

ビル風対策に用いる植栽の生育状況に関する研究

木 梨 智 子 大 塚 清 敏
寺 井 学 片 岡 浩 人

Study on situation of growth of trees planted for mitigating building-induced winds

Satoko Kinashi Kiyotoshi Otsuka
Manabu Terai Hiroto Kataoka

Abstract

This study observationally investigated the present states and causes of “poor growth of trees” planted around middle- and high-rise buildings for the purpose of mitigating building-induced winds. More than 30% of the 509 trees surveyed in central Tokyo were recognized to have grown insufficiently. Some correlations are found among the growth situation of trees and environmental factors such as wind conditions, solar radiations, and sky view factors at the site of individual trees, which are important for plant growth. Our results revealed that environment factors around urban crowded buildings may have a major impact on the plant growth.

概 要

中・高層建物のビル風緩和対策として、建物外構に施されている防風植栽が生育不良となる問題が生じている。しかし、植樹後の防風植栽の生育状況を十分に調査した事例は見当たらない。そこで、東京都心部に植樹されている防風植栽509本を対象に現状調査を実施し、それらの3割以上が生育不良であることを把握した。更に、その要因に関する洞察を得るために、風、日射の割合、天空率、および建物に対する樹木位置（方位）など、建物建設に伴って変化する環境要因と生育状況との関連性を分析した。その結果、生育不良の割合は風の強さと正の相関があることがわかった。一方、建物南側では、日射が多いほど、または風が吹かないほど、生育不良が増える傾向が認められた。この現象は、自然の生育環境下での関連性とは異なっているが、周辺建物の影響により天空率が小さく、日射による温度上昇や乾燥状態が厳しいとされる都市空間の環境特殊性によりもたらされている可能性が示された。

1. はじめに

中高層建物の周辺では、局所的に強風が吹く「ビル風」現象が発生し、風環境が厳しくなることが知られている。ビル風により歩行者が受ける被害には、衣服や髪の乱れといった不快感だけではなく、歩行困難や突風による転倒などの事故に繋がる場合もあり、確実な対策が求められている。この問題に対して、我々は建物の計画段階から風環境の予測調査を実施して、適切な防風対策を施すことで使用用途に見合った風環境を確保することに努めている。

風環境を改善する方法には、建物形状や配置を変更するなどの1次的な対策と、防風植栽や防風フェンスを施すなどの2次的な対策が知られている。これらのなかで最も多用されているものは、2次的な対策手法の一つである防風植栽によるものである。これは、成長が早く耐風性のある常緑樹を、適切な位置に複数本を植樹することで、樹木の枝葉の空気抵抗により風速を低減させる方法である。防風フェンスなどの構造物による対策と比べると、景観への影響が少なく、緑被率向上への貢献につながるなどのメリットがあるので、顧客や設計者からの採用の要望が多い対策手法である。

一方で、竣工後の早い段階で防風植栽が生育不良にな

るという問題が生じている。防風植栽の風速低減効果は、枝葉が茂り健全に生育した状態を前提に見積もられているので、生育不良があると厳しい風環境を改善することができない。さらに、防風植栽の生育不良とビル風に起因する被害とが重なると、単純な枯れ補償の対応だけでは済まされず、解決には多大な時間と費用がかかる。過去の事例では、竣工直後に両者の問題が生じてから、協議、植替えに関する手続きと作業、対応後の防風効果確認などに数年を要した。

樹木を用いた防風対策を行う場合には、植樹後の環境を踏まえた計画と適切な施工が重要である。そして、それを可能にするためには、植樹後、数年が経過した防風植栽の生育状態の確認や、不都合がある場合の原因分析が必要であると考ええる。しかし、現状では、竣工1年後の建物検査時に、敷地内の外構植栽が立ち枯れていないかのチェックを行う場合もあるが、その他の時期に設計、施工者が、防風植栽の生育状況を確認することは一般には行われていない。

そこで、防風対策を計画する立場の視点から、東京都23区内に植樹されている防風植栽の生育状況の調査、および、防風植栽周囲の環境要因と生育不良状況との関係の分析を行った。本報ではその結果について述べる。但し、本調査は、樹木の生育に関する全ての環境要因につ

いて分析を行ってはいない。本研究は、他の外構植栽とは異なる重要な役割をもつ防風植栽が生育不良となる要因の手がかりを得、リスクを少しでも回避させることを目指して実施したものである。

2. 防風植栽の現状調査

2.1 樹種と対象場所

調査は、平成24年7月～平成25年1月に実施した。対象とした樹種は、東京地方で防風対策に用いられることが多いクスノキとシラカシの2種に限定した。両者の主な特徴をTable 1に、健全に生育している状態をPhoto 1、Photo 2に示す。乾寒風（冬季のユーラシア大陸東部の高気圧から関東地方に北西の季節風として達する、湿度の低い寒気の吹き出しのような風をいう）に対する耐性は、クスノキがやや弱くシラカシがやや強いといった性質であり、両者に差はあるが、他の特徴は両樹種ともに概ね同等である。東京地方における冬季の乾寒風はそれなりに厳しいので、クスノキの成長には最適な環境ではない可能性はある。それでも、成長の早さ、成木樹形の美しさ、神社仏閣の境内に植樹されるなどの格式の高さから、防風植栽として現在までに多用されていることから今回の調査対象とした。調査したクスノキは268本、シラカシは241本、合計509本である。

対象とした場所は、東京都23区内にある高層建物のうち、敷地内に防風用として植樹されていると推測できるクスノキとシラカシがあることと、その樹木が調査しやすい位置にあることを条件として、任意に45棟を選定した。調査場所をFig. 1に示す。

2.2 生育状況の判定方法

樹木の生育状況の判定には、樹木診断などで活用されている地上部の衰退度判定票²⁾を用いた。この判定票によれば、樹木の現状の生育状態と生育の程度を、衰退度といった数値を用いて表現することができる。その数値は、高いほど、生育不良が進んでいることを示すようにできている。衰退度は、評価項目12種に対して0～4の5段階の点数で評価した後、評価合計点を項目数で除することで算出される。そうして求められた衰退度から、樹木の生育状況を5段階に分けて判定する。判定票の一部を抜粋してTable 2に、5段階評価の評価基準をTable 3に、衰退度に対応する樹木状況のイメージをFig. 2にそれぞれ示す。なお誤判定を避けるため、同一樹木の植樹状況の確認を複数回行い、植え替えや剪定直後ではないことを確認した。

2.3 結果

衰退度判定評価の例をPhoto 3を用いて示す。写真のような状態のクスノキは、樹形や樹勢が著しく劣勢（評価点3.0）とされる。下枝の葉色は緑色を保っている（評価点1.5）が、上枝の枯損が激しく（評価点3.5）、最終的

Table 1 樹木の特徴¹⁾
Some features of trees treated here

特徴	クスノキ	シラカシ
形質分類	高木/常緑樹	高木/常緑樹
生育条件	光	陽樹
	水	普通
耐性	乾寒風	やや弱
	暑さ	強
	潮風	やや強



Photo 1 クスノキ
Cinnamomum camphora

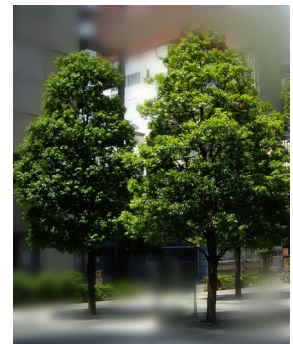
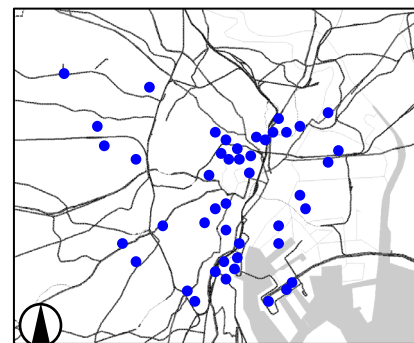


Photo 2 シラカシ
Quercus myrsinifolia



出典：ゼンリン電子地図帳

●：調査した高層建物位置

Fig. 1 東京23区内の調査場所
Map of investigation spots

に衰退度が2.8、評価区分がⅣの、「著しく不良」と判定された。

調査した全樹木の衰退度判定結果をFig. 3に示す。枯死寸前（2%）、著しく不良（8%）、不良（24%）と評価された樹木を合わせると、全体の3割以上は成長が健全ではないことがわかった。また、衰退度と樹木の状態との対応から、防風植栽としての役割が十分に得られない（枝葉の茂りが少ないために風速低減効果がない）状況は、衰退度が1.6以上（衰退度区分Ⅲ以上）であると判断し、それに当てはまる場合に生育が不良状態であると定義した。病気による生育不良と判断できる樹木が2本あったが、これらは統計から除外した。

生育不良の状態は、全体に枝葉がないものや、枝葉の

茂りが偏り変形しているものなどが殆どであった。また、防風植栽は、道路や境界線に沿って列植されている場合が多いが、生育不良と判定された樹木は、健全に生育している樹木の間に位置しているケースも少なからず認められた。このことから、生育不良が局所的な要因で発生していることが考えられる。

次に、対象の高層建物に対する防風植栽の植樹位置(方位)別の樹木割合と生育状況を比較した。調査は東京都23区内で実施したので、対象建物の周辺にも高層建物が林立している場合が多く、厳密に建物に対する植樹位置を定めることは難しい。しかし、本調査の目的は、対象建物を建設する時に植樹する防風植栽の生育に関する事

Table 2 樹木地上部の衰退度判定票²⁾ 抜粋
List of indices for use
in judging degrees of decline of a tree

項目	
1	樹勢
2	樹形
3	枝の伸張量
4	梢・上枝先端の枯損
5	下枝の枯損
6	大枝・幹の欠損
7	枝葉の密度
8	葉(芽)の大きさ
9	葉色
10	樹皮の傷(剥皮、壊死)
11	樹皮の新陳代謝
12	胴ぶき・ひこばえ

Table 3 地上部の衰退度評価基準²⁾
Ranks of degrees of decline of a tree
(for the portion above the ground)

衰退度の区分		
I	0.8 未満	良
II	0.8~1.6 未満	やや良
III	1.6~2.4 未満	不良
IV	2.4~3.2 未満	著しく不良
V	3.2 以上	枯死寸前

衰退度区分

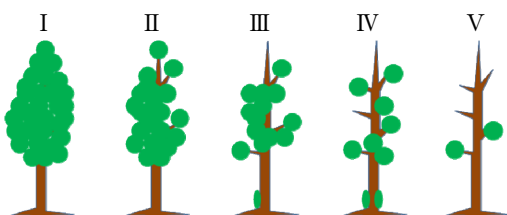


Fig. 2 衰退度区分別樹木状況のイメージ
Images of tree in each decline degrees

象なので、植樹位置とは対象とする高層建物だけに対する方位に限定した。結果をFig. 4に示す。今回の調査の中では方位別の樹木割合は、南側が30%と最も多く、次いで西側の29%、東側の22%、北側の19%であった。そして、4方位の中で生育不良の樹木割合が最も少ないのは、直



Photo 3 生育不良のクスノキ
Cinnamomum camphora of poor in growth

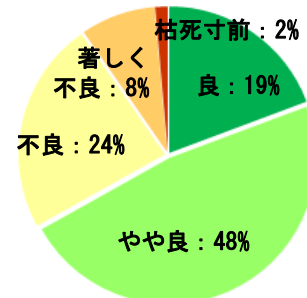


Fig. 3 調査した全樹木の生育状況
Summary of the growth-states
of all trees surveyed in this study

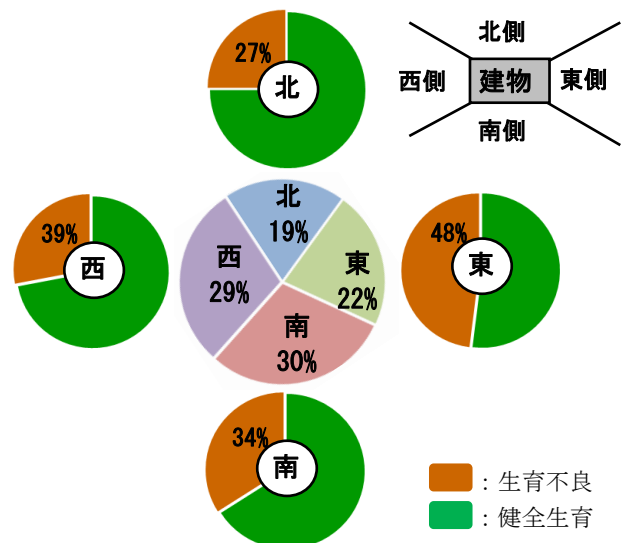


Fig. 4 対象建物に対する植樹位置別
調査樹木割合と生育状況
Percentages of a position of tree around a building
and growth-states

射日光があまり見込めない北側の27%であった。逆に一番生育不良の割合が多かったのは東側の48%であり、ほぼ半数であった。クスノキとシラカシは陽樹であり、樹木の成長には光が多く必要であるとされているが、この結果からは、日照の豊富さのみで生育状況を判断することは難しいと考えられる。

3. 生育不良の要因に関する検討

3.1 生育不良要因の抽出

現状調査の結果を踏まえて、防風植栽に生育不良をもたらす環境要因について分析する。一般的に樹木の成長に影響を与えると考えられる要因には、光、温度、水分、風、土壌、根鉢状況（排水を含む）、植樹時期、病気、害虫などがあげられる³⁾。本調査では、建物建設によって変化が大きいと考えられる環境要因に限定し、機器を設置しての常時計測が必要であるものや、樹木固有の要素などについては、今後の課題とした。着目した環境要因は、1) 風、2) 光、および3) 植栽基盤である。

3.2 要因別分析方法

要因別の分析方法は以下の通りである。

(1) 風 防風植栽植樹位置毎の風の状況は、風環境シミュレータZephyrus⁴⁾（ゼフィルス）を用いた風の数値解析により把握した。解析は対象建物毎に実施し、植樹位置における平均および瞬間風速の年間発生頻度を算出した。モデル化の範囲、計算メッシュ、流入風などの解析条件をTable 4に、計算に用いたモデルの例をFig. 5に示す。

(2) 光 本来であれば、日射量の観測的把握が必要であるが、そのための計測には多くの時間が必要となる。そこで、本調査では、防風植栽植樹位置毎における直達日射量の指標として年間日射割合を、散乱光の指標として天空率（地点から見上げた時の空が見える割合）を採用した。年間日射割合は日影計測分析器（Solmetric社製）を用いて、植樹位置の月別太陽軌跡、緯度経度、仰角写真に写り込むビルなどの影状況から年間の日射割合を算出した。天空率は等立体角射影方式の魚眼レンズで撮影した写真を白と黒の2階調に変換処理した後、画像を細密なグリッドに分割して天空率を求めた。測定高さは両者とも1.5m程度、樹木自体の投影は除去した。日影計測分析器による測定結果の例をPhoto 4に、天空率計算例をFig. 6に示す。なお、計測時期は、平成24年11月～平成25年1月と同6月～7月の2つの期間である。

(3) 植栽基盤 樹木の植樹に供される地盤の条件は、樹木の生育に大きく影響する。しかしながら、すでに竣工した建物の外構に施された樹木の根鉢や地下の状況を正確に把握するのは困難である。また、施工当時の図面を入手、または閲覧することも、容易ではない。今回の調査では、植栽位置の地下に構造物があるか、鉢植えであるか、その他生育に不利となりえる事象はないか

Table 4 風環境数値解析の計算諸元
Computational conditions for
wind environment analysis

乱流モデル	標準 $\kappa-\varepsilon$ モデル
流入風鉛直分布	建築学会指針 ³⁾ 粗度区分IV
計算メッシュ	1,000m四方範囲を4重格子設定 格子は、20m, 10m, 5m, 2mピッチ 格子範囲は、対象建物により可変
地形モデル	起伏が大きい地域のみ 50m標高データを用いて再現

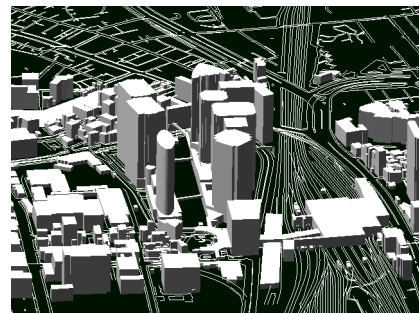
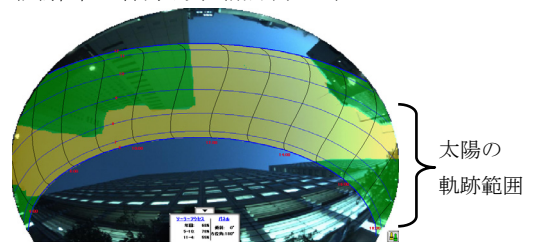


Fig. 5 風環境の数値解析モデルの例
An example of the computational model
of wind environment analyses

植樹位置の仰角写真（南方方向が上）

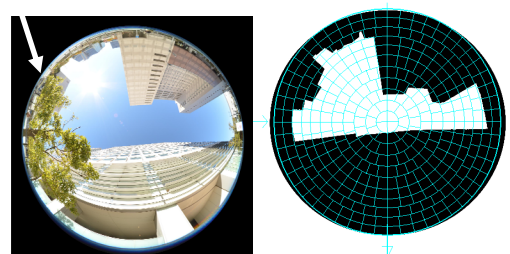


太陽軌跡範囲にビルが入り込んでいる状況

Photo 4 日射割合の計算例
An equi-solid angle projection image for use
in obtaining insolation ratios

隣接の樹木

（南方方向が上）



魚眼レンズで撮影した写真（左）を、
空と影の白黒色に塗り分けた（右）状況
図中のラインは空隙率算出用の分割グリッド

Fig. 6 天空率の算出例
Discretization of a fish-eye lens photo image
for calculation of sky-view-factors

を、目視により確認した。それらの情報は、今後の分析の参考とする。

3.3 結果

3.3.1 風 樹木の生育状況と風との関係を調べた。本来は、クスノキとシラカシにおいて、生育不良に影響を与える風速や特定風速の年間発生頻度などに対する関係を示すべきであると考えが、その具体的な数値は植物学の分野においても示されていない。そこで、便宜的に環境アセスメントなどの風環境評価に用いる平均風速に基づく風環境評価指標⁵⁾で、評価基準の閾値である累積頻度に対応する風速値で示すこととした。具体的には、2日に1回吹く風に相当する累積頻度50%と、日最大平均風速の年間平均値といわれる累積頻度95%⁵⁾である。各累積頻度の風速値に対する樹木本数の関係をFig. 7(1)と(4)に示す。図中では、健全樹木本数を緑色、生育不良樹木本数を茶色で区別した。風速の階級は、両累積頻度において10分割以上になるように調整した。

累積頻度50%の場合では、風速値が0.8~1.0m/sとなる場所に植樹されている樹木が107本と最も多く、それより

も高風速側に、全体の6割強の本数が分布している。累積頻度95%では、風速値が2.5m~4.0m/sの範囲内の樹木数が250本を越え全体の半数以上が含まれる。風速値の範囲は、累積頻度95%の方が大きかった。

次に、このグラフを基に、階級別生育不良割合を算出してFig. 7(2)と(5)に示す。ここでは、樹木本数が10本に満たない階級のデータは省いている。グラフから、両累積頻度とも、風速が大きくなるに従い生育不良割合も増加する正の相関が認められ、特に累積頻度95%ではその傾向が顕著である。さらにFig. 7(3)と(6)では、建物に対する方位別の生育不良割合を示す。建物の東と西側では、両累積頻度に対する風速値が大きくなると生育不良割合も増加し、反対に、南側では風速値が大きくなると生育不良割合が減少する傾向を示した。

3.3.2 光 樹木の生育状況と光との関係を検討するための手がかりとして、年間の日射割合と天空率について分析した。

日射割合の階級別樹木本数をFig. 8(1)に、生育不良割合をFig. 8(2)に示す。調査した樹木位置の日射割合は直射日光が全く当たらない0%から日中のほとんど全ての時間太陽にあたる100%まで幅広く分布し、30~80%の間の樹

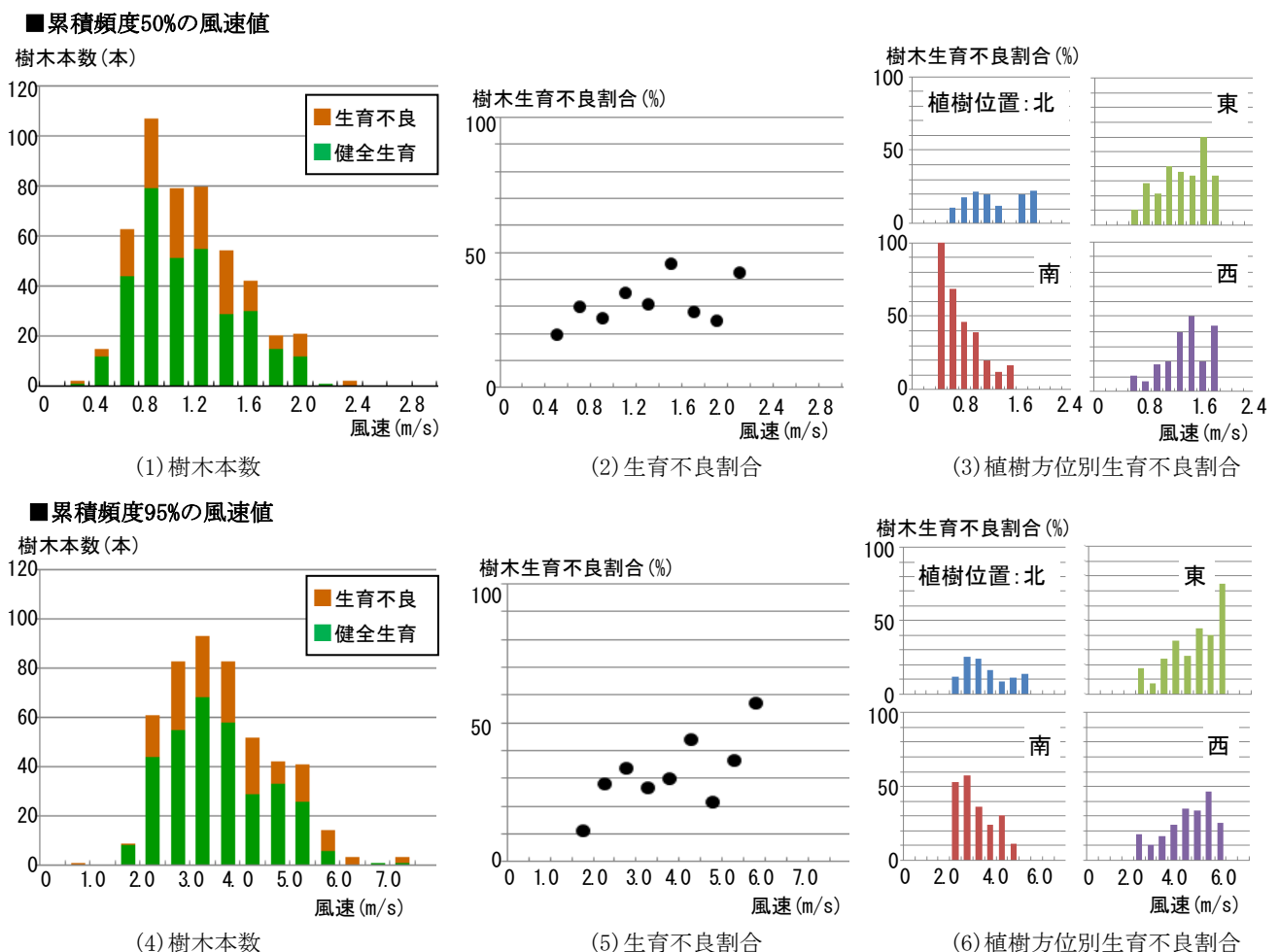


Fig. 7 累積頻度別風速値と樹木本数、樹木生育不良割合の関係

Relationships between wind speed at accumulation frequency, and number of trees and percentage of poor growth

木本数が30本前後と最も多く、分布もほぼ一様であった。生育不良割合は、日射割合30～70%の範囲が最も少なく、それより多い側、少ない側いずれでも増加する傾向が認められた。建物に対する位置別の生育不良割合をFig.8(3)に示す。北側では日射割合が増えると生育不良割合が減少し、反対に南側では日射割合が増えると生育不良割合も増加する傾向が認められた。

次に、天空率と樹木本数の関係をFig. 9(1)に、生育不良割合をFig. 9(2)に示す。調査した樹木の位置における天空率は40～45%が最も多く91本であった。また、周囲に天空をさえぎるような障害物がほとんどない開放された状態に近い天空率70%以上の場所にある樹木は全くなかった。そして、天空率が10～15%の場合には、6割以上の樹木が生育不良であった。しかしながら、天空率が15%になると生育不良割合は一旦13%程度まで小さくなり、その後は天空率とともに増加する傾向が見られた。Fig. 9(3)に示す建物に対する位置別の生育不良割合では、4方位ともに、日射割合のようなハッキリとした傾向は認められなかった。

3.3.3 植栽基盤 植栽基盤は、目視により状況を調査した。樹木の生育に影響を与えると考えられる植栽基盤状況としては、地面から50cm以上立ちあがっている鉢植

えと、地下構造物上、人工地盤上のものが確認できた。それらは、調査した樹木の全体の15%にあたり、そのうちの31%が生育不良と判断された。Photo 5には、生育不良となった鉢植えのクスノキの例を示す。

4. 考察

これまで、主に防風植栽の生育不良と風、日射割合、天空率といった環境要因との見かけ上の関係を示した。

風については、10分間平均風速の年間の累積頻度50%と95%の風速で分析を行った。今回の調査対象地点では、Fig. 7で示されているように、前者はおよそ1～2m/s程度の風を、後者は3m/sを越えるような強い風であった。調査の結果から、この日常的な強い風は、樹木の生育に影響を与える要因である高い可能性が示された。従って、建物などの影響により日常的に強風の吹くような厳しい風環境下では、防風用に植えられた植栽でも生育不良になるといえる。ただ、方位別でみると、対象建物の南側に位置する樹木は、風速値が大きくなるに従い生育不良割合が減少する傾向を示しており、日照など風以外の要因の影響の可能性も示された。

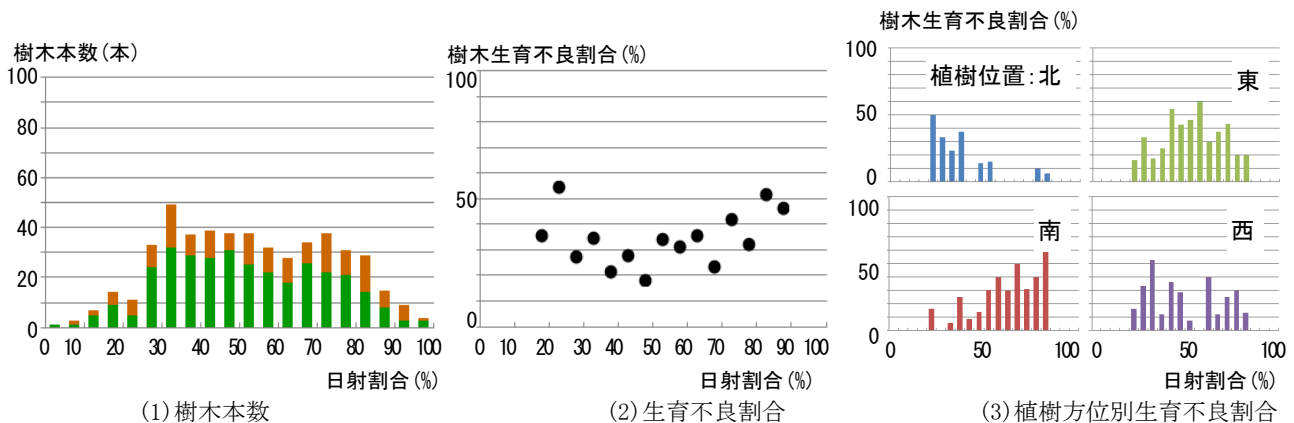


Fig. 8 日射割合と樹木本数、樹木生育不良割合の関係

Relationship percentage of solar radiation, number of trees, and percentage of poor growth

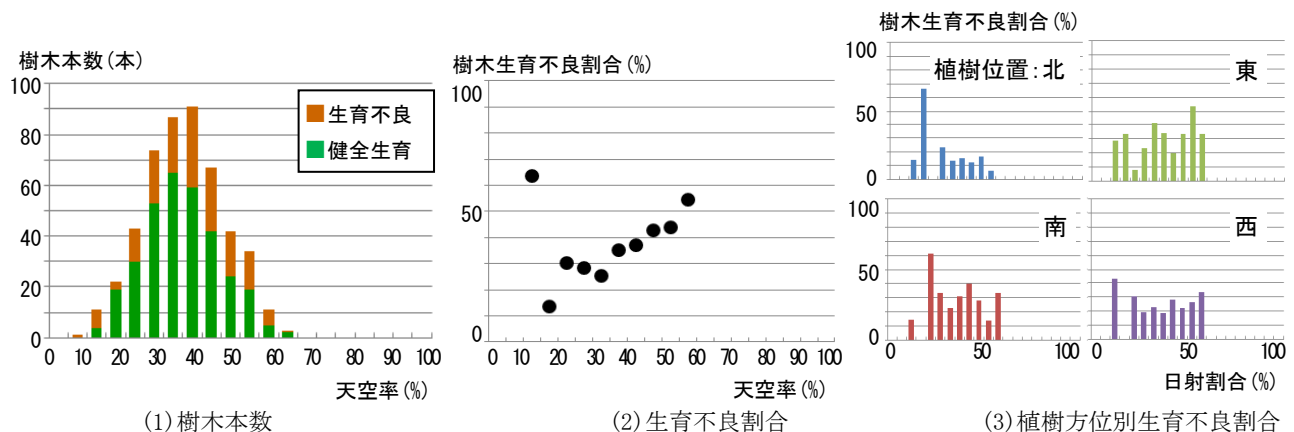


Fig. 9 天空率と樹木本数、樹木生育不良割合の関係

Relationship sky-factors, number of trees, and percentage of poor growth

ところで、今回の調査では、対象樹種をクスノキとシラカシに限定したが、両者は、陽樹（生育に必要な総生産量が比較的多い）に分類され、日射を好む特徴がある¹⁾。しかし調査の結果では、対象建物の影響で日射が遮られてしまう時間が多い北側に位置する樹木の生育が、他の3方位と比べて良好であった。方位別日射割合のグラフ（Fig. 4）からは、北側の日射割合は20～30%に集中していることが分かる。これとは反対に、建物の南側の樹木は、生育不良が目立つ。一般的に、陽樹は日当たりのよい南面に植えることが推奨されているが³⁾、今回の調査の範囲内では対象建物の南に位置する樹木において、日射割合の増加に伴う生育不良割合の増加が示されている。

ここで、対象建物の南側に位置する樹木が、全体的な傾向と反対の結果を示す理由を考察する。一般的に建物の南側は直達日射が多いので、地中を含む環境温度の上昇と、状況によってそれが引き起こす地面の乾燥度合いの強度は、他の方位よりも大きいと考えられる。これに加えて、本研究の対象である東京都23区内の調査地点では、対象樹木の周囲は近代的な建物に囲まれ、地面はアスファルトで覆われている。このような環境は、植物の生育には不利な状況であると言える。日射も、植物の成長に必要なものであるが、同時に熱的に厳しい環境をもたらすこともある。一方、風が吹くことは熱の拡散を促す効果があると推察できる。つまり、日射の影響を受けやすい建物の南側に位置する樹木が、風速値の増加にともなって生育不良割合が減少する傾向は、順当な結果とも考えられる。但し、これらは、対象樹木の熱、水収支を定量的に明示する必要があるため、今後の課題とする。

今回の調査では、クスノキとシラカシの生育が、樹木本来の生育環境の中で示される特徴とは異なる部分があることも認められた。これは、例えば、調査樹木地点の天空率が45%のクラスで最大頻度を示すことからわかるように、樹木位置から空を見上げると天空の半分以上が建物で覆われていることや、高木であるにも関わらず、植木鉢などにより根の成長領域が限定されていることから生じた現象であると推察する。

最後に、植物の生育に関しては、植物生理学に従って精密に検証していく必要があるが、ここでは現状を短期間で外観的に把握するため、限定した環境要因が生育不良を引き起こす可能性を統計的に分析したものである。得られた結果は、生育不良要因の一部ではあるが、防風植栽が生育不良になるリスクを少しでも回避するための情報としては、十分に役立つものである。



Photo 5 鉢植えのクスノキの生育不良の例
Examples of potted camphor in poor growth

5. まとめ

東京都心部の防風植栽の生育状況を調査し、生育不良要因について分析を行った。結果を以下に示す。

- 1) 調査した防風植栽（クスノキ、シラカシ）509本のうち、3割以上が生育不良であった。
- 2) 建物に対する植樹位置別では、東側の生育不良割合が多く、北側が最も少なかった。
- 3) 建物建設によって変化が大きいと考えられる樹木の生育不良要因として、風、日射、天空率、植栽基盤について分析した。その結果、環境要因と生育不良割合の間には明らかな関連性が認められた。
- 4) 方位別にみると、対象建物の南側に位置する樹木は、樹木本来の生育環境での特徴に反する状況が確認できた。これは、都市空間という生育環境の特殊性に関係しているものと考えられた。

本研究は、防風植栽の生育に関する事象を、現状調査と統計的な分析から示したものである。今後は、防風植栽の生育不良に関する要因を解明するために、サンプル数の増加と、温度条件などの分析を進める。

参考文献

- 1) 日本緑化センター：緑化樹木ガイドブック，（2003）
- 2) 日本緑化センター：樹木診断様式，（2009）
- 3) 例えば ㈱建築知識：緑のデザイン図鑑，（1998）
- 4) 片岡浩人，他：風環境シミュレータZephyrus（ゼフィルス）の開発，大林組技術研究所報，No.64，（2002）
- 5) 風工学研究所：ビル風の基礎知識，鹿島出版，（2005）