

岩盤形状のカオス性評価に関する研究

米子市役所　○森脇　寛
鳥取大学工学部 正会員 藤村　尚

1. はじめに

岩盤工学の数値解析において重要なパラメーターの一つである岩盤形状について正確に把握されていないのが現状であり、またその岩盤形状の計測は必要不可欠であるはずだが、あらゆる制約のために十分なデータを得るのが困難な状況にある。

そこで本研究ではカオス理論を用いて岩盤形状がカオス性を有するか否かを評価する手法の検討を行った。もしカオス性を有するという事になれば、決定論的な規則が存在することになり、局所的ファジー再構成法などの手法を用いて岩盤形状の変動を想定し、予測することができるものとする。

2. 使用データ

使用するデータは実測データのデータ 1,2、と JRC 値 18~20 のデータを使用した。データ 1・2 については線形補間した表 1 のようなデータを用いる。さらに、全てのデータに対して手前 20 個のデータの移動平均を行って約 2000 のデータ数とした。

表-1 使用データ点数

	データ 1	データ 2	JRC データ
計測点数	347	334	
線形補間後	1969	1956	2001
移動平均後	1950	1937	1982

3. カオス解析

3. 1 アトラクターの再構成

カオス解析には時系列データが用いられるので岩盤データの距離を時間に見立ててデータ処理を行う。アトラクター作成の手順としては、

- ① 時系列データ $\{X(0), X(1), \dots, X(n)\}$ を用意する。
- ② 遅れ時間 τ を決定する。
- ③ $i=0$ として、点 $\{X(0), X(\tau), \dots, X((m-1)\tau)\}$ をつくる (m は埋め込み次元)。
- ④ i を増やしていき、点 $\{X(i), X(i+\tau), \dots, X(i+(m-1)\tau)\}$ と 1 ステップ前の点を線で繋ぐ。
- ⑤ i が $(n-2\tau)$ となるまで④の操作を繰り返す。以上の操作から解析例図 - 1 に示すようなアトラクターを再構成する。

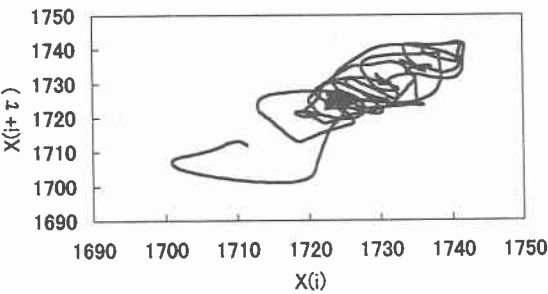


図-1 アトラクター(データ 1)[$m=2, \tau=30$]

3. 2 遅れ時間の決定

遅れ時間の決定法には①自己相関係数が最初に 0 になる時間、もしくは最初に極小値をとる時間②平均周期の数分の一が提案されている。自己相関係数から求めた遅れ時間を用いて低次元でアトラクターを構成したところ、まとまったアトラクターが描かれなかったため遅れ時間は平均周期の数分の一を採用した。データ 1・2 については遅れ時間を 30・40・50 とし、JRC データについては 40・50・60 として解析を行った。

3. 3 相関次元

相関次元とはフラクタル次元の一種であり、アトラクターが自己相似性を有するか評価する指標となる。カオスは自己相似構造を有するから、相関次元が非整数値ならばカオス性を有することとなる。今回は G-P 法を用いて解析を行った。データ 1 の解析結果を図 - 2 および 3 に示す。図 - 3 から、相関指数 (d) は埋め込み次元を増加させるにつれて収束傾向が見られるが、はっきりとした収束点が見られない。これは他のデータについても同様である。G-P 法の問題点として、相関積分の直線部分の客観的決定法がないことや実際測定データの総数が有限であるため、推定可能な相関次元が制限されてしまう。ということが挙げられる。

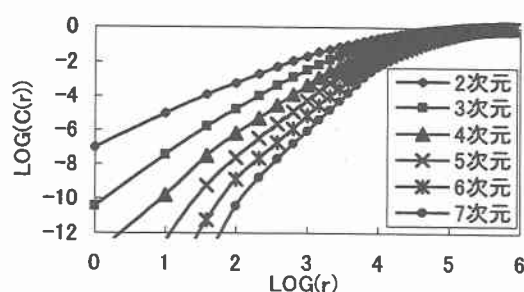


図-2 相関積分(データ 1)

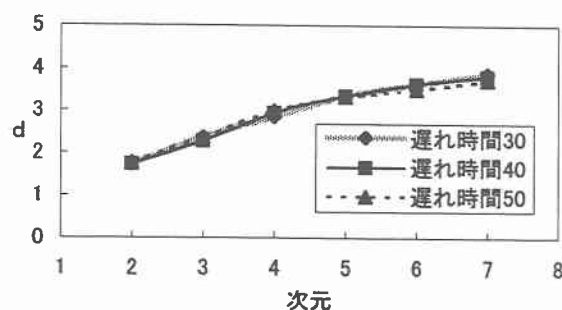


図-3 相関指数の変化(データ 1)

3.4 最大リアプノフ指数

最大リアプノフ指数が正の値を示すとき、カオスの特徴である初期値鋭敏性を有することとなる。図-4に示した解析結果では、すべてのデータにおいて最大リアプノフ指数が正の値を示したことより、カオス性を有するといえる。

3.5 時間発展方向の分散

時系列の決定論的側面は、埋め込み空間で再構成された軌道の滑らかさを尺度として測ることができる。アトラクターを局所的に見ると、軌道群は一定の方向に揃っているということがいえるため、それを時間発展方向の分散(E)で評価しようというものである。宮野によると、このEの値が0.5以下のとき時系列は決定論的法則に従っているものとみなすとしている。

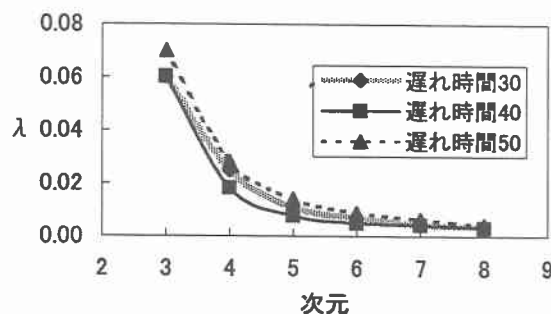


図-4 最大リアプノフ指数(データ 1)

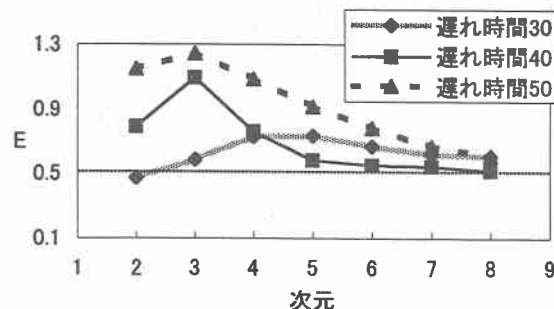


図-5 Eの変化(データ 1)

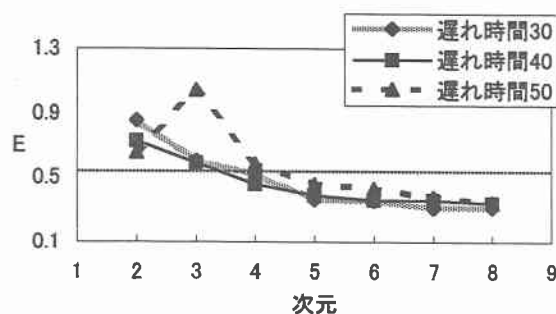


図-6 Eの変化(データ 2)

この結果から、データ1については8次元までにEが0.5を下回らず、データ2・JRCデータについては低次元のうちから下回る結果となった。

4. まとめ

以上の解析結果から、①相関次元を求める際の問題点はあったものの、ある程度の収束をみせた。②最大リアプノフ指数はすべてのデータに対して正の値を示した。③Eの値は、データ1については基準を満たさなかったが次元を上げるにつれ軌道はまとまり始め、データ2・JRCデータについては基準を満たした。

この結果から、岩盤形状には「決定論的法則」が存在するものと思われる。

参考文献 合原 一幸 (1994): カオスセミナー, 海文堂出版

宮野 尚哉 (1998): カオスと時系列解析(数理科学 1998年2月号), サイエンス社