

3 天竜川中下流部における環境の現況分析

3-1 物理環境の現況分析

3-1-1 天竜川中下流部の現況

天竜川の中流部、下流部（佐久間ダムから河口領域まで）の区間を、流水の状態に応じてダム貯水池領域、河道領域、河口領域に分け、各領域における物理環境の現況を整理した。

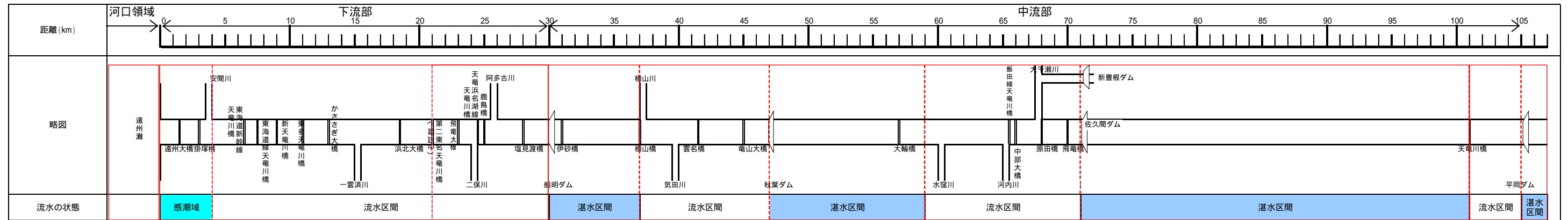


表 3-1 領域毎の現況

エリア	場所	内容
ダム貯水池領域（湛水区間）	佐久間ダム	(1) Back Sand、Back Water 現象 出水時に貯水池上流部で冠水した実績あり。 (2) 堆砂による有効容量の減少 有効貯水容量（205,444 千m ³ ）内の堆砂実績（平成 16 年度）は 44,231 千m ³ であり、22%の減少となっている。 (3) 堆砂による取水設備への影響 至近 10 年間で堆砂肩が約 1km 前進。（新豊根発電取水口まで約 4km）
	秋葉ダム	(1) Back Sand、Back Water 現象 出水時に貯水池上流部で冠水した実績あり。 (2) 堆砂による有効容量の減少 有効貯水容量（7,750 千m ³ ）内の堆砂実績（平成 16 年度）は 1,058 千m ³ であり、14%の減少となっている。 (3) 堆砂による取水設備への影響 発電取水口は、クレストゲート敷高より高いため、堆砂の影響が生じる可能性は小さい。
	船明ダム	堆砂による Back Sand、Back Water 現象や、有効容量・取水設備への影響は、見られない。
（流水区間、河道領域）	佐久間ダム直下～秋葉ダム流入部 秋葉ダム直下～船明ダム流入部	(1) 河床低下：砂利採取が盛んに行われていた年代は低下傾向。最近は安定傾向。 (2) 澇筋と砂州の変化：顕著な変化は見られない。 (3) 樹林化：顕著な変化は見られない。 (4) 粗粒化：佐久間ダム直下や秋葉ダム直下の表面で顕著。
	船明ダム直下～河口	(1) 河床低下：砂利採取が盛んに行われていた年代は低下傾向。最近は安定傾向。 (2) 澇筋と砂州の変化：複列砂州から交互砂州へ移行途上にある。澇筋の深掘れ、砂州の固定化が進行している。 (3) 樹林化：昭和 38 年から昭和 56 年に緑地面積割合が倍増（20% 40%）し、その後は 40～50%で昇降している。 (4) 粗粒化：顕著な変化は見られない。
河口領域	河口付近	(1) 海岸侵食 天竜川からの流出土砂の減少に伴い、河口砂州は後退し、天竜川河口テラスが徐々に縮小してきている。 海浜土量も減少傾向 (2) 粒度の変化 経年的な変化は、顕著に見られない。

河口領域における海岸に関する内容は、海岸管理者等の情報

(1) ダム貯水池領域

現在、天竜川水系には発電ダム及び多目的ダムが合計 15 ダム存在している。ダムに堆積している土砂量は約 2 億 m³ で、総貯水容量の 35%程度に達している。

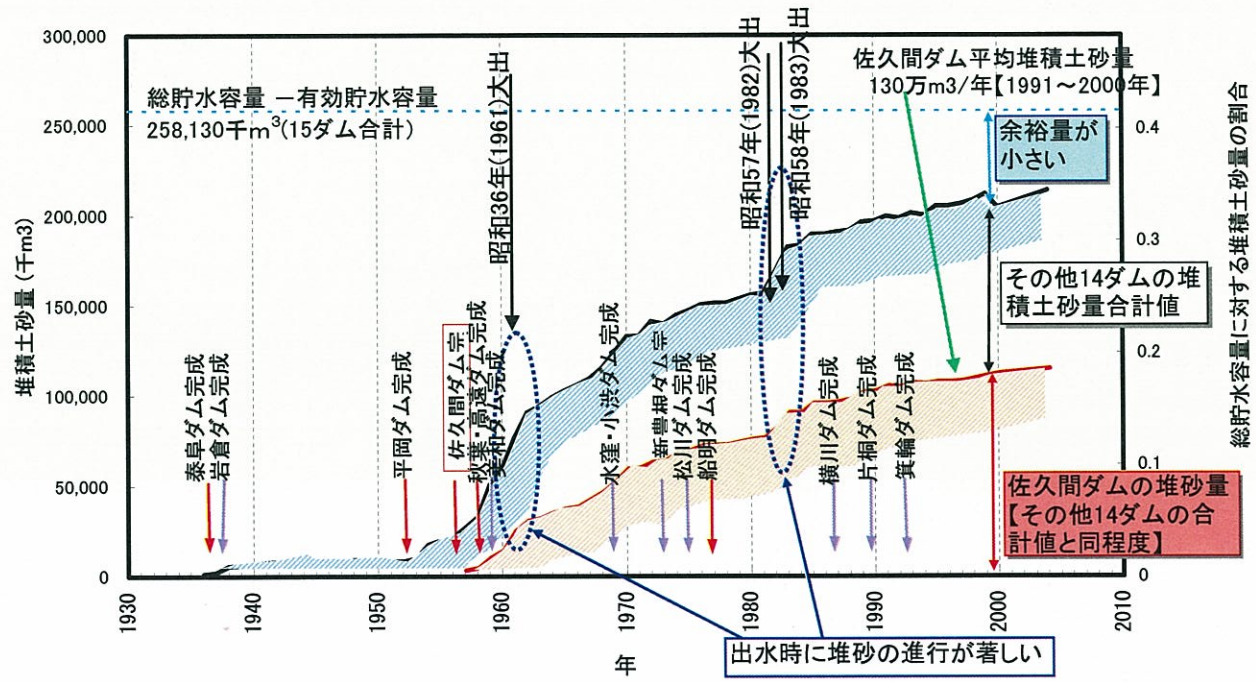


図 3-1 堆砂経年変化図

最近 10 年間で堆砂肩（デルタ）は、約 1km 下流側に前進している。平成 16 年の堆砂肩（デルタ）と新豊根発電所取水口の距離は、約 4km である。

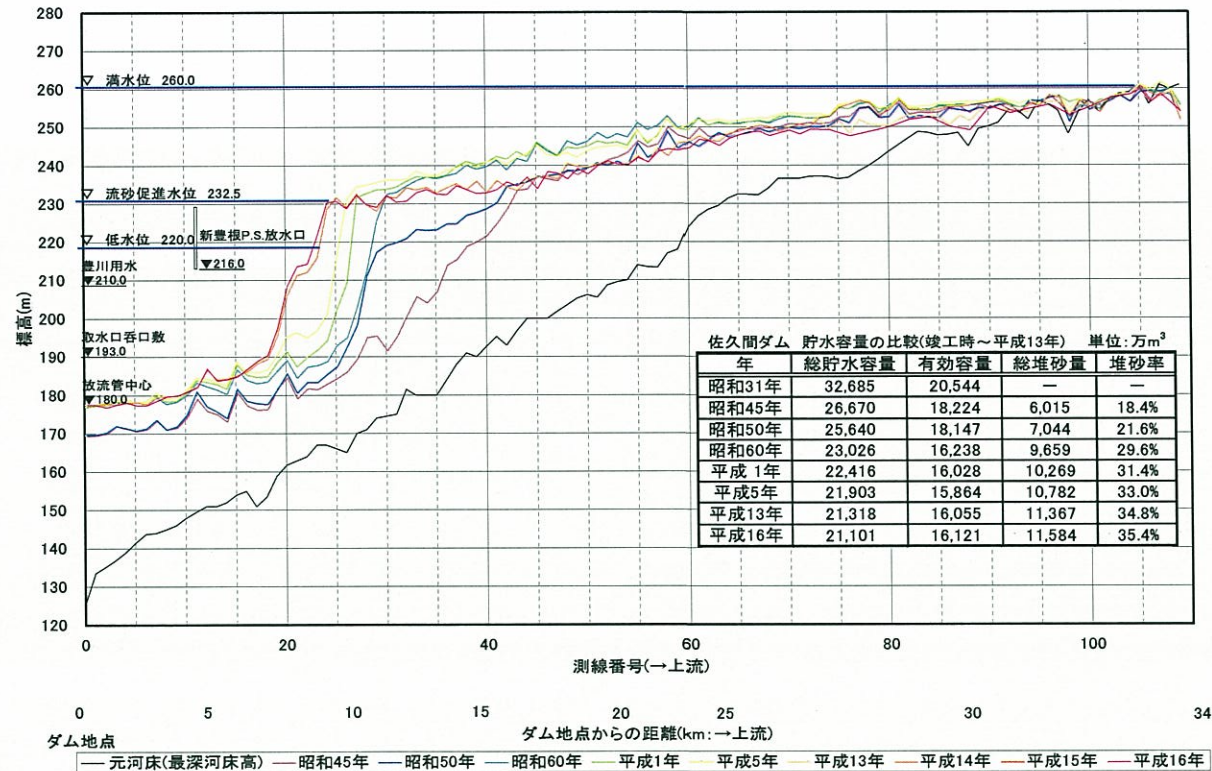


図 3-2 佐久間ダム堆砂実績及び取水設備位置図（佐久間ダム）

佐久間ダムの管理は電源開発株式会社が行っている。佐久間ダム上流において堆砂による影響で災害が発生するおそれがあることから、ダム管理者は有効容量内の堆積土砂を死水容量内へ湖内移動している。一方、砂利採取による浚渫・湖外運搬も実施されている。

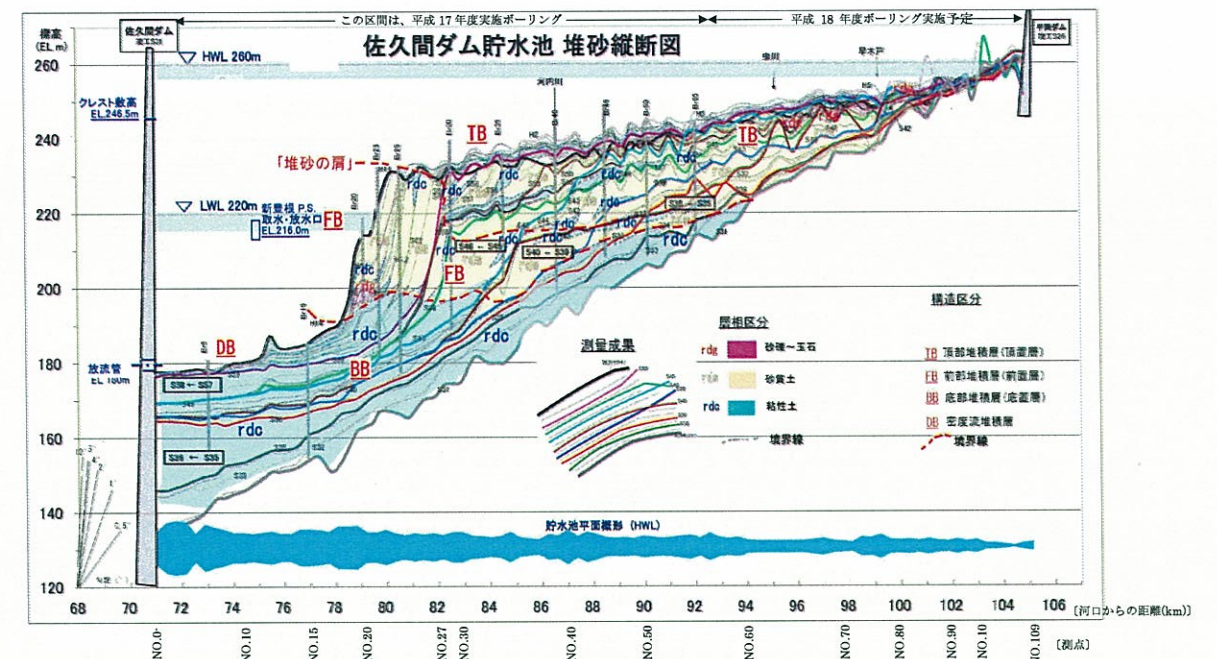
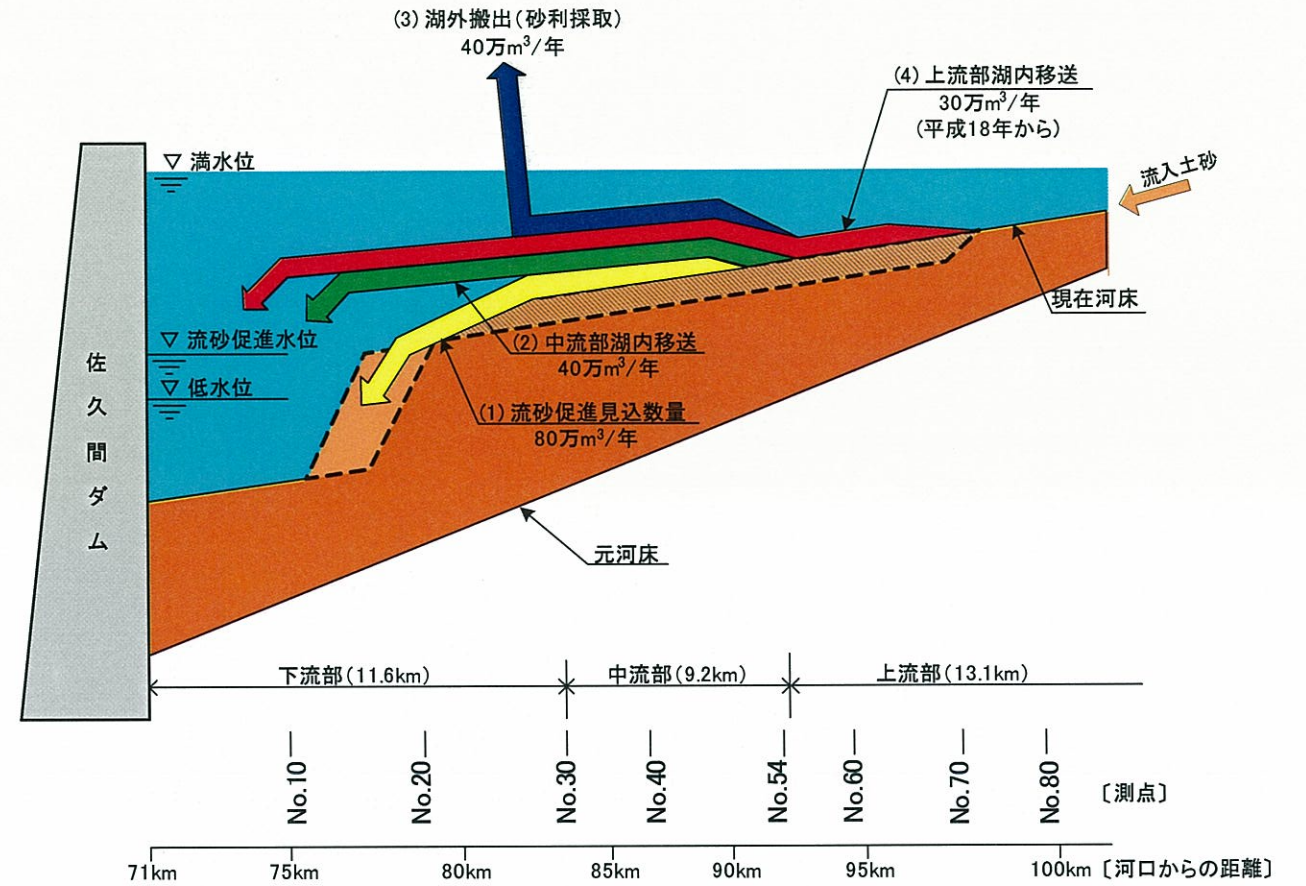


図 3-3 佐久間ダム堆砂対策

(2) 河道領域

河道領域について、次の項目について現況を整理した。

- 河床変動の状況
- 澗筋と砂州の変化
- 砂州の堆積・侵食の傾向
- 砂州冠水頻度の変化傾向
- 樹林の変化傾向
- 河床材料粒径分布の経年変化

1) 河床変動の状況

河床高の変化：平均河床の低下傾向は 12k 付近～30k 付近で顕著である。

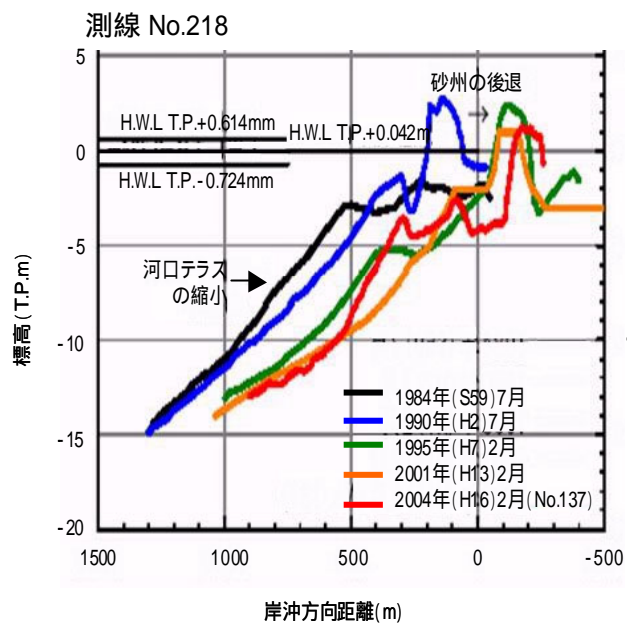
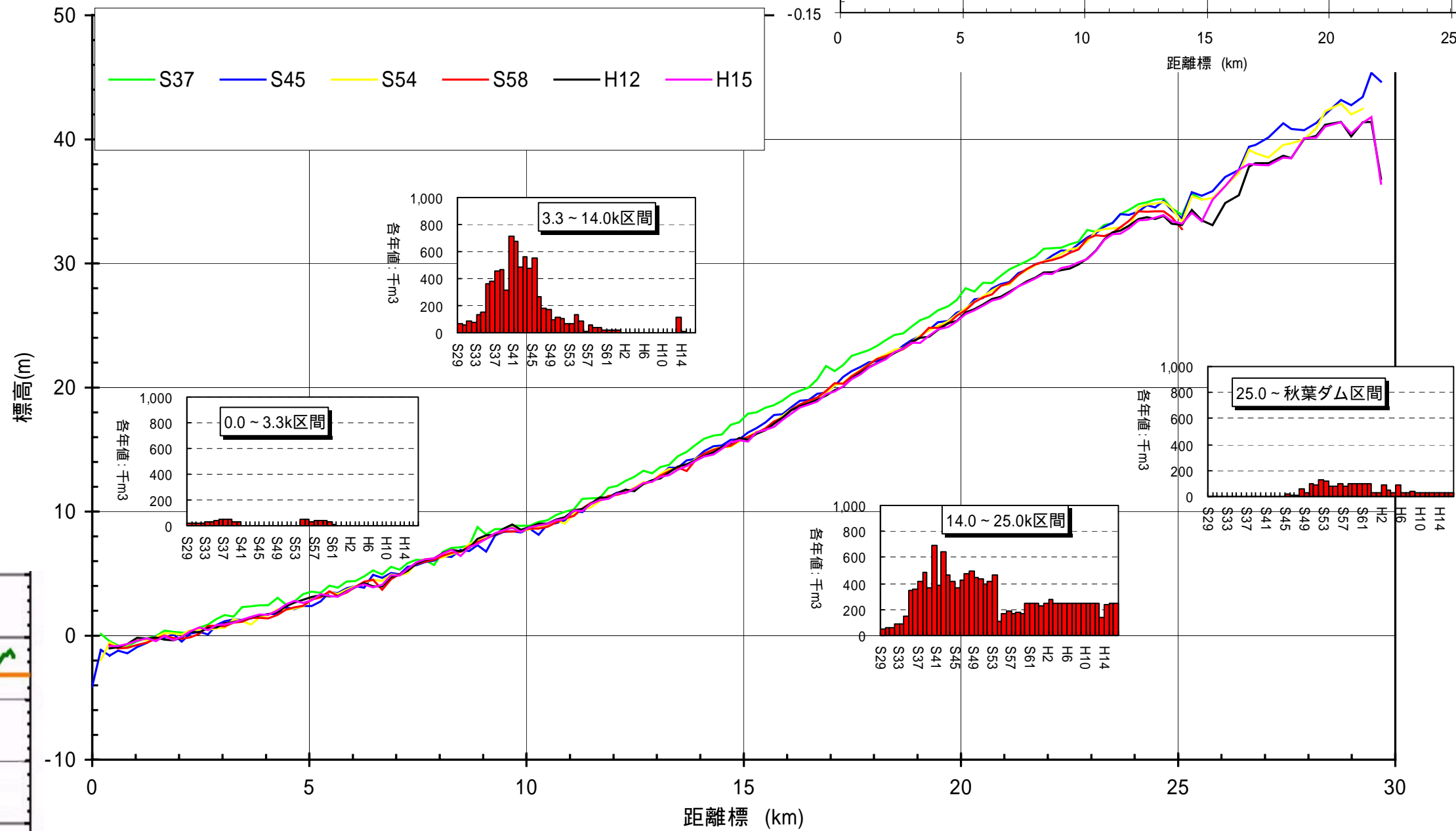
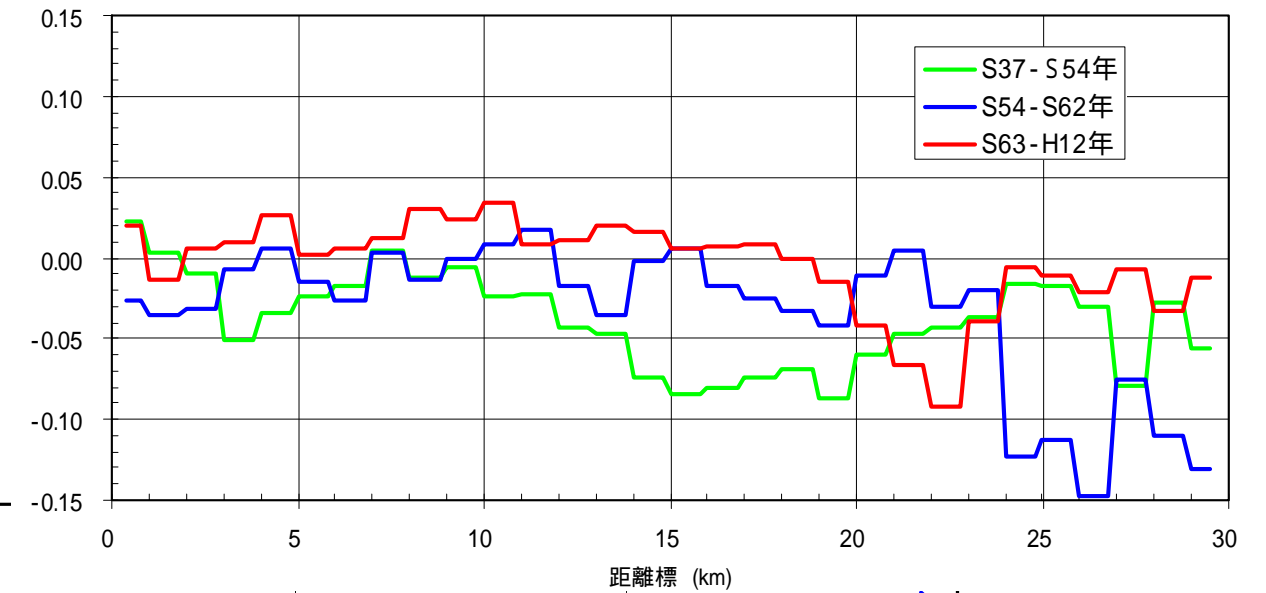


図 3-12 天竜川（河口～船明ダム直下流）平均河床高縦断面図【S37年度～H15年度】

(出典：第3回遠州灘沿岸侵食対策検討委員会)

2) 澇筋と砂州の変化状況

航空写真による砂州の変遷は、複列砂州から交互砂州 (= 単列砂州) へ変化していることが分かる。

5 ~ 10k 区間において、S22 から S36 にかけて複列砂州が交互砂州 (= 単列砂州) へ変化しているが、この間に砂利採取 (S29 開始) や佐久間ダム建設 (S31 竣工), 秋葉ダム建設 (S33 竣工) が行われている。

10 ~ 20k 区間においても、S36 から S41 にかけて複列砂州が交互砂州 (= 単列砂州) へ変化しているが、3.3k ~ 25k 区間では S30 代後半から砂利採取量が増加 (S40 ~ 42 で最大採取量) している。

水理指標による砂州の変遷も、複列砂州から交互砂州 (= 単列砂州) へ変化していることが分かる。

現在においても水理指標上は、複列砂州に分類される。

	5km	10km	15km	20km	イベント
昭和 22 年	複列	複列	複列		S29: 砂利採取開始 (0 ~ 25km) S31: 佐久間ダム竣工 (70km)
昭和 36 年 12 月	複列・単列	複列	複列		S33: 秋葉ダム竣工 (47km)
昭和 41 年 2 月	複列・単列	複列・単列	複列・単列		S35 ~ : 砂利採取増加 (3.3 ~ 25km)
昭和 58 年 6 月	複列・単列	複列・単列	複列・単列		S45: 砂利採取開始 (25km ~ 秋葉ダム) S46: 砂利採取減少 (3.3 ~ 14km)
平成 10 年 10 月	複列・単列	複列・単列	複列・単列		S52: 船明ダム竣工 (30km)

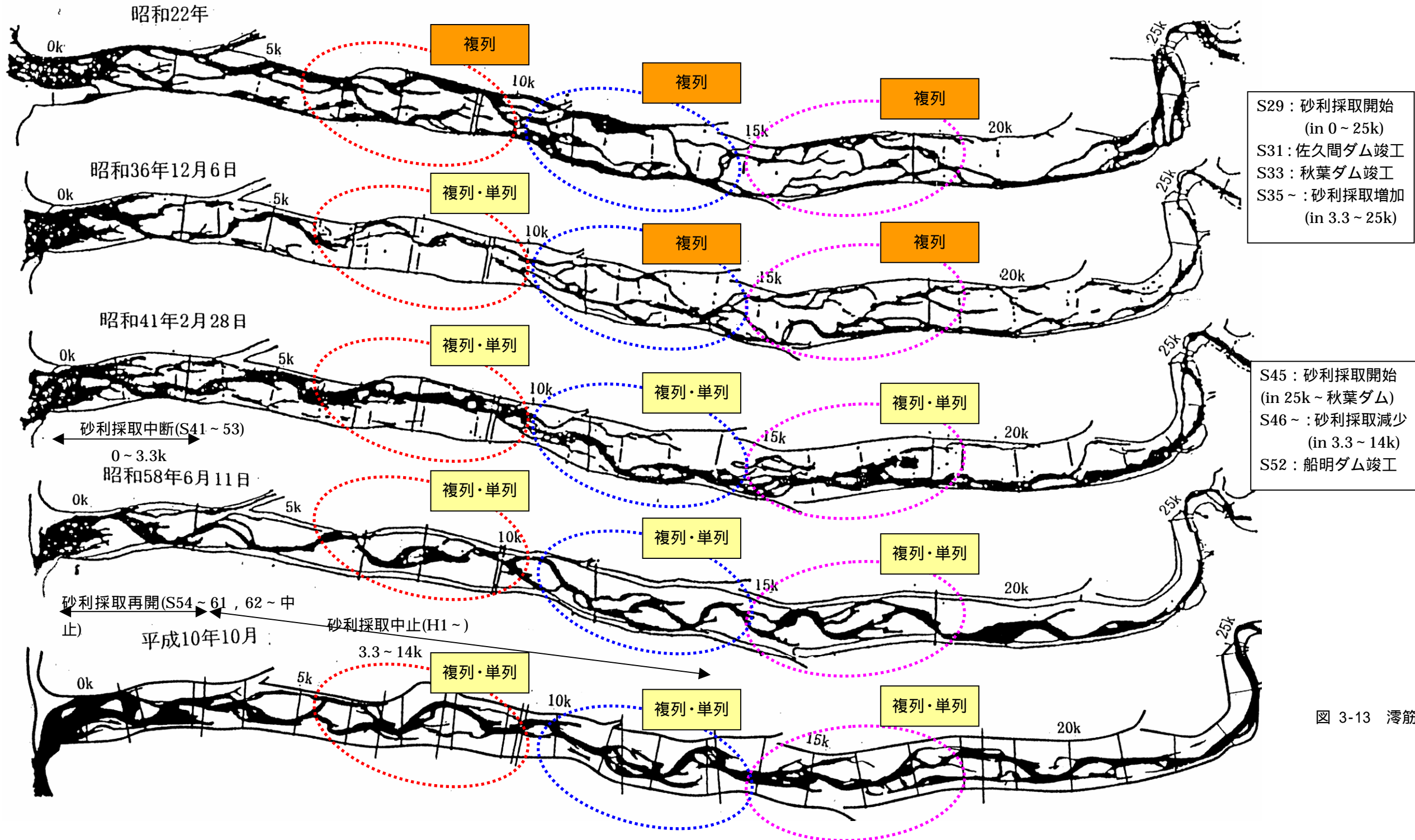


図 3-13 澇筋変遷図と砂州形状

3) 砂州の堆積・侵食の傾向

個々の砂州の堆積量（もしくは侵食量）を、航空レーザー3次元分析により測定した結果から、砂州の堆積傾向（もしくは侵食傾向）を把握した。

航空レーザー測量は、平成15年度以降平成17年度までに6回実施している。

航空レーザー3次元分析を実施した平成15年以降で、最も洪水規模が大きく顕著な侵食・堆積が見られた、平成15年12月測量～平成16年12月測量の砂州毎の変動量を、次図に示す。

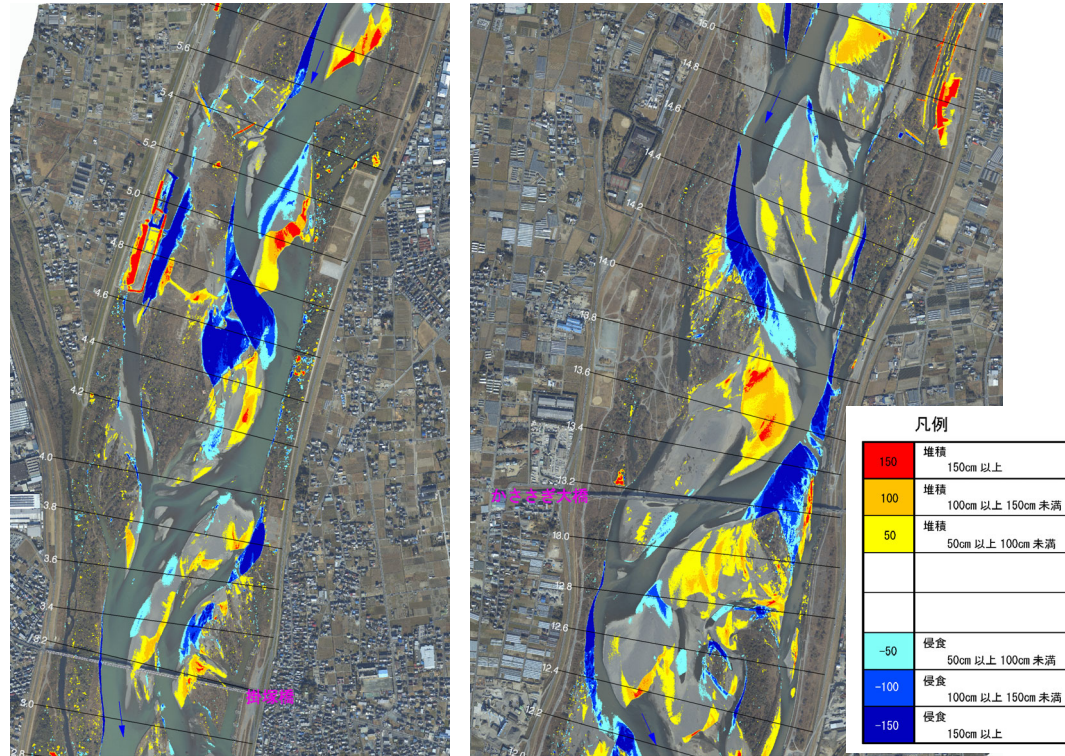


図 3-16 砂州の堆積・侵食状況（平成15年12月測量～平成16年12月測量）

上図から、砂州の前面（上流側）で侵食が生じ、砂州の下流側に堆積している砂州が多いことが分かる。この現象を繰り返すことにより、砂州が下流側に移動しているものと推察される。

河口から秋葉ダム直下までの全体量は、平成15年の初回～平成17年の第6回までの計測に基づく土砂量計算の結果によれば、+約20万m³～-約15万m³の変動量を確認した。これには、同期間の毎年の砂利採取量、約28万m³（鹿島下流部：25万m³、気田川合流部付近：約3万m³）の影響が含まれている。

表 3-5 堆砂・侵食量総括

時期		堆砂量 (m ³)	堆砂面積 (m ²)	平均堆砂厚 (m)	侵食量 (m ³)	侵食面積 (m ²)	平均侵食厚 (m)	変動量 (m ³)
H15.8	初回計測							
H15.12	第2回計測	315,313	2,850,615	0.11	-303,478	2,086,087	-0.15	11,835
H16.11	第3回計測	1,925,477	4,570,706	0.42	-1,730,625	3,524,706	-0.49	194,852
H16.12	第4回計測	303,005	2,723,315	0.11	-455,263	2,821,158	-0.16	-152,258
H17.10	第5回計測	618,829	3,805,640	0.16	-483,873	2,739,298	-0.18	134,956
H17.12	第6回計測	228,521	3,057,889	0.07	-312,629	3,311,019	-0.09	-84,109

4) 砂州冠水頻度の変化傾向

a) 流況の経年変化

佐久間ダムが建設された昭和31年以降に、年最大流量（時刻最大）と1,000m³/s以上の日数の極小値が経年的に右下がりの傾向が認められる。

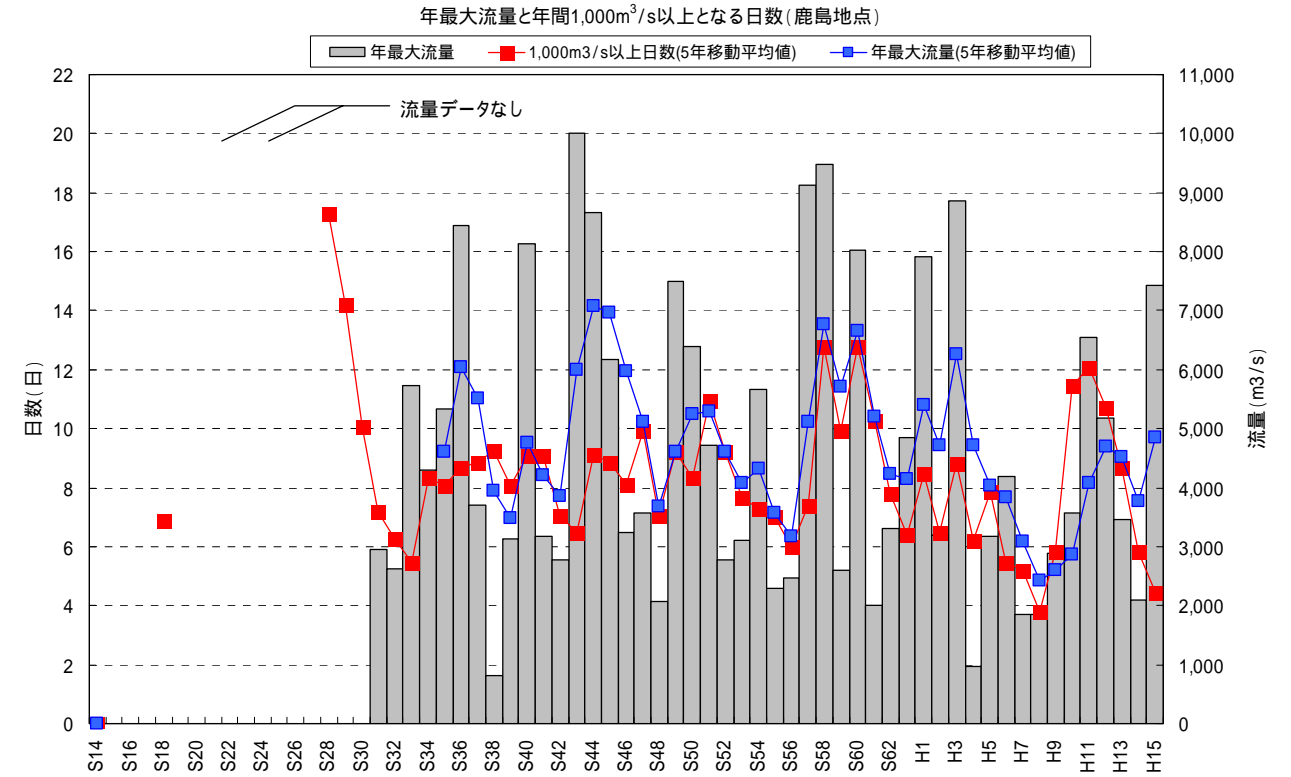


図 3-19 年最大流量と年間1,000m³/sとなる日数（鹿島地点）

b) 砂州冠水日数の経年変化

最高砂州高の冠水日数を、樹林化の顕在断面における等流計算から推定したところ、S57年より以前では、出水頻度が少ない年でも冠水日数が多い傾向にあるのに対し、S58以降では、出水規模のわりに冠水頻度は低下している傾向がある。

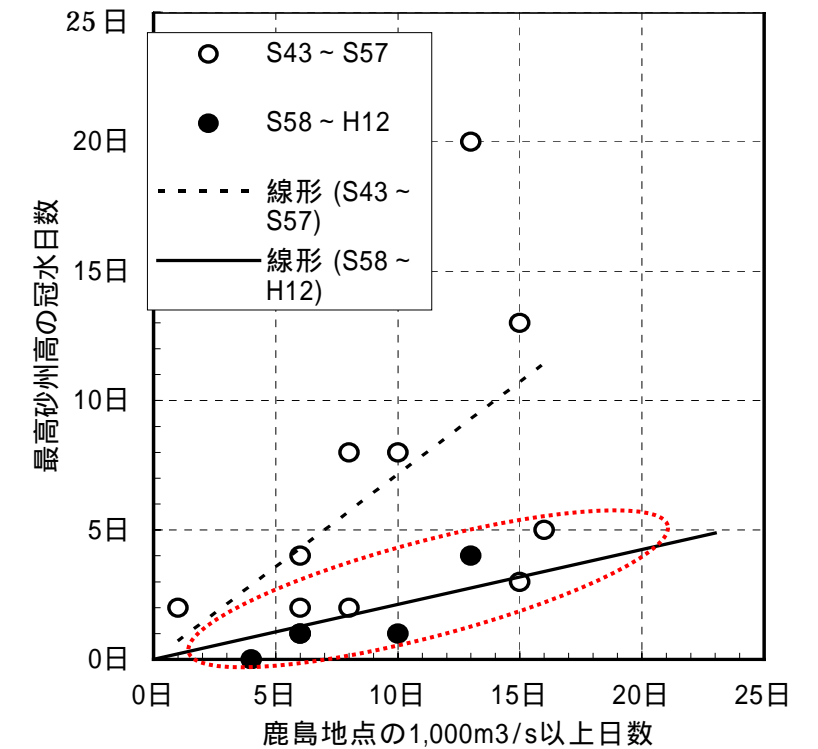


図 3-23 樹林化顕在断面（15.2k）における冠水日数と出水規模

c) 樹林の変化傾向

平均年最大流量時に、冠水深2m以下となる区間に、樹林が多く存在。

佐久間ダム等上流のダム群が完成した直後の天竜川は、河道内の緑地面積割合が20%程度と礫河原が広がる河川であった(図3-25の昭和38年12月緑地面積参照)。しかし、河道の安定化に伴い緑地面積割合も40%前後になっており、近年20年では、緑地面積割合はほぼ一定の割合で推移している(図3-25の昭和56年以降参照)。

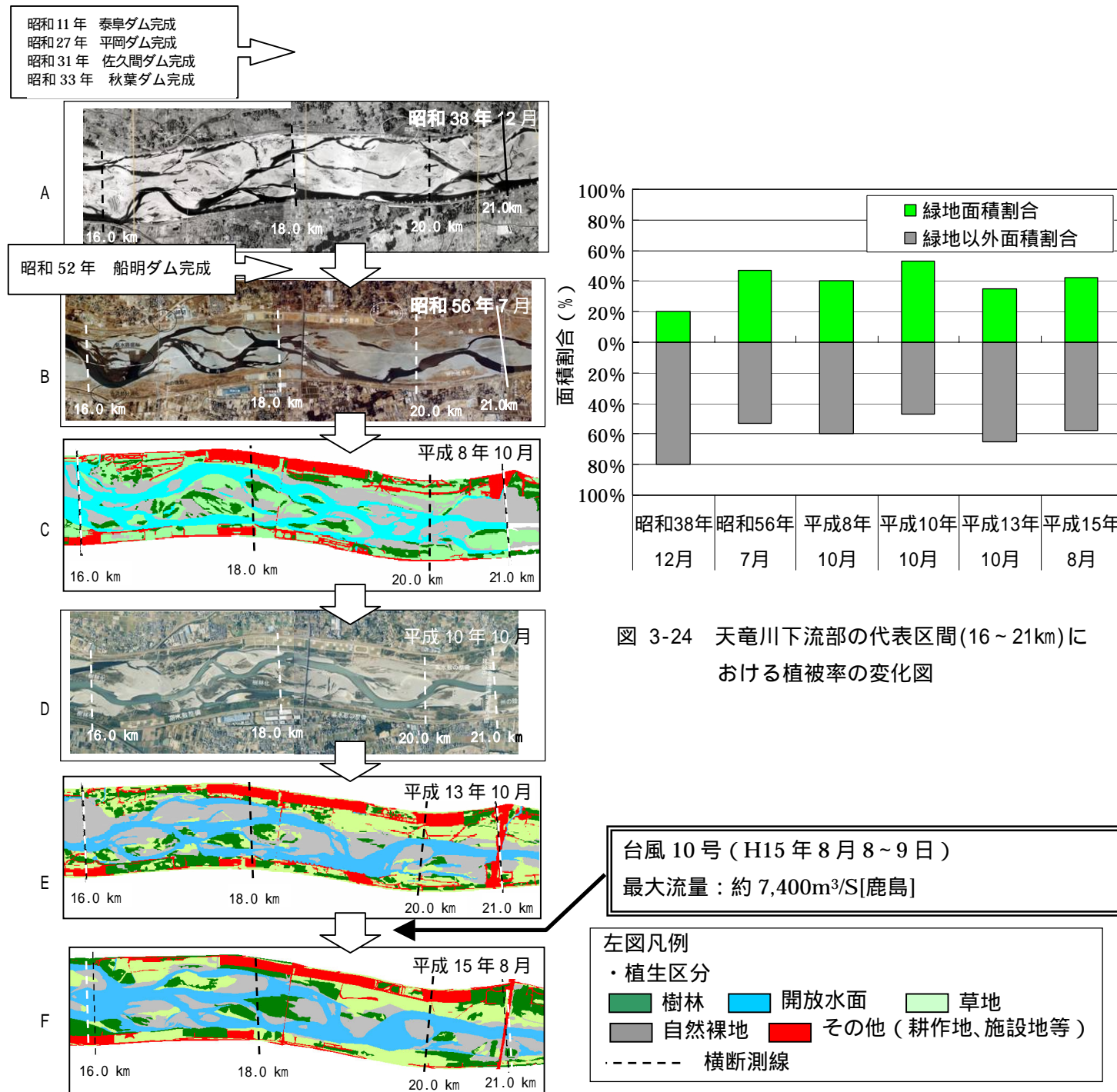
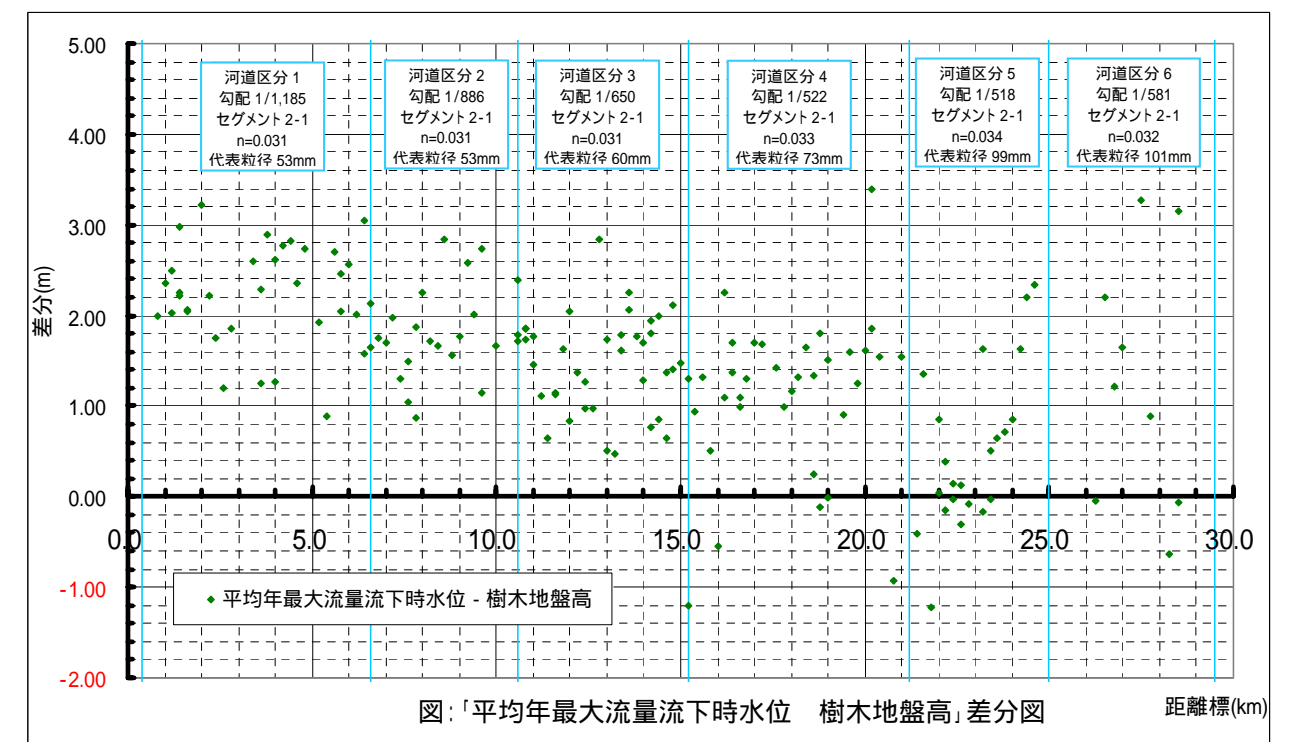
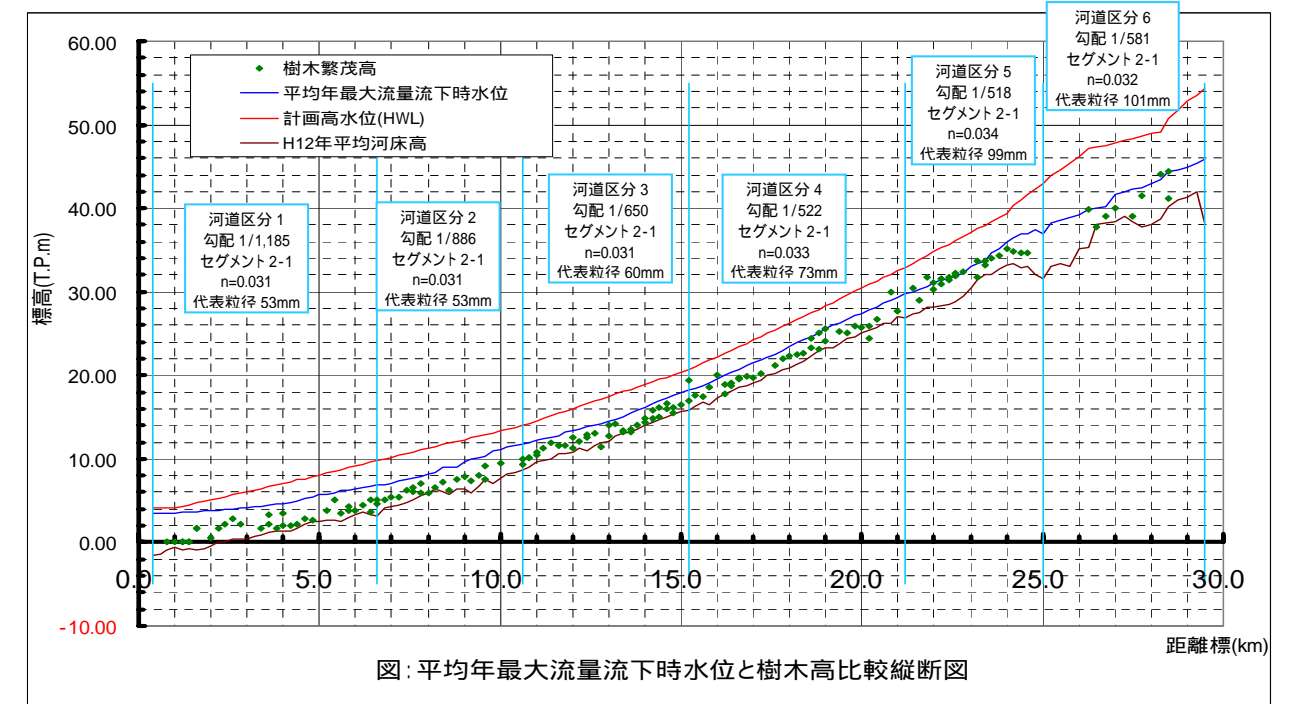


図 3-24 天竜川下流部の代表区間(16~21km)における植被率の変化図

図 3-25 天竜川扇状地の代表区間(16~21km)における平面形状の変遷図



5) 河床材料粒径分布の経年変化

下層(表面 - 1m)の河床材料は、経年的に粗粒化^{注)}もしくは細粒化の傾向は見られない。《「図 3-26」》
 表面(線格子)の河床材料調査は、平成 13 年度に行っており、縦断変化から見てダムによる粗粒化の傾向が見られる。《「図 3-27」》

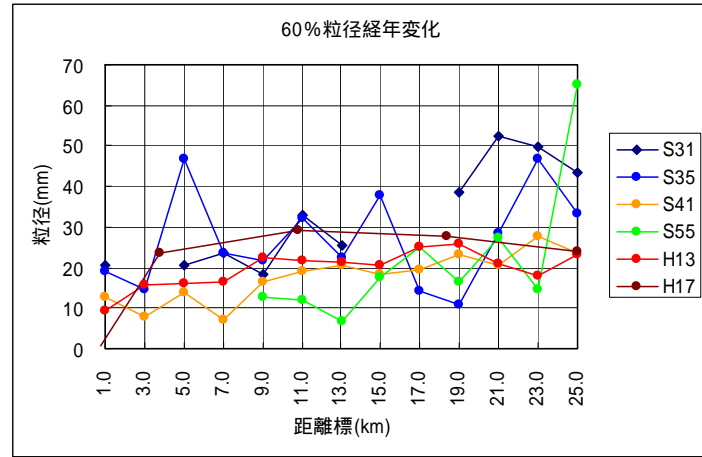


図 3-26 表面-1.0mにおける代表粒径の縦断変化

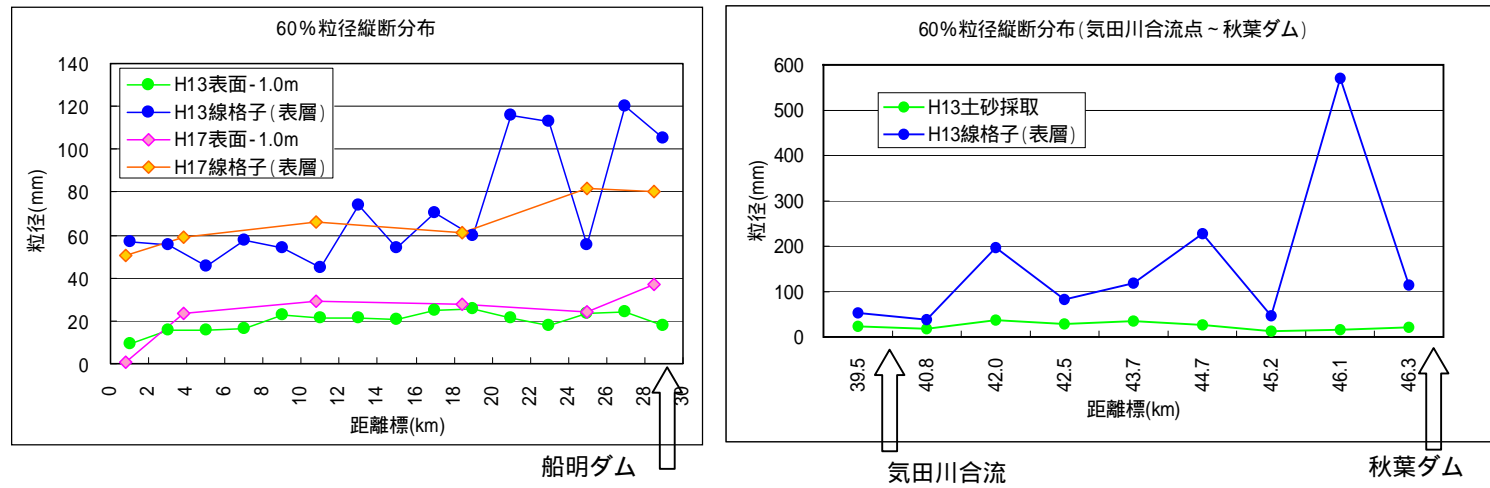


図 3-27 表面における代表粒径の縦断変化

秋葉ダムの下流側では、秋葉ダム建設に起因すると思われる粗粒化が生じている。
 ダムのない気田川は、細かい砂利や砂も河原にある。

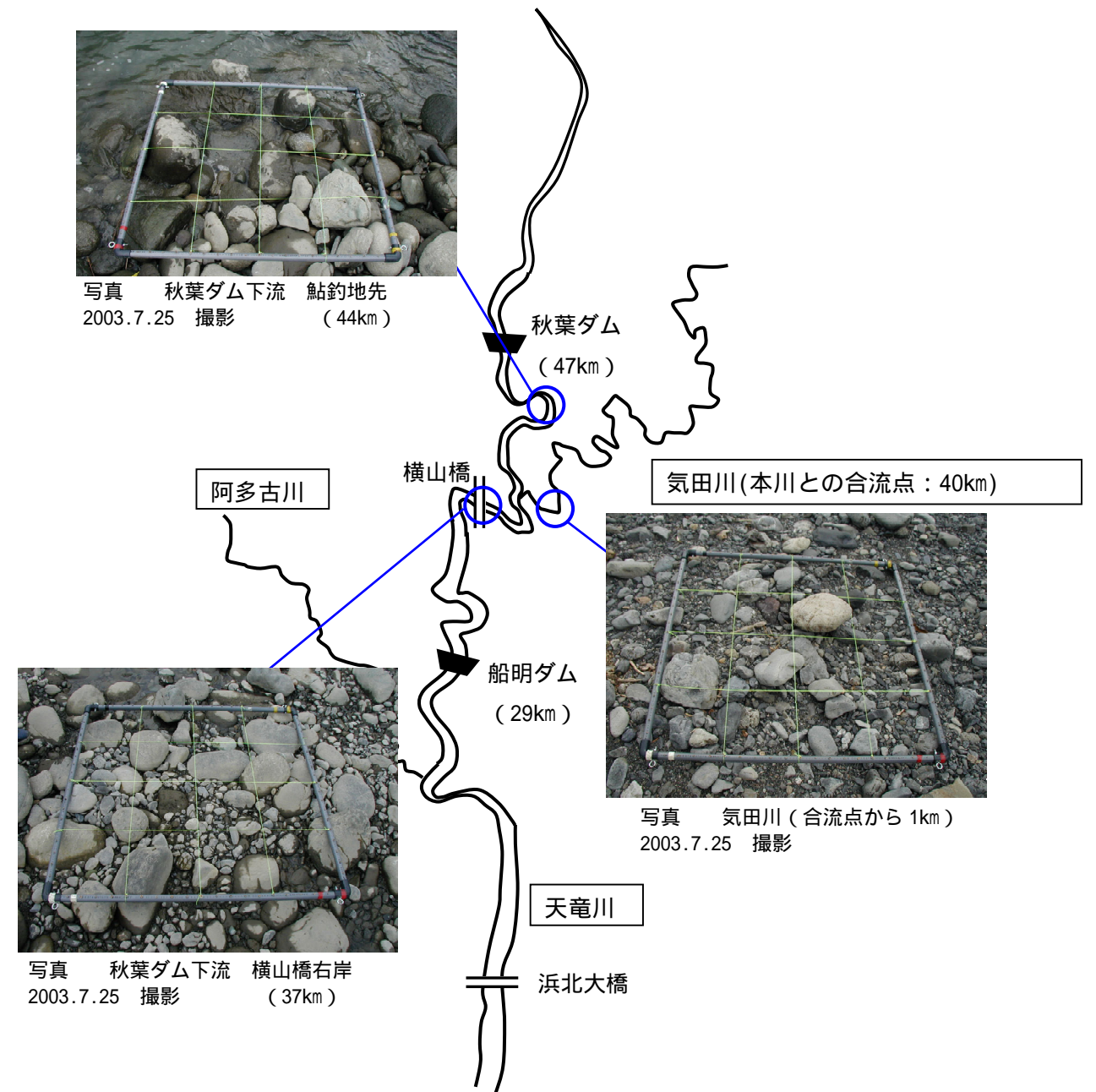


図 3-30 粗粒化の状況(秋葉ダム下流区間)

写真 1 に示すように秋葉ダム直下区間は、写真 2 に示す気田川や、写真 3 に示す気田川合流後の本川よりも、細粒分が少ない。

(3) 河口領域

1) 汀線変化の状況

天竜川河口部の空中写真を見ると、1946年から2001年にかけて河口部汀線が後退していることがわかる。離岸堤の設置により砂浜の侵食を抑えているが、その先では侵食が進行している。また、福田漁港の防波堤によって土砂の移動が阻止され、その右側では砂浜が前進している。



図 3-31 天竜川河口部の汀線の変化 出典：2001年空中写真

2) 河口付近の状況（地形）

天竜川からのウォッシュロードや細砂の流出は、河口から南～南西に伸びる最大60～70mの厚さの堆積丘（河口テラス）の形成に、大きく寄与しているとされている。

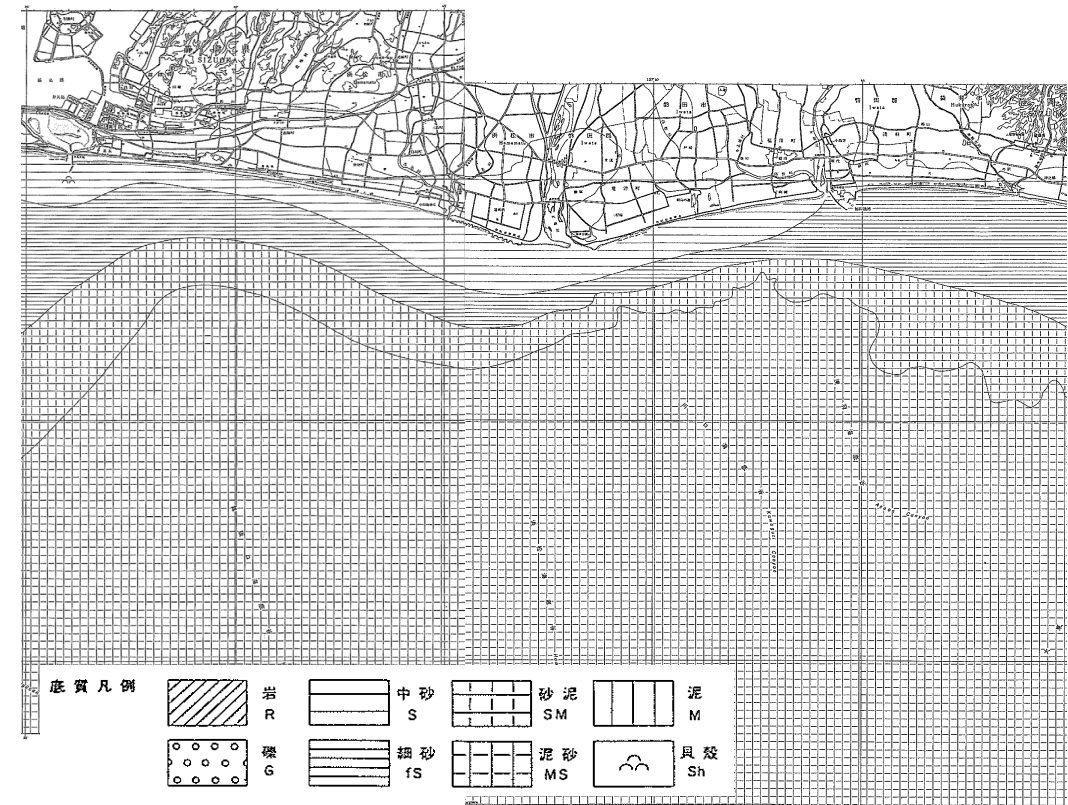


図 3-32 堆積層等層厚線図

出典：「海上保安庁水路部 5万分の1沿岸海の基本図 海底地形地質調査報告 御前崎西方 平成11年3月」,
「海上保安庁水路部 5万分の1沿岸海の基本図 海底地形地質調査報告 浜松 平成10年3月」

3) 河口付近の状況（底質）

天竜川からのウォッシュロードや細砂の流出は、福田町前面海域に伸びる細粒堆積物の形成に、大きく寄与しているとされている。



岩 R : 中砂 S : 0.25 ~ 0.5mm 泥 M : 0.004 ~ 0.063 mm
礫 G : 4 ~ 64 mm 細砂 fS : 0.063 ~ 0.25mm

図 3-33 底質分析図

出典：「海上保安庁水路部 5万分の1沿岸海の基本図 海底地形地質調査報告 御前崎西方 平成11年3月」,
「海上保安庁水路部 5万分の1沿岸海の基本図 海底地形地質調査報告 浜松 平成10年3月」

4) 河口部の侵食状況

天竜川からの流出土砂の減少に伴い、河口砂州は後退し、天竜川河口テラスが徐々に縮小してきている。
(例えば測線 No.218)

2001年と2004年の比較によると、河口テラス縮小量が小さくなっているが、これはテラスの両サイドに侵食が波及しはじめているものと考えられる。

浜松五島海岸の離岸堤群東端では、2004年2月から2005年2月の1年間で急激な侵食が認められる。
(例えば測線 No.144)

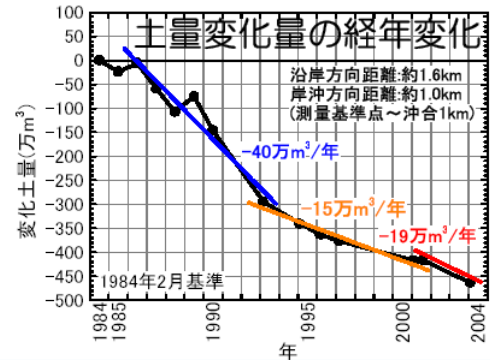
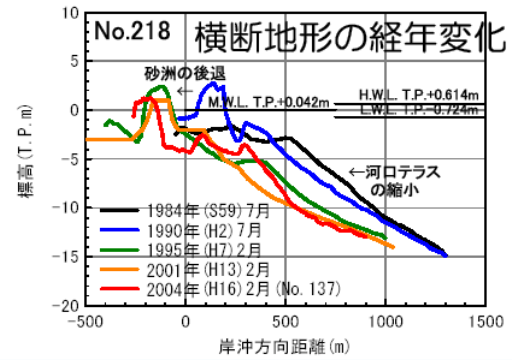
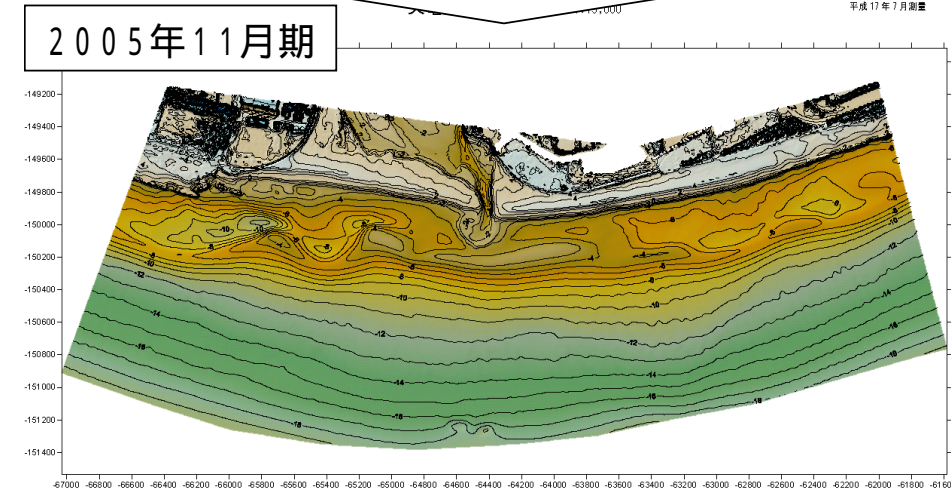
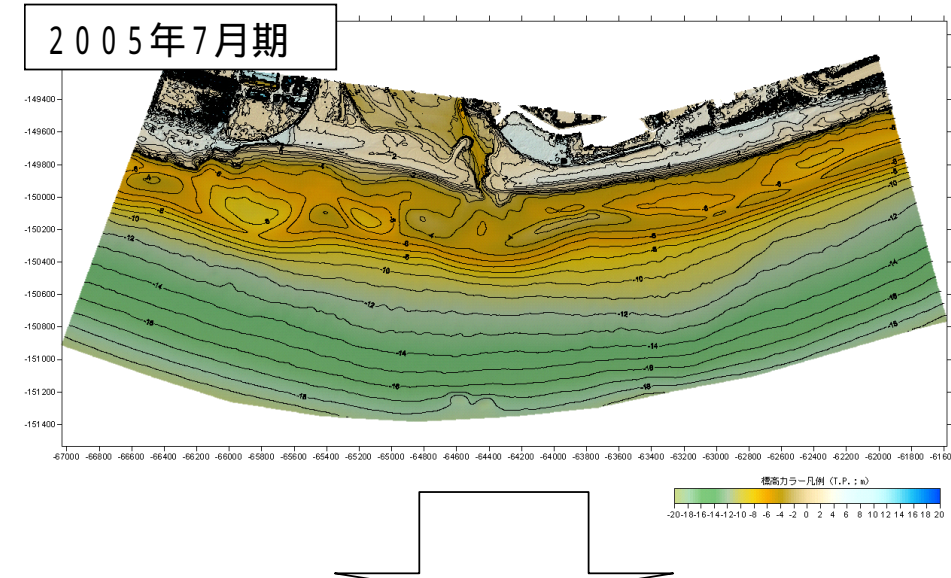


図 3-35 天竜川河口部の侵食状況

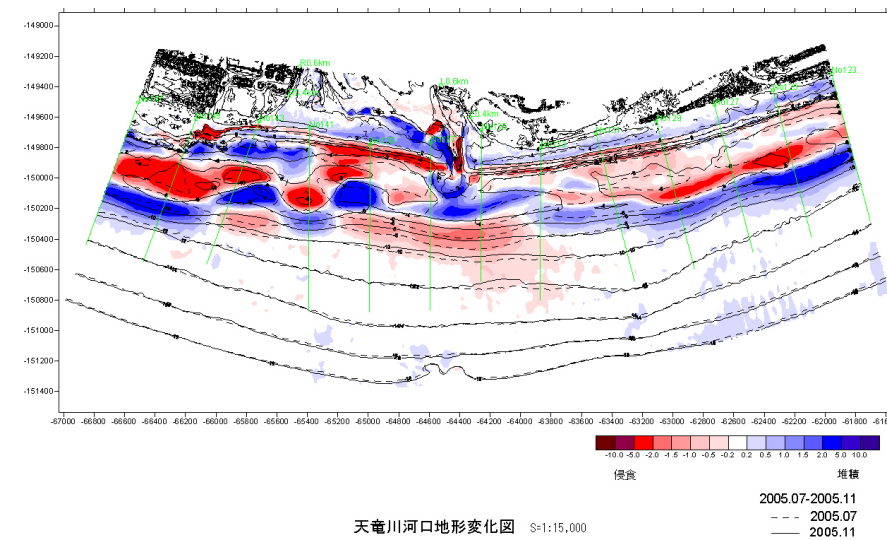
出典：「第3回 遠州灘沿岸侵食対策検討委員会 静岡県」

5) 河口テラスの地形計測

平成 17 年度より、河口テラスの地形計測を実施している。



7月測量と11月測量の差分は、次図のとおり。



天竜川河口地形変化図 S=1:15,000

3-1-1 洪水時の濁水状況

現況における洪水時の濁水状況について整理した。洪水時濁水調査の実施状況は、次表のとおりである。

表 3-3 出水時水質調査内容（平成 15～17 年度）

調査項目		調査地点数	調査日時	調査頻度
現地計測項目	<ul style="list-style-type: none"> 水温 水素イオン濃度 (pH) 溶存酸素量 (DO) 濁度 電気伝導度 流速 	7地点 (図1-1参照)	平成15年 8/9～8/10	毎時計測 9回×日数
			平成16年 9/30～10/1 10/6～10/7	
室内分析項目	<ul style="list-style-type: none"> 浮遊物質 (SS) 濁水の粒度分布 生物化学的酸素要求量 (BOD) 化学的酸素要求量(COD) 銅(Cu) マンガン(Mn) 		平成17年 8/26 9/6～9/7 各日 9:00 ～17:00	毎時採水 9回×日数

表 3-4 出水時調査における洪水状況

調査期間	佐久間ピーク流量	鹿島ピーク流量
平成 15 年 8/9～8/10	約 2,500m ³ /s	約 7,400m ³ /s
平成 16 年 9/30～10/1	約 500m ³ /s	約 500m ³ /s
平成 16 年 10/6～10/7	約 1,000m ³ /s	約 2,000m ³ /s
平成 17 年 8/26	約 200m ³ /s	約 400m ³ /s
平成 17 年 9/6～9/7	約 500m ³ /s	約 1,000m ³ /s



図 3-18 調査地点

洪水時濁水調査は平成 15 年度から実施しており、大きな出水であった平成 15～16 年度結果を、以降に示す。

表 3-5 洪水時の濁水状況

エリア	場所	内容
ダム貯水池領域	① 佐久間ダム	(1) 貯水池による Wash Load の捕捉 H15.8 月出水で 64% を捕捉。 (2) 流入 Wash Load 量と流入量との関係 H15.8 月出水で、流入量と流入 Wash Load の時間的なズレは殆ど見られない。 (3) 濁水の状況 H15.8 月出水で、貯水池による遅延が見られる（ピークは 1 日遅れる）。
	③ 秋葉ダム	(1) 貯水池による Wash Load の捕捉 H15.8 月出水では捕捉せずに、侵食・排出している。H16 年は 4 出水平均で 12% の捕捉率。 (2) 流入 Wash Load 量と流入量との関係 H15.8 月出水や H16 年の 4 出水で、流入量と流入 Wash Load 量の相関性は低い。 (3) 濁水の状況 H15.8 月出水や H16 年の 4 出水で、貯水池による遅延は殆ど見られない。
河道領域	② 佐久間ダム直下～秋葉ダム流入部	(1) 支川（大千瀬川、水窪川 etc）からの流入 Wash Load H15.8 月出水では濁質負荷量 110,400 (ton) の流入。H16 の 4 出水合計で濁質負荷量 19,906 (ton) の流入。 (2) 支川 Wash Load 量と支川流量との関係 H15.8 月出水や H16 の 4 出水で、時間的なズレは殆ど見られない。
	④ 秋葉ダム直下～船明ダム流入部	(1) 支川（気田川、横山川 etc）からの流入 Wash Load H16 の 4 出水合計で濁質負荷量 30,082 (ton) の流入。 (2) 支川 Wash Load 量と支川流量との関係 H15.8 月出水や H16 の 4 出水で、時間的なズレは殆ど見られない。
河口領域	⑦ 河口付近	<濁水の拡散状況> ・洪水によって西に拡散したり、東へ拡散したりしている。 ・2 洪水（H2.9、H15.8）の空中写真によれば、20～30 日で清水に戻っている。

(1) 貯水池および河道部における土砂、濁水の調査内容

佐久間ダム貯水池内の流送土砂（掃流砂・浮遊砂）やウォッシュロード通過量の観測は、平成15年度から行われている。

この観測により、平成15年8月台風10号における、濁質収支を整理している。この濁質収支から、ダム貯水池によるウォッシュロードの捕捉率や、支川から合流するウォッシュロード量を把握した。

① 出水の濁質負荷に係わるダムの役割

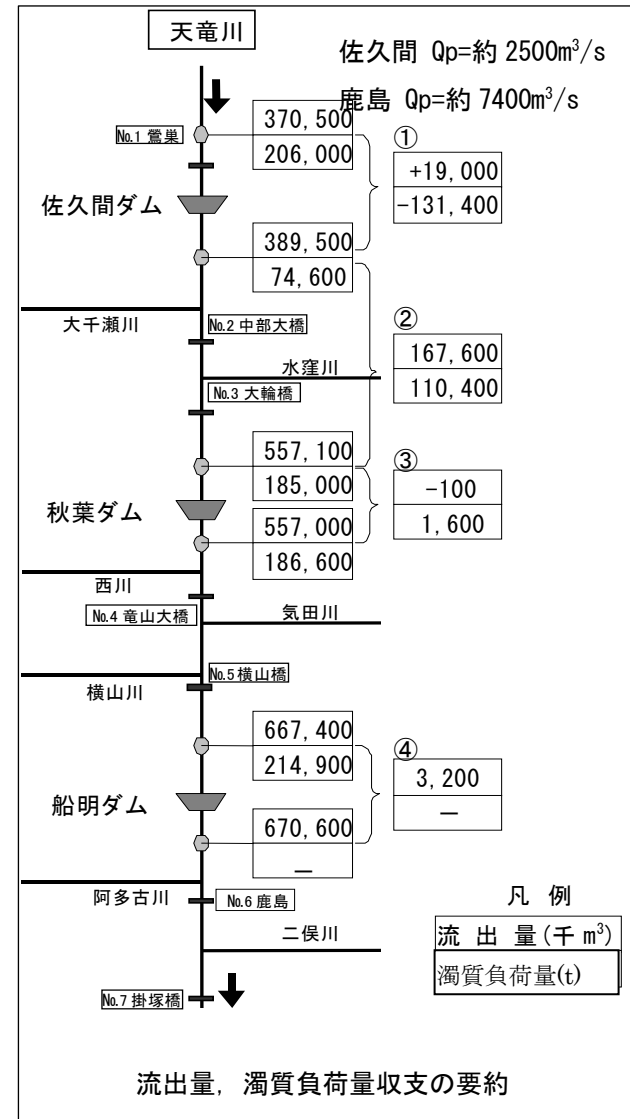
- 佐久間ダムでは、流入する約206,000 tの濁質負荷の内、60%強にあたる約131,400 t (①)の濁質負荷を貯留している。
- 秋葉ダムでは流入する濁質負荷の貯留は約1,600 t (③)と佐久間ダムの1%程度しかない。

② 濁質負荷に係る流入支川の寄与

- 佐久間ダム～秋葉ダム間で増加する濁質負荷量は、110,400 t (②)と佐久間ダム放流濁質負荷量(74,600 t)の1.5倍にあたる。これらの濁質負荷の供給源は本川に流入する大千瀬川、水窪川等の支川と想定される。
- 秋葉ダム～船明ダム間の支川は、佐久間ダム～秋葉ダム間の支川よりも流出SS量が多い。

③ ウォッシュロードの粒径分布

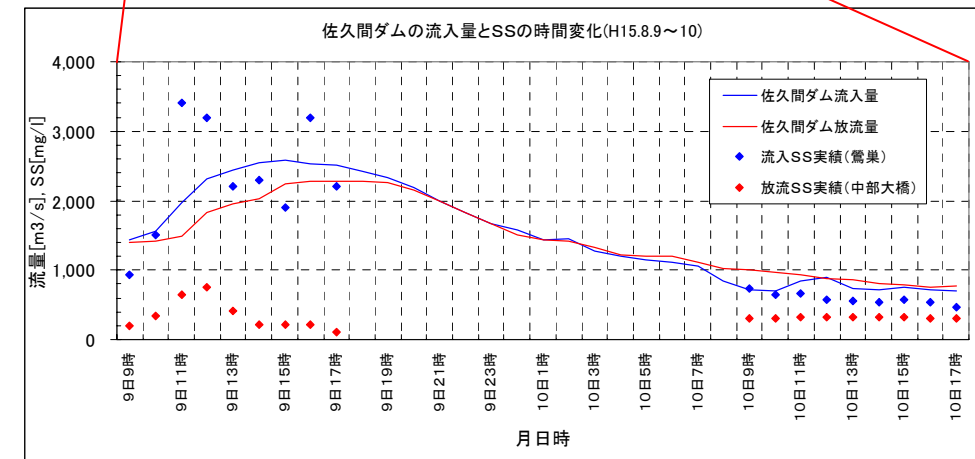
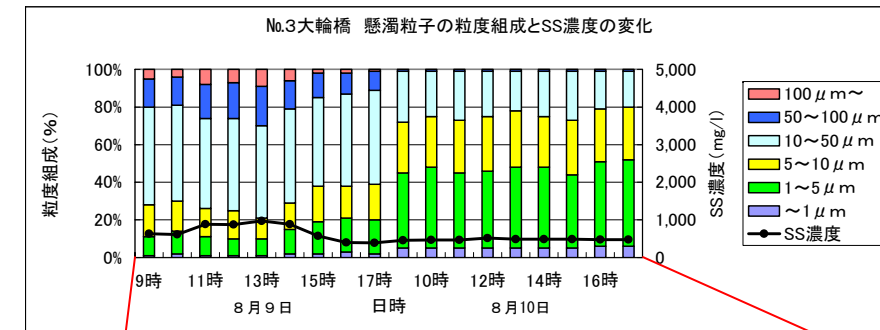
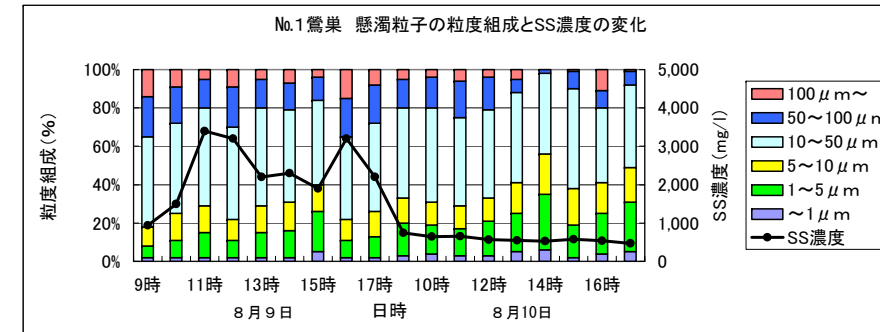
- SS濃度のピーク時は各地点ともφ50μm以上の粒度組成の割合が高い時間帯と概ね一致している。
- 佐久間ダムの上流側(No.1)と下流側(No.2～No.7)で粒度組成の傾向が異なる。下流側(No.2～No.7)では、翌8月10日はφ10μm以下が60～80%を占めるのに対し、上流側(No.1)では40%前後に留まっており、佐久間ダムが下流側への土砂供給の抑制に寄与していることを示すものと考えられる。



濁質負荷量 = 濁度 [g/m³] × 流量 [m³/s] × Δt [s] の時間合計量

※船明ダムの濁度データが異常のため、濁質負荷量は「-」として表示した。

図 3-19 濁水調査地点



(2) 貯水池・河道領域における水質環境（平成15年8月9日～10日調査）

平成15年8月9日～10日の出水時における水質環境の縦断変化を示す。

これを見ると、降雨のあった9日はSSおよび濁度、BOD、CODともに、大幅に大きな値となっているものの、降雨後の10日は、どの地点も小さな値となっている。

次に、SSに着目して空間分布を見ると、上流端の天竜川橋では3500mg/lと最も大きな値となっているものの、佐久間ダムを通過した中部大橋では、1000mg/l程度にまで小さくなっている。その後、気田川合流後の横山橋においてSSが上昇し、船明ダム通過後の鹿島橋では3200mg/l程度にまでSSが大きくなっている。そして、河口に近い掛塚橋で2000mg/l程度にまで小さくなっている。また、各観測地点でのピーク時刻がほとんど同じである。

BODおよびCODの縦断分布も同様の傾向になっている。なお、BOD濃度は、ほとんどの地点でA類型の2mg/l以下を満足している。

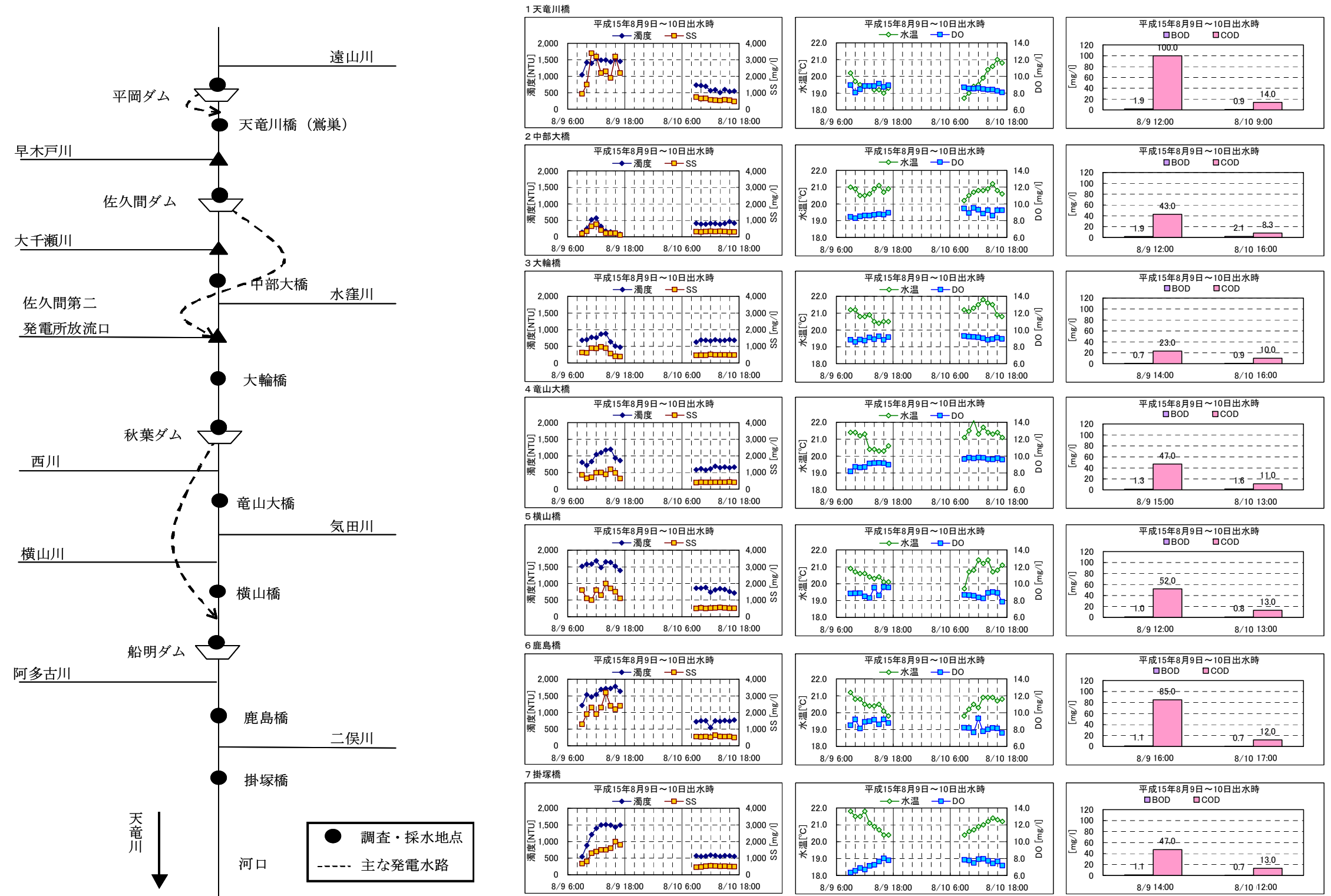


図 3-20 平成15年8月9日～10日出水時調査

(3) 河口域における濁水拡散状況

天竜川の河口沖海域において、洪水後～平常時における空中写真（斜め写真）は最近多く撮影されているため、洪水時と洪水後の濁り状況を把握できる2例により濁水の拡散方向や概ねの拡散範囲を把握した。

これを見ると、西に拡がることもあれば、東に拡がることもあり、概ね20～30日経過すると清水に戻っていることが分かる。



H2. 9. 22, 鹿島 $Q_p=3,196\text{m}^3/\text{s}$

H2. 10. 10, 前洪水の18日後



H15. 8. 10, 鹿島 $Q_p=7,427\text{m}^3/\text{s}$

H15. 9. 11, 前洪水の32日後

図 3-21 洪水時と洪水後の濁水拡散状況

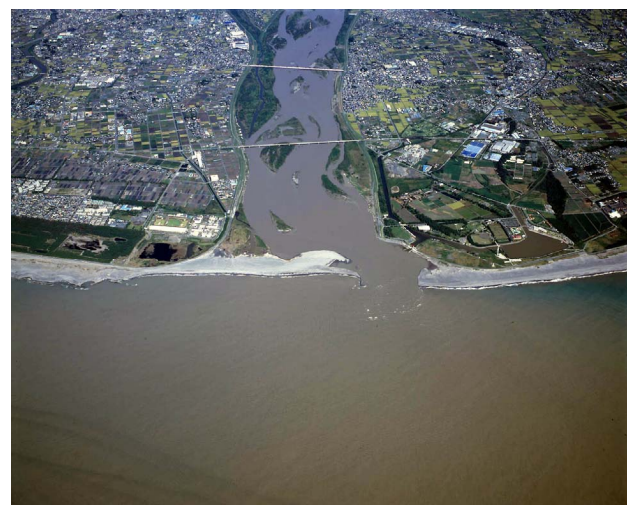


図 3-22 洪水時の濁水拡散状況 (H16. 10. 06, 鹿島 $Q_p=3,300\text{m}^3/\text{s}$)



図 3-23 洪水時の濁水拡散状況 (H16. 10. 23, 鹿島 $Q_p=4,400\text{m}^3/\text{s}$)

このような天竜川からのウォッシュロードや細砂の流出は、「5万分の1沿岸の海の基本図 海底地形地質調査報告書 御前崎西」(H11.3)や「同 浜松」(H10.3)によれば、河口から南～南西に伸びる最大60～70mの厚さの堆積丘（河口テラス）の形成や、福田町前面海域に伸びる細粒堆積物の形成に、大きく寄与している。