# 第 4 章

## 流れの多次元解析

### 4-1. はじめに

a. 定義　流れの多次元解析とは、二次元（2 方向）以上における特定の流れ状態の水理学的特性を、詳細に予測することです。「水理学的特性」とは、流れ、流量、速度、水面高さ（水深）、境界剪断応力、エネルギー損失率、構成成分、土砂輸送速度などの特性を意味しています。「特定の流れ状態」とは、特定の水域、その場所、物理的な周囲の条件、代替的な設計構成、および研究対象となる流れ（定常的または流動的）を意味しています。

b. 記述　この種類の解析では、2 または 3 方向における速度と深さの変化を認識します。たとえば、河口または河川の合流点における流れのパターンは、水流方向とそれを横断する方向の両方で、著しく異なる速度を示すことがあります。一次元的な流れモデルでは、こうした横断方向の影響をはっきりと考慮することはできません。RMA-2 （King 1988 年、Gee 他、1990 年）のような水平で、深さ方向に平均化された、二次元的な流れモデルは、主として以下に示す 2 つの目的で河川水理学に利用されています。(1) 二次元的な流れパターンを、（流れが橋を通過する箇所、2 つの水流の合流点、中州の周囲の流れなどのような）特定の場所で詳細に解析すること、または (2) 境界のない扇状地または幅の広い河川の谷間における流れの作用を解析すること。二次元または三次元のモデルは、定常流と非定常流の両方の流れ条件に使用することが可能です。TABS-2（Thomas および McAnally、1985 年）のような多次元の流れモデルを使用すると、土砂輸送および水質の解析なども実行が可能になります。これまでのところ、TABS-2 は主として、貯水池、河口域、および複雑な河道などにおける堆積過程のシミュレーションに使用されてきました。

c. 手法　この章および次の 2 章で考察する手法は、厳密に固定境界（河床および堤防）だけに適用されるものです。移動する境界に関する問題（第 7 章で扱います）は、第 4 章から 6 章で紹介する手法を延長したものです。適切な手法または手法の組み合わせを選択するためには、エンジニアは、解析の際に認識する必要のある重要な物理過程を特定しなければなりません。適切なレベルの解析を管理して実行するために必要な設備とデータは、研究計画の初期の段階で特定しておく必要があります（第 3 章を参照してください）。

### 4-2. 一次元解析の限界

水路または河川における流れは、水流の方向に対して一次元的な流れとして見られる場合がほとんどです。これは、水位（水面の高さ）、速度、および流量が、水流の方向にのみ変化することを意味しています。しかし、断面を再分割することにより、横軸方向の粗度および速度分布を説明する近似的な方法が得られます。このアプローチにより、水面の高さの予測に使用する流れの、単純化された数学的記述が得られます（第 5 および 6 章を参照してください）。流れの速度および方向についてのより詳細な解析には、二次元、時には三次元的な流れの物理学的な説明（質量と運動量の保存）が必要になります。エンジニアは、以下の各章で説明する様々なレベルの解析を実行するのにどれほどの能力と努力が必要になるのか、また、どのような限界があるのかを十分認識していなければなりません。ここで紹介する情報は、必要な技術的アプローチに関連した情報に基づいた確かな意志決定をするために、また研究を管理して実行に移すのに必要な設備を特定するために使用する必要があります。

### 4-3. 流れの式

質量保存および運動量保存の法則を、一般化した三次元の形式で下に示しました。単純化の仮説により、式を二次元および一次元に減少させることが可能です。

a. 運動量の保存　$x$（水平）、$y$（水平）および $z$（垂直）方向における運動量保存の式は、それぞれ以下のようになります。

$$\rho\frac{\partial u}{\partial t} + \rho u\frac{\partial u}{\partial x} + \rho v\frac{\partial u}{\partial y} + \rho w\frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x}\left(\varepsilon_{xx}\frac{\partial u}{\partial x}\right) - \frac{\partial}{\partial y}\left(\varepsilon_{xy}\frac{\partial u}{\partial y}\right) - \frac{\partial}{\partial z}\left(\varepsilon_{xz}\frac{\partial u}{\partial z}\right) - \frac{\partial p}{\partial x} - \tau_x = 0 \qquad \text{式(4-1)}$$

$$\rho\frac{\partial v}{\partial t} + \rho u\frac{\partial v}{\partial x} + \rho v\frac{\partial v}{\partial y} + \rho w\frac{\partial v}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x}\left(\varepsilon_{yx}\frac{\partial v}{\partial x}\right) - \frac{\partial}{\partial y}\left(\varepsilon_{yy}\frac{\partial v}{\partial y}\right) - \frac{\partial}{\partial z}\left(\varepsilon_{yz}\frac{\partial v}{\partial z}\right) - \frac{\partial p}{\partial y} - \tau_y = 0 \qquad \text{式(4-2)}$$

$$\rho\frac{\partial w}{\partial t} + \rho u\frac{\partial w}{\partial x} + \rho v\frac{\partial w}{\partial y} + \rho w\frac{\partial w}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x}(\varepsilon_{zx}\frac{\partial w}{\partial x}) - \frac{\partial}{\partial y}(\varepsilon_{zy}\frac{\partial w}{\partial y}) - \frac{\partial}{\partial z}(\varepsilon_{zz}\frac{\partial w}{\partial z}) - \frac{\partial p}{\partial z} - \rho g - \tau_z = 0 \quad \text{式(4-3)}$$

b.　質量の保存。　質量保存の式を以下に示します：

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

ここで、

$x,y,z$ = デカルト座標の方向
$u,v,w$ = それぞれ $x$、$y$、$z$ 方向の速度成分
$t$ = 時間
$g$ = 重力加速度
$p$ = 圧力
$\rho$ = 液体密度 1
$\varepsilon_{xx}$, $\varepsilon_{xy}$, など = 最初の下付き文字から二番目の下付き文字の方向への運動量の拡散を表す乱流交換係数(turbulence exchange coefficients)。
$\tau_x$, $\tau_y$, $\tau_z$ = 境界剪断応力（boundary shear stresses）の影響を表す。

## 4-4.　用語の意義

a.　加速度　　上記の各等式で使用している用語は、力（例、圧力勾配 $\partial p/\partial x$）、局所的な（一次元的な）加速度（例、$\partial u/\partial t$）、対流加速度（例、$u\partial u/\partial x$）、および質量の連続性などを表しています。運動量の等式は、ニュートンの第二運動法則の応用から得られたものです。基本的な仮定としては、液体は非圧縮である（密度が一定）こと、そして乱流運動の影響は「渦粘性」によってシミュレーションが可能であるという点です（ブシネスクの仮説）。これらの等式から導かれる厳密な微分方程式については、Rouse（1938 年）および French（1985 年）を参照してください。

b.　力　　4-1 から 4-3 までの等式で使用されている力は、重力、圧力、境界摩擦、および乱れによる運動量の交換です。

（脚注）1 一般的に密度は、温度、塩分、および圧力の関数であり、追加的な「状態の式」を使用して記述されます。Sverdurp 他（1942 年）および Wiegel（1964 年）を参照してください。

これらの等式の公式化には、風や氷、あるいは地球の自転による力なども含まれている可能性があります。河川の状況では、ほとんどの場合、風と地球の自転（コリオリの力）は重要ではありません。ただし、何十マイルにもおよぶ長いスケールの水域を扱う際にはこれらの影響が重要になる可能性があり、また、大きな湖のような大規模な水域では重要な意味を持ってきます。連続の式（4-4）は、密度が一定な水の質量の計算方法を示したものです。これらの式の中で、河口や大洋、あるいは湖に使用されるようなその他の公式化には密度の変化が含まれることもあります。

## 4-5.　流れの式の利用

a.　概要　　4-1 から 4-4 までの式は、密度が一定であり固定境界を持つという前提が満たされていれば、すべての河川および水路流れの状況に適用することが可能です。しかし、式を解く時には困難が伴います。三次元の式を解く際に使用できるような、一般に使用されていて信頼性が高い工学的なツールは、現時点（1991 年）では物理モデルのみです。しかし、数値モデル（コンピュータ・プログラム）も、上記の式を簡略化した二次元および一次元の式を解く際には、ごく一般的に使用され良好な結果を得ています。三次元の数値モデルは、現在開発中で、報告されているいくつかのアプリケーションを使用して実地試験を行っている段階です。Chesapeake 湾で行われた大規模な研究でもこの三次元の数値モデルが使用されました。これについては、Kim 他（1990）および Johnson 他（1991 年）の報告書を参照してください。

b.　伝統的なアプローチ　　河川水理学研究の「伝統的な」アプローチでは、連続性、保存、流量を決定するための計画 HEC-1（合衆国陸軍工兵隊 1990a）を、水面の高さを決定するのに使用した一次元の定常流計算 HEC-2（合衆国陸軍工兵隊 1990b）から分離しています。4-1 から 4-4 までの式を適用することにより、1 回の計算で、計画と水面の高さを組み合わせた計算結果が得られます。第 5 章と第 6 章に示す「伝統的な」手法は、上記の式を、簡略化、近似化したものに基づいています。河川の解析問題の中には、こうした単純化した手法でも十分に評価が可能なものが多数あります。しかしこの章では、より複雑な水理学的問題を、伝統的な手法の場合よりもさらに詳細に細分化して扱うことに重点をおいています。

## 4-6.　二次元流の条件

a.　概要　　多くの河川では、深さに対する幅の比率が 20 以上になっています。

こうした場合には、多くの一般的な用途も含めて、横断方向および水流方向の変化に比較すると、垂直方向の速度変化は、その重要度がはるかに小さくなっています。上記の各式は、垂直方向の値を平均化（つまり、河川の深さを平均化）することにより、平面上の流れを表す二次元的な式が得られます。この式を使用すると、前述のような特性を持つほとんどの河川において流れの領域を適切に記述できます。二次元的な流れ解析を河川水理学的な問題で考慮すべき局面としては、流れの方向または分布が直接的な重要性を持つ場合、あるいは、水面高さのような研究対象となる変数に影響を及ぼす上に、一次元的な解析で必要となるような方法では仮定できないために、流れの方向または分布が重要性を持つような場合が考えられます。図 4-1 は、二次元的な解析を使用して流れを適切にモデル化できる状態を示しています。図 4-2 では、流れの方向に対して直角な断面を選択する必要があるような場合を想定して、同じ問題に対する一次元的なアプローチを対比させて示しています。この流れ領域における全体的なエネルギー損失を再現する際には一次元的なモデルを較正することは可能かもしれません。しかし、たとえば流れの分離や再循環帯のような、その流れ領域の重要な構成部分は、一次元的なモデルでは全く再現することができません。

b.　特定の状況　　二次元的な解析が必要となるかもしれないもう一つの状況は、多くの開口部を持つ橋が、幅が広くて平らな氾濫原にかかっている場合です。このような場合、橋の上流側における水面の高さは、橋の開口部間の流れの分布に強く依存している可能性があります。こうした流れの分布は、一次元的なアプローチでは直接計算することができません。したがってこのような状況では、物理モデル、数値モデル、あるいはその他の解析手法（第 3 章を参照してください）の中から、エンジニアが解析のレベルを慎重に選択する必要があります。

c.　動的なシミュレーション　　多次元的な流れの解析は、非定常または定常のどちらの流れにも適用できます。非定常的なシミュレーションには、定常的な状態のシミュレーションに比べてかなりたくさんの計算作業が必要となります（Gee 他、1990 年）。

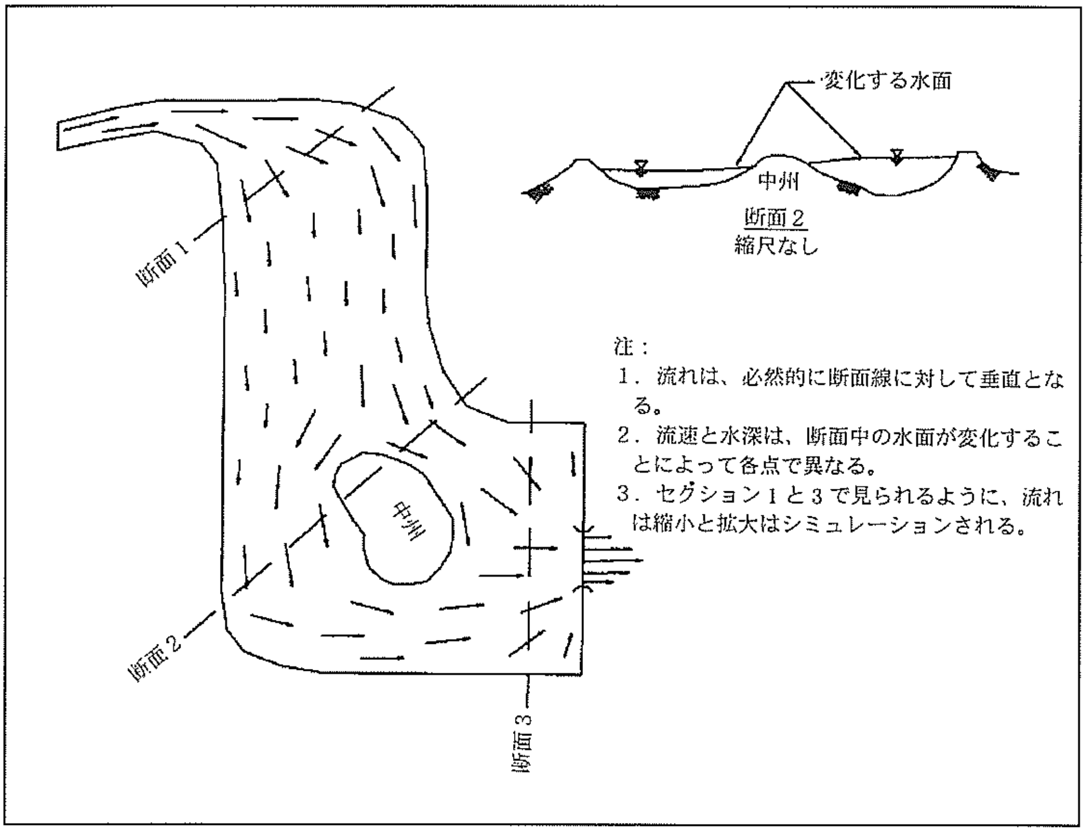


図 4-1.　貯留部分における二次元的な流れの表示

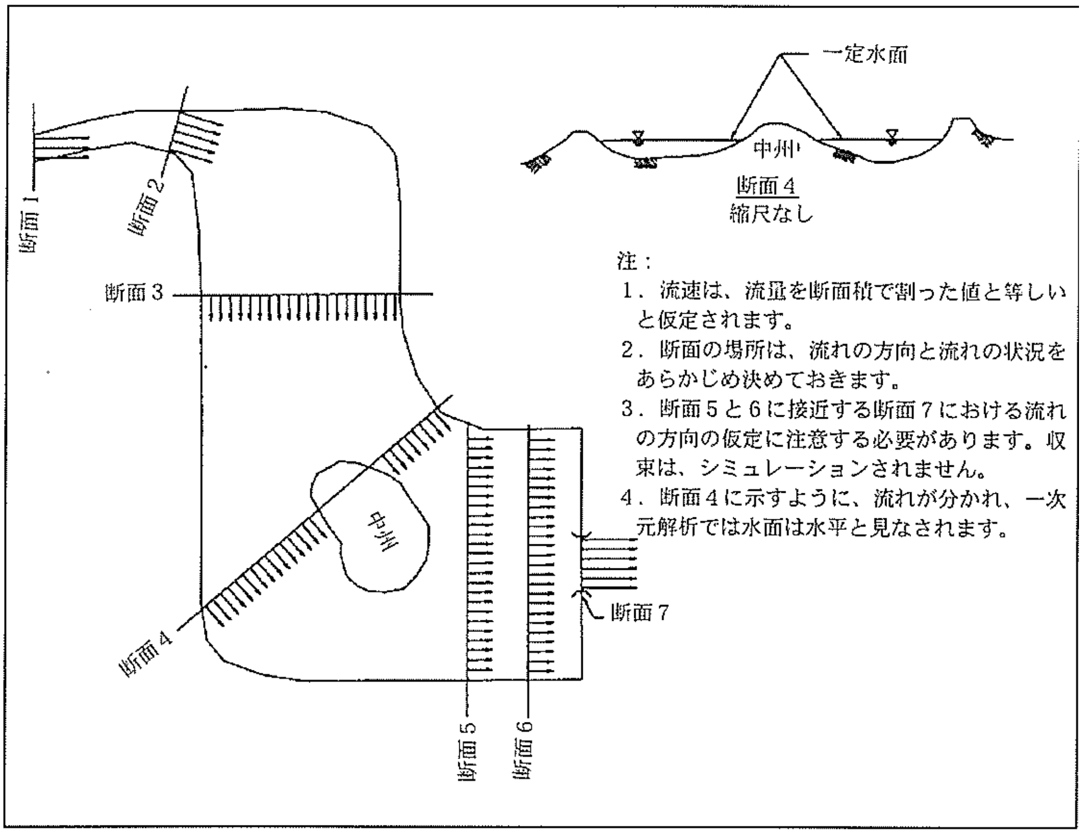


図 4-2. 貯留部における一次元的な流れの表示の限界

さらに、非定常的シミュレーションから得られた結果の解析や表示作業も、定常流のシミュレーションの場合よりずっと複雑になります。したがって、多次元的な流れの研究を設計する際には、非定常的な解析が必要かどうかを決定しておくことが重要です。ほとんどの河川研究では、潮汐システムの研究とは異なり、定常流が扱えれば十分です。代替的な設計、または研究対象となる流れについては、研究の効率が最大となるよう、また関連するすべての状態が確実に解析対象に含まれるよう、慎重に選択作業を行う必要があります。多次元的な流れの解析モデルに関する作業計画の内容や、その用途に関するより詳細な情報については、「付録 C」を参照してください。

4-7. 利用可能なコンピュータ・プログラム

a. 用途　　二次元的な数値モデリングの手法は、一般的に認められた工学技術的手段になりつつあります。経験の乏しい解析者は、特に研究の初期段階における複雑なモデルの適用に関して、経験豊富なエンジニアからの指導や助言を受ける必要があります。

こうした精密な数値的流れモデルを 1 回限りの研究に適用する場合には、最良の結果を得るために、工兵隊の研究施設や外部の研究請負業者による支援を受けることをお勧めします。このような用途のため専門技術を自前で開発する試みは、初期投資や訓練にかかる設備が非常に大きくなる一方で、同様の研究を複数回にわたって実施する場合には、将来的には大きな節約につながる可能性があります。その際、モデルの使用可能性（一般向け、または所有権つき）、応用の経験、訓練および文書作成、機能、適用性、およびコンピュータ設備の要件などを考慮する必要があります。さらに、多次元の流れ解析モデルの適用を成功させるためには、画面表示と印刷の両方におけるグラフ表示能力が非常に重要です。多次元的な流れモデルのアプリケーションは、研究上の必要性に応じて、CADD または GIS に統合させて使用する必要があります。

b. RMA-2　　平面上における二次元的な河川水理学解析を行うためのコンピュータ・プログラムは、容易に入手可能です（Thomas および McAnally 1985 年、米国運輸省、1989 年）。

陸軍工兵隊で通常使用しているのは RMA-2（King 1988 年）というプログラムで、これは TABS-2 モデリング・システム（Thomas および McAnally 1985 年）の水理模型です。これらを含むその他のプログラムの一覧が HEC（合衆国陸軍工兵隊 1982b）に記載されています。RMA-2 を使用すると、以下のように、4-1 から 4-4 までの式を垂直方向に平均化したものを解くことができます。

運動の式

$$h\frac{\partial u}{\partial t} + uh\frac{\partial u}{\partial x} + vh\frac{\partial u}{\partial y} + gh\frac{\partial a}{\partial x} + gh\frac{\partial h}{\partial x} - \frac{h\varepsilon_{xx}}{\rho}\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{h\varepsilon_{xy}}{\rho}\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + S_{fx} + \tau_x = 0 \qquad \text{式(4-5)}$$

$$h\frac{\partial v}{\partial t} + uh\frac{\partial v}{\partial x} + vh\frac{\partial v}{\partial y} + gh\frac{\partial a}{\partial y} + gh\frac{\partial h}{\partial y} - \frac{h\varepsilon_{yx}}{\rho}\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - \frac{h\varepsilon_{yy}}{\rho}\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + S_{fy} + \tau_y = 0 \qquad \text{式(4-6)}$$

連続の式：

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial (hu)}{\partial x} + \frac{\partial (hv)}{\partial y} = 0 \qquad \text{式(4-7)}$$

ここに、

$x,y,z$ = デカルト座標の方向

$u,v,w$ = それぞれ $x$、$y$、$z$ 方向の速度成分

$t$ = 時間

$g$ = 重力加速度

$a$ = 河床の高さ

$h$ = 深さ

$\rho$ = 液体密度 1

$\varepsilon_{xx}$, $\varepsilon_{xy}$, など = 最初の下付き文字から二番目の下付き文字の方向への運動量の拡散を表す乱流交換係数。

$S_{fx}$, $S_{fy}$ = 非線形のマニングまたはシェジーによる河床摩擦を表す。

$\tau_x$, $\tau_y$, $\tau_z$ = 河床摩擦を除く境界剪断応力の影響を表す（風など）。これらには、コリオリの効果も含まれる。

4-8.　データ要件

「データ」は、解析用の入力データ、較正データ、検証または確認のためのデータ、という 3 つのカテゴリーで考えると便利です。これらの各カテゴリーは、物理モデルおよび数値モデルのどちらでも、データ要件を特定する時に役立ちます。

a.　解析用の入力データ　　解析用の入力データとはモデルの実行に必要な諸要素のことで、具体的には、研究区域の形状的な説明（たとえば、一次元的な断面図、等高線地図、二次元解析用の詳細な地形図など）、解析対象となる流れ（定常流では単一の流量、非定常流ではハイドログラフが必要になります）、水位あるいは水位－流量曲線のような他の境界条件、および摩擦や乱れの影響を近似的に表す様々な係数などからなっています。これらの中で、通常、データの作成、図式化や整理などの作業に最も時間がかかるのが、研究区域の形状的な説明です。しかし、シミュレーションの正確さという意味では、必ずしも一番重要なデータというわけではありません（合衆国陸軍工兵隊、1986 年）。流れと形状的なデータにおいて必要となる密度（つまり、解像度）と正確さは、基本的に、使用する解析手法ではなく、研究目的によって規定されてきます（Cunge 他、1980 年）。

b.　較正データ　　較正データは現地での観察結果から得られます。較正作業では、こうした観察データを使用してモデルの性能を評価し、必要に応じて性能を向上させるために係数を調整します。モデルの「性能」とは、そのモデルが現地の観察結果を忠実に再現する、定性的、または主観的な指標です。この指標は、研究を実行するエンジニアが適用し報告の過程で文書化します。河川水理学が持つ複雑さゆえに、較正の正確さを測る客観的な基準を決定することは不可能です。モデルの性能が条件を満たしているかどうかは、研究の目的、モデルの結果に対する研究結果の感度、およびフィールドデータの信頼性などに依存します。

(1) 水面の高さや速度などの異なる水理学上の変数に関して、それぞれがモデルの性能に左右される程度は、研究目的、利用可能なデータとその信頼性、およびエンジニアの判断によって変わってきます。たとえば、放水路の研究では水面高計算の正確さに重点を置きますが、内容物の搬送に関する研究では速度や流量、混合などを正確に再現することに重点が置かれます。また、代替のデータを使用する場合には十分な注意が必要です。たとえば、研究目的によって流量の予測が必要となる場合には、水位－流量曲線から得られる流量よりも、較正用として現地で観測された流量を使用すべきです。

（2）河川水理学の二次元的モデリングの観点からは、研究目的には速度または水位の予測が必要となるのが一般的です。速度の現地計測値には、その方向だけでなく大きさも含めなければなりません。水理学研究に使用するほとんどの二次元的モデルでは、垂直方向に平均化された速度を計算します。したがって、モデルと現地状況を正しく比較するためには、0.2×深さ、および 0.8×深さの位置において現地データを垂直平均に変換する必要があります（French 1985 年)。この場合、深さの計測値も、速度を計測した場所で取得しなければなりません。「深さ」の値は単独では限界があるので、これに対応する水面または河床面の高さも必要になります。同様に、水位を推測するためのモデルを較正するには、水位の実測値と共に、研究対象区域内の多くの場所で異なる時間に計測した水位の変化も必要になります。また、これらの計測値に対応する時間と流量も知っておく必要があります。

c. 検証データ　　検証データも現地の観察データですが、較正には使用せず、モデルの性能をチェックするための独立した検証作業に使用します（ASCE 1982 年)。上記の較正データに関する配慮は、検証データの場合にも当てはまります。

4-9. データの作成およびモデルの較正

a. 形状　　その流域の正確な形状の把握は特に重要な要件です。この「正確な」記述とは、研究区域を制御し、またその研究対象区域を特徴付けている重要な流れが、フィールドデータ上に適切に表現されていることを意味しています。エンジニアは、フィールドデータの取得元と信憑性には十分に注意しなければなりません。関心の対象となる区域の詳細なデジタルの地形モデル、あるいはその研究目的の必要性を満たすのに十分な分解能を持った等高線地図があれば理想的です。これについては、EM 1110-2-1003 および「水面形の計算結果の精度」（1986 年）を参照してください。しかしながら、既存のモデルではデータが断面の形式で表現されています（HEC-2)。HEC-2 形式のデータを、そのまま二次元または一次元の定常流シミュレーションに使用することは、以下に示すいくつかの理由からある程度制限する必要があります。(1) HEC-2 形式の断面は流れの方向と分布を表現するための選択肢としては最適とは言えないこと、（2）水路から外れた貯水区域（非定常的なシミュレーションには重要）が断面を調査する際に無視される可能性があること、(3) 区域が、現在の研究の目的に適合しない可能性があること。したがって、既存の HEC-2（またはその他の一次元的な定常流）のデータセットを使用する前に、そのデータを徹底的にチェックし、研究の目的における必要性との適合性があるかどうかを確認します。二次元的なモデル用の入力データの作成を目的として断面を使用するためには、その断面を地形図上、または航空写真上に配置し、さらに通常は手作業によって等高線を書き込む必要があります。

b. 河床の粗度　　河川を二次元的に見ると、河床の粗度は、ほとんどの場合に「伝統的な」一次元（HEC-2）解析に使用したものと同じ方法で表現することが可能です（第 6 章を参照してください)。二次元的なアプローチでは、粗度の空間的な変化を受け入れることが可能なので、航空写真または地形図を使用することにより、たとえば植物の群生など粗度が均一な部分や、河床の材料や形状による粗度の変化を特定することができます。一次元的なアプローチと同様、(モデリングを成功させるためには必要不可欠な）現地踏査の結果から選択した粗度係数には、おそらく較正の段階で多少の変更を加える必要があるかも知れません。較正の段階で要求される係数値が、エンジニアの妥当な判断によって提案された範囲から外れてしまった場合は、形状データや流れのデータ、境界条件の明細、および較正データなどを慎重に照査するべきです。シミュレーションの質が悪い場合は、形状データに欠陥があるか、あるいはエンジニアがデータを解釈する方法や数値モデルの使用方法に問題があるケースがほとんどです。

c. 乱流交換係数　　二次元の流れモデルでは､乱流交換係数が必要になります。この乱流交換係数は、しばしば渦拡散率（eddy diffusivities）とも呼ばれています。この交換係数は、流れの速い部分と遅い部分の間に起きる乱流の撹拌によって運動量が移送され、その結果として発生する内部剪断応力を表しています。ほとんどの河川では、水面の泡立ちや流れの周辺を動き回る渦巻を見ながら、この現象を実際に観察することが可能です。これらの係数は、一次元モデルにおける拡大・収縮係数で説明されるエネルギー損失を、何らかの形で反映しています。しかし、こうした係数の数値を直接計測したり観察したりすることはできません。また、較正された拡大・収縮係数を、直接的に乱流交換係数の値に転換することも不可能です。二次元的なモデル用の参考文献（たとえば、TABS-2、Thomas および McAnally、1985 年）では、乱流交換係数の数値を選択するための指針を提供しています。これらの係数は、主として速度分布に影響を及ぼすもので、その領域内で計測した速度分布に基づいて較正を行う必要があります。そうした計測結果が入手できない場合は、流れを撮影した写真（地上および航空）から得た情報、または実際の流れパターンのスケッチを使用することも可能です。速い流れが静止水域に侵入する場合のような一部の流れの状態では、運動量が支配的になります。このような場合に、交換係数が非常に重要になります。

しかしながら、河川の問題のほとんどは摩擦に支配されているため、モデルの結果は、乱流交換係数を目的として選択した数値に対してはそれほど敏感な反応を示さない可能性があります。そこで、一般的なアプローチとしては、まず最初に粗度係数（マニングの $n$ 値）の較正を行って、エネルギー損失または研究対象となっている流路区間の水面勾配を再現し、その後に、実際の速度分布または期待される速度分布と一致するように乱流交換係数を調整します。交換係数は、まず予測範囲の最高点に設定し、モデルが期待する速度パターンを再現するようになるまで徐々に値を下げます。一般的に、交換係数の値が高くなるほど速度分布が均一になり、係数が低くなるほど、流れの分離や渦が発生しやすくなります。二次元モデルの場合も、(一次元モデルのときと同様)、可能であれば、非定常流の事象に合わせた較正を試みる前に、まず最初に定常流の条件に合わせて較正を行うべきです（Cunge 他、1980 年)。

d.　現地データ　　解析者は、研究区域を対象とした徹底的な現地踏査を実施する必要があります。また、これに加えて現地での観察方法、つまり使用する機器類やデータの収集条件などについても精通していなければなりません。データの絞り込みも、観察結果の正確さと可変性に影響を及ぼします。解析者は、現地データが完全に正確なものであると想定することはできません。また、研究対象となるすべての範囲における諸条件を代表するものだと見なすこともできません。したがって、少なくとも現地データ内の一貫性だけは十分チェックしておく必要があります。たとえば、定常流状態における二次元モデルを較正するために速度の観察値を使用する場合には、速度と深さの計測値から流量を計算し、その流量を、速度の計測時間と同じ時間に計測された近くの計測地点からの流量と比較する必要があります。

4-10.　適用例

二次元的な水平モデルの適用は、これまでのところ、そのほとんどが河口域での用途に限られていますが、中には、「二次元的な流れモデル」(合衆国陸軍工兵隊 1982b)、McAnally 他、(1984a、1984b)、および MacArthur 他、（1987 年）のように、流れモデルに適用している例もあります。また最近では、水路を深くしたことによる流速パターンへの影響および浅瀬効果を評価した、Lin および Martin （1989 年）の考察も見られます。発電プロジェクトから下流の河川における速度分布の計算については、Gee および Wilcox の研究（1985 年）に解説があります。また、ハイウェイの橋の横断が水面高さに与える影響について考察した Lee (1980 年)、Tseng (1975 年)、および Heltzel（1988 年）の研究もあります。さらに、Stewart 他（1985 年）の研究では、大規模な水路侵食が河川水位に与える影響を解析するために、二次元的なモデリングを使用しています。この研究では、拡大・収縮係数の数値が結果を支配してしまうため、一次元的なモデルを使用しても信頼に値する結果は出てきませんでした。また、これが計画研究であったため、較正に使用できる現地データがありませんでした。結果は、主な流れのパターンおよび分離領域が二次元的なモデルから直接計算されたものであったため、乱流交換係数の値に対する感度がはるかに低いものとなりました。拡大・収縮係数によって表そうとしているのは、これらの分離領域の影響（エネルギー損失）です。大きな河川の水路－氾濫原における、洪水の動きをモデリングするために RMA-2 を使用した例としては、Gee 他、(1990 年）があります。この論文では、そうした研究を実行するのに必要な計算用設備についても説明しています。また、Heath（1989 年）の研究では、St.Lawrence 川における流れの分布を解析するために二次元モデルを使用した例が紹介されています。