪ | 0.991 | 0.916  | 1.093         |
| 断面⑫ | 0.991 | 0.971  | 1.031         |

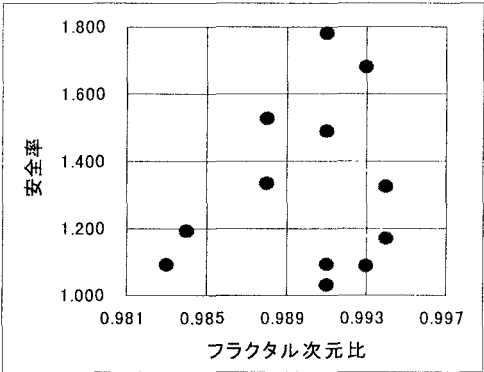


図-1 フラクタル次元比と安全率の関係  
(安全率：開発前を1とした場合)

図-1 より、次元比と安全率の関係は、次元比が大きくなるに従い、安全率も高くなるという傾向が現われた。しかし、フラクタル次元比が同一であっても、安全率が異なっていたり、フラクタル次元比の値が小さい値の場合でも大きい値より安全率が高くなる結果も出ている。これは、安全率やフラクタル次元の算出方法の過程で生じたものである。また、図上のプロット点を見ても分かるとおり、1つの集合になっていない。しかし、図上の2つの集合での次元比の値は、右肩上がりになっており、必ずしもフラクタル次元比と安全率の間に相関がないとは言えない。

本研究の最終的な目標は、フラクタル次元の値を用いて、斜面の安定性評価を行う時の定数を決定することにあるため、今回の結果及び今後の結果を踏まえた上で、定数の決定が今後の本研究の課題である。

5. おわりに

今回の測定は、実際に斜面地開発が行われた斜面安定解析を、開発前後でのフラクタル次元の算出及び既存の安定計算から求めた安全率により行った。フラクタル次元では、開発前後の斜面で、どの斜面でもある一定の値が求まった。また、フラクタル次元比と既存の安全率の関係については、傾向として次元比が大きくなるにつれて、安全率は高くなる結果となった。今後は、データの蓄積を行うことにより、両者の関係をさらに明らかにし、フラクタル理論による斜面の新たな安定性評価法として信頼性を持たせるため、フラクタル次元の算出方法や安全率との関係について検討を行っていくつもりである。

参考文献

1) 後藤 恵之輔, 川内 透, 内田 篤志, 前間 英一郎：衛星リモートセンシングを用いた河川線形と海岸線形のフラクタル性評価, 土木構造・材料論文集, 第 13 号, pp. 141～148, 1997. 12.