護岸を越流する津波の水理特性と背後洗掘に関する研究

宮崎大学工学部　学生会員　徳冨裕貴
宮崎大学工学部　正会員　村上啓介

1.はじめに

2011 年 3 月 11 日発生した東北地方太平洋沖地震は *M*9.0 を記録し,東北地方を中心に津波による災害を及ぼした.特に岩手県田老町の世界有数の海岸護岸を含む護岸は壊滅的な被害を受けた.結果として,護岸の役割である陸地で生活している我々の命を守ることができなかった.その壊滅した護岸の特徴が,護岸の裏法尻が洗掘されて中詰が流出して護岸が倒れる現象であった.重要となるのは,護岸がそれなりの機能を果たすこと,つまり天端の越流により海岸護岸が破壊,倒壊する場合でも,護岸の破壊,倒壊までの時間を少しでも長くする,あるいは,全壊に至る可能性を少しでも減らすことを目指した構造上の工夫が必要である.

そこで本研究の目的は護岸を津波が越波した時の護岸背後の水理特性を解明する.また,どのような範囲で洗掘しているのか,洗掘が起こらないためにはどこをどのように補強すればよいのかの解明を目的としている.

2.実験方法

今回の実験では,護岸背後が固定床を用いた場合と,移動床を用いた場合を行った. 図-1 は移動床のときの実験条件を示す.装置は長さ 12m,幅 0.4m,高さ 0.4m の 2 次元長水路を用いた.水路の勾配は水平で,水路の下流端から 8*m* の地点に鉛直仕切り板を設け,下流側の水位は 0.05*m*,上流側の貯水高を 30,25,20,15*cm* の 4 ケースまで水位を調整した後に,板を瞬時に引き上げることで水路内に段波を発生させ,各ケース 3 回ずつ計測した.模型縮尺は 1/50 を想定し,護岸の高さを H_1,H_2,H_3=12,15.5,19*cm* と変えて,各貯水高のケースを計測した. 移動床は *2～5mm* の砕石を 0.7m 敷き詰め、移動床の背後に 1*m* の固定床を設置した.護岸の高さを 15.5,19*cm* の場合の貯水高を 15*cm* にした場合は、護岸を津波が越波しなかったので計測しなかった.計測方法として,入射波高を計測するために,下流端から 6.08m の位置に容量式波高計を設置した.また移動床の変動を計測するために,ポイントゲージを用いて実験前と実験後に測定した.

固定床の場合は,移動床のところに固定床を設置し,護岸背面の流速と波高を計測した.流速はプロペラ式流速計を用い,計測した場所は、護岸天端から 2.5,5,10,15,20,87.5*cm* の位置である.波高計は,護岸前面と護岸の天端からの水平距離 0.475*m* と 0.875*m* に設置した.

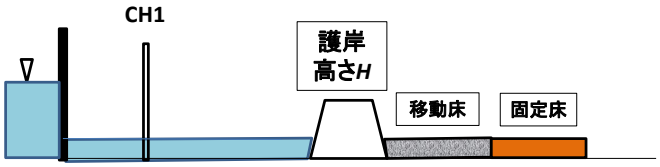

図-1　固定床のときの護岸模型

3.実験結果

3.1 固定床の結果

3.1.1 津波高と越流水深

津波高と越流水深の関係を図-2 に示す.津波高は,入射波高から第 1 波の最大値を読み取った値とする.越流水深は護岸天端から 0.475*m* 離れたところの波高計で測定した値を用いた.実験結果から護岸の高さを高くすると,越流水深は低くなることがわかる. また,各護岸のケースともほぼ直線になっているので,越流水深と津波高には比例の関係があるといえる.つまり津波高が高ければ護岸の高さ関係なく越流水深も高くなるといえる.

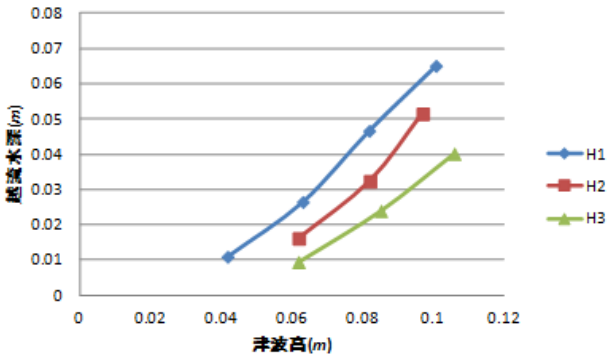

図-2　越流水深と津波高の関係

3.1.2 護岸背後の流速

貯留高 30*cm* のときの護岸天端からの各水平距離 0,2.5,10,15,20,87.5*cm* で計測した流速を図-3 に示す.実験結果から 2.5*cm* と 5*cm* の位置は負の値となった.その他の実験条件のときも同じく 2.5cm と 5cm の位置は負となっていた.この要因として目視とビデオ観察から 0～10*cm* の位置は渦ができて反対向きに流れがなっていたため,負の値となったといえる.また,護岸の背面は護岸を高くすると,流速が大きくなっている.この要因として護岸を高くすると落下速度が増加するため,流速が大きくなったといえる.

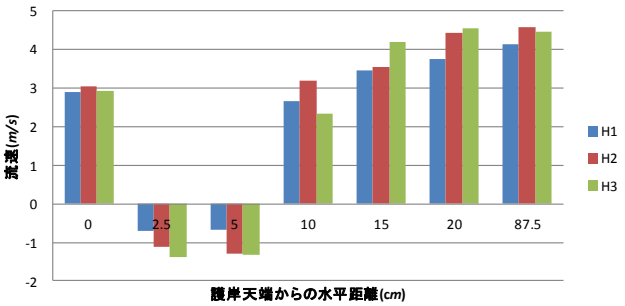

図-3　貯留高 30*cm*のときの流速

3.2 移動床の結果

3.2.1 最大洗掘深

各護岸の津波高と最大洗掘深の関係を図-4 に示す.実験結果から,護岸を高くすると直線の傾きが大きくなるといえる.つまり,護岸を高くするだけでは東日本大震災と同様な津波が来襲すると被害は拡大するといえる.

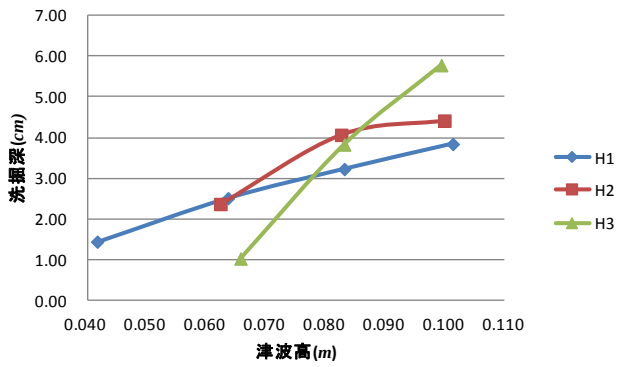

図-4　津波高と最大洗掘の関係

3.2.2 最大洗掘深と洗掘幅

各護岸のケースの最大洗掘深と洗掘幅の関係を図-5 に示す.洗掘幅は,ポイントゲージで計測した実験後のデータから実験前に計測した値と比較して洗掘幅とする.

図-5 からほぼ直線となっていることから最大洗掘深と洗掘幅には比例の関係があるといえる.また,護岸を高くすることで傾きも大きくなることが解明された.

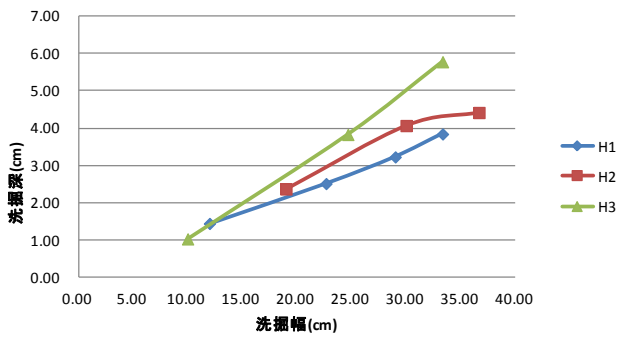

図-5　洗掘深と洗掘幅の関係

4. 結語

本研究では,護岸を越流する津波の水理特性と背後洗掘のメカニズムの解明を目的として護岸の背後を固定床と移動床にした水理実験を実施した.本研究で得られた結果を以下に示す.

（1）固定床の結果から,津波高と越流水深には比例の関係がある.つまり津波高が高くなると,比例して越流水深も高くなる.

（2）固定床の護岸背後の流速は,0～10*cm* の位置は渦ができて本来の流れとは反対に流れていていた.10cm 以後は流れとは正向きに流れていた.

（3）移動床の結果から護岸を高くすると洗掘深は大きくなる.よって護岸は高く設置したほうがよいが,今回の東北地方太平洋沖地震のような大震災が起こると,被害は拡大してしまう.護岸を高くすると同時に護岸の老朽化対策を行うことや護岸背後の勾配を緩やかにするなど対策をしなければならない.

（4）移動床の結果から最大洗掘深と洗掘幅には比例の関係があることが解明された.つまり,最大洗掘深が大きくなると,比例して洗掘する幅も広くなるといえる.

今後の予定として,野口ら(1997)の既往文献を参考に今回実験で用いた2～5*mm*の砕石の最大洗掘深を算出する式を解明する.野口らは,津波の越流による護岸の基礎洗掘量に関する大規模実験を実施しており,越流量などにより最大洗掘深を算出する式を提案している.その式を用いて本研究での最大洗掘深を算出する.野口らの実験では砂を用いているが,本研究では 2～5*mm* の砕石を用いているので,算出して妥当な値を得られるのか,それとも異なった式を用いなければならないのかを解明していく.また,移動床の砕石を粗砂に変えた実験も行い,同様に検討していく.

参考文献

野口賢二・佐藤愼司・田中茂信（1997）：津波遡上による護岸越波および前面洗掘の大規模模型実験，海岸工学論文集，第 44 巻，pp296-300.

高橋智幸・黒川貴博・藤田将孝・島田広昭（2011）：津波による土砂移動の粒径依存性に関する水理実験，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.67,No.2, pp231-235.

石河雅典・上月康則・山中亮一・大久保陽介（2012）：津波による土砂移動の粒径依存性に関する水理実験，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.68,No.2, pp1336-1340.