

大阪大学大学院工学研究科 学生会員 ○吉原 瑞貴  
 大阪大学大学院工学研究科 学生会員 臼井 彰宏  
 大阪大学大学院工学研究科 フェロー 青木 伸一

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震津波により、太平洋側の主要港湾で多くの防波堤が被災した。なかでも、防波堤直立部が基礎マウンドから滑落し、倒壊するという被災形態が多く見られた。その結果、津波が勢力を保ったまま港内に侵入し被害が増大した。したがって、滑動しにくいケーソンの開発は津波被害の低減につながると考えられる。一方、滑動抵抗が大きいケーソンは、同一波浪に対して期待滑動量を小さく抑えることができ、風波を対象とした通常的设计においても、ライフサイクルコスト面で優れたものとなる。

本研究では、防波堤のケーソン部が設計限界を超えて滑動を開始した後の挙動に着目した。特に最大滑動量に及ぼす付加質量の影響を明らかにするとともに、付加質量が大きくなるケーソン断面の形状について考察した。

2. 最大滑動量に及ぼす付加質量の効果

青木ら(1995)の研究を基に、図-1 に示す防波堤ケーソンに、図-2 のような波力波形をもつ波が作用した際の滑動について考える。式(1)は滑動モードの運動方程式である。付加質量を $M$ とし、式(2)のように付加質量係数 $\beta$ を用いて与えている。また、動摩擦力を $F_f$ 、時間 $t$ における波力を $F(t)$ としている。

$$(m + M)\ddot{x} = F(t) - F_f \dots (1)$$

$$M = \beta \rho h^2 \dots (2)$$

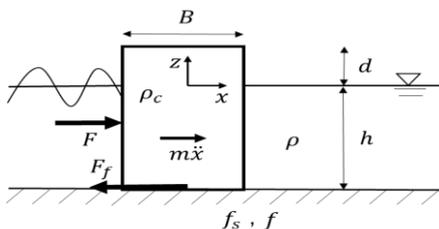


図-1 防波堤ケーソンの滑動

また、図-2 中の、 $F_{max}$ は波力の最大値、 $F_s$ は最大静止摩擦力、 $t_p$ は波力が最大静止摩擦力を越えてからピークに達するまでの時間である。また、波力係数 $\alpha$ を用いて $F_{max}$ を式(3)で定義している。

$$F_{max} = (1 + \alpha)F_s \dots (3)$$

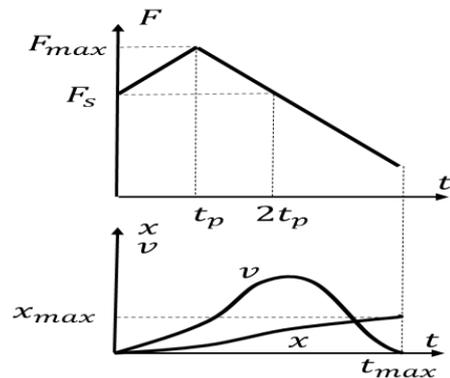


図-2 波力波形と滑動パターン

ここで、異なる $t_p$ と $\alpha$ について、付加質量係数 $\beta$ を変化させたときの最大滑動量 $x_{max}$ を図-3に示す。なお、 $B = 6(m)$ 、 $h = 8(m)$ 、 $d = 2(m)$ 、 $\rho = 1030(kg/m^3)$ 、 $\rho_c = 2150(kg/m^3)$ とし、静止摩擦力と動摩擦力はともに摩擦係数0.6で等しいとして計算を行った。図-3より、以下の①~③のことが言える。なお、②と③は解析的に示すことができる。

- ① 付加質量を大きくすることができれば、滑動量を低減できる。
- ②  $t_p$ を固定したとき、 $\beta$ に対する滑動量の低減率は $\alpha$ が変化しても同じである。すなわち、波力の大きさに関係なく、付加質量が最大滑動量に及ぼす効果は同じである。
- ③  $\alpha$ を固定したとき、 $\beta$ に対する滑動量の低減率は $t_p$ が変化しても同じである。すなわち、波力ピークまでの時間に関係なく、付加質量が最大滑動量に及ぼす効果は同じである。

また、防波堤が滑動を開始してから静止するまでの時間は、付加質量に関係なく、 $\alpha, t_p, F_f, F_s$ のみ依存する。特に、 $F_f = F_s$ の場合は、 $\alpha$ の影響がなくなり、図-4の関係が得られる。

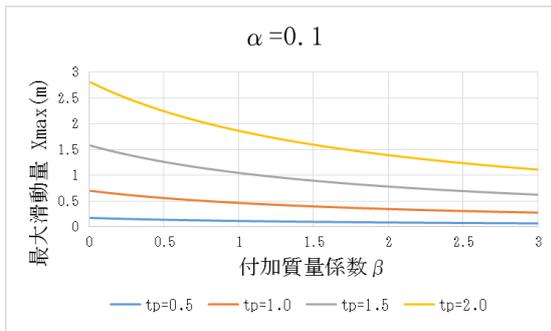
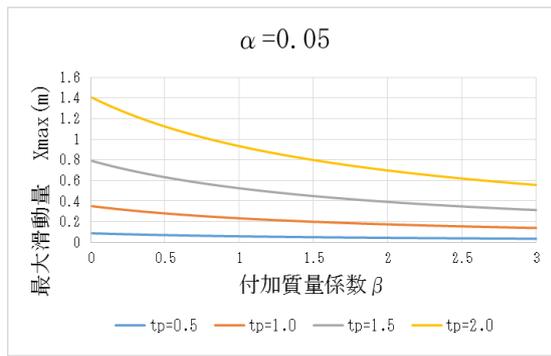


図-3 滑動量に及ぼす付加質量の影響

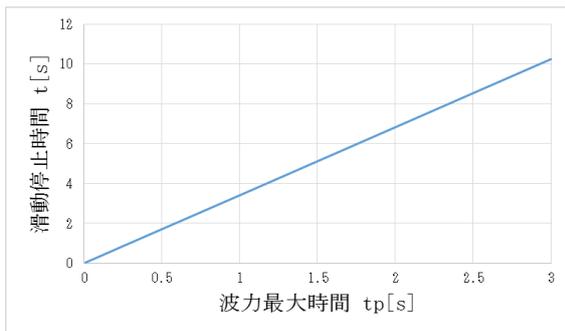
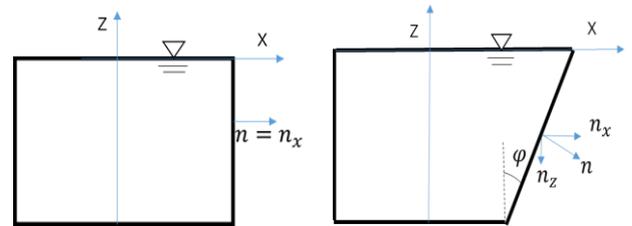


図-4 波力最大時間と滑動停止時間の関係

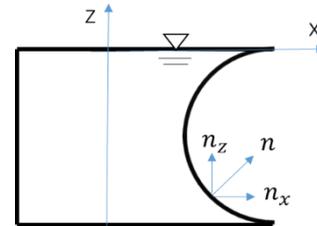
### 3. 任意断面形状ケーソンの付加質量の計算

清川(1986)の解析法を用いて、図-5の断面形状を有する防波堤の付加質量を計算した。ただし、流体の圧縮性については考慮していない。実際の防波堤の断面形状(A)に対して、滑動に対する付加質量が大きくなると予想される形状として、(B)および(C)の断面を比較対象として取り上げた。計算結果を図-6に示す。全体的に(A)よりも、(B)、(C)の方が付加質量は大きくなった。特に、周波数が小さい領域で顕著な違いがみられ、(A)は付加質量がほぼ0なのに対して、(B)、(C)は付加質量が大きくなっている。付加質量の大きさだけを考慮するのであれば、(B)が最も効果的だが、転倒に対する安定性も考慮すると、2つの形状の中では、(C)の方が現実的であると考えられる。



(A) 鉛直壁

(B)  $\phi = 30^\circ$  の傾斜壁



(C) 半円形の曲面壁

図-5 防波堤の断面形状

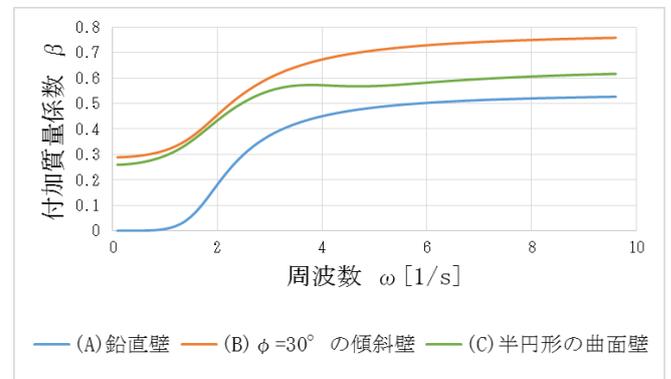


図-6 異なる断面での付加質量の比較

### 4. 結論

付加質量を大きくすることができれば、防波堤の最大滑動量を低減できることが分かった。また、波力の大きさや波力ピークまでの時間に関係なく、付加質量が最大滑動量に及ぼす効果は同じであり、滑動停止時間と付加質量の間には関係がないこともわかった。今回、検討した断面形状の中では半円形の曲面壁が最も良好であったが、今後、さらに付加質量が大きくなり、転倒に対しても安定性の高い断面形状についての検討していく予定である。

#### 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
- 清川哲志 (1986) : 流体の圧縮性を考慮した任意断面防波堤の地震時動水圧理論, 第33回海岸工学講演会論文集, pp. 496-500