

# 氾濫流に伴う自動車衝突力の簡易評価法

秋田大学 正会員 松富英夫

## 1. はじめに

津波、高潮や洪水の氾濫流に伴う自動車の衝突力評価法は未確立である。自動車の漂流衝突被害は 2009 年サモア地震津波でも目立ち、映像に撮られている。

本研究は、1 台の自動車が前 2 者の氾濫流に伴って衝突するときの簡易な衝突力評価法を例示する。

## 2. 対象の自動車とその漂流条件

衝突力評価対象の自動車の重量は 1.2 tf (11.8 kN)、長さは 4.4 m、幅は 1.6 m とする。

自動車の漂流に関して次の仮定を導入する。

仮定①：対象の自動車は浸水深 0.5 m 以上で浮き、漂流する。

仮定②：浮いた自動車は衝突するまで沈まず、漂流し続ける。

仮定③：自動車は被衝突物に正面衝突する。

## 3. 氾濫流速

漂流衝突物に限らず、衝突物の衝突力は衝突速度に強く依存する。本研究では、最も危険な場合を想定し、衝突速度として氾濫流速を採用する (仮定④)。

### 3.1 津波

漂流物が少なく、氾濫流に影響を及ぼさないときの氾濫流速  $u$  の簡易評価式として次式がある<sup>1)</sup>。

$$u = 0.66\sqrt{gh_f} = 1.2\sqrt{gh_r} \cong 1.2\sqrt{gh} \quad (1)$$

ここで、 $g$  は重力の加速度、 $h_f$  と  $h_r$  は津波氾濫域の建物などに氾濫流が作用する面とその背面での浸水深、 $h$  は  $h_f$  と  $h_r$  を測定した建物などへの入射氾濫流水深 (建物などの影響を受けていない) である。式(1)の氾濫流速は建物などに最も大きな流体力が作用する危険側を想定したときのもので、入射氾濫流のフルード数を 1.2 と固定したものになっている。実際の入射氾濫流のフルード数は 0.42~1.2 程度の値をとり得る<sup>1)</sup>。

### 3.2 高潮

津波、高潮と洪水の氾濫流は流勢や流況が異なるようである<sup>2)</sup>。例えば、津波の氾濫は周期 5 分~1 時間程度の波の氾濫であり、高潮の氾濫は日本では数時間~半日程度の潮位の上昇・下降現象に (これが本来の高潮)、周期 10 秒程度の高波が重なった波状段波的なものの氾濫である。

本研究では、津波と高潮の氾濫に上述のような違いがあるが、高潮の氾濫を波状段波的なものの中分面を波形とする波の氾濫と考えて、式(1)が利用できるとする (仮定⑤)。これは氾濫流速を危険側に想定することになると思われる。ただし、高潮は津波に比べて定常性が強い (高波成分は除く)、対象の自動車を漂流

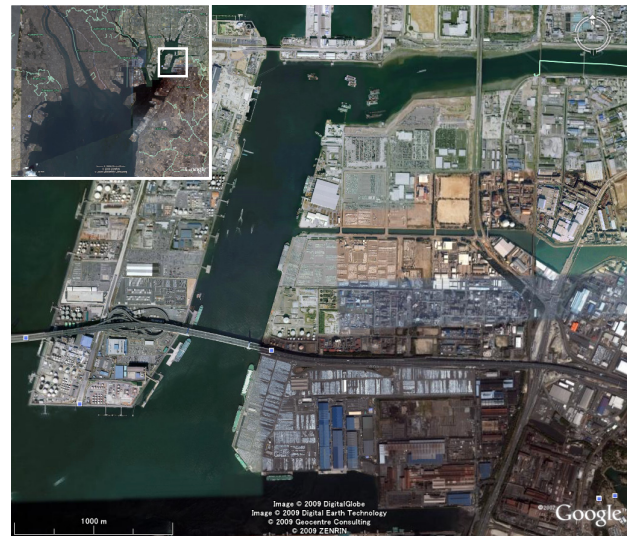


図-1 名古屋港の新宝ふ頭 (Google Earth)

させる高潮の氾濫流速は入射氾濫流水深  $h$  に依存せず、常に  $h=0.5$  m のときのものとする (仮定⑥)。この仮定は、「衝突物の漂流に関しては津波の方が高潮より危険」と考えたことになる。仮定⑥は 2009 年サモア地震津波での映像<sup>3)</sup>によれば、かなり妥当である。よって、高潮の氾濫流速  $u$  として式(1)から 2.6 m/s を得る。

## 4. 検討例

### 4.1 対象地点

津波、高潮や洪水の災害が想定されている伊勢湾の湾奥で、最大の自動車専用埠頭である新宝ふ頭を検討対象地点とする (図-1の右側部分)。この地盤高は T.P. 4 m (N.P. 5.41 m) 程度である。

名古屋港における各種想定地震津波による最大津波高の水位は T.P. 2.5 m である<sup>4)</sup>。よって、津波は基本的に新宝ふ頭を氾濫しないと考えられる。

高潮に対する検討対象の台風は、1934年の室戸台風級で、名古屋の低平地に最大の被害をもたらす「スーパー伊勢湾台風」<sup>5)</sup>とする。この台風による高潮の新宝ふ頭での想定浸水深は場所によって異なり、1 m~4 m に達する<sup>5)</sup>。ただし、3.2 節で述べた考え方 (仮定⑥) では、入射氾濫流水深が 0.5 m 以上に達する高潮であれば、対象の自動車を漂流させる高潮の氾濫流速は台風の大きさや強さに依存しない。

### 4.2 衝突速度

水理実験によれば、人工の円柱流木はその長さの 20 倍以上の距離を漂流すると、断面平均流速とほぼ同じ移動速度になる<sup>6)</sup>。小型模型船舶は 4 倍以上である<sup>7)</sup>。円柱流木に比べて形状が複雑な自動車は、20 倍よりも短い漂流距離で流速とほぼ同じ移動速度になると考え

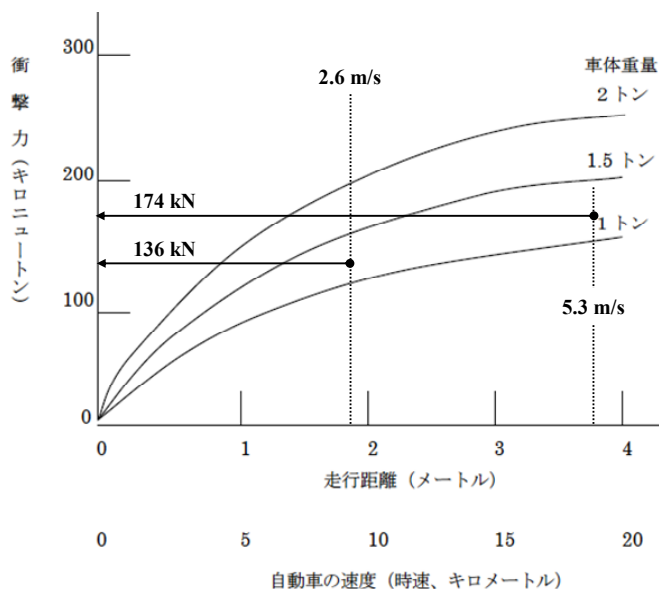


図-2 自動車の衝突速度と衝突力の関係例（国土交通省の資料<sup>8)</sup>に加筆）

られる。その好例が映像<sup>3)</sup>に撮られている。よって、対象の自動車は4.4 m×20≒90 mも漂流すれば、氾濫流速とほぼ同じ移動速度になると考えてよい。新宝ふ頭は南北に約2.3 km、東西に約1.5 kmの広さがあり(図-1)、多くの自動車には漂流距離が十分にあり、自動車の衝突速度≒移動速度≒氾濫流速と考えてよからう。

#### 4.3 大気中における自動車衝突時の衝突力

立体駐車場のコンクリート壁などへ幅1.6 mの自動車が低・中速度で正面衝突するとき、自動車が及ぼす(受ける)衝突力として図-2が公表されている<sup>8)</sup>。図から、衝突速度が2.6 m/sのときの衝突力として136 kN(13.9 tf)が得られる。図中には、参考として入射氾濫流水深 $h$ が2 m(衝突速度が5.3 m/s)のときのもの(174 kN(17.8 tf))も示されている。

図-2によると、衝突速度が2倍(入射氾濫流水深が4倍)になっても、衝突力は2倍以下である。この傾向はエネルギー損失(塑性)を考慮した流木の衝突力のときの2の1.2乗倍<sup>9)</sup>(≒2.3倍)と大きく異なる。この理由は、交通事故時における人などへの衝撃力を緩和するため、自動車が押し潰れやすく製造されているためと考えられる。

#### 4.4 漂流自動車衝突時の衝突力

漂流物の衝突力は流体の影響を受ける。人工の円柱流木の衝突力では、その影響は見かけの質量係数 $C_{MA}$ で表現される<sup>9)</sup>。その見かけの質量係数は流れの種類(氾濫流、砕波段波、定常流)や漂流物の流れ場における位置(氾濫流や砕波段波の先端部、それらの先端部背後の準定常流部)に依存し、 $C_{MA}=0.5\sim 1.9$ の値をとる。現状ではこの考えと値を対象の自動車の漂流衝突力へ準用せざるを得ない(仮定⑦)。よって、対象の自動車1台の漂流衝突力は68~258 kN(6.9~26.4 tf)となる。

氾濫流が建物などへ及ぼす流体力では抗力 $F_D$ が支配的と言われている<sup>10)</sup>。その抗力は、氾濫流速として式(1)を採用すれば、次式で評価される<sup>10), 11)</sup>。

$$F_D = 0.22 \gamma_s C_D h_f^2 B \quad (2)$$

ここで、 $\gamma_s$ は海水の単位体積重量(=10.1 kN/m<sup>3</sup>=1.03 tf/m<sup>3</sup>)、 $C_D$ は抗力係数(=1.1~2.0)、 $B$ は建物などの幅である。

津波氾濫域の木造家屋は前面浸水深 $h_f$ が2 mを超えると大破に至る<sup>12)</sup>。最も危険な(大きな)場合を想定して $C_D=2.0$ を採用し、 $h_f=2$  m、 $B=10$  m(一般的な家屋を想定)を式(2)に代入すれば、 $F_D=176$  kN(17.9 tf)となる。 $B$ に自動車の幅と同じ1.6 mを採用すれば、 $F_D=28.1$  kN(2.9 tf)となる。これらの値と68~258 kN(6.9~26.4 tf)を比較することで、漂流自動車1台の衝突力が実感できよう。ただし、木造とコンクリート造の壁では剛性が大きく異なることに注意を要する。剛性が小さいと、衝突力も小さくなるからである。

#### 5. おわりに

津波や高潮による氾濫流を単純化するとともに、これまでの諸知見の借用により、津波や高潮の氾濫流に伴う自動車1台の衝突力の簡易な評価法を例示した。仮定が多く、しかも風(高潮の場合)や被衝突物の形状・材料・構造などの影響を考慮しておらず、本評価法には改良すべき点が多々ある。

謝辞：本研究のきっかけは東海テレビ放送(株)の鎌田麗香氏から漂流自動車の衝突力について相談を受けたことによる。ここに記して感謝の意を表する。

#### 参考文献

- 1) 松富英夫：最近の沿岸・陸上津波における課題，土木学会2009年度(第45回)水工学に関する夏期研修会講義集，Bコース，pp.B-3-1-B-3-20，2009。
- 2) 松富英夫：2007年9月17日洪水の阿仁前田での氾濫について，秋田大学工学資源学部附属地域防災力研究センター報告，第3号，pp.13-20，2009。
- 3) FBI tsunami video PAGO parking lot, <http://honolulu.fbi.gov/pressrel/pressrel109/hn100909.htm>, 参照2009-10-22。
- 4) 愛知県防災会議地震部会：愛知県東海地震・東南海地震等被害予測調査報告書—想定地震に基づく被害想定—，135p., 2003。
- 5) 東海ネーデルランド高潮・洪水地域協議会：危機管理行動計画(第二版)，158p., 2009。
- 6) 松富英夫，田名部 惇：流木の横拡散と移流拡散に関する実験—複数流木の衝突確率—，海岸工学論文集，第53巻，pp.186-190，2006。
- 7) 水谷法実，小池 竜，中村友昭，子安友加里：岸壁に入射する津波の反射・遡上特性と小型船舶の打ち上げ・漂流挙動に関する研究，海岸工学論文集，第56巻，pp.841-845，2009。
- 8) 国土交通省：駐車場における自動車転落事故を防止するための装置等に関する設計指針，[www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/kensetu.files/0225shishin.pdf](http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/kensetu.files/0225shishin.pdf)，参照2009-8-20。
- 9) 松富英夫：流木衝突力の実用的な評価式と変化特性，土木学会論文集，No.621/II-47，pp.111-127，1999。
- 10) 松富英夫，大向達也，今井健太郎：津波氾濫流の構造物への流体力，水工学論文集，第48巻，pp.559-564，2004。
- 11) 飯塚秀則，松富英夫：津波氾濫流の被害想定，海岸工学論文集，第47巻，pp.381-385，2000。
- 12) 首藤伸夫，今村文彦，越村俊一，佐竹健治，松富英夫編：津波の事典，朝倉書店，pp.185-186，2007。