港内側に延伸した防波堤付属構造物の被覆ブロックの安定性への効果

長岡技術科学大学　学生会員　○鈴木　樹
長岡技術科学大学　正会員　細山田　得三

１．はじめに

東日本大震災では，多くの防波堤が越流水による基礎マウンド洗堀により支持力を失うことで転倒した．先の震災津波以降，防波堤の設計基準が見直され，マウンド洗堀を防止するために被覆工を設置することが義務付けられるなど，耐津波設計ガイドラインの多くが改定された．しかし，越流水塊が被覆工に直接打ち込むことで被覆工が安定性を失い，マウンドの洗堀が進行している事例が改定後も報告されている．

このような現状に対し池内 [1]は，マウンドの洗堀を防止するために調整構造物を設置することで越流水の落水位置をより遠方にすることを試みた．その結果，越流水塊流入を防止するとともにマウンドの洗堀を防ぐことに成功し，さらに，孔を有する延長構造物（以下，有孔断面とする）を防波堤に付与することで，越流水を分散させることによる有孔断面から越流した後の水塊エネルギーの軽減を図ることで，被覆工の被災をより軽微なものにした．しかし，孔から落下した流入水に関する評価は不完全なものが多く，調整構造物の実用化に向けて被覆ブロックの安定性をより多角的に評価する必要がある．本研究では，防波堤付属構造物無し，無孔断面，有孔断面の 3 種で行った水理模型実験により，防波堤背後に敷設した被覆ブロックの被災状況を安定数を用いて評価することで，有孔断面の有用性を検証した．

２．水理模型実験

水路実験は，幅 400mm，高さ 400mm の可変勾配水路（実験時の勾配はなし）で行った．実験の基準断面概要図を**図-1** に示し，断面諸量を**表-1** に記載する．また，容量式波高計（KENEK:CHT6-40 型）を防波堤前水位，後水位の 2 カ所に設置し，越流水深や防波堤後方の流況観測の取得を行った．**図-2** に被覆ブロックの諸量を示す．本実験は K 港防波堤の 1/110 縮尺であるため，この実験ブロックを実スケールに直すと 0.5t 重量の被覆ブロックに相当する．**図-3** は本実験で対象とした，孔を有する防波堤延長構造物の各断面である．無孔断面は有孔断面の孔を塞いだ断面である．

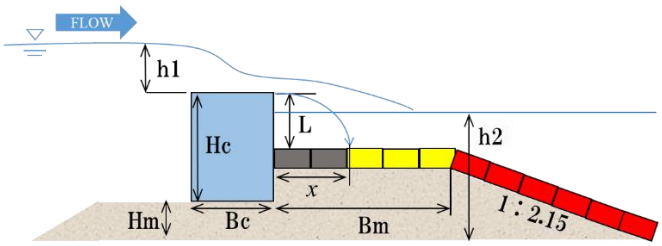


図-1　実験基準断面概略図

表-1　断面諸量

項目	各諸量
ケーソン高さ H_c(mm)	150
ケーソン幅 B_c(mm)	130
マウンド高さ H_m(mm)	37.5
マウンド天端幅 B_m(mm)	210
越流水深 h_1(mm)	適宜変更
防波堤背後水深 h_2(mm)	適宜変更

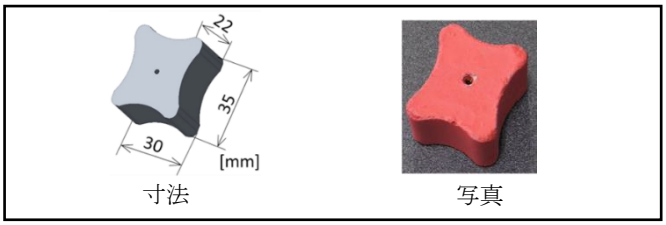


図-2　実験時に使用した被覆ブロック

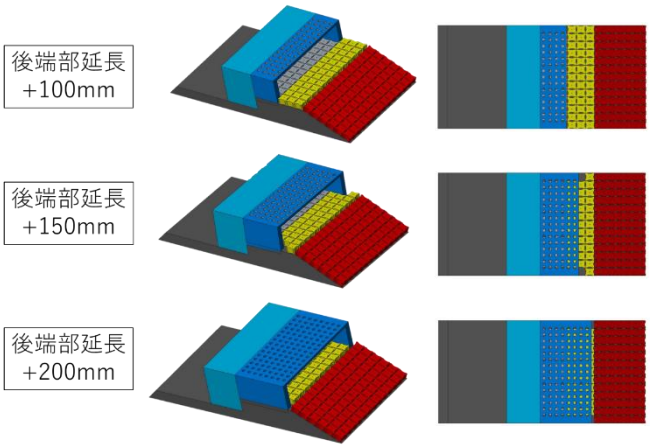


図-3　実験断面（有孔断面）

キーワード：被覆ブロック，防波堤，有孔実験，ハドソン式
連絡先　　：〒940-2188　新潟県長岡市上富岡 1 丁目 1603 番地 1

© Japan Society of Civil Engineers

また，初期港内水深は 12,13,14cm で，流量はそれぞれ 10,20,30,40,50m³/h と変化させ実験を行った．

3．実験結果

防波堤背後マウンドの被覆ブロックの安定性評価は，三井ら [2]が提案したハドソン式を改良した式(1)を使用する．この安定数 N を用いて，各断面での実験結果を整理した．

$$N = \frac{h_1}{(S_r - 1)D_n} \qquad (1)$$

ここに，h_1 天端上の越流水深，S_r:ブロックの比重，D_n:ブロック代表長さ（ブロック体積の 3 乗根）である．図-1 に構造諸元を示し，図-4 に（a）安定数と背後水深 h_2，(b)安定数と x/B_m の関係を示す．ここで x は水塊の被覆ブロック到達位置を示している．図中の塗りつぶしで表示したプロットが被災の発生した条件に対応している． また，一般的に安定数が大きいほど流入水量が多いため被災が増大する予想されるが，本検討では港内水深を適宜変更しているため，一概に想定通りにはならないことが確認された．

4．考察

図-4(a)の場合には，h_2/h_m が 1.5 程度，つまり後部水深 h_2 がマウンドと被覆工の換算高 h_m の 1.5 倍程度となれば被災が発生しないことが確認できた．これは港内水深の流入水に対するクッション効果（落水を受ける水のボリュームの増加による衝撃の）により被災が軽減されたと考えられ，港内側水深が大きければマウンド洗掘の危険性が軽減されることが確認された．安定数に関しては，防波堤の延長が長いほど，また孔を有する断面でも，N が大きい場合でも被災は軽微となることが確認された．

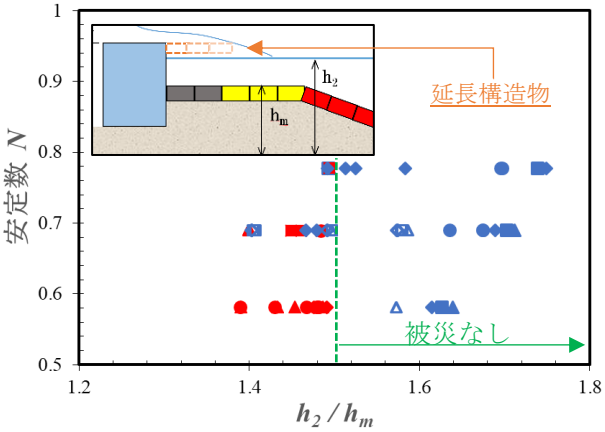
図-4 (b)の場合は，マウンド水平部よりも背後法面に落水する方が，被覆ブロックの被災が軽減する傾向が見て取れる．これは流入水がマウンド斜部に沿って流れるためにマウンドが直接洗掘されず，被災したとしても「捲れる」形態をとったことが原因と考えられる．

5．結論と今後の展望

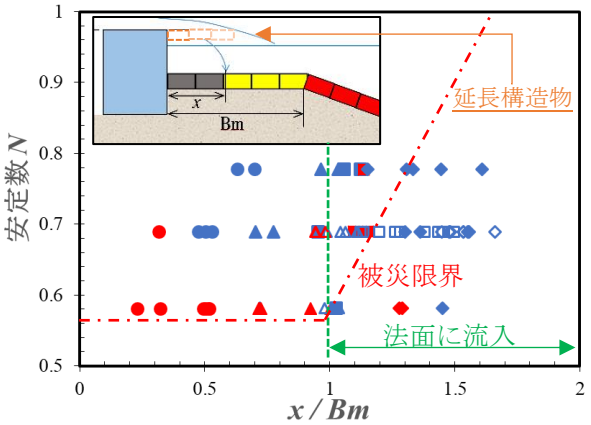
本研究では安定数 N を用いて，諸断面での被覆ブロックの被災状況を整理した．この結果，有孔断面では被災が発生しないケースが数回あり，被災限界の安全側には有孔断面の大部分が属することを確認できた．また，安定数が小さい場合であっても港内水深が浅いほど被災が多く発生しており，安定数よりも港内水深が被覆ブロックに大きな影響を及ぼしていることを確認できた．

表-2　実験基準断面概略図

後部延長	なし	+100mm		+150mm		+200mm	
孔の有無	——	無	有	無	有	無	有
被災なし	●	▲	△	■	□	◆	◇
被災あり	●	▲	△	■	□	◆	◇



(a) N と h_2/h_m の関係



(b)　N と x/B_m の関係

図-4　安定数の各諸量との整理

参考文献

1）池内正俊：水塊落水位置調整による防波堤被覆工の被害軽減効果について，第 36 回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会，2018.
2）三井順，松本朗，半沢稔，灘岡和夫：防波堤港内側マウンド被覆材の津波越流に対する安定性照査方法の提案，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol. 69, No. 2, pp. I_956- I_960, 2013

© Japan Society of Civil Engineers