

天然ダム侵食路の水深に関する一実験

日本大学生産工学部土木工学科 ○小田 晃

1. はじめに

天然ダムから越流した場合に発生する侵食路の幅と水深は時間とともに変化する。そして、水深が幅に比べて深くなる場合、侵食路側面が崩壊して侵食路に急激な土砂堆積が発生し、その後、崩壊による堆積土砂が決壊して2回目のピークが生じる場合もあることが実験観察などから分かっている¹⁾。このような天然ダムの侵食路形状については、側岸崩落に伴う流路の拡幅過程を土質パラメータに基づき定式化した吉野ら²⁾の研究や流入流量と天然ダム構成材料の粒度の違いによる天然ダムの高さや侵食幅の時間変化を調べた赤澤ら³⁾の研究などがある。ここでは、今まであまり計測されていなかった天然ダム侵食路における水深に着目し、その時間変化や侵食幅などの関係について考察した。

2. 実験条件

実験は幅 30cm、水路勾配 1/30 の矩形断面水路を使用した。天然ダム模型は、高さ 30cm、天端長 10cm、上下流の法勾配 1:2, 1:3, 1:4 の 3 種類とし、下流法尻断面が水路下流端に一致するように設置した。天然ダムの構成材料は平均粒径 0.29mm のほぼ様な珪砂であり、含水率 10% として締固めを行いながら作製した。流入流量は $0.58\text{cm}^3/\text{s}$ で一定である。越流流量は水路下流端で土砂と水を直接採取することで計測した。天端における侵食路の水深計測はデジタルポイントゲージ(東京計測(株)社製)、天然ダム天端から下流側法面間の侵食路の幅は水路下流に設置したビデオ映像より計測した。なお、実験は各勾配とも 2 回ずつ実施した。

3. 越流流量・水深・侵食路の幅の時間変化

法勾配 1:2 と 1:4 のケースにおける越流流量、水深、侵食路の幅の時間変化を図 1~3 に示す。時間は天然ダム天端の下流側法肩を越流したときを開始時間 (0sec) とした。各勾配での 2 回の実験ともほぼ同じ傾向であり再現性は確認された。なお、法勾配 1:3 と 1:4 のケースにおいて越流流量の最大値は計測できていない。

法勾配 1:2 のケースにおける越流流量の時間変化は 2 回の実験ともピークが 2 回発生している(図 1)。実験観察より、崩壊による堆積土砂が流出したときに 2 回目のピークの発生が確認されている。従来の報告¹⁾同様、侵食路の側岸崩落がピークの複数回発生の原因と考えられる。

法勾配 1:2 のケースで越流流量の第 1 回目のピークと水深のピークは一致していない。侵食路の水深のピークは越流流量の 1 回目のピークよりも約 10~25sec 早く発生している。また、水深ピーク時付近において侵食路の幅は水路幅にほぼ到達していることが図 2, 3 より示された。

越流流量のピーク時には既に水深が減少し、下流法面の侵食路の幅は水路側面に達している。このことから決壊前の天然ダム天端断面における流速が増加していると考えられる。侵食が進行している侵食路底面の最高標高位置は越流開始時の天端断面より上流側に移動する。この現象は実験の観察や既往の研究⁴⁾からも知られている。このとき、この断面を越流する流れの水面勾配は急激に増加している。したがって、天然ダムの湛水域の水位が低下しにくい状況、すなわち湛水量や流入流量が多い場合は越流流量が増加することが考えられる。

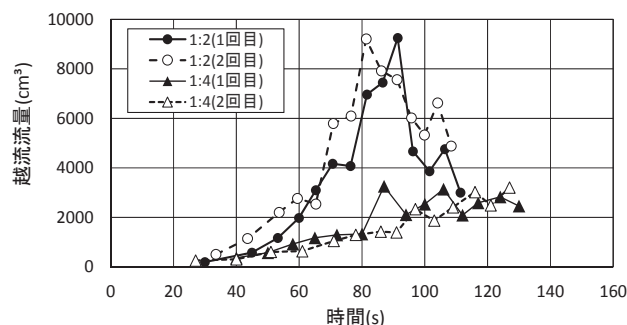


図 1 越流流量の時間変化

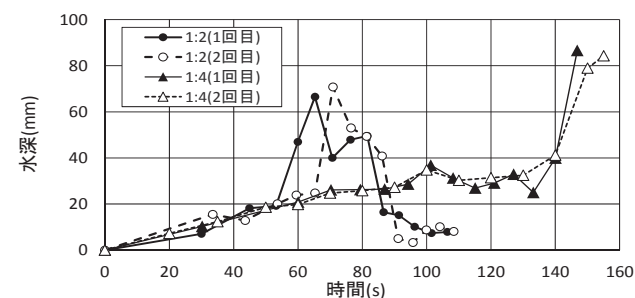


図 2 天然ダム侵食路の水深の時間変化

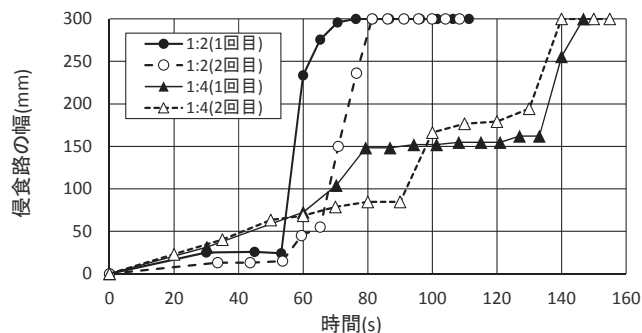


図 3 天然ダム侵食路の幅の時間変化

4. 水深に関する考察

4.1 限界水深との関係

水深 h と限界水深 h_c の比 h/h_c の時間変化を図 4 に示す。限界水深は天然ダム天端から下流側法面間の侵食路の幅を用いて求めた。法勾配 1:2 では越流流量がピークに達するまでに天端断面での侵食路内の流れは常流→射流→常流と変化している。下流側法面の急激な侵食により急勾配となり流速が増加したことで射流状態になったと考えられるまでは侵食路の天端付近は限界流に近い状態であることが分かる。法勾配が緩い場合、下流側法面の勾配変化も緩やかとなり、天然ダムを越流する流れの急激な変化が示されなかったと考えられる。

4.2 侵食深との関係

越流前の天端面から侵食路底面までの高さである侵食深 z と水深 h の比 h/z の時間変化を図 5 に示す。法勾配 1:2 では h/z のピーク値は 0.42 と 0.55 である。この時期は越流流量のピーク発生時期よりも前である。 h/z がピークを過ぎると侵食深はほぼ天然ダムの高さ(30cm)に近くなり h/z は減少する。また、法勾配 1:4 では越流開始直後は侵食深の増加量に比べ水深の増加量が大きいため 50sec 付近で h/z のピークが発生している。その後、 h/z は減少するものの越流流量がピークに近づくと考えられる 130sec 以降で h/z が再び増加する傾向が示されている。これらの結果から、越流流量ピーク前の段階で h/z が増加する傾向となり、法勾配 1:2 ではその限界は $h/z = 0.4 \sim 0.6$ 程度であることが示された。この値に達すると側岸崩壊が発生し易くなると考えられる。

4.3 流量と水深の関係

図 6 に勾配 1:2 の 1 回目実験における越流流量と侵食路の水深の関係を示す。傾向は大きく 2 パターンに分けられることが示された。●でプロットした実験値は越流流量のピーク付近よりも早い時間帯であり、○の実験値はピーク付近より後の時間帯である。ピーク付近を境として水深と流量の関係は大きく変化する。理由としては、ピーク付近で発生する侵食路の側岸崩壊により流れの状態が大きく変化する点があげられる。また、自然状態の河道では水深は流量の約 1/3 乗に比例する Regime 理論が知られている⁵⁾。これと比較すると今回は一致していない。Regime 理論が成立するような自然河道とは大きく状況が異なることが理由と考えられる。一方、法勾配 1:4 のケースの越流流量ピーク前における侵食路では図 7 に示すように流量と侵食路の水深の関係は 0.342 乗となり Regime 理論に近い値となった。法勾配が緩く侵食が自然河道に近い状態で進行していたと考えられる。

5. おわりに

今回の実験から法勾配 1:2 の天然ダムは、①越流流量のピークと天端断面の水深のピークが一致しない。②天然ダム天端断面での流れの状態は下流法面の侵食状況により変化する。③ h/z が 0.4~0.6 程度に達すると側岸崩壊が発生し易くなる。などの結果が得られた。今後は、実験範囲を拡大し、侵食路の水深や越流流量などの普遍的な関係について検討する予定である。

参考文献 1)小田晃ら(2007)：天然ダム決壊の模型実験，砂防学会誌，Vol.60，No.2，p.33-38. 2)吉野弘祐ら(2013)：天然ダム越流侵食時に形成される水みちの発達過程に関する研究，砂防学会誌，Vol.66，No.2，p.3-9. 3)赤澤史頭ら(2015)：天然ダムの部分越流決壊に関する実験的研究，平成 27 年度砂防学会研究発表会概要集，p.B-82-B-83. 4)高橋保ら(1988)：天然ダムの決壊による土石流の規模に関する研究，京都防災研究所年報，第 31 号，B-2，p.601-615. 5) 土木学会編(2007)：水理公式集[平成 11 年版](2007)，p.181.

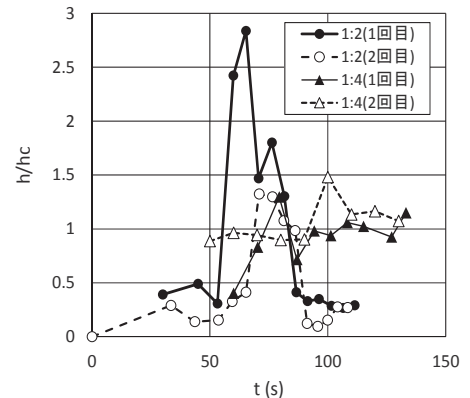


図 4 水深/限界水深の時

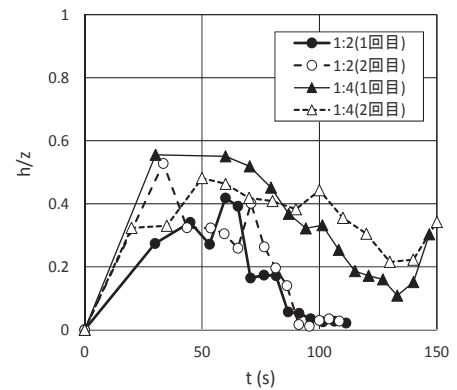


図 5 水深/侵食深の時間変化

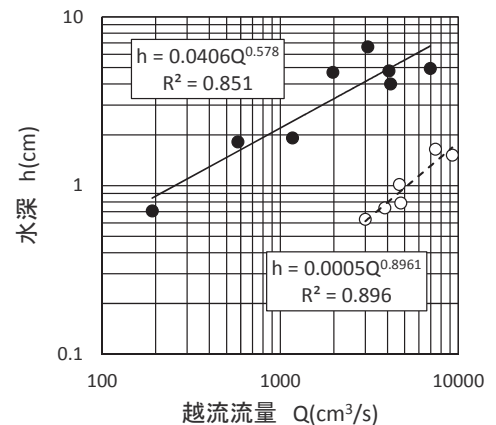


図 6 流量と時間の関係(1:2 勾配、1 回目)

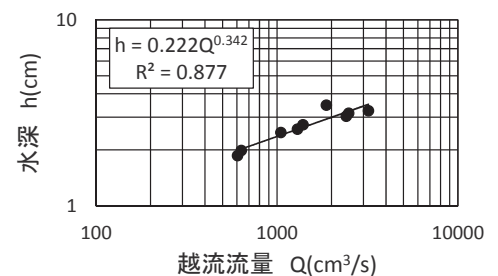


図 7 流量と時間の関係(1:4 勾配、2 回目)