

4. 堆 砂

4.1 堆砂測量実施状況

鳴鹿大堰では貯水池容量の適正な運用を目的として、貯水池容量の実態把握のため堆砂状況調査を行っている。

堆砂測量は鳴鹿大堰調査測定要領（平成 18 年 4 月）に基づき、以下に示す調査方法により実施している。

- ① 調査方法は「ダム管理例規集平成 15 年版」の「ダムの堆砂状況調査要領（案）」を参考として行うものとする。
- ② 調査範囲は大堰地点から距離標 31.2k とする。ただし堆砂状況等により変更することがある。
- ③ 横断測量間隔は 200m を基本とする。
- ④ 調査時期は 2 年に 1 回を基本とする。

【出典：鳴鹿大堰調査測定要領 平成 18 年 4 月】

平成 11 年の鳴鹿大堰暫定運用開始以降、湛水域内の堆砂測量は平成 16 年から平成 24 年まで隔年で合計 5 回実施されている。測量位置は図 4.1-1 に示すとおりである。

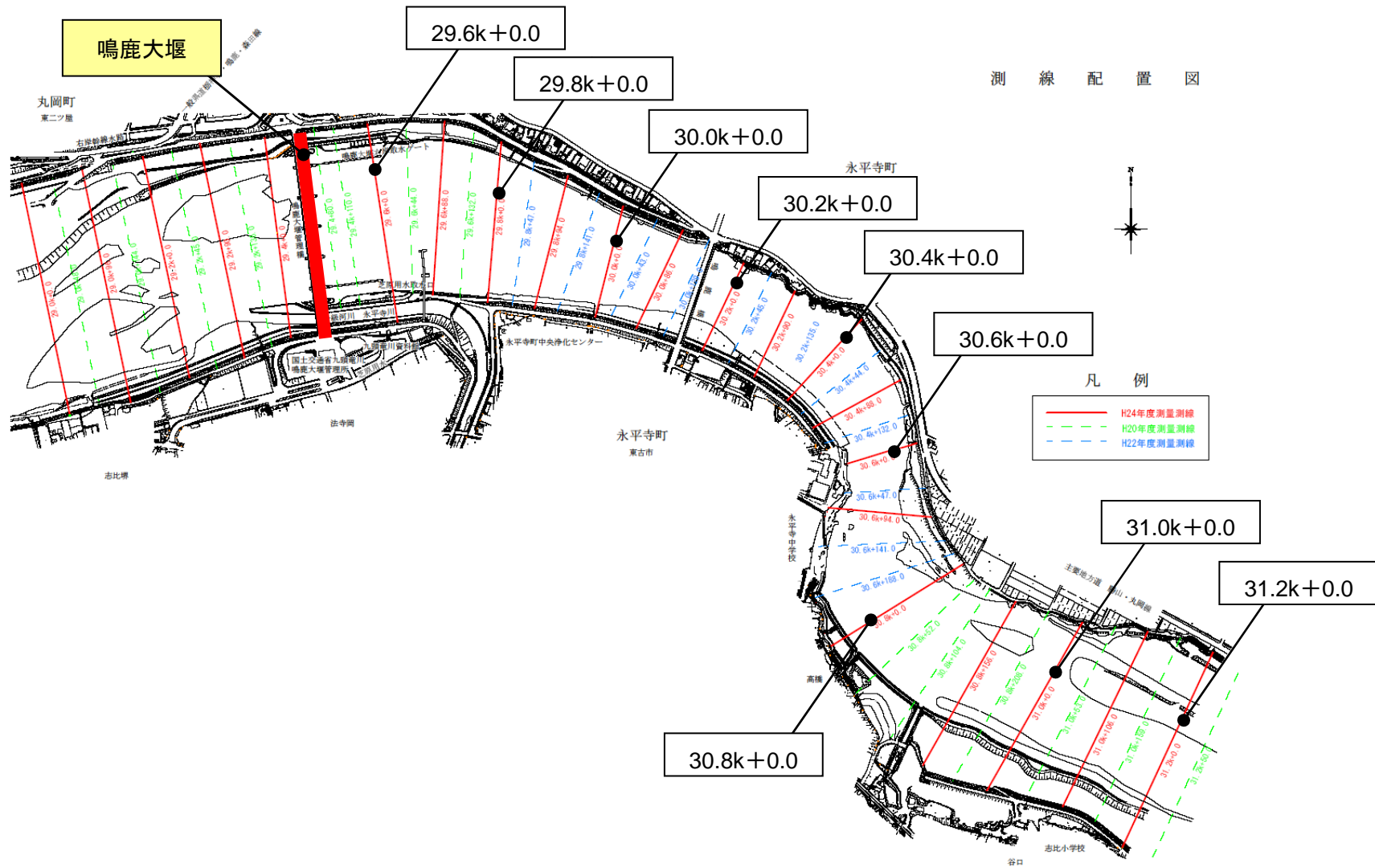


図 4.1-1 鳴鹿大堰測量位置(測線図)

【出典：鳴鹿大堰縦横断測量業務報告書 平成 25 年 1 月】

4.2 堆砂実績の整理

4.2.1 堆砂量の整理

平成 11 年の鳴鹿大堰暫定運用開始以後、湛水域内の堆砂測量は平成 16 年、平成 18 年、平成 20 年、平成 22 年、平成 24 年の 5 回実施されている。総貯水容量 66.7 万 m^3 に対し、年間総流入量の平均は約 39 億 m^3 /年（平成 16～24 年平均）であり、回転率（年総流入量/総貯水容量）が約 5.9 千回/年、1 日あたり平均 16 回と非常に高いため、滞留による堆砂の問題は生じにくい環境にある。

表 4.2-1 に平成 24 年の測量結果から算出された貯水容量と堆砂量を示した。これより、平成 24 年度の鳴鹿大堰湛水域の堆砂量は 48,574.01 m^3 と算出され、平成 22 年度と比較して 2,324.44 m^3 増加している。

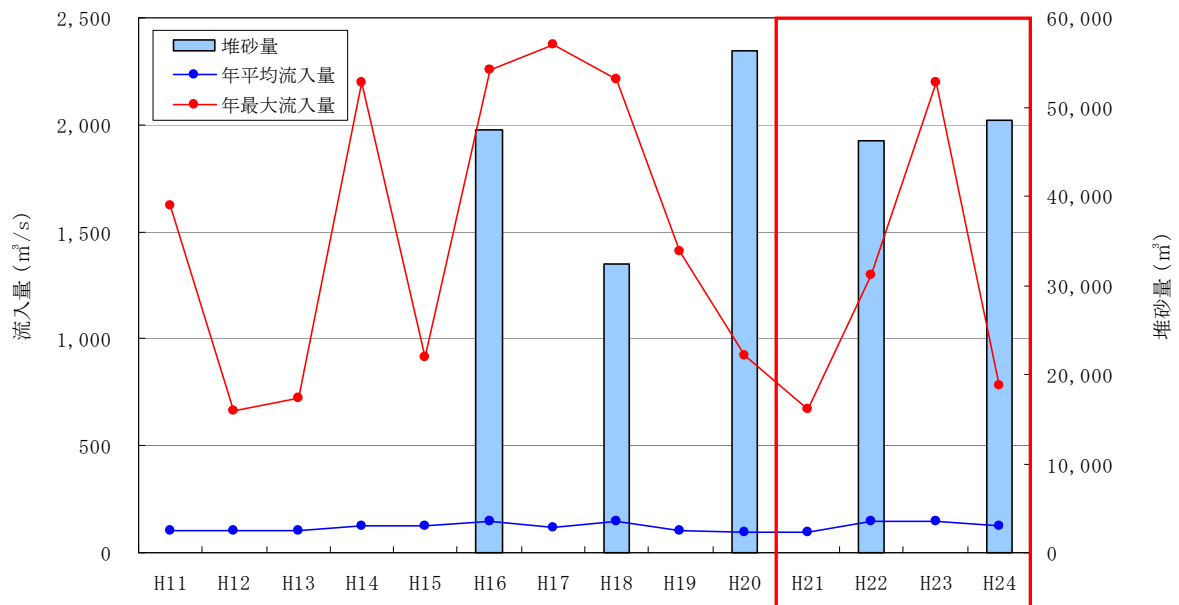
図 4.2-1 に平成 11 年以降の年平均流入量および年最大流入量と堆砂量を示した。年最大流入量は平成 16 年～18 年は 2000 m^3/s を越える出水が続いていたが、平成 19 年～20 年は大規模な出水は発生しておらず、下段扉の操作回数も少なかったことから、堆積が進み、平成 20 年の堆砂量は増加したと考えられる。平成 22 年～平成 23 年にはやや大きな出水があったため、平成 22 年、平成 24 年の堆砂量は平成 20 年に比べて減少したと考えられる。

鳴鹿大堰湛水域においては、大規模な出水が発生すれば、湛水域内の土砂は下流に排出されるが、出水が少ないと、土砂の堆積が進行すると考えられる。

図 4.2-2 に平成 16 年から平成 24 年の断面を比較した。堰直上流（29.6k+0.0）では堆砂が進み、それより上流の湾曲部（30.4k+0.0）までは若干の侵食傾向を示し、湾曲部より上流では河床の変化は少ない。

表 4.2-1 鳴鹿大堰の貯水容量および堆砂量

| 容量 | 利水容量(m ³) | 貯水容量(m ³) | 総貯水容量(m ³) | 堆砂量(m ³) |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| 計画 | 132,000.00 | 535,000.00 | 667,000.00 | — |
| H16 測量結果による計算値 | 133,412.81 | 486,219.76 | 619,632.57 | 47,367.43 |
| H18 測量結果による計算値 | 133,019.80 | 501,592.64 | 634,612.43 | 32,387.57 |
| H20 測量結果による計算値 | 131,444.86 | 479,252.04 | 610,696.91 | 56,303.09 |
| H22 測量結果による計算値 | 131,035.57 | 489,714.86 | 620,750.43 | 46,249.57 |
| H24 測量結果による計算値 | 131,829.34 | 486,596.65 | 618,425.99 | 48,574.01 |
| H24 と H22 の堆砂量の比較 | | | | 2,324.44 |



注) 平成11年の年平均流入量および日平均流入量の最大値は3/1~12/31の期間の値
堆砂量の算出は測量結果から得られた総貯水量と公称との比較で行った

図 4.2-1 鳴鹿大堰流入量と堆砂量との比較

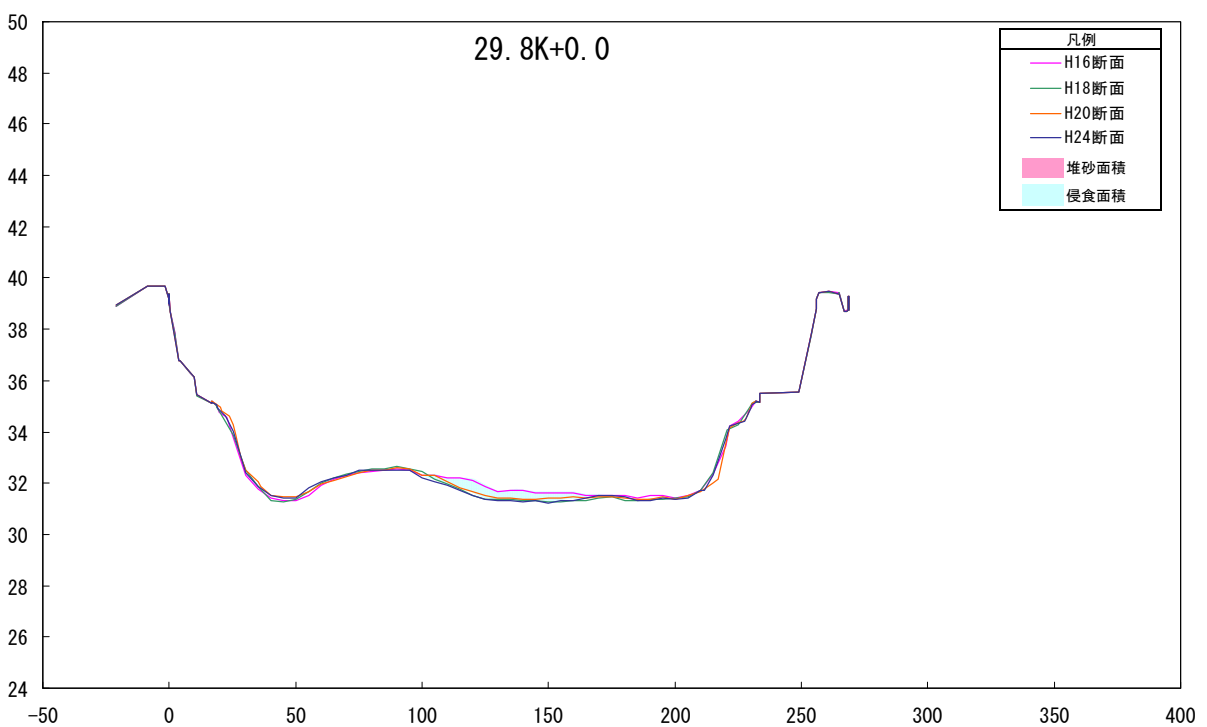
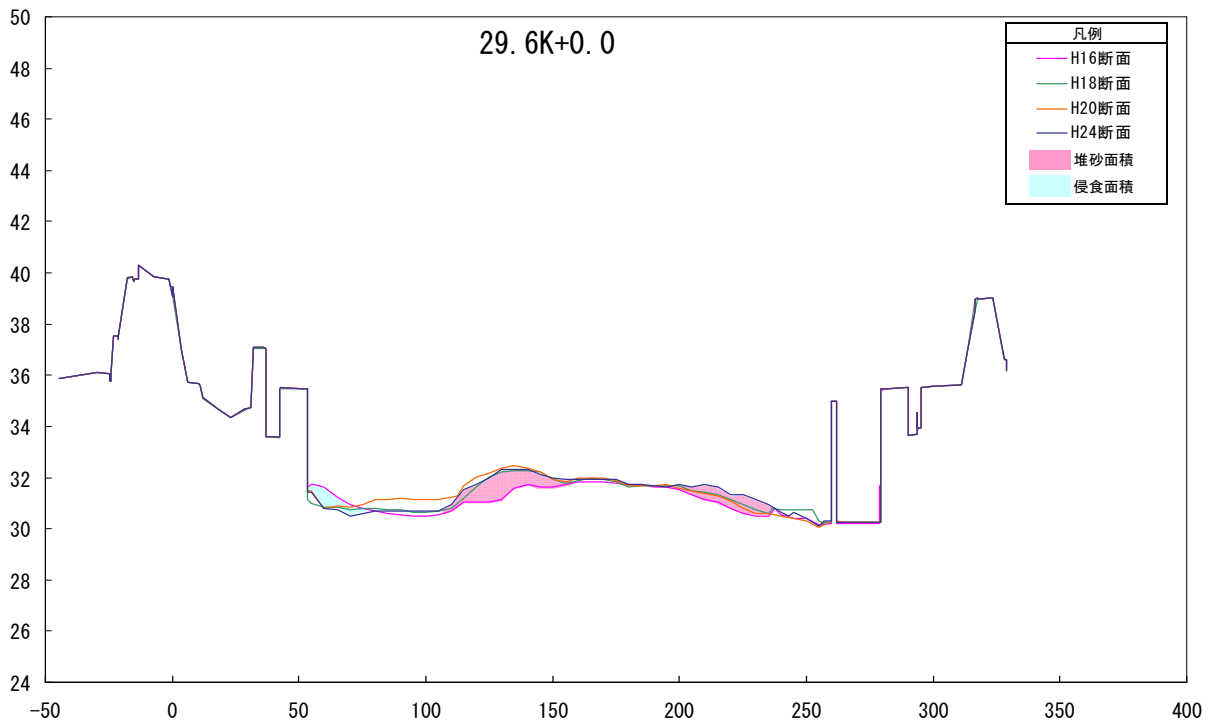


図 4.2-2 (1) 平成16年、18年、20年および24年の断面比較図

4. 堆砂

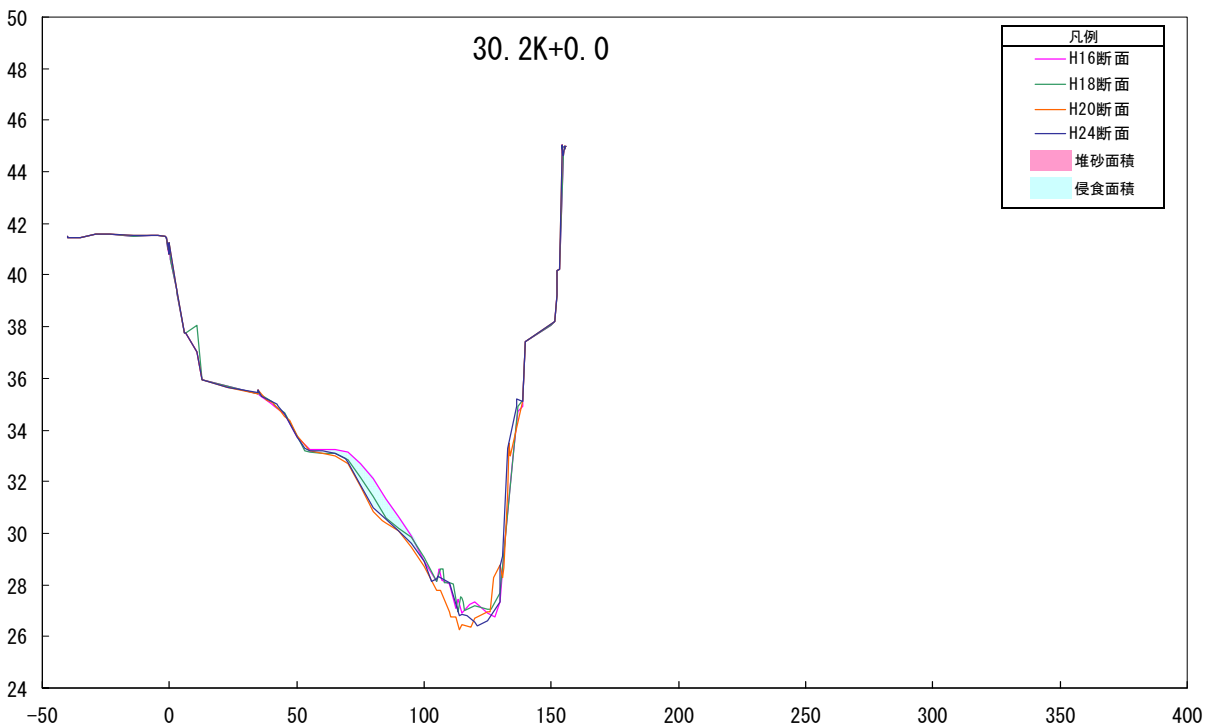
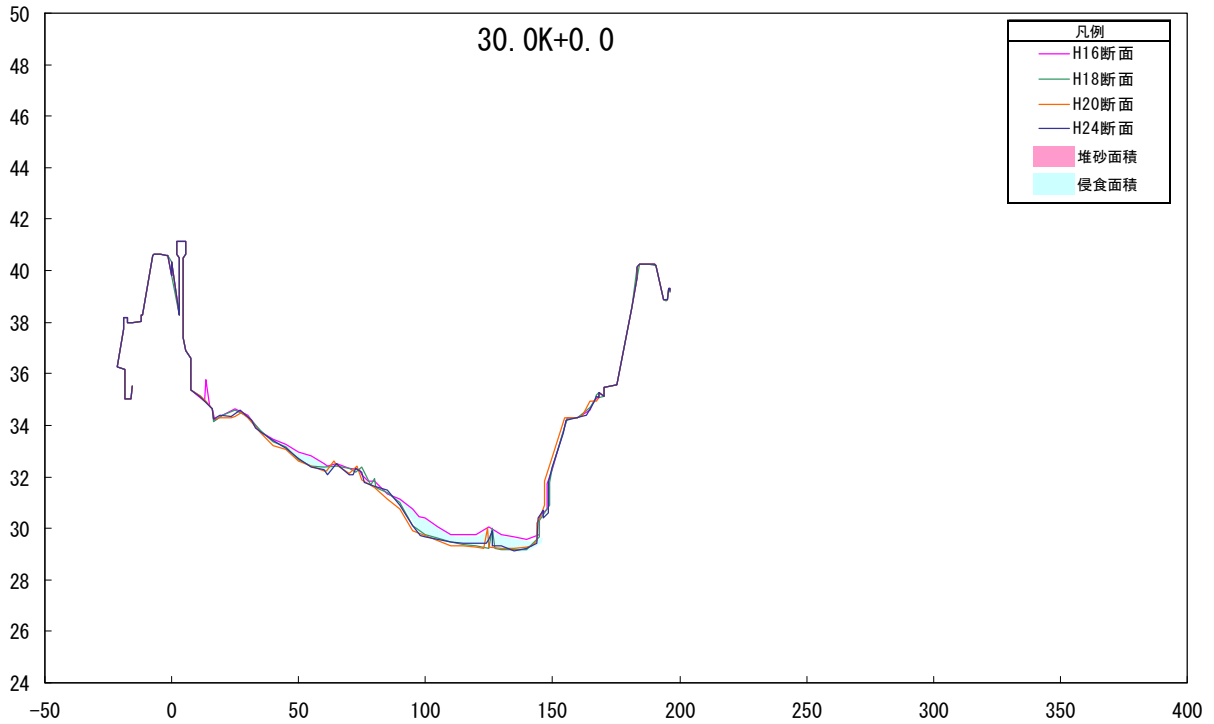


図 4.2-2 (2) 平成16年、18年、20年および24年の断面比較図

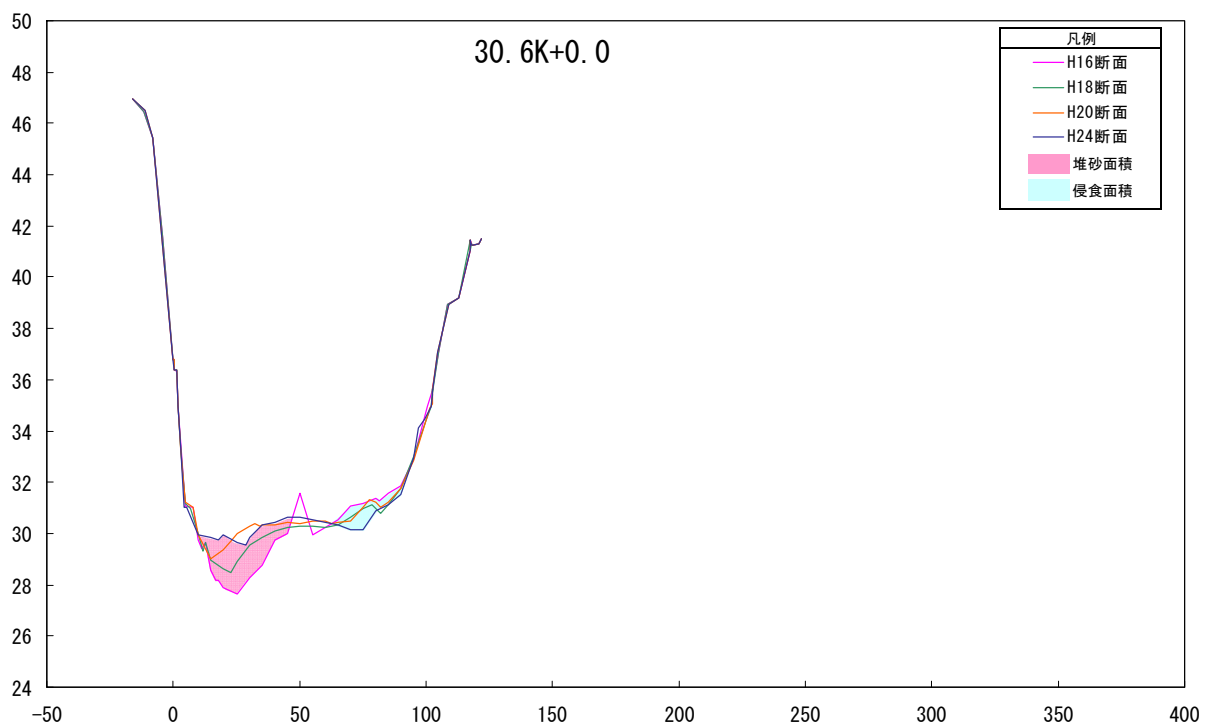
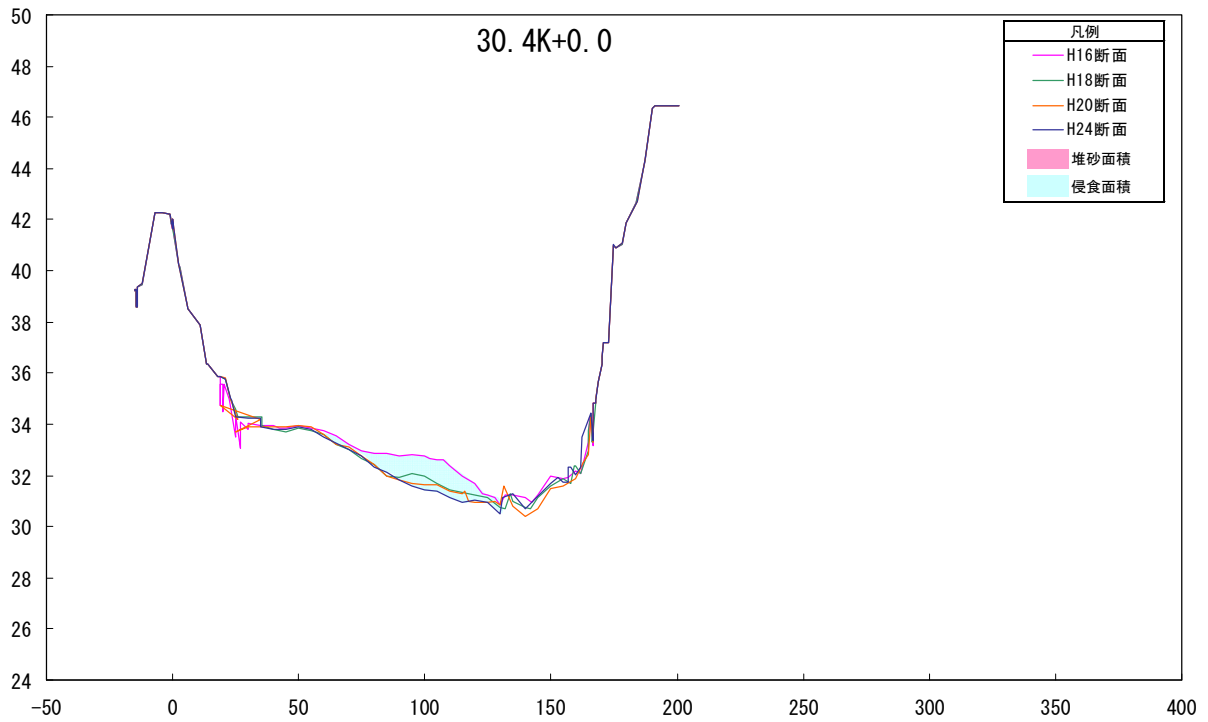


図 4.2-2 (3) 平成16年、18年、20年および24年の断面比較図

4. 堆砂

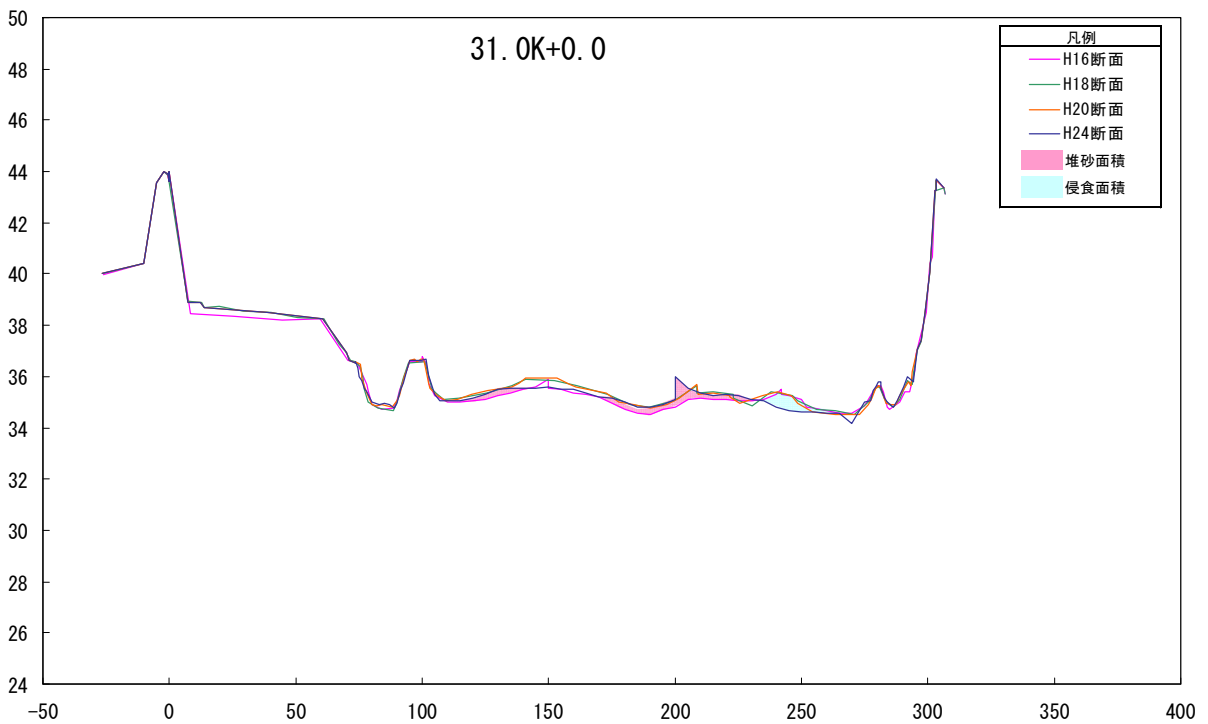
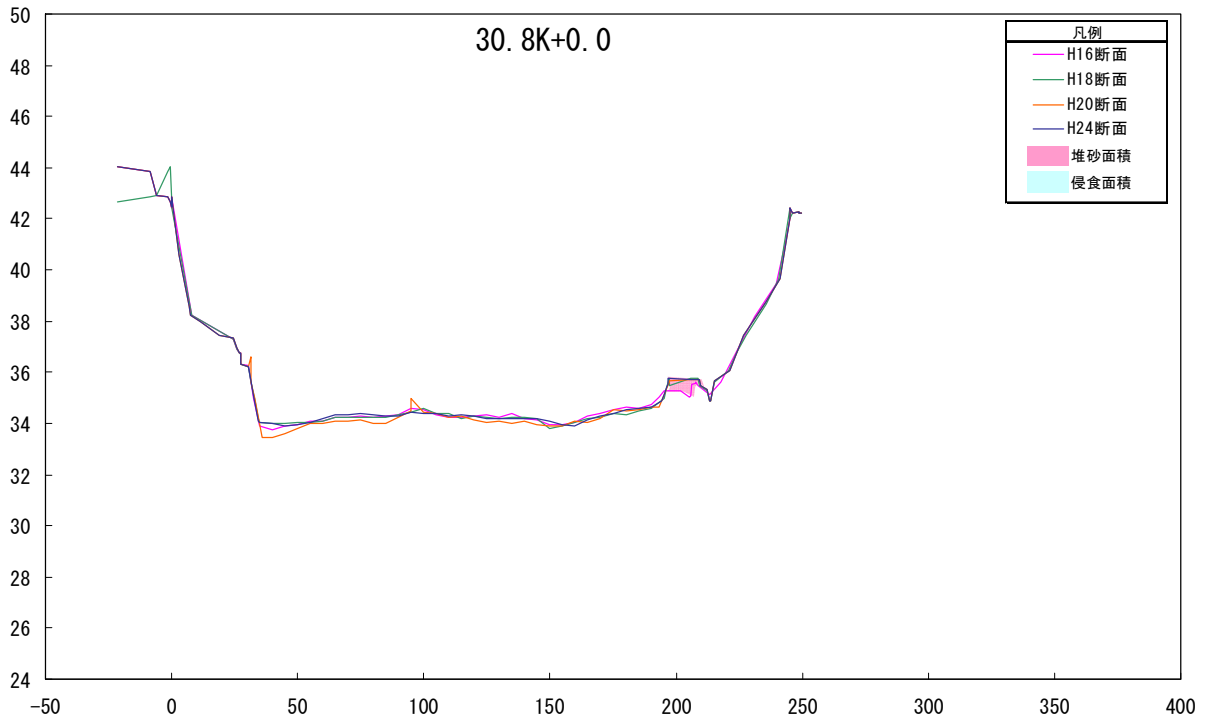


図 4.2-2 (4) 平成16年、18年、20年および24年の断面比較図

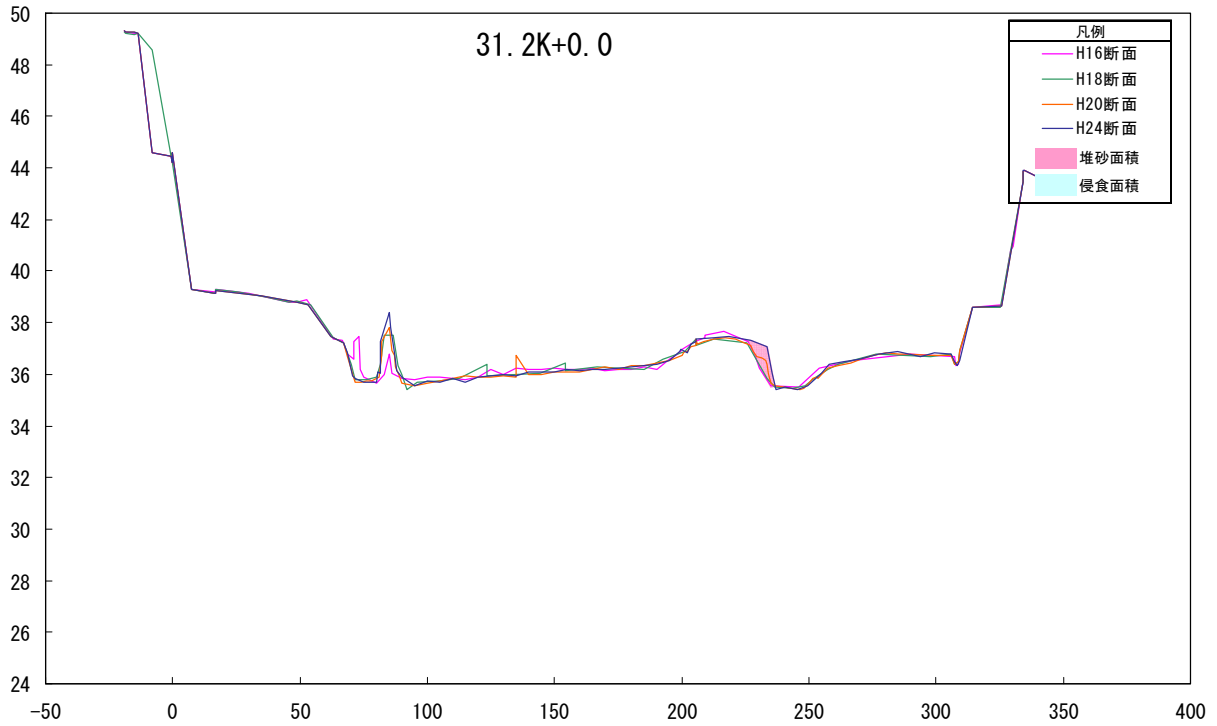


図 4.2-2 (5) 平成16年、18年、20年および24年の断面比較図

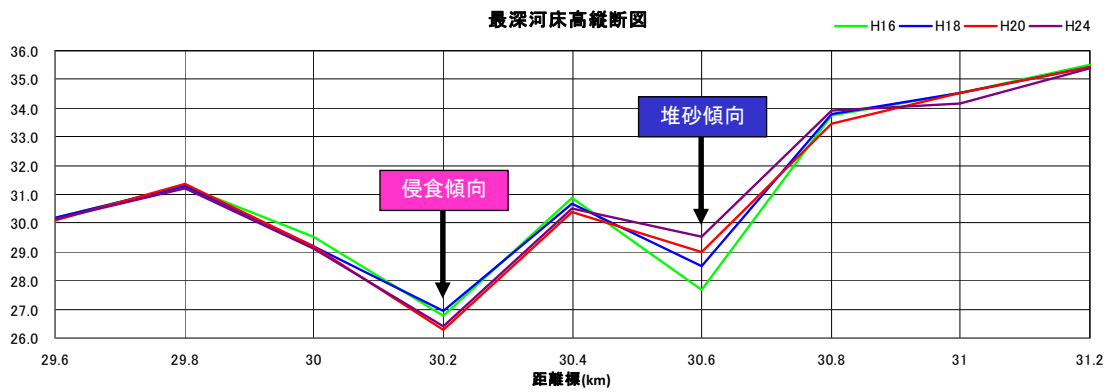


図 4.2-3 堰上流の最深河床高比較

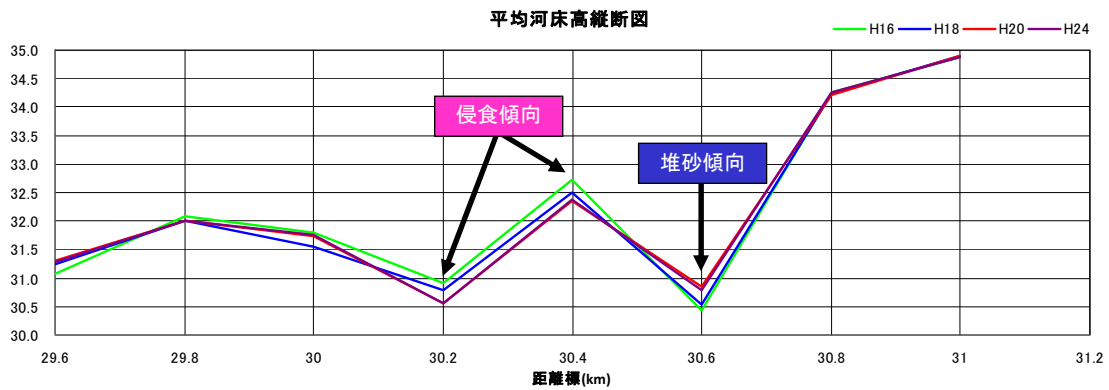


図 4.2-4 堰上流の平均河床高比較

4. 堆砂

4.2.2 堰下流の堆積状況

堰直下 (29.0k~29.4k) における堆積状況について、平成 16 年、18 年、20 年、24 年の横断測量結果を図 4.2-5 に比較した。断面形状に大きな変化は見られないが、低水路では侵食の傾向がみられるとともに、堰直下の 29.4k では河道中央部に堆積の傾向がみられる。なお、堆積傾向がみられる個所において、平成 16 年と平成 18 年を比べると河床の低下がみられるが、これは平成 18 年 1~3 月に 29.2k~29.4+40k の区間で砂利採取が行われたためである。

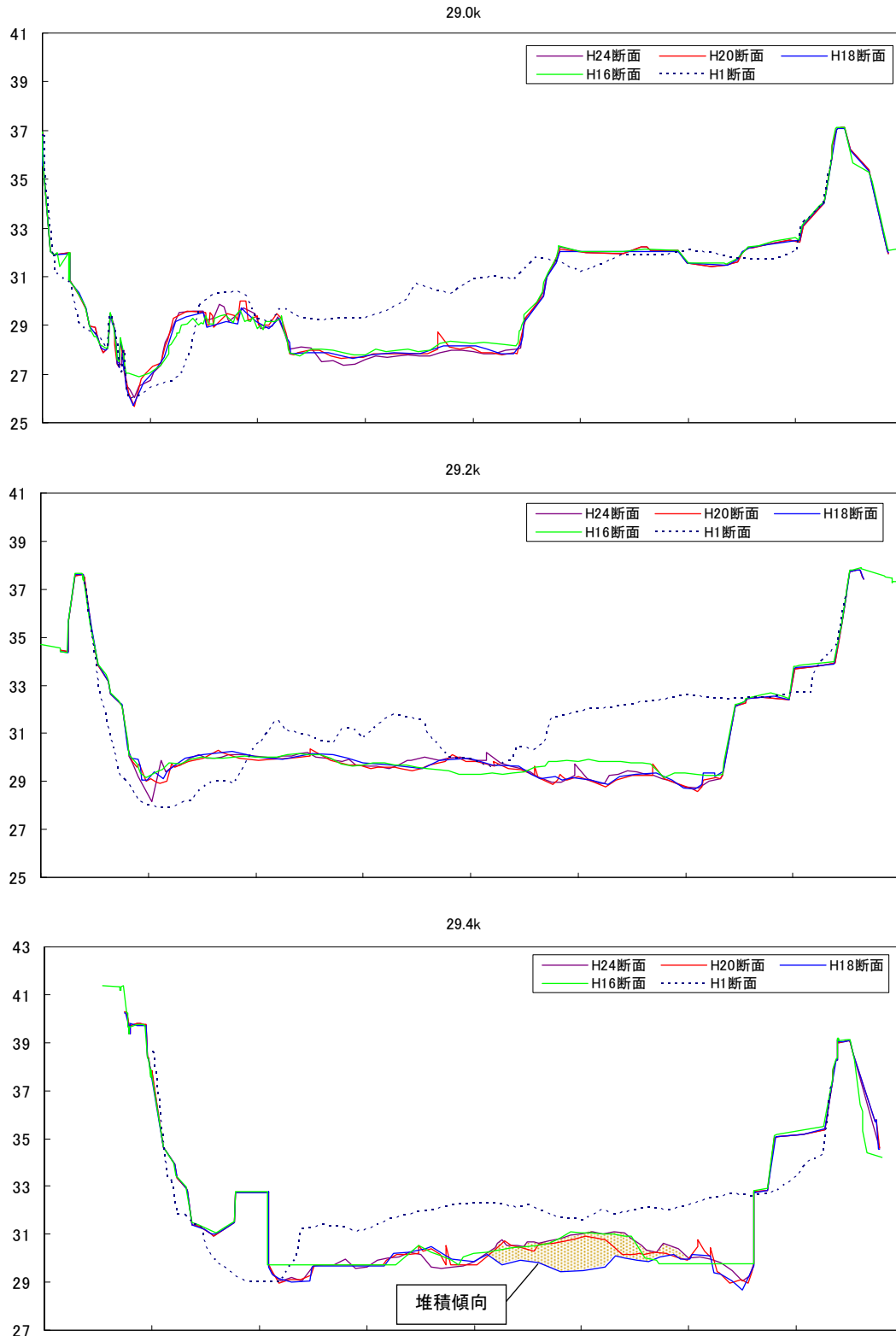


図 4.2-5 堰下流の断面比較図

4.2.3 河床材料の変化

鳴鹿大堰周辺では、平成3年より底質調査を実施している。平成24年の底質調査地点は以下のとおりである。

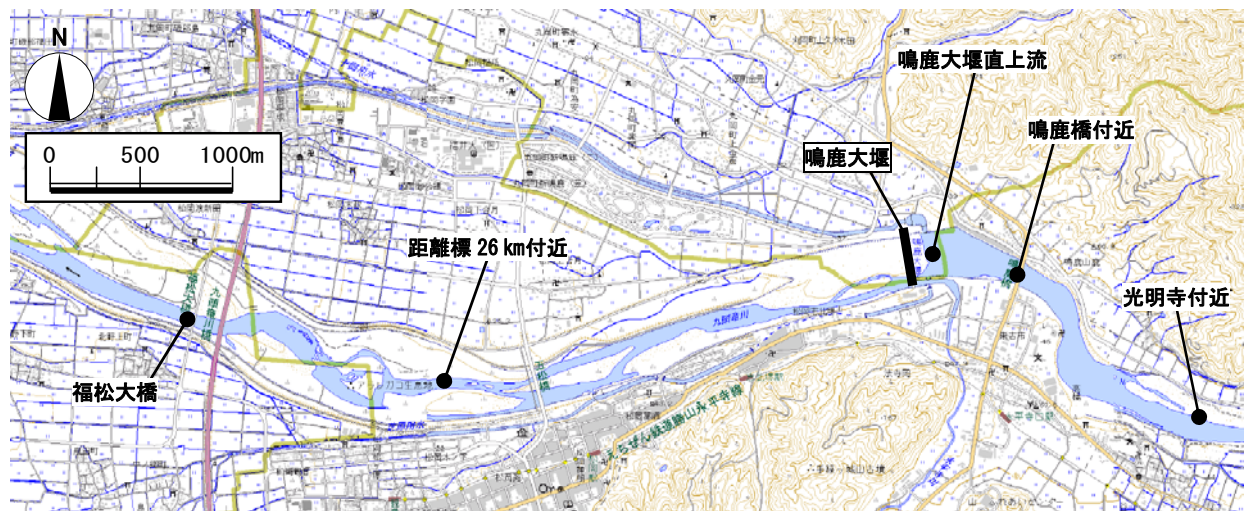


図 4.2-6 平成24年の底質調査地点

鳴鹿大堰周辺における河床材料の粒度組成の経年的変化は図 4.2-7 に示すとおりである。

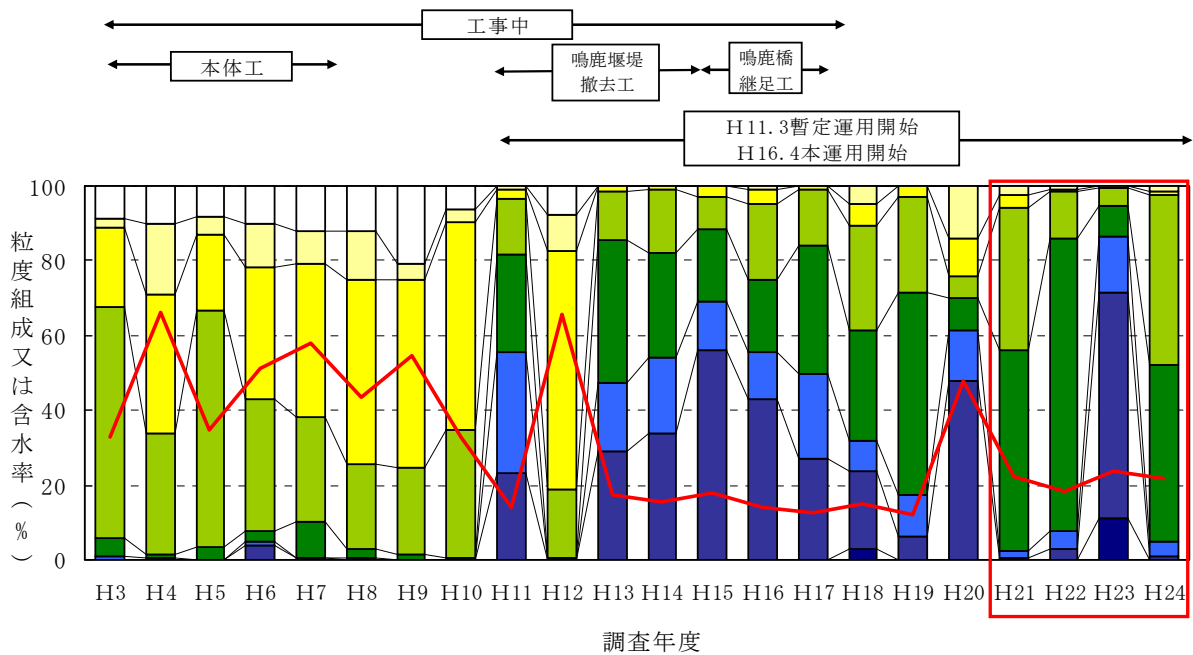
これまでの調査結果より、鳴鹿大堰が暫定運用を開始した平成11年3月以降において湛水域及び下流河川の粒度組成に大きな変化がみられた。これは、可動堰である鳴鹿大堰では、出水時などの下段扉操作が行われると堰上流に堆積していた土砂分が下流域に流出するためである。このため、底質は出水による堰の下段扉の操作によって絶えず変動しているものと推測される。

平成23年は7月7日に最大流入量 $2273.5\text{m}^3/\text{s}$ となる大規模な出水が発生しており、平成22年に比べ、粗砂、細砂の割合が減少し、中礫、細礫の割合が増加したと考えられる。

平成24年は、湛水域内では平成23年に比べ、中礫、細礫の割合が減少し、粗砂、細砂の割合が増加した。本川下流では、粗砂、細砂の割合が減少し、中礫、細礫の割合が増加している。平成24年度は大きな出水が少なかったため、湛水域内での細粒分の堆積や下流河川での粗粒化がやや進んだと考えられる。

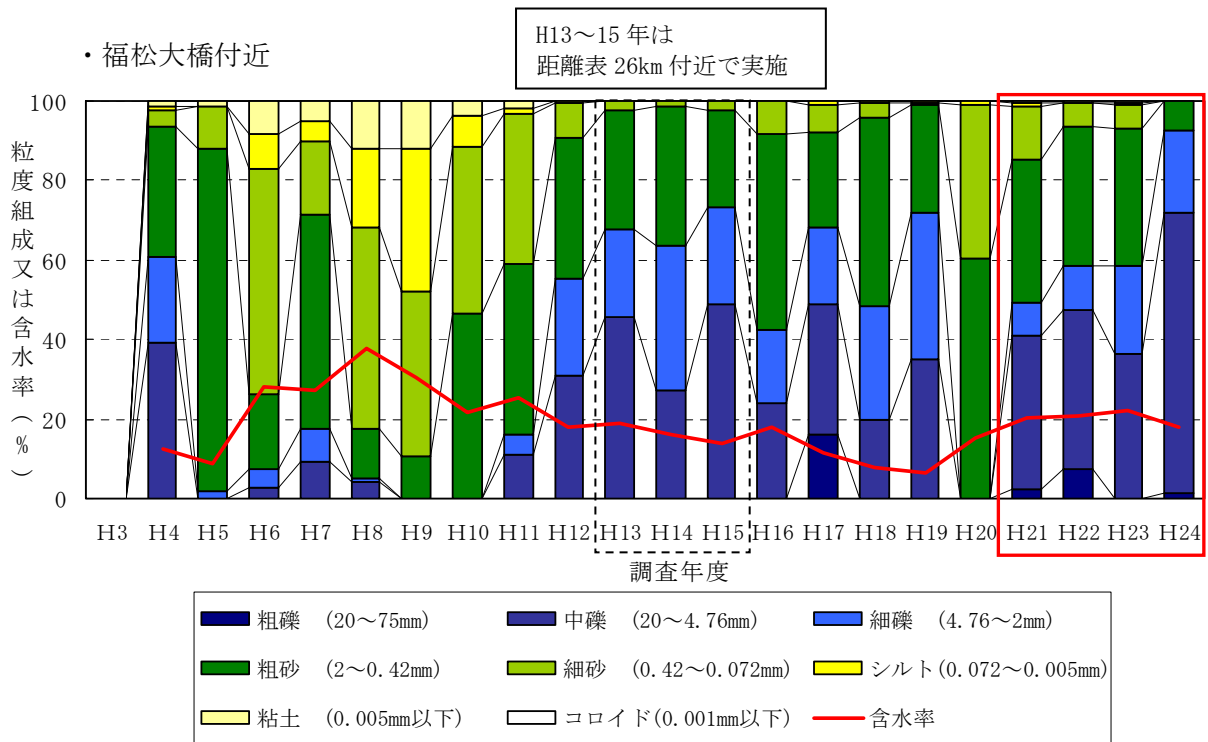
4. 堆砂

・鳴鹿大堰直上流 (St. 5)



注1) 経年的に調査が行われている各年の8月のデータを比較した。
 注2) 平成12年までは鳴鹿橋下流のデータを使用。鳴鹿橋下流と鳴鹿大堰直上流はほぼ同一地点

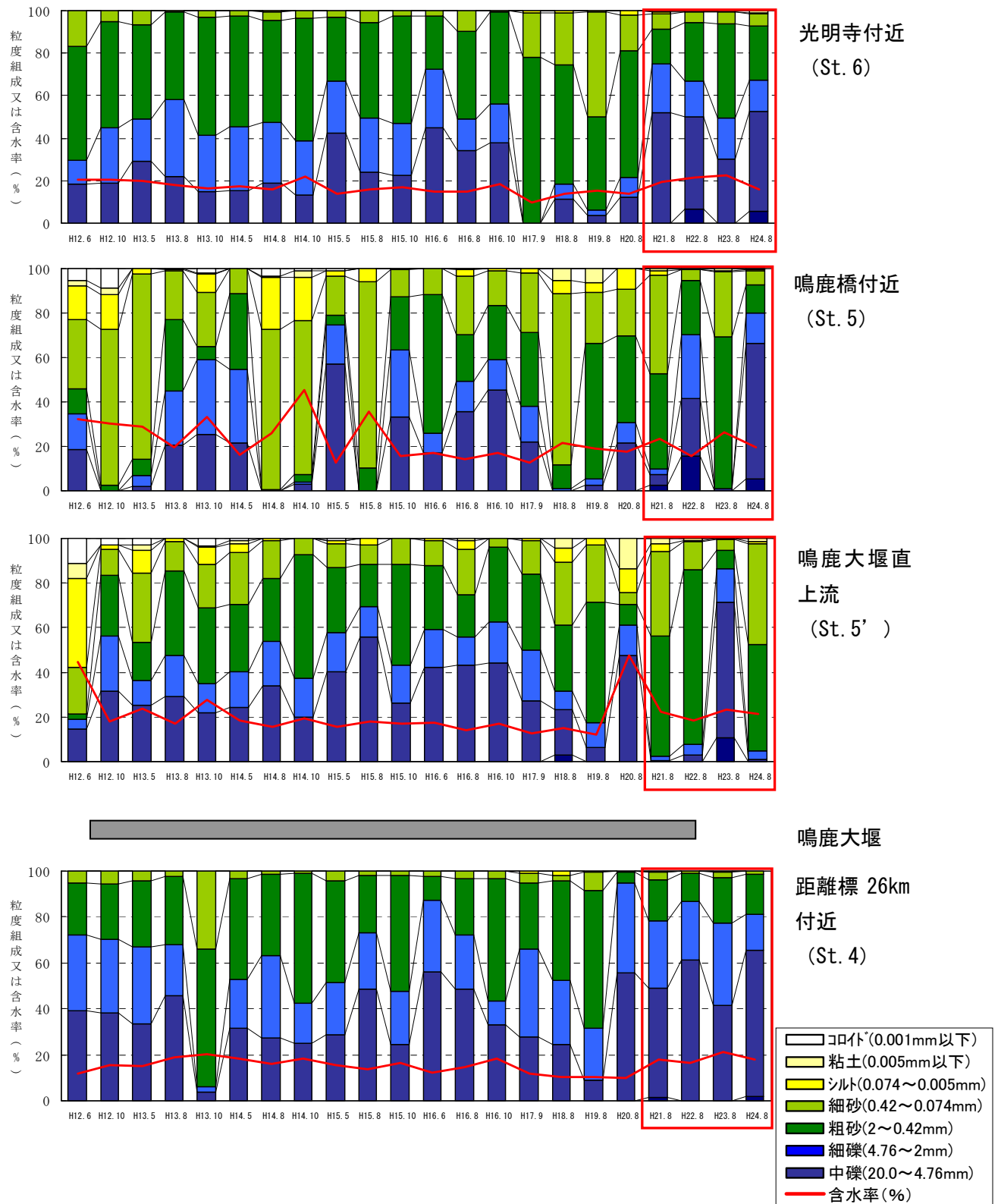
・福松大橋付近



注1) 経年的に調査が行われている各年の8月のデータを比較した。
 注2) 平成13~15年は福松大橋で調査を実施していないため、最も近い距離標26km(St. 4)付近のデータを使用した。

【出典：九頭竜川鳴鹿大堰フォローアップ平成24年次報告書】

図 4.2-7 粒度組成・含水率の経年変化



【出典：九頭竜川鳴鹿大堰フォローアップ平成24年次報告書のデータを編集】

図 4.2-8 粒度組成・含水率の経年変化

4. 堆砂

4.3 堰直下の堆砂形態改善について

4.3.1 検討概要

鳴鹿大堰直下に堆積する土砂対策について、土砂が堆積しないような堰操作の可能性を検討した。検討フローを下記に示す。

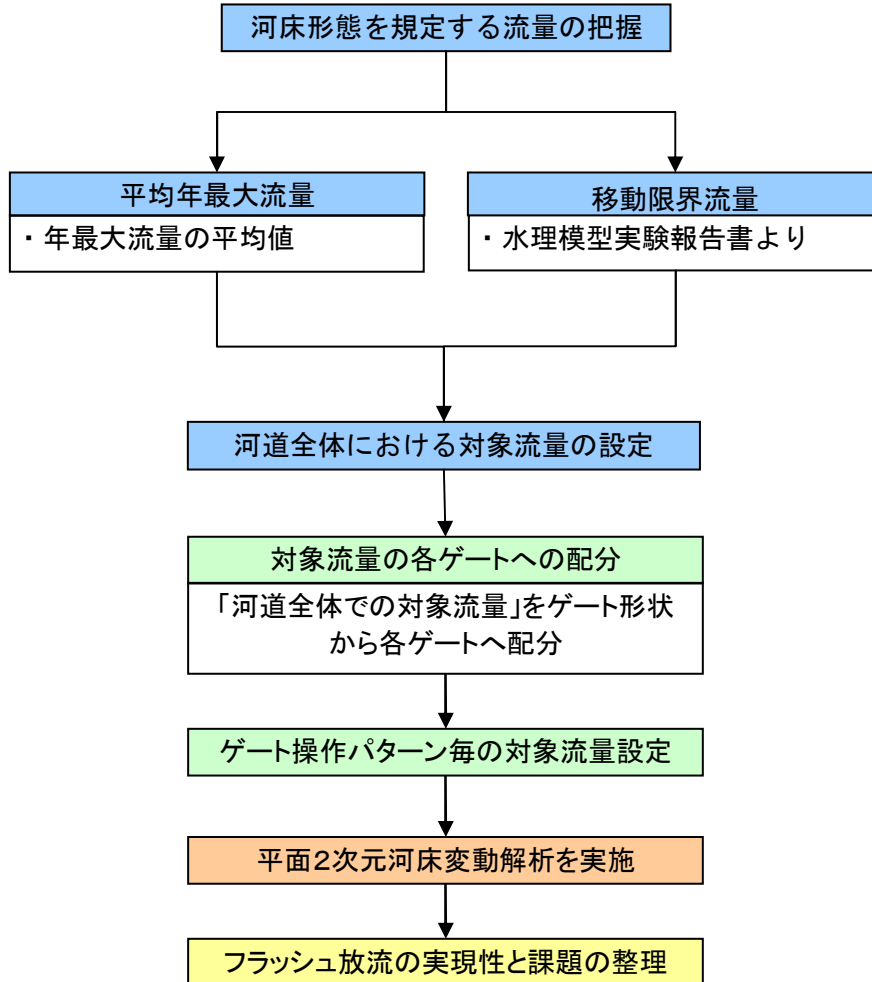




図 4.3-1 検討フロー

4.3.2 航空写真による堆積土砂の変遷





近年の航空写真を整理したところ、以下のことが確認された。

大堰直下の堆積土砂は平成 15 年ごろからみられるようになり、年々拡大するとともに標高も高くなっていると考えられる（平成 18 年の堆積土砂には植生がみられないが、平成 22 年の砂州には草本がみられる）。

なお、平成 18 年から平成 20 年の間に 3 号主ゲート前の砂州が無くなっているが、これは河床掘削によるものである。（砂利採取は平成 18 年 1～3 月に 29.2～29.4+40k で行われた）

| 撮影年 | 航空写真 |
|---|--|
| 平成 11 年 10 月 24 日 出典： 国土地理院 |  |
| 平成 13 年 4 月 出典： 鳴鹿大堰管理所 資料 |  |
| 平成 15 年 12 月 5 日 出典： 鳴鹿大堰管理所 資料 |  |

4. 堆砂

| 撮影年 | 航空写真 | |
|--|--|-------------------------------------|
| <p>平成 16 年 5 月 26 日</p> <p>出典： 国土地理院</p> |  | <p>堰直下に堆積土砂がみられる</p> |
| <p>平成 18 年</p> <p>出典： 鳴鹿大堰管理所資料</p> |  | <p>堆積土砂が拡大している</p> <p>堆積砂州がみられる</p> |
| <p>平成 20 年 3 月</p> <p>出典： 鳴鹿大堰管理所資料</p> |  | <p>堆積砂州が消失</p> |
| <p>平成 22 年 10 月 1 日</p> <p>出典： 航空レーザ測量時に撮影</p> |  | <p>形状は変化しないが草本がみられる</p> |

4.3.3 平面二次元河床変動解析の実施

堰建設当時に行われた水理模型実験の結果から、堆積土砂の移動限界流量は $3,000\text{m}^3/\text{s}$ 程度と考えられた。

この流量を河道全体における対象流量として、ゲート形状を考慮して各ゲートへ配分した。

堰下流右岸の堆積土砂を移動させるために、4号および5号主ゲートから放流するケースについて河床変動解析を実施し、河床形状の変化・河床変動量を把握した。

(1) 計算条件

計算条件は、下記のとおりである。

表 4.3-1 平面二次元河床変動解析の計算条件

| 項目 | | 検証条件 | 備考 |
|-------|----------|---|------------------|
| 検証区間 | | 28.4k~29.46k (鳴鹿大堰) | 区間延長約 1km |
| 解析モデル | | 二次元浅水流方程式を基礎式とした 三角形格子モデル | 図 4.3-2 参照 |
| 対象流量 | | $3,000\text{m}^3/\text{s}$ 規模の洪水を想定 | |
| 流況状況 | | 定常流 | |
| 粗度係数 | | 低水路:0.030 高水敷:0.035 | 河道計画検討資料より |
| 初期条件 | 初期河床 | 平成 22 年河床形状 | ADCP を用いて深淺測量を実施 |
| | 河床材料 | 河床材料調査結果を基に設定 | |
| 境界条件 | 下流端水位 | 28.4k 地点の H-Q 式による換算水位 H-Q 式 : $Q=127.35 \times (H-27.08)^2$ | 水位の単位は T.P.m |
| | 上流端流量 | ゲート操作パターンごとの対象流量を設定 (2 ケースを検討) | 図 4.3-3 参照 |
| | 上流端流入土砂量 | なし | |

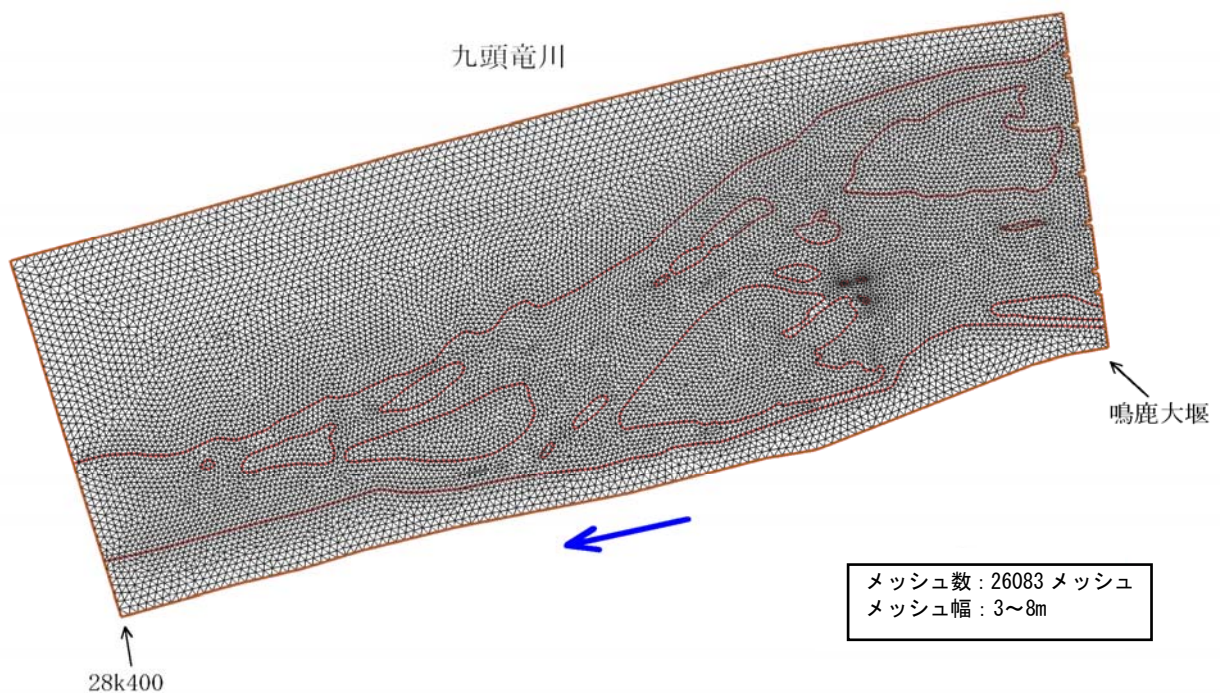


図 4.3-2 鳴鹿大堰下流メッシュ分割図

4. 堆砂

(2) 平面二次元河床変動解析結果

平面二次元河床変動解析結果を次に示す。

堰直下の堆積土砂は、フラッシュ放流で洗掘されて移動するものの、移動した土砂は流送されず、下流で堆積することが分かった。

ケース a

4号主ゲートから $628\text{m}^3/\text{s}$ を放流するケースにおいては、3つの筋で河床洗掘がみられ、それら筋の下流及び間において土砂堆積する結果となった。

- ・放流4時間後で堆積土砂中央付近まで洗掘され、最大洗掘深は約1mとなる。
- ・放流8時間後で堆積土砂下流端付近まで洗掘され、最大洗掘深は約1m、堆積土砂下流端の洗掘深は約0.2mとなる。
- ・放流12時間後で堆積土砂下流端の洗掘深は約0.6mとなる。
- ・放流24時間後で堆積土砂下流端の洗掘深は約0.8mとなる。

ケース b

4号および5号ゲートから各 $628\text{m}^3/\text{s}$ を放流するケースにおいては、堆積土砂全体で河床洗掘がみられ、それら洗掘箇所の下流側において土砂堆積する結果となった。

- ・放流2時間後で堆積土砂中央付近まで洗掘され、最大洗掘深は約1mとなる。
- ・その後、洗掘が進み、放流8時間後には堆積土砂下流端付近まで洗掘され、最大洗掘深は約1m、堆積土砂下流端の洗掘深は約0.2mとなる。
- ・放流24時間後には堆積土砂全域がほぼ洗掘され、最大洗掘深は約1.2m、堆積土砂下流端の洗掘深は約0.6mとなる。

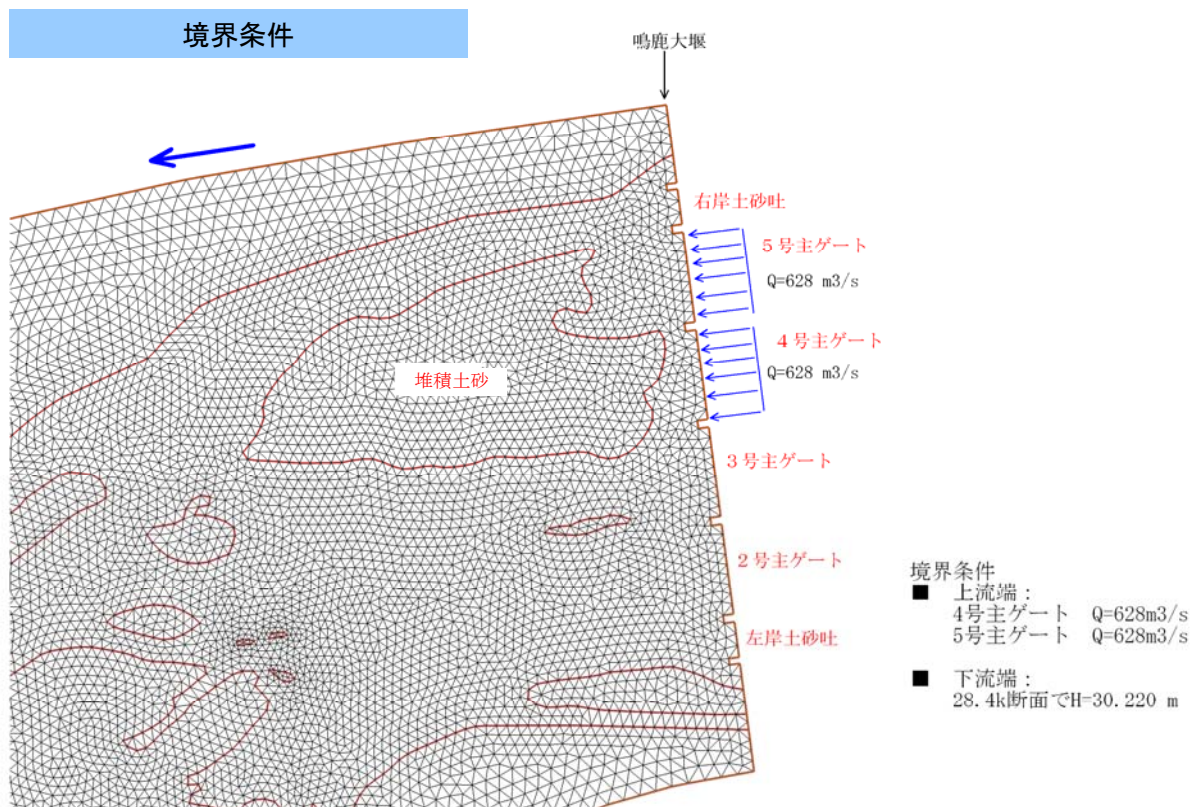
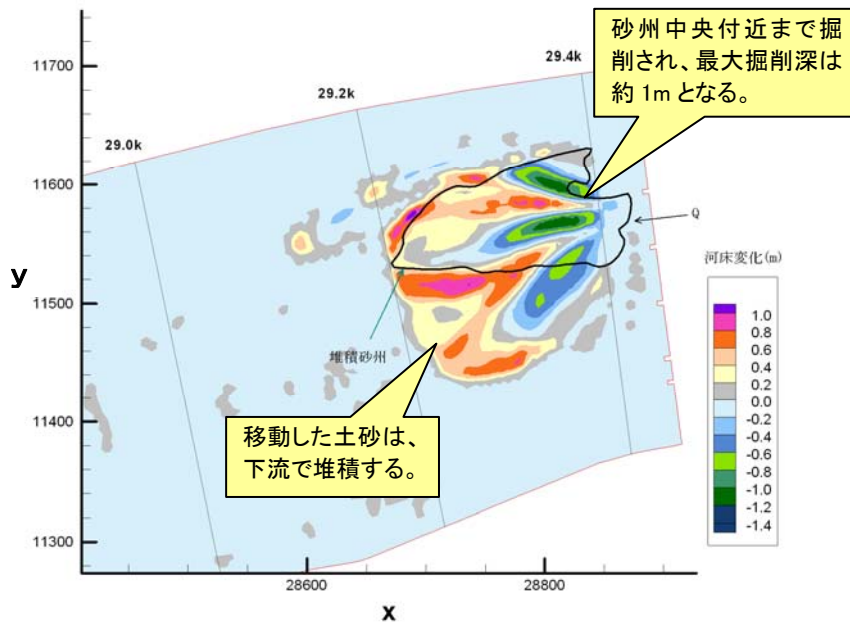


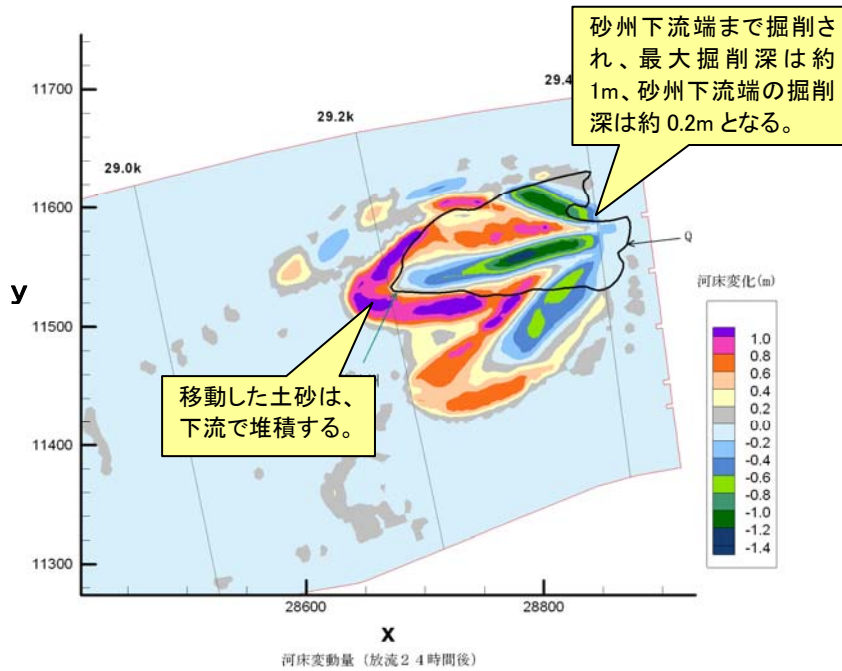
図 4.3-3 平面二次元河床変動解析境界条件 (ケース b)



定期報告書(案)
4. 堆砂
ケース a

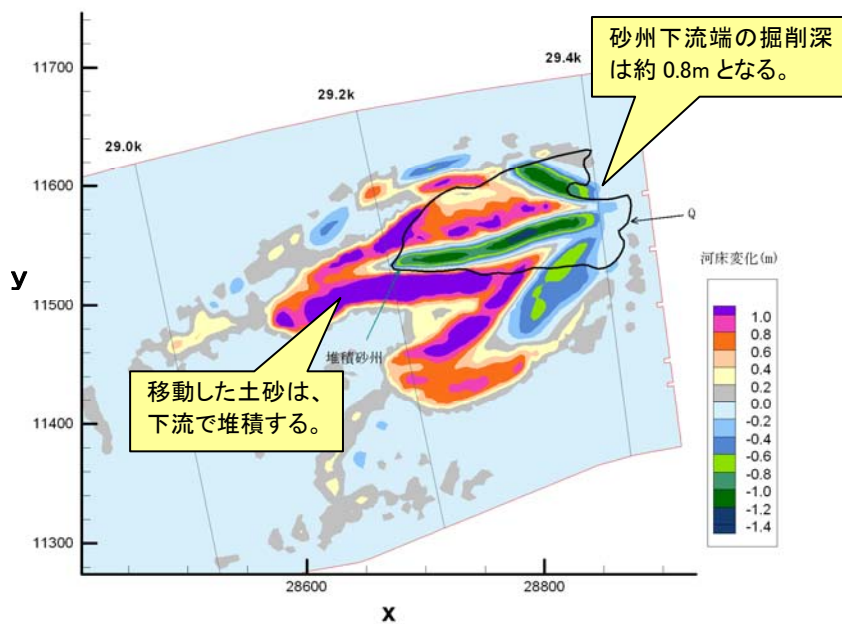
<放流 4 時間後>

河床変動量 (放流 8 時間後)



<放流 8 時間後>

河床変動量 (放流 24 時間後)



<放流 24 時間後>

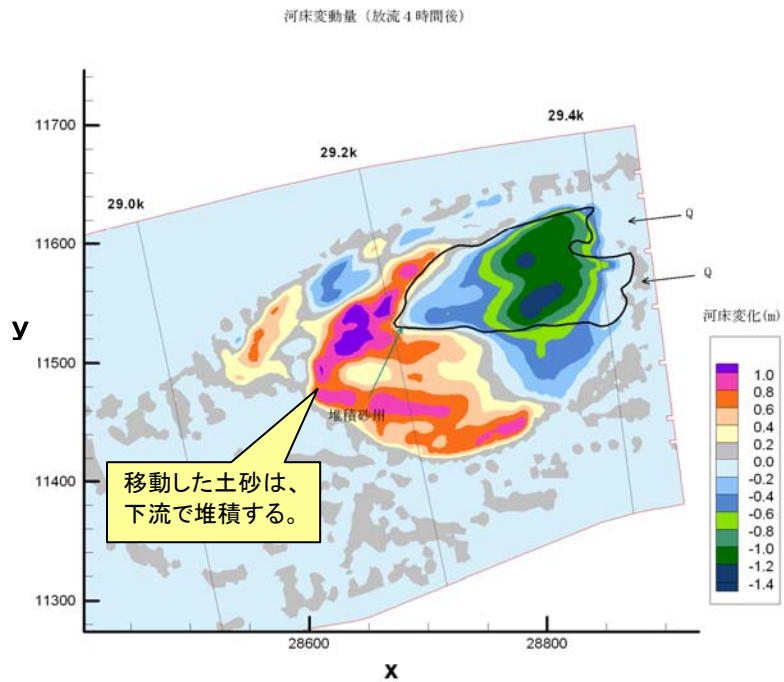
図 4.3-4 河床変化量の比較 (ケース a : 4号主ゲートから $628\text{m}^3/\text{s}$ を放流)

定期報告書(案)

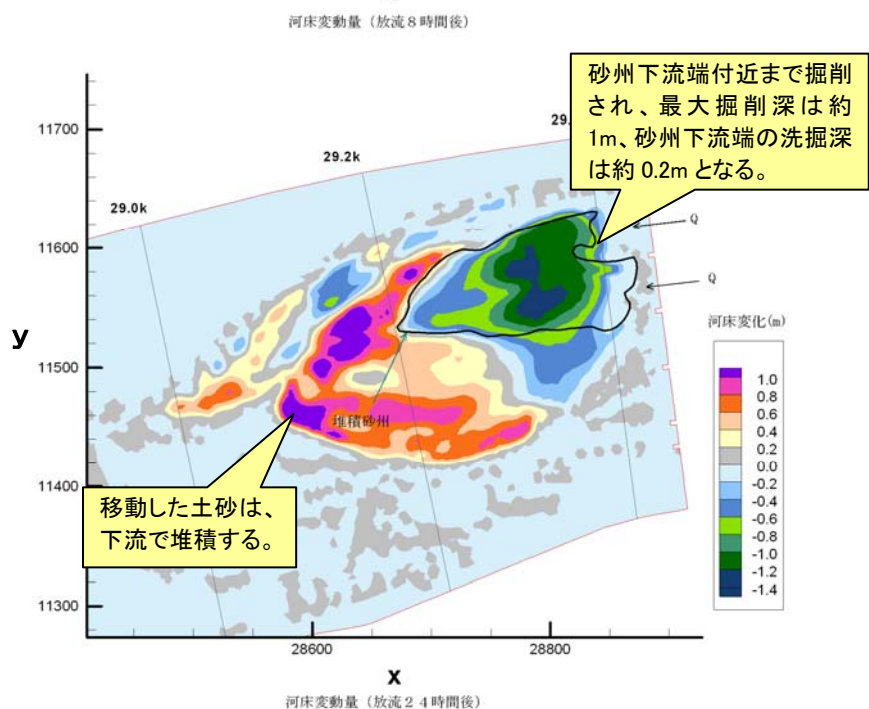
4. 堆砂

ケース b

<放流 4 時間後>



<放流 8 時間後>



<放流 24 時間後>

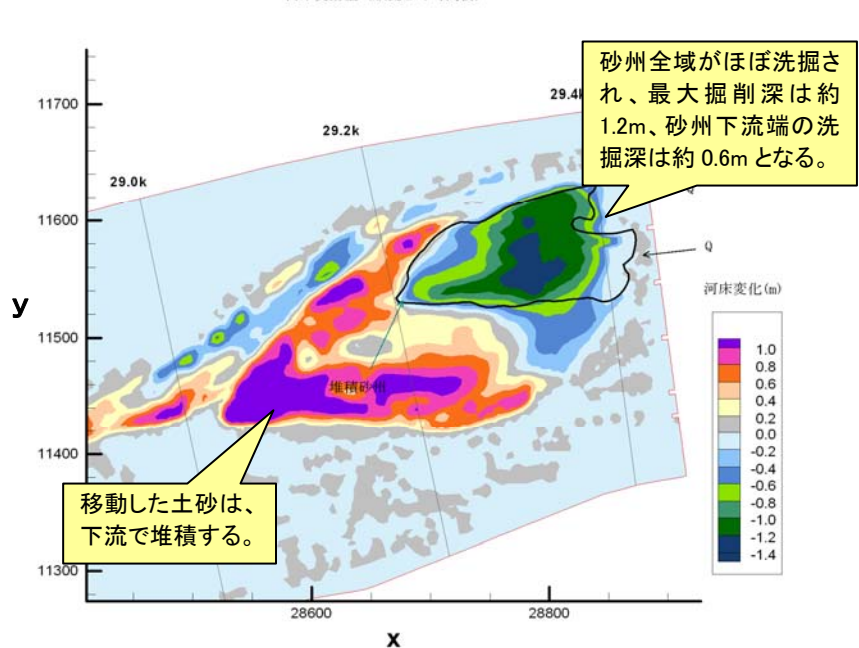


図 4.3-5 河床変化量の比較 (ケース b : 4 号・5 号主ゲートから各 628m³/s を放流)

4.3.4 フラッシュ放流の実現性

フラッシュ放流に必要な流量及び、実現性について下表に整理した。

4号主ゲートから放流する場合で1年あたり4回程度、4号および5号主ゲートから放流する場合で1年あたり1回程度フラッシュ放流が実現可能である。

表 4.3-2 フラッシュ放流に必要な流量と実現性

| | | 微調整 | ① 左岸 土砂吐 | ② 2号 主ゲート | ③ 3号 主ゲート | ④ 4号 主ゲート | ⑤ 5号 主ゲート | ⑥ 右岸 土砂吐 | 微調整 | 合計流量 (m ³ /s) | 実現性(頻度) |
|----------------|---------------------------|-----|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----|-----------------------------|------------------------|
| ゲート4 から放流 | 開閉 | 閉 | 閉 | 閉 | 閉 | 開 | 閉 | 閉 | 閉 | 628 | 1年あたり3.6回 (43回/12年) |
| | 流量 (m ³ /s) | — | — | — | — | 628 | — | — | — | | |
| | ゲート開度 (cm) | — | — | — | — | 320 | — | — | — | | |
| ゲート4・5 から放流 | 開閉 | 閉 | 閉 | 閉 | 閉 | 開 | 開 | 閉 | 閉 | 1256 | 1年あたり0.8回 (10回/12年) |
| | 流量 (m ³ /s) | — | — | — | — | 628 | 628 | — | — | | |
| | ゲート開度 (cm) | — | — | — | — | 320 | 320 | — | — | | |

4.3.5 フラッシュ放流方法に関する課題

フラッシュ放流方法に関する課題を以下に記す。

- ①堰直下の堆積土砂は、フラッシュ放流で洗掘されて移動するものの、移動した土砂は流送されず、下流で堆積する。
- ②1つもしくは2つのゲートから集中して放流することにより、堰柱へ偏荷重がかかるため、その影響について検討が必要である。
- ③植生繁茂等による堆積土砂の固着が強い場合は、上記流量ではフラッシュされない可能性がある。このような場合は、放流量をさらに大きくするか、堆積土砂を耕運するなどの対策が必要である。
- ④操作規則等に関しては以下の事項について変更が必要となる。

【九頭竜川鳴鹿大堰操作規則】 変更の必要なし。

【九頭竜川鳴鹿大堰操作細則】 変更の必要あり。

第6条3三

下段扉の操作順序は、次により行うものとするが、下段扉を操作する前に上段扉は全閉にするものとする。

イ 操作は、3号主ゲート、4号主ゲート、2号主ゲート、5号主ゲートの順に行うものとする。

定期報告書(案)

4. 堆砂

4.4 まとめ

4.4.1 堆砂のまとめ

鳴鹿大堰の貯水池では、回転率（年総流入量/総貯水容量）が非常に高いことと、大規模な出水時における下段扉の操作によるアンダーフロー放流等によって、堰上流湛水域における堆砂の問題は生じていないものと考えられる。

堰の直下流においては、河道の中央部に堆積傾向がみられる。平面二次元河床変動解析を行い、フラッシュ放流による堰直下の堆積土砂の除去について検討を行ったが、実際に運用するためには、実施頻度や堰柱にかかる偏荷重による影響、操作細則の変更などの課題が残る。

4.4.2 今後の方針

今後も河川測量などを継続して、堆砂量を把握していく。

また、堰直下流の堆砂が進行している箇所については、流下能力の低下や樹林化などが懸念されるため、必要に応じて河道掘削等を行う。

4.5 文献リスト

表 4.5-1 「4.堆砂」に使用した文献・資料リスト

| NO. | 文献・資料名 | 発行者・出典 | 発行年月 | 引用ページ・箇所 |
|-----|--------------------------------|----------------------|--------------|--------------------------------|
| 4-1 | 鳴鹿大堰調査測定要領 | 近畿地方整備局 福井河川国道事務所 | 平成 18 年 4 月 | 4.1 堆砂測量実施状況 |
| 4-2 | 平成 22 年度鳴鹿大堰貯水池深浅測量業務報告書 | 近畿地方整備局 福井河川国道事務所 | 平成 22 年 12 月 | 4.1 堆砂測量実施状況 |
| 4-3 | 平成 16 年度九頭竜川鳴鹿大堰湛水域縦横断測量業務 | 株式会社サンワコン | 平成 17 年 | 4.2.1 堆砂量の整理 |
| 4-4 | 平成 18 年度鳴鹿大堰湛水域縦横断測量業務報告書 | 株式会社サンワコン | 平成 19 年 1 月 | 4.2.1 堆砂量の整理 |
| 4-5 | 平成 20 年度鳴鹿大堰貯水池縦横断測量業務報告書 | 近畿地方整備局 福井河川国道事務所 | 平成 21 年 3 月 | 4.2.1 堆砂量の整理 |
| 4-6 | 鳴鹿大堰縦横断測量業務 | 株式会社 サンワコン | 平成 25 年 1 月 | 4.2.1 堆砂量の整理 4.2.2 堰下流の堆積状況 |
| 4-7 | 平成 21 年度 九頭竜川鳴鹿大堰定期報告書 | 近畿地方整備局 | 平成 22 年 3 月 | 4.2.3 河床材料の変化 |
| 4-8 | 九頭竜川鳴鹿大堰フォローアップ 平成 23 年次報告書 | 近畿地方整備局 福井河川国道事務所 | 平成 24 年 2 月 | 4.2.3 河床材料の変化 |
| 4-9 | 九頭竜川鳴鹿大堰フォローアップ 平成 24 年次報告書 | 近畿地方整備局 福井河川国道事務所 | 平成 25 年 2 月 | 4.2.1 堆砂量の整理 4.2.3 河床材料の変化 |