

第II部門

側溝や用水路での水難事故危険性に関する実験的研究

京都大学 学生員 ○岡 宗佑
 京都大学 正会員 岡本隆明
 京都大学 フェロー会員 戸田圭一
 京都大学 学生員 當麻泰史

1. はじめに

近年、子供が側溝や用水路に誤って転落し、流されてしまうという事故が各地で発生している。側溝内では子供がどれくらいの流速や水深で流されるのかについて詳しくわかっていない。そこで、本研究では、流水中で子供の身体にかかる流体力について、人体模型を用いて水路幅や流速、水深、姿勢、衣服の有無を変えて水路実験を行った。また、座位時の静止摩擦係数を算出し、実験で得られた流体力と比較することで、子供が幅の狭い側溝や用水路で流される危険性について判定した。

2. 流水中で人体にかかる流体力

図-1 に、流水中で人体にかかる流体力計測実験の実験装置図を示す。水路長さ 10m、高さ 0.40m、奥行 0.40m の水路で実験を行った。人体模型の背部を水路内のフォースゲージ(日本電産シンボ製 FGP-5)に固定した。水路幅の狭いケース(実験時のスケールで $B=0.10\text{m}$, 0.20m)を実験する際は、水路内に塩ビボックスを設置して幅を狭めた。人体模型(1/4 スケール)は立位時で全長 0.30m、座位時で全長 0.21m のものを用い、本研究では身長 1.2m の 7 歳児を想定して実験を行った。模型の手足は可動で、流水中の転倒状態を想定して立位、座位姿勢に変化させることができる。表-1 に水路実験の水理条件を示す。各ケースについて、立位非着衣、立位着衣、座位非着衣、座位着衣の 4 パターンで、水路幅、流速、水深を変化させて流体力を計測した。

3. 座位時の静止摩擦係数について

座位時の静止摩擦係数は、浮力を考慮して次の式で算出した。

$$F_0 = \mu(Mg - \rho Vg)$$

Sosuke Oka, Takaaki OKAMOTO, Keiichi TODA and Yasufumi TOUMA
 oka.sosuke.38w@st.kyoto-u.ac.jp

表-1 水理条件

実スケール			実験時のスケール		
水路幅B(m)	流速U(m/s)	水深H(m)	水路幅B(m)	流速U(m/s)	水深H(m)
1.6	1	0.2	0.4	0.5	0.05
		0.3			0.075
		0.4			0.1
	1.5	0.1		0.75	0.025
		0.2			0.05
		0.3			0.075
0.8	1	0.2	0.2	0.5	0.05
		0.3			0.075
		0.4			0.1
	1.5	0.1		0.75	0.025
		0.2			0.05
		0.3			0.075
0.4	1	0.1	0.1	0.5	0.025
		0.2			0.05
		0.3			0.075
		0.4			0.1
	1.5	0.1		0.75	0.025
		0.2			0.05
		0.3			0.075
		0.4			0.1
	2	0.1		1	0.025
		0.2			0.05
		0.3			0.075
		0.4			0.1
		0.5			0.125
		0.6			0.15

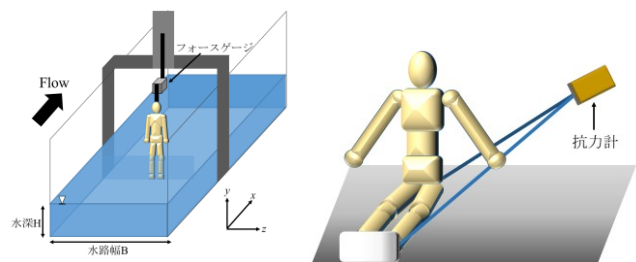


図-1 流体力実験装置図 図-2 抵抗力計測概要図

F_0 は静止摩擦係数, μ は摩擦係数($=0.50$), M は体重(7 歳児の平均体重である 24.1kg とした), ρ は水の密度, V は身体の水没体積, g は重力加速度である。しかし、流水中で転倒して座位状態になったとしても、咄嗟に後方の地面に手をつくことで流体力に対してある程度抵抗できるという可能性が考えられる。そこで、図-2 のように、座位状態の被験者の足裏に布を引っ掛けて後ろから引っ張り、被験者が滑り始めた時の抵抗力の値を計測した。6 人の被験者に対して、ただ座っただけの自然座位状態と、被験者が後方の地面に手をついた抵抗座位状態の 2 ケースでそれぞれ計測を行い、滑り始める限界値がどれくらい変わるの

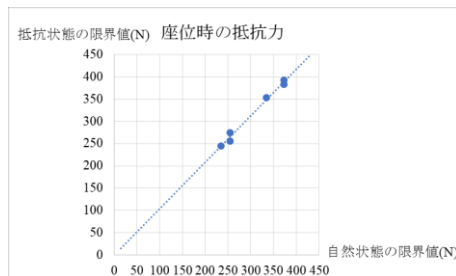


図-3 座位時の抵抗力

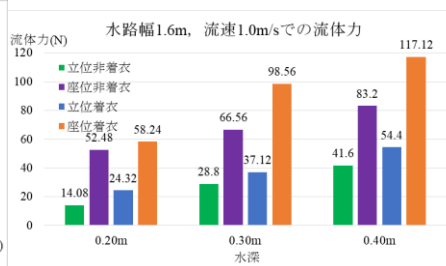


図-4 広い水路幅での流体力

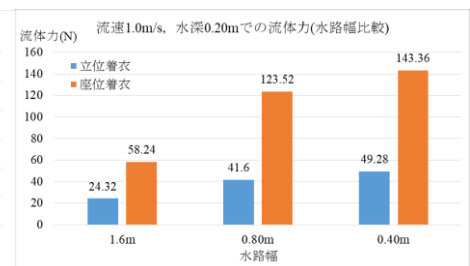


図-5 流体力の水路幅比較



写真-1 実験時の様子

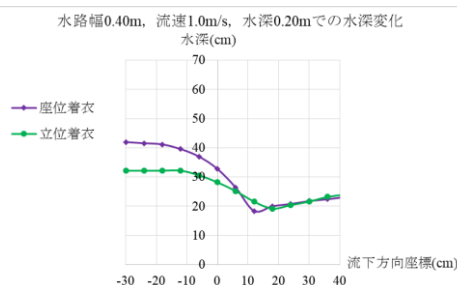


図-6 水深変化図

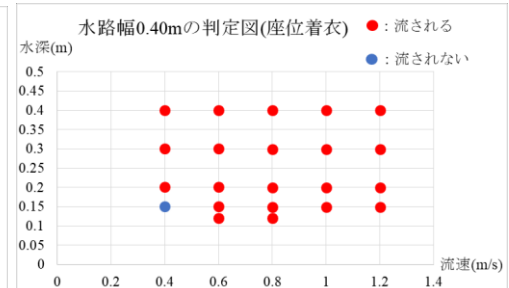


図-7 座位時の危険度判定図

かを比較した。その結果を図-3に示す。どの被験者も、滑り始める限界値は地面に手をついても 0~20N ほどしか増加していないため、座位姿勢では流れに対して抵抗することが難しい。そのため、座位時の抵抗限界値として静止摩擦力を用いるのは妥当である。

4. 実験結果

水路幅が十分に広いケースである、実スケール水路幅 1.6m、流速 1.0m/s における水深 0.20m、0.30m、0.40m での流体力を図-4に示す。図の値は全て実スケール換算している。姿勢を変えて比較した場合、いずれの水深でも、立位時よりも座位時の方が流体力は大きくなった。また、衣服の有無で比較した場合、いずれの水深でも、非着衣時よりも着衣時の方が流体力は大きくなった。これは、座位姿勢となることや衣服を着用することで、水面下の身体の投影面積が増加したためであると考えられる。¹⁾また、着衣時の流体力の増加については、衣服によって形状抵抗や摩擦抵抗が変化したことも理由として考えられる。

次に、実スケール流速 1.0m/s、水深 0.20m における水路幅 1.6m、0.80m、0.40m での立位着衣時と座位着衣時の流体力を図-5に示す。幅の狭い水路幅 0.80m や 0.40m のケースでは、立位時と座位時の流体力差が非常に大きくなっている。このような結果となった理由について考察する。写真-1は、水路幅 0.40m、流速 1.0m/s、水深 0.20m での座位着衣時の実験時の

様子である。青い線は水面を表している。写真のように、幅の狭いケース(実スケールで $B=0.40\text{m}$)では堰上げが発生し、模型の前後で水深差が生じた。図-6は、立位時は人形の踵に、座位時は人形の臀部に原点 ($x=0$) をとり、横軸を流下方向座標、縦軸を水深として、水路幅 0.40m での水面変化を示したものである。堰上げによる水深差は、立位時よりも座位時の方が大きくなった。幅の狭い水路内で転倒して立位姿勢から座位姿勢になった場合、座位姿勢へ変化して水面下の身体の投影面積が増大することによる抗力の増加と、水深差の増大による静水圧差の増加が合わさった結果、流体力が大きく増加したと考えられる。

また、座位時の静止摩擦力 F_0 と、より低い流速や水深で行った実験で得られた座位着衣時の流体力値 F を比較すると、図-7のようになった。 $F_0 > F$ となる時を「流されない」、 $F_0 < F$ となる時を「流される」と判定している。この図から、幅の狭い水路内で座位姿勢にある子供は、流速が 0.40m/s で水深が 0.20m、流速が 0.60m/s で水深が 0.12m といった規模の流水でも流されてしまう危険性があることが分かった。

今後は、他の流速や浸水深での流体力計測や危険性の判定を行う。

参考文献

- 1) 戸田圭一・岡本隆明・當麻泰史：流水中の人体が受ける流体力に関する実験的研究，京都大学防災年報，第 61 号 B，pp.668-674，2018。