

# 河道の安定性と河床変動解析 に基づく整備計画河道横断形の設定法

秋山 壽一郎<sup>1</sup>・重枝 未玲<sup>2</sup>・内野 雅文<sup>3</sup>・小野 英一<sup>4</sup>・長船 建太郎<sup>5</sup>

<sup>1</sup>フェロー会員 九州工業大学名誉教授 (〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町 1-1)  
E-mail:akiyama.juichiro603@mail.kyutech.jp

<sup>2</sup>正会員 九州工業大学大学院准教授 工学研究院建設社会工学研究系 (同上)  
E-mail:mirei@civil.kyutech.ac.jp

<sup>3</sup>学生会員 九州工業大学大学院 工学府建設社会工学専攻 (同上)  
E-mail:uchino.masafumi734@mail.kyutech.jp

<sup>4</sup>非会員 国土交通省九州地方整備局 遠賀川河川事務所 (〒822-0013 福岡県直方市溝堀 1 丁目 1-1)  
E-mail:ono-e8911@qsr.mlit.go.jp

<sup>5</sup>非会員 国土交通省九州地方整備局 熊本河川国道事務所 (〒861-8029 熊本県熊本市東区西原 1 丁目 12-1)  
E-mail:osafune-k8910@qsr.mlit.go.jp

まず自然安定河道に関する国内外の信頼性の高い資料に基づき、筆者が提案する安定河道の発生条件( $K$  値, 動的平衡状態にある無次元掃流力  $\tau_s$  および川幅水深比  $B/h$ )の明確化を図った。次に河川整備計画期間程度の将来河道を対象として、安定河道の条件を用いた安定断面の設定と平面 2 次元河床変動解析に基づく“流下能力と安定性を兼備した複断面水路横断形の設定法”を提示した。最後に同設定法を緑川河道に適用し、整備計画河道横断形の検討事例を示した。

**Key Words** : *stable alluvial channel, compound channel, 2D river bed configuration analysis*

## 1. はじめに

現行の河道計画は、計画高水位以下で計画高水流量を流せる流下能力の確保が基本である。河道計画・河道管理においては、河積確保に加えて河道の安定性も重要になるが、これについては、一般に 1 次元河床変動解析を用いて評価され、解析の上流端境界条件には、ダム堆砂量から推定された比生産土砂量や動的平衡断面の設定(掃流力見合い)などが用いられる。再現解析については、これまでの流量や河道の状態がわかっているため、流砂量の補正等でそれなりの評価が可能であるが、予測解析については、将来の流量や供給土砂(量と質)がわからないことから、そのような方法に基づく評価結果が正しいという保証はない。なお、セグメント 2-2 や 3 のように浮遊砂が主体の土砂輸送形態では、平衡状態に達するのに距離を要し、さらに流域や支川からの細粒土砂の供給もあるなどの理由から、再現解析も難しい。

そのような中、安定河道の知見を河道の安定性評価に役立てようとする考え方がある。安定河道の横断形を決

定する方法には、大きく別けて、自然に学ぶ方法<sup>1)2)3)4)</sup>、動的平衡条件に基づく方法<sup>5)6)</sup>がある。しかし、安定河道の式から予測される断面平均スケール(水深粒径比  $h/d_r$ 、川幅粒径比  $B/d_r$ )が数倍から 10 倍程度の予測誤差を有するため、必ずしも河川計画・管理に資する技術とはなり得ていない。なお、ここで言う安定河道とは、流水・流砂の変動履歴を受けて河岸を含む河道横断形が経年的に安定した沖積河川の河道のことである。

本研究では、筆者が提案する安定河道の条件(以下、「安定河道の条件」という)に含まれる係数  $K$  の評価法を見直すことで、断面平均スケール等の予測誤差を  $\pm 30\%$  以内に収め<sup>7)</sup>、さらに流下能力と安定性を兼備した安定断面の設定法を確立できたことを踏まえ<sup>8)</sup>、まず国内外の自然安定河道に関する代表的資料である Data S にセグメント 1 と 3 のデータを多く含む Andrews<sup>9)</sup>と Toffaleti<sup>10)</sup>の 2 資料(データ数 103)を追加し、やや曖昧であった両セグメントの安定河道の条件( $K$  値, 動的平衡状態の無次元掃流力  $\tau_s$  および川幅水深比  $B/h$ )の上下限値の明確化を図る。次に一般に河道の平面・縦断特性がほと

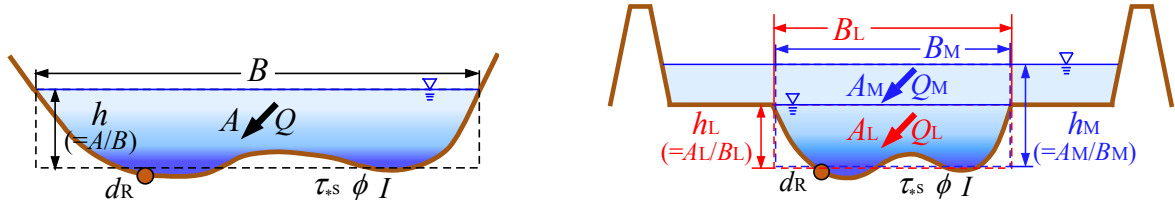


図-1 重要な諸量(左：単断面あるいは単断面的に取り扱える複断面，右：単断面的に取り扱えない複断面)

んど変化しないと考えられる“河川整備計画期間程度の将来河道”を対象として，安定河道の条件を用いた安定断面の設定と，同断面を目安とした平面2次元河床変動解析に基づく“流下能力と安定性を兼備した複断面水路横断形”の設定法を提示する．最後に同設定法を緑川河道の検討対象区間に適用し，流下能力と安定性を兼備した整備計画河道の横断形の検討事例を示す．

表-1 検討に用いた資料

Data	資料名		
S	山本資料(2010) <sup>6)</sup>	Andrews(1984) <sup>9)</sup>	Toffaletti(1968) <sup>10)</sup>
	Parker資料 <sup>15)</sup>	Colbyら(1955) <sup>16)</sup>	Simonsら(1963) <sup>17)</sup>
	Kellerhals(1967) <sup>18)</sup>	Bray(1979) <sup>19)</sup>	Brownlie(1981) <sup>20)</sup>
	Churchら(1983) <sup>21)</sup>	Colosimoら(1988) <sup>22)</sup>	Higginsonら(1988) <sup>23)</sup>
	Nakato(1989) <sup>24)</sup>		
E	池田ら(1986) <sup>5)</sup>	Ikeda(1981) <sup>25)</sup>	福岡ら(1984) <sup>26)</sup>
	仲井ら(1984) <sup>27)</sup>	長谷川ら(1987) <sup>28)</sup>	Diplas(1990) <sup>29)</sup>
K	遠賀川・彦山川資料	緑川資料	白川資料

表-2 Data Sに基づく安定河道の発生条件

	セグメント1と2-1		セグメント2-2と3	
	複列砂州領域	単列砂州領域	砂州非発生領域	砂州非発生領域
$I$	$1.00 \times 10^{-3}$ ~ $1.60 \times 10^{-2}$	$5.88 \times 10^{-4}$ ~ $2.60 \times 10^{-2}$	$2.66 \times 10^{-5}$ ~ $1.50 \times 10^{-3}$	$4.40 \times 10^{-5}$ ~ $1.00 \times 10^{-3}$
$K$ 値	0.02~0.03 0.023±0.004	0.03~0.09 0.060±0.020	0.09~0.26 0.145±0.043	
$\tau_{*s}$	セグメント1	セグメント2-1	セグメント2-2	セグメント3
	0.03~0.16 0.091±0.051	0.03~0.20 0.080±0.038	0.47~3.08 1.657±0.765	0.59~3.80 1.434±0.511
$B/h$	37~103	10~60	39~155	10~34

## 2. 安定河道の発生条件

### (1) 安定河道の発生条件と重要な諸量

筆者が提案する安定河道の発生条件と等流の関係式は，それぞれ式(1)と式(2)で与えられる(例えば 3)7)8)。同発生条件は，結果的に中規模河床形態の発生形態に関する代表的な領域区分である黒木・岸<sup>11)</sup>や村本・藤田<sup>12)</sup>の領域区分とほぼ同様な関係になっている。

$$\tau_{*s} = K^3 \cdot (B/h)^2 \quad (1)$$

$$(B/d_R)(h/d_R)^{3/2} = \phi^{-1} \cdot (Q/\sqrt{gId_R^5}) \quad (2)$$

ここで， $h$ : 平均水深(=A/B)， $A$ : 河積， $B$ : 水面幅あるいは低水路水面幅， $d_R$ : 河床材料の代表粒径， $Q/(gd_R^5)^{1/2}$ : 無次元河道形成流量， $Q$ : 検討対象流量， $I$ : 河床勾配， $\phi$ : 流速係数(=U/u<sub>\*s</sub>)， $U$ : 断面平均流速， $u_{*s}$ : 摩擦速度(=τ<sub>\*s</sub>/ρ)<sup>12)</sup>， $\tau$ : 河床せん断力(=ρgh)， $\tau_{*s}$ : 動的平衡状態にある無次元掃流力(=u<sub>\*s</sub><sup>2</sup>/(sgd<sub>R</sub>))， $s$ : 粒子の水中比重(=ρ<sub>s</sub>/ρ-1(=1.65))， $\rho_s$ : 粒子の密度， $\rho$ : 水の密度， $g$ : 重力加速度， $K$ : 自然安定河道のτ<sub>\*s</sub>とB/hの関係を規定する係数である。

図-1は，河道横断形が単断面あるいは単断面的に取り扱える複断面の場合，単断面的に取り扱えない複断面の場合に分けて，重要な諸量を示したものである．なお，複断面の定義図において， $Q$ 等に付けた添字Mは整備計画流量流下時，添字Lは低水路満杯流量(平均年最大流量)流下時を示す。

単断面的に取り扱える場合は，式(1)と式(2)より，安定河道の断面平均スケールとτ<sub>\*s</sub>に関する安定河道の式が得られ，安定河道の断面平均スケール(h/d<sub>R</sub>，B/d<sub>R</sub>など)を予測値/実測値±30%以内で予測できる<sup>7)</sup>．また動的平衡状態にある無次元掃流力τ<sub>\*s</sub>も予測でき，山本のτ<sub>\*s</sub>-d<sub>R</sub>の

表-3 Data Sに基づく各セグメントのd<sub>R</sub>の平均値と標準偏差

d <sub>R</sub> (cm)	セグメント	1	2-1	2-2	3
	平均値		4.97	3.27	0.05
標準偏差		2.51	1.36	0.04	0.01

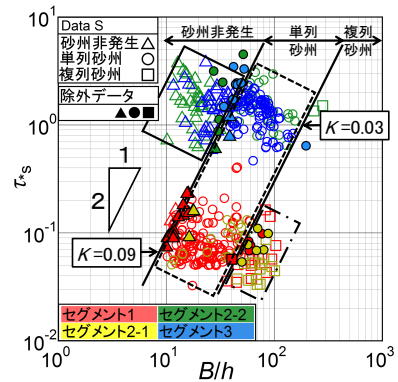


図-2 Data Sに基づく安定河道の発生条件

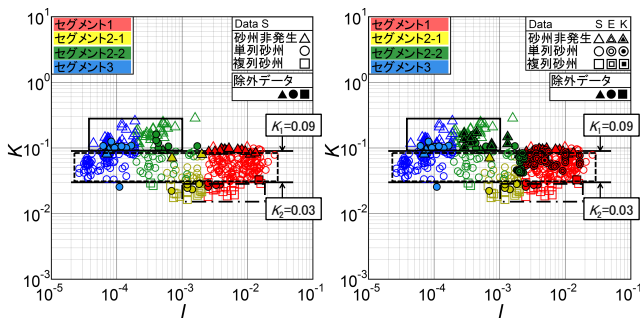


図-3 K値-Iの関係(Data S)

図-4 K値-Iの関係(Data T)

経験則<sup>6)</sup>がτ<sub>\*s</sub>-d<sub>R</sub><sup>56</sup>の関係となっていることも確認できる<sup>7)</sup>。

## (2) Data Sに基づく安定河道の発生条件

Data S(国内外の自然安定河道に関する代表的資料)を基盤資料, Data E(室内実験資料)と Data K(九州 4 河川資料)を参考資料として, 式(1)の河道の安定条件を検討してきた(例えば3,7,8).

本報ではセグメント 1 と 3 のデータを多く含む Andrews<sup>9)</sup>と Toffaleti<sup>10)</sup>の 2 資料(データ数 103)を追加し, Data S(データ総数 325)とし, 安定河道の各発生領域の  $K$  値,  $\tau_s$ および  $B/h$  の上下限值と閾値の明確化を図った. なお, 今回追加したデータも含めて, Data S は国内外を通じて安定河道に関する検討や検証に広く用いられ, 引用頻度も高い資料である. このように, 自然安定河道に学び, 信頼性の高いデータを追加することで, 河道の安定条件の精度向上が図れる点が大きなメリットである. 表-1 に Data S, E および K の 3Data(以下, まとめて「Data T」という)を示す.

図-2 は黒木・岸<sup>11)</sup>の砂州の領域区分と式(1)の安定河道の発生条件を踏まえ, Data S を各セグメントで色分けして示したものである. 図中の破線等の枠内が各砂州発生領域において安定河道となる範囲である. 同図より, 単列砂州領域では掃流が支配的なセグメント 1 と 2-1, 浮遊が支配的なセグメント 2-2 と 3 で安定河道となり得るが, 砂州非発生領域ではセグメント 2-2 と 3, 複列砂州領域ではセグメント 1 と 2-1 でしか安定河道になり得ないことがわかる. なお, 図中の塗りつぶし記号(データ総数 48)は, 各発生領域の分割線を越えたデータである. 中規模河床形態の発生領域区分でも同様であるが<sup>11)</sup>, 各発生領域の分割線まわりの  $\tau_s$  と  $B/h$  の値には若干の曖昧さがある.

図-3 は, 式(1)の  $K$  値を河床勾配  $I$  の関係として整理したもので, 図中の破線等の枠で囲われた範囲が各発生領域における安定河道の  $K$  値である. 前述 2 資料の追加により, 前報<sup>8)</sup>と比較してより明確になっている.

これより, 次の知見が得られる. ①安定河道の  $K$  値は, 砂州非発生~単列砂州で  $K \approx 0.09$ , 単列砂州~複列砂州で  $K \approx 0.03$  である. ②各発生領域の  $K$  値,  $\tau_s$  および  $B/h$  には, 上下限值と各砂州発生領域の安定河道を区分する閾値があり, Data S に基づけば, 安定河道の発生条件は, 表-2 のようになる. なお, 図-4 に示したように,  $K$  値等の上下限值と閾値は, Data T でも変わらない. ただし, 前述したように分割線まわりの  $\tau_s$  と  $B/h$  の値には若干の曖昧さがあるため, 各発生領域の分割線を越えたデータは取り除いて表-2 の  $K$  値等を評価している.

## 3. 流下能力と安定性を兼備した河道横断面の設定法および緑川河道への適用

河川整備計画期間程度の時間スケールを対象に, まず流下能力と安定性を兼備した複断面水路の横断面の設定法(以下, 「本設定法」という)を示し, 次に同法を緑川河道へ適用する.

### (1) 流下能力と安定性を兼備した河道横断面の設定法

低水路では平均年最大流量(低水路満杯流量) $Q_L$ , 全水路では整備計画流量  $Q_M$  を流せる河積を確保し, いずれの流量でも安定した河道となる横断面を設定する.

検討対象断面の  $K$  値等の設定に当たっては, 自然河川における流量と給量土砂の変動を考慮すれば,  $Q_L$  と  $Q_M$  時の  $K$  値は各発生領域の平均値に近くなるように設定することが望ましい. そのような設定が難しい場合は, 河道形成流量である  $Q_L$  時の  $K$  値が各発生領域の平均値にできるだけ近くなるよう設定し,  $Q_M$  時の  $K$  値は平均値の  $\pm 30\%$  以内となるように設定する.  $\tau_s$  と  $B/h$  についても表-2 に示した各セグメントの値の範囲内となるように設定する. なお,  $K$  値等を算定するための  $d_R$  については, 河床材料調査結果と表-3 に示した Data S から得られた各セグメントの平均値が考えられるが, ①将来河道の  $d_R$  が不明であること, ②河床材料調査から得られた  $d_R$  はばらつきが大きく, とりわけ浮遊砂が支配的なセグメント 2-2 および 3 ではその傾向が強いこと<sup>8)</sup>などの理由から, 表-3 の値を用いる.

#### a) 現況河道に関する検討

①検討対象区間は, 横断重ね合わせ図に基づき抽出された複数の安定断面を含むように設定する. なお, 安定断面の抽出に当たっては, 堰等の横断工作物や支川合流点の直下流区間は避けるようにする<sup>8)</sup>.

②検討対象区間に  $Q_L$  と  $Q_M$  を与え, 平面 2 次元不定流解析あるいは準 2 次元不等流解析より, 現況河道の水深  $h_L$  と  $h_M$  を算定する. なお, 本報では PSA-FUF-2DF model<sup>13)</sup>による前者の解析法を用いており, 境界条件は上流端では流量, 下流端では等流水深とした.

③ $Q_L$  時は低水路水面幅  $B_L$  として,  $\tau_s (=h_L I / (s d_R))$  と  $B_L/h_L$  を算定し, 式(1)の安定条件より, ①で抽出された断面の  $K_L$  値を評価する. また  $Q_M$  時の  $K_M$  値も同様に評価する(図-1 参照).  $Q_L$  と  $Q_M$  時の  $K$  値,  $\tau_s$  および  $B/h$  の値が表-2 に示した各セグメントの値の範囲内であれば, 抽出断面は安定断面と判断される.

④検討対象区間について  $Q_L$  時の平面 2 次元河床変動解析を行い, ③で特定された安定断面の平均河床高が経年的に変化しないことを目安として, 抽出安定断面以外の区間の断面形を設定する. なお, 河床変動解析には, iRIC の平面 2 次元ソルバーである Nays2DH を用いており<sup>14)</sup>, 河床材料は混合粒径で掃流砂と浮遊砂が考慮されている. 境界条件は上流端では流量および平衡流砂量を与え, 下流端では等流水深および流砂は自由流出とした.

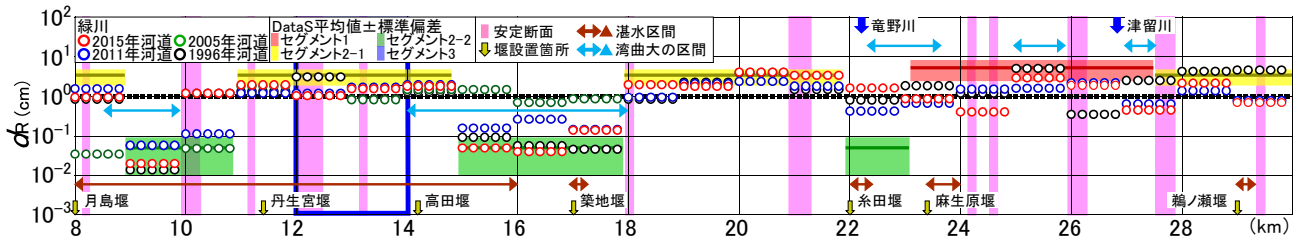


図-5 緑川における  $d_R$  河床材料調査と Data S の平均値±標準偏差および抽出された安定断面

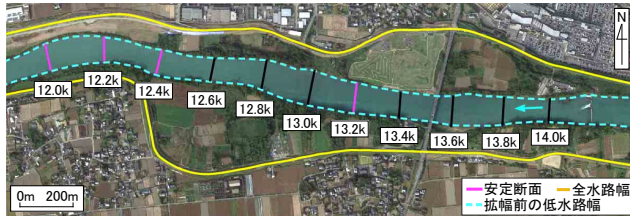


図-6 検討対象区間(12.0~14.0k)の低水路幅と全水路幅

なお、PSA-FUF-2DF model と Nays2DH model から得られた水位の違いは最大でも 5%程度であった。

### b) 河川整備計画河道に関する検討

以上の現況河道に関する検討で、 $K$  値等が表-2 の範囲外となった場合は、拡幅や洪水敷の盤下げあるいは緩傾斜化  $\gamma$  を行い、低水路では  $Q_L$ 、全水路では  $Q_M$  を流せる河積を確保するとともに、河道の安定性の検討を行う<sup>8)</sup>。

安定断面の設定法は現況断面の場合と同様であり、拡幅河道等の  $K$  値等が表-2 の各セグメントの値の範囲内に収まるまで、断面形を変化させて計算を繰り返す。河床変動解析についても、 $Q_L$  時に特定された安定断面の平均河床高が経年的に変化しないことを目安として、抽出安定断面以外の区間の断面形を設定する。

なお、河床変動解析の結果、安定断面の平均河床高が変化する場合は、安定条件(式(1)および表-2)に基づき、安定断面を含む検討対象区間の横断面を見直し、経年的な変化がなくなるまで検討を繰り返すことを原則とするが、変化が小さい場合は横断面の見直しを省略し、表-2 の安定条件を目安に安定性の確認を行ってもよい。

### (2) 緑川河道への適用

緑川の複断面河道を対象として、本設定法に基づく流下能力と安定性を兼備した河道の検討事例を示す。

図-5 は、1996~2015 年の期間(4 回実施)の河床材料調査から得られた  $d_R$  と Data S から得られた各セグメントの  $d_R$  の平均値±標準偏差(表-3)を示したものである。なお、図中のピンク色の帯で示した区間が  $Q_L$  時に抽出された現況河道の安定断面である。

検討対象区間は、同図中に青枠で示した 12.0~14.0k の区間(セグメント 2-1)とした。図-6 に同区間の平面写真を示す。図中の黄色の実線が全水路幅、空色の破線が拡幅前の低水路幅である。同区間では、 $K$  値等の確認も含め、4 断面(12.0k, 12.2k, 12.4k, 13.2k)が安定断面として抽出された。図-6 中のピンク色の帯が安定断面である。

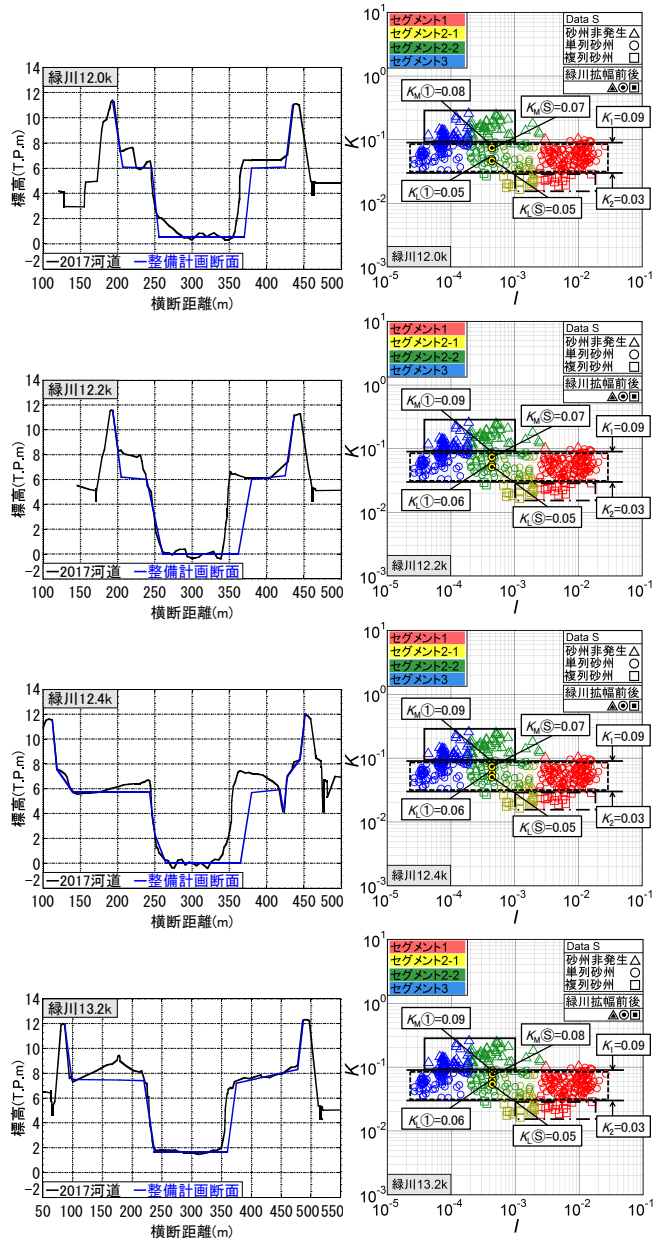


図-7 検討対象断面の拡幅・盤下げ前後の断面形(左)と  $K$  値(右) (上から 12.0k, 12.2k, 12.4k, 13.2k)

なお、 $Q_L$  と  $Q_M$  時の  $K$  値等を算定には、本設定法で述べたように、表-3 の  $d_R$  を用いた。河道形状については、2017 年 2 月横断測量で得られた横断面を用い、粗度係数には計画粗度係数(低水路内: 0.036, 高水敷: 0.040)を与えた。

本設定法に基づき、4 安定断面について、 $Q_L$  と  $Q_M$  時の河道横断面の検討を行う。以下では、算定された  $K$  値に、現況河道には①、拡幅河道には②を付して区別す



る。例えば、 $K_M(S)$ は $Q_M$ 時の拡幅河道の $K$ 値であることを示している。図-7に4安定断面の拡幅前後の断面形と $K$ 値を示す。なお、 $\tau_s$ と $B/h$ の値についても表-2に示した各発生領域の値の範囲内となっている。以下では、紙面の関係からこの説明は省略する。

現況河道については、12.0kでは、 $K_L(1)=0.05$ 、 $K_M(1)=0.08$ であり、 $Q_M$ 時には平均値の±30%の範囲を超えていたため、整備計画河道では低水路河床幅を約1.2倍に拡幅するとともに、兩岸の高水敷の盤下げを行い、安定断面の範囲内になるように $K_L(S)=0.05$ 、 $K_M(S)=0.07$ に設定した。

12.0k以外の3断面の $K$ 値も、 $Q_M$ 時に平均値の±30%の範囲を超えていたため、拡幅と盤下げを行った。すなわち、12.2kでは、約1.3倍の低水路拡幅と左岸の盤下げ、12.4kでは、約1.3倍の低水路拡幅と兩岸の盤下げを行い、それぞれ現況河道( $K_L(1)=0.06$ 、 $K_M(1)=0.09$ )を整備計画河道( $K_L(S)=0.05$ 、 $K_M(S)=0.07$ )とした。13.2kでは、約1.1倍の低水路拡幅と左岸の盤下げを行い、現況河道( $K_L(1)=0.06$ 、 $K_M(1)=0.09$ )を整備計画河道( $K_L(S)=0.05$ 、 $K_M(S)=0.08$ )とした。なお、4断面のいずれについても拡幅前の $Q_M$ 時の水位と比較し、10~20%程度低下しており、より安全になっている。

次に、拡幅・盤下げを行った検討対象区間について、河床材料、流量にそれぞれ2015年2月の河床材料調査より得られた粒度分布、河道形成流量である $Q_L$ を与え、上記の4安定断面の平均河床高が経年的に変化しないことを目安として、河床変動解析を行い、検討対象区間の断面形を設定した。計算を開始して約14日で河床高の収束が確認されたが、念のため21日まで計算を行った。

図-8に拡幅前と拡幅後の平均河床高、水位、河床材料の $d_R$ 、 $K$ 値および $\tau_s$ を示す。図中のピンク色の帯は安定断面、黄色の帯はセグメント2-1における $K$ 値と $\tau_s$ の安定条件(表-2)と $d_R$ の平均値±標準偏差(表-3)を示している。なお、平均河床高と $d_R$ については、拡幅後の14日およびそれ以降の17日と21日の結果を、水位、 $K$ 値および $\tau_s$ については、 $Q_L$ と $Q_M$ 時の拡幅前を破線、拡幅後を実線で示している。

図-9に拡幅前後の低水路幅を示す。図中の空色の実線が拡幅後の流下能力と安定性を兼備した低水路幅であり、 $Q_M$ 時にも河床が安定な横断面となっている。すなわち、図-8からわかるように、平均河床高は安定断面の河床高が拡幅前後でほとんど変化しておらず、またそれ以外の断面の河床高が収束していることが確認できる。水位は拡幅後では $Q_M$ 時にH.W.L.を最大で約1.0m下回り、より安全になっていることが確認できる。 $d_R$ は、河床材料調査の粒度分布を与えた河床変動解析より得られた拡幅後の $d_R$ が平均値±標準偏差(表-3)の範囲内に収まって

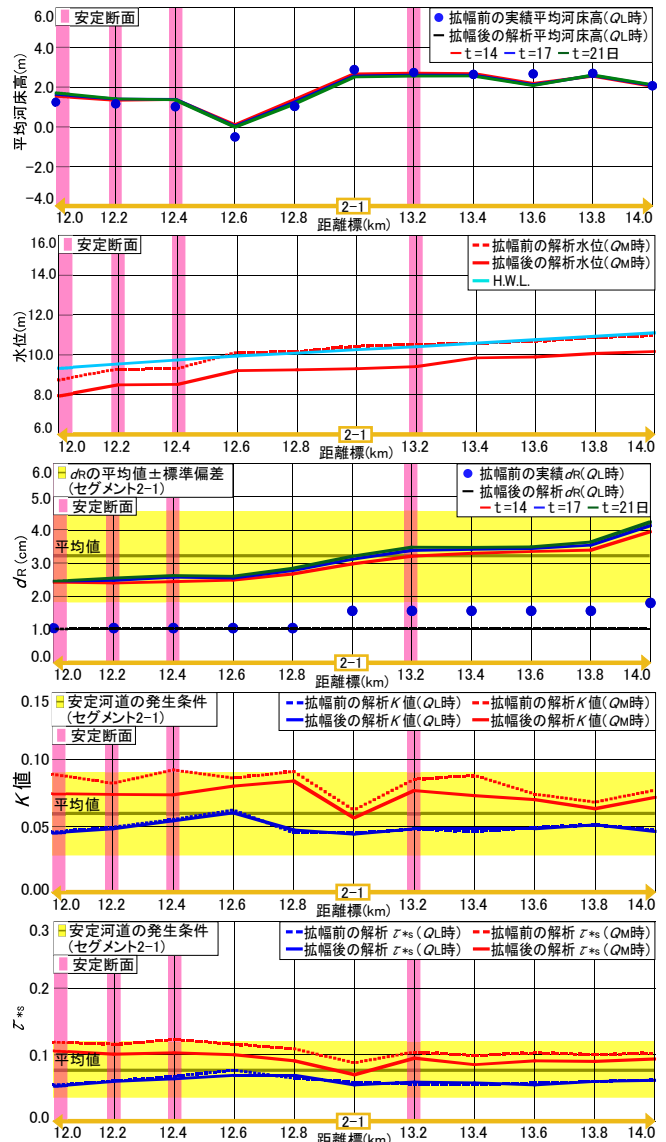


図-8 検討対象区間における拡幅前後の検討結果  
(上から平均河床高、水位、 $d_R$ 、 $K$ 値、 $\tau_s$ )

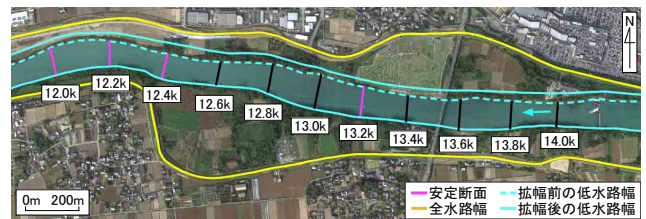


図-9 拡幅前後の低水路幅と全水路幅

おり、さらに $K$ 値と $\tau_s$ についても検討対象区間が安定河道の発生条件(表-2)の範囲内にあり、拡幅前にはセグメント2-1の安定条件の上限値近傍であった12.0k~12.8kの区間が、拡幅後にはより安定サイドになっていることが確認できる。

## 5. まとめ

本研究で得られた主要な知見を以下に示す。

- (1) Data S(自然安定河道に関する代表的資料)にセグメント1と3のデータを多く含む信頼性の高い自然安定河道

のデータを追加し、安定河道の各発生領域の  $K$  値,  $\tau_s$  および  $B/h$  の上下限值と閾値の明確化(表-2)を図り、併せて自然安定河道の各セグメントの  $d_R$  の平均値±標準偏差(表-3)を示した。

(2) 河川計画程度の期間を対象として、安定河道の発生条件(式(1))と安定断面の平均河床高を目安とした河床変動解析により、流下能力と安定性を兼備した複断面水路横断面の設定法を示した。

(3) 緑川の一部の区間を対象として、本設定法の検討事例を示した。

#### 参考文献

- 1) 福岡捷二：札幌川の河道変遷を考慮した治水と環境の調和した安定な河道縦・横断形状に関する研究，研究紀要(XXIV)，北海道河川財団，pp.123-164, 2013.
- 2) 例えば，Leopold, L.B and Miller, J.P: Ephemeral streams; hydraulic factors and their relation to the drainage net, *U.S.G.S. Prof.Paper*, p.252-A, 1-36, 1956.
- 3) 例えば，秋山壽一郎，重枝未玲，和田浩輔，伊藤嘉徳，野口聡介，安武環，永谷恵一：安定した砂礫河川低水路の無次元掃流力について，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.71, No.4, pp.1033-1038, 2015.
- 4) 例えば，秋山壽一郎，重枝未玲，池田隼人，古賀満，野口聡介，峰松知裕：遠賀川水系への安定砂礫床河道の横断形状と無次元掃流力に関する関係式の適用，河川技術論文集，第22巻，pp.157-162, 2016.
- 5) 池田駿介，Gary Parker，千代田将明，木村善孝：直線礫床河川の動的安定横断形状とそのスケール，土木学会論文集，第375巻II-6，pp.117-126, 1986.
- 6) 山本晃一：沖積河川構造と動態，技報堂出版，p.587, 2010.
- 7) 秋山壽一郎，重枝未玲，池田隼人，内野雅文，古賀満：高精度な安定河道の予測式の開発とその河道整備・管理への活用，河川技術論文集，第23巻，pp.471-476, 2017.
- 8) 秋山壽一郎，重枝未玲，内野雅文，中島忠：流下能力と安定性を兼備した河道横断形状の設定法と実河川への適用，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.74, No.4, pp.1027-1032, 2018.
- 9) Andrews, E.D.: Bed material entrainment and hydraulic geometry of gravel bed rivers in Colorado, *U.S.G.S.*, No.95, pp.371-378, 1984.
- 10) Toffaleti, F.B.: A Procedure for Computation of the Total River Sand Discharge and Detailed Distribution, Bed to Surface, Technical Report No.5, Committee on Channel Stabilization, Corps of Engineers, U.S. Army, 1968.
- 11) 黒木幹男，岸力：中規模河床形態の領域区分に関する理

- 論的研究，土木学会論文集，第342号，pp.87-96, 1984.
- 12) 村本嘉雄，藤田裕一郎：中規模河床形態に関する研究，京大防災研究所年報，第20号，B-2, pp.243-258, 1977.
  - 13) 秋山壽一郎，重枝未玲，坂田治義：数値解析を用いた湾曲部に設けられた遊水地の洪水調節効果の検討，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.71, No.4, pp.1411-1416, 2015.
  - 14) iRIC : <http://i-ric.org/ja/>
  - 15) Parker, G.: 1D SEDIMENT TRANSPORT MORPHODYNAMICS with applications to RIVERS AND TURBIDITY CURRENTS, [http://hydrolab.illinois.edu/people/parkerg/morphodynamics\\_e-book.htm](http://hydrolab.illinois.edu/people/parkerg/morphodynamics_e-book.htm)
  - 16) Colby, B.R. and Hembree, C.H.: Computations of total sediment discharge Niobrara River near Cody, Nebraska, *U.S.G.S. Water Supply Paper*, No.1357, 1955.
  - 17) Simons, D.B. and Albertson, M.L.: Uniform water conveyance channels in alluvial material, *Trans. ASCE*, Vol.128, pp.65-105, 1963.
  - 18) Kellerhals, R.: Stable channels with gravel paved beds, *ASCE, J. W H Div.*, Vol.93, WW1, pp.63-84, 1967.
  - 19) Bray, D.I.: Estimating average velocity in gravel-bed rivers, *ASCE, J. Hydraul. Div.*, Vol.105, HY9, pp.1103-1122, 1979.
  - 20) Brownlie, W.R.: Prediction of flow depth and sediment discharge in open channels. Ph.D. dissertation, California Inst. of Technology, Pasadena, Calif, 1981.
  - 21) Church, M. and Rood, K.: Catalogue of Alluvial River Channel Regime Data, Univ. British Columbia, Department of Geography, Vancouver, 1983.
  - 22) Colosimo, C., Copertino, V.A. and Veltri, M.: Friction Factor Evaluation in Gravel Bed Rivers, *J. Hydraul. Eng.*, pp.861-876, 1988.
  - 23) Higginson, N.N.J. and Johnston, H.T.: Estimation of friction factor in natural streams, *Proceedings of the international conference on river regime*, Edited by White, W.R., J.Wiley, pp.251-266, 1988.
  - 24) Nakato, T.: Test of selected sediment-transport formulas, *ASCE, J. Hydraul. Eng.*, Vol.116, No.3, pp.362-379, 1989.
  - 25) Ikeda, S.: Self-formed straight channels in sandy beds, *ASCE, J. Hydraul. Div.*, Vol.107, HY4, pp.389-406, 1981.
  - 26) 福岡捷二，山坂昌成：なめらかな横断面形状をもつ直線流路のせん断力分布と拡幅過程の解析，土木学会論文集，第351巻II-2，pp.87-96, 1984.
  - 27) 仲井敬司，池田宏：安定河道形状に関する実験的研究，筑波大学水理実験センター報告，No.8, pp.37-44, 1984.
  - 28) 長谷川和義，望月明彦：シルト・細砂からなる流路の浸食過程，第31回水理講演会論文集，pp.725-730, 1987.
  - 29) Diplas, P.: Characteristics of self-formed straight channels, *ASCE, J. Hydraul. Eng.*, Vol.116, No.5, pp.707-728, 1990.

(2018. 5. 31 受付)

## SETTING PROCEDURE FOR STABLE RIVER CHANNEL GEOMETRY HAVING BOTH DISCHARGE CAPACITY AND RIVERBED STABILITY

Juichiro AKIYAMA, Mirei SHIGE-EDA, Masafumi UCHINO,  
 Ei-ichi ONO and Kentaro OSAFUNE

The condition proposed by the author for riverbed stability is clarified by adding new data to selected existing data of natural Japanese and overseas rivers. Then, the setting procedure for the cross-sectional geometry of compound channels, that satisfies both discharge capacity and riverbed stability, is developed, based on the proposed condition and 2D river bed configuration analysis. The validity of proposed procedure is confirmed by results of an investigation for the Midori River in Kyushu.