

第1章 倒伏・落枝の発生要因

1.1 基本事項

樹木の倒伏は、幹が根元付近または途中で折れる「幹折れ」と、根系基盤が周囲の土壌から引きはがされるように樹体が完全に転倒する「根返り」に分類される。根系基盤にせん断が発生するものの倒伏には至らずに傾いた状態にとどまる「傾斜」の場合もある（写真-1.1）。

落枝は、枝の材が折れるもの、分枝部から裂けた状態になるものを含んでいる（写真-1.1）。

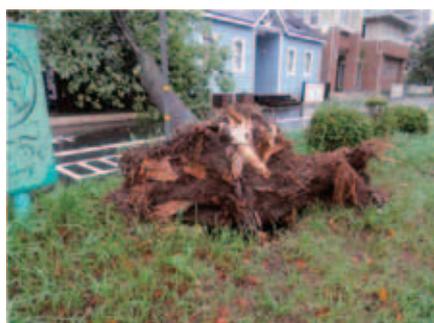
倒伏・落枝は、強風・豪雪等の気象害が重要な起因となっているが、樹木の幹・枝の材や分岐部の強度の低下、根系の支持力などを含めた複合的な要因により発生する場合が多い。



幹折れ：根株（左）と主幹（右）の折損



傾斜：根元から傾いた状態



根返り：根系の伸長不良（左）と腐朽（右）による倒伏



落枝：枝の分枝部（左）と途中（右）での折損



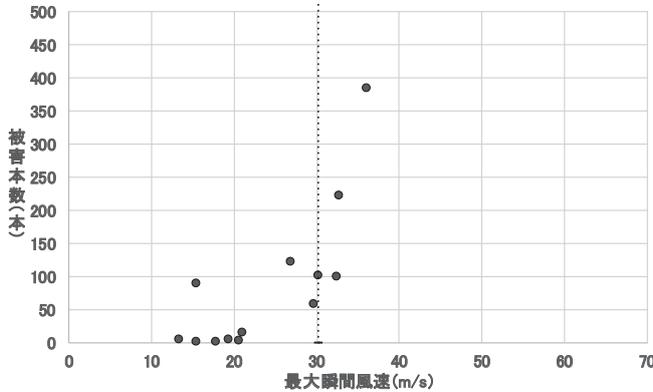
亀裂：幹が裂けた状態

写真-1.1 街路樹の倒伏・落枝等の被害形態

台風における風の強さと倒伏の関係は、過去の調査によると最大風速および最大瞬間風速が大きくなるとともに被害が増える傾向が確認されており、具体的には東京都の事例では最大瞬間風速が約30m/s以上、沖縄県の事例では最大風速が約22m/s以上、最大瞬間風速が約40m/s以上となった場合に急速に被害本数が増加していた（図-1.1）。また、台風が襲来している期間合計降水量が増加すると被害が増える傾向も確認されている（図-1.2）。これは、街路樹が植栽されている植栽柵や植樹帯等の制約を受けた植栽空間の土壌に大量の雨水が短時間に流入することで、一時的に土壌の含水率が高くなって土壌が緩む（土壌粒子間の摩擦力が低下する）ためと考えられる（写真-1.2）。

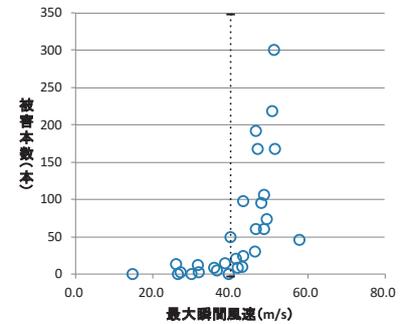
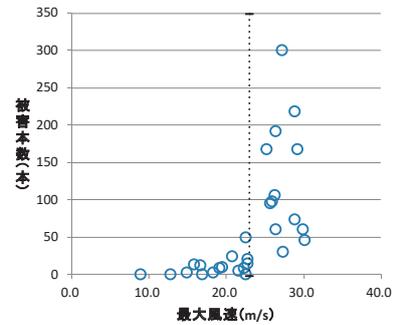
樹木の様子：(出典：風工学会「瞬間風速と人や街の様子との関係」)

瞬間風速 (m/s)	10	20	30	40	50	60以上
風の呼び方	やや強い風	強い風	非常に強い風	非常に強い風	非常に強い風	猛烈な風
樹木の様子	樹木全体が揺れ始める。	樹木全体が揺れる。	細い木の幹が折れたり、根の張っていない木が倒れ始める。	多くの樹木が倒れる。	多くの樹木が倒れる。	多くの樹木が倒れる。



東京都（街路樹）における事例

(東京都提供データと気象庁の過去の気象データから作図)



沖縄県（街路樹・公園樹）の事例

図-1.1 台風時の風の強さと倒伏被害の関係

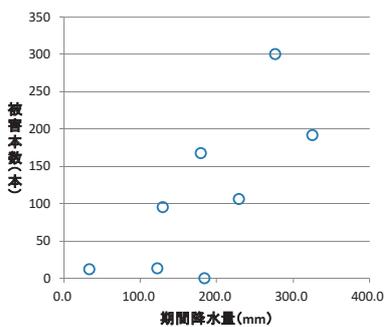


図-1.2 台風時の期間合計降水量と倒伏被害の関係（街路樹／沖縄県）

写真-1.2 雨水を含み緩んだ土壌と傾斜した街路樹

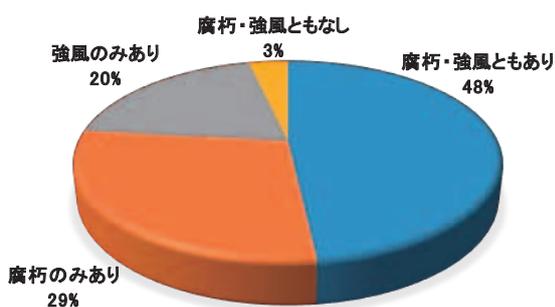


図-1.3 倒伏事例における腐朽・強風の関与

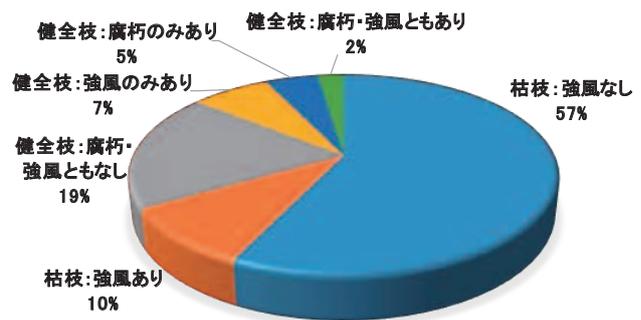


図-1.4 ケヤキ落枝事例における腐朽・強風・枝枯れの関与

※「東京都道における街路樹による落下直撃事故の実態、細野哲央・小林明、ランドスケープ研究（2009）」及び国道における事故調査（未公表）のデータを元に作成

倒伏・落枝事例における樹木の腐朽・枯れ・強風の関与については、東京都道と国道（直轄）の事例調査結果で強風以外の要因の関与として、倒伏に対しては腐朽が、落枝（ケヤキ）に対しては枯枝が多いことがわかる（図-1.3、1.4）。街路樹の腐朽や枯枝など樹体強度の低下につながる現象は、主に樹木生理・特性により発生する場合と外的・人為的な影響が原因となって発生する場合があります、強風等の気象害と複合的な関係になっていると考えられる。街路樹の落枝、幹折れ、根返りに関する複合的な発生要因の関係を次頁以降に示す（図-1.5～1.7、写真-1.3～1.5）。

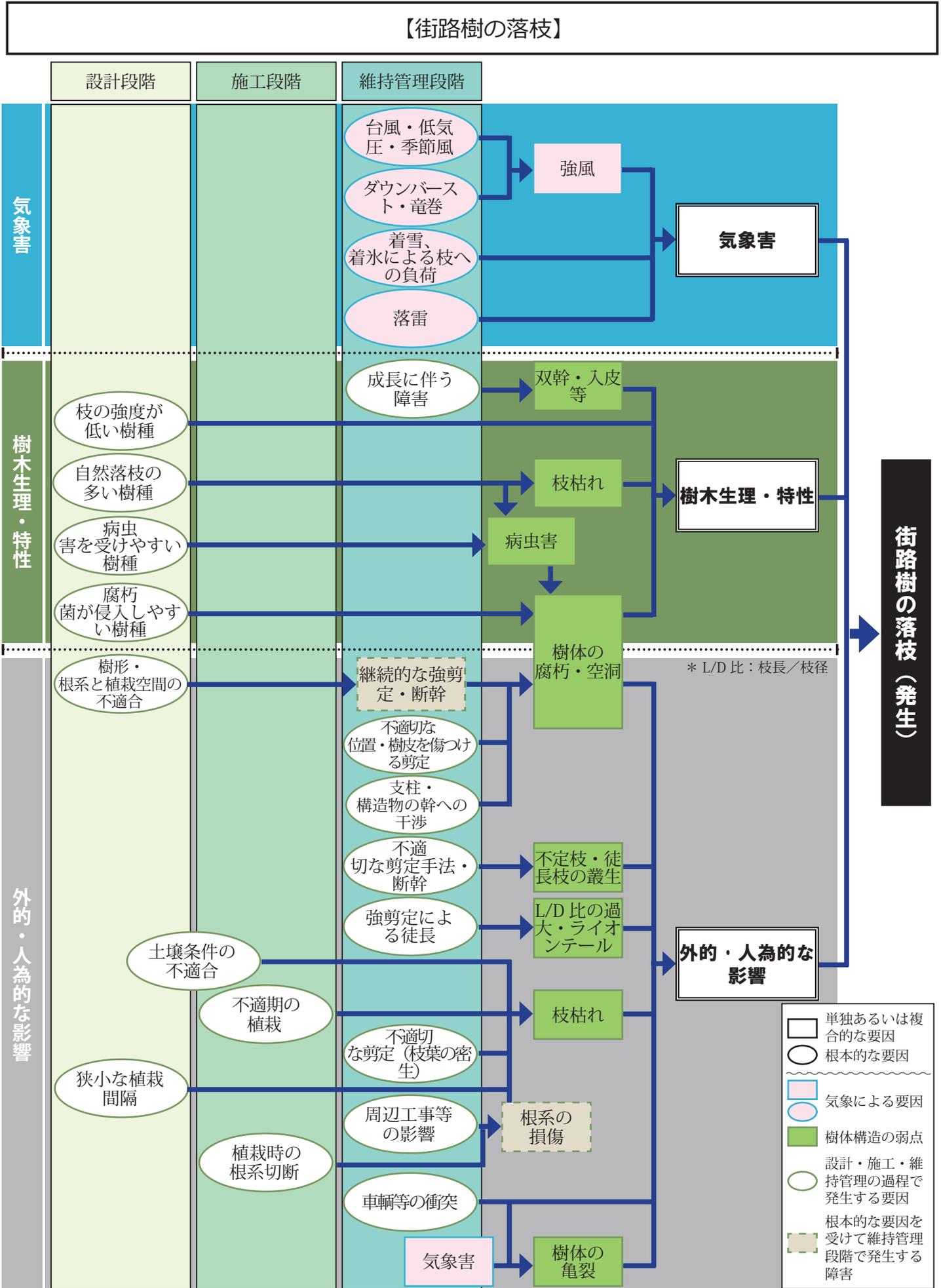
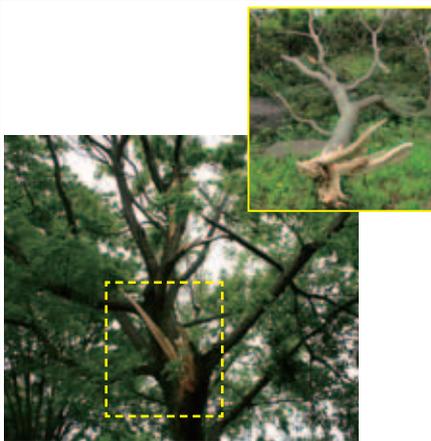
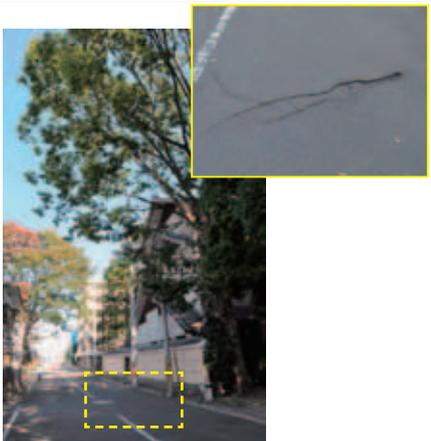
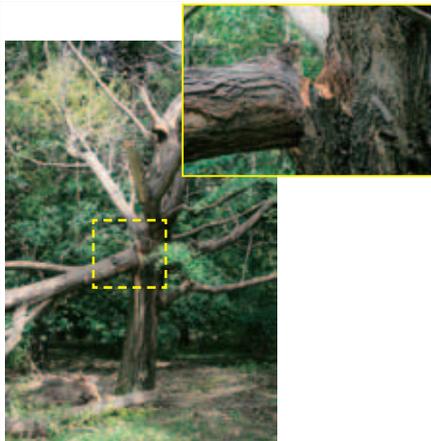


図-1.5 落枝の発生要因

気象害		
		
ポプラ類 台風時の強風	エノキ 竜巻時の強風	クロマツ 降雪時の着雪

樹木生理・特性		
		
ケヤキ 樹木生理による枯枝発生	イチョウ 入り皮による大枝と幹の不完全結合	ソメイヨシノ 腐朽が多く見られる樹種

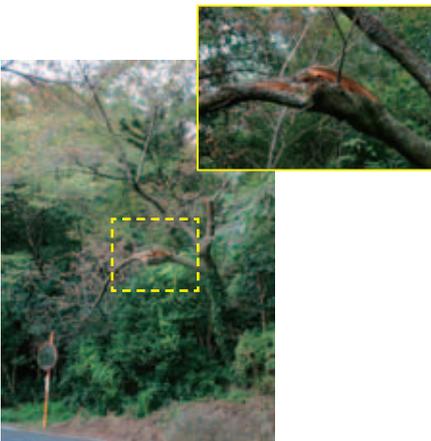
外的・人為的な影響		
		
ソメイヨシノ ライオンテールによる亀裂	クスノキ 不適切な剪定による枯枝発生	イチョウ 不適切な剪定による腐朽

写真 -1.3 落枝事例と主な発生要因

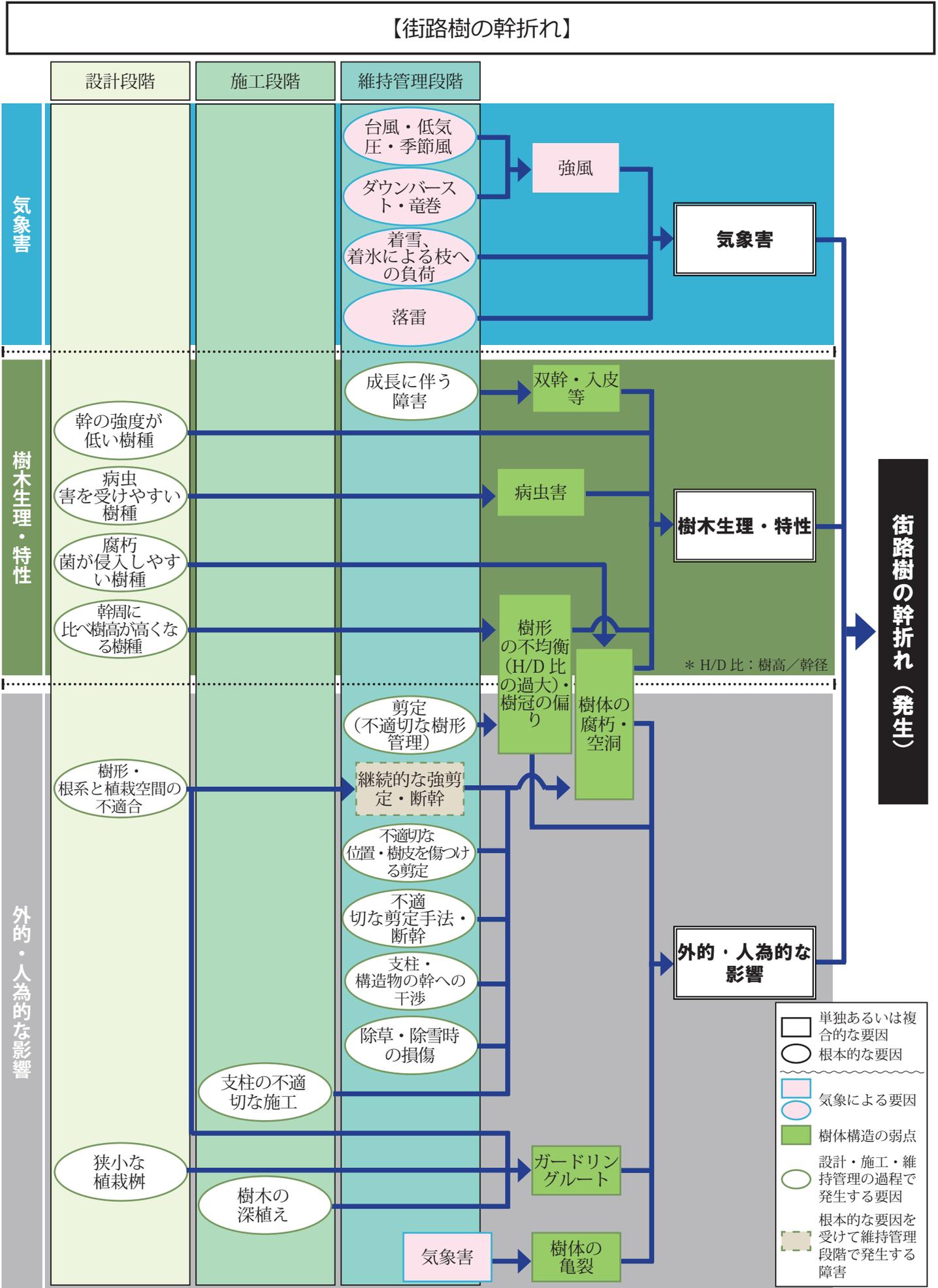
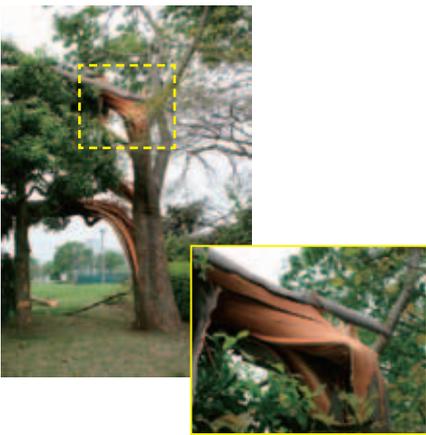


図-1.6 幹折れの発生要因

気象害		
		
ケヤキ 竜巻時の強風	クロマツ 降雪時の着雪	ヒマラヤスギ 落雷時の衝撃波

樹木生理・特性		
		
シダレヤナギ 腐朽菌が感染しやすい樹種	プラタナス類 虫害（腐朽）に侵されやすい樹種	スギ 細長い樹形になりやすい樹種

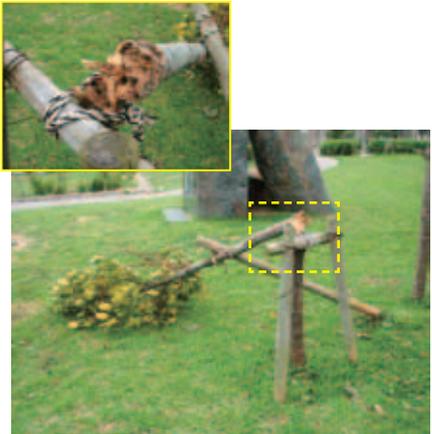
外的・人為的な影響		
		
ポプラ類 断幹後に再生した主幹頂部の腐朽	ケヤキ ガードリングルートによる生育障害	フクギ 支柱の固定部劣化による腐朽

写真-1.4 幹折れ事例と主な発生要因

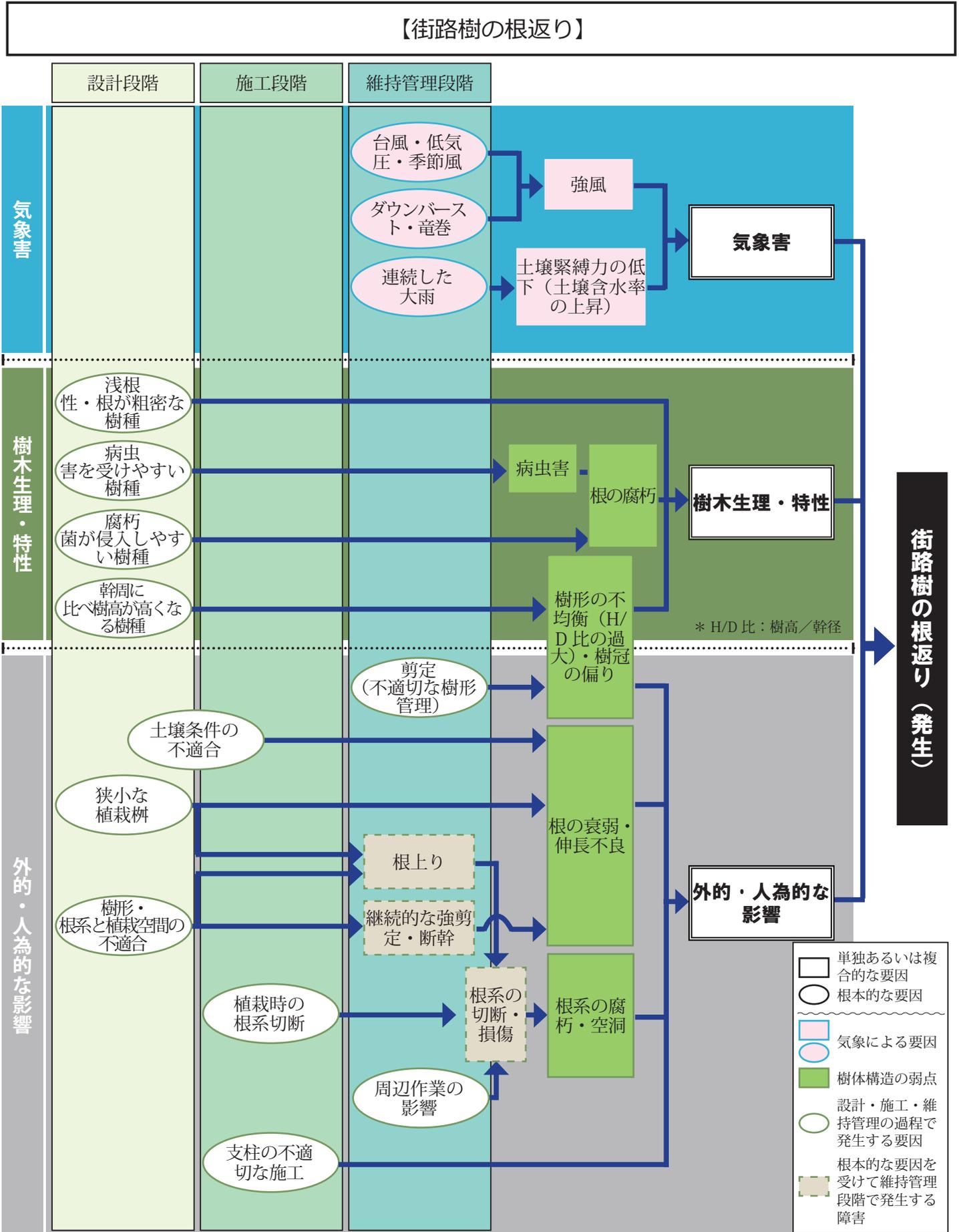


図-1.7 根返りの発生要因

気象害		
		
ケヤキ (傾斜) 台風時の強風	コブシ (抜根) 竜巻時の強風	フクギ (傾斜) 大雨による土壌緊縛力の低下

樹木生理・特性		
		
ハナミズキ 浅根性の樹種	ニセアカシア 腐朽菌に感染しやすい樹種	スギ 根系の支持力が小さい樹種

外的・人為的な影響		
		
フクギ 狭小な植栽枠	ユリノキ 周辺工事による根系切断	コバテイシ 支柱の不適切な施工

写真 -1.5 根返り事例と主な発生要因

1.2 気象害による樹木の倒伏・落枝のメカニズム

樹木に倒伏・落枝を発生させる気象害は、台風・温帯低気圧等による強風、竜巻・ダウンバーストのような突発的な暴風、降雪、強雨等である。

風・積雪の力は主に枝葉が繁茂する樹冠に作用する（図-1.8）。力を受けた樹木は枝をしならせることで変形しながら荷重を逃がそうとするが、受けた荷重は樹木全体に作用し、枝・幹の応力が集中する箇所には樹木を変形・破壊する力が働く（図-1.9）。変形・破壊への抵抗力は樹種により異なるが、健全な樹木と腐朽等により木材が劣化した樹木ではさらに大きく異なる。

また、同時に根系に対しても転倒させる力が作用し、樹木は根系全体で抵抗する（図-1.10）。根返りの転倒に対する抵抗力は、植栽基盤の土壌と一体となった根系により発生するため、根の伸長状況により大きく異なる。街路樹は一般的に根系を伸長する植栽基盤が極めて狭い範囲に限定されているため、良好な植栽基盤に生育する同種・同樹高の樹木の抵抗力より劣ると考えられるが、適切な植栽が行われていれば通常的气象状況下で問題となるものではない。

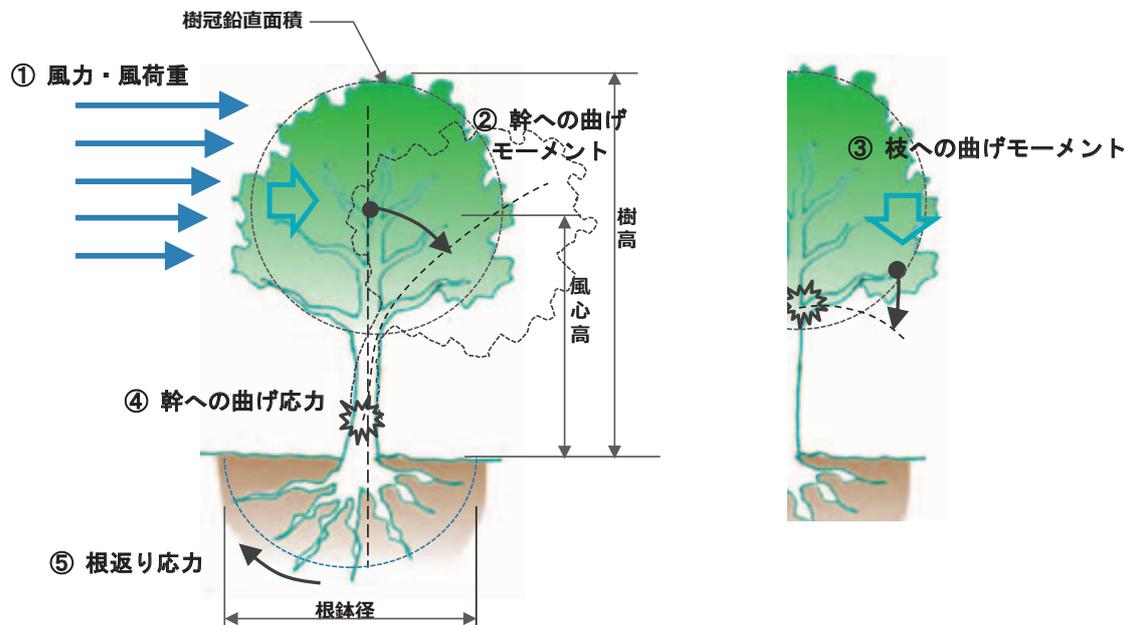


図-1.8 樹木に作用する風・積雪などの外力

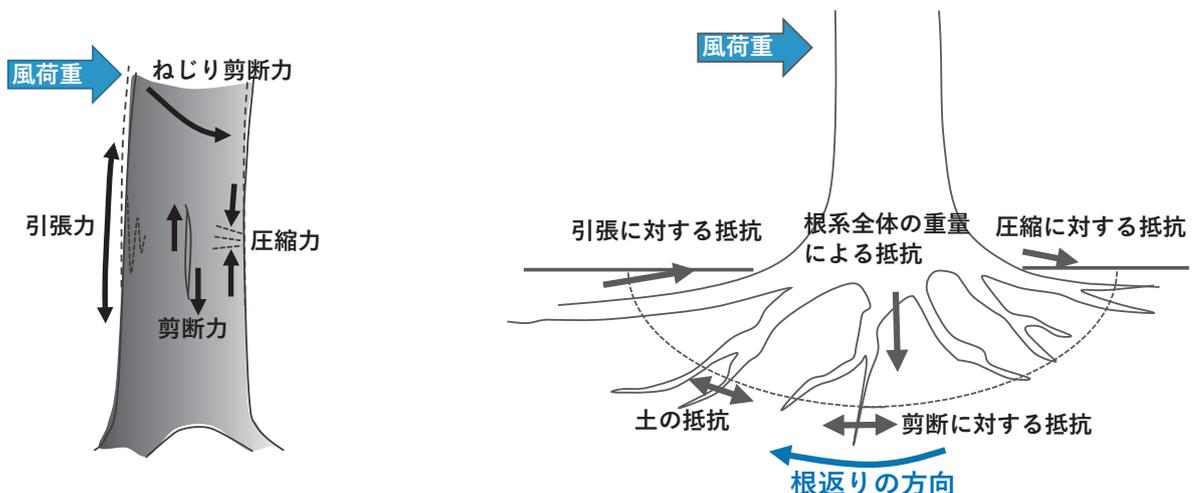


図-1.9 荷重を受けた幹にかかる力*¹

図-1.10 荷重を受けた根系の抵抗*²

参考文献：*¹ Tree Risk Assessment Manual, International Society of Arboriculture (2013)

*² 「最新 樹木の危険度診断入門」、C・マテック、堀大才・三戸久美子訳、街路樹診断協会 (2008)

(1) 風力・風荷重

樹木への風荷重は以下のように計算する。

$$\text{風荷重 (N)} = \frac{1}{2} \times \text{大気密度 (kg/m}^3\text{)} \times \text{風速 (m/s)}^2 \times \text{樹冠の鉛直面積 (m}^2\text{)} \times \text{抗力係数}^{*1}$$

①
②
③

* 大気密度=約 1.2kg/m³

- ①風荷重は風速の2乗に比例する。台風時における街路樹被害発生は、最大瞬間風速、最大風速が大きいほど高い傾向がみられた(図-1.1)*2。
地表付近を吹く風は、海浜区域や平野に比べ、建築物が密集する市街地では弱められるが、一般的に地上から高い位置ほど地表面の摩擦の影響を受けにくく、風速があがる(表-1.1)*3。
- ②同じ樹高・枝張りでは、枝葉が密であるほど、風を受ける実質的な面積が大きくなる。
- ③風を受けた樹木は枝葉がしなり、変形することで荷重を逃がすため、すべての風力が樹木にかかるわけではない。風力のうち樹木に対する荷重になる比率を抗力係数とよぶ(表-1.2)。
抗力係数は風が弱い時は1.0に近いが、強風になるほど樹体(樹冠)が変形するために下がり、0.1~0.3程度になる(受けた風力の0.1~0.3が荷重になる)。

表-1.1 地表状況・地上高による風速の例

粗度区分	地表状況	地上 5m	地上 10m	地上 30m
I	海上等、ほとんど障害物がない状態	14.5	15.5	17.3
III	低層住宅地が密集、中層建築が散在	10.0	10.0	12.5
V	高層建築密集地	7.3	7.3	7.3

粗度区分は建築物荷重指針*3による(日本建築学会編)
※地表状況IIの地上10mで風速10.0m/sとした時の他条件での風速*4

- 参考文献：*1 「風と樹木」、鈴木覚、樹木医学の基礎講座、樹木医学研究第16巻(2012)
*2 「沖縄における都市緑化樹木の台風被害対策の手引き」、国総研資料No.621(2011)
*3 「建築物荷重指針・同解説」、(一社)日本建築学会(2015)
*4 「ビル風の基礎知識」、風工学研究所編著、鹿島出版会(2005)
*5 「樹冠の抗力係数と樹形計測に基づいた緑化樹木の耐風性診断(科学研究費助成事業)」、小泉章夫(2009-2012)
*6 「都市緑化木の風倒危険度評価に関する研究」、清水美里、都市緑化技術No101(2017)
*7 「Some Drag coefficients for British forest trees derived from wind tunnel studies.」、Mayead G.J. Agricultural Meteorology.12(1973)

表-1.2 抗力係数の例

樹種	樹高(m)	風速(m/s)	抗力係数	出典
ポプラ	12~13	30	0.1~0.2	*5
ノルウェーカエデ	5	30	0.3	*5
シラカバ	6~8	30	0.25~0.3	*6
複数樹種	5.8~8.5	9.1~27.4	0.15~0.72	*7

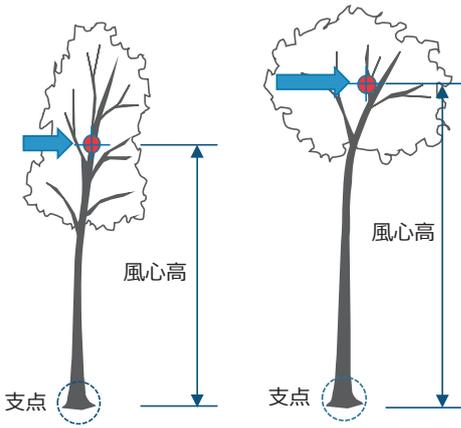
※複数樹種はイギリスの針葉樹(Corsican Pine, Lodgepole Pine, Scots Pine, GrandFir, Sitka Spruce, Douglas Fir, Western Hemlock)。

(2) 幹・枝への曲げモーメント

樹冠全体で受けた風荷重は、樹体に対する曲げモーメントとして作用する。

$$\text{曲げモーメント (Nm)} = \text{荷重による力 (N)} \times \text{支点からの距離 (m)}$$

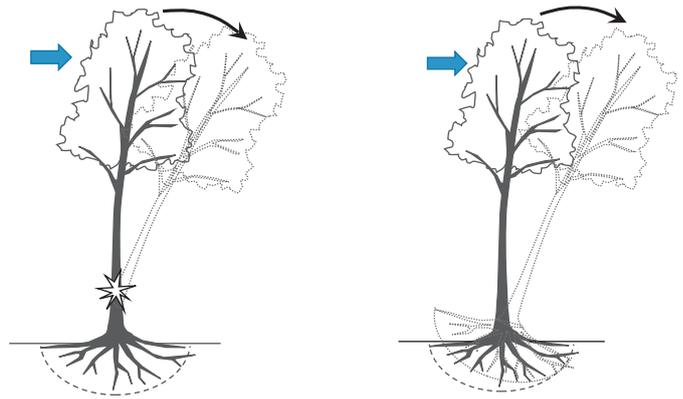
- ①樹冠全体への風荷重が作用する力点である風心の位置は樹冠により異なるが、中心付近(円錐形の樹冠の場合はより下方)となる。枝下が高く、樹冠が上部に集中する樹形では風心の位置がより高くなり、幹折れや根返りの危険性が増大すると考えられる(図-1.11)。風心高が高いほど曲げモーメントは増大する。
- ②樹木にかかる曲げモーメントが、幹の曲げ強度と根の抵抗力のどちらか、または双方よりも大きかった場合に、幹折れまたは根返りが発生する(図-1.12)*1。



樹冠面積が同等でも樹形により風心高は異なる

図-1.11 風心高の例

参考文献：*1 「風と樹木」、鈴木覚、樹木医学の基礎講座、樹木医学研究第16巻（2012）



幹折れ ($c > a > b$ の場合) 根返り ($b > a > c$ の場合)
 ※曲げモーメント (a)、幹の曲げ強度 (b)、根の抵抗力 (c)

図-1.12 曲げモーメントと倒伏形態

- ③枝折れの原因となる曲げモーメントは、枝長が長く、先端部に荷重がかかるほど大きくなる（図-1.13、写真-1.6）。
- ④積雪荷重は面積が大きい枝葉の展開部により大きくかかるため、先端部に荷重が偏りやすい（写真-1.7）。積雪荷重の目安は厚さ1cmにつき1㎡あたり約2kg以上である*2。
- ⑤広葉樹では、枝の重力に対抗して上部に材（引張あて材）が発達する（図-1.14）。その後、自重で枝が下がってくると下部にも支持材が発達する*3（図-1.15）。そのため、枝の断面は一般的に水平方向より垂直方向の径が大きく、曲げモーメントに対する抵抗力が大きいと考えられる。
 針葉樹では、枝の下側に圧縮あて材が形成され、上部には材が発達しない*3。

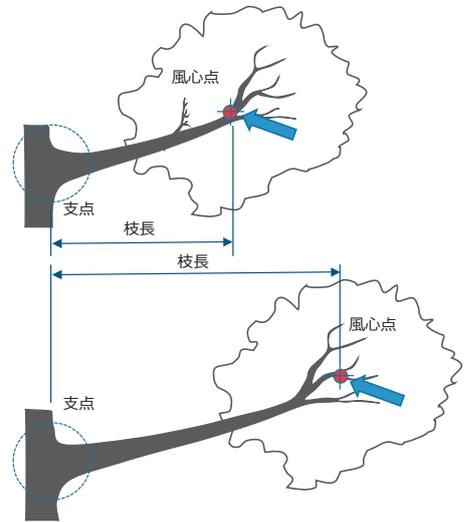


図-1.13 風心点と枝長の関係



徒長し、先端に枝葉が繁った、ライオンテール状の枝

写真-1.6 枝のライオンテール



ライオンテール状の枝に発生した枝折れ



枝葉への着雪による落枝

写真-1.7 枝葉への積雪

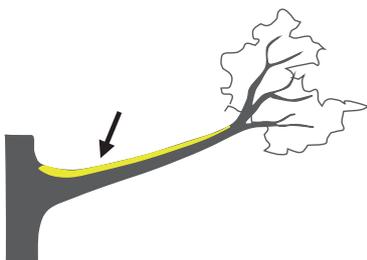


図-1.14 枝の引張あて材

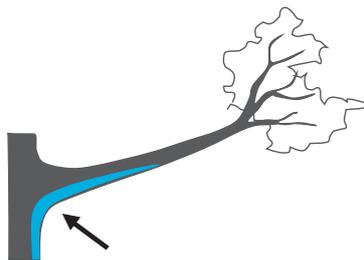


図-1.15 枝下部の支持材

参考文献：*2 建築基準法施行令 第86条 積雪荷重基準

*3 「最新 樹木の危険度診断入門」、C・マテック、堀大才・三戸久美子訳、街路樹診断協会（2008）

<樹種ごとの強度について>

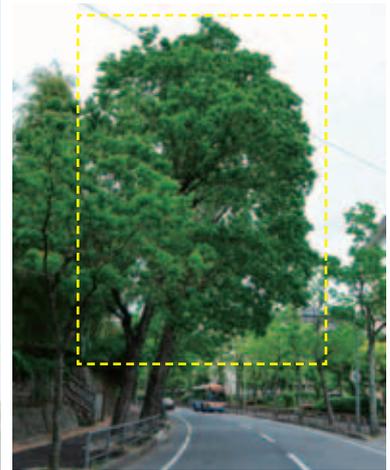
- ①樹種ごとの一般的な強度の指数には曲げヤング係数が用いられる*2。他の指数は曲げヤング係数と強い相関がある。
- ②ただし、木材の強度が高い樹種でも、幹折れ・枝折れの事例が多く報告されている場合があり、樹種特性や腐朽への抵抗力等、他の要因の影響が大きいと考えられる(写真-1.8)。



腐朽が原因となる強度低下により起こった幹折れ
写真-1.8 腐朽しやすい樹種の幹折れ

<樹形による曲げ応力について>

- ① $H/D \geq 50$ (H: 樹高 D: 胸高直径) の場合は、倒伏の発生が増大する*1(写真-1.9、図-1.16)。
- ② $L/D \geq 40$ (L: 枝長、D: 分枝部付近の枝径) の場合は、折損の発生が増大する*1(図-1.17)。
- ③樹冠・枝葉の偏りなどにより、風心や積雪荷重が樹木の中心から偏ると、幹にねじる力がかかる場合がある(写真-1.9)。



H/D が大きい街路樹 隣接樹木による被圧で枝葉が偏った樹形
写真-1.9 樹形による曲げ応力の違い

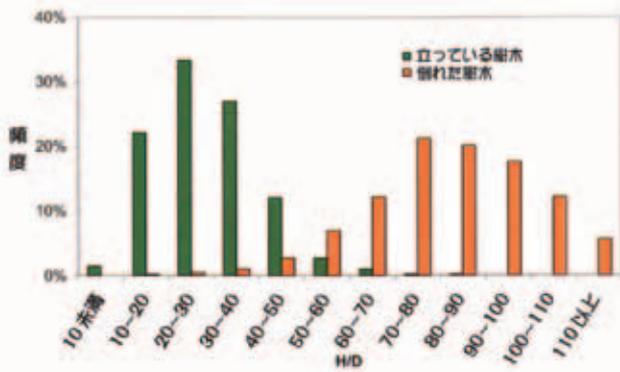


図-1.16 H/D 比による倒伏実態

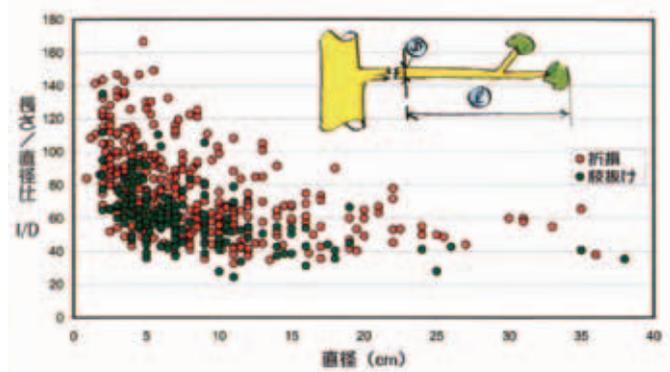


図-1.17 L/D 比による折損実態

出典:「最新 樹木の危険度診断入門」、C・マテック、堀大才・三戸久美子訳、街路樹診断協会(2008)

参考文献: *1 「最新 樹木の危険度診断入門」、C・マテック、堀大才・三戸久美子訳、街路樹診断協会(2008)
*2 「生立木の非破壊試験による材質評価に関する研究」、小泉章夫、北海道大学農学部演習林研究報告第44巻(1987)

(4) 根返り応力

根返り応力に対する根系の抵抗力は、次の単位であらわされる。

$$\text{根系の抵抗力} = \text{倒伏限界モーメント (kNm)}$$

- ①根系の抵抗力は支持根が土壌と緊結することで樹体を地面に固定する力であり（図-1.10）、土壌と一体となった根鉢の体積が大きいほど抵抗力は大きい（写真-1.10）。根の支持力は、風上側の根の引張力、次いで直根の支持力が寄与する*1。
- ②根の引張力は、根の引張強さおよび土壌からの引抜抵抗による。引張強さ、引抜抵抗とも根の直径寸法に応じて大きくなる。引張力はこの力の総和になるため、根系が十分な支持力を持つためには、よく分岐した支持根が発達している必要がある*2。垂下根、斜出根が発達した根系は、主に水平根で樹体を支持する浅根性の根系に比べ支持力が高い*3。



（ヤマモモ：根鉢の土壌を取り除いた根系、掘削した範囲の土壌を緊縛して一体となっている）

写真-1.10 根系の十分な伸長

<樹木の根系範囲の目安>

樹木に必要な根系範囲としては、次の目安がある。

- ①重要な根域：根株を中心に太根から細根までが発達し、樹木の生育と安定性にとって重要性が高い根系の範囲（図-1.18）。

$$\text{重要な根域 (半径 cm)} = \text{胸高直径 (cm)} \times 18^{*4}$$

（この範囲内の根系の健全性が重要）

- ②風倒木調査による根系基盤の半径と幹半径（根元上部）の関係はおおむね図-1.19の範囲に収まっており、ここに示されている根系基盤半径を越える伸長量を確保することが倒伏に強い生育条件の目安となる。なお、同じ幹径における根系基盤半径の違いは、土壌のせん断抵抗力によるものと考えられ、十分な抵抗力が得られる土壌では根系基盤半径は小さい*5。

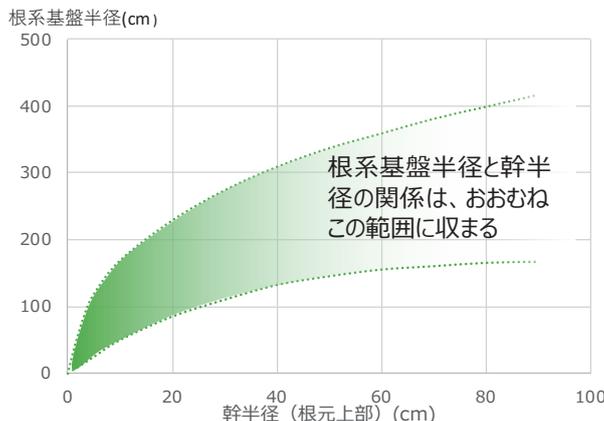


図-1.19 風倒木調査による根系基盤半径と幹半径の関係*5

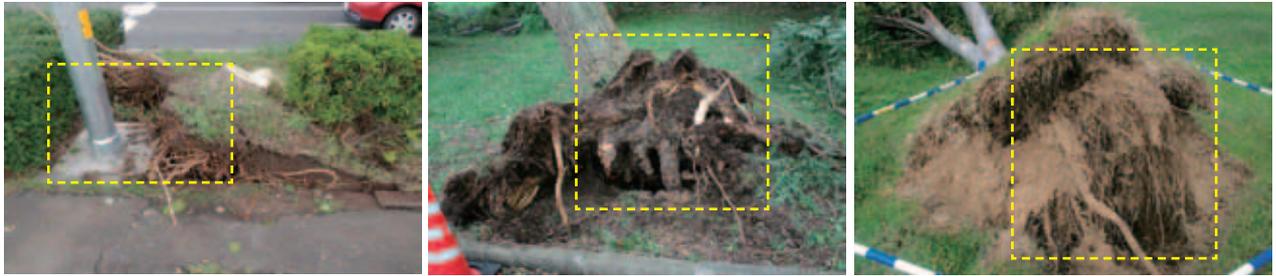


（モミジバフウ）

図-1.18 根系範囲の目安

<根系の抵抗力が低下する要因>

- ① 土壌の水分量が過剰な状態では、土壌の固結が緩むため支持力が低下する^{*7} (写真 -1.2)。
※複数の根の引抜試験において、自然含水状態の土壌にくらべ、一定時間湛水させ飽和状態とした土壌では、抵抗力は約70%に低下している^{*3}。
- ② 根の切断、腐朽、伸長不良等の悪影響があると、その影響に応じて根系の抵抗力が低下する (写真 -1.11)。



根系の切断

根系の腐朽

根系の伸長不良

写真 -1.11 根系の抵抗力が低下する要因

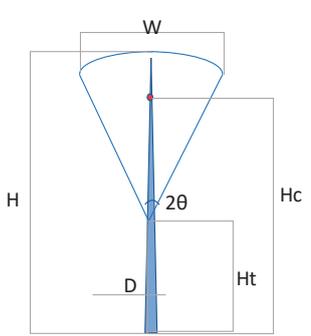
- 参考文献：*1 「風と樹木」、鈴木覚、樹木医学の基礎講座、樹木医学研究第16巻(2012)
*2 「森林根系の崩壊防止機能」、北原曜、水利科学311号(2010)
*3 「最新樹木根系図説」、苧住昇、誠文堂新光社(2010)
*4 「都市樹木のリスクマネジメント」、米国農務省森林局、細野哲央訳、(一社)街路樹診断協会(2015)
*5 「最新 樹木の危険度診断入門」、C・マテック、堀大才・三戸久美子訳、街路樹診断協会(2008)
*6 「植栽基盤整備技術マニュアル」、国土交通省都市・地域整備局監修、(財)日本緑化センター(2009)
*7 「沖縄における都市緑化樹木の台風被害対策の手引き」、国総研資料No.621(2011)

＜参考＞モデル式を用いた風速と倒伏の関係の試算

「1.2 気象害による樹木の倒伏・落枝のメカニズム」の考え方にもとづき、簡易なモデルで風速と根回り抵抗のバランス、幹折れ（胸高位置：1.2m）について試算した。

1) モデル樹木

項目	設定	根拠
樹種	ケヤキ	
樹高 (H)	15.0 m	
枝張り (W)	8.6 m	
樹冠面積	37.1 m ²	樹冠を扇形と想定し算出
胸高直径 (D)	0.46 m	
枝下高 (Ht)	6.8 m	
風心高 (Hc)	12.0 m	(樹高-枝下高)/2+ 枝下高 樹冠(扇形)の重心位置までの高さ



2) 計算に用いる指数・定数・計算表

項目	設定	出典
風荷重計算式	荷重 (N/m ²) = 1/2ρC _d AV ² P: 大気密度 = 1.2kg/m ³ C _d : 抗力係数 A: 樹冠面積 (m ²) V: 風速 (m/s)	「風と樹木」、鈴木覚、樹木医学の基礎講座、樹木医学研究第16巻 (2012)
抗力係数 (風速 25m/s 時)	0.35	「風と樹木」、鈴木覚、樹木医学の基礎講座、樹木医学研究第16巻 (2012) の図-6 グラフより回帰曲線を読み取り
根回り抵抗モーメント (kNm)	150	ケヤキ (樹高 15m) 引き倒し試験で測定された根回り抵抗モーメントの平均値 (「防災機能強化と都市美化のための道路緑化のあり方に関する調査・研究」、(公財)都市防災美化協会 (2017) より引用)

3) 計算結果

試算項目	計算式	計算値・比較
風による根返りの計算 (曲げモーメントが根回り抵抗モーメントと同等になる風速)	1. 風による樹木根元への曲げモーメント = 風荷重 (1/2ρC _d AV ²) × 風心高 (Hw) 2. 1. が 150kNm と同等になる風速を計算 風速 (m/s) = √(M _R /ρC _d A · Hw)	40.1m/s
風による幹折れの計算 (風速が 40.0m/s の際の幹の最大曲げ応力)	1. 風による幹の最大曲げ応力 = 風荷重 (1/2ρC _d AV ²) × 風心高 (Hw) / 断面係数 (πD ³ /32) 2. 1. と材曲げ強度との比較 (曲げ応力) 14.1MPa < 100MPa (曲げ強度)	幹が折れる前に倒伏する可能性有 ※

4) 結果の考察

上記計算により、ケヤキ（樹高：15.0m、胸高直径：0.46m、枝張り：8.6m）は風速 40m/s を越えると倒伏する危険性が生じる可能性があるという結果になった。

また、幹折れに関しては、風速 40m/s に達しても幹の最大曲げ応力が材の曲げ強度を越えないために折損することは考えられないが、より上部の幹の細い部分では折損する可能性はある。

街路樹は植栽基盤の環境が特殊であり、自然状態の樹木における引き倒し試験等の結果を適用する際には慎重な検討が求められる。街路樹における引き倒し試験結果の蓄積により、精度を上げていく必要がある。

1.3 樹木に発生する弱点

健全に生育する樹木は、ある程度の強風や積雪などによる荷重に対しての抵抗力を持っているが、樹種の特長、あるいは生育の過程で被るさまざまな要因により、樹体に弱点が発生し、強度が低下する。強度が低下した樹木は、強風や積雪などの外力がなくても倒伏や落枝の事故が発生する危険がある。また、健全な樹木でも樹木生理等により落枝が発生することがある。ここでは、特に倒伏と落枝につながりやすい樹木の弱点をとりあげる（図-1.20、表-1.4）。

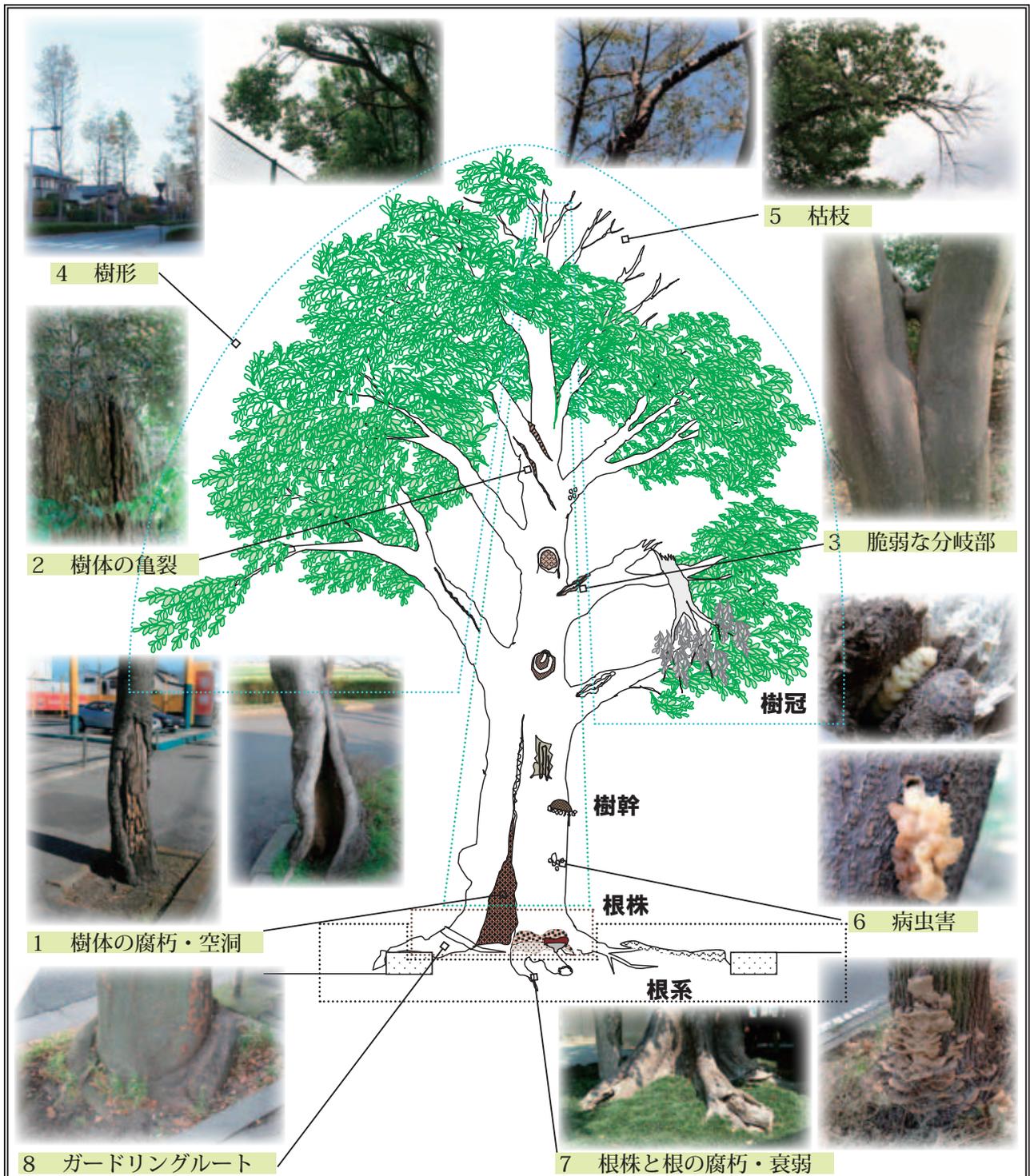


図-1.20 樹木に発生する弱点

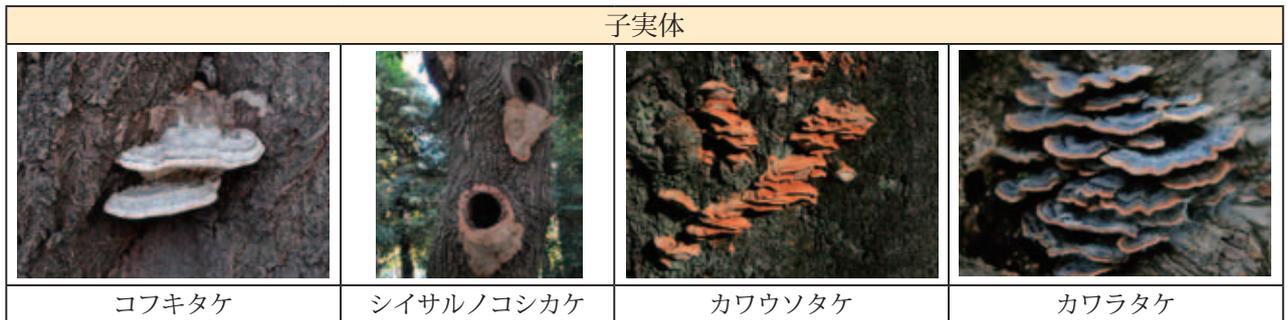
表-1.4 樹木に発生する弱点

弱点	直接の発生原因	主な発生要因		発生部位				関連する障害	
				樹冠	樹幹	根株	根系		
(1) 幹と枝の腐朽・空洞	木材腐朽菌	気象害	<ul style="list-style-type: none"> 強風等（樹体への負荷） 落雷 着雪、着氷（樹体への負荷） 					<ul style="list-style-type: none"> 根返り、傾斜（強度の低下） 幹折れ（強度の低下） 枝折れ（強度の低下） 	
		樹木生理・特性	<ul style="list-style-type: none"> 枝枯れ（切断痕からの菌の侵入） 腐朽菌に侵されやすい樹種 幹や枝に障害が発生（腐朽）しやすい樹種 						
		外的・人為的要因	設計	<ul style="list-style-type: none"> 樹形・根系と植栽空間の不適合 					
			施工	<ul style="list-style-type: none"> 支柱の不適切な施工 植栽時の過度な根系切断 	○	○			
	管理	<ul style="list-style-type: none"> 不適切な剪定（不適切な位置、樹皮の傷） 不適期の剪定 強剪定、断幹（樹勢の低下） 支柱・構造物の干渉（幹への食い込み） 幹の損傷（除草時、除雪時） 虫害（穿孔虫による傷） 							
	外力	<ul style="list-style-type: none"> 自動車の衝突等（幹・枝の損傷） 							
(2) 幹と枝の亀裂	外力	気象害	<ul style="list-style-type: none"> 強風等（樹体への負荷） 落雷 着雪、着氷（樹体への負荷）、凍結 	○	○			<ul style="list-style-type: none"> 幹折れ（垂直亀裂は幹を分断するリスク、水平亀裂は折損するリスクが高まる） 	
		樹木生理・特性	<ul style="list-style-type: none"> 樹形（双幹や多幹の樹形） 損傷被覆の過程で発生 						
(3) 脆弱な分岐部	樹木の成長過程	樹木生理・特性	<ul style="list-style-type: none"> 成長にともなう自然発生（入り皮） 樹形（双幹や多幹の樹形） 					<ul style="list-style-type: none"> 幹折れ（分岐部から裂けるように折損） 枝折れ（分岐部から折損） 	
		外的・人為的要因	管理	<ul style="list-style-type: none"> 断幹（腐朽した先端から発生した不定枝が脆弱な構造になる） 強剪定（不定枝が叢生し脆弱な構造になる） 	○	○			
(4) 樹形	樹木の成長過程	樹木生理・特性	<ul style="list-style-type: none"> 樹高が高くなる樹種 枝葉の伸長が早い樹種 					<ul style="list-style-type: none"> 根返り、傾斜 幹折れ（樹冠の不均衡、傾斜木に亀裂等） 枝折れ（不定枝が多い枝、ねじれや屈曲がある枝、擦れ合う位置にある枝） 	
		外的・人為的要因	管理	<ul style="list-style-type: none"> 傾斜木の放置 剪定（樹高が高すぎる管理、水平枝を伸長させた樹形） 強剪定、断幹（樹幹、枝からの多数の不定枝の発生） 	○	○			
(5) 枯枝	樹木生理	樹木生理・特性	<ul style="list-style-type: none"> 自然の枝枯れが発生しやすい樹種 					<ul style="list-style-type: none"> 枝折れ 	
		外的・人為的要因	設計	<ul style="list-style-type: none"> 樹形に対して狭い植栽間隔 					
			施工	<ul style="list-style-type: none"> 不適期の植栽 土壌条件の不良 根系の損傷 	○	○			
	管理	<ul style="list-style-type: none"> 強剪定（不定枝の密生により樹冠内部の日照が不足） 							
(6) 病虫害	ウィルス・菌類・昆虫等	樹木生理・特性	<ul style="list-style-type: none"> 特定の病害に罹患しやすい樹種 特定の虫害に罹患しやすい樹種 					<ul style="list-style-type: none"> 幹折れ、枝折れ（特定の病害、虫害により強度が低下したり、枯れが生じた場合） 	
		外的・人為的要因	施工	<ul style="list-style-type: none"> 植付時の根系の切断 	○	○	○		○
	管理	<ul style="list-style-type: none"> 樹体の損傷（周辺工事、地下埋設工事等） 根株の切除・根系の切断（移植、根上り等） 							
(7) 根株と根の腐朽・衰弱	伸長不良・外力・木材腐朽菌	外的・人為的要因	設計	<ul style="list-style-type: none"> 樹形、根系と植栽空間の不適合 根に障害が発生しやすい樹種（根が浅い、粗い、腐朽しやすい） 狭小な幅員、規模の植栽地 					<ul style="list-style-type: none"> 根返り、傾斜 幹折れ（樹勢の衰えからくる腐朽・空洞）
			施工	<ul style="list-style-type: none"> 土壌条件の不適合（固結、地下水位が高い、透水不良、貧栄養） 植付時の根系の切断 不適切な支持、支柱工 			○	○	
			管理	<ul style="list-style-type: none"> 根系の損傷（舗装工事、地下埋設管工事等） 根株の切除・根系の切断（移植、根上り等） 強剪定、断幹（樹勢の衰退） 					
(8) ガードリングプレート	樹木生理	外的・人為的要因	設計	<ul style="list-style-type: none"> 狭小な幅員、規模の植栽地 根系と植栽空間の不適合 			○	○	<ul style="list-style-type: none"> 幹折れ（根株部の障害、腐朽）
			施工	<ul style="list-style-type: none"> 深植え 					

(1) 幹と枝の腐朽・空洞

①概要

- ▶ 幹と枝の腐朽は菌類によって発生する。生きた木材部の腐朽や形成層の枯死を起こす菌は木材腐朽菌と呼ばれる。木材腐朽菌の被害は加齢とともに増加する傾向があり、老齢木で多く見られる*1。
- ▶ 幹や枝を腐朽させる菌は、胞子が空気中を飛散し、幹や枝にできた傷や枯死部位で発芽し、幹や枝の内部に侵入する*1。
- ▶ 木材腐朽菌は分解する成分により褐色腐朽菌と白色腐朽菌に大別される。褐色腐朽菌は針葉樹に被害が多く、白色腐朽菌は広葉樹に被害が多い。また、木材腐朽菌が侵入する部位により、心材腐朽、辺材腐朽に区別される*1。
- ▶ 被害が目立つ菌としては、コフキタケ（白色腐朽、心材腐朽）、シイサルノコシカケ（白色腐朽、心材腐朽）、カワウソタケ（白色腐朽、辺材腐朽）、カワラタケ（白色腐朽、辺材・心材腐朽）等がある*2。



②倒伏・落枝との関連

- ▶ 褐色腐朽菌は木材の強度を急速に低下させる。白色腐朽菌による強度の低下は徐々に起こることが多い*1。
- ▶ 辺材腐朽菌は樹体の生きている組織（辺材）を腐朽させるため、侵された部分が衰弱して枯死することで樹幹の成長が止まり、溝腐れが発生することがある*1。
- ▶ 心材腐朽は、樹木の生きた組織への侵入ではないため、多くの場合は生育に対して直接的な被害になることはないが、樹体の支持機能の低下により、倒伏の要因となる*1。



③関連する点検・診断項目

- ▶ 外観の目視、木づちによる打診音、鋼棒による貫入抵抗、腐朽診断機器による測定等。

参考文献：*1 「樹木医必携 基礎編・応用編」、(一社)日本樹木医会(2012)

*2 「サクラの材質腐朽病害の診断と治療」、和田博幸、グリーンエージ 34 巻 4 号 (2007)

(2) 幹と枝の亀裂

①概要

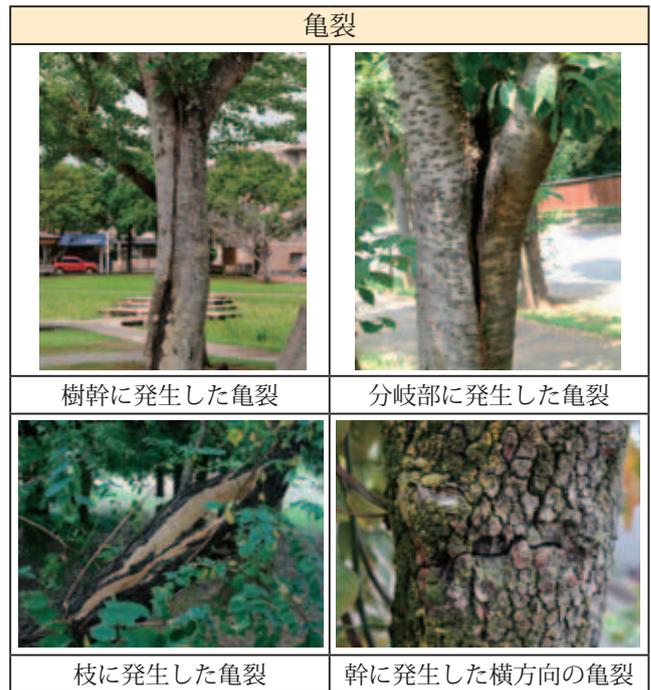
- ▶ 幹と枝の亀裂は、主に外力（強風など）により樹体のかかる負荷が木材の許容量を超えたときに発生するが、寒冷地では樹体内の水分の凍結による凍裂も発生する*1。
- ▶ 外力による発生部位は、傷の閉塞（組織による被覆）が不十分な部位、脆弱な分岐部、不適切な剪定がなされた部位などが多い。主に、樹体の縦方向に発生するが、横方向（幹の水平方向）に亀裂が発生した場合は、折損の危険が切迫している兆候である*1。

②倒伏・落枝との関連

- ▶ 亀裂の発生は、幹と枝の支持力が低下するほか、木材腐朽菌の侵入経路にもなる。

③関連する点検・診断項目

- ▶ 外観の目視。



参考文献：*1 「都市樹木のリスクマネジメント」、米国農務省森林局、細野哲央訳、(一社)街路樹診断協会 (2015)

(3) 脆弱な分岐部

①概要

- ▶ 分岐部のうち、樹木の内部に樹皮が入り込んだ状態の「入り皮」と、休眠枝や不定枝から伸びた枝は通常に分岐部と比較して脆弱である*1。
- ▶ 不定枝は強剪定された幹や枝から発生しやすく、剪定時の切断面から腐朽菌が侵入すると、さらに木材の強度は低下する*1。
- ▶ 双幹や多幹の樹形も入り皮になりやすく、通常に分岐部に比較すると脆弱である*1。

②倒伏・落枝との関連

- ▶ 上記の脆弱な分岐部は、通常に分岐（分かれた部分に樹皮の隆起がある）と比較して、分岐部からの枝折れなどが起こりやすい*1。

③関連する点検・診断項目

- ▶ 外観の目視、木づちによる打診音、鋼棒による貫入抵抗。



参考文献：*1 「都市樹木のリスクマネジメント」、米国農務省森林局、細野哲央訳、(一社)街路樹診断協会、(2015)

(4) 樹形 (H/D 比・枝の L/D 比・枝の偏り・樹体の傾斜・ライオンテール等)

①概要

- ▶ 傾斜木は、傾斜した状態でも根が伸長することで安定している場合があるが、地上部を支持する根系には不均衡な荷重がかかる *1。
- ▶ 樹高や枝長が直径に対して不均衡に細長く伸びている状態において、
 - ※ $H/D \geq 50$ (H: 樹高、D: 胸高直径) 倒伏の発生が増大する *2。
 - ※ $L/D \geq 40$ (L: 枝長、D: 分枝部付近の枝径) 折損の発生が増大する *2。
- ▶ 幹や枝の先端部に枝葉が集中している樹形は、風や積雪荷重による曲げモーメントが大きくなる(「1.2 (2) 幹・枝への曲げモーメント」参照)。
- ▶ 枝葉が偏った状態で展開している樹木は、重量バランスが偏るだけでなく、風により不均衡な力がかかり、ねじれによる破壊が発生する場合がある(「1.2 (3) 幹・枝への曲げ応力」参照)。

樹形	
	
傾斜した樹木	幹周に対して樹高が著しく高い樹形
	
先端に枝葉が集中している枝	剪定後に再生した長い徒長枝

②倒伏・落枝との関連

- ▶ 上記の状態では、いずれも力学的に脆弱であるため、各方向への枝の張り出し、樹高/枝張り比などのバランスがとれた樹形と比較すると、折損の危険性が高い。

③関連する点検・診断項目

- ▶ 外観の目視、樹形計測。

参考文献:*1 「都市樹木のリスクマネジメント」、米国農務省森林局、細野哲央訳、(一社)街路樹診断協会、(2015)
 *2 「最新 樹木の危険度診断入門」、C・マテック、堀大才・三戸久美子訳、街路樹診断協会(2008)

(5) 枯枝

①概要

- ▶ 不定枝の発生等により樹冠が密な枝葉で覆われた状態になると、日照の届かない樹冠内部の枝は枯れやすくなる *1。
- ▶ 樹木生理による枝枯れが多く発生しやすい特性を有する樹種がある(ケヤキ等)。
- ▶ 枯枝は生きている組織との境界部分、またはその周辺で折損する。

枯枝			
			
樹木の生理特性により発生した枯枝(ケヤキ)	不良な剪定により発生した枯枝(ケヤキ)	樹勢衰退により発生した枯枝(クスノキ)	病害により発生した枯枝(リュウキュウマツ)

②倒伏・落枝との関連

- ▶ 枯枝は生きた枝と比較すると、強風等がない状態でも落枝の危険性が高い。

③関連する点検・診断項目

- ▶ 外観の目視。

参考文献：*1 「都市樹木のリスクマネジメント」、米国農務省森林局、細野哲央訳、(一社)街路樹診断協会、(2015)

(6) 病虫害

①概要

- ▶ 虫害は、昆虫類、ダニ類、線虫類による樹木への加害である。特に、幹や枝の穿孔虫による被害は、幹や枝が折れやすくなるほか、木材腐朽菌の侵入経路となる。その他の虫害も被害の程度により、樹勢を低下させ、さまざまな障害の原因となる場合がある *1,2 (表 -1.5)。
- ▶ 病害では、樹体の弱体化につながる木材腐朽病(「1.3 (1) 幹と枝の腐朽・空洞」参照)、永年性がんしゅ病、一部または全体の枯れにつながる白紋羽病、ナラタケ病(「1.3 (7) 根株と根の腐朽・衰弱」参照)、胴枯病などが倒伏や落枝に関係が深い *1 (表 -1.6)。
- ▶ その他の病害も樹勢を低下させることで障害の要因となる。

②倒伏・落枝との関連

- ▶ カミキリムシやコスカシバなどの穿孔性の昆虫が樹体に侵入すると、傷口から木材腐朽菌が侵入して材質劣化を起し、枯死につながることもある *1。また、食害により空洞化することで、折損する危険性が高くなる。
- ▶ がんしゅが樹体の幹周の40%以上を侵すと、樹体が折損する場合がある。また、樹勢が衰退して枯損につながることもある *3。

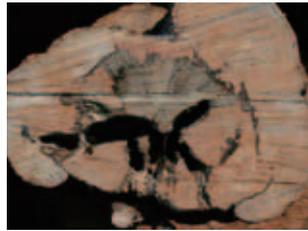
虫害		
穿孔性昆虫	 被害痕：辺材部	 被害痕：樹冠内部
	 成虫 (ゴマダラカミキリ)	 幼虫
シロアリ	 シロアリ (ヤマトシロアリ)	

表 -1.5 倒伏・落枝に関連が深い虫害

食害型	害虫の種類
新梢に穿入して食害	チョウ目：マツツマアカシムシ、マツノシンマダラメイガ(幼虫、マツ類)等 ハチ目：モンクキバチ(幼虫、サンゴジュ等)等
幹や枝に穿入して食害	チョウ目：コスカシバ(幼虫、ウメ・サクラ等) ゴマフボクトウ(幼虫・広葉樹) コウモリガ(幼虫、針葉樹・広葉樹)等 コウチュウ目：クワカミキリ(幼虫、カシ・ケヤキ・ポプラ等)、ゴマダラカミキリ(幼虫、広葉樹)、マツノマダラカミキリ(幼虫、マツ)、クビアカツヤカミキリ(幼虫、サクラ・ウメ等)、カシノナガキクイムシ(幼虫・成虫、ナラ・カシ類)等
樹皮下に占有して食害	チョウ目：ヒノキカワモグリガ(幼虫、ヒノキ)等 コウチュウ目：スギカミキリ(幼虫、スギ・ヒノキ)等 ハエ目：スギザイノタマバエ(幼虫、スギ)等
幹の木質を食害	シロアリ目：イエシロアリ、ヤマトシロアリ(幼虫・成虫、広食性)等

参考文献：「樹木医必携 基礎編・応用編」、(一社)日本樹木医会(2012)

- ▶ 胴枯病の病斑が幹や枝を一周すると通水組織が破壊され、その上部が枯れる*2。
- ▶ 白紋羽病とナラタケ病は樹木の根を侵す土壌伝染性の病害であり、樹勢が衰え枯死に至ることで障害が発生することが多い*2。

③関連する点検・診断項目

- ▶ 外観の目視。

病害		
		
永年性がんしゅ病	胴枯病	白紋羽病

表 -1.6 倒伏・落枝に関連が深い病害（木材腐朽病以外）

病名	主な病徴	罹病樹木	発生要因
永年性がんしゅ病	<ul style="list-style-type: none"> ・幹や枝において樹皮が紡錘形となり暗褐色に侵され、部分的に形成層が壊死する。 ・周囲に癒合組織が形成され繰り返すことで永年性のがんしゅとなる。 	マユミ、ビワ、モモ、カラマツ等	<ul style="list-style-type: none"> ・樹木の樹勢が低下すると、枝や幹の傷口（剪定、折損、害虫等）に寄生した病原菌により発病する。
根頭がんしゅ病	<ul style="list-style-type: none"> ・根や幹の地際の部分に表面がかさぶた状になった大きなこぶができる。 ・病気にかかるとこぶが大きくなるとともに樹勢が衰え、枯れることがある。 	サクラ類、ナシ、リンゴ、カキ、クリ、ブドウなどの果樹類や、バラ類、フジ、ボケなどの花木類	<ul style="list-style-type: none"> ・病原菌は土壌伝染性細菌で、接木や移植時の傷口から樹体に侵入し発病する。 ・土壌中で越年するので、連作地に発病が多い。接ぎ木の場合は、刃物による感染も多い。
胴枯病	<ul style="list-style-type: none"> ・枝や幹は、赤褐色ないしは茶褐色～黒褐色などに変色して陥没し、陥没した周囲には癒合組織が形成されて、膨らむ。 ・病斑が枝や幹を一周すると、通水の組織が破壊され、その上部は萎れて枯れる。 	カエデ類、モクセイ類、サクラ類、イチョウ、カキノキ、ヒトツバタゴ、ニオイヒバなど	<ul style="list-style-type: none"> ・樹木の樹勢が低下すると、枝や幹の傷口（剪定、折損、害虫等）に寄生した病原菌により発病する。
白紋羽病	<ul style="list-style-type: none"> ・根、根株部の樹皮表面にくもの巣状の菌糸束が絡み覆う。侵された樹皮は褐変・腐敗し異臭を発する。 ・感染すると早期に落葉し、樹勢が衰退して枯死に至る。 	スギ、カシ類、サクラ類、ケヤキ、カエデ類、ヤナギ類、ハゼノキ、クスノキ、ウメ等	<ul style="list-style-type: none"> ・土壌中に残る被害根にある病原菌が伝染源になり、植栽木の根に感染する。

参考文献：*1 「樹木医必携 基礎編・応用編」、(一社)日本樹木医会 (2012)

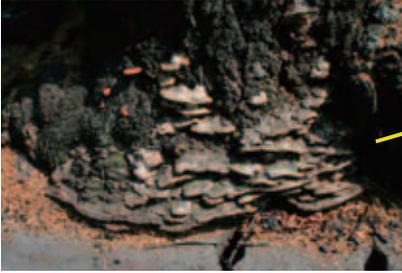
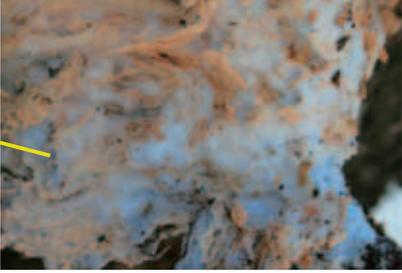
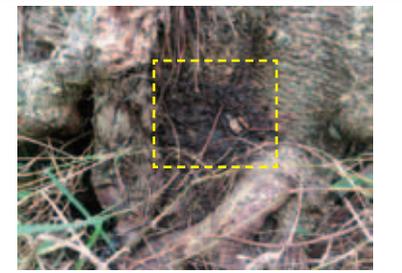
*2 「街路樹の倒伏対策の手引き」、国総研資料第 669 号 (2012)

*3 「都市樹木のリスクマネジメント」、米国農務省森林局、細野哲央訳、(一社)街路樹診断協会、(2015)

(7) 根株と根の腐朽・衰弱

①概要

- ▶ 根株と根の腐朽は、根株腐朽菌が土壌から根株と根の材内に侵入することで発生する。胞子が空中を飛散後、土壌中の根や幹の傷や枯死部分から侵入するが、根状菌糸束で地中を広がり周辺の樹木の腐朽を起こす菌（ナラタケ等）、根の接触で感染する菌（マツノネクチタケ等）もある*1。根の切断などにより菌が材内に侵入する場合が多い*1。
- ▶ 被害の目立つ菌はベッコウタケ（白色腐朽・心材腐朽）、ナラタケ、ナラタケモドキ（白色腐朽・辺材腐朽）、白紋羽病（1.3 (6)「病虫害」参照）*1。
- ▶ その他人為的な要因で根系が衰弱する場合がある（1.4、1.5 参照）。

根株と根の腐朽・衰弱（子実体）			
根株と根に発生した腐朽・空洞			
	子実体（ベッコウタケ）	根株に発生した腐朽（ソメイヨシノ）	腐朽した材（スポンジ状）と菌糸
			
	根株に発生した空洞	根に発生した腐朽	切断根の腐朽
根株に発生する子実体			
	ベッコウタケ	ナラタケ	シマサルノコシカケ

②倒伏・落枝との関連

- ▶ 根株と根の腐朽・衰弱は、支持力の不足により倒伏の原因となるほか、樹勢の衰退により樹木全体の腐朽につながる *1。
- ▶ 樹幹に近接する重要な根域(CRR:胸高直径×18の半径の範囲内(「1.2.(4)根返り応力」参照))の根系のうち40%以上が損傷した場合には、樹木の支持に重大な弱点が生じる場合がある *2。

③関連する点検・診断項目

- ▶ 外観の目視、樹体の揺れ、木づちによる打診、鋼棒による貫入抵抗、計測機器（レジストグラフ）による診断、表層土掘削による根系調査等。

参考文献：*1 「樹木医必携 基礎編・応用編」、(一社)日本樹木医会（2012）

*2 「都市樹木のリスクマネジメント」、米国農務省森林局、細野哲央訳、(一社)街路樹診断協会、(2015)

(8) ガードリングルート

①概要

- ▶ 根の伸長範囲（植樹帯、植栽柵等）が狭く根詰まりを起こしている場合、深植えされている場合などに発生する *1。
- ▶ 幹の根元を巻くように根が展開するため、根で圧迫された幹の組織が壊死する *1。
- ▶ ガードリングルートにより、樹木が正常に成長し機能する能力、病原菌や害虫などの有害物質に抵抗する能力、損傷から回復する能力を損なうことにより、最終的に樹勢が衰退する。

ガードリングルート		
		
初期	成長期	肥大期
ガードリングルートの成長		
		
ガードリングルートと腐朽 (ベッコウタケ)	根株の折損による倒伏	ガードリングルートによる幹の圧迫
	ガードリングルートによる折損事例	

②倒伏・落枝との関連

- ▶ 幹周の40%以上がガードリングルートで巻かれて幹が圧迫されている場合には、健全性が失われ倒伏のリスクが大きくなる*1。

③関連する点検・診断項目

- ▶ 外観の目視、木づちによる打診、鋼棒による貫入抵抗。

参考文献：*1 「都市樹木のリスクマネジメント」、米国農務省森林局、細野哲央訳、(一社)街路樹診断協会、(2015)

1.4 設計・施工・維持管理の各段階で発生する倒伏・落枝の要因

街路樹の設計において倒伏・落枝に対する配慮が十分でなかったり、施工や維持管理において作業が不適切な方法で行われるなどの理由により、樹木の弱点となる障害を発生することや直接的な倒伏・落枝の要因につながる場合がある。

(1) 発生要因と樹木障害の関係

街路樹の倒伏・落枝は、不適切な緑化による「内的な素因」と、異常気象や人為的な障害による「外的な誘因」があり、これらにより発生した樹木障害（構造上の弱点）が直接的な原因となると考えられる（図-1.21）。なお、異常気象については樹木障害がなくても倒伏・落枝につながることもある。

道路緑化の各段階の発生要因としては、設計段階では樹種特性と植栽環境に関する項目、施工段階では植栽工事と樹木の養生に関する項目、維持管理段階においては植栽管理と周辺工事からの影響、異常気象に関する項目があげられる（図-1.22）。

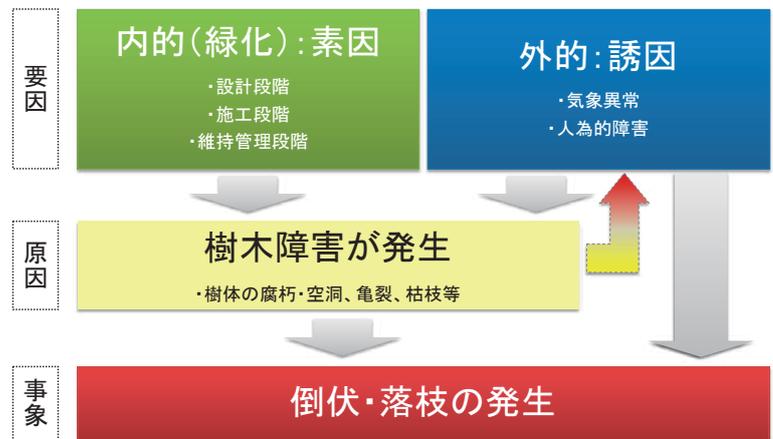


図-1.21 倒伏・落枝が発生する流れ

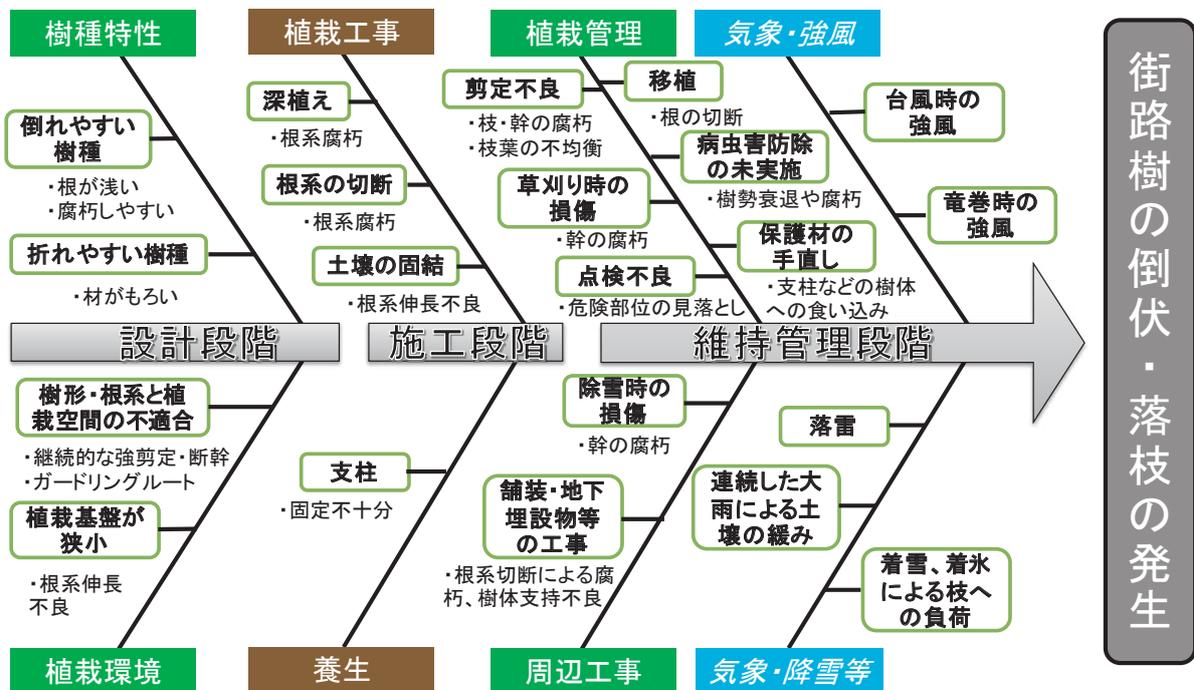


図-1.22 緑化事業段階毎の倒伏・落枝の発生要因

(2) 道路緑化の各段階における発生要因

①設計段階

設計段階における主な発生要因としては、植栽樹種、植栽配置、植栽基盤構造、樹木保護材に関して植栽地に不適切な選択が行われることがあげられる(表-1.7)。

表-1.7 設計段階における倒伏・落枝の主な発生要因

設計の項目	関連する倒伏・落枝の発生要因		関連する障害(弱点) (1.3参照)
	主因	副因(作用する条件)	
(1) 植栽樹種	樹形を構成する幹や枝の成長特性と植栽地の条件との不適合	狭い歩道幅員に大径木となる樹種を植栽した場合	(1) 幹と枝の腐朽・空洞(強剪定により)
	幹や枝の樹種特性と植栽地の条件との不適合	材の強度が低い樹種、腐朽菌が侵入しやすい樹種	(1) 幹と枝の腐朽・空洞 (6) 病虫害
	根系の成長特性と植栽空間との不適合	狭小な植栽地に大径木となる樹種や根の垂直分布が浅い樹種、根を生やす密度が粗い樹種を植栽した場合	(7) 根株と根の腐朽・衰弱
	管理目標樹形の不適切な設定	管理目標樹形の設定で、幹周に対し樹高を高く伸ばしすぎた場合	(4) 樹形(H/D比)
(2) 植栽配置	狭小な幅員の植栽地	狭小な幅員や規模の植栽樹に高木を植栽する場合	(7) 根株と根の腐朽・衰弱 (8) ガードリングルート
	樹形に対して狭い植栽間隔	隣接する高木との間隔が枝張りに比べ狭い場合	(5) 枯枝
	周辺施設との競合	標識や道路照明等の道路附属物と隣接したり、歩道下の地下構造物等で植栽基盤に制約が生じる場合	(7) 根株と根の腐朽・衰弱
(3) 植栽基盤構造	根系の伸長特性と植栽基盤構造の不適合	狭小な植栽基盤でその外側に根が伸長できない場合	(7) 根株と根の腐朽・衰弱
	不良な土壌	植栽基盤となる土壌として透水性や土壌硬度、酸度(pH)、養分等が不適な土層が分布した場合	(7) 根株と根の腐朽・衰弱
	地下施設等との競合	歩道下の地下構造物等で植栽基盤に制約が生じた場合	(7) 根株と根の腐朽・衰弱
(4) 樹木保護材	強風下での支柱の支持力不足となる支柱の選択	枝折れや倒伏の直接的な原因となるほか、樹体に亀裂を生じさせたり、根系を揺さぶられる場合	(2) 幹と枝の亀裂 (7) 根株と根の腐朽・衰弱
	支柱や踏圧防止板の樹体への干渉	樹木が成長した際に、支柱や踏圧防止板が樹体と癒着し、食い込んだ形になった場合	(1) 幹と枝の腐朽・空洞 (7) 根株と根の腐朽・衰弱
	草刈り時における樹幹損傷への未対応	幹の根元が刈り払い機の回転する刃先により損傷を受けた場合	(1) 幹と枝の腐朽・空洞 (7) 根株と根の腐朽・衰弱

樹種と植栽地の不適合	狭い植栽間隔	狭小な植栽地	不良な土壌
			
アーケードにより空間が抑制されている植栽地において、高木となるプラタナスが植栽されたことで、成長とともに強剪定が行われた事例。	高木で樹冠を大きく広げる特性を有するクスノキの植栽間隔が狭いため、隣接する樹冠が接触して生育不良の事例(強剪定も行われている)。	狭小な植栽樹に植栽されたソメイヨシノの根株が、植栽樹よりも大きく成長したことにより肥大化に対する阻害を受けている事例。	植栽地が不良な土層構造(下層に粘性土)のため、根系が深く伸長していかない事例。

②施工段階

施工段階における主な発生要因としては、植栽基盤整備工、植栽工、樹木保護工に関して不適切な作業などが行われることがあげられる（表-1.8）。

表-1.8 施工段階における倒伏・落枝の主な発生要因

施工の項目	関連する倒伏・落枝の発生要因		関連する障害（弱点） （1.3参照）
	主因	副因（作用する条件）	
(1) 植栽基盤整備工	不良な土壌の混入	固結した土壌、コンクリート塊など土壌以外の物体が混入した土壌、アルカリ性の土壌など、一般的な植物に適さない土壌条件を改良せずに植栽する場合	(5) 枯枝 (7) 根株と根の腐朽・衰弱
	不適切な施工	植栽基盤の締固めにより、根系伸長が困難な状態や、地下水水位が高い場合	(7) 根株と根の腐朽・衰弱
	根上り対策の不備	根上り対策が実施されていない場合 根系遮断シート等の継ぎ目にすき間があった場合	(6) 病虫害 (7) 根株と根の腐朽・衰弱 (将来の根の切断につながる)
(2) 植栽工	不適期の植栽	厳暑期の植栽により蒸散過多の状態になる場合	(5) 枯枝
	植栽樹木の品質不良	根元にガードリングルートがある場合	(8) ガードリングルート
		カミキリムシ等の虫害や病害がある場合 樹勢不良や病害がある場合	(1) 幹と枝の腐朽・空洞 (5) 枯枝
	深植え	根鉢を土で厚く被覆した深植の状態です	(5) 枯枝 (7) 根株と根の腐朽・衰弱 (8) ガードリングルート
(3) 樹木保護工	支柱の不適切な施工	樹体と支柱との固定が不十分で樹体が風によって大きく揺れ動く場合	(7) 根株と根の腐朽・衰弱
		肥大成長する樹幹の太さに適合しない規格の支柱を設置した場合	(1) 幹と枝の腐朽・空洞 (7) 根株と根の腐朽・衰弱
	踏圧防止板の不適切な施工	踏圧防止板が根株や根系に接触した状態で設置された場合	(7) 根株と根の腐朽・衰弱
	マルチングの不適切な施工	マルチングシートの継ぎ目に隙間がある場合	(1) 幹と枝の腐朽・空洞 (7) 根株と根の腐朽・衰弱
	養生の未実施	灌水、防風等の必要な対策が未実施の場合	(1) 幹と枝の腐朽・空洞 (7) 根株と根の腐朽・衰弱

不良な土壌混入	不適期の植栽	樹木の深植え	不適切な支柱設置
			
樹木にとって不良な土壌を混入することは、根が衰弱し枯死に繋がる可能性がある。	不適切な時期に植栽したことにより枯死した事例。	根鉢が地表面より深く植えられたことにより根が衰弱した事例。	設置した鋼製支柱が、肥大成長する樹幹の太さよりも狭いために、支柱が樹幹に食い込んでいる事例。

③維持管理段階

維持管理段階における主な発生要因としては、剪定、樹木保護材の維持管理、損傷防止対策、根系の維持管理に関して不適切な作業などが行われることがあげられる（表-1.9）。

表-1.9 維持管理段階における主な倒伏・落枝の発生要因

維持管理の項目	関連する倒伏・落枝の発生要因		関連する障害（弱点） （1.3参照）	
	主因	副因（作用する条件）		
(1) 剪定	不適切な頻度設定 (強剪定)	強剪定により不定枝、徒長枝、胴吹きが多数発生し、折れやすい枝が増えた場合	(1) 幹と枝の腐朽・空洞 (3) 脆弱な分岐部 (4) 樹形（L/D比） (5) 枯枝 (6) 病虫害 (7) 根株と根の腐朽・衰弱	
		密度の高い枝葉の発生により樹冠内部の日照が妨げられた場合		
		定期的に強剪定することで樹勢が衰退した場合		
(2) 樹木保護材の維持管理	支柱の劣化	支柱や支柱の結束材を適切な時期に撤去しなかった場合、ケーブリングの結束材が緩んだまま放置された場合	(1) 幹と枝の腐朽・空洞 (6) 病虫害	
		踏圧防止板の劣化		(6) 病虫害 (7) 根株と根の腐朽・衰弱
		マルチングの劣化		(1) 幹と枝の腐朽・空洞 (6) 病虫害
(3) 損傷防止対策	根系や幹の損傷	競合している施設の配管工事や基礎設置工事などで、街路樹の根系が損傷を受けた場合	(6) 病虫害 (7) 根株と根の腐朽・衰弱	
		刈払機を用いた草刈り時や積雪地での堆雪の排雪時などに幹に損傷を受けた場合		
		幹がガードパイプなどに接触して食込んだ場合		
(4) 根系の維持管理	根上りの放置	根上りを放置した場合	(7) 根株と根の腐朽・衰弱	
		ガードリングルートの放置	ガードリングルートを放置し、幹の根元の締め付けがきつくなった場合	(8) ガードリングルート
(5) 病虫害対策	病害の放置	木材腐朽病、胴枯病等の倒伏・落枝に進展する病気を放置した場合	(1) 幹と枝の腐朽・空洞 (5) 枯枝 (6) 病虫害 (7) 根株と根の腐朽・衰弱	
		虫害の放置		食葉性、穿孔性、食材性の害虫発生を放置した場合

不適切な剪定		不適切な樹木保護対策	道路附属物との競合	
				
枝の中途半端な位置で剪定したことにより、残された枝が枯死した事例。		草刈機で損傷を受けた事例。		防護柵を巻き込んだ事例。
強剪定により残された大枝が腐朽して、樹幹内部まで腐朽が進行した事例。		根系の不良な維持管理		
				
大枝降ろし剪定で、樹幹にまで傷をつけたため、樹幹が腐朽した事例。		断幹を太い位置で行ったため切断部分から腐朽が侵入した事例。		踏圧防止板に接触した部分の根株を切除した事例。
				ガードリングルートを放置している事例。

1.5 外力による発生要因

街路樹が植栽されている道路空間は、道路利用者や占用施設などによる利用が行われるものであることから、街路樹が人為的な外力によって損傷を受けることがあり、これらの損傷が樹体の弱点となる場合には倒伏・落枝の発生要因となる。

外力による発生要因としては、周辺工事による損傷、人為的な損傷、自動車による損傷、別用途で道路空間を利用する際に発生する損傷などがあげられる（表-1.10）。

表-1.10 外力による倒伏・落枝の発生要因

外力	関連する倒伏・落枝の発生要因		関連する弱点 (1.3 参照)
	主因	副因（作用する条件）	
(1) 損傷	周辺工事による損傷	舗装工時や排水工事などで根が保護されずに損傷を受ける場合	(7) 根株と根の腐朽・衰弱
	人為的な損傷	意図的な損傷行為、私的な看板の設置などで幹や根に損傷を与える場合	(1) 幹や枝の腐朽・空洞 (6) 病虫害
	自動車の衝突や接触	自動車の衝突や、大型貨物車の荷台が車道側の枝に接触した場合	

周辺工事による損傷	人為的な損傷	自動車の接触による損傷	
			
植樹帯に隣接した排水溝の工事において、根系が露出したままの状態となり損傷している事例。	ゴミ収集場所に設置されたゴミ被覆ネットを固定するための針金が、樹幹に食い込んだことにより腐朽している事例。	トラックのルーフ部が接触して樹幹が損傷した事例。	乗用車が衝突して樹幹が損傷した事例。