

第5 風害に強い緑化樹林帯の造成方法

一般的に風が樹木に及ぼす被害には、常風によるもの、暴風によるもの、塩風によるもの及び寒風によるものなどがあるが、ここでは台風や低気圧などによる暴風による被害(以下風害と呼ぶ)を対象に説明する。

樹木が受ける風圧は、風速の2乗や樹冠の大きさに比例し、風を受ける風心高(樹冠に当たる風圧の中心の地面からの高さ)、樹種の違いによる材部の強度、根系の支持力などに関係していると言われている。なかでも風圧は風速の2乗に比例することから、今回の台風のように著しく強い風が吹いた場合や強い風の通り道になった場合はなかなか被害を避けることが難しい。また、風による樹木の被害には多くの形態があるが、最終的に現れる被害は根返りと幹折れで、過去の風害の実例からもほとんどの被害がこの2つで占められている。そしてこのような被害木が発生すると、街路樹や公園樹の場合、人的な被害をはじめ車や建物などに甚大な被害をもたらすおそれが強い。そのためにできるだけ被害を軽減するための対策をあらかじめとっておく必要がある。以下に、今回の被害調査やこれまでの知見を踏まえた、風害を受けにくい緑化樹やその育成方法などを明らかにし、安全で安心なみどり環境づくりを推進していくための対策などを述べる。

1 風圧と樹木の被害

風圧と樹形や樹高などとの関係は一般的に次のように説明されている。

樹冠が左右対称で幹が通直でかつその投影面積がないものとした場合、樹木にかかる風圧や幹折れする位置などが図5-1-1のように示される。樹冠に当たる風圧の中心を風心といい、風心高(Z_0)は次のように示される。 $Z_0 = h + l / 3$

ただし、 h : 枝下高、 l : 樹冠長

また、風心における風圧(W)は、風圧(W) = $1 / 2 CPV^2 l B$ となる。

ただし、 C : 樹冠の抵抗係数、 V : 風速、 P : 空気の密度、 B : 樹冠の平均幅

地上 Z (幹折れ点)に作用する力 W_z は、 $W_z = W (Z_0 - Z)$ で、これを風圧モーメントといい、根元で最大になり高さとともに減少する。

風圧モーメントは根系にも作用し、根における外力と抵抗力の均衡が、幹におけるそれよりも早く破れると根系離脱面で根返りが発生する。逆に、幹の外力と抵抗力の均衡が、根のそれよりも早く破れると幹折れが発生することになる。幹折れする場所はだいたい樹高の2/10~3/10に集中すると言われている。このように、風圧に対し、根系、幹の一番弱い部分から被害が発生する訳である。

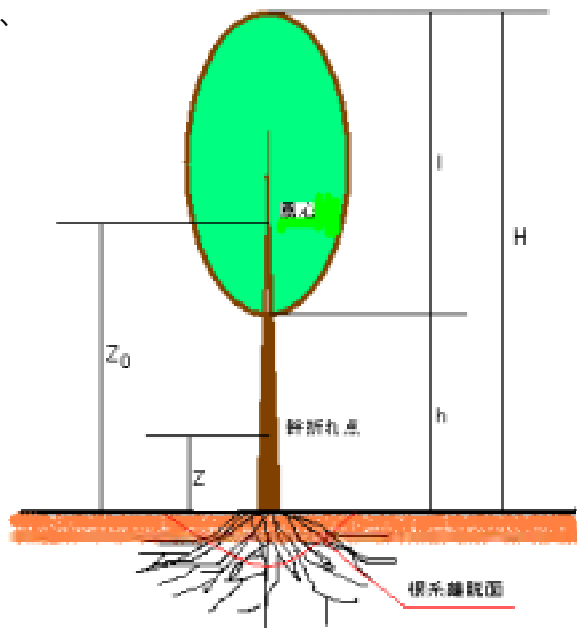


図 - 5 - 1 - 1 樹木の大きさに関わる名称

(2) 緑化樹の更新体制の確立

先にも述べたように、樹木は生き物であり寿命には限りがある。さらに、都市部の緑化樹は劣悪な環境におかれているために林地などの樹木に比べて寿命が短い。これまでの街路樹、公園樹の多くは枯死するか、倒れるまで放置されることが多く、根返りや幹折れによる通行への障害、車や歩行者などへの傷害及び建造物の破壊などが危惧される樹木があることから、今後は定期的な樹木診断と、ある一定の樹齢に達した樹木の若木への更新をはかる体制を確立する必要がある。特に街路樹では、危険防止とともに街路樹としての効用を十分に発揮させるため、若木への更新を計画的に行うべきである。更新体制の必要性については「緑豊かな並木づくり」(北海道国土緑化推進委員会 1987)の中でも指摘されている。更新を行う時期は樹勢の衰退を見ながら判断することが必要だが、その時期は樹種や植栽環境によっても異なる。そのさい景観を大きく変化させることがないよう、更新は一度に行うのではなく、数回に分けて行うことが望ましい。樹勢の衰えた樹木や生育不良の樹木はみどりの効用も低く、活力のあるみどりを望むのであれば、更新体制を是非確立しておく必要がある。

ただし、地域の名木に指定されている樹木や由緒ある貴重な樹木の場合は、外科的手術などにより延命処置を施したり、支柱を立てるなどの処置を行い保存をはかることも考えられる。また、樹木の保存と同時に種子によって子孫を残したり、さし木や接ぎ木などにより遺伝的に同じもの(クローン苗)を残しておき更新時の後継樹に使用するなど、更新を念頭においた計画的な苗木の養成が望まれる。

第6 まとめ

1 台風被害と対策

(1) 風の強さと緑化樹被害

台風18号による緑化樹の被害調査を全道212市町村(2004年9月8日時点)の市街地を対象に行なった。

測候所、アメダス観測地点のある道内142市町村のうち、台風18号による10分間平均風速の最大値は、強風(樹木全体が揺れると定義されている風速13.9~17.1m/sの風)が70市町村で、暴風(樹木が根こそぎなると定義されている風速25.0m/s以上の風)は、10市町で観測された。また、道内22の气象台、測候所のうち、14箇所ですべて最大瞬間風速の記録を更新した。

最大風速が大きい市町村では、樹木の被害(風害)が発生していた。被害本数は最大風速より、人口などの社会的要因の影響を間接的に受けていた。

被害本数は、公園樹23,522本、街路樹11,992本であった。

被害本数の多かった樹種は、公園樹はニセアカシア、シラカンバ及びサクラ類、街路樹はナナカマド、ニセアカシア及びカエデ類であった。

公園樹について使用実績と被害本数の関係から被害発生が多かった樹種と少なかった樹種を推定した。その結果、被害が多かった公園樹は、ニセアカシア、ポプラ類、ヤナギ類及びヤチダモで、逆に少なかったのはイチイ、カツラ及びニオイヒバであった。

街路樹で被害率(被害本数/植栽本数)の高かった樹種は、ポプラ類(12.0%)、ニセ

アカシア（8.4％）、ナナカマド（8.3％）、シダレヤナギ（8.2％）及びイヌエンジュ（6.1％）で、低かった樹種はカツラ（0.4％）、オオバボダイジュ（0.5％）、ハルニレ（1.2％）及びイチョウ（1.3％）であった。

被害形態は、一般に公園樹は根返りが多く、街路樹は根返りと傾斜が多かったが、樹種によっては幹折れや枝折れが多発していた。

街路樹は腐朽部位から折れている事例が多く見られ、樹木1本あたりの腐朽数が多い路線は、幹折れ率（幹折れ／植栽本数）が高かった。

街路樹の植栽升幅が1.50m以上ある路線では、腐朽木の発生が少なくなっていた。

剪定を行なっている路線は、剪定を行っていない路線に比べて、被害発生率が低くなっていた。しかし、一部の樹種では剪定による被害低減効果がなかった。剪定による被害軽減効果のなかった樹種のうち、ニセアカシアは成長が早く、すぐに元の樹形に戻ってしまい、剪定効果が長続きしていなかった。

人為的な傷害によって台風被害を誘発したとおもわれる事例が多数あった。

（2）被害対策と樹木の更新

風害を受けやすい樹種と被害形態を明らかにし、次期植栽木選定の参考資料となる表を作成した（表-5-2-4、6-1-1）。

樹木を健全に育てるためには、立地条件に適した樹種の選定、品質の良い苗木の使用、適期の移植、根系が十分に発達できる空間の確保及び適切な維持管理が必要である。

風害に耐性のある樹形として、形状比（樹高／胸高直径）は50以下がよく、樹冠長比（樹冠の長さ／樹高）は0.5以上が望ましい。耐性のある樹形に仕立てるためには、適切な本数管理と剪定が必要である。

剪定の実施は風害発生防止に一定の効果があり、特に枝折れ被害が多発する樹種は定期的な剪定を要する。

樹木腐朽に繋がる車両等による人為的傷害の防止には、保護杭設置が必要と考えられる。同様に、傷害による腐朽木発生を少なくするためには、街路樹の植栽升幅を1.50m以上確保する必要がある。

緑化樹の被害発生防止には、定期的な検診と適切な維持管理が有効で、そのために管理台帳を整備する必要がある。

傷害を受けた樹木は早期に適切な治療が必要であるが、腐朽等があって危険と判断された場合は植え替える必要がある。

表 - 6 - 1 - 1 被害調査を基にした樹種別の使用評価と被害発生状況

樹種	使用の適否 公園街路	腐朽発生 頻度(街路 樹の事例)	被害の発生しやすさ、被害形態
アオダモ	-	・	被害発生は少ない、被害形態は根返りや傾斜
アカエゾマツ		・	被害発生は少ない、根返りが多く、他に幹折れや枝折れが発生
イタヤカエデ ^{*1}	-	・	被害発生は中庸、被害形態は傾斜や枝折れが多い
イチイ		・	被害発生少ない、根返りが多く、他に幹折れや枝折れが発生
イチヨウ		中庸	被害発生は少～中庸、公園樹は根返り、枝折れ、街路樹は傾斜等が発生
イヌエンジュ		中庸	被害発生は多い、根返り、傾斜が多発
エゾヤマザクラ ^{*2}	-	・	被害発生は中庸、根返り、傾斜、幹折れ、枝折れが均等に発生
オオバボダイジュ ^{*3}		中庸	被害発生は中庸、被害形態は根返りが多く、他に幹折れや枝折れも発生
カエデ類		・	被害発生は中庸、公園では根返りが多いが、その他の被害も発生
カツラ		・	被害発生は少ない、街路で幹折れが多いが、根返りや傾斜は少ない
キタコブシ	-	・	被害発生は中庸、各種の被害が均等に発生
クロマツ	-	中庸	被害発生は中庸、傾斜被害が多い
サクラ類		高い	被害発生は中庸、根返り、傾斜、幹折れが多く発生
シダレヤナギ ^{*4}	×	高い	被害発生は多い、根返りが最も多く、傾斜、幹折れ、枝折れも発生
シナノキ ^{*3}		・	被害発生は中庸、根返りが最も多かったが、傾斜、幹折れも発生
シラカンバ		低い	被害発生多い、根返り、傾斜、幹折れが発生
トウヒ類	-	・	被害発生は少ない、根返りが多く発生、幹折れも発生
トチノキ	-	高い	被害発生は中庸、幹折れが多い
トドマツ		・	被害発生は中庸、根返り、幹折れ等の致命的な被害形態が多い
ドロノキ	-	・	被害発生は中庸、根返り、幹折れ、枝折れ被害が発生
ナナカマド		中庸	被害発生多い、根返り、傾斜、幹折れ、枝折れの全てが発生
ナラ類	-	・	被害発生多い、根返り、幹折れ、枝折れが発生
ニオイヒバ		・	被害発生は少ない、根返りが多発し、幹折れ、枝折れも発生
ニセアカシア	×	高い	被害発生が最も多い、根返りが多発、傾斜、幹折れ、枝折れも発生
ネグンドカエデ	-	・	被害発生は中庸、根返りが最も多く、傾斜も発生
ハシドイ	-	中庸	被害発生は中庸、根返りが最も多く、傾斜も発生
パラソルアカシア	-	・	被害発生は中庸、根返りと枝折れが発生
ハルニレ		・	被害発生は中庸、根返りが多い、傾斜、幹折れ、枝折れも発生
バンクスマツ	-	低い	被害発生は中庸、傾斜が最も多く、根返りも発生
プラタナス		高い	被害発生多い、枝折れが最も多く、次いで根返りが発生
ブンゲンストウヒ	-	低い	被害発生は中庸、根返りと枝折れが発生
ポプラ類	×	高い	被害発生多い、根返りが最も多く、幹折れ、枝折れも発生
マツ類	-	・	被害発生は中庸、根返りが多く発生、他に幹折れ、枝折れが発生
ヤチダモ		・	被害発生は多い、根返りが最も多く、傾斜、幹折れ、枝折れも発生
ヤナギ類 ^{*4}	×	・	被害発生は最も多い、公園樹は各種被害が発生、街路樹は幹折れが発生
ヤマモミジ ^{*1}	-	中庸	被害発生は中庸、幹折れが多く、他に根返りと枝折れが発生
ヨ - ロッパアカマツ	-	・	被害発生は中庸、根返りが多く、他に傾斜が発生
ヨ - ロッパトウヒ	-	低い	被害発生は少ない、根返りが特に多く発生
ムラサキハシドイ	-	・	被害発生は少ない、根返りが多く、他に傾斜、幹折れが発生

記号説明

・ : 適している - : 使用場所に注意を要する × : 使用に不適 - : データ不足で評価不能

*1: カエデ類にも含まれている

*2: サクラ類にも含まれている

*3: 公園樹はオオバボダイジュとシナノキを区分しないで集計している

*4: 公園樹はシダレヤナギとヤナギ類を区分しないで集計している

2 謝辞

本報告書のとりまとめには、道内各市町村、北海道建設部道路整備課、土木現業所及び北海道開発局道路維持課から台風被害をとりまとめた資料の提供を受けました。資料を提供していただいた公園、道路の維持管理担当の皆様、厚くお礼申し上げます。また、資料の収集にあたって御協力いただいた、北海道水産林務部森林活用課並びに各支庁林務課みどり担当の皆様、感謝を申し上げます。樹木風害写真の一部は、札幌市の服部聡様から提供を受けました。服部様並びに現地調査の補助、資料の整理に協力していただいた臨時職員の皆様にも心から感謝申し上げます。

3 担当者

北海道立林業試験場 緑化樹センター

副 所 長	三岡 修
主任 研究員	佐藤孝夫
管理技術科長	清水 一
研 究 職 員	石井弘之
利用指導課長	清水口 進
主 任	金田秀行
主 任	中山康博

参考文献

- 北海道 1987 緑豊かな並木づくり - 北国の道路緑化指針 - 174p (社)北海道国土緑化推進委員会
- 北海道立林業試験場 1996 多雪地帯におけるみどり豊かな街路樹の造成・管理技術報告書 72p
- 苅住 昇 1979 樹木根系図説 1121p 誠文堂新光社
- 水井憲雄・畠山末吉 1984 カラマツ人工林の台風被害 - その特徴と耐風性 - 光珠内季報 60:1~6
- 佐藤孝夫 1996~99 根の話 1~13 造園 No.91~103 北海道造園建設業協会
- 佐藤孝夫 1982 苗木6種の根の伸長の季節変化 北海道立林業試験場報告 20:69~79
- 佐藤孝夫 1987 広葉樹の根の伸長の季節変化 北海道立林業試験場報告 25:1~17
- 傳甫潤也 2004 2004年台風18号の倒木被害から学ぶ都市緑地の計画・管理 北方林業 56:241~242
- 四手井綱英 1976 森林保護学 236p 朝倉書店
- 鈴木和夫 1999 樹木医学 325p 朝倉書店
- (社)ゴルファーの緑化促進協力会編 1995 緑化樹木の樹勢回復 230p 博友社

2 風害に強い樹種を植える

風害への対策としては、まず風に強い樹種（根返りや幹折れが生じにくい樹種）を植栽することが重要になるが、そもそも折れない木も、抜けない根もあり得ないから、ここでは今回の被害実態から見た風害と樹種との関係や樹木の倒伏と密接な関係にある根系の支持力について述べ、今後風害に配慮したみどり環境を造成する場合の植栽樹種について検討する。

（1）被害実態から見た風害を受けやすい樹種と受けにくい樹種

今回の台風被害は、非常に強い風が原因で発生したが、被害状況は樹種により差が見られた。被害が発生しやすい樹種を、公園樹は相対的被害度〔相対的被害度＝被害全本数に占める各樹種の構成比率を植栽全本数に占める各樹種の構成比率で除した値〕を用い、街路樹は被害率〔被害率＝各樹種の被害本数／各樹種の植栽本数〕を使用して求めた（詳細は第4の2 風害実態調査を参照）。

植栽本数の多い樹種のうち、公園樹と街路樹に共通して被害を受けやすい樹種は、ニセアカシア、ポプラ類及びヤナギ類（シダレヤナギ含む）であった（表-5-2-1）。ほかに被害を受けやすい樹種は、公園樹がドロノキ及びヤチダモ等で、街路樹はナナカマド、イヌエンジュ及びサクラ類であった。

逆に被害を受けにくい樹種は、公園樹、街路樹に共通してイチイ、カツラ、アカエゾマツ、及びイチョウで、公園樹ではライラック及びニオイヒバ、街路樹ではオオバボダイジュ、ハルニレ及びトチノキであった。

表-5-2-1 樹種別の被害率（上位8樹種）

被害を受けやすい樹種		被害を受けにくい樹種	
公園樹	街路樹	公園樹	街路樹
ニセアカシア	ポプラ類	イチイ	イチイ
ポプラ類	ニセアカシア	カツラ	カツラ
ヤナギ類	ナナカマド	ニオイヒバ	アカエゾマツ
ヤチダモ	シダレヤナギ	アカエゾマツ	オオバボダイジュ
ドロノキ	イヌエンジュ	イチョウ	ハルニレ
ナラ類	ヨ-ロッパアカマツ	ライラック	イチョウ
シラカンバ	ヤチダモ	トウヒ類	トチノキ
ナナカマド	サクラ類	カエデ類	プラタナス

被害木のうち、根返りが多かったのは、公園樹ではハンノキ類及びトドマツで、街路樹はアカエゾマツ及びネグンドカエデであった。（表-5-2-2）。また根返りや傾斜等の根に関わる被害が多かった樹種は、公園樹ではハンノキ類及びカラマツ、街路樹ではバンクスマツ及びイヌエンジュが多かった。幹折れ被害は、公園樹でカツラ及びドロノキ、街路樹はヤマモミジ及びエゾヤマザクラで多く発生した。枝折れ被害も含めた折れやすい樹種は、公園樹ではカツラ及びプラタナスで、街路樹はシラカンバ及びプラタナスであった。

表 - 5 - 2 - 2 各種被害形態別発生数の多かった樹種

根返り		傾斜		幹折れ		枝折れ	
公園樹	街路樹	公園樹	街路樹	公園樹	街路樹	公園樹	街路樹
ハンノキ類	アカエゾマツ	イヌエンジュ	イタヤカエデ	カツラ	ヤマモミジ	プラタナス	シラカンバ
トドマツ	ネグンドカエデ	ヤチダモ	クロマツ	ドロノキ	エゾヤマザクラ	カツラ	プラタナス
イチイ	ハシドイ	シラカンバ	バンクスマツ	トドマツ	ナナカマド	イチョウ	エゾヤマザクラ
カラマツ	ポプラ類	ライラック	カエデ類	ポプラ	イチョウ	ハルニレ	ヤチダモ
ライラック	イヌエンジュ	プラタナス	ナナカマド	サクラ類	シダレヤナギ	ナラ類	ポプラ類
トウヒ類	ニセアカシア	カラマツ	サクラ類	ナナカマド	サクラ類	ドロノキ	

(2) 根系の支持力の大きな樹種と小さな樹種

樹木の倒伏は根返りや根切りによって生じるが、完全に転倒するに至らない傾斜なども根に起因する被害で、根系の支持力と密接な関係にある。そして、根に起因する被害が風害の中で大きなウェイトを占めている。根返りなどの被害は、風圧が根系の支持力を上まわった時に起きる。一般に根系の支持力が大きなものは風害に強く、小さなものは風害にやや弱いと言われている。そこで 樹木根系図説（苅住昇著）をもとに作成した根系の支持力の一覧表を以下に示す。

表 - 5 - 2 - 3 根系の支持力と主な樹種名

根系の支持力	樹種名
大	イチョウ、イチイ、トドマツ、クロマツ、アカマツ、チョウセンゴヨウ、ヨーロッパアカマツ、ヨーロッパクロマツ*、メタセコイア、ブナ、ミズナラ、コナラ、カシワ、アカナラ*、ハルニレ、ケヤキ、カツラ、ナナカマド、イヌエンジュ、ニセアカシア、トチノキ、シナノキ、ハシドイ、ムラサキハシドイ、ヤチダモ、アオダモ
中庸	ヨーロッパトウヒ、アカエゾマツ*、ブンゲンストウヒ*、シダレヤナギ、ケヤマハンノキ、シラカンバ、ノニレ*、ユリノキ、エゾヤマザクラ、カスミザクラ*、アズキナシ、シンジュ、ヤマモミジ、イタヤカエデ、クロビイタヤ、ヨーロッパカエデ*、ギンヨウカエデ*、ナツツバキ
小	カラマツ、ストロブマツ、バンクスマツ、セイヨウハコヤナギ、エウロアメリカポプラ*、ドロノキ*、ギンドロ、シダレカンバ*、キタコブシ、プラタナス、ソメイヨシノ、サトザクラ*、ズミ、ハウチワカエデ、ネグンドカエデ、ミズキ、ハクウンボク

苅住昇：樹木根系図説から転載、*は佐藤孝夫：北海道立林業試験場報告 20、25 から転載

一般に根が深く、根張りが広くて土壌を緊縛する力が大きいものほど根系の支持力は大きい。しかし、根が浅い樹種でも根系の質が強靱で根が良く分岐し土壌保持力が大きいものや、根の質が軟らかくても根系の分布が深く分岐が多いものは支持力が大きい。一方、根系の分岐が少なく根の質が軟らかいものは支持力が小さい。

このように樹種によって根系の一般的形状は異なるが、同一樹種でも個々の樹木の支持力はその樹木が生育している立地条件によって著しく異なってくる。根系の支持力が大き

な樹種であっても、植栽環境が悪くて樹木の健全度が低下している場合は、根系が本来の生育をしないで、その支持力が大幅に低下することがあるので注意を要する。また、本来支持力が小さな樹木であっても、植栽環境の改善、適切な維持管理によって根系が十分に発達し、支持力が高まるので、樹種への配慮以上に生育環境をどのように整えるかの方が、風害を受けにくい緑化樹を育成する上ではより重要な要因になっている。

(3) 木材部の強度から見た風害に強い樹種

根系の支持力が風圧に耐えることができても、幹や枝の木材部の強度が風圧に耐えられなかったときに幹折れや枝折れが起きる。幹や枝の材部の強度は樹種によって異なるとともに、枝の年齢によっても異なる。一般に当年生～数年生など若い枝はしなやかであるが、物理的な強度が弱いとされている。生立している樹木に対する各部位毎の材質強度に関する詳細な資料が現在ほとんどないために、枝や幹の木材部の強度からみた風害に強い樹種について評価することは困難である。しかし、同じような生育状況にある樹木でも腐れや欠損部(傷)などがあると、その部位から折損する多くの事例があり、腐れなどにより樹木の強度が著しく低下することが指摘されている。

(4) これからの植栽樹種

今回の被害実態調査と根系の支持力などを考慮して、公園に適した樹種、街路樹に適した樹種を以下に述べる。ただし、記述した樹種は絶対的なものではなく、植栽地盤等の立地環境、維持管理等によって本来持っている樹種特性が発揮されない場合もあるので注意を要する(第3の3「緑化樹を取り巻く生育環境」参照)。植栽樹種を決定する場合は、表-5-2-4に樹種別の生育特性、風に対する被害発生の特徴を記したので、こちらを参考にしていきたい。

ア 公園樹に適した樹種

公園樹は屋外で活動している人々に対して危害を与えない樹木でなければならない。一般に、強風による樹木被害のうち、枝折れや幹折れは最も早く樹体の一部が地上部に落下してくるため、無防備の人間が逃げ遅れる可能性が高く、危険である。また、腐朽被害を受けやすい樹種は幹折れが発生しやすいので避けた方が良い。人々が集まりやすい場所や頻繁に利用する通路沿いは、被害が発生する割合が低く、幹折れや枝折れが少ない樹種が望まれる。この条件を満たす高木は、イチイ、アカエゾマツ、トウヒ類、カエデ類及びハシドイ等だが、樹形管理の徹底や植栽位置などを考慮すれば、他の樹種も植栽可能と考えられる。

根返り木は極めて大きな重量をもって倒れてくるので、トイレや遊具等の公園附带施設を容易に破壊してしまう。したがって、これら人々の集まりやすい公園附带施設を直撃する範囲内に根返りしやすい樹種を植栽するのは危険である。根返りが比較的少ないカツラ、キタコブシ及びナラ類等が植栽に適しているが、樹木の定期的な検診と維持管理を行なうことにより他の樹種も植栽可能である。

イ 街路樹に適した樹種

街路樹は道路に隣接して植栽されるため、被害が発生したときは歩行者、車両に直接傷害を与えるだけでなく、交通の支障ともなり社会的に大きな被害をもたらす。そのため、このような被害を発生しない樹木が理想的であるが、樹木は生き物であるので、成長もするし、時として腐朽も発生するので、絶対に被害を発生しない樹種は存在しない。街路樹の被害防止策は、正しい維持管理と定期的な診断及び計画的な更新がすべてである。

被害を軽減させるためには幹折れに結びつく腐朽が少なく、完全に根返りすることなく傾斜で踏みとどまる樹種が望ましい。また、簡易な定期的診断が行いやすい樹形をしている樹種だとさらに都合が良い。これらの条件を満たす樹種としては、イタヤカエデを含むカエデ類、カツラ、トチノキ、ハルニレ等があり、正しく剪定・管理されていればプラタナスも候補樹種に入る。

表 - 5 - 2 - 4 各樹種の生育特性と台風被害のまとめ

樹種	葉の形態	成長の早さ	被害の発生		被害形態								腐朽の発生頻度 (街路樹)
					根返り		傾斜		幹折れ		枝折れ		
			公園樹	街路樹	公園樹	街路樹	公園樹	街路樹	公園樹	街路樹	公園樹	街路樹	
アオダモ	落葉広葉	遅い	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
アカエゾマツ	落葉広葉	遅い	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
イタヤカエデ ^{*1}	落葉広葉	中庸	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
イチイ	落葉広葉	遅い	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
イチョウ	落葉広葉	中庸	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
イヌエンジュ	落葉広葉	中庸	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
エゾヤマザクラ ^{*2}	落葉広葉	中庸	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
オオバボダイジュ	落葉広葉	中庸	*3	*3	*3	*3	*3	*3	*3	*3	.	.	
カエデ類	落葉広葉	樹種による	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
カツラ	落葉広葉	中庸	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
キタコブシ	落葉広葉	遅い	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
クロマツ	落葉広葉	中庸	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
サクラ類	落葉広葉	中庸	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
シダレヤナギ	落葉広葉	早い	*4	*4	*4	*4	*4	*4	*4	*4	.	.	
シナノキ	落葉広葉	中庸	*3	*3	*3	*3	*3	*3	*3	*3	.	.	
シラカンバ	落葉広葉	早い	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
トウヒ類	常緑針葉	中庸	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
トチノキ	落葉広葉	中庸	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
トドマツ	落葉広葉	遅い	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
ドロノキ	落葉広葉	早い	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
ナナカマド	落葉広葉	中庸	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
ナラ類	落葉広葉	中庸	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
ニオイヒバ	落葉広葉	遅い	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
ニセアカシア	落葉広葉	早い	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
ネグンドカエデ [*]	落葉広葉	早い	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
ハシドイ	落葉広葉	中庸	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
パラソルアカシア	落葉広葉	枝は早い	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
ハルニレ	落葉広葉	中庸	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
バンクスマツ	常緑針葉	中庸	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
プラタナス	落葉広葉	早い	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
ブンゲンストウヒ	常緑針葉	遅い	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
ポプラ類	落葉広葉	早い	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
マツ類	常緑針葉	中庸	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
ヤチダモ	落葉広葉	中庸	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
ヤナギ類	落葉広葉	早い	*4	*4	*4	*4	*4	*4	*4	*4	.	.	
ヤマモミジ ^{*1}	落葉広葉	遅い	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
ヨ - ロッパアカマツ	常緑針葉	中庸	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
ヨ - ロッパトウヒ	常緑針葉	中庸	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
ムラサキハシドイ	落葉広葉	中庸	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

記号説明

- ：特に多い ：多い ：中庸 ：少ない ：調査資料なし
- *1: カエデ類にも含まれている
- *2: サクラ類にも含まれている
- *3: 公園樹はオオバボダイジュとシナノキを合せて集計している
- *4: 公園樹はシダレヤナギとヤナギ類を合せて集計している

3 風害に強い樹木を育てる

前述したように、根系の支持力が大きな樹種であっても、植栽環境や樹木の健全度によって根系の支持力が低下することがあり、支持力が小さな樹木であっても、植栽環境の改善、適切な維持管理によって支持力が高まることがある（苅住：樹木根系図説）。ここでは、風害に強い樹木を育てるための健全な育成方法や維持管理方法について述べる。

（１）樹木を健全に育てるために

植栽木を健全に育てるためには以下の５つの条件に配慮する必要がある。これらのどの条件が欠けても植栽木の樹勢の低下を招くおそれが高いため、注意を要する。

その地域で生育可能な樹種を選ぶ

耐寒性が低く、その地域では生育が難しいと思われる樹種は基本的に植えない。その地域にもともと自生している樹種や、そこで育っている樹種・品種の中から植栽樹種を選ぶ。

その際、風にできるだけ強い樹木を植栽することも必要だが、植栽場所の空間にあった樹種を選定することが重要で、小さな植栽空間しかない場所に将来大きくなる樹種を植えるべきではない。

例えば、街路樹で中央分離帯など大きな空間が確保できる場所では、大きくなる樹木を植栽することが可能だが、狭い歩道などに植える場合は、あまり大きくならない樹種を植えるべきである。

品質の良い苗木を選ぶ

枝幹の伸長量が適度に多く、枝が四方に広がり、根が四方に張り、細根が多いものが良く、極端に伸長量の多いものや少ないもの、病虫害に罹っているものは避ける。

移植はできるだけ春早く、芽が吹く前に行う

植栽は春の開芽前が望ましく、夏植、特に伸長中のものは活着率が極端に低下する。秋植の活着率は高いが、翌年の成長が不良となることが多い。また、植栽時に苗木の根を乾かさないうち注意することも大切である。

植栽地を改善し、根張り空間を確保する

植栽木を健全に生育させるためには、根張り空間の確保が重要である。また、土壌が硬いと根の成長が阻害され、水はけが悪いと根腐れをおこし、生育不良になることが多い。街路樹では植栽升などの植樹帯を大きく確保し、植樹帯の中だけでなく、歩道など周囲の土壌もできるかぎり良質な土壌を用いるようにする。また、植樹帯には時々有機質肥料を施したり、土壌が固結しないように浅く耕耘することも必要である。公園などの樹木では、植栽時に根張り空間を広く確保し、土壌が不良の場合は広範囲に土壌改良を行ったり、客土を行う、あるいは土壌を耕耘して軟らかくするなど、植栽基盤の改善が必要である。また、植栽後は人や車などの進入による土壌の固結を防ぎ、時々有機質肥料を施すとともに、土壌が固結しないように浅く耕耘する。植栽基盤の改善は、樹木を健全に育成するだけでなく、根系の支持力の増強にもつながる。

なお、主な緑化樹の根系の分布特性、緑化樹の生育に必要な土壌層の厚さ、土壌改良の方法、客土の方法、土壌硬度および浸透高と樹木の成長については巻末資料 7 ～ 11 に示す。

適切な維持管理を行う

樹木は移植時に根系が切断されており、十分に樹体を維持することができないので、植栽後の倒伏防止や動揺防止のために支柱を設置することが必要である。切断された根は、若くて元気の良い樹木では短期間に回復するが、一般に高木類では5年程度、大木ではそれ以上の期間が必要といわれている。しかし、切断された根の回復に長い時間がかかるからといって長期間支柱を付けたままにしておくと、植栽木の根が発達せず根系の支持力が回復しないことがある。また、幹にこすれ傷が付いたり、幹に支柱や結束紐がくい込むことがあり、そこから菌類の侵入により腐朽を起こす原因となる。そのため、支柱や縄の取り外しは根系の回復の状態を見ながら早めに行う（地上部の成長が旺盛になれば根系は回復したとみなして良い）。また、病虫害防除、剪定、下草刈り、肥培及び灌水なども必要に応じて行う。とくに落ち葉は可能な限り回収して堆肥化し、街路や公園に還元することが望ましい。

なお、参考までに街路樹の根系について苧住が樹木根系図説の中で述べていることをまとめて記す。

『街路樹の根系は一般林地のそれに比べて枯損、腐朽したものがいちじるしく多い。これは土壤の転圧や舗装による土壤の乾燥と通気不良によって根系の生長と働きが阻害されるためである。また、毎年くりかえしおこなわれる地上部の剪定による樹勢の低下や根株部分の損傷による腐朽菌の侵入などに起因するところも多い。

街路樹の根系は植え付け、幼齢時には植枿内土壤の影響を直接受けるが、成長に伴って路床、路体の土壤中にも広がり、広い範囲から養水分を吸収する。成木では根系の働き部分の大半は植枿外にある（巻末資料12参照）。しかし、植枿内の土壤は、成木になって根系が路床下に発達したのちも、根系の生長を支える下層土壤に空気と養水分を供給するパイプの役割をしている。このため、植枿内土壤は膨軟で通気性良好なものが良いが、植枿土壤が古くなると表層が圧密され、透水性が悪く、雨水は表面を流失することが多い。これらの改善策としては、植枿（植樹帯）をできる限り広くし雨水の浸透と通気を促進させるとともに、植枿内土壤面をやや低くし、下草を植えるなどして表土を膨軟にして透水と通気が十分になるよう配慮する。また、長期間利用した植え穴土壤は良い土壤と交換して根系成長を促進させる。さらに、植栽枿内の根系を人為による圧密から保護するために周囲に低い柵やサークルのような覆いをする。街路樹周辺の土壤は、道路建設時になるべく良質の土壤を用いる。また、広い範囲にわたって透水と通気を促進させるため、歩道を透水性の舗装にすることも考えられる。不成績地では街路樹の周辺にトレンチを掘って土壤を良質のものに交換する。成木では根系が密に発達するため狭い植枿内の土壤を交換することは難しい。

なお、街路樹の土壤は炭素・窒素量が少ないので炭素と窒素の含有量が多く、C - N率が10～25程度のバランスがとれた土壤を用い、また堆肥など有機質肥料を入れて土壤の理化学性を改良する。pHは5～6程度にする。街路樹土壤はアルカリ化しやすいのでとくに注意をする必要がある。』

(2) 風害を受けにくい樹形に仕立てる

風心に作用する風圧は、風速の2乗や樹体の投影面積、抵抗係数などに比例するが、抵抗係数は樹種、樹形及び風速などによって変化する。

一般に樹木の形状は、形状比（樹高/胸高直径）や樹冠長比（樹冠長/樹高）などで示されることが多く、これらの指標を使って風害を受けにくい樹形がどのような姿なのかについて次に説明する。

樹木の形状比は、樹幹の完満の度合いや細り具合を表す指標として使われるが、形状比が大きいほど細くて樹高が高いひよろ長い樹形であることを示す。緑化樹の場合は木材生産を目的とするものでないので、ひよろ長い（通直な）樹形よりもがっしりと安定感のある樹形が望ましい。樹木の形状比が100以上になると風害などを受けやすくなり、50程度あるいはそれ以下の方が被害を受けづらいと言われている。公園などでは、木が混み過ぎていると下枝が枯れ上がり、肥大成長よりも上長成長が盛んになり、形状比が大きくなる結果、風害を受けやすくなる。ただし、形状比が50以下でも根張り空間が小さいあるいは土壌層が薄ければ根返りなどの被害を受けることがある。一般的に太い木ほど、風心高の直径が大きい木ほど被害を受けにくいと言われている。

形状比を小さくするためには、適度な剪定により樹高を抑えることが必要で、比較的大きな木でも、樹高が低いと風などによる外力は著しく小さくなる（写真-5-3-1）。また、風心高の直径が小さくならないように、枝下高をあまり高くしないほうが良い。さらに、樹種によっては、混み過ぎた枝を透くことにより、樹体投影面積を減少させ、風圧を軽減させることも可能である。

また、樹木の枝葉量と幹の肥大成長は比例関係にあり、枝葉量（樹冠の発達）と根系の発達とも密接な関係にあると指摘されている。前述の形状比を適切な状態に維持するためには肥大成長に関係する樹冠の維持が欠かせない。一般的に樹高と樹冠の長さとの比率を樹冠長比として表している。樹冠長比が大きくなる（樹冠が発達した木）ほど、樹高に対し幹が太くて樹木の重心が低く（形状比も小さくなる）、風や冠雪に対し強いと言われている。通常樹冠長比が0.5以上は被害を受けにくい、0.5以下では被害を受けやすくなるのが指摘されている。樹冠長比が大きいことは樹冠が良く発達し、風をたくさん受けることになるが、樹冠から多くの栄養分を受けて幹が太く、根系が発達するので、樹体の風に対する抵抗力を高めることになる。一方、樹冠長比が小さいことは樹高に比べ樹冠長が短いことであり、風圧は少なくなるが、幹が細くかつ風心高が高く、幹折れしやすくなる。

以上のことから、風害に強い樹形の仕立て方として、街路樹では、適度な剪定を行ってある程度の樹高に抑え、樹冠長は樹高の50%以上と

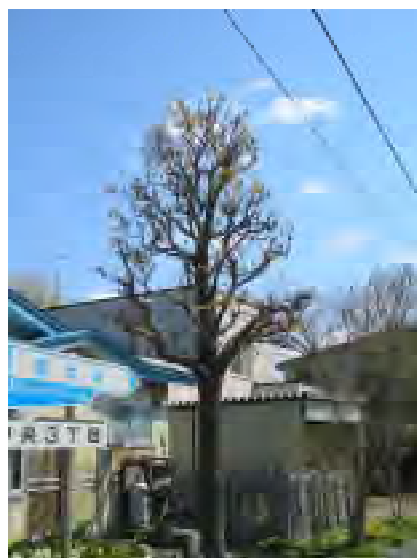


写真 - 5 - 3 - 1 剪定によって太く短い樹形となったナナカマド

し、葉が大きくて密に着く樹種や枝が密に混んでいる樹木では、枝を適度に透くようにする。公園などでは、木が混み過ぎている場合は適度に間伐を行い、場所によっては剪定を行って樹高を低くしたり風圧を受ける面積が小さくなるように努める。しかし、このように樹形を仕立てるより、根系の発達を促し、根系の支持力を高める努力をするほうがより重要である。

なお、秋の台風に備えるために、夏期にある程度の透かし剪定を行ったほうが良いと思われる樹種はニセアカシア、プラタナス及びヤナギ類がある。これらの樹種は剪定後の枝の回復力（伸長量）が大きく、樹木の受けるダメージは少ないが、旺盛な成長量のため翌年には元の樹形に戻っている場合があり、剪定の効果は一時的なものである。また、夏期の剪定は切口から多量の樹液が出て樹木が衰弱したり、切口が裸出することによって腐朽菌が侵入しやすいので、剪定に当っては太すぎない枝について、芽の着いている位置を考慮しながら切るなどの注意が必要である。

（３）補強資材の活用

支柱やツリーガードの設置は風害対策としても有効であると考えられる。

しかし、一般的な支柱では長期間放置しておく、樹木の肥大成長に伴って結束紐が幹にくい込んでしまったり、樹体の支持を支柱に頼ってしまい根系そのものの発達が促されないことなどから、十分な注意を要する。なお、大きな木を植栽した場合は根系の回復に10年以上も要することもあり、景観的にも支障にならない地下支柱が有効であるが、ワイヤーやロープが幹にくい込まないよう注意が必要である。

ツリーガード（巻末資料13）を使用する場合は、幹を固定している留め具が肥大成長を阻害する可能性があり、また樹体の支持を資材に頼ってしまい根系の発達が促されないことや太い幹では資材が大きくなるために費用がかさむことなどの問題点がある。

4 根や幹の枯損・腐朽の防止

都市部に植栽された緑化樹は、植栽基盤が硬い土壌であったり根張り空間が狭く、水分補給が少なく根が乾燥しやすく、さらには排気ガスを浴びるなど、劣悪な環境におかれている。そのため根系や幹などの枯損や腐朽が林地の樹木に比べて発生しやすい状況にある。根や幹に枯損や腐れが生じると、健全木に比べて著しく風害を受けやすくなる。そこで、腐れの原因となる幹などへの傷の防止策と傷口・切り口が生じた場合の対処法について説明する。

（１）幹・枝を傷つけないために

緑化樹の幹などに傷が付く主な原因としては、冠雪や強風による折損、枝どうしのこすれ、草刈りなどによる損傷、支柱による幹のこすれ、車両による損傷、剪定における切り口、支柱の結束紐などのくい込みによる傷害などがあげられる。特に除雪・排雪時における傷が多く見られる（巻末資料14）。

街路樹への除雪・排雪時における傷の防止のためには、担当者への注意の喚起がもっとも大切であるが、多雪地帯に適した植栽位置、すなわち車道や歩道に雪の一時的な堆積場所を考慮した街路樹造成を検討すべきである。植栽位置の変更と道路構造の改善を巻末資

料 15 に示した。

また、街路樹を除雪車などから守る方法として、保護杭を設置する方法（巻末資料 16）やツリーガードを保護用に使用する方法もある（巻末資料 13 参照）。保護杭は車道側と歩道側の両方に設置することが望ましいが、片側だけに設置する場合は車道側に設置する方が良い。支柱も短期的には保護用に使えるが、長期間そのままにしておくことと結束紐がくい込んでしまうので注意が必要である。また、結束紐を取り除いて支柱を残すことも考えられるが、肥大成長を阻害することがあるので、改めて保護杭を設置するほうが良い。

なお、前述のように風害対策としても適度な剪定は必要であるが、過度な剪定は逆効果になる。強剪定は樹勢を低下させるとともに、切り口から菌類が侵入しやすくなり、腐れや枯損の原因になるおそれ大きい。

（２）傷・切り口が生じたら

やむを得ず幹に傷が生じたら、殺菌剤による殺菌や雨水などの浸入防止の処置を施すなど、防腐対策を行うことが望ましい。また、剪定で生じた切り口はごく小さなものはそのまま放置しても良いが、大きな切り口（目安として直径 5 cm 程度以上）では同様の処置が必要である。傷口や切り口をそのまま放置しておくこと、雑菌が侵入し、幹や根へ広がって行くおそれがある。根株付近に腐朽の跡があるものはほとんどの場合、根にも腐朽が広がっているという報告がある。

５ 根や幹などが枯れたり腐れを生じたら

緑化樹が根返りする原因のうち根系の枯損が大きなウェイトを占め、幹折れの主因も幹の損傷や内部の腐れによると言われている。そこで、根や幹などが枯れたり腐れた場合の処置について述べる。

（１）根系の処置

根株付近に腐朽があるものは根にも腐朽が広がっていることがほとんどで、根系の腐朽や枯損により、小さな力でも倒伏する可能性が高まる。しかし、根系は地中にあるために枯損や腐れた部分を見つけることが難しく、処置のために車道や歩道を掘り起こすことが大がかりな工事になることから、造成後に根系の枯損や腐朽箇所を処置することは難しい。そのため、植栽前に植栽基盤を整備し、根系の発達が不良にならないよう対策を講じておくことが重要である。

（２）枯れた幹や腐れのある大枝、幹などの処置

傷口や剪定などによる切り口を防腐処理したにもかかわらず、その後幹や大枝が枯損することがある。このような場合は速やかにその部分を伐採することが望ましい。そのまま長期間放置しておくことさらに腐朽が進行し、腐朽菌の温床となって健全な周囲の木にも影響を及ぼすことになる。言うまでもなく、新たに切断した面にも防腐処置を施す必要がある。

また、幹内部などの腐れは、その部分の大きさによって処置方法が異なる。腐朽部分が小さい場合は、腐朽部分を取り除くなどの簡単な処置を行う。さらに、中程度以上に進行

している場合は、これまで腐朽部分を完全に除去し、取り除いた部分を補強するために、コンクリートやウレタンを充填するなどの外科的手術がとられてきた。しかし、ウレタンは強度がやや弱く、コンクリートは樹木との密着性が悪く、樹木の成長に伴って隙間ができやすいなどの欠点の指摘に加えて、最近では樹木にはもともと自己防御機構があり、樹木内の腐朽の進展を防ぐため、腐朽部の周辺に抗菌性物質を集積するなど、防御壁を形成することが明らかになってきている。そのため、過度な防腐部の切削は、かえって樹木の防護壁を破壊してしまい、また細胞内に入った腐朽菌を完全に除去することも実際的には困難な場合が多く、これまでの外科的手術を生物学的には疑問視する研究もなされている。

腐朽が相当程度進行した樹木に対する外科的手術は、確かに大がかりで、多大な費用もかかり、経費対効果の面からもすべての樹木に適用できるものではない。しかし、都市部に生立する緑化樹は文化遺産や天然記念物などの指定を受けた巨木、老木や稀少樹木などもあり、単に生物学的判断だけで結論づけることが困難で、可能な限りの延命措置や危険防止及び景観上の配慮など多様な要請に対応することが求められている。

そのようなことから、幹内部の大部分が空洞になっているような場合は、外科的手術の必要性を十分に調査・検討した上で、その是非を判断することが必要である。なお、具体的な処置方法については樹木医に相談することを奨める。大規模な処置をしない樹木でも応急的な補強処置を施したほうが良いが、幹折れの危険性が高く、折れた場合周囲に及ぼす影響が大きいと考えられるものは伐採する必要がある。

(3) 危険木の伐採と後継樹の植栽

樹木は生き物であるために、当然寿命がある。都市の緑化樹はこれまで言われてきたように根張り空間が狭く、排気ガスなどの影響を強く受けるなど、劣悪な環境下にあり、林地などの樹木に比べて寿命が比較的短い。樹木の寿命を短くしている大きな要因は幹や根の腐れで、これらは風による根返りや幹折れの原因となっている。都市部の緑化樹が根返りや幹折れすると、多くの人々の生命、財産や社会的施設などに被害を及ぼすことがある。そのため、幹内部などの大きな空洞により、周囲に被害をもたらす危険性が高いと判断された樹木は、速やかに伐採することが極めて重要である。もちろん伐採後は早期に同種の後継樹を植栽し、これまでの景観を維持、継承することが必要である。樹種や植栽木の大きさや樹勢によっても異なるが、良い植栽環境におかれた樹木の成長は早いので、植栽後10年程度もすればもとの景観をほぼ回復すると考えられる。

6 緑化樹の管理と更新

(1) 樹木管理台帳の整備と定期的な診断の実施

現在植えられている緑化樹の中には樹木管理台帳が整備されていないものも多い。そのため植栽年や補植年と本数、生育状況など、植栽木に関する情報が不明で適切な管理ができない状況にある。今後は台風などに備えて、個々の樹木の状況を把握し、樹木管理台帳に植栽年や樹高などのほか、毎年の維持管理記録を整備し、5～10年毎に定期的な樹木診断を実施することが必要である。そして根返りや幹折れの危険性が高いと判定された樹木は速やかに伐採整理し、後継樹の植栽に努めなければならない。