遡上津波による漂流物の柱に対する衝突力の評価

東北工業大学 正〇澁谷陽, 正 相原昭洋, 正 新井信一

1. 序論

著者らは平野での漂流物の衝突力の特性について,孤立波¹⁾を使用し求めてきた.一方,2011 年の東北地方太 平洋沖地震による津波の建物被害調査結果²⁾から,海岸線付近と海岸線から約 1km 以上後方の内陸部では建物の 被害状況が異なり,この2 つの区間でそれぞれに合った減災方法を検討する必要があることがわかった.本研究 では,海岸線付近と内陸部を想定し,漂流物の衝突実験を行い.平野部に遡上する津波による漂流物が柱に与え る衝突力の特性を明らかにするとともに,漂流物が実際の柱に与える衝突力と柱の強度の関係について検討した.

2. 実験方法



実験状況を図-1 に示す.実験の縮尺は 1/100 である.開水路内に仙台湾の海底部分を 模した傾斜部(1/10)と平野部を設置した. 遡上津波を発生させるため,空気式造波装置 内の吸引高さを 40cm,70cm (以下,h_t40,h_t70 と略称)とし2 種類の津波を発生させる. h_t40 の波は海岸線(傾斜部と平野部の境界線)で最大浸水深が約 6.0cm であり,h_t70 では約 9.0cm である.衝突力を計測するために図-2 に示した検力装置でロードセル (LMA-A 型小 型圧縮型)により反力を計測し衝突力を算出した.検力装置の設置位置は,海岸線付近を 仮定した L=50cm(L:海岸線から平野部側への距離)の位置と,海岸線から約 1km 以上後方 の内陸部を仮定した L=450cm の 2 箇所である.検力棒はなるべく薄くし流れを阻害しない ようにしている.漂流物として図-3 に示した厚板型を使用した.漂流物を衝突させる場合 は,漂流物の初期位置と検力棒の距離を変えて遡上津波を発生させる.漂流物の衝突速度 は漂流物に細い棒(直径:0.2cm、長さ:17cm)を立て,PTV システムを使用して計測した.



3. 実験結果

図-3 漂流物模型(質量 91 g)

先に行った孤立波¹⁾と遡上津波³⁾による調査の様に衝突力の力積と漂流物の付加質量で整理する.以下の実験結果には、今回の遡上津波(L=50cm、L=450cm)の他に、孤立波(η 3, η 5, η 8)と遡上津波(L=15cm、L=85cm)を追加している.図-4には力積と衝突速度の関係、図-5には付加質量と衝突速度の関係を示す.力積はW· $\sqrt{g\eta_{max}}/L_m$ で無次元化している.ここに、漂流物の重量:W,漂流物長さ: L_m 、最大浸水深: η_{max} による $\sqrt{g\eta_{max}}$ である.そして衝突速度は $\sqrt{g\eta_{max}}$ で無次元化している.また、付加質量は漂流物の質量で無次元化した付加質量係数: C_m で表わしている.図-4より、全ての計測位置で衝突速度が大きくなるにつれ衝突力の力積も大きくなる。各計測位置での衝突速度の最大値は $\sqrt{g\eta_{max}}$ の2~2.5倍の速度であり、このときに力積も最大値となる.ただし、L=15cmの計測位置では、漂流物の初期位置と検力棒の距離を十分にとることができず、漂流物が十分に加速できなかったため、最大衝突速度が小さくなったと考えられる.次に図-5より、孤立波の場合は漂流物速度が速くなるにつれ付加質量

キーワード: 遡上津波, 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 東北工業大学都市マネジメント学科新井研究室 TEL 022-305-3540



係数は 1.0 に近づいていくが, 遡上津波では計測位置が L=15cm および L=50cm, L=85cm の場合に付加質量係数 は全ての漂流物模型で 1.0 以下にばらつくことがわかる. この結果は松富 4の 0.7 とほぼ同じ方向となった. 一方, L=450cm の場所では付加質量係数は 0.5 以下にばらつくことがわかる.

4. 柱状構造物に対する漂流物の衝突力

2012年現在,津波外力に対する一般的な建物の設計指針等は無く,早急に柱に対する漂流物の衝突力を検討する必要がある.実際の家屋の柱を両端固定の柱と近似し,どの様な力が加わるのかを検討した.

その際に漂流物が衝突すると漂流物と柱が一緒に運動するとし、この衝突現象を1自由度振動系に置き換える. そこでまずエネルギー法により柱の固有円振動数ωnを求めるとともに、(1)式の運動方程式より最大変位を求める. その解は衝突速度をv₀として(2)式となる.

 $(m + m_a + 0.37m_p) d^2z/dt^2 + kz = 0 \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$ $z = v_0/\omega_n \cdot \sin \omega_n t \cdot \cdot \cdot \cdot (2)$ 漂流物の質量:m,付加質量:m_a,柱の質量:m_p(有効質量:0.37),復原力係数:k = 192EI/l³,柱の長さ:L=2l ヤング係数:E,断面二次モーメント:I,変位:z,固有円振動数: ω_n ,漂流物の衝突速度: v_0

この v_0/ω_n は最も変位した時の量 z_{max} であるから、この変位を生む相当静荷重を求め、この荷重によって発生する最大曲げ応力 σ_{max} を求める.この応力を建築基準法で定められた材料ごとの基準強度と比較した.

ここで、実験結果より maは、海岸線付近で 1.0、内陸部で 0.5 とし、vo はその地点での√gnmaxの 2.5 倍の値を 使用すれば、実際の漂流物の衝突により柱に発生する曲げ応力を求めることができる. 東北地方太平洋沖地震の 津波を想定し、海岸線付近での最大浸水深を 10m、内陸部を 3m と仮定した場合. 小型船舶の衝突に対して一般 的な建屋に使用される H 型鋼の柱は内陸部で耐えられるが、海岸線付近では耐えられないことがわかった.

5. 結論

遡上津波の場合,漂流物による衝突力の力積は漂流物の衝突速度におおむね比例する.その漂流物の衝突速度 の最大値は,海岸線付近でも内陸部でも \gmaxの約 2.5 倍の速度となる.だから,その速度のときに力積が最大 となり,そのとき海岸線付近で付加質量係数は約 1.0 となる.一方,内陸部では約 0.5 となり,海岸線付近での 値の半分となる.以上の結果から今回の大津波において,小型船舶が柱に衝突した際の曲げ応力を求め,基準強 度と比較すると,海岸線付近では柱が耐えられな結果となり,海岸線付近ではより強度の高い柱が必要になるこ とがわかった.

参考文献

1) 澁谷陽,新井信一,高橋敏彦,相原昭洋:孤立波による漂流物の衝突力と付加質量,土木学会論文集B3Vol.67No.2,pp.565-570,2011

2) S,Arai.A,Sibuya.A,Aihara.T,Takahasi:Inundation and Damage by Run-up Tsunami of 2011 in the Sendai Plain,Japan,ISOP-2012,2012
3) 澁谷陽,相原昭洋,新井信一,高橋敏彦:平野部に遡上した津波による漂流物の衝突力,土木学会論文集 B3Vol.67No. 2,pp.210-215,2012
4) 松冨英夫: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