

自動車を伴った津波段波の建物に及ぼす衝突力に関する水理実験

岩手大学 学生会員 ○佐藤瑠聖，熊谷憲一，正会員 小笠原敏記

1. はじめに

津波災害では、津波波力による被害だけでなく、陸上を遡上する津波によって船舶や自動車などが漂流物化による二次的被害も重要な問題である。既往研究では、水谷ら(2005)はコンテナを対象として、付加質量を考慮した衝突力に関する研究を行なっているが、自動車を対象とした衝突力に注目した研究は少ないといえる。

そこで本研究では、フルードの相似則を満たした自動車模型が建物に衝突する実験を実施する。このとき建物に作用する荷重をロードセルにより計測し、漂流する自動車の外形や初期位置の違いによって、漂流挙動や荷重特性の違いを明らかにする。さらに、建物に及ぼす漂流自動車の衝突力のモデル化を検討する。

2. 実験概要

2.1 実験装置および方法

図-1 に実験装置の概要を示す。貯水槽のゲートを急開放させ段波を発生させた。ロードセルを内蔵した建物をゲートから 6m の位置に設置した。建物なしの条件において、建物位置で計測した入射波条件を表-1 に示す。ミニバン模型とミニバン模型と投影面積の等しい直方体の 2 種類を漂流物は、3D プリンター(Value 3D MagiX MF-1000, MUTOH)を用いて縮尺 1/25 でフルードの相似則を満たすように設計した。写真-1 のように模型にマーカーを付け、漂流挙動を高速度ビデオカメラ(CASIO ex-100pro, 30fps, 0.21cm/pixel)で撮影し、DLT 法によりマーカーの x, y の 2 次元座標を算出し、漂流挙動を解析した(詳細は、水野・小笠原(2017)を参照)。各計測機器のサンプリング周波数は 2000Hz とした。

2.2 実験条件

漂流物の初期位置は、建物前面から 20, 30, 40cm とした。表-2 に、ケース名と模型種類、漂流物の初期位置の組み合わせを示す。実験は、各ケースにつき 12 回程度行い、荷重が最大・最小のデータは解析の対象外とした。なお、波のみの荷重は 4.46[N]である。

3. 実験結果と考察

3. 1 漂流速度

漂流速度の時間変化について、Shafiei ら(2016)が提案した運動方程式による理論値と実験結果(Case2, Case5)の比較を図-2 に示す。立方体の漂流物(Case5)では、形状係数 0.5 を与えると理論値と良好な一致を示す。しかし、ミニバン(Case2)では、同じ投影面積でも底面形状の違いにより初速と最大速度の領域で理論値と異なる傾向になる。他の Case の立方体およびミニバンにおいて

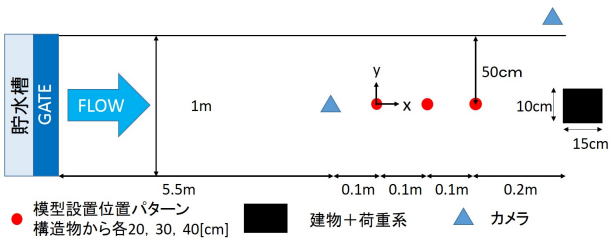


図-1 実験装置概要

表-1 入射波条件(建物なし)

貯水位[cm]	25
最大波高[cm]	3.6
最大流速[cm/s]	111.9
最大波高時のFr	1.21

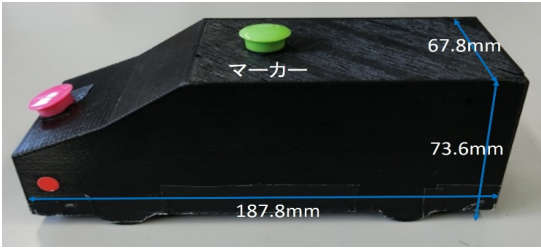


写真-1 ミニバン模型

表-2 漂流物の実験条件

ケース名	模型種類	初期位置
Case1	ミニバン	20
Case2	ミニバン	30
Case3	ミニバン	40
Case4	直方体	20
Case5	直方体	30
Case6	直方体	40

キーワード 津波，津波漂流物，衝突力，付加質量

連絡先 〒020-8551 岩手県盛岡市上田4-3-5 岩手大学理工学部 togasa@iwate-u.ac.jp

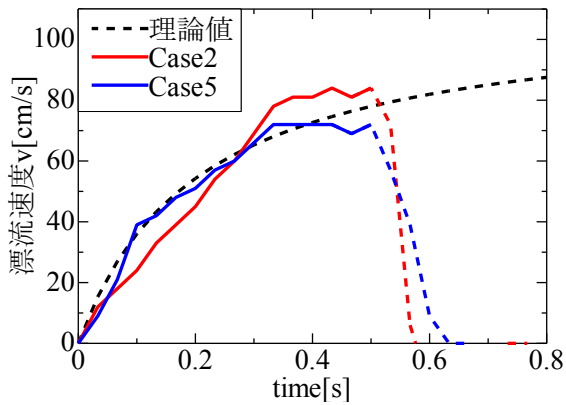


図-2 漂流速度の理論値と実験値の比較

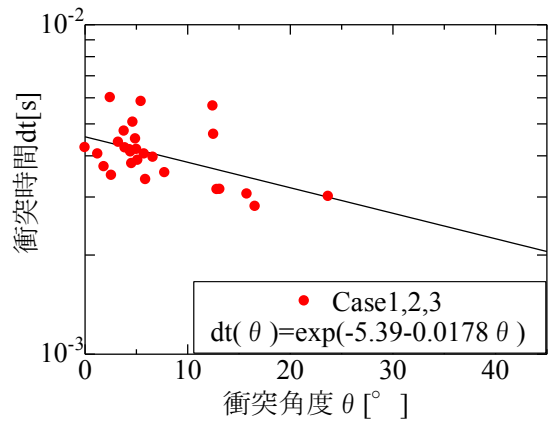


図-4 ミニバンにおける衝突角度と時間の関係

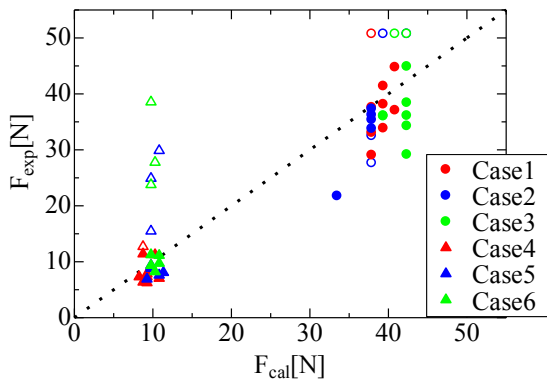


図-3 水谷式と実験値の比較

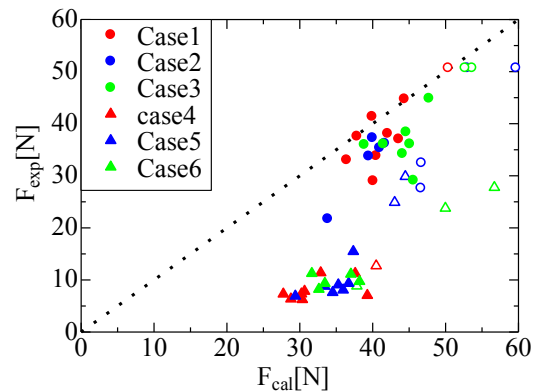


図-5 式(2)と実験値の比較

も同様の傾向を示した。

3.2 衝突力評価式と実験値の比較

水谷ら(2005)の提案した衝突力評価式(以下、水谷式と呼ぶ)と実験結果の比較を図-3に示す。水谷式は物体が無回転で衝突する場合を想定するため、衝突角度が 10° 未満(図-3 黒塗り)では良好な値を示す。しかし、衝突角度が 10° 以上(図-3 白抜き)では危険側に評価される。建物に作用する衝突力は、漂流物の衝突角度に影響を受けることから、衝突角度と衝突時間の関係を図-4に示す。衝突角度が大きくなるに連れて衝突時間が短くなる。そこで、水谷式の衝突時間を衝突角度の関数と見なし、次式の回帰式(図-4の実践)を算出した。

$$dt(\theta) = \exp(a + b\theta) \quad (1)$$

ここで、係数 $a = -5.39$, $b = -0.0178$ である。上式を考慮した水谷式は、次の通りである。

$$F_m = 2\rho_m\eta_m B(\theta)V_x^2 + \frac{\alpha W V_x}{g dt(\theta)} \quad (2)$$

ここで、 ρ_w : 流体の密度、 η_m : 最大浸水深、 V_x : 最大漂流速度、 W : 漂流物の重量、 g : 重力加速度を表す。また、 $B(\theta)$ は、回転時の模型幅を意味し、次式で表される。

$$B(\theta) = B \cos \theta + L \sin \theta \quad (3)$$

ここで、 B : 模型幅、 L : 模型長さ、 θ : 回転角度を表す。さらに、式(2)の慣性力を表す右辺第2項に安全係数 $\alpha = 1.2$ を考慮した。図-5に式(2)で求めた計算値と実験値の比較を示す。衝突時間に角度を考慮することにより、 10° を超える衝突角度(図-5 白抜き)でも衝突力を安全側に評価することが可能となった。

外形(主に底面形状)が異なると初速度に差が生じる点や最大速度が異なる点、また衝突力に差が生じる点などから、詳細な模型を用いる有用性を確認した。しかし、本実験ではミニバン模型のみの検証であるため、今後模型の種類を追加するなど更なる検証が必要である。
謝辞: 本研究の一部は、科研費・基盤研究(c)16K01292による成果である。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) 水谷法美ら(2005):エプロン上のコンテナに作用する津波力と漂流衝突力に関する研究, 海岸工学論文集 Vol52, 741-745
- 2) 水野辰哉, 小笠原敏記(2017): 水位上昇に伴う流れの作用を受けた自動車の運動特性に関する実験, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol73, No2, I_1165-I_1170
- 3) Seyedreza Shafiei(2016):Experimental investigation of tsunami-bore debris impact force on structures, Ocean Engineering, vol127, 158-169