

II-72 植生域を完全越流する津波の水理

秋田大学 学員○上野 繁

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年に発生したパプア・ニューギニア津波は砂嘴植生域を越流し、その最大津波高を砂嘴上で記録した¹⁾。そこで、本研究は津波氾濫流が砂嘴植生域を完全越流（植生域が完全に水没）する場合を含め、植生域を氾濫する津波の水理特性を実験的に検討する。

2. 実験

津波氾濫流はゲート急開流れで模擬した。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⁾。

実験装置の概略を図-1に示す。貯水部（水深 h_u ）が5m、一様水深部（水深 h_0 ）、一様勾配斜面部（勾配1/26）が2m、縦断形が円弧状で、斜面に連続的に接する陸上部（弦長）が

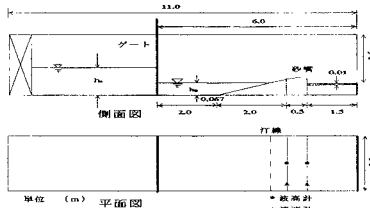


図-1 実験水路の概要

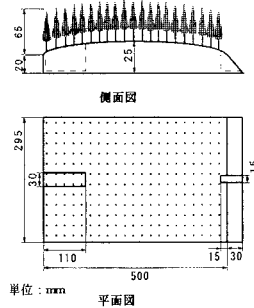


図-2 植生配置図

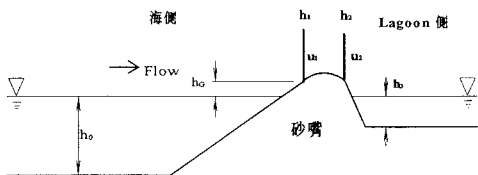


図-3 計測機器の配置図と諸記号の定義

表-1 実験条件

貯水深 h_u (cm)	11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25
一様水深 h_0 (cm)	6.7
Lagoon水深 h_3 (cm)	1.0
地盤高 h_c (cm)	1.5
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, 格子
植生 ($d=2.4$ mm)	枝葉有 ($h_{tr}=1.5$ cm), 無
模擬植生の空隙率 λ	0.7
模擬植生の植生幅(cm)	3.0

0.5m、一様水深のLagoon部が1.5mで、全長11mの両面ガラス張り鋼製矩形水路である。陸上部には植生模型を設置した。植生高さは6.5cmで、直径 $d=2.4$ mmのアクリル樹脂製の樹幹（高さ h_p ）に樹冠部（枝葉部）を付けたものとした。植生配置は千鳥と格子配置とした。植生配置例を図-2に示す。計測機器の配置や諸記号の定義を図-3に示す。実験値は、流れに準定常部分が存在することに着目して、氾濫流が砂嘴に入れ込んでから5秒後付近の1秒間を平均したものを採用した。縮尺は1/200を想定しており、本条件は周期7.0～9.1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。

3. 実験結果とその考察 氾濫流は植生厚 dn ³⁾に関わらず、沖の一様水深部での相対段波波高 $\Delta H/h_0=0.76$ 付近で完全越流をはじめた。本研究では、その前後での水理特性を論じる。水理特性は千鳥と格子配置で顕著な違いはみられなかった。よって、代表として千鳥配置の実験結果を示す。また、以下の実験値は3回の平均である。

3.1 浸水深 図-4に浸水深 h と $\Delta H/h_0$ の関係を示す。図中、2番目の下添字0は $dn=0$ であることを示す。海側浸水深 h_1 は、完全越流するまでは最大で5割程度増加する。これは、植生域を完全越流しない場合は、植生による反射が

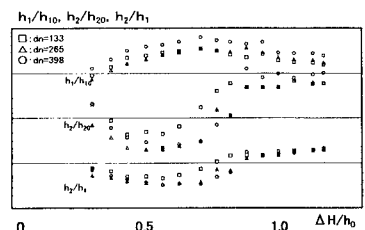


図-4 浸水深の $\Delta H/h_0$ への依存

顕著であることを示している。植生域を完全越流するようになると大粗度を越える流れとなり、植生による反射が緩和される

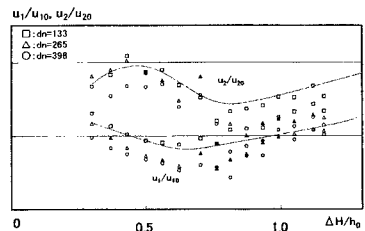


図-5 流速の $\Delta H/h_0$ への依存

ことになる。Lagoon 側浸水深 h_2 は、海側の植生が水没するまでは最大で 5 割程度減少する。海側、Lagoon 側ともに水没（完全越流）すると、 $\Delta H/h_0$ の増大とともに、 $dn=0$ の浸水深に漸近するものと考えられる。

3.2 流速 図-5 に流速 u と $\Delta H/h_0$ の関係を示す。流速は完全越流するまで減少し、その減少量は海側 (u_1) で 8 割、Lagoon 側 (u_2) で 6 割程度である。その後、緩やかに増加するが、浸水深と同様、完全越流すると、 $\Delta H/h_0$ の増大とともに、 $dn=0$ の流速に漸近するものと考えられる。

3.3 フルード数 図-6 に海側と Lagoon 側のフルード数 Fr の関係

を示す。

$dn=0$ の場合

は、 $\Delta H/h_0$

に関わらず、

砂嘴上で支

配断面を形

成する。植

生が有る場

合は、完全越流するまでは砂嘴上で支配断面を形成するが、完全越流すると支配断面を形成しない。

3.4 合成摩擦力と合成粗度係数 簡便さを考え、砂嘴や植生による底面摩擦力と抗力を分離せず、合成摩擦力や合成粗度係数の概念で議論を進める。

一般に、底面摩擦力は次式で表現される。

$$\tau_0 BL = \rho g I_e RBL \quad (1)$$

ここで、 τ_0 は底面せん断応力、 B は植生域幅（水路幅）、 ρ は水の密度、 g は重力加速度、 R は径深、 I_e はエネルギー勾配である。

陸上氾濫流にマンニング式を用い、合成摩擦力 D を底面摩擦力のように表現すると、次式となる。

$$D = \rho g n_s^2 h_T^{-1/3} (Q^2 / B) L \quad (2)$$

ここで、 Q は流量、 n_s は合成粗度係数である。また、 $R=h_T$ としており、 h_T は代表水深である。この水深には、実験結果⁴⁾や汎用性から判断して、 h_1 を採用すればよさそう。

浸水深が樹冠部に達すると、植生の投影面積や体積の評価が複雑となる。そこで、それらを簡便に評価するため、植生を円柱に換算することを考える。この場合、円柱の換算直径 d' は次式となる。

$$\frac{\pi d'^2}{4} h = (1-\lambda) \cdot h_w^2 \cdot (h-h_w) + \frac{\pi}{4} d^2 h_r \quad (3)$$

ここで、 λ は模擬植生の樹冠部の空隙率、 h_w は樹冠幅で

ある。た

だし、氾

濫流が植

生域を完

全越流す

る場合、

浸水深は

植生高さ

となる。

実験結果

と運動量

の定理か

ら合成摩

擦力 D を、

式 (2) か

ら n_s を評

価し、 $d'n$

との関係を示したものが図-7 である。ただし、図-7a)

は完全越流直前までのもの、図-7b)は完全越流後のものである。完全越流するまで、 n_s は $d'n$ と $\Delta H/h_0$ が大きくなるにつれて増加していく。植生域を完全越流すると、その傾向は逆となり、 n_s は $\Delta H/h_0$ が大きくなるにつれて減少していく。

n_s の回帰式として次式を得た。

$$n_s/n_0 = 1 + 0.57 d'n^{0.48} (\Delta H/h_0)^{1.12} \quad (4)$$

$$n_s/n_0 = 1 + 0.54 d'n^{0.54} (\Delta H/h_0)^{-2.24} \quad (5)$$

ここで、式 (4) は完全越流前、式 (5) は完全越流後のものである。両式を比較すると、完全越流前後で $\Delta H/h_0$ の寄与が逆の傾向を示していることが判る。

4. むすび ①津波が植生域を氾濫する場合、完全越流の前後で水理特性は大きく異なる。②植生や $\Delta H/h_0$ により、海側浸水深は最大で 50% 程度増加し、Lagoon 側浸水深は最大で 50% 程度減少する。これらは完全越流の前後で生じている。③海側流速は最大で 80% 程度、Lagoon 側流速は 60% 程度減少する。④植生の有無や完全越流の前後で流況は大きく変化し、支配断面を形成したり、しなかったりする。⑤合成粗度係数は dn (または $d'n$) や $\Delta H/h_0$ に依存するが、完全越流の前後でその依存傾向は逆にする。⑥合成粗度係数の評価実験式を得た。

<参考文献> 1) 松富ら：海岸工学論文集，1999。2) 松富・飯塚：海岸工学論文集，1998。3) 首藤：海岸工学論文集，1985。4) 松富・大向：海岸工学論文集，1999。

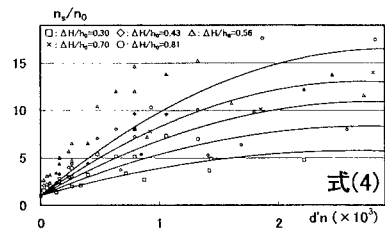


図-7a) 合成粗度係数の $d'n$ への依存

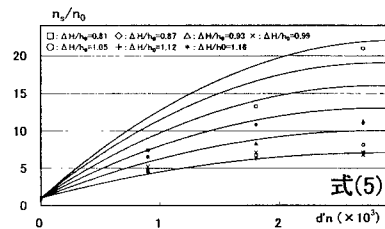


図-7b) 合成粗度係数の $d'n$ への依存