

冠水時の自動車通行に対する危険性の評価

九州大学大学院 学生員 ○大島崇史

九州大学大学院 正員 押川英夫 藤田和夫

九州大学大学院 フェロー 小松利光

1. 緒論

近年、都市型集中豪雨の増加など降雨形態の変化が報告されている。このような降雨形態の変化により現在の防災機能では対応不可能な水害が生じることが危惧されている。また、都市型集中豪雨などはその予測が困難であり、避難勧告などの行政の対応は遅れがちである。したがって、市民一人一人の防災意識と危機回避能力を高めることが重要と考えられる。

一方、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が利用されているものと推察される。しかしながら、2010年7月の愛知県可児市での水害に代表されるように、水害時の自動車での移動中に、氾濫した水に自動車ごと流されて亡くなるというケースが多く見受けられる。本研究では、このような自動車通行に対する流水の危険性について把握するとともに、最終的には市民への危険性の周知・判断力の向上を目指して模型実験による検討を行った。

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1/100として用いた(Fig.1参照)。自動車には重さが160.74gで縮尺1/24の全高 $k=7.6\text{cm}$ 、全長 $D=20.0\text{cm}$ 、全幅 $B=7.9\text{cm}$ のプラスチック製のトヨタランドクルーザーの模型を用いた。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、模型の無い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。なお、鉛直方向に関しては浮力も働くことになるが、静水時の実験を併せて行うことで、ここでは自動車の形状のみによる揚力(係数)を評価している。なお、揚力は上向きを正としており、揚力係数も同様に上向きが正である。

実験時の水深 h としては h が2.0～4.5cmまでを0.5cm刻みで6条件とし、各水深につき3種類の Reynolds 数

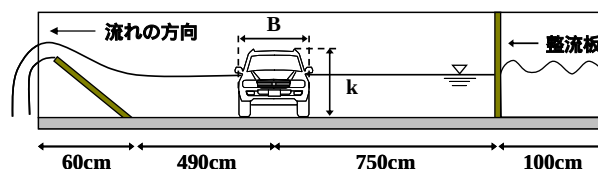


Fig.1 実験装置の概略図

($Re=VD/\nu$, V は断面平均流速, ν は水の動粘性係数で $0.01\text{cm}^2\text{s}^{-1}$) で測定を行った。 Re はそれぞれ $Re=1.2 \times 10^5$, 1.4×10^5 , 1.6×10^5 である。ただし $Re=1.6 \times 10^5$ については、今回の実験装置一式を用いて $h=2.0\text{cm}$ の条件が実現できなかったため、この水深を除いた5条件となっている。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

車のみに作用する抗力と揚力から求めた各条件における抗力係数(C_D)および揚力係数(C_L)を相対水深(h/k)に対してプロットした図を Fig.2, Fig.3 にそれぞれ示す。Fig.2 を見ると、各相対水深で Re が大きくなるのに伴って C_D が減少しており、 Re 依存性が認められる。次に Fig.3 をみると、 Re の変化に伴って C_L は変化しているものの、 $Re=1.4 \times 10^5$ と 1.6×10^5 の C_L は比較的近い値となっており、 Re が 1.6×10^5 程度まで大きくなると、 Re 依存性が比較的小さくなっているものと考えられる。ここでは C_L の結果を考慮して、 C_D に対しても Re が最大のケースでは、ある程度 Re 依存性が小さくなっているものと判断して、 $Re=1.6 \times 10^5$ で得られた C_D , C_L を用いて今後の実車についての議論を進めることとする。

実験により得られた C_D , C_L をもとに、実際の自動車が水深に応じてどの程度の流速まで流されずに耐えられるかについて試算を行った。その際、車両重量は公表値¹⁾より2500kg、タイヤと濡れた路面の摩擦係数は江守(1993)²⁾を参考に0.5とした。なお、自動車の間隙率については、車種は異なるものの、JAFの車両水没実験(2010)³⁾より、水中で自動車に働く浮力と自動車の全重量が釣り合った状態から算出した値の0.5を用いた。

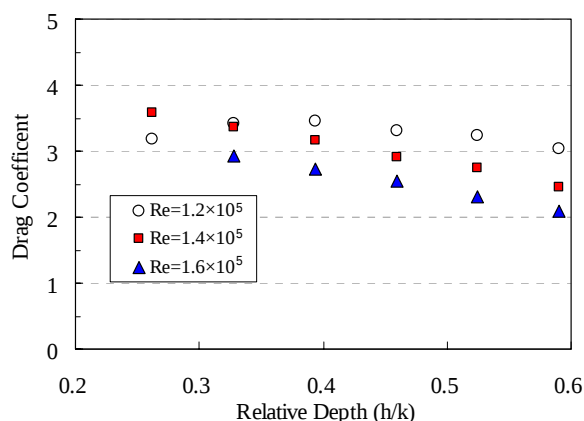


Fig.2 相対水深と抗力係数の関係

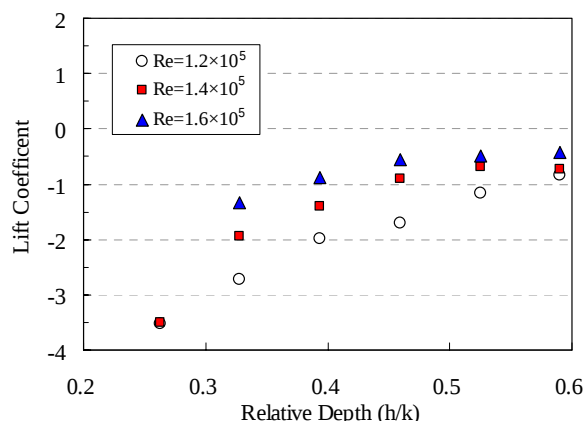


Fig.3 相対水深と揚力係数の関係

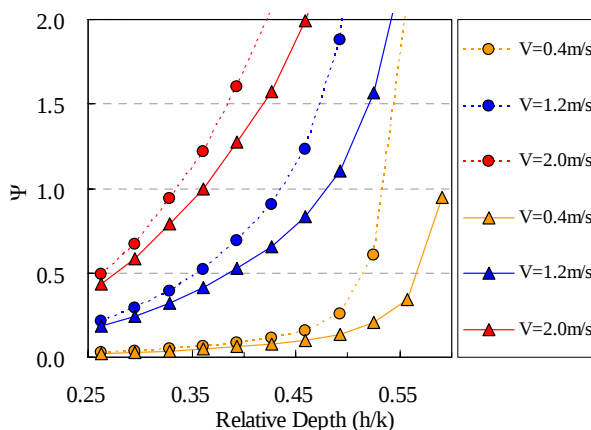
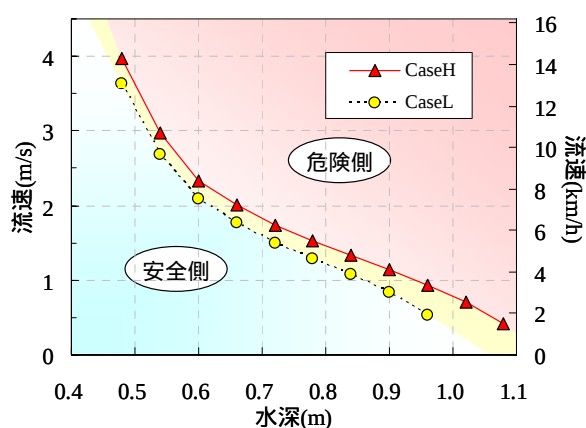
Fig.4 流速に応じた相対水深と危険率 Ψ の関係
(凡例の○は CaseL, △は CaseH を示す)

Fig.5 冠水時の自動車通行の危険性の判読図

また、人を含む積載物全ての重量を 100kg (CaseL)と 500kg (CaseH)の2 ケースについて検討を行った。

CaseL および CaseH について、0.4, 1.2, 2.0m/s の流速 V をパラメータにして、横軸を h/k 、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) として自動車の危険率を評価した結果を Fig.4 に示す。これより、 Ψ は h/k の増加に伴って急増することが分かる。また、同一流速で各ケース (重量) の違いを見ると、 h/k の増加に伴って CaseL の危険度が更に急増することが分かる。

最後に、Fig.4 を市民向けに書き換えた例として、 $\Psi=1$ となる点をプロットとした Fig.5 を示す。横軸は実水深、縦軸は流速で表記されており、車の速度で一般的な単位[km/時]の流速も併記している点に注意されたい。これより、流速が 2.0m/s (≈ 7.2 km/h) を超えると、0.6m 程度の水深で車は流されてしまうことが理解される。本実験で対象車種とした SUV 車と比較して、セダンタイプの乗用車や軽自動車は車高が低く、車両重量も軽

いため、より簡単に流されることが予想される。

4. 結論

本研究では、洪水時における自動車通行の危険性を評価するための実験を行った。その結果、股下程度の水深でも自動車は流されることがわかった。本実験は比較的流され難いと思われる SUV 車の結果であるため、車種によってはより危険度が増すことが容易に想像される。市民の危険性の認識は我々よりも更に低いと想像されるため、今後はここで得られたような結果をもとに、冠水時の自動車通行の危険性を広く社会に訴えていく必要があるものと思われる。

参考文献

- 1) http://www.goo-net.com/catalog/TOYOTA/LAND_CRUISER_100/10027364/index.html.
- 2) 江守一郎 (1993):「新版 自動車事故工学」pp.45
- 3) JAF (2010):「冠水路と水没時、車はどうなる？」JAF Mate pp.22-25