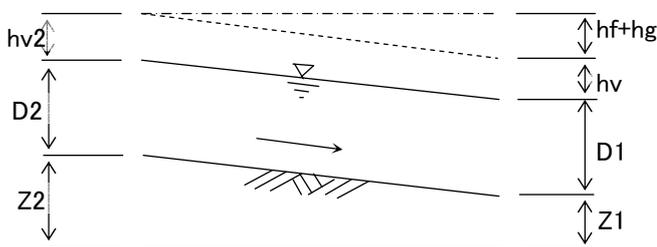


# 不等流計算(任意座標)説明書

## 1.計算式

水路中任意点の総水頭は上下流任意点の総水頭に、2点間におこった損失を加えたものとするベルヌーイの定理によって水面を追跡する。



$$Z1 + D1 + hv1 + hf + hg = Z2 + D2 + hv2$$

Z: 基準面から水路底までの深さ(m)  
 D: 水深(m)  
 hv: 速度水頭(m)  
 hf: 2点間におこった摩擦水頭損失(m)  
 hg: 2点間におこったその他の水頭損失(m)

$$hv1 = V1^2 / 2g \cdot \alpha \quad V1 = Q / A1$$

$$hv2 = V2^2 / 2g \cdot \alpha \quad V2 = Q / A2$$

$$hf = 1/2 \cdot \{n1^2 / (R1^{4/3} \cdot A1^2) + n2^2 / (R2^{4/3} \cdot A2^2)\} \cdot Q^2 \cdot L$$

$$R = A / P$$

ここに、

A: 通水断面積(m<sup>2</sup>)  
 Q: 流量(m<sup>3</sup>/s)  
 P: 潤辺長(m)  
 R: 径深(m)  
 n: 粗度係数  
 α: 平均流速の補正係数 0.95~1.10で通常1.0を用いる。  
 L: 区間距離(m)

### その他損失計算

注) その他の損失は土地改良事業の水路設計では用いることがありますが、一般の河道計画では考慮しないのが通例です。一般河川では急縮・急拡などは、6.不等流計算の注意点に述べるように死水域の考えで考慮しています。

$$hg = hgc + hge + hse + hsc + hgk$$

NO	式の説明
1	hge: 漸縮損失 = $0.2 \times (V1^2 / 2g - V2^2 / 2g)$
2	hgc: 漸拡損失 = $0.3 \times (V2^2 / 2g - V1^2 / 2g)$
3	hsc: 急縮損失 = $\{0.4857 - 0.4857 \cdot (A1 / A2)\} \times V1^2 / 2g$
4	hse: 急拡損失 = $(1 - A2 / A1)^2 \times V2^2 / 2g$
5	hgk: 入力した値(K2)を使う式 例: $K2 \cdot V2^2 / 2g$

### フルード数の計算式

$$F = \{Q^2 \cdot T / gA^3\}^{1/2}$$

ただし、

F: フルード数  
 T: 水面幅(m)  
 g: 重力加速度 = 9.8

## 2.水流が分割する場合の計算

水流が分割して流下する場合、流下断面ごとに流積・潤辺を求め流量を計算します。

流速はそれぞれの断面ごとに異なりますが出力の簡素化のため合計流量を合計流積で

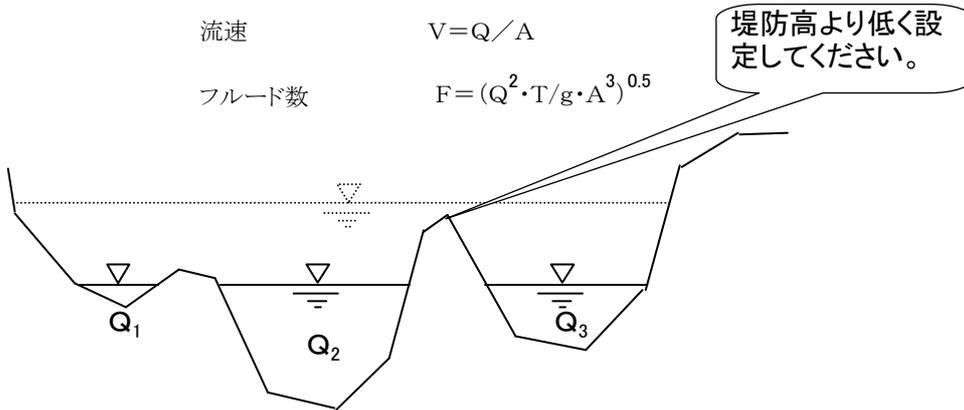
割り戻して表示します。またフルード数も合計した流積、水面巾、流量を用いて計算します。

流下面積  $A = \Sigma (A_1 + A_2 + \dots + A_n)$

流量  $Q = \Sigma (Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n)$

流速  $V = Q / A$

フルード数  $F = (Q^2 \cdot T / g \cdot A^3)^{0.5}$



分割される断面は最大40断面まで可能です。

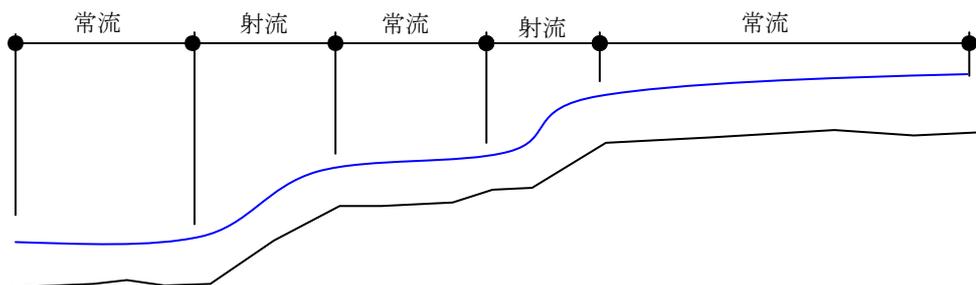
## 3.常流計算と射流計算について

不等流計算の場合常流は下流水位に支配断面を持つため下流水位を設定し計算します。射流は逆に上流より計算します。本プログラムは常流と射流の混合した計算をするため、いずれの場合でも断面は下流測点より入力します。

水路が常流か射流かは計算しないと解らない為、まず下流部より常流計算します。このときフルード数が1以下になる区間については限界水深 $F=1$ として水面を追跡します。

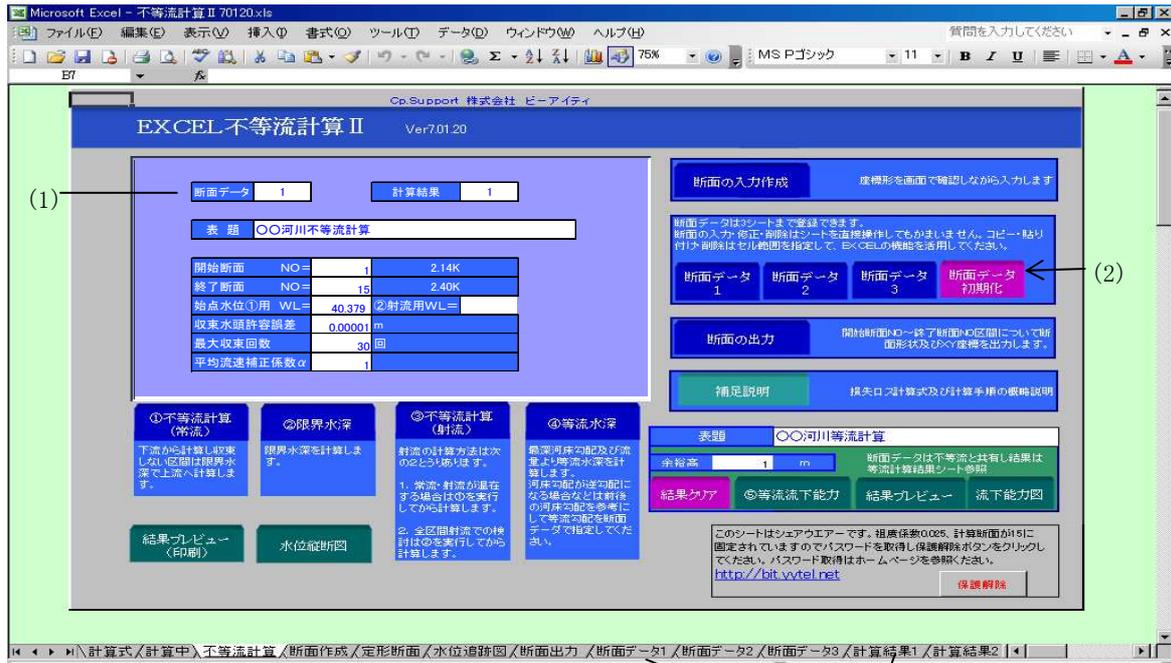
次に上流より $F=1$ の地点が見つかるたびに射流の計算を行います。

従って断面を入れ替えることなく常流と射流の混合した水面を追跡することができます。



## 4.不等流計算手順

メニュー画面



(1) 断面データおよび計算結果NOを入力します。NOは1~3を選択できます。  
このNOは シートバーの断面データ1,2,3及び計算結果1,2,3に対応しています。

(2) 新規データ作成の場合断面を初期化します。

(3) 断面データの入力

断面の入力は常流・射流とも下流断面から順に入力してください。

断面データの入力は(3-1)座標を画面で確認しながら入力する方法と(3-2)直接データシートに記入する方法を選択できます。  
最初で慣れていない場合は画面入力の方がわかり易いと思います。

(3-1) 画面入力の場合

断面データ : 登録するシートのNOです。

登録コード : 断面にコードNOをつけて保存するものです。NOは1から始まり180まで登録できます。

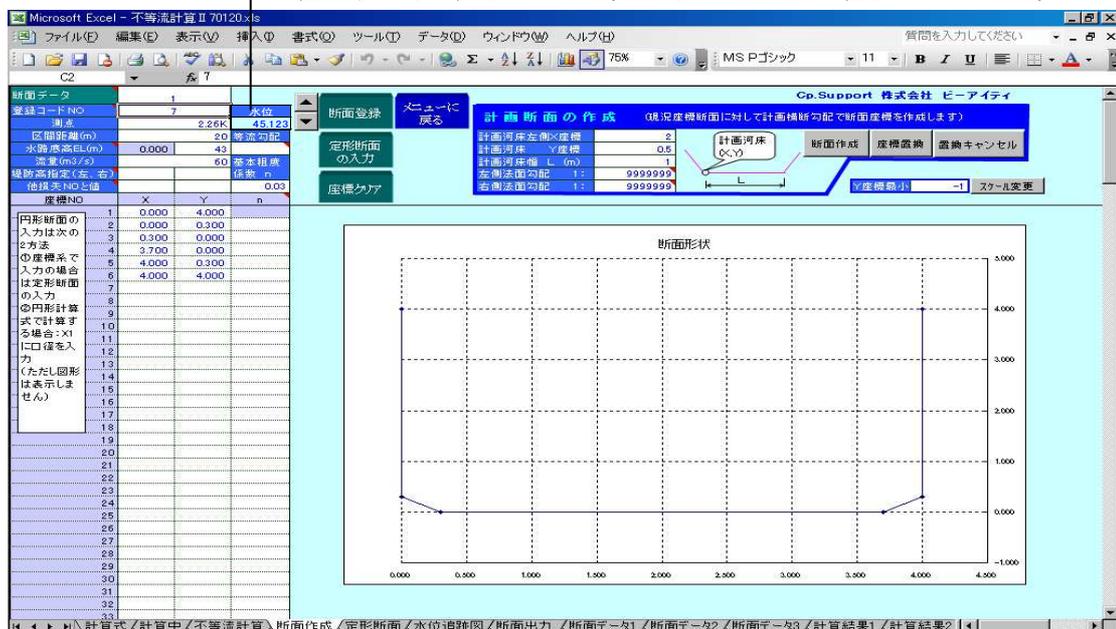
測点 : 英数文字で自由に記入します。

区間距離 : 下流測点からの区間距離を入力、始点コードNO1の場合は0になります。

水路底高 : 水路底高のところで2列セルがありますが、左は自動的に入力Y座標値の最低高を表示します。この値でなければ右セルは空欄にし、異なる場合のみ入力します。(断面形状が一定で水路底高だけ変化する場合に便利です。)

流量 : その測点の流量を指定します。

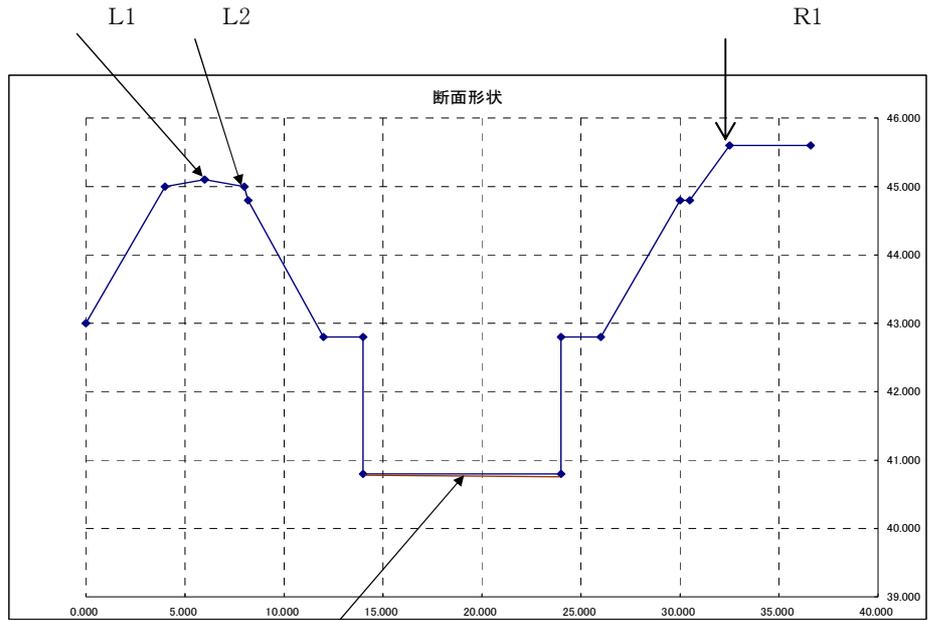
水位: 計算結果水位を表示します。河川横断プロットの水位として利用します。



●堤防高指定について

断面を堤防および堤内地まで入力した場合は最深河床から左右それぞれ最も高い標高(左岸 L1、右岸 R1)を堤防高と判断します。この位置と異なる位置(例題では左岸をL2に指定)を指定する時に入力します。

断面データ	1		
登録コードNO	9		水位
測点	2.29K	45.123	
区間距離(m)	10	等流勾配	
水路底高EL(m)	40.800	45	
流量(m <sup>3</sup> /s)	20	基本粗度	
堤防高指定(左、右)	45	係数 n	
他損失NOと値		0.025	
座標NO	X	Y	n
円形断面の 場合はX1に 直径を入力 (図形は表 示しません)			
1	0.000	43.000	
2	4.000	45.000	
3	6.000	45.100	
4	8.000	45.000	
5	8.200	44.800	
6	12.000	42.800	
7	14.000	42.800	
8	14.000	40.800	
9	24.000	40.800	0.030
10	24.000	42.800	
11	26.000	42.800	
12	30.000	44.800	
13	30.500	44.800	
14	32.500	45.600	
15	36.600	45.600	
16			
17			



●粗度係数について

粗度係数を合成する必要のない時は基本粗度係数のみ入力。合成する場合は基本粗度係数と異なる辺に粗度係数を入力。入力例は河床X=9の場合の入力です。

計算式

$$n = \left[ \frac{\sum S \cdot n^{3/2}}{\sum S} \right]^{2/3}$$

但し、S:辺の長さ

n:辺の粗度係数

●水路底高について

最深河床座標を左側セルに表示します。これと異なる値を設定し断面をスライドさせる場合に右側に入力します。

上の例では最深水路高(座標40.8)をEL45.0に指定しています。同じ断面形が連続する場合などは座標を同じにして水路高を入力することで簡素化できます。

●他損失NOと値についてはメニュー画面の補足説明ボタンを押し計算式を参照ください。(計算式は変更が可能です)

NO	式の説明
1	hge: 漸縮損失 = $0.2 \times (V1^2/2g - V2^2/2g)$
2	hgc: 漸拡損失 = $0.3 \times (V2^2/2g - V1^2/2g)$
3	hsc: 急縮損失 = $\{0.4857 - 0.4857 \cdot (A1/A2)\} \times V1^2/2g$
4	hse: 急拡損失 = $(1 - A2/A1)^2 \times V2^2/2g$
5	hgk: 入力した値(K2)を使う式 例: $K2 \times V2^2/2g$

●X、Y座標で断面系を入力します。(最大150点)

標高によりグラフ表示の調整をする場合はこのボタンで調整

断面データの入力が終わりましたら、必ず断面登録ボタンをおして、登録します。(上のデータはシート断面データ1の7番目に登録されます。)

●定形断面の入力

以下のような定形断面の場合、座標入力が行えます。

形状寸法を入力しますとXY座標を表示しますので、座標登録ボタンで断面登録画面に反映します。その他の入力項目を確認し登録します。

注)水路低高は入力しますと標高座標になりますが、入力せずに断面登録画面で水路低高を指定する(右のセル)方が解りやすく、断面の入替えなどの操作性がよいと思います。

(3-2) 直接シートに入力する場合

断面データ1~3のボタンを押しますとそのデータシートを表示しますので各項目を入力してください。  
また(3-1)で入力した際もデータシートを確認ください。

断面NO	側点	等流勾配	基本相戻係数 n
1	4	2.22K	0.03
2	5	2.24K	0.03
3	6	2.26K	0.03

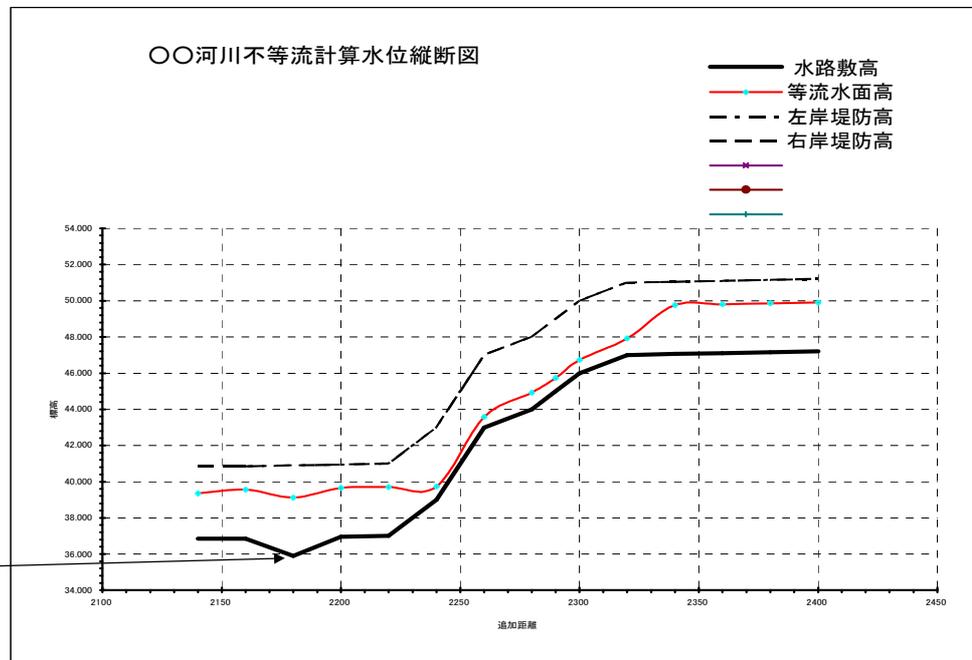
  

産種NO	X	Y	n
1	0.000	4.000	0.000
2	4.000	2.000	0.300
3	6.000	2.000	0.300
4	6.000	0.000	3.700
5	10.000	0.000	4.000
6	10.000	2.000	4.000
7	12.000	2.000	4.000
8	16.000	4.000	4.000

●等流勾配について

等流水深を検討及び等流流下能力を計算しない場合は入力必要ありません。計算機では前測点の河床との勾配で設定しますが、逆勾配になる場合や等流勾配を別に設定する場合入力してください。

逆勾配になる場合や等流勾配を別に設定する場合入力してください。



### (3-3) 計画断面の作成

計画河床左側X座標、Y座標および計画河床幅、左右の法勾配を入力すると現在表示断面(青)に対して計画河床幅を設定し左右の勾配を入力し、断面作成ボタンをおすと自動的に現況断面との交点を計算し計画断面(ピンク)を作成します。形状を確認し、正しければ座標置き換えボタンを押します。座標置き換え後は青色部の現況座標は削除されます。形状が正しく表示されない場合はキャンセルボタンをおしてください。法勾配は勾配は上向きを+ 下向きを- 水平の場合は9999999 とします。

Microsoft Excel - 不等流計算II 70120.xls

断面データ

登録コードNO	1		
測点	8		
区間距離(m)	2.28K		
水路底高EL(m)	0.000		
流量(m <sup>3</sup> /s)	60		
堤防高指定(左、右)			
他損失NOと値	0.03		
座標NO	X	Y	n
1	0.000	4.000	
2	0.000	0.300	
3	0.300	0.000	
4	3.700	0.000	
5	4.000	0.300	
6	4.000	4.000	

断面登録  
メニューに戻る  
定形断面の入力  
座標クリア

計画断面の作成 (現況座標断面に対して計画横断勾配で断面座標を作成します)

計画河床左側X座標	1.5
計画河床Y座標	-2
計画河床幅 L (m)	1
左側法面勾配	1:0.5
右側法面勾配	1:0.5

断面作成 座標置換 置換キャンセル

Y座標最小: -3 スケール変更

断面形状

X, Y → L : 河床幅

計算式 / 計算中 / 不等流計算 / 断面作成 / 定形断面 / 水位追跡図 / 断面出力 / 断面データ1 / 断面データ2 / 断面データ3 / 計算結果1 / 計算結果2

#### (4) 計算の実行

計算したい区間の開始断面NO 及び 終了断面NOの入力します。

始点水位①用 : 下流水路の背水の影響がある場合は引継ぎ水位の値を入力します。

影響がなければ、一般的には等流水深、または落差工などの場合は限界水深を標高で入力します。

このプログラムは限界水深より低い水位を入力して計算すると自動的に限界水位を計算するようになっていますので、水路低より少し高い水位を入力すれば限界水深で計算します。

②射流用 : 射流計算の始点水位(最上流部)を指定します。最上流部が限界水深(F=1)の場合のみ有効になります。

①または②を実行して限界水深または常流水深を使用する場合は、空欄にします。射流状態の等流水深などを指定する場合に入力します。

収束水頭許容誤差は計算式の左辺と右辺のエネルギーの許容誤差で、この誤差以下になった場合に成立したものとみなします。最大収束回数は計算式の成立する水深を仮定して試算して求めています、この仮定回数以下で収束しない場合は解がないものとして処理します。30回程度で十分です。

断面データ	1	計算結果	1
表題	〇〇河川不等流計算		
開始断面 NO=	1		2.14K
終了断面 NO=	15		2.40K
始点水位①用 WL=	40.379	②射流用WL=	
収束水頭許容誤差	0.00001	m	
最大収束回数	30	回	
平均流速補正係数 $\alpha$	1		

#### ●計算開始

このプログラムは不等流状態での常流・射流について水面を追跡することができます。以下に計算手順をしめします。

##### ①不等流計算(常流)

まず常流状態の計算を行います。常流計算は下流部に水深を与えてベルヌーイの定理により上流水深を求めます。例として図3-1を参照すると平坦部では限界水深より高く上流状態での流れと解ります。急流部では限界水深を示しています。(①の計算は水位エネルギーが収束しない場合は限界水深を設定します。)

射流部が連続していない場合(落差工などで1点だけならOK)は計算終了です。

①不等流計算  
(常流)

下流から計算し収束しない区間は限界水深で上流へ計算します。

②限界水深

限界水深を計算します。

③不等流計算  
(射流)

射流の計算方法は次の2つあります。

1. 常流・射流が混在する場合は①を実行してから計算します。
2. 全区間射流での検討は②を実行してから計算します。

④等流水深

最深河床勾配及び流量より等流水深を計算します。

河床勾配が逆勾配になる場合などは前後の河床勾配を参考にして等流勾配を断面データで指定してください。

結果プレビュー  
(印刷)

水位縦断図

以下の結果はまず②を実行し、結果をグラフに残すため貼り付けボタンをおし、メニューに戻って①を実行したものです。  
 注) ②の限界水深の実行は今回説明のために実行しただけで特に計算する必要はありません。

今回の計算水位結果を表示しています。

始点距離の調整

この結果を残して次の計算水位と比較する場合は中央の貼り付けボタンを押します。貼り付けは3ケースまで可能です。消去する場合はクリアボタンをおします。

図4-1常流計算

●計算結果プレビュー

結果よりF=1が連続しているため射流域が存在することが解ります。

常流:黒 限界水深:赤 射流:青

堤防を越える水位は赤で表示します。

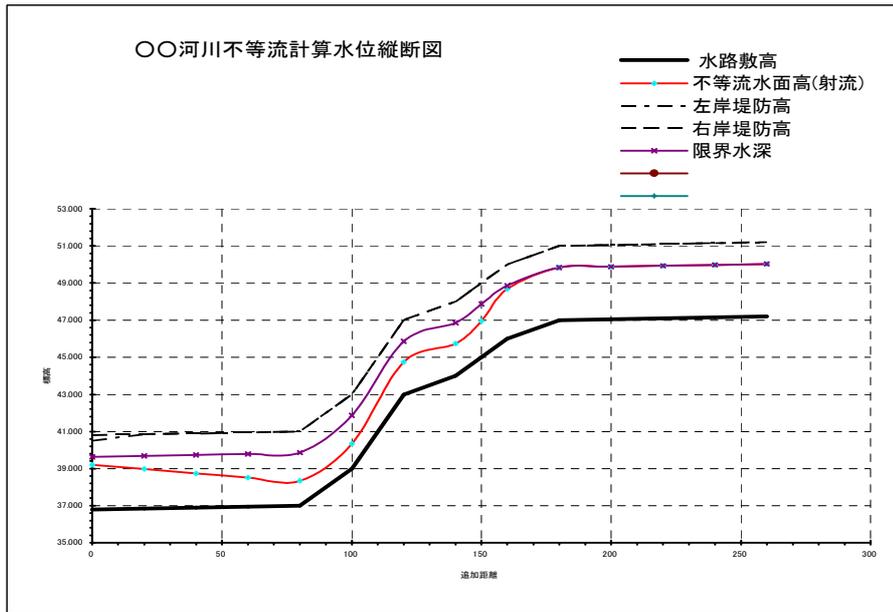
〇〇河川不等流計算

測点	区間距離 (m)	流量 (m <sup>3</sup> /s)	粗度係数	流積 (m <sup>2</sup> )	瀬辺 (m)	径深 (m)	フルード数	摩擦損失 水頭 (m)	その他の 損失水頭 (m)	1/17ルネ 標高 (m)	流速 (m/s)	速度水頭 (m)	水路敷高 (m)	水深 (m)	水面標高 (m)
1 2.14K	0.000	60.000	0.025	25.618	19.062	1.3440	0.559	0.000	0.000	40.659	2.342	0.280	36.800	3.579	40.379
2 2.16K	20.000	60.000	0.025	25.544	19.038	1.3417	0.561	0.046	0.000	40.705	2.349	0.281	36.850	3.574	40.424
3 2.18K	20.000	60.000	0.025	25.476	19.017	1.3397	0.563	0.047	0.000	40.752	2.355	0.283	36.900	3.569	40.469
4 2.20K	20.000	60.000	0.025	25.416	18.998	1.3378	0.565	0.047	0.000	40.799	2.361	0.284	36.950	3.565	40.515
5 2.22K	20.000	60.000	0.025	11.369	9.378	1.2123	1.000	0.158	0.000	41.286	5.278	1.421	37.000	2.865	39.865
6 2.24K	20.000	60.000	0.025	11.369	9.378	1.2123	1.000	0.269	0.000	43.286	5.278	1.421	39.000	2.865	41.865
7 2.26K	20.000	60.000	0.025	11.369	9.378	1.2123	1.000	0.269	0.000	47.286	5.278	1.421	43.000	2.865	46.865
8 2.28K	20.000	60.000	0.025	11.369	9.378	1.2123	1.000	0.269	0.000	48.286	5.278	1.421	44.000	2.865	46.865
9 2.29K	10.000	60.000	0.025	11.369	9.378	1.2123	1.000	0.135	0.000	49.286	5.278	1.421	45.000	2.865	47.865
10 2.30K	10.000	60.000	0.025	11.369	9.378	1.2123	1.000	0.135	0.000	50.286	5.278	1.421	46.000	2.865	48.865
11 2.32K	20.000	60.000	0.025	16.093	15.742	1.0223	1.000	0.219	0.000	50.546	3.728	0.709	47.000	2.837	49.837
12 2.34K	20.000	60.000	0.025	20.119	17.240	1.1670	0.756	0.130	0.000	50.675	2.982	0.464	47.060	3.172	50.222
13 2.36K	20.000	60.000	0.025	21.092	17.579	1.1999	0.713	0.085	0.000	50.760	2.846	0.413	47.100	3.247	50.347
14 2.38K	20.000	60.000	0.025	21.760	17.807	1.2220	0.686	0.076	0.000	50.836	2.757	0.388	47.150	3.298	50.448
15 2.40K	20.000	60.000	0.025	22.261	17.976	1.2384	0.667	0.071	0.000	50.907	2.695	0.371	47.200	3.336	50.536



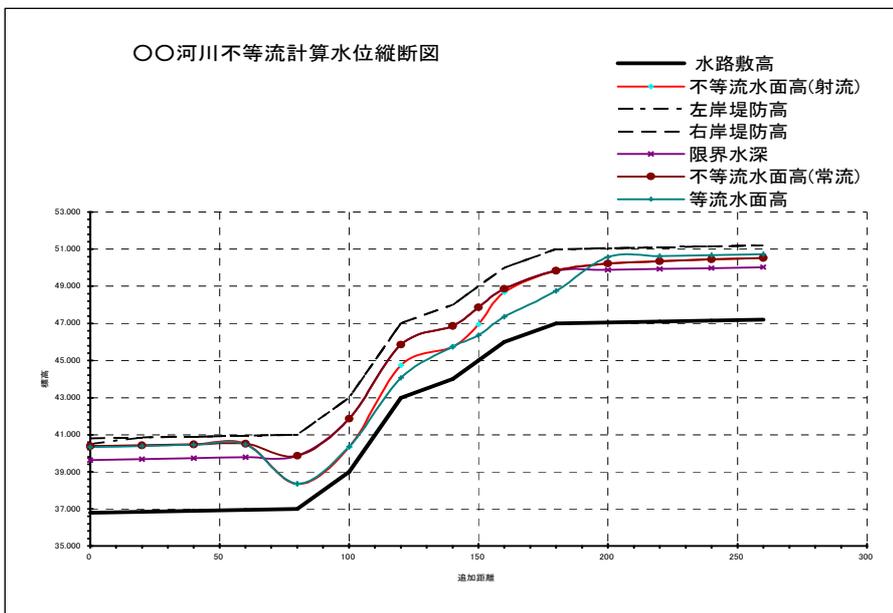
ケース2. 常流と射流が混在しない場合  
 下流水位に影響されない場合は②で限界水深を計算した後③を実行します。

図4-3 射流計算結果



④等流水深  
 参考資料として等流水深を算出できます。この時の等流勾配は断面の入力参照。

図4-4 等流水深



## 5.等流流下能力計算

設定断面に対して余裕高を指定し、等流流下能力を計算します。  
 以下はサンプル断面で余裕高を0にした場合と0.6にした場合を計算ものです。

余裕高0の計算値の貼付け

計画流量を2タイプ設定できます。  
 距離票と流量を入力

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data for flow capacity calculation:

別点	区間距離 (m)	追加距離 (m)	水路縦高 (m)	流下能力 (余裕高) (m³/s)	流下能力 (概流) (m³/s)
1	2.14K	0.000	36.800	41.850	88.424
2	2.18K	20.000	36.850	54.116	84.899
3	2.18K	20.000	36.900	52.908	83.241
4	2.20K	20.000	36.950	54.116	84.899
5	2.22K	20.000	37.000	202.822	247.740
6	2.24K	20.000	39.000	202.822	247.740
7	2.26K	20.000	43.000	286.834	330.337
8	2.28K	20.000	44.000	143.417	175.179
9	2.29K	10.000	45.000	202.822	247.740
10	2.30K	10.000	46.000	202.822	247.740
11	2.32K	20.000	47.000	242.015	379.680
12	2.34K	20.000	47.050	54.116	84.899
13	2.36K	20.000	47.100	54.116	84.899
14	2.38K	20.000	47.150	54.116	84.899
15	2.40K	20.000	47.200	54.116	84.899

The graph shows flow capacity (m³/s) on the y-axis (0 to 400) and distance (km) on the x-axis (0 to 200). It includes data for flow capacity with safety margin (solid line), flow capacity (dashed line), and flow rates of 1/5 and 1/30 (dotted lines).

余裕高0.6mの場合の出力例

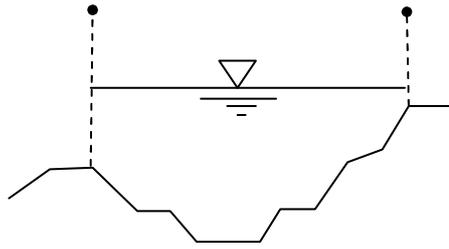
〇〇河川等流計算

測点	区間距離 (m)	水深 (m)	流経 (m <sup>2</sup> )	箱辺 (m)	径深 (m)	粗度係数	勾配	流速 (m/s)	流量 (m <sup>3</sup> /s)	フルード数	水跡水深 EL(m)	余裕高 (m)	水面標高 EL(m)	堤防高 EL(m)	備考	
1	2.14K	0.000	3.100	19.220	16.919	1.136	0.00250	2.177	41.850	0.559	36.800	0.600	39.900	40.500		
2	2.16K	20.000	3.400	23.120	18.261	1.266	0.025	0.00250	2.341	54.116	0.573	36.850	0.600	40.250	40.850	
3	2.18K	20.000	3.400	23.120	18.261	1.266	0.025	0.00250	2.288	52.908	0.561	36.900	0.600	40.300	40.900	
4	2.20K	20.000	3.400	23.120	18.261	1.266	0.025	0.00250	2.341	54.116	0.573	36.950	0.600	40.350	40.950	
5	2.22K	20.000	3.400	13.510	10.449	1.293	0.025	0.10000	15.013	202.822	2.609	37.000	0.600	40.400	41.000	
6	2.24K	20.000	3.400	13.510	10.449	1.293	0.025	0.10000	15.013	202.822	2.609	39.000	0.600	42.400	43.000	
7	2.26K	20.000	3.400	13.510	10.449	1.293	0.025	0.20000	21.231	286.834	3.690	43.000	0.600	46.400	47.000	
8	2.28K	20.000	3.400	13.510	10.449	1.293	0.025	0.05000	1.0616	143.417	1.845	44.000	0.600	47.400	48.000	
9	2.29K	10.000	3.400	13.510	10.449	1.293	0.025	0.10000	15.013	202.822	2.609	45.000	0.600	48.400	49.000	
10	2.30K	10.000	3.400	13.510	10.449	1.293	0.025	0.10000	15.013	202.822	2.609	46.000	0.600	49.400	50.000	
11	2.32K	20.000	3.400	23.120	18.261	1.266	0.025	0.05000	10.468	242.015	2.565	47.000	0.600	50.400	51.000	
12	2.34K	20.000	3.400	23.120	18.261	1.266	0.025	0.00250	2.341	54.116	0.573	47.050	0.600	50.450	51.050	
13	2.36K	20.000	3.400	23.120	18.261	1.266	0.025	0.00250	2.341	54.116	0.573	47.100	0.600	50.500	51.100	
14	2.38K	20.000	3.400	23.120	18.261	1.266	0.025	0.00250	2.341	54.116	0.573	47.150	0.600	50.550	51.150	
15	2.40K	20.000	3.400	23.120	18.261	1.266	0.025	0.00250	2.341	54.116	0.573	47.200	0.600	50.600	51.200	

## 6.不等流計算の注意点

本プログラムでは水面を連続して追跡するため、堤防高を超える断面を左右に仮想点を設けて計算しています。

### (1) 水位が堤防高を超える場合の断面設定



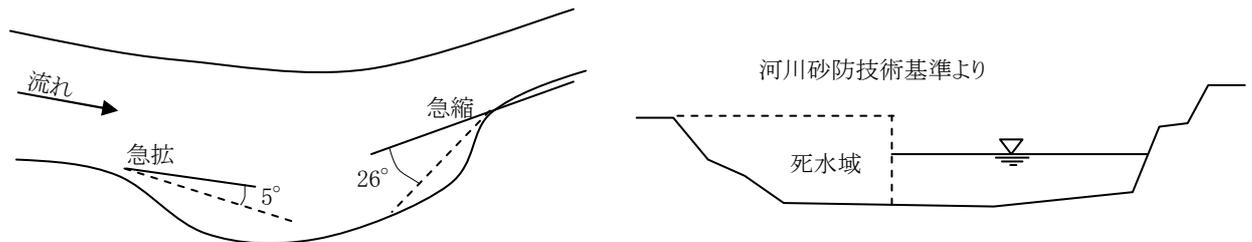
従ってボックス断面や円形断面などの閉塞した断面で不等流及び等流計算を行う場合、水位が天端を超える計算は圧力管となり開水路ではありませんので結果水位に注意ください。

水位が天端を越えるような場合は座標値を次のように開水路に修正すると連続して計算できます。  
(水位が頂版を超える場合、頂版の1辺を取り除いた開水路として水位を算出し計算を自動的に続行します。)



### (2) 死水域について

死水域は、河道の水面部分で流れのない場所、あるいは流れがあっても渦状の場所で流量の疎通に関係のない場所をいいます。こうした死水域があると計算水面形に凹凸が生ずるのが普通で、計算水位誤差を生じますので、以下の角度で取り除く必要があります。



### (3) 橋脚部の断面設定

橋脚の影響を考慮する場合、水位上昇をドビソン公式などで計算する場合がありますが、本プログラムでは橋脚断面をそのまま入力して橋脚による断面縮小でロス計算とします。流下計算は2.で説明した水流を分割して計算します。

