

樹木（ホオノキ）の振動特性に関する実験的研究

北海道大学大学院工学院修士課程 学生会員 ○葛間丈士

北海学園大学工学部社会環境工学科 正員 小幡卓司

北海道大学大学院工学研究院 正員 佐藤太裕

1. まえがき

樹木は、様々な形状や長さそれに応じた断面積を持つ幹と多数の枝や葉によって構成される構造体であり、樹木全体を振動システムとして振動特性を明らかにしようとする研究は、それほど多くはないが、いくつかの目的をもって行われてきている。現在までによく知られている樹木の振動実験の目的は、台風などの強風時における風害対策、振動を用いた果実収穫機の効率化、樹木の材質の非破壊検査、生態学的主幹と枝の関係の調査・研究、環境系に至るまで、多岐にわたっている。

その中でも樹木の振動特性に関して工学的研究は少なく、樹木の倒壊メカニズムを実験的・解析的に研究したものは皆無であり、これを解明することで今後の林業に関する多くの知見を得られるものと考えられる。また一般的な樹木では枝の重さと長さの関係、枝の周長と長さの関係にべき則が成立することが古くから知られている。形態形成の最適化と何らかの関係があると予想している。これを構造力学的に説明することは、下記の課題を解決する糸口の1つになると考えた。

これらの研究を踏まえて、本研究は第1に樹木の形態学における解析モデル作成の際に閾値として用いるため、第2に倒木メカニズムの解明を行うことを目的として振動実験を実施した¹⁾。ここでは対象の樹種として、全国の山林に分布し、軟材として加工されているホオノキを選択している。第二の目的である倒木メカニズムに関して、振動台実験と野外現場振動実験を行い、ある条件下で加振すれば発散振動を発生するという非常に興味深い知見が得られたので、ここに報告するものである。

2. 樹木の振動実験

樹木の振動実験は、まず2017年12月7日に、葉のない状態のホオノキを、北海学園大学工学部所有振動台を用いて実験を行った。実験風景を写真-1に示す。使用機材として、測定装置として共和電業のPCD-400A,2台、加速度計AS-5GA,8基を用いた。加速度計の配置は図-1に示す。加振波は制御装置の出力として 50 cm/sec^2 一定、振動数は100秒間で1Hzから20Hzまでのスイープ加振をまず行い、次に1次固有振動数で同様に100秒間の定常波加振を実施している。ch8はキャリブレーションや応答倍率の計算のため振動台に取り付けた。サンプリング周波数は100Hz、測定データ点数を各チャンネルにおいて16384点とした。

現場振動実験は、2018年8月23日に北海道大学苫小牧研究林において、観測木として生育している約5mのホオノキを用いて人力加振による実験を行った。測定チャンネル数を11chに増設し、加速度計の配置は図-2に示す通りである。実験条件はサンプリング周波数200Hz、計測時間を2分間とした。また加振についてはロープを結束し、人間がメトロノームの音に合わせて可能な限り同じ起振力を与えるように注意しながら所定の振動数で引っ張ることで起振力を与えた。



写真-1 振動台実験

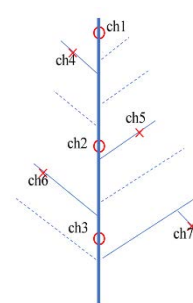


図-1 加速度計配置
(振動台実験)



写真-2 現場振動実験

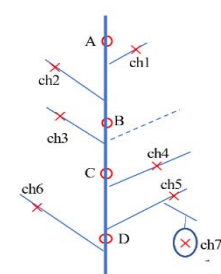


図-2 加速度計配置
(野外現場振動実験)

キーワード ホオノキ、振動特性、振動実験、発散振動、引き込み現象

連絡先〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学 工学部

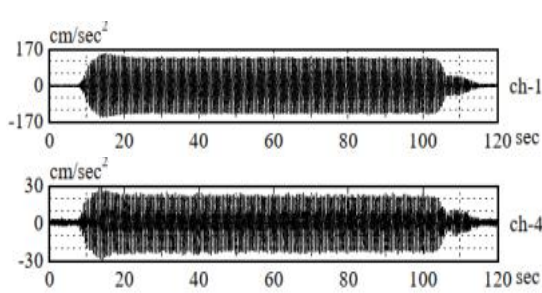


図-3 定常波加振波形 (1.67Hz)

振動台実験

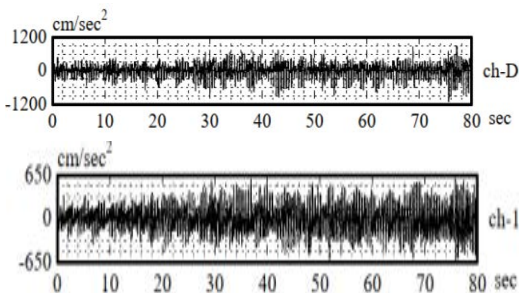


図-4 5.0Hz 強制加振波形

現場振動実験

表-1 位相角とコヒーレンス (幹 D と各枝の測点の関係 5. 0 Hz 強制加振)

測点	1 次	θ	cof	2 次	θ	cof	8 次	θ	cof	(9?)次	θ	cof
1	1.8799	59.78	0.894	4.8340	159.19	0.942	6.2256	112.43	0.903	--	--	--
2	2.0996	33.84	0.963	4.0894	5.54	0.942	6.5186	58.04	0.747	7.1411	87.08	0.806
3	2.0996	7.21	0.973	4.1992	14.51	0.995	6.0791	53.05	0.747	7.5195	4.51	0.968
4	2.0996	48.69	0.984	4.1382	9.95	0.913	6.7993	103.26	0.967	7.5073	157.23	0.943
5	2.0996	130.76	0.953	4.1016	4.26	0.950	--	--	--	--	--	--
6	1.8799	173.53	0.865	4.1992	62.54	0.814	6.8359	142.35	0.842	--	--	--
7	2.0996	57.01	0.9072	4.1992	62.6	0.821	6.3965	174.04	0.5821	--	--	--
D	0.586	---	---	4.1922	---	---	6.2378	---	---	---	---	---

現場で簡易的な解析を行いながら、東西、南北方向の 2 方向に 1 次減衰振動、0.6Hz 強制加振、5.0Hz 強制加振の合計 6 ケース実施した。本稿では加速度計の設置状況から、主に東西方向の実験結果について述べる。

振動台実験の結果として図-3 は振動台実験の定常波加振の ch 1 (幹), ch 4 (枝) の振動波形を示す。スイープ加振実験により 1 次固有振動数が 1.67Hz であると確認されたので、その値で定常加振実験を実施した。葉のない状態では固有振動数で加振しても発散振動せずに定常振動が生じるのみであった。

次に現場振動実験の結果として、5.0Hz 強制加振の chD (幹), ch 1 (枝) の振動波形を図-4 に示す。ほぼ一定の加振力を加えているのにも関わらず、応答が次第に大きくなっていることがわかる。この応答は、主幹、枝の双方とも時間の経過とともに次第に大きくなっており、発散的な振動が発生することが確認された。このデータから 1 軸のモーションキャプチャを作成して、振動性状を確認したところ加振直後の段階では主幹と枝はバラバラに振動しているが時間の経過とともに枝は主幹の振動に引き込まれ、木全体として枝と主幹は連成振動することが判明した。幹はほとんどの時間帯において 1 次モードで振動しているが、時々、高次モードが卓越する時間帯があり、加速度が増大する傾向にあることが見受けられた。その際に、木全体に掛かる力が増大し、根本付近から折れる、あるいは倒木する可能性があるものと推定される。

表-1 は、主幹の根本の測点 D と枝の測点における位相角とコヒーレンスの関係である。単純な sin 波で重ね合わせを行うと、位相角 120° を境に、それより小さければ振動が増大し、大きければ振動が減少することが知られている。表-4 からは、発散振動が発現する 5.0Hz 強制加振 (主幹の 2 次モード) において位相角が 120° を下回るケースが多く見られ、それぞれの測点における振動の同意性を表すコヒーレンスも概ね 0.8 から 0.9 程度と非常に高いことから、枝の振動が主幹に引き込まれ、発散的な振動が発生することが理解できる結果が得られた。

3. あとがき

以上のように、本研究は、ホオノキの振動実験を実施し、振動特性を明らかにしようとするものである。実験結果そのものは良いデータを得ることが出来た。今後の課題として、GA などの手法を用いて、主幹と枝の剛性を同定し、順解析によって発散振動が再現できるような、一般的な樹木のモデル化を行う必要がある、また、主幹と枝の形態学的な研究に対し、何等かの有意な情報を提供することが、非常に重要な今後の研究課題となる。

4.参考文献

1)小幡卓司, 中垣俊之, 佐藤太裕, 鄭好: 生育木の振動実験に関する実験的研究, 土木学会北海道支部論文報告集 第 75 号, A-18, 2019.