

落下する魚礁の付加質量係数に及ぼす底面効果について

鳥取大学工学部 正会員 ○松見吉晴
鳥取大学大学院 学会員 横山忠弘
鳥取大学工学部 正会員 瀬山 明

1. はじめに：魚礁沈設時の着底衝撃力に関する現行の設計は、中村ら¹⁾によって提案された衝撃力の算定式に基づいて行われている。この算定式に含まれる着底瞬時の魚礁の付加質量係数及び抗力係数には、従来の海洋構造物における値が準用されている。しかしながら、沢本²⁾は底面に衝突する球の付加質量係数が通常の値(0.5)の1.6倍程度にまで増加する事実を理論的に明らかにしており、この結果を参照すれば、上述したような海洋構造物における値を準用することには問題がある。本研究では、まず魚礁の付加質量係数に及ぼす底面効果の定量的な把握を目的として、ポテンシャル理論より落下している魚礁の付加質量係数の水深方向の変化特性を検討したものである。

2. 解析方法：流体場を運動している物体の付加質量係数を算定する方法には、物体周辺の流れを表す複素速度ポテンシャルを用いて圧力方程式もしくはBlasiusの公式より計算される流体力から求める方法、すなわち付加質量係数を物体が受ける加速度に比例する流体抵抗力の比例定数と定義する方法がある³⁾。また他の方法としては、物体の運動に伴って生じる流体場の運動エネルギーの増分量と物体を流体に置き換えたときの運動エネルギーが等価になるように流体質量に掛けられた係数として求める方法がある³⁾。そして、ポテンシャル論に基づく限り両者の値は同じになることはよく知られている⁴⁾。ここでは、後者の方法により付加質量係数を求めることにした。

魚礁が落下することによって生じる流体場の運動エネルギーの増分量 T_w は、速度ポテンシャルを Φ とすれば次式で与えられる³⁾。

$$T_w = - \frac{\rho}{2} \oint_C \Phi \frac{\partial \Phi}{\partial n} dc \quad (1)$$

一方、魚礁を流体に置き換えたときの運動エネルギー E_w は、魚礁の体積を V 、付加質量係数を C_{MA} 、魚礁の落下速度を v_0 とすると、次式で表示される。

$$E_w = \frac{\rho}{2} C_{MA} V v_0^2 \quad (2)$$

ここに、 $\rho C_{MA} V$ は付加質量である。

速度ポテンシャルより求めた流体場の運動エネルギー T_w と魚礁を流体に置き換えた運動エネルギー E_w が等しいことから、付加質量係数は式(1)及び式(2)より次式のように与えられる。

$$C_{MA} = - \oint_C \Phi \frac{\partial \Phi}{\partial n} dc / (V v_0^2) \quad (3)$$

ここでは、流体場として固定底面を有する半無限の静止流体場を対象として解析を進めた。また、落下する魚礁表面の境界表示には湧き出し分布法を採用した⁵⁾。そして魚礁表面を線素分に分割してその中点に配置した湧き出し強さは、魚礁表面上の流体速度と魚礁表面の運動の法線速度が等しくなる条件より決定する。なお、数値計算は魚礁を底面より81cmの位置から自由落下させて、魚礁の回転運動及び水平方向の動揺は考慮しなかった。

3. 計算結果：まず、本解析手法の妥当性を検証するために魚礁に対して底面の影響が及ばないような位置における C_{MA} を示したのが図-1である。この図は、魚礁の重心位置と底面との距離 h_q が $h_q/a = 150$ での C_{MA} を魚礁の空隙率 γ について示したものである。この図によると、 $\gamma = 0\%$ の C_{MA} の値は1.19を示し従来の角柱の付加質量係数の値1.19⁶⁾と一致して本解析手法の妥当性が確認される。また、図から明らかなように C_{MA} は魚礁の空隙率によって変化するが、その変化率は $\gamma = 0\%$ の値を基準としたなら下限側で5%程度の減少、上限側で1%程度の増加と比較的小さいことがわかる。

図-2は、式(3)より求めた C_{MA} の h_q による変化を示したものである。この図より、 $h_q/a = 4$ 以上の C_{MA} の値は、図-1に示した $h_q/a = 150$ の位置における C_{MA} の値とほぼ同程度の値を示し付加

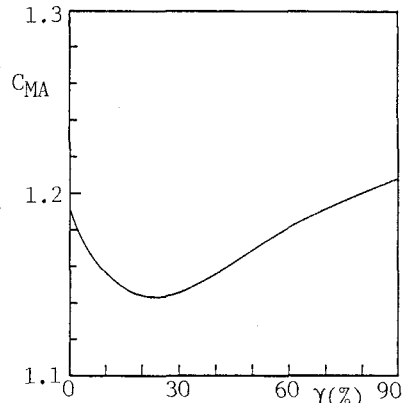


図-1 無限流体場における C_{MA} の空隙率 γ による変化

質量係数に対する底面の影響が及ばないことがわかる。逆に、底面に近づくと空隙率の小さいものから順に底面の影響を受け始めてCMAの値が急激に増大する。そして、 $h_q/a=0.5$ では、各 γ のCMAは $h_q/a=1$ 50のときの1.4~2.3倍の値をとることがわかる。また、空隙率の小さいものから底面の影響を受け始めたことについては、魚礁の落下に伴って生じる魚礁周辺の流体粒子の移動速度の差と考えられる。すなわち、図-3は、同じ速度で落下している無孔モデルと有孔モデルの周辺流体粒子の移動速度をベクトル表示したものであるが、この図から明らかなように無孔モデル周辺の流体粒子の移動速度は有孔モデルの場合と比較してかなり大きくなっている。すなわち、このような空隙率による流体粒子の移動速度の差が各空隙率におけるCMAの h_q/a に

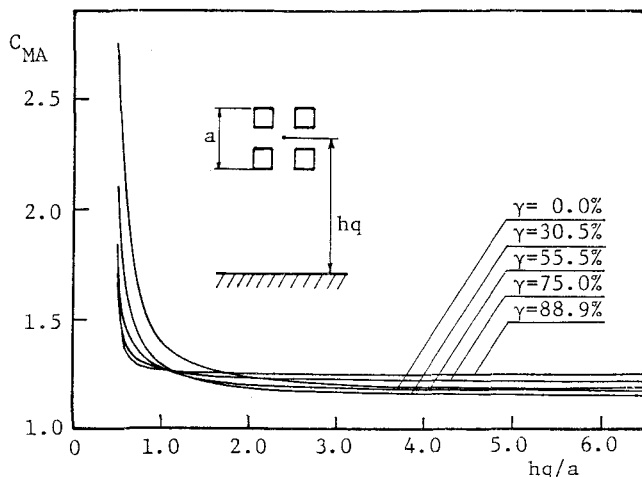
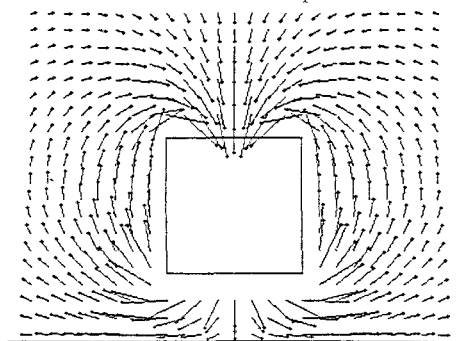
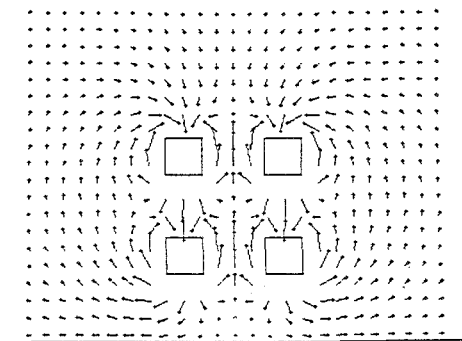


図-2 CMAの水深方向の変化特性



無孔モデルの場合



有孔モデルの場合

図-3 静止流体場を落下している魚礁周辺の流体粒子の移動状況

よる変化特性に差が現れたものと推測される。

次に、図-4は、魚礁の底面に対する衝突入射角 θ_f の違いによるCMAの変化を示したもので、CMAの値としては魚礁が着底した瞬間の値をプロットしてある。この図より、Cは空隙率に関係なく θ_f の増加に伴って減少する傾向が認められる。従って、着底瞬間のCMAの値に対しては魚礁の底面への衝突入射角も影響することがわかる。

4. まとめ：付加質量係数に及ぼす底面効果は、魚礁の空隙率による変化は極めて小さく、底面に近づいたときの底面との距離及び魚礁の底面に対する衝突入射角によって大きく変化することが明らかになった。最後に、設計の立場から底面効果を考慮した付加質量係数の値として如何なる値を用いるかについては、各空隙率においてCMAの値が最も大きくなる $\theta_f=0^\circ$ のときの値を用いて衝撃力を算定しておけば安全側の設計になると言える。

参考文献：1)中村 充・上北征男ら：海中落体の底着衝撃に関する研究，第22回海講，1975. 2)沢本正樹：壁面に衝突する球の仮想質量，土木学会論文集，第191号，1971. 3)Milne-Thomson: Theoretical Hydrodynamics, 1968. 4)松浦義一：船体振動と付加質量，1972年度水工学夏期研修講義集，Bコース，1973. 5)中村孝幸・楨本太司：湧き出し分布法による渦力の算定法について，第36回年講，1981. 6)土木学会編：水理公式集

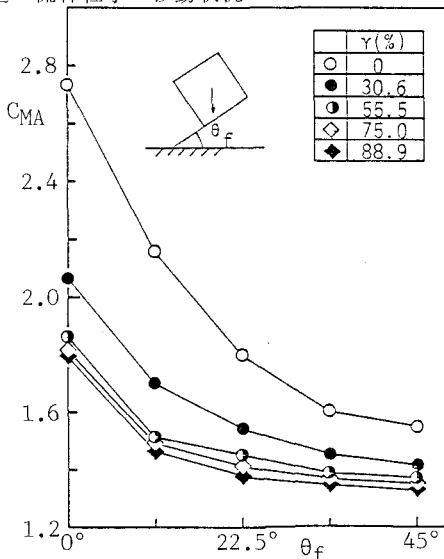


図-4 着底時のCMAに及ぼす魚礁の底面に対する衝突入射角 θ_f の影響