

津波漂流物の衝突力における付加質量

東北工業大学工学部建設システム工学科 学生会員○小野寺拓也・工藤真太郎・澁谷直輝
 東北工業大学工学部建設システム工学科 正会員 新井信一・高橋敏彦
 足利工業大学工学部都市環境工学科 正会員 長尾昌朋

1. はじめに

津波による被害は記憶にも新しい。スマトラ沖地震津波では多大な被害をもたらした。このような災害への対策のひとつとして、津波襲来に対し避難することが大事になってくる。海岸など標高が低い地帯では避難塔などを設置することが効果的であり、その為の津波波力や漂流物の衝突に耐える構造設計にしなければならない。津波漂流物の衝突力の研究として流木¹⁾ やコンテナを対象とした研究が実施され算定式の提案¹⁾ もされているが、この力のメカニズムはさらに検討し明らかにする必要がある。

本研究では木材漂流物が衝突するときの流体付加質量を調べ、その特徴を明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

(1) 実験装置

実験状況を図1に示す。実験には、長さ15m、幅0.3m、高さ0.6mの両面ガラス張りの造波水路を使用した。水深は0.2mである。水路の一端にはピストン型造波装置があり、孤立波を造波した。造波板側の水槽の端から10.5mの地点に電磁流速計と検力棒を並列に設置した。その1m前と後に容量式波高計を設置した。水槽の另一端には波を消すためテラポットを設置した。漂流物として木片を浮かべておき、孤立波を起こすと、木片が検力棒に衝突する。その力をロードセルで検力する。木片が衝突する検力棒の部分には、衝撃を和らげるためゴムが巻かれている。

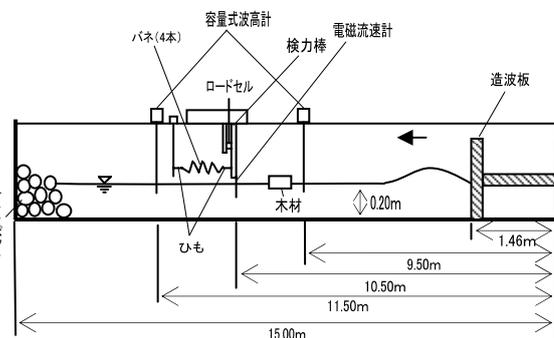


図1 実験概略図

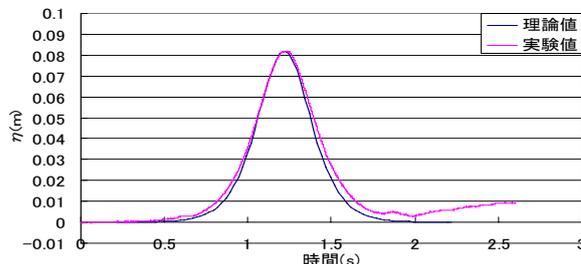


図2 造波波形と理論値の比較

(2) 造波方法

あらかじめ、数値水槽(CADMAS-SURF)²⁾を用いて造波方法を検討してみると、造波板を \sin の $-\pi/2 \sim \pi/2$ の信号で変位させるよりも \sin^2 の0から $\pi/2$ の信号による方が、よりきれいな孤立波が得られた。そこで \sin^2 の信号を用いて水槽で造波してみたが、図2に示す結果となった。同図には理論波形も示しているが、両者はよく一致しているといえる。

(3) 計測方法

図3に示す様に、検力棒に漂流物が短い時間の Δt で衝突して離れるとし、その間の力 F_0 が一定であると仮定する。この衝突により計測器には過渡衝撃応答が発生し、作用衝突力を直接計測できないため以下のように解析することにした。すなわち検力棒にステップ関数の力が入力した時のロードセルでの変位の運動方程式を $m\ddot{z} + r\dot{z} + kz = u(t)$ とし、その応答を $z(t)$ とする。

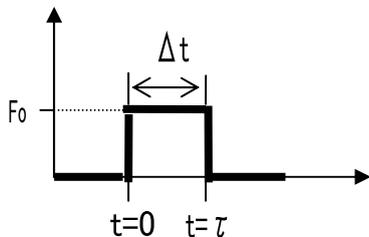


図3 ステップ関数

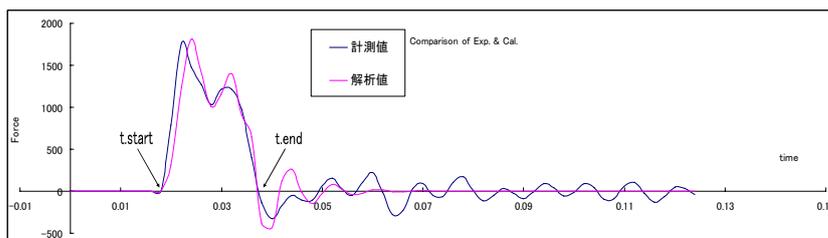


図4 力積解析シート

キーワード：津波漂流物、孤立波、衝突力、付加質量

連絡先：仙台市太白区八木山香澄町35番1号 東北工業大学工学部建設システム工学科新井研究室

電話番号：022-305-3540

そこで $t=0$ からのステップ応答を $z_1(t)$ 、 $t=\tau$ からのステップ応答を $z_2(t)$ とおくと、図3の入力に対して、ロードセルに働く力は $R = k[z_1(t) - z_2(t)]$ となる。図4に解析例を示すが、得られた記録(計測値)に対してその応答が $t=t.start \sim t.end$ までの間で一致するように、固有円周波数 ω_n と減衰係数 ζ と外力 F_0 と τ を調整する。ここに $\omega_n = \sqrt{k/m}$ 、 $\zeta = r/2\sqrt{mk}$ である。その結果定まった外力 F_0 と $\tau (= \Delta t)$ により付加質量 m 、付加質量係数 C_m を算定する。すなわち m_b を漂流物自身の質量として、それぞれ順に、 $m = [F_0 \cdot \Delta t / v] - m_b$ と $C_m = m/m_b$ である。ここに v は衝突速度である。

(4) 実験ケース

表1 実験ケース

実験ケースを表1に示す。漂流物は円柱、長方形断面柱、正方形断面柱、幅広板を使用し、長手方向に衝突したのを縦(long)、長手方向に直角方向で衝突したのを横(side)とした。波は孤立波で、波高8cmと3cmの2種類を使用した。漂流物は、これをあらかじめ浮かべておき孤立波を通過させると、 d だけ移動する。そこで、検力棒の前方 $1/2d$ にこれを浮かべておき実験を開始すれば漂流物はほぼ波頂で衝突することになる。そこで漂流物が孤立波の波頂の位相で衝突するケース(top)と、その移動距離に対して、 $1/2$ の移動で波前面で衝突する位相のケース($1/2for$)と、 $3/4$ の移動で波後面となるケース($1/2bac$)を選んだ。

実験ケース名	漂流物断面	衝突方向	波高(cm)	衝突位相	実験ケース名	漂流物断面	衝突方向	波高(cm)	衝突位相			
case1	circular	side	8	top	case9	square	side	8	top			
				1/2for					1/2for			
				1/2bac					1/2bac			
				3/4bac					3/4bac			
case2		3	side	3			top	case10	square	side	3	top
							1/2for					1/2for
							1/2bac					1/2bac
							3/4bac					3/4bac
case3	circular	long	8	top	case11	square	long	8	top			
				1/2for					1/2for			
				1/2bac					1/2bac			
				3/4bac					3/4bac			
case4		3	long	3	top		case12	square	long	3	top	
					1/2for						1/2for	
					1/2bac						1/2bac	
					3/4bac						3/4bac	
case5	rectangular	side	8	top	case13	rectangular (wide)	side (=long)		8	top		
				1/2for						1/2for		
				1/2bac						1/2bac		
				3/4bac						3/4bac		
case6		3	side	3	top		case14	rectangular (wide)	side (=long)	3	top	
					1/2for						1/2for	
					1/2bac						1/2bac	
					3/4bac						3/4bac	
case7	rectangular	long	8	top	case13	rectangular (wide)	side (=long)		8	top		
				1/2for						1/2for		
				1/2bac						1/2bac		
				3/4bac						3/4bac		
case8		3	long	3	top		case14	rectangular (wide)	side (=long)	3	top	
					1/2for						1/2for	
					1/2bac						1/2bac	
					3/4bac						3/4bac	

漂流物断面	高さ(cm)	幅(cm)	長さ(cm)	質量(kg)
circular	$2.5 \times 2.5 \times \pi$		10	0.14
rectangular	2	8	10	0.085
square	3	5.3	10	0.085
rec(wide)	1.5	10	10	0.097

3. 実験結果

流体付加質量(付加質量係数 C_m)を求めた結果の一部を例として図5と6に示す。横軸は衝突速度である。使用した記号のうち、塗りつぶしは波高8cm、白抜きは波高3cmのデータである。

8cmの波のtopが最も速い速度で衝突するはずであるが、 $1/2bac$ が例の中では最大となっている。漂流物の設置に誤差がでて衝突位相がずれたかもしれない。いずれにせよ、topと $1/2bac$ に対して衝突速度の小さい $1/2for$ の付加質量が大きくなるのが図5と6より分かる。つまり波の前面で衝突すると、付加質量が増大するということである。また、流速が小さくなる3cmの波でも、 $1/2for$ の付加質量は8cmの場合とほぼ同じ値であり、その関係はtopや $1/2bac$ でもおおむね同じといえる。よって、漂流物の付加質量の値は衝突の速度に依存せず、波のどの位相で衝突するかに依存するといえる。

4. おわりに

一般的に流体付加質量係数は1.0とされているが、今回の実験では、図示していないケースも含めると、質量係数1.0を中心として0.6~1.6に分布した。そしてその値は衝突する時の波の位相に依存するといえる。

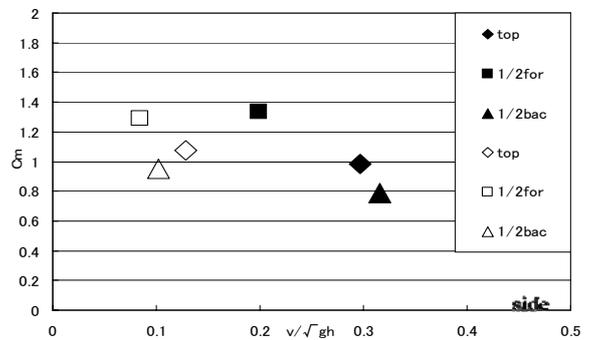


図5 長方形断面柱の付加質量係数

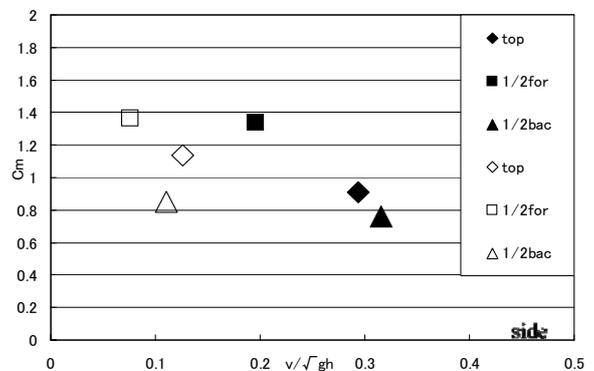


図6 幅広板の付加質量係数

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.CADMAS-SURF 数値波動水路の研究・開発～数値波動水路の耐波設計への適用に関する研究報告書、財団法人沿岸開発技術センター、2001年