矩形堰と台形堰における水面形に関する実験的検討

Experimental Investigation on Water Surface Profiles on both Rectangular and Trapezoidal Weirs

日本大学理工学部土木工学科　学生会員　○島﨑竜一
日本大学理工学部土木工学科　　正会員　　安田陽一

１．はじめに

一般に堰を越える流れの流況は，越流水深 H と堰頂長さ L との比，相対越流水深 H/L の値によって，長頂堰，広頂堰，狭頂堰に分類される．長頂堰，広頂堰および狭頂堰の境界値について，N.S.Govinda Rao and D.Muralidhar[1)]によると，H/L≦0.1 の範囲で長頂堰，0.1＜H/L＜0.4 の範囲で広頂堰，　0.4≦H/L≦1.5～1.9 の範囲で狭頂堰がそれぞれ形成されることを報告している [2)]．また，M.G.Bos[3)]によると 0.08≦H/L の範囲で長頂堰，0.08＜H/L＜0.33 の範囲で広頂堰，　0.33＜H/L＜約 1.5～1.8 の範囲で狭頂堰がそれぞれ形成されことを報告している [4)]．　しかし，上記の堰の境界値は全て矩形堰を対象とした実験値であり，堰の形状の違いによる水面形状や境界値の変化について明らかにされていない．また，水路幅の違いによる水面形状や境界値の変化についても明らかにされていない．

本研究では堰の形状が矩形である場合と堰上流側に斜面を設け台形断面とした場合の異なる堰模型を用いて，様々な流量規模での堰上部での水面形を測定し，測定された水面形から矩形堰と台形堰の水面形状の違いおよび，長頂堰と広頂堰の境界値の変化について実験的に検討した．また，幅の異なる水路を用いて同様の実験を行いアスペクト比 B/H，および相対堰頂長さ L/B による長頂堰と広頂堰の形成領域および，その付近の水面形状の変化特性について実験的に検討した．

２．実験方法

実験には幅 0.80m，長さ 15.0m，高さ 0.60m，と幅 0.40m，長さ 18.5m，高さ 0.60m，の 2 種類の長方形水平水路を使用し，それぞれの水路途中に堰模型を設置し**表 1** に示す実験条件のもと行った．堰模型は幅 0.80m の水路では，幅 0.796m，長さ 1.00m，高さ 0.10m の木製堰模型矩形堰とし(**写真 1**)，幅 0.40m の水路では幅 0.396m，長さ 1.00m，高さ 0.10m木製堰模型を矩形堰とした．台形堰についてはそれぞれの矩形堰の上流側に長さ 0.50m，厚さ 5 ㎜の鋼版を使用し勾配 1/4.9 の斜面を設けた物を台形堰とした（**写真 2**）．また，斜面安定のため斜面内側に土嚢を敷き斜面上流側には長さ 1.00m，厚さ 5 ㎜の鉄板を設置した．なお，水深測定にはポイントゲージを用いた．

表 1　実験条件

	矩形堰（水路幅B=0.80m）	台形堰（水路幅B=0.80m）	矩形堰（水路幅B=0.40m）	台形堰（水路幅B=0.80m）
流量 Q（m3/s）	$9.55\times10^{-3}\leq Q\leq 9.55\times10^{-3}$		$4.78\times10^{-3}\leq Q\leq 18.4\times10^{-3}$	
堰頂長さ L（m）	1.00			
相対堰頂長さ L/B	1.25	1.25	2.50	1.25
相対越流水深 H/L	$0.0366\leq H/L\leq 0.138$		$0.0366\leq H/L\leq 0.0900$	
アスペクト比 B/H	$21.9\geq B/H\geq 5.8$		$10.9\geq B/H\geq 4.4$	

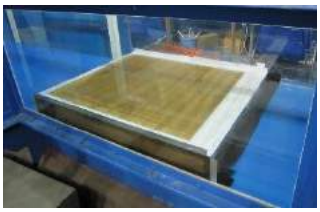

写真１　矩形堰の設置例

写真２　台形堰の設置例

３．長頂堰と広頂堰の水面形状

堰上部の水面形状について，測定水深 h を限界水深 hc で無次元化した相対水深 h/hc は測定位置 x’を堰頂長さ L で無次元化した相対流下距離 x’/L，アスペクト比 B/H，相対越流水深 H/L によって変化するものと考えられる．なお，越流水深 H は限界水深 hc の 1.5 倍として定義している．**図 1**，**図 2** はそれぞれ堰の形状の異なる場合のアスペクト比 B/H=21.9，B/H=10.9 における H/L＝0.0365 での水面形状を示し，**図 3**，**図 4** はそれぞれアスペクト比の異なる場合の矩形堰，台形堰における H/L=0.0366 での水面形状を示している．また，**図 5** は堰の形状の異なる場合の H/L=0.138 における水面形状を示し，**図 6** はアスペクト比の異なる場合の矩形堰における H/L=0.800 水面形状を示している．

図 1，**図 2** に示されるように，長頂堰となる H/L=0.0366 の場合，アスペクト比 B/H の値に関わらず堰の形状による水面形の違いが確認できる．これは，堰上流側の勾配を変化させることによって堰の流入部での流線の曲がりによる影響が異なるため，同一の H/L に対して波状水面の形成が異なるものと考えられる．また，**図 3**，**図 4** に示されるように矩形堰，台形堰ともに長頂堰となる H/L=0.0366 の場合では，アスペクト比 B/H による水面形状の違いが確認できる．これは，堰上流側に発生する水路横断方向の流れの渦による影響が異なるためと考えられる．また，**図 5** に示されるように，広頂堰となる H/L=0.138 の場合，矩形堰では，流入部での流線の曲がりの影響を受けて，堰上では射流区間となる領域が大きくなる．なお**図 6** に示されるように，矩形堰での広頂堰となる H/L＝0.0800 の場合では，アスペクト比による水面形状の違いは無視できるほど小さい．これは堰上流側に発生する水路横断方向の流れの渦による影響が小さいためと考えられる．したがって，既存の検討結果では，長頂堰においては堰上部で波状水面が形成され，広頂堰においては堰上部で平行流が形成されることが記述されている [1),2),3)]が，堰の形状による水面形状の違いについて，ここで示すことが出来た．

４．長頂堰と広頂堰の形成領域

図 7 は矩形堰でアスペクト比 B/H=12.3 における長頂堰と広頂堰との境界付近の水面形状を示す．図に示されるように，同一の相対的越流水深 H/L に対して，異なる水面形が形成される．実験的には流量を増加することによって，想定する H/L に設定すると，長頂堰と判断できる水面形状となる．この状態は時間が十分に

キーワード　台形堰　矩形堰　長頂堰　広頂堰　水面形状

連絡先　〒101-8308　東京都千代田区神田駿河台 1-8-14　TEL.03-3259-0409　E-mail：yasuda.youichi@nihon-u.ac.jp

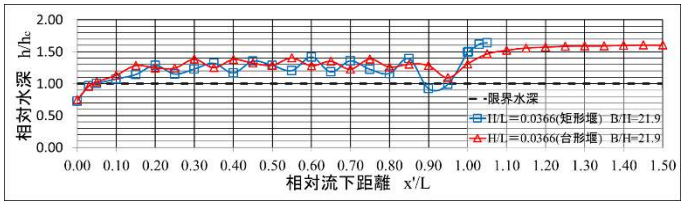

図 1　B/H=21.9 における矩形堰と台形堰での H/L=0.0366 における水面形状

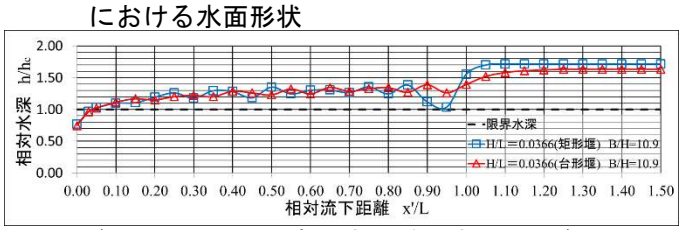

図 2　B/H=10.9 における矩形堰と台形堰での H/L=0.0366 における水面形状

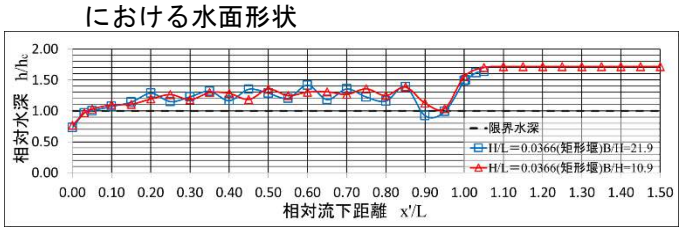

図 3　アスペクト比の異なる矩形堰での H/L＝0.0366 における長頂堰の水面形状

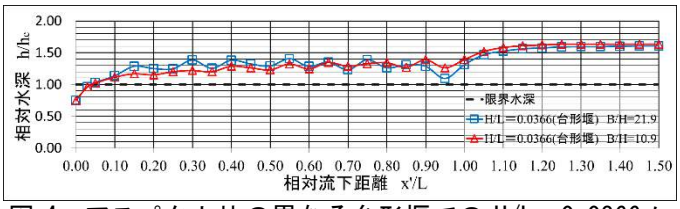

図 4　アスペクト比の異なる台形堰での H/L＝0.0366 における長頂堰の水面形状

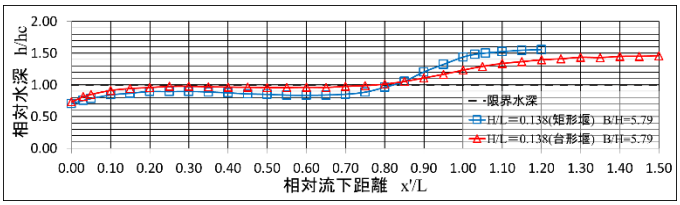

図 5　矩形堰と台形堰での H/L＝0.138 における水面形状

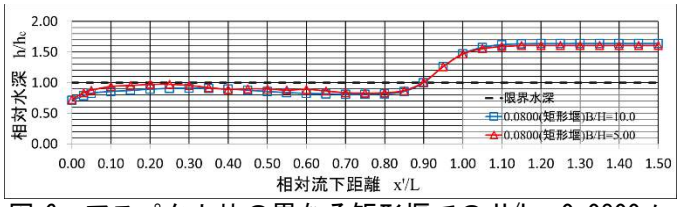

図 6　アスペクト比の異なる矩形堰での H/L＝0.0800 における広頂堰の水面形状

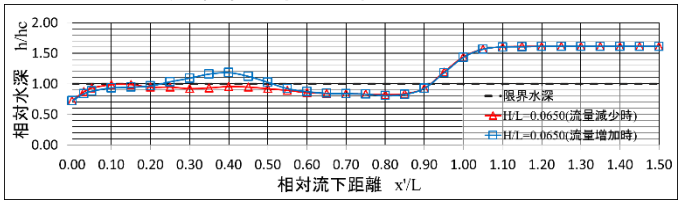

図 7　矩形堰（B/H=12.3）における長頂堰と広頂堰の境界付近での水面形状

経過した後でも同様な水面形が維持される．また，流量を減少することによって，想定する H/L に設定すると，広頂堰と判断できる水面形状となる．この状態についても時間が十分に経過した後でも同様な水面形が維持される．これらは，堰背面（上流面）を越える流線の曲がりがそれまで形成されていた水面形の履歴による影響を受けるためと考えられる．

堰上流側が鉛直面を有する相対堰頂長さ L/B = 1.25 の矩形堰の場合，H/L≥0.0800 で広頂堰となり，H/L≤0.0600 で長頂堰となる．その結果，0.0600<H/L<0.0800 の範囲が遷移領域となり，図 7 に示されるように，流量の増加・減少の方向によって水面形状が変化する．堰上流側が鉛直面を有する L/B = 2.50 の矩形堰の場合では，H/L≥0.0900 で広頂堰となり，H/L≤0.0700 で長頂堰となる．その結果，0.0700<H/L<0.0900 の範囲が遷移領域となり，流量の増加・減少の方向によって水面形が変化する．堰上流側に 1/4.9 の勾配を有する L/B=1.25 の台形堰の場合，H/L≥0.130 で広頂堰となり，H/L≤0.110 で長頂堰となる．その結果，0.110<H/L<0.130 の範囲が遷移領域となり，流量の増加・減少の方向によって水面形が変化する．堰上流側に 1/4.9 の勾配を有する L/B=2.50 の台形堰の場合，流量の増加・減少の方向による水面形の変化は認められず，H/L≤0.130 で長頂堰となり，その後流量を増加させることで長頂堰のうねりの位置が下流側に移動し最終的には H/L≥0.140 で完全な広頂堰となった．以上のことから，長頂堰と広頂堰の境界を示す相対越流水深 H/L が堰の形状およびアスペクト比によって異なる．また，長頂堰と広頂堰との間に遷移領域が存在し，流量の増加・減少によって水面形が異なる場合と遷移領域は認められず流量増加とともに徐々に広頂堰へと遷移する流れが存在することを示した．

５．まとめ

堰を越流する流れの堰上部の水面形状について表 1 に示す実験条件のもとで実験的に検討した．L/B=1.25 の矩形堰では，H/L≤0.0600 で長頂堰，H/L≥0.0800 で広頂堰が形成され，0.0600<H/L<0.0800 の範囲では流量の増加・減少の方向によって水面形が変化する．また，L/B＝2.50 の矩形堰では，H/L≤0.0700 で長頂堰，H/L≥0.0900 で広頂堰が形成され，0.0700<H/L<0.0900 の範囲では流量の増加・減少の方向によって水面形が変化する．アスペクト比 B/H の異なる矩形堰では，広頂堰の場合については水面形に大きな違いが見られないが，長頂堰の場合，堰上流側の水路横断方向の流れの渦の影響を受けて波状水面の形状が異なる．L/B＝1.25 で，堰上流側の勾配が 1/4.9 の台形堰では，H/L≥0.130 で広頂堰，H/L≤0.110 で長頂堰が形成され，0.110<H/L<0.130 では流量の増加・減少の方向によって水面形が変化する．また，L/B = 2.50 で，堰上流側の勾配が 1/4.9 の台形堰では，流量の増加・減少の方向による遷移領域は認められず，H/L≤0.130 で長頂堰が形成され，その後流量の増加に従い徐々に広頂堰にみられる平行流へと遷移し，H/L≥0.140 で完全な平行流となる．すなわち，堰に流入する流れの流線の曲がりによって，堰上部の水面形が変化することを示し，長頂堰と広頂堰との境界を示す H/L の値が堰の形状や水路幅によるアスペクト比によって異なることを示した．

参考文献

1) Rao, N. S. G. and Muralidhar, D., “Discharge characteristics of weirs of finite-crest width”, L a Houille Blanche, No.5, Aout/Sep. pp. 537-545, 1963.
2) 土木学会, 水理公式集［平成 11 年版］, p.244, 1999.
3) Sturm, T. W., “Open Channel Hydraulics”, McGraw-Hill Book Co, New York, pp.52-55, 2001.
4) Bos, M. G., “Discharge Measurement Structures”. ILRI Publication 20, 3rd Revised Edition. Wageningen, The Netherlands,pp.143-145,1988.