

天竜川流砂系総合土砂管理計画 第一版策定に向けて — 大規模な土砂管理対策実施による平均河床高等 の指標値の変化とその管理・評価手法の検討 —

DRAWING UP THE FIRST EDITION OF THE COMPREHENSIVE SEDIMENT
MANAGEMENT PLAN OF THE TENRYU RIVER BASIN
— ON HOW TO PREDICT, CONTROL, MONITOR AND EVALUATE OF THE
INDEX VALUES SUCH AS HEIGHT OF THE RIVER BED —

木村秀治¹・加納啓司²・林昌広³・辻本哲郎⁴

Shuji KIMURA, Keiji KANOU, Masahiro HAYASHI, Tetsuro TSUJIMOTO

¹正会員, 博(工), 国土交通省中部地方整備局河川部河川保全管理官 (〒460-8514 名古屋市中区三の丸2-5-1 名古屋合同庁舎第2号館)

²国土交通省中部地方整備局河川部河川計画課建設専門官 (〒460-8514 名古屋市中区三の丸2-5-1 名古屋合同庁舎第2号館)

³国土交通省中部地方整備局浜松河川国道事務所調査第一課長 (〒430-0811 浜松市中区名塚町266)

⁴フェロー会員, 工博, 名古屋大学名誉教授

Large-scale sediment control measures are being planned in Sakuma Dam of the middle reaches of Tenryu River in Japan. It is clear that the measures should have a great effect on the environment in the lower reaches from the dam to seashore. Therefore, it is necessary to predict, control, monitor and evaluate the variation of the index values such as height of the river bed. Also, it is equally important to reflect the result of the monitoring and the evaluation to the plan of the measures accordingly. In the shortage of knowledge about sediment control, this kind of adaptive management is very important to realize properly sediment control. In this report, we introduce series of method for drawing up the first edition of the comprehensive sediment management plan of the Tenryu River Basin.

Key Words: *adaptable sediment control, sediment control countermeasures, index values*

1. はじめに

天竜川流域では, その気象・地形・地質等の特性から, 土砂, 洪水対策を目的に様々な防災施設が整備されてきた。また, 豊富な水量と急峻な地形等を活用した電源開発等を目的とした利水施設も整備されてきた。それらの代表的な施設としてダムがあるが, それらダムは地域の安全・安心の確保, 経済の発展に大きく寄与してきた一方で, 近年, 土砂移動の連続性阻害による治水, 利水, 環境面への負の影響も顕在化してきている。

それゆえに, 土砂生産量が大きく貯水池の堆砂の進行

が著しい上流域の支川ダムでは, 土砂管理対策として土砂バイパストンネル(以下, 「土砂BPT」と記す。)の整備が進められ, 美和ダムでは平成17年度から, 小洪ダムと松川ダムでは平成28年度から同施設の試験運用を開始している。また, 中流域の本川ダム・佐久間ダムでは, 洪水調節機能の新規確保に併せて土砂管理対策施設の整備を検討しており, 大規模な置土実験も計画している。さらに, ダム領域だけでなく, 土砂生産・流送領域, 河道領域, 河口・海岸流域でも, 各々の管理者が土砂管理対策を実施・計画している。各領域での対策は必ずしも他の領域に正の効用のみをもたらすわけではないことから, それら対策の有機的な調整・連携が喫緊の

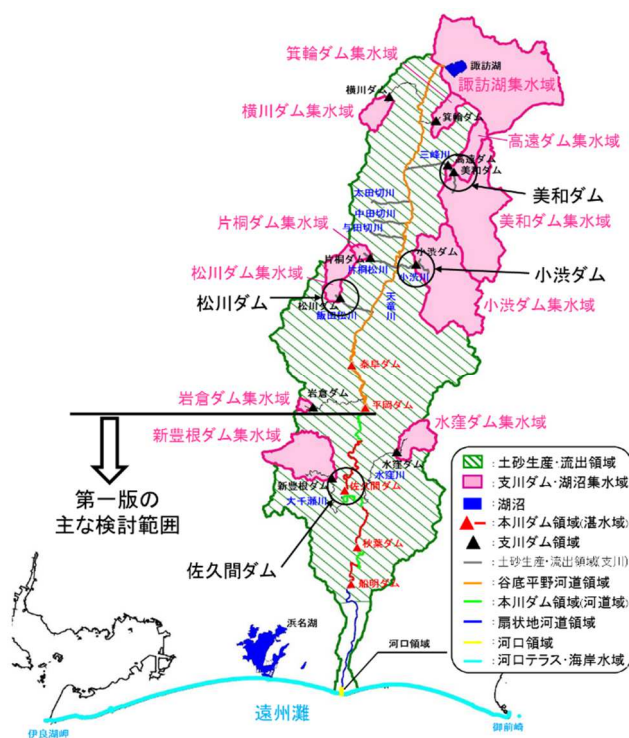


図-1 天竜川流砂系総合土砂管理計画策定範囲

重要課題である。そこで、2016年2月に各領域の管理者からなる「天竜川流砂系協議会（会長：中部地方整備局河川部長）」を設置し、流域の源頭部から海岸までの一貫した土砂の運動領域を「流砂系」という概念で捉えた「総合的な土砂管理計画」の策定を目指すこととした。

なお、美和ダムでは、さらなる土砂管理対策として土砂BPT上流部にストックヤードを整備して、平常時にダム貯水池に堆積した土砂を浚渫してそこに貯め置き、洪水時に土砂BPTへ排砂する「湖内堆砂対策施設」を整備中で、2016年10月に「美和ダム再開発湖内堆砂対策施設モニタリング委員会（委員長：角哲也京都大学教授）」を立ち上げて運用方法等を検討中である。また、小渋ダムでも、2014年7月に「小渋ダム土砂BPTモニタリング委員会（委員長：辻本哲郎名古屋大学名誉教授）」を立ち上げて運用方法等を検討中である。さらに、松川ダムにおいてもモニタリング等を実施して同様に検討していく予定である。一方、佐久間ダムでは、それら上流3ダムが土砂BPTの運用等を検討中のため流入土砂量の増加等の影響は不確定ではあるものの、早期の洪水調節機能の確保・発揮が求められており、土砂管理対策施設の整備は同機能の確保と一体不可分であることから、流入土砂量の増加は同施設の拡張性等で対応することとし、2017年3月に「第3回天竜川ダム再編事業恒久堆砂対策工法検討委員会（委員長：角哲也京都大学教授）」で新たな土砂管理対策工法と毎年の対策量等を諮り了承を得た。その概要は第2章で述べるが、この大規模な土砂管理対策は、佐久間ダム下流から海岸まで大きなインパクトを与えることは明らかであり、その影響を定量的に評

価するための指標値として、平均河床高や汀線等の変化を科学的に予測し、それを管理・モニタリングし、その結果・評価を踏まえて適宜計画を見直す等の一連のシステム、すなわち「順応的な土砂管理」は、様々な知見が不足する中で適切に土砂管理を実施していくうえで極めて重要な取り組みである。

そのため、天竜川流砂系協議会では、学識者等からなる「天竜川流砂系総合土砂管理計画検討委員会【下流部会】（委員長：辻本哲郎名古屋大学名誉教授）」と「同委員会【上流部会】（委員長：同）」を立ち上げて科学的・技術的助言等を頂きながら、主に佐久間ダム貯水池より下流において現時点（2017年3月）で計画している土砂管理対策とその影響予測やモニタリング計画等を取りまとめた「天竜川流砂系総合土砂管理計画第一版」を策定することとした（図-1）。なお、第二版では、第一版のモニタリング結果・評価等も踏まえたうえで、流域の源頭部から海岸まで、流砂系全体の総合土砂管理計画を策定する予定である。

本報告では、天竜川流砂系総合土砂管理計画第一版策定に向けて、第2章で佐久間ダムにおいて計画している大規模な土砂管理対策の概要を、第3章で土砂管理計画の主な構成と第一版策定のための管理・評価手法の工夫を、第4章で大規模な土砂管理対策実施による土砂収支と指標値の変化予測、その評価等について報告する。なお、これまで総合土砂管理計画は、安倍川¹⁾や日野川²⁾、相模川³⁾で策定されているが、いずれも他の領域に大きなインパクトを与えるような大規模な土砂管理対策は計画されておらず、今回報告するような管理・評価手法は検討されていない。

2. 佐久間ダムにおける土砂管理対策

(1) 佐久間ダム貯水池の堆砂状況

佐久間ダムは、1956年に完成した電源開発(株)が管理する発電専用ダムである。我が国有数の土砂生産量を誇る天竜川の本川中流域に位置し、流域面積は3,827km²にも及ぶこともあり、60年間（2016年現在）で約126百万m³の土砂がダム貯水池に堆積しており、それは総貯水容量の38.6%、有効貯水容量の22.0%を減少させている。

ダム貯水池の堆砂傾向を線形近似線を引いて分析すると、全期間（1957～2015年）では約215万m³/年、管理開始から既往最大洪水の1983年の間では約316万m³/年、それ以降は約126万m³/年と、近年は堆砂が鈍化傾向である（図-2）。この鈍化は、佐久間ダム上流で1983年以降に建設されたダムは1989年完成の片桐ダムだけであり、その流域面積は15.1km²と佐久間ダムの流域面積に比して極めて小さいことからその影響では無いと考える。ダム貯水池への年最大流入量（洪水）の平均値と標準偏差を

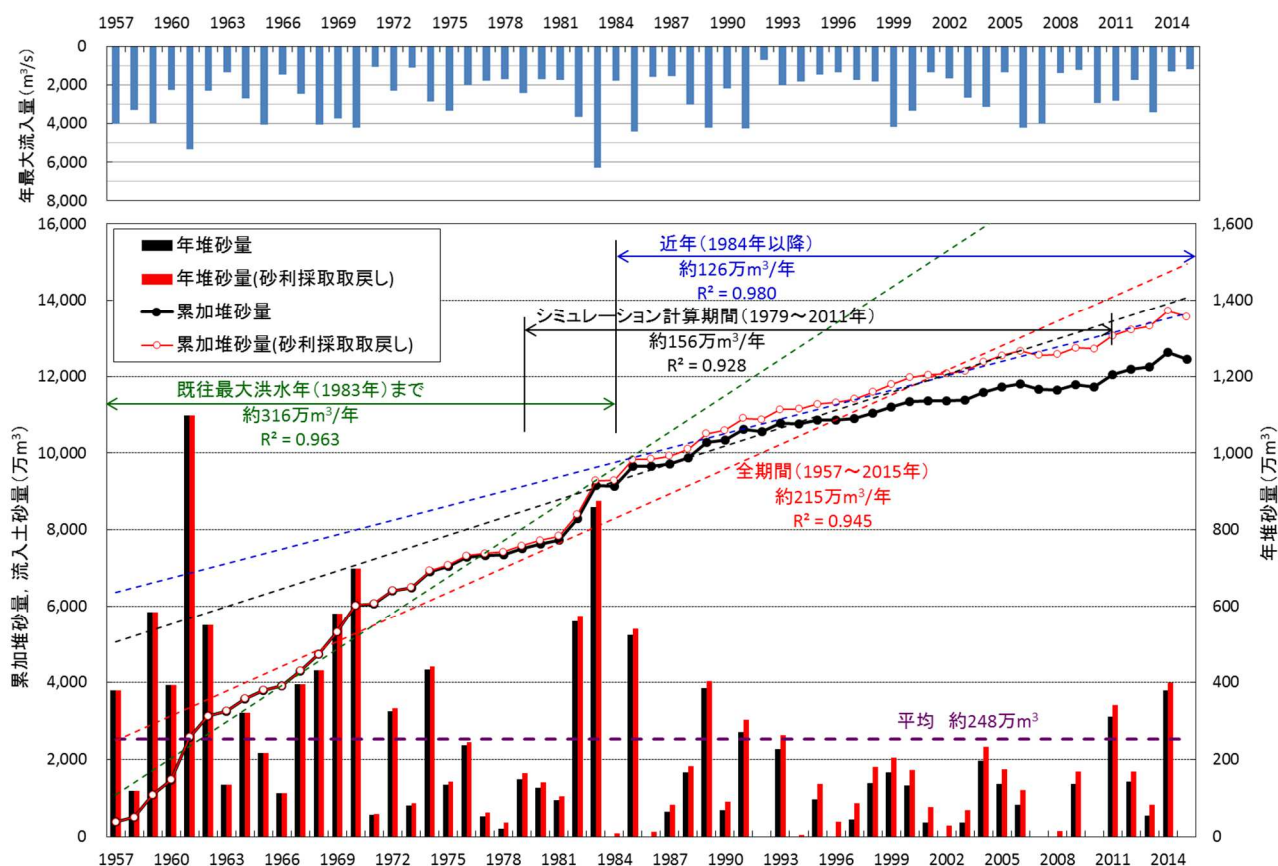


図-2 佐久間ダム貯水池の堆砂傾向

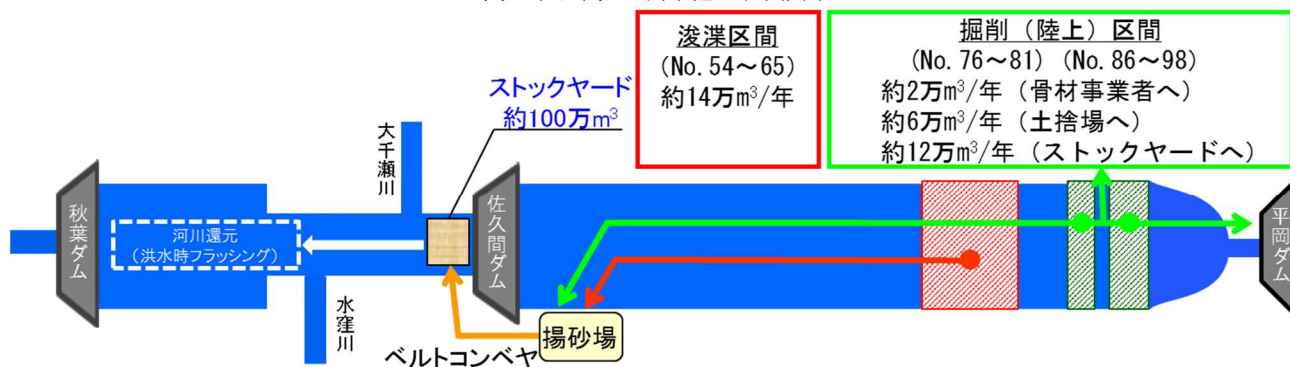


図-3 佐久間ダムにおける新たな土砂管理対策工法

確認すると、1957～1983年がAve.=2,856m³/s、 σ =1,310 m³/sであるのに対し、1984～2015年がAve.=2,365m³/s、 σ =1,128m³/sと大きく減少している。通常、ダム建設初期は堆砂が進行する傾向にあるものの、この流況の変化の影響と土砂生産域での砂防ダム等の整備の進捗が要因ではないかと推察する。

(2) 佐久間ダムにおける土砂管理対策と土砂収支

「天竜川ダム再編事業」は、天竜川中下流部の洪水を防御するため、既設の利水専用ダムである佐久間ダムを有効活用して新たに洪水調節機能を確保し、併せて土砂移動の連続性を確保する恒久的な土砂管理対策を実施することにより、同機能の維持を図ると共に海岸侵食の抑制等を目指す事業で、2009年に建設着手した。

第1章で述べた第3回天竜川ダム再編事業恒久堆砂対策工法検討委員会です承された新たな土砂管理対策工法は、平常時に貯水池上流部での浚渫土砂約14万m³/年、陸上掘削土砂約12万m³/年を土運搬船でダム堤体左岸の揚砂場に運び、そこからベルトコンベヤでダム直下のストックヤードに置土し、洪水時にダムゲートからの放流水で下流河道に土砂還元する計画である。その他、陸上掘削土砂約2万m³/年は骨材事業者へ引き渡し、約6万m³/年は土捨場への運搬する計画とした(図-3)。なお、現在、佐久間ダムでは、電源開発(株)が1970年当時の貯水池河床相当の維持を目途に、1981年から主に貯水池上流部の土砂を堤体付近に移動せせる湖内輸送等の土砂管理対策を実施しているほか、民間事業者が砂利採取を約30万m³/年実施している。新たな土砂管理対策でも、砂利採

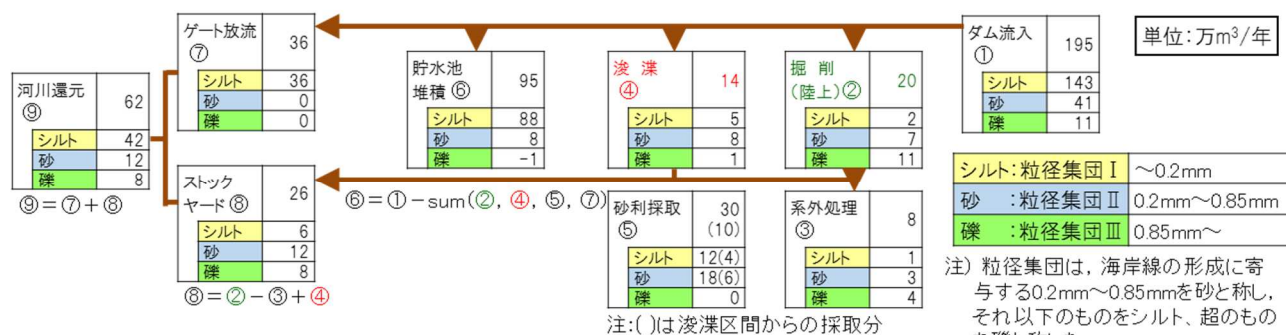


図-4 佐久間ダムにおける新たな土砂管理対策後の土砂収支

取は引き続き実施されることと想定した。

新たな土砂管理対策後の土砂収支は図-4に示す通りで、佐久間ダム貯水池に195万m³/年流入してきた土砂を、下流河川に62万m³/年土砂還元し、砂利採取も含め系外に38万m³/年搬出、貯水池には95万m³/年堆砂する計画としている。下流河道への土砂還元量の増加は26万m³/年で、次章以降でこの大規模なインパクトによる平均河床高等の指標値の変化の予測結果と、それを管理・評価する手法の検討結果等を報告する。

なお、この土砂収支は、天竜川で全川にわたり水文や縦横断測量等の基礎データが揃っている1979～2011年の33年間の実績流量を繰り返し与えて100年間のシミュレーション計算を行い、その平均値で評価したものである。その前提としては、佐久間ダム貯水池において、1979～2011年の間で一次元河床変動計算により同定を行い21粒径区分毎にLQ式を作成している。図-4に示す通りシミュレーション計算では土砂管理対策量を戻した貯水池堆砂量は159万m³/年 (=195-36) であり、実績の貯水池堆砂傾向約156万m³/年 (図-2) を的確に再現できている。

3. 天竜川流砂系総合土砂管理計画の構成等

天竜川流砂系協議会は、天竜川流砂系総合土砂管理計画第一版の策定に向けて、2017年3月24日にその骨子案を天竜川流砂系総合土砂管理計画検討委員会に諮った。今後は、同委員会で頂いた意見・助言等を踏まえて素案を作成、同委員会及び天竜川流砂系協議会の委員に意見照会をかけ原案を作成、パブリックコメントを実施して計画を策定する予定である。本章では、素案作成に向けて総合土砂管理計画の構成や、第一版策定のための工夫点について報告する。

(1) 流砂系のあるべき姿 (方針)

流砂系のあるべき姿 (方針) は、河川計画における基本方針に相当するものとし、「総合土砂管理の基本原則」と「各領域の流砂系として目指す姿」を定める。基本原則

は、土砂移動の連続性を確保する、土砂移動を「流砂系」として捉え課題解決を図る、治水・利水・環境等の機能を維持・確保する、「順応的」な土砂の管理を推進することとする。この原則の基に第一版では、佐久間ダム貯水池より下流の各領域で、現状と課題も踏まえた流砂系としての目指す姿を定める。

(2) 土砂管理目標

土砂管理目標は、河川計画における河川整備計画に相当するものとし、概ね50年間 (計画対象期間) の土砂管理目標と、その達成状況等を確認するための「土砂管理指標」を定める。土砂管理目標では、土砂移動の量と質 (粒径) を定量的に定めることが望ましいが、第一版では第1章で述べたように上流3ダムの土砂BPT等の運用が検討中であること、海岸としての必要量も検討中であることなどから定性的目標にとどめる。土砂管理指標は、土砂移動の量と質が物理環境だけでなく生物環境の変化にも繋がることが想定されること、年1回程度の物理環境モニタリングだけでは変化を見落とす可能性もあることから両方で指標を設定する。なお、計画対象期間を50年としたのは、河川整備計画の計画期間概ね30年を超える視点が必要と考えたこと、土砂移動量は流況などの影響を大きく受け、長期的視点でモニタリングしないと変化要因の分析が難しいことなどを踏まえた。

(3) 土砂管理対策

土砂管理対策には、土砂管理目標を達成するための具体の土砂管理対策を明記すべきと考えるが、第一版では、主に現時点で事業化がされている第2章で述べた佐久間ダムにおける大規模な土砂管理対策の記述にとどめる。次に、新たな土砂管理対策を実施した場合の土砂管理基準地点 (河川計画でいう基準地点・主要地点) の土砂移動の量と質を定める。併せて、現在の土砂管理対策を継続した場合との土砂移動の量と質、及び土砂管理指標の変化の違いを定量的に示すことで、目指す姿に対する対策実施後の評価を明記する。その具体例は第4章で報告する。さらに、各領域で管理者が「対策を実施する場合の留意点」と、「目指す姿に向けた取り組み」を明記す

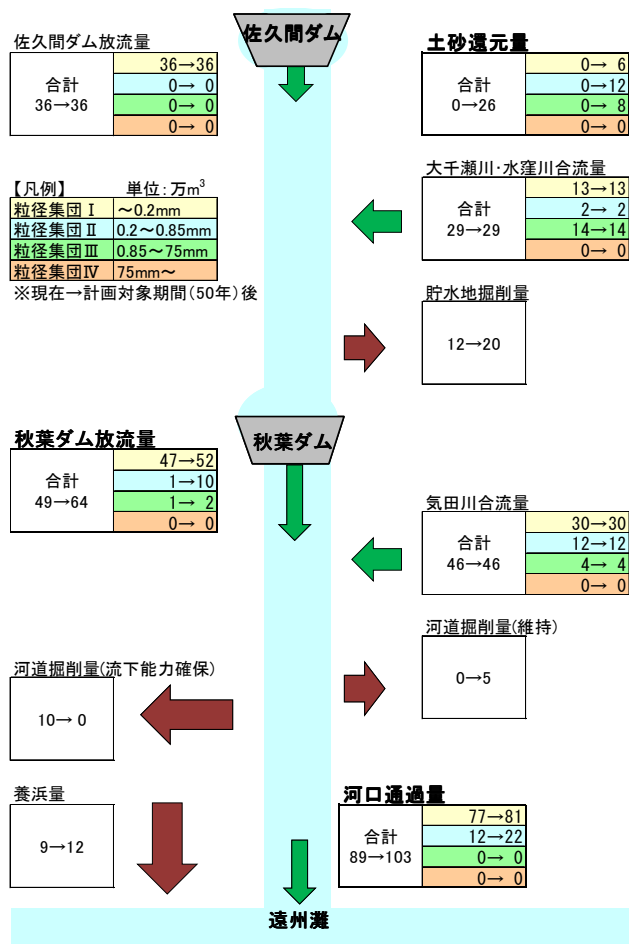


図-5 現在と計画対象期間（50年）後の土砂収支比較

る。

(4) モニタリング計画

モニタリング計画では、①天竜川流砂系の総合土砂管理の目標や目指す姿に対する評価を行うために実施するものと、②各領域が抱える課題の実態把握、対策の効果、影響及び今後の課題解決のために実施するものの2つの目的に分けて定める。②については、基本的に各領域の管理者、事業者が実施し、その結果等は天竜川流砂系協議会の中で共有し、更なる連携に繋げる。

4. 土砂収支、指標値の変化予測と評価

(1) 土砂管理対策

各領域での新たな土砂管理対策は下記の通りとする。

【佐久間ダム】

- ・下流河道への土砂還元（1～10年目は置土実験）
1～2年目：2万 m^3 /年，3～4年目：5万 m^3 /年，
5～6年目：10万 m^3 /年，7～8年目：15万 m^3 /年
9～10年目：20万 m^3 /年，11年目～：26万 m^3 /年

【秋葉ダム】

- ・背水影響対策の掘削（現在も実施）

- ・土砂流下を促進するスルーシング

【船明ダム】

- ・土砂流下を促進する水位低下操作（現在も実施）

【扇状地河道領域】

- ・0.4k～10.0kで河道掘削（流下能力確保）
1～30年目：12万 m^3 /年（現在は10万 m^3 /年）
・全領域で河道掘削（維持）
31年目～：5万 m^3 /年

【海岸領域】

- ・五島海岸，竜洋海岸の離岸堤下手側に養浜
粒径集団Ⅲ（0.85mm～75mm）を12万 m^3 /年
（現在は9万 m^3 /年）

※河道掘削土の活用を想定し粒径集団Ⅲとした。

(2) 土砂収支の変化予測と評価

土砂管理の基準地点での新たな土砂管理対策を実施した場合の土砂量は、図-5に示す通り土砂還元量が26万 m^3 /年，秋葉ダム放流量が64万 m^3 /年，河口通過量が103万 m^3 /年である。現在と計画対象期間（50年）後の土砂管理対策を実施した場合の土砂収支を予測・比較すると、海岸線の形成に寄与する粒径集団Ⅱ（0.2mm～0.85mm）が秋葉ダム放流量で9万 m^3 /年，河口通過量で10万 m^3 /年増加しており、佐久間ダムでの新たな土砂管理対策（土砂還元）が正の効用を発揮していることを確認した。なお、土砂収支の試算手法は、第2章で述べた佐久間ダムにおける土砂収支計算と同様である。

次に、流況の違いによる土砂収支の変化を確認するため、基準地点鹿島での年最大流量が比較的大きい1982～1991年の10年間（Ave.=5,941 m^3/s ， σ =3,012 m^3/s ）と、比較的小さい1992～2001年の10年間（Ave.=3,409 m^3/s ， σ =1,639 m^3/s ）の流況を繰り返す50年間のシミュレーション計算を行った。図-6は41～50年目の10年間の平均土砂収支を示しているが、河口通過土砂量でみるとその流況の違いによる差は74万 m^3 /年（=148-74）で、粒径集団Ⅰ（～0.2mm）が約77%（=(120-63)/74），粒径集団Ⅱが約23%（=(28-11)/74）を占める結果となった。これは他の10年間（1～10，11～20，21～30，31～40年目）でも概ね同じ傾向である。粒径集団Ⅰの増加はダムからの放流量の増加，粒径集団Ⅱは気田川など支川からの流出増が要因と推察する。第2章の佐久間ダムの堆砂傾向と同様に流況の違いが海岸線の形成（粒径集団Ⅱの増減）にも大きく影響すると考える。

(3) 指標値の変化予測と評価

河口テラス・海岸領域では河口テラス先端の汀線位置を、それ以外の領域では平均河床高と河床材料の変化を物理環境の変化の指標とし、土砂管理対策を実施した場合と現在の対策を続けた場合の50年間（計画対象期間）の変化を予測した。本項では、河口テラス・海岸領域での汀線の変化予測結果とその評価について報告する。

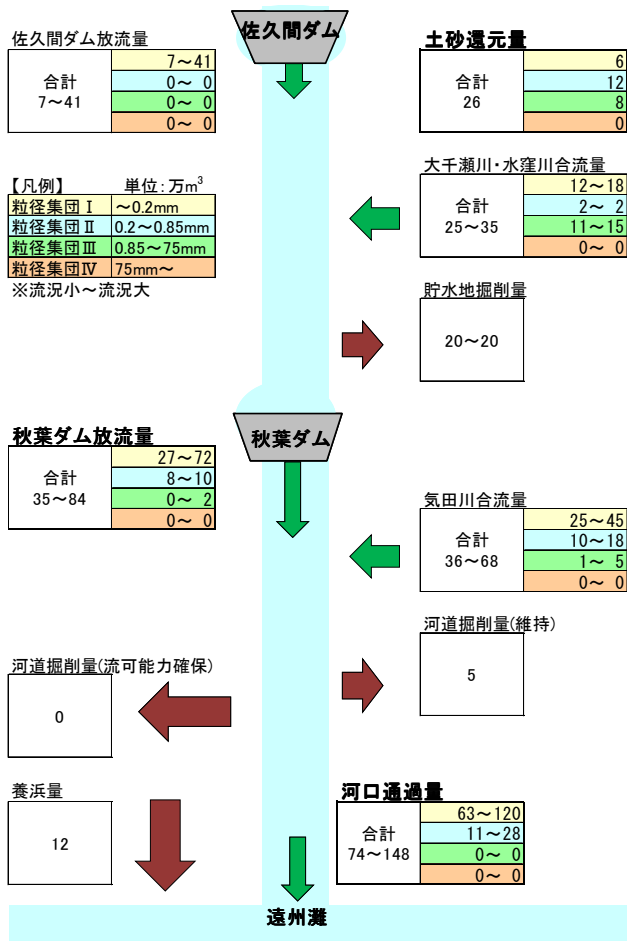


図-6 流況の違いによる41～50年目の平均土砂収支比較

図-7に示す通り、現在の土砂管理対策を継続した場合には河口テラスの位置が30年後には約10m後退するのにに対し、新たな土砂管理対策を実施した場合には50年後には約110m前進する。海岸防護機能の維持・確保という河口テラス・海岸領域の目指す姿に対しては、「河口テラスの先端位置は前進後退の変動をしつつ回復傾向にあり、養浜実施箇所も安定して回復傾向にあることから、今回の新たな土砂管理対策は所定の効果を発揮している」と評価する。一方、良好な環境の保全・回復という目指す姿に対しては、「粒径集団Ⅲの養浜により汀線は維持されるが、海浜の粒径が大きくなる物理環境の変化による景観・生態系への影響が懸念される」と評価する。この点は、扇状地河道領域・河口領域でみても、図-5、6から分かるように粒径集団Ⅲは供給される量より掘削量が上回ることになり、アユの産卵床の確保という観点等から今後対策の検討が必要と考える。さらに土砂移動の連続性確保という目指す姿に対しては、「河口テラスの回復が海浜の回復に繋がっておらず、サンドバイパス等、沿岸漂砂の連続性を確保するシステムの整備が必要」と評価する。

また、生物環境の変化の指標として、シラスの漁獲量やウミガメの産卵状況をモニタリング項目として明記し、

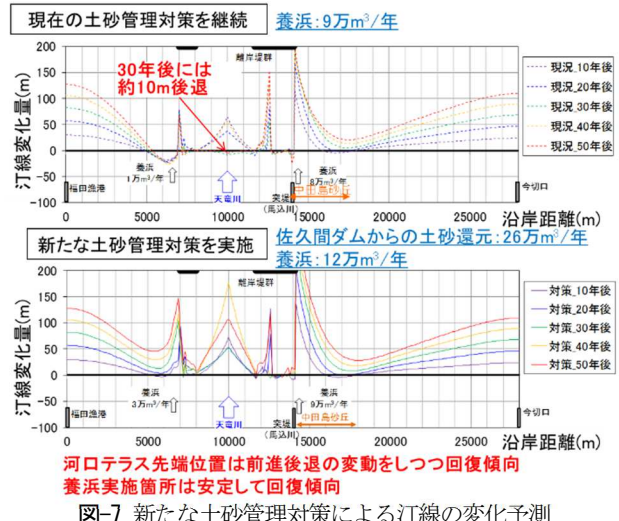


図-7 新たな土砂管理対策による汀線の変化予測

土砂管理対策による物理環境の変化を補足する。

5. まとめ

天竜川流砂系総合土砂管理計画第一版は、主に佐久間ダムでの大規模な土砂管理対策による影響を予測し、その結果を踏まえた計画とする予定である。土砂移動の量と質を計測することは現在の技術では難しく、また第4章で述べたように土砂移動の量と質は流況の影響を大きく受けることなどから、物理環境指標のモニタリング結果が土砂管理対策の影響か、流況など他の要因かを判別することは極めて難しく、長期視点にたつて生物環境指標の変化にも注視していくことが重要である。今後は、モニタリングを継続すると共に、シミュレーションによる検証なども実施し、PDCAのサイクルに則って適宜、土砂管理対策や土砂管理計画の見直し等を行う、順応的な土砂管理に取り組む予定である。

最後に、これまで策定された総合土砂管理計画は土砂移動の連続性確保に重きがおかれているが、大規模洪水時の土砂移動をとめるダム等の機能確保も重要な視点と考えている。第二版では検討したい。

参考文献

- 1) 国土交通省中部地方整備局：安倍川総合土砂管理計画，pp.29-34，国土交通省静岡河川事務所ホームページ，http://www.cbr.mlit.go.jp/shizukawa/17_abe_sougo/data/keikaku.pdf，2013.7.
- 2) 日野川水系及び皆生海岸総合土砂管理連絡協議会：日野川流砂系の総合土砂管理計画，pp.48-55，国土交通省日野川河川事務所ホームページ，<http://www.cgr.mlit.go.jp/hinogawa/2015/150325sougoudoshakanri.pdf>，2015.3.
- 3) 相模川流砂系総合土砂管理推進協議会：相模川流砂系総合土砂管理計画，pp.61-64，国土交通省京浜河川事務所ホームページ，http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000636080.pdf，2015.11.

(2017. 4. 3受付)