

砕波圧によるプレハブ式消波防波堤の動的安定性

九州共立大学 工学部	正員	小 坪 清 真
九州工業大学 工学部	正員	高 西 照 彦
九州工業大学 工学部	正員	多 田 浩
九州工業大学 工学部	学生員	○黍 野 和 彦

1. はじめに

近年、図1に示すように堤体前面にスリット部をもうけ、それによって波の乱れと反射を生じさせて波によるエネルギーを消失せよとする防波堤が設けられるようになってきた。さらに、運搬性、施工性の面から、あらかじめ防波堤を数個のブロックに分割して製作しておき、これを現場において鋼棒により接合して防波堤（以後プレハブ式防波堤と呼ぶ）を構成することも考えられている。このような場合、波圧を受けたときの各ブロックの接合部に作用する応力の大きさや防波堤自身の安定性などが問題となる。

本研究は、特に砕波圧を受けたときのプレハブ式防波堤の滑動及び転倒の問題を取り上げてその動的安定性について検討した。

2. 数値解析

図2に各ブロックとその接合部を示す。ブロックは剛体として、ブロック間を接合している鋼棒は引張り及びせん断剛性を有するバネに置換した。捨石マウンドはその弾性と等価な鉛直及びせん断バネに置換した。防波堤に対する面内振動の振動方程式は(1)式ようになる。

$$[M] \{\ddot{y}\} + [C] \{\dot{y}\} + [K] \{y\} = \{Q\} \quad (1)$$

ここに、 $[M]$ は質量マトリクス、 $[C]$ は減衰マトリクス、 $[K]$ は剛性マトリクス、 $\{y\}$ は一般座標ベクトル、 $\{Q\}$ は外力ベクトルである。各ブロックは面内で水平、鉛直、回転方向の3自由度を持つとした。外力としては、砕波を考えた。その分布形は図3に示すように合田式から求めたものを用いた。実際の砕波圧の時間的变化は図4-(a)に示すように複雑であるが、本研究ではこれを同図(b)に示すように三角波にモデル化して用いた。防波堤の動的安定性を検討するにあたっては砕波圧の最大値 p_1 を一定とし、その作用の継続時間 2τ （図4-(b)参照）をいろいろ変えたときの防波堤の滑動と転倒に対する安全率の時刻歴応答を算出してそれぞれその最小値を求めこの値をもって動的な安全率と定義した。数値計算においては砕波圧の最大値 p_1 は有義波高 $H_{1/3}$ を3.0mとして求めた $p_1=4.15 \text{ tf/m}^2$ を用い、揚圧力は $p_0=3.02 \text{ tf/m}^2$ （一定）を用いた。

1) 滑動 滑動に対する動的な安全率 $S \cdot F^s_0$ は次式によって求めた。

$$S \cdot F^s_0 = \mu (W - F - U - P_{N1} - P_{N2}) / P_s \quad (2)$$

ここに、 μ は底版と捨石マウンドの間の動摩擦係数、 W はブロックの重量、 F は防波堤に作用する浮力、 U は揚圧力、 P_s は底版に作用するせん断力、 P_{N1} 、 P_{N2} は底版に作用する鉛直力であり、マウンド

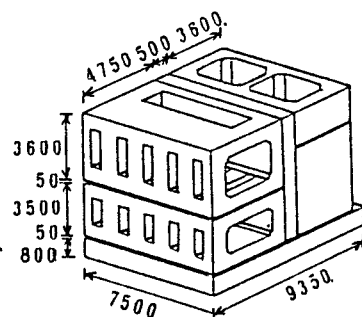


図1 スリット式防波堤

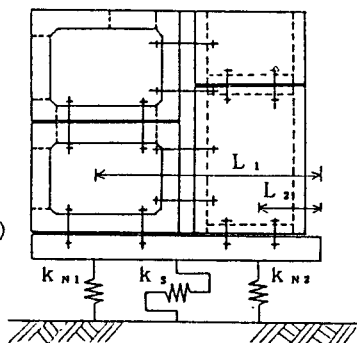


図2 防波堤の振動モデル

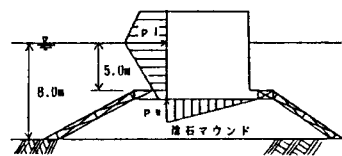
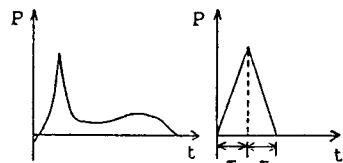


図3 計算に用いた波圧分布



(a) 実波圧変化 (b) 理想化波圧変化

図4 波圧の時間的变化

のバネ定数をそれぞれ k_s, k_{N1}, k_{N2} 、底版の時刻歴変位を $\delta_s, \delta_{N1}, \delta_{N2}$ とすれば、 $P_s = k_s \delta_s, P_{N1} = k_{N1} \delta_{N1}, P_{N2} = k_{N2} \delta_{N2}$ によって求められる。

2) 転倒 転倒に対する動的安全率 $S \cdot F^M_o$ は底版の右下端点回りのモーメントを計算することにより次式のように求められる。

$$S \cdot F^M_o = (M_w - M_f - M_v) / (P_{N1} \times L_1 + P_{N2} \times L_2) \tag{3}$$

ここに、 M_w は重量によるモーメント、 M_f は浮力によるモーメント、 M_v は揚圧力によるモーメント、 L_1 、 L_2 はそれぞれ底版右下端からバネまでの距離 (図2 参照) である。

3. 解析結果及び考察

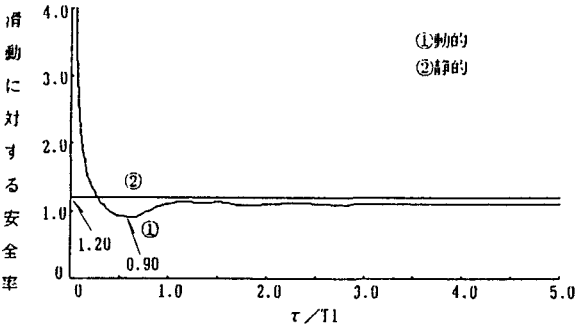
表1 に防波堤の固有振動数、図5 (a) (b) にその1次と2次の振動形を示す。砕波圧による応答計算で採用した振動次数は15次までである。図6 (a) (b) にそれぞれ、滑動、転倒に対する安全率を示す。横軸に砕波の継続時間の半分 τ を防波堤の一次の固有周期 T_1 で割って基準化した値をとった。図中の水平な直線は防波堤が最大波圧 p_1 をうけたときの静的な安全率を示している。

表1 防波堤の固有振動数

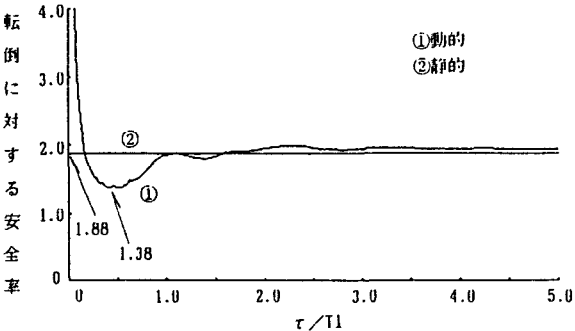
次 数	1次	2次	3次	4次	5次
固有振動数(Hz)	4.61	10.45	11.91	93.64	117.24
次 数	6次	7次	8次	9次	10次
固有振動数(Hz)	131.85	137.43	173.08	193.85	228.61
次 数	11次	12次	13次	14次	15次
固有振動数(Hz)	237.71	276.48	305.07	332.95	330.78

得られた結果は以下のとおりである。

1. 動的及び静的のいずれの場合についても滑動に対する安全率の方が転倒に対するそれより小さい。
2. 動的安全率はいずれも τ / T_1 が非常に小さいときは1よりはるかに大きく、 τ / T_1 が大きくなると静的安全率に漸近することがわかる。
3. 砕波圧の継続時間が防波堤の固有周期と等しくなった場合に動的安定率が一番小さくなる。このとき動的安全率は静的安全率より小さくなる。



(a) 滑動に対する安全率



(b) 転倒に対する安全率

図6 防波堤の安全率

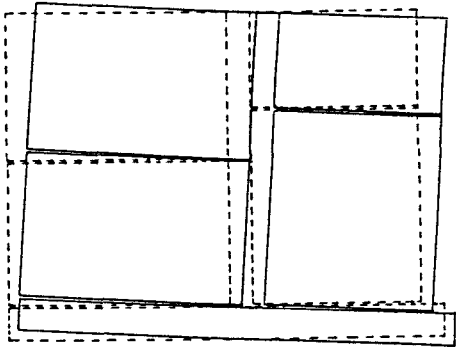


図5-(a) 一次の振動形

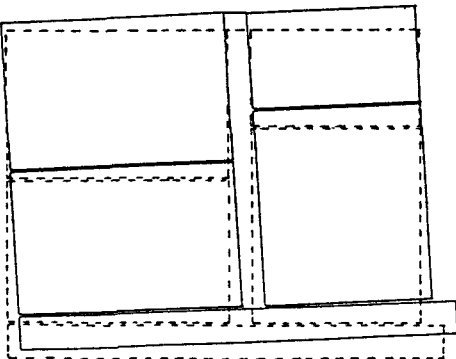


図5-(b) 二次の振動形