

「天神川水系の土砂管理計画(案)」 に関する技術資料

令和6年7月22日

国土交通省 中国地方整備局 倉吉河川国道事務所

目次

1. 天神川水系の概要	2	7. 土砂流出モデルの作成	51
(1) 流域の概要 気候・気象	2	(1) 土砂流出モデル	51
(2) 地形地質	3	(2) 植生域のモデル化	53
(3) 主な土砂災害及び洪水	4	(3) 各地点で与えている河床材料	55
(4) 流域範囲と領域区分	8	(4) 天神川流砂系の土砂管理計画	56
2. 土砂管理の取り組み状況	9	(5) 土砂動態マップ	57
3. 各領域における土砂に関する現状と課題	11	(6) 通過土砂量縦断図	60
(1) 砂防域	11	(7) 粒径別年間土砂量	65
(2) ダム域	12	(8) 土砂生産モデルの精度検証	73
(3) 河道域	13	(9) 平野部の河床変動モデルの精度検証	74
(4) 河口域	26	8. 今後の課題	76
(5) 海岸域	32	(1) 土砂管理計画（案）の作成	76
(6) 天神川流域（直轄区間）における流砂観測状況	34	(2) 包括協定との整合	78
(7) 天神川流域（直轄区間）における定期横断測量・河床材料調査の実施状況	35	(3) 土砂動態観測地点の増設	79
4. 天神川水系の土砂動態に与えたインパクトとレスポンスの整理	36	9. 今後のスケジュール	80
(1) 施設インパクトの整理	36		
(2) 河道掘削・砂利採取の整理	37		
(3) 天神川水系の土砂動態に与えたインパクトとレスポンス	38		
5. 流砂観測機器データ整理	39		
(1) 流砂観測機器データの整理	39		
(2) 洪水時の土砂移動特性の整理	41		
(3) 観測値の異常に対する対処方法・改善策	42		
6. 水系全体像の把握	43		
(1) サブ流域の分割	43		
(2) セグメント区分	45		
(3) 粒径集団の設定	48		
(4) 水系全体像の把握	50		

1. 天神川水系の概要

(1) 流域の概要 気候・気象

- ・天神川は、その源を鳥取・岡山の県境に位置する津黒山（標高1,118m）に発し、鳥取県中部の中心都市である倉吉市を貫流したのち、北栄町・湯梨浜町にて日本海に注ぐ、流域面積490km²、幹線流路延長32kmの一級河川である。
- ・中国地方有数の急流河川であることから、破堤氾濫、局所洗掘、護岸の被災等の被害を過去に何度も被っている。
- ・天神川流域の年降雨量は約2,000mmと全国平均より多く、三方の山地に降った雨は下流市街地に向けて一気に流下する。

流域及び氾濫区域の諸元

流域面積(集水面積) : 490 km²

幹川流路延長 : 32 km

流域内人口 : 約6.1 万人

想定氾濫区域面積 : 約58 km²

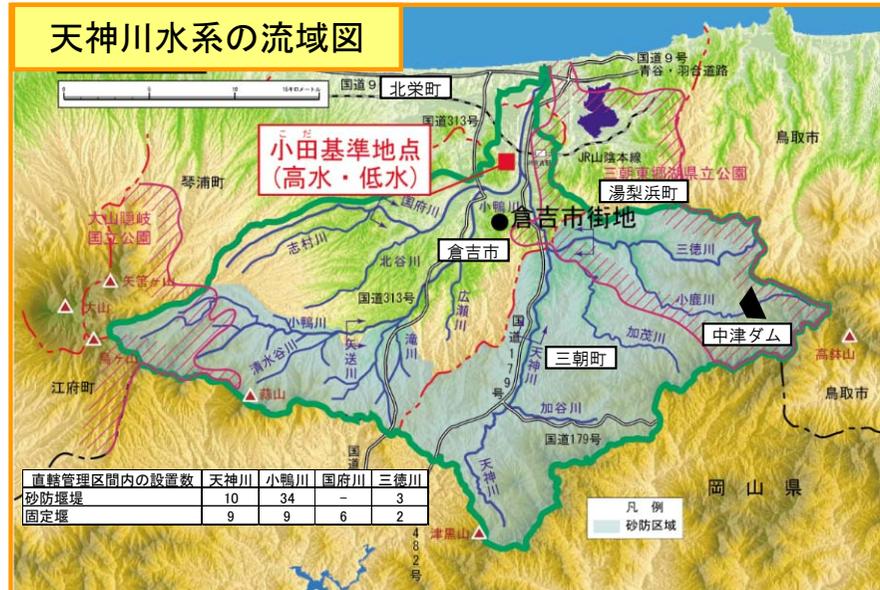
想定氾濫区域内人口 : 約5.6 万人

想定氾濫区域内資産額 : 約1.3 兆円

主な市町村 : 倉吉市、三朝町、
北栄町、湯梨浜町

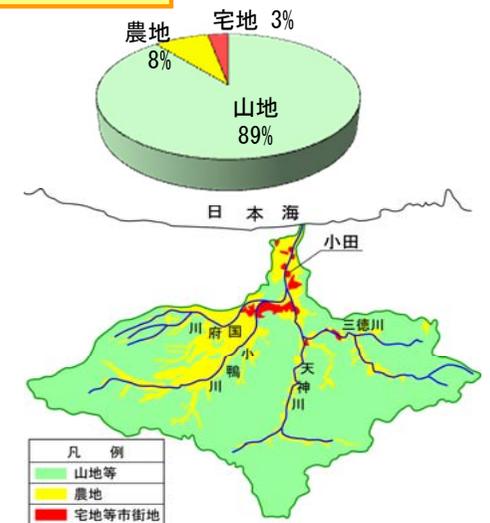
(※) 出典 : 平成22年河川現況調査

天神川水系の流域図



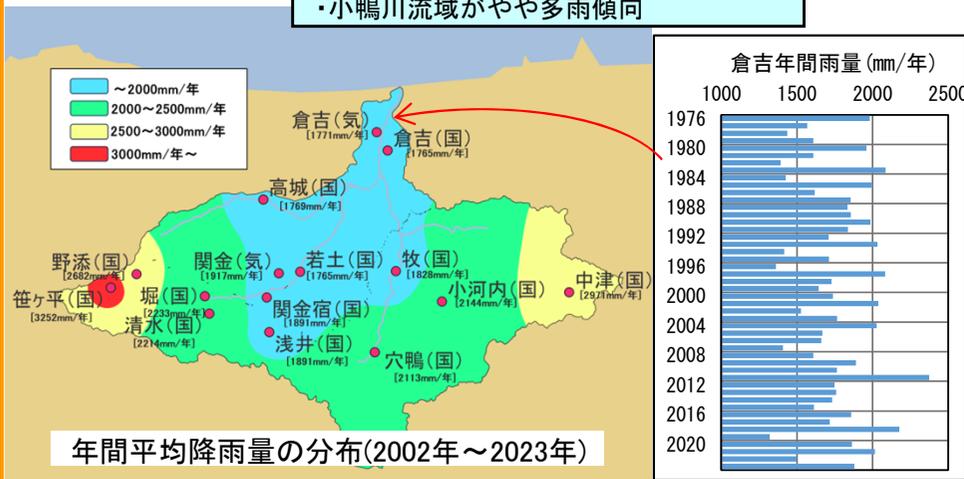
土地利用

・流域の9割が山地



降雨特性

- ・気候は日本海側気候
- ・年間約2,000mm程度(瀬戸内側より多雨)
- ・小鴨川流域がやや多雨傾向



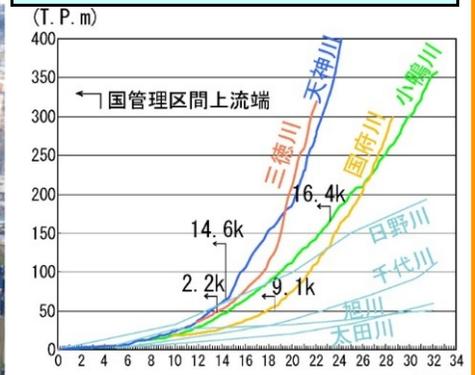
地形特性

- ・流域は鳥が羽を広げたような形
- ・流域を2分する本川天神川と支川小鴨川が倉吉市の中心部で合流



天神川・小鴨川合流部

- ・中国地方屈指の急流河川であり、洪水時に堤防・護岸の崩壊の可能性はある



天神川と近傍河川の縦断図

1. 天神川水系の概要

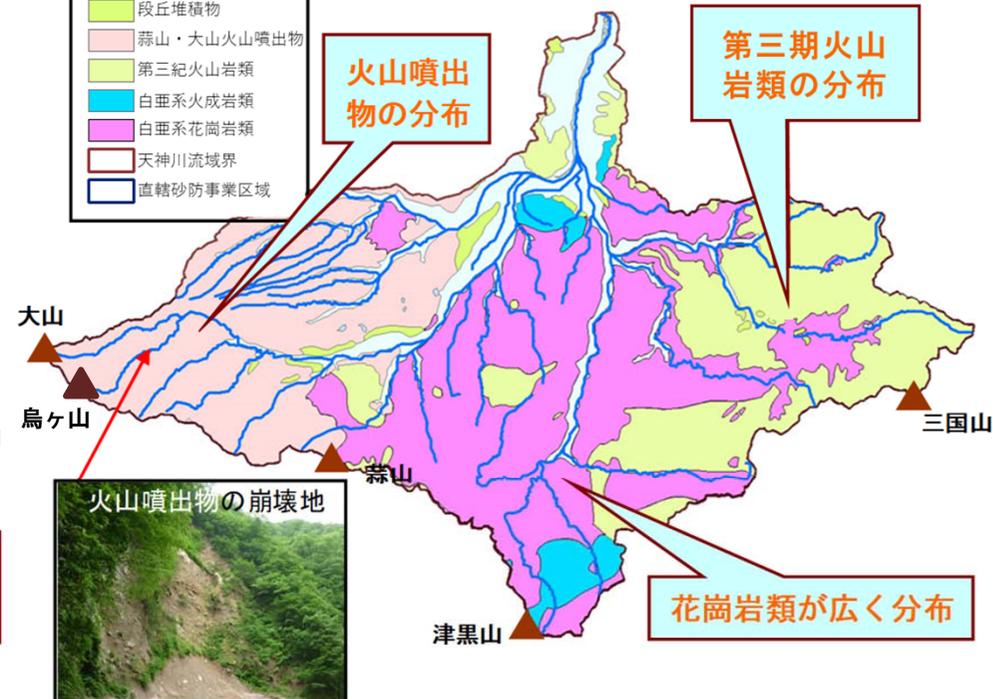
(2) 地形地質

- 流域の地形は、日本海側の北部を除き西は、烏ヶ山（標高1,448m）、東は、三国山（標高1,252m）、南は、津黒山（標高1,118m）、に代表される山々に囲まれている。流域西部は大山の裾野からなっており、東南部は平地の少ない峡谷となっている。このため、天神川は、河床勾配の急な、いわゆる急流と言われる河川となっている。
- 流域の地質は、大きく4分類され、大山西麓の小鴨川流域は主に火山性の凝灰岩等からなり、天神川本川上流域は花崗岩質岩石等、三徳川流域は安山岩類で覆われ、下流域は沖積層となっている。

地形分類図および地質図



地形分類図（「土地分類図」 経済企画庁1968）



地質図（「20万分の1日本シームレス地質図データベース」 独立行政法人産業技術総合研究所 2005）

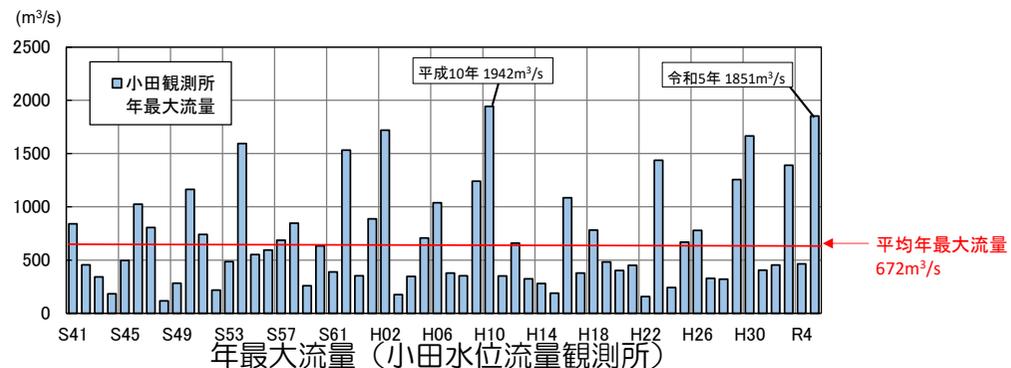
1. 天神川水系の概要

(3) 主な土砂災害及び洪水(被害状況)

- 天神川では、古くから数々の土砂災害や洪水に見舞われており、古いものでは江戸時代の記録が残っている。近代以降では、明治26年、昭和9年、昭和34年と洪水に見舞われ、とりわけ昭和9年の室戸台風により甚大な被害を被った。
- 昭和34年伊勢湾台風洪水は、戦後最大流量を観測し、小鴨川筋の生竹、関金地区等の未改修区間に相当の被害があり、多くの橋梁(当時は木橋が大半)を流失させた。
- 平成10年台風10号では、倉吉市堺町地区や清谷地区で内水による浸水被害があった。この時には、多くの溪流で崩壊、土石流が発生し、三朝町で2棟が全壊するなど家屋への被害を生じさせた。
- 令和3年豪雨では、各市町や県の関連施設等で多くの土砂災害が発生した。
- 令和5年豪雨では、天神川・三徳川を中心に護岸の破損・洗堀等が発生した。流域に設置された砂防堰堤により土砂、流木等を捕捉したため、下流域の国道や住宅への被害を未然に防止した。



昭和9年室戸台風による被害

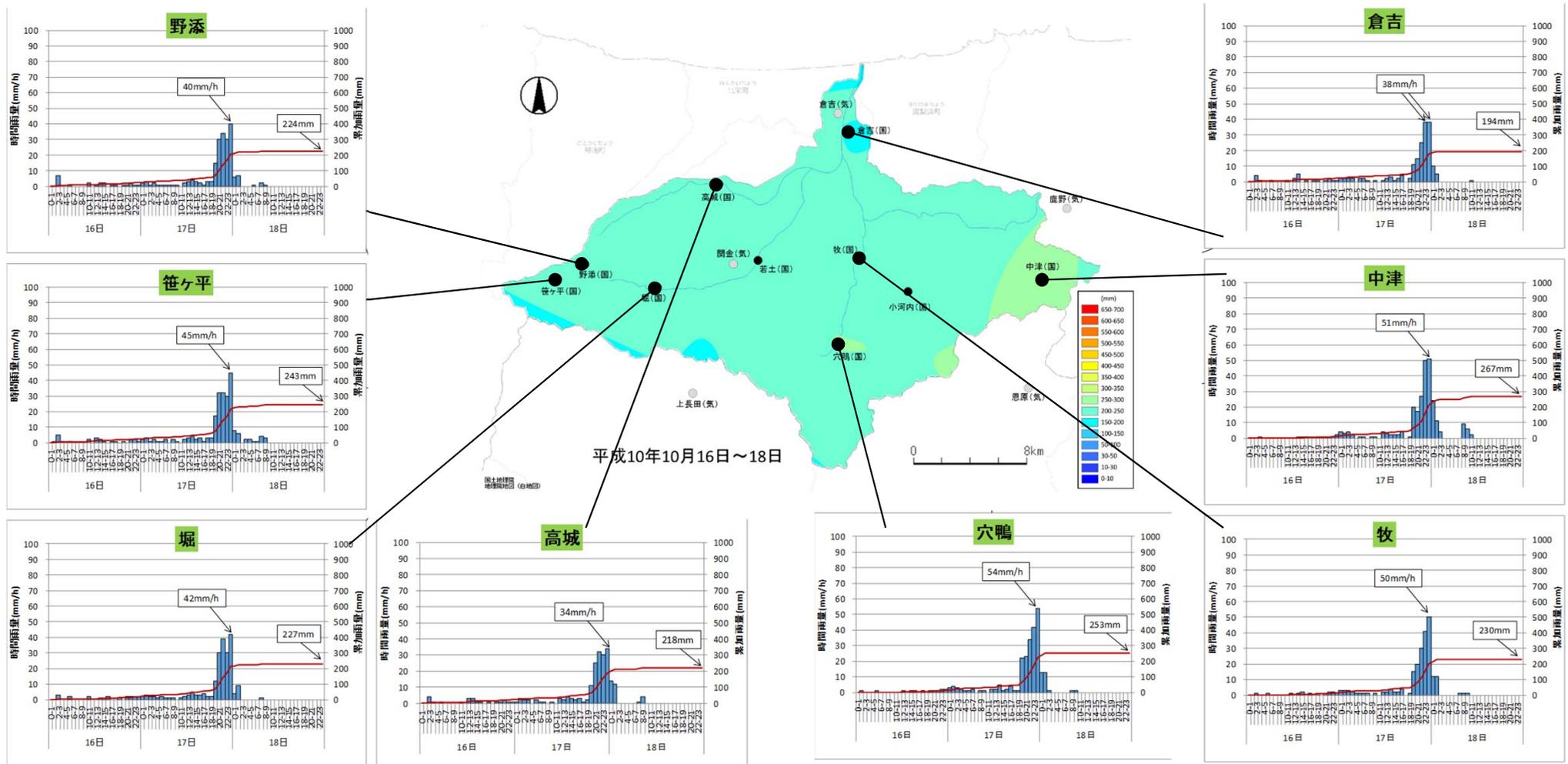


平成10年台風10号による被害

1. 天神川水系の概要

(3) 主な土砂災害及び洪水(平成10年豪雨の概要)

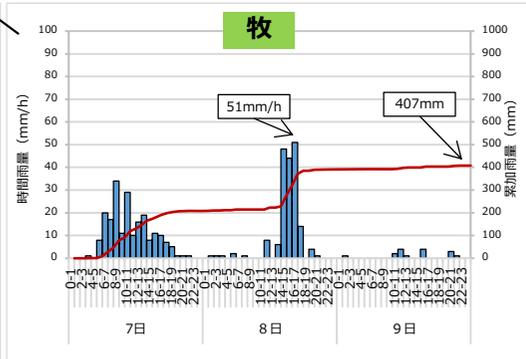
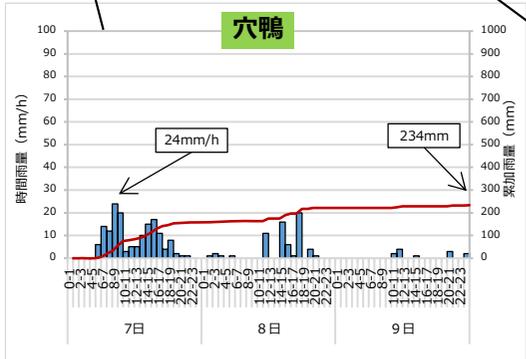
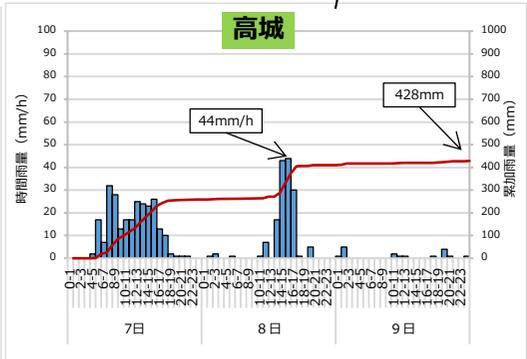
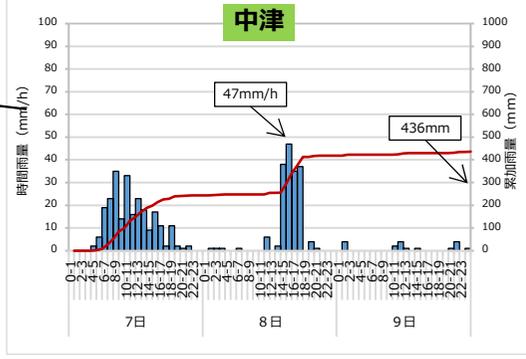
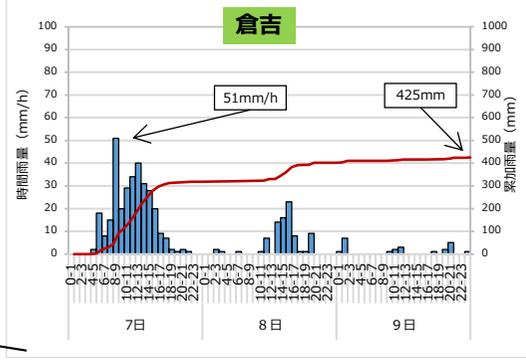
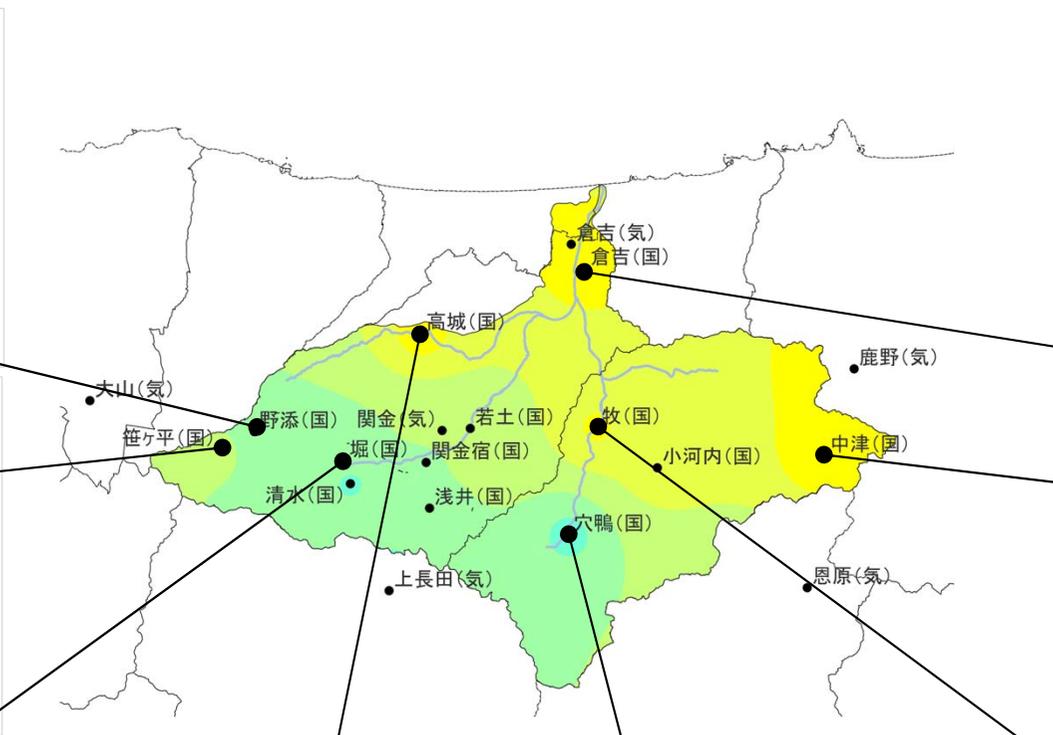
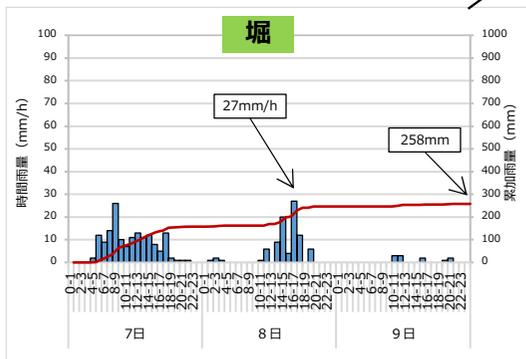
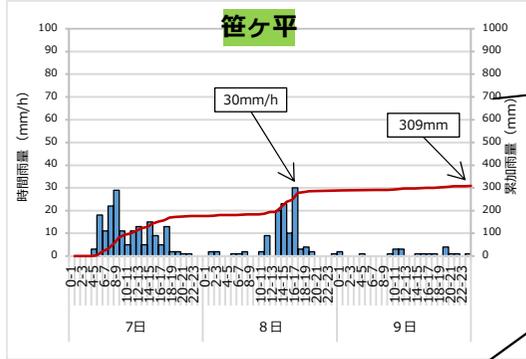
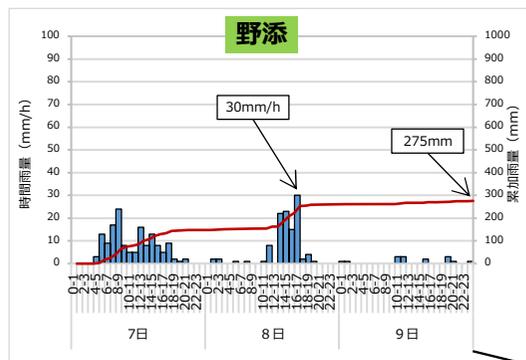
- 平成10年豪雨は、台風10号の影響で発生した。
- 台風10号は、10月17日鹿児島県枕崎市付近に上陸したのち、日向灘、四国を経て、兵庫県豊岡市付近を通過した。
- 台風10号により本州付近に停滞していた前線の活動が活発化し、中部地方から九州地方にかけての広い範囲で大雨をもたらした。



1. 天神川水系の概要

(3) 主な土砂災害及び洪水(令和3年豪雨の概要)

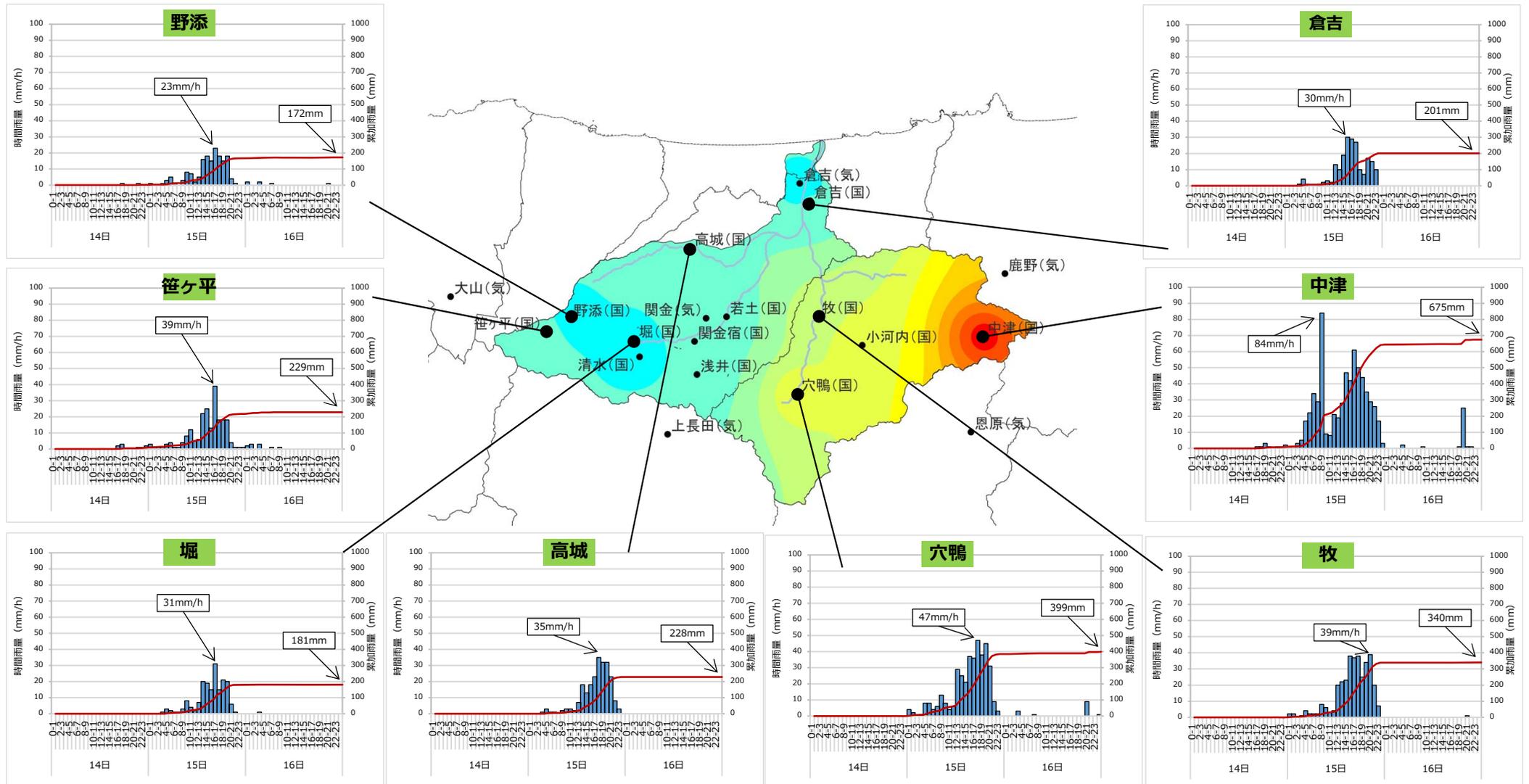
- 令和3年豪雨は、日本海から日本の東にかけて停滞した梅雨前線の影響で発生した。
- 梅雨前線に向かって、暖かく湿った空気が流れ込んだ影響で、大気の状態が非常に不安定となった。
- 山陰では線状降水帯が発生し、倉吉観測所(気象庁)の日降水量が観測史上1位の325.5mmを記録する大雨となった。



1. 天神川水系の概要

(3) 主な土砂災害及び洪水(令和5年豪雨の概要)

- 令和5年豪雨は、台風7号の影響で発生した。
- 8月15日に和歌山県潮岬付近に上陸し、兵庫県明石市付近を経て、兵庫県豊岡市付近を通過した。
- 台風の通過や台風周辺の暖かく湿った空気が流れ込んだため、近畿地方から中国地方を中心に記録的豪雨となった。
- 鳥取県三朝町にある国土交通省の3観測所（穴鴨観測所、小河内観測所、中津観測所）では、総雨量が観測史上1位を記録する大雨となった。



1. 天神川水系の概要

(4) 流域の範囲と領域区分

- 天神川水系は、砂防域・ダム域・河道域・河口域・海岸域に区分される。
- 砂防域は、小鴨川と天神川本川の上流部318.59km²が直轄砂防区域である。
- 河口域及び河道域は、天神川本川に加え、三徳川、小鴨川、国府川の計41.87kmが直轄河川区域である。
- ダム域は、集水面積が大きいものとして中津ダムが存在する。
- 海岸域は、天神川の流出土砂が漂砂として到達する範囲を想定しているが、現段階ではその範囲が明らかでない。現段階では赤碕～宇野海水浴場周辺と考えているが、適宜見直しを図る。この範囲の海岸は北条海岸、大栄海岸などと称され、鳥取県が管理している。

領域ごとの適用範囲と関係機関

領域	適用範囲	関係機関
砂防域	国及び県の事業領域	国土交通省中国地方整備局倉吉河川国道事務所 林野庁 近畿中国森林局 鳥取森林管理署 鳥取県
ダム域	中津ダム	鳥取県
河道域	大臣管理機関 (直轄管理区間)	天神川 0.0k~14.56k、三徳川 0.0k~2.2k、 小鴨川 0.0k~16.2k、国府川 0.0k~8.91k、 国土交通省中国地方整備局倉吉河川国道事務所
	指定区間 (県管理区間)	鳥取県
	準用河川	倉吉市、三朝町、北条町、湯梨浜町
河口域	天神川河口	国土交通省中国地方整備局倉吉河川国道事務所



天神川における領域区分図

2. 土砂管理の取り組み状況(経緯)

天神川水系における現状⇒課題(概略)

<p>《砂防域》</p> <ul style="list-style-type: none"> ・砂防施設整備率30%程度 ⇒土砂災害の発生 	<p>《ダム域》</p> <ul style="list-style-type: none"> ・中津ダムにおいて計画堆砂量の超過 ⇒ダム堆砂の進行
<p>《河道域》</p> <ul style="list-style-type: none"> ・樹林化・二極化の進行 ・局所洗堀深の増大 ・掘削土砂の場外搬出 ⇒二極化による樹林化や礫河原の減少、みお筋部の低下や移動に伴う局所洗堀 	<p>《河口域》</p> <ul style="list-style-type: none"> ・河口砂州形成 ・河口閉塞による浸水被害 ⇒河口砂州による河口閉塞

課題解決に向けた取り組み

～各領域(砂防域、ダム域、河道域、河口域)で実施している以下の対策を継続実施～

<p>《砂防域》</p> <ul style="list-style-type: none"> ・砂防域に透過型砂防堰堤の採用
<p>《ダム域》</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ダム域の堆積状況の把握
<p>《河道域》</p> <ul style="list-style-type: none"> ・河道域において、河道の安全性、礫河原再生を考慮した河道掘削、樹木管理(植生管理)を実施
<p>《河口域》</p> <ul style="list-style-type: none"> ・砂州による河口閉塞を生じさせないよう砂州の挙動をモニタリングし、必要に応じて維持掘削を実施 ・河口閉塞対策として、掘削した砂を浜崖等が起こっている海岸へ搬出できないか調整中

課題解決に向けた更なる取り組み

砂防、河川、海岸の連携のもと各領域で整合のとれた対策を実施することにより、生態系に配慮した土砂環境を維持しつつ土砂洪水災害に対して安全で、可能な限り海岸域への土砂供給を行う流砂系の実現を目指す。

天神川水系土砂管理連絡協議会 準備会 (R3.10、R4.10)

天神川水系土砂管理連絡協議会 (R4.12、R5.3、R5.7)

・土砂管理計画(案)の策定 ・連携方針(案)の策定

海岸域の対応状況

鳥取沿岸の海岸保全基本計画
(H14 R2改定)

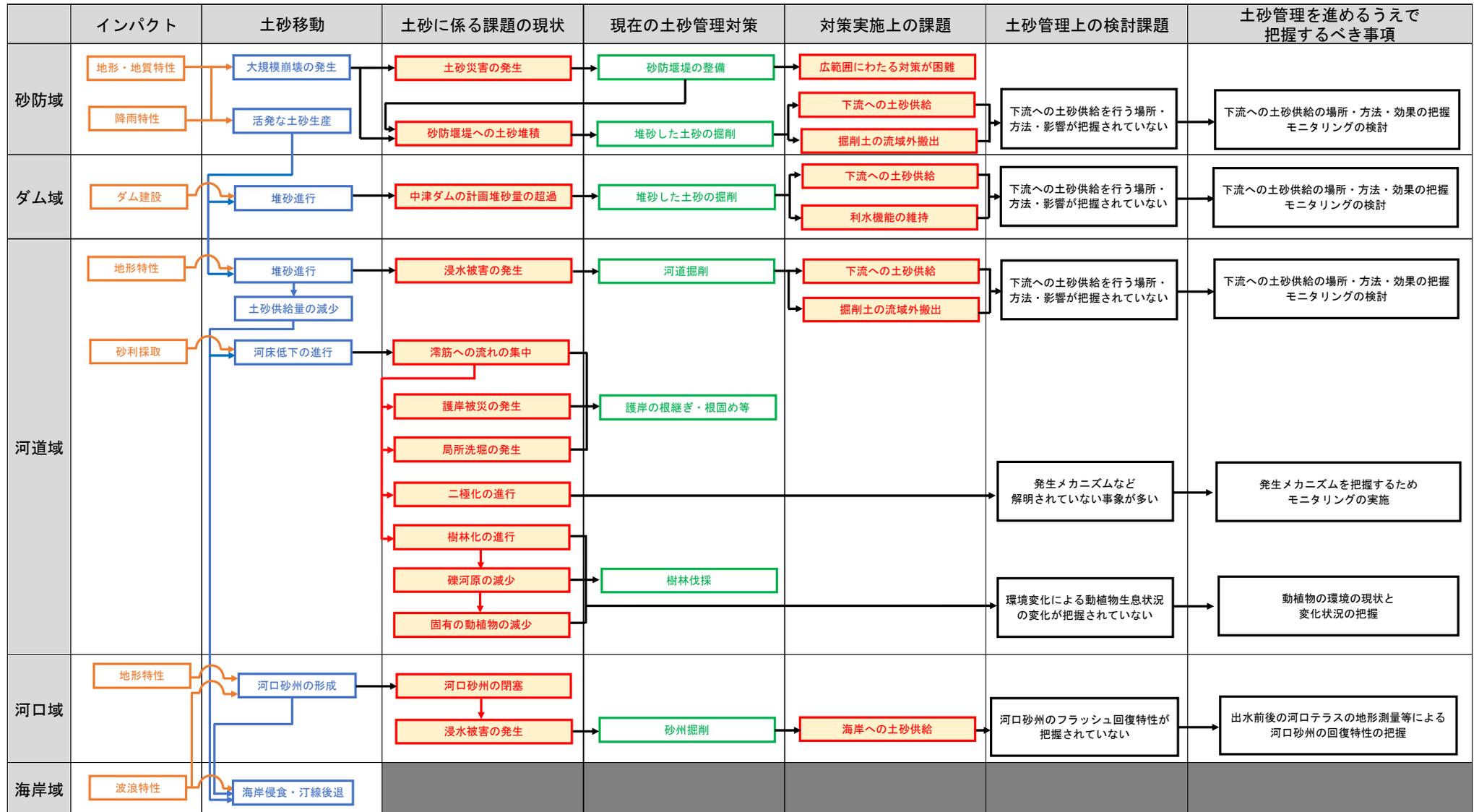
鳥取沿岸の総合的な土砂管理
ガイドライン(H17)

鳥取県中部沿岸土砂管理
連絡調整会議(H25～)

鳥取沿岸における砂浜保全に
関する技術検討会(R1)

2. 土砂管理の取り組み状況(天神川水系における現状と課題の相関図)

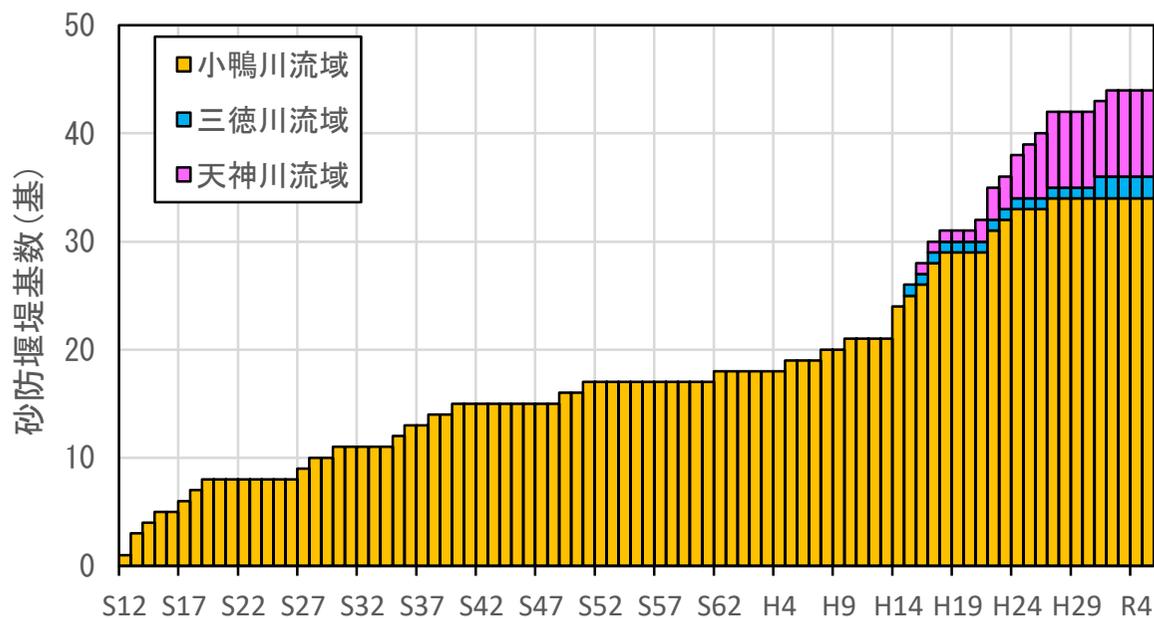
- 地形特性や波浪特性などのインパクトを要因とした、土砂災害の発生や二極化の進行などの現状・課題がある。
- 現在、土砂に係る課題に対して、砂防堰堤の整備や河道掘削などの対策を行っているが、対策実施上の課題も存在する。
- 今後、以上の課題を踏まえて、下流への土砂供給を行うなどの対策のための課題検討や、二極化などの把握されていない事項に対するモニタリングを実施する。



3. 各領域における土砂に関する現状と課題

(1)砂防域

- 【現状】 ●小鴨川では火山性の脆弱な地質を呈し、天神川では急峻な切り立った地形を呈していることから、昭和9年室戸台風、昭和34年伊勢湾台風など、過去に生じた大規模な土砂生産イベントから類推すると、土砂生産ポテンシャルは非常に高い。
- いったん土砂生産イベントが生じた場合には、崩壊・土石流によって近隣家屋や集落に直接的被害をもたらすのみでなく、河川に大量の土砂が流れ込み、破堤を生じさせて、広い範囲に洪水被害をもたらすことが懸念される。
- 土砂災害の発生
- 流域内の砂防施設は、砂防堰堤136基、溪流保全工113基、床固工271基、治山施設469基、森林管理署施設46基、その他施設63基が設置されている。⇒整備率約30%
- 直轄砂防堰堤は、天神川流域に8基、小鴨川流域に34基、三徳川流域に2基設置されている。
- 不透過型砂防堰堤に堆砂した土砂は、堆積土砂の中に樹木等が混在しており再利用ができないため、残土処分場へ搬出処分を行っている。
- 【課題】 ●砂防域から海岸域への安定的な土砂供給
- 砂防堰堤に堆積した土砂の活用方法（土砂管理対策の検討）



直轄砂防堰堤の基数変化

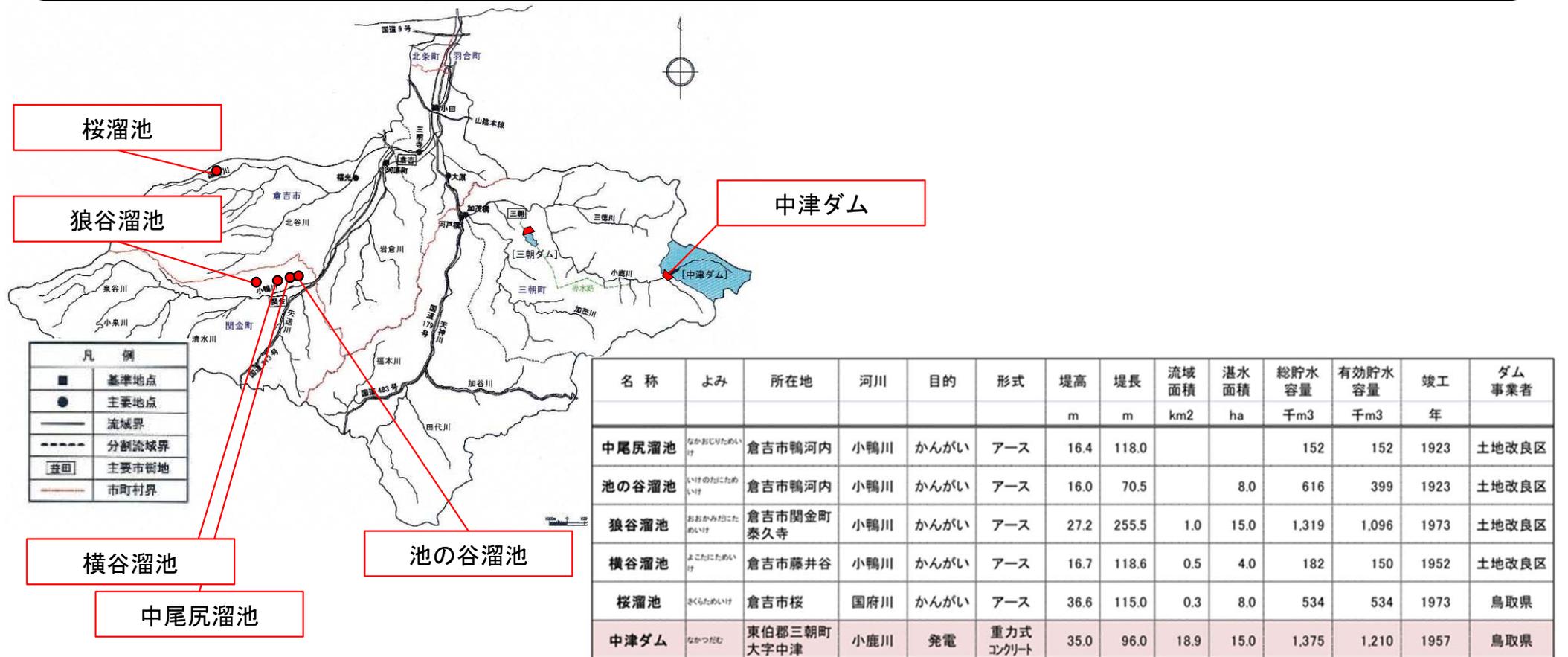


天神川流域に設置されている砂防堰堤

3. 各領域における土砂に関する現状と課題

(2) ダム域

- 【現状】
- 天神川流域の規模が大きく、集水面積が大きいものとしては中津ダムがある。
 - ダム堆砂が進行し、計画堆砂量を超過している。
 - 中津ダムでは令和5年8月の台風により土砂が堆積し、令和5年度に取水口付近の浚渫を行った。令和6年度以降は上流側の堆積土の搬出を継続的に実施していく予定である。
 - 中津ダム以外は6つのため池が存在するが、いずれも流域面積が小さく、土砂の移動に対して下流河道域に与える影響は小さいと考えられる。
 - 貯水量が比較的大きい狼谷溜池では土砂は堆積しておらず、浚渫予定もない。
- 【課題】
- 海岸域への安定的な土砂供給
 - 利水機能の維持



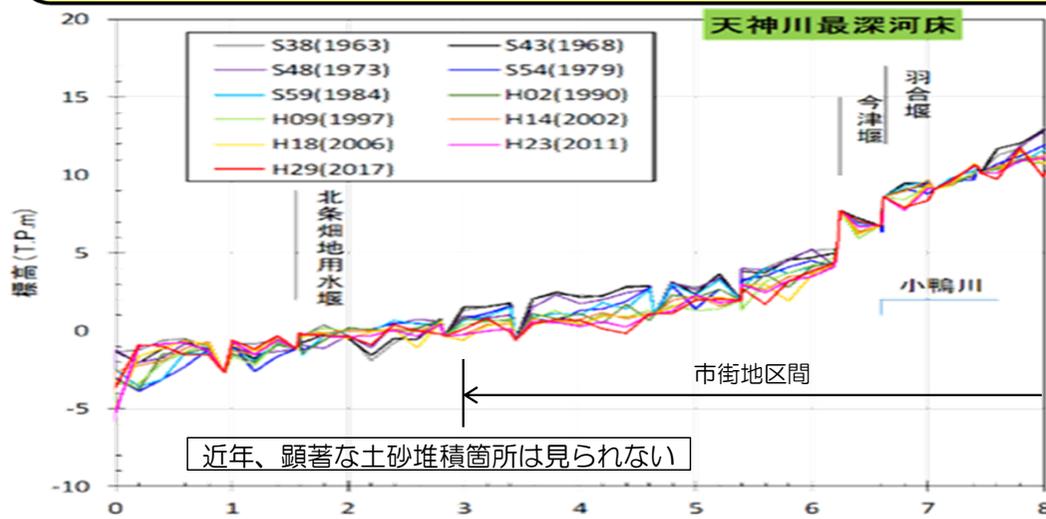
位置図

出典:「ダム便覧」より、天神川水系に位置する堤高15m以上のものを抽出

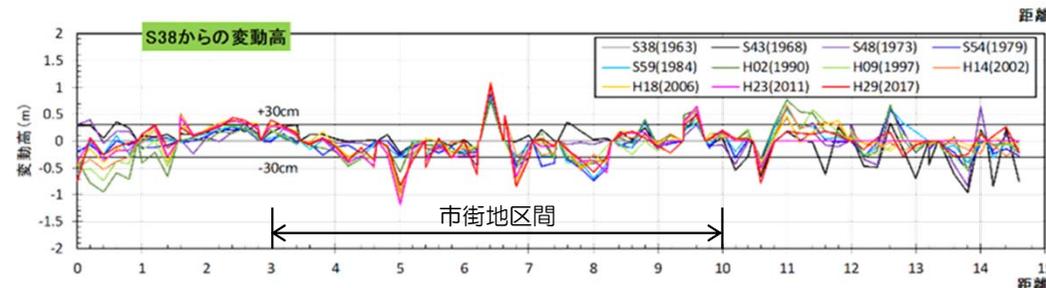
3. 各領域における土砂に関する現状と課題

(3)河道域(河床変動)

- 【現状】
- 河道内の樹林化・二極化による河積阻害や粗度上昇の影響、管理上のアクセスや巡視における支障が生じている。
 - 河道内の二極化は見られるが、平均河床高の経年変化に示されるように河床変動量に大きな変化はない。
 - 天神川本川と小鴨川との合流点付近の低平地には、人口と資産の集中する倉吉市街地があり、このエリアは上下流に比べて河床勾配が緩くなり、土砂堆積しやすい。
 - 資産集中域における土砂堆積は、治水安全度を低減させ、いったん破堤した場合の人的・社会的被害が甚大となる
 - 急流河川のため、洪水時の局所洗堀により護岸の被災が発生している。特に、小鴨川でその傾向が顕著であり、近年の平成23年9月の洪水でも複数個所で護岸の被災が発生した。
 - 河道掘削に伴い発生した土砂の処分は、治水上の観点から場外へ搬出している場合もある。
 - 二極化等の現状の課題に考慮した河道掘削を実施している。
- 【課題】
- 二極化現象の把握を目的とした過去の測量データによる河床形態や出水データの整理、今後のモニタリング計画の検討
 - 河道掘削に伴い発生した土砂の活用方法(土砂管理対策の検討)
 - 護岸の根継ぎ、根固め等による河岸侵食防止対策



天神川における最深河床高の経年変化



天神川における平均河床高の経年変化



平成23年9月洪水による根固め工の被災状況 (平成25年度調査)

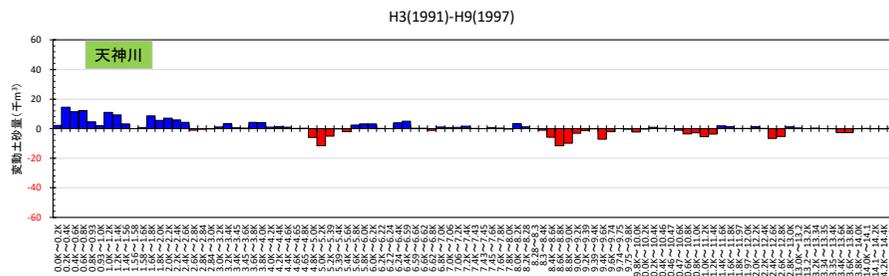
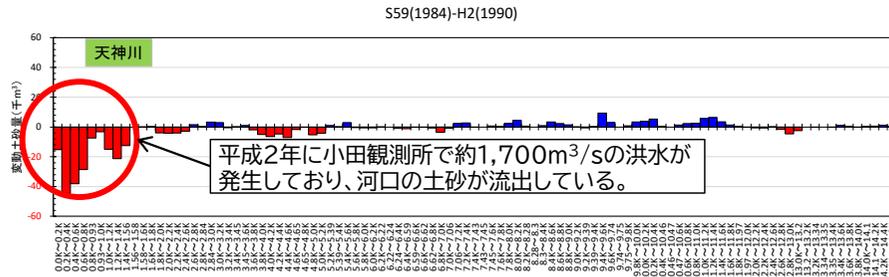
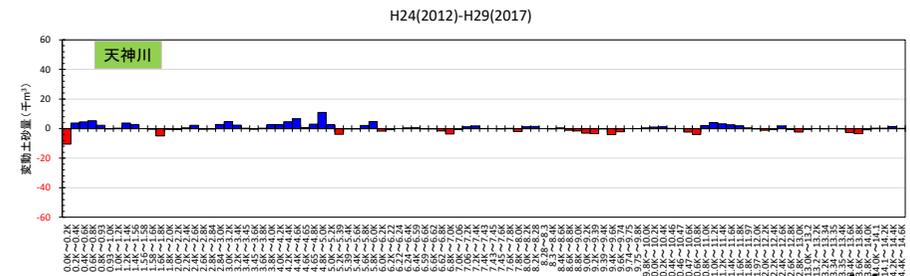
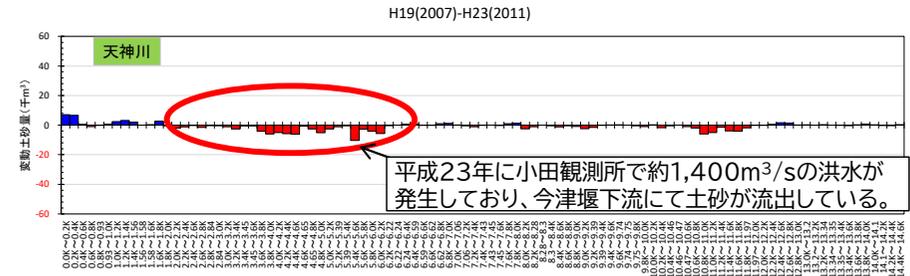
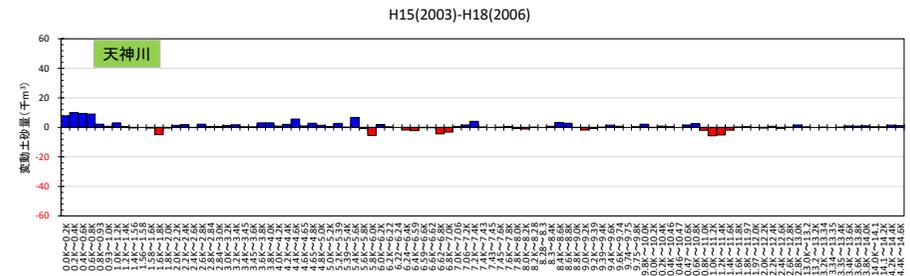
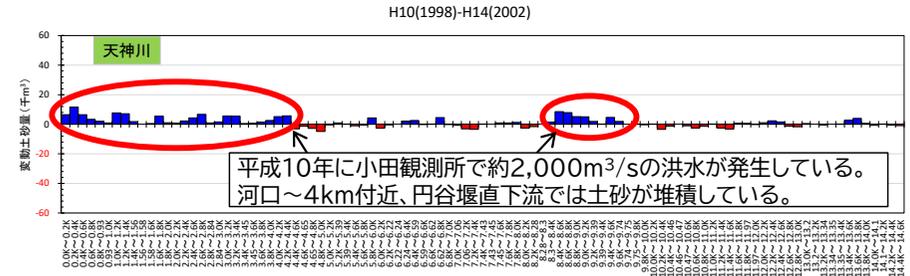
3. 各領域における土砂に関する現状と課題

(3) 河道域 (各河川の土砂変動量の傾向 天神川)

- 平成2年の洪水により、河口付近の土砂が流出している。
- 平成10年の洪水で、河口から4kmにかけての区間と円谷堰直下流で土砂が堆積している。
- 平成23年の洪水で、今津堰下流付近で土砂が流出している。

期間	傾向	小田観測所 流量※ (m ³ /s)	総土砂量 (千m ³)	人為 インパクト (千m ³)	自然 インパクト (千m ³)
昭和59年～ 平成2年	平成2年に小田観測所で約1,700m ³ /sの洪水が発生しており、河口の土砂が流出している。	・1,531(S62.10) ・888(H1.8) ・1,719(H2.9)	-168.76	-31.00	-137.76
平成3年～ 平成9年	河口では堆積傾向となっており、小鴨川合流点より上流では洗掘傾向となっている。	・706(H5.9) ・1,039(H6.9) ・1,240(H9.6)	+48.87	-9.73	+58.60
平成10年～ 平成14年	平成10年に小田観測所で約2,000m ³ /sの洪水が発生している。河口～4km付近、円谷堰直下流では土砂が堆積している。	・1,942(H10.10)	+115.61	-42.88	+158.49
平成15年～ 平成18年	河口で土砂が堆積しているが、概ね安定傾向となっている。	・1,085(H16.10) ・781(H18.7)	+76.97	0	+76.97
平成19年～ 平成23年	今津堰より下流部および、三徳川合流点付近において洗掘傾向となっているが、その他区間は概ね安定傾向となっている。	・1,436(H23.9)	-79.36	-14.05	-65.31
平成24年～ 平成29年	概ね安定傾向となっている。	・778(H26.10) ・1,255(H29.9)	+36.61	-45.34	+81.95

※平均年最大流量(676m³/s)以上の流量 ()内は生起年月
+堆積量 -洗掘量
総土砂量=人為インパクト+自然インパクト



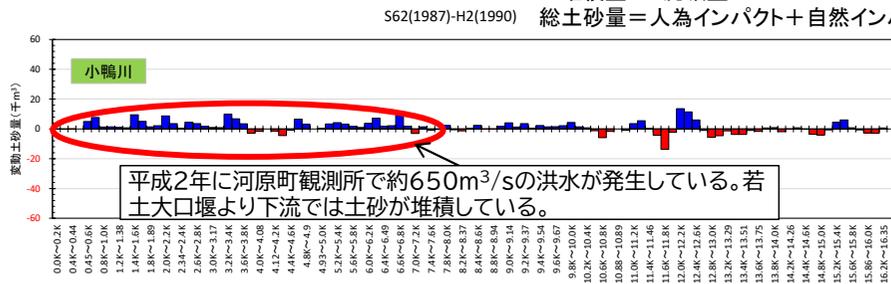
3. 各領域における土砂に関する現状と課題

(3) 河道域 (各河川の土砂変動量の傾向 小鴨川)

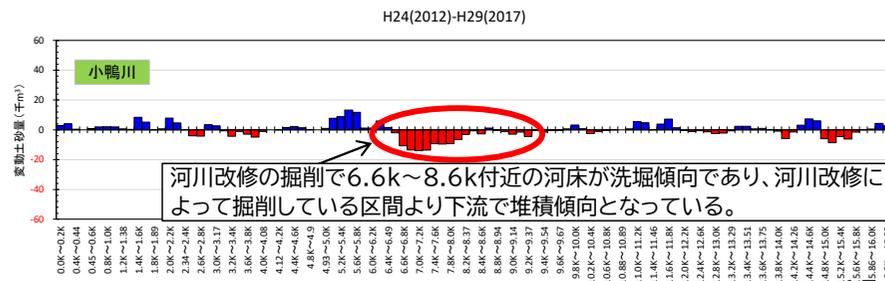
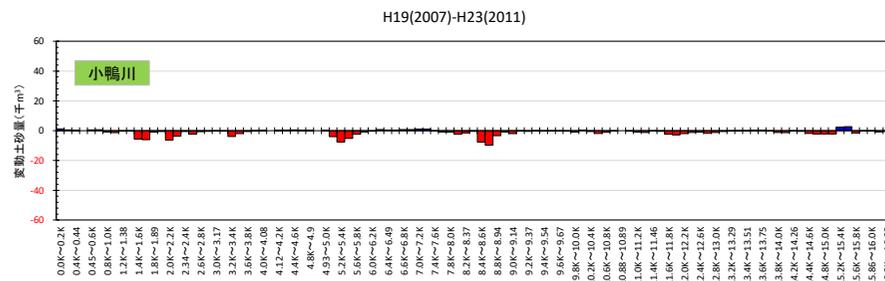
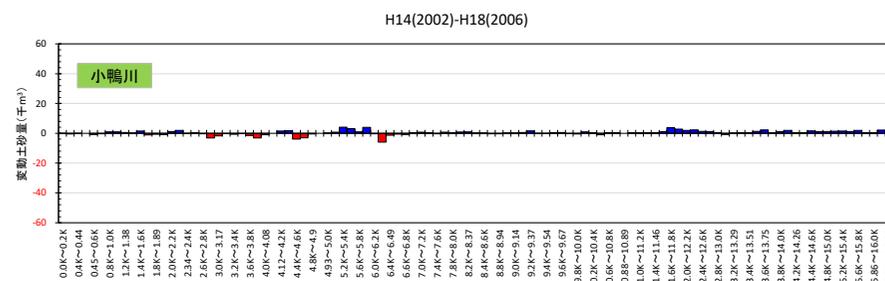
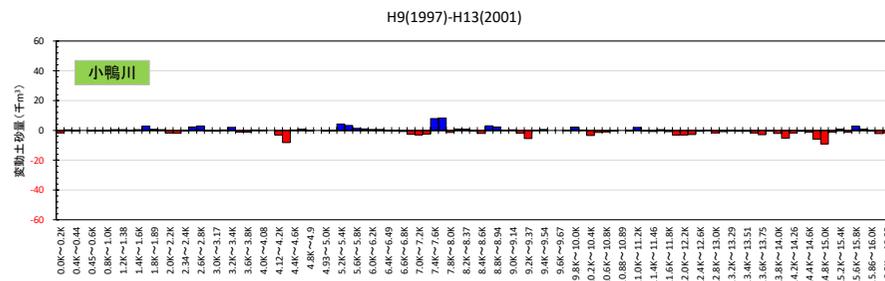
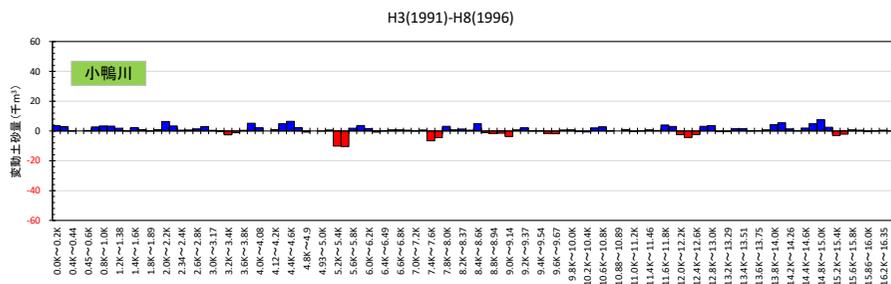
- 平成2年の洪水により、若土大口堰より下流で土砂が堆積している。
- 平成23年から行っている河川改修の掘削により、6.6k~8.6k付近の河床は洗堀傾向であり、河川改修区間より下流では堆積傾向となっている。

期間	傾向	河原町観測所 流量※ (m ³ /s)	総土砂量 (千m ³)	人為 インパクト (千m ³)	自然 インパクト (千m ³)
昭和62年～ 平成2年	平成2年に河原町観測所で約650m ³ /sの洪水が発生しており、若土大口堰より下流側で堆積傾向となっている。	・342(S63.7) ・393(H1.8) ・652(H2.9)	+126.92	0	+126.92
平成3年～ 平成8年	概ね安定傾向となっている。	・456(H5.9) ・448(H6.9)	+74.08	0	+74.08
平成9年～ 平成13年	概ね安定傾向となっている。	・538(H9.6) ・916(H10.10)	-36.92	0	-36.92
平成14年～ 平成18年	概ね安定傾向となっている。	・751(H16.10) ・449(H18.7)	+35.70	0	+35.70
平成19年～ 平成23年	平成23年に小田観測所で約1,500m ³ /sの洪水が発生しており、小鴨川全川において洗堀傾向となっている。	・384(H19.7) ・644(H23.9)	-108.20	-39.40	-68.80
平成24年～ 平成29年	河川改修の掘削で6.6k~8.6k付近の河床が洗堀傾向であり、河川改修によって掘削している区間より下流で堆積傾向となっている。	・346(H25.9) ・419(H26.10) ・391(H29.9)	-13.81	-224.08	210.17

※平均年最大流量(676m³/s)以上の流量 ()内は生起年月 + 堆積量 一 洗堀量
 総土砂量 = 人為インパクト + 自然インパクト



平成2年に河原町観測所で約650m³/sの洪水が発生している。若土大口堰より下流では土砂が堆積している。



河川改修の掘削で6.6k~8.6k付近の河床が洗堀傾向であり、河川改修によって掘削している区間より下流で堆積傾向となっている。

3. 各領域における土砂に関する現状と課題

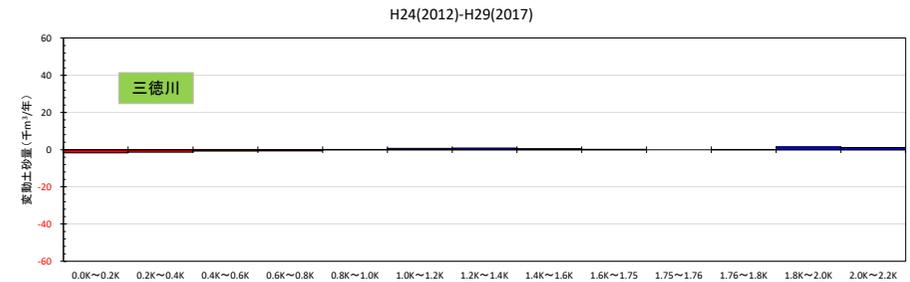
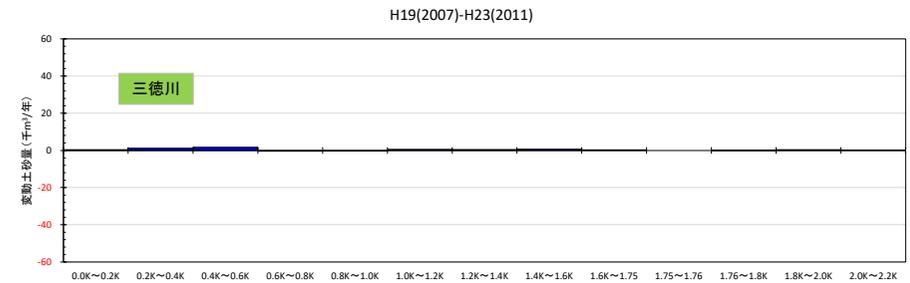
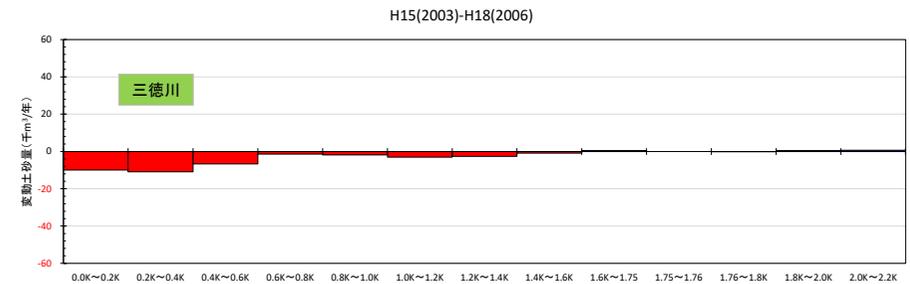
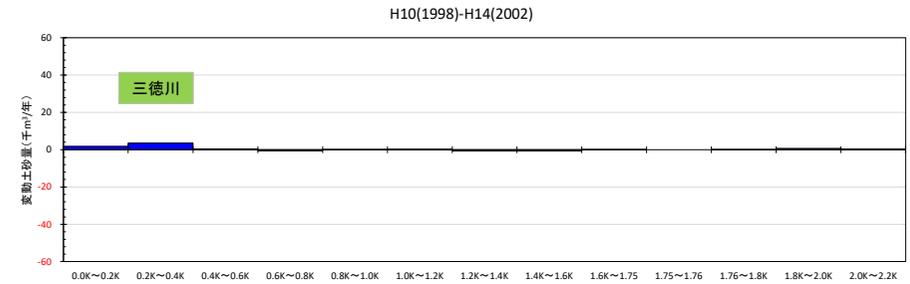
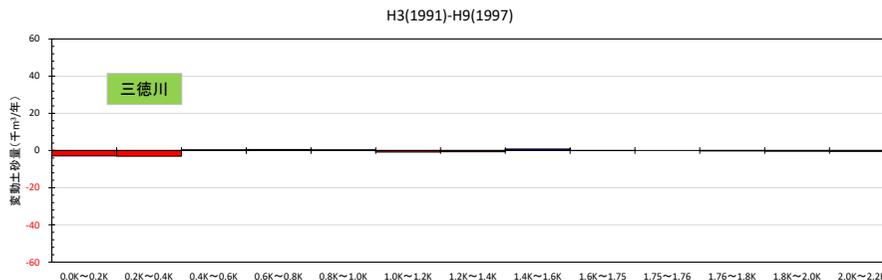
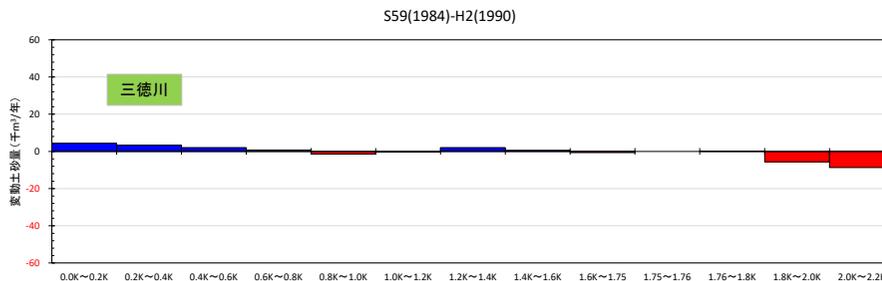
(3) 河道域（各河川の土砂変動量の傾向 三徳川）

●過去から現在において、おおむね安定傾向である。

期間	傾向	三朝観測所 流量※ (m ³ /s)	総土砂量 (千m ³)	人為 インパクト (千m ³)	自然 インパクト (千m ³)
昭和59年～ 平成2年	概ね安定傾向となっている。	・145(S62.10) ・210(H2.9)	-3.30	0	-3.30
平成3年～ 平成9年	概ね安定傾向となっている。	・367(H6.9) ・142(H7.7)	-6.84	0	-6.84
平成10年～ 平成14年	概ね安定傾向となっている。	・299(H10.10)	+5.10	0	+5.10
平成15年～ 平成18年	天神川の合流点で洗掘傾向になっている。	-	-35.94	0	-35.94
平成19年～ 平成23年	概ね安定傾向となっている。	・146(H21.11) ・280(H23.9)	+4.97	0	+4.97
平成24年～ 平成29年	概ね安定傾向となっている。	・188(H25.10) ・218(H26.10) ・133(H27.12) ・321(H29.9)	+0.76	0	+0.76

※平均年最大流量(676m³/s)以上の流量 ()内は生起年月
+堆積量 -洗掘量
総土砂量=人為インパクト+自然インパクト

過去から現在において、概ね安定傾向である



3. 各領域における土砂に関する現状と課題

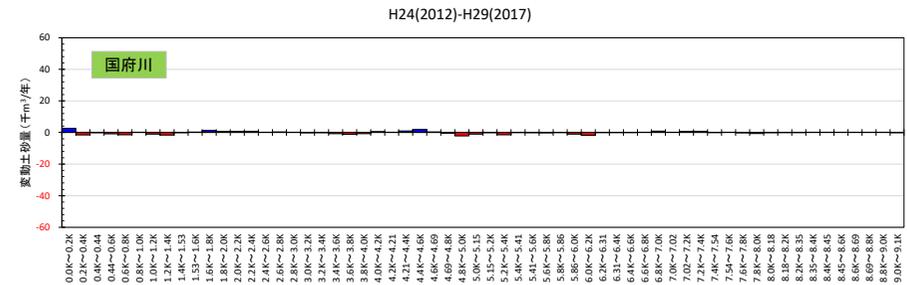
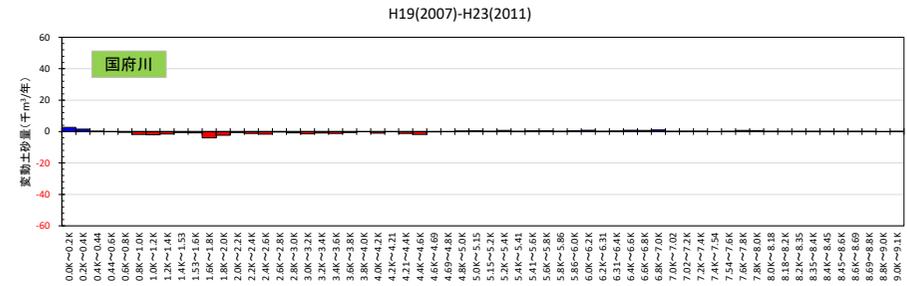
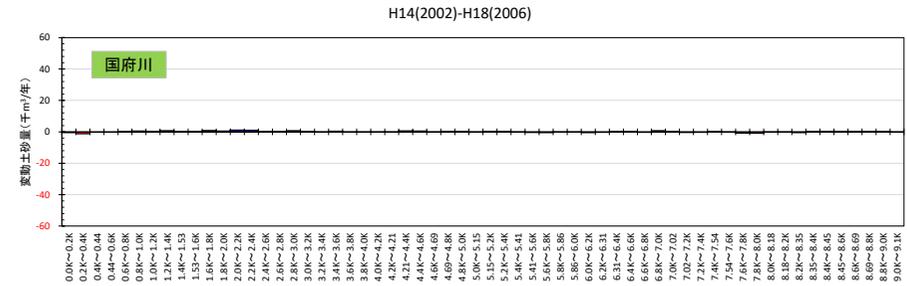
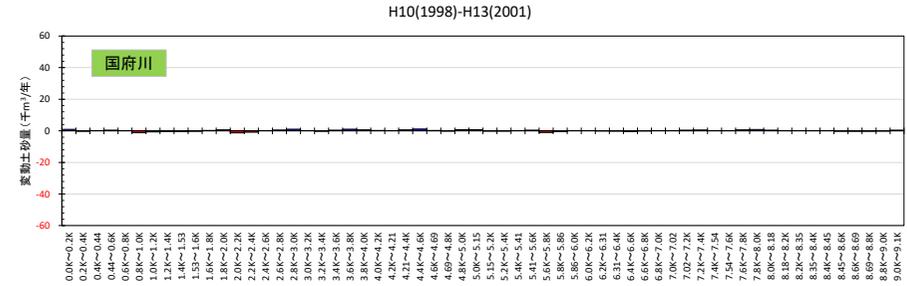
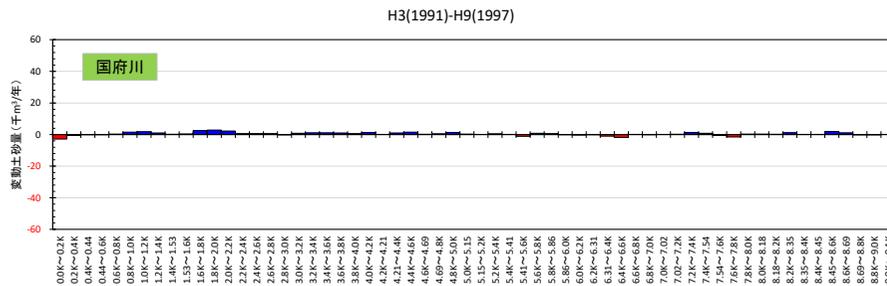
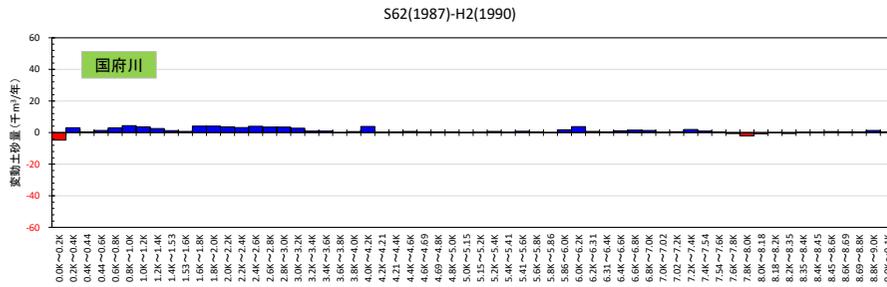
(3) 河道域 (各河川の土砂変動量の傾向 国府川)

●過去から現在において、おおむね安定傾向である。

期間	傾向	福光観測所 流量※ (m ³ /s)	総土砂量 (千m ³)	人為 インパクト (千m ³)	自然 インパクト (千m ³)
昭和62年～ 平成2年	輪王寺頭首工より下流で堆積傾向である。	・298(H2.9)	+66.62	0	+66.62
平成3年～ 平成9年	概ね安定傾向となっている。	・214(H4.10) ・150(H5.9) ・370(H9.6)	+24.42	0	+24.42
平成10年～ 平成13年	概ね安定傾向となっている。	・466(H10.10) ・166(H12.11) ・173(H13.9)	+5.50	0	+5.50
平成14年～ 平成18年	概ね安定傾向となっている。	・150(H16.10) ・213(H17.9)	+4.09	0	+4.09
平成19年～ 平成23年	概ね安定傾向となっている。	・240(H23.9)	-14.01	-34.30	+20.29
平成24年～ 平成29年	概ね安定傾向となっている。	・144(H25.10) ・192(H29.9)	-6.48	-23.75	+17.27

※平均年最大流量(676m³/s)以上の流量 ()内は生起年月
+ 堆積量 - 洗堀量
総土砂量=人為インパクト+自然インパクト

過去から現在において、概ね安定傾向である



3. 各領域における土砂に関する現状と課題

(3)河道域(河道の変遷(砂州・植生変化))

- 【現状】**
- 植生によって砂州が固定化し、さらに土砂がトラップされて安定する状況が見られ、さらなる樹林化を促すなどの悪循環に陥っている。整備計画策定後、樹木の大規模抜開を行っているが、伐採1~2年後に再繁茂が見られている。
 - 洪水時に河川から氾濫した場合などにおいて、田んぼの肥料成分が河川に流れ出すことにより、河道内の樹林化が進んでいる。
 - 樹林化の進行に伴って礫河原が減少し、かつて見られた礫河原固有の動植物(イカルドリ等)の減少が懸念される。
 - 昭和20年代から40年代にかけて自然裸地が減少し、平成7年以降はほとんど残されていない状況となっている。昭和60年以降から樹木繁茂が拡大し、平成17年から22年には最大となっていた。その後、樹木伐採や河道掘削によって減少したが、再繁茂等によって平成27年には天神川で増加している。
- 【課題】**
- 整備計画策定後、樹木の大規模抜開を行っているが、伐採1~2年後に再繁茂が見られており、伐採後に樹林化で土砂がトラップされている箇所も見られ、その効果は限定的である。
 - 出水時に滞筋に流れが集中し、河床低下により河床と陸域の比高差が拡大することから、植生域の増加や礫河原の減少、イカルドリ等の礫河原固有動植物の生息域減少に繋がっている。



樹木伐採箇所(伐採後2年経過)



再繁茂部(天神川)



樹木伐採箇所(伐採後2年経過)



再繁茂部(小鴨川)

樹木抜開後の再繁茂状況



河道内の草本や樹木で見えにくくなった水面と礫河原



イカルチドリ
鳥取県 NT(準絶滅危惧)



昭和40年以前の小鴨川7.0km下流の状況



現在の小鴨川7.0km下流の状況

礫河原の減少状況



昭和37年



昭和46年

植生の進入

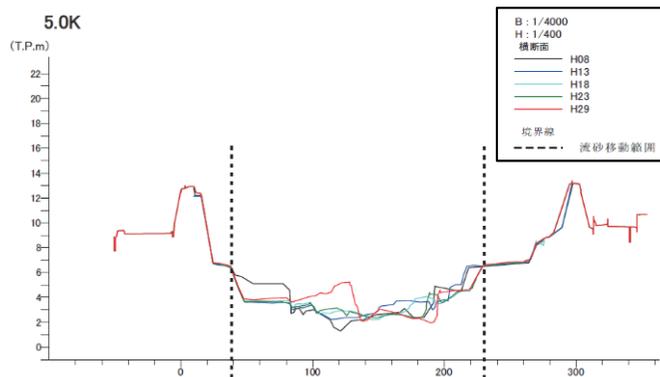


平成25年

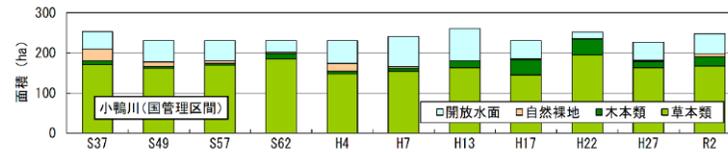
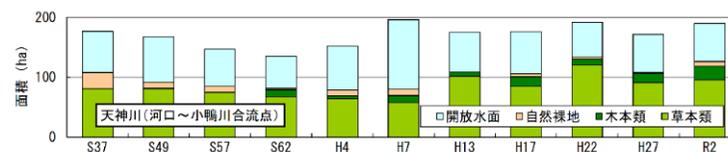


令和元年

小鴨川 3.0-4.0kの植生の変化(航空写真)



天神川5k000における平成8年以降の土砂堆積状況



地状況の長期的な経年変化 (空中写真読み取りと植生調査)

3. 各領域における土砂に関する現状と課題

(3)河道域(河道の変遷(砂州・植生変化))

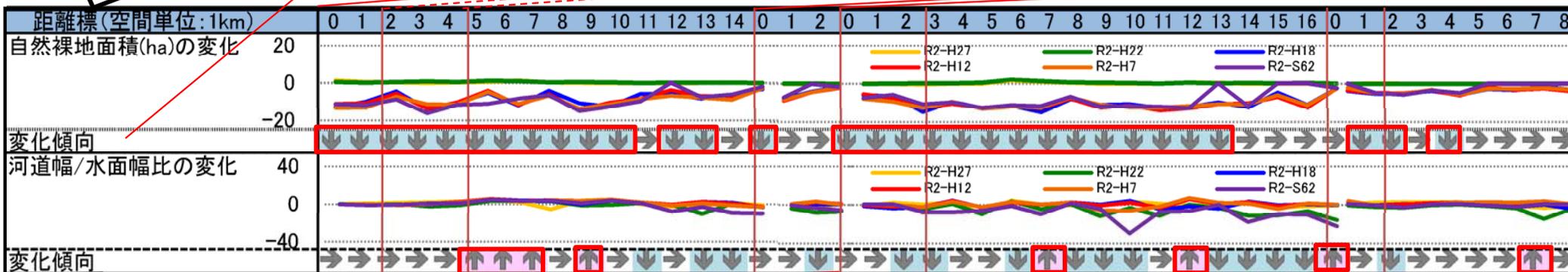
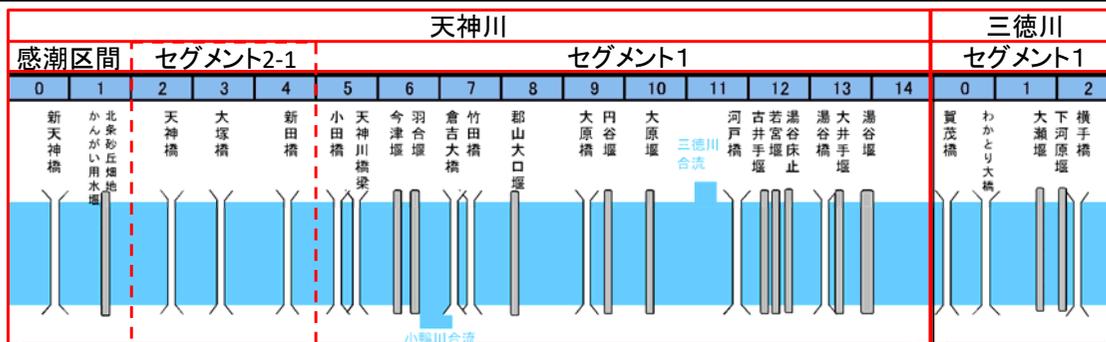
- 河川環境管理シートを活用して、河川環境の劣化箇所の把握を行った。
- 自然裸地面積の変化についてみると、昭和62年から平成18年の間で自然裸地面積が低下しており、河道幅/水面幅比が減少していないことから、天神川と小鴨川を中心に樹林化が進行していることが確認できる。また、変化傾向から天神川と小鴨川を中心に樹林化が進行すると考えられる。
- 河道幅/水面幅比の変化についてみると、平成22年から令和2年にかけて河道幅/水面幅比が上昇しており、天神川を中心に二極化が進行していることが確認できる。また、変化傾向から天神川5k~7k、9kと小鴨川7k、12kを中心に樹林化が進行すると考えられる。

・3年代以上のデータがある場合、30年後の予測値(傾き)により表示

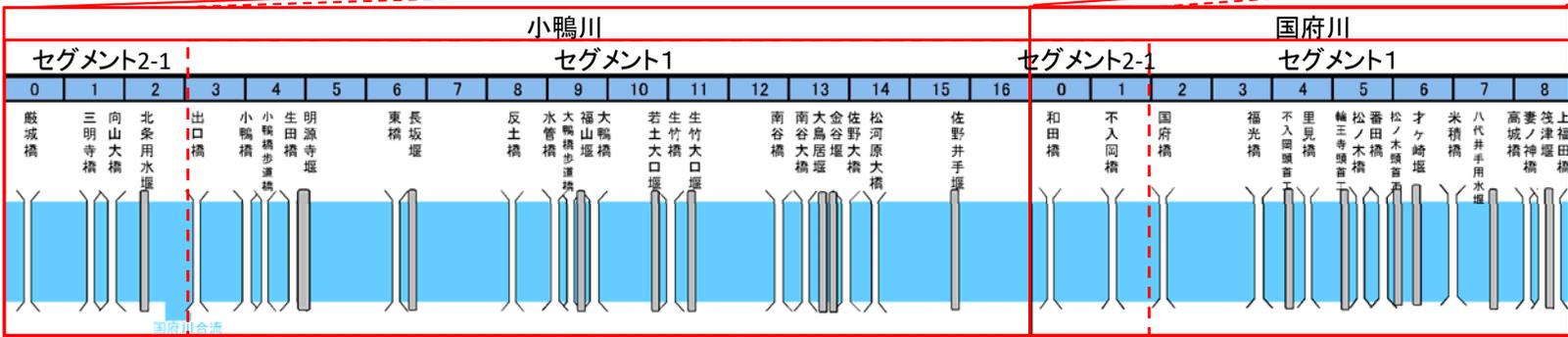
-30%以上の場合: ↓

+30%以上の場合: ↑

自然裸地面積では、値が小さくなると環境が劣化傾向



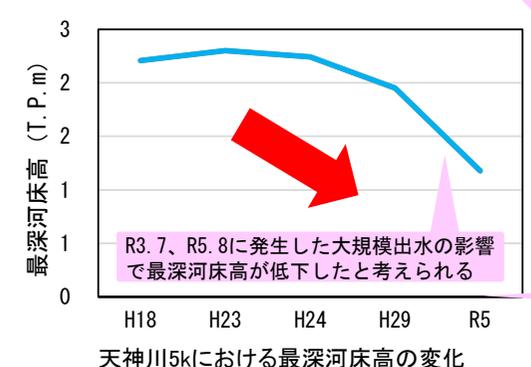
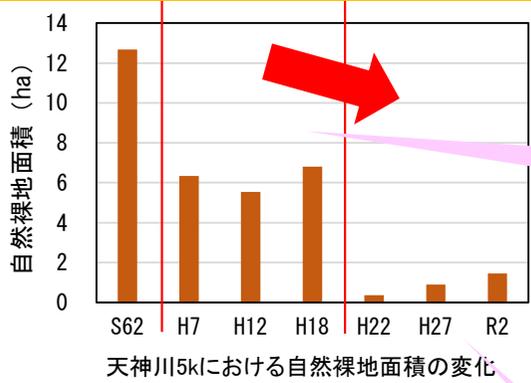
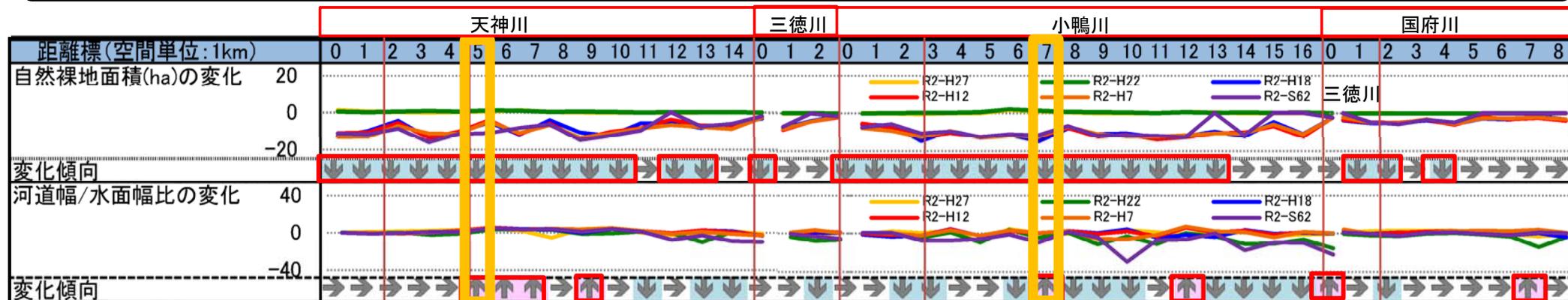
河道幅/水面幅比では、値が大きくなると環境が劣化傾向



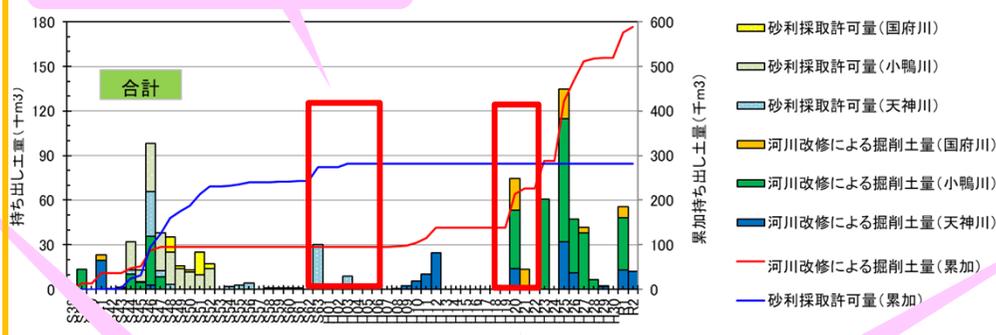
3. 各領域における土砂に関する現状と課題

(3)河道域(河道の変遷(砂州・植生変化))

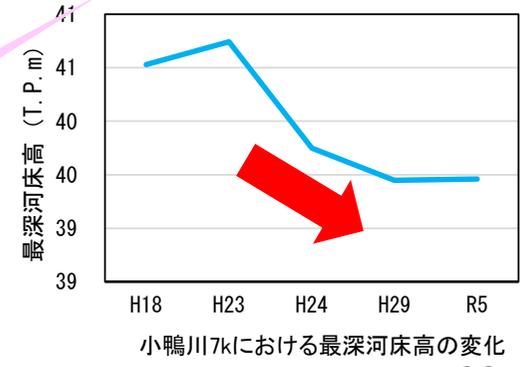
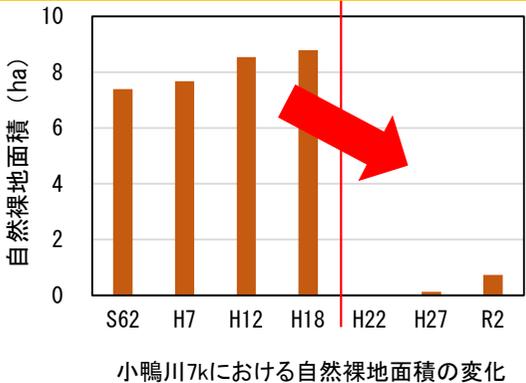
- 劣化傾向が強いと考えられる天神川5kにおいて、自然裸地面積が昭和62年から平成7年と、平成18年から22年にかけて大きく減少している。また、平成18年以降の最深河床高も減少傾向である。
- 劣化傾向が強いと考えられる小鴨川7kにおいて、自然裸地面積が平成18年から22年にかけて大きく減少している。また、平成18年以降の最深河床高も減少傾向である。
- 大きく変化している年には河道掘削・砂利採取量等が行われており、その影響によって環境が変化したと考えられる。



砂利採取によりS62からH7にかけて自然裸地面積が減少していると考えられる



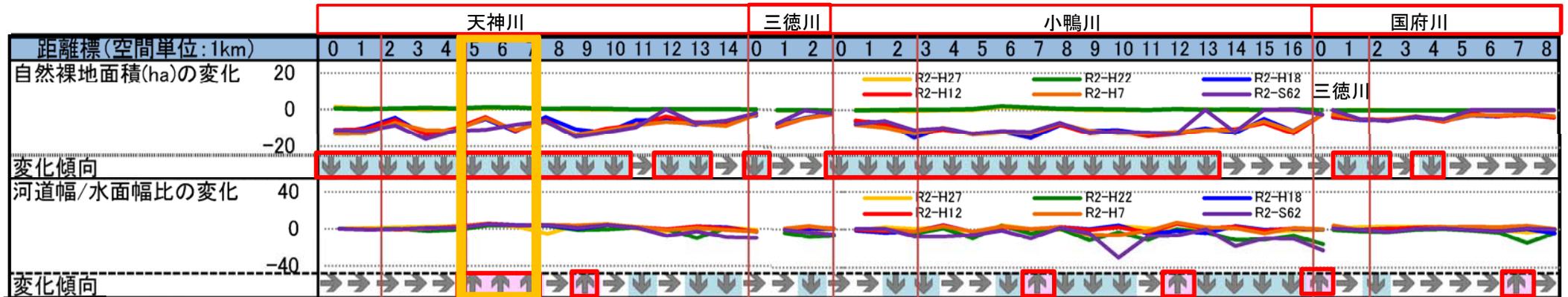
河川改修による掘削によりH18からH22にかけて自然裸地面積の減少、最深河床高の低下をしていると考えられる



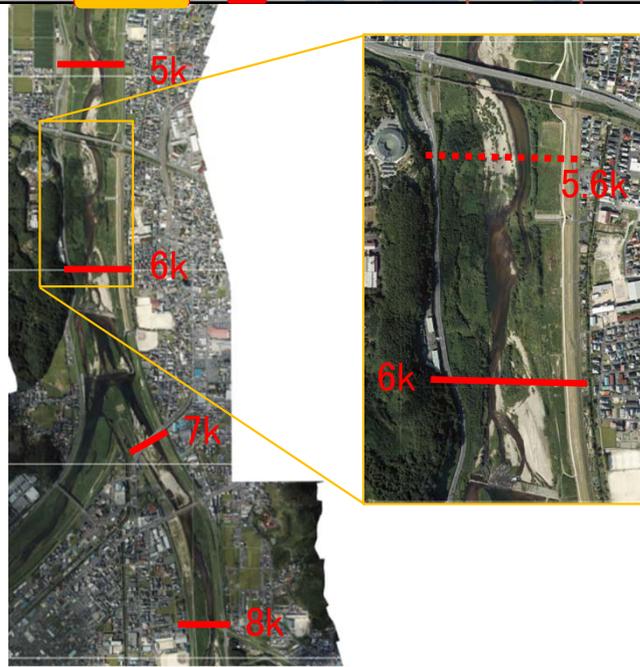
3. 各領域における土砂に関する現状と課題

(3)河道域(河道の変遷(砂州・植生変化))

- 劣化傾向が強いと考えられる天神川の5k~8kについてみると、航空写真や横断面図より二極化や樹林化が進行していることが確認できる。
- 今後、変化傾向が劣化傾向であるところを中心に要因分析を行っていく必要がある。

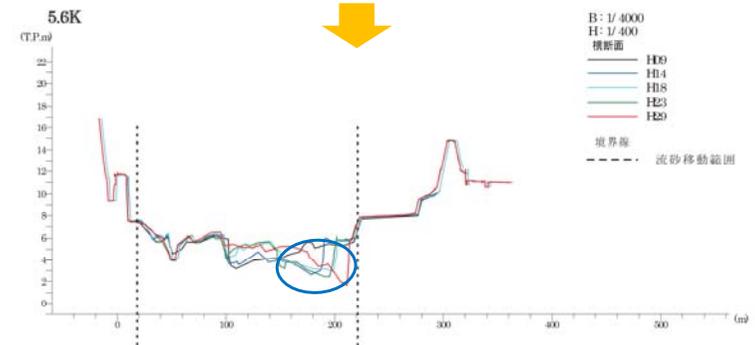
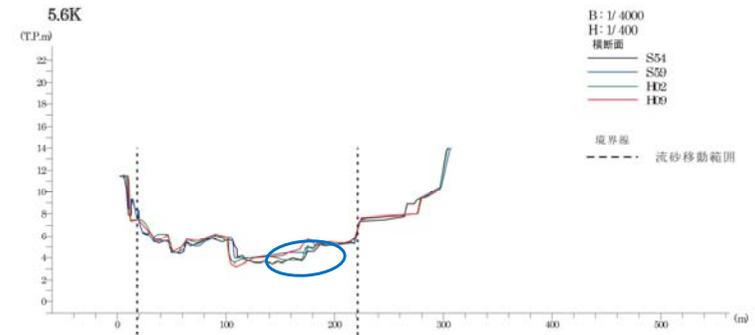


S49~S53航空写真



R1航空写真 ※地理院地図より

天神川5k~8kにおける河川の変遷

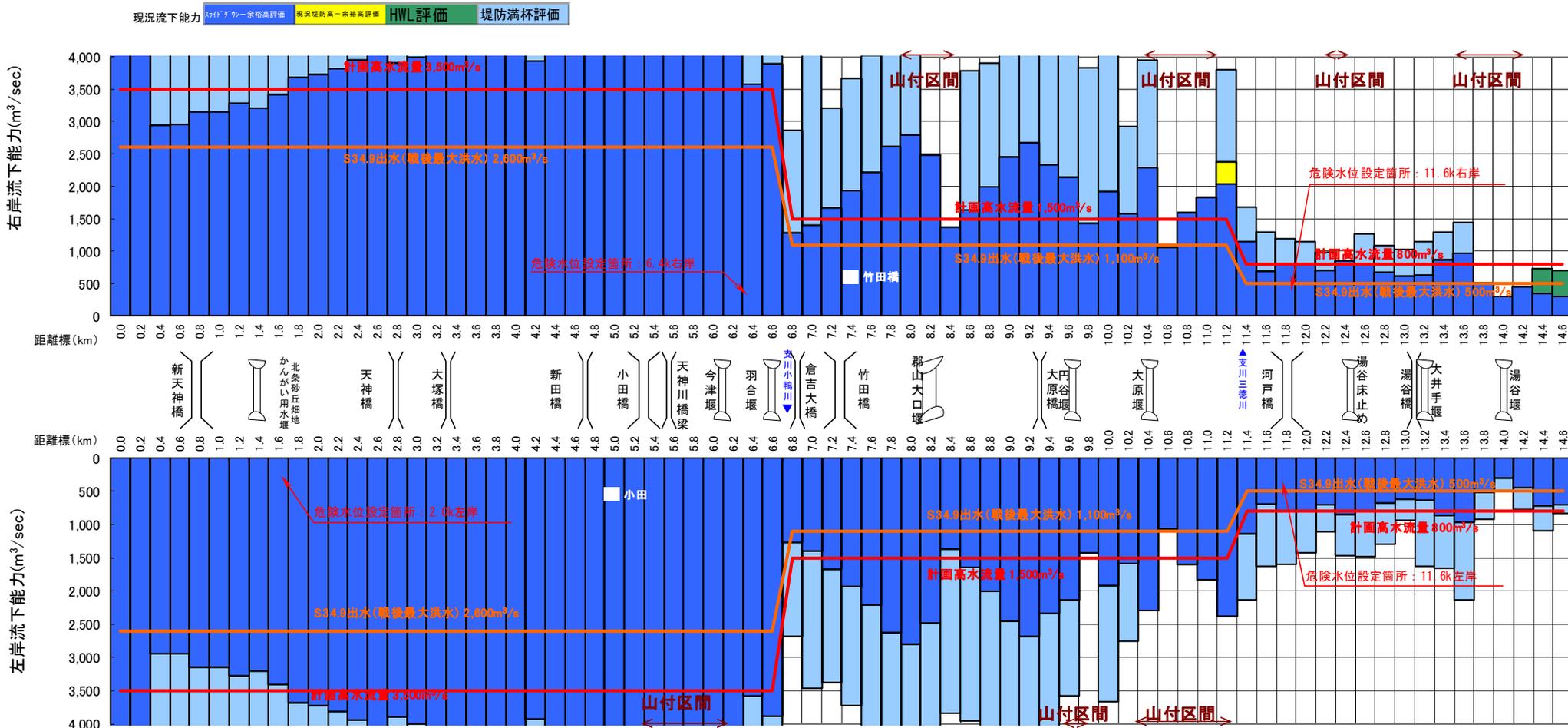


天神川5.6kにおける横断面の変遷

3. 各領域における土砂に関する現状と課題

(3)河道域(流下能力図(天神川))

- スライドダウン—余裕高評価では下流の一部区間、中上流域の一部で計画高水流量を満足できていない区間がある。
- 堤防満杯評価では全川の概ね満足できている。

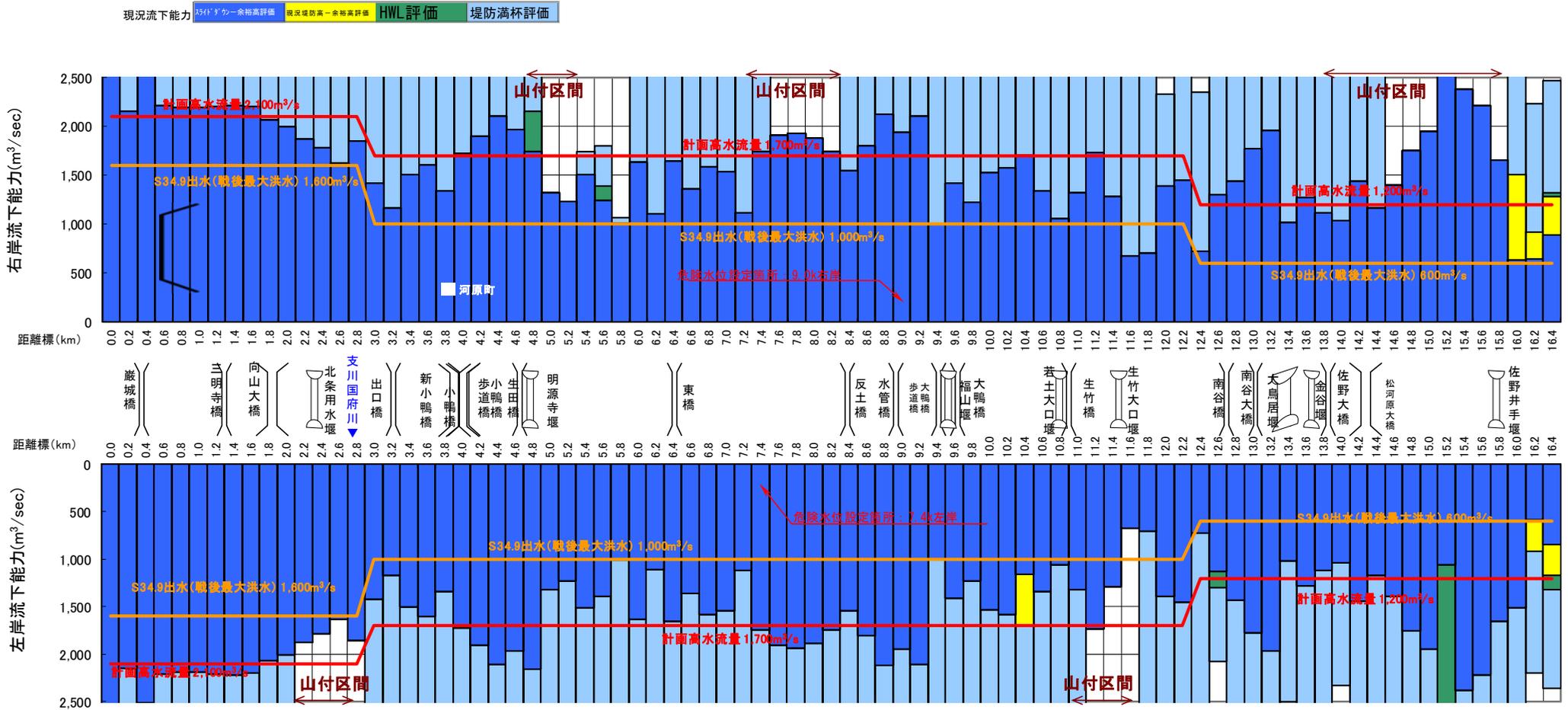


流下能力図 (天神川)

3. 各領域における土砂に関する現状と課題

(3)河道域(流下能力図(小鴨川))

- スライドダウン—余裕高評価では計画高水流量を満足できていない区間が多い。
- 堤防満杯評価では全川の概ね満足できている。

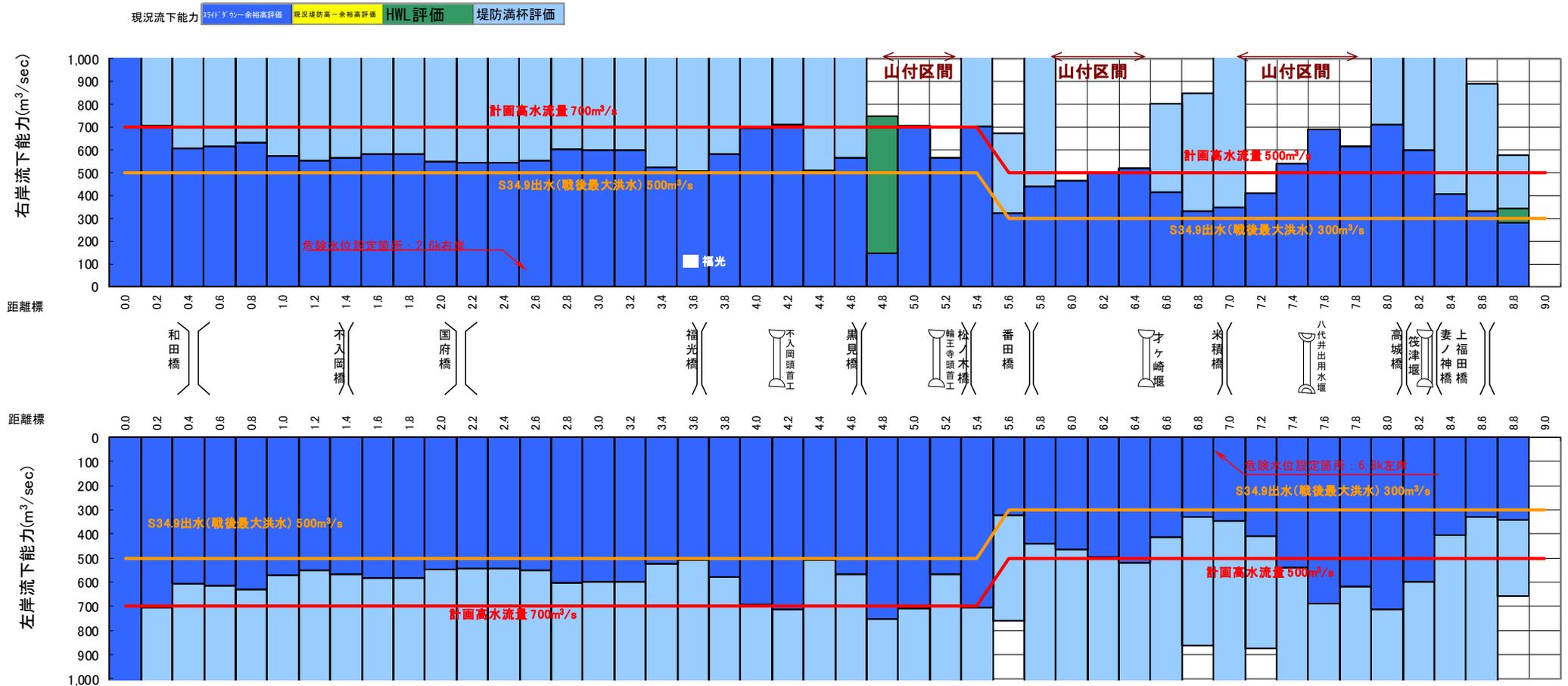


流下能力図 (小鴨川)

3. 各領域における土砂に関する現状と課題

(3)河道域(流下能力図(国府川))

- スライドダウン—余裕高評価では計画高水流量をほとんど満足できていない。
- 堤防満杯評価では全川の概ね満足できている。

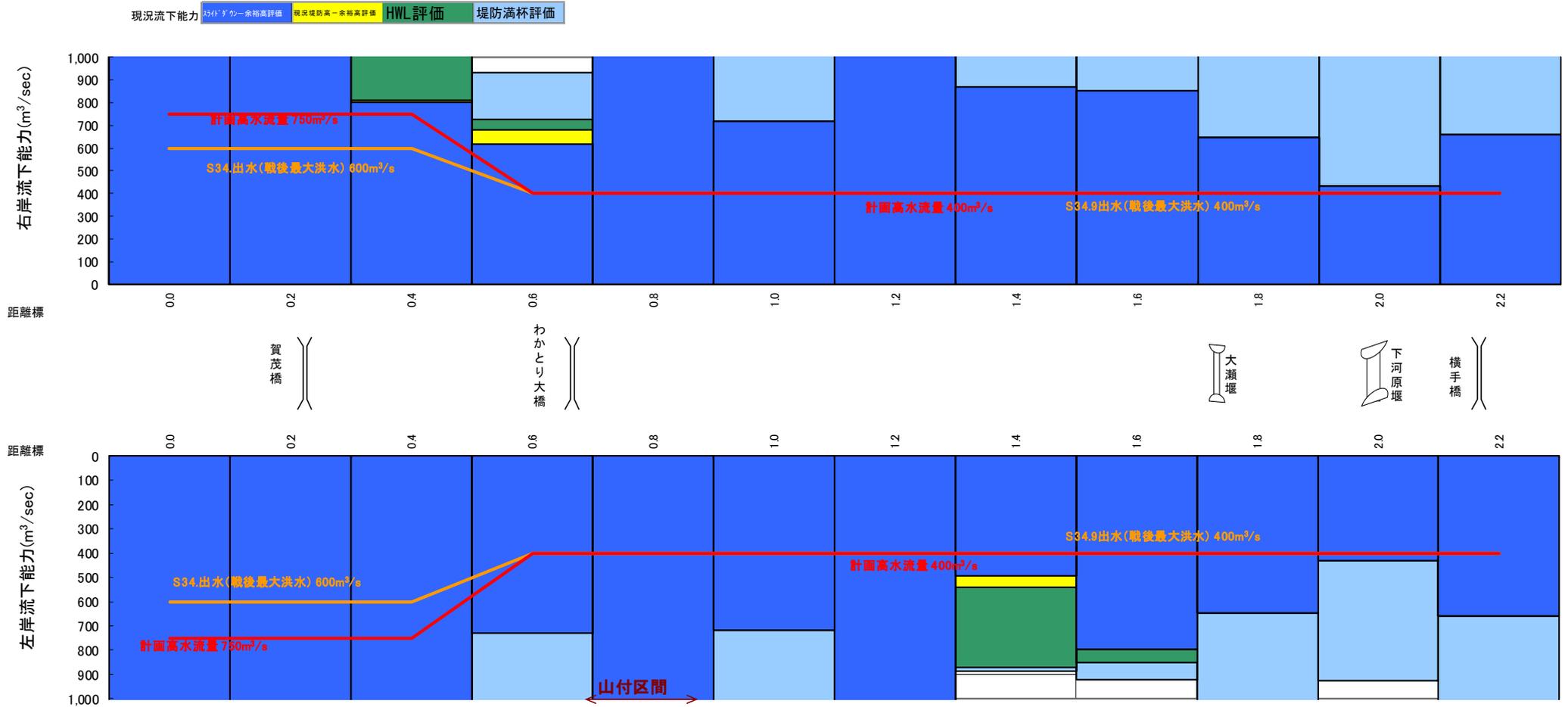


流下能力図 (国府川)

3. 各領域における土砂に関する現状と課題

(3)河道域(流下能力図(三徳川))

●スライドダウン—余裕高評価で全川の的に計画高水流量を満足できている。

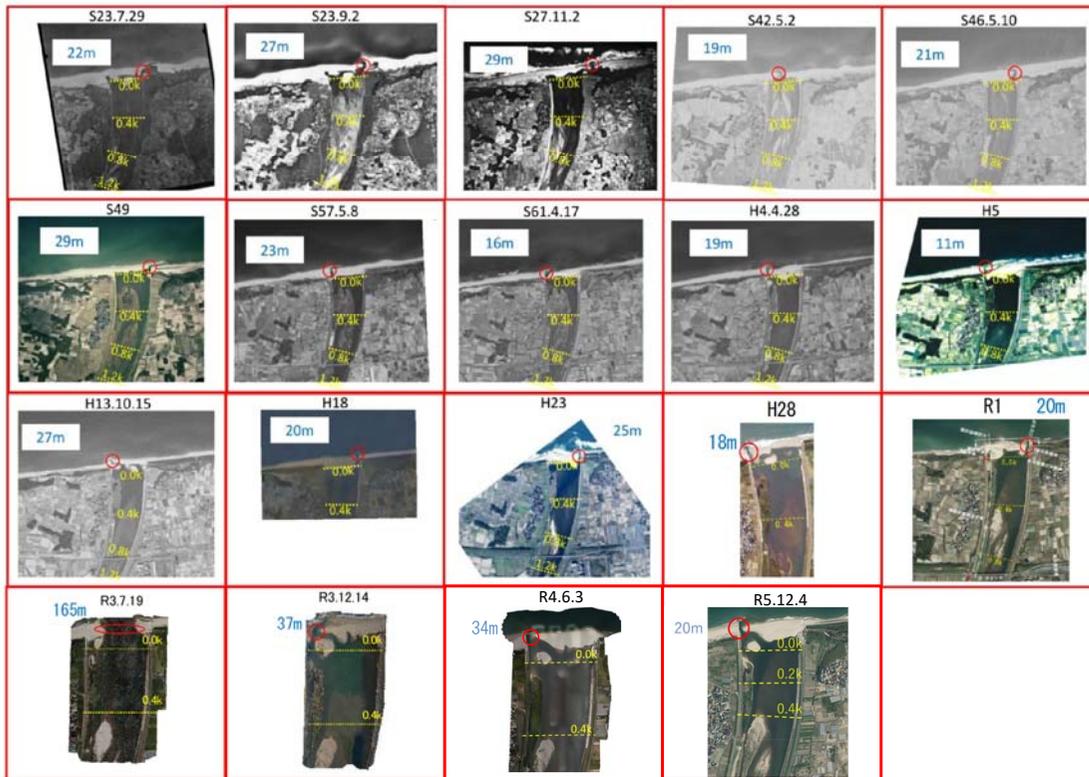


流下能力図 (三徳川)

3. 各領域における土砂に関する現状と課題

(4) 河口域(河口閉塞の要因)

- 【現状】 ●天神川河口部の砂州は、昭和23年の航空写真で既に存在が確認されている。その後の航空写真ではすべての年代で砂州が確認されていることから、経年的に河口砂州は発生していると考えられる。そのため、天神川において河口砂州の形成は、回避することのできない現象となっている。
- 形成された砂州は、中小規模の洪水によってフラッシュされるが、高波浪が生じた際には完全に閉塞が生じることもあり、平成24年12月6－7日には、河口砂州の閉塞による浸水被害が発生した。
- 河口砂州の閉塞による浸水被害を防止するために、維持掘削を実施している。
- 【課題】 ●海岸域への安定的な土砂供給
- 天神川の河口砂州は、洪水等でフラッシュされた場合、洪水後の波浪によって速やかに形成される。また、海岸線が今後回復していた場合、河口砂州も同様に発達していくと推定される。
- 維持しやすい開口部形状の設定などを行い、完全閉塞のリスクを回避する必要がある。



河口砂州の状況



維持掘削状況
(左：令和4年6月13日 右：令和5年8月10日)

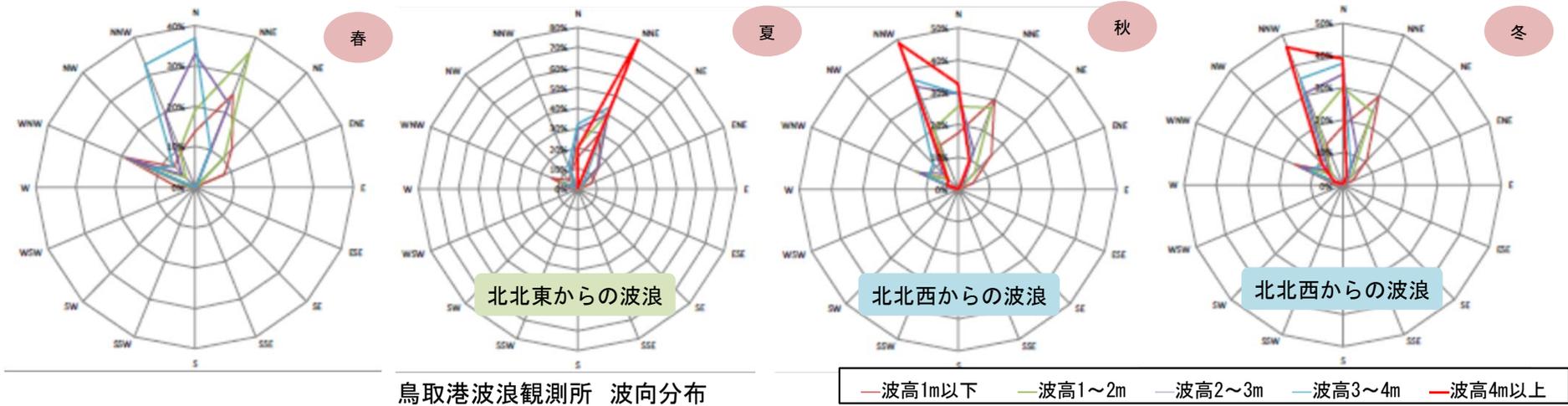


天神川河口砂州の状況
(令和5年12月4日)

3. 各領域における土砂に関する現状と課題

(4) 河口域(河口閉塞の要因)

- 北側からの波浪により天神川河口部に土砂が堆積し、河口閉塞が生じると推測される。
- 冬季と夏季により、来襲波浪の方向が異なり、河口砂州の堆積原因となる北西側からの波浪は秋季、冬季において卓越している。
- 過去の主要な河口閉塞発生時には北西側からの波浪が生じており、これにより出水で河口テラスに堆積した砂が河口砂州に押し戻されて河口砂州が拡大しているものとみられる。



主要な河口閉塞による水位上昇における事象

発生年月日	長瀬水位		小田流量 (m ³ /s)	発生事象
	水位 (m)	水位 (TPm)		
2002年 1月 8日	2.64	1.761	22.9	北西からの波浪
2002年11月19日	2.90	2.021	9.7	北北西からの波浪
2004年 2月15日	2.66	1.781	16.2	北北西からの波浪
2004年 8月20日	2.72	1.841	3.5	北西からの波浪
2011年11月24日	2.97	2.091	17.8	北西からの波浪
2012年12月 7日	3.51	2.631	11.7	北北西からの波浪
2013年 5月 9日	2.65	1.771	8.7	不明
2019年10月 4日	3.30	2.421	9.8	北北西からの波浪
2020年 1月 8日	2.78	1.901	17.9	北西からの波浪
2020年11月21日	2.73	1.851	3.9	北西からの波浪



河口閉塞の様子

河口閉塞は北西方向からの波浪により生じている

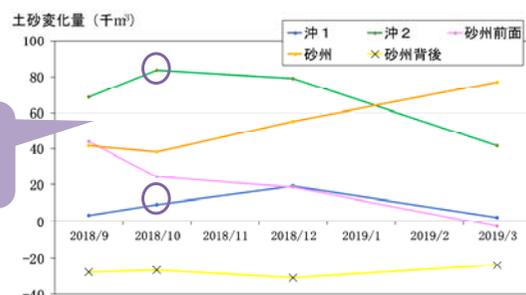
3. 各領域における土砂に関する現状と課題

(4) 河口域(出水による河口砂州の変化)

- 2018年に発生した西日本豪雨や台風24号などの出水によって、河口砂州が7~8万m³程度フラッシュされている。
- 2017年台風21号の出水による河口砂州のフラッシュ後に行った深浅測量結果から、3次元海浜変形モデル解析を行い、河口への堆砂の様子と堆積土砂量を概ね再現した。
- 2018年の出水によって河口砂州がフラッシュされた後、河口砂州に3.5万m³程度堆積している。

天神川河口砂州からの流出土砂量(深浅測量結果より推定)

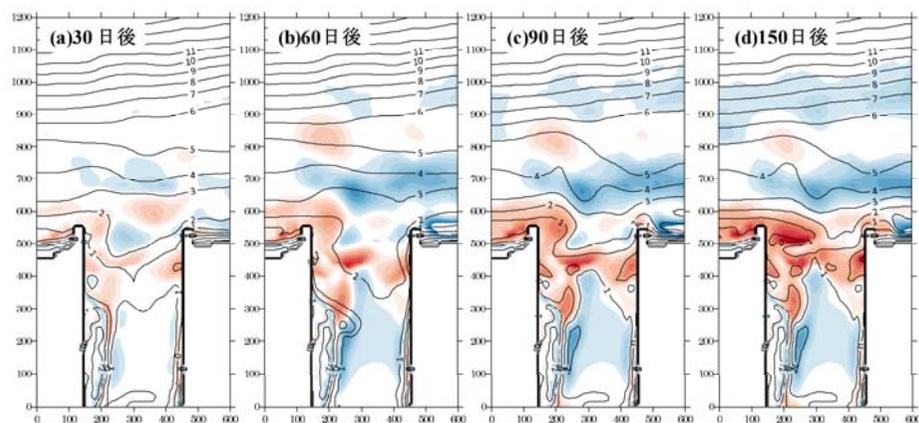
出水	小田観測所	出水時に 沖へ流出した土砂量	出水(フラッシュ)後に 河口砂州に堆積した土砂量
2018. 7. 5-8 (西日本豪雨)	800m ³ /s	約7~8万m ³	約3.5万m ³
2018. 9. 30 (台風24号)	1,600m ³ /s		



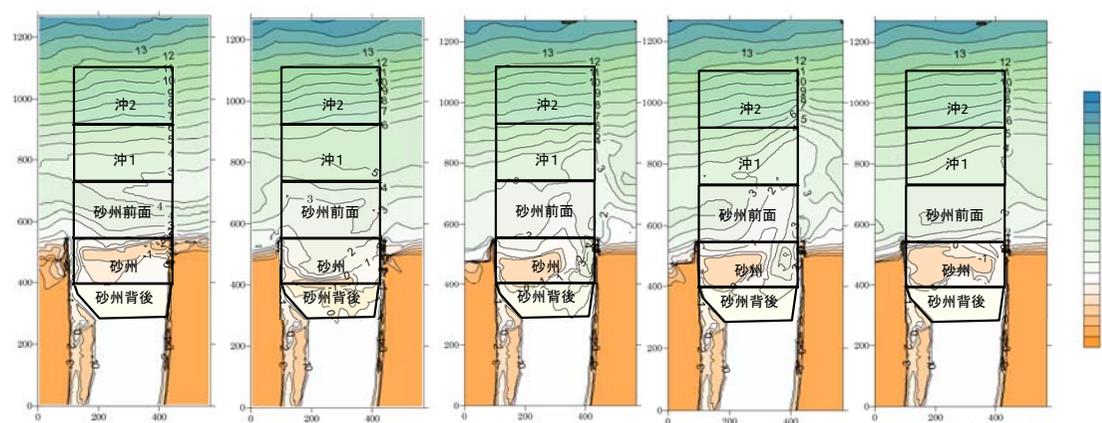
2017. 12を基準とした土砂変化量(深浅測量結果より推定)



2018. 9を基準とした土砂変化量(深浅測量結果より推定)



3次元海浜変形モデルによる河口部土砂動態
(2017. 10 台風21号による河口砂州のフラッシュ以降の計算結果)



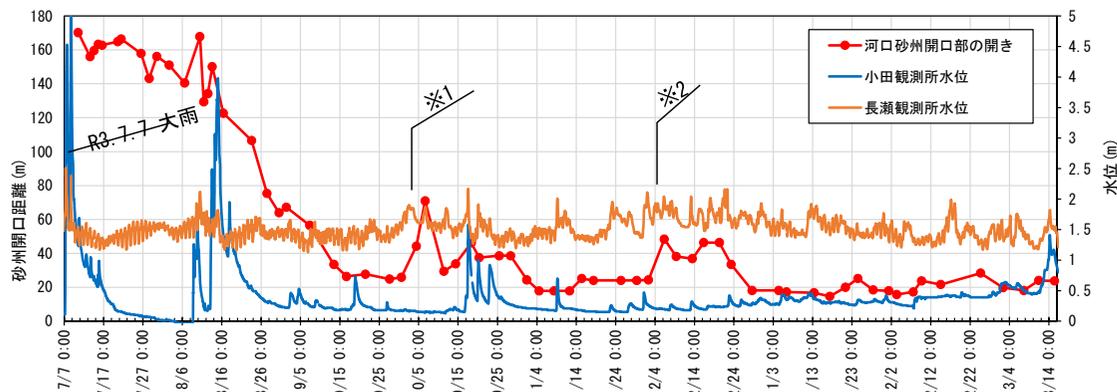
深浅測量結果

3. 各領域における土砂に関する現状と課題

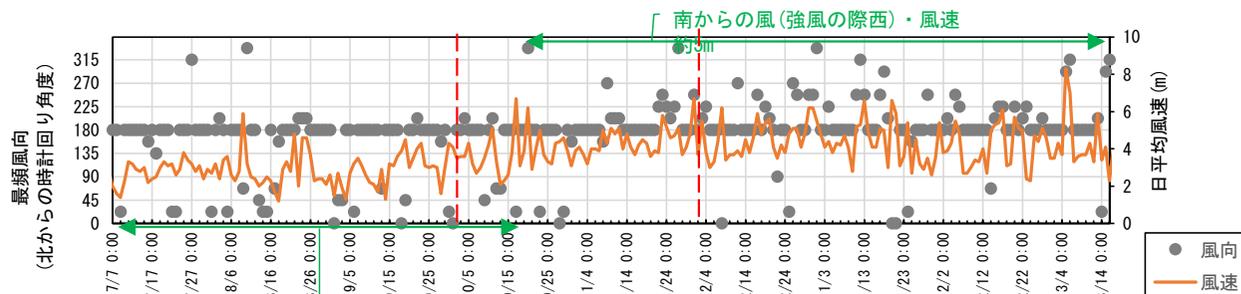
(4) 河口域(河口砂州の変遷(令和3(2021)年7月7日洪水による河口砂州フラッシュ後の砂州開口部の開き))

- 出水後、フラッシュした砂州は2か月ほどで閉塞している。
- 閉塞後、大きな出水がないため、河口砂州の開きはあまり変化していない。

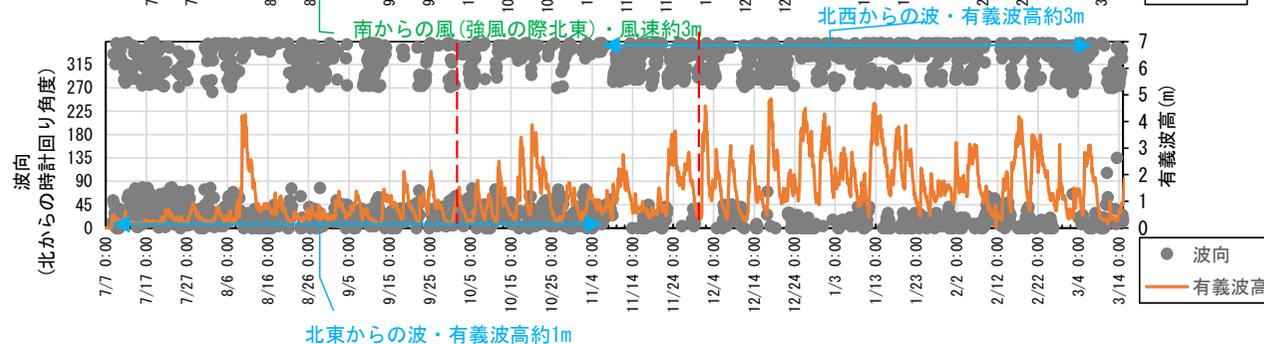
天神川河口砂州



倉吉気象観測所



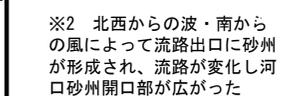
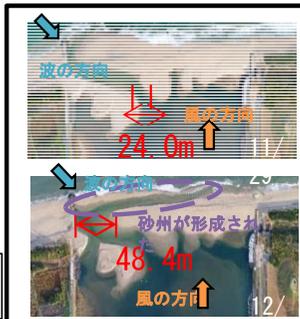
鳥取港波浪観測所



観測所位置図
※国土地理院の地図を加工して使用



※1 北東からの波・南からの風によって流路出口に砂州が形成され、流路が変化し河口砂州開口部が広がった



※2 北西からの波・南からの風によって流路出口に砂州が形成され、流路が変化し河口砂州開口部が広がった

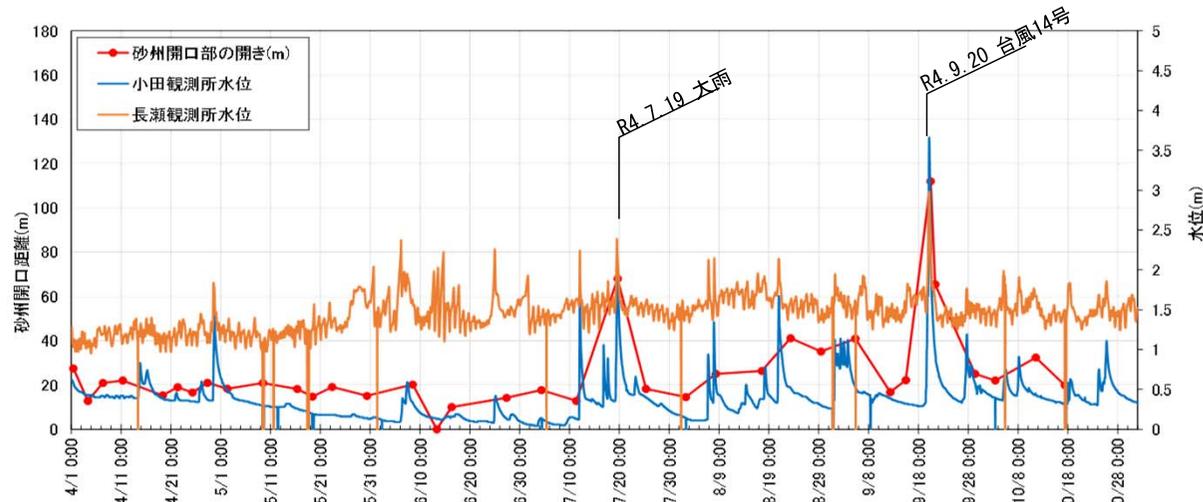
河口砂州開口部の開き(2021年7月7日~2022年3月14日)

3. 各領域における土砂に関する現状と課題

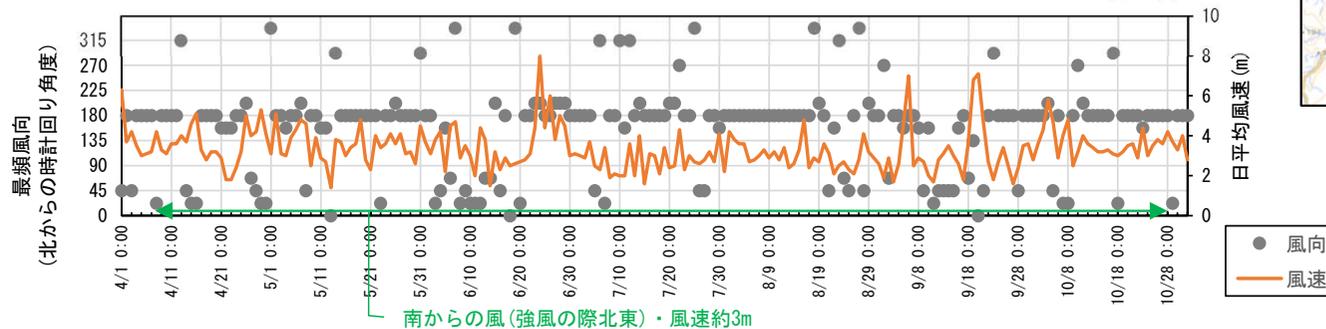
(4) 河口域(河口砂州の変遷(令和3(2021)年7月7日洪水による河口砂州フラッシュ後の砂州開口部の開き))

- 出水によってフラッシュするまで砂州開口部の開きは概ね一定である。
- 6月中旬に河口閉塞している。

天神川河口砂州

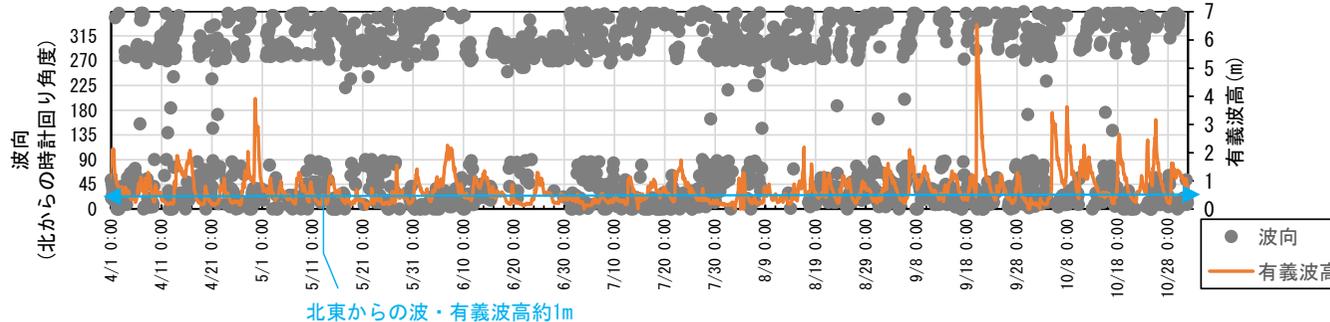


倉吉気象観測所



観測所位置図
※国土地理院の地図を加工して使用

鳥取港波浪観測所



河口砂州開口部の開き(2022年4月1日~2022年10月28日)

3. 各領域における土砂に関する現状と課題

(4) 河口域(河口砂州の変遷(令和3(2021)年7月7日洪水による河口砂州フラッシュ後の砂州開口部の開き))

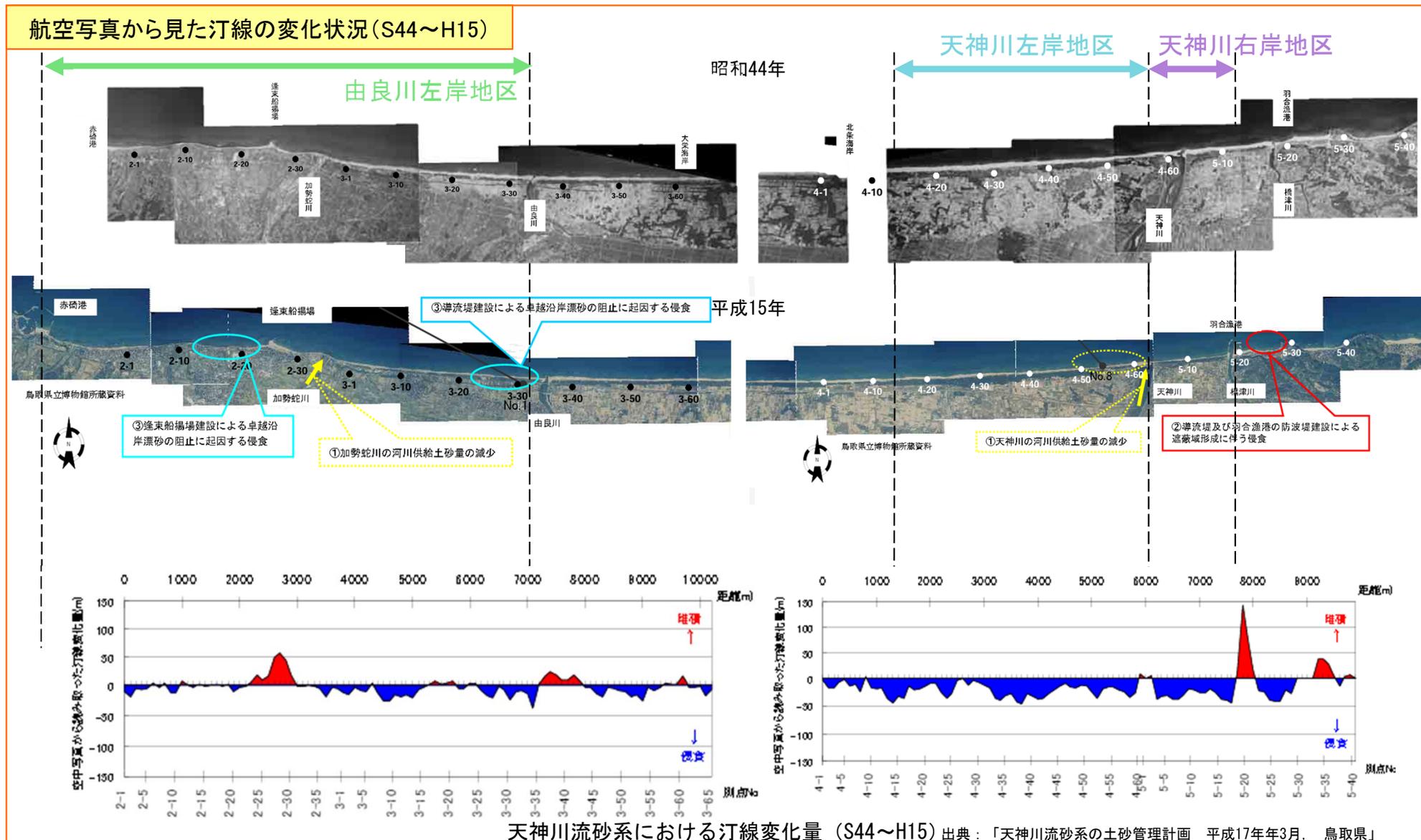
●出水によってフラッシュされた後、河口砂州は徐々に回復していき、半年後以降は砂州形状に大きな変化は見られない。



3. 各領域における土砂に関する現状と課題

(5) 海岸域(航空写真から見た汀線の変化状況(S44~H15))

- 鳥取県中部沿岸土砂管理連絡調整会議主導のもと、海岸域の対策・モニタリングが行われている。
- 汀線は全体的に侵食傾向にあり、特に逢東船揚場・羽合漁港等の構造物周辺は沿岸漂砂の阻止に起因する侵食が発生している。
- 昭和40~50年代に由良川導流堤・橋津川導流堤が建設され、これらの構造物が漂砂を捕捉していることが海岸侵食の要因の一つとして考えられる。

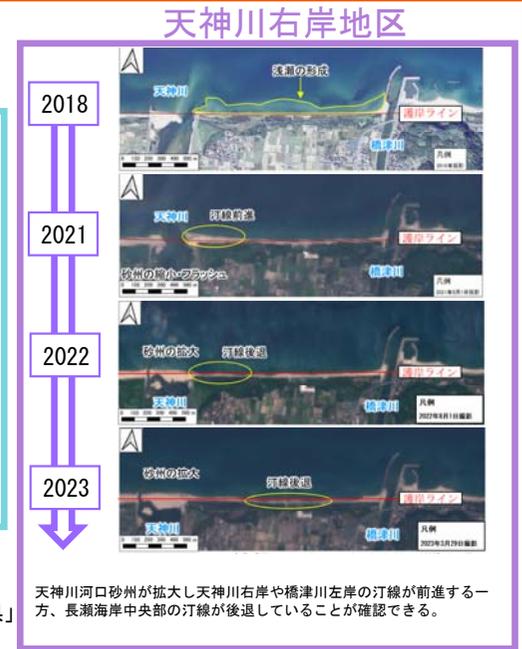
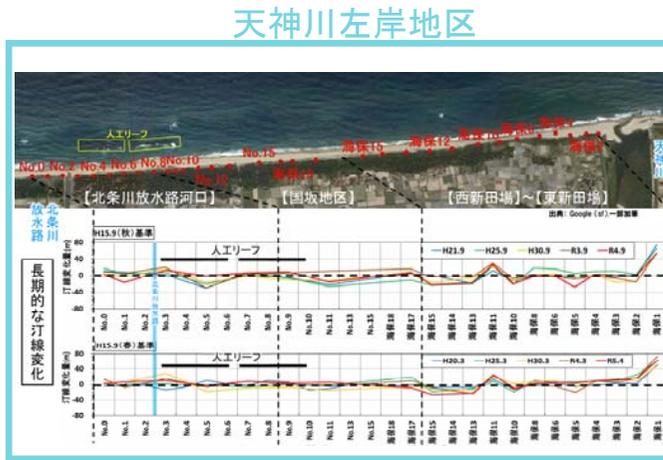
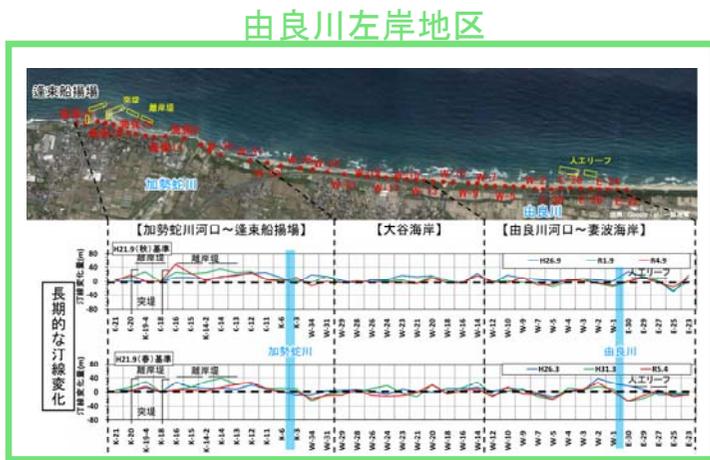


3. 各領域における土砂に関する現状と課題

(5) 海岸域(航空写真から見た汀線の変化状況(H15~R5)、サンドリサイクルの実績))

- 天神川流砂系では、鳥取県において平成15年より主に由良川左岸地区、天神川左岸地区、天神川右岸地区の3地区でサンドリサイクルが実施されている。
- 由良川左岸地区において、汀線は安定傾向にあるが、逢東船揚場周辺では砂浜が拡大しており、離岸堤が漂砂を捕捉することが要因の一つと考えられる。
- 天神川左岸地区において、季節ごとに汀線が前進・後退を繰り返しているが、直近では前進傾向にある。
- 天神川右岸地区において、天神川河口砂州が拡大し天神川右岸や橋津川左岸の汀線が前進する一方、長瀬海岸中央部の汀線が後退していることが確認できる。

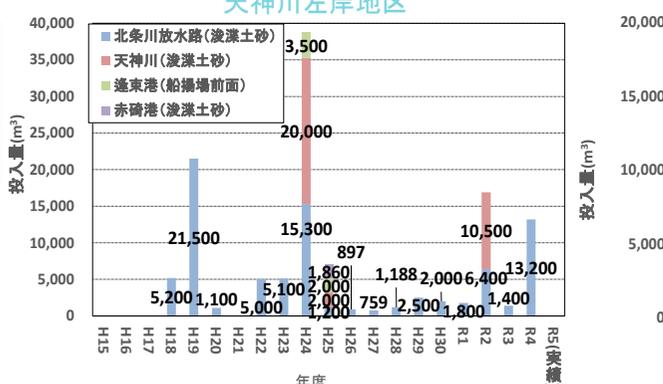
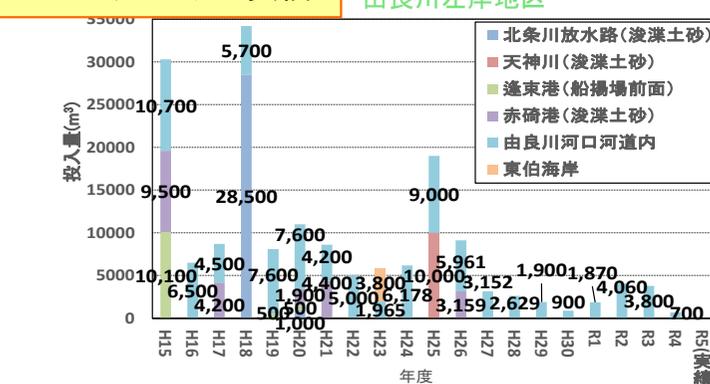
航空写真から見た汀線の変化状況(H15~R5)



天神川流砂系における汀線変化量 (H15~R5)

出典：「鳥取県中部沿岸土砂管理連絡調整会議 令和5年11月, 鳥取県」

サンドリサイクル実績



出典：「鳥取県中部沿岸土砂管理連絡調整会議 令和5年11月, 鳥取県」

3. 各領域における土砂に関する現状と課題

(6) 天神川流域（直轄区間）における流砂観測状況



NO.	河川	距離標	位置	項目	手法	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	R1	R2	R3	R4	R5		
1	天神川	3.46k	大塚橋	浮遊砂	濁度計、洪水時採水				●	●												
2		5.36k	小田橋	浮遊砂	洪水時採水								●			●	●				●	
3		6.20k	今津堰	浮遊砂/掃流砂	流砂量観測装置（ハイドロフォン等）		●	△	△	●	●		●	●	●	●	●	●	△	●	●	
4		7.40k	竹田橋	浮遊砂	濁度計、洪水時採水	●	●	●	●	●												●
5		9.35k	大原橋	浮遊砂	洪水時採水									●		●	●					●
6		9.90k	円谷堰	浮遊砂/掃流砂	流砂量観測装置（ハイドロフォン等）		●	△	△	△	●	●			●*	●*	●	●	●	●	●	●*
7		13.20k	湯谷橋	浮遊砂	洪水時採水									●	●	●	●					●
8		13.30k	大井手堰	浮遊砂/掃流砂	流砂量観測装置（ハイドロフォン等）					●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●*
9		小鴨	3.97k	小鴨橋	浮遊砂	濁度計、洪水時採水	●	●	●	●	●											
10		小鴨	10.90k	若土大口堰	浮遊砂/掃流砂	流砂量観測装置（ハイドロフォン等）			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	△	●	●	●
11		国	11.00k	生竹橋	浮遊砂	洪水時採水								●	●	●						
12		府	3.79k	福光橋	浮遊砂	濁度計、洪水時採水	●	●	●	●	●											
13		府	5.10k	輪王寺堰	浮遊砂/掃流砂	流砂量観測装置（ハイドロフォン等）				●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
14		川	5.41k	松ノ木橋	浮遊砂	洪水時採水								●	●	●	●					

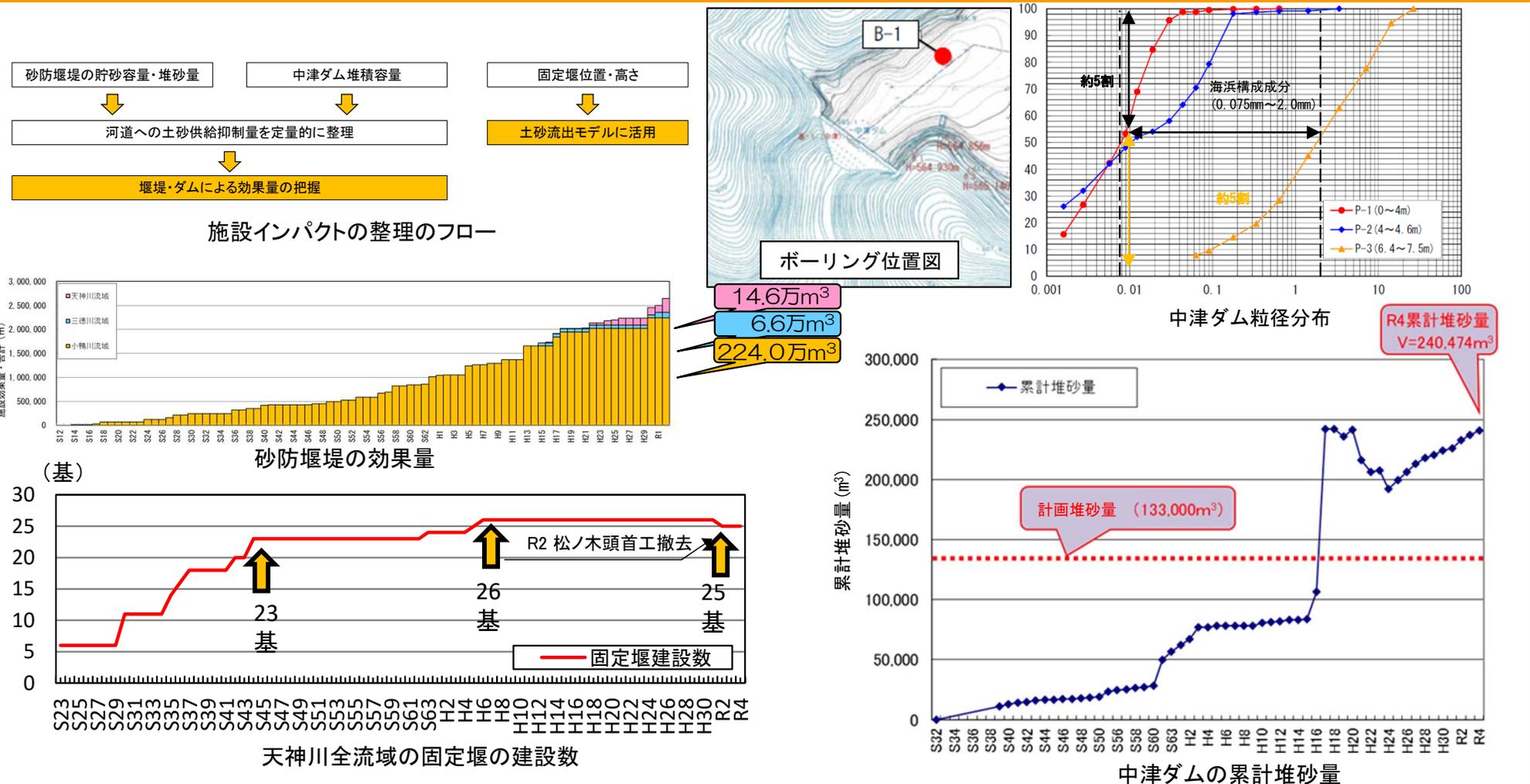
●: 観測実施
 △: 大半が欠測
 ※円谷堰H29.9洪水欠測
 ※円谷堰、大井手堰R5.8洪水にて破損

4. 天神川水系の土砂動態に与えたインパクトとレスポンスの整理

(1) 施設インパクトの整理

- 施設インパクトとして、砂防堰堤施設の効果量^{*}、中津ダムの累計堆砂量や河道域の固定堰（取水堰）の数を整理した。
- 天神川流域の砂防工事は、昭和7年に鳥取県により本川筋を含む7溪流で開始された。これまで整備した砂防堰堤の効果量は令和2年時点で、天神川流域で約14.6万 m^3 、小鴨川流域で約224.0万 m^3 、三徳川流域で約6.6万 m^3 である。
- 主に昭和30年代～40年代にかけて固定堰が急速に建設されている。
- 中津ダムは平成17年から計画堆砂量を超えている。
- 中津ダムでは令和5年8月の台風により土砂が堆積し、令和5年度に取水口付近の浚渫を行った。令和6年度以降は上流側の堆積土の搬出を継続的に実施していく予定である。

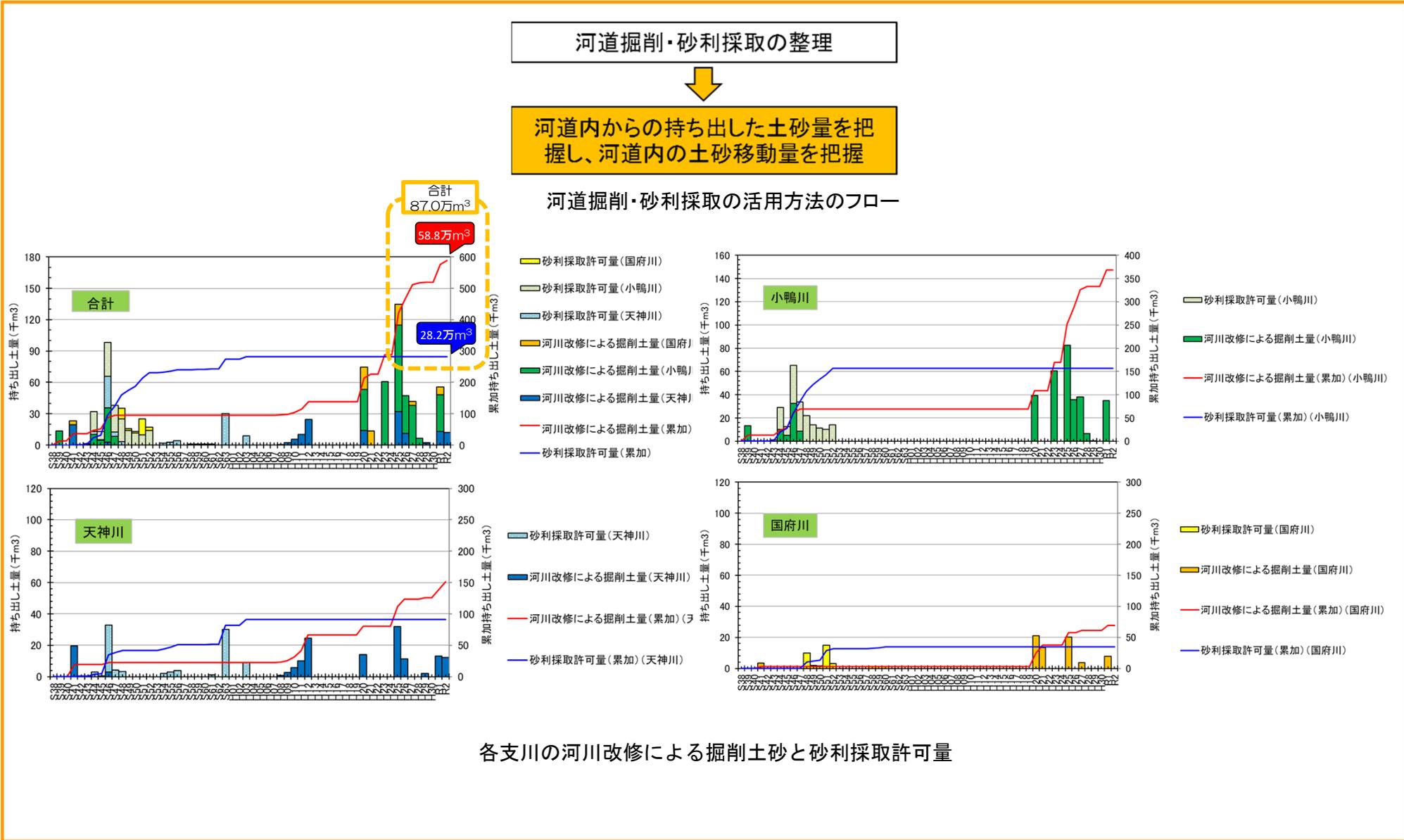
^{*}施設効果量(m^3) = 計画生産抑制土砂量(拵量) + 計画流出調節土砂量(調節量) + 計画流出抑制土砂量(貯砂量)で算出するが、砂防堰堤は満砂状態とし、計画流出抑制土砂量(貯砂量)の値を0として算出した。



4. 天神川水系の土砂動態に与えたインパクトとレスポンスの整理

(2) 河道掘削・砂利採取の整理

• 天神川、小鴨川、国府川において砂利採取や河床掘削により合計87.0万m³の大量の土砂が流域外に搬出されたと想定される。



4. 天神川水系の土砂動態に与えたインパクトとレスポンスの整理

(3) 天神川水系の土砂動態に与えたインパクトとレスポンス

- 海岸域は、昭和56年に建設された橋津川導流堤による漂砂の阻止や、天神川からの供給土砂が減少したことによって汀線が後退した。
- 河道域では、一部の天神川下流以外では堆積傾向となっており、平成2年9月洪水や平成23年9月洪水では、全川的に大きな堆積が発生した。また、河川整備計画に基づき河道掘削を行った区間において、再堆積による河積減少などが発生している。
- 河道域は、大規模な砂利採取や河床掘削によって、昭和40～50年代にかけて河床が低下した。その後は、みお筋部の低下と砂州の発達によって、二極化が進行している。
- 昭和60年頃から、河道内の樹木繁茂面積が拡大しており、河積阻害等を引き起こすほか、海岸域の構成材料である細砂・中砂を捕捉し、供給量の減少に繋がる。

	明治	大正	昭和							平成			令和	備考		
			初期	10年代	20年代	30年代	40年代	50年代	60年代	初期	10年代	20・30年代	初期			
自然インパクト	流量 (小田ピーク流量)		●S9.9洪水 推定流量 約3,500m ³ /s 既往最大流量(推定)			●S34.9洪水 推定流量 約2,200m ³ /s 戦後最大流量			●S54.10洪水 実測流量 約1,600m ³ /s	●S62.10洪水 実測流量 約1,500m ³ /s	●H2.9洪水 実測流量 約1,700m ³ /s	●H10.10洪水 実測流量 約1,900m ³ /s	●H23.9洪水 実測流量 約1,400m ³ /s ●H30.9洪水 実測流量 約1,700m ³ /s	●R3.7洪水 推定流量 約1,400m ³ /s		
	大規模災害	●M26(1893) 多数の破壊による家 屋浸水、多大な田畑 への土砂混入等	●S9(1934) 9月20日室戸台風 破壊・浸水： 約7,300戸 小鴨川からの土石流			●S34(1959) 9月20日伊勢湾台風 破壊・浸水： 約135戸					●H2(1990) 9月19日台風 破壊・浸水：なし	●H10(1998) 10月19日台風 破壊・浸水： 53戸				
人為インパクト	ダム形式	●T12(1923) 中尾尻溜池竣工 池の谷溜池竣工	●S6(1931) 詰りため池竣工		●S27(1952) 横谷溜池竣工	●S32(1957) 中津ダム竣工	●S48(1973) 狼谷溜池竣工 椋溜池竣工									中津ダム 計画堆砂量 133千m ³
	砂防堰堤			S12年 2基		S30年 16基	S40年 19基	S50年 22基	S60年 35基	H1年 41基	H10年 51基	H20年 60基	R2年 69基		計画堆砂量 175千m ³	
	固定堰			S23年 6基		S30年 11基	S40年 18基	S50年 23基	S60年 23基	H1年 24基	H10年 26基	H20年 26基	R2年 25基		固定堰建設数 25基 松ノ木頭首工撤去 (R2)	
	砂利採取等	●かなな流しによる河 川への土砂流入 (タタラ製鉄最盛期 ：江戸後半から明治 その後衰退)					●天神川、小鴨川におい て砂利採取を実施。 ●小鴨川下流において、 河道掘削を実施。	●天神川(S48)、小 鴨川(S52)で砂利 採取を規制			●天神川の下流で河 道掘削を実施。		●天神川、小鴨 川、国府川で河 川整備計画に基 づき、河床掘削 を実施。			
海浜工事						●天神川に導流堤(S42、 S48年)	●橋津川河口に 導流堤(S56)			●羽合漁港外郭施設 増設		●サト'野ウメ の実施				
レスポンス	河川 (土砂動態)	●河川範囲などは、現 在と大きく変化して いない。				●小鴨川で河川改修によ って河道内土砂量が大幅 に減少 ●天神川の下流が砂利採 取によって河道内土砂 量が減少	●全河川で緩やかな 堆積傾向	●小鴨川、国府川で H2洪水で堆積 ●天神川河口部で河 床掘削によって河 道内土砂量が減少	●天神川で堆積 傾向	●河川改修に伴う 河道掘削によっ て河道内土砂量 が減少						
	河川 (植生等)					●礫河原面積が減少		●樹木面積が 拡大	●礫河原が小さく なる。	●樹木面積が拡大	●樹木伐採、河道 掘削により微減					
	河川 (河床材料)						●S55に天神川・小 鴨川で粗粒化									
	海岸					●汀線後退 (S22より最大70m後 退)	●汀線後退 ●橋津川右岸導流堤 の還蔽域で堆積		●橋津川右岸の構造 部還蔽域で堆積	●サト'野ウメによ り汀線概ね安定	●サト'野ウメによ り汀線概ね安定					

5. 流砂観測機器データ整理

(1) 流砂観測機器データの整理

- 今津堰、円谷堰、大井手堰、若土大口堰、輪王寺堰に設置した掃流砂計のデータ変換を実施した。
- 変換する種類は、掃流砂計と濁度計の2種類とし、「流砂水文観測データ変換プログラム」を用いて実施した。また、変換したデータについて、近傍観測所の水位・流量のほか、土砂移動量を整理することで、観測結果に異常が無いかを整理した。

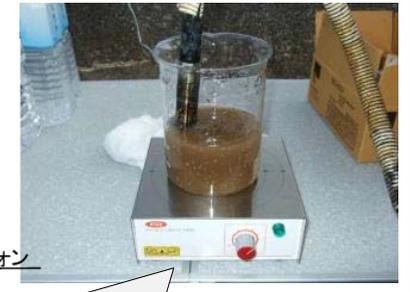
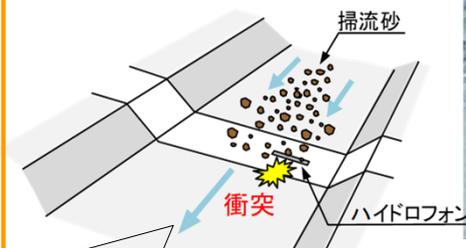
流砂観測装置の現況

それぞれの観測所に、ハイドロフォン・濁度計・水位計・浮遊砂サンプラーが設置されている。



管内の流砂観測施設の概要

流砂観測所では、ハイドロフォンにより河床を流下する掃流砂を、濁度計により河川を浮遊しながら流下する浮遊砂及びウオッシュロードを観測している。



ハイドロフォンに衝突する礫の音を観測

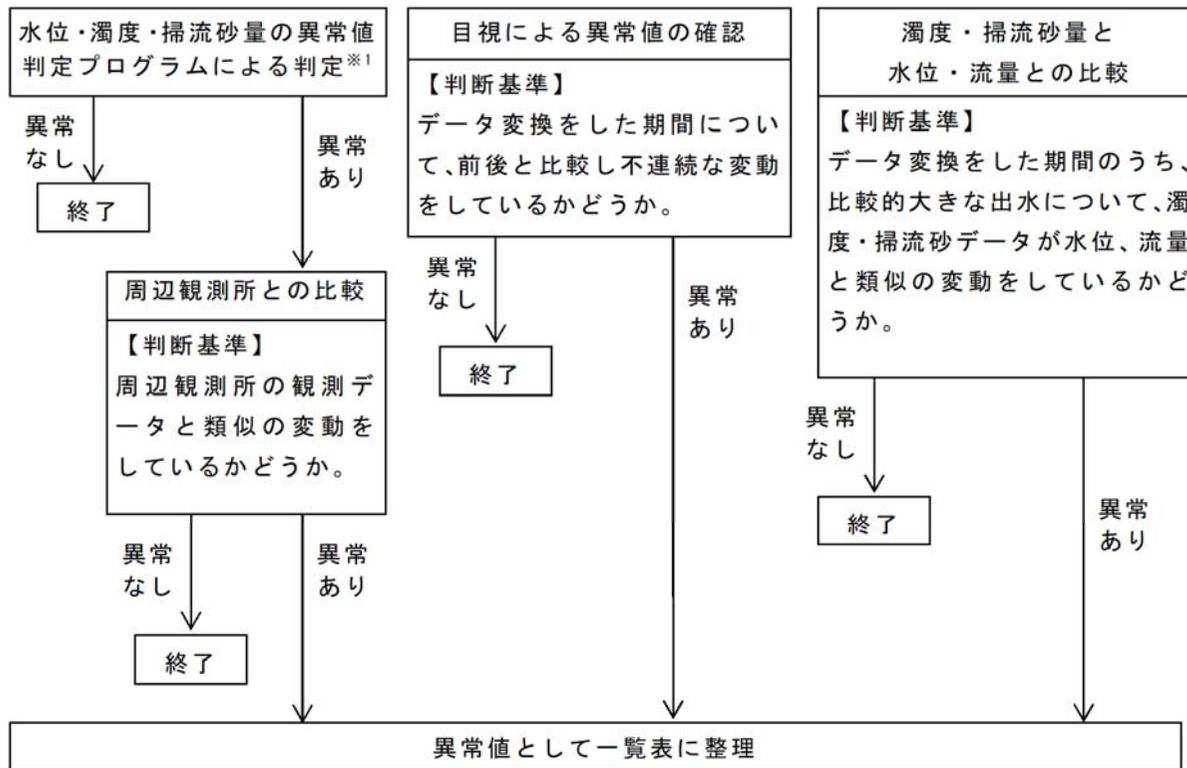
流水の濁りを観測し、細粒分の土砂量を計測する

	観測箇所	観測開始時期	観測機器
天神川	今津堰	平成22年11月	国総研式ハイドロフォン、圧力式水位計、濁度計
	円谷堰	平成22年11月	国総研式ハイドロフォン、圧力式水位計、濁度計
	大井手堰	平成24年12月	国総研式ハイドロフォン、圧力式水位計、濁度計 ※H26より流砂量の現地演算装置が導入された。
小鴨川	若土大口堰	平成22年11月	国総研式ハイドロフォン、圧力式水位計、濁度計
国府川	輪王寺堰	平成24年12月	国総研式ハイドロフォン、圧力式水位計、濁度計

5. 流砂観測機器データ整理

(1) 流砂観測機器データの整理

- 水位、濁度、掃流砂量の観測データの整理を行い、正常または異常のどちらであるかを検証した。
- 検証では、国総研の異常値判定プログラムによる異常値の検出、国総研プログラムでは検出できない異常値の目視確認（グラフ化）による抽出、出水時の水位、流量との比較による検証を行った。



※1 異常値判定プログラムによる判定基準は、以下に示すとおりである。

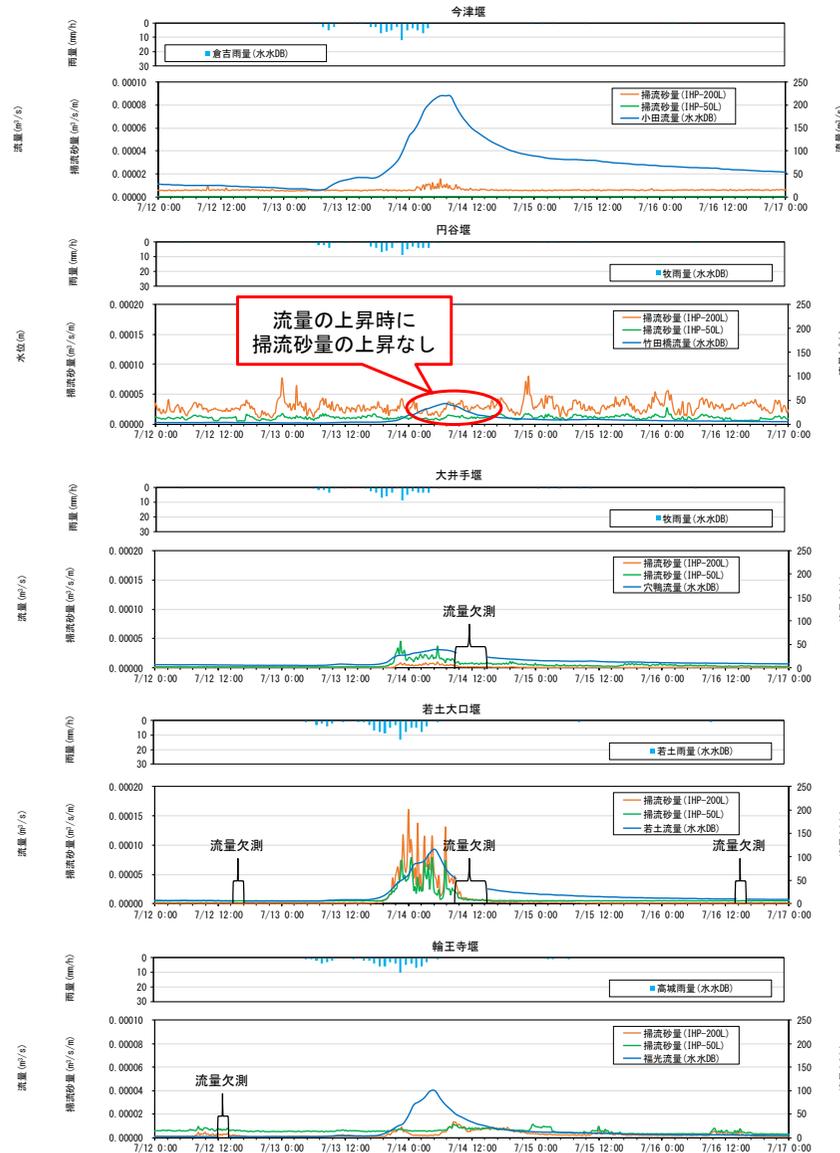
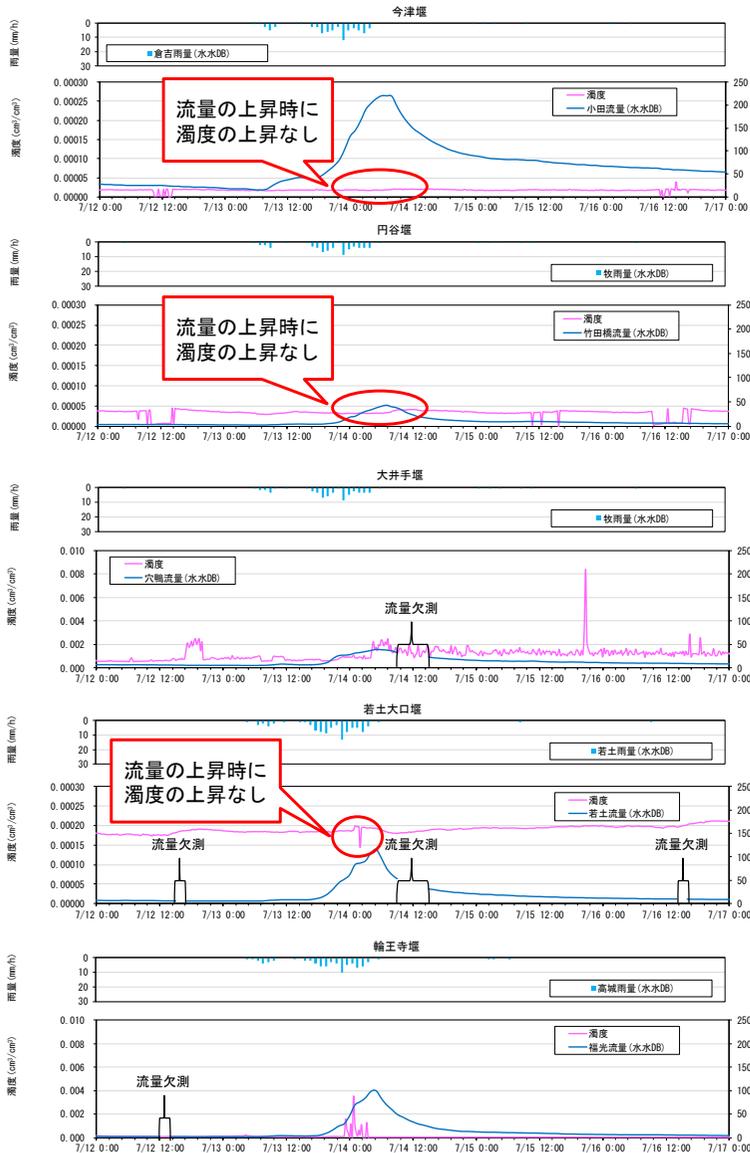
【異常（不具合）データの記号の説明】	
水位：1	常に-1V以下（断線など）
：2	常に5V以上（故障など）
濁度計：1	常に-0.01V以下（断線、埋没など）
：2	常に0.1V以上（埋没、障害物など）
ハイドロフォン：1	常に0.0005V以下（断線など）
：2	常に0.02V以上（センサー管の変形など）

観測データの検証フロー

5. 流砂観測機器データ整理

(2) 洪水時の土砂移動特性の整理

- 一例として出水時の水位、流量との比較による検証結果を以下に示す。
- 以下の検証結果から、今津堰、円谷堰、若土大口堰において、濁度、掃流砂量が出水時の流量上昇と連動していない時期が一部見られた。これらの要因としては、観測機器の異常やセンサーの汚れなどが考えられる。対処方法、改善策としては、点検報告書または現地点検による異常の確認が必要と考えられる。



国総研資料第887号(近年の山地河川における流砂水文観測)で、流砂観測の課題として、以下のものがあげられている。

《濁度計による浮遊砂観測の課題》

- ①濁度計が日射やごみなど様々な環境の影響を受けるため、環境変動が大きい山地河川では継続的に良好なデータを取得することが困難である場合があること
- ②濁度計で計測される濁度と土砂濃度の関係は粒径によって異なるため、濁度から土砂量に換算するにあたっては、粒径の影響を評価する必要があること
- ③粒径が大きいと土砂濃度によらず濁度がほとんど一定になるため、荒い粒径の土砂濃度観測が困難であること
- ④浮遊土砂濃度は鉛直分布であるため、1深度の濁度計の計測では通過した浮遊土砂量に変換することが難しいこと

《ハイドロフォンを用いた掃流砂観測の課題》

- ①複数の土粒子がほぼ同時にハイドロフォンに衝突した場合に音響波形が相互に干渉し、それぞれ個別に衝突する場合に比べて音響波形が小さくなるため、掃流砂量が過小評価になる恐れがあること
- ②掃流砂として流下している土粒子の一部がハイドロフォンに衝突しないため、掃流砂量が過小評価になる場合があること
- ③流水によるノイズが計測される音響波形に影響するため、衝突音が小さい粒径の小さい土粒子の衝突を検出できないこと
- ④金属間の音響特性による音響波形に上限値があるため、粒径の大きい土粒子の計測が難しいこと
- ⑤河道内において横断方向に掃流砂量のばらつきがあるため、ハイドロフォンの計測結果が当該箇所を代表していない可能性があること

出水時の濁度・掃流砂量の検証結果(一例:2020年7月14日)

※掃流砂量は0.5m、2.0mで計測した単位流砂量である。

5. 流砂観測機器データ整理

(3) 観測値の異常に対する対処方法・改善策

表 観測値の異常に対する対処方法・改善策（案）

観測機器	異常内容	観測所	対処方法・改善策(案)
水位計	急激な変動	大井手堰 若土大口堰	①観測機器の異常の可能性が高いため、点検報告書または現地点検により、異常の有無を確認する。 ②点検報告書または現地点検において、異常原因が不明の場合は、メーカーによる点検または機器更新などが必要と考えられる。
	変動なし	若土大口堰	
濁度計	急激な変動	円谷堰	①ごみなどの可能性が考えられる。 ②ごみなどの影響に対する改善策として、濁度計センサーを保護管に収納して観測するなどが考えられる。
	マイナス値	若土大口堰	①干出、日光の影響の可能性が考えられる。 ②日光の影響に対する改善策として、濁度計センサーを保護管に収納して観測するなどが考えられる。
	出水時に変動なし	円谷堰	①観測機器の異常、センサーの汚れの可能性が高いため、点検報告書または現地点検により、異常の有無を確認する。 ②点検報告書または現地点検において、異常原因が不明の場合は、メーカーによる点検または機器更新が必要と考えられる。
掃流砂計	出水時に変動なし	今津堰 円谷堰	①観測機器の異常の可能性が高いため、点検報告書または現地点検により、異常の有無を確認する。 ②点検報告書または現地点検において、異常原因が不明の場合は、メーカーによる点検または機器更新などが必要と考えられる。



濁度計保護管の設置例

6. 水系全体像の把握

(1) サブ流域の分割

- ・ 溪流、河道、地質条件を踏まえ、502の流域に分割し、土砂供給源を明確にした。

サブ流域の分割結果1/2

河川名		主な表層地質	領域区分	サブ流域の分割(平成30年度モデル)				
				河道名	流域面積(km ²)	土砂供給源	流域面積(km ²)	
天神川	本川	①河口～小鴨川合流点	砂礫堆積物	河道域	天神川下流05	13.2	—	—
		②小鴨川合流点～三徳川合流点	砂礫堆積物 花崗岩質	河道域	天神川下流01～04 円谷01～02 余戸01～07	10.6	—	—
		③三徳川合流点～加谷川合流点	花崗岩質	砂防域	天神川上流03～13 天神川上流支川03～17 余川谷川01～05	33.2	余川谷川01, 02, 04 天神川上流支川03～17	20.1
		④加谷川合流点～最上流端	花崗岩質	砂防域	大谷川01～11 大谷川支川01～20 天神川上流01～02 天神川上流支川01～02	46.0	大谷川01 大谷川支川01～03, 05～15, 17, 18, 20 天神川上流支川01～02	16.1
	支川	⑤加谷川	流紋岩質	砂防域	加谷川01～08 加谷川支川01～12 木地山01～04 尺谷川01～03 穴鴨01～02	25.7	加谷川01 加谷川支川01～03, 05～07, 09, 11, 12 木地山01, 03 尺谷川01, 02 穴鴨01, 02	13.0
		⑥福本川	花崗岩質	砂防域	福本川01～10 福本川支川01～22	14.0	福本川01 福本川支川01～09, 11～12, 15～16, 18, 20, 22	7.5
		⑦田代川	花崗岩質 流紋岩質	砂防域	田代川01～08 田代川支川01～10	10.5	田代川01 田代川支川01～10	6.9
小鴨川	本川	⑧天神川合流点～矢送川合流点	花崗岩質 砂礫堆積物	河道域	小鴨川09～13	9.3	—	—
		⑨矢送川合流点～最上流端	砂礫堆積物 火山碎屑岩	砂防域	泉谷川01～14 笹が平01～03 野添川01～04 長谷川01～02 矢谷川01～03 陽中 陽中 崎山 ため池01～02 小鴨川01～08 大山池01～03	45.3	泉谷川01～03, 06, 08 笹が平01 長谷川01 矢谷川01～02 陽中 崎山 ため池01 大山池01	9.0
	支川	⑩小鴨川残	流紋岩質	河道域	玉川01～06	7.8	—	—
		⑪剣見川	花崗岩質	河道域	剣見川01～02	3.7	—	—
		⑫広瀬川	花崗岩質	河道域	広瀬川01～12	13.3	—	—
		⑬岩倉川	花崗岩質	河道域	岩倉川01～19	9.6	—	—
		⑭富海川	花崗岩質	河道域	富海川01～08	5.6	—	—

6. 水系全体像の把握

(1) サブ流域の分割

サブ流域の分割結果2/2

河川名		主な表層地質	領域区分	サブ流域の分割（平成30年度モデル）				
				河道名	流域面積 (km ²)	土砂供給源	流域面積 (km ²)	
小鴨川	支川	⑮矢送川	花崗岩質	砂防域	矢送川01～21 浅井川01～07	15.9	矢送川01～04, 06, 08, 11～12, 14 浅井川01～02, 05～07	12.2
		⑯滝川	花崗岩質	砂防域	滝川01～06	8.2	滝川01～03	3.7
		⑰西鴨谷川	火山砕屑岩	砂防域	西鴨谷川01～09	4.6	西鴨谷川01, 02, 04	1.4
		⑱小泉谷川	安山岩質	砂防域	小泉谷川01～12	9.5	小泉谷川 01, 02, 04, 06, 08, 10, 12	4.8
		⑲福原谷川	安山岩質	砂防域	福原谷川01～09	6.8	福原谷川01～03, 05, 08	3.1
		⑳赤岩川	安山岩質	砂防域	赤岩川01～06	2.7	赤岩川01～04	1.4
		㉑清水谷川	凝灰岩質	砂防域	清水谷川00～10	14.1	清水谷川00～02, 05, 07, 09	9.2
国府川	本川	㉒小鴨川合流点～北谷川合流点	砂礫堆積物	河道域	国府川04～06 国府川支川02	17.7	—	—
		㉓北谷川合流点～最上流端	凝灰岩質	河道域	国府川01～03 国府川支川01	15.5	—	—
	支川	㉔鴨川	砂礫堆積物	河道域	国府川支川03	7.8	—	—
		㉕北谷川	凝灰岩質	河道域	北谷川01～05 北谷川支川01～14 汗千川01～03	27.1	—	—
		㉖志村川	凝灰岩質	河道域	志村川01～06 志村川支川01～07	17.8	—	—
三徳川	本川	㉗天神川合流点～小鹿川合流点	花崗岩質	砂防域	三徳川09～12 三徳川支川10～11 大瀬01～06	10.9	三徳川支川10～11 大瀬01～04	3.4
		㉘小鹿川合流点～最上流端	流紋岩質	砂防域	三徳川01～08 三徳川支川01～09 黒川01 坪谷川01～05	31.6	三徳川01 三徳川支川01～05, 07 ～09 黒川01 坪谷川01～03	11.3
	支川	㉙小鹿川	花崗岩質	砂防域	小鹿川05～13 小鹿川支川03～18	34.9	小鹿川支川03～04, 06 ～07, 09, 11～18	19.3
		㉚中津ダム上流	流紋岩質	砂防域	小鹿川01～04 小鹿川支川01～02	9.7	小鹿川01 小鹿川支川01～02	2.7
		㉛加茂川	花崗岩質	砂防域	加茂川01～19 加茂川支川01～25 福吉川01～06 福吉川支川01～06	42.1	加茂川01 加茂川支川01～12, 14, 16～25 福吉川01 福吉川支川01～06	30.4
		㉜波関川	花崗岩質	砂防域	波関川01～03	4.9	波関川01～02	3.1

6. 水系全体像の把握

(2) セグメント区分

・水系の土砂の分級状況を把握するため、河道を河床勾配や令和2年度の河床材料調査結果等をもとにセグメント区分を行った。

・セグメント区分（天神川）

河道区分	0.0~5.2k	5.2~7.6k	7.6~11.4k	11.4~14.56k
河床勾配(平成29年)	1/913	1/310	1/215	1/88
代表粒径 d_{60} (mm)	2.2	13	19	24
地形区分	自然堤防帯	谷底平野		
蛇行	中			
河床侵食	弱			中
低水路水深(m)	5.0	4.9	3.3	2.4
セグメント区分	2-1		1	
河道区分理由	・河床勾配変化点 ・三角州低平地と谷底平野の変化区域	・河床勾配変化点	・河床勾配変化点 ・三徳川合流点(11.4k)	・最上流端

・セグメント区分（小鴨川）

河道区分	0.0~2.6k	2.6~5.6k	5.6~9.0k	9.0~12.2k	12.2~16.2k
河床勾配(平成29年)	1/523	1/186	1/114	1/84	1/65
代表粒径 d_{60} (mm)	19	14	35	33	27
地形区分	自然堤防帯	谷底平野			
蛇行	中	少			
河床侵食	弱			中	
低水路水深(m)	4.6	3.2	2.6	3.0	2.5
セグメント区分	2-1		1		
河道区分理由	・河床勾配変化点 ・国府川合流点(2.8k)	・河床勾配変化点 ・富海川合流点(5.3k)	・剣見川合流点(8.9k)	・矢送川合流点(12.2k)	・最上流端

・セグメント区分（国府川）

河道区分	0.0~2.0k	2.0~3.6k	3.6~5.6k	5.6~7.6k	7.6~8.91k
河床勾配(平成29年)	1/951	1/408	1/220	1/165	1/114
代表粒径 d_{60} (mm)	2.2	7.3	5	18	12
地形区分	自然堤防帯	谷底平野			
蛇行	少				
河床侵食	弱				
低水路水深(m)	3.9	3.3	3.1	2.5	2.6
セグメント区分	2-1		1		
河道区分理由	・河床勾配変化点	・河床勾配変化点	・河床勾配変化点 ・北谷川合流点(5.5k)	・河床勾配変化点	・最上流端

・セグメント区分（三徳川）

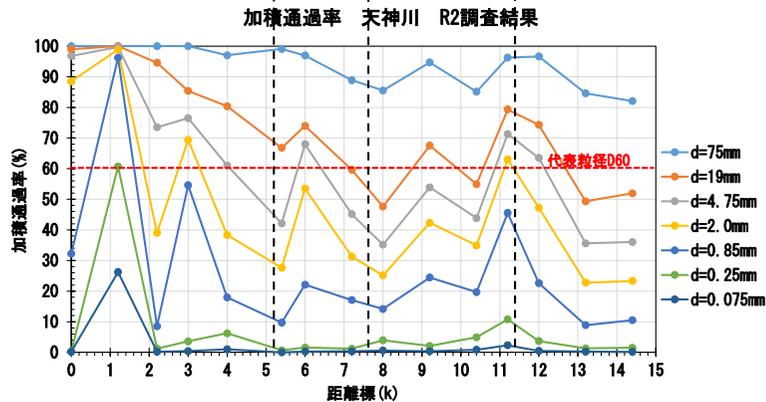
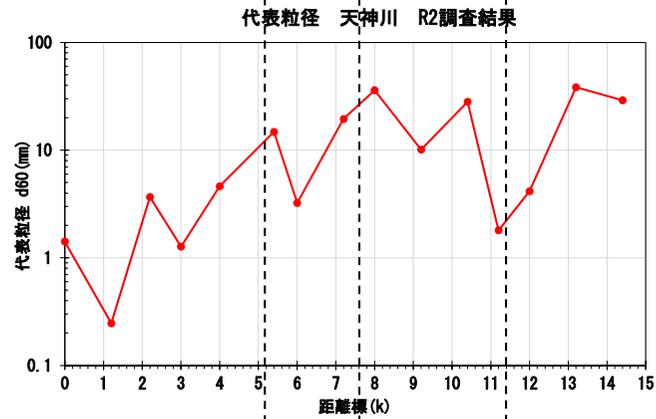
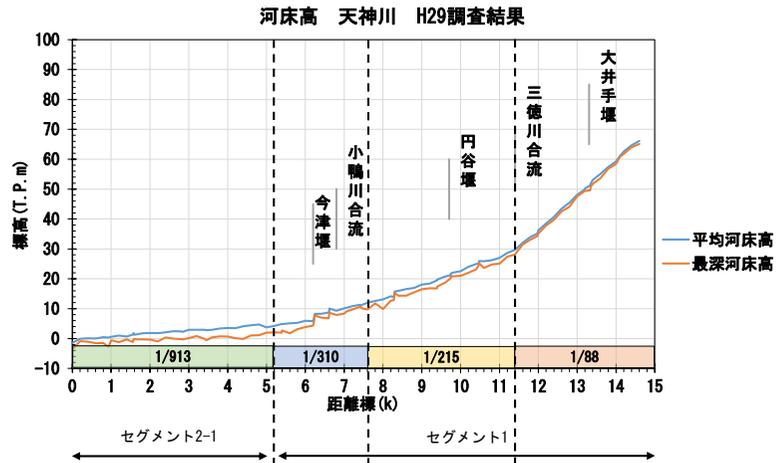
河道区分	0.0~2.2k
河床勾配(平成29年)	1/126
代表粒径 d_{60} (mm)	20
地形区分	谷底平野
蛇行	少
河床侵食	弱
低水路水深(m)	2.4
セグメント区分	1
河道区分理由	・最上流端

6. 水系全体像の把握

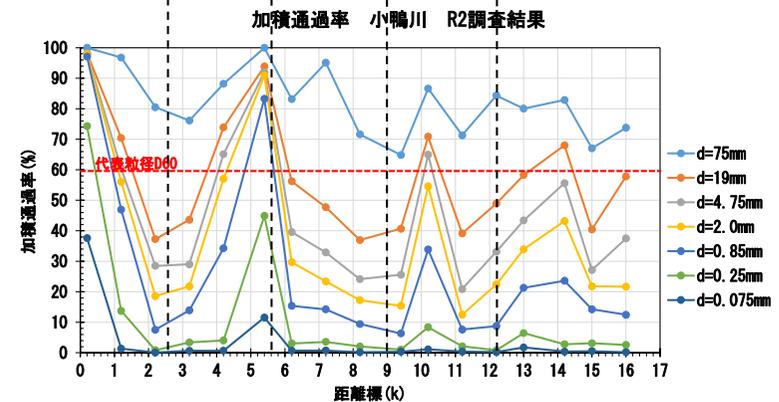
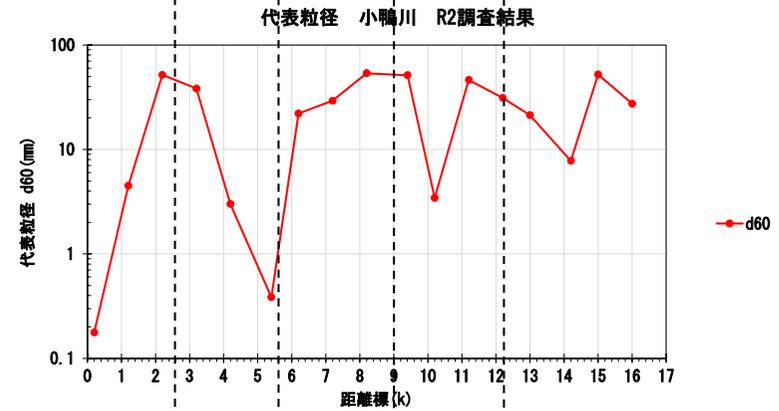
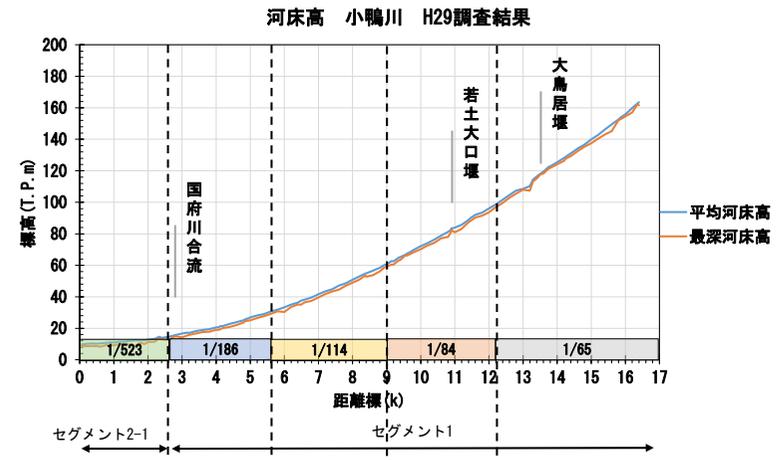
(2) セグメント区分

河道の縦断形とセグメント区分(天神川、小鴨川)

・天神川



・小鴨川

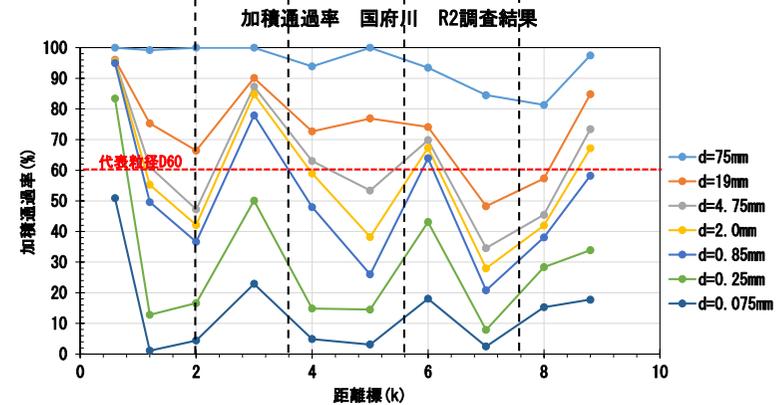
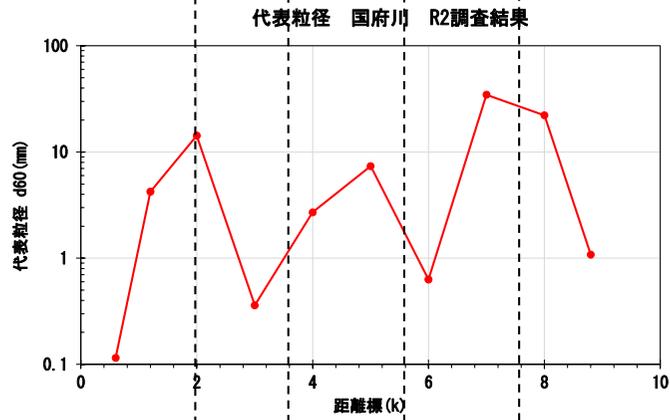
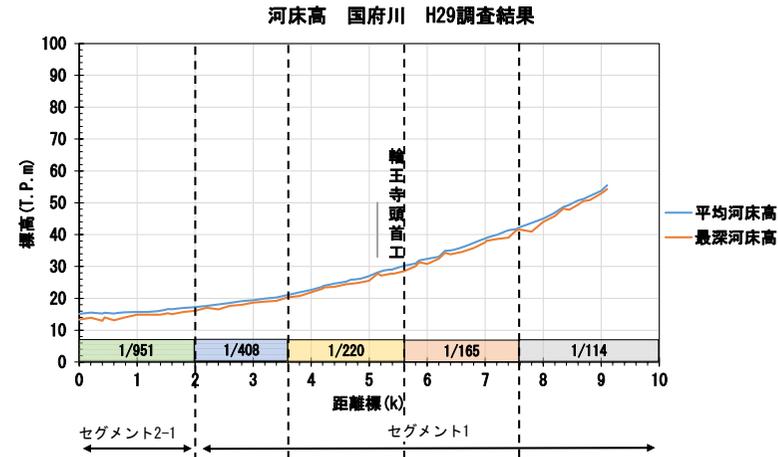


6. 水系全体像の把握

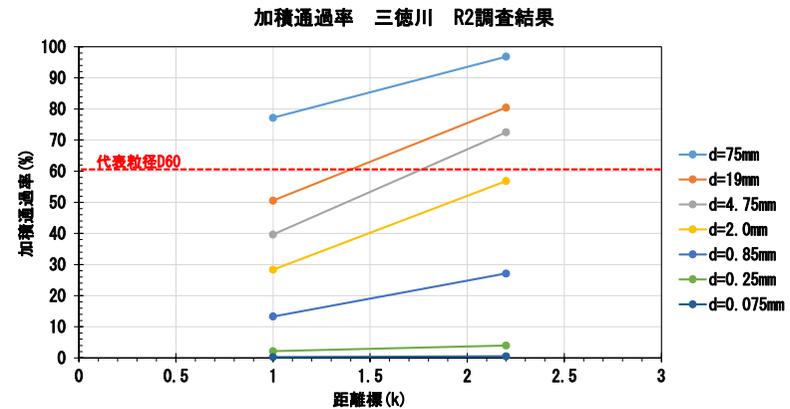
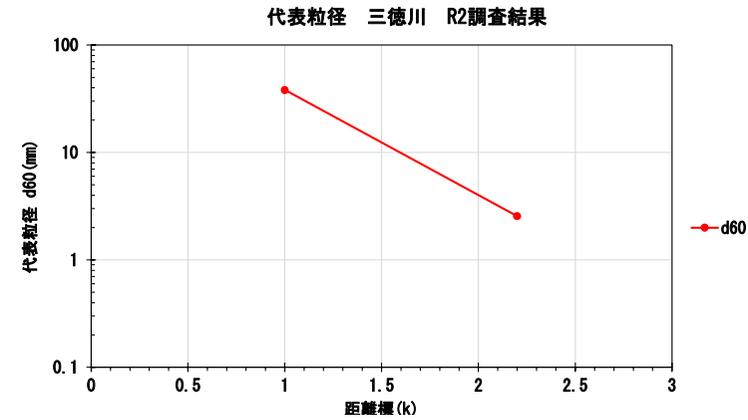
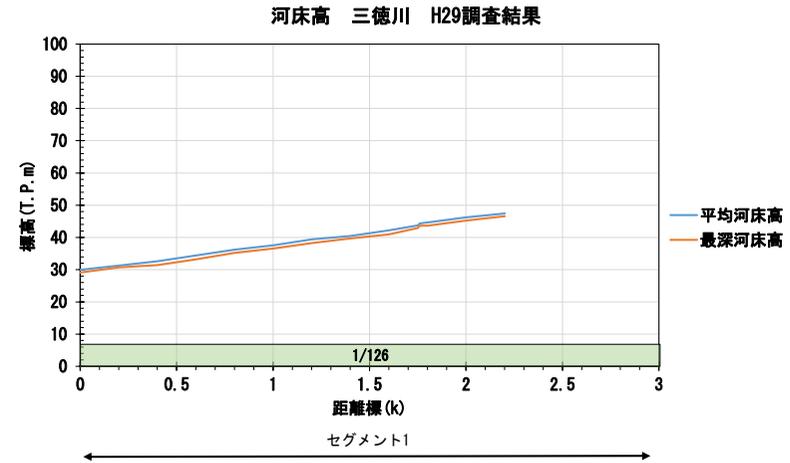
(2) セグメント区分

河道の縦断形とセグメント区分(国府川、三徳川)

・ 国府川



・ 三徳川



6. 水系全体像の把握

(3) 粒径集団の設定

- 各セグメントの地形変化を構成する粒径集団（有効粒径集団※）を明らかにし、対象水系に供給される土砂の粒径集団組成を設定した。
- 令和2年度河床材料調査結果の粒径加積曲線をセグメント区分毎に重ね合わせ、各セグメントにおいて粒径区分の割合から有効粒径集団（主たる構成材料）を設定した。
- 天神川水系は主に礫分が占めている。モデルによる通過土砂量（後述）と比較すると実際に礫分が多くを占めており、堰によって塞ぎ止められているため、流下能力や堰の取水機能の低下につながる恐れがある。

※有効粒径集団とは、粒径集団のうち、その動態が土砂管理上の課題に関わる特定の河道変化や事象をほぼ排他的に支配するものと河川技術基準で定義されている。ここでは、各セグメント区間に占める割合が多い粒径集団を、土砂管理上の課題（洗堀・堆積等）に関わる粒径集団（有効粒径集団）とした。

有効粒径集団（主たる構成材料）

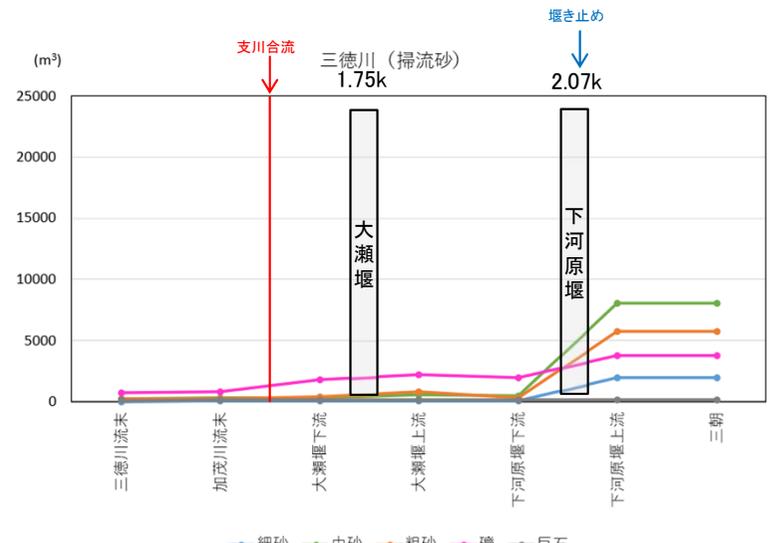
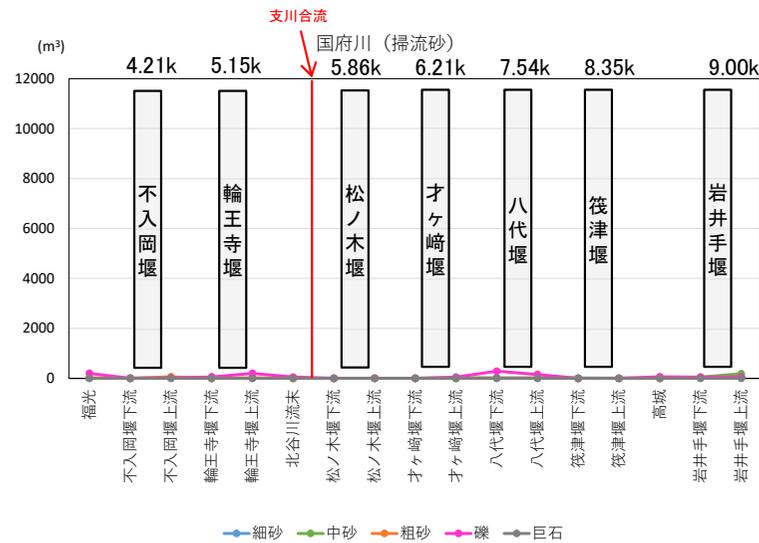
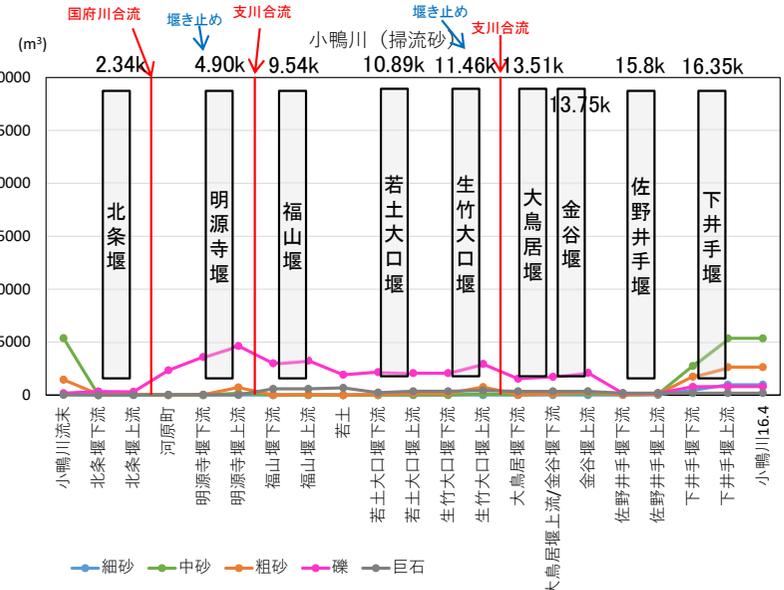
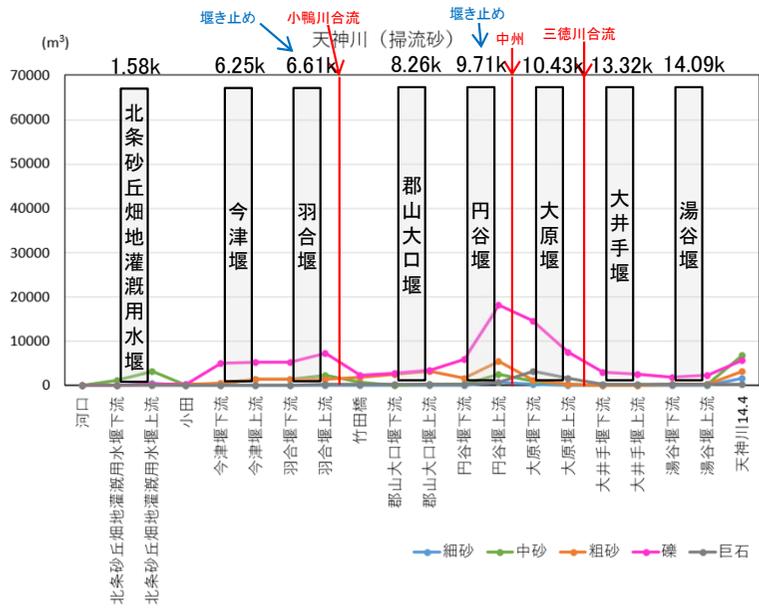
地点		セグメント区分	粒径集団Ⅰ シルト分・粘土分 （～0.075mm）	粒径集団Ⅱ 細砂分 （0.075～0.25mm）	粒径集団Ⅲ 中砂分 （0.25～0.85mm）	粒径集団Ⅳ 粗砂分 （0.85～2.0mm）	粒径集団Ⅴ 礫分 （2.0～75.0mm）	粒径集団Ⅵ 巨石・粗石 （75.0mm～）
天神川	0.0～1.0k	セグメント2-1 （河口域）	0.6%	0.5%	44.1%	40.6%	14.3%	0.0%
	1.0～5.2k	セグメント2-1 （河口域以外）	5.2%	11.5%	24.5%	16.3%	42.2%	0.3%
	5.2～11.4k	セグメント1 （河道域）	1.4%	6.4%	24.5%	16.3%	38.2%	13.2%
	11.4～14.6k	セグメント1 （砂防域）	0.6%	2.6%	13.8%	18.0%	40.4%	24.6%
小鴨川	0.0～2.6k	セグメント2-1	9.6%	18.4%	21.2%	7.7%	35.9%	7.2%
	2.6～12.2k	セグメント1 （河道域）	2.8%	8.0%	15.8%	10.2%	39.9%	23.4%
	12.2～16.4k	セグメント1 （砂防域）	1.4%	5.7%	21.5%	14.4%	37.1%	19.9%
国府川	0.0～2.0k	セグメント2-1	25.8%	33.4%	20.5%	3.5%	16.4%	0.4%
	2.0～8.91k	セグメント1	18.6%	24.7%	21.9%	4.7%	21.7%	8.4%
三徳川	0.0～2.2k	セグメント1	1.7%	4.7%	20.0%	23.6%	39.7%	10.2%

※各粒径区分割合の平均値が最大である箇所を赤字で示す。

6. 水系全体像の把握

(3) 粒径集団の設定

・天神川水系の天神川、小鴨川、国府川、三徳川での1998年（小田地点実測流量 999m³/s [9.25], 1,942m³/s [10.18]が発生）における掃流砂の年粒径別通過土砂量を縦断的に示した。有効粒径集団とした礫分は出水時に堰によって移動が遮られており、取水への影響が懸念される。



6. 水系全体像の把握

(4) 水系全体像の把握

- 有効粒径集団（主たる構成材料）は、天神川本川の河口域（0.0～1.0k）及び国府川の本川（0.0～8.91k）以外は、全ての区間で粒径集団Ⅴ:礫分（2.0～75.0mm）が占めている。
- 天神川（小鴨川合流点より下流）、小鴨川、国府川では、粒径集団Ⅰ～Ⅱが下流に行くに従って存在割合が増加するような傾向が見られ、細かい分級が進んでいるが、それ以外の区間は、粒径集団の存在割合は概ね同等で大きな変化は見られないことから、河道での縦断的な分級作用は十分ではない。
- 流域全体で見た場合、海浜構成材料(粒径集団Ⅱ・Ⅲ・Ⅳ：0.075～2.0mm)が占める割合は、河口域が約85%、河道域が約20～60%、砂防域が約15～60%であり、支川の割合から、流域の表層地質で異なると考えられる。

粒径集団の移動状況および分級状態

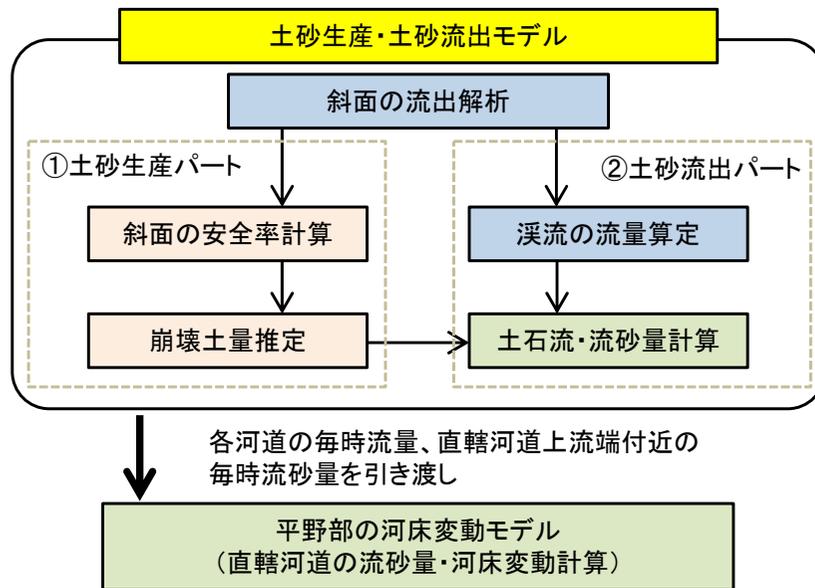
河川名		移動状況および分級状態
天神川	本川	<ul style="list-style-type: none"> 有効粒径集団は、河口域が粒径集団Ⅲであり、河口域以外は粒径集団Ⅴである。 海浜構成材料の占める割合は、河口域が約85%、河口域以外は約30%～50%であり下流に向けて増加している。 小鴨川合流点より下流では、粒径集団Ⅰ～Ⅲの存在割合が増加するような傾向が見られ、細かい分級が進んでいるが、上流では、粒径集団の存在割合は概ね同等であり、縦断的な分級作用が十分ではない。
	支川	<ul style="list-style-type: none"> 有効粒径集団は、粒径集団Ⅴであり、各粒径集団の占める割合は、流域の表層地質で異なる。 海浜構成材料が占める割合は、約15%～40%であり、支川毎に流域の表層地質で異なる。 粒径集団の分布は、本川上流端区間の分布と同等である。
小鴨川	本川	<ul style="list-style-type: none"> 有効粒径集団は、粒径集団Ⅴである。 海浜構成材料の占める割合は、約30%～50%である。 粒径集団の存在割合の縦断分布からは、粒径集団Ⅰ～Ⅱが下流に行くに従って存在割合が増加するような傾向が見られ、細かい分級が進んでいる。
	支川	<ul style="list-style-type: none"> 有効粒径集団は、粒径集団Ⅴであり、各粒径集団の占める割合は、流域の表層地質で異なる。 海浜構成材料が占める割合は、約35%～70%であり、流域の表層地質で異なる。 粒径集団の分布は、本川上流端区間の分布と同等である。
国府川	本川	<ul style="list-style-type: none"> 有効粒径集団は、直轄区間が粒径集団Ⅱであり、直轄区間上流は粒径集団Ⅴである。 海浜構成材料が占める割合は、直轄区間が約50%～60%であり、直轄区間上流は約30%である。 粒径集団の存在割合の縦断分布からは、粒径集団Ⅰ～Ⅱが下流に行くに従って存在割合が増加するような傾向が見られ、細かい分級が進んでいる。
	支川	<ul style="list-style-type: none"> 有効粒径集団は、粒径集団Ⅴである。 海浜構成材料が占める割合は、約25%である。 粒径集団の分布は、本川上流端区間の分布と同等である。
三徳川	本川	<ul style="list-style-type: none"> 有効粒径集団は、粒径集団Ⅴである。 海浜構成材料が占める割合は、約35%～50%である。 粒径集団の存在割合の縦断分布からは、上下流での粒径集団の存在割合は同等で大きな変化は見られないことから、河道での縦断的な分級作用は十分ではない。
	支川	<ul style="list-style-type: none"> 有効粒径集団は、粒径集団Ⅴである。 海浜構成材料が占める割合は、約30%～40%である。 粒径集団の分布は、本川上流端区間の分布と同等である。
流域全体		<ul style="list-style-type: none"> 有効粒径集団は、天神川本川の河口域（0.0～1.0k）及び国府川の本川（0.0～8.91k）以外は、全ての区間で粒径集団Ⅴが占めている。 天神川（小鴨川合流点より下流）、小鴨川、国府川では、粒径集団Ⅰ～Ⅱが下流に行くに従って存在割合が増加するような傾向が見られ、細かい分級が進んでいるが、それ以外の区間は、粒径集団の存在割合は概ね同等で大きな変化は見られないことから、河道での縦断的な分級作用は十分ではない。 流域全体で見た場合、海浜構成材料が占める割合は、河口域が約85%、河道域が約20%～60%、砂防域が約15%～60%であり、支川の割合から、流域の表層地質で異なると考えられる。

7. 土砂流出モデルの作成

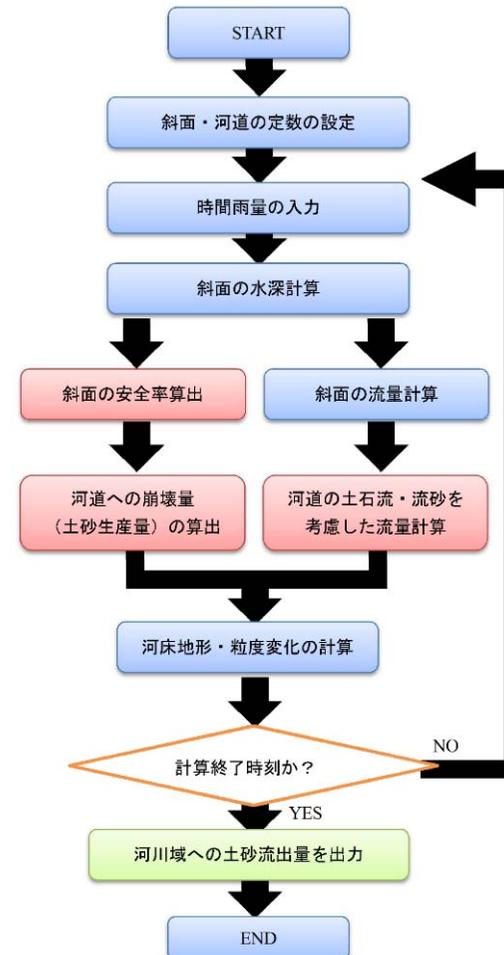
(1) 土砂流出モデル

- 天神川水系の土砂流出モデルは、土砂生産・土砂流出モデルと、これにより算定された流量、流砂量を受け取り計算する平野部の河床変動モデルから構成される。
- 土砂生産・土砂流出モデルは、降雨時の斜面安全率評価による生産土砂量（山地河道への流出量）の算定を行う土砂生産パートと、河床変動計算（土石流～掃流砂・浮遊砂への遷移を考慮）によって河川域への土砂流出量を算定する土砂流出パートから構成される。
- 平野部の河床変動モデルは、土砂生産・土砂流出モデルにより算定された流量、流砂量を受け取り、直轄河道の流砂量・河床変動計算を行うモデルである。

本頁に当該モデルのモデル構成及び計算フローを、次頁にモデルの設定条件を示す。



天神川水系の土砂流出モデルの構成



土砂生産・土砂流出モデルの計算フロー

7. 土砂流出モデルの作成

(1) 土砂流出モデル

土砂生産・土砂流出モデルの設定条件

項目		設定条件
計算領域		天神川流域
計算期間		1979年～2021年（S54年～R3の43年間）
降雨	雨域	天神川流域を19個の雨域に分割
	降雨量	国交省、気象庁所管の26観測所の観測データより算定した流域平均雨量
斜面	流れの計算	斜面表層：マニング則、地下層：ダルシー則による計算
	定数設定	斜面表層の等価粗度、地下層の透水係数・浸透能
	流域面積	GISにより小流域分割を行い流域面積計測
	落水線長	GISにより単位斜面内の代表的な谷の長さを計測
	落水線勾配	基盤地図情報(10mDEM)より落水線の標高差を計測 落水線勾配＝標高差/落水線長
	地盤定数	内部摩擦角、粘着力（ $\phi=35^\circ$ 、 $c=0\text{kN/m}^2$ ）
	土砂生産パラメータ	生産土砂量算定式 $V=\Sigma[\alpha \times (\beta - \text{斜面安全率}Fs) \times \text{流域面積} \times \Delta t]$ $\alpha=1.0 \times 10^{-2} \text{m}^3/\text{km}^2/\text{s}$ 、 $\beta=1.5$
	生産土砂の粒度分布	平成15年度調査結果を補正（100mm以上が50%分布）
	流れの計算	不定流計算モデル
	定数設定	河道の粗度係数（山地河道 $n=0.05$ 、直轄河道 $n=0.04$ ）
河道	河道長	GISにより計測
	河床材料	平成15年度調査結果を補正（100mm以上が50%分布）
	流砂量式	土石流～掃流砂への遷移を考慮した高橋の式
	土砂流出量パラメータ	侵食速度係数 $\delta e=7.0 \times 10^{-5} [-]$ 堆積速度係数等 $\delta d=5.0 \times 10^{-2} [-]$
	砂防堰堤	直轄砂防堰堤をモデル化

透水係数及び浸透能の定数

領域	項目	流域	単位	表層	A層	B層
斜面	透水係数	天神川	m/s	-	0.02	0.01
		三徳川			0.03	0.03
		小鴨川			0.03	0.01
		国府川			0.18	0.05
	浸透能	天神川	mm/h	50.0	8.0	1.0
		三徳川				
		小鴨川				
		国府川				

※浸透能は下層への浸透量を示す。
※浸透能は流域ごとで設定したが、結果として同一となっている。

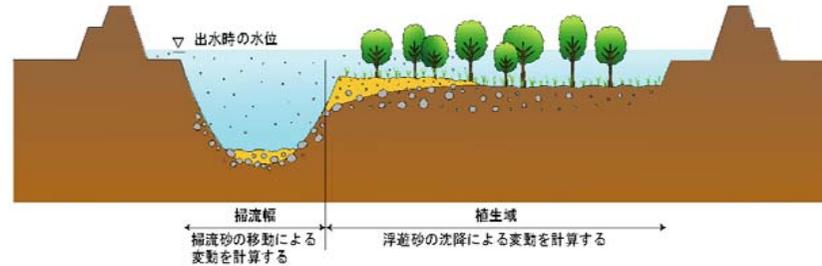
平野部の河床変動モデルの設定条件

項目		設定条件
計算領域		天神川直轄河道域（天神川、小鴨川、三徳川、国府川）
計算期間		1980(S55)年～2017(H29)年
河道	流れの計算	下流からの不等流計算
	流砂量式	掃流砂：芦田・道上式 浮遊砂：板倉・岸式
	河道長	GISにより計測
	粒度分布式	芦田・江頭・劉の式
	流量配分	溪流・河道ごとに土砂生産・土砂流出モデルによる流出計算結果を与える
	河床横断地形	S54年度・S55年度定期横断測量結果を用いて作成
	初期河床材料	令和2年度調査結果
	出発水位	長瀬観測所実績水位
	定数設定	河道の粗度係数（直轄河道 $n=0.04$ ）

7. 土砂流出モデルの作成

(2) 植生域のモデル化

- 平野部の河床変動モデルでは植生域における浮遊砂の沈降及び洪水時の植生消長を組み込み、土砂動態への影響を考慮できるようにモデル化している。国総研の「植生消長モデル」を参考としたものである。（国総研の「植生消長モデル」は次頁に示す。）

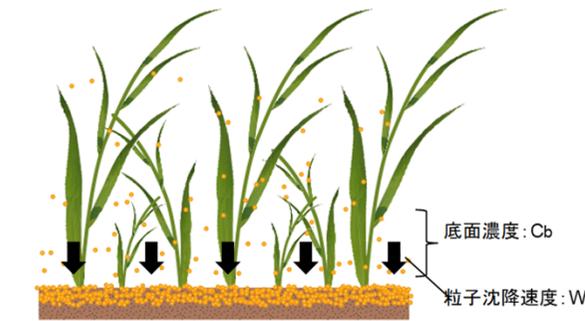


植生域のモデル化イメージ図

【浮遊砂の沈降】

植生域では掃流砂は発生せず、浮遊砂の捕捉が発生すると考え、粒子沈降フラックス $C_b \cdot W_0$ に捕捉率 σ を乗じることで堆積速度を算定している。

出典：扇状地礫床河道における安定植生域消長の機構とシミュレーション、土木学会論文集No.747/II-65



沈降する成分のうち σ (捕捉率) が堆積すると仮定し、空隙率 λ を考慮する
 → 堆積速度 = $C_b \sigma W_0 / (1 - \lambda)$ 式(11)

国総研モデルにおける植生域の細粒土砂捕捉の扱い

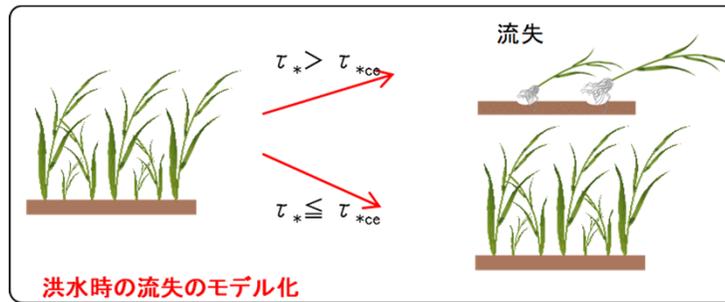
$$D_{ts} = \int R_D dt \quad (6)$$

堆積速度 R_D は式(11)から、堆積厚 D_{ts} は式(6)から計算される。

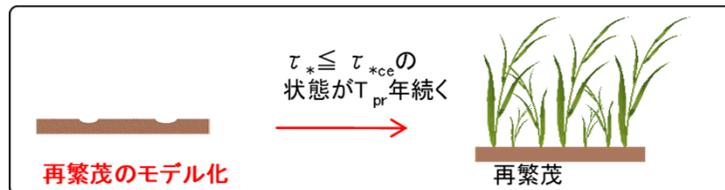
$$R_D = \frac{C_b \sigma \cdot W_0}{1 - \lambda} \quad (11)$$

【再繁茂条件】

無次元掃流力が閾値を超えない期間が続く場合再繁茂する ($T > T_{pr}$)。この経過時間を T_{pr} とする。



洪水時の流失のモデル化



再繁茂のモデル化

植生消長のモデル化イメージ図

【植生の流失条件】

無次元掃流力 τ_{*ce} 以上のとき流失する。

$$\tau_* \geq \tau_{*ce}$$

τ_* : 横断面内で分割された個々の河床部分にかかる無次元掃流力

τ_{*ce} : 植生区分が掃流される無次元掃流力

7. 土砂流出モデルの作成

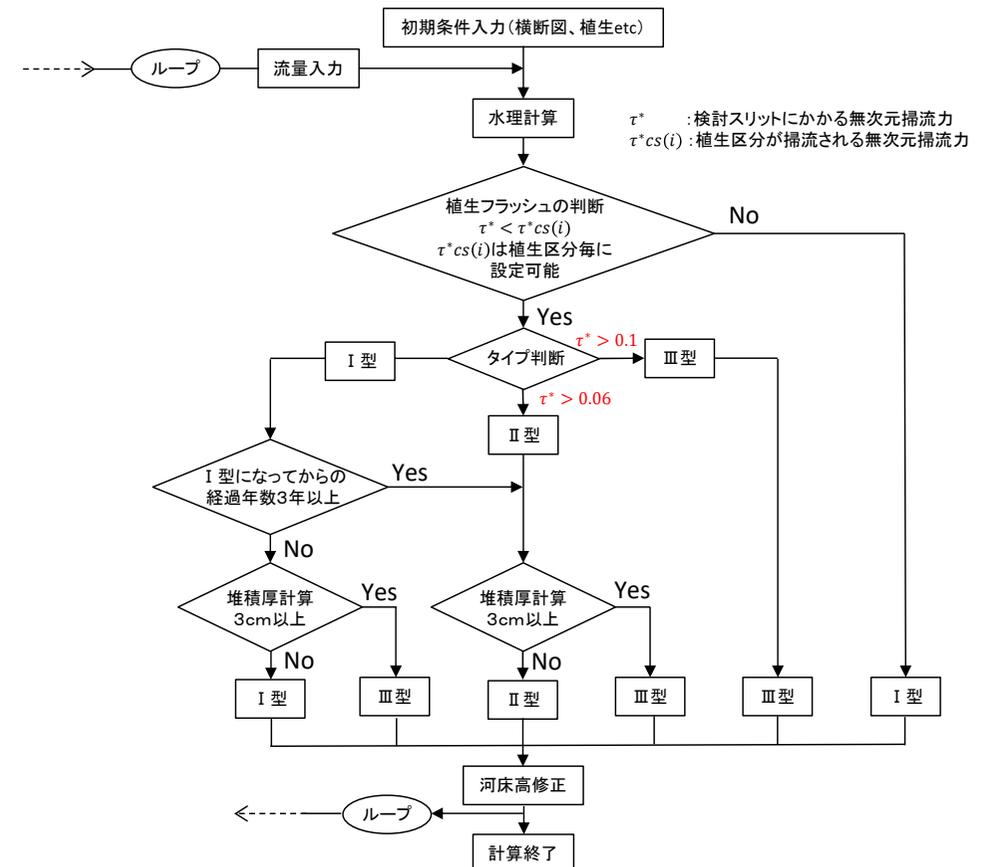
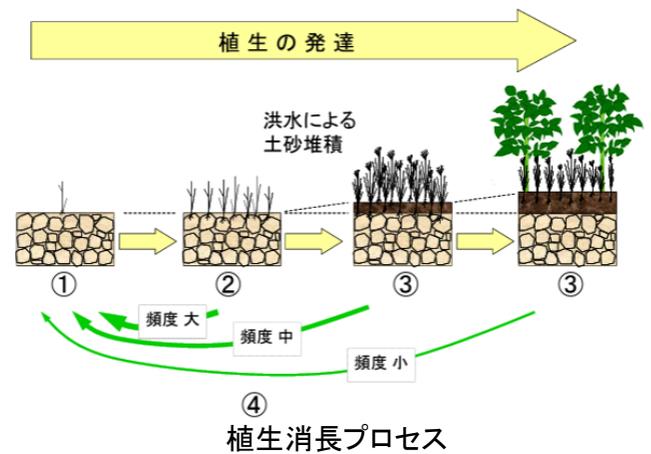
(2) 植生域のモデル化 (国総研の「植生消長モデル」)

植生消長プロセス

- ①礫床裸地の形成と維持
→ I 型
- ②立地条件の変化をほとんど伴わず発芽・定着できる先駆的植物の繁茂
→ II 型
- ③細粒土砂の堆積と安定的な植生域の形成
→ III 型
- ④洪水による植物の流失

植生消長モデル

- 植生の流出⇒洪水時の無次元掃流力 τ^* で表現
- フロー図では河原に繁茂する植物を植生消長プロセスのタイプ別に分けている
II 型・・・ $\tau^*=0.06$ (平均粒径程度の河床材料が移動)で植生が流出
III 型・・・ $\tau^*=0.1$ (最大粒径程度の河床材料が移動)で植生が流出
- 植生による「土砂の捕捉」として、植生が繁茂することによって洪水時に河床から巻き上がる浮遊砂の量を減少させ、河床に留まる土砂量を増やす手法がとられている。計算式では浮遊砂量の算定式に捕捉率 σ を乗じて巻き上がり量の割合を減らしており、既往文献では「1/3」が適用されている。



7. 土砂流出モデルの作成

(3) 各地点で与えている河床材料 河道域(R2) 砂防域(H15)

• モデルの河床には各地点の河床材料調査の結果を与えている。

天神川

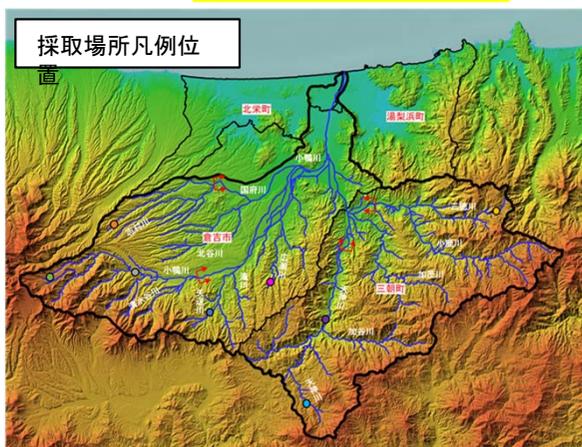
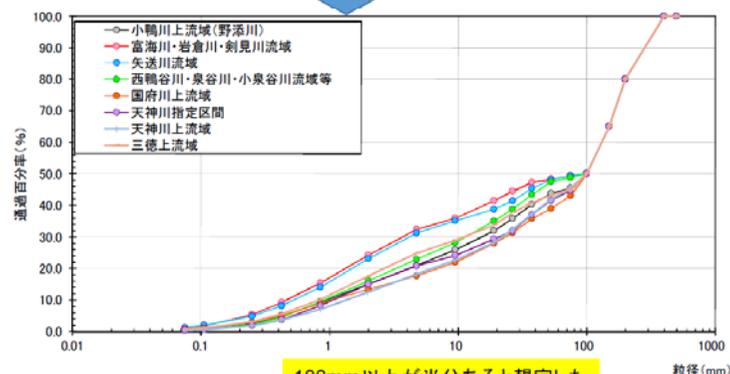
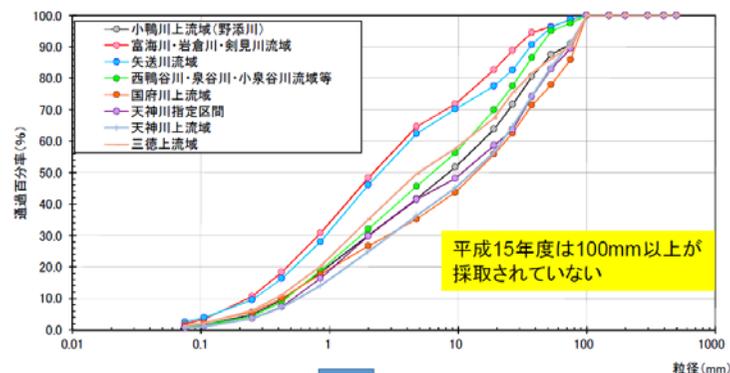
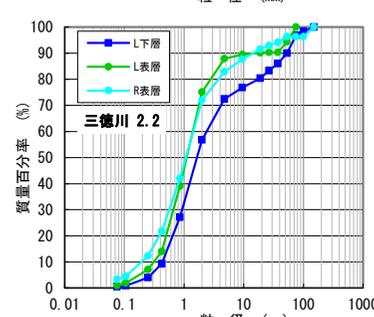
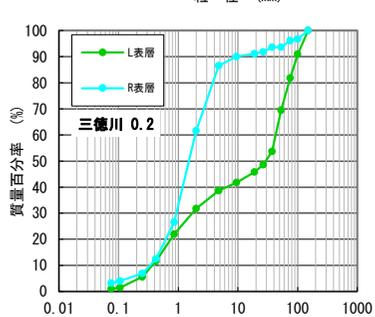
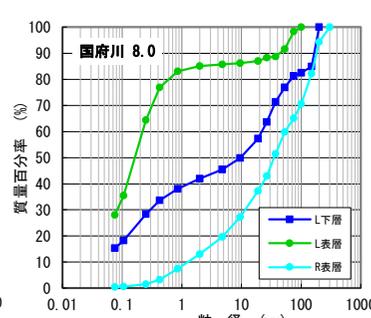
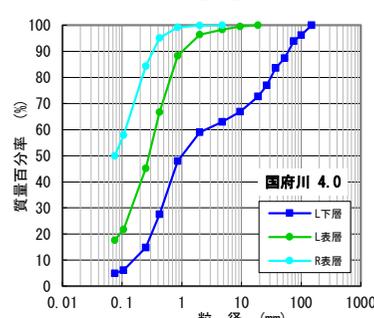
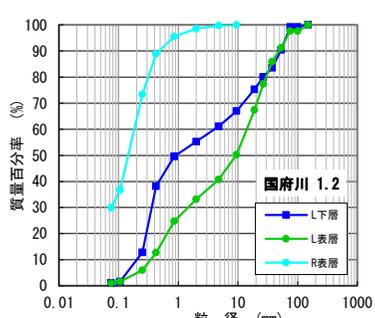
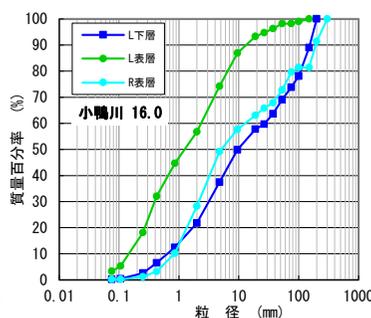
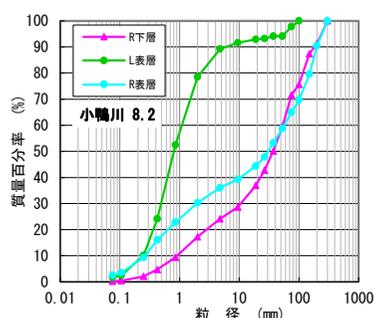
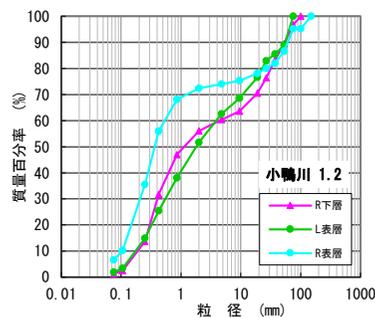
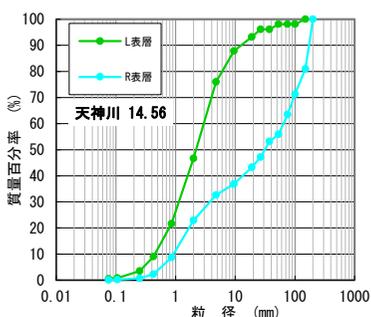
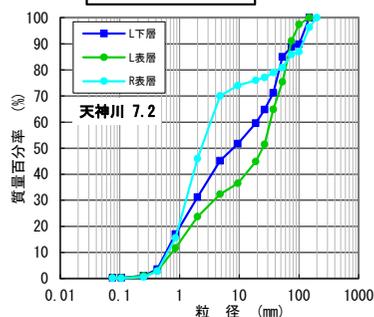
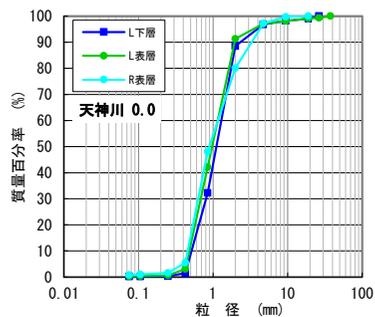
小鴨川

国府川

三徳川

河道域

砂防域



7. 土砂流出モデルの作成

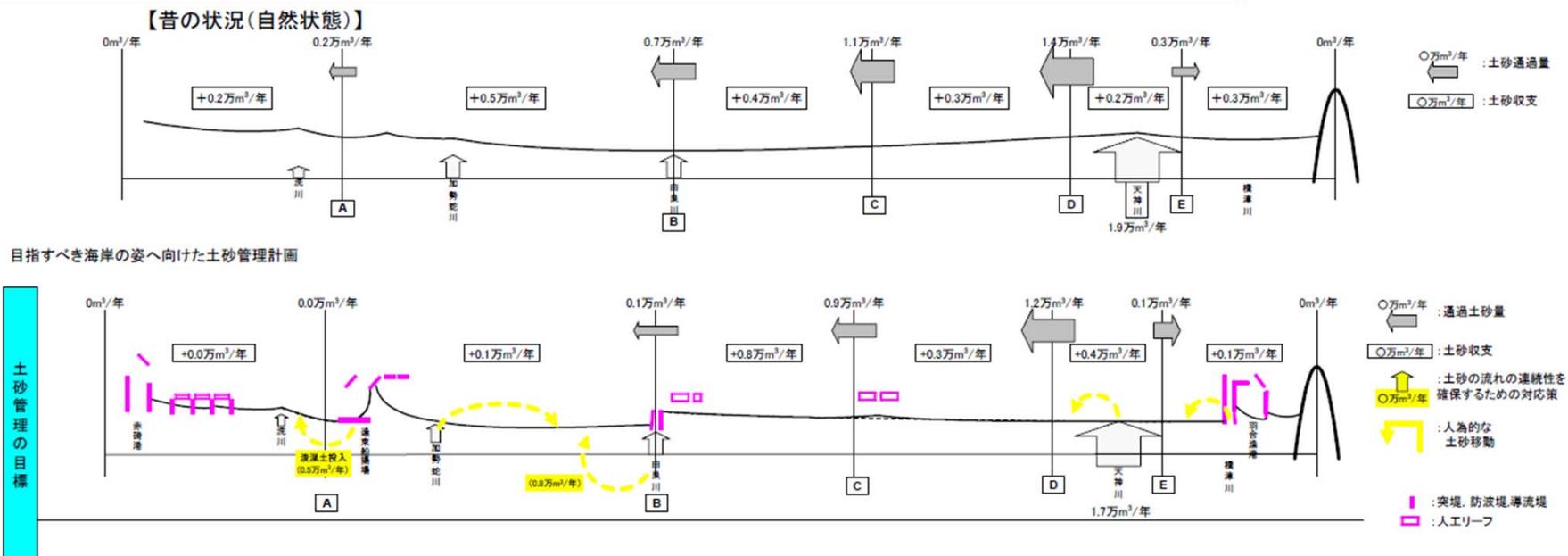
(4) 天神川流砂系の土砂管理計画

・天神川流砂系の土砂管理計画では、天神川から海岸へ1.7万m³/年供給することを目標としている。

4.2. 目指すべき海岸の姿へ向けた土砂管理計画

人為的な土砂の連続性の遮断がなかった頃の土砂の流れの連続性、土砂収支バランスの確保・回復に向けた計画である。

天神川流砂系は、漂砂系全体としては河川からの供給土砂量の減少、系外への持ち出しもなく比較的安定している海岸である。
→現状よりも土砂収支のバランスを悪化させないことを基本とした対策とする。



対応策	土砂の連続性を確保	船橋港浚深土砂のサンドバイパス	河口浚深土砂のサンドリサイクル	河口浚深土砂のサンドバイパス	河口浚深土砂のサンドリサイクル	河口浚深土砂の現状維持	漁港浚深土砂のサンドリサイクル
	構造物						

・数値は、年平均値として示している。
・自然の土砂移動量には変動の幅があることを考慮して、実際の堆砂量、浚深量等に応じて実施することが重要である。
・目標値を達成することが重要ではなくて、各管理者が原則的に守らなければならない事項を遵守し、出来ることから実施することが重要である。

海岸の浜幅、汀線位置といった形ではなく、あくまで土砂の連続性、土砂収支バランスの回復が重要である。
海岸保全施設や防波堤等の周辺で局所的に海岸侵食が発生する可能性があることに留意する。

〇サンドバイパス
沿岸漂砂の移動を阻害している施設の上手側に堆積している土砂を、人為的に下手側へ移動する対策

〇サンドリサイクル
沿岸漂砂の下手側に堆積している土砂を漂砂の上手側へ人為的に土砂を移動する対策

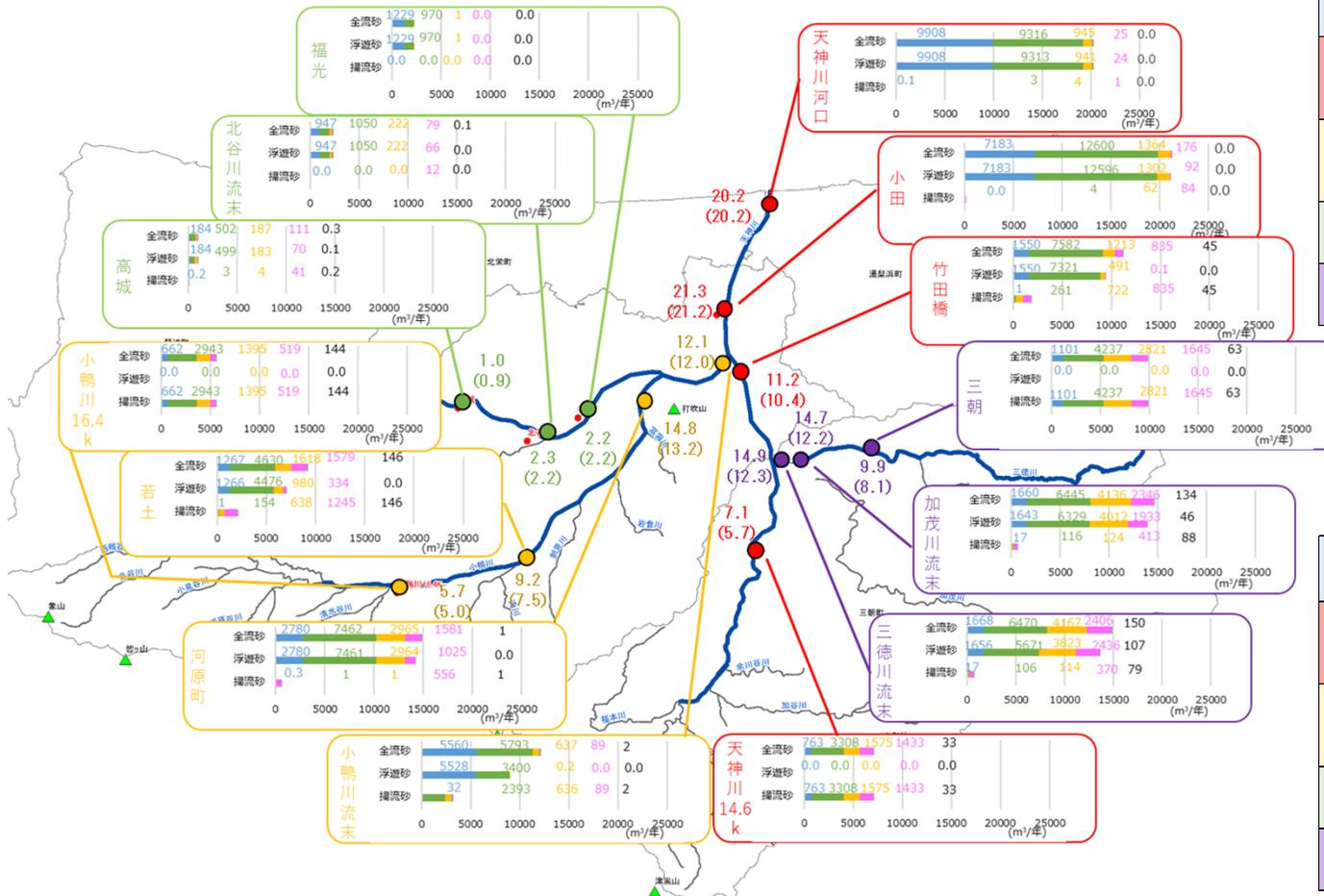
※目指すべき海岸の姿へ向けた土砂管理計画は、量のみの記述となっているが、今後は量・質のバランスのとれた対策を考えていく必要がある。

7. 土砂流出モデルの作成

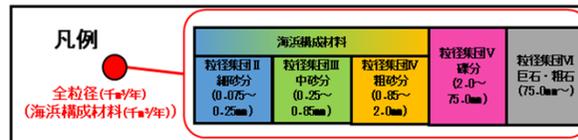
(5)土砂動態マップ

- ・土砂移動予測モデルによる検討の結果、年平均の通過土砂量は、河口部では全粒径、海浜構成材料（粒径0.075～2.0mm）ともに約2.0万m³/年となった。
- ・今後は天神川流域の土砂移動予測モデルの更なる精度向上を行い、水系で一貫した土砂移動の評価を行うなど、土砂動態マップの数値について精査を進めていく。

大規模の洪水を複数含む期間
(昭和55年～令和3年)



土砂動態マップ



・全粒径

地点	42年間(S55~R3)の流出土砂量			年平均流出土砂量(S55~R3)			
	全流砂	浮遊砂	掃流砂	全流砂	浮遊砂	掃流砂	
	千m ³	千m ³	千m ³	千m ³ /年	千m ³ /年	千m ³ /年	
天神川	河口	848	848	0.3	20.19	20.19	0.00
	小田	896	889	6	21.32	21.17	0.00
	竹田橋	472	393	78	11.23	9.36	0.05
	天神川14.6k	299	0.0	299	7.11	0.00	0.03
小鴨川	小鴨川流末	507	375	132	12.08	8.93	0.00
	河原町	621	598	23	14.79	14.23	0.00
	若土	388	296	92	9.24	7.06	0.15
国府川	小鴨川16.4k	238	0.0	238	5.66	0.00	0.14
	福光	92	92	0.0	2.20	2.20	0.00
	北谷川流末	96	96	0.5	2.30	2.28	0.00
三徳川	高城	41	39	2	0.98	0.94	0.00
	三徳川流末	624	595	29	14.86	14.18	0.08
	加茂川流末	618	586	32	14.72	13.96	0.09
	三朝	414	0.0	414	9.87	0.00	0.06

・海浜構成材料(粒径0.075～2.0mm)

地点	42年間(S55~R3)の流出土砂量			年平均流出土砂量(S55~R3)			
	全流砂	浮遊砂	掃流砂	全流砂	浮遊砂	掃流砂	
	千m ³	千m ³	千m ³	千m ³ /年	千m ³ /年	千m ³ /年	
天神川	河口	847	847	0.3	20.17	20.16	0.01
	小田	888	885	3	21.15	21.08	0.07
	竹田橋	435	393	41	10.35	9.36	0.98
	天神川14.6k	237	0.0	237	5.65	0.00	5.65
小鴨川	小鴨川流末	504	375	129	11.99	8.93	3.06
	河原町	555	555	0.1	13.21	13.21	0.00
	若土	316	282	33	7.51	6.72	0.79
国府川	小鴨川16.4k	210	0.0	210	5.00	0.00	5.00
	福光	92	92	0.0	2.20	2.20	0.00
	北谷川流末	93	93	0.0	2.22	2.22	0.00
三徳川	高城	37	36	0.3	0.87	0.87	0.01
	三徳川流末	517	507	10	12.31	12.07	0.24
	加茂川流末	514	503	11	12.24	11.98	0.26
	三朝	343	0.0	343	8.16	0.00	8.16

7. 土砂流出モデルの作成

(5)土砂動態マップ

- 昭和55年から平成15年までの年平均の通過土砂量は、河口部では全粒径、海浜構成材料（粒径0.075~2.0mm）ともに約2.3万m³/年となった。
- 昭和55年から平成15年までの期間では、平均年最大流量（小田:733m³/s）が平成16年から令和3年の平均年最大流量（小田:704m³/s）より大きく、出水規模が大きくなっていることから、流出土砂量が多いと考えられる。

大規模の洪水を複数含む期間
(昭和55年~平成15年)

S55~H15の平均年最大流量733m³/s

主な出水※S55~H15の平均年最大流量(733m³/s)以上の流量 計7回

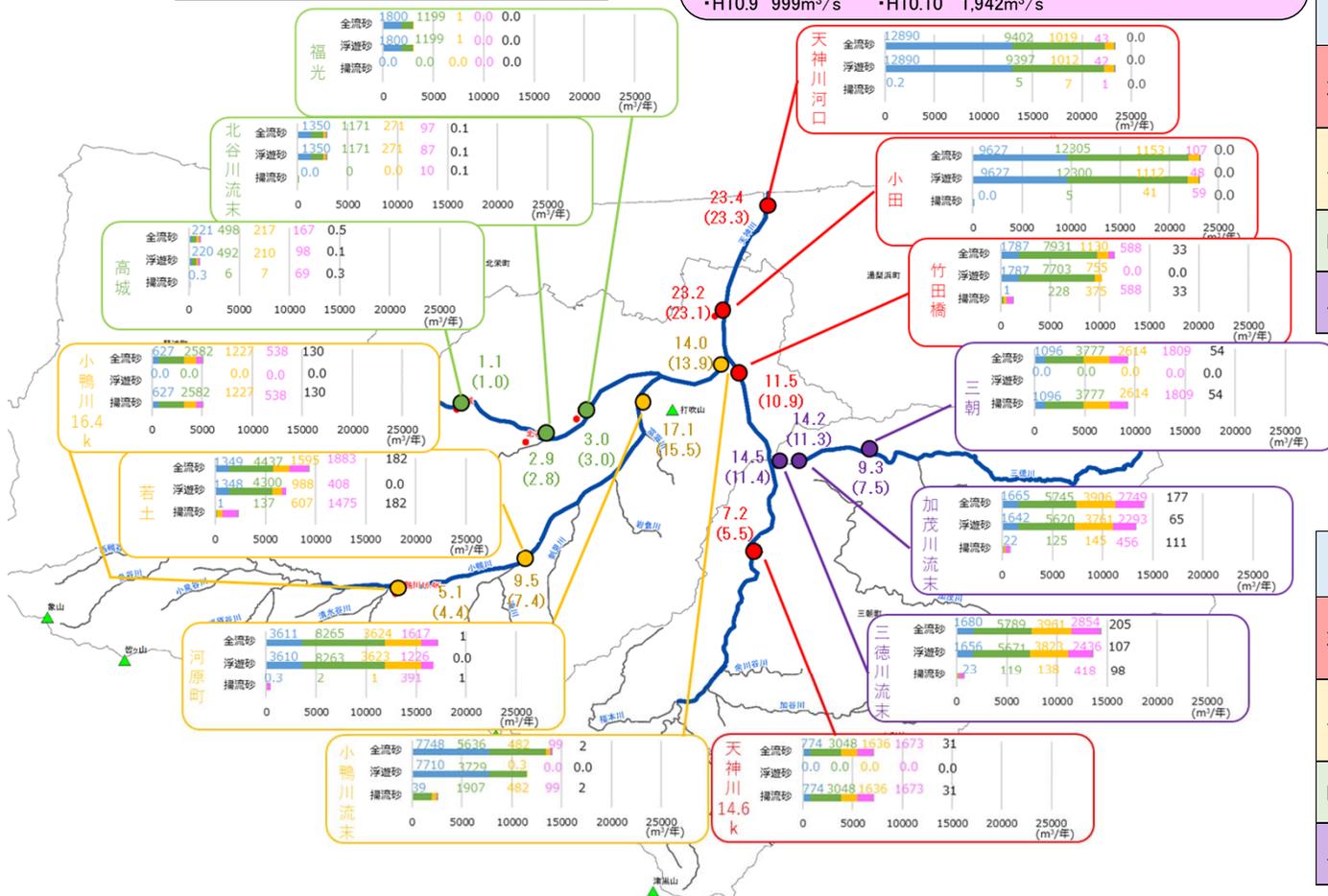
- ・S58.9 847m³/s
- ・S62.10 1,531m³/s
- ・H1.8 888m³/s
- ・H2.9 1,719m³/s
- ・H6.9 1,039m³/s
- ・H9.6 1,240m³/s
- ・H10.9 999m³/s
- ・H10.10 1,942m³/s

・全粒径

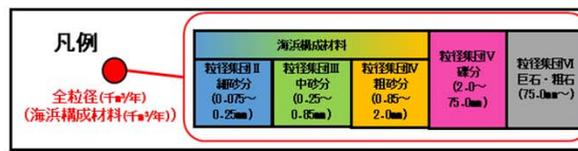
地点	24年間 (S55~H15) の流出土砂量			年平均流出土砂量 (S55~H15)			
	全流砂 千m ³	浮遊砂 千m ³	掃流砂 千m ³	全流砂 千m ³ /年	浮遊砂 千m ³ /年	掃流砂 千m ³ /年	
天神川	河口	560	560	0.3	23.35	23.34	0.00
	小田	557	554	3	23.19	23.09	0.00
	竹田橋	275	246	29	11.47	10.24	0.03
	天神川14.6k	172	0.0	172	7.16	0.00	0.03
小鴨川	小鴨川流末	335	275	61	13.97	11.44	0.00
	河原町	411	401	9	17.12	16.72	0.00
	若土	227	169	58	9.45	7.04	0.18
	小鴨川16.4k	123	0.0	123	5.10	0.00	0.13
国府川	福光	72	72	0.0	3.00	3.00	0.00
	北谷川流末	69	69	0.3	2.89	2.88	0.00
	高城	26	24	2	1.10	1.02	0.00
三徳川	三徳川流末	348	329	19	14.49	13.69	0.10
	加茂川流末	342	321	21	14.24	13.38	0.11
	三朝	224	0.0	224	9.35	0.00	0.05

・海浜構成材料(粒径0.075~2.0mm)

地点	24年間 (S55~H16) の流出土砂量			年平均流出土砂量 (S55~H16)			
	全流砂 千m ³	浮遊砂 千m ³	掃流砂 千m ³	全流砂 千m ³ /年	浮遊砂 千m ³ /年	掃流砂 千m ³ /年	
天神川	河口	559	559	0	23.31	23.30	0.01
	小田	554	553	1	23.08	23.04	0.05
	竹田橋	260	246	14	10.85	10.24	0.60
	天神川14.6k	131	0.0	131	5.46	0.00	5.46
小鴨川	小鴨川流末	333	275	58	13.87	11.44	2.43
	河原町	372	372	0	15.50	15.50	0.00
	若土	177	159	18	7.38	6.64	0.74
	小鴨川16.4k	106	0.0	106	4.44	0.00	4.44
国府川	福光	72	72	0.0	3.00	3.00	0.00
	北谷川流末	67	67	0	2.79	2.79	0.00
	高城	22	22	0	0.93	0.92	0.01
三徳川	三徳川流末	274	268	7	11.43	11.15	0.28
	加茂川流末	272	265	7	11.32	11.02	0.29
	三朝	180	0.0	180	7.49	0.00	7.49



土砂動態マップ



7. 土砂流出モデルの作成

(5)土砂動態マップ

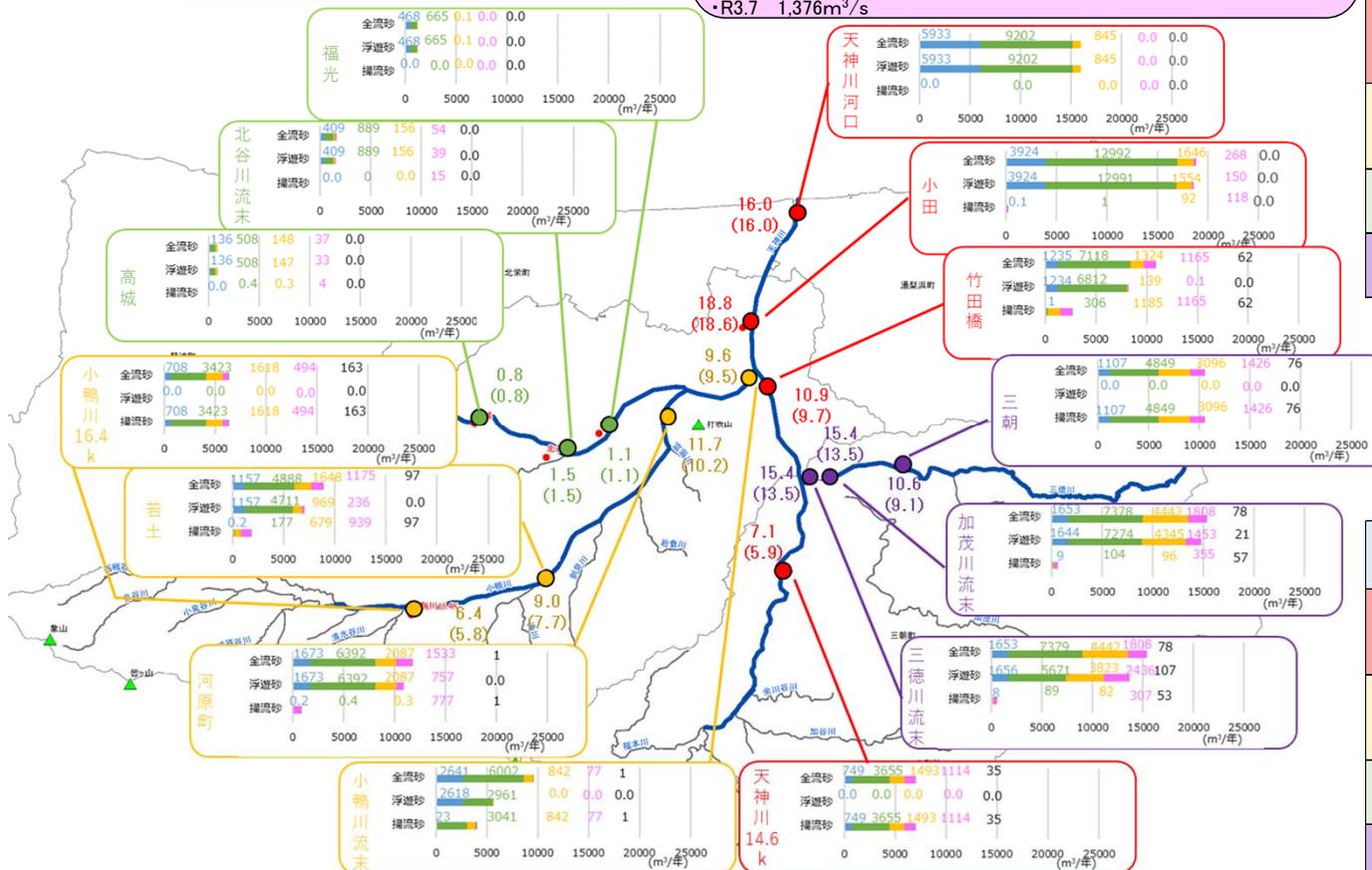
- 平成16年から令和3年の年平均の通過土砂量は、河口部では全粒径、海浜構成材料（粒径0.075~2.0mm）ともに約1.6万m³/年となった。
- 昭和55年から平成15年の年平均の通過土砂量が、河口部では全粒径、海浜構成材料（粒径0.075~2.0mm）ともに約2.3万m³/年であることから、近年は通過土砂量が減少傾向にあることがわかる。

大規模の洪水を複数含む期間
(平成16年~令和3年)

H16~R3の平均年最大流量704m³/s

主な出水※ S55~H15の平均年最大流量(704m³/s)以上の流量 計10回

- ・H16.10 1,085m³/s
- ・H18.7 781m³/s
- ・H23.9 1,436m³/s
- ・H26.10 778m³/s
- ・H29.8 829m³/s
- ・H29.9 1,255m³/s
- ・H29.10 813m³/s
- ・H30.7 818m³/s
- ・H30.9 1,665m³/s
- ・R3.7 1,376m³/s



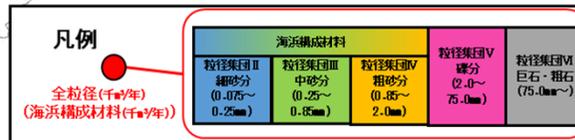
・全粒径

地点	18年間(H16~R3)の流出土砂量			年平均流出土砂量(H16~R3)			
	全流砂	浮遊砂	掃流砂	全流砂	浮遊砂	掃流砂	
	千m ³	千m ³	千m ³	千m ³ /年	千m ³ /年	千m ³ /年	
天神川	河口	288	288	0.0	15.98	15.98	0.00
	小田	339	335	4	18.83	18.82	0.00
	竹田橋	196	147	49	10.90	8.19	0.06
小鴨川	天神川14.6k	127	0.0	127	7.05	0.00	0.04
	小鴨川流末	172	100	72	9.56	5.58	0.00
	河原町	210	196	14	11.69	10.91	0.00
国府川	若土	161	127	34	8.96	7.07	0.10
	小鴨川16.4k	115	0.0	115	6.41	0.00	0.16
	福光	20	20	0.0	1.13	1.13	0.00
三徳川	北谷川流末	27	27	0.3	1.51	1.49	0.00
	高城	15	15	0.1	0.83	0.82	0.00
	三徳川流末	276	267	10	15.36	14.82	0.05
三朝	加茂川流末	276	265	11	15.36	14.74	0.06
	三朝	190	0.0	190	10.55	0.00	0.08

・海浜構成材料(粒径0.075~2.0mm)

地点	18年間(H16~R3)の流出土砂量			年平均流出土砂量(H16~R3)			
	全流砂	浮遊砂	掃流砂	全流砂	浮遊砂	掃流砂	
	千m ³	千m ³	千m ³	千m ³ /年	千m ³ /年	千m ³ /年	
天神川	河口	288	288	0.0	15.98	15.98	0.00
	小田	334	332	2	18.56	18.47	0.09
	竹田橋	174	147	27	9.68	8.19	1.49
小鴨川	天神川14.6k	106	0.0	106	5.90	0.00	5.90
	小鴨川流末	171	100	70	9.48	5.58	3.91
	河原町	183	183	0.0	10.15	10.15	0.00
国府川	若土	138	123	15	7.69	6.84	0.86
	小鴨川16.4k	103	0.0	103	5.75	0.00	5.75
	福光	20	20	0.0	1.13	1.13	0.00
三徳川	北谷川流末	26	26	0.0	1.45	1.45	0.00
	高城	14	14	0.0	0.79	0.79	0.00
	三徳川流末	243	239	3	13.47	13.29	0.18
三朝	加茂川流末	243	239	4	13.47	13.26	0.21
	三朝	163	0.0	163	9.05	0.00	9.05

土砂動態マップ



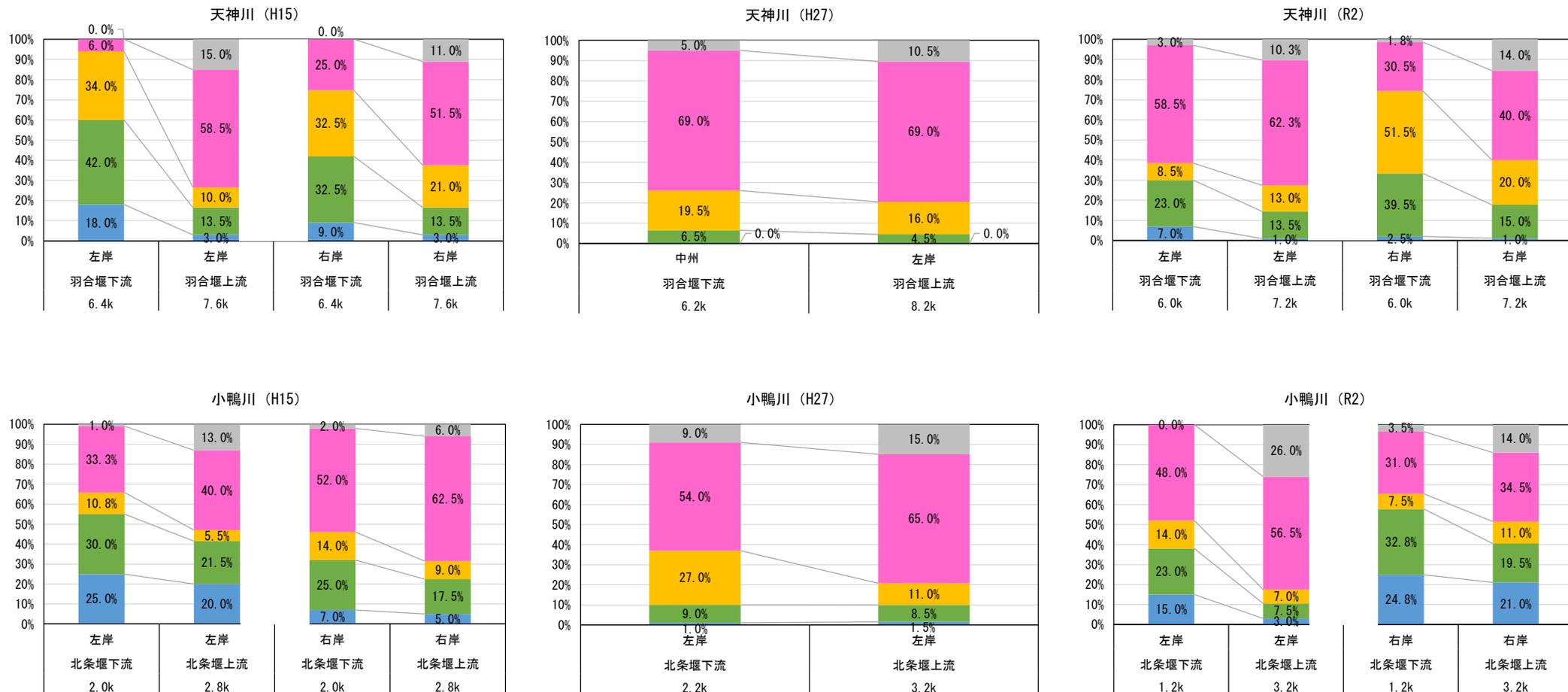
7. 土砂流出モデルの作成

(6) 通過土砂量縦断図

・天神川の羽合堰、小鴨川の北条堰における堰前後の土砂分布を河床材料調査結果で示した。堰下流は堰上流と比較して礫分、巨石・粗石の割合が減少していることから、堰によって主に礫分以上の土砂移動が遮られていることが分かる。

主な出水※S55～R3平均年最大流量(693m³/s)以上の流量

・S58.9 847m³/s ・S62.10 1,531m³/s ・H1.8 888m³/s ・H2.9 1,719m³/s ・H5.9 706m³/s ・H6.9 1,039m³/s ・H9.6 1,240m³/s ・H10.9 999m³/s ・H10.10 1,942m³/s
 ・H16.10 1,085m³/s ・H18.7 781m³/s ・H23.9 1,436m³/s ・H26.10 778m³/s ・H29.8 829m³/s ・H29.9 1,255m³/s ・H29.10 813m³/s ・H30.7 818m³/s ・H30.9 1,665m³/s ・R3.7 1389m³/s

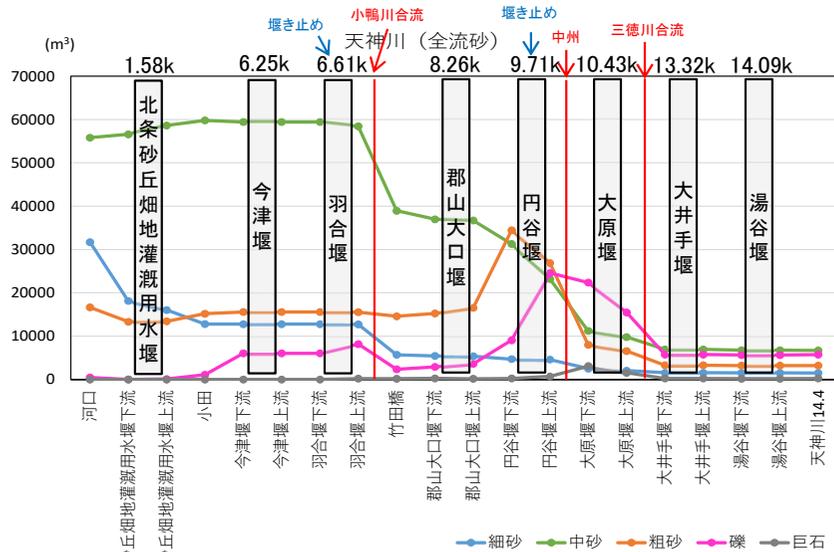


7. 土砂流出モデルの作成

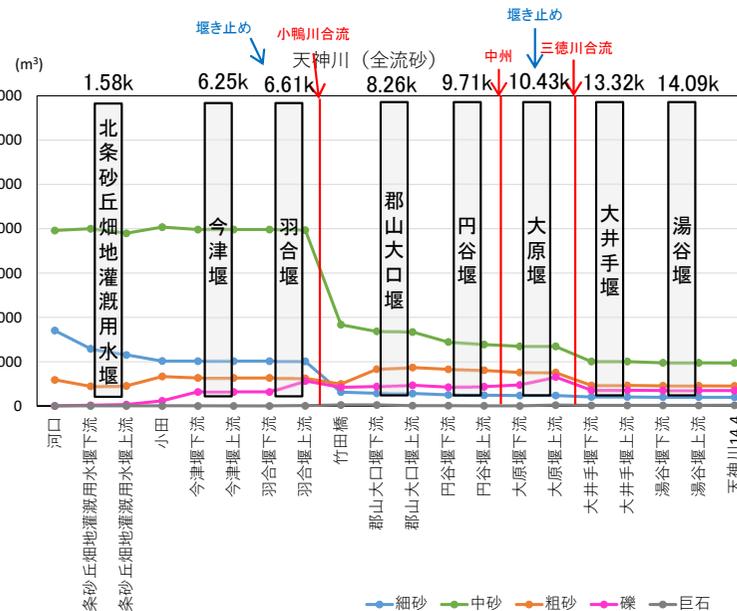
(6) 通過土砂量縦断図(天神川)

- 土砂移動予測モデル検討結果から、各観測地点の通過土砂量を縦断的に示した。天神川では羽合堰、円谷堰、大原堰などで堰下流は堰上流と比較して礫、巨石の割合が減少している傾向があり、堰によって主に礫以上の土砂移動が遮られていることが分かる。粒径が大きくなるほど通過土砂量の変化点が上流になる。

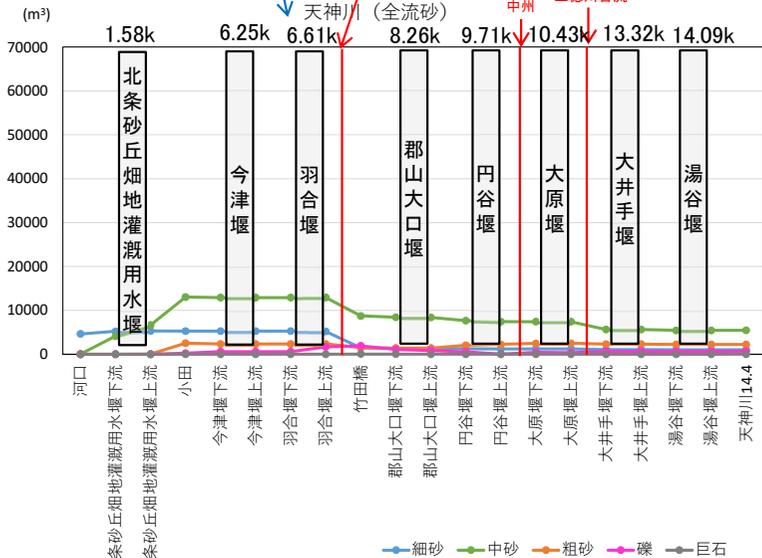
1998年(小田地点実測流量 999m³/s [9.25], 1,942m³/s [10.18])



2018年(小田地点実測流量 1,665m³/s [9.30])



2021年(小田地点実測流量 1,388m³/s [7.8])



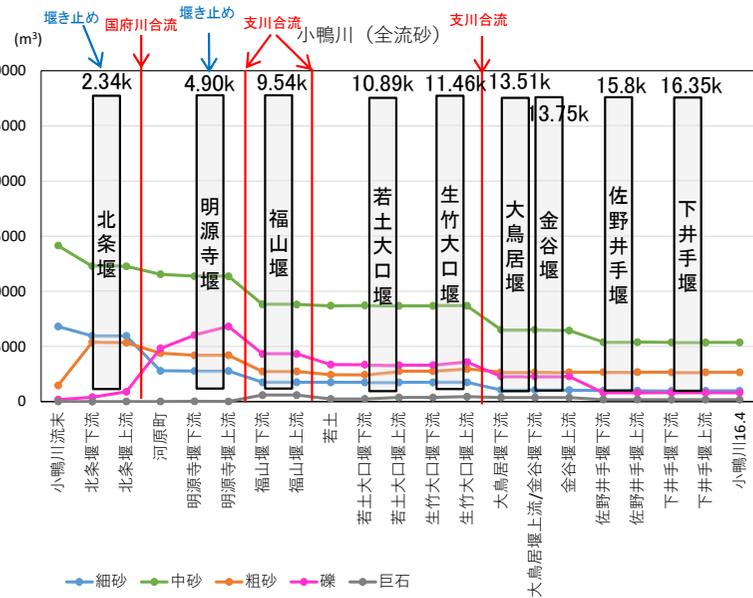
出水発生年	天神川		小鴨川	国府川	三徳川
	小田	竹田橋	河原町	福光	三朝
1998年	999m ³ /s 1,942m ³ /s	916m ³ /s	916m ³ /s	466m ³ /s	299m ³ /s
2018年	1,665m ³ /s	824m ³ /s	722m ³ /s	451m ³ /s	281m ³ /s
2021年	1,388m ³ /s	816m ³ /s	119m ³ /s	404m ³ /s	591m ³ /s

7. 土砂流出モデルの作成

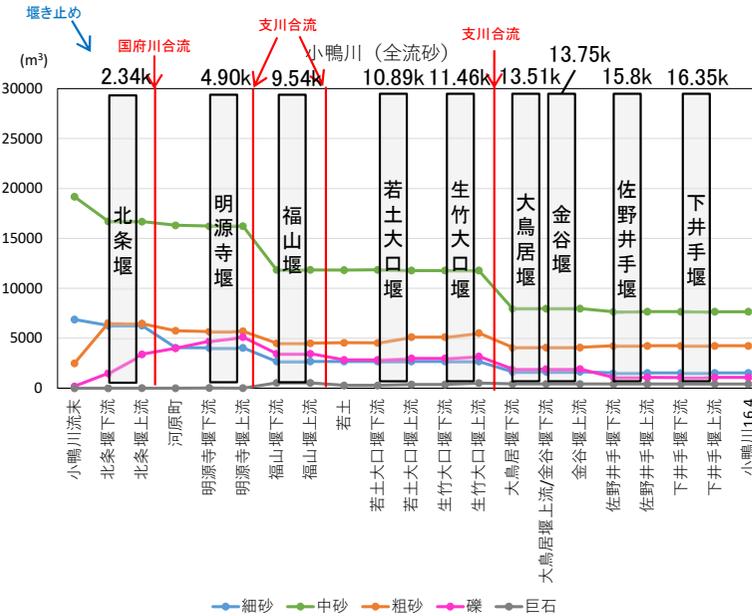
(6) 通過土砂量縦断図(小鴨川)

・土砂移動予測モデル検討結果から、各観測地点の通過土砂量を縦断的に示した。小鴨川では北条堰、明源寺堰などで堰下流は堰上流と比較して礫、巨石の割合が減少している傾向があり、堰によって主に礫以上の土砂移動が遮られていることが分かる。比較的流量の小さい2021年出水では礫以上の粒径はほとんど動いていない。

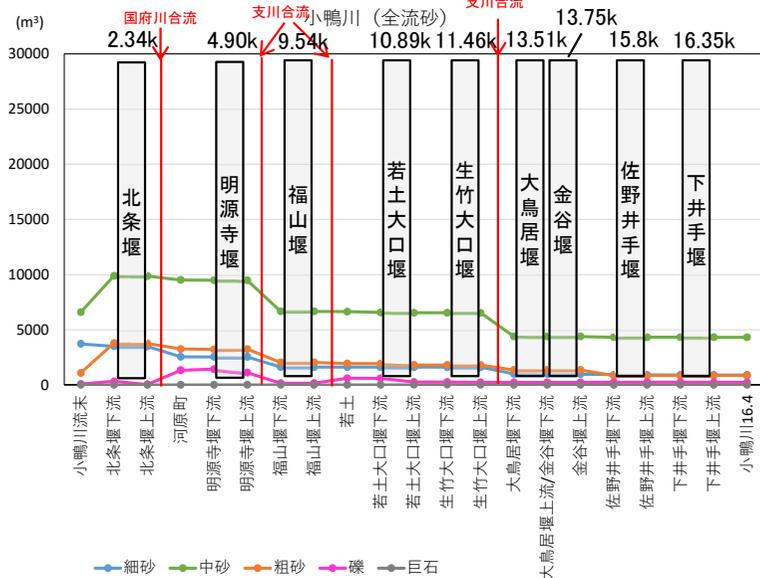
1998年(河原町地点実測流量 916m³/s [10.18])



2018年(河原町地点実測流量 722m³/s [9.30])



2021年(河原町地点実測流量 119m³/s [7.8])



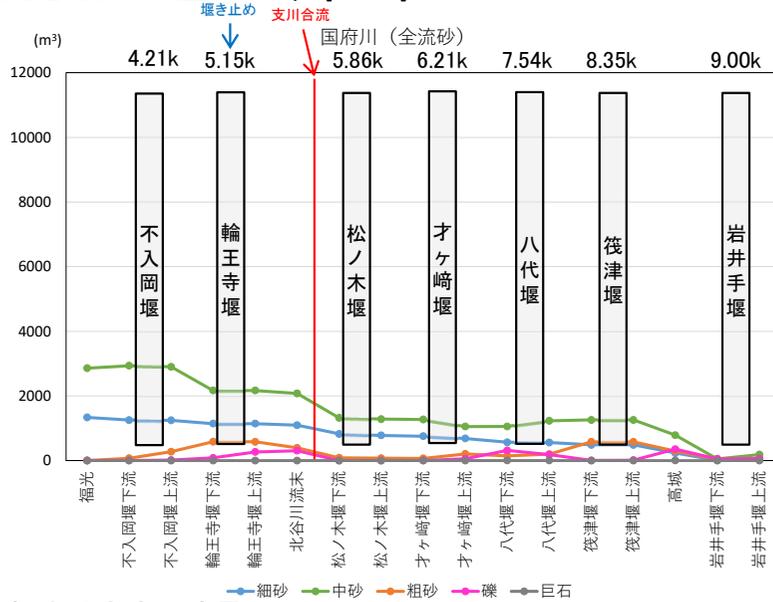
出水発生年	天神川		小鴨川	国府川	三徳川
	小田	竹田橋	河原町	福光	三朝
1998年	999m ³ /s 1,942m ³ /s	916m ³ /s	916m ³ /s	466m ³ /s	299m ³ /s
2018年	1,665m ³ /s	824m ³ /s	722m ³ /s	451m ³ /s	281m ³ /s
2021年	1,388m ³ /s	816m ³ /s	119m ³ /s	404m ³ /s	591m ³ /s

7. 土砂流出モデルの作成

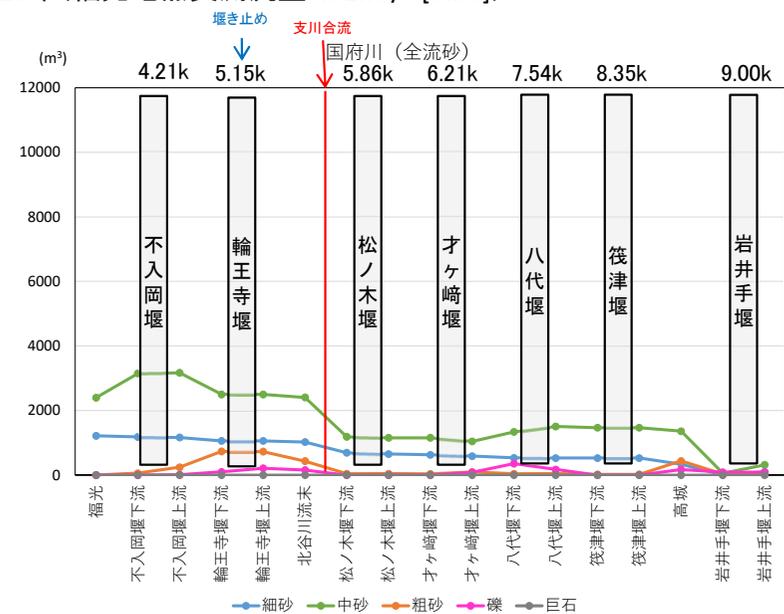
(6) 通過土砂量縦断図(国府川)

・土砂移動予測モデル検討結果から、各観測地点の通過土砂量を縦断的に示した。国府川では輪王寺堰で、堰下流は堰上流と比較して礫、巨石の割合が減少している傾向があり、堰によって主に礫以上の土砂移動が遮られていることが分かる。国府川での通過土砂量は他河川と比較して少なく、礫、巨石の土砂移動はほとんど生じていない。

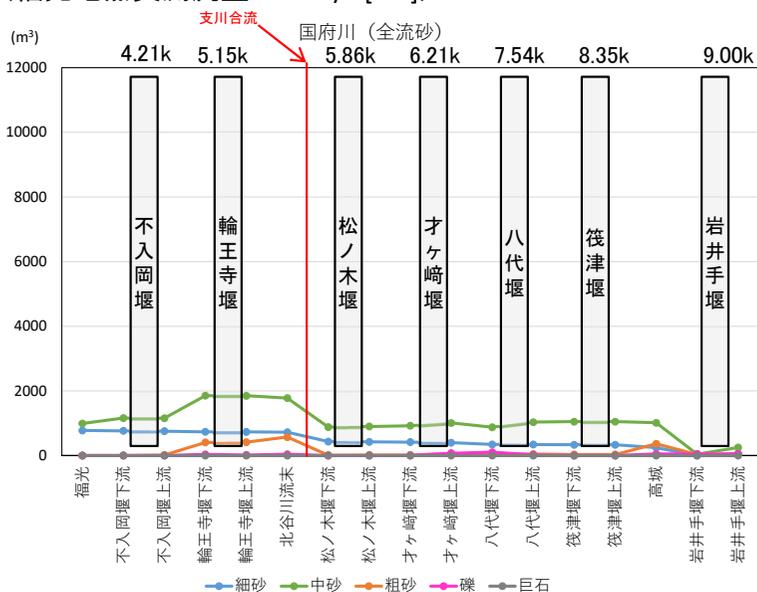
1998年(福光地点実測流量 466m³/s [10.18])



2018年(福光地点実測流量 451m³/s [9.30])



2021年(福光地点実測流量 404m³/s [7.8])



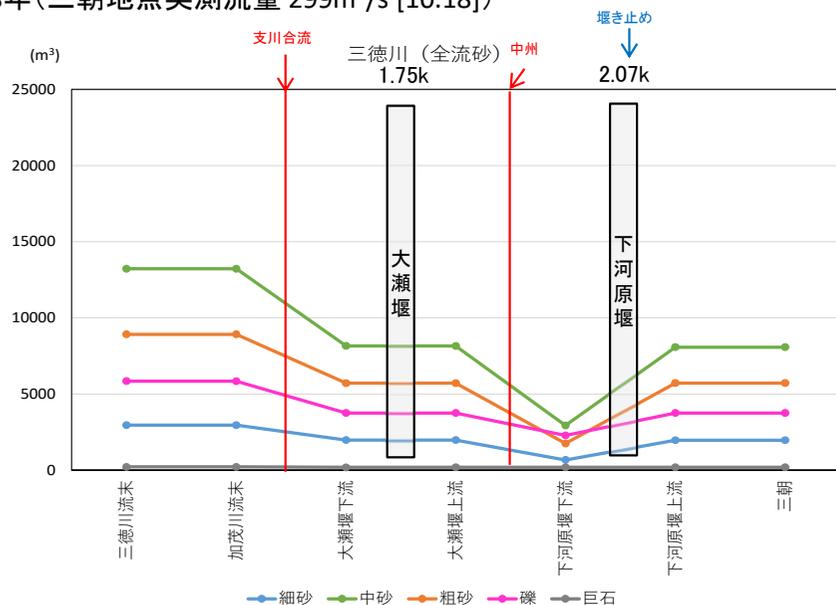
出水発生年	天神川		小鴨川	国府川	三徳川
	小田	竹田橋	河原町	福光	三朝
1998年	999m ³ /s 1,942m ³ /s	916m ³ /s	916m ³ /s	466m ³ /s	299m ³ /s
2018年	1,665m ³ /s	824m ³ /s	722m ³ /s	451m ³ /s	281m ³ /s
2021年	1,388m ³ /s	816m ³ /s	119m ³ /s	404m ³ /s	591m ³ /s

7. 土砂流出モデルの作成

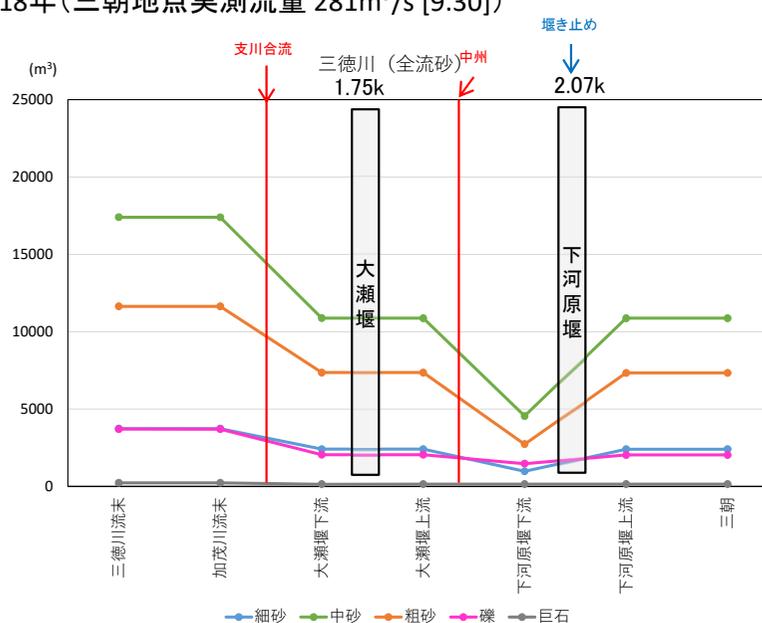
(6) 通過土砂量縦断図(三徳川)

- 土砂移動予測モデル検討結果から、各観測地点の通過土砂量を縦断的に示した。三徳川では下河原堰で、堰下流は堰上流と比較して礫、巨石の割合が減少している傾向があり、堰によって主に礫以上の土砂移動が遮られていることが分かる。支川合流箇所や中州通過箇所において土砂の増加がみられる。

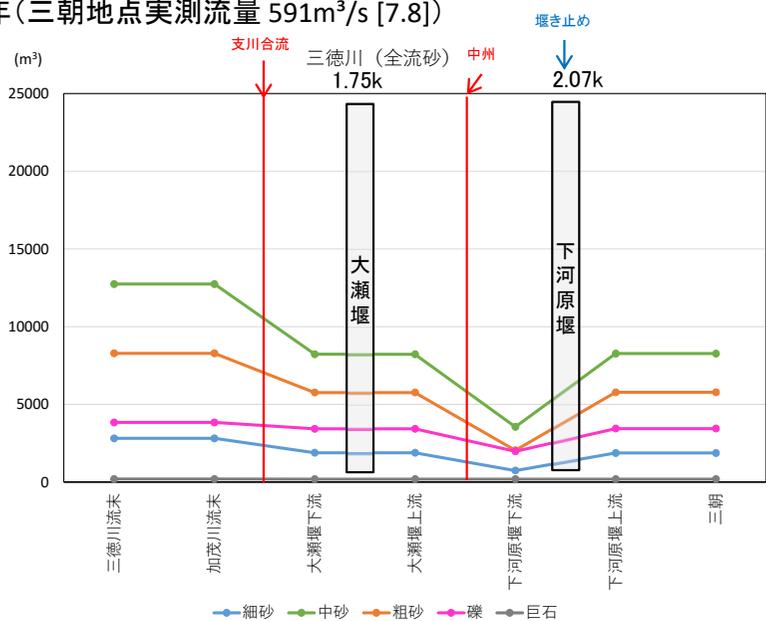
1998年(三朝地点実測流量 299m³/s [10.18])



2018年(三朝地点実測流量 281m³/s [9.30])



2021年(三朝地点実測流量 591m³/s [7.8])

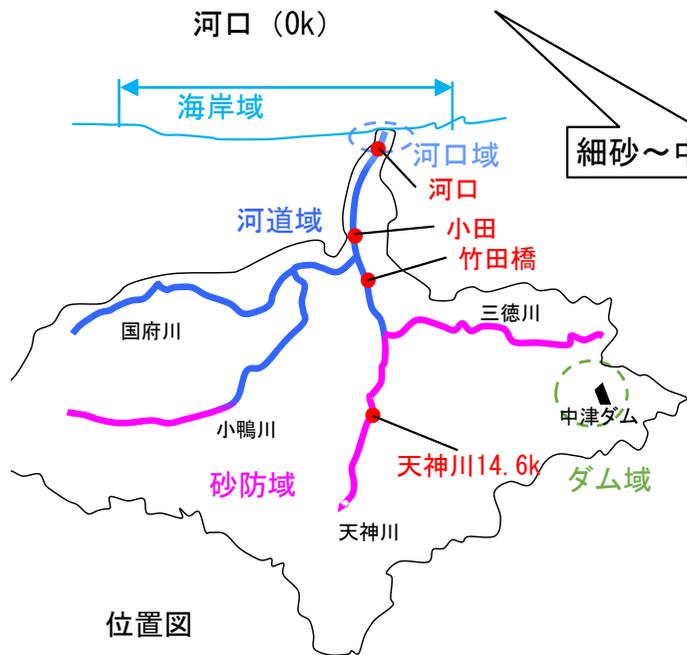
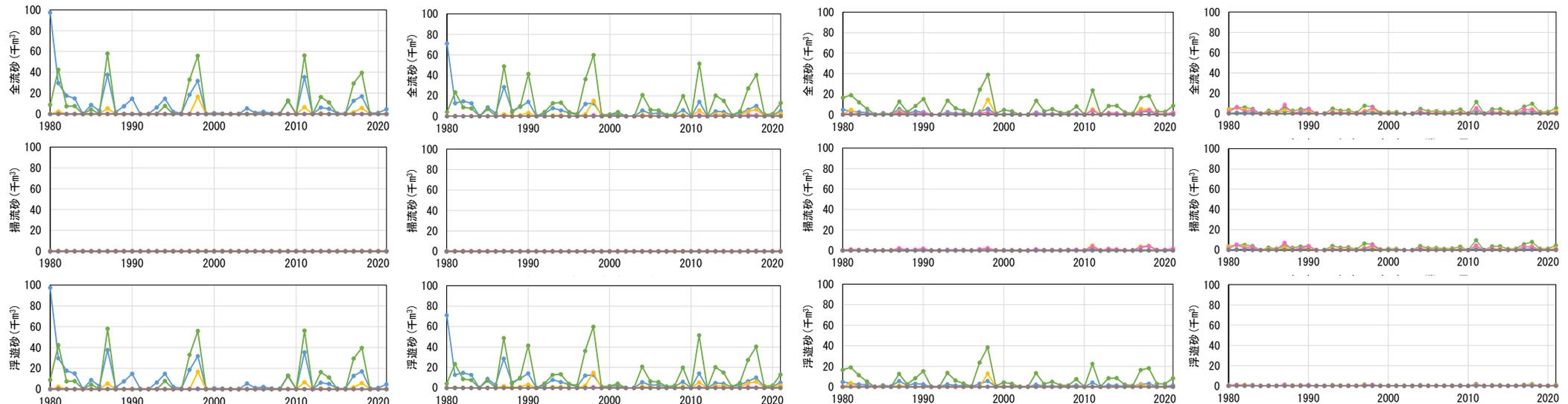


出水発生年	天神川		小鴨川	国府川	三徳川
	小田	竹田橋	河原町	福光	三朝
1998年	999m ³ /s 1,942m ³ /s	916m ³ /s	916m ³ /s	466m ³ /s	299m ³ /s
2018年	1,665m ³ /s	824m ³ /s	722m ³ /s	451m ³ /s	281m ³ /s
2021年	1,388m ³ /s	816m ³ /s	119m ³ /s	404m ³ /s	591m ³ /s

7. 土砂流出モデルの作成

(7) 粒径別年間土砂量

- 海浜構成材料の粒径は0.075~2.0mmであり、天神川では河道域からは多く供給されるが、砂防域からはほとんど供給されていない。
- 現時点で掃流砂、浮遊砂観測精度に課題があり、これによる計算モデルも課題はあるが、掃流砂は小鴨川合流点の竹田橋地点までは動いている。浮遊砂は河口まで動いており、河口地点では粒径の大部分を示している。



細砂～中砂が主成分

中砂が主成分

中砂が主成分
礫が動くようになる

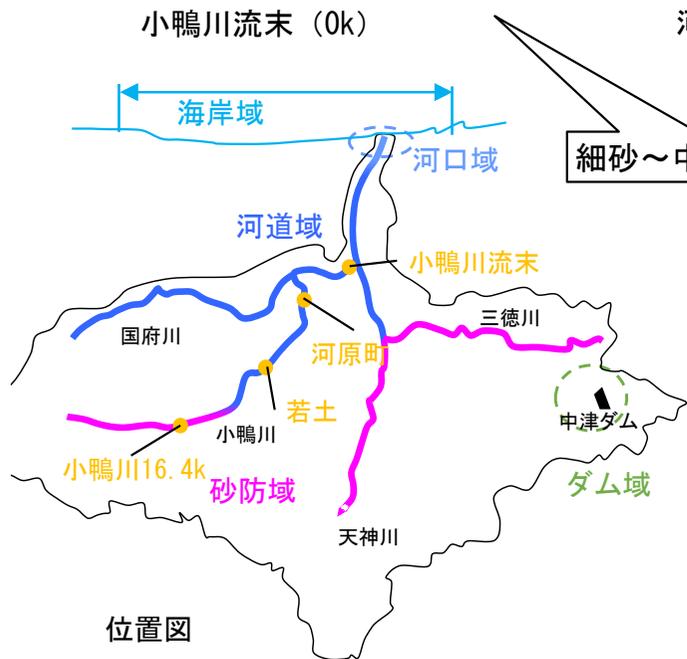
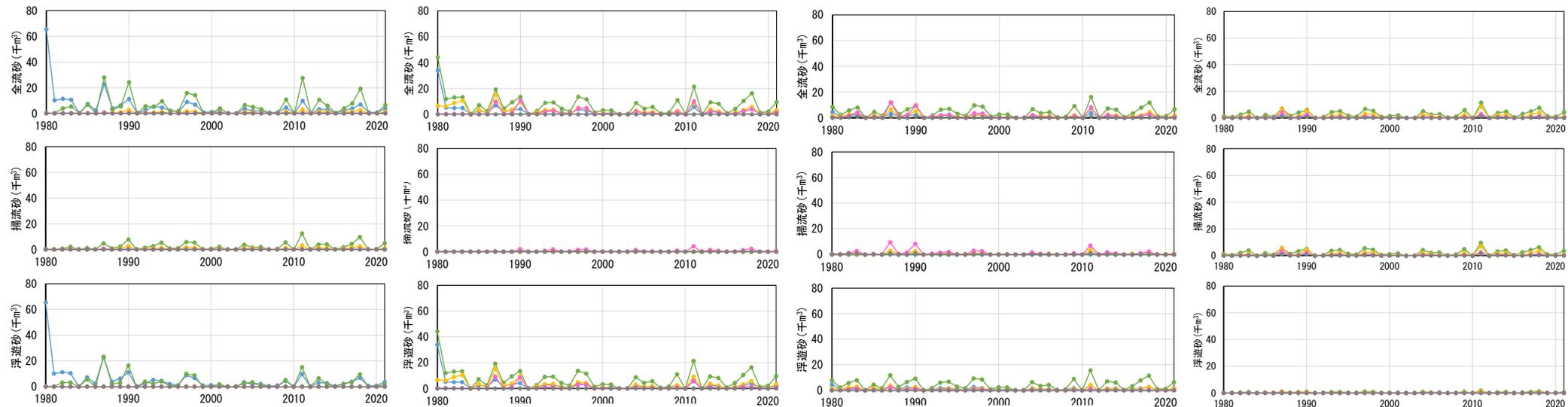
礫が主成分

海浜構成材料				
粒径集団 II 細砂分 (0.075~0.25mm)	粒径集団 III 中砂分 (0.25~0.85mm)	粒径集団 IV 粗砂分 (0.85~2.0mm)	粒径集団 V 礫分 (2.0~75.0mm)	粒径集団 VI 巨石・粗石 (75.0mm~)

7. 土砂流出モデルの作成

(7) 粒径別年間土砂量

- 海浜構成材料の粒径は0.075~2.0mmであり、小鴨川では河道域からは多く供給されるが、砂防域からはほとんど供給されていない。
- 現時点で掃流砂、浮遊砂観測精度に課題があり、これによる計算モデルも課題はあるが、掃流砂は流末までわずかに動いている。浮遊砂も流末まで動いており、中流~流末にかけて粒径の大部分を示している。



細砂~中砂が主成分

中砂が主成分

中砂が主成分
礫が動くようになる

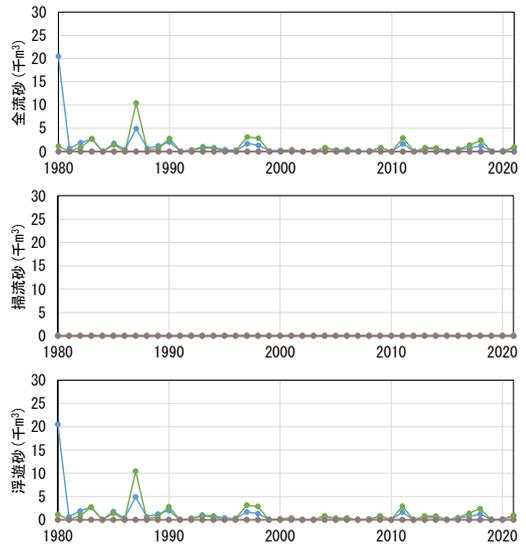
礫が主成分

海浜構成材料			
粒径集団II 細砂分 (0.075~0.25mm)	粒径集団III 中砂分 (0.25~0.85mm)	粒径集団IV 粗砂分 (0.85~2.0mm)	粒径集団V 礫分 (2.0~75.0mm)
			粒径集団VI 巨石・粗石 (75.0mm~)

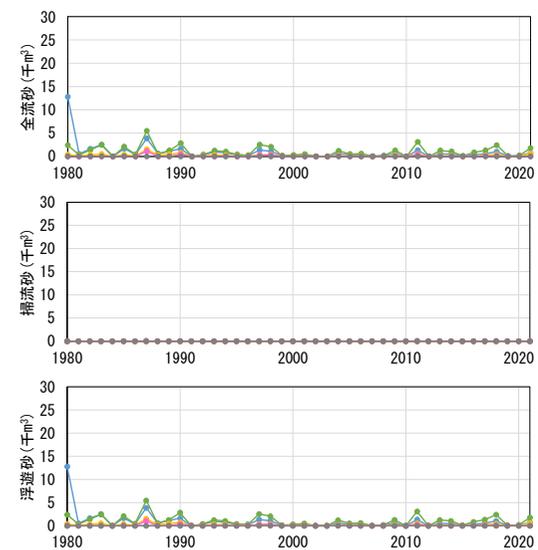
7. 土砂流出モデルの作成

(7) 粒径別年間土砂量

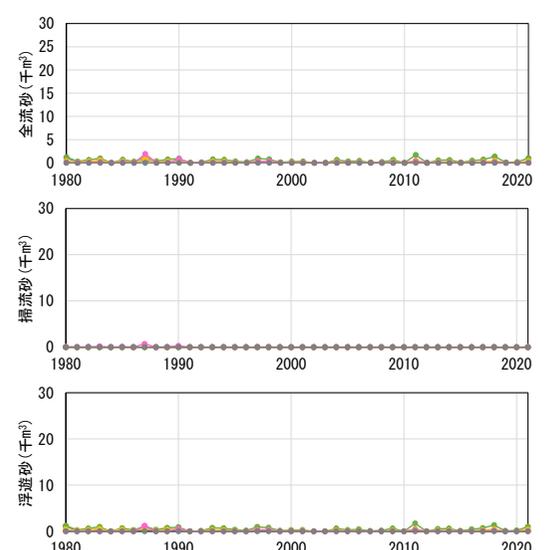
- 海浜構成材料の粒径は0.075~2.0mmであり、国府川からはほとんど供給されていない。
- 現時点で掃流砂、浮遊砂観測精度に課題があり、これによる計算モデルも課題はあるが、全体的に年間土砂量が少なく、掃流砂は全域にわたってほとんど流下していない。



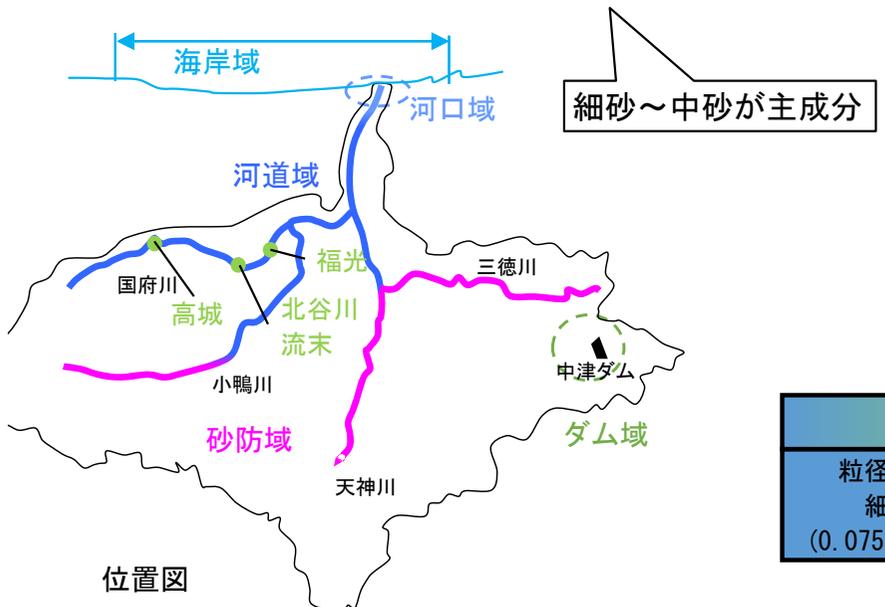
福光 (3.8k)



北谷川流末 (5.4k)



高城 (8.8k)



中砂が主成分

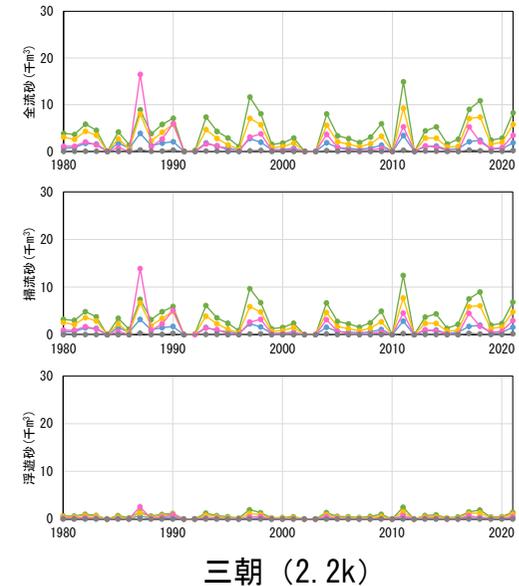
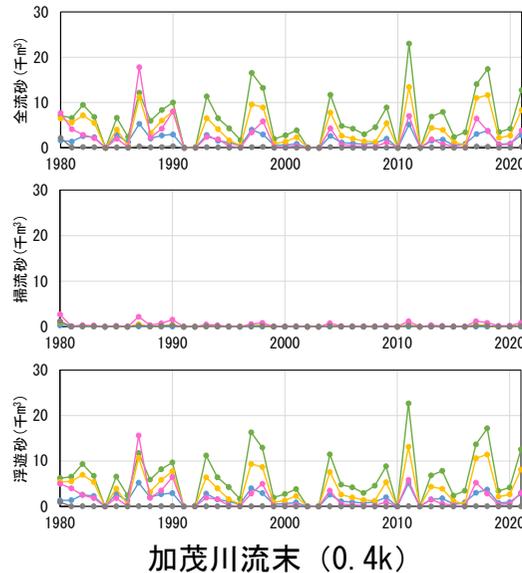
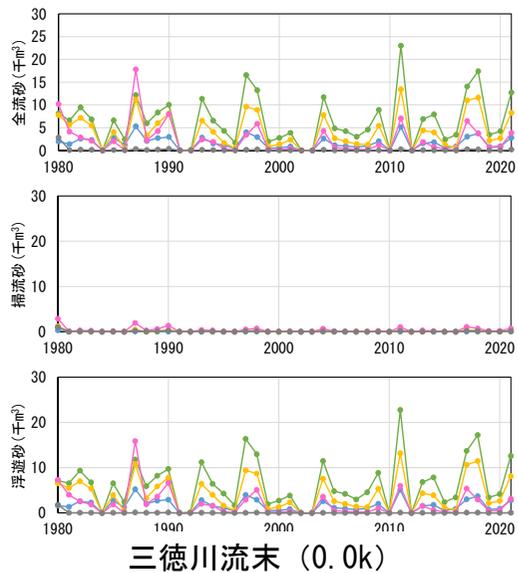
砂が主成分

海浜構成材料			粒径集団V 礫分 (2.0~75.0mm)	粒径集団VI 巨石・粗石 (75.0mm~)
粒径集団II 細砂分 (0.075~0.25mm)	粒径集団III 中砂分 (0.25~0.85mm)	粒径集団IV 粗砂分 (0.85~2.0mm)		

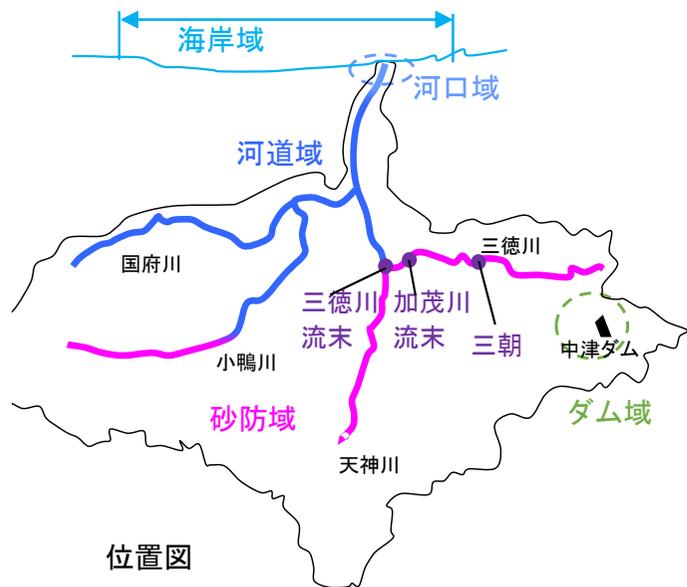
7. 土砂流出モデルの作成

(7) 粒径別年間土砂量

- 海浜構成材料の粒径は0.075~2.0mmであり、三徳川では全域から供給されている。
- 現時点で掃流砂、浮遊砂観測精度に課題があり、これによる計算モデルも課題はあるが、掃流砂は三朝地点までは動いている。浮遊砂は流末まで動いており、下流域では粒径の大部分を示している。



海浜構成材料が主成分
多くの粒径が動いている

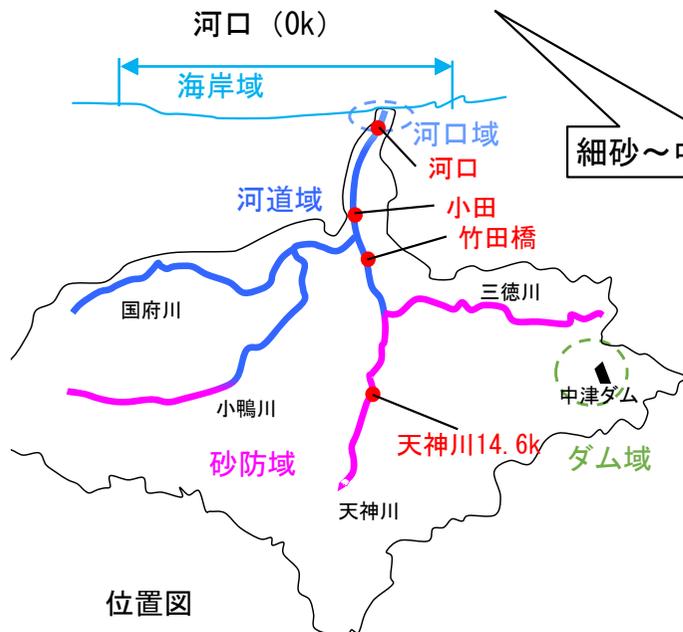
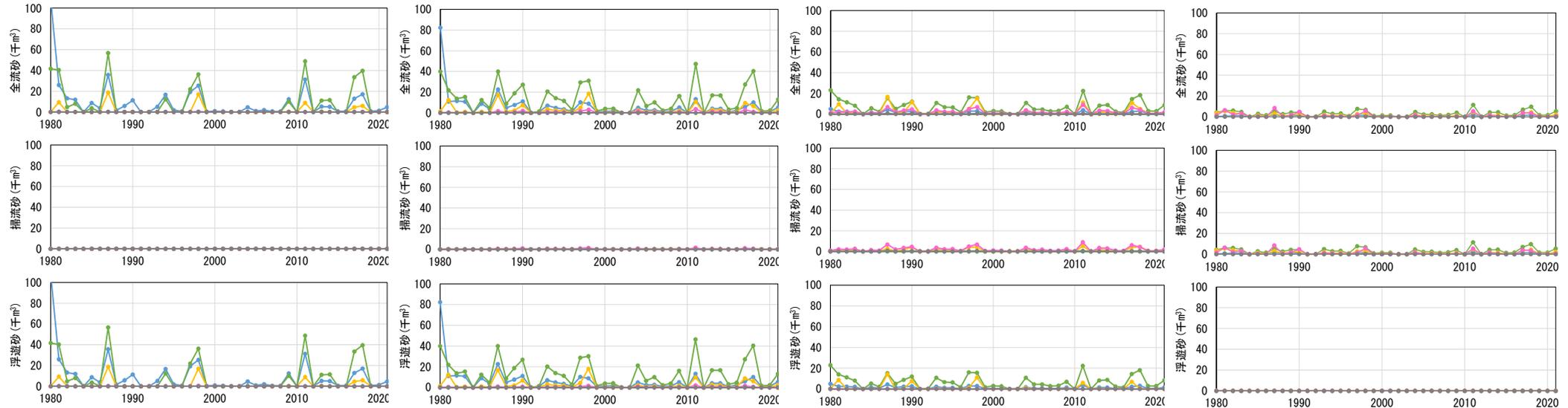


海浜構成材料			粒径集団V 礫分 (2.0~75.0mm)	粒径集団VI 巨石・粗石 (75.0mm~)
粒径集団II 細砂分 (0.075~0.25mm)	粒径集団III 中砂分 (0.25~0.85mm)	粒径集団IV 粗砂分 (0.85~2.0mm)		

7. 土砂流出モデルの作成

(7) 粒径別年間土砂量(堰なし)

- 海浜構成材料の粒径は0.075~2.0mmであり、天神川では河道域からは多く供給されるが、砂防域からはほとんど供給されていない。
- 現時点で掃流砂、浮遊砂観測精度に課題があり、これによる計算モデルも課題はあるが、掃流砂は小鴨川合流点の竹田橋地点までは動いている。浮遊砂は河口まで動いており、河口地点では粒径の大部分を示している。
- 堰ありの場合と比較して、小鴨川合流点の竹田橋地点で掃流砂の礫分の土砂移動が大きい。



細砂～中砂が主成分

中砂が主成分

中砂が主成分
礫が動くようになる

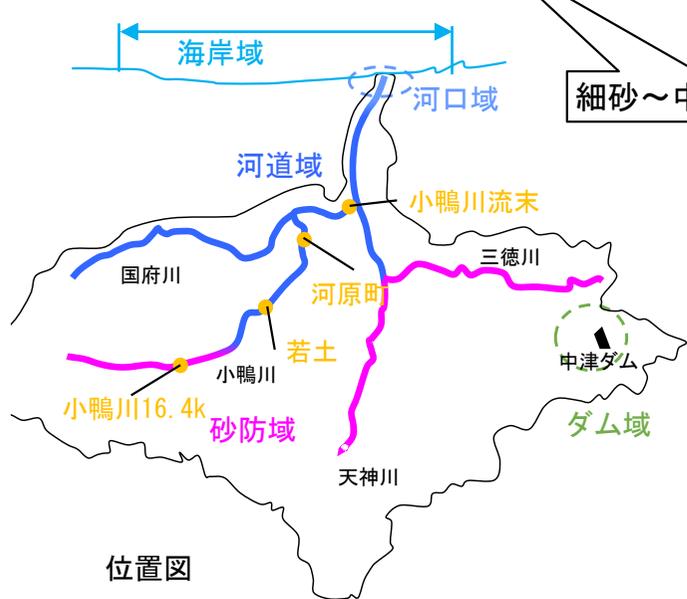
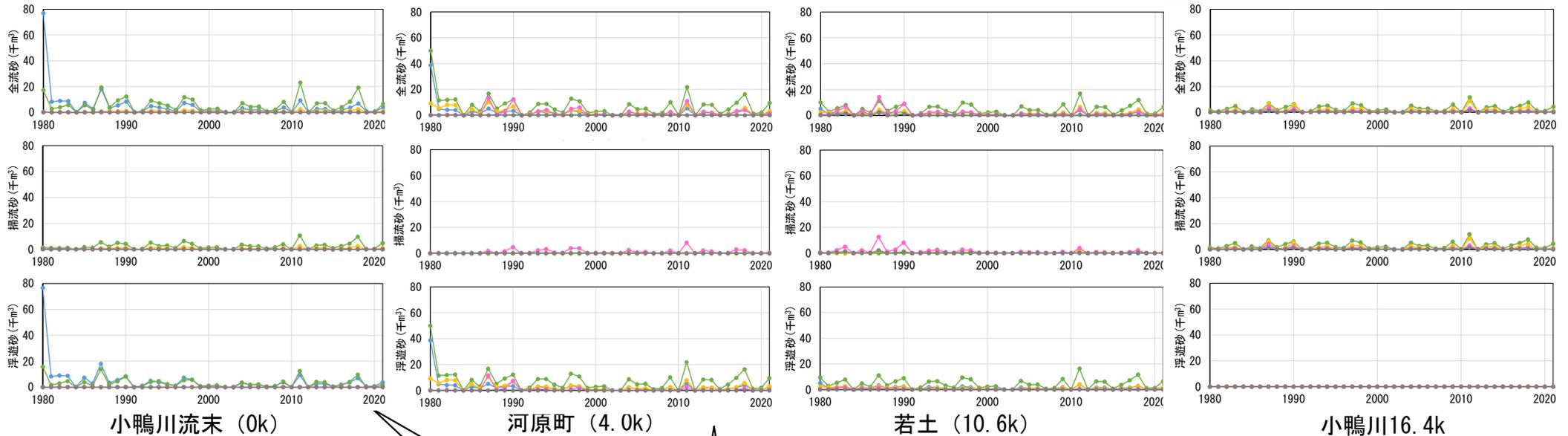
礫が主成分

海浜構成材料				
粒径集団 II 細砂分 (0.075~0.25mm)	粒径集団 III 中砂分 (0.25~0.85mm)	粒径集団 IV 粗砂分 (0.85~2.0mm)	粒径集団 V 礫分 (2.0~75.0mm)	粒径集団 VI 巨石・粗石 (75.0mm~)

7. 土砂流出モデルの作成

(7) 粒径別年間土砂量(堰なし)

- 海浜構成材料の粒径は0.075~2.0mmであり、小鴨川では河道域からは多く供給されるが、砂防域からはほとんど供給されていない。
- 現時点で掃流砂、浮遊砂観測精度に課題があり、これによる計算モデルも課題はあるが、掃流砂は流末までわずかに動いている。浮遊砂も流末まで動いており、中流~流末にかけて粒径の大部分を示している。
- 堰ありの場合と比較して、全体的に土砂量の微増がみられる。



細砂~中砂が主成分

中砂が主成分

中砂が主成分
礫が動くようになる

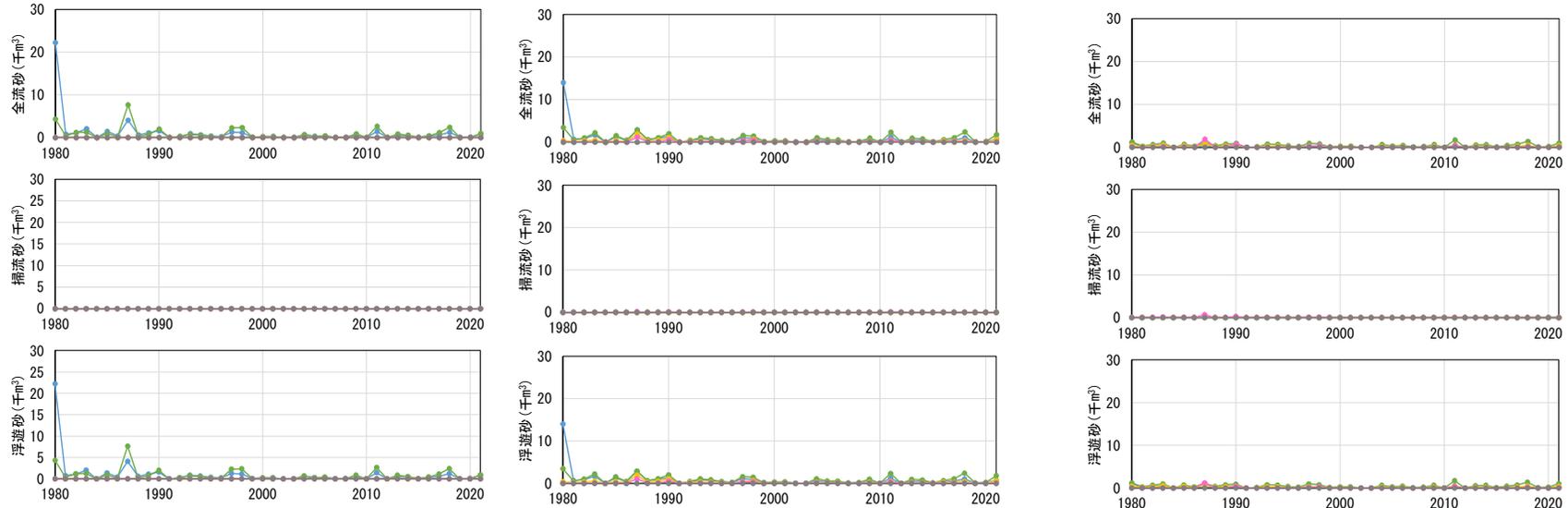
礫が主成分

海浜構成材料			粒径集団V 礫分 (2.0~75.0mm)	粒径集団VI 巨石・粗石 (75.0mm~)
粒径集団II 細砂分 (0.075~0.25mm)	粒径集団III 中砂分 (0.25~0.85mm)	粒径集団IV 粗砂分 (0.85~2.0mm)		

7. 土砂流出モデルの作成

(7) 粒径別年間土砂量(堰なし)

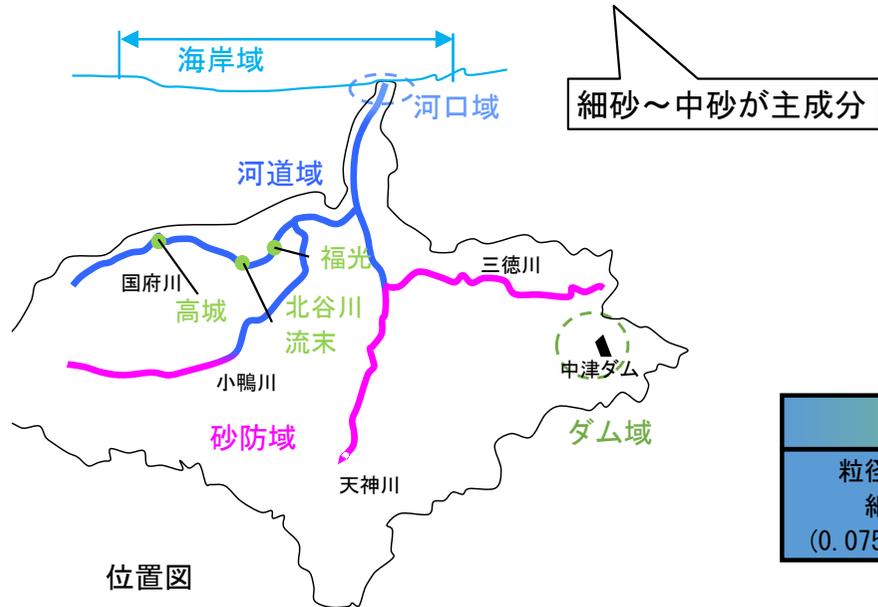
- 海浜構成材料の粒径は0.075~2.0mmであり、国府川からはほとんど供給されていない。
- 現時点で掃流砂、浮遊砂観測精度に課題があり、これによる計算モデルも課題はあるが、全体的に年間土砂量が少なく、掃流砂は全域にわたってほとんど流下していない。
- 堰ありの場合と比較して、浮遊砂の微増がみられる。



福光 (3.8k)

北谷川流末 (5.4k)

高城 (8.8k)



細砂～中砂が主成分

中砂が主成分

礫が主成分

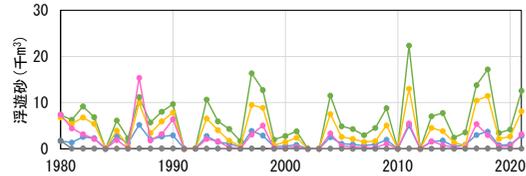
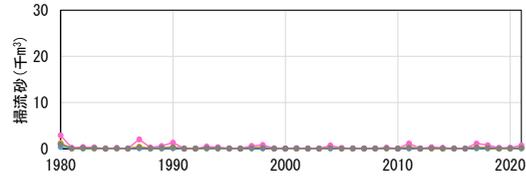
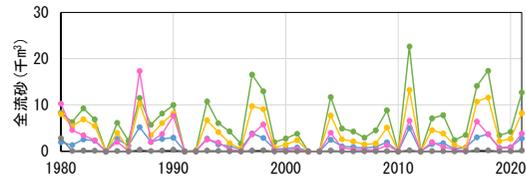
海浜構成材料			粒径集団V 礫分 (2.0~75.0mm)	粒径集団VI 巨石・粗石 (75.0mm~)
粒径集団II 細砂分 (0.075~0.25mm)	粒径集団III 中砂分 (0.25~0.85mm)	粒径集団IV 粗砂分 (0.85~2.0mm)		

位置図

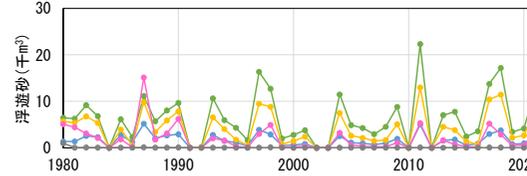
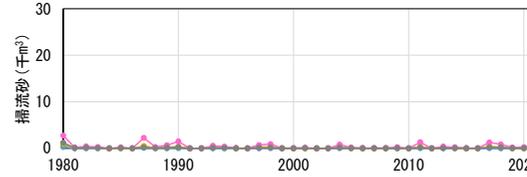
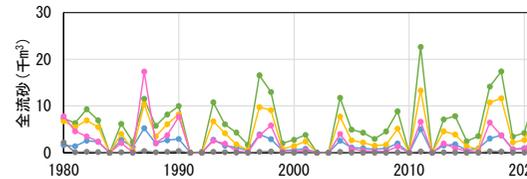
7. 土砂流出モデルの作成

(7)粒径別年間土砂量(堰なし)

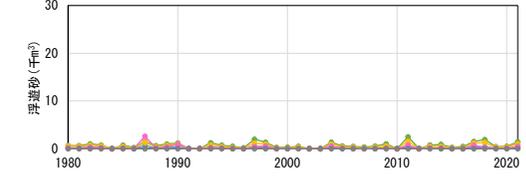
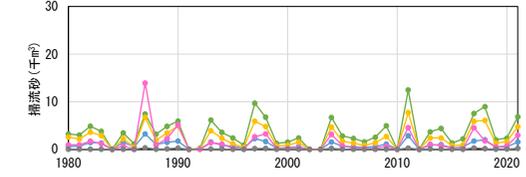
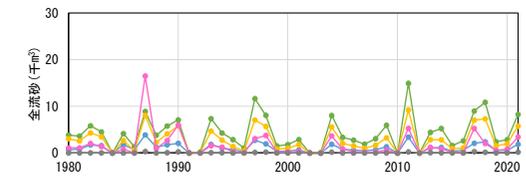
- 海浜構成材料の粒径は0.075~2.0mmであり、三徳川では全域から供給されている。
- 現時点で掃流砂、浮遊砂観測精度に課題があり、これによる計算モデルも課題はあるが、掃流砂は三朝地点までは動いている。浮遊砂は流末まで動いており、下流域では粒径の大部分を示している。
- 堰ありの場合と比較して、概ね変化はない。



三徳川流末 (0.0k)

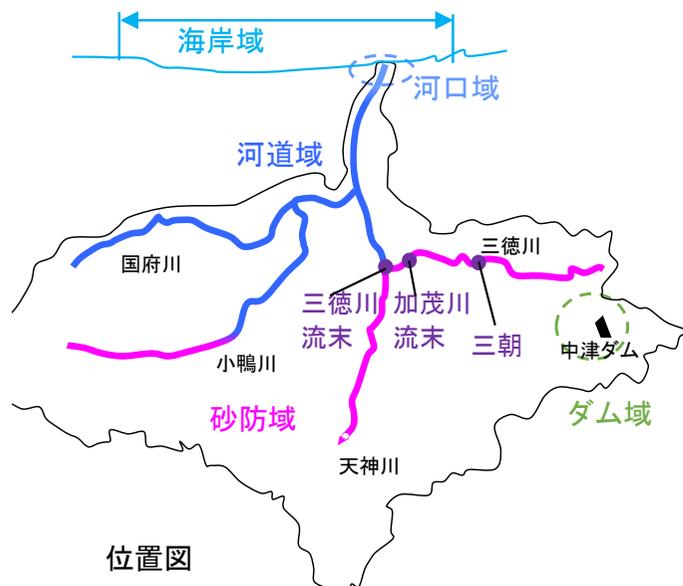


加茂川流末 (0.4k)



三朝 (2.2k)

海浜構成材料が主成分
多くの粒径が動いている



位置図

海浜構成材料			粒径集団V 礫分 (2.0~75.0mm)	粒径集団VI 巨石・粗石 (75.0mm~)
粒径集団II 細砂分 (0.075~0.25mm)	粒径集団III 中砂分 (0.25~0.85mm)	粒径集団IV 粗砂分 (0.85~2.0mm)		

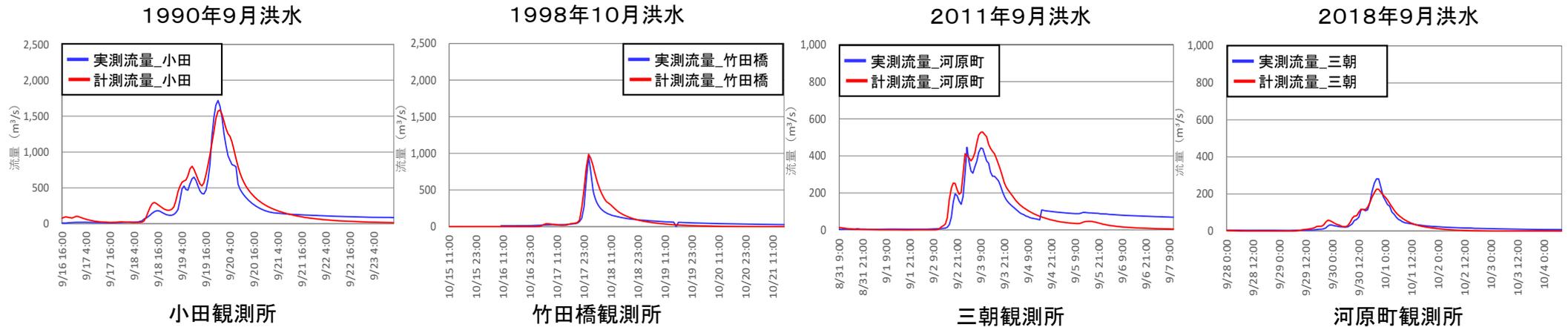
7. 土砂流出モデルの作成

(8) 土砂生産モデルの精度検証

実績観測流量に関する再現性評価

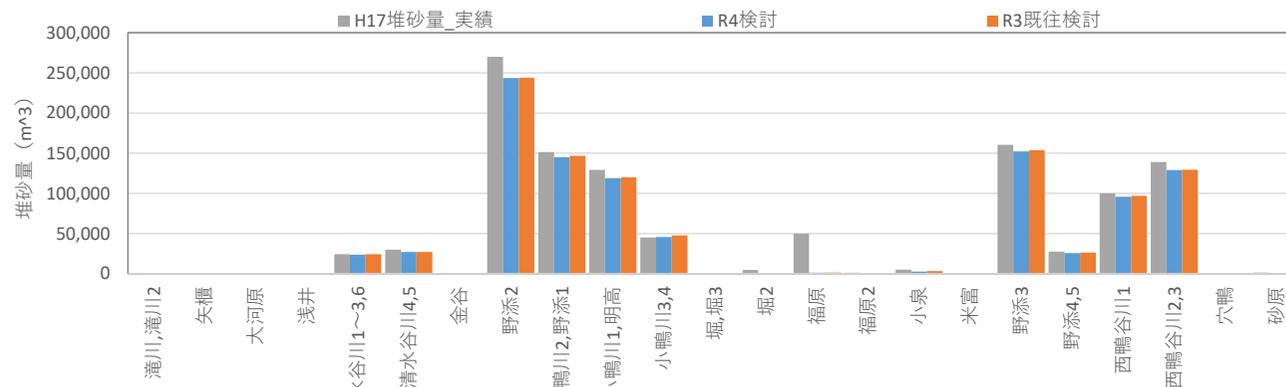
- 出水規模の大きい4洪水を対象に実績流量との整合性に着目した降雨流出パラメータを設定した。4例を以下に示す。一部誤差が大きい箇所もみられるが、概ね再現できている。

検証対象洪水再現結果の一例



砂防堰堤堆砂状況に関する再現性評価

- 既往調査に基づくH17年時点の堆砂状況とH21-R1年のLP差分解析に基づいた堰堤の堆砂状況との整合性に着目し、再現性の確認を行った。一部再現できていない堰堤がみられるが、概ね再現できている。



堰堤堆砂状況の再現結果の一例(H17時点堆砂量)

7. 土砂流出モデルの作成

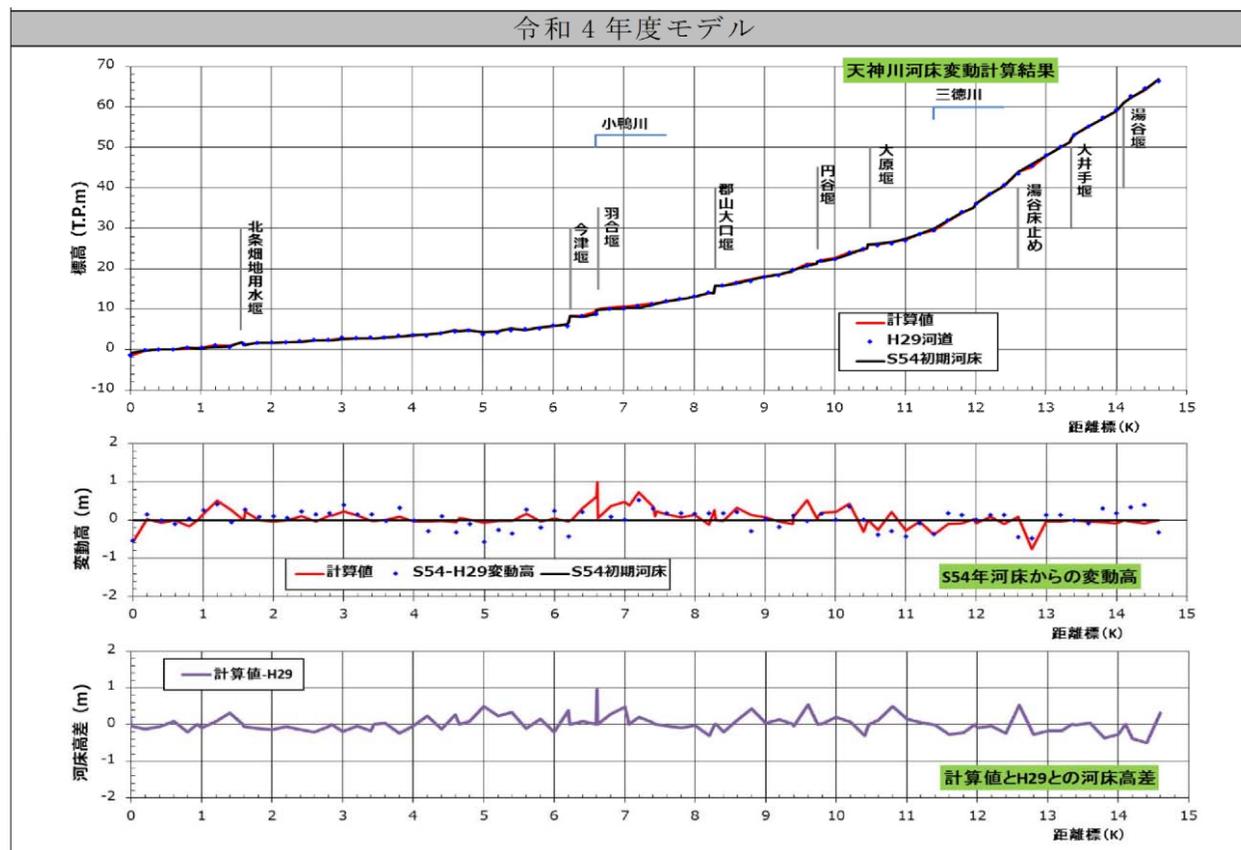
(9) 平野部の河床変動モデルの精度検証

- S55～H29までの期間の流量を用いて一次元河床変動計算を実施し、計算結果の平均河床高の変動について、測量断面による平均河床高の変動と比較した。表に、モデルによる計算結果（平均河床高）の標準偏差の一覧を示す。また、図に一次元河床変動計算結果を示す。
- 測量断面による平均河床高の変化と計算結果は概ね一致しており、モデルの精度が確保されていることが確認された。

天神川及び支川の一次元河床変動計算結果(標準偏差)

河川	標準偏差
天神川	0.017
小鴨川	0.017
国府川	0.025
三徳川	0.048

標準偏差の値から(特に天神川や小鴨川)精度が確保できていることが示されている



概ね一致している

天神川一次元河床変動計算結果(S55～H29)

7. 土砂流出モデルの作成

(9) 平野部の河床変動モデルの精度検証

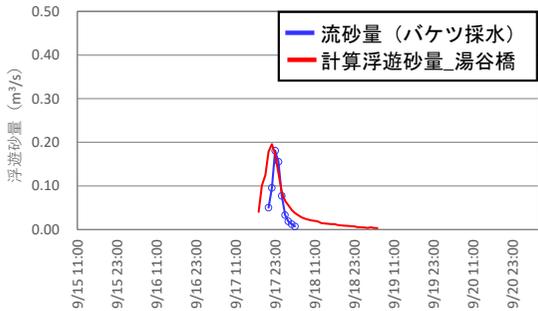
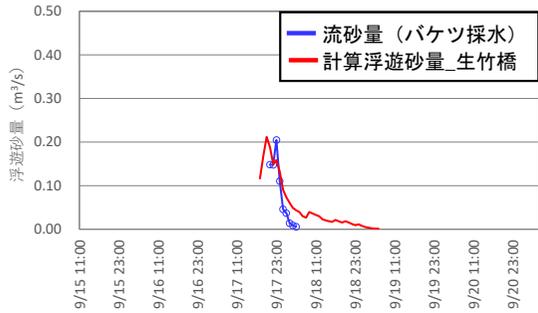
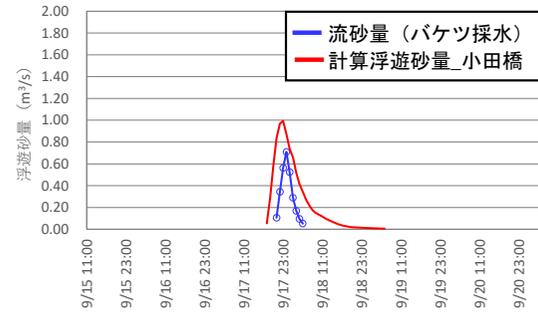
- 浮遊砂量と掃流砂量において、左図からバケツ採水による浮遊砂量、掃流砂観測計による掃流砂量、濁度計による浮遊砂量と計算結果の比較をそれぞれ行った。実測値と計算値の傾向が概ね一致していることが示された。

バケツ採水による
計算浮遊砂量の検証の一例(2017年9月洪水)

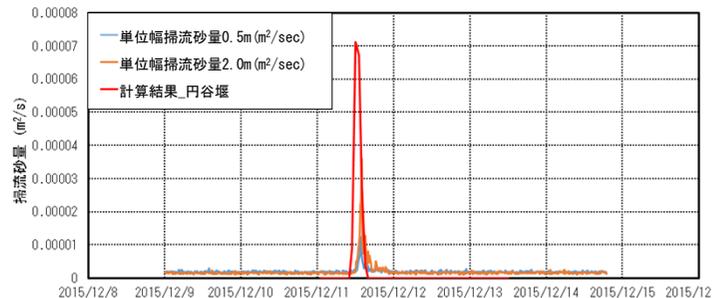
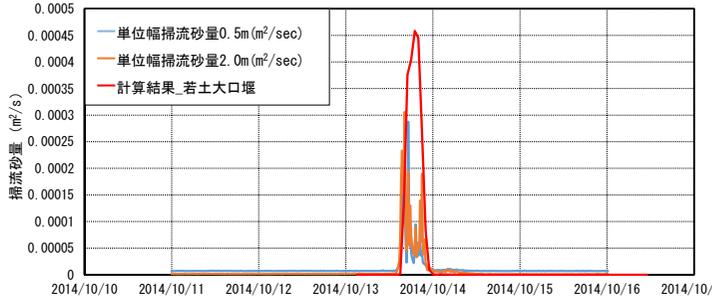
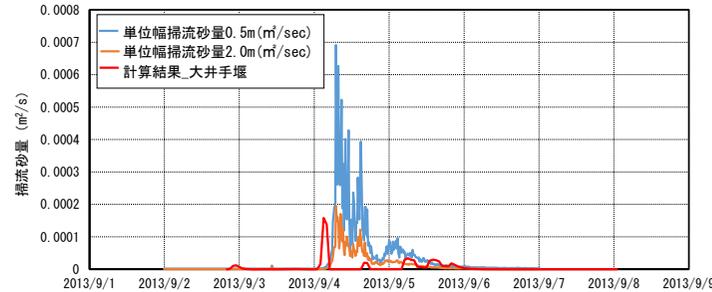
土砂動態観測施設による
計算流砂量の検証の一例
(2013年9月洪水(上)、2014年10月出水(中)
2015年12月出水(下))

土砂動態観測施設による
計算流砂量の検証の一例
(2011年9月洪水(上)、2015年12月出水(中)
2016年9月出水(下))

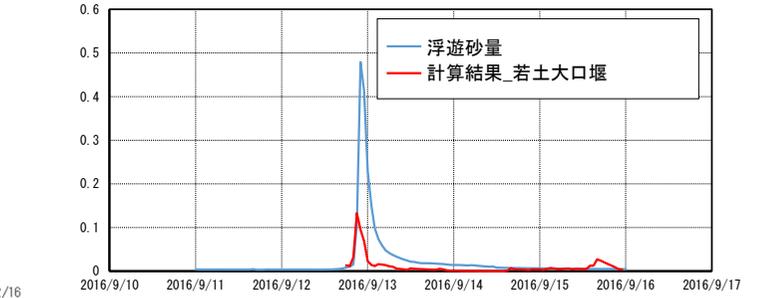
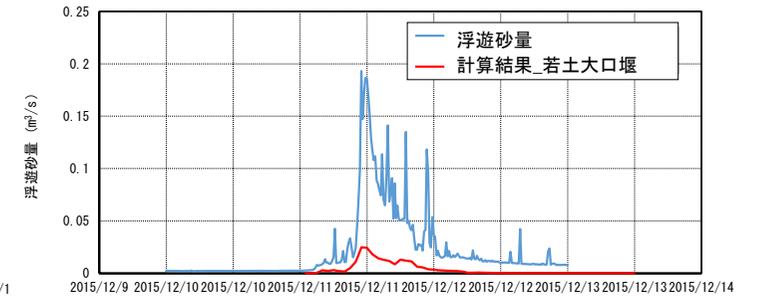
上:小田橋、中:生竹橋、下:湯谷橋



上:大井手堰、中:若土大口堰、下:円谷堰



上:今津堰、中:若土大口堰、下:若土大口堰



8. 今後の課題

(1) 土砂管理計画（案）の作成（目指すべき姿）

天神川の目指すべき姿

砂防、河川、海岸の連携のもと各領域で整合のとれた対策を実施することにより、生態系に配慮した土砂環境に改善しつつ土砂洪水災害に対して安全で、可能な限り海岸域への土砂供給を行う流砂系の実現を目指す。

砂防域 土砂災害を抑制しながら、下流河道への最適な土砂供給を図る。

対応方針

- ・土砂移動の連続性を確保するため透過型砂防堰堤の整備を進め、小鴨川・本川合流付近の過堆積を促進させないよう適切な土砂調整を図る。
- ・透過型砂防堰堤に堆積した土砂を下流河道への土砂供給に向けた活用方法について検討する。

ダム域 適正なダム機能（発電）を維持する。

対応方針

- ・維持掘削・浚渫土の粒径成分を確認した上で、下流域に必要な土砂をダム下流へ流出させる。

河道域 洪水に対し局所洗堀等に対する安全性を確保するとともに、近年生じつつある礫河原の減少や樹林化といった供給土砂量の減少の関与が示唆される事象に対して、通過土砂量が増えることで、健全な姿を維持することを目指す。

対応方針

- ・河道の二極化現象について、発生メカニズムを把握するための過去の測量データ等の整理、モニタリング計画の検討を実施する。
- ・固定堰の影響について調査を行い、固定堰改築の必要性などを検討する。
- ・河川整備計画、維持管理計画に基づく河道掘削により発生する土砂、及び堰に堆積する土砂を下流河川に置土を行う対策を検討する。

河口域 河口閉塞による内水被害の発生防止に努める。

対応方針

- ・河口閉塞しにくい水路掘削等の対策の検討をする。
- ・河口砂州を掘削した土砂を海岸へ供給する（サンドリサイクル）。

8. 今後の課題

(1) 土砂管理計画（案）の作成（土砂管理対策）

- ・土砂管理計画では、海岸域への土砂供給を各域が努力をする観点から目標を設定し、土砂動態改善のための対策を実施する。
- ・対策実施後にモニタリングによる監視を行い、対策効果の評価を行い、必要に応じて対応を図る。

天神川水系

- ・各領域において実施する事業について、水系の土砂動態（下流への土砂供給、土砂移動の連続性）を改善するための対策を実施していく
- ・各領域で個別に実施できる対策に加え、連絡協議会を中心として関係機関と連携した対策（連携方策）を実施する
- ・対策の実施状況、効果と影響等を把握するため、過去の測量データ等の整理、モニタリング計画の検討を行う

砂防域

透過型砂防堰堤の整備

- ・土砂移動の連続性を確保するため透過型砂防堰堤を整備

透過型砂防堰堤への置土

- ・出水時に透過型砂防堰堤に堆積した土砂を透過型砂防堰堤直下に置土を行う対策を検討

モニタリング

- ・モニタリングにより砂防堰堤の堆砂状況および対策の必要性、砂防域からの流出土砂量、砂防域から流出する粒径の把握

ダム域

モニタリング

- ・モニタリングにより維持掘削の必要性把握

河道域

固定堰改築の必要性の検討

- ・固定堰による土砂流下の連続性（土砂動態）への影響の調査の実施、固定堰改築の必要性の検討

河道域への置土

- ・河川整備計画、維持管理計画に基づく河道掘削により発生する土砂、及び堰に堆積する土砂を下流河川に置土を行う対策を検討

モニタリング

- ・モニタリングにより本川・各支川の流砂量、対策の必要性、効果と影響の把握、土砂動態実態の把握

河口域

維持掘削

- ・河口閉塞しにくい水路掘削等の対策の検討

モニタリング

- ・モニタリングにより対策の必要性、土砂動態実態を把握

8. 今後の課題

(2) 包括協定との整合

- 河口砂州の土砂動態について、鳥取大学と共同研究を実施しており、出水による河口砂州のフラッシュ及び回復期間の変化等を確認している。現在、これらの河口砂州の変化を土砂動態モデルに反映し検討中であるが、今後、データを蓄積し、モデルの精度向上を行う。

【共同研究で確認した河口砂州の変化の一例】

- 2017年において、台風18号によって発生した最大流量1,200m³/sの出水にもかかわらず、砂州は完全に消失しなかったが、台風21号の襲来によって砂州が完全に消失した。このとき、台風18号時より流量が少なかったが、6mを超える高波の影響もあり、砂州が消失まで至ったものと考えられる。
- 2018年7月豪雨によって天神川からの流出土砂による右岸開口部から舌状のテラスが右岸開口部から形成され、さらに台風24号(2018)の出水により砂州の先端が侵食されるとともに舌状のテラスが水深8mまで発達している。その後、冬季波浪により右岸側に形成された舌状のテラスは消失するとともに砂州が右岸に向かって伸長した。
- 本研究で、2017、2018年の事象については把握したが、事象が少ないためモデルデータの蓄積が必要である。

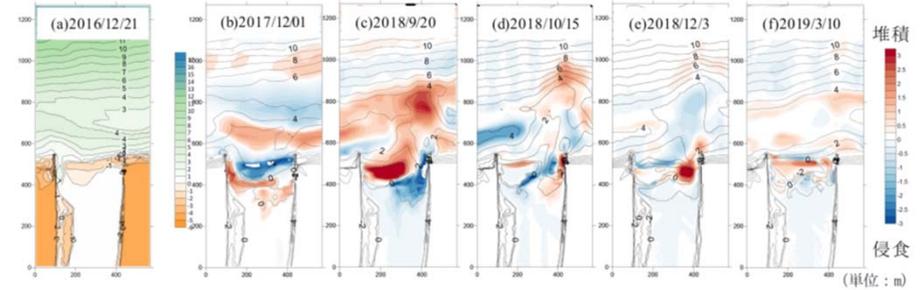


図 2016年12月～2019年3月までの河口周辺の等深線図および侵食堆積図 (単位: m)

- 天神川水系における固定堰の影響を考慮した土砂堆積予測手法の検討を行っている。今後、「天神川水系土砂管理計画」の目標や将来予測に活用する。

<現状(課題)>

天神川には固定堰が数多く設けられており、洪水時の水位上昇、局所流の発生、土砂移動の抑制等、治水面・維持管理面での支障となっている。その中でも小鴨川下流部の北条堰等の固定堰周辺では出水時に水位が上昇し、さらに河川合流部付近であるため、出水後は土砂堆積する等、河川管理上の課題となっている。しかし堰が連続する箇所であり、堰改築を行った場合の河床変動傾向をつかめていない。

<検討内容>

- このため固定堰状況把握や固定堰を改築した場合の影響把握を目的に以下の検討を実施する。
- ①固定堰周辺状況変化の把握。(特に北条堰)
 - ②固定堰が影響を及ぼす範囲の把握。
 - ③固定堰を改築した場合の河床変動把握。
 - ④①から③を把握するため、必要に応じて土砂動態のモデルを作成。
- 「天神川総合土砂管理計画」の目標や将来予測に活用する。



<検討結果>

河道内植生除去による周辺河道への影響、複数の固定堰撤去による周辺河道への影響、固定堰撤去による土砂動態変化に関する評価指標について成果が得られた。

【既往検討】

- 土砂動態観測結果
- 天神川流砂の海岸域に及ぼす影響検討結果

- 河床変動検討のための観測計画等の検討
- 固定堰周辺の観測(土砂堆積状況・流況などの調査)

- 観測データを基に実態分析を行い、課題の抽出を行う
- 堰改築に伴う河床変動検討

8. 今後の課題

(3) 土砂動態観測地点の増設

- ・天神川水系の河道域では、今津堰・円谷堰・大井手堰・若土大口堰・輪王寺堰の5箇所において流砂観測を行っている。
- ・砂防域からの土砂流出について詳細な調査が行われていないため、総合土砂管理計画の基礎となる土砂動態について、モデルの精度が低い。このため、砂防域において土砂動態観測地点を増設する必要がある。
- ⇒砂防域では、小鴨4号砂防堰堤は令和3年に設置しており、三徳川（砂原砂防堰堤）は令和6年度に設置予定である。

表 調査位置の選定方法

領域	課題	選定
天神川	砂防域では福本川・大谷川・加谷川の流域に分かれているが流域別に観測できていない。	個別に観測するため各支川の合流点で流砂観測を実施する。
三徳川	三徳川流域では流砂観測が実施されていない。	三徳川と小鹿川で流砂観測を実施する。
小鴨川	小鴨川の砂防域では流域を包括する調査が行われていない。	<ul style="list-style-type: none"> ・小鴨川では水位観測所ある堰堤を選定した。 西鴨谷川第1号堰堤では植生が繁茂しているため設置できない。 野添第1号堰堤では上流で掘削工事がされているため棄却した。 小鴨4号砂防堰堤において実施する。 小鴨4号砂防堰堤から若土大口堰までに矢送川・清水谷川の支川が流入しているため矢送川・清水谷川で調査実施する。

・直近で実施が望まれる優先度が高い調査位置を小鴨4号砂防堰堤および三徳川（砂原砂防堰堤）とした。

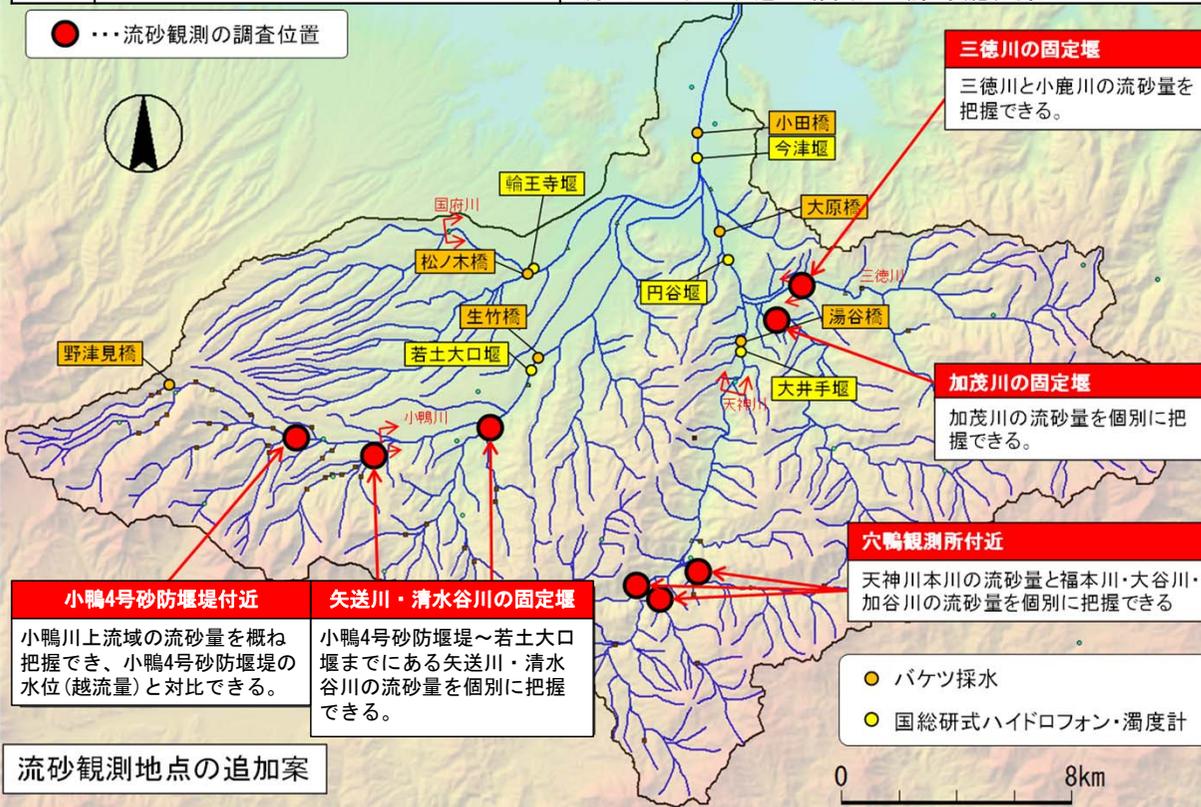
■小鴨4号砂防堰堤

⇒清水谷川+矢送川の土砂とそれ以外の流域の土砂に分けて把握できる。

■三徳川（砂原砂防堰堤）

⇒三徳川上流+小鹿川の土砂を把握できる。

⇒大井手堰、大原堰の観測結果の差分から加茂川の土砂を把握できる。



国土地理院：地理院地図（色別標高図）
海城部は海上保安庁海洋情報部の資料を使用して作成

9. 今後のスケジュール

※各ステップ変更する際は、規約を変更し委員を追加することで対応。

