

階段式形状を有するダム洪水吐きシュート部の水理特性

(独) 土木研究所 正会員○海野 仁
(独) 土木研究所 正会員 箱石 憲昭

1. はじめに

我が国の多目的ダム建設事業には、近年、コスト縮減と環境負荷の低減が求められている。フィルダムの洪水吐きシュート部については、従来、均一勾配の直線式シュートが多く採用されてきたが、地山を掘削してシュート部ならびに減勢工を施工するには多くの地形改変を伴うことから、これらを合理的に設計することが課題となっている。この課題の対応策の1つに、シュート部を階段式とする方法が考えられる。これは、階段式とすることにより、シュート部自体に減勢機能を持たせ、シュート部の下流側に隣接する減勢工の規模を縮小しようとするものである。

筆者らは、階段式シュート部の導流壁高さを設定することを目的に、階段式シュート部の水理模型実験を実施し、水理特性を把握した。実験の結果、階段部の流況は、流量によって変化すること、階段部の水面変動は、空気 の混入を伴って大きく変化すること、波面形を用いて水面存在率を測定した結果、目視観測の最高水位と比較的良く整合する水面存在率が存在することが明らかとなったので、以下に報告する。

2. 実験方法

実験には、対象とするダムの 1/62.5 縮尺模型を用いた（図－1）。模型は貯水池、越流部、導流部、減勢部、下流河道からなり、このうち、導流部のシュートを階段式としたものである。ステップは合計 16 段あり、水路幅 32cm、ステップの奥行き 12.5cm、ステップの高さ 5cm で、シュートの縦断勾配は、1/2.5 である。

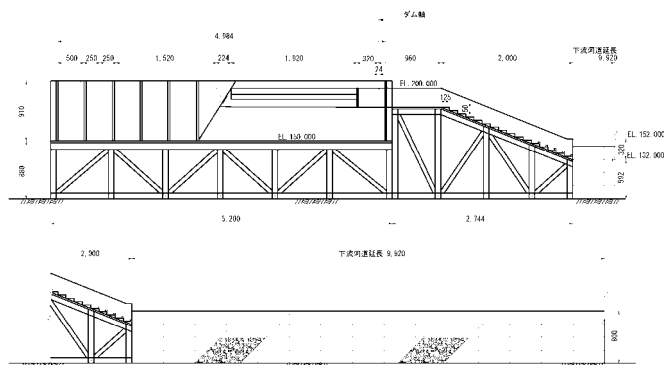


图-1 模型概要图

実験では流況を観察するとともに、水面形、水面存在率を測定した（表－１）。流況については、流量を３段階に設定し、状況をスケッチした。設定した流量は、計画最大放流量（ $Q=6.5\text{L/s}$ ）、計画最大放流量とダム設計洪

水流量との中間流量 ($Q_2=24.0\text{L/s}$)、ダム設計洪水流量 ($Q_3=35.6\text{L/s}$) である。水面形については、1mm 読み鋼製スケールを用い、シュートのスロープと直角方向に最高水深、平均水深を記録した。水面存在率の測定には波面計を用い、水面存在率 2%、10%、50% となる水深を求めた。使用した波面計は、4.8mm 間隔に設置されたセンサー間に、センサー間が水で満たされているときのみカウントされるパルス信号を一定時間間隔に飛ばし、水面の存在割合を計測する仕組みのものである。

表-1 実験ケース

測定項目	対象流量 [L/s]	位置	測定内容	結果
1. 流況観察	Q1= 6.5			図－2
	Q2=24.0			
	Q3=35.6			図－3
2. 水面形観察	Q3=35.6	左岸	最高水位	
			平均水位	
		中央	最高水位	
			平均水位	
		右岸	最高水位	図－4 図－5
	平均水位	図－4 図－5		
3. 水面存在率 測定	Q3=35.6	右岸	2%水深	図－5
			10%水深	図－5
			50%水深	図－5

3. 實驗結果

3. 1 流況

$Q_1=6.5\text{L/s}$ の流況を図-2 に、 $Q_3=35.6\text{L/s}$ の流況を、図-3 に示す。階段式シュート部の流況は、おおよそ落水流、ナップ流、スキミング流の3パターンに分類される。 $Q_1=6.5\text{L/s}$ のケースでは、上流側の2~3ステップで落水流が、また、4~16ステップでナップ流が観察された。一方、 $Q_3=35.6\text{L/s}$ では、全区間にわたりスキミング流が観察された。また、流水の流下にともない、8~16区間で空気の混入および水脈の飛散が生じ、水面形が盛り上がる状況が観察された。 $Q_2=24.0\text{L/s}$ のケースについても $Q_3=35.6\text{L/s}$ と同様な流況が見られたが、誌面の都合上、図は省略する。

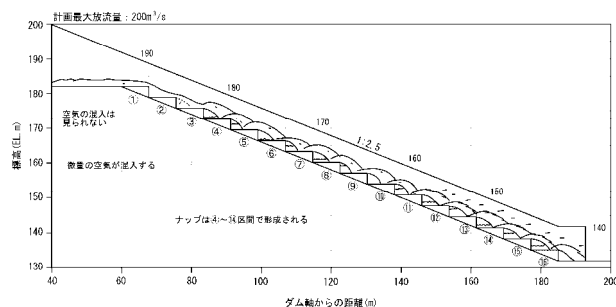
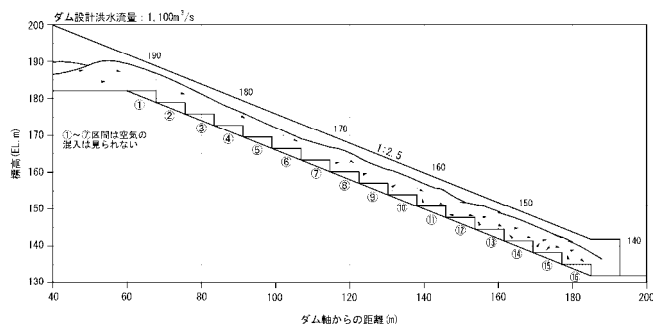


図-2 シュート部の流況(1) ($Q_1=6.5\text{L/s}$)

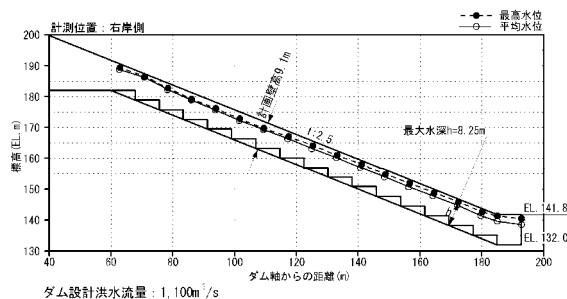
キーワード 洪水吐き 階段式シュート部 減勢 水面変動 導流壁高
連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 TEL:029-879-6783 E-mail: umino@pwri.go.jp

図-3 シュート部の流況(2) ($Q_3=35.6\text{L/s}$)

階段シュート部の流れは、空気を多量に含む流れとなるため、通常水理模型実験で用いられているフルードの相似則が適用できないことから、模型縮尺に応じ、実験値を補正する必要がある¹⁾。模型縮尺を考慮した水面形の補正と導流壁高の設定については、後述する。

3. 2 水面形

$Q_3=35.6\text{L/s}$ の水面形を、階段式シュート部の左岸導流壁沿い、中央、右岸導流壁沿いの3測線で実施した。このうち、右岸導流壁沿いの水面形を、図-4に示す(数値は実機)。シュート部を流れに沿って上流区間、下流区間に2区分すると、上流区間では水面が比較的安定し、平均水深と最高水深の差は小さい反面、下流区間では、空気の混入を伴って水面が変動し、最高水深が平均水深から乖離する結果となった。この傾向は、3測線に共通してみられた。導流壁高の設定にあたっては、下流区間の水面変動を十分考慮する必要があると考える。

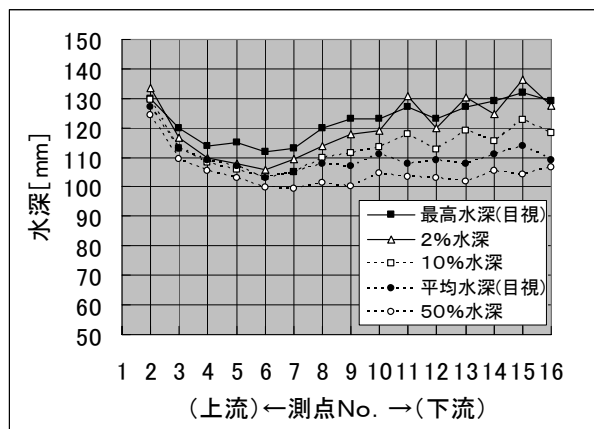
図-4 シュート部の水面形 ($Q_3=35.6\text{L/s}$)

3. 3 水面存在率

$Q_3=35.6\text{L/s}$ の流量ケースについて、右岸導流壁沿いの水面存在率2%、10%、50%水深を求めた結果に、水面形の測定結果を重ねたものを、図-5に示す(数値は、模型値)。波面計による水面存在率の測定は、結果が機械的に集計されることから、目視観測による水面形計測と異なり、測定員に起因する誤差は生じないという特徴がある。水面存在率2%水深は、上流区間で最高水深(目視)を下回っているものの、水面変動が問題となる下流区間では、最高水深(目視)に近い値を示している。一方、10%水

深は最高水深(目視)を大きく下回る結果となり、仮に10%水深を基本に導流壁高を設定する場合には、相当多くの余裕高を見込む必要があると考えられる。

Bose と Hager は、階段式シュート部の導流壁高について、周辺が浸食に強い場合、10%水深の1.2倍、浸食に弱い場合には1.5倍と提案している²⁾。一方、本報告では、水面変動が問題となる下流区間で、波面計により測定した2%水深が、目視観測の最高水深に近い値を示していることから、導流壁高については、波面計により測定した2%水深をもとに、模型縮尺に応じた所要の補正を行い、設定することを提案する。

図-5 水面存在率と水深(右岸) ($Q_3=35.6\text{L/s}$)

4. まとめ

本報告では、階段式シュート部を対象とした模型実験の結果、階段部の流況は、流量によっておおよそ3パターンに変化すること、階段部の水面変動は上流側では比較的小さいものの、下流側では空気の混入を伴って、大きく変化すること、波面計を用いた水面存在率を測定した結果、存在率2%の水深が目視観測の最高水位と比較的良く整合することを示した。

ここで用いた模型縮尺は、1/62.5であり、柏井らは、実機への換算するための補正として、1/62.5の模型では1.235倍の引き延ばしを提案している(前出¹⁾)。右岸導流壁沿いの2%水深が最大となった測点15の測定値について、縮尺補正後の2%水深を縮尺補正前の10%水深と比較すると、約1.37倍となる。Bose らの提案する10%水深を基準にした1.2倍~1.5倍の割り増しについても、妥当な範囲の割り増しと理解する。

参考文献

- 1) 柏井条介, 大黒真希: 階段式導流部水理模型実験における模型縮尺の影響, ダム技術No.232, pp46~56, 2006
- 2) Robert M. Boes, Hans-Erwin Minor: Guidelines for the hydraulic design of stepped spillways, Proceedings of the international workshop on hydraulics of stepped spillways, p.169, 2000