

長安口ダム貯水池機能保全対策 レポート(中間報告)

平成28年3月9日

長安口ダム貯水池機能保全技術会議

はじめに

長安ロダムは、那賀川水系那賀川の中流部に徳島県により洪水調節、発電、既得用水の安定化及び河川環境の保全等を目的として昭和31年に建設された多目的ダムである。

長安ロダムの上流域では、急峻な地形、脆弱な地質とあいまって多雨地帯であるため土砂生産が活発である。特に昭和51年及び平成16年をはじめとした土砂災害を伴う洪水によって、大量の土砂が長安ロダムへ流入し、ダムの堆砂進行が有効貯水容量の適正な確保に関する大きな課題となっている。

このような状況の中、長安ロダムは平成19年度に徳島県より直轄移管し、治水・利水・環境面の機能改善を行う長安ロダム改造事業（以下、「本事業」という）に着手し、本事業の目的の一つである堆砂対策として、堆砂の掘削除去および堆砂除去土砂の下流河川還元を実施しているところであるが、長安ロダムの安定的な貯水池機能の保全対策に対して課題を有している。一方で、全国的にも貯水池機能の保全対策の必要性が認識されており、さまざまなダムにおいて貯水池の特性に応じた対策事例が蓄積されつつある。

このような背景から、長安ロダムにおける貯水池機能保全対策に関わる自然条件、施設条件、地域的な制約条件などを踏まえた対策の方法、必要な施設の規模や機能、および保全対策を実施することによる下流河川への影響等について、技術的見知から分析することを目的とし、那賀川において十分な経験を有する学識者と専門家から構成する「長安ロダム貯水池機能保全技術会議」を設置した。

本レポートは「長安ロダム貯水池機能保全技術会議」における資料や議論の内容を基に、長安ロダムの堆砂対策の内容の検証を行い、技術レポートとしてまとめたものである。今回の中間報告では第1回の技術会議を踏まえ、長安ロダムの堆砂の現状やその検証結果を中心にまとめた。

<長安ロダム貯水池機能保全技術会議 委員>

委員長	武藤 裕則	徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部 教授
委員	長田 健吾	阿南工業高等専門学校 創造技術工学科建設コース 准教授
	萱場 祐一	国立研究開発法人 土木研究所 水環境研究グループ 河川生態チーム 上席研究員、自然共生研究センター長
	河口 洋一	徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部 准教授
	櫻井 寿之	国立研究開発法人土木研究所 水工研究グループ 水理チーム 主任研究員
	服部 敦	国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室 室長
	松田 春菜	四国大学 学修支援センター 助教 徳島大学大学院 ソシオ・アーツ・アンド・サイエンス研究部 特別研究員
	湯城 豊勝	阿南工業高等専門学校 名誉教授

委員 五十音順、敬称略

(平成27年11月発足時の所属)

目 次

1 長安口ダム上流域の概要	1
2 長安口ダムの堆砂特性	5
2.1 長安口ダムの堆砂量の推移	5
2.2 長安口ダムの堆砂特性の推定	7
2.3 長安口ダム貯水池への流入土砂の推定	13
3 長安口ダム堆砂対策の検証	19
3.1 長安口ダム改造事業における堆砂対策の概要と実績	19
3.2 貯水池機能保全に関する効果・検証	21
3.3 現状の堆砂除去の課題	23
4 長安口ダムの恒久的堆砂対策の検討	25
5 長安口ダムの恒久的な堆砂対策の運用計画と堆砂対策施設	●
6 置土運用による下流河道の治水面の課題整理	●
7 置土運用による下流河道の利水面の課題整理	●
8 置土運用による下流河川環境の課題整理	●
9 まとめ	●

1 長安ロダム上流域の概要

長安ロダムは、河川延長 125 km、流域面積 874 km²の一級河川那賀川の中流部に位置し、ダムの直接集水面積は 494.3 km²（間接を含めると 538.9 km²）であり、那賀川流域の約 57%を占めている（図 1-1）。

長安ロダム上流域は、全国的にも土砂生産が多い地域として知られ、過去に大規模土砂災害が度々発生している（図 1-2）。明治 25 年 7 月 25 日に発生した「高磯山の崩壊」では、高磯山が崩壊し麓の集落を飲み込み、さらに土砂は那賀川をふさぎ天然ダムを形成した。その 2 日後にそのダムが決壊し那賀川下流域にも被害をもたらす大災害となった。昭和 51 年 9 月 13 日に発生した「昭和 51 年台風 17 号による土砂災害」では那賀郡那賀町（旧木頭村）の那賀川左岸に位置する平地区で大規模崩壊が発生し、民家など 3 戸が全半壊、6 名が生き埋めとなる被害が生じた。平成 16 年 8 月 1 日に発生した「平成 16 年台風 10 号による土砂災害」では、那賀川上流において多数の土砂災害が集中的に発生した。特に坂州木頭川沿いでは大規模崩壊が多発し、2 名の方が亡くなり、構造物、林地、農地に大きな被害が生じた。

長安ロダム上流域で土砂生産が多い理由としては、流域の地形的、地質的な特性がある。

長安ロダムの上流域は台風の常襲地帯である四国山地の南東斜面に位置するため、特に台風の接近通過時に集中的に大雨の降る傾向がある（図 1-3、図 1-4）。大規模崩壊が生じた平成 16 年の台風 10 号においては那賀川流域の海川（那賀町）で日雨量 1,317 mm と日本記録を更新するなど、日最大降水量の日本記録を塗り替える地域でもあり、日本でも有数の多雨・豪雨地帯である。地形は剣山（1,955 m）付近を最高とした大起伏山地が大半を占め、比較的急峻な地形がならび壮年期の地形を呈している（図 1-5）。

長安ロダム上流域の地質（図 1-6）は、東西に仏像構造線が走り、これを境に秩父帯と四万十帯に二分される。南部の四万十帯には主に中生代白亜紀の砂岩及び泥岩が分布し、新しく柔らかい堆積岩が表面を覆っていることから、豪雨時に土石流は発生しやすいが地すべりのような大規模な崩壊は生じにくい。一方、北部に位置する秩父帯には主に古生代及び中生代の砂岩、粘板岩、チャート等が分布し、ジュラ紀の付加体を有していることから破碎帯を形成しやすく、地すべり危険箇所がまばらに見られる。

また長安ロダム上流域北側の三波川帯では、中央構造線南側に位置しジュラ紀の付加作用や白亜紀の変成作用を受けた軟弱な地質構造を有しており、地すべり危険箇所が長安ロダム上流域より多くみられる。このような土砂生産が活発な地域を比較すると、長安ロダム上流域の地質構造はそれほど軟弱な地盤とはいえない。しかし、ダム流域北部の秩父帯に付加体を有し、破碎帯を形成しやすく地すべり発生の危険性がある地質的構造に、非常に起伏に富み、日本有数の多雨・豪雨地帯である流域特性と相まって、時より大規模な土砂崩壊が生じているものと考えられる。

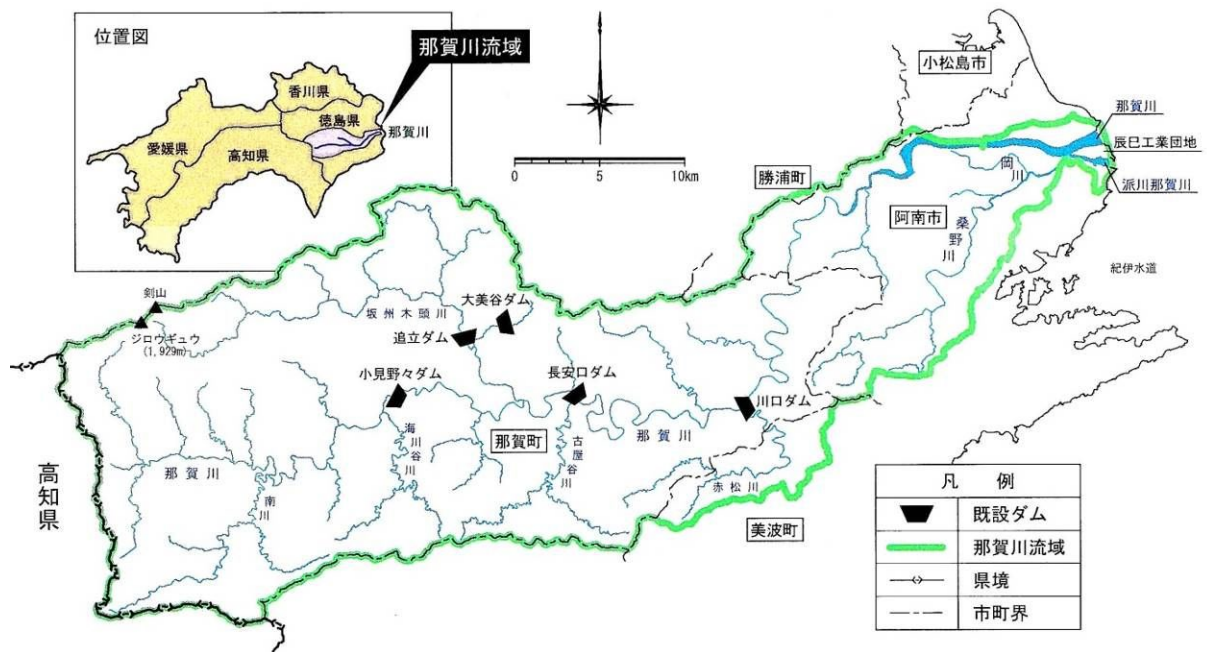


図 1-1 那賀川流域図と長安ロダム位置図

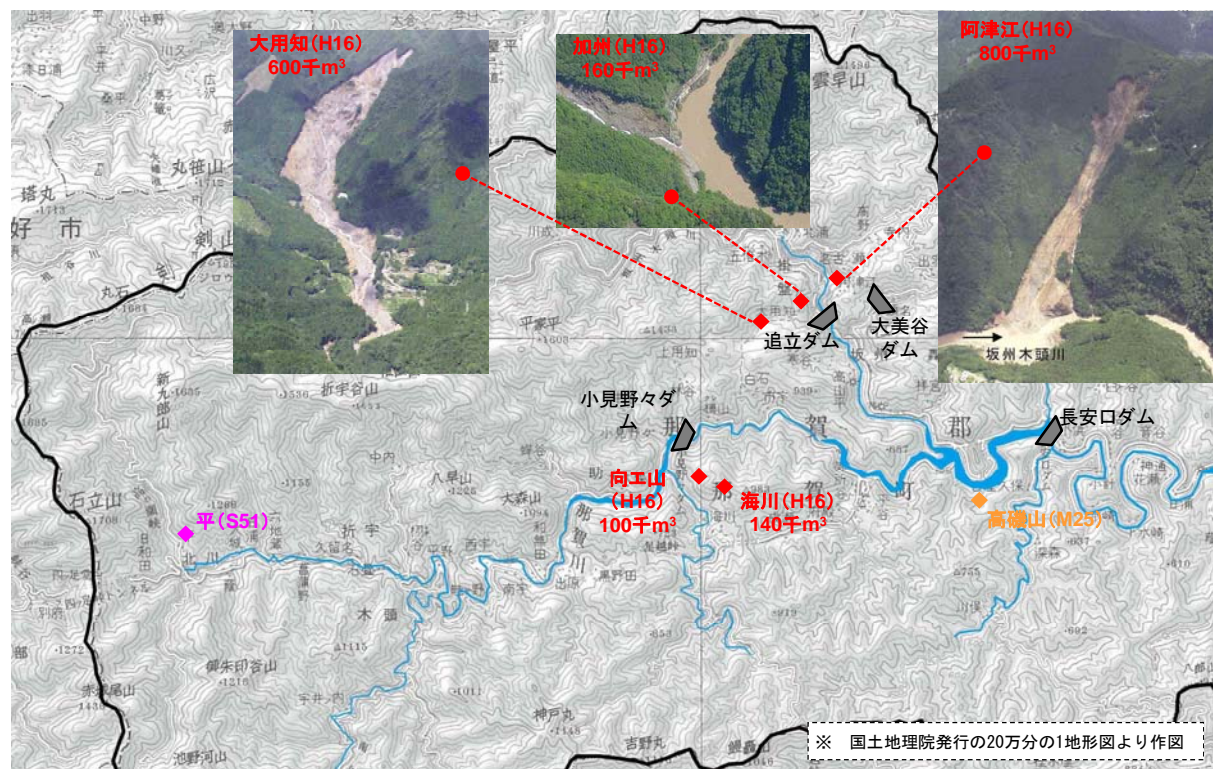


図 1-2 長安ロダム上流域における大規模土砂災害の発生位置 (土砂量 100 千 m³ 以上)

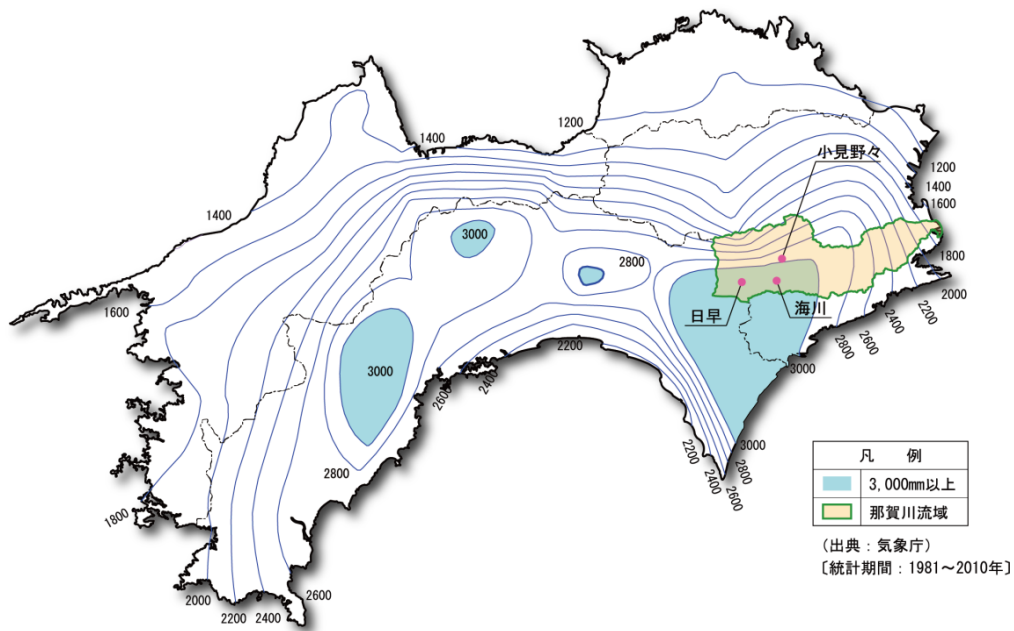


図 1-3 四国の年平均降水量分布図

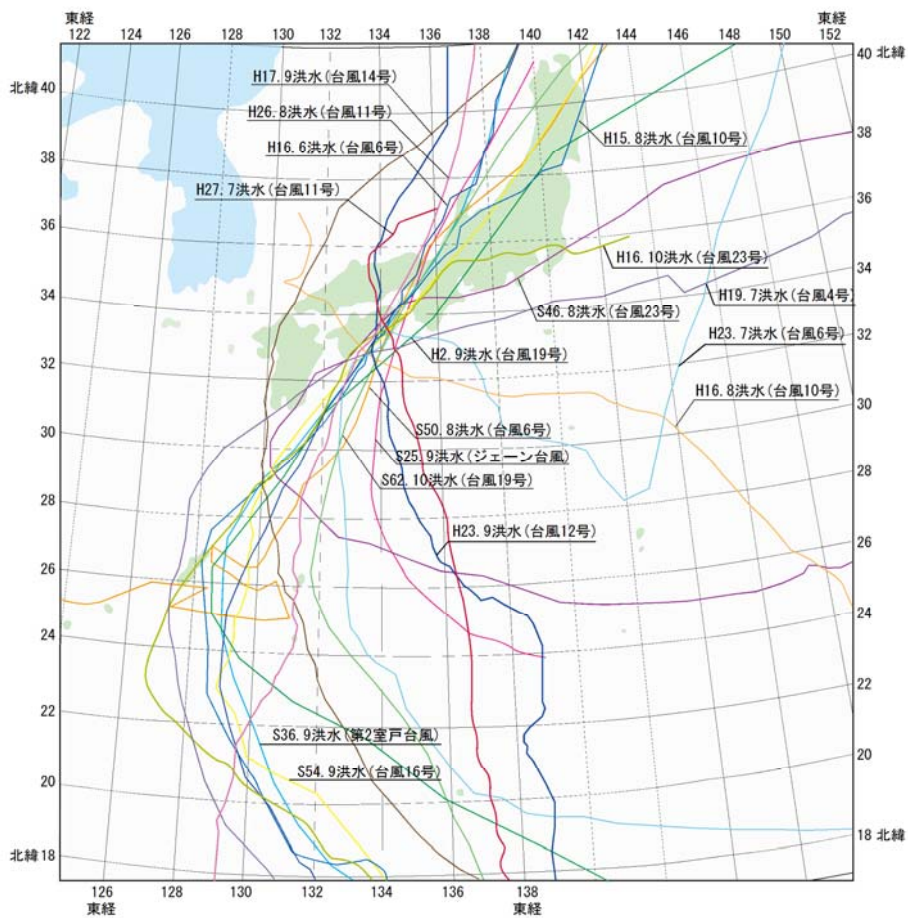


図 1-4 四国地方に大雨をもたらした主要な台風経路図

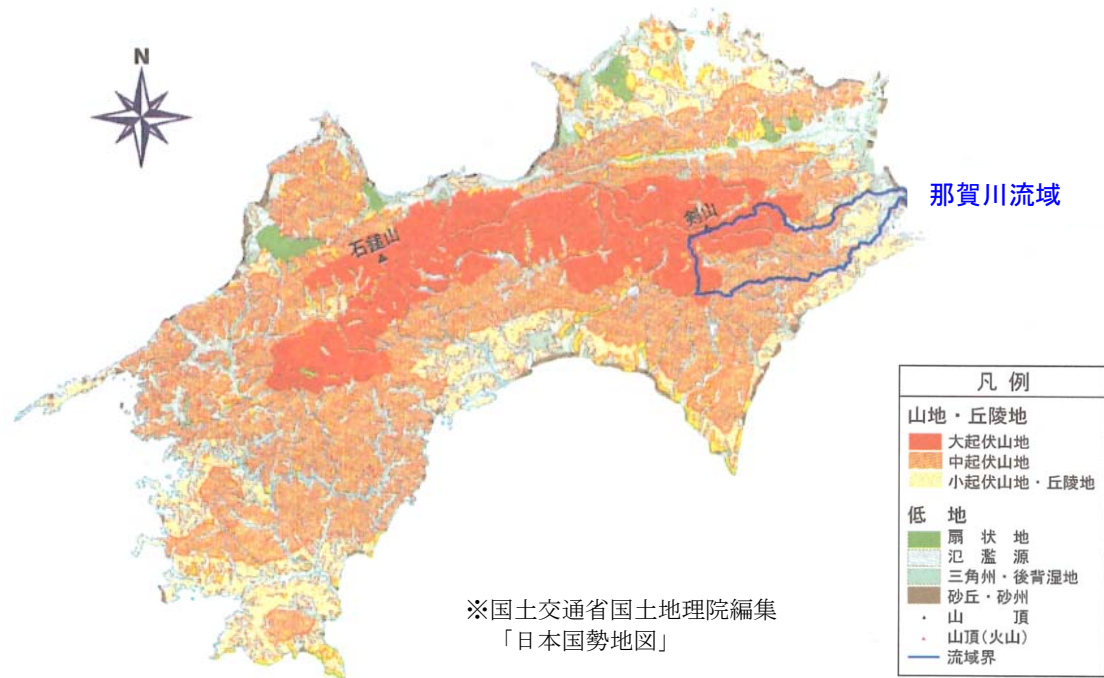


図 1-5 那賀川水系流域の地形

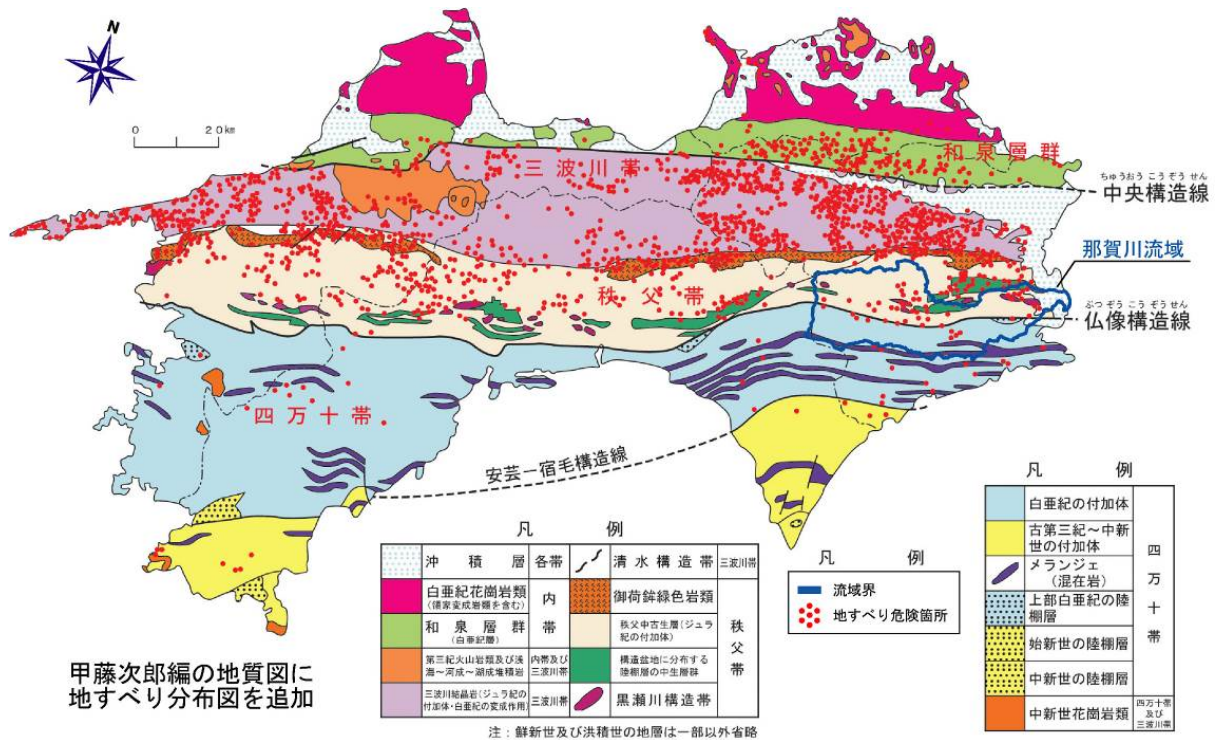


図 1-6 四国の地質分布図

2 長安ロダムの堆砂特性

2.1 長安ロダムの堆砂量の推移

長安ロダムでは毎年横断測量による堆砂量の把握が行われている。横断測量は那賀川本川と、主な支川である坂州木頭川、丈ヶ谷川、菖蒲谷川において概ね 100m～400m ピッチで、特に貯水池上流や湾曲部で測量ピッチを密に行われている。横断測量の結果から、平均断面法により標高別の貯水容量を算出し、元河床時の貯水容量との差分を堆砂量としている。なお、横断測量では貯水池の深部を深淺測量により計測することで測量誤差が生じることや、横断測線上の断面形状の変化が堆砂量の算出に大きく影響することから、年によっては掘削量を加味しても堆砂量がマイナスとなる場合がある（図 2-1 参照、長安ロダム平成 19 年、20 年の堆砂量など）。

長安ロダム及び小見野々ダムの堆砂量の経年変化を図 2-1 に示す。長安ロダムは昭和 30 年度の完成後、第 2 室戸台風による出水のあった昭和 36 年に 1,503 千 m^3 の急激な堆砂が生じた。昭和 43 年度の小見野々ダムの完成を境に年平均堆砂量が 352 千 m^3 /年（昭和 37 年～昭和 42 年）から 246 千 m^3 /年（昭和 43 年～昭和 50 年）に低下した。なお、小見野々ダムの昭和 43 年～昭和 50 年の年平均堆砂量は 353 千 m^3 /年であり、これは小見野々ダム完成以前の長安ロダムの年平均堆砂量と同程度であった。しかし、長安ロダムでは昭和 49 年には当初の堆砂容量 5,294 千 m^3 を超過し、台風 17 号の出水のあった昭和 51 年には 1,358 千 m^3 の堆砂が生じ、貯水池内の堆砂量がさらに増加した。

その後、昭和 52 年～平成 15 年の年平均堆砂量は 175 千 m^3 /年と堆砂速度が緩まった。当期間においては、上流域の森林、河道、砂防・治山施設の整備が進められていた。

しかし、平成 16 年は上流で大規模な土砂災害が発生した台風 10 号や、台風 23 号など複数の大規模出水に見舞われ、過去最大規模となる 2,083 千 m^3 もの堆砂が生じ、その後年平均堆砂量は 230 千 m^3 /年と平成 15 年以前と比較し増加した。

平成 26 年度時点で、長安ロダムは完成から 59 年が経過して堆砂量は 15,977 千 m^3 であり、総貯水容量 54,278 千 m^3 の 29%、当初の堆砂容量 5,294 千 m^3 の約 3.0 倍に当たる堆砂が進行している。掘削除去量を加味した堆砂量は 17,102 千 m^3 、この数値を基に算出した年平均堆砂量は 290 千 m^3 /年であり、堆砂量の多いダムといえる。

このように、長安ロダムでは経年的な堆砂の進行に加え、昭和 51 年や平成 16 年に代表されるような大規模な土砂崩壊が生じた年に急激に堆砂量が増加し、貯水容量が大きく減少している状況にある。

<参考：長安ロダム着工時の堆砂量・堆砂容量の取り扱いについて>

長安ロダムが着工した昭和 25 年(1950 年)当時では、貯水池に流入する土砂については、ダム堤体に作用する泥圧を算定し、堤体の安定性を計算するための設計堆砂深として考慮されていたが、堆砂容量についての議論は不明であった¹⁾。当時は水文資料や周辺の地形・地質の情報が乏しかったことが推定されることから、堆砂量の予測は困難な状況であったと考えられる。なお、長安ロダム完成後の昭和 32 年に建設省が制定した河川砂防技術基準（案）計画編で、必要な貯水容量に概ね 100 年間に溜る推定堆砂量（堆砂容量）を加えて計画する考え方が導入された。

¹⁾岡野眞久・高柳淳二・藤井隆弘・安藤明宏:ダム貯水池流入土砂量に基づく堆砂管理についての考察—土砂生産量強度マップの開発の事例—, ダム工学, 14(3), p.167-176, 2004.

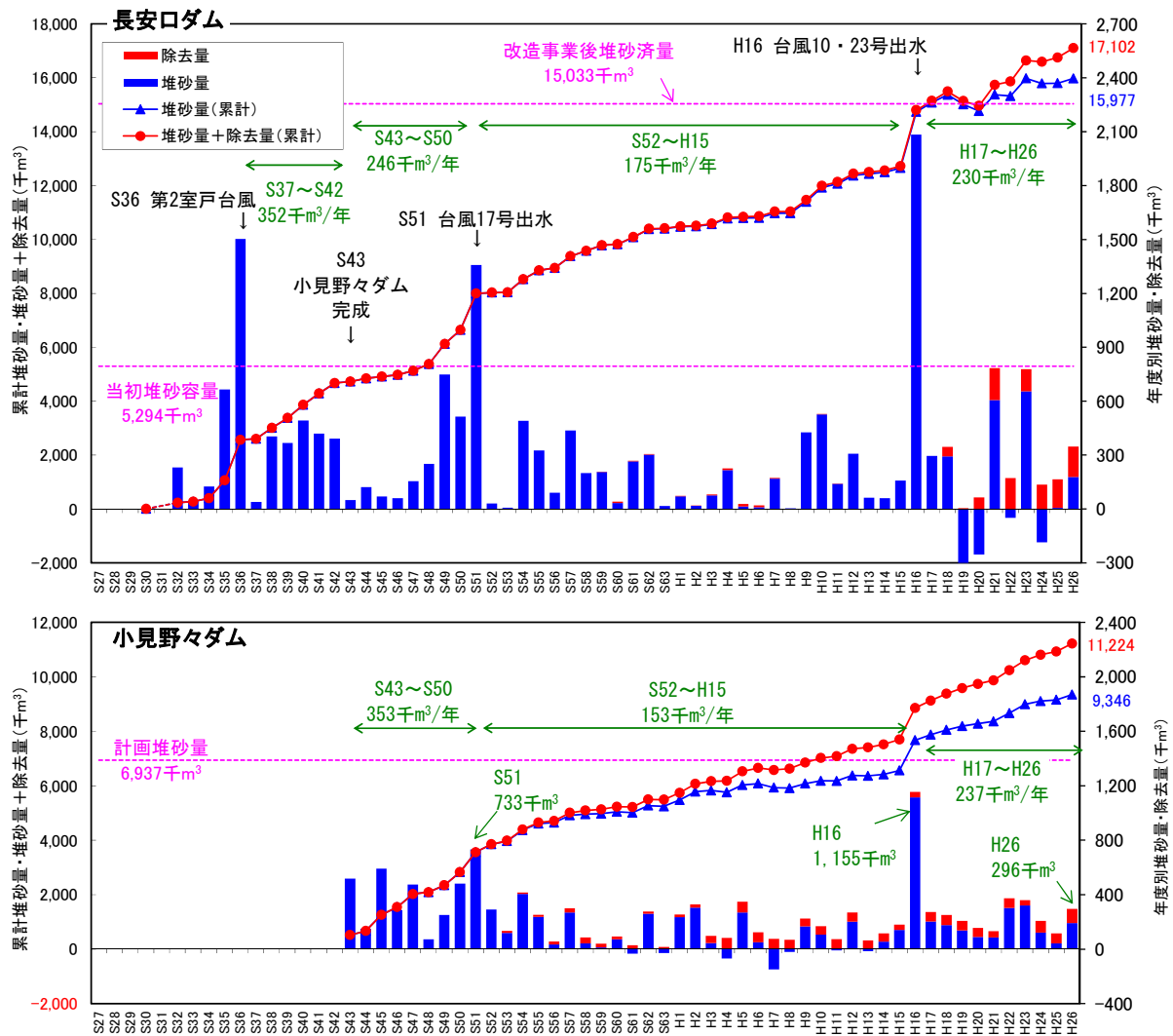


図 2-1 長安口ダム・小見野々ダムの堆砂量の経年変化（昭和 30 年度～平成 26 年度）

2.2 長安口ダムの堆砂特性の推定

長安口ダム貯水池内では昭和 57 年度、59 年度、平成 6 年度、7 年度、13 年度に、坂州木頭川の貯水池末端部では平成 18 年度、20 年度にボーリング調査が行われている。ボーリング調査で採取された土砂はふるい分析と沈降分析による粒度試験を行い、その結果から礫・砂・シルト・粘土等の粒径集団の割合が類似している土層に区分した上で、図 2-3 のような土層区分図を作成した。またその土層毎に粒度分布を平均したものを代表粒度分布とした（図 2-2）。次に、推定した土層分布が貯水池横断方向に一様であると仮定して、推定した土層分布を平成 26 年の堆砂測量結果から得られる横断図と重ね合わせて、横断面毎に適用する土層の断面積を算出し、平均断面法により区間毎の容量別・土層区分別の堆砂量を求めた。最後に各土層の代表粒径を基に粒径別堆砂量を算出した。

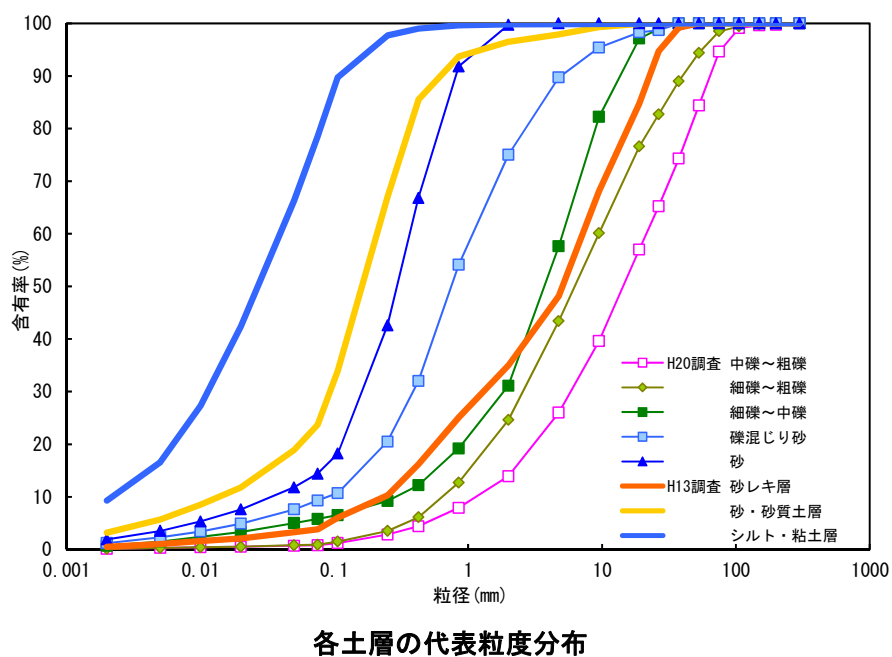


図 2-2 長安口ダムの堆砂の土層の代表粒度分布

長安ロダム那賀川本川

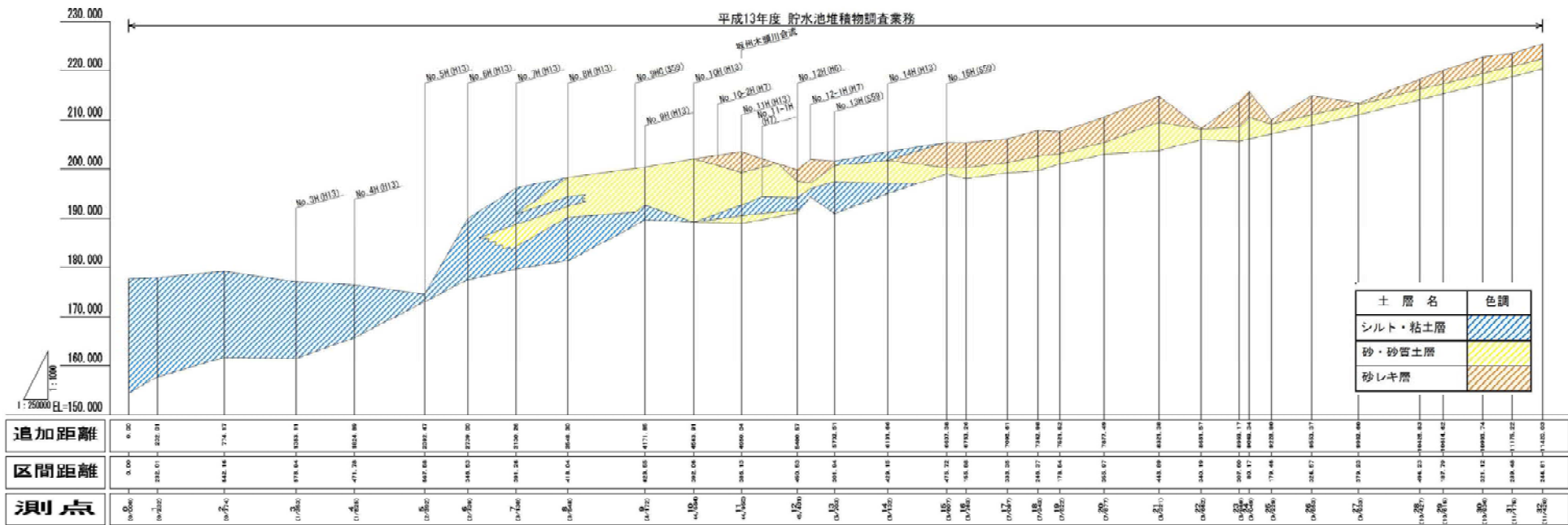


図 2-3① 長安ロダム那賀川本川の堆砂の土層区分

長安口ダム坂州木頭川

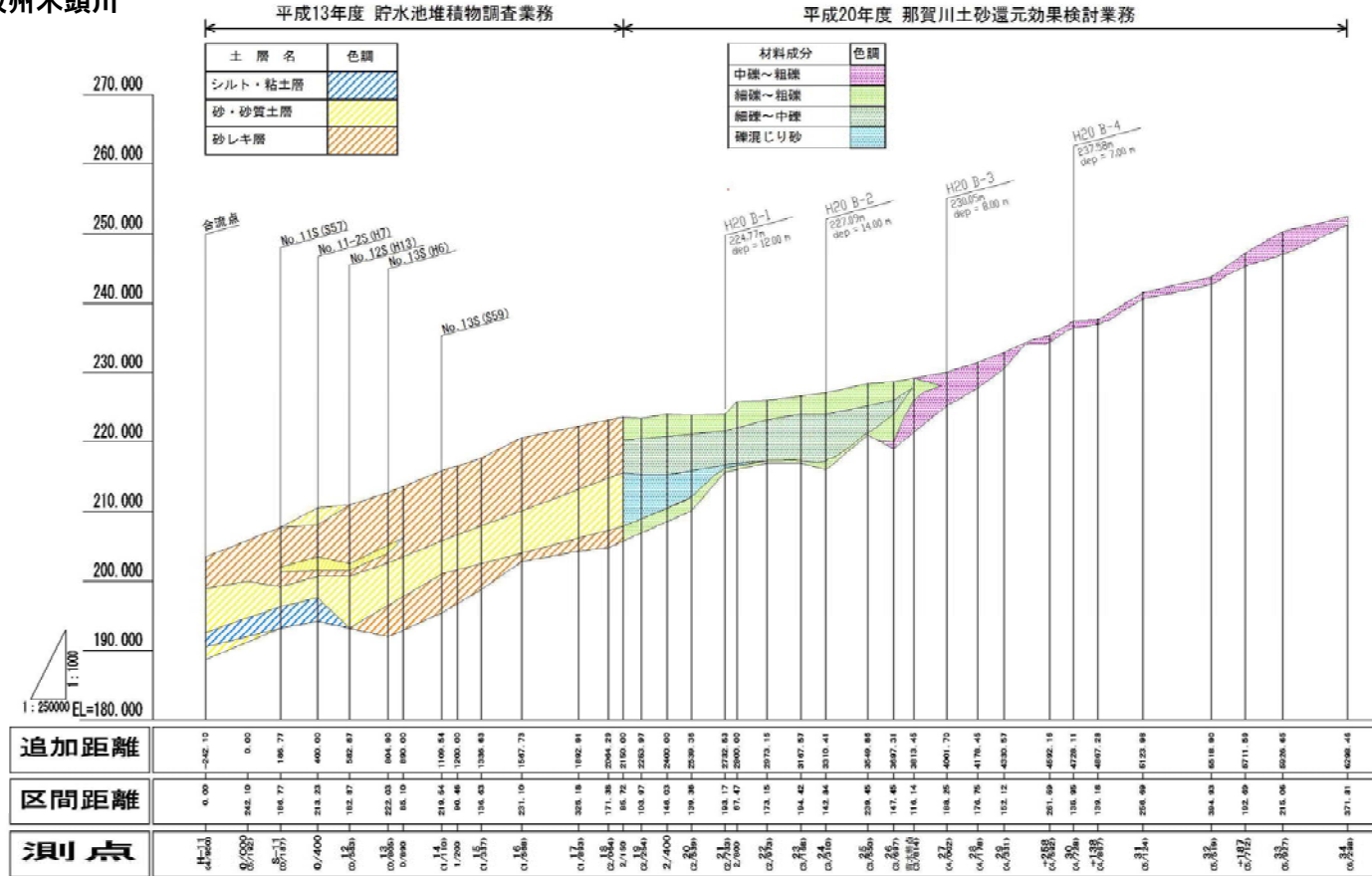


図 2-3② 長安口ダム坂州木頭川の堆砂の土層区分

長安ロダムの粒径範囲別の堆砂縦断分布図と堆砂縦断形状の変化を図 2-4 に、長安ロダムの各容量の粒径別堆砂量を図 2-5 に示す。ここで、0.075mm 以下の粒径範囲を粘土・シルト（以下 WL 分）の粒径集団、0.075mm～2.0mm の粒径範囲を砂分の粒径集団、2.0mm 以上の粒径範囲を礫分の粒径集団と定義する。

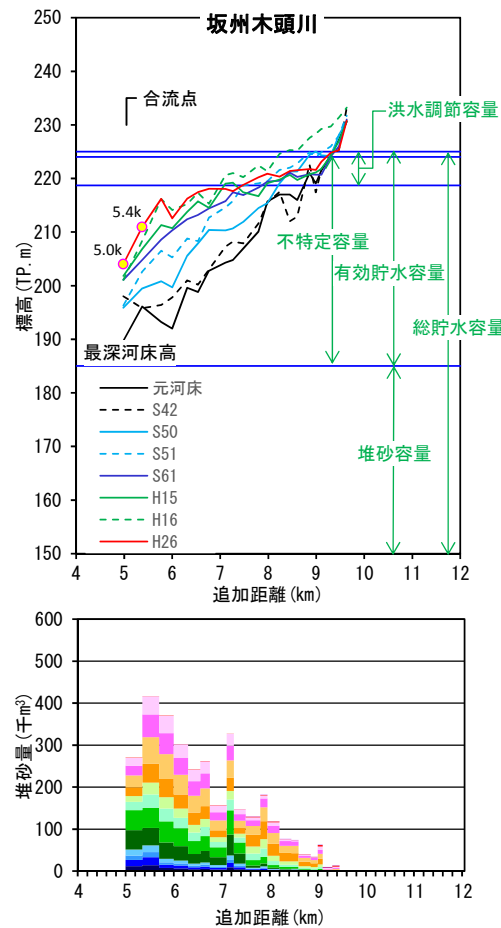
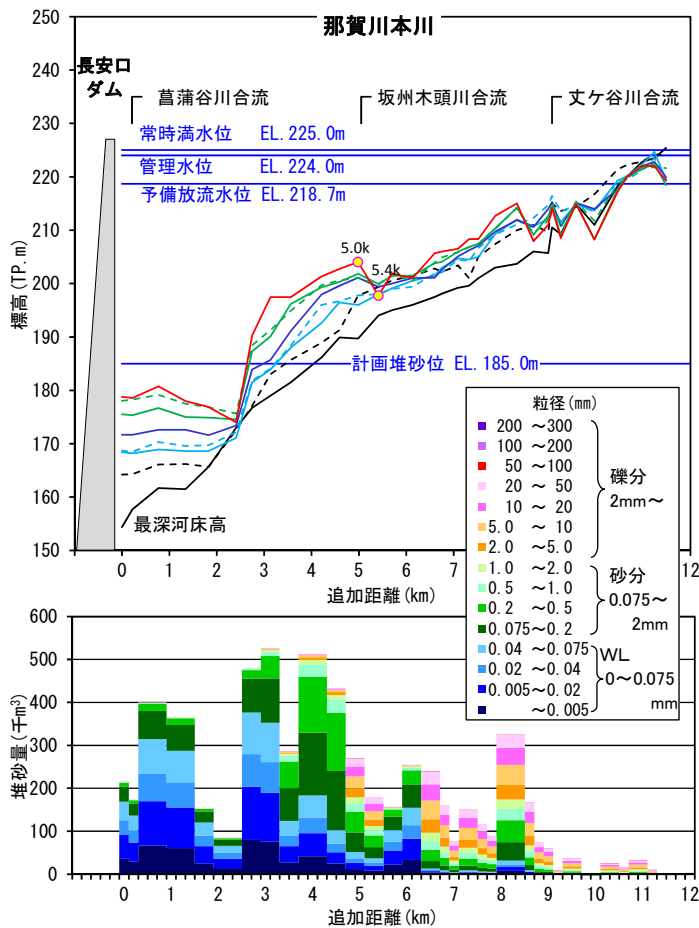
長安ロダムの各容量の粒径別堆砂量は、洪水調節容量内の堆砂 578 千 m³ が礫分 69%、砂分 27%、WL 分 4%、有効貯水容量内の堆砂 12,047 千 m³ が礫分 31%、砂分 43%、WL 分 26% で構成されており、いずれも礫分・砂分の粒径集団が多いことがわかる。

那賀川本川の坂州木頭川合流点より下流では、2.6km より上流において有効貯水容量内に経年的に堆砂が進行しており、WL 分と砂分が主体である。那賀川本川の坂州木頭川合流点より上流では、6.2 km～丈ヶ谷川合流点で昭和 42 年の小見野々ダム完成以前に大きく堆砂が生じて、完成以降も有効貯水容量内に徐々に堆砂が進行しており、礫分・砂分が支配的である。一方、丈ヶ谷川合流点より上流では、昭和 42 年の小見野々ダム完成以降、ほとんど堆砂が生じていない。ここで長安ロダムと同様の手法で求めた小見野々ダムの堆砂の粒径範囲別の縦断分布（図 2-7）を見ると、ダム地点の堆砂は最低水位以下に位置しているが分かる。このことから、小見野々ダムにおいては礫分・砂分の粒径集団は全て堆砂し、小見野々ダムからの流入土砂は WL 分のみと推定される。また小見野々ダム下流の残流域が丈ヶ谷川流域に比べて小さいことから、那賀川本川 6.2 km～丈ヶ谷川合流点の礫分・砂分の粒径集団は丈ヶ谷川由来の堆砂と小見野々ダム完成以前の那賀川本川由来の堆砂と考えられる。

次に坂州木頭川合流点付近に着目すると、那賀川本川では坂州木頭川合流点より下流で堆砂量が多い傾向が見られ、合流点上流の 5.4k よりも合流点付近の 5.0k の方が河床高が高く、逆勾配を有している。一方、坂州木頭川では那賀川本川の 5.0k～6.0k よりも堆砂量が多く、合流点上流の 5.4k よりも合流点付近の 5.0k の河床高が低い。また那賀川本川 5.0k 付近の粒度分布はその上下流よりも礫分が多く存在しており、礫分・砂分を中心とした坂州木頭川の堆積土砂の粒度分布に似ている。

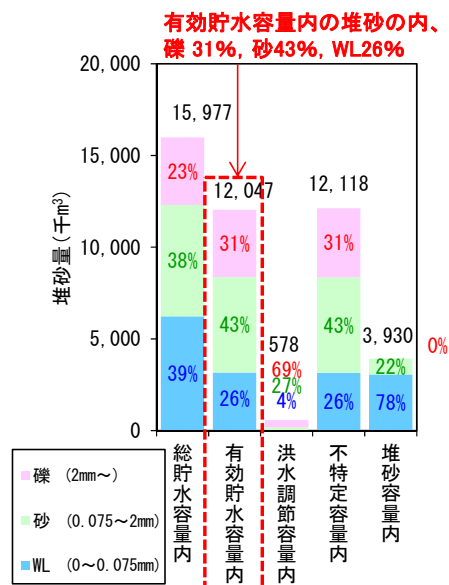
また坂州木頭川合流点を境に貯水池区間を 3 区分（那賀川本川下流、那賀川本川上流＋丈ヶ谷川、坂州木頭川）した粒径集団別・区間別堆砂量をみると（図 2-6）、那賀川本川上流＋丈ヶ谷川では礫分 643 千 m³、砂分 339 千 m³ 堆砂していることに対し、坂州木頭川では礫分 2,628 千 m³、砂分 1,427 千 m³ であり、それぞれ約 4 倍坂州木頭川の堆砂量が多いことがわかる。また那賀川本川下流の礫分 299 千 m³、砂分 2,567 千 m³ については、小見野々ダム完成以降の坂州木頭川合流点下流の堆積厚が大きいこと、丈ヶ谷川から坂州木頭川合流点までの水深が坂州木頭川よりも深く、距離も長いという土砂が到達しにくい水理条件を有していることから、多くが坂州木頭川から到達してきた土砂と考えられる。

以上のことから、丈ヶ谷川よりも坂州木頭川からの流入土砂量が多く、小見野々ダム完成以降における坂州木頭川合流点下流の礫分・砂分の粒径集団の供給源は主に坂州木頭川由来と推察される。



※長安ロダム改造事業後の容量及び容量範囲を明記

図 2-4 長安ロダム堆砂の粒径範囲別の縦断分布（平成 26 年度時点）と最深河床高の縦断分布の経年変化（昭和 30 年度～平成 26 年度）



※長安ロダム改造事業後の容量範囲

図 2-5 長安ロダムの粒径集団別・容量別堆砂量(平成 26 年度時点)

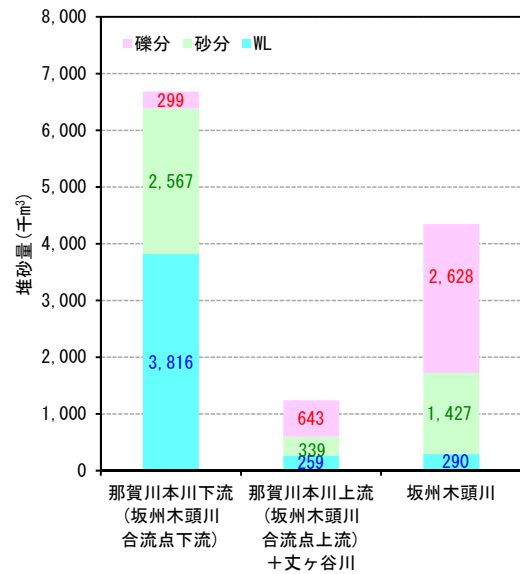


図 2-6 長安ロダムの粒径集団別・区間別堆砂量 (平成 26 年度時点)

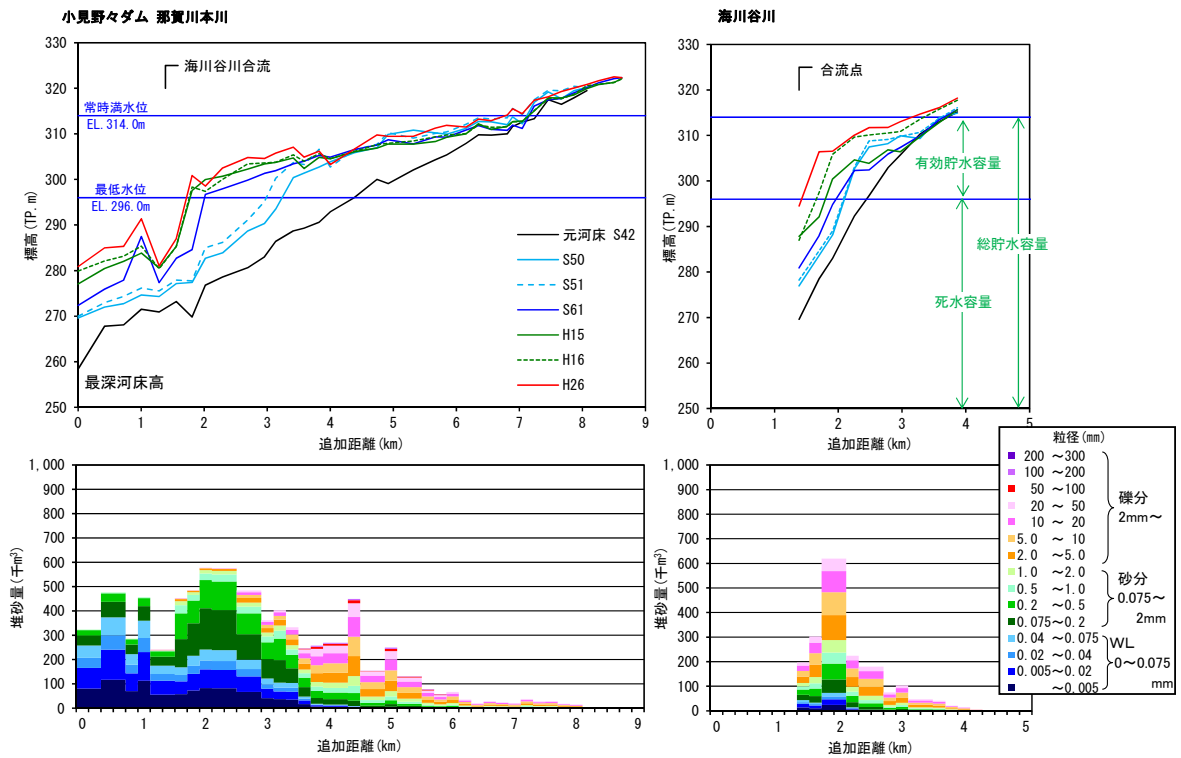


図 2-7 小見野々ダム堆砂の粒徑範圍別の縦断分布（平成 26 年度時点）と最深河床高の縦断分布の経年変化（昭和 42 年度～平成 26 年度）

2.3 長安口ダム貯水池への流入土砂の推定

(1) 長安口ダムの上流の流入土砂の特性

長安口ダム貯水池上流の流入土砂の推定のため、まず上流ダム（小見野々ダム、追立ダム）の堆砂状況を把握した。2.2 で示した同様の手法により算出した小見野々ダム、追立ダムの堆砂の粒径別の縦断分布図を図 2-7、図 2-8 に示す。2.2 で示したように、小見野々ダムから長安口ダムへの流入土砂は WL 分のみと推察される。また追立ダムからの流入土砂については、追立ダムが砂防ダムであり既に満砂していることや、ダム直上流部で礫分・砂分の堆積が多く見られることから、礫分・砂分の一部が捕捉され、WL 分のほぼ全量が通過している状況と考えられる。

土砂収支の推定は長安口ダム貯水池の流入河川として那賀川本川、坂州木頭川、丈ヶ谷川、菖蒲谷川を、小見野々ダム貯水池の流入河川として那賀川本川、海川谷川を対象とし、以上の考察や 2.2 で示した長安口ダムの堆砂傾向を踏まえ、各支川からの土砂流入の影響範囲を考慮して河道を図 2-9 のように区分した。長安口本川 2,3 区域は小見野々ダムからは WL 分しか流出せず当該区間の堆砂に寄与しないと考えられることから丈ヶ谷川の区域に、長安口本川 1 区域は丈ヶ谷川の影響区域の堆砂量が坂州木頭川筋と比較して小さく、坂州木頭川からの流入土砂量が卓越していると想定されたことから坂州木頭川の区域に区分した。なお、WL 分は後の一次元河床変動解析によって修正することを念頭に、全ての粒径集団について同様の区分を適用している。

次に支川に配分された年別・粒径範囲別堆砂量をもとに、流入量と流入土砂量の関係を表す Q-Qs 式を作成した。

<Q-Qs 式>

$$Q_{sj} = \alpha \cdot Q^\beta \quad (Q > Q_c)$$

Q_{sj} : 粒径範囲別の流入流砂量 (m^3/s)、 Q : 流入地点の流量 (m^3/s)、 Q_c : 足切流量 (m^3/s)

α , β : 流入土砂量を設定するパラメータ

Q-Qs 式の $\alpha \cdot \beta \cdot Q_c$ 値は、実績の堆砂量との誤差が最も小さくなる値を支川別・粒径範囲別に抽出した。2.1 で示した長安口ダムの堆砂量の推移において昭和 51 年、平成 16 年を境に傾向の変化が確認されたことから、昭和 43 年～昭和 50 年、昭和 51 年、昭和 52 年～平成 15 年、平成 16 年、平成 17 年～平成 26 年の 5 期間に分けて同定を行った。

また小見野々ダムから流出する WL 分及び追立ダムから流出する礫分・砂分・WL 分の土砂量を求めるために長安口ダム（貯水池上流河道及び追立ダム上流河道を含む）・小見野々ダムにおける一次元河床変動解析を行い、堆砂量の経年変化と堆砂形状が一致するように WL 分についてパラメータを修正した。最後に Q-Qs 式により算出された流入土砂と実績堆砂量の収支を基に土砂収支図を作成した。

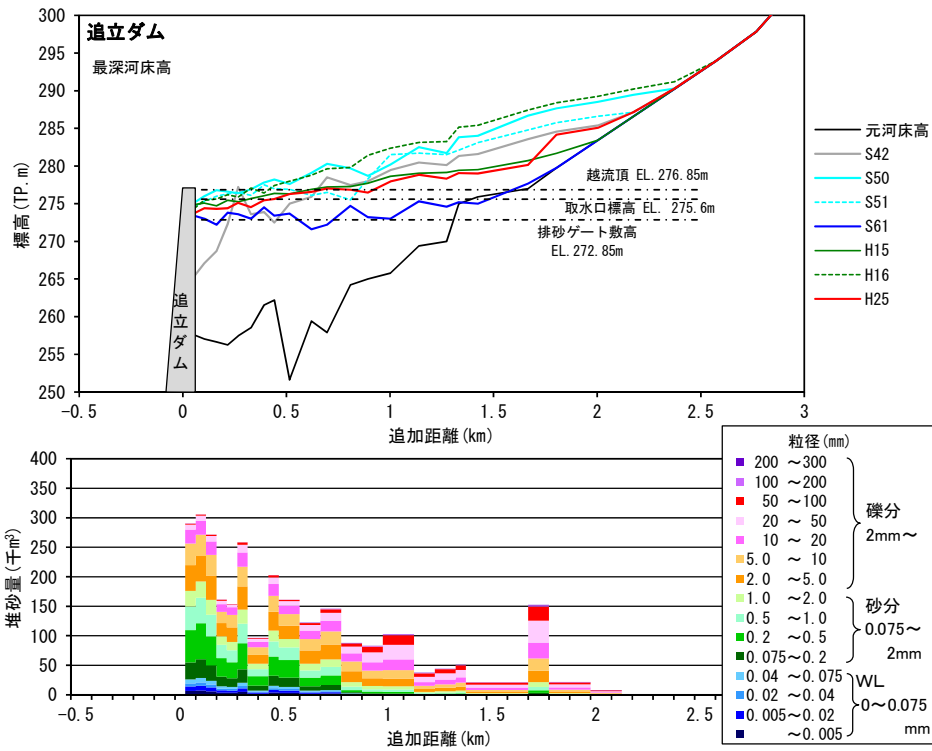


図 2-8 追立ダムの堆砂の粒径範囲別の縦断分布（平成 25 年度時点）と最深河床高の縦断分布の経年変化（昭和 30 年度～平成 25 年度）

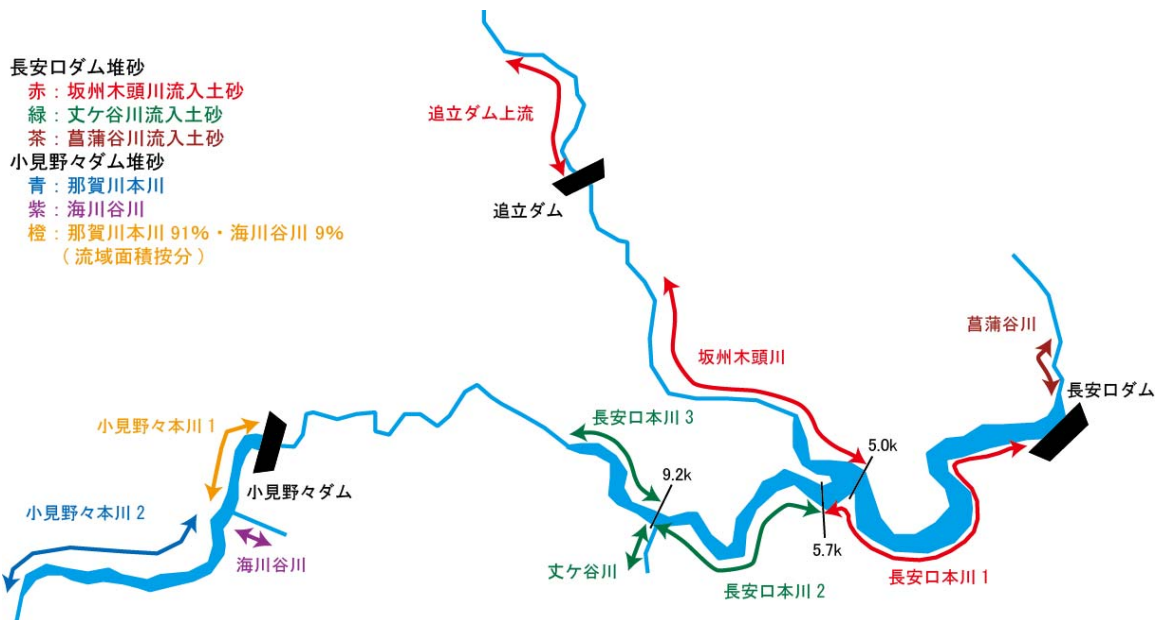


図 2-9 長安口ダム上流の河道区分

小見野々ダム完成から現在までの昭和43年～平成26年の47年間の土砂収支図を図2-10に、大規模災害が発生し長安口ダムで過去最大の堆砂量を観測した平成16年の土砂収支図を図2-11に示す。

昭和43年～平成26年の土砂収支図から、長安口ダム貯水池に流入する河川である坂州木頭川(追立ダム堆砂を除く)、丈ヶ谷川、菖蒲谷川、那賀川本川(小見野々ダム流出)の流入土砂量の合計は20,282千 m^3 (礫分:3,658千 m^3 、砂分:4,481千 m^3 、WL分:12,143千 m^3)であり、追立ダムの堆砂を除く坂州木頭川からの流入土砂量15,833千 m^3 (礫分:2,927千 m^3 、砂分:3,994千 m^3 、WL分:8,912千 m^3)が78%を占めていることがわかる。また礫分・砂分についてみると、長安口ダムの礫分・砂分の流入土砂量は8,139千 m^3 であり、追立ダムの堆砂を除く坂州木頭川からの礫分・砂分の流入土砂量6,921千 m^3 が85%を占めている。小見野々ダムの上流では14,099千 m^3 の流入土砂量が発生しているが、小見野々ダムで礫分・砂分の全量(礫分:4,228千 m^3 、砂分:4,169千 m^3)とWL分の56%(3,177千 m^3)の11,574千 m^3 が捕捉され、小見野々ダムから長安口ダムへ流入する土砂量はWL分の2,525千 m^3 しかない。昭和43年～平成26年における坂州木頭川からの流入土砂17,353千 m^3 に対して、これまで追立ダムでは礫分を29.6%(1,229千 m^3)、砂分を6.4%(275千 m^3)、WL分を0.2%(16千 m^3)、合計1,520千 m^3 捕捉しているが、砂分・WL分の大半と礫分の70%が追立ダムを通過し長安口ダム貯水池に流入している現状にある。なお、長安口ダムでは流入した礫分・砂分の全量(礫分:3,658千 m^3 、砂分:4,481千 m^3)とWL分の36%(4,432千 m^3)が堆砂し、WL分の64%(7,711千 m^3)が流出している。

大規模土砂流出年(平成16年)の土砂収支は、大規模な土砂流出のあった坂州木頭川と海川谷川で流入土砂量が比較的多い。しかし、小見野々ダムにおいて礫分・砂分が全量捕捉され、WL分しか流下しないことから、長安口ダムの礫分・砂分の流入土砂量は坂州木頭川が主体と言える。

土砂収支の整理結果から、長安口ダムの粒径別の年平均流入土砂量についてまとめると(図2-12)、坂州木頭川が369千 m^3 /年(礫分88千 m^3 /年、砂分91千 m^3 /年、WL分190千 m^3 /年)、丈ヶ谷川が33千 m^3 /年(礫分14千 m^3 /年、砂分7千 m^3 /年、WL分12千 m^3 /年)、菖蒲谷川が8千 m^3 /年(礫分2千 m^3 /年、砂分3千 m^3 /年、WL分3千 m^3 /年)、小見野々ダムからの流入土砂量が54千 m^3 /年(全量WL分)であり、坂州木頭川の流入土砂量が非常に卓越しており、礫分・砂分に至っては87%(坂州木頭川:179千 m^3 /年、合計:205千 m^3 /年)が坂州木頭川由来であることが明らかとなった。

現状の小見野々ダム及び追立ダム上流の集水面積から各河川の比流入土砂量を算出すると、坂州木頭川で2,737 m^3 /年/ km^2 (流入土砂量17,353千 m^3 /47年間/集水面積134.9 km^2)、小見野々ダム上流の那賀川本川で1,124 m^3 /年/ km^2 (流入土砂量14,099千 m^3 /47年間/集水面積266.8 km^2)であり、坂州木頭川では那賀川本川の約2.4倍の土砂が生産されていることがわかる(表2-1参照)。

坂州木頭川で土砂生産が特に多い理由としては、表2-1に示す流域特性の違いにあると考えられる。降水量分布は両流域で大きな差は見られないが、地形について見ると、小見野々ダム上流域では中起伏山地が大部分を占めているのに対して、坂州木頭川流域は大起伏山地が流域の大部分を占めており地形が急峻である。また地質について見ると、小見野々ダム上流域は四国で比較的地すべり危険箇所の少ない四万十帯に属しているのに対し、坂州木頭川ではジュラ紀の付加体を含む秩父帯に位置し複雑かつ脆弱な地質構造を有している。このような流域特性の差が、坂州木頭川流域で土砂生産性が高く、特に流入土砂量が多い要因であると考えられる。

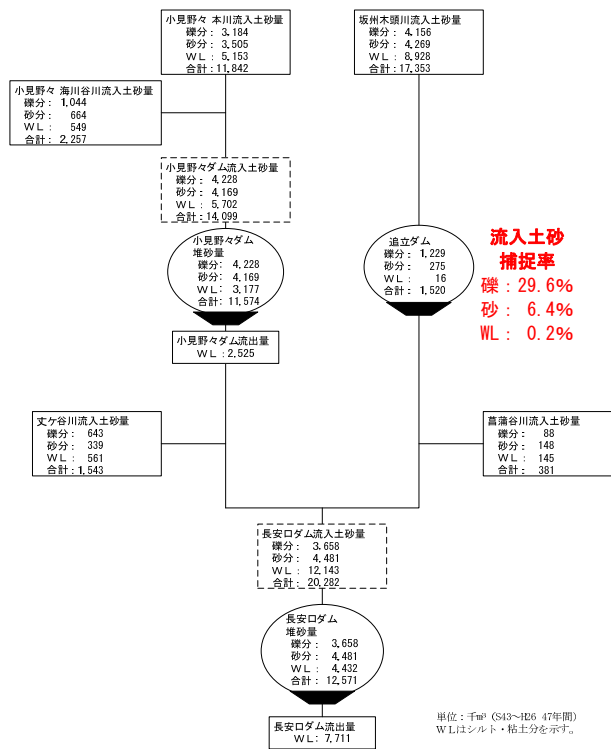


図 2-10 昭和 43 年～平成 26 年の
47 年間の土砂収支

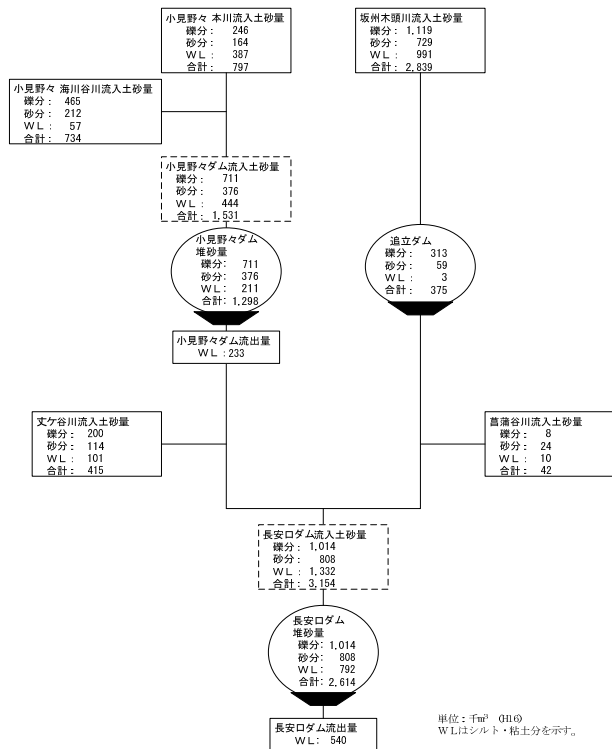


図 2-11 大規模土砂流出年（平成 16 年）の
土砂収支

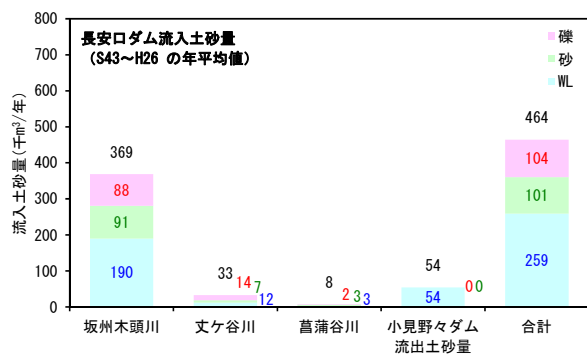


図 2-12 長安ロダムの年平均流入土砂量

表 2-1 小見野々ダム及び
追立ダムの上流域特性の比較

項目	小見野々ダム上流	追立ダム上流
河川	那賀川	坂州木頭川
集水面積	266.8km ²	134.9km ²
比流入土砂量 (S43~H26)	1,124m ³ /年/km ²	2,737m ³ /年/km ²
主な地形	中起伏山地	大起伏山地
主な地質	四万十帯	秩父帯 (ジュラ紀付加体)
主な降水量分布	3000mm/年以上	2600~3000mm/年

(2) 長安口ダム流入土砂量の年変動

長安口ダムでは大規模な土砂災害の発生した年に流入土砂が大きく増加する傾向がある。そこで、昭和43年～平成26年における単年度の長安口ダムの流入土砂量を算出し、粒径集団別の流入土砂量の年変動を確認した(図2-13)。なお、流入土砂量は、常時満水位 EL.225.0m以上の貯水容量外(追立ダムの堆砂も含む)における実績堆砂量に、一次元河床変動解析で推定したWL流出分と堆砂掘削量を加えて算出した。また平成19年や平成20年では先述の通り測量誤差等の影響が含まれて流入土砂量がマイナスとなっていることから、流入土砂量の最小値は0として扱い、流入土砂量の最大値を年変動の幅として議論することとする。

長安口ダムの流入土砂量の最大値及び変動幅は大規模土砂災害のあった平成16年の3,529千 m^3 であった。これは平均値464千 m^3 に対して約7.6倍の値である。次に、粒径集団別の変動に着目すると、変動幅は礫分で1,327千 m^3 、砂分で867千 m^3 、WL分で1,335千 m^3 であり、平均値に対して礫分では12.8倍(平均104千 m^3)、砂分では8.6倍(平均101千 m^3)、WL分では5.2倍(平均259千 m^3)の値であり、礫分・砂分で変動幅が大きいことがわかる。

長安口ダムの流入土砂量の発生頻度を確認すると(図2-13、図2-14)、昭和43年～平成26年の47年間で、約1,000千 m^3 以上が5回、約2,000千 m^3 以上が2回、約3,000千 m^3 以上が1回発生している。またWL分を除く礫分・砂分の合計の流入土砂量について確認すると、昭和43年～平成26年の47年間で、約500千 m^3 以上が4回、約1,000千 m^3 以上が2回、約2,000千 m^3 以上が1回発生している。

今後も同様に長安口ダム貯水池内の流入土砂量は年変動を有し、特に上流域で大規模な地すべりや崩壊が発生した年には礫分・砂分の流入土砂が急増すると考えられる。

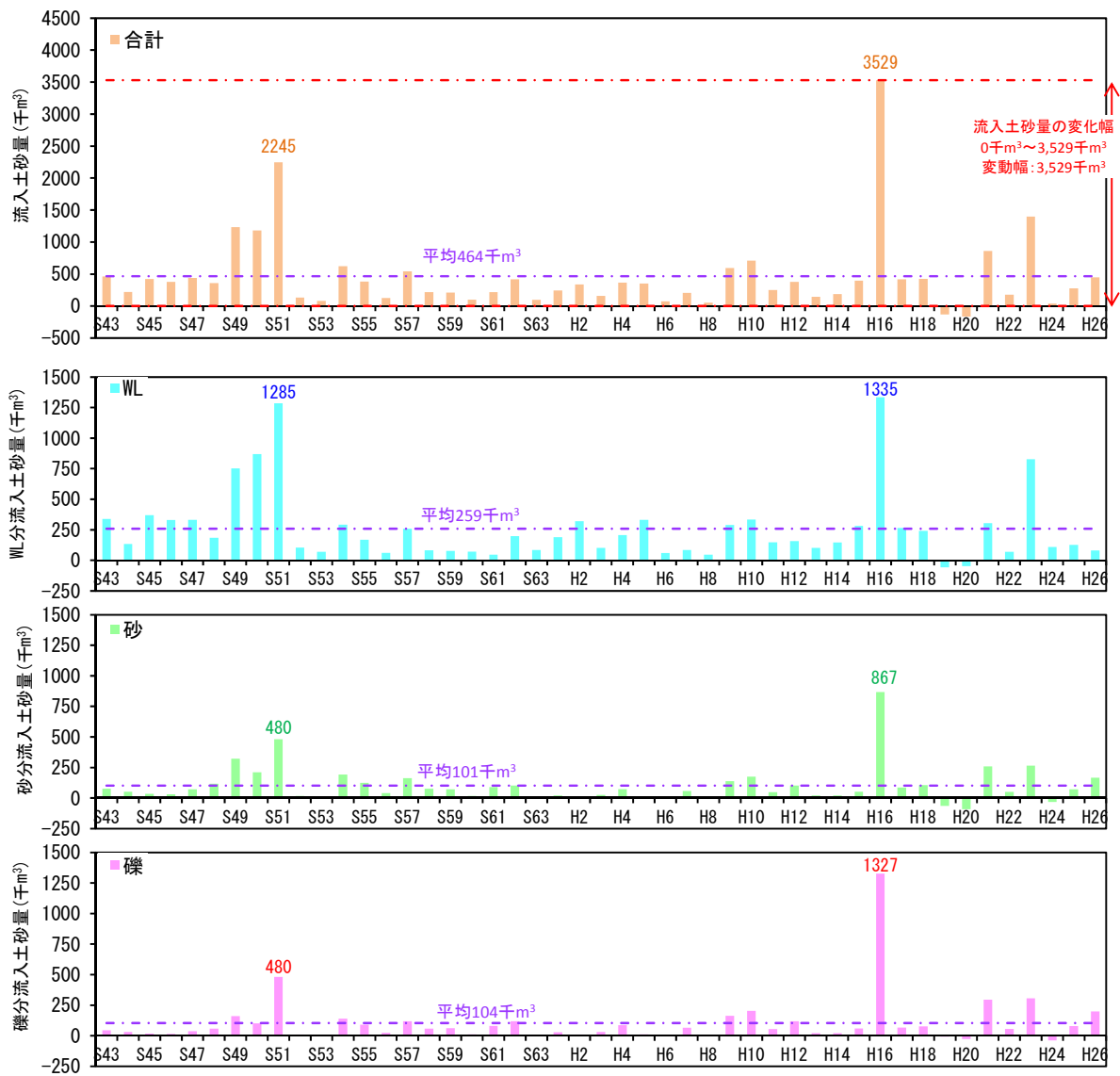


図 2-13 長安ロダムの粒径集団別の流入土砂量の変動幅 (昭和 43 年~平成 26 年)

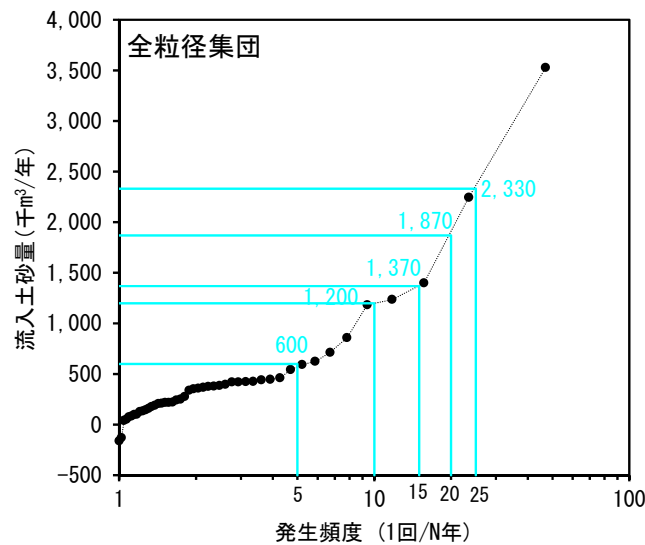


図 2-14 長安ロダムの流入土砂量の発生頻度

3 長安ロダム堆砂対策の検証

3.1 長安ロダム改造事業における堆砂対策の概要と実績

長安ロダムでは洪水調節及び流水の正常な機能の維持などのダムの機能強化を目的として、長安ロダム改造事業を平成 19 年度に着手した。当事業は洪水調節能力の増強、流水の正常な機能の維持と増進、堆砂対策、環境保全策を柱に、平成 30 年度の完成を目指している。

長安ロダム改造事業は、洪水調節能力の増強では、予備放流水位を引き下げて洪水調節容量を現行の 1,096 万 m^3 から 1,200 万 m^3 に増強、正常な機能の維持と増進では、底水容量の廃止及び発電の不特定化により、不特定補給機能の増強を図る計画とし、貯水池容量を再編する(図 3-1)。

長安ロダム改造事業の堆砂対策(図 3-2)では、河川整備計画の整備期間を念頭に 30 年後の長安ロダム有効貯水容量を 36,800 千 m^3 確保することを目的としている。初期掘削により上流から流下してくる土砂の捕捉機能を確保し、流入する礫分・砂分を陸上掘削により捕捉・除去する方法である。掘削土砂は、土砂移動の連続性を回復して河川環境の復元に資するべく、主に下流河道へ置土による土砂還元を利用している。

堆砂除去範囲(図 3-3)は坂州木頭川の追立ダム箇所(11.7k~14.0k)と十二社箇所(6.4k~9.0k)、那賀川本川の平谷箇所(8.7k~9.2k)の 3 箇所である。各箇所でバックホウによる陸上掘削で堆砂を除去している。

堆砂除去箇所から土砂還元地点までの土砂運搬は、ダンプトラックにより実施されている。坂州木頭川筋の国道 193 号や那賀川に平行して走る国道 195 号を通り、下流の土砂還元箇所に運搬される。各国道は片側 1 車線でダンプの通行に十分な幅を有しているが、幹線道路沿いに集落が存在していることから、ダンプ運搬は 8:00~17:00 に制限されている。また、下流河道へ置土しない土砂については土地造成等への有効活用を図っている。

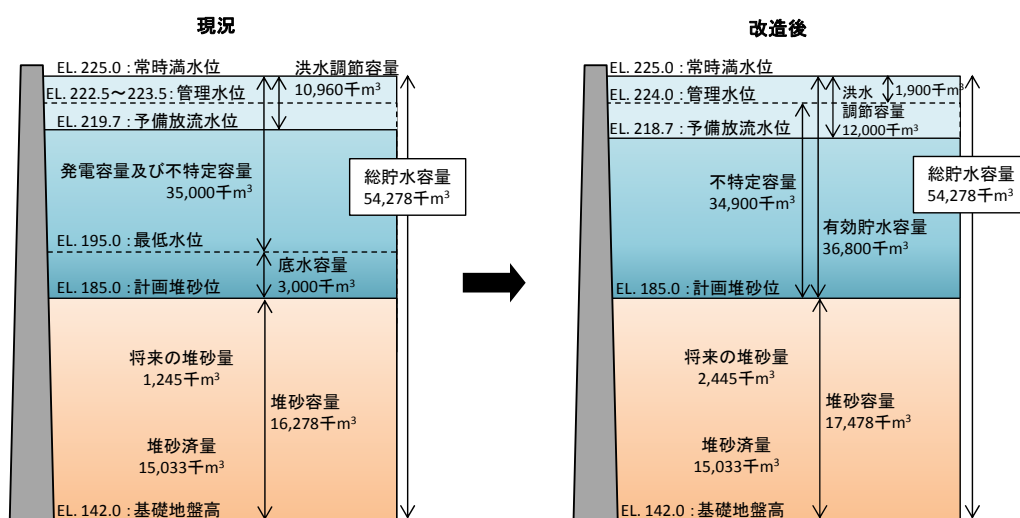


図 3-1 長安ロダム改造前後の容量配分図

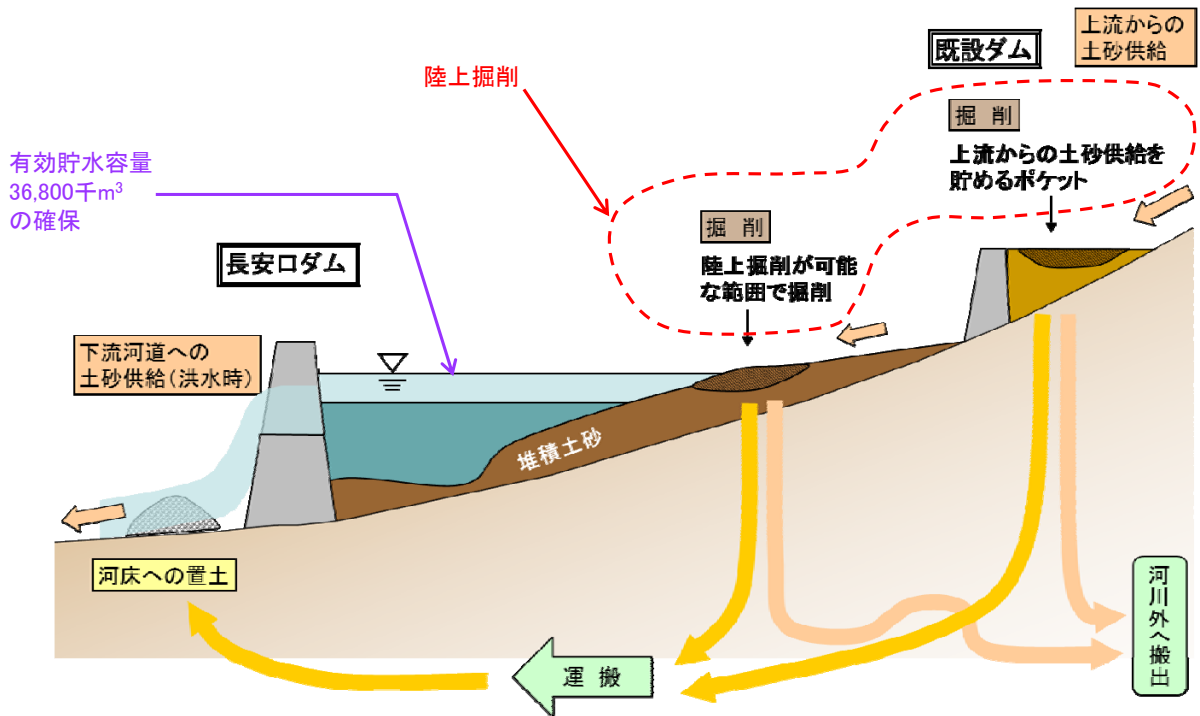


図 3-2 長安ロダム改造事業の堆砂対策の概要



図 3-3 長安ロダム改造事業における堆砂対策の位置図

3.2 貯水池機能保全に対する効果・検証

平成 26 年度時点の長安口ダムの容量別堆砂量を表 3-1 に、長安口ダム改造事業後の容量配分図を図 3-4 に示す。また平成 18 年度～平成 26 年度の長安口ダム貯水池の堆砂除去量と堆砂量及び各容量別の推移を図 3-5 に示し、長安口ダム改造事業による貯水池機能保全に対する効果を検証した。

長安口ダム改造事業では当面の予防保全として堆砂除去を実施しており、平成 19 年度～平成 26 年度の 8 年間に坂州木頭川筋の十二社箇所で 975 千 m³、追立ダム箇所では 269 千 m³、那賀川本川筋の平谷箇所では 29 千 m³、合計で 1,274 千 m³ を掘削除去している。経年的な堆砂除去量を見ると、十二社箇所では平成 21 年以降は毎年 120～180 千 m³/年の土砂が搬出されており、全体では概ね 120～300 千 m³/年の土砂が掘削除去されている状況である。

平成 18 年度から平成 26 年度の総貯水容量内の堆砂量の推移は、長安口ダム改造事業後(河川整備計画)の堆砂容量 15,033 千 m³ に近い値で概ね横ばいである。平成 18 年度から平成 26 年度の長安口ダムの各容量は、洪水調節容量では 12,107 千 m³ から 12,434 千 m³ にやや増加、不特定容量では 35,717 千 m³ から 34,774 千 m³ にやや減少、有効貯水容量では 37,445 千 m³ から 36,937 千 m³ にやや減少したものの、各容量とも改造事業後の容量(洪水調節容量：12,000 千 m³、不特定容量：34,900 千 m³、有効貯水容量：36,800 千 m³) を概ね横ばい状態で維持している状況である。

平成 26 年度の堆砂量は 15,977 千 m³ であり、改造事業後の堆砂容量 15,033 千 m³ をすでに 944 千 m³ 超過し、改造事業後の堆砂容量 17,478 千 m³ に対して 1,501 千 m³ の残容量となっている。

これまでは長安口ダム改造事業後(平成 19 年以降)に大規模な土砂流入がなかったことに加え、長安口ダム貯水池上流の追立ダム箇所(坂州木頭川)の掘削による流入土砂の抑制効果や、貯水池内の掘削除去による一定の効果が得られたため、有効貯水容量内の堆砂をかるうじて抑制している状態であり、余裕量はほとんどないといえる。今後大規模な土砂流入が発生した場合には、現在の対策では堆砂除去が間に合わず、貯水容量の維持が困難になる。

表 3-1 長安口ダムの容量別堆砂量(平成 26 年度時点)

	標高(EL. m)	元河床時の容量	平成26年度時点	
			堆砂量	残容量
①	224.0 ~ 225.0	2,092	-71	2,163
②	218.7 ~ 224.0	10,920	649	10,271
③	185.0 ~ 218.7	35,972	11,469	24,503
④	146.0 ~ 185.0	5,294	3,930	1,364
①+②+③+④ 総貯水容量		54,278	15,977	38,301
①+②+③ 有効貯水容量*		48,984	12,047	36,937
①+② 洪水調節容量*		13,012	578	12,434
②+③ 不特定容量*		46,892	12,118	34,774
④最低水位(EL. 185m以下の容量)*		5,294	3,930	1,364

※長安口ダム改造事業後の容量範囲について算出した値

※単位：千 m³

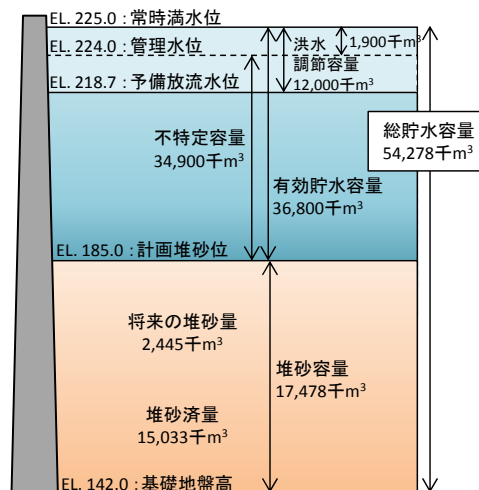
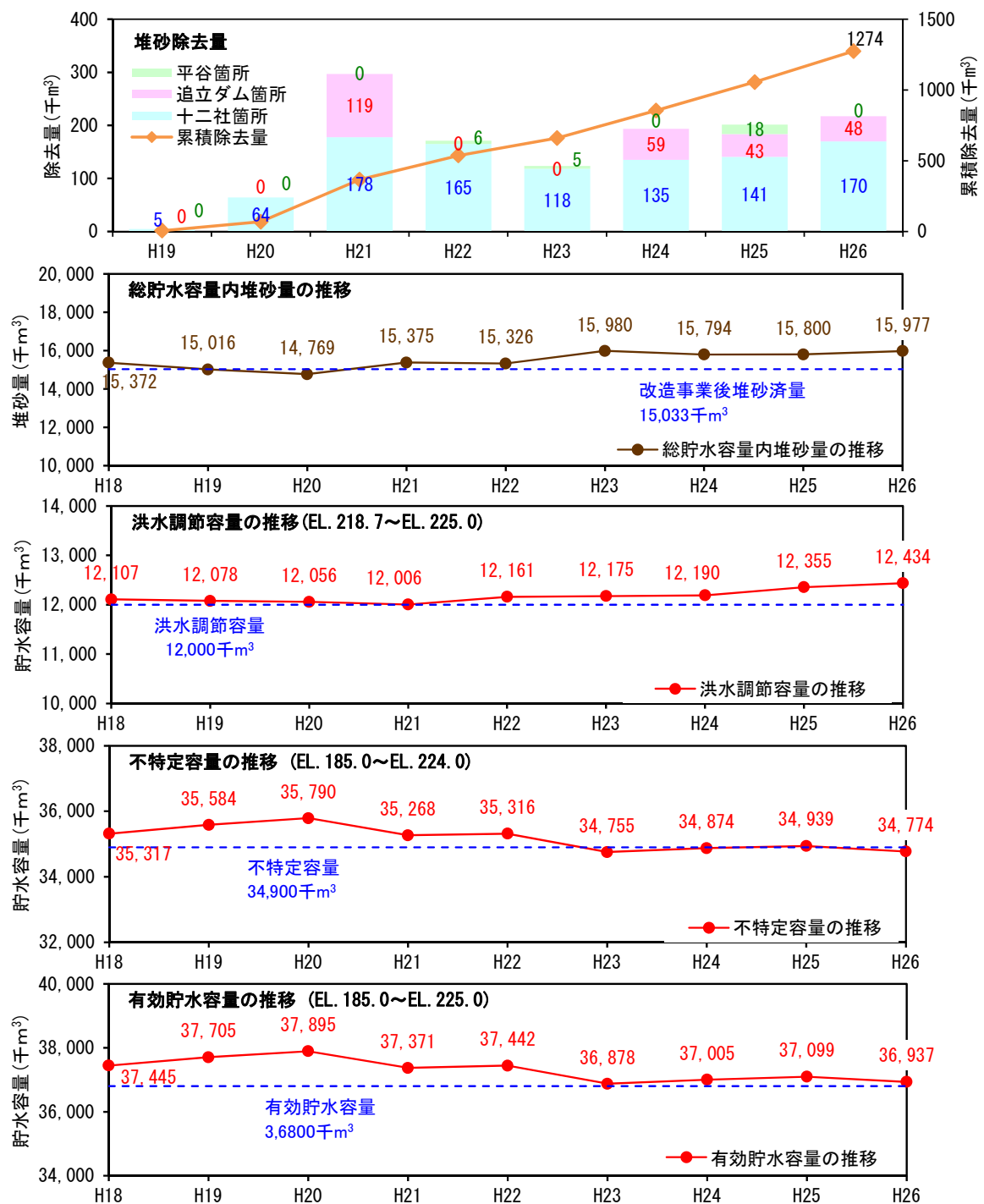


図 3-4 長安口ダム改造事業後の容量配分図(再掲)



※各容量は長安口ダム改造事業後の容量を明記。

図 3-5 長安口ダム貯水池の堆砂除去量と堆砂量及び各容量の推移
(平成 18 年度～平成 26 年度)

3.3 現状の堆砂除去の課題

平成 18 年度～平成 26 年度の最深河床高の縦断分布の経年変化をみると（図 3-6）、坂州木頭川の 6.5km より上流の最深河床高が洪水調節容量に相当する標高より高い範囲において、経年的に河床高が低くなっている様子が確認できる。これは、長安ロダム改造事業の十二社箇所(6.4k～9.0k)における 975 千 m^3 （平成 19 年～平成 26 年）の堆砂掘削除去により、当該範囲の河床高が低下した効果と考えられる。

ここで、各断面における平成 18 年度～平成 26 年度の最深河床高の最高標高を上限とした予備放流水位 EL.218.7m 以上の容量を平均断面法により推定し、これを予備放流水位以上に今後堆砂し得る土砂量と仮定すると、当該容量は平成 26 年の最深河床高に対して約 700 千 m^3 となった（図 3-6 で示す範囲）。当該容量には礫分・砂分が主に堆積すると考えられ、2.3（2）で示した昭和 43 年～平成 26 年の 47 年間に 2 回生じた礫分・砂分の流入土砂量である約 1,000 千 m^3 と比較すると小さく、平成 26 年時点で確保している洪水調節容量 12,000 千 m^3 （現容量 12,434 千 m^3 ）が大規模土砂流入時に大きく減少する可能性がある。またその際には当該範囲でも捕捉しきれず、さらに下流の有効貯水容量内に堆砂が進行することが懸念される。

流入した土砂は貯水池機能の保全のために除去していく必要があるが、現状の堆砂対策は陸上掘削であることから、長安ロダム貯水池内においては那賀川本川の平谷箇所と、坂州木頭川の十二社箇所の 2 箇所に対策範囲が限られている。2.3 で示した図 2-8 の追立ダムの堆砂縦断形状の経年変化を見ると、坂州木頭川上流にある追立ダムにおいて堆砂掘削が行われており掘削による河床の低下が確認できるが、すでに越流頂 EL. 276.85m 付近まで堆砂が進行しており、洪水時には土砂が流下している状況にあると考えられる。現状の対策では追立ダムによる土砂捕捉及び上流の斜め堆砂による土砂調節機能の効果は限定的と考えられる。

また現状の堆砂対策の土砂の運搬方法がダンプ運搬であり、地域住民や環境への配慮から運搬量には限界があることから、現状では堆砂除去量が長安ロダム・追立ダムで 120～300 千 m^3 /年に限定されている。このことから、大規模土砂流入時には、現状以上の堆砂除去を行うことは非常に困難であり、対応には限界がある。

こうした現状から、長安ロダムでは貯水池機能の恒久的な保全のため、堆砂対策量を増加させ継続的に堆砂除去を実施する抜本的な堆砂対策が必要と考えられる。今後堆砂対策を検討する上では、大規模な土砂流入が生じた場合に対応できるように、堆砂除去量を増強すること、堆砂が進行してもダム機能が維持できる堆砂容量を確保すること、また各容量内への堆砂によりダム機能に支障が生じないようにマージン容量を確保するなど、貯水池機能の維持管理において柔軟な対応が必要である。

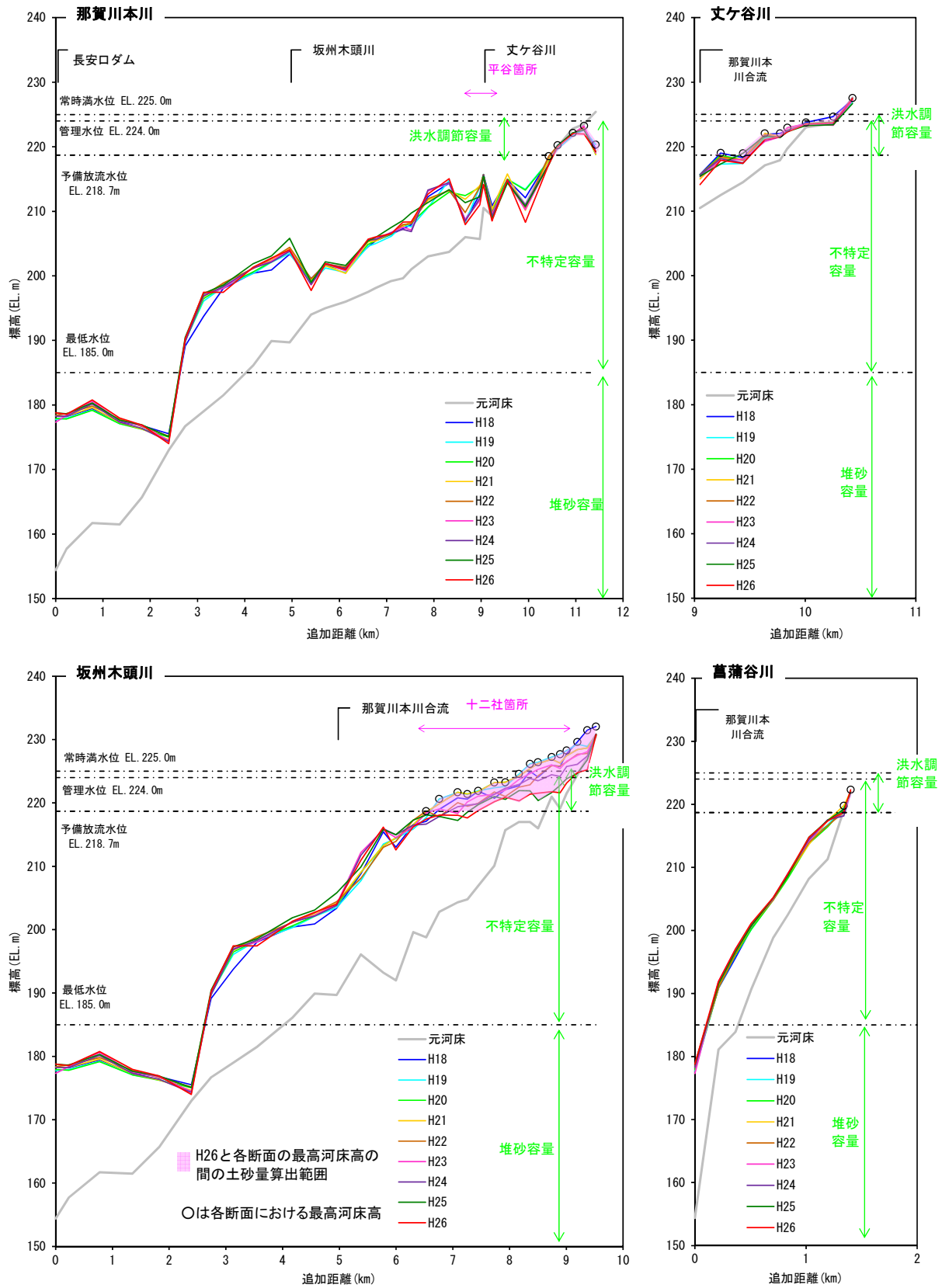


図 3-6 長安ロダム改造事業着手後の最深河床高の縦断分布の経年変化
(平成 18 年度～平成 26 年度、最深河床高)

4 長安ロダムの恒久的堆砂対策の検討

4.1 長安ロダムの恒久的堆砂対策の条件

これまでの整理を基に、長安ロダムにおける恒久的堆砂対策の条件についてまとめると、以下の①～④が挙げられる。

- ①長安ロダムの洪水調節容量には礫分69%・砂分27%・WL分4%が、有効貯水容量には礫分31%、砂分43%、WL分26%が堆砂しており、礫分・砂分の粒径集団が堆砂対策の主な対象となる。
- ② 長安ロダムでは坂州木頭川からの礫分・砂分の流入土砂が卓越しており、全流入土砂量の87%に上る。そのため、主に坂州木頭川から貯水池内に流入する礫分・砂分を抑制する対策が必要である。
- ③ 長安ロダムの有効貯水容量への土砂の堆積範囲から、堆砂対策が必要な範囲は那賀川本川2.6km地点より上流、丈ヶ谷川および坂州木頭川の河道が対象となる。
- ④長安ロダムの礫分・砂分の流入土砂量は上流の大規模な崩壊の発生に伴って突出する年があり、昭和43年～平成26年の47年間で約500千 m^3 以上が4回、約1,000千 m^3 以上が2回、約2,000千 m^3 以上が1回発生し、その変動幅が大きい。そのため、恒久的堆砂対策時にはこの変動幅に柔軟に対応できる対策が必要となる。

今後、得られた堆砂対策の条件を基に、長安ロダムの恒久的な堆砂対策を検討し、また併せて対策実施による下流河道への影響について検討する予定である。