

孤立波による漂流物の衝突力の付加質量による研究

074125 本田恭一

1. はじめに

津波による被害は、時には大切な財産や尊い命を奪ってしまう。特に、我が国は地震大国と言われる程に地震が頻繁に発生している。それは、同時に津波を招く可能性も非常に高いと言える。したがって、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。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。その為には、外力の解明が不可欠である。過去にも、津波漂流物の衝突に関して、流木や船舶などを対象とした研究¹⁾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をさらに検討していく必要がある。そこで本研究では、住宅の柱の強度設計のため、津波として孤立波²⁾を発生させ、水槽に浮かべた木材漂流物が構造物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。なぜなら、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

実験状況図を図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、5cm、8cm である。漂流物模型は厚板型(縦 10cm、横 5.3cm、高さ 3cm、質量 85g)と薄板正方形型(縦 10cm、横 10cm、高さ 1.5cm、質量 103g)を使用した。ここでは厚板型について報告する。

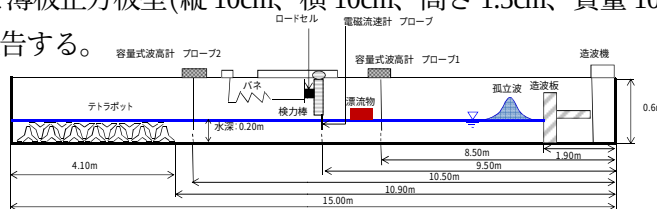


図1 実験状況図

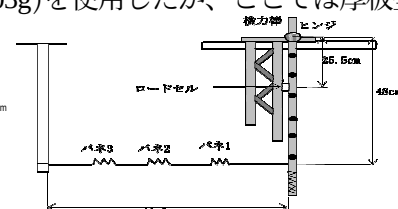
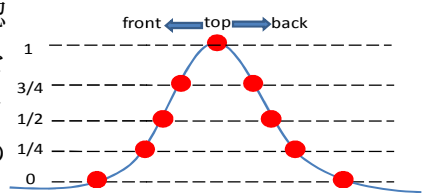


図2 検力装置の詳細

3. 実験に使用した孤立波と衝突の位相

実験水槽で使用した孤立波は、理論値とほぼ一致していることを確認し、衝突実験を行った。また、漂流物はあらかじめ浮かべておく場所を変える事により図3に示しているように、9種類の波の位相で衝突させた。波頂の点(top)、波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)、波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。



3 衝突の位相

4. 解析方法

初めに漂流物による検力棒への衝撃力 $f(t)$ を図4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

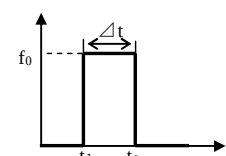


図4 衝突力の近似方法

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、復元力係数である。すると、入力 $u(t)$ が $t=0$ で始まるステップ応答は(1)式のようになる。

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

だから、 $\Delta t = t_2 - t_1$ で f_0 の衝撃力が作用すると $R(t)$ は(2)式のようにになる。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。図5はその一例を示したものである。これにより作用衝撃力、 $f_0 \cdot \Delta t$ を求める。また、

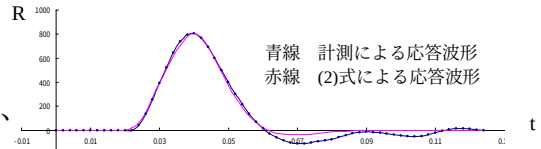
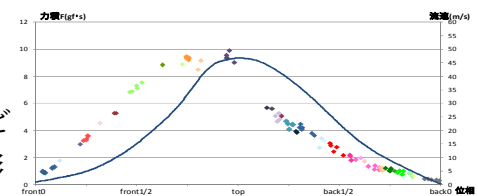
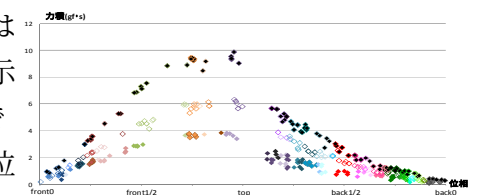
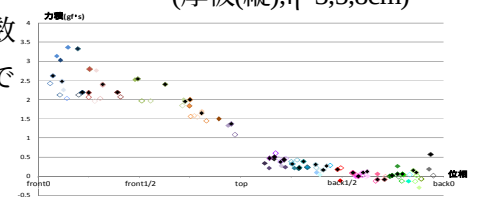


図5 応答解析例

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すことにした。

5. 実験結果

実験で得られた衝突時の力積($f_0 \Delta t$)と衝突流速が衝突位相でどう変化するかを図6に示した。その結果、流速はほぼ前後対称形なのに、力積($f_0 \Delta t$)は非対称になっている。図7、8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。図7では、波高によって力積値が異なってくることが分かる。一方図8では衝突位相と、付加質量を無次元化した付加質量係数との関係を示した。図8のこの結果から、まず、front0 および back0 の付近では付加質量係数にばらつきがあることが分かる。これは、この位相で解析する際に分母にくる流速が小さくなるからである。さて、front0 から front1/2 までは、波高により異なる値となるが、front1/2 より後ではほぼ一本の線に乗ってくる。すなわち、付加質量係数はfront0 で約2~3であるが、波後方に行くにつれ減少し、topでは約1となりその後は0に収斂する。

図6 力積($f_0 \Delta t$)と衝突流速
(厚板(縦), $\eta=8\text{cm}$)図7 力積($f_0 \Delta t$)と衝突位相
(厚板(縦), $\eta=3, 5, 8\text{cm}$)図8 付加質量係数と衝突位相(平均)
(厚板(縦), $\eta=3, 5, 8\text{cm}$)

6. まとめ

今回の実験で、流速が同じであっても波面の前と後で、力積($f_0 \Delta t$)の値が違ってくるということが分かった。そして、孤立波に乗った漂流物の衝突力を力積でとらえ、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に大きくなり、波の後面衝突時には小さくなるということが判明した。また、波高が変わると波の極前面では付加質量係数の値が変化するが、波の後面では波高に関係なく一様に減少し0に近い値となる。つまり、付加質量は衝突の位相に依存することが分かった。このように整理すれば、遡上する津波の波高と衝突の位相が分かれば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) 池谷毅, 他(2006): 津波による漂流物の衝突力の実験と評価方法の提案, 海岸工学論文集, 第53巻, pp276-280,
- 2) Robert L.Wiegel (1964): Oceanographical Engineering, Prentice-Hall, INC.,