

II-27 混成堤直立部滑動時の流体抵抗力に関する実験的検証

間組	正員	古川 浩司
西松建設		佐々木智文
埼玉大学工学部	正員	谷本 勝利
埼玉大学工学部	正員	中村 廣昭

1. はじめに

混成防波堤の直立部の滑動量を算定するためには、滑動時の流体抵抗力を明確にする必要がある。

Cummins (1962) はメモリー影響関数を用いて、浮体の非定常運動に対する流体抵抗力を評価した。また、最近、青木・奥部 (1995) はそれを防波堤直立部の滑動時の流体抵抗力に取り入れ、滑動に及ぼす影響等を検討したが、実験的検証は行われていない。そこで、本研究では、滑動という全く単発的な運動に対し、流体抵抗力の実験を行うことによって、メモリー影響関数を用いた理論の妥当性を検証するのが目的である。

2. 滑動時の直立壁体にかかる力

図-1に示すように滑動時に直立部は、水平波力、揚圧力、摩擦抵抗力、浮力、重力、そして流体からの抵抗力を受ける。マウンドおよび地盤を剛体として扱うと、この時の滑動時の運動方程式は次のように表される。

$$M_s \ddot{x} = P - R - F_R \quad (1)$$

ここに、

$$R_s = \mu_d (W_o - U) \quad (2)$$

$$W_o = gM_s - V_B \quad (3)$$

M_s : 壁体の質量、 x : 滑動変位 (, " 時間による

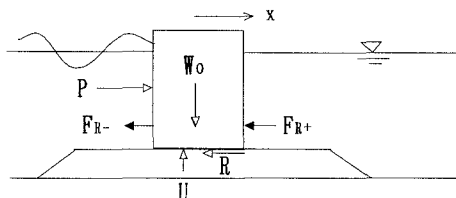


図-1 滑動時の直立壁体にかかる力

1階および2階微分、すなわち速度、加速度を表す)、 P : 直立壁体に働く水平波力、 R_s : 直立壁体のマウンドの間の摩擦抵抗力、 F_R : 滑動時の直立壁体に働く流体抵抗力、 μ_d : 直立壁体とマウンドの間の動摩擦係数、 W_o : 直立壁体の静水中重量、 U : 直立壁体に働く鉛直波力（揚圧力）、 g : 重力の加速度、 V_B : 直立壁体に働く浮力。

水平波力、揚圧力、流体抵抗力がわかれば、式(1)によって滑動量の計算ができる。また、この流体抵抗力の程度が滑動量に影響をもたらすことが運動方程式(1)により示されている。

3. 直立壁体の流体抵抗力理論

非定常運動の場合の流体抵抗力 $R_R(t)$ は結果のみを示すと次のように表される。

$$F_R(t) = \int_0^t R(t-\tau) \dot{x}(\tau) d\tau + M_A \ddot{x}(t) \quad (4)$$

ここに、

$$R(t) = \frac{4\rho gh'}{\pi} \int_0^\infty \frac{\tanh \kappa}{\kappa^2} \cos(\sqrt{\kappa \tanh \kappa} \sqrt{g/h'} t) d\kappa \quad (5)$$

$$M_A = 1.0855 \rho h'^2 \quad (6)$$

$R(t)$: メモリー影響関数、 t : 滑動開始後の時間、 h' : 直立壁体の没水深、 ρ : 流体の密度。

式(4)の右辺第1項は速度に比例する流体抵抗力成分すなわち造波減衰力、第2項は加速度に比例する流体抵抗力成分すなわち付加質量力に相当している。この流体抵抗力は直立壁体の前後面での流体圧力の和である。

4. 実験および計算結果との比較

実験はピストンタイプの造波板に波圧計を取り付け、それに滑動に相当する変位の時間的変化を与えて、圧力を測定することによっている。水路の幅は0.4m、造波板位置の水深は0.63mであり、波圧計は受圧面直径が0.01mの超小型のものを鉛直方向に5個取り付けた。

図-2に造波板変位の測定値、およびそれから数値微分した速度、加速度の例を示す。特に、加速度は二階微分であるため変動が著しい。そのため、以下の解析では、データに数値フィルターをかけて平滑化した曲線（同図中に示してある）を用いる。

図-3に各測点での圧力の時間変化を示す。図中記号の説明の中にある z は静水面を原点とし、上向きを正とした鉛直座標であり、測点の高さを表している。深さによって速度に比例する圧力と加速度に比例する圧力が変化するが、それらの特徴が記録によく現れている。

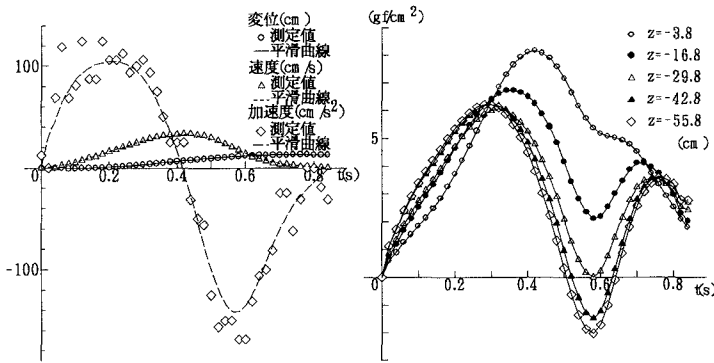


図-2 変位・速度・加速度の測定例

図-3 水圧の測定例

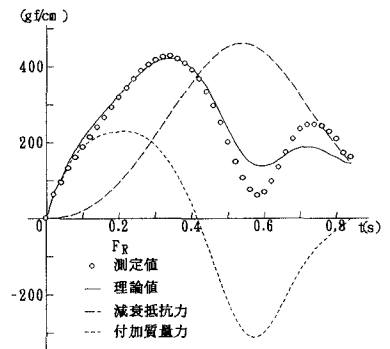


図-4 流体抵抗力の時間的変化

図-4は壁面に働く流体抵抗力の時間変化を測定値と理論値で比較したものである。理論値については減衰抵抗力成分と付加質量力成分についても別々に示してある。流体抵抗力の理論値は、特に最初のピーク値を過ぎて小さくなるあたりまで測定値と非常によくあっている。そのあとの脈動が測定値より小さいのは、数値フィルターをかけたことの影響と考えられる。

実験は、滑動量や滑動時間を変化させた21種の滑動変位曲線に対し行った。その全ケースについて、理論値と測定値による流体抵抗力の最大値を比較したのが図-5である。理論値は測定値と非常によく一致しており、滑動時の流体抵抗力はメモリー影響関数を用いた理論で与えればよいことがわかる。

5. おわりに

本研究によって、直立壁体の滑動時の流体抵抗力はメモリー影響関数を用いた理論で与えられることを検証できた。今後、滑動量のより適切な算定法への発展が期待される。

<参考文献>

- 青木伸一・奥部綾子（1995）：防波堤直立部の滑動シミュレーション、海岸工学論文集、第42巻 pp.861-865
下迫健一郎・高橋重雄（1994）：混成防波堤の期待滑動量の計算法、海岸工学論文集、第36巻 pp.756-760

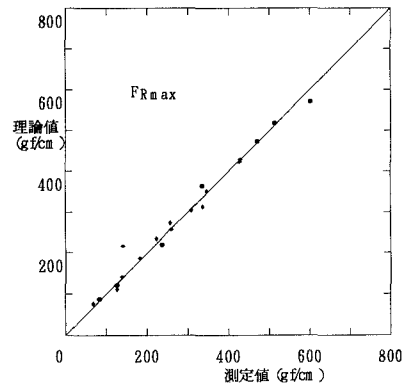


図-5 流体抵抗力最大値の比較