

津波に対する防波堤背後の消波ブロックの滑動抵抗の検討

株式会社不動テトラ 正会員 ○三井 順
 株式会社不動テトラ 正会員 丸山 草平
 株式会社不動テトラ 正会員 松本 朗
 株式会社不動テトラ 正会員 半沢 稔

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震津波により多くの防波堤が被災した。八戸港北防波堤（ハネ部）や相馬港沖防波堤はほぼ全てのケーソンが転落したが、堤頭部はその場に留まっていた。この理由として、堤頭部のケーソン背後の消波工が受動抵抗として機能した可能性が防波堤の耐津波設計ガイドライン¹⁾で指摘されている。しかしながらその効果の定量的な検討は行われていない。そこで本研究では、模型実験による滑動抵抗力の測定と、八戸港北防波堤ハネ部を対象とした事例に基づく検討により、津波に対する防波堤背後の消波ブロックの滑動抵抗を検討した。

2. 消波工の滑動抵抗力の測定実験

ケーソン背後の消波ブロックの滑動抵抗力を載荷実験により検討した。実験装置の模式図を図-1に示す。ウインチを用い、木製ケーソン模型をワイヤーで水平に牽引することで載荷し、荷重とケーソンの変位を測定した。牽引する高さはケーソン底面からケーソン高さの1/3の位置とし、1.5 cm/s程度の速度で牽引した。ケーソン下のマウンド部は木製の土台とし、地盤に固定した。これはケーソンとマウンドの摩擦力のバラツキを小さくするためと牽引時にケーソンを水平に保つためである。ケーソンは幅48.5 cmであり、ケーソンと両側の側壁とは固定し、側壁ごと牽引する装置とした。また実験時に捨石マウンドが地盤上を滑ることを防ぐため、地盤にワイヤーメッシュを設置した。

実験断面図を図-2に示す。模型縮尺は1/50を想定しており、図中には現地量に換算した値を併記している。消波ブロック模型の諸元は空隙率50%、密度2359 kg/m³、空中単位体積重量11.56 kN/m³である。砕石の諸元は、空隙率39.3%、密度2656 kg/m³、空中単位体積重量は15.80 kN/m³である。

載荷実験の状況を図-3に示す。消波工とマウンドと

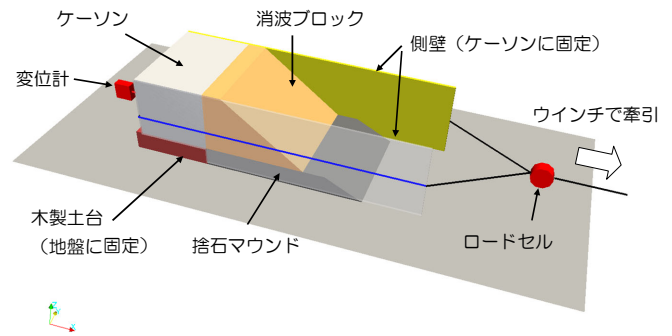


図-1 載荷実験装置の模式図

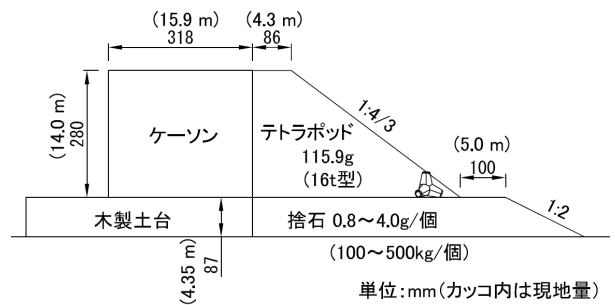


図-2 実験断面図

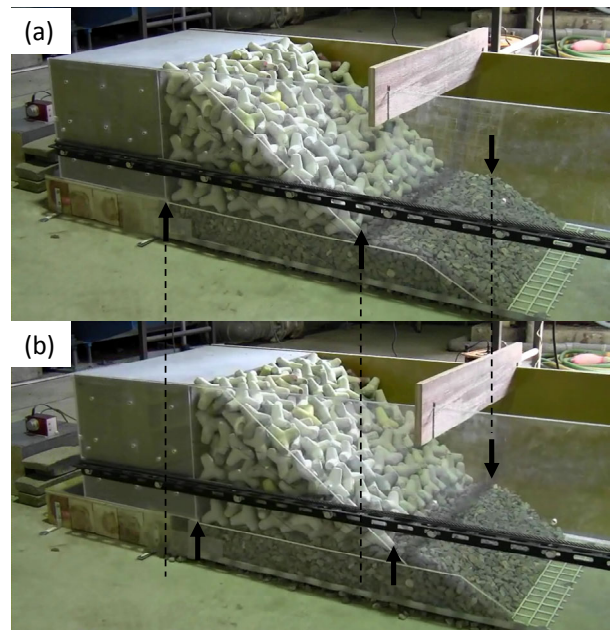


図-3 実験状況 (a) 滑動前, (b) 滑動後

キーワード 津波, 消波ブロック, 受動抵抗, 粘り強い防波堤, 滑動抵抗力

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

の境界で滑りが生じており、消波工全体が設置時の形状をほぼ保ちながら滑動した。消波工あり、無しでのケーソン変位と滑動抵抗力との関係を図-4に示す。消波工ありの場合、変位が大きくなるにつれて抵抗が増大する傾向があり、変位が15 mm程度の時点で最大値を示した。この理由としては、ブロックと捨石とのかみ合いが次第に進行したことから、ブロック間の空隙が次第に詰まったことが考えられる。消波工とマウンドとの境界を滑り面と仮定し、消波工全体の重量と滑動抵抗力の測定値から摩擦係数を逆算したものを図-5に示す。摩擦係数は動き出しの時点で0.6程度、最大で1.2程度であった。

3. 八戸港北防波堤ハネ部の事例解析

八戸港北防波堤（ハネ部）は、津波により全延長において被災したが、堤頭部だけは消波ブロックが直立部を取り囲むように据え付けられており、現況を保っていた¹⁾。来襲した津波に関して、富田・丹羽²⁾がSTOCモデルによる津波の再現計算を行っており、静水圧式による波力を用いて算出した滑動安全率は、ハネ部では全延長において1.0を下回っており、堤頭部を含む19工区では0.56であった。堤頭部は被災を免れていたことから、消波工の受動抵抗により滑動安全率が1.0を上回っていたと考えられる。そこで、ケーソンが滑動しないために必要な消波工の滑動抵抗力を算定した。

防波堤堤頭部の断面図を図-6に示す。堤体の重量を図-6から概算し、滑動安全率が0.56となるときの水平津波波力を逆算すると、1365 kN/mとなった。また、この津波波力に対して滑動安全率が1.0となるために必要な消波工の滑動抵抗力を求めると、600 kN/mとなった。

次に、前述の载荷実験結果を用いて消波工の滑動抵抗力を推定した。ここでは、港内側の水位をH.W.L.+1.50 mと仮定し、港内側の消波工断面積は港外側と同じと仮定した。マウンドと消波工の境界が滑り面であるとして、消波工全体の重量と摩擦係数の積として消波工による滑動抵抗力を算出した。摩擦係数は前述の载荷実験結果より動き出し時：0.6、最大値：1.2を用いると、消波工による抵抗は、動き出し時：584 kN/m、最大値：1168 kN/mとなる。消波工による滑動抵抗が600 kN/m以上であれば滑動安全率1.0を上回ることから、本試算結果は現地の状況と概ね整合が取れていることがわかる。

4. まとめ

本研究で得られた主要な結論は以下のとおりである。

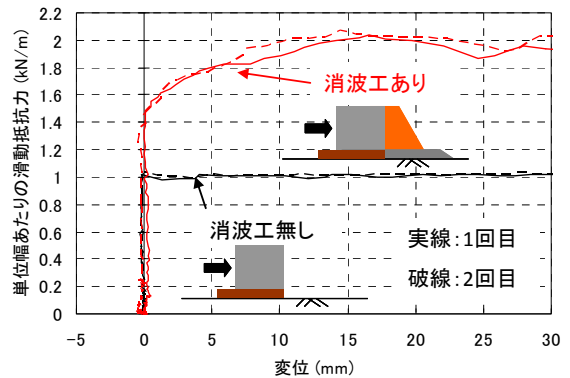


図-4 ケーソンの変位と滑動抵抗力の関係

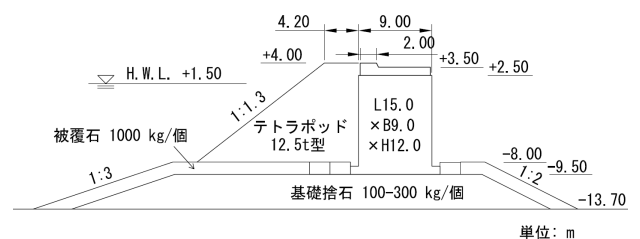
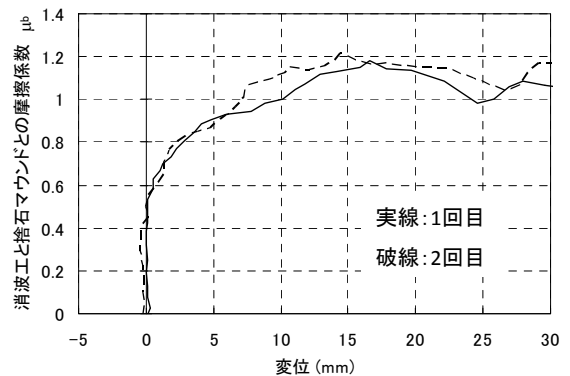


図-6 八戸港北防波堤ハネ部の断面図
(国土交通省港湾局¹⁾を基に作成)

- 载荷実験の結果から、ケーソン背後の消波工による滑動抵抗はケーソンの変位とともに増大する傾向が見られた。また、消波工とマウンド間の境界が滑り面となっており、その摩擦係数は滑り出し時が0.6程度、最大値が1.2程度であった。
- 八戸港北防波堤ハネ部の堤頭部を対象として津波襲来時の消波工の滑動抵抗力を試算した結果、現地の被災状況と概ね整合する結果であった。

参考文献

1) 国土交通省港湾局 (2013)：防波堤の耐津波設計ガイドライン【参考資料Ⅱ】，平成25年9月。
 2) 富田孝史，丹羽竜也 (2013)：八戸港における東北地方太平洋沖地震津波の再現計算，土木学会論文集B2（海岸工学），Vol.69, No.2, pp.I_236-I_240。