

津波漂流物衝突時の付加質量に関する一考察

大成建設（株）技術センター 社会基盤技術研究部 正会員 ○織田 幸伸
 大成建設（株）技術センター 社会基盤技術研究部 正会員 本田 隆英
 大成建設（株）技術センター 社会基盤技術研究部 正会員 橋本 貴之

1. 目的

漂流物の衝突力評価においては、漂流物の質量、衝突速度、漂流物および被衝突構造物の剛性が主な支配要因となる。これらのうち、気中での衝突との大きな違いとして、質量に対しては付加質量を考慮する必要がある。既往の実験結果によれば、壁面に漂流物が衝突する際には、質量の持つ運動量以上の力積が生じる。既往の漂流物衝突力評価式では、これを付加質量によるものとし、実験結果に基づき、質量係数 C_{MA} (=付加質量を考慮した場合の質量/質量) を 1.7~2.0 程度としている^{例えは 1)2)}。一方、浮体構造物の付加質量については、既に多くの検討結果があり、浮体が加速した場合に表面に働く水圧の合力として、解析的に算出されている³⁾。ただしこれらは主に、解放領域に浮体単体が水平に浮遊している状態を対象としている。漂流物が衝突する際、漂流物は壁境界に接しており、また壁に対していくらか傾いていると考えられる。加えて、陸域の防潮堤に衝突する場合には、底面の影響も受けていると考えられる。そこで本研究では、漂流物が壁に衝突する際の付加質量に着目し、浮体の傾きや底面の影響について数値解析により検討する。

2. 解析手法

付加質量は、浮体構造物が一方方向に加速する際に表面に働く動水圧の積分として、三次元境界要素法により求めた。ここでは基本特性を確認するため、箱型浮体の付加質量を対象とする。浮体の幅を B 、高さを d 、長さを L とする。境界面での圧力を P 、水の密度を ρ 、境界要素の法線方向加速度を a_n とし、境界条件として、自由水面で $P/\rho=0$ 、その他の境界で $(1/\rho)\partial P/\partial n = -a_n$ を与えると、 P/ρ を変数とした境界要素法により非圧縮を仮定した動水圧の算定が可能となる⁴⁾。図-1 に、浮体単体の状態で水平方向に 1 m/s^2 の加速度を与えた場合の解析結果を示す。浮体前後の端面にはそれぞれ、最大 $\pm 0.97 \text{ Pa}$ の水圧が生じている。付加質量は、この水圧を積分したものを加速度で除したものと考えることが出来る。浮体の高さを変化させ、付加質量 m_a を求め、付加質量係数 C_M ($=m_a/\rho L B d$) を算出した結果を図-2 に示す。図中には、鳥野ら³⁾による結果から算出した値を同時に示した。鳥野らの結果は、自由水面の影響が入っておらず付加質量を大きめに評価していることを考慮すれば、本解析により付加質量の特性を評価出来ることが確認された。

3. 解析結果

解析諸元を図-3 に示す。水深は h とし、浮体の衝突高さを水面下 $2d$ で固定して、鉛直面での浮体回転角 θ を変化させた。衝突の瞬間、浮体は対象壁から離れる方向に加速する（減速）が、この際、対象壁も同時に加速すると考え、対象壁にも同じ

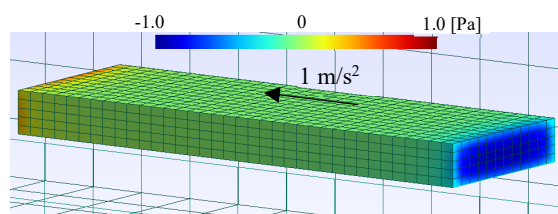


図-1 浮体表面圧力
($L=18\text{m}$, $B=6\text{m}$, $d=1.5\text{m}$)

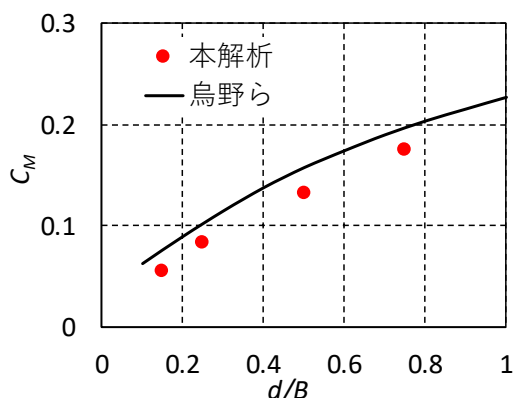


図-2 浮体単体の付加質量係数 ($L/B=3$)

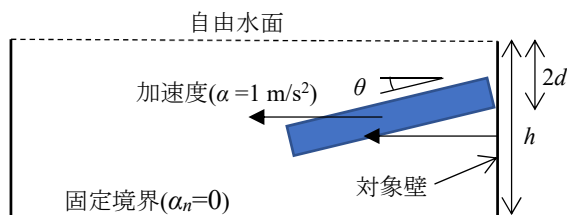


図-3 浮体構造物と解析境界

キーワード 津波漂流物, 衝突力, 付加質量, 質量係数, 動水圧, 境界要素法

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設（株）技術センター TEL 045-814-7234

加速度を与えた。解析結果の一例として、 $\theta=20$ deg. のケースの結果を図-4, 5 に、図-5 に示した対象壁の中心線上の水圧鉛直分布を図-6 に示した。なお以降の解析では全て、 $L=18$ m, $B=6$ m, $d=1.5$ m とした。図-4 の浮体単体の場合、図中の右側端面と下面に負圧、左側端面と上面に正圧が生じる。一方壁に衝突する場合は、壁面の動水圧の影響で、浮体の右上端を除き、浮体全体に正圧が生じる。図-5 の壁面には、壁単体では Westergaard の式に一致する動水圧が生じるが、衝突時には浮体の影響により衝突点より上の水圧が低下、下が増大することが分かる。壁単体に比較した、衝突時の浮体および壁に働く動水圧の増加量を見掛けの付加質量 m_a と考え、衝突角度 θ と付加質量係数の関係を求めた結果を図-7 に示す。これによると、 $\theta=0$ の時が最も付加質量が大きくなる。浮体下面と底面の間では水圧が上下方向に逃げられず、このため付加質量が大きくなると考えられ、この領域が $\theta=0$ の時に最も大きくなることが要因と推察される。

浮体下面と底面の間の領域と付加質量の関係を検討するため、 $\theta=0$ として水深 h を変化させた解析結果を図-8 に示す。これによると、水深に対し線形に付加質量係数が大きくなっており、浮体下面と底面の距離にほぼ比例していることが分かる。ただしここでは、対象壁面は平行に浮体と同じ加速度で加速する条件で解析している。実際は、漂流物が衝突した周辺の壁面のみが漂流物とともに変動すると想定される。特に水深が大きい場合には、衝突時の付加質量は本解析結果よりも小さく、図-8 は過大評価になっていると考えられる。

既往の衝突力評価式^{1),2)}で用いられる質量係数 C_{MA} は、付加質量を含む見掛けの質量を、漂流物の質量で除したものである。例えば質量係数が $C_{MA}=1.7$ で漂流物が流木（カラ松：比重 $\rho_d=0.53$ ）の場合、 $C_{MA}=(\rho/\rho_d)C_M+1$ であるから $C_M=0.37$ となり、図-2 に示した漂流物単体の付加質量よりも大きくなる。上述の結果から、図-7, 8 に示したように、壁や水底の影響が、その要因の1つと考えられる。ただし、衝突時の付加質量を精度良く評価するためには、壁の変形モードを考慮した解析が必要となる。

4. まとめ

本論文では、加速度に基づいた境界要素法を用いた解析により、漂流物衝突時の付加質量について検討した。壁と底面が近接していることが見掛けの付加質量を大きくし、壁面の変形モードがそれに影響すること、また、壁面に対し直角に衝突する場合に最も付加質量が大きくなることなどを明らかにした。

参考文献

- 1) 松富英夫：流木衝突力の実用的な算定式と変化特性，土木学会論文集，No. 621，pp. 111-127，1999.
- 2) 池野正明・田中寛好：段波津波による漂流物の衝突力に関する実験的研究，電中研報告，U03052，2004.
- 3) 鳥野慶一ほか：箱型浮体構造物の付加質量チャート，関西造船協会誌，第 229 号，pp. 79-85，1998.
- 4) 上部達生，工藤勝巳，永田 信：混成式防波堤に作用する動水圧の模型振動実験，港湾技研資料，No. 641，1989.

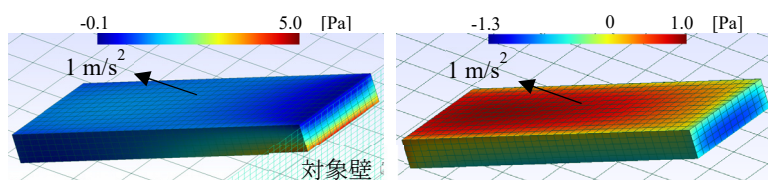


図-4 浮体表面圧力 ($L=18$ m, $B=6$ m, $d=1.5$ m, $\theta=20$ deg.)

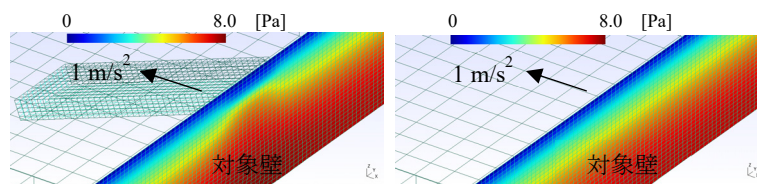


図-5 壁表面圧力 ($L=18$ m, $B=6$ m, $d=1.5$ m, $\theta=20$ deg.)

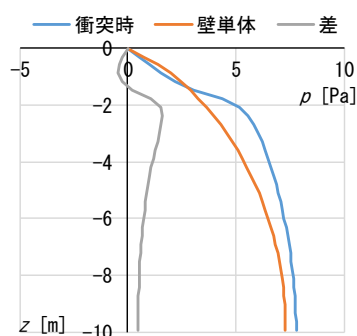


図-6 水圧鉛直分布

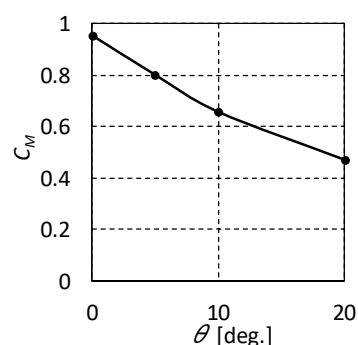


図-7 衝突角度の影響

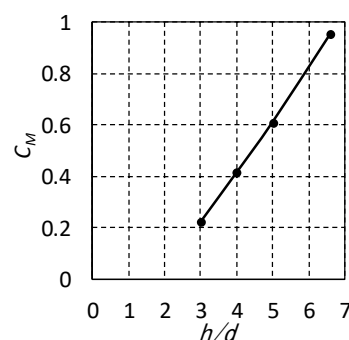


図-8 水深の影響