

## 第 3 章

### 水理学研究の計画編成

#### 3-1. 初期の問題

水理工学エンジニアの多くは、水理工学的な研究を指示されると直ちに技術的な解析を始める傾向があります。しかし、水理学および水文学的な情報を収集するためには、まず最初に、他の研究チームの参加も必要となることも考慮しながら、研究の全体的な編成計画を作成することが重要です。水文学および水理学 (H&H) に関する研究を始める場合、エンジニアはまず研究全体を見渡し、特定可能なできるだけ多くの側面を観察し評価することに力を注ぐべきです。水理エンジニアは、個人的な経験に加えて、研究の技術的側面における様々な見解や指針を検討するために他の研究者の経験も借りなければなりません。関係者全員の要請を確実に満たすため、研究の運営責任者や経済学者、そして他のチームメンバーとも頻繁に連絡を取ることが必要です。他の工兵隊員や、その地域におけるプロジェクトの後援者、さらにより高いレベルの批評家からも、有用な提案や情報が得られることがあります。こうした提案や情報は、水理学解析のための全体的な目標や手順を決定する上で大いに役に立ちますから、まとめて一つの文書しておく必要があります。このような文書を **HEMP (Hydrologic Engineering Management Plan)** と呼び、解析作業の全過程を通じてエンジニアの指針となります。**HEMP** は、技術的な研究のすべてを対象とした詳細な作業概要です。これは、河川工学エンジニアが作成する書類の中でも最初の重要なものであり、また研究の過程で新しい見解が得られた場合には、それに合わせて **HEMP** も更新して行く必要があります。この章の目的は、この **HEMP** 文書を作成するために必要となる様々な構成要素を紹介することです。水理研究の作業計画に関する追加情報については、「付録 C」に記載しています。

a. プロジェクトの目的 提案中のプロジェクトの目標は、幅広いものになっているのが普通です。工兵隊が関わっている研究作業の大部分では、治水や、特定の流路区間または河川の流域全体に対する人工水路の提供などが目的となっています。その他の目的としては、水力発電、河川の安定化、上水道や貯水、地下水の管理、認可、レクリエーション、および環境や水質の向上などが含まれます。こうした数多くの目標を扱うプロジェクトの場合、水理エンジニアが外部の専門家を必要とすることもあります。また、**HEC**、**WES**、水文学委員会 (**Hydrology Committee**)、工兵隊の担当地域にある専門家センター、政府機関、大学、私設コンサルタントなどからも、水理学研究のスキームを開発するため、そして適切な水理解析ツールの選択に関する意志決定を行うための支援が得られます。

b. 研究目的 プロジェクトの目的が決定した時点で、水理解析上の具体的な項目策定に取りかかることができ

ます。研究計画の作成には、その研究で扱う特定の局面に対応した、適切なレベルの詳細事項を決定する必要があります。水理解析の詳細項目を設定する際には、ほとんどの研究において、適切なレベルをどの程度にするかが時間とコストの両面に大きく影響する重要な問題となります。この問題は、水理エンジニアと、研究またはプロジェクトを運営する管理者との間で、研究の初期段階のうちに解決しておくべきです。

(1) 水理エンジニアは、計画作成の過程や、その研究における特定の報告段階 (予備調査、本調査 (実行可能性調査)、設計) での要請を満たすための解析の設計に関して、豊富な知識を持っていなければなりません。また、エンジニアは、そうした特定レベルの詳細項目がなぜ必要なのか、説明できるように準備しておく必要があります。また、さらに研究を短縮できる方法や、コストの安い (あるいは高い) 方法がある場合、研究の特定の段階で、そうした方法を使用することがなぜ必要で適切なのか (あるいはそうでないのか) を、説明できなければなりません。研究チームと頻繁に連絡を取ながら **HEMP** を作成することによって、研究の詳細項目の適切なレベルを容易に決定することができます。まず最初に **H&H** の作業計画を作成しない限り、調整可能な **H&H** 研究のコスト予測も行うことはできません。

(2) 本調査 (実行可能性段階) の詳細なレベルは、予備調査の段階で決定しておく必要があります。連邦政府の関心対象が予備調査の段階で判明していると仮定すると、予備調査報告の際に行う最も重要な作業は、すでに分かっている問題点と必要データをすべて項目ごとに箇条書きにしておき、その後の報告段階で研究チームが各項目をどのように扱うのかを文書化しておくことです。予備調査報告は、本調査 (実行可能性) 報告段階で必要となる詳細のレベルを決定するために使用する手段です。表 3-1 では、工兵隊の報告処理過程で一般的に要求される目的と詳細項目のレベルを通覧します。特定の状況下では、要請事項や目的がこれとは異なる組み合わせになることもあります。

#### 3-2. 河川水理学研究の実施技術の概要

全般的な概要を以下に示しました。以下の各章では、様々な技術的アプローチを詳細に考察します。

a. フィールドデータ。 フィールドデータ (現地データ) の収集と分析には、他の方法に応用する際にも、また独立した方法としても、重要な役割があります。このフィールドデータは、数値モデルと物理モデルの運用や較正、そして検証作業にとって欠かすことのできない要素です。また、限られた範囲ではありますが、フィールドデータを使用して、河川の様々な作用および流量に対する河川の対応を、簡単な計算によって推測することも可能です。

表 3-1

## 水理学研究の目的

種類	段階	目的／検討事項
事前承認	予備調査	<u>定性解析</u> ：1 年前後の時間枠、主として既存のデータを使用。経済的に妥当と認められる場合、プロジェクト解析を使用して、また使用しないで、必要なデータ収集プログラムを確立。
	本調査(実行可能性段階)	<u>定量解析</u> ：2～3 年の時間枠、プロジェクト <b>H&amp;H</b> を使用する場合としない場合、経済、および計画の計画編成を最終決定、移動する境界問題の定量的な評価、水理的な設計のサイズを決定、継続的にデータ収集プログラムの精度を改善。
事後承認	再評価報告	<u>定量解析</u> ：本調査(実行可能性)報告における調査結果は依然としてとして適用可能ですか？ 経済および水理学を現在の条件に合わせて更新、移動する境界の問題の定量的な調査を開始（通常）。
	一般的な設計	<u>定量解析</u> —詳細 水理学的解析と設計、詳細なモデリングと移動する境界の解析、単純なプロジェクトではすべての水理学的要件を最終決定。
	特性の設計	<u>定量解析</u> —詳細 水理学的解析および 1 つの構成要素または複雑なプロジェクトの一部分の設計、必要であれば物理モデルのテスト。
継続の承認	予備調査報告	<u>定量解析</u> ：通常は、本調査(実行可能性)報告書の予備調査報告部分と同様。
	詳細なプロジェクト報告書	<u>定量解析</u> ：本調査(実行可能性)報告と設計の組み合わせ。

現場で必要な範囲の詳細な一時的データおよび空間的データを取得する作業は、かなり骨の折れる困難なものになる場合もあります。

b. 解析解 解析解は、答えが数学的な表現によって得られる解決法です。解析モデルでは、複雑な現象を経験的に決定された係数としてひとまとめにして扱います。解析解の有用性は、形状が複雑になるにつれて、また求められる結果における詳細事項が増えるにつれて減少します。

c. 物理モデル 河川水理学上の複雑な問題の解析には、物理的な水理モデルを使用する必要があります。このモデルの形態と作用は、スケールが小さい点を除いて実現象の形態や作用とほぼ同様です。河川の物理モデルでは、流れや、立体的な流れの変化、洗掘の可能性、大まかな土砂の運搬特性などを作り出すことができます。物理モデルの利点は、複雑な多次元的実現象の流れの条件を正確に再現できることです。

不利な点としては、コストが比較的高いことと、モデルを構築するのに時間がかかること、またプロジェクトの変更をシミュレーションするための変更にも時間がかかることなどが挙げられます。モデルの較正、縮尺と相似律の選択、構築コスト、物理モデルを調整して検証するための見本データの必要性などについては、合衆国内務省(1980 年)、Franco(1978 年)、Petersen(1986 年)、および ASCE(1942 年)を参照してください。優れた処理過程をより正確に再生するためには、様々な現象に使用する類似要件に矛盾が認められる場合、モデル設計者は一部の現象について類似性を犠牲にせざるを得ません。

d. 数値モデル 数値モデルでは、反復や近似のような特殊な計算方法によって、デジタル・コンピュータを使用して数式の解を求めます。水理学で重要なのは、差分および有限要素の 2 種類です。これにより、他のどの方法でも扱うことのできない一部の処理過程をシミュレーションすることが可能になります。数値モデルでは、解析的な方法よりもはるかに詳細な結果が得られ、さらに結果の精度も高くなりますが、それに伴う作業量も大きくなります。

また、数値モデルは、モデル設計者の経験や、数式を定式化して正確に解く能力、さらに重要な物理過程を示すようなデータを取得する能力によって、かなりの制約を受けることがあります。

e. 複合型モデリング これまでの各節では、4つの主な方法の利点や欠点について述べてきました。よく採用されるのは、この中の2つまたは3つの方法を組み合わせて使用し、それぞれの方法を研究の中でその方法が最も適している部分に適用する方法です。たとえば、現地データは、重要な処理過程を定義したり、河川の流体力学的な条件や堆積の状況を予測したりするモデルを検証するために利用するのが一般的です。物理モデルと数値モデルを組み合わせることを、「ハイブリッド（複合型）モデリング」と呼んでいます。密接につながった状態でこれら2つのモデルを組み合わせることで、複数のモデル間のフィードバックが可能になります。こうした組み合わせのことを、統合的なハイブリッド・ソリューションと呼んでいます。複数の方法の組み合わせ方を工夫することにより、多くの現象の及ぼす効果をモデル設計者が各モデルに組み込むことが可能になります。

他の方法を使用した場合には無視されるか、あるいはうまくモデル化されないような多くの効果を含む現象も、研究に含めることができるようになります。したがって、この組み合わせ方法の採用によって結果の信頼性と精度が大幅に向上します。「水路実験場 (WES)」では、河川、河口、沿岸水域における堆積の過程を研究するためのハイブリッド・モデリングを開発しています (McAnally 他、1984a および 1984b、Johnson 他、1991 年)。このモデリングでは、物理モデル、数値水理学モデル、および数値土砂運搬モデルを、主要な構成要素として使用しています。その他にも、選択的な構成要素として、風波モデル、沿岸流計算、船舶操作シミュレーターなども併せて使用しています。

f. 手順の選択 表 3-2 および 3-3 に、異なる段階の治水および水路研究における様々な手順の使用方法に関する提案を、経験に基づいて示しました。この情報は一応の出発点と考えてください。コンピュータの設備、工兵隊の計画過程や任務の変更に伴って、これらの情報も変更されることがあります。

表 3-2  
治水プロジェクトのための水理学的研究期間中におけるモデルの使用

段階	既存データおよび基準	GVSF	MB	GVUSF	Multi-D	Phys.*
予備調査	X	X	? (1)			
本調査(実行可能性)		X	X (1)	X (2)	?	?
再評価		X	X	X	?	?
全体設計メモ		X	X	X	X (3)	X (3)
特性設計メモ					X (3)	X (3)
継続の承認	X	X	X (1)	?	?	?

\* 既存データおよび基準 = 利用可能な報告書、工兵隊基準、地域における水深-頻度の関係、等流水深の評価など。  
GVSF = 定常状態の漸変流「つまり、HEC-2、HEC (1990b)」。  
MB = 移動する境界の解析「つまり、HEC-6、HEC (1991a)」。  
GVUSF = 非定常状態の漸変流「つまり、UNET、HEC (1991b)、ただし、HEC-1、HEC のような水理学モデルは除く (1990a)」。  
Multi-D = 多次元解析「つまり、TABS-2、Thomas および McAnally (1985 年)」。  
Phys. = 物理モデル (WES または同様の機関による)。

? 可能だが非常に異例・解析対象となっている問題に大きく依存。

(1) 土砂の問題を扱う必要があるが、現段階における手順は、プロジェクトの種類および規模によって、定性的または定量的。

(2) 使用は可能だが、ほとんどの治水研究においてその可能性は低い。

(3) 河川の短い流路区間、または特定のプロジェクト構成要素のすぐ近くで、設計の性能を評価するため、またはプロジェクト構成要素の水理設計の精度を上げるために一般的に使用される。

表 3-3

人工水路プロジェクトのための水理学的研究期間中におけるモデルの使用

段階	既存データおよび基準	GVSF	MB	GVUSF	Multi-D	Phys.*
予備調査	X	X				
本調査(実行可能性)		X	X (1)	?	?	?
再評価		X	X	?	?	?
全体設計メモ			X	X	X	X
特性設計メモ					X	X
継続の承認	X	X	X (1)	(2)	(2)	?

\* 表 3-2 の定義と同様。

? 表 3-2 の定義と同様。

(1) 土砂の問題は、定量的か定性的かに関わらず、この段階で扱う必要がある。コンピュータによるモデリングを使用した移動する境界の解析は、この段階では治水プロジェクトよりも人工水路プロジェクトに使用される可能性が高い。

(2) この段階における人工水路プロジェクトは、一般的には船舶用の小さな港か、あるいは水路から外れた所にある設計が比較的単純な係船設備である。GVUSF または多次元的なモデリング技術は、通常は使用されない。研究の予備調査およびデータ収集期間中には、信頼できる水理エンジニアによる現地調査が必要不可欠である。

### 3-3. 水理学の各構成要素の解析

研究対象となるほとんどの問題には、いずれかの水理学的な構造体を含む解決策があります。こうした構造体の種類は、予備調査の初期段階で特定されます。適切な評価を行うためには、異なる種類の構造体に対してそれぞれ適切な方法を使用しなければなりません。そこで、治水、人工水路、および水力発電プロジェクトにおいて、評価方法を選択するための一般的な指針を、表 3-4 に示しました。研究目的には、評価対象となる水理学的な構成要素の種類と共に、必要となる解析作業の種類も明示しておく必要があります。

### 3-4. データ要件

水理学的な研究では、流量、形状、土砂、という 3 つの主要なカテゴリーのデータが必要になります。ただし、各研究ごとに、これらすべてのカテゴリーあるいはカテゴリー内のすべてのデータが必要になるわけではありません。

#### a. 流量

(1) プロジェクトは、通常、特定の流量において機能を実行するように設計されています。またプロジェクトは、発生し得る広範囲の流れに対して、常に安全に機能しなければなりません。

治水プロジェクトは、特定の洪水発生頻度に対応する流量に合わせて設計するのが普通です。ある水理学的設計に対して、一つの流量値だけを強調し過ぎるのは避けるべきで、プロジェクトの性能は、「設計流量」より低い流量と高い流量の両方を含む一定範囲の流れに対して評価すべきです。堤防は、1%の確率で起きる洪水から周辺地域を保護するように設計しますが、堤防の設計に際しては、0.5 あるいは 0.2%の確率で起きる洪水や、想定より大規模な洪水も考慮して設計する必要があります。人工の水路は、10%程度の洪水確率に備えて設計することもあります。その川の水と土砂の混合物を運ぶという目的に合わせて水路の形状を決めるという観点から、毎年起きる洪水が設計上の重要な条件となります。場合によっては、日常的に流れている水と土砂を運ぶような低流量の水路が欠落していると、10%確率の洪水に備えた水路が土砂で短時間に埋まってしまうという結果になります。同様に、プロジェクトの性能を適切に評価するためには、定常流の評価だけでは不十分な場合もあります。堆積の変化に対するそのプロジェクトの対応を扱うには、一定期間の記録を対象とした完全なハイドログラフ(Full hydrographs) または連続的な追跡結果が必要になります。水質、捨石の設計、およびその他の河川工学的な研究では、流速が重要な要素になります。研究内容によっては、最大設計水量の流速、または特定の期間における流速が必要になることもあります。

表 3-4

## 様々な水理学的構成要素の一般的な解析方法のためのガイドライン概要

## 治水の構成要素 典型的な解析手順

堤防	通常は、GVSF。土砂の解析：定量的な場合が多いが、側面堤防では、移動する境界の詳細な解析が必要になることがある。
ダム（高さ）	通常は水文学的な貯水池の追跡結果、または GVUSF。
余水吐き	最高水位の高さと幅を決定するには上記と同様、水面高の把握には既存の資料からの一般的な設計基準、水面高の検討には特定の物理モデル試験。
静止流域	河床の上昇や長さなどを決定するには既存の資料からの一般的な設計基準、長さとその付帯構造物、設計の精度を上げるための特定のモデル試験、下流の流量減少を決定するための移動する境界の解析、および放水路の設計高さ。
水路の改変	通常は、GVSF。影響の大きさを決定するには定量的な移動する境界の解析、長い流路区間の改変および土砂の濃度が高い川には定量解析、問題解決のための設計には物理モデル試験（典型的な射流の水路において）。
内部洪水	堤防解析に不可欠な部分 - ポンプおよび自然排水のサイズ決定のための水理学的な追跡結果、排水溝および水路設計用の GVSF、流入水路およびポンプ排水の解析のための物理モデル試験。
バイパス／迂回路	GVSF または GVUSF 解析、物理モデル試験、土砂の多い川を対象とした移動する境界の解析。
落差工	モデル試験が要求される場合は多くないが、静止水域の設計と同様。
合流点	通常は GVSF、大きな合流点や潮の干満の影響がある場合には GVUSF。
高水敷上の流れ	通常は GVSF、非常に幅の広い氾濫原または扇状地では GVUSF または Multi-D。
FPMS 研究	通常は、GVSF。

**人工水路**

水路の改変	護岸－移動する境界の解析（定量解析）。多次元モデリング。物理モデル試験。  捷水路－ GVSF または GVUSF。侵食率および水路移動を決定するためには移動する境界の解析。物理モデル。  護岸－ 既存の資料からの一般的な設計基準、GVSF、物理モデル試験。
人工水路、ダム	貯水池の高さ、形状、および深さを決定するための GVSF。流量パターンを推測するための多次元的なモデリング。物理モデル試験。静水域設計用に下流の洗掘を決定するためには移動する境界の解析。
閘 門	既存の資料からの一般的な設計基準。進入および退去の速度、閘門設計の精度向上、および水路を満たしたり空にしたりするための多次元的なモデリングまたは物理モデリングの可能性。
その他	運用の最適化には水力発電システムのシミュレーション。流れパターンには多次元的な解析。物理モデル試験。

(2) 流量データには、度数、速度、継続期間、深さなどの情報と共に、計測または合成された流れに関する情報が含まれています。観測地点で計測されたデータは、このカテゴリー用として望ましい情報源です。しかし、十

分な既存の計測データが得られるケースはほとんどありません。したがって一般的な水理解析には、水文学的なモデルからシミュレーションされたデータと共に、洪水などの歴史的な出来事に関する情報も必要になります。後者の歴史的なデータについては、研究対象となっている河川に沿って居住している地域住民との話し合いや、新聞記事、工兵隊を含む他の機関による報告書などから得られることが多いようです。予備調査期間中における現地調査、および信頼のおける水理エンジニアによる研究のデータ収集段階が必要不可欠となります。

## b. 水路の形状

(1) 水路の形状は、すべての水理学研究で必要となります。形状データには、水路や高水敷の地形学、水流の配列、橋梁および排水溝データ、粗度情報、横断面形状の変化、長期間にわたる配列などが含まれます。こうしたデータは、広範にわたる現地調査や航空写真調査でも大量に集まりますが、既存のデータがどこにあるのかを見つけだして利用することにより、調査コストを削減することができます。ほとんどの河川や水流について、過去の研究の記録があります。氾濫原または洪水保険の報告書は入手可能な場合が多く、形状データを含むデータの資料として価値があります。橋梁の設計計画は、各州や郡の役所、地方自治体の道路管理部などから入手することが可能です。また、船舶の航行が可能な河川には、定期的に行われる水路測量の調査結果があります。1950年代中頃からは、土壌保全部が一定の期間において撮影している航空写真もあり、これによって水流の水路変更に関するデータが得られます。新規の調査が必要であると決まっている場合でも、上記の各資料は、水路の配列や形状の長期的な変化に関する情報を得るための貴重な情報源であり、その水流の土砂に関連して発生する可能性のある問題点の指標ともなります。調査データの正確さと、水流に沿った断面の位置取りをどのように決定するかが、データの有用性の鍵となります。精度については3-4のe、および付録Dで考察します。コンピュータで計算した水面形に関する調査データの精度が及ばず影響については、「コンピュータ計算した水面形の精度」(USACE 1986年)に追加情報があります。

(2) 必要な調査データの量は、研究目的や研究の種類によって異なります。たとえば、人工水路プロジェクトでは、治水プロジェクトよりも頻繁な調査が必要になります。また、都市部を対象とした研究では、設計段階ではなく、本調査(実行可能性)の段階で、詳細な等高線地図を取得しておく必要があります。

しかし農産物の被害を低減するための研究では、しばしば詳細な地図の取得を認定段階の後まで延期することがあります。移動する河床の研究では、形状的な変化を生み出すモデルの性能を評価するために、同じ場所での水路調査を有意な時間的間隔をおいて繰り返し行う必要があります。谷線について繰り返し行う水路計測は、河床形状の解析や河川を通じた河床における波形の地形の動きの解析に必要となります。

## c. 土 砂

(1) 必要な土砂データの量は、水理学研究の初期段階では、必ずしも明確に判明しているわけではありません。EM 1110-2-4000でその概要を説明している土砂の影響評価は、初期計画段階で実施されたものです。土砂の評価の研究は、プロジェクトの計画案によって土砂に関する問題が発生しそうか、あるいは既存の問題がさらに悪化しそうかどうかを決定するために実行するのが一般的です。この評価の結果によって、本調査(実行可能性)の調査段階および設計段階において、追加データおよび定量的な研究の必要性を決定します。土砂の問題が現時点ですでに存在している場合、またはプロジェクトの実施と同時に発生することが予想される場合には、土砂データの収集プログラムを開始し、解析の後の段階でその堆積に関する問題を適切に処理できるよう準備しておく必要があります。

(2) 土砂のデータには、河床および堤防の材料サンプル、土砂の平衡作用、総土砂量の負荷(水の流量に対する土砂の流量)、堆積物の産出量、河床形状、および侵食沈降の傾向などが含まれます。長期間の土砂観測地点はその数が少なく、また、土砂の観測方法の近代化に伴って古いデータの記録が疑問視される可能性があります。観測現場で収集された土砂データは、通常は短期的なものです。治水または人工水路に関する研究では、その研究計画を実施に移した場合に土砂の問題が発生するか、あるいはその可能性があるかどうかを決定しなければならないので、必ず土砂の問題を扱う必要があります。初期の土砂解析は、最小限のデータを使用して定性的な方法で行われる場合がほとんどです。この段階で土砂の問題が認められた場合、たとえ短期間でもデータ収集作業計画を策定し、校正データを取得します。土砂データに関するより詳細な指針については、第7章および1110-2-4000文書を参照してください。

(3) プロジェクトの種類によって、解析を必要とする土砂データの量と種類が決まることも珍しくありません。たとえば、貯水池や水路の計画では、浮遊している流送土砂の総量(粘土、沈泥、砂、砂利を含む)の解析が必要になります。その一方で、治水用の水路または河川の安定化プロジェクトの場合には、必要となるのは主として河床材料(主に砂と砂利)だけです。より細かい粒子(粘土や沈泥)は、流路区間を通過してしまうのが普通だからです。

後者の種類のプロジェクトでは、必要なデータ量も前者のプロジェクトより小さくて済みます。たとえば、水深が浅い部分における河床材料の評価では、「採泥器によるサンプリング」またはハンドオーガーによる採取だけで十分なことがあります。材料が細かい砂で構成されている場合は、おそらく本調査(実行可能性)段階で、詳細な土砂の研究が必要になるかも知れません。

d. データの入手可能性 データは、通常「合衆国地質調査所」(USGS)の全国的なデータ収集システムから取得できます。また、陸軍工兵隊の水に関する計測データはもう一つの情報源です。米国内では多くの場所で、各機関や水質保全委員会などが水に関するデータを収集しています。研究にどうしても必要な計測データが入手不可能な場合は、データ収集システムが必要になります。必要な計測システムを特定して作成するための指針は、USGS (1977 年) から入手可能となっており、また、ER 1110-2-1455 にも追加情報が記載されています。特定のデータに対する必要性の定義、およびその収集に必要となる予算作成は、本調査(実行可能性)または予備調査報告書のコスト予測に含めておく必要があります。

e. データの精度 数値モデルからの結果は、0.01 フィートの精度で定期的に入手することが可能です。このことは、基本データの結果よりもはるかに精度が高いことを意味しています。水理エンジニアは、コンピュータによる計算の信頼性と比較すると入力データは不確実なものである点を認識し、この不確実性が及ぼす影響について常に注意していなければなりません。USGS の流量測定の中で、過去の成績が「優良」と評価されているものは比較的少数です。この評価から、1 日あたりの流量値の 95%が「真の」流量の 5%以内になっていることが分かります(したがって、5%はその限度の範囲外)。「良好な」記録では、1 日あたりの流量の 90%が 10%以内になっています。ある特定の流量が 5%変化する場合、それに対応する水位が、水流の勾配と形状によってはかなり大きく変化する可能性があります。瞬間最高点流量は、おそらくさらに精度が低いと推測されます。したがって、基本データは精度の点で大きな問題を抱えている可能性があります。

(1) 形状データは、流れのデータよりは高い精度を持っていますが、それでもある程度の偏差があります。「合衆国陸軍工兵隊」(1989 年)を参照してください。どのような手法をして得た断面積でも、設置場所が適正でない場合には、断面を設置した水路や氾濫原の流路区間を「代表する」数値にはなり得ません(「付録 D」を参照してください)。水面高の計算における著しい誤差は、断面間の距離が大きすぎる場合に発生しています。断面の設置間隔を狭くすると、水面高の計算精度(すなわち、等式の解)が向上します。しかし、その流路区間内の流送と貯留を捉えられるように各断面が適切に配置されていない限り、必ずしもより優れたシミュレーション結果が得られるとは限りません。河川形状の必要条件に関するよ

り詳細な解説を「付録 D」に記載してあります。コンピュータ・プログラム「水面形計算のための予備的な解析システム (PAS)」は、水面高計算用のデータ作成を支援するために設計されたものです(合衆国陸軍工兵隊 1988b)。

(2) 土砂データは、計測値で取得するのが困難であること、そして流量と形状の計測値を流送土砂量の計算に取り込むことが困難であること、の 2 つの理由から非常に大きな不確実性を持っています。流送土砂量曲線は、一般的に土砂の研究における最も重要な相互関係だと言えます。過大評価または過小評価の影響を評価するために、この水の流量と土砂量との関係については感度試験を実施する必要があります。

(3) 最終的な水理研究結果には絶対的な精度を期待しがちです。しかし現地データの精度について理解すると、こうした期待はずっと小さくなるに違いありません。最終的な水理研究に高い精度を求めるのであれば、データ収集の精度も高くしなければなりません。過小評価または過大評価の可能性を評価するための感度試験は、定期的実施する必要があります。

f. 水理学的な損失係数 水理学研究では、様々なエネルギー損失係数が必要になります。こうしたエネルギー損失係数には、水路の摩擦や高水敷の摩擦、拡大・収縮損失、橋梁損失、およびその他の雑多な損失が含まれます。

(1) マニングの  $n$  値 ほとんどの水理学研究にとって、 Manning の  $n$  値(粗度係数)は、水理学的な損失係数の中でも最も重要なものです(合衆国陸軍工兵隊、1986 年)。水流に沿う水面高さの変化は、その大部分が、境界の粗度と、摩擦損失に打ち勝つために必要な水流エネルギーの関数です。残念ながら、 Manning の  $n$  値を十分な精度で直接計算できる機会はほとんどありません。観測記録を情報源として使用すると、観測地点近くの水路の流路区間における  $n$  値の計算では最も良い結果が得られます。こうした計算によって、その流路区間の水路部分に対する  $n$  の適切な値を特定できる可能性があります。この数値が、研究対象となっている範囲外の流路区間に対しても適用できるかどうかは、水理エンジニアの決定にかかっています。高水敷の  $n$  値を決定するには、詳細な現地調査や、実際の氾濫原の状況の参照、適切な技術基準を使用すること、水理エンジニアとの協議などに加えて、水理学的な判断力が必要です。一部の流れでは、一年の中でも時期によって  $n$  値が変化します。 Missouri 川と Mississippi 川を対象として行った研究(合衆国陸軍工兵隊、1969 年)によると、流量が同一であっても、冬季における Manning の  $n$  値が温暖な気候の時に比べて著しく低くなっていました。冬季における水位を夏季と同様に推測しなければならない場合には、温度の影響を考慮する必要があります。同様に、河床が砂地になっている流れの多くでは、流量が増大するにしたがっ

て河床の形状が著しく変化します。また、流量と速度が特定の範囲に到達すると河床が砂堆から平床へと変化するため、マンシングの  $n$  値が著しく減少するような値となっています。この現象によって、流量が高い場合には、それ以前に通過した低い流量の場合に比べて、より低い水位で通過することが可能になります。この「不連続な」曲線は、多くの流れで特徴的に認められます。その一例を図 3-1 に示しました。Chow (1959 年)、French (1985 年)、および Barnes (1967 年) がこの点に言及しており、水流の特定の流路区間における  $n$  値を推測する際に役立つと思われます。

損失係数に関するより詳細な考察については「付録 D」を参照してください。

(2) 等価粗度、 $k$  マンシングの  $n$  値を定義する代替的方法として、等価粗度係数  $k$  によって推測する方法があります。この手法については、Chow (1959 年) および EM 1110-2-1601 に記述があります。

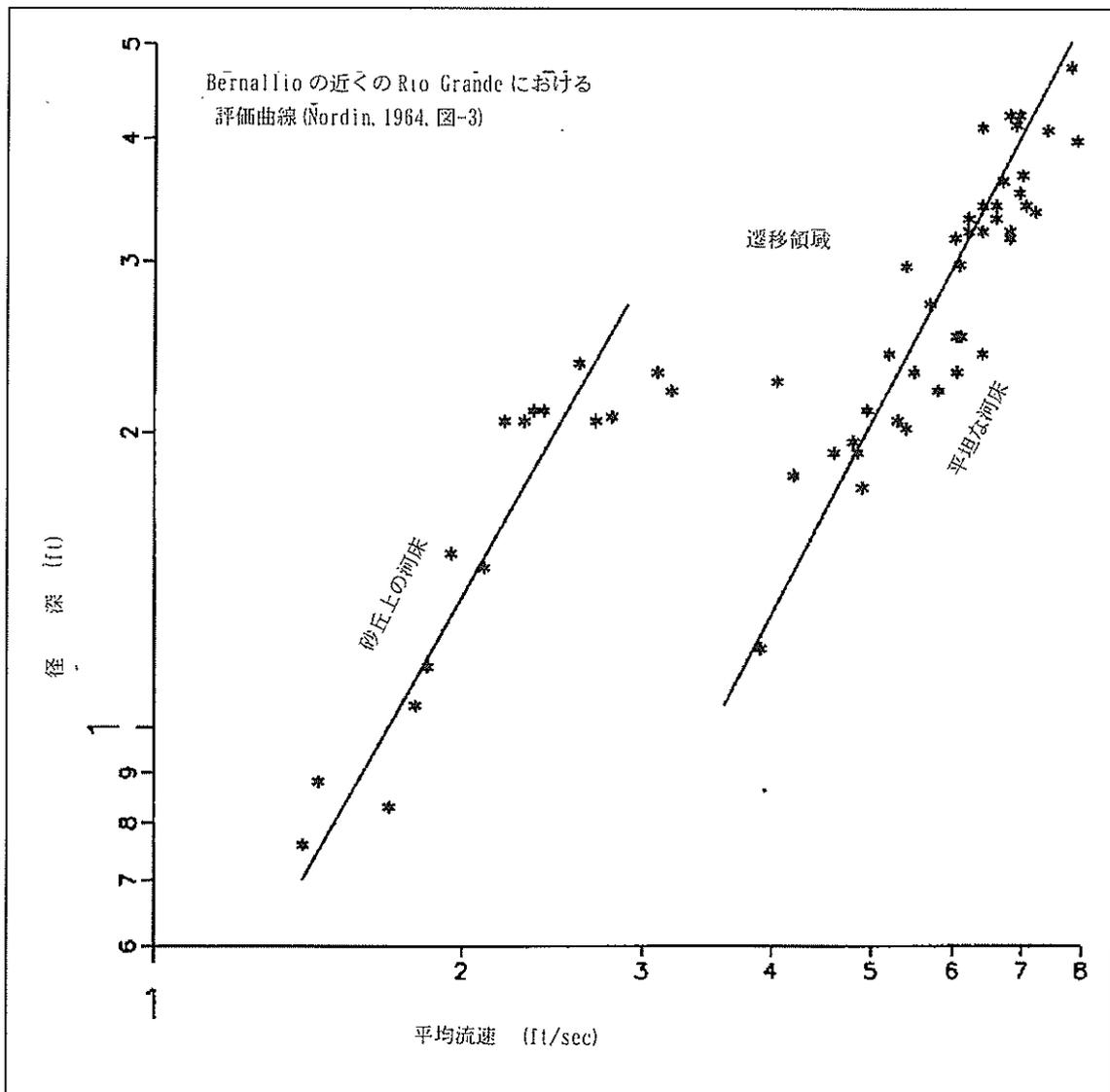


図 3-1. 不連続速度曲線

この手法によって、 $n$  値を  $k$  と径深 ( $R$ ) の関数に関連づけます。 $k$  の値は、水路内で主に見られる粒子サイズまたは高水敷の障害物の平均サイズの等価直径をフィート単位で表したものです。 $n$  値を計算する際に  $k$  を使用すると、深さの変化に対して  $k$  を調整する必要がないという利点があります。評価の対象となっている水位では、 $n$  値を  $k$  と  $R$  から直接取り出すことが可能で、 $k$  の推測によって発生する誤差は、 $n$  値の計算結果ではごく小さいものになります。エンジニアは、 $n$  値に影響を与える他のファクター、たとえば、河床形状の変化、水路の配列、断面積の変化、堤防の植生などの大きさを評価する必要があります。現地調査では、広範囲の流量において適切な  $n$  の推測値を得るために、流れの状態が様々に異なっている水流が必要不可欠です。摩擦値を決定するためには、水理エンジニアが流れの流路区間全体を徒歩またはボートで調査することも、あながち不合理とは言えません。

(3) 拡大・収縮係数 水面形は、主として摩擦力の影響を受けていますが、異なる断面間における著しい流速の変化の結果として、エネルギー勾配の変化およびこれに対応する水面上昇が発生することもあります。橋の部分ではその上流と下流より水路が狭くなっており、その狭い開口部を同じ流量が強制的に通過させられるために、この現象が特に目立ちます。つまり、流れが橋に向かって収縮され、橋から出る時に拡大されるために、渦巻きによるエネルギー損失が発生します。こうした損失は、変化の激しさに基づいて、(一次的なアプローチを使用している場合には) 拡大または収縮の係数を使用して定量化するのが一般的です。橋や排水溝の近くを除いて、ほとんどの状況下では、拡大・収縮エネルギー損失はそれほど大きなものではありません。ここで重要となるのは、流れに障害物があるときに適切な係数を使用すること、そして障害物を通過した後は、損失係数を障害物の上流での適切な数値に戻すことです。Chow (1959 年) または合衆国陸軍工兵隊 (1988a, 1990b) の参考文献には、拡大・収縮係数の典型的な数値が記載されています。

(4) 橋梁部の損失 エネルギー勾配や水面形にもたらす変化が比較的小さな橋は、マンニングの  $n$  値および拡大・収縮係数として適切な値を使用することにより、十分にモデル化することが可能です。その近辺で水面高の急激な変化をもたらすような橋では、他の解析方法が必要となります。ダムや堰のように流れが道路を超える場合や、開口部を高圧の流れが通過する場合、また橋の中で限界水深が発生するような開水路流れは、いずれも橋を対象とした詳細な解析が必要となる例です。こうした状況における損失を正確にモデル化するためには、橋の形状が重要になってきます。橋脚の数や、その配置および形状などの情報を取得することが必要で、また、堰の流れとして計算するためには道路高の係数が必要となります。堰の流れとして一部または全体を妨害するようなガードレールや橋台は特定しておく必要があります。ま

た、上流と下流の道路が冠水した高さを正確に記録し(試行錯誤の計算による場合が多い)、崩壊による堆積物によって詰まりを推測します。各現場の状況を写真で記録し、また携帯型のテープレコーダーに録音したものを書き取っておくと、それぞれの橋をモデル化する際に非常に便利です。また、合衆国陸軍工兵隊 (1975, 1988a, 1990b) による参考文献も、追加情報を得るために参照しておく必要があります。

g. 研究の限界 水理学研究が扱う空間的な範囲は、特にプロジェクトが及ぼす可能性のある影響をすべて想定していない場合には、間違っって把握されることが多いものです。プロジェクト案の物理的な限界点付近で、研究やモデルを開始または停止することは避けるべきです。上流と下流の境界は、プロジェクトの限界点からさらに十分な距離まで延長し、その水域に及ぼすプロジェクトの影響を完全に把握できるようにします。貯水池の建設、河川の人工水路化、堤防工事、および人工水路建設などのプロジェクトにより、水位や流量などに変化が起こることがあり、また、堆積条件にも変化が及ぶ可能性があります。堆積条件が変化すると流路区間にも影響が及ぶこともあります。一例を挙げると、河川の大規模な人工水路化工事によって水流が短くなり、その結果として、上流では侵食が起こり、下流では土砂が増大し、それが何十年も続くこととなります。また貯水池の建設も上流での堆積をもたらすことがあり、長期的には水位が上昇することとなります。さらに、貯水池を建設すると含まれる堆積物が比較的少ない水で放流されるため、下流での侵食が進む可能性もあります。堆積と侵食の影響が、支川にまで及ぶことも考えられます。研究は、プラス面もマイナス面も含めて、プロジェクトの及ぼすすべての影響を特定し評価できるように作成しなければなりません。図 3-2 に、貯水池プロジェクトを例にとり、研究の範囲を決定するに当たって考慮すべき点をいくつか示しました。研究領域内の様々な場所で必要となるデータの種類も示してあります。

h. 追加データが必要になる可能性 研究の開始時点で、必要なデータがすべて予測できるわけではありません。研究の早い段階で、経験豊富な担当者と相談することは、データの必要性を特定する上で非常に有効です。研究の途中で一般的に浮上してくる多くの要件としては、水位または流量の継続時間に関するデータ (特に水流の合流点付近における水位一頻度は重要)、計測されていない区域 (特に細粒分含有率が重要であるような区域) における土砂の産出量を推測するための地土壌分析、移動床模型の較正の異なる時間に見られる河床材料の種類と平衡作用、様々な水位、時間、および多次元的なモデル較正に使用する場所における、速度の方向と大きさの計測値などがあります。

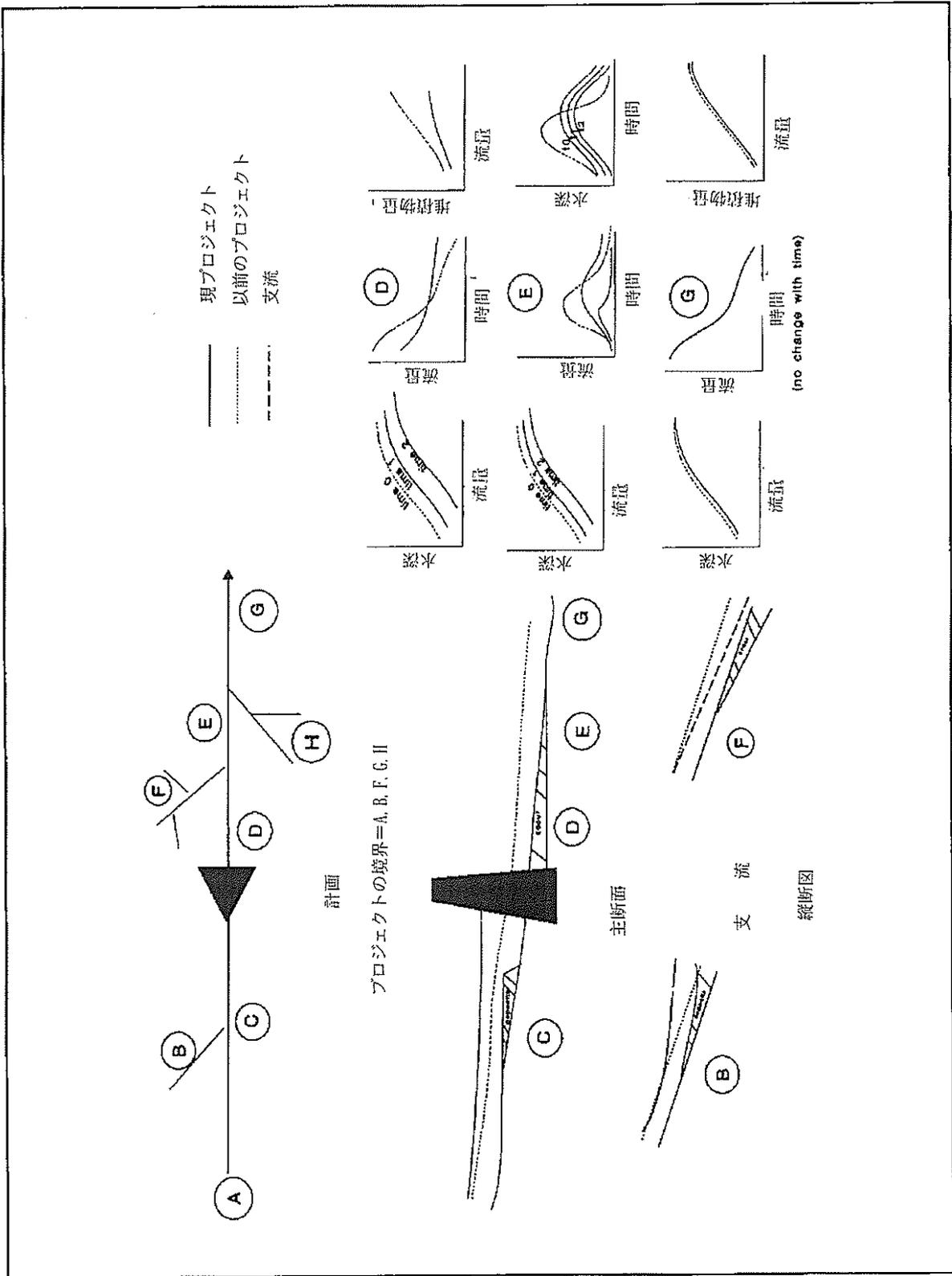


図 3-2. 研究の範囲および考えられるプロジェクトの影響例

i. その他のファクター 近い将来には、流域界の変化を水面の高さの変化で考える必要性が出てきます。また、都市化が将来の流量に及ぼす影響の問題は、これまで長期間にわたって、陸軍工兵隊の解析対象にするよう要請されてきました。その他にも考慮すべき地域的な影響がいくつかあります。現在継続中か、または工兵隊のプロジェクトの実施前に完成予定になっているような、地域水路の改変や橋の架け替え工事がある場合は、そうした工事もプロジェクトの水理学的研究に含める必要があります。橋梁の建設、特に高い盛り土の下に排水溝を設置する場合は、上流に池を発生させる可能性が大きく、その結果として橋梁構造の近辺に損傷が発生することがあります。地域にこうした深刻な洪水の危険性があるのに、地元住民側にはそれを矯正する計画がない（または解決策が見つからない）場合には、工兵隊の研究チームは、プロジェクト抜きで、こうした問題を将来の解析対象に含めるべきです。実際に何度かあった出来事としては、工兵隊が本調査(実行可能性)報告書を提出してから最終的な計画文書ができるまでの期間に、こうした障害物が元の位置に戻されてしまい、その結果プロジェクトの利点が大幅に損なわれ、認定計画にも影響が出たことがあります。また、排水溝や橋の改修工事を行う場合、これが工兵隊の推奨計画に与える経済的効果の感度試験を実施することを推奨します。プロジェクト管理者は、地域住民や道路管理当局との緊密な連絡を維持し、橋の架け替えなどの情報を収集するよう努力すべきです。

### 3-5. 水理学的解析モデルの較正

水理模型研究の結果の信頼性は、その研究を行う水理工学エンジニアの技術と経験や、実際の物理的状況にモデルが適用できるかどうか、さらに、流路区間の研究とモデルの較正の両方に使用したデータの質などに依存しています。較正の過程全体は、まず取得した必要データを解釈して数値モデルに入力し、モデルを較正し、さらにそのモデルを検証するという明確な 3 つの段階からなっています。較正に関する追加の指針については、第 4 章、7 章、付録 D に記載があります。

a. 較正の目的 較正過程の目的は、モデルから得られた結果を実際に観察されたデータ（通常は水面の高さに関するデータ）と適合させることです。較正過程は、モデルから得られた結果が既存のデータと十分に合致するまで、たとえばマニングの  $n$  値のような、一つ以上のパラメータを調整することによって実行します。既存の条件がモデルとある程度一致していると、モデルの結果がその現象に関連した物理過程を十分に代表するという自信を持って、そのモデルを未知の条件（1%の洪水確率、基準プロジェクト洪水など）に適用することができます。しかし、結果に確信を持つには、較正に使用する実際のデータを、モデルの対象となった洪水に近い縮尺の洪水から得る必要があります。

b. 観察データ 観察データには、計測装置に記録されているデータと共に、工兵隊員による実地観察から得られたデータや、地域住民との面談から得られたデータなども含まれます。記録されている流量、水位、流速などのデータは、較正に有用です。しかし、総括的な較正を行うのに十分な計測データが得られることは希です。一般的に較正データが豊富に得られるのは、特定の洪水が発生した時点およびその直後にその地域を観察した場合です。研究期間中に何らかの洪水が発生した場合には、地域住民から水位の最高点に関する情報を得るため、また洪水後の観察を行うため、水理エンジニアは数日間の実地作業を実施する必要があります。その水流の近くに長年住んでいる住民から非常に正確なデータが得られるのは、よく経験することです。地域の住民から得られる情報としては、洪水の高さ、侵食や堆積の傾向、その地域にある水路の変化（その時と場所）、橋の開口部に詰まる浮遊物の傾向、水流が堤防を超えた回数、洪水期間中に起こった可能性のある複数の流域間の流れの移動などがあります。較正の過程で使用するため、できるだけ多くの情報を地域住民から取得することが望まれます。情報はすべて役に立つものですが、洪水時の正確な高さについては、個人的な記憶が曖昧なことがあり、洪水の最高水位を正確に思い出すことができない場合もしばしばです。したがって水理エンジニアは、モデルから得られた結果が、常に実際の水位の最高点と正確に一致することを期待すべきではありません。

c. 較正の過程 較正の過程では、通常、計測現場で得られた水位と流量に関するデータを、計測現場ではない場所でのモデルの較正に使用した水位と最大流量との関係と一致させることに重点を置きます。この段階では、水位または最大流量の較正のみが対象となります。

(1) 処理過程の第 1 段階を開始する前に、まず研究対象となっている流路区間のデータを集めて整理し、それを入力ファイルに入れ、何種類かの流量についてシミュレーションを行い、さらに必要に応じてデータファイルを修正しなければなりません。隣接する断面間における流水の有効断面の移行は適度に行われていなければなりません。具体的には、誤ったモデリング手順から、間違った損失水頭や水面高の計算結果が導かれることがないよう、流れが橋を通過する際の形状を詳細に検証する必要があります。また、数値モデルからの警告やメッセージをすべて検討し、必要に応じて修正措置をとる必要があります。水理エンジニアは、モデルの結果と現地データを一致させるための「微調整」を行う前に、そのモデルが十分に機能していることを確認しておく必要があります。

(2) 常流における一次元的な定常流の水面高計算は、下流の研究対象となっている流路区間から開始します。

その際、信頼できる境界条件も満たされていることが望ましいでしょう。開始条件が不明な場合、エンジニアは、水面高の計算が十分に下流から開始されていることを確認しなければなりません。こうすることで、たとえ開始点の水面上昇の予測が誤っていても、水面高を下流の定常的な流路区間における正しい高さに集約させることによって誤差を除去することができます。この距離は、主としてその水流の勾配の関数になっています。この研究流路区間の下流の正しい距離を選択するための指針については、「水面形の計算結果の精度」（合衆国陸軍工兵隊 1986 年）に記載があります。

(3) 河道の  $n$  値は、水位－流量データが（たとえば観測地点上で）入手可能であれば、様々な流れを対象として較正することができます。堤防内の流れについて、計算水位と観測地点における実際の水位が一致すれば、河道の  $n$  値を一定に維持することが可能になり、高水敷の  $n$  値を異なる過去の大洪水に対して較正することができます。1 つ以上の既知の流量に対して、水面高の計算結果をグラフ化し、観測水位および最高水位点と比較します。これらの数値が正確に一致することは期待すべきではありません。水面高の計算結果が最高水位点の多くと近い値になっていけば、多少の誤差を容認しながら、較正を成功させることができます。実際に較正作業を行う方法としては、マンングの  $n$  値の変更、適当であれば拡大・収縮係数の調整、有効な境界あるいは橋梁形状への改変などがあります。一般的には、マンングの  $n$  値を調整するだけで済むことがほとんどです。

(4)  $n$  値の予測に関しては、経験豊富な水理エンジニアによる予測でも、かなりの不確定性が認められ、同じ水流区間で約 20% 程度の差が出るのが普通です（合衆国陸軍工兵隊 1986 年）。したがって、妥当な範囲でこの値の増減を調整し、モデルの較正を行います。較正のためには  $n$  値に対して「妥当でない」調整が必要となる場合、水理エンジニアには慎重な判断が要求されます。許容可能な較正誤差を示してくれるような厳密な指針はありません。したがって、担当の水理エンジニアおよび再検討担当者には、豊富な経験と的確な判断力が求められます。だいたいの目安として 1 フィートが用いられるのが一般的ですが、この基準がすべての状況で適用できるわけではなく、特に勾配の急な水流に対しては適用できません。較正の過程に関する一般的な検討事項を表 3-5 に示しました。また図 3-3 は、ある流路区間に対して十分な水面高さの較正が実施された例を示しています。較正の実施過程および理論的根拠については、各研究の報告書に文書化しておく必要があります。

(5) 二次元的な非定常流モデルおよび土砂輸送モデルに対しては、さらに追加の較正データが必要です。各章では様々な方法の適用に関連してモデルの較正とその検証に関する情報を提供しています。

d. 検証 較正過程の最終段階はモデルの検証作業になります。検証は特に望ましい操作ですが、常に可能であるとは限らず、しばしば必要なデータが入手できない場合もあります。検証の過程は、頻度解析における「割り見本 (split sample)」の試験手順とよく似ています。

表 3-5

データの収集および較正における検討事項

- ・重要な洪水が発生した後は、できるだけ多くの最高水位点 (HWM) データを取得します。隣の HWM にどれほど接近していても、またその値に一貫性がなくても構いません。後の調査が可能になるよう各 HWM の位置を物理的に記載します。
- ・可能な場合には橋の上流と下流の位置で最高水位点を取得します。これにより、こうした障害物による影響を推測することができ、また橋のモデリング手順を確認することも可能になります。
- ・浮遊物による橋や排水溝の閉塞状況について地域住民に確認します。都市部の水流については、自動車や浮遊物による橋の開口部の閉塞状況について住民に確認し、新聞記事も調べます。
- ・過去の大洪水は、流域全体とその地域の両方について、洪水が起きてからの土地利用の変化を調査します。
- ・前回の洪水以来、その水流にどのような変化が起きていますか？ 前回の洪水以来、侵食や堆積が起きていて、しかもその程度が著しい場合は、現在の河道構成を使用して実施した較正は無効になります。
- ・HWM (最高水位点) が浮遊物の到達線から計測してある場合は、特に貯水池の場合などで、打ち寄せる波によって浮遊物の線が HWM より高くなることもある点に注意します。
- ・観測者の HWM 報告に偏りはありませんか？ 家屋の所有者は、プロジェクトが有利になると考えた場合、HWM の計測値を誇張する可能性があります。また家屋の売却を希望する所有者は、売却条件への影響を考えて、HWM の計測値を過小報告するか、または洪水被害がなかったと報告する可能性があります。

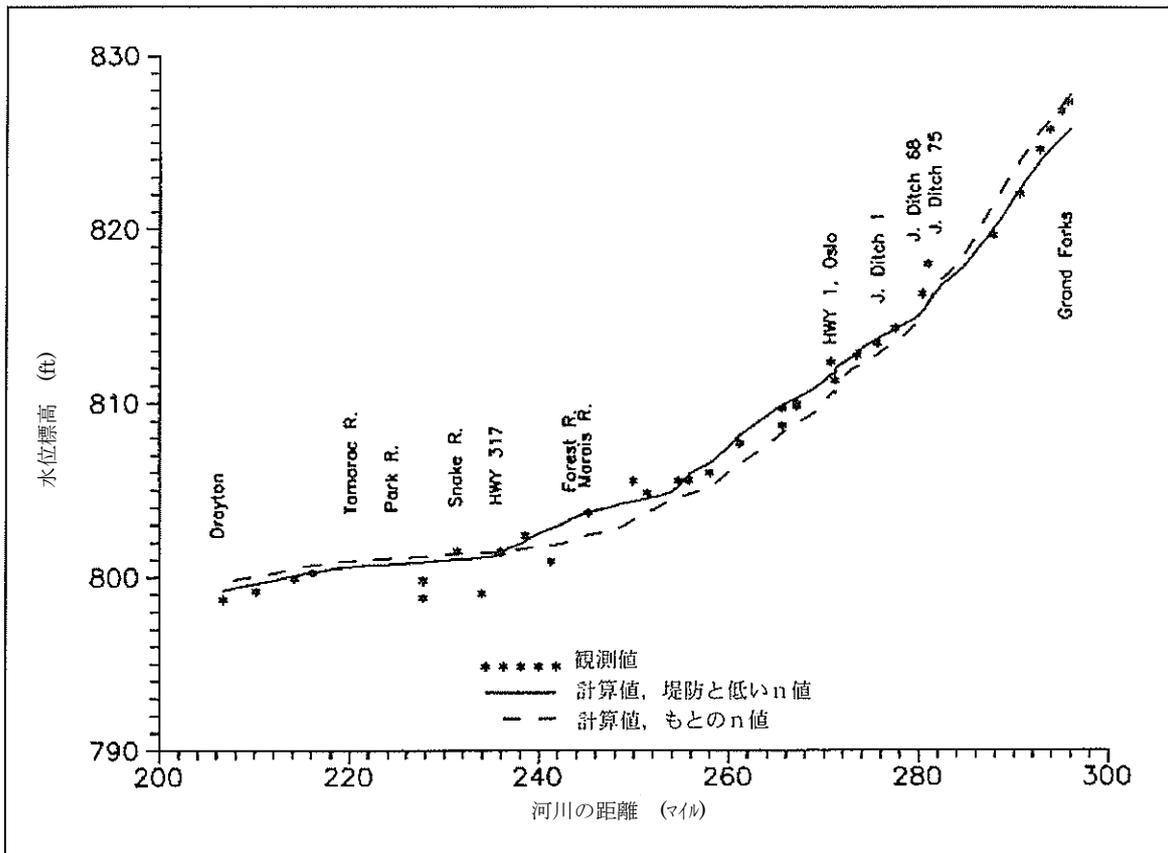


図 3-3. 洪水痕跡による水面高の較正

この較正モデルを使用して、較正過程では使用されなかった追加の洪水から水位上昇を計算します。この試験の目的は、較正済みのモデルが、その他の洪水に対しても確信を持って使用できることを確かめることです。データの入手可能な洪水が 1 回か 2 回しかない場合、検証作業に必要な情報が不足する可能性があります。しかし、検証の段階は、全体的な較正過程の一部と考えるべきです。検証に必要なデータが欠けている場合には、さらに追加の感度分析を行い、入力データの持つ不確定性によって発生する結果の誤差範囲を評価する必要があります。

### 3-6. 解析モデル選択のガイドライン

河川水理学研究の実施期間中に使用する適切な解析モデルの選択は、以下に示すような多くのファクターを判断することによって決定します。(1) プロジェクトの全体的な目的、(2) そのプロジェクトにおける具体的な研究目的（詳細事項のレベルが要求されている場合）、(3) 流れの種類、タイプ、および河状に関する研究が期待されているか、(4) 必要なデータが入手可能かどうか、(5) 重要な問題をすべて適切に扱うのに必要な時間と設備が使用可能になっているか。

以下の各節では、これら各ファクターの重要性について考察します。

a. 研究目的 水理エンジニアが選択する解析モデルの種類は、その研究に要求される事項と目的を反映したものでなければなりません。水理エンジニアが評価対象となっている問題に精通し、問題点や考えられる解決策について研究管理者やエコノミスト、地域の後援者などと十分に時間をかけて協議を行うまでは、必要なモデルの種類がはっきりしない場合もあります。初期の予備調査作業は、ほとんどこうした問題点の特定に重点をおいたものになります。詳細事項のレベルは、3-1b で説明したように選択したモデルに直接関係してきます。研究管理者および地域の後援者が、特定レベルの詳細事項を指定または要求してくる場合もあり、そうした要求が研究のその段階には適切なものとは言えない可能性もあります。水理エンジニアは、研究対象となる問題点や特定の研究段階で必要となる詳細事項のレベルを指定できなければならない、また研究管理者および地域の後援者と、こうした様々な要請について理論的に協議ができなければなりません。

詳細事項のレベルが、その研究の段階に対して過不足ないことを確認するのは、水理エンジニアの責任です。

(1) 特定の研究における詳細事項のレベルに関して絶対的な基準が与えられることはありませんが、表 3-2 に代表的な指針のいくつかを示してあります。一般的に、漸進的に変化する定常流は、ほとんどの本調査(実行可能性)報告の分析に適用することができます。例外としては、土砂の特性に対して大規模な影響があるようなプロジェクト(大きな人工水路化または貯水池工事)で移動する境界の解析が本調査(実行可能性)段階で必要となる場合、あるいは速度パターンを著しく変化させるか水位の急激な変化をもたらすようなプロジェクト(運河の閘門、ダム、発電所など)があります。こうしたより複雑なモデルを較正し検証するには、較正作業に必要なデータを取得するためのデータ収集プログラムの設定が終了した後、設計段階で、移動床模型および非定常または多次元モデルを使用することがしばしばあります。

b. データの入手可能性 モデルの選択では、まず最初に研究段階と必要な詳細事項のレベルを考慮すべきですが、入手可能なデータの量も重要です。漸進的に変化する定常流のモデルの場合、較正に使用するのは最高水位点のみですが、移動する境界および非定常流あるいは多次元的なモデルでは、較正作業にハイドログラフ全体からのデータが必要になることもあります。こうしたモデルでは、漸進的に変化する定常流モデルの場合より、水理エンジニアに求められる技術や経験、さらに必要なコンピュータの設備の量も大幅に増加します。より精度の高いモデルを使用する必要があるかどうかは、計画段階で明らかになってくるのが普通です。時には、十分な較正データがないにもかかわらず、より高いレベルのモデルが調査報告書の段階で必要になることもあります。較正データが不足あるいは欠如していると信頼性のレベルが低下しますが、十分な技術と経験を持った水理エンジニアであれば、たとえプロジェクトの数値に対する絶対的な基準が不確かなものであっても、こうしたモデルを使用してプロジェクトによる変化や相違を評価できるはずですが、本調査(実行可能性)報告の結果において、精度が欠かせない条件である場合には、報告段階でデータ収集プログラムを予算計画に含めておく必要があります。

c. 正確さの問題 「正確さ」という用語は、水文学に適用した場合にはやや漠然としています。物理モデルおよび数値モデルからは、高い精度の情報を得ることができますが、その正確さは入力するデータによって制限を受けます。モデルの開発、較正、検証、そして運用に使用される現地データは、実際の数値とは 10%程度の差があり、場合によってはさらに差が大きくなります。

(1) その解析を行う水理エンジニアの技術と経験こそ、結果の正確さを示す最も明確な証拠になります。正確さの問題に対しては、数値の範囲を指定するよりもっと適切な解答があります。それは、「モデルは既存の洪水を

十分に再現しているため、既存の洪水と仮説的な洪水で同じ物理過程が優位を占めていると仮定すると、その他の仮説的な洪水に対する結果は、たぶん起こるであろう事柄を示していると考えられる」ということです。この記述が意味しているのは、(n 値のような)重要な変量が設計の考え方に及ぼす影響を評価するための感度試験を使用して、それらの設計の考え方に対するプロジェクトの経済性の感度を判断することです。

(2) 既存条件に対する考え方は、既存の潜在的な損害や洪水被害を評価する際の重要な鍵となります。したがって、こうした考え方を決定する際には、本調査(実行可能性)段階において細心の注意を払う必要があります。水理学的な構成要素を設計するための設計研究では、本調査(実行可能性)段階よりもさらに高い正確さが必要とされます。

d. モデリングの要件(時間、経験、コンピュータ設備) モデリングの要件は、報告段階での決定によって変わってきます。一般的には、要求されるモデルが精密なものであるほど、費やされる時間とコストが大きくなり、経験のあるエンジニアの人材も限られてきます。通常の場合、多次元的なモデリングまたは移動する境界のモデリングが必要となるような水理学的研究を行うために、1つのオフィスで採用できる十分な経験を持った水理エンジニアは、(多くても)1人か2人です。こうした条件を備えていない水理エンジニアでは、上記のような手法に関する経験不足から、研究の開始に際してかなりの時間とコストがかかってしまう可能性があります。

e. 水理学的な問題 自然の水路における流れの特性を計算することは、複雑で困難な作業です。研究対象になっている問題に対して、不十分あるいは不適切な解析方法を使用したことによって、多くの計画が失敗し維持管理上の問題が発生しました。したがって河川水理学研究では、開始当初から適切な解析方法を選択し、またモデリングのアプローチを開発し較正することが必要不可欠な条件となります。プロジェクト評価の正否の大部分は、実行する最初の作業の一つとしての水理研究を適切に実行する能力を、研究チームが持っているかどうかにかかっています。また解析の種類は、モデルを選択する前に正確に定義する必要があります。これにより、モデルが先に決まるのではなく、研究目的によってモデルが決定されることになります。

(1) 第 2 章で概観したように、流れの分類および状態は、解析ツールを選択するための補助手段として、できるだけ正確に推測すべきです。そのために考慮すべき事項を以下に示します：

- ・流れの種類： 開水路、圧力流、または両方
- ・流れの種類： 定常流・漸変流または急変流。  
非定常流・漸変流または急変流。
- ・制御の場所： 常流の流路区間、射流の流路区間、  
移行、構造、水位－流量曲線。
- ・境界の種類： 固定、または移動。

f. その他の検討材料 研究目的、資金、研究の時間的枠組み、データの入手および人材の確保などが決定した時点で、特定の数値モデルおよび物理モデルを選択する前に、その他の重要な疑問および検討材料を考慮しておく必要があります。以下にその一部を示します：

- ・モデルのデータ要件が、研究目的に合致しているか。人件費は、コンピュータ関連にかかるコストより大きいのが一般的です。
- ・研究に必要な情報を提供するための、モデルの性能および利用可能なコンピュータのハードウェアとソフトウェアの性能。
- ・数値モデルの理論基盤の妥当性。
- ・モデルに対して実施された試験および検証の程度。
- ・データの入手の可能性および必要な予備処理作業に関連した比較したデータ要件。また、利用可能なデータは、所有権が付されているものか、あるいは一般に公開されているものか。
- ・プログラムの使用方法の簡便さ。関連資料、入力データの構成、チェック機能、計算の構成則、出力内容を表示する際の柔軟性、サポートなどを含むモデルに関する諸要素。
- ・データの管理機能（たとえば、モジュールから他のモジュールへ情報を渡す機能など）。
- ・内部処理または外注で、プログラムを改変する際の容易さ。
- ・一般的な実行時間およびコストの観点から見た、プログラムの効率。
- ・プログラムへのアクセスし易さ。便利に利用できるコンピュータで、そのプログラムを使用することができるか。

プログラムを実行するのに大型コンピュータ、または特殊なハードウェアが必要か。

- ・ユーザーサポートサービスへのアクセスのし易さ（そのプログラムに精通している担当者に相談することが可能かどうか）。
- ・研究分野に使用する入力データの量と正確さは十分か。また、データが直ちに使用可能な状態になっているか。

g. 要約 以下の要約に、河川水理学研究を実行するにあたって、適切なモデルを選択するための手順を提案としてまとめました。

(1) 研究目的およびそれに必要な製品を特定します。プロジェクトに必要な時間と人材を特定します。

(2) 上記で概観した流れの種類、状態、河状、および種類を要約し、特定された流れ特性の種類を評価するのに必要なデータの、種類、分量、そして品質を予測します。

(3) 最も重要なデータの必要性をリストにして表を作成します。データのカテゴリーには、以下の各項目が含まれます。

水文学データ（流れの記録、最高水位点など）  
河道および氾濫原の形状データ  
土砂に関するデータ  
地形学的データおよび歴史的データ  
その他の情報（以前の研究や報告書など）

(4) 上記で示したデータは、直ちに使用できる状態になっていますか？ また、そのデータの品質および研究現場への近接性は適切ですか？ データには所有権がありますか、それとも一般に公開されていますか？ データの新しさはどうですか？ 使用可能なデータおよび欠落データのリストを作成してください。

(5) 欠落しているデータの収集に関わる時間とコストを予測してください。

(6) 表 3-2、3-3、3-4 を検討し、鍵となる水理学的特性の推測値から得られる結果と比較してください。検討の結果に基づいて、最も適切な方法を選択してください。

(7) 予備調査研究のような、上記の検討後に行う研究の結果に基づいて、代替的な方法を考慮します。研究上の具体的な必要性を満たすことができるよう、継続的に方法を更新し改善してください。