

津波越流に対する防波堤マウンド被覆ブロックの安定性に及ぼす津波波形の影響

株式会社不動テトラ 正会員 ○三井 順
 正会員 久保田真一
 フェロー 松本 朗

1. はじめに

津波越流に対する防波堤マウンド被覆ブロックの安定性に関する水理模型実験においては、ポンプを用いた定常的な越流による検討がこれまで一般的に行われている。しかし、この方法では急激な水位の立ち上がりを有する波形等が再現できないため、通常は水位のピーク値を合わせて実験を行うという方法が用いられてきた。しかし、水位のピーク値が同じ条件であっても、津波波形によっては被覆材の安定性が変わる可能性がある。そこで本研究では、新たに導入した津波発生装置を用いて様々な津波波形に対する被覆ブロックの安定実験を行い、ブロックの安定性に及ぼす津波波形の影響を検討した。

2. 津波発生装置

実験には(株)不動テトラ総合技術研究所の長さ50 m、幅1.0 m、高さ1.5 mの二次元水路(図-1)を使用した。本水路は、ピストン型造波装置(最大ストローク±70 cm)、還流ポンプ(最大流量約8 m³/min、インバーター盤による流量制御)に加えて、新たにチャンバー式津波発生装置が導入されている。長さ2.5 m、幅1.0 m、高さ3.1 mのチャンバー内部に真空ポンプで水路内の水を吸い上げておき、吸気バルブを開放することで津波を発生する。発生可能な最大津波高は約30 cmである。吸気バルブは8個設置されており、各バルブの開放のタイミングを制御することにより、東北地方太平洋沖地震津波で観測されたような2段階で上昇する波形等、様々な津波が発生可能である。また、還流ポンプやピストン型造波装置と組み合わせて使用可能であることが本装置の特徴であり、例えば津波と波浪を同時に発生させることも可能である。

3. 実験方法

水路内の海底地形、防波堤模型の配置を図-2に示す。勾配1/30の海底床上に防波堤模型(図-3)を設置した。

模型縮尺は1/50とした。防波堤背後には腹付マウンドを設置し、被覆ブロック(8t型)を設置した。本論文では数値は現地スケールで記載する。

実験では①ポンプによる定常的な越流、②チャンバーによる津波、③造波板による正弦波、および④孤立波の4種類の方法で津波を発生させ、それぞれ段階的に津波高を上げていくことでブロックの安定限界を調べた。ポンプによる津波の継続時間は、定常状態となつてから15分間とした。正弦波は周期71秒の半周期分(押し波1波)の波形とした。

また、越流水塊の打ち込み位置の影響を調べるために、港内側の被覆ブロックの天端個数を2個並びと4個並びの2種類に変化させて実験を行った。

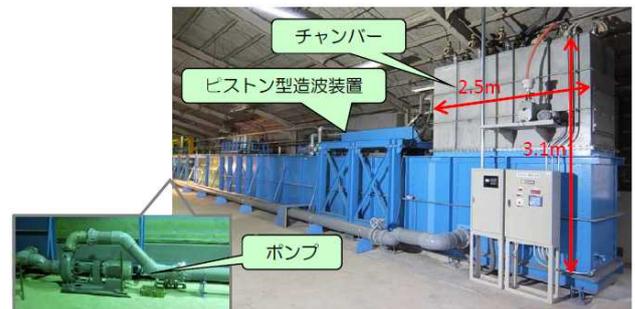


図-1 チャンバー式津波発生装置を導入した二次元水路

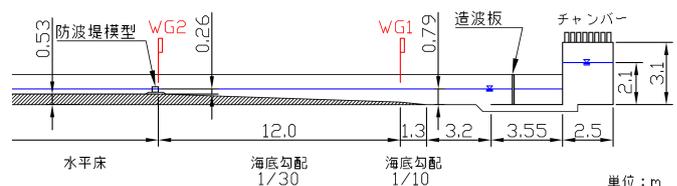


図-2 水路内配置図

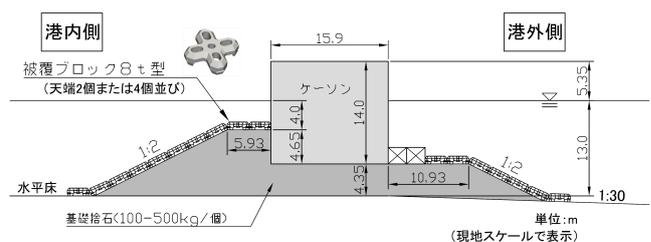


図-3 防波堤断面図の例

キーワード 津波, 越流, 被覆ブロック, 安定性, 津波波形, 津波発生装置

連絡先 〒300-0006 茨城県土浦市東中貫町 2-7 (株)不動テトラ総合技術研究所 TEL:029-831-7411

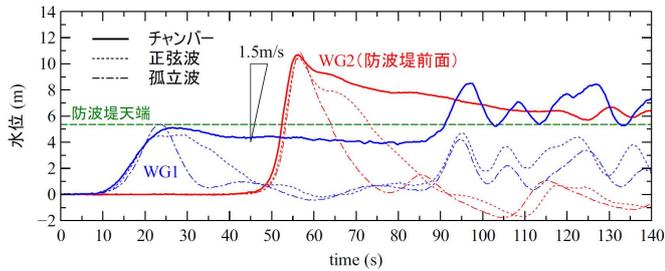


図-4 津波発生方法ごとの代表的な津波波形

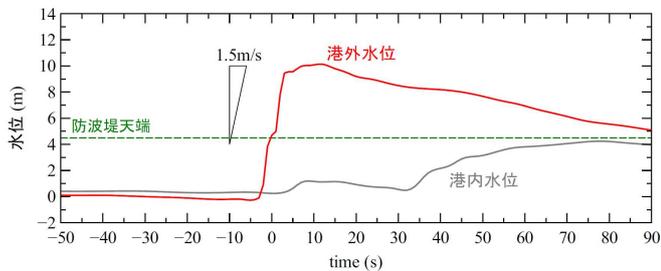


図-5 仙台塩釜港沖防波堤における津波波形の計算結果 (東山ら¹⁾をもとに作成)

4. 津波波形

津波発生方法ごとの代表的な津波波形を図-4に示す。防波堤前面の水位に着目すると、いずれの方法も立ち上がりからピーク水位に至るまでは概ね同じ波形であり、ピーク後の水位の下がり方が異なっている。なお、チャンバーによる津波波形は、東北地方太平洋沖地震津波の際の仙台塩釜港沖防波堤における数値計算結果¹⁾を参考にして設定したものである(図-5)。両者を比較すると、毎秒1.5m程度の比較的急激な水位上昇とその後の緩やかな水位低下の状況が概ね再現されていることがわかる。

5. 安定実験結果

チャンバーによる実験時の被害発生時の津波作用状況を図-6に示す。天端2個の条件では越流水塊はマウンドの法面に打ち込み、法面部のブロックが滑り被災した。天端4個の条件では肩付近に打ち込み、ブロックがめくられて被災した。被災形態については、他の津波発生方法の場合もほぼ同じであった。

次に、津波波形が安定性に及ぼす影響を、津波の継続時間を用いて評価することを試みた。ここでは、越流水深が最大値 h_{1max} の1/2を超えている時間帯を t_{50} と定義し、継続時間を代表させることとした。図-7は安定限界となる越流水深 h_{1max} と継続時間 t_{50} の関係を示したものである。被災の程度は被災度 N_0 で定義した。また、定常的な越流実験に基づく著者ら²⁾の提案方法により算定される安定限界越流水深も併せて図示している。ポンプによる実験結果は算定値と良く一致しているが、それ以外の実験では算定値を大きく上回る結果となっ

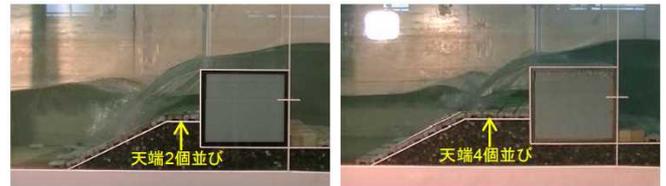


図-6 被害発生時の津波作用状況例 (チャンバーによる津波)

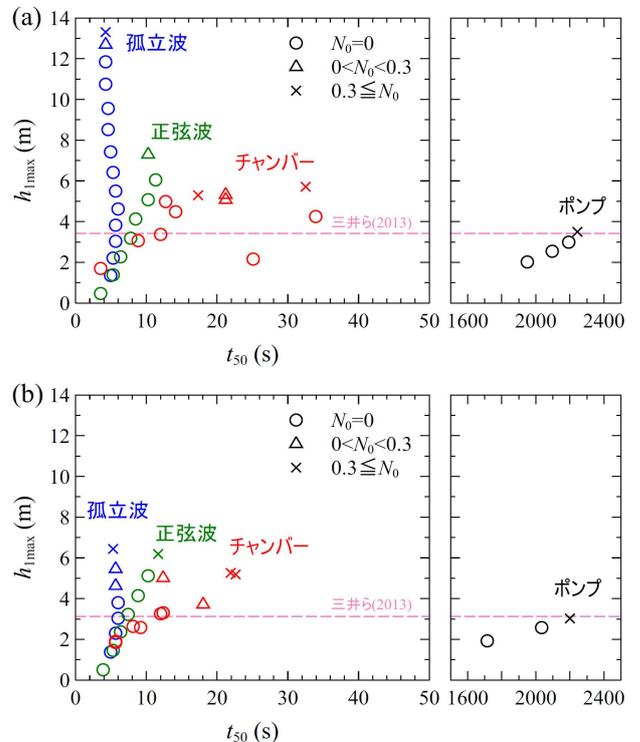


図-7 越流継続時間 t_{50} と最大越流水深 h_{1max} の関係 (a): 天端 2 個並び, (b): 天端 4 個並び

た。また、越流の継続時間が短いほど安定限界の越流水深が大きくなるのがわかる。天端2個並びの孤立波の条件で安定限界が非常に大きくなっているが、これは越流水塊の打ち込み位置がマウンドから遠ざかったためと考えられる。

6. まとめ

本研究の結果、これまで一般的に行われている定常流による実験や、それに基づく算定法によりブロック質量を算定すれば安全側の設計となることが確認された。一方で、津波波形によっては過大な設計となる可能性もあるため、波形を再現した実験を行うことで、より合理的な設計が可能となると考えられる。

参考文献

1) 東山ら(2013) : 防波堤港内側マウンドの津波による越流洗掘に関する検討, 土木学会論文集B3(海洋開発), Vol.69, No.2, pp.I_377-I_382.
 2) 三井ら(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.