

防波堤に作用する波力・波圧の構造物特性に関する研究

水圏防災工学研究室 木津俊輔

指導教員 細山田得三

1. 研究目的

防波堤は、外洋から打ち寄せる波を防ぎ、港湾の内部を安静に保つことや、津波や高潮の被害から陸域を守るために設置されている。防波堤の設計は波の作用力を的確に算定する必要があり、現在は合田によって提案された合田式が設計波力計算に用いられている。

1)2)

本研究ではVOF法による数値波動水路プログラムCADMAS-SURFを用いて様々な条件で数値解析を行い、合田式と比較して検証することを目的とする。また、CADMASに対して他の要素を加えた際に合田式からどのように値が変化するか、CADMASでどのように表現し、評価できるのかを調べる。

2. 解析条件

(1) 合田式

図1に合田式の略図を示す。³⁾与える条件は $h=12\text{m}$, $h'=8\text{m}$, $d=6.5\text{m}$, $h_c=2.0, 3.0, 4.0\text{m}$ の3パターンの混成防波堤に、通過波検定で得られた最大波高 H_{max} 、周期 $T=11\text{s}$ の波が $\theta=0^\circ$ で入射するものとする。図に対して左側から波が押し寄せる設定とし、水深面での波圧 P_1 、堤防の底面 P_3 、堤防の天端地における波圧 P_4 、を求める。

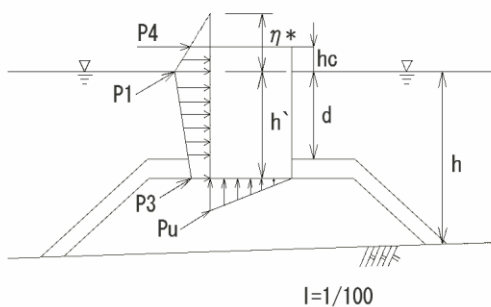


図1 合田式の略図

(2) 防波堤モデル

本実験では直立堤の水面から天端までの距離を変化させた際の波圧の変化の比較と、ケーソンの前面に消波ブロックを設置し、波高の変化や衝撃砕波圧による波高の変化を調べる。直立堤防モデルと消波ブロックを設置した概要図を図2、3に示す。

(3) CADMAS-SURF

与えられる条件は(1)の合田式と同じとする。防波堤に津波が作用すると、港内外水位差が発生することによってマウンド内に浸透流が発生するため、マウンド部はPOROUS設定とする。また、入射波は規則波とする。

(4) 通過波検定

防波堤設置位置における最大波高 H_{max} を求めるために行う。CADMAS内で地形データと波高計の設定を行い、沖波を発生させる。堤防設置位置は700m地点とし、波高計より得られた水位変動のデータをグラフ化し、最大波高 H_{max} を求める。本研究では、1.0m~6.0mの6つのケースで通過波検定を行った。

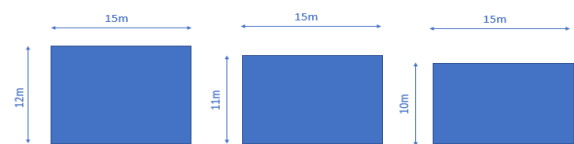


図2 直立堤防モデル

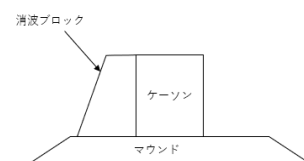


図3 防波堤概要図

(5) 消波ブロックを設置するケース

与える条件は(1)で示した条件を基本とし、通過波検定で得られる最大波高 H_{max} を用いて計算を行う。ケーソンの前面に消波ブロックを設置し、衝撃砕波圧について求める。この時、消波ブロックの高さ位置を8~16m内で4mずつ変えて解析を行い、波高の変化や衝撃砕波圧による波圧の変化を求める。また、消波ブロックの空隙率は50%とし、POROUS設定とする。

4)5)

3. 解析結果

(1) 通過波検定

得られた水位データから水位の時系列のグラフを作製し、最大波高 H_{max} を求めた。一例として、沖波波高1.0mの時のグラフを図4に、結果を表1に示す。表1より、沖波波高3.0~6.0mの範囲では最大波高 H_{max} が減少していることが分かった。ここで求めた H_{max} を用いて、合田式の計算を行う。

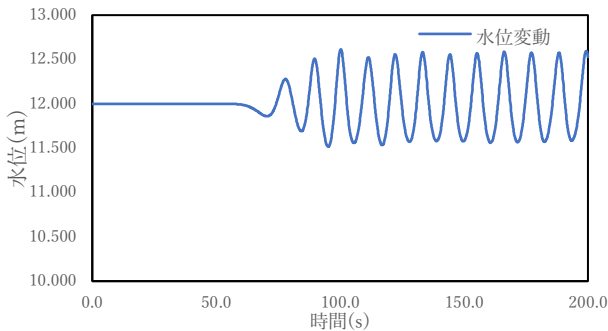


図4 通過波検定

表1 通過波検定結果

	沖波波高(m)	最大波高 H_{max} (m)
ケース1	1.0	1.0
ケース2	2.0	2.0
ケース3	3.0	2.8
ケース4	4.0	3.6
ケース5	5.0	4.2
ケース6	6.0	2.4

(2) 合田式

合田式より求めた水深面での波圧 p_1 、堤防の底面

p_3 、堤防の天端地における波圧 p_4 を最大波高 H_{max} ごとに一例を表2に示す。表2から、水深面での波圧 p_1 、堤防の底面 p_3 は変化せず、水面から天端までの距離が短くなることによって堤防の天端地における波圧 p_4 が変化することが分かる。

表2 合田式による波圧の比較

項目	p_1 (kPa)	p_3 (kPa)	p_4 (kPa)
天端2m	33.71	29.39	21.23
天端3m	33.71	29.39	14.98
天端4m	33.71	29.39	8.74

(3) CADMAS-SURFによる波圧の時系列変化

堤防の前面に波圧計を設置し、得られた波圧データから波圧の時系列グラフを作製した。一例を図5に示す。図5より、規則波で解析を回しているため波圧の変動は概ね同じ形になっていることが分かる。また、堤防の底面 p_3 は静水圧を引く必要がある。

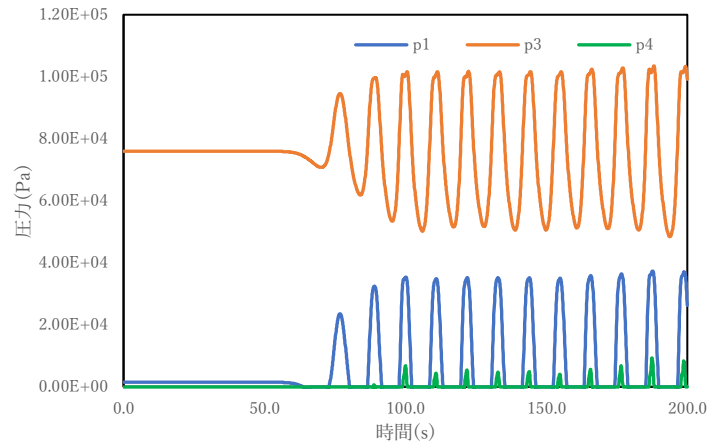


図5 波圧の時系列

(4) 合田式とCADMAS-SURFの比較

合田式とCADMAS-SURFより求めた水深面での波圧 p_1 、堤防の底面 p_3 、堤防の天端地における波圧 p_4 の比較を図6に示す。図6より、堤防の底面 p_3 では概ね良いデータが得られたが、水深面での波圧 p_1 はCADMAS寄り、堤防の天端地における波圧 p_4 は合田式寄りの結果となった。

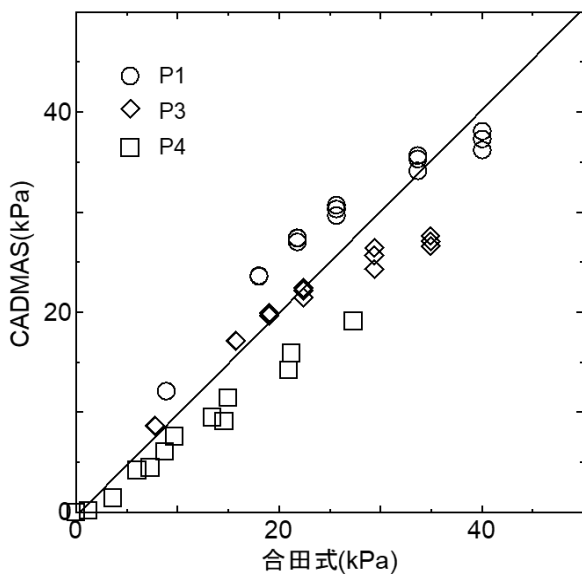


図6 波圧比較

(5) 消波ブロック設置時の波高と波圧の変化

消波ブロック設置時の波高の変化を図7, 堤防の天端地における波圧 p_4 を図8に示す. 図7, 8より, 消波ブロックの高さ位置を16mとした際は波高, 波圧ともに減少し, 波圧がほとんど発生していなかったことが分かる. 一方で, ケーソンのみの場合と消波ブロックの高さ位置8mと12mの際を比較すると, 消波ブロックを設置した際の方が大きくなっていることが分かる. また, 消波ブロックの高さ位置12mのグラフは他と比較して曲線が乱れていることが分かる.

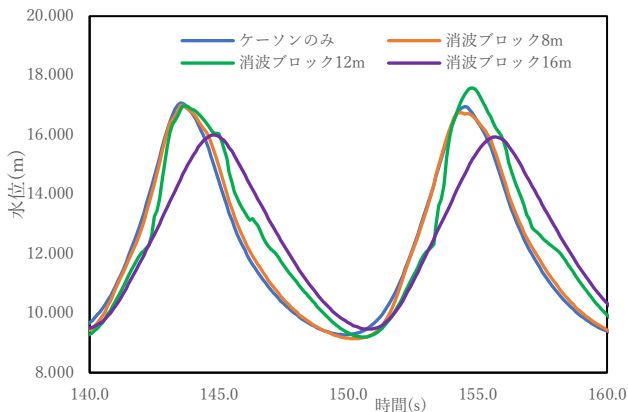


図7 波高比較

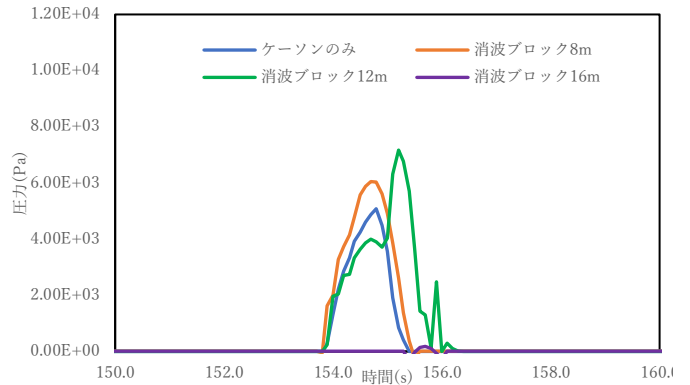


図8 堤防の天端地における波圧の比較

4. まとめ

本研究で行った通過波検定を比較すると, 沖波波高に対して最大波高 H_{max} が小さくなっている領域があることから, 波高が大きくなるにつれて, 減衰が働いているのではないかと考えることが出来る. また, 沖波波高6.0mの通過波検定は最大波高 H_{max} が2.4mと沖波波高に対して非常に小さい値となっていることから, 沖波が碎波してしまったことで最大波高 H_{max} が小さくなってしまったのではないかと考えられる.

解析で得られた表2より, 水深面での波圧 p_1 , 堤防の底面 p_3 はどの条件でもそれぞれ同じ値が得られた. 一方, 堤防の天端地における波圧 p_4 は天端が小さくなるほど波圧が大きくなっているため, 天端の大きさによって波の作用状況, 波圧ともに変化することが把握できた.

図6の波圧比較より, 水深面での波圧 p_1 , 堤防の天端地における波圧 p_4 は理論値に近い結果が得られなかった. それぞれの波圧が大きくなると合田式寄りになることから, 合田式が安全気味に設計計算されている可能性がある.

図7で消波ブロックの高さ位置16mは波高が減少しており, 消波ブロックが作用していることが分かる. 一方で高さ位置8mの際はケーソンのみの場合と比較してほぼ変化していないため, 消波に対して消波ブロックの効力は高さに関係すると考えることが

出来る。また、消波ブロックの高さ位置が 8m, 12m の際、堤防の天端地の波圧 P_4 がケーソンのみの場合よりも大きくなった。このことから、消波ブロックの被覆度合いによって波圧は変化し、今回のように逆に大きくなることが分かった。

最後に、天端の高さを変更し、波の条件を増やしたことによって、より詳しい合田式と CADMAS-SURF の比較を行うことが出来た。しかし、得られた要素に不十分な箇所があったため、再検討を行う必要がある。

本研究では、規則波で解析を行ったが、実際は不規則波であったり、津波が発生する事例が存在するため、不規則波や津波のケースで解析を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 谷本勝利, 本浩司, 石塚修次, 合田良美: 防波堤の設計波力算定式についての検討
第 23 回海岸工学講演会論文集, p11-16,1976
https://www.jstage.jst.go.jp/article/proce1970/23/0/23_0_11/_pdf
- 2) 本浩司, 南兼一郎, 佐藤秀樹: 防波堤の設計波力算定式についての検討
港湾技研資料, No.270,1977
<https://www.pari.go.jp/search-pdf/no0270.pdf>
- 3) 土木系大学講義シリーズ 海岸工学
コロナ社 服部昌太郎著
- 4) 高垣清和, Ahn Sungmo, Hochan Lee, 辻本剛三, 和田明浩, 園田泰敏, 川谷親稔, 園田勝敏: 新型 1 層積消波ブロックの研究開発
土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol 72 No.2 I
_889- I_894, 2016
https://www.jstage.jst.go.jp/article/kaigan/72/2/72_I_889/_pdf/-char/ja
- 5) 株式会社 不動テトラ ホームページ: テトラポッド パンフレット
https://www.fudotetra.co.jp/wp-content/uploads/2019/09/tetrapod_fig07_R.pdf