

# 応用事例紹介・ソフト使用方法

技術4部7課 課長 秋村友香  
総合企画部 解析グループ 出浦智之

管路内の液体過渡解析セミナー  
2013年5月30日(木)開催  
アドバンスソフト株式会社

## ご紹介内容

- ①基礎的な操作方法のご紹介
  - ーソフトウェアの操作手順
  - ーデモンストレーション&体験学習
- ②バルブ遮断時の水撃解析
  - ー計算のポイントの説明
  - ーデモンストレーション&体験学習
- ③ポンプトリップ時の水撃解析
  - ー計算のポイントの説明
  - ーデモンストレーション&体験学習

# ① 基礎的な操作方法のご紹介

ソフトウェアの操作手順

全体の流れは、以下となります。

管路系の接続関係の構築(分岐、合流、機器の配置)

↓

計算条件の設定

↓

実行、結果の確認

実際に簡単な例でデモンストレーションをします。

(参考:チュートリアルp3~)

## 保存したプロジェクトフォルダ内の 主要なファイル説明

(参考:使用方法説明書 p.42~)

 control	: 計算の全体制御
 fluid	: 管内の流体の物理量
 geom	: 配管形状関連
 GUIdata	: ソルバー入力ファイル
 input	: GUIの計算設定データ
 tabledata	: テーブル入力データ
 timedata	: 時系列ファイル

 設定フロー.vsd : Visioファイル

 設定フロー.vsd.bak

 **control** : 計算の全体制御

ファイル名	内容
<b>omega.inp</b>	計算設定入力ファイル (=ソルバーが読み込むファイル)
restart_write.txt	リスタート用出力ファイル
ver.txt	ソルバーのバージョン番号

 **fluid** : 管内の流体の物理量

ファイル名	内容
<b>maxmin.csv</b>	計算中の最大の流量・圧力と最小の流量・圧力
<b>out_cavi.txt</b>	液柱分離 (液柱分離起きたとき、ファイル書込)
<b>out_fld.txt</b>	液体の計算基本物理量
out_liq.txt	液体物性
out_prop.txt	液体の無次元量
out_ploss.txt	圧力損失
<b>outline_node.txt</b>	ノードの計算概要
<b>outline_pipe.txt</b>	配管の計算概要

null 計算時間を超えてから計測した、最大圧力・最小圧力。  
圧力勾配線を書くときに使用する。

1	pipe,	x[m],	Height[m],	MAX_flow[m3/s],	MAX_pres[PaG],	MAX_Head[mG],	MAX_TP[ezomG],	MAX_SP[ezomG],	MIN_flow[m3/s],	MIN_pres[PaG],	MIN_Head[mG],	MIN_TP[ezomG],	MIN_SP[ezomG]
2	1,	5.000000E+01,	0.000000E+00,	4.642272E-02,	6.960901E+05,	7.111228E+01,	7.111228E+01,	7.100095E+01,	4.642254E-02,	6.960901E+05,	7.111228E+01,	7.111228E+01,	7.100095E+01
3	1,	1.000000E+02,	0.000000E+00,	4.642288E-02,	6.910904E+05,	7.060151E+01,	7.060151E+01,	7.049018E+01,	4.642270E-02,	6.910904E+05,	7.060151E+01,	7.060151E+01,	7.049018E+01
4	1,	1.500000E+02,	0.000000E+00,	4.642305E-02,	6.860906E+05,	7.009074E+01,	7.009074E+01,	6.997941E+01,	4.642286E-02,	6.860906E+05,	7.009074E+01,	7.009074E+01,	6.997941E+01
5	1,	2.000000E+02,	0.000000E+00,	4.642321E-02,	6.810909E+05,	6.957997E+01,	6.957997E+01,	6.946863E+01,	4.642303E-02,	6.810909E+05,	6.957997E+01,	6.957997E+01,	6.946863E+01
6	1,	2.500000E+02,	0.000000E+00,	4.642337E-02,	6.760911E+05,	6.906919E+01,	6.906919E+01,	6.895786E+01,	4.642318E-02,	6.760911E+05,	6.906919E+01,	6.906919E+01,	6.895786E+01
7	1,	3.000000E+02,	0.000000E+00,	4.642353E-02,	6.710912E+05,	6.855841E+01,	6.855841E+01,	6.844707E+01,	4.642335E-02,	6.710912E+05,	6.855841E+01,	6.855841E+01,	6.844707E+01
8	1,	3.500000E+02,	0.000000E+00,	4.642369E-02,	6.660913E+05,	6.804762E+01,	6.804762E+01,	6.793629E+01,	4.642351E-02,	6.660913E+05,	6.804762E+01,	6.804762E+01,	6.793629E+01
9	1,	4.000000E+02,	0.000000E+00,	4.642385E-02,	6.610914E+05,	6.753683E+01,	6.753683E+01,	6.742550E+01,	4.642367E-02,	6.610914E+05,	6.753683E+01,	6.753683E+01,	6.742550E+01
10	1,	4.500000E+02,	0.000000E+00,	4.642402E-02,	6.560915E+05,	6.702604E+01,	6.702604E+01,	6.691470E+01,	4.642383E-02,	6.560915E+05,	6.702604E+01,	6.702604E+01,	6.691470E+01
11	1,	5.000000E+02,	0.000000E+00,	4.642418E-02,	6.510915E+05,	6.651524E+01,	6.651524E+01,	6.640391E+01,	4.642400E-02,	6.510915E+05,	6.651524E+01,	6.651524E+01,	6.640391E+01
12	1,	5.500000E+02,	0.000000E+00,	4.642434E-02,	6.460915E+05,	6.600445E+01,	6.600445E+01,	6.589311E+01,	4.642416E-02,	6.460915E+05,	6.600445E+01,	6.600445E+01,	6.589311E+01
13	1,	6.000000E+02,	0.000000E+00,	4.642450E-02,	6.410915E+05,	6.549384E+01,	6.549384E+01,	6.538231E+01,	4.642432E-02,	6.410915E+05,	6.549384E+01,	6.549384E+01,	6.538231E+01
14	1,	6.500000E+02,	0.000000E+00,	4.642466E-02,	6.360914E+05,	6.498284E+01,	6.498284E+01,	6.487150E+01,	4.642448E-02,	6.360914E+05,	6.498284E+01,	6.498284E+01,	6.487150E+01
15	1,	7.000000E+02,	0.000000E+00,	4.642482E-02,	6.310913E+05,	6.447203E+01,	6.447203E+01,	6.436069E+01,	4.642464E-02,	6.310913E+05,	6.447203E+01,	6.447203E+01,	6.436069E+01
16	1,	7.500000E+02,	0.000000E+00,	4.642498E-02,	6.260911E+05,	6.396122E+01,	6.396122E+01,	6.384988E+01,	4.642480E-02,	6.260911E+05,	6.396122E+01,	6.396122E+01,	6.384988E+01
17	1,	8.000000E+02,	0.000000E+00,	4.642515E-02,	6.210910E+05,	6.345040E+01,	6.345040E+01,	6.333906E+01,	4.642497E-02,	6.210910E+05,	6.345040E+01,	6.345040E+01,	6.333906E+01
18	1,	8.500000E+02,	0.000000E+00,	4.642531E-02,	6.160907E+05,	6.293958E+01,	6.293958E+01,	6.282824E+01,	4.642513E-02,	6.160907E+05,	6.293958E+01,	6.293958E+01,	6.282824E+01
19	1,	9.000000E+02,	0.000000E+00,	4.642547E-02,	6.110905E+05,	6.242876E+01,	6.242876E+01,	6.231741E+01,	4.642529E-02,	6.110905E+05,	6.242876E+01,	6.242876E+01,	6.231741E+01
20	1,	9.500000E+02,	0.000000E+00,	4.642563E-02,	6.060902E+05,	6.191793E+01,	6.191793E+01,	6.180659E+01,	4.642545E-02,	6.060902E+05,	6.191793E+01,	6.191793E+01,	6.180659E+01

1列	2列	3列	4列	5列	6列	7列	8列	9列	10列	11列	12列	13列
配管番号	その配管番号の始点からの距離 [m]	高さ [m]	最大流量 [m3/s]	最大圧力 (内圧, 静圧) [PaG]	最大水頭 (内圧, 全圧) [mG]	最大ピエゾ水頭 (全圧) [mG]	最大ピエゾ水頭 (静圧) [mG]	最小流量 [m3/s]	最小圧力 (内圧, 静圧) [PaG]	最小水頭 (内圧, 全圧) [mG]	最小ピエゾ水頭 (全圧) [mG]	最小ピエゾ水頭 (静圧) [mG]

(液柱分離が起こった場合の例)

```

1 time= 0.200899E+03 ↓
2 4 10 1.83655E-05 ↓
3 5 0 1.83655E-05 ↓
4 time= 0.200913E+03 ↓
5 4 10 3.85265E-05 ↓
6 5 0 3.85265E-05 ↓
7 5 1 3.85265E-05 ↓
8 time= 0.200927E+03 ↓
9 4 10 6.73641E-05 ↓
10 5 0 6.73641E-05 ↓
11 5 1 7.68769E-06 ↓
12 5 2 3.14295E-06 ↓
13 time= 0.200941E+03 ↓
14 4 10 1.08792E-04 ↓
15 5 0 1.08792E-04 ↓
16 5 1 1.22995E-05 ↓
17 5 2 1.02699E-05 ↓

```

液柱分離が起こった配管番号、配管メッシュ番号 ↓

液柱分離が起こった時間 ↓

時間ごと、配管ごとの全てのメッシュの圧力、流量

```

1 time= 0.0000000000000000E+000
2 id, ipipe, ix, velo[m/s], flow[m3/s], head[mA], pres[PaA], acoustic[m/s], friction[-], reynolds no.[-]
3 1 0 1.001843E-04 3.147384E-06 8.186304E+01 8.013250E+05 1.200000E+03 1.000000E+02 6.400000E-01
4 1 1 0.000000E+00 0.000000E+00 8.135224E+01 7.963250E+05 1.200000E+03 1.000000E+02 6.400000E-01
5 1 2 0.000000E+00 0.000000E+00 8.084144E+01 7.913250E+05 1.200000E+03 1.000000E+02 6.400000E-01
6 1 3 0.000000E+00 0.000000E+00 8.033064E+01 7.863250E+05 1.200000E+03 1.000000E+02 6.400000E-01
7 1 4 0.000000E+00 0.000000E+00 7.981985E+01 7.813250E+05 1.200000E+03 1.000000E+02 6.400000E-01
8 1 5 0.000000E+00 0.000000E+00 7.930905E+01 7.763250E+05 1.200000E+03 1.000000E+02 6.400000E-01
9 1 6 0.000000E+00 0.000000E+00 7.879825E+01 7.713250E+05 1.200000E+03 1.000000E+02 6.400000E-01
10 1 7 0.000000E+00 0.000000E+00 7.828745E+01 7.663250E+05 1.200000E+03 1.000000E+02 6.400000E-01
11 1 8 0.000000E+00 0.000000E+00 7.777665E+01 7.613250E+05 1.200000E+03 1.000000E+02 6.400000E-01
12 1 9 0.000000E+00 0.000000E+00 7.726586E+01 7.563250E+05 1.200000E+03 1.000000E+02 6.400000E-01
13 1 10 0.000000E+00 0.000000E+00 7.675506E+01 7.513250E+05 1.200000E+03 1.000000E+02 6.400000E-01
14 1 11 0.000000E+00 0.000000E+00 7.624426E+01 7.463250E+05 1.200000E+03 1.000000E+02 6.400000E-01
15 1 12 0.000000E+00 0.000000E+00 7.573346E+01 7.413250E+05 1.200000E+03 1.000000E+02 6.400000E-01
16 1 13 0.000000E+00 0.000000E+00 7.522266E+01 7.363250E+05 1.200000E+03 1.000000E+02 6.400000E-01
17 1 14 0.000000E+00 0.000000E+00 7.471187E+01 7.313250E+05 1.200000E+03 1.000000E+02 6.400000E-01
18 1 15 0.000000E+00 0.000000E+00 7.420107E+01 7.263250E+05 1.200000E+03 1.000000E+02 6.400000E-01
19 1 16 0.000000E+00 0.000000E+00 7.369027E+01 7.213250E+05 1.200000E+03 1.000000E+02 6.400000E-01
20 1 17 0.000000E+00 0.000000E+00 7.317947E+01 7.163250E+05 1.200000E+03 1.000000E+02 6.400000E-01
21 1 18 0.000000E+00 0.000000E+00 7.266867E+01 7.113250E+05 1.200000E+03 1.000000E+02 6.400000E-01
22 1 19 0.000000E+00 0.000000E+00 7.215788E+01 7.063250E+05 1.200000E+03 1.000000E+02 6.400000E-01
23 time= 72.8318090445183
24 id, ipipe, ix, velo[m/s], flow[m3/s], head[mA], pres[PaA], acoustic[m/s], friction[-], reynolds no.[-]
25 1 1 1.673793E+00 5.258377E-02 8.186304E+01 8.013250E+05 1.200000E+03 1.428696E-02 3.336083E+05
26 1 2 1.673805E+00 5.258414E-02 8.135227E+01 7.963253E+05 1.200000E+03 1.428695E-02 3.336095E+05
27 1 3 1.673811E+00 5.258414E-02 8.084150E+01 7.913256E+05 1.200000E+03 1.428694E-02 3.336106E+05
28 1 4 1.673817E+00 5.258450E-02 7.981995E+01 7.863258E+05 1.200000E+03 1.428693E-02 3.336118E+05
29 1 5 1.673823E+00 5.258469E-02 7.930917E+01 7.813260E+05 1.200000E+03 1.428692E-02 3.336129E+05
30 1 6 1.673828E+00 5.258487E-02 7.879839E+01 7.763262E+05 1.200000E+03 1.428691E-02 3.336141E+05
31 1 7 1.673833E+00 5.258505E-02 7.828761E+01 7.713264E+05 1.200000E+03 1.428690E-02 3.336153E+05
    
```

1列目 2列目 3列目 4列目 5列目 6列目 7列目 8列目 9列目  
 配管番号 分割番号 流速 流量 圧力水頭 圧力 音速 摩擦係数 レイノルズ数

39 | 1 14 1.673875E+00 5.258633E-02 7.471200E+01 7.313263E+05 1.200000E+03 1.428683E-02 3.336246E+05

配管に定義された物理量の概要を見るためのファイル  
 時間ごと、配管ごとの圧力、流量のメッシュ平均値

```

1 time = 0.0000000000000000E+000
2 id, ipipe, name, length, avf[m3/s], avf[t/h], hi[mG], hj[mG], pi[PaG], pj[PaG], delh[m], delp[Pa]
3 1 1 pipe1 1.000E+03 1.574E-07 5.655E-04 7.151E+01 6.130E+01 7.000E+05 6.000E+05 1.022E+01 1.000E+05
4
5
6 time = 72.8318090445183
7 id, ipipe, name, length, avf[m3/s], avf[t/h], hi[mG], hj[mG], pi[PaG], pj[PaG], delh[m], delp[Pa]
8 1 1 pipe1 1.000E+03 5.259E-02 1.890E+02 7.151E+01 6.130E+01 7.000E+05 6.000E+05 1.022E+01 1.000E+05
9
10 time = 101.957829753700
11 id, ipipe, name, length, avf[m3/s], avf[t/h], hi[mG], hj[mG], pi[PaG], pj[PaG], delh[m], delp[Pa]
12 1 1 pipe1 1.000E+03 5.262E-02 1.891E+02 7.151E+01 6.130E+01 7.000E+05 6.000E+05 1.022E+01 1.000E+05
    
```

1列目 2列目 3列目 4列目 5列目 6列目 7列目 8列目 9列目 10列目 11列目 12列目  
 配管番号 分割数 名前 配管長 平均流量 平均流量 i端圧力 j端圧力 i端圧力 j端圧力 圧力差 圧力差

```

22 time = 145.648849831206
23 id, ipipe, name, length, avf[m3/s], avf[t/h], hi[mG], hj[mG], pi[PaG], pj[PaG], delh[m], delp[Pa]
24 1 1 pipe1 1.000E+03 5.262E-02 1.891E+02 7.151E+01 6.130E+01 7.000E+05 6.000E+05 1.022E+01 1.000E+05
25
    
```

配管の多い場合、全体の流動状況の把握に便利

ノードに定義された物理量の概要を見るためのファイル  
時間ごと、ノードの圧力損失、バルブの開度

```

1 |
2 | time = 0.000000000000000E+000 ↓
3 | node, name, kind, delh[m], delp[pa], opening, cv, fcoef ↓
4 | 1/ default / reservoir_i 0.000E+00 0.000E+00 ↓
5 | 2/ default / reservoir_j 0.000E+00 0.000E+00 ↓
6 | ↓
    
```

### バルブがある場合の例

```

time = 0.000000000000000E+000 ↓
node, name, kind, delh[m], delp[pa], opening, cv, fcoef ↓
1/ default / reservoir_i 0.000E+00 0.000E+00 ↓
2/ default / pump 0.000E+00 0.000E+00 ↓
3/ default / reservoir_j 0.000E+00 0.000E+00 ↓
4/ default / junction 0.000E+00 0.000E+00 ↓
5/ default / cnct 0.000E+00 0.000E+00 ↓
6/ default / valve 0.000E+00 0.000E+00 1.000E+02 1.000E+04 7.521E-01 ↓
7/ default / boundary_tank 0.000E+00 0.000E+00 ↓

time = 7.00755029100410 ↓
node, name, kind, delh[m], delp[pa], opening, cv, fcoef ↓
1/ default / reservoir_i 0.000E+00 0.000E+00 ↓
2/ default / pump 1.640E+01 1.605E+05 ↓
3/ default / reservoir_j 0.000E+00 0.000E+00 ↓
4/ default / junction 0.000E+00 0.000E+00 ↓
5/ default / cnct 0.000E+00 0.000E+00 ↓
6/ default / valve -1.000E-01 -9.793E+02 1.000E+02 1.000E+04 7.521E-01 ↓
7/ default / boundary_tank 0.000E+00 0.000E+00 ↓
    
```

1列目	2列目	3列目	4列目	5列目	6列目	7列目	8列目
ノード番号	名前	属性	圧損	圧損	開度	Cv値	fv値

## ②バルブ遮断時の水撃解析

(参考:チュートリアルp.75~)

バルブ遮断時の水撃は、バルブ遮断速度に大きく依存します。  
バルブが閉まると、水撃は上流側に伝わります。

バルブ特性(開度とCv値の関係)が決まっているとき、  
検討可能な計算パラメータは**バルブ閉鎖速度**となります。

### ③ポンプトリップ時の水撃解析

(参考:チュートリアルp.99~)

ポンプトリップ時の水撃解析は液柱分離現象が起こったのち、液柱体積がいくつで、液柱がどのくらいの速度で潰されるかが圧力上昇(水撃圧)に影響します。

ポンプの運転条件が決まっているとき  
検討可能な計算パラメータはGD2となります。  
(最近のポンプはGD2が小さくなる傾向にあるようです。  
羽根車に重りをつけるとGD2は大きくなります。)

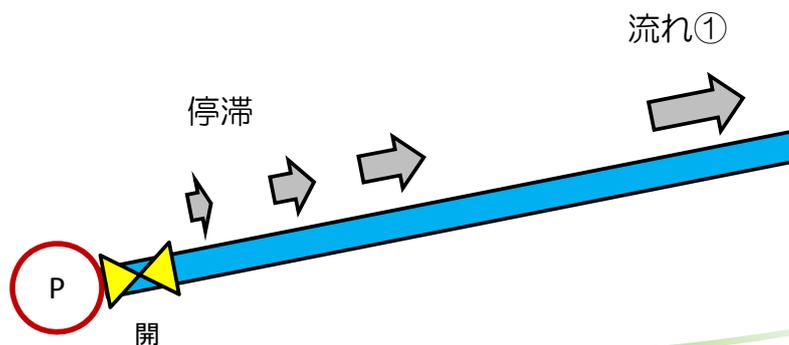


今回の例題は、  
傾斜のある管路を逆止弁付きポンプがくみ上げている例です。  
ポンプトリップ時の現象は以下の通りです。

(1)ポンプがトリップ →揚程が徐々に低下

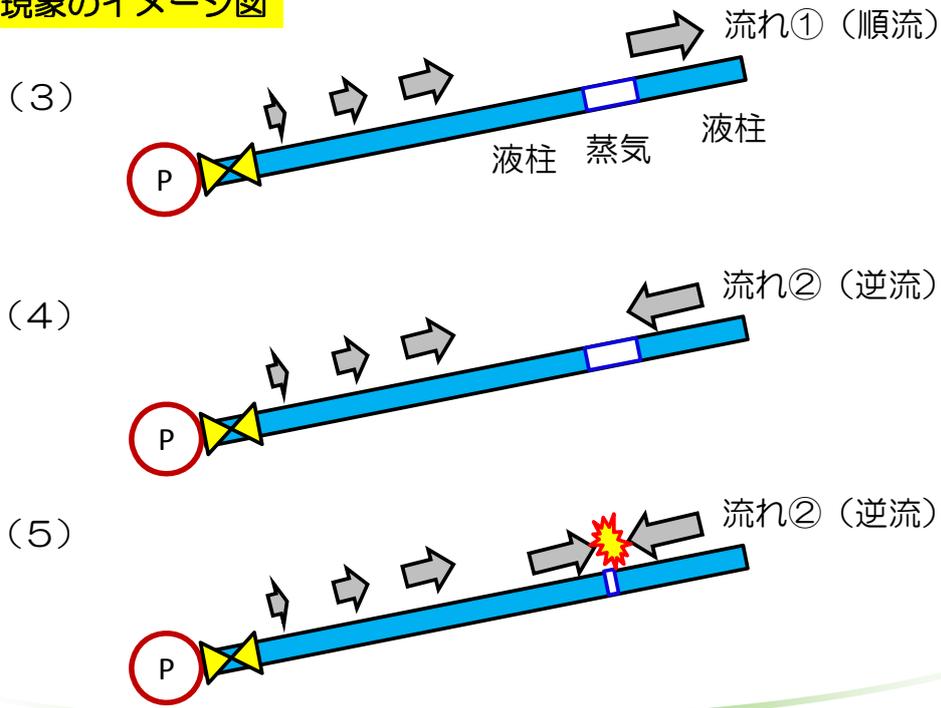
(2)ポンプ昇圧低下に伴って管路内では圧力が低下する。  
流れの慣性によって、ポンプ遠方では順方向流れのまま(流れ①)、  
ポンプ近くでは流れが停滞

現象のイメージ図

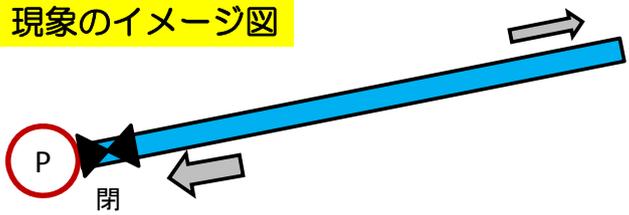


- (3) 流量の差異によって液柱分離が生じる場合あり
- (4) 液柱分離によって圧力が急低下し逆流が生じる(流れ②)
- (5) 液柱と液柱が衝突して圧力が急上昇

現象のイメージ図

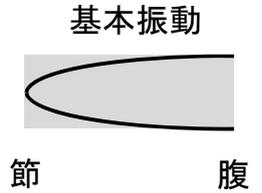


現象のイメージ図



(6) ポンプ昇圧消失に伴って、ポンプへの流れが生じる(逆流)。この逆流により逆止弁が閉まって流れが供給されなくなる。

- (7) 流量の差異によって液柱分離が生じる場合あり
- (8) 液柱分離によって圧力が急低下し逆流が生じる
- (9) 液柱と液柱が衝突して圧力が急上昇



(10) 圧力波が反射して管内を往復(管の長さによって往復時間が異なる)。振動周期は $T=4L/a$  (Lは管長[m]、aは音速[m/s])※

※参考: 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 付録 技術書、p.224など。教科書は閉管の気柱振動を参照。

圧力波の往復時間、順流量、逆流量、逆止弁閉、液柱衝突のタイミングが複雑に絡み合い最大水撃圧が決定する。  
**GD2の大きさに単純に比例しないことに注意!!**