

破壊されにくい防波堤の研究

一宮正歩 佐竹康平 島原一翠 善本悠介 早瀬亮祐 土橋未優奈

【概要】

2011年3月11日に起こった東日本大震災により、多くの防波堤が破壊された。そこで、津波により破壊されにくい、「打たれ強い防波堤」について研究し、防災に携わりたいと考えた。

私たちは防波堤が破壊される要因の中で、「洗掘」という現象に着目した。「洗掘」とは、防波堤を超えた波によって防波堤を支える基礎の地盤が削られる現象のことである（下図）。これにより防波堤は支えを失い、倒壊する。私たちは防波堤の形状を変化させることで、この洗掘を軽減することができるのではないかと考えた。実験モデルを用いて洗掘の発生を再現し、洗掘の様子を観察した。いくつかの異なる形の防波堤のモデルを作成し、防波堤の形状が洗掘に及ぼす影響について検討した。その中で段差のある形状が洗掘の軽減に有用である可能性のあることを確認した。

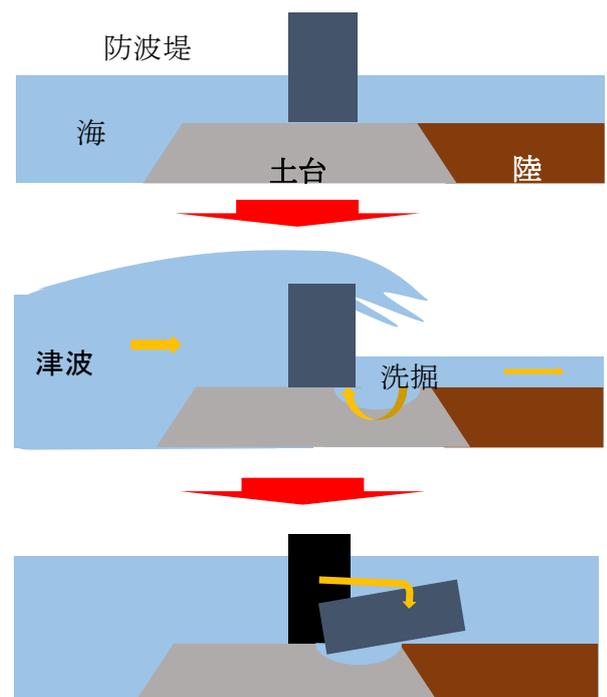
In the Great East Japan Earthquake, many breakwaters were broken because of scour. A scour is a phenomenon when the foundation of a breakwater is destroyed by the tsunami's flow that passes over the breakwater. Preventing scour is important to reduce the damage from tsunami. We reproduced the situation when a tsunami passes over the breakwater with a small scale model and observed how shapes of breakwater affect the scour. We tested five types breakwater and found that a stair-like breakwater could reduce the scour most effectively. We will apply this result to real breakwaters.

【動機・目的】

2011年3月11日に起こった東日本大震災により発生した被害の原因の多くが地震に伴って発生した津波によるものであった。その際、防波堤が津波の第1波によって防波堤が破壊され、津波の第2、第3波に対して十分な効果が発揮されなかった。さらに、私達の住む徳島県も、今後南海トラフ巨大地震によって、津波の被害を受けるといわれている。そこで私達は、津波によって破壊されにくい防波堤を研究しようと思った。

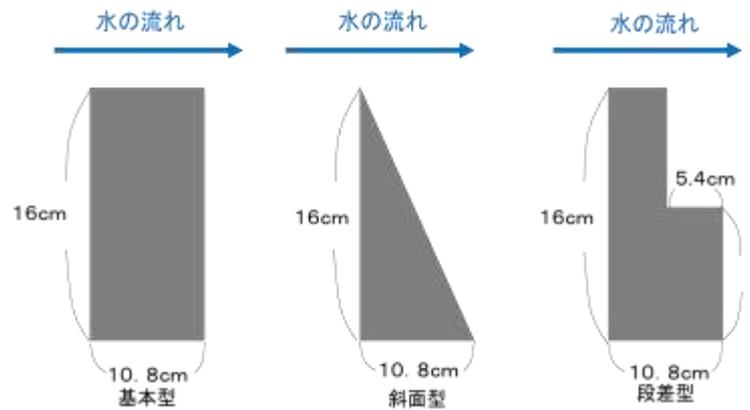
東日本大震災以降、津波に対して全壊に至るまでの時間を少しでも長く延ばすことが可能となる構造上の工夫（粘り強い構造）が重要視されるようになってきている。それにおいて防波堤の基礎地盤を破壊する洗掘という現象は解決すべき課題の一つである。そこで、私たちは、洗掘という現象を防波堤の形状を工夫することによって軽減できるのではないかと考えた。この研究は、実験モデルを用いて洗掘の軽減に有効な防波堤の形状を特定することを目的とした。

(洗掘進行の様子の模式図)



【実験 1】

実験 1 では、防波堤の形は「基本型」「斜面型」「段差型」の 3 種類用意し、それぞれの形によって起こる洗掘の様子を観察した。数百から数千メートルと非常に波長の長い津波の性質を再現するため、「防波堤の内側マウンドの津波による越流洗掘に関する検討」の方法を参考にし、水位の差を用いて実験することにした。実験では、砂を使い防波堤のモデルからの距離 16 cm、水槽の底から 3 cm の高さの土台を作成する。水深は 9 cm とした。そこに、15.5 リットルの水を注ぎ、土台がどのような影響を受けたのかを測定する。津波を発生させた後、0.5 cm ごとにメモリを書いた竹串を防波堤のモデルから 1 cm ごとに土台に刺してゆき、水槽の底からの高さを測定した。



(実験 1 で使用した防波堤モデルの断面の模式図)

【実験 1】

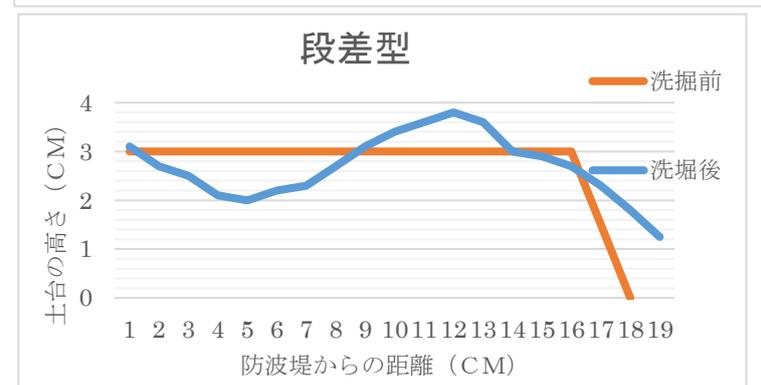
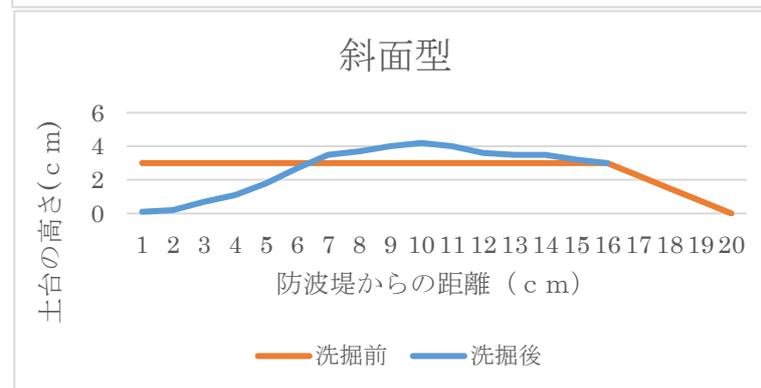
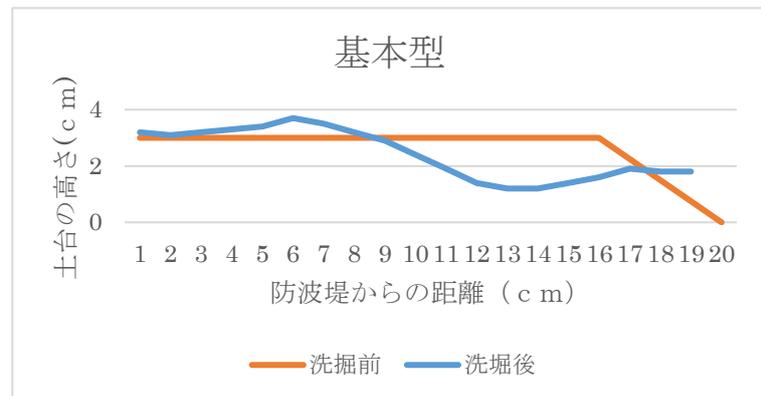
実験 1 の結果 (基本型)

実験 1 の結果 (斜面型)

右のグラフは実験 1 の基本型の結果である。縦軸は水槽の底からの高さ、横軸は防波堤からの距離を表している。また、実験前の土台の状態を橙色の線、実験後の基本型の防波堤の土台の状態を青色の線で表している。

「基本型」の防波堤の洗掘が最も大きく表れた場所は防波堤からの距離 13、14 cm 付近で、砂の高さは約 0.7cm であった。掘られた砂は防波堤からの距離 3～8 cm のところにも少量堆積しているが、多くは水流によって後部へ流されている。

右のグラフは斜面型の結果である。橙色の線は実験前の土台の状態、青色の線は実験後の土台の状態を表している。なお、防波堤からの 16 cm 以降は実験前と実験後で変化が見られなかったため、計測を省略した。「斜面型」で洗掘が最も大きく表れた場所は 1 cm と、防波堤に非常に近い位置であった。実験中、防波堤を超えた水流が防波堤側面を伝って土台に衝突する様子を観察できた。このため、防波堤に近い位置で大きく洗掘が生じ



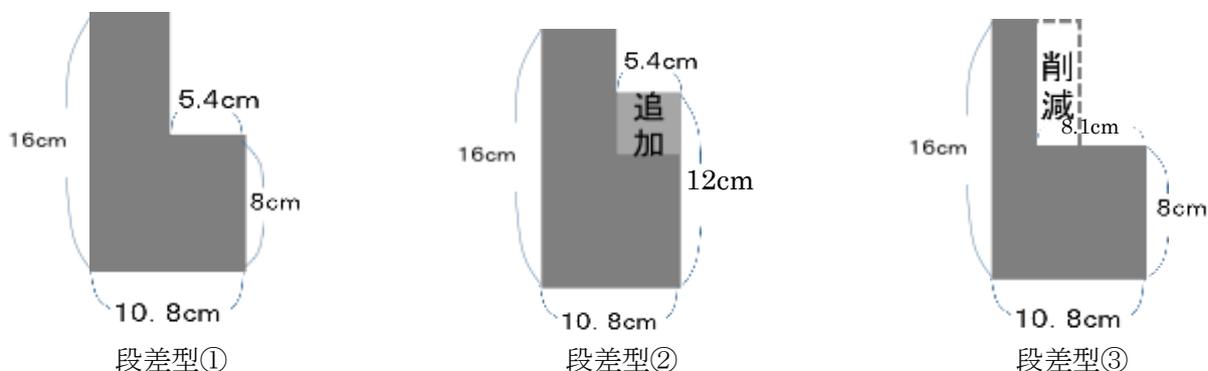
たとえられる。斜面型防波堤は防波堤を支える上で重要である防波堤に近い土台が大きく破壊されたため、防波堤の破壊を防ぐには適さないと考える。

前ページ下のグラフは段差型の結果である。「段差型①」で洗掘が最も大きかった場所は4 cm、5 cm付近で砂の高さは約2 cmであった。これは、基本型と比べ洗掘が小さくなっている。これには大きく二つの要因があると考えた。ひとつは背後の砂による圧力の影響である。13、14 cmで最も洗掘が大きかった基本型と比べ、段差型は洗掘が起きている位置の背後にある砂の量が多くなっている分、洗掘が起こりにくくなっていると考えられる。この要因は本実験においては洗掘を軽減しているように見えるが、実際には基本型と比べ洗掘が起こる位置が防波堤に近くなっているため、かえって洗掘の防波堤への影響を大きくしてしまうことが考えられる。また、私たちが実験を行っていた際、防波堤を乗り越えた流れの一部が段の部分に衝突するという現象が観察された。この現象も洗掘を軽減された要因の一つになっているのではないかと考えた。

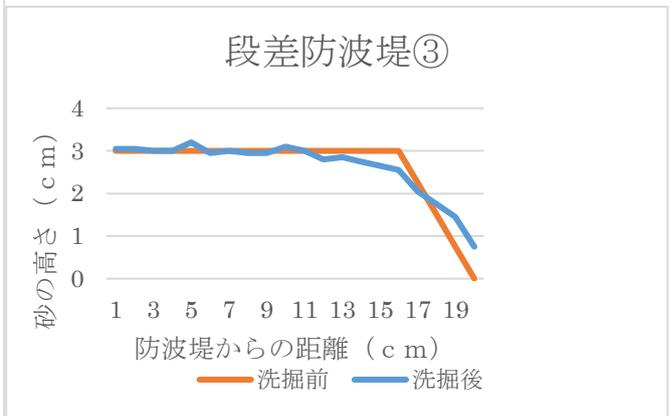
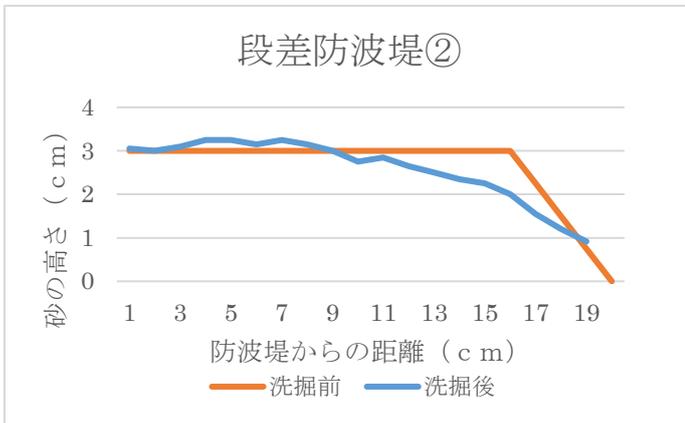
私たちはこの現象を利用することで洗掘を軽減できると考え、実験2を行った

【実験2】

実験2では、「段差型①」の形を改良し、新たに2種類の防波堤を作成した。こちらも、実験1と同様に、「基本型」の大きさに収まるようにした。段差型②は、段の高さを半分にした。段差型③は、上の段差部分の幅を細くし、段差の下部分を広くした。どちらも、水流が段の部分に当たることで、流れを弱められると考え制作した構造である。土台の形や、注ぐ水の量などの条件も、実験1と同じだ。また、竹串の目盛りを5mmから、0.25mmに変更し、より細かい測定を試みた。



実験2の結果（段差型②）



実験2の結果である。段差型②では、12cm～16cmのところにかけて0.5cm～1cmほど砂が流されているが、実験1でのような洗掘は起こっていない。

実験2の結果（段差型③）

続いて段差型③の結果である。こちらでは、洗掘は起こっておらず、砂もほとんど流されていない。

【考察】

実験2の結果から段差のある形状が洗掘を軽減することが分かった。これは防波堤を超えた水流が段差部分にあたることで、水に勢いが軽減されたためと考えている。段差型②、③共に段の部分に水が当たる様子を観察できた。段差型①よりも②、③のほうが洗掘を軽減する効果が大きいことについては、水平投射を用いて考察できると考えている。防波堤を超えた水流の軌道は、防波堤上から球を水平に投射したものに近似できるのではないかと考えている。下図のように、段差型①では水流の多くは段差の部分に衝突せずに防波堤を超えていた。対して段差型②、③では、多くの水流が段の部分に衝突するようになったため、洗掘を軽減することができたと考えている。今後は防波堤を超える水流の速度成分や波の高さ、水の粘度の影響などについても考察したい。この考察を深めることで、実際の防波堤への応用も可能性についても検討できると考える。

【結論】

これらの実験から、津波による洗掘の軽減に効果的な防波堤の形状を発見できた。防波堤の形状を段差型にし、防波堤を超えた水流を段の部分に当てることで洗掘を軽減できることがわかった。

参考文献

「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」 東山 和博・長谷川 巖・稲垣 茂樹 (2013)

「防波堤・防潮堤の被災メカニズムとその効果について」 港湾空港技術研究所 有川 太郎