第Ⅱ部門　　水没車の漂流限界条件に与えるフルード数の影響について

関西大学環境都市工学部　学生会員　○森本　陽介　　関西大学環境都市工学部　正 会 員　石垣　泰輔
関西大学大学院理工学研究科　学生会員　吉川　雅志　　京都大学大学院工学研究科　正 会 員　戸田　圭一

## 1. はじめに

近年，気候変動の影響により，計画以上の降雨の頻度が増加傾向にあり，各地で水害を引き起こし，車両が流されるなど問題となっている．また，地表面が浸透能力の小さいコンクリートやアスファルトで被覆化され，都市部において計画規模を超える降雨が降った場合，内水氾濫が生じる．内水氾濫が生じ，アンダーパス等や地下駐車場が浸水することで自動車が水没し，流される危険性も高まっている． また，大震災に伴う津波では多くの車両が流されることが予想される．このことから車両がどの程度の条件で流され始めるのかを明らかにする必要がある．本研究では模型実験により水没車の限界掃流条件について広範囲の水理条件の下で検討した結果を示す.

## 2. 限界掃流条件に関する実験

### (1) 実験内容および方法

実験には関西大学内の水理実験場にある幅 50cm，長さ 13m の可変勾配直線水路を用いた．この水路に写真-1 に示す実物の 18 分の 1 のミニバンの模型，写真-2 に示す実物の 16 分の 1 のスポーツセダン 1 の模型を設置し，流水実験を行った． 2 種類の車模型を用いることで車種による違いについても検討した．なお 2 車種とも停車している車を想定しており，後輪をガムテープで固定することによって、サイドブレーキを掛けた状態を表現した.

本実験では模型の重量を補正し，模型と実物の見かけの密度の比率が 1 となることを確認して実験を行い，この実験で得られた結果をフルードの相似則を用いて実物値に変換した．これ以降の実験結果のすべての数値は実物値で示す.

実験方法は水路の流量を変化させるとともに車模型の向きを変化させ，車両の掃流状況を観察した.

車の模型の向きに関しては水の流れ方向に対して0°，180°の2パターンで実験を行った．また，勾配は水平，1/800，1/400，1/200，1/100，1/50の6ケースの勾配を設定した．なお，水平，1/800，1/400の3ケースの流れは常流，1/200，1/100，1/50の3ケースの流れは射流となった．車の向きを考慮することで水を受ける向きがどのような影響を与えるかを検討した.

### (2) 実験結果および考察

本実験で得られたミニバン、スポーツセダンの限界掃流条件を水深と流速で整理し、常流と射流を区別して示した結果が図-1 である．赤と青の点はミニバンの結果を，橙と紫の点はスポーツセダンの結果を示したものである．また，四角のマーカーは 0°を丸いマーカーは 180°の結果を示したものである．なお，限界掃流条件とは車が水の流れにより動きはじめる状態(模型値で約 5mm 移動した状態)を表す.

図を見ると赤と橙の点の常流の限界掃流条件と青と紫の点の射流の限界掃流条件の傾向が大きく違うことがわかる。常流の場合，流速に注目するとミニバンにおいて 0°，180°の両パターンともに限界掃流条件の水深は変化しているが流速は一定の値であることがわかる．これは流速が非常に遅い流れでは，水深が十分にあったとしても，掃流されるためにはある程度の流速が必要であり，実物換算値で約 1.4m/s を越えないと非常に流れにくいという結果が得られた．同様に射流でも実物における水深が 0.4m 程度で流れ始めることがわる．限界掃流条件がバンパーの高さを超える水深 0.4m 前後である理由として，バンパーの高さに水

Yosuke MORIMOTO , Masashi YOSHIKAWA , Taisuke ISHIGAKI and Keiichi TODA
ishigaki@kansai-u.ac.jp

深が達することによって，車が受ける流体力が急激に大きくなるためだと考えられる． また図を見るとスポーツセダンもミニバンと同様の傾向が得られていることがわかる．

写真-1　ミニバン(0°，180°)

写真-2　スポーツセダン(0°，180°)

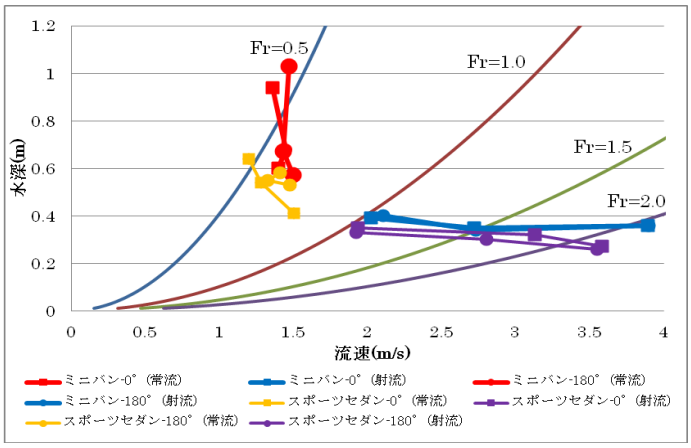


図-1　限界掃流条件

## 3.　抗力係数の算出

抗力係数は限界掃流条件時に模型にかかる力を算出するために必要なもので，本実験では限界掃流条件時の水深，流速，摩擦力，投影面積から抗力係数を算出した．

車に作用する流れ方向の力のつり合いの関係式は以下のようになる．

$$(mg - B)\mu = \frac{1}{2}\rho v^2 ACd \qquad (1)$$

mg は重さ(N)，B は浮力(N)，μ は静止摩擦係数である．また，ρ は水の密度 1000(kg/m$^3$)，v は流速(m/s)，A は模型の投影面積(m$^2$)，そして $C_d$ が抗力係数である．

得られた抗力係数の算出結果を図-2 に示す．なお，図には結果は高垣らの研究[1)]，押川らの研究[2)]の結果を併記した．図を見みると本研究の結果では抗力係数は 1.0～3.0 の間の値を示している．また，全体の傾向として相対水深が大きくなるにつれて，抗力係数が小さくなると言える． この結果は高垣ら，押川らの研究結果と同様であり，本研究の結果の妥当性が伺える．

## 4.　おわりに

限界掃流条件に関しては常流と射流において大きく異なった傾向が得られることが明らかとなった．水災害時に流れがないか常流状態となる駐車場などの平坦な場所では，水深が高くなり，流速が小さいため流出する可能性は低いと考えられる．車道など勾配を有する場所では，流れが射流となり，水深が小さくても車が漂流する可能性が高く，対策が必要である．また抗力係数に関しては既往研究と同様の結果が得られたが，今後，得られた結果を踏まえ実車における水密性や浸水速さなどを考慮していく必要がある．

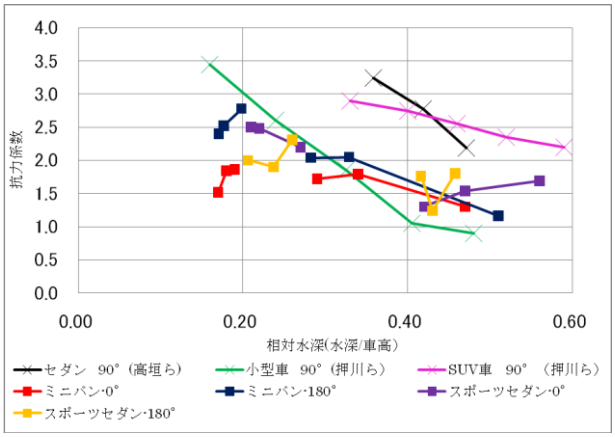


図-2　抗力係数の算出結果

## 参考文献

1) 高垣裕彦・石垣泰輔・戸田圭一・西田知洋：水災害時における水没車の移動限界に関する実験的研究　土木学会関西支部年次学術講演会　講演概要集　Ⅱ-27　2011

2) 押川英夫・大島崇史・小松利光：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 47 巻 pp461-466　2011