

腐朽を伴った緑化用樹木の曲げ強度

藤原 拓哉, 清水 一^{*1}

Bending strengths of rotten trees used for greening

Takuya FUJIWARA, Hajime SHIMIZU

Strength tests of rotten and injured trees of eight species used for greening, including Painted Maple, Black Locust and Japanese Rowan, were conducted to obtain a basis for judgment of the breakage danger of the trees at the time of a strong wind. The differences in bending strength from healthy trees were small if they were calculated based on residual sections. On the other hand, the strength calculated from sections estimated to be in a healthy state was 65–74% of the strength of healthy trees. Moreover, the correlation of this bending strength with the ratio of the rotten area to the whole area was significant.

Key words: trees for greening, rot, bending strength

緑化用樹木, 腐朽, 曲げ強さ

強風時における緑化用樹木の折損危険性の判断根拠を得るため、腐朽や傷害を伴ったイタヤカエデ、ニセアカシア、ナナカマド等合計8種の樹木の強度試験を行った。残存断面に基づいて曲げ強さを算出した場合、健全木との差は小さかったが、推定した健全時断面を用いて算出した曲げ強さは健全木の65～74%となった。また、この曲げ強さと面積腐朽率との相関は有意であった。

1. はじめに

全国的にみれば北海道に台風が襲来することは少ないが、平成16年9月の台風18号は多大な被害をもたらした。この台風による被害で特徴的だったのは、市街地における街路樹、公園樹の倒伏、折損であり、全道98市町村（平成16年当時）で6,500本以上の幹折れ、大枝折れ被害木が発生し、これらが人身傷害、器物損壊、交通障害をもたらしたケースもあり、社会に大きな影響を与えた。この折損した樹木では腐朽を伴っていた事例が数多く見られたことから、樹木の腐朽が被害を助長していたと考えられる。特に都市に植栽された緑化樹は山林の自然環境下で生育している樹木よりも土壌や大気等の立地条件が悪く、衰弱しやすい環境にある。これに加えて、人為や車両接触、除雪作業により障害を受ける機会も多く、傷からの腐朽が各地で観察されている。

被害の発生を抑止するためには、危険な樹木を排除する必要があるが、樹木の危険性を判断するための指針がないため、計画的植え替え等の対策をとれ

ない状況にある。この指針は風圧力による折損発生のメカニズムに基づいていることが望ましいが、風圧力は風速に加え、樹冠の投影面積や抗力係数などもパラメータとなり、針葉樹では数樹種について野外測定や風洞実験による抗力係数の評価が試みられているものの¹⁾、広葉樹での事例は少ない²⁾。そのため、本研究では腐朽、あるいはその目安となる外観的特徴と折損被害の発生状況の調査結果、および腐朽木の残存強度に基づいて折損危険性を判断することを想定し、腐朽を伴った緑化用樹木の強度試験を行い、腐朽が強度に及ぼす影響について検討した。

2. 強度試験

2.1 供試材

供試材はイタヤカエデ (*Acer mono*)、ニセアカシア (*Robinia pseudoacacia*)、ナナカマド (*Sorbus commixta*)、ハウチワカエデ (*Acer japonicum*)、イヌエンジュ (*Maackia amurensis*)、アズキナシ (*Sorbus alnifolia*)、シナノキ (*Tilia japonica*)、ルブルムカエデ (*Acer rubrum*) の8樹種である。樹種別、腐朽

等の状況別の試験体数を第1表に示す。なお、腐朽等の状況は強度試験終了後に調査したものであり、変色と腐朽の両方が観察された場合は面積が大きい方を採用した。伐採地は林業試験場本場（美

第1表 試験体数
Table 1. Number of samples.

樹種 Species	健全 Healthy	欠損のみ Lack Only	変色 Discoloration	腐朽等 Rot	計 Total
<i>A. mono</i>	14	2	26	19	61
<i>R. pseudoacacia</i>	8	0	12	14	34
<i>S. commixta</i>	11	0	10	11	32
<i>A. japonicum</i>	0	0	0	5	5
<i>M. amurensis</i>	1	0	0	3	4
<i>S. alnifolia</i>	0	0	0	1	1
<i>T. japonica</i>	0	0	0	1	1
<i>A. rubrum</i>	0	0	0	1	1
	38	2	41	57	139

支場（新得町）の実験林、美唄市内、三笠市内、新十津川町内で、腐朽の発生が疑われる部位が曲げ試験時にモーメント一定区間に配置可能なものを選択した。

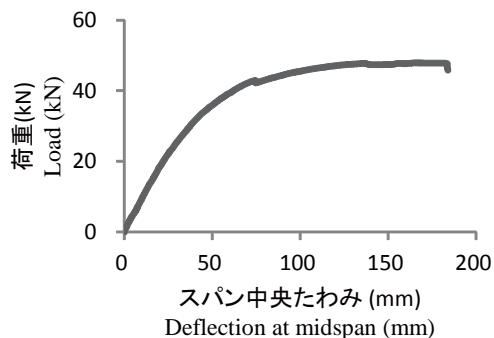
2.2 試験方法

曲げ試験は2点荷重方式により行った（第1図）。荷重点間距離は300mmを基本とし、傷害部位が均一モーメント区間に配置されるように配慮したが、長さの制限、曲がりの状態により傷害が均一モーメント区間外に配置されたものもあった。せん断スパンは傷害部位の直径に基づいて決定した（鉛直方向直径の8～17倍）。なお、今回の供試木のほとんどは曲がりを持っており、加力に伴う材軸まわりの回転を回避するために、下に凸となるように支点上に設置した。よって、傷害の横断面内の配置は無作為となった。試験終了後、スパン中央で鋸断し、腐朽の状況を観察し、実断面積に占める腐朽部位の割合を目視により判定し腐朽率とした。また、イメージスキャナを用いて断面の画像をパーソナルコンピュータに取り込み、画像処理により、樹皮を含ま

ない水平方向、および鉛直方向の径、図心の位置、断面係数を算出した。

3. 結果と考察

試験体は生材であったため、降伏後も極めて大きな変形を示した（第2図）。特に、曲がりの関係により加力前から支点は内側に傾いていることが多く、支点の機構上の回転限度に達するものもあった。この場合、加力条件が変わることにより、荷重が上昇に転じたが、この時点で加力を中止し、上昇直前までの最大荷重を採用した。



第2図 荷重たわみ曲線の例
Fig. 1. Typical load-deflection curve.



第1図 曲げ強度試験
Fig. 1. Bending test.

破壊形態についてみると、引張破壊が105体、せん断破壊が1体、その他は試験打ち切りを含む圧縮破壊であった。樹種別、腐朽の発生状況別の曲げ強さを第2表に、試験体数が多かったイタヤカエデ、ニセアカシア、ナナカマドの3樹種の面積腐朽率を第3表に示す。ここで算出した曲げ強さは欠落した部分を含まない残存断面に基づいたものである

ため、欠損のみで腐朽が発生していない場合は健全材に対する強度低下は認められなかった。変色については腐朽の前駆状態である可能性もあるが、健全木の90%以上の強度を持っていた。ナナカマドでは腐朽率が80%に達するものがみられたが、イタヤカエデとニセアカシアの腐朽率は最大でも40%程度であり、各樹種とも腐朽率20%以下のものがほとんどであった。腐朽木であっても正常木よりも強いものや、腐朽率が小さいにも関わらず弱いものもみられた。この原因として、腐朽等の欠点が曲げ強さに及ぼす影響は横断面内の位置によって異なることや、残存断面に基づいて曲げ強さを算出していることなどが考えられる。曲げ強さは破壊時の真の外縁応力ではなく、破壊時の応力分布を弾性状態と仮定したときのみかけの外縁応力の値であり、最大曲げモーメントを断面係数で除すことにより求められる。断面の欠落を伴う腐朽では最大曲げモーメントと断面係数の両方が減少するため、その商である曲げ強さの低下は最大曲げモーメントの低下よりも小さくなる。よって、今回の腐朽木の強度は健全木の75～85%であったが、これは立木としての強度低下を過小評価している可能性がある

第2表 残存断面に基づく曲げ強さ (N/mm²)

Table 2. Bending strength based on remaining section. (N/mm²)

樹種 Species	健全 Healthy	欠損のみ Lack Only	変色 Discoloration	腐朽等 Rot
<i>A. mono</i>	65.3	72.0 (1.10)	63.0 (0.96)	55.4 (0.85)
<i>R. pseudoacacia</i>	74.1	-	66.8 (0.90)	55.8 (0.75)
<i>S. commixta</i>	66.6	-	63.3 (0.95)	50.1(0.75)
<i>A. japonicum</i>	-	-	-	60.4 (-)
<i>M. amurensis</i>	60.9	-	-	62.3 (1.02)
<i>S. alnifolia</i>	-	-	-	58.4 (-)
<i>T. japonica</i>	-	-	-	60.5 (-)
<i>A. rubrum</i>	-	-	-	57.9 (-)

注) () 健全材の値に対する比率

Notes) () value relative to the healthy tree.

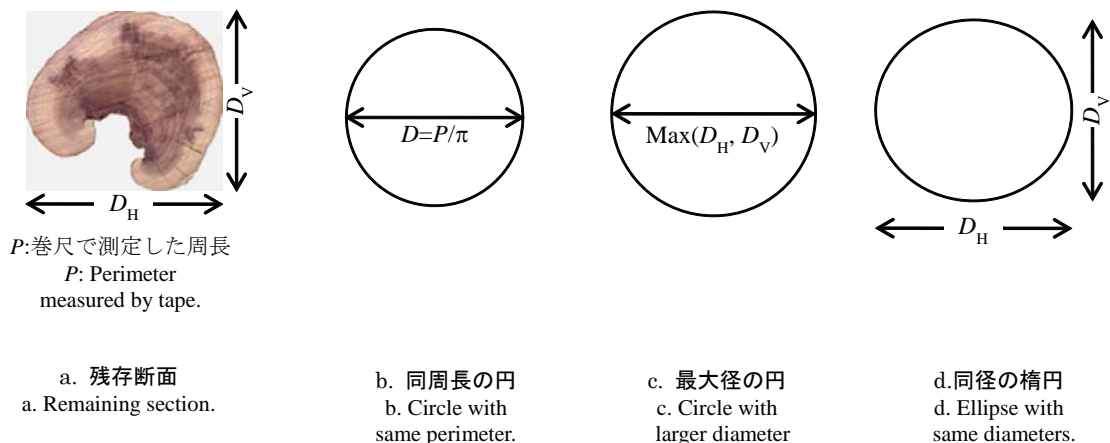
第3表 面積腐朽率 (% , 平均値)

Table 3. Rotten area ratio (% , average)

樹種 Species	健全 Healthy	欠損のみ Lack only	変色 Discoloration	腐朽等 Rot
<i>A. mono</i>	0.6	0.5	1.0	13.9
<i>R. pseudoacacia</i>	0.1	-	2.4	10.5
<i>S. commixta</i>	0.0	-	4.0	80.0

る。強度低下を適切に評価するためには、健全時の断面が必要となるが、立木では通常の製材品と異なり、健全時の断面が確定しないため、何らかの方法で健全時の断面を推定する必要がある。

そこで、巻尺で測定した周長と円周が等しい円形(第3図b)、水平方向、および鉛直方向のいずれかが大きいほうを直径とする円形(同c)、水平方向径、および鉛直方向径のそれぞれが等しい楕円形(同d)についての断面係数を算出した。残存断面についての断面係数に対する比の平均値は、それぞれ1.16、



第3図 健全時断面の推定

Fig. 3. Estimation of the section in healthy state.

1.34, 1.10 となり、試験体数が多いイタヤカエデでは面積腐朽率と **b** による断面係数で計算した曲げ強さの相関係数が最も大きかった。第 4 表は **b** の円周が巻尺で測定した周長と等しい円形の断面係数を用いて計算しなおした曲げ強さである。この場合、腐朽木の強度は健全木の 64～76% となった。また、ナナカマドの変色木では外傷に由来する成長不良を起こしたものが多く、その強度は健全木の 88% であった。

第 4 図に試験体数の多い 3 樹種についての面積腐朽率と曲げ強さの関係を示す。曲げ強さは面積腐朽率の増加に伴って減少し、その相関は 3 樹種とも有意であり、特にイタヤカエデとナナカマドに関しては高度に有意となった。さらに、ナナカマドとニセアカシアにおいては外部損傷の大きさと面積腐朽率に相関があることが示されており³⁾、面積腐朽率のみならず、外部損傷の大きさから残存強度の推定が可能であると考えられる。

4. まとめ

腐朽を伴った緑化用樹木の強度試験を行い、緑化用樹木において腐朽と強度の関係を明らかにした。この関係を用いることにより、外部損傷の大きさから残存強度を推定できる可能性も示唆された。しかし、折損危険性は残存強度だけで決定されるものではなく、風速に影響する周辺の構造物や樹木等の状

第 4 表 推定した断面に基づく曲げ強さ (N/mm²)

Table 4. Bending strength based on estimated section. (N/mm²)

樹種 Species	健全 Healthy	欠損のみ Lack Only	変色 Discoloration	腐朽等 Rot
<i>A. mono</i>	63.6	54.6 (0.86)	57.9 (0.91)	48.2 (0.76)
<i>R. pseudoacacia</i>	73.0	-	59.9 (0.82)	46.6 (0.64)
<i>S. commixta</i>	63.7	-	56.0 (0.88)	41.9 (0.66)
<i>A. japonicum</i>	-	-	-	50.2 (-)
<i>M. amurensis</i>	61.8	-	-	51.8 (0.85)
<i>S. alnifolia</i>	-	-	-	48.9 (-)
<i>T. japonica</i>	-	-	-	49.2 (-)
<i>A. rubrum</i>	-	-	-	48.7 (-)

注) () 健全材の値に対する比率

Notes) () value relative to the healthy tree.

況、風圧力に影響する樹冠の大きさや形状、さらにはその樹木が衰退傾向にあるのか、回復傾向にあるのかといったことも考慮する必要がある。何らかの非破壊的・微破壊的測定を行い、物理的計測値に基づいて強度低下の推定を行ったとしても、折損危険性判断の実務において、強度低下は判断材料のひとつとして捉えるべきである。

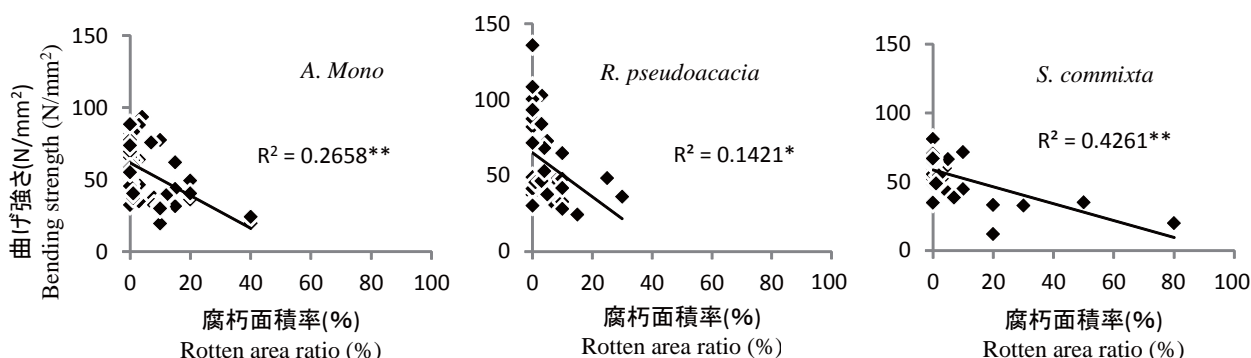
文 献

- 1) 石川仁：ながれ 24, 483-490 (2005).
- 2) 小泉章夫, 本山淳一, 佐々木義久：第 59 回日本木材学会大会研究発表要旨集, 松本市, 2009, D15-1145.
- 3) 北海道立林業試験場, 北海道立林産試験場：平成 18～20 年度重点領域特別研究報告書 (2009).

－性能部 耐久・構造グループ－

－*1：北海道立総合研究機構 林業試験場－

(原稿受理：11.12.19)



第 4 図 腐朽面積率と曲げ強さの関係 注) **: 1%水準で有意, *: 5%水準で有意

Fig. 4. Relationships between rotten area ratio and bending strength. Notes) **: significant at 1% level, *: significant at 5% level.