

庄内空港緩衝緑地に植栽されたクロマツの生育状況及び土壌環境について

中村 路¹・中島 勇喜¹・柳原 敦¹・藤原 滉一郎¹The growth and soil condition of the Japanese black pine seedling
that was planted in the Shonai airport green buffer zone

Michi Nakamura, Yuhki Nakashima, Atsushi Yanagihara, Kouichirou Fujiwara

Abstract: In this paper, the distribution of root systems, the growth and the soil condition were investigated, about 15 Japanese black pines that were planted to the Shonai airport green buffer zone and the nearby windbreak. As a result, the following results were obtained. 1) The relation between the tree height and the root system quantity was straight line with both logarithms. 2) It turned out that phase rate of the object ground had no problem to the root system progress in the soil condition. 3) The growth proportion of the small seedling was higher than the large seedling. From these, we obtained such a conclusion that the small seedling is more advantageous than the large seedling in windbreak development.

1 はじめに

1991年10月、山形県庄内砂丘地（酒田市浜中）に庄内空港が開港した。空港建設にともない、庄内砂丘に広がる既存の海岸防風林33haが伐採された。このため、周辺農業に風害・飛砂害の発生が懸念され、その防止のため空港周辺に防風機能を期待する林帯の造成が必要となった。また、この林帯は防風機能と同時にレクリエーション・景観的機能が合わせて期待されたため、緩衝緑地として造成された。

従来、砂丘地での防風林造成では、一般的に樹齢2年生もしくは3年生のクロマツの小苗による植栽が行われてきた。しかし、庄内空港周辺に造成された緩衝緑地では、上記のように防風林として、早急な機能の発揮を求められた。また同時に、緩衝緑地内にはサイクリングコースやオートキャンプ場などのレクリエーション施設が設備されているため景観的配慮が必要となった。これらのことから、植栽はクロマツの小苗ではなく樹高1.5~2.0m、樹齢6~7年のクロマツ幼齢木が用いられた。

緩衝緑地は1995年時点で、全国に29ヶ所ある。そのうち庄内空港緩衝緑地のように海岸に存在するのは、鹿島、坂出、和歌山、福井などの例がある。このように海岸において、埋め立てが行われたり、砂丘地が開発される例は少なくない。また、砂丘地において、従来行われてきた造林方法ではなく、クロマツ大苗で造成された林帯の生育経過等についての報告は少ない(5)。これらのことから、林帯の土壌環境、あるいは植栽樹の樹高や根系の発達状況等について調査し、検討することは今後の林帯造成に重要な技術的情報をもたらすものと考えられる。

しかし、根系調査を行うにあたっては制約があり、データー数に制限が加わらざるを得ないのが実状である。例えば増田ら(13)は、坂出緩衝緑地に植栽されたクスノキについての根系の調査結果を報告しているが、調査本数は4本にとどまっている。保安林においては土砂の採掘は禁止されており、根系に関するデータの入手はこのように極めて困難である。

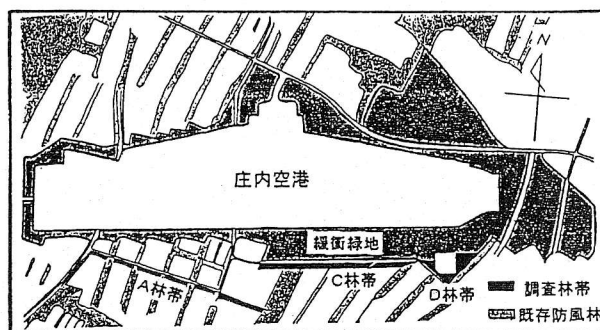
本調査では、山形県の許可を得て、保安林に指定されている15本について調査を行うことができた。

2 調査地および調査方法

2.1 調査地および調査木

庄内空港が建設された山形県庄内砂丘地は、冬期に最大瞬間風速20m/sを越える強い北西季節風が吹くために、海岸防風林が発達した地域である。この砂丘地には樹高15mほどのクロマツ防風林が、ほぼ海岸線と平行に帯状に15列ほど存在し、林帯間は畑地として利用されている。空港建設にともない、これら帯状防風林帯の12列、33haが1988年から1990年にかけて伐採された。

庄内空港および、周辺緩衝緑地の平面図を第1図に示す。



第1図 庄内空港および周辺平面図

調査は、空港周辺に造成された 3 林帯およびそれらと比較するために、自然砂地に植栽されている 2 防風林で行った。3 林帯には、砂丘地を切土し、その上に盛土を施した箇所と切土地盤に直接クロマツを植栽した箇所がある。A 林帯は、西側から東側にむけて a から f の 6 ブロックに別れており、各ブロックともに西側には調査林帯と直行する壮齢のクロマツ林が存在する。この A 林帯には盛土が施されている。C、D 林帯は砂丘の頂上に位置し、A 林帯よりも標高が高い。両林帯ともにそれぞれ切土地と盛土地がある。切土地には 0.5m の、盛土地には 1.5m のクロマツ苗が植栽されている。A、C、D 調査林帯の造成概況について第 1 表に示す。

調査は 1995 年 10 月に行った。調査木は A 林帯で 6 本、C 林帯で 6 本、D 林帯で 3 本選び、計 15 本のクロマツについて調査した。

第 1 表 調査地林帯の造成概況

林帯名 面積	植栽年	①植栽時樹高 ②植栽本数および密度 ③植栽間隔	備考
A 10,920m ²	1989年3月 および 1990年3月	① H=1.5m ② 4,875本, 4,440本/ha ③ 1.5×1.5m	盛土 二脚鳥居支柱
C 18,800m ²	1991年3月	盛土部 ① H=1.5m ② 1,219本 2,500本/ha ③ 2.0×2.0 切土部 H=0.5m*フタ苗 6,097本 4,440本/ha 1.5×1.5m	盛土部 二脚鳥居支柱
D 7,790m ²	1991年3月	① H=1.5m ② 1,776本 2,500本/ha ③ 2.0×2.0 H=0.5m*フタ苗 303本 4,400本/ha 1.5×1.5m	切土部 竹支柱

2.2 調査方法

調査は、盛土地と切土地の調査木と土壤環境について比較するため、以下について行った。その方法は、①人工的な造成地の土壤環境（土壤環境）、②地上の成長状態（地上部）、③地下の根系状況（地下部）、の 3 項目に大別される。

①の土壤環境では、まず調査木根元から北側に 50cm 離れた位置に幅 1m、深さ 80cm の土壤断面を設置した。この土壤断面の、地表 5cm の深さから 5cm 深さごとに山中式土壤硬度計による硬度を各深さで 6 回測り、硬度の最低値と最高値を切り捨て、4 回の平均値をその場所における土壤硬度とした。土壤の貫入試験は長谷川式土壤貫入計により、各調査木ごとの 50~90cm 離れた位置で行った。この貫入試験における落錐の落下高さは 50cm とした。また、100ml の採土円筒を用いて深さ 10~20cm ごとに土壤を採取し、土壤三相分析を行い、採取した土壤の粒径を調べた。調査木の地下根系状態と土壤環境を知るため、土壤断面を調査木より 50cm 離して設置

したのは、増田等（3）の調査方法を参考にし、調査孔の調査木への影響を避けるためである。

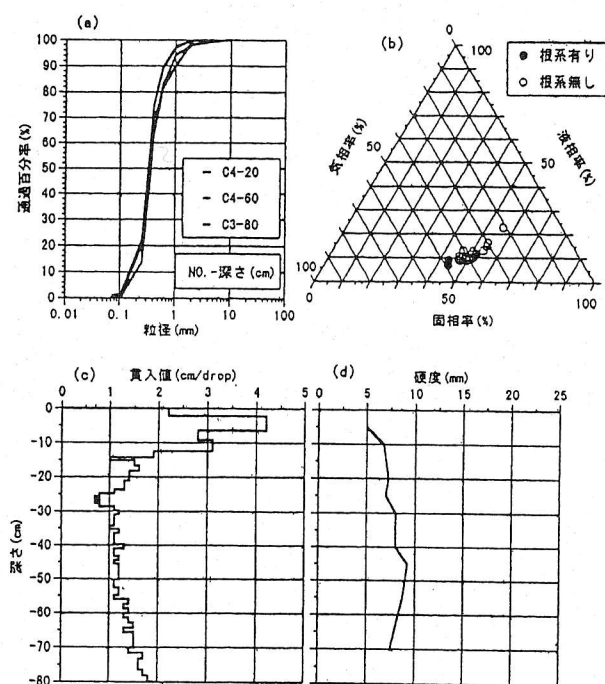
②の地上部では、樹高、胸高直径、樹冠幅（東西南北の 4 方向）、枝下高、節間長を測定した。

③の地下部では、上記の土壤断面に、20cm×20cm メッシュの格子枠をあて、その中に出現した根の本数を数え、1mm 以上の根の直径をノギスで測定した。

3 結果

3.1 土壤環境

緩衝緑地内の調査地は、砂丘を切り開いた切土土壤と、砂丘土の上に山土の客土を行った盛土土壤からなっている。ここでは、両者の土壤環境についての分析結果を示す。切土土壤についての結果を第 2 図に示す。

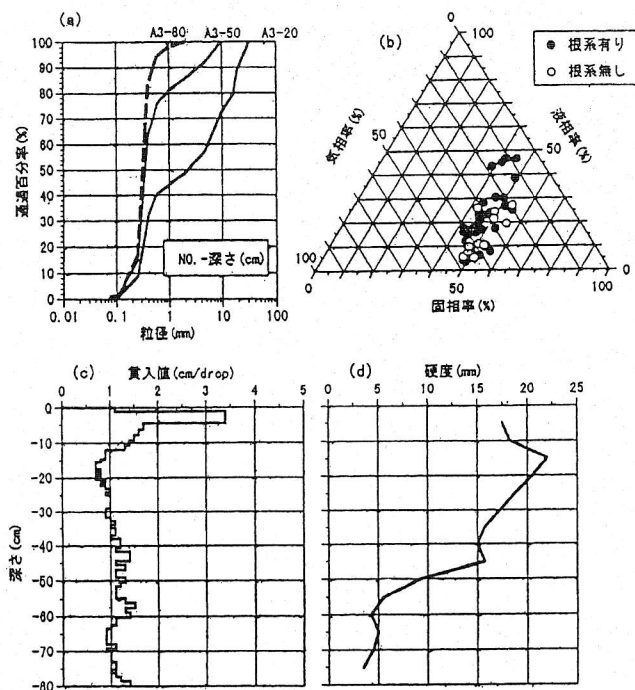


第 2 図 切土土壤の環境

(a)採取土壤の粒径 (b)土壤三相
(c)土壤の貫入値 (d)土壤硬度

第 2 図の (a) において、切土土壤の粒径加積曲線は狭い範囲に分布し、粒径組成は 0.1~1mm の間 が 90% を占めた。深さ、場所による違いはほとんどみられなかった。土壤三相 (b) は、固相率 40~55%、液相率 4~22%、気相率 21~47% の範囲にあり、一般的に気相率が高く、液相率の低い砂丘地土壤にプロットされた。貫入値 (c) は、深さ 25~30cm の間に 1cm/drop 以下の比較的硬い個所が見られたが、それ以外は 1cm/drop 以上の値を示し、土壤硬度 (d) では全ての深さで 10mm 以下の値が続く、柔らかい土壤であることを示した。

盛土土壤についての結果を第 3 図に示す。



第3図 盛土土壌の環境

(a)採取土壌の粒径 (b)土壌三相
(c)土壌の貫入値 (d)土壌硬度

第3図の(a)において深さの浅い位置で、土壌の粒径加積曲線の分布範囲は0.1~10mmの広い範囲にわたっている。また深さ80cmでの粒径加積曲線が切土土壌とはほぼ同じであり、砂丘土壌が出現していることがわかる。土壌三相(b)は、固相率40~55%、液相率21~46%、気相率8~42%の範囲にあり、この土壌三相の性質は、いわゆる洪積土壌にあたる。貫入値(c)は、1.0cm/drop未満の小さな値を示す硬い土壌がみられた箇所があった。その

ような土壌断面の山中式土壌硬度計による土壌硬度(d)は、20mm以上の大きな値を示し、硬い箇所であることがわかる。

3.2 地上部について

地上部の形質を、第2表に示す。盛土に樹高がおよそ1.5mの大苗木で植栽された調査木(以下大苗木とする)は、樹高3.73~6.68m、胸高直径5.5~12.0cmであった。また、切土に樹高がおよそ0.5mの小苗木で植栽された調査木(以下小苗木とする)は、樹高2.20~3.70m、胸高直径2.5~6.0cmとなっている。

大苗木中のA林帯調査木と、小苗木との間には差違がみられる。植栽年が同じであるC,D林帯においては、植栽時には、大苗木と、小苗木との間には1mほどの樹高差があった。しかし、第2表に見られるように調査時点ではその差が縮まっていることが観察された。

調査木の形状比H/DBHは最高値88、最低値54となっている。防風林の場合、形状比は60以下が望ましい(5)とされるが、形状比60以下の調査木は15本中、大苗木で6本、小苗木で4本であった。また、その平均値は前者で60、後方で65と小苗木の方が大きくなっている。

次に耐風性を検討するため玉手らの報告を参考に次式(4)を用いた。模式図を、第4図に示す。

$$k = Z_o L / DBH$$

Z_o : 地表から風心までの距離

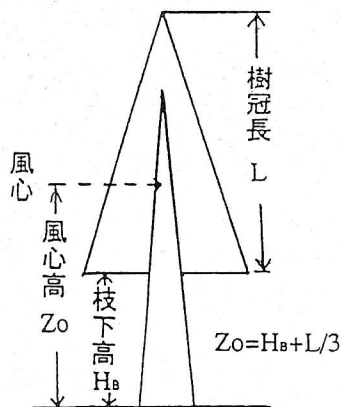
L : 樹冠の縦の長さ

DBH : 胸高直径

その結果、 k 値は大苗木で大きく、特にA林帯ではすべてが100以上の値を示した。また、小苗木は70~80台の小さな値となった。

第2表 調査木の概況

林帯	NO.	樹高	枝下高	胸高直径	樹冠幅(m)				形状比		出現根系量		植栽年	植栽時	
		H (m)	H _B (m)	D _{BH} (cm)	N	S	E	W	(H/DBH)	(K)	直径1mm以上 の根の本数	断面積合計 (cm ²)		樹高 (m)	土壌
A	A1	5.97	0.88	10.5	2.1	1.8	1.7	1.3	56.9	124.9	54	9.83	1990	1.58	盛土
	A2	5.38	1.43	7.3	1.2	1.1	1.2	0.9	73.7	148.6	39	3.12	1990	1.43	盛土
	A3	6.44	1.45	12.0	0.7	2.1	1.8	1.3	53.7	129.4	63	23.13	1989	2.20	盛土
	A4	4.85	1.30	8.0	1.4	1.1	1.3	0.9	60.6	110.1	41	4.63	1990	1.81	盛土
	A5	6.68	1.70	12.0	2.0	1.4	1.3	0.9	55.7	139.4	59	7.03	1989	1.70	盛土
	A6	6.32	1.52	11.0	1.4	1.8	1.7	1.2	57.5	136.1	46	12.48	1989	1.52	盛土
C	C1	3.70	1.11	5.0	1.4	1.2	1.1	1.0	74.0	102.2	22	2.27	1991	0.63	切土
	C2	3.79	0.49	7.0	1.5	1.1	1.3	1.2	54.1	75.0	36	4.11	"	1.73	盛土
	C3	3.44	0.63	6.0	0.8	1.1	1.2	1.2	57.3	73.4	19	2.51	"	0.63	切土
	C4	3.02	0.23	4.5	1.0	0.9	0.7	0.7	67.1	71.9	12	0.95	"	0.62	切土
	C5	3.49	0.26	6.0	1.3	0.9	0.9	0.9	58.2	72.0	20	2.32	"	0.57	切土
	C6	2.20	0.59	2.5	0.7	0.6	0.6	0.5	88.0	72.6	5	0.39	"	0.59	切土
D	D1	3.73	0.55	5.5	1.2	1.2	1.4	1.4	67.8	93.1	13	1.73	1991	1.00	盛土
	D2	3.37	0.85	5.0	0.8	0.8	0.8	0.9	67.4	85.2	12	2.09	"	0.43	切土
	D3	4.00	0.67	7.0	1.1	1.4	1.3	1.2	57.1	84.7	27	1.37	"	1.35	盛土

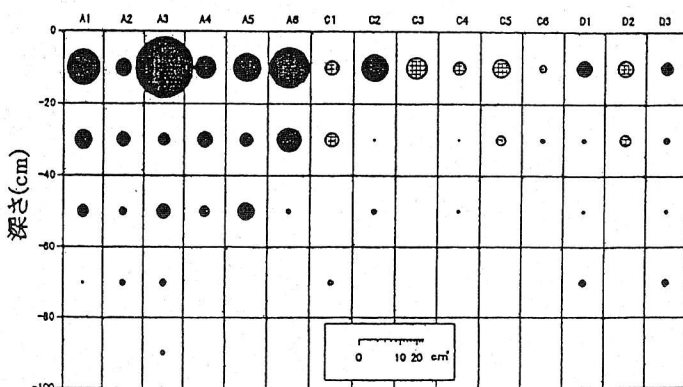


第4図 樹木の風心高の模式図

3.3 地下部について

クロマツは深根性であり、側根は表層部に集中して分布するという特徴がある(1)とされている。調査木ごとに設置した土壌断面に出現した地下部根系を、地表面から20cm深さごとに根系の断面積で示すと第5図のようになる。この第5図に見られるように、本調査地においても、側根は地表面から20cmまでに根系の大部分が出現していた。

根系量はその出現断面積量において、調査木15本中12本は大苗木のものが、小苗木よりも大きな値を示した。しかし、D林帯の3本については、小苗木の出現断面積が、大苗木より大であった。



第5図 調査木の土壌深さごとの根系量

● 大苗木 ⊙ 小苗木

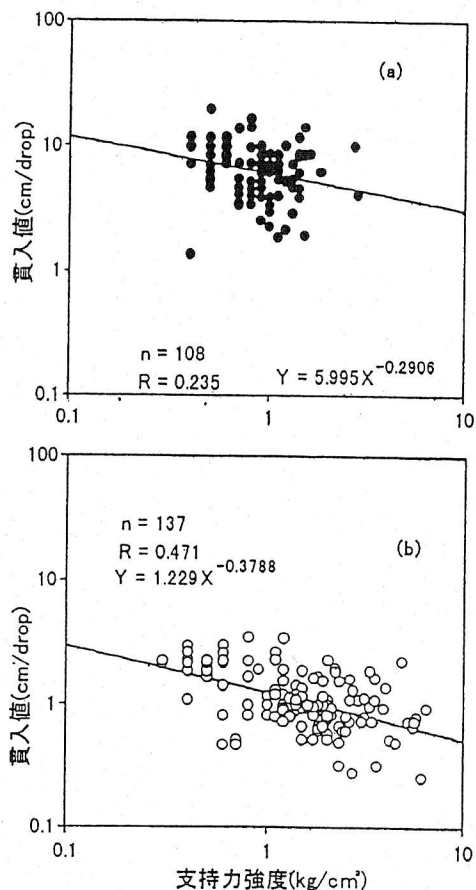
4 考察

4.1 土壌環境と地下部

盛土土壌において第3図(c)より、貫入値は1.0cm/drop以下と小さく硬度20mm以上を示す硬い土壌がみられたが、そのような箇所でも根系の侵入がみられた。増田等(3)によると貫入値1.0cm/dropが根系侵入の限界としていることから、

クロマツ根系は土壌の硬さに対し、侵入する力が強いと推察された。また第3図(b)において土壌三相分析における固相率の分布は、ほとんどの調査土壌で固相率が根系発達の境界といわれる(3)50~60%のより小さい範囲にある。同時に、土壌三相と根系侵入の有無を調べたところ明確な差はなく、根系侵入が十分にみられたため、クロマツの根系は比較的堅密な土壌にも侵入が可能であると考えられる。したがって本調査地の土壌の硬さは、クロマツ根系の侵入に問題はないことがわかった。

第6図は、山中式土壌硬度計と長谷川式土壌貫入計による測定値の関係を示したものである。この関係から増田等(3)の指摘する、両対数表示で直線となる相関関係が成立することが追認された。特に、切土土壌において、両計測値は、両対数値であれば0.1%レベルで有意の直線関係にある。



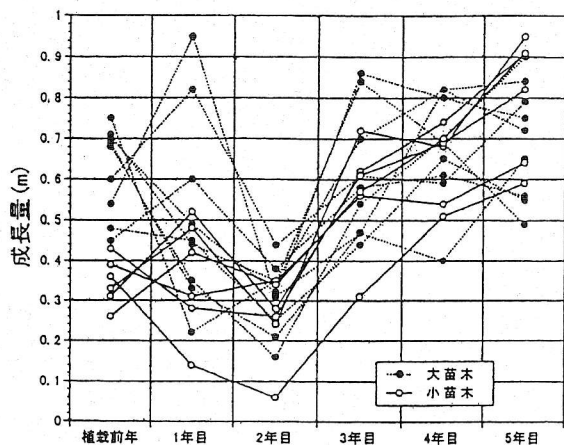
第6図 土壌支持力強度と土壌貫入値の関係

(a)盛土土壌 (b)切土土壌

支持力強度(kg/cm²)=100x/0.795(40-x)
x:土壌硬度

4.2 地上部

植栽時の条件が同一でない調査木の樹高成長を比較するため、樹高成長量を植栽前後の年間樹高成長量で比較すると第7図のようになる。



第7図 植栽後の樹高成長量

第7図より、調査木の15本中9本に、植栽前年より植栽後1年目の成長量が減少している。また植栽後2年目には、15本中13本に樹高成長の衰えがみられた。これは移植のために切断された根系の回復が遅れ、2年目まで影響が出たものと考えられる。特に大苗木においてその減少幅が大きい傾向にあった。

緩衝緑地が防風林としての機能を早期に発揮するためには、樹高成長が旺盛であることが望ましい。同時に冬季に降雪があり季節風の強い当地では、防風林の耐雪、耐風性は必然である。そこで、まず、林木の耐雪性を表す形状比 H/DBH 値を考える。

1993年調査時の同地クロマツ林の形状比 H/DBH 値は、大苗木のうちA林帯の1989年植栽木が68、1990年植栽木が78、C林帯の植栽木が96、同じくD林帯が92という結果が得られている(5)。また、小苗木は、C林帯のもので103、D林帯のもので99となっている(3)。今回調査したクロマツの形状比 H/DBH 値は、それより小さくなっている。時間の経過と共に耐雪性が増していることがわかる。しかし、岐阜県がまとめた56豪雪の調査資料(2)によると、冠雪害に安全な形状比の限界を、樹高8mのスギについて60と定めている。このことを参考にすると、当調査地はクロマツであり、その樹高は高いものでも7m以下ではあるものの、形状比が大きく冠雪害の危険性を有していると判断される。

耐風性を表す k 値は3.2で述べたように、大苗木で大きく、小苗木では小さな値を示している。 k 値は前述の形状比と同様に、大きいものが風に対する抵抗性が弱いとされている(4)。このことから大苗木よりも、小苗木の方が風害に対する危険性が少ないといえる。

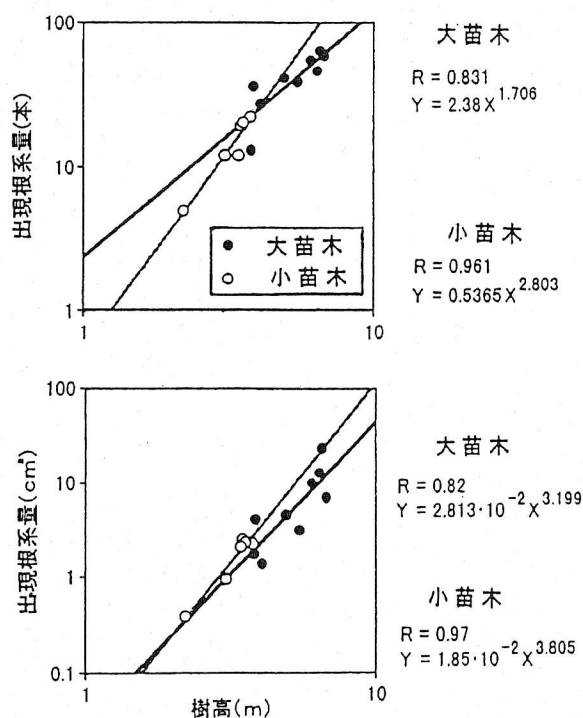
ここで、耐風性が小さいとされる数値は、キティ台風によるアカマツ・カラマツ被害木調査の報告書(4)によると、被害木の k 値は370ほどの大きさである。またこの時の無被害木は336となっている。今回行った調査結果は、大苗木のA林帯において、比較的大きな値を示したものの、最高値で148

であることから、当地の調査木の地上形状は現況において強風に対して被害を受ける危険性の少ない樹形であると考えられる。

また盛土調査木のうち、全ての調査木が100を超えたA林帯の形状的特徴を考えると、他の調査木に比べ枝下高が高いことが指摘される。これはA林帯の植栽密度が高いために下枝が枯れ上がってしまい、枝下高が高くなったものと判断され、枝下高が高いことで風心が高くなり、大きな値を示す結果となったと考えられる。

4.3 地上部と地下部の関係

地上部と地下部の関係についてしばしば T/R 率が用いられる。しかし、今回行った調査では一方向の土壌断面に出現した根系量を測定するものなので、 T/R 率についての検討はできない。そこで、地上部については樹高を、地下部については調査断面に出現した根系量を対象とし、その関係を検討したのが第8図である。



第8図 樹高と出現根系量の関係

樹高に対し、地下根系量は、出現根系本数、断面積合計の2項目が考えられる。樹高 X に対し、根系量2項目を Y として両対数の回帰式を求めた。その結果、大苗木、小苗木ともに高い相関関係が認められた。

これら調査木の樹高の範囲は、大苗木と小苗木でおよそ2分されている。よって、得られた直線回帰式の係数の有意差検定を行い、直線が併合されるかどうかについて検討した。その結果、第8図中の

Y を出現根基本数とした場合

$$t = 13.44 > t(11, 0.001) = 4.437$$

Y を出現根系断面積量とした場合

$$t = 3.609 > t(11, 0.05) = 2.201$$

が得られ、出現根系量の2項目ともに、大苗木と小苗木の回帰式間に有意差があることが認められた。このことより回帰式は併合されず、それぞれ独立した回帰直線となることがわかった。

得られた式のべき乗数は、いずれも2以上の数値となっている。このことから、根系量の増加割合は、樹高の増加割合に対し指数関数的に増加する傾向にあることが認められた。また、2つのグラフから小苗木は、根系量の増加が大苗木と比較すると、より大きいことが明らかとなった。

以上のことから、小苗木は、大苗木と比較して、根系発達が良いといえる。また上記4.2より、小苗木のk値が小さいことから今後防風林として成長するにあたって、大苗木よりも、小苗木の方が有利であるとの結論を得た。

5 まとめ

庄内空港緩衝緑地と周辺防風林内に植栽されているクロマツ15本について地上形状、地下根系分布、土壤環境を調査した。その結果以下のことが明らかとなった。

①土壤環境において、調査地の固相率は根系発達に問題のないことがわかった。貫入値や土壤硬度は盛土において、かなり硬い値を示し、特に貫入値が1.0cm/dropという値もみられた。しかし、そのような場所にも根系の侵入が認められ、クロマツの根系の侵入強さは土壤の硬さに対して強いことがわかった。

②地上形状について、調査木は植栽直後の樹高成長に衰えがあったが、植栽から6年以上たった現在は順調に成長している。

③その成長は、小苗木が樹高に対する成長割合が大苗木より大きく、したがって、小苗木の成長がよいと考えられた。

④耐風性を表すk値は、大苗木のA林帯調査木に値の大きなものが集中し、他の調査木に比べ相対的に風による被害を受けやすい数値となった。しかし、その値は現状では、耐風性に関し問題となる数値ではないことが判明した。

⑤地上部と地下根系の関係について、両対数での直線関係で高い相関関係が得られた。そのグラフから、大苗木と小苗木を比較すると、後者の方が根系量の増加割合が大きいことが分かった。

以上の①～⑤より、大苗木と、小苗木を比較したところ、後者の方が樹高成長が良く、また、そのk値も小さく、根系発達が良好であった。これらのことから、大苗木よりも、小苗木の方が、防風林造成には有利と結論づけた。

6 おわりに

今回の調査後、同緩衝緑地内の調査林帯以外の林

帯において植栽木の根返り、傾幹、幹折れなどの冠雪害と思われる被害木が多発した箇所が生じた。この林帯は今回の調査木よりも大きい2.5m苗で盛土に植栽された林帯であった。このことから、盛土に大きな苗を使用した植栽木は、気象被害に弱いと推察された。

最後になったが、根系調査について保安林にもかかわらず、掘削を許可していただいた山形県空港港湾課に記してお礼申し上げる。

参考文献

- 1) 刈住 昇：樹木根系図説、誠文堂新光社、東京（1979）
- 2) 豪雪地帯林業技術開発協会編：雪に強い森林の育て方、日本林業調査会（1988）
- 3) 増田 拓郎・守屋 均・梶田 嘉宣：坂出緩衝緑地におけるクスノキの生育と土壤条件（1）－土壤条件と根系分布－、緑化工学会誌、16（3）11-18（1991）
- 4) 玉手 三葉寿・高桑東作：キティ台風による森林の風害、林業試験集報、59 61-87（1950）
- 5) 山形県・山形大学農学部：庄内空港建設地周辺における防風、飛砂防止及び飛塩防止のための現状調査報告書（1989）
- 6) 山形県・山形県森林組合連合会：「庄内空港防風林帯」状況調査報告（1993）

〔受付 2001年5月11日、受理 2002年4月10日〕