

河川遡上津波による土砂の移動が構造物に与える影響

秋田大学 学生会員 ○小太刀 旬哉  
 岡山理科大学 正会員 鎌滝 孝信  
 秋田大学 正会員 齋藤 憲寿  
 秋田大学 正会員 渡辺 一也

1. はじめに

河川遡上津波は、地震により発生した津波が河口部から進入することで発生し、市街地に到達して被害を与える。近年、秋田県内では鎌滝ら<sup>1)</sup>によりボーリング調査が行われ、得られたイベント堆積物から津波履歴の検討が行われた。海の土砂と川の土砂の堆積状況を把握することは、津波履歴の検討を深める上でも重要で、1つの方法として水路を用いた河川遡上津波を再現する実験が挙げられる。これまで津波による土砂堆積を再現する実験<sup>2)</sup>はされてきたが、橋脚等の構造物を想定した土砂堆積に関する研究は少ない。

そこで本研究では、粒径の細かい砂、粗い砂を用いそれぞれ海の土砂、川の土砂と想定して河川遡上津波を再現する実験を行った。そして、水路内に設置した構造物周辺の堆積状況、土砂の分布様式、さらに構造物に作用する波力について検討を行った。

2. 実験方法

実験水路は、図1に示す既往研究<sup>2)</sup>で用いられたすべり台状の開水路（幅 0.34 m、高さ 0.2~0.3 m）を使用し、貯水槽（高さ 0.5 m、幅 0.3 m、奥行き 1.7 m）に 25 cm 水を貯めてゲートを急開することで津波氾濫流を発生させた。

また、土砂は東北硅砂株式会社の4号硅砂および7号硅砂を用い、中央粒径値はそれぞれ 0.54 mm、0.13 mm である。水路内を図1のように海側、川側と想定し、海側の土砂を層厚 6 cm、川側の土砂を層厚 3 cm で敷いた。発生させた津波氾濫流により、海側の土砂が川側に到達し流れていくことで河川遡上津波を再現した。なお、実験は表1のように条件を変え4ケース行った。

河川遡上津波による土砂移動を把握するために、実験前と実験後に海側から川側にかけて 15 cm 間隔でポイントゲージを用いて土砂の層厚測定を行った。また、Case1 および Case3 において水路の川側には円柱状の構造物を設置し、構造物前方に取り付けた圧力センサから津波の衝突時の波圧を計測した。構造物の正面図を図2に示す。圧力センサの設置位置は砂の表面から高さ 1 cm とし、計測間隔を 0.05 秒とした。さらに水路末端では受け皿により氾濫水を採取し、氾濫水の体積と質量を測ることで氾濫水密度を求めた。

3. 実験結果

(1) 土砂の堆積状況

Case1 および Case2 における土砂層厚の変化を図3に示す。Case1 および Case2 のどちらも、海側始点で洗掘された土砂が津波氾濫流により移動し、海側終点から 270 cm~360 cm の区間において層厚が大きく増加した。違いが確認できたのは海側始点から 375 cm~495 cm の区間で、Case1 では構造物の周辺（海側始点から 375 cm

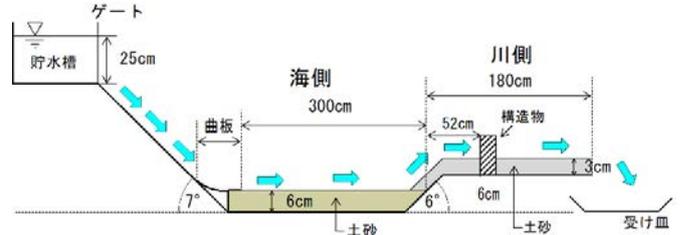


図1 実験水路

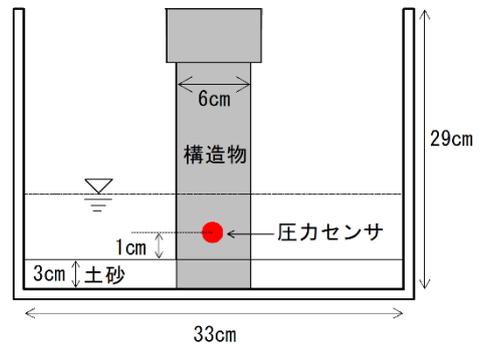


図2 構造物正面図

表1 実験条件

	海側の土砂	川側の土砂	構造物
Case1	7号（細）	4号（粗）	有
Case2			無
Case3	4号（粗）	7号（細）	有
Case4			無

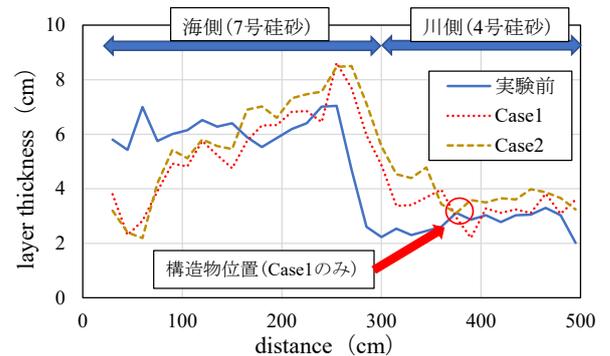


図3 層厚の変化 (Case1, Case2)

付近) は洗掘により層厚が 0.5 cm 程度減少し、構造物以降（海側始点から 380 cm~495 cm）は実験前と概ね一致していた。Case2 では、海側始点から 375 cm~495 cm の区間において 0.5 cm 程度、全体的に層厚が増加した。

次に、Case3 および Case4 における土砂層厚の変化を図4に示す。Case3 および Case4 では、海側始点で洗掘された土砂が津波氾濫流により移動し、海側始点から100 cm~275 cm の区間で層厚が増加したことを確認した。違いが確認できたのは、海側始点から375 cm~495 cm の区間で、Case3 では構造物の周辺（海側始点から375 cm 付近）は洗掘により層厚が1.0 cm 程度減少し、構造物以降（海側始点から380 cm~495 cm）は実験前と概ね一致した。Case4 では、海側始点から375 cm~495 cm の区間において0.5 cm 程度、全体的に層厚が減少した。

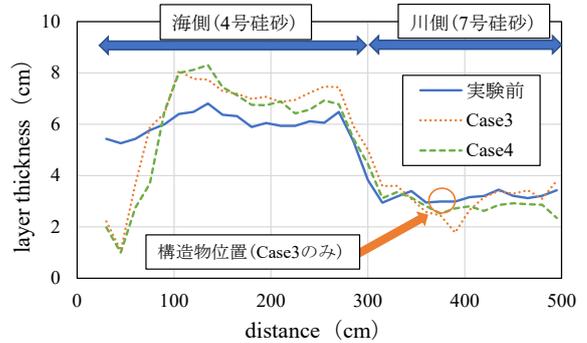


図4 層厚の変化 (Case3, Case4)

Case1 および Case3 において、構造物周辺は津波氾濫流により洗掘され、層厚が減少した。また、構造物周辺は Case1 より Case3 の方が層厚が減少したため、Case3 では Case1 より多くの土砂が洗掘されたといえる。

Case1 および Case3 の構造物周辺における土砂の堆積状況を図5に示す。Case1 では、川側に敷いた4号硅砂は構造物直下でのみ見られ、海側に敷いた7号硅砂が川側全体に堆積した。また、Case1 および Case2 の7号硅砂の堆積は川側終点まで続き、堆積層を形成した。なお、Case1 において堆積層厚は川側始点では1.5 cm、川側終点では0.3 cm 程度で、津波氾濫水の遡上に伴い堆積土砂の層厚が減少していく傾向がみられた。



図5 構造物前方 (左: Case1, 右: Case3)

Case3 では、構造物周辺は川側に敷いた7号硅砂が主で、海側に敷いた4号硅砂は点在して堆積した。Case3 および Case4 の堆積層は川側始点から30 cm の地点まで確認できたが、以降は確認できなかった。また、4号硅砂の点在した堆積は、遡上に伴い少なくなった。

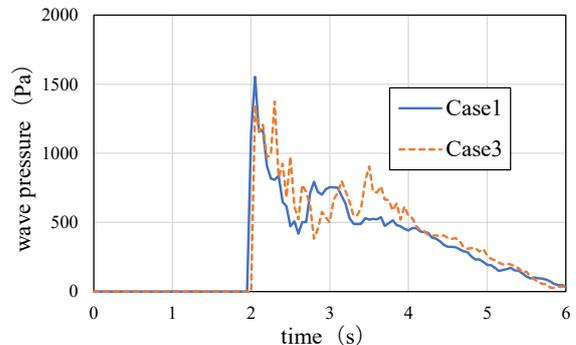


図6 波圧の経時変化 (Case1, Case3)

以上のことから、粒径の小さい7号硅砂は粒径の大きい4号硅砂に比べ津波氾濫流によって移動、堆積し易いことを確認した。そのため、Case3 において川側に敷いていた7号硅砂は津波氾濫流によって移動し易く、洗掘もされ易かったと解釈される。

表2 実験値と理論値の比較

	実験値 (N)	理論値 (N)
Case1	1.40	1.44
Case3	1.21	1.17

(2) 氾濫水密度

Case1~Case4 における氾濫水密度はそれぞれ 1.12 g/cm<sup>3</sup>, 1.15 g/cm<sup>3</sup>, 1.07 g/cm<sup>3</sup>, 1.09 g/cm<sup>3</sup>であった。また、受け皿に入った津波氾濫水を見たところ、Case1 および Case2 では海側の7号硅砂は確認できたが、Case3 および Case4 では海側の4号硅砂はほとんど確認できなかった。粒径が大きいと移動距離が小さく、粒径が小さいと移動距離が大きくなることは、原田ら<sup>3)</sup>によって明らかにされており、本研究においても同様の傾向を確認することができた。

(3) 波圧・波力

Case1 および Case3 の波圧の経時変化を図6に示す。津波衝突直後、波圧は急激に増加し、その後は時間経過に伴い減少することを確認した。Case1 と Case3 を比較すると Case3 の方が振動が多く見られる。これは Case3 の海側に敷いた4号硅砂が点在して堆積したことから、津波氾濫流の中に土砂が不均一に含まれ、構造物に衝突した効果を示すと解釈される。また、津波衝突直後の波圧を高橋ら<sup>4)</sup>による方法と、平山ら<sup>5)</sup>による抗力係数を用いて波力 (N) へ換算した。実験値と理論値の比較を表2に示す。Case1 および Case3 の実験値と理論値はいずれも近い値を示したが、本研究での波圧は1箇所のみでの計測のため、水面側と河床側など複数箇所取り付けて行うことが今後の検討課題である。

4. 結論

- 本研究によって以下の結果が得られた。
- ・構造物周辺は津波によって洗掘され、構造物直下では Case1 および Case3 のどちらも海側の土砂はみられなかった。
- ・Case1 および Case2 では川側に堆積層を形成し、川側終点に向かうにつれ徐々に堆積層厚は減少した。
- ・Case3 における波圧は堆積状況から、氾濫流に不均一に含まれた土砂が構造物に衝突することで振動が多くなったと考えられる。

参考文献：1) 鎌滝孝信ら：秋田県南部および山形県北部沿岸低地における津波浸水履歴の検討，土木学会論文集（海岸工学），75，2，I\_403-I\_408，2019。2) 高桑充広ら：河川遡上津波による土砂混合及び堆積に関する実験，東北地域災害科学研究，56，69-74，2020。3) 原田賢治ら：津波により陸上斜面上に形成される堆積砂分布に関する水理実験，土木学会論文集（構造・地震工学），73，4，I\_634-I\_641，2017。4) 高橋ら：越波時における防波堤上の人転倒に関する研究，港研報告，31，2，31p.，1992。5) 平山秀夫，辻本剛三，島田富美男，本田尚正：海岸工学，コロナ社，191p.，2003。