

河川遡上津波による土砂混合及び堆積に関する実験*

秋田大学 高桑 充広・鎌滝 孝信・齋藤 憲寿・渡辺 一也

1. はじめに

1983年5月26日に発生した日本海中部地震により、秋田県を中心とした日本海沿岸地域では大きな津波被害を受けた。死者は104人にのぼり、そのうち100人は津波による犠牲者とされる。被害を受けた県北部の八峰町峰浜沼田地区では、近年、鎌滝ら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の分布を基に、過去の津波履歴に関する検討が行われた。一方、津波被害予測の高度化を図る上で、津波による土砂堆積を再現する実験は重要である。しかし、当地を対象として津波による土砂堆積を再現する実験は行われていない。八峰町峰浜沼田地区は竹生川の河口部に位置するため、当地で得られたイベント堆積物の分布から津波等の浸水履歴を推定するためには、河川の河口部に襲来する津波を想定した土砂遡上実験を行うことが有用と考える。津波が河川を遡上する際には、海由来の土砂と川由来の土砂の混合が起きると想定される。

本研究では、土砂の混合状況を検討するために粒径分布の異なる土砂、すなわち粗い砂と細かい砂を用いて水路実験を行った。以下に実験結果を報告する。

2. 対象地域

研究対象地域は秋田県北部の八峰町峰浜沼田地区で、竹生川の河口付近に広がる沖積低地である。1983年の日本海中部地震では、竹生川に沿って津波が遡上し、上流1,100m付近の水田まで浸水し、さらに川沿いを1,800mまで遡上したとされる²⁾。また、河口部における津波の打ち上げ高は10.36mである³⁾。過去に津波浸水履歴調査を目的としたボーリング調査⁴⁾が行われた区域を図-1のAに示す。また、図-1のBの地点で砂を採取し、実験用の粗い砂として使用した。

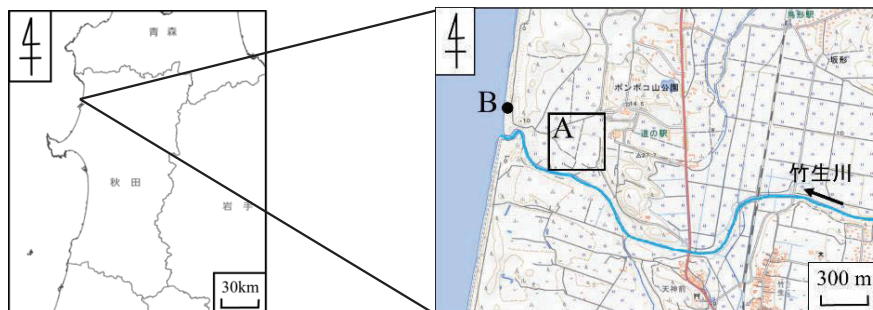


図-1 対象地域

A(枠内)：ボーリング調査対象地域 B：土砂採取地点

※地形図は国土地理院の国土電子webから引用

*Experiment of sand mixture and sedimentation by a tsunami run up to a river by Atsuhiko TAKAKUWA, Takanobu KAMATAKI, Noritoshi SAITO and Kazuya WATANABE

3. 実験

3.1. 実験条件

本実験では、津波の河川への遡上により二種類の砂、すなわち粗い砂と細かい砂の混ざり方を水路実験により明らかにすることを主な目的とする。粗い砂は現地で採取したものを使用し、細かい砂は秋田大学水環境工学研究室で保有しているものを使用した。両者の砂に対し沈降管天秤法⁴⁾による粒度分析を行った結果、粒径分布は図-2のとおり、細かい砂の中央粒径値は0.264 mm、粗い砂の中央粒径値は0.564 mmである。

また、実験には既往研究⁹⁾で用いられた水路を用いる。この水路はフルード数の観点から津波氾濫流の再現性が確認されている。図-3に水路の概況を示す。水路は滑り台状の開水路とし、滑り台斜面の下端には1種類目の砂を敷く水平部(1)、その上流側には2種類目の砂を敷く傾斜部(2)と水平部(1)を設けた。実験水路の諸元は表-1の通りである。また、流れの波形を把握するため、水平部(1)及び水平部(2)の上部に超音波式水位計 (KEYENCE 社製, UD-500) を設置した。さらに、ポイントゲージおよび微小角柱によりマッハ角を生じさせ、フルード数を求めることで津波氾濫流を再現できていることを確認した。

実験は以下の2パターンで実施した。

(Case 1) 海側 (水路上流側) に粗い砂を層厚 6cm で、川側 (水路下流側) に細かい砂を層厚 3cm で敷く場合。

(Case 2) 海側に細かい砂を層厚 6cm で、川側に粗い砂を層厚 3cm で敷く場合。

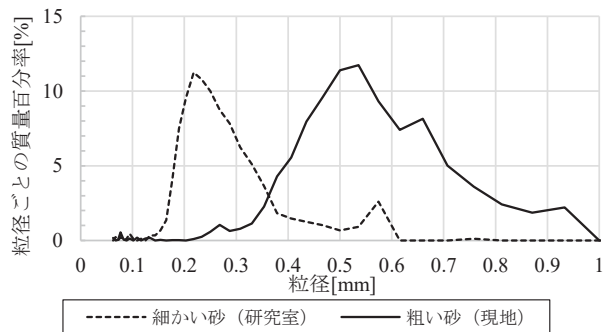


図-2 粒径分布

表-1 実験水路 諸元

h_D	貯水槽高さ	38 cm
h_U	貯水深	25 cm
S_1	滑り台斜面の勾配	7°
S_2	上り勾配斜面の勾配	6°
L_S	波高計の間隔	357 cm
h_{T1}	初期土砂層厚(水路上流側)	6 cm
h_{T2}	初期土砂層厚(水路下流側)	3 cm
h_S	上り勾配斜面の高さ	9.5 cm

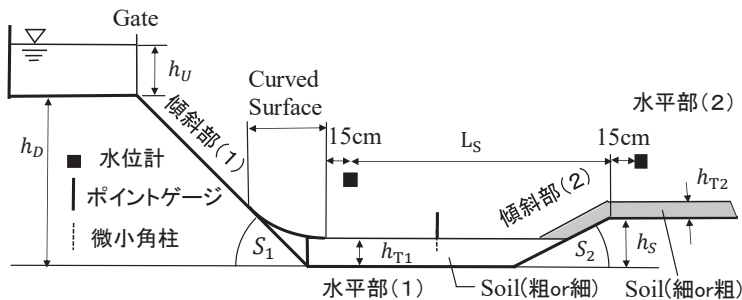


図-3 実験水路 側面図

3.2. 実験方法

本実験では貯水槽に水を溜め、ゲートを急開し放水することで津波氾濫流を模擬した。通水後は水をおよそ取り除き、砂の層厚測定とサンプリングを行った。砂の層厚測定及びサンプリングをするにあたり、図-4のように水平部(1)の土砂域の端部を0として、傾斜部(2)に向かって15 cmずつ目盛りを振った。また、水平部(2)の水路左端を0として水路端部に向かって15 cmずつの目盛りを振った。水路横断方向については、水路左端から1,2,3と番号を振った。深さについては表層から深さ方向に約5 mm間隔で「深さ1」、「深さ2」及び「深さ3」と定義した。例えば、Case 1において水平部(1)の土砂域端部から285 cmの水路中央部で1段階目の深さのサンプルは「Case1_285_2_深さ1」と表現した。また、Case 1において水平部(2)の水路左端部から15 cmの水路中央部で1段階目の深さのサンプルは「Case1_2_15_2_深さ1」と表現した。

上述したように、層厚測定はポイントゲージを用い、水路中央部で約15 cmおきに行った。サンプリングは図-4に示す黒丸の点で約15 cmおきに行った。白丸で囲った点では、深さ方向に3段階、砂のサンプリングを行った。灰丸の点では表面のみのサンプリングを行った。サンプリングした砂は、沈降管天秤法によって粒度分析を行った。

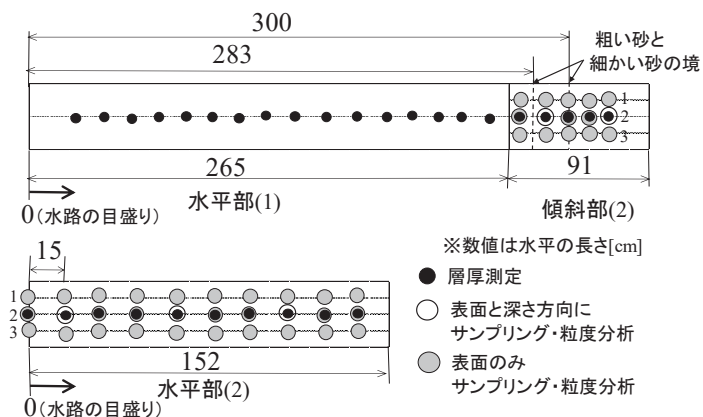


図-4 水路上面図

3.3. 実験結果及び考察

まず、Case 1の実験で得られた粒径分布について述べる。粒度分析の代表例として、Case 1では以下に示す5試料の粒度分析結果を示す。

図-5に水平部(1)の端部から285 cm、図-6に水平部(1)の端部から330 cm、図-7に水平部(2)の端部から15 cm、図-8に水平部(2)の端部から60 cm、図-9に水平部(2)の端部から105 cmの、それぞれ水路横断方向の中央部における粒径分布を示す。285 cmにおける測点の表層では粗い砂が比較的多くみられる(図-5)。330 cmの測点は、初期条件における2種類の砂の境界から30 cm下流にあたる。この測点の深さ1(深さ0~0.5 mm程度)で粒径0.33 mm付近にあるグラフの頂部が、深

さ3(深さ10~15mm程度)では粒径0.25mm付近へシフトしている(図-6)。一方、深さ2では粗い砂と細かい砂が混合し、グラフの山がなだらかな形になっている(図-6)。水平部(2)の端部から15cmの測点では、表層部(深さ1)で、初期条件で敷いた細かい砂に似た粒径分布を示している(図-7)。一方、深さ3では粒径0.22mm付近と0.35mm付近に分かれたピークがみられる(図-7)。0.35mm付近にあるピークは、2種類の砂の中間付近に位置することから、粗い砂と細かい砂が混合していると推定される。水平部(2)の端部から60cmの測点では、粒径0.5mm~0.6mm付近の砂が目立つ(図-8)。この測点では、水平部(2)の端部から15cmの測点よりも下流にもかかわらず粒径が粗い傾向がある。水平部(2)端部から105cmの測点では、全体として細かい粒径の砂が目立つ(図-9)。

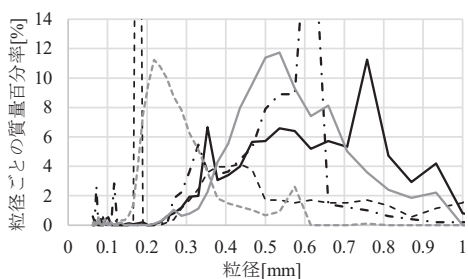


図-5 Case 1 測点 285_2 における粒径分布

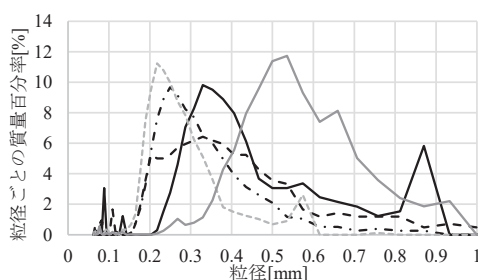


図-6 Case 1 測点 330_2 における粒径分布

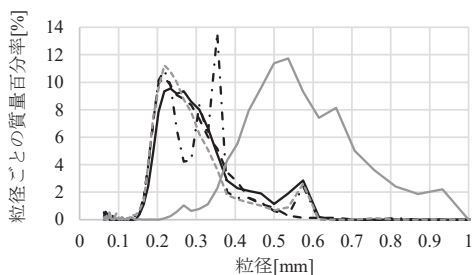


図-7 Case 1 測点 2_15_2 における粒径分布

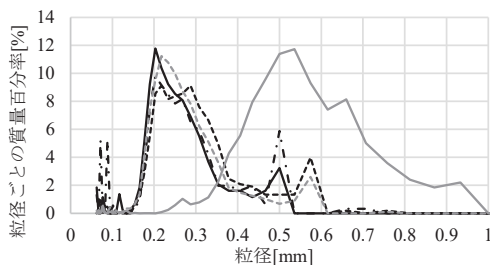


図-8 Case 1 測点 2_60_2 における粒径分布

次に、Case 2 で得られた粒径分布の結果を述べる。Case 2 では以下に示す 3 試料の結果を示す。

図-10 に水平部(1)の端部から 285 cm, 図-11 に水平部(1)の端部から 330 cm, 図-12 に水平部(2)の端部から 15 cm の、それぞれ水路横断方向の中央部における粒径分布を示す。水平部(1)の端部から 285 cm の測点では、表層(深さ 1)に細かい粒径の砂が目立つ(図-10)。330 cm の測点では、深さ

2 (深さ 5~10 mm 程度) のグラフの頂部は初期条件で敷いた 2 種類の砂の頂部の中間付近の値である (図-11)。したがって、津波氾濫流によって粗い砂と細かい砂が混合したことがわかる。さらに、深さ 2 のグラフの頂部は、深さ 1 と深さ 3 の中間付近に頂部があることが分かる。水平部(2)の端部から 15 cm の位置では、深さ 1 および 2 (深さ 0~10 mm 程度) でグラフの頂部は 2 種類の砂の中間付近の位置する (図-12)。

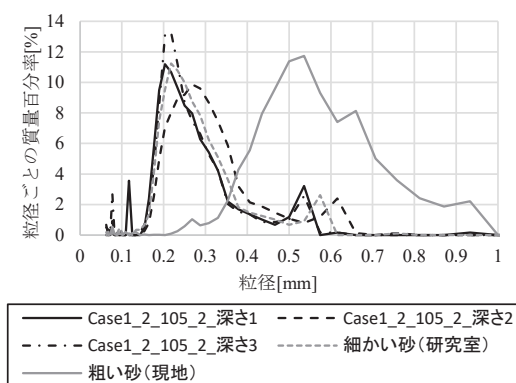


図-9 Case 1 測点 2_105_2 における粒径分布

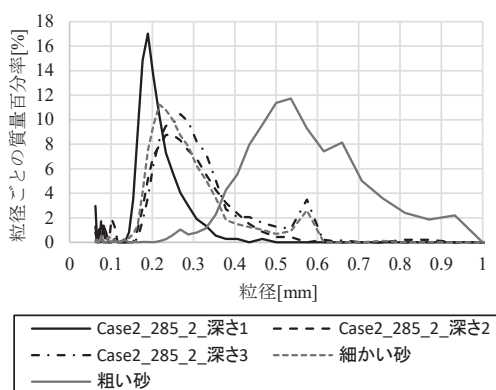


図-10 Case 2 測点 285_2 における粒径分布

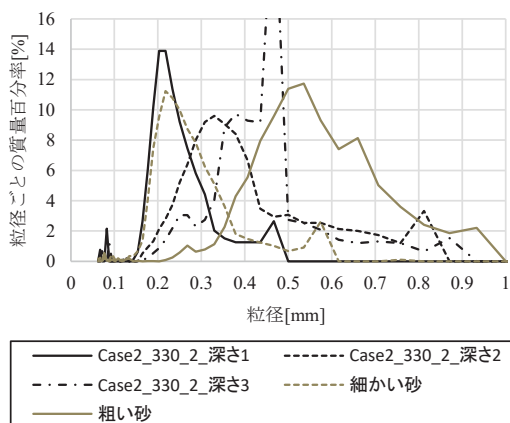


図-11 Case 1 測点 330_2 における粒径分布

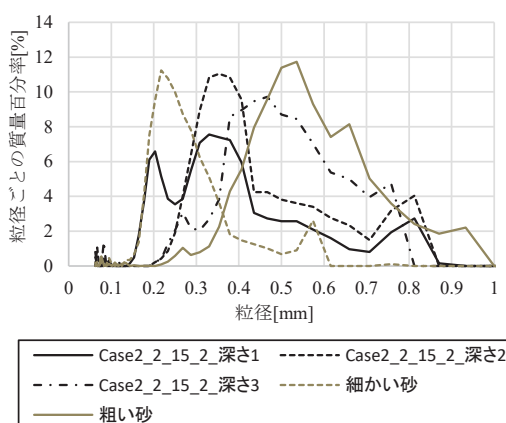


図-12 Case 1 測点 2_15_2 における粒径分布

ここで Case 1 の層厚の変化を図-13 に、Case 2 の層厚の変化を図-14 に示す。いずれも初期層厚は水平部(1)に設置した 1 種類目の砂では約 6 cm、1 種類目の砂の端部から水平部(2)にかけて設置した 2 種類目の砂では約 3 cm である。細かい砂を上流側に敷設した Case 2 のほうが、より遠くに砂が運搬されていることがわかる。

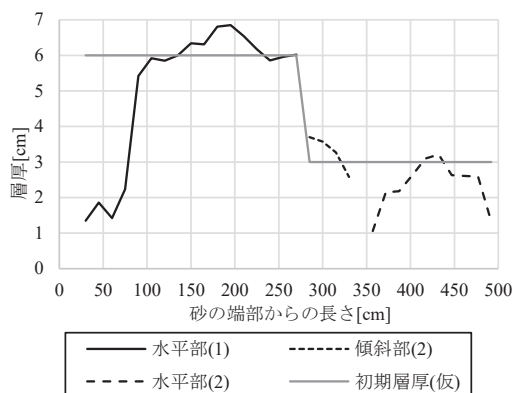


図-13 Case 1 層厚

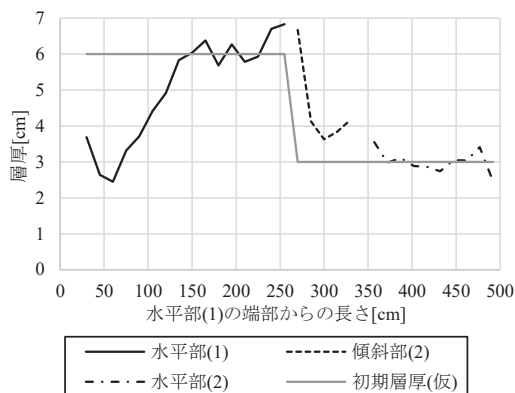


図-14 Case 2 層厚

4. おわりに

今回の実験（Case 1 及び Case 2）において、津波氾濫流による粗い砂と細かい砂の混合様式は不規則的だが、実験水路に敷いた粗い砂と細かい砂の砂の境界から 30cm 遡上した位置の深さ 5mm 付近で、比較的明瞭な土砂の混合が生じたことがわかった。

2 パターンの実験結果から、上流側に細かい砂を敷設したほうが、津波による砂の運搬及び混合が明瞭なことがわかった。

今後の研究課題としては、混合具合の分布を検討することや、砂の由来を明らかにするために粒径分布の重複しない 2 種類の砂を用いた実験を行うことが挙げられる。

謝辞

本研究には平成 31 年度秋田県ジオパーク研究助成金を使用した。秋田大学工学部の水環境工学研究室の皆様には砂の採取及び水路実験に協力いただいた。ここに記して関係各位に深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 鎌滝孝信, 内館美紀, 金澤慎, 石田将貴, 松富英夫: 1983 年日本海中部地震津波の影響地域における過去の津波履歴の検討, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.74, No.2, pp.I_529-I_534, 2018.
- 2) 土木学会: 1983 年日本海中部地震震害調査報告書, pp.157,158, 1986.
- 3) 乗富一雄: 1983 年日本海中部地震による災害の総合的調査研究, pp.90,91,97, 1984.
- 4) 成瀬元: 沈降管天秤法粒度分析用アプリケーション“S Tube”の特色と利用法, 堆積学研究, No.62, pp.55-61, 2005.
- 5) 千葉裕太, 三上輝, 松富英夫: 津波氾濫流密度の諸水理量への依存性, 土木学会論文集 B2, Vol.75, No.2, pp.I_397-I_402, 2019.