

京都大学工学部
京都大学大学院工学研究科
京都大学大学院工学研究科
京都大学大学院工学研究科

学生員 ○鈴木隆太
正会員 岡本隆明
正会員 戸田圭一
学生員 大西孝弘

1. はじめに

クルマ社会といわれる現代社会では、豪雨氾濫時に多くの車に関する被害が発生している。本研究では、まず実験的手法から車体の空隙への氾濫流の浸入を考慮したうえでの車の漂流限界速度を求め、その妥当性を確認した。次に漂流の危険性の評価を行うとともに、実スケールでの判読図を組み合わせることで車の漂流の危険性を具体的に評価する。

2. 実験手法および水理条件

実験水路として、全長 10m、幅 40cm、高さ 50cm の可変勾配型水路を用いた。車にかかる抗力を計測する実験装置図を図-1(a)に示す。台車と電子ばねばかりを用いて車にかかる抗力の計測を行い、 H は水深、 k は車模型の高さと設定する。図のように車模型は SUV 車(縮尺 1/18)とセダン型小型車(縮尺 1/16)を用いた。水理条件は、水深は SUV 型: $H=4\text{cm}\sim 14\text{cm}$ 、セダン型: $H=3\text{cm}\sim 9\text{cm}$ の範囲の各 6 種類で設定し、断面平均流速は SUV 型、セダン型とも $U_m = 10\text{cm/s}\sim 100\text{cm/s}$ に変化させた。また、車模型は流れに対して 0 度、90 度、180 度に設置して実験を行った。この実験で求めた抗力をもとに次式を用いて抗力係数 C_D を求めた。

$$F = 0.5\rho C_D U_m^2 A_x \quad (1)$$

ここで、 F : 流体力、 ρ : 水の密度、 U_m : 断面平均流速、 A_x : 流れに垂直な方向の車の水没している投影面積である。 C_D を H の関数として求めた。次に、底面摩擦力と抗力のつり合い式を用いて水深ごとの漂流限界速度 U_c を求めた。

$$F = \mu(Mg - F_b) = 0.5\rho C_D U_c^2 A_x \quad (2)$$

$$F_b = \rho g V(1-p) \quad (3)$$

ここで、 μ : 車と水路底面の静止摩擦係数、 M : 車模型の質量、 g : 重力加速度、 F_b : 車模型に作用する浮力、 V : 水中に水没した車の体積、 p : 車の空隙率である。

次に、実験的に U_c を求める実験装置を図-1(b)に示す。実験水路は上と同じものを用いた。水理条件は表-1 に示すようにセダン型、SUV 型ともに水深 $H=2\text{cm}\sim 4\text{cm}$ 、流速 $U_m=10\text{cm/s}\sim 100\text{cm/s}$ であり、空隙率 p を 0~0.5 に変化させた。空隙率の再現には粘土を用いておもりを作成し、車模型に詰めた。車模型は流れに対して 0 度、90 度、180 度に設置した。また、ブレーキの有無を考慮し、①ブレーキなし②サイドブレーキ有り③全ブレーキ有りの 3 種類で実験

表-1 水理条件(セダン型:漂流実験)

水深 H(cm)	H/k	Series 1				Series 2				Series 3			
		向流	$U_m(\text{cm/s})$	Re	Fr	向流	$U_m(\text{cm/s})$	Re	Fr	向流	$U_m(\text{cm/s})$	Re	Fr
2.0	0.25	0	22.5	4800	0.51	90	16.25	3250	0.37	180	16.25	3250	0.37
		0	30	6000	0.68	90	18.75	3750	0.42	180	18.75	3750	0.42
		0	31.25	6250	0.71	90	22.5	4500	0.51	180	22.5	4500	0.51
		0	40	8000	0.90	90	30	6000	0.68	180	30	6000	0.68
		0	45	9000	1.02	90	31.25	6250	0.71	180	31.25	6250	0.71
		0	50	10000	1.13	90	40	8000	0.90	180	40	8000	0.90
		0	60	12000	1.36	90	45	9000	1.02	180	45	9000	1.02
		0	70	14000	1.58	90	50	10000	1.13	180	50	10000	1.13
		0	75	15000	1.69	90	60	12000	1.36	180	60	12000	1.36
						90	70	14000	1.58	180	70	14000	1.58
						90	75	15000	1.69	180	75	15000	1.69
4.0	0.50	0	10	4000	0.16	90	10	4000	0.16	180	10	4000	0.16
		0	20	8000	0.32	90	20	8000	0.32	180	20	8000	0.32
		0	30	12000	0.48	90	30	12000	0.48	180	30	12000	0.48
		0	40	16000	0.64	90	40	16000	0.64	180	40	16000	0.64
		0	50	20000	0.80	90	50	20000	0.80	180	50	20000	0.80

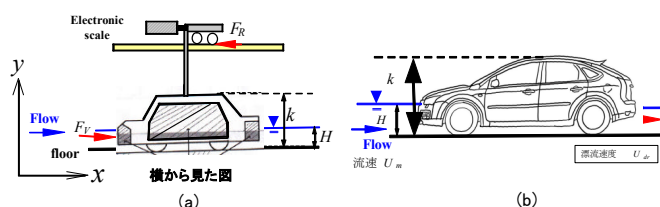


図-1 実験装置図(左:抗力計測, 右:漂流実験)

を行い、サイドブレーキは後輪をテープで固定し、全ブレーキは全輪をテープで固定して表現した。

3. 実験結果

他研究者¹⁾の結果と本実験の結果から得られた抗力係数より描いた近似曲線を図-2 に示す。その結果、相対水深 $H/k > 0.2$ の場合、0 度のケースにおいて、抗力係数 $C_D=2.0\sim 4.0$ に収まることがわかった。またセダンでは H/k が小さくなると C_D は大きくなる。

また、セダン型車模型の流れに対する角度が 0 度の漂流限界速度の各空隙率 p 別の実験結果を図-3 に示す。この図からも分かるように同じ相対水深 H/k で比較すると、空隙率 p が増加するにつれて、漂流限界速度 U_c は増加する。これは、空隙率 p が増加すると、車に侵入する水の体積が増加して浮力が減少するため、車輪と底面の静止摩擦係数が増加したためと考えられる。

車の漂流実験の際に見られた漂流車の興味深い挙動が2つあり、1つ目は漂流する際に後輪または全輪が浮くという現象である(図-4:左図)。これは、車の重心位置が前方にあるためである。後輪が浮き上がる場合、水没体積が減り底面摩擦係数が増加するため、漂流限界速度 U_c が増加する。2つ目は90度、180

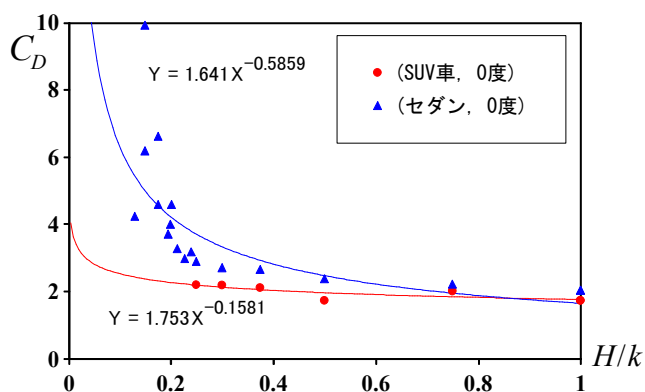


図-2 水没車の抗力係数値の近似曲線

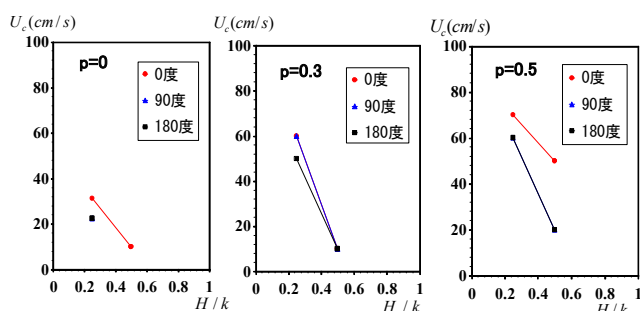


図-3 空隙率別の漂流限界速度(セダン型)

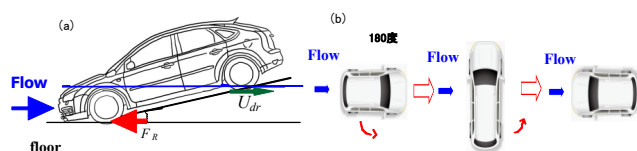


図-4 車の漂流挙動

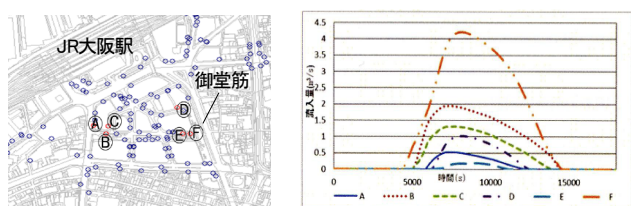


図-5 梅田地下駐車場への流入量

度で漂流限界を越えた車は重心を軸に回転して0度に戻るとい現象である。(図-4:右図)これは、風見鶏効果と重心が前にあるためであると考えられる。ここで風見鶏効果とは、物体が受ける抵抗の少ないほうへと方向を変えるという効果である。

4. 漂流限界の実現象への適用

図-5 の梅田地下駐車場の分布と地下駐車場への流入量図に示すように、駐車場には岡崎豪雨を想定した氾濫解析結果²⁾から最大時、水深 0.2m, 流速 3.9

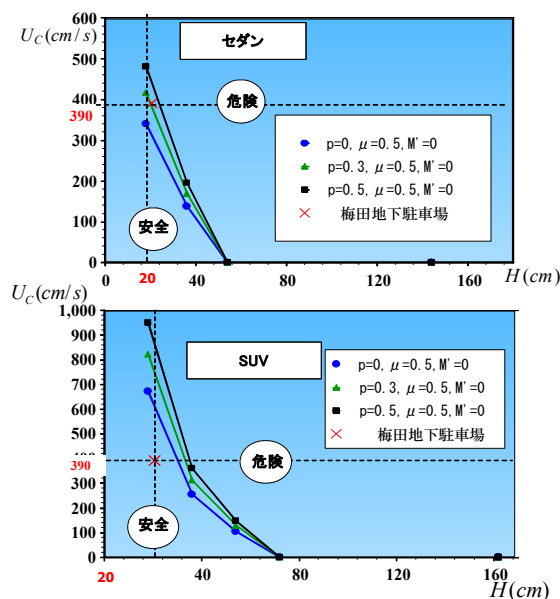


図-6 漂流判読図

m/s で水が流れ込む。この時、進入路の勾配 5%, 粗度係数 n を 0.02 と設定し、等流状態を仮定して Manning 式を用いて求めた水深と流速を本研究で作成した漂流判読図に組み込み、セダン、SUV 両方の漂流限界状態を評価した。図-6 から、セダン型では空隙比 $p=0, 0.3$ の条件で流されてしまうことがわかるが、SUV 型では流れないことがわかる。さらに雨量が多く、流入量が多いケースでは、SUV 型も漂流してしまうケースも十分に考えられ、そのケースにおいては出入り口の通行を制限し、被害を最小限にする必要がある。

このように、氾濫解析結果と本研究で作成された判読図を組み合わせることで、特定の地域での車の漂流危険性について評価することができる。

5. おわりに

今後の課題としては、研究の精度を向上させ、実際の氾濫に対してより実用性をもたせることを目指す必要がある。漂流実験や流れ解析で得られた結果を実スケールの様々な水害事象にしていきたい。

参考文献

- 1) Humphries, N.J. : Controlling debris flow in urban floods, A Project Report submitted in partial fulfilment of the requirements for the award of MEng of Loughborough University, May 2012
- 2) 森本陽介, 石垣泰輔, 尾崎平, 戸田圭一 : 内水氾濫時における地下駐車場への浸水に伴う水没車の漂流について, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 第 19 巻, 土木学会, pp. 121-124