

上部斜面堤に作用する波力に関する実験的研究

大堀晃一*, 森川雅行**, 大野光嘉***, 石田国夫****

1. まえがき

近年、港湾建設の外海への進展に伴い、波浪条件の厳しい所での防波堤の建設が実施されつつある。建設地点の大水深化およびそれに伴う設計波の大波高化に対して、通常のケーソン式混成堤（以後、直立堤と呼ぶ）に加えて、経済性及施工性にすぐれた新構造の防波堤が開発あるいは実用化されている¹⁾。

上部斜面堤は、直立堤を実用上改良したもので、直立部の上端前部に斜面を設けて堤体に作用する波圧を減少させようとする構造であり、堤体の安全性の増大、コスト低減の利点はあるが、伝達波が増大する欠点もある。

上部斜面堤に関しては、数例の実験報告^{2),3)}があるにすぎず、本研究では実海域に設置が検討されている上部斜面堤に対して、模型実験を実施し、反射、伝達、滑動特性を検討した。また、波力に関しては堤体全周に小型波圧計を取付けて、各断面に作用する波力を測定するとともに、2分力計（水平・鉛直成分）を2台堤体下部に設置して、堤体全体に働く波力を求め、上部斜面堤の各断面に作用する波力特性を詳細に検討した。

2. 実験条件および実験方法

実験に使用した水槽は、運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所所有のもので、長さ 38 m×幅 1 m×高さ 1.5 m で、水路の中央に仕切り板を設置し、水路幅を 50 cm として実施した。

実験に用いた断面を 図-1 に示す。縮尺は水平・鉛直ともに 1/50 である。上部工の港内側は堤体重量の軽減を図るために、天端が下げられているが、後部に伝達波減少のためのパラベットが設置されている。海底床は、水平床から 1:10, 1:100, 1:400 の斜面上で立上げ、マウンドは 1:400 の斜面上に設置されている。

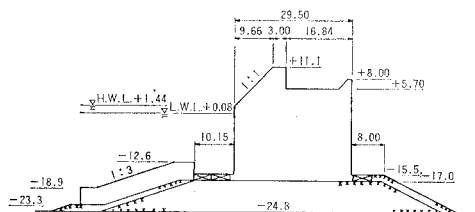


図-1 実験断面

実験は、周期 13 秒、波高を 5 段階程度実施した。潮位は L. W. L. と H. W. L. を対象とした。波力に関しては、規則波を、反射、伝達、滑動に関してはブレット・シュナイダー・光易型の不規則波を用いた。

上部斜面堤と比較の意味で、同じ波浪条件で設計される天端高+7.2m、堤体長 33m の直立堤を同一マウンド上に設置して、同様な実験を行った。なお、反射、伝達率については、堤体水深、斜面水深等を若干変化させて実験を行っている。以下の記述については、フルードの相似則を適用して、すべて現地量で行うものとする。

3. 反射, 伝達特性

反射率, 伝達率を相対天端高さ ($h_c/H_{1/3}$) で整理して図-2, 3に示す. 直立堤については, 図-4に示す. 反射率は堤体法線から有義波周期の1.5波長沖で測定し, 伝達率は, 模型後面より60m離れた地点で測定し, 入反射波分離推定法により求めたものである.

上部斜面堤に関しては、斜面水深により値に若干の違いはあるが、相対先端高さが1.0以下になると、急激に反射率は減少し、伝達率は増大する。1.0以上では、反射率は0.6~0.8、伝達率は0.1~0.2である。

直立堤では、反射率、伝達率が大きく変化するのは、相対天端高さが0.8程度である。0.8以上では、反射率は0.7~0.8、伝達率は0.1~0.2でありあまり上部斜面堤と差がないようである。0.8以下では反射率については、両者にあまり差は見られないが、伝達率については、上部斜面堤の方が約0.1程度大きく、波を伝達しやすい構造であることがわかる。

* 正會員 王修 運輸省港灣技術研究所企画室長

** 正会員 工修 運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所調査課長

*** 運輸省第二港湾建設局小名浜港工事事務所第二工
事課長

運輸省第二港湾建設局 八戸港工事事務所むつ小川
原工場第二工事係長

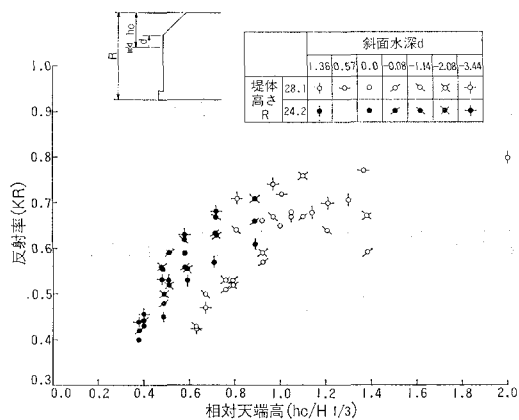


図-2 上部斜面堤の反射率

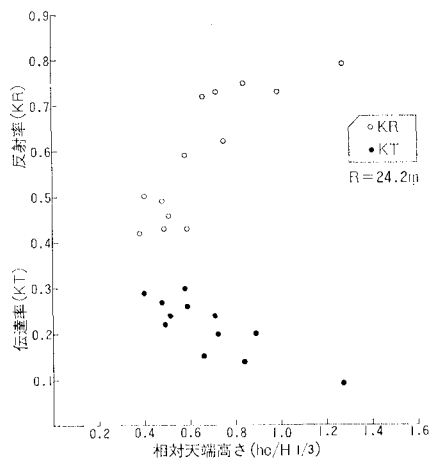


図-4 直立堤の反射率と伝達率

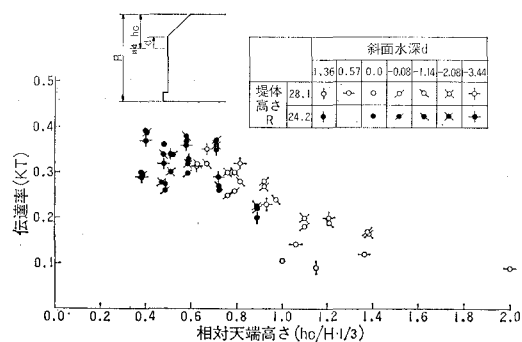


図-3 上部斜面堤の伝達率

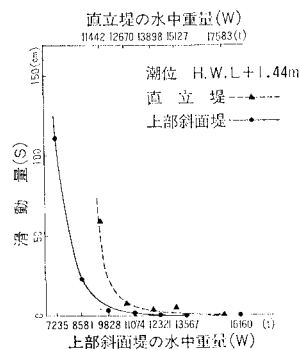


図-5 堤体重量と滑動量の関係

4. 滑動特性

不規則波 ($H_{1/3}=9.63\text{ m}$, $T_{1/3}=13\text{ s}$) を 30 分間作用させて、滑動量を求めるとともに、堤体重量を減じて滑動限界を求めた。

図-5 に、H.W.L. 時での堤体の水中重量と滑動量の関係を示す。この図より、同一水中重量では、上部斜面堤が直立堤に比べて滑動量が少ないことがわかり、滑りにくい安定な構造であると言える。

現地での限界滑動量を 25 cm と考えると、限界水中重量は、H.W.L. 時に上部斜面堤で 412 t/m、直立堤は 558 t/m となり、L.W.L. 時にはそれぞれ 547 t/m、499 t/m である。また、堤体とマウンドとの摩擦係数は、上部斜面堤で 0.63、直立堤で 0.68 である。

5. 波力特性

(1) 経時変化

測定結果の一例として、波高 13.9 m、周期 13 秒の波

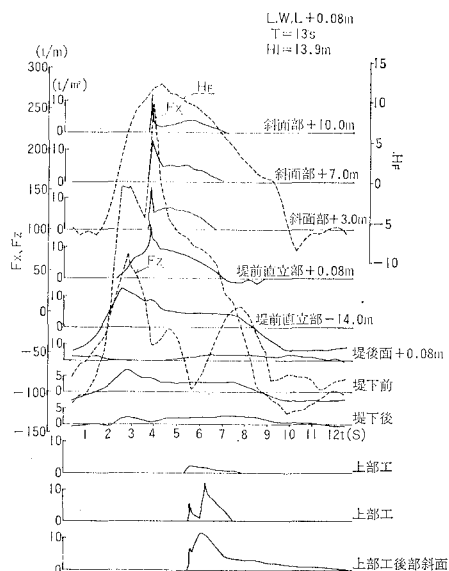


図-6 測定値の経時変化

について得られた代表測点の波圧と2分力計の合力の経時変化を図-6に示す。図中、 H_f は堤前波高、 F_x 、 F_z は2台の2分力計から求めた堤全体に作用する水平波力、鉛直波力である。

測点が直立部下部から斜面部上部と高くなるほど、波圧のピークが遅れてくることがよく判る。また、水平波力に比べて鉛直波力のピークが1秒程度早くなっている。これは、直立部と斜面部に働く波力に位相差があるためである。上部工の後部斜面に 10 t/m^2 程度の大きい波力が生じていることがわかる。次に、この実験ケースについて、堤体の全周に設置した波圧計の値から求めた各面ごとに働く波力合力を図-7に示す。波圧計の零点補正がうまくできないものもあり、波力の絶対値そのものについては、若干の問題があるが、波の作用状況がよくわかる。

堤前面直立部に働く合力と堤下面の揚圧力はほぼ同時期にピークになり、1~2秒程度遅れて、斜面部の波力がピークに達する。さらに、約2秒遅れると、越波した波の打込みにより上部工に作用する鉛直波力が最大となり、その後、港内側に落下した水により後面の合力のピークが生じる。

(2) 波圧強度と波圧分布

各測点の波圧強度および測定波から合田式を用いて計

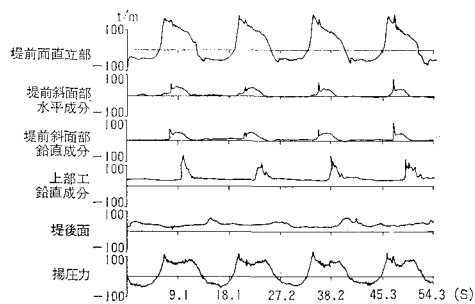


図-7 各断面での波力合力の経時変化

算される結果を、水平波力最大時について、図-8、9に示す。

これらの図から、実験値は合田式で計算される値よりかなり小さいことがわかる。特に静水面付近の波圧が小さくなっている。これは静水面付近に作用する波の水平成分が斜面の存在により、上方へ逃がされるためである。

次に、L.W.L.での鉛直力最大時の波圧分布を図-10に示す。斜面部には波圧がなく、波が到達していないことがわかる。また、前面直立部の下部の波圧が大きいのが特徴的である。

次に、水平波力最大時の各測点の波圧から求めた水平波力係数 ($F_x/\omega_0 H_f$)、鉛直波力係数 ($2F_z/\omega_0 H_f$)を図-11、12に示す。図には、直立堤の結果も示してある。 ω_0 はの単位体積重量である。

水平、鉛直波力係数ともに直立堤より上部斜面堤が、大きく、その差はそれぞれ $0.07 \sim 0.25$ 、 $0.16 \sim 0.33$ である。鉛直波力係数の方がその差が大きい。これは、上部斜面堤での直立部と斜面部に作用する波力の位相差および上部斜面部による水平力の減少と鉛直力の下向きの作用によるものである。

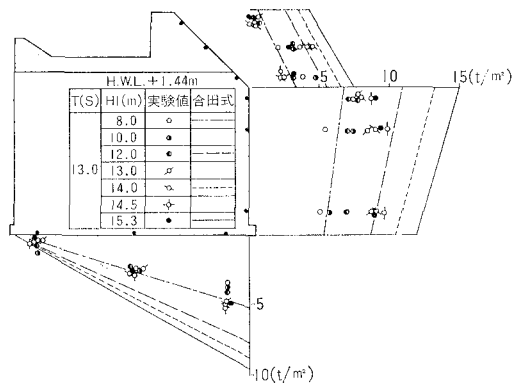


図-9 波圧分布 (水平力最大時, H.W.L.)

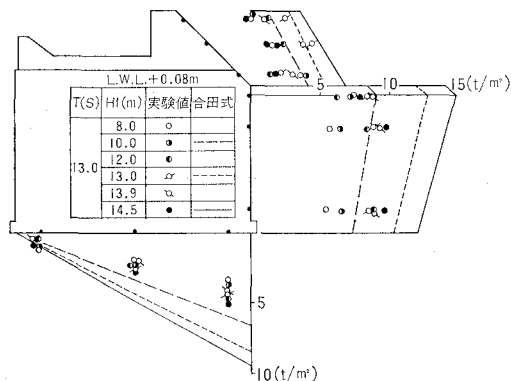


図-8 波力分布 (水平力最大時, L.W.L.)

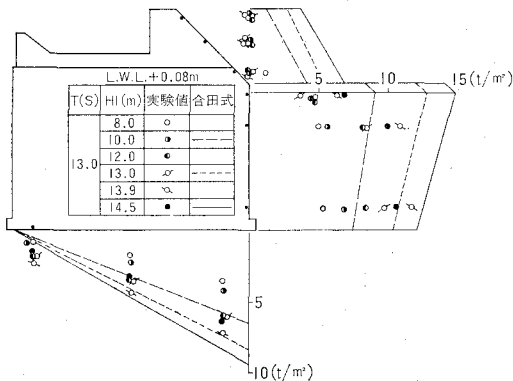


図-10 波圧分布 (鉛直力最大時, L.W.L.)

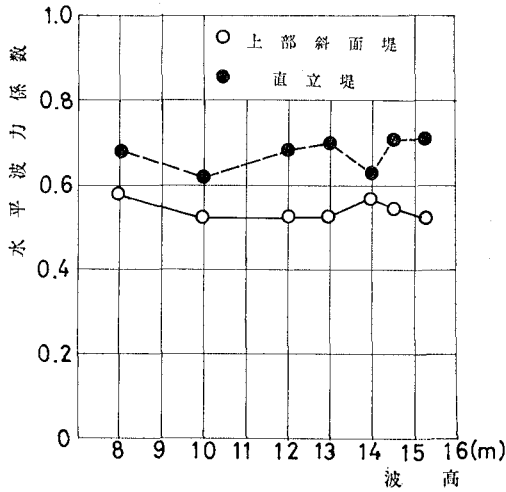


図-11 水平波力係数 (H.W.L.)

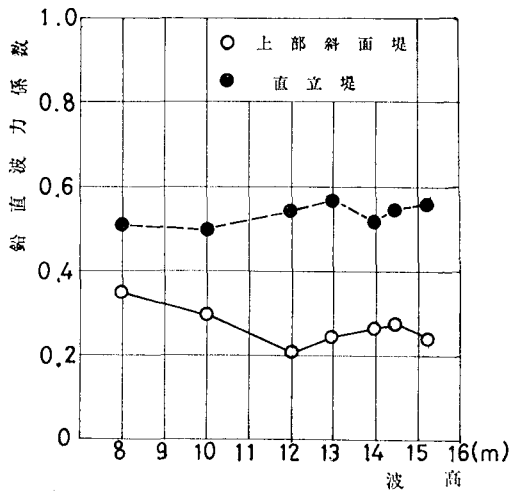


図-12 鉛直波力係数 (H.W.L.)

(3) 上部工に作用する波力

上部斜面堤は直立堤に比べて、伝達率が高く、上部工にかかりの打ち込み波力が作用すると考えられるので、上部斜面堤、直立堤の上部工に作用する波圧強度を測定した。

上部斜面堤に関して、上部工各点の最大波圧を各測点について、図-13に示す。各点での最大波圧が最大になる位置は、波高の増大とともに、堤後方と移動し、これは波高増大とともに越波した波の落下位置が後方へ移動していることを示している。最大波圧は後部パラベット部分で 25 t/m^2 となっている。

直立堤に関しては、図-14に示す。港外部分から上部工の中央までの間に、最大波圧が生じており、その値は

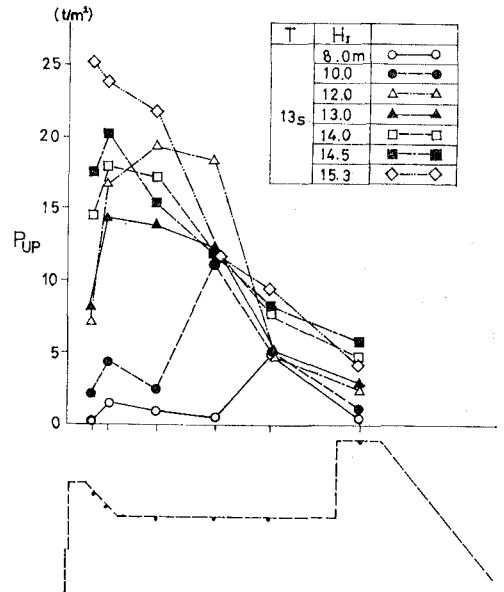


図-13 上部斜面堤上部工各部の最大波圧 (H.W.L.)

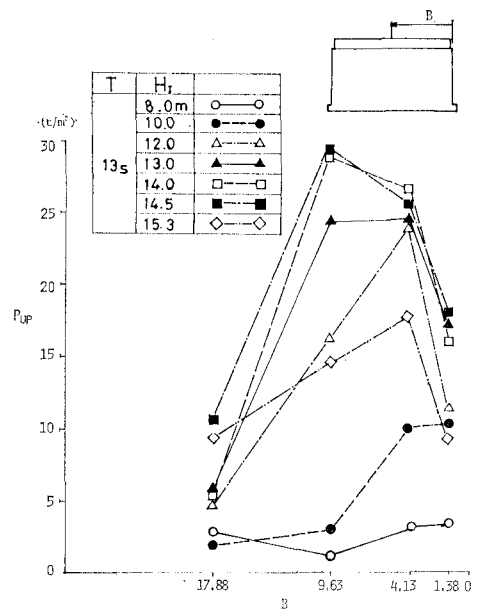


図-14 直立堤上部工各部の最大波圧 (H.W.L.)

30 t/m^2 であり、上部斜面堤よりも大きい。これは、越波した波があまり分散せずに打込むためと考えられる。中央から港内部分にかけてはあまり打込み波力は作用しない。

6. 結 論

本研究の結果、明らかになった点は以下の通りである。

(1) 相対天端高が1.0以上の場合、上部斜面堤の反射率、伝達率はそれぞれ0.6~0.8、0.1~0.2で直立堤の場合にはほぼ同じである。1.0より以下になると急激に反射率は減少し、伝達率は増加する。1.0以下の伝達率は直立堤のものより0.1程度大きい。

(2) 上部斜面堤は、直立堤と比較して、滑動しにくい構造である。

(3) 水平波力および鉛直波力最大時に得られる波圧は、合田式で計算される値よりかなり小さく、特に静水面付近は斜面の影響を受けて小さくなっている。

(4) 水平鉛直の波力係数は直立堤のものとは比べてかなり小さい。これは、上部斜面堤での直立部と斜面部に作用する波力の位相差および上部斜面部における水平力の減少と鉛直力の下向きの作用によるものである。

(5) 上部工への打ち込み波圧は、直立堤の場合は堤体中央部までしか顕著な影響がないが、上部斜面堤は、波高の増大とともに、最大波圧位置が堤後方となり、後部

パラベットに上部工の最大波圧が現れるようになる。本実験での上部工の最大波圧は 25 t/m^2 である。

7. あとがき

防波堤の大水深化や経済性の追求等によって、今後ますます新構造の防波堤の要請が高まるものと考えられる。上部斜面堤にとどまらず、他の形式のものも検討していく所存である。

実験実施にあたり、多くの方々の御協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 谷本勝利: 防波堤の新しい構造を求めて, プレストコンクリート, Vol. 27, No. 4, pp. 13~19, 1985.
- 2) 森平倫生・国田 治: 斜面壁堤の水理特性に関する模型実験, 第26回海岸工学講演会論文集, pp. 295~298, 1979.
- 3) 中田邦夫・池田龍彦・岩崎三日子・北野雅三・藤田 隆: 上部斜面堤の現地建設に伴う水理模型実験, 第30回海岸工学講演会論文集, pp. 313~316, 1983.