

津波防波堤開口部の水理模型実験

東北大学工学部 学生員 達田 博
東北大学工学部 正員 真野 明

1. はじめに

津波防波堤の開口部では津波時に流れが集中し、流速が非常に大きくなる。従来は中央での実験を行ってきたが、そこでは潜堤から生じる後流が、下流側マウンドの安定性に大きく影響していることがわかってゐる。本研究は開口部の端部をとりあげ、前述の潜堤から発達する後流に加えて、端部鉛直壁縁から生ずる後流の重なった領域での流れの状況とマウンドの安定を調べたものである。

2. 実験装置及び方法

本実験で用いた水路は長さ11.8m、高さ1.4m、幅1.2mの片面ガラス水槽で、バルブにより流量を、水路下流端の可動堰により水位を調節している。この水路の中央部に図1,2に示すような断面形状の津波防波堤開口部端部の模型を製作した。距離の縮尺は $\lambda = 1/250$ と $\lambda = 1/75$ の2つにつりて行なった。それらの平面図をそれぞれ図3,図4に示す。流速の測定には、水平、鉛直の両方向の同時測定が可能な電磁流速計を用いた。測点はX方向（流れ方向）については潜堤中央を原点、下流側を正とし、20m間隔で測定した。Y方向は $\lambda = 1/250$ については15ないし30m間隔、 $\lambda = 1/75$ については7.5m間隔で測定した。流速及び水深は、それぞれ昭和8年津波の設計最大流速8.2m/s、潜堤天端上水深21.41mを、 $Y=1$ 断面の潜堤天端上で再現することとした。被害率は彩色した被覆材を実験の前後で写真撮影し、その移動個数を判別し、配置個数に対する百分率として算出した。実験条件を表1に示す。マウンドの被覆材は1寸,2寸の碎石と、2寸,10寸のテトラポッドの合計4種類を用いた。碎石は図4の斜線部全面に均等にきつめた。テトラポッドはその結果により破壊しやすいと考えられる場所に2層乱積で敷き、斜線部の面積に換算して算出した。通水時間は4分5秒である。

3. 実験結果と考察

CASE1の平均流速分布を図5に、水平方向乱れの分布を図6に示す。本堤側面にそった流れの影響がほとんどないと考えられる $Y=1$ 断面では、潜堤天端の上流側の端より剥離が生じ、そこから下流に向かって大きな後流域が形成されており、下流側斜面上で逆流が生じている。測定断面を開口部端部に近づけていくと、下流側より順次逆流領域が消え、正流に変わっていく。 $Y=5$ 断面では斜面上のほぼ全域にわたり正流である。これは本堤の側面にそった流れが、潜堤天端の下流側の端から縦方向に広がるためであると考えられる。 $Y=7$ 断面ではまた逆流が現れる。これは、本堤の端から形成される縦に広がる後流域の中に入ってしまうからである。次に水平方向乱れの分布についてであるが、 $Y=1$ 断面では潜堤の天端とほぼ同じ高さで最大値をとる。 $Y=3$ 断面では下流側斜面近くで大きな値をとるようになり、 $Y=5$ 断面では斜面近くで最大値を

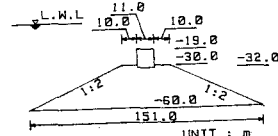


図-1 潜堤断面図

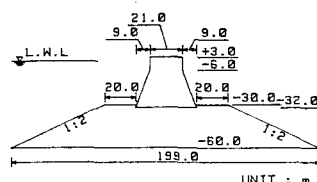


図-2 本堤断面図

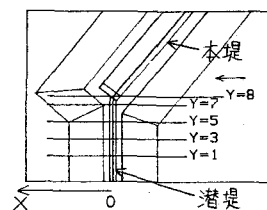


図-3 縮尺1/250の実験の平面図

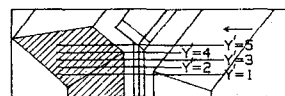


図-4 縮尺1/75の実験の平面図

表-1 実験ケース

実験 ケース	縮尺	設定流速 m/s	潜堤上 水深m	マウンド 被覆材	測定項目
case1	1/250	8.1	21.5	10t 碎石	流速分布
case2	1/75	8.5	21.8	10t 碎石	"
case3	"	4.7	21.5	1t 碎石	被害率
case4	"	5.2	22.2	2t 碎石	"
case5	"	5.7	21.3	2t テトラ	"
case6	"	9.5	21.8	10t テトラ	"

とる。この斜面近くの大きな乱れも $Y=7$ 断面では小さくなり、水面近くで非常に大きな値をとる。これは縦に形成される後流域に入っているためである。鉛直方向乱れの分布は水平方向乱れの分布とよく似たものとなった。

CASE2の $Y'=1, 3, 5$ 断面の流速分布を、それぞれ図7, 図8, 図9に示す。 $Y'=5$ 断面では本堤側面にそった流れのために落堤天端上で大きな流速となっている。この流れが天端下流側の端より剥離して下流側斜面マウンド部に大きな影響を及ぼしていると考えられる。被覆材の挙動は底面付近の乱れの大きさに関係すると思われる。各測定点のりちばん底の水平方向乱れ、鉛直方向乱れ、摩擦速度の値を比較したものが、それぞれ、図9, 図10, 図11である。これから $Y'=3$ 断面の $X=40(m)$ で乱れが大きいことがわかる。次に被覆材を種々変え、それらが動出す限界状態の水理条件を表1のCASE3~6のように定め、それらについてシールズ数および補正シールズ数を算出した。結果を表2に示す。補正シールズ数は、

$$\gamma = \frac{U_b^2 + U_v^2}{S g d} \frac{\cos^2 \theta}{\cos \theta + \sin \theta} \quad U_b: \text{底での水平流速}, U_v: \text{底での水平乱れ}$$

S : 水中比重, θ : 形分配, g : 重力加速度, d : 粒径

で定義した。テトラポッドの d は重量で球に換算した値を用いた。 S は砕石が1.65, テトラポッドが1.3とした。シールズ数は、限界シールズ数より小さな値となった。また補正シールズ数も、開口部中央で1.5の砕石について実験を行なった時に算出した限界補正シールズ数の0.15よりも小さな値となった。また、各ケース間のばらつきが大きい。昭和8年津波の設計流速は、CASE3~5の設定流速よりも大きく、CASE6のそれと同程度であるので、10%程度の被覆材が必要になる。

4. おわりに

この実験により防波堤端部では中央部比べて流況が複雑で、シールズ数も小さくなり、被覆材が動きやすくなっていることがわかった。しかし求めたシールズ数はばらつきが大きく、この現象については今後検討を要する。

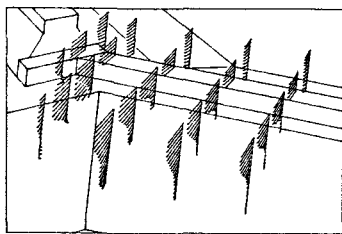


図-5 平均流の概況図

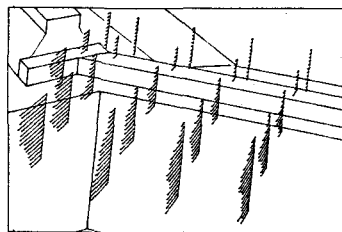


図-6 水平方向乱れの概況図

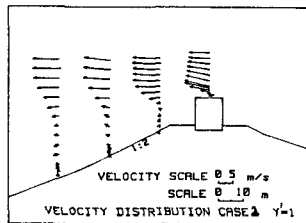


図-7 断面 $Y'=1$ の平均流速分布図

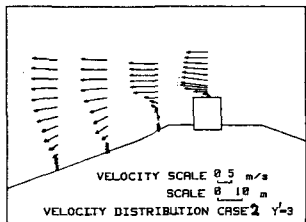


図-8 断面 $Y'=3$ の平均流速分布図

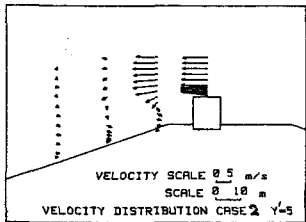


図-9 断面 $Y'=5$ の平均流速分布図

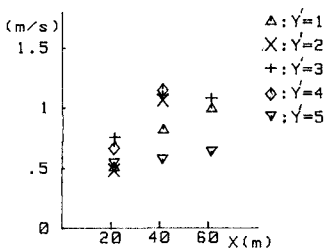


図-10 底面での水平方向乱れ強度

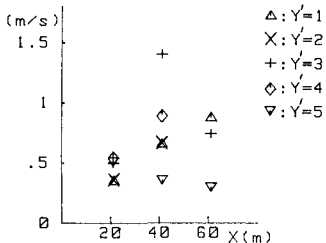


図-11 底面での鉛直方向乱れ強度

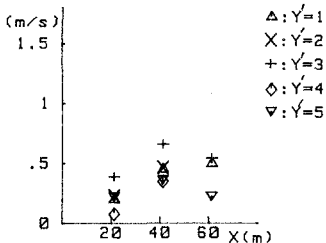


図-12 底面での摩擦速度

表-2 被害率

実験 ケース	被害率 %	シールズ数	補正シールズ数
case 3	3	.0044	.021
case 4	1	.0015	.011
case 5	2	.0054	.030
case 6	0	.022	.046