

35 砂防ダム下流法形状と前庭部の洗掘に関する実験的研究

(財)砂防・地すべり技術センター ○中川 昌浩、松村 和樹、池田 暁彦
(株)建設技術研究所 芥藤 武

1. はじめに

一般に砂防ダムの下流法勾配は、洪水時の越流水や砂礫が下流法面に当たり摩擦や破壊することを防止するために1:0.2と急勾配となっている。しかし、1:0.2と急勾配であるために水通し部からの越流水や砂礫は非常に大きなエネルギーを有して直接前庭部に落下し、前庭部へのその大きな衝撃力が洗掘の大きな原因となっている。さらに、前庭部の洗掘がダム下流端底面まで拡大するとダムの安定度は著しく損なわれ、ダム破壊につながる可能性もある。

前庭部スカーホールの洗掘深の実用公式からも判断されるように、洗掘深を抑制するためには、突入角度をより水平に近づけ、かつ突入速度を減じることが必要である。ナップの突入角度を緩くするためには、下流法を緩くし、ナップを下流法面に沿わせて突入させることが考えられる。また、ナップの突入速度を抑えるためには、下流法面に粗度を持たせるような形状とすることが考えられる。

本報告では下流法形状を直線にして法勾配を変えた条件と下流法形状を階段状にした条件で実験を行い、洗掘深に及ぼす下流法勾配、形状の影響について検討した。

2. 実験概要

砂防ダム前庭部の洗掘深を支配するパラメータとしては、上述の砂防ダム下流法勾配、下流法面の粗度の他に、単位幅流量及びダム有効高があるものと考えた。そこで、下流法勾配は1:0.2, 1:0.6, 1:1.0の3ケース、下流法面の粗度として1:1.0の下流法面形状を階段状とし、その段差を1mと2mの2ケースとした。また、単位幅流量は3m³/s/m, 5m³/s/m, 10m³/s/mの3ケース、ダム高は10m, 15mの2ケースとし、実験ケースは合計30ケースとした。

計測事項は、図-1にしめす前庭部の洗掘量、洗掘深、法尻からの洗掘長、堤体基礎地盤の吸い出し長とした。

3. 実験の結果と考察

(1) 下流法勾配を緩くした場合

・水脈の巻き込み状況：1:0.2と1:0.6の場合、越流水脈が完全ナップとなり、下流水面に突入する。図-1のように、1:0.2の場合ナップが堤体法尻から離れた位置に落下するが、1:0.6の場合比較的堤体法尻に近い位置にナップが落下する。このため、下流水面突入後1:0.2の場合、上下流に水脈の巻き込みが発生するが、1:0.6の場合上流方向への水流の巻き込みはほとんど発生せず、下流方向への水流の巻き込みが大きくなる。なお、今回の流量条件ではナップの落下地点は、ほとんど変わらなかった。また、1:1.0の場合越流水脈は不完全ナップとなり、下流法面を沿った形で水脈が下流水面に突入するため、下流方向への水流の巻き込みのみとなる。

・洗掘形状：最終の洗掘形状を見てみると、1:0.2と1:0.6の場合洗掘部の上下流の勾配は、ともに土の安定勾配程度となっており、最大洗掘深の発生する位置も1:0.2と1:0.6の場合ほとんど変わらないが、洗掘底部の長さは条件によって1:0.2の方が長くなっている場合がある。また、1:1.0の場合他の場合と比べると洗掘部の下流側の勾配が若干緩くなっており、最大洗掘深の発生する位置も若干下流側となっているが、洗掘底部の長さは1:0.2と同程度である。

・洗掘量：図-2に示すように洗掘量は流量が多くなるほど多くなり、下流法勾配が緩くなる程少なくなっている。1:0.2と1:0.6の場合突入角度、突入速度はほぼ同じであるが、1:1.0の場合水流の巻き込みが上下流に発生するため、最大深洗掘部の長さが長くなるため、洗掘量が多くなっている。1:1.0の場合は突入角度が緩くなり、下流法面の粗度の影響で突入速度が遅くなり、洗掘量も少なくなっていると思われる。

・洗掘深、洗掘長及び吸い出し長：図-3～図-5に示すように洗掘深、洗掘長及び吸い出し長は流量が多くなるほど大きくなる。洗掘深は、1:0.2と1:0.6ではほとんど変わらず、1:1.0の場合若干小さくなった。洗掘長は1:0.2の場合が最も長く、1:0.6と1:1.0ではあまり差がなかった。吸い出し長は、1:0.6の場合が最も長く、1:0.2と1:1.0は流量の少ない場合1:1.0の方が長く、流量が多くなると1:0.2の方が長くなった。

1:0.2の場合、上述のように越流水脈は完全ナップとなり、堤体からやや離れた下流水面に突入するため、洗掘長が長くなっているが、吸い出し長は流量が少ない場合にはナップの落ちる位置が離れているためナップの影響が少ないため短い。ナップの落ちる位置が離れていても流量が多くなると洗掘量が増える影響で吸い出し長が長くなる。

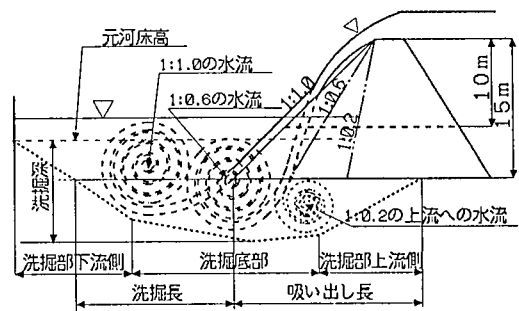


図-1 計測事項と水流の巻き込み状況概念図

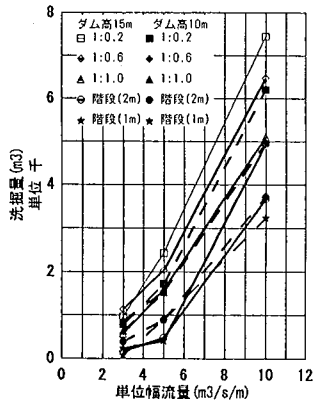


図-2 単位幅流量と洗掘量の関係

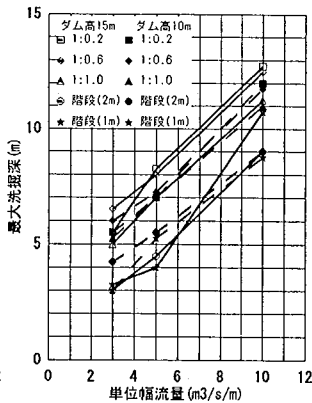


図-3 単位幅流量と洗掘深の関係

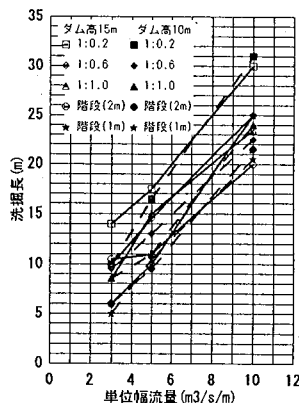


図-4 単位幅流量と洗掘長の関係

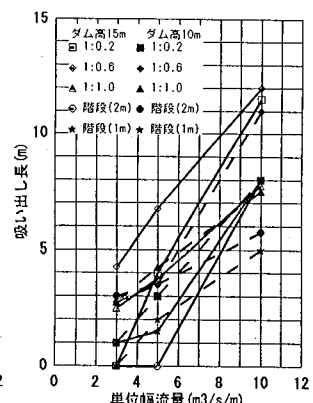


図-5 単位幅流量と吸い出し長の関係

1:0.6の場合、1:0.2と同様な状態で下流水面に突入するため、洗掘深はほとんど同程度となっている。また、1:0.6の場合、1:0.2に比べると堤体法尻に近い位置にナップが落ちるため洗掘長は短くなったが、吸い出し長は長くなっている。

1:1.0の場合、下流法面を緩くしたことにより、突入角度が緩くなり水平方向の洗掘力が卓越するようになる。このため、ナップによる場合と比較すると、洗掘深は浅くなるが、洗掘長は長くなる。しかし、洗掘量が少なくなるため、見かけの洗掘長は1:0.6と同程度となっているものと思われる。1:1.0の場合、堤体法尻から洗掘が始まるが、突入角度が緩くなり水平方向の洗掘力が大きくなるため、1:0.6に比べると吸い出し長は短くなっていると思われる。

ここで、洗掘長と吸い出し長をプラスしたものを洗掘範囲とすると、洗掘範囲は、上述のように洗掘形態における洗掘部の上下流の勾配はほとんど変わらないため、図-6に示すように、洗掘底部の長さや洗掘深を反映した結果となっている。

・ダム高による変化：ダム高が低くなると1:0.2と1:0.6の場合洗掘量、洗掘深、吸い出し長は少なくなったが、洗掘長はあまり変化がなかった。1:1.0の場合他の場合と比較するとあまり変化がなかった。図-1のように、1:0.2と1:0.6の場合ダム高が低くなるとナップの落ちる位置が堤体法尻から離れるため、吸い出し長は短くなる。また、突入速度は遅くなり、突入角度は緩くなるため、各量が小さくなっている。

(2) 下流法勾配を緩くし階段状とした場合

下流法面を階段状とした場合、水脈の流下形態が流量、ダム高、段差等により異なる。図-2～図-6に示すように、下流法面を階段状とすることにより、階段状としていない場合に比べ各量は小さくなっているが、ダム高の違いによる各形状での各量の違いはあまり明瞭ではなかった。

階段状とし流量が少ない場合は、最上段の階段で完全ナップとなり、そのナップが途中の階段に落ちるため、水脈が乱れ洗掘力が減衰する。ダム高が10mの場合は、途中で1回落ちるかあるいは直接法尻付近に落ちるが、15mの場合は数回落ちることにより洗掘力がより減衰されるため、15mの場合の方が各量が少なくなっているものとも考えられる。途中の階段に落ちない場合は、途中の階段による洗掘力の減衰はなくなるが、直接ナップが突入する場合よりも、洗掘力が減衰され、各量は小さくなる。ただし、途中の階段に落ちた水脈が再度跳ねるケースがあり、その場合堤体法尻から離れた位置に水脈が落ちるため、洗掘長は長くなっている。

また、流量が多くなると階段状とした場合でもナップは生じなくなり、階段は開水路における粗度と同様の作用となる。このため、段差が2mの場合粗度が大きくなるため突入速度が遅くなり各量が小さくなる。段差が1mの場合はダム高が低い場合粗度としての効果があったが、ダム高が高くなると粗度としての効果が小さく、洗掘力はあまり小さくならなかった。

4. 総合評価

下流法勾配を緩くし、水脈を下流法面に沿わせて下流水面に突入させることにより、前庭部に与える影響は小さくすることができた。ただし、ナップが堤体に近い位置に落ちる場合、吸い出し長が長くなるためダムの安定性は望ましくない結果となった。さらに、下流法面を階段状とした場合、前庭部に与える影響は減衰させる効果は直線の場合に比べると同等以上の効果となった。ただし、流量、ダム高、階段の段差等の規模により効果の発揮される程度は異なる結果となった。

5. あとがき

今後は、下流法勾配と下流法面の形状の影響を検討するために、①河床材料の違いによる洗掘状況、②下流法勾配を更に緩くした場合の洗掘状況、③ダム高を15m以上とした場合の洗掘状況について実験を行いたい。

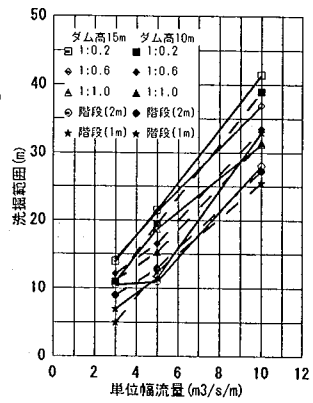


図-6 単位幅流量と洗掘範囲の関係