

# 千歳川遊水地群における越流堤形状等の検討について（第一報）

石狩川開発建設部 千歳川河川事務所

○千秋 雅信  
高村 章  
久野 俊一

千歳川河川整備計画では、洪水を安全に流下させるための対策の一つとして、遊水地群を分散して整備することとしている。千歳川本川及びその支川の洪水時の河川水位は、石狩川の背水の影響を大きく受けることから、千歳川流域に分散して整備する遊水地群における越流堤の検討を行うには、越流堤地点上流側流量、分流地点下流側河川水位、遊水地水位を組み合わせた複雑な分水形態に対応する必要がある。今回は、千歳川遊水地群で先行する長沼町嶮淵右岸地区遊水地の越流堤の検討途中で得た知見について報告する。

キーワード：遊水地、越流堤、数値解析、水理模型実験

## 1. 嶮淵右岸地区遊水地について

### (1) 千歳川河川整備計画

千歳川は図-1に示す様に支笏湖を源とする幹川延長108km、流域面積1,224km<sup>2</sup>の石狩川の1次支川である。千歳川の中下流部には広大な低平地が広がっているため、洪水時に石狩川本川の高い水位の影響を長時間受けるため、水害が起きやすい。

平成17年に「千歳川河川整備計画」<sup>1)</sup>が策定されており、治水事業として千歳川遊水地群の整備について記載されている。堤防の整備、河道の掘削とともに「石狩川の背水の影響を大きく受ける千歳川において、昭和56年8月上旬降雨により発生する洪水について、(中略)そのピーク水位を計画高水位以下となるよう、流域4市2町の地先において、洪水調節容量が概ね5千万m<sup>3</sup>の遊水地群を千歳川本支川に分散して整備する。」となっている(図-2)。



図-1 千歳川流域の地形

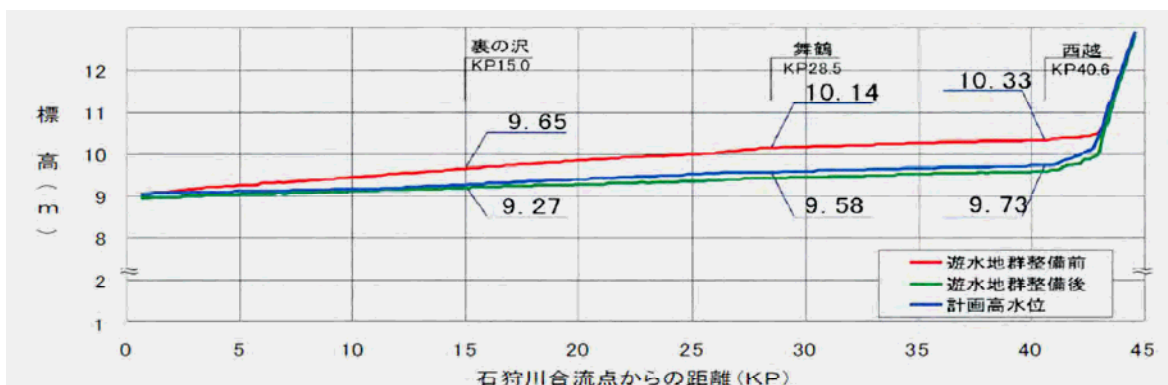


図-2 遊水地群の整備による水位低減効果

(2) 遊水地施設と越流堤

遊水地は流水を調節するための河川管理施設であり、一般的に周囲堤、圍繞堤、越流堤、排水門などで構成され、必要に応じて周囲堤には流入樋門が設けられる。

「河川管理施設等構造令」<sup>2)</sup>によると、越流堤は「構造令の適用範囲から除外している。これらの堤防については、必要に応じ模型実験や水理計算等の検討を行って、それぞれ目的に応じて十分な機能を発揮する安全な構造のものとしなければならない。」とある。

従って、嶮淵川右岸地区遊水地の越流堤等の検討にあたり、数値解析と水理模型実験を組み合わせで行う。

模型実験と数値解析の長所を組み合わせることにより、精度の高い検討結果を得られるとともに、一度数値解析モデルを確立してしまえば、今後、数値解析モデル解析のみで、他の遊水地の構造物諸元の検討をすることが可能となる。

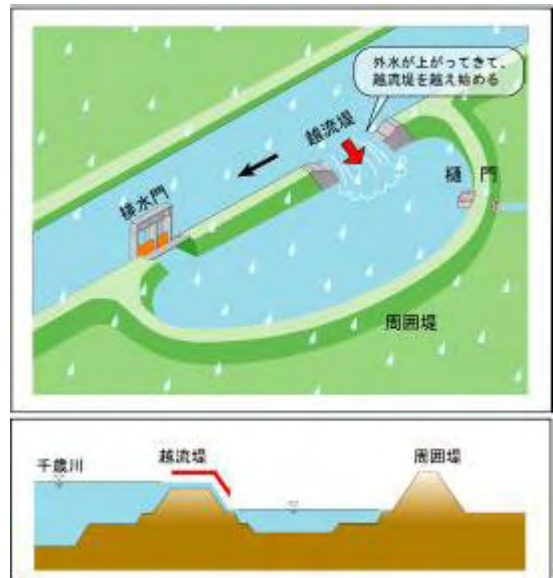


図-3 遊水地イメージ図

表-1 越流堤設計を実施するための水理模型実験と数値解析の特徴

	水理模型実験	数値解析
種類	三次元模型実験 二次元模型実験	二次元浅水流モデル
長所	局所的な流れの再現が可能 現象が見て分かりやすい	諸元の変更が容易で安価 全体の流れが表現できる
短所	諸元の変更時間に時間と費用を要す 模型部分の流れのみ表現	局所的な流れの再現が困難

(3) 越流堤諸元検討初期値の考え方

越流堤諸元の内、天端幅については河川整備計画に基づく堤防の形状を基本と考え、天端幅9.1mとしたが、その上下流の圍繞堤よりも天端高が低くなる関係で、その天端の位置を上下流の圍繞堤と同じ中心線で接合する案、天端を川側に寄せ堤防法面を合わせる案等が考えられた(図-4)。

また、越流堤長等については過去の概略検討結果の値の越流堤長400m、越流堤高EL=9.2mを諸元検討初期値とした。

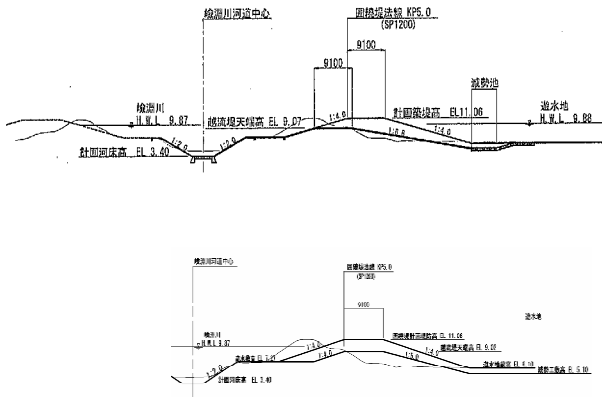


図-4 越流堤断面形状案

(4) 越流堤構造の考え方

越流堤位置の基礎地盤状況などで選定される被覆材料の種類によっては、使用する粗度等の条件が異なり、越流量や越流後の減勢効果に影響を与える。被覆材料<sup>3)</sup>は、かごマット、コンクリートブロック、コンクリートフェーシング、アスファルトフェーシングなどが考えられる。ここではコンクリートブロックを仮選定して越流量等の検討をしたが、今後、構造、外力、断面形状、沈下対策、維持管理上の課題などを総合的に判断して最終的に決定する必要がある。

(5) 嶮淵右岸地区遊水地の特徴と課題

嶮淵右岸地区遊水地は千歳川の支川嶮淵川に設置されるが、嶮淵川のように河道幅が約70mと狭い川では、単純に越流堤長を延ばすことで越流量が増えるというわけではない。また、石狩川本川の背水の影響を強く受ける河川であることから、河川の有する特性(H-Q)は対象洪水によって変化する。このため、越流堤の越流に際しては完全越流や潜り越流など越流条件が多岐にわたっており、越流堤長が長いことから均等に越流しないなどの偏りが発生し、場合によっては十分に越流しないという懸念も考えられる。

## 2. 二次元浅水流モデルによる数値解析

### (1) 二次元浅水流モデルの特徴

河道内の流れや氾濫流などの自由水面を有する流体の流れでは、一般的に重力が支配的であり三次元の挙動である。しかしながら、目的に応じ解析の次元を落とすことでより効率的な解析を行うことが可能である。言い換えれば、河道内の流れは流速が水深方向、川幅方向、流下方向に変化する三次元の流れであるが、一般的に水深方向の変化は川幅や流下方向の変化に比べて小さい。このため、水深方向は流速が一樣で、川幅や流下方向のみ変化するものと仮定すると、平面二次元流として扱うことが可能で、これを二次元浅水流モデル<sup>4)</sup>という。

また、一般座標系の基礎方程式を用いることで境界条件を明確にできる。図-5は、解析を行うために作成した標高データを示しており、上流湾曲部の影響について考慮した解析範囲とした。

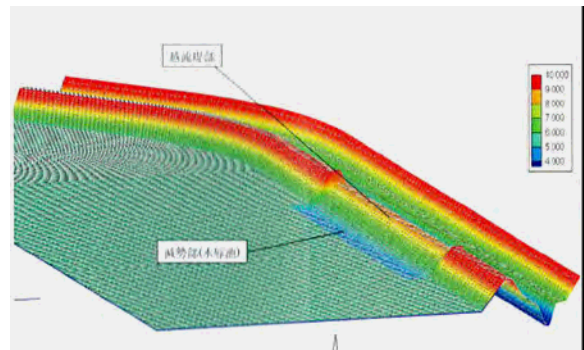


図-5 越流部標高データ

表-2 基本方針対象洪水の洪水調節結果

	諸元初期値	天端高調整案	越流堤長調整案
堤長	400 m	400 m	500 m
天端高	9.20 m	9.15 m	9.20 m
ピークカット	86.1 m <sup>3</sup> /s	91.6 m <sup>3</sup> /s	88.7 m <sup>3</sup> /s
最高水位	9.63 m	9.62 m	9.62 m
洪水調節	7,040 千m <sup>3</sup>	6,920 千m <sup>3</sup>	6,930 千m <sup>3</sup>
越水頻度	1/24.27 年	1/23.25 年	1/24.27 年

### (2) 二次元浅水流モデルの解析結果

#### ①天端幅、越流堤高の違いによる流況

前述した検討諸元初期値を使用し、越流堤天端を川側に寄せ堤防法面を合わせる案の断面形状で、コンクリートブロック（粗度係数  $n = 0.027$ ）を被覆材とし、河川整備基本方針の対象洪水（S50.8型、 $w=1/100$ ）と河川整備計画の対象洪水（S56.8上旬、実績規模）における河川流量ピーク時、越流量ピーク時、逆流時（越流ピーク、逆流量ピーク）の各ケースで解析した。

諸元初期値の解析では所要の洪水調節ができない結果となった。このため洪水調節容量と越流堤のピーク流入量を満足するための対応として「越流堤高を下げる案」、「越流堤長を延ばす案」について比較を行った。両案を比較した結果、流況、越水頻度は同程度であることから、工事費が安価となる天端高調整案を採用し検討する。

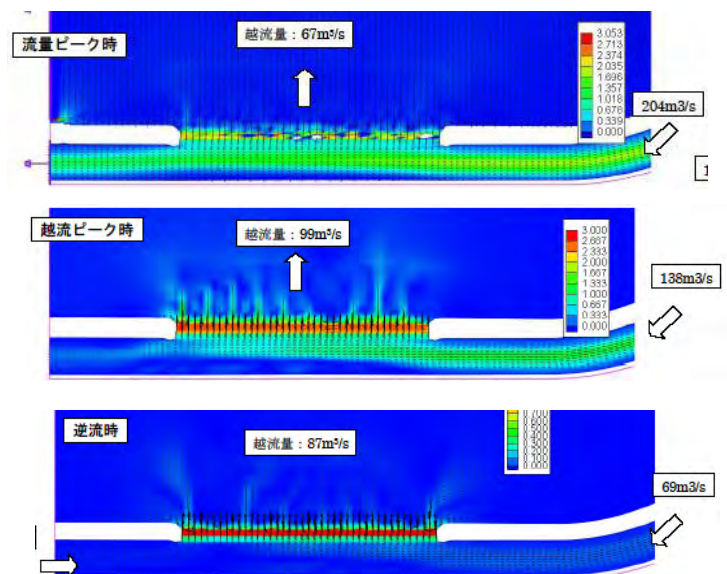


図-6 流速分布図

#### ②流量ピーク、越流ピーク、逆流時の流況

越流堤高を下げる案(越流堤長400m、越流堤高EL=9.15m)において、越流量が越流ピーク時で過去の概略検討結果の84~87%、流入初期など河川流速が早いケースで78%程度となり、越流量が不足する結果となった。

流入初期など、外水位が比較的低く河川流速が早いケースにおいては、河川流の影響と低水頭時の水頭損失によるものと考えられる。したがって、抽出模型実験により精度の高い越流係数を把握し、全体模型実験ならびに設計に反映する必要がある。

表-3 基本方針対象洪水のピークカット量

解析ケース	本間の越流公式 (過去の概略検討)	二次元浅水流モデル (天端高調整案)
洪水流量ピーク (204 m <sup>3</sup> /s)	86.1 m <sup>3</sup> /s	67.0 m <sup>3</sup> /s
越流ピーク (138 m <sup>3</sup> /s)	117.5 m <sup>3</sup> /s	99.0 m <sup>3</sup> /s
逆流ピーク時 (上流より 43 m <sup>3</sup> /s 下流より 26 m <sup>3</sup> /s)	69.9 m <sup>3</sup> /s	69.6 m <sup>3</sup> /s

外水位が相対的に高くなる越流量ピーク付近においては、比較的安定した越流流況が得られた。湾曲部ならびにその下流から越流堤にいたる区間での流況は比較的安定していることから、湾曲部が越流に与える影響は小さいと考えられる。逆流時の流況は、ほぼ正面越流に近い安定した流況となっており、順流時より流況は安定している。

(3) 数値解析結果からの今後の課題

越流堤周辺における流況は、越流開始時や越流ピーク時、逆流時など概ねどの流況時においてもFr数は0.2程度と安定しており、越流に伴う縦断的な射流の発生などの不安定も認められなかった。また、越流堤上流側の湾曲部においては、偏流などの現象は認められず整流された状態で流下することから、越流に対する影響は小さいものと考えられる。

越流量については、過去の概略検討における越流量(本間の越流公式)に比べ、本検討における越流量算定結果は概ね小さく算定されており、過去の概略検討における越流係数C=1.55程度に対し、本検討結果はC=1.2~1.3程度と8割程度の値となっている。本間の越流公式を

使用した越流量算出の場合、越流堤長が400mと長いいため、単位幅流量の誤差が洪水調節やピークカットに大きく影響するため、その精度向上が重要である。既往の横越流に関する実験結果にも、本間の越流公式に比べ越流係数が低下する事例もあり、本検討計算の妥当性を示唆するものと考えられる。

今後、水理模型実験により越流現象に伴う損失量について確認するとともに、平面二次元流解析の適用性について検討する必要があるものと考えられる。

3. 水理模型実験の準備

(1) 水理模型実験の目的

二次元浅水流モデルによる解析を行ったが、三次元的な流れが卓越する横越流、減勢池内等における渦流、偏流、エネルギー損失を伴う局所流れに対しては十分な精度で現象を再現することができない恐れがある。このようなことを踏まえ全体像を把握し二次元浅水流モデルの精度検証を行うため三次元水理模型実験を行う。また、正面越流状態での越流係数式の精度向上を目的とし、二次元越流堤抽出模型実験を行う。

表-4 三次元模型実験の諸元設定

模型縮尺	条件	1/1(現地)	1/8	1/10	1/15
計画越流量(m <sup>3</sup> /s)	1.00以下	200	1.10	0.63	0.23
越流水深(m)	0.03以上	0.35	0.04	0.04	0.02
河道流量(m <sup>3</sup> /s)	1.00以下	120	0.66	0.38	0.14
模型全長(m)	200以下	1000	125	100	67
河道粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)		0.032~0.041	0.023~0.029	0.022~0.028	0.020~0.026
総合評価			×	○	×

表-5 二次元模型実験の諸元設定

模型縮尺	条件	1/1(現地)	1/4	1/5	1/6
単位幅越流量(m <sup>3</sup> /s)	0.35以下	0.3	0.038	0.027	0.020
越流水深(m)	0.03以上	0.35	0.09	0.07	0.06
1/2越流水深(m)	0.03以上	0.18	0.04	0.04	0.03
越流堤~減勢池落差	1.0m以下	3.92	0.98	0.78	0.65
高水敷~減勢池長(m)	20以下	83	20.75	16.60	13.83
河道粗度係数(m <sup>-1/3</sup> ・s)		0.015~0.017	0.0119~0.0135	0.0115~0.0130	0.0111~0.0126
総合評価			×	○	×

(2) 模型実験計画と模型設計

模型実験の設定において定めるものは、全体実験（嶮淵川の再現）の範囲、模型の縮尺、模型の構造（材質）である。

水理模型実験は、実物と模型のフルード数を等しくするフルードの相似律に従い行う。今回の水理模型の設計に当っては<sup>5)</sup>、水深が浅くなると水の粘性の影響が顕著となるので、それをできるだけ排除し越流量を正確に求める必要性から、水深が概ね3cm以上となるよう設定し、実験施設（ポンプ容量、実験場の広さ、平面水槽の大きさ等）の規模や経済性を考慮した結果、二次元及び三次元模型の縮尺を表-4及び5に示すとおり、三次元模型で1/10、二次元模型で1/5とした。

模型の種類は二次元及び三次元模型で、固定床、定流実験、ひずみのなく、縮小の模型とした。三次元模型の範囲は、河道については上流部の湾曲の影響が数値解析によって多少でもあることから湾曲部を含め、遊水地部は越流及び減勢状況を把握するために必要な越流堤周辺部分のみとした。二次元模型の範囲は、低水路から、高水敷、越流堤、減勢池、遊水地部までとした。

三次元水理模型の設置箇所は、1/10の縮尺で、必要なポンプ容量と必要なヤードを確保できる寒地土木研究所の石狩水理実験場<sup>6)</sup>とした。

(3) 三次元模型の粗度調整実験

三次元模型実験については模型製作と実験解析にそれなりの時間が必要なため、本年度は模型製作を行い、来年度以降に実験と解析を行う予定である。

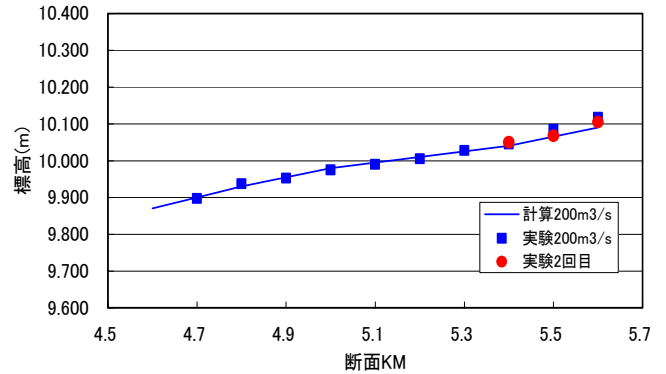
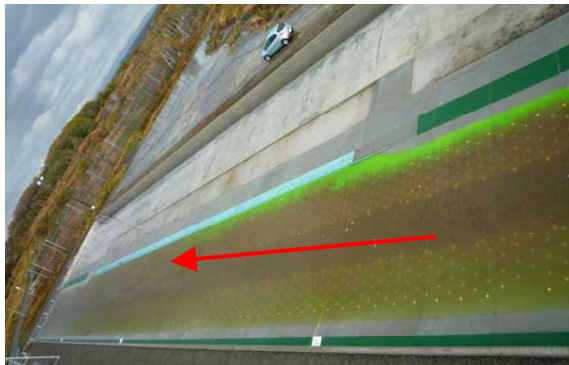


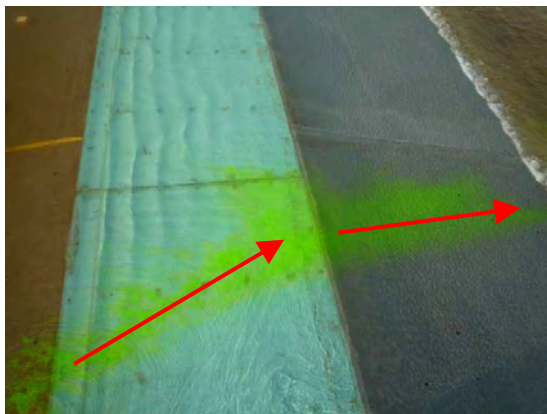
図-7 粗度調整結果



1. 越流堤を閉め切った状態



2. 越流堤に流入している様子



3. 天端の様子



4. 減勢池の様子

図-8 通水状況 (矢印で流向を示す)

本年度の模型製作にあたっては河道の粗度を合わせる予備実験を行っている。模型河床面はモルタルで形成されているために現地の粗度と一致しないことから、河床面に粗度となるものを設置し、現地粗度係数と一致させる。粗度付けは、不等流計算水位に対し、水位を一致させることで粗度の確認を行った。

粗度付けの方法はイボ粗度とし、比較的安価で大量入手しやすい発砲スチロール（5cm立方体、7cm立方体）を用いた。図-7には粗度調整後の水位と不等流計算水位を比較しており、1mmの範囲内で水位を合わせることができた。

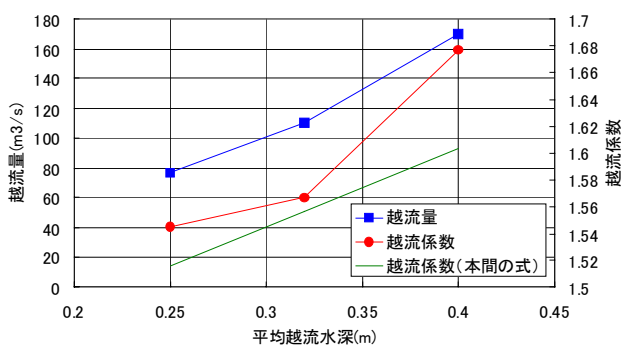


図-9 越流量と越流係数

粗度調整実験後、試しに越流させた写真を図-8に示す。この時に参考として越流量より求めた越流係数は、本間の越流公式による越流係数より若干高く図-9のように100%を超えており、越流の流況は比較的安定している。

#### 4. まとめ

本報告では数値解析と模型実験を併用して、千歳川遊水地群の越流堤形状の諸元を設定するための検討を紹介した。今後は、二次元及び三次元模型実験結果を平面二次元の数値解析へ適用し、今後の千歳川遊水地群の越流堤設計へ反映する予定である。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省北海道開発局, 2005, 千歳川河川整備計画, 37-39.
- 2) 社団法人 日本河川協会, 財団法人 国土開発技術研究センター編, 1978, 改定 解説・河川管理施設等構造令, 山海堂, 105.
- 3) 建設省河川局監修, 社団法人 日本河川協会編, 1998, 改定新版 河川砂防技術基準(案) 同解説 設計編 [1], 山海堂, 10.
- 4) 福岡, 2005, 付録1 流れの河床変動に関する一般座標系の基礎方程式, 洪水の水利と河道の設計法, 森北出版, 410-417.
- 5) 須賀, 1990, 水理模型実験, 山海堂, 74-87, 114-123.
- 6) 吉岡ほか, 1979, 石狩水理実験場施設の概要について, 第8回北海道開発局技術発表概要集 D10, 106-111.