

防波堤直立部の波による滑動実験

豊橋技術科学大学 建設工学系 ○出原茂徳

同 上 正員 青木伸一

同 上 学生員 奥部綾子

1. はじめに

現行の防波堤設計法では、防波堤直立部の安定性については、滑動および転倒に対する波力と抵抗力の大小関係から静的に評価されている。しかし、安全率が同じ防波堤であっても必ずしも同じ安定性を有しているとは限らないことから、近年信頼性設計法¹⁾が防波堤の設計に取り入れられようとしている。さらにこれより一歩進んで、波力が滑動や転倒の限界値を越えた場合の挙動まで考慮した設計法についても検討され始めており、青木・奥部²⁾は数値シミュレーションによって滑動に及ぼす諸要因の影響について調べた。その結果、滑動量には滑動後の摩擦係数が大きく影響することがわかった。そこで本研究では、防波堤直立部の模型を使用し、水理実験により滑動の特性を知ると同時に、滑動時の摩擦抵抗力の特性について調べた。

2. 実験装置

実験は図1のような、長さ20m、幅0.8m、高さ0.65mの水路内の一部に敷石を貼り、その上に底面にモルタルのパネルを貼った鋼製のケーソン模型を設置して行った。ケーソン模型の前面に超音波変位計を2台取り付け、滑動量を測定した。ケーソン模型の前面には受圧シリンダに支持された受圧板が設けられており、これに働く水平波力が、シリンダ間に発生する水圧として取り出せるようになっている。

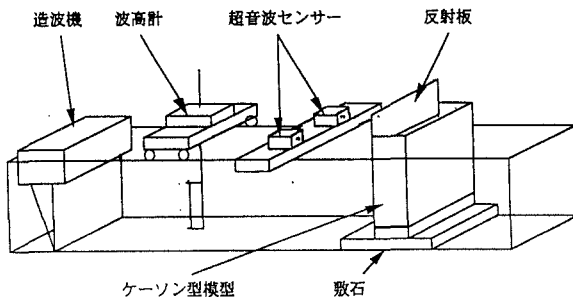


図1 実験用水路

3. 実験方法および実験ケース

1) 摩擦係数の測定

敷石とケーソン模型の間の静止摩擦係数 f の測定結果は図2に示す通りである。横軸にはケーソンの重量 W をとっており、図中の“水中”はケーソン底部を水に浸けたとき、“空气中”は水に浸けていないときに測定したものを表している。これより、水中では若干摩擦係数が増大するものの、ほぼ0.5~0.6の値をもつことがわかる。

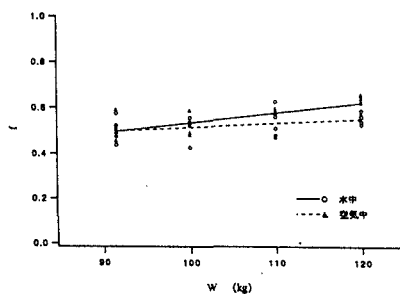
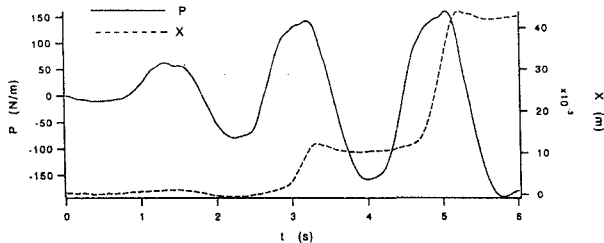


図2 摩擦係数とケーソン重量の関係

2) 滑動実験

実験ケースとしては周期 $T=1.8s$ 、水深 $h=45cm$ 、ケーソンの空中重量 $W=120kg \sim 135kg$ で滑動量および波力の測定を行った。また、 W の異なる各ケースごとに波高の高さを4~5回変えた。データはサンプリングタイム1/100秒でAD変換し、処理した。

図3 滑動と波力の時間変化 ($W=135kg$)

4. 実験結果及び考察

1) 滑動と波力の実験波形

図3は実験で得られた滑動Xと全水平波力Pの時間波形を表したものである。ケーソンの滑動は $t=3$ sおよび $t=5$ s付近で発生していることが分かる。第一回目と第二回目の滑動時の全水平波力はほぼ等しいが、第二回目の滑動量の方が大きくなっている。また、 $t=1\sim 2$ sでのわずかな振動および滑動後、ケーソンが沖側に戻される現象が見られるが、これはケーソンがわずかに回転していることによると思われる。

2) 摩擦抵抗力の計算法

滑動時のケーソン模型の運動方程式は図4の記号を用いて、次式によって表される。

$$ma = P + F_R + F_f \quad (1)$$

ここに、 m はケーソンの質量、 a は滑動加速度、 P は波力、 F_R は流体抵抗、 F_f は摩擦抵抗力である。この摩擦抵抗力を求めるためには、慣性力 ma と流体抵抗力の値が必要となる。そこで実験で得られた滑動の変位を時間微分すること

により滑動の速度 v と加速度 a を求め、これらを用いて慣性力および流体抵抗力を決定する。流体抵抗力を求めるには、物体が流体から受けるラディエーション流体力の係数である、付加質量 M と造波減衰係数 N を考慮する必要がある。これらの係数は定常振動でのみ定義されるが、Cummins(1962)によって提案されたメモリー影響関数を用いることにより、ケーソンの滑動のような非定常運動にも適用可能となる。メモリー影響関数 $R(t)$ は次式で与えられる。

$$R(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty N(\omega) \cos \omega t d\omega \quad (2)$$

このとき、流体抵抗 F_R は次式で表される。

$$F_R(t) = -\int_0^t R(t-\tau) \dot{x}(\tau) d\tau - M_\infty a(t) \quad (3)$$

ここに、 M_∞ は周波数無限大に対応する付加質量である。

3) 摩擦抵抗力の特性

これらの関係式より、残差抵抗力としての F_f を求め、運動方程式の各項をグラフに表した一例が図5(a),(b)である。このグラフより、流体抵抗力は慣性力を打ち消す方向に働いていることがわかる。残差抵抗力として定義される摩擦抵抗力はケーソンが滑動していない間は波力の全ての力を受け持っているが、滑動とともに慣性力と流体抵抗力が働くため、波力よりは小さい値をとるようになる。

$t=3$ s付近の第一回目の滑動時には、滑動中やや

変動はあるものの、ほぼ一定値をとるが、滑動量の大きな $t=5$ s付近の第二回目の滑動時には摩擦抵抗力自体も小さく、変動も大きく現れている。この理由についてははっきりしないが、揚圧力および鉛直軸周りのケーソンの回転の影響が現れていることが予想される。

<参考文献>

- 1) 高山知司(1989)：信頼性理論による防波堤滑動の安定性に関する検討、海岸工学論文集 第36巻、pp673～677。
- 2) 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、pp861～865。

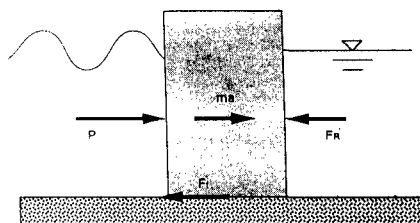
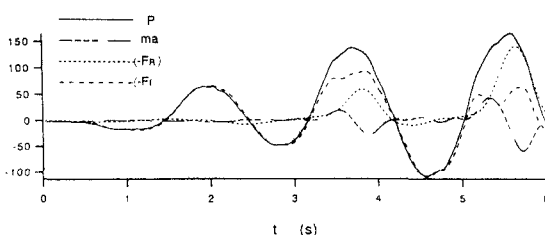
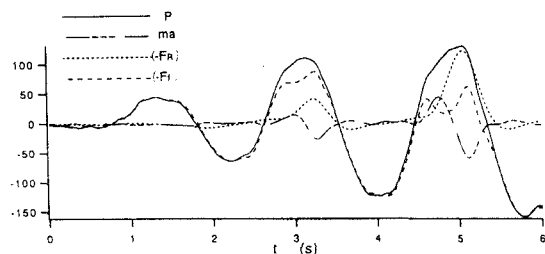


図4 ケーソン模型の運動方程式の関係



(a) $W=125\text{kg}$



(b) $W=135\text{kg}$

図5 運動方程式の各項の時間変化