

第Ⅱ部門

斜面崩壊等に伴う土砂が水域に突入することで生じる波の水理学的特性

神戸市立工業高等専門学校都市工学科 学生員 ○石原 莉輝
 神戸市立工業高等専門学校都市工学科 正会員 柿木 哲哉
 熊本大学大学院先端科学部環境科学分門 フェロー 辻本 剛三
 東洋建設株式会社鳴尾研究所 正会員 酒井 大樹
 神戸市立工業高等専門学校都市工学科 正会員 宇野 宏司

1. 研究の背景と目的

平成 29 年 7 月九州北部豪雨では、広域的な豪雨により生じた流木や土砂が溜池の洪水吐をせき止め、溜池内の水位が上昇・越流し、溜池が決壊した。さらに、この決壊により生じた大量の土石流が下流側の溜池に突入し、波を発生させ、周辺に被害を拡大したという見方がある。しかしながら、その波の発生機構や伝搬過程はよく分かっていない。そこで本研究では、斜面崩壊等に伴う土砂や土石流が水域に突入することで生じる波の水理学的特性を明らかにすることを目的とし、水理模型実験を行った。

2. 研究方法

地すべりや山体崩壊に伴う波の発生過程に関する実験的研究は、松原ら(2011)、重松・河野(2006)、柿沼ら(2008)、今村ら(2001)、富樫ら(1992)などがある。これらの実験では、固体模型、ガラスビーズなどの均一粒径の粒子、珪砂などを斜面に沿って滑落させた後、水面に突入させて波を起こし、その波の挙動について調べている。本研究では、より実現象に近い条件とするため、砂を用いて予備実験を行ったが、①初期状態からの崩壊、②斜面上の滑動、③水面への突入、④水中の滑動、の一連において、砂の動きがスムーズではなく、動きが完全に止まるものもあった。そこで、崩落させる材料を礫に変更し、粒径は 4.75 ~ 9.5 mm, 2.36 ~ 4.75 mm の 2 種類を用いて実験を行った。ケースによっては動きが一時止まるものもあったが、すべて斜面の終端まで滑動したため、礫（以降、この試料を土砂と呼称する。）を用いた。

図-1 は実験に用いたアクリル水槽の側面図で、左側が岸、右側が沖である。水槽の内寸は長さ 2000 mm, 高さ 400 mm, 幅 50 mm である。静水深はすべてのケースで 235.0 mm とした。斜面は水槽と同じアクリル板で作成し、斜面勾配は 40° とした。この斜面の中腹に可動式の仕切り板を設け、その岸側に土砂（乾燥状態）を充填する。実験開始と同時に仕切り板を鉛直上方に素早く引き抜き、土砂を滑動させ、水中に突入させる。この時、斜面の沖側端の位置に容量式波高計を 1 台設置し、水位変化を 10 Hz で計測した。それと同時に、水槽側方からは透明の側壁越しにデジタルビデオカメラ（ソニー社製、HDR-SR11）で撮影し、水面の空間波形を画像から読み取り、空間波形の時系列を取得した。なお、ビデオカメラのフレームレートは 120 fps のモードとした。実験ケースは、表-1 に示すとおり、合計 12 ケースとした。

3. 研究結果

写真-1(a)~(e)に Case-M-H-H の実験の写真を示す。仕切り板を開放した瞬間を $t = 0 / 120$ s とする。(a)は土砂の先端が水面に到達した瞬間である。土砂は水中に到達する直前まではほぼ様な厚みであるが、水中に突入後は先端がやや膨らんだ状態で落下していく。また、土砂が突入した直後、汀線付近から鉛直上向きに水位が上昇し始め、それが沖向きに進行するのがわかる。図-2 は画像から読み取った水面の空間波形の時系列で、水平座標のゼロの位置が汀線の位置、鉛直座標のゼロの位置が静水面である。図-3 は斜面の沖側端上の水位の時系列で、Case-M-H-H の結果である。第 1 波目が最大波高で、まず水位が上昇し、峰が通過する位相で波は進行する。これは写真-1 の結果と整合する。他のケースもこれと同様であった。全ケースの第 1 波目の波高を図-4 にまとめる。色は粒径の違いを表し、青色 > 赤色である。シンボルの形は土砂の投入高さを表し、■ > ▲ である。粒径が大きい方、土砂の投入高さが高い方、そして投入量が多いほど、波高が高くなるのが分かる。その他、詳細は講演時に述べる。

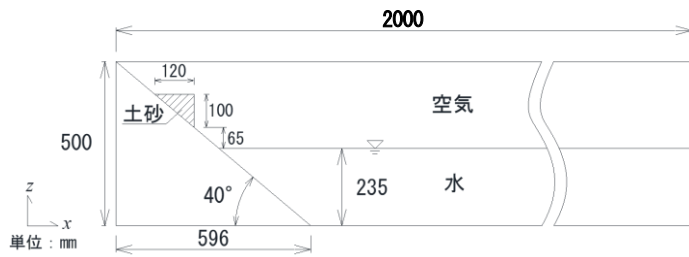


図-1 実験状況

表-1 実験ケース

ケース名	土砂の粒径(mm)	投入高さ(mm)	土砂の質量(kg)
Case - M - H - H	4.75~9.5	65.0	0.440
Case - M - H - M	4.75~9.5	65.0	0.293
Case - M - H - L	4.75~9.5	65.0	0.146
Case - S - H - H	2.36~4.75	65.0	0.470
Case - S - H - M	2.36~4.75	65.0	0.313
Case - S - H - L	2.36~4.75	65.0	0.156
Case - M - M - H	4.75~9.5	32.5	0.440
Case - M - M - M	4.75~9.5	32.5	0.293
Case - M - M - L	4.75~9.5	32.5	0.146
Case - S - M - H	2.36~4.75	32.5	0.470
Case - S - M - M	2.36~4.75	32.5	0.313
Case - S - M - L	2.36~4.75	32.5	0.156

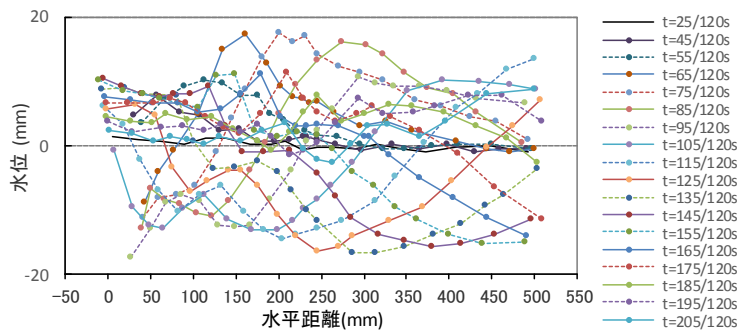


図-2 水位の空間分布の時系列

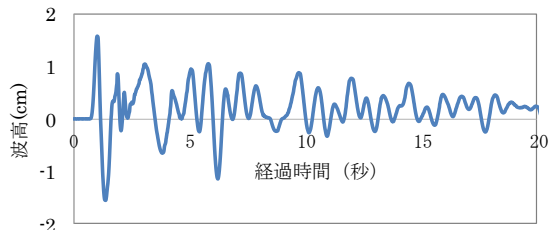


図-3 Case-M-H-Hの水位の時間波形
(斜面沖側端の波高計)

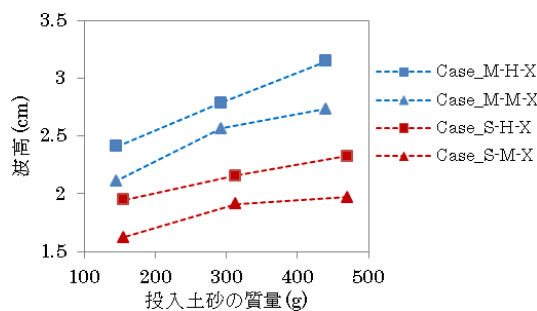
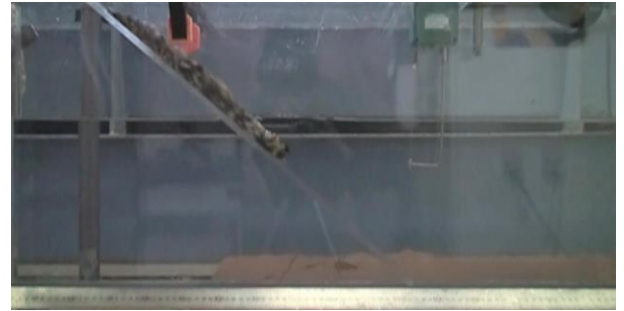


図-4 第1波目の斜面沖側端における波高



(a) 仕切り板開放から 25/120 秒後



(b) 仕切り板開放から 45/120 秒後



(c) 仕切り板開放から 65/120 秒後



(d) 仕切り板開放から 85/120 秒後



(e) 仕切り板開放から 105/120 秒後

写真-1 土砂投入の様子 (Case-M-H-H)