

資料 - 4
第5回姉川・高時川河川環境WG
平成17年2月2日

高時川における土砂移動

平成17年2月2日
琵琶湖河川事務所

目次

1 高時川流砂系の現状	1
1.1 河床変動の実態	1
1.2 土砂移動計算モデルによる土砂動態の把握	3
1.2.1 土砂移動計算モデルの作成および検証	3
1.2.2 近年の通常出水時における土砂動態	5
2 丹生ダムが高時川流砂系に及ぼす影響予測	8
2.1 通常出水時の土砂移動	8
2.2 大規模出水時の土砂移動（検討中）	13
3 土砂移動の連続性確保のための対策案	16

1 高時川流砂系の現状

1.1 河床変動の実態

- ◆ 河床変動土量はやや堆積傾向にあるものの、平成6年から平成11年の6年間に限っては、平均河床の変動高は全川で概ね±50cmに収まっており、顕著な河床の変化は見られない。
- ◆ 河床材料の代表粒径は、平野部では約20mm、山地部では平野部よりも粒径が粗くなっている。

河床変動状況と河床材料

横断測量データが揃っている平成6年から平成11年までの平均河床高の変動状況を整理した。これらの期間に限っては、河口から丹生ダム建設予定地における平均河床の変動高は、±50cm程度であり、顕著な河床の変化は見られない。

平成16年の河床材料調査によれば、山地部の河床材料は、表層と下層で大きく異なり、代表粒径(D₆₀)は、表層が100mm~200mm程度、下層は20mm~60mm程度である。

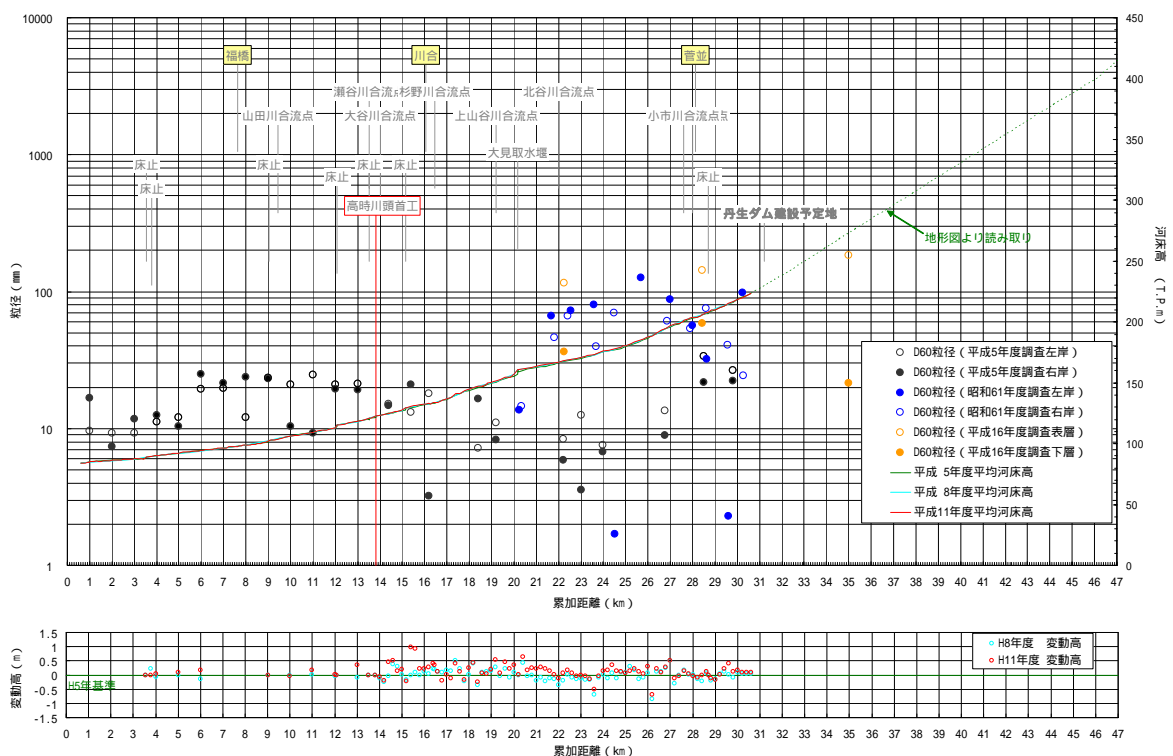


図 1.1.1 平均河床高と代表粒径の縦断図

河床変動土量

平成6年と平成11年の河床高の変化量に区間距離を乗じて、河床変動土量を算定した。合わせて、河床変動土量を区間平均の低水路幅で割り、平均的な河床上昇量を算定した。河床変動土量はやや堆積傾向にあるものの、単位距離当たりの河床上昇量は5cm未満であり、平成6年から平成11年の6年間に限っては、顕著な河床の変化は見られない。

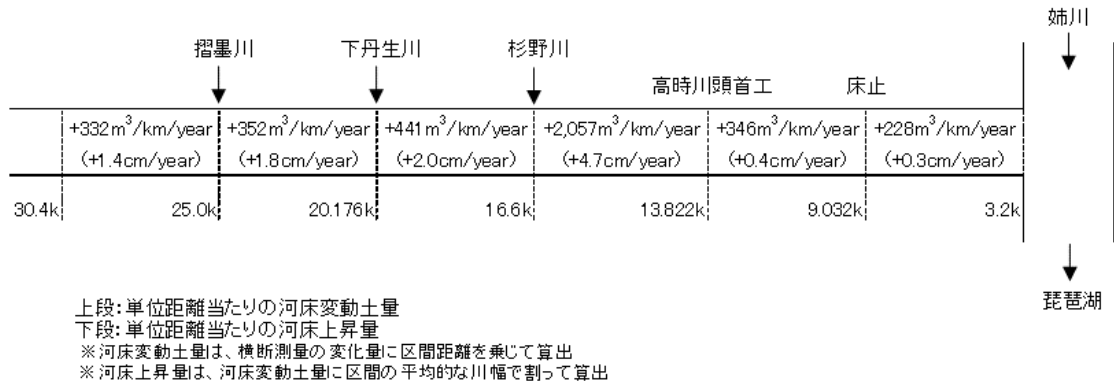


図 1.1.2 単位距離当たりの年平均河床変動土量

1.2 土砂移動計算モデルによる土砂動態の把握

1.2.1 土砂移動計算モデルの作成および検証

- ◆ 降雨流出と土砂移動を一体的に取り扱う土砂移動計算モデルを作成し、流砂系一貫した土砂移動の追跡計算をおこなった。
- ◆ 平成6年から平成11年末の河床変動土量について、検証計算をおこなったところ、山地・平野ともに約5%の誤差率で実績値を再現できた。

流砂系一貫した土砂移動計算モデル

土砂移動追跡計算を山地部と平野部に分け、山地部には土砂流出計算モデルを、平野部には1次元河床変動計算モデルを適用し、これらを接続させることで流砂系一貫した土砂移動の追跡計算をおこなった。ここで、土砂流出計算モデルとは、降雨流出計算と土砂移動計算を一体的に取り扱う計算モデルである。

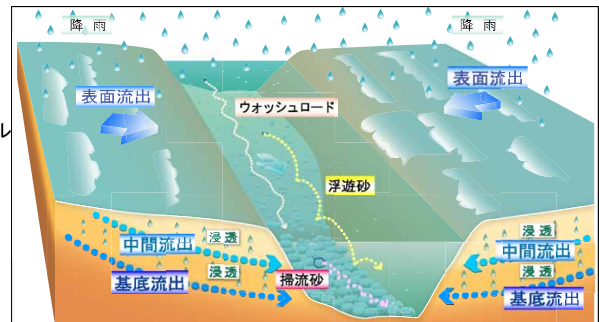
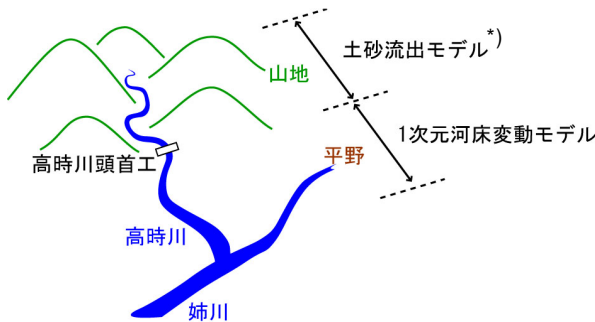


図 1.2.1 土砂移動計算モデルの構成

図 1.2.2 土砂流出計算モデルの概念図

*) 江頭進治・松本敬：河道内貯留土砂を対象とした流出土砂の予測法、水工学論文集、第44巻、pp.735-740,2000

表 1.2.1 土砂移動計算モデルの構成

領域	流水の計算	土砂移動の計算	山地から平野部へのデータの受け渡し
山地	表面流：kinematic wave 中間流：ダルシー則 河道は等流計算	掃流砂：芦田・道上の式 浮遊砂：芦田・藤田の式 ウオッシュロード：Bed material loadの移動に伴い、存在割合に応じて河床から供給	モデル接続地点における時々刻々の流量と粒径別通過土砂量を河床変動計算の上流端境界条件とする。
平野	不等流計算		

本モデルでは、粒径0.1mm以下をウオッシュロードとして設定した。

土砂移動計算モデルの検証

平成6年初から平成11年末の6年間を対象として、福橋地点の日流量が35m³/s以上の49出水を対象とした土砂移動計算を行った。ここで、35m³/sとは、福橋地点における平均粒径(15mm程度)の移動限界流量である。河床材料は、アーマーコートモデル化し、表層・下層の2層で設定した。

表 1.2.2 検証計算の条件

検証期間	検証期間：平成6年初～平成11年末(6年間)
初期河床と検証河床	初期河床：平成5年度河床高、検証河床：平成11年度河床高
対象出水	福橋地点で日流量が35m ³ /s以上の49出水
河床材料	平野部：平成5年度調査結果をもとに設定 山地部：平成16年度調査結果をもとに設定 表層、下層の2層で粒度分布を設定

土砂移動計算モデルの検証

作成した土砂移動計算モデルは、山地部・平野部ともに良好な再現性を有しており、実績の河床変動土量を約5%の誤差率で再現することができた。

表 1.2.3 検証計算結果(平成6年～平成11年末の河床変動土量)

期間	平野部(3.2k～高時川頭首工)		山地部(高時川頭首工～30.0k)	
	実績値	計算値	実績値	計算値
平成6年初～平成11年末	1.8万m ³	1.9万m ³	6.7万m ³	7.0万m ³
誤差率	+5.6%		+4.5%	

1.2.2 近年の通常出水時における土砂動態

- ◆ 平成6年から平成11年の6年間では、丹生ダム上流から約3.8千 m^3 /年、杉野川から約6.4千 m^3 /年の土砂が流出し、その一部が山地河道に堆積して、平野河道へ約4.9千 m^3 /年の土砂が供給されていることが推定された。
- ◆ 丹生ダム上流と杉野川からの年平均比流出土砂量は、全国主要河川の「流域面積と年平均比流出土砂量の関係」*と整合しており、また、丹生ダム近傍の広野ダムにおける通常期の比堆砂量とも類似している。

* 芦田和男・奥村武信：ダム堆砂に関する研究，京大防災研年報，17号B，pp.555～570，1974

年平均通過土砂量

前述した土砂移動の検証結果を踏まえ、河床変動に有意な粒径の土砂に着目して土砂動態マップを作成した。下流平野部への主な土砂供給源は、杉野川流域であることが推定された。

また、平野部の福橋を通過する成分の約97%は1mm以下の細砂成分であった。

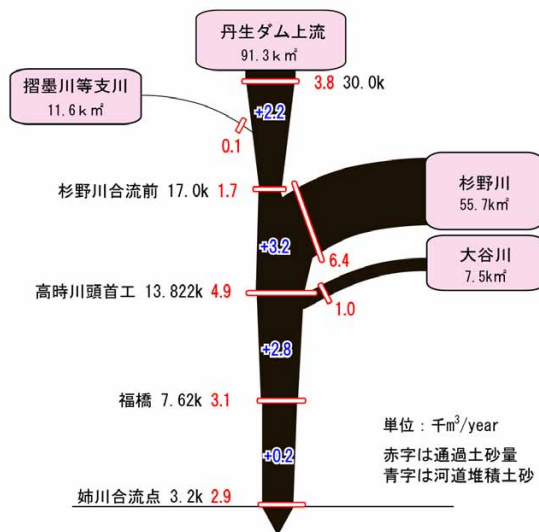


図 1.2.3 土砂動態マップ（全流砂）

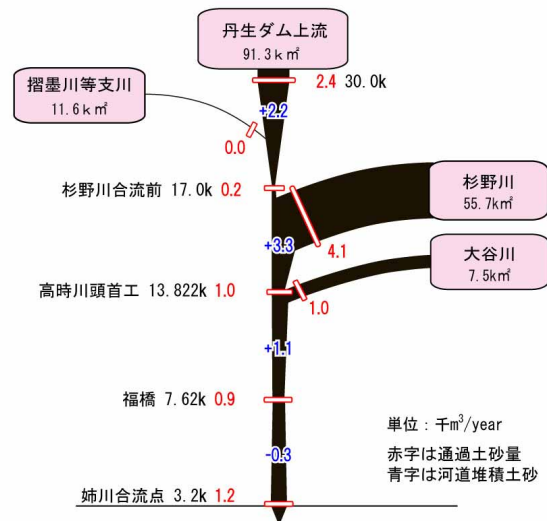
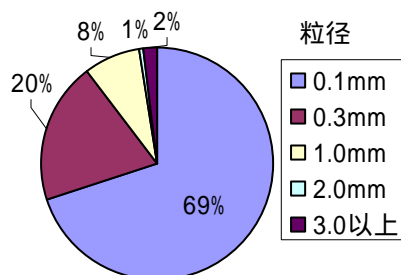


図 1.2.4 土砂動態マップ
（ウォッシュロードを除く成分）



【参考】 通過土砂量の粒径構成（福橋）

年平均比流出土砂量

丹生ダム建設予定地上流および杉野川からの年平均比流出土砂量(計算値)を、全国主要河川のダムにおける比堆砂量や、高時川流域近傍3ダム(笹生川ダム、横山ダム、広野ダム)における通常期の比堆砂量(豪雨の影響により堆砂量が急増した年を除いた実績)と比較した(図 1.2.5)。丹生ダム上流と杉野川からの比流出土砂量を比較すると、杉野川流域の方が流域面積は小さいが、地形が急峻で河床勾配も急なため、土砂流出量が多くなると思われる。一般に、流域面積が大きいほど、比流出土砂量が小さくなる傾向がある。これは大流域ほど生産土砂が貯留される機会が多くなることや、土砂生産の少ない平野部が相対的に増加する等の影響であるといわれている。

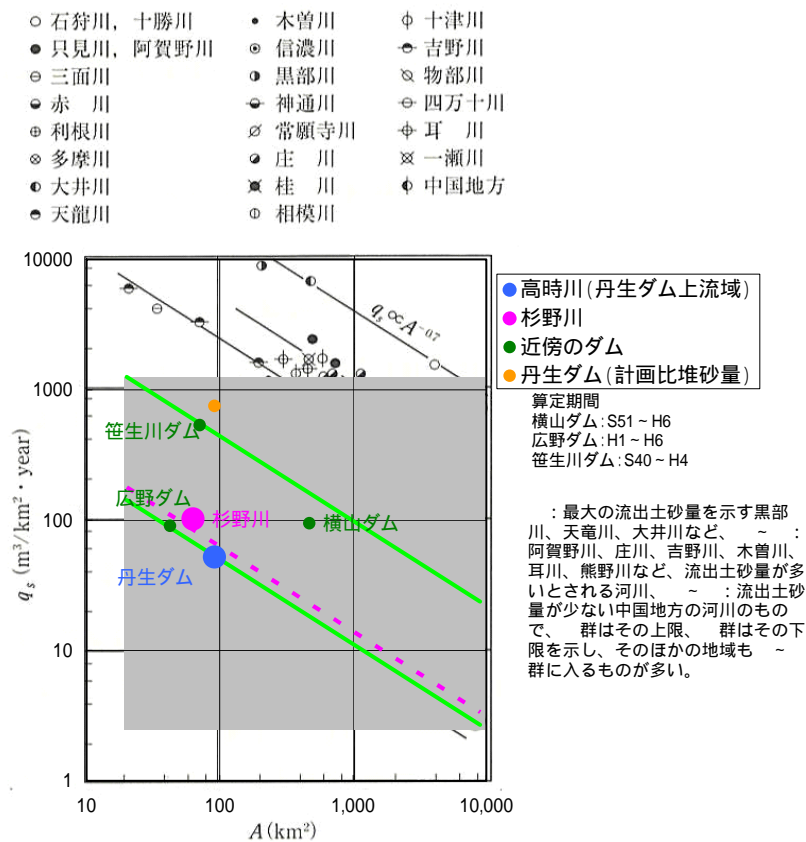
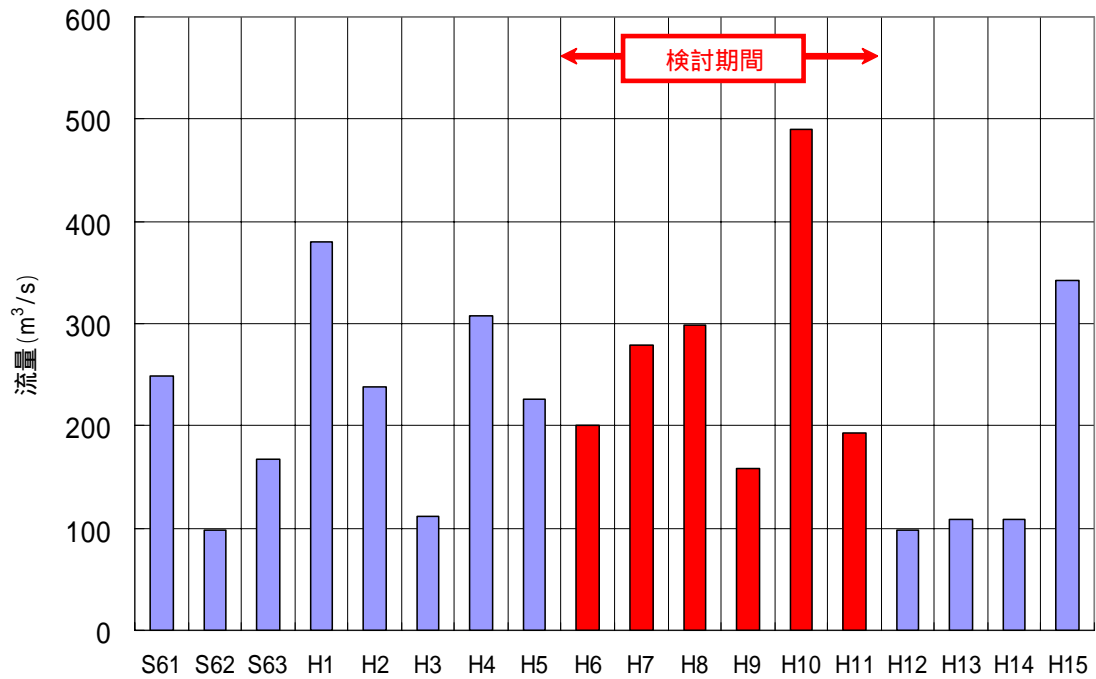


図 1.2.5 流域面積と年平均比流出土砂量の関係

【参考】近年 18 年間に於ける検証期間の流況

近年 18 年間に於ける福橋地点の平均年最大流量は約 230m³/s、検証期間である平成 6 年～平成 11 年の 6 年間に於ける平均年最大流量は約 270m³/s である。

近年 18 年間の中では、検証期間の流況は流量規模に於いて特異な期間ではない。



2 丹生ダムが高時川流砂系に及ぼす影響予測

丹生ダムが下流平野部の土砂移動に及ぼす影響を、通常出水時と大規模出水時についてそれぞれ検討した。

2.1 通常出水時の土砂移動（30年後の予測）

- ◆ 検証計算に用いた平成6年から平成11年の6年間の流況を5回繰り返して30年間の流況を作成し、更に近年30年間で雨量規模が最も大きかった昭和50年8月(台風6号)出水を加えて(流況の先頭に設定)、ダムありなしによる年平均通過土砂量の変化率を予測した。
- ◆ その結果、丹生ダムによって、平野部福橋地点の通過土砂量は年平均で約55%減少することとなった。
- ◆ 更にこの要因を分析したところ、減少する土砂の約80%はダムによる土砂流出の遮断による影響であり、残り約20%が洪水調節による流量低減によって土砂輸送能力が低下したことによる影響であった。

予測計算の条件

現況河道(平成11年度測量)を初期河床とする30年間の予測計算を行い、丹生ダムが下流河道の土砂動態に及ぼす影響を予測した。

計算方法は、検証計算に用いた平成6年から平成11年の6年間の流況を5回繰り返して30年間の流況を作成し、更に近年30年間で雨量規模が最も大きかった昭和50年8月(台風6号)出水を加えて(流況の先頭に設定)、ダムありなしによる年平均通過土砂量の変化率を予測した。

丹生ダムが下流河道の土砂動態に影響を及ぼす要因には、「ダムによる土砂移動の遮断」と、「洪水調節(流量低減)による土砂輸送能力の低下」が考えられる。これらの影響量を把握するため、参考として丹生ダムが洪水調節をしなかった場合についても検討した。また、洪水調節を行う場合については、影響量の最大値を把握するため、ここでは洪水全量カットを採用した。

表 2.1 予測計算の条件

初期河床と計算年数	現況河道(平成11年度河床高)を初期河床とした30年間
設定流況	昭和50年8月(台風6号)降雨+検証計算に用いた6年間の流況(福橋地点の日流量が35m ³ /s以上の49出水)×5回
ダムの洪水調節	洪水全量カット

予測計算結果（土砂移動量）

下図によると、「ダムによる土砂流出の抑止影響」のうち、ダムによる土砂移動の遮断による影響が支配的である。

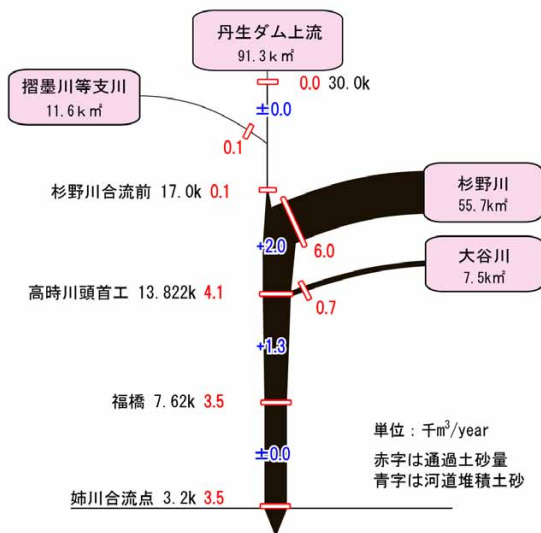
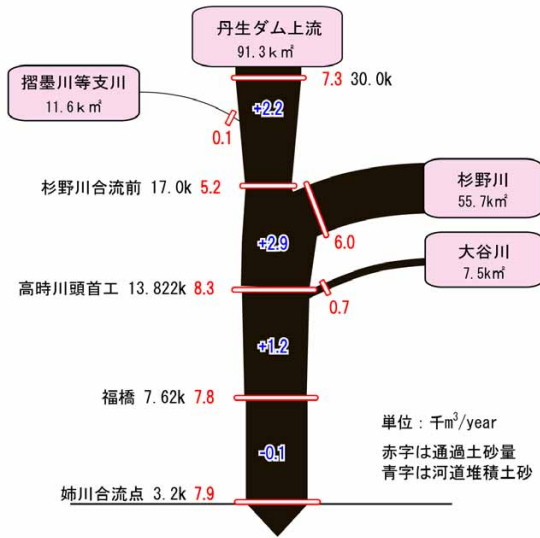
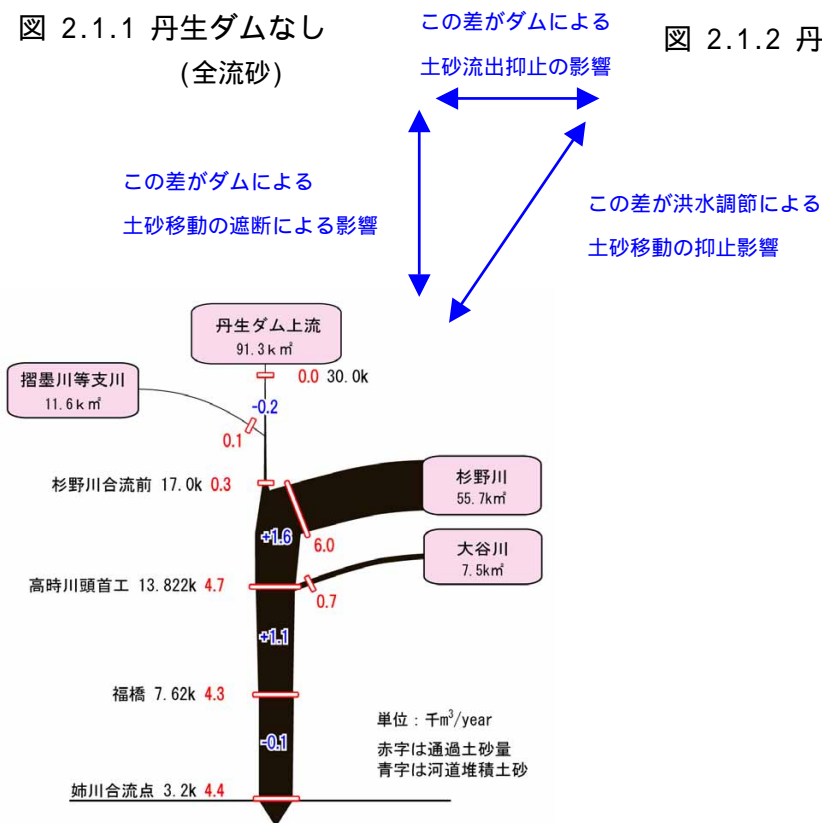


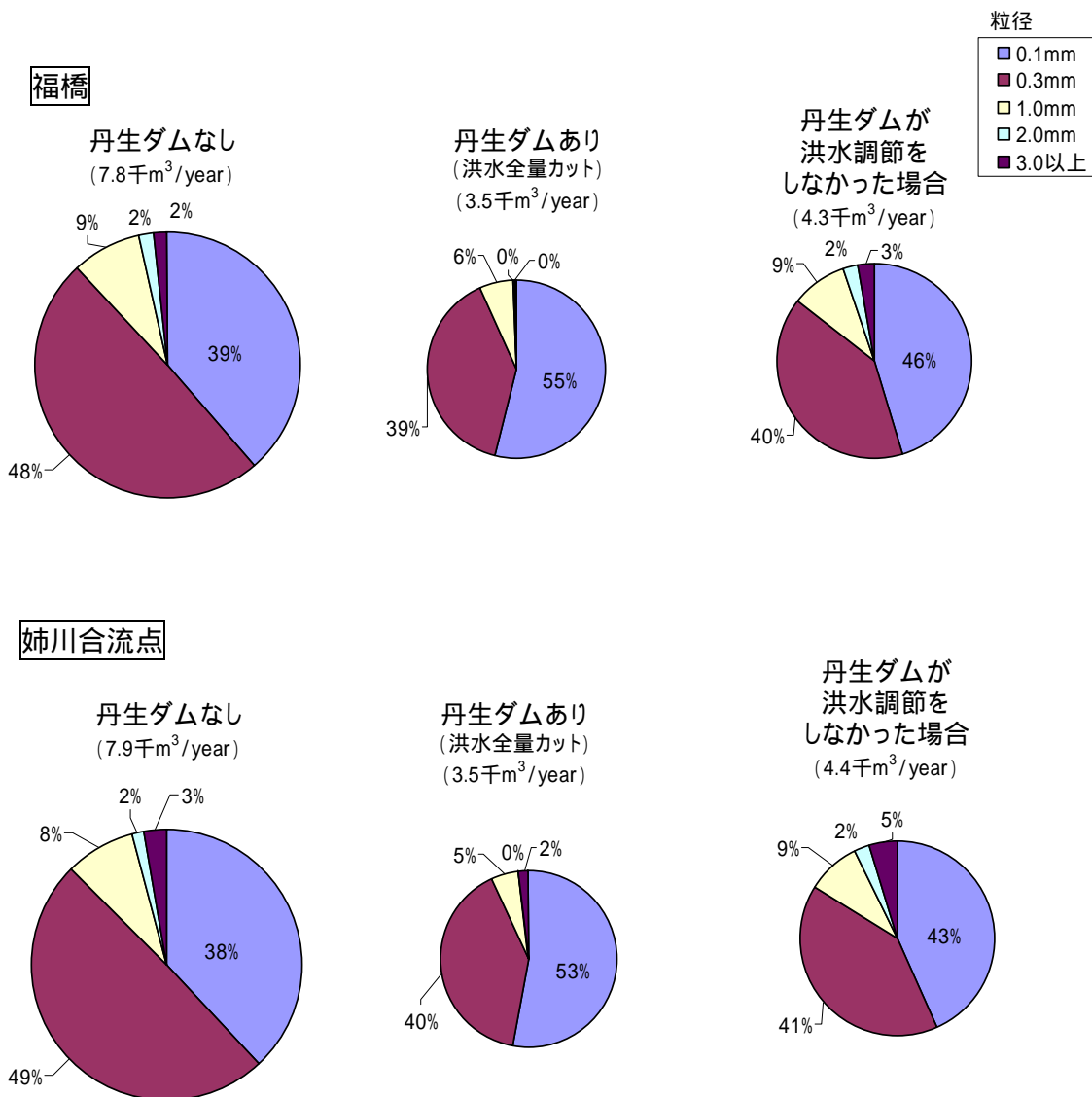
図 2.1.1 丹生ダムなし
(全流砂)

図 2.1.2 丹生ダムあり（洪水全量カット）
(全流砂)



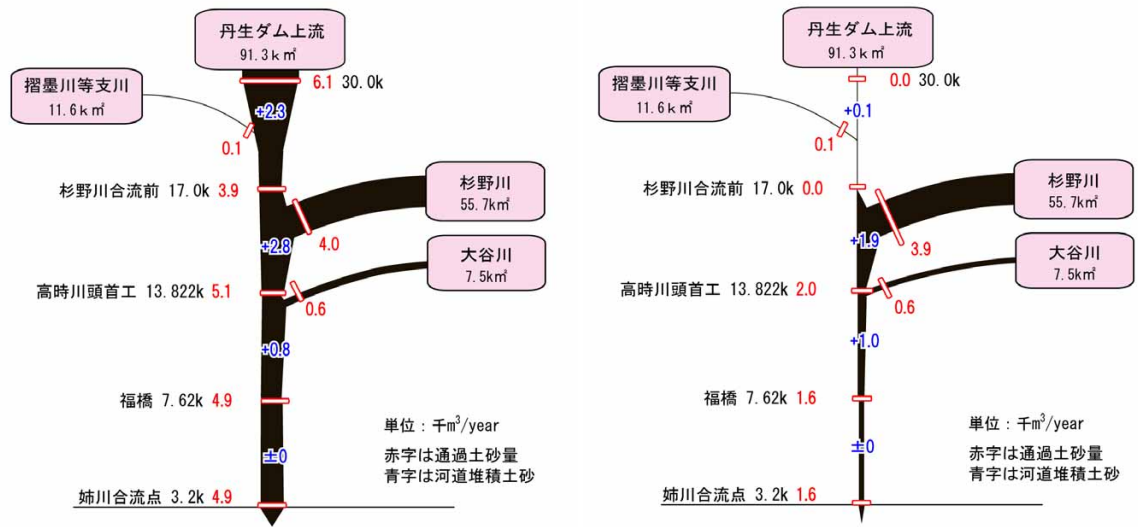
【参考】丹生ダムが洪水調節をしなかった場合(全流砂)

【参考】 通過土砂量の粒径構成比（体積比）の変化



カッコ内の数値は年平均通過土砂量

【参考】ウォッシュロードを除く土砂移動量



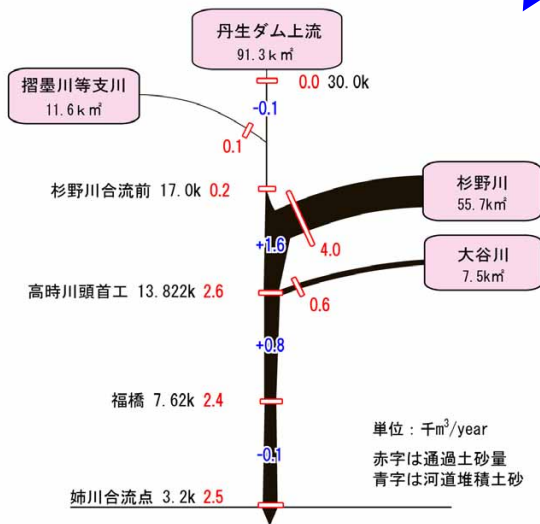
丹生ダムなし
(ウォッシュロード除く)

丹生ダムあり (洪水全量カット)
(ウォッシュロード除く)

この差がダムによる
土砂流出抑止の影響

この差がダムによる
土砂移動の遮断による影響

この差が洪水調節による土砂移動
の抑止影響



丹生ダムが洪水調節をしなかった場合
(ウォッシュロード除く)

予測計算結果（河床変動傾向）

30年間の予測計算においては、ダムありなしによる顕著な河床変動の違いは見られなかった。

なお、杉野川合流点付近で局所的な堆積傾向となっているが、本検討は次元計算であるため合流点付近の複雑な流れや河床変化を忠実に表現したものではない。よって、現実よりは上昇傾向になっていると思われる。

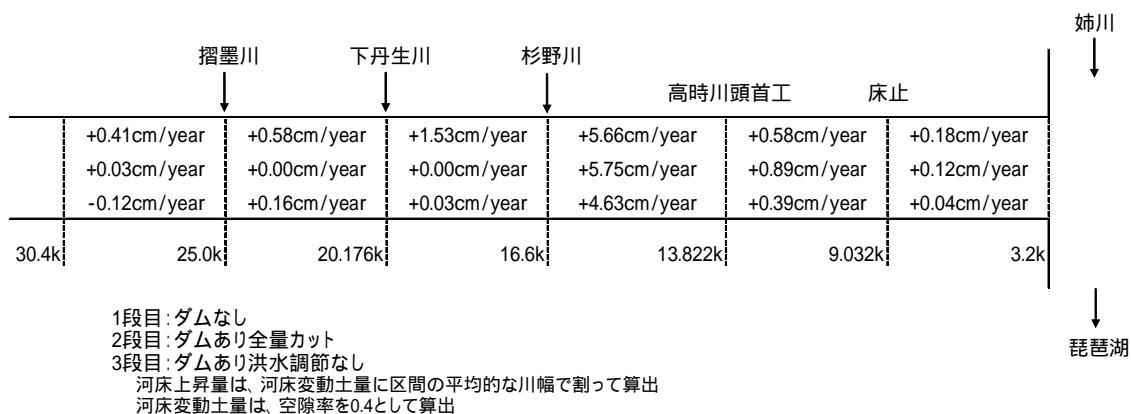


図 2.1.3 年平均の河床上昇量（30年間の予測計算）

2.2 大規模出水時の土砂移動（検討中）

- ◆ 大規模出水時には、山腹崩壊やそれに伴う土砂流出が予想され、河床上昇等による流下能力の低下が懸念される。
- ◆ そこで、既往最大である明治 29 年 9 月規模の降雨を対象に、山腹崩壊による河道堆積物の存在も考慮した土砂移動計算を行い、丹生ダムによる土砂流出抑止効果を検討した。
- ◆ ひとたび大出水が生じると山地河道の状況は一変するため、大規模出水の後に通常出水*を加えた 6 年間の流況で土砂移動状況を検討した**。
- ◆ その結果、丹生ダムによって、下流へ流出する土砂量は大幅に減少することが予測された。

* 検証計算に用いた平成 6 年から平成 11 年の 6 年間の流況

** 全流砂を対象とした。

予測計算の条件

できるだけ現実的な検討を行うとの立場から、既往最大雨量規模を対象として土砂移動計算を行った。高時川流域の既往最大雨量は明治 29 年 9 月にまで遡るが、当時は流域近傍で毎正時の時間雨量観測が行われていない。そこで、戦後最大規模の洪水である昭和 50 年 8 月（台風 6 号）降雨波形を明治 29 年 9 月降雨規模に増高し、土砂移動計算を行った。

斜面からの崩壊土砂量は以下の方法で見積もった。

- 1) 生産土砂量は次式から算定した。 $V = N \cdot b \cdot L \cdot D \cdot A \dots\dots\dots(1)$
ここに V: 生産土砂量 (m³)、N: 崩壊個数密度 (個/m²)、b: 崩壊地の幅 ここでは 10(m)、
L: 河道から崩壊地重心までの距離(m) ここでは斜面長/2、D: 崩壊土層厚 ここでは 0.4(m)、A: 斜面面積 (m²)
- 2) 最大崩壊個数密度は、広島豪雨災害の調査研究の事例¹⁾を参考に 10 個/km²とした。
- 3) 長崎災害(1982.7)での研究調査を基に「斜面勾配～崩壊個数密度」の平均的な関係を作成し、2)で採用した最大崩壊個数密度を勾配の大小に応じて斜面毎に適用した。
- 4) 斜面からの生産土砂を、付随する単位河道上に「河道内貯留土砂」として設定した。

表 2.2 予測計算の条件

初期河床	現況河道（平成 11 年度河床高）
設定流況	昭和 50 年 8 月（台風 6 号）降雨波形を明治 29 年 9 月規模に増高 + 検証計算に用いた平成 6 年から平成 11 年の 6 年間の流況
山腹崩壊による河道堆積物の設定	既往文献調査 ¹⁾ を参考に、崩壊個数密度の最大を 10 個/km ² として斜面毎の生産土砂量を推定し、これを河道堆積物として設定した。河床材料には既往の崩壊地調査の地山成分を設定した。
ダムの洪水調節	洪水全量カット

*1) 崩壊・土石流の発生と土砂災害の危険範囲, 1988 年 7 月島根・広島豪雨災害の調査研究 (研究代表者 芦田和男), 文部科学研究費 (No. 63115045), 突発災害調査研究成果, No. B-63-2, pp. 8-21, 1989

予測計算結果（流出土砂量）

丹生ダムによる土砂流出抑止効果は、大規模出水+6年間の総流出土砂量の低減量でみると杉野川合流前において約90%、高時川頭首工において約50%であると予測された。

大規模出水+6年間の総流出土砂量

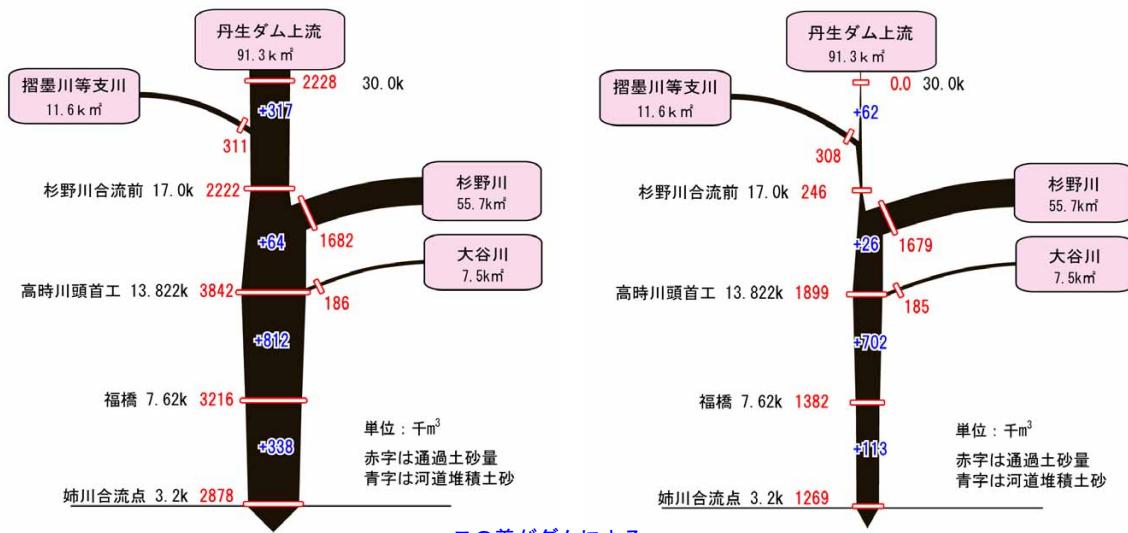
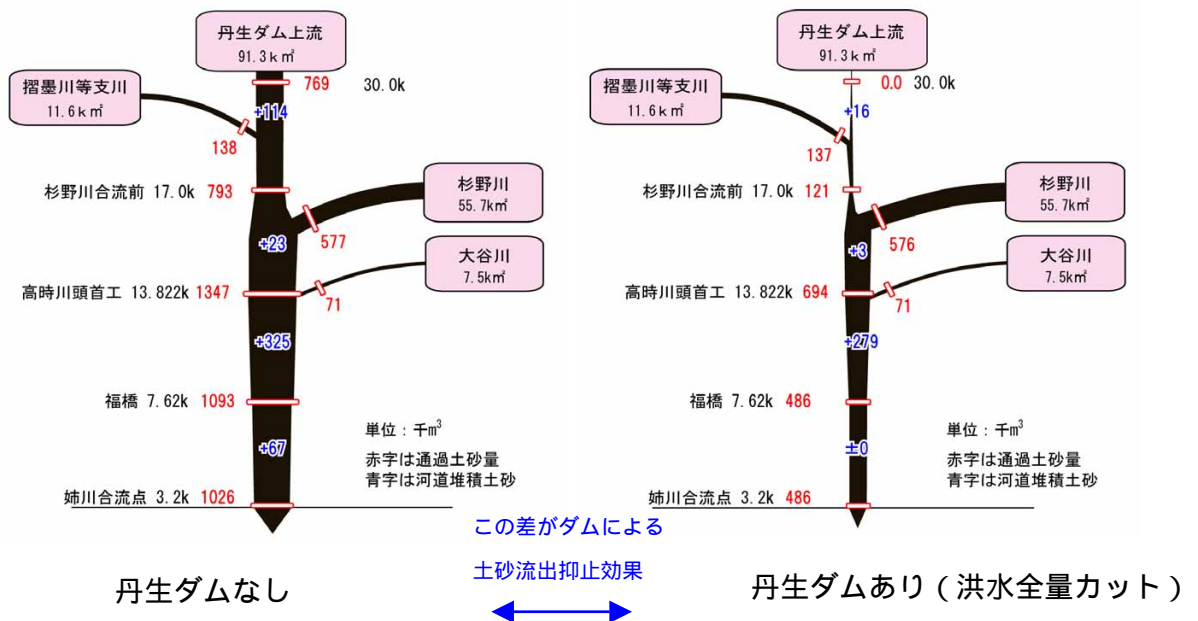


図 2.2.1 丹生ダムなし

図 2.2.2 丹生ダムあり
(洪水全量カット)

【参考】大規模出水のみによる流出土砂量



現在検討中のため、数値等は変更の可能性あり

予測計算結果（河床変動傾向）

大規模出水時には、山間部、平野部ともに6年後の河床高は平均的にみて2m程度以上上昇することが予測された。一方、丹生ダムが存在する場合、河床上昇量は、ダム直下流の山間部ではダムがない場合の約1/4～1/5程度、平野部（3.2～9.0km区間）ではダムがない場合の約半分になることが予測された。

大規模出水時には、大量の土砂が河川に流入して被害を増大させるため、今後は治水の観点からも土砂の流出・移動について検討することが必要である。

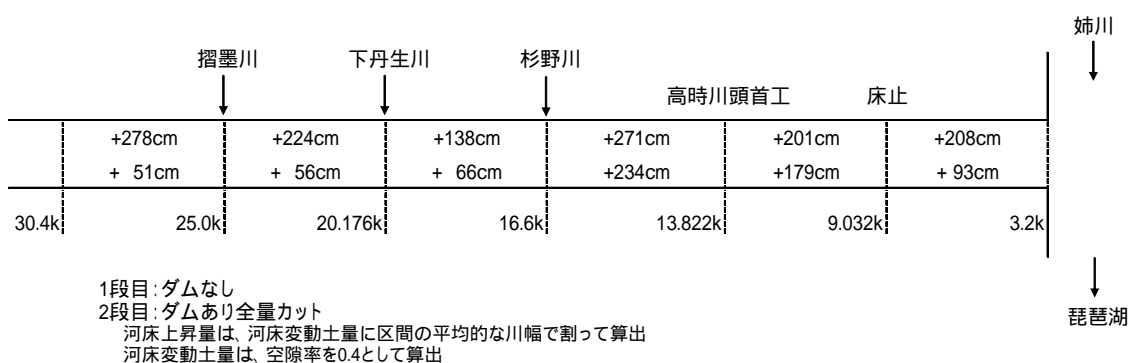


図 2.2.3 大規模出水+6年間の河床上昇量



【参考】 大規模出水のみによる河床上昇量

現在検討中のため、数値等は変更の可能性あり

3 土砂移動の連続性確保のための対策の考え方

- ◆ 通常時においては、ダムによる流砂の遮断およびダムの洪水調節による流量低減によって、下流への土砂流下量の減少および土砂輸送能力の低下が生じる。ただし、河床変動高には顕著な影響はないと考えられる。
- ◆ 杉野川の合流により、ダムの影響は緩和される。
- ◆ ダム完成後は、河床の変化状況のモニタリング調査を行い、必要に応じ対策を行う。
- ◆ 現時点で考えられる対策としては、ダム堆砂の下流への運搬・置砂、ダムのフラッシュ放流操作等がある。これらは各地で試験的に実施されており、ある程度効果が認められている。
- ◆ 姉川・高時川における対策については、河川管理者（滋賀県）と連携し今後検討していく。

他ダムにおける取り組み事例

一庫ダム【参考資料-1】

ダム下流の河川環境保全のための取り組みとして、玉石や土砂の投入、ヨシの除去、フラッシュ放流等を実施した。これらにより、河床の付着藻類等の剥離効果や下流への土砂の供給が確認された。

下久保ダム【参考資料-2】

ダム直下流の景勝地「三波石峡」の景観改善(ダム運用による影響の緩和)を目指し、土砂供給試験を実施した。この結果、クレンジング効果により三波石に輝きが戻るなどの景観改善効果や、一部の河原の再生が確認された。

参考)ダムによる土砂貯留効果

鈴木徳行：ダム建設の必要性と効果について，ダム日本 No.639，1998． より引用

ダムは洪水調節と同様に流出土砂を貯砂することにより、ダム下流の異状な河床上昇を防止することによって災害を免れた例が多い。

昭和40年に揖斐川で計画高水に近い大洪水が発生し、大氾濫が起こる寸前の状況となった。この洪水時に上流の横山ダムでは1000万 m^3 に近い土砂が堆積した。もし、横山ダムがなかったならば、この土砂が流下し、ダム下流の揖斐川では、河床が数m上昇し、多数の所で破堤し大氾濫を起こし、大災害をもたらしたものと考えられる。

天竜川の三峰川でも、昭和36年洪水時に、美和ダムに1000万 m^3 に近い土砂が堆積した。この洪水で三峰川では3ヵ所で破堤したが、もし、美和ダムがなければ、これらの土砂が下流に流下し、数mの河床上昇を起こし、多数の箇所で破堤して大災害になったものと考えられる。

このように、大洪水時には多量の土砂が流出し、大災害を起こす。ダムは、このような多量の土砂を堆砂し、洪水を安全に流下させる大きな効果もある。

【参考資料】

- 1) 前田・田代・中島：一庫ダム下流河川環境復元に向けての取組，水の技術 No12，2004．
- 2) 下久保ダム管理所：三波石峡への土砂供給試験及びモニタリング調査結果の概要，下久保ダムホームページ，2004．