

最近の上下水道用ポンプ及びブロワ設備

Recent Trends of Pumps and Blowers for Water Supply and Sewerage Systems

最近、上下水道設備の対象地域の拡大に伴い、使用されるポンプ及びブロワは大容量化の傾向にある。また、環境対策、省資源、省エネルギー及び省力化の社会的要求が機械設備の計画上、あるいは機械の構造上に新たな影響を与えている。

この論文では、上下水道設備に用いられる代表的なポンプ及びブロワ設備に関して、現状及び将来の技術的動向について概括的に述べる。

神津修二* Kôzu Shuji
小松健彦** Komatsu Takehiko
桑原勅光** Kuwabara Norimitsu
土居弘毅** Doi Hiroki

1 緒 言

最近の上下水道設備の傾向として、対象地域の広域化が挙げられる。更に、環境対策、省資源、省エネルギー及び省力化の一般的な要素がこれに加わっている。これらを背景として、上水道ポンプでは、大容量化、高揚程化の傾向にある。長距離の複雑な管路に対する水撃解析技術の高度化、低騒音、低脈動化の要求の増大及び瞬時停電対策などがシステムとして強く要求されるようになった。

一方、下水道用ポンプも大容量化の傾向とともに、小形化、良好な異物通過性などに対する要求が強くなってきている。

また、ブロワについても大容量化の傾向にあり、従来ほとんど採用されなかった増速型単段ブロワが採用されるようになった。これら、上下水道用ポンプ及びブロワについて、最近の動向を述べる。

2 上水道用ポンプ

2.1 背景概況

水道事業は、国民生活水準の向上と産業の発展により大都市を核とし、その周辺の衛星都市に向かって著しい発展を遂げており、将来もこの傾向が続くと予想される。

一方、大都市の人口の集中化は上水道設備の拡充を更に上回り、水の事情が季節、又は地域的降雨の影響を強く受けることも相まって、しばしば水不足の状態に見舞われている。このような状態を少しでも緩和し、住みよい都市開発を行なうため、従来の上水道設備には見られなかった種々の送水プロジェクトが立案、実施されている。ここでは、最近設置されている上水道用ポンプについての傾向を述べる。

2.2 上水道ポンプの一般的傾向

(1) 大形横軸化

水資源の欠乏とも相まって、従来地域ごとの取水、浄水化を行なっていたが、最近では広域の需要を一括集約して扱う傾向が強くなり、一つの県、又は複数の市への送水を限られた数箇所の取水でまかなう方式が採用されるようになってきた。このため、設備は大規模となり経済性、省力化の要求からもポンプは大形化の傾向にある。また、ポンプ形式としては従来据付面積の縮小、吸込性能、騒音対策の問題などから、立て軸ポンプの採用が多くみられたが、近時、保守及び維持費の軽減を重視する傾向にあり、横軸ポンプの採用が多くなった(表1)。このため、ポンプは地下に配し上階を電気室とすることにより機場スペースの軽減を行なうとともに、吸込性能及び騒音対策の問題解決を図る傾向にある(図1)。

能及び騒音対策の問題解決を図る傾向にある(図1)。

(2) 送水系の長距離化、及び複雑化

近時、河川の汚染と水資源確保の困難なことから、上水道用水源もしだいに需要地域から遠く離れた地点に求めざるを得なくなり、送水距離は長大化の一途をたどっている。したがって、送水ポンプの大形化、高揚程化はむろんのこと送水管圧の均衡、経済的な送水面から大規模な中継ポンプ場が計画されている。このように、複雑多岐な送水形態と管路の大きな高低差のため、停電時の水撃などの水理的過渡現象に対

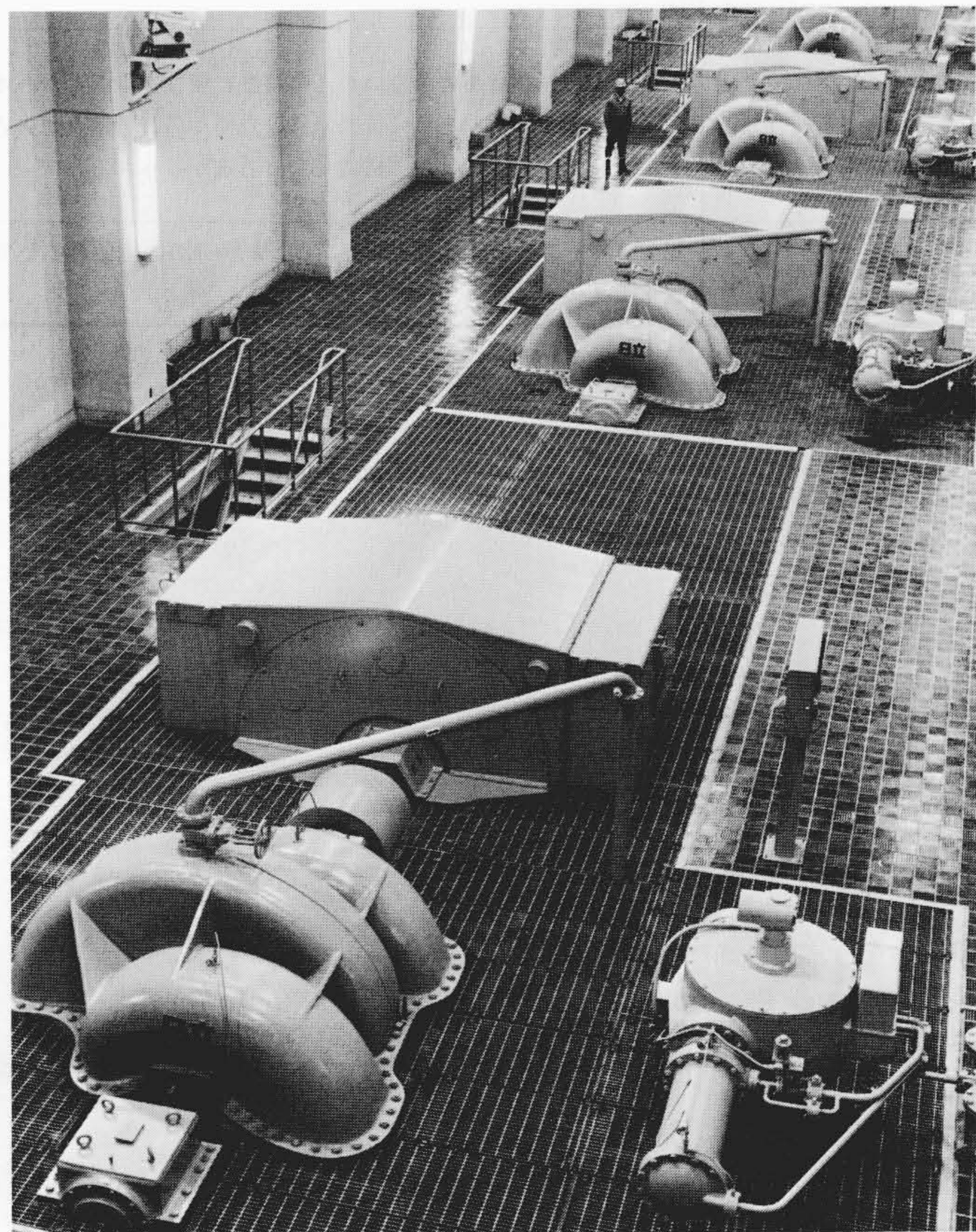


図1 神奈川県広域水道企業団相模原ポンプ場納め送水ポンプ
広域送水を目的とした1,500mm×900mm横軸両吸込うず巻ポンプ(4,600kW)を示す。ポンプは地下に配置され、上階を電気室としている。

* 日立製作所機電事業本部 ** 日立製作所土浦工場

表1 横軸ポンプと立て軸ポンプの比較 保守を重視すると横軸ポンプが、用地に制約がある場合には立て軸ポンプが好ましいことが分かる。

区 分	横 軸 案 (両 吸 込 う ず 巻 ポ ン プ)	立 て 軸 案 (片 吸 込 う ず 巻 ポ ン プ)
1. 略 図		
2. 所 要 ス ペ ース	ポンプと電動機が平面上に並ぶため広くなる。すなわち、L(長さ)寸法が大となる。(100%)	ポンプと電動機が立体上に配されることから狭くてよい。すなわち、L寸法が小さくなる。(40%)
3. 保 守	ポンプと電動機を単独に分解することができ、保守、点検が容易である。(100%)	ポンプの分解時、電動機も分解する必要があり手間がかかる。(250%)
4. 土 木 構 造	上図に示すように、同一床上に据え付けられることから、構造は簡単となる。ただし、地下機場となれば立て軸形と大差ない。	ポンプ床、電動機床と二床式となることが多く(機械荷重の分散面上)、土木構造は複雑となる。また、機械のH(高さ)が大きくなることから建屋高さも大となる。
5. 吸 込 性 能	一般的には、吸水位より上位にポンプを据え付けられるケースが多く、吸込性能、満水操作必要などの不利がある。このため、ポンプを吸水位より落とし地下機場とすることが大形ポンプには多くみられる。	ポンプは吸水位に対して任意のレベル配置ができ、吸込性能満水操作不要となる一方、電動機を吸水位やグランドレベルより上位に配することが容易なため電動機の冠水防止にも好ましい。
6. 騒 音	機械音は縦、横とも差はないが、電動機と隣接することからポンプ室内の音が高くなる不利がある。また、建屋外部への音の漏れが大きくなる傾向が強く、対策としては地下機場とする方法がとられる。	ポンプと電動機が別室となることから、音の分散遮音が大きく、室内騒音の軽減、外部への漏音も小さくなる。
7. 適 用 機 場	据付スペースが広くなる不利はあるが、保守の面で優れている。特に大形化すると吸込騒音上から地下機場が好ましい。	保守に難があるが、大形機や用地の狭い機場に最適である。

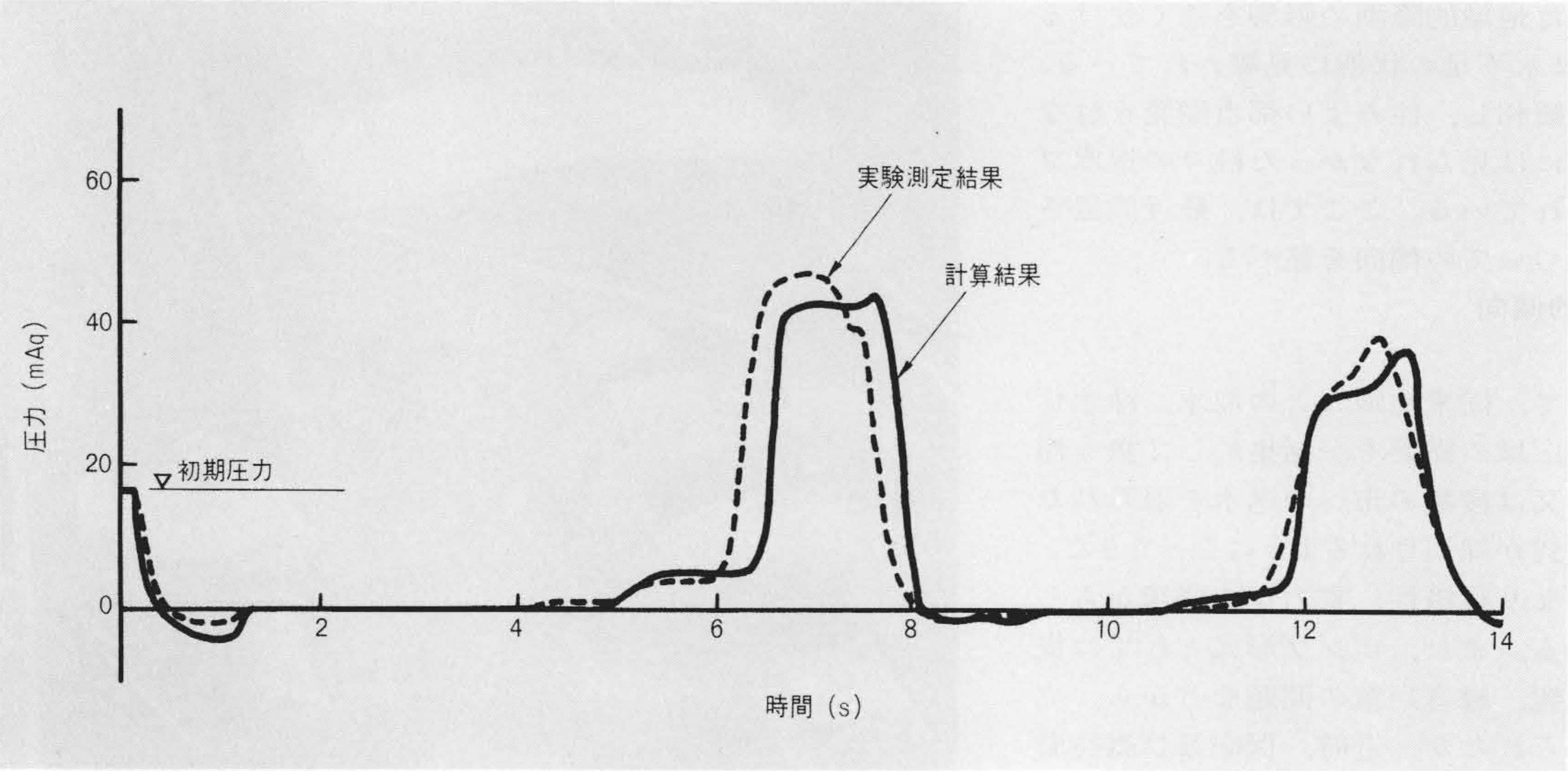


図2 空気弁による水撃軽減の実験と計算値の比較 送水距離850mの実験装置での実測値と、電子計算機による理論計算値を示す。両者がよく合っていることが分かる。

し、コンピュータによる詳細な解析が必要となり、また、送水管の水撃対策設備の大形化も目立つようになった。なお、比較的平坦で長大な送水管路で従来より用いられているサージタンクの代わりとして、空気弁を用いた水撃対策が実施さ

れるようになった。これは空気弁を使用した場合の水撃の理論解析技術が進歩したためで、今後長大な複雑高揚程送水管路でもサージタンクなどの用地確保の難しい送水系を持つ設備では、空気弁による水撃対策が多くなるとされる(図2)。

(3) 低騒音化

近時、公害問題が大きくクローズアップされるにつれ、社会的に騒音に対する関心も高まる中で、ポンプ設備についてもその例外でなく、ポンプ機場の近くまで民家が建られる現状のもとでは、騒音公害に対し計画段階から十分に考慮を払い、住宅地域で40～45dB(A)の騒音規制値を満足させることが普遍化しつつある。そのため、ポンプ機場内での主騒音源であるポンプ及び電動機本体の低騒音化の研究、開発が古くから行なわれ、現状ではほぼ完成の域にある。しかし、40dB(A)程度の低騒音になると空中騒音の対策だけでは満足できず、特に送水管の水圧脈動に起因する脈動、振動の固体騒音が問題となる。そのため、固体騒音の解明と低脈動化は低騒音化機場の重要なポイントであり、これらの解明と低脈動化技術の確立が近時行なわれてきたことにより、低騒音化機場の計画が容易になってきた。また、低脈動化はポンプ本体だけでなく送水管形状、機場土木構造などを含めたトータルシステムとしての低騒音化技術であり、今後の騒音対策の方向を示すものであると言える^{1), 2)}。

(4) 自動制御化

給水量の季節的、又は時間的変動に対して送水量を追従させ、きめ細かく圧力を維持することは上水道ポンプの重要な使命である。このために吐出し圧力、水位あるいは管路末端圧を目標値としてポンプ台数及び吐出し弁制御あるいはポンプ速度制御が行なわれてきた。しかし、ポンプ駆動システムのサイリスタ化と制御装置がアナログ方式からマイクロコントローラによる直接デジタル制御(DDC)へ進歩しつつあること、及び上位計算機システムとのハイアラキ構成の発展によって長距離送水系あるいは複雑な管路網中のポンプが、水道システム全体とバランスを保ちながら、最適運転を行ない、異常時にも迅速かつ適切な処理を行なうよう中央から管理し、省力化を図るようになってきている。

また、特に静止セルビウスシステムにより駆動される場合、瞬時停電によってポンプが停止に至るケースがあり、このため断・減水、濁水の発生が広範囲に及んだ例がある。これを防止し安定な給水とサービスを保ち、管理員の負担の軽減のために駆動電動機システムの瞬時停電対策が重要となった。図3に示すサイリスタクレーマ³⁾、及び瞬時停電対策を施したサイリスタセルビウスシステム⁴⁾がその信頼性の向上と相まって、ますます多く採用される傾向にある。

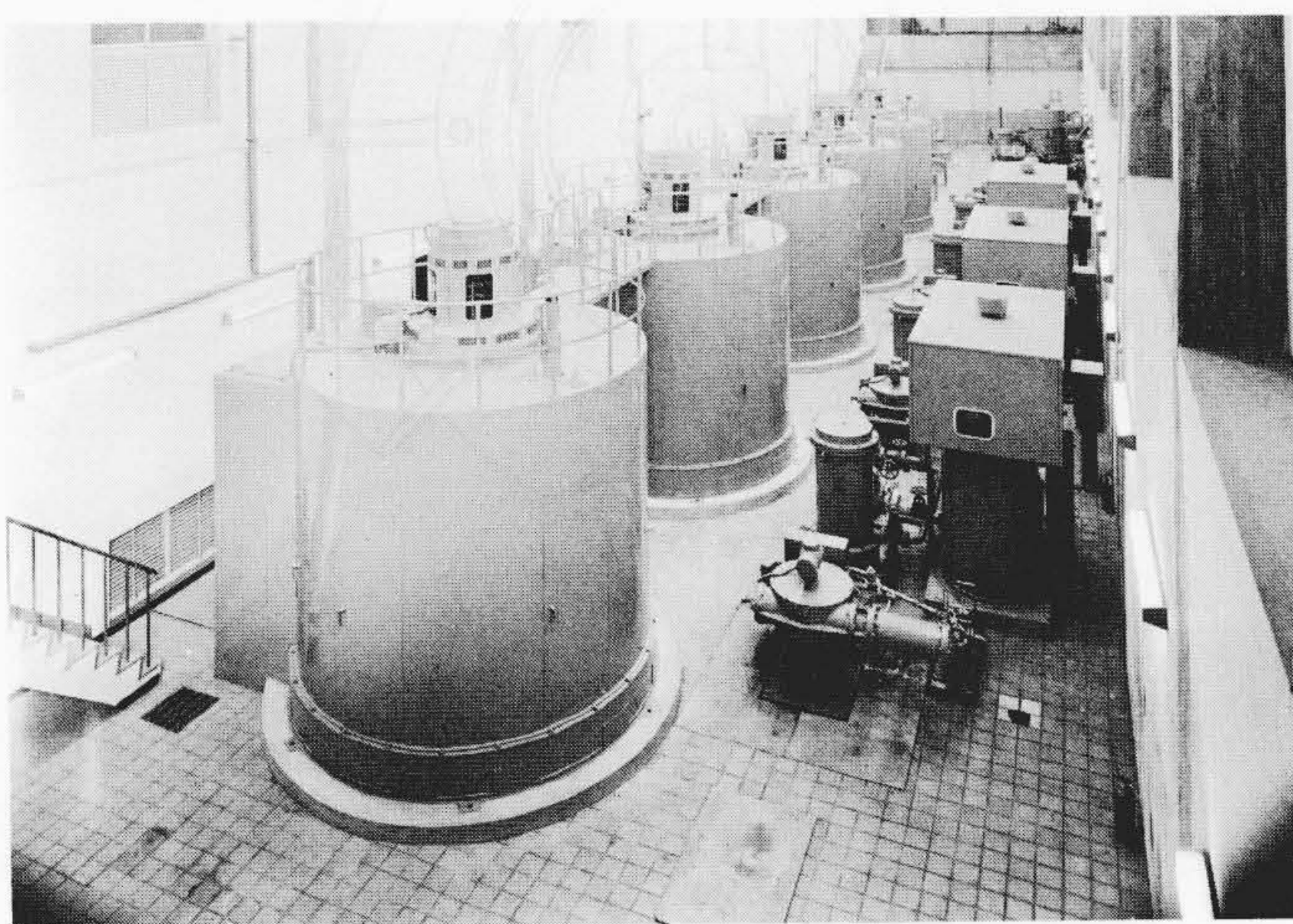


図3 東京都水道局三園浄水場送水ポンプ用1,900kW電動機 瞬時停電対策を行なったサイリスタクレーマによる速度制御方式が採用されている。

3 下水道用ポンプ

3.1 背景概況

下水道の整備は、近年環境に対する認識の高まりを背景に、政治行政上の重要課題として強力に推進されるようになった。一方、人口の大都市集中化により市街地は拡大し、都市単位の公共下水処理設備は大規模化している。また、複数の市町村の下水処理を1箇所に集約化する流域下水の普及により、終末の処理場の規模は大形化している。市街化地域の拡大や流域下水の普及による対象域の拡大により、自然流下だけで下水の流入を図ることは、終末処理場を地下深く設ける必要が生じ、土木工事費上不可能な場合が多い。したがって、中継ポンプ場の必要が増大してきた。

終末処理場の大規模化及び中継ポンプ場の増大が下水道の一般的傾向である。この傾向をポンプについて更に展開して考えてみる。

3.2 ポンプの傾向

下水道用ポンプは、雨水ポンプ、汚水ポンプ及び汚泥ポンプの3種に大別される。ここでは雨水ポンプと汚水ポンプを取り上げる。

終末処理場の大規模化は、必然的に雨水及び汚水ポンプの大容量化につながっている。また、終末処理場は自然流下を最大限に利用する関係上、低湿地や埋立地などの地盤のあまり良くない所に設置されることが多い。加えて、雨水ポンプや汚水ポンプは処理場の最下部に設けられるため、ポンプの小形化は土木工事費低減に与える影響は大きい。更に一步進めて、単にポンプの据付面積の低減だけでなく地下最下部に設けられる沈砂池も最小限のものにする要求が、規模の大形化に伴い従来以上に強いものになってきており、ポンプの土砂などに対する耐摩耗性向上の要求が強くなってきている。

増加する中継ポンプ場に対しては、市街地付近に設けられることも多いため、敷地入手難から、終末処理場ポンプと同様にポンプ据付スペースの低減、沈砂池の縮減が要求されてきている。

また、中継ポンプ場では、下水中の浮遊夾雑物や汚物をできる限り個々のポンプ場でスクリーンにより除去することなくポンプ内を通過させ、終末処理場まで流下させることが望まれる。したがって、ポンプとしては通過性の向上が要求される。更に、地形によっては下水の圧送が必要となる場合があり、圧送しない通常のポンプ全揚程が10～20mであるのに対し、圧送の場合は40mの要求も出てきている。

3.3 ポンプ形式及び構造

3.3.1 雨水ポンプ

雨水ポンプとしては、軸流及び斜流ポンプが用いられ、据付面積の小さいこと、起動操作の容易であること、即応性のあること、原動機の浸水保護の点から立て軸構造が多く用いられている。雨水ポンプは、一般の排水ポンプと基本的に同じであり、排水ポンプに関しては別途⁵⁾詳述されているため、ここでは省略する。

一般の排水ポンプと異なる点は、立て軸ポンプの水中軸受潤滑水の供給方式である。すなわち、一般排水ポンプの場合、市水などの清水供給が得られない場合は、河川水をストレーナ、サイクロン、沈殿槽などにより処理した水を潤滑水として使用している。それに対し、雨水ポンプは、雨量が少なく希釈効果が少ない場合に対しても満足な運転を確保する必要から、前記のような簡易な原水処理法では潤滑水として十分な水質が得られない。したがって、清水節約のためメカ

ニカルシールを用いて潤滑水を回収し、循環使用する方式を採用することがしばしばある。保守、信頼性の点で優る潤滑水放流方式と、清水節約の利点のある潤滑水回収方式との優劣は一概に論ぜられず、いずれの方式を採用するかは、各都市それぞれの判断基準により決められている。雨水ポンプの

適切な運転は、降雨時特に集中豪雨などの場合、排除区域の冠水を防止し、安全を保つために特に重要であるが、従来、管理者の勘と経験に基づく判断にゆだねられていた面が多い。管渠への流入量を的確に予測し、これに基づいて污水ポンプ及び雨水ポンプを適切に運転するアルゴリズム⁶⁾が確立され、

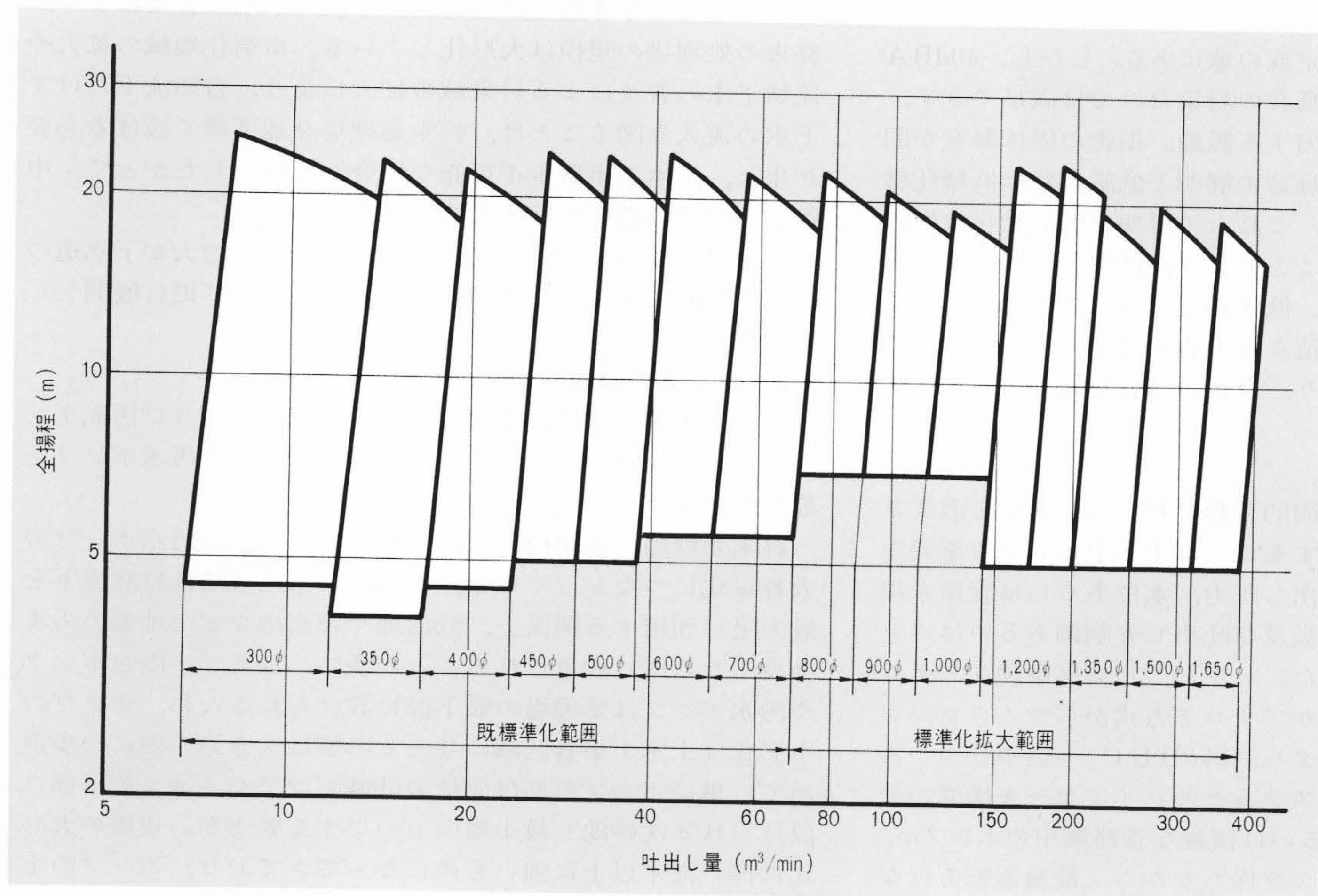


図4 立て軸うず巻斜流ポンプ標準化範囲(50Hz)
立て軸うず巻斜流ポンプの標準化範囲が300mmから1,650mmまでに拡大された。

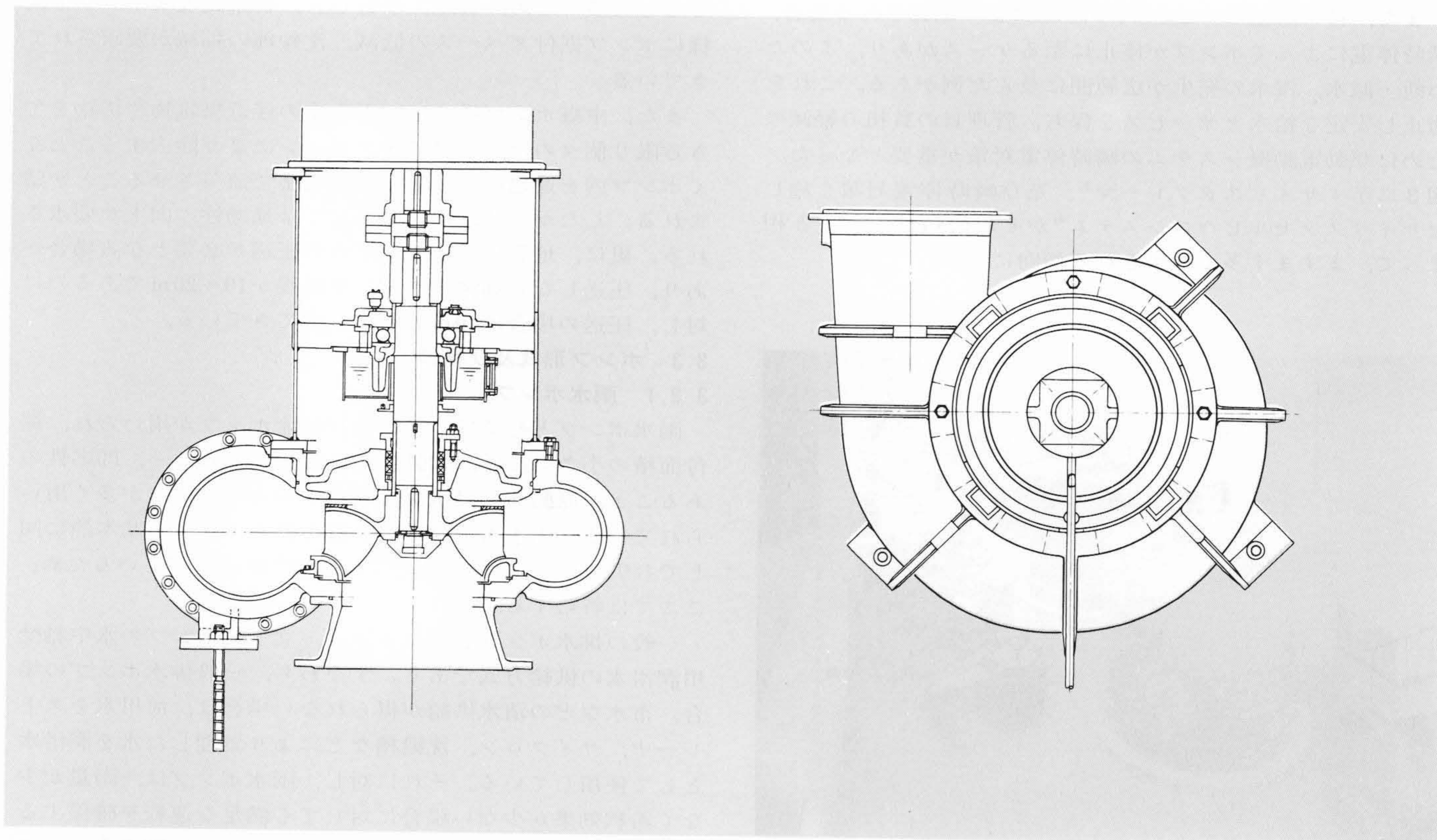


図5 代表的中容量立て軸うず巻斜流ポンプ構造図
状を示す。

従来、一般的であったうず巻斜流ポンプの形

下水道システムの安全はいっそう向上された。

3.3.2 汚水ポンプ

汚水ポンプは、雨水ポンプに比べ異物を相当に含む汚水を扱うため、保守点検の行ないやすさを重視し、かつディフューザ羽根がなく詰まりの心配の少ない槽外型の立て軸うず巻斜流ポンプが採用されることが多い。ポンプの大容量化に対応し、日立製作所では立て軸うず巻斜流ポンプで従来口径300～700mmまで標準化されていたものを、1,650mmまで拡大した(図4)。図5に代表的な立て軸うず巻斜流ポンプの構造を示す。羽根車はオープン型で、耐摩耗性のあるケーシングライナと対面し回転する構造で、土砂などによるかじりつき、異物の詰まりを防いでいる。また、ディフューザ羽根のないうず巻ケーシングを採用し、通過性の良い構造となっている。

ポンプ据付面積の低減の要求に対して、日立製作所ではポンプ中心と吸・吐口を一直線上に並べるとともに、うず巻ケーシングを小形化した立て軸うず巻斜流ポンプを開発し製作している(図6)。このインライン型ポンプを用いると、従来型ポンプの場合に対し建屋面積は約20～30%の低減が可能となる。

中継ポンプ場ごとのスクリーンによる異物除去を、できる限り少なくする目的で、日立製作所では異物通過性の良いポンプの開発を進めている。

圧送による高揚程化に対しては、オープン羽根の強度及びチップキャビテーションに対して十分な配慮が必要である。

4 ブロワ設備

4.1 背景概況

ブロワ設備は、活性汚泥プロセスによる下水処理プロセスで曝気槽に空気を送り、活性汚泥の生存条件を維持するもので、終末処理場に欠かせない設備であるため、高い信頼性が

要求される。年々、下水道施設規模の大形化に伴い大容量化の傾向にあるが、一方、中・小都市の下水道普及率の増大により、中・小容量のブロワの要求の増加傾向も見られる。

4.2 ブロワの仕様及び形式

ブロワに要求される吐出し圧力は、曝気槽の空気吹出しノズルから水面までの高さによる水頭と、ブロワ吐出しフランジから空気吹出しノズルまでの配管内送風による圧力損失水頭の和に必要な余裕を加えたもので、曝気槽の深さにより異なるが、5,000～6,000mmAqである。

風量は下水処理場の規模、及び処理水量の変動状況により異なるが、通常は当初小容量のブロワを1基、あるいは2基設置され、下水道普及に伴う処理量の増加に従い大容量のブロワを増設していく方式が採られているので、台数制御及び吸込弁制御を併用することにより、省電力が図られている。通常、国内ではブロワ1基に要求される風量が約50m³/min以下の場合にはルーツブロワが採用され、同じく風量が約50m³/min以上の場合にはターボブロワが採用される。

ここでは、下水処理場用ブロワの大半を占めるターボブロワにつき述べる。

4.3 直結形多段ターボブロワ

直結形多段ターボブロワは、図7に示すように駆動用電動機にカップリングを介して直結された4～7段の羽根車をもつブロワである。このブロワは、以下に述べる曝気槽用ブロワの特殊要求仕様に適した構造をもち、表2に示すように各々の風量に対し口径、段数がシリーズとして標準化されている。

曝気ブロワに対しては、その公共性より機械の信頼性が第一に要求される。このため、現在では一般産業用ブロワの場合は、通常増速歯車を介した高速単段ブロワが採用されるような仕様に対しても、電動機と直結した3,000/3,600rpmの

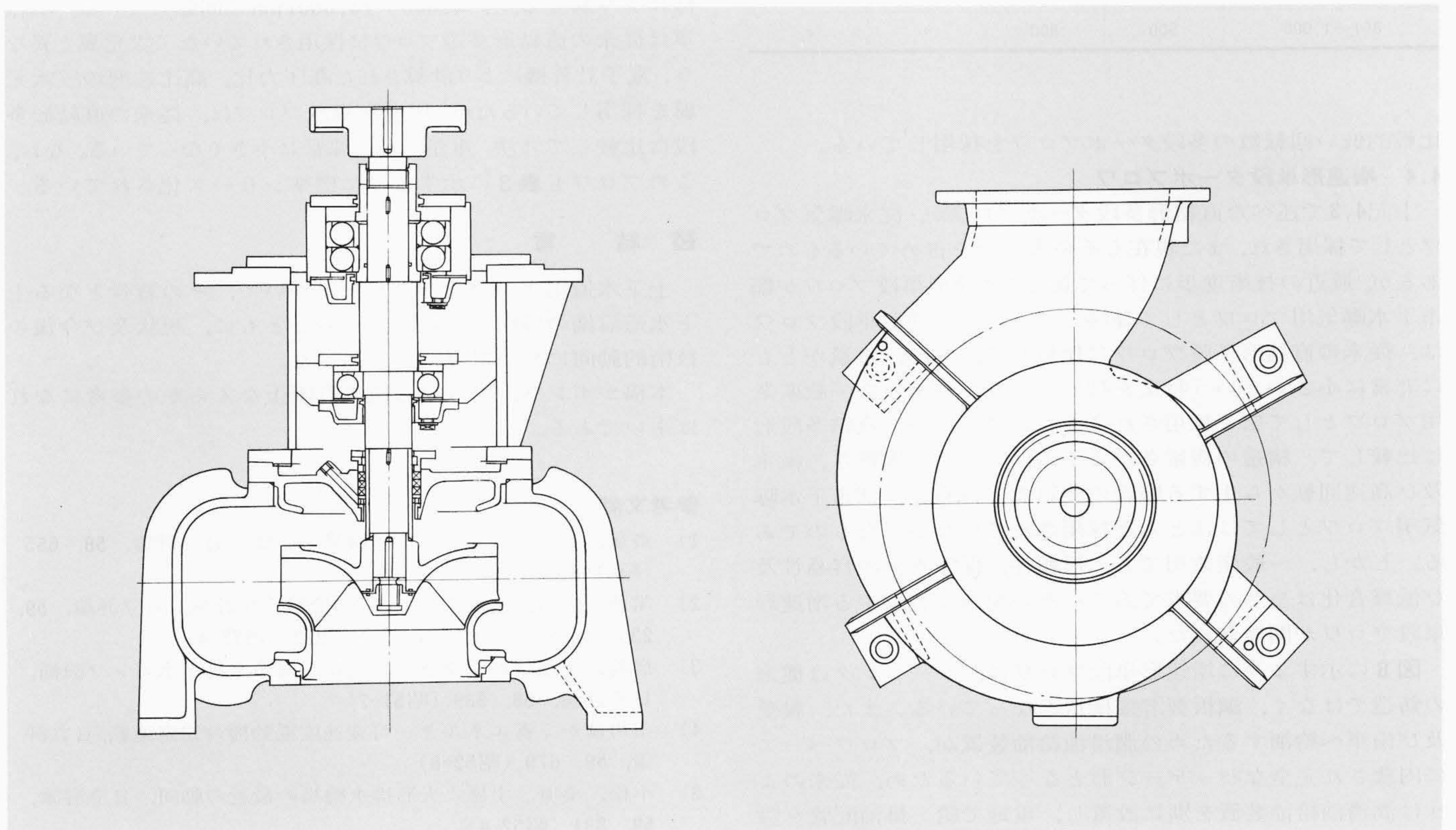


図6 インライン型立て軸うず巻斜流ポンプ ポンプ中心と吸・吐口を一直線上に並べ、据付面積の縮減を図ったうず巻斜流ポンプの新しい形状を示す。

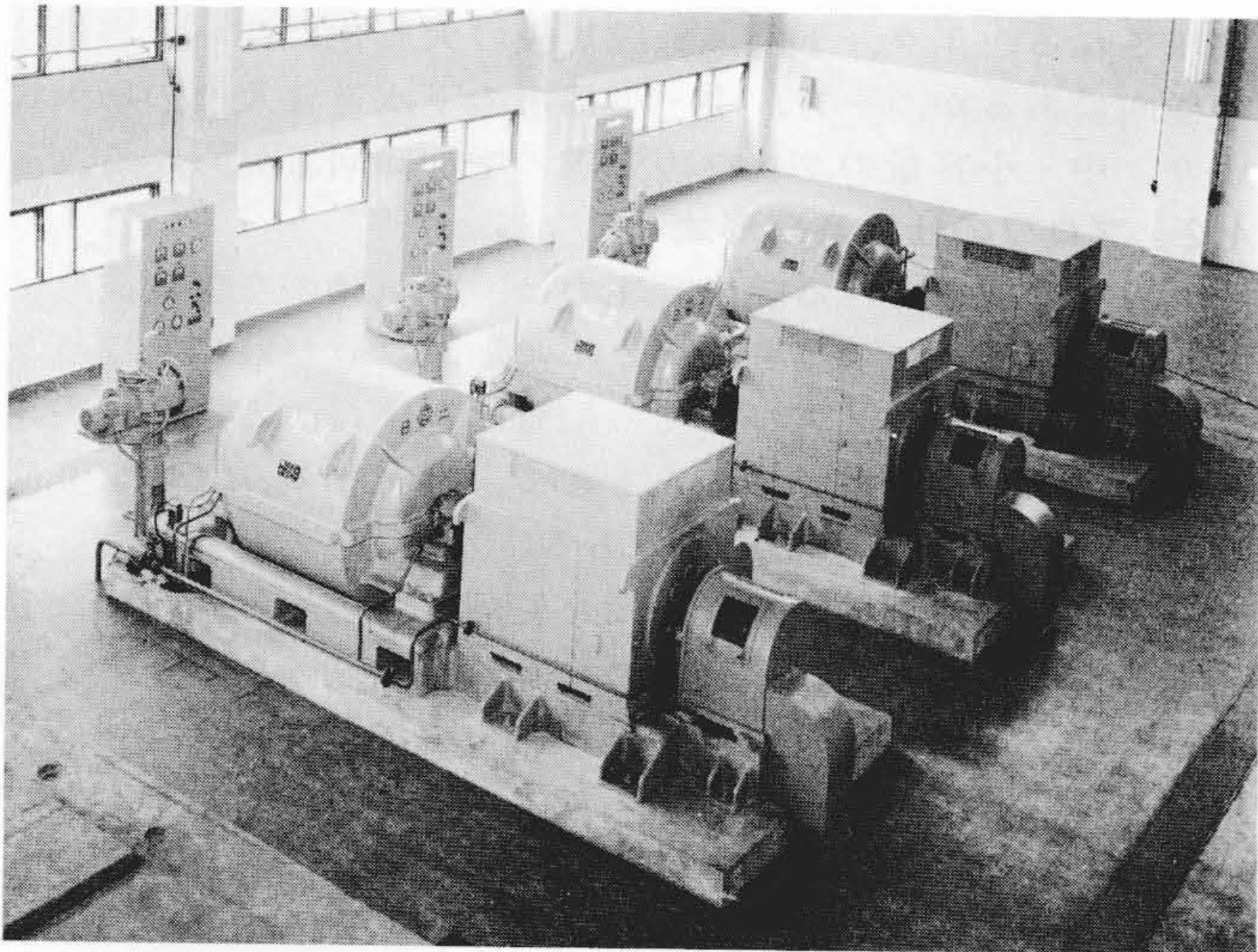


図7 直結形多段ターボブロウ 鋳造ケーシングは二重構造となっており、特に防音カバーを設けなくても低騒音を確保している。

表2 直結形多段ブロウ標準口径及び段数 曝気槽用ブロウの特殊要求仕様に適し、各々の風量に対して口径段数がシリーズとして標準化されている。

風 量 範 囲 (m ³ /min)	標 準 口 径(mm)		標 準 段 数	
	吸 込 側	吐 出 し 側	3,000rpm 50Hz	3,600rpm 60Hz
51～ 110	300	250	6 又は 7	6
111～ 160	350	300	5 又は 6	5
161～ 280	450	400	5	4
281～ 420	600	500	4	〃
421～ 550	700	600	〃	〃
551～ 700	700	600	3	3
701～ 850	800	700	2	2
851～1,000	900	800	〃	〃

比較的低い回転数の多段ターボブロウを採用している。

4.4 増速形単段ターボブロウ

上記4.3で述べた直結形多段ターボブロウが、従来曝気ブロウとして採用され、また現在もその大部分を占めているものであるが、最近の技術進歩に伴って新しく増速形単段ブロウが都市下水曝気用ブロウとして登場してきた。増速形単段ブロウは、従来の直結形多段ブロウに比較して、寸法、重量がともに非常に小さいという特徴を持っており、従来から一般産業用ブロウとして広く採用されてきたのであるが、直結多段形に比較して、構造の複雑さからくる保守点検の困難さ、歯車及び高速回転から生ずる騒音の問題などの点で、都市下水曝気用ブロウとしてはほとんど採用されていなかったものである。しかし、一般産業用でも、信頼性、保守点検の容易性及び低騒音化は当然の要求であり、その要求に合致する増速形単段ブロウが開発された。

図8に示すように増速形単段ブロウは、ケーシングは従来の鋳造ではなく、鋼板製溶接構造となっている。また、軸受及び歯車へ給油するための潤滑油給油装置が、ブロウベースに内蔵され完全なパッケージ形となっているため、従来のように潤滑油給油装置を別に設置し、現地で給・排油配管を設置する必要がなくなっている。また、増速機の高速側ピニオン軸の軸端に1段の羽根車を設置しており、ピニオン軸は仕

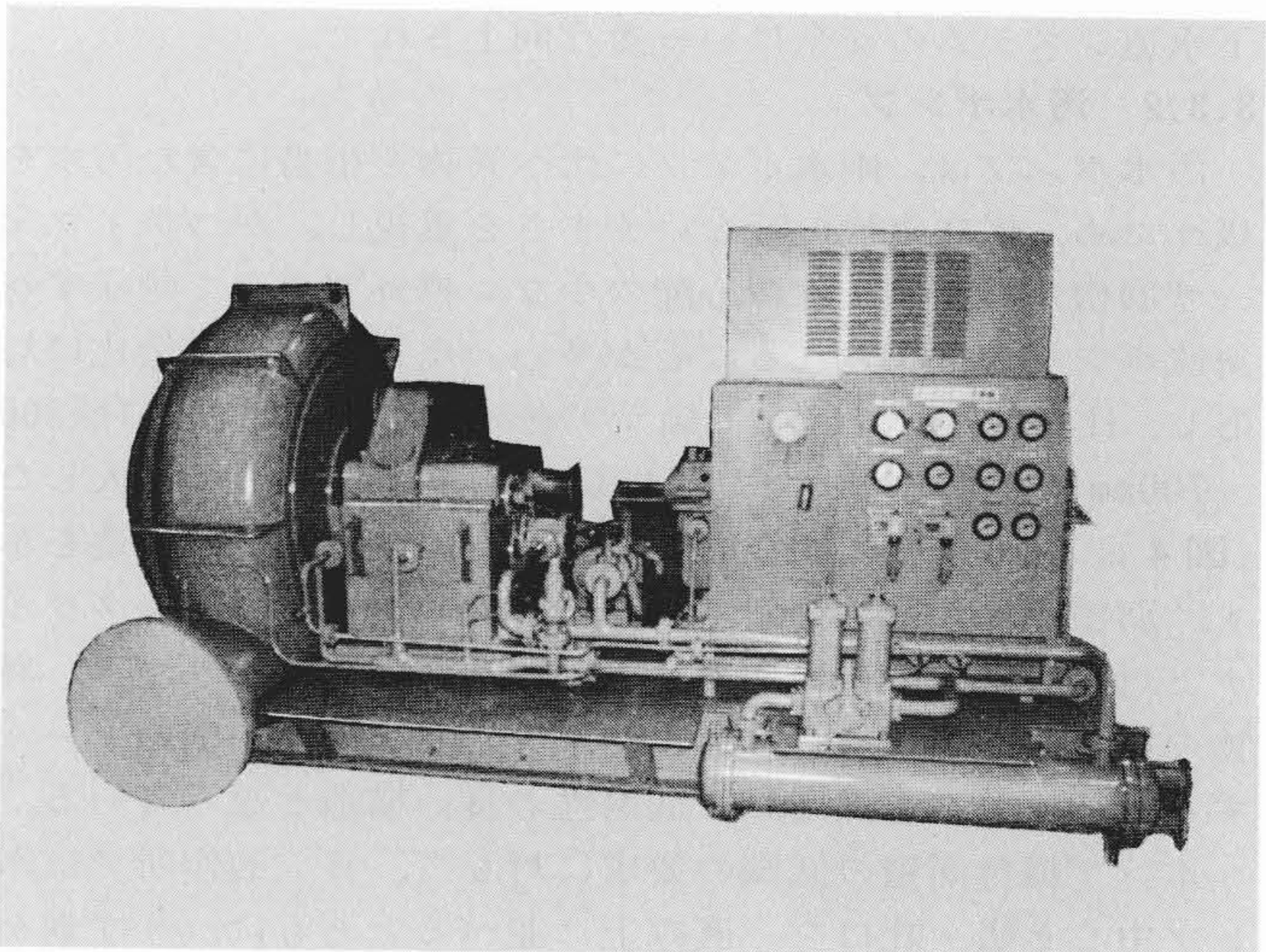


図8 増速形単段ブロウ 従来の直結形多段ブロウに比較して、寸法、重量がともに非常に小さくなっている。

表3 増速形単段ブロウ標準シリーズ ブロウ、増速機、電動機及び給油装置がすべて共通ベースにコンパクトにまとめて設置されている。

風 量 範 囲 (m ³ /min)	標 準 口 径(mm)		形 式
	吸 込 側	吐 出 し 側	
50～ 200	400	300	POB-GH355
100～ 500	600	450	POB-GH560
300～1,300	900	700	POB-GH900

様により異なるが、4,000～14,000rpmで回転している。羽根車は従来の直結形多段ブロウに採用されていた二次元翼と異なり、電子計算機により計算された高圧力比、高比速度の三次元翼を採用しているため、増速形単段ブロウは、従来の直結形多段に比較して寸法、重量ともに非常に小さくなっている。なお、このブロウも表3に示すように標準シリーズ化されている。

5 結 言

上下水道用ポンプ及びブロウについて、その背景となる上下水道設備の傾向について述べるとともに、現状及び今後の技術的動向について概括的に述べた。

本稿がポンプ、ブロウ設備の計画上なんらかの参考になれば幸いである。

参考文献

1) 齊藤，守田：低騒音ポンプ機場の完成，日立評論，58，655（昭51-8）
2) 須藤，山田，近藤：ポンプ場の低騒音化計画，日立評論，59，235（昭52-3），工業用水，No. 223（1977-4）
3) 島崎，土屋ほか：東京都水道局三園浄水場送水ポンプ設備，日立評論，58，539（昭51-7）
4) 市川ほか：省エネルギー可変速度電動機の安定運転，日立評論，59，679（昭52-8）
5) 小松，桑原，土屋：大形排水機場の最近の動向，日立評論，59，331（昭52-4）
6) 塩谷ほか：流入量予測に基づく汚水及び雨水ポンプの最適制御，日立評論，59，661（昭52-8）