

魚礁沈設時の着底衝撃力に関する研究

福部村役場 正会員○横山忠弘 鳥取大学工学部 正会員 松見吉晴・瀬山 明

1. はじめに：現在，魚礁ブロックの沈設方法として，海上から魚礁ブロックを自由落下させて着底させる投入法が広く採用されている．この方法は，魚礁ブロックが海底に着底する際の衝撃力による魚礁の破損が問題となる．魚礁沈設時の着底衝撃力に関する現行の設計には中村らの提案式が採用されている．しかし，その式に含まれる付加質量係数，抗力係数には魚礁部材の形状に対応した単一柱状物体の値が準用されており，流体力係数に対して底面効果が考慮されていない．また，魚礁のような非球形物体は並進回転運動を伴って着底すると考えられるが，その際の回転運動による着底速度の付加も考慮されていない．そこで，本研究では角柱タイプの魚礁モデルの流体力係数に対し底面効果および魚礁の運動形態の影響を明らかにするとともに，回転運動による着底速度の付加も考慮したときの着底衝撃力について検討を加えた．

2. 着底衝撃力の算定方法：魚礁が図-1に示すような角度から底面に衝突する場合，力積と運動量の関係から着底衝撃力は次のように表される．

$$\int_0^{\Delta T} f(t) dt = (M + C_{MA} M_W) U \sin \alpha \quad (1)$$

ここに， ΔT は地盤の変位が最大となるまでの時間， U は衝突寸前の魚礁の落下速度， C_{MA} は付加質量係数， M ， M_W はそれぞれ魚礁の質量及び魚礁と同体積の魚礁の質量， $f(t)$ は着底衝撃力を表す．この $f(t)$ は著者らの魚礁の着底衝撃力に関する水理学実験より図-2のような時間変化を示したことから，ここでは， $f(t)$ を図-3のようなサインカーブで近似して最大の着底衝撃力 f_{max} を次式で表示することにした．

$$f_{max} = \frac{\pi}{2\Delta T} (M + C_{MA} M_W) U \sin \alpha \quad (2)$$

ΔT は中村にならい着底後の魚礁の速度変化を線形近似して $\Delta T = 2 \cdot \epsilon_{max} / v$ とした．ここに， ϵ_{max} は地盤の最大変位量を表し，中村のエネルギー方程式¹⁾から求めた．この中村の式に含まれる抗力係数 C_D に対しては，抗力係数の底面効果が着底衝撃力にはほとんど影響を及ぼさない²⁾ことから，現行の設計指針で用いられている $C_D = 2$ という値を用いた．また， v_f は魚礁の着底速度の鉛直方向成分を表し，魚礁が流体中を移動するときの運動方程式の加速度項をゼロとして求めた．

一方，付加質量係数 C_{MA} は物体の運動によって生じる流体場の運動エネルギーの増分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³⁾⁴⁾として求めた．なお，本研究では，流体場は固定底面を有する半無限流体場とし，魚礁表面の境界表示には湧き出し分布法，底面の境界表示には鏡像法を適用して解析を行った．

ポテンシャル論が成立する完全流体中ではエネルギー保存則が成立することより，魚礁の鉛直，水平，回転の運動エネルギーをそれぞれ E_V ， E_H ， E_R とすると鉛直，水平，回転を伴って運動している魚礁の運動エネルギー E_T は次式で表される．

$$E_T = E_V + E_H + E_R \quad (3)$$

魚礁の鉛直，水平，回転の各運動による着底寸前の付加質量係数をそれぞれ C_{MAY} ， C_{MAX} ， C_{MAR} とすると，魚礁が鉛直，水平，回転運動を呈しているときの付加質量係数 C_{MAT} は式(3)より次式で与えられる．

$$C_{MAT} = \frac{C_{MAY} + C_{MAX} (u_G / v_G)^2 + C_{MAR} (rw / v_G)^2}{1 + (u_G / v_G)^2 + (rw / v_G)^2} \quad (4)$$

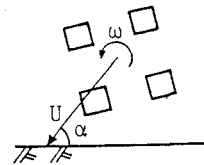


図-1 魚礁の運動形態

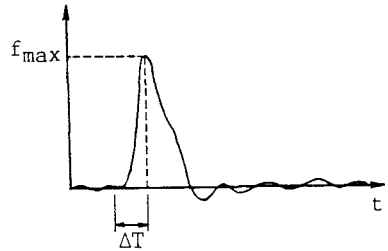


図-2 着底衝撃力と衝撃力作用時間

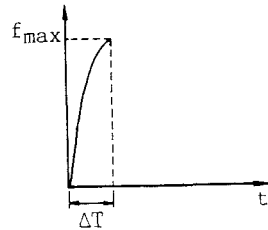


図-3 着底衝撃力の近似

ここに、 u_G 、 v_G はそれぞれ魚礁重心の水平及び鉛直方向の移動速度、 r は魚礁重心から部材重心までの距離、 ω は角速度を表す。式(4)によって算定した結果を中村のエネルギー方程式及び式(2)に代入することにより、鉛直、水平及び回転運動を呈しながら落下している魚礁の着底衝撃力が算定できる。3. 計算結果：図-4は式(4)に基づいて計算された付加質量係数 C_{MAT} と u_G/v_G (魚礁重心の水平方向の移動速度 u_G と鉛直方向の移動速度 v_G の比) との関係 $r\omega/v_G$ (魚礁の回転速度 $r\omega$ と鉛直方向の移動速度 v_G との比) をパラメータとして示したもので、魚礁モデルの空隙率が55.5%のものである。

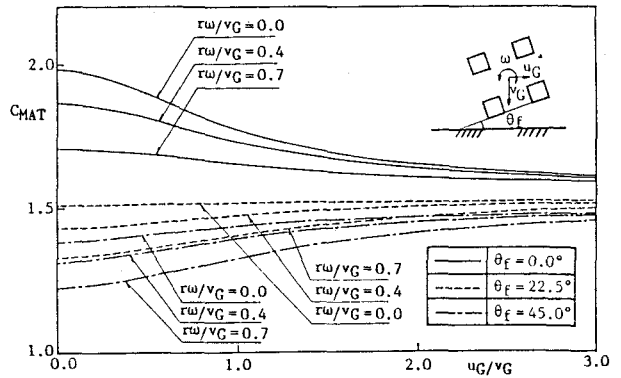


図-4 水平・回転運動による付加質量係数の変化

この図より、付加質量係数は魚礁が水平、回転運動をすることによって減少しているが、底面効果の影響を受けて無限流体場における値 ($C_{MA}=1.18$) よりも大きくなっているのが認められる。また、衝突入射角 θ_f の影響を見ると、 θ_f が小さいときほど回転、水平運動の影響を受けやすいことがわかる。図-5は空隙率55.5%の魚礁モデルに対して回転及び水平運動を考慮して求めた着底衝撃力 f_{Tmax} と現行の設計指針どおり魚礁の運動形態及び底面効果を考慮せずに求めた着底衝撃力 f_{max} との比を u_G/v_G について示したもので、パラメータとして $r\omega/v_G$ 及び θ_f をとっている。この図より、衝突角度 θ_f が小さいものが着底衝撃力が極端に大きくなることが認められる。この現象は図-6より明らかなように θ_f が小さいほど魚礁の回転運動による着底速度の付加が大きくなっていることより説明できる。また、着底衝撃力は u_G/v_G によって変化するものの、 $r\omega/v_G$ による変化が大きいことから、回転運動による影響を大きく受けることがわかる。さらに、 f_{Tmax}/f_{max} は付加質量係数の底面効果を考慮することにより常に1以上の値をとり、現行の設計指針では危険側の設計になる可能性が十分にあるといえる。

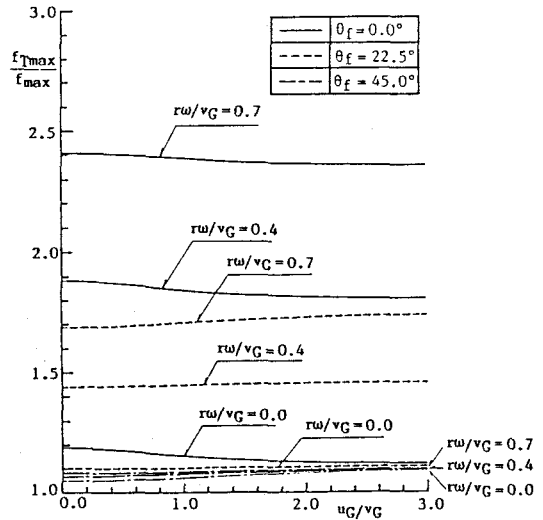


図-5 水平・回転運動による着底衝撃力の変化

4. まとめ：(1) 付加質量係数は、魚礁が回転、水平運動をすることによって減少するが底面効果の影響によって現行の設計指針で採用されている $C_{MA}=1$ (角柱魚礁の場合) よりも大きな値を示す。(2) 着底衝撃力は水平運動による影響よりも回転運動による影響を大きく受けやすく、魚礁の着底角度によって大きく左右される。

〔参考文献〕1) 中村充・上北征夫ら：海中落体の着底衝撃力に関する研究，第2回海講，pp. 301-306，1975。2) 松見吉晴ら：海上投入法による魚礁の安定配置に関する研究，第35回海講，pp. 747-751，1988。3) 松見吉晴ら：落下する魚礁の付加質量係数について，第40回中四，pp. 144-145，1988。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，pp. B-8-1～B-8-24，1973。

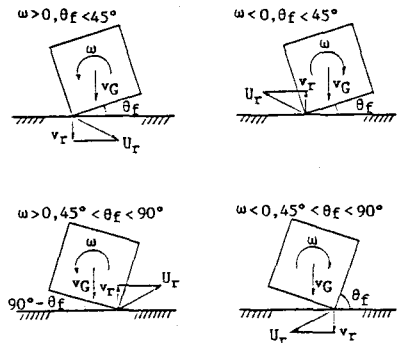


図-6 着底衝撃力に及ぼす魚礁の回転運動の説明図