

千歳川河川整備における 長期的な土砂配分計画について —経済的・効率的な計画の立案—

札幌開発建設部 千歳川河川事務所 計画課

○日下部 包
萬谷 俊哉
金谷 将志

千歳川流域の河川事業では、今後堤防整備に必要となる土砂量は約550万 m^3 と膨大であることから、コスト縮減を考慮した長期的な土砂流用計画の立案は喫緊の課題である。一方で堤防の品質管理や掘削による発生不良土の処理など、整備上の制約条件も数多く存在する。本検討では千歳川流域の河川事業における土砂流用計画案の課題について整理するとともに、経済性および実際の適用性を考慮した土砂流用計画について検討する。

キーワード：土砂配分、コスト縮減、掘削不良土、整備計画

1. はじめに

千歳川は支笏湖を源とする幹川流路延長108km、流域面積1244 km^2 の石狩川の1次支川である。広大な低平地が広がる地形的特性や大雨の生じやすい気象条件に起因して、その中下流域では頻繁に洪水被害が発生してきた。中でも昭和56年8月上旬水害では石狩川の高い背水位の影響を長時間、長区間にわたって受け、多大な内水被害が発生した。これらの経緯から平成17年度には「石狩川水系千歳川河川整備計画」が策定（平成26年度変更）され、同計画の柱として堤防の整備（総延長約172km）、河道の掘削、遊水地群の整備の実施が決定された。そのうち堤防の整備においては、石狩川の高い背水位に対応するため本川と同様の堤防天端幅を確保し、堤防法勾配は4割としていることから（図-1）、盛土材として膨大な量の土砂が必要となっている。

本検討は、千歳川河川整備計画に基づき実施すべき事業（堤防の整備、河道の掘削、遊水地群の整備）の適切な事業執行の観点から、コスト縮減方策、千歳川流域における適用性等を踏まえ、経済的効率的な土砂流用計画を検討するものである。

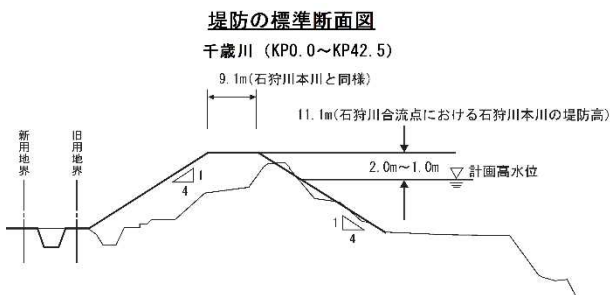


図-1 千歳川における堤防標準断面図

2. 現行土砂流用計画の概要と検討の背景

土砂流用計画の立案に先立ち、図-2に砂攪拌工法を主体とし、不足する攪拌材を土砂購入で賄った場合の土砂収支模式図を、表-1にその概算事業費内訳を示す。また図-3に千歳川河川整備計画における整備実施箇所を示す。堤防盛土約550万 m^3 の膨大な土砂は、その一部を管内の掘削工事に伴う発生土で賄う計画であるが、建設発生土約580万 m^3 のうち直接堤防盛土に使用可能な砂質土は約80万 m^3 とごく一部であり、その大部分は軟弱粘性土（約300万 m^3 ）および泥炭などの不良土（約200万 m^3 ）である。このうち粘性土の大部分については砂質土との攪拌による改良を施すことで盛土可能としているが、その際には土砂購入および運搬にかかる費用が莫大となり、事業費圧迫の一因となる。また大量に発生する泥炭などの不良土についてはその処理費用が問題となる。堤防整備における事業費の増大は事業スケジュール全体に遅れをもたらすことから、より経済的効率的な事業計画の決定と土砂流用計画の立案は極めて重要な課題である。

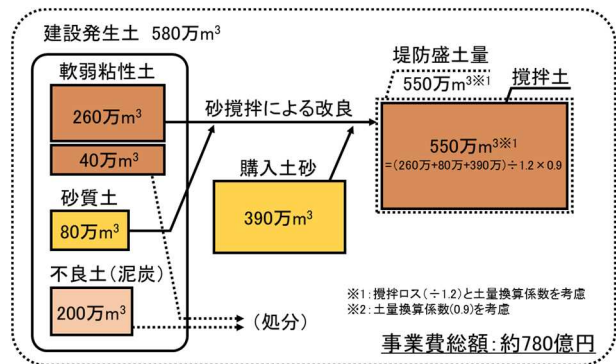


図-2 土砂収支模式図

(砂攪拌工法主体、不足攪拌材を土砂購入にて賄う場合)

表-1 概算事業費内訳

(砂攪拌工法主体、不足攪拌材を土砂購入にて賄う場合)

攪拌工法	単価(円/m ³)	十量(万m ³)	工事費(億円)
改良工法			390
掘削・積込	500	340	20
攪拌ヤードまでの運搬費	2,550	340	90
攪拌工費	700	730	50
盛土箇所までの運搬費	2,750	610	170
盛土工費	1,150	550	60
不足土砂調達(購入土砂)			390
土砂購入費	1,850	390	70
購入土の運搬費	8,200	390	320
合計	-	-	780



図-3 千歳川河川整備計画における整備実施箇所

3. 本検討の概要

以上の背景を踏まえ、本検討においては千歳川河川整備計画における事業実施上の制約条件を踏まえた中長期的な事業計画を決定し、それに基づき経済的効率のかつ実現可能な土砂流用計画を検討する。検討項目については表-2に示す通りである。掘削工事における発生土のうち利用可能なものについては積極的に有効活用する必要がある一方で、砂攪拌による改良工法では土砂購入と運搬のコストが大きくなることから、本稿では攪拌材料として砂質土を必要としないセメント改良工法についてその経済性および適用性を比較する。また土砂購入が事業費増大の要因となっていることから、良質土調達方法そのものについても、河川敷地内掘削による発生土流用および借地等による新規土取場開発について検討を行う。さらにこれらとは別に掘削工事により発生する不良土処理方法についても検討が必要であることから、農地還元、緑化基盤材利用等について検討する。各項目の検討結果については次章以降で詳述する。

4. 土砂流用計画の検討

(1) 砂攪拌工法とセメント改良工法

軟弱粘性土の改良工法については堤防盛土工事への実績が豊富な砂攪拌による改良工法が挙げられる。しかしながら、千歳川河川事務所管内の河川工事における建設発生土では攪拌に必要となる砂質土が圧倒的に不足し、別途砂質土の購入と運搬が必要となることから、事業費増大の要因となっている。そのため、ここでは改良において砂質土が不要であり、管内にて試験施工実績のあるセメント改良工法について比較検討を行う。なお検討に際しては、経済性のみならず千歳川流域における適用性等を鑑み総合的な評価を実施する。

表-2 検討項目の概要

検討項目	概要	検討結果と留意点	採用の可否
砂攪拌工法	掘削工事により発生する砂質土および購入土砂を用いて軟弱粘性土を改良し盛土する。	砂質土が現地が発生する場合には経済性で優れた工法となる。	○
改良工法			
セメント改良工法	掘削工事により発生する軟弱粘性土をセメント改良工法を用いて改良し盛土する。	机上検討において、不足攪拌材に購入土砂を用いる場合の砂攪拌工法よりは経済的であるものの、千歳川流域における実際の適用に際しては堤防品質低下等の懸念もあり慎重な検討が必要となる。	△
土砂購入	盛土材料を民間の砕石場等から購入する。	実績は多いが、購入場所及び購入土を使用する場所によっては運搬費が高くなる。	△
良質土調達方法			
河川敷地内掘削	河川敷地内の埋蔵砂質土を利用する。	千歳川上流域では、粘性土、泥炭が少なく、比較的良質な地盤であり、堤防盛土に適した土砂の供給源となる可能性がある。発生砂質土量が掘削可能深度および地質分布状況に大きく左右されることから、より詳細な検討が必要となる。	○
新規土取場開発	新規に土取場を開発し、不足する堤防盛土材料を確保する。	用地交渉に関する調整が必要となる。	○
事業間連携	札幌開発建設部管内(千歳川河川事務所管外)の事業と連携し、建設発生土を流用する。	現時点で確認できる限りでは、近隣において発生砂量が少ないため本検討では対象としないが、今後も検討を進める必要がある。	-
不良土処理方法			
農地還元	畑地の土壌改良材として使用可能な泥炭を農地へと還元・客土する。	各農家へ泥炭・粘性土の希望土量の公募を実施した結果、それなりの需要があることが確認できている。	○
緑化基盤材利用	堤防法面における緑化基盤材として泥炭を利用する。	需要量は少ないものの、費用を抑えられることから有効活用手法として有力な案となる。	○

砂攪拌工法およびセメント改良工法は、掘削工事箇所において発生する軟弱粘性土を可能な限り堤防盛土に流用できる工法である。以下に各工法の概要と経済性の比較について示す。

a) 砂攪拌による改良工法の概要

砂攪拌による改良工法は砂などの良質土を軟弱粘性土と攪拌することにより、堤防盛土に適する土質に改善する工法である。本工法の検討条件を以下に示す。

- ① 発生粘性土は全て砂質土と攪拌する。
- ② 攪拌割合は発生する粘性土の性状にあわせて1:1.5～1:2.0とし、攪拌ロス係数は管内実績より1.2とする。



図-4 砂質土との攪拌による改良工法の例²⁾

b) セメント改良工法の概要

セメント改良工法はセメント等の固化材を軟弱粘性土に添加することにより、堤防盛土に適する土質に改善する工法である。本工法の検討条件を以下に示す。

- ① 建設発生土（粘性土）はセメント系固化材を混合し、改良して盛土材料として使用する。
- ② 改良工法は札幌開発建設部管内にて試験施工実績のある回転式破碎混合工法³⁾を採用し、セメント添加量は試験施工実績より55kg/m³とする。またセメント添加による体積増は微小であることから考慮しない。



図-5 セメント改良工法（回転式破碎混合工法）の例⁴⁾

c) 各改良工法の比較

両工法についての比較表を表-3に示す。ここで表中の施工単価については、建設発生土の掘削・積込・運搬および攪拌に用いる土砂の購入・運搬費を含むものであり、軟弱粘性土を攪拌ヤードにて盛土材として使用可能とするまでに必要となる単位体積あたりの費用を表す。

また仮に粘性土改良方法を全てセメント系固化剤による改良工法に置き換えた場合の概算事業費内訳を表-4に、土砂収支模式図を図-6に示す。ここで検討している土砂

流用案においては軟弱粘性土（約300万m³）を全てセメント改良工法により盛土材として適用可能とし、発生砂質土（約80万m³）は全て直接盛土、またそれでも不足する土量（約230万m³）については別途購入し直接盛土するとしている。

札幌開発建設部管内における試験施工結果を基にした今回の検討においては、セメント改良工法が攪拌材料として砂質土を必要としないことから土砂購入費・運搬費が抑制され、施工単価において購入土砂を用いた砂攪拌工法よりも安価となっている。一方で現地発生材を用いた砂攪拌工法と比較した場合には、機械設備やセメント固化剤を必要とするセメント改良工法自体の単価が大きいため経済性が逆転する。さらに前述した通り今回の検討はあくまで札幌開発建設部管内における試験施工結果（要改良土の含水比50%前後、セメント添加量55kg/m³）を基に諸元を決定しており、千歳川流域においては発生粘性土の含水比が100%を超える事もあることから、実際の適用に際しては堤防品質低下等の懸念も存在するため、採用の可否については慎重に検討する必要がある。

また砂攪拌工法については改めて土砂購入費および運搬費が課題となることが明らかになった一方で、攪拌材として現地発生材が利用可能な場合には経済性において非常に優れた工法であることから、今後は掘削・堤防工事箇所の年次計画等を照らし合わせた合理的な土砂改良計画の立案が必要となる。

表-3 各改良工法の比較表

	砂攪拌による改良工法	セメント改良工法
工法概要	掘削工事による建設発生土（粘性土）を発生砂質土および購入砂質土と攪拌することにより堤防盛土に流用する工法。	掘削工事による建設発生土（粘性土）をセメント固化剤を添加し砕破することで堤防盛土に流用する工法。
メリット	<ul style="list-style-type: none"> ・使用機械が少ない ・一般的に安価 	<ul style="list-style-type: none"> ・固化材と均一に混合でき高品質な構造が可能 ・固化材が高価となる。
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ・攪拌ロスが20%程度と大きく、攪拌砂質土量も多く必要となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・大規模なプラントヤードが必要
実績	<ul style="list-style-type: none"> ・多数あり 	<ul style="list-style-type: none"> ・管内にて試験施工実施
施工単価 (諸経費70%△)	約6000円/m ³ ^{※1} 約4000円/m ³ ^{※2}	約5000円/m ³
千歳川流域における留意点	攪拌に使用する砂質土が大幅に不足するため、購入土砂量が多くなり施工単価が大きくなる。	建設発生粘性土の含水比が高い場合、セメント使用量が多くなり堤防品質の低下等が懸念される。

※1 攪拌材料が購入土砂の場合（購入・運搬費を含む）

※2 攪拌材料が現地発生材（掘削砂質土）の場合

表-4 概算事業費内訳（セメント改良工法主体）

セメント改良工法	単価(円/m ³)	土量(万m ³)	工事費(億円)
改良工法			320
掘削・積込	500	300	20
改良ヤードまでの運搬費	2,700	300	80
セメント改良工法	3,700	300	110
盛土箇所までの運搬費	2,650	300	80
盛土工費	1,150	270	30
発生砂質土の直接盛土			30
発生砂質土の掘削・積込	500	80	0
発生砂質土の運搬費	2,100	80	20
発生砂質土の盛土工費	1,150	72	10
不足土砂調達(購入土砂)			250
土砂購入費	1,850	230	40
購入土の運搬費	8,200	230	190
購入土の盛土工費	1,150	210	20
合計	-	-	600

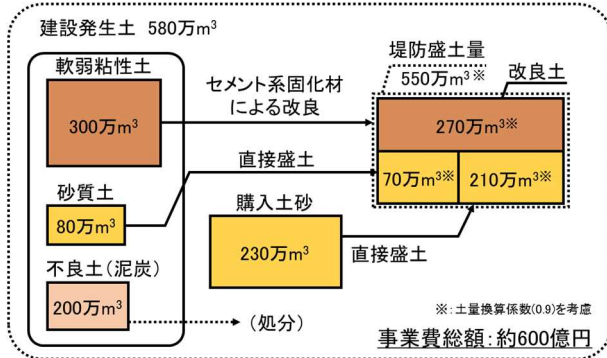


図-6 土砂収支模式図（セメント改良工法主体）

(2) 良質土調達方法の検討

前述したいずれの軟弱粘性土改良工法を用いた場合においても、堤防整備に必要な土量全体を賅うことは出来ないことから、別途土砂購入が必要となる。現計画では購入土砂を民間からの供給に依存しており、その安定供給とコスト縮減が土砂流用計画立案における喫緊の課題であることから、本節では砂質土の新規調達方法について検討した。

a) 河川敷地内掘削

河川敷地内掘削による発生土調達の検討に際しては、比較的良質な砂質土が広く分布している千歳川上流域を候補地として選定した。千歳川上流域では砂質土が5m～10m程度堆積しており、やや火山灰を含むものの、攪拌材料として活用できる土質性状である。またそのうち利用可能な土量は概算で数百万m³にも及ぶ。

仮に砂攪拌工法における攪拌材を河川敷地掘削による発生砂質土で賅うことが出来た場合の概算事業費内訳を表-5に、土砂収支模式図を図-9に示す。土砂購入費・運搬費が抑制されることから経済的にも有利であるうえ、河川敷地内での土砂流用であることから実現性も高いと考えられる。

一方でここに示した流用案については、掘削可能深度および地質分布状況により発生砂質土量が大きく変動することから、これらの更なる調査・検討が必要となる。

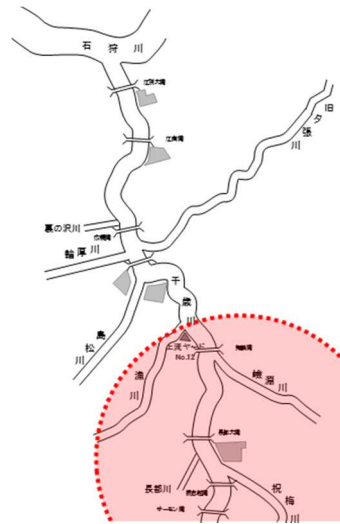


図-7 河川敷地内掘削における候補地

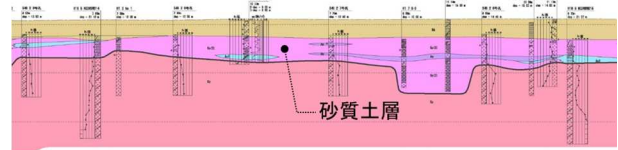


図-8 千歳川上流域における砂質土分布状況

表-5 概算事業費内訳

(砂攪拌工法主体、不足攪拌材を敷地内掘削にて賅う場合)

河川敷地内掘削	単価(円/m ³)	土量(万m ³)	工事費(億円)
改良工法			390
掘削・積込	500	340	20
攪拌ヤードまでの運搬費	2,550	340	90
攪拌工費	700	730	50
盛土箇所までの運搬費	2,800	610	170
盛土工費	1,150	550	60
不足土砂調達(河川敷地内掘削)			150
河川敷地内掘削の掘削・積込	500	390	20
河川敷地内掘削の運搬費	3,350	390	130
合計	-	-	540

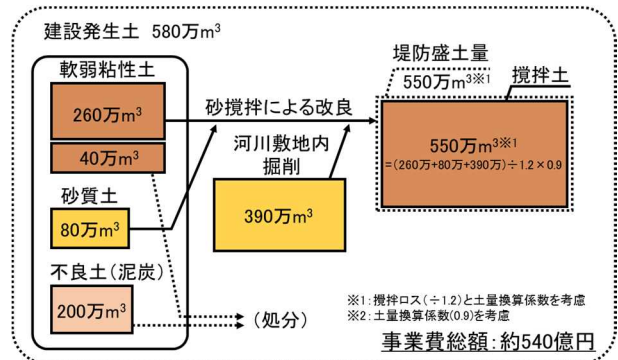


図-9 土砂収支模式図

(砂攪拌工法主体、不足攪拌材を敷地内掘削にて賅う場合)

b) 新規土取場開発

机上調査（広域地質図、航空写真、林班図）から新規土取場として開発可能な箇所を選定した。新規土取場として開発可能な箇所は以下の条件にて選定した。

- ① 土砂運搬費用を抑制するため、千歳川中流域から概ね15km~20km圏内とする。
- ② 千歳川東側の丘陵地は比較的固い礫質土が採取できる可能性があるため、千歳川の東側を候補地とする。
- ③ 航空写真より、土砂採取が可能と考えられる丘陵地を対象箇所として選定する。

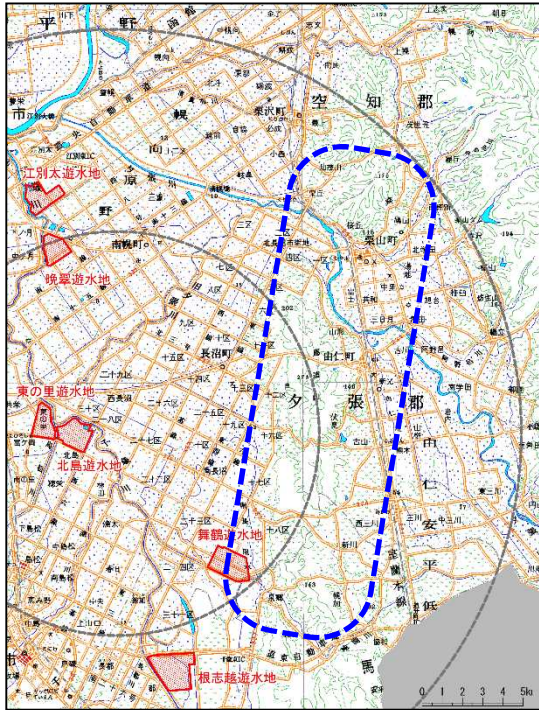


図-10 新規土取場候補地位置図

図-10に新規土取場候補地として選定した箇所を示す。また机上にて工法の経済性を確認するため、仮に新規土取場開発が可能となり、新規土取場からの発生土を全て盛土材として適用でき、また土取場掘削箇所の現況復旧に粘性土等を流用することが出来た場合の概算事業費内訳を表-6に、土砂収支模式図を図-11に示す。ここで新規土取場開発にかかる費用については、借地料、立木補償費、伐木除根工事を想定し、また掘削可能深度

を3m程度とした。土取場借地に想定される費用が比較的小さいことから、机上においては経済性で有利な流用案となる。

一方で今回の土取場開発にかかる費用についてはあくまで概算であり、今後はこれらのより詳細な検討が必要となる。また実際の新規土取場開発に当たっては用地交渉等に関する調整が必要となることから、この実現にむけて今後も検討を進めていく必要がある。

表-6 概算事業費内訳（新規土取場開発）

新規土取場開発	単価(円/m ³)	土量(万m ³)	工事費(億円)
発生砂質土の直接盛土			40
発生砂質土の掘削・積込	500	80	0
発生砂質土の運搬費	3,800	80	30
発生砂質土の盛土工費	1,150	70	10
不足土砂調達（新規土取場）			310
新規土取場の開発（借地）	955	540	50
新規土取場の掘削・積込	500	540	30
新規土取場の運搬費	3,100	540	170
新規土取場の盛土工費	1,150	480	60
粘性土埋戻し			80
粘性土掘削・積込	500	230	10
粘性土運搬費	3,100	230	70
合計	-	-	430

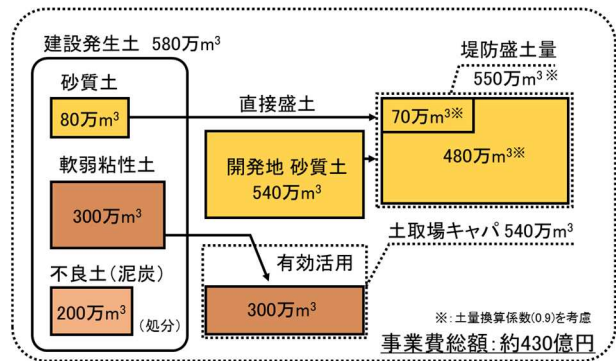


図-11 土砂収支模式図（新規土取場開発）

5. 不良土処理方法の検討

今後発生する約200万m³の泥炭掘削土の有効活用方策について経済性及び適用性可能性の観点から検討を実施した⁹⁾ (表-7参照)。

表-7 泥炭の有効活用検討結果

方法	需要量	事業者負担費用	評価	総合評価	
農地への還元	約70万m ³	約1,500~3,300 円/m ³ (運搬距離5~50kmを想定)	客土利用の実績があり、安価で潜在需要量も多い。	○	
バイオマス燃料	約150万m ³ /年 (約50万t/年)	約6,900 円/m ³	他の活用方法に比べて高価。	△	
緑化基盤材	堤防法面	約10万m ³	約900~3,200 円/m ³ (運搬距離~50kmを想定)	潜在需要量は多くないが、有効な活用先。	○
残土処分	既登録の産廃処分場	約110万m ³	約7,400 円/m ³	非常に高価	△

検討に際しては発生する泥炭の農地への還元、バイオマス燃料としての利用、堤防法面への緑化基盤材としての利用および産業廃棄物処理場への処分を検討した。またそれぞれの需要量および事業者負担費用については、各事業者へのヒアリングを行うことにより算定を行った。

需要量および事業者負担費用を比較検討した結果、バイオマス燃料としての利用は年間約150万 m^3 もの潜在需要量がある一方で、その事業者負担が非常に大きなものとなることから採用は困難と考えられる。また産業廃棄物としての処分についても、処分費用が高額になることから採用は困難となる。一方で農地への還元においては過年度実施のヒアリング時点においては約70万 m^3 の需要があることがわかっており、その運搬費用を事務所が負担したとしても比較的現実的な手法となる。また堤防法面への緑化基盤材としての利用については、堤防延長から約10万 m^3 程度の需要が見込まれ、その費用についても比較的安価となることから有効な手法といえる。

現時点では発生するすべての不良土についての処理方針を決定することができていないことから、今後は地元へのヒアリングを通じて農地への泥炭客土に対するさらなる需要量の掘り起しを行っていくとともに、新規土砂調達箇所への現況復旧材としての利用などを複合的に組み合わせるにより処理方針を検討していく必要がある。

6. 今後の課題と検討項目

以上の検討を踏まえ、千歳川河川整備計画を今後推進していく上での課題は以下のとおりである。

(1) 砂攪拌工法

砂攪拌による改良については、千歳川河川事務所管内において多数の実績が存在しその適用性については十分である。一方で事務所管内において発生する砂質土が圧倒的に不足することから、追加の土砂購入と運搬が必要となり、これらの費用が莫大なものとなる。攪拌材として現地発生材が利用可能な場合には経済的にも優れた工法となることから、採用に当たっては掘削および堤防盛土工事の施工年次計画等を照らし合わせた土砂流用計画の立案が必要となる。

(2) セメント改良工法

セメント系固化剤を用いた改良においては改良材料に砂質土を必要としないことから、不足攪拌材に購入土砂を用いた砂攪拌工法と比較した場合には経済的に有利な工法となる。一方で現地発生材を用いた砂攪拌工法と比較する場合には、セメント固化剤および機械設備等にかかる費用が大きいため、経済性が逆転する。

また千歳川流域における実際の適用においては、改良対象となる粘性土の含水比によっては堤防品質の低下等

が懸念されることから、採用に当たっては慎重な検討が必要となる。

(3) 河川敷地内掘削

河川敷地内の掘削による砂質土調達案では、千歳川上流域において数百万 m^3 の砂質土が調達できる可能性がある。河川敷地内での実施となることから、流用案の実現性も非常に高いと考えられる一方で、発生する砂質土量については掘削可能深度・地質分布状況に大きく影響することから、これらの更なる調査・検討が必要となる。

(4) 新規土取場開発

新規土取場開発については広域地質図、航空写真、林班図より開発候補地を選定した。また新規土取場開発が仮に可能となった場合、借地に要する費用が比較的小さいと考えられることから机上検討における経済性については有利な案となる。一方で実際の採用に当たっては、用地交渉に関する調整等が必要となることから、その実現に向けて今後も検討を進めていく必要がある。

7. まとめ

本論文では、千歳川流域の河川事業における土砂流用計画案の課題を整理し、コスト縮減および実際の適用性を考慮した改良工法、良質土調達方法、不良土処分方法について検討した。

現行の土砂流用計画案では土砂購入費および運搬費が莫大となることから、これらを回避することを念頭に複数の土砂流用計画案について方針検討を行った。各流用案においては机上における経済性の比較において現行計画案よりも優位となった一方で、適用性・実現可能性については各案に課題点・留意点があることが明らかになった。今後は各流用案についてより詳細な検討を進めるとともに、これらを併用した複合的な土砂流用計画案を、長期的なスパンで立案していくことが必要となる。

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】（平成27年3月）
- 2) 道路工業株式会社HP：<https://www.dorokogyo.co.jp/>（平成30年12月閲覧）
- 3) 回転式破砕混合工法研究会：回転式破砕混合工法 技術・積算資料（平成30年6月）
- 4) 回転式破砕混合工法研究会HP：<http://www.twister-gp.com/index.html>（平成30年12月閲覧）
- 5) 札幌開発建設部：泥炭掘削土の有効活用方策検討業務（平成22年）