

横越流水路における段波の減衰に関する実験的研究

大阪産業大学工学部 正会員○重光 世洋
ニュージェック 正会員 鶴巻有一郎

1. はじめに

近年水力発電の有効出力の増大改良に伴い、既設制圧機の撤去検討がなされている。その撤去に伴う負荷遮断による流量の急激な減少によって、ヘッドタンク内に発生する段波は、全使用水量の変換値であるため、従前の制圧機有りの場合に較べて遙かに高いものとなると同時に、ヘッドタンク内に伝播する水理現象はより複雑なものとなる。このため、既設の横越流堰規模では、発生する段波を十分吸収しきれず、導水路トンネルへの水位上昇がより高くなり、この衝撃性の波が遡上すれば、トンネル天端に空気塊を閉じ込め、空気塊の移動放出等によりエア－ハンマが発生し、トンネル天端のコンクリートを破損する恐れがある。このことから、越流部を有するヘッドタンク内や水路における段波の遡上変形の諸特性を基礎的に解明することは、発電所導水路の段波遡上に対する防災工学上の重要な課題である。

本文は、基礎的な研究として、矩形断面水路の両側に対称な横越流堰を設けた場合の流れに対し、下流端に流量を急激に減少させた場合の段波の変形や段波高の減衰状況について水理実験を行い、さらに数値シミュレーションと対比した結果について報告するものである。

2. 実験装置・方法および条件

実験装置：実験水路は、幅50cm、高さ50cm、長さ15mの矩形断面を有する勾配可変の鋼製水路の中央に、幅20cm、高さ40cmの透明アクリル製の水路を設置し、下流端に遮断用ゲートを、そしてこれより上流105～145cmを起点として対称な横越流堰を設け越流させるものである。水位変動は容量式水位計によった。水位計は水路中心線に、ゲート直上流(No.1)、横越流堰上・下流端(No.2,4)、横越流堰中央(No.3)、横越流堰終端より上流1.0m(No.5)及び2.0m(No.6)にそれぞれ1点、計6点設置した。

実験方法：所定の水路勾配と流量に対応する等流状態を設定した後、下流端ゲートを急遮断し、段波の遡上に伴う水位変動を計測した。横越流堰高はそれぞれの水路勾配と流量に対応する等流水深 H_0 の高さに設定した。

実験条件：実験条件は、水路勾配 $i=1/500, 1/1000, 1/1900$ の3種類、流量 $Q=10.0\sim 25.0$ l/s の7種類、初期水深 $H_0=9.0\sim 25.0$ cm、横越流堰長 $L_0=40, 60, 80, 100$ cm の4種類、ゲートの遮断時間は手動で一律0.3秒程度となるように操作した。

3. 実験結果と考察

(1) 観測波形と越流堰長の効果：遮断ゲート直上流の段波波形は理想段波に近い台形を呈するが、遡上に伴い波状段波に移行する。越流堰長が長い程、波状は越流により平滑化され、段波高の低減度合も大きくなる。しかし、上流の非越流部水路へ遡上するにつれて再び波状段波に移行し、水路勾配および相対段波高が大きいほど波高の増幅度合も大きくなる傾向を示す(図-1参照)。図-2は第1波の段波高の低減に対する越流長の効果を示した例である。段波高の透過率 η_4/η_2 は $L_0/(H_0 \cdot Fr)$ の増大に伴って指数関数的に減少する。ここに、 η_2, η_4 はそれぞれ横越流直前および直後断面における第一波の段波高、 Fr は Froude 数である。

(2) 第1波の段波高と伝播速度：実験値の段波高 η_1 および伝播速度 ω_1 は、運動量保存則により算定した値 η_0 および ω_0 に較べて、全般的大きくなっている(図-3, 4)。

Seiyo SHIGEMITSU Yuichirou TSURUMAKI

(3) 数値計算との比較：数値計算は、緩勾配水路に対して用いられる2方向性（進行波と後退波）の波を扱う Dynamic wave 法によった。なお、初期定常水面形は、不等流計算より求めた。初期水深からの水位上昇波形を比較した1例を図-5に示す。平均的な水位上昇波形は計算値とよく一致している。とくに、遮断ゲート直上流の水位変化波形は第1波を除けば、その再現性は全般的に良好である。しかし、先端部に発生する波状段波は良く再現されていない。このことは、波状段波に移行する仕組みを計算モデルに考慮されていないためである。図-6は不定流計算による第1波の段波高と実験値とを比較したものである。この図からも段波高は遡上するにつれて増幅されていくことが判る。

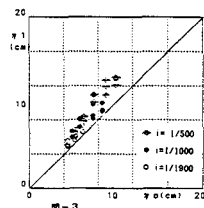


図-3

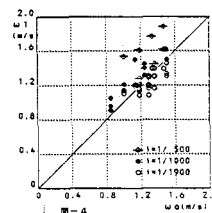


図-4

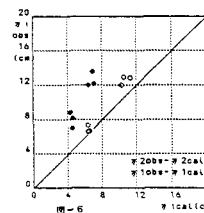


図-5

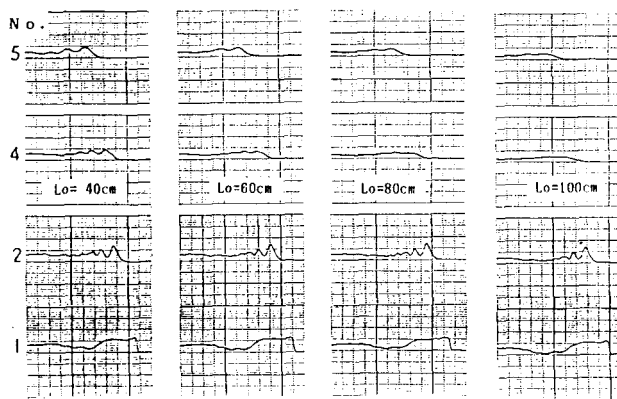


図-6

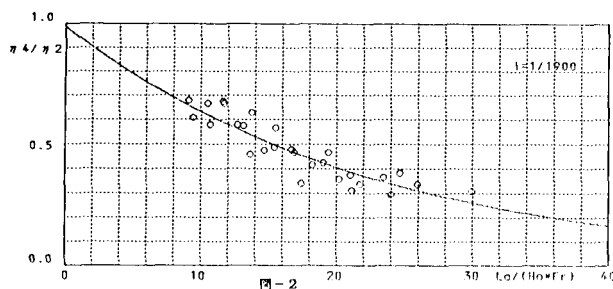


図-7

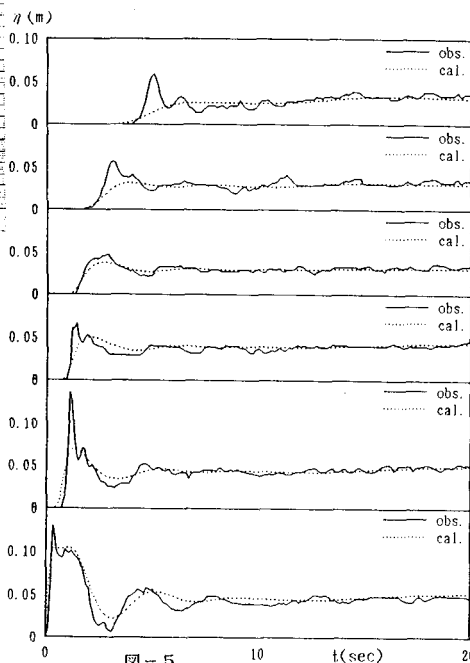


図-8

4. おわりに

分散第1波の段波は理想段波高よりも全般的に高く、また横越流堰長が長くなるほど段波高に対する減衰効果が大きくなる。横越流を考慮した不定流による計算値は実測値の平均的な水位上昇波形に対する再現性は良好である。今後、遡上に伴う遷移形態としての安定波状と不安定な波状（砕波形態）を考慮に入れたモデルについて検討していきたい。

最後に、本実験に当り、大阪産業大学水理研究室学生木本正次、篠塚義広、小林信行、奥田広樹諸君、また解析計算には大阪大学工学部研究生重光泰宗君の協力を得たことを付記し、感謝の意を表します。