

石積堰堤及び木堰堤の設計法について

(財)砂防・地すべり技術センター ○白 杵 伸 浩 栢 木 敏 仁
アジア航測株式会社 小 林 富士香 小川 紀一朗

1. はじめに

近年、景観や環境の保全を考慮して、石積堰堤や木堰堤が注目されるようになった。これを受けて砂防施設に木堰堤などを取り入れることなどが検討されつつある。このように昔の砂防施設が見直され、現代へ活用する機運が高まってきているが、当時の設計法や歴史的な背景などをふまえて、これらの施設の適用に関して検討することが必要であると考え。ここでは、主に 1870～1930 年代にかけて造られていた石積堰堤や木堰堤の設計法について検討を行い、さらに、それらの現在の砂防事業への適応性について考察した。

2. 当時の砂防堰堤の設計法

当時の設計法について、堰堤断面、下流法勾配、天端幅、水通し形状の設定等について以下に示す。

2.1 石積堰堤

(1) 安定計算

① 堰堤断面

石積堰堤の断面設定において、最も簡略なものとしてチェリー式があげられる。この式は下流法 n 、上流法を直として、諸力の合力が底の3分点を通るときの断面の底幅を求めるものである。越流水深を計算上取り入れないため不合理な点があるが、簡便な式であることから、低堰堤をはじめとして当時よく用いられていた。

このほか越流水深を考慮したハウスカ式があるが、これは天端幅と上流法を与えて、その合力が3分点を通るときの底幅を求めることから、下流法勾配を決定するものといえる。しかし、このハウスカ式は、下流法面の保護について特に配慮されたものではない。これらの断面設定は、middle third の条件を満足させるものであり、今日用いられている安定条件のうち、滑動条件、破壊条件(最大主応力が許容値内であること)などについては触れていない。転倒、滑動、破壊という3つ安定条件については、貯水ダム等の重力ダムに関して 1881 年に W.J.M.Rankine が提案したものであり、これがすぐに砂防堰堤に活用されていなかったものと推測される。

② 下流法勾配

下流法勾配の設定には、水通し部を流下する砂礫の限界流速、重力加速度および堰堤高さから、下流法面に損傷のないための最大の下流法勾配を求める方法がとられていた。この方法は一般的によく用いられ、これをもとに西欧では経験的に、空石積堰堤などの石積堰堤の下流法勾配を 0.25～0.2 とし、高さ 5m 以上の堰堤については 0.2 とすることが多かった。

③ 天端幅

天端幅の最小厚について示したものとして、ワング式やハウスカ式がある。ワング式は静水圧のみを考慮したものであり、ハウスカ式は動水圧も考慮したものである。実際には、堰堤の平均厚さを堰堤高さの半分にするなどして天端幅を設定していたようである。しかし、大きな堰堤になれば天端幅が堰堤本体の安定に大きく影響するので、諸戸北郎は安定計算をもって天端幅を設定すべきであると指摘している。

(2) 水通し形状

水通し形状は、流水が一カ所に集中しないように台形あるいは半径の大きい弧形にされており、台形の水通しはラウンディングされているものが多い。

(3) 堰堤の平面形状

堰堤の平面形状は、水や砂礫の圧力や衝突力を両岸に伝えて堰堤の抵抗力を高めるようにしたグラビティーアーチとしているものが多い。また、上流側から力が加わると、それぞれの石が密着するので直線形よりも抵抗力を高めることができるものと推測される。このほか、瀬尾ら(1986)によれば、土石流の衝撃が袖部に直角に作用した場合と、直角方向に対して 9° 傾けて衝突させた場合の発生応力に関する実験を行い、 9° 傾けて衝突させた場合の発生応力は直角に作用させた場合の約65%程度であったという結果を得ている。このようなことから、グラビティーアーチは、砂礫などの衝撃に対して直線形よりも有利であると考えられる。

2.2 木堰堤

木堰堤で多く造られていたのは、直方体の木枠を造りその中に石材を詰めた枠堰堤である。このほかに、木杭と丸太を組み合わせ、グラビティアーチに似た構造としたものがある。木堰堤の断面については、流水や砂礫により下流法面が非常に損なわれるため、基本的に矩形としているものが多い。

3. 石積堰堤と木堰堤の設計例

(1) 石積堰堤

この堰堤の水通し幅は 20m、高さは 7.6m であり、堰堤の平面形状はグラビティアーチをなし、水通しは円弧状としている(図-1:出典 参考文献 1))。堰堤断面は、上流側を直として下流法勾配を 1:0.2 に設定している。グラビティアーチ、円弧状の水通しなど、構造物の威圧感の少ないデザインとなっている。

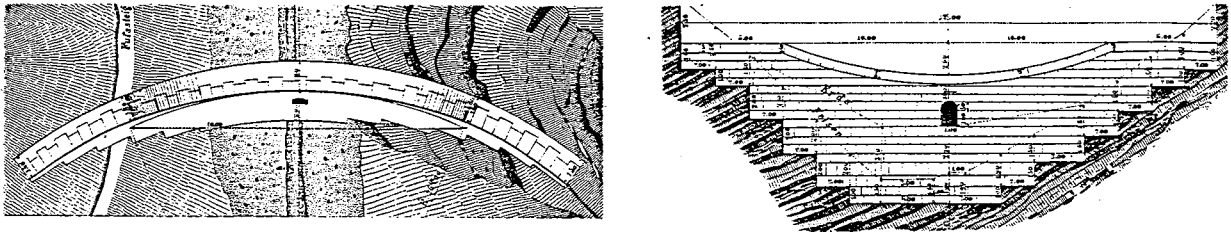


図-1 石積堰堤

(2) 木堰堤

木杭と丸太を組み合わせ、グラビティアーチに類する構造としたものである(図-2:出典 参考文献 2))。堰堤断面は、矩形であり、堰堤の高さは 2.0m 前後、堤長も 10m 程度と小規模である。

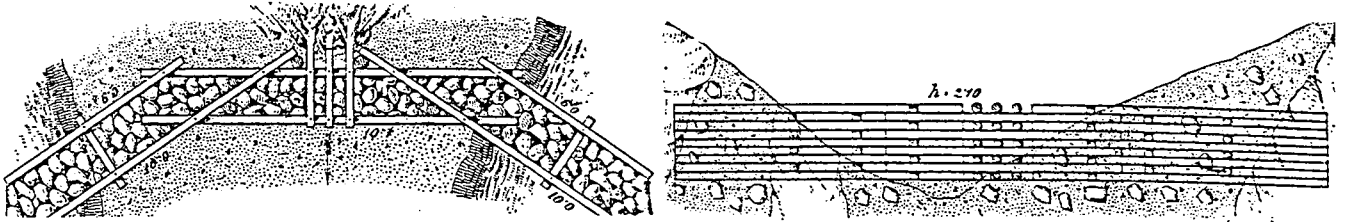


図-2 木堰堤

4. まとめ

当時の木堰堤や石積堰堤の設計法は、その時代の施工材料などの条件から英知を尽くして確立されたものであり、それらの施設は、当時としては最高水準の技術をもって造られたものといえる。しかし、当時の設計法にもとづくこれらの施設を現在に適應するにあたっては、施設の安全性について限度があることを認識し、基本的に土砂の捕捉機能よりも河床侵食防止などを目的とした施設と位置づけ、これらの機能を効果的に発揮できる場所を選定し、洪水や土石流が直撃しないように上流側を埋め戻すなどの対応をはかり、木堰堤については、構造形式を重力式でなく、バットレス式に変更するなどの工夫をすることも考えられる。今や、景観や環境保全だけでなく、コスト削減などの要請も加わり、砂防施設に求められる機能はますます多様化の道を進んでいるといえる。今後は、これらの施設を現在に適應する際に生じる問題(施設の安全性、コスト面、メンテナンス等)に対して、今の技術を効果的に応用し、多様な要望に応じる技術を開発していくことが大切であると考えられる。なお、本検討を行うにあたり、貴重な資料を提供していただいた砂防図書館長矢野義雄氏、京都大学大学院農学研究科名誉教授小橋澄治氏に深謝の意を表します。

【参考文献】

- 1)P.Demoutzey:Etude sur les travaux de Reboisement et de Gazonnement des Montagnes,1878
- 2)A.F.V.Seckendorff:Verbauung der Wildbache,Aufforetung und berasung der Gerbirgsgrunde),1884
- 3)F.wang:Grundriss der Wildbachverbauung,1901,1902
- 4)諸戸北郎:「理水及砂防工学 工事編」,三浦書店,1917
- 5)伏谷伊一:「溪流工学」,地球出版,1970
- 6)社団法人全国治水砂防協会 :日本砂防史, P.511~517, 1981
- 7)瀬尾克美ほか:コンクリート砂防ダム袖部における土石流衝撃対策:新砂防, Vol.38, No.6(143):1986
- 8)石川芳治:木製床固工の特徴と設計:砂防学会誌, Vol.50, No.6, pp.33~39, 1998