

マングローブ林の津波による破壊限界基準の提案

東北大学大学院 ○柳澤英明・越村俊一
東北大学大学院 後藤和久・今村文彦
東北学院大学 宮城豊彦・林一成

1. はじめに

2004年インド洋大津波における海岸林の減災効果は、これまで多くの報告例があり、特に沿岸域に広がるマングローブ林は津波減災に大きな役割を担った(Danielsonら, 2005)。しかしながら、海岸林は津波により大規模に破壊され、漂流物となり被害を拡大させる危険性もある。そのため、海岸林を防災に利用していくためには、その限界も定量的に把握する必要がある。柳澤ら(2006)では、タイ・Pakarng 岬周辺のマングローブ林での2004年インド洋大津波による被害状況を調査した。本研究では、この調査結果に基づき破壊限界を算定し、マングローブ林の津波減災への有効範囲を示すことを目的とする。

2. 研究対象地域

本研究では、タイ南部Phang Nga 県の北部に位置するPakarng 岬周辺に広がるマングローブ林を対象とし、被害調査・解析をおこなった(図1)。



図1 調査地域

3. 研究の手法

3.1 現地調査

2005年9月、2006年2月、4月、8月の4期間において、それぞれ一週間程度の調査日程で行った。調査内容は、マングローブ林の大きさと破壊状況を検討するため、10~20mの方形区を設定し、樹径(胸高直径、株元径)、樹種、および破壊状況の記録をした。また、対象地域は、*Rhizophora* sp.が先駆する混合林であり、本研究では*Rhizophora* sp.を中心に調査を行った。

3.2 数値解析

津波の外力評価を行うため、浅水波理論を用いて津波の遡上計算を行なった。計算領域はインド洋全体から対象地域までとし、水深に応じ5領域に分割し、最小17mメッシュとした。またマングローブ林内では、

合成等価粗度(油屋ら, 1999)を利用し、マングローブ林の密度、形状に応じ粗度を与えた。ただし、津波後生存していた樹木のみ考慮して、粗度を設定した。

4. 結果

4.1 現地調査結果の整理

一般に、樹径は、強度を代表するパラメータであり、株元径ごとに破壊樹木と生存樹木を整理した(図2)。その結果、株元径が15~20cmでは、生存率は19%程度であるが、サンプリング数が少ない60~65cmを除くと、20~25cm以上では、生存率が50%を超えた。

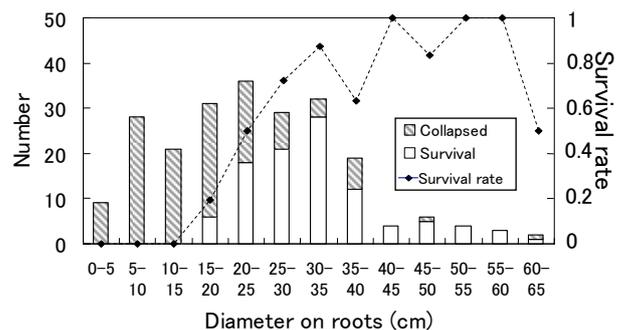


図2 株元径ごとの破壊と生存の頻度分布

4.2 マングローブ林の破壊限界基準

現地で測定した株元径と破壊の有無を、各測定位置の津波外力で整理する。ここでは、外力の代表として、水流圧力(=全水深×流速²)、および樹木に加わる回転モーメントを用いた。水流圧力は、首藤(1993)によると、家屋の被害率と相関関係があることが示されており、マングローブ林の被害とも関係性は高いと推測される。一方、力学的な観点からすると、津波によるマングローブ林の倒木は、回転モーメントで検討することが望ましい。そこで本研究では、二つの外力で、破壊基準を評価する。ただし、今回の算定では、枝葉部は考慮せず、すべて円柱とした。図3は、津波外力と樹径により、破壊と生存をプロットしたものある。図より、破壊と生存は明瞭に分割され、生存域、破壊域、遷移域に分けることができる。本研究では、それらの境界線を、樹径の二乗に比例する形に近似し、傾きを

変化させながら、破壊率に応じて決定した。ここでは、生存率が 10% 以下の範囲を破壊域、10% 以上、90% 以下となる範囲を遷移域、90% 以上となる範囲を生存域と定義し、境界線を決めた。

$$\begin{cases} P_d = 350 \times d^2 & : \text{Transition-Survival} \\ P_d = 720 \times d^2 & : \text{Destruction-Transition} \end{cases}$$

ここで、 P_d : 最大水流圧力 (m^3/s^2)、 d : 株元径 (m) となる。また、モーメントにおいては、

$$\begin{cases} M = 78 \times d^2 & : \text{Transition-Survival} \\ M = 170 \times d^2 & : \text{Destruction-Transition} \end{cases}$$

ここで、 M : 樹木にかかった最大モーメント ($kN \cdot m$)、 d : 株元径 (m) である。水流圧力の場合、遷移域における生存率は、69% で、モーメントでは 66% となった。首藤(1993)は、日本に襲来した津波および、河川での氾濫における家屋被害を整理し、水流圧力が $20 m^3/s^2$ 以上となると被害率は 40~100% となりうることを示している。水流圧力が $20 m^3/s^2$ に対しては、本研究で提案した限界式において、水流圧力を基準とすると、マングローブ林 (*Rhizophora sp.*) の株元径が 17cm 以上であれば、69% 以上の生存が可能となる。ただし、首藤(1993)は、日本の木造家屋における被害率であり、今後、アジアなどの家屋での被害率と比較する必要がある。

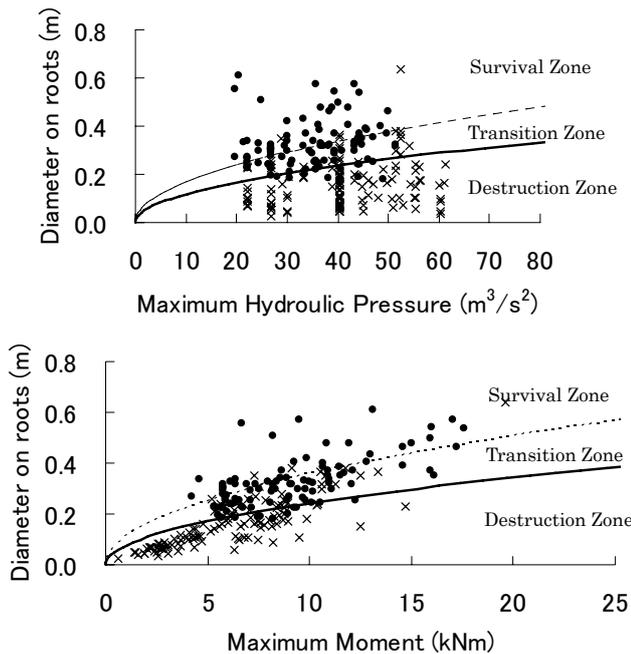


図 3 津波外力(上図:水流圧力, 下図:回転モーメント)とマングローブ林の株元径による破壊限界

4.3 マングローブ林による津波減災効果

樹径が 20cm, 幅が 400m, 植生密度が 0.1 本/ m^2 に設定した *Rhizophora sp.* の森において、孤立波を入射させた場合のシミュレーションを行った (図 4)。破壊限界には、水流圧力による式を利用し、破壊率に応じて、投影面積を減じた。($P_d < 350 \times d^2$: 90%, $350 \times d^2 \leq P_d < 720 \times d^2$: 69%, $P_d \geq 720 \times d^2$: 0%)。その結果、汀線で 3m (周期 30min, $Fr=0.73$, マングローブなしの場合) の津波に対して、マングローブを設置した場合、その背後で、津波高を約 30% 減衰可能であることが分かった。また同条件で、入射波高のみを増大させていくと、津波高が 4.2 m ($Fr=0.69$) で、マングローブ林の破壊が始まり、5.0 m ($Fr=0.76$) で限界に達した。図 5 は、マングローブ林の破壊率を考慮する場合と、考慮しない場合での、津波浸水深の減衰率を示したものである。

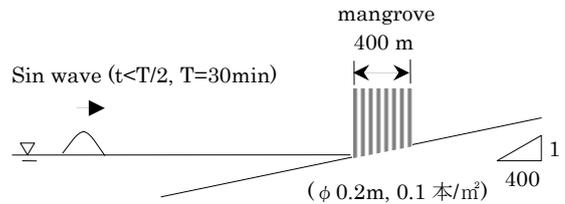


図 4 断面 2次元シミュレーションにおける条件

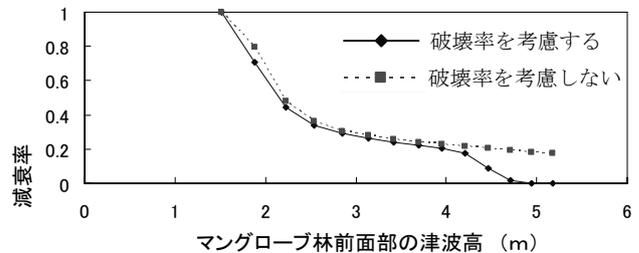


図 5 マングローブ林による津波浸水深の減衰率

5. まとめ

2004 年インド洋大津波における現地調査を元に、津波によるマングローブ林の破壊限界式を提案した。今後、アジアなどに適応するにあたり、地域ごとの家屋被害との関連性について、検討していく必要がある。

参考文献 油屋貴子ら(2002) : 合成等価粗度モデルを用いた津波氾濫シミュレーションの提案, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 276-280.
 首藤(1993) : 津波強度と被害, 津波工学研究報告, 第 9 号, pp. 101-136
 柳澤ら(2006) : マングローブ林内を遡上した津波の流動と樹木の破壊条件, 海工論文集, 第 53 巻, pp. 231-235.
 F. Danielson ら (2005) : The Asian Tsunami: A Protective Role for Coastal Vegetation. SCIENCE, VOL. 310, 28, OCTOBER, PP. 643.