

津波による越流が生じる防波堤の港内側マウンド被覆ブロックの安定性に関する研究

防衛大学校理工学研究科 学生会員 ○大井 邦昭
 技研興業株式会社 正会員 河野茂樹
 (一社) 漁港漁場新技術研究会 橋本 牧
 防衛大学校建設環境工学科 正会員 林 建二郎

1. はじめに

平成23年東北地方太平洋沖地震による巨大津波により、数多くの海岸施設に甚大な被害がもたらされた。平成27年現在、被災した構造物等の復旧工事が行われているところではあるが、震災を踏まえた新たな防災・減災対策の検討も急務となっている。

海岸施設の一部である防波堤に着目した場合、上記の津波による被災形態として天端を越えた流れによる港内側の洗掘により本体の崩壊につながった事例が多く報告されている。(写真-1参照)防波堤港内側マウンドの洗掘や変形を防止するためにブロックで被覆する方法が有効であると考えられるが、天端から打ち込んでくる流れに対するブロックの安定性は従来の設計手法では検証が難しい。

そこで、本研究では多種多様な形状のブロックを用いた系統的な水理模型実験を実施し、被災パターン分析に加え、港外側水位(防波堤越流水深)や港内側水位をパラメータとしたときの各ブロックの安定数の整理を行うとともに、得られた安定数を用いた所要質量算定手法の提案を行う。



写真-1 混成堤形式防波堤の被災事例
 (重茂漁港 (岩手県) 2011.5撮影)

2. 所要質量算定法のレビュー

津波が防波堤の天端を越える現象は、津波の“波”としての挙動よりも“流れ”としての作用が支配的であると考えられる。流れに対するマウンド被覆ブロックの所要質量算定法としてはイスバッシュの方法があるが、天端から鉛直下方に打ち込んでくる流

れに対しても適用できるかどうかは検証がなされていない。一方、三井らは水理模型実験に基づき、越流水深や防波堤諸元をパラメータとした簡便な所要質量算定方法の提案を行っている((1)式)。

$$\frac{h_1}{(S_r - 1)D_n} = N_s \quad (1)$$

ここに、

h_1 : 越流水深

S_r : コンクリートの海水に対する比重

D_n : ブロック基本長(体積の3乗根)

N_s : ブロック形状ごとに決まる安定数

これを所要質量算定式に変形する。(2)式)

$$M = \frac{\rho_r h_1^3}{N^3 (S_r - 1)^3} \quad (2)$$

ここに、

M : 被覆ブロックの質量

ρ_r : 被覆ブロックの密度

N : 安定数

この方法は実際に防波堤天端からの打ち込み流れを対象にした水理模型実験から決まる安定数を用いた方法であることから、イスバッシュの方法と比べて実現象に即しているといえる。

また、算定に使用するパラメータが越流水深と防波堤諸元のみであり、ブロック近傍における流速の算定が必要なく、簡便であるなどの利点がある。

したがって、本研究では三井らの方法に基づいて以下の水理模型実験を実施し、被災パターン分析、並びに設計手法の提案を行う。

3. 水理模型実験

3-1. 実験概要

本実験は継続時間の長い津波に対するブロックの安定性を検討するものであるため、ポンプ等による定常流を発生できる施設を用いた。防波堤本体形状は矩形堤とし、パラペットは考慮しない。実験断面

の例を図-1に示す。

越流水深は現地量で0.5mの条件から開始し、0.5m刻みで順次上げていき被覆ブロックが被災するまで連続的に作用させた。ブロック1個以上の移動(浮

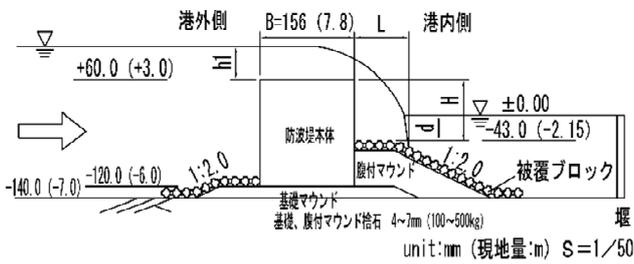


図-1 実験断面例

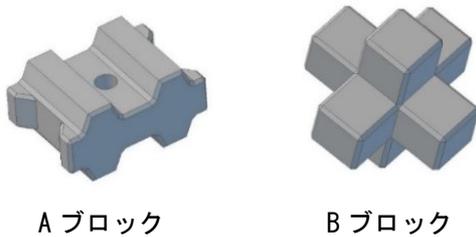


図-2 使用ブロック例

き上がり、めくれ、すべり等)を被害とし、安定限界を定義する被災度を0.3未満とした。

3-2. 実験結果例

図-2に使用したブロックの例を示す。

Aブロックは平型ブロックであり、桁状の突起と中央部の孔および両端部に空隙を設けている。また、Bブロックは立体型の消波ブロックで本実験ではブロック相互のかみ合わせ効果を期待できる乱積としている。写真-2にAブロックの実験前と実験後の状況を示す。越流水深 $h1=2.0\text{m}$ (Aブロック), 3.25m (Bブロック)でそれぞれ被災度0.3を超えた。

4. 様々な形状のブロックの安定数算定図と被災パターン分析

4-1. 各種ブロックの安定数一覧

水理模型実験を実施した全てのブロックの安定数算定グラフを平型、立体型別に一括して図-3, 4に示す。なお、実験は形状(桁や孔, 厚さや外形寸法, 配列方法等)が異なる様々な形状のブロックを対象とし、Aブロックを含む平型は12種、Bブロックを

含む立体型は13種を対象とした。図中の線は各ブロック毎の安定数算定線を示しているが、ここでは個別のブロックに対しての比較検討は行わないため、凡例表示は省略している。

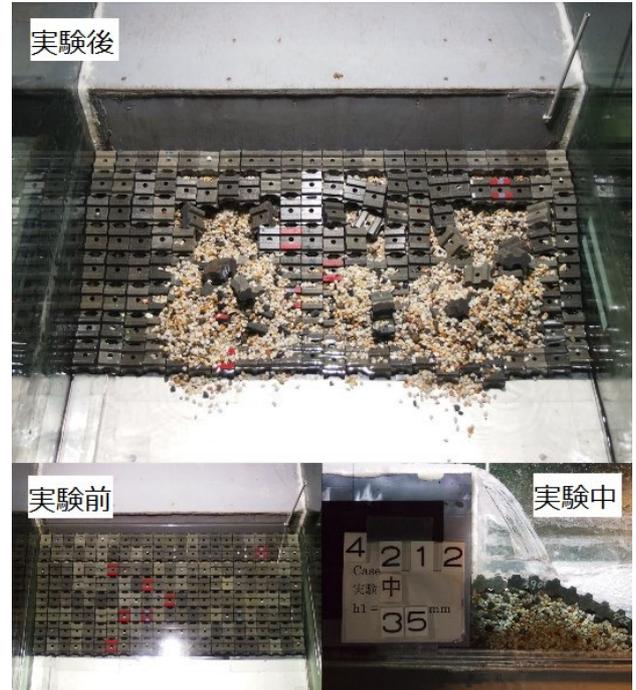


写真-2 実験状況 (Aブロック)

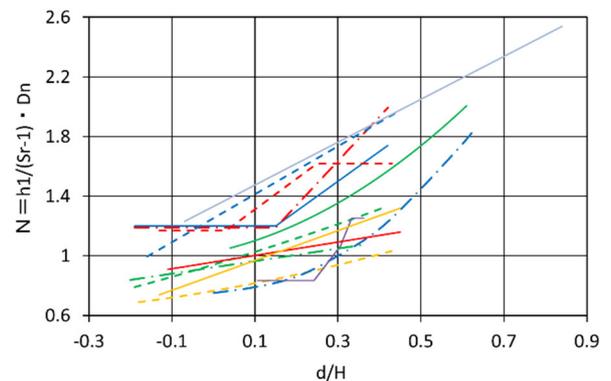


図-3 安定数 (平型)

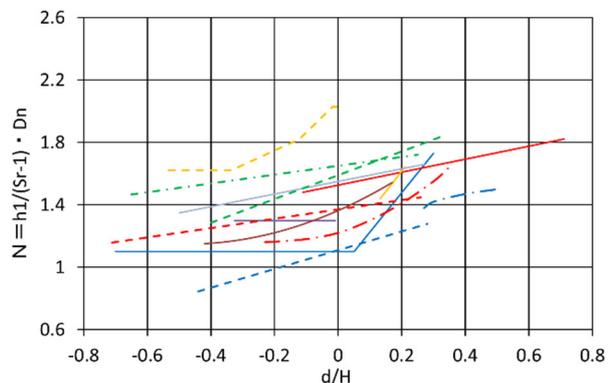


図-4 安定数 (立体型)

キーワード 津波, 粘り強い構造, 越流, 被覆ブロック, 水理模型実験, 安定数, 所要質量算定

連絡先 〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 TEL. 046-841-3810 E-mail: kuniaki.ohi@gikenko.co.jp

図-3, 4よりブロックの安定数は d/H が大きくなるほど増加する傾向があることがわかる。これは、腹付マウンド上水深が大きくなる、あるいは防波堤天端から港内側水位までの落差が小さいほど打ち込む水塊の入射エネルギーが小さくなるためだと考えられる。また、全体的な傾向として平型ブロックよりも立体型ブロックのほうが安定数が高い。これは、平型と比べて立体型ブロックのほうがブロック相互のかみ合わせ効果が大きいためだと考えられる。

また、平型、立体型ともにブロック種別による安定数の差が大きい。より詳細な検証が必要であるが、ブロックの被覆率やかみ合わせ効果が安定性に大きな影響を与えているものだと考えられる。

4-2. 被災パターンの特徴の分類

ブロックの被災パターンは大きく“転倒”と“滑動”に分けられる。転倒と滑動では発生メカニズム（進行状況）に差がみられた。

図-5に転倒による被災模式図を示す。転倒の場合、ブロックが被災するとその下にある捨石が吸い出されて周辺のブロックも不安定化し、さらなる転倒を引き起こして連鎖的に被災が進行する。写真-2に示すAブロックの被災パターンは転倒である。

図-6に滑動による被災模式図を示す。滑動の場合は法面ブロックおよび根押えブロックが一体となって滑動する。この結果、断面全体に大きな空隙が生じ、不安定化する。

滑動による被災はブロック表面のせん断力が抑止力（法面および根押えブロックの静止摩擦力）を超過したときに生じる。すなわち、斜面全体の安定性はブロック単体重量のみならず水深（=法長）や底質の違いによる根押えブロックの耐力にも影響を受ける。水深が大きい（=法長が長い）断面の場合には、法尻に近いブロックには大きな流体力が作用しないため、抑止力が増加して安定数が増加する可能性があると考えられる。

一方、安定数 N が大きいブロックでは斜面上あるいは法尻付近で高流速が生じているため背後地盤の洗掘にも注意が必要である。これに対し、一部の平型ブロックや多くの立体型ブロックでは桁や突起の効果により高流速の発生を抑える効果が期待できる。

本実験の対象ブロックを平型ブロックと立体型ブ

ロック別に被災パターンを分類すると表-1のようになる。表-1より、平型ブロックについては転倒が比較的多く、立体型ブロックは転倒と滑動の割合が

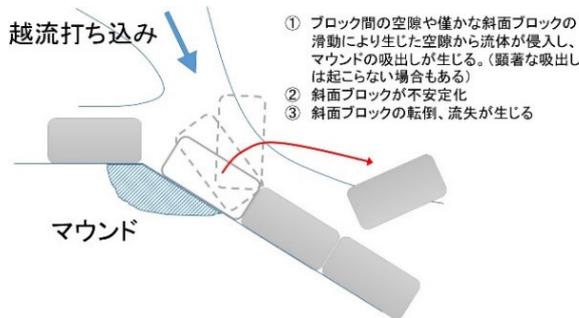


図-5 転倒による被災模式図

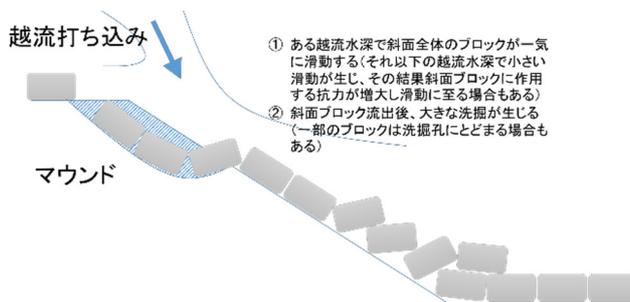


図-6 滑動による被災模式図

表-1 被災パターン分類

被災パターン	平型	立体型
転倒 (%)	68.9	47.1
滑動 (%)	22.6	47.1
複合的 または不明 (%)	8.5	5.7

同程度の傾向となった。

目視観測によると滑動による被災の場合は滑動後にマウンドに吸出しによる大きな空隙が生じてもブロックが空隙に落ち込んで被災が進行しない事例がみられた。すなわち、被災が始まっても一気に壊滅的被害にまで進行することはなく、構造物として一定の機能を保ち続けていることから、より粘り強い構造となることを示唆している。

5. 設計手法の提案

5-1. 設計概要

所要質量の算定は(2)式を用いて行う。津波による水面上昇に伴い越流水深 h_1 は増大するが、防波堤を越える越流水のみならず防波堤の開口部からも流入

することにより港内側水位も徐々に上昇する。h1 が大きくなると被覆ブロックの所要質量は大きくなるが、港内側水位が上昇すると所要質量は減少する。すなわち、最大の h1 を示す時刻が最も所要質量が大きくなる時刻とは限らないため注意が必要である。

所要質量の算定に当たっては、津波伝播シミュレーションの結果を用いて h1 や d の時間変化を把握し、安定数が最も低くなるものを選択する。各ブロックの安定数 N は算定図 (図-3, 4) から算出する。

5-1. 設計計算例

ここでは設計例として津波伝播シミュレーションにおけるあるタイムステップで防波堤周りの水位が図-7 に示すような状況となった場合の被覆ブロック所要質量を算定する。なお、被覆ブロックは 3. で例に挙げた A ブロックを使用するものとする。A ブロックの安定数算定グラフを図-8 に示す。

図-7 より、防波堤諸元は、

$$\frac{d}{H} = \frac{2.0}{7.0} = 0.29$$

となる。図-8 より、A ブロックの安定数 N は、

$$N = -0.23(0.29)^2 + 0.84(0.29) + 0.94 = 1.164$$

となる。(3)式より、このタイムステップにおける A ブロックの所要質量は、

$$M = \frac{2.3 * 1.0^3}{1.164^3 * \left(\frac{2.3}{1.03} - 1\right)^3} = 1.183(t)$$

となる。

以上の計算をタイムステップ毎に実施して所要質量が最大となるものを採用する。

6. まとめ

本研究では津波に対する粘り強い防波堤への対策として防波堤港内側に設ける腹付マウンドをブロックで被覆する場合のブロックの所要質量算定手法の提案を行った。

算定に用いられる各ブロックの安定数 N は実現象を再現した水理模型実験により求めた。

一方、本実験は一般的と考えられる海岸施設を対象としており、大水深域などマウンド法長が長くなる場合や特殊な形状の本体工を有している場合などでは被災形態が異なる可能性があり適用には注意が

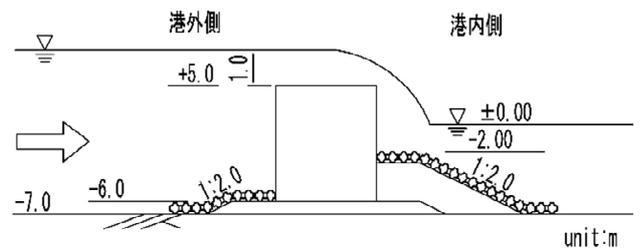


図-7 設計例タイムステップ

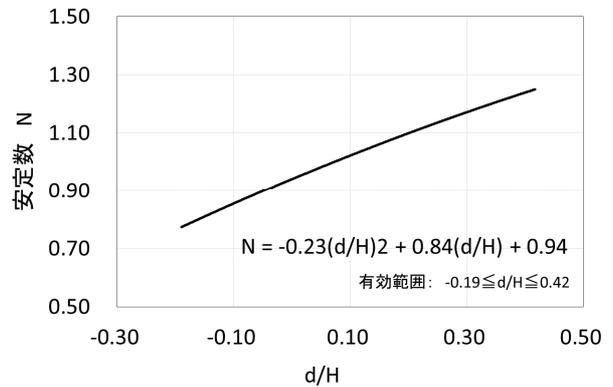


図-8 A ブロックの安定数

必要である。

7. 謝辞

本研究は (一社) 漁港漁場新技術研究会による津波越流に対する防波堤腹付マウンド被覆ブロックの所要質量算定マニュアルの出版にあたって実施された一連の研究成果に基づくことを記し、謝意を表す。

参考文献

- 1) 津波越流に対する防波堤腹付マウンド被覆ブロックの所要質量算定マニュアル, 平成 26 年 8 月, (一社) 漁港漁場新技術研究会
- 2) 平成 23 年度東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方, 平成 26 年 1 月 23 日, 水産庁漁港漁場整備部
- 3) 三井順・松本朗・半沢稔・灘岡和夫 (2013): 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.
- 4) 大井邦昭・林健二郎・河野茂樹 (2012): 津波越流に対する海岸堤防および防波堤の強化に関する実験的研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発) 特集号, Vol.69, No.2, pp. I_96- I_101.