

# 武庫川水系河川整備基本方針

〔現況流下能力に関する資料〕

平成 19 年 11 月

兵 庫 県

# 武庫川水系河川整備基本方針 治水に関する資料

## 目 次

1 . 河道特性の整理（セグメント区分）	1
1.1 セグメント区分の考え方	1
1.2 河床勾配からみたセグメント区分	2
1.3 代表粒径からみたセグメント区分	5
1.4 セグメントの設定	13
2 . 不等流計算の出発水位	15
3 . 水位上昇量	15
3.1 わん曲による水位上昇量	15
3.2 砂州による水位上昇量	16
3.3 橋脚の堰上げによる水位上昇量	18
4 . 高水敷粗度係数	19
5 . 低水路粗度係数	21
5.1 セグメント 2 - 2（河口～No.15：河道区分 1）	21
5.2 セグメント 2 - 1（No.15～No.89：河道区分 2、河道区分 3）	22
5.3 セグメント 1（No.89～No.184：河道区分 4、河道区分 5、河道区分 6）	24
5.4 採用する粗度係数	25
6 . 流下能力の算定	26
参考 1 仁川合流点より下流における代表粒径の設定の妥当性について	参-1
参考 2 低水路の逆算粗度係数と推定粗度係数について	参-8

# 1. 河道特性の整理（セグメント区分）

## 1.1 セグメント区分の考え方

セグメントとは、「河道計画検討の手引き 財団法人国土技術研究センター編」によれば以下のように定義されている。武庫川においてもセグメント区分の設定にあたっては、「河道計画検討の手引き」の通り河床勾配と代表粒径を重視した。

**【セグメント】**

山間部を含めて河川の縦断形は、ほぼ同一勾配を持ついくつかの区間に分かれているとみることができ、このような河床勾配がほぼ同一である区間は、河床材料や河道の種々の特性が似ており、これをセグメントと呼んでいる。

セグメントとは類似した河道特性を有している河道区分をさし、基本的には河床縦断勾配と河床材料から区分を行う。同じような河道特性を有する区間に分割することを「セグメント区分」といい、河道特性を把握分析する単位空間をセグメント毎にとることを「セグメント単位の見方」という。

日本の河川では、山間部の河岸や河床が岩であったり、崖からの崩壊礫などの供給がある区間をセグメントMといい、山間部を出てから海に向かう河道については、概ね三区分別上流からセグメント1（扇状地河道）、セグメント2（中間地河道、自然堤防帯河道等）、セグメント3（デルタ河道）と呼んでいる。また、河床材料や河床波の発生状況からみて、河道特性上はセグメント2の区間をさらに二分割し、上流からセグメント2-1、セグメント2-2に分割して区分している。この各セグメント別の特徴を表1.1に示す。

さらに実際の河川を詳細に見る場合（例えば粗度係数の設定を行う場合）には、河床勾配、支川合流、代表粒径の縦断分布を見て、セグメント1およびセグメント2-1、2-2の区間を小セグメントに区分することもある。

表1.1 各セグメントとその特徴

	セグメントM	セグメント1	セグメント2		セグメント3
			2-1	2-2	
地形区分	← 山間地 →	← 扇状地 →	← 谷底平野 →		← デルタ →
			← 自然堤防帯 →		
河床材料の代表粒径 $d_R$	さまざま	2 cm 以上	3 cm ~ 1 cm	1 cm ~ 0.3mm	0.3mm 以下
河岸構成物質	河床河岸に岩が出ていることが多い	表層に砂、シルトが乗ることがあるが薄く、河床材料と同一物質が占める	下層は河床材料と同一、細砂、シルト、粘土の混合物		シルト、粘土
勾配の目安	さまざま	1/60 ~ 1/400	1/400 ~ 1/5,000		1/5,000 ~ 水平
蛇行程度	さまざま	曲がりが少ない	蛇行が激しいが、川幅水深比が大きい所では8字蛇行または島の発生		蛇行が大きいものもあるが、小さいものもある
河岸浸食程度	非常に激しい	非常に激しい	中、河床材料が大きい方が水路はよく動く		弱、ほとんどは水路の位置は動かない
低水路平均深さ	さまざま	0.5 ~ 3 m	2 ~ 8 m		3 ~ 8 m

出典：河道計画検討の手引き 財団法人国土技術研究センター編

## 1.2 河床勾配からみたセグメント区分

### (1) 平均河床勾配の設定

平成 12 年測量成果を用いて、武庫川対象区間の平均河床高を算定し、平均河床勾配を図 1.3 のように算定した。なお、平均河床高の設定方法は図 1.1 のとおりである。

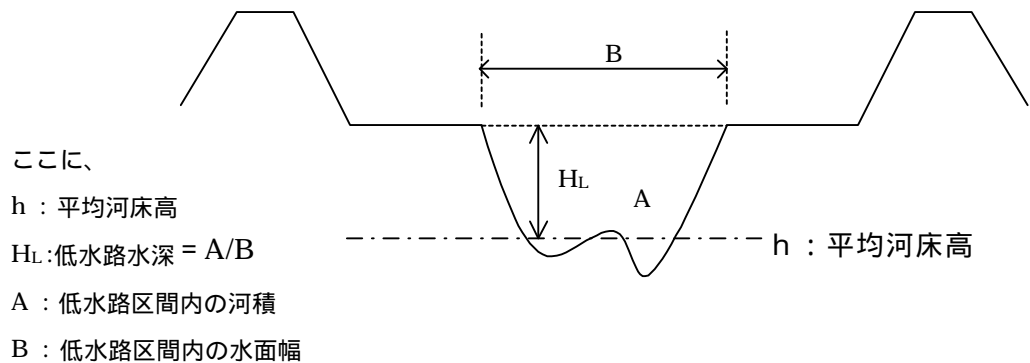


図1.1 平均河床高設定のイメージ図

平均河床勾配の縦断面図（図1.3）によると、勾配の変化点が 25+50, 89, 147 に見られるため、この地点を河道区分の境界とした。河道区分ごとの河道特性は概ね下記のとおりである。

河道区分 1 : No.15 付近で勾配の変化点も見られるが、河口から潮止堰までは感潮区  
河口～潮止堰 間であり、これを一連区間と初期設定した。

河道区分 2 : 当該区間は築堤区間であるがその上流では掘込み区間となっている。ま  
潮止堰～仁川 た、河床勾配は仁川合流点で大きく変化している。

河道区分 3 : 平面的に見れば宝塚駅周辺( 145～147)より下流では川幅はやや広く、  
仁川～ 147 それより上流では川幅が狭く狭窄部が連続する。勾配変化点は、現況河  
床勾配の変化点であり、かつ現行の全体計画河床勾配や計画水面勾配  
(H.W.L.勾配)の変化点でもある 147 とした。

河道区分 4 : 狭窄部が連続する区間である。

147～名塩川

表1.1における各セグメントの河床勾配の範囲から判断し、各河道区分のセグメントは次のようになる。

河道区分 1 ~ 2 (河口 ~ 仁川合流点)	セグメント 2
河道区分 3 ~ 4 (仁川合流点 ~ 名塩川合流点)	セグメント 1

なお、河道区分 2 では床止の影響で縦断形状が階段状となっているが、洪水時の水面はこれを包絡する水面勾配になると考え、セグメント区分は、床止天端を包絡する縦断勾配をもとに設定した(図1.2)。

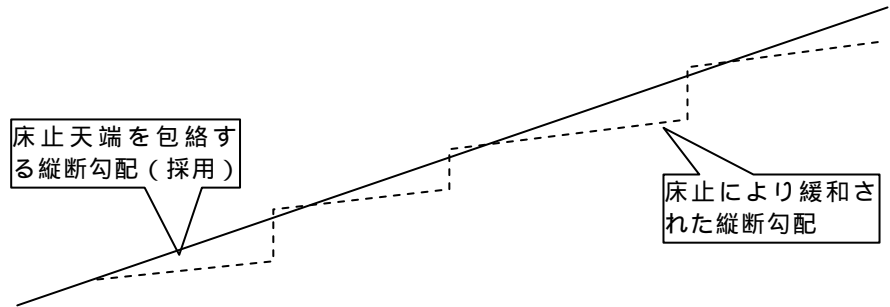
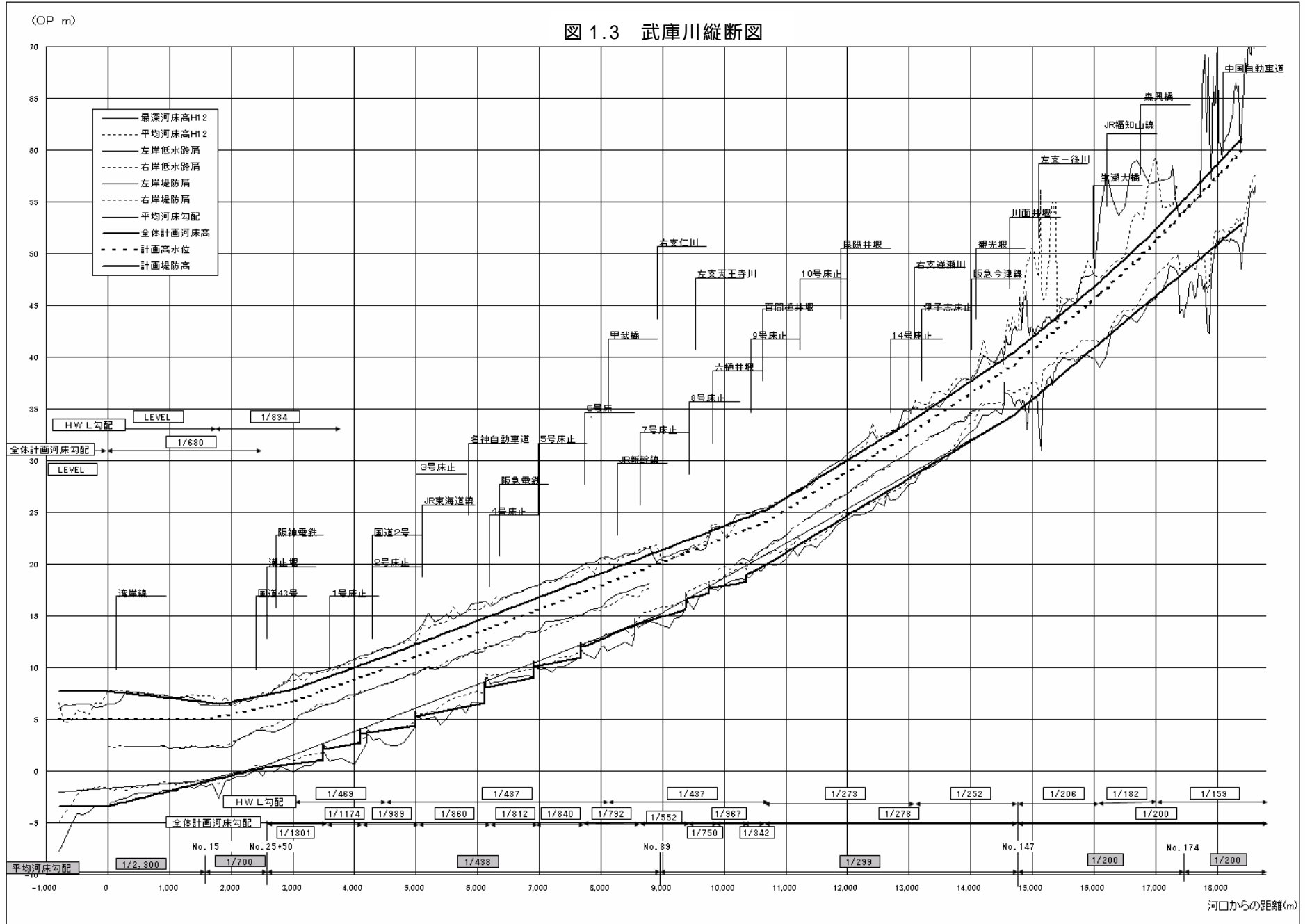


図1.2 河床縦断勾配設定のイメージ図

図 1.3 武庫川縦断図

4



### 1.3 代表粒径からみたセグメント区分

河床材料の粒度分布形は、対数正規分布形に近いと言われているが、実際には特性の異なる3つ以上の集団を持っているのが一般的である。堆積学では図1.4のごとく河床材料の主モードである集団をA集団、それより細かいものをB集団、A集団より粒径の大きいものをC集団と呼んでいる。

それぞれの集団の区分粒径は、図1.5のように粒径加積曲線上での勾配の急変点の粒径とする。

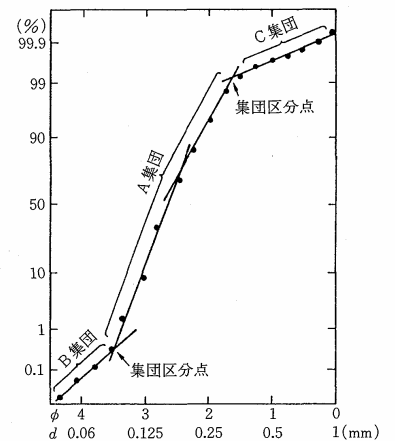


図1.4 粒径の集団区分

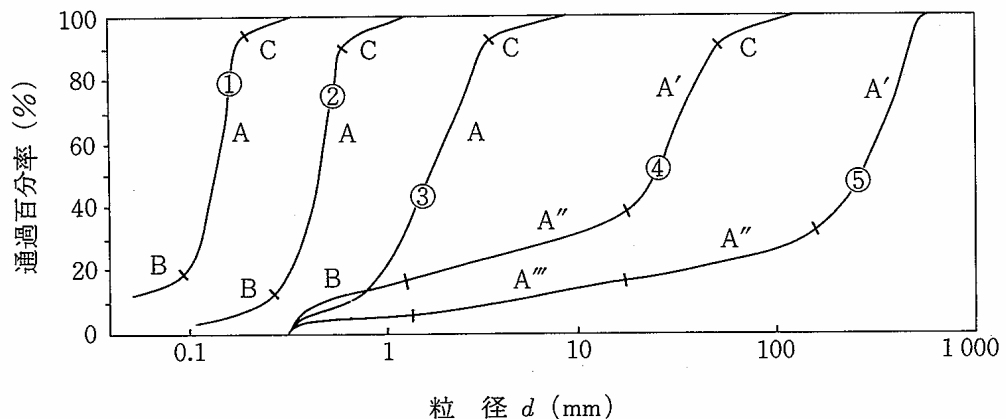


図1.5 種々の粒度分布における粒径集団の区分

(出典：河道計画検討の手引き 財団法人国土技術研究センター編)

扇状地河川表層下の河床材料は混合粒径であり、大粒径から小粒径のものを含んでいる。このうち、小粒径のものは河床変化にあまり関与しない。河床変動に関係するものは主にC集団、A'集団であり、また河床材料の動き易さを規定するものもこの集団である。

A''集団以下の材料が20%以下であるような場合は、平均粒径  $d_m$  あるいは60%通過粒径である  $d_{60}$  がC集団とA'集団の代表粒径 (C集団とA'集団のみからなる材料の平均粒径) とあまり変わらない。しかし、河床材料中にA''集団以下の材料が30%程度占めるような場合には、河床材料の平均粒径  $d_m$  あるいは60%通過粒径  $d_{60}$  とC集団とA'集団の代表粒径との差異が大きくなり、河床の動き易さを示す指標として適切でなくなる。

そこで河床の動き易さ、河床変動に影響を与える代表粒径  $d_R$  をC集団とA'集団の

みからなる河床材料の粒度分布より、その平均粒径あるいはその60%通過粒径をとることとした。代表粒径の具体的設定方法は表1.2の通りである。

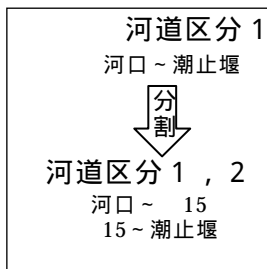
表 1.2 代表粒径  $d_R$  の求め方

河床材料の $d_{60}$	代表粒径 $d_R$
1 cm 以下	$d_{60}$ を採用する
1 cm 以上	A'' 集団以下の材料が 30% 以下である場合は $d_{60}$ を採用する
	A'' 集団以下の材料が 30% 以上を占める場合は、A' と C 集団を対象として、新たに粒度分布を作成し、その通過粒径の $d_{60}$ を採用する

(河道計画検討の手引き 財団法人国土技術研究センター編)

武庫川では、平成 12 年度に約 1 km ピッチ行った河床材料調査結果をもとに、代表粒径を設定した(図 1.8、図 1.9)。この結果、河床勾配に着目して設定した河道区分を、代表粒径の観点から下記のとおり細分化した。

なお、代表粒径の設定にあたっては、洪水時の河床抵抗に大きく関与する表層の成分を対象とした。この妥当性については、「参考 1 仁川合流点より下流の代表粒径の設定の妥当性について」で後述する。

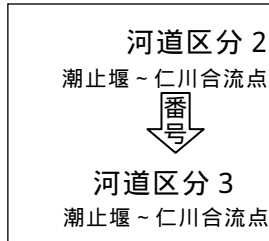


: No. 20 の粒径加積曲線によると(図 1.4 の黒線)、当該地点では粒径の大きい試料と小さい試料とが混在している。これは、河床材料採取地点である No. 20 の直上流に潮止堰があり、洪水中または洪水後期において上流から潮止堰を越えて堆積した大きい粒径と、洪水直後や非洪水時に堆積した細かい粒径が混在したものであると考えられる。洪水時の河床抵抗は比較的大きな粒径により影響を受けるため、代表粒径としては粒径の大きい方の試料を重視して設定することも考えられるが、当該区間が感潮区間であることや河床勾配を考慮すると、大きい方の粒径が河口まで続くとは考えにくい。そこで、当該区間には粒径の異なる区間が混在していると考え、勾配の変化点である No. 15 で河道区分を細分化し、No. 15 から潮止堰の区間は、勾配が急な沖積河川(勾配 1/450)と河口部(勾配 1/2,300)の遷移区間として取り扱う。代表粒径は以下のとおり設定した。

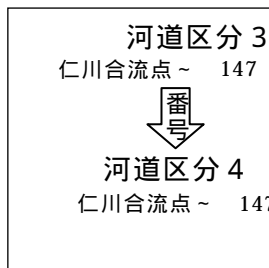
- ・ 下流側の河道区分 1 (河口 ~ No. 15) では、河床材料調査は実施されていないため、最下流の調査結果である No. 20 の試料のうち最も粒径の小さい試料の 60% 粒径 0.6 mm を代表粒径とした。



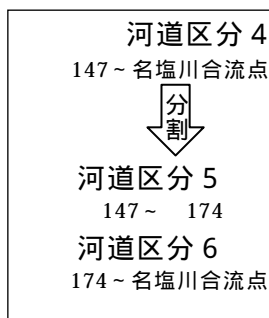
- ・上流側の河道区分2（No.15～仁川合流点）では、上流の土砂が、潮止堰をこえて堆積するところであることから、その上流区間（潮止堰～仁川合流点）の代表粒径45mmを適用する。



: 当該区間においても調査地点によって粒径加積曲線はばらついて  
いるものの、各試料の曲線の傾きはほぼ一様である。このため、  
これらの試料群から平均的な60%粒径を設定し、代表粒径を45mm  
とした。



: 当該区間では試料間のバラツキは少なく、ほぼ均一な試料である。  
これらの試料群から平均的な60%粒径を設定し、代表粒径を80mm  
とした。



: 当該区間は狭窄部であるが、地形を平面的にみると、太多田川合  
流点（174）より上流では岩露出区間、下流では支川太多田川か  
らの供給土砂により形成されたと考えられる州がみられる。粗度  
係数の推定において岩露出区間と砂礫河床では、その設定方法が  
異なるため、太多田川合流点（174）において河道区分を細分化  
し、下流側（No.147～No.174）を河道区分5、上流側（No.174～  
名塩川合流点）を河道区分6とした。代表粒径は次のように設定  
した。

- ・河道区分5（147～174）では、下流側の区分（仁川～147）と同様に試料間のバラツキは少なく、ほぼ均一な試料である。これらの試料から平均的な60%粒径を設定し、代表粒径を120mmとした。
- ・河道区分6（174～名塩川合流点）では、河床材料調査が行われていないが、河道区分5と河床勾配が同じであることから、代表粒径は下流の河道区分5と同じ120mmを設定した。

図 1.6 は、全国の沖積河川の平均粒径と河床勾配の関係図に、上記で設定した武庫川のデータをプロットしたものである。代表粒径と河床勾配の関係は、全国の沖積河川と同様の傾向となっていることから、代表粒径の設定が適切であると判断した。

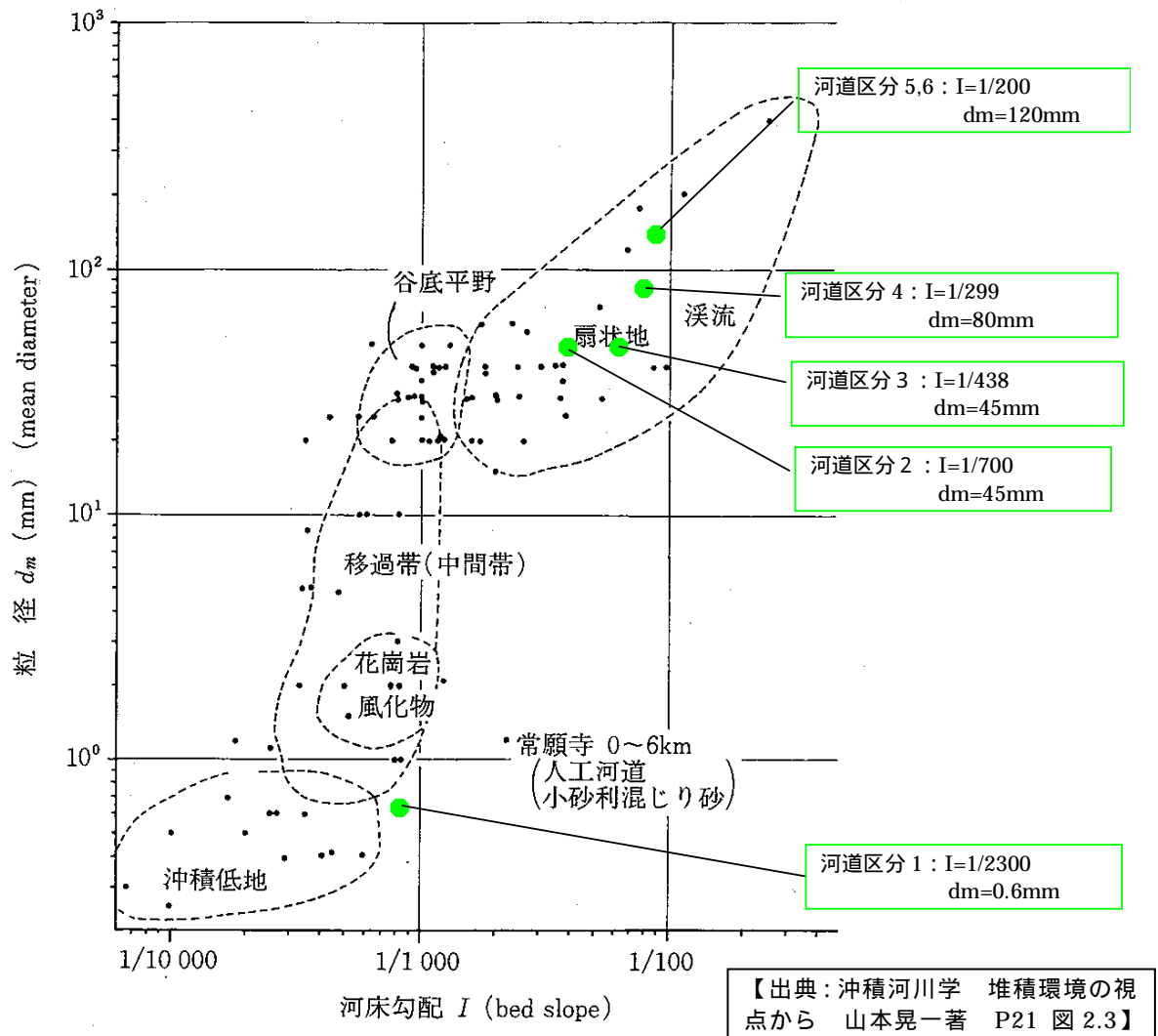


図1.6 河床勾配と代表粒径の関係

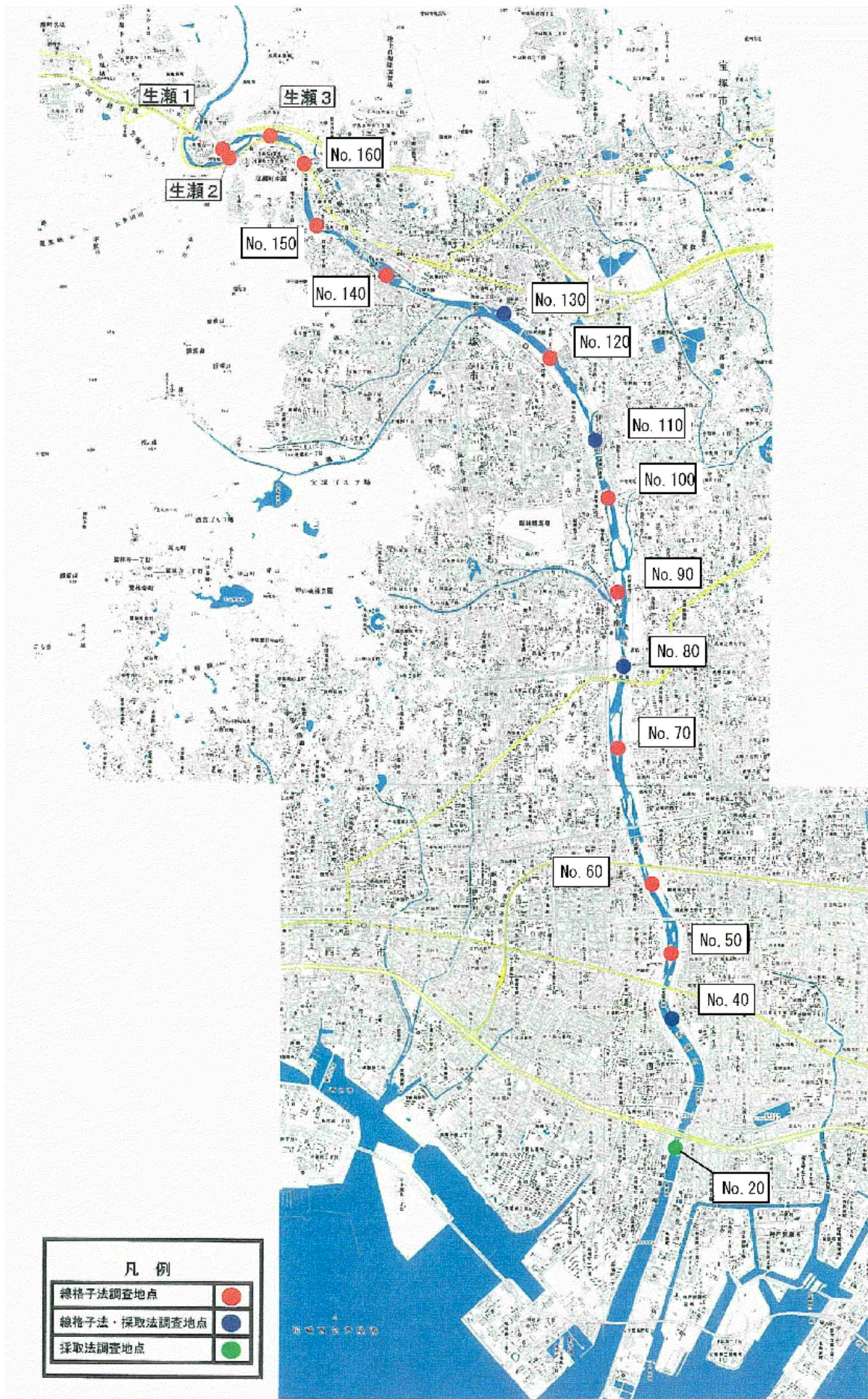
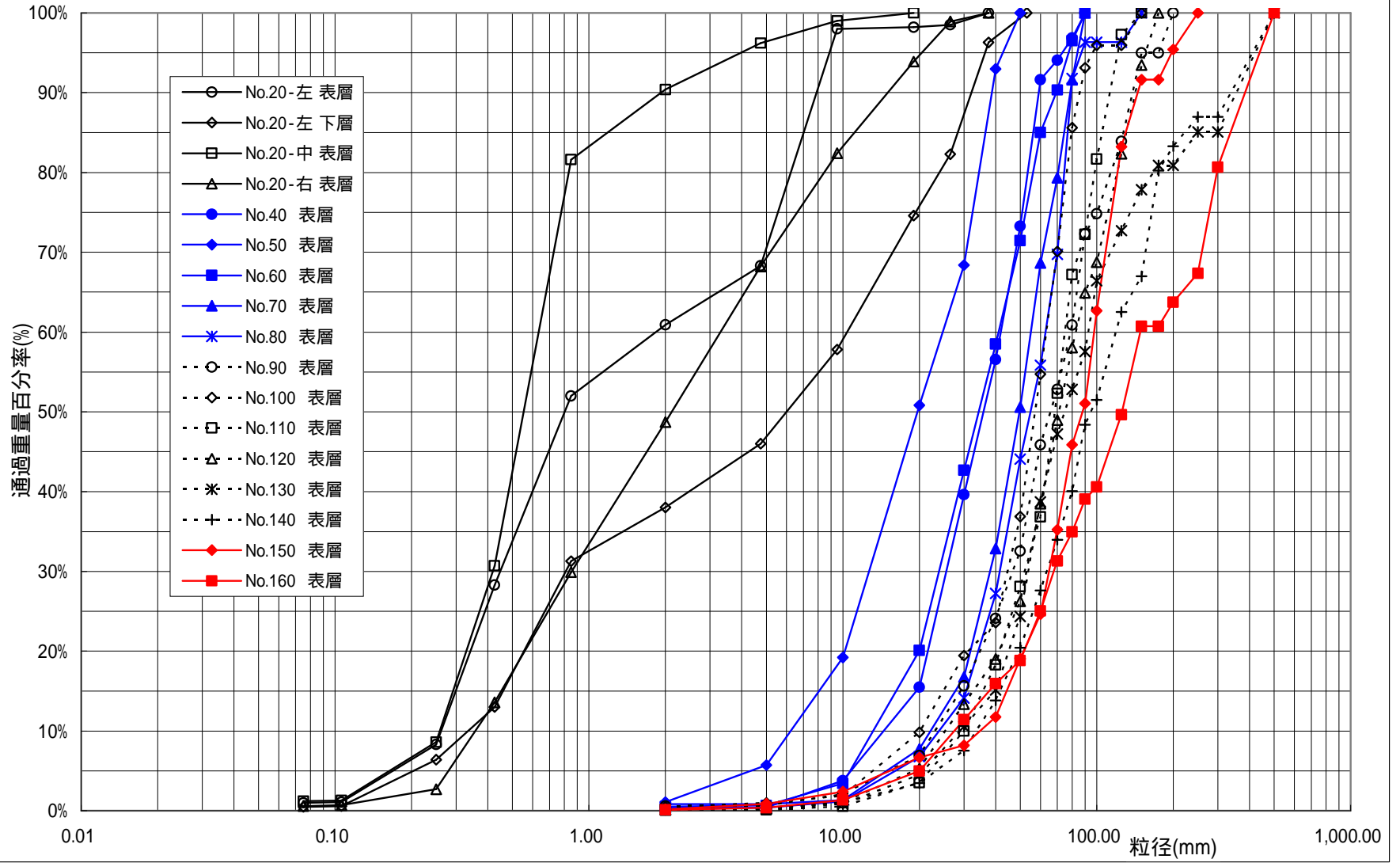
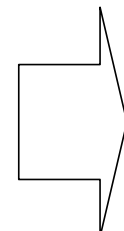
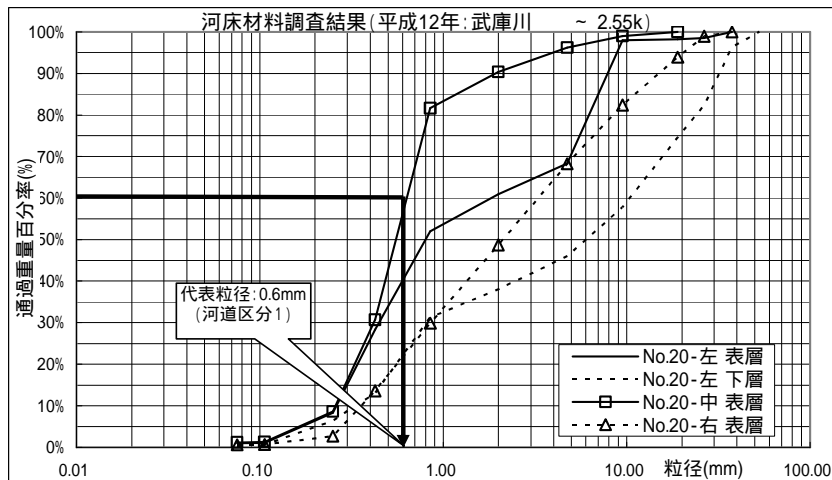


図 1.7 調査地点位置図 (H12調査)

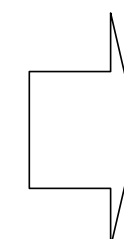
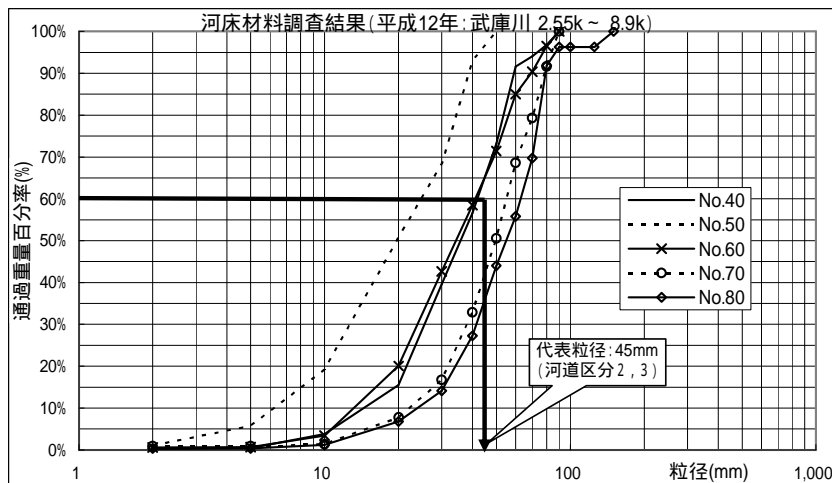
図1.8 河床材料調査結果(平成12年)





<代表粒径の設定方法>  
 No.15よりも下流では調査データは存在しないが、砂利が混じらないものとしてNo.20地点の調査結果のうち、最も粒径の小さい試料を採用した。

ポピュレーションブレイクは<sup>1)</sup>不要  
 左図の代表粒径を採用する

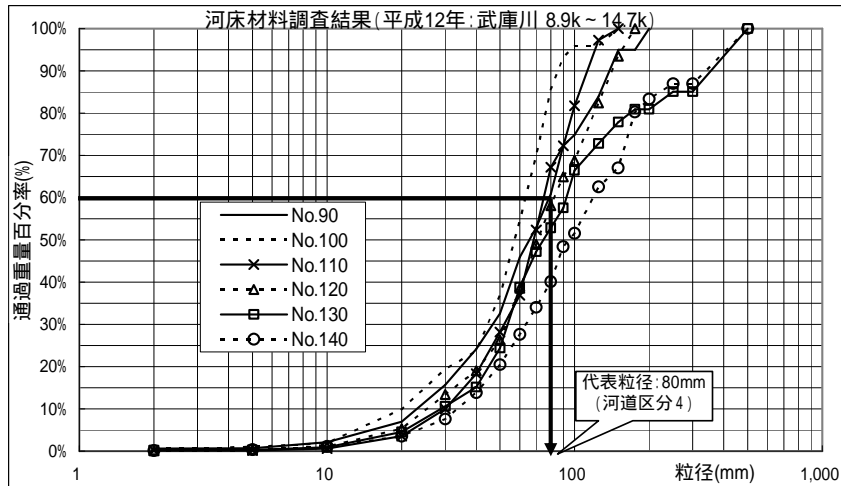


<代表粒径の設定方法>  
 $d_{60}$ が1cm以下  
 $d_{60}$ を採用する  
 $d_{60}$ が1cm以上  
 A "集団以下の材料が30%以下  $d_{60}$ を採用  
 A "集団以下の材料が30%以上 **ポピュレーションブレイク**を実施し、AとC集団のみの $d_{60}$ を採用

ポピュレーションブレイクは<sup>1)</sup>不要  
 左図の平均的な代表粒径を採用する

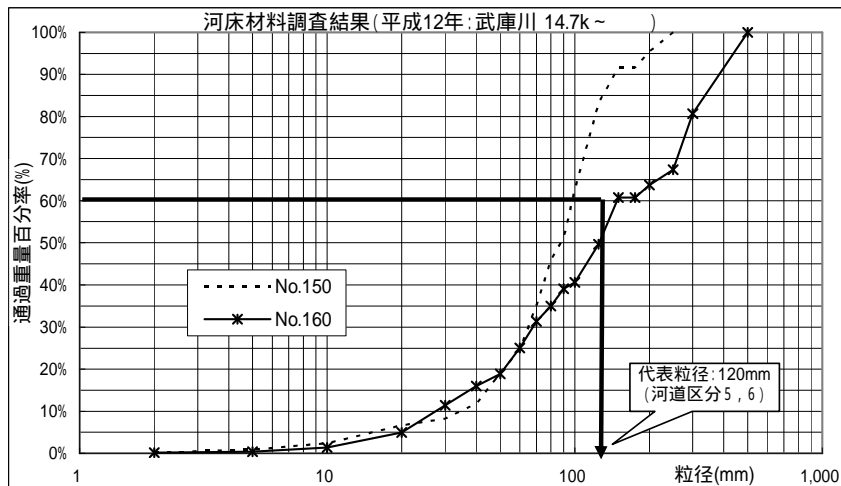
- 1)ポピュレーションブレイク:河床波<sup>2)</sup>の形成にはほとんど寄与しない細かい成分を取り除いて代表粒径<sup>3)</sup>を求めること。具体的には表1.2の方法による。
- 2)河床波:洪水中に川底にできる砂や礫の波のこと。水を流しにくくする(粗度係数を大きくする)働きがある。
- 3)代表粒径:河床波の形成に支配的な粒径。粗度係数の決定根拠となる粒径。

図 1.9(1/2) 代表粒径の設定



< 代表粒径の設定方法 >  
 $d_{60}$ が1cm以下  
 $d_{60}$ を採用する  
 $d_{60}$ が1cm以上  
 A"集団以下の材料が30%以下  $d_{60}$ を採用  
 A"集団以下の材料が30%以上 ポピュレーションブレイクを実施し、AとC集団のみの $d_{60}$ を採用

ポピュレーションブレイクは<sup>1)</sup>不要  
 左図の平均的な代表粒径を採用する



< 代表粒径の設定方法 >  
 $d_{60}$ が1cm以下  
 $d_{60}$ を採用する  
 $d_{60}$ が1cm以上  
 A"集団以下の材料が30%以下  $d_{60}$ を採用  
 A"集団以下の材料が30%以上 ポピュレーションブレイクを実施し、AとC集団のみの $d_{60}$ を採用

ポピュレーションブレイクは<sup>1)</sup>不要  
 左図の平均的な代表粒径を採用する

- 1)ポピュレーションブレイク:河床波<sup>2)</sup>の形成にはほとんど寄与しない細かい成分を取り除いて代表粒径<sup>3)</sup>を求めること。具体的には表1.2の方法による。
- 2)河床波:洪水中に川底にできる砂や礫の波のこと。水を流しにくくする(粗度係数を大きくする)働きがある。
- 3)代表粒径:河床波の形成に支配的な粒径。粗度係数の決定根拠となる粒径。

図 1.9(2/2) 代表粒径の設定

#### 1.4 セグメントの設定

代表粒径並びに平均河床勾配から、河道区分及びセグメント区分を表 1.3 のとおり設定した。

表1.3 セグメント区分および河道区分（武庫川）

	河道区分		セグメント	代表粒径	河床勾配	備考
1	0 ~ 15	河口 ~ 潮止堰	2 - 2	0.6mm	1/2,300	感潮区間 (勾配変化点で分割)
2	15 ~ 25+50		2 - 1	45mm	1/700	
3	25+50 ~ 89	潮止堰 ~ 仁川合流点			1/438	沖積平野
4	89 ~ 147	仁川合流点 ~ 新宝来橋付近	1	80mm	1/299	掘込、急勾配
5	147 ~ 174	新宝来橋付近 ~ 太多田川合流点		120mm	1/200	山間部
6	174 ~ 184	太多田川合流点 ~ 名塩川合流点				山間部（岩多い）

河道区分 1：設定した代表粒径および河床勾配から、セグメント 2-2 と設定した。

河口 ~ 15

河道区分 2 ~ 3：代表粒径からみればセグメント 1，河床勾配からはセグメント 2-1

15 ~ 仁川合流点

と判断できる。一方、低水路の深さは概ね 3m 以上であることから、セグメント 2-1 と設定した。

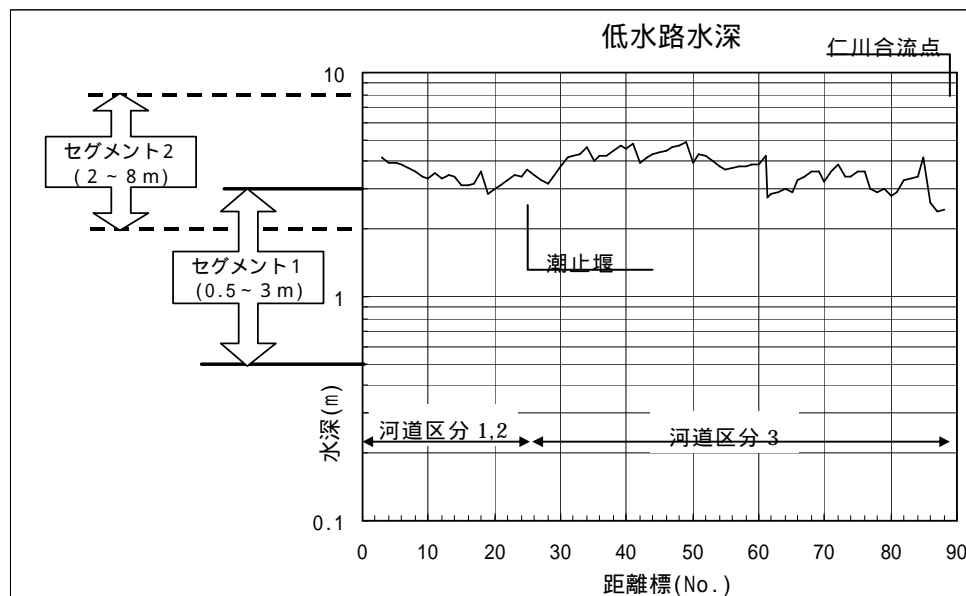


図 1.10 仁川下流区間の低水路水深（低水路肩から平均河床高までの高さ）

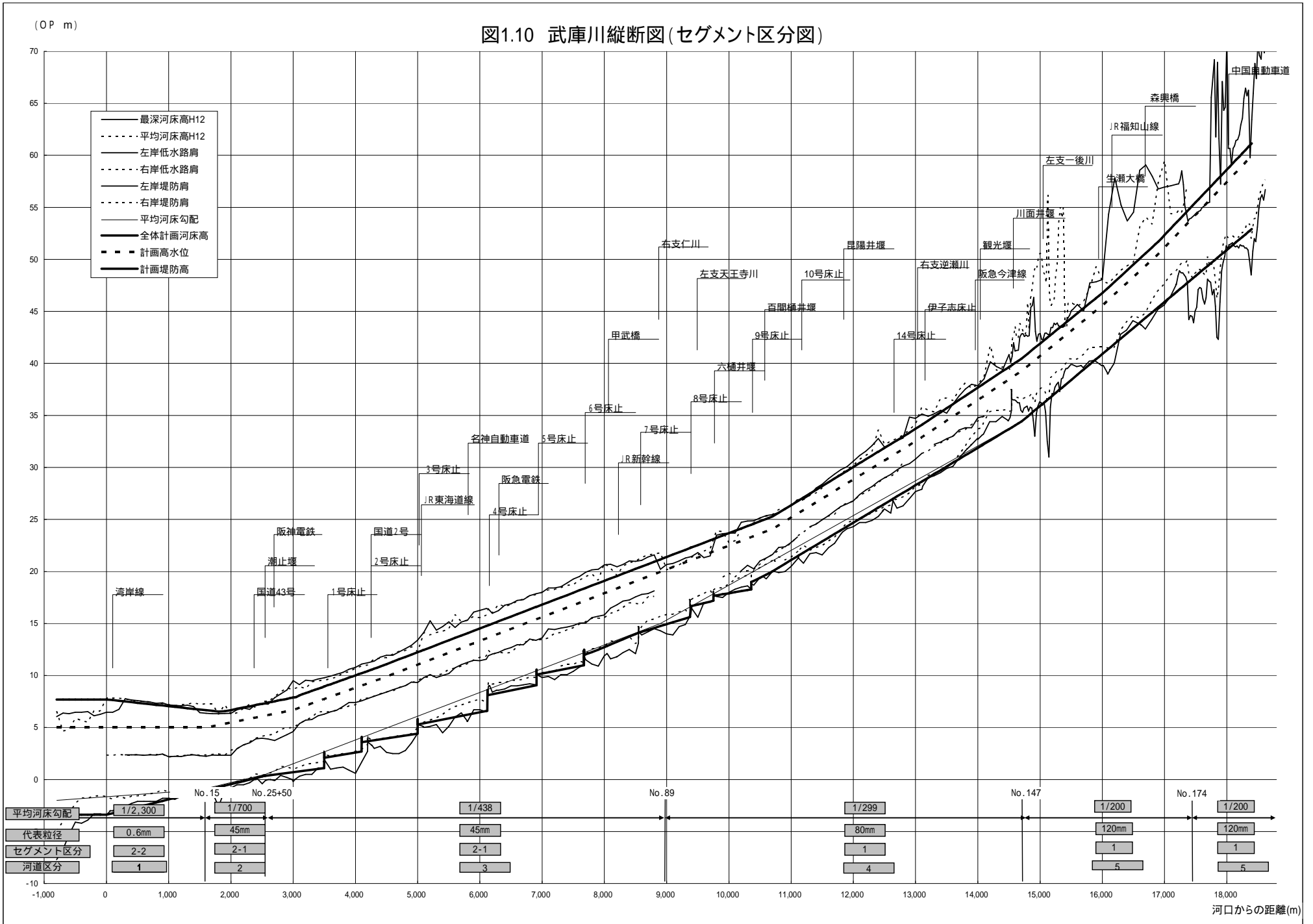
河道区分 4 ~ 5：代表粒径および平均河床勾配から、セグメント 1 と設定した。

仁川合流点 ~ 174

河道区分 6：代表粒径および平均河床勾配から、セグメント 1 と設定した。

174 ~ 名塩川合流点

図1.10 武庫川縦断図(セグメント区分図)





## 2. 不等流計算の出発水位

「河道計画検討の手引き 財団法人国土技術研究センター」(以下、「河道計画検討の手引き」という)に基づいて、河口部の出発水位を設定した。

河口部では、河川水と海水の密度差によって塩水くさびが発生し、洪水時には水面から河床(海底)までを有効断面として考慮することができない場合があることから、淡水と塩水の密度差による影響を考慮する必要がある。この場合の密度差による水位上昇量は、静水圧分布状態での値(河口部の水深の2.5%)を用いた。現況流下能力算定時の出発水位は以下のとおりである。

朔望平均満潮位 : 0P+2.20m

河口部の平均河床高 : 0P-2.00m (No. -8 断面)

朔望平均満潮位 + 密度差 :  $0P+2.20m + (2.20+2.00) \times 2.5\% = 0P+2.305m$

よって、出発水位は、0P+2.31mとした。

## 3. 水位上昇量

「河道計画検討の手引き」によると、洪水時の水位上昇要因としては、以下のものがある。

わん曲による水位上昇量

砂州による水位上昇量

橋脚の堰上げによる水位上昇量

支川合流による水位上昇

これらの水位上昇要因のうち、武庫川では、合流角度が大きく、また水深が本川と同程度の大規模な支川は存在しないことから、支川合流による水位上昇は考慮しないこととした。

### 3.1 わん曲による水位上昇量

武庫川の現況平面図より曲率半径およびわん曲区間の川幅を設定し、以下の要領でわん曲による水位上昇量を算定した。

わん曲による水位上昇量 =  $B \times V^2 / (g \times r_c) \times 1 / 2$

B: 水面幅, V: 断面平均流速, g: 重力加速度,  $r_c$ : 河道の曲率半径

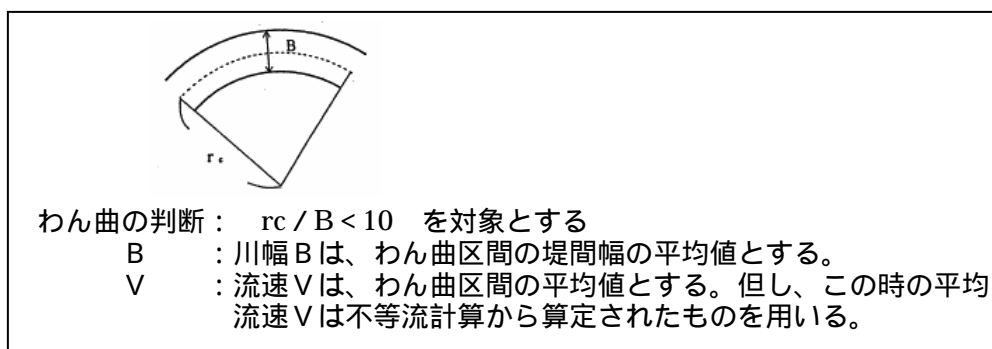


図 3.1 わん曲区間の考え方

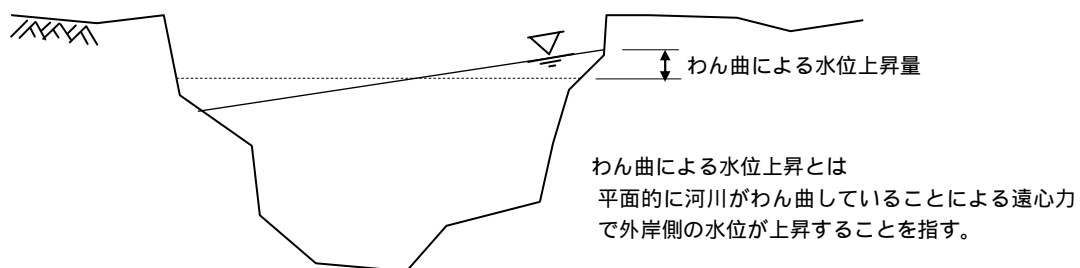


図3.2 わん曲による水位上昇のイメージ図

なお、計算に用いたわん曲の諸元は以下の通りである。

表 3.1 わん曲諸元

区 間	わん曲諸元		備 考
	平均川幅 B(m)	曲率半径 rc(m)	
31 ~ 32	220	450	
39 ~ 42	238	450	
46 ~ 54	241	1,300	
55 ~ 60	252	1,750	
70 ~ 80	260	3,700	rc/B>10 のため考慮しない
110 ~ 117	195	2,500	rc/B>10 のため考慮しない
115 ~ 133	200	2,250	rc/B>10 のため考慮しない
137 ~ 143	152	1,150	
152 ~ 156	99	490	
160 ~ 163	74	300	
166 ~ 168	67	380	
171 ~ 174	107	380	
174.5 ~ 177	67	190	
178.5 ~ 179	38	35	
179.5 ~ 180	80	85	
184	40	115	
186 ~ 186.25	43	450	

### 3.2 砂州による水位上昇量

河床勾配が 1/2,000 よりも急勾配の河道区間（主にセグメント 1 及び 2 の河道）においては、単列または複列砂州等が形成される。このような場合、河道内を流れが蛇行し、直線河道であっても左右岸に水位差が発生することになる。なお、河床勾配が 1/2,000 よりも緩やかな河道区間においても、砂州等による水位上昇が見られることが知られており、その時の水位上昇量は平均水深の 2.5%程度である。

武庫川では、「河道計画検討の手引き」に基づいて、砂州による水位上昇量を以下のとおり設定した。

### 河床勾配 < 1/2,000

- ・水深の2.5%を砂州による水位上昇量として加えた。

### 河床勾配 > 1/2,000

- ・既往洪水の痕跡水位をもとに、直線区間における左右岸の水位差の中から上位3位の平均値の半分を砂州による水位上昇量として加えた。
- ・具体的には、平成16年台風23号洪水において得られた、縦断的に密な痕跡水位データを用いて、砂州による水位上昇量を設定した。武庫川では、床止め、堰の間にほぼ固定した砂州が形成されているため、潮止め堰(No.25+48)から観光堰(No.140)においては、床止め、堰間毎に水位上昇量を設定した(表3.2)。

表3.2 平成16年台風23号洪水痕跡水位データによる砂州による水位上昇量

河道区分	測点名	痕跡水位標高(op.m)		左右岸の差の1/2(m)	平均(m)	備考
		左岸	右岸			
河道区分2	No.16	4.04	3.70	0.17	0.24	
	No.19	4.13	4.76	0.32		
	No.22	4.36	4.81	0.23		
潮止め堰～1号床止め	No.28	5.19	5.53	0.17	0.17	
	No.33	6.61	6.61			
	No.34	6.87	6.53	0.17		
1号床止め～2号床止め	No.37	7.16	7.17		0.03	
	No.38	7.42	7.48	0.03		
2号床止め～3号床止め	No.44	8.89	8.82	0.04	0.04	
	No.45	9.02	9.02			
3号床止め～4号床止め					0.05	上下流区間の平均とする
4号床止め～5号床止め	No.64	13.54	13.34	0.10	0.07	
	No.67	14.05	13.97	0.04		
	No.68	14.16	14.02	0.07		
5号床止め～6号床止め	NO.72	14.47	14.74	0.14	0.06	
	NO.73	14.78	14.83	0.03		
	NO.74	14.87	14.97	0.05		
	NO.75	15.43	15.48	0.03		
6号床止め～7号床止め	No.78	16.02	16.14	0.06	0.11	
	No.79	16.35	16.02	0.17		
	No.84	17.36	17.17	0.09		
7号床止め～8号床止め	No.91	19.52	19.72	0.10	0.08	
	No.92	19.85	19.95	0.05		
8号床止め～六樋井堰	No.96	20.58	20.95	0.18	0.18	
六樋井堰～百間樋井堰	No.99	21.34	21.65	0.15	0.16	
	No.101	21.84	22.18	0.17		
百間樋井堰～昆陽井堰	No.109	24.88	24.68	0.10	0.13	
	No.110	25.19	24.97	0.11		
	No.116	27.23	26.85	0.19		
昆陽井堰～床止め(NO126)	No.120	28.91	28.46	0.23	0.14	
	No.121	29.22	29.01	0.10		
	No.123	29.54	29.73	0.09		
床止め(NO126)～伊子志井堰	No.128	31.78	32.06	0.14	0.14	
伊子志井堰～観光堰	No.133	33.03	33.38	0.17	0.17	
	No.136	34.27	34.59	0.16		
観光堰～NO174(河道区分5)					0.17	下流区間と同じとする
河道区分6					0.17	下流区間と同じとする

### 3.3 橋脚の堰上げによる水位上昇量

表 3.3 に示す橋梁を対象として、「河道計画検討の手引き」に基づき、ドビッソン公式を用いて

橋脚の堰上げによる水位上昇量を考慮した。なお、フルード数が0.6を超える場合については、その影響は上流にほとんど伝わらないことから堰上げを考慮しないものとした。

表 3.3 検討対象橋梁一覧

番号	橋 梁 名	位 置	橋脚総幅員(m)
1	阪神高速(湾岸線)	No.0+65	12.400
2	南武橋	No.18	8.750
3	国道43号	No.23+75	10.000
4	阪神高速(神戸線)	No.24+8.5	12.500
5	阪神電鉄	No.26+39.1	14.000
6	武庫川橋	No.29+83.2	10.000
7	第1阪神線ガス管	No.30+26	14.000
8	武庫川大橋(R2号)	No.42+63.1	25.692
9	J R 東海道本線	No.50+80.7	26.330
10	山手幹線	No.55+82.3	7.500
11	名神高速道路	No.57+95.4	16.100
12	歩道橋	No.61+42.3	13.200
13	上武庫橋	No.61+53.5	28.625
14	阪急電鉄神戸線(下流)	No.62+62.9	10.500
16	阪急電鉄神戸線(上流)	No.62+80.9	10.500
17	甲武橋(R171号)	No.80+47.5	19.700
18	山陽新幹線	No.82+10	18.000
19	武庫川新橋	No.107+42	7.600
20	宝塚新大橋	No.124+72	11.900
21	歩道橋	No.124+83.5	7.000
22	宝塚大橋	No.138+32	8.400
23	阪急電鉄今津線	No.139	9.524
24	新宝来橋	No.145	3.000
25	生瀬水管橋(宝塚市)	No.156+71.7	2.400
26	生瀬大橋	No.158+87	11.400
27	名塩道路	No.160+25	2.500
28	JR福知山線	No.161	3.500
29	水管橋(神戸市)	No.161+36	2.050
30	森興橋	No.166+33	1.700
31	西宝橋	No.171+96.7	6.400
32	中国自動車道	No.180+20	4.500
33	武庫川水管橋(西宮市)	No.182+35	0.000

#### 4. 高水敷粗度係数

高水敷地被状態から見た粗度係数は、繁茂している樹木や植生の高さ、洪水時の植生のたわみ状態に支配されるため、洪水の規模によって変化する。ここでは、現況流下能力の検討を目的としていることから、計画高水位相当の洪水時における高水敷粗度係数を、「河道計画検討の手引き」に基づいて以下のとおり設定した。

- 1) 高水敷植生調査結果（平成 12 年度）から高水敷の植生と草の高さを把握
- 2) 河道区分毎に植生の平均的な草の高さを設定
- 3) 計画高水位に相当する高水敷水深及び水面勾配を算定
- 4) 高水敷水深および水面勾配の区間平均値で摩擦速度を算定

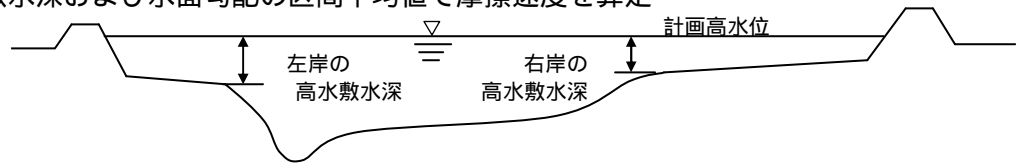


図4.1 高水敷水深のイメージ図

- 5) 高水敷上の植生を柔らかい草と捉え、摩擦速度から洪水時の草の倒伏状態を以下の条件（「河道計画検討の手引き」）によって推定

【柔らかい草が繁茂する場合】

直立状態  $u_* < 7\text{cm/s}$

たわみ状態  $7\text{cm/s} < u_* < 15\text{cm/s}$

倒伏状態  $15\text{cm/s} < u_*$

$u_*$  : 摩擦速度

- 6) 高水敷水深と草の高さの比で、図 4.2 から高水敷粗度係数を設定

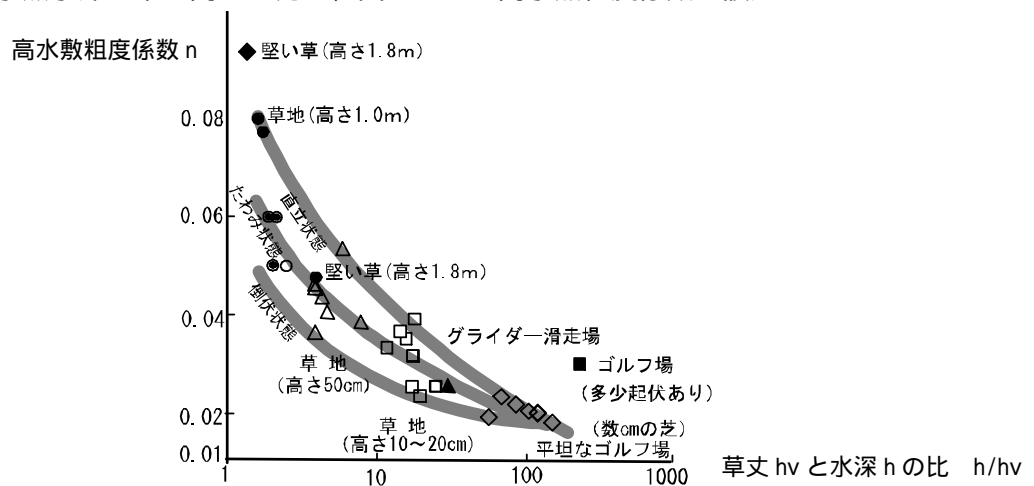


図 4.2 高水敷の植生の状態と水深と粗度係数の関係

出典：河道計画検討の手引き

以上の手順で、高水敷粗度係数を表 4.1 のとおり設定した。

表 4.1 高水敷粗度係数

セグメント	区間	左岸						右岸					
		草平均高 hv(m)	水深 h(m)	h/hv	摩擦速度 u.(cm/s)	草の状態	粗度 係数	草平均高 hv(m)	水深 h(m)	h/hv	摩擦速度 u.(cm/s)	草の状態	粗度 係数
2-2	No. -8 ~ No.15	0.05	2.67	49.42	17	倒伏状態	0.020	0.05	2.66	53.10	17	倒伏状態	0.020
2-1	No. 15 ~ No.25+50	0.15	2.48	16.51	17	倒伏状態	0.024	0.15	2.37	15.81	17	倒伏状態	0.024
	No. 25+50 ~ No.89	0.05	1.78	35.59	19	倒伏状態	0.021	0.05	1.74	34.73	19	倒伏状態	0.021
1	No. 89 ~ No.147	0.10	2.22	22.17	27	倒伏状態	0.022	0.10	2.29	22.91	27	倒伏状態	0.022
	No.147 ~		2.12		33		単断面		1.97		32		単断面

## 5 . 低水路粗度係数

一般に、河床が砂礫で構成されている河川では、洪水中、河床の土砂移動が活発になり、河床波が形成される。このため、低水路粗度係数は、河床材料と河床波の形成状況から決定され、またその値は洪水の規模によって異なることが知られている。よって、低水路粗度係数を設定するためには、計画高水位相当の洪水時における河床波の形成状況を推定する必要がある。ここでは、「河道計画検討の手引き」に基づいて、全体計画流量<sup>1)</sup>を対象とした準二次元不等流計算を行い、その時の水理量および代表粒径から河道区分毎に低水路粗度係数を設定した。

### 5.1 セグメント 2 - 2 (河口 ~ No.15 : 河道区分1)

「河道計画検討の手引き」に準拠し、セグメント 2-2 における低水路粗度係数を図 5.1 に基づいて設定した。武庫川では、当該区間の代表粒径は 0.6mm であり、全体計画流量時の無次元掃流力  $*$  は 2 以上あることから、粗度係数は 0.022 である。

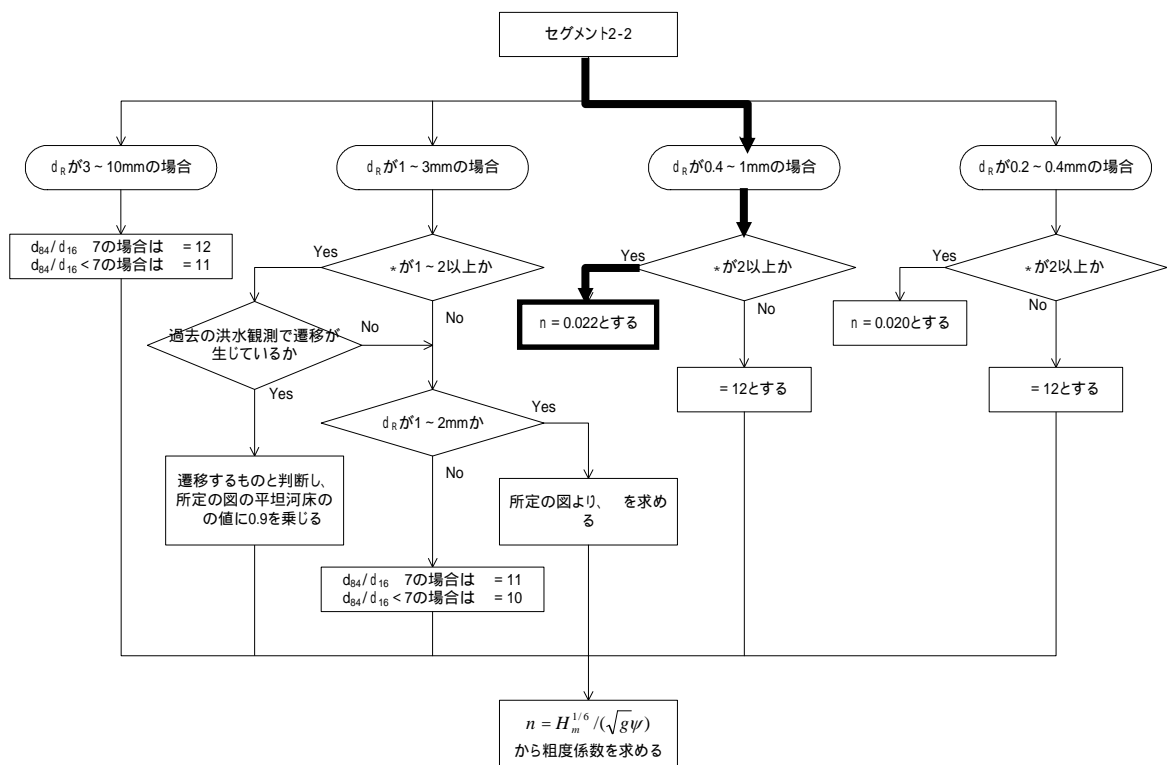


図 5.1 粗度係数設定フロー (セグメント 2-2)

表 5.1 全体計画流量時の水理量および低水路粗度係数(セグメント 2 - 2)

	平均水深 (m)	エネルギー勾配 1/Ie	摩擦速度 u* (m/s)	代表粒径 d <sub>R</sub> (mm)	水深粒径比 H/d	無次元掃流力 *	流速係数 1	流速係数 2	低水路粗度係数	備考
2-2	-8 ~ 15	4.07	1,644	0.60	6775	3.4498	-	-	<b>0.022</b>	*>2 n=0.022

**太字**: 採用する粗度係数

<sup>1)</sup> 現在の武庫川下流部の河道改修は全体計画に基づいて実施されており、全体計画における計画流量 (全体計画流量) は、甲武橋地点で 2,500m<sup>3</sup>/s である。

5.2 セグメント 2 - 1 (No.15 ~ No.89 : 河道区分2、河道区分3)

「河道計画検討の手引き」に準拠し、セグメント 2-1 における低水路粗度係数を図 5.2 及び図 5.3 に基づいて設定した。

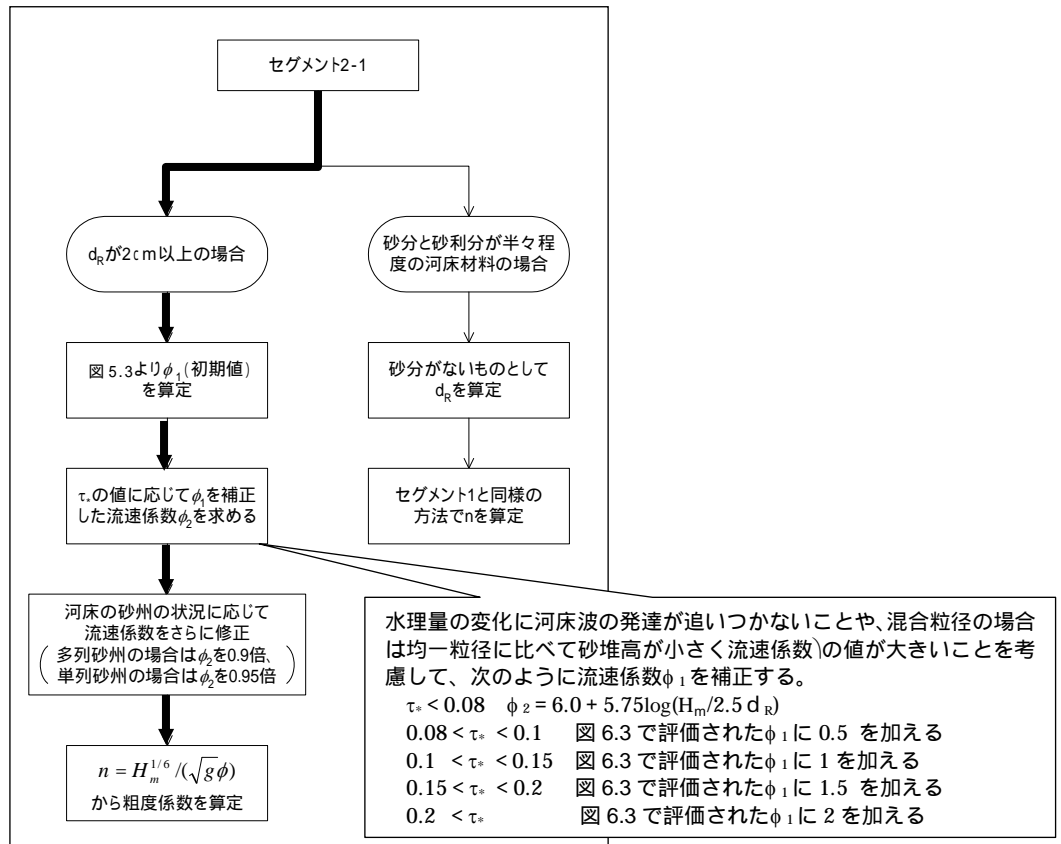


図 5.2 粗度係数設定フロー (セグメント 2-1)

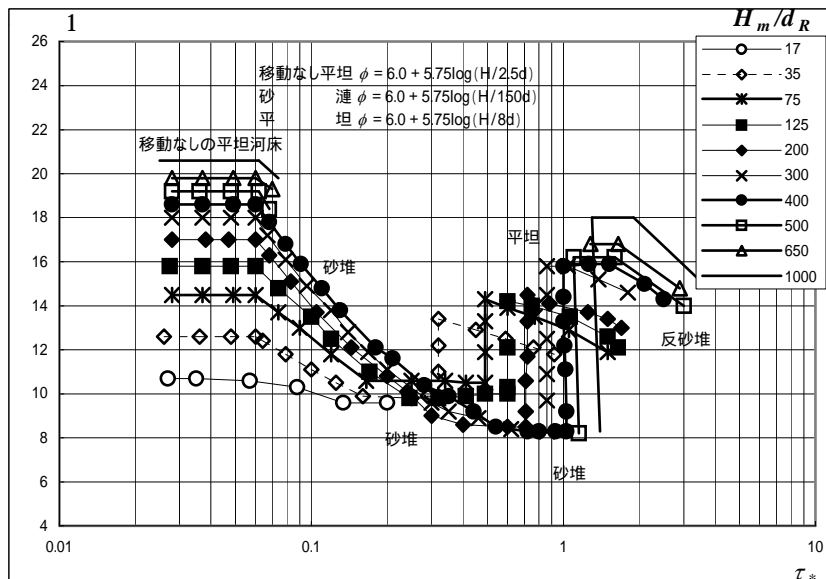


図 5.3 \*と 1 の関係 (d が 0.4cm 以上)



セグメント 2-1 の区間の代表粒径は  $d_R = 45\text{mm}$  であるため、フローの左側を採用した。全体計画流量時の無次元掃流力  $*$  および水深粒径比  $H/d_R$  より  $\beta_1$  (初期値) および  $\beta_1$  を補正した  $\beta_2$  を求め、さらに当該区間は単列砂州が形成されていることから、得られた  $\beta_2$  を 0.95 倍した。この結果、低水路粗度係数を表 5.2 のとおり設定した。

表 5.2 水理量および低水路粗度係数(セグメント 2 - 1)

河道区間	平均水深 (m)	I補正 - 勾配 1/ I e	摩擦速度 $u_*$ (m/s)	代表粒径 $d_R$ (mm)	水深粒径比 $H/d$	無次元掃流力 $*$	流速係数 1	流速係数 2	低水路粗度係数	備考 (流速係数の補正)	
2-1	15 ~ 25.5	4.90	654	0.273	45	109	0.1027	13.12	13.42	<b>0.031</b>	(1+1.0)*0.95
	25.5 ~ 89	4.53	507	0.310	45	101	0.1360	11.73	12.10	<b>0.034</b>	(1+1.0)*0.95

太字: 採用する粗度係数

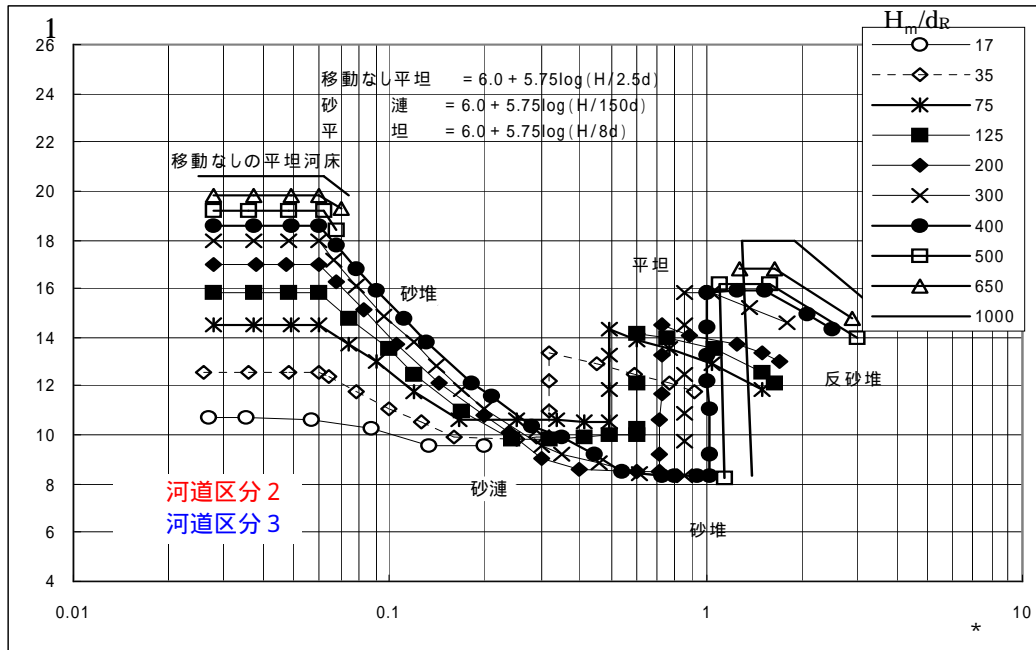


図 5.4 \* と  $H/d_R$  の関係

### 5.3 セグメント 1 (No. 89 ~ No. 184 : 河道区分4、河道区分5、河道区分6)

「河道計画検討の手引き」に準拠し、セグメント 1 における低水路粗度係数を図 5.5 及び図 5.6 に基づいて設定した。

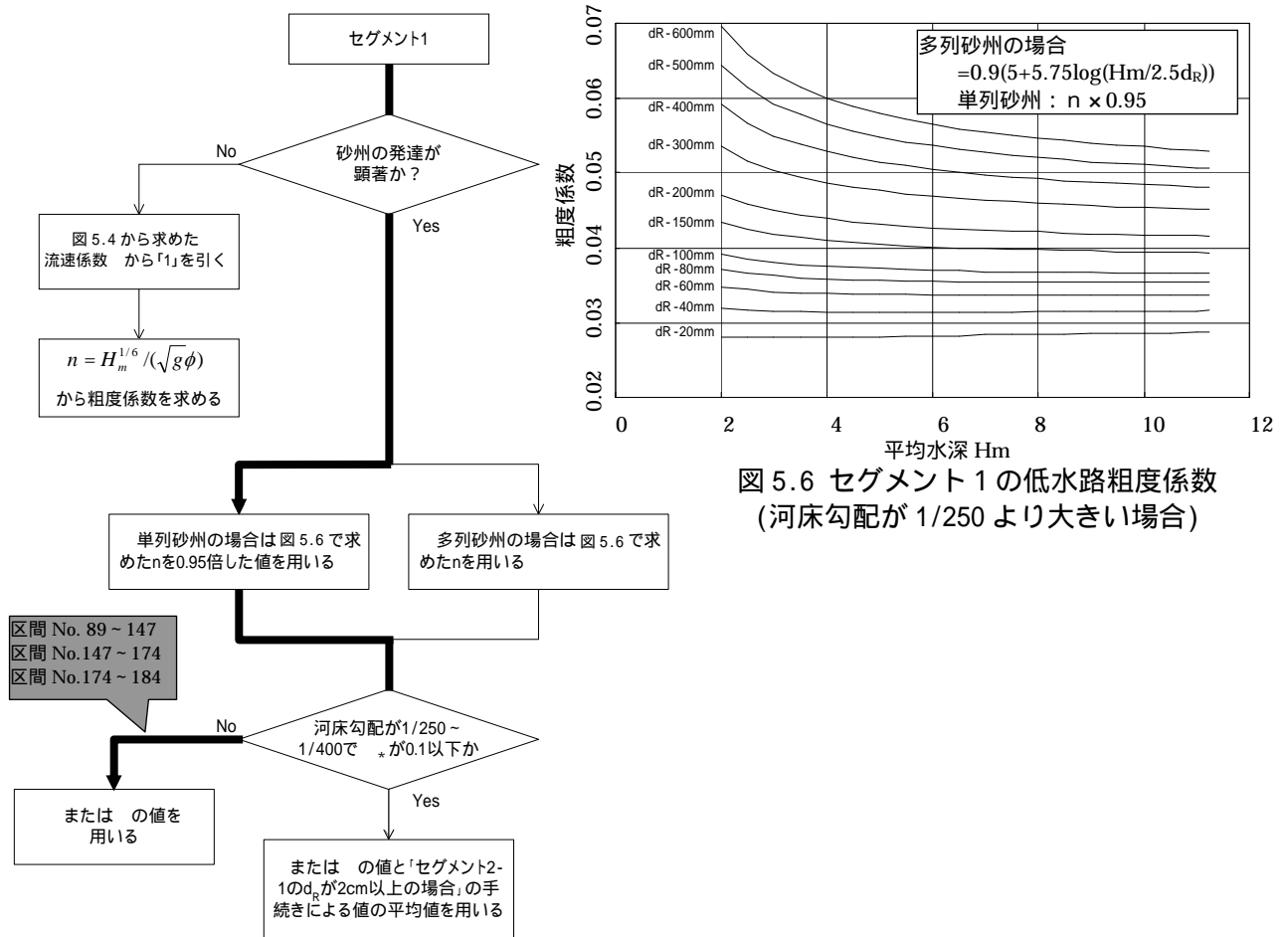


図 5.5 粗度係数設定フロー (セグメント 1)

当該区間には単列砂州が形成されており、図 5.6 に示す粗度係数と平均水深の関係図から得られる粗度係数  $n$  を 0.95 倍し、低水路粗度係数を表 5.3 のとおり設定した。

なお、最上流区間 (No. 174 ~ 186) では岩が露出しており、上記の考え方を適用できないことから、別途検討した準二次元不等流計算による逆算粗度係数 ( $n = 0.037$ )<sup>1)</sup> を採用した。

表 5.3 全体計画流量時の水量および低水路粗度係数 (セグメント 1 手法)

河道区間		平均水深 (m)	E 補正勾配 $1/I_e$	摩擦速度 $u_*$ (m/s)	代表粒径 $d_R$ (mm)	水深粒径比 $H/d$	無次元掃流力 *	低水路粗度係数 $n$	$n \times 0.95$ (単列砂州)	備考
1	89 ~ 147	3.76	317	0.365	80	47	0.1065	0.036	<b>0.034</b>	
	147 ~ 174	5.06	250	0.452	120	42	0.1084	0.039	<b>0.037</b>	

太字: 採用する粗度係数

1) 逆粗度係数については、「参考 2 低水路の逆粗度係数と推定粗度係数について」参照

#### 5.4 採用する粗度係数

以上の結果から、現況流下能力算定時の粗度係数を取りまとめると、表 5.5 のとおりである。

表 5.5 現況流下能力算定時の低水路粗度係数

セグメント	区 間	採用する粗度係数		
		左岸高水敷	低水路	右岸高水敷
2-2	-8 ~ 15	0.020	0.022	0.020
2-1	15 ~ 25+50	0.024	0.031	0.024
	25+50 ~ 89	0.021	0.034	0.021
1	89 ~ 147	0.022	0.034	0.022
	147 ~ 174	-	0.037	-
	174 ~ 184	-	0.037	-

## 6．流下能力の算定

これまでで整理した計算条件を用いて現況流下能力を算定した（図 6.1）。

河積不足により、全川的に流下能力が不足している。なお、基準地点甲武橋下流の築堤区間において、最も流下能力が不足する箇所は、河口から 3.1km の阪神電鉄橋梁付近で、計画高水流量に対して約 1,400m<sup>3</sup>/s 流下能力が不足している。

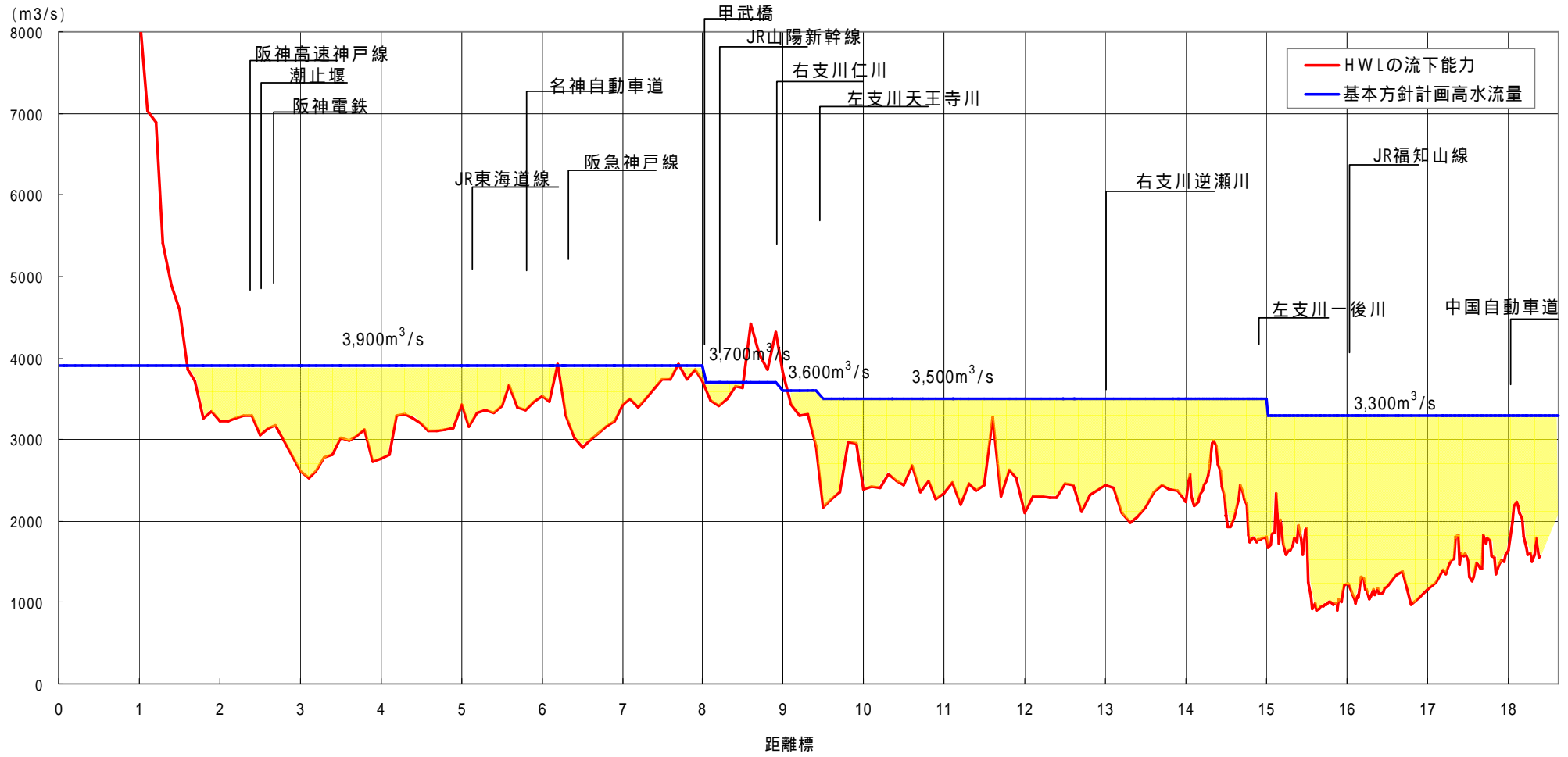


図 6.1 現況流下能力図

【参考1】仁川合流点より下流における代表粒径の設定の妥当性について

河道計画における代表粒径は、平成12年の河床材料調査（表層試料）を用いて設定した。その後、平成16年及び平成18年に新たに河床材料調査を行った結果、平成12年調査結果をもとに設定した代表粒径が適切であることを以下の通り確認した。

1. 平成12年の表層の調査資料をもとに代表粒径を設定したことについて

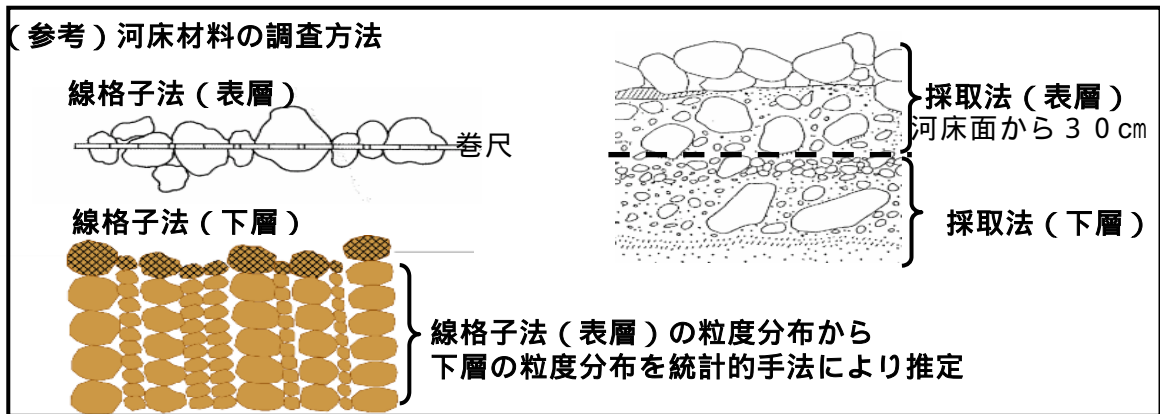
河床から30cm下の代表粒径は何れの調査年においても4.5mmであり、現在計画に用いている代表粒径と同じである。

表1 潮止堰～仁川合流点（河道区分3）の代表粒径

調査方法・内容		H12年調査	H16年調査	H18年調査	備考
線格子法	表層	4.5mm	5.0mm	4.0mm	H12年調査の4.5mmを計画値として採用。
	下層	3.0mm	3.0mm	2.5mm	
採取法	表層	5.5mm (2.5mm)	5.0mm (2.5mm)	-	*7～8kmのデータをポピュレーションブレイクして設定。 (4～6kmは異常値扱い)
	下層	4.5mm (1.5mm)	4.5mm* (4～6km 5mm) (7～8km 2.0mm)	4.5mm (2.0mm)	

採取法の（ ）内の粒径は、ポピュレーションブレイク<sup>1)</sup>実施前の代表粒径。

- 1)ポピュレーションブレイク：河床波<sup>2)</sup>の形成にはほとんど寄与しない細かい成分を取り除いて代表粒径<sup>3)</sup>を求めること。
- 2)河床波：洪水中に川底にできる砂や礫の波のこと。水を流しにくくする（粗度係数を大きくする）働きがある。
- 3)代表粒径：河床波の形成に支配的な粒径。粗度係数の決定根拠となる粒径。
- 4)その他  
5mm以下の粒径成分は、計画高水位相当の洪水時においては、No.15より上流では全川の浮遊するものと考えられる（図4）。



## 2 . 平成 16 年調査の異常値扱いについて

- ・平成 16 年調査の 4km ~ 6km では、川底から 30cm 下において代表粒径が約 5mm という結果が得られた。
- ・平成 18 年に 3km、4km、6km、8km 地点で採取法(下層)の調査を実施したところ、代表粒径は 45mm であり、平成 12 年調査結果と同値であることから、代表粒径 45mm が妥当であり、平成 16 年調査の 4km ~ 6km 下層の調査結果が出水の影響を受けた異常値であると判断した。

## 3 . 1.5km ~ 潮止堰 (河道区分 2) の粒径設定について

- ・平成 18 年度に潮止堰付近で河床材料調査を実施した結果、潮止堰下流の最大粒径は 162mm、45mm 以上の粒径は最大で約 10% 存在しており、洪水時には潮止堰より上流の粗い粒径が、潮止堰下流に供給されていることが確認できた。
- ・1.5km ~ 潮止堰の区間 (河道区分 2) は、勾配が急な沖積河川(勾配 1/450)と河口部(勾配 1/2,300)の遷移区間であり、洪水中に上流から供給される砂礫と、洪水後期や非洪水時に堆積する細かい成分とが混在する領域である。よって代表粒径は、上流の代表粒径 45mm を適用するのが妥当であると判断した。

表2 代表粒径一覧表（既往調査結果一覧）

採取法における（ ）内の粒径・・・ポピュレーションブレイク実施前の粒度分布からもとめた代表粒径。  
太字は計画採用値。

平成12年調査	調査方法		河道区分2 (1.5km~2.5km+50m)		河道区分3 (2.5km+50m~8.9km)					代表粒径	
			2km*	2.5km	3km	4km	5km	6km	7km	8km	河道区分2
	線格子法	表層	-	-	-	<b>42.1mm</b>	<b>25.2mm</b>	<b>41.2mm</b>	<b>55.2mm</b>	<b>63.0mm</b>	<b>45mm</b>
下層		-	-	-	27.9mm	12.4mm	24.8mm	36.1mm	42.6mm	30mm	
採取法	表層	ポピュレーションブレイクなし 左岸：(1.8mm) 中央：(0.5mm) 右岸：(3.2mm)	-	-	43.1mm (22.1mm)	-	-	-	62.8mm (26.1mm)	55mm (25mm)	
	下層	ポピュレーションブレイクなし 左岸：(10.0mm)	-	-	40.5mm (12.0mm)	-	-	-	45.5mm (16.4mm)	45mm (15mm)	

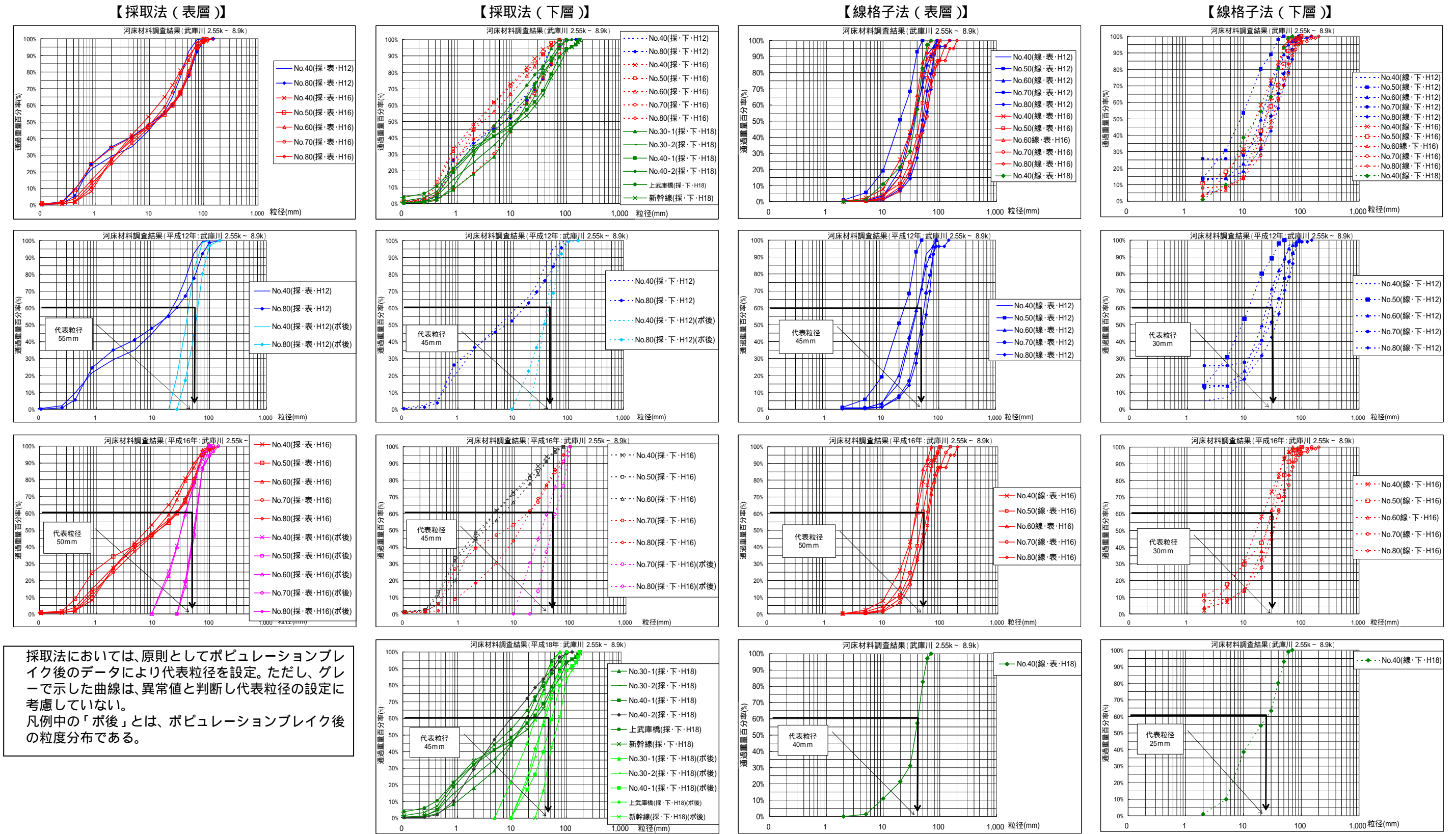
\*1)河道区分2の代表粒径について・・・粒径のバラツキが大きいため、次の理由から、安全側を考え上流の河道区分3の代表粒径を計画値として採用。  
洪水時には上流（河道区分3）からの粒径が流れてくる、洪水時には細かい成分は浮遊し河床は礫成分が支配的になる、将来的には土砂供給の減少が予想される。

平成16年調査	調査方法		河道区分2 (1.5km~2.5km+50m)		河道区分3 (2.5km+50m~8.9km)					代表粒径	
			2km	2.5km	3km	4km	5km	6km	7km	8km	河道区分2
	線格子法	表層	-	-	-	39.7mm	49.4mm	37.7mm	63.9mm	59.2mm	50mm
下層		-	-	-	21.1mm	32.0mm	29.0mm	38.7mm	38.9mm	30mm	
採取法	表層	-	-	-	38.3mm (14.3mm)	60.1mm (27.0mm)	37.1mm (20.0mm)	60.8mm (27.0mm)	58.5mm (25.0mm)	50mm (25mm)	
	下層	-	-	-	ポピュレーションブレイクなし (4.3mm)	ポピュレーションブレイクなし (4.3mm)	ポピュレーションブレイクなし (6.3mm)	53.5mm (16.7mm)	38.1mm (18.3mm)	45mm (4~6km:5mm) (7~8km:20mm)	

平成18年調査	調査方法		河道区分2 (1.5km~2.5km+50m)		河道区分3 (2.5km+50m~8.9km)					代表粒径	
			2km	2.5km	3km	4km	5km	6km	7km	8km	河道区分2
	線格子法	表層	-	-	-	41.4mm	-	-	-	-	-
下層		-	-	-	26.2mm	-	-	-	-	-	25mm
採取法	表層	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	下層	-	ポピュレーションブレイクなし 堰下流1：(7.8mm) 堰下流2：(2.3mm) 堰下流3：(1.6mm) 堰上流：(2.2mm)	地点1：26.7mm (18.5mm) 地点2：39.1mm (21.5mm)	地点1：53.7mm (23.5mm) 地点2：ポピュレーションブレイクなし (9.4mm)	-	41.4mm (14.5mm)	-	73.7mm (28.0mm)	(5mm)	45mm (20mm)



河床材料調査結果（河道区分3：潮止堰～仁川合流点）



採取法においては、原則としてポピュレーションブレイク後のデータにより代表粒径を設定。ただし、グレーで示した曲線は、異常値と判断し代表粒径の設定に考慮していない。  
凡例中の「ボ後」とは、ポピュレーションブレイク後の粒度分布である。

図1 粒径加積曲線（H12、H16、H18 調査、河道区分3：潮止堰～仁川合流点）

河床材料調査結果（河道区分2：No.15～潮止堰）

45mm以上の粒径が最大で10%程度存在する。

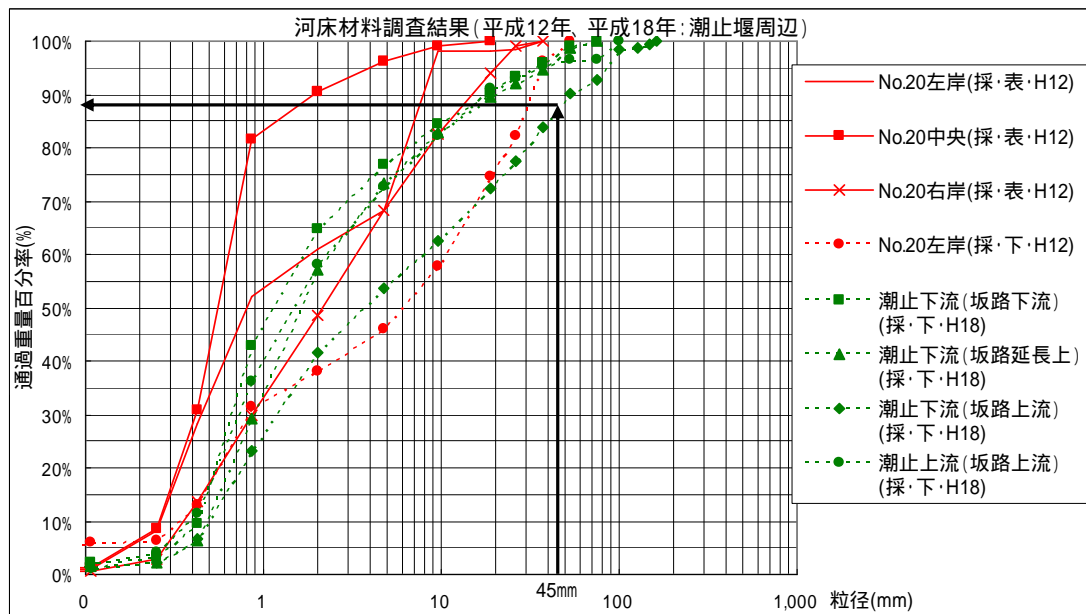
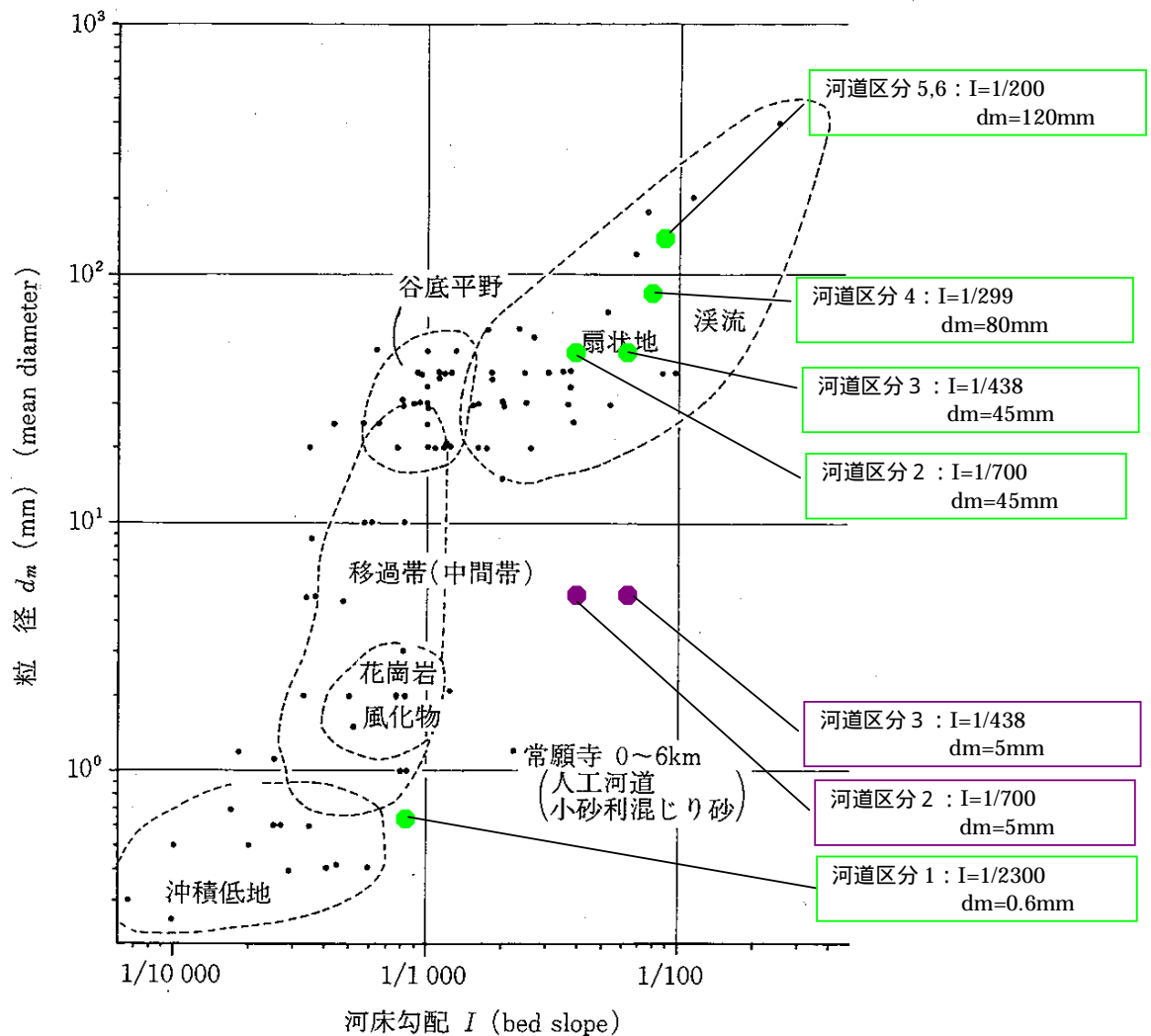


図2 河道区分2の河床材料調査結果

# 全国の沖積河川の河床勾配と代表粒径関係図



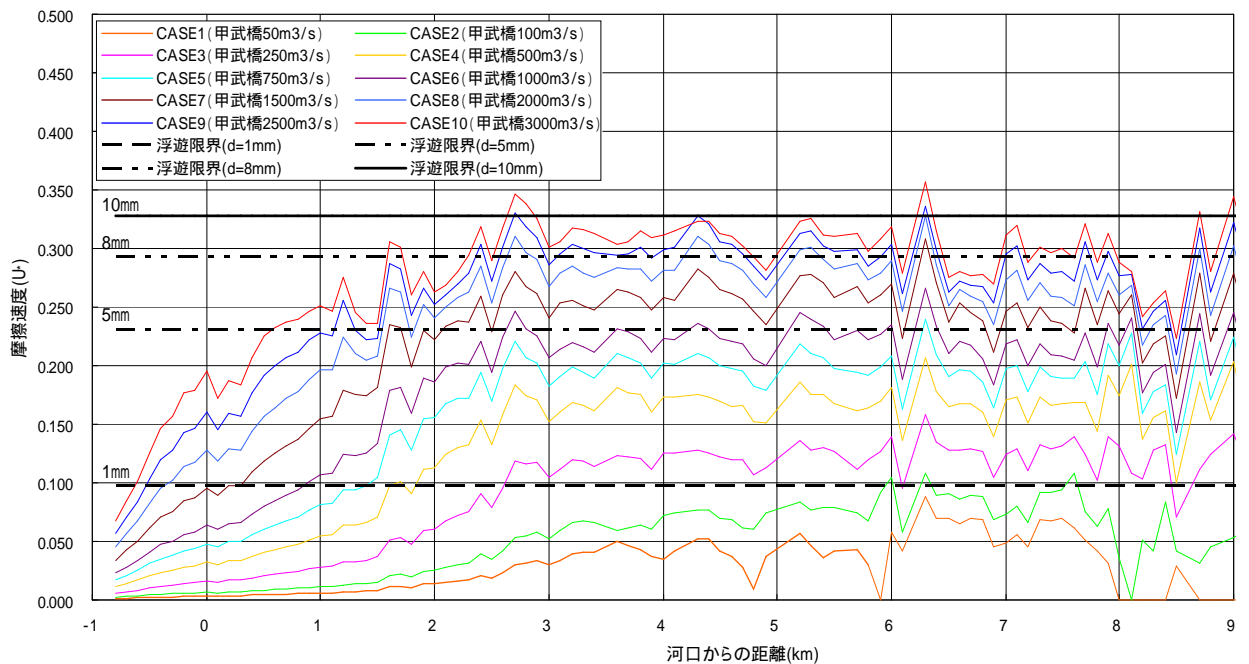
【出典：沖積河川学 堆積環境の視点から 山本晃一著 P21 図2.3】

- 凡例
- H12 調査 (代表粒径)
  - H16 調査 (No.40 ~ No.60 のデータより設定)

図3 全国の沖積河川の河床勾配と代表粒径関係図

### 流量規模毎の粒径別浮遊限界の検討

- ・不等流計算により、流量規模別の摩擦速度から各粒径の浮遊限界を検討した。浮遊限界は、Rubey の式を用いた。
- ・5mm 程度の粒径は、平成 16 年台風 23 号洪水の規模では河口から 1.5km より上流においては全川の的に浮遊するものと考えられることから、5mm 程度の粒径成分が河床波の形成（粗度係数）には大きく寄与しないものと考えられる。



各ケースの流量規模の摩擦速度の値がある粒径の浮遊限界より大きい場合には、その粒径成分は流水中に浮遊すると判断する。

図 4 各粒径の浮遊限界

## 【参考2】低水路の逆算粗度係数と推定粗度係数について

### 1. 低水路粗度係数の設定方法の概要

#### (1) 逆算粗度係数

実績流量が流下した条件の水位計算において、洪水時の河道の水位（観測水位、痕跡水位）を再現するよう試行錯誤的に求められた粗度係数を逆算粗度係数とよぶ。逆算粗度係数を治水計画に用いる場合には、逆算に用いた洪水の規模が計画流量と同等であると同時に、観測の精度が良く十分な数のデータ蓄積と粗度係数の逆算検討が行われていることが前提となる。

#### (2) 推定粗度係数

河床材料の代表粒径を用い、所定の流量流下時（粗度係数の逆算時は既往洪水の流量、計画時は計画高水流量）の水理量から河床波の形成状況を想定して設定する粗度係数を推定粗度係数とよぶ。なお、河床が砂礫で構成されている河川の場合、河床波の形成状況は流量規模により異なるため、流量規模が変化すると粗度係数も変化する。

#### (3) 計画流量規模対応の粗度係数の設定フロー

流量規模に応じて粗度係数に変化するが、計画流量に匹敵する大規模出水を経験していない場合、計画流量規模に対応する粗度係数を何らかの方法で推定する必要がある。推定の方法は、図1のフロー（「河道計画検討の手引き」）に従う。

表1 流量規模別の逆算粗度係数と推定粗度係数

	逆算粗度係数	推定粗度係数
実績流量規模	試行錯誤的に算定	想定する水理条件下において、河床材料用いて粗度係数を推定する
計画流量規模	不明 (計画流量規模が実績で発生している場合にのみ算定可能)	想定する水理条件下において、河床材料用いて粗度係数を推定する

表2 武庫川の既往洪水の流量

洪水	甲武橋地点流量 (H~Q換算流量)
H10.10.18	1,267 m <sup>3</sup> /s
H11. 6.30	2,101 m <sup>3</sup> /s
H12.11. 2	820 m <sup>3</sup> /s
H16.10.20	2,900 m <sup>3</sup> /s
河川整備基本方針 計画高水流量	3,700 m <sup>3</sup> /s

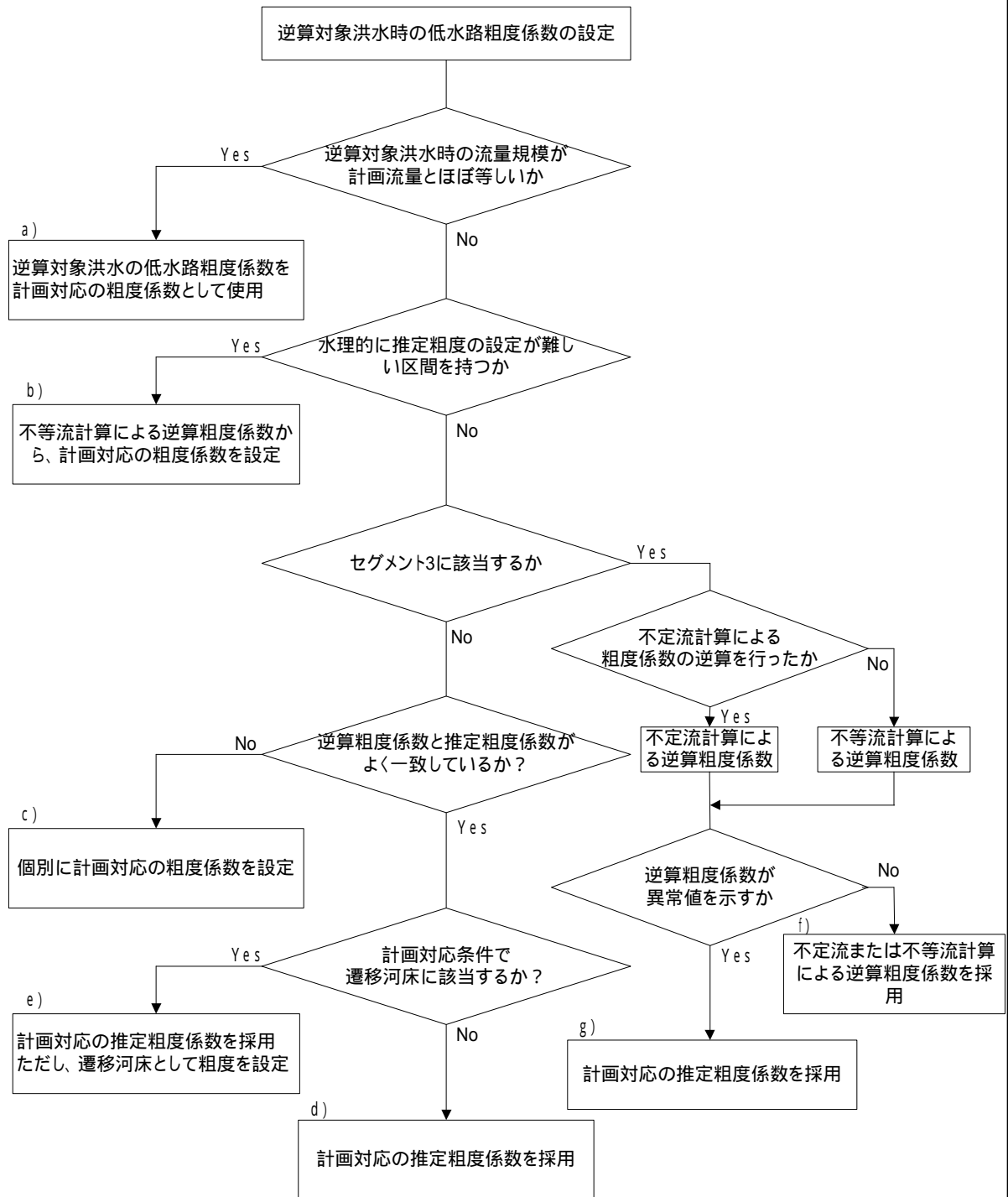


図1 計画対応の粗度係数の設定フロー

(出典：河道計画検討の手引き 財団法人国土技術研究センター編)

## 2. 武庫川の低水路粗度係数

### (1) 逆算粗度係数と推定粗度係数のズレ率

推定粗度係数の適用するにあたっては、既往洪水からもとめた逆算粗度係数と、既往洪水流量流下時の水理量から推定した推定粗度係数がよく一致しているかを確認する必要がある。「逆算粗度係数と推定粗度係数がよく一致している」判断の指標にズレ率が用いられる。ズレ率(%) = (推定粗度 - 逆算粗度) / 推定粗度 × 100 で定義し、ズレ率が ±15%以内であれば、図1で逆算粗度と推定粗度がよく一致していると判断し、計画流量対応の粗度として推定粗度係数を採用する。

### (2) 平成16年台風23号洪水におけるズレ率

平成16年台風23号洪水においては、逆算粗度係数が推定粗度係数よりも小さく、ズレ率が高い。この場合、図1のフローに基づき、「個別に計画対応の粗度係数を設定」することになる。なお、逆算粗度係数を用いた場合と推定粗度を用いた場合では、現況流下能力が大きく異なる(図3)。

表3 台風23号時の推定粗度係数と逆算粗度係数のズレ率

セグメント	区間	低水路粗度係数		
		推定粗度*1	23号粗度 (逆算粗度)*2	ズレ率 (%)
2-2	No. -8 ~ No. 15	0.022	0.022	0
2-1	No. 15 ~ No. 25+50	0.032	0.021	34
2-1	No. 25+50 ~ No. 89	0.034	0.023	32
1	No. 89 ~ No. 147	0.032	0.025	22
1	No. 147 ~ No. 174	0.036	0.035	3
1	No. 174 ~ No. 184	0.037	0.037	0

\*1 台風23号流量流下時の推定粗度係数

\*2 台風23号痕跡水位を概ね再現する粗度係数

## 3. 推定粗度係数と逆算粗度係数の差に対する考え方

以下の理由により、推定粗度係数を計画に用いることとした。

- 平成16年台風23号では既往洪水の水位と流量の相関式から2,900m<sup>3</sup>/sが流れたと推定しているが、洪水時には洪水流により河床変動が生じている可能性もあり、流下能力は河床変動の影響を強く受けることから、台風23号と同規模の洪水が発生した際に、同じように河床変動が生じ、いつもこの流量が流れるという保証はない。
- また、流下能力の算定要素の1つである粗度係数については、河床が砂礫で構成されている河川の場合、洪水の規模によって、その値が異なることが知られている。したがって、過去に計画規模の洪水を経験していない河川では、粗度係数を河床の代表粒径や水深、掃流力等の関係から推定し、これを用いて流下能力を算定することが一般的である。
- 台風23号時の推定流量(2,900m<sup>3</sup>/s)から逆算した粗度係数については、たった1回だけの、かつ計画高水位よりもかなり低い水位での洪水データによるものであることから、これだけ

- のデータを用いて計画高水位における流下能力を算定することは適切ではない。
- ・なお、逆算した粗度係数を治水計画に用いる場合には、逆算に用いた洪水の規模が計画流量と同等であると同時に、観測の精度が良く十分な数のデータ蓄積と粗度係数の逆算検討が行われていることが前提とされている。
  - ・以上のことから、安全の確保を基本とする治水計画における流下能力については、推定粗度によって算定した流下能力が妥当であると判断した。



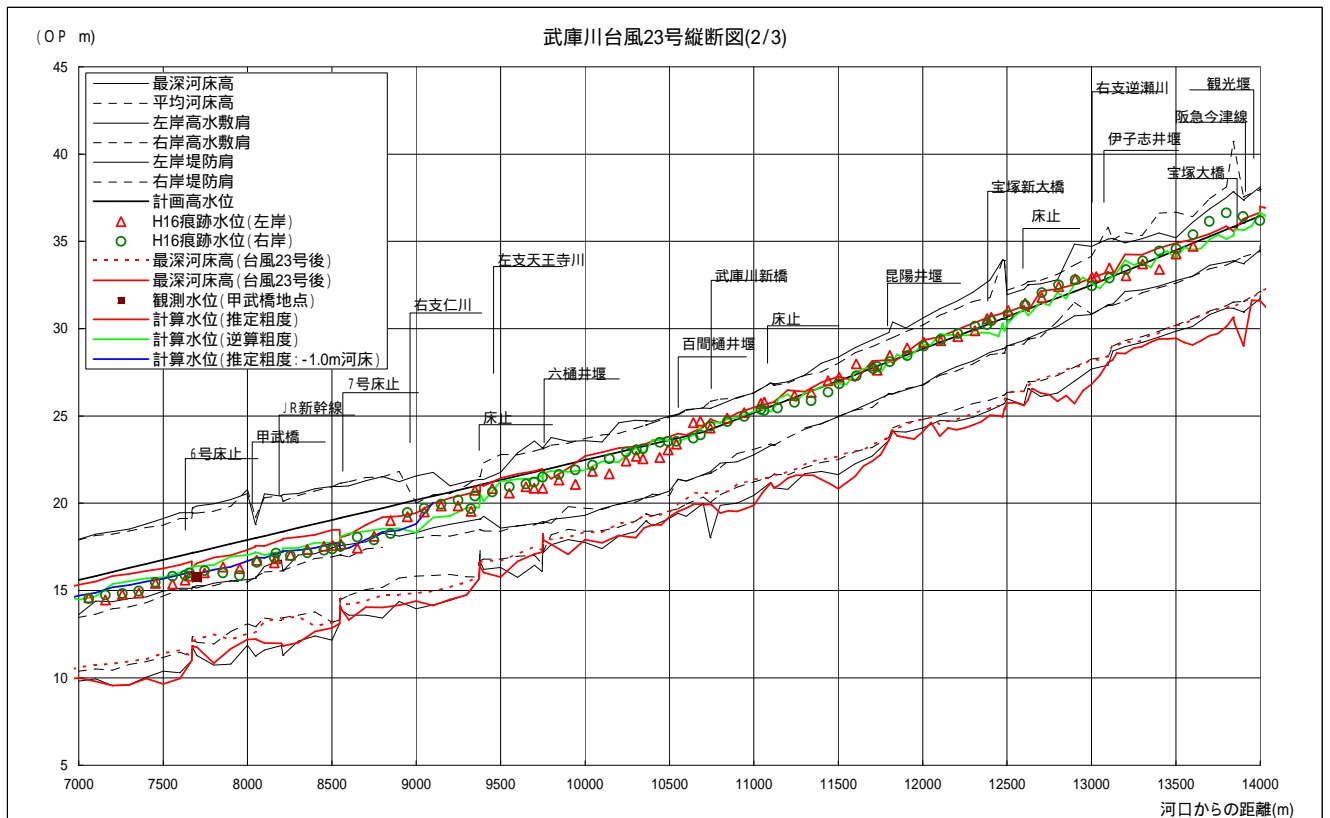
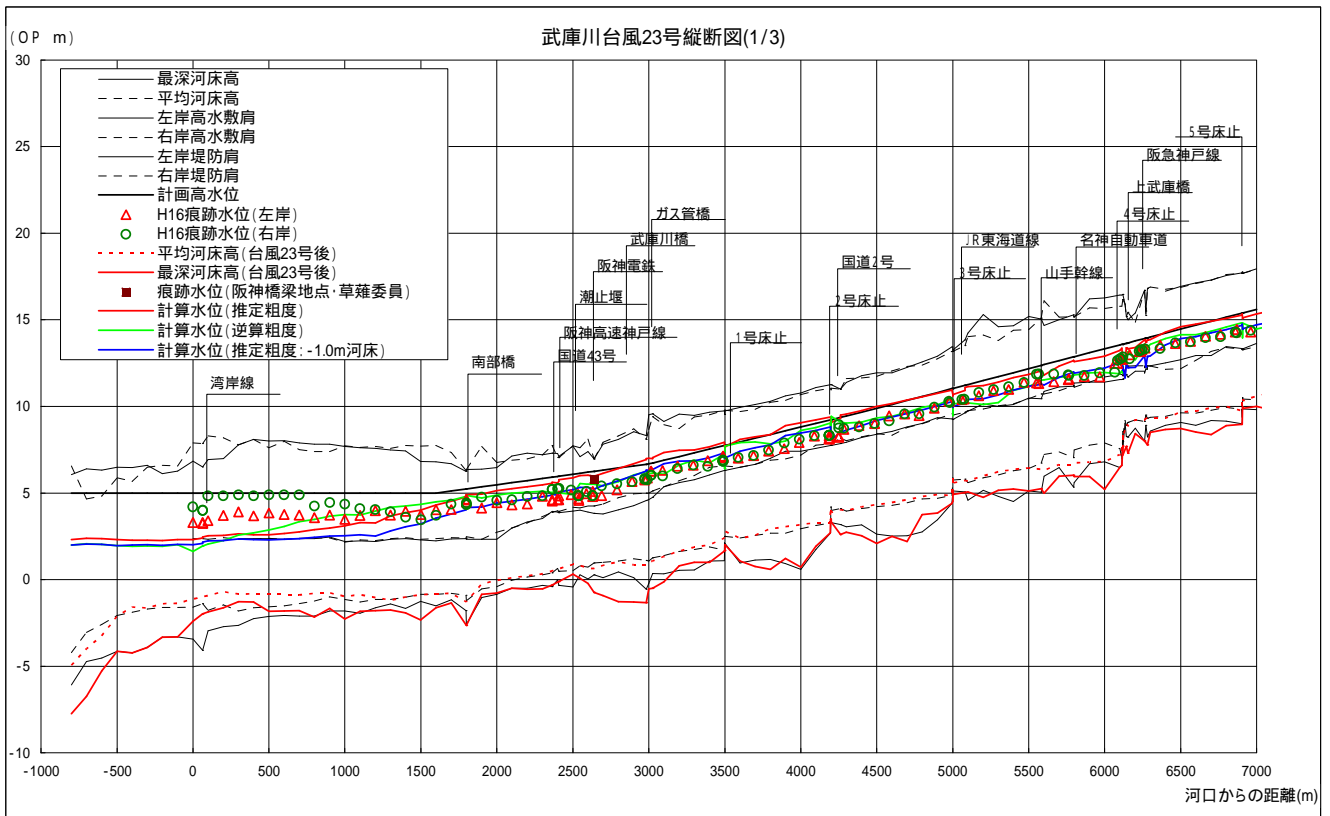


図 2 (1) 水位縦断面図

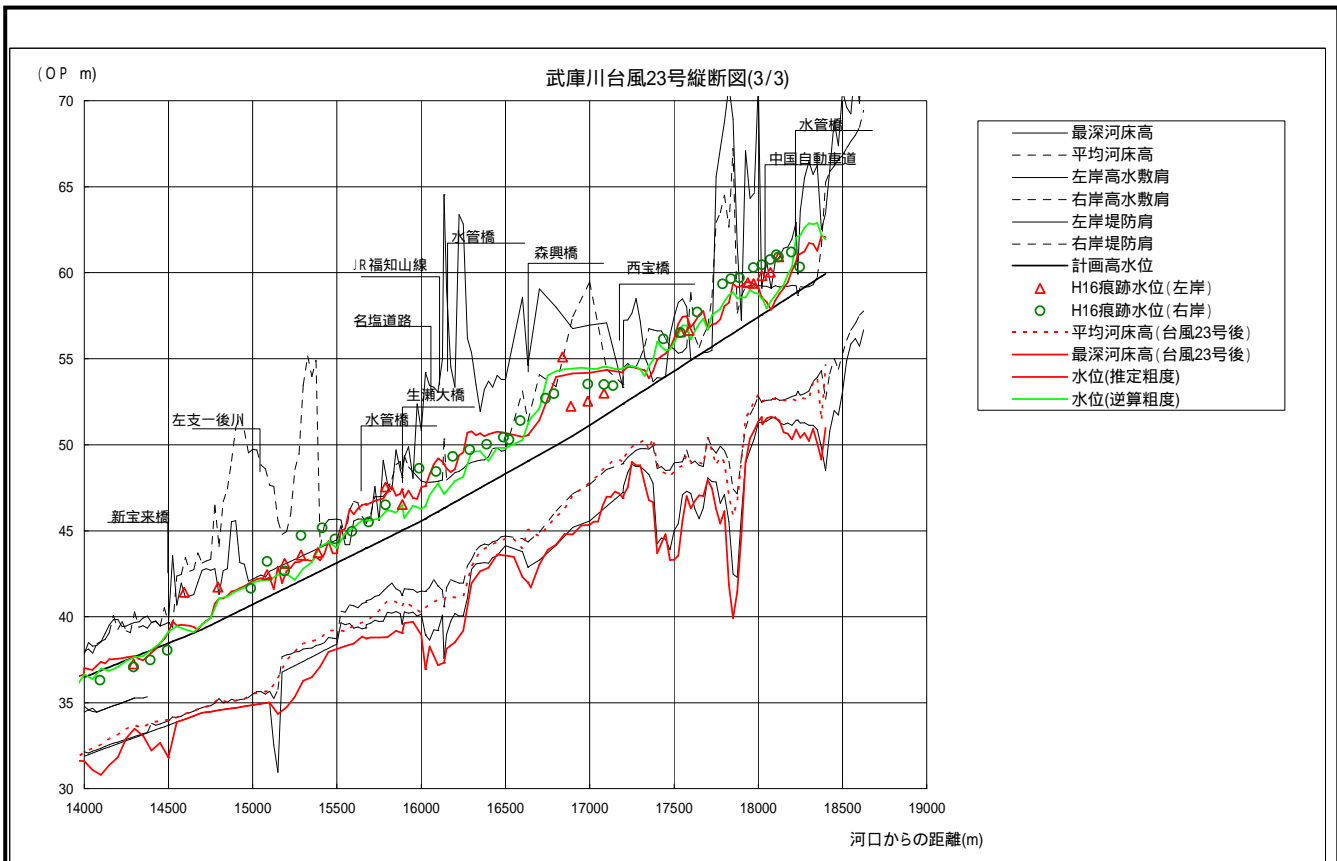


図 2 (2) 水位縦断面図

〔参考 流下能力図〕

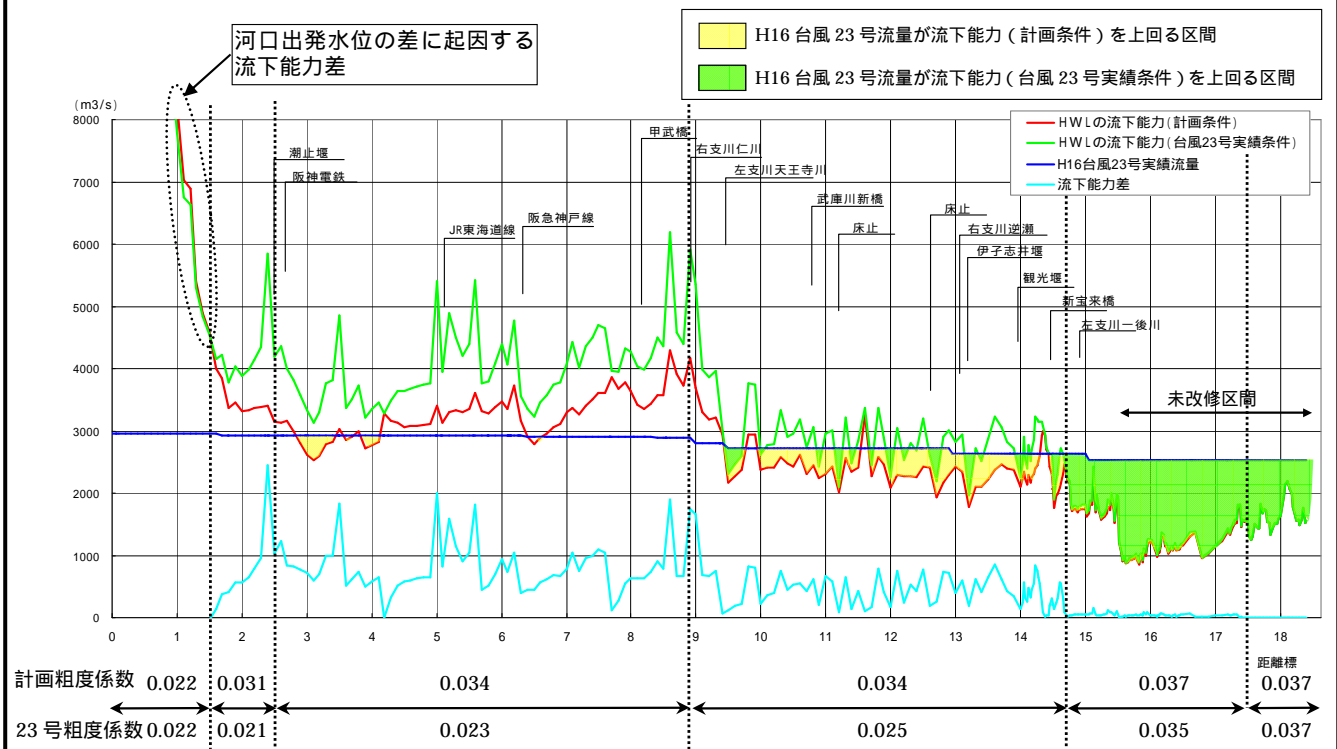


図 3 推定粗度係数と逆算粗度係数による現況流下能力の違い (第 46 回流域委員会資料より)