

49 砂防ダム越流部に発生する負圧について

(財)砂防・地すべり技術センター ○池田 暁彦 松村 和樹
北海道旭川土木現業所 沼田 寛
(株)建設技術研究所 齋藤 武

1. はじめに

一般に多目的ダムの洪水吐は、洪水時に越流水と堤体との間で負圧が発生しないような構造として
いる。これは負圧に伴うキャビテーションの発生による堤体の表面剥離や壊食を防止するためである。
負圧とは越流水の外側の大気圧よりも越流水と堤体間の空気圧が低くなる現象を示し、負圧の発生に
より堤体の表面剥離が惹起される。また、キャビテーションとは負圧に伴うキャビテーション気泡の
急激な成長・崩壊とこれに伴う諸現象を示し、キャビテーション気泡が崩壊する時に高衝撃圧を伴う
ため、壊食現象が引き起こされる。

砂防ダムには水通しが設置されており、平常時や洪水時の越流水はこの水通しにより、その越流幅
が規制される。そのため、越流水と堤体間には越流水脈の両端から常に空気が供給されるので堤体に
影響を及ぼす程の負圧は発生しないものと考えられ、これまでに負圧対策を実施したダムはない。し
かし、火山泥流対策ダムのように堤頂長が長大であり、かつ膨大な計画洪水流量を有する場合には、
堤体中央部付近は越流水と堤体間に空気供給がない状態に近くなり、負圧が発生する可能性がある。

そこで、本報告では、ある火山泥流対策ダムを想定して、水理模型実験により堤体越流部における
負圧の発生状況について把握し、負圧対策の必要性を検討する基礎資料を得た。

2. 実験概要

(1) 実験ダムの諸元

本実験における砂防ダムの断面形状は図-1に示す通りである。本ダムの計画洪水流量を $4,200\text{m}^3/\text{s}$ 程度とし、本堤の諸元を
堤頂長：405m、水通し幅：375m、堤高：20mとした。

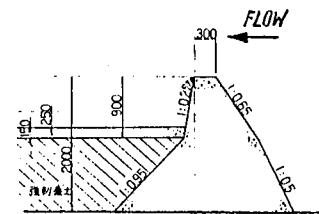


図-1 実験ダムの断面形状

(2) 実験条件

実験に使用した抽出模型は、幅1.0m、長さ10.0m、高さ1.5mの
2次元水路で、模型縮尺は1/20とした。模型の両側面は空気供
給がない状況を想定して密封状態とした。実験流量は $4,200\text{m}^3/\text{s}$
(ピーク流量)、 $3,000\text{m}^3/\text{s}$ 、 $2,000\text{m}^3/\text{s}$ の3流量とし、実験は
定常流による固定床実験で行い、清水のみとした。

(3) 実験方法

実験は、水路上流端から上記3流量を定常的に給水した。負圧は本堤中央部にピエゾメーターを堤
体の縦断方向に設置して測定した。ピエゾメーターは26箇所に設置し、それぞれのピエゾメーターの
間隔は天端上流側で1cm、天端下流側及び上流法面で2cm、下流法面で3cmとした。なお、測定データは
圧力水頭差(m)で収集し、後で負圧(kg/cm^2)に換算した。

(4) 実験ケース

実験ケースは表-1に示す越流部形状5ケースと各ケースに対して流量3ケースの合計15ケースと
した。越流部形状は堆砂状況が1:未満砂、2:堆砂肩形成(天端-3.0m)、3:満砂の3ケースを基本とし
た。さらに、これら3ケースの内、負圧の軽減効果を把握するために、最大負圧が発生する堆砂状況
で庇を設置する2ケースを加えて5ケースとした。

(5) 負圧を軽減する越流部形状

負圧を軽減する形状としては庇を設置した。これは庇により越流水脈の飛距離を大きくして越流水
脈と堤体間の空気室を大きくするためである。さらに、多目的ダムの越流部形状を参考にして越流部
で負圧が発生しないような構造として、庇にラウンディングを施した。なお、庇の配置は越流天端全
面とスリット形状に配置した2ケースとした(ケース4、5)。

3. 実験結果及び考察

表-1及び図-2に各ケースの負圧測定結果と推移について示す。

(1) 流況

ケース3を除く全ケースでは、流量にかかわらず越流水脈は下流法面に付着した。これは、越流水脈が水褥池に突入する際の空気連行現象に伴って空気室の圧力が低下し、越流水脈両端からの空気供給がないことによるものと考えられる。ケース4、5（ケース1～3により未満砂状態とした）でも越流水脈が付着したが、底により水脈が乱されるため、越流水脈と堤体間に一時的に空気が供給される状態となり、越流水脈の煽りが発生した。

一方、ケース3では越流水脈は下流法面に付着することとはなかった。これは満砂状態での越流流速が4.0m/sと大きく、越流水脈の飛距離が大きくなるためであると考えられる。

(2) 負圧の発生状況

負圧は下流法面上端付近において全ケースで発生した。負圧は未満砂状態の方が大きい傾向を示した。最大負圧はケース1の単位幅流量8.0m³/s/mで-0.34kg/cm²であり、その時の越流流速は3.0m/s程度であった。満砂状態と堆砂肩形成状態では同値で未満砂状態より小さく、-0.06kg/cm²であった。満砂状態と堆砂肩形成状態では単位幅流量11.2m³/s/mで負圧が最も大きかった。

建設書河川砂防技術基準(案)設計編Iでは、キャビテーションの許容負圧は-0.30kg/cm²程度とされている。実験結果から最大負圧はケース1の-0.34kg/cm²であったので許容値を0.04kg/cm²上回っている。本実験では負圧を軽減するために底を設置した。その結果、ケース4では最大負圧は-0.32kg/cm²となり、ほとんど軽減できなかったが、ケース5では最大負圧が-0.25kg/cm²にまで軽減でき、許容値を0.05kg/cm²下回った。

4. まとめ

- ① 未満砂状態での全ケースでは、満砂状態に比べて越流流速が小さく、越流水脈の突入に伴う空気連行の発生と空気供給がないことに起因して越流水脈は下流法面に付着した。底を設置しても越流水脈は下流法面に付着したが、底により越流水脈が乱されて一時的に空気が供給されるために越流水脈の煽りが発生した。
- ② 負圧は下流法面上端付近において全ケースで発生し、未満砂状態で大きくなる傾向を示した。最大負圧は未満砂状態では単位幅流量が8.0m³/s/m、満砂状態では11.2m³/s/mで発生し、最大負圧は未満砂状態で-0.34kg/cm²であった。
- ③ 本実験結果では底をスリット状に配置することにより、負圧を0.10kg/cm²軽減することができた。

以上の実験結果から、火山泥流対策ダムなどの長大かつ膨大な設計洪水流量を有する施設では、負圧が発生し、それに伴ってキャビテーションが発生して堤体の表面剥離や壊食が発生する可能性が示唆された。さらに、負圧は、ダムが未満砂状態で越流水脈が下流法面に付着する条件で最も大きく発生し、本実験結果からは-0.34kg/cm²程度の負圧が発生することがわかった。したがって、長大かつ膨大な設計洪水流量を有する施設を設計する際には、負圧を考慮する必要があるものと考えられる。

最大負圧はいずれのケースでも単位幅流量8.0m³/s/mとピーク流量よりも低めの流量で発生している。また、最大負圧が発生する越流水脈が下流法面に付着する現象については、ダムの堆砂状況や越流流速の他に、越流水深、越流水脈の落下高、下流法勾配の影響も考えられるので、今後の課題として検討していきたい。

表-1 負圧測定結果

CASE	越流部形状	対象流量 (m ³ /s)	単位幅流量 (m ³ /s/m)	最大負圧 (kg/cm ²)
1-1	未満砂	4,200	11.2	-0.20
1-2		3,000	8.0	-0.34
1-3		2,000	5.3	-0.25
2-1	堆砂肩形成	4,200	11.2	-0.06
2-2		3,000	8.0	-0.04
2-3		2,000	5.3	-0.04
3-1	満砂	4,200	11.2	-0.06
3-2		3,000	8.0	-0.04
3-3		2,000	5.3	-0.04
4-1	未満砂 (底付き)	4,200	11.2	-0.20
4-2		3,000	8.0	-0.32
4-3		2,000	5.3	-0.18
5-1	未満砂 (底付きスリット)	4,200	11.2	-0.20
5-2		3,000	8.0	-0.25
5-3		2,000	5.3	-0.16

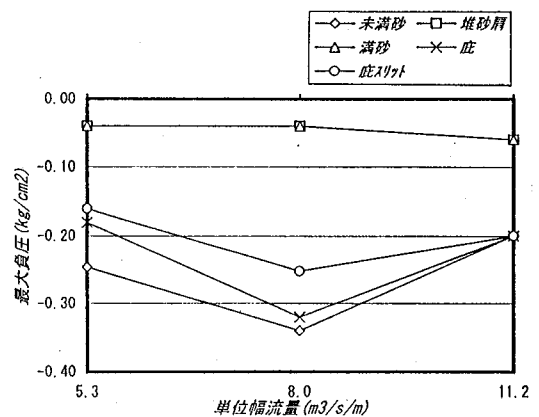


図-2 負圧の推移