

切れ間を有する海岸林付近の潜在的津波力に 及ぼす樹林および津波条件の影響

EFFECT OF FOREST AND TSUNAMI CONDITIONS ON POTENTIAL TSUNAMI
FORCES AROUND A COASTAL FOREST WITH A GAP

N. B. THUY¹・飯村耕介²・田中規夫³・谷本勝利⁴

N. B. THUY, Kosuke IIMURA, Norio TANAKA and Katsutoshi TANIMOTO

¹工修 埼玉大学大学院理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

²学生会員 工修 埼玉大学大学院理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

³正会員 工博 埼玉大学教授 大学院理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

⁴フェロー会員 工博 埼玉大学名誉教授 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

Numerical simulations of tsunami runup have been carried out to investigate the effects of forest conditions (width and tree density) and incident tsunami conditions (period and height) on potential tsunami forces around a coastal forest of *Pandanus odoratissimus* trees with a gap. The potential tsunami force is defined as the total drag force on a virtual high column with unit width and unit drag coefficient. The potential tsunami force at the gap exit is enhanced greatly and the maximum in the spatial distribution in most cases. The potential tsunami forces at four representative points at front and back of forest including the center of gap exit were analyzed for various conditions and formulated as function of forest and tsunami conditions in the non-dimensional form. The potential tsunami forces calculated by the curve-fit formula agree with the simulated potential tsunami forces within 10% error.

Key Words : *Tsunami runup, coastal forest, potential tsunami force, Pandanus odoratissimus*

1. まえがき

2004 年インド洋大津波後の調査で, Mascarenhas と Jayakumar¹⁾は海岸林内の道路背後で被害が大きいことを指摘した. また, Fernando ら²⁾は破壊された珊瑚礁の切れ間背後での被害が大きいという調査結果を受けて, 実験により切れ間出口での流速が大きくなることを示した. そうした現地調査や実験結果を背景に, Nandasena ら³⁾はスリランカや東南アジアの海岸において広く分布しているアダン (*Pandanus odoratissimus*) 林を対象として, 汀線に直角方向に切れ間があるときの津波遡上に関する二次元数値計算を行い, その出口において流速が速くなることを確認し, さらに谷本ら⁴⁾は切れ間幅を系統的に変化させたときの数値計算を行い, 出口での流速が最も増幅される幅があることを示した. 続いて, Thuy ら⁵⁾は先の Fernando ら²⁾に類した実験を行い, 数値計算結果が実験結果によく合うことを検証している.

しかしながら, 既往研究では津波条件等が限定されているなどの難点があるほか, 被害に直接関係する津波による力についてはいまだ十分に議論されていないのが現状である. そのため, 本研究では, ア

ダンによる樹林帯に切れ間がある場合を対象とした二次元数値計算を行い, 樹林条件 (密度, 樹林幅) および入射津波条件が樹林帯付近における潜在的な津波力にどのように影響するかを明らかにし, 特に, 結果の無次元表示を試みる.

2. 数値計算の方法と計算条件

(1) 基礎方程式と数値計算法

数値計算法はThuyら⁵⁾および谷本ら⁶⁾と基本的に同じであるが, 基礎方程式は津波力計算の便宜から水深平均流速を用いた非線形長波方程式に変えている. ただし, 水深平均流速を用いても, 全水深が非常に小さいときの流速を除き, 主要な計算結果に違いはなく, 数値計算モデルの実験的検証と現地スケールへの適用に対する考え方に変わりはない.

平均流速を用いたときの樹林による抵抗力ベクトル $\vec{F}$ は次式のとおりである.

$$\vec{F} = \gamma \frac{1}{2} \rho C_{D-all}(d) b_{ref} \vec{V} \left| \vec{V} \right| d \quad (1)$$

ここに, γ は樹林密度 (単位面積あたりの樹木の本数), ρ は水の密度, $C_{D-all}(d)$ は樹木の水深平均抵抗

係数 (d の関数), b_{ref} は樹木の基準投影幅 (胸高での幹の直径), $\vec{v}$ は流速ベクトル, d は全水深 (没水深) である. C_{D-all} は次式で与える (田中・佐々木⁷⁾).

$$C_{D-all}(d) = C_{D-ref} \frac{1}{d} \int_0^d \frac{b(z_G) C_D(z_G)}{b_{ref} C_{D-ref}} dz_G \quad (2)$$

ここに, C_{D-ref} は基準抵抗係数 (胸高での幹に対する抗力係数で与える), b および C_D は地面からの高さ z_G での幹と枝の投影幅およびそこでの樹木の抗力係数である. このように, C_{D-all} は高さ方向における抗力係数の変化ばかりでなく, 投影幅の変化を含んだもので, 全水深 (没水深) の関数であるところに特色がある.

数値計算は基礎式を差分式に変換して行うが, 本論文での差分間隔 Δx , Δy は 2.5m である.

(2) 対象とする海岸と津波および樹林条件

対象としたのは図-1 に示した断面が汀線方向 (y 軸方向) に一様に続く海岸であり, そこに津波がまっすぐ (x 軸方向) に来襲する条件である. 汀線付近は基準面 ($z=0$ m) までは 1/100 勾配, 基準面上 +4.0m までは 1/50 勾配であり, 続く陸地の勾配は 1/500 である. この断面形状は比較的緩勾配の海岸における砕波帯と浜の典型的な地形を念頭に単純化したもので, 特定の地点を対象としたものではない. 津波来襲時の潮位は +2.0m とし, 入射津波は水深 100m の沖側境界で押し波スタートの正弦波で与えており, 周期 T を 600~3600s, 波高 H_i を 2~8m の範囲で変化させる. ただし, 沖側境界をどこにとるかは任意性があるので, 本論文では飯村ら⁸⁾と同様に入射津波高を樹林なしの場合の汀線 ($z=2.0$ m) での津波高 $H_{s/0}$ で表す. 図-2 に $T=1200$ s, $H_i=6$ m の場合の汀線における第 1 波水位が最大になったときの水位 ζ , 流速 V および $\sqrt{gd}$ (g : 重力の加速度) の空間分布を例示しているが, この条件での $H_{s/0}$ は 6.94m である. また, これにより遡上津波の先端部は射流であることがわかる.

海岸樹林は 1/500 斜面の沖側端 ($z=4.0$ m) から幅 B_F にわたってあるものとし, 図-3 のような平面配置を考える. 図中, L_F は汀線方向の長さ, b_G は切れ間の幅であり, 本研究では $L_F=200$ m, $b_G=15$ m に固定する. この条件では切れ間の影響が汀線直角方向の両境界には及ばず無限に続く樹林帯に幅 15m の切れ間がある条件と考えることができる. また, $b_G=15$ m は出口での流速がほぼ最大となる条件を設定したものである. 対象とした樹木は熱帯海岸樹のアダンで気根があり, 図-4 に示したような抵抗特性を有している. これは 2004 年インド洋大津波, 2006 年ジャワ津波に際しての樹木特性や破壊事例の調査結果⁷⁾ をもとに作成したものである. 図中, H_{Tree} は

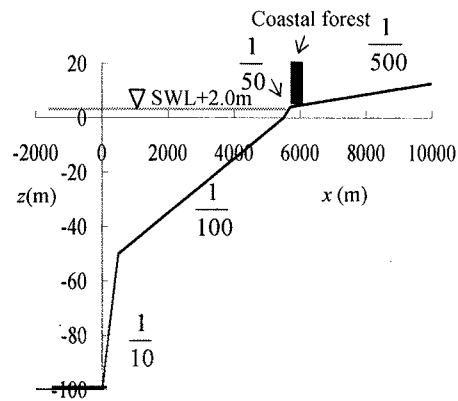


図-1 対象とする海岸地形

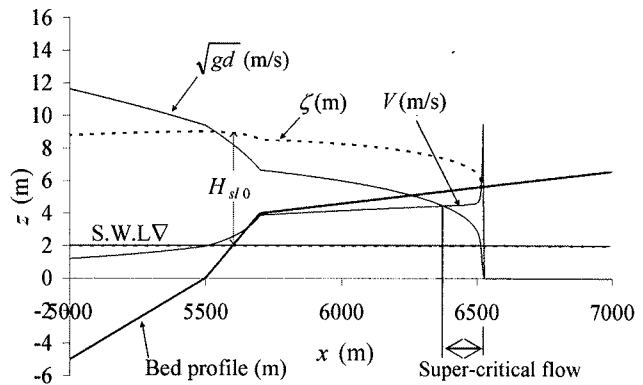


図-2 汀線での水位が最大時の水位, 流速および $\sqrt{gd}$

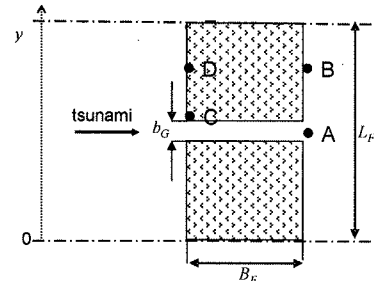


図-3 海岸樹林の配置と樹林条件

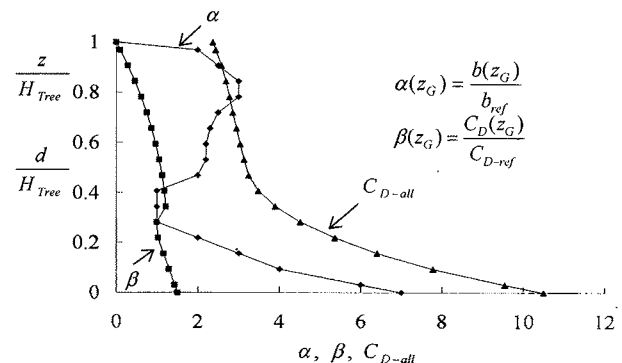


図-4 対象とする樹種アダンの抵抗特性

樹高で, 本研究ではほぼ最大に生長したアダンを考え, $H_{Tree}=8$ m, $b_{ref}=0.2$ m とし, 基準抗力係数 C_{D-ref} は 1.0 とする.

数値計算では, 樹林幅 B_F を 0~200m, 樹林密度 γ を 0~0.4 本/m² の範囲で変化させる. なお, 図-3 中の A~D は計算結果を示す代表点である. A, B は樹林背後, C, D は樹林最前列での地点であり,

その座標は A ($x=5700+B_F+1.25\text{m}$, $y=100\text{m}$), B ($x=5700+B_F+1.25\text{m}$, $y=156.25\text{m}$), C ($x=5701.25\text{m}$, $y=108.75\text{m}$), D ($x=5701.25\text{m}$, $y=156.25\text{m}$)である。地点 B, D は切れ間の影響がほとんどない地点として選定している。

3. 結果と考察

(1) 津波力の平面分布の例

本論文では次式で定義する潜在的津波力 $\bar{F}^*$ を議論する。

$$\bar{F}^* = \frac{\bar{F}}{\gamma C_{D-all}(d)b_{ref}} = \frac{1}{2} \rho \vec{V} \left| \vec{V} \right| d \quad (3)$$

これは単位幅、単位抗力係数を有した十分に高い仮想柱体に働く全抗力（単位：N/m）を表しており、通常津波による流体力として用いられている値の1/2に相当する。これは、実際の樹木やその他障害物に働く全抗力を求めることが可能な潜在的津波力であり、たとえば単独の樹木に働く抗力による津波力 $\bar{F}_{Tree}$ は次のように表せる。

$$\begin{aligned} \bar{F}_{Tree} &= C_{D-all}(d)b_{ref}\bar{F}^*, & H_{Tree} \geq d \\ &= C_{D-all}(H_{Tree})b_{ref}\frac{H_{Tree}}{d}\bar{F}^*, & H_{Tree} < d \end{aligned} \quad (4)$$

図-5 は代表的樹林帯および津波条件 ($B_F=100\text{m}$, $\gamma=0.226\text{本}/\text{m}^2$, $T=1200\text{s}$, $H_{s/0}=6.94\text{m}$) での潜在的津波力の時間的的最大値 F_{max}^* (以降、これを単に津波力と呼ぶ) の樹林帯付近における分布を示したものである。津波力は既往研究⁴⁾で示した流速の変化に呼応して切れ間付近で顕著に変化し、その空間的の最大値は切れ間出口に現れていることがわかる。ちなみに、前出の図-3 に示した代表地点 A, B, C, D での値はそれぞれ、76.5, 12.2, 9.0, 7.3kN/m であり、樹林帯最前列での津波力は後端での値より小さい。これは樹林帯による反射により樹林帯最前列付近では流速が減ることによっている。

(2) 樹林条件による津波力の変化

図-6, 7 に代表的津波条件 ($T=1200\text{s}$, $H_{s/0}=6.94\text{m}$) のもとでの樹林幅 (γ は $0.226\text{本}/\text{m}^2$ に固定), 樹林密度 (B_F は 100m に固定) による津波力 (添字 A, B, C, D でそれぞれの地点を表している) の変化を示している。切れ間出口中央地点 A での津波力 F_{maxA}^* は樹林幅および樹林密度が大きくなるにつれて増大するが、図-6 の樹林幅による変化では $B_F=80\text{m}$ 付近で極大値に達した後に減少、図-7 の密度による変化では一定値に近づくという違いがある。これは次のように説明できる。

まず、図-8 は切れ間入り口での流入量 ($\bar{Q}_{in,max}$), 出口での流出量 ($\bar{Q}_{out,max}$), 側方からの流入量 ($\bar{Q}_{side,max}$), 地点 A での津波力が最大時の没水深 ($d_{F,max}$) および流速 ($V_{F,max}$) の樹林幅による変化を示したものである。ただし、ここに流入・流出量は時

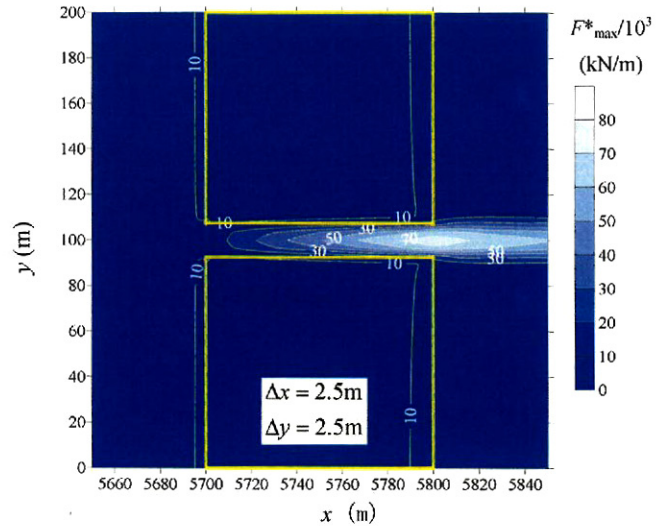


図-5 潜在的津波力の時間的的最大値 F_{max}^* の平面分布の例

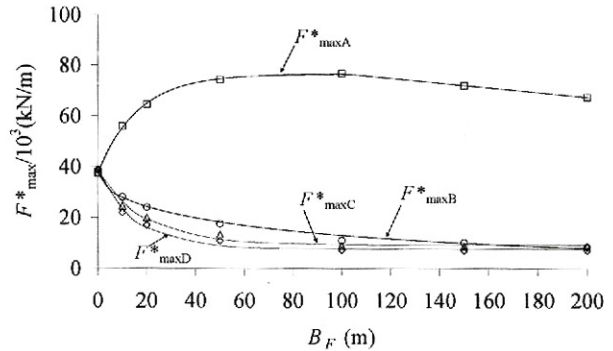


図-6 樹林幅による津波力の変化 ($\gamma=0.226\text{本}/\text{m}^2$)

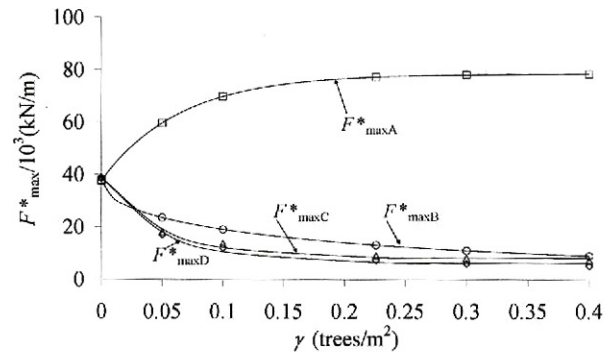


図-7 樹林密度による津波力の変化 ($B_F=100\text{m}$)

間変化における最大値を切れ間幅 $b_G=15\text{m}$ で割った平均値である。樹林幅が大きくなるにつれて、入り口での流入量は減少し一定値に近づくのに対し、側方からの流入量は増大し一定値に近づく変化を示す。その結果、出口での流出量は初め増大し、最大値に達した後に減少しており、津波力の変化と同様である。しかしながら、最大となる樹林幅は違っており、津波力のほうが大きいところまで増大している。これは、同図に示しているように、没水深は減少するものの流速は増大しており、津波力は流速の2乗に比例するので、流出量が減ってもある程度までは津

波力が増大する結果となることによっている。なお、樹林幅が大きくなるにつれて出口位置は遠くへ移動するため、津波が達しないような極限まで考えると津波力は 0 まで減少する。本条件の場合、 $B_F=1000\text{m}$ 程度で、津波遡上は樹林帯内で終焉し、出口までには至らない。

一方、図-9 は流入・流出量、没水深および流速の密度による変化を示したものである。いずれも樹林幅の場合と類似な傾向を示しているが、この場合、切れ間出口の位置は固定されているので、それぞれ一定値に近づく変化となっている。極限的には樹林帯は空隙のない壁体に帰着し、そのため、密度が増大するにつれて壁体切れ間出口での津波力に近づく変化を示すことになる。本条件($B_F=100\text{m}$)の場合、不透過壁体のときの津波力が最大となることを確かめている。なお、地点 A での津波力最大時の流れは樹林帯なしの場合を除いて、図-8, 9 の場合ともに射流である。

以上の地点 A での変化に対し、地点 B, C および D での津波力の変化は単調な減少である。いずれも樹林幅、樹林密度増大による樹林抵抗の増大によって樹林帯背後では津波が減衰すること、樹林帯前方では反射の増大のため最前列での流速が減少することによっている。この中で、図-7 の地点 B の結果は、対象地形や樹種等条件は異なるものの、樹林密度を変化させて数値計算を行った Hiraishi and Harada⁹⁾ による結果とよく類似している。これらの地点での津波力は検討条件の範囲内では、地点 B での津波力が大きく、次いで切れ間入り口に接する地点 C、地点 D での津波力の順に小さくなる。このように樹林帯最前列の津波力は比較的小さいことが特色として指摘される。ただし、地点 B での津波力は、地点 A と同様に樹林幅が大きくなるにつれて最終的には 0 まで減少する。なお、図中の曲線は数値計算結果に当てはめた式による関係であるが、後で無次元表示に対する式を示すので、ここでは提示を省略する。

(3) 津波条件による津波力の変化

図-10, 11 は代表的樹林条件 ($B_F=100\text{m}$, $\gamma=0.226$ 本/ m^2) での入射津波高 $H_{s/0}$ ($T=1200\text{s}$ に固定)、周期 T ($H_{s/0}=6.94\text{m}$ に固定) による津波力の変化を示したものである。図中、 $F_{\max 0}^*$ は樹林がない場合の地点 A における津波力である。津波力は本条件の範囲では容易に予測されるように入射津波高が大きいほど大きくなり、周期が長くなるほど小さくなっている。図中の曲線は、

$$F_{\max}^* = a_{Hf} (H_{s/0} - H_{cf})^{b_{Hf}} \quad (5)$$

$$F_{\max}^* = a_{Tf} \exp \left\{ -b_{Tf} \left(\frac{T}{T_{rep}} - 1 \right) \right\} \quad (6)$$

の関数で当てはめた式による変化である。ここに、 a_{Hf} , a_{Tf} は有次元係数、 b_{Hf} , b_{Tf} は無次元指数、 H_{cf}

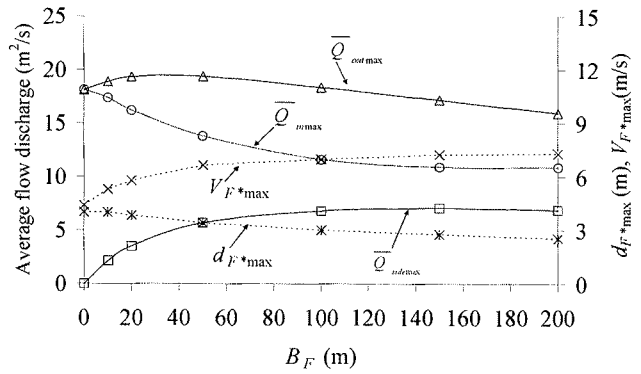


図-8 切れ間への流入・流出流量と地点Aにおける没水深および流速 ($\gamma=0.226$ 本/ m^2)

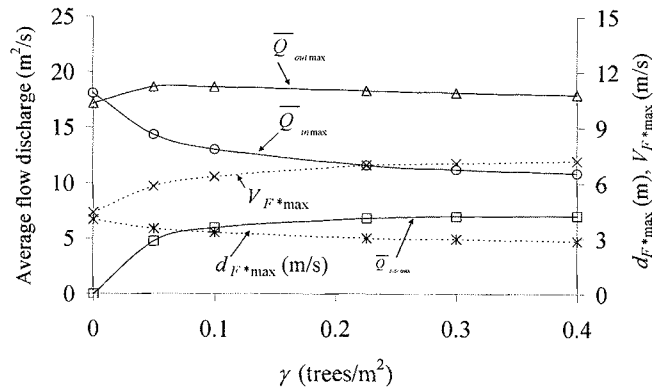


図-9 切れ間への流入・流出流量と地点Aにおける没水深および流速 ($B_F=100\text{m}$)

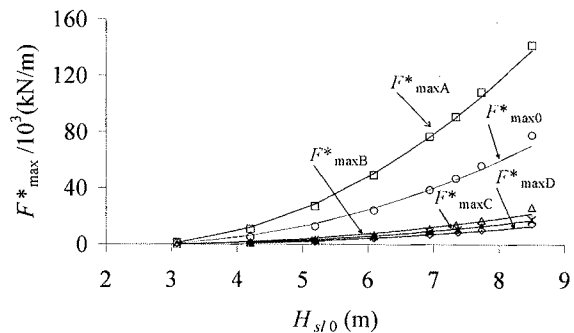


図-10 入射津波高による津波力の変化 ($B_F=100\text{m}$, $\gamma=0.226$, $T=1200\text{s}$)

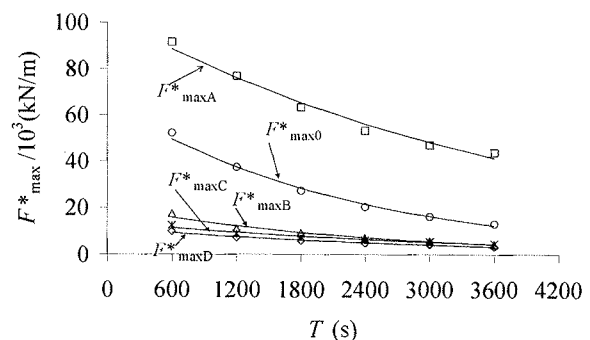


図-11 津波周期による津波力の変化 ($B_F=100\text{m}$, $\gamma=0.226$, $H_{s/0}=6.94\text{m}$)

は津波が到達する限界の入射津波高, T_{rep} は津波の代表周期である. このうち H_{cf} は厳密に言えば樹林条件および地点の関数であるが, 本研究の範囲ではそれほど変化しないので, 本検討範囲での平均的な値である 2.5m に固定している. また, b_{Hf} は津波力が津波高の 2 乗に比例すると考え 2 としている. 代表周期は任意性のあるところであるが, 本研究では 20 分を考え, $T_{rep}=1200s$ とする. そうした上での当てはめ曲線であるが, 適合度は良好である.

(4) 無次元化の試み

首藤¹⁰⁾ は樹林条件を表すのに樹林厚を定義し, 田中ら¹¹⁾ はそれに樹種による抵抗特性の違いを取り入れた式を提案した. 式 (7) はそれを SI 単位系に変更して書き換えたものである.

$$B_{dNall} = \gamma(1 \times B_F) b_{ref} C_{D-all} = \gamma B_F b_{ref}^* C_{D-all} \quad (7)$$

ここに, B_{dNall} は樹林厚 (単位: m), b_{ref}^* は数値は樹木の基準投影幅 b_{ref} に同じであるが, 表記を簡単にするため単位を $m^2/\text{本}$ とした便宜的なものである. C_{D-all} を与える没水深としては飯村ら⁸⁾ と同様に汀線での津波高を用いる.

本研究では, これを次のように代表津波条件に対する長さスケールを導入して無次元化する.

$$\frac{B_{dNall}}{T_{rep} \sqrt{gH_{rep}}} = \frac{\gamma B_F b_{ref}^* C_{D-all} (H_{rep})}{T_{rep} \sqrt{gH_{rep}}} \quad (8)$$

ここに, H_{rep} は汀線における代表津波高で, 任意性があるところであるが, 本研究では 7m と設定する. したがって, この無次元パラメータは津波条件は入っているものの固定条件であり, 単に樹林条件を表すにすぎない. なお, 上式の分母は周期 T_{rep} の長波の水深 H_{rep} における波長に相当する.

一方, 津波力は次のように無次元化する.

$$\frac{F_{max}^*}{\rho g H_{s/0}^2} = \alpha_f f_{Hf} f_{Tf} \quad (9)$$

ここに, α_f は無次元値, f_{Hf} , f_{Tf} は入射津波高 $H_{s/0}$, 津波周期 T に関する無次元関数であり, それぞれ次のように与える.

$$f_{Hf} = \left(\frac{1 - H_{cf} / H_{s/0}}{1 - H_{cf} / H_{rep}} \right)^{b_{Hf}} = 2.42 \left(1 - \frac{2.5}{H_{s/0}} \right)^2 \quad (10)$$

$$f_{Tf} = \exp \left[-b_{Tf} \left(\frac{T}{T_{rep}} - 1 \right) \right] \quad (11)$$

これについては後で説明を加える.

図-12, 13 は地点 A, B および C, D での全シミュレーション結果について, 式(8)の値を横軸にとり, 式(9)の無次元値 α_f (地点を表す A, B, C, D の添字を付加) を縦軸にプロットしたものである. 地点 A については樹林幅による変化と樹林密度に

よる変化に先の図-6, 7 の説明で述べたような違いがあることから, さらに BF , γ の添字を付して区別している. また, 無次元関数 f_{Tf} に含まれる未定係数 b_{Tf} については, A, B, C, D の添字を付加して, 地点ごとに次のように与えている.

$$b_{TfABF} = 0.318$$

$$+ 0.268 \exp \left(-3888 \frac{\gamma B_F b_{ref}^* C_{D-all} (H_{rep})}{T_{rep} \sqrt{gH_{rep}}} \right) \quad (12)$$

$$b_{TfA\gamma} = 0.296 + 0.292 \exp(-72.3 \gamma b_{ref}^*) \quad (13)$$

$$b_{TfB} = 0.526 \quad (14)$$

$$b_{TfC} = b_{TfD} = 0.400 \quad (15)$$

このうち, 地点 A については樹林幅, 樹林密度により区別をしているほか, 樹林条件の関数としている. これは切れ間出口での流速が二次元効果を強く受けることと, 樹林幅の変化により移動する地点であることによる. 他の地点については, B, D 地点は一次元的 (切れ間の影響を受けない) であること, C は固定点であることにより定数で与えている. なお, α_f は式(9)からわかるように, 入射津波による汀線での全静水圧に比例した値で無次元化した遡上域での津波力を無次元関数 f_{Hf} , f_{Tf} で除して補正した値であり, 本論文ではこれを単に無次元津波力と呼ぶ.

このように無次元関数 f_{Hf} , f_{Tf} は横軸の津波条件

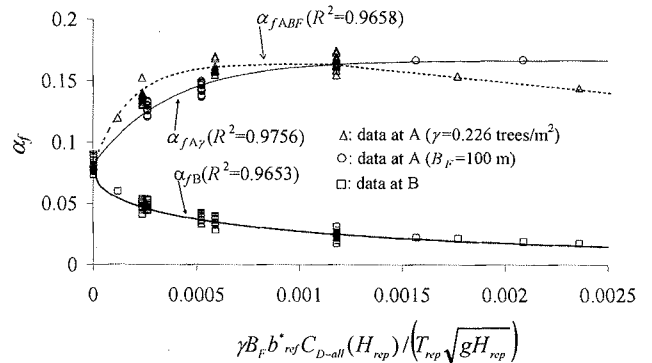


図-12 無次元樹林厚に対する無次元津波力 (地点A, B)

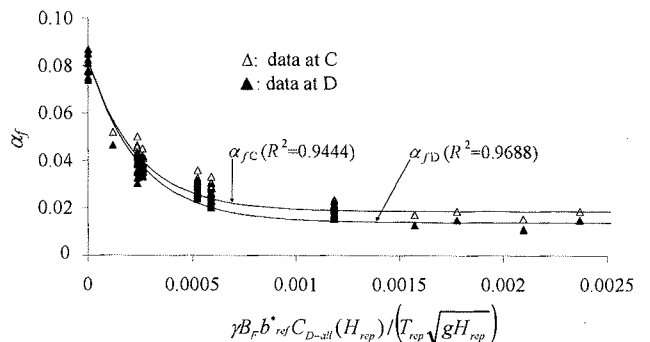


図-13 無次元樹林厚に対する無次元津波力 (地点C, D)

を代表津波条件の値に固定化したことによる津波力の補正関数で、これにより樹林条件が同じであれば津波高あるいは周期による変化は横軸の同じ位置にプロットされ、無次元津波力は代表津波条件による値とほぼ同じ値をとるように基準化したものである。

図-12, 13 の曲線はそうした無次元津波力に対する次のような当てはめ式による関係を表している。

$$\alpha_{fABF} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0.164 - 0.0833 \exp \left(-5747 \frac{B_{dNall}}{T_{rep} \sqrt{gH_{rep}}} \right) \\ 0.183 - 16.9 \frac{B_{dNall}}{T_{rep} \sqrt{gH_{rep}}} \end{array} \right\} \quad (18)$$

$$\alpha_{fAY} = 0.167 - 0.0852 \exp \left(-2719 \frac{B_{dNall}}{T_{rep} \sqrt{gH_{rep}}} \right) \quad (19)$$

$$\alpha_{fB} = 0.0794 \exp \left(-31.1 \left[\frac{B_{dNall}}{T_{rep} \sqrt{gH_{rep}}} \right]^{0.492} \right) \quad (20)$$

$$\alpha_{fC} = 0.0186 + 0.0633 \exp \left(-4216 \frac{B_{dNall}}{T_{rep} \sqrt{gH_{rep}}} \right) \quad (21)$$

$$\alpha_{fD} = 0.0139 + 0.0678 \exp \left(-4048 \frac{B_{dNall}}{T_{rep} \sqrt{gH_{rep}}} \right) \quad (22)$$

式(18)中の $\min$ は中括弧内の上段, 下段の式による値のうち小さい値をとることを意味する。

図-14 は当てはめ式による津波力とシミュレーションによる津波力の相関である。多様な条件での結果であるためばらついてはいるが、ほぼ $\pm 10\%$ の誤差に収まっている。

4. むすび

本研究において、切れ間を有する海岸樹林付近での樹林および津波条件による潜在的津波力の変化を明らかにした。津波力は切れ間で流速が大きくなることから切れ間付近で顕著に変化し、切れ間出口で最大となる。その切れ間出口での津波力は樹林抵抗（樹林幅、樹林密度）が大きくなるにつれて増大するが、樹林幅増大については出口が遠ざかるため最大に達した後は減少傾向を示す。切れ間から十分離れた地点や樹林前端での津波力は樹林抵抗が大きくなるにつれて減少する。津波条件の影響については波高が大きくなるほど、また周期が短いほど大きくなる。これら津波力の結果に対する無次元当てはめ式による計算値は誤差はほぼ $\pm 10\%$ の範囲でシミュレーション結果に一致する。今後、さらに津波力により樹木に働く破断モーメント等の検討が必要であ

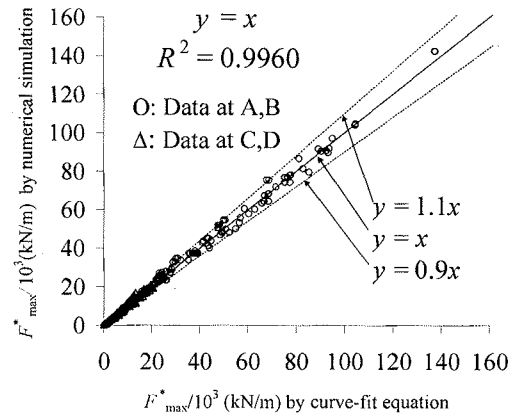


図-14 当てはめ式とシミュレーション結果の最大津波力の相関

参考文献

- 1) Mascarenhas, A. and Jayakumar, S.: An environmental perspective of the post-tsunami scenario along the coast of Tamil Nadu, India: Role of sand dunes and forests, *Journal of Environmental Management*, Vol.89, pp.24-34, 2008.
- 2) Fernando, H.J.S., Samarawickrama, S.P., Balasubramanian, S., Hettiarachchi, S.S.L., Voropayev, S.: Effects of porous barriers such as coral reefs on coastal wave propagation. *Journal of Hydro-environment Research*, Vol.1, pp.187-194, 2008.
- 3) Nandasena, N.A.K., Tanaka, N. and Tanimoto, K.: Perspective of coastal vegetation patches with topography variations for tsunami protection in 2D-numerical modeling, *Annual Journal of Hydraulic Engineering*, Vol.52, pp.133-138, 2008.
- 4) 谷本勝利, 田中規夫, Thuy, N.B., Nandasena, N.A.K., 飯村耕介: 津波遡上に対する海岸樹林内通路の影響—2次元数値計算による検討—, *海洋開発論文集*, 第24巻, pp.87-92, 2008.
- 5) Thuy, N.B., Tanimoto, K., Tanaka, N., Harada, K. and Iimura, K.: Effect of open gap in coastal forest on tsunami run-up — investigations by experiment and numerical simulation, *Ocean Engineering*, Vol.36, pp.1258-1269, 2009.
- 6) 谷本勝利, 田中規夫, Thuy, N.B., 飯村耕介, 原田賢治, 海岸樹林端部付近における津波の流れ—実験と数値計算—, *海岸工学論文集*, 第56巻, pp.361-365, 2009.
- 7) 田中規夫, 佐々木寧: 2006年ジャワ津波災害において海岸林が果たした役割とその破断・なぎ倒し限界, *水工学論文集*, 第51巻, pp.1445-1450, 2007.
- 8) 飯村耕介, 田中規夫, 谷本勝利, 田中茂信: 海岸樹林による津波減災効果の評価式の構築, *海岸工学論文集*, 第56巻, pp.366-370, 2009.
- 9) Hiraishi, T. and Harada, K.: Greenbelt tsunami prevention in South-Pacific region, *Report of the Port and Airport Research Institute*, Vol.42, No.2, pp.3-25, 2003.
- 10) 首藤伸夫: 防潮林の津波に対する効果と限界, 第32回海岸工学講演会論文集, pp.465-469, 1985.
- 11) 田中規夫, 佐々木寧, 湯谷賢太郎, Samang Homchuen: 津波防御に関する樹林帯幅と樹種の影響について—インド洋大津波におけるタイでの痕跡調査—, *海岸工学論文集*, pp.1346-1350, 2005.