天ヶ瀬ダムにおける堆砂対策について

西津　英治

近畿地方整備局　淀川ダム統合管理事務所　管理課　（〒573-0166大阪府枚方市山田池北町10-1）

天ヶ瀬ダムは管理開始から58年経過しているが，堆砂の進行が計画を上回る状況となっている．そのため，現在，貯水池内の陸上施工による堆砂除去に着手しているところであり，今後さらに，浚渫（水中施工）に移行することで検討を進めている．近年，気候変動による水害や土砂災害が頻発するなかで，全国的にもダム機能維持及び長寿命化の観点から堆砂対策は喫緊の課題となっていることから，その一事例として天ヶ瀬ダムにおける取り組みを報告する．

キーワード　ダム堆砂，堆砂対策，浚渫，貯水池土砂管理，長寿命化

1. はじめに

天ヶ瀬ダムは，1964(昭和39)年に淀川水系淀川(宇治川)に建設された多目的ダムである．同ダムの直接流域面積は約352km²であるが，間接流域である琵琶湖流域を含めた総流域面積は約4,200km²と淀川流域の約半分をとなる．琵琶湖からの流出は瀬田川洗堰により調節され，その下流に位置する天ヶ瀬ダムは通常，天ヶ瀬発電所を介して放流が行われるが，最大発電取水量を超えて放流する場合は，ダムのゲート設備からの放流となる．ゲートからの放流日数は平均して年間100日以上あり，特に出水後の琵琶湖水位低下に伴う瀬田川洗堰の操作に伴い天ヶ瀬ダムのゲート放流が長期間に及ぶ．天ヶ瀬ダム直接流域である大戸川や信楽川の流域では，江戸時代から森林伐採等により樹木が殆ど無い状態となっていたことから，河川氾濫及び土石流の被害軽減を目的とした「瀬田川水系直轄砂防事業」により，2013(平成25)年度まで山腹工や砂防堰堤等の整備が実施されていた．ダム堤体より上流3.2km地点には，大正時代に建設された発電専用の大峰堰堤があったが，天ヶ瀬ダムの建設に伴い堤体部分のみが水没している状態となっている．

2. 天ヶ瀬ダムの堆砂状況

(1) 貯水池内堆砂量の経年変化

天ヶ瀬ダム貯水池の堆砂量の推移を**図-1**に示す．2021(令和3)年度時点の全堆砂量は5,128千m³，計画堆砂量(6,000千m³)に対する堆砂率は85.5％，比堆砂量254m³/km²/年となっており，計画比堆砂量171m³/km²/年と比較して約1.5倍の速さで堆砂が進行していることになる．また，有効貯水容量内の堆砂量は1,095千m³(年平均19,000m³)であり，これは有効貯水容量の5.5％に相当する．有効貯水容量内の堆砂は洪水調節機能の低下に直結するため，平成27年度から土砂除去等を行っており，2021(令和3)年度までに計130千m³を除去している．

表-1　陸上掘削による堆砂対策（令和4年度まで実施）

実施	除去量(千m³)	地区
平成27年度	1.2	大石
平成28年度	6.2	外畑，曽束
平成29年度	31.5	外畑，曽束
平成30年度	28.8	外畑，曽束
令和元年度	21.7	大石，外畑，曽束
令和2年度	24.1	大石
令和3年度	16.5	大石
合計	130.0	令和4年度：11,800m3(大石)

表-2　天ヶ瀬ダム堆砂状況（令和3年度時点）

項目				諸量
①	流域面積		(km²)	352
②	竣工年月			S39.10
③	経過年数			57年3ヶ月
④	当初総貯水容量		(千m³)	26,200
⑤	計画堆砂量		(千m³)	6,000
⑥	有効容量内堆砂量		(千m³)	1,095
⑦	死水容量内堆砂量		(千m³)	4,033
⑧	堆砂量	⑥+⑦	(千m³)	5,128
⑨	全堆砂率	⑧/④	(%)	20%
⑩	前年度全堆砂率	⑧(R2)/④	(%)	19%
⑪	堆砂率	⑧/⑤	(%)	85%
⑫	前年度堆砂率	⑧(R2)/⑤	(%)	84%
⑬	計画比堆砂量		(m³/km²/年)	171
⑭	実績比堆砂量	⑧/①/③	(m³/km²/年)	254
⑮	年堆砂量	⑧/③	(m³/km²/年)	89

(2) 貯水池内の堆砂形状

貯水池内の最深河床高の経年変化を**図-2**に示す．大峰堰堤上流部は，ダム建設時の元河床高と比較して上昇しているものの，変動幅は最大3m程度である．一方，大峰堰堤下流部も元河床高から経年的に上昇し，変動幅は最

大20m程度にまで達し，当該領域において堆砂進行が顕在化している．

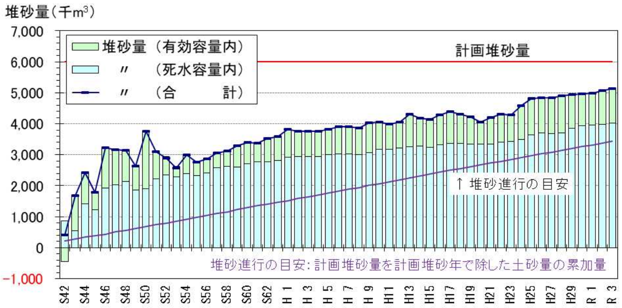

図-1　貯水池内の容量別堆砂量の経年変化

堆砂肩(勾配変化点)に着目すると，管理開始当初は大峰堰堤付近に位置していた．しかし，1973(昭和48)年頃以降，下流側に前進しており，現在は天ヶ瀬ダム堤体から2.2km上流付近に位置し，その標高は最低水位程度である．また，2017(平成29)年10月の台風21号出水の際，予備放流で貯水位を最低水位付近のOP.58.72mまで低下させたタイミングで最大流量800m³/sの洪水を迎えたことで，堆砂肩付近の掃流力が増大し，堆砂肩が下流側に前進した影響が堆砂形状から読み取れる．

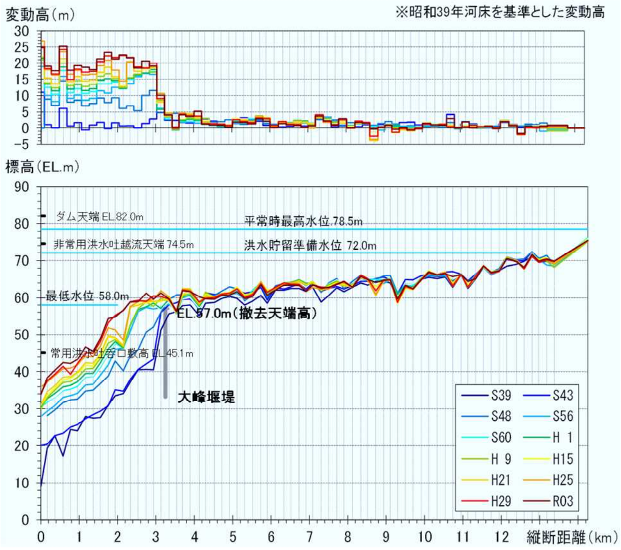

図-2　貯水池内の堆砂形状(最深河床高)の経年変化

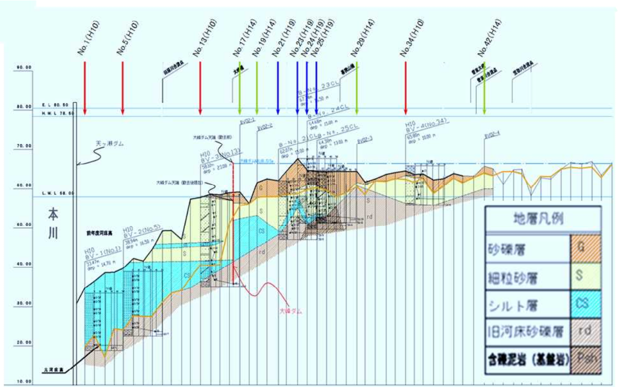

図-3　貯水池の地質縦断面

項目	単位	No.17
調査日	-	2019/11/8
天　候	-	
雲　量	割	2
採取位置	-	流心
試料外観	-	礫まじり砂
臭　気	-	無し
夾雑物	-	植物片
土　色	-	5Y 4/3 暗オリーブ

図-4　採取試料（底質）状況

(3) 堆砂進行度の把握および対策

天ヶ瀬ダム堆砂に関する堆砂進行度の把握および対策について，ダム貯水池土砂管理の手引き(案)[1)]に基づき，堆砂対策の実施判断を整理した．

堆砂対策の実施判断は，評価指標①～③が管理水準に至るまでの残余年数を算定し，いずれか短い残余年数により，堆砂対策の実施を判断するものである．

その結果，評価指標①～③について管理水準のいずれもが残余年数20年未満となり，堆砂対策を開始する段階であることが確認できた．

表-3　評価指標と管理水準

把握すべき影響	評価指標	管理水準（目安）	評価に使用する堆砂量
貯水池機能への影響	①堆砂容量に対する堆砂率	70%	全堆砂量
洪水調節機能への影響	②洪水調節容量の余裕に対する堆砂率	15%	洪水調節容量内堆砂量
貯水池機能への影響	③有効貯水容量に対する堆砂率	5%	有効貯水容量内堆砂量

表-4　堆砂進行度と評価区分に応じた対策内容

残余年数	評価区分	対策内容
20年未満	A	堆砂対策検討開始
20年以上～30年未満	B	堆砂対策検討開始に向けた調査実施（基本調査＋詳細調査）
30年以上	C	堆砂状況の把握（基本調査）

表-5　天ヶ瀬ダム残余年数の算定結果

評価指標		算定方法	評価区分
①	a	管理水準（70%）までの残率　[%] 70%－（全堆砂量÷堆砂容量）×100[%]＝-8.6	A
	b	今後の堆砂量の進行見込み　[%/年] [実績平均年堆砂量－平均年対策量 ÷堆砂容量×100[%]＝1.44	
	c	残余年数　[年] a÷b＝-6年	20年未満
②	a	管理水準（15%）までの残率　[%] 15%－（洪水調節容量内堆砂量 ÷洪水調節容量の余裕）×100%＝-17.9	A
	b	今後の堆砂量の進行見込み　[%/年] [実績平均年堆砂量（洪水調節容量内） －平均年対策量（洪水調節容量内） ÷洪水調節容量の余裕×100[%]	
	c	残余年数　[年] a÷b＝-32年	20年未満
③	a	管理水準（5%）までの残率　[%] 5%－（有効貯水容量内堆砂量 ÷有効貯水容量）×100%＝-0.5	A
	b	今後の堆砂量の進行見込み　[%/年] [実績平均年堆砂量（有効貯水容量内） －平均年対策量（有効貯水容量内） ÷有効貯水容量×100[%]＝0.09	
	c	残余年数　[年] a÷b＝-6年	20年未満

(4) 堆砂対策目標の設定

残余年数が大きく超過していた「洪水調節機能への影響」を優先に「②洪水調節容量内堆砂量が洪水調節容量の余裕の15%以内」を堆砂対策目標に設定した.

具体的には，天ヶ瀬ダムの洪水調節容量は20,000千m³であり，その余裕は同容量2割の3,333千m³（同容量の2割≒20,000千m³－20,000千m³/1.2）であることから，管理水準は、余裕の15%に対する堆砂量としては約50万m³(≒3,333千m³×0.15)に相当する.

したがって，洪水調節容量内の堆砂量を50万m³未満の維持を堆砂対策目標と位置付けた.

以上より，堆砂対策に係る基本方針は，洪水調節容量内の堆砂量110万m³のうちの60万m³とともに，対策期間中に当該容量内で新たに発生する年平均1.9万m³の堆砂除去を行い，当該容量内堆砂量50万m³(有効貯水容量内堆砂率2.5%)の維持を目指すものとした.

表-6　天ヶ瀬ダム残余年数の算定結果

把握すべき影響	評価指標	管理水準（%）	管理水準（m3）
貯水池機能への影響	①堆砂容量に対する堆砂率	70%	4,200,000
洪水調節機能への影響	②洪水調節容量の余裕に対する堆砂率	15%	500,000
貯水池機能への影響	③有効貯水容量に対する堆砂率	5%	1,000,000

各容量貯水量	各容量堆砂量	各容量堆砂率	洪水調節容量の余裕(m3)	評価に使用する堆砂量
6,000,000	5,128,000	85%		全堆砂量
20,000,000	1,095,000	5%	3,333,333	洪水調節容量内堆砂量
20,000,000	1,095,000	5%		有効貯水容量内堆砂量

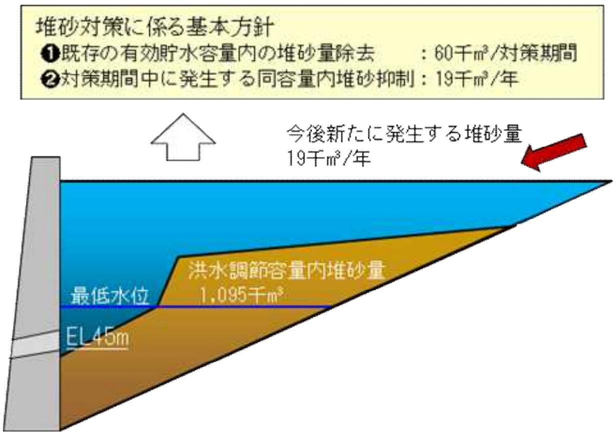

図-5　天ヶ瀬ダム堆砂対策に係る基本方針

3.　堆砂対策（浚渫計画）

(1) 対策概要

既存の洪水調節容量内の堆砂除去に向けて，以下に示す浚渫計画を立案し，次年度以降着手予定である.

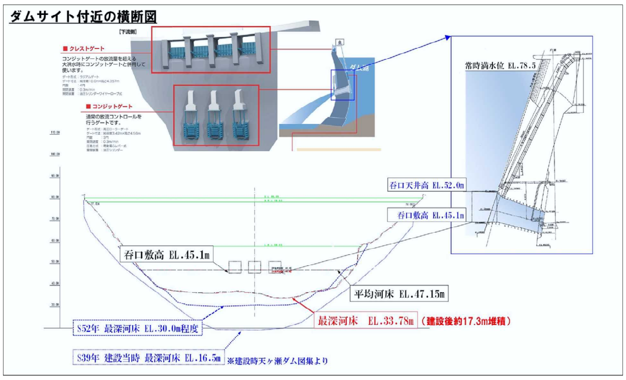

図-6　天ヶ瀬ダム付近の堆砂状況と放流設備

・浚渫範囲は，大峰堰堤付近上流(断面No.17～24区間)における最低水位(EL.58.0m)以上の有効貯水容量内を対象とする.

・作業期間は荷役桟橋地点での設備搬入・搬出作業を除き，貯水池内作業はすべて非出水期期間(10/16～6/15)の約8ヶ月間で行う.

・除去対象土量は，中継施設(作業構台)設備の処理能力から約42,000m³/年(378m³/日)を基本する.

・浚渫はグラブ浚渫台船上のクローラクレーン(2.5m³グラブ)を用い，空気圧送台船から水上をフロート配管した1,300m区間を空気圧送し，作業構台上の2箇所の脱水ヤードに搬入し，脱水後，搬出する.

・浚渫土は場外搬出とし，再資源化施設(運搬距離6.7km)へ運搬する．また，ダム下流宇治川における土砂還元(運搬距離11.2～13.8km)における置砂材料としても利活用する.

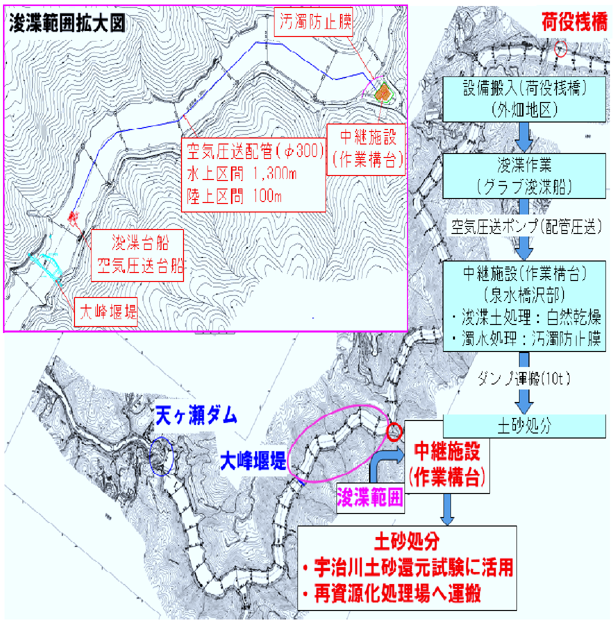

図-7　浚渫計画全体図

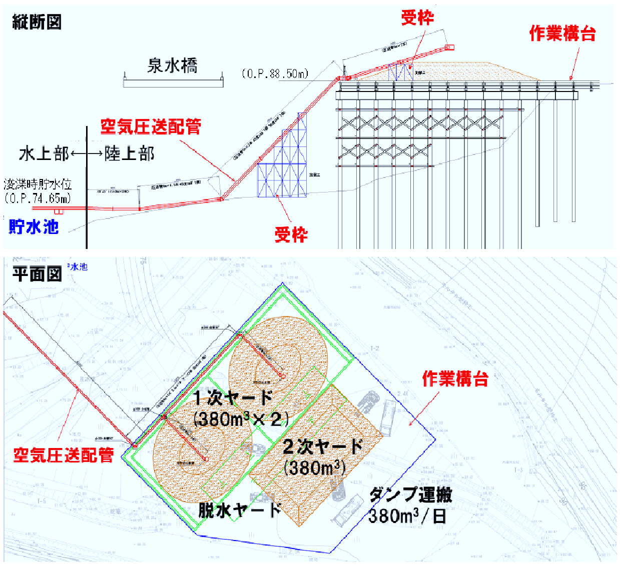

図-8　作業構台縦断図及び平面図

(2) 対策期間

浚渫計画では，年間42,000m³を除去対象量と計画した．前述したように，堆砂対策目標の達成に向けては，洪水調節容量内の堆砂量の約60万m³を除去しつつ，目標達成までの対策期間中に発生する年間19,000m³の堆砂を除去していく必要がある．**表-7**は，年間浚渫量と堆砂対策目標の達成までに要する対策必要期間を整理したものである．試算によると，堆砂対策目標の達成に向けて必要となる対策期間として約26年間が見込まれる．

表-7　対策必要年数と年間浚渫量の関係

対策必要年数(年)	1	5	10	20	25	26	30
年間浚渫量(万m³)	61.4	13.8	7.9	4.9	4.3	4.2	3.9
年間発生堆砂量(万m³)	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
年間発生堆砂量総量(万m³)	1.9	9.5	19.0	38.0	47.5	49.4	57.0
浚渫量総量(万m³)	61.4	69.0	78.5	97.5	107.0	108.9	116.5

6.　継続可能な中長期対策案の検討

(1) 既存ストックを活用した対策工

浚渫計画では，貯水池内でグラブ浚渫する工法を適用するため，年間6億円程度の事業費が見込まれ，これを約26年間の長きにわたって継続するには経済的な課題題が現れる．

そこで，継続可能な堆砂対策として，既存ストックの活用等を想定した中長期対策の適用性に関する検討を行っている．天ヶ瀬ダム貯水池右岸に存在する旧志津川発電所導水路トンネルを土砂バイパストンネル，または，土砂運搬路として活用する案を施設規模の概略検討を行っている．

旧志津川導水路トンネル活用案のうち土砂バイパストンネル案は，無効放流時の流水を活用して土砂を流送する方法であり，土砂運搬路案は，流水の力ではなく機械的手段で土砂を運搬する方法である．

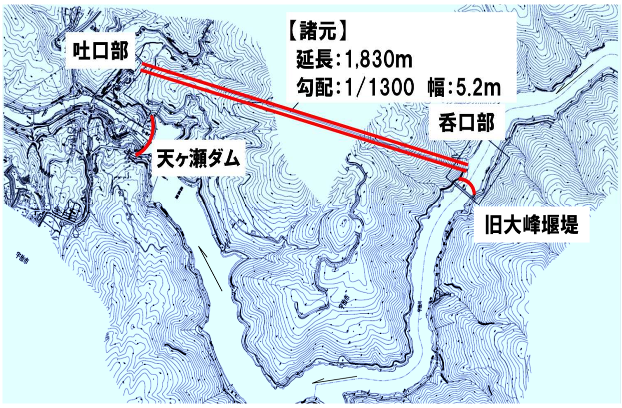

図-9　旧志津川導水路トンネル配置図

a) 土砂バイパストンネル案（自然分派案）

呑口部に設置するゲートにて出水時に流水を調整し，浮遊する流入土砂とともにトンネル内を流送させ，吐口部より宇治川へ排砂(バイパス)する．

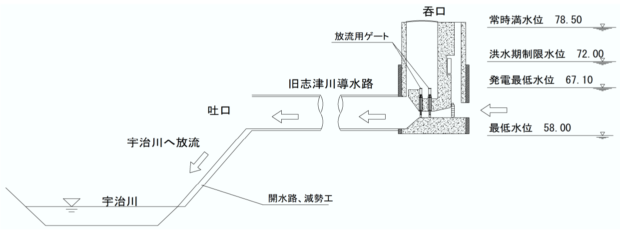

図-10　土砂バイパストンネル【自然分派】案

b) 土砂バイパストンネル案（土砂投入案）

非出水期に浚渫した堆砂を呑口部付近に湖内移送(19,000m³)し，出水期における出水時に呑口部に設置するゲートにて調整した流水に特殊エジェクターポンプにて吸引した土砂を投入し，トンネル内を流送させ，吐口部より宇治川へ排砂(バイパス)する．上記以外の23,000m³の堆砂除去は短期対策と同様に浚渫し，脱水処理後，堆砂受入地へ運搬する．

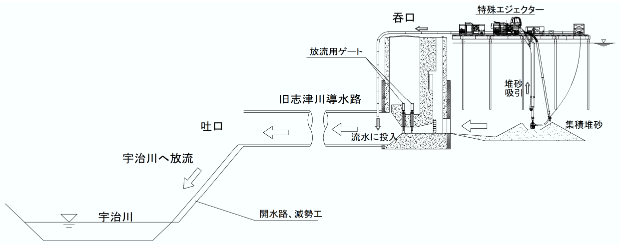

図-11　土砂バイパストンネル【土砂吸引】案

c) 土砂運搬路案（ベルトコンベヤ案）

非出水期に浚渫した堆砂を呑口部付近の気中に仮置きして脱水処理する．脱水処理した土砂をロックラダーにて呑口部からトンネル内に降ろし，ベルトコンベヤにて吐口部まで運搬する．吐口部にてダンプカーに積替え，一部は宇治川での置砂(19,000m³)，残り(23,000m³)は堆砂受入地まで運搬する．

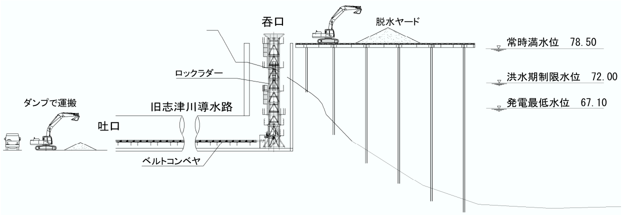

図-12　土砂運搬路【ベルトコンベヤ】案

d) 土砂運搬路案（空気圧送案）

非出水期に浚渫する土砂のうち19,000m³は呑口部付近に湖内移送し、出水期に呑口部付近の堆砂をグラブ浚渫して空気圧送配管で高濃度濁水として運搬し，宇治川へ排砂する．上記以外の23,000m³の堆砂除去は短期対策と同様に浚渫し，脱水処理後，堆砂受入地へ運搬する．

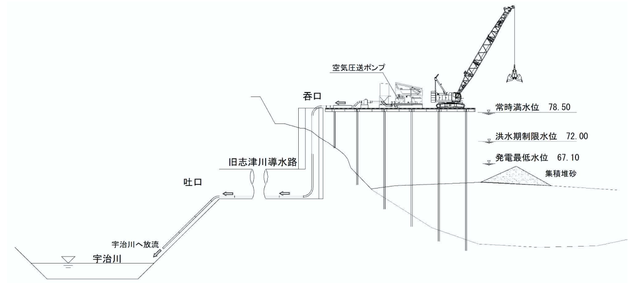

図-13　土砂運搬路案【空気圧送】案

(2) 堆砂管理の一体化による対策工

浚渫計画，既存ストックを活用した対策に加え，更なる継続可能な堆砂対策(陸上掘削による堆砂除去)として，天ヶ瀬ダム上流域に位置する大戸川ダム流域を一体と考えた土砂捕捉による堆砂対策の可能性を抽出した．

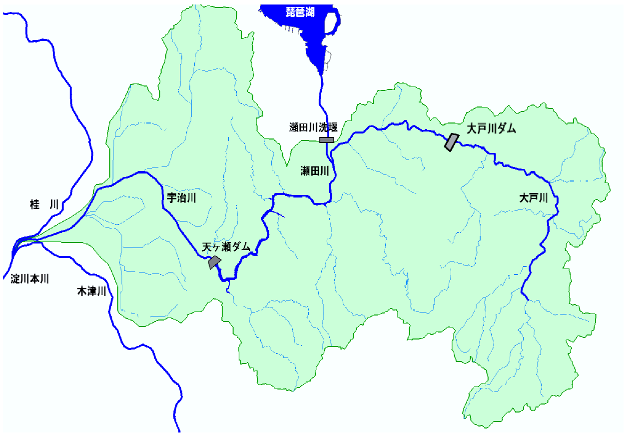

図-14　天ヶ瀬ダム上流域図(大戸川流域を一体堆砂管理)

a) 大戸川ダム貯水池内の堆砂除去

大戸川ダムは流水型のダムではあるが，貯水池内において土砂堆積するものと予想する．出水中は洪水調節により貯水位が高いものの，平常時は通常の河川と同様の水位となっていることから，陸上掘削が可能となる区域が存在するものと考えられ、陸上掘削による堆積土砂除去により，天ヶ瀬ダム貯水池の堆砂抑制の可能性がある．

b) 大戸川ダム下流の堆積土砂除去

大戸川ダム下流は河床勾配が緩く，また，多数の落差工が設置されていることから，河川内において土砂堆積するものと予想する．大戸川流末(瀬田川合流点)においても土砂堆積が顕在化していたことから，大戸川流域からの堆積土砂の除去により，天ヶ瀬ダム貯水池の堆砂抑制の可能性がある．

c) 大戸川ダム上流の堆積土砂除去

大戸川ダム上流に貯砂ダムを設置し，流入土砂を捕捉し，陸上掘削による捕捉土砂の除去により，天ヶ瀬ダム貯水池の堆砂抑制の可能性がある．

d) 大戸川の既存堰堤の改良による堆積土砂除去

大戸川川には設置される複数の堰堤を改良することにより土砂捕捉機能を向上させ，捕捉土砂の除去により，天ヶ瀬ダム貯水池の堆砂抑制の可能性がある．

7.　おわりに

天ヶ瀬ダム堆砂対策の中長期対策として，旧志津川導水路を有効活用(案)，天ヶ瀬ダム上流域に位置する大戸川ダム流域を一体と考えた土砂捕捉による堆砂対策(案)を抽出した．

各案とも，浚渫土，掘削土を場外搬出して再資源化施設への運搬を前提としたものであることから，場外搬出に係る運搬費用や受入費用のコスト縮減が，堆砂対策と並ぶ課題となっている．また，下流河川への置砂利活用に際して土砂動態を考慮した対応も課題となっている．

堆砂対策の検討を進めるにあたり，既存ストック(旧志津川導水路トンネル)の健全性評価，堆砂対策の流域一体化を加えた比較検討，ダム下流河川における治水(流下断面)・利水(舟運，取水等)・環境(生物)を考え合わせた維持管理計画を検討する必要があると考える．

そのため，「淀川水系総合土砂管理検討委員会」における議論を踏まえて，流域内の現状把握や課題等の整理と併せて，継続可能な中長期対策の最適(案)の選定を目指す．

参考文献

1) 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課：ダム貯水池土砂管理の手引き(案)，2018(平成 30)年 3 月