

天竜川ダム再編事業

恒久堆砂対策工法検討委員会  
第4回委員会

平成29年11月7日  
浜松河川国道事務所

## 目次

1. 委員会規約(一部改正)	…	2
2. 第3回委員会での確認事項	…	4
3. 堆砂対策工法	…	11
4. 技術開発	…	31
5. 実行可能性調査	…	40
6. 今後の主な検討事項	…	55

# 1. 委員会規約(一部改正)

# 1. 委員会規約

## 天竜川ダム再編事業恒久堆砂対策工法検討委員会 規約

### (名称)

第一条 本会は、「天竜川ダム再編事業恒久堆砂対策工法検討委員会」(以下「委員会」という。)と称する。

### (目的及び設置)

第二条 委員会は、天竜川ダム再編事業の恒久堆砂対策施設の具体化に向け、佐久間ダムに流入する土砂の適切な処置が可能な工法について、専門家からの意見・助言を聴くことを目的として開催し、浜松河川国道事務所長(以下「事務所長」という。)が設置する。

### (組織等)

第三条 委員は別紙のとおりとし、事務所長が委嘱する。  
 2 委員の任期は前条の目的が達成されるまでの間とする。  
 3 委員会には委員長を別紙のとおり置くこととし、委員長は委員会議事の進行と総括を担うものとする。  
 4 委員会には事務局を浜松河川国道事務所(以下「事務所」という。)に置くこととし、事務局は委員会の事務を担うものとする。  
 5 委員以外の専門家を委員会へ招請する必要がある場合は、事務所長が委員長の確認を得て行うものとする。

### (会議)

第四条 委員会の開催は原則公開とし、委員会資料及び議事要旨を事務所のホームページで公表する。  
 2 特許に関わる情報など公表に適さない事項は、委員長の確認を得て公表する委員会資料から除外する。  
 3 議事要旨は、事務局が委員長の確認を得て公表する。

### (雑則)

第五条 この規約の改正は、委員会に諮り行う。  
 2 この規約に定めるもののほか、委員会の運営に関して必要な事項は、委員長が委員の意見を聴いて定める。

### 附 則

#### (施行期日)

この規約は、平成28年2月25日から施行する。

#### (一部改正)

平成28年8月19日(委員名簿)

平成29年11月7日(委員名簿)

## 委員名簿 (規約第三条第1項関係)

氏名	所属等	備考
植田 彰	国土技術政策総合研究所 河川研究部 水環境研究官	
櫻井 寿之	国立研究開発法人 土木研究所 水工研究グループ 主任研究員	
佐藤 俊哉	電源開発株式会社 土木建築部 部長	
鈴木 徳行	名城大学 名誉教授	
角 哲也	京都大学 教授	委員長
諏訪 義雄	国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室長	
戸田 祐嗣	名古屋大学大学院 教授	
藤田 裕一郎	岐阜大学 名誉教授	

五十音順、敬称略

## 2. 第3回委員会での確認事項

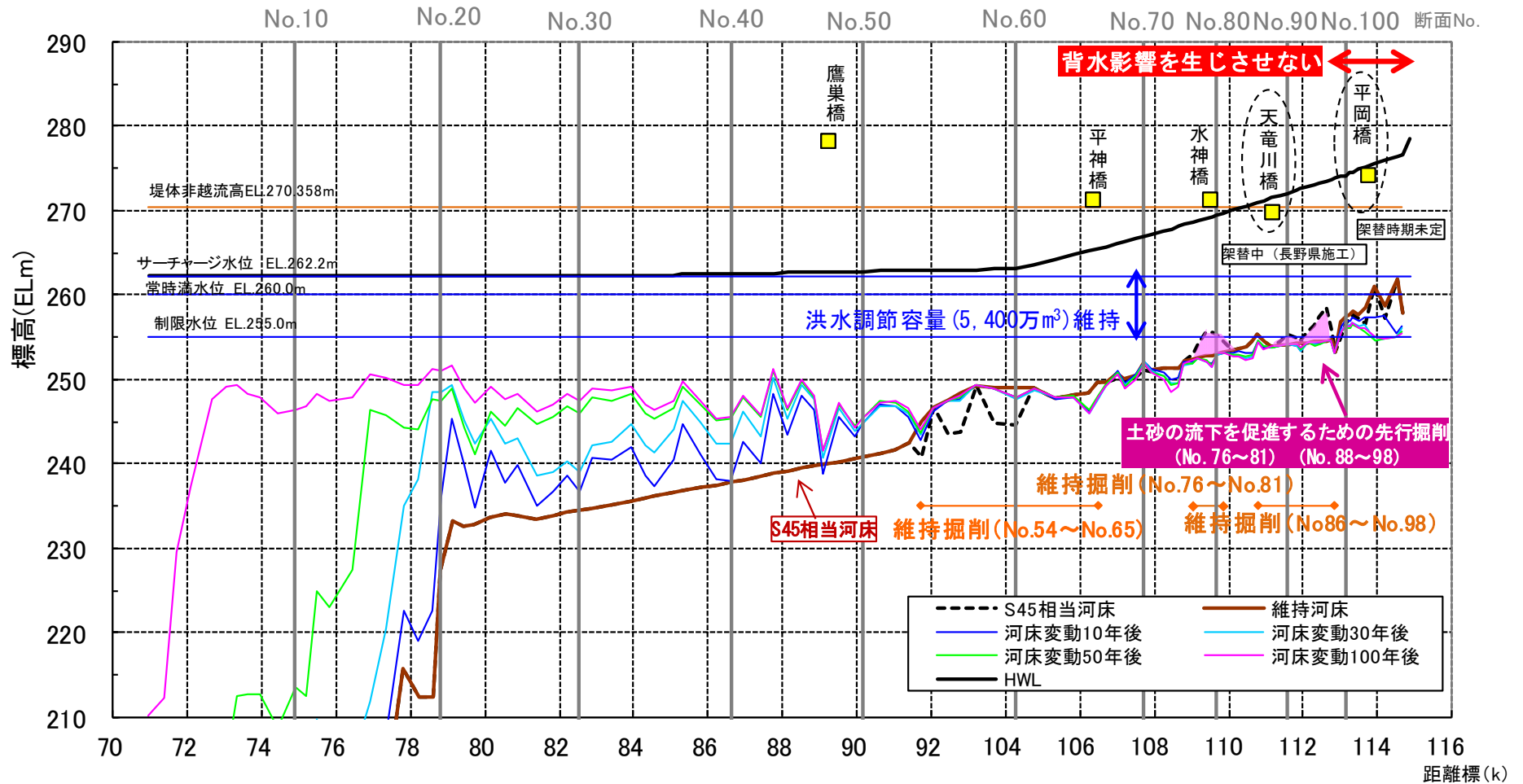
【用語の使用】

- ① 維持河床：洪水調節容量確保と背水影響防除とを満足する限界的な河床形状
- ② 排除土砂量：維持河床(①)上の対策区間に堆積する毎年の土砂量
- ③ 堆砂対策量：排除土砂量(②)の平均値
- ④ 対策土砂量：堆砂対策施設の設計条件とする土砂量(堆砂対策量(③)から民間砂利採取10万m<sup>3</sup>/年を控除)

## 2-1 維持河床の設定

(第1回委員会資料の修正版)

- 堆砂対策を確実かつ効率的(経済的)に実施するため、洪水調節容量を維持し、背水影響を生じさせない、維持掘削量が最も少なくなると考えられる河床形状「維持河床」(佐久間ダム貯水池No.54上流)を設定



注) 想定河床高は維持河床高を初期設定河床とし、維持掘削範囲の維持河床上の堆積土砂全量を毎年排除した場合のシミュレーション計算結果。

## 2-2 堆砂対策量の土砂収支

(第3回委員会資料の再掲)

- 堆砂対策による佐久間ダムからの河川還元土砂量は26万m<sup>3</sup>/年(うち砂粒径集団は約12万m<sup>3</sup>/年)増加
- 海岸侵食の抑制等に寄与する砂粒径集団の河川還元量を天竜川水系河川整備計画で位置付けた約20万m<sup>3</sup>/年へ増加させることを目指し、今後は掘削・浚渫した土砂の分級作業の導入を検討

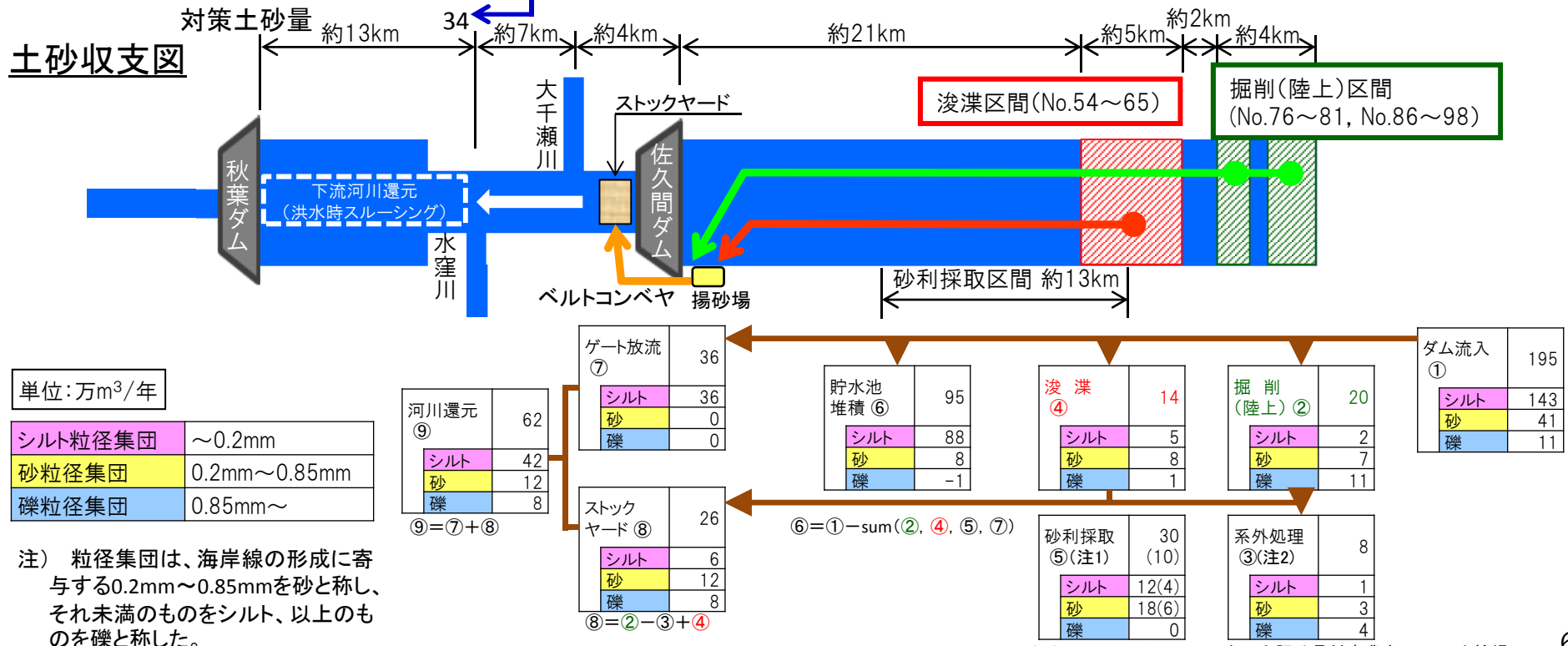
### 堆砂対策量

	堆砂対策量 (第3回委員会にて設定)		
	河川還元	系外搬出	
浚渫	24	14	砂利採取 10
掘削(陸上)	20	12	8
計	44	26	18

注) 土砂収支のシミュレーションは1次元河床変動計算により、期間はS54~H23の33年間×3+S54の100年間とした。

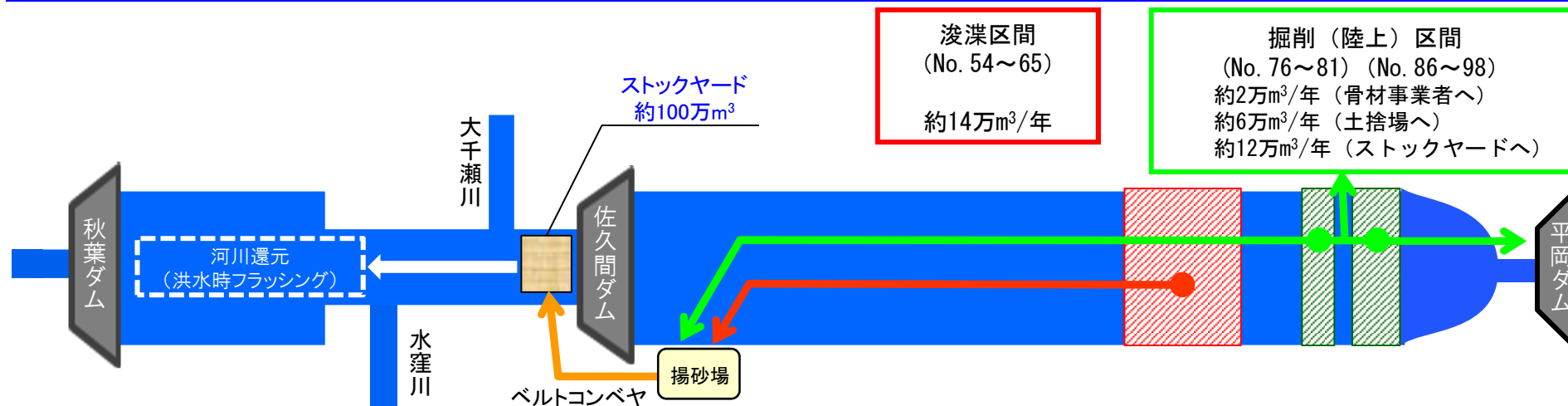
ダム流入土砂量は、上流域3ダム(美和、小渋、松川)堆砂対策施設の運用による排砂を見込んでいない。

数値は今後の精査等により変更する場合もある。



注1: ( )は浚渫区間からの採取分 注2: 内訳は骨材事業者へ2万、土捨場へ6万

## 2-3 堆砂対策施設の全体構成



### ①掘削(陸上) 施工機械

作業段階	施工機械	規格	規模
掘削(陸上)	バックホウ	1.4m <sup>3</sup> 級	5台
	ダンプトラック(骨材事業者)	10t	2台
	ダンプトラック(土捨場)	10t	8台
	ダンプトラック(積込場)	10t	15台
積込場敷均	ブルドーザ	21t級	2台
土運船積込	ホイールローダ	3m <sup>3</sup>	1台
土砂運搬船	土運搬船	650m <sup>3</sup> 級	3隻
	押船	1000PS級	2隻

### ②浚渫 施工機械

作業段階	施工機械	規格	規模
浚渫	グラブ浚渫船	鋼 D5.0m <sup>3</sup> 級	1隻
土砂運搬船	土運搬船	650m <sup>3</sup> 級	3隻
	押船	1000PS級	2隻

### ③揚砂場

作業段階	施工機械	規格	規模
揚砂	アンローダ	500t	1基
ストックパイルへ運搬	ホイールローダ	7m <sup>3</sup>	1台
	ダンプトラック	12t級	2台
ストックパイル敷均	ブルドーザ	21t級	1台
ベルトコンベヤへ投入	ホイールローダ	7m <sup>3</sup>	1台

### ④ベルトコンベヤ

作業段階	施工機械	規格	規模
土砂運搬	トンネル	2.7m × 2.7m(幌型)	1,290m
	ベルトコンベヤ	W=1,050mm	1,440m

### ⑤ストックヤード

作業段階	施工機械	規格	規模
土砂運搬	ホイールローダ	7m <sup>3</sup>	1台
	ダンプトラック	32t	3台
敷均	ブルドーザ	21t級	2台



## 2-4 今後の主な検討事項

### 堆砂対策量

- 堆砂対策量 : 約44万 $m^3$ /年
- 対策土砂量 : 約34万 $m^3$ /年 (浚渫:約14万 $m^3$ /年、掘削(陸上):約20万 $m^3$ /年)
- マージン容量: 設けない
- 堆砂対策工程への分級作業の導入により掘削・浚渫した土砂を分別し、海岸侵食の抑制等に寄与する砂粒径集団のさらなる増加(約20万 $m^3$ /年)を目指す。  
また、掘削・浚渫の試験施工等により、堆砂土砂のデータを蓄積し、土砂収支の精度向上を図る。

### 堆砂対策工法

- 掘削(陸上)土砂の処理 : 系外処理8万 $m^3$ /年  
(骨材利用2万 $m^3$ /年、捨土6万 $m^3$ /年)
  - ⇒ 系外処理土砂の分級方策(礫粒径集団の取出)、掘削場所から積込場までの輸送方法、積み込み場から揚砂場までの湖内輸送のコスト縮減
- 揚砂方法 : 大型クレーンを基本
  - ⇒ 具体の設計
- スtockヤード内の土砂運搬方法 : 引出ベルトコンベヤ+ダンプトラックを基本
  - ⇒ スtockヤードへの運搬(ベルトコンベヤ)ルートを選定、Stockヤード内の土砂集積の形状と手順、下流端堰の構造と運用
- 全体 : 概略設計(設備の基本構成)、概算費用
  - ⇒ (上記及び実行可能性調査の結果を踏まえ)設計内容を更新

### 実行可能性調査

#### <地域社会・環境への影響・対策>

- スtockヤードに集積した土砂の河川還元
  - 水理模型実験 : スtock土砂の侵食特性把握の実験状況(H28年度)  
⇒ 実験結果の分析
  - 下流端堰の構造及び下流河道の形状によるstock土砂の流出・流下特性把握の実施(H29年度)  
⇒ 実験計画の策定
  - 予測計算等 : 土砂濃度の上限目安値3万mg/L  
⇒ 水理模型実験結果を踏まえた予測計算と運用検討
  - 秋葉ダム下流置土実験 : 置土設置状況(H28年度)  
⇒ モニタリング結果の分析
  - 佐久間ダム下流置土実験 : 置土設置状況(H28年度)  
⇒ 実験開始、モニタリング
  - 秋葉ダムスルーシグ実験 : 実験計画  
⇒ H30年度以降実験開始、モニタリング

## 2-5 今回(第4回)委員会の検討内容

### 3. 堆砂対策工法の検討

#### 【内容】

- 堆砂対策施設の基本事項

#### 【確認事項】

- 掘削(陸上)施工・運搬処理方法(案)
  - ・陸上掘削20万m<sup>3</sup>/年の掘削箇所
  - ・積込場の位置、積込場の設定
  - ・積込場までの運搬方法、運搬ルートを選定
- 浚渫施工・運搬処理方法(案)
  - ・湖内輸送における既存施設の活用
- ダム下流ストックヤード(案)
  - ・一次元解析結果
  - ・分流施設の設計の考え方

### 4. 技術開発

#### 【報告事項】

- 管路による土砂運搬
  - ・技術的特徴と課題点
- ベルトコンベヤ発電
  - ・ベルトコンベヤ発電の条件と課題点
- 土運搬船の航行等の自動化
  - ・土運搬船の作業内容と自動化の範囲
- 分級作業
  - ・分級作業の効果と課題

### 5. 実行可能性調査

#### 【内容】

- スtockヤードに集積した土砂の河川還元方法の検討  
(ダム下流ストックヤード諸施設の運用を検討するための水理模型実験及び予測計算手法の提示)

#### 【確認事項】

- 粘着性土砂の侵食特性実験結果
  - ・摩擦速度と侵食速度の関係の評価
- スtockヤードの排砂特性実験計画(三次元模型実験計画)
  - ・実験条件と実験ケース、評価指標
- 平面二次元解析計画
  - ・解析モデル及び解析手法の妥当性

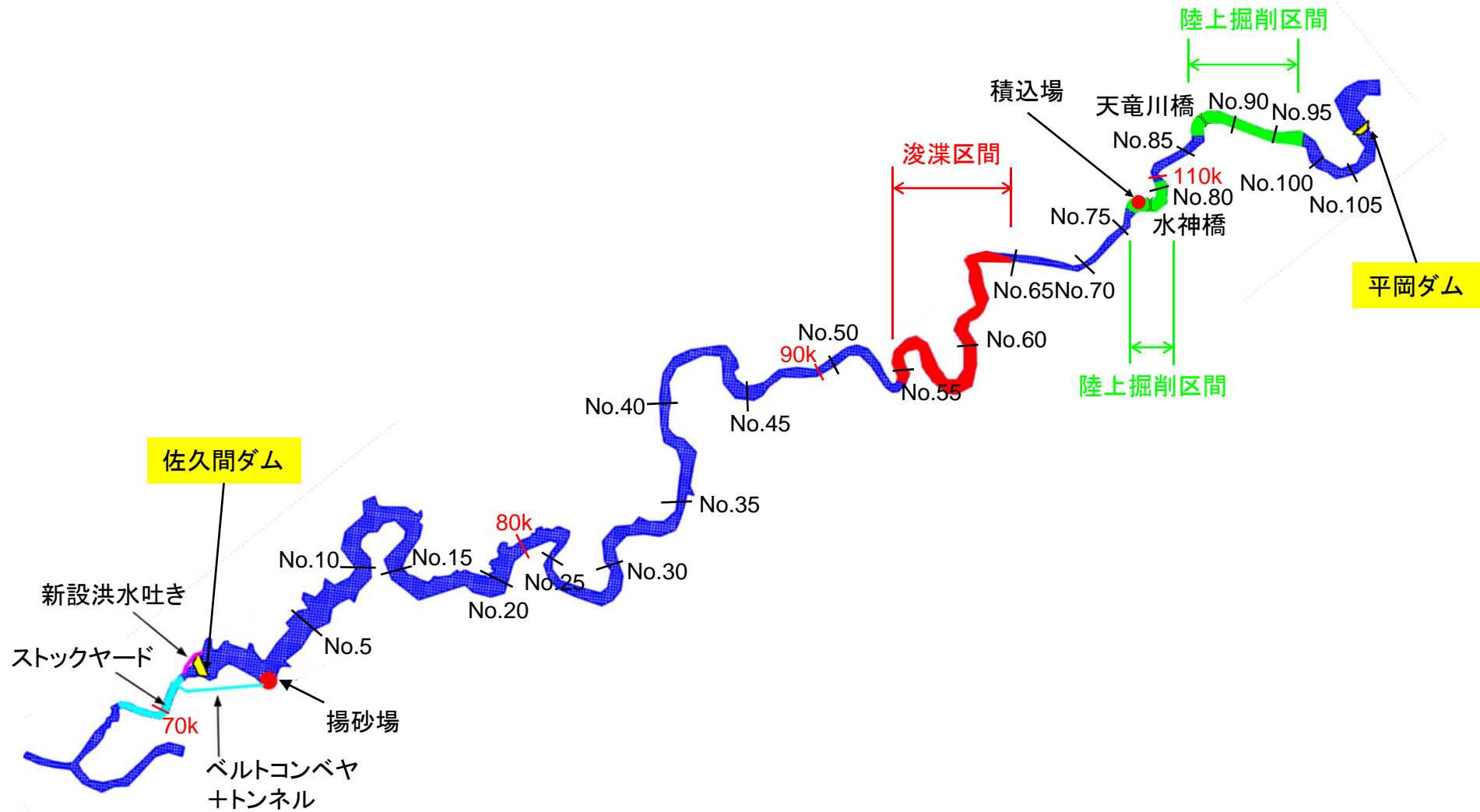
#### 【報告事項】

- 置土実験(これまでの実験結果、今後の実験計画)

### 3. 堆砂对策工法

### 3. 堆砂対策工法(施設全体配置)

佐久間ダム堆砂対策施設の全体配置は下図に示すとおりである。

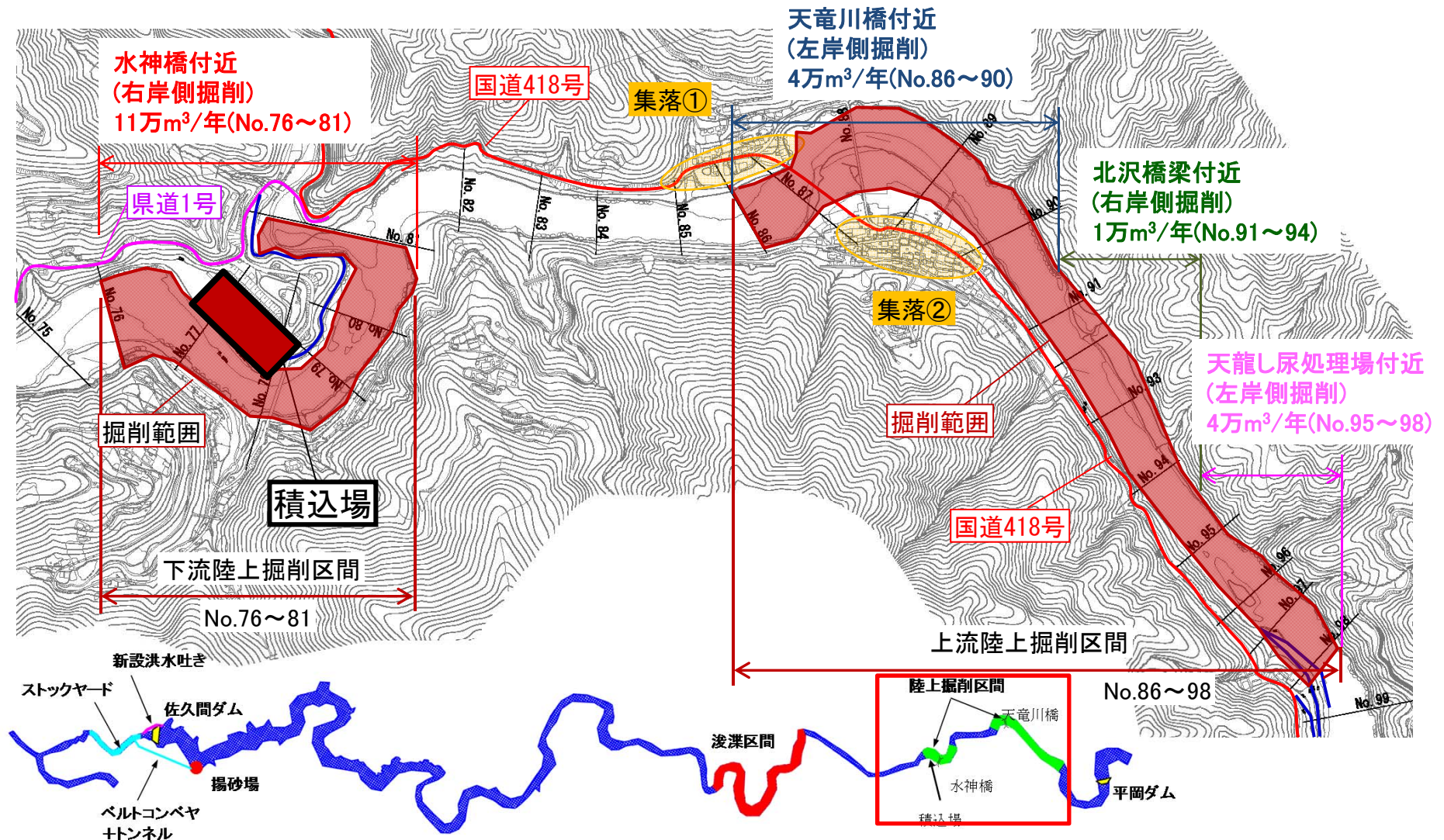


## 3-1. 掘削(陸上)区間

# 3-1-1 陸上掘削箇所及び積込場の設定(案)

【過去の委員会での確認事項】

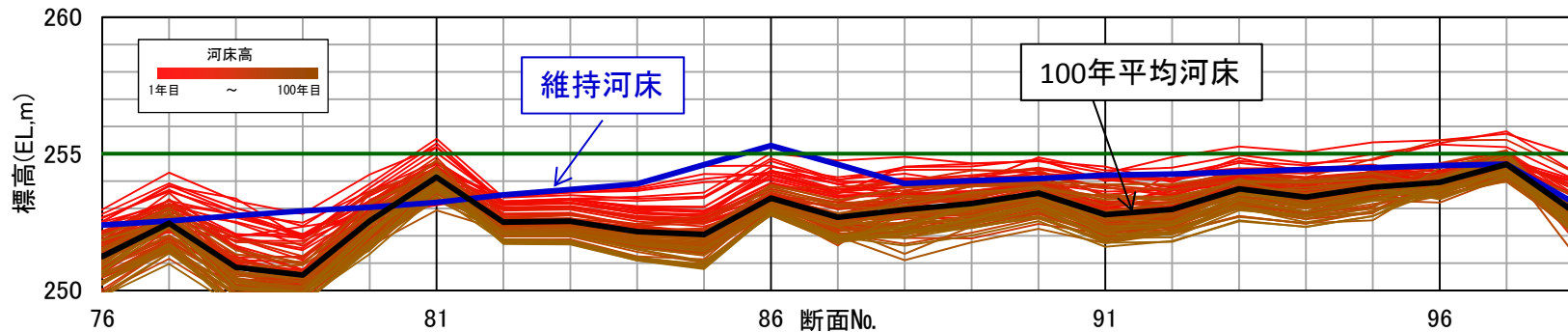
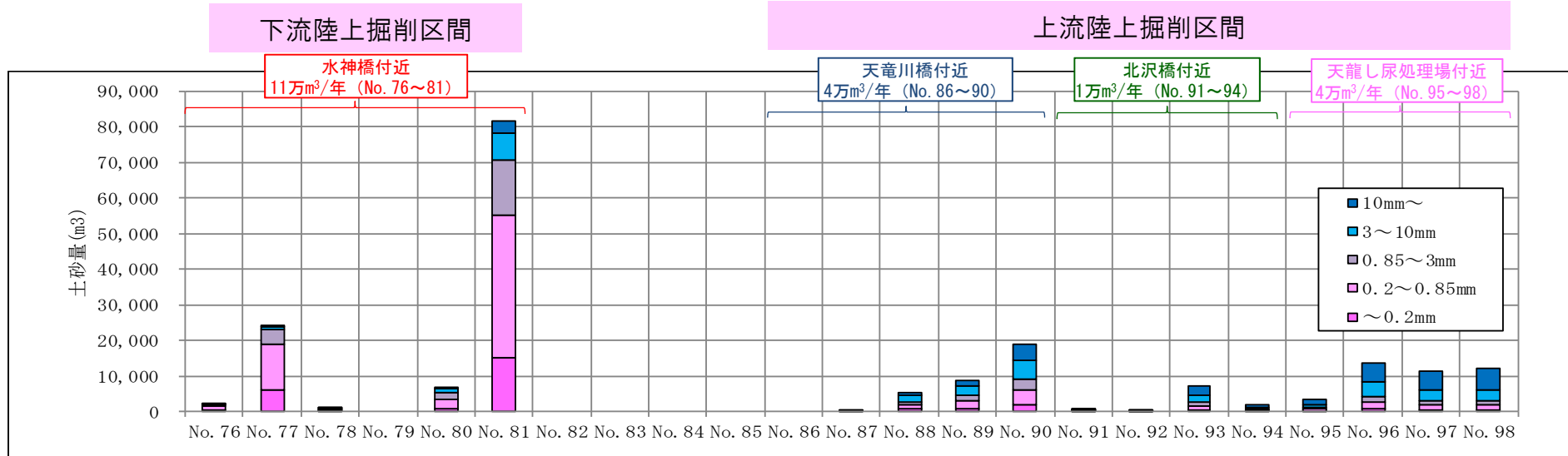
- 陸上掘削20万m<sup>3</sup>/年の掘削箇所は、河床変動計算結果の断面毎の対策土砂量をもとに設定



河床変動計算で設定した断面毎の対策土砂量を参考に、実際の堆砂状況や地形を考慮して掘削箇所を設定した。

# 3-1-1 陸上掘削箇所及び積込場の設定(案)

- 陸上掘削20万m<sup>3</sup>/年の掘削箇所は、河床変動計算結果の断面毎の対策土砂量をもとに4箇所を設定



- 対策箇所と対策土砂量
- (上流陸上掘削区間)
  - 天龍し尿処理場付近(No.95-98) 4万m<sup>3</sup>/年
  - 北沢橋梁付近(No.91-94) 1万m<sup>3</sup>/年
  - 天竜川橋付近(No.86-90) 4万m<sup>3</sup>/年
- (下流陸上掘削区間)
  - 水神橋付近(No.76-81) 11万m<sup>3</sup>/年



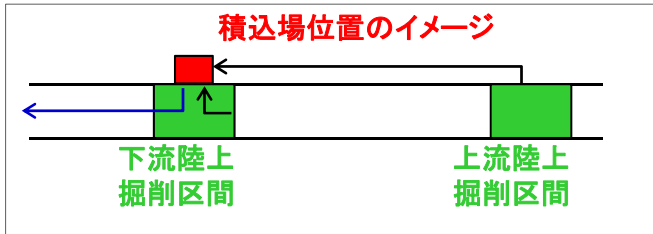
# 3-1-1 陸上掘削箇所及び積込場の設定(案)

## 【積込場の位置設定】

- 陸上掘削土砂の仮置き、土運船への土砂の積込等を行う積込場は、以下の条件を考慮して必要なスペースが確保できるNo.77付近に設定。

### (条件)

- 土砂の総移送距離を短くする。(上流方向への移送を回避する)
- 河川に近く、流過断面に影響を及ぼさない、かつ、作業に十分なスペースを確保する。
- 土砂を搬入するため、現道からのアクセスが容易な位置とする。

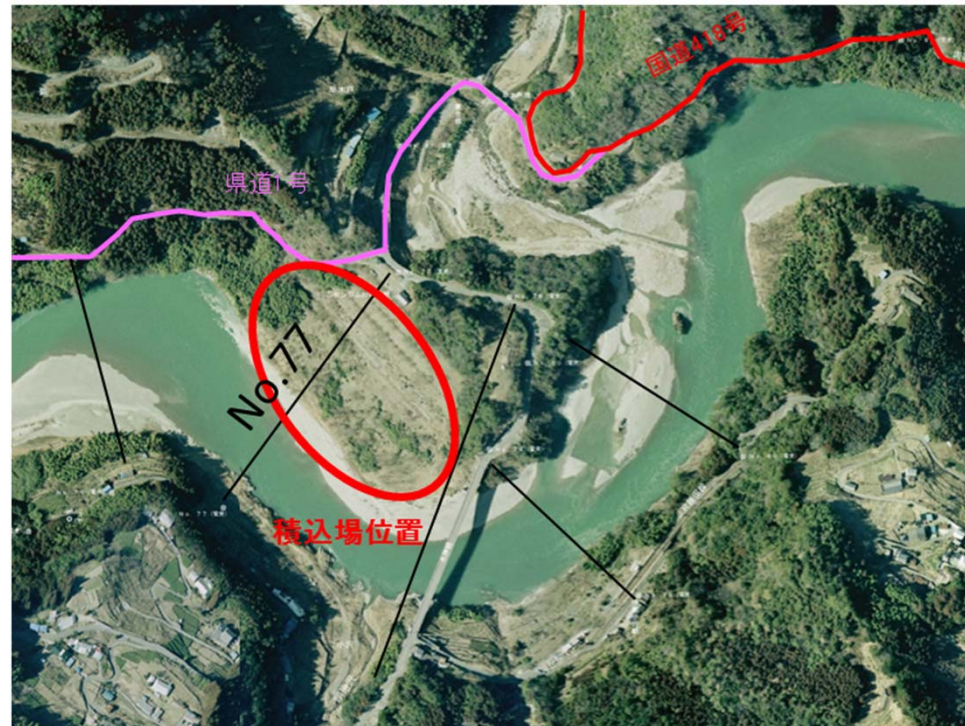
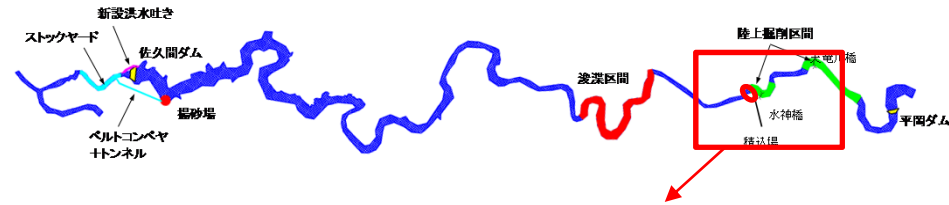


### ■土運船の航行のための水深

土運船の航行のためにNo. 65 (浚渫区間上流端) ~No. 77 (積込場) までの区間で航路浚渫が必要となるが、初年度の航路浚渫により永続的に確保できる計画である。

### ■スペース

土運船により運搬するため、水位が低下している12月から3月まで、陸上掘削土砂を仮置きするスペースが配置可能である。



平場スペースを確保できるNo.77の右岸側に積込場を配置する計画とした。

# 3-1-2 積込場までの運搬方法、運搬ルートを選定

## 【今回の検討課題】

- 地域交通を考慮した積込場までの運搬方法、運搬ルートを選定

### ・基本的考え方

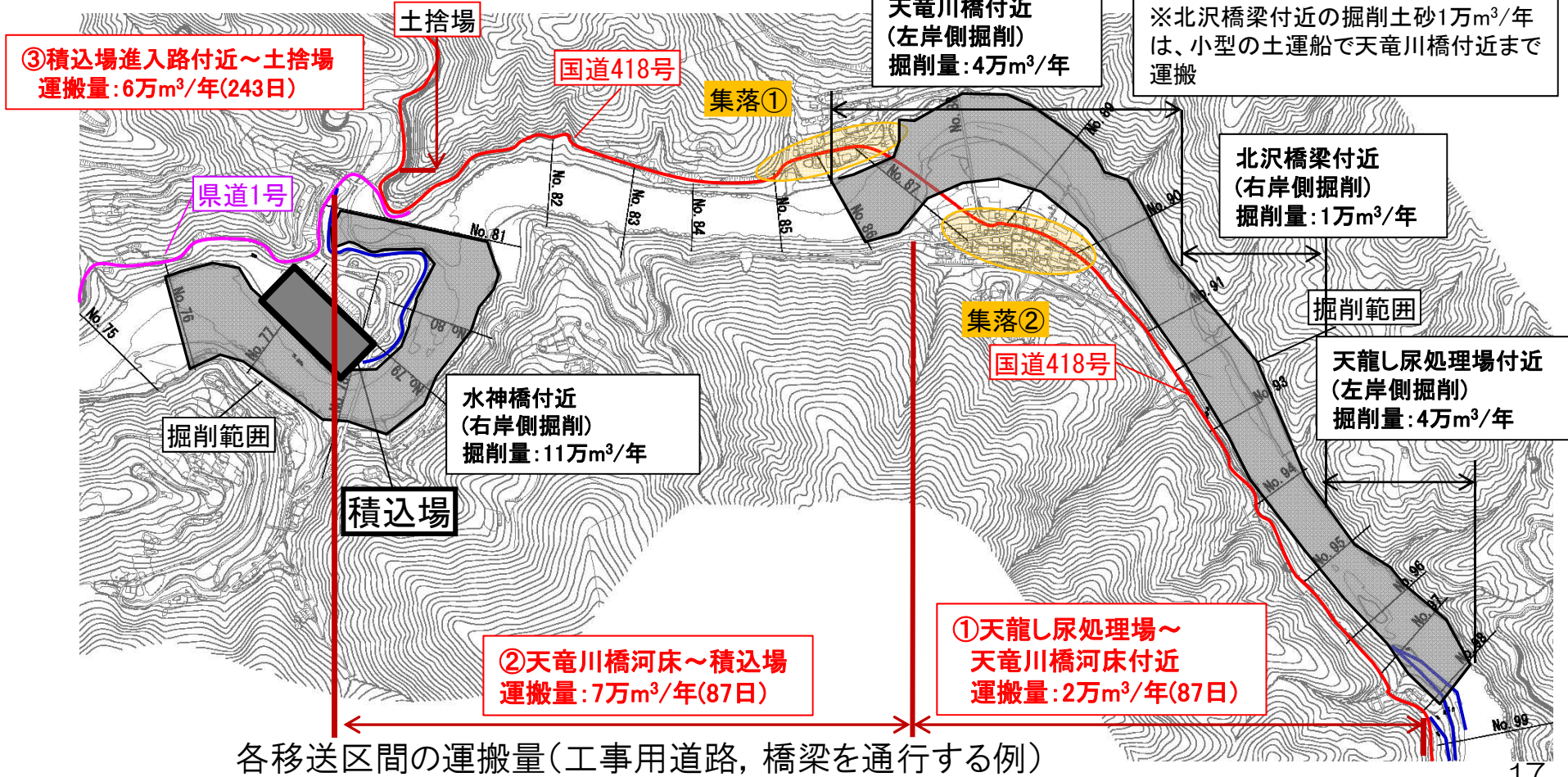
陸上掘削土砂は、ダンプにより運搬する場合、現道の国道418号を通行することが考えられる。しかしながら、ダンプの往来による住民の生活環境の影響を考慮する必要がある。

### ・運搬方法案

案①: ダンプ運搬

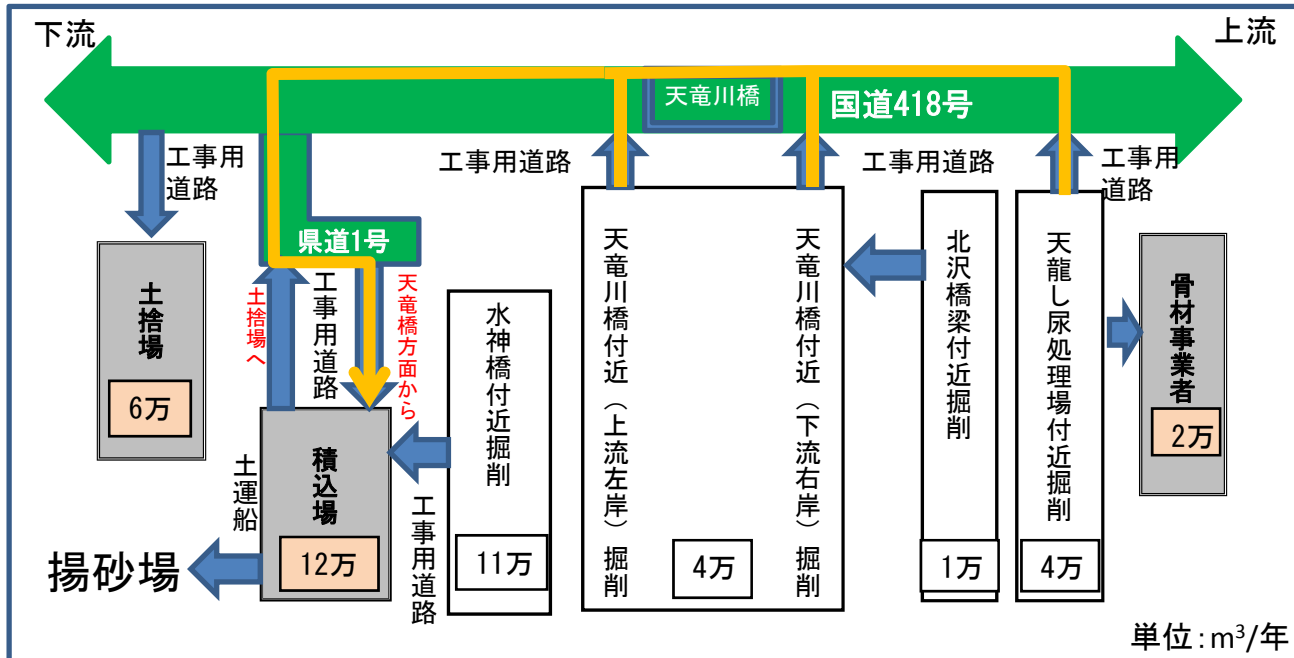
案②: ダンプ運搬と新技術(特殊エジェクター方式)を用いた管路輸送の組合せ

案③: 新技術(特殊エジェクター方式)を用いた管路輸送のみで運搬



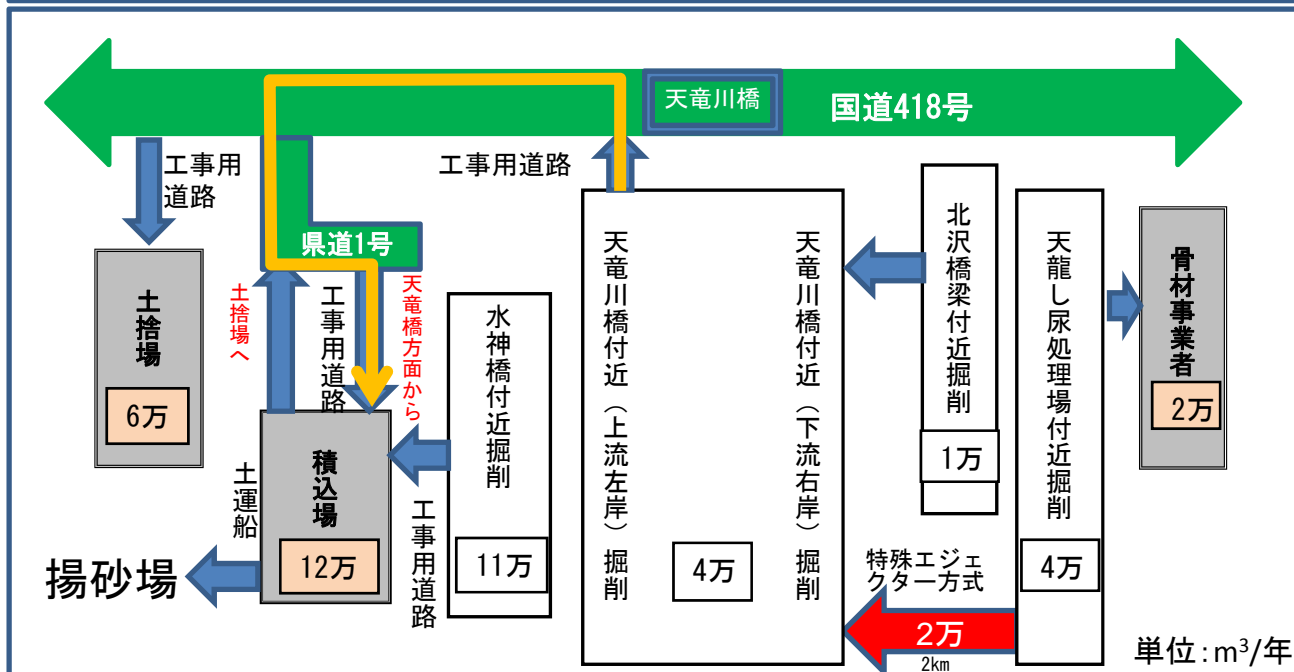
### 3-1-3 運搬方法の検討

比較案①



比較案②-1

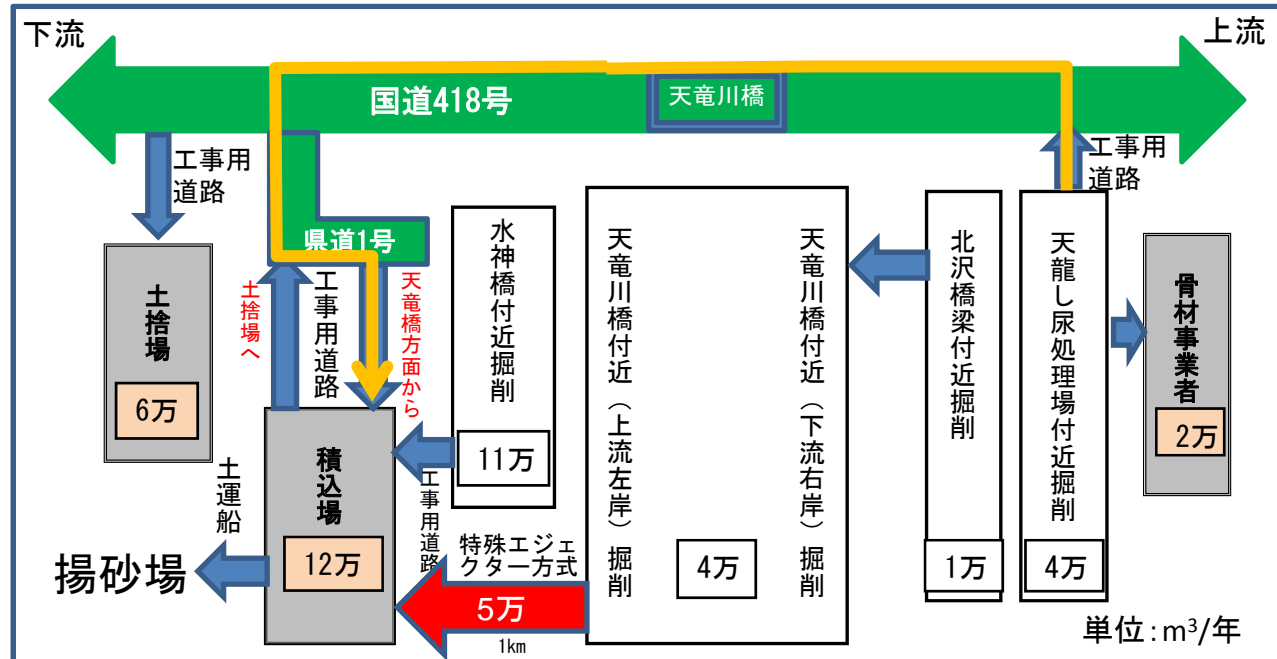
天竜川橋上流に特殊エジェクター方式を使用



### 3-1-3 運搬方法の検討

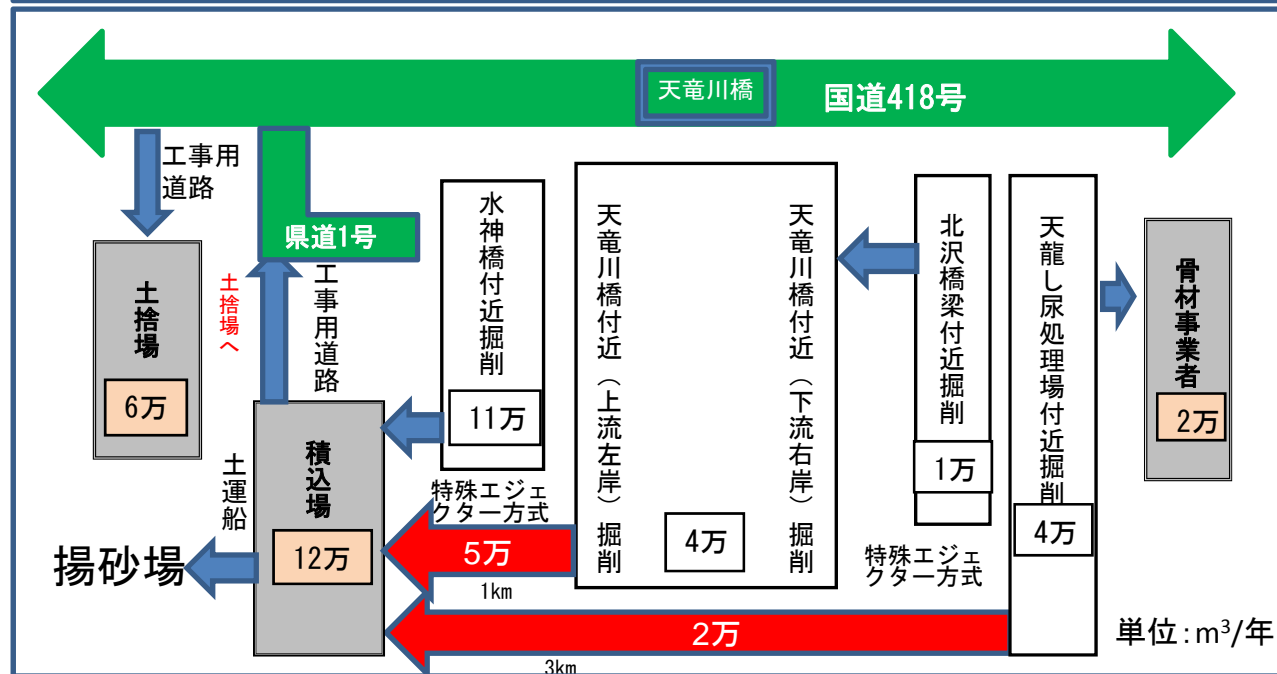
#### 比較案②-2

天竜川橋下流に特殊エジェクター方式を使用



#### 比較案③

天竜川橋上下流に2系列の特殊エジェクター方式を使用



### 3-1-3 運搬方法の検討

#### 各運搬方法案の経済比較

運搬方式	管路輸送	ダンプ輸送	初期コスト	維持コスト	総コスト (50年)	生活環境への影響
比較案① (ダンプ運搬)		2万m <sup>3</sup> 約3km 5万m <sup>3</sup> 約1km	0千円	52,500千円/年	26億円	ダンプ運搬による影響
比較案②-1 (上流側管路)	2万m <sup>3</sup> 約2km	7万m <sup>3</sup> 約1km	30,000千円	124,800千円/年	63億円	ダンプ運搬による影響 特殊エジェクターによる影響
比較案②-2 (下流側管路)	5万m <sup>3</sup> 約1km	2万m <sup>3</sup> ・約3km	15,000千円	104,250千円/年	52億円	ダンプ運搬による影響 特殊エジェクターによる影響
比較案③ (全て管路)	2万m <sup>3</sup> 約3km 5万m <sup>3</sup> 約1km		60,000千円	197,700千円/年	99億円	特殊エジェクターによる影響

- ・総コストでは、ダンプ運搬のみが有利となったが、生活環境への影響懸念される。
- ・特殊エジェクター方式では、維持コストの低減が課題となる。
- ・技術開発による検証を行った上で、有力案の選定を行う。

## 3-2. 浚渫区間

## 3-2 浚渫施工・運搬処理(既存施設の活用)

基本的考え方: 既存施設の活用を図り、維持管理費の低減効果を検討する。

計画している施工機械は、効率よく浚渫するため、大型の機械を用いて1船団により作業する計画であるが、既存施設を活用する場合は、計画よりも小型の機械となるため、浚渫を複数船団で実施することになる。

1船団とする場合でも、浚渫時期が限られることから十分な整備期間があり、故障のリスクは小さいと判断する。

### ■ 設備配置の計画(全て新造船)

作業内容	作業段階	対策土砂量	施工機械	規格	規模		
					第1船団	第2船団	合計
浚渫	浚渫	約14万m <sup>3</sup> /年	グラブ浚渫船	鋼 D5.0m <sup>3</sup> 級	1隻	—	1隻
	土砂運搬 (浚渫土)		土運搬船	650m <sup>3</sup> 級	3隻	—	3隻
			押船	1000PS級	2隻	—	2隻
陸上掘削土 運搬	土砂運搬 (陸上掘削土)	約12万m <sup>3</sup> /年	土運搬船	650m <sup>3</sup> 級	—	3隻	3隻
			押船	1000PS級	—	2隻	2隻

### ■ 既存施設を活用した場合(既存施設を活用する場合でもグラブ浚渫船1隻及び土運搬船2隻の新造が必要)

作業内容	作業段階	対策土砂量	施工機械	規格	規模			合計
					第1-1船団	第1-2船団	第2船団	
浚渫	浚渫	約14万m <sup>3</sup> /年	グラブ浚渫船	1.8m <sup>3</sup> 級	1隻	1隻(新造)	—	2隻
	土砂運搬 (浚渫土)		土運搬船	225m <sup>3</sup> 級	3隻	—	—	3隻
				150m <sup>3</sup> 級	—	4隻	—	4隻
			押船		2隻	3隻	—	5隻
陸上掘削土 運搬	土砂運搬 (陸上掘削土)	約12万m <sup>3</sup> /年	土運搬船	150m <sup>3</sup> 級	—	—	4隻(2隻新造)	4隻
			押船		—	—	3隻	3隻

※陸上掘削土の土砂運搬について、土運搬の必要隻数は浚渫活用分を控除した225m<sup>3</sup>級1隻、150m<sup>3</sup>級2隻に対して、必要新造隻数225m<sup>3</sup>級2隻、150m<sup>3</sup>級2隻となったため、より安価となる150m<sup>3</sup>級2隻新造とした。なお、容量の異なる土運搬を配置すると、運用が複雑となるため混成はしなかった。

#### 参考: 現有船舶の状況

種別	仕様	現有隻数	活用隻数
ポンプ浚渫船	800m <sup>3</sup> 積	2	
グラブ浚渫船	1.8m <sup>3</sup> 級	1	1
ガッドバージ船	900m <sup>3</sup> 積	1	
バックホウ浚渫船	1.2m <sup>3</sup> 級	1	
土運搬船	225m <sup>3</sup> 級	4	3
	150m <sup>3</sup> 級	6	6
押船	—	11	7
クレーン付台船	55t吊(1.4m <sup>3</sup> )	1	
作業船	—	1	
交通船	—	4	
給油船	—	1	

※ポンプ浚渫船は巨石等の障害物を避けて浚渫する必要があるため、河道を全体的に浚渫する必要がある本計画には適さないと判断しているため、活用対象から除外した。

#### 参考: 初期費用の比較

##### ■ 全て新造船

グラブ浚渫船(鋼D5.0m<sup>3</sup>級): 271,000千円×1隻≒ 270百万円(20年)  
 土運搬(650m<sup>3</sup>級): 120,000千円×6隻≒ 700百万円(20年)  
 押船(1,000PS級): 126,000千円×4隻≒ 500百万円(20年)  
 合計 約1,500百万円

##### ■ 既存施設を活用

グラブ浚渫船(鋼D1.8m<sup>3</sup>級): 108,300千円×1隻≒ 110百万円(20年)  
 土運搬(150m<sup>3</sup>級): 87,300千円×2隻≒ 180百万円(20年)  
 ※既存船舶は全て無償で譲渡されるものと仮定する。  
 合計 約300百万円

※1:(年数)は建設機械等損料表による標準使用年数

※2: 既存施設の残使用年数により、経済性のメリットは低下する。

## 3-2 浚渫施工・運搬処理(既存施設の活用)

- ①現時点における電源開発保有船舶の経過年数を算出  
 ②作業船の耐用年数を、建設機械等損料表の標準使用年数による20年で設定。

※建設機械等損料表(標準使用年数) グラブ浚渫船:20年, 土運船:20年, 押船:20年

種別	仕様	現有隻数	就航年	経過年 (2017年時点)	残耐用年数
ポンプ浚渫船	800m <sup>3</sup> 積	2	①1990年 ②1991年	①27年 ②28年	①0年 ②0年
グラブ浚渫船	1.8m <sup>3</sup> 級	1	2006年	11年	9年
ガッドバージ船	900m <sup>3</sup> 積	1	2013年	4年	16年
バックホウ浚渫船	1.2m <sup>3</sup> 級	1	2005年	12年	8年
土運船	225m <sup>3</sup> 級	4	2006年	11年	9年
	150m <sup>3</sup> 級	6	①2005年:4隻 ②2012年2隻	①12年 ②5年	①8年 ②15年
押船	—	11	①1990年:2隻 ②1991年:2隻 ③2001年:1積 ④2005年:3積 ⑤2006年:2隻 ⑥2013年:1隻	①27年 ②26年 ③16年 ④12年 ⑤11年 ⑥4年	①0年 ②0年 ③4年 ④8年 ⑤9年 ⑥16年
クレーン付台船	55t吊 (1.4m <sup>3</sup> )	1	1999年	18年	2年
作業船	—	1	2005年	12年	8年
交通船	—	4	①2004年 ②2006年 ③2017年	①13年 ②11年 ③0年	①7年 ②9年 ③20年
給油船	—	1	2006年	11年	9年

・現時点の電源開発所有の作業船は、ほとんどの船舶が残耐用年数10年未満となる。

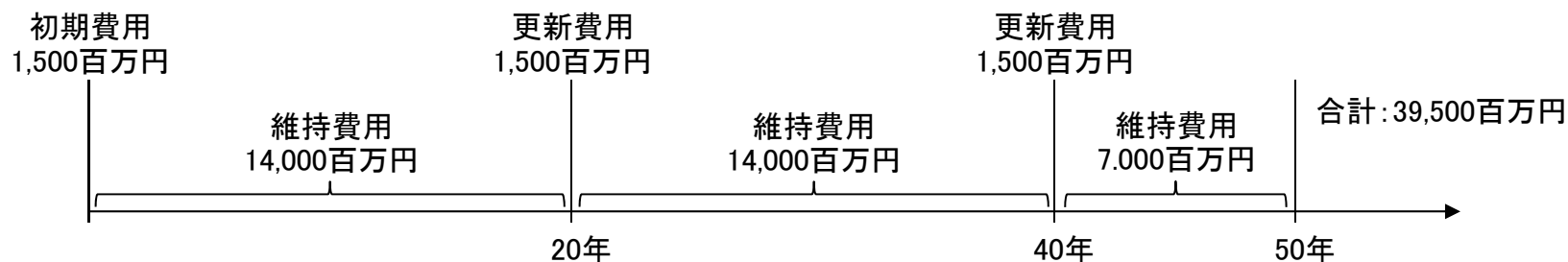
・既存の船舶を利用しても概ね10年以内に更新する必要が生じる。



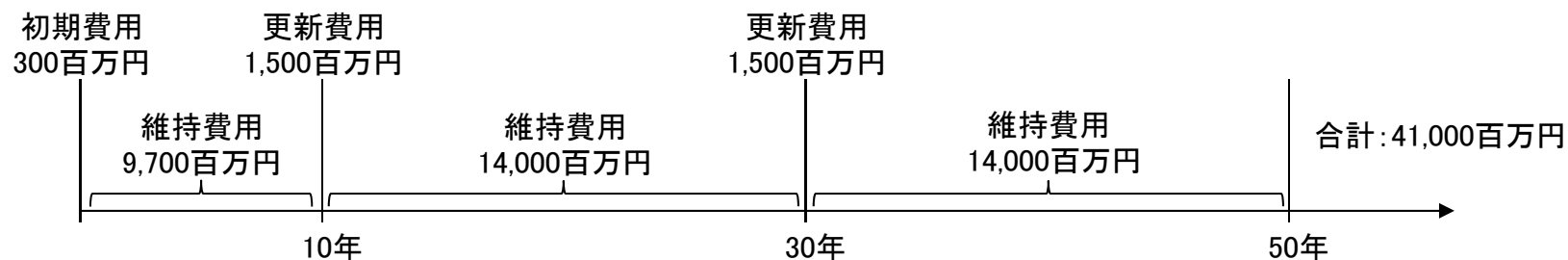
## 3-2 浚渫施工・運搬処理(既存施設の活用)

### コスト比較

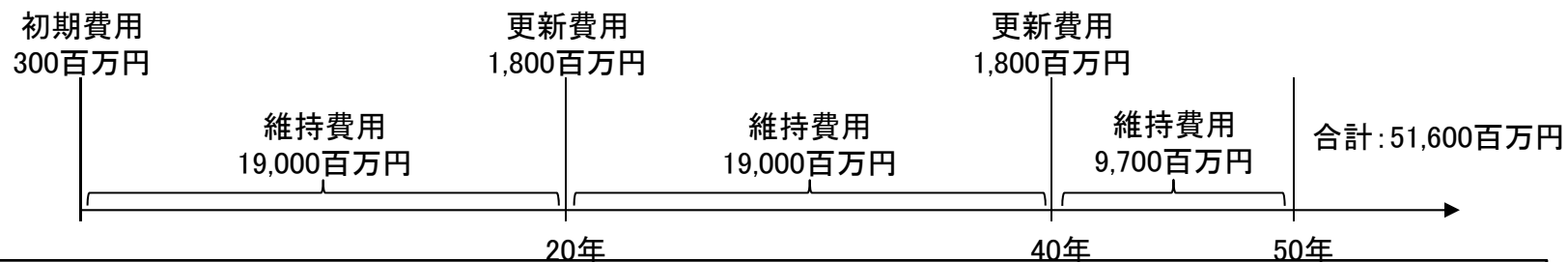
#### ■ケース1(全て新造船)



#### ■ケース2(当初は既存施設を利用し10年後に新造船に切替)



#### ■ケース3(既存施設を利用)



- ・検討期間を50年とした場合、初期費用は高いが、当初から全て新造船とした場合がコスト的に有利となる。
- ・今後は技術開発を考慮した上で、有力案を選定する。

## 3-3. スtockyard


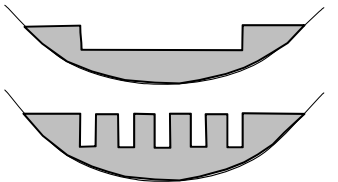
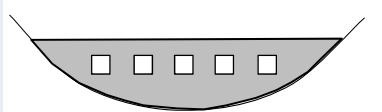
## 3-3-1 1次元解析(H28年度)解析概要

次の点に着目した1次元解析を実施

- ①ストック土砂を確実に排出できるか ②河川還元する土砂の濃度が高すぎないか

### (1)解析目的

下流端堰の設置による効果を①排出土砂の総量, ②土砂濃度(特に、土砂濃度が高くなる排出初期)に着目して以下の表のケースを設定し、検討した。

ケース	ケースA 現況河道	ケースB 自由越流を基本とする堰	ケースC ゲートによる水位制御を基本とする堰
ケースの 考え方	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現状河道での置土の流出過程と土砂の輸送能力を把握する。</li> <li>・他の検討ケースの効果を評価するための基本資料とする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自然調節による堰上げによる置土の流出過程と土砂の輸送能力を把握する。</li> <li>・越流幅(20m~100m(全面越流))の変化による置土の流出過程と土砂の輸送能力の把握</li> <li>・基本構造は敷高がEL.127mの全面越流堰及び幅が5mのスリットを複数配置したスリット堰を想定する。</li> <li>・スリット堰の天端(自由越流頂)標高はEL.137mとする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ゲート調節により初期水位を高く保つことによる置土の流出過程と土砂の輸送能力を把握する。</li> <li>・洪水末期のゲート全開状態での水位低下による置土の流出過程と土砂の輸送能力の把握</li> <li>・基本構造は敷高EL.127m,幅10m,高さ4mのゲート付きオリフィス5条を有する堰を想定する。</li> <li>・天端(自由越流頂)標高はEL.137m以上とする。</li> </ul>
下流端構造の 概念図			
基本機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・旧河道の深部への流れの集中の可能性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・洪水初期の堰上げによる初期流出量の抑制</li> <li>・天端(越流部)は堰上げを極力避ける必要最小限の高さ</li> <li>・洪水初期の堰上げ効果(スリット幅:狭)と土砂通過機能(スリット幅:広)の調整が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・洪水初期の堰上げ効果と土砂通過機能の調整がケースBと比較して容易(ゲート操作)</li> <li>・天端(越流部)は堰上げを極力避ける必要最小限の高さ</li> <li>・ゲートの設置により、湛水域を形成できる</li> </ul>

### (2)解析手法

土木研究所で作成された1次元河床変動計算モデルを用いて解析した。

- ・水理量:一次元不定流計算
- ・掃流砂量:芦田・道上式
- ・浮遊砂量:非平衡モデル(清水らの方法による)
- ・土砂の粘着性:考慮しない。

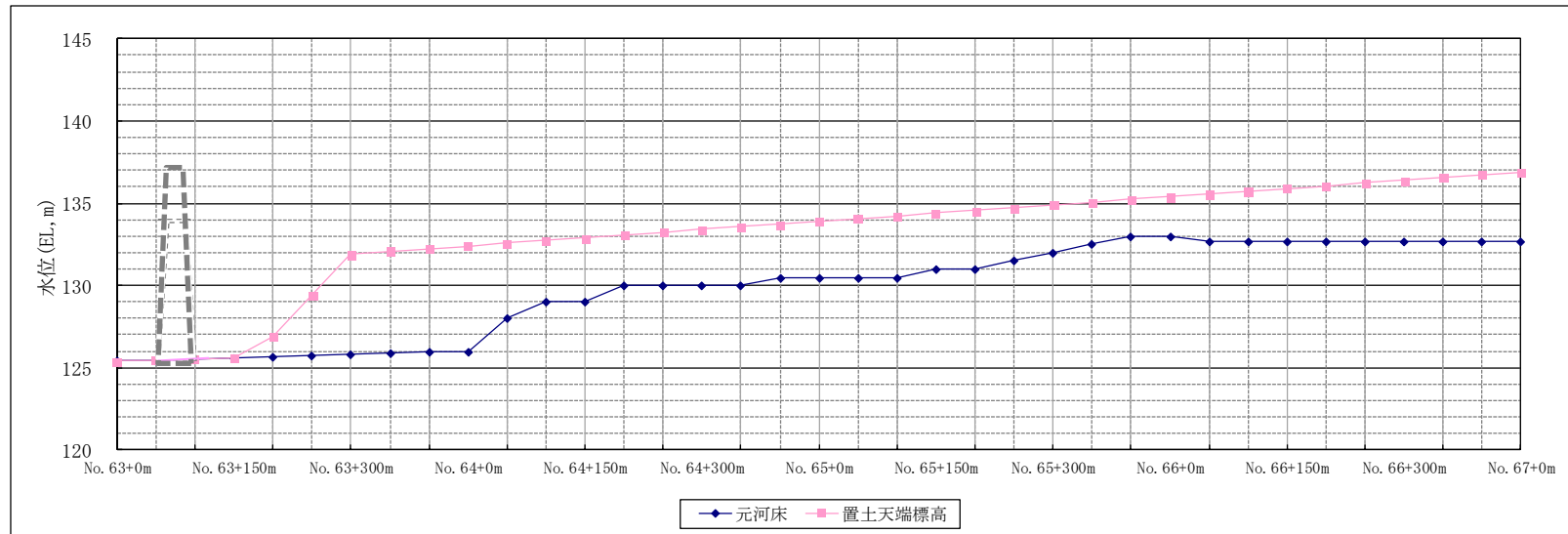
### (3)解析範囲

解析範囲はストックヤード上流端から下流端堰までの約1.8kmの区間とした。

### 3-3-1 1次元解析(H28年度)解析概要

#### (4)置土の設置形状

- ・置土形状は、上流端から現河床勾配程度の1/300勾配とし、下流端は1/20勾配とする。
- ・置土量は25.6万m<sup>3</sup>とする。



#### (5)解析結果

低位越流頂(スリット): 敷高EL.127m  
堤頂(自由越流頂): 敷高EL.137m

オリフィス: 敷高EL.127m, 4m×10m×5門  
堤頂(自由越流頂): 全幅100m

	低位越流頂 越流幅	残土量 (万m <sup>3</sup> )	浮遊砂濁度 [洪水初期] (千mg/L)
ケースA	100m	0 [29時間後]	21
ケースB	50m	0 [33時間後]	11
	40m	0 [45時間後]	10
	35m	0.2	9
	30m	1.3	8
	25m	4.3	6
	20m	10.0	4

	堤頂(自由 越流頂) 標高	残土量 (万m <sup>3</sup> )	浮遊砂濁度 [洪水初期] (千mg/L)
ケースC	EL. 137m	0 [55時間後]	1
	EL. 138m	0 [60時間後]	1


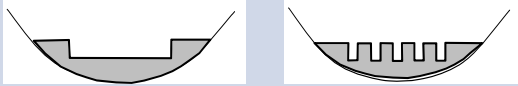
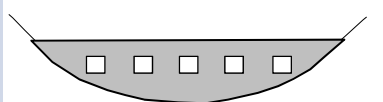
ケースCでは出水初期にEL.132mまで水位維持を図り、その後、自然調節により放流を行うことを想定している。

ケースAは現況河道の結果であるが、全面越流堰の状況とほぼ同じである。

### 3-3-1 1次元解析(H28年度)解析概要

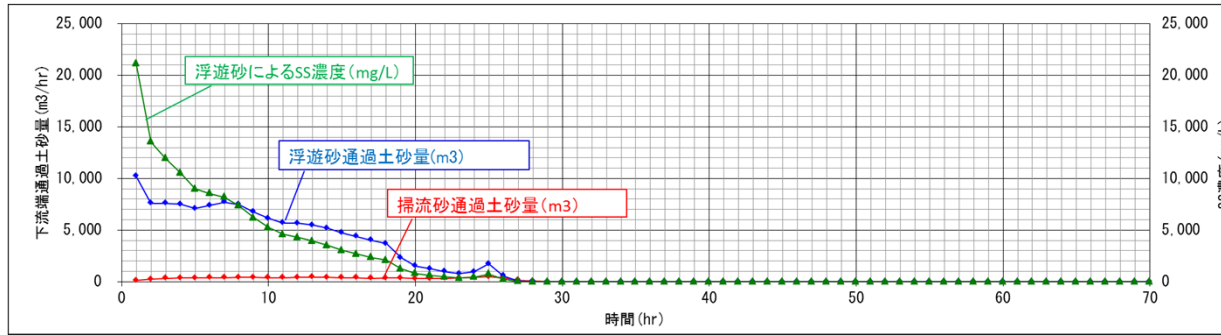
流れの3次元性が考慮されていない1次元解析結果であるが、置土はほぼ全量流出できると予想される。

(詳細は、今後、平面2次元解析及び水理模型実験により確認する)

ストックヤード下流端の構造		ケースA 現況河道	ケースB 自由越流を基本とする堰	ケースC ゲートによる水位制御を基本とする堰
概念図				
基本機能		<ul style="list-style-type: none"> <li>旧河道の深部への流れの集中の可能性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>洪水初期の堰上げによる初期流出量の抑制</li> <li>天端(越流部)は堰上げを極力避ける必要最小限の高さ</li> <li>洪水初期の堰上げ効果(スリット幅:狭)と土砂通過機能(スリット幅:広)の調整が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>洪水初期の堰上げ効果と土砂通過機能の調整がケースBと比較して容易(ゲート操作)</li> <li>天端(越流部)は堰上げを極力避ける必要最小限の高さ</li> <li>ゲートの設置により、湛水域を形成できる</li> </ul>
確実性(排出土砂総量)		[29時間で全置土排出]	[越流幅40m以上で全量排出]	[55時間で全置土排出] 堤頂EL.137mの場合
経済性	初期コスト	小 [構造物なし]	中 [コンクリート構造物]	大 [コンクリート構造物+ゲート]
	維持コスト	小 [施設維持なし]	中 [コンクリート構造物の維持]	大 [コンクリート構造物とゲートの維持]
柔軟性		排砂コントロール不可	排砂コントロールある程度可能	排砂コントロール可能
地域社会・環境への影響	最大SS濃度	大 [21千mg/L]	中 [10千mg/L(越流幅40m)]	小 [2千mg/L(堤頂EL.137m)]
	SS継続時間	小 [29時間]	中 [45時間(越流幅40m)]	大 [55時間(堤頂EL.137m)]
評価		<ul style="list-style-type: none"> <li>洪水初期のSSが高く、コントロールもできない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>洪水初期のSSは高めであるが、ケースAと比較すると低い。スリット幅を狭めてSSを低減させると、土砂の排出機能が小さくなる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ゲート操作により洪水初期のSSを抑えることが可能であり、排出土砂総量も増加させられる柔軟性があり、機能的に最も優れる。</li> </ul>
備考		<ul style="list-style-type: none"> <li>置土が乾燥状態となることにより排出土砂総量が減少する場合、散水による対応が必要である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>置土が乾燥状態となることにより排出土砂総量が減少する場合、散水による対応が必要である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>湛水域の形成により、置土を湿潤状態に保てる。</li> <li>湛水により平時の濁水対策が可能である。</li> </ul>

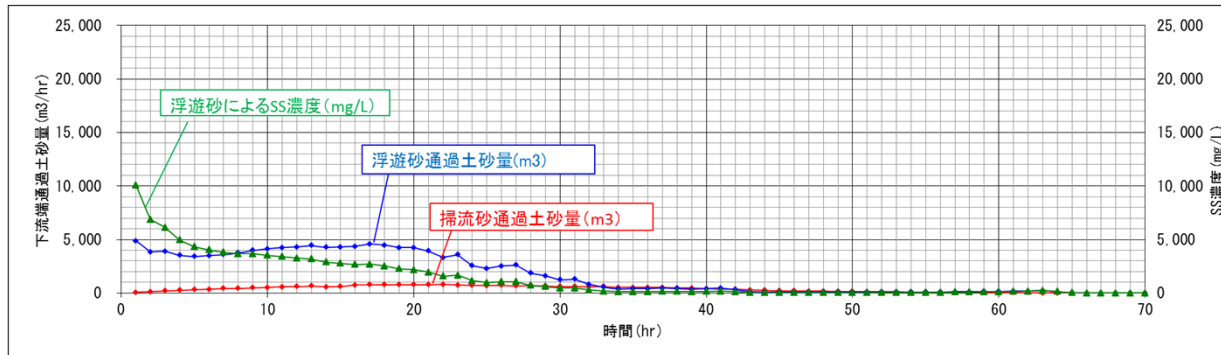
# 3-3-1 1次元解析(H28年度)解析概要

## ■解析結果(ケースA: 現況河道)



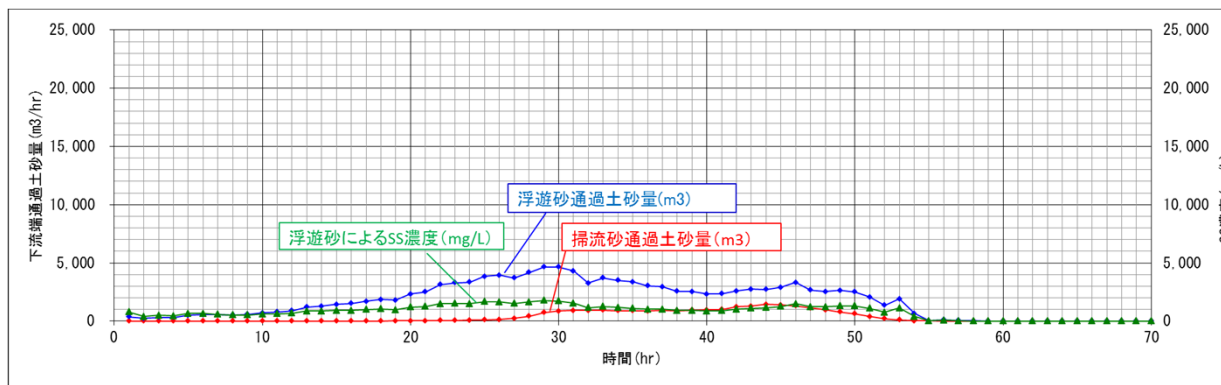
- ・現況河道の計算結果であるが、堰高の低い全面越流堰の機能とほとんど同じであると考えられる。
- ・勾配変化点の崩壊により、土砂排出開始直後の排出量が大きくなる。

## ■解析結果(ケースB: 自由越流を基本とする堰)



- ・検討ケースの内、越流幅40mの事例を示す。
- ・土砂排出開始直後に勾配変化点の崩壊が起こるが、堰上げ効果により堰の直上流に一時的な堆積が生じる。
- ・土砂排出開始直後の排出量は比較的大きいが、現況河道と比較すると1/2に押さえられている。

## ■解析結果(ケースC: ゲートによる水位制御を基本とする堰)



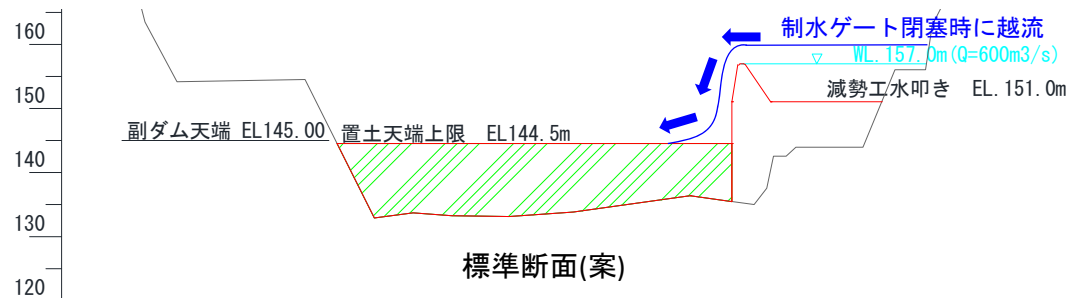
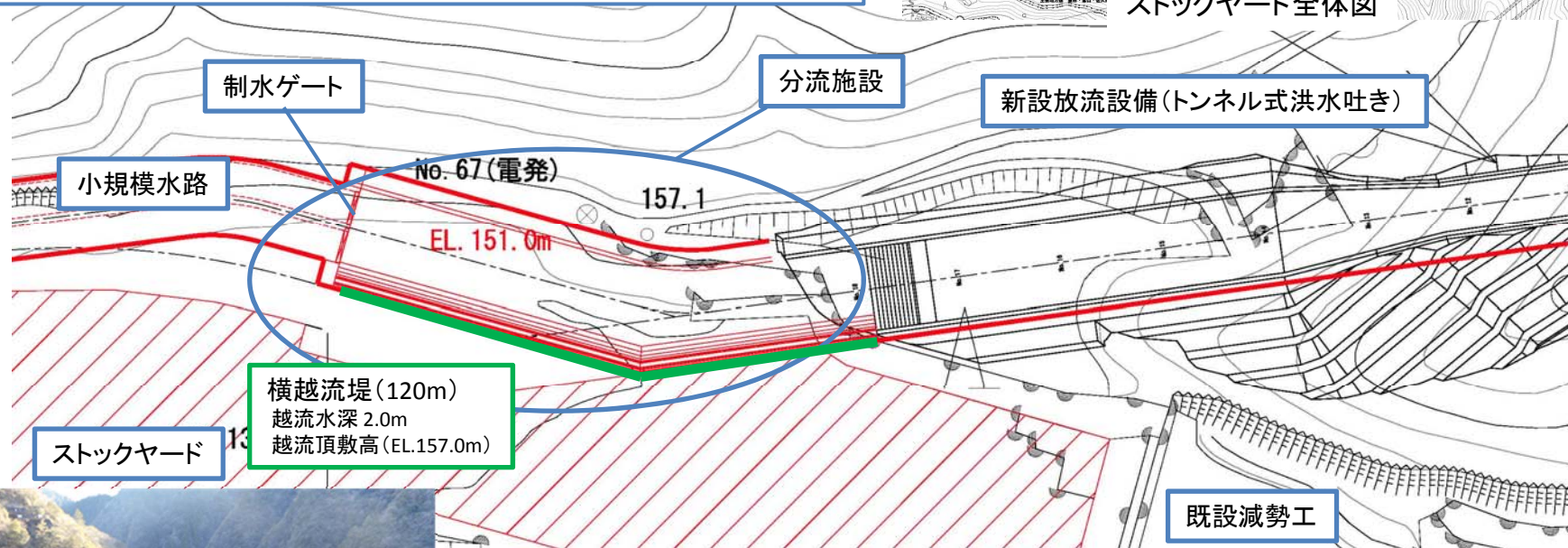
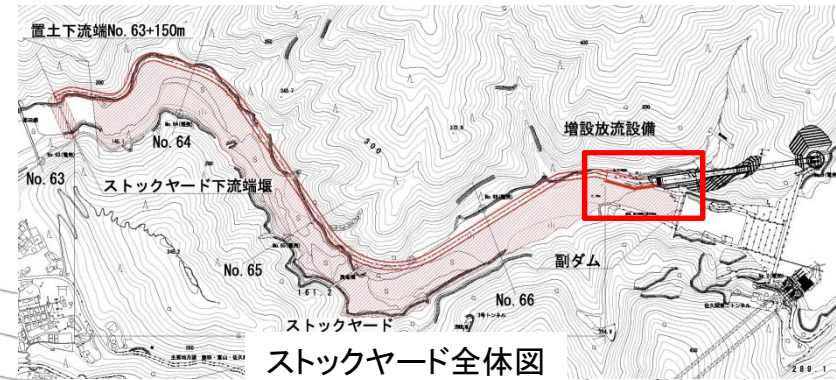
- ・検討ケースの内、堤頂EL.137mの事例を示す。
- ・堰上げ効果により、土砂排出開始直後に勾配変化点の崩壊が押さえられており、土砂排出量も比較的小さい。
- ・放流水の最大SS濃度は30時間後に生じている。

H29. 11. 20修正 字句の誤り (誤) m3 → (正) m3/hr  
 字句の誤り (誤) 濁度 → (正) SS濃度  
 字句の誤り (誤) 万m3 → (正) m3

## 3-3-2 ダム下流ストックヤード(分流施設)

### 分流施設の考え方

- ・分流施設は新設放流設備の2次減勢工としての減勢機能を有し、小規模水路への流れを常流とする。
- ・制水ゲートを閉じることにより、横越流堤から自然越流させてストックヤードへ導水する。
- ・分流施設の線形は、河道の方向や河道幅を考慮した複数案を設定し今後の水理実験を用いて評価する。
- ・制水ゲートは流量制御の機能を有する設備とする。
- ・ストックヤードへは十分に減勢された流況で分流する。

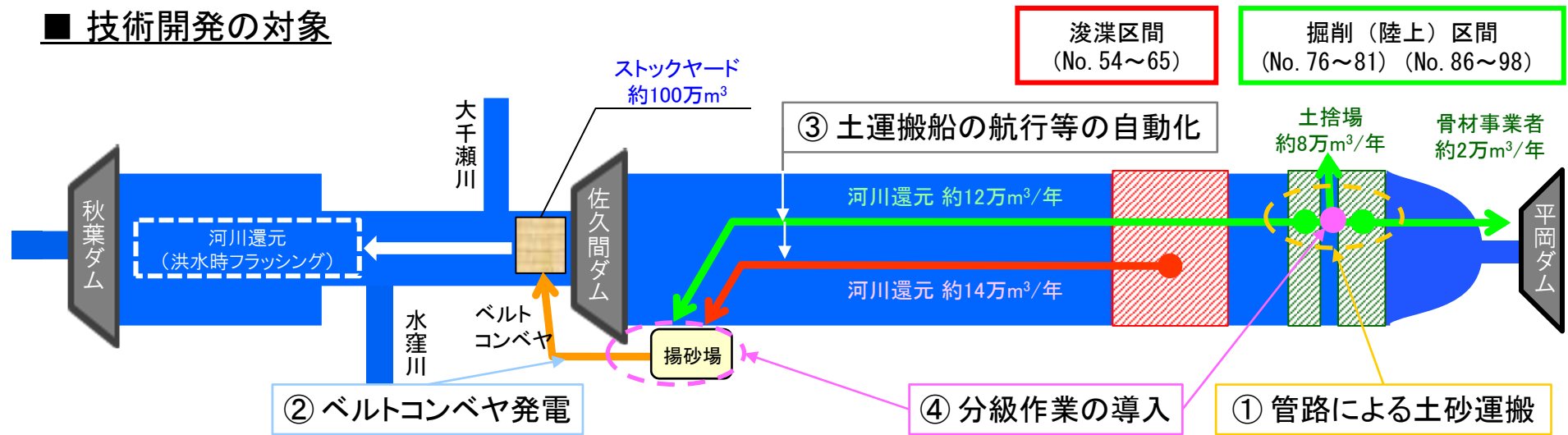


## 4. 技術開発



# 4-1 技術開発の課題と方向性

## ■ 技術開発の対象



## ■ 技術開発の目的等

	目的					開発のスピード感
	維持管理 コスト削減	省エネ・ 省力化	環境負荷 軽減	作業効 率向上	河川海岸 環境改善	
① 管路による土砂運搬	○	○	○	○	/	ダンプ運搬で道路改良を要する場合は [急]
② ベルトコンベヤ発電	○	○	○	/	/	ベルトコンベヤの設計に反映するため [急]
③ 土運搬船の航行等の自動化	○	○	/	○	/	自動化の有無により船舶の種類が変わ る場合は[急]
④ 分級作業の導入	○	/	/	/	○	①②と関連して検討(②との関連で場合 によっては[急])

## 4-2 管路による土砂運搬(技術開発1)

### ■当事業への適用の検討方針

土砂運搬による周辺生活環境への影響を軽減するため、ダンプ運搬の代替案としての特特殊エジェクター方式の適用性を向上させる。

適用対象区間	天龍し尿処理場付近掘削区間→積込場(約3km) 年間2万m <sup>3</sup> 天竜川付近掘削区間→積込場(約1km) 年間5万m <sup>3</sup>
技術特徴	・粒径150mm以下の土砂の搬送が可能。 ・構造がシンプルで土砂や木片が詰まりにくい。 ・搬送距離の実績は最大1kmである。
課題点	①輸送能力を向上させることにより維持管理費を低減することができる。 ②1km以上の運搬では、特殊エジェクターを1km間隔で付加することが想定されるが、設置・連結方法(中継技術)を開発する必要がある。 ③経路の途中で新たな土砂投入を可能とすることにより適用性が向上する。 ④運搬可能粒径が150mm以下であり、掘削区間の土砂の輸送は基本的には問題ないが、実際の堆積状況に応じて簡易スクリーンによる分級が必要となる。 ⑤出水時は運転しないが、土砂投入施設及び管路設備の流水に対する安全性を確保する必要がある。

この他、適用対象として、積込場から浚渫区間上流端までの航路浚渫区間2.9kmで年間12万m<sup>3</sup>の土砂輸送が想定されるが、経済性に優れた航路浚渫による土運船活用が有利と判断している。

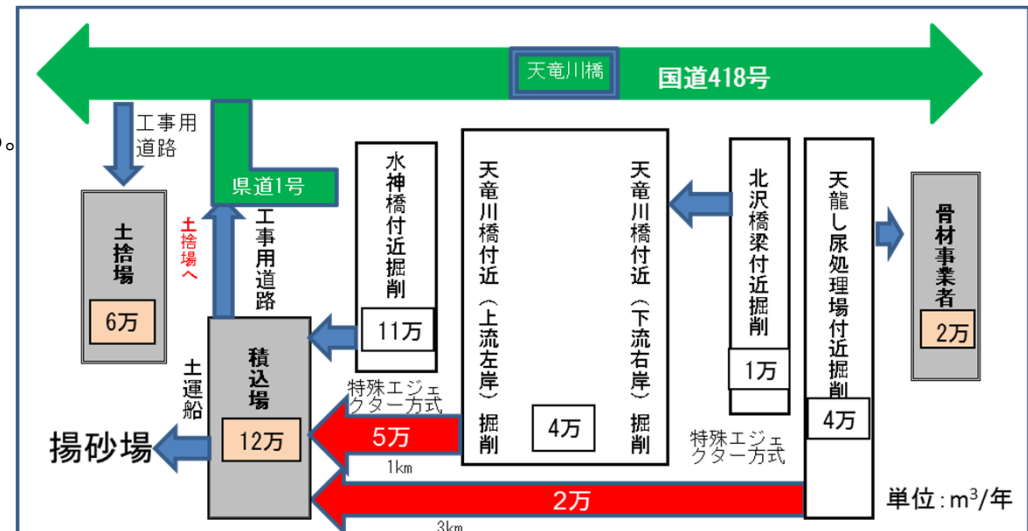
### ●技術開発の目標

課題の内④及び⑤は既存技術の範疇であるので以下を目標課題とする。

- ①輸送能力向上に関する技術開発
- ②1km以上の輸送距離に対応するための中継技術の開発
- ③連結地点での新たな土砂投入を可能とする切替装置の開発

### ●今後の課題

- ・維持コストの縮減を検討する。
- ・技術開発及び実証実験等について、民間技術の活用方法を含めて、実施方法・手順を検討する。



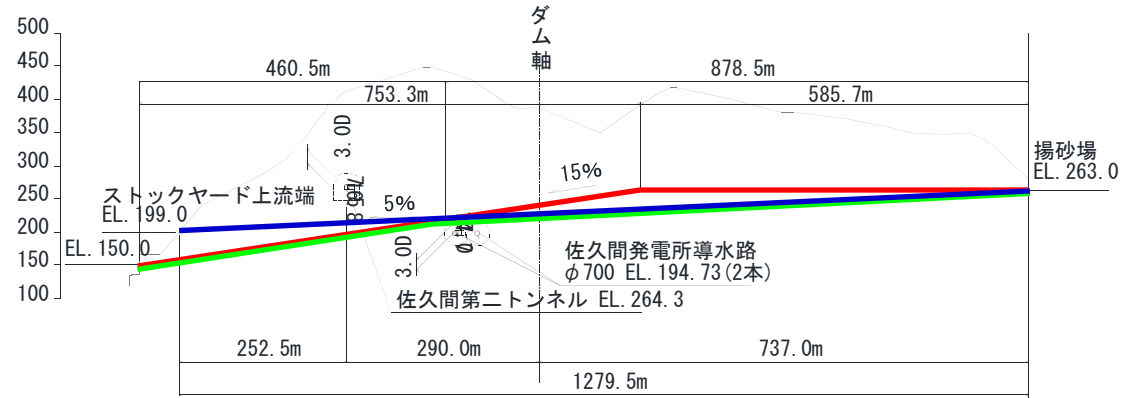
# 4-3 ベルトコンベヤ発電(技術開発2) 揚砂場～ストックヤード上流端

## ■当事業への適用の検討方針

維持管理費の低減を図るためベルトコンベヤによる斜行発電の適用性を検討する。

## ■ベルトコンベヤの縦断配置

- ①: 始端標高=EL.263m(揚砂場標高), 終端標高=EL.150m(副ダム天端標高+5m)とした場合の高低差113mによる。
- ②: メーカーヒアリング(15~20%を推奨)と他事例(勾配20%で発電を実施し、10%では実施していない)による。



## ■経済性比較

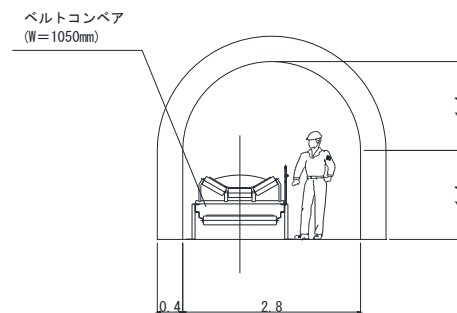
斜行発電	①トンネル工事費	②回生発電施設初期費用	③ベルトコンベヤ初期費用	④施設維持管理費	⑤基本料金, 消費電力料金	⑥発生電力量, 余剰電力量, 売電額	総コスト ①+②+③ +(④+⑤-⑥)×50年
有①	トンネル延長: 1,339m ずり出し方法: タイヤ方式 工事費: 15.8億円/km×1,339m=21.2億円	1.0億円	11.5億円	1.5億円/年	基本料金: 889千円/年 消費電力量: 31,960kWh	発生電力量: 91,800kWh 余剰電力量: 59,840kWh 売電額: 598千円/年	110.8億円
有②	トンネル延長: 1,339m ずり出し方法: タイヤ方式 工事費: 15.8億円/km×1,339m=21.2億円	1.0億円	11.5億円	1.5億円/年	基本料金: 343千円/年 消費電力量: 3,740kWh	発生電力量: 47,600kWh 余剰電力量: 43,860kWh 売電額: 439千円/年	110.6億円
無	トンネル延長: 1,278m ずり出し方法: レール方式 工事費: 13.7億円/km×1,278m=17.5億円	—	11.0億円	1.4億円/年	基本料金: 328千円/年 消費電力量: 3,570kWh 電気料金: 61千円/年	—	97.1億円

注1) 斜行発電有の④施設維持管理費は、回生発電施設の更新を10年に1回見込み年あたり0.1億円を見込んだ。  
注2) 基本料金は水平部の通常積載状態での所要出力が大きく、斜行発電有の方が高価となる。

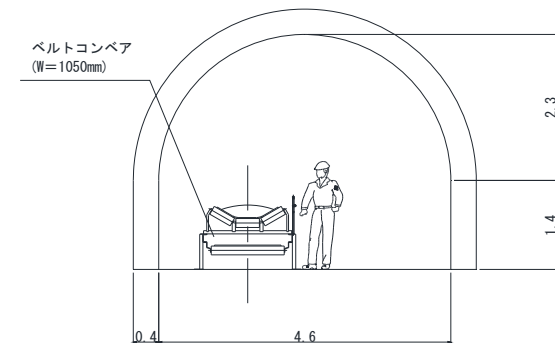
## ■課題

ベルトコンベヤによる斜行発電を実施した場合、実施しない場合を比較して、コスト面で高価となるが、今後、斜行発電による電力の他への転用も検討を進め、有力案の選定を行う。

ベルトコンベヤ吐出口とストックヤードとの高低差(約50m)の活用も検討する。



トンネル断面(レール方式施工)



トンネル断面(タイヤ方式施工)

H30. 2. 13修正 図の誤り 右上断面図の修正

## 4-4 土運搬船の航行等の自動化(技術開発3)

### ■当事業への活用

- 河川還元を行う土砂の運搬は土運搬船による湖内輸送を計画
- 航路は起終点を設定
- 土運搬船の航行や浚渫作業、揚砂作業の自動化の技術開発によりコスト縮減や少力化等を検討

### ■土運船の自動化の課題

- 土運船を自律船として自動航行した事例は、港湾浚渫等を含めても今までない。
- 貨物船については外洋での自動航行に向けて各所で取り組みがなされ、技術的には実現可能と考えられる。
- 佐久間ダム貯水池で適用する場合、航行する船舶数が限られることが有利な点となるが、航行可能範囲が限られること、洪水後に地形形状が変化すること、GPSの感度が低いことなどの不利な点も多い。
- システムの整備に要する費用が多大となり、コスト増となる可能性もある。
- 佐久間湖内で、釣り用ボートが利用されており、接触の恐れがある。



### ○今後の課題

- ・実現性の可否についてヒアリング等により現状を把握する。
- ・配置概念(集中制御室や船舶)や船舶の必要装備等を整理する。

## 4-4 土運搬船の航行等の自動化(技術開発3)

### ■事例紹介

#### ● 自律船(無人化)に向けた取り組み(海外)

「プロジェクトMUNIN」: EU支援の研究プロジェクトで、港間の無人航海の「ロボット船」を開発中

##### メリット

- ・オペレーターひとりで複数の船を操舵
- ・衝突などの海上事故が減少
- ・エネルギー消費量が減少
- ・保守整備の必要性が減少

##### デメリット

- ・故障時に航行が不可能になる可能性がある。

#### ● 自律船(無人化)に向けた取り組み(国内)

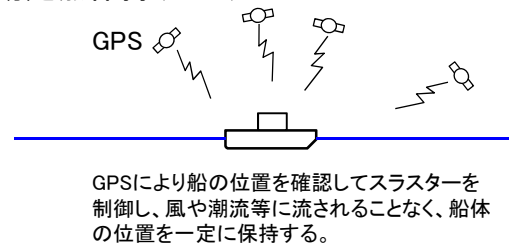
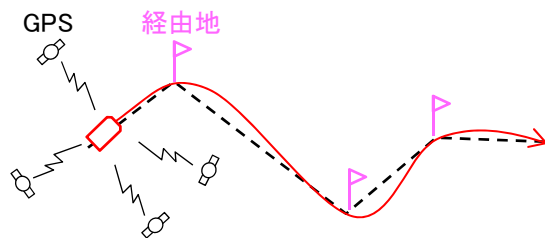
平成29年度交通運輸技術開発推進制度の研究課題「自律型海上輸送システムの技術コンセプトの開発」

- ・船舶の自動・自律運航技術の導入による安心・安全で効率的な海上輸送システムの実現に向け、自動運航船の技術コンセプトを構築し、自律化レベルを具体化するとともに、必要となる技術の開発ロードマップを策定する。
- ・これにより、自動運航船による自律型海上輸送システムの社会実装に向けた道筋が明確になり、実現に向けた国際基準の策定を進めるとともに、必要となる技術開発・実証を促進する。

自動定点保持機能を有する自動操舵装置を装備した船舶の例

#### ● 自動操舵システム, 自動定点保持システム

- ① 浚渫位置から揚砂場までの自動航行 → 自動操舵(ルートトラックング)      ② 浚渫位置での接舫, 揚砂位置での接岸, 停泊 → 自動定点保持(DPS)



自動定点保持機能を有する自動操舵システムは、クルーボート, シャトルタンカー, 浚渫船, クルーズ船, 測量船, ケーブル敷設船等の多種の船舶で用いられている。

なお、自動操舵と自動定点保持機能を有する操舵装置としては以下のものがある。

- ・総括操縦装置(KICS: Kawasaki Integrated Control System), 川崎重工株式会社
- ・NavDP4000シリーズ, Navis Engineering(海外)社製, 株式会社マリックス輸入代行



ケーブル敷設台船「天山」, 一本松物流株式会社  
川崎重工HP(<https://www.khi.co.jp/machinery/product/ship/kics.html>)より



地球深部探査船「ちきゅう」, 国立研究開発法人 海洋研究開発機構  
国立研究開発法人 海洋研究開発機構HP  
(<http://www.jamstec.go.jp/chikyuj/>)より

# 4-4 土運搬船の航行等の自動化(技術開発3)

## 自動航行システム

### 事例・特徴等

- ・港湾浚渫では自動化によるグラブ浚渫を実施している。
- ・グラブの昇降、掴み取り、位置の微調整は自動で、移動は手動である。なお、異常が生じた場合(例えばグラブに大木等が挟まれた場合)は停止し、手動運転に切り替えて対応している。
- ・作業効率は、熟練したオペレータによる作業に比べると劣る。
- ・開発したきっかけは、将来想定される熟練オペレータの減少に対して、一定以上の作業効率を確保するためである。
- ・現在自動化している船舶はかなり大型のものであるが、船舶規模が小さくてもシステムの適用は可能である。

浚渫船 全景



浚渫船 旋回台



浚渫用発電機  
561Kw×2

バケツ用ウインチ室

電気室:リチウムイオン電池

ハイブリッド機能及び全自動運転システムを装備するグラブ浚渫船  
(NETIS登録番号:KKK-130001-A)

作業	項目	現状		自動化		無人化	
移動 (土運船、 浚渫船)	事例	・あり	○	・なし	△	・なし	△
	GPS精度	・現状で問題ない	○	・将来的に改善	△	・将来的に改善	△
	人員	・操舵手+作業員	○	・安全最少定員までは削減可	○	・法律が対応していない。	×
	異常時 対策	・配置した人員で対応	○	・配置した人員で対応	○	・設備の2重化が必要 ・他船への安全対策が必要	△
浚渫作業 (浚渫船)	事例	・あり	○	・あり	○	・なし	△
	GPS精度	・現状で問題ない	○	・将来的に改善	△	・将来的に改善	△
	異常時 対策	・配置した人員で対応	○	・配置した人員で対応	○	・流木等を掴んだ際の対応(システム)が必要	×
積み込み、 揚砂時の 停泊 (土運船)	事例	・あり	○	・あり(調査船などによるDPS機能)	△	・なし	△
	GPS精度	・現状で問題ない	○	・将来的に改善	△	・将来的に改善	△
	異常時 対策	・配置した人員で対応	○	・配置した人員で対応	○	・揚砂作業に対する発進のタイミング調整が必要	×

(○:現時点で事例等があるもの △:事例等がないものの関連する技術の開発等が実施されているもの ×:現時点では事例等がないもの)

### ■土運船の無人化・自動化に関する関連法令

- ・現行の法律(船舶職員及び小型船舶操縦者法)では、船長及び船長以外の船舶職員として、それぞれ海技免状を受有する海技士を乗り組ませなければならないとなっているが、乗組み基準の特例として、国土交通大臣が国土交通省令に定める事由等により乗組み基準によらないことを許可できるとされている。

## 4-5 分級作業の導入(技術開発4)

### ■分級作業の目的

- 掘削・浚渫した土砂を粒径で分別し、海岸侵食の抑制等に寄与する砂粒径集団の河川還元量増加を目指す
- また、砂粒径集団の河川還元量を増加させる観点から、民間砂利採取においても分級作業の導入を検討する。

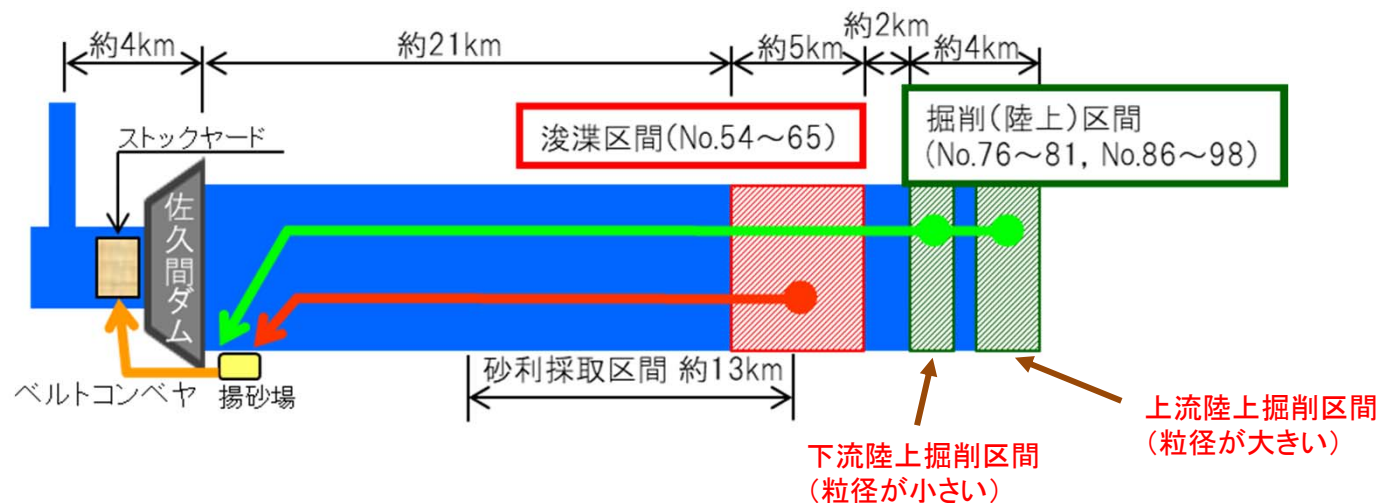
### □ 分級の検討方針

陸上掘削区間の土砂は、上流ほど粒径が大きくなるもので構成される。

そのため、陸上掘削箇所の粒度構成を考慮して、大きな粒径の土砂を優先して土捨場へ搬出する。

さらに、砂分を増加させるため、土捨場に運搬する土砂に対して分級作業を導入する。

必要に応じて、ストックヤードの礫分を減少させるための分級を揚砂場で検討する。



掘削箇所	断面番号	陸上掘削区間の粒度構成				
		~0.2mm	0.2~0.85mm	0.85~3mm	3~10mm	10mm~
下流陸上掘削区間	No.76~No.81	19.8%	49.5%	18.8%	8.6%	3.3%
上流陸上掘削区間	No.86~No.98	7.0%	18.9%	12.2%	27.5%	34.4%
合計		14.4%	36.5%	16.0%	16.6%	16.5%

# 4-5 分級作業の導入(積込場での分級検討)

分級無し(これまでの検討)

シルト粒径集団	~0.2mm
砂粒径集団	0.2mm~0.85mm
礫粒径集団	0.85mm~

単位:万m<sup>3</sup>/年

ストックヤード⑧	26
シルト	6
砂	12
礫	8

浚 渫 ④	14
シルト	5
砂	8
礫	1

掘 削 (下流陸上) ②-1	11
シルト	1.6
砂	5.4
礫	4.0

掘 削 (上流陸上) ②-2	9
シルト	0.4
砂	1.6
礫	7.0

系外処理 ③-1 (土捨場)	6
シルト	0.7
砂	2.3
礫	3.0

系外処理 ③-2 (骨材事業者)	2
シルト	0.3
砂	0.7
礫	1.0

案1:上流掘削区間(掘削土量9万m<sup>3</sup>)は礫分の割合が多いため土捨場への搬入を優先する

・上流陸上掘削土9万の内、骨材事業者への引渡し分2万を除いた7万の内、6万を直接土捨場へ輸送する。1万を下流ストックヤードに運搬する。

ストックヤード⑧	26
シルト	6.7
砂	13.5
礫	5.8

浚 渫 ④	14
シルト	5
砂	8
礫	1

掘 削 (下流陸上) ②-1	11
シルト	1.6
砂	5.4
礫	4.0

掘 削(上流陸上) (②-2)- ((③-1)+(③-2))	1
シルト	0.1
砂	0.1
礫	0.8

掘 削 (上流陸上) ②-2	9
シルト	0.4
砂	1.6
礫	7.0

系外処理 ③-1 (土捨場)	6
シルト	0.2
砂	1.1
礫	4.7

系外処理 ③-2 (骨材事業者)	2
シルト	0.1
砂	0.4
礫	1.5

案2:土捨て場に運搬してしまっている砂分を分級作業により、河川還元を用いる。

・上流陸上掘削区間の骨材事業者への引き渡し分を除く7万を分級し、0.85mmより粒径の大きな5.5万を土捨場へ運搬する。  
・下流陸上掘削区間の1.4万m<sup>3</sup>を分級し、粒径が0.85mm以上の0.5万を土捨場へ運搬する。

ストックヤード⑧	26
シルト	6.9
砂	14.6
礫	4.5

浚 渫 ④	14
シルト	5
砂	8
礫	1

掘 削 (下流陸上) ②-1	11
シルト	1.6
砂	5.4
礫	4.0

掘 削(上流陸上) (②-2)-(③-2)	7
シルト	0.3
砂	1.2
礫	5.5

掘 削 (上流陸上) ②-2	9
シルト	0.4
砂	1.6
礫	7.0

系外処理 ③-1 (土捨場)	6
シルト	0.5
砂	6.0
礫	0.5

系外処理 ③-2 (骨材事業者)	2
シルト	0.1
砂	0.4
礫	1.5

分級して、礫のみを土捨場へ運搬

## ・分級の効果

・下流河道への砂分(粒径0.2~0.85mm)の還元量は掘削土砂の採取箇所により分別することにより13.5万m<sup>3</sup>/年に増加させることができる。  
・分級作業を導入し、0.85mm以下はすべて河川還元することで14.6万m<sup>3</sup>/年に増加させることができる。(分級対象8.4万m<sup>3</sup>/年)

## ・分級の課題点

・振動スクリーンによる0.85mm以下の分級は、対象土砂が乾燥している状態が前提  
・土砂の乾燥は天日干しでは不十分であり、ヒーターによる乾燥作業(燃料代)が必要  
・乾燥度合いは、実際の掘削土を用いた試験施工により定めることが必要  
・エジェクターポンプを用いた場合、水路を用いた分級が可能であるが詳細は試験等により定めることが必要



## 5. 実行可能性調査

## 5-1 実行可能性調査の検証事項(検証内容)

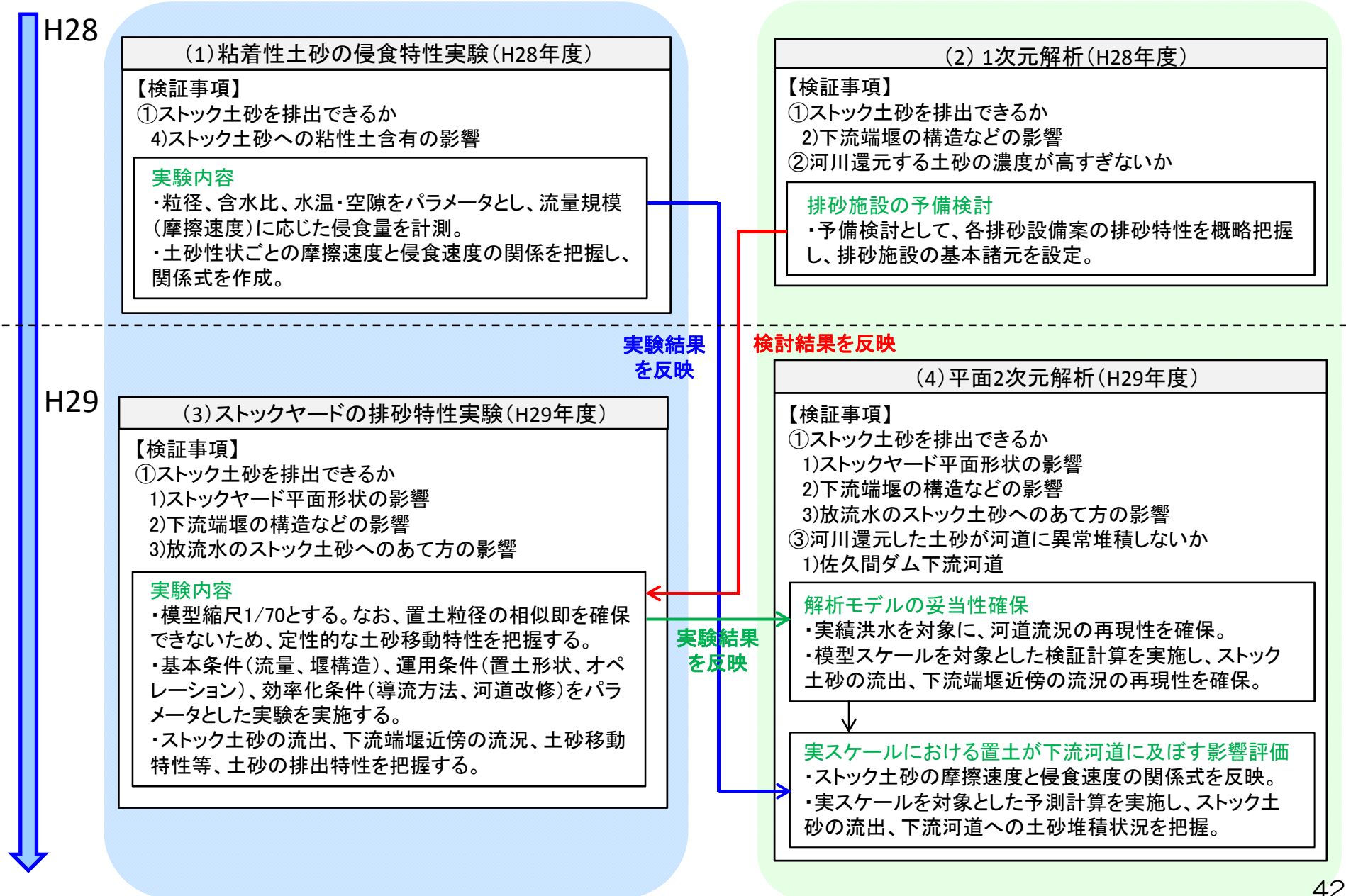
検証事項		検証内容	水理模型実験	予測計算等
①ストック土砂を排出できるか	1)ストックヤード平面形状の影響	流量規模、置土設置状況に伴うストックヤード内の放流水の流下状況、土砂の移動形態を把握し、適正な置土条件を検討。 (着目点) ・偏流の発生、置土侵食、土砂流下状況の現象把握 ・排砂特性の変化	H29	H29
	2)下流端堰の構造などの影響	水理模型実験による下流端堰の影響把握と最適堰形状の選定。 実験結果を用いた河床変動解析モデルの校正。 (着目点) ・HQ関係の把握と、大流量時の水位堰上げによる掃流力の低下 ・ゲート部への土砂堆積、排砂特性の変化	H29	H28 H29
	3)放流水のストック土砂へのあて方の影響	分流施設及び小規模水路途中からの放流による、残留土砂の軽減方法の検討。 (着目点) ・対策の有無による土砂排出効果	H29	H29
	4)ストック土砂への粘性土含有の影響	ストック土砂に含まれる粘性土砂が置土侵食に及ぼす影響把握。 (着目点) ・土砂性状ごとの摩擦速度と侵食速度の関係を把握し、関係式を作成	H28	-
②河川還元する土砂の濃度が高すぎないか		放流初期の置土流出に伴う濁度量、濁度変化を把握。 (着目点) ・下流端堰構造に伴う土砂流出量(浮遊砂による濁度)の時系列変化	-	H28
③河川還元した土砂が河道に異常堆積しないか	1)佐久間ダム下流河道	置土実験および予測計算による土砂移動状況の把握 (着目点) ・洪水後の河道堆積の可能性とその影響	-	H29
	2)秋葉ダム貯水池	スルーシング実験及び予測計算による土砂移動状況の把握 (着目点) ・洪水後の貯水池内堆砂とその影響	-	H29
	3)秋葉ダム下流河道	置土実験及び予測計算による、土砂移動状況の把握 (着目点) ・洪水後の河道堆積の可能性とその影響	-	H29
④平常時に濁水が流出しないか		ストックヤードからの濁水の流出状況の検討。 (着目点) ・盛土の含水分による細粒分の流出 ・降雨による細粒分の流出 ・沢水等による細粒分の流出	詳細な設計段階での検討	

# 5-1 実行可能性調査の検証事項(水理模型実験と予測計算の役割分担)

時間軸

水理模型実験

予測計算

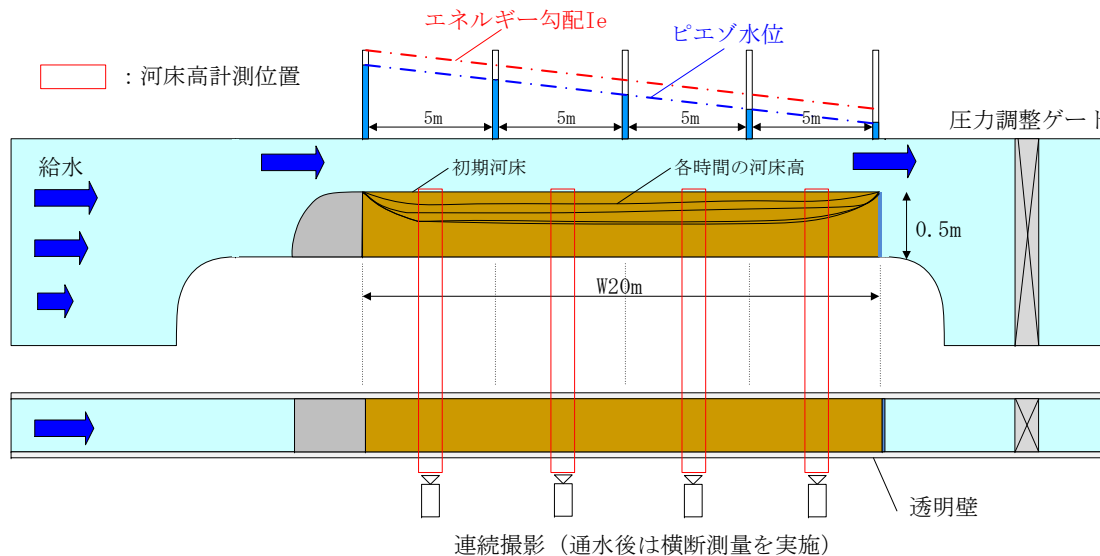


## 5-2 (1) 粘着性土砂の侵食特性実験(H28年度) 実験概要

【検証事項】 ①ストック土砂を排出できるか 4)ストック土砂への粘性土含有の影響

- スtockヤード内に配置する土砂の想定される性状ごとの摩擦速度と侵食速度の関係を把握して、施設諸元の検討に用いる数値解析での試算に反映する。

### ■ 実験施設・実験計測項目の概要



実験水路と実験計測のイメージ図

#### 【主な計測項目】

##### ○通水流量

- ・水路上流の配管に設置されている電磁流量計により水路内の流量を計測
- 土砂に作用している摩擦速度を算出するために計測

##### ○ピエゾ水位

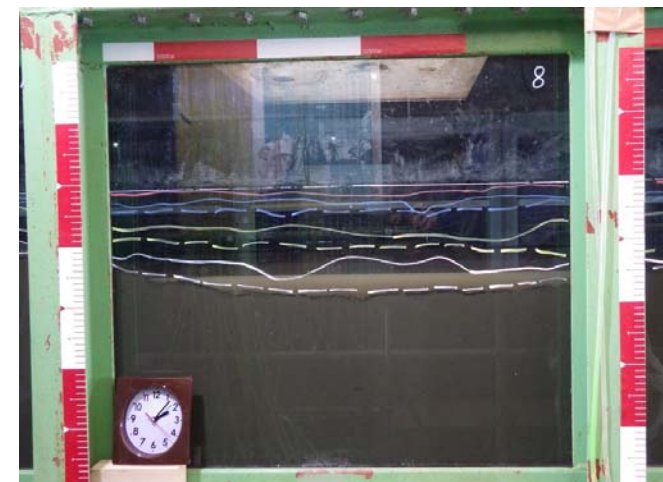
- ・水路上面に設置したピエゾの水位から、水路縦断のエネルギー勾配を計測
- 土砂に作用している摩擦速度を算出するために計測

##### ○河床高(側面からの目視計測)

- ・水路側面のガラス面から目視により河床高の経時変化を計測
- 土砂の侵食速度を算出するために計測



実験水路全景写真



実験状況写真

# 5-2 (1)粘着性土砂の侵食特性実験(H28年度) 実験条件

## ■ 実験条件の設定

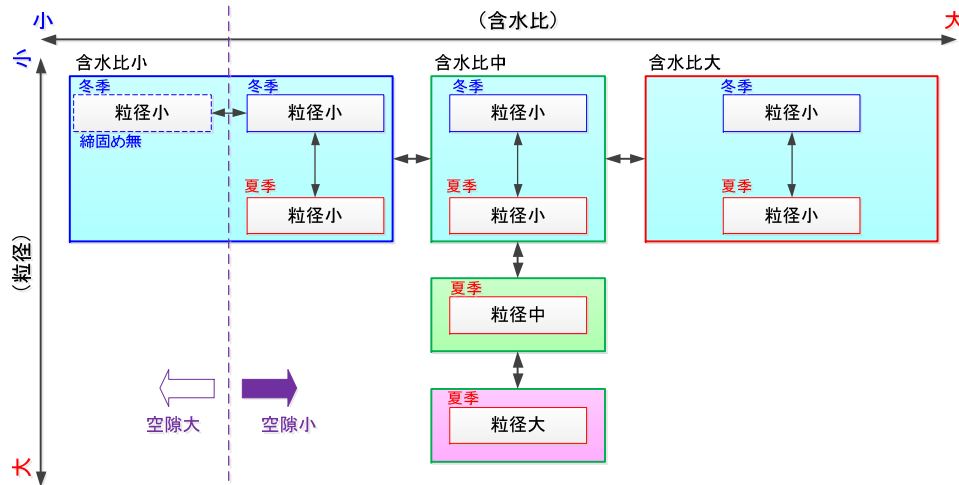
計画されているストックヤード内での侵食速度に影響を与える土砂性状の範囲を想定し、その範囲を網羅するように条件を設定。

### ①土砂粒径(粘着性土砂含有率)の設定

・浚渫領域全体で粘着性土砂の含有率は、約3~25%まで幅広い分布  
 >これらの範囲を網羅できるように3段階で土砂粒径を設定

ケース	粘着性土砂含有率	位置づけ
①粒径大	5~10%程度 (6.3%)	・現地土砂の粘着性土砂含有率の最小値程度
②粒径中	10~20%程度 (13.2%)	・現地土砂の粘着性土砂含有率の中間値程度
③粒径小	20%程度 (17.1%)	・現地土砂の粘着性土砂含有率の最大値程度

※粘着性土砂含有率の()書きは、ケース毎の平均値



実験ケースの設定

### ②含水比の設定

・現地では、ストックヤード内の状態において固結するようなドライ状態、水分が十分に飽和したウェット状態と幅広い含水比の範囲が想定される。

>これらの範囲を網羅できるように、実験対象試料を対象に個体状態を保持できる上限と下限の含水比をコンシステンシー試験より求め、上限・下限とその中間の3段階の含水比を実験条件として設定

ケース	含水比	位置づけ
①上限値	40%程度 (40.3%)	(液性限界)
②中間値	35%程度 (34.5%)	(①と③の中間値)
③下限値	30%以下 (28.1%)	(塑性限界~収縮限界) ※実験時までの自然乾燥

※含水比の()書きは、ケース毎の平均値

### ③その他の条件(水温・空隙)の設定

・既往文献において、冬季(水温12℃以下)と夏季(水温18℃以上)において侵食特性が異なることが示されている。

・ストックヤードの運用は出水期が主となるが、施設配置箇所は標高が高く水温が低い場合も想定される。

>「冬季」と「夏季」の2水温を対象として設定

①冬季想定実験	②夏季想定実験
平成28年11月~平成29年5月頃 (水温12℃以下となる期間)	平成29年5月頃~平成29年7月 (水温18℃以上となる期間)

・粘着性土砂の含有率が高く(粒径が小さく)、含水比が小さい場合は土砂内の空隙率が小さいと、佐久間ダム湖内の陸地化した箇所を確認できる固結状態となり、侵食速度が大幅に小さくなる現象が生じる

>固結の有無の2条件を対象として設定

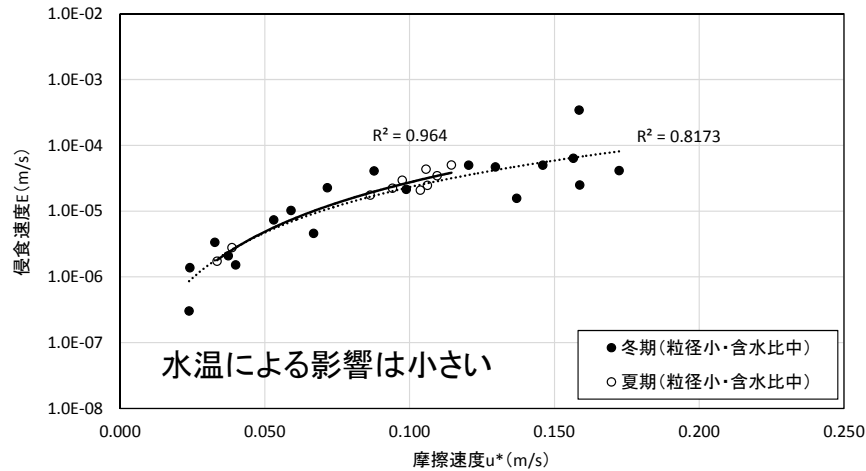
①固結なし(空隙大)	②固結あり(空隙小)
長期間気中で自然圧密により空隙を低下させた供試体	含水比を調整した土砂を気中で人力により圧密した状態

# 5-2 (1) 粘着性土砂の侵食特性実験(H28年度) 実験結果

## ■ 土砂性状(パラメータ)ごとの実験結果

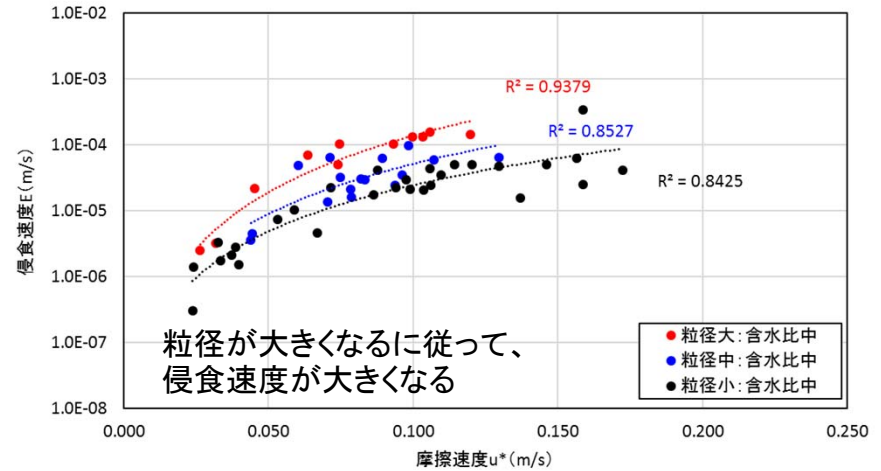
### 【水温の影響検討】

「冬季」「夏季」の結果を比較



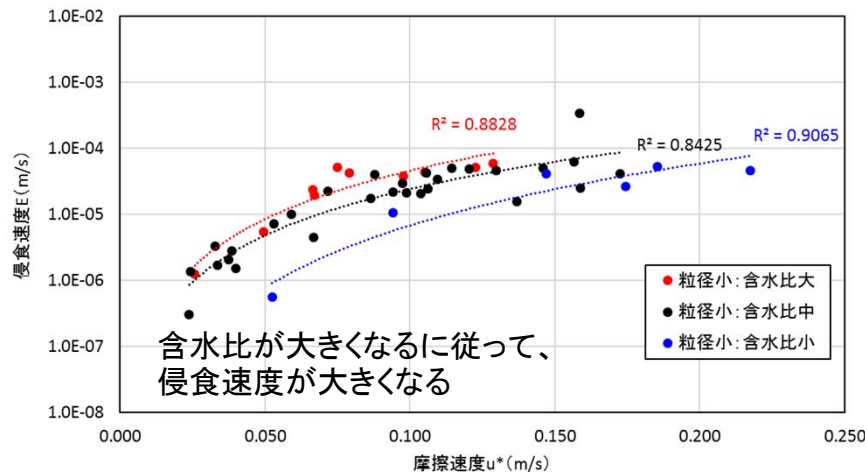
### 【土砂粒径(粘着性土砂含有率)の影響検討】

含水比中の条件で「土砂粒径」ごとの結果を比較



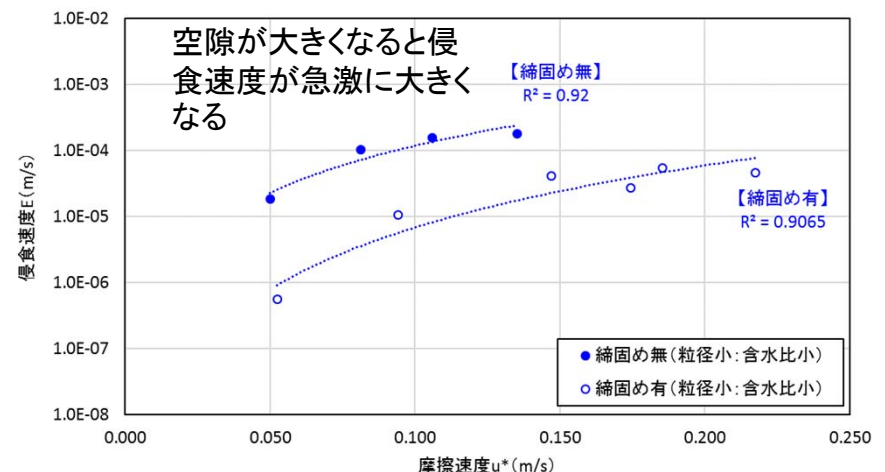
### 【含水比の影響検討】

粒径小の条件で「含水比」ごとの結果を比較



### 【空隙の影響検討】

粒径小・含水比小の条件で、空隙の大小の結果を比較



## 5-2 (1) 粘着性土砂の侵食特性実験(H28年度) 実験結果

### ■ 摩擦速度と侵食速度の関係の評価

#### 【佐久間ダムストックヤード土砂の侵食速度】

- ・実験値にバラツキがみられるものの、その幅は同地整内の美和ダムの実験値\*と同程度であるため、本実験結果は妥当と判断される。
- ・佐久間ダムストックヤード土砂の侵食速度は、土砂性状ごとのバラツキを考慮すると以下の摩擦速度と侵食速度の関係式で表現される。

【上限値】 $E_u(\text{侵食速度}) = 0.285 \times u^*(\text{摩擦速度})^{3.0}$

【下限値】 $E_b(\text{侵食速度}) = 0.004 \times u^*(\text{摩擦速度})^{3.0}$

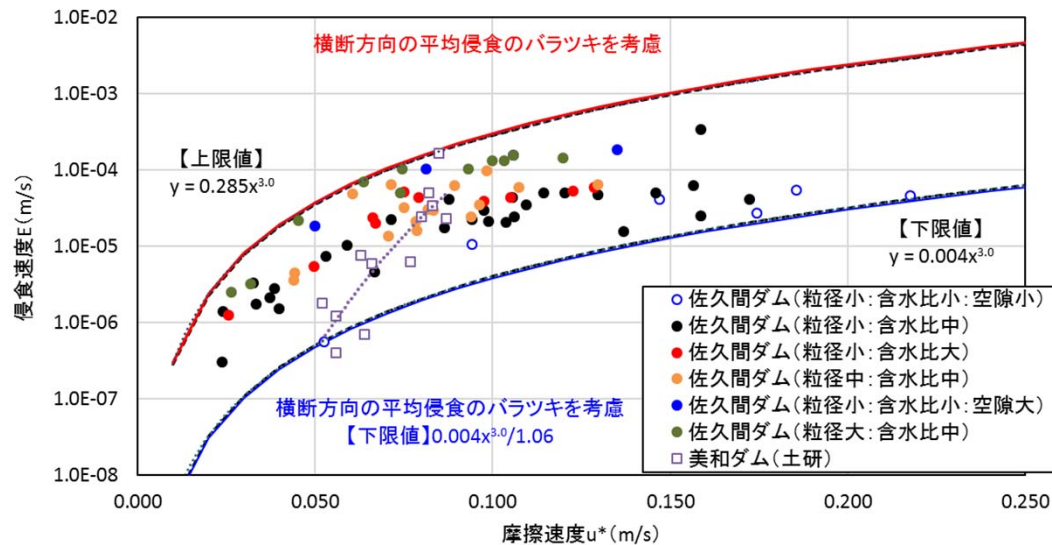
(※ ダム貯水池に堆積した微細粒子土砂の再侵食の評価方法、土木技術資料54-6、2012)

#### 【他の事例との比較評価】

- ・佐久間ダムストックヤード内の土砂の侵食速度は、既往の検討知見の範囲に概ね合致している。
- ・美和ダムの侵食速度と比較すると、摩擦速度による侵食速度の変化量が小さくなっており、侵食土砂量や排出土砂量を制御する上では比較的取扱いしやすい土砂と考えられる。

#### 【実験結果の活用方法】

- ・本実験で得られた摩擦速度と侵食速度の関係式を用いて、期待する排砂特性(排砂効率、下流への土砂濃度)を設定可能な施設諸元を検討することが可能となる。



#### 【確認事項】

- ・実験結果の妥当性
- ・ストックヤード下流端堰の設計において実験結果の活用方法(上限値、下限値、中間値)

侵食速度と摩擦速度の関係

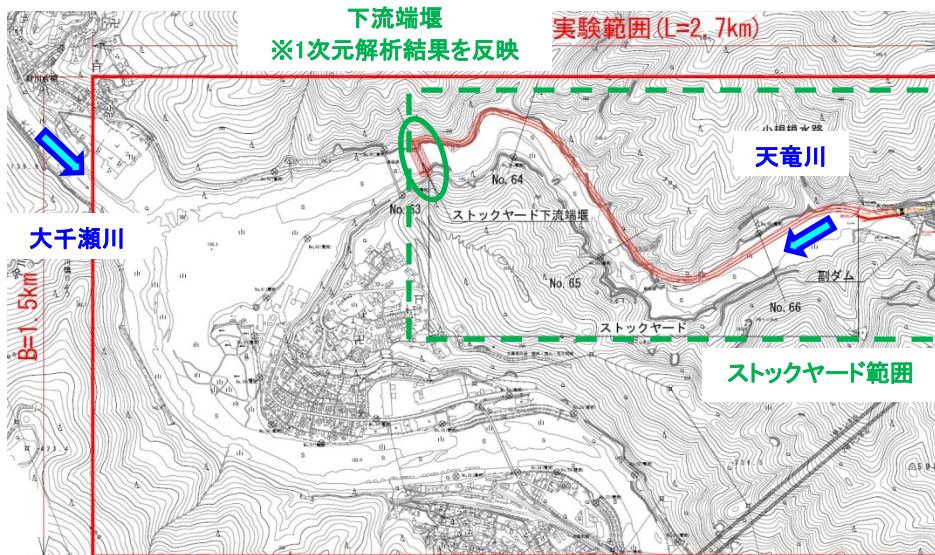
## 5-2 (3)ストックヤードの排砂特性実験 (H29年度) 実験計画

【検証事項】 ① スtock土砂を排出できるか 1)ストックヤード平面形状の影響、2)下流端堰の構造などの影響、3)放流水のStock土砂へのあて方の影響

- 河川還元の流量規模や下流河道の形状、ストックヤード下流端堰の構造による試料の流出・流下特性を模型実験により定性的に把握し、並行して行う予測計算に反映。
- 現象の評価は、構造物近傍の土砂移動特性、Stock土砂の排砂特性に留意し実施する。

### ■ 模型再現範囲

設定項目	設定内容
模型再現範囲	<p>・増設放流設備直下流～佐久間発電所</p> <p>※佐久間ダムからの放流は完全に減勢した状態を想定して再現。</p> <p>※模型下流端は、流れのコントロールポイントとなる佐久間第二発電所堰堤を設定。</p> <p>※大千瀬川により下流河道の河床変動が影響を受けると考え大千瀬川の流入を再現。</p>



模型再現範囲

### ■ 模型縮尺

設定項目	設定内容
模型縮尺	<p>・模型縮尺 1/70 (施設制約条件、流れの相似則、土砂の相似則を満たす条件を設定)</p> <p>【実験施設の能力】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・施設給水能力<math>0.65\text{m}^3/\text{s} \Rightarrow 1/50</math>以下 (国総研の河川屋外実験施設)</li> </ul> <p>【流れの相似即】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・模型水深3cm以上を確保<math>\Rightarrow 1/70</math>以上</li> <li>・放流能力の再現のためゲート口径6cm以上を確保<math>\Rightarrow 1/70</math></li> </ul> <p>【土砂】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・浚渫土砂と置土粒径を満足する中砂(0.25mm～0.85mm)を再現できるようにする。</li> </ul>

### 模型縮尺の設定

	諸元	条件	実物	1/40	1/50	1/60	1/70	1/80
河道の再現性 (300m <sup>3</sup> /s)	流量(m <sup>3</sup> /s)	—	300	0.030	0.017	0.011	0.007	0.005
	河道幅(m)	—	100	2.5	2	1.667	1.429	1.250
	粗度係数	0.015程度	0.036	0.019	0.019	0.018	0.018	0.017
	水深(m)	0.03以上	2.207	0.055	0.044	0.037	0.032	0.028
ゲート流れ	ゲート口径(m)	0.06以上	4.000	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05
	流量(m <sup>3</sup> /s)	—	7,700	0.76	0.44	0.28	0.19	0.13
施設制約	再現幅(m)	100以下	1,500	37.5	30	25	21	19
	再現長(m)	100以下	2,700	67.5	54	45	39	34
	浮遊砂条件	実物換算値(mm)	0.25～0.85	—	0.41	0.47	0.53	0.59
総合判定				×	○	○	○	△



## 5-2 (2)ストックヤードの排砂特性実験 (H29年度) 実験計画

### ■ 実験ケース

- ◆「水理模型実験」と併せて「水理解析」を行い、実験ケースの絞り込みや結果の補間を行う方法で実施する。

想定される検討範囲

条件区分	項目	想定される検討範囲
①基本条件	流量	・運用開始流量300m <sup>3</sup> /s～基本方針規模最大放流量7,700m <sup>3</sup> /sまでの間の流量
	堰構造	・3構造(全面越流堰、スリット構造、オリフィス構造)、堰無し(比較ケース)1ケース
②運用条件	置き土形状	・3配置形状(①上流側集中配置、②全面平均配置、③下流側集中配置)
	オペレーション	・ゲート開放のタイミングにより数パターン
③効率化条件	分流構造 導流方法	・分流構造1形状(最終形状)×導流2方法(①上流部導流、②下流部導流)
	河道改修	・1形状(改修形状)

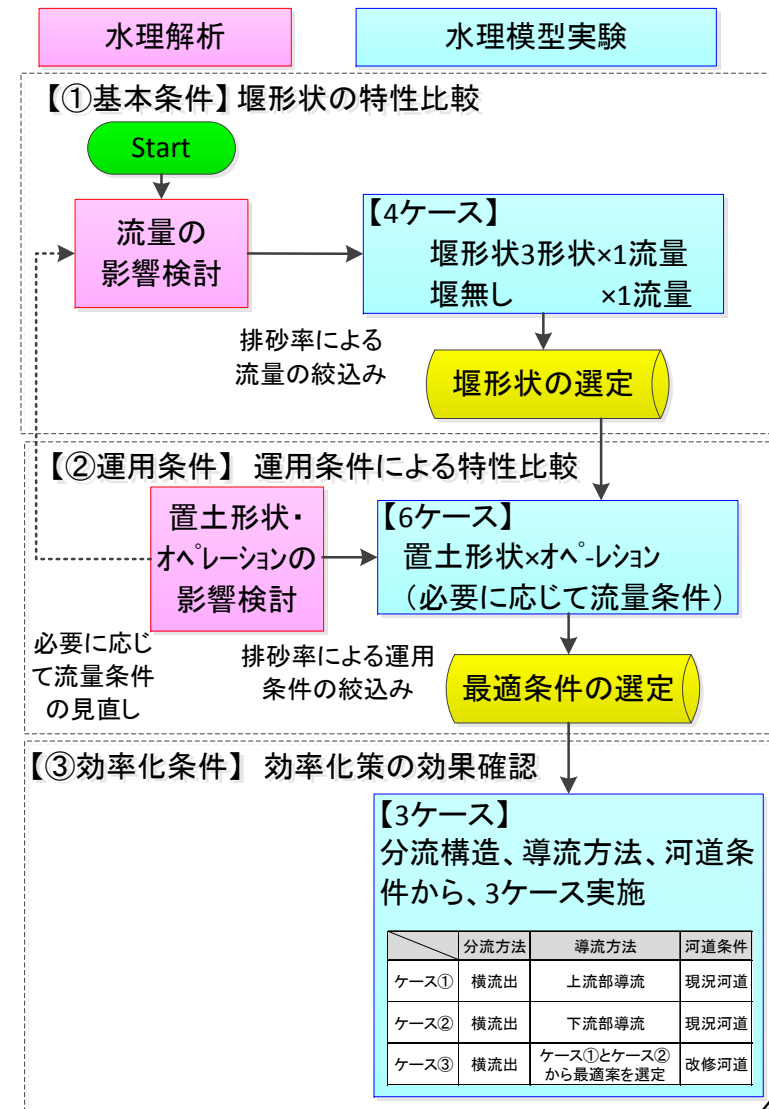
### ■ 評価指標

- ◆以下の評価指標により、排砂特性を分析する。

評価指標

区分	項目	計測内容
水理量	水位	・河道内水位の縦横断分布を把握
	流速	・PIV解析により流速分布を把握
土砂堆積		河道内の河床変動特性の把握 ・局所的な堆積、洗掘の有無の評価
排砂特性	排砂率	・排砂土砂量／ストックヤード内土砂量
	排砂速度	・排砂土砂量／排砂時間
	排砂濃度	・排砂土砂量／流量

実験ケース



## 5-2 (4) 平面二次元解析(H29年度) 検討計画

【検証事項】 ① ストック土砂を排出できるか 1)ストックヤード平面形状の影響、2)下流端堰の構造などの影響、 3)放流水のストック土砂へのあて方の影響、 ③ 河川還元した土砂が河道に異常堆積しないか 1)佐久間ダム下流河道

- 実験結果を反映し、ストックヤードからの土砂排出特性を表現可能な平面二次元解析モデルを構築する。
- 検討結果の評価は、ストックヤードにおける排砂率・排砂濃度を指標とし、佐久間ダム直下の置土が下流河道に及ぼす影響を定量的に把握する。
- 効果的な下流端堰構造や運用条件を把握し、ストック土砂が下流河道へ与える影響を予測する。
- 出水の無かった翌年度にはストック土砂量が50万 $m^3$ 程度となることが想定される。このため、還元土砂量が26万 $m^3$ /年(現検討)、50万 $m^3$ (出水が無かった翌年度)の場合の影響を予測する。

### ■ 解析対象区間



### ■ 検討条件

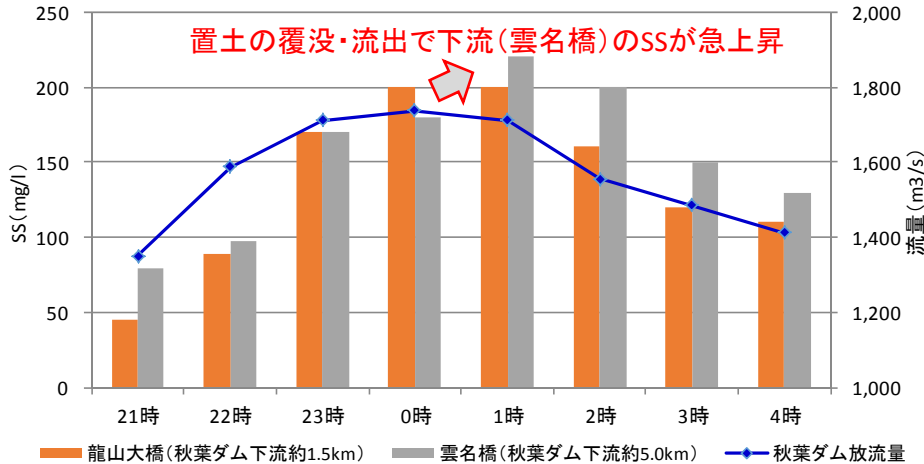
項目	検討条件
解析手法	一般座標系平面二次元非定常流解析モデル +河床変動解析モデル
対象区間	佐久間ダム(71kp付近)～水窪川合流点(60kp付近) ※No.29(秋葉湖上流)～No.67(佐久間ダム直下)
河道地形	H24年測量成果
検討ケース	模型実験ケースに合わせて設定
上流端条件	ダム放流量ハイドログラフ ※年最大放流量の最小値、実績最大規模、計画規模
下流端条件	等流水深
横流入条件	大千瀬川の流入を考慮
粗度係数	計画河道の粗度係数(必要に応じて粒径を考慮)
粒度構成	H13、H18河床材料調査結果
流砂量計算	掃流砂: 主流方向: 芦田・道上式、横断方向: 長谷川式 浮遊砂: 沈降速度: Rubeyの式、基準面濃度: Lane-Kalinske ※ストック土砂は、H28実験結果の侵食速度式を採用 ※模型実験結果を踏まえキャリブレーションを実施
還元土砂量	26万 $m^3$ /年(現検討)、50万 $m^3$
流入土砂量	上流端: 土砂流入無し 横流入: 大千瀬川からの土砂流入を考慮
交換層の扱い	平野による交換層の概念を発展させた芦田・道上・劉による方法

# 5-3 秋葉ダム下流の置土実験 (モニタリング状況 1/2) (第3回委員会資料の再掲)

【検討事項】 ② 河川還元する土砂の濃度が高すぎないか, ③ 河川還元した土砂が河道に異常堆積しないか

- H27年度設置の置土約1.2万m<sup>3</sup>はH28.5.11 (流量約1,200m<sup>3</sup>/s)で約0.6万m<sup>3</sup>、H28.9.20洪水(流量約1,700m<sup>3</sup>/s)で約0.3万m<sup>3</sup>の計約0.9万m<sup>3</sup>(約8割)が流出

H28.9.20-21 置土上下流のSS比較

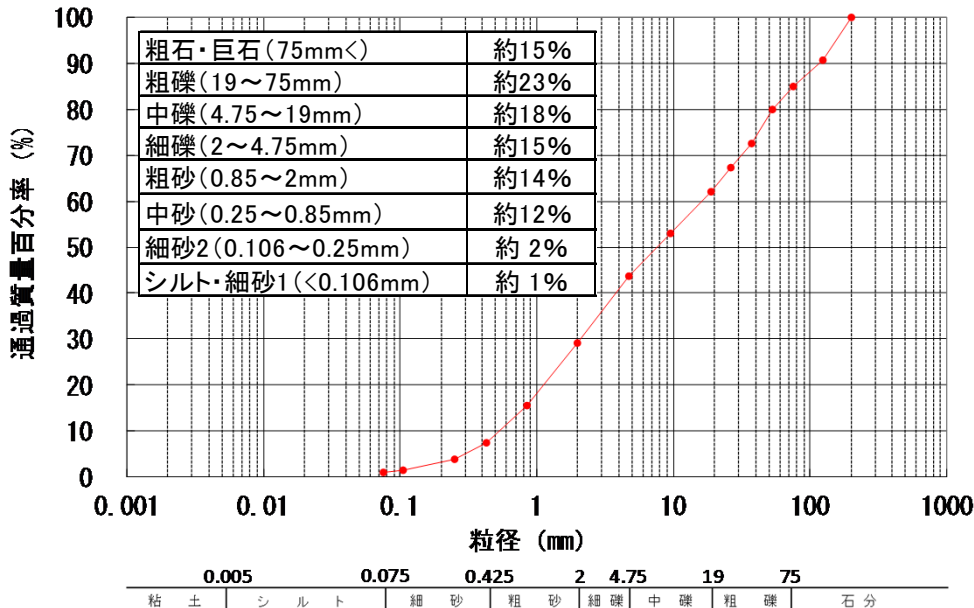


【H27年度設置】約1.2万m<sup>3</sup> 秋葉ダム下流約2.3km右岸

- 置土覆没流量: 1,400m<sup>3</sup>/s※
- ※ 秋葉ダム年最大流入量の近10年(H16~H25)最小値相当

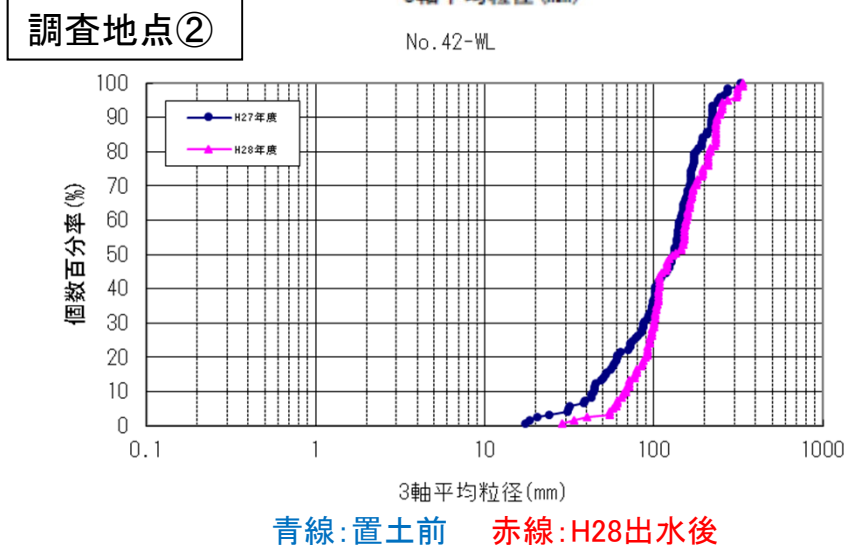
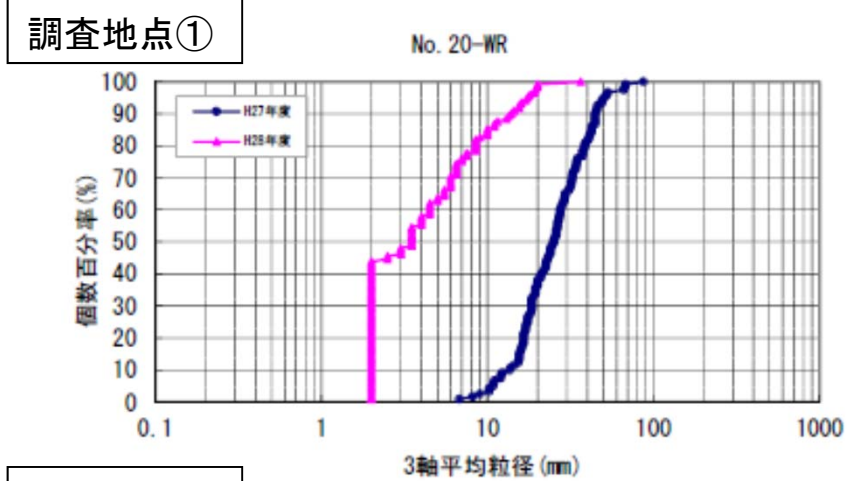


置土の粒径加積曲線

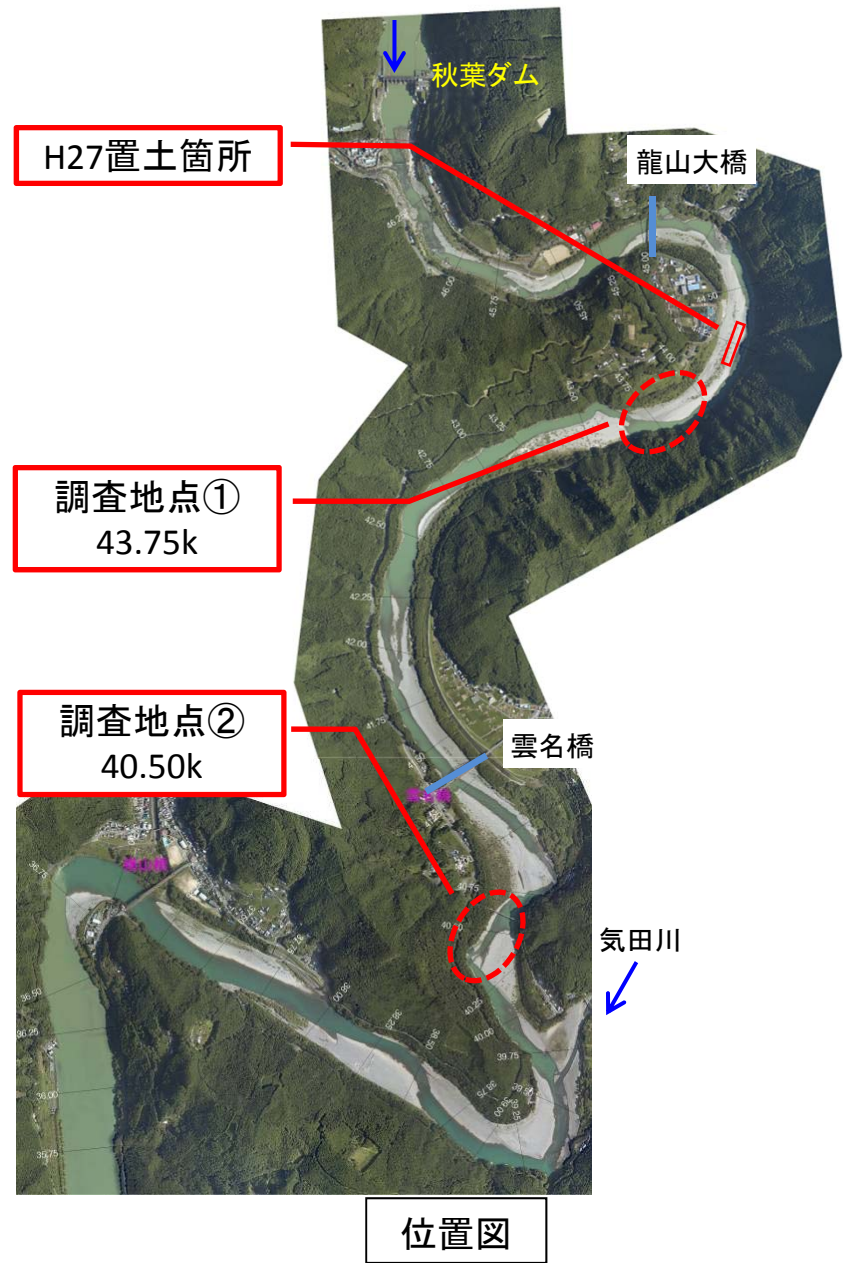


# 5-3 秋葉ダム下流の置土実験 (モニタリング状況 2/2)

## H28出水前後における河床材料の変化



○置土箇所に近い①の地点では、細粒分の比率が多くなる傾向にあるが、②の地点では、そのような傾向は見られない。  
→今後、継続調査を実施していく。



# 5-4 佐久間ダム下流の置土実験（概要）



位置関係

- 場所：佐久間ダム下流約5.6km左岸河川敷(河内川合流点付近)
  - 施行時期：H28.11下旬～H29.4末
  - 置土量：約1.7万m<sup>3</sup>(おおよそ浚渫土砂2:掘削(陸上)土砂1)
  - 置土高：2m程度(流量800m<sup>3</sup>/s※の水位で覆没)
- ※ 佐久間ダム年最大ゲート放流量の近10年(H16～H25)最小値相当



施工状況  
H29.1.20

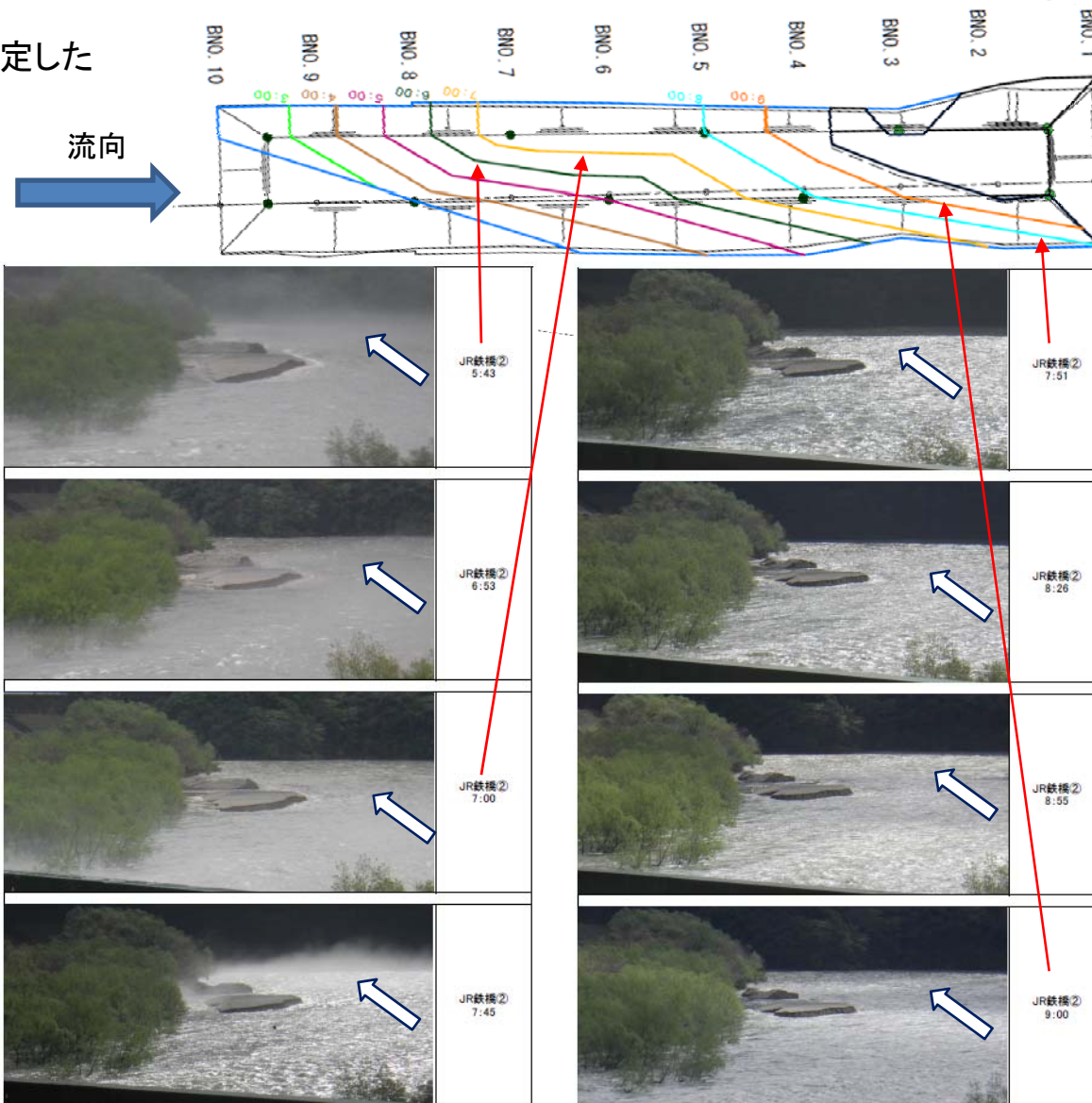


平面配置

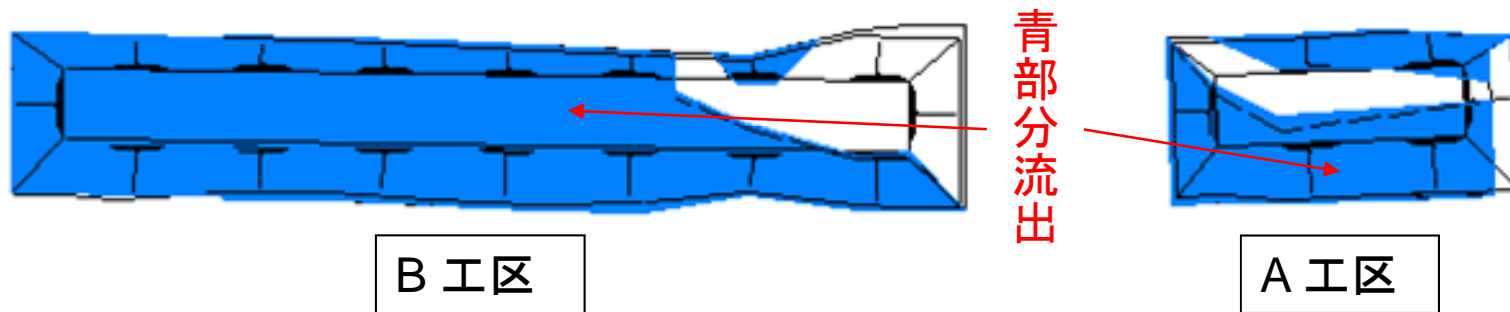
## 5-4 佐久間ダム下流の置土実験 (モニタリング状況 1/2)

- H28年度設置の置土約1.7万m<sup>3</sup>は、H29.4.18(流量約650m<sup>3</sup>/s)で約1.0万m<sup>3</sup>が流出  
(河床材料や生物生息状況等の変化は現在、調査結果を整理中)

温度ロガー、杭で推定した  
時間別流出線



## 5-4 佐久間ダム下流の置土実験 (モニタリング状況 2/2)



(2017/04/17) B工区土砂流出量 6,391.7m<sup>3</sup>

A工区土砂流出量 2,343.3m<sup>3</sup>

2017.4.10撮影



2017.4.24撮影



## 6. 今後の主な検討事項



## 6 今後の主な検討事項

### 本委員会での確認事項と今後の主な検討事項(案)

#### 堆砂対策工法・技術開発

掘削(陸上)区間：積込場の設定

土砂運搬 掘削場所から積込場までの輸送方法

(コスト的にはダンプ運搬が有利だが社会的影響大)

⇒管路による土砂輸送方式等の維持コスト縮減案を検討 (技術開発)

浚渫：既存施設の利用を考慮した設備の検討

(検討期間を50年とした場合は、当初から新造した方が

コスト的に有利)

⇒さらなるコスト縮減等の検討 (技術開発)

ベルトコンベヤ：斜行発電の有無による検討

(発電無しの方がコスト的に有利)

⇒斜行発電の電力の転用方法を精査する等のコスト縮減等の検討 (技術開発)

ストックヤード：下流端堰の違いによる1次元解析を実施

⇒水理模型実験に反映 (実行可能性調査)

## 6 今後の主な検討事項

### 本委員会での確認事項と今後の主な検討事項(案)

#### 実行可能性調査

- 水理模型実験 : 土砂の侵食特性把握の実験結果  
⇒平面二次元解析に反映
- 下流端堰の構造及び下流河道の形状による土砂の流出・流下特性把握の実施及び実験計画の策定（H29年度）  
⇒実験結果の分析、平面二次元解析への反映
- 秋葉ダム下流置土実験 : モニタリング状況報告  
⇒引き続きモニタリング及び分析を実施
- 佐久間ダム下流置土実験 : 置土設置状況  
⇒引き続きモニタリングの実施
- 秋葉ダムスルーシング実験  
⇒モニタリングの実施