

II-295

横越水路における段波の遡上変形・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
 大阪産業大学大学院 学生員 日沖 彰則
 大阪産業大学大学院 学生員 横田 潤治
 (株) ニュージェック 正会員 鶴巻有一郎

1. はじめに

水力発電所における既設の制圧機撤去に伴う負荷遮断時の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る。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ークラッシュ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。したがって、越流部を有するヘッドタンク内や導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、導水路への段波遡上に対する安全対策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、下流端の流量を急激に減少させた場合の段波の遡上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結果と対比して検討を行った結果について述べたものである。

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、下流端に遮断ゲートを設け、これより上流180cmの地点を起点として水路の両側に対称な横越流堰を設け越流させるものである。水位計は水路中心線上に、遮断ゲート直上流(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へ1.0m(No.5)及び3.0m(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 とした。

実験条件：実験条件は、水路勾配 $1=1/500, 1/1000, 1/2000$ の3種類、流量 $Q=20.0, 15.0, 10.0, 5.0$ l/s の4種類、粗度係数 $n=0.011$ 、初期等流水深 $H_0=9.0\sim 25.0$ 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：図-1に示すように、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、越流堰を通過した後の波状は越流により平滑され、段波高の低減割合も大きくなる。しかし、ある条件によっては、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、波高の増幅がみられる。その増幅の割合は相対段波高 (h_0'/H_0) がある値までは増大し、それ以上になると逆に減少する傾向がある。図-2は第1波の段波高の透過率に対する越流長の効果を示した例であ

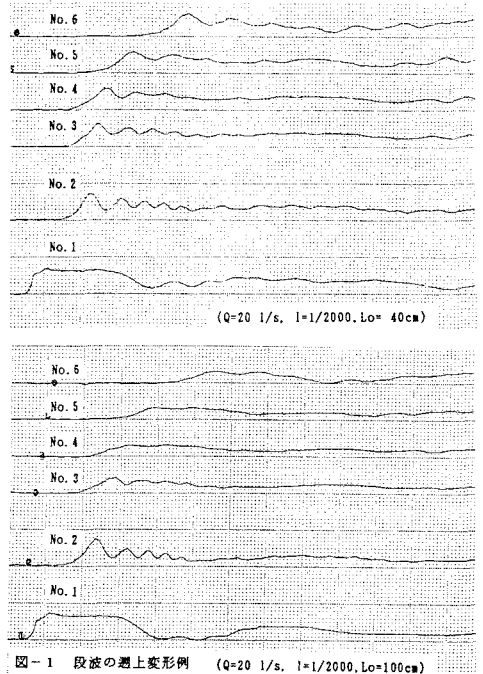


図-1 段波の遡上変形例 ($Q=20$ l/s, $1=1/2000$, $L_0=100$ cm)

る。その透過率 h_4/h_2 は $Lo/(E \cdot Fr)$ の増大に伴って指数関数的に減少する。ここに、 ho' : 遮断ゲート直上流の段波高、 h_2, h_4 : それぞれ横越流直前および直後断面における分散第一波の段波高、 $E=Ho+Uo^2/2g$ 、 Uo : 初期の平均流速、 Fr : 初期の Froude 数 ($=Uo/\sqrt{gHo}$) である。

(2) 分散第一波の段波高: 図-3 に示すように、断面 No. 2 における分散第一波の段波高 h_1 は ho' に較べて、全般的に高くなり、 $ho'/Ho=0.4$ 付近を境に h_1/ho' の変化の度合は 2 つの異なった傾向が存在する。 $ho'/Ho > 0.4$ の領域では Favre¹⁾ の実験値とほぼ同じ結果を示す。

(3) 越流前の断面 No. 2 における分散第一波の前面波面勾配の変化は図-4 に示すように初期の ho'/Ho との間においても、前記同様にほぼ相対段波高 $ho'/Ho=0.4$ 付近を境に異なる 2 つの傾向を示す。この境は室田²⁾ らが示した段波の plunging 型砕波領域 $ho'/Ho > 0.47$ にほぼ対応していることは興味深い。また分散波列の峰部を包絡する形状は ho'/Ho が大きくなるに伴って緩やかになっている。谷部については ho'/Ho が小さくなるに伴って平滑化になる傾向を示す。

(4) 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、初期の定常状態の水面形は、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の再現性は全般的に良好である。しかし、波状段波に移行する仕組みが計算モデルに考慮されていないため、遡上に伴って先端部に発生する波状段波は再現されていない。

4. まとめ

初期の理想段波は遡上するにつれて分散波に移行し増幅され、とくに分散第一波の段波高が最も大である。横越流堰長が長くなるほど段波高に対する減衰効果は大きくなる。初期条件としての相対段波高は段波の遡上変形に対して支配的である。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）を考慮にいたれたモデルについて検討していきたい。

最後に、本実験には、(株) 日本工業試験所 高野武君（当時学生）の協力を得た。また解析計算には大阪大学大学院 重光泰宗君の協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

（参考文献）

- 1) Favre, H. : Ondes de transition, Paris Dunod. (1934)
- 2) 室田・岩田: 段波の変形に関する研究、土木学会論文集, 第160号, (1968)

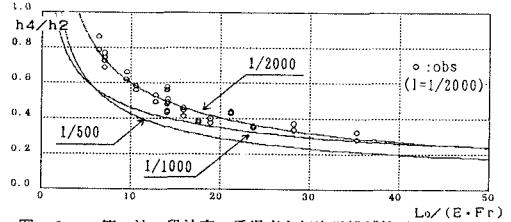


図-2 第1波の段波高の透過率と無次元横越流長との関係

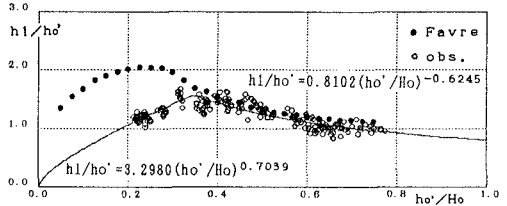


図-3 分散第1波の段波高増幅率と相対段波高との関係

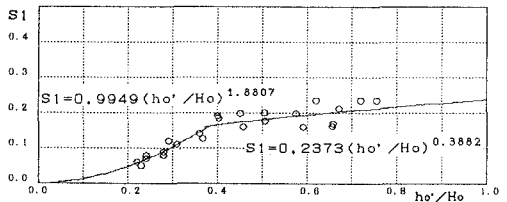


図-4 分散第1波の全面波形勾配と相対段波高との関係

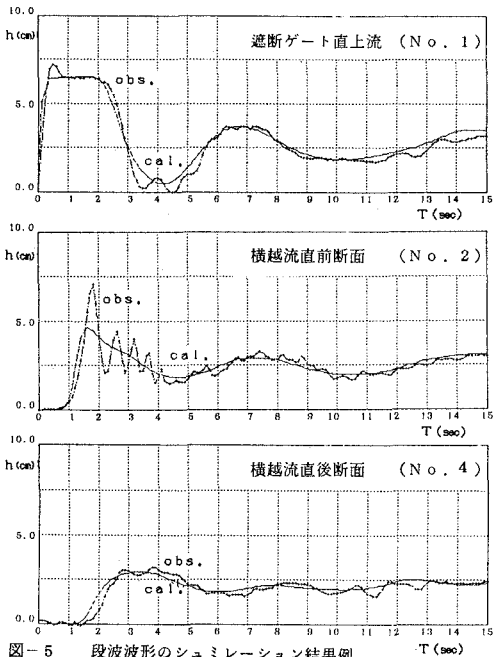


図-5 段波波形のシュミレーション結果例
($Q=201/s$, $l=1/2000$, $Lo=100cm$)