

孤立派による漂流物の柱状構造部材への衝突力と付加質量

東北工業大学 学 ○澁谷陽、正 相原昭洋、正 新井信一

1. はじめに

津波が遡上してくる時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。建物を建設する際は、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。本研究では、ジャケット型避難塔を想定し、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避難塔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の捉え方として力積と運動量変化の関係を用いて、漂流物の付加質量を与える方法を考えた。

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、孤立派を造波して、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 8cm である。漂流物の模型は円柱型(断面直径 5cm、長さ 10cm)、厚板型、中厚板型、薄厚板型について長手方向と幅方向の衝突を調べたが、ここでは円柱型の長手方向衝突の結果のみを報告する。

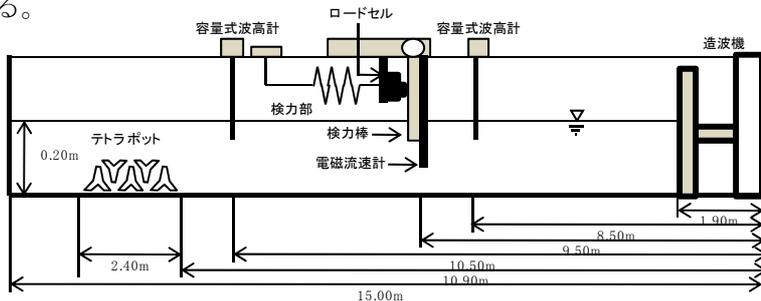


図1 実験状況

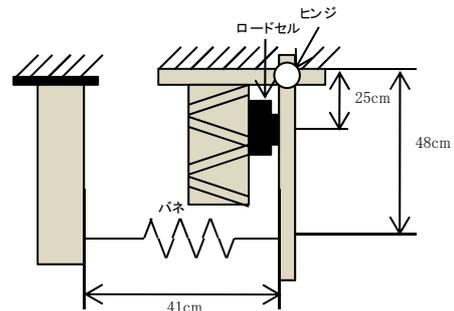


図2 検力棒の詳細

造波した孤立波の水面波形と流速として、波高 8cm の例を図3に、また、3cm の例を図4に示す。図の煩雑化を避けるため理論値を示していないが、孤立波終了部の以降を除き、ほぼ理論波形に近い波面と流速を得ている。漂流物はあらかじめ浮かべておく場所を変えることにより 5 種類の位相で衝突させた。それは、図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 1/2 の点 (for1/2)、同 3/8 の点 (for3/8)、後面で流速が波頂の 1/2 の点 (back1/2)、同 3/8 の点 (back3/8) 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。

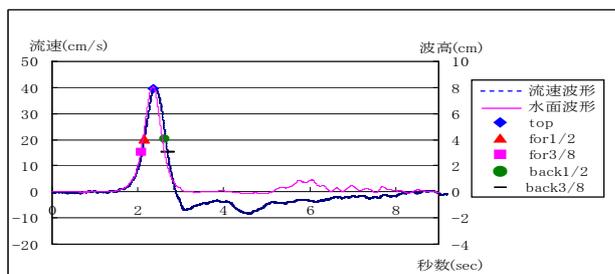


図3 水面と流速波形および衝突位相(波高 8cm)

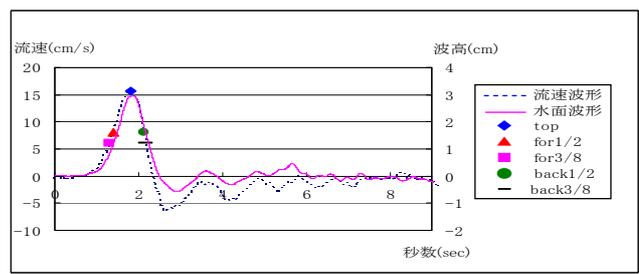


図4 水面と流速波形および衝突位相(波高 3cm)

キーワード：津波、漂流物、衝突力、付加質量

連絡先：宮城県仙台市太白区八木山香澄町 35-1 東北工業大学建設システム工学科 新井研究室 TEL 022-305-3540

3. 解析方法

まず漂流物による検力棒への衝撃力 $f(t)$ を図 5 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 u が t で始まるステップ応答は以下のようになる。

$$z(t_1) = \frac{1}{k} \left[1 - \frac{e^{-\zeta \omega_n t_1}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \cos \left(\sqrt{1-\zeta^2} \omega_n t_1 - \tan^{-1} \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \right) \right] \dots (1) \quad R(t) = f_0 \cdot k [Z(t_2) - Z(t_1)] \dots (2)$$

だから、 $\Delta t = t_1 - t_2$ で f_0 の衝撃力が作用すると $R(t)$ は(2)式の様になる。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。これにより作用衝突力、 $f_0 \cdot \Delta t$ を求める。図 6 はその一例を示したものである。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。

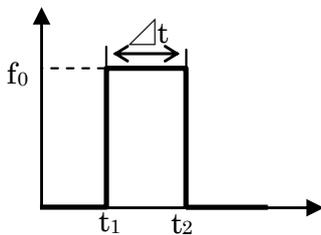


図 5 衝撃力

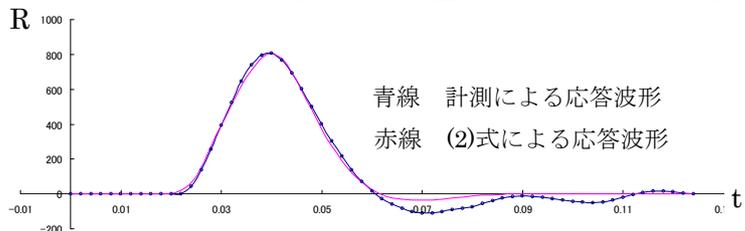


図 6 力積解析例

4. 実験結果

実験で得られた衝突時の力積から流体付加質量を求め、それを漂流物自身の質量で無次元化した。図 7 は付加質量係数を速度で整理したものである。波高が 8cm の場合も 3cm の場合も同じ傾向を示している。すなわち、付加質量係数は、衝突位相が波頂(top)では 1.0~1.2 であり、前面に行くほど衝突速度が低下するとともに増加し、後面に行くほど衝突速度が低下するとともに減少する。したがって、付加質量は波高と衝突速度と波の前面か後面に依存する結果となっている。図 8 には衝突時の加速度で整理した結果を示す。これによると加速度に対しては衝突位相や波高にかかわらず同じ線上に乗り、付加質量は衝突時の加速度によりその値が決まることが分かる。

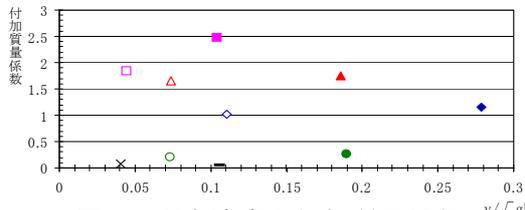


図 7 衝突速度と付加質量係数

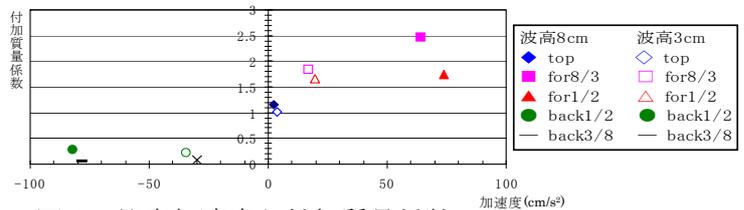


図 8 衝突加速度と付加質量係数

5. おわりに

孤立波に乗った漂流物の衝突力を力積すなわち漂流物の運動量変化で捉えると、衝突時の流体付加質量は、波の後面よりも前面で大きくなり、衝突加速度により決まることが判明した。図 8 のように付加質量をとらえれば、これに衝突速度を加えることにより、衝突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) 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