

# 丘陵傾斜地における排水路改修計画の検討

竹田 雄樹・瀬戸 明良

## 1. はじめに

本報の対象地区(訓子府北栄地区)は、オホーツク総合振興局管内訓子府町及び置戸町に位置する一級河川常呂川支流の紅葉川幹線排水路流域に拓けた畑地帯である。

本地区では、近年の降雨量等の変化による排水量の増加に伴い、排水路の排水能力不足による湛水被害が発生している。また、排水路の急勾配部においては、排水量増加に伴う流速増加と射流発生による護岸ブロック崩壊等の施設被害が発生している。

このため、紅葉川幹線排水路においては、排水能力の不足解消に向けた排水路断面の確保(拡幅)による湛水被害の対策に加え、急勾配部の縦断勾配の見直しによる施設被害への対策が課題となっていた。

本地区の事業計画における丘陵傾斜地の排水路改修計画について、報告するものである。

## 2. 地区の概要

本地区の受益面積は522haであり、小麦、てんさい、たまねぎ、ばれいしょ、スイートコーン等を組み合わせた畑作経営のほか、飼料作物を栽培し乳用牛を飼養する酪農経営が展開されている(図-1)。

流域内の地形は、常呂川沿いに拓けた平坦地とその北側の丘陵地で形成される。地質は、段丘堆積物と沖積層の分布が認められ、排水路周辺は砂質土が主体である。

排水路は、フクドジョウ等が息息する豊かな自然環境に恵まれている。

紅葉川幹線排水路は、前歴国営北栄土地改良事業(昭和47年度～昭和53年度)により整備されたが、近年、降雨条件(降雨量・降雨波形)の変化による流出量の増加に伴

い、排水路の排水能力が不足し、湛水被害が発生している。また、経年的な劣化等により、施設の維持管理に多大な費用を要している。

このため、農地の湛水被害の解消および維持管理の軽減を図り、農業生産性の向上及び農業経営の安定に資することを目的としている。

### 【計画諸元】

受益面積：522ha  
流域面積：6.04km<sup>2</sup>  
計画排水量：15.795m<sup>3</sup>/s  
主要工事：紅葉川幹線排水路  
・延長：4.0km  
・構造：連結ブロック  
・附帯構造物：落差工26箇所  
橋梁工13箇所

## 3. 排水路の現況

### (1) 排水路の構造・規模

現況排水路は、連結ブロック護岸(三面装工)の台形断面(法勾配1:1.5)であり、延長L=4.0kmである。この区間には、落差工(段落型、落差H=1.0m～1.5m)14基が設置されている。

水路勾配は、SP=880～2,480区間が急勾配(I=1/65、落差工9基)であり、SP=0～880区間(I=1/108～1/150、落差工1基)及びSP=2,480～4,000区間(I=1/200、落差工4基)は、比較的緩勾配となっている(図-2)。

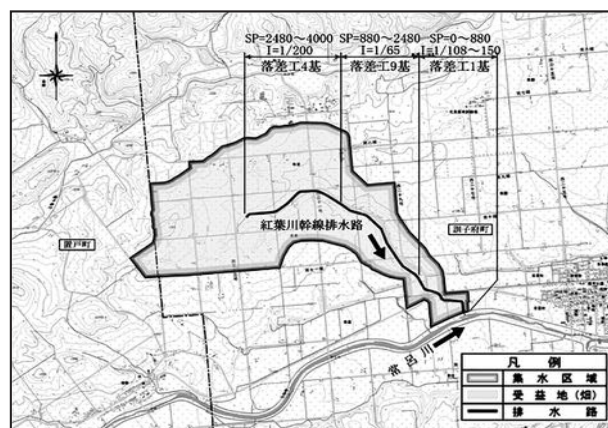


図-2 現況排水路位置図

## (2) 計画排水量の算定

### 1) 計画基準降雨

計画基準降雨は、ティーセン法により選定した『境野地域気象観測所』(図-3)における近年30か年(平成5年～令和4年)の降雨観測記録より、「24時間雨量80mm以上の降雨」又は「1時間雨量20mm以上かつ湛水被害が発生した降雨」を対象に抽出した降雨の中で、出現頻度が多い降雨日数『2日連続降雨』、降雨山型『後方山型』を採用した。

地区周辺の気象観測所における近年30か年(平成5年～令和4年)の降雨データを基に、岩井法(確率計算)によって年最大2日連続雨量分布図(1/10確率)を作成し、等雨量線法(等雨量線分割面積加重平均)により計画基準雨量を146mm/2日とした(図-4)。

また、「24時間雨量80mm以上、1時間雨量20mm以上、後方山型」の降雨について、降雨量、降雨強度、降雨時間及び降雨波形の総合評価により、『平成15年8月9日～10日』の降雨を基降雨に選定し、時間降雨量(実測降雨量)の割合で計画基準雨量(146mm/2日)を配分し、計画基準降雨を決定した(図-5)。

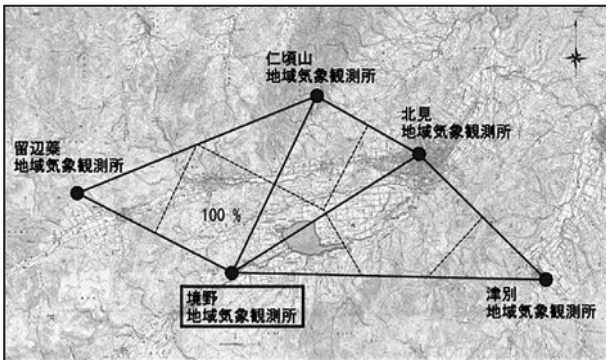


図-3 ティーセン法による気象観測所の選定

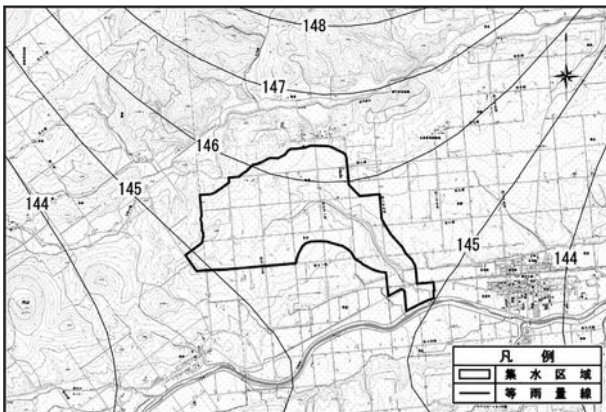


図-4 計画基準雨量算定図

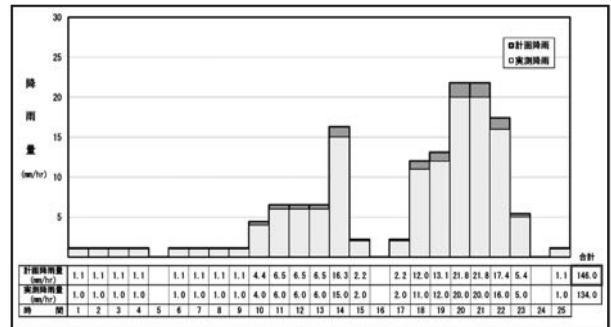


図-5 計画基準降雨の決定

### 2) 単位流出量

単位流出量は、本排水路において実施された流量観測結果(令和元年～令和4年)と境野地域気象観測所における降雨観測記録より、計画基準降雨における有効雨量と基底流出量を設定し、流出解析(単位図法)により算定した(図-6)。

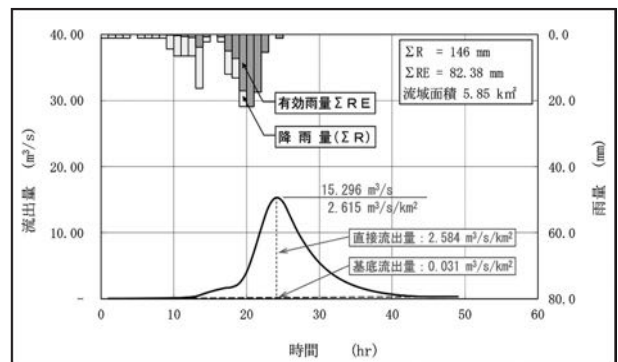


図-6 単位流出量の算定

### (3) 排水能力の不足状況

本地区では、10年確率雨量が前歴102mm/日から計画146mm/2日に変化している。

また、農地開発、農業生産団地の造成が行われたほか、これらに伴う道路造成等により流域内の土地利用に変化が生じており、単位流出量は前歴0.50m³/s/km²から計画2.615m³/s/km²に増加している(図-7)。

近年10か年(平成26年～令和5年)において湛水被害が2回発生している(表-1、写真-1)。

計画排水諸元を基に水理解析を行った結果、排水路の全線において、排水能力の不足が確認された。

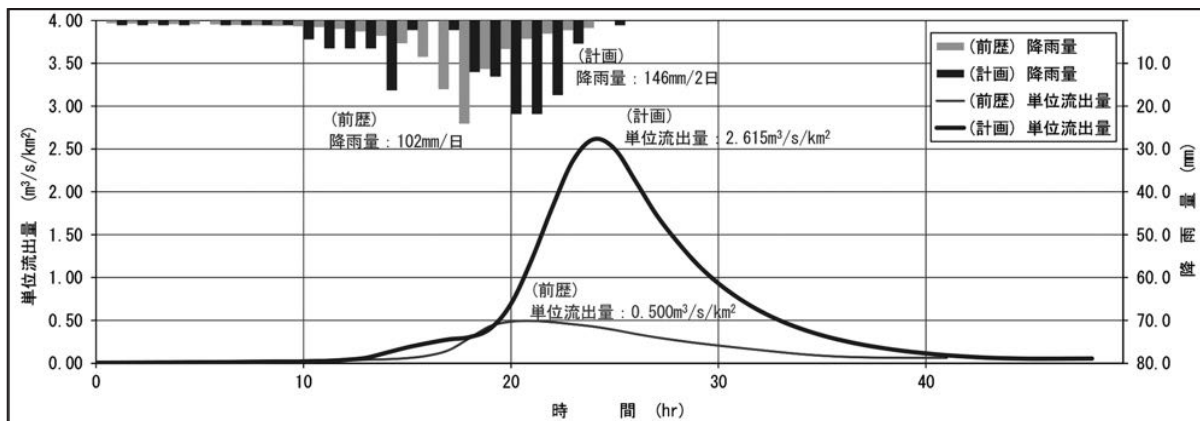


図-7 流出量の変化

表-1 湛水被害発生状況(平成26年～令和5年)

発生年月日	連続降雨量 (mm)	湛水面積 (ha)	被害面積 (ha)
平成28年8月20日～21日	154	26	24
令和3年8月9日～11日	136	18	13
計		44	37
10年平均		4	4

資料：訓子府町、置戸町、JAきたみらい聞き取り

表-2 施設被害発生状況(平成26年～令和5年)

発生年月日	被害内容	復旧費用 (千円)
平成28年8月17日	護岸ブロック崩壊、法面崩壊、落差工破損	15,671
平成28年8月20日～21日	護岸ブロック崩壊、法面崩壊	6,804
平成29年7月16日	護岸ブロック崩壊	756
平成30年7月11日	護岸ブロック崩壊	9,288
令和4年7月18日	護岸ブロック崩壊	264
計		32,783

資料：訓子府町聞き取り



写真-1 湛水被害状況(平成28年8月)



写真-2 施設被害状況(令和4年7月)

#### (4) 機能低下状況及び施設整備の必要性

紅葉川幹線排水路は、前歴事業による整備から40年以上が経過し、機能診断調査の結果、法面の沈下・変形や連結ブロックの剥がれ・ズレが確認されており、全線において健全度S-3と診断された。

また、排水路の急勾配部においては、排水量の増加に伴う流速増加と射流発生により、近年10か年(平成26年～令和5年)において護岸ブロック崩壊等の施設被害が5回発生している(表-2、写真-2)。

このことから、経年劣化等による機能低下が顕在化しており、本排水路の排水能力不足の解消と湛水被害の防止により、農業生産性の維持・向上と地域の防災・減災力の向上を一体的に推進する必要がある。

## 4. 排水路改修計画の検討

### (1) 整備区間

前述の通り、紅葉川幹線排水路の全線において計画排水量に対する排水能力が不足していることから、排水路の全線(SP=0～4,000)を整備区間とし、断面拡幅による排水能力の確保及び縦断勾配の修正(見直し)による射流の解消を図るものとした。

### (2) 路線位置

現況の路線位置は、地形的に最低位部を流下しており、流域内の排水流下に適した路線位置となっている。ま

た、放水路設置等の流域再編を検討すべき周辺流域がないことから、現況路線位置を踏襲するものとした(図-8)。

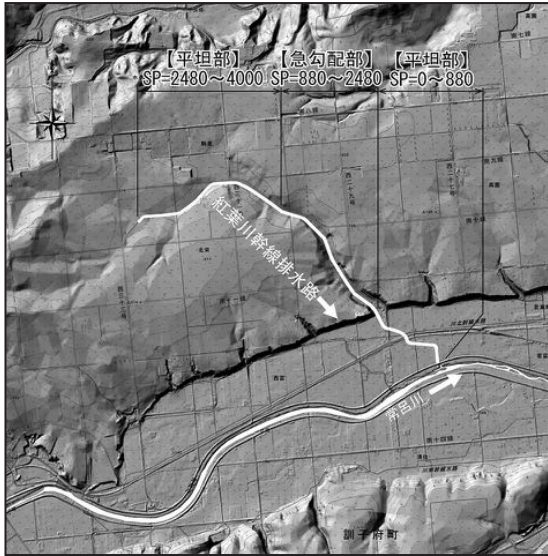


図-8 路線位置図(陰影起伏図)

### (3) 縦断計画

排水路の縦断計画(縦断線形)は、排水機能の確保と施設被害防止の観点から、平坦部と急勾配部に区分し、経済性を踏まえて決定した。

#### 1) 平坦部

平坦部(SP=0~880、SP=2,480~4,000)では、排水能力が不足しているものの、施設被害が発生していないことから、現況水路勾配を踏襲するものとした。

#### 2) 急勾配部

急勾配部(SP=880~2,480)では、排水量の増加に伴う流速増加と射流発生により、護岸ブロック崩壊等の施設被害が発生していることから、水路勾配の変更を検討した。水路勾配の検討条件は、排水機能確保と施設被害防止の観点から、次の通りとした。

#### 3) 水路勾配の検討条件

##### a) 常流となる勾配を設定

施設被害が射流区間で発生していることから、現況で射流となっている急勾配部において、計画排水量流下時に常流となるような勾配を設定する。

##### b) 最小切深1.50m以上を確保

排水路の切深は、暗渠排水による地下水排除に必要な深さ1.50m以上を確保する。

##### c) 勾配の急変を避ける

縦断勾配を急変させると、排水路敷が不安定となることが多いので、「排水路計画設計技術指針(平成25年3月)」<sup>1)</sup>(以下、「指針」という。)に準拠し、縦断勾配の変化比は緩勾配から急勾配となる場合は変化比2/3以上、急勾配から緩勾配となる場合は変化比2.0以下となるように設定する(表-3、図-9)。

表-3 水路勾配の上下限值

基準勾配	急勾配から緩勾配	緩勾配から急勾配
下流勾配 (I=1/150)	$I=1/150 \times 2.0 = 1/75$	$I=1/150 \times 2/3 = 1/225$
上流勾配 (I=1/200)	$I=1/200 \div 2.0 = 1/400$	$I=1/200 \div 2/3 \approx 1/133$

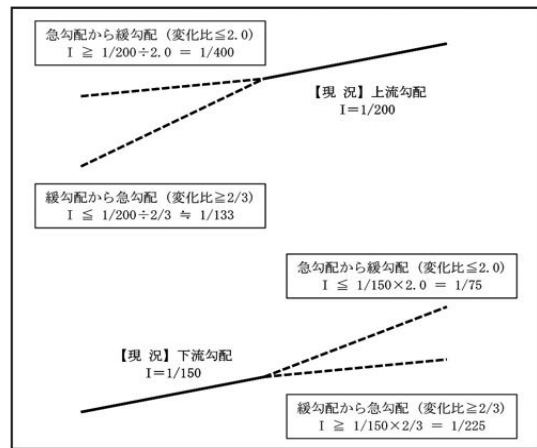


図-9 水路勾配の上下限値の概念図

##### d) 落差高の制限

落差は、大きくとる方が減勢効果が高く有利であるが、落水水脈による異常なエネルギーを生ずるため、指針に準拠し、原則として1.5mを上限とする。

水路勾配は、急勾配とすると切深・水深および余剰落差が小さくなり、土工・護岸高および落差工設置数が少なくなる。一方、流速が大きくなるため護岸ブロック重量や落差工規模(延長)が大きくなるといった相反関係が生じる。

このため、表-4、図-10~図-13に示す4案について、水路勾配に応じた土工・護岸工(護岸高、ブロック重量)および落差工(設置数、規模)の比較検討を行い、経済性に優れる『第3案(I=1/200)』を採用した(表-5)。

表-4 水路勾配の比較検討案の設定

検討案	勾配	概要
第1案	1/135	・平坦部は現況勾配を踏襲する。 ・急勾配部(I=1/65区間)は勾配変化の上限值I=1/135を設定する。
第2案	1/150	・平坦部は現況勾配を踏襲する。 ・急勾配部(I=1/65区間)は下流の勾配と同じI=1/150を設定する。
第3案	1/200	・平坦部は現況勾配を踏襲する。 ・急勾配部(I=1/65区間)は上流の勾配と同じI=1/200を設定する。
第4案	1/225	・平坦部は現況勾配を踏襲する。 ・急勾配部(I=1/65区間)は勾配変化の下限值I=1/225を設定する。

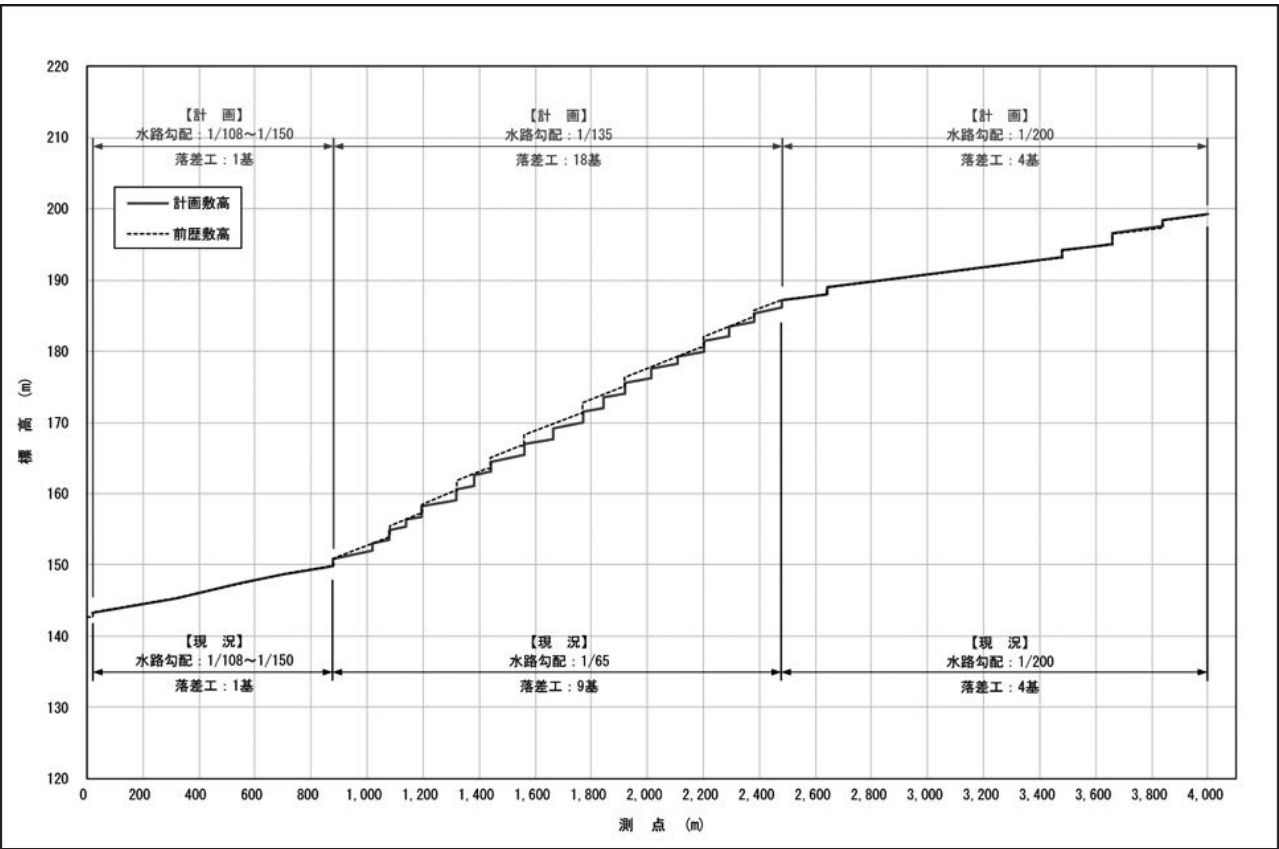


図-10 縦断図 (第1案)

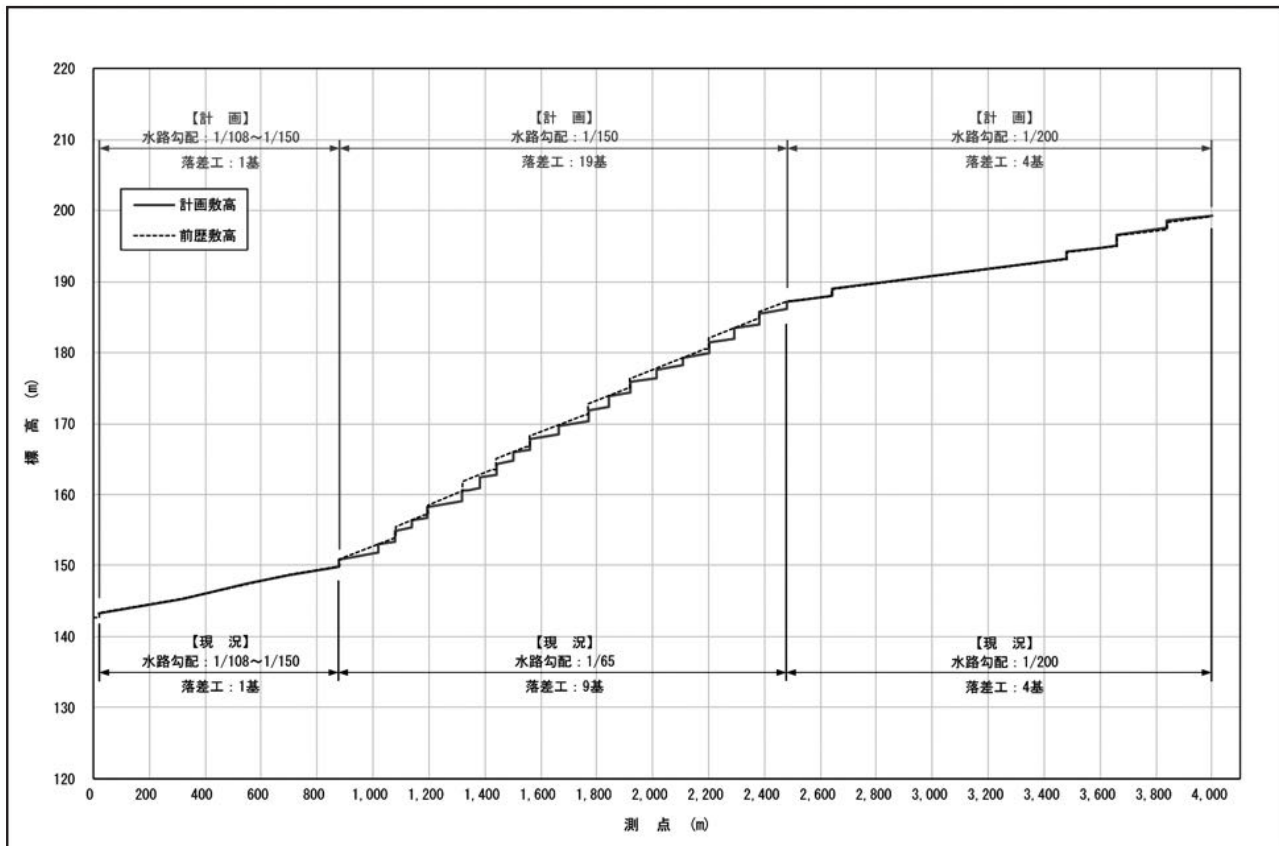


図-11 縦断図 (第2案)

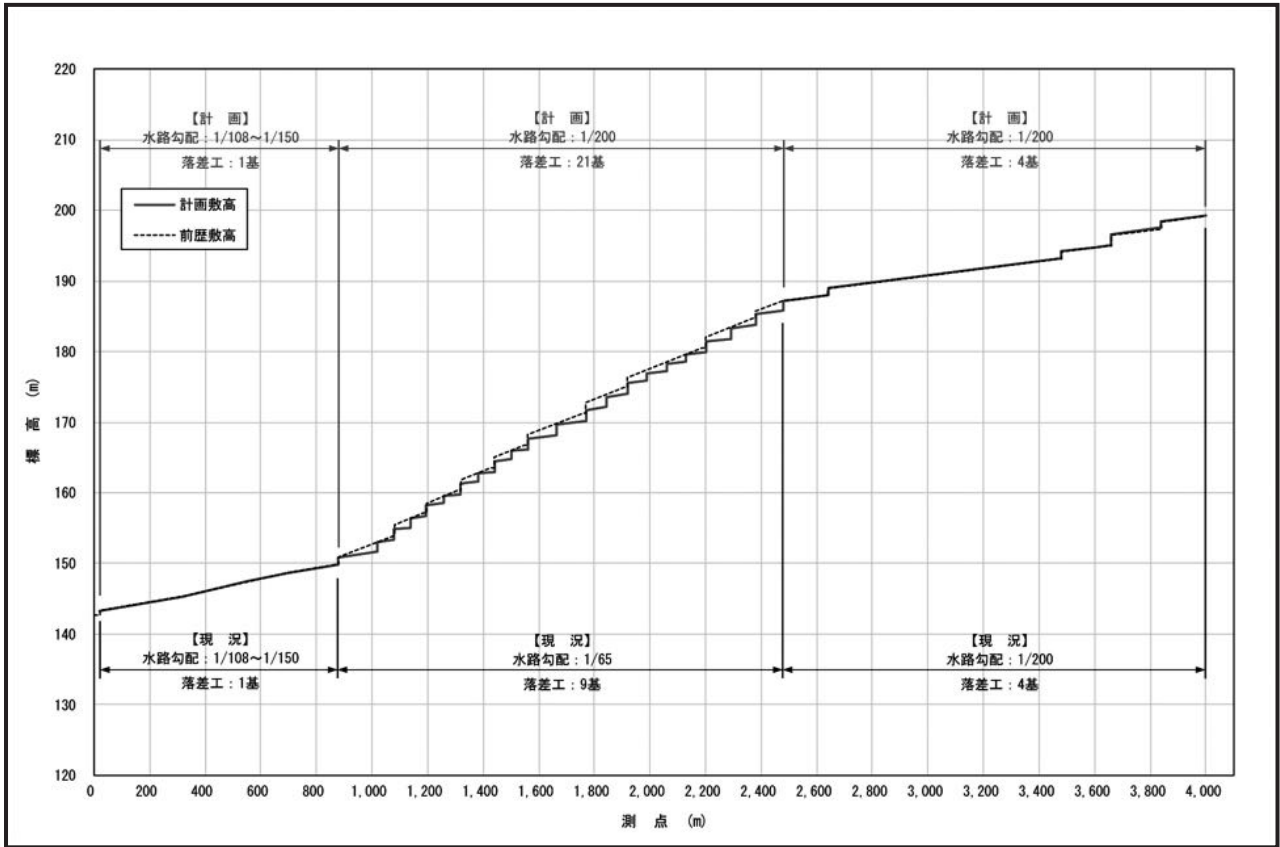


図-12 縦断面図 (第3案) 【採用】

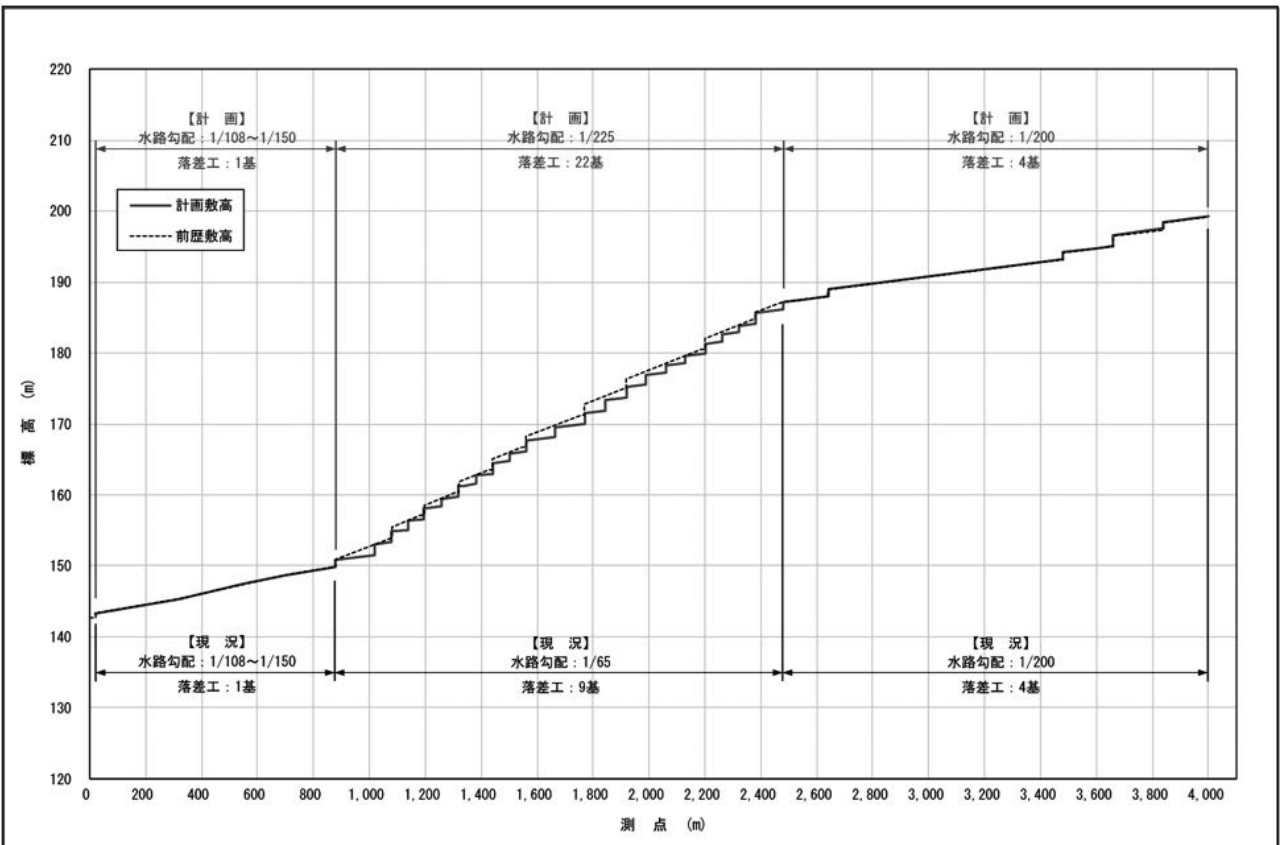


図-13 縦断面図 (第4案)

表-5 縦断計画の比較検討

比較案	第1案	第2案	第3案	第4案		
概要	・平坦部は現況勾配を踏襲 ・急勾配部は勾配の上限値(1/135)を設定	・平坦部は現況勾配を踏襲 ・急勾配部は下流と同勾配(1/150)を設定	・平坦部は現況勾配を踏襲 ・急勾配部は上流と同勾配(1/200)を設定	・平坦部は現況勾配を踏襲 ・急勾配部は勾配の下限値(1/225)を設定		
勾配・流速 ブロック重量 落差工規模	大			小		
水深・切深 護岸範囲 落差工基数	小			大		
(現況1/6.5区間を 示す) 施設概要	水路勾配	1/135	1/150	1/200	1/225	
	流速 (1/10) (m/s)	2.462~2.505	2.369~2.411	2.130~2.169	2.041~2.076	
	設計洪水位 (m)	1.279~1.324	1.314~1.360	1.413~1.462	1.456~1.505	
	敷 幅 (m)	2.50	2.50	2.50	2.50	
	平均切深 (m)	2.00	2.05	2.30	2.45	
	護岸ブロック重量 (kg/m <sup>2</sup> )	240~250	225~235	200	200	
	断面図					
落差工 (全線数量)	23基	24基	26基	27基		
経済比較 (全線)	直接 工事費 (千円)	土工	158,900	159,600	165,300	167,200
		護岸工	243,700	242,100	237,200	237,500
		落差工	710,700	708,000	618,800	637,200
		合計	1,113,300	1,109,700	1,021,300	1,041,900
	採用案			採用		
比率	1.09	1.09	1.00	1.02		

※経済比較に用いる護岸工法は連結ブロックが最も安い(後述)ことから、連結ブロックとしている。  
※落差工の型式は傾斜型が最も安い(後述)ことから、傾斜型にて経済比較を行っている。

#### (4) 横断計画

排水路の断面形状は、指針に準拠し、現況と同様に掘込河道方式の単断面(台形断面、法勾配1:1.5)とした。

#### (5) 護岸計画

##### 1) 護岸の必要性

低水護岸の必要性は、「土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路工」(平成26年3月)」<sup>2)</sup>に準拠し、2年確率流量における流速により検討した。

低水護岸部の土質は、砂礫が分布していることから、砂質土の最大許容流速0.68m/s(=0.45m/s×1.5)を目安として、低水護岸の必要性を判定した。

2年確率流量流下時の流速はV=1.250~1.911m/sであり、砂質土の最大許容流速0.68m/sを上回ることから、排水路の全線において護岸が必要と判断した。

##### 2) 護岸形式

春先の融雪出水により浸食破壊されやすい融雪水位(設計洪水位の30%)までの護岸形式は、コンクリートまたは石礫を用いた工法とし、適用可能なカゴマット(傾斜式、

法留式)と連結ブロックでの経済比較により『連結ブロック』を採用した(表-6)。

護岸基礎工は、河床材が砂質土で支持性が良いため、連結ブロックを法勾配に沿って河床以下まで延ばす傾斜式(突込み)基礎工を採用した。

なお、基礎工の掘削埋戻し部分は流失しやすいので、寄石(割栗石)による根固め工を設けるものとした。

##### 3) 法覆工

融雪水位~年洪水位は、法覆工を施すものとし、設計流速V=1.250~1.911m/sより、指針に準拠し、『植生マット』を採用した(表-7)。

なお、過去の施設被害は、連結ブロック端部から発生する「めくれ」破壊が多く見られることから、法覆工頂部をアンカーピンで法面基盤に固定する『簡易巻止め工』、法覆工上流部から法覆工背面に回る流水を遮断する『小口止め工』、また、「めくれ」破壊が法覆工下流部に拡大するのを防止するため、縦断方向に一定の間隔(概ね30~50m程度)で法覆工を分断する『横帯工』を設けるものとした。

表-6 護岸形式の比較検討(融雪水位まで)

護岸形式	カゴマット(傾斜式)	カゴマット(法留式)	連結ブロック
標準断面			
概要	鉄線で編まれた籠の中に石を詰め法面を保護する工法	鉄線で編まれた籠の中に石を詰め、階段状に積み上げて法面を保護する工法	金属線でマット状につなぎ合わせたコンクリート製のブロックで護岸を行う工法
環境配慮	詰石の空隙や水際の植生により魚類の生育環境の確保が図られる。	詰石の空隙や水際の植生により魚類の生育環境の確保が図られる。	ブロック間の空隙や水際の植生により魚類の生育環境の確保が図られる。
直接工事費	779 千円/10m	902 千円/10m	715 千円/10m
総合評価			◎

※概算工事費算定条件：設計洪水量 $Q=15.79\text{m}^3/\text{s}$ 、河床勾配 $I=1/148$ 、敷幅 $B=2.50\text{m}$ 、切深 $H=1.50\text{m}$ 、法勾配 $N=1:1.5$ (整備対象区間の最下流部)  
 ※概算工事費には、土工及び仮設工を含まない。

表-7 法覆工の選定表(設計流速：2年確率流量)

流速	護岸	
	設計流速	融雪水位～年洪水位
設計流速	$V < 1.2\text{m/s}$	自然型(張芝類)
	$1.2\text{m/s} \leq V < 2.3\text{m/s}$	植生マット
	$2.3\text{m/s} \leq V$	植生ブロック類

#### 4) 被覆工

年洪水位～法肩の範囲は、法面の浸食防止対策として被覆工を施すものとし、『自然繊維シート』を採用した。

以上より決定した標準断面図を示す(図-14)。

#### (6) 仮設計画

本排水路は、現況敷幅が1.0mと狭いことから半川締切りによる半断面施工が困難である。また、水路沿いに道路や宅地等が隣接しており、用地的な制約から河岸への仮排水路の設置が困難である。

このため、本排水路の施工にあたっては、全川締切りと

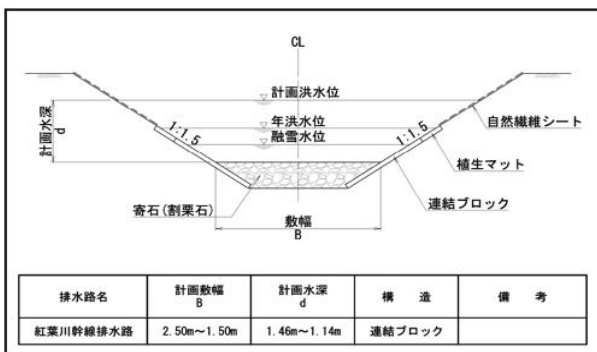


図-14 標準断面図

して水中ポンプによる仮排水を計画した(図-15)。仮排水流量は、流量観測結果における「年平均流量」によりポンプ口径・台数を決定した。仮締切内への浸透水は、水中ポンプによる水替えを計画し、魚類の生息環境に配慮して濁水処理施設設置を計画し、排水路及び下流河川への濁水流出防止を図ることとした。

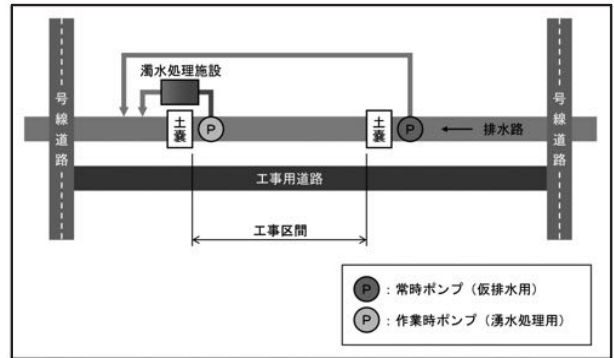


図-15 仮排水イメージ図




#### (7) 落差工

落差工の型式は、魚類の生活史に配慮しつつ、経済性を踏まえて傾斜型落差工を採用した(表-8)。

落差工本体の勾配は $I=1/10$ とし、落差工の下流は、高流速で流れが乱れる区間であるため、流水のエネルギーを確実に減勢できる長さの護床工を設けるものとした。

護床工の長さは、「床止めの構造設計手引き」<sup>3)</sup>に準拠して決定した。

表-8 落差工型式の比較検討

型式	段落型落差工	傾斜型落差工	階段型落差工
施工例			
特徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 落口が垂直になっている型式。</li> <li>・ 落水音が大きい。</li> <li>・ 落下点以降の射流区間が傾斜型や階段型と比較して長い場合、水流の飛散や越水の危険性が高くなる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 落口の斜面に沿って水脈が落下する型式。</li> <li>・ 落水音が小さい。</li> <li>・ 落下点以降の射流区間が短い場合、水流の飛散や越水の危険性が低い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 小落差を連ねて階段状に余剰落差を調整する型式。</li> <li>・ 落水音が小さい。</li> <li>・ 落下点以降の射流区間が短い場合、水流の飛散や越水の危険性が低い。</li> </ul>
経済性 (直接工事費)	35,187 千円/基	20,318 千円/基	21,962 千円/基
環境 (生態系)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 部分魚道となり魚類の登口が限定されるため、登口を発見できない魚類の遡上を妨げる可能性がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 現況の段落型と比較し、段落が無いことで排水路内の魚類の移動が容易である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 現況の段落型と比較し、魚類の移動が傾斜型と同様に容易である。</li> </ul>
判定		採用	

比較条件：SP=880~1338区間 (Q=14.88m<sup>3</sup>/s)、縦断線形第3案 (I=1/200)

## 5. おわりに

本報では、降雨条件(降雨量・降雨波形)の変化等による排水量の増加に伴い、排水能力不足による湛水被害と、流速増加による施設被害が生じている丘陵傾斜地における排水路改修計画の主な検討内容について述べた。

本地区のみならず、近年、降雨条件の変化等による湛水被害や施設被害が増加している状況にある。このような状況の中、適切な施設整備を行うことにより、農業生産性の維持・向上と地域の防災・減災力の向上が推進されていくことを期待するものである。

本報の作成にあたり、網走開発建設部の関係各位に御指導・御助言をいただきました。ここに記して御礼申し上げます。

最後に、本稿発表の機会を下さいました(一社)北海道土地改良設計技術協会各位に感謝申し上げます。

株式会社アルファ技研  
 調査計画グループ長(農業土木技術管理士)  
 調査計画グループ技術員(技術士補)

### 【引用文献】

- 1)一般社団法人北海道土地改良設計技術協会：排水路計画設計技術指針、平成25年3月
- 2)公益社団法人農業農村工学会：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路工」、平成26年3月
- 3)一般財団法人国土技術研究センター：床止めの構造設計手引き、平成10年12月

