

1.3 都市公園・道路空間等の緑の確保に関する研究

12) 道路緑地の設計手法に関する研究

【道路調査費】57

13) 樹木の根上り対策に関する調査

【地方整備局等依頼経費】59

14) 台風による倒木被害対策に関する調査

【地方整備局等依頼経費】65

道路緑地の設計手法に関する研究

Study on the road greening design for improvement of landscape and environment in roads

(研究期間 平成 15 年度～)

—道路緑化技術基準の改定に向けた調査—

Study for revision of road greening technical standard and its guidance

環境研究部 緑化生態研究室
Environment Department
Landscape and Ecology Division

室 長 松江 正彦
Head Masahiko MATSUE
主任研究官 大塩 俊雄
Senior Researcher Toshio OSHIO

Street trees are effective on improving landscape, environment, and human amenity. So far we have aimed at developing the technique to evaluate them and making it reflect on the design of street trees. We made basic schemes on road greening in the present technical standard and its guidance ('88) through evaluation of our previous results, existing policies, and opinions from the beneficiaries in order to set a prospect for revision of the standard and its guidance.

【研究目的及び経緯】

道路の緑化は、街路樹、環境施設帯、のり面緑化などさまざまな所で行われ、安全かつ快適な道路交通環境の整備、良好な道路景観の形成、沿道における良好な生活環境の確保、生物の生育環境の確保等、多様な機能を有し、良好な街並みの景観に寄与し、緑陰を形成し、温度の調整、CO₂削減など環境の改善に寄与している。国土交通省では、「緑陰道路プロジェクト」、「ボランティアサポートプログラム」等の緑化関連施策を策定し、また、地球温暖化に対する京都議定書への対応として、「CO₂吸収源としての都市緑化の推進」を積極的に進めることとしている。これらの施策を現実的に円滑に着実に進めるためには、道路緑地の計画・設計・施工・管理に対して効果的、効率的な指針が必要となる。

しかしながら、指針となるべき現行の道路緑化技術基

準は昭和 63 年以降改正されておらず、近年の道路構造令の改正も含め、現状に即した基準の改正が求められている。

今年度は、昨年度の現行基準の改正に向けた方向性の整理を踏まえ、現行基準及び解説に対する、その改正素案を作成したものである。

【研究内容】

昨年度の研究成果における現行基準の改正ポイント、●道路構造令等改正との整合、●新たな緑化施策等の反映●新技術・新工法の反映、●その他の課題の反映に対して、どのような視点にたって、どのような内容で改正するのかを再整理(図-1)し、その内容に沿って具体的な基準改正の素案づくりを行った。

次項に改正ポイントに対する主な改正内容の概要を述べる。

【現行基準改正のポイント】

(1) 道路構造令等改正との整合

- 地域に応じて弾力的かつ効果的に道路緑化を図れるよう、地域に応じた緑化目標や緑地構造を具体的に提示。
- (例) ①都心部の幹線となる道路(緑陰道路)
- ②景勝地の幹線となる道路(歴史街道(東海道クロマツ並木))
- ③住宅地域の幹線となる道路(東京外かん道路(環境施設帯))
- 改正に伴う「緑空間の増大」
- 植樹帯の設置: 4 種 1 級に加え新たに 4 種 2 級にも原則設置。

(3) 新技術・新工法の反映

- 公的機関、民間企業等々により様々な道路緑化の新技術・新工法が開発されており、これら技術を反映。
- コスト削減技術(雑草抑制等)
- 植生基盤、土壌改良技術(植生基盤の整備手法、改良方法)
- 緑のリサイクル技術(剪定枝葉等のチップ化、堆肥化技術)

(2) 新たな道路緑化施策等の反映

- 「緑陰道路プロジェクト」の積極的な施策の展開と「緑陰道路」としての整備を図るため、緑陰道路の整備手法、管理手法等を提示。
- 「ボランティアサポートプログラム」など、道路緑地の官民協働管理の手法等を提示。
- 地球温暖化防止のための京都議定書への対応の一つとして、環境改善効果、とりわけ CO₂ 削減に大いに寄与する道路緑地の重要性や具体的な植栽地の配置、構造、構成等の提示。

(4) その他の課題の反映

- 街路樹倒木危険度のリスク管理手法(健全度調査→危険度評価→改善的措置等)
- 高木根の歩道浮き上がり対策等
- 大規模地震での倒壊建築物に対する道路分断防止機能等

図-1 現行基準改正のポイント

〔研究成果〕

（１）道路構造令等改正との整合

①地域に応じて弾力的かつ効果的に緑化を図れるよう、地域に応じた緑化目標や緑地構造を具体的に提示

現行基準では、旧道路構造令の解説と運用（昭和 58 年 2 月）に準じているため、緑化目標や緑地構造を設定する際、●都市部住居系、●都市部非住居系、●地方部集落地域、●地方部一般地域、●都市を代表する道路・景勝地という区分に応じ、画一的に計画検討がなされる記述となっている。しかし、改正道路構造令の解説と運用（平成 16 年 2 月）では、地域の状況を踏まえ、弾力的な計画・設計を行うことができる柔軟性をもったものになった。このことから、今回の改正では、地域特性（沿道土地利用、地域の歴史文化、環境や福祉、景観、まちづくり）、交通特性（歩行者交通量、高齢者・身体障害者利用状況）等に応じて弾力的に緑化整備を行えるよう、基本的な考え方や整備手法等を示すこととした。また、さらに具体的な道路の緑地構造（植栽地の配置、植栽構造、樹種の構成等）を提供することとしている。例えば〈都心部の幹線となる道路〉の例として緑陰道路における緑地構造。



写真-1
仙台・定禅寺通り
（ケヤキ並木）

（住居地域の幹線道路）の例として東京外かん道路の環境施設帯における緑地構造。



写真-2
東京外かん道路
（環境施設帯）

②「緑空間の増大」

「植栽帯」の設置が、道路規格 4 種 1 級に加え、4 種 2 級まで義務化された。その対応修正。

（２）新たな道路緑化施策等の反映

地球温暖化防止のための京都議定書への対応一つとして、「都市緑化等の推進」が挙げられ、CO₂ 削減に大いに寄与する道路緑地に対して、その効果を含めた具体的な植栽地の配置、構造、構成等を提示する。例えば緑陰道路における整備手法等を示す。（写真-1）

（３）新技術・新工法の反映

コスト削減技術や植生基盤土壌改良技術、緑のリサイクル技術等について、計画から管理にいたる全ての章において、その利用の拡大を推し進めるために、その適用性及び事例等について示す。

①コスト削減では雑草抑制等の技術

現場における除草作業抑制のために開発された雑草抑止手法（マルチング型、植栽工法型、目地対応型等）の事例を含めその活用方法を具体的に示す。



写真-3 雑草抑制シート（例）

②緑のリサイクル技術

すでに一部の現場において導入され、実際の作業において実施されている剪定枝葉のチップ化、堆肥化技術について、その利用目的、利用方法等具体的に示す。



写真-4 剪定枝葉のチップ化
状況（例）

（４）その他の課題の反映

①街路樹倒木に対するリスク管理手法の導入

街路樹の倒木や幹折れ等の事故の可能性を事前に評価し、改善措置を検討する手法（街路樹リスクマネジメント）の導入を積極的に図る目的で、すでに当緑化生態研究室や一部の整備局等で構築されている手引き等を掲載し、広く緑地維持の現場において活用できるよう提示する。

②バリアフリー対策及び防災に寄与する街路樹

高木の根による舗装等の浮き上がり対策や大規模地震での沿道建築物の倒壊に対する街路樹の効果（道路分断防止効果）等について現場での対応を促すことを目的に、新たに図、写真等を入れ具体的に提示する。



写真-5
街路種による建物倒壊
防止効果
出典「街路樹剪定ハンドブック」
日本造園建設業協会

〔成果の活用〕

今回の成果（道路緑化技術基準及び解説の素案）はあくまでも改正素案であり、今後この素案を基に、委員会等において、具体的な議論・検討を行い、最終的には基準の通達及び同解説の発刊を目途に進める予定である。

樹木の根上り対策に関する調査

Research on countermeasures for infrastructure damage by tree roots

環境研究部 緑化生態研究室
Environment Department
Landscape and Ecology Division

(研究期間 平成 18～20 年度)
室 長 松江 正彦
Head Masahiko Matsue
主任研究官 飯塚 康雄
Senior Researcher Yasuo Iizuka

In order to identify the factors of damage to infrastructures caused by the root system of trees, we investigated the root system. We find that the narrowness of planting bases and the ability of root system to grow under infrastructures were the major factors. Based on the results, we developed a plan for the countermeasure technique according to planting structures.

〔研究目的及び経緯〕

公園においては、地表面近くに伸長する樹木の根の肥大化により園路等が持ち上がる被害状況がみられ、ユニバーサルデザイン化を進めるのにあたり大きな問題となっている。この問題に対応するため、根系による被害の実態を把握して根上りの生じやすい植栽環境を抽出することにより、園路等の設計時の留意点を整理するとともに既に植栽されている樹木の根上りを工作物や管理技術で防ぐ方法を開発することが必要となっている。

〔研究内容〕

平成 18 年度は、国営海の中道海浜公園を対象として、樹木の根系が植栽地周辺の舗装等の構造物に及ぼしている実態（樹木形状、植栽環境、被害状況等）を調査するとともに、被害の顕著な樹木を抽出して根系成長調査を実施し、その発生要因を把握した。

〔研究成果〕

1. 根系による構造物被害の実態調査

（1）調査方法

実態調査の対象木を選定するために国営海の中道海浜公園全体の概要把握と公園全体を対象とした被害の概況把握を目的とした予備踏査を実施した。

予備踏査の結果から対象木を選定し、樹木根系による構造物被害の実態として、被害箇所について以下の項目に着目して被害状況を調査した。

- ①樹木：樹種、形状寸法、樹齢
- ②植栽環境：植栽基盤、周辺環境、気象状況、利用者
- ③構造物：構造、材料、位置

さらに、被害の多くあった樹種の中から同程度の樹木形状・活力の未被害の樹木を対象として、樹木、植栽環境、構造物に関する調査を行った。

（2）調査結果

予備踏査の結果では、クロマツによる被害が多く見られた。ただし、これらは、もともと根系が十分に発達していた既存木であると想定された。クロマツ以外では、

モミジバフウが多く、他にカツラ・クスノキ・クロガネモチ・サクラ・センダン・シンジュ・キョウチクトウ・ナンキンハゼで被害が見られた。



写真1 構造物被害の状況

被害は、園路端（縁石）から1m以内に植栽された樹木で多く見られた。被害状況は、軽度なひび割れから、舗装材（インターロッキング、平板）や縁石の持ち上げ、舗装材の破壊など、様々な状況であった（写真1）。特に、舗装材の持ち上げが多く見られた。

上記の結果から、既存木として公園整備以前から植栽させているクロマツを除いた、モミジバフウ（18本）、センダン（8本）、クロマツ（5本）、デイゴ（4本）、サクラ（3本）、サワグルミ（3本）、クスノキ（3本）、シンジュ（2本）、キョウチクトウ（1本）、クロガネモチ（1本）、ナンキンハゼ（1本）、カツラ（1本）の計12樹種（50本）を選定して、実態調査を行い以下の結果を得た。

①樹木

既存木のクロマツは、既に根が張っている状態の上に舗装された状況がみられたことから、構造物への被害は最も



写真2 クロマツによる被害

頻度が高かった（写真2）。それ以外の樹種では、細根が少なく直根を太く伸ばす特徴のあるセンダン、デイゴ、サワグルミ等で重度の被害が多い傾向があった。サクラ、クスノキ、キョウチクトウ、シンジュでは、構造物の被害は見られるものの、多くの場合、根が構造物の下に入るのではなく、構造物に沿って伸長している傾向が多く見られた。樹木形状は小さい樹木よりも樹高が高い樹木や枝張りが広い樹木に被害が多く見られた。サンプル数が少ないため、樹種毎にみた規格別の被害状況は解析できなかった。

②植栽環境

植栽基盤では、どの地点においても排水性が良好で、土性に砂が多く含まれているといった共通項目が多く、特徴的な結果は得られなかった。一方、土壤硬度については、全般に軟らかい傾向にあるものの、駐車場やオープンスペースで深さ40～50cmの間に5～10cmの碎石の硬い層が確認され、地盤造成時による固結化の影響が確認された。

植栽されている場所の違いとしては、方形枿といった一定の区画内で生育している樹木において被害が多く見られ、帯状の枿や背後に園地が広がる場所では構造物との距離が1m以上離れていれば被害を及ぼしていないことが確認された。特に、方形枿では、内径の規格の小さいものの方が、被害が多く確認された。

周辺環境では、日当たりや風当たりによる違いは見られなかった。独立した場所か、樹木が密に接する場所かによる違いでは、独立した場所の方が構造物に被害を及ぼす傾向が強いことが確認されたが、これは樹木の隣接度合いによるものというより、先にも述べたようにその造成方法の違いによる影響が大きいものと推察される。

③構造物

構造物と樹木との位置関係では、近いほど影響が大きかった。ただし、樹木の大きさによっては被害が生じていない状況も見られることから、構造物からの距離と樹木の形状の関係について、樹種ごとに把握する必要があると考えられる。

2. 根系調査

（1）調査方法

構造物被害の原因を推察することを目的として、「1. 根系による構造物被害の実態調査」において被害の多かった樹種について、土壤を掘削して根系の伸長状況や、土壤深さ毎の土質・土壤硬度等の調査を行った。調査対象木は、被害の有るものと被害が無いものとの比較や、被害状況・対象樹種等により選定した。

調査項目（根系以外）は、以下の項目とした。

- ①樹木：樹種、形状寸法、活力
- ②植栽環境：被害の有無と被害の対象と被害状況
- ③構造物：樹心から構造物までの方向と距離等

（2）調査結果

根系調査の結果を図1に示す。各樹種における被害の

概要とその要因については以下のとおりである。

①サクラ

サイクリングロード脇の緑地帯に植栽されている。ほとんどの根は縁石の基礎に突き当たると左右どちらかの方向に屈折するが、稀に縁石の下の方砂層に根を伸長させ、さらにサイクリングロードのアスファルトの下層に伸長したものが、アスファルトに亀裂を生じさせたものである。アスファルト下層に伸長した根（0.5～1cm程度の太さ）はある間隔をおいて、部分的に肥大し、直径3cm程度で厚さ1.5～3cm程度の円盤状ないし団子状の塊を作り、これがアスファルトを持ち上げる主要因になっていた（写真3）。

被害木と未被害木を分けたのは、「被害木は未被害木より構造物に近い」ということ、つまり構造物までの距離



（幹外から 写真3 サクラの根系（団子状の塊）縁石までは、被害木が72cm、未被害木110cm）の影響が大きいと考えられる。ただし、110cmまで離せば被害が生じないとは断定できない。また、被害木、未被害木のいずれの根も縁石の縁を横に走っているが、縁石下のわずかな隙間に根の伸長可能な軟らかい部分があれば、そこをきっかけにして路盤中に根が侵入する確率が高いと言える。

②シンジュ

サイクリングロードと園路に挟まれた植樹帯に植栽されている。根系が縁石の下に入り込み、碎石路盤層で屈曲しながら成長し、サイクリングロードのアスファルトを持ち上げて亀裂を生じさせたものである。シンジュの根は、他の樹種の状況と異なり、縦横無尽に広がり、時にはトグロを巻くような形状が確認された（写真4）。

また、縁石や硬い碎石層に突き当たった根が直角に近い角度で屈曲していた状況も見ら



写真4 シンジュの根系したがって、サクラなどより、さらに路盤への侵入成長の確率が高い可能性が考えられる。

被害の主要因としては、路盤に入った根が伸長生育できる可能性が高いことにより、縁石の下を根が通過したことによるものと考えられる。しかしながら、このよう

樹種	全景写真	植栽環境	土層	土壌硬度	構造物の被害	根の状態	掘削断面図
サクラ (被害木) 樹高: 6.7m 幹周: 1.3m 枝張り: 10.5m、7.8m		・サイクリングロードに隣接する緩衝緑地帯。 ・被害木は、南側の緑地帯樹木と僅かに樹冠が接するが、未被害木は全く接していない。被害木と未被害木とは接しない。	＜樹心から1m＞ ・上層(0～30センチ)は粘土分を含むSL(砂壤土)、下層(30～70cm)は現地の砂土。 ＜Asの下層＞ ・4cm厚のAsの下は、砂+碎石の上層路盤(10cm厚)、その下は下層路盤(碎石)。	＜樹心から1m＞ ・40～50cmにやや締まった層があるが、その下の土層は、根の伸長阻害となるような硬さではなかった。	・縁石の浮き上がりはないが、縁石の下を通した根がAsを盛り上げていた。 ・Asの亀裂幅は最大で15cm、距離はサイクリングロード(幅員2.8m)を横断する。	・縁石に突き当たった根の太さはφ12～21mmで、Asの亀裂の直接的影響を及ぼしている。 ・Asの縁石付近の太さはφ11～13mmであった。 ・Asの下に入り込んだ根には、コブ状のものが確認された。	
サクラ (未被害木) 樹高: 7.8m 幹周: 1.18m 枝張り: 9.6m、7.2m					・縁石の下を通した根が確認されたがAsと路盤の中には根が伸長していなかった。 ・サイクリングロード側へ伸びた根は縁石に沿って伸長していたが、Asを盛り上げるような被害は確認されなかった。	・縁石に突き当たった根の太さはφ17～31mmで、サイクリングロード側へも入り込んだ根の太さはφ10～13mmであった。 ・被害木に見られた「Asの下に入り込んだ根のコブ状のもの」は確認されなかった。	
シンジュ (被害木) 樹高: 10m 幹周: 0.68m 枝張り: 8.5m、7.4m		・サイクリングロードと道路に挟まれた1.4mの植栽帯(被害木)と1.5mの中央分離帯の植栽帯(未被害木)。 ・被害木は、低木の生垣内に取り込まれる。 ・未被害木は、低木や草木の植え込みや、ウッドチップマルチングが敷設。	＜樹心から1m＞ ・上層(0～40cm)＝粘土分を含むLS(壊質砂土)、碎石層が5cmほど介在し、その下層(50～70cm)＝現地の砂土。 ＜Asの下層＞ ・4cm厚のAsの下は、砂+碎石の上層路盤(10cm厚)、その下は下層路盤(碎石)。	＜樹心から1m＞ 40～45センチに碎石層が介在し固結となる。上層の硬度は、根の伸長阻害となる硬さではない。	・縁石の浮き上がりはないが、樹心から2.2m離れた位置にある縁石の下を通した根がAsを大きく盛り上げていた。 ・亀裂幅は最大で3cm、距離はサイクリングロード(幅員2.8m)を横断していた。	・縁石に突き当たった根の太さはφ24～31mmと太い。 ・As亀裂させた根が縁石付近の太さはφ31mm。	
シンジュ (未被害木) 樹高: 8.5m 幹周: 0.75m 枝張り: 6.5m、6.2m					・縁石の浮き上がりは、根の掘削時にわずかながら確認。 ・その直下で、φ62.4mmの大径根。 ・縁石のみをわずかに押し上げているのが確認。	・縁石に突き当たった根の太さはφ22～63mmとかなり太い。 ・サイクリングロード側へ伸長した根の縁石付近の太さはφ13mm。	
セナンダン (被害木) 樹高: 8.5m 幹周: 1.27m 枝張り: 12.3m、10.7m		・駐車場のアイランド(被害木: 幅6m、未被害木: 幅3.3m)にある植栽帯(被害木: 幅3m、未被害木: 幅1.5m)。 ・片側は低木の垣根。片側は通路。	＜植栽帯＞ ・上層(0～50cm)は粘土分を含むSL(砂壤土)、50～60cmに駐車場の路盤、その下層(60～80cm)は現地の砂土。	＜植栽帯＞ ・表層は非常に軟らかいが、70cm程度まで根系侵入にやや障害となる硬さが連続しているものの、根の伸長阻害にとまではならない。	・根上りが明らかで、既に数枚の平板と縁石が取り除かれていた。 ・地上根は、約3m先のU字排水溝まで達していたが、U字排水溝が破壊した箇所は確認されなかった。 ・根は90°屈折して、横方向に伸びていた根が垂直方向(下)に行き先を変えていた。	・平板に影響を及ぼした地上根の太さはφ250～450mmと非常に太い。 ・縁石に突き当たった根の太さはφ24～31mmと太い。	
セナンダン (未被害木) 樹高: 6.8m 幹周: 0.67m 枝張り: 6.3m、6.2m				＜植栽帯＞ ・上層は非常に軟らかく、さらに50cm程度まで軟らかい土層が連続している。	・縁石および平板の浮き上がりなし。	・平板の下にもぐり込んでいた根の太さはφ60～85mmとかなり太く、将来的には被害木と同じ被害を及ぼすものと考えられる。	
モミジバフウ (被害木) 樹高: 8.5m 幹周: 0.85m 枝張り: 5m、4.3m		・オーブンスペースに配置された植栽帯に植栽された樹木。 ・日あたり・風通し・植栽方法は全て同じ条件にある。	＜植栽帯＞ ・植栽内の土(水湿＝半湿(潤)) 上層(0～30cm)＝粘土分をやや含むSL(砂壤土) 30～40cmに路盤の碎石層を一部介在。 下層(40～60cm)＝現地砂	＜植栽帯＞ ・碎石層以外に伸長阻害硬さは見られない。	・植栽内において根上りが認められ、縁石および平板が浮き上がっていた。 ・縁石や平板の浮き上がりは、目地部分で発生していることが多い。 ・西方向への平板の浮き上がりは、8.2m先の園地まで到達し、そこでさらに縁石を持ち上げていた。	・病内は、根が密集していた。 ・南西角の縁石を持ち上げていた根の太さは、φ45～71mmと非常に太い。	
モミジバフウ (未被害木) 樹高: 6.5m 幹周: 0.58m 枝張り: 3.4m、3.1m				・縁石および平板の浮き上がりなし。	・平板や縁石には影響を及ぼしていないが、縁石の下にもぐり込んでいた根の太さはφ5～30mmで中径根以上が7本(1.2m幅内)確認できた。 ・これらの根が徐々に成長すれば、将来的には被害木と同じ被害を及ぼすものと考えられる。	・植栽=1.5x1.5m 樹木はその中	
クロガネモチ (被害木) 樹高: 6.8m 幹周: 0.75m 枝張り: 7.9m、6.1m		・植栽内に3本の樹木が生育しており、その中で、特にクロガネモチが大きく成長している。 ・樹冠は隣接する路盤に接する手前で日当たり・風通しは良好。	＜植栽内＞ ・上層(0～10cm)LS(壊質砂土)、下層(10～50センチ)LS(壊質砂土)、50～60cmに駐車場の造成時に施工されたと思われる碎石層を介在。	＜植栽帯＞ ・碎石層以外に根の伸長阻害となる硬さは見られない。 ・目地から平板に出た根は、φ5～13mmで、南方向への平板の浮き上がりは、3.9mも先にまで到達していた。	・植栽内において根上りが認められ、縁石および平板が浮き上がっていた。 ・目地から平板に出た根は、φ5～13mmで、南方向への平板の浮き上がりは、3.9mも先にまで到達していた。	・縁石の下に侵入する根が多く見られ、根の最大太さはφ10cmであった。 ・平板下を長く伸びた根は、再びアスファルト舗装側の縁石の下にもぐり込み、駐車場の雨水樹の方へ伸長していた。	
クスノキ (被害木) 樹高: 10.5m 幹周: 1.78m 枝張り: 12.9m、14.3m		・サイクリングロードの植栽帯(幅3.0m)で、低木の植え込みがある。 ・樹木が大きく成長し、もう少しで近くの緑林と樹冠を接する状況である。 ・日あたり・風通しは良好。	＜植栽帯＞ ・上層(0～20cm)SL(砂壤土)、20～30cmに管理用駐車場の造成時に施工されたと思われる路盤の碎石層を介在。 下層(30～60cm)S(砂土)。	＜植栽帯＞ ・碎石層以外に根の伸長阻害となる硬さは見られないが、30cm以下は根系侵入抑制層であることが示された。	・縁石は2～3cmの高低差が見られ、平板は東西方向のスレが広範囲に確認された。 ・縁石の下に大きな影響を及ぼしていた根の太さはφ42～55mmと極めて太く、それ以外にも縁石の下へはφ7～20mmの太さの根が非常に多くもぐり込んでいた。 ・これらの根が徐々に成長すると考えれば、将来的にはさらに被害が大きくなるものと考えられる。	・植栽帯の幅は約3.0mあるが、根元周が1.95m(φ62cm)と極めて太く、樹心から南側の構造物までの距離は約1.4mであった。 ・根元が盛り上がりしているため、最も近い縁石との高低差は10cmあった。	

※樹木の活力、植栽基盤の排水性はすべてで良好であった。また、土壌の化学性にも障害となる値はみられなかった。

図1 根系調査の結果

な軟らかく屈曲しやすい特徴は、縁石までの距離が近いにもかかわらず縁石を持ち上げるまでの被害はほとんど確認されなかった。このことから、縁石下へ入ってもそこで強引に成長・肥大化して縁石を持ち上げるなどをせず、それを巧みに避けて、条件のよいところで肥大化するような器用で軟らかい根であると考えられる。そのため、縁石下に根が侵入できないようにさえしておけば問題はないと考えられる。

③センダン

被害木と未被害木は、ともに広い駐車場の歩行者用通路中央部に植栽されているが、未被害木（幹周＝67 cm）と比較して被害木（幹周＝127 cm）は、大きく成長している。さらに、被害木は何らかの理由で太根が表面近く伸長し、肥大化し平板を押し上げて舗装破壊に至っていた（写真5）。

被害木と未被害木を分けた原因として考えられる第一は、被害木の方が成長が著しく、根もそれに



比例して肥大していることがあげられる。そのため、未被害木も将来的には被害木になりうる可能性が高い。また、センダン特有の根の特性である「ゴボウ根」（太根を主体とし、細根が極端に少ない）が、構造物へ大きな被害を及ぼした要因と考えられる。

④モミジバフウ

被害木と未被害木は、子供の広場管理棟前のオープンスペースの植栽枠（1.5×1.5m）の中心に植栽され、周辺はすべて洗い出し平板舗装である。肥大したモミジバフウの根が植枠内で過密となり、そこから溢れ出すように縁石下から舗装下へ入り、それらの一部が成長によって縁石や平板を持ち上げたものである。植栽枠と平板の高低差は無く、根で平板が浮き上がっているにもかかわらず平板の視覚的で浮き上がりが目立ちにくいいため、歩行する人がつまずき易い状態になっている。

被害木も未被害木も共に同じ大きさの植栽枠中心に植栽され、構造物までの距離に差異はないが、被害木の方が大きい。



写真6 モミジバフウの根系

幹周 85 cmの被害木には幅 1.5mの植枠が狭すぎ、根が過密となって溢れたことが原因と考えられる（写真6）。したがって、未被害木（幹周 58 cm）も将来的には確実に被害を生じさせることは疑いがない。また、舗装が歩道用であるため、平板を敷き均す路盤（20～40 cmのうち 10 cmの層厚）が軟らかいことが副次的に構造物被害を助長した可能性もある。

⑤クロガネモチ

サイクルセンター脇の管理用駐車場の植枠に植栽されている。植枠から縁石下部を通して出た根が路盤に入り表層に浮き上がるように成長したため、縁石や平板をずらしたものである（写真7）。

植枠内の下層部（20～30 cmの碎石層）は、強い締め固めを受けているため根が表層に偏っている。逆に、舗装下の路盤は



写真7 クロガネモチの根系

（歩道用の舗装であるためか）表層から 30 cmまでは礫を含みながらも根の侵入がギリギリ可能な程度の軟らかさとなっていたため、路盤に侵入した根が十分に成長して舗装に被害を与えたものと考えられる。

⑥クスノキ

サイクリングロードと駐車場外周にある平板舗装の歩道の間に位置する植栽帯に植栽されている。平板舗装部へ続く縁石の下に根が侵入して縁石を押し上げ、路盤に入り成長して平板もずらして被害を与えている。植栽帯には非常に多くの根が発達しており、縁石の下や縁石と縁石の間を通過する根は太くはないものの、多くの本数が確認された（写真8）。

被害の主要因は、樹木の大きさ（根元周 1.95 m）に比較して植枠（幅 3m）が狭すぎることに加えて、土壌の 30 cm以下が



写真8 クスノキの根系

極めて硬いため、縁石下に根が入り、舗装下の路盤（路盤に侵入した根は十分に成長できる）に侵入したことであると考えられる。

3. 被害要因と対応策の検討

(1) 被害要因

調査結果から得られた知見をまとめると、以下のとおりである。

- ①樹木は大きく成長することにより、根の伸長範囲は広がり、侵入できる隙間があればどこへでも根を伸長させる。植栽基盤が狭くて構造物に樹木が近い、また、樹木は大きいほど被害が顕著である傾向がみられた。
- ②調査地の縁石においては、例外なくその下部に根系が侵入する隙間があった。平板舗装の下路盤では、根は十分に伸長生育できていた。
- ③アスファルト舗装下では、条件（樹種、舗装厚、路盤の軟らかさ）によって樹木は（串団子のような瘤を作ったり、異常に屈曲を繰り返すなど）樹種による伸長特性を示しながら根を適応させていた。

(2) 被害防止の対応策

被害を防ぐための対応は、以下のような比較的単純な方策になると考えられる。設計段階からの対応は、植栽樹木の根系伸長範囲を予測して植栽基盤を整備するとともに、構造物下に根系が伸長できない対策を施すという本質的解決策以外には考えられない。また、管理段階での対応としてあげた策は、実施困難である場合や美観を大きく損ねること、樹木成長に悪影響を及ぼすなど実施に当たっては大きな課題を有している。

①設計段階からの対応

- ・植栽場所に適した樹種を選定するとともに、樹木の成長に見合う十分な広さの植樹・植樹帯幅及び有効基盤の深さを確保する。
- ・縁石の手前には、根の広がりを防止する堅固なガードを設けるとともに、根系による圧力に耐える縁石構造とする。
- ・十分な広さの植栽基盤を設けられない場合は、根系誘導耐圧基盤のような手法で舗装下の路床に根系成長範囲を確保し、根を誘導させる。

【根系誘導耐圧基盤】

踏圧等による変形を受けずに空隙を確保するため、砕石（火山砂利等の粗骨材）等の骨組みに、養分等を含む細粒質の骨材を隙間に詰め、構造を確保（耐圧性）しながら、根の伸張性をも満足するような土壌構造。

②管理段階での対応

- ・被害を受けた構造物を移動させるとともに、植栽基盤を拡幅する、あるいは根系誘導耐圧基盤のような手法で路床へ根を誘導する。
- ・日常的に剪定や根切りを実施し、根系伸長を抑制する。
- ・被害を与えている根を強制的に切断する（腐朽菌の侵入を誘引したり、支持力低下による風倒被害を誘引したりする可能性があるので注意が必要）。

4. 被害対策の具体案

公園内の現状被害に対する具体的な改良方法について、以下のとおり立案した。

(1) 園地等に植栽されている樹木による被害

①舗装構造物からある程度(1m以上)の距離がある場合

他の園地部分への根系の発達が十分望めることから、改良工法としては、舗装構造物脇で根切り+切断面の養生を施し、併せて舗装脇に根系遮断シートを入れ、舗装下の根の侵入を防止する（図2）。

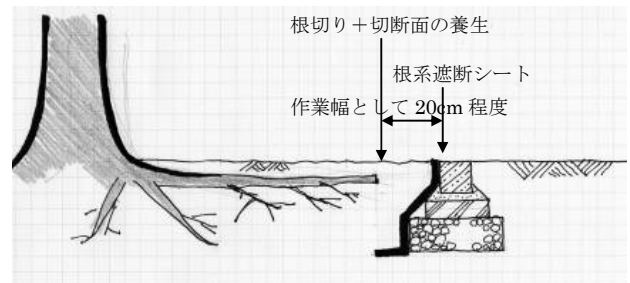


図2 構造物から1m以上の距離がある場合の対策

②舗装構造物に近接している場合

現状で根元付近の根上りが顕著に認められる場合は、この部分を切断してしまうと樹勢に影響を与える恐れがあり、簡単に根切りを行なえない。このため、最も有効な方法は、園路を回避（迂回する、あるいは園路縦断を改良する）する方法である（図3）。ただし、現場の状態

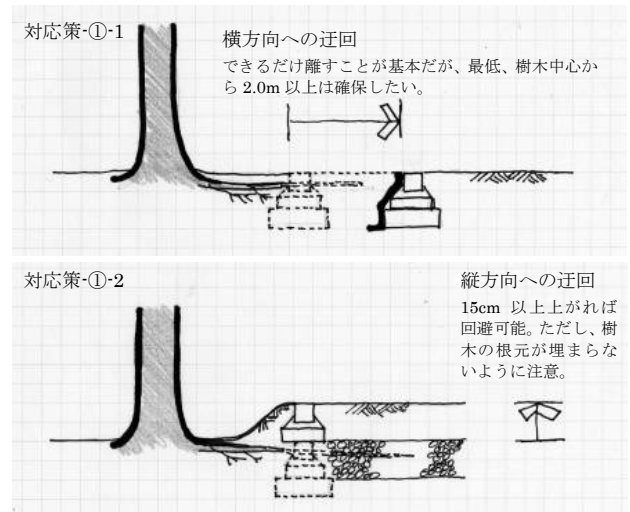


図3 園路を回避する対策

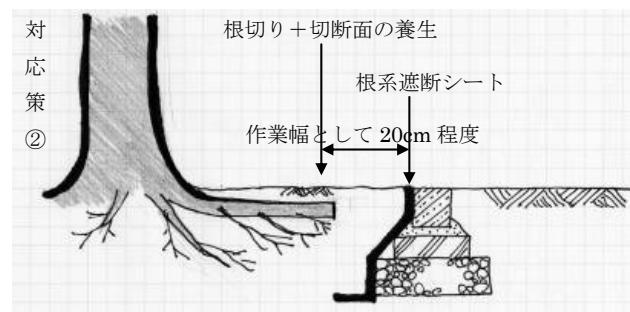


図4 構造物に近接している場合から容易でない場合は、少しずつ根切りを施しつつ、樹木の様子を伺い、最終的に根切り+切断面の養生+根系遮断シートの設置を行なう方法が考えられる（図4）。

(2) 園地舗装内の小さい植樹柵に植栽されている場合

基本的に根の伸長に対して土壌量が足りない状態にあ

るため、現状で被害が無くても、やがて顕在化することは明らかで、根本的な対策の実施が望まれる。

対策の第一は、植樹柵を拡大する方法が考えられる。利用者への多少の不便はあるものの、周囲にも十分な余裕がある場合には、周囲の平板を数枚取り除き、根切り＋切断面の養生＋根系遮断シートの設置という対策が望まれる。あるいは、植樹柵と植樹柵との間に、幅 60cm 程度の根系空間を整備し、ここに将来的な根系を誘導する方法も考えられる。現状の平板を一次撤去し、その下に根系誘導耐圧基盤等による根系誘導空間を設置し、その後平板を復旧して利用する方法が考えられる（図5）。

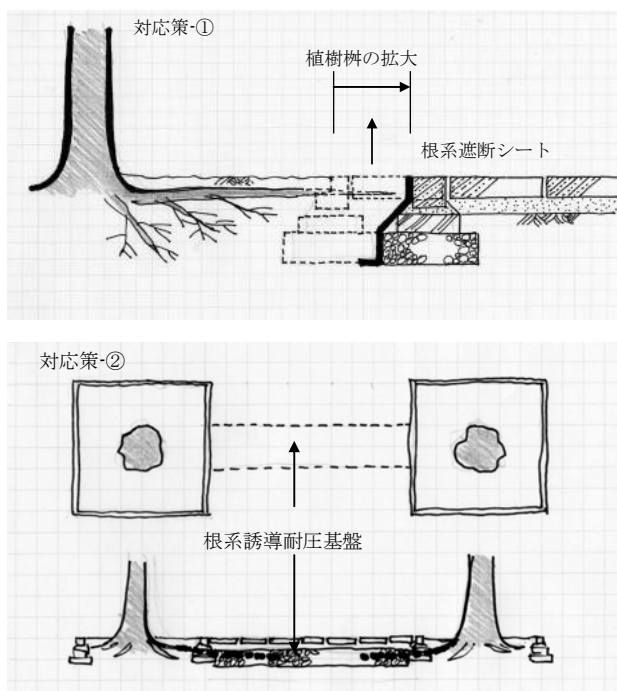


図5 園地舗装内の植樹柵に植栽されている場合の対策
(3) 歩道内に植樹柵でパンチング植栽されている場合
基本的に根の伸長に対して土壌量が足りない状態にあるため、現状で被害が無い樹木でも、やがて被害が顕在化することは明らかで、根本的な対策の実施が望まれる。対策工法は、上記の舗装内の樹木に対するものと同様であるが、被害が出ている部分は根切り＋切断面の養生＋根系遮断シートの設置で対処し、合わせて植樹柵と植樹柵との間に、幅 60cm 程度の根系空間を整備し、こ

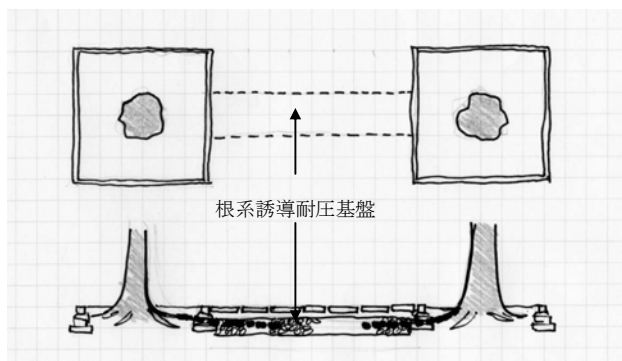


図6 歩道内の植樹柵に植栽されている場合の対策

こに将来的な根系を誘導する方法が望ましい。現状の平板を一次撤去し、その下に根系誘導耐圧基盤等による根系誘導空間を設置し、その後平板を復旧して利用する方法が考えられる（図6）。

(4) 処置における留意点

上記の対策により処置を行う場合には、次の点に留意する。

根切りをした切断面は、その部分から幹への腐朽菌などの侵入を防ぐため、ケアヘルス（切口癒合助成塗布剤）等の殺菌剤を塗布しておくことが必要である。また、縁石部は改良工事に合わせて、再度確実に設置されているかを確認し、モルタルや基礎コンクリートとの接着等を確実にする。合わせて、植栽基盤内の土壌改良（根が下方や構造物とは別の方向に伸長し易いようにするための物理的な改良＝耕転＋物理性を保持する改良材（パーライト等）の混入）を実施することにより、より長期の改良効果を期待することができる。

また、植栽木の根系範囲と構造物との位置関係から、樹高成長が旺盛な樹種や将来大高木と成るような樹種が不適合と考えられる場合には、機会を見つけて樹種転換していくことも一考である。

5. 今後の課題

本調査により、樹木根系の根上りによる園路等の構造物に対する被害の状態やその要因が明らかになった。しかし、その対策や予防策については、十分な検討ができていない。そのため、本調査での検討を踏まえた今後の課題としては、以下のとおりである。

①根切りによる効果検証調査

公園内で既に行われている根切りに対して、樹木成長調査により効果、樹木に与える影響を把握する。

②対策工法のモデル施工試験

今回提案した工法についてモデル施工を行ない、効果や実現性などについて検討する。

③新規植栽における対策工法の検討

新規に植栽する場合として適切な「樹種選定」、「植栽基盤整備」を提案し、モデル施工を行ってその効果を検証する。

参考文献

- (1) 荻住昇、樹木根系図説、誠文堂新光社、1979.6

台風による倒木被害対策に関する調査

Research on countermeasures for damages by tree failure in typhoons

環境研究部 緑化生態研究室
Environment Department
Landscape and Ecology Division

(研究期間 平成 17～21 年度)
室 長 松江 正彦
Head Masahiko MATSUE
主任研究官 飯塚 康雄
Senior Researcher Yasuo IIZUKA
研究官 長濱 庸介
Researcher Yosuke NAGAHAMA

Typhoons often hit Okinawa, and a lot of trees in Okinawa are damaged by typhoons. In this study, we investigated the causes why those trees had been damaged by the typhoons, and the growth of root system of planted trees in Okinawa.

〔研究目的及び経緯〕

沖縄地方は、接近や上陸する台風の数が本土に比べて多くまた勢力も強いことから、台風が通過する度に倒木などの被害が数多く発生している。倒木被害は、周辺建物や自動車の破損、道路を遮断することによる交通障害、人的被害等を引き起こす可能性があるため、できるだけ被害を軽減させる必要がある。そのためには、倒木被害の実態解明や根系の生育特性等を把握したうえで、有効な被害対策を立てることが重要である。

本研究は、倒木被害を軽減することを目的として実施している。平成 18 年度は、国営沖縄記念公園海洋博覧会地区（以下「海洋博公園」という）を対象として台風による倒木被害の実態を調査した。さらに、沖縄地方で多用されている緑化樹木を対象とした樹木根系調査を実施し、その形態や伸長状態を把握した。

〔研究内容及び成果〕

1. 海洋博公園における倒木被害の実態調査

(1) 調査概要

過去 10 年間（平成 8 年から平成 17 年の期間）における、海洋博公園で発生した倒木被害の実態を調査した。調査対象とする被害の形態は、根返り、傾斜、幹折れとした（表 1）。調査には、海洋博公園で発生した倒木被害記録や被害状況の写真を使用し、「被害の多い樹種」「被害の形態」「被害樹木の規格（幹周）」を整理した。なお本調査では、被害を受けなかった樹木については把握できなかった。

(2) 調査対象台風

過去 10 年間に沖縄地方へ接近、上陸した台風のうち海洋博公園内の植栽樹木に多くの被害を発生させた台風を調査対象とした（表 2）。

(3) 調査結果

①被害の多い樹種

被害を受けた樹木は 47 種 246 本であった。これらの樹木から植栽本数の少ない樹種を除いたうえで、被害本数と被害率が両方とも高い樹種を 10 種抽出し、これを被害の多い樹種とした（表 3）。この中には、浅根性と考えられているオオハマボウ、ココヤシ、コバテイシだけでなく、深根性と考えられているセンダン、ソウジジュ、ヒカンザクラ、フクギ、モクマオウも挙げられた¹⁾。（表 3、写真 1）。

表 1 本調査で対象とした被害の形態

形態	形態の内容	被害例
根返り	樹木の根株が地面から完全に抜けて、立木が転倒・倒伏する現象	
傾斜	樹木の根系の一部が切断することなどにより、樹木が傾斜する現象	
幹折れ	樹木の主幹が立木のまま折れる現象	

表 2 調査対象とした台風

年	台風	通過経路	最大瞬間風速（名護）	被害本数
H8	12号	本島横断	43.2 m/s	99本（19種）
H9	13号	本島南海上	43.4 m/s	25本（10種）
H11	18号	本島西側	49.5 m/s	74本（17種）
H15	10号	本島東側	48.7 m/s	48本（28種）
合計被害本数				246本（47種）

最大瞬間風速値：気象庁HPの気象統計情報より

表 3 被害の多い樹種

被害樹種	被害本数 (A)	植栽本数 (B)	被害率 % (A/B) × 100
オオハマボウ	43	281	15.3
フクギ	29	1963	1.5
モクマオウ	24	1620	1.5
アメリカデイゴ	13	191	6.8
コバテイシ	12	255	4.7
ソウシジュ	12	303	4.0
ココヤシ	11	95	11.6
センダン	10	108	9.3
ヒカンザクラ	10	188	5.3
シロガジュマル	4	49	8.2

注) 植栽本数は平成18年時点の数量

②被害の形態

傾斜が 44%、幹折れが 43%とほぼ同じ割合で発生し、根返りは 13%であった (図 1)。

幹折れ被害のうち、幹や根の腐朽が確認されていた樹木が 25%、根張りの悪さが確認されていた樹木が 0.9%であった。また、根返り被害のうち、根の腐朽が確認されていた樹木が 3%、根張りの悪さが確認された樹木が 6%であった (図 2)。これ以外の樹木は異常が無いか、もしくは不明であった。

③被害樹木の幹周

幹周 30～90cm の範囲にある樹木が 68%を占めていた。一方、幹周 90cm 以上の樹木では被害が少なかった (図 3)。しかし全植栽樹木の幹周が明らかでないため、規格別による被害の多少を判断することはできなかった。

(4) まとめ

被害の多い樹種の中には、深根性と考えられている樹種¹⁾が確認された。これは、植栽時の根切りの影響や、薄い客土層ために垂直方向の直根の伸長が抑えられ、十分な支持力が得られずに根返りや傾斜に至ったものと推測されたが、明確な理由は明らかにできなかった。また、幹や根の腐朽、根張りの悪さが被害の一因として推測された。

本調査では、被害を受けなかった樹木との比較が出来ていないので不明確な部分が多い。そのため、今後より詳細な調査が必要である。

2. 樹木根系調査

(1) 調査概要

沖縄における主要な緑化樹木の根系調査を実施し、その形態や伸長状態を把握した。調査対象木は海洋博公園の植栽木 20 種各 1 本と、今帰仁村にある圃場 (以下「圃場」という) に生育している実生木 5 種各 1 本とした (表 4)。なお、海洋博公園の調査対象木は、前年度に根系の水平方向分布を確認するために実施した根系調査木 19 種とオオバアカテツの合計 20 種とした。



写真 1 被害例

写真左上: 傾斜したオオハマボウ (H8 台風 12 号)
 写真右上: 傾斜したココヤシ (H8 台風 12 号)
 写真左下: 根返りしたヒカンザクラ (H15 台風 10 号)
 写真右下: 幹折れしたソウシジュ (H11 台風 18 号)

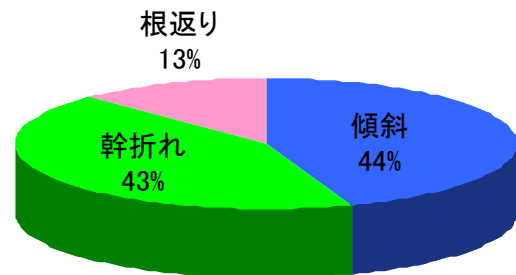


図 1 被害の形態 (n=246)

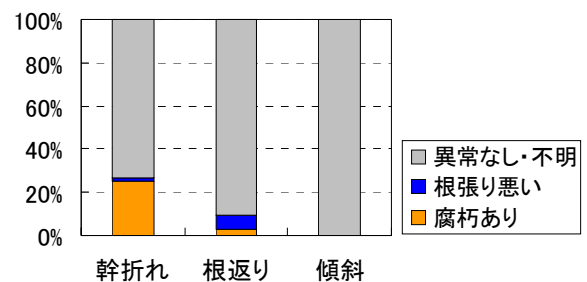


図 2 幹や根の腐朽、根張りの悪い樹木の割合 (n=246)

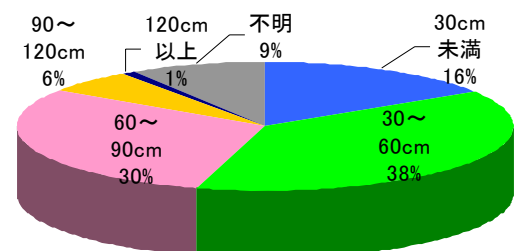


図 3 被害樹木の幹周 (n=246)

(2) 海洋博公園における根系調査

①調査方法

トレンチ法³⁾による根系調査を実施した。掘削位置は前年度に実施した根系調査²⁾と同じ掘削範囲内とし掘削にはバックホウを使用した。掘削する深さは、根系の出現が確認されなくなるまで、もしくは琉球石灰岩の岩盤に到達して、それ以上の掘削が不可能と判断されるまでの深さとした(写真2)。掘削後、土壌断面に出現した根系の太さや分布位置を記録するとともに、周辺土壌の土壌分類や土壌硬度等を記録した。

②調査結果

調査結果例を図5に示す。ほとんどの樹種において太さ0.2cm以上となる小根や太根は、深さ60cm程度までの位置に分布していた。また、50cm程度よりも深い位置では土壌が固結しており、根の伸長は困難であると考えられた。

(3) 圃場における根系調査

①調査方法

バックホウやエアースコップを使用して、根系の分布する範囲を、できるだけ根を切断することなく掘削した。掘削後樹木全体をクレーンで吊上げ(写真3)、根系の縦断面と横断面を写真撮影して根系図を作成した。また、周辺土壌の土壌分類や土壌硬度等を記録した。

②調査結果

調査結果例を図6に示す。根系の伸長が十分に可能となる有効土層厚は、リュウキュウマツを除いて1m程度以上であった。また、すべての調査対象木について根の伸長は良好であることが確認された。特に、海洋博公園のフクギは植栽時の根切りによって根鉢部の周囲から発生させた側根や細根を面的に伸長させているのに対して、圃場のフクギは根鉢部分から発生させた根を深さ150cmまで垂直に伸長させており、顕著に深根性の特徴がみられた。また、オキナワキョウチクトウは浅根性と考えられているが¹⁾、圃場では深さ120cmの琉球石灰岩の岩盤に達するまで直根を伸長させており、水平方向よりも垂直方向への伸長が大きいことが確認された(写真4)。

(4) まとめ

海洋博公園と圃場で実施した根系調査により、植栽基盤の土壌条件や根切りの有無は、直根の伸長形態に影響を与えているものと考えられた。今後は、移植時の根切りで直根を切断されても側根を伸長させることにより支持力を得られる樹種、逆に直根を失うことによって倒木しやすくなる樹種等の根系特性も含めて把握することが重要であり、より多くの緑化樹種の根系調査を行う必要がある。

[参考文献]

- 1) 社団法人沖縄建設弘済会(1996) 沖縄・緑化樹木図鑑～道が拓く地域文化～。
- 2) 松江正彦・飯塚康雄・長濱庸介(2006) 台風による倒木被害対策に関する調査, 国土技術政策総合研究所資料第355号 国土交通省国土技術政策総合研究所緑化生態研究室報告書第21集, 15-16。
- 3) 荏住昇(1979) 樹木根系図説, 誠文堂新光社

表4 調査対象木

樹種	形状	
	樹高 (m)	幹周 (cm)
1 リュウキュウマツ	7.5	118.0
2 フクギ	4.5	69.0
3 ガジュマル	5.5	95.0
4 アカギ	5.0	135.0
5 モクマオウ	10.5	83.0
6 オオバアカテツ	5.0	60.0
7 コバテイシ	6.0	92.0
8 デイゴ	7.5	231.0
9 ヒカンザクラ	4.5	70.0
10 トックリキワタ	6.0	127.0
11 テリハボク	5.0	74.0
12 ソウシジュ	6.0	132.0
13 クロヨナ	4.5	57.0
14 リュウキュウコクタン	5.0	68.0
15 オキナワキョウチクトウ	5.5	71.0

樹種	形状	
	樹高 (m)	幹周 (cm)
1 リュウキュウマツ	4.7	33.0
2 フクギ	4.0	42.0
3 アカギ	3.7	33.0
4 コバテイシ	4.0	44.0
5 オキナワキョウチクトウ	3.0	37.5



写真2 海洋博公園における根系調査の状況

写真左: 掘削位置(扇状に土壌が露出している範囲は前年度根系調査における掘削範囲。赤線で示した箇所が今年度根系調査における掘削位置)

写真右: 掘削後の土壌断面の様子(土壌断面に出現した根系に白色液剤を噴霧し、視覚的にわかりやすくしてある)



写真3 圃場における根系調査の状況



写真4 フクギとオキナワキョウチクトウの根系

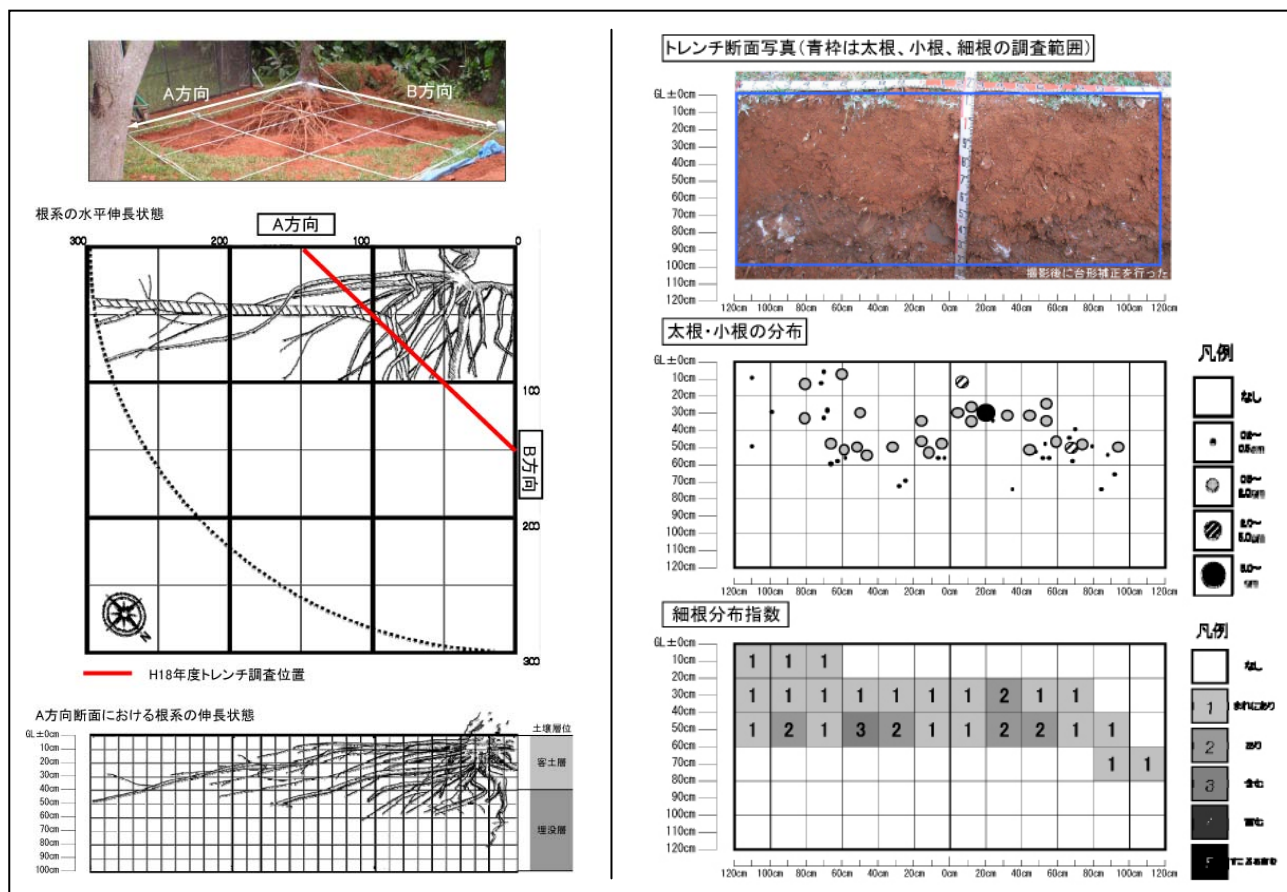


図5 海洋博公園におけるフクギの根系調査結果（左図は前年度における根系調査結果）

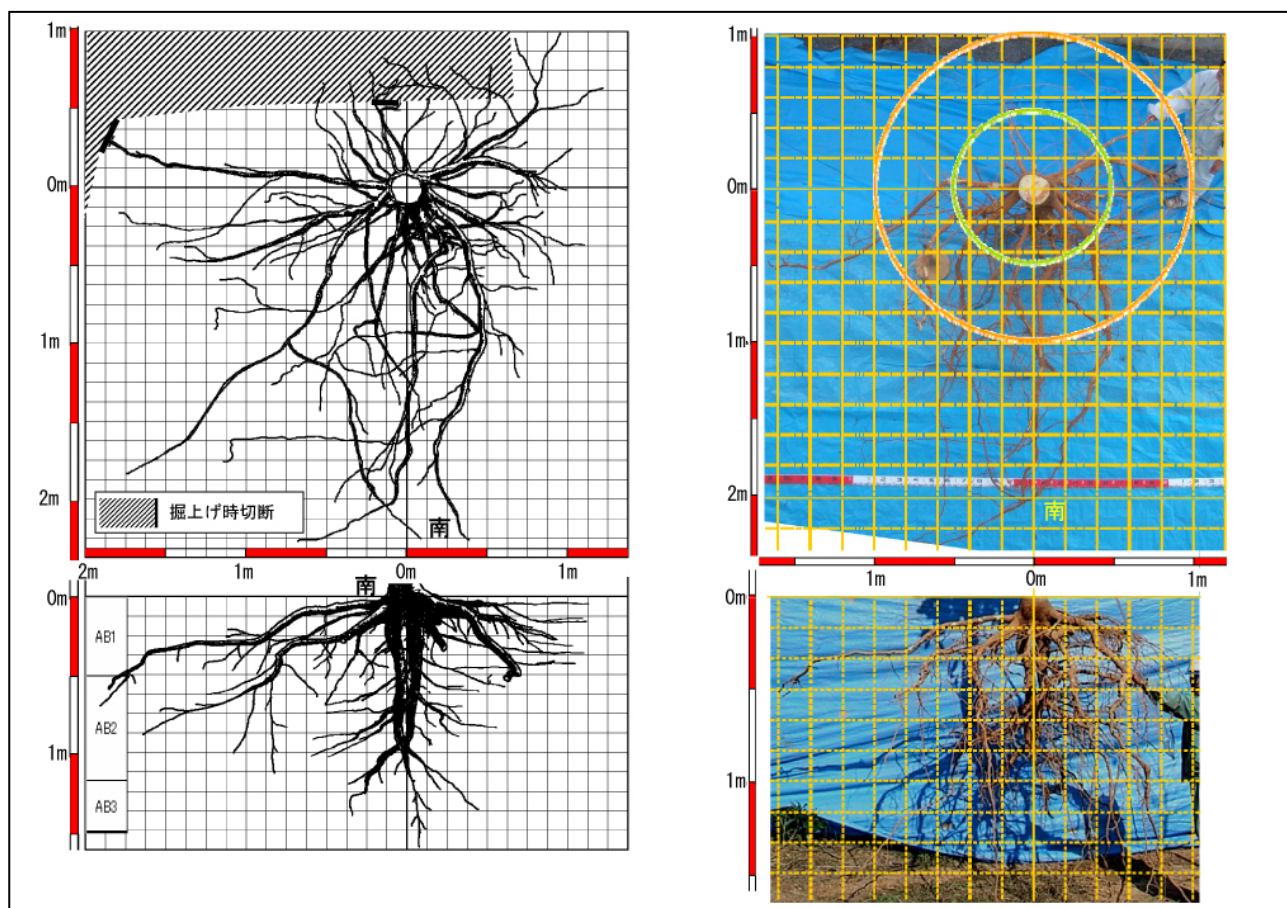


図6 圃場におけるフクギの根系調査結果