

II-105

植生に作用する各種流体力について

秋田大学 学員○今井健太郎

秋田大学 正員 松富 英夫

1. はじめに 1998 年パプア・ニューギニア津波の特徴の一つは、波源に直面した Sissano Lagoon の植生を有する右岸砂嘴上で最大津波高 14.8m を生じ、最大犠牲者数と犠牲率を出したことである¹⁾。また、西太平洋地域の発展途上国においては、経済的・自然環境への配慮などの理由から津波防御策として沿岸域の植生²⁾が注目されている。

そこで、本研究では津波氾濫時における植生に作用する各種流体力を実験的に評価することが目的である。

2. 実験 津波氾濫流はゲート急開流で模擬した。ピーク時の津波氾濫流をこの流れで模擬してよいことは確認済みである²⁾。実験は全長 11m の両面ガラス張り鋼製矩形水路を用いた。その概略を図-1 に示す。陸上部には樹木模型を設置した。樹幹部は樹幹高 $h_c=1.5\text{cm}$ 、直径 $d=2.4\text{mm}$ のアクリル棒とし、樹冠部は空隙率 $\lambda=0.7$ 程度の枝葉の模擬植生を用いた。図-2 に示す植生配置図は植生密度 κ ($=\Sigma$ 樹脂棒の断面

積/植生域面積) = 1.0% の場合である。計測機器の配置や諸記号の定義を図-3 に示す。検査領域は陸上砂嘴部の前後であり、測定項目は海側浸水深 h_1 、Lagoon 側浸水深 h_2 、海側

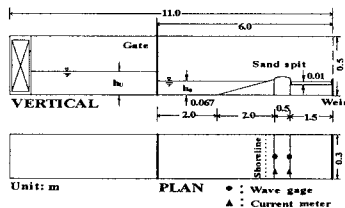


図-1 実験装置の概略

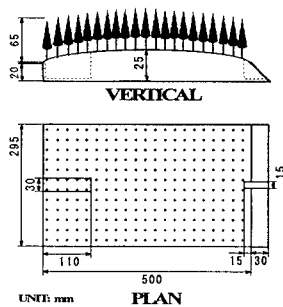


図-2 植生配置図

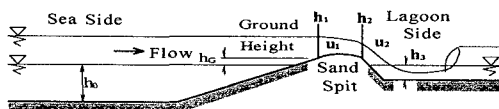


図-3 計測機器の配置や諸記号の定義

流速 u_1 、

Lagoon 側

流速 u_2 で

ある。浸

水深の測

定は容量

式波高計

表-1 実験条件

貯水深 h_0 (cm)	11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21
一様水深 h_0 (cm)	6.7
Lagoon水深 h_3 (cm)	1
地盤高 h_5 (cm)	1.5
斜面勾配 S	1/26
植生域長 L (cm)	50
植生密度 κ (%)	0, 0.5, 1.0, 1.5
植生配置	千鳥配置 格子配置
樹幹高 h_c (cm)	1.5
模擬植生の空隙率 λ	0.7
樹幹直径 d (mm)	2.4

(計測技研製)、陸上氾濫流速の測定は直径 3mm のプロペラ流速計 (中村製作所製) を用いた。表-1 に実験条件を示す。縮尺は 1/200 を想定しており、本実験条件は周期 $T=7.5\sim 9.1$ 分の津波に相当する。この周期はパプア・ニューギニア津波のそれに近い¹⁾。

3. 植生に作用する流体力と運動方程式 本研究では、Morison 式³⁾に物体 (樹木やその枝葉) の揺動による線形造波抵抗⁴⁾を付加することで流体力を評価する。線形造波抵抗は流体から見た物体の揺動速度に比例する抵抗である。植生の揺動速度として近似的に流速を用いると、水深方向に積分された浅水理論の運動方程式は次式となる。

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q^2}{h} \right) + gh \frac{\partial h}{\partial x} = -\frac{gn_0^2}{h^{1/3}} |q|q - \frac{1}{2} Nd' h C_D \left(\frac{q}{h} \right)^2 - \frac{1}{4} N \pi d'^2 C_M \left(\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{q}{h} \frac{\partial q}{\partial x} \right) - N \frac{\theta'}{\rho} qh$$

ここで、 ρ は水の密度、 q は線流量、 h は浸水深、 d' は換算直径、 C_D は抗力係数、 C_M は付加質量係数、 θ' は線形造波抵抗係数、 N は検査領域内の植生本数、 n_0 は $\kappa=0\%$ における Manning の粗度係数であり、0.018 を採用している。

4. 結果と考察 解析に用いた基礎方程式は上式であり、未知数は粗度係数を除いた各係数である。そこで、計測時間 $t=7\sim 10$ (s) に対し、時々刻々毎に未知数分だけ連立方程式を立て、それを解くことにより各係数を得た⁵⁾。その時間間隔は $\Delta t=0.01$ (s) とした。

図-4, 5, 6 に C_D と C_M 、 θ' と Stoker の理論による無次元入射段波波高 $\Delta H/h_0$ の関係である。 κ が大きくなるにつれ、各種係数はともに小さくなる。 $\Delta H/h_0$ が大きくなるにつれ、 C_D は若干大きくなり、 C_M は変化し

ない。 θ' は $\Delta H/h_0$ が大きくなると若干小さくなる傾向がある。 κ が大きくなるにつれ、 C_D が小さくなるのは従来の群杭流れにおける傾向と同じであり、植生間隔に依存する後流の復元距離に関係していると考えられる。 $\Delta H/h_0$ の増加に伴って C_D が大きくなることは、 C_D の Re 数の依存から考えると逆

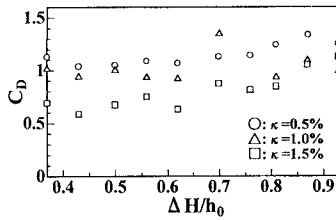


図-4 C_D と $\Delta H/h_0$ の関係

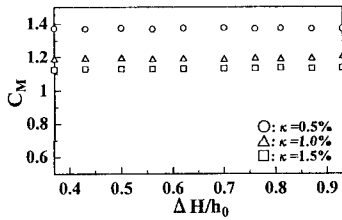


図-5 C_M と $\Delta H/h_0$ の関係

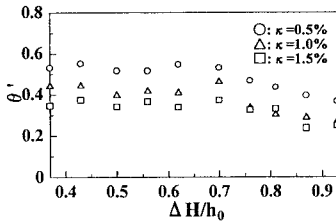


図-6 θ' と $\Delta H/h_0$ の関係

傾向である。本実験範囲においては $C_D \approx 0.5 \sim 1.4$ 程度、 $C_M \approx 1.1 \sim 1.4$ 程度、 $\theta' \approx 0.2 \sim 0.6$ 程度となった。

図-7 (a), (b), (c) に $\Delta H/h_0 = 0.56$ 、 $\kappa = 0.5, 1.0, 1.5\%$ の各種流体力の経時変化を示す。図中の F_{Dmax} は各ケースにおける抗力 F_D の最大値である。また、時間 t に関しては本実験条件における入射波周期を用いて無次元化している。全ケースをとおして F_D 及び線形造波抵抗力 F_A は定常・非定常部によらず安定した値を持つが、慣性力 F_M は非定常性の強い氾濫流先端部で最大値をとり、おおむね抗力の1～2割程度である。しかし、 F_M が支配的となる入射波先端部分は検査領域の関係上、正確に測定できてはいない。よって、本研究での F_M は過小評価されていることが考えられる。 F_A は非定常・定常流に関係なく F_{Dmax} の2割程度となり、流れが準定常状態になると植生に作用する流体力は F_D と F_A が支配的となり、無視できない。また、 κ が大きくなるに従って、 F_D がより支配的になるということも判る。

5. まとめ 本研究で得られた結果は以下である。

①線形造波抵抗力を考慮した場合、抗力係数 C_D は0.5

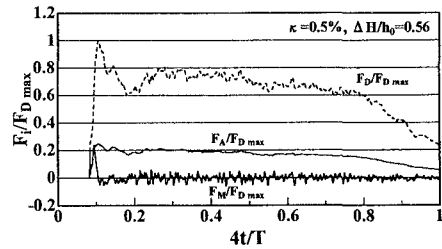


図-7(a) 各種流体力の経時変化 ($\kappa = 0.5\%$)

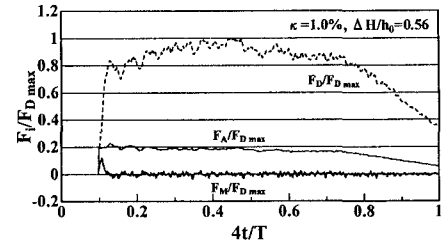


図-7(b) 各種流体力の経時変化 ($\kappa = 1.0\%$)

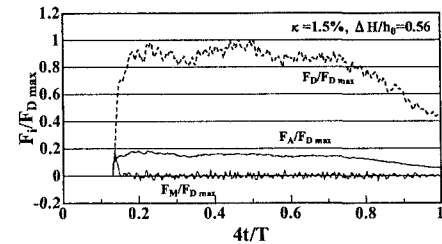


図-7(c) 各種流体力の経時変化 ($\kappa = 1.5\%$)

～1.4程度、付加質量係数 C_M は1.1～1.4程度となり、造波抵抗係数 θ' は0.2～0.6程度となる。いずれも κ に依存し、 κ が大きくなると、各種係数は小さくなる。 C_D と C_M については、従来の群杭流れにおける傾向と同じである。②植生に作用する流体力では、慣性力は氾濫初期で抗力の2割程度となる。流れが準定常となると、抗力と線形造波抵抗力が支配的となる。また、線形造波抵抗力の割合は抗力の2割程度となり、無視できない。

謝辞：本実験を行うに当たり秋田大学卒業研究生金田一高成君と上野 繁君の助力を得た。ここに記して意を表す。

＜参考文献＞ 1) 松富英夫・他 (1999)：海岸論文集，第46巻，pp.376-380. 2) 首藤伸夫 (1985)：第32回海岸論文集，pp.465-469. 3) Morison, J.R. et al (1950)：Petroleum Transaction, AIME, Vol.189, pp.149-154. 4) 高山知司・他 (1980)：港湾技研報告，vol.19, No.3, pp.71-143. 5) ラティフ・ハムザ・他 (1999)：東北地域災害科学研究，第35巻，pp.127-132.