

17. 浸水被害軽減のための各種施設の組合せに関する調査

水害研究室 室長 金木 誠
主任研究官 三輪 準二
研究官 水草 浩一

1. まえがき

都市雨水の面的排水機能を受け持つ下水道は、計画規模（再現期間）の降雨を対象に整備が図られている。そのため、この規模を上回る降雨の発生や放流先河川の流下能力不足により、地表面に湛水の生じる場合がある。一般に、湛水深が大きいほど被害額が増大するため、浸水域の土地利用形態によるものの、広い領域に湛水を分散させる方が被害額の面から考えて有利となる場合もある。最近では、流域規模での浸水対策手法として流出抑制施設が着目されているものの、河川や大規模下水道幹線等の、幹線施設とは異なる流域規模で水理効果を評価する手法が十分に確立されていない、という問題も残されている。

昨今の我が国においては、河川整備率は経年的に上昇しており、従来は氾濫常習地帯であった地域においても、氾濫の危険性に関しては確実に低減されている。これに相反して相対的に増加しているのが内水による被害であるが、これは下水道網が整備され、地表面の利用度も高度化されている都市部においてその被災頻度が高い。また、特に都市部の河川においては、低水時・高水時を問わず流況の下水道に依存する割合が高まっている。このことから、下水道施設による流出形態を把握することは、放流先の河川管理の面からも水質から着目した環境面からも重要になってくる。

2. 調査目的

都市部の雨水排水対策としては、下水管路、都市下水路の他、防災調節・調整池、排水機場、地下貯留管、雨水貯留・浸透施設等があり、逐次整備が行われている。これらの各施設を都市の実状に応じて組み合わせることにより、浸水被害の軽減が期待される。また、その整備については、将来にわたって合理的手法により決定される必要がある。

本調査では、幹線施設だけでなく流域規模での流出抑制施設の水理効果を評価するために、流出から氾濫までを一連の現象としてとらえた分布型流出・氾濫モデルを作成し、その検証を行う。そして、各種流出抑制施設の組合せによる浸水被害軽減効果を算出し、望ましい都市雨水対策を提案するものである。

3. 過去の調査結果

平成10年度は、下水道の水理模型施設を用いて、逆流防止施設およびポンプ排水の効果を実験により確認した。また旧建設省土木研究所で開発したPWRI（Precipitation Water Routing and Inundation）モデルを改良し、実験の結果を用いて、それらの施設による仮想流域での効果を算定し検証を行った。

平成11年度は、上記PWRIモデルに対して、実流域であるY流域（排水区面積：53.40ha、管渠本数：360本）において、実績降雨を対象とした排水路内雨水追跡モデルおよび地表面氾濫モデルをそれぞれ検証し、モデルの再現性について確認を行った。また、降雨時の下水道管路内の流れおよび氾濫発生時の氾濫水の流れを把握するため、図-1に示す別の実流域M（排水区面積：654.33ha）を対象とした観測体制を確立した。

平成12年度は平成11年度に雨水追跡モデルや地表面氾濫モデル等の改良を加えたPWRIモデルに対して、流出抑制施設による流出抑制効果を算定するサブモデルを追加した。そして前年度に検討対象としたY流域において、1982年9月12日の降雨を対象とした流出抑制効果の試算を行った。さらに、M流域に4箇所の水位計

を設置し、水位-流量曲線を得るための現地観測を出水期に複数回実施した。また、当地域における下水道管渠情報の収集・整理、対象域内の流出抑制施設の実態調査、流域を包括するK川の水文情報の収集、地質情報の収集等を行った。

4. 平成13年度の調査内容

水位-流量(H-Q)曲線の作成のために、平成12年度にM流域において行った下水道管路内の現地流量観測では、浮子を用いて人孔部間を流下する時間から流速を算出する手法を採用した。しかし、局所的降雨や流出時間が短いことから、観測を行うことの困難さに伴う観測結果の少なさ、浮子が断面の中心部を流下していない等の問題が生じ、算定された流量が過小評価されている可能性があった。このため、作成されたH-Q曲線は必ずしも信頼性の高いものとはいえないことから、平成13年度は再度現地流量観測を行い、新たにH-Q曲線を作成することとした。

PWR Iモデルについては引き続き改良を行い、より精緻な下水道管路網の解析が行えるように、下流端ポンプ場、逆勾配管路、人孔部における水の出入り等のモデル化を行った。また、解析結果をアニメーションとして表現可能とし、人孔部の存在するメッシュにおける水の増減や氾濫伝搬の様子を確認できるようにした。

5. 平成13年度の調査結果

5.1. 現地観測

5.1.1. 現地観測対象地域・施設概要

現地観測の対象流域Mは、高度に都市化された全流域面積654.33haの地区である。幹線部分は河道に蓋を掛けた構造のため、図-2に示すとおり断面形状は全線にわたって矩形もしくは台形である。そして下水道管路網はその幹線部分の途中3

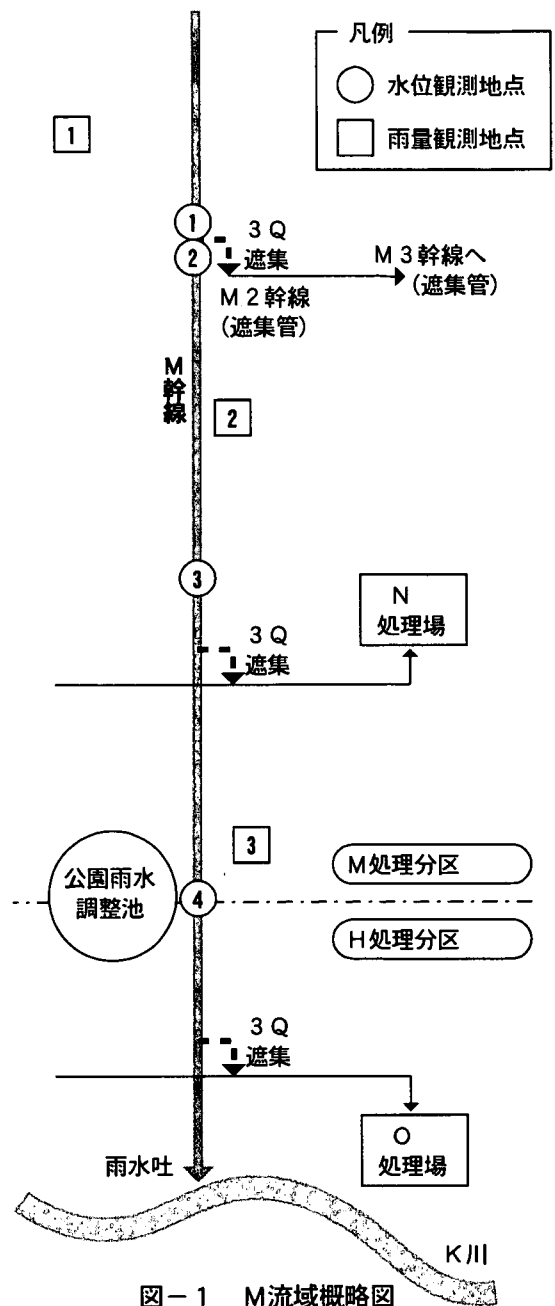


図-1 M流域概略図

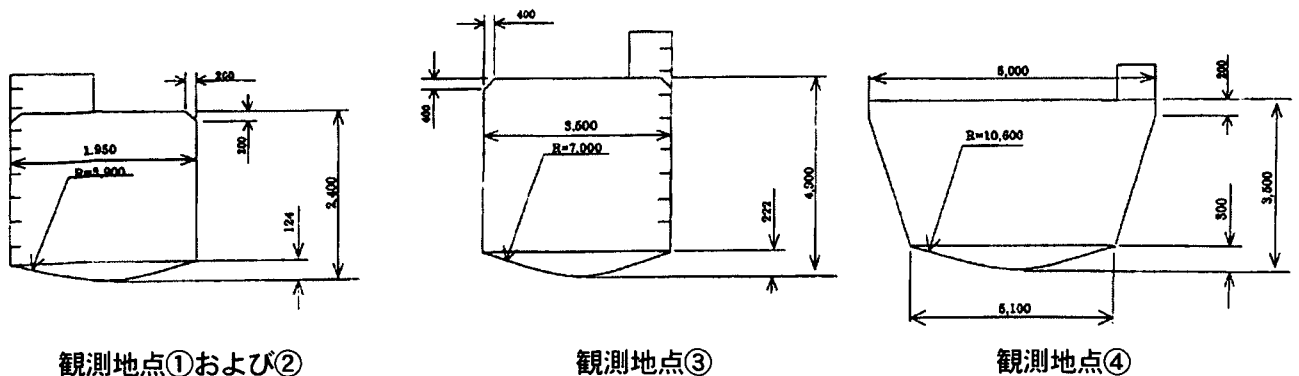


図-2 各水位観測地点の水路断面形状

箇所において遮集が行われ、計画量を超過した流量に関しては最下端において放流先河川に自然放流を行う合流式である。

5.1.2. 現地観測手法

雨量観測は、M流域の3箇所に設置した自記雨量計により、平成13年7月から11月を対象として連続的に観測を行った。水位観測は、平成12年度に引き続き圧力センサー式水位計をM流域4箇所の管底に設置し、自記記録器によって平成13年の4月から12月まで連続的に観測を行った。

流量観測については、観測箇所は水位計設置箇所と同地点のM流域4箇所で行った。下水道管路内は一般に、日変動の他に低水・高水等の流況・水深の変化が激しく、また夾雑物の多い特殊な環境である。平成12年度の浮子による観測で生じた多くの課題をもとに、出水に対する観測待機・準備が不要な自記計測式の流速計を用いた。そして、満管状態にも対応するために、写真-1に示すような水面に浮かぶ舟形超音波流速計を採用した。なお、流速計は全部で2台のため、はじめは水位観測地点①および②の2箇所に設置し、ある程度の規模の出水を観測できたことを確認後、期間中間において残りの水位観測地点③および④の2箇所に移設した。

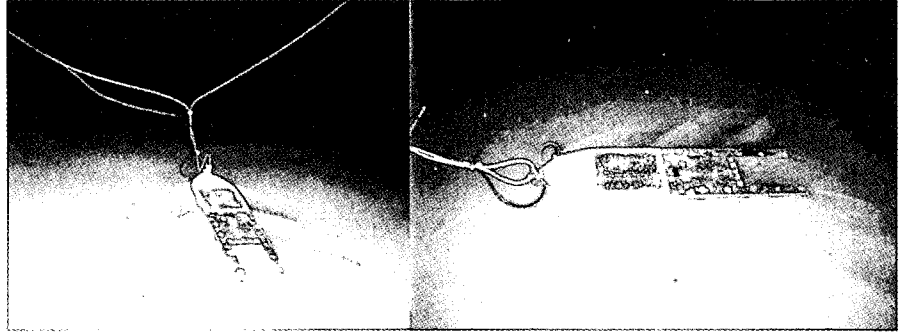


写真-1 舟形流速計

5.1.3. 現地観測結果

観測期間は前節のとおり出水期を対象として行ったものの、平成13年度は比較的小雨傾向であり、人孔部からの吹き出しや、湛水が生じる規模の出水は観測されなかった。しかし、図-3に示すとおり水面が管頂高を越え満管以上の圧力管状態に達する規模の出水を捉えることはできた。流速に関しては、一度満管状態の際に自記記録器が水没し故障を生じさせたが、修理を行いまた設置箇所を考慮した結果、その後は問題なく観測ができた。これらから、出水時には概ね良好に水理現象が観測されており、当初の目的は達成できたといえる。

一方、低水時には水位・流速共に基底流の日変動を捉えてはいるものの、その値は限りなく小さい。水位については、水深に対して水位計そのものの大きさが相対的に大きく、水位計の構造的規模に依存する誤差を

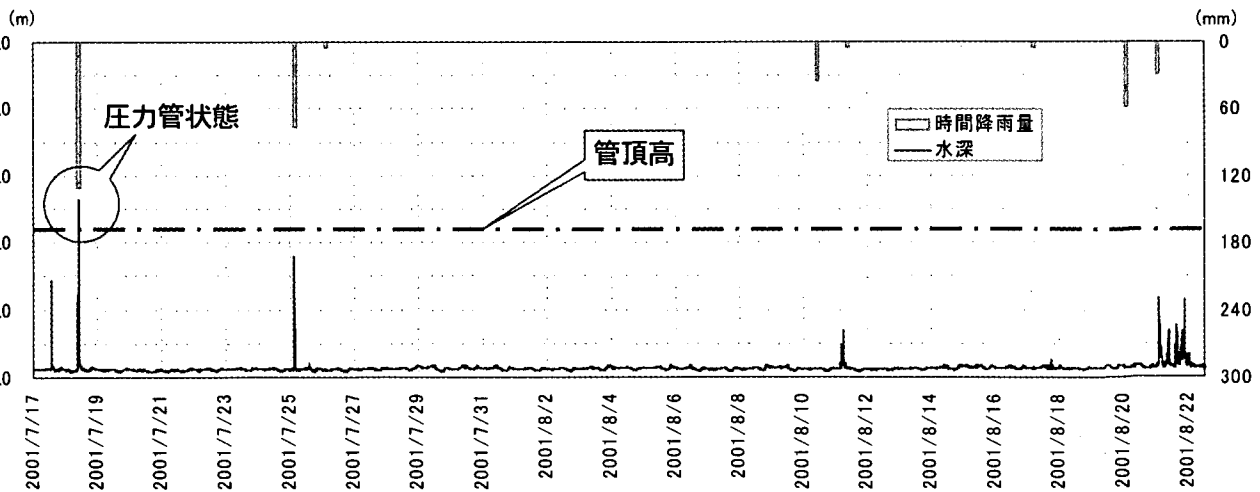


図-3 水位観測地点①・雨量観測地点Ⅱの各時系列観測データ

含んでいると考えられる。また水位計設置箇所の断面形状は、前記のとおり矩形もしくは台形ではあるが、管底部が大きな曲率半径の円弧形状であるため、管路中心部と縁部では水深が異なっているという問題もある。流速については、流速計が舟形であり超音波を舟形底部から水中に照射するという機能上、ある程度の水深を得られなければ観測が出来ないという難点があった。また、観測される流速断面が舟形底部より20～30cmの範囲に限られるという誤差要因を含んでいるため、更正係数で流速を算定する必要があったが、低水時の30cm前後以下ではこの更正係数による誤差が無視できないほど大きくなった。これらの諸原因により、低水の観測結果は水位および流速ともに、出水時の観測結果に対して、相対的に信頼性の低いものとなった。

5.1.4. H-Q曲線

水位および流速の現地観測を行った幹線内4箇所についてH-Q曲線の作成を行った。水位および流速ともに、前節のとおり水深が小さいときの結果に対する信頼性が低いことから、出水時の観測値を基本に複数回分用いて作成を行った。なお、河床勾配の小さな水路特有の反時計回りループが出現しているが、観測箇所が少なく途中で遮集も行われているため、ループの補正はできなかった。図-4には水位観測地点①および④におけるH-Q曲線を示す。水観測地点①および②については観測された出水回数が少なかったことからやや分布が散乱しているが、いずれも比較的良好に近似曲線が作成されているといえる。

今後は作成されたH-Q曲線を用いることで、水位観測のみでおおよその流量が算定できるほかに、その結果を用いて汚濁負荷量の算定も可能になると考えられる。

5.2. 下水道管路モデルの改良

5.2.1. PWR Iモデル概要

PWR Iモデルは、下水道管渠内の水の挙動を精緻に解析するために、旧建設省土木研究所が中心となって開発を行ってきたモデルである。主な特徴は、①データベースの利用を前提としたモデル構造で、実際の下水道施設計画で用いる排水区割りを用いた地表面流出を解析する地表面降雨流下モデル、②kinematic wave式・diffusion wave式・連続式の各物理方程式に基づく流出計算をもとに、暗渠・開渠、開水路・圧力管路およびその遷移状態の各々に対応した解析を行う排水路内追跡モデル、③人孔部の流入・流出、およびその局所損失を考慮した地表面湛水モデル、④人孔部からの地表面湛水の氾濫移動、および自・他人孔部への再流入を考慮した地表面氾濫モデル、の4点である。このうち、

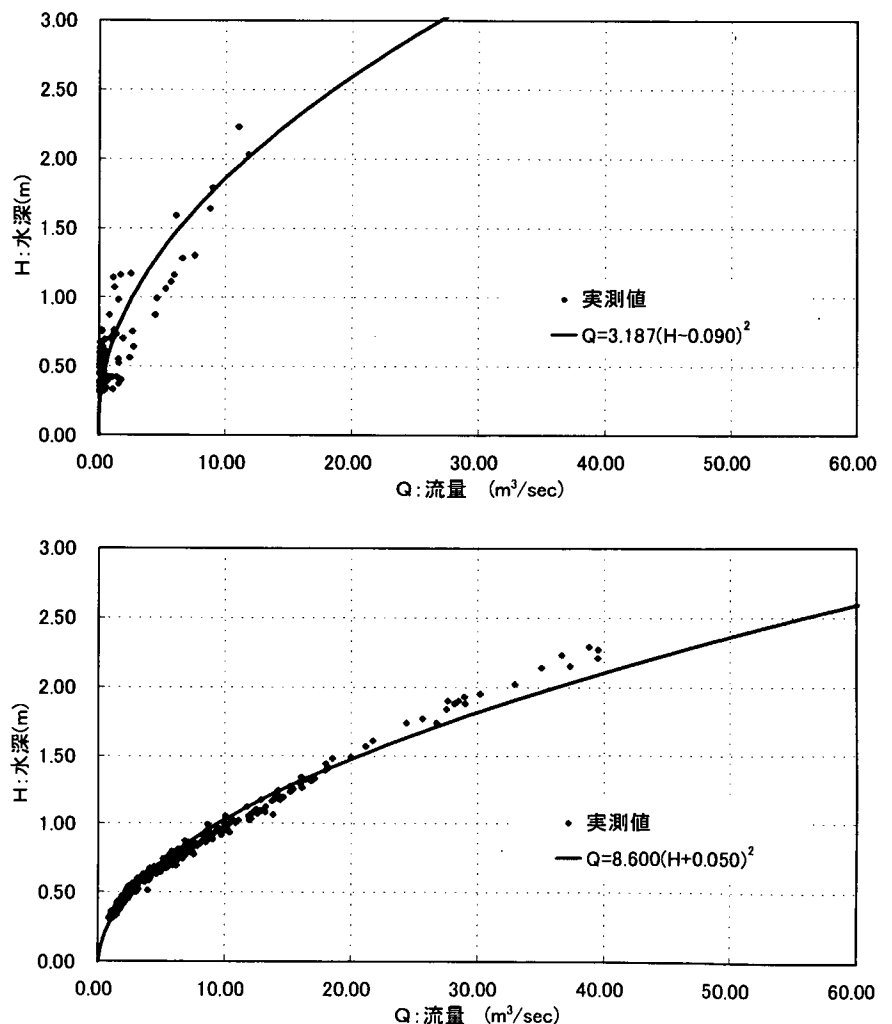


図-4 H-Q曲線 (上: 水位観測地点① 下: 水位観測地点④)

上記②③④の3モデル相互間の水の自由な移動を考慮している点が、既存の他のシミュレーションモデルとは異なる特長となっている。

5.2.2. 平成12年度までの状況

平成11年度に1次元および2次元地表面氾濫解析モデルを付け加え、平成12年度には貯留・浸透施設等の雨水流出抑制施設のモデル化を行った。現在はこれらのモデルを利用することで、人孔部から噴出した雨水の地表面流出の解析のほか、各種流出抑制施設の効果を解析することも可能である。

5.2.3. 平成13年度の改良状況

PWR Iモデルで考慮していないものの、実際の下水道施設に存在するものに、①ポンプ（中間、流末）施設②遮水（分水）施設③逆勾配管路④多角形断面⑤その他（沈砂池、ゲート、貯留管等）がある。平成13年度は、このうち①、③、④のモデル化を行った

● ポンプ施設

今回作成したポンプ施設モデルは、流末・中間の双方のポンプ施設に適用できるモデルであり、一つの水路に複数設定することが可能である。このモデルにより、これまでは自然流下による排水区のみが対象であった解析の適用範囲が広がると期待される。また、例えば放流先の河川水位や運転調整を考慮した解析や、内水氾濫による被害を低減させる最適なポンプの配置・運転手法の検討に用いることも可能になると考えられる。

● 逆勾配管路

管路上流側よりも下流側の方の管底高が高くなっている逆勾配管路について、解析が可能となるようモデルの修正を行った。これとポンプ施設モデルとの組合せにより、様々な縦断勾配の管路網の解析を行うことが可能となる。

● 多角形断面

今回の調査において解析対象となるM流域では、旧河川の蓋掛けに由来することから、幹線区間の管渠断面は全線にわたり矩形または台形である。一般に矩形断面を採用する場合には、流速を確保するためインバートに曲率を与えるが、より精緻に低水時の解析を行う場合には、この曲率が解析結果へ多大な影響を与える可能性も考慮に入れる必要がある。従来のPWR Iモデルにおいては水路の断面形状が矩形、台形（開水路を含む）の解析も可能であったが、円形管路へ換算した上で解析を行っていた。そこで、平成13年度の調査では任意の多角形の水路断面の解析を可能とさせた。この改良により、対象となるM流域幹線のような、矩形もしくは台形断面水路の管底部インバートの微妙な円弧形状を表現することが可能となった。

5.2.4. 改良モデルの検証

実在対象流域のM流域については自然流下型の管路網であるため、ポンプ施設や逆勾配管路についてモデルの検証を行うことが不可能である。そこで仮想流域を用いてモデルの動作確認を行い、その成否について検証した。解析内容は、（1）ポンプ施設モデルの確認解析と（2）逆勾配管路モデルの確認解析である。仮想流域には図-5に示す諸元のものを用いた。解析（1）および（2）で異なる点は、人孔2におけるポンプ施設の有無と管路③の勾配である。なお、解析（1）、解析（2）ともに、検証の際に用いた降雨は、東京都で用いている30mm/hr中央集中型降雨である。

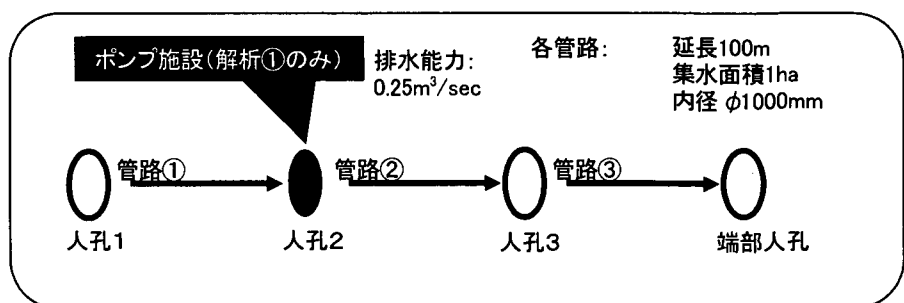


図-5 仮想モデル流域B諸元

5.2.5. 結果の考察

解析(1) ポンプ施設の確認解析については、図-6の縦断面図の水面形に着目すると、ポンプを設置したノードにおいて不連続となっていることから、ポンプ施設を認識した上で解析されていることがわかる。また、時系列の水面形変化状況を示す図-7に着目すると、こちらもポンプの運転状況と同調してポンプの下流側管路②および③がともに変化しており、これらの結果からポンプ施設のモデル化に関しては概ね完成したといえる。现阶段のモデルを用いる場合には、予めポンプの運転状況を設定しておいて解析を行っているが、将来ポンプ施設運転手法の考察を行う際には、実際のポンプ運転手法に従い、設定水位によるポンプ運転の起動・停止の解析を行えるように、さらなる改良が必要となる。

解析(2) 逆勾配管路の確認解析に関しては、図-8に縦断面水面形の解析結果を示す。この解析結果グラフからは、逆勾配管路となる凹状縦断箇所管内に湛水し、逆勾配管路下流端の管底高を越えた段階でさらに下流側へ越流していく様子をとらえることができ、こちらも非常に良好に管路内の水理現象が表現されていると言える。

6. まとめ

前年度の平成12年度までに、各種施設の組合せによる浸水低減効果に関する調査をある程度まとめていた。そこで平成13年度は、今後これらの検討を行う際に用いられるツールとしてのPWR Iモデルの精度向上を目指して引き続き改良を加えた。解析結果からは、非常に良好な傾向が見受けられることから、今後精緻な検討を行う際に有効であると考えられる。

また、実流域およびその管路内における各種の観測を行い、モデルの検証を行う際に必要となるデータの蓄積および作成を行った。これらのデータ類は今後、モデルのさらなる精度向上に向けて有益な情報になると考えられる。

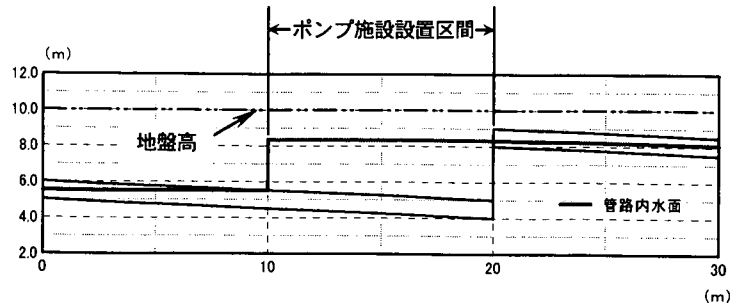


図-6 解析(1) 仮想流域における
ポンプ施設稼働の確認解析(縦断水面形)

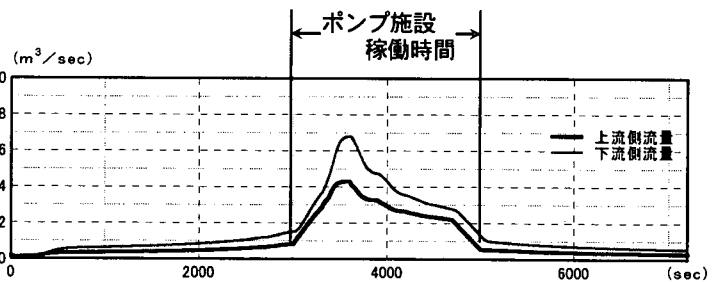
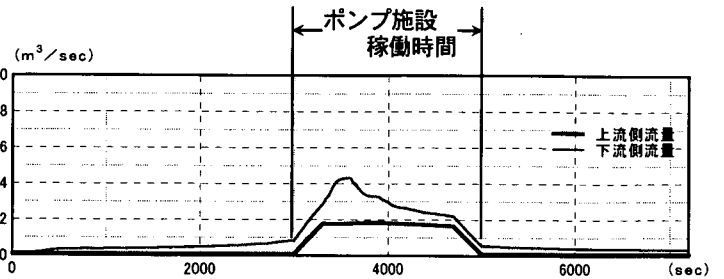


図-7 解析(1) 仮想流域管路内における
ポンプ施設稼働の確認解析(時系列)
(上段:管路② 下段:管路③)

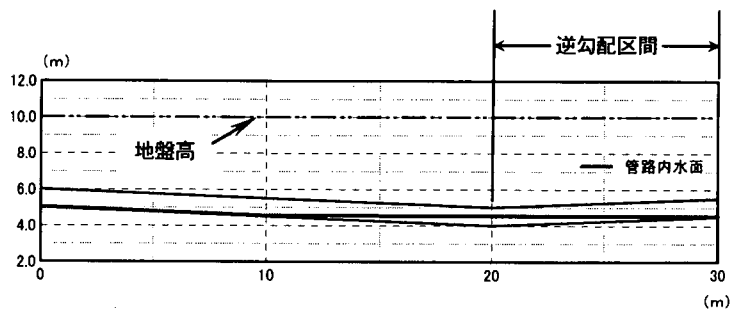


図-8 解析(2) 仮想流域における
逆勾配管路の確認解析(縦断水面形)