

## 1-1-2 水理模型実験と流出解析シミュレーションを活用した 量分水人孔の分水量最適化検討について

第一基幹施設再構築事務所設計課 大森 一樹

### 1. 概要

下水道管渠における分水施設の設計にあたり、抽出模型を用いた水理模型実験により分水特性を確認し、施設構造の検討を行った。また、模型実験結果の分水特性を再現する分水施設を流出解析モデル上に設定することにより、既存モデルよりも分水特性の信頼性を高めたモデルを用いたシミュレーションを行い、流況の確認、対策の検討を行った。

### 2. 業務の背景

文京区内の都道千川通りの一部区間では、千川幹線が布設されている道路中心付近が沿道地盤に比べて盛り上がり、沿道宅地に雨水が流れ込みやすいことが課題となっている。課題解決のため道路の切下げが求められているが、千川幹線の頂版が沿道地盤よりも高い位置にあるため、道路切下げに先行して千川幹線の頂版を切下げの必要がある（図1）。頂版の切下げにより千川幹線は大幅な断面縮小となり、豪雨時に水位が上昇し浸水するリスクが高まる恐れがあるため、検証および対策の検討が必要であった。

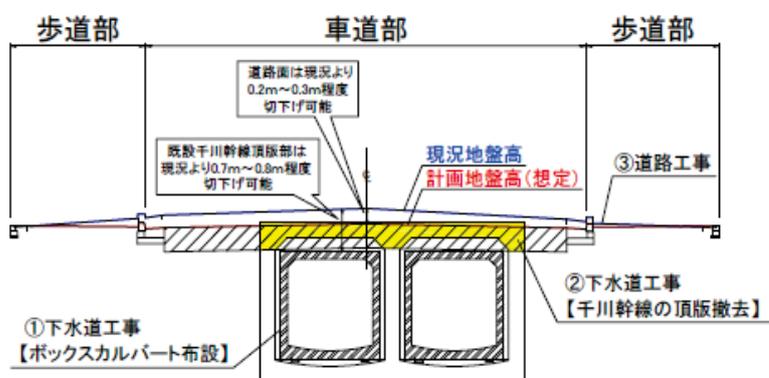


図1 千川通り道路切下げ計画断面

流出解析シミュレーションを用いた検証の結果、現状のまま対象の断面縮小を行った場合、計画降雨時の水位が地表面付近まで上昇することが明らかとなった。浸水リスクを抑えるためには断面縮小区間を流れる千川幹線の流量を減らす必要がある。

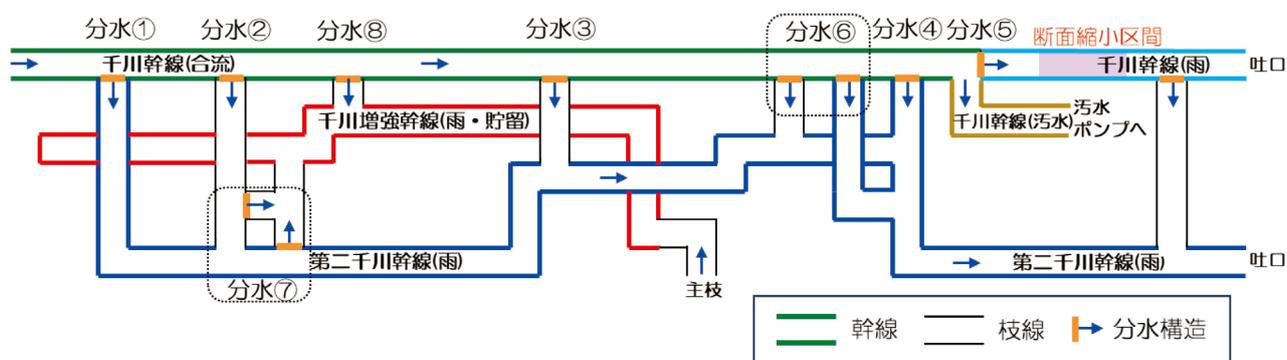


図2 千川幹線流域幹線フロー図

千川幹線流域は並走する3つの幹線（千川幹線、第二千川幹線、千川増強幹線）が複数箇所て接続され、分水構造によって各幹線の流量が調整される複雑な構造となっている（図2）。この分水構造を見直すことで、千川幹線の断面縮小部を流れる流量を調整する計画が提案され、流出解析シミュレーションを用いて各分水箇所の分水構造の検討、設計が行われた。しかし、分水構造の中には複雑な構造のものもあり、設計された分水構造でシミュレーションどおりの水量が実際に分水されるか懸念があったため、水理模型実験を行い、分水量を確認することにした。

### 3. 水理模型実験

#### 3.1 実験概要

今回の検証では分水構造における流入量と分水量の関係を表す分水特性について、シミュレーションと模型実験の間で一致するかどうかを確認する。対象となる分水構造は断面縮小区間より上流域にある8箇所である。

実験は、各分水構造における流入量がピーク流量及び中間流量（3流量程度）となる時の分水量と、分水が始まる時の流入量を計測し、データを曲線近似して分水特性を得る。

#### 3.2 模型縮尺について

模型の縮尺について、「河川水理模型実験の手引き」（土木研究所）によると、「重要区間の水深は3cm以上となるように」とされている。これ以下の水深では水の粘性の影響が大きくなり、実験精度が確保できなくなる懸念がある。

今回は分水堰などの越流部を重要区間とし、中間流量のうち最少の流量時に越流水深3cmを確保する。分水特性の曲線近似に必要な実験データを確保するため、最少の中間流量からピーク流量時までの越流水深に3cmの幅を持たせる想定とするため、ピーク流量時には6cmの越流水深が必要となる。さらに、実験で想定よりも分水量が少なく越流水深が低くなる可能性を考慮

し、ピーク流量時の越流水深は8cmを想定するものとした（図3）。

シミュレーションでの分水量から、ピーク流量時に模型での越流水深が8cmとなるような縮尺を分水箇所ごとに計算したのが表1である。縮尺は最大で3分の1であるが、千川幹線全体を3分の1の模型で制作するのは費用や実験場所等の面から現実的でない。そこで今回は分水人孔と接続する管渠を必要分だけ再現した抽出模型を分水人孔ごとに8基作

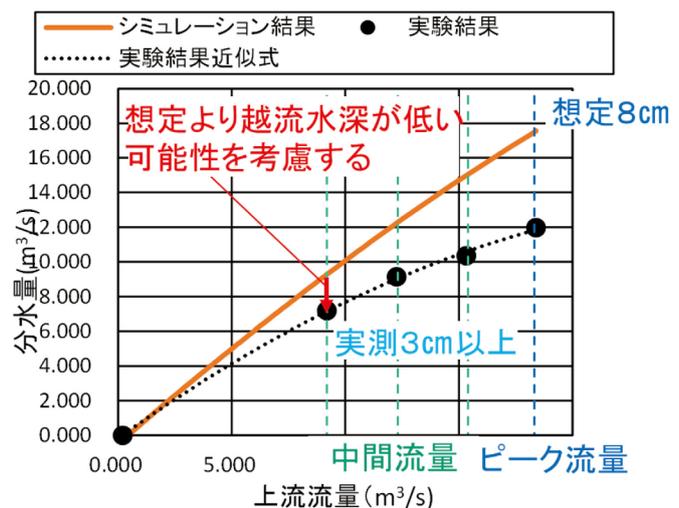


図3 越流水深の設定と分水特性の関係

表1 各分水箇所で越流水深8cmとなる模型縮

箇所	模型縮尺	箇所	模型縮尺
分水①	1/7	分水⑤	1/8.38
分水②	1/11.75	分水⑥	1/3.13
分水③	1/15	分水⑦	1/5.5
分水④	1/10.38	分水⑧	1/3

成し、模型ごとに異なる縮尺を設定することとした。

なお、分水③と分水⑥については抽出模型にしても大きすぎて、ピーク流量時に実験施設の最大放流量を超える流量が必要になってしまうため、越流水深の条件を緩和し、流下量の上限となる縮尺を改めて設定した。

### 3.3 実験結果

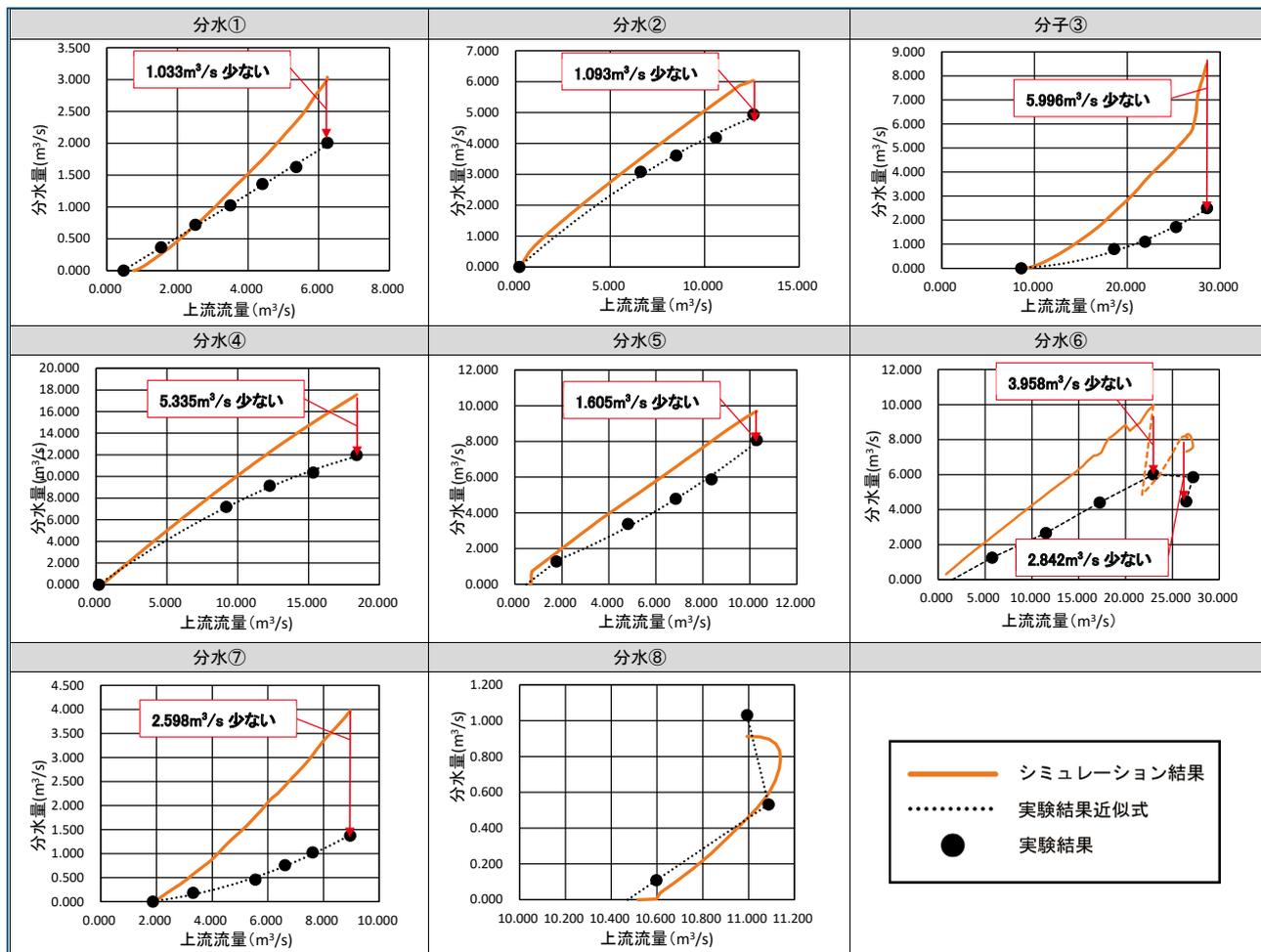


図4 原案実験とシミュレーションの分水特性比較

シミュレーションと実験の分水特性の比較を図4に示す。ほとんどシミュレーションどおりに分水ができたのは分水⑧だけで、他の人孔ではシミュレーションと模型実験の分水特性に差異が生じていた。

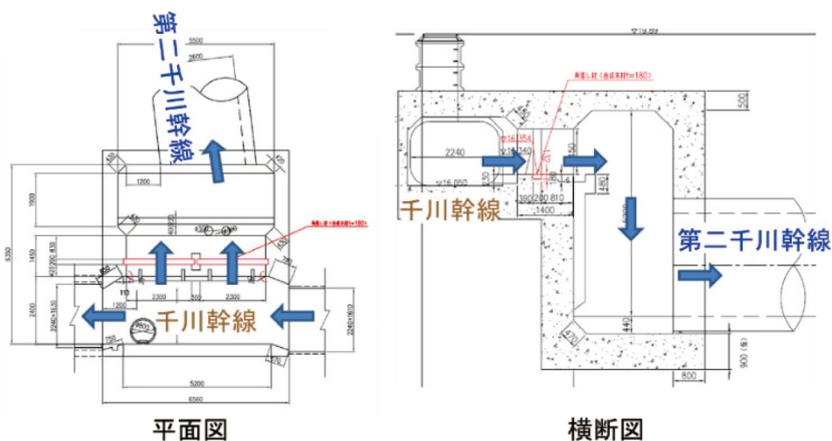


図5 分水①原案構造図

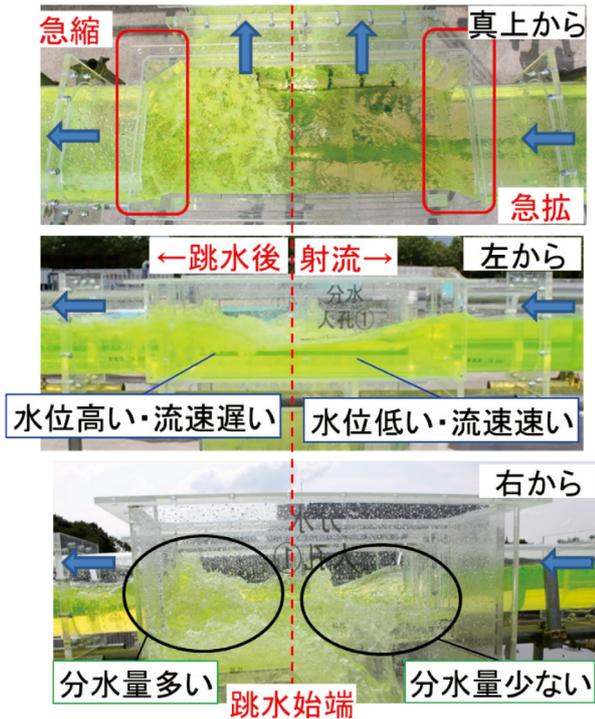


図 6 分水①原案構造実験

分水量については、分水堰の上流側では千川幹線の水位が低く分水量が少なく、分水堰の下流側では跳水により水位が高いため分水量が多い。

シミュレーションでは分水人孔内での射流や跳水といった現象は再現されず、一定の水位で流下し効率よく分水されるが、模型実験は分水の効率が悪く、ピーク時の分水量が約 1m<sup>3</sup> 少ない結果となった(図 7)。

分水①以外にもシミュレーションで再現されない水理現象によって効率的な分水が行えず実験での分水量が少なくなる箇所が多くみられた。

### 3.4 分水構造の改良

本業務ではシミュレーションと実験で分水特性に差異が生じている分水構造について、その差異を解消するため分水構造の改良を試みた。ただし、現場環境から地上からの掘削を伴う工事を行うことは困難であるため、堰高調整や角落し、垂れ壁の設置といった人孔内部で工事が行える範囲で改良を検討するものとした。

先述の分水①の改良検討では、分水堰をこれ以上下げることができないため、千川幹線に垂れ壁を設置することで水位を上昇させ分水量を増やす方針とした。垂れ壁下部の開口高さは 3 種類作成して実験を行い、データを直線近似して目的の分水量になる開口高さを割り出した。

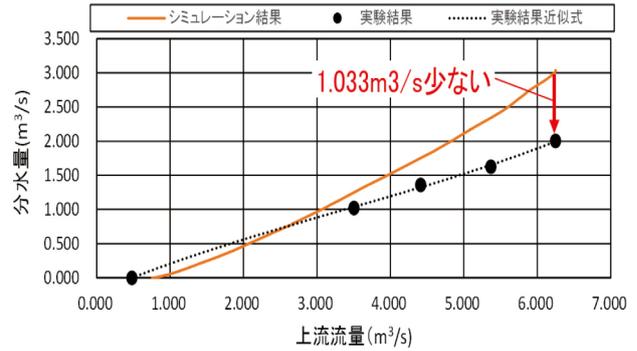


図 7 分水①原案実験分水特性

ここで代表して分水①の実験の様子を示す。図 6 は分水①にピーク流量が流下した時の様子である。分水①は前後の管渠に比べて流路幅が少し広がっている特徴がある。分水①への流入箇所では流路が急拡し、水位が下がり射流となっている。一方で分水①の出口で流路が急縮するため、分水①の中央付近から水位が上昇する跳水が生じている。

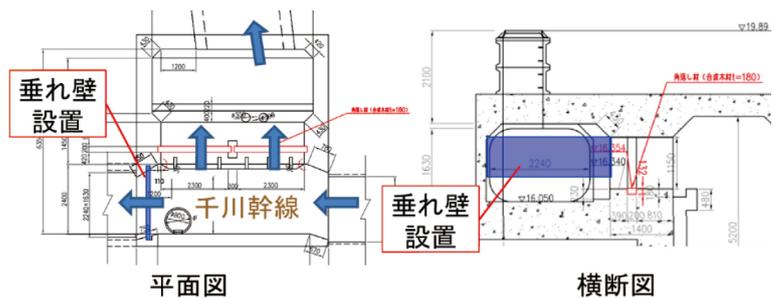


図 8 分水①改良案構造図

図9はシミュレーションと改良後施設の実験の分水特性を比較したもので、中間流量も含めてほとんど一致している。図10に示す実験の様子を見ると、下流側に設置した垂れ壁の影響で水位が上昇しており、跳水始端が上流に移動したため射流区間は短くなっている。結果的に分水量が増大し、目的の分水量が達成された。また人孔内での水位は上昇しているもの、跳水始端より上流の水面形は垂れ壁設置前と同じであることから、上流管渠の水位には影響を与えておらず、計画降雨では垂れ壁設置が浸水リスクの上昇には繋がっていないことが分かる。

分水①と同様に他の分水構造でも改良を行い、多くの分水箇所でも目的の分水量が達成された。しかし、分水⑥では改良を行ってもシミュレーションよりも分水量が少なく、目的の分水量を達成できなかった。また、分水③ではピーク流量時の分水量はシミュレーションと一致するが、中間流量については乖離のある構造となった。

分水④ではシミュレーションにおいて潜り越流が発生することが判明している。潜り越流が発生すると、分水量は流入量だけでなく分水先の第二千川幹線の水位にも左右される(図11)。実験では流入量をピーク流量に固定し、第二千川幹線側の水位を変えて潜り越流を再現した実験を行った。

分水④では当初、分水量が最大となる完全越流領域での分水特性をシミュレーションと一致させるため、垂れ壁の設置を検討した。完全越流領域では垂れ壁による分水人孔の上流管渠への水位上昇の影響は見られなかったが、潜り越流領域においては水位が上昇し、千川幹線で水位がGL-1mを上回る状況となったため、垂れ壁の設置を取りやめた。これにより分水④も目的の分水量を達成できなかった。

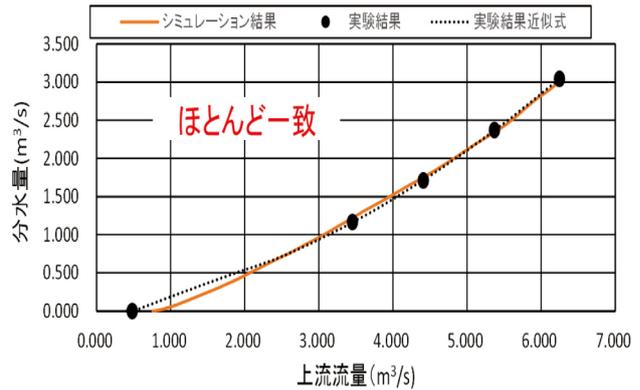


図9 分水①改良案実験分水特性

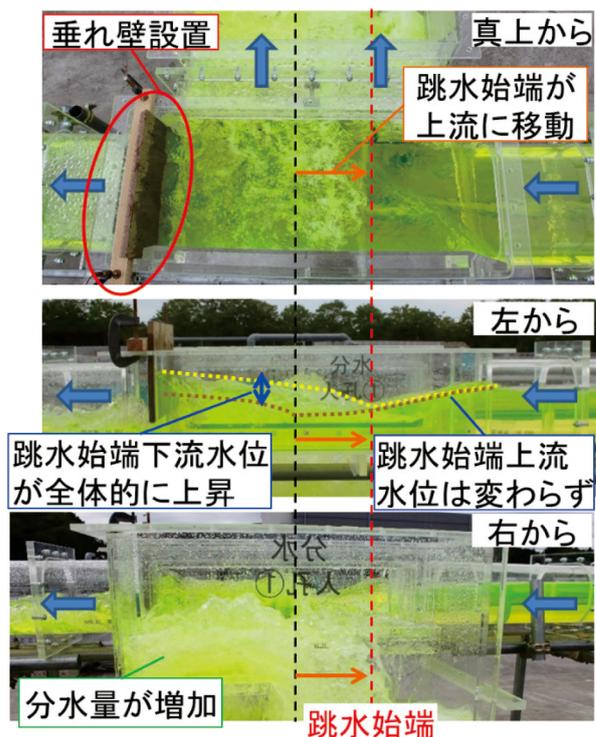


図10 分水①改良案実験

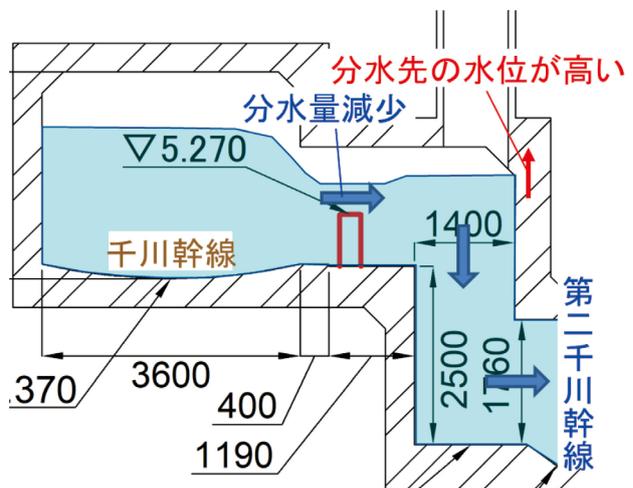


図11 分水④潜り越流発生イメージ

## 4. 解析モデルへのフィードバック

### 4.1 模型実験後の課題

本業務の当初の狙いでは、水理模型実験による分水構造の改良によりシミュレーションの分水特性を再現可能な構造が提案でき、幹線全体の流況をシミュレーションどおりにすることができるはずであった。しかし、一部の箇所ではシミュレーションの分水特性を再現できる構造が提案できなかった。本流域では1箇所の分水特性が変わると、下流の分水箇所の流量条件や、上流管渠の水位に影響するなど、幹線全体の流況に連動した変化をもたらすと考えられ、幹線全体の流況を推定することは困難である。幹線の全体模型であれば実験により幹線全体の流況を確認できるが、前述のとおり現実的ではない。

一方で流出解析シミュレーションは幹線全体の流況を机上で確認することができ、分水特性を司るパラメーターを調整することで分水特性をある程度変化させることができる。そこで本業務では、模型実験で得た分水特性データをシミュレーションで再現できるように流出解析モデルの分水構造のパラメーターを調整し、シミュレーションで幹線全体の流況を確認し、事業目標の達成状況の確認や対策方針の検討を行うことにした。

### 4.2 パラメーター調整

流出解析モデルの分水構造における分水特性を司るパラメーターである越流堰や角落しの流量係数について、実験データの分水特性の再現度の高い設定が出るまで調整とシミュレーション実施を反復試行することで、最適な係数の設定を選定する。図12の分水箇所ではA～Eの5ケースの係数の設定でシミュレーションを実施し、実験データの分水特性の再現度の高いケースEの設定を採用した。ケースCも再現度が高いが、どちらかという実験データよりも分水量が少なめに出る設定を採用した。これは、シミュレーションの分水量が少なめにしておくことが千川幹線の治水安全性の検証あたっては安全側の考えとなるからである。

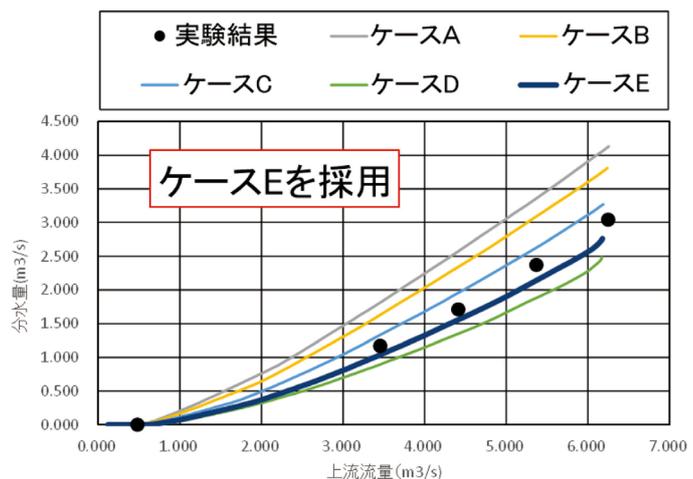


図12 パラメーター調整の一例

## 5. シミュレーションによる確認と再改良

図13は3章の改良検討で採用した分水構造の実験データを反映したシミュレーション結果における千川幹線の最高水位縦断図であり、中流域で水位がGL-0.181mまで上昇し、浸水リスクが高い状態であることがわかる。千川幹線から水位に余裕のある他の幹線の分水量を増やす必要があるが、分水④、⑥は3章で既に分水量が増やせないことが判明している。また、分水②、⑧は千川幹線と他の幹線を繋ぐ連絡管の流下能力に余裕が無いため分水量の増加は見込めない。分水①は垂れ壁下部開口を低くし、分水量を増やせる可能性はあるが、同時に上流管渠の水位が上昇する懸念がある。

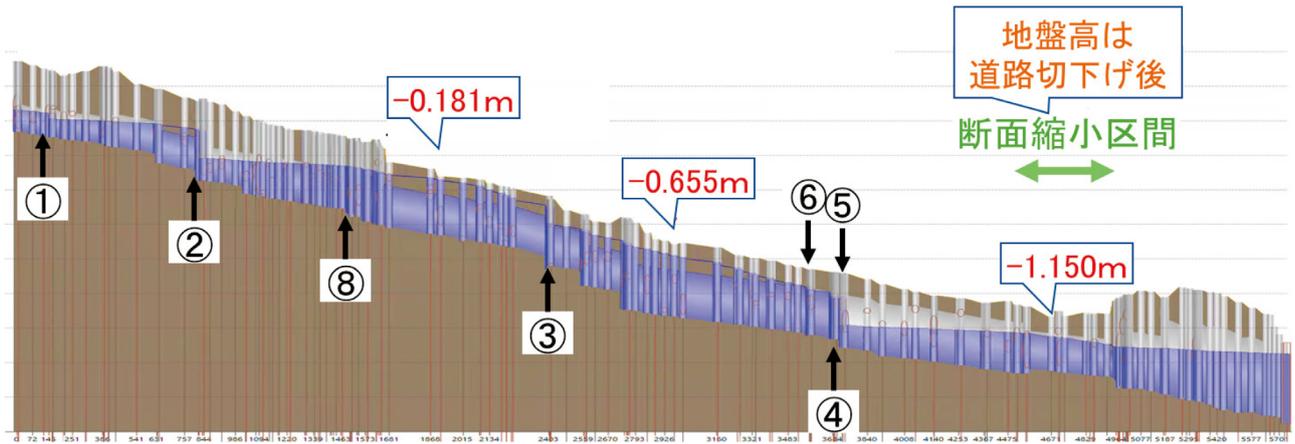


図 13 改良構造シミュレーション千川幹線水位縦断面図

分水③は分水堰の堰高を低くすることができ、上流管渠の水位を上昇させることなく分水量を増やすことが期待できるため、分水③を再改良することにした。何度か実験を行い、堰高を低くするだけでなく、上流管渠が水位上昇しない範囲で垂れ壁下部開口を低くすることも取り入れ、分水量が大きく増加する構造が提案できた(図 14)。

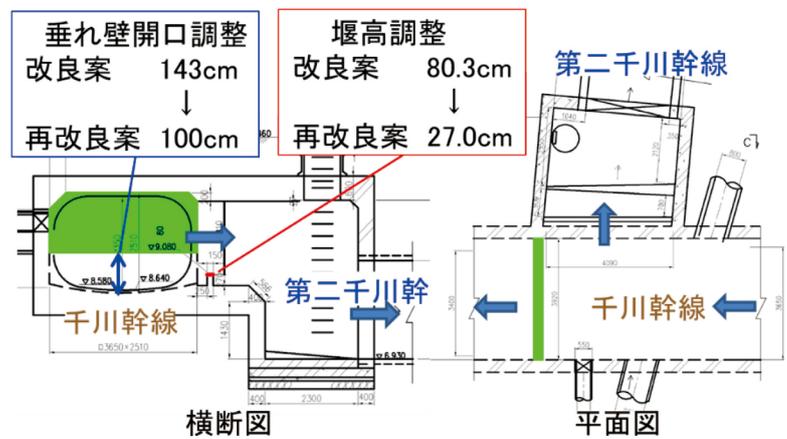


図 14 分水③再改良構造検討

図 15 は分水③再改良の実験データを反映したシミュレーションである。千川幹線の水位は最高でも  $GL-0.730m$  に抑えられ、再改良前より治水安全性が格段に向上していることがわかる。

このように実験データを反映した流出解析モデルを用いてシミュレーションを行うことで、幹線全体の流況を確認し、有効な対策を提案することができた。

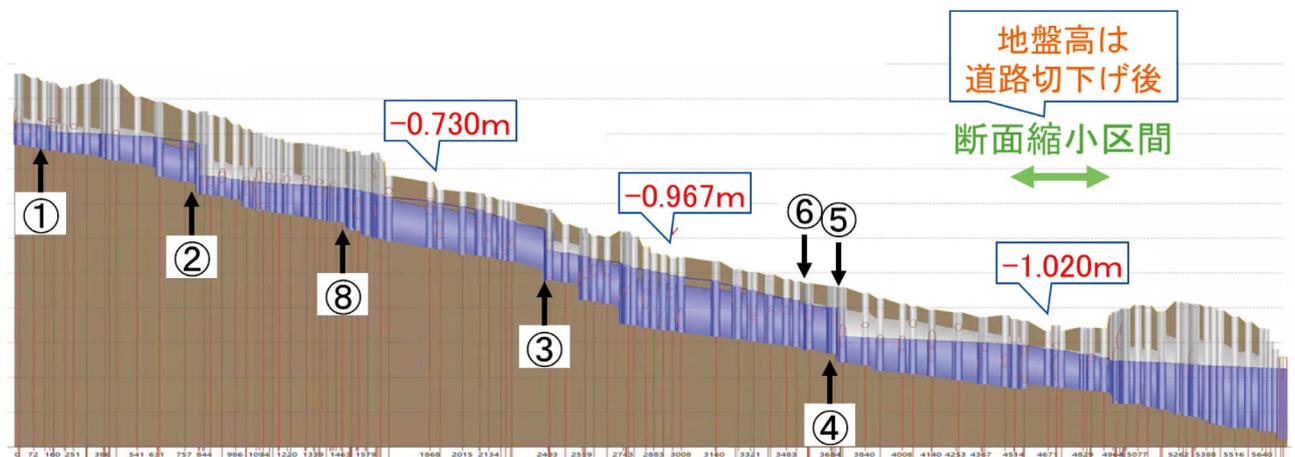


図 15 再改良構造シミュレーション千川幹線水位縦断面図

## 6. まとめ

本業務では水理模型実験を行うことで、シミュレーションで再現できない水理現象により分水施設の分水量がシミュレーションよりも低下することを確認し、分水施設の改良検討を行った。その上で抽出模型の実験結果を流出解析モデルにフィードバックすること

ことで、実験結果の分水特性をシミュレーションで再現し、流域全体の流況を確認した。模型実験、解析モデルへのフィードバック、シミュレーションでの確認、対策施設の再検討のサイクルにより、目的を達成する分水を行う分水施設構造を提案した。

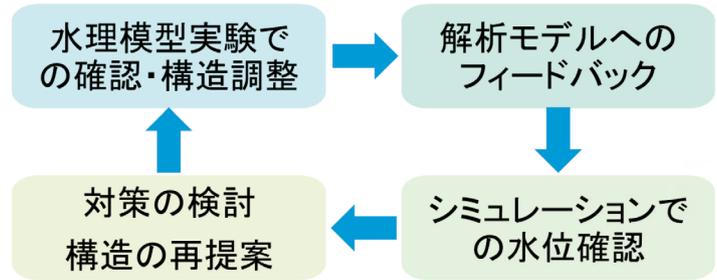


図 16 分水構造検討サイクル概念図

### ・参考文献

河川水理模型実験の手引き（土木研究所 平成元年 10 月）