

建設省土木研究所 ○山田孝
 京都府立大学 石川芳治
 (株)建設技術研究所 中村淳治 松原智生

1. 実験の目的

土石流の発生形態の一つとして山腹または溪岸から崩落した土砂礫による溪床堆積物(厚さ:数m)が降雨による地下水上昇に伴う有効応力ならびにせん断強度の減少により崩壊(流動化)し、土石流へと発達することが考えられる。

このような土石流の発生を抑制する方法の一つとして溪床堆積物にせん断抵抗を増加することが考えられ、そのための具体的な対策工法として谷止工や杭工等があげられる。谷止工についてはそれが貯留し得た分だけ流出土砂量を減少させることは出来るが土石流の発生を抑えたり、フロントの成長を抑える効果は大きくないことが実験的に明らかにされている¹⁾。杭工についてはどの程度土石流の発生を抑制できるのかがほとんど明らかにされていない。そこで、河床堆積物の崩壊に起因した土石流の発生区間を対象として、そこでの杭工の土石流発生抑止効果を模型実験により考察した。

2. 実験方法

図-1に実験装置を示す。実験水路は長さ5m、水路幅10cm、深さ15cmの直線水路である。水路の勾配は崩壊の発生させやすさを勘案して土石流発生限界勾配(15度程度)よりもやや急な21度に設置した。この水路の全長区間に15cmの厚さで土砂を敷き詰めた。土砂の粒径分布は図-2のようであり、50%粒径、90%粒径、現場一面試験機により求めた内部摩擦角は、各々、1.4mm、4mm、28°である。流路床には水道の蛇口と連結したエンビパイプ(直径2cm、長さ4.8m)を設置し、その表面に10cmの区間に12箇所の割合で直径1mmの穴をあけ給水できるようにした。エンビパイプ下端のコックを閉める事によって、パイプ内を流れる水がこれらの穴から鉛直方向に土層内に供給され(300cm³/sec)、浸潤線が堆積土砂の表面近傍まで上昇した時点で崩壊が生じる。土層内の間隙水圧は50cm間隔ごとに設置された水位計(マンメーター)によって計測される。土層の含水率などの初期条件を出来るだけ同一とするために、実験開始前に水位計を見ながら河床の堆積土砂表面に散水し、水位計が4cmの高さを示した時に散水を終え、その後5分経過後にエンビパイプ下端のコックを閉めて実験を開始する。実験開始直前に測定した堆積土砂の間隙比、含水率、湿潤密度は各々、0.73、8.1%、1.66g/cm³である。杭工の崩壊抑止効果、杭工の横断間隔と河床堆積土砂の90%粒径との比を変化させた場合の杭工の河床侵食抑制効果、杭工の縦断的な設置間隔を変えた場合の杭工の河床侵食抑制効果を検討するために、崩壊発生状況、杭工周辺の河床侵食状況をVTRで撮影・解析するとともに、実験終了後に侵食土砂量を計測した。実験ケースは無施設の場合を含めて12ケースである。

3. 河床堆積物の崩壊と表面流による河床堆積物の侵食

エンビパイプ表面の穴から土層内に水を供給し始めてから約10秒後に浸潤線が河床堆積物表面に達する。無施設の場合、その直後に一気に崩壊が生じる。崩壊の形態は明瞭な滑り面(滑りの深さ:約10cm)をもった円弧型崩壊(崩壊土量:約4000cm³)であり、崩壊長は約80cmである。水を供給し始めてから17秒程度後には崩壊土塊はほぼ滑り面に沿った滑動を終了する。崩壊によって押し出された土塊は、明瞭なフロントを呈した土石流となって流下する。崩壊上部の主動域では崩壊発生に伴って引っ張りによるクラックが幾つか発生し、それらから小規模な崩壊が断続的に発生する。この後、水を供給し続けると、崩壊の滑り面は表面流によってさらに下方侵食され、1分程度後には崩壊発生区域付近の流路内の土砂のほとんどが流出する。

図-3に杭工の設置により、このような崩壊を抑止出来た実験ケースの事例のひとつを

示す。このケースは横断方向に6本の杭からなる施設を縦断方向に25cmの間隔で設置した場合である（無施設の時に生じた崩壊の範囲（崩壊部、受動区域、主動区域）に合計30本の杭が設置されている）。但し、この実験ケースでは横断方向の杭と杭との間隔が堆積土砂の90%粒径の2.0倍と広く、無施設の時に生じた崩壊は抑止されるものの、表面流によって杭背後の土砂が杭間から引き落とされ、その掃流力によって最終的には無施設の場合に発生した崩壊とさほど変わらない量の河床堆積物が侵食されてしまう。

4. 杭工の横断間隔と河床侵食抑制

図-4に杭工の横断間隔と杭工による河床堆積物の侵食抑制率との関係を示す。杭工の横断間隔は杭と杭との純隙間(D)を河床堆積物の90%粒径(d90)で除した値(D/d90)であり、杭工による河床の侵食抑制率は無施設の場合の崩壊土砂量(Vn)と杭工を設置した場合の侵食土砂量(Vk)との差Vn-VkをVnで除した値である。D/d90の値が1.5程度以下であれば、侵食抑制率は約9割となっており、河床堆積物の侵食抑制の点で大きな効果がある。杭と杭の隙間から背後の土砂が流出しない、即ち杭と杭の間が礫で閉塞している事が侵食抑制を行う上で重要であり、その閉塞条件はスリットダムのそれ²⁾とほぼ同じとみなせる。杭工が閉塞している場合、杭工は谷止工として機能する。

5. 杭の縦断方向の間隔と河床侵食抑制

図-5に前述の閉塞条件を満たす杭工の縦断方向の間隔と河床堆積物の侵食抑制率との関係を示す。杭の縦断方向の間隔は杭工の縦断間隔(L)を流路幅(B)で除した値(L/B)である。L/Bが小さいほど侵食抑制率は小さくなり、L/Bが2程度以下であれば侵食抑制率は約9割と大きな値を示す。また、L/Bが6程度以上の場合は縦断方向の杭工と杭工との間で崩壊が発生するのに対して、L/Bが5程度以下ではそのような崩壊は抑止され、表面流による河床堆積物の侵食のみとなる。

6. 結論と今後の課題

今回の実験条件では①杭の横断方向の間隔をd90の1.5倍以下とすると河床の堆積土砂の流出をかなり抑制できる②①の条件を満たす杭を縦断方向に流路幅の5倍以下の間隔で設置すると崩壊が抑止され、特に2倍以下とするとかなりの河床土砂を固定出来ることが定性的に分かった。今後とも実験を継続して、勾配や杭径、杭間隔、粒径の違いによる崩壊ならびに河床侵食抑止効果、表面流の摩擦速度の違いによる河床侵食、杭工に作用する応力と杭の支持力、多数の杭を設置した場合の群杭効率の考え方を明らかにし、効果的かつ経済的な杭工の計画・設計・施工手法を確立する必要がある。

参考文献

- 1) 渡辺正幸、水山高久他(1980):土石流対策砂防施設に関する実験、土木技術資料22-2.
- 2) 池谷浩、上原信司(1980):スリット砂防ダムの土砂調節効果に関する実験的研究、新砂防(114)、Vol. 32 No. 3.

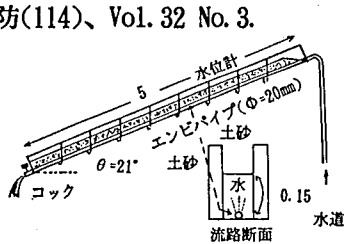


図-1 実験装置の概要 単位はm

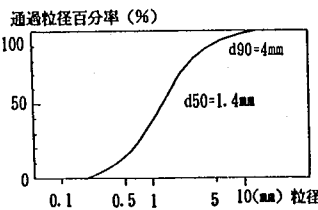


図-2 実験砂の粒径分布

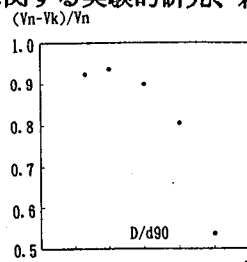


図-4 杭工の横断間隔と河床堆積物の侵食抑制率

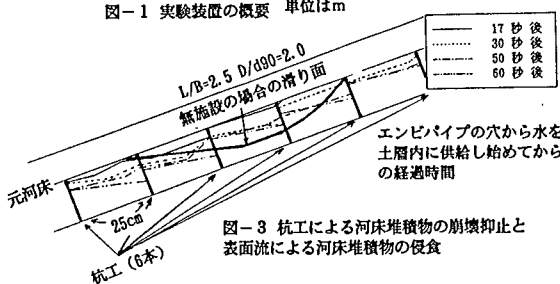


図-3 杭工による河床堆積物の崩壊抑止と表面流による河床堆積物の侵食

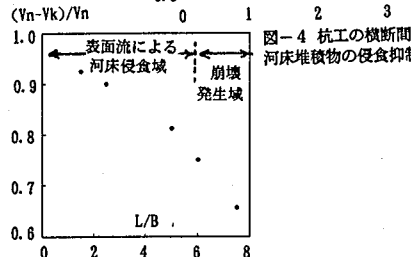


図-5 杭工の縦断間隔と河床堆積物の侵食抑制率