

防潮林の津波に対する効果と限界

首 藤 伸 夫*

1. はじめに

防潮林の津波に対する効果として

- (i) 船などの漂流物を阻止し、背後の家屋を保護する,
- (ii) 流れに対する抵抗として働き、流速や浸水水位を軽減する,
- (iii) 津波にさらわれた人のすがりつく対象となる,
- (iv) 砂丘を育成し、その高い地形が津波に対する自然の障壁となる,

などが古くから指摘されている。

一方、巨大津波に対しては防潮林は無力で、切断された樹木が破壊力に変るため危険だとの反論もある。

賛否両論共、過去の事例にもとづいて居り、単純に片方を良しとする訳にはいかない。本論文では、こうした議論に定量的な根拠を与える第一段階として、事例を収集し、防潮林効果の判定、および必要とされる能力を有する防潮林とはどのようなものであるか、を明らかにすることを試みる。

収集した事例は、明治29年三陸大津波¹⁾、昭和8年三陸大津波^{2)~5)}、昭和21年南海地震津波^{6)~7)}、昭和35年チリ津波^{8)~12)}、昭和58年日本海中部地震津波^{13)~15)}、からえられたもので、43地点に対するものである。

2. 対象防潮林の特性

図-1 に防潮林幅、すなわち汀線に直交する方向にはかった距離の分布を示す。30 m 以下のものがきわめて多く、まれには200 mをこえるものもあった。同一防潮林でも場所により幅の違う場合、たとえば20 m~50 mと記述された時には、20~30 mに1/3、30~40 mに1/3、40~50 mに1/3の度数分布とした。中央値は23 mであった。

図-2 は樹木直径をしめす。高さの小さい少数例のぞき、胸高径である。数値に幅のある場合、上記の処置にならった。10 cm 前後が多く、1 m 以上は1例のみであった。中央値は13 cmである。

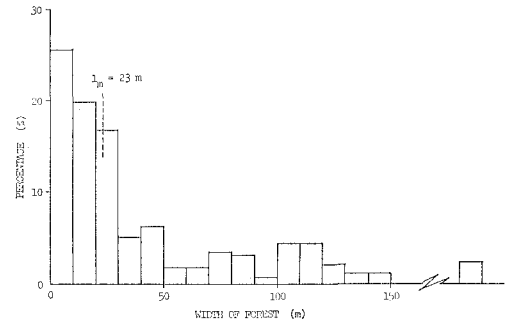


図-1 対象防潮林の幅

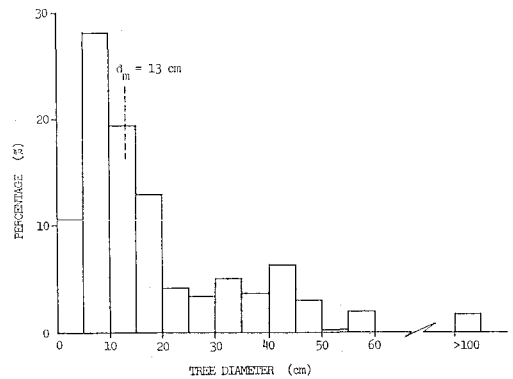


図-2 対象防潮林内主樹木の胸高径

防潮林の効果は幅の大小のみでなく、存在する植生の状態にも依存する。どのような寸法の主樹木がどの位の間隔で生えているか、下生えの有無やその密度が関係する。このうち下生えの効果判定はきわめて難しく、密生した下生えの有無の区別しかとりあげられなかった。

主樹木の効果は、群杭の効果のような表現が可能であろう。第6節において、この効果を防潮林の厚味として定義する。汀線沿いに単位長をもち、防潮林幅を他の一辺とする長方形内に存在する主樹木の本数 n と胸高径 d との積であたえられる量である。図-3 にこの量の分布をしめす。中央値は120本・cmである。

以上を総合すると、対象とした防潮林の平均的な姿は、

* 正会員 工博 東北大学教授 工学部土木工学科

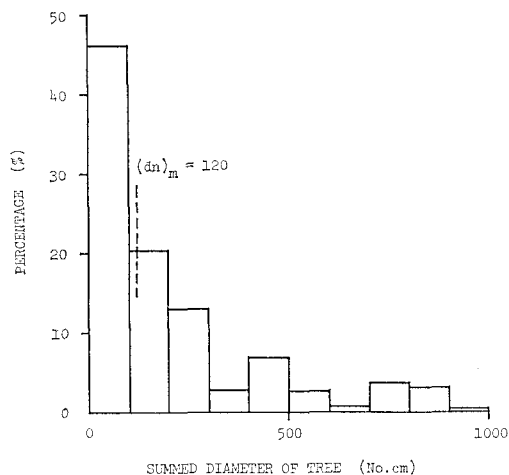


図-3 対象防潮林の厚味

幅 23 m で、直径 13 cm のものが 23 m^2 の面積中に $120 \div 13 = 9.2$ 本という密度で存在するものとなる。主樹木の間隔が汀線沿いにも直交方向にも等間隔 a であるとする、 $23a \text{ m}^2$ 中に $(23/a)$ 本の立木数で、これが上記立木密度と同じであるから、 $a = 1.6 \text{ m}$ となる。すなわち、胸高径 13 cm 黒松あるいは赤松が 1.6 m 間隔で生え、幅が 23 m というのが平均的な姿である。

3. 樹齢・樹高と胸高径の関係

樹木直径は防潮林の水流への抵抗特性を表現するための重要な因子であるが、これが与えられていない場合もある。その代りに樹高や樹令が記されている時、これらから径を推定することとした。もちろん、地域、土質、肥沃さ、樹種などでも変化しうる。対象が海岸域で砂質が多いという共通の性質も期待できる。いずれにせよ、土質土壌についての記述はきわめて少なく、こうした条件の差を明確にすることは不可能であった。こうした条件の差を全く無視し、平均的な曲線を目分量で決定した。

黒松が圧倒的に多く、赤松は 7 例、ニセアカシヤが 1 例あった。

図-4, 5 が結果である。前節で求めた胸高径 13 cm は、樹令 25 年、樹高 10.5 m 程度に相当することとなる。

4. 樹木の屈伏限界

切損、倒伏、根返り、樹皮剥脱、枯死などの樹木被害のうち、切損など物理的被害の限界をもとめよう。

樹木に作用する津波波力は、津波形態によって大きく異なる。前面の切り立った津波によっては衝撃的な力が短時間に働く。一般の津波では、加速度項と速度項の両

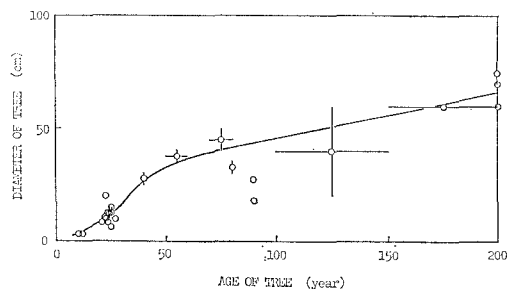


図-4 樹齢と樹木直径の関係

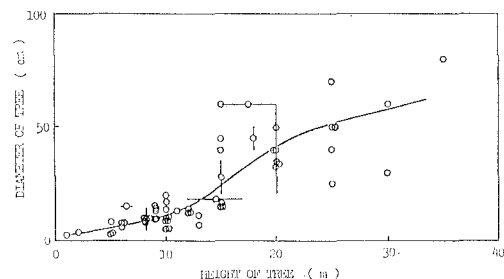


図-5 樹高と樹木直径の関係

方が働くが、津波のピーク時には、進行波的であれば速度項の方が大きいであろう。収集された事例のうち重複波的であったと考えられるのは 1 例のみであった。

実際に作用したであろう外力を数値計算などから推定するのは手間もかかり精度の点からも問題が残る。

さらに問題を複雑にする要素として、漂流物の存在がある。漂流物の衝突は流体力にくらべ格段に大きな力を生ずるのである。これを推定するのは現段階では不可能に近い。

当面の目的は過去の事例から一応の判断資料をうることにある。津波形態や漂流物の存在によって、実際に作用した津波による力が大きく左右されることは念頭におきながらも、最大浸水深が外力の代表値であると考えることとした。

すなわち、防潮林前縁あるいは防潮林内部における、地盤上の浸水深を作用外力の代表値として選ぶこととした。津波痕跡値から地盤高を差し引かねばならないが、防潮林地盤高が記述してなく、地図からも推定できない場合が数例あったが、痕跡高から 1 m を差し引いて浸水高とみなすこととした。

浸水深や樹木直径が幅のある数字であたえられている場合には、次のようにとりあつかう。被害の生じている場合には、小さな浸水深と大きな直径の組合せとし、無被害ならば大きな浸水深と小さな直径の組合せとする。こうしてえられたのが図-6 である。

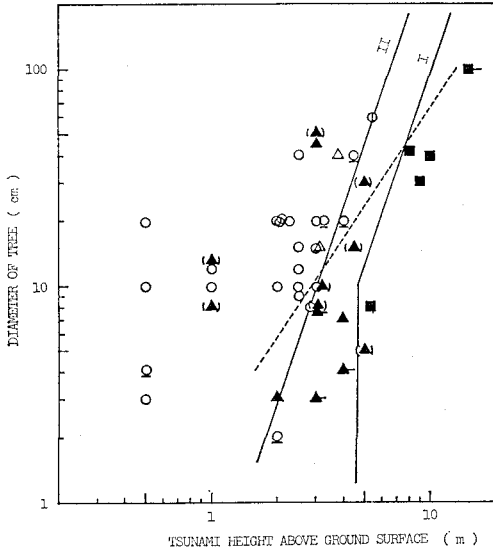


図-6 主樹木の被害。○: 無被害, ▲: 倒木, ■: 切損。下線は下生えが密生していること, 括弧は林縁部疎開部などに発生したこと, 横棒は津波がもっと大きかったこと, をしめす。①は重複波的な津波であった場合である。

図中の曲線 I は, 直径 d (cm), 津波浸水深 H (m) とにより,

$$\left. \begin{array}{l} d \leq 10 \text{ で } H = 4.65 \\ d \geq 10 \text{ で } d = 0.1H^3 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

であたえられ, 樹木切断の条件をあたえる。これより右側の条件では, 樹木は津波に対し全く無効果である。

曲線 II は,

$$d = 0.37H^3 \dots\dots\dots (2)$$

で, 悪条件でないかぎり切断も倒伏もされない。これより左側の領域では, 林縁部や疎開部で津波が集中し土壌が激しい洗掘を受けた場合のみ, 倒伏被害が生ずる。

両曲線にはさまれた領域では, 防潮林内部においても, 洗掘に起因する倒伏がみられる。

樹木の安定限界を力学的に議論した例は過去にも存在する。小山は広範囲な議論をおこなったが, 条件が複雑すぎ, 実用に便利なものとはなっていない¹⁶⁾。このなかで, 水が 20% の土砂をふくんで樹木にあたり, 曲げ剪断で折損する場合に対し, その条件を

$$d = VH/150 \dots\dots\dots (3)$$

とあたえたものがある。流速 V が $\sqrt{gH}$ であたえられると仮定すると, d は cm, H は m の単位で,

$$d = 2.09 \times 10^{-2} H^{3/2} \dots\dots\dots (4)$$

となり, 図-6 中の点線となる。経験的にえられた関係に近いものをあたえる。

式 (1) の条件は, 津波の流勢を減少しうるか否かにつ

いては何らの情報をもあたえないが, 漂流物の作用もふくめた津波力に耐えうる限界だと解釈できるから, 少なくとも漂流物阻止を期待できる樹木径をあたえるものとみなして良い。

5. 防潮林幅と防潮林効果

図-7 は防潮林幅の影響をみたものである。屋敷林や列状林で幅について言及されていないものは幅が 1 m であるものとして整理した。

a, b, c の三領域に大別される。

a 領域では主樹木が切損・倒伏の被害をうけることはない。幅が狭いため流勢緩和効果は望めないが, 漂流物阻止は期待できる。

b 領域は, $H = 4.65$ によって b-1, b-2 の副領域に分けられる。b-2 副領域では切損のため, 防潮林は全く無効果となる。b-1 副領域では倒伏が生ずるが, 場合によっては漂流物阻止を期待できることもある。ただし, 本来は b 領域では防潮林が効かない方が普通であって, 運のよい場合に効く事があると考えた方が良からう。

c 領域では防潮林による流勢緩和をも期待できる。下限は幅が約 20 m という所である。

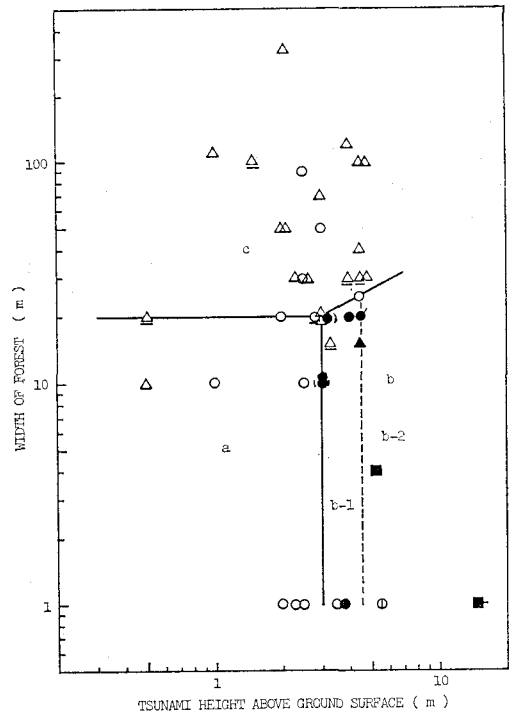


図-7 防潮林幅の効果。○: 主樹木に被害なく漂流物阻止, ■: 切損のため無効果, ●: 倒伏するものの漂流物阻止も可能, △: 流勢緩和, ▲: 流勢緩和不可能。斜棒は強力な漂流物力が集中したことをしめす。他の記号は図-6 と同じである。

6. 防潮林の厚味と防潮林効果

過去の事例の中味を詳細にみると、林帯内で表土も動いていない、樹木のまわりの土壌が20~30 cm 洗掘された、といった記述がある。こうした事実を反映できる表現方法を考えよう。

このためには、防潮林が流れに対して発揮する抵抗の大きさを見積もらねばならない。防潮林主樹木の抵抗は、(i) 1本あたりの形状抵抗を、(ii) 流れにそった方向に存在する樹木本数分だけ、集めることによって表現できよう。一本あたりの抵抗は、射影面積 dH と流速の自乗 $v^2 (\propto gH)$ との積であたえられる。流れ方向の平均本数は立木密度 ρ (本/ha) からとまる。幅 l の防潮林で、汀線沿いに単位長さをとった長方形内に存在する立木本数 n は

$$n = l \cdot \rho \times 10^{-4} \quad \dots\dots\dots (5)$$

となり、結局、防潮林内でのエネルギー損失は

$$dH v^2 n \propto dn H^2 \quad \dots\dots\dots (6)$$

と表現される主樹木の効果と、下生えの有無およびその密度とによって左右される。

このことから、防潮林効果、防潮林内および背後地の被害程度は、津波特性としての H 、防潮林の厚味 dn 、下生えの有無をパラメータとして分類できるであろうと考えられる。図-8 が結果である。

白丸は主樹木が健在で漂流物を阻止しえたもの、黒丸は倒木はあるものの漂流物阻止を期待できるもの、黒四角は切損被害のため無効果となるもの、をしめす。

白三角は林帯内に表土洗掘などの被害がない場合である。林帯内無被害ということは流速がかなり減速された事によるものであるから、背後地でも流勢緩和や浸水深

軽減といった効果があったものと判断してよい。

縦線の入った白三角は、林帯内被害については記述はないが、流勢が緩和された、防潮林内道路や疎開林分の背後にくらべ防潮林背後地の被害が軽かった、という記事のあった場合である。背後地被害の軽減度合は、田畑の洗掘・堆積の比較や、浸水域の拡がりの比較から述べられていることが多い。

黒三角は背後地への効果が認められたものの、林帯内での表土洗掘のような影響がみられたものである。

A, B, C, D の四領域に大別される。 H は m, dn は本・cm の単位である。

A 領域は主樹木に被害がなく漂流物阻止の効果はあるが、流勢緩和や浸水軽減の効果はない領域で

$$H \leq 3, \quad dn \leq 30 \quad \dots\dots\dots (7)$$

であたえられる。

B 領域は

$$\left. \begin{array}{l} dn \leq 30 \quad \text{で} \quad H \geq 3 \\ dn \geq 30 \quad \text{で} \quad dn \leq 30(H/3)^2 \end{array} \right\} \quad \dots\dots\dots (8)$$

できまる領域で、 $H=4.65$ の点線で B-1, B-2 の副領域に細分される。B-1 副領域では主樹木に倒伏が生ずるが条件によっては漂流物阻止も可能である。B-2 副領域では全く効果がない。B 領域では主樹木に被害が生ずるから、防潮林効果に大きな期待をしない方がよい。

C 領域は A, B 2 領域の上方にあり、上限境界が

$$\left. \begin{array}{l} H \leq 4 \quad \text{で} \quad dn = 100 \\ H \geq 4 \quad \text{で} \quad dn = 100(H/4)^3 \end{array} \right\} \quad \dots\dots\dots (9)$$

であたえられる。この領域では、下生えが密生しているならば流勢緩和効果を期待できる。さらに $H \leq 3$ をみたとす C-1 副領域では、林帯内での倒木や土壌洗掘も生じない。 $H \geq 3$ である C-2 副領域では林帯内に何等かの被害が発生しうるが、その被害は防潮林が完全に破壊されるような大規模なものではない。

式(9)の上に存在する D 領域では、下生えが疎であつても流勢緩和を期待できる。この領域は

$$\left. \begin{array}{l} dn \leq 300 \quad \text{で} \quad H = 3 \\ dn \geq 300 \quad \text{で} \quad dn = 300(H/3)^{2.5} \end{array} \right\} \quad \dots\dots\dots (10)$$

によって D-1, D-2 の副領域に分割される。D-1 副領域では、余程の事がない限り林帯内の被害は発生しない。もし被害が生ずるにしても、樹木が流体力に耐えかねて被災するのではなく、また樹木周辺に生ずる洗掘孔が大きくなるからでもない。樹木のあるなしにかかわらず、地形や土質などが悪条件下にあるために洗掘・浸食が生じ、樹木がその巻添えとなるという形で被害が発生する。D-2 副領域では林帯内表土洗掘のような被害が生ずる。それにもかかわらず、背後地では流勢や浸水深が軽減され、防潮林のない場合にくらべ被害が緩和される。

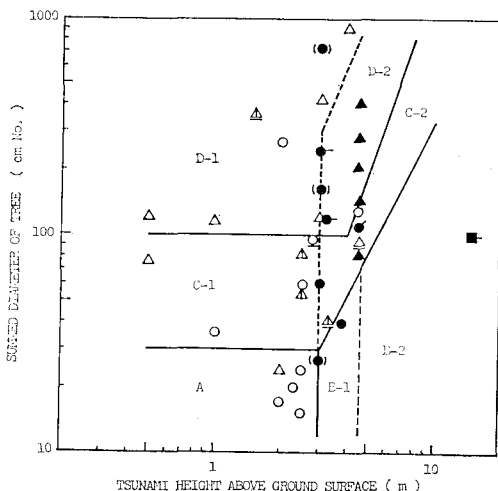


図-8 防潮林の厚味と効果および被害の関係。記号については本文および図-6, 7 の説明を参照の事。

7. 結 論

過去5個の津波に対する事例から防潮林の効果を判定できる図を作成した。これによって、防潮林の役割や限界が従来よりは明確になったとはいえ、流速減少量や浸水深減少量を数値としてあたえることはまだ出来ず、今後の課題として残されている。

謝辞：資料収集に際し、東北大学工学部卯花政孝氏の助力をえた。この研究の一部は文部省科学研究費（研究代表者 京大石原安雄教授）によっておこなわれた。

参 考 文 献

- 1) 伊木常誠：三陸地方津波実況取調報告，震災予防調査会報告第11号，pp. 5～34, 1986.
- 2) 農林省山林局：三陸地方防潮林造成調査報告書，140 p, 1934.
- 3) 地震研究所：津波被害及状況調査報告，地震研究所彙報別冊第1号，第2編，250 p, 1934.
- 4) 石川高見：昭和8年3月3日三陸沖強震及津波踏査報告，驗震時報第7巻第2号別刷，pp. 146～159, 1933.
- 5) 松尾春雄：三陸津浪調査報告，土木試験所報告第24号，112 p, 1933.
- 6) 四手井鋼英・渡辺隆司：昭和21年南海地震における和歌山県防潮林効果調査，林業試験集報，57，pp. 97～133, 1948.
- 7) 那須信治ほか：昭和21年12月21日南海大地震津波調査概報（和歌山県の部），地震研究所速報，第5号，pp. 98～131, 1947.
- 8) 武田進平：防潮林の効果に関する研究，東北の研究，第12巻第39号，東北開発研究会，1960.
- 9) 中野秀章ほか：岩手・宮城両県下防潮林のチリ地震津波時における実態・効果と今後のあり方，林業試験場研究報告，No. 140，pp. 1～88, 1962.
- 10) 和泉 健ほか：チリ地震津波における防潮林の効果に関する考察，宮城県立農業試験場臨時報告第5号，41 p, 1961.
- 11) チリ津波合同調査班：1960年5月24日チリ地震津波踏査速報，870 p, 1960.
- 12) 気象庁：昭和35年5月24日チリ地震津波調査報告，気象庁技術報告第8号，389 p, 1961.
- 13) 石川政幸ほか：日本海中部地震津波時の海岸防災林の効果と被害，治山，28，4，pp. 4～10, 1983.
- 14) 村井 宏：地震・津波と海岸防災林—日本海中部地震津波の被災事例—，林業技術 No. 501，pp. 15～18, 1983.
- 15) 宇多高明・首藤伸夫：防潮林の効果と被害，日本海中部地震震害報告書，土木学会（印刷中）.
- 16) 小山 節：防潮林経営の計画資料，防潮林経営研究録，林友会青森支部，pp. 96～143, 1948.