

自動車に働く流体力の迎角依存性に関する研究

九州大学大学院 学生員 ○大島崇史 正員 押川英夫 藤田和夫 フェロー 小松利光

1. 結論

洪水氾濫が生じた際に、避難手段としての自動車の使用の良否には議論の余地があるが、実際には多くの水害時に自動車を利用されているものと推察される。しかしながら、2010年7月の愛知県可児市の例のように、自動車での移動中に氾濫した水に流されて亡くなるというケースが多く見受けられる。このような状況の下、押川ら¹⁾は模型実験により、流水を横断する向きに置かれた自動車に働く流体力を測定し、冠水時の自動車通行の危険性の評価を行っている。しかしながら実際の洪水氾濫時には、流水に対する自動車の向き（以後、迎角と呼ぶ）は、状況によりあらゆる角度が想定でき、迎角に応じて自動車に働く流体力および走行の危険性も変化する。そこで本研究では、自動車に働く流体力の迎角依存性について模型実験に基づく検討を行った。

2. 実験概要

実験には長さ2200cm、幅60cm、深さ60cmの直線開水路を水路床勾配1/25として用いた（Fig.1参照）。自動車には重さが88.32gで縮尺1/24の全高 $k=6.2\text{cm}$ 、全長 $L=15.4\text{cm}$ 、全幅 $B=7.2\text{cm}$ のプラスチック製の日産マーチの模型を用いた。路面にタイヤが接触した状態で車のみに働く力の測定が困難であったことから、実験においては模型に薄い土台を結合させたものを横断方向の水槽中央で三分力計に取り付け、流水が模型および土台に及ぼす力を測定した。更に、模型を上から吊り下げ土台から1mm程度浮かした状態で、土台のみの状態でも同一の水理条件で計測を行い、その値を差し引くことで、自動車のみに及ぼす力を評価した。

実験時の水深 h は1.5cmおよび2.0cmの2条件とし、自動車の迎角 θ は、自動車前面が上流側を向いた 0° から流水を横断する向きの 90° まで 15° 刻みで7条件、さらに各水深・迎角につき2種類のFr数（ $Fr \equiv U / (gh)^{1/2}$ 、 U は断面平均流速、 g は重力加速度で 9.81m/s^2 ）で測定を行った。なお、測定はサンプリング周波数100Hzで2分間とし、得られたデータを平均することで力の評価を行っている。

3. 実験結果と考察

$Fr=1$ 、相対水深 $h/k=0.24$ の条件における自動車のX

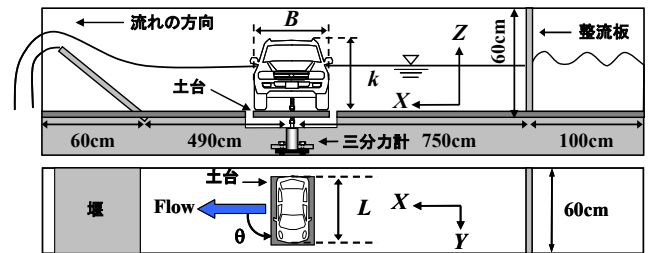


Fig.1 実験装置の概略図（ $\theta=90^\circ$ の場合）

方向の流体力係数 C_{Fx} 、Y方向の流体力係数 C_{Fy} 、それらの合力の流体力係数 C_{Fxy} を迎角に対してプロットした図をFig.2に示す。ここで流体力係数は $C_F \equiv 2D/\rho S_\perp U^2$ で与えられ（ D はX方向、Y方向、合力の方向それぞれにおける流体力、 ρ は水の密度、 $S_\perp$ は $\theta=90^\circ$ における自動車のX方向の投影面積）、全ての θ に対して 90° における投影面積を用いている。これより、流体力係数 C_F の結果で自動車に働く流体力の大きさを直接比較できるようにしている。なお、自動車に働く流体力は車の投影面積に大きく依存すると考えられるため、右軸に $S/S_\perp$ （ S は各迎角における自動車のX方向の投影面積）を示しており、ここで用いた流体力係数に及ぼす投影面積の影響の検討を容易にしている。Fig.2より、 C_{Fx} は迎角に大きく依存し、 C_{Fx} が最大となる $\theta=75^\circ$ では最小となる $\theta=15^\circ$ の時の3倍以上の力が働いていることがわかる。また、 C_{Fx} と $S/S_\perp$ には比較的高い相関（相関係数0.8）が認められるものの、 $S/S_\perp$ が最大となる $\theta=60^\circ$ で C_{Fx} が最大とはなっていないこと、 $\theta=30^\circ$ 付近で流体力係数が特に小さいことなどが理解される。さらに、 C_{Fx} と C_{Fxy} の値にほとんど差がないことから、Y方向の力に対してX方向の力が卓越しており、流れ方向の力のみで自動車に作用する流体力は算定可能といえる。この結果を踏まえ、以降の実車の評価において、車に働く水平方向の力には主流方向（X方向）のみを考慮している。

次に各水理条件における C_{Fx} を迎角に対してプロットしたFig.3を示す。 $h/k=0.24$ ではFr数による C_{Fx} の変化は小さいが、 $h/k=0.32$ では比較的大きい。これより、条件に応じて C_{Fx} の値にある程度の差異が見られるものの、 C_{Fx} の迎角依存性については水理条件とほぼ独立していることが見て取れる。

次に、実際の自動車が迎角に応じてどの程度まで流

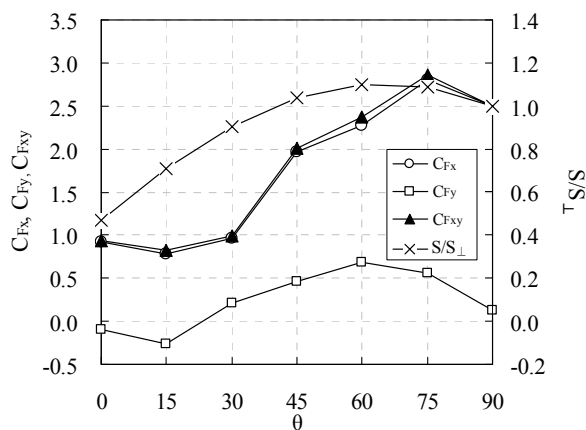


Fig.2 迎角と各水平方向の流体力係数との関係

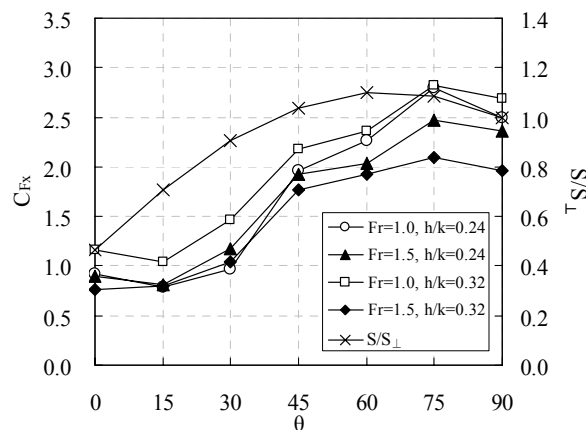


Fig.3 各条件における迎角と流体力係数の関係

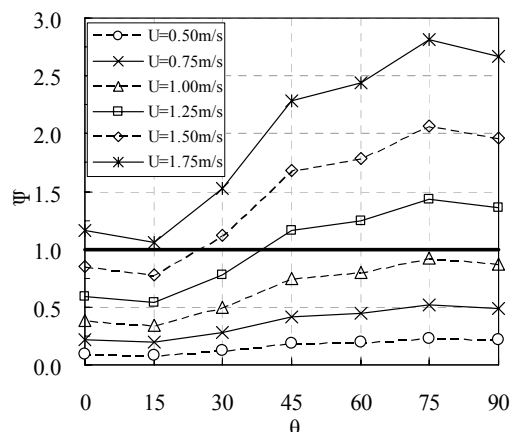


Fig.4 流速に応じた迎角と危険率 Ψ の関係($h/k=0.24$)

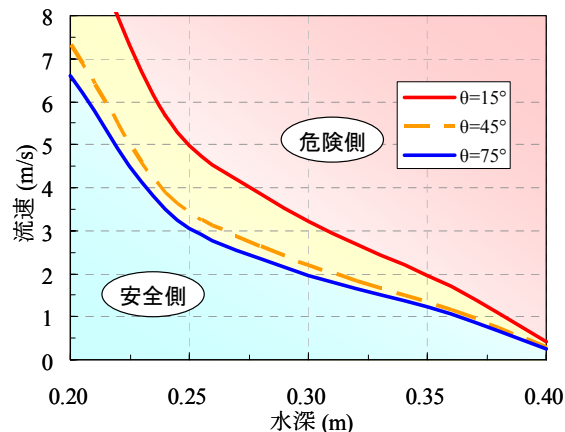


Fig.5 冠水時の自動車通行の危険性の判読図

されずに耐えられるかについて、 $h/k=0.24$ の場合で試算を行った。自動車に働く流体力を算出する際に必要となる流体力係数 C_{Fx} は安全側を取ることにし、本実験で得られた C_{Fx} の中で最大となる $Fr=1.0$, $h/k=0.32$ における C_{Fx} を用いた。また、車両重量は公表値²⁾の 970kg、人を含む積載物重量は 100kg、自動車の空隙率は 0.2、タイヤと濡れた路面の摩擦係数は江守³⁾を参考に 0.5 とした。なお、Z 方向に働く揚力に関して、押川ら¹⁾の結果では $h/k=0.24$ および $h/k=0.32$ における揚力係数は -0.1 ~ 0 (鉛直上向きを正) となっているが、ここでは安全側の 0 を用いた。流速 U をパラメータにして、横軸を迎角 θ 、縦軸を無次元流体力 Ψ ($\equiv$ 流水により車が受ける力/流水に対する車の抵抗力) として自動車通行の危険率を評価した結果を Fig.4 に示す。これより、 θ が小さい 0° および 15° では、 U に対する Ψ の変化は比較的小さいものの、 θ が大きい場合には U に対する Ψ の変化は比較的大きいことが理解される。

最後に、力が最小となる $\theta=15^\circ$ 、最大となる 75° 、およびその中間の 45° のそれぞれについて、横軸を実水深、縦軸を流速として、各水深において前述の Ψ が 1 となる点 (流される限界) をプロットした Fig.5 を示す。なお、本来 C_{Fx} は水深 (h/k) にも依存するが、ここでは θ

のみに依存するものとして、全ての水深で $Fr=1.0$, $h/k=0.32$ における危険側の C_{Fx} を用いて試算を行った。例えば水深 0.3m における限界点に着目すると、 $\theta=75^\circ$ では流速 2.0m/s までしか耐えられないのに対して、 $\theta=15^\circ$ では流速 3.3m/s まで耐えることができる。したがって、流水に自動車が耐えうる限界は迎角により大きく異なることがわかった。

4. 結論

本研究では、模型実験により自動車に働く流体力の迎角依存性 (流れと車の向き) の関係を評価し、洪水時における自動車通行の危険性について検討を行った。その結果、冠水時の自動車通行の危険性には、流れと車の向きの関係が比較的大きく影響することが判明した。

参考文献

- 1) 押川英夫・大島崇史・小松利光(2011): 冠水時の自動車通行の危険性に関する研究, 河川技術論文集, 第 17 巻, pp.461-466.
- 2) <http://cars.jpn.org/body/n002100884.html>
- 3) 江守一郎 (1993): 「新版 自動車事故工学」 p.45.