

第II部門 流水中で転倒した人体の受ける抗力に関する実験的研究

京都大学 学生員
 京都大学 正会員
 京都大学 フェロー会員

○當麻泰史
 岡本隆明
 戸田圭一

1. はじめに

近年，地球温暖化の影響によって台風や大雨が増加し，河川において水難事故が多発している．兵庫県都賀川においても上流部の降雨により水位が急上昇，当時近隣にいた5名がなくなるといった事例があった．最近では子供たちが河川で遊ぶ機会が多く流水中に入ることも多々ある中で流される事故も発生している．本研究では人型模型を用いて流水中の人体に掛かる力を様々な姿勢で計測し，特に座位の姿勢で流水により転倒した後に漂流する危険性¹⁾について調べた．また同様に着衣による影響を調べるために電磁流速計による流速計測を行った．

2. 流体力計測実験

図-1に本研究で行った流体力計測実験の装置の図を示す．水路は全長10(m)，幅0.4(m)，高さ0.5(m)の可変勾配型水路である． y は水深方向で x は流下方向を示す． H は全水深， k は人型模型の高さを示す．今回は水路床から受ける静止摩擦力を考慮しないため，図のように水路上面の支柱から吊り下げ，底面から2(mm)ほど浮かせて固定した．流体力計測にはフォースゲージ(日本電産シンボ製 FGP-0.5)を用いた．

人型模型は立位時の姿勢で全長 $k=15$ (cm)，座位時では $k=7$ (cm)で，本研究では人型模型を身長150(cm)，座高70(cm)の人間の1/10スケールとして想定した上で，各種実験条件を設定した．本研究にて用いた人型模型はプラスチック製で関節部分が可動であるため，様々な姿勢をとらせることができる．実験では汨濫水による転倒を考慮し立位時と座位時に変化させた．また，着衣を考慮すべく厚さ約1(mm)程度の薄い布を模型に巻き付ける条件で計測を行った．実験での水理条件は表-1に示す通り実物換算して水深0.35，0.50，0.70(m)，流速1.0，1.5，2.0(m/s)となるように設定した．

表-1 実験条件

流速(m/s)		水深(m)	
実スケール	実験時	実スケール	実験時
1.0	0.316	0.35	0.035
1.5	0.474	0.5	0.050
2.0	0.633	0.7	0.070

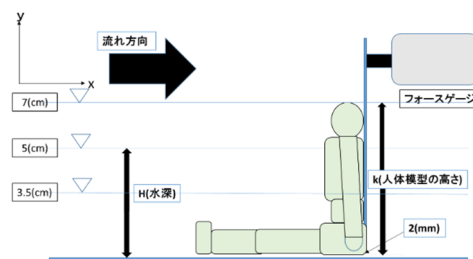


図-1 流体力計測実験

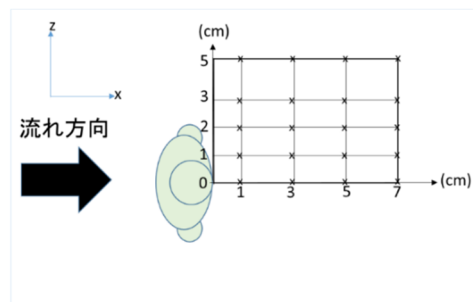


図-2 流速計測実験

3. 流速計測実験

図-2に人型模型背後の流速実験で流速を求めた地点を示す．流速計測の際，人型模型とセンサーは水路上の支柱から吊り下げ，センサーは水深一定で横断・流下方向(図中の x, z 方向)に可動するように設置した．また，流速計測実験と同様河床から2(mm)浮かせて固定した．電磁流速計にはVP-1500のものを，センサーはI型の物を用いた．サンプリングレートは30(Hz)，サンプリング時間は40秒とした．

4. 実験結果

図-3に立位と座位，着衣の有無で計測した流体力を示す．図中に人間が抵抗できる限界の数値²⁾を示す．

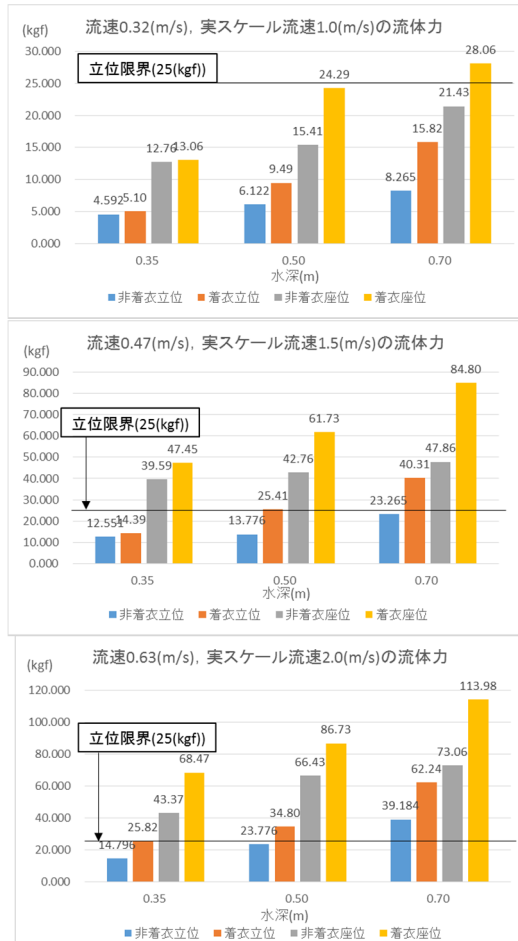


図-3 流体力計測結果

非着衣時のみ見ると実スケール流速 1.0(m/s)で立位時では受ける流体力は小さく転倒可能性は低いが 2.0(m/s)になると転倒する危険性が高い、と言える。また、全てのケースにおいて立位時より座位の状態では受ける流体力が大きい。立位時と座位時の差は水深が小さいほど大きくなり、実スケール流速 1.5(m/s), 実スケール水深 0.35(m)相当の実験ケースでは3倍程度座位の方が大きい。これは立位時より座位時の方が水中での投影面積が大きいことに起因する。このことから、流水中で座位の姿勢をとった場合押し流される危険性が高いことを示す。

非着衣時より着衣時の方が流体力は大きいと出ている。この変化について考察するために図-4 に時間平均主流速コンター図を示す。立位時、座位時で着衣ケースでは非着衣ケースより後方の流速が小さくなっており、抗力計測の結果と対応している。着衣時再現に用いた布は薄く、水中投影面積は着衣時と非着衣時で大きな変化はないことから、形状抵抗と表面抵抗の二つが流水中で受ける流体力に影響を及ぼしていることが示唆された。

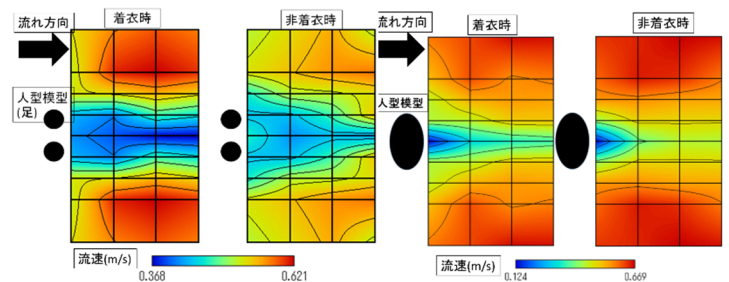


図-4 コンター図(左:立位時, 右:座位時)

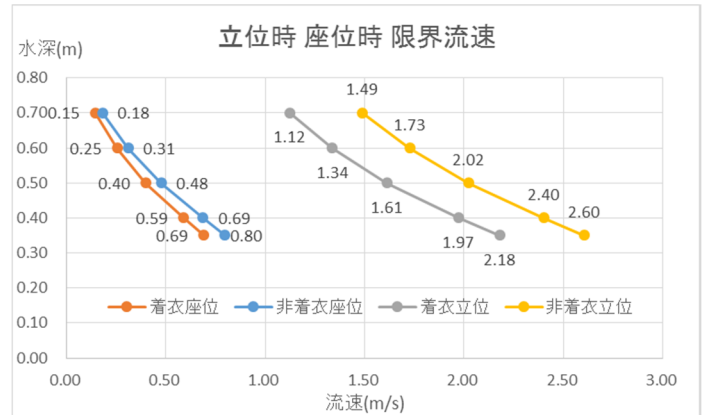


図-5 限界流速

次に図-5 に以上の結果と水中投影面積を近似によって求めた抗力係数、平均体重と浮力を考慮した静止摩擦力から算出した流される限界の流速と水深の関係を示す。静止摩擦力 F の算出には以下の式(1)を用いた。

$$F = \mu(mg - \rho Vg) \quad (1)$$

この時の静止摩擦係数 μ は 0.7³⁾, m は 150(cm)が平均身長である 12 歳児の平均体重の 46(kg), ρ は水密度, V は水中の人体の体積, g は重力加速度である。立位時より座位時の方が流される限界の流速値が小さくなっている。これは水中の投影面積の増加に加え、水中の体積が立位時より座位時が大きいことに起因している。

今後、他の姿勢や水理条件を増やして詳細な実験を行う。

参考文献

- 1) 北村光司・西田佳史, 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, 2017
- 2) 藤田一郎・伊藤崇博, 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, pp.431-436, 2011
- 3) 須賀堯三・上坂恒雄・吉田高樹・浜口憲一郎・陳志軒: 水害時の安全避難行動(水中歩行)に関する検討, 水工学論文集, 第 39 巻, pp.879-882, 1995.