

第 6 章 河床変動、河床材料変化及び土砂流送の解析

目 次

第 1 節	総説	1
1. 1	位置付けと目的	1
1. 2	解析法の基本フレーム	1
1. 3	解析レベル	2
1. 4	解析の実施手順	3
第 2 節	目的に応じた解析レベルの設定	4
第 3 節	計算法の設定	7
3. 1	解析レベルに応じた計算法の選定	7
3. 2	流れの計算法の設定	7
3. 3	河床形状の計算法の設定	7
3. 4	粒度分布の計算法の設定	8
3. 5	掃流砂の計算法の設定	10
3. 5. 1	一様粒径の掃流砂	10
3. 5. 2	混合粒径の掃流砂	14
3. 6	巻き上げ量（又は基準面濃度）の計算法の設定	15
3. 7	土砂濃度分布の計算法の設定	17
第 4 節	各種条件等の設定	19
4. 1	解析レベルに応じた条件等の設定	19
4. 2	河岸・高水敷・堤防等の河道地形の設定	20
4. 3	植物・構造物等の水理作用の設定	20
4. 4	構造物や河岸等での流砂の計算条件の設定	21
4. 5	水位・流量に関する境界条件の設定	22
4. 6	供給土砂と河道外搬出・搬入の条件設定	22
4. 6. 1	供給土砂の設定	22
4. 6. 2	河道外搬出・搬入の設定	24
4. 7	河床高・河床材料の初期条件の設定	25
第 5 節	解析の実施と検証・調整	25
5. 1	解析の実施	25
5. 2	解析の検証・調整	25
5. 3	解析と調査を並行して実施する場合の検証・調整	26

第6章 河床変動、河床材料変化及び土砂流送の解析

第1節 総説

1.1 位置付けと目的

<考え方>

章は、沖積河川（セグメント1、2、3）を主対象として、河川等の計画・設計・維持管理、河川環境の保全、総合的な土砂管理などのために必要となる河床形状や河床材料の変化及び土砂流送の解析に関する基本的な事項を示す。

解析対象であるこれらの事象の実態を把握するための調査は第4章 河道特性調査に記述されている。本章では、第4章に示した調査の成果及び第5章 河川における洪水流の水理解析に示した水理解析手法を利用しつつ、実態把握では得られない将来の事象、河川等の計画・設計・維持管理等の種々の案の下での事象、更にデータや情報が不足し必要なレベルの実態把握ができていない既往の事象について、予測、シナリオ・感度分析、現象の再現、観測及び調査情報の補完等を行うための解析法を提示するものである。

解析対象のうち、河床形状の変化は、流下能力の把握や河川構造物の管理に必須であり、河床材料（特に表層）の変化は、河川における生物の生息・生育状況の検討の際に役立つ。

また、土砂流送は、河床変動及び河床材料変化とともに一連の河道形成システムを構成する主たる要素であり、解析に際して、これら3つの要素と変化を起こす主要因である洪水の状況に着目しておくことが、解析の実施と結果の活用を適切に行う上で重要である。

1.2 解析法の基本フレーム

<考え方>

図6-1-1に解析法の基本フレームを示す。

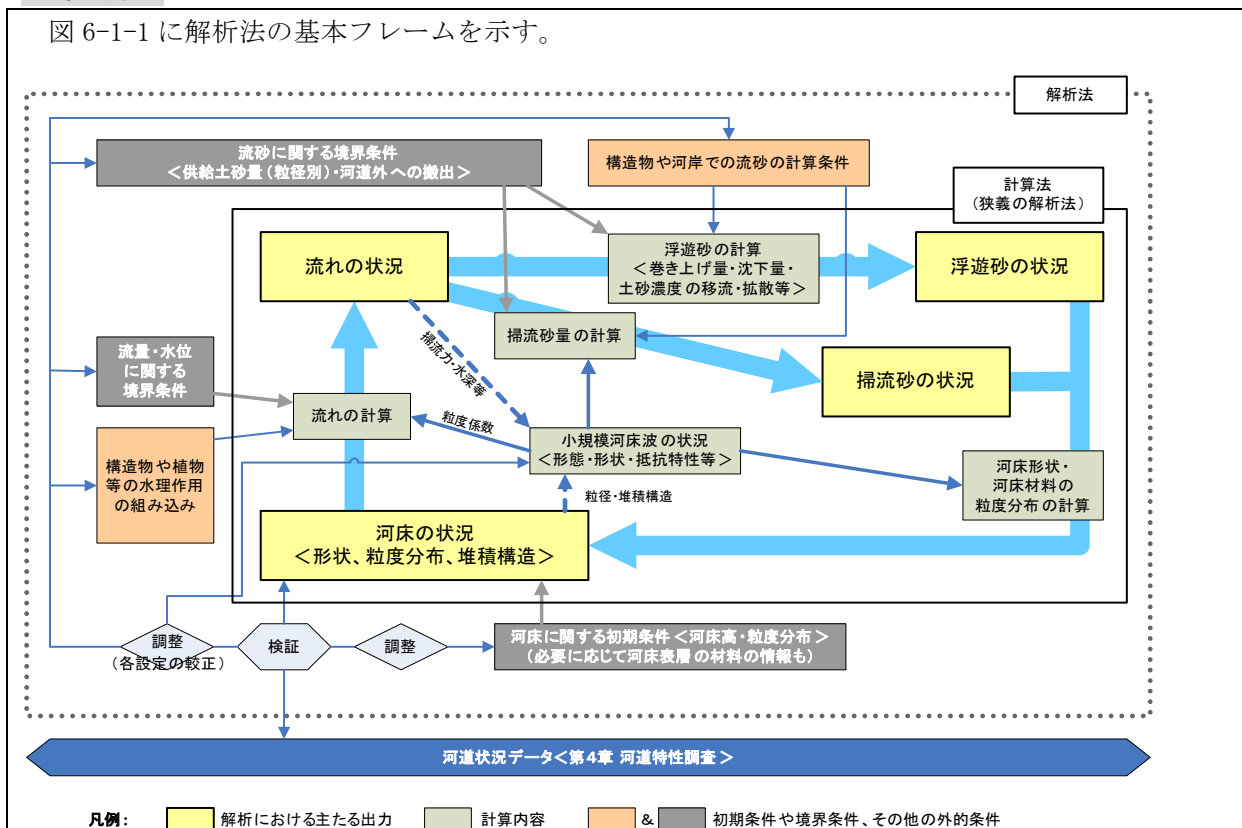


図6-1-1 河床変動、河床材料変化及び土砂流送の解析法の基本フレーム

解析においては、まず河道特性調査（第4章）等による調査結果を用いて解析の対象とする河床部の川幅や平面形状とそれを取り囲む高水敷等の形状を設定し、河床部に初期条件に従っ

て河床状況を組み込んで、与えられた流量、水位に関する境界条件の下で流れの計算を行う。

流れや土砂流送に影響を与える構造物や植物等を考慮する必要がある場合には、その作用を流れ、掃流砂、浮遊砂、河床の各計算において考慮する。

また、流砂と流れの相互作用により形成される小規模河床波（第4章 河道特性調査 3.3.2、本章 3.5 参照）が流砂量や粗度等に与える影響を考慮する。

こうして得られた流れの状況と河床の状況から、掃流砂と浮遊砂の計算を行う。ここで、供給土砂や河道への土砂搬出・搬入等の流砂に関する境界条件等を反映させる。

なお、河床面の粗度設定は、特に掃流砂量の計算において有意な影響を与える（本章の 3.5 で後述）。

それぞれの計算から得られる掃流砂と浮遊砂の状況に基づき、それらがもたらす河床形状の変化や河床材料の粒度分布等の変化を計算する。この際、河床形状や河床材料粒径の変化を規定する構造物や河床等の条件がある場合には、それを組み込む。

以上により、流砂現象を一定時間経験した後の新たな河床の状況が得られる。こうしたプロセスを、現象を支配する基本方程式群に基づく数値計算手法を用いて必要時間分たどっていくことにより、流れ、掃流砂、浮遊砂、河床の各状況の時間変化を連続的に得ることができる。

河床の状況について計算対象となる項目は河床形状と粒度分布である。また、初期条件で与えられる又は堆積過程で計算される（本章 3.4 で後述）粒度分布の鉛直変化は、河床の状況についてのもう一つの計算対象である「堆積構造」の定量的解析法の1つとなる。

これらの計算結果に対して検証を行い、必要に応じて各設定の調整を行う。

以上の全体像を「解析法」と呼び、その内、基本方程式群とそれによる出力で構成されるいわゆる数値計算モデルの部分を「計算法」と呼び、区別する。

本章は、計算法のみでなく、初期・境界条件等の設定及び検証・調整を含めた解析法を取り扱うものである。

1.3 解析レベル

<考え方>

解析レベルとは、流れ、流砂（掃流・浮遊）、河床の形状・粒径変化といった各事象を記述する解像度又は範囲であり、以下の4項目のレベルの組合せとして解析法のカテゴリーを表すのに用いる。

1) 河床高の解析レベル

河床形状に関する解析レベルは、1次元/2次元の2レベルで設定する。

1次元は、平均河床高の河道縦断方向分布の時間変化を得るものである。2次元は、河道縦横断方向の河床高の平面分布の時間変化を得るものである。

2) 粒径の解析レベル

河床材料の粒度分布に関する解析レベルは、一様粒径/混合粒径の2レベルで設定する。

一様粒径は、河床材料を単一粒径で構成するとして、場所的・時間的に粒径が一定として解析するものである。混合粒径は、河床材料を別途設定するある一定の粒径範囲内の粒径成分で構成されるとして、場所的・時間的な粒度分布の変化について解析するものである。

3) 流砂の解析レベル

流砂の流送形態に関する解析レベルは、掃流砂のみ/掃流砂と浮遊砂（混合型・通過型）の2レベルで設定する。

掃流砂のみは、流砂量として掃流形態のみを取り扱うものである。掃流砂と浮遊砂は、掃流・

浮遊の両形態を取り扱うものである。

なお、浮遊形態の流砂を混合型と通過型（いわゆるウォッシュロード）に区分したが（第4章河道特性調査の2.3参照）、ここでのレベル設定では、それらの内の一つ、又は両方を含むものを総じて浮遊砂とする。

4) 流れ場の解析レベル

流れ場の空間的な解像度に関する解析レベルの区分は、第5章 河川における洪水流の水理解析の第4節 計算手法の説明 に示した解析手法の分類である1次元、準2次元、2次元、準3次元、3次元に、2次元（2次流付加）を加えた6レベルで設定する。

ここで、2次元（2次流付加）は、第5章 河川における洪水流の水理解析 4.5 に示した2次元流れの運動方程式・連続方程式に基づいて算定した流速を主流として、別途用意した式により2次流成分の流速を算定し、主流に付加する解析手法である。

以後、説明を簡潔に行うため、表6-1-1のように略記する。

表6-1-1 各解析レベルの略記号

河床高の解析レベル		粒径の解析レベル	
1次元	2次元	一様粒径	混合粒径
1DB	2DB	U	M

流砂の解析レベル	
掃流砂のみ	掃流砂と浮遊砂 (混合型・通過型)
BL	BSL

流れ場の解析レベル					
1次元	準2次元	2次元	2次元 2次流付加	準3次元	3次元
1DF	2DF'	2DF	2DF+	3DF'	3DF

1.4 解析の実施手順

<考え方>

本章の構成と解析の手順を図6-1-2に示す。

まず、解析レベルの設定として、本節の1.3に記述した河床高、粒径、流送形態、流れ場の解析レベルを設定する。その際に踏まえておくべき事項について本章の第2節に述べる。

次の解析法の設定では、計算法と各種条件等の設定を行う。計算法の設定では、流れ、河床形状、粒度分布、掃流砂、浮遊砂（巻き上げ量と土砂濃度分布）の計算に用いる基礎方程式の設定を行う。

本章の第3節では、各計算に用いる基礎方程式を事象の記述レベルが異なる種別に区分して示すとともに(3.2~3.7)、解析レベルに応じた種別の選定について述べる(3.1)。

各種条件等の設定では、計算法に与える境界条件や初期条件等の設定を行う。その内容は本章の第4節に示すように、解析対象の河床部を取り囲む河岸・高水敷・堤防等の形状の設定(4.2)、構造物や植生等の地被・地物の粗度や抵抗等としての流れ場の計算への組み込み(4.3)、床止工、根固工等の構造物や露岩部といった河床の固定箇所及び河岸侵食箇所における流砂・河床の計算法での取扱い(4.4)、計算対象区間の上下流端における水位・流量及び土砂の供給と搬入・搬出（量と粒度分布）の時系列変化の設定(4.5、4.6)、そして計算開始時点の河床の形状・粒径の設定(4.7)から成る。

また、土砂供給と河床の形状・粒径については、解析レベルに応じて設定を行う（4.1）。
最後に、解析の実施と検証・調整を行う。本章の第5節では、数値計算による解析(5.1)と、第4章の河道特性調査等により得た河道状況データ(第4章の第3節)を用いた検証・調整(5.2)について述べる。

また解析に用いるデータを得るための調査という一方向的な関係でなく、調査内容の吟味に解析を利用して効率的、効果的に検証・調整を行うといったように、調査と解析を有機的に組み合わせた検討について述べる(5.3)。

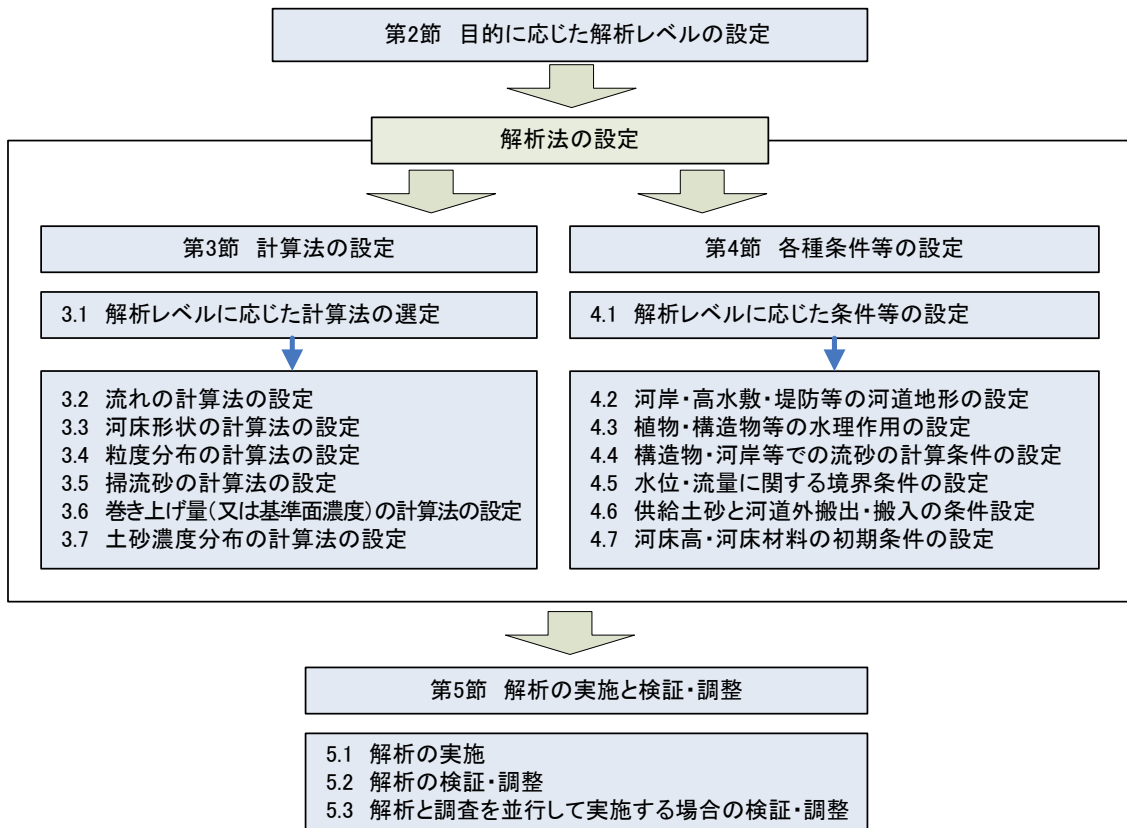


図6-1-2 本章の構成と解析の実施手順

第2節 目的に応じた解析レベルの設定

<標準>

本章の1.1 位置付けと目的 で述べた解析の目的・用途と解析対象とする河道区間の河道特性等について、本章の1.3 解析レベル に示した流れ、流砂（掃流・浮遊）、河床高・粒径変化を記述する解像度又は範囲の観点から整理するなどにより、目的等に応じて解析レベルを適切に設定することを標準とする。

<例示>

河床高の解析レベルは、目的・用途を満たす観点から設定することができる。

たとえば、流下能力の評価の目的では、平均河床高が得られるレベル[1DB]、また局所洗掘深の予測の用途では、河床高の平面分布が得られるレベル[2DB]と設定できる。

ただし、直接必要とする情報が平均河床高（又は河積）である目的・用途の場合でも、たとえば河口砂州のフラッシュのように河床形状の平面的変動が卓越する事象を対象とする場合に

は[2DB]として設定してよい。

また、全体的には平均河床高が得られるレベル[1DB]で十分であるが、一部に平面的変動が卓越する事象が含まれている場合には、その事象を特に重視する目的・用途の場合を除いて、その部分に適した流れ・流砂・河床高の計算法を組み込むなど（本章の 4.3、4.4 参照）の適切な対応を行った上で、レベル[1DB]として設定することができる。

粒径の解析レベルは、対象河道区間の河床材料粒径、すなわち材料 m（第 4 章 河道特性調査 2.4 参照）に関する以下の観点を踏まえた設定とすることができる。

1) 空間的な構成材料の一様性

対象区間の全域で材料 m の粒径範囲が同一であり、場所により材料 m の粒径範囲に相違が認められない場合は、一様性が高い。

2) 粒径の均一性

材料 m の粒度分布の淘汰がよく（たとえば d_{34}/d_{16} が小さい）、ある特定の粒径を中心に粒径範囲が狭い範囲に集中している場合は均一性が高く、淘汰が悪く、広い粒径範囲にわたって偏りない粒度分布となっている場合は、均一性が低い。

一様性と均一性が共に高い場合には一様粒径として扱うレベル[U]、それ以外を混合粒径として扱うレベル[M]とすることができる。

流砂の解析レベルは、以下の観点等を踏まえて総合的に設定することができる。

- a) 解析条件とした水理量の下で浮遊形態となる粒径成分の有無（第 4 章の 6.2 参照）
- b) 掃流砂との対比として浮遊砂が河床の形状・粒径の変化に及ぼす影響の大きさ
- c) 目的・用途において（たとえば総合的な土砂管理等）浮遊砂量が直接的に必要とされる情報であるか

セグメント類型が適用できる沖積河川の場合では、礫を対象とする場合には[BL]を、砂又は砂礫を対象とする場合には[BSL]と設定することができる。

流れ場の解析レベルは、河床高の解析レベルと対応させて、[1DB]では流れ場のレベル[1DF]と[2DF]、[2DB]では[2DF]～[3DF]から設定することができる。

更にレベルを絞り込むに当たっては、着目した河床変動に深く関わる流速分布を適切に算定する視点から行うことができる。

まず[1DB]については、河道横断方向の流速分布に着目し、単断面河道のように一様流速として取り扱える流れ場は[1DF]、複断面河道のように河床部と高水敷等で断面平均流速に有意な差がある流れ場は[2DF]として設定することができる。

[2DB]では平面・水深方向の流速分布に着目して設定することができる。その際、非静水圧分布となるなど[3DF]では取り扱えない強い 3 次元性を示す流れ場に用いる 3 次元解析[3DF]は、河川管理の実務における実用性を高めていく段階である。

こうした状況を踏まえ、平面的流速分布を主要因とする場合には[2DF]、それに加えて 2 次流を含む水深方向の流速分布も考慮する必要がある場合には[2DF+]又は [3DF]として設定することができる。[2DF+]として設定する際には、別途用意する 2 次流成分の算定式の適用性について吟味する。

[3DF]については、水理模型実験と一体的に実施するなど、対象とした事象への適用性について

て吟味するためのデータ取得の見込みも併せて検討した上で、設定の適否について判断するのがよい。

<参考となる資料>

レベル[3DF]の3次元性の強い流れであり、かつ砂礫粒子の運動の非平衡性を考慮して河床変動計算を行った事例として、下記の資料が参考となる。

- 1) 長田信寿, 細田尚, 村本嘉雄, 中藤達昭: 3次元移動座標系・非平衡流砂モデルによる水制周辺の河床変動解析, 土木学会論文集, No. 684/II-56, pp. 21-34, 2001.
- 2) 福岡捷二, 富田邦裕, 掘田哲夫, 宮川朝浩: 橋脚まわりの局所洗掘深推定のための実用的数値シミュレーションの開発, 土木学会論文集, No. 497/II-28, pp. 71-79, 1994.

第3節 計算法の設定

3.1 解析レベルに応じた計算法の選定

<考え方>

計算法の設定項目は、表 6-3-1 に示す河床形状、粒度分布、掃流砂、巻き上げ量（基準面濃度）、土砂濃度分布として構成する。

表中の英数字記号は、計算法の【種別】を表しており、その内容について本節の 3.2～3.7 において説明している。各計算法の種別は、第 2 節で設定した解析レベルに応じて表 6-3-1 に基づいて選定するのを標準とする。

表中の各欄は、各レベルにおいて<標準>とする計算法である。一部の欄には括弧書きとして<推奨>とする計算法を示している。

ここで<推奨>は、標準として示す計算法では解析対象とした事象を十分に再現することができず、<推奨>として示す高度な計算法を用いる必要がある場合に選定する。

表 6-3-1 解析レベルに応じた計算法の選定（標準：種別については 3.3～3.7 参照）

解析レベル				計算法の設定(標準: ()内は推奨)				
河床高	粒径	流送形態	流れ場	河床形状	粒度分布	掃流砂	巻き上げ量 または 基準面濃度	濃度分布
1DB	U	BL	1DF	1B	—	BaBL	—	—
		BSL		1BS	—		BaE	1DC
	BL	1B		1fB	BaBLM	—	—	
	BSL	1BS		1fBS		BaEM	1DCM	
	U	BL	2DF'	1B	—	BaBL	—	—
		BSL		1BS	—		BaE	1DC
	BL	1B		1fB	BaBLM	—	—	
	BSL	1BS		1fBS		BaEM	1DCM	
2DB	U	BL	2DF	2B	—	2'BL	—	—
		BSL		2BS	—		BaE	2DC
	BL	2DF+		2B	2fB	2'BLM	—	—
	BSL			2BS	2fBS		BaEM	2DCM
	U	BL	3DF'	2B	—	2'BL (2BL)	—	—
		BSL		2BS	—		BaE	2DC (3DC)
	BL	2B		2fB	2'BLM (2BLM)	—	—	
	BSL	2BS		2fBS		BaEM	2DCM (3DCM)	

凡例) 英数字記号: 列「解析レベル」は表6-1-1に示す解析レベル
列「計算法の設定」は種別を表す。種別記号の説明は3.3～3.7に示す。

3.2 流れの計算法の設定

<標準>

流れの計算法のレベル[1DF][2DF'][2DF][3DF']については、第 5 章 河川における洪水流の水理解析の 4.1 と 4.2、4.3 と 4.4、4.5、4.6 に基づいて設定することを標準とする。

[2DF+]は[2DF]と別途用意する 2 次流の算定式を組み合わせた流れ場の計算法である。

3.3 河床形状の計算法の設定

<標準>

河床形状 z_B は流砂の連続方程式により算定する。

種別【1B】【2B】【1BS】【2BS】の流砂の連続方程式は式(6-3-1)～(6-3-4)を標準とする。

1) 種別【1B】の計算法（一次元・掃流のみ）

$$\frac{\partial \bar{z}_B}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)B} \frac{\partial}{\partial x} (\bar{q}_{Bx} B) = 0 \quad (6-3-1)$$

種別【2B】の計算法（二次元・掃流のみ）

$$\frac{\partial z_B}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)} \left\{ \frac{\partial q_{Bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{By}}{\partial y} \right\} = 0 \quad (6-3-2)$$

2) 種別【1BS】の計算法（一次元・掃流と浮遊）

$$\frac{\partial \bar{z}_B}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)B} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (\bar{q}_{Bx} B) + (\bar{q}_{su} - \bar{c}_0 w_0) B \right\} = 0 \quad (6-3-3)$$

3) 種別【2BS】の計算法（二次元・掃流と浮遊）

$$\frac{\partial z_B}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)} \left\{ \frac{\partial q_{Bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{By}}{\partial y} + (q_{su} - c_0 w_0) \right\} = 0 \quad (6-3-4)$$

ここに、 z_B は河床高、 q_{Bx} 、 q_{By} は河道縦横断方向の掃流砂量、 q_{su} は浮遊土砂の巻き上げ量、 c_0 は浮遊土砂の底面濃度、 λ は河床構成材料の空隙率、 w_0 は浮遊土砂の沈降速度、 B は河床部の幅、 x 、 y は河道縦横断方向の座標軸、 t は時刻である。

また、記号「 $\bar{\quad}$ 」は河床の幅 B にわたっての平均値を表し、たとえば \bar{z}_B は平均河床高である。式(6-3-1)～(6-3-4)を混合粒径に適用する場合の q_B 、 q_{su} 、 c_0 、 w_0 の計算法は本節の3.5～3.7に示す。

式(6-3-1)～(6-3-4)に各時点の掃流砂量、巻き上げ量、底面濃度を与えて時間積分することにより、任意の時刻 t における河床高を算定する。その際、 λ は定数とするのを標準とする。

3.4 粒度分布の計算法の設定

<考え方>

混合粒径の粒度分布の算定手法として、沖積河川での適用事例が多い交換層の枠組みを用いるのを標準とする。

この枠組みに基づく粒度分布・流砂量の計算の概要は以下のとおりである。

- 河床材料の粒度分布を、 n 種類の一様粒径 d_i を含有率 f_i で混合した混合粒径材料として近似する。以下、粒径の種類を粒径階 d_i と呼ぶ。ここに、 n は整数であり i は1から n までの整数値をとる。各粒径階 d_i の間隔は、第4章2.4.3に述べた各ポピュレーションの移動性や流送量が適切に評価されるように設定することが重要である。
- 混合粒径の流砂量式を用いて、各粒径階の流砂量を算定する（本節の3.5.2、3.6、3.7参照）。
- 各粒径階の連続方程式を用いて f_i を算定する（式(6-3-5)～(6-3-8)参照）。
- 河床高は式(6-3-1)～(6-3-4)の流砂の連続方程式により算定するが、その際、 q_B 、 q_{su} 、 $c_0 w_0$ には各粒径階 q_{Bi} 、 q_{sui} 、 $c_{0i} w_{0i}$ の合算した値 Σq_{Bi} 、 Σq_{sui} 、 $\Sigma c_{0i} w_{0i}$ を用いる。

交換層の枠組みを用いた計算法（各種の流砂量式を含む）については、 d_{84}/d_{16} が大きいなど粒径範囲が広い河床材料、2峰性の粒度分布を有する河床材料、及び石礫で構成される河床材料等への適用性について知見が蓄積されてきている。

蓄積されつつある知見も適宜参考として、本枠組みの適用性について検証・吟味することが重要である。

<参考となる資料>

交換層の枠組みに関する基本的考え方については資料1)が参考となる。その修正の一例として資料2)が参考となる。流送形態が異なる2つの粒径集団の取り扱う場合及び礫間への砂の堆積・抜け出しについては資料3)～5)が参考となる。大礫等が流れ場や砂礫の流送に支配的な影響を及ぼす場合については資料6)～9)が参考となる。

- 1) 平野宗夫：Armoring をともなう河床低下について，土木学会論文報告集，第 195 号，pp. 55-65，1971.
- 2) 芦田和男，江頭進治，劉柄義：二層モデルによる複断面河道の流れ及び河床変動の数値解析，京都大学防災研究所年報，第 35 号 B-2，pp. 42-62，1992.
- 3) 芦田和男，藤田正治：平衡及び非平衡浮遊砂量算定の確率モデル，土木学会論文集，第 375 号／II-6，pp. 107-116，1986.
- 4) 藤田光一，山原康嗣，富田陽子，伊藤嘉奈子，小路剛志：大礫床表面における砂の堆積状況と浮遊砂量との関係についての実験的研究，水工学論文集，第 52 巻，pp. 547-552，2008.
- 5) 関根正人，林将宏：礫・シルト充填河床モデルを用いた礫河道の準二次元河床変動解析，水工学論文集，第 51 巻，pp. 973-978，2007.
- 6) 辻本哲郎，細川迭男：急勾配水路における礫の限界掃流力と流砂量，土木学会論文集，No. 411／II-12，pp. 127-134，2007.
- 7) 芦田和男，大同淳之，高橋保，水山高久：急勾配流れの抵抗と限界掃流力に関する研究，京都大学防災研究所年報，16(B)，pp. 481-494，1973.
- 8) 岡部健士，肥本一郎：大径礫を伴う山地河川における流砂の有効掃流力に関する研究，第 30 回水理講演会論文集，pp. 247-252，1986.
- 9) 長田健吾，福岡捷二：石礫河川の土砂移動機構に着目した 1 次元河床変動解析法の開発，水工学論文集，第 52 巻，pp. 625-630，2007.

<標準>

河床の各粒径階の含有率 f_{bi} は、各粒径階の連続方程式により算定する。種別【1fB】【2fB】【1fBS】【2fBS】の f_i の連続方程式は式(6-3-5)～(6-3-8)を標準とする。

- 1) 種別【1fB】の計算法（一次元・掃流のみ）

$$\frac{\partial \bar{f}_{bi}}{\partial t} - \frac{1}{a} (\bar{f}_{Bi} - \bar{f}_{bi}) \frac{\partial \bar{z}_B}{\partial t} + \frac{1}{a(1-\lambda)} \left(q_{Bx} \frac{\partial \bar{f}_{Bi}}{\partial x} \right) = 0$$

$$\frac{\partial \bar{z}_B}{\partial t} \geq 0 \text{ の場合 (河床上昇): } \bar{f}_{bi} = \bar{f}_{Bi} \quad (6-3-5)$$

$$\frac{\partial \bar{z}_B}{\partial t} < 0 \text{ の場合 (河床低下): } \bar{f}_{bi} = \bar{f}_{b0i}$$

2) 種別【2fB】の計算法（二次元・掃流のみ）

$$\frac{\partial f_{bi}}{\partial t} - \frac{1}{a}(f_{Bi} - \hat{f}_{bi})\frac{\partial z_B}{\partial t} + \frac{1}{a(1-\lambda)}\left(q_{Bx}\frac{\partial f_{Bi}}{\partial x} + q_{By}\frac{\partial f_{Bi}}{\partial y}\right) = 0$$

$$\frac{\partial z_B}{\partial t} \geq 0 \text{ の場合 (河床上昇): } \hat{f}_{bi} = f_{bi} \quad (6-3-6)$$

$$\frac{\partial z_B}{\partial t} < 0 \text{ の場合 (河床低下): } \hat{f}_{bi} = f_{b0i}$$

3) 種別【1fBS】の計算法（一次元・掃流と浮遊）

$$\frac{\partial \bar{f}_{bi}}{\partial t} - \frac{1}{a}(\bar{f}_{Bi} - \hat{\bar{f}}_{bi})\frac{\partial \bar{z}_B}{\partial t} + \frac{1}{a(1-\lambda)}\left(\bar{q}_{Bx}\frac{\partial \bar{f}_{Bi}}{\partial x}\right) + \bar{q}_{sui} - \bar{c}_{0i}w_{0i} = 0 \quad (6-3-7)$$

$$\frac{\partial \bar{z}_B}{\partial t} \geq 0 \text{ の場合 (河床上昇): } \hat{\bar{f}}_{bi} = \bar{f}_{bi}$$

$$\frac{\partial \bar{z}_B}{\partial t} < 0 \text{ の場合 (河床低下): } \hat{\bar{f}}_{bi} = \bar{f}_{b0i}$$

4) 種別【2fBS】の計算法（二次元・掃流と浮遊）

$$\frac{\partial f_{bi}}{\partial t} - \frac{1}{a}(f_{Bi} - \hat{f}_{bi})\frac{\partial z_B}{\partial t} + \frac{1}{a(1-\lambda)}\left(q_{Bx}\frac{\partial f_{Bi}}{\partial x} + q_{By}\frac{\partial f_{Bi}}{\partial y}\right) + q_{sui} - c_{0i}w_{0i} = 0 \quad (6-3-8)$$

$$\frac{\partial z_B}{\partial t} \geq 0 \text{ の場合 (河床上昇): } \hat{f}_{bi} = f_{bi}$$

$$\frac{\partial z_B}{\partial t} < 0 \text{ の場合 (河床低下): } \hat{f}_{bi} = f_{b0i}$$

ここに、 z_B は河床高、 q_{Bx} 、 q_{By} は河道縦横断方向の掃流砂量、 λ は河床構成材料の空隙率、 a は交換層厚、 f_{bi} 、 f_{b0i} 、 f_{Bi} はそれぞれ河床表面の交換層、交換層の下部の河床及び掃流砂における粒径階 d_i の含有率、 q_{sui} 、 c_{0i} 、 w_{0i} は粒径階 d_i の浮遊土砂の巻き上げ量、底面濃度、沈降速度、 x 、 y は河道縦横断方向の座標軸、 t は時刻である。 f_{Bi} 、 c_{0i} の算定手法については本節の 3.5.2、3.7 に示す。

式(6-3-5)～(6-3-8)に各時点の掃流砂量、巻き上げ量、底面濃度、掃流砂の含有率を与えて時間積分することにより、任意の時刻 t における含有率を算定する。その際、 a 、 λ は定数とするのを標準とする。

a は、平坦河床では最大粒径程度、小規模河床波が形成される場合には河床波の波高程度を目安として設定する。

3.5 掃流砂の計算法の設定

3.5.1 一様粒径の掃流砂

(1) 一次元解析の掃流砂量式

<標準>

掃流砂量 q_B は、ある単位幅の断面を単位時間当たりには通過する砂礫粒子群の総体積として算定する。種別【BaBL】（一次元・一様粒径）の掃流砂量式としては、粒径 d 、掃流力 τ 、限界掃

流力 τ_c 、水の密度 ρ 、砂礫粒子の密度 σ 、重力加速度 g を必ず含む関数である式(6-3-9)を用いることを標準とする。

$$q_B = f(d, \tau, \tau_c, \rho, \sigma, g, \text{etc}) \quad (6-3-9)$$

ここに、etc は q_B の関数に必ずしも含まれない上記以外の水理量や小規模河床波に関わる特性量である。

式(6-3-9)は、河床波の形態や流水に対する抵抗(粗度)などの小規模河床波の諸特性を用いて、掃流砂量に小規模河床波が及ぼす影響を評価できるものを標準とする。

<例 示>

種別【BaBL】の掃流砂量式として、以下の分類に属する式を用いることができる。

- ・ 1) 掃流力 τ を小規模河床波の形状抵抗と河床表面との摩擦力による成分に分割し、後者の摩擦が掃流砂の営力としての有効成分である有効掃流力 τ_e とする考え方を採用した式。この場合、式(6-3-9)のほかに τ_e の算定式を別途用意し、式(6-3-9)の τ として τ_e を用いる。
- ・ 2) 粗度係数など小規模河床波に関わる特性量を、式(6-3-9)の etc とした変数として関数に組み込んだ式。この場合、粒径や水理量から用いた特性量を算定するための式を別途用意する。
- ・ 3) 小規模河床波の形態に応じて適用範囲が定められた式。この場合、小規模河床波の形態区分を定義し、各形態が生じる条件を粒径や水理量により判定できる手法を別途用意し、形態区分に応じて掃流砂量式を選定する。

種別【BaBL】の掃流砂量式として、1) の分類である芦田・道上の式と Meyer・Peter-Müller 式、2) の分類である佐藤・吉川・芦田の式を用いてもよい。

・ 芦田・道上の式

$$q_{B*} \equiv \frac{q_B}{\sqrt{(\sigma/\rho - 1)gd^3}} = 17\tau_*^{3/2} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*}\right) \left(1 - \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}}\right) \quad (6-3-10)$$

$$u/u_{*e} = 6.0 + 5.75 \log_{10} \frac{R}{d(1 + 2\tau_*)} \quad (6-3-11)$$

・ Meyer・Peter-Müller 式

$$q_{B*} = 8(\tau_* - 0.047)^{3/2} \quad (6-3-12)$$

$$u_{*e} = \left(\frac{n_b}{n}\right)^{3/4} u_* \quad n_b = 0.0192d_{90}^2 \quad (d_{90} \text{ は cm 単位}) \quad (6-3-13)$$

ここに、 q_{B*} は無次元化した掃流砂量、 τ_* は無次元掃流力、 τ_{*c} は無次元限界掃流力、 $u_* (= (\tau/\rho) 0.5)$ は摩擦速度、 $u_{*e} (= (\tau_e/\rho) 0.5)$ は有効摩擦速度、 R は径深、 ρ は水の密度である。

・佐藤・吉川・芦田の式

$$q_B = \frac{u_*^3}{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right)g} \phi F(\tau_0/\tau_c) qB \quad (6-3-14)$$

$n \geq 0.025$ で $\phi = 0.623$

$n < 0.025$ で $\phi = 0.623(40n)^{-3.5}$

ここに、 n はマンニングの粗度係数、 F は図 6-3-1 に示す τ_0/τ_c の関数である。

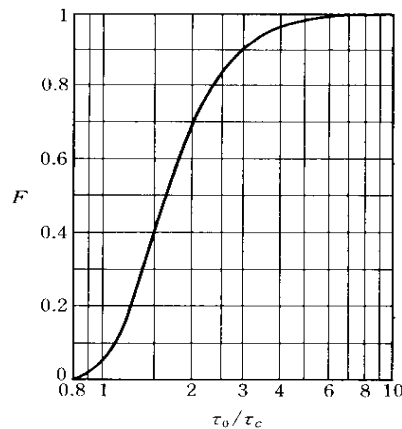


図6-3-1 佐藤，吉川，芦田の式における F と τ_0/τ_c との関係

無次元限界掃流力 τ_{*c} は、式 (6-3-15) に示す岩垣式により算定することができる。

$$\begin{aligned} 0.303 \leq d &\Rightarrow u_{*c}^2 = 80.9d \\ 0.118 \leq d \leq 0.303 &\Rightarrow u_{*c}^2 = 134.6d^{3/22} \\ 0.0565 \leq d \leq 0.118 &\Rightarrow u_{*c}^2 = 55d \\ 0.0065 \leq d \leq 0.0565 &\Rightarrow u_{*c}^2 = 8.41d^{11/32} \\ d \leq 0.0065 &\Rightarrow u_{*c}^2 = 226d \end{aligned} \quad (6-3-15)$$

(水温 20°C の場合)

<考え方>

掃流砂の計算法設定の位置付けを図 6-1-1 の基本フレームに立ち返って俯瞰すると、小規模河床波を起点として流砂量式を設定するが、その他に粗度係数、更にレベル[M]の場合には交換層厚の設定を行い、流れ、流砂、河床状況の各計算を繰り返し行う中で、それら設定の影響が合わさった形で計算結果である河床状況に反映される。

したがって、河床状況の再現性を向上するに当たっては、流砂量式の選定は全体の一部であり、粗度係数等のパラメータの設定や他の計算法の設定と併せて総合的に行うことが重要である。

以上の設定は、図 6-1-2 に示した作業手順の「検証・調整」段階における調整項目の一つであり、その他に各種条件等も調整項目となる。

これらの調整は、図 6-1-1 に矢印で示したように計算法の内側と外側に分かれているが、流れ、流砂、河床の状況の計算に受け渡され、最終的にそれらが合わさって流れ、流砂、河床の状況として調整の結果が現れる。

したがって、流砂量式の調整のみにこだわらず、各々の調整が各状況にどのように現れ、相互にどのように関係しているかをよく理解し、その知見と調整の根拠を固める上で利用できる検証データの質・量とを対置させて、各調整項目の合理的な再設定に結び付けるというスタンスで取り組むことが重要である。

(2) 二次元解析の掃流砂量式

<標準>

二次元解析で用いる掃流砂量は、掃流砂量の大きさとその流送方向の組合せである流砂量ベクトル $\vec{q}_B = (q_{Bx}, q_{By})$ として算定する。

種別【2BL】(二次元・一様粒径)の掃流砂量式としては、粒径 d 、掃流力ベクトル $\vec{\tau} = (\tau_x, \tau_y)$ 、限界掃流力 τ_c 、水の密度 ρ 、砂礫粒子の密度 σ 、重力加速度 g 、河床の最急勾配の大きさとその方向を表すベクトル $\vec{i}_b = (i_{bx}, i_{by})$ を必ず含む関数である式(6-3-16)を用いるのを標準とする。

$$\vec{q}_B = f(d, \vec{\tau}, \tau_c, \rho, \sigma, g, \vec{i}_b, etc) \quad (6-3-16)$$

ここに、 i_{bx} 、 i_{by} は河道縦横断方向の勾配、*etc*は \vec{q}_B の関数に必ずしも含まれない上記以外の水理量や小規模河床波に関わる特性量である。式(6-3-16)は、式(6-3-9)と同様に小規模河床波の諸特性を用いて掃流砂量ベクトルに小規模河床波が及ぼす影響を評価できる式であるものとする。

種別【2'BL】(二次元・一様粒径・線型近似)の掃流砂量式としては、河床近傍の主流の流速成分に比べて二次流成分が十分に小さく、かつ河床勾配が安息角に比べて十分に小さいという条件の下で式(6-3-16)の近似式として適用できる式(6-3-17)を用いるのを標準とする。

$$\vec{q}_B = |\vec{q}_B| \left(\frac{\vec{\tau}}{|\vec{\tau}|} + \alpha \left(\frac{\tau_c}{|\vec{\tau}|} \right)^m \vec{i}_b \right) \quad (6-3-17)$$

ここで、 α 、 m は定数である。

<例示>

種別【2BL】の掃流砂量式は、河床勾配が砂礫の水中安息角と同程度となる河岸や砂州前縁部等の地形変化を取り扱う場合に用いることができる。

種別【2'BL】の掃流砂量式として、以下を適用することができる。

1) 掃流砂量の大きさ $|\vec{q}_B|$

種別【BaBL】の掃流砂量式である式(6-3-10)～(6-3-14)より算定する。ただし、 τ_{*c} として式(6-3-18)の斜面上の無次元限界掃流力 $\tau_{*c\theta}$ を用いる。

$$\tau_{*c\theta} = \tau_{*c} \cos \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \phi}} \quad (6-3-18)$$

ここに、 $\tan\theta$ は河床勾配の大きさ ($=|\vec{i}_b|$)、 ϕ は河床材料の水中安息角である。

2) 掃流力ベクトルを用いた掃流砂量ベクトルの計算手法

$$\vec{q}_B = |\vec{q}_B| \left(\frac{\vec{\tau}}{|\vec{\tau}|} + \vec{i}_b \sqrt{\frac{1}{\mu_d \mu_f \cos \theta} \left(\frac{\tau_c}{|\vec{\tau}|} \right)} \right) \quad (6-3-19)$$

ここで、 μ_d 、 μ_f は砂礫粒子の動摩擦係数と静止摩擦係数で0.4程度、0.8~1.0程度の値をとる。

3) 河床近傍流速ベクトルを用いた掃流砂量ベクトルの計算手法

流れの運動方程式・連続方程式に基づいて主流 u_s ($= (u^2 + v^2)^{0.5}$) を算定し、別途用意した式により2次流 u_{bn} を算定する流れの解析レベル【2DF+】に適用する手法である。式(6-3-19)を用いる手法の傍流として位置付けられ、 $|\vec{q}_B|$ を主流、2次流方向成分 q_{bs} 、 q_{bn} に振り分ける式として河床近傍の主流速成分 u_{sb} と二次流成分 u_{nb} から成る河床近傍流速ベクトル (u_{sb} , u_{nb})を用いる。

$$q_{bn} = q_{bs} \left[\frac{u_{nb}}{u_{sb}} + \sqrt{\frac{1}{\mu_d \mu_f \cos \theta} \frac{\tau_{*c}}{\tau_*} \tan \theta} \right] \quad (6-3-20)$$

ここに、 $q_{Bs} = |\vec{q}_B|$ であり、上記した式(6-3-10)~(6-3-14)より算定することができる。

<参考となる資料>

種別【2BL】の流砂量ベクトルの計算については、下記の資料が参考となる。

- 1) Kovacs, A., Parker, G.: A new vectorial bedload formulation and its application to the time evolution of straight river, Journal of Fluid Mechanics, Vol.267, pp.153-183, 1994.

3. 5. 2 混合粒径の掃流砂

<標準>

混合粒径の掃流砂量は、各粒径階 d_i に分けて掃流砂量 q_{Bi} を算定するものである。

種別【BaBLM】(一次元・混合粒径)の掃流砂式としては、式(6-3-9)の d を粒径 d_i に、 τ_c を粒径 d_i の限界掃流力 τ_{ci} に置き換えた上で、粒径階 d_i が河床面に占める割合、すなわち交換層における粒径階 d_i の含有率 f_{bi} を乗じた式(6-3-21)を用いるのを標準とする。

$$q_{Bi} = f_{bi} f(d_i, \tau, \tau_{ci}, \rho, \sigma, g, etc) \quad (6-3-21)$$

ここに、*etc*は q_{Bi} の関数に必ずしも含まれない上記以外の水理量や小規模河床波に関わる特性量である。

種別【2BLM】(二次元・混合粒径)【2' BLM】(二次元・混合粒径・線形近似)の掃流砂式としては、式(6-3-16), (6-3-17)について上記の種別【BaBLM】と同様に置き換えと f_{bi} を乗じること得られる式(6-3-22), (6-3-23)を用いるのを標準とする。

$$\bar{q}_{Bi} = f_{bi} f(d_i, \bar{\tau}, \tau_{ci}, \rho, \sigma, g, \bar{i}_b, \text{etc}) \quad (6-3-22)$$

$$\bar{q}_{Bi} = |\bar{q}_{Bi}| \left(\frac{\bar{\tau}}{|\bar{\tau}|} + \alpha \left(\frac{\tau_{ci}}{|\bar{\tau}|} \right)^m \bar{i}_b \right) \quad (6-3-23)$$

なお、etcとして表した特性量で粒径に応じて変化するものは、上記と同様な置き換えを行う。掃流砂量における各粒径階の含有率 f_{Bi} は、式(6-3-24)により算定する。

$$f_{Bi} = q_{Bi} / \sum q_{Bi} \quad (6-3-24)$$

ここに、 $\sum q_{Bi}$ は q_{Bi} の全粒径階にわたる総和として算定する掃流砂量 (q_B) である。

<例 示>

種別【BaBLM】【2'BLM】の掃流砂量式として、式(6-3-10)～(6-3-14)及び式(6-3-19)、(6-3-20)に上記<標準>に示したように置き換えを行った上で f_{bi} を乗じた式を用いることができる。その際、各粒径階の無次元限界掃流力 τ_{*ci} として式(6-3-25)を用いることができる。

・ 芦田・道上による修正 Egiazaroff 式

$$\frac{d_i}{d_m} \geq 0.4: \frac{\tau_{ci}}{\tau_{cm}} = \left\{ \frac{\log_{10} 19}{\log_{10}(19 d_i/d_m)} \right\}^2 \frac{d_i}{d_m} \quad (6-3-25)$$

$$\frac{d_i}{d_m} < 0.4: \frac{\tau_{ci}}{\tau_{cm}} = 0.85$$

ここに、 d_m は交換層の平均粒径、 τ_{ci} 、 τ_{cm} は粒径 d_i 、 d_m の限界掃流力である。 τ_{cm} は、式(6-3-15)に示した岩垣式から算定できる。

なお、 d_{84}/d_{16} が大きいなど粒径範囲が広い河床材料、2峰性の粒度分布を有する河床材料、及び石礫で構成される河床材料等への式(6-3-25)の適用性について知見が蓄積されてきており、このような知見も適宜参考として、それぞれの河床材料に適した式を用いることが重要である。

3. 6 巻き上げ量（又は基準面濃度）の計算法の設定

<標準>

巻き上げ量 q_{su} は、単位面積当たりの河床面から単位時間当たりに浮上する砂など非粘着性の粒子群の総体積として算定する。巻き上げ量は、式(6-3-26)により基準面濃度 C_a から算定する。

$$q_{su} = C_a w_0 \quad (6-3-26)$$

C_a は基準面高さ a (河床面からの高さ) における見かけの濃度である。ただし、平衡状態($q_{su} - c_0 w_0 = 0$)では、底面濃度 c_0 が基準面濃度と同値となる。

種別【BaE】(一様粒径)の基準面濃度式としては、沈降速度 w_0 、摩擦速度 u_* を必ず含む関数である式(6-3-27)を用いるのを標準とする。

$$C_a = f(w_0, u_*, \text{etc}) \quad (6-3-27)$$

ここに、etc は C_a の関数に必ずしも含まれない上記以外の水理量や土砂粒子の特性量である。

混合粒径の基準面濃度式は、各粒径階 d_i に分けて基準面濃度 C_{ai} を算定するものである。

種別【BaEM】(混合粒径)の基準面濃度式としては、式(6-3-27)の w_0 を粒径 d_i の沈降速度 w_{0i} に置き換えた上で、粒径階 d_i が河床面に占める割合、すなわち交換層における粒径階 d_i の含有率 f_{bi} を乗じた式(6-3-28)を用いるのを標準とする。

$$C_{ai} = f_{bi} f(w_{0i}, u_*, etc) \quad (6-3-28)$$

なお、*etc* として表した特性量で粒径に応じて変化するものは、上記と同様な置き換えを行う。

<例 示>

種別【BaE】の基準面濃度式として、式(6-3-29)～(6-3-31)を用いることができる。

・ Lane-Kalinske 式

$$C_b = 5.55 \left[\frac{1}{2} \left(\frac{u_*}{w_0} \right) \exp \left\{ - \left(\frac{w_0}{u_*} \right)^2 \right\} \right]^{1.61} \quad (6-3-29)$$

ここに、 C_b は河床面における基準面濃度である。

・ 板倉・岸の式

$$C_a = K \left(\alpha_* \frac{1}{\tau_*} \frac{\rho}{\sigma} \frac{u_*}{w_0} \Omega - 1 \right) \quad (6-3-30)$$

$$\Omega = \frac{\tau_*}{B_*} \frac{\int_a^\infty \xi \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp(-\xi^2) d\xi}{\int_a^\infty \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp(-\xi^2) d\xi} + \frac{B_* \eta_0}{\tau_*} - 1 \quad a' = \frac{\tau_*}{B_*} - \frac{1}{\eta_0} \quad (6-3-31)$$

$$\Omega = 14\tau_* - 0.9 \quad (\tau_* > 10^{-1}) \quad (6-3-32)$$

ここに、 C_a は基準面高さ $a=0.05h$ における基準面濃度、 $\alpha_*=0.14$ 、 $K=0.008$ 、 $B_*=0.143$ 、 $\eta_0=0.5$ 、 σ は砂礫の密度、 ρ は水の密度である。

式(6-3-32)は $\tau_* > 10^{-1}$ において式(6-3-31)の Ω の近似式として用いることができる。

沈降速度 w_0 は、式(6-3-33)、(6-3-34)に示す Rubey の式及び鶴見式により算定することができる。

$$w_0 = \sqrt{\frac{2}{3} \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) g d + \frac{36\nu^2}{d^2}} - \frac{6\nu}{d} \quad (6-3-33)$$

$$\begin{cases} d < 0.015\text{cm} & w_0 = 11940d^2 \text{ (cm/s)} \\ 0.015\text{cm} < d < 0.11\text{cm} & w_0 = 171.5d \\ 0.11\text{cm} < d < 0.58\text{cm} & w_0 = 81.5d^{0.667} \\ 0.58\text{cm} < d & w_0 = 73.2d^{0.5} \end{cases} \quad (6-3-34)$$

ここに、 d は粒径、 σ は砂礫の密度、 ρ は水の密度、 g は重力加速度、 ν は水の動粘性係数である。式(6-3-34)に示した鶴見公式は $\sigma = 2.65$ 、水温 25°C に対して求めたものである

種別【BaEM】の基準面濃度式として、式(6-3-29)～(6-3-32)に上記<標準>に示したように置き換えを行った上で f_{bi} を乗じた式を用いることができる。

<参考となる資料>

微細粒子の沈降における凝集や巻き上げにおける粘着力の影響については、下記の資料が参考となる。

- 1) 鈴木健太，島元尚徳，久保世紀，福岡捷二：筑後川感潮域の洪水時の河床変動解析，水工学論文集，第 55 巻，pp. 877-882，2011.
- 2) 山本晃一，長沼宏一，渡邊明英，大森徹治：鶴見川河口部の土砂堆積と浚渫計画 - 細粒物質を河床材料に持つ河川の河床変動モデルの開発 - ，建設省関東地方建設局京浜工事事務所，平成 5 年 3 月.
- 3) 角哲也，井口真生子：貯水池に堆積した微細粒土砂の浸食特性に関する研究，水工学論文集，第 51 巻，pp. 871-876，2007.
- 4) 小暮和史，首藤伸夫：貯水池における濁質物質の堆積と洗掘，第 24 回水理講演会論文集，pp. 265-270，1980.
- 5) 海田輝之，楠田哲也，二渡了，栗谷陽一：柔らかい底泥の巻き上げ過程に関する研究，土木学会論文集，第 393 号 / II-9，pp. 33-42，1988.

3. 7 土砂濃度分布の計算法の設定

<標準>

土砂濃度分布 C は浮遊土砂の移流拡散方程式により算定する。

種別【1DC】【2DC】【3DC】の移流拡散方程式は式(6-3-35)～(6-3-37)を標準とする。

- 1) 種別【1DC】の計算法（一次元）

$$\frac{\partial \bar{A}c}{\partial t} + \frac{\partial \bar{Q}c}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\bar{A} \bar{\varepsilon}_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + B(\bar{q}_{su} - \bar{c}_0 w_0) \quad (6-3-35)$$

ここに、 A は流れの断面積、 Q は流量、 \bar{c} は浮遊砂濃度の流下断面平均値、 \bar{q}_{su} 、 \bar{c}_0 は巻き上げ量と底面濃度の川幅 B にわたる平均値、 $\bar{\varepsilon}_x$ は一次元の土砂濃度拡散係数である。

- 2) 種別【2DC】の計算法（二次元）

$$\frac{\partial}{\partial t} (\bar{h} \bar{c}) + \frac{\partial}{\partial x} (\bar{h} \bar{c} \bar{u}) + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{h} \bar{c} \bar{v}) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\bar{h} \bar{\varepsilon}_x \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\bar{h} \bar{\varepsilon}_y \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} \right) + \bar{q}_{su} - \bar{c}_0 w_0 \quad (6-3-36)$$

ここに、 \bar{u} 、 \bar{v} は別途、洪水流の解析により算定する x 、 y 軸方向の水深平均流速、 \bar{c} は水深方向の平均土砂濃度、 $\bar{\varepsilon}$ は二次元の土砂濃度拡散係数である。

- 3) 種別【3DC】の計算法（三次元）

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial uc}{\partial x} + \frac{\partial vc}{\partial y} + \frac{\partial (w-w_0)c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon_z \frac{\partial c}{\partial z} \right) \quad (6-3-37)$$

ここに、 u, v, w は別途、洪水流の解析により算定する x, y, z 軸方向の流速、 ε は土砂濃度拡散係数、 z は鉛直方向の座標軸である。

式(6-3-35)～(6-3-37)に各時点の流速・水深等と巻き上げ量（又は基準面濃度と沈降速度の積）を与えて時間積分することにより、任意の時刻 t における底面濃度 c_0 を算定する。その際、式(6-3-35)、(6-3-36)では、 \bar{c} と \bar{c}_0 及び \bar{c} と c_0 の関係を定めるため、濃度 c の z 軸方向分布式を別途与える。この濃度分布式として、式(6-3-38)に示す関数形の式を用いる。

$$c = c_0 g(z', h, a, \frac{w_0}{u_*}) \quad (6-3-38)$$

ここに、 Z' は河床面を基準とした水深方向の座標軸、 a は土砂濃度が底面濃度 c_0 をとる高さである。式(6-3-38)の水深方向に平均することで \bar{c} と c_0 の関係を与える。なお \bar{c} と \bar{c}_0 の関係を定める際には、式(6-3-38)右辺の変数に川幅方向の平均値を用いる。

混合粒径の浮遊土砂の移流拡散方程式は、各粒径階 d_i に分けて濃度 c_i を算定するものである。種別【1DCM】【2DCM】【3DCM】の移流拡散方程式としては、式(6-3-35)～(6-3-38)の c_0, w_0, q_{su} を各粒径 d_j の c_{0j}, w_{0j}, q_{usi} に置き換えた式を用いるのを標準とする。

<例 示>

式(6-3-38)の濃度分布式として、式(6-3-39)、(6-3-40)を用いることができる。

・ Rouse 式

$$\frac{c}{c_0} = \left(\frac{h-z'}{z'} \frac{a}{h-a} \right)^Z \quad Z = \frac{w_0}{\beta \kappa u_*} \quad (6-3-39)$$

・ Lane-Kalinske 式

$$\frac{c}{c_0} = \exp \left(-6Z \frac{z'-a}{h} \right) \quad (6-3-40)$$

ここに、 κ はカルマン定数、 β は砂の拡散係数と渦動粘性係数との比である。 β は、既往の実験との比較から 1.2 程度とするが、式(6-3-41)に示す w_0/u_* の関数も用いることができる。

$$\beta = 1 + k_1 \left(\frac{w_0}{u_*} \right)^{k_2} \quad (6-3-41)$$

ここに、 k_1, k_2 は定数であり 1.56、2.0 である。

<例 示>

種別【1BS】において、河床縦断形状の長期変化等の土砂濃度分布の非平衡性が無視できる事象を対象とした場合には、土砂濃度分布 C を式(6-3-35)により計算するのに換えて、 $(\overline{q_{su}} - \overline{c_0 w_0})$ を式(6-3-42)により算定し、これを式(6-3-3)、(6-3-7)に代入して河床高及び粒度分布を計算することができる。

$$(\overline{q_{su}} - \overline{c_0 w_0}) = \frac{1}{B} \frac{\partial B q_s}{\partial x} \quad (6-3-42)$$

ここで q_s は浮遊砂量であり、ある単位幅の断面を単位時間当たりには通過する浮遊粒子群の総体積である。 $\overline{q_s}$ は q_s の河床幅 B にわたっての平均値である。

浮遊砂量 q_s は、鉛直方向の流速分布 $u(z)$ 、式(6-3-27)、(6-3-28)の基準面濃度 c_a 、及び式(6-3-38)の鉛直方向の濃度分布 $C(z)$ を用いて、式(6-3-43)により算定できる。

$$q_s = \int_a^h u c dz' = \int_a^h u(z') c_a g(z', h, a, \frac{w_0}{u_*}) dz' \quad (6-3-43)$$

なお、 $\overline{q_s}$ を算定する際には、式(6-3-43)右辺の変数に川幅方向の平均値を用いる。

第4節 各種条件等の設定

4.1 解析レベルに応じた条件等の設定

<考え方>

各種条件などの設定項目は、表 6-4-1 に示すように、河岸・高水敷・堤防等の河道地形(4.2)、植物・構造物の水理作用(4.3)、構造物や河岸等での流砂の計算条件(4.4)、水位・流量に関する境界条件(4.5)、供給土砂・河道外搬出等の条件(4.6)、河床に関する初期条件(4.7)で構成する。

表中の英数字記号は、設定の【種別】を表しており、その内容について本節の4.6、4.7に示す。各設定の種別は、本章の第2節で設定した解析レベルに応じて表 6-3-1 に基づいて選定するのを標準とする。

なお、表中の「○」は、種別はない設定項目であり、4.2～4.5に示す各レベル共通の方法で設定する。

表 6-4-1 解析レベルに応じた各種条件の設定（種別については 4. 6、4. 7 参照）

解析レベル				各種条件の設定（標準）						
河床高	粒径	流送形態	流れ場	河岸高水敷等形状	構造物等水理作用	構造物等流砂条件	流量水位境界条件	土砂供給条件	河床初期条件	
1DB	U	BL	1DF	○	○	○	○	UM	U	
		BSL							M	
	M	BL						2DF'	UM	U
		BSL								M
	U	BL	2DF 2DF+					UM	U	
		BSL							M	
M	BL	3DF'		UM	U					
	BSL				M					

凡例)英数字記号:列「解析レベル」は表6-1-1に示すレベル

列「各種条件の設定」は種別を表す。種別記号の説明は4.6,4.7に示す。

○:設定実施(種別なし)

4. 2 河岸・高水敷・堤防等の河道地形の設定

<標準>

解析の対象である河床部を取り囲む河岸・高水敷・堤防・分合流部等の河道地形は、レベル[1DB]では河道横断方向の地形、[2DB]では河道横断方向及び平面の地形について定期横断測量及び河道平面測量の成果等を用いて設定するのを標準とする。

また、レベル[2DB]では一般座標系を用い、河岸法線形状、堤防法線形状、定期横断測線の位置を考慮して座標を設定するのを標準とする。

<推奨>

レベル【2DB】の解析では、解析の精度・解像度の向上の観点から、航空レーザ測量等による高解像度の連続的な河道地形測量成果を用いて河道形状を設定することを推奨する。

4. 3 植物・構造物等の水理作用の設定

<標準>

解析対象区間における植生繁茂等の表面状況に応じた粗度、河川管理施設など構造物の水理作用について設定するものとする。植生等の表面状況に応じた粗度については、表面状況を草丈など粗度の大きさに関わる諸元に基づいて種別し、各種別の河道上での配置を植生図等により与え、配置ごとに第 5 章 河川における洪水流の水理解析 の第 5 節に基づいて粗度係数を設定するのを標準とする。

河川管理施設等構造物の水理作用については、河川構造物台帳や河道平面測量等に基づいて配置するとともに、個々の構造諸元と流れ場の解析レベル[1DF][2DF'] [2DF][3DF']を考慮して各構造物に適用する水理作用の設定法を適切に選定・設定するのを標準とする。

<例 示>

水理作用の設定法としては、

- 1) 河床面を覆うタイプの構造物を主対象として粗度要素と見立てて粗度係数として与える方式（例：のり覆工、根固工、護床工等）
- 2) 個々の構造物を粗度要素と見立てて抗力係数を用いた抵抗則を適用する方式（橋脚、ベーン工等）
- 3) 一連の構造物を多孔質の透水性粗度要素と見立てて透過係数を用いた抵抗則を適用する方式（透過式水制群、樹木群等）
- 4) 構造物周辺の水位と流量の関係を別途定めた式（たとえば堰の越流量式）を適用する方式（各種横断構造物等）
- 5) 構造物本体の形状を計算格子に組み込んで流れ場の解析を行う方式

等があり、構造物の構造や流れ場の解析の種別に応じて使い分けることができる。

<推 奨>

各種構造物及び植物群落を含む流れ場における境界混合係数や渦動粘性係数等については、解析対象とする水理量や構造物と植物群落の粗度・形状等に応じて設定することが望ましい。

4. 4 構造物や河岸等での流砂の計算条件の設定

<標 準>

床止工、置換工、護岸、根固工、分流堰等は、特に掃流砂の挙動に直接・間接に作用を及ぼして河床高・河床材料粒度を変化させ得るので、その作用を流砂量や河床高等の計算に適切に組み込むことを標準とする。

床止工や置換工等の河床面をコンクリートや礫で被覆する構造物や岩盤が露出した河床面では、その表面位置より河床高は低下しないが、砂礫の堆積による河床上昇は生じ得る条件を付与して、流砂量及び河床高の計算を行うことを標準とする。

また、半固結堆積物や粘性土等が露出した河床面でありその場の水理量や掃流砂量に応じて侵食が生じる場合には、侵食の進行に伴って表面位置を低下させ、かつ砂礫の堆積による河床上昇は生じ得る条件を付与して計算を行うことを標準とする。

護岸工、根固工を設けた河岸及び侵食が非発生と設定した河岸では、その高さや法線形状により流れ場に制約を与え、それに応じた応答が河岸近傍の局所洗掘や砂州形状等として現れるため、特にレベル[2DB]では河岸法線形状・高水敷高の設定に当たり本節の4.1に従って適切に行うことを標準とする。

<推 奨>

河岸侵食によって河岸が後退する場合には、河岸近傍の流況変化、侵食された土砂の河床部への供給等により河岸の位置を固定した場合と局所洗掘等の河床高・河床材料粒径の応答が一般に異なる。

これら応答を解析対象に加える必要がある場合には、目的に応じたレベルで河岸侵食を計算に適切に組み込むことを推奨する。

<参考となる資料>

非粘着性土砂の河岸侵食については資料 1) が参考となる。粘性土河岸の侵食については資料 2)～4) が参考となる。軟岸の侵食については資料 5) が参考となる。

- 1) 長谷川和義：非平衡性を考慮した側岸侵食量式に関する研究，土木学会論文集，No. 316，pp. 37-50，1981.
- 2) Darby, S. E. and Thorne, C. R. : Numerical Simulation of Widening and Bed Deformation of Straight Sand-Bed Rivers. I : Model Development, Journal of Hydraulics Engineering, ASCE, pp.184-193, 1996.
- 3) 服部 敦，藤田光一，平館治，赤川正一，湯川茂夫：粘性土からなる自然河岸の侵食に関する現地観測とその予測計算について，水工論文集第 43 号，pp. 713-718，1999.
- 4) 宇多高明，望月達也，藤田光一，平林柱，佐々木克也，服部敦，藤井政人，深谷渉，平館治：土木研究所資料，第 3489 号，1997.
- 5) 井上卓也，泉典洋，米元光明，旭一岳：軟岩上の限界掃流力と軟岩の洗掘速度に関する実験，河川技術論文集，第 17 巻，pp. 77-82，2011.

4. 5 水位・流量に関する境界条件の設定

<標準>

流れの解析のレベル、定常・非定常流れ、条件設定に活用できる水文観測データの有無を踏まえて、解析対象領域の上流端において流量又は水位、下流端において水位を与えることを標準とする。

計算対象とする出水期間は、解析対象区間の全域にわたり流砂量のごく小さく、そのため河床高・河床材料粒度の変化が微小と見なせる、ある一定の流量以下の期間を省略して設定することを標準とする。

4. 6 供給土砂と河道外搬出・搬入の条件設定

4. 6. 1 供給土砂の設定

<標準>

供給土砂の設定として、計算対象領域とした本川及び支川の上流端から流入させる土砂量（又は粒径階別の土砂量）を、領域境界部における流量など水理量に応じて与えるのを標準とする。

供給土砂は、表 6-4-1 に「土砂供給条件」の各欄に示した種別、すなわち一様粒径と掃流砂のみの混合粒径【UM】、混合型・通過型の浮遊砂を含む混合粒径【MSL】ごとに記述した以下の事項を踏まえて、適切に設定する。なお、混合型・通過型については、第 16 章 総合的な土砂管理のための調査 の 2.2.1 土砂動態のとらえ方 の沖積河川についての例示の記述内容を参照のこと。

1) 種別【UM】

a) 土砂流送と土砂供給がマクロには平衡状態と見なせる場合

巨視的には河床が動的平衡状態にあり、かつ流量規模によらず掃流力など水理量が縦断的に概ね一様な区間は、この区間の土砂流送量をもって供給土砂量に置き換えられることから、供給土砂の設定対象区間として選定する。

そのような区間として、解析対象とする河道区間の上流において、河床形状と河床材料が経年的に大きく変化せず安定しており、かつ河道縦断方向に概ね一様な状況を呈する河道区間を選定するのを標準とする。

このような区間を見いだすことができた場合、当該区間を助走区間として計算対象領域に含め、助走区間の上流端において動的平衡条件を満足するように供給土砂を与える。具体的には、

本章 3.2 において設定した流れの計算法に基づいて助走区間の上流端の水理量を計算し、以下により設定する河床材料粒径に応じた掃流砂量と浮遊砂量（表 6-4-1 において流送形態が種別【BSL】に該当する場合のみ）を算定し、これらを供給土砂量として与える。助走区間の上流端に与える河床材料粒径は、助走区間における河床材料調査の成果を用いて設定し、時間的に不変として扱う。ただし、助走区間とその下流の河道区間が同一のセグメント区分（第 4 章 河道特性調査 2.1.3 沖積河道のセグメント区分とセグメントの種類を参照）に属する場合には、下流河道区間における河床材料調査の成果を併せて用いて設定することができる。

以上に説明した供給土砂の設定の下で河床変動計算を行った結果、助走区間の下流端およびその付近において、有意な河床変動あるいは河床材料変化が計算された場合には、次のうちから適切と判断される方法を選択して、供給土砂の設定を修正する。

- ・ 助走区間の設定に修正の必要があるとの観点から
助走区間の位置や区間長等、および上流端に与えた河床材料粒径を修正する。
- ・ 活発な河道変化が生じる河道区間と助走区間とが十分離れていないとの観点から
計算対象領域をさらに上流に広げ、それに伴い助走区間もより上流に設定し直す。

上記の修正によっても、助走区間の下流端およびその付近において、有意な河床高あるいは河床材料変化が計算される場合には、「土砂流送と土砂供給がマクロには平衡状態」と見なすのは難しいと判断し、当該解析がある土砂供給の下での河道変化を表すものと捉えて計算結果を整理する（本章 5.2 解析の検証と較正 の「目的としたレベルまで再現性が向上しない場合」に関する記載を参照のこと）。その際、計算結果として助走区間下流端における土砂流送量（必要な場合には粒径階毎の量）を併せて整理しておく。

b) 土砂流送と土砂供給が平衡状態にあるとしうる河道区間が見いだせない場合

a) で述べた要件を満たす河道区間が見いだせない場合には、a) に示した助走区間に換えて仮想の河道区間を用いて供給土砂を与える。仮想の河道区間は、縦断勾配一定で、縦断方向に一樣な河道形状と河床材料粒径を初期に持ち、それら諸元を与えるべき供給土砂に相当する流砂を生み出すように設定するのを標準とする。具体的には、仮想の河道区間の河道形状等の諸元を、例えば計算対象領域の上流端境界周辺における諸元等を参考として仮設定し、その河道に対して以下に示すいずれか適切な方法で供給土砂を求めて、計算対象領域における既往の河床変動の再現計算を行い、所定の再現性が得られるように各諸元の修正を必要回数繰り返すことで諸元を決定する（本章 5.2 解析の検証と較正 を参照のこと）。

- ・ 仮想的助走区間を用いる与え方

計算対象領域の上流端に仮想の河道区間を接続し、これを仮想的助走区間として新たに計算対象領域に加えて、a) と同様の方法で仮想的助走区間の上流端で動的平衡条件を満足するように供給土砂を与える。

- ・ 仮想の河道区間を流砂量計算のみを行う“樋”と見立てた与え方

仮想の河道区間での計算を計算対象領域の河床変動計算本体と切り離し、河道形状等の諸元を時間的に不変として等流計算に基づく流砂量計算のみを行い、その結果を計算対象領域の上流端から供給土砂として与える。

以上に説明した供給土砂の設定の下で実施した河床変動計算結果の整理にあたっては、仮想的助走区間の下流端における流送土砂量、また“樋”と見立てて算定した供給土砂量（いずれも必要な場合には粒径階毎の量）を併せて整理しておく。

なお、上記の修正を繰り返しても、所定の再現性が得られない場合には、本章 5.2 解析の検証と較正 の「目的としたレベルまで再現性が向上しない場合」に関する記載により、計算結果の整理等を行う。

c) 土砂供給状況の変化を反映させた供給条件設定を行う場合

一定規模以上の流域地被状態の変化あるいは斜面崩壊、ダム建設、ダムからの排砂などがあると、流量と供給土砂量との関係に有意な変化が生じる。このような土砂供給状況の変化を反映させた解析を行う際には、取り上げる変化要因に応じて適切な供給土砂を設定するための標準的な方法として、a)またはb)によって設定した供給土砂を比較の基準として、対象とする変化要因に応じて、それを適切に増減させるというものがある。具体的には、b)に記載した「仮想の河道区間を流砂量計算のみを行う“樋”と見立てた与え方」を採用し、変化要因作用後については、この“樋”の河道形状等の諸元を適宜調整することで、当該要因に見合う流量と供給土砂量との関係等を設定するという方法を適用する。

d) 土砂流送と土砂供給がマクロには平衡状態と見なせる河道区間が存在することを前提にする必要がない場合

短区間に生じている局所洗掘や河口砂州フラッシュなど、ある特定地点とその周辺における土砂流送量の不均衡を主因とした一出水程度の短期的な河床の変化を対象とする場合がこれに該当する。

この場合、a)、b)に示したように助走区間や仮想的助走区間等を設ける必要はなく、上流端の位置設定による供給土砂量の差違が特定地点には及ばないように、上流端を特定地点から十分に離れた位置に設置し、a)と同様に上流端において動的平衡条件を満足するように供給土砂を与えればよい。

2) 種別【MSL】

混合型の送流砂・浮遊砂については、上記 1) 種別【UM】の設定と同一の方法により供給土砂を設定するのを標準とする。

供給土砂に通過型の浮遊砂（ウォッシュロードもこれに含まれる）を含む場合には、その供給については流量と供給土砂量との関係として設定するのを標準とする。一定規模以上の流域地被状態の変化あるいは斜面崩壊、ダム建設、ダムからの排砂などによる供給量の変化を見込んだ供給土砂量の設定も、同様に行う。

通過型の浮遊砂は、計算対象領域の上流端付近の河床材料から流砂量式などにより水理的に算定・設定する方法では十分な精度が得られないことに留意し、供給土砂量がマクロに適切に表されるように、流量と供給土砂量との関係を設定するなどの手法を重視する。

< 推 奨 >

種別【MSL】の供給土砂量は、第4章 6節の流送土砂量観測の結果に基づいて設定することが望ましい。

< 例 示 >

洪水流による侵食によって高水敷や河岸等が土砂の供給源となる場合には、その侵食特性を適切に反映した流砂量式を用いるなど、土砂供給量の条件設定に組み込むことができる。

4. 6. 2 河道外搬出・搬入の設定

< 標 準 >

河道外搬出・搬入の設定として、搬出・搬入する土砂の量と粒径、実施範囲、実施時期について時系列で設定することを標準とする。

4.7 河床高・河床材料の初期条件の設定

<標準>

河床高の初期条件の設定として、レベル[1DB]では平均河床高の河道縦断方向分布、[2DB]では平面的な河床高分布を、定期横断測量及び河道平面測量の成果を用いて設定することを標準とする。

河床材料の初期条件の設定として、河床材料調査の成果を用いて河床の表層及びその下層の構成材料の粒度分布を与えることを標準とする。

表 6-4-1 に示した「河床初期条件」の種別、すなわち一様粒径【U】と混合粒径【M】ごとに記述した以下の事項を踏まえて、適切に設定する。

1) 種別【U】

解析対象領域の全域及び深さ方向にわたって単一の粒径を与える。

2) 種別【M】

粒度分布の河道縦断方向及び深さ方向の均一性に応じて、適切に設定するのを標準とする。

<推奨>

種別【M】において、以下のように設定するのを推奨する。

1) 粒度分布が河道縦断方向に均一と見なせる場合

第4章 河道特性調査 の第2節に示した「河床材料の見方」に基づいて設定した一連区間の代表的な粒度分布を解析対象領域の全域及び深さ方向にわたって与えることが望ましい。

2) 粒度分布が河道縦断方向又は深さ方向に不均一である場合

その状況に応じて以下のとおり設定することを推奨する。

表層河床材料が分級しており河道縦断方向に粒度分布が不均一であり、1)の与え方では必ずしもよい解析結果をもたらさない場合には、河道縦断方向に異なる粒度分布を与えることが望ましい。この場合、河床の表層と下層は同一の粒度分布とする。

河床低下を伴う河床表層の粗粒化（アーミング）等のため、河床表層とその下層の粒度分布が著しく異なる場合には、設定においては交換層とその下層に異なる粒度分布を与えるのが望ましい。

第5節 解析の実施と検証・調整

5.1 解析の実施

<標準>

流れ、流砂、河床状況の計算は、時間項について逐次数値積分することによって行い、解を得ることを標準とする。

その際、流れに対して河床の時間的变化は一般に遅いため、流れを解く際には各時間ステップ内での河床の時間的变化は無視する「準定常」の条件で計算を行う。

5.2 解析の検証・調整

<考え方>

検証は、種々の設定を経て構築した解析法が目的とした技術的判断や予測を行えるレベルに達しているか見極めることを目的として、解析結果と調査データとの比較を行って再現性について評価するものである。

調整は、再現性の改善を目的として、種々の設定項目の変更に対する解析結果の変化幅と利用できるデータや関連技術情報とを比較して、データによる裏付けと技術的合理性を兼ね備え

て再現性を向上しうる設定項目を見極めて、各設定項目について総合的に調整を行うものである。

解析結果と調査データとの比較として、対象河道区間においてある期間に生じた河床高・河床材料粒径の変化の再現計算を行い、その期間末及び期間内に取得された調査データ（主に第4章河道特性調査の第3節 各時点の河道状況 に記載した調査データ）との比較を行う。一般的に調査データは「一つ又は複数の出水を受けた後のある一時点の河床状況」をとらえたものである。したがって、この比較では、ある出水を受けた「結果」である河床状況の再現性評価を行うにとどまり、出水中の河床状況の「変化過程」を経時的に追って再現性の評価を行うものではない。

こうした特徴から、「出水によって一方向的に変化が進行し、出水後にも変化が残るパターン」（第4章 河道特性調査の図 4-4-1 に示したパターン a)、b)、c))の検証としては有効である。

それに対して「出水中にのみ変化が現れ、出水後には元に戻るパターン」（第4章 河道特性調査の図 4-4-1 に示したパターン d))の検証としては不足があり、出水中の変化過程を捉える特定目的調査が重要となる。

実際の検証では上記パターンを完全に区別できないので、たとえば平均河床高の長期的な縦断分布変化の場合では河床上昇・低下が経年的に持続して生じた区間を、また一出水程度の短期的な変化の場合では出水前後で大きな変化を示している箇所を「出水によって一方向的に変化が進行し出水後にも変化が残るパターン」となった区間・箇所と見なし、他の区間・箇所より重点を置いて解析結果との比較を行う。

また、再現性の評価のためには、上記の比較から極力多くの情報を引き出すことが重要である。

たとえば、できるだけ長期にわたる再現計算を行って調査データと比較する時点を極力多くする、痕跡水位を検証対象に加える、複数地点における水位時系列データを用いた総合的把握を行う（第2章 水文・水理観測 の第7節 河川の流れの総合的把握）ことが望ましい。

更に必要に応じて本節の 5.3 に述べるように解析と並行して調査を実施することも効果的である。

調整は、粗度係数の設定、交換層厚の設定(3.4)、各種流砂量式の設定(3.5、3.6、3.7)、及び初期条件・境界条件等の設定(第4節)が対象となる。

流砂式の補正（パラメータの補正等）も必要に応じて調整に含めてよい。

これら項目に対して、冒頭に示した基本的考え方に基づいて適切に調整を行うこととする。

なお、各種設定を繰り返し調整してもなお、目的としたレベルまで再現性が向上しない場合がある。

その場合には、改めて実事象との類似点と相違点の抽出・整理を行い、その結果に基づいて技術的判断や予測においてどこまでの情報が使えるか、具体の目的・要件と照らし合わせて個別事例ごとに判断していくスタンスに切り替えることが重要である。

その上でなお、レベルの不足を補う必要がある場合には、適宜追加調査を行い、再現性を向上させることが重要である。

5.3 解析と調査を並行して実施する場合の検証・調整

<考え方>

解析と調査を並行して実施する場合の一般的な手順は以下のとおりである。なお、この場合の調査は、調査と検証・調整を有機的に連携させた特定目的の調査と位置付けられる。

- 1) 解析法を用いて計算結果を相対的に大きく変える設定項目等を見いだすことを目的とした感度分析を実施する。

- 2) その解析結果を参考にして観測の項目、実施地点と必要な精度等を設定して調査を実施する。
- 3) この調査結果を用いて再度解析を行い、求められるレベルの再現性を得るべく検証と調整を行う。

必要に応じて上記1)～3)を繰り返す。

調査としては、第4章 河道特性調査 第3節 各時点の河道状況 に述べる河道地形測量などの共通基盤的な調査をベースとしつつ、第2章 水文・水理観測 第7節 河川の流れの総合的把握 の水位同時多点観測や第4章 河道特性調査 の第6節 土砂流送特性 の流送土砂量調査など、出水中の「変化過程」を逐次追うことのできる観測を組み合わせる実施するのが効果的である。

こうした観測を再現性の改善に的確につなげるためには、解析による予測を行い、検証すべき事項とその実施に必要なデータの精度を明確にしておくことが重要である。