

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：32407

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23656167

研究課題名(和文) 2次元フラクタルツリーの非線形振動特性に関する研究

研究課題名(英文) Study on Nonlinear Vibration Characteristics of 2-Dimensional Fractal Trees

研究代表者

増本 憲泰 (MASUMOTO, Noriyasu)

日本工業大学・工学部・講師

研究者番号：80312081

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、フラクタル構造の動的性質に焦点を当て、具体例として2次元フラクタルツリーの非線形振動特性を研究対象とした。2次元フラクタルツリーの中でも2進木構造および3進木構造に対して、試験片の作製、振動試験および高速度カメラを用いた共振時の挙動計測、CAE解析、数式処理ソフトウェアおよび数値解析ソフトウェアを用いた数値シミュレーションを行った。

2進木構造では、動吸振器的な特徴を有する挙動が確認された。また、3進木構造に対しては、振動試験では現れるがCAE解析では現れない共振現象が見られ、ハイスピードカメラを用いて複雑な固有振動モードが明らかにされた。

研究成果の概要(英文)：In this study, nonlinear vibration characteristics of 2-dimensional fractal trees were discussed through vibration tests, measurement of the resonance phenomena, CAE analyses and numerical simulations using well-known software packages. Especially 3-dimensional CAD models and test pieces for the binary trees and the ternary trees were produced.

The binary trees showed the behaviors like dynamic vibration absorbers. The complicated resonance phenomena of the ternary trees occurred in vibration tests but not in CAE analyses. Then the natural modes were clarified by using a high speed camera.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学、機械力学・制御

キーワード：フラクタル 振動試験 CAE解析 非線形振動解析

1. 研究開始当初の背景

(1) 欒(けやき)等の街路樹は、台風等による強風に対しても幹が折れることは滅多にない。枝や葉の動きを見ていると、随所で強風による自励振動が発生しているような印象を受ける。さらに、枝や葉が動吸振器の役割を果たすことによって、幹が保護されているのではないかと推察されるような自然現象が日常的に観察されることに気付く。

(2) 樹木とフラクタルとの関連性は本研究の開始前より指摘されてきたが、Benoit B. Mandelbrot によって 1970 年代に導入されたフラクタルは、計算機の性能が飛躍的に進歩した時期とも重なり、多くの研究者によって物理的側面や数学的側面での性質が明らかにされてきた。したがって、理学的には既に成熟の域に達している分野だと言える。

(3) 一方、工学分野での応用例については、フラクタルの幾何学的性質(静的性質)を積極的に利用した研究例や成長現象に関する研究例はいくつか示されてきた。しかし、フラクタルを構造物として捉えその動的性質が議論された研究例は、少なくとも本研究の開始当初は国内・国外を問わず報告されていなかった。機械構造の非線形振動現象に関する研究を行ってきた申請者は、樹木の風による大変形を伴う振動現象に強い興味をもち、フラクタル的な構造として仮定できる樹木と、樹木の枝葉による自励振動および動吸振器に似た機能を結びつけたわけである。

(4) 自然界には、厳密な意味ではフラクタルであるとは言えなくとも、フラクタル的な構造は数多く指摘されてきた。例えば、海岸線や河川の流路、あるいは樹木の枝葉や動物の血管分岐などである。これらの例が Mandelbrot をしてフラクタルを産み出したわけであるが、これらの例から何らかの工学的利点が見出せるのではないかと以前から考えられてきた。本研究は、フラクタル関連の先行研究から展開された研究ではなく、自然現象からヒントを得て申請者自身によって始められた研究である。また、自然界に潜在する法則を発見しその応用例を示すための研究であり、挑戦的かつ萌芽的な研究である。

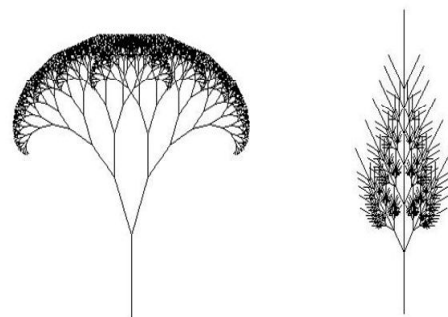
2. 研究の目的

(1) 本研究では、厳密にはフラクタル構造ではなくとも直感的にフラクタル構造と言ってもよさそうな構造、あるいは有限回の厳密な縮小写像により形成される不完全な構造をフラクタル的な構造と称することとした。さらに、街路樹等の樹木をフラクタル的な構造とみなし、その大変形を伴う非線形振動現象を詳しく分析することによって樹木の動吸振器としての特性を明らかにし、多重動吸振器の設計法を提示することを長期的な研究目的とした。

(2) また、樹木をモデル化した 2 次元フラクタルツリーの非線形振動特性を、振動試験、CAE 解析、非線形振動解析を通して 3 年以内に明らかにすることを短期的な研究目的とした。

3. 研究の方法

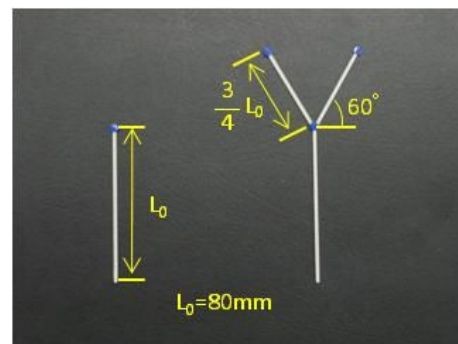
(1) 研究対象とする理想モデルとしては、図 1 に示すような 2 進木構造および 3 進木構造の 2 次元フラクタルツリーとした。実際には、枝に太さを与え、縮小写像の回数を数回までに抑えた試験片を作製し、試験片の振動特性を調べてフラクタル的な構造の動的性質を明らかにすることとした。



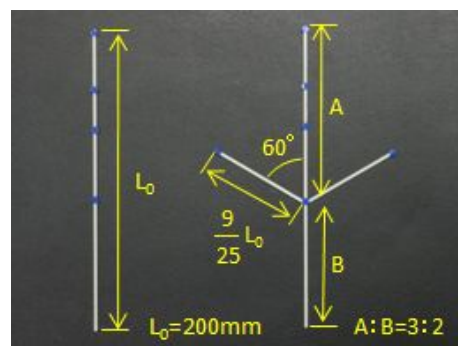
(a) 2 進木構造 (b) 3 進木構造

図 1 2 次元フラクタルツリー

(2) 本研究に着手する準備として、平成 21 年度から平成 22 年度にかけて 2 進木構造および 3 進木構造に対する試験片を試作した。図 2 に示した条件で、3 回まで分岐させた試



(a) 2 進木構造



(b) 3 進木構造

図 2 試験片の分岐条件

験片を樹脂の板材から削り出すことによって作製した。2進木構造に対して加振振動数のスイープ試験を行った結果、46Hz付近で主構造の振動が抑制され末端の枝部のみが共振する現象が観測された。これにより2次元フラクタルツリーの動吸振器としての特性の一端が確認された。

(3) 平成23年度は、研究開始前に得られた上記の振動試験結果を参考にしながら、まず試験片の3次元CADモデルを作成することとした。その理由は、図2に示された構造は試作モデルに過ぎず、その寸法や角度には何の根拠も無かったため、幹部の寸法、幹に対する枝の長さおよび枝分かれの角度をパラメータとすることによって、各フラクタルツリーと振動試験結果との因果関係を明確にするためであった。また、各フラクタルツリーに対してCAE解析(CATIA)を利用した振動試験を行い、固有振動数および固有振動モードの算出を図った。

(4) 平成24年度は、初年度に作成した2次元フラクタルツリーに対する3次元CADモデルを基に、まず各フラクタルツリーの試験片を実際に作製することを計画した。試験片はABS樹脂製とし、現有の2次元CAD/CAMシステムを用いて、従来通り板材(板厚3mm)から削り出すことによって作製することとした。試験片の作製が終了した後は、図3に示すように小型加振機を利用して各フラクタルツリーの振動試験を行うこととした。振動計測については、ハイスピードカメラと画像処理ソフトウェアを新規導入し、試験片上に貼付された複数のマーカ位置を同時計測することとした。

(5) 最終年度となる平成25年度は、平成24年度に作製された各フラクタルツリーの試験片に対して分岐点上に15個程度のマーカを貼付し、ハイスピードカメラと画像処理ソフトウェアを用いて可能な限り厳密で定量的な振動試験を行うこととした。また、振動試験結果に対して、数値解析ソフトウェア



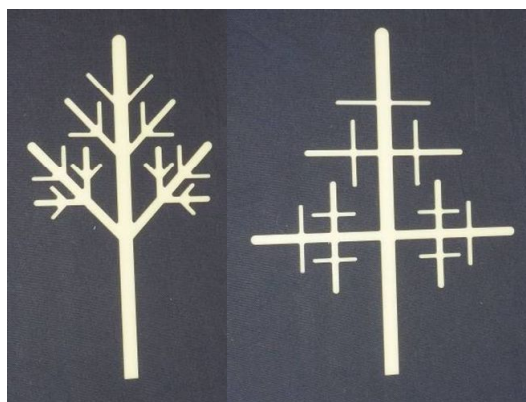
図3 小型加振機に設置された試験片

(Matlab)および数式処理ソフトウェア(Mathematica)を用いて各フラクタルツリーに対する物理モデルの作成を図り、2次元フラクタルツリーの数値解析を試みることにした。数値解析結果から共振現象とフラクタルとの関連性が明らかになった場合には、フラクタル構造の設計方法や、多重動吸振器への応用方法についても検討することとした。

4. 研究成果

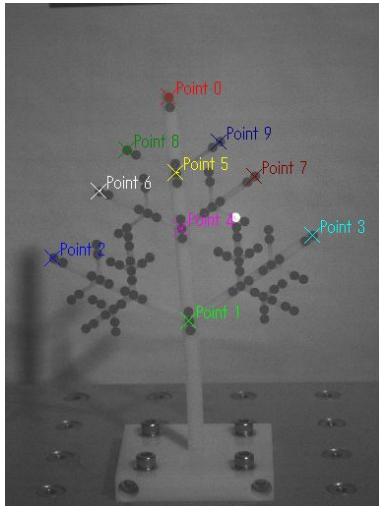
(1) 当初の計画に対して、CAE解析の結果と振動試験結果が非常に良く一致する2次元フラクタルツリーの3次元CADモデルを作成することができ、現有の2次元CAD/CAMシステムを利用してABS樹脂製の試験片を作製するに至った。2進木構造については、振動試験とCAE解析の結果から固有振動数および固有振動モードはよく一致した。しかしながら、3進木構造においては加振振動数が約37Hzの際に振動試験では現れてCAE解析では現れない共振現象が見つかり、図4に示すような分岐角の異なる試験片を作製して比較した。その結果、どの試験片でも同様の共振現象が現れたため、フラクタルとの関連性については非線形振動解析を通して理論的解明を継続することとした。

(2) 共振現象とフラクタルとの関連性を調べるため、分岐条件の異なるそれぞれの試験片についてボックスカウント法を用いてフラクタル次元を算出した。この方法は、対象図形を任意寸法の円または正方形で覆い尽くす際に必要となる円または正方形の個数を、寸法を変えながら求めるというものである。分岐角 60° 、 45° 、 90° の3進木試験片に対するフラクタル次元はそれぞれ、1.486、1.534、1.367次元となり、分岐角が小さくなるにつれフラクタル次元が大きくなる傾向が認められた。しかしながら、ボックスカウント法では算出過程において試験片それぞれの分岐角や枝の長さなどの情報が反映されていないため、現状ではフラクタル的な構造の設計指針を示すことはできない。

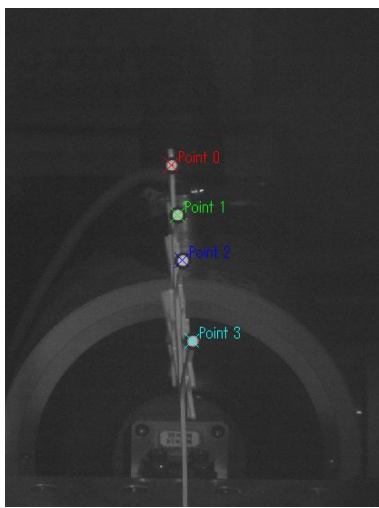


(a) 分岐角 45° (b) 分岐角 90°

図4 分岐角の異なる3進木構造



(a) 正面



(b) 側面

図5 ハイスピードカメラによる撮影

(3) 3進木構造においては、約37Hz付近で特徴的な共振現象が発生することが観測された。目視では、加振方向の振動に加えて、加振方向に対して垂直な方向、すなわちいわゆる面外方向への振動が生じていることが確認できた。そこで、ハイスピードカメラを用いてその際の固有振動モードを観察した。その様子を図5に示す。また、図5(b)の映像に対して画像処理ソフトウェアを用いて算出したマーカの変位を図6に示す。幹先端の部分が1回振動する間に第1分岐させた枝の

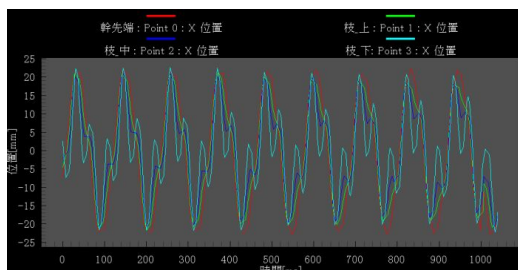


図6 面外振動時の変位

先端は3回振動していた。そのため、面外振動と同時にねじり振動も発生していることが明らかになった。

(4) 本研究では、2次元フラクタルツリーについて2進木構造と3進木構造の3次元CADモデルの作成および試験片の作製を行った。それぞれの試験片に対する振動試験、CAE解析の結果より、2進木構造に対しては多重動吸振機を期待させる挙動が見られ、3進木構造については面外振動を伴う複雑な共振現象が観察された。これらの挙動については、ハイスピードカメラで計測した画像データに対して画像処理ソフトウェアを用いて処理することによって試験片に貼付したマーカの変位として算出することができた。マーカ変位を基に数値解析ソフトウェアを用いて解析モデルの構築を図り、数式処理ソフトウェアを利用して応答解析を試みたが、まだまだ解析モデルの構築が不十分である。したがって、フラクタル的構造の非線形振動特性については、今後も継続的に探究していく予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔学会発表〕(計 3 件)

増本憲泰、川腰裕之、下山晃弘、2次元フラクタルツリーの振動特性(数値解析モデルの構築)、日本機械学会Dynamics and Design Conference 2014、2014年08月29日、上智大学

川腰裕之、増本憲泰、下山晃弘、2次元フラクタルツリーの振動特性(面外振動に対する実験的考察)、日本機械学会Dynamics and Design Conference 2013、2013年08月28日、九州産業大学

下山晃弘、増本憲泰、佐藤博和、2次元フラクタルツリーの振動特性(CAE解析による考察)、日本機械学会関東支部ブロック合同講演会 - 2011宇都宮 -、2011年9月16日、帝京大学宇都宮キャンパス

6. 研究組織

(1) 研究代表者

増本 憲泰 (MASUMOTO, Noriyasu)

日本工業大学・工学部・講師

研究者番号：80312081