

# 消波工のノリ止め機能を有する堤頭部ケーソンの安定性に関する研究

## Experimental study on Composite-type Breakwater Head Caisson Stability, JSCE

国栖広志<sup>1</sup>・田中和広<sup>2</sup>・吉田賀一<sup>3</sup>・田中健一郎<sup>4</sup>・迫 節夫<sup>5</sup>・有川太郎<sup>6</sup>・村上啓介<sup>7</sup>

Hiroshi KUNISU, Kazuhiro TANAKA, Yoshikazu YOSHIDA, Setsuo SAKO  
Taro ARIKAWA and Keisuke MURAKAMI

A new type structure of break water head covered with wave dissipation blocks was proposed to slash the construction cost. This structure is simply to set a caisson with longer width than a trunk caisson, which can decrease the number of wave dissipation blocks by making use of the longer end-wall of the head caisson. Three dimensional hydraulics model tests were carried out to solve various technical issues regarding the stability and safety of this structure. It was clarified that the current design standard of port facilities is partially applicable to determine the structural dimension, and careful attention must be paid to the depression of crown height of wave dissipation blocks.

### 1. はじめに

消波ブロック被覆堤の堤頭部は、波の収斂や多方向性および回折波等の影響で、波が集中し不安定となりやすい（伊藤・谷本，1971）．そのため、港湾の技術基準（日本港湾協会，2007）では、消波ブロックを港内側まで巻き込み、かつ標準部消波ブロックの1.5倍の重量とすることが示されている（木村ら，1997）．

しかし、堤頭部の水深が深い場合は、港内側まで消波工を巻き込むと、構造物の規模が大きくなるために工費の増大が課題となる．そこで、工費の削減策として、図-1に示すような、標準函より断面幅の長い堤頭函を沖側に凸形状に設置することにより小口部を形成し、消波工をノリ止めする堤頭部構造を提案した．

しかし、本構造形式は、堤頭函と標準函の接合部で隅角部が形成されることや、消波工が堤頭函前面で不連続（部分消波）となるため、従来の設計法を適用する上で、堤頭部の安定性に不明な点が多い．

そこで、本研究は、3次元造波水槽による水理実験を実施し、堤頭部の安定性に関する設計上の課題解決を図ることとした．

### 2. 実験および計測方法

実験に用いた水槽を写真-1に示す．水槽は幅30m×長さ20m×高さ1.5mであり、多方向不規則波造波装置を用いて実験を行った．実験はフルード則を適用し、1/50縮

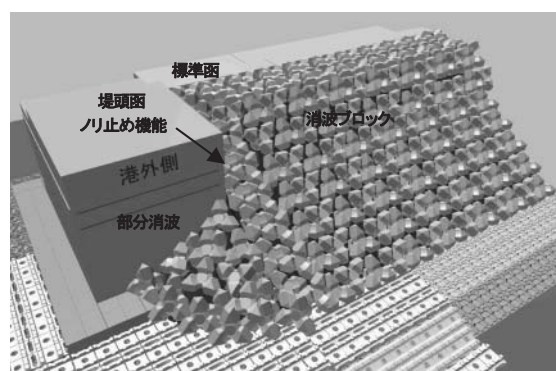


図-1 ノリ止め機能を有する堤頭部ケーソン



写真-1 堤頭部の安定実験状況

尺模型で行った．海底地形は海図や港湾計画図を参考にコンクリート固定床により作成した．

また、構造物は防波堤基部から堤頭部までを再現するとともに、堤頭部ケーソン（堤頭函，標準函）および80t消波ブロックを設置した．波圧の計測は図-2に示すNo1～No5の地点の防波堤前面の断面方向に4点（p1～p4）

|   |      |    |                |             |
|---|------|----|----------------|-------------|
| 1 | フェロー | 工博 | (株)日本港湾コンサルタント | 沿岸海洋部長      |
| 2 |      |    | (株)日本港湾コンサルタント | 沿岸海洋部       |
| 3 |      |    | (株)日本港湾コンサルタント | 技術部長        |
| 4 |      |    | (株)日本港湾コンサルタント | 技術部         |
| 5 | 正会員  |    | 宮崎県 県土整備部      | 港湾課 主査      |
| 6 | 正会員  | 工博 | (独法)港湾空港技術研究所  | 海洋・水工部主任研究員 |
| 7 | 正会員  | 工博 | 宮崎大学 准教授       | 工学部 土木環境工学科 |

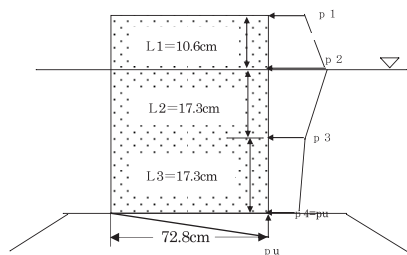
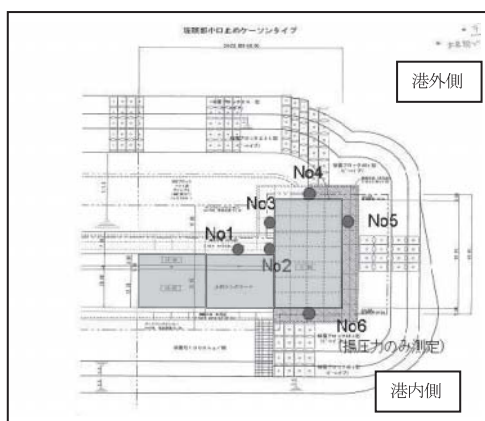


図-2 波圧計の取り付け位置

表-1 実験ケース

|     | 潮位     | 波高       | 消波ブロック | 消波ブロックの変形 |
|-----|--------|----------|--------|-----------|
| C-1 | H.W.L. | 50年(波群1) | 80t    | 計画断面      |
| C-2 |        | 50年(波群2) |        |           |
| C-3 |        | 50年(波群3) |        |           |
| C-4 |        | 50年(波群2) |        | 標準部2.5m沈下 |
| C-5 |        |          |        | 標準部5.0m沈下 |
| C-6 |        |          |        | 標準部7.5m沈下 |
| C-7 |        |          |        | 堤頭部一部飛散   |
| C-8 |        |          |        | 堤頭部全面飛散   |

表-2 実験波諸元

| T1/3 (s) | Hmax (m) | H1/3 (m) | Hmax/H1/3 |
|----------|----------|----------|-----------|
| 11.43    | 15.03    | 8.94     | 1.68      |
| 11.43    | 15.20    | 9.10     | 1.67      |
| 11.43    | 14.05    | 9.15     | 1.54      |

の合計20個の小型波圧計を設置して行なった。なお、ケーソンの移動は水中変位計を用いて計測した。

実験ケースを表-1に示す。実験では、波群の異なる3ケース(波群1, 波群2, 波群3)および消波ブロックが沈下した場合の5ケース(コーナー部消波ブロックの天端高が2.5m, 5.0m, 7.5m沈下および堤頭部消波ブロックの一部飛散・全部飛散)の合計8ケースについて検討した。

実験波は50年確率波( $H_{1/3} = 9.13\text{m}$ ,  $T_{1/3} = 11.7\text{s}$ )とし、

各波群とも1,000波作用させた。実験ではケーソンに作用する波圧(ケーソン固定条件)と滑動量(摩擦係数0.75のケーソン模型)のそれぞれについて計測を実施した。水位と波圧の計測は衝撃性波圧を考慮して、200Hzのサンプリングタイムで26ch同時計測を行った。また、堤体の滑動量は変位計を用いて計測した。

### 3. 結果と考察

#### (1) 波圧強度および波圧合力の時系列

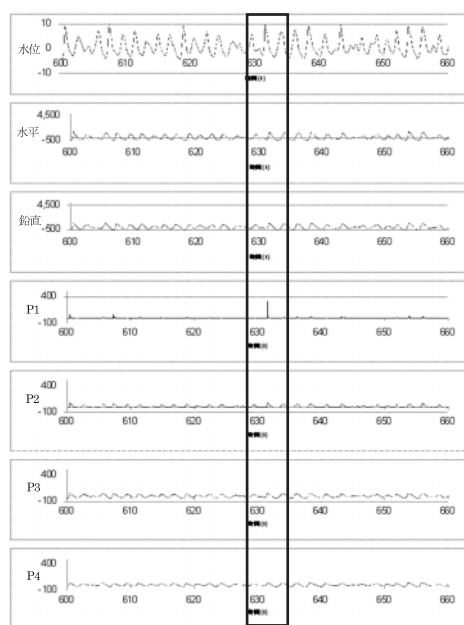
堤頭部では、堤頭函と標準函が接合する隅角部で波の集中により、波力が増大する可能性がある。また、堤頭函は、図-1に示すような消波ブロックのノリ止めとして利用しているために、堤頭函前面で部分消波となり衝撃的な波圧が発生しやすい条件となる(塩見ら, 1994)。そこで、一例として、波群2を作用させたときの隅角部(No2)および堤頭函(No4)に最大波圧合力が発生した時刻の時系列図を図-3(a)(b)に示す。

図-3(a)から、隅角部(No2)に作用する波圧強度は、天端位置(p1)で衝撃的な波圧が作用していることが分かる。隅角部の堤体は全断面が消波ブロックで被覆されているにも係わらず、衝撃的な波圧が作用していることから、防波堤隅角部の波の集中が影響していることが推測できる。

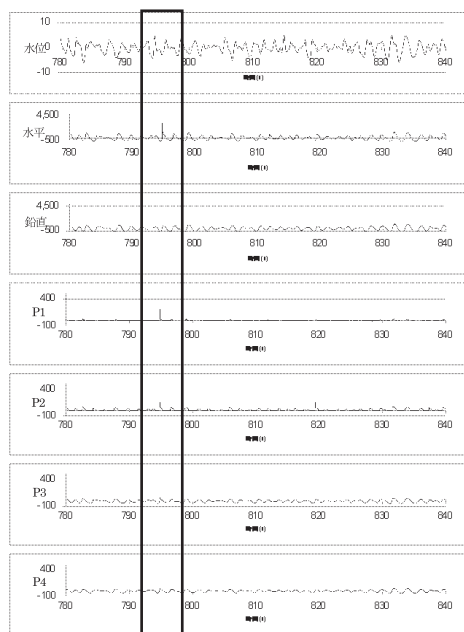
図-4(a)は、天端位置(p2)の上位200位の波圧強度の出現確率分布を示したものであり、図には標準正規分布も示している。図から波圧強度の発生確率はほぼ標準正規分布を示すことがわかる。また、最大波圧合力が発生する時刻の波圧強度の標準偏差は7.85と大きいことから、このような波圧強度が発生する確率は小さいことが分かる。図-3(b)から、部分消波の影響とみられる碎波圧が作用することにより、静水面の位置(p2)で衝撃的な波圧の発生が確認される。ただし、消波ブロックで被覆されているp3やp4の位置での波圧強度は小さく、衝撃性の増大が認められない。

図-4(b)は、堤頭函に最大波力が発生する時刻の静水面位置(p2)に対する上位200位の出現確率を示したものである。図から、波圧強度の確率分布はほぼ標準正規分布を示していることが分かる。ただし、最大波圧合力発生時の静水面位置(p2)に対する波圧強度の標準偏差は9.51と大きく、このような波圧強度の発生確率は小さいことが分かる。

また、合田式(合田, 1973)では、静水面位置で最大波圧強度が作用することが示されている。そこで本実験において、波群1～波群3の波浪を作用したときの、上位5位の波圧分布について整理したものが図-5である。図から、最大波圧強度は概ね静水面位置(p2)で発生するが、波の作用条件によっては天端位置(p1)で最大値



(a) No2



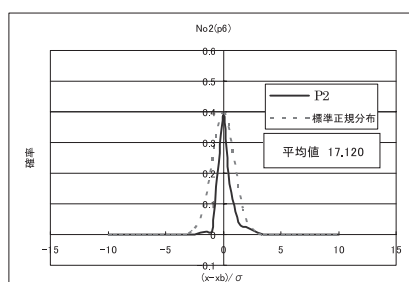
(b) No4

図-3 波圧の時系列図 (波群2)

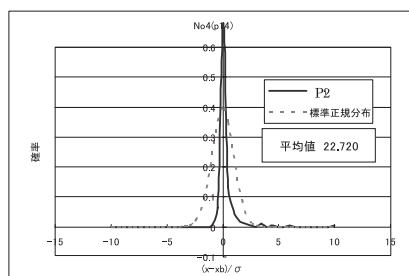
が発生する場合もあり、必ずしも静水面位置で最大値を示さない。これは来襲波の碎波位置との関係があるものと考えられる。

## (2) 最大波圧合力特性

図-6にNo1～No5地点に作用する最大波圧合力の結果を示す。図から各波群とも、部分消波の堤頭部 (No4) で最大波圧合力が作用することが分かる。また、消波ブ



(a) No2 (p2)



(b) No4 (p2)

図-4 波圧強度の発生確率分布 (上位200位)

ロック被覆混成堤構造である標準部ケーソンには堤頭部の波圧合力に対して約25%低減することが分かる。

## (3) 各地点の同時刻の波圧強度特性

標準部および堤頭部ケーソンに作用する同時刻の波力特性を整理したものが図-7である。図はNo1～No5の各測点の最大波圧合力が発生する同時刻の波圧合力について整理したものである。

図から、標準函のNo1とNo2の波圧の最大値は同時刻に作用しないことがわかる。従って、標準函に作用する波力として、No1またはNo2の最大波力をケーソン全体に作用させて安定性を検討することは、過大に評価する可能性がある。一方、堤頭函の回転に対する波力は、No3とNo5の同時刻に作用する波圧合力の差で評価することができる。No3とNo5の同時刻における波圧合力の大きさは同程度であり、かつ反対方向に作用することから、回転に作用する波力は、小さいことが分かった。

## (4) 堤頭部および標準部の設計波力と実験波力の比較

設計波力と実験波力について比較した結果を図-8に示す。なお、設計波は防波堤基部にある隅角部における波高増大 (小舟・大里, 1976) を考慮して1.26倍した波浪条件 ( $H_{1/3} = 11.5\text{m}$ ,  $T_{1/3} = 11.7\text{s}$ ) で算定した結果である。波圧合力は部分消波である堤頭函前面 (No4) で最大値を示す。図から堤頭函前面 (No4) の波力は静水面で衝撃性波圧が認められるものの、設計波力より5～20%程度低減した。これは標準函前面に設置した消波工による反射波や回折波の低減効果が大きいためと考えられる。

一方、標準函の波力は、設計波力より若干大きくなる。

これは隅角部に集中する波の影響と考えられることから、堤頭函に隣接するケーソンの設計波力の設定には十分注意が必要である。ただし、滑動実験から、堤体の滑動は認められず安定と判断された。これは、設計における堤体の諸元が、端支圧に対する安全性から決定されており、滑動に対する安全率に若干余裕があったためであると推測される。

#### (5) 消波ブロックが変形した場合の波圧合力特性

堤頭函の消波ブロックが変形した場合の波圧強度特性を図-9に示す。堤頭函の部分消波部が一部飛散、または消失した場合の波圧合力は、設計断面で算定した波力に比べて小さい。これは消波工が飛散すると部分消波の影響が小さくなり、衝撃的な碎波力が軽減されるためと考えられる。

また、標準函の消波工天端高が2.5m, 5.0m, 7.5m 沈下

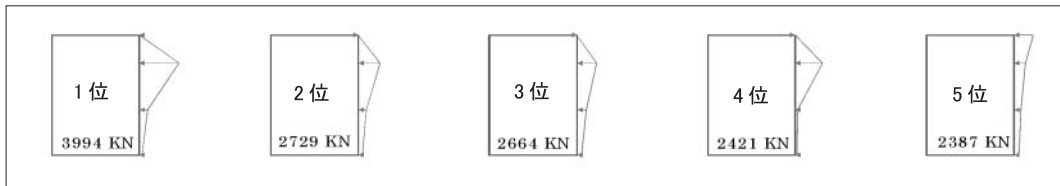


図-5 上位5位の波圧強度分布 (No4, 波群2)

|              | $\beta$ | 潮位     | No.1    | No.2    | No.3    | No.4    | No.5    |
|--------------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 50年確率波 (波群1) | 0°      | H.W.L. |         |         |         |         |         |
|              |         |        | 2685 KN | 2616 KN | 1991 KN | 3459 KN | 1539 KN |
| 50年確率波 (波群2) | 0°      | H.W.L. |         |         |         |         |         |
|              |         |        | 2386 KN | 2390 KN | 2102 KN | 3994 KN | 1367 KN |
| 50年確率波 (波群3) | H.W.L.  | H.W.L. |         |         |         |         |         |
|              |         |        | 2600 KN | 2379 KN | 1950 KN | 3968 KN | 1301 KN |

図-6 No1～No5 地点の最大波圧合力

|     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| No2 |     |     |     |     |     |
|     | No1 | No2 | No3 | No4 | No5 |
| No4 |     |     |     |     |     |
|     | No1 | No2 | No3 | No4 | No5 |

図-7 同時波圧合力 (No2 および No4 地点波圧最大時)

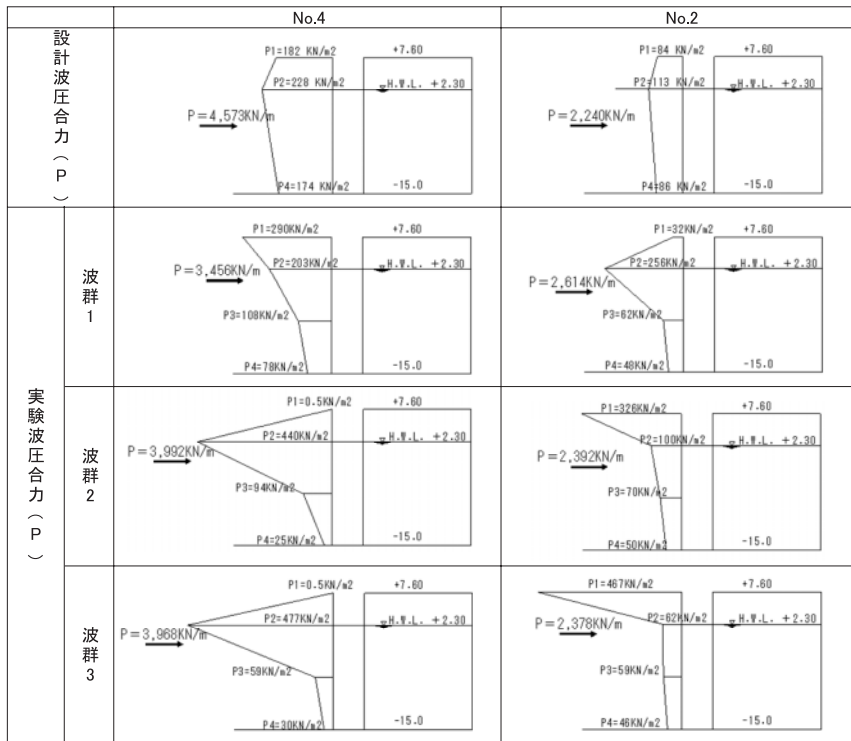


図-8 設計波圧合力と実験波圧合力の比較

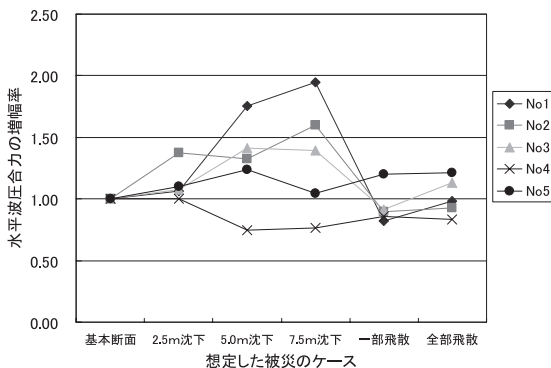


図-9 消波ブロックの変形と波圧合力

した場合の波圧合力は、設計断面 (2,460kN/m) に対して、それぞれ 1.4 倍 (3,280kN/m), 1.3 倍 (3,164kN/m), 1.5 倍 (3,822kN/m) 程度増大することから、隅角部における消波工の安定性は標準函の安定性に対して重要である。

### 3. 結論

- (1) ノリ止め機能を有する堤頭部ケーソンの安定性は、堤頭部の波高の割り増しと部分消波に対する波力を考慮することで、現行設計法の適用が可能である。
- (2) 堤頭函と標準函との隅角部で波圧が増大する。
- (3) 堤頭函の波圧合力は部分消波による衝撃的な波圧が

発生するものの、設計値より 5～20% 低減することから、ケーソン幅を設計断面より小さくすることが可能である。一方、標準函の波力は、設計波力より若干大くなるものの、滑動は認められず安定である。

- (4) 堤頭函側面の同時波圧はほぼ同程度であり、それぞれ逆向きに作用することから、回転への影響は小さい。
- (5) 堤頭函前面の消波工の移動は、部分消波による衝撃性波圧が軽減されるため安定性は増大する。
- (6) 標準函前面の消波工が被災すると衝撃的な波圧が増大するため、堤体は不安定となるので注意を要する。

### 参考文献

- 小舟治浩・大里睦夫 (1976)：防波堤隅角部付近の波高分布算定，港湾技術研究所報告，Vol.15 No.2。  
 伊藤喜行・谷本勝利 (1971)：混成防波堤の蛇行災害，港湾技術資料 No.112。  
 (社)日本港湾協会 (2007)：港湾の施設の技術上の基準・同解説 (下巻)，pp.556。  
 木村克俊・上久保勝美・坂本洋一・水野雄三・武田英章・林倫史 (1997)：消波ブロック被覆堤の堤頭部におけるブロックの安定性，海岸工学論文集，第44巻，pp.956-960。  
 塩見雅樹・山本 浩・津川昭博・黒澤忠男・松永宏一 (1991)：消波ブロック不連続部の波力増大による防波堤の被災とその対策，海岸工学論文集 第41巻，pp.791-795。  
 合田良実 (1973)：防波堤の設計波圧に関する研究，港湾技術研究所報告，Vol.12 No.3，pp.31-69。