

防波堤の天端高と越波流量に関する一考察

パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員 ○寺島 彰人

1. はじめに

港湾や漁港に整備されている防波堤は港内施設の安全性や係留施設等利用時の静穏性を確保するために来襲する波浪の侵入を低減する重要な構造物である。これらの施設の設計基準である「港湾の施設の技術上の基準・同解説」<sup>1)</sup>(以降、港湾基準)や「漁港・漁場の施設の設計参考図書」<sup>2)</sup>では、防波堤の天端高は設計潮位と波高により一義的に決められるものとなっている。防波堤の天端高によっては防波堤を越波する波が港内の静穏性に影響を与えるが、越波流量は波高だけで決まるものではなく波浪の周期や防波堤前面の水深の影響を受けることから、防波堤の天端高はこれらの条件の影響を受けると考えられる。

本論文は、ある防波堤をモデルとして、港湾基準に記載の天端高と合田ら<sup>3)</sup>や高山ら<sup>4)</sup>の波浪条件から越波流量を算出する方法を踏まえて算出した越波流量の関係について整理・考察したものである。

2. 計算条件

計算に用いる波浪条件と越波流量を算定する防波堤モデルを表1、図1に示す。また、基準別の防波堤天端高の算出式と表1に基づく計算値を表2に示す。

なお、この防波堤モデルは太平洋沿岸に面するある港湾における背後水域が狭い防波堤を参考に設定し

表1 波浪条件

| 換算沖波波高<br>$H_0'$ (m) | 有義波高<br>$H_{1/3}$ (m) | 周期<br>$T_0$ (s) |
|----------------------|-----------------------|-----------------|
| 5.0                  | 5.7                   | 14.5            |

表2 防波堤天端高

|     | 標準値                 | 越波抑制                 |
|-----|---------------------|----------------------|
| 算定式 | $H.W.L.+0.6H_{1/3}$ | $H.W.L.+1.25H_{1/3}$ |
| 計算値 | DL+5.3m             | DL+9.0m              |

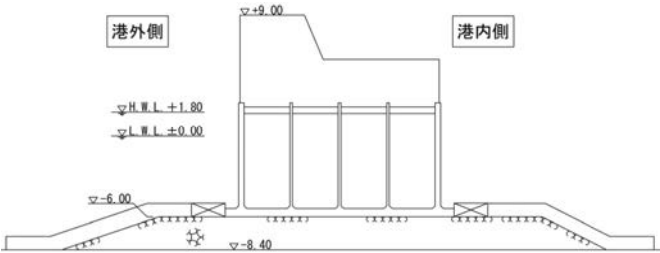


図1 防波堤モデル

たものであり、防波堤の天端高は防波堤背後の静穏度確保を目的に越波を抑制する  $H.W.L.+1.25H_{1/3}$  の計算式により算出した DL+9.0m としている。

3. 天端高と越波流量の関係

図1で示した断面図に対して、表1の波浪条件を適用した場合の越波流量を表3に示す。ここに、消波工を設置した場合の越波流量についても併せて示す。

表3 越波流量算定結果

|                    | 消波工無し  | 消波工有り  |
|--------------------|--------|--------|
| 越波流量 ( $m^3/m/s$ ) | 0.0547 | 0.0026 |

平山ら<sup>5)</sup>の研究において、港内側の静穏性に影響を与える防波堤の越波流量は概ね  $0.02m^3/m/s$  と示されている。表3の結果より本モデルは港湾基準上の越波抑制に必要な天端高が確保されているものの越波流量が  $0.02m^3/m/s$  を超える結果となった。つまり、このモデルの場合は港内の静穏性を考慮した天端高の防波堤を整備しても港内の静穏性が確保できないことが示唆される。また、消波工を設置することで越波流量は  $0.02m^3/m/s$  と比べても 1/8 程度と少なくなり、港内の静穏性確保に際して消波ブロックの設置により  $H.W.L.+1.25H_{1/3}$  の天端高よりも下げることが可能であることも明らかとなった。

4. 周期が越波流量に与える影響

天端高は有義波高  $H_{1/3}$  によって一義的に決まるが、越波流量は前面水深の他、周期(波長)の影響を受ける。ここで、図1のモデルに対して表1の条件のうち周期のみを変えて算出した越波流量を図2に示す。

この結果、前面水深を一定とした場合、周期と越波流量は一次関数的な関係があり、周期が長くなるにつれて越波流量が増加することが明らかとなった。

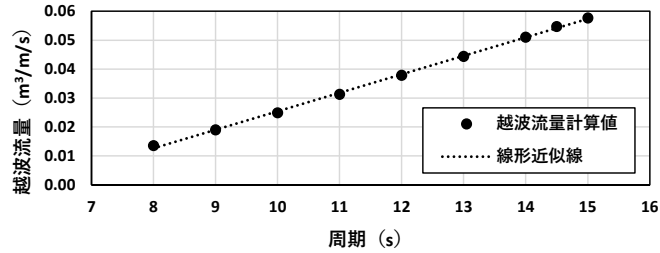


図2 周期と越波流量の関係

キーワード 防波堤、天端高、越波流量、波高、周期

連絡先 〒530-0004 大阪市北区堂島浜1-2-1新ダイビル パシフィックコンサルタンツ(株)大阪本社 TEL06-4799-7352

以上より、周期（波長）が比較的長い波浪が来襲する港湾の防波堤の天端高決定時に、越波抑制を目的とした  $H.W.L.+1.25H_{1/3}$  の算定式を用いても、越波が抑制されない可能性があることが明らかとなった。

### 5. 港内静穏性に配慮した防波堤天端高

周期が長くなるにつれて越波流量も増加することが明らかとなったため、 $0.02\text{m}^3/\text{m/s}$  の越波流量を満足する天端高と波浪条件の関係について整理した。換算沖波波高を  $4.0\sim 7.0\text{m}$  とした場合に図3に示す防波堤モデルの天端高  $X$  を段階的に変えて  $0.02\text{m}^3/\text{m/s}$  の越波流量となる周期を算出した。そこで、以下の式で算出する天端高係数  $\alpha$  と波形勾配の関係を図4に示す。

$$\text{天端高係数 } \alpha = (X - H.W.L.) \div H_{1/3} \quad \text{式(1)}$$

ここで、天端高係数  $\alpha$  が 1.25 の場合、港湾基準における越波抑制に配慮した天端高となる。

この結果、このモデルでは波形勾配が  $0.01\sim 0.05$  の範囲においては、静穏性の確保のためには天端高係数  $\alpha$  が  $1.4\sim 1.9$  程度必要になることが明らかとなった。波高の違いに着目すると、波高が小さい場合は波形勾配が小さくなる（すなわち波長が長くなる）につれて天端高係数  $\alpha$  が増える傾向となるが、波高が高い場合は波形勾配が変化しても天端高係数  $\alpha$  は概ね一定の値を示す結果となった。この傾向から、波高によって天端高を設定できる可能性があると考えられる。

なお、前述の表1の波浪条件から算出した波形勾配は  $0.0152$  となり、この波形勾配を図4に適用すると天端高係数  $\alpha$  は約  $1.6$  となる。このため、図1のモデ

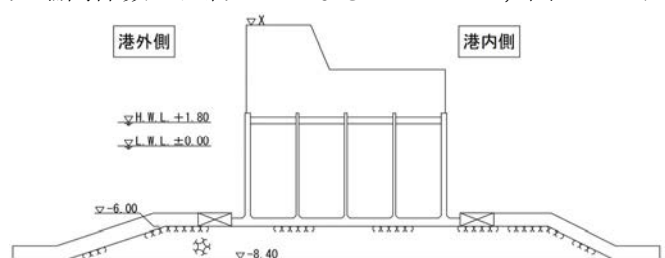


図3 天端高変更モデル

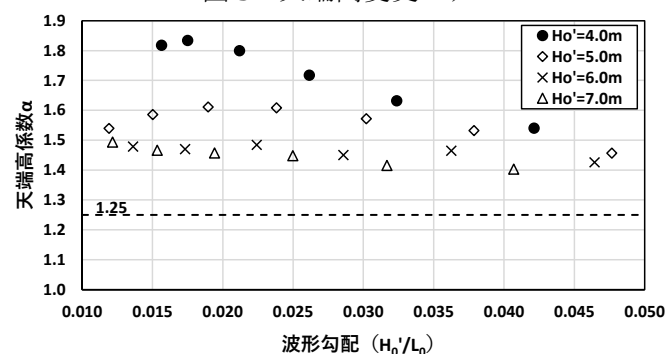


図4 越波流量が  $0.02\text{m}^3/\text{m/s}$  の場合の波形勾配と天端高係数の関係図

ルで背後水域の静穏性の確保に必要な天端高は  $DL+11.0\text{m}$  ( $\approx 1.8+1.6\times 5.7$ ) となる。

### 6. まとめ

波浪条件の違いによる防波堤天端高と越波流量の関係を整理した。

これにより、防波堤の越波による港内静穏性の確保に関して、今回の検討モデルにおいては波浪条件のうち周期が大きく影響することが明らかとなった。港湾基準の天端高の算定方法は有義波高のみで設定可能であり簡便で分かりやすい手法ではあるが、水深によっては天端高が過小となる可能性がある。更に、消波工を設置した場合は過大評価となる可能性がある。このため、防波堤天端高の設定に際しては防波堤前面水深や波形勾配、消波工の有無に留意する必要がある。

なお、本研究で用いた越波流量の算定方法は護岸の越波流量算定に用いられるもので、波形勾配が  $0.012\sim 0.036$  の実験結果を基に設定された算定手法となる。このため、図4において波形勾配がこの範囲を外れる場合の越波流量については、精度が低い可能性がある。また、水深は一定としているため水深の違いにより結果が変わる可能性がある。ただし、天端高係数  $\alpha$  を  $1.25$  とした場合でも越波流量を満足しないことを天端高と波形勾配の関係の傾向から確認することの妥当性は確保されていると考えており、波形勾配と天端高について一定の関係性は確認できたと考える。

今後は、波形勾配を踏まえた適切な越波流量を把握するため、解析により前面水深の違いを踏まえた越波流量と天端高の関係を整理して、波浪条件に対して適切な天端高を設定可能な手法を提案したいと考える。

### 参考文献

- 1) (公社)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，2018.
- 2) (公社)全国漁港漁場協会：漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015 年版，2015.
- 3) 合田良実，岸良安治，神山豊：不規則波による防波護岸の越波流量に関する実験的研究，港湾技術研究所報告，Vol.14, No.4, pp.3-44, 1975.
- 4) 高山知司，永井紀彦，西田和彦：各種消波工による越波流量の減少効果，港湾技術研究所報告，Vol.21, No.2, pp.151-205, 1982.
- 5) 平山克也，長沼淳也：越波が生じる港内での静穏度解析に及ぼす越波伝達波の影響について，土木学会論文集 B2 (海岸工学) Vol.70, No.2, pp.761-765, 2014.