

Ⅱ-56 沿岸林による津波減災効果とその限界に関する判定図の作成

秋田大学 学員○今井健太郎 正員 松富 英夫

1. はじめに 2004 年のインド洋津波では、インド・タルミナド州のマングローブ、沿岸林周辺で津波の減勢効果が確認されている。完全な津波からの防御とはいかないが、沿岸林は期待されつつある経済的な防災施設の一つであると考えられる。既往の沿岸林を氾濫する津波の研究では、沿岸林による津波減勢効果の評価¹⁾は行われているが、樹木の倒伏を考慮した津波減勢限界について定量的に検討した例は少ない。そこで、本研究は著者らの実測²⁾により得られた沿岸樹木の倒伏耐力限界回帰式を取り込んだ津波氾濫計算を行い、より定量的な沿岸林の津波減災効果とその限界に関する判定図の作成を試み、津波痕跡調査結果からその有効性を確認することを目的としている。

2. 数値計算手法とその条件 海域の津波伝搬計算には従来のモデル³⁾を用い、沿岸林内の氾濫計算については運動方程式に樹木の抵抗を取り込んだ式(1)を用いた。

$$\begin{aligned} (1+C'_M N_0 V_T) \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{H} \right) + C'_M N_0 V_T \frac{M}{H} \frac{\partial M}{\partial x} \\ + gH \frac{\partial \eta}{\partial x} + \left(\frac{g n_G^2}{H^{7/3}} + \frac{1}{2} C_D \frac{N_0 A_T}{H^3} \right) M |M| = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 η は波高、 M は線流量、 H は全水深、 N_0 は単位面積当たりの立木本数、 V_T は樹木一本当たりの水面下体積、 A_T は樹木一本当たりの水面下総投影面積（＝水面下表面積 π ）、 g は重力加速度、 $C'_M (=C_M - 1)$ は付加質量係数、 C_D は抗力係数、 n_G は陸域における Manning の粗度係数である。既往の水理実験結果⁴⁾と、このモデルを用いた再現計算の整合は良好であった。

樹木の倒伏条件として、実測により得られた樹木倒伏限界の回帰式を²⁾を用い、樹木に作用する流体力を図-1 のように考え、式(3)の条件を満たす時に樹木は倒伏するものとした。

$$M_c = 72.1 D_c^{1.9} [N \cdot m] \quad (2)$$

$$M_c < \frac{1}{2} H_{TR} F_T + \frac{1}{2} [(H - H_{TR}) + H_{TR}] F_L \quad (3)$$

ここで、 M_c は倒伏限界モーメント、 D_c は樹木の胸高直径 (cm)、 H_{TR} は樹木の枝下高、 F_L は樹冠部に作用する流体力、 F_T は樹幹部に作用する流体力である。

時々刻々の浸水深と線流量から樹木に作用する流体力の計算を行い、式(3)を満たす場合に樹木は倒伏する。本研究では、倒伏した樹木は氾濫流に対して完全に抵抗力を失うものとした。

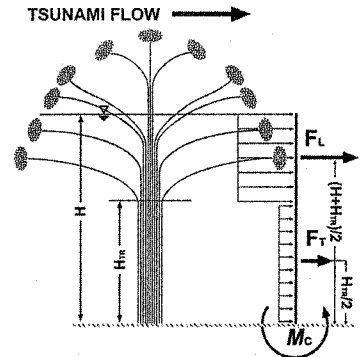


図-1 樹木に作用するモーメント

計算条件は $\Delta x = 5.0$ m、 $\Delta t = 0.05$ sec とし、最大波高 $\eta_{\max} = 1 \sim 5$ m、半波長 $L/2 \approx 15$ km の孤立波を入射させた。地形条件については秋田県山本郡釜谷浜海岸の縦断地形を基に作成した。ただし、地盤高の影響を検討するために、沿岸林前面の地盤高を $1 \sim 5$ m に変化させた場合の氾濫計算も行った。Manning の粗度係数については海域では $n_0 = 0.025$ 、陸域では $n_0 = 0.03$ とし、沿岸林条件としては、樹木密度（単位面積当たりの樹幹部断面積の総和）は $\kappa = 0.22\%$ とし、沿岸林長 $L_V = 0 \sim 600$ m と変化させた。樹木モデルは $D_c = 10.2$ cm、樹高 $H_T = 6$ m、 $H_{TR} = 1.5$ m、これらは釜谷浜沿岸林の実測に基づく平均的な値である。流体力係数については水理実験に基づき $C_D = 1.0$ 、 $C_M = 2.0$ とした。 V_T や A_T はパイプモデルを用いた概算式²⁾を用いて評価を行った。

3. 結果と考察 地盤高にもよるが、本計算条件では、 $\eta_{\max} < 3.0$ m ではほとんどの場合で沿岸林に倒伏は生じず、 $3.0 \sim 3.5$ m では L_V により倒伏の有無が混在する結果となった。 $\eta_{\max} > 3.5$ m では本研究に用いた樹木モデルでは沿岸林全体で完全に倒伏してしまい、沿岸林による津波の減勢効果は認められなかった。そこで、倒伏の有無が混在する $\eta_{\max} = 3.25$ m の場合について考察していく。

図-2 に沿岸林を氾濫する津波の空間波形を示す。 $L_V = 400$ m とし、図中の上段は陸上部に沿岸林が存在しない場合で、中段は陸上部に沿岸林は存在するが倒伏

を許容しない場合、下段は沿岸林が存在し作用流体力に応じて倒伏を許容する場合である。

図から、倒伏を許容しない場合では沿岸林海側で反射が大きく、沿岸林内を氾濫するに従い浸水深は減少し、津波遡上距離は大幅に抑制される。最大遡上距離は沿岸林の無い場合に比べ4割程度となった。倒伏を許容する場合では、水面が切り立った陸上氾濫流先端部に衝突すると樹木は倒伏してしまい、波先端部と共に沿岸林の海側前面は陸側に後退するが、伝搬速度は沿岸林の無い場合に比べて遅くなる。このケースでは最終的に海側前面が200 m程度陸側に後退する結果となった。最大遡上距離については沿岸林の無い場合に比べ7割程度に抑制される。

図-3に首藤⁵⁾の植生厚み dn ($=D_C N_0 L_V$) と最大遡上距離 L_R の関係を示す。図中、 L_{R0} は沿岸林が存在しない場合の最大遡上距離を示し、○は樹木倒伏の有無が混在する場合、●は樹木が倒伏には至らない場合である。樹木が倒伏に至らない場合では $dn=500$ 程度(本条件では $L_V=200$ m)で遡上距離を十分に抑制するが、倒伏を許容する場合では同じ dn でもほぼ無力であることが判る。本研究の条件では、倒伏を許容する場合では少なくとも $dn=600$ 程度(本条件では $L_V=250$ m)はないと遡上抑制効果は期待できない。

図-4に沿岸林による津波減災効果とその限界に関する判定図の一例を示す。図中の●と▲は首藤⁵⁾の実測値であり、 $D_C=10$ cm程度の沿岸林における過去の津波での浸水深である。●は無被害、▲は沿岸林に倒伏や根本断裂の被害が生じたことを示す。 F_r については正確な値が不明であったため、既往の実験結果⁴⁾を参考に定めた。本研究の条件下ではあるが、作成した判定図と過去の事例はおおむね一致する結果となった。

4. まとめ 本研究の条件では、 $\eta_{smax} < 3$ mであればほとんどの場合で沿岸林は倒伏をせず、津波遡上の抑制効果に期待できるが、 $\eta_{smax} > 3.5$ mでは沿岸林全体で倒伏してしまい無力である。倒伏の有無が混在する場合、沿岸樹木の倒伏耐力限界を考慮するとしないでは、最大遡上距離に大きく影響する結果を得た。また、氾濫計算結果から沿岸林による津波減災効果とその限界に関する判定図の一例を作成し、過去の事例との整合を試みた。より正確で実用性の高い判定図を作成するためには沿岸林の密度、樹型や樹種についての検討や、倒伏後の樹木抵抗を評価する必要がある。

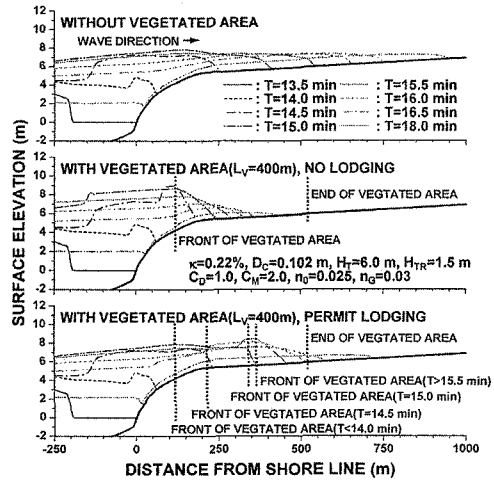


図-2 陸上氾濫する津波の空間波形

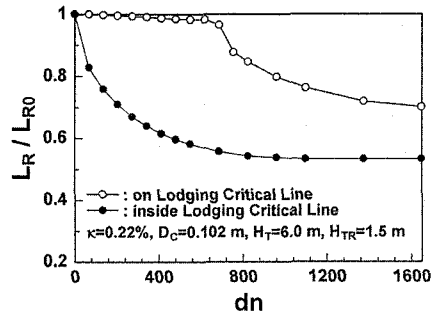


図-3 植生厚み dn と陸上遡上距離の関係

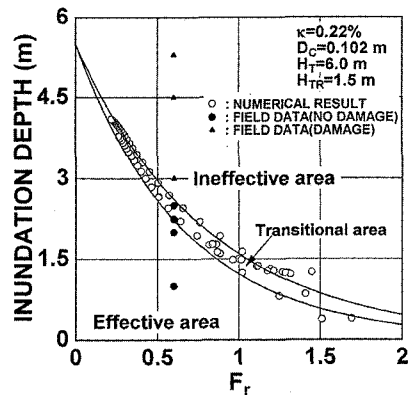


図-4 沿岸林による津波減災効果とその限界に関する判定図の一例

〈参考文献〉 1)原田ら:海工論文集,第50巻,pp.341-345.2003. 2)今井ら:海工論文集,第49巻,pp.859-864.2005. 3)後藤ら:東北大学土木工学科,p.52.1982. 4)今井ら:海工論文集,第51巻,pp.306-310.2004. 5)首藤:東北大学津波防災実験所研究報告,第2号,pp.1-38.1985.