

ISSN 0386—5878

土研資料 第2060号

# 土木研究所資料

## 流路工水理模型実験の手引

昭和59年 2 月

建設省土木研究所  
砂防部砂防研究室

Copyright ©1984 by P.W.R.I.

All rights reserved, No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

## まえがき

流路工の計画、設計にあたっては、計画洪水流量以下の洪水流を安全に流下させると同時にその流路工の工事は経済的でなくてはならない。土砂の移動を伴う流れは複雑で机上の水理学的な検討だけでは不明な点が多い。そこで、流路工の模型を製作して実験的に検討することが必要かつ有益となる。また、近年大規模な流路工が計画されるようになってきていることもあって、流路工の諸元を検討する手法として模型実験を行うことがかなり一般的になってきたが、まだその手順、有益性が理解されてないようである。本文は模型実験の普及と現場技術の理解を深める目的で流路工計画、模型実験がどのように役立つのか、模型実験を実施すれば何がわかるのか、模型上の流れが実河川の流れにどの程度相似するか、どのようにして模型実験を行うかの手順と内容等について整理した。流路工計画に対して模型実験がさらに有効に実施されることを願うものである。

昭和59年2月

建設省土木研究所砂防研究室

主任研究員 阿部宗平

# 流路工水理模型実験の手引

## まえがき

|                           |    |
|---------------------------|----|
| § 1. 概 説 .....            | 1  |
| 1. 1 模型実験の意義と役割 .....     | 1  |
| 1. 2 模型実験実施のための判定基準 ..... | 1  |
| 1. 3 模型実験で検討される内容 .....   | 2  |
| 1. 4 模型実験の精度と適用限界 .....   | 6  |
| 1. 5 模型実験の手順 .....        | 7  |
| § 2. 模型実験に必要な資料収集 .....   | 17 |
| 2. 1 模型製作に必要な資料 .....     | 17 |
| 2. 2 模型実験に必要な資料 .....     | 19 |
| § 3. 相 似 律 .....          | 22 |
| 3. 1 フルード相似則 .....        | 22 |
| 3. 2 河床変動相似律 .....        | 24 |
| 3. 3 模型実験での再現性 .....      | 25 |
| § 4. 模型設計 .....           | 28 |
| 4. 1 模型範囲と模型縮尺の決め方 .....  | 28 |
| 4. 2 測定及び模型製作の技術 .....    | 29 |
| 4. 3 河道設計 .....           | 30 |
| 4. 4 模型付帯構造物の設計 .....     | 36 |
| § 5. 模型製作 .....           | 42 |
| 5. 1 模型製作と手順 .....        | 42 |
| 5. 2 模型付帯構造物の製作 .....     | 45 |
| § 6. 実験準備 .....           | 46 |
| 6. 1 測定設備の設置と測定方法 .....   | 46 |
| 6. 2 実験条件の整備 .....        | 47 |

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| § 7. 実験ケースの目的と実験条件の設定 ..... | 50 |
| 7.1 実験ケース毎の目的 .....         | 50 |
| 7.2 実験条件の設定 .....           | 51 |
| § 8. 実 験 .....              | 53 |
| 8.1 通水前の準備 .....            | 53 |
| 8.2 実験に当たっての注意事項 .....      | 53 |
| 8.3 測定項目と資料整理の内容 .....      | 53 |
| § 9. 報告書の作成 .....           | 56 |
| 9.1 現象解析 .....              | 56 |
| 9.2 実験結果の整理 .....           | 56 |
| 9.3 報告書のまとめ方 .....          | 57 |
| § 10. 実験結果の実河川への適用 .....    | 58 |
| あとがき .....                  | 59 |

## § 1 概 説

### 1.1. 模型実験の意義と役割

模型実験とは、実物と模型とに近似的な相似関係を与え、実河川で生じている現象や将来生じるであろう現象を模型上で直接的及び間接的に観察、測定し解析するものである。

模型実験は、作成された計画案に対して、流路工の重要性及び技術的側面からみて設計諸元について、さらに実験的手法を用いて検討する必要があると判断された場合に実施されるので、模型実験を実施する段階においては、原則として計画案が作成されていることになる。

模型実験の特色は、土砂を含んだ流水の平面的変動や河床変動（局所的な現象を含む）等のある程度、定量的に把握することによって、

① 現地の調査資料が十分に得られない場合は、模型実験によって現況河道における災害形態とその原因を知り、流路工の計画案を作成するための基礎資料を得ることができる。

② 考えられるいくつかの計画案について比較検討を行い、利点、欠点を整理して実河川に最も適応する計画案をある程度合理的に選定できる。

③ 計画、設計した流路工が安全かどうか、機能を十分に発揮できるかの検討がなされ、流路工の計画、設計諸元の修正の検討を比較的容易に行うことができる。  
こと等を挙げることができる。

### 1.2 模型実験実施のための判定基準

建設省土木研究所が実施してきた水理模型実験や流路工計画に関連する基礎実験から考えると、流路工の設計諸元に次に列挙する内容が含まれている場合は、模型実験を実施して設計諸元を検討することが望ましい。

(1) 流路工の幅が過去に多く施工されてきたものより特に広いまたは狭い場合。具体的には、流路幅が芦田<sup>1)</sup>らの示す(1)式の範囲

$$B = (3.5 \sim 7) Q^{1/2} \dots \dots \dots (1)$$

をはずれる場合。

(2) 過去に被災を受けているようなきつい湾曲部をもつ場合。実験的研究<sup>2)</sup>によると、(2)式の形状を有する湾曲部では、湾曲部及び湾曲部の下流での局所洗掘深が直線河道に比べて大きく、局所洗掘防止対策を必要とする。

$$\theta \geq 30^\circ, R/B < 1.0 \dots \dots \dots (2)$$

また、S字型の反曲線部<sup>3)</sup>が挿入される場合。

(3) 流路工計画区間の河道内に取水堰、砂防ダム、床固工等の横断構造物があり、その前後で計画縦断勾配が不連続になる場合。

(4) 多量の土砂 ( $Q_s/Q > 5\%$ ) が流路工に流入する可能性のある場合。

- (5) 流路工の計画に遊砂地や砂溜工が含まれる場合や土砂調節機能を有するような流路工計画の場合。
- (6) 流路の変遷や河床変動の経年変化が著しい場合。
- (7) 流況や河床変動からみて、分合流する支川の影響が大きい場合。
- (8) 計画する流路工がその下流の河川改修工事等に接合する場合で、接合部の処理が水理的にあるいは施工上から問題となる場合。
- (9) 設計案が全国の既設流路工データ<sup>4)</sup>から大きくはずれる場合。
- (10) 机上で設計した流路工が大規模なものとなり、工事に長期間を要し、施工優先順位の検討が必要となる場合。

### 1.3 模型実験で検討される内容

模型実験で検討する主な項目は次のとおりである。

- 1) 現況河道の問題点の把握
- 2) 流路工計画諸元の検討
  - ① 法線形状
  - ② 流路幅
  - ③ 河床勾配
  - ④ 断面形(単断面・複断面)
  - ⑤ 床固工・帯工の要否、位置、間隔方向、形状
  - ⑥ 護岸工の要否、護岸高、護岸基礎
  - ⑦ 前庭保護工の形状

以上の項目のなかの主なものについて解析すると次のようになる。

#### 1) 法線形状

湾曲部では、護岸越水や護岸基礎の局所洗掘による災害を受けやすいので、法線は極力直線とすることが望ましい。しかし、実際に流路工を計画する場合には湾曲部を挿入せざるを得ない場合が多い。

湾曲部における水位上昇量や局所洗掘深は流量、粒径、河床勾配等の条件に加えて、流路幅、曲率半径、交角等の幾何学的な条件に影響される。しかも、水位上昇量や局所洗掘深の程度は、同じ湾曲部であっても湾曲部の位置毎に異なるし、湾曲部の形状によっては、必ずしも湾曲部内で水位や局所洗掘深の最大値が生じるとは限らない。さらに、単一湾曲か、S字型に連続する湾曲か、あるいは湾曲部間にどの程度の長さの直線区間を設けているかによって水位及び河床高の変動は異なってくる。

以上のようにさまざまな形状の湾曲部と直線部とが組合わされた複雑な法線の流路内に生じる流水の集中や水位、河床の変化を理論的な検討のみで解くことは困難である。

模型実験は、湾曲法線の影響によって生ずる流水の集中の程度や水位、河床変動の様子を定量的に観察、測定し、法線の問題点を整理し、問題点を解消するために法線を修正したり、法線の修正が困難な場合には、例えば床固工等の横工を設置して、流水の整流化や局所洗掘の低減をはかる等の対策を検討することができる。

## 2) 断面形状

河道断面には、単断面と複断面とがあり、場合によっては単断面と複断面との折衷案をとることもある。

### (1) 単断面河道

単断面河道では特に低水路幅の設定が問題となる。上流の砂防工事がある程度進み、土砂の供給が少なく河床の変動が小さい河川における流路幅は、Regme 理論を適用した芦田<sup>1)</sup>らの研究による(1)式を基準に計画することができよう。流量に対して流路幅が狭まると設計流速が大きくなり、河床の低下が生じて河道工作物の安全性が問題となるし、安定勾配を維持しようとする掘削量の増加や床固工等の施工に多額な工事費を必要とするので、(1)式の下限值より流路幅を狭めない方が得策である。

模型実験の結果によると、流れが常流域にあっても  $H/d = 40$  で  $B/H_m < 5$  となるような流路幅を計画すると、直線部においても床固工、帯工による河床低下の防止は期待できない。また、全国の既設流路工では  $B/H_m < 10$  の条件では三面張流路工を施工している例が多い。

このように流量に対して流路幅を狭くすることは得策でないが、やむを得ず無理な流路幅を計画しなければならない場合は、河道特性を考慮して、模型実験により画一的な流路幅とすることを避けて拡幅部の設置を検討したり、流水の減速や洗掘深を低減する対策工の検討が行われる。

一方、河道内の土砂の移動が活発な河川では、流路の埋没や土砂堆積による有効河積の減少などが生じるので、画一的な流路幅を計画することが無理な場合もあるし、画一的な流路幅とすることにより自然の土砂調節機能を破壊し土砂流送を増大させて下流域に悪影響を与えることがあるので注意を要する。このような場合は、実河川での河床変動の実態を把握するとともに、模型実験を実施して河道地形の変化や土砂移動の状況を考慮した流路幅の検討が必要となる。

### (2) 複断面河道

計画流路幅は計画高水流量を対象として決定されるので、計画高水流量以下の流量に対しては広すぎて、流水は流路全面には存在せずに、流路内で乱流、偏流を生じ不安定な河道を形成する場合がある。このことから河状係数の大きい河川では、中小出水に対しても安全な流路幅の確保、すなわち低水路を固定する複断面河動の検討が必要となる。

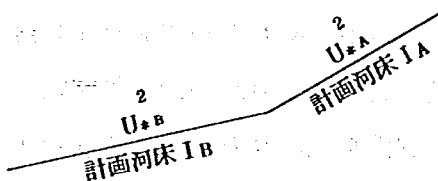
複断面河動では低水路断面のとり方が問題となる。低水路断面は、対象流量に対して低水敷幅と低水路水深を決める。低水路は、一般に生起確率を  $1/4 \sim 1/2$  年程度の流過能力を有する断面

とするという考え方があるが、実際の計画に当っては、低水路内で河床低下が生じないこと、低水路内で土砂堆積が生じないこと、高水敷が洗掘されないことを考慮する必要があるので、水理計算を行って諸元を求める一方で、模型実験によって、低水路の設計流量、低水路幅、低水路護岸高、高水敷幅の諸元の妥当性を検討することが望ましい。

低水路護岸を施工することが、河床変動や高水敷の維持、工事費などの面から不利な場合は、床固工や帯工に袖を設置することによって複断面的な河道を形成させる検討が模型実験によって行われる。

#### 4) 縦断勾配

流路工を施工する1つの目的は、河床勾配を緩和し流水の洗掘力を減少させ、土砂の生産を防止することにある。この意味において計画河床勾配は、上流から下流に向けて全体的にとらえ、連続的な勾配変化をするよう計画する必要がある。しかし、計画河床勾配は折曲線で与えるために必ず折曲点がでてくる。河床勾配を急変させると流路内に土砂が堆積する問題が生じることは周知の通りであり、この現象は河床勾配の変化率が大きく流砂量が多い程顕著である。掃流力の変化率について、池谷<sup>5)</sup>は(3)式を提案

$$\left. \begin{array}{l} I_A \geq 1/30 \text{ の場合 } U_{*A}^2 / U_{*B}^2 \leq 2 \\ I_A < 1/30 \text{ の場合 } U_{*A}^2 / U_{*B}^2 \leq 1.5 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (3)$$


している。縦断勾配の変化は一応(2)式を目安にすることができようが、模型実験において  $U_{*A}^2 / U_{*B}^2 \doteq 1.3$  ( $I_A = 1/75$ 、 $I_B = 1/95$ ) のときに流内で土砂堆積による河積不足が生じている例もある。またどのような変化率にするかは施工性だけでなく流砂量や護岸高との関連も考慮して決める必要がある。模型実験は河床勾配の変化率と時系列的な河床変動、水位変動等の関係から、適切な計画河床勾配を決定することができる。

洪水流は上流域の状況によって高濃度の含砂量となることもあれば、低濃度の含砂量となることもある。このことが河道工作物の安全性に与える影響が大きい。そこで、上流からの土砂の供給が不安定な河川での計画河床勾配は、土砂の供給のない場合を仮定した静的安定勾配と、土砂の供給の多い場合を仮定した動的安定勾配の両面から検討される。動的安定勾配に近い状態で計画河床勾配を設定すると、上流からの土砂の供給がない場合に河床低下が生じて護岸基礎の洗掘等による被害が生じる。また、土砂の供給の多い河川で静的安定勾配を計画河床勾配にすると、流路内に土砂堆積が生じて護岸越水の原因となる。

静的安定勾配と動的安定勾配の両面を考慮した計画河床勾配(計画河床高)の設定が可能であ

れば、流水の蛇行によって生じる局所的な洗掘を除いて大きな問題は生じないであろう。実際に流路工を計画する場合、静的平衡理論により計画河床勾配を設定しても、流水の蛇行によって局所洗掘が生じるので、静的平衡という断面平均的な、一次的な考え方では安定状態を達成するのは難しいこと、施工上や既設河道工作物の存在や工事費から計画河床勾配の設定に制約を受けることもあって、計画河床勾配は、現河床勾配を重視した動的平衡と静的平衡の間の勾配をとることがある。このような場合は、模型実験から設定した計画河床勾配と河床高のもとで、洪水があった場合の水位や河床変動を予測し、水位と背後地盤高との関係、洗掘深と護岸や床固工の基礎との関係を考慮して、河床勾配の妥当性を検討することができる。計画河床勾配に問題が生じる場合は、計画河床勾配だけでなく流路幅の検討も合わせて行うことは論をまたない。

また、流路工計画区間に砂防ダムや取水堰、床固工等が存在していて、計画河床勾配が不連続になることがある。河床勾配の不連続によって生じるへい害と、その程度を調べ、必要な対策を検討することができる。

#### 5) 護岸高と基礎高

護岸高は水理式によって計画水深を算定しこれに河川砂防技術基準で示される余裕高を加えて決められるが、河床変動の著しい河川での湾曲部の内湾側等で土砂の堆積高が余裕高よりも大きくなって、護岸高が不足する場合もあるので注意を要する。また、射流の流れとなる湾曲部での最高水位の実験値はKnapp<sup>6)</sup>の式で計算される値より大きくなる傾向にあり、湾曲部が連続する場合の水位上昇は、湾曲部の外湾側だけでなく、内湾側や湾曲部下流の直線部で生じることもある。

河川砂防技術基準にみられる護岸基礎の考え方は、計画河床高を設定している場合に、計画河床高より1 m以上の根入れを行うことを原則としているが、実際には、湾曲法線の影響や砂礫堆の形成による流水の集中によって局所洗掘が生じ、計画した根入深が不足する場合もある。また、湾曲部の内湾側等で土砂が堆積する区間では根入深が十分すぎて不経済になったり、強固の護岸を必要としない区間も存在することがある。また、流路工は必ずしも護岸工と横工との組み合わせ方式をとる必要はなく、横工を適切に配置することによって護岸工の施工が不必要になる場合もある。

以上のことから、より実地的な護岸計画（護岸工の必要性、余裕高、根入深）を行なおうとすると、水理模型実験を実施して計画案の妥当性を検討することが望ましい。

#### 6) 床固工と帯工

河床勾配を緩和することを目的とする床固工の間隔は、元河床勾配に対して計画河床勾配と床固工の落差が与えられると決定できる。この他に床固工を設置することによって、流水の整流化と、帯工を併用して単列砂礫堆を制御し局所洗掘を低減させようとする目的がある。流水の整流化と局所洗掘を低減させるための床固工と帯工は、その配置位置と方向が問題となり、水理模型実験により計画案を修正する場合が多い。砂礫堆が形成されることによって生じる局所洗掘を低

減するためには、横工を流路幅の2倍程度の間隔に設置するのがよいとの実験的研究成果<sup>7)</sup>が得られているが、護岸沿いの局所洗掘深と計画護岸根入深との関係によっては、横工の間隔を流路幅の2倍以上に設置してもよい場合もある。

また、床固工の方向は、下流流心を左右する作用が著しく、特に洪水時においてはこの作用が顕著である。床固工の方向を少し誤ると下流護岸が水衝部となり破壊されるから、床固工の方向は原則として、下流流心に対して直角とすべきであると言われている。しかし、湾局部においては、図上で床固工の中心点がその上流の床固工の水通し中心において方向線に立てた垂線上にあるように、床固工の方向を定めても、これが折曲線と与えられるため、流水は整流されずに、下流護岸を水衝部とする場合もあり、水理模型実験によって、床固工の方向が修正される場合が多い。

さらに、床固工を設置し、床固工の機能を有効に発揮させることにより、護岸工が不必要となる場合もあるし、逆に流れが常流域で河床勾配が緩く、粒子の細かい河川では、床固工等の横工を設置しない方がよい場合もある。

模型実験は横工の要否、適切な設置間隔、方向、形状等を合理的に決定することができる。

#### 1.4 模型実験の精度と適用限界

模型実験で相似な形や相似に近い条件を与えても、力学的に完全に相似させることは不可能なので、模型に現われる現象は全て相似にあらわれるという訳けにはいかないし、場合によっては、特定の現象のみに着目して他を犠牲にする場合もある。したがって、模型実験は仮定及び境界条件の妥当性を十分に検討して実験を行い、かつ諸条件を考慮して結果を正しく解釈することが必要である。

模型実験では水理条件として、流量、給砂量、実験材料、通水時間が与えられる。実河川の流量波形は増水、ピーク、減水と連続的に変化するが水理模型実験では実験施設や技術の面から流量を段階的に変化させ、洪水波形に近似させる方法を用いている。(図-1)

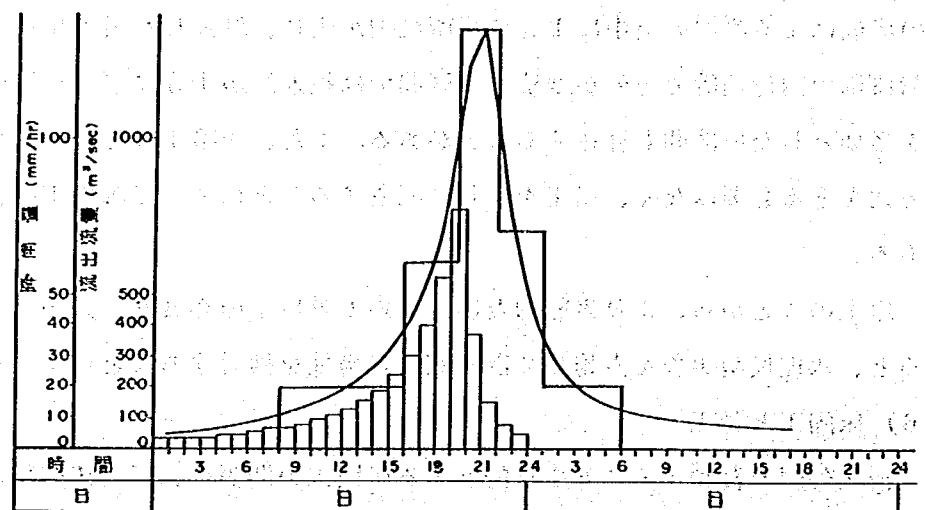


図-1 100年超過確率日降雨量(414mm/day)に対する流出波形

実験材料は実河川を代表する粒度分布加積曲線を選定し、これを幾何相似させた混合砂を使用しているので、平均粒径が大きく変化する場合を除いて実河川の河床材料の縦断的变化は考慮さ

れていない。また、実験使用材料は、実河川の粒度を幾何相似させる場合に、最小方法はフルイの目の最小寸法に左右されるので、実河川の粒度分布加積曲線を完全に相似させることはできない。

給砂量は、一般に河床材料と同一砂を模型上流端より与える。給砂量は上流域の河床変動の状況に応じて無給砂か、模型上流端の砂防ダム等の堆砂勾配を維持する量を洪水の継続する時間内で流量変化に応じて連続的に与えている。これに対して実河川での洪水流は、上流域の状況によって、高濃度の含砂量となることもあれば、低濃度の含砂量となることもあり、洪水の継続中に土砂濃度の時間的变化が行われると考えられる。

このように水理模型実験の水理条件は、仮定条件や近似させた条件を与えることになるので、模型上の現象は全て相似にあらわれるという訳けにはいかない。

実験での測定値を実河川に適用する場合の精度は、模型縮尺、測定器機によって異なるので、期待する精度を得るためには、模型縮尺の与え方やどのような測定器機を使用するかを十分に検討しなければならない。例えば水位の測定精度が仮に $\pm 2 \text{ mm}$ とし、実河川で $\pm 10 \text{ cm}$ の精度を要求するとするならば、模型縮尺は $1/50$ の大きさを必要とする。

模型上で、流水の蛇行状況を実河川のそれと定性的に一致させることは可能であるが、流水の集中による溪岸侵食の程度を相似させることは、河床材料と同じ材料を用いて溪岸を製作する手法を用いる限り不可能なことであり、より実験の精度の向上をはかる意味で実験使用材料の開発を行っている。また、Regime 理論による流量と河幅との関係は前述した(1)式で示されるが、流れが横方向に自由な場合には、この流量と河幅の関係がFroude 相似則及び幾何相似則と矛盾することが指摘されており、今後の研究課題となっている。さらに、砂防ダム等の落下水による局所洗掘深は、実際より模型実験で測定される値の方が大きいといわれていることから、この種の実験においては測定値の解釈に注意を要する。

## 1.5 模型実験の手順

模型実験は、模型実験の意義を十分理解した上で、次の順序で進められる。

- 1) 目的の把握
  - 2) 模型実験に必要な資料収集
  - 3) 模型設計
  - 4) 模型製作
  - 5) 実験
  - 6) 現象解析
  - 7) 結論
- (1) まず先に、答として何を求めようとするのか、その目的を十分に検討して確実に把握する必要がある。通常の流路工水理模型実験におけるその目的は洪水があった場合の現河道の問題点を把握し経験的な判断によって作成された流路工計画案の妥当性を検討し、問題点を修正した施

設の配置計画とその形状を明確にすることにある。

実験者は、対象としている河川がどのような状態になればよいのかを把握し、計画案がどのような過程を経て作成されているか、計画案の何が問題となるだろうか等を十分に理解し検討しておく必要がある。

- (2) 目的の把握ができれば、模型製作及び模型実験に必要な資料の収集を行う。模型製作に必要な資料は、模型取入れ範囲の検討や幾何学的な相似を得るための平面図、縦横断面図、河道工作物の形状等である。模型実験では、力学的な相似を得るために必要な資料として河床材料、流量、流砂量、洪水の継続時間等が必要である。多くの河川で、流砂量の実績資料は得られていないが、より合理的な流路工計画案の作成、信頼度の高い実験的結論を得るために必要となる資料である。
- (3) 模型設計では、第一に模型の取入れ範囲、模型縮尺を決めることになる。これを定める要素は、相似律、実験場の施設の規模（ポンプ能力、面積）、実験技術（河床整形の精度、粒度分布の選定、給砂量、測定精度）、測定器機の精度等である。さらに模型設計では実河川の河道を幾何学的に相似させるための模型値換算、流量の検定、沈砂池等実験に必要な構造物の設計等が行われる。
- (4) 模型製作は、模型設計の段階で作成された指示書に従って幾何学的に相似された現況河道あるいは計画河道をモルタルで製作する。
- (5) 実験は、力学的な相似性を検討する検証実験、現況河道の問題点を把握するための現況実験、計画案の妥当性と問題点を検討する実験、計画案の問題点を解消するために必要な施設の改良、対策を検討する実験等がある。

検証実験は、模型上での流況（河床変動、流水の平面的な変動、水位）と実河川との流況を比較するものであるから、検証実験を行うためには実績洪水波形流量（ $Q \sim T$  曲線）、流入土砂量、洪水前後の河床縦横断、実績水位（洪水痕跡）、流水の平面的変化図、災害実績等の資料が必要である。しかし、実際にはこれらの資料収集がなされている河川は極くまれであることから、検証実験はほとんど実施できない現状にある。

現況実験は、現状河道の問題点を水理学的側面から把握することを主目的とするが、現況実験から流水の平面的変動、河床形態、河床変動の傾向等を空中写真から読み取る流路の経年変化図、河床変動の経年変化図、過去の災害の実績等と比較して、模型上の流れの再現性を評価することがある程度可能である。

模型上の流れを完全に相似させることは不可能であるが、再現性の度合を知ることによって実験の信頼度を測定することができる。再現性が得られない場合には、その原因（例えば河床材料の選定の誤り）があるはずなので、これを検討して問題点を解消しなければならない。

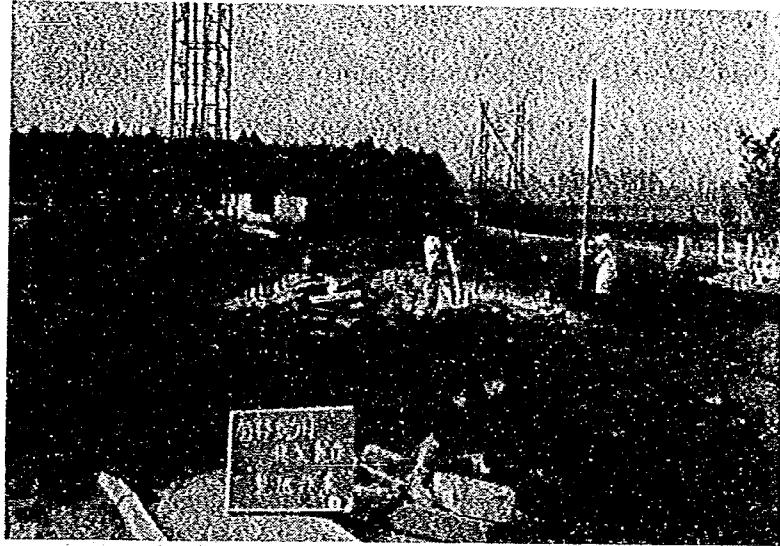
検証実験あるいは現況実験により、再現性の検討と現状河道の問題点を把握した後、机上で作成した計画案の妥当性に検討を加え、場合によっては修正を行う。この計画案の諸元の妥当性を目的に応じた水理条件を与えて検討し問題点を修正する。検討される流路工の諸元としては、前

述しているように法線形状、床固工、帯工等の施設の配置と形状等々がある。

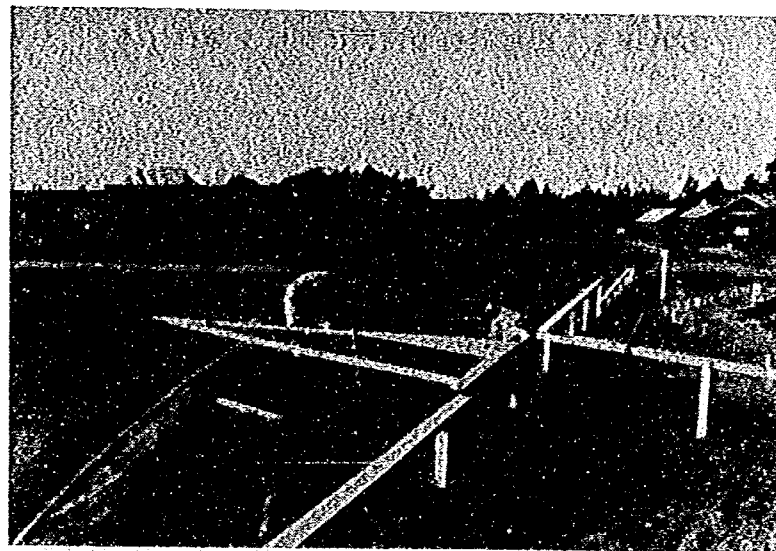
(6) 水位及び河床の変化高、流速、流況（主として局所的な現象や流水や河床の平面的、時間的变化の追跡、現象を生じさせる原因の把握）などの測定結果を整理し、これらの現象解析と実験的考察を行って、流路工計画諸元に対する結論が導かれる。

(7) 模型製作の作業内容と模型実験における測定状況の概要を以下の写真に示す。

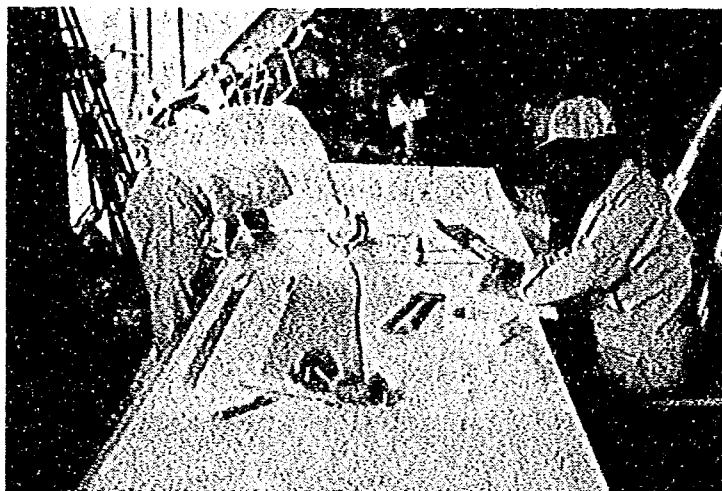
#### ① 模型製作の概要



写真－１ 模型の取り入れ範囲を実験所におとす模型骨格測量と、模型床の基準面を示す基準高の設定を行う。基準面に合せて切、盛土を行い、整地して模型床面を製作する。



写真－２ 基線線を設置し、距離標杭（横断杭）をオフセット測量による方法で設置する。



写真－３ 横断型板を製作する

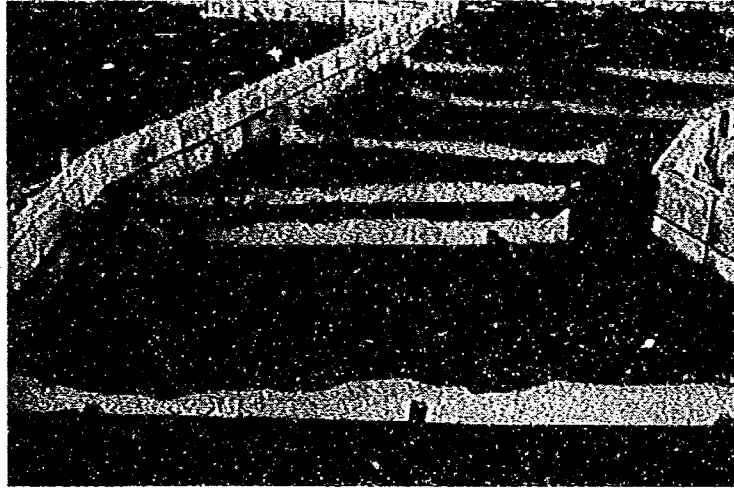
縮尺化した実河川の横断形状をラワン合板上にプロットし、形状にそって切断する。



写真－４ 距離標杭の内側に側壁を製作する。



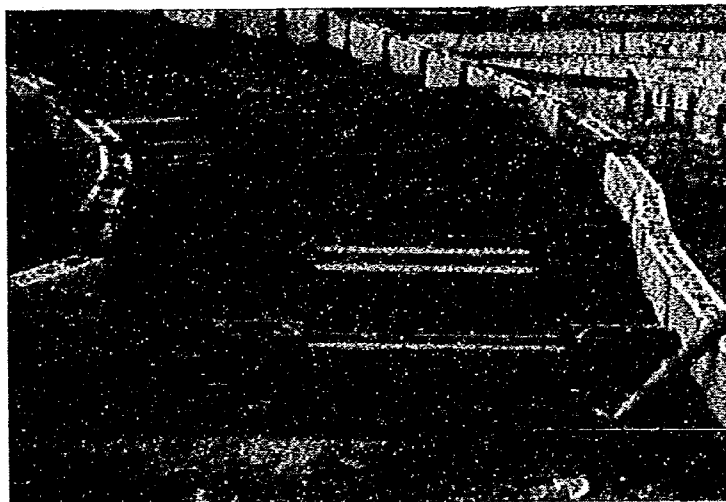
写真－５ 作業用道路を製作する。



写真一 6 横断板を距離杭に一致させ、横断板の高さを合せて据え付けて固定する。横断板の両端に側壁を製作する。



写真一 7 横断板間に平均厚 5 cm の敷砂利を施し転圧する。



写真一 8 床固工等の河道工作物を据付ける。



写真－9 横断板間をモルタルで連結して実河川の縮尺した河道状態をつくりあげる。



写真－10 河道微地形が正しくつくられているかの検査を行う。



写真－11 流量を検定する量水槽

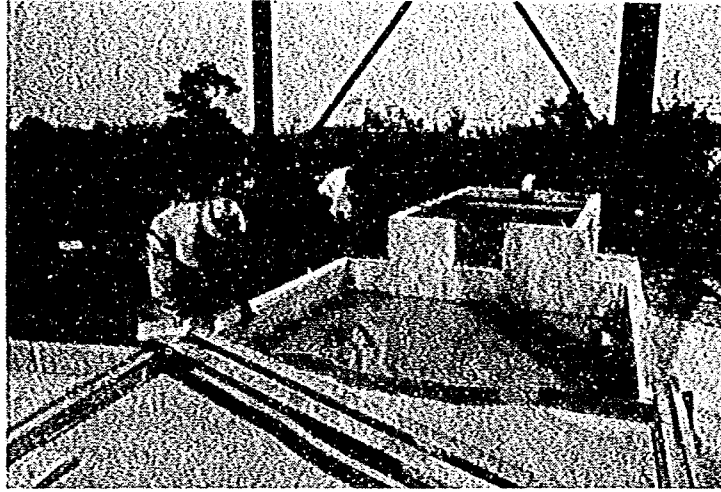


写真-12 量水堰を流下した流水を整流地で整流する。

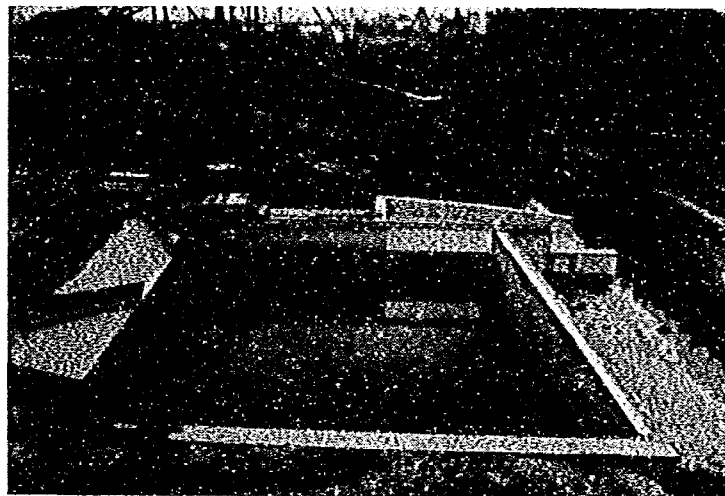


写真-13 模型末端からの流砂を堆積させる沈砂池と排水路



写真-14 側壁天端上に、流況観察用の距離尺を示す。基準高を設置し、基準線を張る。また、測線 $h_c$ を示す標示板を設置する。

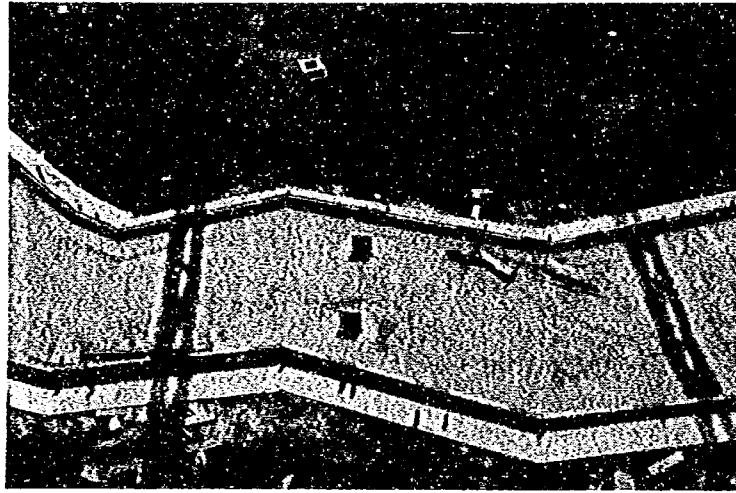


写真-15 完成したモルタル固定床



写真-16 モルタル仕上げの河床面に沿って、幾何相似された実験材料で移動床河床をつくる。

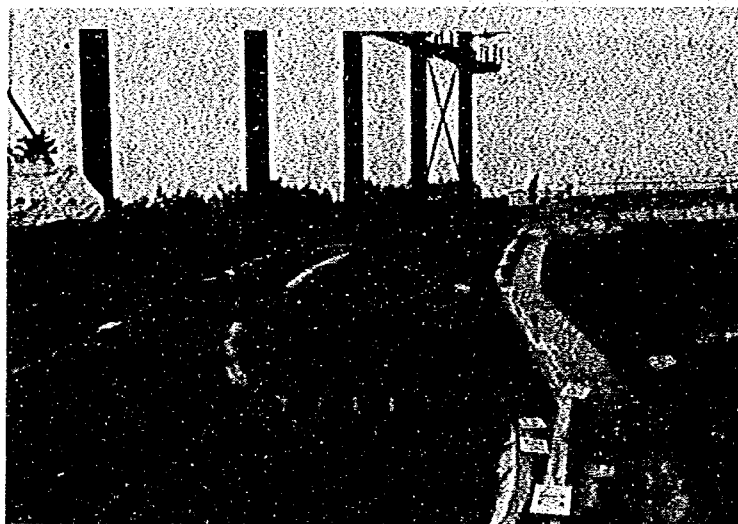


写真-17 完成した移動床模型

② 実験の概要



写真一18 容量をチェックしながら所定の量を模型上流端より給砂する。



写真一19 水位及び河床高の測定  
横断距離と基準高からの水面及び河床面までの高さを読みとる。



写真-20 流速測定の状態

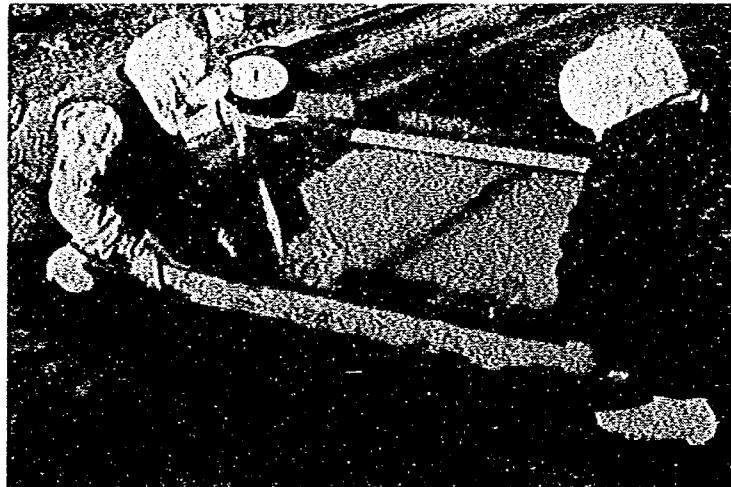


写真-21 流砂量の測定

採取器で流砂を採取し、メスシリンダーで容量を測定する。

## § 2 模型実験に必要な資料収集

### 2.1 模型製作に必要な資料

模型を製作するのに必要な資料は、平面図、横断図、縦断図、河道工作物図及び空中写真である。これらの図面は、流路の変遷や滑床変動の小さい場合を除いて同一時期に測定したものが望ましい。現況実験や計画案の検討を行う場合は、出来るだけ新しい測量成果を用いる。また、過去の災害現象を再現する場合は、その当時の河状で作らねばならないから災害以前の測量成果が必要である。また、空中写真は、平面図とみくらべながら河道のミオ筋等の河動微地形を作り出したり、河道内に固定化して移動しにくい部分を模型上で固定する場合に役立たせる。

また、横断測量はある間隔をもって実施されるので、横断杭（測量杭）間での河動地形の変化の確認が必要となる場合や、河道工作物の強度（例えば護岸工が空石積か練石積かの区分、その考朽程度）の確認が不十分の場合、岩の露出状況の確認を行う必要がある場合等においては現地跡査を実施する必要がある。

#### 1) 平面図

平面図は流路工の起点、終点の決定や法線計画をたてるほか、模型の取り入れ範囲の検討や現況河道あるいは計画した流路工の模型を製作する場合に必要となる。

平面図は、一般に空中写真を図化して作図する方法がとられるので、平面図から砂礫堆の形状、流水の蛇行、土地の利用形態等の多くの情報が得られる。また地形図に2 m間隔程度の等高線を記入しておく、天井川への移行点や旧流路、段差がわかり、破堤点や氾濫区域を推定する資料となる。このほかに、平面図に記入されている砂礫堆の形状や滞水および等高線等は、現況河道をつくり出す模型製作の際に必要となる。

平面測量の精度の向上や平面図上に決められた流路工の計画諸元や実験結果を実河川にプロットする際に、閉トラバース測量あるいは三角測量が必要となる。また、平面図上の測量杭の位置は、模型製作を行う場合の基準点となるので、横断図上の杭の位置と照合させて、正確に示しておかなければならない。

平面図は、前述したように空中写真を図化して作図する方法がとられるので、現河道にくらべて古い時期の平面形が示されることになる。平面図上は存在しないはずの河道工作物が実際には施工されていたり、横工が土砂で埋没していて、空中写真から判読されないこと等、空中写真撮影時に比べて現河道の様子が異なっている例があるので、現河道を踏査して平面図を修正しておく必要がある。これを怠ると流路工の計画面だけでなく、模型実験から得られる結果も無意味になる場合もあるので注意を要する。

模型実験を実施する時点では、原則として平面設計が済んでいることになるので、平面図には模型製作に必要な仮測点、中心点、法線形、流路幅、床固工の位置等についても記入しておくことが大切である。

平面図の縮尺は、流路工の規模によって異なるが $1/1000 \sim 1/2500$  程度のものがよい。

## 2) 縦断図

縦断図は模型製作を行う際に、計画河床高の設定や護岸、床固工、取水堰、橋梁等の河道工作物を設置する場合等に用いる。

流路工を計画するための調査、測量の段階での縦断距離と仮法線形が決まった段階での距離とに差が生ずるのが通例であるから、縦断距離を仮法線の中心線に合せて修正しておく必要がある。

縦断図には測点、区間距離、中心追加距離、曲線、元平均河床高と最深河床高、既設および計画河道工作物の天端と基礎標高、岩盤上面標高、計画河床高、計画河床勾配、左右岸の背後地盤高、計画高水位等が記入されていなければならない。

模型実験で使用する縦断図の縮尺は、流路工の規模によっても異なるが縦 $1/200$ 、横 $1/1000$ 程度のものがよい。

## 3) 横断図

横断図は流路工を計画する場合に、工作物の位置や計画河床高を決めたり、現河道や計画河道の河床形をつくり出す模型を製作する場合に必要となり、模型実験からの河床変化測定の基準値としても用いられる。

模型製作の精度の向上や相似を高めること、模型実験からの河床変化量等の測定結果の解析を行うことを考えると、横断測量間隔は、河道の屈曲、河幅の変化等の地形状況や河道内に存在する砂礫堆の形状等に注意して決めることが望ましく、必ずしも一定間隔にならないが、 $50 \sim 100$  mを標準とする。

計画河床高は、原則として背後地盤より低くなるようにして決められるので、横断測量幅は背後地の地形状況がわかる範囲までが必要となる。模型実験においても、河床上昇や河道断面の変化に伴って生ずる水位上昇に対して洪水氾濫の危険性はないか等を調べるために、背後地の地形の状況を考慮して模型の取り入れ範囲が決められる。

横断面の縮尺は大きすぎると扱いにくい上、地形の状況を全体的に読みとるのに妨げとなる。測量幅にもよるが縦 $1/200$ 、横 $1/500$  程度のものがよい。

## 4) 河道工作物図

模型を製作する場合に砂防ダム、床固工、帯工、取水堰、水制、護岸、橋梁等の工作物の諸元が必要となるので、平面図、縦断図、横断図に記入されていない工作物については、別に図面を作成しておかなければならない。これらの工作物の諸元は工作物台帳から調べるとよい。ただし、古い時代に施行された工作物は、台帳に記載されていないこともあるので、このような場合は河道を歩いて調べる。計画河床高を決める場合や模型実験で工作物周辺の局所洗掘に対して工作物が安全か否かを検討するために、橋梁や護岸等の基礎高についても調べておく必要がある。工作物台帳等に記載されていない場合は、ボーリング調査が必要となる場合もある。

5) また、河床に岩が露出していたり、岩が比較的浅い位置に露出することが推定される場合は、

必要に応じてボーリング調査等を行う等して、縦断面図や横断面図に堆定岩盤線を併記しておく必要がある。

対象区間の砂礫の平均的な堆積厚を推定しておかないと、実河川で実際に洗掘されないはずの河床が、実験では洗掘されることになり、役立たない実験的結論を得ることになる。

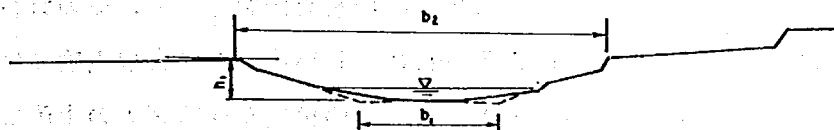
## 2.2 模型実験に必要な資料

模型上での現象は、実験条件（流量、実験時間、流砂量、実験使用材料）の与え方によって変わってくるので、慎重に検討しなければならない。特に流砂量は不確定でかつ実験結果に大きな影響を与えると考えられるので、上流の砂防工事の進捗状況や河床変動の経年変化の様子をみきわめて決定することが大切である。

また、前記しているように、検証実験を実施する場合は、相似性及び再現性を検討するために実績流量、水位（水位痕跡）河床変動、流路の変動、災害前後の空中写真等の資料を必要とするし、現況実験を行う場合に過去の災害実態調査、流路や河床の経年変化図等の資料を用意できれば都合がよい。

### 1) 流量資料

計画河道断面は、一般には計画ピーク流量によって決定しているが、流路工を施工するような急勾配河川では流量変化に富み、数年に1回程度の確率で出現する流量によっても流水の蛇行が原因して護岸災害が発生する例（写真－22）が多いので、計画高水流量およびそれ以下の流に量対しても安全な流路工を計画し



図－2 現状河道の横断形状

なければならない。

このような条件を満足させるために模型実験では、実験目的に応じて、ピーク流量や発生頻度の高い流量を一定時間流下させる定流実験と、計画洪水波形流量や実績洪水波形流量を対象とする不定流実験を実施することになっているので、これらの水文資料が必要となる。合流点処理に関する模型実験では、加えて出水時差の調査資料が必要となる。

発生頻度の多い流量を検討するのに十分な資料が得られない場合は、河床の横断形状が判断資料となることがある。河床の横断形状は図－2に示すように複断面の形状をとることがあるので、横断面図より自然河道の流路幅  $b_1$ 、 $b_2$  および水深  $h_1$  を調べて Manning の粗度係数  $n$  と断面間の平均河床勾配  $I$  を与えることによって、低水流路形成時における流量を推定することができ、流路工計画における横工の形状や複断面の形状についての検討資料が得られる。

## 2) 流路工上流端(砂防ダム)を流下する土砂量

給砂量は、流量および洪水の継続時間とともに河床変動の様子に影響を与えるので、流路工の最上流端の砂防ダム(流路工計画では原則として流路工内に流水を導くために砂防ダムか、ある



写真-22 単列砂礫堆が形成されて流水は護岸沿いに集中するため局所洗掘が生じて護岸が転倒している状況

いは大きな床固工をその上流端に施工した後に、流路工工事に着手することになっている)を流下する土砂量を調べておく必要がある。砂防ダムを流下する土砂量は掃流砂量と浮遊砂量との和として表わされるが、一般に流路工の計画に大きな影響を与えるのは掃流砂量と考えられ、模型実験においても掃流砂量を対象に計画諸元を検討している。

砂防ダムを流下する土砂量

の最小値は、砂防ダムが未満砂の状態に生じ、最大値は土石流等の異常土砂の流入を除けば、砂防ダムの堆砂勾配が動的平衡に達した状態で生ずる。実河川で流砂量観測を行って、その資料を基に計画流入砂量を設定する必要があるが、実際には実測資料に乏しい。そこで模型実験では、現象を観察・測定する区間に十分な相似の流れが生ずるように河道の模型を砂防ダムの上流まで取り入れて、実験目的に従って砂防ダムの堆砂勾配を変化させて、各々設定した堆砂勾配を維持する量を模型の上流端より給砂する方法がとられている。

## 3) 河床構成材料と給砂材料

模型実験において、河床構成材料と給砂材料は、調査資料に基づいて実河川を代表する粒度分布加積曲線を選定し、これを幾何相似させた混合砂を使用している。実河川で流路工に流入する土砂の粒径が流路工計画区間の河床構成材料の粒径と著しく異なり、しかも多量の土砂が流路工に流入して、流路工内の河床変動等を与える影響が大きいと判断されるような特殊な場合を除くと、模型実験における河床構成材料と給砂材料は、同じ混合砂を使用することが多い。

## 4) 洪水の継続時間

洪水の継続時間は流量、給砂量と共に河床変動に関係するので実測資料を整えるべきであるが、実測資料が十分でない場合は、例えば貯留関数法による方法等を用いて降雨量観測資料を統計処理し、流量時間曲線図を作成する必要がある。ピーク流量や発生頻度の高い流量を一定時間流下させる定流実験における実験時間は、流況観察から流水の蛇行状況や河床変動の傾向が一定となる時間から決められるが、不定流実験は、実河川の流量時間曲線図を基に Froude 相似律を用い

て縮少した時間が実験時間となるので、実河川の計画流量時間曲線図が必要となる。合流点処理  
についての模型実験は、さらに支川との出水時差の調査資料が必要である。

### § 3 相 似 律

#### 3.1 フルードの相似則

模型実験は、現象を支配している基礎方程式を模型で解くことによって、現地の現象を知ろうとするものである。従って、現地の現象を支配している基礎方程式が、模型のそれと同一であるかどうかについて検討しなければならない。また、現地と模型の対応する基礎方程式が同値であるためには、諸物理量の縮尺に一定の条件が必要で、これは基礎方程式より求めることができる。

実河川と模型の流れを支配している不定流の基礎方程式は、現象を一次元的なものとみなし、Cezyの係数をManningの粗度係数  $n$  を用いて書き直し、径深を水深とおきかえると次のようになる。

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V_p}{\partial t_p} + \frac{\partial h_p}{\partial x_p} - i_p + \frac{\partial}{\partial x_p} \left( \frac{V_p^2}{2g} \right) + \frac{n_p^2 \cdot V_p^2}{h_p^{4/3}} = 0 \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここに、 $v$  ; 平均流速、 $t$  ; 時間、 $x$  ; 流下距離、 $h$  ; 水深、 $g$  ; 重力の加速度、 $n$  ; Manningの粗度係数、 $i$  ; 河床勾配である。

模型でも同様な式が成立つ

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v_m}{\partial t_m} + \frac{\partial h_m}{\partial x_m} - i_m + \frac{\partial}{\partial x_m} \left( \frac{v_m^2}{2g} \right) + \frac{n_m^2 \cdot v_m^2}{h_m^{4/3}} = 0 \quad \dots\dots\dots(5)$$

添字の  $P$  は Prototype (現地)、 $m$  は model (模型) を示す。現地の流れと模型の流れが相似であるためには、(1)式と(2)式の対応する各項どうしの比が一定でなければならない。

すなわち、

$$\frac{\frac{1}{g} \frac{\partial v_p}{\partial t_p}}{\frac{1}{g} \frac{\partial v_m}{\partial t_m}} = \frac{\frac{\partial h_p}{\partial x_p}}{\frac{\partial h_m}{\partial x_m}} = \frac{-i_p}{-i_m} = \frac{\frac{\partial}{\partial x_p} \left( \frac{v_p^2}{2g} \right)}{\frac{\partial}{\partial x_m} \left( \frac{v_m^2}{2g} \right)} = \frac{\frac{n_p^2 \cdot v_p^2}{h_p^{4/3}}}{\frac{n_m^2 \cdot v_m^2}{h_m^{4/3}}} = \text{Const} \quad \dots\dots\dots(6)$$

ここで、

$$\frac{v_p}{v_m} = V, \quad \frac{t_p}{t_m} = t, \quad \frac{h_p}{h_m} = h, \quad \frac{x_p}{x_m} = x, \quad \frac{n_p}{n_m} = n, \quad \frac{-i_p}{-i_m} = i$$

とおくと、(4)式は

$$\frac{V}{t} = \frac{h}{x} = i = \frac{V^2}{x} = \frac{n^2 \cdot V^2}{h^{4/3}} = \text{Const} \quad \dots\dots\dots(7)$$

となり各辺に  $x/h$  を乗ずると次のようになる。

$$\frac{V \cdot x}{t \cdot h} = 1 = \frac{i \cdot x}{h} = \frac{V^2}{h} = \frac{n^2 \cdot V^2 \cdot x}{h^{7/3}} = \text{Const} \quad \dots\dots\dots(8)$$

今(6)式で水平縮尺  $x$ 、鉛直縮尺  $h$  が与えられたとすると流速の縮尺は第2項と第4項より

$$V = \sqrt{h} \quad \dots\dots\dots(9)$$

第1項と第2項より時間の縮尺は

$$t = \frac{V \cdot x}{h} = \frac{x}{\sqrt{h}} \quad \dots\dots\dots(10)$$

第2項と第3項よりエネルギー勾配の縮尺は

$$i = \frac{h}{x} \quad \dots\dots\dots(11)$$

第2項と第5項より粗度係数の縮尺は

$$n = \frac{\sqrt{h^{2/3}}}{V \sqrt{x}} = \sqrt{\frac{h^{1/3}}{x}} \quad \dots\dots\dots(12)$$

なを、断面積、流量の縮尺はそれぞれ

$$\left. \begin{aligned} A &= x \cdot h \\ Q &= V \cdot A = x h^{\frac{3}{2}} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(13)$$

で表わせる、水平・鉛直縮尺が同じ場合には

$x = h$  となり、長さの縮尺を  $1/70$  とするときの各物理量に関する縮尺は表-1のようになる。

表-1 フルードの相似則による諸基本量の縮率

| 諸 元     |                      | 次 元         | 縮 率                         |                |
|---------|----------------------|-------------|-----------------------------|----------------|
|         |                      |             | 比                           | 縮 尺            |
| 幾何学的な量  | 水平(X)                | L           | $X_r$                       | 1 : 70         |
|         | 鉛直(h)(水深・標高)         | L           | $h_r$                       | 1 : 70         |
|         | 勾 配(h/X)             | —           | $h_r \cdot X_r^{-1}$        | 1 : 1          |
|         | 面 積(A)               | $L^2$       | $h_r \cdot X_r$             | 1 : 4,900      |
|         | 体 積(V <sub>m</sub> ) | $L^3$       | $h_r \cdot X_r^2$           | 1 : 343,000    |
| 流水に関する量 | フルード数(Fr)            | —           | 1                           | 1              |
|         | 流 速(V)               | $LT^{-1}$   | $h_r^{1/2}$                 | 1 : 8.3666     |
|         | 流 量(Q)               | $L^3T^{-1}$ | $X_r \cdot h_r^{3/2}$       | 1 : 40,996     |
|         | 時 間(T)               | T           | $X_r \cdot h_r^{-1/2}$      | 1 : 8.3666     |
|         | 圧力の強さ(P)             | $FL^{-2}$   | $h_r$                       | 1 : 70         |
|         | 粗 度 係 数(n)           | $L^{1/3} T$ | $h_r^{2/3} \cdot X_r^{1/2}$ | 1 : 2,030.09   |
|         | 流 量 係 数(c)           | —           | 1                           | 1              |
|         | 掃 流 力(Z)             | $FL^{-2}$   | $h_r$                       | 1 : 70         |
|         | エ ネ ル ギ ー(E)         | FL          | $h_r^4$                     | 1 : 24,010,000 |
|         | 運 動 量(mv)            | FT          | $h_r^{1/2}$                 | 1 : 2,869.790  |

### 3.2 河床変動の相似律<sup>8)</sup>

つぎに、河床変動の相似律を検討する。この場合の相似律の基礎は、流砂に関する連続式と流砂の運動方程式でなければならない。流砂の運動方程式はまだ確立されてはいないが、流砂量式としてほぼ

$$\phi = f_s(\tau_{*c}, S_{*c}) \quad \dots\dots\dots (14)$$

のような関係が成立することが知られている。ここに  $\phi = q_B / \sqrt{(\sigma/\rho - 1)gd^3}$ 、 $\tau_{*c} = U_{*c}^2 / (\frac{\sigma}{\rho} - 1)gd$ 、添字  $c$  は有効分をあらわす。また  $S_{*c}$  は急勾配であることの影響を考慮した限界掃流力の無次元表示である。したがって原型に対する模型の諸量の比を添字  $r$  を付けてあらわすと、

$$\phi_r = \tau_{*cr} = S_{*cr} \quad \dots\dots\dots (15)$$

である必要がある。河床形態が相似であれば、 $\tau_{*cr} = \tau_{*c}$  であると考えられるから(15)式は、

$$\frac{q_{Br}}{d_r^{3/2}} = \frac{U_{*r}^2}{d_r} = S_{*cr} \quad \dots\dots\dots (16)$$

となる。一方、代表粒径  $d$  の砂粒を敷きつめた固定床においては、摩擦抵抗係数  $f$  は次元解析の結果、

$$f = \varphi\left(\frac{U_{*c}}{\gamma}, \frac{U_{*c}^2}{gd}, \frac{d}{h}\right) \quad \dots\dots\dots (17)$$

のようにあらわされることがわかる。ここに  $\gamma$  は水の動粘性係数、 $U_{*c}$  ; 摩擦速度である。急勾配の完全乱流においては  $U_{*c}d/\gamma$  は支配的な要素とならないから、

$$\frac{U_{*r}^2}{d_r} = \frac{d_r}{h_r} = 1 \quad \dots\dots\dots (18)$$

が成立する。このことから、(16)式の第2項は幾何学的相似律が満足されるときには、(18)式より1であるから、

$$q_{Br} = d_r^{3/2} \quad \dots\dots\dots (19)$$

である。一方  $S_{*c}$  は緩勾配で

$$S_{*c} = \frac{U_{*c}^2}{(\sigma/\rho - 1)gd} = f_s\left(\frac{U_{*c}}{\gamma}\right) \quad \dots\dots\dots (20)$$

であって、砂粒レイノルズ数が大きい場合は、一定値をとるが急勾配では芦田らの実験によれば、

$$S_{*c} = \frac{U_{*c}^2}{(\sigma/\rho - 1)gd} \cdot \frac{1}{(\tan\theta \cos\theta - \frac{\sigma}{\rho} \sin\theta)} = 0.034 \times 10^{0.32(d/h)} \quad \dots\dots (21)$$

である。このような場合でも歪みのない幾何学的な相似条件を満足する場合を考えれば、 $S_{*cr} = 1$  となることは明らかである。したがって(16)式が満足される。

また流砂の連続式は、

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)} \frac{\partial q_b}{\partial x} = 0 \quad \dots\dots\dots (22)$$

であるから相似条件は、

$$\frac{z_r}{t_r} = \frac{1}{(1-\lambda)_r} \cdot \frac{q_{br}}{x_r} \quad \dots\dots\dots (23)$$

$$\text{となり、 } z_r = h_r = \frac{1}{(1-\lambda)_r} \frac{t_r}{x_r} q_{br} = \frac{1}{(1-\lambda)_r} \cdot \frac{1}{U_r} \cdot d_r^{\frac{3}{2}}$$

$$= \frac{1}{(1-\lambda)_r} \frac{1}{h_r^{\frac{1}{2}}} d_r^{\frac{3}{2}}$$

$$\therefore h_r^{\frac{3}{2}} = \frac{1}{(1-\lambda)_r} \cdot d_r^{\frac{3}{2}} \quad \dots\dots\dots (24)$$

となる。したがって幾何学的に相似な河床材料を用いれば、(24) 式は自から満足される。

以上、流水と河床変動に関する相似律について考察を加え、掃流砂が主要な影響を与える現象に関する模型実験は、レイノルズ数が支配的でない範囲において幾何学的に相似な河道および河床材料を用いて、Froude の相似則に準拠する流量および流砂量を与えて実験を行なえば、満足すべき結果を与えることが明らかとなった。

### 3.3 模型実験での再現性

模型実験の結果を実河川に適用させる場合に、実験結果の信頼度をあきらかにしておく必要がある。

砂防河川は、河床勾配が急であり、河床材料の粒径も大きいので、Froude 相似律と幾何学相似を用いて実験をおこなっているが、本文は、Froude 相似律を用いた実験での現象面からみた相似について、具体的に大谷川流路工水理模型実験<sup>9)</sup>を例に挙げて紹介したい。

大谷川では、昭和41年9月に発生した台風26号による出水前後の空中写真の撮影(40年5月、41年11月撮影)、河床変動測量<sup>10)</sup>(40年6月、41年12月)、洪水痕跡調査<sup>11)</sup>(42年3月)および台風26号による出水時の降雨量観測が実施されている。図-3は40年6月測量における各測定断面の河床形を基準に台風26号による出水後の河床変化と、台風26号の実績洪水波形を与えた実験値の河床変化とを比較したものである。模型実験においては、流水の蛇行による溪岸侵食や固定化して移動しにくい砂礫堆の強さまで相似させるのは無理であること、また、流砂に関する相似の検討が十分でないため、完全に河床の横断変化を相似させることはできないが、深掘れが生ずる位置や砂礫堆の高さ等の河床変化の様子は、実河川の値と模型実験値とが比較的うまく一致している。

41年11月撮影の空中写真と実験の流線の比較図(図-4)からみても、流水の蛇行状況や水衝部となる地点は実河川にはほぼ一致していることがわかる。実河川および模型実験において水衝部となる地点では溪岸がえぐりとられていたり、護岸が破損されたりしている現象がみられるほか、氾濫発生点が模型実験の結果と一致している等、模型実験の再現性はよい。

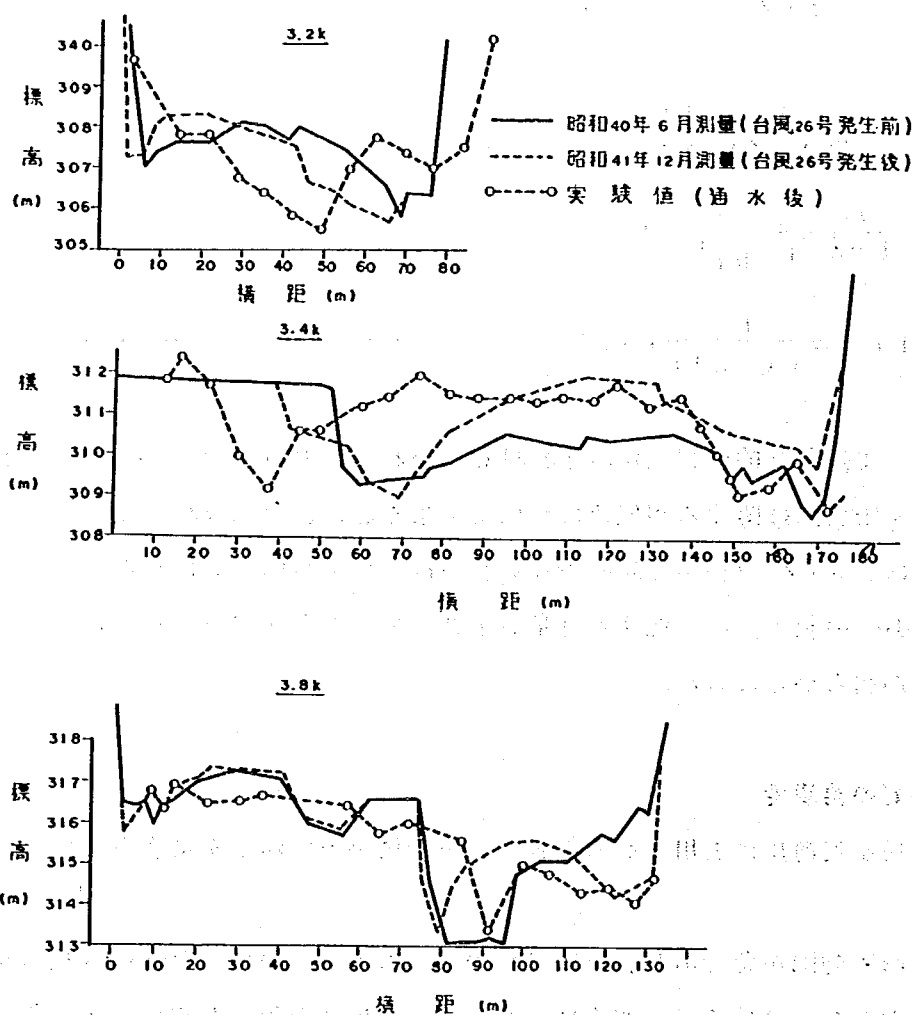


図-3 相似の検討(河床の横断変化)

図-5は3.0k~4.0k間の平均河床高の縦断的变化の相似をみたものである。出水後の値と模型実験での値とを比較すると、ほとんど一致していることがわかる。

また、実河川の洪水痕跡と同じ測定位置での実験値を比較したが、その差はほとんどの地点で0.7m以下となっている。

大谷川の流路工計画において粗度係数は0.04をとっているが、模型実験の結果から求めた粗度係数は0.035~0.053となり、平均的には0.042となって設計値に一致している。

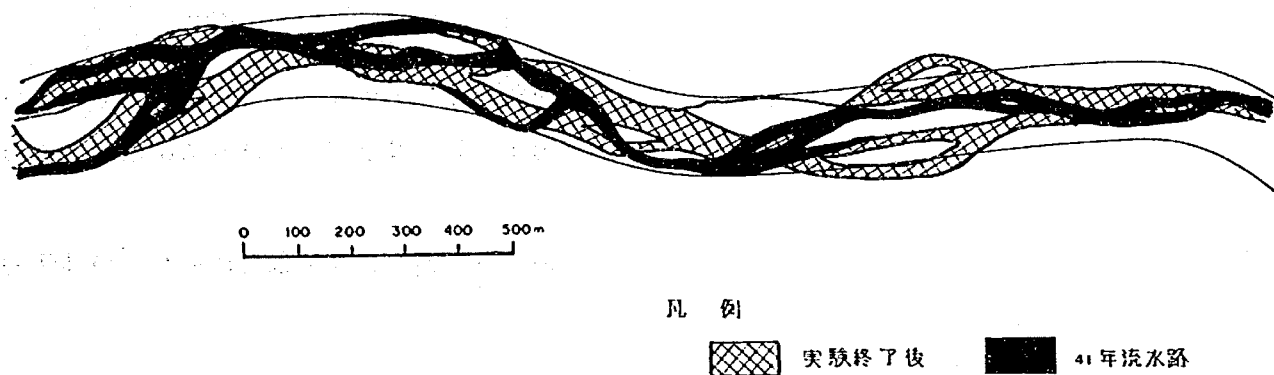


図-4 相似の検討（流線の比較）

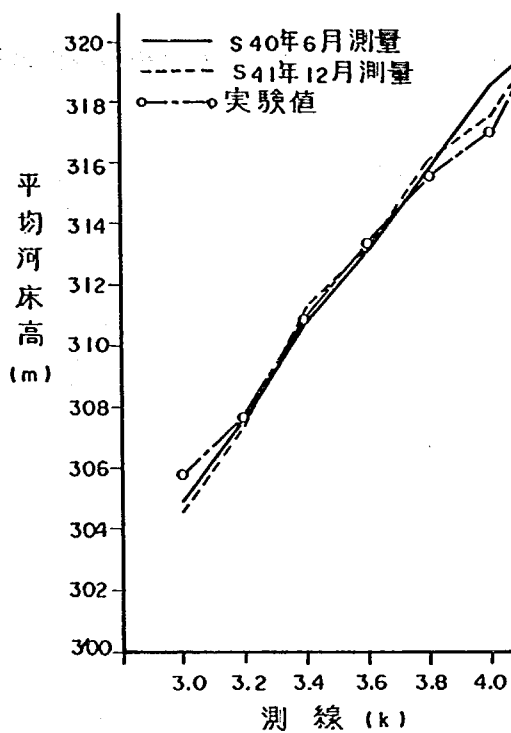


図-5 相似の検討（平均河床高の比較）

## § 4 模型設計

模型設計は模型範囲や模型縮尺を決定するほか、模型を製作するのに先立って横断杭の位置や河床横断形状等の模型値換算と、流量の設定、模型末端での土砂処理及び掃環水路への排水処理等の諸設備についての設計を行う。

模型設計の主な手順とその内容の概要を列挙すると次のようである。模型設計に際しての具体的な留意点の記述は次節で行う。

### 1) 模型範囲を検討する。

模型範囲は、流れの方向に対しては流路工計画区間だけでなく、測定する場所に十分相似な流れが生ずること、横方向に対しては土砂の移動範囲や流路工計画案での平面形状等に注意して決める必要がある。

2) 模型縮尺は、第3章で述べた相似律、及び測定及び模型製作の技術、実験施設の規模等を考慮して決める。

3) 河道設計には次のような作業がある。

- (1) 河道設計予備作業
- (2) 基線設計
- (3) 断面指示書作成
- (4) 河道工作物の模型値換算
- (5) 模型付帯構造物の設計
  - ① 量水槽、整流池の設計
  - ② 水路の設計
  - ③ 沈砂池の設計
  - ④ 排水設備の設計
  - ⑤ 給砂設備の設計

### 4.1 模型範囲と模型縮尺の決め方

模設計では、第一に模型範囲と模型縮尺を決めることになる。一般に考えられている主な設計条件を列挙すると次のようである。

(1) 実験の目的を達成するのに必要な水理量の測定精度と測定能力を確認しておくこと。

(2) 流況現象を観察・測定する場所に十分相似な流れが生ずるように模型範囲を決めること。このためには模型上流端および下流端は、河床変動が比較的小さく、支配断面となり得る砂防ダムや床固工が施工されている位置を選び、さらに模型上流端の砂防ダムより上流部は、流水の蛇行現象や給砂条件を考慮した模型範囲（一般的には流路幅の5倍程度）を取り入れる。上・下流に床固工等がない場合は河床変動の経年変化図より河床変化の小さい区間を選ぶ。このような区間は河道狭

窄部であったり、河床に岩が露出している例が多い。

流路工計画区間が長く粒子の縦断的变化が顕著であきらかに河相が上流域と異なるような場合で、流路工計画区間の全体について同じ粒子の河床材料を用いて、実験をすることが好ましくないと判断される場合は、模型を分けるか河床材料を上流域と変えて行うことになる。

現況実験を行う場合は、さらに横断方向への土砂の移動範囲を予測し、これを模型にとり入れなければならない。土砂の移動範囲の予測は流路の変遷図や空中写真の読取り及び現地踏査等による方法を用いるのがよい。また、模型の取り入れ範囲は、必ずしも流路工計画の全区間とする必要はなく、机上で行った流路工の設計で何が問題となり、何を模型実験によって得るのか等の実験目的を明確にさせた上で、模型範囲を決めることが、経費節約の意味からも大切である。

(3) 模型の取り入れ範囲が決まると実験施設上におさめられる縮尺を調べることになる。これまでに実施した模型実験の縮尺は $1/50 \sim 1/80$ のものが多く、縮尺は1度で決まるものではなく次に述べる内容についての検討を繰返して行ったうえで望ましい縮尺が決まる。

相似律に従って、縮尺に応じた模型に与える流量、給砂量、水深、流速、粒径、粒度分布を実測値や計算によって求め、流量が実験施設の容量を超えないか、土砂の補給が可能か、水深、流速が測定可能範囲か、粒度分布の幾何相似が成立つか等の検討を行う。また、河床形態が実河川に相似するか、乱流域となるような水深が模型上で得られるか、模型上で河床材料を移動させる力が得られるか等の相似に関しての検討を必要とする。

## 4.2 測定及び模型製作の技術

測定の精度及び流速の測定範囲は、使用する器機によって制限を受ける。模型実験で一般に使用されている測定器機とその精度及び流速の測定範囲を表-2に示す。

表-2 測定器機と精度、流速の測定可能範囲

| 水位及び河床高     |                               | 流 速           |                                        |
|-------------|-------------------------------|---------------|----------------------------------------|
| 種 類         | 精 度                           | 種 類           | 範 囲                                    |
| ピエゾメーター     | $\pm 1.0 \text{ mm}$          | ピ ト ー 管       | $20 \text{ cm/s} \sim$                 |
| レベル         | $\pm 1.0 \sim 2.0 \text{ mm}$ | 電 界 型 流 速 計   | $50 \text{ cm/s} \sim 1.5 \text{ m/s}$ |
| 水 糸 ( 目 視 ) | $\pm 1.0 \sim 2.0 \text{ mm}$ | ト ラ ン ジ ス タ 式 | $50 \text{ cm/s} \sim 1.5 \text{ m/s}$ |
| ポイントゲージ     | $\pm 0.1 \text{ mm}$          | プロベラ式超小型流速型   | $3 \text{ cm/s} \sim 1.0 \text{ m/s}$  |
| 砂 面 測 定 器   | $\pm 0.5 \text{ mm}$          | プロベラ式流速計      | $3 \text{ cm} \sim 2.0 \text{ m/s}$    |

これらは、標準値であり、流水表面の波立ち、測定者の熟練程度の条件の良否により多少は異なる。なお、河床整形の精度は実験使用材料の粒子の大きさにもよるが $\pm 2 \text{ mm}$ 程度である。

土砂の移動速度が大きく、かつ活発である移動床実験での水位及び河床高の測定は、基準高を設

定し、この基準高に一致させた水素を基準点として水位、河床高を1mm目盛のスケースで目視によって読み取る方法が、測定に要する時間が短くてすむので多く用いられている。局所的な現象の測定は、レベルを使用し、固定点の水位、河床高の時間的変化の測定は砂面測定器を用いると都合がよい。

### 4.3 河道設計

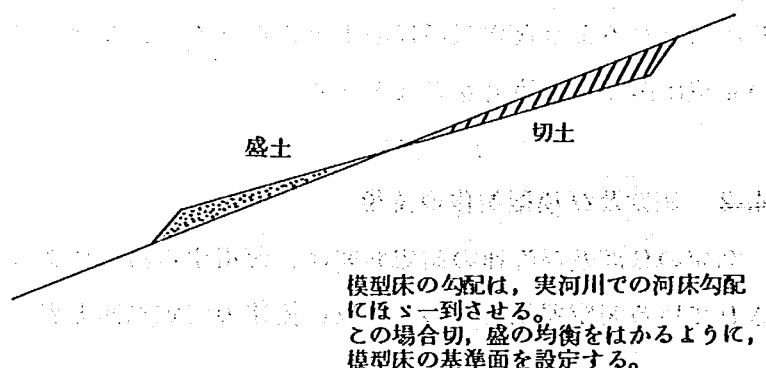
#### 1) 河道設計予備作業

(1) 模型の縮尺や模型の取入れ範囲が決まると実際に実験場に模型が入るか否かの検討を行う必要がある。

① 隣接する模型や量水槽及び沈砂池等の附帯構造物の大きさ、作業用通路の幅などを考慮して設計した模型が敷地内に入るかどうかを実験場平面図上で、実験場平面図と同じ縮尺の模型取入れ範囲の骨格平面図を重ね合せて検討する。

② 河床縦断面図、平面図（模型範囲が記入されているもの）により、模型床の切盛土の均衡をはかるように模型設置基準面および基線設置位置を設定する。ここで、基線とは現地測量断面の起、始点を示す距離標

（横断測量を実施する際の左右岸の測点杭）の相対位置を模型設置予定場所内に表示するため、オフセット測量における基準となる測線をいう。



#### 2) 基線設計

基線設計は平面図上で各距離標から基線にいたる距離（従距） $\Delta x$

と、基線上の基準となる点から従距測線が基線と交わる点までの距離（主距） $\Delta y$ を読みとって模型値に換算した指示書を作成するまでの作業である。基線設計の例を図-6に、指示書の例を表-3に示す。

① 平面図と横断面図との距離標間距離( $l$ )を比較し、距離にくいちがいのある場合は原因を調べて修正する必要がある。

② 基線の設置は、距離標間の中心点を結ぶ線にできるだけ合せるように工夫して決める必要がある。基線を折ると、図上で角度を測定したり基線を設置する際にどうしても誤差を伴うので基線を折ることは極力さけるべきであり、必要に応じて補助基線を設けて精度の向上をはかるべきである。

③ 湿度による平面図の伸縮の影響を小さくするために、測距は単時間に行うことが大切である。

表-3 基線設置指示書の例

| 断 面 |   | 実 物 (m) |       | 模 型 (m) |        | 杭間距離             | 備 考 |
|-----|---|---------|-------|---------|--------|------------------|-----|
|     |   | X       | Y     | X       | Y      | (m)              |     |
| 15  | L | 75.25   | -32.8 | 10.750  | -0.469 | 195.6<br>(279.4) |     |
|     | R | 74.15   | 16.25 | 10.593  | 23.21  |                  |     |
| 17  | L | 83.30   | -29.4 | 11.900  | -0.420 | 170.1<br>(243.1) |     |
|     | R | 82.40   | 140.5 | 11.771  | 20.07  |                  |     |
| 19  | L | 90.20   | -26.5 | 12.886  | -0.379 | 143.2<br>(204.6) |     |
|     | R | 91.65   | 11.60 | 13.093  | 1.657  |                  |     |
| 21  | L | 97.80   | -37.1 | 13.971  | -0.530 | 160.8<br>(229.8) |     |
|     | R | 100.15  | 12.20 | 14.307  | 1.743  |                  |     |
| 23  | L | 105.30  | -47.5 | 15.043  | -0.679 | 180.3<br>(257.6) |     |
|     | R | 109.00  | 12.90 | 15.571  | 1.843  |                  |     |
| 25  | L | 113.55  | -59.0 | 16.221  | -0.843 | 1086.9<br>( )    |     |
|     | R | 63.5    | 120.2 | 0.907   | 1.717  |                  |     |

④ 基線設置の精度の検査を行う場合にチェック線長が必要となるのでチェック線長を図上で測定しておく必要がある。

⑤ 計測の精度は模型値で1mmとする。

### 3) 断面指示書の作成

実河道での横断測量の成果表あるいは横断図から各断面変化点の座標値を読みとり、これを模型値に換算して一覧表に整理する作業である。

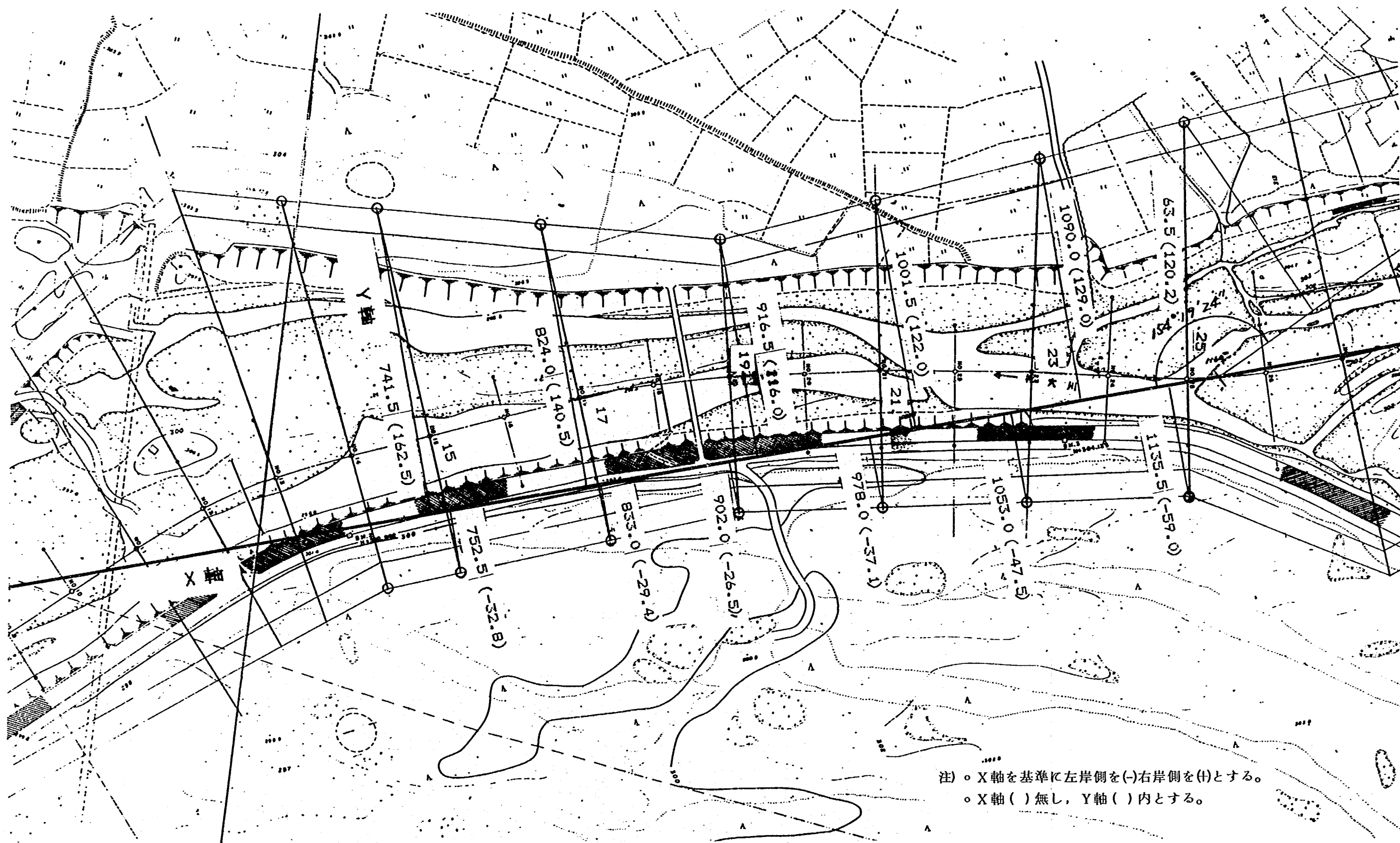
現況河道の模型をつくるには、幾何学的に相似させた各測定断面での横断形状が必要となる。横断測量の断面毎に横断測量による高さを確定し、その間を平面図や空中写真を用いてモルタルで連結して相似な河床をつくる方法がとられる。

一般に、横断指示書に従って、ラワン合板に模型値化した現地の断面形をプロットし、これを切斷して仕上げる方法がとられている。これを横断板と称している。

① 測量成果や横断図から読みとって指示書を作成する場合に、横断の変化点を的確にとらえることが必要である。その程度は縮尺によって異なるが、流れに影響を与えない細かな変化点の座標値まで読みとる必要はない。横断図からの読みとりと、指示書作成の例を図-7、表-4に示す。

② これまでに実施している移動床実験では、砂防ダムや床固工等の前庭部の局所洗掘の大き





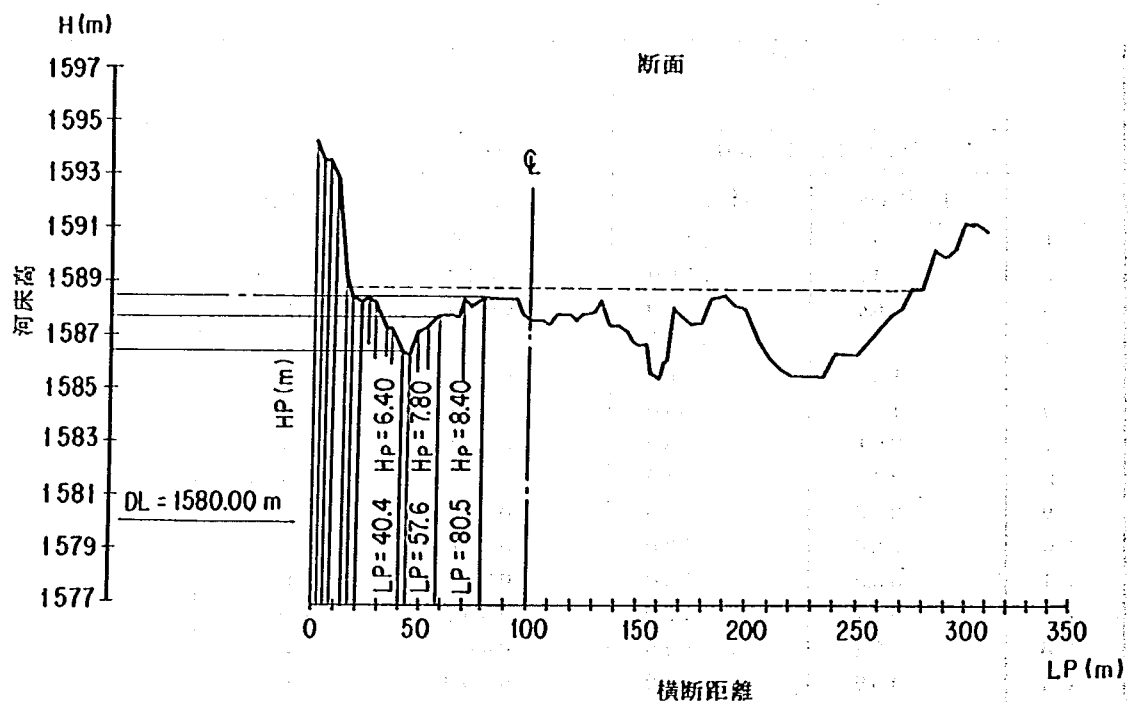
注) ○ X軸を基準に左岸側を(-)右岸側を(+)とする。  
 ○ X軸( )無し, Y軸( )内とする。

図-6 基線設計の例



表-4 横断指示書

|    | 断 面 NO. 97. 0    |         |                |         | 備 考   |
|----|------------------|---------|----------------|---------|-------|
|    | 実 物              |         | 模 型            |         |       |
|    | DL=1 5 8 0.0 0 m |         | DL=1 5.8 0 0 m |         |       |
|    | L P (m)          | H P (m) | L M (m)        | H M (m) |       |
| 1  | 0.0              | 14.30   | 0.000          | 0.143   | ) ドウロ |
| 2  | 4.2              | 13.60   | 0.042          | 0.136   |       |
| 3  | 6.6              | 13.60   | 0.066          | 0.136   |       |
| 4  | 9.7              | 13.00   | 0.097          | 0.130   |       |
| 5  | 13.0             | 9.60    | 0.130          | 0.096   |       |
| 6  | 16.1             | 8.50    | 0.161          | 0.085   |       |
| 7  | 20.1             | 8.30    | 0.201          | 0.083   |       |
| 8  | 24.3             | 8.40    | 0.243          | 0.084   |       |
| 9  | 27.3             | 8.30    | 0.273          | 0.083   |       |
| 10 | 32.6             | 7.30    | 0.326          | 0.073   |       |
| 11 | 35.2             | 7.30    | 0.352          | 0.073   |       |
| 12 | 35.4             | 7.20    | 0.354          | 0.072   |       |
| 13 | 40.4             | 6.40    | 0.404          | 0.064   |       |
| 14 | 43.9             | 6.30    | 0.439          | 0.063   |       |
| 15 | 47.9             | 7.20    | 0.479          | 0.072   |       |
| 16 | 52.4             | 7.40    | 0.524          | 0.074   |       |
| 17 | 57.6             | 7.80    | 0.576          | 0.078   |       |
| 18 | 62.0             | 7.80    | 0.620          | 0.078   |       |
| 19 | 66.3             | 7.70    | 0.663          | 0.077   |       |
| 20 | 67.8             | 8.50    | 0.679          | 0.085   | C.L   |
| 21 | 71.9             | 8.10    | 0.719          | 0.081   |       |
| 22 | 76.0             | 8.40    | 0.760          | 0.084   |       |
| 23 | 80.5             | 8.40    | 0.805          | 0.084   |       |
| 24 | 88.3             | 8.40    | 0.883          | 0.084   |       |
| 25 | 92.8             | 8.40    | 0.928          | 0.084   |       |
| 26 | 95.4             | 7.80    | 0.954          | 0.078   |       |
| 27 | 100.2            | 7.60    | 1.002          | 0.076   |       |
| 28 | 103.7            | 7.60    | 1.037          | 0.076   |       |
| 29 | 107.8            | 7.50    | 1.078          | 0.075   |       |
| 30 | 111.6            | 7.80    | 1.116          | 0.078   |       |
| 31 | 115.9            | 7.80    | 1.159          | 0.078   |       |
| 32 | 119.3            | 7.60    | 1.193          | 0.076   |       |
| 33 | 122.8            | 7.80    | 1.228          | 0.078   |       |
| 34 | 128.3            | 7.90    | 1.283          | 0.079   |       |
| 35 | 131.7            | 8.40    | 1.317          | 0.084   |       |
| 36 | 134.5            | 7.40    | 1.345          | 0.074   |       |
| 37 | 138.7            | 7.40    | 1.387          | 0.074   |       |
| 38 | 142.2            | 7.20    | 1.422          | 0.072   |       |
| 39 | 145.9            | 6.80    | 1.459          | 0.068   |       |
| 40 | 148.6            | 6.70    | 1.486          | 0.067   |       |
| 41 | 152.4            | 6.70    | 1.524          | 0.067   |       |
| 42 | 153.4            | 6.10    | 1.534          | 0.061   |       |
| 43 | 154.2            | 5.60    | 1.542          | 0.056   |       |
| 44 | 158.0            | 5.40    | 1.580          | 0.054   |       |
| 45 | 160.2            | 6.10    | 1.602          | 0.061   |       |



図－7 横断面図からの河床変化の読み取り

い部分を除いて一般に砂厚の決定に際しては河床の洗掘により固定床が露出しないこと、実験開始時において河床材料を十分湿潤状態を保っていること等を考慮して決められるが、固定床面より10 cm等厚に実験使用砂を敷き均すので、河床整形面が実河床面に一致させるためにあらかじめ実河川の河床面より模型値で10 cm標高を低くした指示書を作成する。

#### 4) 河道構造物の模型値換算

橋脚の下部構造、砂防ダム、床固工、帯工、水制等の河道構造物の形状を与えられる縮尺で模型値に換算する。水没しない上部構造の模型取入れは必要としないが、基礎部が露出することが予測されるものについては、模型に取入れる必要がある。

#### 4.4 模型付帯構造物の設計

模型施設の概要を図－8に示す。模型流頭部に量水槽と整流池及び給砂材料置場が設置される。また、量水槽に給水するための給水設備が行われる。模型流末部には沈砂池と排水路が設置される。また、模型の左右端に作業用通路が設置される。

1) 量水槽は、相似律による所定の流量を模型上に与える設備であって、量水槽には刃形堰と整流板が取り付けられる。

量水槽と堰の形状は模型に与える流量によって決まりJISの規格<sup>2)</sup>を参考にして設計すればよいが、従来から設計されている形状寸法を参考に示すと次のようである。矩形堰は比較的流量

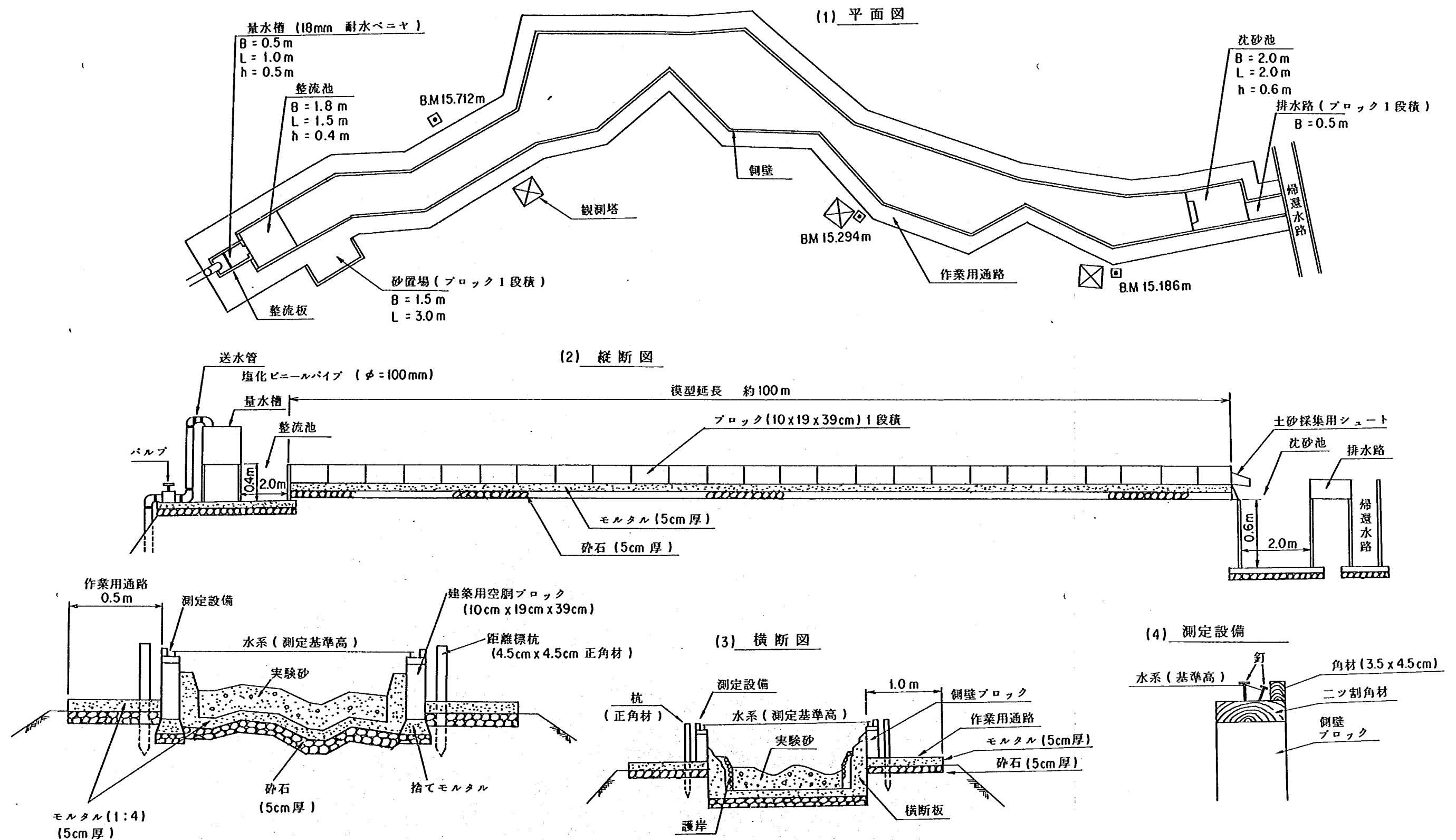
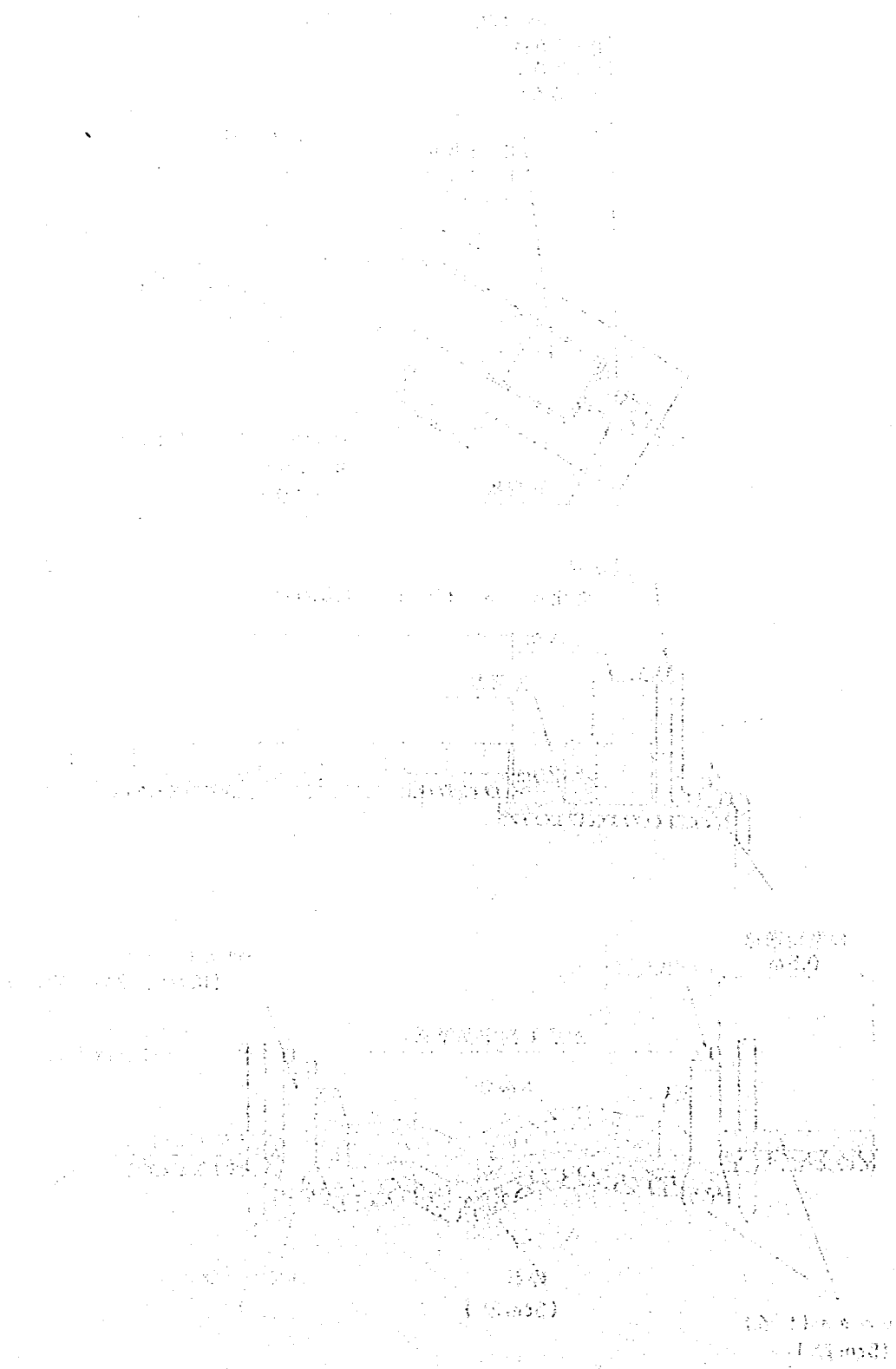


図-8 模型構造概要図



の大きいものに、三角堰は流量の小さいものに通している。流量と堰の形状の関係はおおよそ表-5のようである。流路工水理模型実験での流量は、 $1\text{ l/sec} \sim 30\text{ l/sec}$  の範囲で与える場合が多いので、三角堰 ( $45^\circ \sim 90^\circ$ ) が使用されている。

流量と量水槽の形状は表-6のようである。

表-6に示すように量水槽の製作材料は流量と形状によってブロックか木製 (ラワン合板) を選択している。

流量を測定する場合に刃形堰に接近する流れを一樣にし、また水面の動揺をなくすために整流板が必要となる。整流板<sup>13)</sup>はラワン合板に直径20mmの穴を中心間隔30mmの千鳥にあけた多孔板式のものが使用されている。

表-5 流量と堰の形状

| 流 量<br>$Q/\text{sec}$ | 堰  |        |                 |
|-----------------------|----|--------|-----------------|
|                       | 型  | 巾 (mm) | 角度 ( $^\circ$ ) |
| 3000                  | 定形 | 30     |                 |
| 1000                  | "  | 20     |                 |
| 400                   | "  | 1.5    |                 |
| 150                   | "  | 1.0    |                 |
| 40                    | "  | 0.5    |                 |
| 10                    | 三角 |        | 90              |
| 5                     | "  |        | 60              |
| 1                     | "  |        | 45              |

表-6 流量と量水槽の形状

| 流 量 ( $Q/\text{s}$ )    | 規 模<br>$L \times B \times h$         | 材 料    | 規 格                                   | 備 考        |
|-------------------------|--------------------------------------|--------|---------------------------------------|------------|
| $20 \sim 50\text{ l/s}$ | $300 \times 150 \times 80\text{ mm}$ | 並型ブロック | $150 \times 390 \times 190\text{ mm}$ | 床版 砕石 5cm厚 |
| $5 \sim 20\text{ l/s}$  | $200 \times 100 \times 80$           | "      | $100 \times 390 \times 190$           | モルタル 5cm厚  |
| $5\text{ l/s}$ 以下       |                                      | 木 製    | $1820 \times 910 \times 15$           |            |

2) 給水設備は、給水本管より量水槽に給水を行うための送水管と流量を調節するためのバルブが取り付けられる。送水管よりの水を量水槽の全幅にわたって吐出させるために送水管の先端に管断面積の2~4倍の孔をあける分散管を接続する。送水管の材料は塩化ビニール管で口径は流量によって変わる。

流量が $50\text{ l/sec}$ 以上になる場合は $\phi 300\text{ mm}$ を使用するのが一般的であるが、量水槽内で流水の整流を考慮すると $\phi 150\text{ mm}$ の塩化ビニール管を2本配管するのが都合よい。

バルブは配管の口径に対応する口径を使用する。バルブの形式は流量調節が比較的容易にできるスルースバルブが都合よい。

### 3) 整流池と整流装置

量水槽より越流する流水を整流させて模型上に送る必要があることから、量水槽に接続させて整流池を設置する。整流池の形状と流量との関係を表-8に示した。

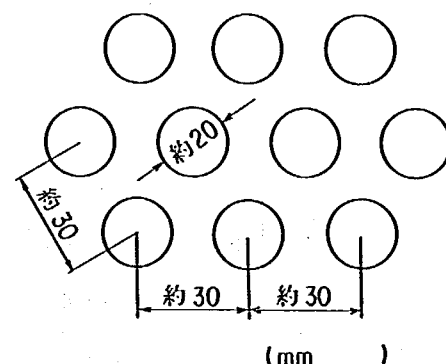


図-9 整流板 (mm単位) <sup>13)</sup>

表-7 流量と塩化ビニール管の口径

|         | 流 量      | 口 径    |
|---------|----------|--------|
| 送 水 設 備 | 50ℓ/s以上  | φ300mm |
|         | 20~40ℓ/s | φ150mm |
|         | 5~10ℓ/s  | φ100mm |
|         | 5ℓ/s以下   | φ50mm  |

表-8 流量と整流池の形状

| 流 量      | 形 状       | 材 料    | 規 格         | 備 考        |
|----------|-----------|--------|-------------|------------|
| 20~50ℓ/s | 300×河幅×40 | 並型ブロック | 100×390×190 | 床版 砕石 5cm厚 |
| 6~20ℓ/s  | 200×河幅×40 | ・      | 100×390×190 | モルタル5cm厚   |
| 5ℓ/s以下   |           | 木 製    | 1820×910×15 |            |

整流池は、流水を整流させるほかに、模型上の流向の相似性も高める役割があるので、整流池の設置位置、角度は、河道特性を考慮して決めることが大切である。

整流池には、流水を積極的に整流させ、模型上での相似性を高める理由から整流装置（整流板、ブロック）を設置することが望ましい。

4) 給砂は模型上流部で河床勾配、河床高が変わらないように平衡給砂を行うことを原則としているので、模型上で掃流力の相似の得られる位置で給砂を行うことが望ましい。給砂区間は測定開始位置より上流に流路幅の3倍程度とすることが望ましい。

5) 沈砂池は、模型末端部に設置するものであって、流水を十分に減勢し、模型上の河床変動に伴う流出土砂の総量を沈殿させる規模を必要とする。流出土砂量は、掃流砂量式から予測するが、経験的に沈砂池の規模を流量との関係で示すと表-9のようである。

表-9 流量と沈砂池の形状

| 流 量      | 沈砂池の形状 (cm) | 材 料    | 規 格 (cm)    | 備 考        |
|----------|-------------|--------|-------------|------------|
| 20~50ℓ/s | 500×河幅×60   | 並型ブロック | 100×390×190 | 床版 砕石 5cm厚 |
| 5~20ℓ/s  | 300×河幅×60   | ・      | 100×390×190 | モルタル5cm厚   |
| 5ℓ/s以上   | 200×河幅×60   | ・      | 100×390×190 |            |

6) 排水設備は、沈砂池で流出土砂を処理した流水を帰還水路に排水する設備であって、排水方法には、ポンプ排水、サイホン排水、排水路を設置する方法が考えられるが、一般には排水路

を設置する方法がとられている。排水路の設計は、排水流量の疎通可能断面および水路床勾配と水路の線形等について行うが、経験的に、排水路は表-10に示すような形状とする例が多い。

表-10 流量と排水路設備

|       | 流 量      | 水路の形状  | 材 料  | 材料の規格寸法     | 備 考              |
|-------|----------|--------|------|-------------|------------------|
| 排水路設備 | 20~50ℓ/s | 100×20 | ブロック | 100×390×190 | 床版 砕石            |
|       | 5~20ℓ/s  | 50×20  | ・    | ・           | 5cm厚<br>モルタル5cm厚 |
|       | 5ℓ/s以下   | 50×20  | ・    | ・           |                  |

## § 5 模型製作

### 5.1 模型製作と手順

#### 1) 整地作業

新模型は盛土斜面上に製作する場合と旧模型をとりこわして製作する場合とがあるが、実験施設面積が限られていることから、旧模型をとりこわして新模型を製作する場合が多い。この場合、モルタル破片等の発生品の処理方法を考えておく必要がある。

#### 2) 模型取入れ範囲の骨組測量

模型設計の段階で実験場に模型が取入れられるか否かを検討するための概略な骨組測量を終えているので、ここでは、オフセット測量を行ってもうすこし詳細に模型の骨格位置を実験場におとすことになる。

切土、盛土の均衡をはかること、隣接する模型との関連性を保つこと、給排水設備との関連をはかること等に注意して設計された指示書に基づき模型床基準面を水準測量を行って実験場に設定し、模型床基準面に合せて重機（ブルドーザー）で模型床を製作する（写真－1）。模型床基準面は、平均河床高から敷砂利の厚さとモルタルの厚さを差引いた高さである。模型床基準面の設定や、横断板の据付け、さらに実験で水理諸量の測定を行うための基準高を設定するために水準基準点が必要となる。水準基準点は模型長にもよるが3ヶ所程度設置するのがよい。

#### 3) 基線を設置する。

基線の設置状況を写真－2に示す。基線の設置に当っては距離標を設置する場合の精度の向上をはかることから縦断方向に天端面を水平に仕上げることに、高さは距離標杭の高さと同程度となるように設置することが望ましい。

#### 4) 距離標を設定する。

基線上に模型値に換算した主距離をとり、直角にふって従距離をおとすオフセット測量で距離標を設置する。この距離標は横断板の据付け位置を決定したり、実験で水理諸量を測定する場合の測線であり、左右岸の距離標杭の天端に釘を打ち、測線毎の基準高を定めることによって水位、河床高を測定する場合の基準線に使用されるものであるから、杭はしっかりと固定する必要がある。距離標の設置状況を写真－2に示す。

#### 5) 基線を撤去する。

距離標杭を設置し、検査を終えて、所定の精度が得られたことを確認して基線を撤去する。

#### 6) 側壁を製作する。

模型の横断面を図－8(3)に示す。基線を撤去した後、距離標杭を破損しないように注意して、距離標杭の内側に側壁を製作する。側壁は図－8(3)に示すように測線間の河床横断の左右両端を固定すること、漏水を防止することの目的のほかに測定台を置く台にすること、距離標杭以外の位置での水位、河床高、流速等を測定するために必要な基準線を設置するのに利用できること、流

況観察測定のための距離標として利用される。(写真-14)

以上のような目的を有する側壁は、次に列挙することに注意して製作する。

- ① 側壁は耐久性が良く、外観もよいこと、比較的軽量であり施工がしやすいこと等の理由で側壁天端および内面をモルタル塗装した建築用空洞コンクリートブロックが一般に使用されている。
- ② 側壁の高さは模型実験での最高水位より側壁天端を高くしなければならない。側壁の高さが高すぎると、測定に支障をきたし、測定精度に影響する。側壁は次のような考えの基に図-10に示すような積み方を標準とする。

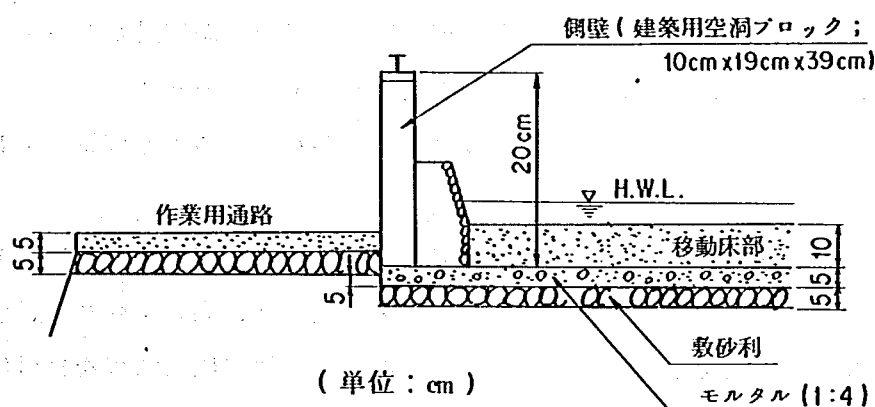


図-10 側壁の標準的な積み方

模型縮尺が $1/50 \sim 1/100$ である模型値の最大洗掘深は経験的に10cm以下であることから砂厚（移動床）は10cmを標準にしている。また、平均水深の最大値は経験的に5cm程度となる例が多いので、モルタル河床底面より15cm～20cmの高さに側壁天端高を合せる。

- ③ ブロックの天端に水位、河床高、流速等を測定するための基準線を設置するために図-8(4)及び写真-14のように角材を固定すると都合がよい。また、測定用の基準高を設定するために、左右岸の側壁の天端高と天端勾配を縦断方向に合せておく方がよい。

#### 7) 作業用通路を施工する。

作業用通路は、測定者が移動しやすい幅が必要であり、作業用通路幅は側壁の外法より0.5m～1.0mを標準とする。

作業用通路は測定者の移動に供するほか、模型床面をモルタルで保護する目的がある。(写真-14)

#### 8) 河道部をモルタルで製作する。

##### (1) 横断板を製作する。

横断型板には実河川の横断形状をつくる自然河床横断板と計画断面形状をつくり出す計画河床横断板とがある。

自然河床横断板の製作は、実河川の横断形状を与えられる縮尺で幾何学的に相似させた横断指示書に従って、横断形状をラワン合板上にプロットして切断する。

計画河床横断板は、護岸の形状と平坦な計画河床高を設定するための指示書に従って製作する。(写真-3) 計画河床横断板は自然河床横断板に比べて河床の変化点が少ない。

ラワン合板は、横断板の据付けや横断板間の河道をモルタルで連結する作業の際に、横断板が変形しない5.5mm以上の厚さの材料を使用することを原則とする。また、横断板の最小幅は、ラワン合板とモルタルとの接合面及び敷砂利面との密着性、横断板間の河道をモルタルでつくり出す場合の施工性から決まり、最小幅は5cmを標準とする。

## (2) 横断板を据付ける。

横断距離標杭の位置に合わせて横断板を正確に据付ける。横断板が移動しないように、横断板の止め杭を土中に打ち込み、これをモルタルで固定する。(写真-6)

据え付け後は、据え付け高さが指示書のとうりに行なわれているかを確認しておく必要がある。

平坦河床から河床整形の時に移動床砂で現況河床をつくり出す場合の手法は、モルタルで現況河床をつくるのと同様に距離標杭の位置に横断板を一致させ、高さを合せて、横断板を仮に固定して、横断板間の河床を連結させることになるので、自然河床横断板を据付けるための基準高を計画横断板据付け時に設定しておく都合がよい。

## (3) 河床を製作する。

### ① 横断板間の整地と整形を行う。

横断板間の整地は、敷砂利厚とモルタル打設厚の10cm分を見込んで、横断板天端より10cm以上の差をつけ、横断板間の断面形状に沿って床を整地し整形して、十分に締固める。

### ② 整地と整形後、平均厚5cmに敷砂利を行い締固める。(写真-7)

### ③ 河道をモルタルで製作する。

敷砂利の上に平均厚5cmのモルタルで、自然河道及び計画河道を仕上げる。自然河道では、横断板間の微地形を空中写真、平面図、あるいは現地のスナップ写真等を利用して精度よく連結する。(写真-9) 計画河道の河床は平坦に仕上げる例が多い。

モルタルの締固めを十分に行い、横断板、側壁ブロックとの接合部において漏水が生じないように十分注意して施工する必要がある。

## (4) 河道工作物の製作、据付けを行う。

河道工作物としての橋脚、砂防ダム、床固工、帯工、水制等の河道工作物を指示書に従って製作する。材料は原則として木材を使用する。据付けは設置位置、高さに誤りがないように正確に行いかつ、モルタルと十分に密着させて漏水のないように施工する(写真-8)。

## 5.2 模型付帯構造物の製作

設計図書に従って、量水槽、整流池、沈砂池、排水路等の製作を行う。(写真-11、写真-12、写真-13)

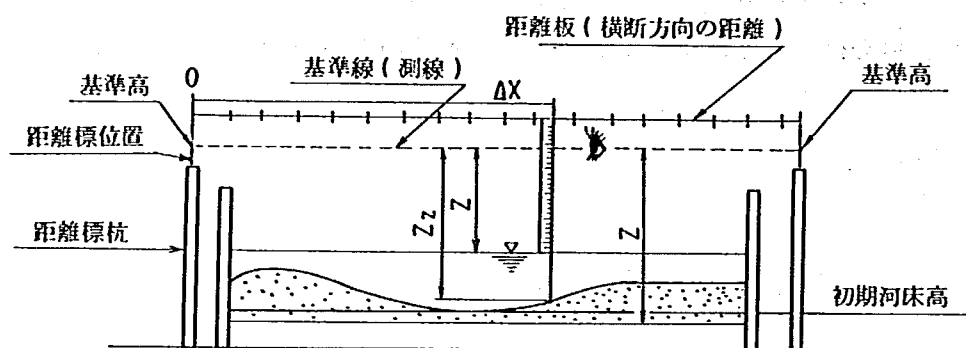
これらの構造物の製作材料はブロックが多く使用されるが、施工に当っては特に漏水に対する注意が必要である。構造物の底面は敷砂利を平均5cmの厚さに行いその上にモルタルを平均5cmの厚さで打設し平坦に仕上げる。

ブロックは内法面の上塗りを施し、ブロックを2段以上に積む場合はモルタル目地を1cm程度施し、ブロックとブロックを密着させる。量水槽や池砂地等でブロックが4段積以上となる場合は、鉄筋等を挿入し、場合によっては支保工等で補強する等の対策を検討する必要がある。

## § 6 実験準備

### 6.1 測定設備の設置と測定方法

- 1) 各測線毎に横断方向の水位、河床高の測定をスケールを用いて行う場合は、基準線（測線）の設置と基準高（標高）の設定が必要である。スケールを用いて水位、河床高を測定する場合は、基準高より水面及び河床面までの高さを読み取る方法がとられている。（写真－１９）



図－１１ 水流、河床高の測定方法）

基準線は距離標杭あるいは側壁天端に基準高（左右岸とも同じ標高）を設置して水平に水糸を張って設置する。また横断方向の距離の測定を行う距離板（１mm目盛のテープを板に張ったもの）を用意する。（写真－１４、写真－１９）

測定は距離板の０点を距離標位置（測線）の左、右岸の一方（全実験ケース毎、各測線毎に統一する）に合せ、基準線に一致させる。

スケールは１mm目盛の銅製を使用する。

測定者は基準高を合せた基準線からの水面、河床面までの距離と基準点からの距離（ $\Delta x$ ）を順次測定して測定値を測定野帳に記録する。図－１２で基準線と初期河床高との差を $Z$ 、基準線と水面との差を $Z_1$ 、河床面との差を $Z_2$ とすると、初期河床高を基準とする水位（ $H$ ）と河床高（ $S$ ）は、次の関係で測定される。

$$\left. \begin{aligned} Z - Z_1 &= H \\ Z - Z_2 &= S \end{aligned} \right\}$$

測定には、スケールを用いるほかにレベルによる方法がある。さらに固定点の水位、河床高の時間的变化を測定する場合は、自動測定器を利用すると都合がよい。測定方法や使用器具の選定は測定目的、必要な測定精度等から決められる。

流速測定に用いる流速計は、水理条件と必要な測定精度によって使い分ける。一般に使用している流速計の器種と測定範囲を表－２に示している。

流速測定は、水位、河床高の測定と同じ設備を使用して行われる。(写真-20)

## 2) 流況観察測定設備

流路や河床の平面的、時間的变化を追跡して測定する場合で距離標(基準線)間隔が1m以上となるような場合には、側壁に30~50cm単位の色別できる距離標を設置すると都合がよい。

(写真-14)

流況をカメラ撮影する場合にどの位置でどのような現象が生じているかを写真に記録するものであるから位置を示す標示板が必要である。この位置の標示板は実河川の測点番号に一致させ、写真上で明確に判読できる大きさとする。また、この位置の標示板は水位、河床、流速測定を行う際にも必要である。(写真-14)

## 3) 流向測定

カメラ撮影はその目的によって撮影台の設置や使用するカメラの種類が異なる。

(1) 模型全体の流路、河床の連続的な平面的変動を一定時間間刻で撮影する場合は、極力垂直撮影すること、写真上で現象が判読できること、模型全体の現象をオーバーラップさせること、等に注意して撮影位置、撮影台の高さ、数台のカメラを使用する場合の同時撮影方法を決めて、設備を設置する。使用するカメラのレンズは35mmを標準とする。

(2) 部分的な現象の撮影は先述に撮影台を利用したり測定者が移動して行うことになるので特別な設備は必要ない。

(3) 使用するカメラは、①モータードライブカメラ、②メモモーションカメラ、③普通カメラ(35mm)とがある。

## 4) 流砂量測定のための採砂箱とメスリンダーを用意する。

流砂量の時間的变化の測定は、採砂箱で流砂と水を同時に受けて、水を抜いて流砂だけを採取し、メスリンダーで容量を計測する方法をとる。

水と流砂を分離させるために採砂箱の底面は、 $\phi 0.08\text{mm}$ の鋼製網で製作する。

採取時間は流砂量の多寡と測定精度から決められる。(写真-21)

## 5) 流量測定設備

量水槽にとりつけた刃形堰の流量式を用いて実験に要する範囲について1mm間隔に越流量(Q)と越流水深(H)の相関計算を行い図表化しておく。堰の形状が刃形堰の流量式をはずれる場合は、H~Qの関係を実測する必要がある。

## 6.2 実験条件の整備

### 1) 河床材料の選定

実河川を代表する粒度分布加積曲線を選定し、これを幾何相似させた混合砂を実験材料として使用する。

(1) 実河川での河床材料調査は、模型実験対象区間及びその上下流について実施する。上流部

の粒度は補給砂量の方法を決める場合に、下流部の粒度は、粒度のフルイ分効果の測定に役立つ。砂礫堆が形成されるような河川では流路幅の5倍～10倍の間隔を標準として乱されていない堆積物上を調査箇所として選定する。調査の際に10cm以上の礫を除く河川があるが、10cm以上の礫に対しては各々長軸、中軸、短軸を測定し中径を計算する方法等をとって資料を得る必要がある。

各調査箇所毎に粒度分布加積曲線図を作成し、平均粒径を計算する。この図を重ね合わせる。粒度分布加積曲線及び平均粒径の上限値と下限値に大きな差が生じる場合は、その原因を調べ、不自然な場合にはこれらの資料を取り除く。ただし、調査対象区間が長く、流れの方向に平均粒径が大きく変化している場合には、模型の取り入れ区間を分割する必要も生じる。

実河川を代表する粒度分布加積曲線は以上のようにして各調査箇所毎に粒度分布加積曲線図を重ね合せ、平均的なものを図上で選定する。

(2) 実験使用砂は、数種類の粒度の異なる砂を混合して実河川での代表粒度分布加積曲線を幾何相似させる。(図-12) 実験使用砂として自然砂を利用する場合に調べできる最小フルイ目は0.088mmであり、模型縮尺によっては細い粒子まで相似させることができない(例え

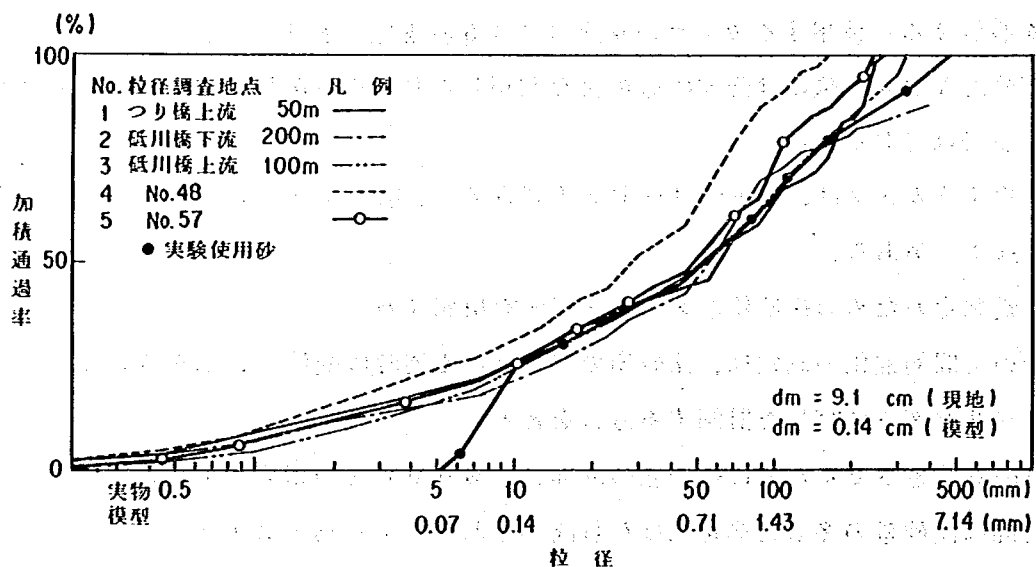


図-12 粒径過積曲線図

ば模型縮尺が1/70の場合には現地で6.2mmが限度となる)。一般に砂防河川では、粒度分布加積曲線でこのような細粒子の占める割合は小さく、かつ実験上の流れでは浮遊砂となって、河床変動に与える影響は小さいとみなすことができるので最小フルイ目以下の粒子は切捨てる例が多い。ただし、実河川の平均粒径が小さく模型で粒子を切捨ることによって実河川との平均粒径とに差が生じる場合は、不経済であっても砂と同じ比重をもつ自然砂以外の材料、例えばフライアッシュ等を用いて細粒子分まで相似させる必要がある。

## 2) 河床材料の調査

実験使用砂が実河川の粒度分布加積曲線に相似するように粒度の異なる数試体の砂を調合する。

調合された砂が相似されているかをフルイ分試験を行って確認し、成果を実河川の粒度分布加積曲線図に併記する。また、平均粒径を計算して求める。

### 3) 河床整形

- (1) 湿潤状態の河床材料を河床に岩が露出したり、河床面より浅い位置に岩が露出することが調査結果より明らかな場合を除いて、原則として10cm等厚にモルタル仕上げの河床面に沿って整形する。(写真-16)
- (2) 現況河道をつくり出す河床整形は、砂礫堆の形状、ミオ筋等を正確に仕上げる。実河川で固定化して移動しにくい砂礫堆や、侵食されにくい溪岸等は、河床整形後にセメントペースト等で固定する。河床整形の様子を写真-16に示す。
- (3) 平坦モルタル河床面上に現況河道をつくり出す場合は、距離標杭に横断板の位置を合せ、横断板設置基準高に横断板をのせて高さを合せて固定する。横断板を設置しながら河床を整形することになるので、河床整形時に横断板が移動しないように注意する。横断板間の河床を整形した後横断板を抜き取り、河床面の修正を行う。
- (4) 河床整形後は河床横断を測定し、指示書通りに整形が行なわれているかを検査する。

### 4) 移動床相似律の計算

フルード相似律に基づき、流量、時間、流速等の物理諸量の縮率を計算する。

### 5) 洪水波形流量(Q~T曲線)を縮尺化する。

実河川の流量波形は増水、ピーク、減水と連続的に変化するが、水理模型実験では実験施設や技術の面から流量と時間を次に列挙することを考慮して段階的に変化させる方法をとる。(図-1)

- ① 実験で用いる洪水波形総流量と実河川の計画洪水波形総流量を一致させる。
- ② 洪水波形流量曲線の形状を大きく変えないようにする。
- ③ 段階的に設定する流量の継続時間が、測定の可能時間であること。
- ④ 河床変動の生じない小流量は対象外とする。

### 6) 補給砂量を流砂量式で計算する。

模型上流端からの補給砂量を流砂量式から計算し、給砂方法の検討や補給砂総量を確保する。

## § 7 実験ケースの目的と実験条件の設定

### 7.1 実験ケース毎の目的

実験には、その目的によって先述しているように検証実験、現況実験、計画案の検討実験、計画案を部分修正する修正案の検討実験、さらに安全性を検討する実験とがある。

1) 検証実験は、実河川で測定した水位、流砂量、河床変動、粗度係数、流速が模型上で再現されているかを検討するために行うもので、移動床相似則の考え方、実験条件の与え方の妥当性や実験から得られる解の信頼度の測定等の目的で実施される。ただし、検証実験を実施するために必要な諸量を実河川で測定している例は極めて少なく、検証実験は省略し、現況実験から定性的に模型実験の妥当性を検討する例が多い。

2) 現況実験は、現在の河床状況のもとで洪水があった場合にどのような原因で災害が生じるかを調べ、計画案作成のための基礎資料とする。

また、河床形態や粗度係数、流水の蛇行現象、河床変動の傾向、過去の災害発生点などと比較してそれらが、実河川と実験結果とが同傾向にあるか否かを検討する。

3) 計画案の検討実験は、机上の流路工の計画案を模型化し、計画された流路工が「機能を十分に果たすか」「安全か否か」、等について検討するものであり、その主なものを列挙する。

- ① 計画された護岸高で十分か、溢水しないか。
- ② 計画された護岸根入深で十分か。
- ③ 流水の集中によって水衝部になる地点はないか、その地点の護岸は安全か。
- ④ 床固工によって流水の蛇行、偏流がうまくおさまるかどうか。
- ⑤ 床固工による土砂調節効果がうまく発揮されるかどうか。
- ⑥ 床固工前庭部は安全か。
- ⑦ 流路内で土砂堆積や河床低下が生じないか。

これらの問題は上流の状況などによって河床変動が左右されること、あるいは法線形、流路幅、床固工間隔、計画河床勾配、護岸高の計画の考え方によって左右される。

4) 計画案に対して問題が生じた場合に修正を行う。

① 湾曲部の法線形の影響によって生じる湾曲部及びその下流での局所洗掘が大きく護岸根入深が不足する場合は、その程度によって法線形を修正するか、局所洗掘を低減させる対策が必要となる。法線計画は、地形条件、用地、土地利用計画、既設河道工作物等の制約条件を考慮して決められるので、水理現象の結果の判断だけで法線を修正できない。流水の蛇行によって生ずる局所洗掘深を低減する対策を検討し、対策の効果、工事費、施工性等を総合的に考慮した上で、法線を修正すべきか、対策を施すかを選択することになる。

湾曲法線の影響による局所洗掘防止対策と工法として、床固工・帯工、水制工、ベーン工、根固工等があるが、水理条件、施工性、工事費等により工法を決定し、諸元を実験的に究明する。

② 流路内で土砂が堆積したり河床低下が生じて護岸の安全性に欠けるような場合は、給砂量等の水理条件の妥当性を再検討する一方で、断面形状、計画河床勾配の修正案の検討を行う。

③ 流路内に単列砂礫堆が形成されて流水が蛇行し集中して護岸を危険にする場合は、横工（床固工、帯工）間隔を修正するか、横工に袖を設置する等して複断面的河道を形成させることを検討する。

④ 床固工の方向が下流の流向に悪影響を与える場合はこれを修正する。本床固工だけで流水の規整が困難な場合は、副床固工、あるいは垂直壁で流向を変えることを検討する。

⑤ 床固工前庭部の局所洗掘が大きい場合は、必要となる護床工の形状を検討する。

5) 修正案に対する安全性の検討を行う。

実験的に検討された修正案が、出水頻度の高い流量、過去に災害を生じさせた流量、計画高水流量、連続して発生する洪水に対しての安全性を検討する。

## 7.2 実験条件の設定

実験条件として、流量、給砂量、実験時間を実験ケースの目的によって設定する。

### 1) 流 量

模型実験には定流実験と不定流実験とがあるが、どちらを選択するかは実験ケースの目的によって異なる。定流実験は、計画案に対しての問題点の把握や部分的な修正の検討を行う場合に有利であり、短時間に河道の有する特性を把握することができる。一方、定流実験では、水理現象が強められて現われるので、洪水に対しては安全な流路工の計画諸元が得られるが、安全すぎて不経済な流路工計画諸元を得ることもあるので実河川への適用に当っては実験結果の解釈に注意を要する。より実河川の流れに近い現象を模型上に再現させようとする場合は、流量、流砂量が時間的に変化する不定流を条件に与える。不定流実験は現況実験で実河川の再現性をみたり、より実際の流路工の計画諸元の検討を行う場合の条件として用いられる。模型対象区間が長い場合には、上流から流入してくる土砂が河川の下流端まで達しないことがあるので、河床の縦断時間的变化を調べるためには、洪水波形流量を重ね合わせる必要の生じることがある。

実験条件を設定する場合に大切なことは、実河川で生じている現象を的確に把握することと、将来起り得るであろう現象を調査資料に基づいて予測することである。例えば、流路工を計画、施工するような急勾配の扇状地河川では、河道内に単列砂礫堆が形成されやすい。そして大きな出水時に形成した単列砂礫堆がそのまま固定化して、数年に1度程度発生する流量によっても流れに蛇行が生じて護岸災害が多く発生している現実からみても、河道が大きな出水流量に対して安全であっても、それ以下の流量に対して危険となることがあるので、実河川で災害に起因した流量はどの程度か、洪水の継続時間はどうか等を調べて実験条件を設定することが大切である。

## 2) 給 砂 量

給砂量の与え方は、流路工計画地点より上流部の河床状況や砂防計画と工事の進捗率等を考慮して決められる。例えば、流路工計画地点の上流に未満砂の砂防ダムがあり、将来さらに砂防ダムの建設予定がある場合は、無給砂の条件を与える。砂防ダムが満砂していて、掃流に見合う流砂が運搬されると考えられる場合は、砂防ダムの堆砂勾配を設定し、この勾配を維持するような平衡給砂を行う。前述しているように砂防ダムや床固工等の施設を模型に取り入れることが困難な場合は、実河川で河床変動の小さい区間を模型の上流端に選び、この区間の河床面を維持する量を与える。また、必要とする模型範囲より上流までの模型を作り、その近くの数断面の平均流砂量をもって給砂する方法もとられる。実河川の洪水流は、上流域の状況によって流路工に運搬される土砂濃度は時間的に変化することが考えられるが、実験条件として実河川での洪水流の土砂濃度の変化まで一致させることは困難であり、実河川の流に近いある状態を仮定して給砂を行わざるを得ない。従って給砂量の影響をみるためには給砂量を変化させた実験が必要となる。

## 3) 実 験 時 間

不定流実験では $Q \sim T$ 曲線に基づいて実験時間を設定する。

不定流実験に対して定流実験は、一般に河床変動や流路の変動の傾向が短時間に現われ、その現象の傾向が強められて明確に把握できる。

定流実験は、実河川で問題となる現象が把握できて、その現象の傾向が一定となるまでの時間を要する。例えば、実河川の特定区間の河床変動に着目したときに、どのように河床が時間的に変化し安定していくか、不安定堆積土砂の流出が下流の河床変動にどのように影響していくか等を調べるのに適する。また、対策工法の比較検討や修正案の検討を行う場合等は現象の傾向の把握や諸元の測定を行うために一定流量を一定時間流す方法がとられる。

定流実験での通水時間は、与える流量規模によって異なる。経験的にピーク流量に対して1時間でよいが、実河川で出水頻度の高い流量や融雪時の流量を対象とする場合は2～3時間の通水時間を要する例が多い。

## § 8 実 験

### 8.1 通水前の準備

通水を行う前に次の内容について準備しておく。

- (1) 河床整形は正しく行なわれているか。また、河床が十分に湿潤状態が保たれているかの点検を行う。
- (2) 測定基準線が正しく張られているかの点検を行う。
- (3) 給砂量を用意する。給砂すべき断面における単位時間の流砂量を流量毎に計算し、給砂総量の用意と流量に応じた給砂が行われるように準備する。

平衡給砂を行う場合には、給砂を行う区間に水系で、河床高、河床勾配を設置する。

- (4) 量水槽の越流流量を設定するための基準点を設定する。H～Q曲線図を基にポイントゲージの読みを越流水位に一致させる。
- (5) 実験ケースの目的、実験条件、測定項目、測定方法、測定断面と測定時刻等を測定者に熟知させる。
- (6) 測定器具、足場を設置する。また、測定野張を用意する。流速計等の測定器具を点検し、カメラの作動の確認と据付けを行う。

### 8.2 実験に当つての注意事項

- (1) 水を流し始めるときは、流量をじょじょに大きくしてゆく。
- (2) 流水が模型の末端に達した時を実験開始時刻とし、時間の経過を示す時計の針を合せる。
- (3) 停水は急速に行い、通水中の河床をなるべく保たせるようにする。完全に停水するまで給砂する。
- (4) 通水中は、流量の一定化と、カメラの作動が正確に行われているかに注意する。
- (5) 時々刻々と変化する水位、河床の変動を短時間に、正確に測定するために、熟練した測定者が測定にあたる。
- (6) 給砂は可能な限り水面の近くで行い水面形を乱さないように注意して行う。

### 8.3 測定項目と資料整理の内容

測定は通水中に行うものと通水後に行うものがある。通水中は、①水位及び河床高の時間的变化、② 流況観察測定、③ 流速測定、④ 流砂量の時間的变化、⑤ 流向測定、を行う。通水後は、① 河床高測定、② 流砂総量の測定がある。

#### 1) 水位及び河床高測定

- ① 給砂量と河床の再移動にともなう水位、河床高の時間的な横断と縦断方向の変化を測定す

る。測定結果は、初期河床高を併記した水位、河床高の横断図、縦断図を作成し、洪水中の土砂の移動状況を把握し対策案の作成に供するほか、護岸沿いの洗掘深、護岸越流水深、護岸の余裕高、護岸天端勾配、床固工前庭保護工の形状等を検討する資料とする。

## 2) 流況観察測定

① 現況実験では、土砂の移動状況、流水の蛇行と水衝部、氾濫地点、溪岸の侵食状況、河床の局所洗掘等に主点をあてて、現河道の問題点とその原因を定量的に観察、測定する。また、実河川との相似性の検討を行いながら観察、測定を行う。

② 計画案を検討する実験では、護岸工や床固工等の施設を計画することによって、現河道の問題点は解消できたか、計画案の問題点とその原因は何か等に主点をあてて、観察、測定を行う。

③ 計画案を修正するための実験では、計画案の問題点がどのように解消されたか、流路工の工事にあたって考慮すべき点は何か等に主点をあてて観察、測定を行う。

流況観察、測定は、流況を連続的にとらえ、問題となる現象だけではなく、問題を生じさせている原因についても観察、測定することが大切である。このためには、現象に応じて所定の断面以外の水位、河床高の縦、横断測定、流速測定等を行う。また、特徴的な現象はカメラ撮影を行い、状況によっては現象の時間的変化をカメラ撮影する。

測定結果は、流況平面図に主流路、土砂移動の時間的変化及び局所洗掘深、護岸越水、流速等の測定値を測定時刻、測定位置等を明記して整理し、水位、河床高測定結果や流況写真を用いて特徴的な現象を連続的にとらえて記述するほか、各ケース毎に問題点とその原因について記述する。

写真は現象・位置・時刻を明記する。

## 3) 流速測定

流速測定は、例えば湾曲部の護岸沿いの流速が、床固工の設置、床固工の袖の形状の相違、水制工の設置等による流速の変化を調べるために実施するものであり、底面流速、表面流速の測定を行うことを標準とするが、実験ケースの目的によって、水深方向の流速分布を測定することもある。

測定結果は一覧表に整理したり、流速の変化を縦断図、あるいは平面図（横断図を平面相当位置に挿入する）に整理する。

## 4) 流砂量測定

通水中に模型末端からの空隙率を見込まない流砂量を測定する。測定の時間間隔は流砂量の時間的変化の実態が把握できる間隔（経験時には3分間隔）とする。採取時間は流砂量の多少により測定精度を考慮して決める。

通水後、沈砂池に流出した土砂の総量を所定の容器で測定する。

測定結果は、給砂量との比、毎秒流出土砂量、土砂濃度等を計算し一覧表に整理したり、時間的变化図を作成する。

## 5) 流向測定

模型全体あるいは特定区間の流路や砂礫堆を含む土砂移動の平面的な時間的変化をカメラ撮影する。撮影間隔は定流実験で10分間隔毎に、不定流実験では流量変化毎とするのを標準とするが、流況観察測定者の指示により砂礫堆の形成と移動速度を測定したり、特徴的な現象が生じ流況が短時間に変化するような場合は、所定の撮影時刻以外であっても現象を撮影することが大切である。

測定結果は主流線や砂礫堆の形状に注意して、写真をつなぎ合わせる連続写真とし、撮影時刻、水理条件、測線・測線番号を記入して整理する。

## 6) 河床高測定

洪水前後の河床、縦断的、横断的変化の様子を把握するために河床の横断あるいは縦断測定を行う。河道工作物周辺等の特定範囲の河床高を測定する場合もある。

測定結果は、成果の用途によって、横断図を作図したり、あるいは縦断図、平面図（横断図を平面相当位置に挿入する）に整理する。

## § 9 報告書の作成

### 9.1 現象解析

現象解析は資料整理の成果を基に実験目的に応じ次の内容について行う。

#### (1) 実験の再現性（相似性）の検討

実河川の調査資料を用いて、流水の蛇行、水衝部、河床変動の傾向及び過去の災害実績との関係、粗度係数、流砂量、洪水水位等についての再現性を考察する。ただし、実河川で再現性を検討するための十分な資料の収集がなされていない例が多く、定性的な平面的現象について考察できる場合が多い。

#### (2) 流況の比較検討

現況河道の問題となる現象と原因、河道工作物の設置及び工作物の形状等の違いや流量等の水理条件の変化が流況（河床形態、流水の蛇行、集中と局所洗掘、砂礫堆の平面的な移動状況、跳水現象、流速等々）に与える影響を比較し検討する。

#### (3) 河床変化の解析

土砂の移動と施設の効果を検討するための河床変化の解析には次のようなものがある。

1) 平均河床高、最高河床高、最低河床高、縦断面図を作成する。護岸基礎高、床固工の基礎高前庭保護工の形状を検討する資料に供する場合は、通水中に測定した最低河床高の縦断面図がよい。縦断面図には初期河床高及び河道工作物等を記入する。

2) 初期河床または計画河床等の解析対象河床に対する変化量を求め、特定区間の洗掘、堆積量を求める。あわせて、特定区間内の流入量及び区間内からの流出量を推定し、変動量の妥当性を検討する。

3) 初期河床高（現況河道では平均河床高）に対する洗掘深、堆積深を計算し、洗掘、堆積平面図を作成する。

#### 4) 水位縦断面図

護岸高の検討を行うための資料として、床固工、護岸等の河道工作物背後地盤高を併記した平均水位、最高水位縦断面図を作成する。

### 9.2 実験結果の整理

#### 1) 実験結果の整理

(1) 現地資料と実験結果から相似についての考察を行う。また、現状河道での問題点と原因について整理し、災害形態に見合う対策案や設計諸元について考察する。

(2) 計画案に対する検討実験は、計画案の問題点は何か、問題点に対してどのような考え方や検討過程を経て修正案が作成されたかを法線形状や流路幅、横工の配置間隔や形状の相違、あるいは流量や補給砂量、洪水継続時間の相違等が、流況や河床変動に与える影響等について考

察し整理することになる。

(3) 模型実験から検討した最良案の形状は、当初の計画平面、横断、縦断図に併記して示される。

① 平面図には、当初の計画案に対して修正された法線形、流路幅、施設の配置位置、方向等を記入する。

② 横断図には、修正された計画河床高、護岸高および実験値の水面形や河床の横断形状等を記入する。

③ 縦断図には、修正された計画河床高と勾配、法線修正に伴う距離の修正、横工の配置位置と標高、護岸高と各断面ごとの平均および最高水位、平均および最低河床高、計画基礎高等を記入する。

④ その他、床固工等の水通し幅、袖の形状、水たたきおよび護床工等の詳細図を作成する。

### 9.3 報告書のまとめ方

報告書は、次に列挙する内容が含まれる。

- 1) 流域の概要、現況河道の問題点と災害実績
- 2) 洪水波形流量、年確率流量、流砂量等の水理条件、流路工計画の基本的な考え方
- 3) 実験目的、模型の概要、実験方法、実験ケースの内容
- 4) 測定結果の整理と実験的考察
- 5) 流路工計画への提言

## § 10 実験結果の実河川への適用

模型実験の結果を実河川に適用させる場合に、模型実験がどのような実験条件で実施されたか、相似はどの程度満足されているか、測定精度はどうか、実験的結論はどのような過程を経て得られたか等の実験内容について把握するほか、実河川の状況と実験結果を総合的に判断する必要がある。

実験結果を実施設計上、より有効に活用するためには、ある程度実験が進んだ段階で実施設計作業に着手することが望ましい。例えば実施設計を行う上で、不明確な内容がみつければこれを明らかにしなければならないし、検討された設計諸元が水理的に安全であっても多額の工事費が必要となり、現地にそわない等の問題点が明らかにされた場合は、他の工法の検討を考えなければならないであろう。実施設計上の問題点が明らかにされないまま実験を終了したとするならば、実験的結論は意味をもたなくなる。

## あ と が き

流路工計画の上で、水理模型実験が果たす役割やその手法等について記述したが、少ない予算で最大の模型実験の成果を得るためには、十分な現地調査を行い基本的な流路工計画の考え方を討議して実験目的を明らかにしておくことが大切である。実験者は計画案に修正が生じた場合に、修正案が実河川に見合うものか否かの確認を行い、実験に手戻りが生じないように心掛けるべきである。

本文が模型実験の手引となつて、模型実験の普及と現場技術の理解を深めることができれば幸いである。

## 参 考 文 献

- 1) 芦田和男、高橋保、水山高久；流路工計画に関する水理学的研究、新砂防97、PP9～16  
昭和50年11月
- 2) 阿部宗平、鈴木浩之；流路工の湾曲部に関する実験的考察、土木技術資料 vol 25-3,  
PP3～8 1983年
- 3) 阿部宗平、鈴木浩之；S字湾曲部に関する実験的考察、S58年度砂防学会研究発表会概要集
- 4) 田畑茂清、阿部宗平；流路工に関する研究(Ⅲ)、土研資料944号 昭和49年3月
- 5) 池谷 浩；砂防流路工の計画と実際、全日本建設技術協会、P151 昭和52年8月
- 6) Knapp, R.T Design of Channel curves for Super-critical flow.Symposium  
on High-Velocity Flow in open Channels. Trans ASCE vol.116,pp268～295.  
1951年
- 7) 阿部宗平、渡辺正幸、泉 岩男、池谷 浩；単列砂礫堆形成領域の効果、新砂防、pp27～  
34 S56年9月
- 8) 芦田和男、高橋 保、水山高久；岩坪谷流路工水理模型実、(財)防災研究協会 昭和49年3月
- 9) 阿部宗平、上原信司；大谷川流路工水理模型実験報告書、土木研究所資料1424号、  
昭和53年10月
- 10) 建設省日光砂防工事事務所；大谷川筋河床変動調査成果整理報告書、昭和42年7月
- 11) 建設省日光砂防工事事務所；大谷川河道調査報告書 昭和42年3月
- 12, 13) 土木学会；水理公式集 pp254～258 昭和46年11月

流路工水理模型実験の手引

ISSN 0386-5878  
土研資料 第2060号  
昭和59年 2 月

建設省土木研究所  
キーワード「流路工水理模型実験」 阿 部 宗 平

要 旨

流路工水理模型実験の考え方と模型製作から模型  
実験に至るまでの過程とその内容の概要について記  
述したものである。



郵便はがき

305-□□

40円切手  
をはって  
下さい。

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

砂防研究室 御中

No. \_\_\_\_\_

No. \_\_\_\_\_

土研資料第2060号

配布先氏名

配布先住所





土木研究所資料第2060号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

