

雪害による枝折れ防止を目的とした支柱の最適位置の検討 Optimal support position of apple tree branches preventing from breakage

○森谷慈宙*・伊藤重貴**

Moritani Shigeoki and Ito Shigetaka

1. はじめに

リンゴの枝折れは雪解け時期の2月下旬から3月上旬にかけて多くみられる。これは、枝上では融解凍結により布団状となった雪の層が押し掛かる。そして、枝下に生じた空間により、鉛直下向きの分布荷重（沈降力）が発生し、枝表面へ応力がかかる。枝折れは、この応力が破壊強さを上回るために生じる。積雪が多い年では、枝の支点である幹に大きなモーメント荷重が生じ、幹折れまで発展する。

一般的に、枝折れ対策は枝下への支柱の設置や雪に埋まった枝を掘り起こすことなどが行われている。しかし万全の対策を施す余力はないため、現状では豪雪時に大きな枝折れ被害が生じている。この枝下への支柱は効果的ではあるが、設置位置や材質は農家の経験に頼ることが多い。力学的な理論に基づいた検証を行うことによって、支柱の軽量化や最適な位置など、より効率的な対策が期待できる。

枝折れの力学的解析には、沈降力のような外力の他にヤング係数や破壊強さなど枝の特性値を求める必要がある。本研究では、まず枝に集中荷重を加えて測量機器により変位の測定を行い、有限要素法によりこれらの特性値を求める。また沈降力および支柱の支点位置を任意に設定してシミュレーションを行うことにより、枝の断面における最大応力度から、枝の破壊を回避する最適な支柱位置の決定を試みる。最後に雪解けによる影響の検討を行う。

2. 実験方法

ヤング係数は、力学的解析を行う上で重要な因子であるが、各年枝により異なる値を有することが知られている。また圧縮・引張りとは曲げによる場合とで変化するが、枝のたわみは曲げ荷重の影響が大きい。そこでヤング係数は、トータルステーションを用いて荷重による枝の変位の測定を行い、有限要素法により求めた。また各年枝のヤング係数を求めるために、年枝間における節を固定し他端の節に荷重を与えて変位を測定した。対象とした枝は6年目であったため、それぞれについて求めた。

破断強さの測定は、枝の両端を固定して中心にかける荷重を徐々に増加させ、破断したときの荷重から求めた。破断強さは、破壊時における断面内の最大応力 σ_1 とし、枝中央における曲げモーメント(M)、断面の中心から表面までの距離(y_1)、断面2次モーメント(I)から以下の式により求めた。

$$\sigma_1 = M \cdot y_1 / I \quad (1)$$

次に、枝折れを回避する最適な支柱位置についてのシミュレーションを行った。支柱は鉛直方向の変位のみを拘束するローラー支点として、幹から枝端までの間で任意の位置に一つ設置



図1：枝の変位測定

*弘前大学農学生命科学部, Faculty of Agriculture and Life Science, Hirosaki University, **秋田県由利地域振興局, Yuri Regional Affairs Department Akita prefecture, キーワード：枝折れ, 沈降力, ヤング係数

した。沈降力は、シミュレーション結果から支柱なしで破壊が生じる境界付近の 100N/m とした。また、雪解けへの影響は雪表面の荷重を低下させていった。それに伴い研究対象とした図 2 のような枝の形状では、分布荷重の範囲も狭まる。

3. 結果と考察

ヤング係数は 3, 6 年目では高い値を示したが、他の 3 つでは 1.0×10^9 (N/m^2) 前後であった。破断強さについて、今回は異なるリンゴ種であったが、直径が $0.4 \sim 1.1\text{cm}$ 範囲内で 6 種類の径を選んで測定を行った。その結果、直径が 0.45cm と 1.1cm の場合それぞれ 6.0×10^7 , 1.6×10^7 (N/m^2) であり、径が大きくなるに従って、破断強さは低下した。

次に、実測によって求めたヤング係数などの枝特性を用い、枝全体に沈降力が生じた場合における枝折れのシミュレーション結果である。支柱が無い場合（なし）、最大応力度は 2m まで 4.0×10^7 (N/m^2) であり、ほとんどの部分で枝折れの可能性が示唆された。最大応力度のピーク位置は、支柱が幹から離れていくにしたがって枝先に向かい、⑥の時に枝全体の応力度が最も小さい結果となった。

図 4 は沈降力が生じたまま、⑥の高さまで雪融けが進行した場合における最大応力度の変化である。枝先部分の沈降力が消失したため、応力度は全ての支柱位置において低下した。一方、支柱が⑥に設置されているとき、幹から 2m 離れた位置では、図 3 に比べてピークの絶対値が大きくなった。これは分布荷重の位置が変化したことにより、曲げモーメント図が変化し、(1)式から求めた応力度に影響を与えたためである。しかしながら、このピークは -3.0×10^7 (N/m^2) と破壊されるまでには達しなかった。雪融け位置をさらに低下させた場合、応力度は全体的に縮小していった。以上の事から、沈降力が生じている間、または融雪時においても、支柱が⑥に設置されている場合に、枝折れのリスクが最も小さいことが示唆された。

4. まとめ

本研究では、トータルステーションを用いて荷重による変位測定を行い、非破壊における枝のヤング係数を求めた。破断強さは、両端固定条件で切断した枝に荷重をかけて測定を行った。これら枝の特性値を用いて、支柱の位置を変化させた場合、枝に生じる応力度への影響について検討を行った。その結果、応力度は、支柱が枝の先端にある程度近い方が枝全体にわたって小さい値を示した。また、支柱の最適位置は、枝の径により応力度が変化することから、枝の形状を考慮して決定していく必要がある。

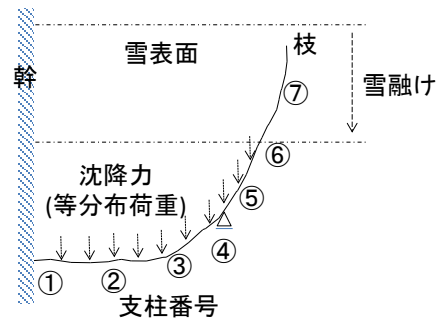


図 2 シミュレーションのモデル
この図では④に支柱が設置されており、⑥まで雪融けが進行している。

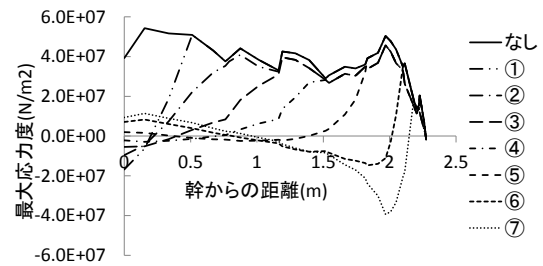


図 3：支柱位置による最大応力度の変化

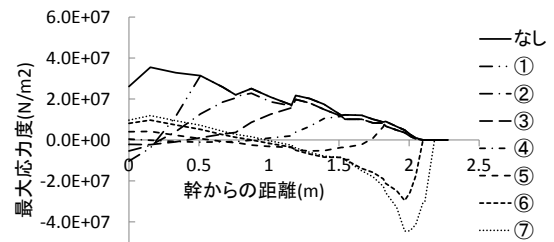


図 4：⑥まで雪融けした場合における最大応力度の影響