

9.1 河床材料の粒度構成に着目した土砂移動機構に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：水工研究グループ（水理）

研究担当者：箱石憲昭、石神孝之、坂野章、宮川仁、中西哲

【要旨】

河川横断構造物の建設や砂利採取などをきっかけとした河床低下によって、樹林化や露岩化等の河川環境の劣化、床止め・橋脚等の河川構造物の安定性の低下、砂浜の減少などの問題が顕在化している。このための水系一貫した土砂管理の必要性が十分に認識され、それを実現する具体的施策が求められている。本研究は 幅広い粒径集団を持つ山地河道および石礫河川を対象として、個々の粒径集団が持つ役割を明確にするとともに、ダムからの排砂もしくは置土について下流河道にとって必要とされる量と質を決定する方法を提案することを目的としたものである。平成 26 年度は、これまでに実施した水理実験での検討結果等を踏まえ、河床材料の空隙率の変化を考慮した計算モデルについて検討を行い、河床材料の粒度分布幅と空隙率との関係式から空隙率を算定する平面 2 次元河床変動モデルを構築した。また、土砂供給による河床変動機構（局所洗掘形状や深さ等）に与える影響等について、置土などの土砂供給を行った場合の移動床水路実験を実施し、洪水時における流出過程並びに下流河川への堆積過程を明らかにした。

キーワード：河床材料、空隙率、水理実験、河床変動モデル、土砂供給

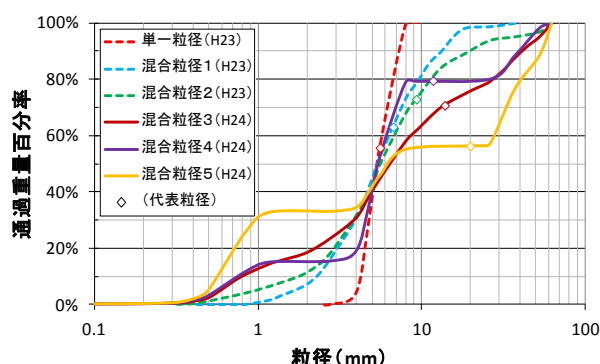


図 2.1 河床材料粒度分布（粒径加積曲線）

1. はじめに

河川横断構造物の建設や砂利採取などをきっかけとした河床低下によって、樹林化や露岩化等の河川環境の劣化、床止め・橋脚等の河川構造物の安定性の低下、砂浜の減少などの問題が顕在化している。このための水系一貫した土砂管理の必要性が十分に認識され、それを実現する具体的施策が求められている。本研究は 幅広い粒径集団を持つ山地河道および石礫河川を対象として、(1)河道特性と河床変動および河床形態に関する個々の粒径集団が持つ役割を明確にする。(2)ダムからの排砂もしくは置土について、総合土砂管理の視点から下流河道にとって必要とされる量と質を決定する方法を提案することを目的としたものである。平成 25 年度は、これまでに実施した水理実験での検討結果等

を踏まえ、河床材料の空隙率の変化を考慮した計算モデルについて検討を行った。また、土砂供給による河床変動機構（局所洗掘形状や深さ等）に与える影響等について、置土などの土砂供給を行った場合の移動床水路実験により検討を実施した。

2. 河床材料の空隙率変化および河床変動モデルの検討

平成 26 年度は、これまでに実施した水理実験結果を河床材料の空隙率変化の視点で再検討を行い、河床材料の粒度分布幅と空隙率との関係を分析するとともに、平成 25 年度に改良した平面 2 次元河床変動モデルに対して、さらに空隙率変化の算定方法を取り込み、水理実験の再現計算を行い、実験結果と計算結果の比較・検証を行った。

2.1 水理実験結果の概要

水理実験は、長さ 60m、幅 2m、勾配 1/100 の直線実験水路を使用し、河床材料は図 2.1 に示す 6 種類の粒度分布のケースでそれぞれ 2 種類の一定流量を重ねて通水し、通水中および通水後に水位・流速・流砂量・河床形状・流砂の粒度分布等を測定し、河床材料の粒度分布等の違いによる河床変動特性の相違を検討した。表 2.1 に実験ケース一覧を示すとともに河床材料の特性値を示す。

表 2.1 実験ケース一覧

実験ケース			河床材料				流量	通水時間
年度	区分			$d_{50}(\text{mm})$	$d_{10}(\text{mm})$	d_{85}/d_{15}	(m^3/s)	(分)
H23	ケース1	(1)	単一粒径	5.4	5.6	1.6	0.127	150
		(2)					0.186	120
	ケース2	(1)	混合粒径1	5.4	6.7	3.9	0.127	168
		(2)					0.186	127
	ケース3	(1)	混合粒径2	5.6	9.3	5.3	0.127	159
		(2)					0.186	117
H24	ケース4	(1)	混合粒径3	6.5	13.9	22.3	0.186	108
		(2)					0.300	100
	ケース5	(1)	混合粒径4	5.5	11.8	10.4	0.186	100
		(2)					0.300	100
	ケース6	(1)	混合粒径5	6.6	19.9	70.7	0.186	100
		(2)					0.300	100

河床材料の粒度分布変化については、(1)通水中の流砂 (2)通水後の河床表面の試料(幅 10cm×長さ 15cm×厚さ約 2cm) (3)通水後河床の円形Φ 19.5cm×厚さ約 10cmの試料の各々を同一箇所にて採取するとともに、水路下流端から流出し沈砂池で捕捉した流砂についてふるい分け試験を行った。なお、水路上流部河床を砂の供給部分としており、河床材料の供給は行っていない。

また、通水後の河床材料の採取について、前述の(3)の円柱形での採取では、内径Φ 19.5cmの円筒のサンプラー(アクリル製)を使用し、採取厚さを計測して空隙を含んだ体積を算定した。採取した材料のふるい分け試験による粒度分布と合わせて採取した試料全体の重量を計測し空隙率を算定した。

河床材料の粒度分布と空隙率について幾つかの計測データが得られたため、粒度分布と空隙率の関係について検討を行った。河床材料の粒度分布と空隙率の関係については、藤田ら²⁾により検討された事例があり、代表的な粒度分布型として対数正規分布があるもののタルボット分布などの多様な分布型があり、異なる粒度分布型の河床材料は異なる空隙率を有し、また、同じ粒度分布型でもパラメータによっても空隙率が異なると考えられるものである。しかしながら河床材料の粒度分布データから空隙率を算定するにあたり、最適な分布型やパラメータの特定等を行いつつ算定することが実用的にはやや煩雑であると考えられる。

Sulaimanら²⁾は対数正規分布型の粒度分布を持つ混合砂礫の空隙率について、対数正規分布の標準偏差 σ_L との関係を求めており、本検討においても水理実験の結果から対数正規分布型での標準偏差 σ_L と空隙率 λ の関係について図2.2のとおり整理した。河床材料の粒度分布型としては対数正規分布型とはいえないケースのものがあるが、図2.2に示すとおり全体的には標準偏差 σ_L の値が大きいほど空隙率 λ が小さくなっている傾向が見られる。一方、各ケースの地点毎の標準偏差 σ_L と

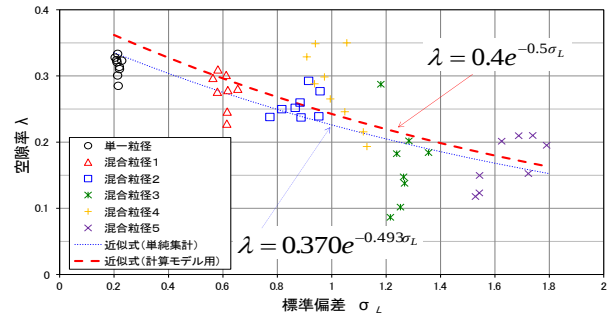


図 2.2 河床材料の標準偏差と空隙率

空隙率 λ との関係を見ると、単一粒径のケースでは標準偏差 σ_L がほとんど変化していないが空隙率 λ が変化している。また、混合粒径2, 3, 5のケースでは標準偏差 σ_L が大きくなると空隙率 λ が大きくなる傾向も見られる。これは今回使用した河床材料は粒径50mm程度のものを含んでおり、採取時にサンプラーの先端部にぶつかった材料の移動等による体積変化、採取厚さの計測で表層に粒径の大きな材料の有無等の影響などが考えられ、空隙率 λ にはある程度の誤差が含まれていることも考えられるものである。また、空隙率 λ の変化を考慮する目的の一つとしては、河床材料が粗粒化する(粒度分布幅が小さくなる)場合に空隙率 λ が大きくなり、逆に粗粒化した状態に細粒分が流入する(粒度分布幅が大きくなる)場合は空隙率 λ が小さくなり、河床高が大きく変化しない状態を河床変動モデルに考慮させることである。したがって、本検討では、図2.2に示すとおり全体的には標準偏差 σ_L の値が大きいほど空隙率 λ が小さくなっている傾向が見られることから、この全体的な傾向を近似する式を検討した。空隙率 λ については、単一粒径(一様砂)の場合は0.4を使用するケースが多く、この標準偏差 $\sigma_L=0$ の場合が最大値となり、粒度分布幅が広がる(標準偏差 σ_L の値が大きくなる)とともに空隙率 λ の値は小さくなるが0になることは無いと考えられることから指数関数での近似式を検討した。個々の計測した標準偏差 σ_L と空隙率 λ の値との相関は良くないところであるが、最小二乗法により求めた式を以下に示す。

$$\lambda = 0.370e^{-0.493\sigma_L} \quad (2.1)$$

ここに、 σ_L : 対数正規分布型での標準偏差を表す。

なお、計測データの誤差もある程度存在することから、以後の河床変動モデルに適用する際には、有効数字1桁として次式を使用した。

$$\lambda = 0.4e^{-0.5\sigma_L} \quad (2.2)$$

2.2 河床変動モデルの改良および検証

本研究で改良のベースとした河床変動の計算モデルは、重点プロジェクト研究「貯水池および貯水池下

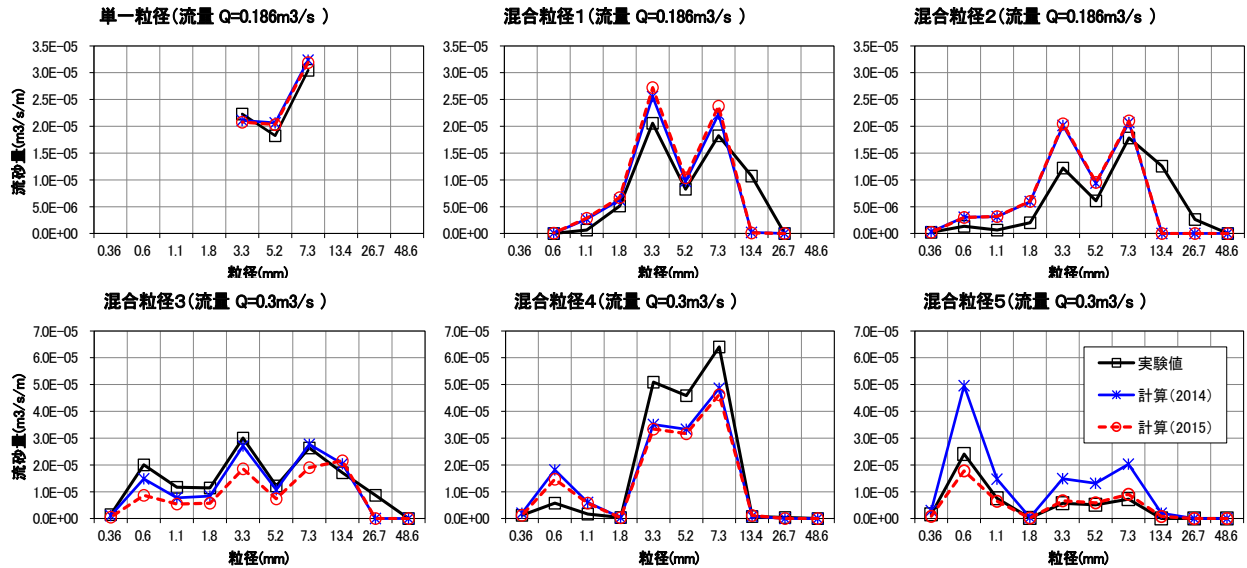


図 2.4 粒径別流砂量（沈砂池）の実験値と計算値との比較

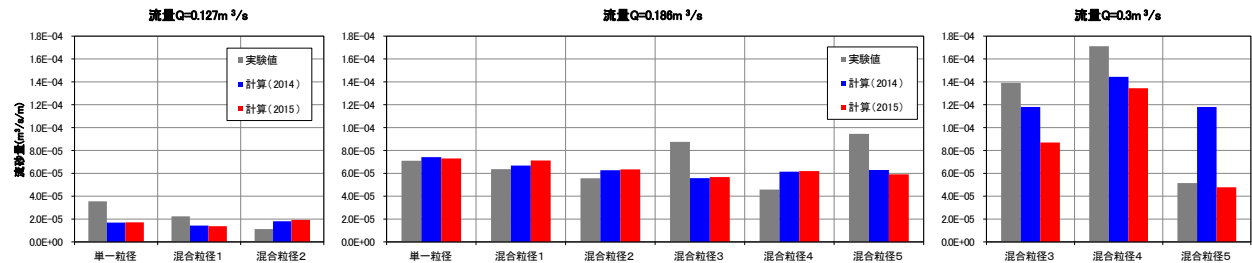


図 2.3 流砂量（沈砂池）の実験値と計算値との比較

流の流れと土砂移動モデルに関する研究（H18～H22 年度）」で開発した直交格子の平面 2 次元河床変動モデルで、混合粒径も扱えるものである。流砂量算定に使用している掃流砂量の算定式には、河床変動計算でよく使用される芦田・道上の流砂量式³⁾を採用している。

今回は河床材料の空隙率変化を考慮するため以下に示す方法で考慮した。

空隙率 λ が変化することを考慮すると流砂の連続式は次式のようにになる。

$$\frac{\partial}{\partial t} \{ (1-\lambda)y_b \} + \frac{\partial q_{Bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{Bz}}{\partial z} = 0 \quad (2.3)$$

ここに、 (x, y, z) ：空間座標(x ：流下方向、 y ：鉛直上向き方向、 z ：横断方向)、 y_b ：河床の y 座標、 t ：時間、 (q_{Bx}, q_{Bz}) ： x 方向、 z 方向の単位幅当たり掃流砂量(m^2/s)を表す。

交換層内における粒径別土砂収支式を考えると次式のようにになる。

$$q_{syk} = p_{sek}(1-\lambda)y_s - \left(\frac{\partial q_{Bxk}}{\partial x} + \frac{\partial q_{Bzk}}{\partial z} \right) \Delta t \quad (2.4)$$

ここに、 q_{syk} ： Δt 後の河床単位面積当たりの交換層内粒径別土砂量(m)、 p_{sek} ：交換層内の粒径別割合、 y_s ：交

換層厚(m)、 (q_{Bxk}, q_{Bzk}) ： x 方向、 z 方向の粒径別単位幅掃流砂量(m^2/s)を表す。

この式(2.4)で求められる Δt 後の交換層内粒径別土砂量 q_{syk} により Δt 後の交換層内の粒径別割合 p_{sek} が求められ、さらに空隙率 λ も、前述の式(2.2)により求められるものである。

改良した河床変動モデルの検証として、水理実験の再現計算を行い、流砂量、河床形状変化等について実験結果と計算結果との比較を行った。

再現計算において本モデルは、計算格子は流下方向に $0.4m \times 150$ 個（延長 60m）、横断方向に $0.1m \times 20$ 個（幅 2m）で実験水路を再現し、流入流量、通水時間は、実験とほぼ同じとし、水理量（水深等）が実験値にほぼ合うように粗度係数、下流端水位等のパラメータを一部調整して計算を行った。

2.2.1 流砂量比較

水理実験での結果と平成 25 年度改良版（二次改良）による計算および今回改良した手法による計算の 2 種類の計算結果との比較により検証を行った。図 2.3 に沈砂池に流下した全流砂量の実験値と各計算手法による計算値との比較を示す。また、図 2.4 に粒径別流砂

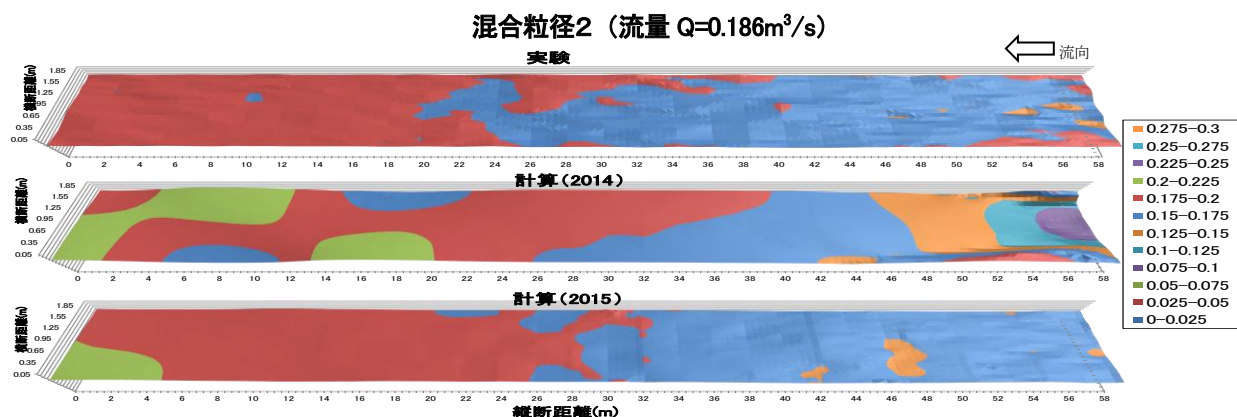


図 2.5 通水後の河床形状 (河床材料厚)

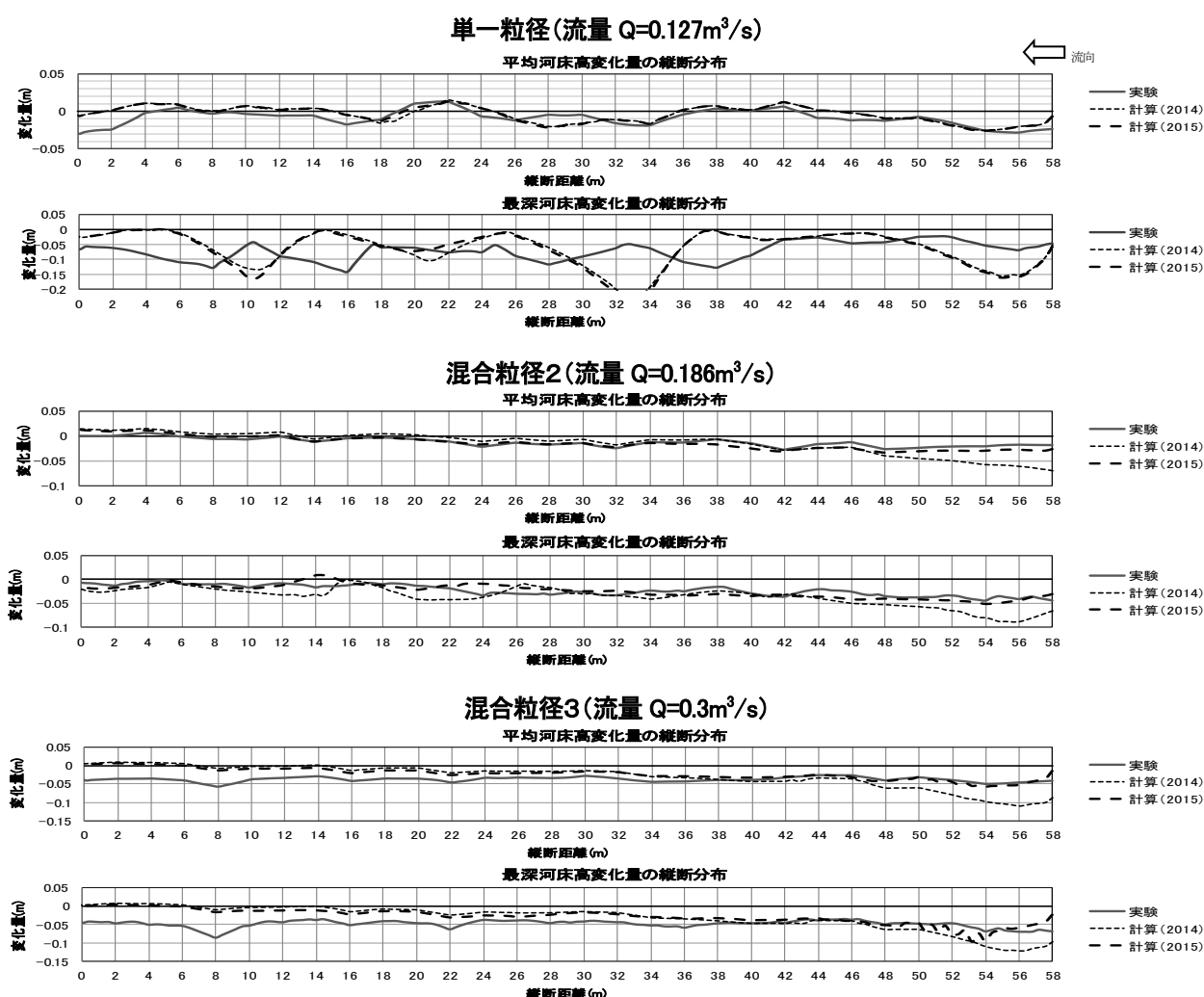


図 2.6 通水前後の河床高変化量 (通水前の各横断面での平均河床高を基準)

量について、幾つかのケースにおける流砂量の比較を示す。(図中では平成25年度改良の結果を「計算(2014)」、今回改良した手法の結果を「計算(2015)」と示す。)

全流砂量については、図2.3に示すように、全体的に平成25年度改良の計算モデルにおいてかなり実験値

に近くっており、かなり改善されたと考えられるところである。今回改良した手法での結果も平成25年度4改良の結果とほぼ近い値となっているが、多くのケースでは、やや流砂量が多くなっている。

一方、混合粒径5のケースや混合粒径3、4の流量

表 3.1 置土実験ケース一覧

実験ケース	対策イメージ	置土寸法 (延長×幅×厚さ) (m)	流量 (m^3/s)	置土量 (m^3)	供給土砂 粒径
1	基本ケース	10×1×0.1	0.186	1.0	中
2	敷設延長大	15×1×0.1		1.5	
3	敷設厚大	10×1×0.2		2.0	
4	敷設位置両岸	10×0.5×0.1 ×左右岸		1.0	
5	粒径小	10×1×0.1	0.3	1.0	小
6	粒径大	10×1×0.1		1.0	大

が大きい($Q=0.3\text{m}^3/\text{s}$)場合は流砂量が小さくなっている。特に混合粒径5の流量 $Q=0.3\text{m}^3/\text{s}$ の場合は、平成25年度改良の結果は実験結果に比べてかなり過大な流砂量であったが、今回の改良ではほぼ実験結果と同程度の流砂量となっている。

次に、粒径別流砂量については、図2.4に示すように、全体的に平成25年度改良の計算モデルにおいて、かなり実験値に近くなっており、かなり改善されたと考えられるところである。今回改良した手法での結果も平成25年度改良の結果とほぼ近い値となっている。全流砂量と同様に混合粒径3の流量 $Q=0.3\text{m}^3/\text{s}$ の場合は、平成25年度改良の結果は実験結果にかなり近い値であったが、今回の改良版では逆に流砂量が少なくなっており実験結果ともやや乖離する結果となった。一方、混合粒径5の流量 $Q=0.3\text{m}^3/\text{s}$ の場合は、平成25年度改良の結果は実験結果に比べてかなり過大な流砂量であったが、今回の改良版ではほぼ実験結果と同程度の流砂量となっている。

2.2.2 河床形状比較

図2.5に通水後の河床土砂堆積厚について実験及び計算での混合粒径2の結果を示す。図2.6に通水前後の平均河床高および最深河床高の変化量について実験及び計算での単一粒径、混合粒径2および混合粒径3の結果を示す。

混合粒径2のケースでは、図2.5および図2.6に示すように、平成25年度改良では上流端付近の河床低下が大きく、下流側は河床がやや高くなるなど実験結果とかなり乖離している結果となった。一方、今回改良の手法では上流端付近の河床低下があまり小さくなく、また、下流側の河床高も実験結果に近いものとなり、河床形状の空間的な変化についてかなり改善が図られ、高い再現性が得られたと考えられる。平成25年度改良での課題として河床変動の再現性が良くなかった部分として以下の点を考えていた。実験では上流端で土砂供給を行っておらず上流側の細かい粒径の河床材料が下流に流下した際に、大粒径の河床材料が残っている

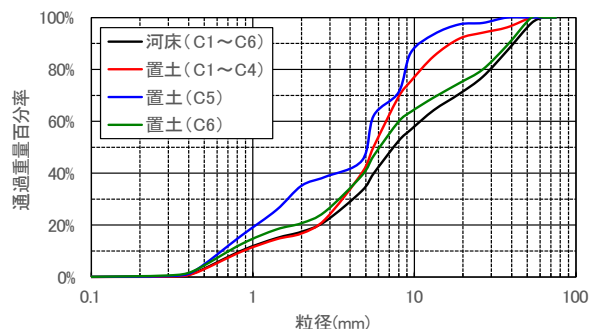


図 3.1 使用材料の粒度分布（粒径加積曲線）

ことにより、あまり河床低下が進まないと考えられる。すなわち、河床の粗粒化において河床が大きく低下しないことは、空隙率が大きくなることで説明ができると考えた。一方、計算モデルでは空隙率を一定としていたため、細かい材料が下流に流下した分だけ体積が減少して河床低下が進むことなどによるものと考えていた。この点については、今回改良の手法で河床材料の粒度分布変化に合わせて空隙率の変化を考慮することにより、かなり改善されたと考えられる。

他のケースについては、図2.6に示すように、単一粒径のケースでは、平成25年度改良でも平均河床高の変化はかなり実験に近い結果となっており、今回改良の手法でも2014改良版と同様の結果となっている。一方、混合粒径3の粒度分布幅が広いケースでは、混合粒径2のケースと同様に平成25年度改良では特に上流側の河床低下が大きくなったことに対して、今回改良の手法では実験結果に近いものとなった。しかしながら下流側の河床高変化は平成25年度改良の結果に比べて今回改良の手法では平均河床高がわずかに小さくなった程度で平成25年度改良と同程度の変化量となっており大きな改善とはならなかった。

以上のように、河床形状については若干再現性の悪いケースもあるが、概ね良好な結果が得られたと考えられる。

3. 土砂供給の移動床水路実験

3.1 実験方法

置土等の土砂供給による水理実験は、長さ 60m、幅 2m、勾配 1/100 の直線実験水路を使用し、河床材料は前述の図 2.1 に示す混合粒径3の材料を使用した。各実験ケースでの実施前に予備通水として約 $0.4\text{m}^3/\text{s}$ の流量で土砂供給を行わずに約 120 分間通水し、表面に細粒分が少なくなった状態の河床を初期河床とした。また、供給土砂は予備通水により下流端から沈砂池に流下した土砂をそのまま使用すること（ケース 1～4）

を基本とし、供給土砂の粒径が小さい場合（ケース 5）や大きい場合（ケース 6）は別途用意した土砂を用いることとした。表 3.1 に各実験ケースでの土砂供給方法等を示す。また、図 3.1 に実験で使用した河床材料と置土材料の粒度分布を示す。なお、ケース 1 は今回の実験の基本ケースとして実施したものであり、置土形状は、延長 10m（水路下流端から 40～50m の区間）、幅 1m（水路幅 2m に対して半分の幅）、設置厚 0.1m で置土量が約 1m³ で実施したものである。このケース 1 に対して、他のケースは置土形状や置土材料等の条件を変化させて実施したものである。それぞれ通水中および通水後に水位・流速・流砂量・河床形状・流砂の粒度分布等を測定し、土砂供給方法の違いによる河床材料の粒度分布の変化、河床変動特性の相違を検討した。置土は、水路下流端から 50m の位置を置土の上流端として下流側に縦断延長 10m もしくは 15m の区間に設置した。また、水路上流端から土砂供給は行っていない。

3.2 実験結果

図 3.2～3.7 に各ケースの通水前後の河床高と変化量を示す河床コンター図 (a) と河床の時間的変化状況を示すスケッチ図 (b) を示す。

ケース 1 は、前述のとおり、置土形状は、延長 10m（水路下流端から 40～50m の区間）、幅 1m、設置厚 0.1m で置土量が約 1m³ で実施したものである。通水前後の河床形状変化は図 3.2(a) に示すとおりであり、置土は、ほぼ全量が下流側に流出した。置土周辺部の河床変動としては、置土設置区間の下流側（水路下流端から 40m 付近）の対岸（右岸）側で、やや河床低下している状況が見られる。置土部より下流側は、河床が薄くほぼ均等に上昇している。河床の時間的変化については、図 3.2(b) に示したとおりで、置土は通水開始から概ね 45 分程度でほぼ無くなっている。置土からの流出土砂は、約 30 分で置土部下流端（水路下流端から 40m）から下流側約 20m（水路下流端から 20m）地点まで到達しており、通水開始から約 60 分で下流側約 30m（水路下流端から 10m）地点まで到達し、約 90 分で下流側約 40m の水路下流端まで到達している。若干ではあるが下流側に移動するにつれて移動速度が徐々に遅くなっている傾向が見られる。なお、このケース 1 の実験において、下流端に流出土砂が到達したのが約 90 分であったことから、他の実験ケースでも通水時間を 90 分とした。

ケース 2 は、ケース 1 に対して置土設置延長を 15m（水路下流端から 35～50m の区間）とし、置土量は

約 1.5m³ でケース 1 の約 1.5 倍の土量で実施したものである。通水前後の河床形状変化は図 3.3(a) に示すとおりであり、置土は、ほぼ全量が下流側に流出したが、置土部の左岸側壁部に置土が残存した。置土周辺部の河床変動としては、ケース 1 と同様に置土設置区間の下流側（水路下流端から 35～40m 付近）の対岸（右岸）側で、やや河床低下している状況が見られる。置土部より下流側は、ケース 1 と同様に河床が薄くほぼ均等に上昇しているが、下流側の一部区間（水路下流端から 10～14m 付近）の左岸側で他の箇所よりやや河床が高くなっている。河床の時間的変化については、図 3.3(b) に示したとおりで、ケース 1 の場合とやや異なる変化状況が見られた。通水開始から約 20 分程度経過した時点で、置土部下流側（水路下流端から 35～40m 付近）において、上流側の置土から流出した土砂が右岸側に広がって堆積し、置土の流出が全体的にやや遅くなっていると思われる状況が生じた。その後通水開始から概ね 45 分程度で一部堆積した部分も含めて置土部全体がほぼ流出した状態となった。左岸側壁部に残存した置土は、その後ほぼ流出することなく残った。置土からの流出土砂は、約 30 分で置土部下流端（水路下流端から 35m）から下流側約 15m（水路下流端から 20m）地点まで到達した。ケース 1 と比較すると、ほぼ同じ地点まで流下したと見えるが、ケース 2 の置土部下流端はケース 1 の置土部下流端より 5m 下流側であったことを考慮すると、流下速度が遅くなったとも考えられる。その後、ケース 1 と同様に時間経過とともに流下しているが、通水終了時点（通水開始から 90 分）で水路下流端まで達しなかった。

ケース 3 は、ケース 1 に対して置土設置厚さを 0.2m とし、置土量は約 2m³ でケース 1 の約 2 倍の土量で実施したものである。流量はケース 1 および 2 と同じであるが、置土が高くなっていることから、置土部の天端が水面より高くなっている。通水前後の河床形状変化は図 3.4(a) に示すとおりであり、置土は、ほぼ全量が下流側に流出したが、置土部の左岸側壁部にケース 1 と同程度（ケース 2 より狭い）の範囲に置土が残存した。置土周辺部の河床変動としては、置土設置区間のほぼ全域（水路下流端から 40～50m 付近）の対岸（右岸）側で、やや河床低下している状況が見られる。置土部より下流側は、ケース 2 と同様に河床が薄くほぼ均等に上昇しているとともに、下流側の一部区間（水路下流端から 5～15m 付近）の左岸側で他の箇所よりやや河床が高くなっている。河床の時間的変化については、図 3.4(b) に示したとおりで、ケース 1 の

場合よりも置土から流出した土砂が早く移動している状況が見られた。置土からの流出土砂は、通水開始から約 30 分で置土部下流端（水路下流端から 40m）から下流側約 20m（水路下流端から 20m）地点より下流まで到達した。その後も時間経過とともに流下し、通水開始から約 70 分で水路下流端まで達している。

ケース 4 は、ケース 1 が片岸（左岸側に幅 1m）のみに置土を行ったものに対して、両岸にそれぞれ幅 0.5m（両岸を合わせると幅 1m）で置土を行ったもので、置土量は約 1m^3 でケース 1 とほぼ同じ土量で実施したものである。通水前後の河床形状変化は図 3.5(a) に示すとおりであり、置土は、ほぼ全量が下流側に流出した。特に右岸側はほぼ完全に流出し、左岸側が側壁部にケース 1 と同程度の範囲に置土が残存した。置土周辺部の河床変動としては、置土設置区間のほぼ全域（水路下流端から 40～50m 付近）の中央部（置土を設置していない部分）でも、やや河床低下している状況が見られる。置土部より下流側は、ケース 1 と同様に河床が薄くほぼ均等に上昇している。河床の時間的変化については、図 3.5(b) に示したとおりで、ケース 1 の場合よりも置土から流出した土砂が若干早く移動している状況が見られた。置土からの流出土砂は、通水開始から約 30 分で置土部下流端（水路下流端から 40m）から下流側約 20m（水路下流端から 20m）地点より下流まで到達した。その後も時間経過とともに流下し、通水開始から約 75 分で水路下流端まで達している。置土から流出した土砂はケース 3 よりやや遅く、ケース 1 よりやや早く移動している。

ケース 5 は、置土形状はケース 1 と同じであるが、置土材料の粒径を小さくして実施したものである。通水前後の河床形状変化は図 3.6(a) に示すとおりであり、置土は、ほぼ全量が下流側に流出した。一部、残存しているように見えるが、ケース 4 の実験実施後に行ったもので、ケース 4 で残存した置土と考えられる。置土周辺部の河床変動としては、他のケースで生じていた周辺部の河床低下もほとんど生じていなかった。置土部より下流側は、ケース 1 と同様に河床が薄くほぼ均等に上昇している。河床の時間的変化については、図 3.6(b) に示したとおりで、ケース 1 の場合よりも置土から流出した土砂が早く移動している状況が見られた。置土からの流出土砂は、通水開始から約 30 分で置土部下流端（水路下流端から 40m）から下流側約 30m（水路下流端から 10m）地点より下流まで到達した。その後も時間経過とともに流下し、通水開始から約 45 分で水路下流端まで達している。ケース 1 に対

して概ね半分の時間で土砂が移動しており、約 2 倍の移動速度とも考えられるものである。

ケース 6 は、ケース 5 と同様に置土形状はケース 1 と同じであるが、ケース 1 よりも置土材料の粒径を大きくし、河床材料とほぼ同じ粒度分布型の材料で実施したものである。また、置土材料の移動が他のケースに比べて小さいことが想定されるため、流量を他のケース（ $Q=0.186\text{m}^3/\text{s}$ ）より大きく（ $Q=0.3\text{m}^3/\text{s}$ ）して実施した。通水前後の河床形状変化は図 3.7(a) に示すとおりであり、置土材料は、他のケースと比べてかなりの量が残存した。置土周辺部の河床変動としては、置土設置区間の下流側（水路下流端から 40m 付近）の対岸（右岸）側で、河床低下している状況が見られ、他のケースよりも大きく河床低下していた。置土部より下流側は、河床が薄く上昇している箇所もあれば、若干河床低下している箇所も存在していた。河床の時間的変化については、図 3.7(b) に示したとおりで、置土材料の流出は通水開始から約 20 分で止まった状態となり、残存した置土材料は、その後ほとんど移動しなかった。置土から流出した土砂は、小粒径の材料と大粒径の材料とが分離して移動し、小粒径の材料が早く移動している状況が見られた。小粒径の流出土砂は、通水開始から約 30 分で置土部下流端（水路下流端から 40m）から下流側約 20m（水路下流端から 20m）地点付近まで到達し、通水開始から約 70 分で水路下流端まで達しており、ケース 1 に対して若干早く土砂が移動している。一方、大粒径の材料は、置土地点に多く残されており、置土形状の変化が他のケースに比べて小さくなっている。また、流出した大粒径の材料も、あまり下流側に移動しないで、置土部下流端（水路下流端から 40m）から下流側約 20m（水路下流端から 20m）地点付近まで到達したところで、ほとんど動いている状況が見られなくなった。他のケースと比べて流量を大きくしたにもかかわらず、置土材料の移動はあまり大きくならなかったと考えられる。

以上の結果を総括すると、ケース 1（基本ケース）に対して置土量を増加させたケース 2（敷設延長大）とケース 3（敷設厚大）とを比較すると、ケース 3（敷設厚大）の方が置土材料の移動が活発になり、ケース 2（敷設延長大）は置土材料の移動が活発にならず、むしろ移動し難い状況になったと考えられる。ケース 4（敷設位置両岸）は、ケース 1（敷設位置片岸）に比べて置土材料の移動が若干活発になったと考えられる。置土材料の粒径を変化させた場合の比較では、ケース 5（粒径小）は置土材料が最も活発に移動してお

り、置土周辺部の河床低下もほとんどなかったが、ケース6（粒径大）は、置土材料が最も多く残され、置土周辺部の河床低下が大きくなるという問題があると考えられる。

4. おわりに

水理実験により、河床材料の粒度分布幅が広がると空隙率が小さくなり粒度分布幅が狭くなると空隙率が大きくなることを確認し、河床材料の粒度分布幅を示す指標としての対数正規分布型での標準偏差を用いて空隙率変化を推定する簡易式を導いた。

河床変動モデルについては、前述の空隙率変化の簡易式を導入するとともに、移動限界粒径の大きさを河床材料の移動する交換層厚にも適用する手法を導入した河床変動モデルを開発し、水理実験の再現計算を行った結果、流砂量および流砂の粒度分布については概ね実験結果と合致するとともに、上流側の河床低下についても実験結果と同程度になるなど再現性を改善することができた。

置土の移動床水理実験については、置土形状や粒径の大きさによる置土周辺部への影響等が明らかとなり、特に置土材料の粒径が大きい場合は周辺部に与える影響が大きくなることなどの問題点も明らかとなった。

今後は、実河川での河床変動モデルの適用や置土以

外の土砂供給手法での影響の検討を行い、土砂供給・置き土計画立案技術の提案につなげていく予定である。

謝辞

本課題の実施にあたって、実験水路は国土交通省国土技術政策総合研究所の所有する河川水理実験施設に設置させていただいた。ここに記して、謝意を表します。

参考文献

- 1) 藤田正治ほか：河床材料の空隙率の変化を考慮した河床変動モデルとその適用，河川技術論文集，第14巻，pp.13-18，2008
- 2) Muhakmmad Sulaiman, Daizo Tsutsumi and Masaharu Fujita : Porosity of sediment mixtures with different type of grain size distribution, AJHE, JSCE, Vol.51, 23, 2007
- 3) 芦田和男・道上正規：移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究，土木学会論文報告集，第 206 号，pp.59-69, 1972.
- 4) 岩垣雄一：限界掃流力の流体力学的研究，土木学会論文集，第 41 号，pp.1-21, 1956.

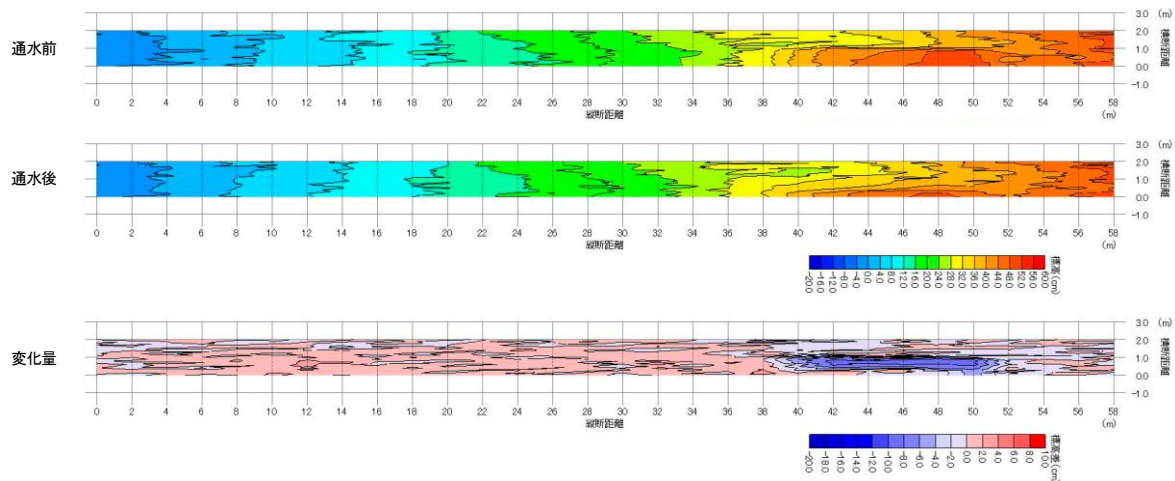


図 3.2(a) 河床コンター図 (ケース 1)

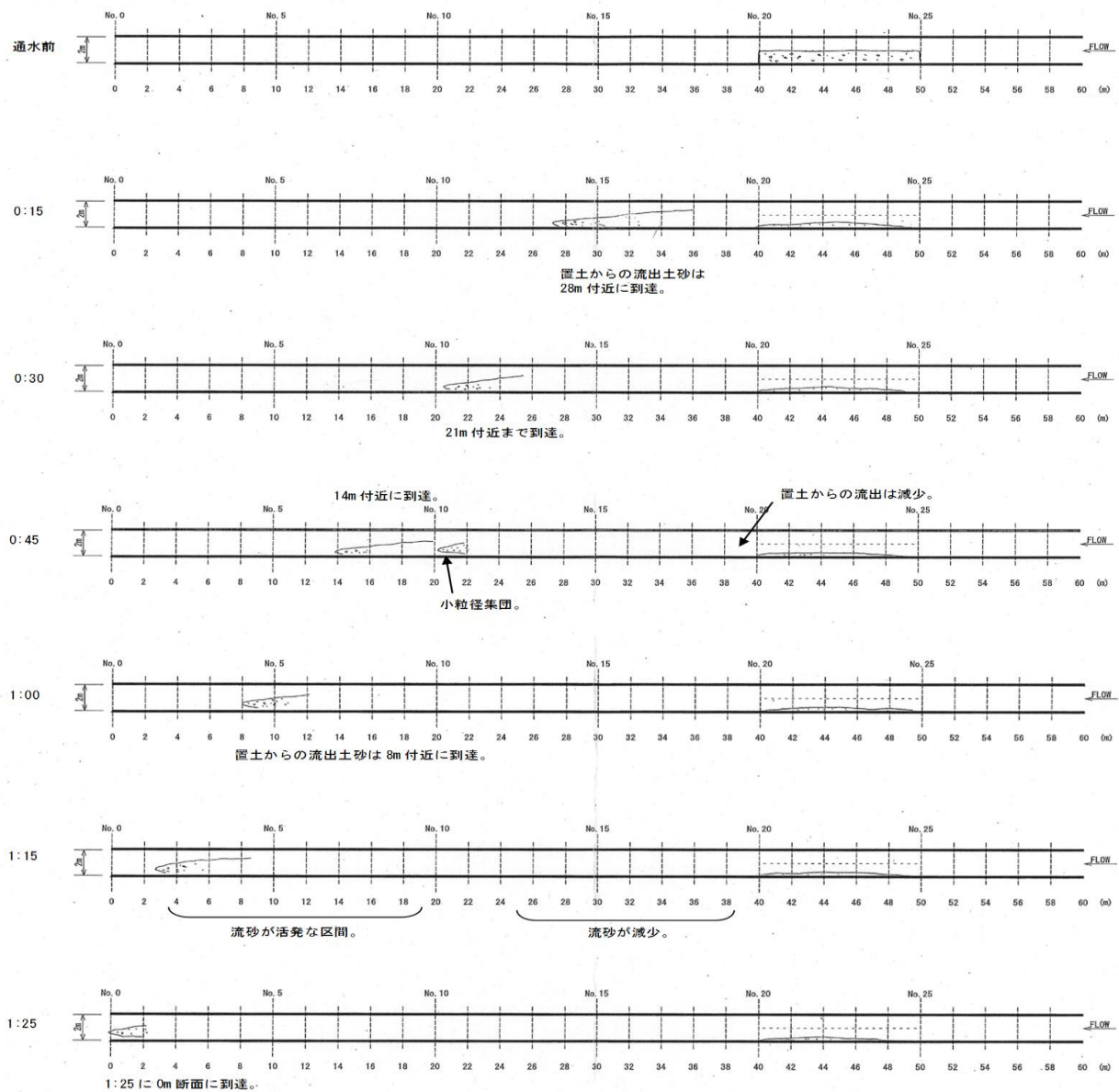


図 3.2(b) 河床変化状況スケッチ図 (ケース 1)

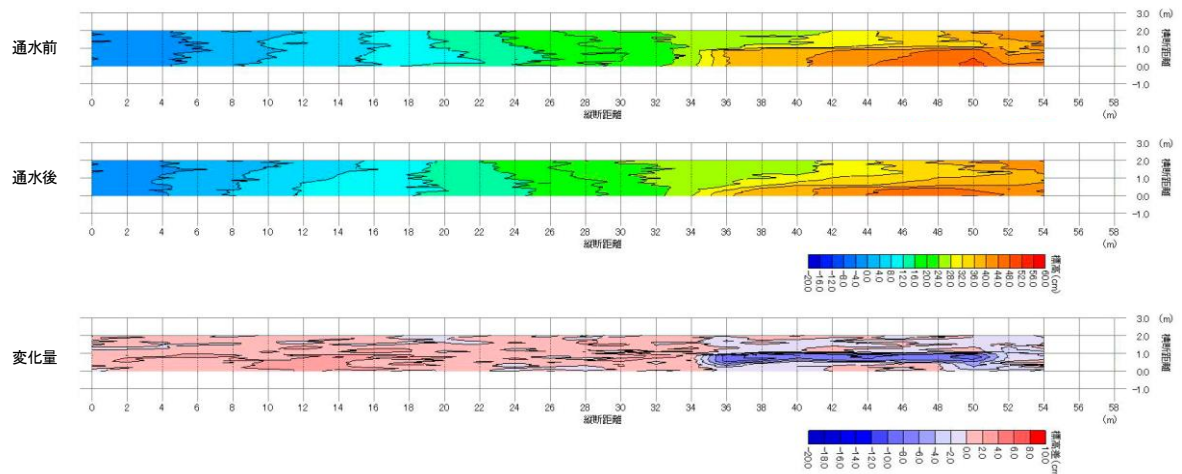


図 3.3(a) 河床コンター図 (ケース 2)

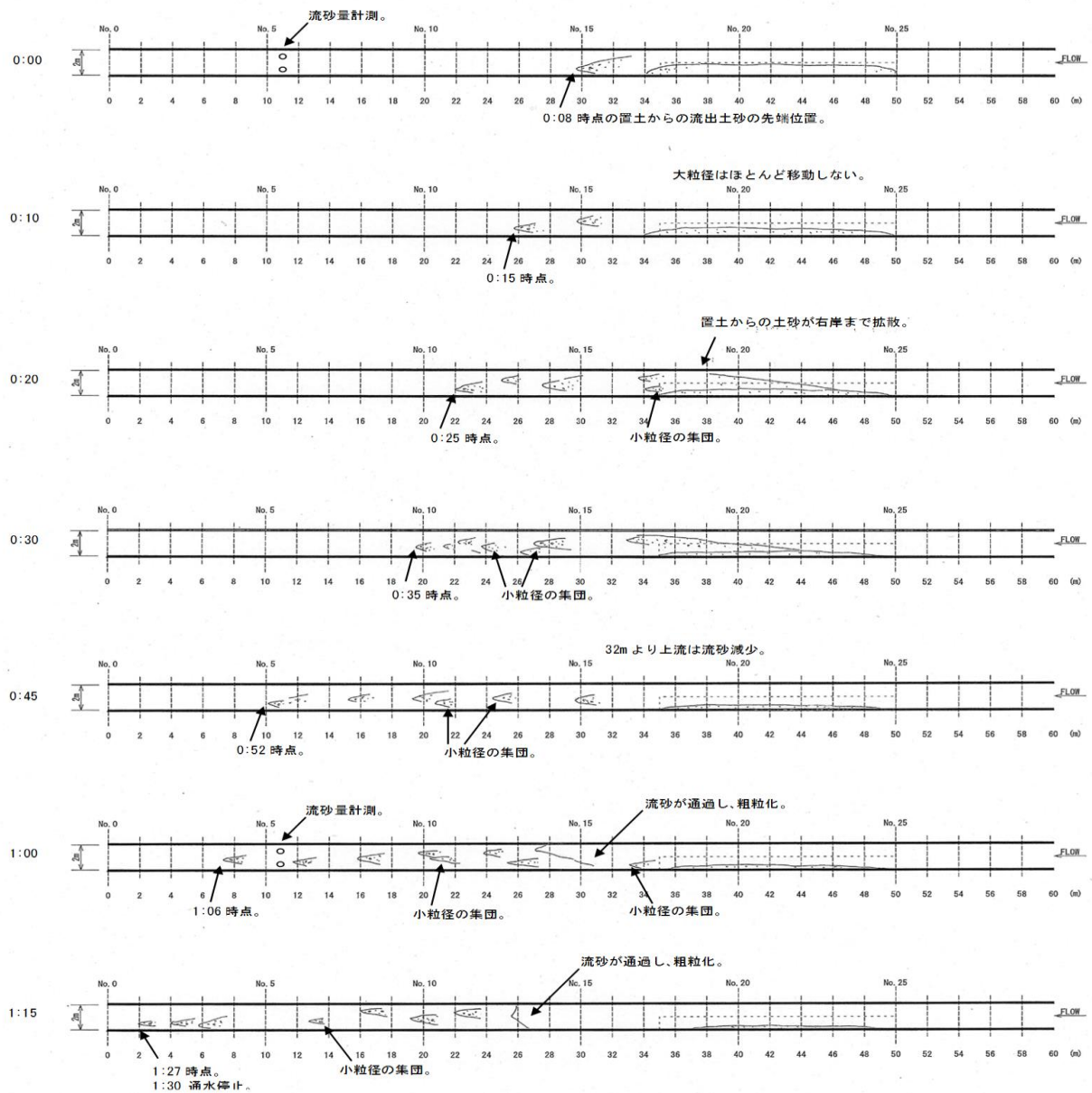


図 3.3(b) 河床変化状況スケッチ図 (ケース 2)

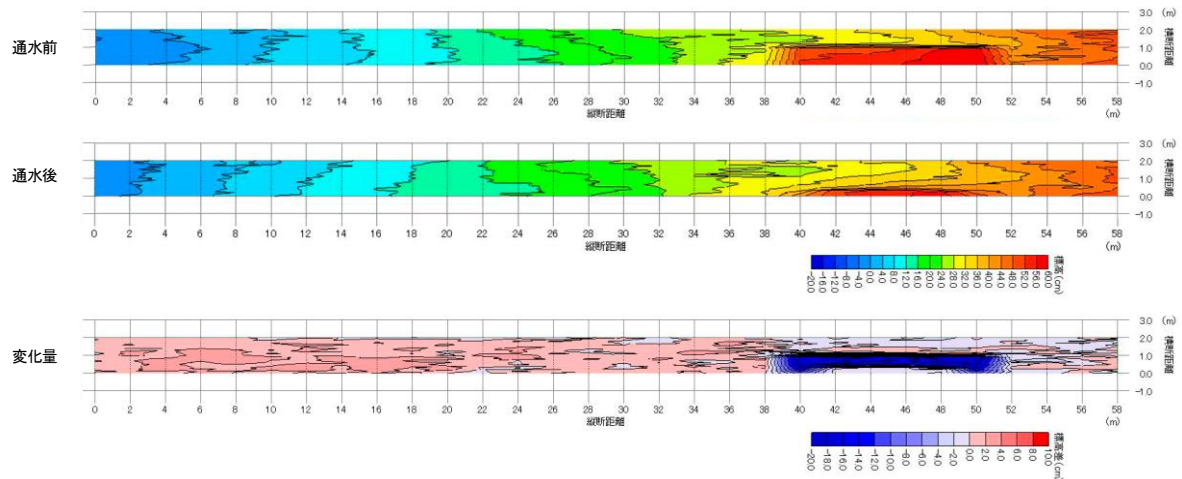


図 3.4(a) 河床コンター図 (ケース 3)

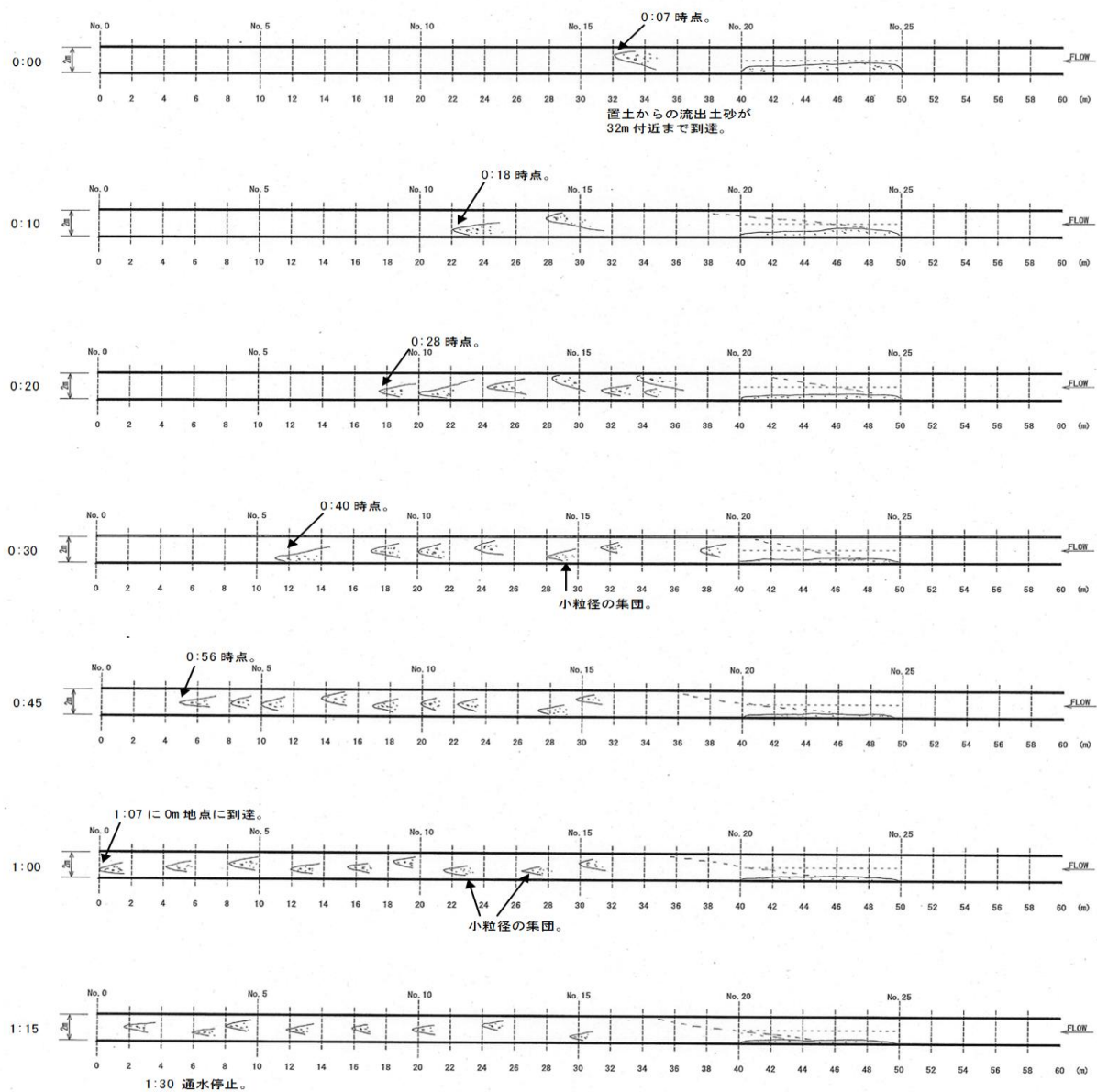


図 3.4(b) 河床変化状況スケッチ図 (ケース 3)

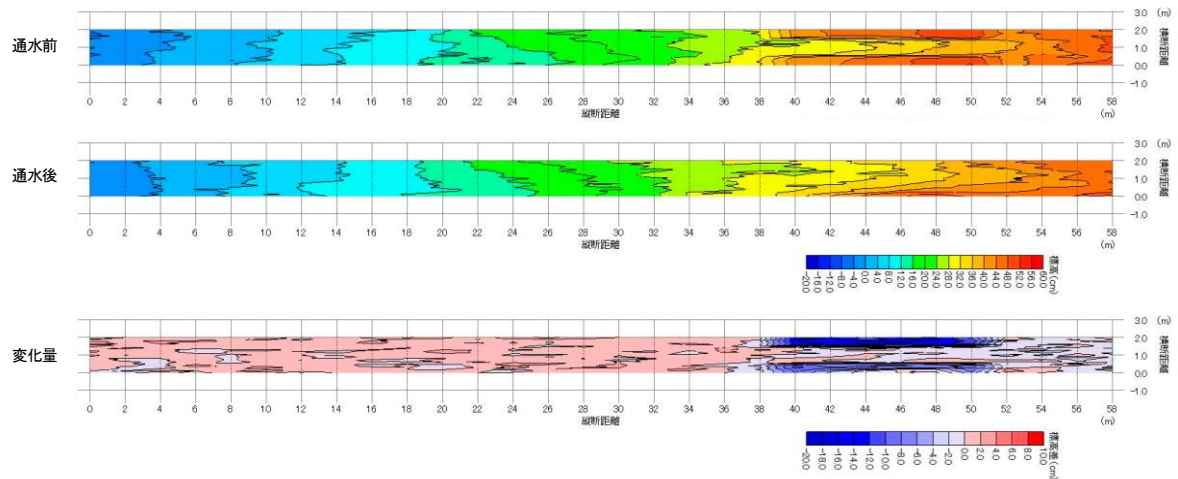


図 3.5(a) 河床コンター図 (ケース4)

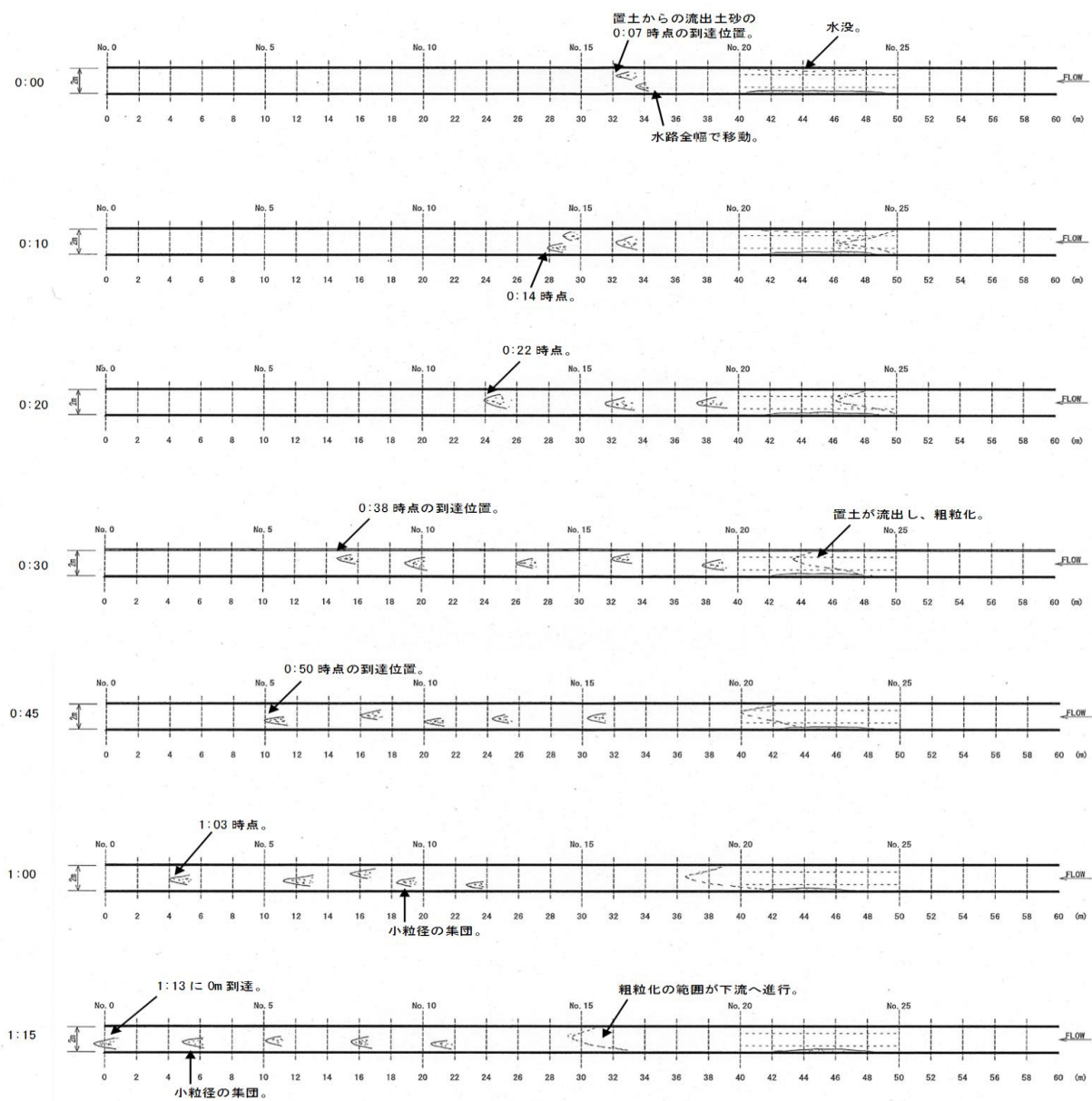


図 3.5(b) 河床変化状況スケッチ図 (ケース4)

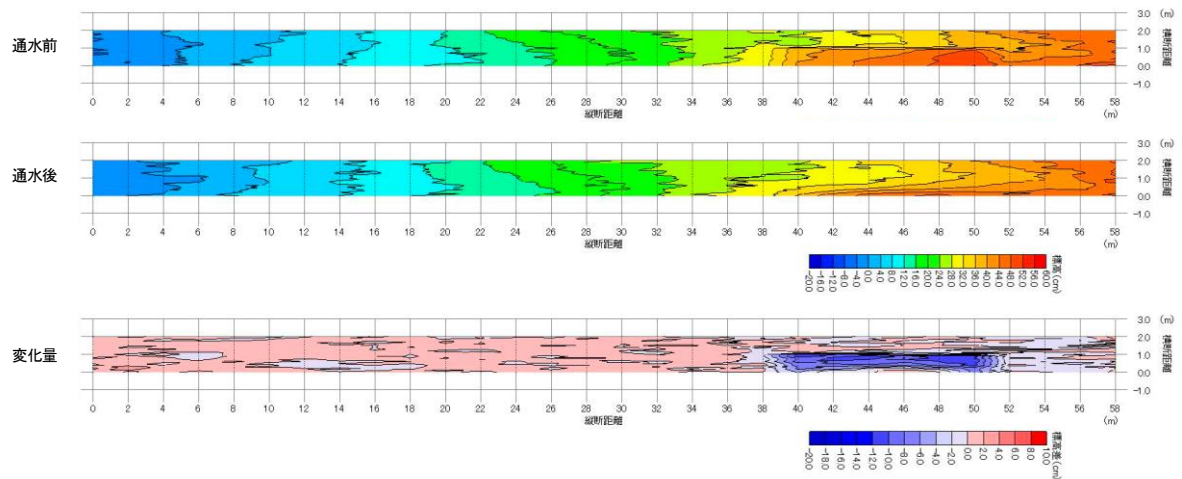


図 3.6(a) 河床コンター図 (ケース5)

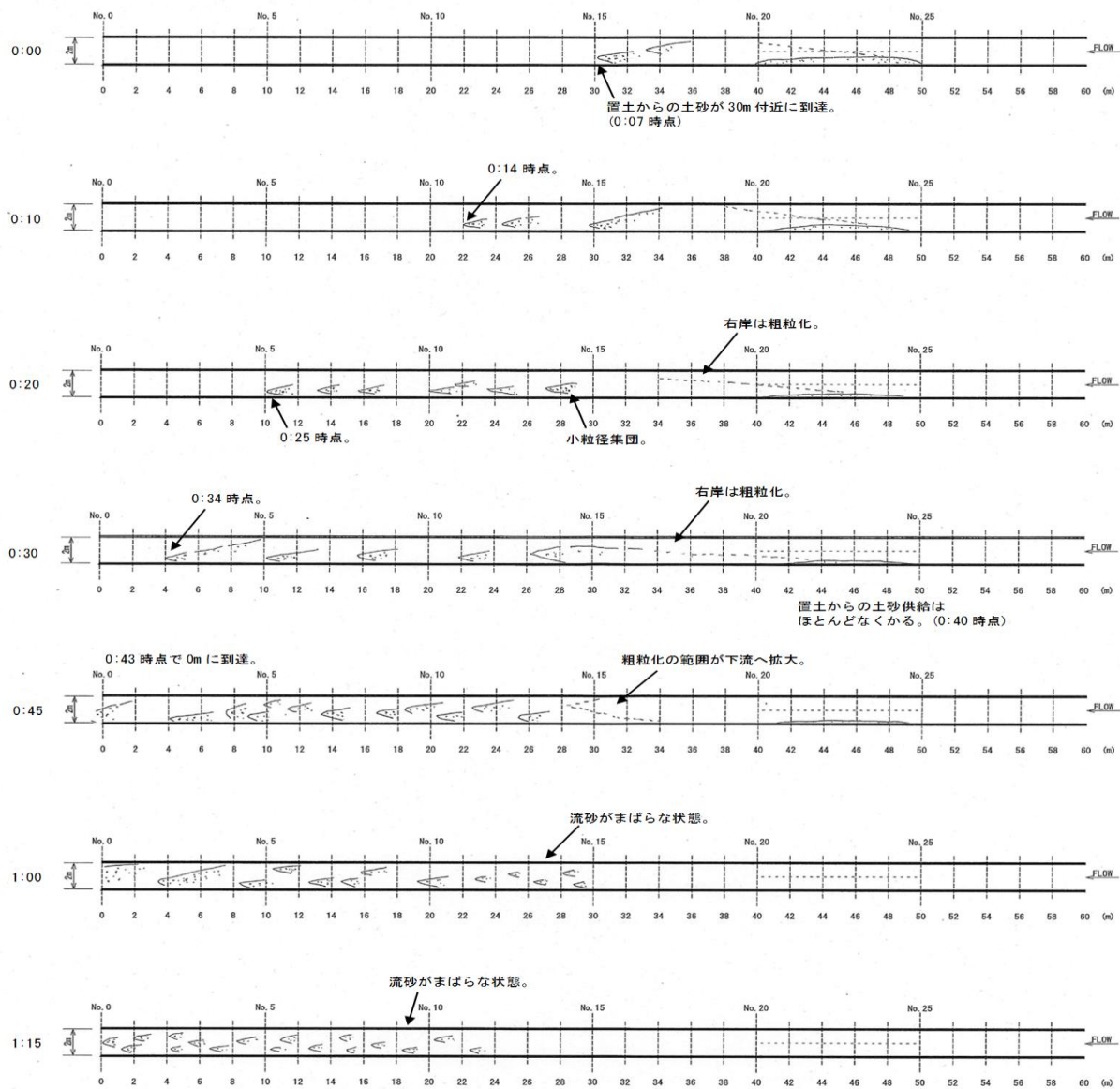


図 3.6(b) 河床変化状況スケッチ図 (ケース5)

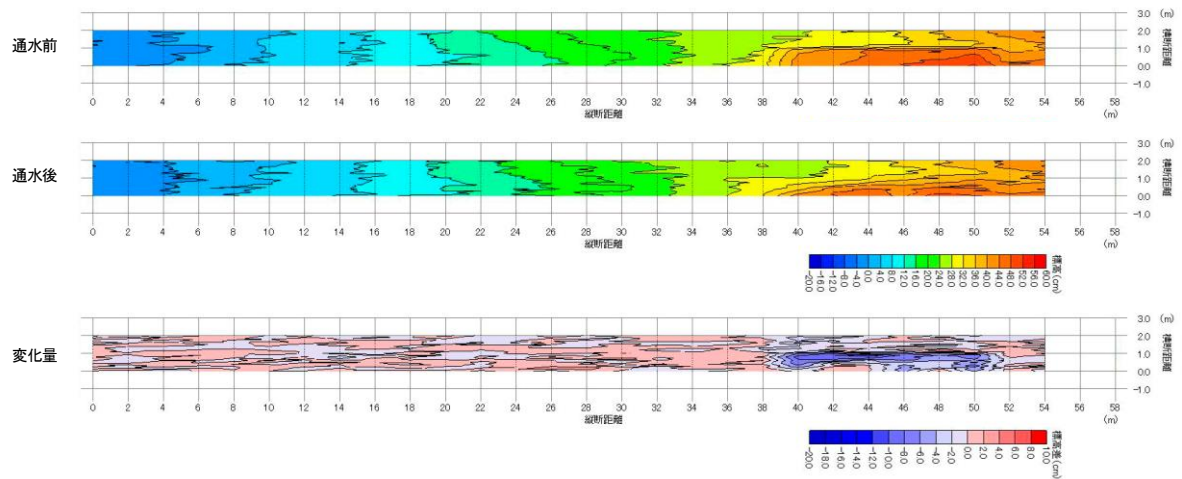


図 3.7(a) 河床コンター図 (ケース6)

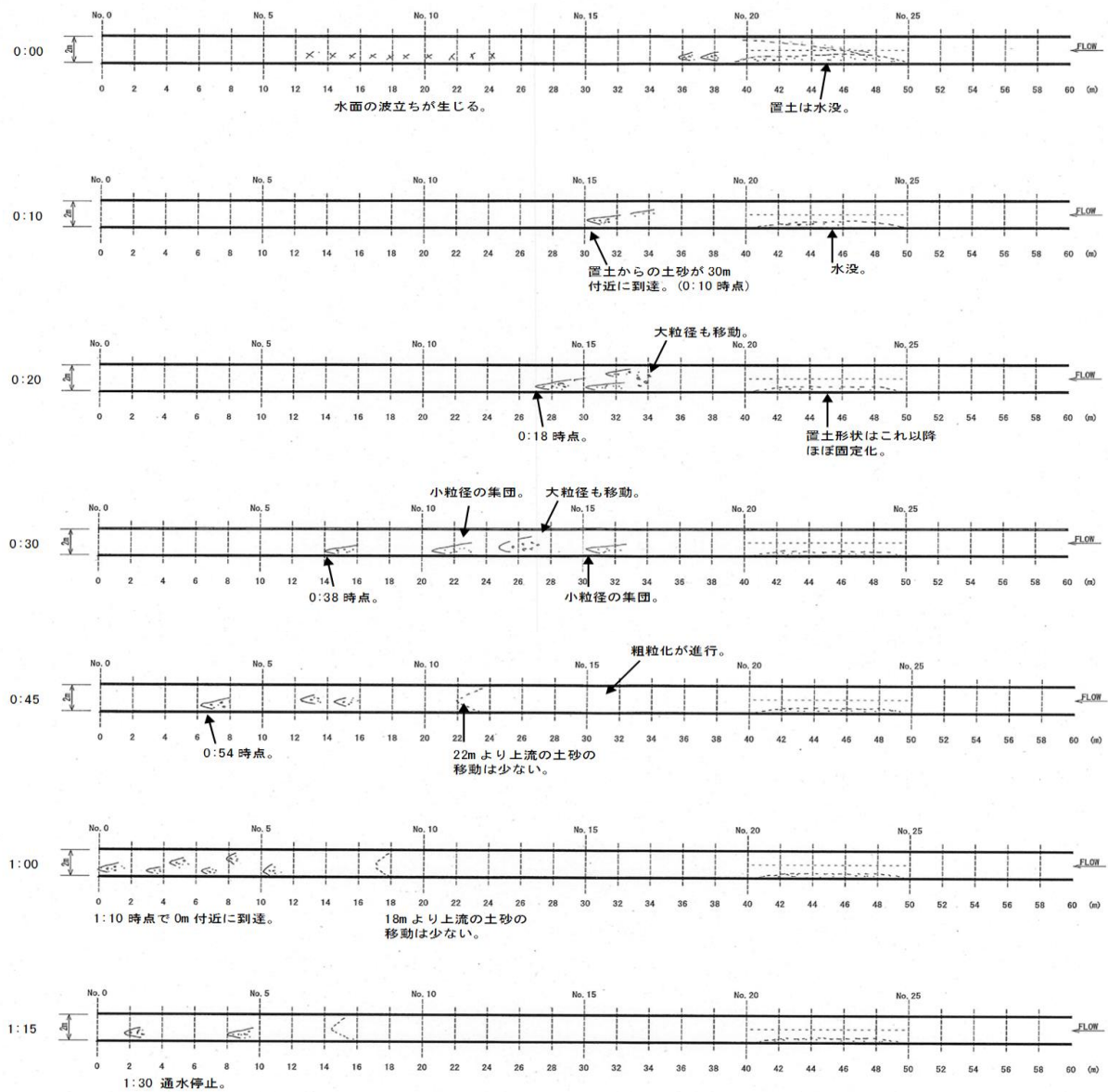


図 3.7(b) 河床変化状況スケッチ図 (ケース6)

STUDY ON SEDIMENT MOVEMENT MECHANISM THAT PAID ITS ATTENTION THE PERTICLE SIZE CONSTITUTION OF RIVER BED MATERIALS

Budged : Grants for operating expenses
General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Hydraulic Engineering
Research Group (River
and Dam Hydraulic
Engineering)

Author : HAKOISHI Noriaki
ISHIGAMI Takayuki
SAKANO Akira
MIYAKAWA Masashi
NAKANISHI Satoru

Abstract : By the bed degradation of a river crossing structure and gravel extraction etc. problems, such as the fall of the stability of river structure things, such as degradation of river environment, such as development of thick growth of trees and naked rock, and ground sill, a bridge pier, and reduction of sands, are actualizing. For this reason, the necessity for the sediment management which carried out river system consistency is fully recognized, and it is asked for the concrete measure which realizes it. This study aims at followings for the river of mountainous district and the gravel bed river with a broad particle-diameter group. (1) Clarify the role which each particle-diameter group about the river characteristics, river bed change, and river bed configurations has. (2) Propose the method of determining the quantity and the quality which are needed for down-stream from the viewpoint of comprehensive sediment management, about discharged sand from dam or method of sediment supply. In FY2014, we examined river bed variation model considering porosity of bed materials and hydraulic model experiment of the effects of placed sediment method.

Key words: river bed materials, particle size distribution, hydraulics model experiment, river bed movable model