

流水中の人体が受ける流体力に関する実験的研究  
Experimental study on a hydrodynamic force on a human body in flowing water

○戸田圭一・岡本隆明・當麻泰史

○Keiichi TODA, Takaaki OKAMOTO, Yasufumi TOUMA

Climate change increases the frequency of torrential rains and drowning accident frequently occurs. Therefore, it is very important to study the hydraulic force on the human body in flood water. In this study, two kinds of the flume experiments were conducted using a small-scale model of the human body (1/10 scale). First, we measured the drag force exerted on the human body in flood water. The experiment data showed that the drag force exerted on the human body in a sitting position is 2-3 times larger than that in a standing position. Second, we measured the flow velocity around the human body by using the electromagnetic current meter. The results revealed that the drag force exerted on the human body increases due to the clothing.

### 1. はじめに

近年、局地的豪雨が増加傾向にあり、中小河川において河川水難事故が頻発している。平成 20 年 7 月兵庫県都賀川において 5 名が亡くなるという水難事故が発生した。中小河川では極めて短時間で水位が上昇し、数十 cm 程度の増水でも外力が急に大きくなる可能性が指摘されている。これまで氾濫シミュレーションや避難対策については、多くの既往研究がみられ様々な場で報告がなされている。しかしながら、これまでの研究は立っている状態の人体を角柱や円柱で模して解析したものがほとんどで、転倒時の人体にかかる抗力増加や着衣の影響は考慮していない。そこで本研究では人体模型を用いて水理実験をおこない、様々な姿勢の人体にかかる抗力を計測して流水による転倒時の漂流の危険性<sup>1)</sup>について調べる。また服を着せた状態の人体模型についても抗力計測、電磁流速計による流速計測を行い、着衣による人体抗力の変化を把握する。

### 2. 実験装置

図-1 に抗力計測実験装置図を示す。実験に用いた水路は全長 10m, 幅 40cm, 高さ 50cm の可変勾配型水路であり、等流状態になるように水路勾配を変化させている。x, y および z は、それぞれ流下方向、鉛直方向および横断方向である。H は全水深、k は人体模型の高さである。鉛直方向の原点 (y=0) は水路底面とした。図のように人体模型を上から支柱によって吊り下げ、底面から 2mm 程度

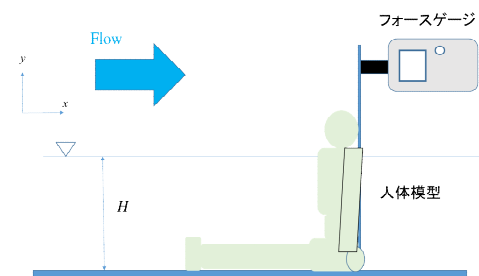


図-1 人体にかかる抗力計測装置

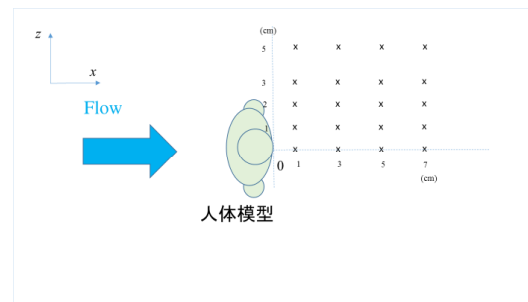


図-2 電磁流速計による流速計測

浮かした状態で固定した。

流体力の計測にはフォースゲージ(日本電産シンポ製 FGP-0.5)を用いた。抗力計測実験では図-1 に示す通り水平方向に設置したフォースゲージに支持棒を介して人体模型を取り付けており、模型が水流から受ける抗力 $D$ は金属棒を中継してフォースゲージで計測される。

人体模型(プラスチック製 1/10 スケール)の関節部分は可動で、氾濫水による転倒を想定して立位と座位状態に変化させることが可能である。立位

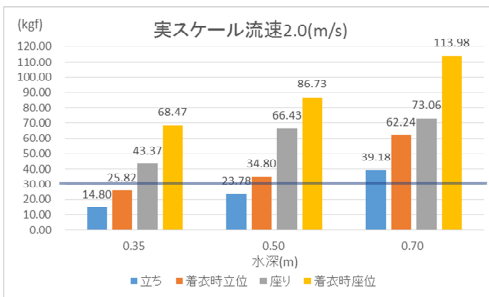
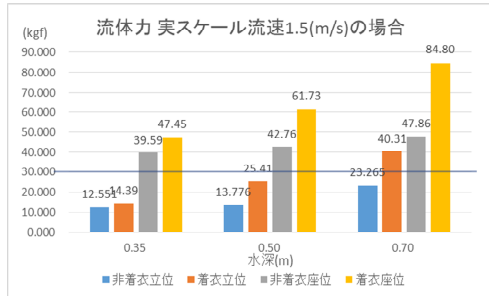
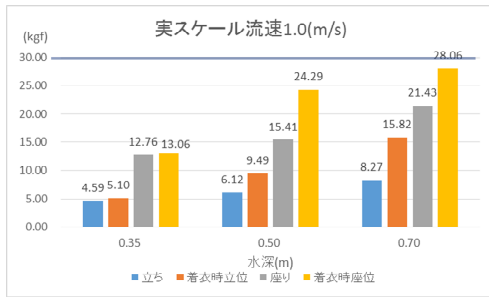


図-3 座位と立位時の人体抵抗力の変化

時の模型高さは  $k=15\text{cm}$  (実スケール 150cm), 座位時の模型高さ  $k=7\text{cm}$  (実スケール 70cm) である。氾濫流水深は  $H=3.5, 5.0, 7.0\text{cm}$  (実スケールで 35, 50, 70cm) の 3 通りに変化させた。各ケースについて断面平均流速  $U_m$  も  $U_m=32, 47, 63\text{cm/s}$  (実スケールで 1.0, 1.5, 2.0m/s) と系統的に変化させて様々な条件下で実験を行った。

図-2 に流速計測実験装置図を示す。  $U, V$  および  $W$  は、それぞれ流下方向、鉛直方向および横断方向の時間平均流速である。電磁流速計 (VP-1500) と I 型のセンサーを用い、人体模型の背後領域の点計測を行った。サンプリングレートは 30Hz, サンプリング時間は 40s である。

### 3. 実験結果

図-3 に座位と立位状態の人体模型にかかる抵抗力  $F(\text{kgf})$  の変化を示す。抵抗力は実スケール換算しており、図中には立位状態の転倒への抵抗限界値<sup>2)</sup>を示している。非着衣状態のみを考慮すると実スケール流速 1.0m/s では立位状態の転倒への

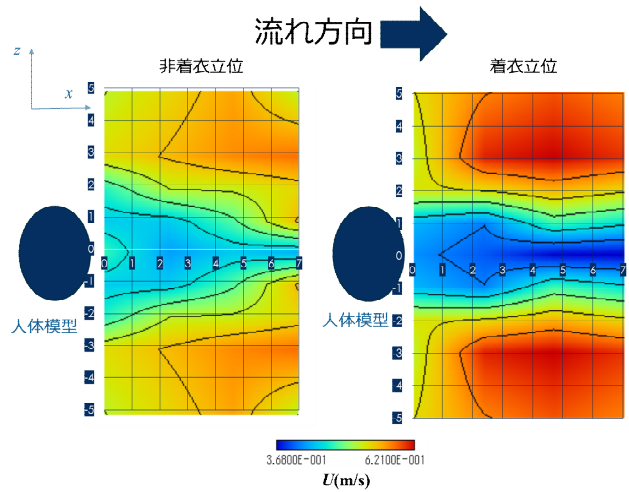


図-4 人体背後の時間平均主流速コンター

抵抗限界値よりも抵抗力が小さく、転倒の危険性は少ないが、流速 2.0m/s になると水深 70cm で転倒する危険性が高い。

転倒して座位状態になると立位状態と比較して抵抗力は 2~3 倍となっており、転倒すると水流によって押し流される危険性が増すことを示している。座位状態と立位状態の抵抗力の差は水深の小さなケースほど顕著にみられた。これは座位状態では投影面積が急激に大きくなるためである。また立位と座位状態において着衣状態では非着衣状態よりも抵抗力が増加しており、注目される。

次に着衣と非着衣状態の人体抵抗力の変化について考察するために図-4 に立位ケースの人体周りの時間平均主流速コンターを示す。着衣ケースでは非着衣ケースよりも人体背後の流速値が小さくなっており、抵抗力計測の結果と対応している。着衣と非着衣ケースで投影面積に大きな変化はないが流速差が大きいことから、表面抵抗が氾濫水中で受ける流体力に大きな影響を及ぼしていることが示唆される。今後実験ケースを増やしてさらに詳細に検討していく。

### 参考文献

- 1) 北村 光司・西田佳史 (2017): 河川の流水による子どもの流され状況の再現実験とライフジャケット着用の必要性に関する研究, 日本子ども安全学会 第四回大会資料
- 2) 藤田一郎・伊藤崇博 (2011): 平成 21 年 8 月兵庫県佐用町河川災害における氾濫解析と避難行動判断基準に関する研究, 河川技術論文集, 第 17 巻 431-436