

六甲山系グリーンベルト事業地における ナラ枯れ被害対策について

明見 章史

近畿地方整備局琵琶湖河川事務所保全対策官 (〒520-2279 大津市黒津4丁目5-1)

六甲山系グリーンベルト整備事業は、土砂災害に強い山づくりを進めていくことを目的として、斜面对策工事とともに植物の力を活かした対策として、樹林整備に取り組んでいる。その六甲山系において、2010年に神戸市灘区の坊主山地区でナラ枯れ被害が確認されて以降、現在もナラ枯れ被害が拡大しており、樹林整備地を含むナラ類の集団枯死が多く確認されている。

六甲砂防事務所は、六甲山系でのナラ枯れ被害の実態を把握するとともに、樹林整備地等でのナラ枯れ被害の拡大を抑制する取り組みを進めてきた。ここでは、六甲山系でのナラ枯れ被害の特徴と、被害対策の取り組み事例を報告するとともに、その効果等の検証結果を報告する。

キーワード グリーンベルト整備事業、ナラ枯れ対策、空中写真判読

1. 六甲山系におけるナラ枯れ被害の状況

ナラ枯れは、ナラ類やシイ・カシ類（ブナ・イヌブナを除くブナ科樹木）の樹幹にカシノナガキクイムシ（以下カシナガと略記）が穿入することにより、カシナガが運んでくるナラ菌が樹木内部で繁殖し、その影響で導管の機能障害が起き枯死に至る現象である。

六甲砂防事務所は、六甲山系グリーンベルト整備事業として樹林整備を進めている地域（以下、六甲GB事業地とする）において、樹林整備マニュアルを策定し、コナラを主体とした樹林を目標に整備を進めているところである。一方で、整備目標としている樹林は、大径木のナラ類を主体としているため、ナラ枯れ被害が蔓延すると広範囲において樹林が消失するほどの影響を受ける可能性がある。

近年は、六甲山系のナラ枯れ被害が拡大する傾向にあり、六甲GB事業地においてもナラ枯れ枯死木が集中発生する激害地が確認されるようになってきている。

このため、六甲砂防事務所では、六甲GB事業地でのナラ枯れ被害の激化を抑制する取り組みを進めている。

(1)六甲GB事業地でのナラ枯れ被害の特徴

ナラ枯れは、樹木内で繁殖したナラ菌が導管の機能障害を引き起こすため、蒸散活発時期（夏期や初秋期）に葉枯れすることが特徴となっている。ナラ枯れ被害地では、葉枯れしたナラ枯れ被害木（枯死木）が多数確認されているが、六甲GB事業地では、カシナガ穿入被害を受けたものの、樹冠が全て葉枯れするまでには至らない

ナラ類（被害生存木）が枯死木よりも多く確認されている。六甲GB事業地での調査結果では、ナラ枯れ被害を受けた樹木のうち、枯死木となる樹木は全体の20～30%程度であることが確認されており、実際の被害木としては葉枯れまでに至らない（あるいは、樹冠の一部の葉枯れにとどまる）被害生存木が多いことが明らかとなっている（図1参照）。

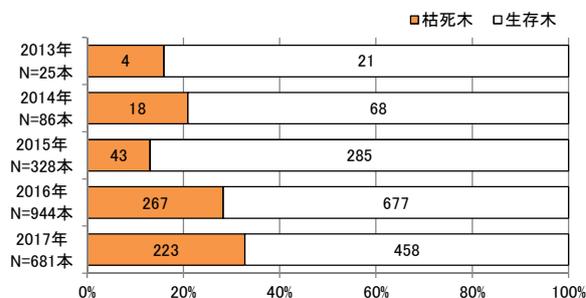


図1 六甲GB事業地における被害割合

ナラ枯れ被害木について、枯死木と被害生存木を伐倒し、樹幹断面を観察した結果、両者にはナラ菌による導管の機能障害を受けている範囲（樹木がナラ菌繁殖に抵抗したことを示す変色部）が異なっている様子が確認された。枯死木の樹幹断面は、心材から辺材までの広範囲で褐色に変化した変色部が広がっていることが確認されたことに対し、被害生存木の樹幹断面は、心材周縁で変色部がみられるものの、辺材全体にまで広がっていない様子が確認された（図2参照）。

樹幹断面にみられる変色部は、カシナガが穿入した際の樹木抗菌作用を示すものであり、多くのカシナガが穿入しナラ菌の繁殖が激しい樹木であるほど抗菌作用が強

く働く。このような抗菌作用が働くと、その範囲が褐色に変色し、辺材にある道管を機能不全にするものと考えられており、抗菌作用が辺材全体に及ぶと樹木が枯死すると考えられる。一方で、カシナガの穿入程度が相対的に少なく、抗菌作用が辺材全体に及ばない程度の被害（ナラ菌繁殖への樹木抵抗が終了した段階）であった場合には、辺材に存続する道管が機能することで、枯死に至らない可能性がある（被害生存木にとどまる要因と推察される）。なお、抗菌作用が働いた辺材は、再びカシナガが穿入しても繁殖し難いという研究報告があり、カシナガ穿入に抵抗した被害生存木は、以降のナラ枯れ被害への抵抗力を高めている可能性も考えられる。

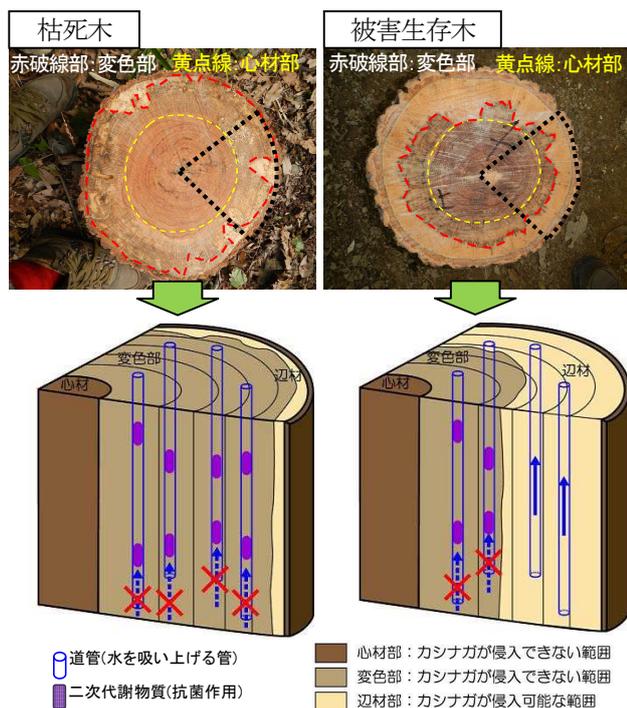


図 2 六甲 GB 事業地で確認した被害木断面

(2)六甲GB事業地周辺でのナラ枯れ被害の拡大

六甲山系で見られるナラ枯れ被害の特徴として、枯死木の周辺に被害生存木が多数分布する傾向があげられる。このような枯死木を中心とした被害木がまとまったエリアは、被害木内で繁殖したカシナガが翌年（初夏頃がピーク）に大量に樹木から脱出し、周辺のナラ類に穿入して被害を拡散、拡大していく傾向がある。カシナガの繁殖成功率は、枯死木が高いことが知られているものの、六甲GB事業地の調査結果では、被害生存木であってもカシナガの穿入孔数が多いものは、枯死木同様に多くのカシナガが脱出する傾向が確認されている（図 3 参照）。

ナラ枯れ被害の拡散、拡大を把握するうえでは、樹冠が葉枯れした枯死木を把握するとともに、その周辺に存在する被害生存木の分布状況を把握していくことが望ましいと言えるが、葉枯れを伴わない被害生存木の確認は、広かつ急峻な地形の山岳斜面では極めて困難である。

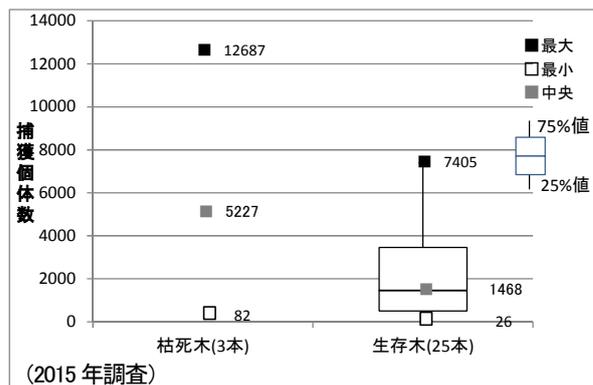
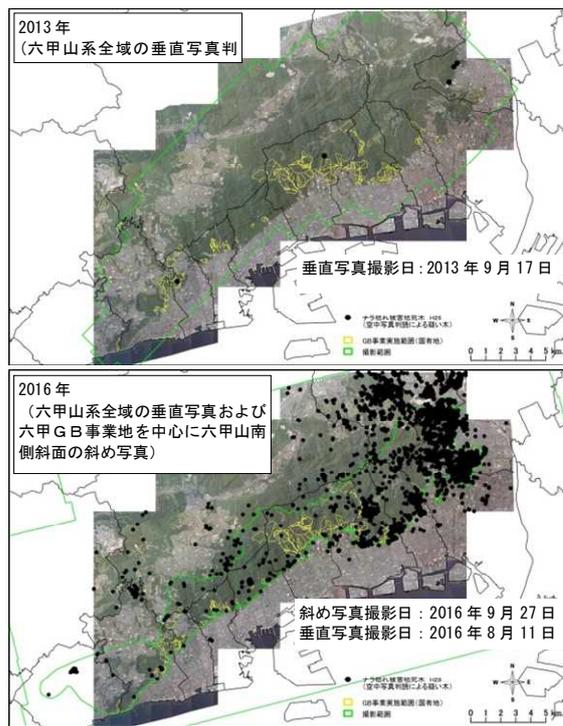


図 3 粘着シートによる被害程度別の捕獲個体数

このため、六甲GB事業地におけるナラ枯れ被害状況調査は、空中写真撮影や上空ヘリ調査による枯死木確認を基本とし、枯死木が集中する被害の激害化が想定される箇所を重点的に現地踏査することで把握している。

このような上空からの枯死木確認調査において、ナラ枯れ枯死木と判断される被害木は、六甲山系全体で2013年に数十本程度が確認された程度であったことに対し、その後は経年的に増加し、2014年で約10倍、2016年で約100倍に達することが確認され、六甲山系で被害が急速に拡大していることが確認された（図 4 参照）。



※図中背景のオルソ写真は、2016年8月11日撮影
図 4 判読によるナラ枯れ枯死木の変遷

六甲GB事業地とその周辺でのナラ枯れ被害は、東方地域で激害化しつつあり、年々西方地域に拡大していく傾向を示している

上空調査で把握した枯死木と判断される被害木の分布状況から、六甲GB事業地の面積と被害木本数から、単

位面積10ha当たりの枯死木密度を試算すると、2013年～2015年までは約0.18～0.57本/10ha程度にとどまっていた被害が、2016年には1.61本/10ha、2017年には2.46本/10haと大幅に増加していることが確認された(表1参照)。なお、被害が激しい東方地域の六甲GB事業地外では、2016年の被害木密度が3.96本/10haとなっており、六甲GB事業地の被害木密度は相対的に低い傾向を示した。

表1 ナラ枯れ枯死木発生密度の経年変化

調査年度	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
枯死木密度(本/10ha)	0.18	0.36	0.57	1.61	2.46
枯死木本数(本)	22	43	48	197	293
撮影面積(ha)	1226	1179	843	1226	1192

2. ナラ枯れ被害の受けやすい場所の予測

(1) ナラ枯れ被害発生ポテンシャルによる評価

六甲GB事業地では、ナラ枯れ被害の受けやすさを事前に予測するため、既往知見等をふまえてナラ枯れの発生に関連する条件(コナラ等の存在を示す植生分布、カシナガが飛翔しやすい地形条件や林内環境、カシナガ飛翔空間となる林縁からの距離等(図5参照))について、被害木の発生位置での現地調査を実施した。

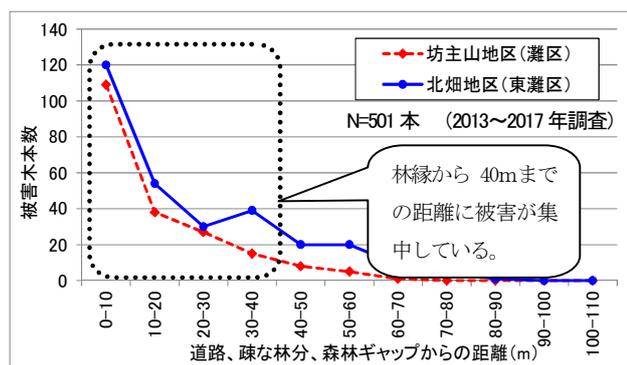


図5 ナラ枯れ発生条件の調査例(カシナガ飛翔空間となる林縁と被害木との位置関係)

調査の結果から、六甲GB事業地のナラ枯れ被害発生条件を整理(表2参照)し、詳細植生図と航空レーザ測量による詳細地形データを用いてナラ枯れ被害発生のポテンシャルを評価(0～4点の5段階として数値が高いほど被害を受けやすいと評価)し、ナラ枯れ被害を予測するポテンシャルマップを2013年度に作成した。

作成したポテンシャルマップを使って、2017年に確認されたナラ枯れ被害発生地点の該当条件を確認すると、被害発生地点のポテンシャル得点は多くが3～4の範囲に該当しており、被害木の9割近くが3点以上のポテンシャルに該当していることが確認された(図6参照)。

表2 ナラ枯れ被害発生ポテンシャルの条件と算出式
<条件と配点>

発生ポテンシャル条件		配点
基礎的 条件	ナラ類が分布する林分	A= 1点 B= 0.05点 該当なし= 0点
	A.コナラーアベマキ群集 or アラカシ群落	
	B.アカマツーモチツツジ群集	
補強的 条件	①標高:100～350m	①・②・③全て該当 = 3点 ①・②・③のうち2つ該当 = 2点 ①・②・③のうち1つ該当 = 1点 ①・②・③に該当なし = 0点
	②斜面傾斜:10～40°	
	③明るい林分:林縁40mの範囲	

<算出式>

ポテンシャル得点 = 基礎的条件配点 + (基礎的条件配点 × 補強的条件配点)

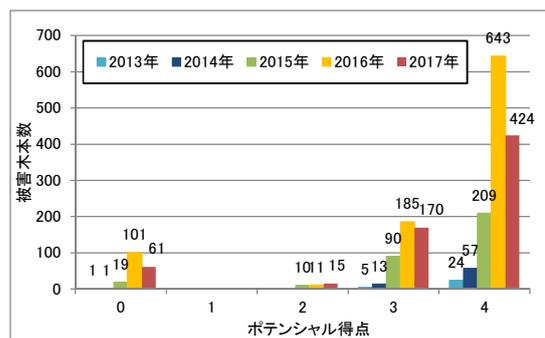


図6 被害発生ポテンシャル得点別の被害木本数

(2) ナラ枯れ被害拡大と激害化の傾向

ナラ枯れ被害の拡大傾向として、当年被害木が前年被害木(特に枯死木)から、50m範囲内にまとまって発生していることが確認された。神戸市東灘区の調査地点で被害拡散状況を詳細に現地確認した結果、当年被害木の90%以上が前年度被害木周辺の50m範囲で発生していることが確認された。一方で、前年被害木から50m周辺の範囲内であっても、ナラ枯れ被害発生ポテンシャルが低いエリアでの当年被害の拡大は少なく、ポテンシャルが高いエリアに当年被害拡大が集中する傾向が確認された(図7参照)。

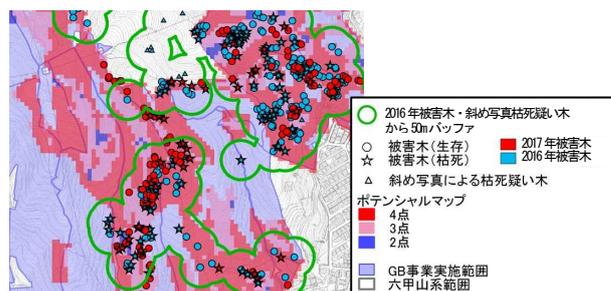


図7 ナラ枯れ被害の拡大傾向

3. ナラ枯れ被害対策の取り組みと効果

ナラ枯れ対策は、被害木を伐倒して樹木に穿入しているカシナガを燻蒸殺虫する「伐倒・燻蒸」、被害木内で成長したカシナガの新成虫が樹木から脱出する際に捕殺する「粘着シート設置」、カシナガが樹木に穿入出来ないようにする「ビニルシート巻」や「樹幹への防護薬剤

塗布」, カシナガの餌となる菌類が樹木内で増殖しにくくする「殺菌剤の樹幹注入」, カシナガが集合フェロモン等に集まる習性を利用した「誘引・捕殺トラップ」等がある。これらの対策は, ナラ類とカシナガの通年の生活サイクルをふまえ, 適切な時期に適切な対応を実施する必要がある。

ここでは, 六甲GB事業地でのナラ枯れ被害について, 現場条件や被害状況に応じた対策を実施するとともに, 対策効果の検証と改良を進めてきた対応事例を示す。

(1) 六甲GB事業地で実施しているナラ枯れ対策

六甲GB事業地でのナラ枯れ対策は, 複雑で急峻な地形条件や登山者など一般者の立ち入りが多い条件等を考慮し, 施工性や安全性を考慮しつつ, 効率的かつ効果的な対策手法の検討と効果検証を2013年度より進めてきた。

近年のナラ枯れ被害の激化状況から, 現在の対策は, 枯死木の腐朽による倒伏や枝落ちについて, 登山道周辺等での一般者影響が懸念されるものから優先的に伐倒・燻蒸することを基本としている。また, 登山道周辺のナラ類への被害拡大が懸念される箇所では, 被害木内で繁殖したカシナガを捕殺する粘着シート内向き設置(粘着面を樹木側とした内巻に設置することにより, 樹木から脱出するカシナガを捕獲)を実施している。

また, 枯死木が集中発生した箇所のうち, 周辺ナラ林にカシナガ穿孔が拡大して被害の深刻化が懸念される箇所は, 保全すべきナラ類や人的被害影響等を考慮した優先度に応じて, カシナガ個体数を抑制するための誘引捕獲トラップや殺菌材樹幹注入等の対策を進めている。

(2) 粘着シート内巻による脱出個体の捕獲効果

カシナガの穿入を受けた被害木は, 根際で最も多くのカシナガ穿入が見られ, 根際から数メートルの高さまでに穿孔孔が集中する傾向がある。

被害木内で繁殖したカシナガを脱出時期に捕獲する粘着シート内巻による対策は, このようなカシナガ脱出特性を踏まえて実施することが有効である(急峻な斜面での高所作業を少なくし, 安全で効果的かつ効率的に対策を実施するため)。

粘着シート内巻で捕獲されたカシナガについて, 設置高さで捕獲個体数の関係を調査した結果, 根際から2m程度の高さで全体の8割程度のカシナガ個体数が捕獲できていることが確認された(図9参照)。また, 粘着シートに捕獲されるカシナガ個体数は, カシナガの脱出が始まる6月頃から7月頃までで9割以上が捕獲され, 7月～11月までの期間では捕獲される個体数が大きく低下することが確認された(図10参照)。

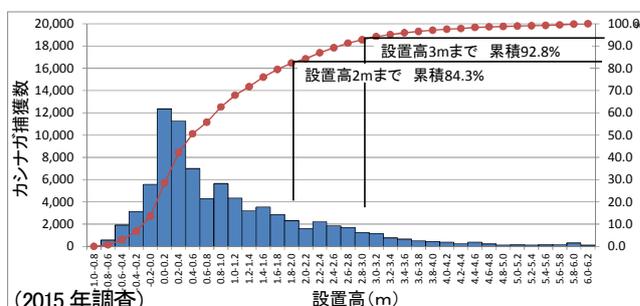


図9 粘着シート内向き設置高さ別カシナガ捕獲数

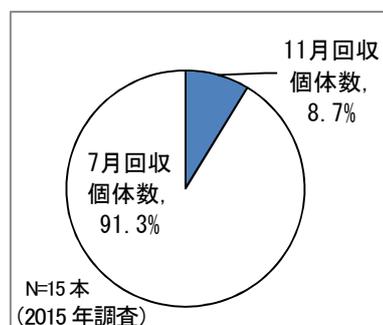


図10 粘着シート内向き設置期間別カシナガ捕獲数割合



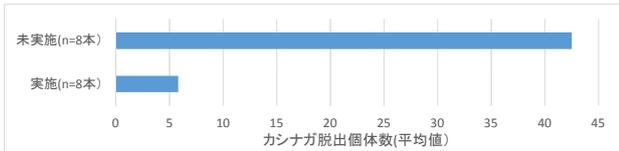
図8 主な対策の実施例

(3) 殺菌剤樹幹注入による繁殖個体数の抑制効果

ナラ枯れ被害を受けるとその影響が大きい大径木など優先的に保全すべきナラ類については, 樹木内に穿入したカシナガの繁殖を抑制するなどの対策も有効である。

六甲GB事業地においては, 特に保全が必要と判断されるナラ類に限って, 樹木内への殺菌剤樹幹注入を実施している。この殺菌剤樹幹注入によるカシナガ繁殖抑制効果を確認するため, 殺菌剤樹幹注入有無によるカシナガの脱出個体数の違いを確認した結果, 殺菌剤樹幹注入によりカシナガ脱出個体数が1/8程度にまで低下する傾

向が確認された(図11参照)。



(2015年、2016年調査)

図11 同一地区における殺菌剤樹幹注入実施の有無によるカシナガ脱出個体数(平均値)の比較

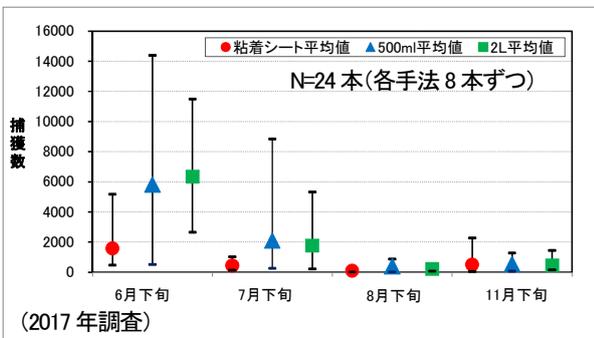
(4) 誘引捕獲トラップによる繁殖個体数の抑制

誘引捕獲トラップは、カシナガが集合フェロモンとナラ類から拡散される物質(カイロモン)に誘引される習性を利用し、健全な複数のナラ類(おとり木)と誘引フェロモン、揮発剤(ナラ類からのカイロモンを拡散させるためのエタノール)を用いてカシナガを誘引捕獲して個体数を抑制するものである。

六甲GB事業地では、枯死木が集中している激害地のうち、被害の深刻化による影響がより大きい箇所において、周辺の保全すべきナラ類の被害を抑制する対策として誘引捕獲トラップ(おとり木トラップ)を実施している。

誘引したカシナガについて、おとり木を含むナラ類に穿入する前に捕獲する手法として、粘着シートを用いた手法とペットボトルを用いた手法を適用し、捕獲効果を検証した。粘着シートは、粘着面を外向きにして誘引するおとり木に設置する方法とし、ペットボトルによる捕獲は、ペットボトルの飲み口に近い部分を漏斗状に切り取り、それを重ねて飛来したカシナガを漏斗部で捕獲するトラップを設置する方法(以下、ペットボトルトラップという)である。

両者の捕獲効果を比較すると、おとり木1本当たりのカシナガ捕獲個体数は、ペットボトルトラップが相対的に多く捕獲された。また、ペットボトルトラップについて、トラップ活用が多い2Lタイプと、収集・加工しやすい500mlタイプでカシナガ捕獲個体数を比較したところ両者に差は確認されなかった(図12参照)。



(2017年調査)

図12 同一地区でのカシナガ個体捕獲の効果的な時期と手法(ペットボトルと粘着シート)の検証例

このため、六甲GB事業地では、急峻な山岳斜面での設置や現地搬入の面から、500mlタイプのペットボトル

トラップを今後活用していく予定である。

4. ナラ枯れ枯死木の根系腐朽状況

六甲GB事業地で調査した結果、ナラ枯れによる枯死木は、伐採木等に比べて根茎の腐朽進行が速いことが確認された。このため、ナラ枯れ被害が激害化すると、斜面のナラ類の枯死することにより、山腹斜面の土層に発達するナラ類の根茎緊縛効果が低下していくことが懸念される。

ここでは、これまでに六甲山系で調査されてきた健全木の根茎引き抜き力に対し、ナラ枯れ枯死木の根茎引き抜き力の低下度合を根系引張試験で確認した。

被害後経過年数が3年時点の枯死木について、根茎引き抜き試験の結果を見ると、数cm程度以上の根茎で引き抜き力が大きく低下している結果が確認された(図13参照)。また、枯死木の根茎断面を確認したところ、樹幹断面と同様に、カシナガ穿孔による抗菌作用で褐色に変色している様子が確認された。

この結果から、ナラ枯れによる枯死木増加は、樹幹の腐朽進行による倒木や枝折れの被害をもたらすとともに、樹幹の腐朽進行と同時に根茎腐朽も進行することにより、早期に根茎引き抜き抵抗力が低下することが考えられる。

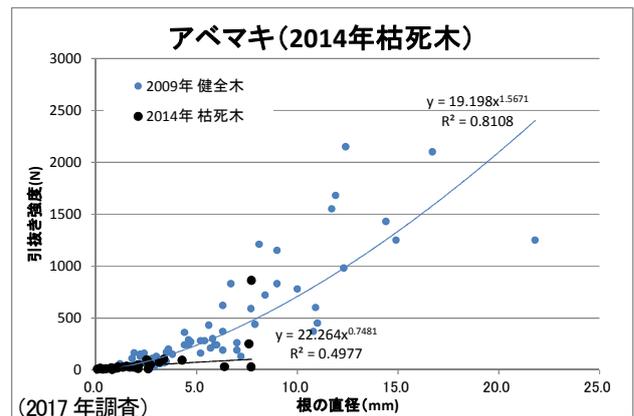


図13 根系引張試験結果の比較

5. まとめ

ナラ枯れ被害の激害化や深刻化は、六甲山系のみならず、近畿地方の山林等に共通する課題となっている。

六甲GB事業地では、空中写真判読や上空からの視認によりナラ枯れ被害の中心となる枯死木の分布を効果的に把握し、その結果は周辺自治体へも提供しており、六甲山系でのナラ枯れ被害把握の一端を担っている。

また、把握したナラ枯れ被害木の多くは、前述したナラ枯れ被害発生ポテンシャルの高得点地域に分布するため、上記ポテンシャルマップは被害発生の監視の一助となっている。さらに、ポテンシャルマップ高得点で、且つ人的な影響が想定される地域は、優先的に対策を実施すべき地域とし、被害木を抽出し、効率的、効果的な対策実施を進めている。

被害対策に関しては、殺菌剤の樹幹注入の効果や、粘着シートの内向き設置の実施高さ、誘引トラップの誘引剤の使用方法等について試験施工を行い、六甲 GB 事業地においてより有効な実施手法を検証した。

ナラ枯れ被害の激害化や深刻化は、六甲山系のみならず、近畿地方の山林等に共通する課題であるため、六甲 GB 事業地内で取り組んできた様々なナラ枯れ被害対策の工夫や効果検証結果、被害実態の把握手法の検討結果は関連他機関とも情報共有し、今後は行政機関だけでなく、周辺地域の取り組みと連携した対策を進めていくことも重要と考える。

また今回、六甲砂防事務所では、上記知見をもとに、効率的かつ効果的な対策を実施するための手法や施工上の留意点等を取りまとめた「ナラ枯れ被害対策の手引き(案)」と、ナラ枯れ被害対策の基本方針やモニタリング計画等を示した「ナラ枯れ被害対策の計画書(案)」を作成した。手引き(案)等は関連他機関と情報共有し、各機関協力してナラ枯れ対策に取り組んでいきたい。なお、上記計画書(案)等は今後の調査や対策実施場面で実際に使用することでブラッシュアップしていければと考えている。

※本とりくみは前所属の六甲砂防事務所調査課にて行った内容を取りまとめたものである。