

京都大学工学部 学生会員○大谷 寛
京都大学防災研究所 正会員 間瀬 肇

1. はじめに

防波堤は港内を静穏に保つだけではなく、海に突き出しており親水性に優れている面も有する。こういった親水性防波堤の安定性に関しては未だ十分な研究が行われていない。本研究ではその点に着目し、ケース・スタディとして高松港の防波堤の親水化を取り上げ、模型実験を通してその耐波安定性を検討する。ここでいう防波堤の親水化は、以下のようなものである。

- 1) 防波堤の天端上に安全柵として港外側にパラペット、港内側に手すりを設ける。
- 2) 防波堤の天端上に石舗装部、ボードウォークを設ける。
- 3) フットライトのみでなく、スタンドライトを設けて安全で快適な空間を創り出す。

2. 実験概要

実験では、上部工の違いが防波堤の安定性に及ぼす影響を検討するため、3種類の上部工を用いて安定性を検討した。防波堤の持つ親水性を重視すると、上部工の上から防波堤内の海面が見えるボードウォークが適しているが、上部工にボードウォークを用いた場合、ボードウォークの強度と安定性が問題となる。また、上部工を全面スラブで覆ってしまうと、親水性が薄れると考えられる。これらの問題点をふまえて、以下に示す3ケースの上部工の模型を実験に用いた。（以下の寸法は実験模型のそれであり、現地スケールはの縮尺は1/30である）

- 1) 縦1.5 cm、横2 cm 間隔にスリットを入れたボードウォーク
- 2) 全面スラブの上にボードウォークを設置したもの
- 3) 3.3 cm の開口部を有するスラブの上にボードウォークを設置したもの

実験に用いた水槽は、深さ70 cm、幅70 cm、長さ38.52 mの2次元水槽であり、一端に不規則波造波機、他端に消波工が設けてある。防波堤模型はアクリル製で、縮尺は1/30とし、実験条件はフルード則に従って設定した。水深はH.W.Lとして38.3 cm、H.H.W.Lとして40.7 cmを設定する。捨石マウンド厚は10 cmである。造波機によって起こす波の諸元としては、波高が6.33 cmから13.3 cmまでの5種類で、周期は1.1 sである。水深、波高および周期の設定はフルード則に従っており、高松港の防波堤の設計波高1.9 m、周期6.0 sを参考に、実験で用いる設計波高と周期を設定した。（その値は6.33 cmおよび1.1 sである）

3. 滑動実験

防波堤が来襲波に対していかなる滑動抵抗力を持つのか測定し、上部工の変化によってその滑動抵抗力がどの様に違うかを滑動安定性実験を行い、安定性を検討した。防波堤の変位の測定は、1つの波高に対して防波堤が滑動する限界付近の3ケースの重量のもとで、3回繰り返した。防波堤の重量は、堤体底部にあるスペースに重りを入れて変化させた。1波当たりの変位量は、造波後45 sから55 sのトータルの変位量を堤体重量を変化させながら各上部工に対して測定し、作用波数で除して求めた。ここで防波堤が動かなかった最も小さい重量を限界滑動重量とし、限界滑動重量に予め測定しておいた摩擦係数0.51をかけて、その値を防波堤の幅で除した単位幅当たりの値を限界滑動抵抗力とした。図-1は、横軸が波高を設計波高で除して無次元化した値、縦軸が限界滑動抵抗力を（水の単位体積重量×波高×マウンドからの水深）で除して無次元化したものである。この図から、最大波高に相当する設計波高の1.8倍の波高では、上部工をボードウォークにすると全面スラブにした場合に比べて、1.33倍の滑動抵抗力を持つと考えられる。

合田公式によって算出した限界滑動抵抗力と実測の限界滑動抵抗力を比較したものが図-2である。ここで横軸は波高を設計波高で無次元化したもの、縦軸は実測限界滑動抵抗力を合田公式によって算出した限界滑動抵抗力で除した波力低減係数を示している。波力低減係数が1とならない原因は防波堤の前面後面にあるスリットの存在である。また無次元化した波高が最も大きい場合に波力低減係数は小さくなっているが、これは実験で起こした波高13.3 cmの規則

波が防波堤を越波したために、防波堤の前面で全ての波圧をとらえられなかった事が要因の一つである。設計波高の1.8倍を最大波高とすると、全面スラブのケースでは波力低減係数が約1.01で、開口スラブ、ボードウォークの順に小さくなり、上部工にスリットを入れると波力低減係数が小さくなる。また、設計波高の1.6倍の波では全ての上部工で波力低減係数が0.9以下になっている。このことから、防波堤の前面後面にあるスリットによって波力低減係数は小さくなると判断でき、さらに上部工にスリットを入れることで一般的な直立防波堤よりも滑動安定性が増すと考えられる。

4. 波力・波圧実験

防波堤の上部工に働く全波力と、上部工の各位置に働く波圧強度を求め、上部工の違いによって波力と波圧分布がどの様に異なるかを調べるために、波力・波圧実験を行った。実験は、全面スラブとボードウォークの上部工に取り付けた計測装置で行い、堤体上部工に働く波力と波圧を測定した。実験は全面スラブとボードウォークについて全ての波高で10波ずつ3回繰り返し、1波当たりの波力および波圧の平均値を求めた。また、最大波力時における各点の波圧を調べることで、波圧の分布形状を求めた。それぞれの波について、最大波力が作用する時の上部工に働く波圧分布を知るために、波力のピーク時における各圧力センサーの波圧の平均値で波圧分布を示したものが図-3(a)および(b)である。全面スラブとボードウォークでは異なった波圧分布になり、波高が大きいほど大きな波圧を示しているが、沖側で小さくなる点で共通している。これは、防波堤背面とスラブの間に隙間があり、空気および波の流出により波圧が低減するためであると推測される。

5. 結論

以上のことから、本研究で用いたスリット型防波堤の親水化を考えると、上部工をボードウォークにした場合において、その他の場合よりも良好な滑動安定性が確保されることがわかった。また、上部工に作用する波圧分布より、ボードウォークでは上部工の端からの無次元距離 $x/w = 0.45$ 、全面スラブでは $x/w = 0.50$ の付近で無次元波圧はピークとなることがわかる。波圧は、波高の増加に伴い大きくなり、最大波に対応する $H/HD = 1.84$ の場合の無次元最大波圧分布の最大値は約1.5となる。ボードウォークに作用する無次元揚力は、全面スラブに作用するそれに比べて、約3/5となった(図-23)。

参考文献：

- 1) 合田良実：防波堤の設計波圧に関する研究，港湾技術研究所報告，Vol.12，No.3，pp.31～69，1973。
- 2) 高山知司：現行設計法における防波堤の滑動安定性，海岸工学講演会論文集，第3巻，pp.641～645，1991。
- 3) 塩崎禎郎：海水交換機能を有する透過性スリットケーソンの水理特性，海岸工学論文集，第43巻，pp.1226～1230，1996。

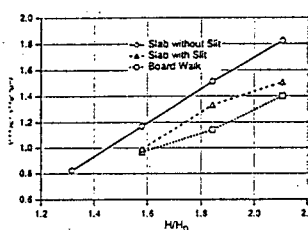


図-1 無次元化した境界条件波力と波高の関係

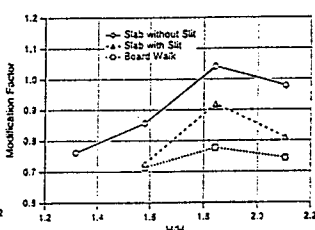


図-2 波力低減係数

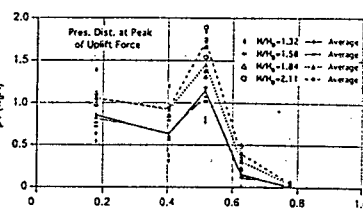


図-3 (a) 無次元化した波力のピーク時における波圧分布(全面スラブ)

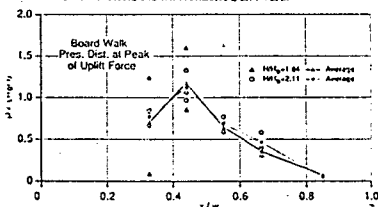


図-3 (b) 無次元化した波力のピーク時における波圧分布(ボードウォーク)

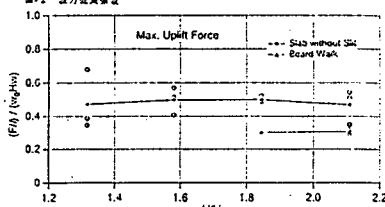


図-4 無次元化した最大波力の波高に対する変化