

平成21年6月12日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19510181
 研究課題名（和文） 漂流物を伴う津波氾濫流と複数流木の同時衝突確率に関する基礎研究
 研究課題名（英文） FUNDAMENTAL STUDY ON TSUNAMI INUNDATED FLOW WITH FLOATING BODIES AND PROBABILITY DISTRIBUTION OF SIMULTANEOUS COLLISION OF PLURAL DRIFTWOODS
 研究代表者
 松富 英夫（MATSUTOMI HIDEO）
 秋田大学・工学資源学部・教授
 研究者番号：20134083

研究成果の概要：漂流物を伴う津波氾濫流については、水理実験を行い、氾濫流先端部で漂流物を取り込む過程と漂流物が氾濫流を堰き止める機構の理解を進め、簡易理論を構築し、実験と理論の両面から対象氾濫流の基本特性を検討した。複数流木の同時衝突確率についても、水理実験を行い、流木の横拡散と縦分散の確率密度関数（衝突確率）の検討を進め、単体流木の衝突速度、衝突力、衝突力立ち上がり時間、衝突力継続時間と結びつけて、複数流木の同時やほぼ同時衝突時の最大衝突力とその生起確率の評価方法を提示した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,800,000	540,000	2,340,000

研究分野：水工水理学

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学，自然災害科学

キーワード：津波，氾濫流，流木，衝突力確率，水理実験

1. 研究開始当初の背景

(1) 2004年スマトラ島沖地震津波のとき、インドネシア Banda Aceh 市の Great Mosque 前における大量の漂流物を伴った氾濫流が大きな話題となった。これを機に日本では釧路港、気仙沼港、仙台港などで漂流物を伴う津波氾濫流対策の検討が開始された。そして、釧路港では2006年秋から先進的に漂流物を伴う津波氾濫流の対策工の施工が始まった。

(2) 漂流物を伴う津波氾濫流の研究は、外国を含めて、研究代表者が先駆的に行っていた。

た。その後、この研究課題の重要性が認識されたためか、数値解析的な研究が行われ始めた。

(3) 研究代表者の漂流物を伴う津波氾濫流の研究は理論的かつ実験的なもので、油のような（瓦礫＋流体でもよい）流体漂流物の場合は理論が有用であることを確かめていた。しかし、個体漂流物の場合は漂流物に起因する氾濫流塞き止め効果のため適用できず、塞き止め現象を観察・理解・モデル化して既報理論の改良を図る必要があった。

(4) 漂流物の衝突力についても、流木であるが外国を含めて、実用的なものは研究代表者が先駆的に研究を行っていた。その後、流木の形状(円柱、角柱)や衝突形態(縦衝突、横衝突)に多様性を持たせた研究、コンテナの衝突力に関する研究が行われ始めた。

(5) 漂流物の漂流については、流木を対象に拡散係数や移流・拡散の数値解析法が論じられていた。漂流物を伴う氾濫流の破壊力を議論する場合は複数の漂流物が同時衝突する確率の検討も重要である。これについても流木を対象に、幅の狭い水路での実験であったため信頼度はあまり高くないが、研究代表者が先駆的に研究を行っていた。

2. 研究の目的

(1) 流木などの漂流物を伴う津波氾濫流の理論モデルを構築し、今後多用されるだろう数値解析モデルの検証理論を提供するとともに、実験と理論の両面から対象氾濫流の基本特性を総合的に検討する。そのため、実験に基づいて氾濫流が漂流物を取り込む現象や漂流物が氾濫流を堰き止める現象を観察・理解し、氾濫流先端部で抵抗体として機能する漂流物域層のモデル化を行う。

(2) 流木を対象として、その複数本の同時やほぼ同時衝突時の衝突力とその生起確率の評価方法を提示する。そのため、まず流木の主流横断方向の横拡散と主流方向の漂流時間差から見た縦分散(移流拡散+縦拡散)の確率密度関数(衝突確率)を実験的に明らかにする。次に、これらの確率密度関数を単体流木の衝突速度、衝突力、衝突力立ち上がり時間、衝突力継続時間と結びつけて、複数流木の同時やほぼ同時衝突時の最大衝突力とその生起確率を検討する。

3. 研究の方法

(1) 漂流物を伴う津波氾濫流

①漂流物には漂流物群間の空隙率が評価し易い立方体や直方体の白木材(米ツガ)を用いる。

氾濫流はゲート急開流で模擬する。漂流物の初期配置はゲート上・下流域の全域に行い、その向きはランダムとする。漂流物層は一層とし、予備実験により、ゲートから3.5 m下流の観察断面において準定常流時の空隙率と初期ゲート下流域の空隙率 e ($=1$ -全漂流物の占有面積/漂流物配置域の面積)が同じになるように、初期ゲート上流域の漂流物量を定める。初期ゲート下流域の空隙率は0.4, 0.6, 0.8の3通りとする。

測定項目は超音波式変位計による観察断面での氾濫水深、実験水路上方と側面からのビデオ撮影による観察断面での漂流物移動

速度(\cong 氾濫流速)と空隙率($=1$ -観察域における漂流物の占有面積/観察域の面積)、および氾濫流先端部の漂流物域層縦断面積と漂流物域層長 L_{exp} である。

②水理条件と漂流物条件を変えて実験を行い、対象氾濫流の実験データを蓄積するとともに、漂流物を取り込む過程と漂流物が氾濫流を堰き止める機構の理解を進める。

③対象氾濫流が評価できる簡易理論を構築する。

④実験と理論に基づいて、対象氾濫流の漂流物の空隙率や長さ、氾濫流規模への依存性などの基本特性の解明を総合的に進める。

⑤漂流物が氾濫流に影響を及ぼさない程度に少ないときを想定して、そのときの氾濫流速についても検討も行う。

(2) 複数流木の同時やほぼ同時衝突確率

①水路側壁が流木の横拡散と縦分散に影響しない幅1.0 m、長さ7.0 m、高さ0.15 mの幅の広い水路を製作する。

②上記の水路に定常流場を発生させ、水路上流域の断面中央に流木長軸を流れ方向に向けて1本を投入し、下流の測定断面毎(6断面)に流木中心の水路横断方向位置と流木先端のそこまでの到達時間を計測する。流木の水路横断方向位置はビデオカメラ、到達時間は小型汎用ビームセンサーで計測する。

③上記②の実験から投入流木の各測定断面での水路横断方向位置と移動到達時間を求め、測定断面毎の水路横断方向位置の頻度分布(横拡散:横断方向を50等分)、水路横断方向の各位置での移動到達時間頻度分布(縦分散)を求め、それらの確率密度関数を検討する。

④水理条件と流木諸元を変えて②と③の実験およびその結果の検討を行い、フルード数や無次元漂流距離、無次元漂流時間を変数とした横拡散と縦分散の確率密度関数を検討する。

⑤流木の横拡散と縦分散の確率密度関数(衝突確率)を単体流木の衝突速度、衝突力、衝突力立ち上がり時間、衝突力継続時間と結びつけて、複数流木の同時やほぼ同時衝突時の最大衝突力とその生起確率の評価方法を検討する。

4. 研究成果

(1) 漂流物を伴う津波氾濫流

①対象氾濫流の伝播速度 ω は漂流物の移動速度(\cong 氾濫流速 u_2)より大きく、対象氾濫流は段波の性質を示す。

②対象氾濫流先端部における漂流物を取り込む過程と漂流物が氾濫流を堰き止める機構を理解・モデル化して、対象氾濫流の簡易理論を構築した。そのモデルを図1に、氾濫流速 u_2 の評価式を次に示す。

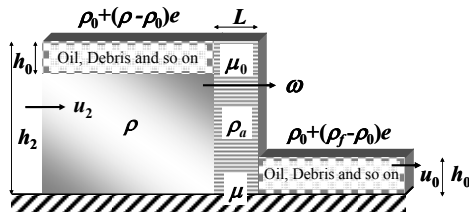


図1 漂流物を伴う汜濫流の簡易理論モデルと諸記号の定義

$$u_2 = \frac{\left[\left\{ \left(\frac{\rho}{\rho_0} - \frac{\rho_f}{\rho_0} \right) e + \frac{\rho}{\rho_0} \left(\frac{h_2}{h_0} - 1 \right) \right\} \omega + \left\{ 1 + \left(\frac{\rho_f}{\rho_0} - 1 \right) e \right\} u_0 \right]}{\left[\left\{ 1 + \left(\frac{\rho}{\rho_0} - 1 \right) e \right\} + \frac{\rho}{\rho_0} \left(\frac{h_2}{h_0} - 1 \right) \right]}$$

$$\omega = u_0 + \frac{g \left[\frac{\rho_0}{\rho} + \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right) e \right] h_0 + h_2 - h_0}{\left[1 + \left(\frac{\rho_f}{\rho_0} - 1 \right) e \right] \left[\left(1 - \frac{\rho_f}{\rho} \right) e + \frac{h_2}{h_0} - 1 \right]} \times \sqrt{\frac{1}{2} \frac{\rho}{\rho_0} \left(\frac{h_2}{h_0} - 1 \right)^2 + \left\{ 1 + \left(\frac{\rho}{\rho_0} - 1 \right) e \right\} \frac{h_2}{h_0}} - \frac{1}{2} \left[2(1-e) + \left(\frac{\rho}{\rho_0} + \frac{\rho_f}{\rho_0} \right) e \right] - \mu \frac{\rho_a}{\rho_0} \frac{L}{h_0} \frac{h_2}{h_0}$$

ここで、 ρ は流体の密度、 ρ_0 は漂流物の密度、 ρ_f は汜濫流下流域の漂流物群空隙部の密度（空気の場合は零）、 h_2 は汜濫流上流域の水深（汜濫水深）、 h_0 は汜濫流上・下流域の漂流物層の厚さ（漂流物の高さでもある）、 u_0 は汜濫流下流域の流速（一般に零）、 g は重力加速度、 μ は合成摩擦係数、 μ_0 は湿潤時の漂流物間の静止摩擦係数、 ρ_a ($=\rho_0 \sim \rho$) と L は各々汜濫流先端部の漂流物域層の密度と水平長さである。

③実験との比較を通して、空隙率 $e < 0.6$ のときを除き、現実的な空隙率のときは簡易理論の適用性が非常によいことを確認した。

④大きさや形が整い、細長比が小さい流木からなる漂流物では（本研究の実験範囲内では）、総合抵抗係数 $\mu \rho_a L / \rho_0 h_0$ は 6 以下である（図2）。図中の L_w は流木長、 h_1 はゲート急

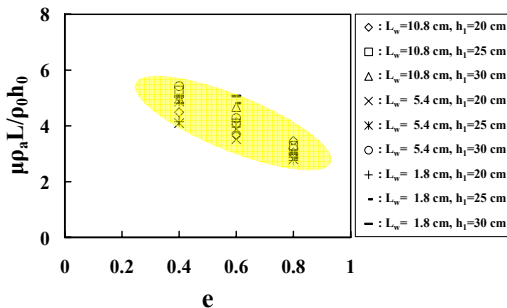


図2 総合抵抗係数の空隙率への依存性 ($\mu_0 = 1.0$)

開流れにおけるゲート上流域の初期貯留水深である。

⑤合成摩擦係数 μ は 0.03~0.13 程度で（図3）、湿潤時の流木と鋼材（実験水路の底面）の静止摩擦係数より小さい。

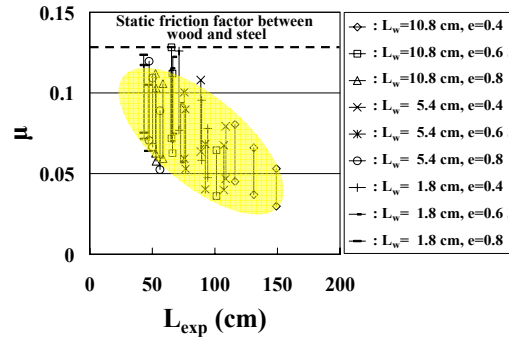


図3 合成摩擦係数の漂流物域層長 L_{exp} （実験値）への依存性 ($\mu_0 = 1.0$)

⑥漂流物が汜濫流に影響を及ぼさないときの汜濫流速の簡易評価式として次式を導いた。

$$u_2 = 0.66 \sqrt{gh_f} = 1.2 \sqrt{gh_r}$$

ここで、 h_f と h_r は津波汜濫域の建物などに汜濫流が作用する面（前面）とその背面での浸水深である。

(2) 複数流木の同時やほぼ同時衝突確率

①津波汜濫流に伴う複数流木の同時やほぼ同時衝突時の衝突力 F_c （図4）とその生起確率 p_2 の評価方法を提示した。例えば、2本の流木が漂流時間 $t = \tau$ と t_1 ($t_1 > \tau$ か $t_1 - \tau < \Delta t$) に衝突したときのそれらは各々次式で評価される。

$$F_c(x, y, t) = |F_r(t) + F_l(t)|$$

$$p_2(x, y, \tau) \cong p_1(x, y, \tau) p_1(x, y, t_1)$$

ここで、

$$F_r(t) = \frac{F_m}{\Delta t_p} (t - \tau) \quad (\tau \leq t \leq \tau + \Delta t_p)$$

$$= -\frac{F_m}{\Delta t - \Delta t_p} (\tau + \Delta t_p - t) \quad (\tau + \Delta t_p < t \leq \tau + \Delta t)$$

$$p_1(x, y, t) = K_y(x, y) K_t(x, y, t)$$

$$K_y(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\delta_y^2}} \exp \left[-\frac{(y - \bar{y})^2}{2\delta_y^2} \right]$$

$$\delta_y^2 / L_w^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 / L_w^2 = a(x/L_w)^b$$

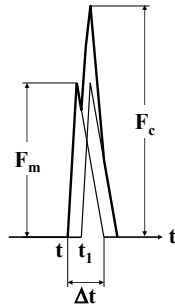


図4 合成衝突力波形 (模式図)

$$K_i(x, y, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta_i} \exp\left[-\frac{(t-\bar{t})^2}{2\delta_i^2}\right]$$

$$\frac{u_2^2}{L_w^2} \delta_i^2 = \frac{1}{n_i} \sum_{i=1}^n (t-\bar{t})^2 / (L_w/u_2)^2 = c(x/L_w)^k + m|y/L_w|^r,$$

x は主流方向に取った流木の流下距離座標 (流木投入地点が原点), y と \bar{y} は任意の x 地点での流木の流れ横断方向位置座標とその平均位置座標, F_m は単体流木の最大衝突力, Δt_p は衝突力立ち上がり時間, Δt は衝突力継続時間, n はデータ数, \bar{t} は (x, y) を通過する流木の平均漂流時間, n_i は (x, y) を通過する流木の本数である. F_m と Δt の評価には研究代表者の既報の研究成果を利用する.

a, b, c, k, m, r の値については, 流木の種類や形状, フルード数等の水理量などと依存性が多様過ぎて, 今後の検討課題として残された.

②衝突力立ち上がり時間と衝突力継続時間の比 $\Delta t_p/\Delta t$ は 0.2~0.25 である.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① 松富英夫, 古戸貴大: 漂流物を伴う氾濫流の水理量評価法と基本特性, 海岸工学論文集, 第55巻, pp.356-360, 2008, 査読有.
- ② 松富英夫, 岡本憲助, 佐藤和典: 浸水痕跡に基づく簡易氾濫流速推定法の基礎的検討, 水工学論文集, 第52巻, pp.673-678, 2008, 査読有.
- ③ 松富英夫, 藤井 碧, 山口 健: 漂流物を伴う氾濫流の基礎実験とモデル化, 海岸工学論文集, 第54巻, pp.226-230, 2007, 査読有.

[学会発表] (計4件)

- ① Matsutomi H., Fujii M. and Yamaguchi T.: Experiments and development of a model on the inundated flow with floating bodies,

Proc. of 31st Intl. Conf. on Coastal Eng., ASCE, 2009. (in press)

- ② 戸来 啓, 岡本憲助, 松富英夫: 流木の横拡散と移流拡散に関する実験的検討, 土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集 (CD-ROM), II-34, 2009.
- ③ 松富英夫: 氾濫流に伴う漂流物の衝突力確率に関する試論, 土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集 (CD-ROM), II-36, 2009.
- ④ 古戸貴大, 松富英夫: 漂流物を伴う氾濫流の実験での水理量決定法について, 土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集 (CD-ROM), II-82, 2008.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松富 英夫 (MATSUTOMI HIDEO)

秋田大学・工学資源学部・教授

研究者番号: 20134083