

87 砂防ダムの前庭保護工に関する実験的研究

筑波大学農林学類

○北村兼三

建設省土木研究所

石川芳治、井良沢道也、福本晃久

筑波大学農林工学系

田高白

1. はじめに

砂防ダムの前庭保護工は、砂防ダムの水通し天端からの落下水、落下砂礫による基礎地盤の洗掘防止、落下した流水が現況河川の水理条件に戻るまでの河床低下の防止の目的で設置されるものである。

前庭保護工についての従来の実験的研究¹⁾においては図-1に示す河床条件、つまり副ダム天端が下流の河床面と同じ高さの条件において検討が行われ、水叩き長、副ダム高について半理論式²⁾の適用性が確認されている。しかし、実際の砂防ダムにおいては、図-2に示すように副ダム天端は河床より高い位置にある場合が多い。そこで、本研究では、河床面を水叩き天端面と同じ高さにし、水叩き長、副ダム高を変化させた実験を行い、図-2の条件における副ダム下流の洗掘深に対して適切な水叩き長、副ダム高を求める目的とする。

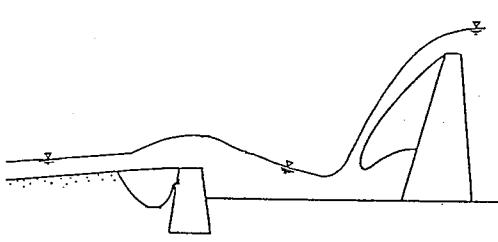


図-1 従来の実験的研究における条件

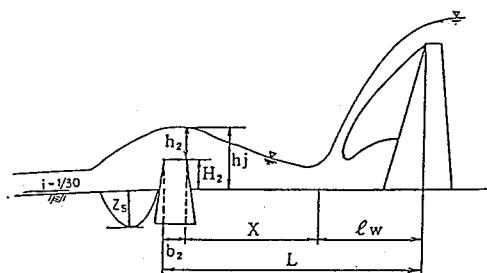


図-2 今回の実験的研究における条件

2. 実験概要

実験には、長さ20m、幅1.5mの直線水路を使用し、本ダム、水叩き、副ダムから成る砂防施設の模型を設置し実験を行った。本ダムの高さは25cmとし、水叩き長を35, 45, 70cm、それぞれの水叩き長において副ダム高を2.0, 3.5, 5.5cmと変化させ実験を行った。また、比較のため副ダムを設置しないケースも行った。流量は50 l/secとし、副ダム下流の河床勾配は1/30とした。実験に用いた河床材料は、平均粒径 $d_m=11.6\text{mm}$ のほぼ一様な砂礫である。前庭保護工の効果については、副ダム下流の洗掘深 Z_s で評価することとした。

各諸元に関する記号は図-2に示すとおりであり、以後これらの記号を引用する。

3. 結果

3.1 水叩き長と跳水対応水深

水叩き長は、半理論式で $\ell_w + X$ で示される。今回の実験では流量と本ダム高は一定なので、水脈飛距離 (ℓ_w) は変わらない。また、跳水の距離 $X = \beta \cdot h_{j1}$ において跳水対応水深の計算値 h_{j1} も一定であることから、水叩き長を跳水の距離の係数 β で表す。

ここでは、跳水の発生の程度を検討する目的として h_{j2} の値の変化を検討する。 h_{j2} は副ダム直上流での水深であり水叩き上で完全跳水が起これば計算値 h_{j1} に等しくなる。図-3は、 h_{j2}/h_{j1} （水叩き天端面から副ダムの越流水面までの高さの実測値 h_{j2} と計算値 h_{j1} の比）と β との関係を示したものである。図中の破線は従来の実験的研究において得られた結果を示したものである。従来の研究では、 $\beta=4\sim 5$ のとき跳水対応水深 h_{j1} にほぼ等しい h_{j2} となり、安定した跳水現象を示し、 $\beta=3$ より水叩き長が短いと水面隆起が顕著になる。今回の実験では、 $H_2=3.5$ 、 5.5 cmの場合 $\beta=4$ より水叩き長が短いと h_{j2} は大きくなる。 $H_2=2.0$ cmでは、 $\beta=2$ より水叩き長が長くなると h_{j2} は一定になる。

ここで、多くのケースにおいて h_{j2} は理論値 h_{j1} より小さい値をとっている。これは完全な跳水が起こらないからである。

3.2 水叩き長と最大洗掘深

図-4は今回の実験、図-5は従来の実験的研究の $Z_{smax}/(\sigma/\rho-1) d_m$ （副ダム下流の局所洗掘深の最大値の無次元量）と β との関係を示したものである。ここに、 Z_{smax} ：局所洗掘深の最大値、 σ ：砂礫の密度、 ρ ：水の密度、 d_m ：河床材料の平均粒径である。従来の実験的研究では、 β が4より小さいと洗掘深は大きくなり、 $\beta=4\sim 5$ の洗掘深の差は小さいので β を5以上としても洗掘深はほとんど変化しないと考えられる。本実験では副ダムの高さに関係なく $\beta=2$ 付近で洗掘深は最小となり β が半理論式で示される値である4.5に近い場合には洗掘深は大きくなると考えられる。

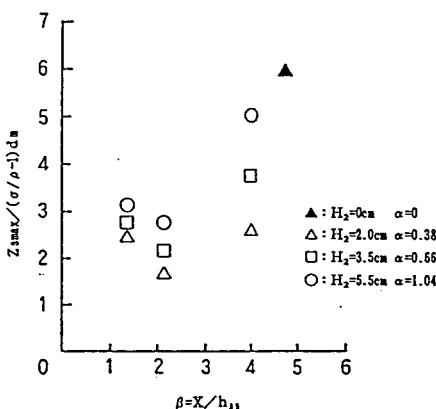


図-4 $Z_{smax}/(\sigma/\rho-1)d_m$ と β との関係
(今回の実験)

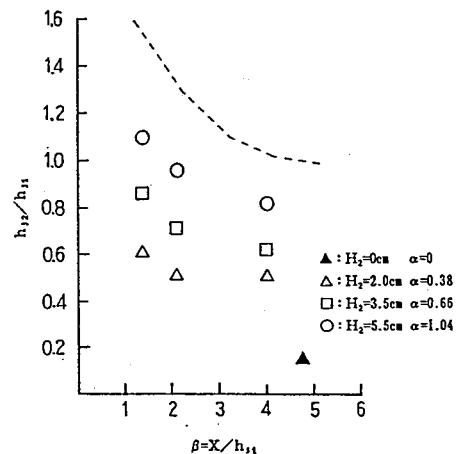


図-3 h_{j2}/h_{j1} と β との関係

ここで、多くのケースにおいて h_{j2} は理論値 h_{j1} より小さい値をとっている。これは完全な跳水が起

こらないからである。

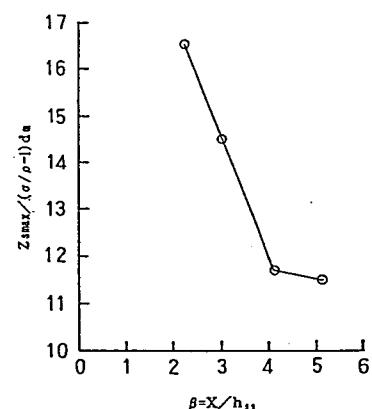


図-5 $Z_{smax}/(\sigma/\rho-1)d_m$ と β との関係
(従来の実験)

3.3 副ダム高と跳水対応水深

図-6は、 h_{j2}/h_{j1} と $\alpha = H_2/(h_{j1} - h_2)$ （実験に用いた副ダム高 H_2 と半理論式で求められる副ダム高 $h_{j1} - h_2$ との比）との関係を示したものである。破線で示した従来の実験の結果においては、 α が1に近づくと実測値 h_{j2} は計算値 h_{j1} に近づき、落下水は減勢されるが、副ダムの高さを計算値よりも低くすると、 h_{j2} は低くなり、十分な減勢は行われていない。今回の実験でも同様の結果が得られた。

3.4 副ダム高と最大洗掘深の関係

図-7は今回の実験、図-8は従来の実験的研究の $Z_{smax}/(\sigma/\rho - 1) d_m$ と α との関係を示したものである。従来の実験的研究においては、副ダムの高さが、半理論式による値に比べて低いと、局所洗掘深が大きくなることを示している。今回の実験では、逆に副ダム高が低くなるに従って洗掘深は減少している。また、副ダムがない場合は洗掘が著しく大きくなることは従来の実験結果と同様である。したがって、 $\alpha=0 \sim 0.4$ の間で洗掘が極小となる副ダム高が存在すると推測される。

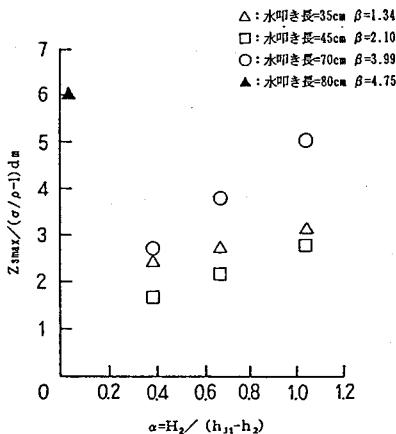


図-7 $Z_{smax}/(\sigma/\rho - 1) d_m$ と α の関係
(今回の実験)

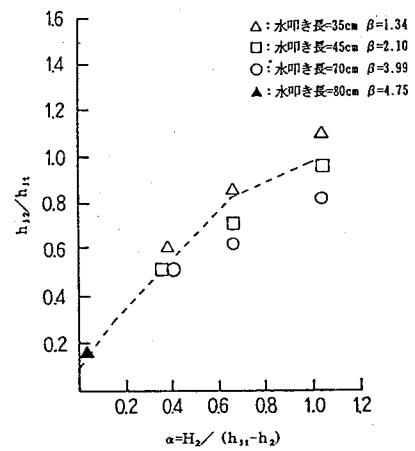


図-6 h_{j2}/h_{j1} と α の関係

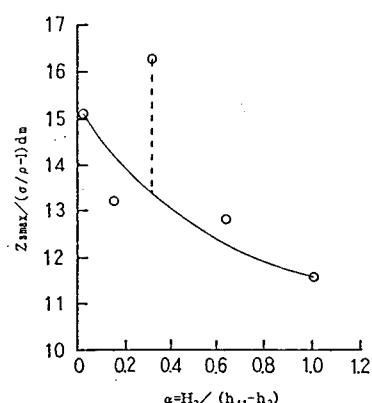


図-8 $Z_{smax}/(\sigma/\rho - 1) d_m$ と α の関係
(従来の実験)

4. 考察

水叩き長は、半理論式では水脈飛距離 ϱ_w と跳水長 $X = \beta \cdot h_j$ ($\beta=4.5$) で求められる。この跳水長 X において $\beta=4.5$ は自然跳水における跳水長を与える値である³⁾。副ダム下流において常流水深が与えられる場合は跳水長 $\beta=4.5$ を与えることによって、跳水が起こり本ダムからの落下水脈の減勢効果は期待できる。しかし、今回の実験のように副ダム下流が射流水深である場合には、完全な跳水は起こらず⁴⁾、跳水長を長くとることによる効果は期待できない。

図-6から、副ダムには、本ダムからの落下水の減勢効果があり副ダムが高いほど減勢効果が大きくなることがわかる。従来の実験のように下流河床が副ダム天端と同一の高さでは、副ダム天端上で比エネルギーを考えた場合、下流河床の洗掘力は副ダム越流水の速度水頭に主に支配されると考えられる。したがって、副ダム高の決定には、副ダム越流水の流速を小さくするため、水叩き上での跳水を利用した減勢工として半理論式が適用できる。

しかし、今回の実験のように、下流河床が副ダム天端より低い場合、洗掘深は河床と天端の高低差に相当する位置水頭と速度水頭に支配されることになることから、本ダムからの落下水の流速の減勢効果だけで副ダム高を決定することは、副ダム下流の洗掘を考慮した場合適当でない。ここで、副ダム天端上で比エネルギーEと副ダム高 α の関係を図-9に示す。これは、図-7に示す副ダム高と洗掘深との関係と同様の傾向にある。従って、副ダム下流の洗掘深は、副ダム天端上で比エネルギーによって決まると考えられる。今回の実験では、特定の極小値は示されなかったが、実験結果から $\alpha=0.3$ の近傍で洗掘深は極小値をとることが推測できる。

5. おわりに

半理論式では、水叩き長は $\beta=4.5$ で求められるが副ダム下流の条件を変えた今回の実験では跳水が起こらない場合であるが下流洗掘を最小にする水叩き長は $\beta=2$ 付近にある。また、副ダム高について従来の研究では $\alpha=1$ で下流洗掘が小さくなるという結果が得られていたが、今回の実験では、洗掘を最小にする副ダム高はより低いものでよいという結果になった。これは、副ダム下流の河床の高さの違いによって起こり、砂防ダムの設計に当たっては副ダム下流の河床の高さを考慮した設計が必要である。ただし、今回の検討は副ダム下流の河床洗掘を最小にすることのみを検討した場合であり、実際の副ダムには水叩きの保護の効果も期待されているので、このような場合には別途水叩き保護効果も考慮して設計する必要がある。

参考文献

- 1) 土木研究所：第42回建設省技術研究会、砂防施設の設計・施工に関する研究、砂防ダム前庭保護工の設計
- 2) (社) 全国治水砂防協会：改訂版砂防設計公式集（マニュアル）p.125～129
- 3) 土木学会編：水理公式集、土木学会p.296
- 4) 土木学会編：水理公式集、土木学会p.302

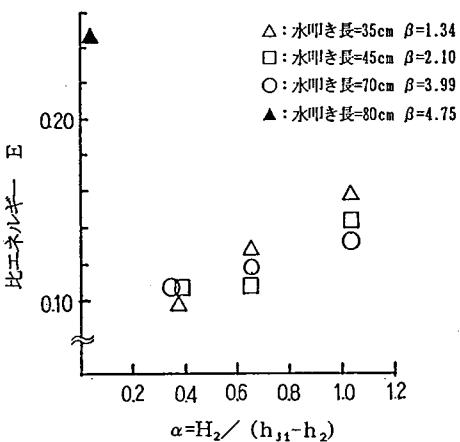


図-9 比エネルギーEと α の関係