

## パイプラインの特徴的な水理現象とは？

農業土木研究室

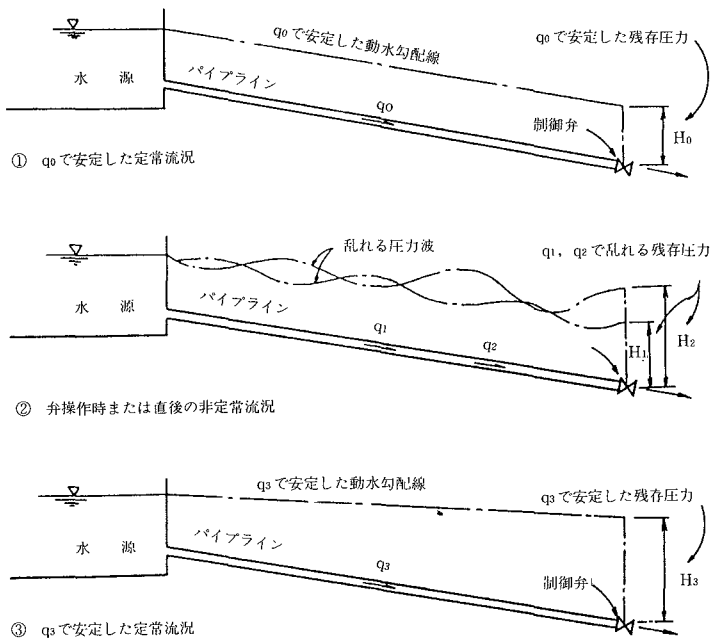
【問】 農業用パイプラインの特徴的な水理現象について、簡単に説明して下さい。

【回答】 パイプラインとは流体をそのまま（満流）輸送する管路を指し、ちなみに私達の身近なものから拾ってみても、農業用水路のほかに上下水道・都市ガス・冷暖房・油送などいたるところに見受けられます。

このような密閉された断面内を圧力差で流動するパイプラインと、大気に接し、水面勾配によって流れる開水路とでは、水の流れの基本則は共通ですが、流況発生とその伝達面での水理特性は大きく異なります。すなわち、パイプラインでの水理現象の伝播速度は、開水路に比べてきわめて速いものであるといえます。

パイプラインの主な水理現象としては、定常流況時の摩擦および各種損失水頭や、非定常流況時の水撃圧やサージングなどがあげられます。ここでは、特にパイプラインの非定常的な水理現象について簡単に御話ししましょう。

管路内の任意の場所において、流れの状態が時間的に変化しない定常流（定常状態の流れ）に対して、任意の時刻において平均流速、圧力水頭が一定でない流れを非定常流、あるいは非定常状態の流れと呼んでいます。非定常流は、あるひとつの定常状態の流れ（静水状態を含



ただし、①弁操作前、②弁操作時または直後、③弁操作終了後長時間を経た状況を示している。

図-1 定常流況，非定常流況の関係  
（土地改良事業計画設計基準『水路工（その2）パイプライン』より）

む) からバルブやポンプなどを操作して、目的とする次の定常流を得ようとするとき、その間に必ず発生します。定常流と非定常流の関係を模式的に表わせれば、図-1のようになります。

パイプラインにおけるこの非定常流、あるいは非定常的な水理現象は、一般に次のように大別できます。

(1) 水撃作用 (ウォーターハンマ)

バルブの開閉やポンプの始動・停止などの操作が急激に行われると、水の運動量が短時間に変化し、管路内に異常に大きな圧力上昇・下降を引起こします。この圧力波を水撃圧といい、この瞬間的な圧力波がパイプライン内を往復する現象を水撃作用 (ウォーターハンマ) と呼んでいます。この水撃現象の検討が不十分な場合、高圧による管の破裂、ひびわれ、あるいは負圧による管体などの潰れ事故などの危険性もあるため、管種選定の際の内水圧の要素としてこの水撃圧の値を見積もることは、設計上の重要なポイントになります。水撃圧はある伝播速度に対して、バルブの操作時間によって大きく左右されます。たとえば、簡単な系(水槽～単一管路～バルブ)において、バルブの操作時間を  $t_0$ 、管路長を  $L$ 、伝播速度を  $a$  とした場合、管路末端のバルブ操作により発生した圧力波が管を往復する時間  $2L/a$  との関係から、図-2 に示したような水撃圧分布となります。この場合、特に  $t_0 < 2L/a$  となる圧力波の往復時間より短い時間でバルブが閉じられるときに、大きな水撃圧が管路全体にあたって作用するので、このような急閉そくは避けることが大切です。これに対して、 $t_0 > 2L/a$  となる時間でバルブが閉そくされる場合は緩閉そくと呼ばれ、水撃圧の大きさも小さく、分布状況も異なったものとなります。よって、 $t_0$  は大きな値をとって設計する必要があります。また、ポンプ系における共振のケースなどにみられるように、管内の流量を急激に変化させた場合に流水の慣性に基づく流れの状態変化が一定の時間間隔をおいて繰返される現象を圧力脈動と呼んでいます。この圧力脈動と水撃作用は、今のところ明確に区別されていないようです。

(2) サージング現象

水撃作用によって伝播する管路内の水撃圧を小さなものとする、あるいは圧力調整や分水などの流量制御を単純、かつ確実にを行うことなどを目的として、パイプラインの途中に自由水面部 (分水槽、調圧水槽などと呼んでいます) を設ける場合があります。このような場合、バルブやポンプなどの操作に伴い発生する水理現象としては、水撃圧に比較してサージング現象が卓越します。すなわち、サージング現象とは、管路途中に介入する水槽 (自由水面部) の水位の上昇・下降現象であり、水撃現象

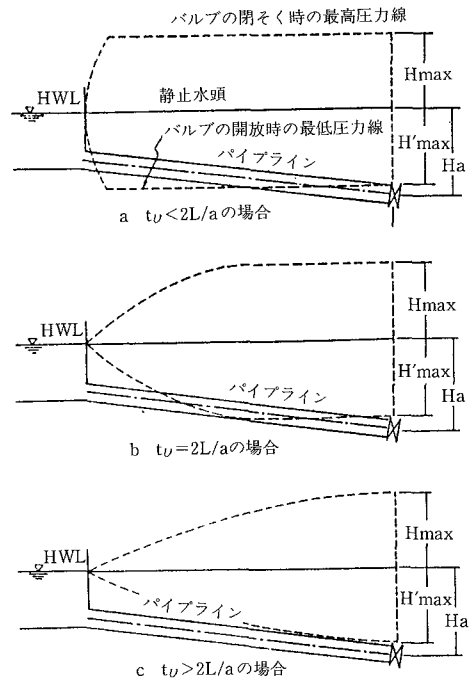


図-2 水撃圧の概念 (土地改良事業計画設計基準『水路工(その2)パイプライン』より)

に比べてはるかに長い時間にわたって継続する緩やかな流量・圧力の変化現象といえます。このサージング現象により、水槽での溢水や接続管路内へ空気混入などを生じる例があるので、水槽などの設計にあたっては留意する必要があります。

以上のような水理現象は、それぞれ独立した現象ではなく、いずれかの現象が最も顕著な場合にそれぞれ呼ばれるもので、パイプラインがもつ水理特性により発生する特徴的な非定常水理現象の両極端を示すものです。

実際の農業用パイプラインの組織 (系) としての組み合わせは、地区の諸条件などからさまざまなものが考えられます。したがって、パイプライン系の特徴的な水理現象としては、これら両極端の現象だけではなく、当然のことながら両者の特質を共有する中間領域も存在する場合があります。

(文責 小松淳一)

参考文献

- 1) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準水路工(その2)パイプライン，昭和63年3月。
- 2) 岩崎和巳：パイプラインの水理設計(その5)，農業土木学会誌第50巻第1号，昭和57年1月。