

京都大学工学部 学生会員 ○西田 知洋
 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 石垣 泰輔
 関西大学環境都市工学部 正会員 尾崎 平
 関西大学環境都市工学部 学生会員 高垣 裕彦

1. はじめに

気候変動の影響により都市部において大規模な内水及び外水氾濫が発生する可能性がある。昭和 57 年の長崎大水害では、その地形的特徴も相まって 299 人の死者、行方不明者を出し、約 2 万台の車が被害にあった。この洪水によって車は流され、車内への浸水でドライバーが命を失ったり、衝突により構造物に被害が発生したりした^[1]。このように、車社会と呼ばれるほどに自動車が普及した現代の日本においては洪水時に車を漂流物として扱う研究が必要である。そこで本研究では、車模型を用いた模型実験より車の移動限界について検討し、その後実物の車の移動限界に関して考察を行った。

2. 実験内容

実験は京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリーの実物大階段模型と一体化した水路を使用した。縮尺 10 分の 1 のセダン型車模型、および縮尺 18 分の 1 の救急車模型を水路に設置し、ブレーキ（ガムテープ付着）の有無、模型の流れに対する角度といった条件を変化させて実験を行った。模型が流される限界時の流量から限界時の流速、水深を求めた。

なお、車の漂流危険性に関する研究には押川ら^[2]が行ったものがある。押川らは三分力計を用いて流れと 90° の角度で車模型にかかる流体力を求め、そこから得られた抗力係数などを使って車の漂流限界を評価しているが、本研究では水理実験から直接漂流限界を求め、抗力係数を計算し、流れに対する角度を変えたケースも扱っている。

3. 実験結果による抗力係数の考察

移動限界実験において車模型にかかる力は図 3 のようになっており、このうち水路床と水平な方向に関して、限界状態では流体力 F と摩擦力 S の間で以下の釣り合い式が成立する。

$$F = S = \mu(Mg - Fb - L) \quad (1)$$

ここで、 μ は：模型の静止摩擦係数、 M ：模型の質量、 g ：重力加速度、 Fb ：模型に作用する浮力、 L ：模型に作用する揚力 である。 μ は別途実験をすることで求めた。 Fb は模型の内部構造を調べて水深ごとの正味の体積から求めた。また、ここでは $L=0$ とした。



図 1 実験風景

表 1 実験ケース

| ケース | サイドブレーキ | 角度(°) | 堰 |
|------|---------|-------|----|
| A | 有り | 0 | 無し |
| B-1 | 無し | 0 | 無し |
| B-2 | 無し | 90 | 無し |
| B-3 | 無し | 45 | 無し |
| A' | 有り | 0 | 有り |
| B-1' | 無し | 0 | 有り |

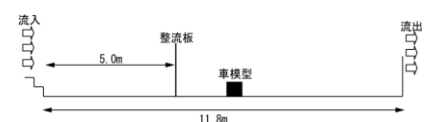


図 2 実験水路図

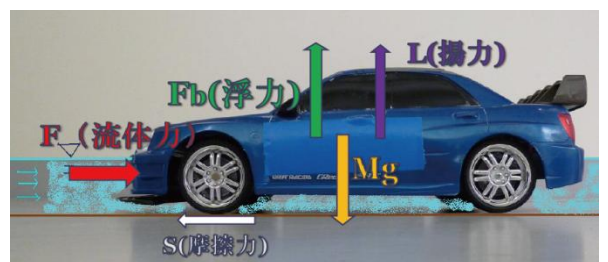


図 3 車模型にかかる力

式 (1) から車模型にかかる流体力 F を求め、次の式から抗力係数を計算した。

$$F = 0.5\rho C_d V^2 A_x \quad (2)$$

ここで ρ : 水の密度 C_d : 抗力係数 V : 流速 A_x : 投影面積である。

このようにして、車模型 2 種の抗力係数を算出した結果を図 4, 図 5 に示す。横軸に h/k (h は水深, k は車模型の全高), 縦軸に抗力係数をとった。いずれも模型の流れに対する角度が 0° の場合の抗力係数が 90° に比べ下回るという傾向がみられた。

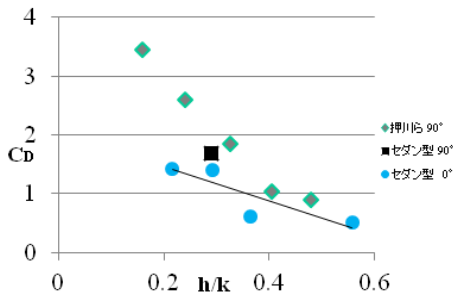


図 4 セダン型の抗力係数

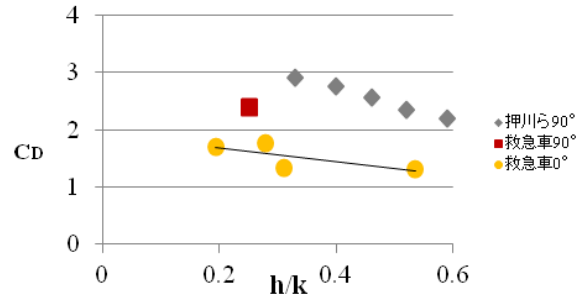


図 5 救急車の抗力係数

4. 危険判読図の作成

得られた抗力係数を使用して、流れに対する角度が 0° の時の実物車の移動限界を示す危険判読図を作成した。その際には模型と実物の差異を考慮して実際の μ の値をいくつか仮定し、また車内に人間がいることを想定して補正重量 M' [Kgf] を導入した。実物の車の内部構造を詳細に調べるのは今回は困難であったため、空隙率 p を導入し、

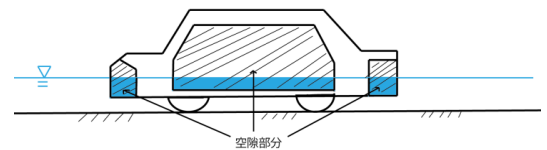


図 6 車の空隙

実物車の内部の空隙を一様と近似した。空隙率とは車が水没した際に水が侵入してくる空隙部分の割合であり、車に作用する浮力に影響を与える。危険判読図 (図 7, 図 8) の曲線の右上の部分は車が流される領域である。図より、セダン型の車においては水深が 0.5 [m] かつ流速が 2.0 [m/s] を超える (図の赤の領域) と流されることが分かる。また救急車 (ミニバン) はセダン型に対して流されにくいと判断できる。

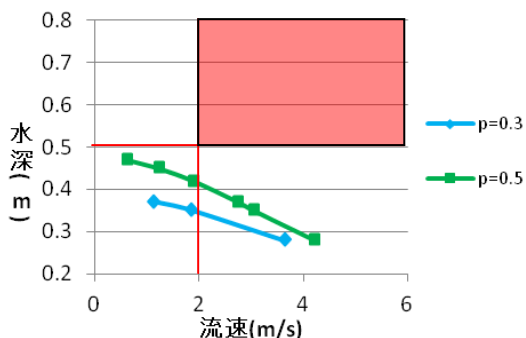


図 7 セダン型判読図 ($\mu = 0.6$ $M' = 60$ Kg)

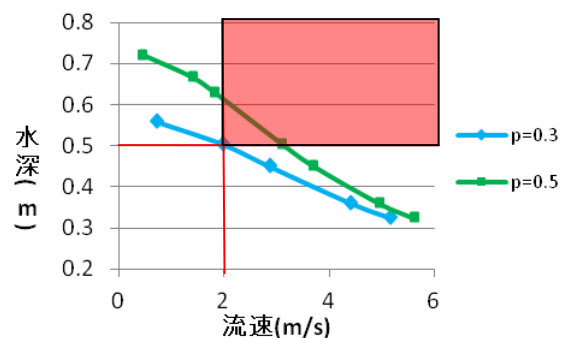


図 8 救急車判読図 ($\mu = 0.6$ $M' = 60$ Kg)

5. おわりに

本研究では車模型を用いて水理実験を行い、実際の車がどの程度の流速・水深などといった水理条件で漂流を始めてしまうかということを示す危険判読図を作成した。今後、この危険判読図を氾濫解析結果と組み合わせることで、氾濫時の車の漂流危険性に関する評価を進めていきたい。

参考文献

- [1] 高橋和雄・高橋 裕：クルマ社会と水害-長崎災害は訴える-, 九州大学出版会, 1987.
- [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 17 巻, pp.461-466, 2011.