越流堤天端形状の改良による越流効率向上に関する考察

パシフィックコンサルタンツ株式会社　正会員　○市山　誠
正会員　石原　正義
正会員　片山　直哉

１．はじめに

越流堤は、洪水調節の目的で堤防の一部を低くした堤防であり、その断面形は、堤防と同様に台形の場合が多い。本論は、断面が台形の越流堤天端に小規模の越流堤を設置することによる越流効率の向上について、水理模型実験の事例を用いて報告する。

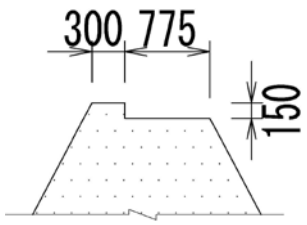
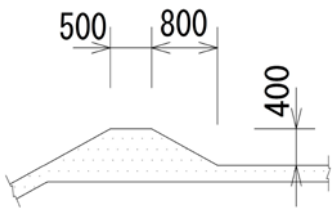
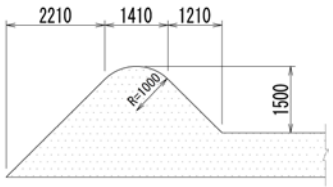
２．越流堤水理模型実験の事例

越流堤は、遊水地等の洪水調節施設とセットで設計される。基本設計において、越流堤の延長、天端高、及び断面形状（以下、越流堤諸元）は、一次元の不等流計算や不定流計算に越流公式[1]を組み合わせて決定される。次の実施設計段階において、水理模型実験により改良検討を行い、最終越流堤諸元が決定される。

越流堤の流況は横越流現象であり、越流水は河道の影響を受けて越流堤に対して平行に流れる傾向がある。この場合、越流水は、越流堤天端上を越流堤と平行に流下するため、所定の洪水調節流量を得るために越流堤長を延長する等の対応が必要となる。越流堤の延長は事業費の増加につながるため、越流効率の向上が水理模型実験における重要な改良点となる。表 １は、越流堤表法肩部に突起を設けた越流堤形状の改良事例である。これらの越流堤は、筆者等が所属する技術研究センター[2]において検討されたものである。

表 １に示す越流堤の被覆工は全てコンクリート製であり、越流堤頂部の構造も全てコンクリート製である。(a)は、法勾配 1:0.5 の RC 製越流堤の一部を低くして法肩に台形の突起を設けた構造である。(b)は、幅 3.0m 管理用通路を有する台形断面の越流堤である。この表法肩部に台形の小堤を有する構造としている。(c)は(b)と同様の構造であるが、小堤の高さが 1.5m あり他の事例に比べて高い構造となっている。小堤天端を円形とすることで、越流効率の向上と越流堤天端へのなめらかな流入を狙った構造となっている。但し、周辺条件により越流堤の天端幅が 32.5m であり、小堤が無い場合は広頂堰となり越流効率が悪いことが推察される。

表 １　越流堤天端に小堤を設置した事例

		（ａ）	（ｂ）	（ｃ）
越流堤	表法肩部に設置した小堤の断面形			
	構造形式	ＲＣ	ＲＣ	ＲＣ
	全天端幅	1.0 m	5.1 m	32.5m
	管理用通路	無し	有り (B=3.0m)	有り (B=3.0m)
本川諸元	ﾋﾟｰｸ流量:Q_u	63.0 m^3/s	75.0 m^3/s	2,410 m^3/s
	川幅：B_0	6.6 m	12.7 m	72.0 m
	水深：h_0	2.7 m	5.0 m	10.0 m
	河床勾配:I_b	1/100	1/2,000	1/430

キーワード　越流堤，洪水調節，越流係数，横越流，コスト縮減，水理模型実験
連絡先　〒300-4204　茨城県つくば市作谷 642-1　パシフィックコンサルタンツ(株)つくば技術研究センター　TEL029-869-1041

３．越流係数の逆算値による評価

3.1 越流公式との比較

表２ のＣ$_1$は、水理模型実験で計測された調節流量、越流水深、及び越流堤長から式(A)によって逆算した値である。Ｃ$_2$は、越流堤(a)、(b)を台形せきの越流公式、(c)を長頂せきの越流公式により推算した値である。

$$C_1 = Q_c/(B \cdot h^{3/2}) \qquad \cdots(A)$$

越流堤(a)は、越流公式による越流係数よりも７％小さな越流係数となっている。越流堤(b)は、越流公式による越流係数を約 28%、越流堤(c)は約 5%上回っている。Ｃ１が横越流における値であること、Ｃ$_2$が正面越流を想定していることから、越流堤天端の小堤が越流効率向上に有効であるといえる。また、越流堤長短縮によるコスト縮減につながると考えられる。

3.2 越流堤天端形状の改良効果

表 3 は、越流堤(d)の逆算越流係数を比較したものである。越流堤(d)は、台形断面と天端に小堤を有する断面形の２種類について水理模型実験を実施している。天端小堤の越流係数は、台形断面の 1.33 倍となっている。越流水深と越流係数が一定条件とすると、台形の越流堤が天端小堤と同じ調節流量となる越流堤長は、134m となる。即ち、越流堤天端部の改良により越流堤長が約 26m 短縮され、コスト縮減に寄与したといえる。

3.3 越流堤周辺の流況

図２ は、越流堤（ｄ）の水理模型実験における越流堤周辺の流況写真である。写真手前が下流、左側の本川から右側の遊水地に越流している。台形の越流堤は、本川に平行な流れが越流堤天端で卓越し、可視化染料が本川を流下している。一方、法肩小堤では、小堤を超えた流水が遊水地側に流入しており、本川に対して横断方向の流れの形成が見られる。

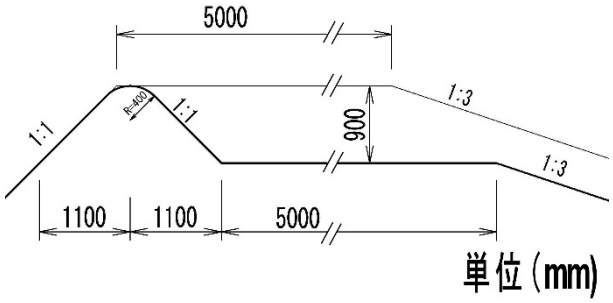


図 1 越流堤（ｄ）の断面形

表 2 越流係数

越流堤	(a)	(b)	(c)
調節流量 ; $Q_c(m^3/s)$	3.20	17.40	50.30
越流水深 ; $h(m)$	0.33	0.33	0.52
越流堤長 ; $B(m)$	13.00	49.80	85.00
越流係数(1) ; C_1	1.30	1.84	1.58
越流係数(2) ; C_2	1.48	1.44	1.50

C_1:調節流量による逆算値
C_2:越流公式による推定値

表 3 越流堤天端形状と越流係数

越流堤	(d)	
	台　形	法肩小堤
調節前流量 ; $Q_u(m^3/s)$	196.0	196.0
調節流量 ; $Q_c(m^3/s)$	54.0	103.6
越流水深 ; $h(m)$	0.6	0.6
越流堤長 ; $B(m)$	70.0	107.6
越流係数(1) ; C_1	1.51	2.02

４．まとめ

天端に小堤を有する越流堤形状が、越流効率の向上や事業コスト縮減の手段となり得ることを示した。今後とも水理模型実験等のデータの蓄積、整理、分析を継続し、知見の共有に努めたい。

図 2 越流堤周辺の流況（左：台形せき、右：法肩小堤）

参考文献

[1] 水理公式集[平成 11 年版]：土木学会：pp. 244_245
[2] https://www.pacific.co.jp/div/tsukuba/