

## 2 質点系せん断モデルに弾塑性復元力特性を 組み込んだ系で観測されるカオスの性質

山田 猛矢<sup>1</sup>, 福永 知哉<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 第一工業大学 工学部 情報電子システム工学科 (〒 899-4395 鹿児島県霧島市国分中央 1-10-2)  
E-mail: t-yamada@daiichi-koudai.ac.jp

<sup>2</sup> 第一工業大学 共通教育センター (〒 899-4395 鹿児島県霧島市国分中央 1-10-2)  
E-mail: t-fukunaga@daiichi-koudai.ac.jp

## Chaotic Properties Observed in 2-Mass Shear System Incorporating Elasto-Plastic Force-Displacement Relation

Takeshi YAMADA<sup>1</sup>, Tomoya FUKUNAGA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Informatics and Electronics, Daiichi Institute of Technology

<sup>2</sup>Common Education Center, Daiichi Institute of Technology

**Abstract** : This paper describes the chaotic properties observed in the 2-mass shear system incorporating elasto-plastic force-displacement relation. If a small amount is added to the acceleration at a certain time in the system, the value of variation of the subsequent acceleration may differ significantly. The orbital expansion rate of the system was calculated, and it was found that the orbital expansion rate was distributed with four delta peaks. We find that the orbital expansion rate of one of the delta peaks is positive, which allows us to observe chaotic properties. Furthermore, when the term of damping in this system is set to 0, the distribution of the orbital expansion rate becomes a distribution with one peak in the positive value, indicating that the term of damping has the effect of suppressing the appearance of chaotic properties.

**Keywords** : *chaotic properties, 2-mass shear system, elasto-plastic force-displacement relation, time history response analysis*

### 1. はじめに

建物の地震応答解析によく利用されるモデルに 2 質点系せん断モデルがある。各層の質量を質点に集中させ、層せん断力はその層の変形だけにしか効かないとすることで、層の剛性を 1 つの独立なバネで表し、各質点を直列につないだ図 1 のようなモデルである。図 1 を見ると、縦振動を連想してしまうかもしれないが、せん断モデルなので質点は水平方向に振動する。その

ため、実際の建物の振動との関係だけを考えるならば図 2 の方がイメージしやすいかもしれない。このモデルについての運動方程式を立て、外力として地震動を入れることで質点の運動が決まり、それにより建物の各層の振動状態を知ることができる。

このモデルは、地震動が小さい場合は各層の振動状態をよく表すが、地震動が大きくなると、実際の建物の振動状態とのずれが大きくなる。地震動が大きいと









ときを切り出した図であるが、全く違う変動をしている様子が見てわかる。

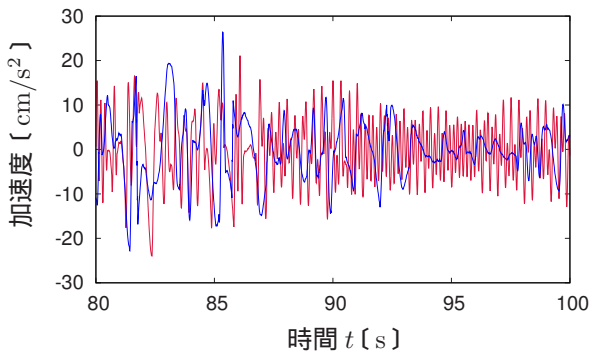


図 16: 減衰定数  $h = 0$  での加速度  $a$  の変動 ( $t = 80.0 \sim 100.0$ )

## 6. 考察

### カオスの性質の出現について

2 質点系せん断モデルにおいて、剛性に弾塑性復元力特性を組み込まなかった場合、カオスの性質が現れなかったことから (図 10, 11, 12 参照), カオスの性質が現れるのは剛性に弾塑性復元力特性を組み込んだときであることがわかった。また、図 13, 14 より減衰の項がカオスの性質の出現を抑える効果があることがわかった。このことから、図 7 において、 $t = 40.0$ s のときに微小量  $\Delta a$  を加えても、相対的に加速度  $a$  [cm/s<sup>2</sup>] の値の小さい P 波部分では、建物の変形がないため (弾塑性復元力特性を組み込んだ系でも変位が小さいため初期剛性のみ運動となる) カオスの性質は現れない。その後、加速度  $a$  [cm/s<sup>2</sup>] の値が相対的に大きくなる S 波部分になると、弾塑性復元力特性の効果により、カオスの性質が出現する。図 8 において、 $t = 40.0$ s で加えられた微小量  $\Delta a$  [cm/s<sup>2</sup>] は、1 秒程度経つと無くなったように見えるが、実は非常に小さい値として残っており、その小さな値が S 波部分でカオスの性質により大きな値となって現れることで、図 9 のような全く違う変動が観測される。

このカオスの性質は実際の建物にも含まれる性質であると考えられ、条件によってはカオスの性質が現れると考えられる。実際の建物においてカオスの性質が現れる条件は何か、どのような影響を及ぼすかを明確にすることで、耐震、制振、免振の技術向上に役立つと考えられる。

### 軌道拡大率の分布について

図 13 を見ると、軌道拡大率  $\Lambda$  のデルタピークが 4 つある。これは、与える微小量  $\Delta a$  [cm/s<sup>2</sup>] により  $\Lambda$  がどの値を取るかが決まることを表す。 $\Lambda > 0$  であれば

カオスの性質が観測されるが、それ以外ではカオスの性質は観測されない。与える微小量と  $\Lambda$  の関係を明確にすることは、カオスの性質の出現条件の解明につながる。また、減衰定数  $h = 0$  から  $h$  を増加させるとき、 $\Lambda$  の分布がどのように変化していくのか、2 つ目、3 つ目、4 つ目のデルタピークがどのように発生するのか、そのメカニズムを解明していく必要もある。

### カオスの性質が数値解析に及ぼす影響について

2 質点系せん断モデルに弾塑性復元力特性を組み込んだ運動方程式は、カオスの性質をもつために、数値解析を行う際は注意が必要である。系がカオスの性質をもつということは、十分小さな差が、その後の変動に大きな影響を与えるということである。実際、カオスの性質が出現しないような状況では、微小量  $\Delta a$  [cm/s<sup>2</sup>] の影響は無視できたが、そうでない状況では、加速度  $a$  [cm/s<sup>2</sup>] に微小量  $\Delta a$  [cm/s<sup>2</sup>] を加えると、その後の変動が大きく異なっていた。これは、数値積分を行う際、十分気をつけなければならないことである。例えば、どの数値積分アルゴリズムを採用するかにより、結果が大きく異なってくる。また、どの地震波を利用するかも解析結果が変わる。また、同じ地震で計測されたデータを利用する場合でも、計測器の性能の違いによる誤差で解析結果が大きく変わってしまう。数値解析を行う際は、系がもつカオスの性質を十分考慮しながら解析を行う必要がある。

## 7. まとめ

本論文は、2 質点系せん断モデルに弾塑性復元力特性を組み込んだ系で観測されるカオスの性質について記述した。2 質点系せん断モデルは、弾塑性復元力特性を組み込むことによりカオスの性質が観測されることがわかった。また、減衰の項がカオスの性質を抑える効果があることも明らかになった。

今後は、軌道拡大率  $\Lambda$  と与える微小量の関係、減衰定数  $h$  を変化させたときの  $\Lambda$  の分布の変化について研究を進めていく。

### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、貴重なデータを提供していただいた西日本工業大学 デザイン学部 建築学科 古田智基 博士、横浜国立大学 大学院都市イノベーション研究院 特別研究教員 中尾方人 博士に深く感謝する。

### 参考文献

- [1] 柴田明徳, “最新耐震構造解析 (第 3 版)”, 森北出版株式会社, 2014
- [2] 井上政義, 秦浩起, “カオス科学の基礎と展開 - 複雑系の理解に向けて -”, 共立出版株式会社, 1999