

(Ⅱ-13) ダム堤趾導流部上流端ステップでの流れ

(財) 建設技術研究所 正員 本島政彦
 同上 正員 漆山敬二
 建設省土木研究所 正員 柏井条介

1. まえがき

近年、集水面積が小さく洪水到達時間が短いダムや、洪水調節容量の小さいダムでは、洪水調節の簡素化や安全性確保のため、洪水吐きとして堤趾導流形式を採用する事例が多く見られる。しかし、この形式の導流部では、導流壁高の決定手法が水理設計上の最大の課題になっているにもかかわらず、適切な算定方法が無いのが現状である。このことを踏まえ、本研究では堤趾導流部のうち最も高い壁高になると考えられる最上流端ステップでの必要壁高について、ステップ形状や流入条件をパラメータに調査した。

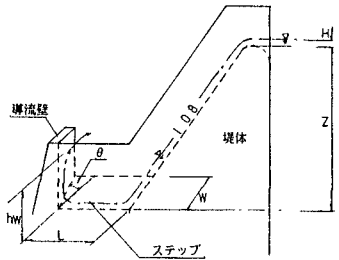


図-1 模型の概要

2. 実験概要

使用した模型の概要および実験ケースをそれぞれ図-1、表-1に示す。実験での観測項目は、壁沿いの水深 h_w および流況である。なお、実験での越流水深 H はすべて10cmとしたが、これは模型縮尺の影響(レイノルズ数、ウェーバ数)の影響が顕著にならない水深として設定したものである¹⁾。

表-1 実験ケース

越流水深 H (cm)	10
導流壁角度 θ (°)	0, 15, 30
ステップ巾 W (cm)	20, 35, 50, 70
ステップ長 L (cm)	30
水深 Z (cm)	50, 80, 120, 150
流入フルード数 (Fr)	7~15

3. 実験結果

3.1 流況 堤体を流下してきた水脈は、ステップおよび導流壁により変向され、壁沿いに上昇する。上昇した水脈は、堤体側への戻りを形成するが、戻り流がステップ上に落下し流入水脈を減勢させる場合(流況A)とステップより下流に落下またはステップ下流端付近に落下し、

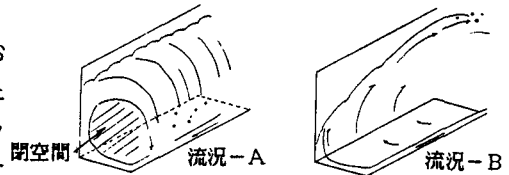


図-2 ステップ内の流況

流入水脈にほとんど影響しない場合(流況B)がある(図-2)。 h_w は流況により大きく変化し、流況Bでは流況Aと比べて h_w はかなり大きくなる。今回の実験範囲では、 $\theta = 0^\circ$ ではすべてのケースにおいて流況Aが、 $\theta = 30^\circ$ では流況Bが生じた。 $\theta = 15^\circ$ では両者の流況が生じており、 W/h_1 (ここに、 h_1 : 流入水深)と流入フルード数 Fr をパラメータにした流況区分を図-3に示す。図より W/h_1 が小さい程、また Fr が大きい程流況Bが生じ易くなることが分かる。

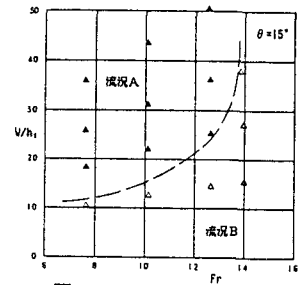


図-3 W/h_1 と Fr の関係

3.2 壁沿いの水深 図-4に壁沿い水面形例を示す。流況Aと比べ流況Bの壁沿い最大水深 h_{wMAX} がかなり下流側で生じているのが分かる。図-5には導流壁沿いに測った h_{wMAX} 発生位置の堤体導流壁からの距離 x (h_{wMAX})/ W と Fr の関係を示す。流況Aではステップ上において h_{wMAX} が生じていることが分かる。一方、流況Bでの x (h_{wMAX})は大きく、ステップよりかなり下流で h_{wMAX} が生じるケースも見られる。

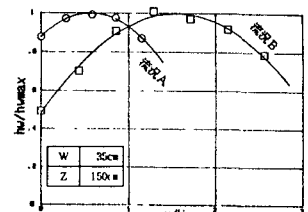


図-4 h_w/h_{wmax} と x/W の関係

図-6には h_{wMAX}/h_1 と Fr の関係を示す。いずれの θ の場合も h_{wMAX}/h_1 は Fr に対し、比例的に増加している。また、 $\theta = 0^\circ$ では W/h_1 が大きくなるに従って h_{wMAX}/h_1 も大きくなる傾向が見られる。更に、 $\theta = 15^\circ$ のケースから、

流況Bの h_{WMAX} は流況Aに比べて大きいことが分かる。 $\theta = 0^\circ$ の図には、 W が十分に大きく水路横断方向の水深変化が比較的小さい場合と考えられる側水路型減勢工での h_w を示しているが²⁾、側水路型の h_w が Fr の影響をあまり受けないのに対し、本実験での結果は Fr によりかなり変化しており、流れは側水路型のそれと異なっているのが分かる。 $\theta = 15^\circ, 30^\circ$ の図の破線は、水脈が導流壁沿いに上昇し、かつ流向変化による流速の低減が無いとして求められる自由落下軌跡から計算した h_{WMAX} を示したものであるが、実験値よりかなり大きな値を示している。この原因としては、流向変化によるエネルギー損失の存在や、水脈の最大上昇位置が壁より内側で生じていることなどが考えられる。 $\theta = 30^\circ$ の鎖線は、加藤・中沢が衝撃波理論を用いて作成した堤趾導流壁沿い水深の図表³⁾より求めた推定値であるが、実験値よりかなり小さい値を与えている。なお、実験ではこの他、 $L = 15\text{cm}$ のケースも行っているが、 h_w に対する L の影響はほとんど認められなかった。

水理設計上問題となるのは導流壁高であり、実験結果から Fr をパラメータに流況別に h_{WMAX}/h_1 に関する次の実験式を作成した(図-6の実線)。

$$\text{流況 A} \quad ; \quad h_{WMAX}/h_1 = 1.18 Fr^{1.27}$$

$$\text{流況 B} \quad ; \quad h_{WMAX}/h_1 = 1.01 Fr^{1.43}$$

本式の適用範囲は、 $Fr = 7 \sim 15$, $W/h_1 = 10 \sim 70$, $\theta = 0^\circ \sim 30^\circ$ である。

図-7は、本式で求めた h_{WMAX} および $x(h_{WMAX})$ を用いて、具体的なダム堤趾導流部上流端付近での必要壁高(図の推定値)を求め、これと水理模型実験より得られた導流部全体に対する必要壁高(実験値)を比較したものである。図より多くのダムでは導流部上流端付近で必要壁高が決まっていることが窺える。いくつかのダムでは実験値が推定値より大きくなっているが、これらのダムでは平均的水路勾配が比較的大きく、いずれも導流部の途中で必要壁高が決定されている。水路勾配が大きい場合には、戻り流による流入水脈への影響

が小さく、上記結果になったものと推察されるが、この場合にも推定値との差はそれ程大きくなく、本実験結果による必要導流壁高の推定が十分可能なものと思われる。

参考文献：柏井・漆山、ダム堤趾導流部の水理模型実験における縮尺効果、31回水理講演会論文集、1987；高須、側水路型減勢工の設計法、土木技術資料、Vol 23-9、1981；加藤・中沢、階段式導水路の導流壁高、土木技術資料、Vol 26-3、1984

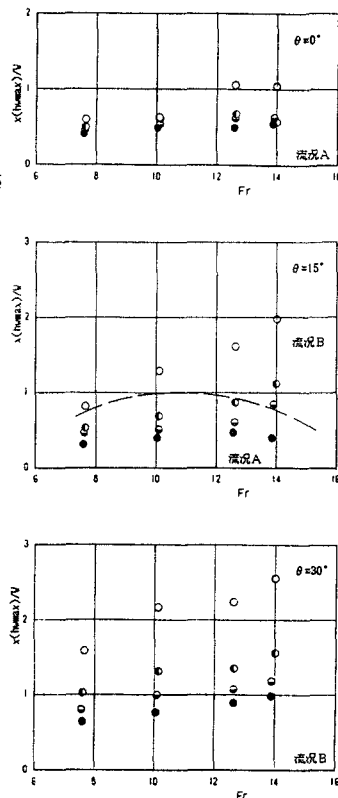


図-5 $x(h_{WMAX})/W$ と Fr の関係

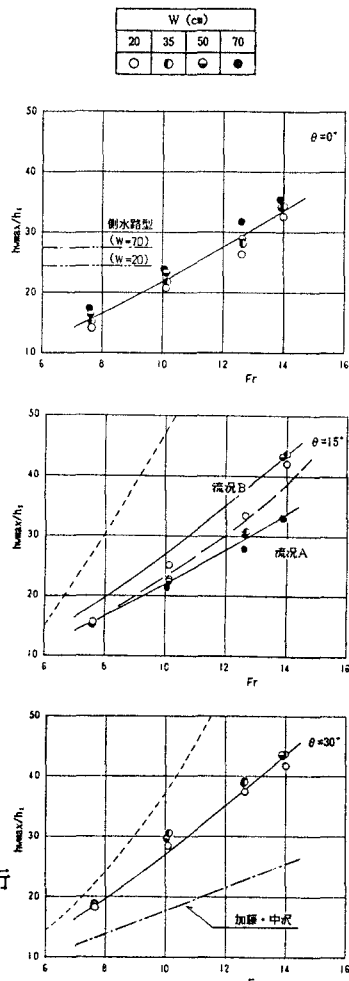


図-6 h_{WMAX}/h_1 と Fr の関係

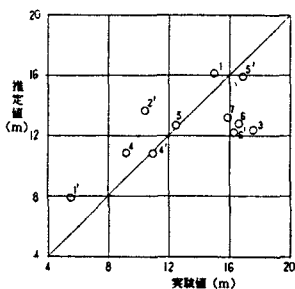


図-7 推定値と実験値の比較