技術資料

水撃圧を視覚的にとらえる

中村　和正*　土肥　諭志**

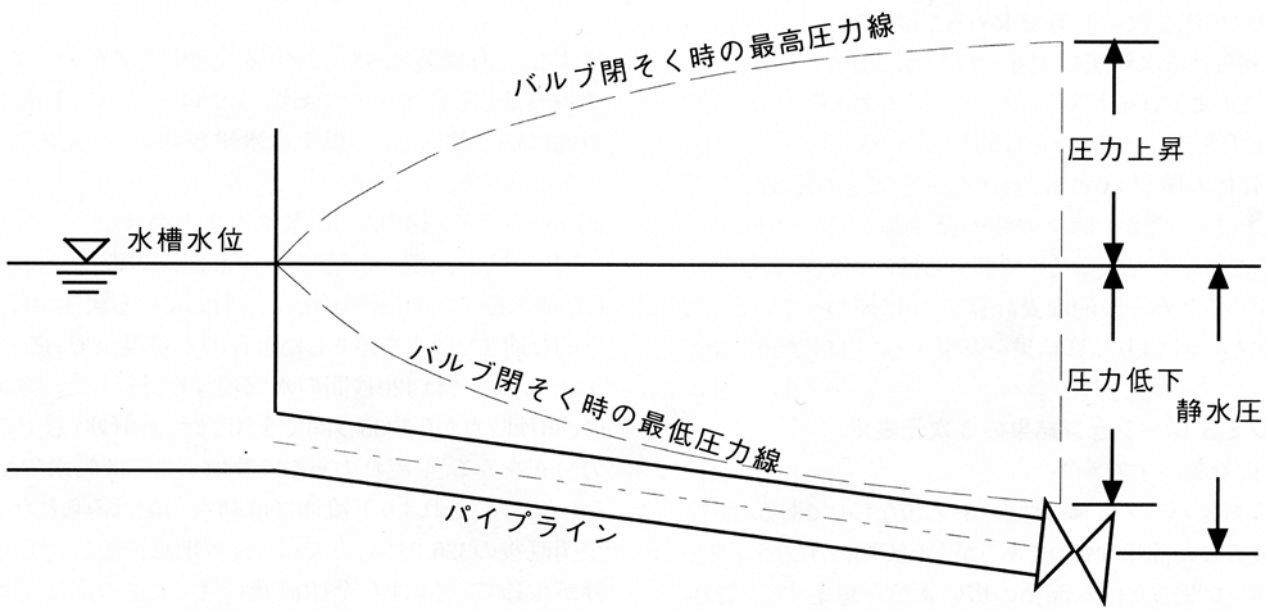
１．はじめに

水を送るパイプラインでバルブ開閉があると、流速が変化するとともに圧力波が生じる。これを水撃圧という。家庭の水道の蛇口を素早く閉めたときにも水撃圧が生じ、カツンという音が聞こえることがある。北海道の大規模な畑地にかんがいを行うためには各種の散水機が活用される。散水機がその機能を発揮するためには、5kgf/㎝^{2}程度の圧力を有する用水を供給する必要がある。上水道と比べると、畑地かんがい用パイプラインは高圧、大流量の施設といえる。また、畑地かんがい用パイプラインからは、高圧を必要としない取水もなされる。例えば農家がトラックに積んだタンクに防除用水を取水栓から直接取水するような場合である。このような場合でも管内の水圧を下げることはできないため、高圧な管路からの取水となり、慎重なバルブ操作が求められる。

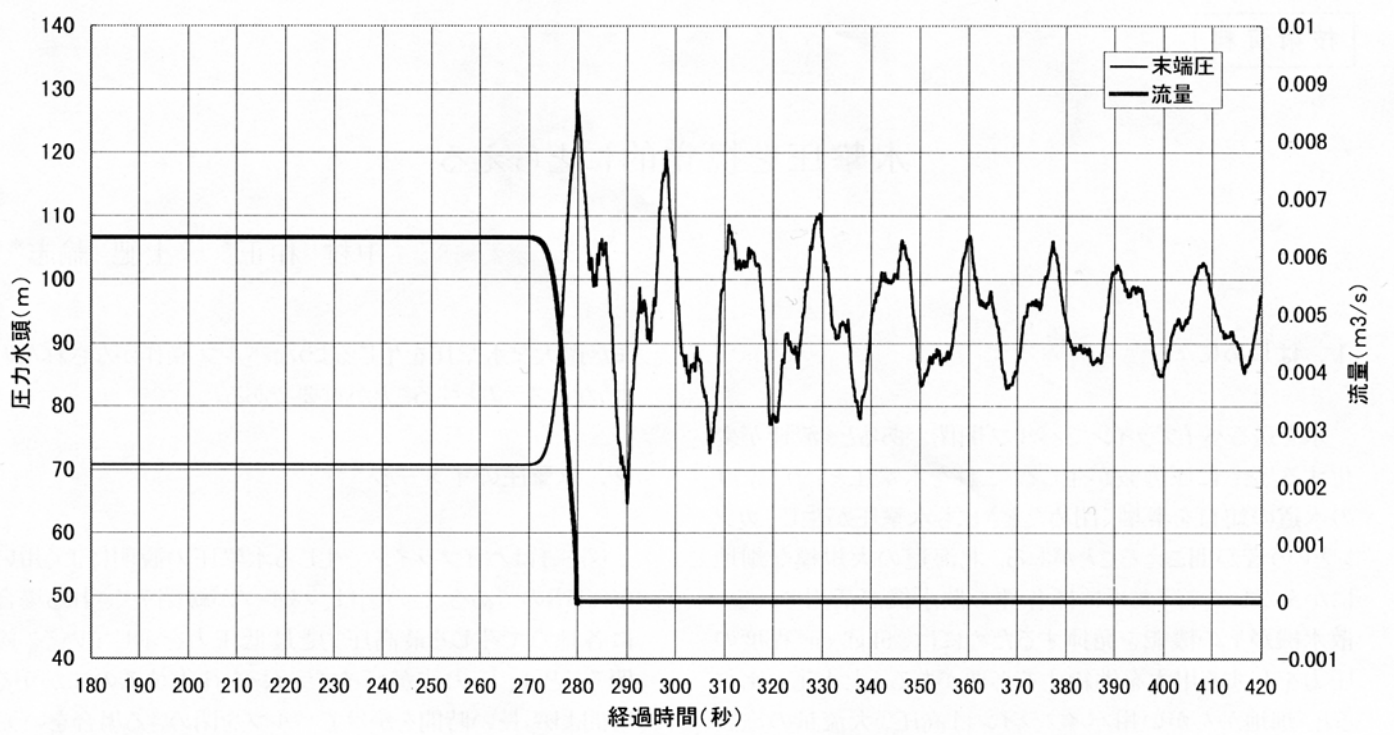
畑地かんがいパイプラインでバルブ開閉が短時間に行われると、施設の破壊に至るほどの水撃圧が生じることすらある。それゆえ、水理設計で適切に水撃圧を見込むこと、また過大な水撃圧を生じるようなバルブ操作がなされないようなシステムとすることが重要である。

２．水撃圧のイメージ

図－1 はパイプラインで生じる水撃圧の説明によく用いられるものである。この図は、バルブが緩閉そくされる場合に各地点で生じる最高圧力と最低圧力を示している。緩閉そくとは、圧力波がパイプラインを往復するのにかかる時間よりも長い時間をかけてバルブを閉めきる場合をいう。このような説明図では、管の径は均一で、末端のバルブを操作するという単純なモデルばかりが扱われている。このことは、少しでも複雑なパイプラインになると、水撃現象が簡単に説明できないことの裏返しである。実際のパイプラインは管網や樹枝状といった各種の配管形状があり、管の径は均一ではなく下流へ行くほど細くなる。また末端のバルブだけが操作されるわけではない。図－1 のような簡単なパイプラインは、ダムとファームポンドを結ぶ送水管路で、途中に分水工がない場合といった限られたケースを示



図－１　緩閉そく時の水撃圧の説明図



図－２　水撃圧シミュレーション結果の表示例
（ある地点の圧力経時変化が図化されることが多い）

すものであり、ファームポンド以下の配水管路にはあまりみられないものである。このようなことから、やや複雑なパイプラインの水撃現象を想像することは難しい。

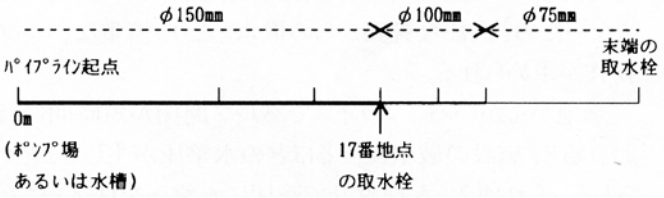
３．　3次元グラフ表示への動機

現在では、パーソナルコンピュータでも複雑なパイプラインの水撃圧を数値計算で求めることができる。計算結果として得られる水撃圧は、図―2 のように出力されることが多い。このような図はパイプライン上で重要と考えられる地点の圧力を確認することを目的としている。確かにこの図により管体の破裂や管内に負圧を生じることの危険性を考えることはできるが、個々の波の発生源や進行方向を想像することはできない。そこで著者らは圧力波の動きの理解を深めるため一般的な表計算ソフトに備わっている３次元グラフ表示により計算結果を表現することにした。

４．シミュレーション結果の３次元表示

(1)解析対象パイプライン

解析対象パイプラインは図―3 のようなものである。配管は分岐のない簡単なものであるが、上流端は圧力タンクを持つポンプ場または水面積の広い水槽を想定する。管径は下流ほど細くなっていて、取水は末端取水栓のバルブあるいは途中の取水栓に接続した散水機で行うことを想

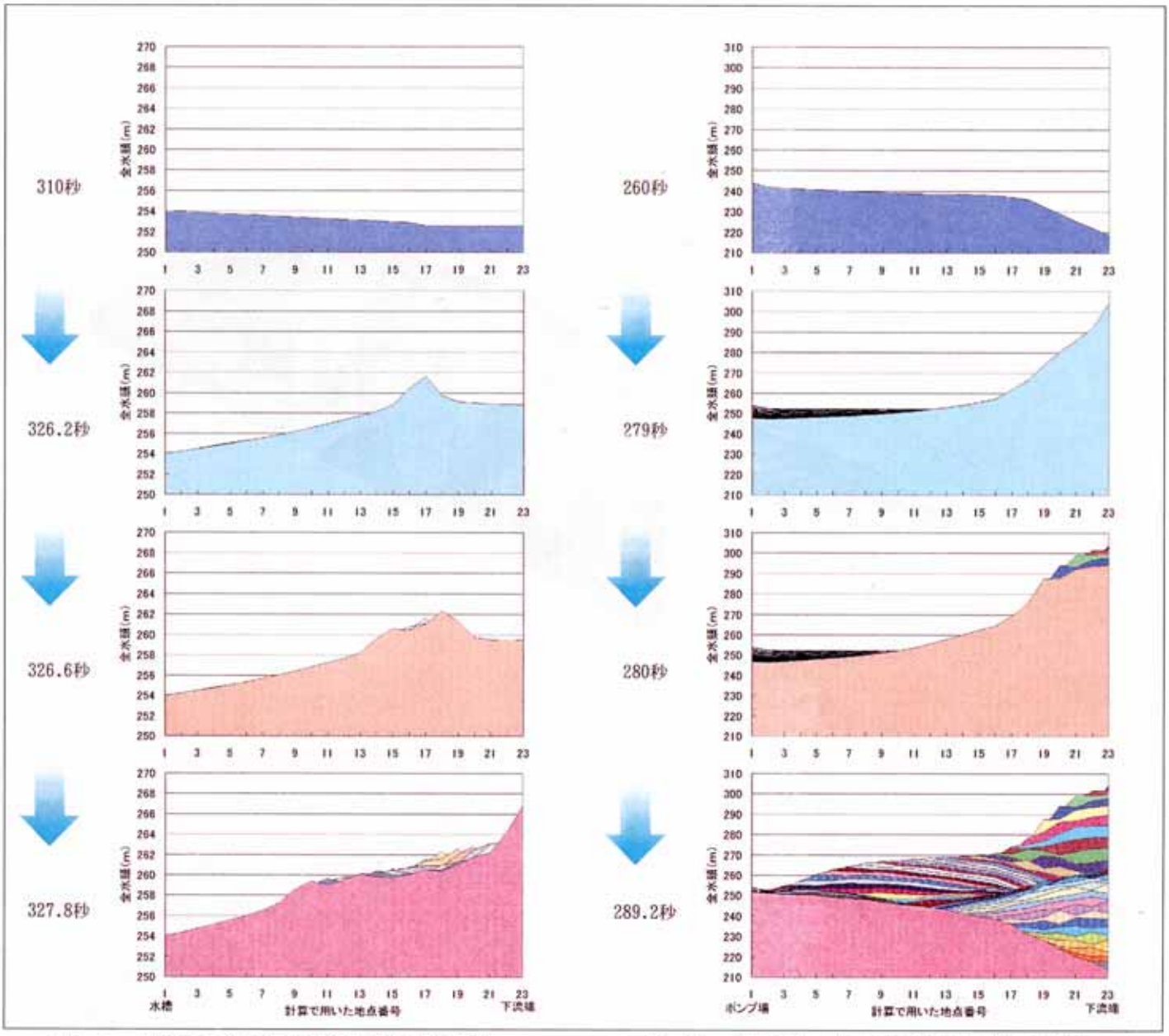


図－３　解析対象パイプライン

定する。これは著者らが水撃圧を実測した実在のパイプラインをもとにしたモデルであり、シミュレーション手法の妥当性は別途検証した。以下に水撃現象の 3 次元グラフ表示を紹介する。

(2)パイプライン途中からの散水停止の場合

図－4は上流端を水槽とし、17番地点の取水栓に接続した散水機で0.005m^3/sの散水を行っている状態から、標準的な速さで散水を停止した場合の水撃現象である。シミュレーションでは420秒間の水撃現象を計算した。散水機は288秒時点から約38秒間で全閉した。310秒時点での圧力分布をみると、流れのある17番地点までは動水勾配がみられるが、これより下流側には動水勾配はみられない。全閉直後の326.2秒時点では、17番地点に著しい圧力上昇が生じている。また全閉直後に生じたこの高圧部は、326.6秒時点の図に示すように、上流側と下流側の両方に伝わり始める。下流側に伝わった波は327.8秒時点で末端



図－4　パイプライン途中で流量変化が生じた場合の水撃現象

420 秒間の現象をシミュレートした。17 番地点に接続した散水機を 288 秒時点から約 38 秒間で全閉にした。これは、散水機の標準的な閉そく速度である。

図－5　パイプライン末端で流量変化が生じた場合の水撃現象

420 秒間の現象をシミュレートした。上流端をポンプ場とし、23 番地点の取水栓からの取水を 270 秒時点から 10 秒間で全閉した場合の水撃圧である。

に到達する。このとき末端で生じている圧力がこのケースで生じる最大の水撃圧である。

327.8秒時点の図では赤の着色部がこの瞬間の水頭分布を示している。17番地点や19番地点では赤着色部の上方に他の色のグラフが残っているが、これはそれ以前の水頭の表示が残っているものである。

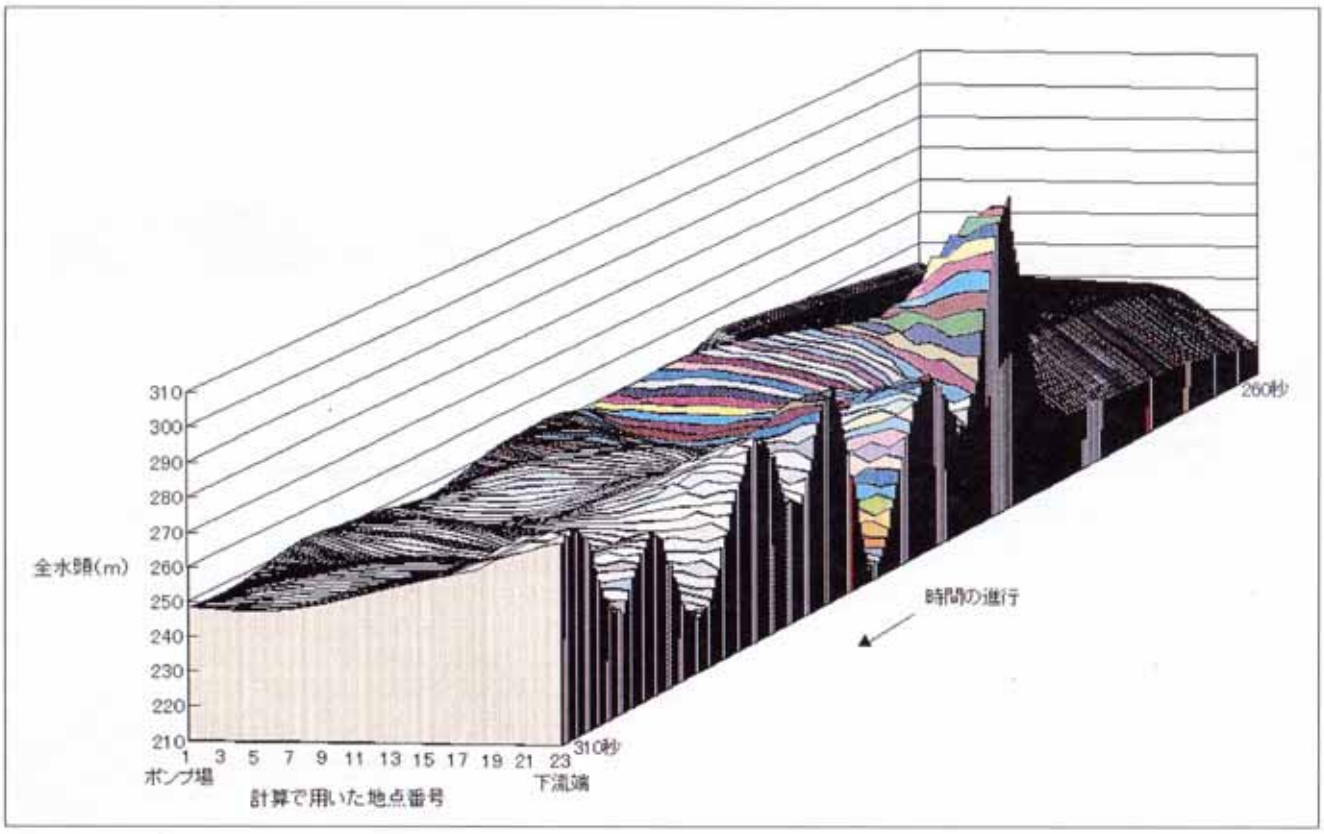
これらの一連の図からパイプライン中間部の取水栓操作による水撃現象を視覚的にとらえることができる。

(3)内径が均一でない場合

図－5は上流端を圧力タンクのあるポンプ場とし、末端の取水栓から約0.006m^3/sの取水を行い、これをボールバルブの全閉によって停止した場合の水撃現象である。420秒間の現象をシミュレーションしており、バルブは270秒時点から10秒をかけて全閉した。

バルブ操作以前の水頭分布をみると、管の内径が小さい18番地点より下流の動水勾配が大きいことがわかる。流速は、当然ながら管径が小さいこの区間で大きい。

バルブ閉そく途中から下流側の圧力が急激に高まり、末端では最高で約50mの水撃圧が生じている。これがこのバルブ全閉による最大水撃圧である。末端で生じた高圧



図－6　水撃現象の３次元的表示（計算条件は図－５と同じである）

部は上流方向に伝わるが、管路途中の全水頭の最大値は下流端に比べて小さい。

289.2秒時点の図では、一連の圧力分布が残されているので、着色部の上縁をなぞれば、このバルブ操作によって生じる各地点の最大全水頭分布を知ることができる。最大全水頭分布は、図－1の圧力分布を2段重ねにしたような形になっている。

図－6はこの計算結果を3次元的に表現したものである。末端で生じた高圧部がパイプラインを往復する様子を見ることができる。

５．おわりに

図－6のようなグラフがモニターに表示されるには、数秒の時間が必要である。ＣＰＵの計算速度によっては、この3次元グラフの表示進行をみることで、圧力波伝播を経時変化として感じ取ることができる。液晶画面をデジタル方式のビデオとして録画し、再生速度を調節すれば、さらに効果的に現象を把握することができる。

今後、この表現手法を用いれば、現場技術者の水撃現象の理解や、農家のバルブ操作の重要性への理解を深めることができる。

計算結果の事例ファイルは、E-mailで提供できます。希望の方は下記のアドレスにご連絡下さい。

連絡先E-mail　chuson@ceri.gojp

中村　和正*

開発土木研究所
農業開発部
農業土木研究室
主任研究員
博士(農学)

土肥　論志**

開発土木研究所
農業開発部
農業土木研究室
室員