

砂防えん堤モデルへの土石流段波モデルによる動的応答実験

砂防鋼構造物研究会 ○井上隆太、石川信隆 防衛大学校 別府万寿博
(財)建設技術研究所 長谷川祐治 京都大学大学院 水山高久

1. 緒言

土石流段波が発生した場合、砂防構造物が破壊する可能性がある¹⁾。本研究は、土石流段波を受ける砂防えん堤の挙動を解明するため、モデル実験によりその動的応答を調べたものである。これまでボラ²⁾や粒径の異なる土石流モデル³⁾による段波形成を試みてきたが、本研究では、まず土石流モデルとして3種類の自然材料(A:清水のみ、B:礫7:砂3、C:礫3:砂7)を用いて、段波荷重の再現を検討した。次に、段波荷重が鋼板やモルタル板の変形や破壊メカニズムに及ぼす影響について基礎的に調べたものである。

2. 実験の概要

過去に行った実験³⁾と同様に、急勾配水路(幅100mm、勾配18度)において、①まず3種類の土石流モデル(清水のみ)、B(礫7:砂3)およびC(礫3:砂7)を流下させて、分力計により荷重～時間曲線を測定した。ここで、礫は16-19mm径、砂は2mm径以下を使用し、BとCタイプの体積は一定とした。②次に砂防えん堤モデルの変形挙動と破壊メカニズムを調べるため、鋼板(厚さ0.5mm、幅100mm、高さ300mm、ヤング率 $E=200\text{kN/mm}^2$ 、弾性限界ひずみ $\varepsilon=1100\mu$)およびモルタル板(厚さ5mm、幅100mm、高さ300mm、ヤング率 $E=20\text{kN/mm}^2$ 、引張限界ひずみ $\varepsilon=110\mu$)を用いて、土石流モデルによる流下実験を行い、鋼板えん堤モデルの下から5cm、10cm、15cmにひずみゲージを貼付して最大ひずみ応答を測定し、さらに鋼板やモルタル板の破壊過程を高速ビデオで撮影した。

3. 段波荷重発生の確認と設計流体力との比較

図-1は3種類の土石流モデルによる荷重～時間曲線を示したもので、B(礫7:砂3)の場合は昨年と同じような段波荷重³⁾が発生することが確認された。すなわち、Bタイプの場合、AタイプやCタイプに比べてピーク荷重やピーク後の収束荷重(衝突後約2secの荷重)も大きいことが認められた。表-1は実験によるピーク荷重とピーク後の収束荷重を設計流体力($F=\rho Av^2$)と比較したものである。これより、A(清水のみ)の収束荷重は設計流体力とほぼ一致しており、またB(礫7:砂3)の収束荷重も設計流体力と概ね一致している。しかし、C(礫3:砂7)タイプの場合は、流速が遅いため土砂堆積がバラけてしまい、したがって、収束荷重は設計流体力と一致していないことが分かる。

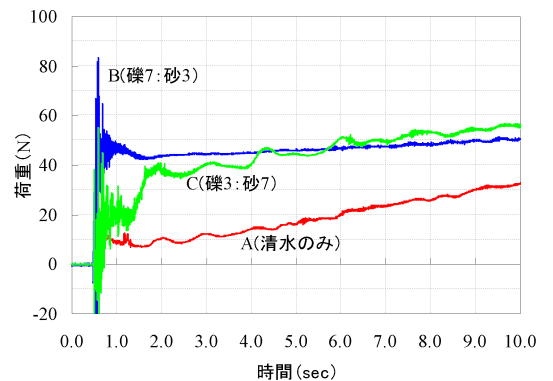


図-1 土石流モデルによる荷重～時間曲線

4. 土石流モデルが砂防えん堤

表-1 実験結果と設計荷重との比較

モデルに与える影響

4.1 土石流モデルが鋼板の

最大ひずみ応答に与える影響

図-2は、土石流モデル(A,B,C)が砂防えん堤モデル(鋼板0.5mm)の下から5cmの最大ひずみに与える影響を比較したもので、B(礫7:砂3)、C(礫3:砂7)、A(清水のみ)の順に大きな影響を与えていることが分かる。またピーク値に

No	土石流モデル 密度(g/cm ³)	ピーク 荷重(N)	収束 荷重(N)	流速 (m/s)	水深 (cm)	設計 流体力(N)	設計流体力/ 収束荷重 比
1	A(清水のみ) 1.00	12.0	10.0	2.33	1.7	9.2	0.92
2	A(同上) 1.00	11.2	9.4	2.36	1.7	9.5	1.01
3	A(同上) 1.00	12.5	12.0	2.70	1.7	12.4	1.03
4	B(礫7:砂3) 1.55	82.0	42.0	1.92	6.7	38.3	0.91
5	B(同上) 1.55	65.0	37.0	1.92	6.3	36.0	0.97
6	B(同上) 1.55	62.0	32.0	1.52	5.3	19.0	0.59
7	C(礫3:砂7) 1.88	50.0	38.0	1.67	3.0	15.7	0.41
8	C(同上) 1.88	42.0	25.0	1.79	1.5	9.0	0.36
9	C(同上) 1.88	30.3	21.0	1.61	2.0	9.7	0.46

至る立ち上がり時間も B,C,A の順に発生しており、これより B タイプの段波荷重に対する衝撃的応答が明瞭に現れており、瞬時に弾性限界ひずみ（約 1100 μ ）を超えて塑性変形している。しかし、C 荷重や A 荷重の場合も後続流により塑性変形している。

4.2 段波が鋼板の変形・破壊に与える影響

写真-1 は、A(清水のみ)と B(礫 7 : 砂 3)の衝突時の鋼板(0.5mm)の変形を高速ビデオで撮影したもので、A(清水のみ)の場合は、変形が僅か(約 2mm)であるに対し、B(礫 7 : 砂 3)の場合は明らかに衝突時に大きな塑性変形を示し、最終的に曲げ変形により転倒している。このことより、鋼板の場合、段波荷重に対しては衝突時に塑性域に達するが、直ちに破壊することなく、鋼材のもつ延性により曲げ破壊挙動を示すことが認められた。

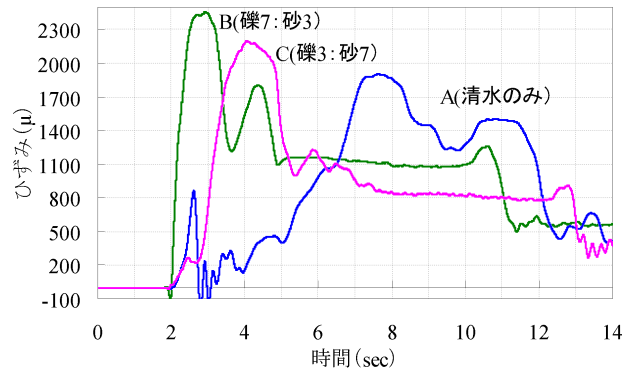


図-2 鋼板の最大ひずみ応答



(a) A(清水)の場合

(b) B(礫 7 : 砂 3)の場合

写真-1 鋼板の曲げ変形・破壊状況

4.3 段波がモルタル板の変形・破壊に与える影響

写真-2 は B タイプ荷重によるモルタル板(厚さ 5mm)が衝突時に一挙に(0.1sec 以内)破壊した例である。これは、モルタル板の引張限界ひずみ(110 μ)を超えると、直ちにひび割れが進み、根元部の破壊につながったものと考えられる。つまり、モルタルやコンクリートのような脆性材料の場合は、土石流段波のような衝撃的荷重を受けると、直ちに引張破壊を生じやすいことが確認された。

5. 結言

①B タイプ(礫 7 : 砂 3)の場合に段波が形成されることが再確認された。②設計流体力は、A タイプ(清水のみ)や B タイプの収束荷重とほぼ一致することが分かった。③3 種類の土石流モデル荷重によって、動的ひずみ挙動が異なることが確認された。④鋼板の場合、A(清水のみ)荷重に対しては安全であるが、衝撃的な段波荷重に対してひずみが塑性域に達し、延性により曲げ破壊することが分かった。⑤モルタル板の場合は、衝突時に一挙に引張破壊してしまい、鋼板の破壊メカニズムと異なることが確認された。

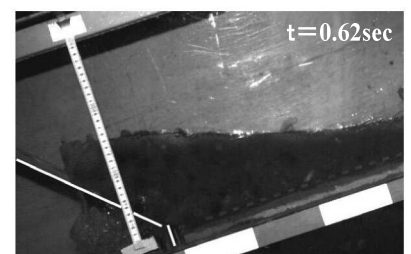
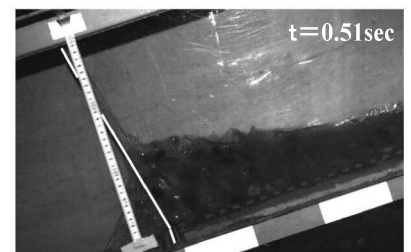


写真-2 モルタル板の破壊状況

参考文献

- 1) 田村圭司, 内田太郎, 武澤永純, 鈴木隆司, 金野崇史: 平成 19 年 7 月鹿児島県船石川で発生した深層崩壊に起因する土石流の実態, 平成 20 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.374-375, 平成 20 年 5 月.
- 2) 井上隆太, 石川信隆, 別府万寿博, 長谷川祐治, 水山高久: 土石流段波モデルによる砂防えん堤モデルの荷重・変位計測と堆積状況の可視化実験, 平成 20 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.290-291, 平成 20 年 5 月.
- 3) 井上隆太, 石川信隆, 別府万寿博, 長谷川祐治, 水山高久: 粒径分布を変化させた石礫型土石流モデルの荷重測定実験, 平成 21 年度砂防学会研究発表会概要集, pp.82-83, 平成 21 年 5 月.