

砂防堰堤の水通し天端を越流する石礫の挙動について

信州大学農学部 堀内照夫

砂防堰堤の被災原因に関する調査^①によると、第一は砂防堰堤及び副堰堤の前庭、水叩工の洗掘による損壊が最も多く66.9%、袖抜けによるもの18.7%、堤冠部などの摩耗、損壊が18.7%、衝撃、側圧による破壊が8.0%であって、林野庁関係における治山施設の調査^②もほぼ同様の結果を示している。被災砂防堰堤のなかには、かなり古い時期に築設された空石積、練積及び粗石、玉石コンクリート堰堤が含まれていて、堤体材料別にみるとこれらが被災総数の58%をしめている。砂防堰堤の損壊は流送される砂礫の衝撃力によるばかりでなく、根本的には耐久性の劣る堤体材料、施工の優劣に基因していることが指摘される。これらの調査は、コンクリートの施工技術が著しく進歩した近年の砂防堰堤と耐久性の劣る堤体材料の区分が明確でないで詳細な検討はできないが、現在までに築設されている総数^③からみて、コンクリート砂防堰堤が被災されている割合はきわめて少ないと推察される。また、長野県伊那谷地方という限られた範囲の調査であるが砂防堰堤各部の摩耗状況^④をみると、流況、コンクリート施工の優劣によって摩耗の程度は異なるものの昭和40年代以降に築設されたコンクリート砂防堰堤は耐久性が著しく向上していることを認めた。そして、①古い時期に築設された砂防堰堤の点検、整備が急務であること、②袖抜けによる破壊は大転石、流木類の混入、閉塞を考慮して尖頭流量を推定し、これに対応する水通し断面積及び断面形を考える必要があること、③前庭、水叩工の洗掘による損壊、土石流による衝撃破壊に対する設計、施工技術の向上が急がれていることが強調される。③については砂防堰堤下流法問題と関連し、既に第2回砂防学会シンポジウムにおいて討議され、砂防堰堤の枝負、構造に係る摩耗機構と石礫の挙動を解明することの必要性が要請された。筆者は越流砂礫流の衝撃エネルギーを緩和させ、前庭の洗掘を軽減させるため下流法をできる限り緩くすることをアプローチし、石礫を下流法面に衝突させることを前提としてコンクリートの突破き摩耗試験を行ないその可能性を検討した^⑤。石礫の挙動については古い時代からの懸案であったが、流水の速度と石礫の速度との関係が明確でないこと、実際の洪水流に接近して石礫の速度を把握することが困難であって解明されていない。ここでは、模型水路に混合砂礫を流下させ、石礫が落下する状況を観測し、既設砂防堰堤のコンクリート水叩工に残されている摩耗痕を測定して、洪水流中の石礫が砂防堰堤の水通し天端を離れるときの挙動について考察した。

1. 実験及び調査の概要 既設砂防堰堤の水通し天端へ木製水路を設置し、平常水を堰きあげ、堰で流量を調節し、河床礫を25～100mmの篩に75粒径階に区分し、各粒径階より5kgずつ計25kgの混合砂礫を流下させた。越流、落下する石礫を水叩きに設置した鋼製棒箆で到達距離別に分離して集収した(図-1)、別に、既設コンクリート水路において石礫の移動速度を測定した。既設砂防堰堤のコンクリート水叩きには砂礫の衝突によって摩耗痕が形成されている(図-2)。この摩耗痕図より最遠点、最深点、最近点までの距離と洗掘深を測定して洪水流の速度を逆算した。

2. 結果と考察 流水中における石礫の速度は限界流速によって移動を開始した後における平均移動速度と水通し天端を離れるときの速度に分けて測定したが、前者においては粒径に関係なくほぼ等

速運動をすることが認められた。^{②③}水通し天端を離れるとき、粒径に関係なくほぼ等速運動をするとすれば、落下、到達距離も粒径に関係なく等しいはずであるが実験の結果は明らかに粒径によって異なることを示した。(図-3)これは水位低下による加速によって石礫は下流端付近ですい込まれるように加速され、その瞬時的、過渡的現象において粒径が影響して速度に差が生じたと考えられる。一方、河床堆積砂礫の粒径組成と洪水流で流送される砂礫の粒径組成は等しい^②と仮定すると、水叩きの摩耗痕からこのことを裏付ける結果が得られた。これらの結果を要約すると次の通りである。

(1) 混合砂礫が水路を流下し、落ち口を離れるときはかなり拡散され、その落下到達分布は石礫が単体で落下する場合^②と一致しており、粒径の大きいものは水脈から離れて内側に落下するが、流量が増大するにつれて水脈に含まれるが、裏側水脈に沿って落下するものが多くなる。

(2) 水叩きの摩耗痕から判断すると、洪水流によって流送される全流砂量の60~70%は水脈に含まれるが、裏側水脈に沿って落下している。また、洪水時のピーク流量時においては、砂礫が集中的に流下する底流速は表面流速の0.7~0.9程度であった。

(3) 河床及び砂防堰堤の堆積砂礫についての粒径分析によると、最大粒径、平均粒径との間にはかなり高い相関が認められ、 P_{80} は平均粒径の大小に関係なくほぼ60~70%であった。

(4) これらのことから、砂防堰堤の水通し天端を掃流状態で流下する石礫は粒径に関係なくほぼ等速運動をするが下流端を離れるときは加速され、飛び出し速度は粒径によって異なる。この場合、かなりの規則性をもつことが認められ、洪水流においては平均粒径より小さいものは水脈に含まれるが、裏側水脈に沿って落下する。

(5) 砂防堰堤の下流法及び水叩工を設計する場合には、予想される石礫の平均粒径を対象にしてその挙動を考えることの妥当性が示唆された。

3 参考文献 ①水山：砂防ダムの災害調査 ②林業土木施設：治山堰堤の被災原因調査 ③建設省：砂防要覧 ④堀内：砂防堰堤の摩耗調査 ⑤荻原：治山堰堤の設計 ⑥堀内：コンクリートの突砕き摩耗 ⑦芦田ほか：山地河川の流砂量に関する研究 ⑧水山：土石流から掃流に変化する勾配での流砂量 ⑨蓮見：落下する流水中における石礫の落ち方についての研究

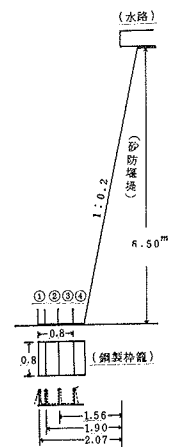


図-1 実験装置

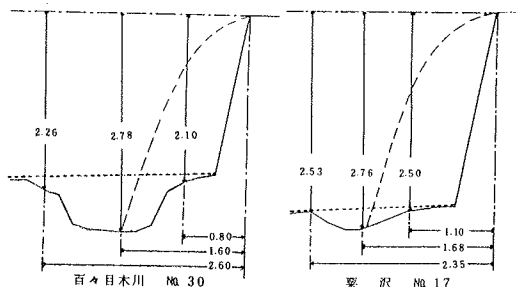


図-2 砂防堰堤水叩きの摩耗状況

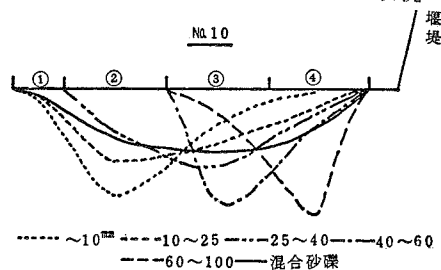


図-3 水通し天端を越流する砂礫の落下到達分布

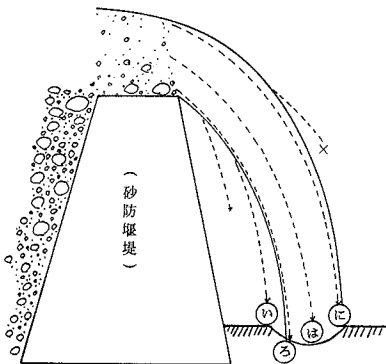


図-4 石礫の落下経路図(連見)