

都市型洪水防止システムとシミュレーション技術

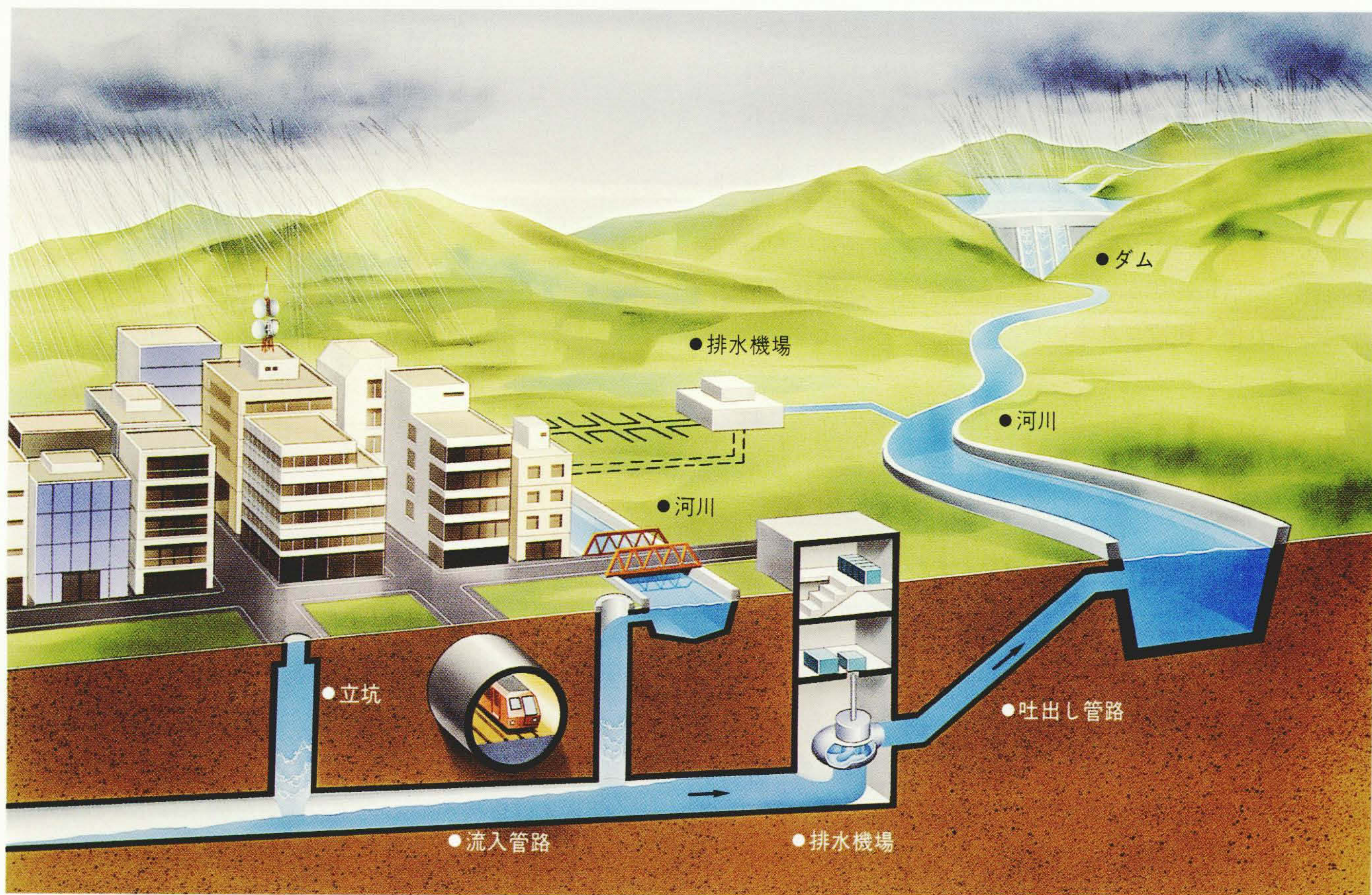
Urban Flood Prevention System and Simulation Technique

大谷健二* Kenji Ôtani

嶋内繁行** Shigeyuki Shimauchi

三浦誠二*** Seiji Miura

会沢宏二**** Kôji Aizawa



都市型洪水防止システムの概念図 立坑から流入管路に流入した雨水を排水機場で河川に排水し、洪水を防止するシステムである。

近年、都市部では多量の雨水が短時間に流出する、いわゆる都市型洪水が増加している。雨水排水ポンプ設備は、地域の浸水被害を解消し、生命、財産を守る重要な施設であり、都市型洪水防止用として従来以上に高機能・高信頼性で、かつ建設コストも含めた経済的なシステムが要求されている。

日立製作所はこのようなニーズにこたえ、どんな水位でも運転できる全速先行待機運転ポンプを開発し、ポンプの始動遅れによる洪水を防止するシステムを実現した。また、システム簡素化技術の一つと

して、軸受直径1,000 mmまで適用可能な立軸ポンプ用無給水軸受を開発し、実機に適用中である。

さらに、ポンプ場の建設コストの低減、省スペース化を図るため、降雨からポンプ排水まで一連の雨水の挙動を解析する広域排水シミュレーションシステムを開発し、ポンプ場の適正規模の計画、運転方法の検討に適用している。また、ポンプ吸込・吐出し流路の三次元流れシミュレーション技術を確立し、ポンプ吸水槽、吸込・吐出し流路の省スペース化に対応した最適寸法、形状の検討を可能とした。

* 日立製作所 機電事業部 ** 日立製作所 システム事業部 *** 日立製作所 機械研究所 工学博士 **** 日立製作所 機械研究所

1 はじめに

近年、国民生活の質的向上のニーズが高まり、より良い生活環境の整備が望まれている。しかし、都市部では舗装化率の向上、排水区域の広域化などにより、多量の雨水が短時間に流出して洪水を引き起こす、いわゆる都市型洪水が増加しており、かつ人口、資産の集中化が進み洪水発生時の被害額、社会的影響は非常に大きくなってきている。さらに、地価の高騰による排水ポンプ機場の用地確保難、高齢化社会の進展による運転員、維持管理要員の不足などの問題も発生している。

このような背景下にあって、都市型洪水を防止し、安全で快適な都市づくりを実現するため、始動遅れのない高機能・高信頼性排水ポンプシステムの実現、運転維持管理の省力化、建設コストの低減、省スペース化などが要求されている。

ここでは、これら都市型洪水防止システムの課題に対するハード、ソフト両面での技術開発の現状について述べる。

2 高機能・高信頼性排水ポンプシステム

2.1 全速先行待機運転ポンプ

都市型洪水防止の課題として、ポンプ場へ大量かつ急激に流入する雨水に対し、排水ポンプをタイミングよく始動しないと冠水するという点がある。このような冠水被害を防止するため、出水に備えてあらかじめポンプを全速で運転させておき、出水時直ちに排水できる、いわゆる全速先行待機運転ポンプがクローズアップされている。

先行待機運転ポンプは、出水に先行してポンプを運転するため、吸水槽の水位に関係なく運転できる機能が必

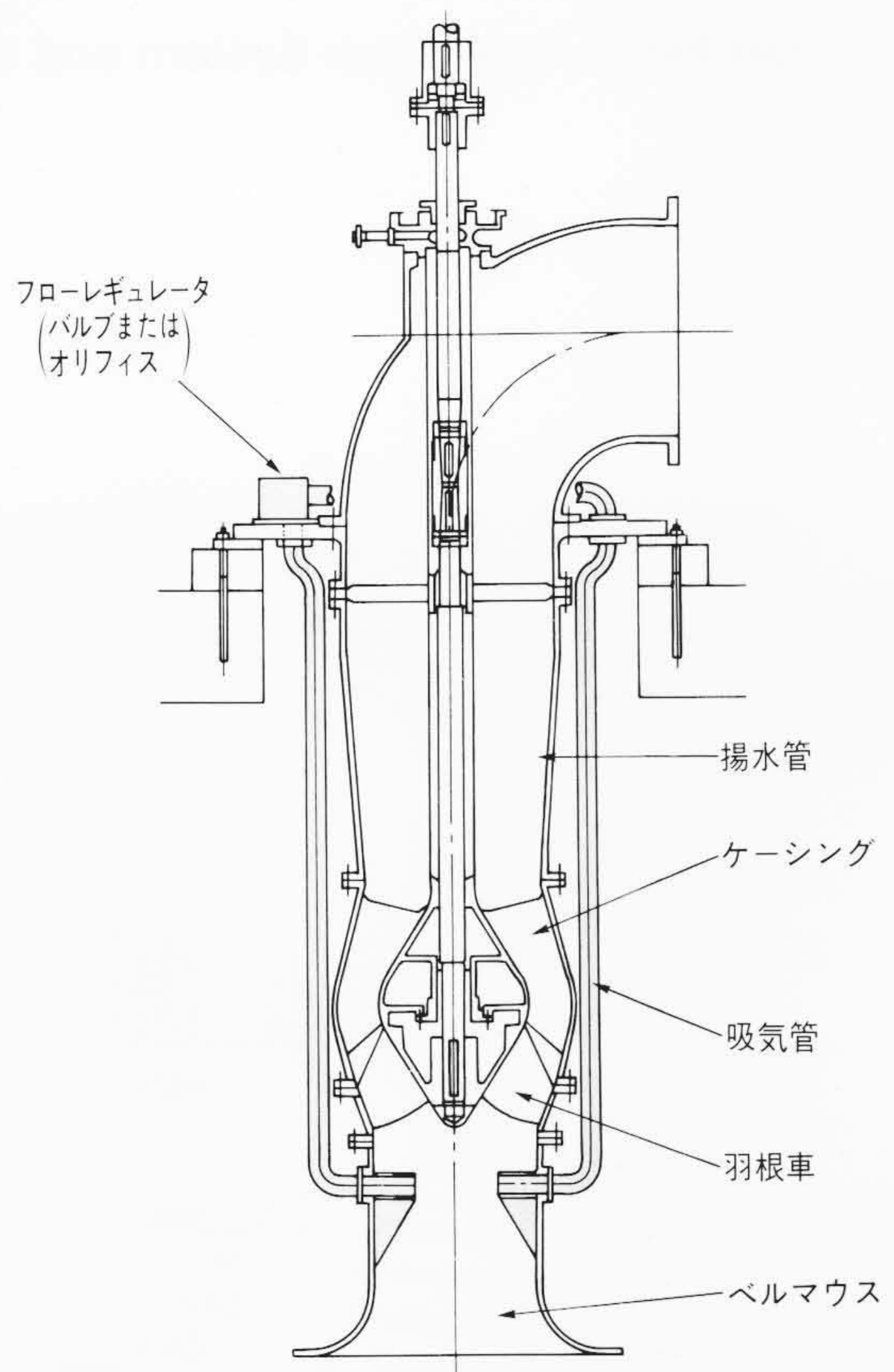
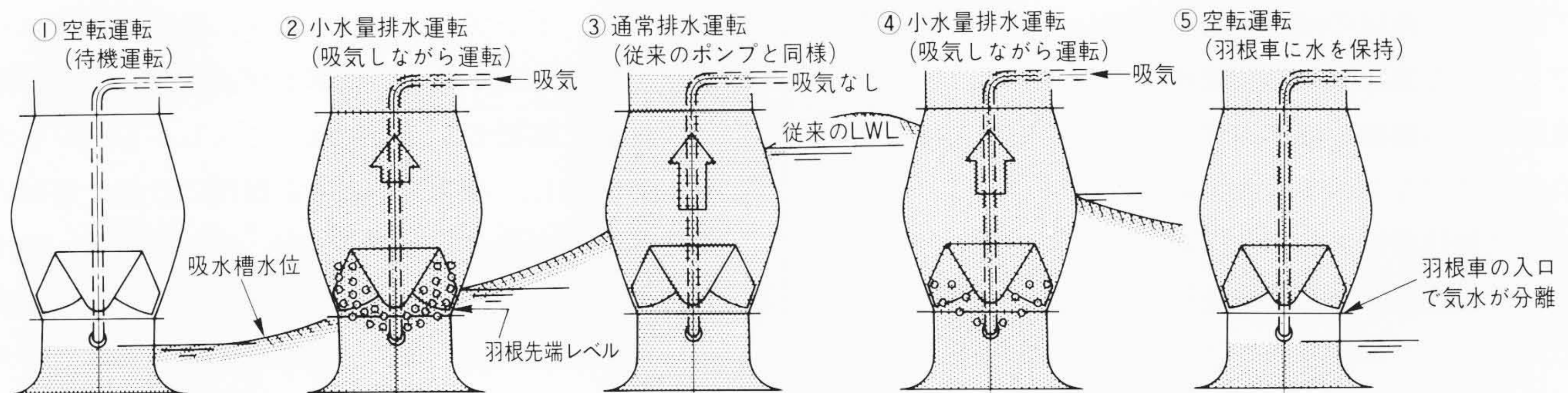


図1 全速先行待機運転ポンプの構造 吸気管部は可動部のないシンプルな構造を採用した。高い信頼性を確保している。

要となる。この機能を満たすため、ポンプ揚水に空気を混合しポンプ吐出し量を変化させることにより、吸水槽水位に無関係に安定した運転ができる技術を開発した。

全速先行待機運転ポンプの構造を図1に示す。空気混合のため吸気管の一端をポンプ羽根車下部に開口させ、他端を大気に開放させたシンプルな構造を採用している。羽根車下部の吸気孔は、比較的流れが安定している吸込ケーシングの約半分の位置まで突出させ、安定した吸気ができるよう考慮している。



注：略語説明 LWL（規定水位）

図2 全速先行待機運転ポンプの運転モード模式図 おおのこの運転モードは吸水槽水位によって自動的に変化し、特別な制御装置を必要としないシステムとしている。

吸気による全速先行待機運転ポンプの運転モードの変化を図2に示す。ポンプ内部への吸気量は大気圧と羽根車下部との圧力差で決まり、吸水槽水位がLWL(規定水位)よりも低い場合、羽根車下部圧力は大気圧よりも低くなるため吸気量が増加し、ポンプ吐出し量が減少する(同図の②、④参照)。さらに吸水槽水位が低下し、吸気量がある一定量以上になるとポンプは揚水不能となり、空転運転に移行する(同図の⑤参照)。これらの運転モードは吸水槽水位によって自動的に変化し、特別な制御装置を必要としないことが大きな特長の一つである。

2.2 システム簡素化技術

排水ポンプは、洪水時に確実な排水運転を行う必要がある。そのためには、システムを簡素化し、補機、センサ類の削減、運転操作の簡略化を図り、システム全体の信頼性向上を図る必要がある。従来システムと簡素化技術適用時のシステムフローの比較を図3に示す。排水ポンプシステムの簡素化技術としては、無給水セラミック軸受、空冷減速機、ガスタービン駆動ポンプなどがあり、従来はおおむね口径2,000 mmまでの揚・排水ポンプ設備に適用されていた。

しかし、大容量ポンプではポンプ主軸径が大きくなり、従来のソリッド型の炭化ケイ素セラミックス製軸受、タングステンカーバイド製主軸スリーブは製造設備の面から製造が困難となってきた。そのため、軸受直径1,000 mmまで適用できる新しい構造の大容量ポンプ用大径セラ



注：略語説明 WC(タングステンカーバイド)

図4 直径500 mmの大径セラミック軸受 軸受内径500 mmのセグメント型セラミック軸受とWC溶射スリーブの実物を示す。

ミック軸受と主軸スリーブを開発した。

セラミック軸受は、大径化に有効なセグメント型真円軸受とし、炭化ケイ素セラミック片を軸受ケース内に充てん剤で密着する方法とした。また、軸受ケースの外周に弾性体(ゴム板)を取り付けて弾性支持することにより、衝撃荷重や軸受の片当たりによる集中荷重を緩衝できる構造とし、かつ適正な軸受剛性を確保した¹⁾。

主軸スリーブは、ステンレス製母材にタングステンカーバイドの溶射皮膜を形成する方法とした。しかし、従来の溶射皮膜では皮膜の硬度が低く、土砂を含む潤滑条件では耐摩耗性の問題があった。そのため、溶射後熱処理を施して皮膜の硬度を増すことにより、耐摩耗性を向

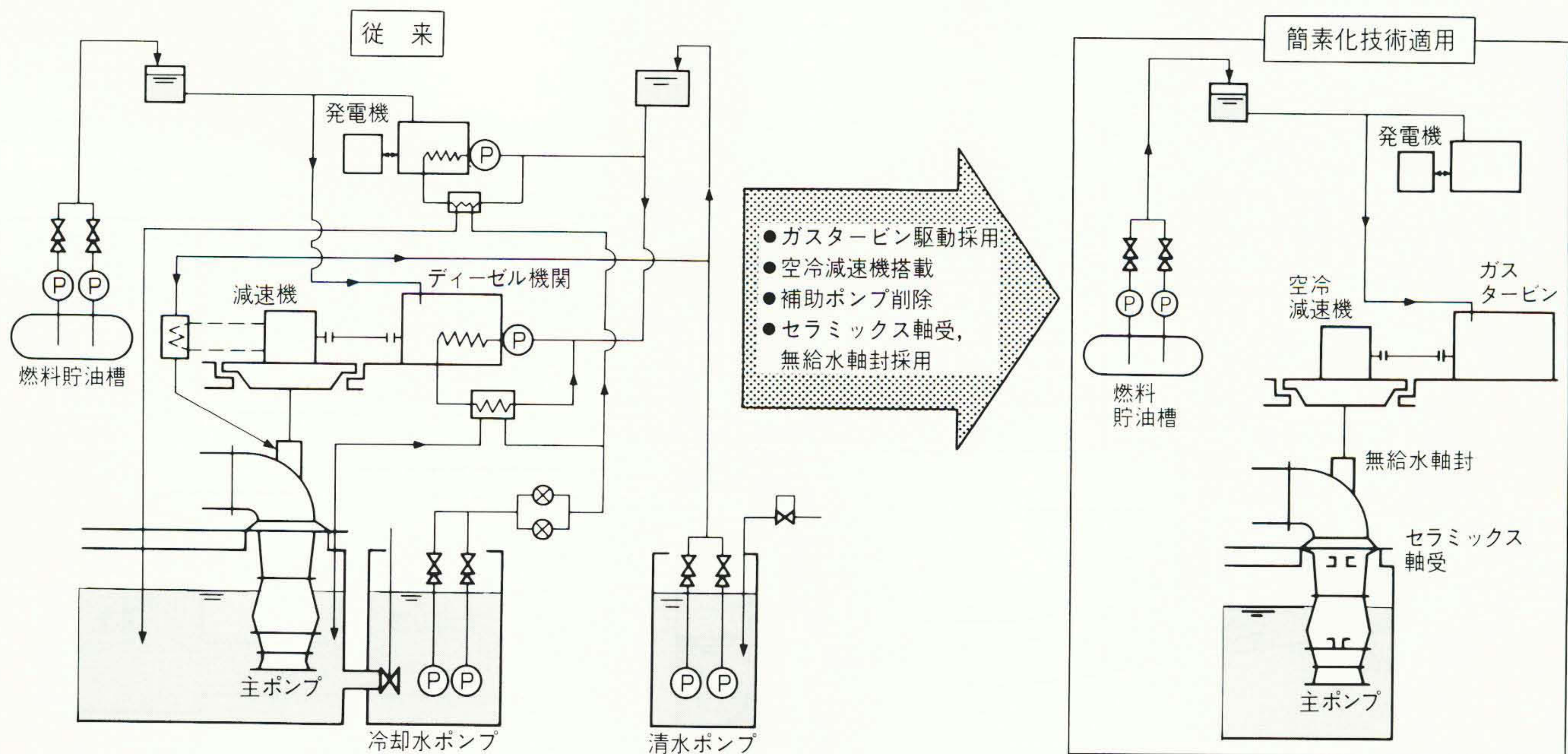


図3 簡素化技術適用時のシステムフローの比較図れる。

簡素化技術適用によってシステムが大幅に簡素化でき、信頼性向上、省スペース化が

上させる技術を開発した。この技術により、従来のソリッド型タングステンカーバイド主軸スリーブと同等の耐磨耗性を持つ溶射皮膜形主軸スリーブが製作できるようになった²⁾。

以上の技術を用い、口径4,600 mmの大型軸流ポンプ用として、直径500 mmの大径セラミック軸受を国内で初めて適用した。実物の外観を図4に示す。

3 広域排水システムシミュレーションシステム

洪水は降雨量をはじめ、立地条件、流入管路、排水ポンプ容量など、さまざまな要素が複雑に絡み合って発生することから、排水システムの計画に際しては、各施設の最適規模、運用方法の計画が最も重要な課題となる。

日立製作所は、雨水の流出からポンプ排水まで一貫した広域排水シミュレーションシステムを開発し、最適排水システム計画の支援ツールとして適用している。

広域排水シミュレーションシステムの概要を図5に示す。各シミュレーション技術の特徴について以下に述べる。

3.1 流出量シミュレーション技術

流出量シミュレーションは、降雨量データから河川、流入管路への流出量を予測するものであるが、雨水の流出量は、地表の状態、地形などによって異なるため一義的に予測することは困難である。そこで、修正RRL (Road Research Laboratory)法、タンクモデル法、重回帰モデル法など種々のモデルを準備し、実際の降雨量

と流出量の関係に最も近い高精度なモデルを選択できるように考慮している。

この流出量シミュレーション技術を用いることにより、既存のさまざまな降雨量データから流入管路への流入ハイドロ (流入量の時間変化) を精度よく予測することができる。

3.2 流入排水シミュレーション技術

流入排水シミュレーションは、降雨量から求められた流入ハイドロ、システムを構成する立坑、水路などの形状データ、排水ポンプの容量・台数などの条件をもとにポンプ水路系の水理挙動を解析する技術である³⁾。

このシミュレーションの特長は以下のとおりである。

- (1) 近年、流入管路の貯留能力を最大限に活用するため、開水路、閉水路双方の運用となることが多いが、その両者が共存する水路系の水理挙動解析が可能である。
- (2) 管路は単一管路だけでなく、合流、分岐のある樹状管路も解析可能である。
- (3) ポンプの始動・停止、非常停止時などの過渡状態の解析も可能である。
- (4) ポンプ運転モードとしては、台数制御、回転数制御、および翼角制御が設定できる。

シミュレーション結果の一例を図6に示す。

このシミュレーション技術により、あらゆるパターンの過渡的水位変動のシミュレーションが可能となり、最適なポンプ容量、台数および運転方法の計画検討を行うことができる。

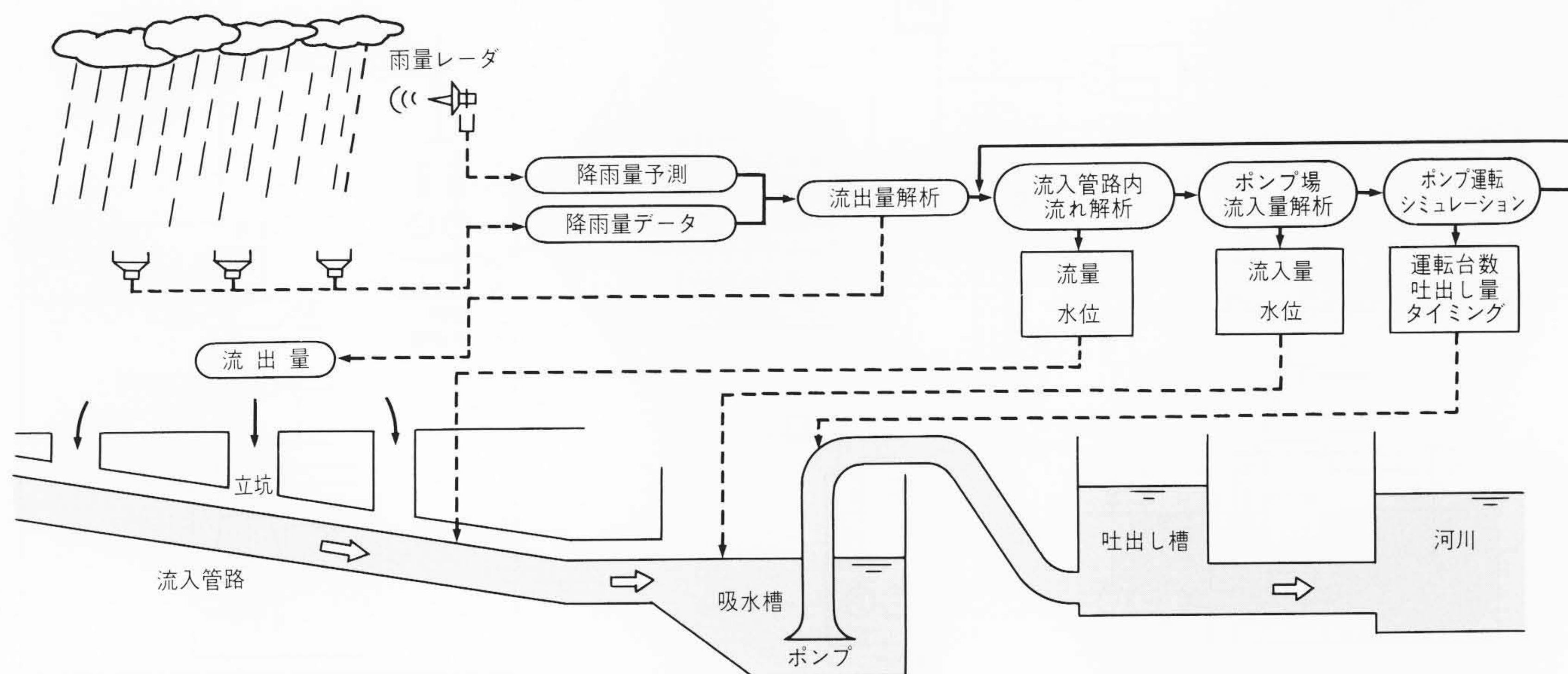


図5 広域排水シミュレーションシステムの概念 降雨による雨水の流出からポンプ排水運転まで、一貫したシミュレーションを行うものである。

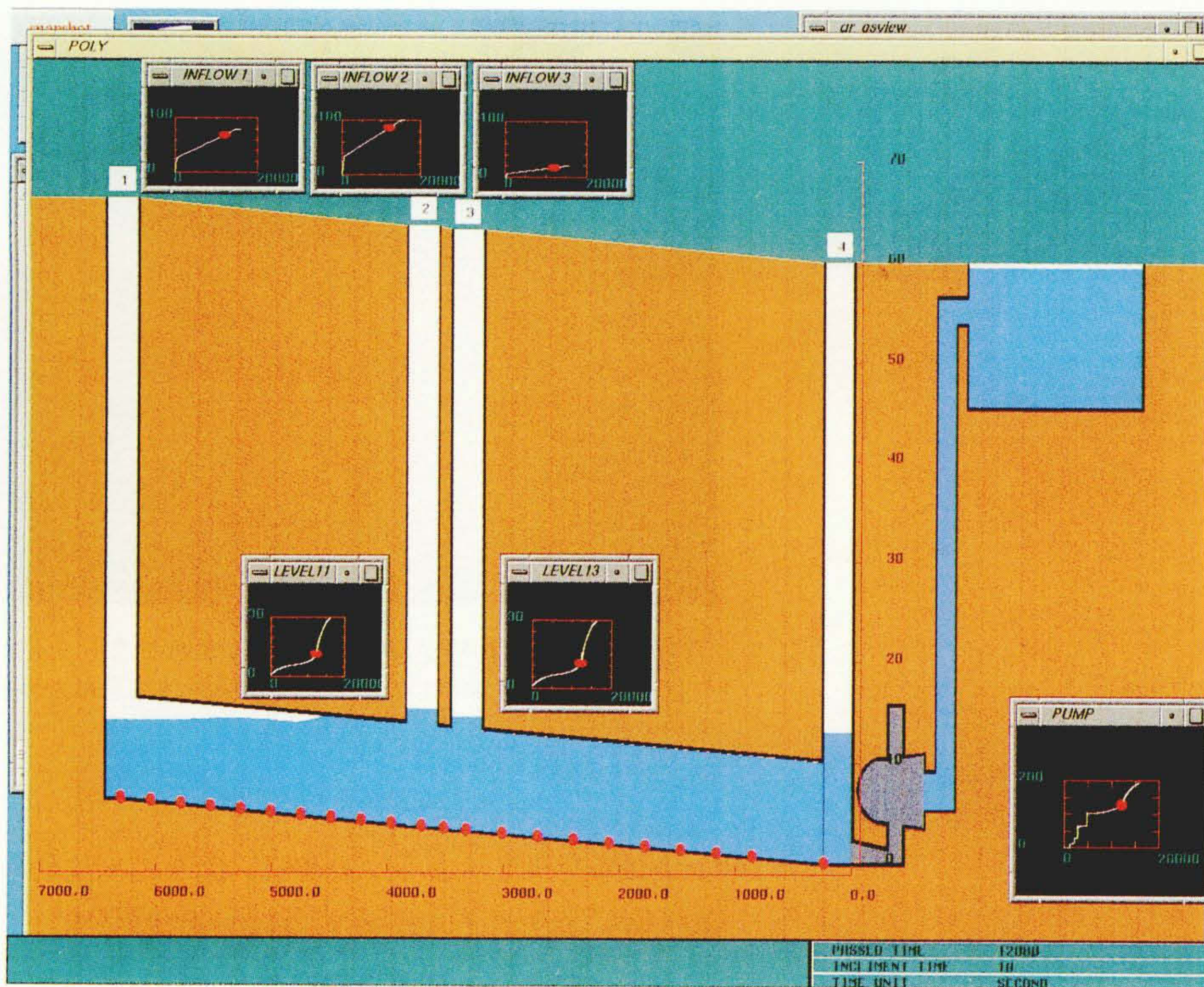


図6 流入排水シミュレーション結果(例) 開水路、閉水路が共存する水路の流入排水シミュレーション結果を示す。

4 ポンプ吸込・吐出し流路の流れシミュレーション技術

都市部にポンプ場を建設する場合、用地の確保が困難であることから、計画時点で省スペース化を検討する必要がある。省スペース化を実現するためには、ポンプ自体の高速・小型化、前記システム簡素化技術の適用はもとより、ポンプ吸込・吐出し流路の高流速化による小型化が重要な課題である。

従来、流路の流れ状態は模型実験によって確認を行っていたが、近年のコンピュータの進歩により、有限要素法、差分法を用いた三次元流れ解析による精度の良いシミュレーションでの確認が可能となった。

4.1 ポンプ吸水槽流れシミュレーション技術

自由液面を持つポンプ吸水槽では、流速の増加に伴って自由液面からポンプ吸込口へ向かう空気巻き込み渦が発生し、ポンプの性能低下、異常振動、騒音が生じることにより、ポンプの運転が不能になる場合がある。ポンプ吸水槽の計画に際しては、渦発生限界を評価する必要があるが、従来は模型実験によって確認するにとどまっていた。

このような実験的手法から脱却するため、自由液面からの空気巻き込みモデルを適用した三次元乱流解析プログラムを用い、ポンプ吸水槽の流れをシミュレーションできる技術を開発した⁴⁾。

このシミュレーションにより、ポンプ吸水槽での流速分布、渦の発生位置を予測することができ、計画時点か

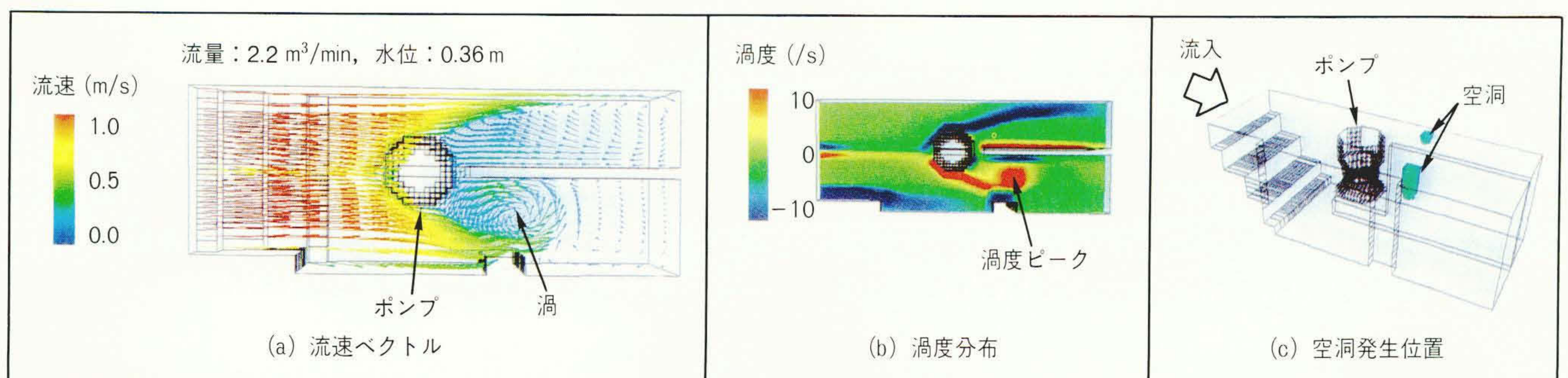


図7 ポンプ吸水槽流れ解析結果(例) 自由液面を持つポンプ吸水槽での渦の発生位置をシミュレーションによって予測できる。

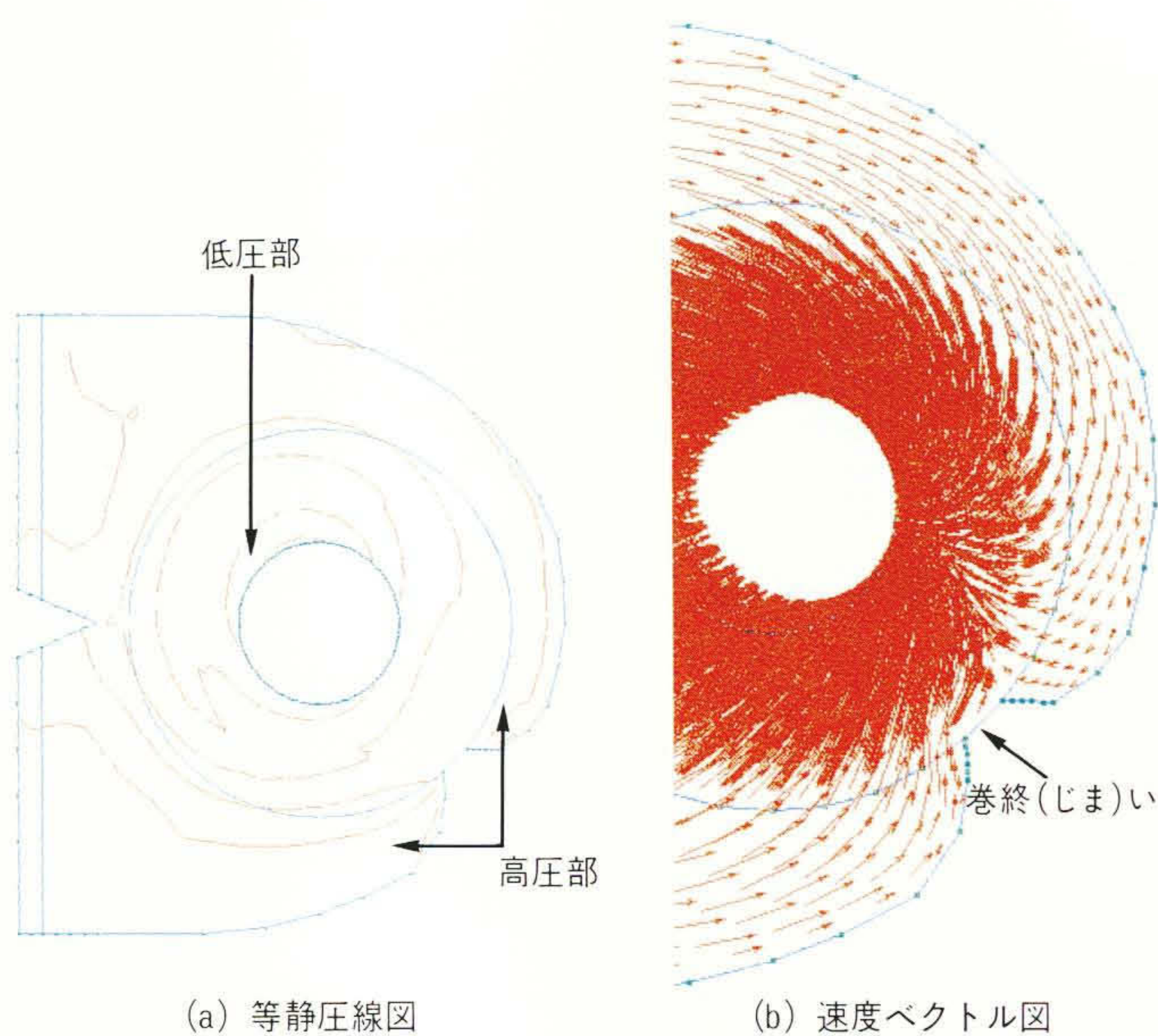


図8 傘形非対称吸込流路の流れ解析結果 等静圧線図と速度ベクトル図を示す。速度ベクトル図から外周壁に沿って流れ込む様子がわかる。

ら高流速化に対応できる最適な形状・寸法の検討、渦流防止装置の検討が可能となった。

このプログラムを用いたシミュレーション結果の一例を図7に示す。

4.2 ポンプ吸込・吐出し流路流れシミュレーション技術

大型のポンプでは、傘形のクローズ型吸込流路やへん平ベンド形の吐出し流路などが用いられる。これらの吸込・吐出し流路の性能についても、従来は模型実験による確認が主であったが、三次元流れ解析によってさまざまな形状の流路の流速分布、圧力分布、損失水頭の演算およびシミュレーションができる技術を確立した⁵⁾。

傘形非対称吸込流路の速度ベクトル、等静圧線のシミュレーション結果を図8に、模型を用いたトレーサ法による流れの可視化実験結果を図9に示す。図8の速度ベ

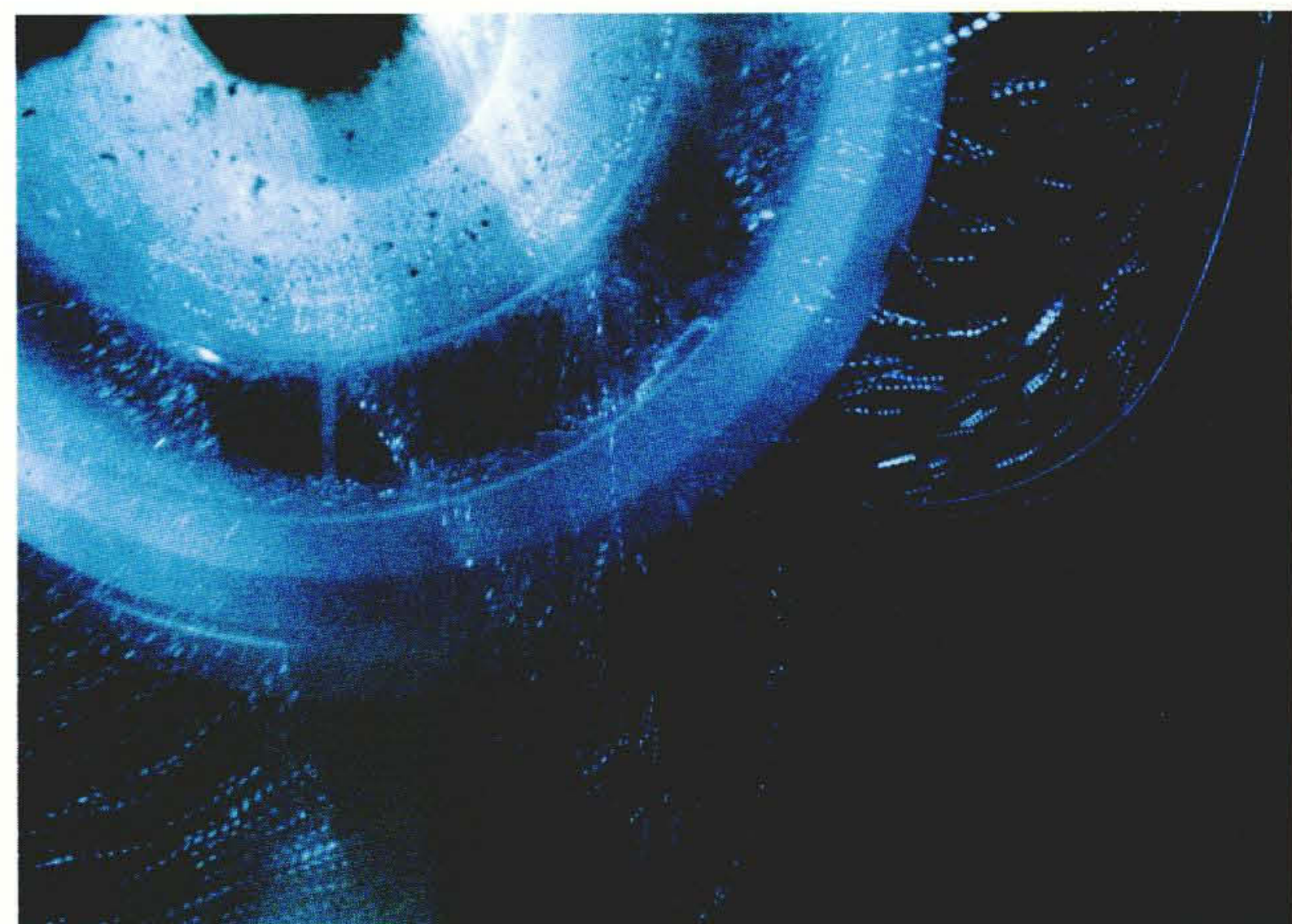


図9 傘形非対称吸込流路の可視化実験結果 流れの可視化はトレーサ法を採用した。この図は吸込流路底部から撮影したものである。

クトルシミュレーション結果は、図9の実流動をよく再現していると言える。また、吐出し流路に関しても同様のシミュレーションが可能である。

以上のように、このシミュレーション技術を用いることにより、高流速化に対応する最適な吸込・吐出し流路の形状、寸法の検討を行うことができる。

5 おわりに

以上、都市型洪水防止システムの多様化、高度化したニーズに対応した新たな技術開発の一端について述べた。今後は、環境保全や大深度地下利用の大容量排水ポンプシステムなど新たなニーズ、事業がよりいっそう活発化すると予想されるが、今回述べたハード、ソフト双方のシステム技術をさらに充実させ、人や環境に優しく、かつ信頼性の高い、経済的で使いやすい排水ポンプシステムの確立を図っていく考えである。

参考文献

- 1) 会沢, 外: 大径セラミック軸受の耐摩耗性, 日本機械学会第70期通常総会講演論文集(IV) (1993)
- 2) 岡田, 外: WC-NiCr溶射膜の硬さと耐摩耗性に及ぼす影響, 日本金属学会秋期大会講演論文集 (1992)
- 3) 真鍋, 外: 開水路と閉水路の共存する水路の非定常流解析, 日本機械学会, 精密工学会共催日立地方講演会講演論文集 (1992)
- 4) 岩野: 渦による自由液面からのガス巻き込み現象の発生条件評価, 日本機械学会第70期通常総会講演論文集 (1993)
- 5) 三浦, 外: ポンプ吸込流路への流れ解析の適用, 日本機械学会第69期通常総会講演論文集 (1992)