

# 生育木の振動実験に関する実験的研究

Experimental study on dynamic response characteristics of growing trees

北海学園大学工学部社会環境工学科 ○正員 小幡 卓司 (Obata takashi)  
 北海道大学電子科学研究所 正員 中垣 俊之 (Toshiyuki Nakagaki)  
 北海道大学大学院工学研究院 正員 佐藤 太裕 (Motohiro Sato)  
 北海道大学大学院工学研究院 正員 鄭 好 (Hao Zheng)

## 1. まえがき

林業においては、台風や低気圧による強風時に、特定の樹種の苗（高さ 2~3m程度）が倒壊あるいは根本近辺から折れ、甚大な被害が発生することがある。倒壊した樹木は、まだ直径が小さいため、何らかの形で利用されることはなく、塵芥として廃棄される運命にあり、その経済的損失は非常に大きい。また、本来は植林されてCO<sub>2</sub>を吸収する役割を担う貴重な樹木が、逆に焼却処分されて多量のCO<sub>2</sub>が排出されることは、地球環境・温暖化の観点からも好ましいものではない。

一方、樹木の振動特性についての工学的研究は非常に少なく、著者らの知る限りでは海外・日本を含めて数件程度しかない。中でも、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ほぼ皆無であり、これを解明することは社会的にも非常に重要である。本研究を推進することにより、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経験的に知られている<sup>1)</sup>。このことは、樹木の形態形成に一定のルールが存在することを意味し、形態の最適化と何らかの関係があると我々研究グループでは予想している。このべき則を構造力学的に説明することは、上記の課題解決の糸口の一つになると考え、その基本データを入手するために、生育木の振動実験を行ったので、ここに報告するものである。

## 2. 振動実験

本研究は、2017年度からスタートしており、本格的な実験はまず2017年12月7日に、北海学園大学工学部所有の振動台を用いて、葉のない状態の朴ノ木とカラマツについて実験を行った。実験風景を写真-1に示す。

使用機材は、測定装置として本学所有の共和電業PCD-400A、2台、加速度計AS-5GA、8基（1基は振動台に設置）を用いた。加振波は、加速度50cm/s<sup>2</sup>一定で、振動数は120秒間で1.0Hzから20.0Hzまでのスイープ加振を行った。サンプリング周波数は100Hz、測定時間は3分間である。朴ノ木における波形とフーリエスペクトルの一例を図-1および図-2に示す。本実験では、スイープ加振によって、基本的な振動モードを確認することが主な目的となっている。実験結果から、幹の固有振動数は約1.7Hz（1次モード）、5.2Hz（2次モード）15.1Hz（3次モード）であった。1次モードの減衰定数はハーフパワー法で算出し、約0.037程度の対数減



写真-1 振動台実験

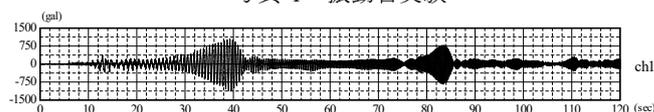


図-1 加速度振動波形 (振動台加振)

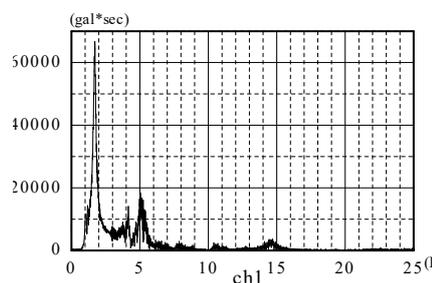


図-2 フーリエスペクトル

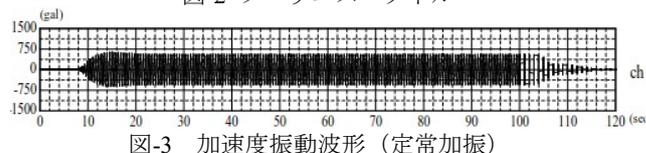


図-3 加速度振動波形 (定常加振)

衰率が得られた。枝の固有振動数は、明確なもので、約4.2Hzと22Hzが得られている。枝の振動数に関しては幹の振動数にかなり近いものも存在するようであるが、幹の振動に引き込まれ、4.2Hz以下の振動数は同定することが出来なかった。また、木を90°回転させ直交異方性についても確認を行ったが、有意な差異は観測されていない。また、1次モードの固有振動数で100秒間加振を行って見たところ、図-3のような結果が得られた。葉がない状態での1.7Hz加振では、幹、枝とも定常振動が発生し、実験を行った範囲では発散的な振動は確認されなかった。ただし、図-3をよく観察すると、少々見にくいのが明らかにうねりが発生していることがわかる。これは、幹の振動数に極めて近い振動数を有する枝が存在し、TMD的な効果が発生することによって木全体の

発散振動を抑制しているものと考えられる。なお、これらの振動実験結果をさらに明確にするため、2018年6月に再実験を行ったが、木の乾燥が進み全体剛性や質量が変化してしまい、1次モードの固有振動数は約1.9Hzとなり、再現実験は不可能であった。したがって、伐採直後の木を用いて葉のない状態での振動台実験をさらに実施することにより、固有振動特性を厳密に求める必要が認められる。これは、固有振動解析を行う際の基本データとして活用するため、さらなる実験を行い、データ収集を行うことが重要であると考えられる。

次に、2018年8月23日には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の朴ノ木を用いて、人力加振による振動実験を行った。写真-2に実験対象の生育木を示す。使用機材は振動台実験時とほぼ同様であるが、測定チャンネル数を増やすため、共和電業EDX-11Aを追加し、合計11チャンネル（幹4ch、枝6ch、葉1ch）の計測点を設定した。実験条件は、サンプリング周波数200Hz、計測時間2分間とした。また、加振については、幹上部（約3m）、中部（約1.5m）の2か所にロープを結束し、これを人間がメトロノームの音に合わせて所定の振動数で引っ張ることで起振力を加えた。実験は、現場で簡易的な解析を行いながら加振振動数を1次0.6Hz、2次5.0Hzで加振することに決定した。実験ケースとしては、東西、南北の2方向に対し、1次減衰自由振動、1次強制加振、2次強制加振の合計6ケースについて実施した。原稿執筆時においては、まだ実験結果の分析は十分ではないが、いくつかの知見が得られたのでここに述べる。図-4から図-6に減衰自由振動波形、そのフーリエスペクトル、2次強制加振時の振動波形を示す。まず幹の固有振動数は1次で約0.56Hz、対数減衰率はおよそ0.06の結果が得られた、図-4、図-5を見る限りにおいては非常にきれいな減衰自由振動となっており実験結果は妥当であると考えられる。枝の固有振動数に関してはそれぞれ剛性（直径）が異なるため、各測定点によって当然ながら振動数が一定ではないが、およそ0.3Hzから0.5Hz程度の値が得られている。対数減衰率はおよそ0.02から0.03程度であることが判明した。

この結果を振動台実験と比較すると、振動数は約35%に低下し、対数減衰率は約1.6倍になっている。ちなみに振動台実験で使用した木は約3m、現場実験で測定対象とした生育木は約5m程度の大きさで、特に振動数に関しては、差異が大きくなるであろうことは自明であることを付記しておく。また、振動台実験の際は、その日伐採した木を使用しているため、乾燥の程度はそれほど異なっていないと推測できる。構造体としての違いとして最も影響を及ぼすものは、葉の有無であり、これが振動特性に非常に大きな差異をもたらしていると考えられる。特に、朴ノ木は、縦30cm、横25cm程度の大きな葉を多数つけるため、その質量効果、空気抵抗などが非常に大きく、解析モデル構築の際には、この影響をどのように盛り込むかが重要なポイントとなる。減衰に関しては、すべての実験結果において十分な検討を行い、正確な減衰定数などを求める必要がある。



写真-2 生育木の振動実験

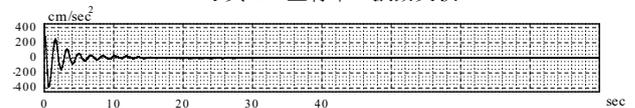


図-4 減衰自由振動（幹）

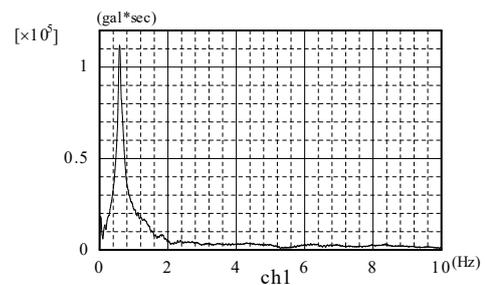


図-5 フーリエスペクトル（幹）

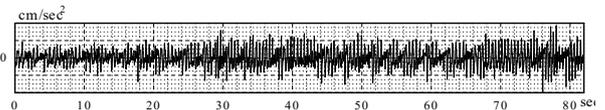


図-6 強制加振実験（幹）

### 3. あとがき

以上のように、本研究は、朴ノ木の振動実験を行い、その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、良いデータが得られているが、振動特性の把握が未だ不十分であり、さらに様々なデータ解析技術を用いることにより、解析モデル構築に資する結果をもたらすことが出来ると思われる。また、同様の実験を繰り返し、データの蓄積を続けることが非常に重要だと考えられることから、今後長期間に渡り、実験を繰り返す必要が認められる。

最後に、本研究を遂行するにあたり、現場実験で活躍して頂いた、北海学園大学工学部社会環境工学科、阿部翔太君、飯川勇輝君、一条晃汰君の3名に対し、ここに期して深い謝意を表する次第である。

#### 【参考文献】

- 1) 山越ら：樹木の枝の形態と力学的最適構造、電子通信学会；医用電子・生体工学研究会資料、MBE74-25(1974)