

# 2004年インド洋大津波におけるマングローブ林のフラジリティー

東北大学大学院 学生会員 柳澤 英明  
 東北大学大学院 正 会 員 越村 俊一  
 東北学院大学 宮城 豊彦  
 東北大学大学院 後藤 和久  
 東北大学大学院 正 会 員 今村 文彦

## 1. はじめに

2004年インド洋大津波において、海岸林の津波減災効果が確認され、その効果に注目が集まっている<sup>1)</sup>。しかし、樹木は津波外力により倒木し、減災効果が低減しうる場合もある。既往の研究では、過去の文献から津波と倒木の限界を推定する研究<sup>2)</sup>や樹木を人工的に引き倒し、外力を測定する研究が行われている<sup>3)</sup>。しかし、同種・同樹径の樹木でも個々の特性によって倒木限界にはばらつきがあり、決定論的にその限界を決めることは難しい。そこで本研究では、マングローブ林を対象として実施した2004年インド洋大津波の被害調査および、数値解析結果から、フラジリティー関数を構築し、津波によるマングローブ林の破壊率を評価する手法を提案する。

## 2. マングローブ林の津波被害

マングローブ林のフラジリティー関数を作成するにあたり、タイ・パカラン岬、インドネシア・バンダアチェで実施した2004年インド洋大津波の被害調査の結果を利用した<sup>4)5)</sup>。それぞれの地域でサンプルされた有効データ数は、タイ・パカラン岬で228本、インドネシア・バンダアチェで729本である。対象とする樹種は、



図-1 マングローブ (*Rhizophora* 属)

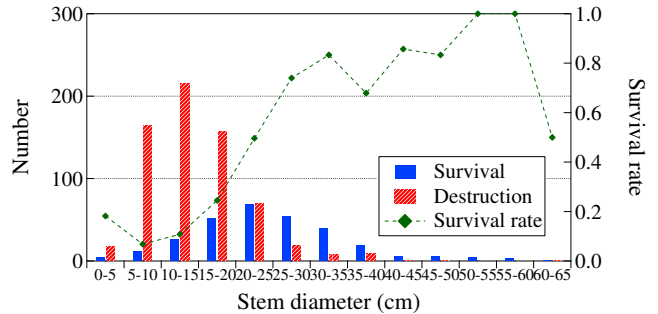


図-2 生存と破壊樹木の頻度分布図

のを示す。これによれば、マングローブ林の生存率は、樹径に依存して大きくなっており、樹径が20-25 cm以上となると生存率は50%以上に達することが分かる。

## 3. 津波による曲げ応力に対するマングローブ林のフラジリティー関数の作成

津波による樹木の倒木パターンは、折損、傾倒、根返り、抜根、浸食流去に分類できる<sup>4)</sup>。ただし*Rhizophora*属は、蛸足状の根によって地盤にしっかりと固定されているため根返りや抜根などの根から倒木することは少なく、支柱根上で折損することが多い<sup>4)</sup>。そこで本研究では、木材が折損するときの強度指標として一般的に利用されている以下の曲げ応力を、マングローブに生じた津波外力の代表値として利用する。

$$\sigma_t = M/W \quad (1)$$

ここで、 $\sigma_t$ は津波による曲げ応力、 $M$ は支柱根上を回転点とする曲げモーメント力、 $W$ は円柱の断面係数( $=\pi/32 \times d^3$ )、 $d$ は樹径である。曲げモーメント力 $M$ は、2004年インド洋大津波の再現計算より評価した<sup>4)</sup>。図-3に、津波によって生じた最大曲げ応力に対し、生存および、倒木樹木ごとにプロットしたものを示す。ただし、柔軟性

の高い若木と成木とでは強度が異なる可能性があるため、ここでは定性的に樹径8cm以下の樹木は対象外とした。図-3によれば、生存樹木における曲げ応力は全体的に、バンダアチェの方が高い傾向を示した。さらに本研究では、マングローブ林の津波による破壊率を検討するため、図-3においていくつかのデータを統合していき、破壊率を算定した。図-4に、パカラン岬のケースで20個ずつ、バンダアチェのケースで50個ずつのデータを統合した結果を示す。また任意の曲げ応力に対応した破壊率を算定するため、回帰分析より、マングローブ林の津波に対するフラジリティー関数を作成した(図-4)。ここでは、津波による曲げ応力の大きさに対してマングローブ林の破壊率 $P_d(\sigma_t)$ が、以下の対数正規分布の累積分布関数に従うと仮定している。

$$P_d(\sigma_t) = \Phi[(\ln \sigma_t - \lambda)/\zeta] \quad (2)$$

ここで、 $\Phi$ は正規分布の累積分布関数、 $\lambda$ と $\zeta$ は $\ln \sigma_t$ の平均値と標準偏差である。式(2)における $\lambda$ と $\zeta$ は確率紙を用いた最小二乗法によって決定し、パカラン岬のケースで $(\lambda, \zeta) = (2.05, 0.81)$ 、バンダアチェのケースで、 $(\lambda, \zeta) = (2.05, 0.81)$ となった。図-4によれば、パカラン岬とバンダアチェにおけるフラジリティー関数は、ほぼ類似した傾向を持つことがわかる。ただし、曲げ応力が高い場合に、パカラン岬の関数のほうが、破壊率が低い傾向となった。

ここで、津波と破壊率との関連性をより明確にするため、抗力 $(= 0.5C_D\rho d(D-H_r)u^2)$ から曲げモーメント力を評価し、式(2)により曲げ応力と津波流速および、波高を以下のように関連づけた。

$$\sigma_t = C \left( \frac{(D - H_r)u}{d} \right)^2 \quad (3)$$

$C$ は定数 $(= 8C_D\rho/\pi \approx 2.55 \times 10^3)$ 、 $C_D$ は抗力係数、 $\rho$ は水の密度、 $D$ は浸水深、 $u$ は流速、 $H_r$ は支柱根高さである。2004年インド洋大津波を参考にフルード数を0.6 - 1.2と仮定し<sup>6)</sup>、津波浸水深に対するマングローブの破壊率を求めると、胸高直径15 cm、支柱根高1.1 mのときには、津波浸水深が4.0 - 6.5 mで、破壊率はほぼ100%となり、マングローブ林は津波に対する抵抗力としてほぼ無力となることが分かる

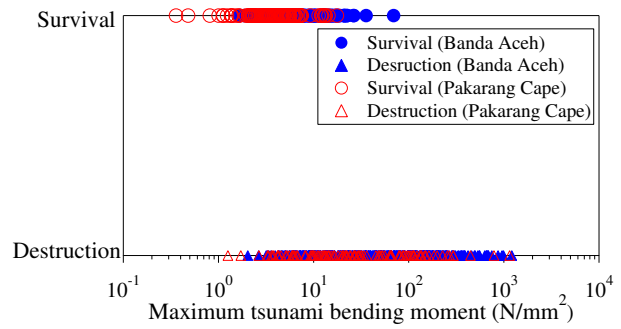


図-3 最大曲げ応力に対する生存と破壊

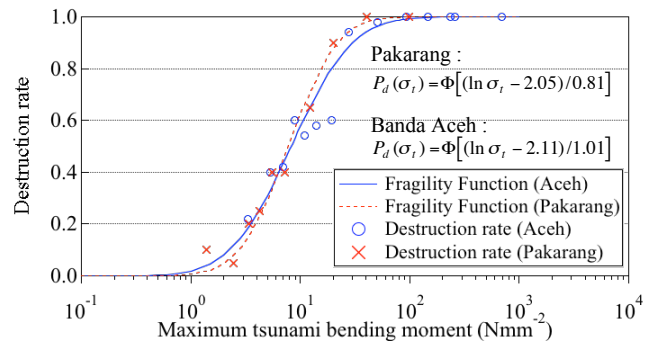


図-4 最大曲げ応力に対する生存と破壊

#### 4. まとめ

2004年インド洋大津波の現地被害調査および数値解析を比較し、津波に対するマングローブ林のフラジリティー関数を構築した。今後、フラジリティー関数の適用範囲を検討していくことが課題である

#### 参考文献

- 1) Danielson, F. et al. : The Asian Tsunami: A Protective Role for Coastal Vegetation, SCIENCE, VOL.310, 28, OCTOBER, pp.643 (2005)
- 2) 首藤伸夫 : 津波強度と被害-過去の事例による判定-, 東北大学工学部津波防災実験所研究報告, pp.101 - 136 (1992)
- 3) 今井健太郎ほか : 沿岸樹木のパイプモデルを用いた表面積、体積、評価法とその倒伏耐力, 水工学論文集, 第50巻, pp.859-864 (2005)
- 4) 柳澤英明ほか : マングローブ林内を遡上した津波の挙動と樹木の破壊条件, 海岸工学論文集, 第53巻, pp.231 - 235 (2006)
- 5) 柳澤英明ほか : インドネシア・バンダアチェにおけるマングローブ林の潜在的津波減衰効果, 海岸工学論文集, 第54巻, pp. 246-250 (2007)
- 6) Friz, H. et al. : 2004 Indian Ocean tsunami flow velocity measurements from survivor videos, Geophysical research letters, 33, L24605, doi:10.1029/2006GL (2006)