

第5章 河川洪水流之水理分析

目次

第1節	總說	1
第2節	洪水流分析的目的	1
第3節	依目的之洪水流分析方法的選定	3
3.1	依目的之選定	3
3.2	計算最高水位之恆定・非恆定流分析的區分使用	4
第4節	計算方法說明	6
4.1	一維非均勻流計算	6
4.1.1	定義	6
4.1.2	計算方法	7
4.2	一維非恆定流計算	9
4.2.1	定義	9
4.2.2	計算方法	9
4.2.3	一維非恆定流計算之近似解法	10
4.3	準二維非均勻流計算	10
4.3.1	定義	10
4.3.2	計算方法	11
4.4	準二維非恆定流計算	12
4.4.1	定義	12
4.4.2	計算方法	12
4.5	平面二維流分析	12
4.5.1	定義	12
4.5.2	計算方法	13
4.6	準三維流分析	14
4.6.1	定義	14
4.6.2	計算方法	15
4.7	三維流分析	16
4.7.1	定義	16
4.7.2	計算方法	16
第5節	參數設定	18
5.1	參數種類與設定之基本思惟	18
5.2	粗糙係數的設定	18
5.3	依逆算進行推定的方法	19
5.3.1	逆算使用數據的種類	19
5.3.2	配合數據集推定	19
5.4	依粗糙度狀況之推定的方法	21
5.4.1	推定的基本思維	21
5.4.2	汛期河床變化不明顯時的粗糙係數推定法	21
5.4.3	伴隨小規模河川波的粗糙係數推定法	22
5.4.4	河川構造物流體力的推定方法	22

第5章 河川洪水流之水理分析

第1節 總說

<概說>

洪水流的水理分析旨在為依設計流動能力或侵蝕、淘刷之河道設計確保其安全性；為維護流動能力之樹木管理或河川堆積之確保；或洪氾區、河川等設施設計畫維護管理等之實施。

洪水流水理分析是在對某種形狀與粗糙度狀況的河道上，上游端設定流量或水位，下游端設定水位，然後計算該河道內所產生水位・流量・流速等水理量的空間分布及其時間變化。在此，粗糙度狀況指河床表層凹凸狀態，比如高灘地的地被狀況、低水河岸的河床質粒徑、河床波形狀等。此外，有時也會出現高大植物倒伏或河床波消長等受流水作用而形成的粗糙狀況變化，因此須精確掌握檢討對象流量的粗糙度狀況。

分析方法之選定，須先掌握各種分析方法的原理與特徵及其應用之界限，選擇能達成目的、適合的分析方法。此外，計算時，需設定必要的各種參數、初期條件與邊界條件。

此外，洪水流的水理分析對象為河川實際所產生的現象，因此通常會在如下限制下進行分析。

- 1) 有時會無法取得用來計算的初期條件與邊界條件所需之時空間解析度與精度。
- 2) 洪水流發生頻率不高，因此，實施驗證分析結果的機會有限。
- 3) 針對洪水流作用導致粗糙度狀況（河床波、植生倒伏・破壞狀況等）或河道形狀變化、及其對洪水流的影響，今後仍需進一步研究，提高分析之可靠性。

本章主要說明洪水流分析之目的，以及配合目的選定洪水流分析方法、各種分析方法與設定參數方法等的標準做法。

第2節 洪水流分析的目的

<概說>

河川規畫、設計、維護管理之洪水流分析的主要目的如下。

- 1) 在給予排水（汛期）的條件下，計算最高水位等的洪水水位
- 2) 作用在構造物等（含河岸與樹木）外力的計算
- 3) 水防相關水位的計算
- 4) 河道特性掌握、河川環境管理與河川利用空間管理之水理量與水理環境的計算
- 5) 氾濫計算的外水氾濫條件
- 6) 水位與流量傳播特性的掌握
- 7) 河道變化預測的水理量計算

- 1) 在給予排水（汛期）的條件下，計算最高水位等的洪水水位
堤防或河岸（含挖深河道）附近的最高水位攸關河川流動能力，非常重要。

最高水位通常依逕流分析或流量觀測等所取得最大流量以恆定流分析而計算出來。但有時因為對象河川洪水傳播相關的本來特性，或上下游端水位的時間變化特性、分合流或滯洪池等所導致對象河道區間流量出入狀況影響之下，有時無法忽略其所對最高水位的非恆定特性的影響，在此狀況下，可用非恆定流分析。其具體判斷方法，可參照本章 第 3 節 配合目的選定洪水流分析方法 3.2。

2) 作用在構造物等（含河岸與樹木）外力的計算

計算河水流動所產生阻力、揚力、剪力等外力時，通常以恆定流分析算出作用在構造物表面的應力分布，然後應用整個構造物表面應力分布積分計算，以及以應用阻力係數或揚力係數的經驗式計算構造物附近代表流速的方法。這種應用恆定流分析得到的外力，乃是將流場時間變動平均後的平均值。有時在特定目的之下，需掌握其外力的時間變動（或變動之最大值），得應用非恆定流分析。

3) 水防相關水位的計算

水防相關水位係氾濫危險水位、避難判斷水位、氾濫注意水位與水災防護團待機水位之總稱。這些水位是不同地點依據築堤狀況、堤內地盤高與計畫洪水位關係等所設定的值。水防相關水位的計算，主要是對應處理各地所設定的值，以及洪水預報觀測所計測到的水位，具體實施方法參見「危險水位的設定要領」、「特別警戒水位設定要領」。

計算水防相關水位，應針對各河川狀況，應用均勻流計算、非均勻流計算、非恆定流計算等方法，實施正確的計算。

4) 為掌握河道特性、河川環境管理與河川利用空間管理之水理量與水理環境的計算

為河道特性掌握之水理量，了解河道地形的形成與變化特性上，計算摩擦速度、河寬水深比等水理量縱斷分布等重要指標。其計算結果進行分析，之詳細做法參照第 4 章 河道特性調查 第 5 節 洪水的作用 5.1 基本水理量的整理。

為河川環境管理與河川空間管理之水理環境，對動植物棲地、景觀等的形成，以及變化相關的水理量予以計算。

比如，計算植物群落積水頻率或河床擾亂頻率，可採發生機率不同的複數流量水位與推移力。計算水理量的方法，可參照 第 11 章 河川環境調查 第2節 河川環境調查的方法，以及第 16 節 河川環境的綜合分析。

5) 氾濫計算的外水氾濫條件（氾濫所產生的流量）計算

就氾濫計算之外水氾濫條件，對溢流地點或堤防潰堤點之氾濫流量計算以河道內水位等計算之。此時可參照 第7章 淹水分析，對堤內淹水分析連動的洪水流分析，並掌握導致氾濫的河川流量增減。在此，淹水分析所需之水理量會隨淹水分析方法而異，因此，選定洪水流分析方法之際，應參照 第7章 淹水分析。

6) 水位・流量傳播特性的掌握

水位與水量傳播特性之掌握，在重現河道上游端所形成水位歷線或流量歷線隨洪水流動而變形的過程。洪水流受到河道內狹窄部、樹木群等影響，有時會出現水位傳播比流量傳播慢的情況

。此等水位與流量的傳播特性差異，可使用非恆定流分析。

7) 河道變化預測的水理量計算

應算出流砂量計算所需之剪應力等水理量。河床變動計算詳細做法，參照第6章 河床變動、河床質變化與土砂輸送的分析。

< 相關通知等 >

- 1) 危險水位的設定要領（通知），平成17年5月，国河都第3号，国土交通省河川局治水課都市河川室長。
- 2) 特別警戒水位的設定要領（通知），平成17年5月，国河都第4号，国土交通省河川局治水課都市河川室長。
- 3) 洪水預報河川的避難判斷水位之設定要領，平成18年12月，国河都第4号，国土交通省河川局治水課都市河川室長。
- 4) [淹水預估區域圖製作手冊（修正版）](#)，平成26年3月，国土交通省水管理・国土保全局河川環境課水防企画室，国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター水害研究室。

第3節 配合目的之洪水流分析方法的選定

3.1 配合目的的選定

< 概說 >

洪水流分析可使用表 5-3-1 的計算方法。

一維分析[1DF]指算出河道橫斷面內平均水理量（水深、流速、河床剪力等）的縱斷分布。

準二維分析[2DF]是分割粗糙度狀況與水深等視為相同的河道橫斷面區間，計算其在近似均勻流狀況下橫斷方向的流速分布，然後將反映這種分布的運動量校正係數與剪應力計算公式納入一維分析之中，算出斷面平均流速與水位等縱斷分布。

二維分析[2DF]的處理對象是水深方向的平均水理量，算出其水理量的平面分布。

準三維分析[3DF]係擴張二維分析，除計算水深方向的平均水理量以外，並假定靜水壓分布狀況下，算出包含二次流在內水深方向的流速分布。

三維分析[3DF]適用在非靜水壓分布流場，以流水中任意位置的水理量為對象，算出其平面與水深方向的分布。

各項分析包含計算流場空間分布的恆定計算，以及可將時間變化列入計算對象的非恆定計算。

應配合洪水流分析目的 1) ~ 6)，依表 5-3-2 選出適當的計算方法。此外，目的 7) 計算方法的選定，參見第6章 河床變動、河床質變化與土砂輸送之分析。

表 5-3-2 < 建議 > 的計算方法，係在無法以 < 標準 > 所介紹方法充分重現分析對象之狀況，而有必要採用 < 建議 > 的高層次方法時，採取這方面的選定。此外，< 例示 > 中所提到計算方法，係即使使用流場描述層次較低的方法，也比 < 標準 > 所介紹之方法更能取得充分滿足目的之重現性，因此能採用 < 例示 > 所舉、較簡便方法時，可加以選定。

選定計算方法之際，也應一併檢討計算所需資訊取得之可能性。此外，即使在目的 1) ~ 7) 之外的目的下應用洪水流分析，也應參考表 5-3-2 的「達成該目的所需物理量」，配合目的選定適當的分析方法。

表5-3-1 洪水流分析所使用計算方法一覽表（符號說明參照表5-3-2凡例）

分析層次	符號	H	Δh	U	u_{ave}	V_{ave}	u	v	w	Δp
一維分析	1DF	○		○						
準二維分析	2DF'	○		○	Δ^*					
二維分析	2DF	○	○	○	○	○				
準三維分析	3DF'	○	○	○	○	○	Δ	Δ	Δ	
三維分析	3DF	○	○	○	○	○	○	○	○	○

凡例 ○：可計算之項目

△：可近似計算的項目

△*：可近似計算的項目（斷面區分單位的流速分布）

表5-3-2 達成目的所需物理量與洪水流分析方法的選定

目的		有無非穩定性 考量		達成目的所需之物理量 (計算所處理的水理量通常比下列數字大)											計算方法		
		穩定	非穩定	H	Δh	U	U_{ave}	V_{ave}	u	v	w	Δp	時間變動	標準	建議	舉例	
所給予洪水條件下最高水位等洪水位的計算	下列之外的河道區間	●	○	●	● ^{*1}	-	-	-	-	-	-	-	-	2DF'非均勻流	2DF 3DF'	1DF非恆定流 ^{*4}	
	不包含流量出入的地點、最大流量與最高水位時的流量會產生延時效果或最大流量在河川沿岸會產生延時效果變化的區間	○	●	●	● ^{*1}	-	-	-	-	-	-	-	-	1DF非恆定流 2DF'非恆定流	2DF 3DF'	-	
	包含流量出入地點、無法預先給予出入流量點，或流量出入導致最大流量與最高水位之變化時間點出現延時效果的區間																
作用在構造物等（含河岸與樹木）之外力的計算 ^{*2}		●	○	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	2DF'非均勻流 2DF	2DF非恆定流 2DF 3DF' 3DF	1DF非恆定流	
水防相關水位的計算		●	○	●	● ^{*1}	-	-	-	-	-	-	-	-	2DF'非均勻流	1DF非恆定流 2DF'非恆定流	1DF非恆定流	
用來掌握河道特性的水理環境・水理量之計算		●	-	●	-	●	-	-	-	-	-	-	-	2DF'非均勻流	2DF	1DF非恆定流 ^{*4}	
用來進行河川環境管理・河川利用空間管理的水理環境・水理量計算		●	-	●	-	●	-	-	-	-	-	-	-	2DF'非均勻流	2DF	1DF非恆定流 ^{*4}	
用來進行氾濫計算的外水氾濫條件之計算 ^{*3}		-	●	●	● ^{*1}	○	○	○	-	-	-	-	-	1DF非恆定流 2DF'非恆定流	2DF	-	
水位・流量傳播特性的掌握		-	●	●	-	●	-	-	-	-	-	-	-	2DF'非恆定流	2DF	1DF非恆定流	

凡例 H：橫斷方向平均水深

 Δh ：從H的橫斷方向偏差

U：斷面平均流速

 u_{ave} ：水深平均流速 V_{ave} ：水深平均流速(橫斷方向)

●：達成目的所需之水理量

○：不同條件下所需之水理量

u：流動方向流速

v：橫斷方向流速

w：水深方向流速

 Δp ：靜水壓分布所形成的偏差

時間變動：流速・水深・壓力的時間變動成分

※1 堤防或河岸旁(有挖深河道時)的水位
 ※2 構造物周邊的河床變動，請參照第6章 河床變動、河床質變化與土砂輸送的分析
 ※3 必須和第7章 淹水分析的第3節列為標準的外水淹水分析模型組合起來應用為前提
 ※4 若要充分達成目的，可依據計算所使用資訊之取得狀況判斷，採用均勻流計算

3.2 最高水位計算之恆定・非恆定流分析不同使用方法

<概說>

非下列1)～4)任何一種狀況，基本上應使用事先給予逕流分析與流量觀測所取得最大流量的恆定流分析。若全部符合下列1)～4)任何一種情況，考慮非恆定流分析有必要性時，基本上即應實施非恆定流分析。

- 1) 在有分合流或滯洪池而不受流量出入影響的河道區間，最大水量與最高水位時的流量會產生延時產生。
- 2) 在有分合流與滯洪池而不受流量出入影響的河道區間，各地點最大流量沿著河川產生顯著變化，難以事先訂出最大流量。

3) 對象河道上存在分合流與滯洪池等導致流量出入的區間，無法事先給予出入量，需藉由非恆定流分析，進行一體性的計算。

4) 對象河道上有分合流與滯洪池等導致流量出入的區間，若能事先給予出入流量，其流量的出入會產生最大流量與最高水位發生時間點的顯著差異（時間前後差距）。

1) 方面，在河口附近的潮位變化、以支流為對象時的和主流匯流點附近的水位變化、閘門操作導致水位調控受影響的情況等等，起因於分析邊界條件、下游端水位時間變化，以及對象河川洪水傳播相關原有特性所導致的情況。其中，判別是否該後者的思考方式，以及判別是否該當於2)（這部分也是起因於與洪水傳播相關的原有特性）的思考方法，說明如下。

相同河寬、坡降之單斷面河道為對象之一波洪水波流動所形成的水位・流量變化相關水理特性（非恆定性）之要點如下。

- ・ 最大水深會隨著流動距離增加遞減，但出現水深增加的期間變長（洪水波形扁平化）
- ・ 最大水深降低，流動距離越長，代表水深時間變化的曲線高峯狀態越尖銳。此外，河床坡降與斷面平均流速（或洪水波的傳播速度）越小，曲線的高峯形狀越顯著。

實際河川之中河道橫斷形狀（複斷面）或粗糙度・河川橫斷面積之縱斷變化（比如樹木群、狹窄部等）等對於上述特性的影響，也須納入考量。若非恆定性很明顯，任意河道斷面上的流量與水深之關係，如圖 5-3-1a)之中一例呈現明顯迴圈形狀，代表流量與水深洪峯出現的時間差變大。另外，如圖 5-3-2 所示，流動方向上洪水流動過程中，水深與流量降低的情況變得很明顯。掌握這樣的特性，作為是否有必要因為洪水傳播相關之原有特性，而應用非恆定流分析的材料，簡約在以下二點。

① 最大流量與最高水位時流量之差（前後差距）的大小（參照圖5-3-1a),b))

② 河道內流量無出入之一連串區間上下游端最大流量差（前後差距）大小（參照圖 5-3-2）

流量的差（前後差距）可應用第2章 依據水文・水理觀測的水位・流量觀測結果（範疇1 之觀測等），進行評估。①與②之中有任何一者出現顯著差（時間前後差距）時，利用給予最大流量的恆定流分析所實施之最高水位計算，會有一定的誤差。此時最高水位算出來，通常會比應用相同粗糙係數的非恆定流分析算出來的還大。在此狀況下，若要以能滿足分析目的之精度取得最高水位，就應檢討應用非恆定流分析的必要性。此外，②的差（時間前後差距）如圖 5-3-2 所示，可將一連串區間更細分、每個區間適當地給予最大流量，就會變小。類此可能重新設定區間比例與最大流量時，最好從①的觀點，檢討適用非恆定流分析的必要性。

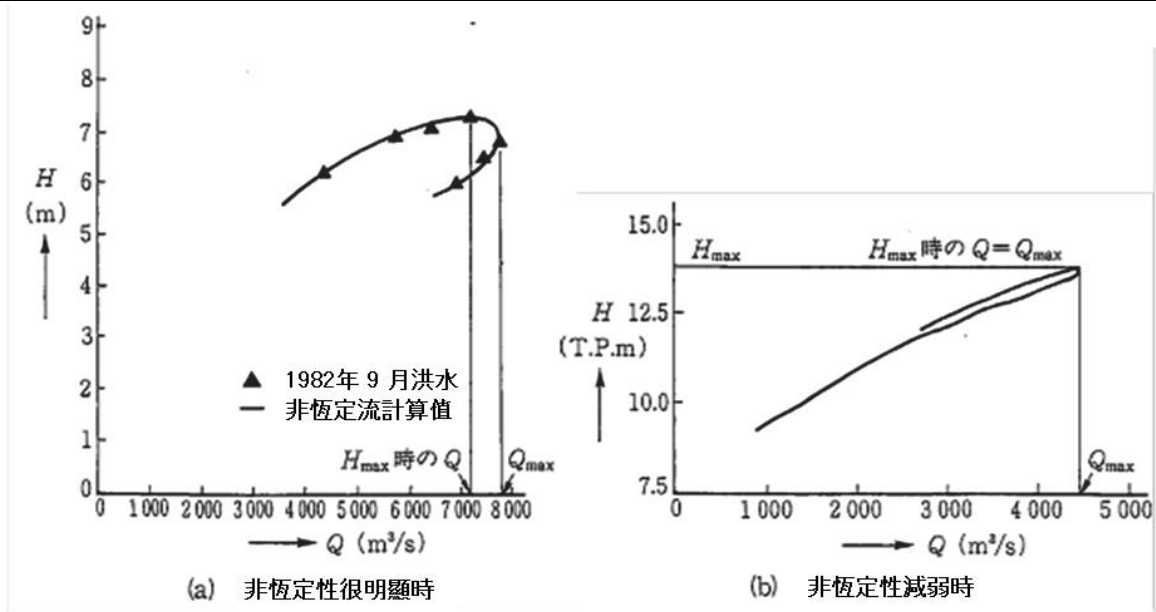


圖5-3-1 水位流量曲線圖舉例示

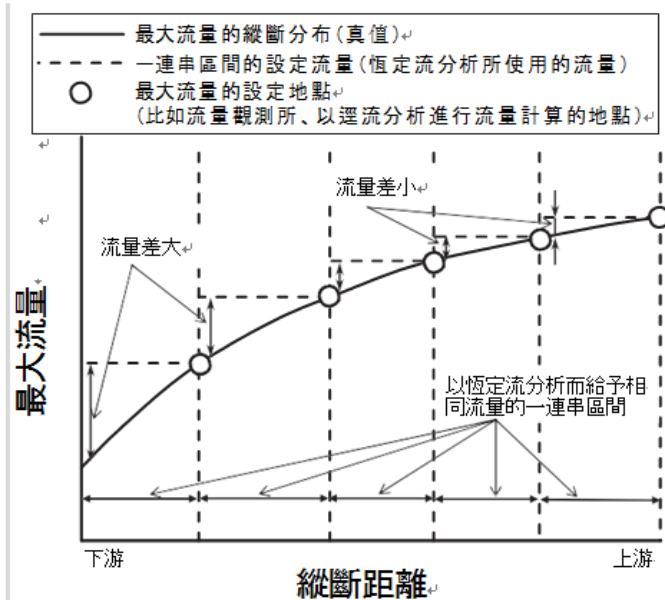


圖5-3-2 流動方向最大流量降低與區間別的最大流量設定例

第4節 計算方法的說明

4.1 一維非均勻流計算

4.1.1 定義

<概說>

一維非均勻流（不等速流、變量流）計算[1DF非均勻流]，的流量 Q 固定，基礎方程式則使用根據運動方程式，並以漸變明渠流量為處理對象如下式(5-4-1)。

$$\frac{\partial}{\partial x} (\int u^2 dA) + gA \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{T_r}{\rho} = 0$$

在此， A 為水流的斷面積， x 為沿著流動方向的座標， H 為水位， T_r 為單位長的河道河床作用力， u 為某地點的流速， ρ 為水的密度， g 為重力加速度。在此，左邊第1項括弧內，可用運動量校正係數 β ，改成方程式(5-4-2)。

$$\int u^2 dA = \beta U^2 A \quad (5-4-2)$$

在此， U 為斷面平均流速。

一維非均勻流計算的標準做法是，斷面內的粗糙狀況可適用在同樣乃至於變化的單斷面河道。此時，通常 β 可取一定值（1.0~1.1 左右）的近似取法。

計算 T_r 時，標準做法是如式(5-4-3)所示，適用曼寧（Manning）的平均流速公式。

$$U = \frac{1}{n} R^{2/3} I_b^{1/2} \quad (5-4-3)$$

在此， I_b 為河床坡降， $R(=A/S)$ 為徑深。平均流速公式假設縱斷方向一樣河道斷面的流速都相同，因此給予河道斷面形狀與河床坡降，平均流速與粗糙係數、徑深之關係即可呈現。

斷面內的粗糙狀況若相同，或者如圖 5-4-1的變化， T_r 就能依據公式(5-4-4)、(5-4-5) 算出來。

$$\frac{T_r}{\rho} = \frac{g A n^2 U^2}{R^{4/3}} \quad (5-4-4)$$

$$\frac{T_r}{\rho} = \left(\frac{g U^2}{A^{1/3}} \left(\sum S_i \cdot n_i^{3/2} \right) \right)^{4/3} \quad (5-4-5)$$

S_i 為具有相同粗糙度的第 i 個濕周長， n_i 為該濕周部的粗糙係數。

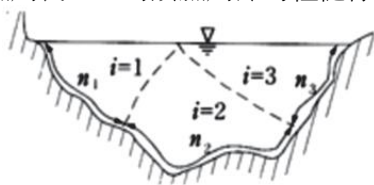


圖5-4-1 具備複數粗糙係數的河道橫斷面

< 相關通知等 >

- 1) 土木學會水理委員會：水理公式集〔平成11年版〕，pp.111-114，丸善，1999。

4.1.2 計算方法

< 標準 >

標準做法是將上式(5-4-1)差分化，適當給予河道形狀、粗糙係數、邊界條件等，然後逐次進行數值計算。

計算斷面方面，標準做法是針對每個距離標進行計算斷面的設定。

支配斷面的斷面附近，或出現大能量坡降斷面旁邊，必要時可插入內插斷面。

河道形狀、河川構造物或繁茂樹木群領域等方面，參考河川定期橫斷測量、河道平面圖、空載攝影、植生圖、樹木群調查結果（參照第 4 章 河道特性調查 第3節 各時間點的河道狀況），進行設定為標準。

樹木群、河道寬度急速擴張・急速縮減等所形成死水域時，將該計算斷面相當於死水域的部分從河川面積中排除。上述設定方法，應依據河道計畫檢討指南與河川數目管理指南實施。

粗度係數應依據本章 第5節，適當設定。

分合流點、水躍發生地點、跌水區域與橋樑設置地點等河道區間，應依據公式（5-4-1），並把包圍這些地點的上下游計算斷面間當作控制量，然後依據針對上述現象的運動量公式（或能量方程式），計算水位。

此外，河道彎曲區間與砂洲發達區間的左右岸水邊的水位，應依據河道形狀與水理量等，依另有之橫斷方向偏差 ΔH 計算公式。然後用附加在公式（5-4-1）所算出平均水位的方式算出 ΔH 。

上述計算方法，參考水理公式集〔平成11年版〕與河道計畫檢討指南。

在河口部給定下游端邊界條件時，應考量潮位、河水與鹽水之密度差、河口砂洲等，設定下游端水位。

<建 議>

從分析的精度・解析度提升的觀點，建議以應用空載雷射測量或側向掃描聲納之測深等所取得的高解析度連續性河道地形測量成果，設定河道形狀。

在混合常流與超臨界流的流場，在流量與水位固定之邊界條件下，實施本節4.2.2 <建議>所說明的一維非恆定流計算，可取得水位與流速等水理量在時間上安定的恆定狀態之解。

<例 示>

依據標準逐次計算法實施混合常流與超臨界流的流場計算，可適用預測控制斷面位置並判別常流與超臨界流發生區間的方法。

此外，在考量河水與海水密度差的下游端水位簡易設定法方面，可使用潮位算出河口部水深 h_0 與 $(\rho_2/\rho_1 - 1)$ （在此， ρ_2 、 ρ_1 為海水與河水的密度）的積所算出之值，加上河口部潮位的方法。

<相關通知等>

- 1) 土木學會水理委員會：水理公式集〔平成11年版〕，pp.93-98，丸善，1999.
- 2) （財團法人）國土技術研究中心：河道計畫檢討の手引き，pp.84-97，pp.109-114，pp.119-124，pp.142-144，山海堂，2002.
- 3) （財團法人）河川前線整備中心：河川における樹木管理の手引き，pp.93-96，山海堂，1999.

<參考資料>

預測支配斷面位置的方法，可參考下列資料。

- 1) 石川忠晴，林正男：常流・射流が混在する区間の不等流計算法，土木技術資料，Vol.25 No.3，pp.39-44，1983.

4.2 一維非恆定流計算

4.2.1 定義

<概 說>

一維非恆定流計算〔1DF非恆定流〕，使用依據連續方程式與運動方程式，而以漸變明渠水流為處理對象的基礎方程式（5-4-6）、（5-4-7）如下。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (5-4-6)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\int u^2 dA \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{T_r}{\rho} = 0 \quad (5-4-7)$$

在此， t 為時間。一維非恆定流計算，適用於斷面內粗糙狀況相同、以及單斷面變化的河道。公式（5-4-7）左邊第2項與第4項，應與本節4.1.1所說明一維非均勻流計算相同，以公式（5-4-2）、（5-4-4）、（5-4-5）進行計算。

<相關通知等>

- 1) 土木學會水理委員會：水理公式集〔平成11年版〕，p.120，丸善，1999.

4.2.2 計算方法

<標 準>

標準做法是，將公式（5-4-6）、公式（5-4-7）差分化，適當地給予河道形狀、粗糙係數、邊界條件，進行數值計算。

為了能穩定地實施計算、取得所預定的精度與解析度，標準做法應設定計算時間間隔。

計算斷面、河川形狀、粗糙係數、樹木群與死水域、河口部下游端邊界條件等，應與本節4.1.2相同設定。

河道彎曲部、砂洲發達區間的左右岸水濱水區的水位，與本節4.1.2一樣進行計算。

<建 議>

混合常流與超臨界流流場為處理目標時，最好使用適合應用在水躍與段波（驟變波）等不連續水流，以及從常流變成超臨界流之「遷移流動」的急變流之計算方法。

<參考資料>

適合用來計算混合常流與超臨界流流場的方法之一是流速差分法（FDS法），做法可參考下列資料。

- 1) 西本直史，森明巨，板倉忠興，金澤克己：FDS 法による 1 次元開水路流れの数値解析，土木学会論文集，No.670 II-54，pp.25-36，2001.
- 2) 秋山壽一郎，浦勝，重枝未玲，アキレス K. ジャ：1 次元浅水流方程式の FDS に基づく数値解析法，水工学論文集，第 44 卷，pp.473-478，2000.

4.2.3 一維非恆定流計算的近似解法

<概 說>

一維非恆定流計算的近似解法係使用省略全部或部分運動方程式運動量時間變化相關項目與運動量與水深縱斷方向相關項目的近似公式而進行分析。這類近似解法，主要有運動波（Kinematic wave）模式、擴散波（Diffusion wave）模式，這些模式和本節4.2.1所介紹計算法，合稱為水理學追蹤法（參照第3章 水文分析2.2.4）。計算法，準用本節4.2.2。

<相關通知等>

- 1) 土木學會水理委員會：水理公式集〔平成11年版〕，p.120，丸善，1999.

4.3 準二維非均勻流計算

4.3.1 定義

<概 說>

準二維非均勻流計算〔2DF`非均勻流〕的流量Q固定，基礎公式使用公式（5-4-1）與 β 及Tr的計算法如公式（5-4-8）～（5-4-13）。

$$\beta = \frac{\int u^2 dA}{U^2 A} = \frac{\beta_1 \sum_i (U_i^2 A_i)}{U^2 A} \quad (5-4-8)$$

$$\frac{T_r}{\rho} = \sum_i \left\{ \frac{g n_i^2 U_i^2 S_{bi}}{R_i^{1/3}} + \sum_{ji} (f U_i^2 S_{vji}) \right\} \quad (5-4-9)$$

$$\frac{n_i^2 U_i^2}{R_i^{1/3}} S_{bi} + \frac{\sum_{ji} (\tau'_{ji} S'_{vji})}{\rho g} + \frac{\sum_{ji} (\tau_{ji} S_{vji})}{\rho g} = A_i \cdot I_b \quad (5-4-10)$$

$$\tau_{ji} = \rho f U_i^2 \quad (5-4-11)$$

$$\tau'_{ji} = \rho f (\Delta U_{ji}) |\Delta U_{ji}| \quad (5-4-12)$$

$$Q = \sum_i (A_i U_i) \quad (5-4-13)$$

在此， S_b 為壁面剪應力作用的濕周長， S_w 為樹木群邊界的濕周長， S'_w 為分割斷面邊界的濕周長， τ 與 τ' 為作用在樹木群邊界與分割斷面邊界的剪應力， ΔU_j 為透過邊界面相鄰的分割斷面間的平均流速差， f 為邊界混合係數， β_1 為各分割斷面內的運動量校正係數（標準為1.1或1）。此外，小字*i*為第*i*個分割斷面的量，小字*j*為第*j*個分割斷面邊界或樹木群邊界的量（但處理對象只有與第*i*個分割斷面有關的邊界）。

準二維非均勻流計算，適用於斷面內粗糙度狀況相同或有變化的複斷面河道為標準。

公式（5-4-8）～（5-4-13）係導入 f ，將相鄰斷面間干涉效果納入考量的計算法。在此，干涉效果指河道橫斷方向出現急劇的流速變化，該處所形成橫斷方向的組織性流體混合，運動量輸送導致水流整體阻力增加的效果。

設定斷面分割與邊界混合係數時，一般而言應依據會造成流速快速變化的地形・粗糙度狀況，在河道斷面形狀與粗糙度狀況（一般而言為樹木群邊界）的驟變點，設定分割斷面邊界。此外，邊界混合係數也可區分斷面驟變部與樹木群邊界，分別使用設定之方法。

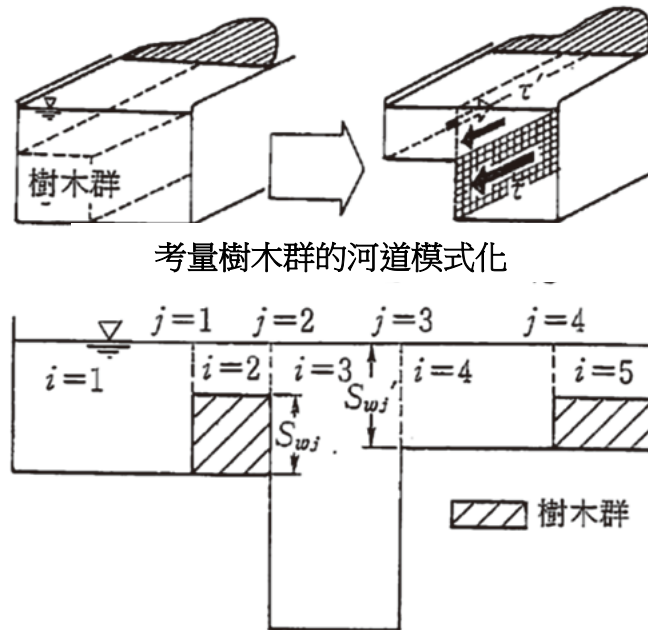


圖5-4-2 以準二維非均勻流計算的斷面分割舉例

<相關通知等>

- 1) 土木學會水理委員會：水理公式集〔平成11年版〕，pp.111-116，丸善，1999.
- 2) (財團法人)國土技術研究中心：河道計画検討の手引き，pp.79-81，山海堂，2002.

4.3.2 計算方法

<標準>

標準做法為和本節4.1.2 同樣地進行公式（5-4-1）差分化，實施數值計算。

邊界混合係數方面，可參考水理公式集〔1999年版〕、河道計畫檢討指南與河川樹木管理指南，適當地進行設定。

計算斷面、河道形狀、粗糙係數、樹木群與死水域、河口部下游端邊界條件等，則與本節4.1.2同樣地進行設定。

分合流點、水躍發生地點、跌水部、橋樑設置地點、河道彎曲部、砂洲發達區間的水位變化，則與本節4.1.2一樣計算。

<相關通知等>

- 1) 土木學會水理委員會：水理公式集〔1999年版〕，pp.98-106，丸善，1999.
- 2) (財團法人)國土技術研究中心：河道計画検討の手引き，pp.81-84，山海堂，2002.
- 3) (財團法人)河川前線整備中心：河川における樹木管理の手引き，pp.104-108，山海堂，1999.

4.4 準二維非恆定流計算

4.4.1 定義

<概 說>

準二維非恆定流計算〔2DF'非恆定流〕係使用基礎公式（5-4-6）、（5-4-7）， β 與 T_r 則與本節4.3.1所說明準二維非均勻流計算相同，以公式（5-4-8）～（5-4-13）計算。

準二維非恆定流計算，適用於斷面內粗糙度狀況均一或有變化的複斷面河道為標準。

4.4.2 計算方法

<標 準>

與本節4.2.2相同地針對公式（5-4-6）、公式（5-4-7）進行數值計算。

計算斷面、斷面分割、河道形狀、粗糙係數、樹木群或死水域配置、邊界混合係數、河口部的下游端邊界條件等，與本節4.3.2一樣設定。

另外，河道彎曲部、砂洲發達區間的水位變化，則與本節4.1.2同樣計算。

<參考資料>

準二維非恆定流計算的計算方法，詳細作法可參考下列資料。

- 1) 福岡捷二，佐藤宏明，出口桂輔：洪水流の非定常準二次元解析法の研究，土木学会論文集B，Vol.65 No.2，pp. 95-105，2009.

4.5 平面二維流分析

4.5.1 定義

<概 說>

平面二維流分析〔2DF〕基礎公式係依據連續方程式與運動方程式、以漸變明渠流為對象的公式（5-4-14）～（5-4-17）。

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}[h\bar{u}] + \frac{\partial}{\partial y}[h\bar{v}] = 0 \quad (5-4-14)$$

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} = F_x - g \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left[-h\overline{u'^2} \right] + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(-h\overline{u'v'} \right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} \quad (5-4-15)$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} = F_y - g \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left[-h\overline{u'v'} \right] + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(-h\overline{v'^2} \right) - \frac{\tau_{by}}{\rho h} \quad (5-4-16)$$

$$\begin{pmatrix} -\overline{u'^2} & -\overline{u'v'} \\ -\overline{u'v'} & -\overline{v'^2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2\nu_{\alpha\alpha} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} - \frac{2}{3}K & \nu_{\alpha\beta} \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) \\ \nu_{\beta\alpha} \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) & 2\nu_{\beta\beta} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} - \frac{2}{3}K \end{pmatrix} \quad (5-4-17)$$

在此， x 、 y 為與水平面或河床面平行的垂直座標軸， u 、 v 為在某點上的各座標軸方向流速（將紊流成分平均化的結果）， F_x 、 F_y 為外力（質量力）， H 為水位， \bar{u} 、 \bar{v} 為平均水深之 u 、 v ， h 為水深， τ_b 為河床剪力， ν_t 為渦動黏滯係數， K 為紊亂能量。小字 x 、 y 代表各自作用方向的座標軸。

平面二維洪水流分析，適用於近似靜水壓分布成立的洪水流場為標準。但若曲率半徑小的彎曲水流、構造物旁邊局部流等二次流所形成運動量輸送佔優勢，以及形成非靜水壓分布狀況，則適用本節4.6、4.7的準三維水流分析、三維流分析。

<相關通知等>

- 1) 土木学会水理委員会：水理公式集[平成11年版]，pp.118-119，丸善，1999.

4.5.2 計算方法

<標準>

將公式(5-4-14)～(5-4-17)差分化、適當地設定河道形狀、粗糙度狀況、邊界條件，然後進行數值計算為標準。

設定計算格子時使用一般座標係，並考量河岸堤線形狀、堤防堤線形狀、定期橫斷測線位置，然後設定座標為標準。

河道形狀、河川構造物與繁茂樹木群領域等，依據本節4.1.2所說明資料，進行設定。

計算時間間隔方面，當然以在於能穩定地進行計算，且可獲得所定之精度與空間解析度來設定。

河床剪力方面，標準做法是以曼寧公式或對數定律等進行計算。粗糙係數方面，應依據本章第5節，適當地設定。

方程式(5.4.17)之中可適用方程式(5.4.18)所示的渦動黏滯性模型。

$$\begin{aligned} \nu_t &= au_*h \\ K &= 0 \end{aligned} \quad (5-4-18)$$

在此， u_* 為摩擦速度、 a 為常數。

方程式(5-4-18)係在水深尺度紊流占優勢之流場之平面流體混合模式，水深或粗糙度呈現空間上漸變的河道， a 取0.13～0.15左右的值。

<建議>

高灘地・低水河道間等包含河道橫斷形狀驟變部與樹木群等植物群落的流場，且平面剪斷流伴隨出現大規模平面漩渦等組織性流體混合所形成河道之平面方向運動量輸送佔優勢時，最好用下列二種方法分析。

- 1) 以渦動粘性係數評估平面剪斷流平均效果的操作方法
- 2) 以平面尺度的組織性流體混合現象作為平面二維流分析之直接對象的方法

(本方法可把代表渦流運動的流速時空間變化當作計算結果。實務上很少視這種流速變動為直接必要，通常使用的是渦流造成混合效果所形成平均流速(比如斷面平均流速、橫斷方向流速分布等)的相關資訊。平均流速可由本方法所算出流速變動進行時空間平均而取得。)

1)的方法，係依據平面剪斷流相關水理量、河道形狀、植物群落的粗糙度・形狀等，設定配合組織性流體混合現象的渦動黏滯性係數。2)則經由分析，直接計算平面渦流所伴隨形成的流動，因此在渦動黏滯性係數方面，其尺度小於大規模平面渦流，應設定配合直接分析對象外之流體混合的值。這種設定例子之一是，水深尺度以下的流體混合，和方程式(5-4-18)一樣，都可當做摩擦速度與水深之函數。

另外，從提升解析精度與空間解析度的觀點，建議使用空載雷射測量與側向掃描聲納等音響測深方法所得的高解析度連續河道地形測量成果，然後設定河道形狀。

<例 示>

渦動黏滯性係數 ν 與紊流能量 K 之計算方法，可以 $k-\varepsilon$ 模型等的紊流計算模組方程式計算出來。

<相關通知等>

- 1) 土木学会水理委員会：水理公式集 [平成11年版]，pp. 98-99・pp. 106-107，丸善，1999.

<參考資料>

一般座標係可參考下列資料1)、2)，同樣紊流計算模組，則可參考資料3)。

- 1) 長田信寿，細田尚，村本嘉雄，Md Munsur Rahman：移動一般座標係による側岸侵食を伴う河床変動の数値解析，水工学論文集，第40巻，pp.927-932，1996.
- 2) 細田尚，長田信寿，村本嘉雄：移動一般座標による開水路非定常流の数値解析，土木学会論文集，No.533 II-34，pp.267-272，1996.
- 3) 灘岡和夫，八木宏：SDS&2DH モデルを用いた開水路水平せん断乱流の数値シミュレーション，土木学会論文集，No.273 II-24，pp.35-44，1993.

4.6 準三維洪水流分析

4.6.1 定義

<概 説>

準三維流分析〔3DF'〕，基礎方程式以連續方程式及運動方程式算出漸變明渠路流為對象的方程式(5-4-19)～(5-4-23)。

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \int_{z_b}^H u dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_{z_b}^H v dz = 0 \quad (5-4-19)$$

$$w = -\frac{\partial}{\partial x} \int_{z_b}^z u dz - \frac{\partial}{\partial y} \int_{z_b}^z v dz \quad (5-4-20)$$

$$\frac{Du}{Dt} = F_x - g \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \overline{u'^2} - \frac{\partial}{\partial y} \overline{u'v'} - \frac{\partial}{\partial z} \overline{u'w'} \quad (5-4-21)$$

$$\frac{Dv}{Dt} = F_y - g \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \overline{u'v'} - \frac{\partial}{\partial y} \overline{v'^2} - \frac{\partial}{\partial z} \overline{v'w'} \quad (5-4-22)$$

$$\begin{pmatrix} -\overline{u'^2} & -\overline{u'v'} & -\overline{u'w'} \\ -\overline{u'v'} & -\overline{v'^2} & -\overline{v'w'} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2\nu_{xx} \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3}K & \nu_{xy} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) & \nu_{xz} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \\ \nu_{yx} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) & 2\nu_{yy} \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3}K & \nu_{yz} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \\ \nu_{zx} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) & \nu_{zy} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) & 2\nu_{zz} \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{2}{3}K \end{pmatrix} \quad (5-4-23)$$

在此， z 為相對於 xy 平面垂直向上的垂直交叉座標軸， w 為某個點上 z 座標軸方向的流速（將紊亂部份平均化）、 z_b 為河床面的 z 座標。

準三維流分析適用於 $w \ll \bar{u}, \bar{v}$ 、近似靜水壓分布成立的情況為標準。

<相關通知等>

- 1) 土木学会水理委員会：水理公式集〔平成11年版〕，pp.118-119，丸善，1999.

<參考資料>

準三維洪水流動分析可參考下列資料。

- 1) 石川忠晴，鈴木研二，田中昌宏：開水路流の準三次元計算法に関する基礎的研究，土木学会論文集，第 375 号 II-6，pp.181-189，1986.

4.6.2 計算方法

<例 示>

將方程式（5-4-19）～（5-4-23）差分化，適度地設定其河道形狀、粗糙係數、邊界條件，然後進行數值計算。

計算格子、河道形狀、粗糙係數、河川構造物與繁茂樹木群領域等，以及河床剪應力，可和本節 4.5.2 同樣設定。

<參考資料>

實施準三維非恆定流計算時，給予垂直方向流速分布公式而根據二次流計算運動量輸送的方法，可參考資料1)～4)。使用渦度方程式的方法，則參考資料5)。另外，計算大規模平面渦漩，可參考資料6)。

- 1) 福岡捷二，五十嵐崇博，西村達也，宮崎節夫：河川合流部の洪水流と河床變動の非定常三次元解析，水工学論文集，第 39 卷，pp.435-440，1995.
- 2) 細田尚，長田信寿，岩田通明，木村一郎：一般座標係での主流と2次流の遅れを考慮した平面2次元流モデル，水工学論文集，第 44 卷，pp.587-592，2000.
- 3) 音田慎一郎，細田尚，木村一郎：一般座標係での湾曲流の水深積分モデルの改良とその検証について，水工学論文集，第 50 卷，pp.769-774，2006.
- 4) 吉田圭介，石川忠晴：円筒座標 CIP-Soroban 法と境界適合座標法を組み合わせた蛇行河川の準3次元計算法，水工学論文集，第 52 卷，pp.997-1002，2008.
- 5) 内田龍彦，福岡捷二：浅水流方程式と渦度方程式を連立した準三次元モデルの提案と開水路合流部への適用，水工学論文集，第 53 卷，pp.1081-1086，2009.

- 6) 吉田圭介，石川忠晴，箕浦靖久：準 3 次元 CIP-Soroban モデルによる利根川洪水流の大規模数値計算，水工学論文集，第 53 巻，pp.877-882，2009.

4.7 三維流分析

4.7.1 定義

<概 説>

三維流分析〔3DF〕の基礎方程式，使用下式(5-4-24)～(5-4-28)。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (5-4-24)$$

$$\frac{Du}{Dt} = F_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \overline{u'^2} - \frac{\partial}{\partial y} \overline{u'v'} - \frac{\partial}{\partial z} \overline{u'w'} \quad (5-4-25)$$

$$\frac{Dv}{Dt} = F_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \overline{u'v'} - \frac{\partial}{\partial y} \overline{v'^2} - \frac{\partial}{\partial z} \overline{v'w'} \quad (5-4-26)$$

$$\frac{Dw}{Dt} = F_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} \overline{u'w'} - \frac{\partial}{\partial y} \overline{v'w'} - \frac{\partial}{\partial z} \overline{w'^2} \quad (5-4-27)$$

$$\begin{pmatrix} -\overline{u'^2} & -\overline{u'v'} & -\overline{u'w'} \\ -\overline{u'v'} & -\overline{v'^2} & -\overline{v'w'} \\ -\overline{u'w'} & -\overline{v'w'} & -\overline{w'^2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2\nu_{xx} \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3}K & \nu_{xy} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) & \nu_{xz} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \\ \nu_{yx} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) & 2\nu_{yy} \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3}K & \nu_{yz} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \\ \nu_{zx} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) & \nu_{zy} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) & 2\nu_{zz} \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{2}{3}K \end{pmatrix} \quad (5-4-28)$$

在此， F_z 為外力（質量力）。小字 z 代表作用方向的座標軸。

三維流分析的計算負荷較大，應用在大範圍實際河川的案例很少。三維流分析的應用多半是在重現丁壩等構造物周邊流況等形成局部且非靜水壓分布流場的情況，或者很可能須配合分析目的進行三維流分析，實施之前須有充份的檢討評估。

<相關通知等>

- 1) 土木学会水理委員会：水理公式集〔平成11年版〕，pp.118-119，丸善，1999.

4.7.2 計算方法

<例 示>

是將方程式(5-4-24)～(5-4-28)差分化，適當地設定河道形狀、粗糙係數、邊界條件，進行數值計算為標準。

河道形狀、粗糙係數、河川構造物或繁茂樹木群領域等，以及河床剪力方面，都可和本節4.5.2一樣設定。

<参考資料>

亂流模型方面，可參考下列資料。

- 1) 河原能久，彭靜，藤井和之：越流型水制工を有する河道内の流れの3次元数値解析，河川技術論文集，第3巻，pp.17-22，1997.
- 2) 長田信寿，細田尚，村本嘉雄，中藤達昭：3次元移動座標係・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.

第5節 參數的設定

5.1 參數的種類與設定之基本思維

<概 說>

水理分析所使用參數之中，包括各分析法內含之參數以及由河道粗糙度狀況決定的參數。

前者為準二維流分析的邊界混合係數、平面二維流分析的渦動黏滯性係數等。後者之粗糙狀況所決定的參數，基本上指粗糙係數。

計算方法所內含之常數，多半從現有知識見解，配合水理條件進行設定為多。其設定方法參見本章第4節計算方法的說明。因此，本節進一步說明粗糙係數的設定方法

另外，計算方法所內含的參數，不少人依據實際洪水之觀測結果，利用逆算等方法進行驗證，但考量隨著觀測技術進步，數據的空間分解能與時間分解能已提高，因此今後的重點是進行積極的驗證。

5.2 粗糙係數的設定

<概 說>

粗糙係數大致有二種設定方法，包括以逆算進行粗糙係數推定的方法，以及依據河道粗糙度狀況進行物理粗糙係數推定的方法。

粗糙係數逆算推定的方法，係使用適當的平均流速公式之洪水流計算方法，給予實測之河道形狀、水位、流量或流速，然後算出粗糙係數。逆算粗糙係數含有各種洪水發生時的資訊，因是實際記錄，所以很重要。設定對象之粗糙狀況、河道形狀、洪水規模，若和粗糙係數逆算對象實際狀況沒有太大不同，就可進行妥當的設定。反之，若有很大不同，這樣的設定可能就不妥當。是否妥當的前提為，是否進行了品質良好、充分次數的粗糙係數逆算。此外，設定結果成敗，視洪水數據精度高低而定。

應用物理推定方法進行粗糙係數設定的方法，係在釐清推定法原理、特徵、適用範圍後，依據掌握對象場所之特性的適當推定方法，算出粗糙係數。依粗糙狀況進行粗糙係數的推定，具有相當高的普遍性與可應用性，就原理而言，也適用於任意的斷面形狀、洪水規模與粗糙狀況。因此，能估計任意粗糙狀況、河道形狀、洪水規模之粗糙係數設定。另一方面，這種設定方法有效的前提為，使用具有粗糙係數物理性之平均流速公式。另外，粗糙係數的推估精度與推估方法適用範圍，有其侷限與不確定因素。

進行粗糙係數設定，若要彌補以逆算推定法及依粗糙狀況推估法之弱點，現實上可選擇併用這兩種設定方法。換言之，可依據河道粗糙狀況，從物理的角度設定粗糙係數，但另一方面應確認，完成該設定後是否能重現現有代表洪水的逆算粗糙係數或洪水水位，必要時並須掌握逆算粗糙係數值，以修正粗糙係數。或者也可嘗試依據逆算粗糙係數，設定粗糙係數，但同時應釐清逆算對象之洪水規模、河道狀況與粗糙係數設定對象之差異，進一步應用物理的粗糙係數推估法，最終完成粗糙係數設定。

另外，難以應用物理方面粗糙係數推估方法的河道，可實施重視粗糙係數逆算結果的粗糙係數設定。這種方法通常應用在岩床河道、硬質黏土層裸露之河道。反之，若即使無可用來逆算之數據即仍得進行設定，只能應用物理性推估方法，或者，這方面有其困難，現實上也可充份評估類似河川的粗糙係數，加以適用。

影響粗糙係數的因素及其影響程度都很複雜，實際河川觀測對象的洪水觀測未必能達到良好精度，因此須了解，即便已完成了適當的粗糙係數設定，仍很難完全排除粗糙係數的各種誤差與不明確要素。所以，一般而言粗糙係數有效數字頂有二位數。設定粗糙係數，以及進行設定粗糙係數流場分析結果的解釋與利用，須充份考慮粗糙係數所可能出現的這種誤差與不確定性。

<相關通知等>

- 1) 土木学会水理委員会：水理公式集〔平成 11 年版〕，pp.87-92・p.117・pp.182-184・pp.206-209，・pp.212-218，丸善，1999.
- 2) (財)国土技術研究センター：河道計画検討の手引き，pp.97-118，山海堂，2002.
- 3) (財)リバーフロント整備センター：河川における樹木管理の手引き，pp.98-103，pp.118-120，山海堂，1999.

5.3 依逆算進行推定的方法

5.3.1 逆算使用數據的種類

<概 說>

粗糙係數逆算所使用的數據集，主要有以下 3 種類。數據集 1)、2)係第2章 水文・水理觀測 第1節 總說 所說明範疇1.2的觀測數據群，3)則是用來進行範疇3.1河川流動綜合掌握的觀測數據群。

- 1) 時間間隔大，但空間上密集量測的水位數據

代表性數據為第2章 水文・水理觀測 第3節 水位觀測 3.9所說明的洪水痕跡水位。

- 2) 空間間隔較大，但時間密集量測的水位數據

代表性數據如第2章 水文・水理觀測 第3節 水位觀測 3.4所介紹的水位觀測所水位數據。

- 3) 時間與空間都密集量測的水位數據

代表性數據如第2章 水文・水理觀測 第7節 河川流動綜合掌握 所說明水位時間變化之縱斷方向多點觀測結果。

5.3.2 配合數據集之推定

<概 說>

- 1) 共通事項

在一個斷面內設定複數粗糙係數（低水河道與高灘地等）時，無法只靠一次逆算就可取得斷面內所有的粗糙係數。標準做法是進行如下的計算。

針對各種規模洪水進行逆算，找出能配合實測值的粗糙係數組合。比如，逆算出低水河道滿槽時洪水的低水河道粗糙係數，然後根據更高水位的洪水，算出高灘地上樹木與草本植物的粗糙係數。此時之適用條件是，可忽視洪水規模所造成的粗糙係數變化，以及對象各洪水發生時的粗糙狀況差異。

又，非對水位有絕對性影響，而從粗糙狀況進行物理性推估時具有較高可靠性之粗糙係數值為已知，針對不符合此條件時，而有必要進行逆算之一個粗糙係數進行逆算。比如，藉由推估植生地被，給予高灘地粗糙係數值，只需把低水河道粗糙係數當作逆算對象時，採取這種作法。此等狀況，依已知粗糙係數值誤差決定逆算的粗糙係數精度。

2) 應用數據集1的推定法

此推定法可取得河道長區間之平均粗糙係數。「河道長區間」可視為河道特性相同的一個單位，亦即河段區間。逆算時採用以計算平均粗糙係數的本推定法之情形很多，這是因為設定對象區間的平均粗糙係數，在河道計畫制定所使用的精度下，可計算水位。

逆算長河道區間的平均粗糙係數時，應配合河道與洪水流動特徵，分別使用本章 第3章 3.2所述之非恆定流計算與非均勻流計算。此外，以一維・準二維流分析進行逆算，應比較左右岸的痕跡水位平均值與水位計算值。

3) 應用數據集2的推定法

這種推定法通常使用水位觀測所的水位數據，此時可得到水位觀測所地點之間的平均粗糙係數。

河道長區間內若設有多處水位觀測所，可以上述2)所述計算痕跡水位的方法，針對各觀測所最高水位進行粗糙係數逆算。

另外，若同一河段區間內靠近的二個地點，由水位觀測所等取得水位數據，可依據均勻流計算或非均勻流計算，逆算出粗糙係數。所謂「靠近的二地點」，指二地點之間流量可視為相同時。此時不只最高水位，為適用水位的時間變化，可掌握粗糙係數的時間變化。

此逆算過程中，可能帶來較大誤差的是水面坡降。若與水位測定精度（或誤差）相比，無法測量到很大的二地點間之水位差，就難以確保水面坡降精度，逆算粗糙係數誤差也會變大。

依據上述觀點，為了擴大水位差，最好在距離稍遠的水位觀測所之間，進行粗糙係數逆算。但增加二地點的距離，難以保持粗糙狀況與河道狀況的一樣性，有時會因此導致均勻流計算時逆算粗糙係數精度下降。此時，應用非均勻計算，就原理而言可減少精度下降，但若增加兩個觀測所的距離導致二地點間流量無法視為相同非均勻，則未必有效。

通常，特別是河床坡降緩和的河道區間，很難完全滿足上述要件，因此，一定會有某些誤差。

此外，應用本方法推定的粗糙係數，若要當作長區間平均粗糙係數應用，須充份評估是否也能用來代表上下游長區間，這方面的應用需謹慎進行。

<例 示>

4) 應用數據集3的推定法

這種推定法，能以非恆定流重現計算實施分析對象洪水之水面形狀，並可能讓水面形狀的時空間變化、多地點且高頻率水位觀測結果儘可能一致的逆算粗糙係數，即可對不同粗糙狀況推定粗糙係數。

<相關通知等>

- 1) 土木學會水理委員會：水理公式集〔平成11年版〕，p.117，丸善，1999.
- 2) （財團法人）國土技術研究中心：[河道計画検討の手引き](#)，pp.97-118，山海堂，2002.

<參考資料>

使用數據集1、2的粗糙係數逆算，可參考資料1)。使用數據集3)的分析事例，參考資料2)。

- 1) 建設省河川局治水課，建設省土木研究所：河道特性に関する研究，第 42 回建設省技術研究会報告，pp.761-791，1988.
- 2) 福岡捷二，渡邊明英，田端幸輔，風間聡，牛腸宏：[利根川・江戸川分派点を含む区間における流量ハイドログラフと粗度係数・樹木群透過係数の評価](#)，水工学論文集，第 50 卷，pp.1165-1170，2006.

5.4 依粗糙度狀況推定的方法

5.4.1 推定的基本思維

<概 說>

洪水作用於動床時，會因為小規模河床波的消長，導致粗糙係數有大幅度的變化。這種趨勢在沙床河川很明顯，礫床河川也不可忽視。以下分別說明汛期河床變化不明顯時的粗糙係數推定法。以及伴隨產生小規模河床波情況下的粗糙係數推定法。此外，也一併說明河川構造物阻力的推定法。

5.4.2 汛期河床變化不明顯時的粗糙係數推定法

<標 準>

1) 河床等裸露地面的粗糙係數

處理不產生河床質移動之平坦固定河床，標準做法是依據河質的粒徑、水深等，推估其粗糙係數，作為固定河床的粗糙係數之推定，可參考水理公式集〔1999年版〕。

2) 人工水路等的粗糙係數

人工水路應依據固定河床面凹凸等粗糙狀況，推定其粗糙係數。進行推定時，可參考水理公式集〔1999年版〕。

3) 草本植物・樹木的粗糙係數

河床或高灘地等草本植物、樹木覆蓋時，標準做法是依據草高等繁茂狀況與水深等水理量，推定粗糙係數。推定時，可參考河道計畫檢討指南與河川樹木管理指南。

4) 護岸等的粗糙係數

依據坡面保護工、坡腳保護工之主構成材料（混凝土塊、礫石等）之相當粗糙度等的粗糙狀況，推定粗糙係數為標準。推定時，應依據護岸的力學設計方法。

<相關通知等>

- 1) 土木學會水理委員會：水理公式集〔平成11年版〕，pp.87-91・pp.206-209・pp.214-215，丸善，1999.
- 2) （財團法人）國土技術研究中心：[河道計画検討の手引き](#)，pp.114-118，山海堂，2002.
- 3) （財團法人）河川前線整備中心：河川における樹木管理の手引き，pp.99-100，~~pp.118-120~~，山海堂，1999.
- 4) （財團法人）國土技術研究中心：護岸の力学設計法，pp.132-133，山海堂，1999.

5.4.3 伴隨小規模河床波時的粗糙係數推定法

<標準>

伴隨小規模河床波（含平坦河床）之河床粗糙係數推定，從實用觀點而言，應用維度分析或土砂水理學的知識見解，從實驗或觀測結果導出某些規律性為主流方法。這方面主要有依據實驗結果顯示小規模河床形態各領域區分之阻抗法則的方法，以及參考實驗結果加上河川觀察數據，然後針對河川所可能形成的大範圍水理條件與河床質粒徑範圍，訂出其流速係數、無田項移力、水深粒徑比的關係。伴隨小規模河床波的河床粗糙係數之推定，應用上述方法為標準。

<相關通知等>

- 1) 土木學會水理委員會：水理公式集〔平成11年版〕，pp.91-92・pp.182-184，丸善，1999.
- 2) （財團法人）國土技術研究中心：[河道計画検討の手引き](#)，pp.97-109，山海堂，2002.

5.4.4 河川構造物流體力的推定方法

<標準>

丁壩與橋樑等河川構造物所帶給河道縱橫斷水位、流速分布等影響之評估性，在洪水流分析通常會使用不限定河川構造物具體形狀而只反映流體力的方法（比如方程式(5-4-15)、(5-4-16)、(5-4-22)的 F_x 、 F_y ）。此時各種構造物構造要素採用的適當阻力係數、揚力係數基於經驗法則，進行推定為標準。推定時可參考水理公式集〔平成11年（1999）版〕。

<相關通知等>

- 1) 土木學會水理委員會：水理公式集〔平成11年版〕，pp.212-218，丸善，1999.

編譯：水土保持局技術研究發展小組

Research and Technology Development Team, SWCB, COA

December 2017

本文件之翻譯及轉載，均符合日本著作權法相關規定。