

## 津波作用時の混成防波堤の挙動

室蘭工業大学大学院 学生員 木村 祥明  
 室蘭工業大学工学部 正員 近藤 俣郎

### 1. はじめに

わが国は、環太平洋変動帯上に位置し地震、火山活動などが活発で災害の発生しやすい状況にある。特にここ数年間は、北海道周辺を震源とする巨大地震の頻発や、九州地方の火山活動の活発化している。これらによる自然災害で市民生活の脆さが顕になった。ここで地震について考えてみると、災害の形態としては、地震による直接被害、地盤の液状化による被害、津波による被害などが考えられる。このうち津波は、地震発生後沿岸地域や河川の河口付近を襲来し災害をより複雑なものとするため、特に注意が必要と思われる。1993年7月に発生した北海道南西沖地震は近年稀に見る規模の津波を伴った地震で、被災者数や被災規模など、過去の災害と比較しても最大級の被害だった。この地震では、地震による直接被害も大きかったが、奥尻島や松山地方沿岸で民家が流失したり港湾・構造物が破壊されたりするなど津波による被害が非常に大きかった。

港湾構造物は津波被害を軽減するのにかなり役立つことが過去の研究<sup>1)</sup>で示されているが、津波を設計外力としているものは津波防波堤や防潮堤などごく一部のものに限られている。そこで本研究では、港湾構造物のうち津波を設計外力としていない混成防波堤に、津波が作用したときの被災挙動を模型実験によって明らかにし、今後の防災対策に資することを目的としている。

### 2. 基礎的考察

わが国では、マウンド上に直立防波堤を据えた混成防波堤を用いることが港湾の大型化に伴い増えている。このような防波堤に作用する津波の大部分は水深の影響で碎波し段波津波となる。またこの段波津波が堤体に対して最も大きい破壊力をおよぼす。しかしながら設計波力に津波を考慮しているものは非常に少ない。そこで本研究では模型に入射させる実験波を段波津波とし、その被災挙動を調べた。

次に堤体の被災量  $\Delta$  (無次元とする) についての影響要因を調べるため、簡単な次元解析を行った。

$$\Delta = F \left\{ \frac{W'}{\rho g a d}, \frac{P_h}{\rho g a d}, \frac{P_v}{\rho g a B}, \frac{l_f}{a}, \frac{l_b}{a}, \frac{d}{a}, \frac{h}{a}, T \sqrt{\frac{a}{g}}, f, \dots \right\}$$

ここで  $W'$ : 水中重量,  $P_h$ : 水平波力,  $P_v$ : 揚圧力,  $a$ : 津波の振幅,  $T$ : 津波の周期,  $f$ : 摩擦係数である。また図-1にその他の変数を示す。 $\Delta$  は主に安全率によって左右されると思われる。ここで右辺  $F$  の第1項はほぼ安全率に近いものである。そこで図-2に縦軸に安全率、横軸  $h/a$ 、パラメータとして直立部水深  $d$  と水深  $h$  をとった図を示す。安全率は滑動に対する安全率で波力の算定には谷本<sup>4)</sup>の方法を用いた。この図から安全率は  $h/a$  に比例しかつ直立部水深  $d$  のほうが水深  $h$  より影響を受けることがわかる。

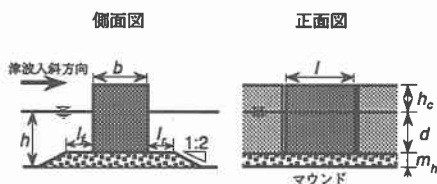


図-1 諸変数

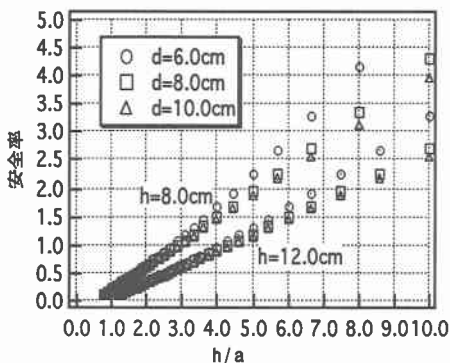


図-2 安全率に影響する変数

### 3. 実験方法

#### (1) 実験模型

実験模型は、北海道南西沖地震津波において堤体の滑動が顕著であった奥尻港の北防波堤を考慮して設計した。奥尻港の北防波堤は震源に対し島の背後に位置する奥尻港の港内静穏度向上のため最近建設されたもので、地震発生当時これに続く護岸が建設中であった。この防波堤のうち特に滑動が顕著であった中央部の防波堤を参考に高さ10.0m (25.0cm)、幅8.0m (20.0cm)、長さ10.0m (25.0cm)、マウンド高2.0m (5.0cm)、設置水深8.0m (20.0cm)の防波堤を仮定し、縮尺率1/40の防波堤模型を製作した。ただし、マウンドと設置水深は実験によって変化させた。その他、実験条件に重量変化を入れたため、ケーソン模型内に10.0cm x 10.0cm x 20.0cmの空隙(図-3)を作り模型重量を実際より軽くしている。

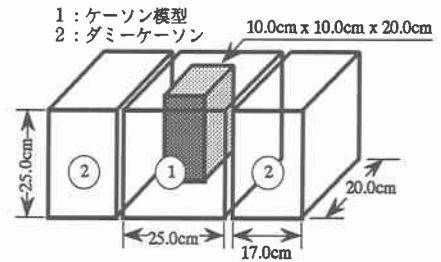


図-3 ケーソン模型

#### (2) 実験装置

実験には、長さ15.0m、幅0.6m、深さ0.5mの鋼製二次元開水路を使用した。この開水路は両側面がガラス張り、底面が鋼製ペンキ塗装、一端に水深調節用ゲートがある。模型は水路後端から3.5mの位置に堤体前面がくるように設置した。段波津波は、堤体前面から5.55mに造波用ゲートを設け、その前後の水深をポイントゲージで測定し所定の水位差に達したところでゲートを急開し発生させた。ゲートは木製で、手動引き上げ式である。実験ではこの水位差がほぼ段波津波の振幅に相当する。また、波形の確認用に容量式波高計を6本、水槽横にビデオカメラを設置している。図-4に実験波形を示す。

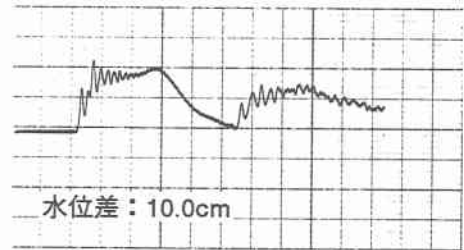


図-4 段波津波波形

### 3. 実験結果および考察

各実験は、水位差7.0cmから16.0cmまで小さい水位差から1.0cm間隔で10回ずつ造波し、そのときの滑動距離を測った。ここで滑動距離20.0cm以上の場合、目的としている現象と異なる現象を捕えることになる、そこでこの場合を大破と呼び回数のみ計測した。

#### (1) 基本実験(図-5a)

実験の基本的傾向をつかむため、堤体の条件を標準状態(水深 $h=20.0\text{cm}$ 、マウンド高 $mh=5.0\text{cm}$ )として堤体被災挙動を調べた。全体の傾向としては水位差が大きくなるほど滑動距離が伸びている。また水位差8.0cm以下で堤体滑動は発生せず、14.0cm以上では全て大破した。その間は両方の限界に近いほど分布がかたまり、中間は分散する傾向を示した。中間付近で分散したのはマウンドの整形、ケーソン模型の設置を含む全ての作業が手作業であるため生じたと考えられる。

#### (2) 水深実験(図-5)

水深変化による堤体被災挙動の変化を調べるため、マウンド高を一定にして水深を20.0cm(図-5a)、22.0cm(図-5b)、24.0cm(図-5d)と変化させた。これより水深が深くなるにつれ堤体が滑動しやすくなるのがわかる。これは水深が深くなるにつれ前面波圧や浮力の増加の影響をより強く受けるためと思われるが、よりはっきりと調べるため標準状態以上の浮力に相当する重量の錘を載せ、 $W'$ を標準状態と同一にした(図-5c, e)。その結果、錘を載せたことによって滑動しづらくなっているのがわかる。このことから浮力は堤体の安定性に対し大きな影響を及ぼしていると考えられる。またこの2つの図は、ほぼ同一分布を示していることから前面波圧の変化による影響がかなり小さいと思われる。

**(3) 堤体重量実験 (図-6)**

堤体重量を0.0kg (図-6 a) , +1.5kg (図-6 b) , +3.0kg (図-6 c) と変化させた。ここで+3.0kgの場合のみ実験回数が各5回となっている。同じ水位差では重量を増加するにしたがって滑動距離が短くなる。これは滑動のために必要な波力が大きくなるためと思われる。しかしながら+3.0kgの場合に水位差12.0cmで大破している。また変動量もかなり大きい。これは鉛直荷重の増加に対しマウンドの支持力が足りず一度崩壊すると、水路底面まで崩壊してしまうためと思われる。

**(4) マウンド実験 (図-7)**

直立部水深を一定にして水深を20.0cm (図-7 a) , 22.0cm (図-7 b) , 24.0cm (図-7 c) と変化させた。マウンド高が高くなるにつれ滑動量、大破回数ともに多くなった。これはマウンドの安定性が低減

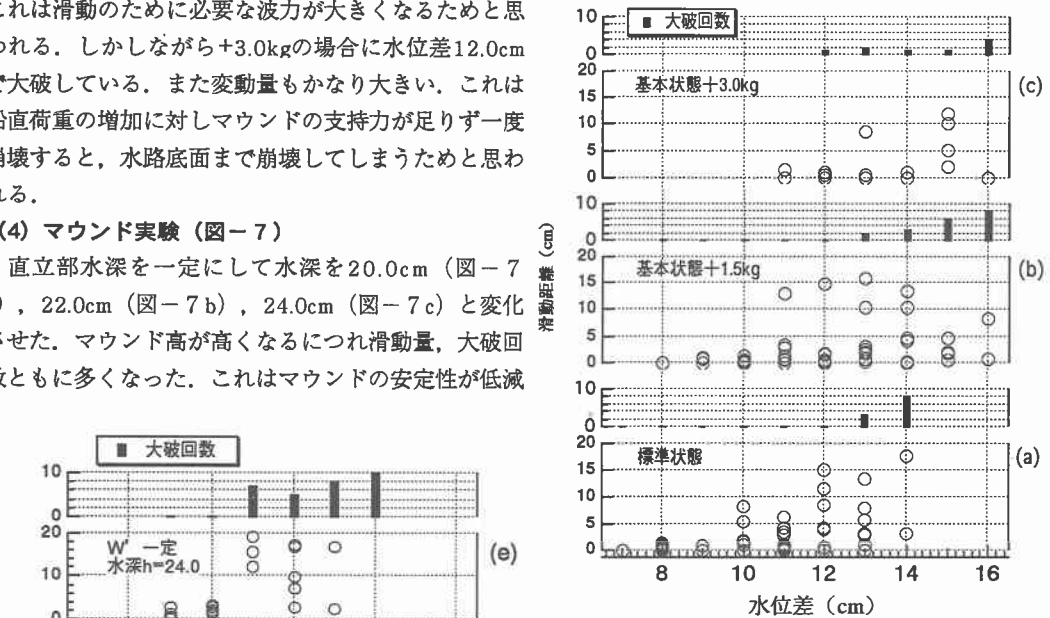


図-6 堤体重量実験

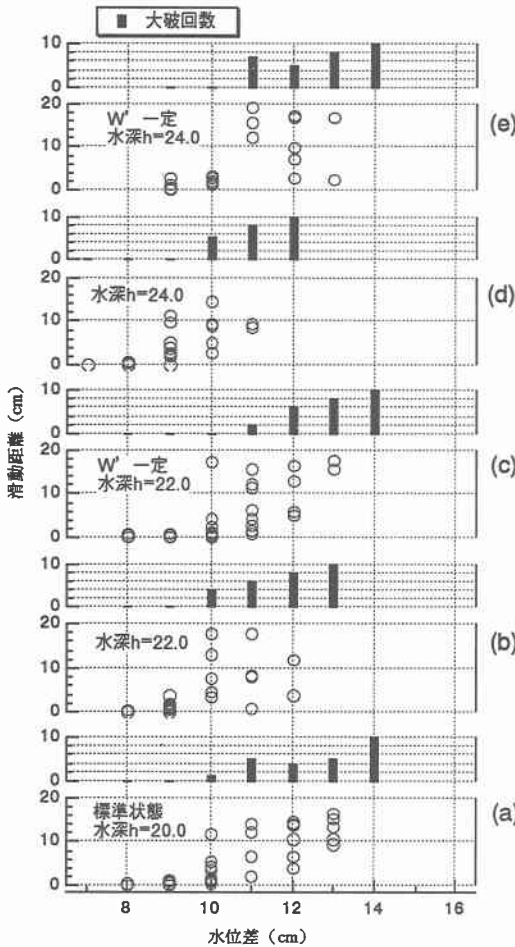


図-5 基本実験、水深実験

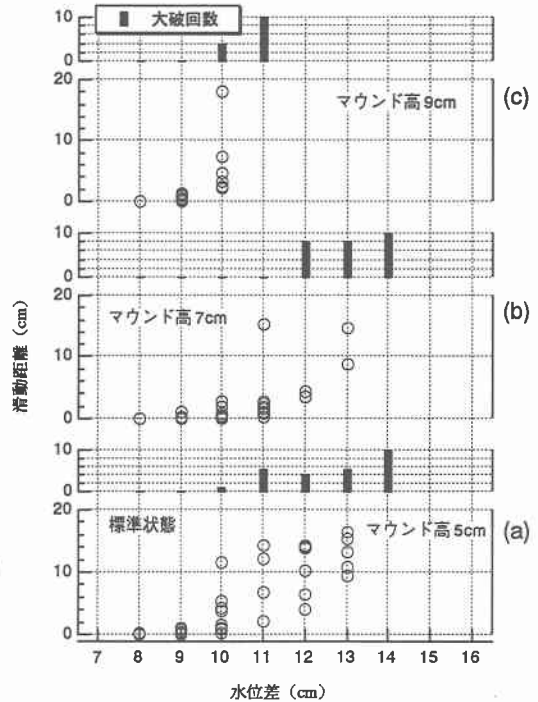


図-7 マウンド実験 a

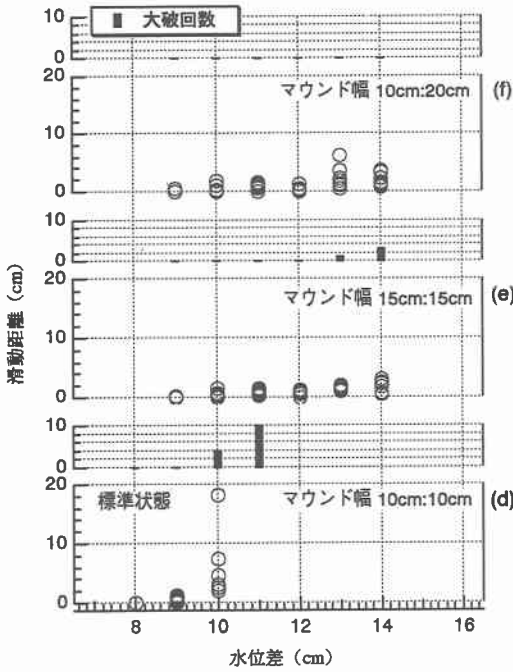


図-7 マウンド実験 b

(5) 堤体沈下制御実験 (図-8)

堤体後端のマウンド中に堤体を支持する棒を入れ堤体の沈下を抑制 (図-8) した。この場合他のどの実験と比べても滑動量が少なく、かつ大破も実験した範囲内では発生しなかった。この事はマウンドの強度というものが防波堤の変動量  $\Delta$  に対し支配的であることを意味する。

5. おわりに

実験の結果、基礎的考察で余り考慮されなかったマウンドによる影響が顕著であることが判明した。特に堤体沈下を抑制したときの安定性は特筆に値するものと思われる。この結果を考慮するとマウンド内に杭などのケーソン支持構造物を使用すると津波やその他の外力に対する安定性が簡単に得られると思われる。

その他、マウンドを港内側に伸ばした場合も、安定性が得られた。この結果は既に建設されている混成防波堤の津波に対する強化がかなり簡単な方法で出来ることを示している。またこの結果は裏込め土なども津波に対し有効な手段であることを意味する。

逆に単純に堤体重量を増加させることはマウンドの支持力よりあまり望ましい方法ではないこともわかった。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、(株)北日本港湾コンサルタントと(株)アルファ水工コンサルタンツ関係各位に多大なるご協力を頂いた。また、実験には本学海岸研究室の4年目学生箱崎篤志君の協力を得た。記して謝意を表わします。

参考文献

- 1) 谷本他 (1983) : 1983年日本海中部地震津波の実態と二、三の考察, 港湾技研資料, 470

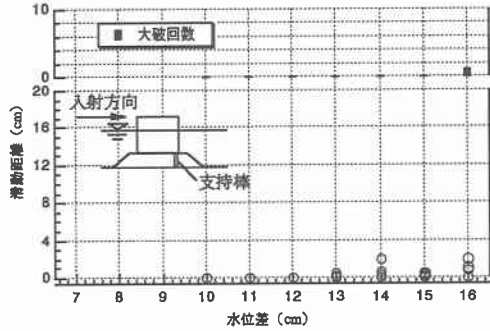


図-8 堤体沈下制御実験

し、堤体が滑動し始めると大きく崩れてしまうことが原因と思われる。また滑動限界の水位差がマウンド高に影響されていないのは、喫水深が一定で前面波圧が変わらないためと考えられる。

マウンド幅を港内側に10.0cm (図-7 f), 港内港外それぞれ5.0cm (図-7 e) 伸ばした。マウンド幅を増加させたときの方が堤体の安定性が向上している。これは堤体の港内側が沈下しながら滑動するのに、より多くの方が必要となったためと考えられる。