

海岸林の倒伏耐力評価式の高度化

1130052 川口誠史

高知工科大学 システム工学群 建築都市デザイン専攻

高知県幡多郡黒潮町入野松原地区沿岸における黒松林に対して、現況の林相状況（胸高直径、樹高、枝下高、地盤高）調査を行い、調査測線上近くにある黒松や雑木（15本）に対して、引き倒し試験を実施した。これらの調査と結果に基づき、黒松の倒伏限界モーメントを評価し、その倒伏限界モーメントや引抜耐力と地盤環境の関係性について検討を行った。倒伏限界モーメントについては従来の試験結果（今井・鈴木、2005）に従うことや、根部からの被砂層厚が引き抜き耐力に大きく関係していることを示し、海岸樹木倒伏耐力評価式の高度化に資する物理因子について検討を行った。

Key Words: 海岸林、倒伏限界モーメント、胸高直径

1. はじめに

2011年、東北地方太平洋沖地震では、地震による直接的な被害よりも地震に伴った巨大津波による被害が甚大であった。人的・物的被害はもちろん、防潮林・飛砂防止のために造成されていた海岸林も例外なく被害を受けた。岩手県陸前高田市の高田松原や宮城県石巻市長面のように海岸林がほとんど消失した場合もある。一方で、宮城県石巻市渡波地区では海岸林はほとんど無傷で残り、その背後の家屋には隆盛緩和による流失の低減効果や漂流物の捕捉など、一部地域に実際海岸林減災効果が確認された。このように、海岸林に被害が生じない場合では津波減災効果があるものの、精密にその効果や限界を評価する場合には、その倒伏耐力に関する既往研究として、例えば、今井・鈴木（2005）などがあるが、さらなる知見の蓄積が望まれている。

本研究では、以上の状況を鑑み、将来の発生が危惧されている南海地震による津波に対する高知県幡多郡黒潮町入野松原における海岸林を対象地域として、当該地域における海岸林の林相や地形に関する現地調査と実際の樹木に対して引き倒し試験を行い、倒伏耐力限界を検討するとともに、その評価に関わる物理因子を抽出することを目的とする。

2. 林相状況調査

2-1 調査地域の概要

調査地域は高知県幡多郡黒潮町入野松原地区沿岸であり、高知県の第1弾想定暫定推計から約20mの津波高が予想されている地点である。

その沿岸部には海岸林があり、背後に住宅地が展開しているため、海岸林の津波被害に伴う流出や流木による二次被害の危険性がある。

2-2 林相状況調査

高知県幡多郡黒潮町入野地区における黒松林において、岸沖方向に当該地区の代表的な地形特徴を有する3側線を選び、縦断測量を行った。

側線を含む幅1m範囲内に含まれる黒松の胸高直径、樹高、枝下高の測定を行った。



図2-1 林相状況

表2-1 林相状況

	樹木本数N(本)	平均胸高直径d(cm)	海岸林の厚みdn(cm)
Line1	46	9.0	414.6
Line2	59	12.3	430.7
Line3	21	13.2	276.3
Line4	24	19.4	386.3
Line5	21	14.6	131.5

表2-1は各Lineの樹木本数N、平均胸高直径d、海岸林の厚みdnを示している。

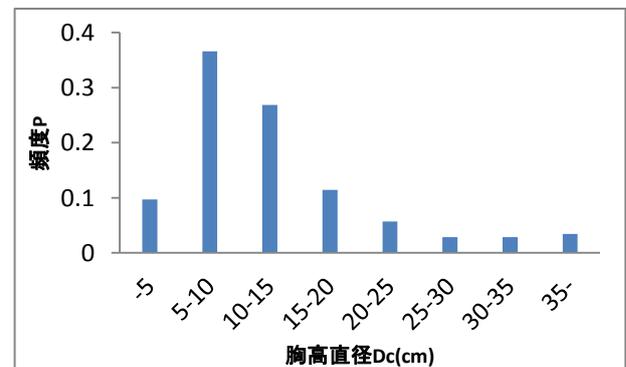


図2-2 胸高直径Dcと頻度P

2-3 林相状況結果

測定地域での黒松の胸高直径 D_c と頻度 P を図3に示す。(頻度 P とは、測定地域の全樹木本数に対する、ある直径区画における本数の割合を示す。) 図2-2から、5~15cm程度の胸高直径が非常に多く、全体の6割以上を占めていることが分かる。

3. 引き倒し試験

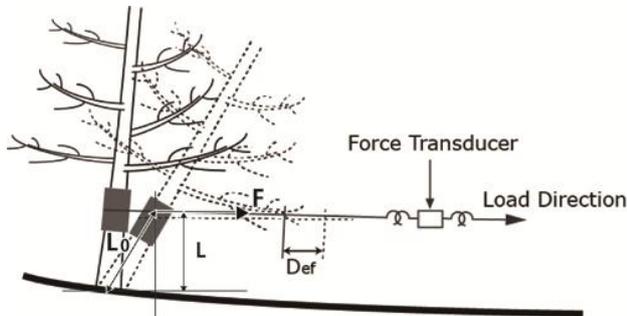


図3-1 引き倒し試験方法

対象樹木の地際から、図3-1の L_0 (1.2m)の高さの幹にワイヤーを取り付ける。その際、木に傷がついたりワイヤーが皮ズレしたりするのを防ぐために、対象木に樹木保護用ゴムマットと当て木を巻き付けた。重機による牽引で徐々に荷重をかけていき、引き倒し荷重を測定する。(その時、荷重をかけても、抵抗力が増えず、変位量が増加する状態を倒伏と判定する。)

測定の方法は、ビデオデータから図3-1に示す変位量(Def)、 L を測定し、倒伏モーメント M や引き抜き力 N など各諸量を求めた。

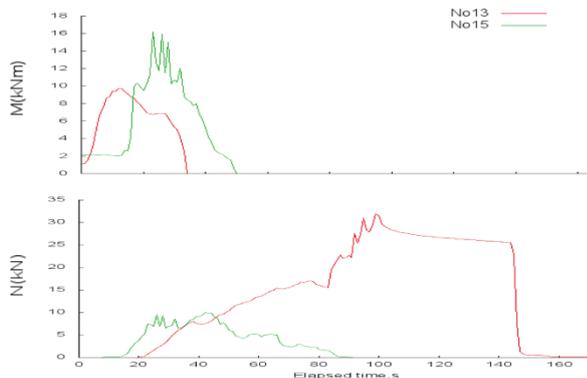


図3-2 モーメント M と引き抜き力 N の経時変化

No13と15のモーメント M と引き抜き力 N の経時変化を図3-2に示す。No15 ($D_c=18.4$ cm)では砂被厚は30cm未満、No13 ($D_c=16.2$ cm)では砂被厚は75cm程度である。No15は倒伏限界モーメント M に達した後、引き抜き力 N がほとんど作用していない。それに対して、No13は早い段階で倒伏限界モーメント M に達しているが、その後、強い引き抜き力 N が作用している。このことから、砂被厚によって引き抜き力 N に大きな影響を及ぼすことが考えられる。

表3-1は各引き倒し対象樹木の胸高直径 D_c 、倒伏限界モーメント M 、最大引き抜き力 N 、海岸林の厚み d_n を表している。

表3-1からNo1とNo11、No2とNo8を比べると胸高直径 D_c がほぼ同じでも、倒伏限界モーメント M に違いが出ていることが分かる。原因として、砂被厚や地下水位などの育成環境が影響していると考えられる。

4. 曲げ試験調査

4-1 マツ丸太曲げ試験方法

丸太曲げ試験は、3等分点4点曲げ法で行い、荷重はロードセル(容量1MN)を用いて、変位はストローク変位を測定した。

表4-1 丸太の各諸量

No.	長さ	元口径	末口径
1	4m	180mm	80mm
2	3m	130mm	70mm
3	3m	120mm	100mm

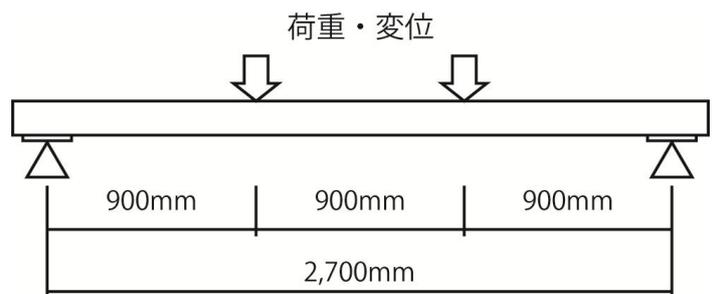


図4-1 丸太曲げ試験

表3-1 試験樹木の各諸量

No	胸高直径 D_c (cm)	倒伏限界モーメント M_c (kN·m)	M_{s1} (kN·m)	M_{s2} (kN·m)	M_{s3} (kN·m)	M_s' (kN·m)	最大引き抜き力 N (kN)	海岸林の厚み d_n
1	13.2	6.3	7.3	4.9	6.9	6.4		423.6
2	8.1	1.7	1.7	1.1	1.6	1.5		423.6
3	10.3	5.2	3.5	2.3	3.3	3.0		423.6
4	22.0	49.2	33.9	22.8	32.0	29.6		423.6
5	12.7	10.8	6.5	4.4	6.2	5.7		423.6
6	16.7	24.8	14.8	10.0	14.0	12.9		423.6
7	19.6	24.3	24.0	16.1	22.6	20.9		430.7
8	8.3	2.5	1.8	1.2	1.7	1.6		430.7
9	14.5	15.7	9.7	6.5	9.2	8.5	10.9	386.3
10	11.5	5.8	4.8	3.3	4.6	4.2	12.5	321.4
11	13.3	8.1	7.5	5.0	7.1	6.5	7.9	321.4
12	16.0	11.9	13.0	8.8	12.3	11.4	23.5	321.4
13	16.2	9.8	13.5	9.1	12.8	11.8	32.0	321.4
14	14.7	7.8	10.1	6.8	9.5	8.8	12.8	321.4
15	18.4	16.2	19.8	13.3	18.7	17.3	10.0	321.4



図4-2 丸太曲げ試験 写真

4-2 マツ丸太元口小試験体曲げ試験方法

曲げ試験終了後の丸太の図4-3の○の部分から、それぞれ25×25×400mmの小試験体を図に示す位置から採取した。

小試験体の曲げ試験は、JIS Z 2101に準じて、中央集中荷重法で行い、荷重はロードセル（容量50kN）を用いて、変位はストロークを測定した。

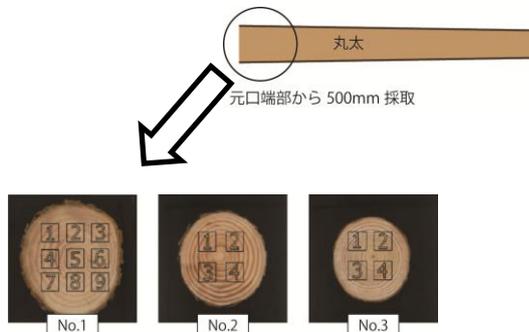


図4-3 小試験体採取方法

表4-2 小試験体の各諸量

丸太	小試験体										
No.	試験体数	No.									
1	9	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	1-9	
2	4	2-1	2-2	2-3	2-4						
3	4	3-1	3-2	3-3	3-4						

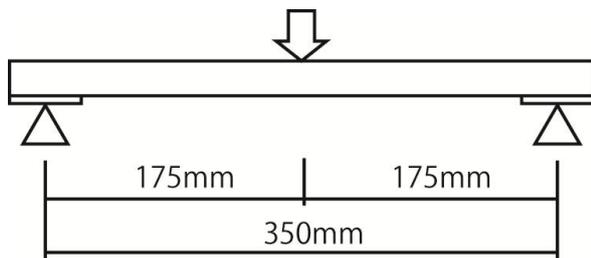


図4-3 小試験体曲げ試験方法



図4-4 小試験体曲げ試験 写真

4-3 曲げ試験結果

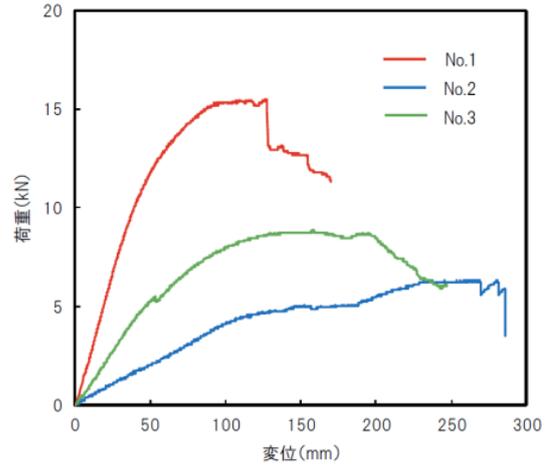


図4-5 丸太の荷重と変位曲線の関係

表4-3 丸太の曲げ強さ

No.	最大荷重 (kN)	曲げ強さ (N/mm ²)	破壊箇所の径 (mm)
1	15.52	32.4	130
2	6.32	21.8	110
3	8.88	30.6	110



図4-6 曲げ試験における各丸太の破壊形態

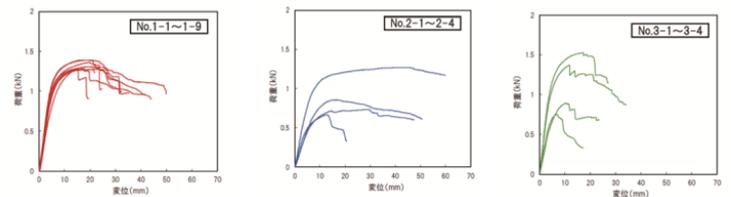


図4-7 小試験体の荷重と変位曲線の関係

図4-5, 4-7の丸太と小試験体の荷重と変位曲線の関係から、最大荷重に達した後でも、急激に荷重が下がらずに、一定の抵抗力が作用している。

図4-6の曲げ試験における各丸太の破壊形態から、No1, 2では、荷重点における節からの破壊、No3では、荷重点における木部で破壊していることが分かる。No2とNo3を比べてみると、破壊箇所の径は同じだが、曲げ強さに大きな違いが出ている。これは木部での破壊は節での破壊に比べ大きな曲げ耐力があると考えられる。しかし、No1は節での破壊であるが、曲げ強さが一番大きな値になっている。原因として、含水率が関係しているのではないかと考えられる。

5. 海岸樹木倒伏耐力評価式の高度化

倒伏モーメントに影響を及ぼすと考えられる物理量（曲げ強さ σ 、胸高直径 D_c 、）から次元を整合させるように倒伏モーメント M_s を構築した。

$$M_s = \frac{\sigma \pi D_c^3}{32} \quad (1)$$

(1)式に試験樹木の胸高直径、曲げ試験からの曲げ強さ（No1, 2, 3）の値をいれ、 M_{s1} , M_{s2} , M_{s3} その平均値 M_s' を求め、表3-2に示す。

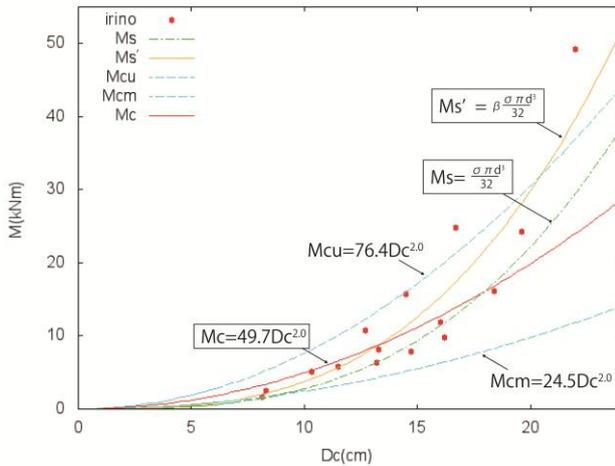


図5-1 胸高直径 D_c と倒伏モーメント M_c の関係

河道内樹木についての倒伏限界は、河道内樹木の引き倒し試験の結果よりモデル化されており（リバーフロントセンター、1999）、樹木倒伏限界モーメントが次の式で表される。

$$M_c = \alpha D_c^{2.0} \quad \begin{array}{l} M_c : \text{倒伏限界モーメント} \\ D_c : \text{樹木の胸高直径} \\ \alpha : \text{定数} \end{array}$$

図5-1 胸高直径 D_c と倒伏モーメント M_c に試験で得られた倒伏限界モーメントをプロットした。

比較のために、河道内樹木における倒伏限界の平均値($M_{cu} = 76.4D_c^{2.0}$)とその下限式($M_{cm} = 24.5D_c^{2.0}$)、本調査により得られた回帰式

($M_c = 49.7D_c^{2.0}$)、また式(1)に曲げ試験での平均値 $\sigma = 28.3(N/mm^2)$ を使った式 M_s も併記した。

図5-1から M_s は実測値におおむね近い値を示しているが、 D_c が大きくなるにしたがい、精度が悪く実測値よりも小さな値になっている。原因として、式(1)では胸高直径でモーメントが作用していることになる。しかし、実際にモーメントは胸高直径よりも低い位置で作用していると考えられる。木の特性として低い位置になるほど幹の直径は大きくなることから、(1)式に係数 β を掛け式(2)を求めた。

係数 β の算出方法は、式(2)の M_s' に各試験樹木の倒伏限界モーメント M_c を代入し、各試験樹木の係数 β を求め、その平均値から係数 β (1.35)を求めた。

$$\begin{aligned} M_s' &= \beta \frac{\sigma \pi D_c^3}{32} \\ &= 1.35 \frac{\sigma \pi D_c^3}{32} \quad (2) \end{aligned}$$

図5-1に示される M_s' から D_c が大きくなっても近い値を示している。このことから $M_c = 49.7D_c^{2.0}$ の式と比べ、式(2)がより精度よく倒伏限界モーメントを評価することができることが分かった。

6. まとめ

- ・砂被厚が引き抜き力 N に大きな影響を及ぼす。
- ・径が同じでも破壊形態や含水率によって、曲げ強さに大きな影響を及ぼす。（木部での破壊>節での破壊）
- ・本研究で提案した式(2)は、 $M_c = 49.7D_c^{2.0}$ よりも精度よく倒伏限界モーメントを評価することができる。
- ・係数 β は胸高直径 D_c に関係しないことから、根の深さなどの地盤環境が影響していると考えられる。

7. 課題

今後の研究として、本研究で構築した式は、実測値に近い値が出たがばらつきがある。また他の海岸林でも適用できるかは不明である。現段階では係数 β は平均値から求めたが、地盤環境などを考慮し β を高度化し、式の適用範囲を課長させることが課題として挙げられる。

8. 謝辞

本研究を遂行するにあたり、高知県及び黒潮町の多大なる協力を得ました。また、本研究は東北大学災害科学国際研究所特定プロジェクト研究C-2（代表 今井健太郎）により行われました。ここに記して謝意を表します。

9. 参考文献

- 1) 今井健太郎・鈴木明菜：沿岸樹木のパイプモデルを用いた表面積、体積評価とその倒伏耐力
- 2) 首藤伸夫：防潮林の津波に対する効果と限界
- 3) リバーフロント整備センター 編集：河川における樹木管理の手引き
- 4) 原田賢治、今村文彦：防潮林による津波減衰効果の評価と減災のための利用の可能性