

津波による防波堤の複合破壊メカニズムに関する研究

三浦 智久

キーワード：防波堤，津波，浸透流

1. はじめに

2011年3月11日午後2時46分、マグニチュード9.0の地震が東北地方太平洋沖で発生した。この地震によって発生した津波により、釜石湾口津波防波堤は甚大な被害を受けた。その被災要因については複合的な要因が考えられる。そこで本研究では、防波堤前面と背面の水位差により発生するケーソン下部の捨石マウンドへの浸透流の影響について遠心模型実験と2次元有効応力解析を行い検討する。

2. 遠心模型実験

(1) 実験方法

遠心模型実験は、高さ21mの防波堤を対象に、拡張型相似則を適用して200分の1の模型を作製し、25Gの遠心場で行った。実験に用いた土槽では、遠隔操作により津波を発生させ、実験模型の前後に水位差を作用させることが可能である。実験は、マウンド内への浸透流の流入を許すケース(Case 1)とマウンド表面をメンブレンで覆い、マウンド内部への浸透流の流入を許さないケース(Case 2)の2ケース行った。

(2) 実験結果

Case 1では、津波が防波堤に押し寄せる際に前面のマウンドで洗掘が発生、その後、防波堤前後の水位差によりマウンド内に浸透流が発生し、その浸透流がマウンドを通過することにより防波堤背面（港内側）に気泡が確認できた。また土槽底面に設置した水圧計の値が上昇していたことから、浸透流の発生を確認できた。その後、マウンドにせん断変形が発生し、ケーソンが滑動、転倒に至った。一方Case 2では、気泡や水圧の上昇を確認できなかったことから浸透流は発生していないと考えられる。その後、ケーソンが津波の波圧を受けても転倒には至らなかった。これらの結果から、浸透流が防波堤の破壊に影響を及ぼしているものと考えられる。

3. 2次元有効応力解析

(1) 解析手法

数値解析には多重せん断ばねモデルに基づく有効応力法による有限要素プログラム(FLIP/TULIP(ver.5.1.0))を使用した。解析メッシュは模型実験のプロトタイプと同じになるように設定した。津波の影響を考慮する方法としては、津波力を強制間隙水圧と分布荷重として、それぞれ各節点と各要素に与えて解析を実施する。なお、津波力は、谷本らによって提案されている津波力算定式を用いて算出する。解析は、津波波力、浸透流ともに与えるケース(Case 1)、津波波力のみを与えるケース(Case 2)、浸透流のみを与えるケース(Case 3)の3ケース行った。

(2) 解析結果

Case 1、水圧の上昇、ケーソンの傾斜によるマウンド要素の有効応力の変化が確認できた。またこのケースでは、他の2ケースに比べてケーソンの変形量大きい。Case 2では、水圧の上昇は確認できなかった。Case 3では、水圧の上昇を確認した。しかし、ケーソンの変形量は小さい。浸透流のみを与えるケースでは、水圧の上昇、マウンド要素の有効応力の低下を確認したがケーソンの変形量は小さい。これらの結果から、浸透流が防波堤の破壊に影響を及ぼしていることを確認した。

4. 結論

遠心模型実験の結果、港外側のマウンドの洗掘、マウンドのせん断変形によるケーソンの滑動、波圧によるケーソンの転倒といった、一連の複合的な破壊機構を確認した。2次元有効応力解析の結果、浸透流によりケーソンに揚圧力が作用し、マウンド材料内の有効応力が低下、すなわち支持力が低下しマウンドがせん断変形する現象が見られた。本研究で実施した遠心模型実験と2次元有効応力解析結果より、防波堤の崩壊原因は、津波の波力だけでなく、マウンド内の浸透流も原因の一つであることが示唆される。