

運輸省港湾技術研究所 正 清宮 理
同 上 正 横田 弘

1. まえがき 大水深に建設される防波堤は、従来の防波堤と比較して大型化し、かつ強大な波力が作用する可能性がある。作用する波力の低減、堤体の安定性の増大、建設費の低廉化等を図る 目的で、各種の新しい型式の防波堤が提案されている。しかし、これらの新しい型式の防波堤は、建設実績も乏しく、実際の海洋環境下における挙動が十分に把握されていない。このような観点から、3種類の新しい型式の防波堤が秋田県船川港沖の水深-11mの地点に試験的に設置され、昭和55年9月より、堤体に作用する波力、堤体の変位、堤体に生じる応力等の計測が行われている¹⁾。本報告では、現在までに得られた観測記録のうち8個の記録を基に堤体の振動性状の考察を行った。また、堤体を剛体と仮定した連成バネ系の力学モデルを用いて動的応答計算を行い、観測された結果との対比により、力学モデルの妥当性、バネ定数、減衰定数等の入力データについて検討を行った。

2. 実験堤の概要と観測システム 現地観測を実施している3種類の防波堤の標準断面図を図1に示す。T2は、堤体の滑動抵抗を高めるために、底板に突起を設けた異型底板ケーソン堤、T3は、上部工に斜面を設け、波圧の鉛直成分を堤体の安定性の増大に利用する上部斜面ケーソン堤、T4は、前面に設けた曲面スリット部で波エネルギーの逸散を行う曲面スリットケーソン堤である。各防波堤には、図中に示すか所に振動計が設置され、堤体の水平、鉛直方向の変位が計測されている。本計測システムでは、設定レベル以上の波高が観測された場合に、0.08秒毎に10分間連続して計測が行われる。

3. 観測記録の解析 観測により得られた堤体の水平変位の波形の一例を図2に示す。この記録を基にして得られた最大波高値、堤体の最大水平、鉛直変位を表1に示す。実験堤での設計波高は、9.5mであるが、今までに観測された最大波高は、3m程度である。今までの波浪条件下では、水平変位は鉛直変位と比較して、いずれの堤体でも大きい。また、防波堤の前面と後面とで鉛直変位波形間の位相差を見ると、ほぼ同位相であり、顕著なロッキング現象は生じていなかった。各堤体の最大波高と最大水平変位の関係を図3に示す。同一の波浪条件下に対して、堤体の種類による最大水平変位量に有意な差はなかった。記録番号No.2の場合のT3の堤体での水平方向の変位波形のパワースペクトルを図4に示す。また、その時の波高の時系列データのパワースペクトルを図5に示す。両者の場合とも、0.125Hzの振動成分が卓越している。また、

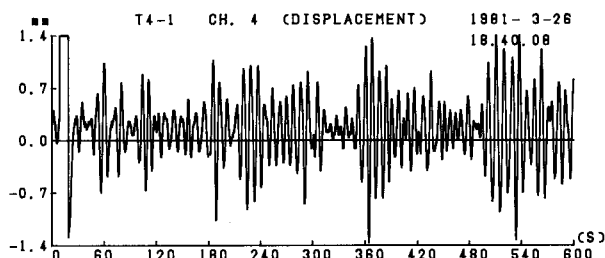


図2 堤体水平変位の計測結果の一例

表1 波高と変位の計測結果

U: 最大水平変位
V: 最大鉛直変位

No	年月日	時	H _{1/3} (m)	T 2			T 3			T 4		
				H _{max}	U _{max}	V _{max}	H _{max}	U	V	H _{max}	U	V
1	56. 3. 8	18	1.08	1.7	0.8	0.1	1.9	0.9	0.0	1.7	0.3	0.0
2	56. 3.15	16	2.49	3.5	3.1	0.5	3.1	2.3	0.2	3.7	2.4	0.3
3	56. 3.18	10	0.68	1.2	0.3	0.0	1.1	0.9	0.1	1.1	0.2	0.1
4	56. 3.25	14	2.32	3.4	1.0	0.3	3.7	1.3	0.2	3.2	0.7	0.2
5	56. 3.26	16	1.62	2.8	1.2	0.2	2.5	1.7	0.1	3.3	1.7	0.1
6	56. 3.26	18	1.77	2.9	1.6	0.2	2.2	1.6	0.2	2.2	1.6	0.1
7	56.10. 9	22	2.10	2.4	1.8	0.2	2.7	0.4	0.1	2.6	1.3	0.1
8	57. 4. 2	18	2.91	0.4	0.1	0.1	0.4	0.3	0.1	0.4	0.2	0.1

うねり等の長周期成分が堤体の振動に及ぼす影響は少ないと言える。これらの傾向は、他の堤体の場合

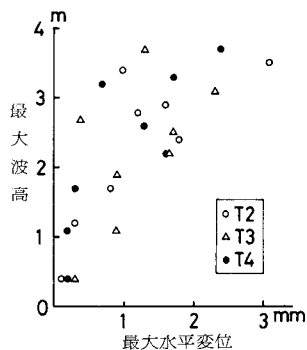


図3 最大波高と最大水平変位の関係

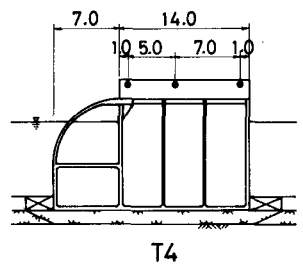
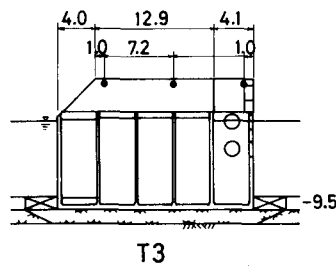
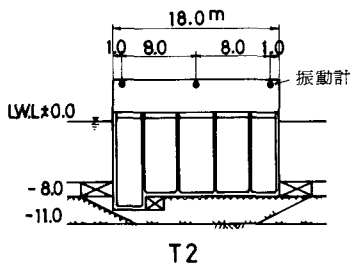


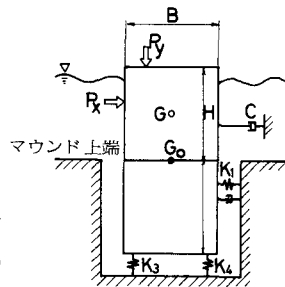
図1 実験堤の標準断面図

た。

4. 動的応答計算 波浪作用時の堤体の動揺を推定するための動的応答計算を実施した。堤体を剛体に、堤体とマウンド（基礎）をバネで連結した力学モデルを作成した。実際の堤体の振動が、堤体下部の点を中心としたロッキング運動を示すことから、図6に示すような一種の鏡像モデルとした。この力学モデルの基本方程式は、次式で示される。

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = -\{P\}$$

ここで、 $[M]$ は、付加質量を考慮した堤体の質量、 $[C]$ は、海水およびマウンドによる減衰、 $[K]$ は、せん断バネ、圧縮バネで構成される剛性を表すマトリクスである。 $\{P\}$ は、外力を表すベクトルで、波浪による水平力、揚圧力や波力の鉛直成分等の時系列データである。水平方向のバネ定数 (K_1) は、 $K_1 = \frac{1}{4} R_0 A$ 、鉛直方向のバネ定数 $(K_3$ 及び $K_4)$ は、 $K_{3,4} = \frac{1}{24} R_0 B^2 A$ とした。ここに、



B 堤体幅
H 堤体高
G 重心
G₀ ロッキング中心
K₁ せん断バネ
K_{3,4} 圧縮バネ
C 減衰
R_{x,y} 波圧

図6 連成バネ系の力学モデル

R_0 は、マウンドの鉛直方向の地盤反力係数、Aは、堤体の底面積、Bは、堤体幅である。また、鉛直方向のバネは、圧縮力には抵抗するが、引張力には抵抗しないとした。この力学モデルを用いて、記録番号No.2の場合を解析してみる。外力とする波の最大波高を3.7m、マウンドの鉛直方向の地盤反力係数を2000 t/m²に設定してT4の実験堤を対象に数値計算を実施した。計算結果では、最大水平変位が約3mm程度となり、実測された変位量とほぼ一致した。また、ロッキング運動もほとんど計算されず、実際の現象をうまく説明できた。

5. まとめ 今回行った観測記録の解析及び動的応答計算により以下のことが判明した。

- 1) 今回の波浪条件では、各堤体とも鉛直方向の変位は小さく、水平方向の変位が大きく、ロッキング運動は顕著でなかった。また、水平方向変位波形の卓越振動数は、波浪の卓越振動数とほぼ一致した。
- 2) 動的応答計算に用いた力学モデルは、観測された堤体の振動性状を良く説明できた。

6. あとがき 測定計器の設置及び観測は、運輸省第一港湾建設局が実施した。貴重なデータを提供して下さいました関係者各位に感謝致します。今後とも更に解析を行い、当初の目的にかなった新しい型式の防波堤建設の推進を図る所存である。

- <参考文献> 1) 横田, 清宮: 曲面スリットソー式防波堤の振動と部材応力, 第37回年次講演会要集, 昭57.10.
2) 合田: 衝撃砕波圧を受ける混成防波堤の挙動に関する考察, 港湾技術研究所報告 Vol.12, No.3, 昭48.9
3) 林, 今井: 砕波の圧力と堤体の滑動, 第11回海岸工学講演会講演集, 昭49.