

孤立波による漂流物の衝突と付加質量

東北工業大学 学 澁谷陽 正 新井信一
東北工業大学 正 高橋敏彦 正 相原昭洋

1. はじめに

津波が遡上してくるときに被害が小規模にとどまる建物の検討は人命保護と財産保護の上からも大事なことである。避難塔などの設置と早期避難による人命保護とともに、財産を保護し生活を守る必要がある。本研究の最終目的は、最悪でも半壊にとどまり財産を守る住宅などを提案することにある。半壊しても主要な財産を守ることができれば、津波の後の迅速な復興が期待できる。住宅を建設する際は、津波自身による波力や津波によって流されてくる沿岸漂流物の衝突力に耐えうる構造設計にしなければならない。この津波漂流物の衝突力に関して、流木や船舶などを対象とした研究^{1,2)}が実施され算定式も提案されているが、この力のメカニズムはさらに検討して行く必要があるといえる。そこでここでは、住宅の柱の強度設計のため、津波として孤立波を発生させ、水槽に浮かべた木材漂流物が住宅の柱に相当する検力棒に衝突した際の力の力積を計測した。衝突力はピーク値ではなく力積で捉えるのが分かりやすいからである。そして、構造設計に必要な衝撃外力は、運動量の関係を用いて、漂流物の付加質量から力積を与える方法が良いと考え、結果を付加質量で整理した。

2. 実験方法

実験状況を図1と2に示す。漂流物をあらかじめ定めた位置に浮かべておき、孤立波を造波して、検力棒（断面寸法 2cm×0.3cm）に衝突させた。その衝突力をロードセル（LMA-A型 小型圧縮型ロードセル）により、また、その場所での静水面近傍の流速を電磁流速計によりそれぞれ計測した。水深は 20cm で、孤立波の波高は 3cm と 5cm と 8cm である。漂流物は厚板型と薄板正方形型について調べたが、今回は厚板型（高さ 3cm×幅 5.3cm×長さ 10cm）について報告する。

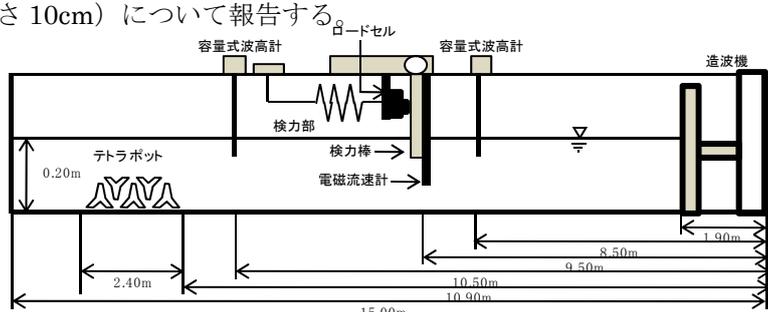


図1 実験状況

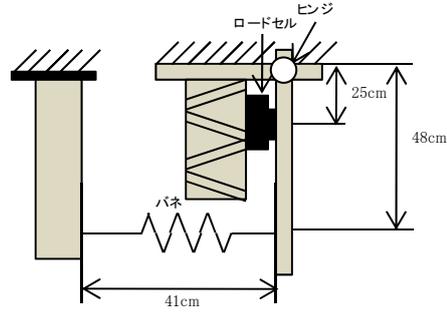


図2 検力棒の詳細

孤立波は、ほぼ理論波形に近い波面と流速を得ている。漂流物は浮かべておく場所を変えることにより 9 種類の位相で衝突させた。それは、図3に例示しているように、波頂の点 (top)、その前面で流速が波頂の 3/4 の点 (front3/4)、同 1/2 の点 (front1/2)、同 1/4 の点 (front1/4)、同 0 の点 (front0)、後面で流速が波頂の 3/4 の点 (back3/4)、同 1/2 の点 (back1/2)、同 1/4 の点 (back1/4)、同 0 の点 (back0) である。漂流物は孤立波に比べて十分小さく、漂流物の速度と水粒子の速度は同じと見て良い。

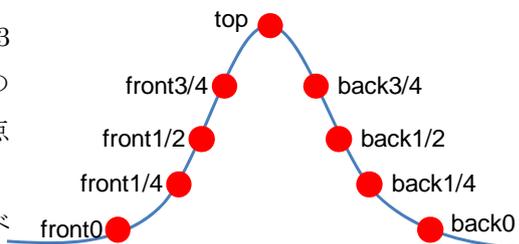


図3 衝突位相

3. 解析方法

漂流物による検力棒への衝撃力 $f(t)$ は、図4に示す計測された力 $R(t)$ ではないので、この力積を求めるために $f(t)$ を図4の赤い点線のように瞬間的な Δt の間に一定の力 f_0 が作用すると近似する。この力により発生するロードセルにかかる力 $R(t)$ は以下の様になる。まず、ロードセル検力点での変位 $z(t)$ のステップ応答の運動方程式を $m\ddot{z} + r\dot{z} + kz = u(t)$ とおく。ここに、 m 、 r 、 k は検力装置全体を 1 自由度振動系と近似した時のパラメータで、順

に質量、減衰力係数、復原力係数である。すると、入力が t_1 で始まるステップ応答を $Z(t_1)$ とすると、 $R(t)=f_0 \cdot k[Z(t_2) - Z(t_1)] \cdot \Delta t$ となる、 $\Delta t=t_1-t_2$ で f_0 の衝撃力が作用すると $R(t)$ は(2)式のようなになる。計測結果の $R(t)$ に対して(2)式の $R(t)$ が一致するように固有円周波数 $\omega_n (= \sqrt{k/m})$ 、減衰力係数 $\zeta (= r/2\sqrt{mk})$ 、外力 f_0 、 Δt を試行錯誤で調整する。これにより作用衝撃力、 $f_0 \cdot \Delta t$ を求める。漂流物自身の質量 m と流体の付加質量 m_a 、衝突時速度を v とし、衝突後の漂流物が停止すると見なせば、力積と運動量変化の関係より、 $f_0 \cdot \Delta t = (m + m_a)v$ となる。従って衝突速度と付加質量を把握できれば力積が分かり、衝突時の構造計算が可能となる。そこで、本研究では衝突時の力積を付加質量で表わすことにした。

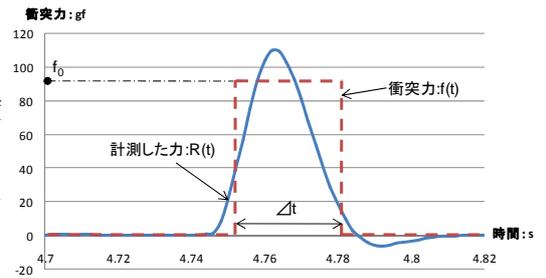


図4 衝撃力

4. 実験結果

実験の結果、位相ごとに漂流物が検力棒に衝突する角度が異なることがわかった。これは漂流物が孤立波に乗って衝突する際に、漂流物が水面勾配によって傾くためである。水面勾配が1番傾くのは位相が front1/2 と back1/2 の場合である。図5には front1/2 のときの衝突の様子をスケッチで示す。図6には付加質量を無次元化した付加質量係数と衝突位相の関係を示したものである。図6の色塗りは孤立波の波高3cm、白抜きが5cm、黒塗りが8cmである。この結果から、まず、front0 から front1/2 にかけてと back1/2 から back0 にかけて付加質量係数にばらつきがあることがわかる。これは、この位相で解析の際に分母にくる流速が他の位相に比べ小さくなるからである。図7は付加質量係数をグループごとに平均した値を同じマークにてプロットしている。波高3cmの場合は front0 から top まで、ほぼ一本の線に乗ってくる。波高5cmの場合は front0 から front3/4 にかけて付加質量係数の値が約2で一定になっている。波高8cmの場合は front0 から front3/4 にかけて付加質量係数の値が約2.5で一定になっている。また、孤立波の波高にかかわらず top から back0 にかけての付加質量係数の値がほぼ0となっている。

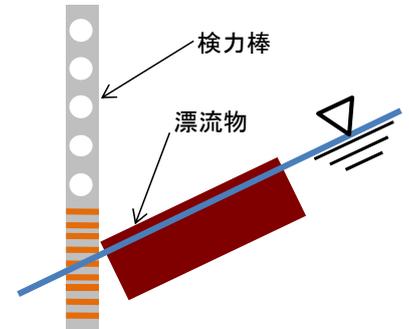


図5 衝突の様子

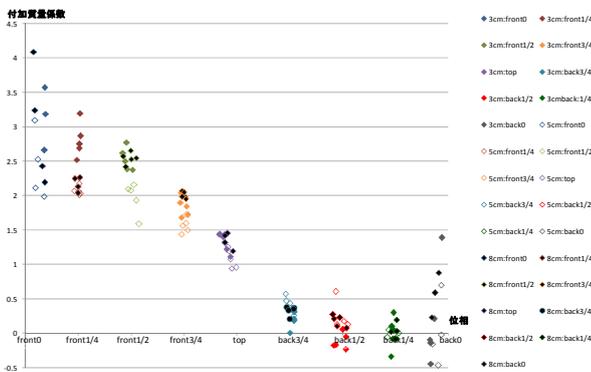


図6 衝突位相と付加質量係数

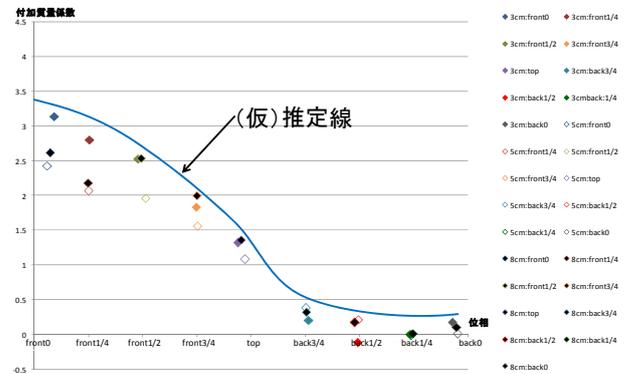


図7 衝突位相と付加質量係数 (平均)

5. まとめ

孤立波に乗った漂流物の衝撃力を力積でとらえ、運動量の式により付加質量に変換して整理してみると、付加質量係数は波の前面衝突時で大きくなり、波の後面衝突時では小さくなることが判明した。また、波高が変わると波の前面では付加質量係数の値が変わるが、波の後面では波高にかかわらず付加質量係数の値は0に近い値となることがわかった。結果が図7に例示した(仮)推定線のようにほぼ一本の線に乗ってくるので、これにより、遡上する津波の波高と衝突の位相がわかれば衝撃力の力積を求めることができ、構造計算への外力を与えることが可能になると考えられる。

参考文献 1

- 1) 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
- 2) 池谷毅，他：津波による漂流物の衝突力の実験と評価法の提案，海岸工学論文集，第53巻，pp. 276 - 280，2006