

新形下水用ポンプの開発

Development of New Sewage Pumps

近年、生活環境に対する認識の高まりとともに、下水道の整備が重要視され、昭和51年度を初年度とする第四次下水道整備五箇年計画では、下水道の普及率を約2倍の40%に引き上げること为目标に整備が進行中である。下水処理には、種々の異物を含む汚水を効率よく安全に運ぶ手段が不可欠である。

本稿では、下水用ポンプとして、下水処理場や中継ポンプ場での汚水ポンプを取り上げ、最近、日立製作所が開発しシリーズ化した、(1)異物に対する通過性を向上させ、(2)保守点検が容易で、(3)高効率・小形軽量化した新形下水用ポンプについて紹介する。

黒田昭彦* Kuroda Akihiko
井上 滉** Inoue Hiroshi
田中定司** Tanaka Sadashi
坂本倭一* Sakamoto Sizuichi

1 緒 言

下水用ポンプは取扱い液により、(1)主として生活排水を扱う汚水ポンプ、(2)雨水を扱う雨水ポンプ、(3)汚泥を扱う汚泥ポンプに分類される。今回の開発の対象としては、汚水ポンプについて取り上げた。汚水ポンプは、処理場の規模にもよるが、通常流量7~150m³/min、揚程5~20mのものが需要の大部分を占めるので、この範囲のシリーズ化を行なった。これを図1に示す。

汚水ポンプは、取扱い液に腐食性成分や種々の夾雑物を含むことから、ポンプにとっては厳しい条件で使用され、安全な設計を行なうため種々の考慮が必要である。また、運転時間が長く、省エネルギーの意味で高効率の要求もある。また、

これらと別に、維持管理にかかる人手を極力少なくしたいというニーズから、メンテナンスフリーの要求があり、更に、敷地の問題から小形、軽量の要求もある。これらの要求には、同時に実現可能なものと、一方を実現すると他の一方が犠牲となるものがある。以上の要求をバランスよく満たし、汚水ポンプとしての望ましい構造、形状の検討を行ない開発を進めた。

まず、汚水に含まれる異物を分類してポンプに与える影響について検討し、異物に対する考慮、保守点検の容易さの見地から、ポンプの基本構造を選定した。その基本構造で、高効率及び異物の通過性の関係をとらえるため種々の実験を

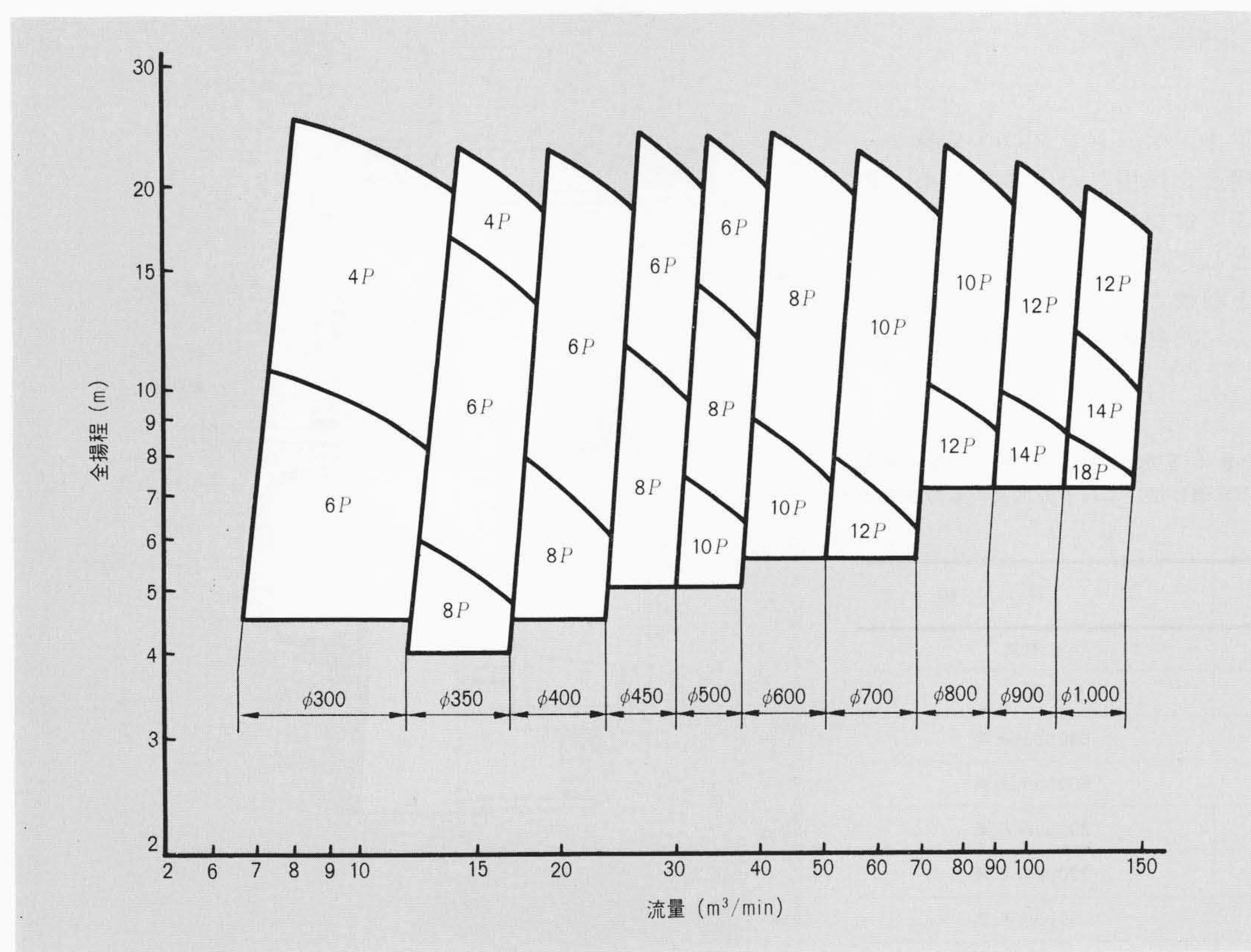


図1 汚水ポンプ適用範囲線図(50Hz) Pはモータのポール数を示す。流量と全揚程に対し、口径と回転数がそれぞれ決まっている。

* 日立製作所土浦工場 ** 日立製作所機械研究所

行ない、羽根車の細部形状を決定した。軸封部には、メンテナンスフリーを考慮して二つ割り形のメカニカルシールを採用したが、信頼性の確認のため、過酷試験及び寿命試験を行なった。材料に関しては、液質の与える影響と加工性を考慮して選定を行なった。最後に得られたモデルに対し異物通過試験を行ない、通過性を確認するとともに、閉塞実験をも行なって安全設計のための種々のデータを得た。以下に、これらについて順次紹介する。

2 取扱い液

公共下水道に排出できる水質は、「下水道施行令」で表1に示すように定められているが、実際には有形の異物も含まれる。有形の異物を分類すると、まず、
(1) 砂など硬い異物で、特にポンプ部品の摩耗に関係するものがある。これらは沈砂池で粒径0.2mm以上のものは除去されるようになっている。濃度については、通常体積で20～50ppm程度であるが、雨天時には短時間ではあるが数倍、数十倍になることもある。
(2) 布片、ビニル片、ゴム、毛髪などの繊維質の異物で、羽根車に絡み付きポンプを閉塞させたり、摺動部のギャップにかみ込みポンプをスティックさせるものがある。これらは、いずれもスクリーンで除去されることになっているが、スクリーン目以上の長さのものでも、スクリーンを通過する可能性があり、時には思いがけない長いものさえ見られる。
(3) 木片、プラスチック片など、水に浮き一定の形状をもつ固形物で、羽根車に衝突しても大きく変形したりこわれたりせず、流路にひっかかってポンプを閉塞させたり、スティックさせたりする。これらに関しても、スクリーンで除去することになっているが、時には細長い形状の物が通過してくる場合もある。ポンプの基本的構造は、以上の種々の異物を考慮して選定する。

3 ポンプの全体構造

図2にポンプの全体構造を示す。ケーシングはうず巻ケーシングとし、案内羽根のない構造を採用した。このため、異物が絡んだり詰まったりすることはない。また、小形化・軽量化するため、断面を長方形とした。羽根車は、オープンタイプを用いケーシングライナと羽根との摺動面が羽根厚み分となっているので、摺動部に入った異物が逃げやすくなって

いる。また、ケーシングから、容易にポンプの回転部を一体で抜き出せるようになっており、ポンプの分解点検が容易である。更に、ケーシングには大きなハンドホールが付いているので、ポンプを分解することなく、内部点検が可能である。軸封部は漏れ量を少なくすることと、メンテナンスの容易さを考慮し、二つ割り形のメカニカルシールを使用した。

4 水力性能

清水ポンプでは、高効率・高吸込性能を目指して設計すればよいが、汚水ポンプの場合は、異物に対する考慮が必要となり、ポンプ性能の向上とは相反する要求となる。固形異物及び繊維質異物に対する通過実験を含む種々の実験を行ない、汚水ポンプとしての羽根車形状を選定した。

4.1 羽根車羽根枚数

図3に従来形5枚羽根、新形4枚羽根及び新形3枚羽根の試験結果よりまとめた羽根数とポンプ性能の関係を示す。異物の通過性に関しては、通過可能丸形異物直径とポンプ口径との比で示し、他の性能は、羽根数5枚のものに対する比で示してある。羽根数は3枚までとし、2枚又は1枚羽根及び特殊羽根車については、汚泥ポンプのような異物通過性が重要な要求である場合に用いることになるので、今回の検討からは除外した。効率は羽根数4枚まではほとんど低下せず、3枚では約2%低下することが分かった。同一外径で出し得る揚程は羽根枚数が減るとともに低下してくる。逆に言えば、同じ揚程を出すためには羽根枚数が少ないほど羽根車は大きくなることが分かった。異物の通過性に関しては、繊維質異物、有形固形異物とも、羽根枚数が少なくなるほど良くなる

表1 直接、公共下水道に排水できる下水の水質基準 「下水道施行令」で決まっている水質基準を示す。下水道には、これらの水質のものを流すことが許される。

No.	項 目	許 容 値
1	温 度	45℃未満
2	水素イオン濃度 (pH)	5 ～ 9
3	B.O.D.	600ppm未満
4	浮 遊 物	600ppm未満
5	油 脂	300ppm未満
6	ヨウ素消費量	220ppm未満
7	フェノール含有	50ppm未満
8	シアン含有	2ppm未満
9	クロム含有	3ppm未満

注：B.O.D.=生物化学的酸素要求量

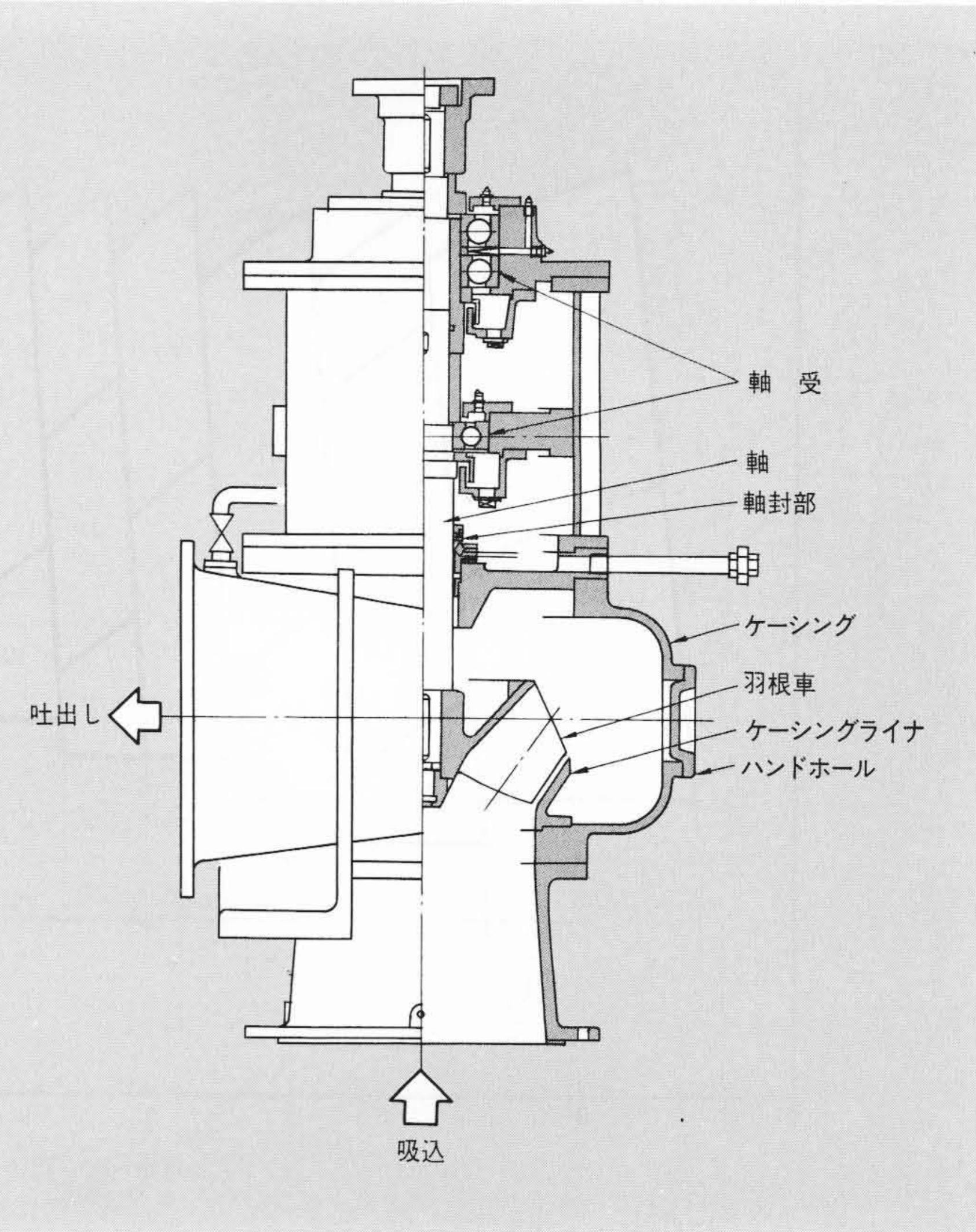


図2 ポンプ全体構造 汚水ポンプの一般的構造を示す。羽根車の羽根数は4枚とする。軸受は、口径の大きいものに対しては水冷を必要とする場合もある。この図では、代表的なグリス潤滑で冷却水の必要ないものを選んだ。

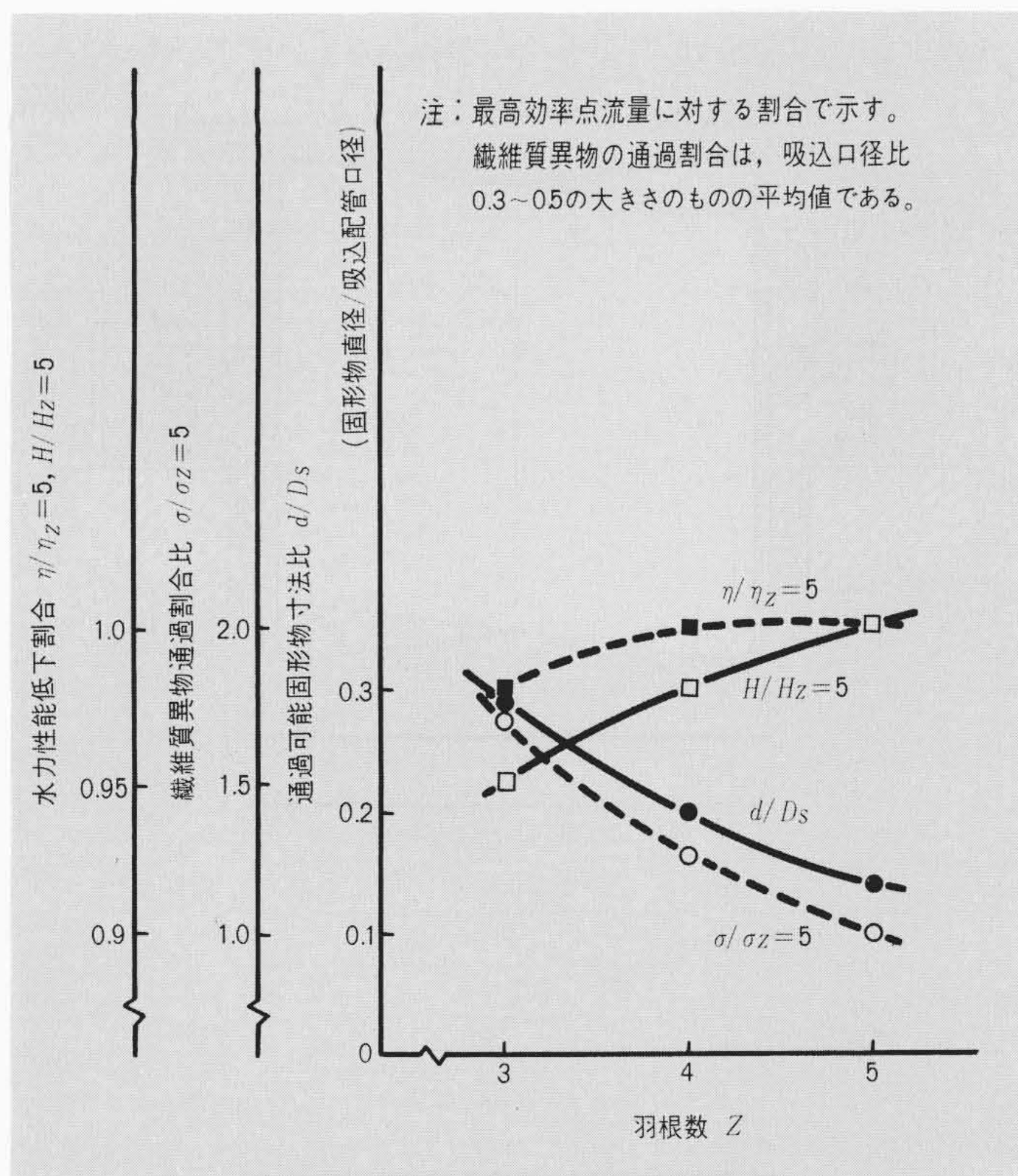


図3 羽根車羽根数と性能との関係 羽根枚数をパラメータとして、効率 η 、揚程 H 、異物通過性能の比較を行なった。羽根数 $Z=5$ のものに対する割合として示してある。従来形の5枚羽根と新形の4枚羽根、3枚羽根の実験結果である。

ことが分かった。

以上より、効率をほとんど犠牲にせず、異物の通過性を向上させるには、4枚羽根が適切であることから、污水ポンプとしては4枚羽根を選定することとした。ただし、4枚羽根では通過可能な異物径は口径の約20%であるので、ポンプの口径が小さい場合、特に大きな異物が入ってくる場合、また、大量の異物が入ってきて異物の通過性が最も重要となる場合などは、3枚羽根、2枚羽根、1枚羽根及び特殊羽根を状況に応じて選定するのがよい。

4.2 羽根車チップクリアランス

図4に新形4枚羽根のチップクリアランスとポンプ性能の実験結果について示す。チップクリアランスは従来値を ϵ_0 とし、その比で示す。同図から効率及び揚程はチップクリアランスの増大とともに低下することが分かる。繊維質異物の通過性に関しては、従来より半分程度の小さいチップクリアランスにしてもほとんど差はなく、逆に大きくして、繊維質異物がチップクリアランスの間を楽に通過するためには、従来の3倍以上のチップクリアランスが必要である。この場合、ポンプ効率及び揚程の低下が著しい。従来のチップクリアランスでも異物かみ込みの問題がなかったことから、従来よりもやや小さいチップクリアランスを選んでも異物かみ込みの問題は生ぜず、ポンプ効率及び小形化の面で有利であることが分かった。最小チップクリアランスについては、污水に含有する砂の径よりやや大きく選定すれば、砂のかみ込みがなく、摩耗に対し有利であると言える。

4.3 その他

異物の通過性能は、羽根車羽根前縁形状、インペラナットの形状によっても左右される。新形ポンプでは、図5に示す

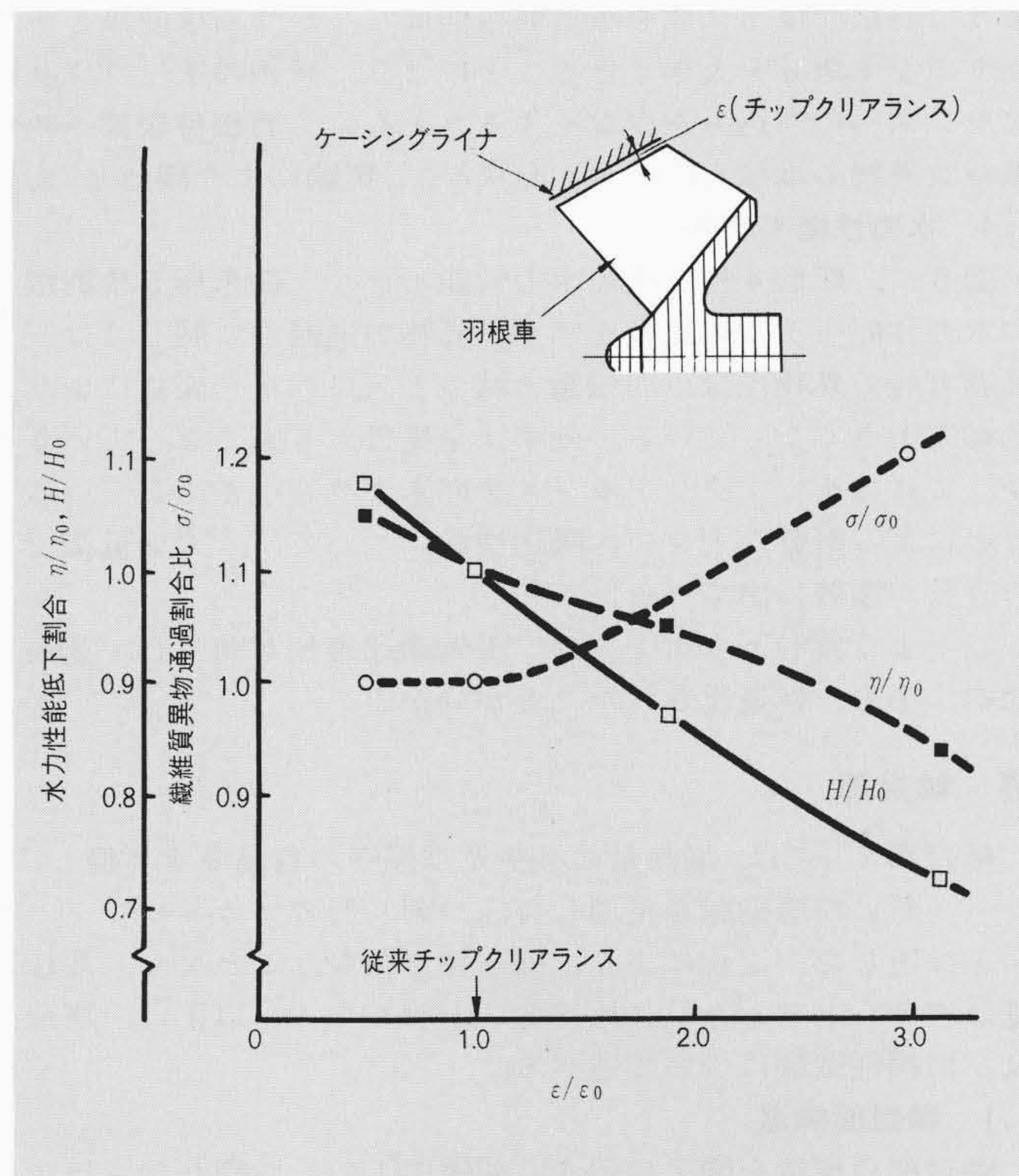


図4 羽根車チップクリアランスと性能の関係 羽根車チップクリアランスをパラメータとし、効率 η 、揚程 H 、異物通過性能の比較を行なった。従来とられていたチップクリアランスを ϵ_0 として、その比で示したもので、新形污水ポンプの4枚羽根の実験結果である。

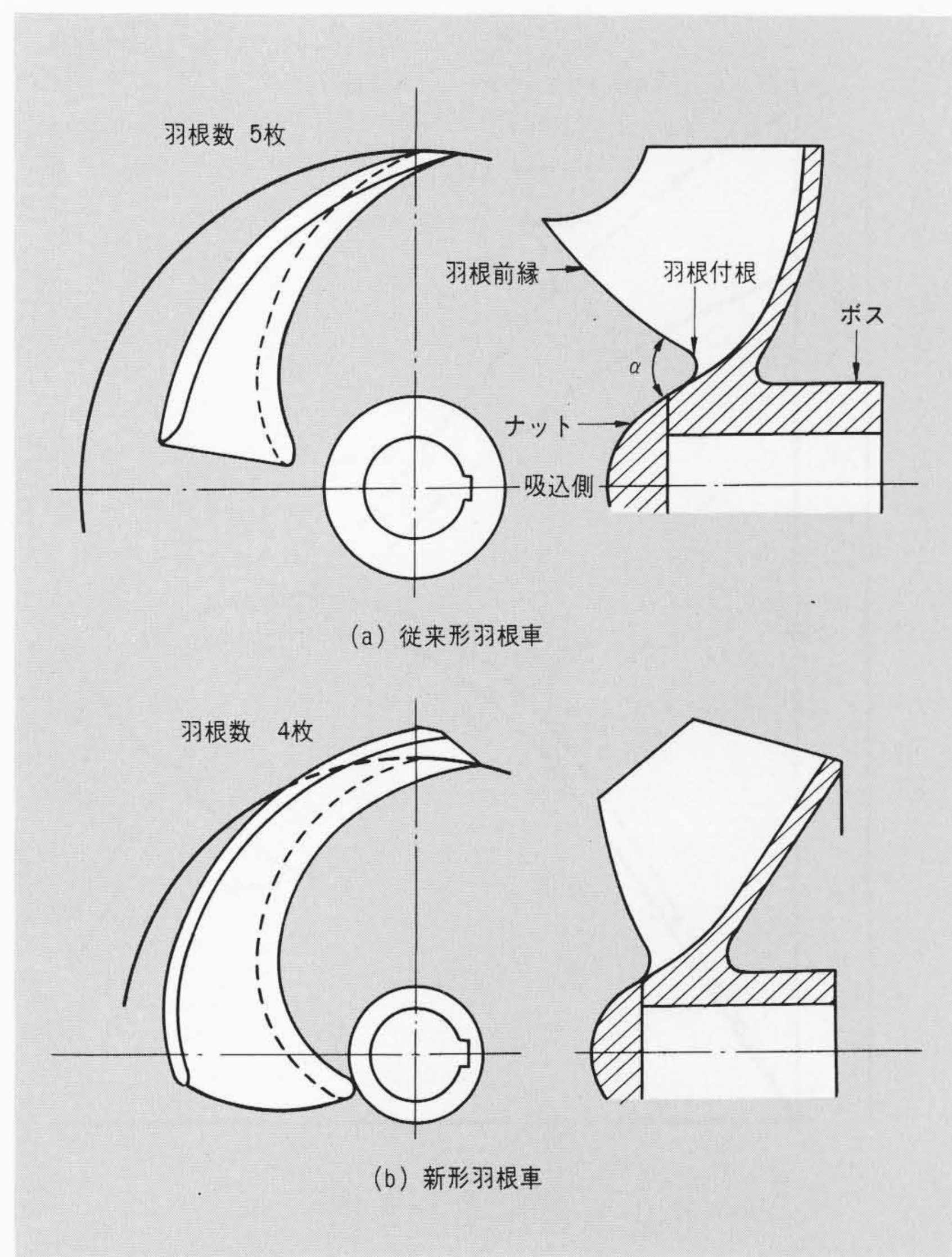


図5 污水用ポンプ羽根車形状 従来形と新形の羽根車形状の比較を示す。主として、繊維質異物に対する考慮が払われている。

ように羽根前縁ボス側を吸込側へ伸ばし、かつ羽根前縁とナットのなす角 α を大きくとることにより、異物のチップクリアランスへの巻込みを少なくするとともに、羽根付根部への繊維質異物の堆積を防止する形状とし、実験により確認した。

4.4 水力性能モデル

図6に、新形4枚羽根の水力性能モデルと従来形5枚羽根の水力性能モデルの比較を示す。異物の通過性に関しては、通過可能の異物径は、羽根数の減少と入口形状の変更により約40%大きくなっている。効率、全揚程とも高くなっているが、これはチップクリアランスを従来よりも小さくしていることによる影響が大きい。吸込性能については、大流量側での改善が顕著に出ている。

以上より新形下水ポンプは、(1)異物通過性が向上し、(2)高効率、小形・軽量化されたことが分かる。

5 軸封部

軸封部としては、漏れ量の減少及び保守の容易さを考慮し、シール面に特殊樹脂を使用した二つ割り形のメカニカルシールを採用した。これにより、保守性を損なうことなく、漏れ量はグランドパッキンに比べ約 $\frac{1}{10}$ に減少した。以下に、構造及び信頼性試験について述べる。

5.1 軸封部構造

軸封部の構造を図7に示す。同図中①の二つ割りのシールリングと③のシールリングの間でシールする。①は二つ割りになっており、特殊樹脂でできている。このリングが消耗品になっており、②の二つ割りのロータを外して、③を少し上にずらすだけで簡単に取り替えることができる。③シールリ

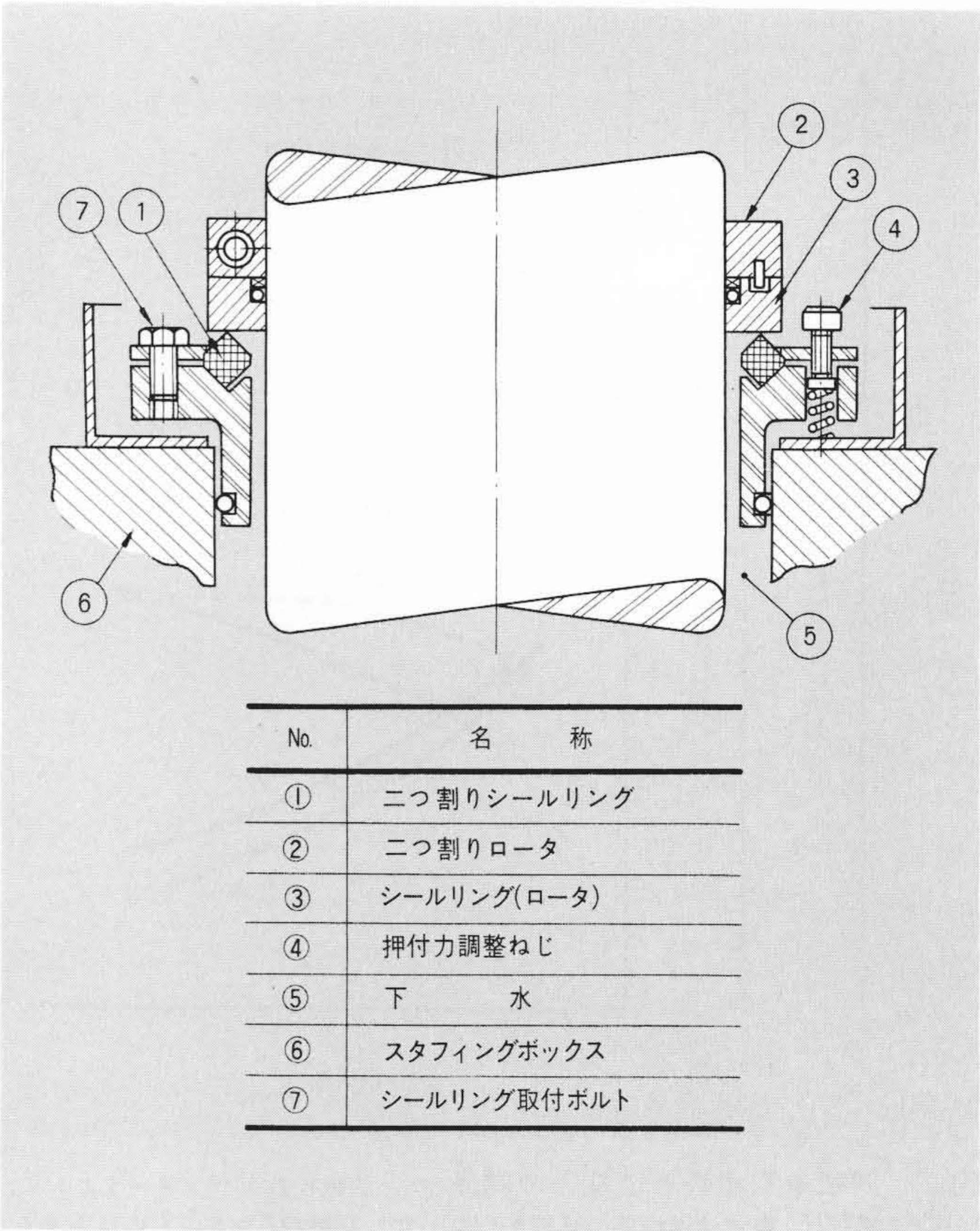


図7 二つ割り形メカニカルシール 二つ割り形メカニカルシールの構造を示す。

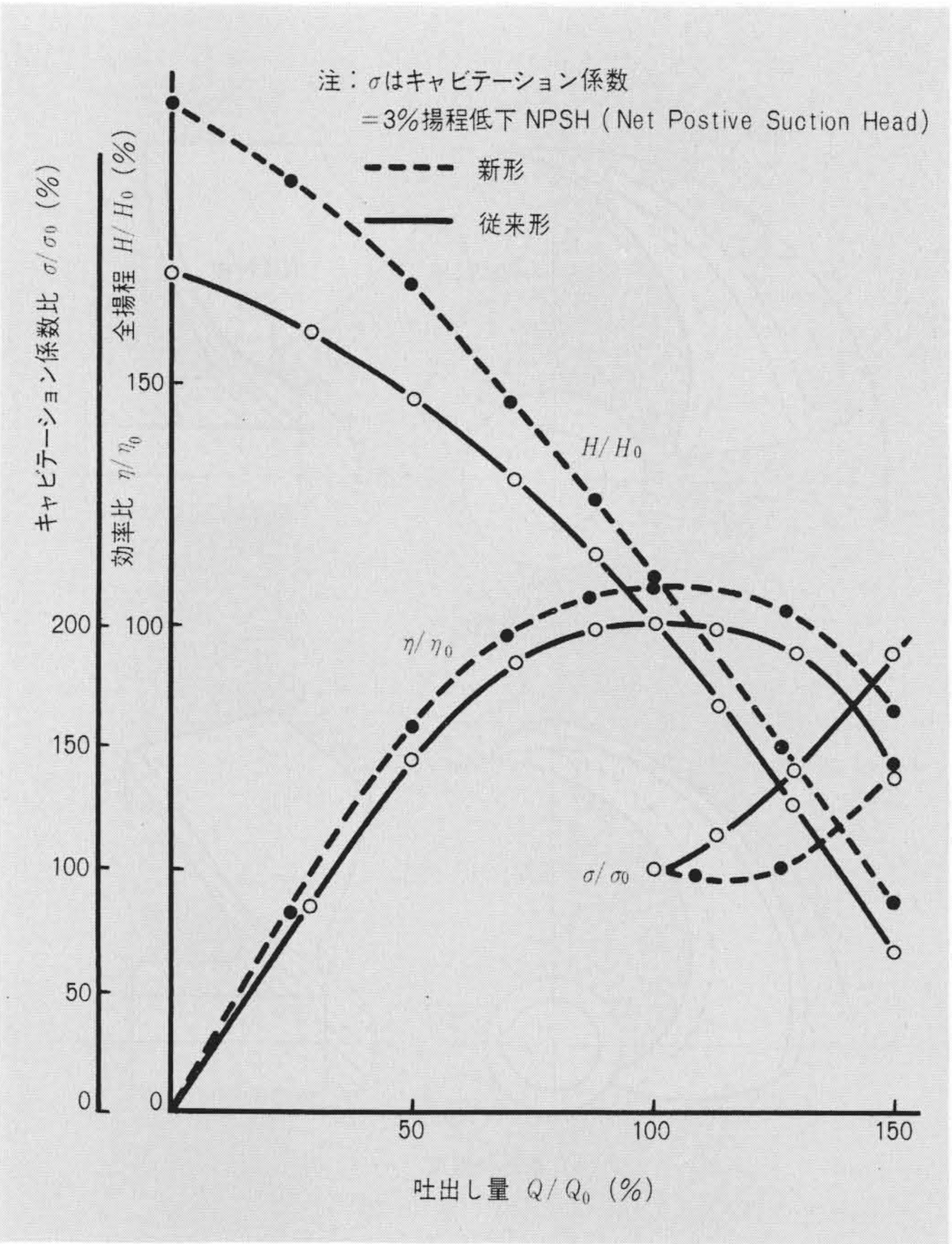


図6 新形ポンプ水力性能 新形モデルと従来形モデルの比較を示す。従来形の100%Qでの値を Q_0 、 H_0 、 η_0 、 σ_0 とし、比で示してある。

ングは、表面に酸化クロムを溶射してあるので、摩耗に耐える。二つ割り面の密封性については、運転当初に短時間で大きな面圧を与えることにより、面をなじませる。

5.2 信頼性試験

信頼性試験として、異物混入試験、軸振動試験及び寿命試験を行なった。その結果をそれぞれ図8、9、10に示す。

異物試験については、フラッシング水を止めて水に#200アルミナを混入して運転した。重量で0.3%の混入率では顕著な漏れの増加はみられなかったが、摩擦トルクは増大することが分かった。この結果から、フラッシング水の一時的な停止は漏れには大きな影響を与えないが、寿命には影響があることが分かった。

軸振動試験については、全振幅で $600\mu\text{m}$ の振動を与えても漏れ量はほとんど変化がなかった。異物通過試験の結果から、異物が羽根車に衝突しても軸振動は $600\mu\text{m}$ を超えないので、十分使用できることが分かった。

寿命については、2,000時間の運転結果から8,000時間後の摩耗量を推定すると、約4.5mmとなり、許容摩耗量が5mmであるので1年間の使用に耐え得ることが分かった。

以上の結果から、二つ割り形のメカニカルシールは、下水用ポンプの軸封装置として十分使用できることが分かった。

6 材料

材料に関しては、耐摩耗性の観点から検討した。耐摩耗性の検討には、耐サンドエロージョン係数を用いて比較した。耐サンドエロージョン係数を、S22Cの摩耗容積と対象とする材料の摩耗容積との比の逆数で定義する。したがって、耐サンドエロージョン係数が大きいということは、耐摩耗性が良

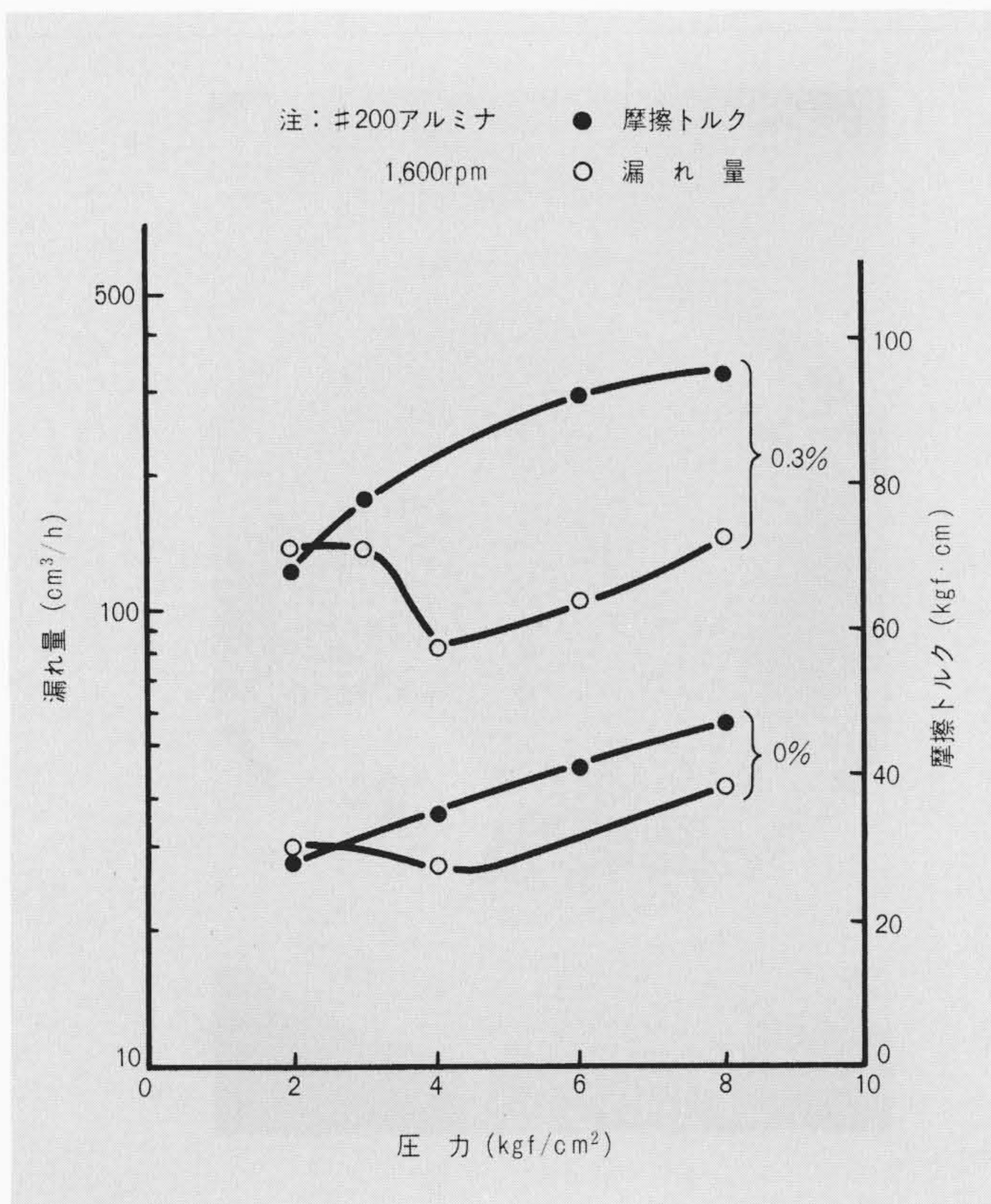


図8 異物の二つ割り形メカニカルシールに与える影響 異物が漏れに与える影響及び摩擦トルクに与える影響をそれぞれ示す。漏れ量の増加は特に問題とならないが、摩擦トルクの増加は寿命が短くなることを示す。

いということになる。通常使用されている材料の摩耗試験の一例をこの係数を用いて整理すると、表2に示すようになる。耐摩耗性の面では、BC3は使用不可能であることが分かる。高クロム鋳鋼は、耐サンドエロージョン係数は非常に高いが、铸造性・加工性が悪く、比較的簡単な形状のものにしか適用

表2 ポンプ用材質と耐サンドエロージョン係数 耐サンドエロージョン係数 = $\frac{\text{S 22C の摩耗容積}}{\text{供試材の摩耗容積}}$ で定義する。S 22C の耐サンドエロージョン係数は1.0 となり、耐サイドエロージョン係数が大きくなると摩耗量は小さくなる。

番号	材質記号	材 質 名	耐サンドエロージョン係数
1	BC 3	青銅鋳物	0.5
2	S 22 C	炭素鋼	1.0
3	SC 46	炭素鋼鋳鋼品	1.1
4	FC 25	ねずみ鋳鉄	1.2
5	SCS 13	18・8ステンレス鋳鋼	1.8
6	SCS 1	13%クロムステンレス鋳鋼	2.1
7	SCS 18	24%クロムステンレス鋳鋼	9.0
8	ステライト	ステライト	15.3

できない。铸造性、加工性及び耐摩耗性を総合的に判断すると、SCS 1又はSCS 13が汚水用ポンプとしては適切であると言える。一般に摩耗が進行するのは、摺動部や流速の速い部分であるので、羽根車とケーシングライナにこれらの高級材質を使用し、ケーシングはFC 25でよいと言える。SCS 1とSCS 13の使い分けは、耐食性の面から液質が腐食性の強い場合はSCS 13を使用するのがよい。

7 異物通過試験

以上の検討結果から得られたモデルに対し、異物通過試験を行なった。有形固形異物については、口径20%のものが十分通過することが分かった。

図11にVTR(ビデオテープレコーダ)でとらえた通過中の木球の動きを示す。繊維質異物については、種々の大きさ厚さの布切れ、ビニル片を用いて通過枚数により比較試験を行なった。また、羽根車流路を一箇所つぶす閉塞試験をも行ない、異物閉塞時の安全設計のための種々のデータを得ることができた。

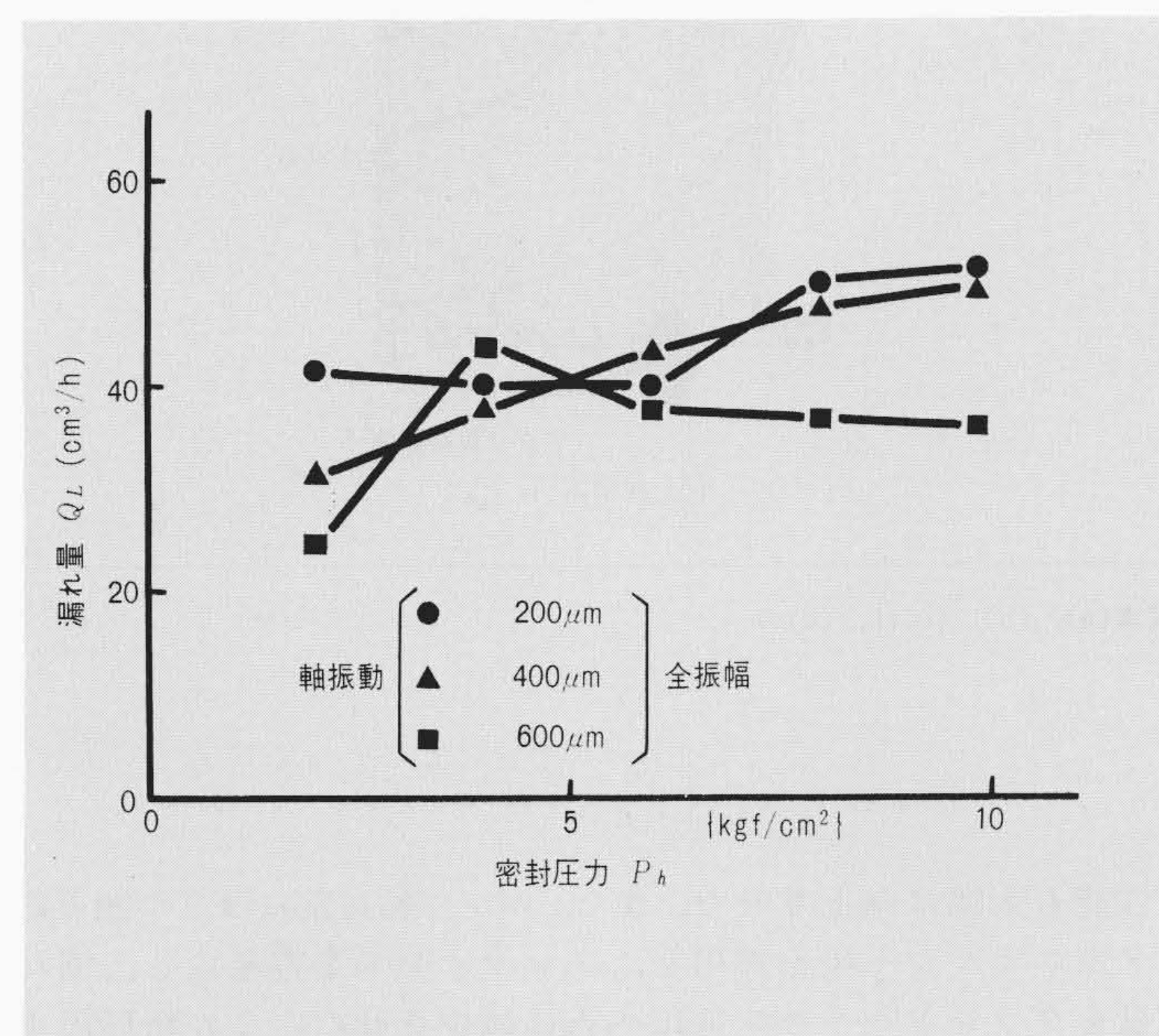


図9 密封圧力と軸振動を変えた時の漏れ 周速10m/sの時の漏れ量を示すもので、密封圧力を変化させても軸振動を600μm(全振幅)与えてもほとんど変化しない。

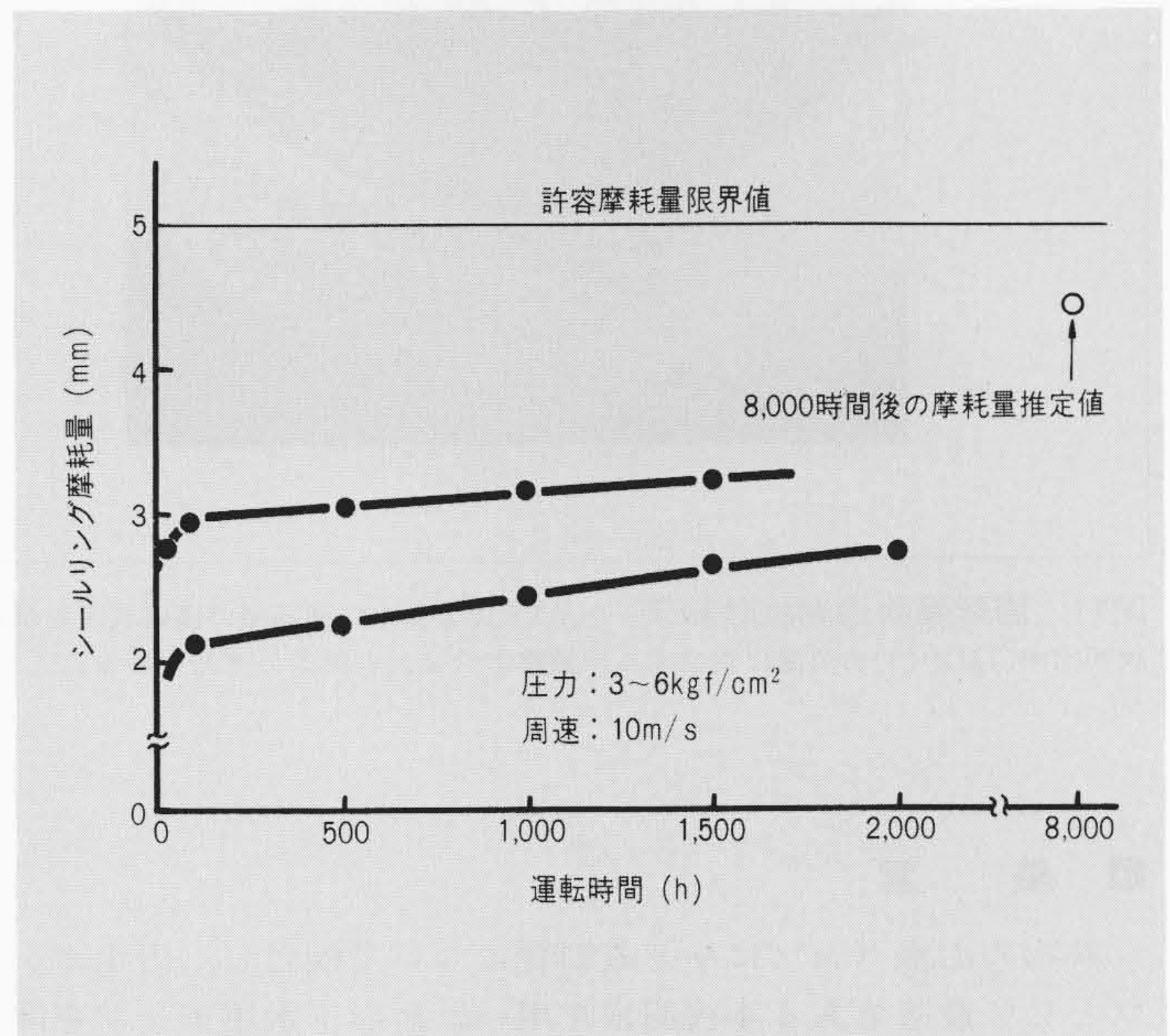
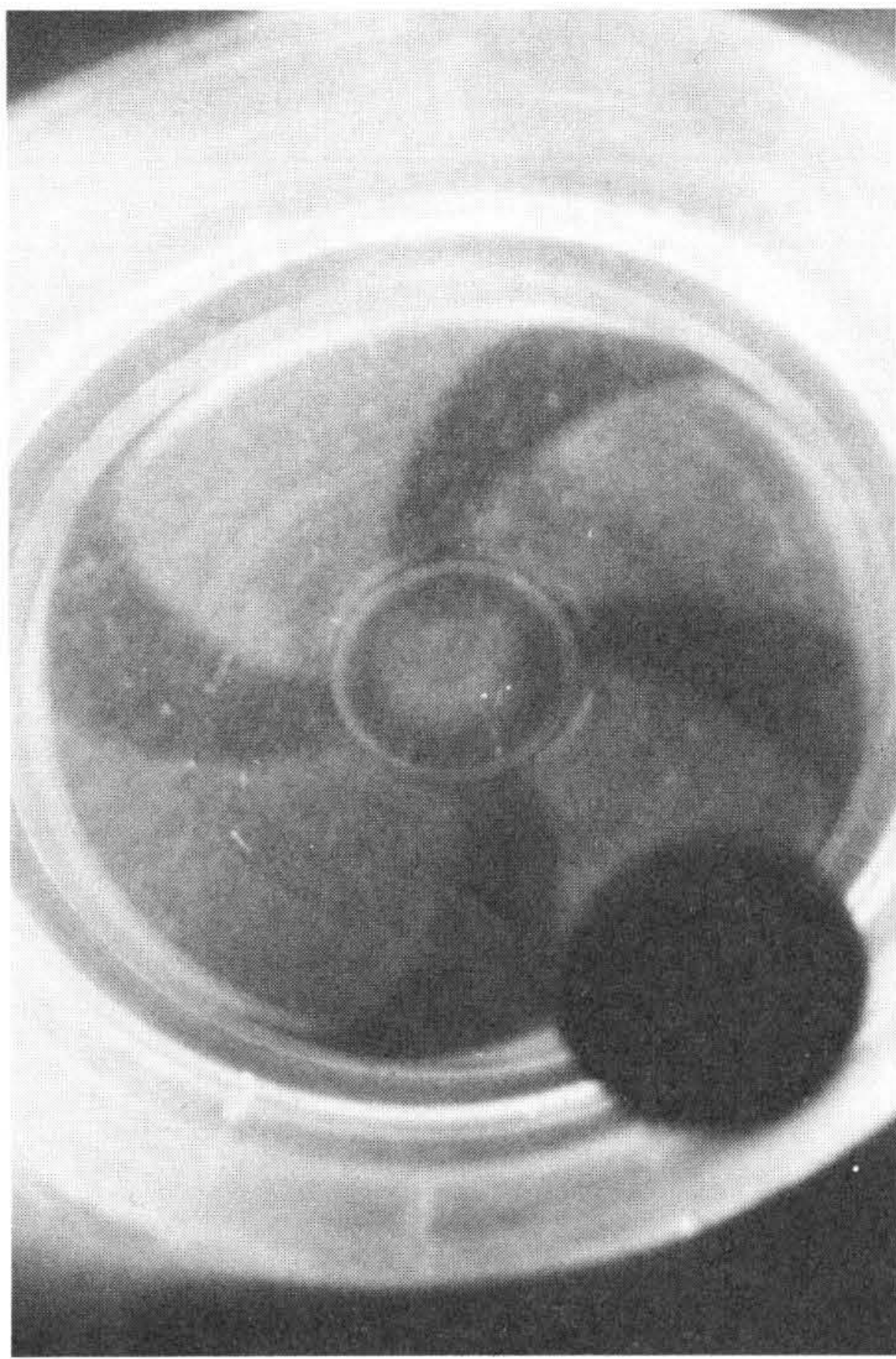
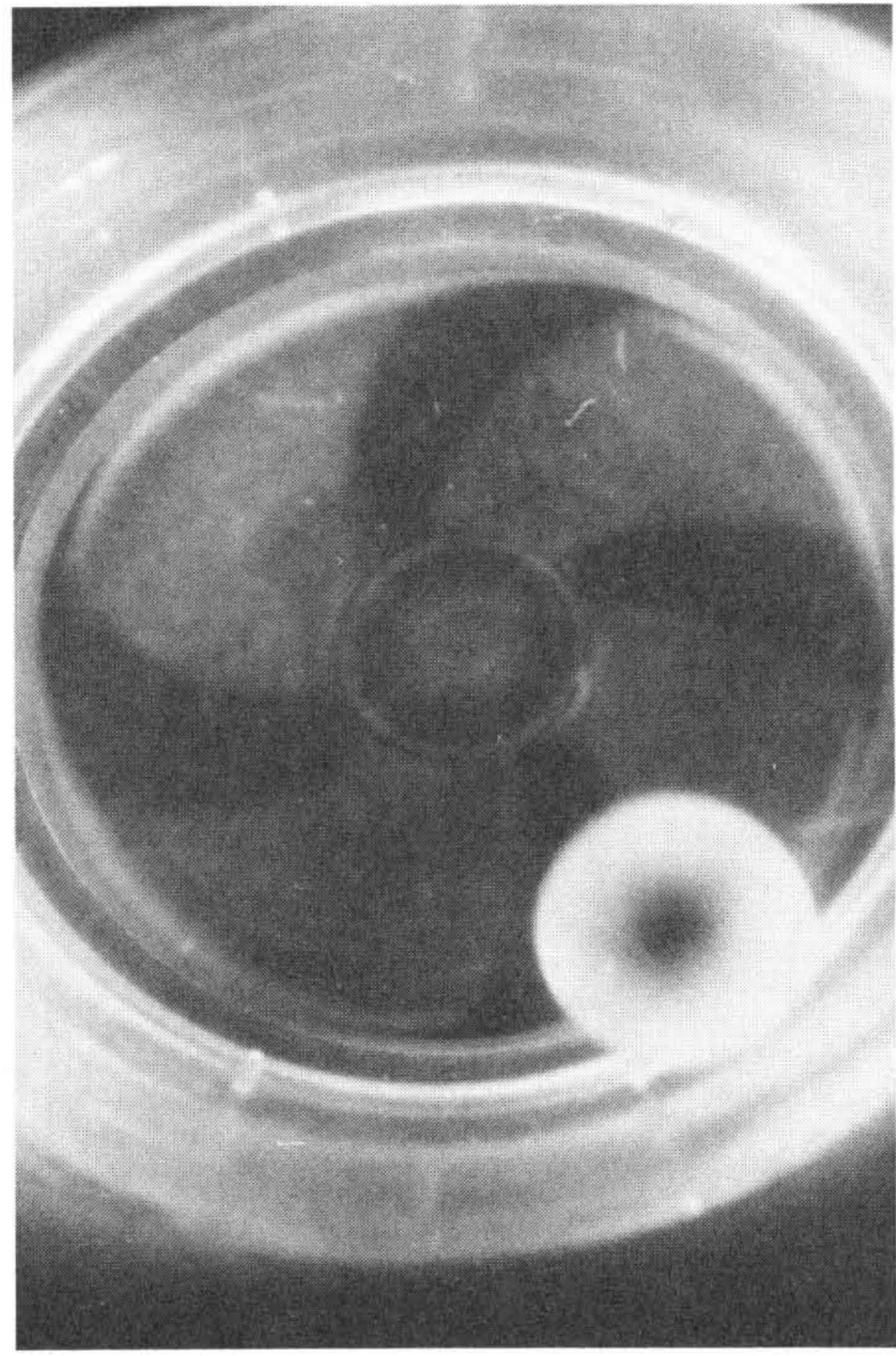


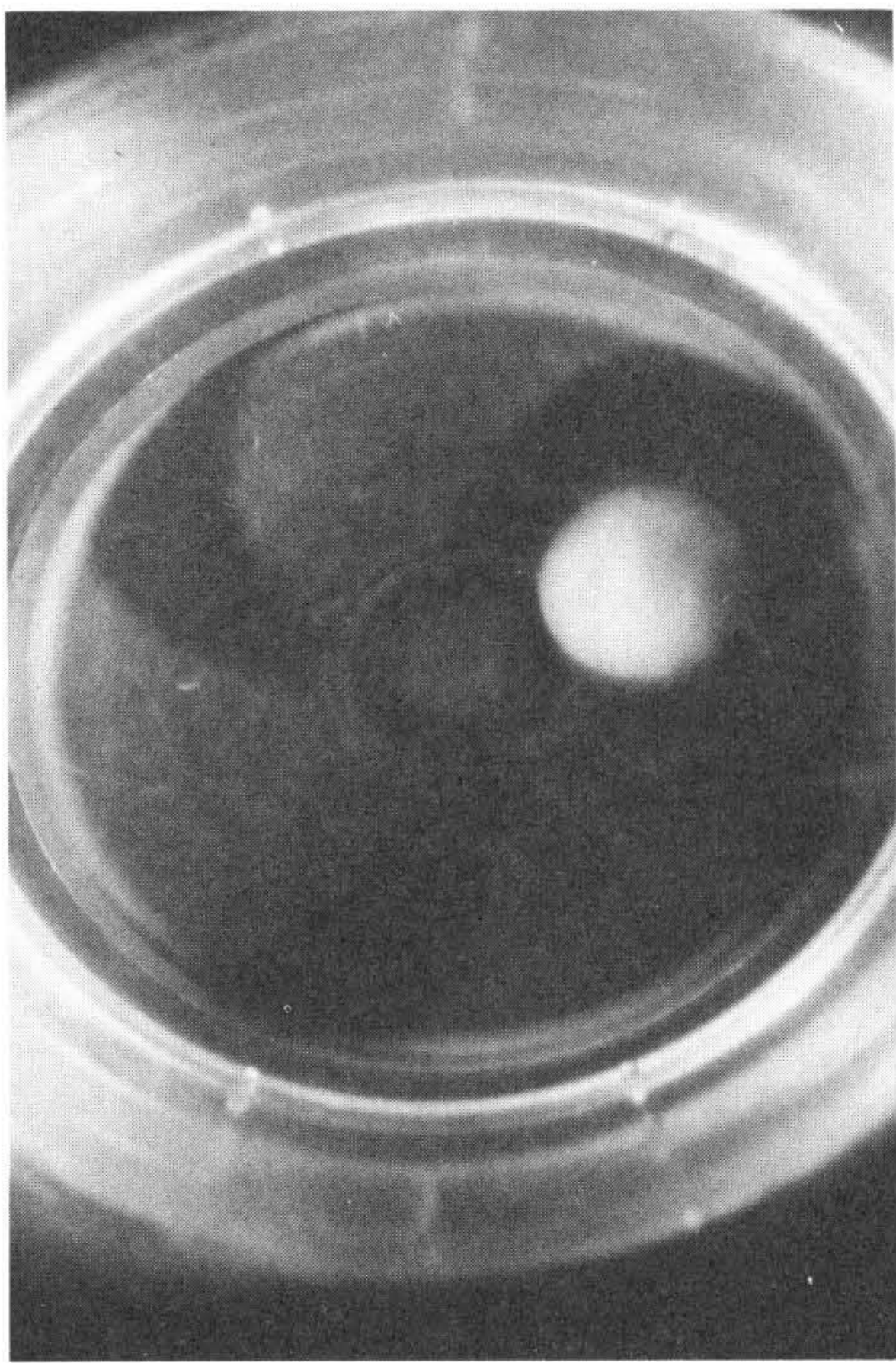
図10 二つ割りシールリングの摩耗量 シールリングの摩耗しろは5mm以上であるので、1年以上使用することができる。



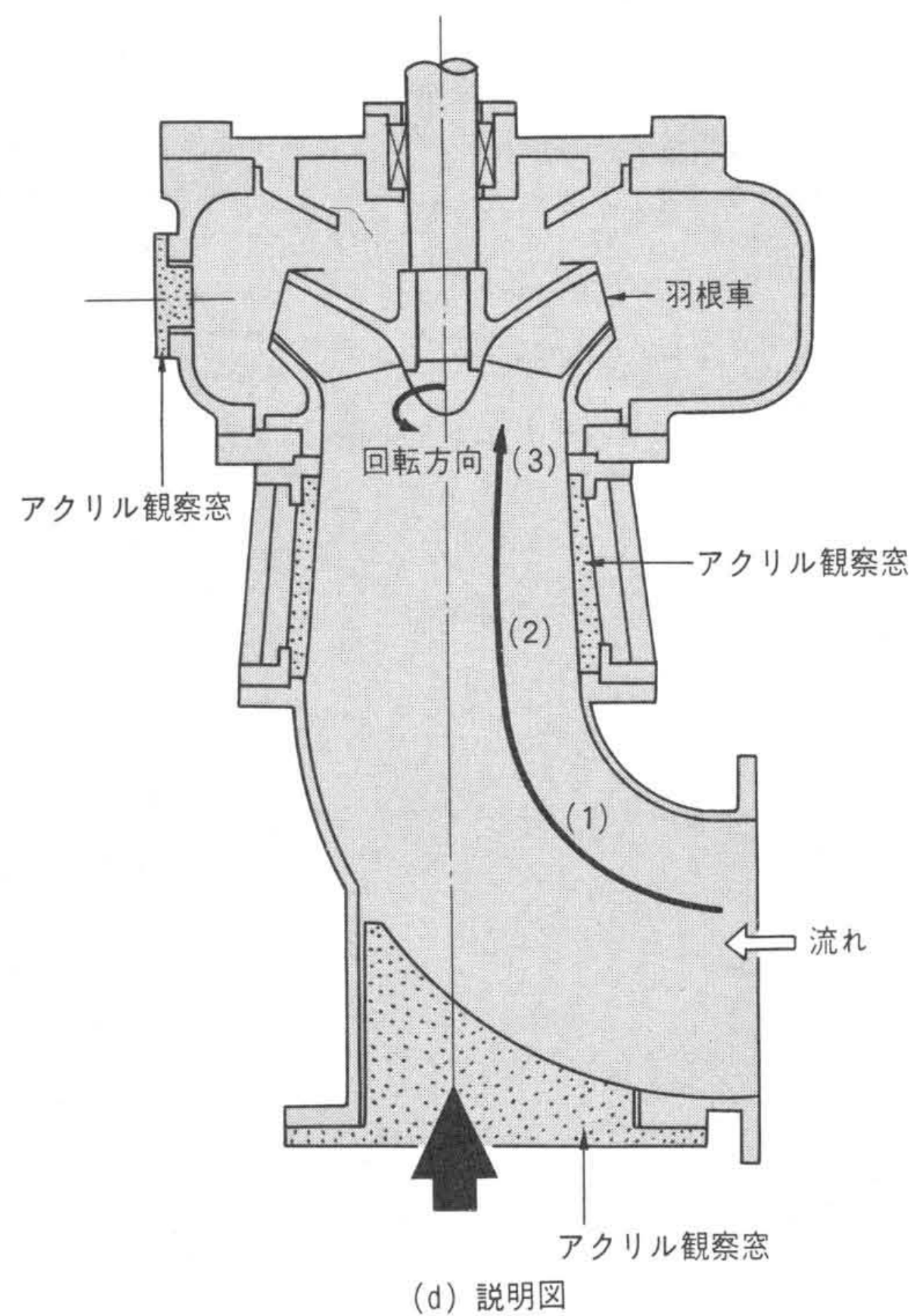
(a)



(b)



(c)



(d) 説明図

図11 固形異物通過試験結果 VTRによる木球通過時の通過状況を示す。写真(a), (b), (c)は、(d)の説明図中(1)(2)(3)の位置に対応する。観察方向は太い矢印の方向である。

8 結 言

異物の污水ポンプに与える影響について検討し、污水ポンプとして最適である4枚羽根を用いた新形下水用ポンプを開発し、口径300～1,000mmでシリーズ化した。新形污水ポンプは、従来の5枚羽根のポンプに比べ、流路面積で40%、効率で4～6%それぞれ向上させるとともに、大流量側での吸込

性能も大幅に向上させた。また、ポンプ軸封部には二つ割り形メカニカルシールを採用し、メンテナンスを容易にし、漏れ量をグランドパッキンに比べて減少させた。この新形污水ポンプの開発により、従来以上に高信頼性、省資源及び省エネルギーの観点から污水ポンプの需要に対し、こたえ得るものとする。