

東京大学 学生会員 入江靖
 東京大学 正会員 三村信男
 東京大学 正会員 堀川清司

1 緒論

津波による災害のなかで二次的なものとして、船舶や木材など漂流物の土木構造物への衝突による被害があげられる。佐藤、堀川(1981)は、津波による流木の衝突力に関して実験的に検討し、流木の衝突力を評価するために、質量係数の概念を用いるのが適当であることを示し、同時に非破壊津波による流木の質量係数の値を求めた。本研究では、この問題をさらに現実に近い意味で、津波が破壊して河川を遡上する場合を想定して模型実験を行ない、質量係数の値を求めた。

2 実験方法及び実験条件

実験装置の主要部を図1に示す。実験水槽は長さ26m、幅60cmの二次元水槽で、その一端には津波発生装置が設置されている。この装置は、高水槽に貯留しておいた水を一気に落下させ、波を発生させるという仕組みになっている。水槽の終端には、河床模型として勾配1/10の斜面、さらに続いて勾配1/60の斜面が設けられており、孤立波はこの斜面上で破壊して遡上する。実験では図1に示すように、流木が橋脚に衝突する場合を取り扱った。流木模型には円筒形の木片を用いた。橋脚模型はアルミウム製の本体と、リニウム製のひずみ感受棒から成り、後者には8枚のひずみゲージを貼付し、水平方向作用力によるひずみのみ得られるようにブリッジを組んだ。

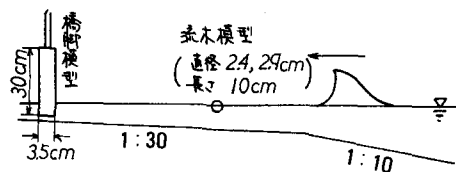


図1 実験装置

実験のプロセスは以下の通りである。水槽を伝播し、破壊した津波は、あらかじめ静置しておいた流木模型を巻き込み斜面上を遡上する。この時流木模型は、非破壊の場合とは異なり、上下運動や回転運動など複雑な運動をしながら橋脚模型に衝突する。こうした流木の挙動に関しては、上方と側方から8ミリ撮影機を用いて撮影し、流木模型の速度、衝突姿勢を読み取った。また、橋脚模型の応答から衝突作用力積を求めた。

実験条件を表1に示す。条件Ⅰ、Ⅱは、比較的破壊直後の波に流木が巻き込まれた場合で、その波の乱れ方は級Ⅰ、ⅡがⅠよりも乱れ方が級Ⅰ、Ⅱ条件Ⅲは、破壊してから十分距離を離れたところで流木が巻き込まれた場合で、その乱れ方はⅠ、Ⅱに比べかなり穏やかである。

3 解析方法

衝突形態としては、図2のように3種類の形態がある。このうち硬衝突を例にとると、衝突前後の運動量、角運動量の保存則は次のように示される。すなわち、衝突の際摩擦力は働かない、反発係数は0と仮定すると、水平方向作用力積 P に對して次のような式が得られる。

$$C_M M (v'_x - v_x) + P = 0 \quad (1)$$

$$I (\omega' - \omega) + P l = 0 \quad (2)$$

$$v'_x - \omega' l = 0 \quad (3)$$

ここに C_M は硬衝突の場合の質量係数、 M は流木の質量、 I は流木の慣性モーメント($I = \frac{1}{12} C_M M L^2$ 、 L は流木の長さ) v_x 、 ω は衝突直前の流木の x 方向速度、角速度、 v'_x 、 ω' は衝突直後の流木の x 方向速

実験条件	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
破壊波高(cm)	18	23	30
橋脚設置部波高(cm)	9~10	8~9	3~5
破壊点から橋脚までの距離(cm)	200	190	800~
	~210	~200	1200

表1 実験条件

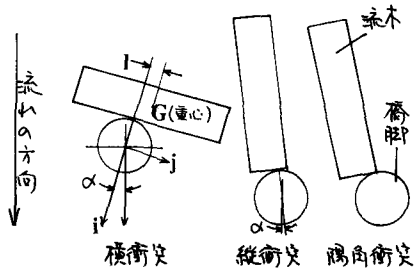


図2 衝突形態

度、角速度である。これらの式から $\dot{\theta}$ 、 $\dot{\omega}$ を消去して、作用力積と運動量変化の(非砕波津波)関係を表わすと次のような式が得られる。

$$P = \frac{C_{H1} M (U_i - \omega l)}{1 + 12 \left(\frac{l}{L}\right)^2} \quad (4)$$

縦衝突、隅角衝突に対しても、同様な方法で作用力積と運動量変化の関係が求められる。ところで、8ミリフィルムを読み取ったところ、砕波による水の乱れや気泡のために衝突姿勢に関して精度の高いデータが得られなかった。そこで今回は、主として横衝突、縦衝突のうち、 $U_i = 0$ の場合、すなわち(4)式のみで質量係数と評価できる場合と選んで(4)式を解析することにした。(4)式において $\dot{\theta} = 0$ とし、さらに縦衝突に関してその質量係数を C_{H2} とし同様を表わすと、

$$P = C_{H1} M U_i \quad \text{横衝突の場合} \quad (5)$$

$$P = C_{H2} M U_i \quad \text{縦衝突の場合} \quad (6)$$

となり、質量係数を簡単に計算できる。

4 実験結果

本実験により求めた質量係数の値及びその分布を図3に示す。比較のために佐藤らによる非砕波津波による質量係数の値も示されている。砕波後津波による質量係数の値は、横衝突に関しては $C_{H1} = 1.1 \sim 2.6$ 、縦衝突に関しては $C_{H2} = 1.1 \sim 1.9$ に分布している。これは非砕波の場合に比べてちやばりの程度が小さく、またそのピーフに関しては、 $C_{H1} = 1.8 \sim 1.9$ 、 $C_{H2} = 1.5 \sim 1.6$ にあり、非砕波津波による値に比べて、同程度かやや小さいものであるといえる。

実験条件別に、 C_{H1} を例にとりみると、条件Ⅱに関しては $1.1 \sim 2.6$ 、条件Ⅰに関しては $1.4 \sim 2.5$ 、条件Ⅲに関しては $1.8 \sim 2.4$ と、砕波後の波の乱れ方の報い いはど質量係数の分布の範囲も広い。

こうした傾向は、流木が砕波後の波にまきこまれたり、また周囲の水塊にも気泡が含まれているために、静かに浮いている場合に比べて、流木が影響を与える水塊の量や密度が変化することによって考えられる。しかし実験の精度もあり、その事を検証するには到っていない。

次に、視点を変えて、 U_i の値に関係なく、実験全ケースについて、衝突直前の運動量 $M U_i$ と作用力積 P との関係調べたものが図4である。図4で斜め衝突とは、図2において、横衝突、縦衝突のうち θ が大きいものをさす。この図から同じ $M U_i$ の値に対して最も大きい作用力積を与えるのは横衝突の場合であること、今回の実験の範囲では、最大作用力積は(5)式で $C_{H1} = 2.6$ として見積もることができる。

5 結論

砕波した津波による質量係数の値は、非砕波の場合に比べてちやばりが小さい。そのピーフは横衝突に関して $1.8 \sim 1.9$ 、縦衝突に関して $1.5 \sim 1.6$ にあり、非砕波津波による値に比べて同程度かやや小さい。また、最も大きな作用力積を与えるのは、横衝突の場合で、そのときの質量係数の値は2.6になる。

本論は、昭和59年度文部省科研費自然災害特別研究(研究代表者 堀川清司)による研究成果の一部である。

参考文献 佐藤博司、堀川清司(1981): 津波による漂流物の衝突力, 第36回年報集要集, pp.789-790.

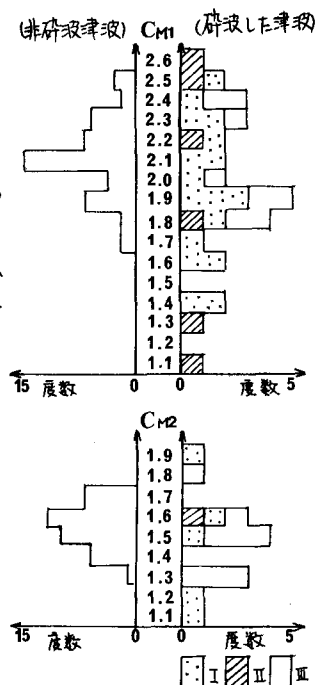


図3 質量係数の分布

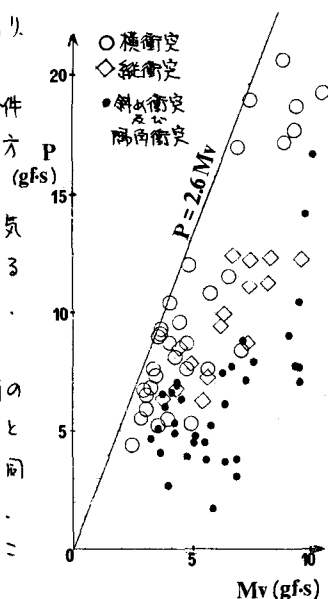


図4 流木の運動量と作用力積の関係