| 報告番号 | ※甲・乙 第2858号 |
| --- | --- |

# 主論文の要旨

題名　遠心ポンプを含む管路系の
圧力脈動共振に関する実験的研究

氏名　佐野勝志

# 主論文の要旨

| 報告番号 | ※甲第　　号<br>乙 | 氏名 | 佐野勝志 |
|---|---|---|---|

近年、ポンプにおいても他の機械と同様その効率向上はもちろんのこと、ポンプを含むシステム全体としての高性能化のために、従来にも増して高速化、小型・軽量化、容量の増大化が強く求められている。これに伴って生じたいくつかの新たな問題についての解決を迫られているが、重要な課題の一つに遠心ポンプの場合の羽根から出た流れとボリュート巻き始めとの干渉による圧力脈動低減の問題がある。

この圧力脈動は、その振幅が大きい場合にはポンプ及び配管系並びにこれにつながる構造物を振動させ騒音の原因となるため、都市の住宅地域内に設置されるポンプ場で厳しい騒音規制を受けることにも関連して、環境保全上、問題となる。圧力脈動によって激しい振動が発生すると配管継手部からの漏れを招き、ポンプ、配管及びその支持部の疲労破壊につながることから、この種の振動はボイラ給水ポンプのような高圧ポンプでしばしば問題となる。また抄紙機におけるパルプ液輸送用のポンプでは、吐出し流の脈動が紙の厚さを変動させる原因にもなるが、この場合には製品の品質管理上、脈動そのものが問題になる。このように，ポンプの羽根通過による圧力脈動の低減は最近の工業上の重要な課題になっている。

# 主論文の要旨

| 報告番号 | ※甲 乙 第　　号 | 氏名 | 佐野勝志 |
|---|---|---|---|

圧力脈動の振幅は、ポンプだけでなくそれにつながる管路の形状や寸法の影響も受けるが、これを低減するには二つの方法がある。その一つは、ポンプ固有の脈動が小さくなるよう羽根車とケーシングの形状及び寸法を検討の上、ポンプを設計・製作することである。他の一つは、羽根通過振動数とポンプを含む管路系の液柱固有振動数の一致による共振を避けることである。脈動の振幅が大きいため起こる前述の弊害には、この共振が関与していることが多い。また、ポンプには上述のような設計上の配慮をしてもなお脈動を完全になくすことはできず、共振を生じるとその振幅は大きくなる。したがって圧力脈動の低減のためには、共振を回避することがまず第一に必要である。

しかし、従来は羽根通過による圧力脈動を対象にしたポンプを含む管路系の液柱共振現象に関する研究は非常に少なく、共振条件には未だ不明の部分が多く残されている。これを明らかにできれば、ポンプ及び配管の設計段階で共振回避の条件を考慮でき、脈動低減に極めて有益である。

本論文は、この問題を解明するために実施した一連の研究をまとめたものであり、以下の6章から構成されている。

第1章「緒論」においては、管路の液柱共振に関する過去の

# 主論文の要旨

| 報告番号 | ※甲 乙 第　　号 | 氏名 | 佐野勝志 |
|---|---|---|---|

研究の成果と問題点を述べるとともに、本研究の意義と目的を明確にしている。そしてポンプ羽根通過による圧力脈動の共振条件に関しては、この条件を求める際にポンプをどのように扱えばよいのか、ポンプの幾何学的形状はどのような影響を及ぼすのか、またポンプを含む複合管路の液柱共振にポンプ及びこれにつながる管路はいかなる影響を及ぼすのかを明らかにする必要があることを指摘している。

第2章「ポンプを含む管路系の圧力脈動とポンプ等価管路」においては、ポンプを含む管路系の液柱共振条件を求める際のポンプの扱い方を明らかにするために、まず、吸込直管の上流と吐出し直管の下流にタンクを一つずつ接続した単純な系について実験を行っている。そして管内変動圧力のスペクトルは、回転数及び羽根通過振動数の成分並びにこれらの高調波成分と液柱固有振動数成分とから成ることを示し、この固有振動数は吸込管長と吐出し管長に依存するが、ポンプの吐出し量と回転数の影響は小さく無視できることを明らかにしている。

ついでこの結果をもとにポンプを等価管路に置換えることを試みて、ポンプを含む管路系の液柱固有振動数を求める式を導くとともに、ポンプ等価管路の長さと直径を無次元振動数の関

# 主論文の要旨

| 報告番号 | ※甲・乙 第　　号 | 氏名 | 佐野勝志 |
|---|---|---|---|

数として実験的に求める方法を述べている。そしてこの妥当性を検証するために、吸込管長と吐出し管長を広範囲に変えて液柱固有振動数を求める実験を行い、その結果は理論値とよく一致すること、この固有振動数は吸込管長と吐出し管長のいずれを長くしても減少しまたいずれを短くしても増加することを確認している。

第3章「共振時の変動圧力振幅とポンプ位置」においては、ポンプ羽根通過振動数が液柱固有振動数と一致して共振を起こしたとき、ポンプ取付け位置が管内変動圧力振幅にどのような影響を及ぼすかを調べるための実験を行っている。すなわち、第2章と同一の実験装置を用いて吸込管長と吐出し管長の和をほぼ一定に保ち、ポンプをその取付け位置だけを変えて運転し羽根通過による共振時の管内変動圧力振幅を求めている。また、吸込管と吐出し管における変動圧力モードからポンプ等価管路内に生じる変動圧力の節の位置も求めている。

これらの結果から、脈動発生源の相当位置はポンプ等価管路中の一断面に集中して考えてよく、この位置が変動圧力の節と一致すると共振時の変動圧力振幅は最大になり、腹と一致すると最小になることを明らかにしている。そしてこの章で用いて

# 主論文の要旨

| 報告番号 | ※甲第　　号<br>乙 | 氏名 | 佐野勝志 |
|---|---|---|---|

いる実験装置のように吸込管の上流と吐出し管の下流にともにタンク（開端）を接続した系の場合、ポンプを吸込タンクか吐出しタンクのいずれかの側に寄せると2次モードに比べ1次モードの共振振幅が大きくなるのに対し、ポンプを両タンクの中央に取付けると逆に2次モードの共振振幅が大きくなるのは前述の理由によることを明らかにしている。

また吸込管路、ポンプ等価管路及び吐出し管路の伝達マトリックスから、吐出し管と吸込管における変動圧力の共振振幅の比を求める式を導き、その結果が実験値とよく一致することを確かめている。そしてこの共振振幅比がポンプ位置によって変化するのは、吸込管路、ポンプ等価管路及び吐出し管路の特性インピーダンスの値がそれぞれ異なるためであることを明らかにしている。

第4章「ポンプの幾何学的形状の影響」においては、比速度の相違によるポンプの幾何学的形状の変化がポンプ等価管路及び脈動発生源の相当位置に及ぼす影響について述べている。すなわち、ポンプ比速度を160～380($m^3$/min,m,rpm)の範囲で4とおりに変え、これらを等価管路に置換えて第2章と同一の手法によりその長さと直径を求めている。そして、脈動していない状態のポンプの代表流路長さを用いれば、ポンプ等価長さは一本

# 主論文の要旨

| 報告番号 | ※甲 乙 第　　号 | 氏名 | 佐野勝志 |
|---|---|---|---|

の曲線で整理できることを示している。なおこれに先立ち、これらのポンプを含む管路の液柱固有振動数を求め、この固有振動数は吸込管長と吐出し管長には依存するがポンプの吐出し量と回転数の影響は極めて小さいことを実験により確認している。

次に各供試ポンプについて共振時の管内変動圧力を測定し、この結果をもとに脈動発生源の相当位置も求めている。そして管内の共振振幅が最大値をとる吐出し管長と波長の比がポンプの種類によって異なるのは脈動発生源の相当位置が異なるためであること、またこの相当位置はケーシング舌部の位置とほぼ一致するが、二重うず巻ケーシングの場合には2箇所の舌部の中間にあるとみなし得ることを明らかにしている。

第5章「ポンプを含む複合管路の液柱共振」においては、ポンプ場や各種プラントにおける実際の配管のように、ポンプに直管、弁、テーパ管を直列及び並列に設置した場合並びに分岐管を設置した場合などの複合管路の液柱共振について検討している。

まずポンプを含む複合管路に剛性マトリックス法と伝達マトリックス法を組合せて適用することにより、液柱固有振動数と固有モードを理論的に求める方法について述べている。ついで

# 主論文の要旨

| 報告番号 | ※甲 乙 第　　号 | 氏名 | 佐野勝志 |
|---|---|---|---|

種々の複合管路について実験を行い、ポンプの単独運転時だけでなく並列運転時においても両者が理論値とよく一致することを示している。そして配管諸要素とポンプ位置がこれらに及ぼす影響を明らかにしている。また2台のポンプの回転数がわずかに異なるとき生じる変動圧力のうなりは、変動圧力の固有モードの腹の位置でもっとも明りょうに観察されることを明らかにしている。

第6章「結論」においては、本論文の各章で得られた結論を総括している。