

I-25

弾塑性材の構成則におけるカオスのストレンジ・アトラクタについて

中部電力 正会員 ○熊崎幾太郎
 関西大学 正会員 古田 均
 中部電力 正会員 尾関 正典

京都大学 正会員 渡邊 英一
 中部電力 正会員 奥田 宏明

1. はじめに

ある材料の構成則を調べるために数多くの実験を行い、その結果得られたデータをデータベース化することにより、その材料がいかなる挙動をするか把握することができるようになる。また、数多くの実験の結果から蓄積されたデータを用いて外挿あるいは内挿を行うことにより、まだ行われていない実験条件下での結果をかなり良い精度で予測することも可能である。

しかし、このような方法では、その材料がいかに挙動するかを知ることではできるが、なぜそのような挙動をするかは不明である。この不明な点を適切に説明するために、従来から様々な手法により、材料とその構成則との因果法則の理論的表現が試みられてきた。

一般に、同一の実験実施者が、同一の実験装置・実験条件・実験法を用いたとしても、結果として得られる構成則は定性的には類似していても、異なったものが現われ、正確に一つの確定的な構成則を予測することは極めて困難である。このような予測困難な構成則でも、それは条件が錯綜しているか、またははっきりしないからであって、条件さえ余すことなく拾い上げれば予測可能となるであろうか。

本研究では、このような予測困難性がカオスに起因しているかどうかを調べるため、筆者が実施した繰返し変形試験のデータを解析し、構成則におけるカオスのストレンジ・アトラクタについて考察を行った。

2. 瞬間変形係数

本研究では材料の物性値として次式で表される瞬間変形係数 E_M （Momentary Modulus of Deformation）を定義する。

$$E_M = \frac{\sigma_{n+1} - \sigma_n}{\epsilon_{n+1} - \epsilon_n}$$

ここで、 σ_n は実験開始時から n 個目の応力値、 ϵ_n はそれに対応する n 個目のひずみの値をそれぞれ表す。なお、上式は、载荷から除荷あるいは伸張から载荷へ移行する瞬間以外の過程で定義する。

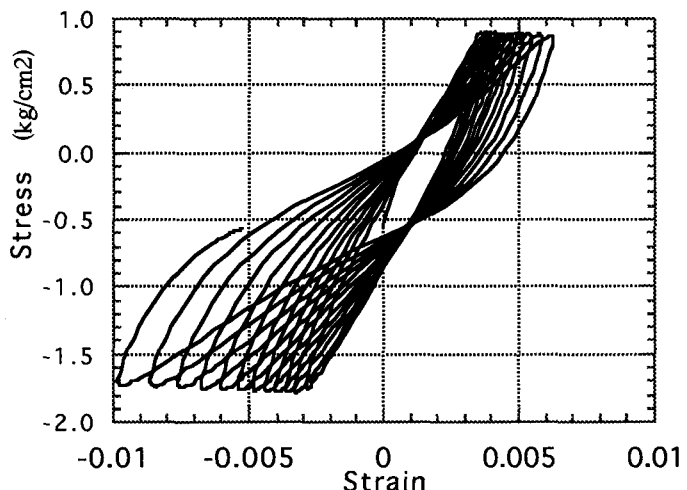


図1 応力-ひずみ曲線

3. 構成則に内在するストレンジ・アトラクタ

図1は特殊軟弱土の繰返し変形試験の結果である。この実験データから求められる瞬間変形係数を時系列でプロットすることにより図2が得られる。部分的に周期性も見受けられるが、乱れもあり、実験においては不可避な雑音が混入していると考えられる。この時系列から時間をずらした2つの瞬間変形係数からなる対を2次元面にプロットしたのが図3であり、ここにはカオスのストレンジ・アトラクタらしきものが現われている。

4. 今後の展開

仮に材料の物性に関するすべての情報を余すことなく拾い上げれば常に正確な構成則を予測することができであろうか。構成則に関する物理的な変数は互いに関係しているから、その中の一つの変数の値に、理論的にはすべての情報が含まれているはずである。ところがそのうちの一つの変数の時間変化しか観測していない場合、残りの変数の時間変化を正確に推定することは極めて困難である。しかし、構成則に内在するアトラクタの形は、他の変数の変動が未知であっても、一つの変数についての情報から抽出できる。本研究では瞬間変形係数という物性値を定義し、その変動を表す時系列データのみを用い、その中の時間をずらした値を組み合わせること

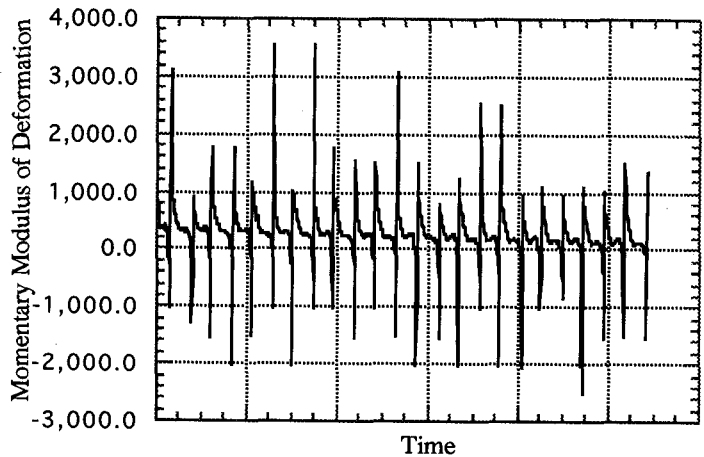


図2 瞬間変形係数

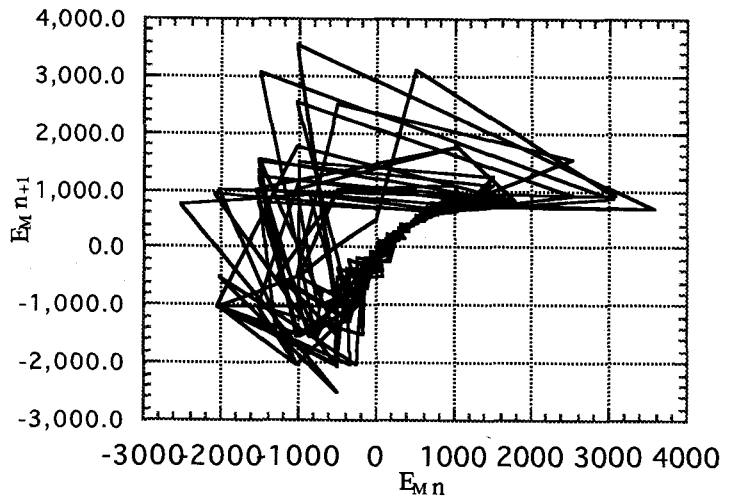


図3 ストレンジ・アトラクタ

により、アトラクタを抽出した。今後は、このアトラクタにおける周期成分以外の成分が決定論的なカオスであるか確率論的なノイズであるかについて検討し、このアトラクタが確かにカオスのストレンジ・アトラクタであるかどうかの検証を行う。また、構成則に内在するストレンジ・アトラクタがフラクタル構造をしているかどうかを検証し、今回の手順とは逆にストレンジ・アトラクタをモデル化して与え、材料の構成則の推定・予測に応用する。