

松の枯損防止新技術に関する研究 (II)

— マツノザイセンチュウに対する樹幹注入 及び土壌施用剤の処理効果について —

野平照雄

目 次

はじめに	41	2. 結果と考察	46
1. 試験方法	42	2.1 薬剤のスクリーニング	46
1.1 試験林分と供試木	42	2.2 薬剤の残効期間	50
1.2 供試薬剤及び処理方法	42	2.3 樹幹注入剤と土壌施用剤併用による効果	50
1.3 線虫の人工接種	42	2.4 治療効果について	51
1.4 薬剤処理効果の判定	42	2.5 薬剤の樹体内移行及び残留調査	58
1.5 樹幹注入剤と土壌施用剤併用による効果	45	2.6 薬剤の注入処理技術	54
1.6 治療効果について	45	まとめ	55
1.7 薬剤の樹体内移行及び残留調査	46	引用文献	56
1.8 薬剤の注入処理技術	46		

はじめに

かつて「古くて新しい課題」と言われていた松くい虫問題も病原体がマツノマダラカミキリによって媒介されるマツノザイセンチュウであることが解明されて以来、この分野の研究が急速に進み次々と新しい防除技術が開発されている。このうち、マツノマダラカミキリの後食期を利用した予防散布が松枯損防止に極めて有効(4, 19, 20)であることから、ヘリコプター等によって大規模に実施されている。しかし、薬剤散布は環境保全や自然保護あるいは採算性の面で制約をうけることが多いので、環境保存上とくに重要な景勝地、公園、市街地等の松に対しては実施できない場合が多い。このため、林地以外の重要な松に対する防除技術の開発が急務となってきた。

重要な松を単木毎に保護する方法として、健全木のうちから薬剤を樹体内に吸収拡散させ、たとえマツノザイセンチュウが進入してもその時点で死滅させて枯損を防ぐ方法がある。わが国では最初に松浦(6)がポット苗木を用いて数種の薬剤が有効であることを報告し、その後、茨城、静岡で試験(7)が開始された。本県でも昭和52年以来各種薬剤のスクリーニング及びその実用化試験を行っているので、現在までの資料を取りまとめて報告する。

この試験を実施するにあたり国立林試薬剤第1研究室長松浦邦昭技官には種々ご指導いただいたので、ここに厚くお礼申し上げます。

なお、本報告は昭和52年から56年にかけて大型プロジェクト研究として真柄稔※により実施され、さらにその後情報化システム事業として57～58年には村田淳※※、59～60年には小川知※※※が担当して行った試験結果を筆者が取りまとめたものである。

※現寒冷地林業試験場 ※※現林政部造林課 ※※※現恵那県事務所

1 試験方法

1.1 試験林分と供試木

試験は、昭和52～58年が土岐市妻木町及び瑞浪市明世町のアカマツ、クロマツ混交林（樹齢10～60年生）で行い、それ以降は岐阜市則松地区のアカマツ林（樹齢20～50年）で実施した。このうち、土岐、瑞浪地域は県下でもとくにマツクイ虫被害の激しい地域で、試験開始当時すでに被害は10%以上に達しており、毎年立木駆除事業が行われていた。逆に、岐阜試験地周辺は被害が少なく、試験開始時は被害が散発的にみられる微害地域であった。しかし、その後自然感染による被害が急激に増加し、現在では10%以上の被害に達している。このため、供試木の選定に当たってはあらかじめ小田式判定法（15）によって樹脂量調査を行い、樹脂量が正常なものを選んだ。

供試木はアカマツを主な対象樹種としたが、土岐、瑞浪試験地では一部クロマツも含まれている。また、供試木の大きさは胸高直径20cm以下が小中径木、それ以上は大径木とし、いずれも1処理10本を原則とした。なお、新規薬剤の場合は線虫接種木とは別に基準量の5～10倍を注入した観察区を設け、注入後の薬害の有無について調査した。

1.2 供試薬剤及び処理方法

供試薬剤は樹幹から薬剤を注入する樹幹注入剤、樹幹にガム状の薬剤を挿入する樹幹挿入剤、それに根から薬剤を吸収させる土壌施用剤の都合16種類で、これら薬剤の処理及び対照区の概況は表1～2に示すとおりである。

処理時期は何れも線虫接種前を原則とし、健全木のうちにあらかじめ薬剤を樹体内に吸収させておく予防的な処置法としたが、一部の薬剤については治療効果についても検討した。また薬剤のうち樹幹注入剤は、地際から上方1.3m範囲の樹幹部に直径9mmのドリルを用いて深さ5cm程度の注入孔をあけ、ここに所定量の薬剤を注入した。注入方法は薬剤によって異なり、テラキュアP、バイジット、ネマホス、7751、PC-3203、KK-827、NC-3011、NFT、NC-301、YS-8401は所定量のアンプルを挿入するアンプル方法、サイアノックスはピペットで薬剤を注入孔に入れる分注方式、MTSはアンプル及び点滴注入方式で注入した。土壌施用剤（ダイジストン、ランネート、YS-MG05）は何れも供試木の樹冠下全体のA層を取り除いてばら散きを行い、その後A層を元の位置に戻す方法で施用した。また、樹幹挿入剤（NFB）は直径11mmの挿入孔（5cm程度）を樹幹に水平にあけ、ここに棒状の薬剤を所定量挿入する方法で行った。

これら薬剤のうち樹幹注入剤は吸収速度にかなり差異が認められ、中にはほとんど吸収しないものも含まれていた。また、同じ薬剤でも注入場所によって吸収が良かったり悪かったりする例もよくみられた。このため、入りにくいものは別の場所に打ち直したり、圧力を加えて処理するなどして所定量の全量注入に努めた。注入後は容器を回収し、注入孔にはコルク栓をして雨水が入らないようにした。また、樹幹挿入剤処理はそのまま放置した。

1.3 線虫の人工接種

供試木に接種した線虫は試験年度によって多少異なるが、大半は松枯損木から採集した線虫を *Bortris cinerea* 菌で培養増殖したものとマツノマダラカミキリ成虫から分離した耐久型幼虫を4:1の割合で混合し、水1ml当り1.5万頭になるように調整した。そして、その懸濁液を1本当り2ml（3万頭）接種した。接種部位は3～5mの樹幹部で、ここに直径9～18mm（59年度以降は9mm）のドリルで深さ5cm程度の穿入孔をあけ、この中へ分注器で懸濁液を注入した。なお、線虫接種日は岐阜県でマツノマダラカミキリがとくに活動すると思われる6月中～7月中旬までの間とした。

1.4 薬剤処理効果の判定

昭和56年度までは、線虫接種後、0.5、1、2、3、5、9カ月を基準として経過月数毎に小田式樹脂量判定を行うとともに、外観異常及び枯損の発生状況を調べた。また、枯損木については全て

表-1 供試薬剤の処理概況

(その1)

供試薬剤	成分濃度	実施年	処理時期	1本当り薬量	供試本数	樹種	胸高直径	樹高	線虫接種日	線虫接種高	備考
	%		7 か月前	ml	本		cm	m		m	
テラキュアP剤	50	1978	7 か月前	110	10	アカクロ	22	14	54.6.21	3	
	"	1979	3	115	"	"	23	15	"	"	
	"	"	7	250	"	"	26	17	55.6.18	"	
	"	"	3	"	"	"	29	"	"	"	
バイジット乳剤	50	1978	7	105	10	アカクロ	22	14	54.6.21	3	
	"	1979	3	165	"	"	26	15	"	"	
サイアノックス乳剤	50	1978	7	30	10	アカクロ	14	12	54.6.21	3	
	"	1979	3	"	"	"	"	13	"	"	
	"	"	7	100	"	"	13	"	"	"	
	"	"	3	"	"	"	"	14	55.6.18	"	
ネマホス剤	10	1979	5	250	10	アカクロ	25	16	55.6.18	3	
	"	"	3	"	"	"	27	"	"	"	
7751乳剤	50	1979	7	150	10	アカクロ	25	16	55.6.18	3	
	"	"	3	250	"	"	27	"	"	"	
	"	1981	6	100	"	"	16	14	57.7.7	"	ダイジストンと併用
	"	"	4	"	"	"	19	13	"	"	"
	"	"	5	150	"	"	23	18	"	"	
	"	"	3	200	"	"	25	"	"	"	
PC-3203剤	12.5	1981	7	840	10	アカクロ	27	15	57.7.7	3	
	"	"	4	"	"	"	25	16	"	"	
	"	"	3	140	"	"	14	9	56.7.1	"	
	"	"	"	70	"	"	15	9	"	"	
	"	1982	4	840	"	"	26	17	56.7.7	"	
	"	1983	"	980	"	"	31	16	58.7.7	5	
	"	"	"	480	"	"	28	"	"	"	
	8	1984	"	560	13	アカ	26	"	59.7.18	"	
KK-827剤	-	1983	2	25	10	アカクロ	11	11	58.7.7	4	
	-	"	"	50	"	"	12	10	"	"	
	-	1984	3	100	11	"	14	12	59.7.18	3	
	-	"	"	50	6	アカ	12	"	"	"	
	-	1985	5	100	24	"	13	"	60.7.1	"	
	-	"	"	150	12	"	"	11	"	"	

注：アカはアカマツ，クロはクロマツ

表-1 供試薬剤の処理概況

(その2)

供試薬剤	成分濃度	実施年	処理時期	1本当り平均薬量	供試本数	樹種	胸高直径	樹高	線虫接種日	線虫接種高	備考
NC-3011	%	1983	か月前 4	ml 40	本 10	アカ,クロ	cm 12	m 9	58.7. 7	m 3	
NFT剤	-	1983	2	50	10	アカ,クロ	13	11	58.7. 7	3	
	-	"	"	100	"	"	12	10	"	"	
MTS剤	4	1984	4	5l	15	アカ	12	13	59.7.18	4	
	"	"	"	3l	"	"	11	12	"	"	
	"	1985	7	"	10	"	33	16	60.7. 1	5	
	20	"	4	50	"	"	14	12	"	4	
	"	"	"	100	"	"	15	"	"	"	
NC-301剤	-	1984	4	40	5	アカ	11	10	59.7.18	4	
	-	"	"	80	10	"	13	12	"	"	
	-	"	"	160	5	"	15	10	"	"	
YS-8401剤	-	1984	4	100	13	アカ	16	12	59.7.18	4	
ダイジストン 粒剤	5	1978	7	3 kg	10	アカ,クロ	22	12	54.6.21	4	
	"	"	3	"	"	"	23	13	"	"	
	"	1979	8	"	"	"	26	16	55.6.18	"	
	"	"	3	"	"	"	"	"	"	"	
	"	1981	9	1 kg	20	"	20	14	57.7. 7	"	7751剤と併用
ランネット 微粒剤	1.5	1979	3	6 kg	10	アカ,クロ	26	18	54.6.21	4	
	"	"	1	"	"	"	28	"	"	"	
YS-MG05 粒剤	-	1982	3	3 kg	10	アカ,クロ	13	10	56.7. 7	4	
NFB剤	-	1983	2	5本	10	"	11	10	58.7. 7	4	固型剤
	-	"	"	3	"	"	14	11	"	"	

注：MTSの薬量はm²当り

アカはアカマツ，クロはクロマツ

表-2 対照区の概況

供試薬剤	成分濃度	実施年	処理時期	1本当り平均薬量	供試本数	樹種	胸高直径	樹高	線虫接種日	線虫接種高	備考
対照区	—	1978	—	—	10本	アカクロ	22	14	54.6.21	3 m	併用処理用
	—	1979	—	—	〃	〃	25	15	〃	〃	
	—	〃	—	—	〃	〃	23	〃	55.6.18	〃	
	—	〃	—	—	〃	〃	25	〃	〃	〃	
	—	1981	—	—	〃	〃	23	〃	57.7.7	〃	
	—	〃	—	—	〃	アカ	22	13	〃	〃	
	—	〃	—	—	〃	アカクロ	〃	16	〃	〃	
	—	〃	—	—	〃	〃	23	17	56.7.1	〃	
	—	1982	—	—	〃	〃	25	15	〃	〃	
	—	1983	—	—	〃	〃	24	16	58.7.7	4 m	
	—	〃	—	—	〃	〃	11	9	〃	〃	
	—	1984	—	—	〃	アカ	24	15	59.7.18	〃	
	—	〃	—	—	〃	〃	13	12	〃	〃	
	—	1985	—	—	〃	〃	25	14	60.7.1	5 m	
	—	〃	—	—	〃	〃	12	10	〃	3 m	

注：アカはアカマツ，クロはクロマツ

線虫検出調査を行い、枯損原因が線虫によるものかどうかを確認した。しかし、57年度以降は線虫接種後5～8カ月後に樹脂量及び枯損調査を1回を行い、これらの結果でもって薬剤効果を判定した。

薬剤効果の判定基準は最終調査時（5～9カ月後）における生存残存率によって行い、80%以上の残存率を示したのものについて効果ありと判定した。なお、樹脂量調査は5段階にわけ「卅，卅，十」は正常木、「一，〇」は異常木としたが、樹脂流出量は松によって個体差があることと、ヤニ打ち場所によって流出量にかなりのバラツキがみられることから、枯損判定の基準は次のようにした。

- (1) 樹脂流出量が「卅，卅，十」で外見からも変色等の症状がみられなければ健全木。
- (2) 一部分だけが枯損していても、樹脂流出量が「卅，卅，十」の場合は枯損木として取り扱わない。
- (3) 全体が変色し樹脂流出量が「一，〇」の場合は枯損木。
- (4) 完全に枯死しているものは枯損木。

1.5 樹幹注入剤と土壌施用剤併用による効果

供試薬剤のうち樹幹注入剤の7751と土壌施用剤のダイジストン粒剤を併用した場合の効果について検討した。薬剤処理及び線虫接種等は前述した方法と同じであるが、薬量については表-1に示すように供試木1本当り7751剤は100ml、ダイジストン粒剤は1kgと少なくした。

1.6 治療効果について

マツノザイセンチュウ被害のうちまだ初期症状（枝の部分枯れ、わずかに変色している等）と思われる松に、テラキュアP、7751、PC-3203を処理し、これら薬剤の治療効果について検討した。また、同じ症状の松に対しランネット水和剤500倍液を1本当り2000ℓの大量散布を行

い、この処理効果についても調べた。

1.7 薬剤の樹体内移行及び残留調査

供試薬剤のうち、テラキュアP、7751、サイアノックス、PC-3203、ダイジストン剤については線虫接種時にドリル屑を採取して国立林試に送付し、ガスクロマトグラフィーによる薬剤の移行量及び残留量を分析した。

1.8 薬剤の注入処理技術

試験地及び県林セ構内のアカマツ林において、PC-3203及びMTS剤を使用して樹幹注入処理技術について検討した。

2 結果と考察

2.1 薬剤のスクリーニング

試験結果は図-1～図-4に示すとおりである。

各年度とも対照区は大径木、小径木の別なく高い枯損率となり、とくに15処理中10処理(67%)もが100%の枯損に達した。また、残りの処理もすべて60%以上の枯損率であったことから、いずれの年度とも接種した線虫は樹体内ではほぼ正常な働きをしていたものとみられる。

一方、線虫接種後樹脂の流出が異常になるまでの期間をみると、早いもので約2週間、遅いものでも1カ月後には完全に異常になっている。そして、異常が生じてから枯損に至るまでの期間は早いもので約1カ月、大半の供試木では3カ月後には完全に枯死した。

また、対照区からの線虫検出率は各年度とも80%以上と高かったが、薬剤処理区の中には40%以下と低いものもみられた。これは、最終的には枯死したものの、それまでの間に線虫増殖の抑制効果がかかり働いたためではないかと考えられる。

いずれにせよ、対照区では線虫接種後の早い期間に枯死するものが多く、残存率は非常に低くなる

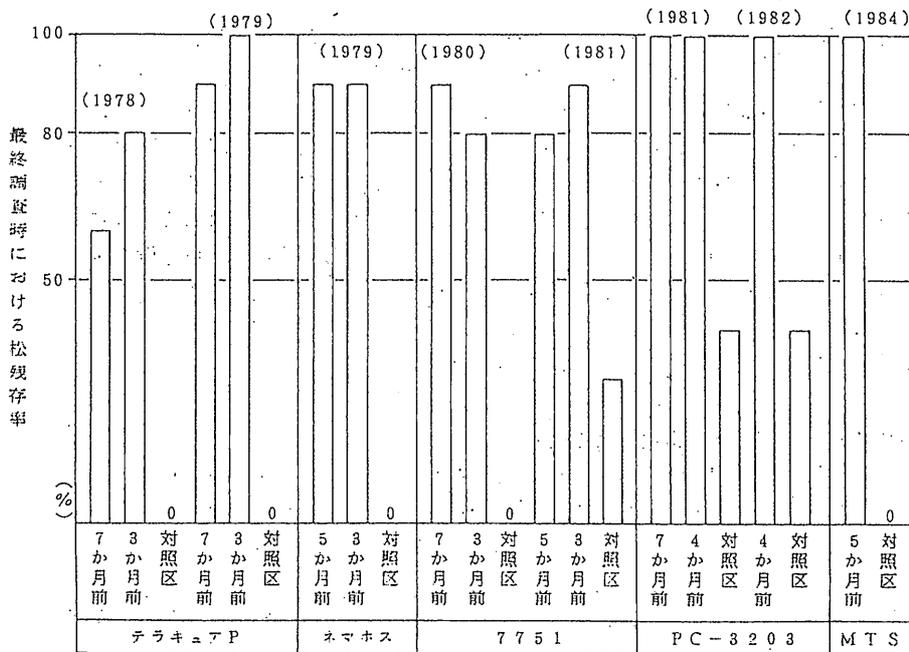


図-1 効果の認められた液剤の松枯損防止効果

ことが認められた。そこで、この結果と比較しながら各薬剤の処理効果について検討してみよう。

(1) テラキュアP、ネマホス剤の注入効果

テラキュアP剤(フェンスルホチオン)は1978年の7カ月前(線虫接種時より7カ月前、以下同じ)処理が60%、3カ月前処理が80%であったが、薬量を増やした1979年には90%以上の残存率となり、著しい枯損防止効果が認められた。とくに、1979年の3カ月前処理は胸高直径30cmの大径木に対し100%の効果を示していることから、少なくとも注入後3カ月以内には樹体内に浸透してしまうものと思われる。また、1978年処理は1977年処理に比べ残存率が若干低かったが、これは薬量がやや不足気味でなかったかと考えられる。しかし、静岡では同程度の供試木に対し1本当たり47ml処理で100%の効果を示している(2)ことから、薬量についてはさらに検討する必要があるものと思われる。この薬剤は各地で試験されているが、いずれも優れた効果を示している(5, 7, 8, 16, 17)。

一方、ネマホス剤(チオナジン)は3カ月及び5カ月前処理とも90%の残存率で著しい効果を示した。薬量は大径木1本当たり250mlであったが、静岡では2分の1以下の120mlで効果が認められている(2)ことから、この薬剤は大径木に対し120ml以下の処理で効果が期待出来るものと思われる。この薬剤もテラキュアP剤同様、各地の試験でも優れた効果を示している(5, 9, 10, 11, 12)。ただ、ネマホス剤は樹体内への吸収が悪く、試験では溶剤として、キシレン、ベンゼン等を使用しているため、実用化に当たってはこの点を解決する必要がある。

いずれにせよ、これら両薬剤はマツノザイセンチュウに対し著しい効果を示したので、新しい松枯損防止薬剤として注目される。しかし、この様に優れた薬剤もともに人畜に対する毒性が強い有機リン剤であることと、使用時における安全性の問題等から農薬登録の段階に至っていない。林地以外の松枯損被害は年々増え、とくに貴重な松を保護する防除技術が強く要請されている現状からすると、早急にこれら薬剤の実用化が望まれる。

(2) 7751、PC-3203、MTS剤の注入効果 (1984)

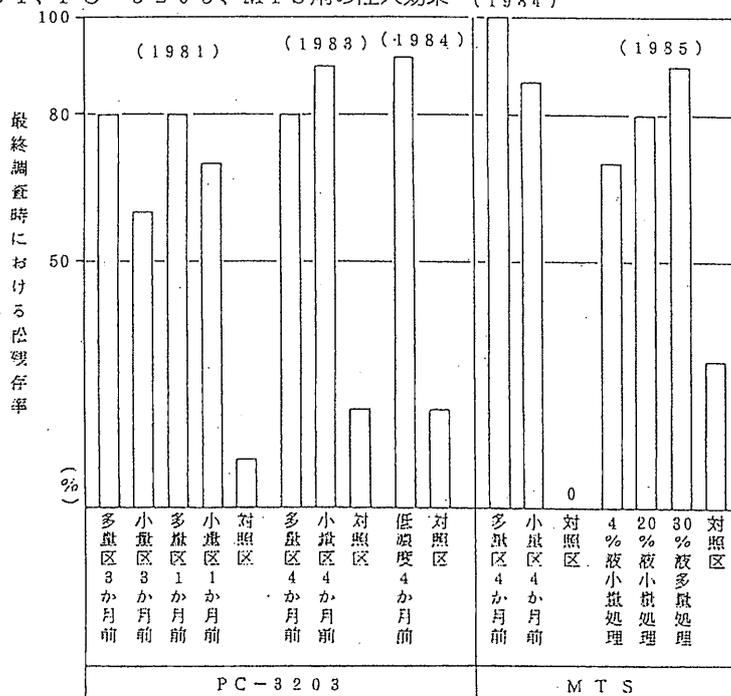


図-2 PC-3203, MTS剤の処理時期, 処理量別効果

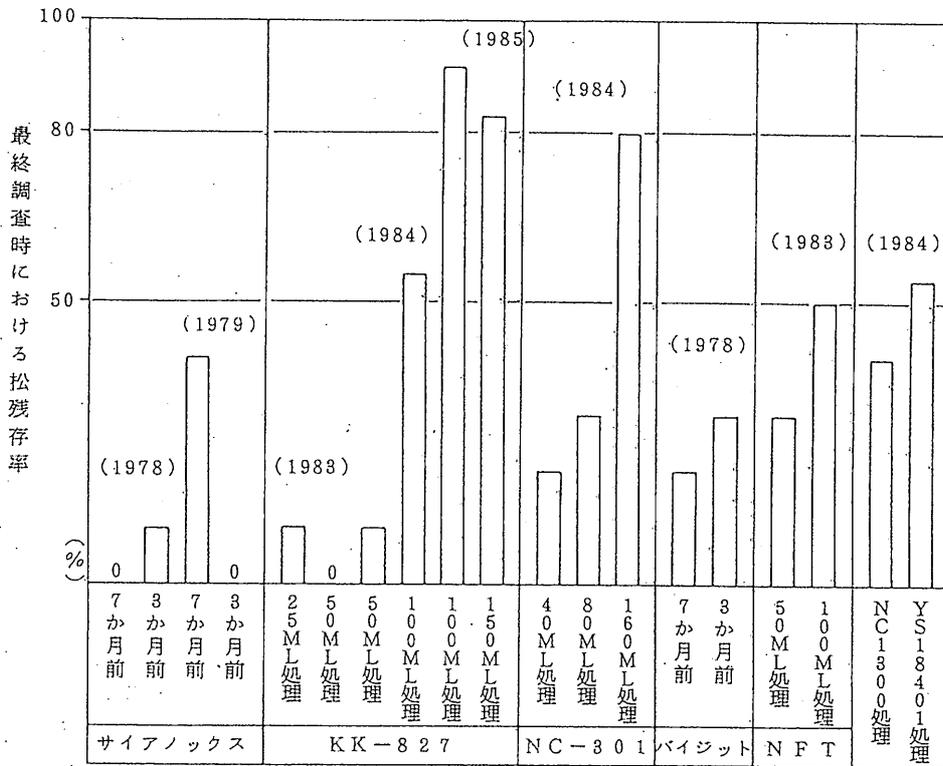


図-3 その他の薬剤による松枯損防止効果

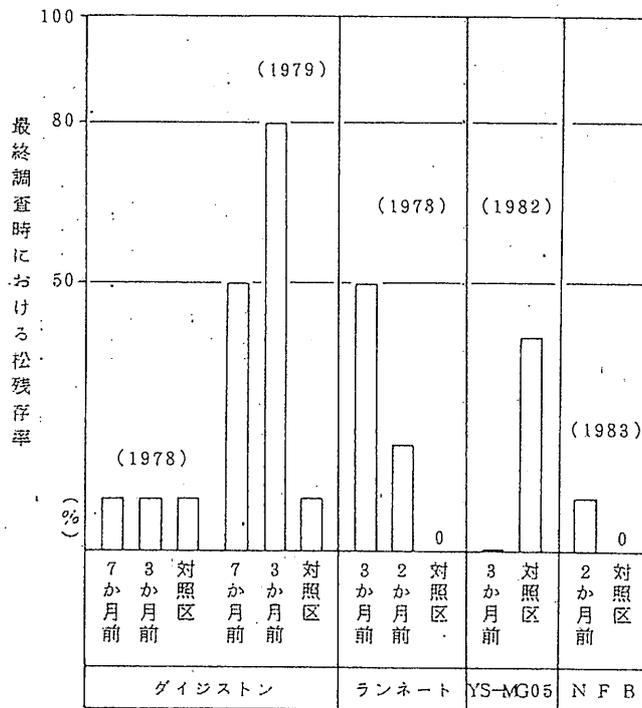


図-4 粒剤、固型剤による松枯損防止効果

まず、7751剤(メスルフェンホス)の処理効果をみると、1980年及び1981年の3、7カ月前処理はともに80%以上の残存率で、優れた効果が認められた。薬量は大径木1本当たり150~250ml処理したがいずれも効果が認められていることと、静岡では160mlで卓効を示している(2)ことから、150ml処理で十分と考えられる。

次に、PC-3203剤(酒石酸モランテル)をみると、1981、1982年処理とも100%の残存率でとくに顕著な効果が認められた。しかし、薬量は大径木1本当たり840mlと前述した薬剤の処理量をかなり上回っていることから、薬剤処理量について検討した(図-2)。その結果、胸高直径15cm前後の小径木に対し140ml処理は1カ月及び3カ月前処理とも80%の残存率で処理効果が認められた。しかし、半量の70ml処理は70%以下に低下したことから、やや薬量不足と思われた。次に、大径木に対する処理効果をみると、480ml4カ月前処理は980ml4カ月前処理の残存率を10%上回っていることから、PC-3203剤の処理量は多くても小径木には140ml、大径木には480mlまででよいものと考えられる。このようにPC-3203剤の12%液はマツノザイセンチュウに対し優れた防除効果を示したので、成分濃度を8%に下げて処理(大径木に560ml)したところ、12%液を上回る効果が認められた。一般に樹幹注入剤は成分濃度が高くなれば吸収が悪くなり、薬害も発生しやすくなる。このことから考えると、吸収性のよいこの薬剤は薬量が多少増えても濃度を下げた方がより実用性が高いものと思われる。

一方、MTS剤(塩酸レバミゾール)は小径木に対し5 ℓ /m²処理が100%の残存率でPC-3203剤と同じように著しい効果が認められた(図-1)。そこで薬量を少なくして3 ℓ /m²処理したところ86%の残存率となり、5 ℓ 処理にくらべやや効果が低下したものの処理効果は認められた。この薬剤はPC-3203剤をかなり上回る処理量で実用化にはやや不向きであった。そこで、薬量を少なくするため成分濃度を高めた場合の効果について検討した。その結果、20%液の50ml(小量区)及び100ml(多量区)処理は4%液の3 ℓ /m²処理を上回る効果が認められた(図-2)。しかし、4%液溶液にくらべ吸収が極めて悪く、2日経過後でもほとんど樹体内に吸収されていないものもみられた。そこで、新しい試みとして圧力を加えて注入(圧力注入法)したところ6時間以内に全量注入することが出来た。

以上これら3薬剤は各地で試験されているが、いずれも顕著な効果を示し(11, 13, 14, 15, 16, 17, 18)、薬液の吸収性も優れている(MTSは4%溶液)。7751剤は低毒性の有機リン剤であることから農薬区分では劇物に、PC-3203及びMTS剤は動物用駆虫剤を利用した薬剤で普通物に属するがいずれも農薬登録された。そして、7751剤は「ネマノーン注入剤」、PC-3203剤は「グリーンガード注入剤」、MTSは「センチュリー注入剤」の商品名で1982~1985年に市販されるに至った。

(3) その他液剤の注入効果

その他の薬剤(液剤)では、KK-827剤とNC-301剤の効果が認められた。これらの薬剤は80ml(小径木対象)前後から効きはじめ、前者では100ml、後者では160mlで80%以上の残存率となった。しかし、両薬剤とも吸収効率が悪いことから、同じタイプの薬剤(動物用駆虫剤)であるPC-3203やMTS剤にくらべやや実用性に劣るので、この点についての検討が必要である。

また、サイアノックス、バイジット、NFT、NC-301、YS-8401剤は若干効果が認められるものの、実用的な効果は期待できないようである(図-3)。

(4) 粒剤、固形剤の処理効果

ダイジストン粒剤(エテルチオメトン)は1978年処理が、2、7カ月前処理とも残存率が10%、1979年は7カ月前処理が50%、3カ月前処理が80%と前年処理をかなり上回ったものの安定した効果は認められなかった。また、ランネート剤(メソミル)は50%以下の残存率で若干効

果が認められたものの、効果判定ラインの80%を大幅に下回り、ダイジストンを含めたこれら土壌施用剤の実用的な効果は確認できなかった。しかし、周藤(16)、峰尾(5)はともにこれら両薬剤の優れた効果を報告していることから、本県の場合は薬剤がうまく樹体内へ浸透しなかったのではないかと考えられる。土壌施用剤は薬剤が樹体内へうまく吸収されたかどうかは外見からはわからない。このためこの薬剤の対象が絶対枯れてはならない貴重な松であることからすると、土壌施用剤は樹幹注入剤にくらべやや実用性が劣るように思われる。

また、YS-MG05粒剤は対照区を下回る残存率で効果は全く認められなかった。

一方、薬剤入りのガム状物質を樹幹に挿入するNFB剤は薬剤によって穿入孔がそのまま塞がるので、雨水の流入による障害(腐れ等)が少ないことから、新しいタイプの薬剤として注目された。しかし、残存率は10%と極めて悪くほとんど効果は認められなかった(以上図-4)。

2.2 薬剤の残効期間

スクリーニング試験で効果の認められた薬剤のうち、テラキュアP、ネマホス、7751、PC-3203剤とダイジストン粒剤処理木に、次年度以降毎年線虫のみを6~7月に接種してその後の枯損率を調べ、薬剤の残効年数を検討した(図-5)。

その結果、テラキュアP、ネマホス、PC-3203剤は2~3年以上の残効年数が認められた。しかし、7751剤は2年目になると残存率が40%以下に低下したことから、2年目以降の残効は期待できないものと考えられる。

一方、ダイジストン粒剤は1年目の枯損率が前述した薬剤にくらべかなり低かったものの、その後2年間はほとんど変わらない状態で推移していることから、少なくとも2年以上の残効年数が認められた。このことから、ダイジストン粒剤はいかに樹体内へ吸収させるかが施用に当たっての大きなポイントと考えられる。これら薬剤の残効傾向は各地で行われた大型プロジェクト研究の取りまとめの結果(17)とほぼ一致している。

2.3 樹幹注入剤と土壌施用剤併用による効果

まず併用処理効果を見ると、ダイジストン粒剤及び7751剤の単用処理は残存率が45~75%であった。これに対し、両薬剤を組み合わせた処理はこれをさらに上回って95%の残存率であることから、これら薬剤の併用処理効果が認められた(図-6)。これは、7751剤の単用処理が75%の残存率でダイジストン粒剤単用処理をかなり上回っていることから、併用効果は7751剤にダ

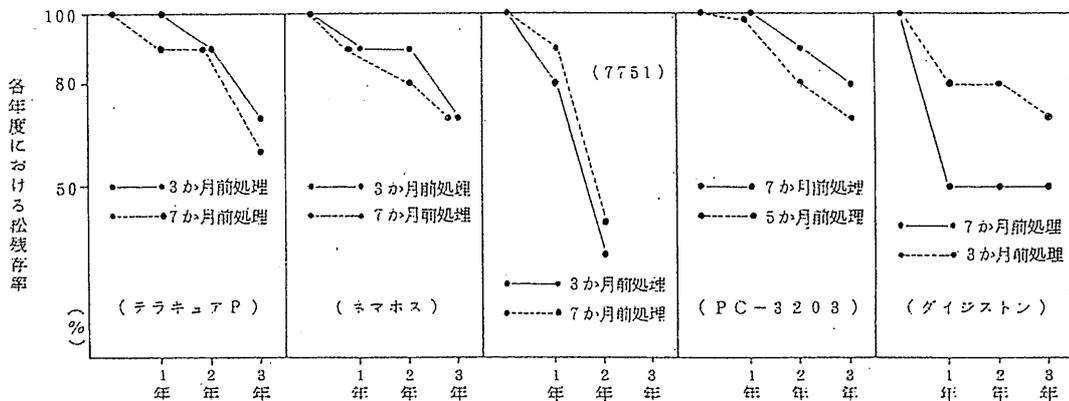


図-5 有効5薬剤の残効年数

イジストン粒剤の働きが加わったものと考えられる。

次に、次年度以降の効果をみると、7751剤単用処理は残存率が対照区とほぼ同じように低下しているのに対し、ダイジストン粒剤単用処理は1年目とほぼ同じで推移している。また、併用処理は2年目に残存率が50%とかなり低下したものの、その後4年目まではほとんど変わっていない。これは、2年目になると7751剤の効果が低下してくるため、ダイジストン粒剤の吸収の悪かったものが枯死するからと考えられる。従って、併用処理の2年目以降の効果はほとんどダイジストン粒剤によるものと考えられる。このことから、7751剤とダイジストン粒剤の併用処理は持続効果の長いダイジストン粒剤の働きをより一層高めるのに有効と考えられる。つまり、ダイジストン粒剤が樹体内に浸透する間は7751剤によって被害を抑制し、その後はダイジストン粒剤によって枯損を防げるからである。

2.4 治療効果について

1979年から1982年にかけてマツノザイセンチュウ被害の初期症状と思われる松に対し表-3に示すような治療を試みた。

その結果、治療した松16本の中枯損をまぬがれたものは2本で、あとは処理後20日~5カ月後にすべて枯損した。このことから、これら薬剤(テラキュアP、7751、PC-3203、ランネート)の現地での治療効果はあまり期待できないものと思われる。

一方、枯損しなかった松のうち岐阜市のものは樹幹中央部で二又に分かれ、このうち1本が被害にかかっていた。被害部からは線虫が検出されたものの、二又部付近からは検出されなかったため、ここにテラキュアP剤を400ml注入し、その後被害部は切除した。こうした処置を行ったところ残りの樹幹は枯死しなかった。また、関市の場合は樹幹中央部に大きなコブ(コブ病によるものと考えられる)があり、ここから出ている枝1本が枯損したものである。被害部から線虫が検出(無被害部からは未検出)されたのでこの枝を切除した後、コブの周辺部にPC-3203剤を1040ml(アンプル10本)注入したところ、その後被害は発生しなかった。

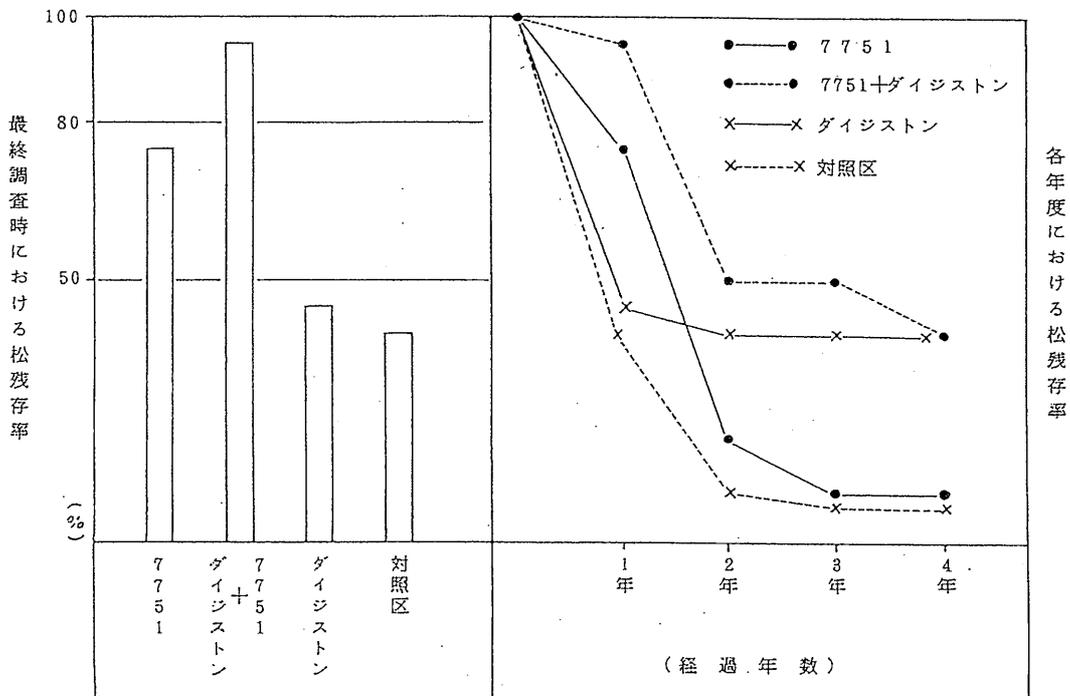


図-6 薬剤併用による効果とその残存年数

表-3 被害木に対する治療効果

№	供試木	実施場所	被害の症状	処理概況	実施時期	処理後の状況
1	アカマツ老木 庭木 樹高12m	御嵩町 寺院	樹冠全体が黄色に変色していたが、線虫は未検出(樹幹下部)	根元部にテラキュアP剤500ml(50mlアンブル10本)を注入	1979年10月	薬剤の吸収が悪く、約300ml残量 20日後に枯損
2	アカマツ老木 庭木 樹高13m	御嵩町 寺院	樹冠先端部が枯損 線虫未検出(樹幹下部)	地上高5m部にテラキュアP剤500mlを注入	1979年10月	1カ月後に枯損
3	クロマツ 庭木 樹高5m	関市 ゴルフ場	樹幹上部と中部の枝2本が部分枯れ、枯損部から線虫検出	枯損枝を切除し、その部位にそれぞれテラキュアP剤を100mlずつ注入	1980年9月	薬剤の吸収が悪く、約120ml残量 1カ月後に枯損
4	アカマツ 樹高8~10m	関市 ゴルフ場	樹冠全体が黄色に変色し、明らかに線虫被害を受けていると思われるもの	被害木5本にそれぞれランネット水和剤500倍液を2000l地上散布	1980年9月	10日~2カ月後にすべて枯損
5	クロマツ 庭木 樹高5m	美濃加茂市	樹冠全体が黄色に変色、線虫検出	根元部に7751剤を300ml注入	1980年10月	1カ月後に枯損
6	アカマツ 庭木 樹高5m	岐阜市	枝1本が部分枯れ 枯損部から線虫検出	枯損枝を切除し、その部位に7751剤を200ml注入	1981年10月	1カ月後に枯損
7	アカマツ 庭木 樹高8m	岐阜市	樹幹中部で2カ所にわかれている松で、このうち1カ所の上部が変色、変色部から線虫検出。もう一方の樹幹からは線虫未検出	被害部と無被害部の接点(樹幹わかれ部)にテラキュアP剤を400ml注入。その後被害部は切除	1982年9月	線虫が検出された樹幹は枯死したものの残りの部位は枯損せず
8	アカマツ 庭木 樹高6m	関市	枝1本が部分枯れ 枯損部から線虫検出	枯損枝を切除し、その部位にPC-3203剤を1040ml注入	1982年10月	処理後被害の進行は停止し現在に至る
9	アカマツ 樹高8m	美濃市 林セ構内	枝5本が部分枯れ 枯損部から線虫検出	枯損枝を切除し、その部位にPC-3203剤を140mlずつ注入	1982年10月	20日後に枯損
10	アカマツ 樹高14m	美濃市 林セ構内	先端部が部分枯れ 樹幹下部からは線虫未検出	樹幹下部にPC-3203剤1120ml注入	1982年10月	2カ月後に枯損
11	アカマツ 樹高2m	美濃市 林セ構内	枝2本が部分枯れ 枯損部から線虫検出	枯損枝を切除し、その部位と根元部にPC-3203剤をそれぞれ280mlずつ注入	1982年10月	処理後、被害の進行が停止したものの5カ月後に枯損
12	アカマツ 樹高2m	美濃市 林セ構内	枝1本が部分枯れ 枯損部から線虫検出	枯損枝を切除し、その部位と根元部に7751剤をそれぞれ100mlずつ注入	1982年10月	1カ月後に枯損

このような処置によって被害が防げたわけであるが、必ずしも薬剤によるものと言い難い面もある。それは、治療した松がともに特異（二又、コブ状）な松だからである。つまり、岐阜市の場合にはたまたまもう一方の樹幹まで線虫が侵入していなかったことや、関市では樹幹部のコブが線虫の侵入に何らかの影響を及ぼしたのではないかと考えられるからである。しかし、松浦（10）は線虫を接種してから2週間後にこれらの薬剤を注入したところ被害は発生しなかったとして、テラキュアP、PC-3203剤の治療効果を報告しているので、前述した松の場合もやはり薬剤によって被害がまぬがれたのではないかと考えられる。

従って、今後もこうした事例を積み重ねながら治療効果について検討することが必要である。また、それと合わせて治療の大きなポイントとなる被害木の初期段階における診断を的確かつ迅速に行う方法の確立も必要と考えられる。

2.5 薬剤の樹体内移行及び残留調査

供試薬剤の樹体内濃度及び枯損状況を示したのが表-4である。

まず、各薬剤の吸収状況をみると薬剤毎に樹体内濃度は異なるものの、効果の認められなかったサイアノックス、バイジット剤はnd（検出限界以下）や0.1ppm以下のものが大部分を占め、薬剤がうまく吸収移行していないことが認められた。従って、本試験（1978年分）でダイジストン粒剤の効果は認められなかったのは、薬剤が樹体内に吸収されていなかったからと考えられる。これに対し、PC-3203剤は薬量も多かったが平均250ppm以上の数値となり極めて吸収効率のよいことがわかった。また、テラキュアP剤は7カ月前処理と3カ月前処理との間にあまり濃度差がみられないのに対し、バイジット剤では大きな差が生じていることから、薬剤によって吸収速度がかなり異なることが認められた。このことから、薬剤効果の認められた、テラキュアP、PC-3203剤についてはマツノザイセンチュウ伝播が行われる6月上旬（岐阜県の場合）から逆算して3カ月前

表-4 供試薬剤の樹体内濃度及び枯損状況

供試薬剤	処理時期	区分	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
テラキュアP	7カ月前	濃度	nd	0.20	0.73	0.77	2.54	3.63	9.66	4.35	0.10	0.51	2.3
		枯損状況	×	×		×						×	
	3カ月前	濃度	0.03	21.90	23.50	26.90	6.51	10.00	0.30	0.56	3.80	0.16	9.9
		枯損状況								×			×
バイジット	7カ月前	濃度	131.00	6.10	202.00	9.55	10.00	2.51	0.67	22.00	95.80	4.58	48.4
		枯損状況		×	×	×	×	×	×	×	×		×
	3カ月前	濃度	-	0.34	1.14	2.01	3.18	2.46	-	0.24	4.16	23.70	4.7
		枯損状況	×	×	×	×		×	×				×
サイアノックス	7カ月前	濃度	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	tr	-
		枯損状況	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	3カ月前	濃度	0.10	0.82	1.68	0.75	0.05	nd	1.39	nd	nd	nd	0.5
		枯損状況	×	×		×	×	×	×	×	×	×	×
PC-3203	7カ月前	濃度	480	152	156	342	429	251	167	196	40	288	250
		枯損状況											
	3カ月前	濃度	41	299	1150	666	191	39	231	170	261	321	343
		枯損状況											
ダイジストン	7カ月前	濃度	0.33	0.28	0.04	1.51	0.04	2.74	1.55	0.29	0.92	0.56	0.8
		枯損状況	×	×	×		×	×	×	×	×	×	
	3カ月前	濃度	0.02	0.02	0.00	0.01	nd	0.10	0.00	0.09	0.04	1.13	0.1
		枯損状況	×	×	×	×	×	×		×	×	×	

注 ×は枯損木

の8月上旬までに処理を行うのが望ましいと思われる。

次に、枯損被害との関係を見ると、枯損した供試木の樹体内濃度は、テラキュアP剤が1ppm以下であるし、サイアノックス、ダイジストン粒剤はほとんどがnd～0.1ppm以下であることから、吸収移行量が少なければ枯死する傾向がみられた。また、バイジット剤は200ppm以上も吸収されているものが枯死していることから、薬剤自体の効力が乏しいものと思われる。枯損被害と樹体内濃度との関係について松浦(9)は大型プロジェクト研究によって行われた全国7県のデータを総括して、防除効果期待値をテラシュアP剤が6ppm、PC-3203剤を50ppmとしているが、本試験の場合もこれに近い数値となっている。

2.6 薬剤の注入処理技術

樹幹注入剤は樹体内に吸収されて初めて効果を発揮する。このため、薬剤は確実に注入しなければならない。また、この処理には必ず注入孔が出来るので、注入後の処置等についても考えなければならない。このことから、PC-3203及びMTS剤を使用して樹幹注入剤の処理技術について2、3検討してみた。

まず、何年か試験を行ってきたところ経験的に次のことがわかった。

- (1) ドリルで注入孔をあける際はていねいにやり、入口付近に材のささくれ等を作らない。
- (2) 樹皮が厚いものは薬剤漏れがよく起こるので、樹皮表面を削って注入孔をあける。
- (3) 注入孔内部に空気層があると薬剤が吸収されにくいので、注入孔に薬液を少し流し込んでから処理し、さらに挿入後に空気抜きを行う。
- (4) 日当りのよい南側が北側にくらべよく入る。
- (5) 節やアテ部付近での吸収は極めて悪い。
- (6) 樹液の流動が活発となり始める3月下旬以降になると、吸収力は著しく低下する。
- (7) 薬剤は普通5～6時間で吸収されるが、1日後でもほとんど入っていない場合は別の部位に打ち直す。

しかし、このような事に注意しながら処理しても全く薬剤が吸収されない場合もみられる。そこで、こうした松に対する吸収効率を向上させるため、MTS剤を使用して圧力注入法を試みた(1985)。その結果、MTS剤のアンプル注入法で5日経過後でもほとんど吸収されなかったものが、圧力注入したところわずか2～5時間で完全に吸収された。このことから、この注入技術は吸収効率の悪い薬剤や樹液の流動期における処理にも期待できるので、今後この技術の実用性についてさらに検討する必要があるものと思われる。

一方、樹幹注入処理には必ず注入孔が残る。とくにこの防除は貴重な松を対象としていることから、出来るだけ注入孔数は少ない方がよい。そこでこれらの事も若干検討してみた。

まず、注入容器回収後にその注入孔の経過観察を行ったところ、注入孔内壁に樹脂が付着して乾燥していたり、注入孔内部に樹脂が充填しており、そのまま放置しても腐朽菌等の侵入には問題ないようにみられた。また、注入孔の大きさ、深さ別の注入時間を調べたところ、注入孔が大きくて深いほどよく入ることがわかった(1984)。しかし、樹体への影響を考えると余り好ましくないので、一般的には口径9mm、深さ5cm程度が適当ではないかと思われる。現在使用されている注入容器は50～140mlのものが多い。このため、大きい松には何本も注入しなければならない。これを何年も続けると当然注入孔も増えるので、注入孔数は出来るだけ少なくするのが望ましい。そこで、前年使用した注入孔を利用して再びここから注入したところ、薬剤はほとんど吸収されなかった(1984)。このため、注入処理は毎年新しい場所で行う必要がある。この様に一度あけた注入孔は再び使用できないことがわかったので、注入容器を大きくして注入孔数を少なくする処理方法を試みた。まず、PC-3203剤を500ml容器(デカボトル)で処理したところ(1982)140ml容器にくらべ時間は要したものの、それでも3～6時間ですべて吸収された。また、MTA剤を医療用点滴器具で処

理（点滴注入法）したところ、500 ml 注入に10時間以上と多少時間を要したもののすべて注入できた。とくに、点滴注入法は注入孔の深さが2～3 cm であり、ことから樹体に及ぼす影響も少ないので、新しい注入技術として注目される。こうしたことから、今後はさらに大きい容器による注入技術を開発し注入孔数を少なくすれば、樹幹注入処理技術の需要はより高まるものと思われる。

以上、樹幹注入剤の処理技術について若干述べてみたがまだまだ改良すべき点がある。最も望ましいのは少ない薬量で効果抜群の薬剤が開発されることであるが、技術的にかなり難しそうである。しかし、現在新しい薬剤の研究がかなり進められているので、こうした薬剤が開発される事に期待したい。

一方、問題点もいくつかある。まず第一が薬害問題である。山林の生立木に使用した試験段階では外見的な薬害は全く認められなかった。しかし、市販後に人為的に手の加わった庭木に処理したところ、枝の部分枯れが相次いで発生した。山林の松ならともかく美観を重視する庭木の松では枝1本でも大きな問題となるので、こうした松に対する取扱い（注入量、注入時期）には十分注意する必要がある。第二が注入孔を中心とした形成層部に紡錘形の壊死部が形成される現象（11）があらわれることである。このことによって枯死することはないものの、この部分に穿孔虫が寄生し、この被害が加わって枯死することも考えられるので、今後この問題についても調査を進めていく必要がある。

現在、樹幹注入剤は予防剤として使用されている。しかし、使い方によっては治療効果も期待できるので、このことの検討も必要と思われる。とくにこの防除は薬剤もさることながら被害の早期発見が大きなポイントとなるので、被害木の初期段階における診断方法の確立が早急に必要と考えられる。

最後に土壌施用剤のダイジストン粒剤は効果が認められているものの、土壌汚染問題がからんで未だ農薬登録されていない。土壌施用剤による処理は、薬剤を根から吸収させて樹体内に浸透させるため、樹幹に傷つけることなく実施できる。このため、貴重な松を対象としたこの防除には非常に有効な防除技術である。樹幹注入剤による処理が盛んになればなるほど注入孔問題が大きくなることは必至であるので、樹幹注入剤と同じように土壌施用剤の検討もさらに進めていく必要があるものと考えられる。

ま と め

マツノザイセンチュウ被害を防ぐため、樹幹注入及び土壌施用処理等による防除効果を検討し、あわせて樹幹注入処理技術について2、3調査した。その結果を要約すると次のようである。

1. テラキュアP及びネマホス剤は極めて高い枯損防止効果を示した。しかし、これらの薬剤はともに毒性が強いため、農薬登録の段階には至っていない。
2. 7751、PC-3203、MTS剤も優れた効果を示した。これらはいずれも農薬登録され、現在7751剤は「ネマノン注入剤」、PC-3203剤は「グリーンガード注入剤」、MTS剤は「センチュリー注入剤」として市販されている。
3. 土壌施用剤のダイジストン、ランネート剤の効果は一応認められたものの、実用的な効果にまでは至らなかった。これは薬剤が樹体内にうまく吸収されなかったことが原因と考えられる。
4. これ以外の薬剤では、KK-827剤とNC-301剤の効果が認められた。しかし、両薬剤とも吸収効率が悪いのでこの点の改良が必要である。
5. 枯損防止効果の認められた薬剤の残効期間を調べたところ、テラキュアP、ネマホス、PC-3203剤は2～3年間の残効が認められた。しかし、7751剤は2年目になると効力は著しく低下した。また、ダイジストン粒剤は樹体内に吸収されれば、最低2年以上効果が持続することが認められた。
6. 7751剤とダイジストン粒剤を併用して使用すると、効果がより高まることが認められた。
7. 予防効果の認められたテラキュアP、7751、PC-3203、ランネート剤の治療効果は

あまり期待できない。しかし、使い方によっては効果が望めるので、この防除のポイントになる被害の早期発見、とくに初期段階における診断方法の確立が必要である。

8. 樹体内における薬剤の吸収移行は、効果の認められる薬剤ほど移行性に優れ、効果の低い薬剤は劣った。

9. 樹幹注入剤の注入処理技術について検討したところ、次の事がわかった。① 注入孔にささくれを作らないようにし、挿入後は必ず空気抜きを行う。② 1日経過しても吸収されないものは別の部位に打ち直す。③ 処理時期はマツノマダラカミキリが発生する3カ月前(岐阜県の場合は8月上旬)までに行う。④ 注入孔は直径9mm、深さ5cmが適当である。⑤ 吸収効率の悪い薬剤や吸収の悪い松に対しては、圧力注入法による処理が効果的である。⑥ 注入孔数を少なくするため大型容器(デカボトル、医療用点滴器具)による処理も可能である。

10. 注入孔はそのまま放置しても別に問題ない。

引用文献

- (1) 藤下章男：静岡県におけるマツクイムシの防除試験について。農薬研究23(3), 1~4, 1977.
- (2) ————：樹幹注入法によるマツ材線虫病防除。静岡林試研報13, 23~34, 1985.
- (3) 萩原 進：マツノザイセンチュウ防除試験。昭和56年度林薬協報告書, 19~25, 1982.
- (4) 古城元夫：液剤散布によるマツノマダラカミキリ防除試験。昭和50年度農林水産航空事業新分野開発。受託試験報告書, 2~46, 1975.
- (5) 峰尾一彦・紺谷修治・田中 潔：薬剤の樹幹注入および土壌施用によるマツノ材線虫防除試験。90回日林論, 369~370, 1979.
- (6) 松浦邦昭：マツノザイセンチュウの防除薬剤スクリーニング試験。85回日林講, 256~258, 1974.
- (7) ————・藤下章男・岸 洋一：薬剤によるマツ材線虫の防除に関する研究(1)。数種薬剤の生立木に対する樹幹注入施用効果。86回日林講, 309~310, 1975.
- (8) ————・川崎俊郎・小林享夫・陣野好之・真宮靖治・田村弘忠・佐々木克彦：マツノザイセンチュウ防除薬剤の樹幹注入試験(I)。クロマツ生立木に対する防除薬剤の施用効果。87回日林論, 265~266, 1976.
- (9) ————：マツ材線虫病防除用浸透性薬剤の開発。林業試験場場報220, 9~12, 1982.
- (10) ————：浸透性薬剤の立木注入によるマツ材線虫病罹病木の治療(I)。6種の浸透性殺虫剤の治療効果。日林誌66(1), 1~9, 1984.
- (11) 中川茂子：樹幹注入剤によりマツ材に現れる異常について。96回日林論, 471~472, 1985.
- (12) 野平照雄・小川 知：マツノザイセンチュウ防除試験。59年度林薬協報告書, 221~230, 1985.
- (13) 小河誠司：マツノザイセンチュウ防除試験。55年度林薬協報告書, 264~267, 1981.
- (14) ————・蓮尾久光：マツノザイセンチュウ防除試験。58年度林薬協報告書, 33~36, 1984.
- (15) 小田久五：松くい虫の加害対象木とその判定について。森林防疫ニュース189, 263~266, 1967.
- (16) 周藤靖雄：薬剤の樹幹注入および土壌処理によるマツ材線虫病防除試験。島根林試研報31, 55~62, 1981.
- (17) 林野庁：薬剤の単木処理技術に関する研究。大型プロ研究成果2, 63~83, 1984.
- (18) 竹下 努：マツノザイセンチュウ防除試験。55年度林薬協報告書, 268~271, 1981.
- (19) 徳本 康・阿部明士・国分義彦：液剤散布によるマツノマダラカミキリ防除試験。昭和49年度農林水産航空事業新分野開発。受託試験成績書, 1~25, 1975.
- (20) 山内正敏・萩原幸弘・梅沢 清：液剤散布によるマツノマダラカミキリ防除試験。49年度農林水産航空事業新分野開発。受託試験成績書, 27~72, 1975.