

第Ⅱ部門

地下駐車場氾濫時の水没車の漂流挙動と車に作用する流体力に関する実験的研究

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

学生員
正会員
フェロー

○本庄佑馬
岡本隆明
戸田圭一

1. はじめに

現代における日本はクルマ社会と呼ばれており、豪雨発生時に車が原因となる二次被害が多くなっている。本研究では、実験的手法を用いて地下駐車場に氾濫流が進入した場合における車の漂流挙動や、氾濫流の挙動について調べた。次に、地下駐車場に車が駐車している状態で氾濫流が進入したときに車に働く流体力の時系列変化について調べた。

2. 実験装置および実験手法

実験装置として、93.75cm×62.5cmの1/64スケールの地下駐車場模型を用いた。実スケールに換算すると60m×40mである。地下駐車場模型の平面図を図-1に示す。x, yおよびzは、それぞれ流下方向、横断方向および垂直方向である。また、図-2のように、地下駐車場内にA, B, C, D区域を設定した。

水理条件を表-1に示す。本研究では、地下駐車場が地下2階構造(多層構造)を想定している。また、地下駐車場に支柱がある場合とない場合に分けて実験し、支柱の影響についても調べた。駐車場に停車している車模型としてプラスチックミニカー(セダン型: 1/64スケール, 長さ $L=7.3\text{cm}$, 幅 $b=2.7\text{cm}$, 高さ $k=2.3\text{cm}$)を用いた。

本実験では岡崎豪雨級の雨を想定した梅田地下駐車場の氾濫解析結果をもとに流入流量を決定した¹⁾。流入流量($Q=0.24\text{l/s}$, 実スケールに換算すると $Q=10000\text{l/s}$)は非常に微小な流量なのでマイクロポンプを用いて流量設定している。

通水していない状態から一定流入流量でアクセス道から氾濫水を流入させ、氾濫流によって駐車場に停車している車(1/64スケール)がどのように漂流の軌跡をビデオカメラでマーカー追跡して調べた。

図-3のように、通水していない状態から一定流入流量で通水し、流下方向(x方向)と横断方向(y方向)の抗力の時系列データ $F_x(t)$, $F_y(t)$ を計測した。車模型は下流側で底面から1mm程度浮かした状態で固定支持した。セダン型車(1/64スケール)にアームを介してデジタルプッシュプルゲージ(分解能1/1000N)に接続し、車の受ける流体力を計測した。デジタルプッシュプルゲージはパソコンに接続することで、車模型にかかる抗力の時系列データ(サンプリングレート10Hz)を得ることができる。また、氾濫流を流すマイクロポンプのスイッチを入れた瞬間を $t=0$ とした。

3. 地下駐車場浸水実験の結果及び考察

図-4に支柱有りケースにおける地上からのアク

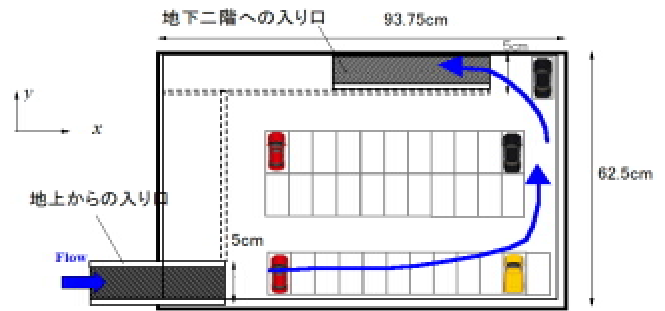


図-1 地下駐車場模型の平面図

表-1 水理条件

	流量 $Q (\text{l/s})$	最大水深 $H_f (\text{cm})$	最大流速 $U_m (\text{cm/s})$	駐車場構造	支柱
Case 1	0.24	1.8	41.8	多層型	なし
Case 2	0.24	2.3	72.3	多層型	あり

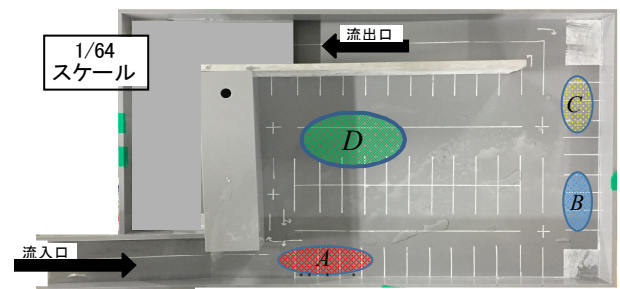


図-2 地下駐車場に設定した区域

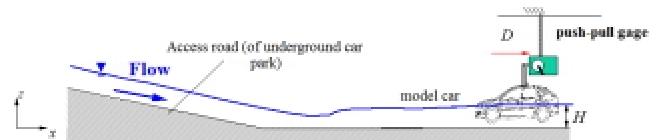


図-3 抗力計測の実験装置図

セス道近くの区域(A)の水没車の漂流挙動を示す。図中には水没車の漂流挙動をマーカー追跡した結果を併示している。

区域(A)における実験では、氾濫流が駐車車両に到達した瞬間に車が漂流するのが観察された。また、漂流車の移動距離も大きいことが観察された。これは、氾濫流が駐車車両に到達した瞬間には車の下流側には氾濫水が存在しないため、上流側と下流側の静水圧差が大きくなったためだと考えられる。なお、車の最大移動速度は約42(cm/s)で、これは同じ位置の流速のおよそ60%に相当する。

また、漂流し始めた車は(A)区域と(B)区域の境界付近の壁に衝突したのち、しばらくその場でゆっく

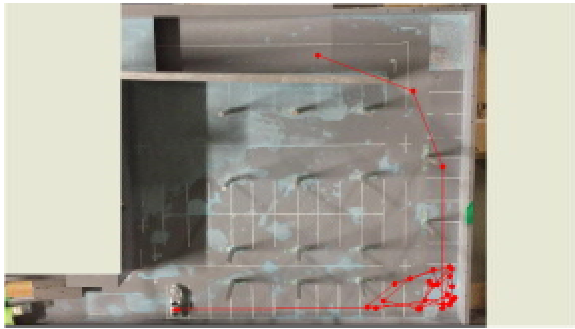


図-4 A 区域における水没車の漂流挙動

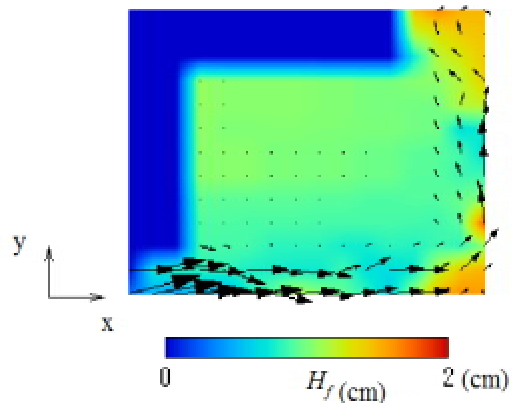


図-5 定常状態における流速ベクトル図

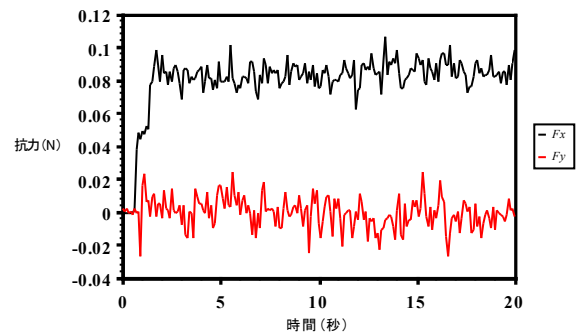
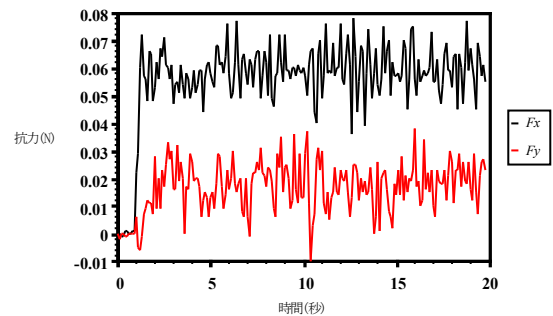
りと円状の軌道を描いて漂流し、(B,C)区域を経由して地下2階へと流れ込んでいくのが見られた。これは、(A)区域で車が漂流し始めたあと、慣性によって図-1で示した氾濫流の高速域から外れてしまい、(A)区域と(B)区域の境目にある壁付近の流れが遅い部分に入ってしまったのちに、氾濫流の高速域に偶発的に入り込んだあと、(B,C)区域を経由して地下2階へ流れていったためだと考えられる。同じ条件で繰り返し実験を行っても、ほぼ同じ漂流挙動になるのが観察された。

図-5に、定常状態に達したときの支柱ありケースにおける氾濫流の流速(U, V)の分布を表すベクトル図を示す。背景のコンター図は、氾濫流の水深コンター図を示している。この図から、区域(A)における流速が大きいことがわかる。また、氾濫流が反時計回りに地下2階に流れ込んでいるのがわかる。

4. 車抗力の計測実験の結果及び考察

図-6, 7に、支柱有りケースと支柱なしケースのそれぞれの場合において、車を x 軸に対して 0° の向きに設置した場合に車に作用する抗力 F_x と F_y の時系列変化を示す。測定位置は(A)区域(x, y)=(15, 1.5)である。

両方のケースで、 $t=0.8(s)$ において x 方向の抗力値 F_x は急激に増大する。これは氾濫流が車に到達した瞬間における車の下流側の氾濫水深は 0 なので、圧力差によって車にかかる抗力が増加していると考えられる。増大した F_x は再び変化することなく、一定値 F_{max} に到達する。

図-6 支柱有りケースでの(A)区域(x, y)=(15, 1.5)の車にかかる抗力(車方向は x 軸に平行)図-7 支柱なしケースでの(A)区域(x, y)=(15, 1.5)の車にかかる抗力(車方向は x 軸に平行)

F_y はあまり大きな変動は起こらず、あまり大きな値をとらない。これは、測定位置の区域(A)での氾濫流は横断方向の流速値が小さいためであると考えられる。

また、支柱有りケースと支柱なしケースとで比較すると、 F_x, F_y とともにグラフの概形は同じだが、 F_x の最大値 F_{max} が支柱ありケースでは $F_{max}=0.09(N)$ 程度、支柱なしケースでは $F_{max}=0.06(N)$ 程度となっており、支柱なしケースのほうが小さいことがわかる。これは、支柱の存在によって氾濫流が区域(A)から区域(D)に流れ込みにくく制限されていたが、支柱なしケースではその制限がなくなって区域(A)に流れ込む水量が減少し、その分車にかかる抗力が弱くなったためと考えられる。

5. おわりに

本実験から、地下駐車場が多層構造であるケースでは地下駐車場内での場所によって車の漂流メカニズムが異なることがわかった。また、車にかかる抗力計測結果から氾濫流の車への到達時には車の前後の圧力差から車にかかる抗力が瞬間的に増加することがわかった。このことから氾濫流の流量が小さいケースでも氾濫流到達時に車が漂流する可能性が示唆された。支柱の存在によってこの危険性はさらに高まることもわかった。

参考文献

- 1) 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