

直立浮上式防波堤の高潮防御性能の検討

Protection Performance against Storm surge due to Vertical Telescopic Breakwater

中央大学大学院理工学研究科都市人間環境学専攻17N3100013C 河合 航輝
Department of Civil Engineering, Chuo University, Koki KAWAI

1. はじめに

湾口部に設置する船舶航行の障害とならないような港湾防護施設として、直立浮上式防波堤¹⁾やフラップゲート²⁾が注目されている。これらの防波堤には、狭小な隙間が生じる構造となっているが、このような隙間を有した防波堤の適切な計算手法は確立されていない。そこで本研究では、水路模型実験と数値計算を用いて、直立浮上式防波堤 (図-1) の計算手法を提案し、その効果を体系化することを目的とする。

2. 断面実験と数値計算の比較

(1) 断面実験

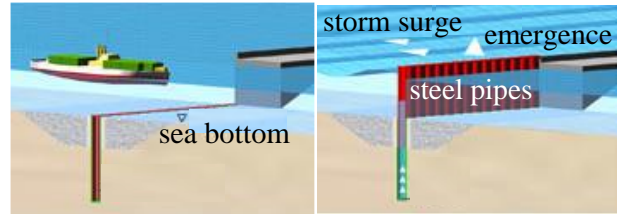
断面実験は、中央大学の長さ10m、幅2.2m、高さ2.0mの断面水槽 (図-2) を使用した。長周期の高潮を再現するため、同じ流量の水を流入・流出させ、還流水槽として用いた。外径216mmのVP塩ビ管を直立浮上式防波堤の模型として設置した。また、4mの長さの水路幅調節板を利用し、水路幅を調節できるようにしている。また、実験ケースを表-1、2に示す。初期水深はいずれのケースも50cmである。計測器は、波高計を模型の前後に設置しており、水位差がどれほどつくか計測した。また、一部のケースでは、図-3のような回転防止材を模型に設置した。回転防止材は、波や風などの外力により上部鋼管が回転することを防ぐための突起物である。

a) 実験結果

図-4は、防波堤周りの流況を示す。また、流量と水位差の関係について図-5にまとめた。開口率が同じであっても、回転防止材有りのケースの方が、回転防止材なしのケースよりも水位差がつくことが分かった。

(2) 実験再現計算

本節では、実験と数値計算の結果を比較することにより、数値計算手法の妥当性を図ることを目的とする。また、数値計算において、流体の粘性係数は大きく解析結果に影響する。³⁾そこで、粘性係数にも注目することとする。



(a) 平常時 (b) 高潮襲来時

図-1 直立浮上式防波堤について

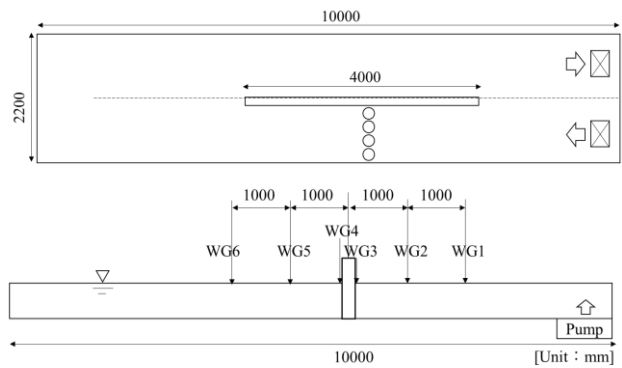


図-2 断面水槽

(上) 平面図 (下) 断面図

表-1 実験ケース (回転防止材なし)

| 開口率 | 外径 | 隙間幅 |
|-----|--------|-------|
| 5% | 216mm | 12mm |
| 7% | 216mm | 16mm |
| 10% | 216 mm | 24 mm |
| 12% | 216 mm | 30 mm |
| 15% | 216 mm | 38 mm |
| 20% | 216 mm | 54 mm |

表-2 実験ケース (回転防止材あり)

| 開口率 | 外径 | 隙間幅 | 回転防止材の幅 |
|-----|-------|------|---------|
| 5% | 216mm | 12mm | 4mm |
| 10% | 216mm | 16mm | 4mm |
| 15% | 216mm | 24mm | 4mm |

a) 計算条件

水圧近似を使用した準三次元モデルのSTOC-ML⁴⁾を用い

る。図-6のように、長さ8.12m、幅0.232m、水深0.5mの水路を用い、水路中央部に開口率7%の直立浮上式防波堤を設置して検討する。境界条件は、-X、+X境界より同じ流入・流出量を与えて、実験と同じよう還流流れを再現した。

b) 直立浮上式防波堤のモデル化

直立浮上式防波堤は、複数の杭管が並んでいる構造であり、下部鋼管の厚みがあるため、管と管の間には隙間（開口部）が生じる構造となる。そこで、浮上式防波堤をまとめて面透過率として与え、空隙率とともに管と管の間が生じる隙間の効果を表現することとした。⁹⁾さらに、緩衝領域として前後1セルに面透過率を半分にしたセルを配置することにした。

c) 計算結果

以下の(3)にて、実験結果と比較して示す。

(3) 断面実験と数値計算の比較

実験と数値計算の結果を比較する。図-7に、流量と水位差の関係を示す。粘性係数 $\mu = 20 \sim 25$ [Pa s] の時、実験値とよく一致することが分かり、本手法の妥当性を示すことが出来た。

3. 港内水位の概算評価手法の提案

本章では、港湾を模擬した矩形水路を用いて直立浮上式防波堤のパラメータスタディを行い、高潮に対する効果の概算評価手法を提案する。

(1) 計算条件

STOC-MLを用いて、図-8のような、長さ10.0km、幅100m、水深10mの水路を用い、開口率7%の直立浮上式防波堤を設置して検討した。港内面積は、500000m²、200000m²としたケース、直立浮上式防波堤の設置幅は、100m、40mとしたケースがある。計測位置は、反射波の影響が最も大きいであろう水路端のセルとしている。計算ケースの詳細を表-4に示す。

(2) 計算結果

図-9に、周期一時間、港内面積500000m²の水位データを代表ケースとして示す。

(3) 概算評価手法の提案

直立浮上式防波堤の効果の概算評価手法を提案し、計算結果との比較を行う。

a) 流入量 Q_1 の算出

直立浮上式防波堤前後に水位差がついた際に生じる防波堤の隙間を通過する流速は式(1)で表される。⁹⁾ここでは水位

差の代表値を式(2)のように波高の2倍とした。これより流速は式(3)となり、流入量は、式(4)となる。

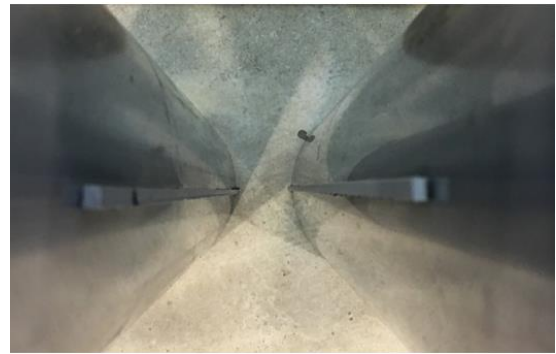


図-3 回転防止材について



図-4 流況

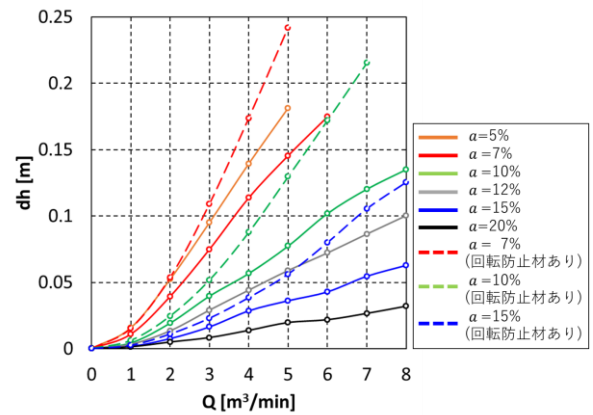


図-5 流量と水位差の関係



図-6 計算領域

(上) 平面図 (下) 断面図

$$u = \sqrt{2g\Delta h} \quad (1)$$

$$\Delta h = 2H \quad (2)$$

$$u = \sqrt{2g(2H)} \quad (3)$$

$$Q_1 = \alpha A_1 2\sqrt{gH} \frac{T}{2} \quad (4)$$

α は開口率, H は波高, T は周期, A_1 は流入面積(直立浮上式防波堤の幅と水深の積), Q_1 は流入量である.

b) 流入量 Q_2 の算出

数値計算によって得た最大水位を用いて流入量を算出する. 港内で一様に水位が上昇すると仮定すると, 式(5)のように, 港内面積に水位上昇量を乗ずることによって算出できる.

$$Q_2 = A_2 \eta \quad (5)$$

ただし, A_2 は港内面積, Q_2 は流入量である.

c) 無次元パラメータの設定

流量を表す式(4)と式(5)とがオーダー的に一致すると仮定すれば, 式(7)の無次元式が設定できる.

$$Q_1 = Q_2 \quad (6)$$

$$\frac{\eta}{H} = \alpha \frac{A_1}{A_2} \sqrt{gH} \frac{T}{H} \quad (7)$$

d) 結果の整理

図-10は, 透過率についての解析値と理論値の相関を示す. 横軸に式の理論値からの無次元指標, 縦軸に最大水位の比をとり整理したデータのプロットは1対1対応しており, 式(7)を用いて水位低減効果の評価ができることがわかる.

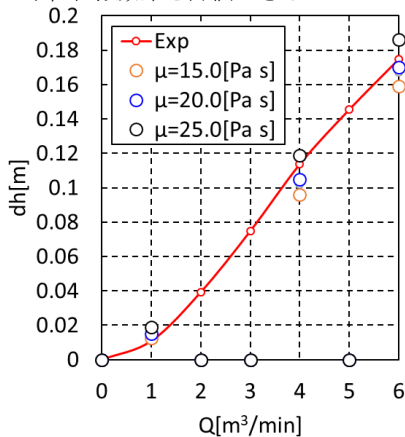


図-7 実験値と計算値の比較

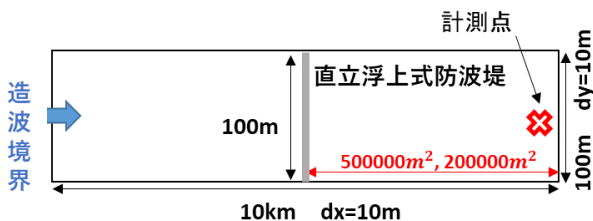


図-8 計算領域

4. 模擬港湾における高潮制御効果に関する検討

本章では, 模擬港湾において直立浮上式防波堤の効果どれほどあるのか検討した.

(1) 計算条件

図-11のように, F港, S港, H港にそれぞれ開口率7%の直立浮上式防波堤を設置し, 効果を検証した. それぞれ水深は, 一定であり, F港は10.0m, S港は10.0m, H港は5.0mである. 計算条件は, 表-5に示す.

(2) 計算結果

図-12に, それぞれのケースにおける, 直立浮上式防波堤を設置したケースとしていないケースの水位データを示す.

さらに, 図-13で示した概算評価手法が模擬港湾においても有効であるか検討した. 概ね一対一の結果となり, 実港湾においてもこの手法が有効であることが分かった.

表-4 計算条件

| 周期 [hour] | 開口率 [%] | 港内面積 [m²] | 防波堤の幅 [m] |
|-----------|----------------|-----------|-----------|
| 1 | 1-5,7,10,100 | 500000 | 100 |
| 1 | 1-3 | 200000 | 100 |
| 2 | 1-3, 100 | 500000 | 100 |
| 2 | 1 | 200000 | 100 |
| 2 | 1,3,5,7,10,100 | 500000 | 40 |
| 2 | 1,3,100 | 200000 | 40 |

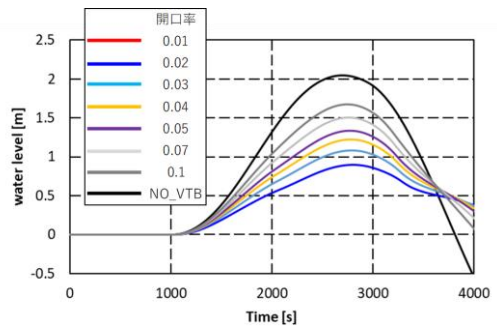


図-9 水位データ (T=3600s)

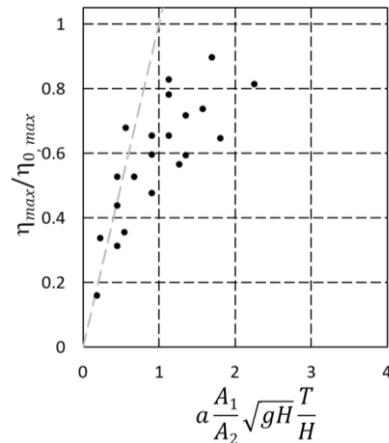


図-10 概算評価式の適用

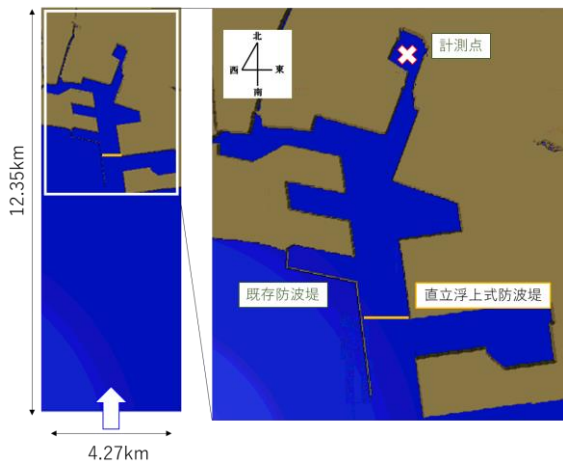


図-11 F港

表-5 計算条件

| 項目 | 詳細 |
|-----------|---|
| 格子サイズ [m] | 10.0 |
| 造波条件 | $\eta(t) = \frac{H}{2} \left\{ 1 - \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right) \right\}$ |
| 波高 [m] | 1 |
| 周期 [s] | 800, 1800, 3600 |
| 開口率 [%] | 7 |

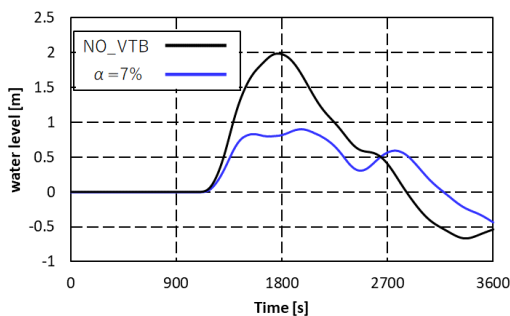


図-12 F港の水位データ (T=800s)

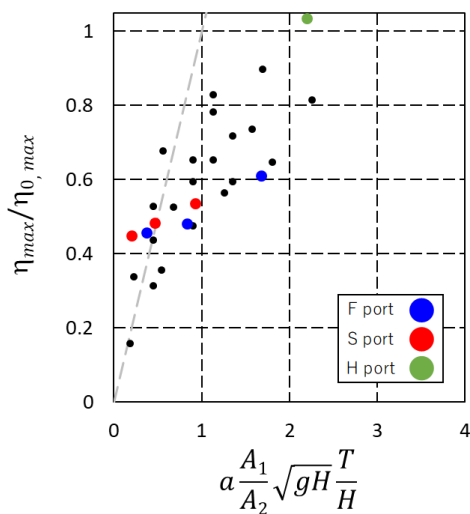


図-13 概算評価式の適用

5. まとめ

下記に本検討の結論と課題を示す。

- (1)回転防止材の設置により、開口率が同じであっても回転防止材有りのケースの方が、効果が発揮されることが明らかとなった。この効果のメカニズムは、今後の課題である。
- (2)格子サイズ $dx=0.232m$ の場合には、粘性係数 $\mu =20\sim25$ [Pa s] が適切であることが分かった。さらに、 $dx=0.232m\sim10m$ の範囲においても、既往の参照値³⁾に外挿すると妥当な粘性係数が求められることが分かった。
- (3)実験と数値計算を比較することにより、直立浮上式防波堤を空隙率、面透過率により再現する手法の妥当性を確認した。
- (4)直立浮上式防波堤の効果を、開口率、港内面積、流入面積、波の周期、波高から、概算評価する手法を提案し、矩形港湾、模擬港湾への適用を図った。

参考文献

- 1) 河合航輝, 関克己, 小林真, 大川大一, 井上博士, 木原一禎, 有川太郎: 直立浮上式防波堤の高潮防御性能の検討, 海岸工学論文集, Vol.73, pp.235~240, 2017.
- 2) Pirazzoli, P., Umgiesser, G.: The Projected" MOSE" Barriers Against Flooding in Venice (Italy) and the Expected Global Sea-level Rise, Journal of Marine Environmental Engineering, Vol.8, pp.247-261, 2006.
- 3) 富田孝史, 柿沼太郎: 海水流動の3次元性を考慮した高潮・津波数値シミュレータ STOCの開発と津波解析への適用, 港湾空港技術研究所報告, Vol.44, No.2, pp.83-98,2005.
- 4) 富田孝史, 本田和彦, 千田優: 高潮津波シミュレータ(STOC)による津波被害解析手法, 港湾空港技術研究所報告, vol.055, No.02, pp.3-33, 2016.
- 5) 有川太郎, 野村逸人, 富田孝史, 小林真, 虎石龍彦, 荒井清, 木原一禎: 直立浮上式防波堤による現地津波防御効果に関する検討, 海岸工学論文集 第23巻, pp.117~122,2007.
- 6) 林泰造, 狩野徳太郎, 白井増次郎, 服部昌太郎: 筒型透過性防波堤の水理特性について, 第12回海岸工学講演会講演集, pp.193-197,1965.
- 7) 株式会社大林組: サービスと技術, https://www.obayashi.co.jp/service_and_technology/related/tech_d001, 参照 2016-12-26.