

千歳川流域における軟弱地盤での 河道掘削断面及び施工手順検討

札幌開発建設部 千歳川河川事務所 計画課

○小林 要士
佐伯 祐二
林 典宏

石狩川水系千歳川の一次支川である島松川では、河川整備計画に基づく堤防整備と河道掘削を実施しているが、周囲では土質条件の悪い軟弱地盤が分布しており、近年、盛土の変状等が発生している。

このような特殊条件下で河道掘削を行うには、流下能力・樹林化抑制等の観点だけでなく、すべり解析結果を踏まえた施工の実現性の把握が必要である。本報告は、すべり解析結果を踏まえ、河道掘削断面及び施工手順を検討したものである。

キーワード：河道掘削、軟弱地盤、流下能力、樹林化抑制、すべり解析、

1. はじめに

千歳川は、支笏湖を源として石狩川に流れ込む、幹線流路延長 108km、流域面積 1,244km²の一級河川である(図-1)。また、千歳川の中流域から下流域は、標高 10m 未満の低平地であるため、洪水時には石狩川本川の高い水位の影響を長時間受けるという特徴を有している。

また、これまでにない大洪水となった昭和 56 年 8 月洪水では、こうした石狩川の高い背水位の影響を受け、千歳川流域の複数箇所では堤防からの越水、破堤が発生する等甚大な被害が発生した。

このため、千歳川流域では、平成 17 年に「石狩川水系千歳川河川整備計画」¹⁾を策定し、石狩川の高い背水位の影響に対応した河川整備を進めている。その具体的な対策として、千歳川の一次支川である島松川においては、堤防整備と河道掘削が位置づけられ、主に堤防整備を過年度より実施しているところである。

一方で、千歳川流域には高含水比粘土や泥炭が広く分布し、特に島松川周辺では、千歳川流域の中でも極めて軟弱(鋭敏粘土、泥炭等)であり、工事施工上の大きな支障となっている。このうち、鋭敏粘土は、液性指数のばらつきが大きく、なおかつ地盤の動き・振動・衝撃で地盤強度が低下する特性を有する。図-2 に示すように、過年度の地盤改良工に伴い発生した変状は、堤体自体は変状していないが、低水路で地盤変状が発生しており、軟弱地盤条件下であるが故に発生した事象であるものと推察できる。

このような脆弱な条件下で、進行中の堤防整備と河道掘削を短期間で効率的に進めるため、堤体及び河岸法面のすべり解析結果を踏まえた河道断面の設定や、施工計画の立案が必要である。

本報告では、河道断面の設定に樹林化抑制の観点からの考察を加え、施工計画の立案に向けた施工手順の検討について報告するものである。



図-1 流域概要図

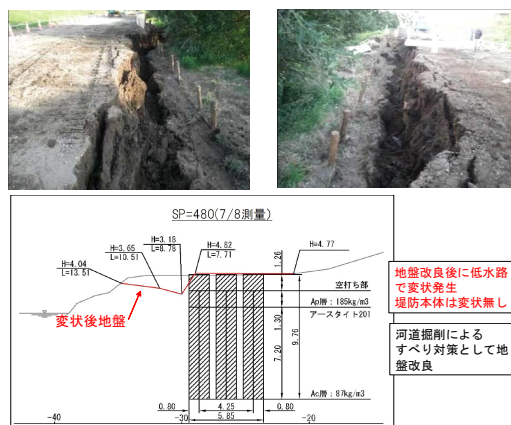


図-2 堤防変状例 (H28年7月撮影、KP0.7付近)

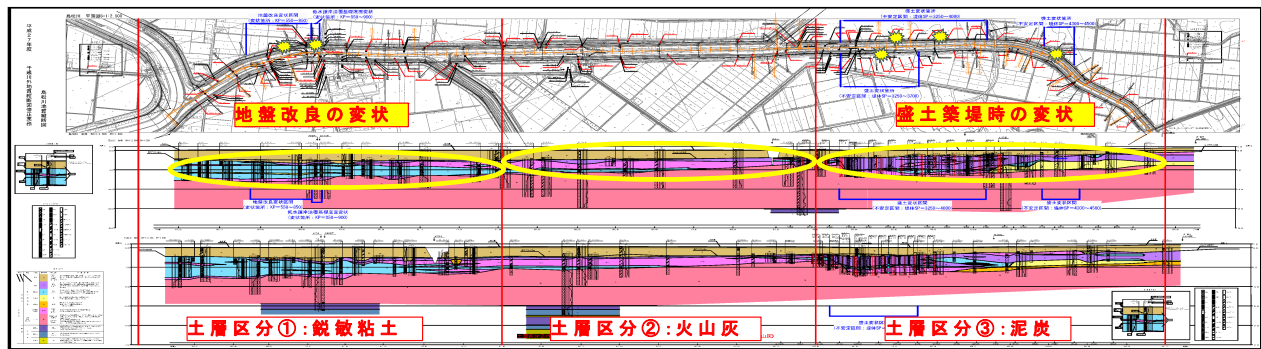


図-3 島松川土層区分図

2. 河道掘削断面の検討

(1) 河道変化状況の把握

基礎資料や現地状況等に基づき、河道の変化状況を把握した。下流では、河道内の比高拡大、いわゆる二極化が進行している。平成11年に河道整正（低水路拡幅・砂州掘削）を実施したが、それ以降平均年最大流量（低水路満杯程度）を上回る規模の出水が発生しておらず、冠水頻度の減少によって、急激に河道の二極化と樹林化が進行したものと考えられる。このため、島松川の河道掘削断面検討にあたっては、樹林化抑制効果を把握する必要がある。

また、図-3に示すように、島松川の土層縦断面図から3区間の土質区分に分類した。KP0.0～1.8付近は鋭敏粘土（水色）が卓越する領域（土質区分①）、KP1.8～3.4付近は粘土・火山灰（桃色）が主体の領域（土質区分②）、KP3.4～5.29付近は泥炭（紫色）が卓越する領域（土質区分③）である。なお、土質区分①③では変状履歴があるため、工事の順序や施工方法を検討する必要がある。

(2) 河道掘削断面案の設定

河道計画検討時においては、平成17年度横断測量成果を基本として、整備計画流量及び基本方針流量に対する掘削方針（以降、整備計画河道：片岸掘削、基本方針河道：両岸掘削と表現）を検討した。表-1に示すように、掘削敷高は千歳川の河道改修方針に合わせ、計画河床高を設定し、川幅は流下能力を確保できるように設定した。本報告では現状最新の平成27年度横断測量成果を基本として、両岸掘削方針を適用し、掘削方針を評価・決定した。

表-1 代表断面

区間	低水路	代表断面
KP0.2-3.0	低水路下幅：15m 掘削河床高：計画河床高	
KP3.2-5.29	低水路下幅：8m 掘削河床高：計画河床高	

(3) 河道掘削断面案の評価

両岸掘削方針について、流下能力・樹林化抑制の2項目から評価する。各項目の評価目的・方法を表-2に示す。

また、各項目で得られた評価結果を以下にまとめる。なお、低水路改変に伴う河道の安定性については、両岸掘削方針とも概ね判断基準を満たすことを確認している。

表-2 各項目の評価目的・方法

項目	方法（計算手法、対象外力等）	評価基準
流下能力	基本方針流量を外力として準二次元不等流解析を実施し、計画高水位に対する流下能力を把握。	計算水位が計画高水位内となるかを評価。
河道の安定性	平均年最大流量を外力として準二次元不等流解析を実施し、縦断的な摩擦速度 U_b の変化を把握。	整備後の河床安定の判断基準（現況河道 U_b^* の0.85～1.15倍） ¹⁾ を基に評価。
樹林化抑制	現状で樹林化が進行する区間（KP1.6-3.0）を対象に、平均年最大流量を外力として平面二次元流況解析を実施し、面的な摩擦速度 U_b を把握。	樹林化抑制を期待できる攪乱境界の目安値（代表粒径10mm未満の場合 $U_b^2=130\text{cm}^2/\text{s}^2$ ） ²⁾ を基に評価。

a) 流下能力

河道計画検討時の掘削方針に従い、今後低水護岸の敷設替えとならないよう、対象外力として基本方針流量を設定する。

流下能力の評価結果を図-4に示す。

この結果から片岸・両岸掘削とも基本方針流量に対する流下能力を確保できることがわかった。河道計画検討時において、片岸掘削は整備計画流量に対する流下能力を確保する掘削方針として検討されたが、令和元年度の樹木伐採等の影響から流下能力が大幅に向上したものと考えられる。

b) 樹林化抑制

a)と同様に、評価結果を図-5に示す。両岸掘削の場合に、面的に攪乱境界の目安値³⁾を超過しており、片岸掘削よりも樹林化抑制効果を期待できることがわかった。なお、片岸掘削の場合には、攪乱境界の目安値を超過する箇所が部分的にはあるものの、面的な樹林化抑制効果は認められないことがわかる。

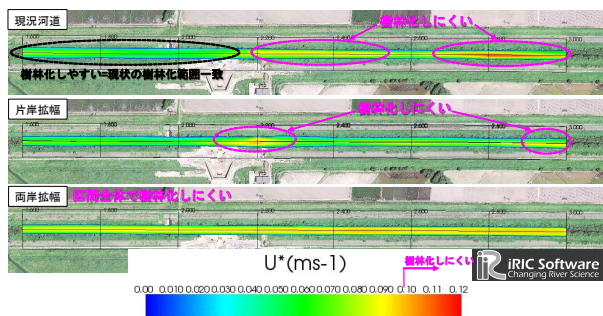


図-5 樹林化抑制効果把握結果

c) 総合評価

a)～b)の各評価結果を基に、表-3のように総合評価を実施した。片岸掘削で基本方針流量に対する流下能力を有しているものの、樹林化抑制効果も踏まえ、最良案として両岸掘削を選定した。

表-3 流下能力・樹林化抑制の総合評価

項目		片岸掘削案	両岸掘削案
掘削方針	KP0.2-0.9	現堤撤去済、砂州掘削	現堤撤去済、砂州掘削
	KP0.9-3.2	片岸掘削、砂州掘削、樹木伐採	両岸掘削、砂州掘削、樹木伐採
	KP3.2-5.29	片岸拡幅、砂州掘削	両岸掘削、砂州掘削
評価結果	流下能力	○	○
	河道の安定性	○	○
	樹林化抑制	△	○
総合評価		○	◎

3. すべり解析によるすべり対策工の選定

(1) 解析目的

2. で決定した河道掘削断面について、工事の順序や施工方法を検討するとともに、当初の設計では施工性・経済性より、「連節ブロック(突っ込み式)」を設定し、護岸工事に伴う河道掘削時の河岸法面のすべり安定性を確保するため、河岸背面に地盤改良工の併用を検討していた。しかし、過年度に地盤改良箇所で変状が生じたため、施工時の河岸すべり対策案を選定することを目的に、堤体及び河岸に着目した円弧すべり解析を実施した。

(2) 解析条件

すべり解析条件を表-4に示す。

解析断面は、土質区分毎に高水敷幅・掘削深さ・掘削土量・河岸の勾配等から脆弱な断面を総合的に判断して選定した。土質定数は土層区分毎に設定し、河道掘削に伴う強度低下(応力開放)や鋭敏粘土の振動による強度低下を踏まえ、実績から20%の強度低下を見込んだ定数を設定する。荷重条件は、施工段階毎の重機を選定した上で最大となる一般重機の50tクローラーで条件を設定した。

定した。また、2. の河道掘削断面に対して、高水敷幅と河岸高の関係⁴⁾から土質区分①③の区間で低水護岸の敷設が必要となる。

表-4 すべり解析条件

項目	条件
計算目的	堤体及び河岸に着目したすべり解析を実施し、施工の実現性(実際に施工できるのか)を把握
目標安全率	1.20
解析ケース	現況堤防残置、現況堤防一部撤去
解析断面	過年度変状断面や高水敷幅・掘削深・掘削土量・河岸の勾配等から相対的に脆弱な断面を抽出 ⇒解析断面：KP0.9付近、KP1.8付近、KP3.5付近
地盤定数	各変状箇所の追加調査における定数を使用 ※鋭敏粘土は再現解析値を使用
地盤の強度増加	既設築堤及び拡幅盛土の沈下完了後に河道掘削開始を想定
その他	重機荷重考慮

(3) 解析結果

すべり解析については、被災履歴を参考に河道掘削を実施した際の河岸すべりと堤体すべりの2ケースで安全性を確認した。土層区分③の解析モデル例を図-6に、解析結果を表-5に、それぞれ示す。

表-5に示す結果は、土質区分①③では、解析結果の安全率が目標安全率を下回り、安定性が確保されないことがわかった。一方で、土質区分②では目標安全率を満足する結果となった。

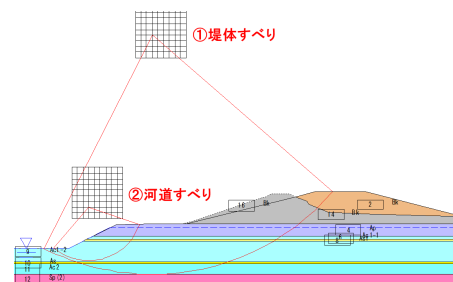


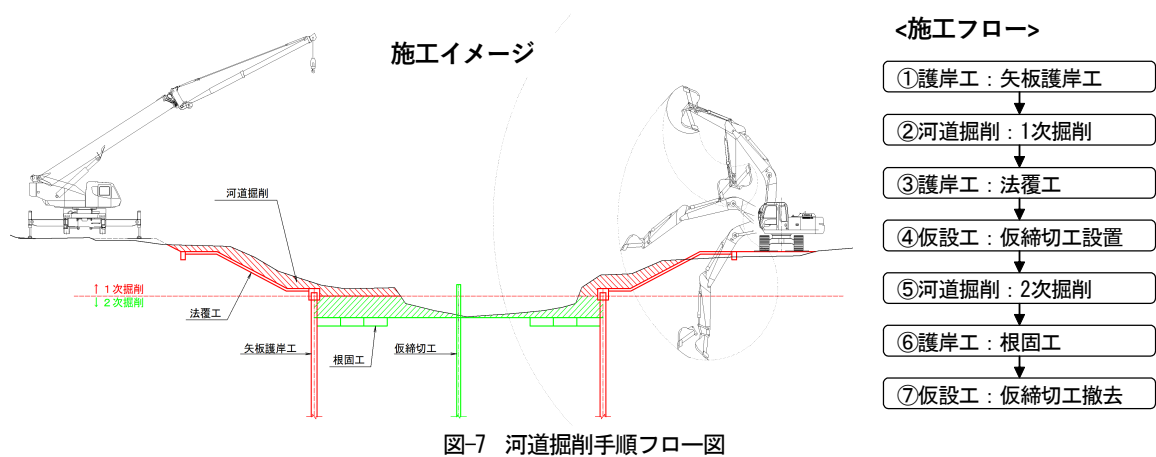
図-6 堤体及び河岸すべりのイメージ (KP3.5付近)

表-5 すべり解析結果

土層区分	検討条件	すべり安定解析結果			
		堤体すべり		河岸すべり	
		安全率	判定 ≥ 1.20	安全率	判定 ≥ 1.20
①	現況堤防残置	1.27	OK	1.14	NG
	現況堤防一部撤去	1.65	OK	1.14	NG
②	現況堤防残置	1.89	OK	1.22	OK
	現況堤防一部撤去	2.01	OK	1.22	OK
③	現況堤防残置	1.27	OK	0.89	NG
	現況堤防一部撤去	1.32	OK	0.89	NG

(4) 対策工法の設定

3. で述べたように、治水面から河道掘削が必要な反面、土質区分①③では、近年変状履歴があることに加え、概ねどの条件(重機荷重等)においても河岸法面のすべりが発生する解析結果となった。そのため、護岸工法は、島松川下流部の過年度変状箇所でも適用実績がある「自立式矢板護岸工法(以降、矢板護岸と表現)」を選定する。



4. すべり解析結果を踏まえた施工手順等の検討

(1) 施工手順

河道掘削の施工手順を図-7に示す。矢板護岸を先行施工することですべり抑止効果を確保した上で低水路掘削を実施し、掘削による河岸法尻部の強度低下の抑制を図る。

低水路掘削は非出水期施工を基本とし、施工期間中の水位に対して冠水しない高さ以上を1次掘削、それ以下は仮締切を使用し2次掘削と段階的に掘削することで、仮締切工設置期間を最小限とする。なお、現在進行中の堤内側の築堤盛土及び現況堤防残置による堤外側すべりへの影響は小さく、解析上も目標安全率を下回ることがないため、築堤盛土を先行させ、現況堤防は残置する方針とする。

(2) 施工上の留意点

3. のすべり解析において、河岸すべり発生が懸念される結果となったため、施工時においては、地盤や河岸への負担を軽減する施工方法や施工計画等を検討する必要がある。

本項では、工法及び重機配置に係る施工に留意すべき事項について、以下にまとめる。

a) 工法選定

鋼矢板打ち込み工法は、最も大型の重機が必要となる。工事においては吊荷重を縮減し、なおかつ施工時の振動を抑制するため、「油圧圧入工法」を選定することで、地盤強度低下の抑制を図る。

b) 重機配置

3. のすべり解析から、高水敷上の重機配置は低水路法肩のすべり安定性に影響を及ぼすことが確認できたため、河岸法肩から離隔距離を確保した重機配置とし、目標安全率を満足させる。

c) 動態観測

島松川周辺では、被災履歴から下流側に分布する鋭敏粘土や上流側に分布する泥炭が河道掘削や築堤盛土へ影響を与えることが判明している。軟弱地盤上の施工は、

設計時に得られた予測と実際の挙動が一致しないことが多く、想定外の変状が生じてしまう可能性があることから、本報告で選定した矢板護岸に関して変状の前兆現象を的確に把握し、施工の確実性を確保するため情報化施工(動態観測)を実施することが望ましい。

以上のことから、当箇所では矢板杭頭にタックを設置し、沈下・水平変位の計測を行い矢板の傾倒状況を確認すると共に、施工中の支障とならない位置(築堤法尻付近)に変位杭を設置しリアルタイムで変化をモニタリングする。

5. まとめ

本報告において、河道掘削断面検討にあたって、流下能力だけでなく、河道管理上の観点として、樹林化抑制効果も勘案した上で、両岸掘削を選定した。また、島松川の脆弱な土質条件と過年度の被災履歴等を踏まえ、堤体及び河岸に着目した円弧すべり解析を実施し、施工時の河岸すべり対策として、自立式矢板護岸工法を選定した。施工時の検討としては、河岸等への負担を軽減する振動を抑制する施工方法や今後の変状の前兆現象を的確に把握する目的での動態観測等を具体的に検討した。

今後も引き続き、河川管理者として島松川の特性を踏まえた堤防整備と河道掘削を効率的に進め、治水の安全度向上を図っていく必要がある。また、千歳川流域全体としては、北海道や地方自治体等の関係機関と連携しながら、内水氾濫対策や洪水被害軽減策等も含めた流域治水を推進していきたい。

参考文献

- 1) 国土交通省北海道開発局：石狩川水系千歳川河川整備計画(変更)，2015。
- 2) 財団法人 国土技術研究センター：河道計画検討の手引き，2002。
- 3) 国土交通省北海道開発局・国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所：樹林化抑制を考慮した河岸形状設定のガイドライン(案)，2011。
- 4) 財団法人 国土技術研究センター：護岸の力学的設計法，1998