

## 自動車を伴う段波衝突力に関する水理模型実験

岩手大学 学生会員 ○中村優一，佐藤瑠聖，正会員 小笠原敏記

## 1. はじめに

津波災害では、津波の直接作用による一次被害に加え、津波によって漂流物化した物体が衝突する二次被害が問題となる。既往研究では、木材やコンテナを対象とした研究が多く（例えば、水谷ら、2005 年）、自動車を対象に評価をしている研究は少ない。

本研究では、自動車模型を用いて、気中で自動車が建物に衝突する実験を行い、衝突速度および衝突力を基に、正確な剛性値を計算し、既存の衝突力評価式である FEMA 式(2012)の妥当性を検証する。

## 2. 実験概要

## 2.1 実験装置および方法

図-1a, b に実験装置の概要を示す。水中実験では、貯水槽のゲートを急解放させ段波を発生させた。気中実験、水中実験で用いたミニバン模型(写真-1)は 3D プリンター (Value 3D MagiXMF-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作成した。また、模型の前面には予め行った実験結果を踏まえ、厚さ 1mm のアルミ板(A5052)を貼付している。模型の漂流挙動や速度は高速度カメラで DLT 法を用いて解析を行った。この解析方法については、水野・小笠原(2017)より参照されたい。各計測機器のサンプリング周波数は 2kHz とした。気中実験では、一定の角度を持つ板上に、滑らかなレールを設置し、ミニバン模型を正面衝突させた。

## 2.2 実験条件

水中実験の漂流物の初期位置は建物前面から 30cm で一定とし、貯水槽の水位 15-45cm 程で変化させて 100 ケース計測した。入射波については、貯水位を大きくするに連れて、波高や流速も大きくなる傾向にあり、波高は 20-70mm 程度、流速は 50-200cm/s 程度であった。また、気中実験は高さ 0-20cm で 250 ケース程度行い、図-2 に示すようにエネルギー保存則より求められる速さ  $v$  の値と強い相関を持つデータ

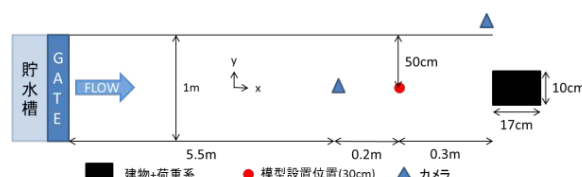


図-1a 水理模型実験の概要

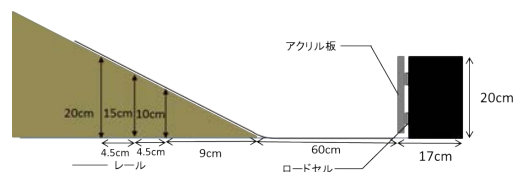


図-1b 気中実験の概要

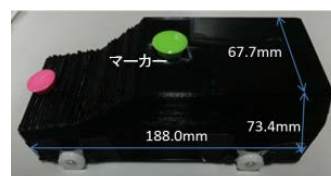


写真-1 気中実験に用いたミニバン模型

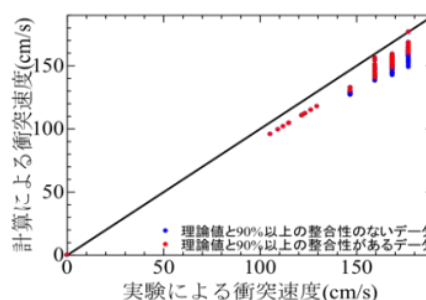


図-2 衝突速度の理論値と実験値の比較

(134 データ)のみを採用した.

### 3. 実験結果と考察

### 3.1 剛性の算出

FEMA の評価式(2012)には, 気中の衝突力  $F_a$  と水中の衝突力  $F_w$  の 2 つがあり, その評価式を以下に示す.

$$F_a = v_a \sqrt{km} \quad (1)$$

$$F_w = v_w \sqrt{km(1+C)} \quad (2)$$

ここで、 $v_a$ :気中の衝突速度、 $k$ :剛性、 $m$ :漂流物の質量、 $v_w$ :水中の漂流速度、 $C$ :付加質量係数(0.5)を表す。本研究では剛性値の算出に佐野ら(2018)の手法を

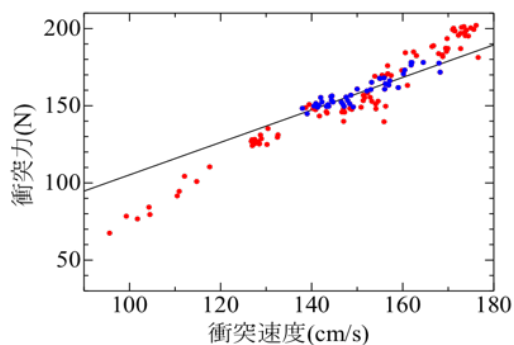


図-3 気中の衝突速度と衝突力の関係

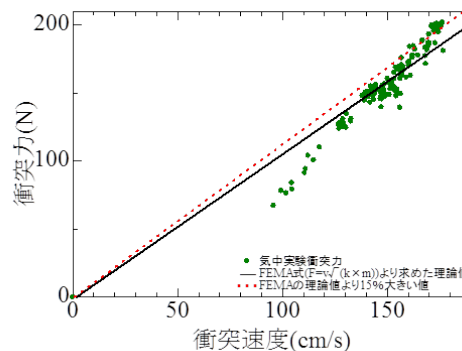


図-5 FEMA 式(1)と気中実験値の比較

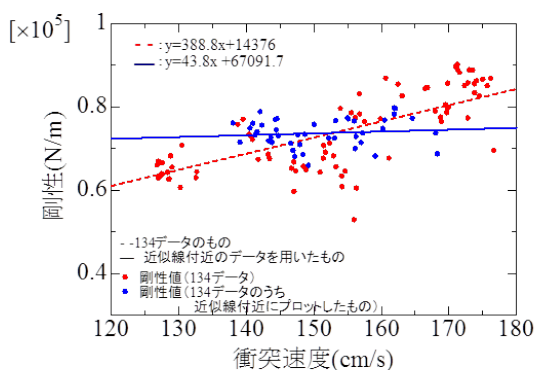


図-4 気中の衝突速度と剛性の関係

用いた。ここで、剛性とは模型に対して本来一定の値を持つものであるが、図-3に示すように一定値として扱うことが難しいと判断できるため、剛性を算出するにあたり、134データの近似線を引き、その近似線付近に存在するデータ(図-3 青塗り)を用いて剛性を算出した。その結果を図-4に示す。134データ全てを用いて剛性を速度の式( $k = 388.8v + 14376$ )で表した場合(図-4 赤塗り)の結果と比べて、近似線付近のプロットのみを用いると、一定値に近い  $k = 43.8v + 67091.7$  (図-4 青塗り)として表すことができる。この式を剛性として(1)式の  $k$  に代入した。

### 3.2 衝突力評価式と実験値の比較

図-5より、気中実験でFEMA式を評価すると、衝突速度が小さい時は安全側であるが、衝突速度が大きくなると危険側となる。しかし、FEMA式の値を15%の範囲で見ると、概ね安全側の評価が可能となる。さらに、図-6に示す水中実験の場合、FEMA式(2)で全て安全側の評価となり、-15%の範囲であっても、実験による衝突力の値は評価式の安全側となる。また、

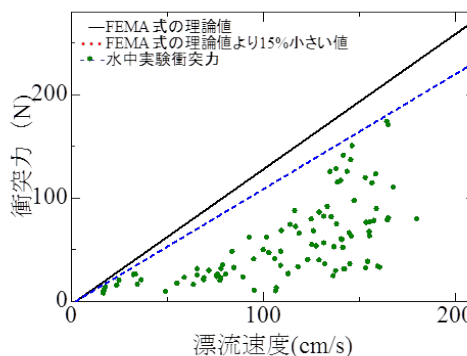


図-6 FEMA 式(2)と水中実験値の比較

水の減衰効果等により、気中衝突の場合よりも、水中での衝突力は小さくなることが分かる。

以上より、気中実験で正確な剛性が得られれば、その剛性を基にしたFEMA式で水中の衝突力を評価できることを実証した。今後の課題として、異なる剛性の衝突物においても、同様の傾向が得られるかの検証が必要である。

**謝辞:**本研究は、科研費・基盤研究(c)18K04670 及び 19K04971 による成果である。ここに謝意を表する。

### 参考文献

- 1) 佐野理志ら(2018):津波漂流物がもたらす衝突力の評価手法の検討, 土木学会論文集 B2, Vol.74, No.2, I\_373-I\_378, 2018
- 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, Vol.73, No.2, I\_1165-I\_1170
- 3) 水谷ら(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 Vol.52, 741-745