

水災害時の水没車に作用する流体力と抗力係数に関する実験

関西大学大学院	学生員	○吉川	雅志
独立行政法人鉄道運輸機構	正会員	高垣	裕彦
関西大学環境都市工学部	正会員	石垣	泰輔
京都大学防災研究所	正会員	戸田	圭一
関西大学環境都市工学部	正会員	尾崎	平

1. 目的

近年、気候変動の影響により、50mm/h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の被害が発生している。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の水没し、流される危険性も高まっている。また、2011年3月11に発生した東日本大震災に伴う津波では多くの車両が流された。このように、水災害発生時には車両が水没し、車に人が取り残されたまま流されるという被害が想定される。このことから車両がどの程度の流れで流され始め、流された際、どのように漂流するのかを明らかにする必要がある。既報¹⁾では模型実験により水没車の限界掃流条件について検討を試みた。本報では水没車に作用する流体力と抗力係数に関する検討結果を示す。抗力係数に関する検討では流水時に模型に働く力の測定実験を行い、流体力と摩擦による抵抗力との力のつり合いから算出した。この力の関係を図1に示す。

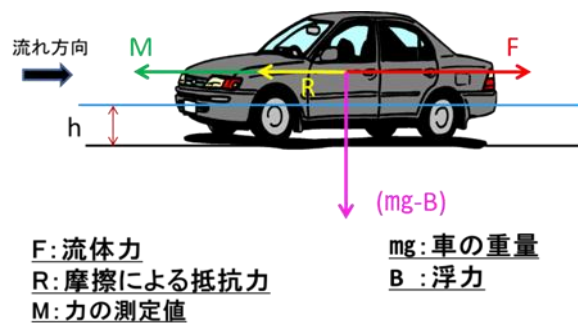


図1 水没車に作用する力



写真1 実験概要

2. 力の測定実験

京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリー内に設置された幅1m、長さ10mの水路に車模型を設置し、その車を停止させるのに必要な力を電子ばねばかりにより計測する方法を用いた。この水路に実物の10分の1のセダンの車模型をワイヤーで電子ばねばかりにつなげ、流水実験を行った。このセダンの模型は重さ1208.5g、長さ0.47m、幅0.20m、高さ0.15mであり、重量補正を行い模型と実物の見かけの密度(=車の重量/体積)の比率が一致することを確認して実験を行った。用いた実験水路と車模型を写真-1に示す。この実験で得られる結果をフルードの相似則を用いて原型値に変換した。これ以降の実験結果のすべての数値は原型値で示す。実験の結果、図2に示すように模型にかかる力は0°、45°、90°の順に大きくなるという結果が得られた。これは、流れに対する投影面積の違いで説明できる。

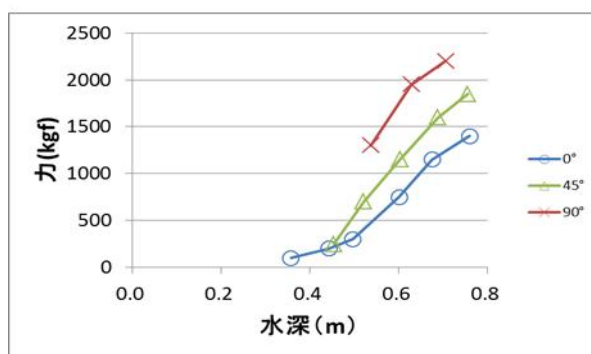


図2 力の測定値

キーワード 水害時、車、流体力、抗力係数、模型実験

連絡先 〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3番地35号 TEL06-6368-1121 (内線5890)

3. 抗力係数の算出方法

図1に示すように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。

$$M = \frac{1}{2} \rho v^2 A C_d - (mg - B) \mu \quad (1)$$

ここで M は力の測定値である。 mg は模型の重量(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 $1000(\text{kg/m}^3)$, 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。浮力を算定するには模型の体積が必要となる。体積を算出するためにレーザー変位計で上方と下方より断面の形状を測定し, その差を用いて体積を算出した。測定の概要を写真-2に示す。図3に示す計測結果例のように, 水深ごとの体積を用い, 浮力を算定した。また, 摩擦係数は, ばねばかりを用いて計測, 投影面積は撮影した写真より求めた。



写真2 体積測定

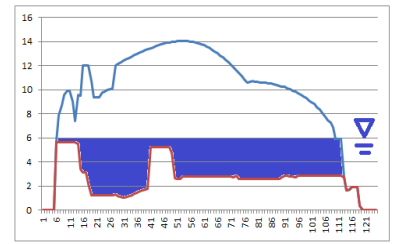


図3 断面図

4. 抗力係数の算出結果

抗力係数の算出結果を表1と図4に示す。また, 押川ら²⁾が三分力計を用いて小型車とSUV車の抗力係数の 90° の算出結果を併記した。相対水深とは流体力の測定実験の際の水深を車高で除し, 無次元化した値である。 0° および 45° の抗力係数は1.5から2.5の間を推移している。 90° の結果と押川らの結果を比較するとほぼ同様の値が得られ, セダンの抗力係数はSUV車に近いものであることが確認された。次に相対水深の変化による抗力係数について検討すると, 相対水深が大きくなるにつれて抗力係数は減少する傾向にある。

表1 抗力係数の算出結果

角度	番号	水深(m)	相対水深	摩擦による抵抗力(N)	$\rho v^2 A$	流体力の測定実験の測定値(N)	抗力係数
0°	①	0.36	0.24	701	785.2	980	2.1
	②	0.44	0.29	508	1429.2	1960	1.7
	③	0.50	0.33	265	1994.9	2940	1.6
	④	0.60	0.40	0	3352.7	7350	2.2
	⑤	0.68	0.45	0	4627.6	11270	2.4
	⑥	0.76	0.51	0	6359.7	13720	2.2
45°	①	0.36	0.24	2948	1083.1	0	-
	②	0.45	0.30	1805	2292.7	2450	1.9
	③	0.52	0.35	842	3541.7	6860	2.2
	④	0.60	0.40	0	5504.4	11270	2.0
	⑤	0.69	0.46	0	8207.3	15680	1.9
	⑥	0.76	0.50	0	10773.1	18130	1.7
90°	①	0.36	0.24	5426	1052.9	0	-
	②	0.45	0.30	3322	2508.7	0	-
	③	0.54	0.36	1052	4250.7	12740	3.2
	④	0.63	0.42	0	6880.0	19110	2.8
	⑤	0.71	0.47	0	9866.4	21560	2.2

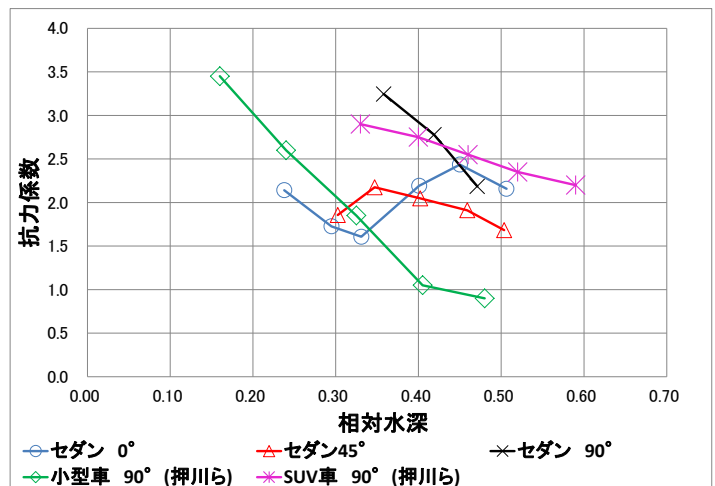


図4 抗力係数

5. おわりに

本研究ではセダン車模型の抗力係数を求めることができた。また, その結果は押川らが算出した結果に近い値であることがわかった。今後は, より正確な抗力係数を求めていくとともに得られた抗力係数の値を用いて車の移動を予測し, 氾濫・避難解析に適用していくことが課題である。

参考文献

- 1) 高垣裕彦・石垣泰輔・戸田圭一・尾崎平・馬場康之：洪水氾濫時の車の限界掃流条件に関する模型実験，第30回 日本自然災害学会学術講演会 講演概要集，2011年11月
- 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，2009。