山地河川における遡上段波の伝播特性

京都大学防災研究所 ○竹林洋史・藤田正治
京都大学大学院工学研究科　梶原哲郎

1. はじめに　2011 年 9 月に紀伊半島南部を襲った台風 12 号により，十津川村宇宮原地区では一つの湾曲内で 2 ヶ所の斜面崩壊が発生した．一方，二つの斜面崩壊の約 1 蛇行波長上流域には関西電力の長殿発電所があり，台風襲来時に被災し，建物全てが消失した．現地調査の結果，発電所は下流側からの大きな応力を受けた痕跡が有り、下流域で発生した斜面崩壊によって発生した段波が上流に伝播し，発電所を破壊したことが予想された．しかし，段波の遡上として良く知られている河川河口域の津波の遡上は，河川勾配が非常に緩やかな場であるとともに河道内の流量が非常に少ない平水時に観測されている．一方，長殿発電所付近の河床勾配は 1/100 程度であるとともに，段波が発生したと考えられる時刻は豪雨の最中であり，河道内の流量は非常に大きかったと考えられ，そのような場で津波が遡上するかどうか不明である．また，津波の遡上に関する従来の研究は，直線河道を対象としたものが主であるが，長殿発電所付近の河道形状は蛇行であり，蛇行域における段波の伝播特性については十分な知見が得られていない．そこで，本研究では水路実験及び平面二次元の数値解析によって，山地河川における遡上段波の伝播特性について検討を行った．

2. 実験方法及び実験条件　水路実験は，図 1 に示すような sine-generated curve の平面形を有した蛇行水路で行った．水路幅は 20cm，流路に沿った河床勾配は 1/100，最大蛇行角は 61 度である．図 1 に示した場所で，図 2 に示す装置によって段波を発生させた．また，下流側の斜面崩壊によって天然ダムが一時的に形成され，天然ダム上流域の湛水域に上流側の斜面崩壊が発生して土砂が流れ込んできた場合を想定し，下流域に堰を設置した実験も行った．段波発生位置から水位観測地点までの流路に沿った距離は 2m, 段波発生装置から堰までは 1.2m である．なお，直線流路を対象として同様の実験も行った．実験条件を表 1 に示す．Case 1～Case 4 は蛇行水路を対象に行った実験である．Case 1 と Case 2 は流量が多く，Case 3 と Case 4 は流量が少ない．また，Case 1 と Case 3 は下流域の天然ダムを考慮しておらず，Case 2 と Case 4 は下流域の天然ダムを考慮している．Case 5 と Case 6 は, 直線水路を対象とした実験であり, それぞれ, Case 1 及び Case 2 に同様の水理条件である．

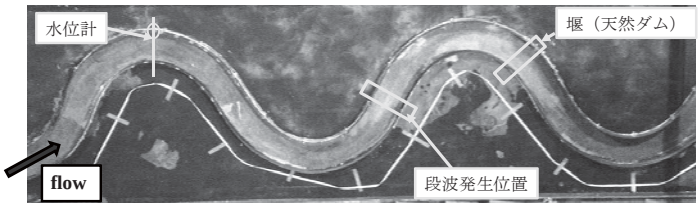


図 1　実験に用いた水路（Case 1～Case 4）

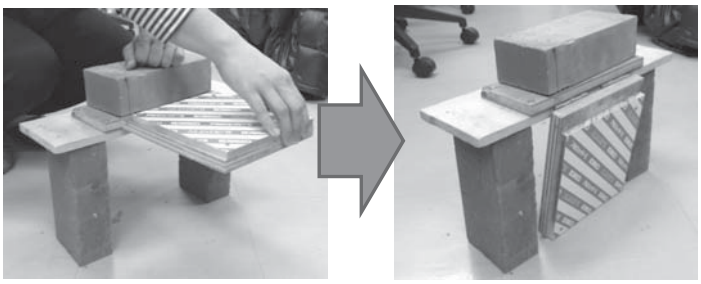


図 2　段波発生装置

表 1　実験及び解析条件

	流量（m^3/s）	下流の天然ダム	水路形状
Case 1	0.00096	無し	蛇行
Case 2	0.00096	有り	蛇行
Case 3	0.00049	無し	蛇行
Case 4	0.00049	有り	蛇行
Case 5	0.00092	無し	直線
Case 6	0.00092	有り	直線
Case 7	2500	無し	蛇行
Case 8	2500	有り	蛇行

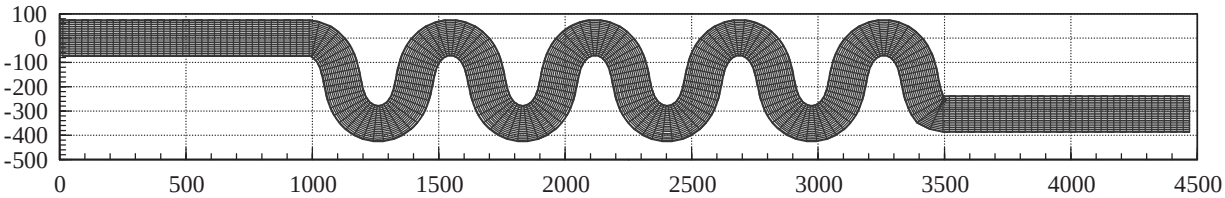


図 3　解析格子（Case 7 と Case 8）

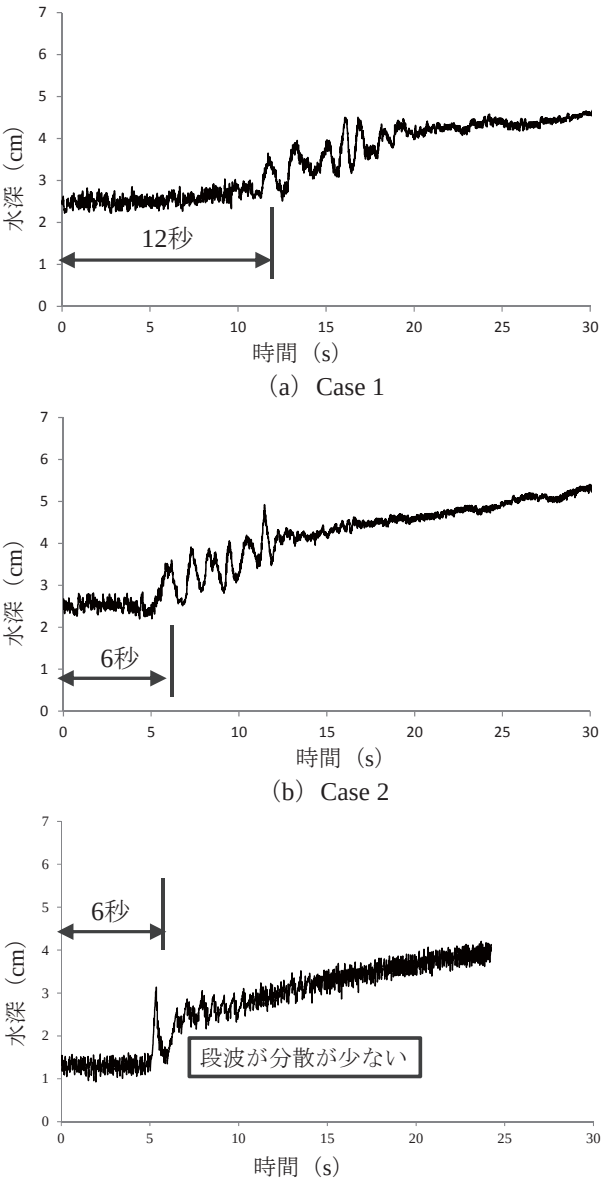
2. 解析方法及び解析条件　解析に用いた基礎方程式は，竹林 [2)]と同様の平面二次元流れの基礎方程式である．解析は三つの水路形状に対して実施した．一つは，水路実験と同じ場を対象としたもの（Case 1～Case 4）であり，もう一つは直線水路（Case 5 と Case 6）．さらに，長殿発電所付近の河道条件を参考にした水路形状（Case 7 と Case 8）である．解析条件表 1 に示す．図 3 に Case 7 と Case 8 に用いた解析格子を示す．水路幅は 150m，河道縦断勾配は 1/100, 最大蛇行角は 80 度の sine-generated curve である．段波は，河床位を急速に上昇させることにより発生させた．

3. 結果と考察　図4にCase1，Case 2，Case 6の水位観測地点における水位の時間的な変化を示す．Case 1とCase 2を比較すると，段波到達時刻に大きな違いがあることが分かる．下流域の天然ダムを考慮したCase 2では，段波の遡上速度が速く，発生から約6秒で水位観測地点に到達している．一方，下流域の天然ダムを考慮していないCase 1では，段波の遡上速度が遅く，発生から約12秒で水位観測地点に到達している．下流域に天然ダムが形成され，天然ダムの上流域に湛水域が形成されると，下流方向の流速が遅くなるとともに，水深が増加していることが段波の遡上速度増加に寄与したと考えられる．次に，Case 2とCase 6を比較すると，段波の遡上速度に大きな違いはないが，直線河道であるCase 6は，段波到達時に一つの大きな段波が確認されているが，蛇行河道であるCase 2は，段波がいくつかに分裂していることが分かる．これは，湾曲部において段波が側壁で反射したり，流下方向の流速の横断分布が蛇行部で大きくなり，段波の遡上速度が横断的に変化したことが理由と考えられる．

図5にCase 7の段波遡上中に水深平均流速の平面分布を示す．図より，段波は流速の遅い湾曲内岸側で速く遡上していることがわかる．

4. おわりに　水路実験及び平面二次元の数値解析によって，山地河川における遡上段波の伝播特性について検討を行った．下流域に天然ダムが形成され，天然ダムの上流域に湛水域が形成されると，下流方向の流速が遅くなるとともに，水深が増加するため段波の遡上速度が増加したと考えられる．また，段波が蛇行部を遡上すると，側岸での段波の反射や流下方向の流速の横断分布のため，段波が分裂することが明らかとなった．

参考文献　1)　竹林：ながれ，日本流体力学会．



（a）Case 1

（b）Case 2

（c）Case 6

図 4　水位の時間変化

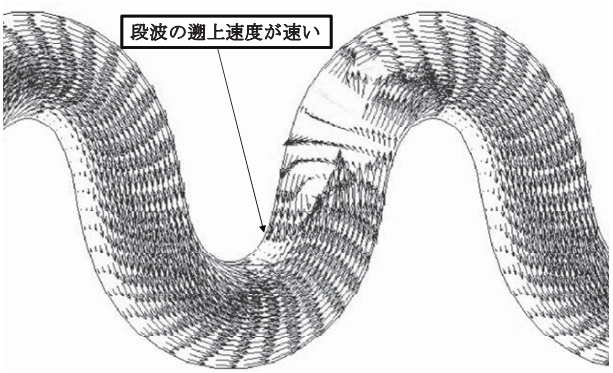


図 5　段波遡上中に水深平均流速の平面分布（Case 7）