

# 最近の水道用ならびにかんがい用ポンプ設備の ウォーターハンマ対策

Water-hammer Control in Pump Installations for Waterworks and Irrigation

畑 孝 造\*  
Kôzô Hata

## 要 旨

長距離の吐出管路や形状の悪い吐出管路のポンプ設備で問題になるウォーターハンマの水柱分離対策として、最近ワンウェイ・サージタンクを採用することが多くなった。ここでは、水道用およびかんがい用ポンプ設備で、主としてワンウェイ・サージタンクが使用されている最近の実施例および計画例について述べる。また、ウォーターハンマ計算を電子計算機で行なった結果と実測との比較についても紹介する。

## 1. 緒 言

近年、河川水を水道用として利用する場合、取水場所であるポンプ場と浄水場の間の管路が長い例が多くなっている。また、かんがい用として利用する場合も、今までは水利の悪かった台地へ揚水され、田畑が開拓されるようになってきたため、比較的長い管路となるうえにその管路形状もポンプ場直後で立上るという特長をもったものがある。

以上のように吐出管路が長いとか、あるいは吐出管路がそれほど長くなくてもポンプ場の近くで急な立上り部を有する管路では、ウォーターハンマでもっとも危険とされている水柱分離が問題となる。水柱分離の対策としては、従来から圧力降下をある範囲に押え、水柱分離を未然に防ぐ方法をとったものが多く、フライホイール、サージタンク、空気室(圧力水をたくわえてあるもの)、ワンウェイ・サージタンクなどがある。そのほか、空気弁も水柱分離対策として使用される場合がある。しかし、これは前記のものと異なり、一応水柱分離を発生させ、その部分に空気を導入して低圧の発生を防ぎさらにその後管内へ入れた空気により水柱の再結合を緩衝させようとするものである。実際には信頼性の点からあまり使用されていない。

最近、上記のように長い管路の水道用ポンプや、比較的長い管路でポンプ場直後に立上り部のあるかんがい用ポンプ設備には、主として経済的な理由からワンウェイ・サージタンクが使用されるようになってきている。このような設備では、ワンウェイ・サージタンク以外の方法を用いるとすれば、フライホイールは非常に大きなものになり、サージタンクは高さが高くしかも容量が大きいものになり、両方とも経済的ではない。また空気室も容量が大きいものになり、経済性および保守の問題から国内では使用されたことがないようである。

ワンウェイ・サージタンクの場合は、ときには数個のタンクが必要となる。したがって、この場合のウォーターハンマ計算は、管路途中に数個の特異点ができるため、ウォーターハンマ計算本来のめんどろさに加えて複雑になり手数がかかる。そこで、ウォーターハンマ計算を電子計算機で行なうことが考えられてきた。国内でもすでに発表されたもの<sup>(1)</sup>もあるが、今回、電子計算機による計算結果と現地試験の実測結果とを比較した例があるので、最近のウォーターハンマ対策の実施例や計画例に交えて紹介する。

## 2. ウォータハンマ対策

### (1) 計算方法および検討手順

一般に行なわれているウォーターハンマ計算および対策案の検討

\* 日立製作所亀有工場

手順について述べる。

ウォーターハンマが問題になると思われるポンプ設備がある場合、まず、そのポンプ設備に対し、いずれの対策も行なわれていないものとして、ウォーターハンマ計算を行なう。次に、その結果により、どういう対策を行なうかを立案し、各案についてのそのポンプ場に対する具体性を検討する。最後に、対策案が行なわれたものとして、再びウォーターハンマ計算を行ない確認する。

最初の、対策がない場合の計算は、一般に、パーマキアンの線図<sup>(2)</sup>のような、実績をもとにした線図を使って近似的に行なう。しかし、特別に圧力降下の数値を詳しく知る必要のある場合は、やはり逐次計算<sup>(3)(4)</sup>を行なうべきである。計算の結果、圧力降下に対する対策が必要になった場合は、フライホイール、サージタンクあるいは空気室の各大きさをパーマキアンの線図で求める。また、ワンウェイ・サージタンクについても検討する。これらの対策案のうち、種々の点から考えてもっとも有利と思われるものを選び確認計算する。

確認計算は、一般に逐次法によるが、相当にめんどろな計算となる。特に、管路の最高圧力が求まるまで計算するには、手計算では相当の時間を要する。数年前から、ウォーターハンマ計算をデジタル電子計算機で行なったものが報告されているが<sup>(1)(5)</sup>、最近、電子計算機の性能が良くなり、計算速度が速く、容量が大きくなったのでウォーターハンマ計算にこれを利用すると非常に便利である。

### (2) 各種対策案の検討

ウォーターハンマの対策としては、圧力上昇防止対策と水柱分離の発生を防止する圧力降下対策の2種類がある。

圧力上昇は急激な流速変化(流れを止めること)に起因するものであるから、急激な流速変化を緩和するように、吐出弁を徐々に閉じることにより逆流もゆるやかに減少させて圧力上昇を防止する。この種の弁としては、油圧コーン弁や油圧ニードル弁があるが、油圧蝶形弁も使用されることがある。以上の弁には、油圧装置が必要だが、これを必要としないものとして緩閉チェック弁がある。

緩閉チェック弁は普通形スイング式のチェック弁にバイパス弁を設け、バイパスのチェック弁をダッシュポットにより緩閉するという簡単な構造である。この弁はチェック弁の一種であるので、上記ウォーターハンマ防止用各種弁に比較して、一般に逆流量およびポンプの逆転数が少なくなる。

また、圧力上昇防止のために安全弁を設けることが考えられるが、この場合、安全弁の開き遅れおよび容量決定には十分注意すべきである。このほか、ウォーターハンマ防止弁として、スモレン

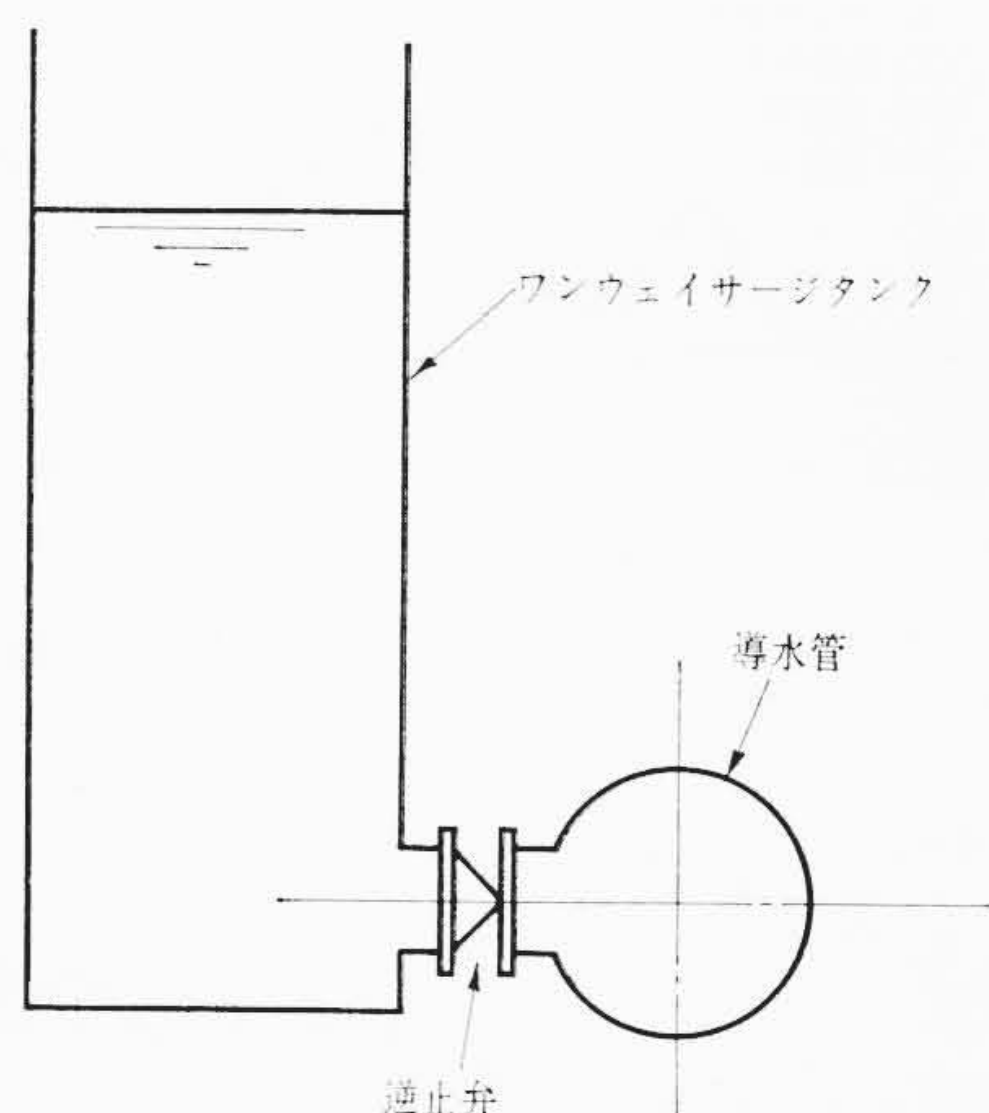


図1 ワンウェイ・サージタンク説明図

スキー・チェック弁やウェイト付チェック弁があるが、これらは圧力上昇を緩和減少させる弁ではない。すなわち、本来生ずる圧力上昇は防止できないが、チェック弁の閉じ遅れを防止して、それによる圧力上昇を減少させるだけのものである。

圧力降下は、ポンプトリップ時の回転数の急激な減少による急激な性能低下(吐出量および圧力の低下)によって生ずるものである。したがって圧力降下の防止方法としては、ポンプの回転数の減少割合を緩和するものと、直接的に圧力水を管路に補給するものがある。前者としてはフライホイールがあり、後者にはサージタンク、空気室、ワンウェイ・サージタンクがある。

フライホイールの小さいものは、ポンプ軸とモータ軸との継手部に設けることができるので、据付面積は特別に大きくはならない。また、本来、保守にも問題ないものである。しかしながら、大きな降下圧、特に管路が長い場合の降下圧を防止するには、大寸法のフライホイールが必要になる。大寸法のものは、寸法的にも重量的にも軸継手部に置くことは困難になるので、別に軸受を設けて置く方式となり据付面積も大きくなる。また、直径を大きくすると円周速度が大きくなって危険になり、騒音を生じたり、ときには空気との摩擦熱が発生するため冷却が必要になる。遠心形のポンプの場合、起動トルクが小さいため起動が問題になることはないが、フライホイールの分だけ慣性率が大きくなるので起動時間が長くなり、起動抵抗器の容量が少し大きくなることもある。

サージタンクは単なる貯水タンクであり、構造は単純で機械的な部分がないので、いったん設けてしまえば後の保守は不要である。しかしながら、ポンプ起動時のアップサージの際にもオーバーフローさせないためには、サージタンクの高さを動水こう配線以上の高さにする必要がある。したがって、吐出管路の地形によっては、非常に高くしかも容量の大きいタンクが必要になる。

空気室はその作用についてはサージタンクと同じだが、サージタンクは圧力を水位の高さで得ているのに対し、空気室は圧縮空気により圧力水をたくわえているものである。したがって、圧力水の体積はサージタンクと等しくなるが、空気室全体の体積は圧縮空気の分だけ大きくなる。結局、空気室は高圧の大容器となり、製作費も高くなるが、そのほかに、容器中の圧縮空気が水に溶け込んだり、漏れたりするので、その空気量だけ空気圧縮機により補給しなければならない問題がある。言い換えれば、容器中の水面制御が必要となる。以上の理由により、わが国では大容量のポンプ設備に本格的なウォーターハンマ防止用空気室が使用された例はない。

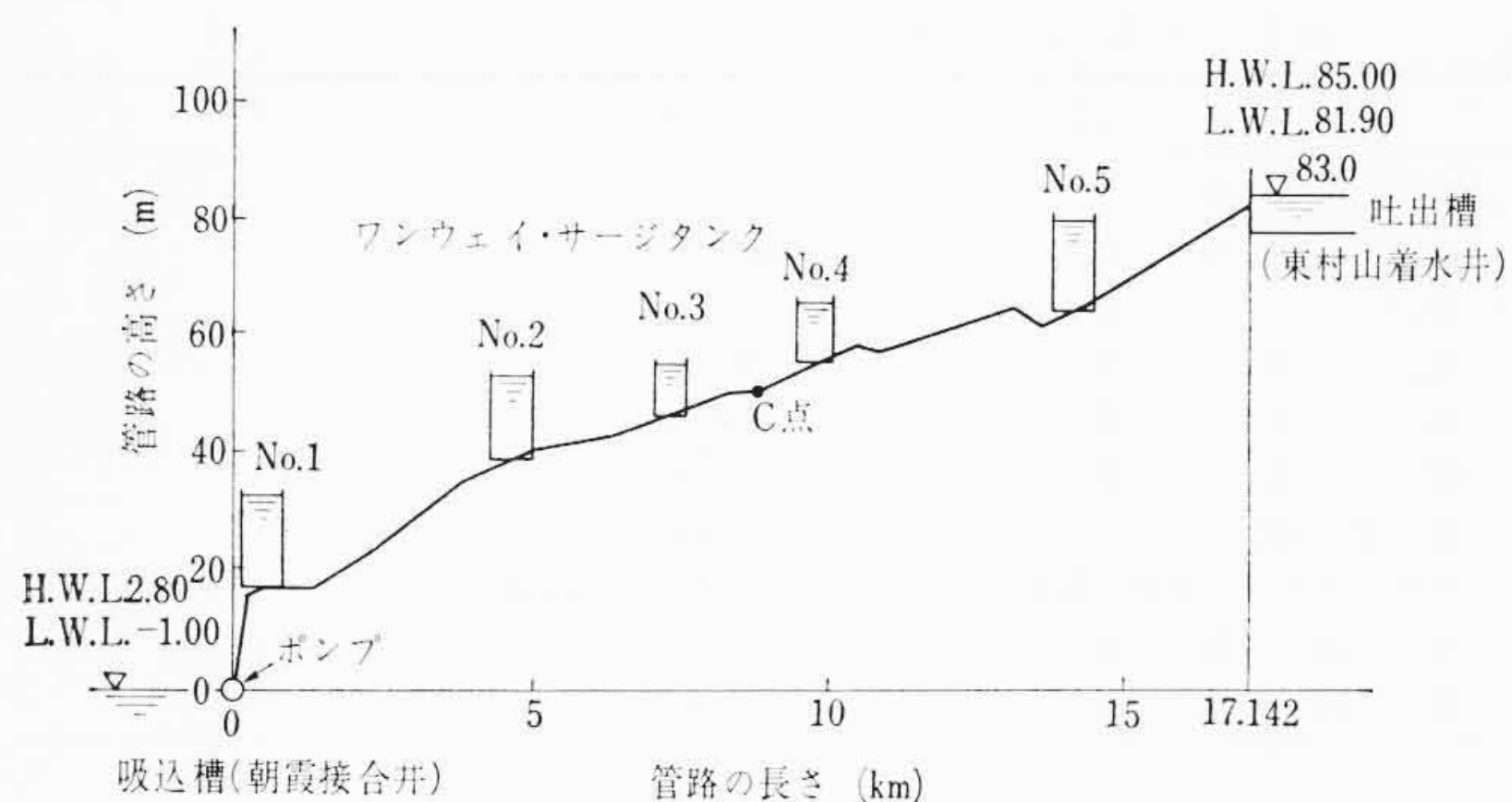


図2 利根川系原水連絡ポンプ設備管路図

### (3) ワンウェイ・サージタンク

近年、サージタンクに変わるものとしてワンウェイ・サージタンクが使用されるようになってきた。ワンウェイ・サージタンクは図1に示すように簡単な構造で、タンクと導水管(吐出本管)との連結部に逆止弁があり、タンクから導水管には水が流れるが、その逆方向には水が流れないものである。したがって、導水管の圧力がタンク水位より低くなったときのみタンクの作用をするが、そのほかのときには逆止弁は閉じたままである。ワンウェイ・サージタンクは、その水位が動水こう配線より低くても、導水管の水がタンクへ流れ込まないため高さの低いタンクにすることができる。高さの低いタンクにするとその容量も小さくなる傾向にあり、これがワンウェイ・サージタンクの長所となっている。

しかし、ワンウェイ・サージタンクの作用が有効な管路長さは、普通形サージタンクのそれに比較して短いため、管路が長い場合とか管路形状が悪い場合には、数個のタンクが必要となる。また、ワンウェイ・サージタンクの充水は、タンクと導水管との連結部配管とは別の配管で行なうため、水位計による充水状態の管理(ポンプ場での集中監視)も必要となる。そのほか、ワンウェイ・サージタンク連結部の逆止弁は、ポンプ入力遮断時(ウォーターハンマ発生時)を除いて全閉したままとなっているため、タンク内の水はデッドウォーター(ほかとの循環がない水)となるので、水道の浄水(送配水ポンプ)の場合にはなんらかの対策が必要である。ワンウェイ・サージタンクには以上の問題点があるほか、屋外に設置されることが多く、内部の水がデッドウォーターとなるため寒冷地では凍結のおそれがある。

## 3. ウォータハンマ対策の実施例および計画例

### 3.1 水道用導水ポンプ

#### (1) 利根川系原水連絡ポンプ設備

東京都水道局朝霞浄水場に設置された原水連絡ポンプは、利根川より朝霞まで自然流下によって送られてきた原水を、朝霞から約17km離れた東村山浄水場へ送水するものである。このような長大な吐出管路を持つポンプ設備では、停電時に生ずるウォーターハンマが問題となるが、特に水柱分離を起こすおそれがある個所の圧力降下を防止する対策が重要である。本ポンプ設備でも圧力降下対策として、フライホイール、サージタンク、空気室、ワンウェイ・サージタンクについて検討したが、フライホイールはあまりにも巨大なものとなり、サージタンクは100m以上の高さになるので、事実上、製作、建造が無理である。また、空気室についても検討した結果、あまりにもばく大な設備を必要とすることがわかり、結局、経済性の点ですぐれているワンウェイ・サージタンクが採用された。

管路プロフィールとワンウェイ・サージタンクについては図2に

表 1 利根川系原水連絡ポンプおよび吐出弁の仕様

| 形 式                          |  | 片吸込立形ポリエートポンプ                            |
|------------------------------|--|------------------------------------------|
| 吸 込 口 径                      |  | 1,400 mm                                 |
| 吐 出 口 径                      |  | 1,000 mm                                 |
| 台 数                          |  | 3 台                                      |
| 全 揚 程                        |  | 120 m                                    |
| 吐 出 量                        |  | 4.167 m <sup>3</sup> /s                  |
| 回 転 数                        |  | 407 rpm                                  |
| 電 動 機 出 力                    |  | 6,200 kW                                 |
| フライホイール効果 (GD <sup>2</sup> ) |  | 119.2×10 <sup>3</sup> kgw・m <sup>2</sup> |
| 吐 出 主 弁                      |  | 1,000 mm コーン弁(油圧)                        |
| 吐 出 側 弁                      |  | 250 mm ニードル弁(油圧)                         |

表 2 利根川系原水連絡管路の仕様

|                 |  | ポンプーC点 | C点ー吐出水槽 |
|-----------------|--|--------|---------|
| 長  さ (km)       |  | 8.842  | 8.3     |
| 内  径 (m)        |  | 2.2    | 2.2     |
| 圧力波の伝わり速度 (m/s) |  | 971    | 1,006   |
| 管 摩 擦 係 数       |  | 0.0103 | 0.0103  |

表 3 利根川系原水連絡管路ワンウェイ・サージタンクの仕様および水位低下

| タンク<br>番 号 | ポンプから<br>タンクまでの<br>距 離 | タンク内<br>の 水 位 | タンクの寸法 |         | 水 位 低 下 |        |
|------------|------------------------|---------------|--------|---------|---------|--------|
|            |                        |               | 内  径   | 有効高さ    | 計 算     | 実 測    |
| 1          | 461 m                  | 32.15 m       | 6.5 m  | 13.5 m  | 3.90 m  | 3.70 m |
| 2          | 4,615 m                | 53.0 m        | 6.5 m  | 13.0 m  | 5.34 m  | 4.90 m |
| 3          | 7,335 m                | 56.0 m        | 5.0 m  | 8.0 m   | 0.13 m  | 0.21 m |
| 4          | 9,756 m                | 66.45 m       | 6.0 m  | 10.05 m | 2.48 m  | 0.78 m |
| 5          | 14,167 m               | 80.85 m       | 6.5 m  | 15.05 m | 6.66 m  | 8.94 m |

表 4 計画中のポンプ (I) および管路の仕様

|             |                              |                                                    |
|-------------|------------------------------|----------------------------------------------------|
| ポ<br>ン<br>プ | 口 径 お よ び 形 式                | 1,000 mm×600 mm 横形両吸込<br>ウズ巻ポンプ                    |
|             | 台 数                          | 7 台/2 系統                                           |
|             | 全 揚 程                        | 76 m                                               |
|             | 吐 出 量                        | 7,500 m <sup>3</sup> /h (=2.083 m <sup>3</sup> /s) |
|             | 回 転 数                        | 488 rpm                                            |
|             | 電 動 機 出 力                    | 2,100 kW                                           |
| 管<br>路      | フライホイール効果 (GD <sup>2</sup> ) | 8,000 kgw・m <sup>2</sup>                           |
|             | 長  さ                         | 15.2 km                                            |
| 管<br>路      | 内  径                         | 2.2 m                                              |
|             | 圧力波の伝わり速度                    | 990 m/s                                            |
|             | 管路摩擦損失係数                     | C=140 (Williams-Hazen)                             |

示す。これらのワンウェイ・サージタンクの設置場所は弾性理論による逐次法のウォーターハンマ計算<sup>(6)</sup>結果により決定された。その容量については、タンクが作用をはじめるまでは上記計算方法により、タンクが作用をはじめてからは、水柱を剛体として取り扱う計算方法によって行なったものである。その後、設置場所は土地事情などにより多少移動しているが、これはタンクを高くすることにより補われたので、最終的には個々のタンクによっては、その容量が余裕のあるものもある。

圧力上昇対策としては、ポンプ吐出弁を適切な閉鎖方法にすることにより行なった。すなわち、吐出弁の絞り効果が生じるまでは速くし、その後は大きな圧力上昇を生じないようにゆっくり閉鎖するという 2 段階閉鎖の方法を採用し、コーン形主弁に第 1 段階閉鎖を、ニードル形側弁に第 2 段階閉鎖をそれぞれ受け持たせた。しかしながら、このほかに、ワンウェイ・サージタンクにより圧力降下を防止することが、間接的には圧力上昇の防止に役だっていることも注意すべきである。

その後、数個のワンウェイ・サージタンクを有するポンプ設備

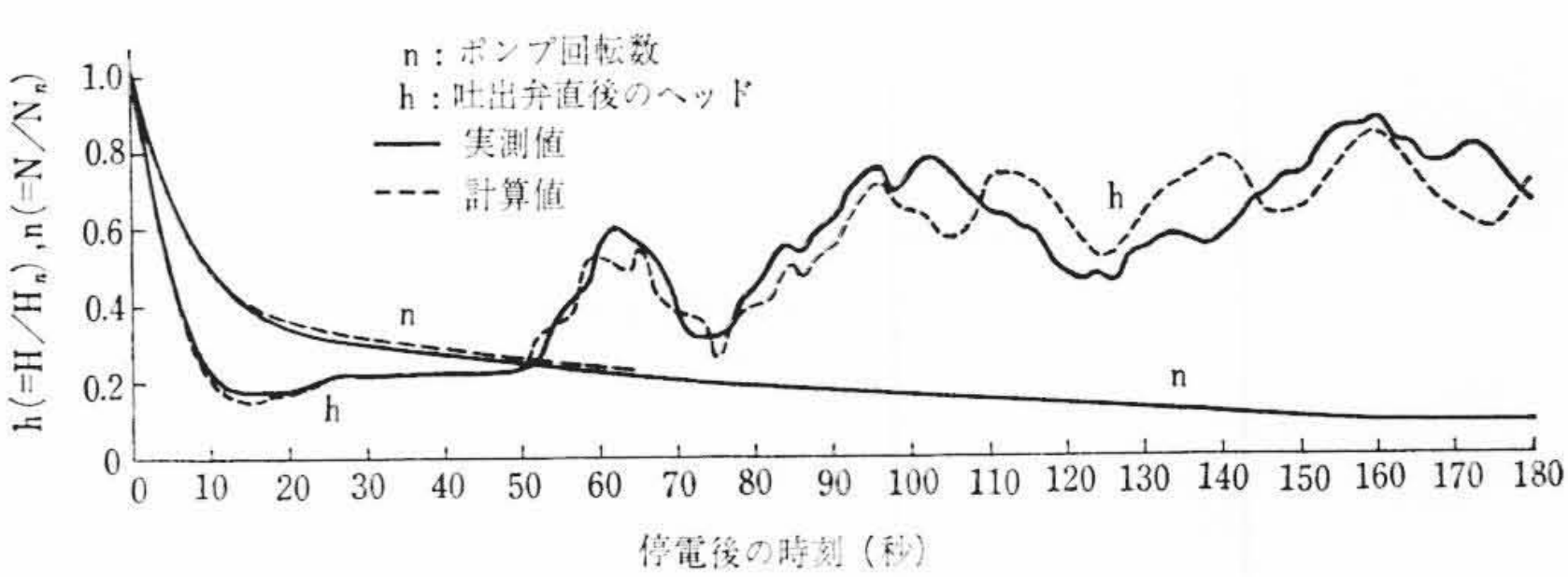


図 3 ポンプトリップ後のポンプ回転数変化および管路圧力変化

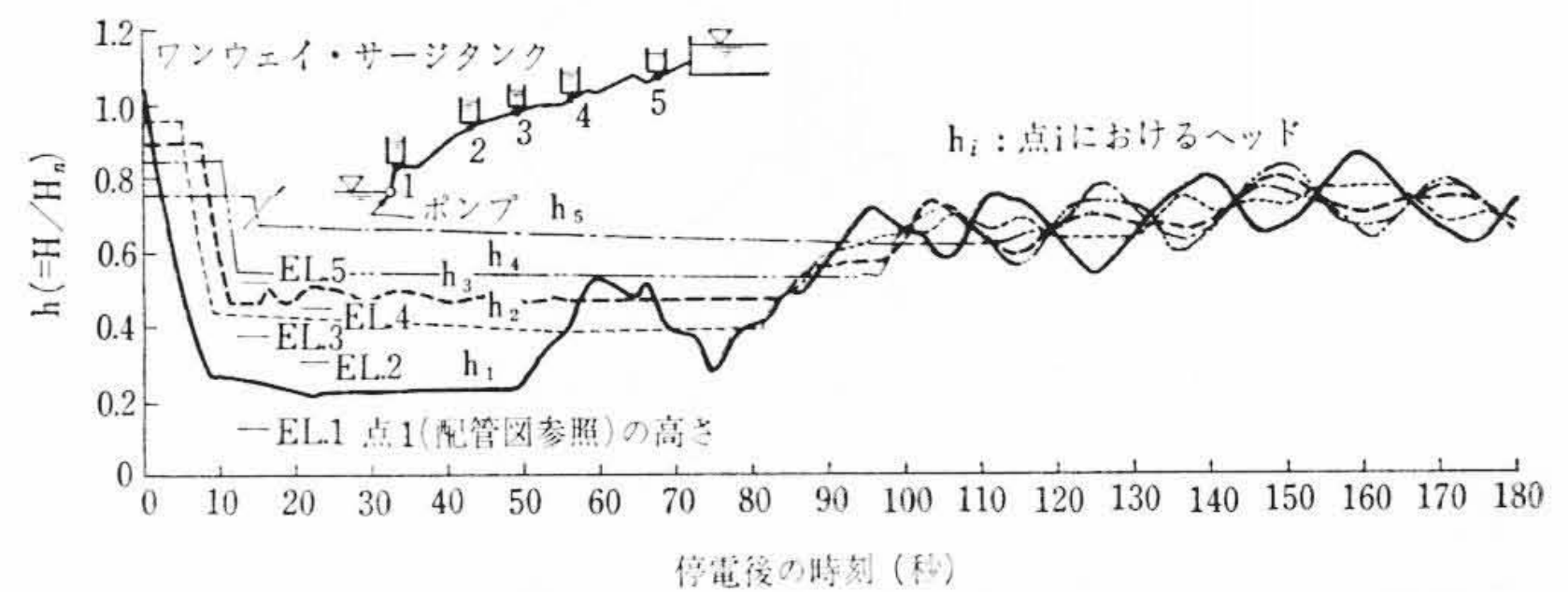


図 4 ポンプトリップ後のワンウェイ・サージタンク連結部の管路圧力変化

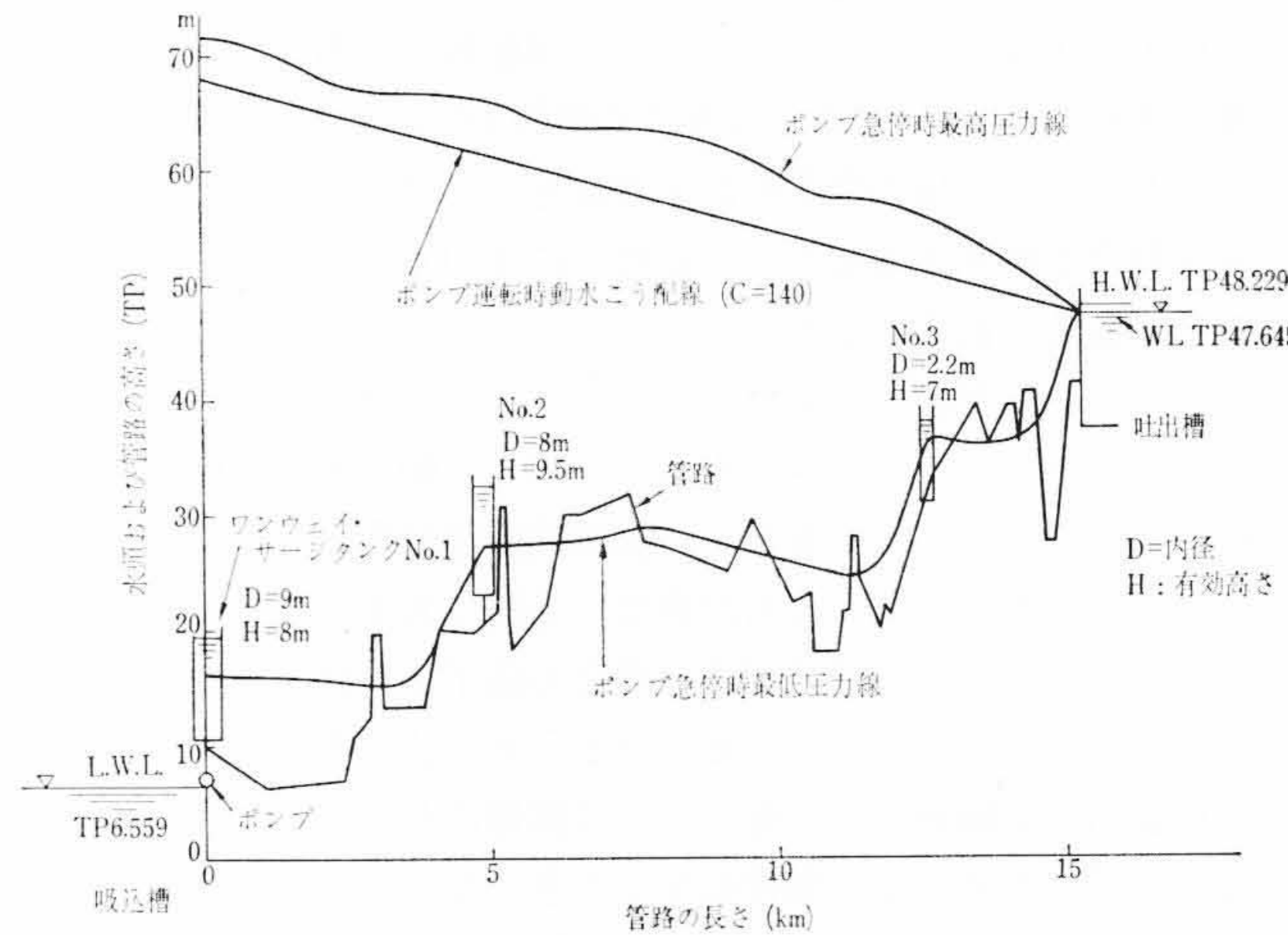


図 5 計画中のポンプ設備 (I) の管路および圧力線図 (吐出弁に逆止弁を使用した場合)

に対するウォーターハンマ計算用の電子計算機 (HITAC 5020) プログラムが完成したので、本ポンプ設備のウォーターハンマ計算を行ない、ウォーターハンマ実測結果と比較することができたので次に紹介する。表 1, 2 および表 3 にポンプおよび弁仕様、管路仕様およびタンク仕様を示す。また、表 3 にはタンクの水位低下について計算値と実測値の比較も示す。図 3 には、ポンプトリップ後のポンプ回転数と吐出弁直後の管路圧力について、各実測値と計算値の比較を示し、図 4 には、各サージタンク付近の管路圧力について計算値を示している。

原水連絡ポンプ設置後、約半年遅れて送水管路(吐出管路)途中に増圧ポンプ 3 台が設けられ、1 日あたり約 100 万 t の送水能力であったものが、1 日あたり約 130 万 t の送水が可能となった。原水連絡ポンプと増圧ポンプの連合運転の場合のウォーターハンマ試験が行なわれたが、管路の最高圧力およびワンウェイ・サージタンクの水位低下量は、原水連絡ポンプ 3 台運転の場合のウォーターハンマ試験結果とは大差がなかった。これは次の理由によると考えられる。すなわち、増圧ポンプと並列に 1,800 φ 油圧コーン弁が設けられ、増圧ポンプトリップ時急開するようになっていることと、1 日あたり約 130 万 t の送水を行なっている場合は、管

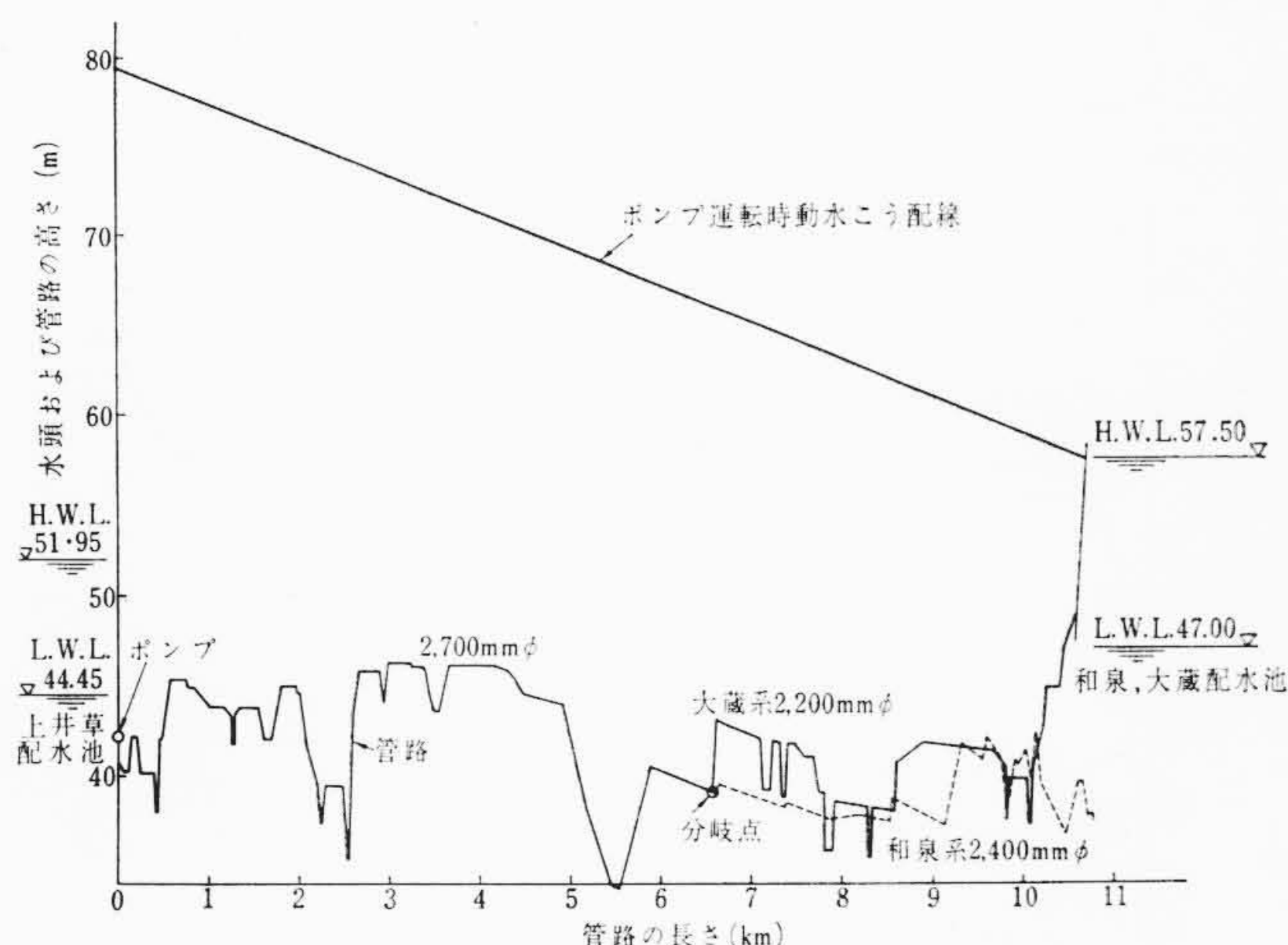


図6 和泉・大蔵配水ポンプ設備の管路図

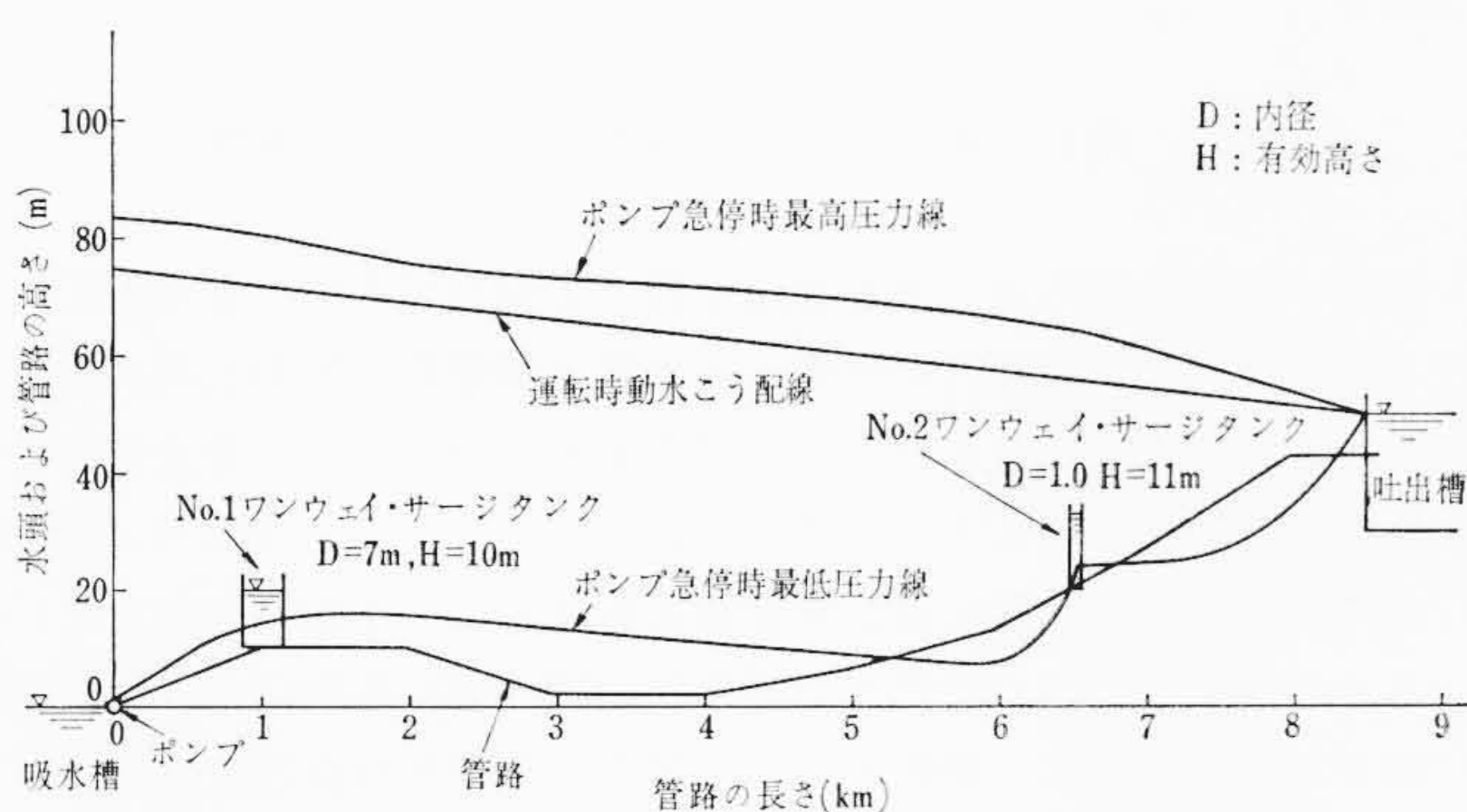


図7 計画中のポンプ設備(Ⅱ)の管路および圧力線図

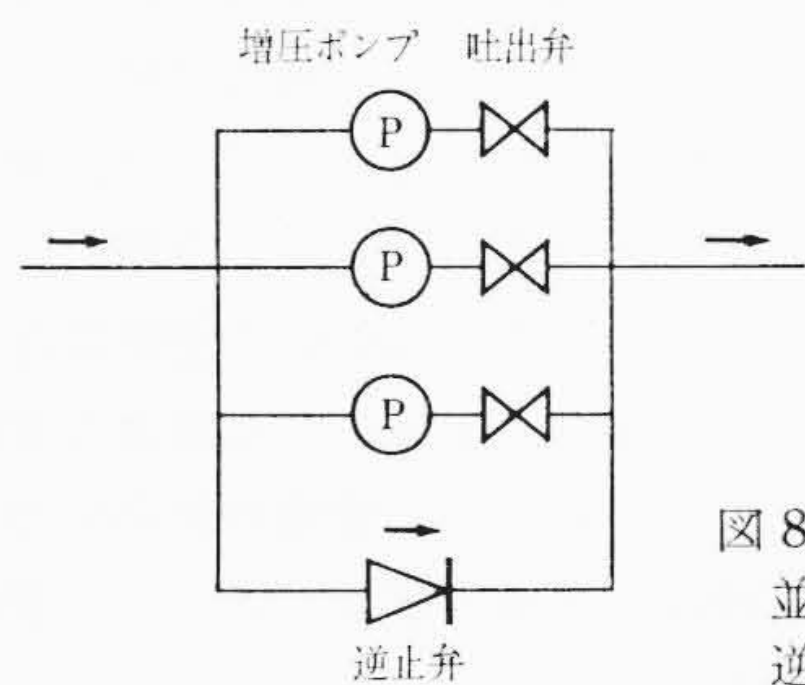


図8 増圧ポンプと並列に設けられる逆止弁管路の説明図

路抵抗が相当に大きいので、ウォーターハンマ現象が流量増加に比較してそれほど激しくならないからである。

## (2) 計画中のポンプ設備(Ⅰ)

本ポンプ設備も、利根川系原水連絡ポンプ設備と同じように、原水を約15 kmも離れた浄水場へ移送するものである。このような長大吐出管路の場合は、やはりウォーターハンマ、特に水柱分離を起こさせないための圧力降下対策が重要である。この場合も種々の方法が検討されたが、フライホイールは $GD^2$ が約 $95 \text{ t} \cdot \text{m}^2$ 、サージタンクは高さが約80 m、空気室は容量が約 $1,400 \text{ m}^3$ となるので、結局、ワンウェイ・サージタンク案が採用された。ワンウェイ・サージタンクと管路は図5に示すとおりである。

ポンプおよび管路の仕様を表4に示す。吐出弁としては、油圧コーン弁、緩閉チェック弁、普通チェック弁(ただし、チェック弁の場合はほかに仕切用の弁を必要とする)などが考えられたが、電子計算機を使用して、油圧コーン弁と普通チェック弁の2通りの場合について計算した結果、いずれの場合も管路圧力(最高および最低)については問題がなく、それらの数値にも大きな差異はみられなかった。図5は、吐出弁に普通チェック弁を使ったと

表5 和泉・大蔵系配水ポンプおよび弁の仕様

|                     |                                       |
|---------------------|---------------------------------------|
| 口径および形式             | 1,500 mm×1,000 mm 立形片吸込ウズ巻ポンプ         |
| 台数                  | 4 台                                   |
| 全揚程                 | 35 m                                  |
| 吐出量                 | $312.5 \text{ m}^3/\text{min}$        |
| 回転数                 | 315 rpm                               |
| 電動機出力               | 2,300 kW                              |
| フライホイール効果( $GD^2$ ) | $20,000 \text{ kgw} \cdot \text{m}^2$ |
| 吐出弁                 | 1,000 mm コーン弁(油圧)                     |

表6 計画中のポンプ(Ⅱ)および管路の仕様

|                     |                                    |
|---------------------|------------------------------------|
| 口径および形式             | 800 mm×500 mm 横形両吸込ウズ巻ポンプ          |
| 台数                  | 5 台                                |
| 全揚程                 | 75 m                               |
| 吐出量                 | $4,000 \text{ m}^3/\text{h}$       |
| 回転数                 | 890 rpm                            |
| 電動機出力               | 1,100 kW                           |
| フライホイール効果( $GD^2$ ) | $976 \text{ kgw} \cdot \text{m}^2$ |
| 吐出弁                 | 800 mm コーン弁(油圧)                    |
| 長さ(2連)              | 8.5 km                             |
| 内径                  | 900 mm                             |
| 圧力波の伝わり速度           | 1,078 m/s                          |
|                     | 1,600 mm                           |
|                     | 1,052 m/s                          |

きの計算による管路の最低圧力と最高圧力である。最終的には、吐出弁として緩閉チェック弁を使用することが考えられている。

## 3.2 水道用送水ポンプ

### (1) 和泉・大蔵系配水ポンプ設備

東京都水道局上井草給水所から和泉および大蔵両配水池へ送水するポンプの吐出管路は、図6に示すように長さ約11 kmもあるが、実揚程は管路長に比較して非常に小さい(実揚程は最大+13.05 m、最小-4.95 m)であり、配水池の水位によって変化する。このような場合、ポンプトリップ時に管路には非常に大きな圧力降下が起こり負圧になる。

負圧が約-10 m水柱(水の蒸気圧)以下では水柱分離が発生するが、水の蒸気圧まで下がらなくても管内へ空気がはいった場合も水柱分離が発生する(一般に、市街地を通る送配水管には空気弁があって、配管内部の空気を抜いているが、管路圧力が負圧になれば外部から空気を吸入することがある)。ところが、水柱分離が発生しても、本管路のように実揚程が小さい場合には、水柱の再結合は非常にゆっくりと(相対速度が小さい状態で)行なわれるので圧力上昇が小さくなる場合が多い。参考のためポンプおよび弁の仕様を表5に示す。管路は直径2,700 mmだが、両配水池への分岐管はそれぞれ2,400 mmおよび2,200 mmとなっている。

### (2) 計画中のポンプ設備(Ⅱ)

このポンプ設備は図7に示す管路(長さ約8.5 km)で、1日48万tの送水を行なうものである。実揚程は最大値50.1 mもあるので、水柱分離が起きるとその後の水柱再結合時の圧力上昇が心配され、ウォーターハンマ対策については種々の案が検討されたが、結局図7のようなワンウェイ・サージタンク案を採用することになった。ポンプ、弁の仕様および管路の仕様は表6に示すとおりである。

なお、本ポンプ設備が扱っている水は、水道用浄水であるため、ワンウェイ・サージタンク内の水がデッドウォーターになることが問題となる。タンク内の水を小量抜き続けるか、あるいは小容量ポンプを設けてタンク内の水を送水管(吐出本管)へ戻し続ける方法により、タンク内の水を循環させることが必要である。

### (3) 増圧ポンプ設備

送水ポンプや配水ポンプには、吐出管路の途中に増圧ポンプを設けることがある。比較的管路が長くて、主ポンプ(増圧ポンプに対して主ポンプと呼ぶ)と増圧ポンプを含めた実揚程が低く、ポンプ全揚程がほとんど管路抵抗の場合には、管路流量の増減方

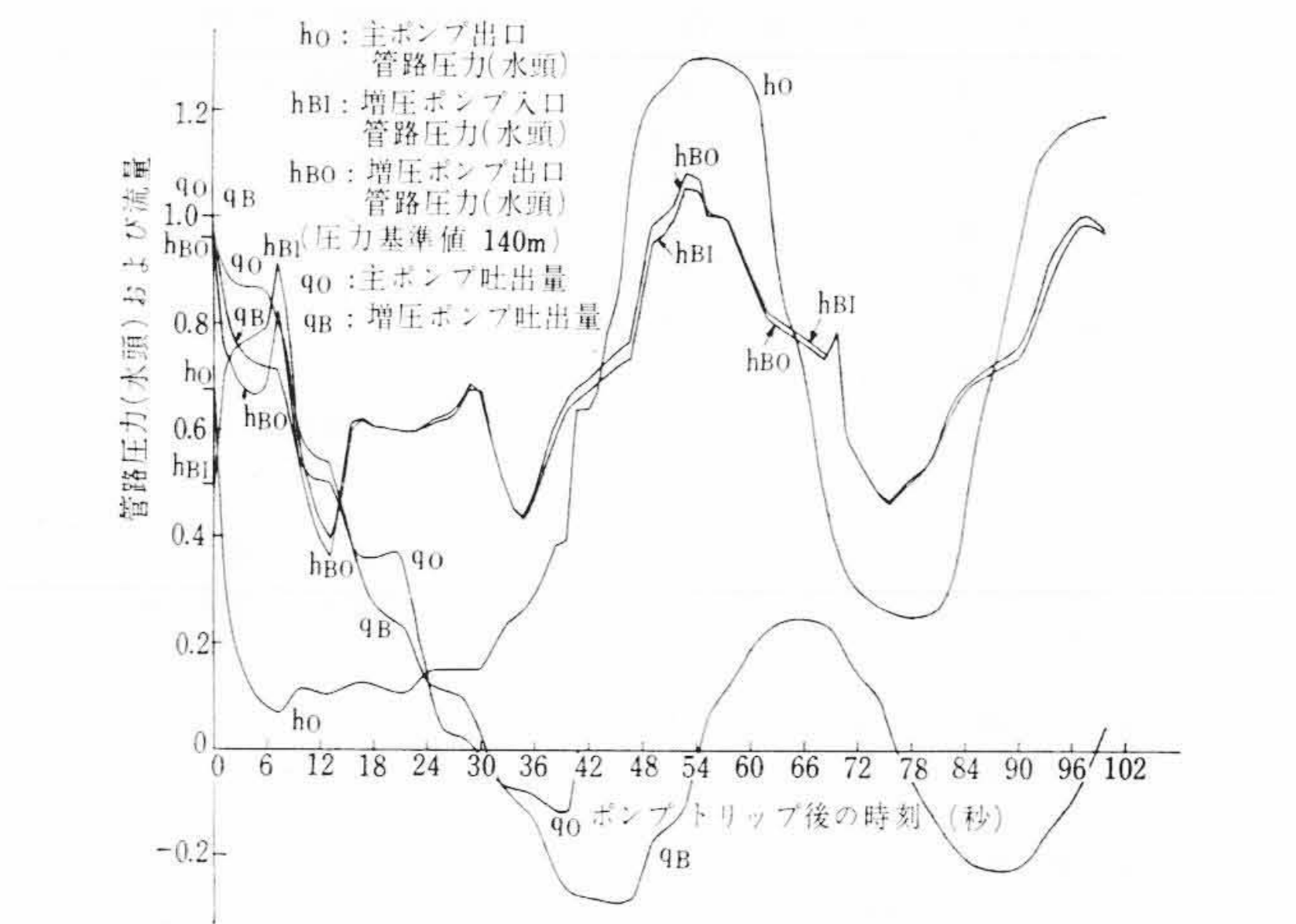


図 9 計画を仮定された増圧ポンプ設備における両ポンプ同時トリップ後の管路圧力変化および吐出量変化

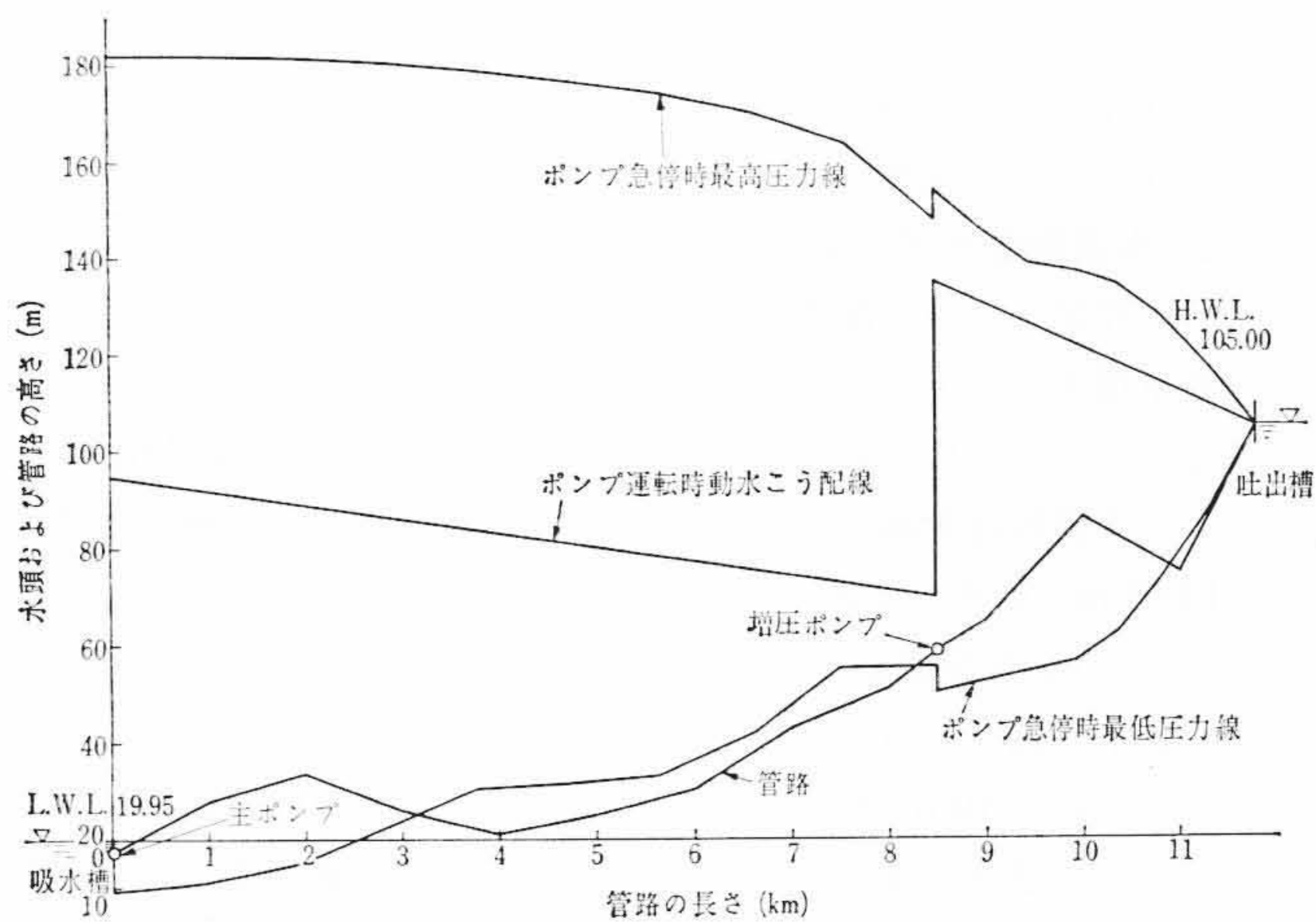


図 10 計画を仮定された増圧ポンプ設備における両ポンプ同時トリップ後の管路圧力線図

表 7 計画を仮定された増圧ポンプおよび管路の仕様

|                                    |                                    |                         |
|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| 主<br>ポ<br>ン<br>プ                   | 口 径 お よ び 形 式                      | 800 mm×500 mm 横形両吸込ウズ   |
|                                    | 台 数                                | 巻ポンプ 4 台                |
| 全 揚 程                              | 全 揚 程                              | 75 m                    |
|                                    | 吐 出 量                              | 4,000 m <sup>3</sup> /h |
| 回 転 数                              | 回 転 数                              | 890 rpm                 |
|                                    | 電 動 機 出 力                          | 1,100 kW                |
| フ ラ イ ホ イ ル 効 果 (GD <sup>2</sup> ) | フ ラ イ ホ イ ル 効 果 (GD <sup>2</sup> ) | 976 kgw・m <sup>2</sup>  |
|                                    | 吐 出 弁                              | 800 mm コーン弁 (油圧)        |
| 管 路                                | 長 さ                                | 8.5 km                  |
|                                    | 内 径                                | 1,600 mm                |
| 圧 力 波 の 伝 わ り 速 度                  | 圧 力 波 の 伝 わ り 速 度                  | 1,052 m/s               |
| 増 圧 ポ ン プ                          | 口 径 お よ び 形 式                      | 700 mm×400 mm 横形両吸込ウズ   |
|                                    | 台 数                                | 巻ポンプ 4 台                |
| 全 揚 程                              | 全 揚 程                              | 65 m                    |
|                                    | 吐 出 量                              | 4,000 m <sup>3</sup> /h |
| 回 転 数                              | 回 転 数                              | 1,180 rpm               |
|                                    | 電 動 機 出 力                          | 950 kW                  |
| フ ラ イ ホ イ ル 効 果 (GD <sup>2</sup> ) | フ ラ イ ホ イ ル 効 果 (GD <sup>2</sup> ) | 330 kgw・m <sup>2</sup>  |
|                                    | 吐 出 弁                              | 700 mm コーン弁 (油圧)        |
| 管 路                                | 長 さ                                | 3.3 km                  |
|                                    | 内 径                                | 1,600 mm                |
| 圧 力 波 の 伝 わ り 速 度                  | 圧 力 波 の 伝 わ り 速 度                  | 1,052 m/s               |

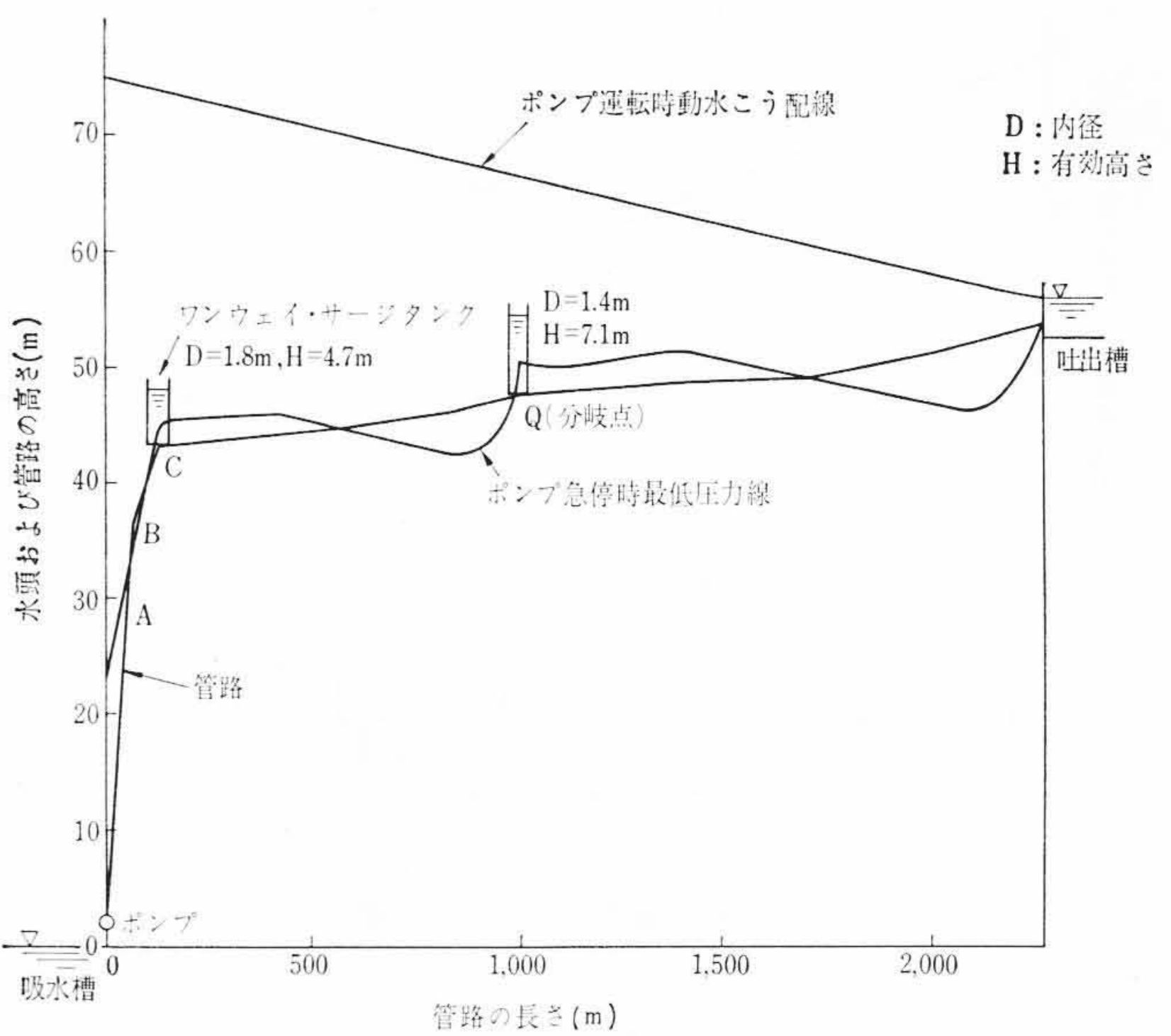


図 11 滝沢平揚水ポンプ設備管路および圧力線図

圧ポンプと並列に逆止弁の管路を設ける場合が多い。また増圧ポンプのトリップ時には増圧ポンプの吸込側管路の圧力上昇が起こるが、この圧力上昇も増圧ポンプと並列に設けられる逆止弁の管路により防止することができる。以上のことから、増圧ポンプ設備にはポンプと並列に逆止弁管路を設けることが定石となっている。しかしながら、増圧ポンプと吐出槽の間に相当に大きな実揚程がある設備では、増圧ポンプと並列に設けられた逆止弁管路がその役目をなさないことがある。このような場合には、増圧ポンプの吐出管路の最低圧力が比較的大きいため、その吸込管路の圧力が上昇しても逆止弁管路を通してその吐出管路へ流れ込むことができない。したがって、増圧ポンプの吸込管路の圧力も相当に高くなる。図 9、10 に一例を示す。なお、ポンプ、弁および管路の仕様を表 7 に示す。この図は主ポンプおよび増圧ポンプを同時にトリップし、主ポンプの吐出弁は 30 秒で全閉になるように閉じ、増圧ポンプの吐出弁は全開のままにした場合の管路圧力を示している。このようなポンプ系では、管路の最高圧力を下げるには、増圧ポンプの吸込側に貯水池を置き、両ポンプ管路を切り離して、圧力を開放する方法がもっとも確実である。これにより、増圧ポンプの吸込側の管路圧力はポンプ運転時とほぼ等しいものになり、増圧ポンプ吐出管路のウォーターハンマ最高圧力の制御も容易になる。

3.3 かんがい用揚水ポンプ

(1) 青森県滝沢平揚水ポンプ設備

このポンプ設備は小川原湖の水を付近の台地へかんがい用として揚水するものである。吐出管路は図 11 に示すように、全長 2 km 余であるがポンプ吐出直後にこう配の大きい立上り配管部がある。このような管路プロフィールでは、配管立上り頂部にみかけ上非常に大きい負圧を生じ水柱分離をひき起こす。こういう場合の対策としてフライホイールを用いると非常に大きくなり、経済的でないので、サージタンクまたはワンウェイ・サージタンクが選ばれる場合が多い。本設備ではワンウェイ・サージタンクが採用されたが、管路が比較的長く、ワンウェイ・サージタンクの高さを制限したのでタンク数は 2 個になった。図 11 はワンウェイ・サージタンクの寸法および設置場所を、図 12 はその写真を示したものである。

ポンプから約 1 km の地点に分岐点があり、ポンプからその地点までは口径 700 mm の管路となっているが、分岐点以降は口径

法としては、増圧ポンプの運転台数を増減することが多い。こういう設備では、増圧ポンプの運転切換時に管路圧力の変動が大きくなることが必要であり、その対策として、図 8 のように増

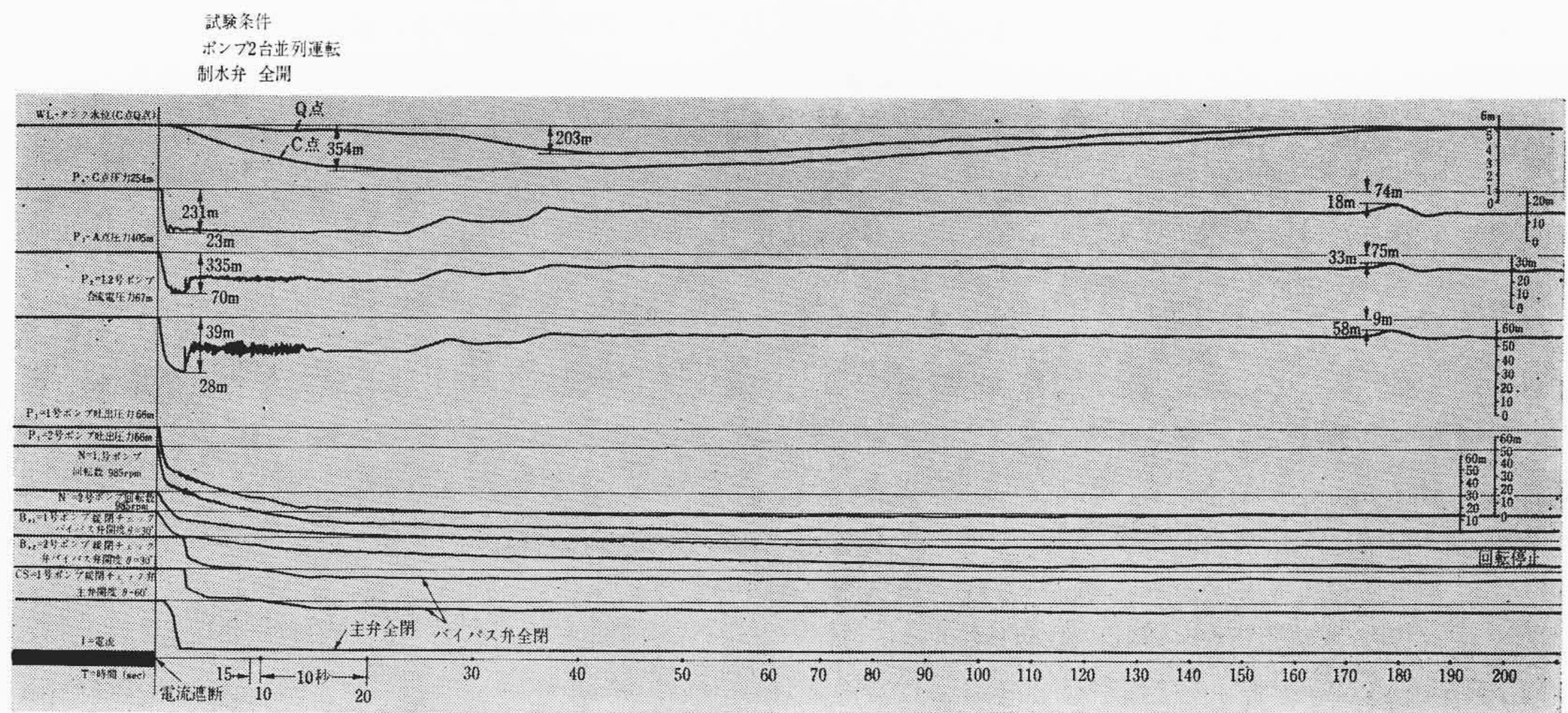


図13 滝沢平揚水ポンプ設備の現地ウォーターハンマ試験オシログラム

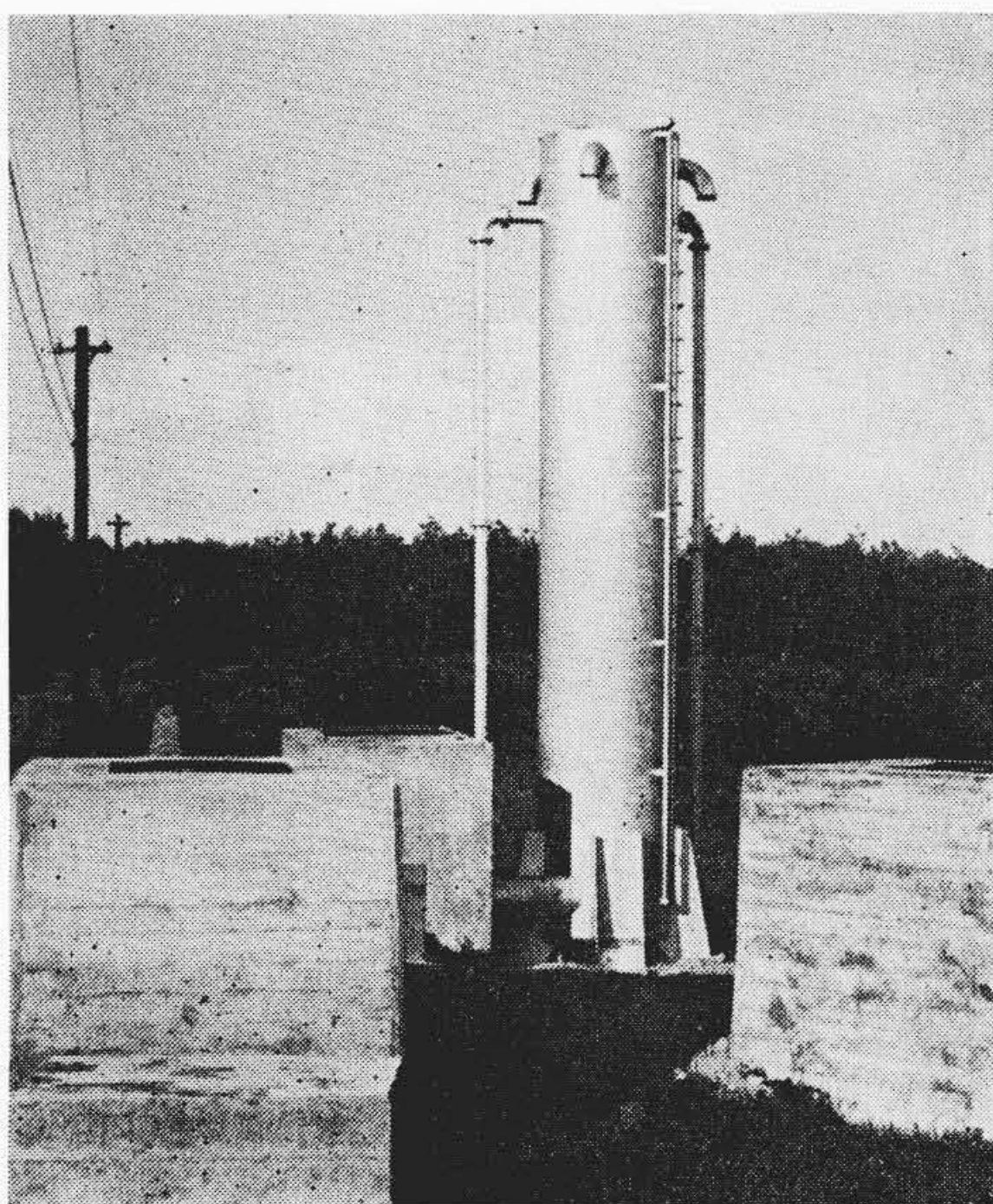


図12 滝沢平揚水ポンプ設備のワンウェイ・サージタンク(Q点)

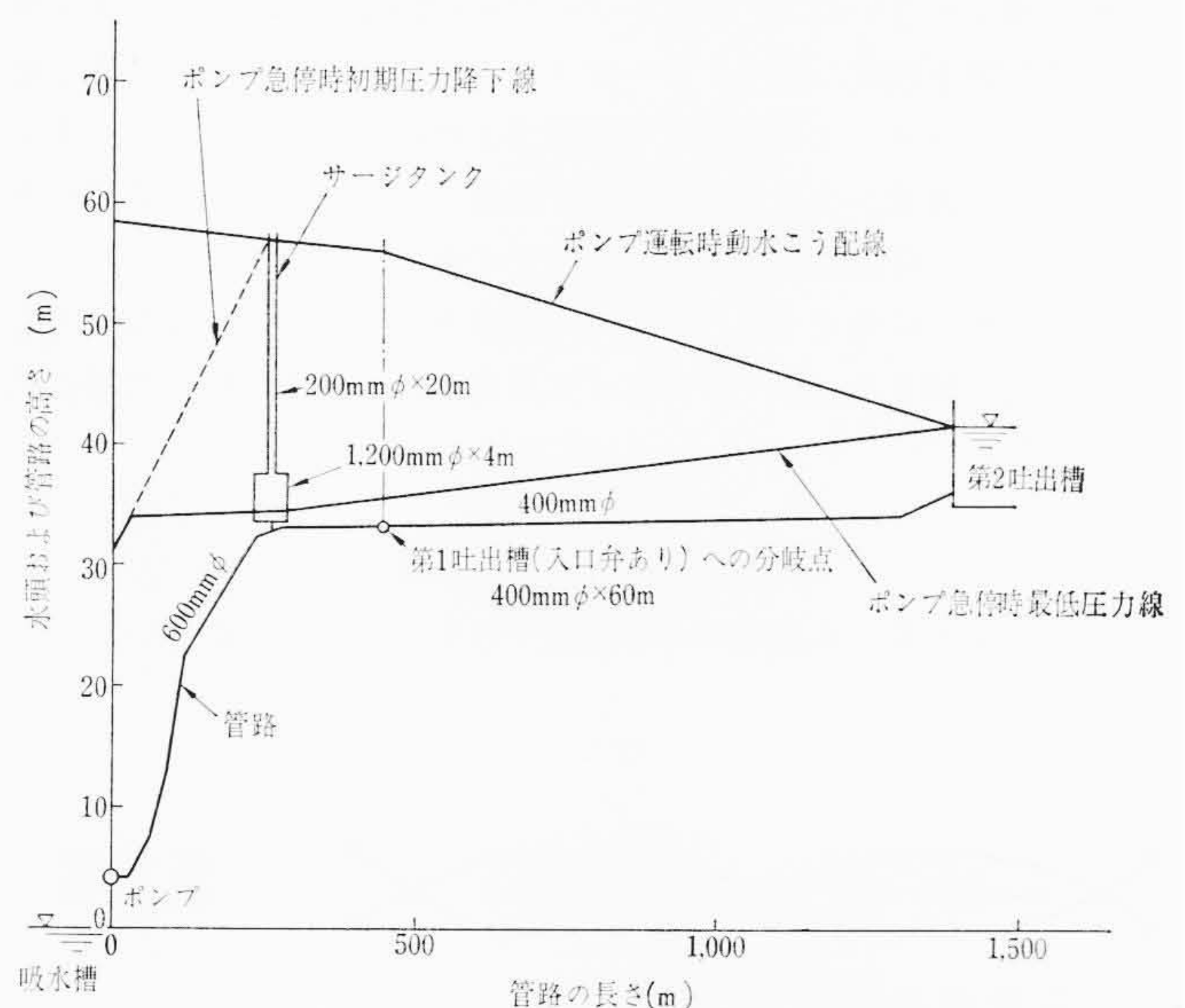


図14 金矢平揚水ポンプ設備の管路および圧力線図

表8 滝沢平揚水ポンプおよび管路の仕様

|     |                              |                           |
|-----|------------------------------|---------------------------|
| ポンプ | 口径および形式                      | 400 mm×260 mm 横形両吸込ウズ巻ポンプ |
|     | 台数                           | 2 台                       |
|     | 全揚程                          | 75 m                      |
|     | 吐出量                          | 21.6 m <sup>3</sup> /min  |
|     | 回転数                          | 985 rpm                   |
|     | 電動機出力                        | 400 kW                    |
| 管路  | フライホイール効果 (GD <sup>2</sup> ) | 230 kgw・m <sup>2</sup>    |
|     | 吐出弁                          | 400 mm 緩閉チェック弁            |
|     |                              | 400 mm 電動スルース弁            |
| 管路  | 長さ                           | 2,264 m (第2号幹線による)        |
|     | 内径                           | 700 mm (全長を1本と仮定する)       |
|     | 圧力波の伝わり速度                    | 897 m/s                   |

表9 金矢平揚水ポンプおよび管路の仕様

|     |           |                                  |
|-----|-----------|----------------------------------|
| ポンプ | 口径および形式   | 500 mm×350 mm 両吸込ウズ巻ポンプ          |
|     | 台数        | 1 台                              |
|     | 全揚程       | 52 m                             |
|     | 吐出量       | 23.88 m <sup>3</sup> /min        |
|     | 回転数       | 985 rpm                          |
|     | 電動機出力     | 350 kW                           |
| 管路  | フライホイール効果 | 195 kgw・m <sup>2</sup>           |
|     | 吐出弁       | 500 mm 緩閉チェック弁                   |
|     |           | 500 mm 電動スルース弁                   |
| 管路  | 長さ        | 447 m                            |
|     | 内径        | 939 m                            |
|     | 圧力波の伝わり速度 | 600 mm 400 mm<br>910 m/s 794 m/s |

600 mm の管路が2本になっている。両分岐管の先には吐出槽があり、その水位もほぼ等しく、分岐管の長さもほぼ等しい。そこで、計算の際にはこれらの分岐管を1本の相当管路と仮定した。

本ポンプ設備ではウォーターハンマ現地試験を行ない、ポンプ回転数、ポンプ吐出圧力、吐出弁(緩閉チェック弁)開度などの項目のほか、両ワンウェイ・サージタンクの水位および管路の圧力を測定した。管路の最高圧力は、計算によってもあまり大きくならないことが予想されていたが、実測値もポンプ運転時圧力に達しない大きさであった。また、管路の最低圧力は、計算上ではいずれの地点にも水柱分離を発生しないものであったが、実際にも水柱分離を生じた形跡はなかった。図13は現地試験のオシログラム

ムである。

タンクの水位低下量は、C点のタンクについては予想より大きく、Q点のタンクについては予想より小さかった。貯水槽および両タンクの水位の、計算と実際の相違も原因の一つと考えられるが、C点のタンクについては、緩閉チェック弁からの逆流量を見込まなかったことが、計算値と実測値に差が生じたおもな原因と考えられる。ポンプ、弁および管路の仕様を表8に示す。

## (2) 青森県金矢平揚水ポンプ設備

本ポンプ設備もかんがい用であるが、その吐出管路は、図14のようにやはりポンプ吐出直後に比較的急こう配の立上り部があるものである。また、ポンプより447 m離れた地点に長さ60 mの

分岐管があり、その先端の第1吐出槽への送水も可能になっている。送水先が2箇所であるため、ポンプに近いほうの第1吐出槽の入口にはスルース弁が置かれ、両吐出槽への水量調整も可能となっている。本ポンプ設備では、場合によってはこのスルース弁が全閉され、第2吐出槽のみへ送水されることがある。この場合にはウォーターハンマ降下圧が非常に大きくなるので図14に示す位置にサージタンクが設置された。

表9は本設備のポンプ、弁および管路の仕様であるが、コンベンショナルなサージタンクまたはワンウェイ・サージタンクを置いても大容量になるとは考えられないので、構造が簡単で保守の容易なコンベンショナルなサージタンクが採用された。しかしながら、サージタンクを経済的なものとするため、タンクの断面積が高さによって異なるものとした。すなわち、底部から4mの高さまでは直径1,200mmに、それより上部は直径200mmのガスパ管にした。このような構造のものでは、サージタンク上部の水平断面積が小さいので、ウォーターハンマ初期におけるサージタンクの水位降下速度が速く、サージタンクの水位がすみやかに低くなる。サージタンクの水位と管路圧力との差が小さいとサージタンクからの流量が小さくなるので、結局、サージタンクの容量が小さくなり、経済的に製作することができる。

納入後、現地でウォーターハンマ試験を行なったが、最高圧力も規定内に納まり、サージタンクに異常がなく、本設備の対策は成功した。

4. 結 言

吐出管路が長い水道用ポンプ設備や吐出管路の形状が悪いかんが

い用ポンプ設備における、最近のウォーターハンマ対策を紹介した。特に、その対策として多く用いられているワンウェイ・サージタンクに関しては、実施例の紹介とともに、そのポンプ設備のウォーターハンマを電子計算機で計算した結果と現地試験の実測結果との比較の一例を示した。

実施例の検討結果によれば、ワンウェイ・サージタンクは予想どおりの機能を発揮している。この装置は、本来圧力降下を防止する目的のものであるが、これを設けたポンプ設備のウォーターハンマ計算でも、実測結果でも圧力上昇は大きくならなかった。また、ウォーターハンマ計算は種々の要素を含めて行なうので割合に複雑な計算であるが、電子計算機によれば、正確な計算をより速く経済的に行なうことができる。以上のことから、ウォーターハンマ対策としてワンウェイ・サージタンクは今後多く使用されることと思われる。

参 考 文 献

(1) 松原, 横山: 日立評論 42, 1198 (昭35-11)

(2) J. Parmakian: Waterhammer Analysis 2nd. ed., Dover Publications (1963) p. 88~91

(3) 小堀: 日立評論 35, 919 (昭28-6)

(4) L. Bergeron: Water Hammer in Hydraulics and Wave Surges in Electricity, John Wiley & Sons (1961) p. 112

(5) V. L. Streeter: Waterhammer Analysis of Pipelines, Proc. ASCE, Vol. 90, No. HY4 (1964) p. 151

(6) 宮代: 数個の一方サージタンクを有するポンプ場のウォーターハンマ計算法, 日本機械学会前刷集 No. 100 (1963-11 第41期東京秋期講演大会) p. 33



登録実用新案 第782929号

新 案 の 紹 介



石 塚 富 男

ブ ラ ウ ン 管 用 電 子 銃

テレビ用ブラウン管は通常8,000~20,000ボルトの高電圧で使用されるので、耐電圧性を十分にするためこれに用いる絶縁材料を吟味し、電子銃各部の表面を平滑かつ清浄に保つ必要がある。

この考案は電位差の大きいエレメント間の放電緩和を考慮したブラウン管用電子銃の改良に関するもので、図面に示すように第3グリッドと第5グリッド、および第4グリッドの接続線にインピーダンス素子を付加したものである。

この考案によれば、なんらかの故障によってエレメント間に放電電流が流れようとするときはインピーダンス素子がエレメント間の電圧を降下させる作用をするので、必然的に放電が緩和され、したがって結果的にはブラウン管の寿命を長く維持することができるという効果がある。

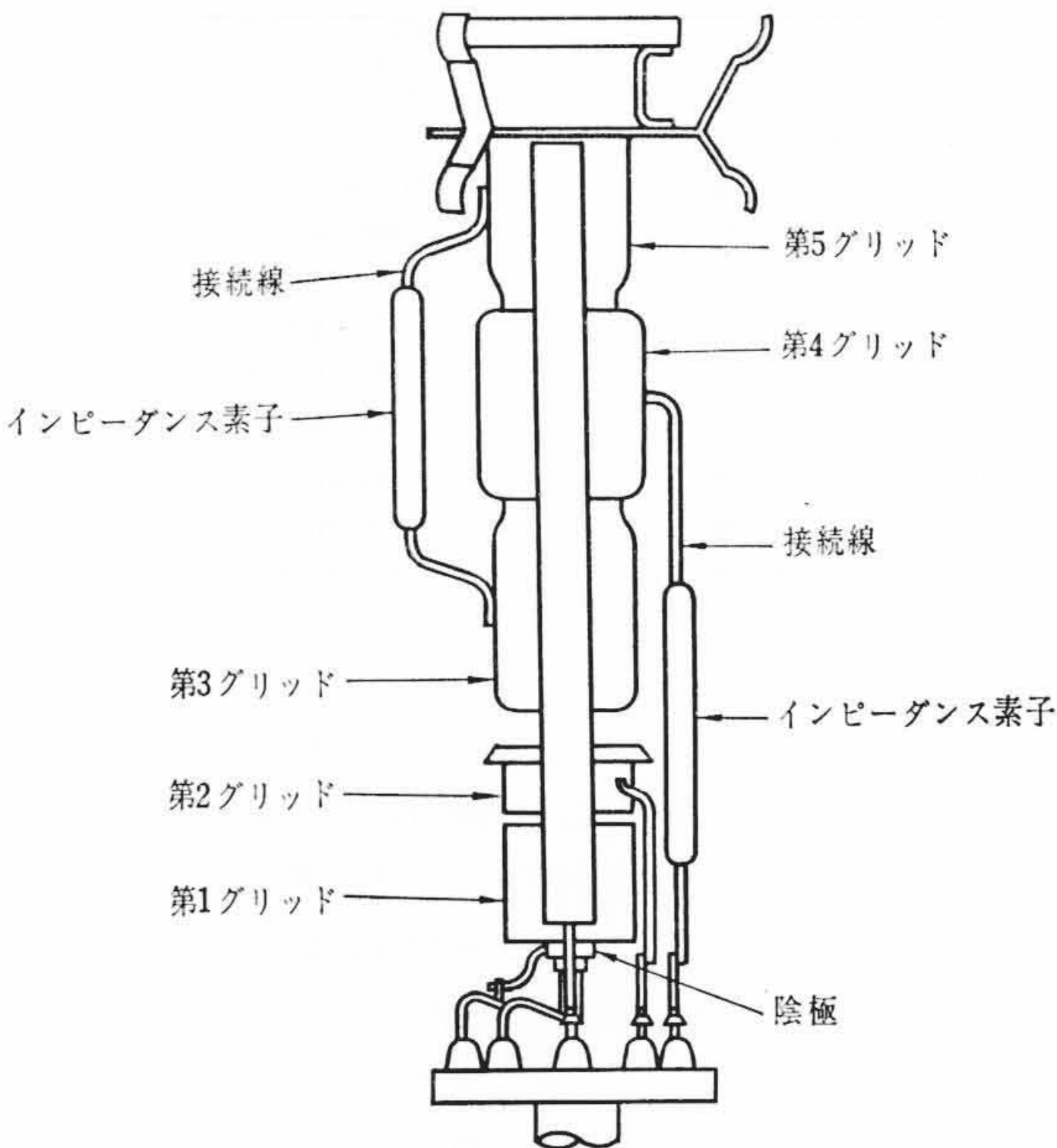


図 1