

# 水管路系シミュレーション

---

- シミュレーション方法
- 上水道管路系のシミュレーション
- 地震時の配管応答シミュレーション
- 今後の展開

# みずほ情報総研の管路系流体解析シミュレータ

## ガス系

### u-FLOW/GN (旧NETFLOW-G)

管路網定常解析プログラム (ガス用)

- ・大規模な基幹ガス管網から小規模のガス配管までの設計支援  
(日本ガス協会の指針準拠)

### u-FLOW/GL (旧GLIELMO)

ガス管路系非定常解析プログラム

- ・プラント配管、ビル排気管、ガスパイプラインの設計支援  
(換気システム、室内空調配管システム、ガス供給システム、減圧設備システム 等)

### u-FLOW/GF (旧Gfire EX)

ガス消火設備設計支援ツール

- ・不活性ガス消火設備の圧力損失計算  
(放出所要時間の消防法令適合評価)

## 液体系

### u-FLOW/WN (旧NETFLOW)

管路網定常解析プログラム (水用)

- ・大規模な基幹上水道管網から小規模開発地の上水道配管までの設計支援
- ・ビル内の水道管配管の設計支援 等

### u-FLOW/WH (旧WHANAC)

水撃解析プログラム (液体用)

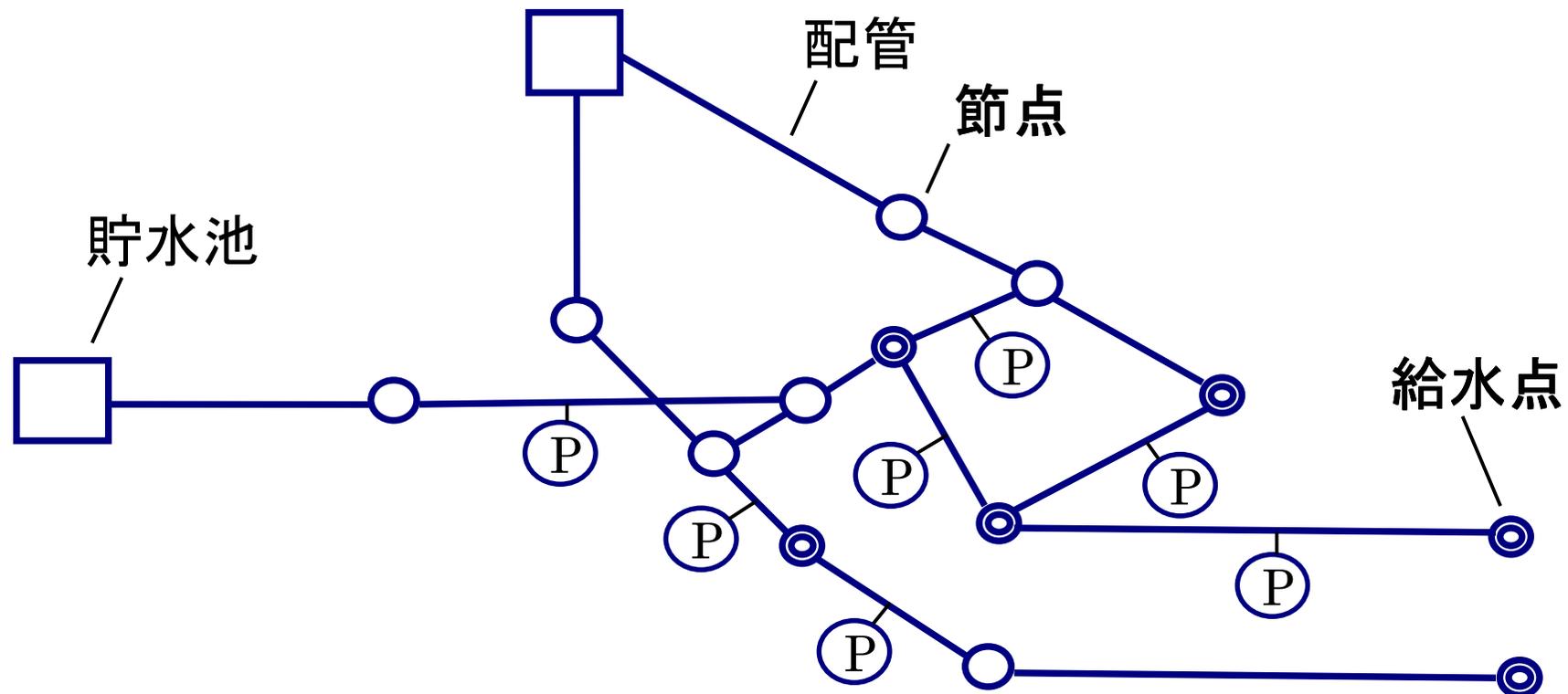
- ・各種水路系のバルブ急閉時またはポンプ停止時の解析  
(原子カプラント、水力発電所の水槽、LNG揚陸管、その他プラント配管)

### 水力発電所過渡解析プログラム

- ・発電時、揚水時の遮断応答解析  
(ポンプ水車、サージタンク)

# シミュレーション方法／管網解析

## 管網モデル(例)



# シミュレーション方法／管網解析

## ■ 基礎式

$$v = 0.84935C \cdot m^{0.63} i^{0.54} \quad (\text{Hazen-Williamsの式})$$

$$\sum Q_{ab} = 0 \quad (\text{質量保存式})$$

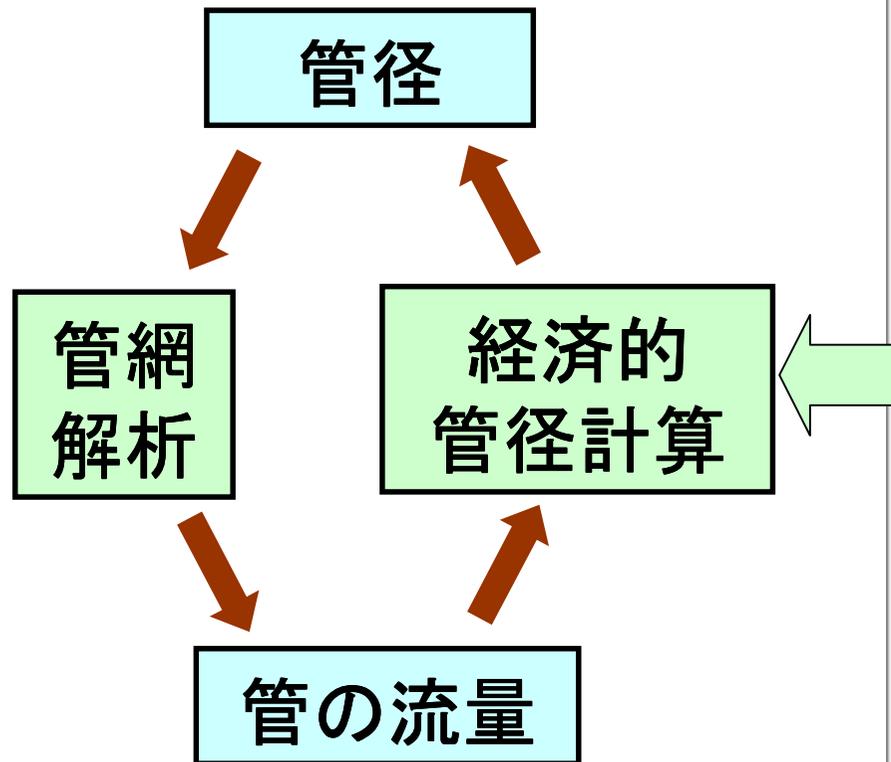
$v$  : 平均流速 (m/s)     $C$  : 流速係数 (—)

$m$  : 径深 (m)     $i$  : 動水勾配 (単位管長当たりの損失水頭)

$Q=vA$  : 体積流量 (m<sup>3</sup>/s)

# シミュレーション方法／管網解析

## ■ 経済的管径自動計算



管径自動計算／経済的管径計算式パラメタ

管径自動計算繰返し数

経済的管径計算式パラメタ

管布設単価と管径の関係を表す式の定数 $\alpha$	3.7946
管布設単価と管径の関係を表す式の定数 $\beta$	1.5577
ポンプ予備容量増率 $\delta$	1.33
ポンプ合成能率 $\eta$	0.63
定数 $a$	0.2566
1kW当りのポンプ設備費 $e2$	429000
ポンプ上屋1㎡当りの建設費 $e3$	200000
1kW当りの電気料金 $e4$	20.0
管路の固定資産保存率 $m1$	0.007
ポンプ設備の固定資産保存率 $m2$	0.026
ポンプ上屋の固定資産保存率 $m3$	0.008
管路の減価償却率 $n1$	0.027
ポンプ設備の減価償却率 $n2$	0.062
ポンプ上屋の減価償却率 $n3$	0.023
年利率 $r$	0.051

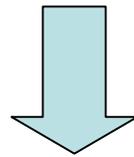
設定 終了

# シミュレーション方法／水撃解析

---

## ■ 水撃について

有圧配水管などで、供給の流れが急に阻害



水撃現象が発生

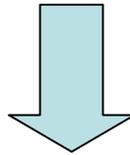
- ・ 水同士のぶつかり（圧力上昇）
- ・ 水同士の分離（圧力降下）

# シミュレーション方法／水撃解析

---

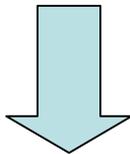
## ■ 水柱分離モデル（現象）

過渡状態で一時的に圧力低下（蒸気圧以下）



蒸気の空洞が発生（連続していた水柱が分離）

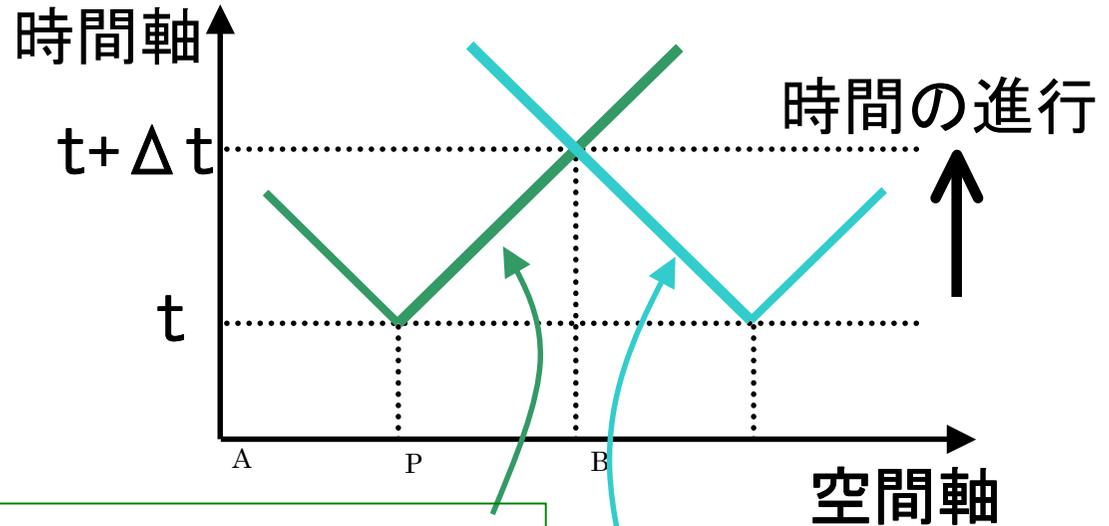
空洞消滅により大きな圧力上昇



管が破損する可能性

# シミュレーション方法／水撃解析

質量保存式 (←音速)  
 + 運動量保存式  
 (←管摩擦係数)



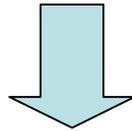
$$\frac{1}{a} \frac{dH}{dt} + \frac{1}{gA} \frac{dQ}{dt} + \frac{fQ}{2gDA^2} |Q| - \frac{\sin \alpha}{aA} Q = 0$$

$$-\frac{1}{a} \frac{dH}{dt} + \frac{1}{gA} \frac{dQ}{dt} + \frac{fQ}{2gDA^2} |Q| - \frac{\sin \alpha}{aA} Q = 0$$

# シミュレーション方法／水撃解析

## ■ 水柱分離モデル（解法）

計算で求めた格子点の圧力水頭が蒸気圧以下

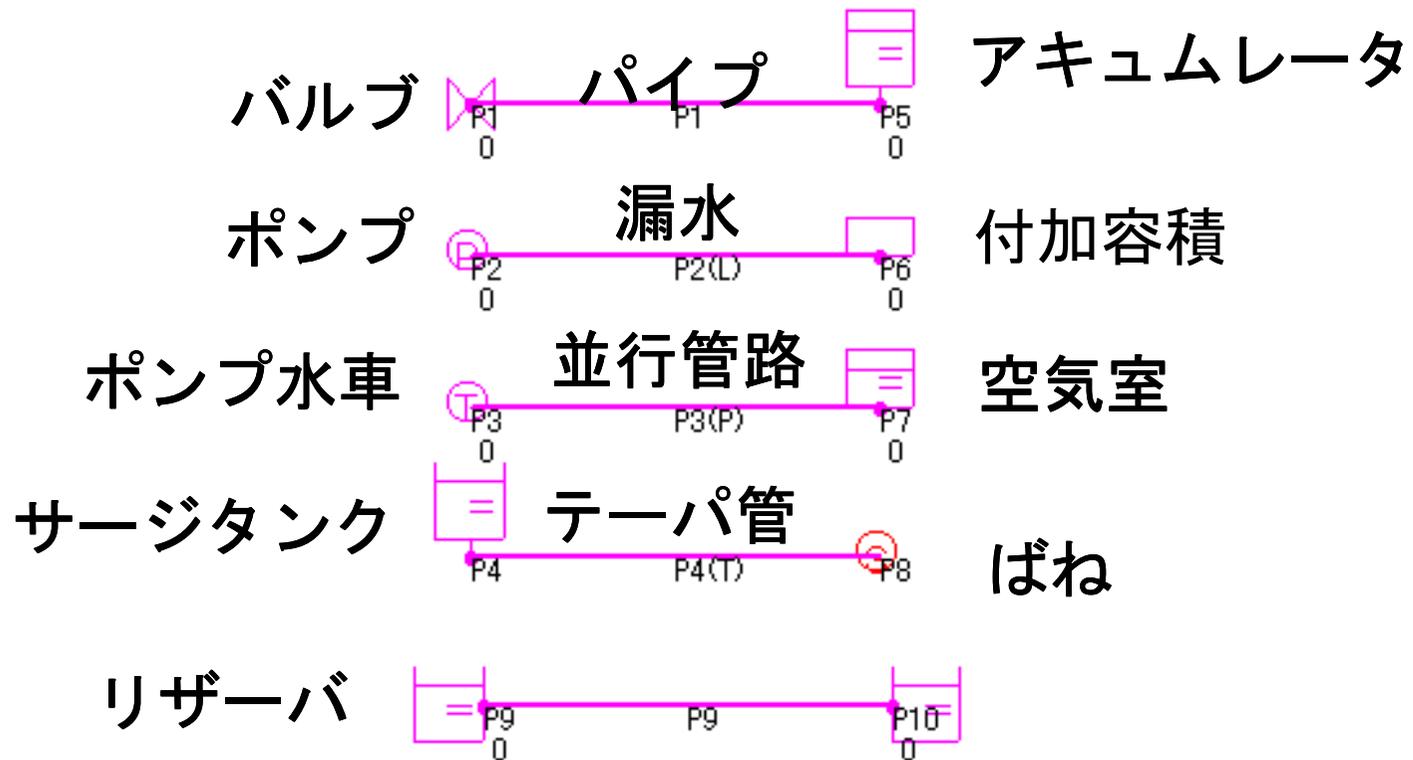


- ・ 格子点の圧力を蒸気圧に固定
- ・ 流入流量と流出流量の差を時間積分⇒空洞体積 $V_c$
- ・  $V_c=0$ となったときに、圧力上昇を計算

$$\Delta H = \frac{a}{2gA} (Q_{out} - Q_{in})$$

# シミュレーション方法／水撃解析

## ■ 流体機器モデル（模式記号）

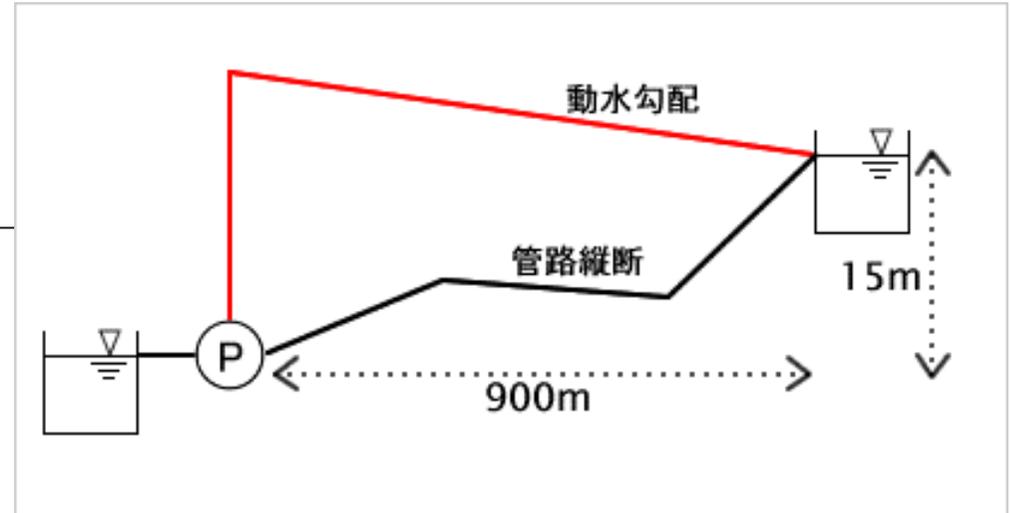
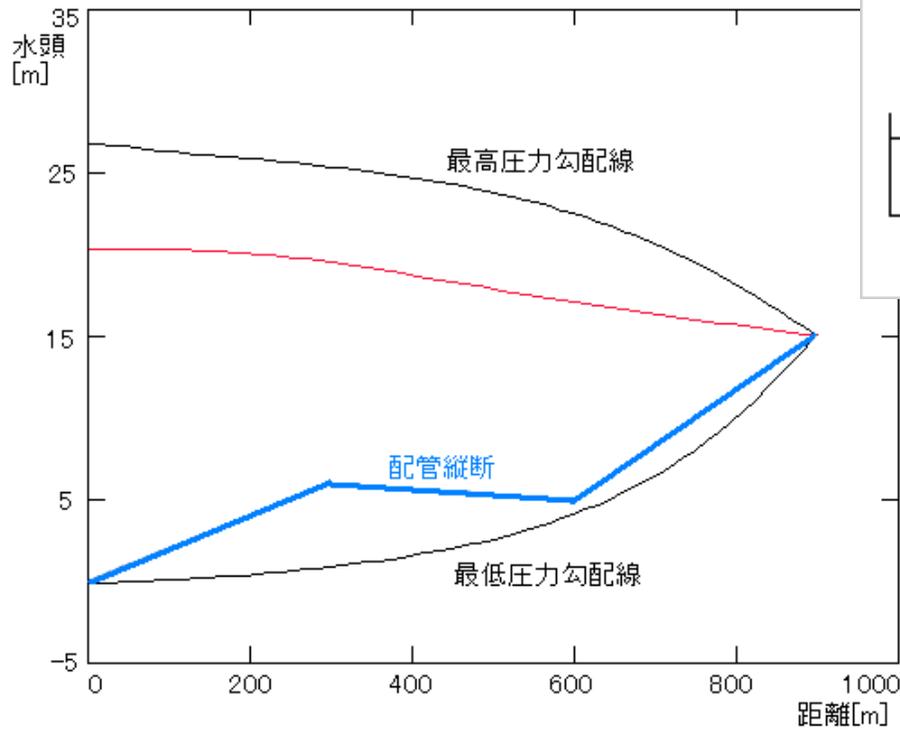


# シミュレーション方法／水撃解析

- ポンプモデル
  - 圧力収支（昇圧－弁圧損）
  - 性能曲線（ $H-Q-n$ 、 $n$ ：回転数）
  - 回転数変化（時系列テーブルor慣性で減衰）
- バルブモデル
  - 弁特性データ（弁開度指定）
  - 緩閉弁（弁開度－圧損係数テーブル）
  - 逆止弁

# シミュレーション方法／水撃解析

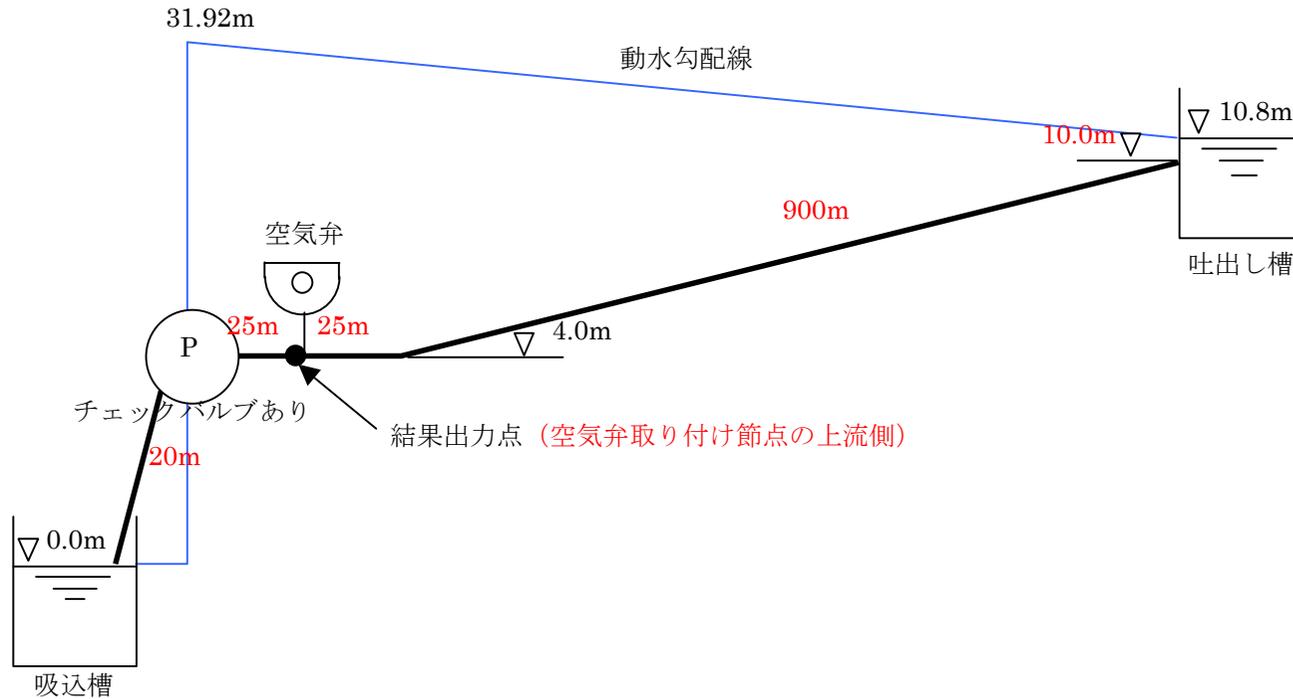
## ■ 典型的な例題



# シミュレーション方法／水撃解析

## ■ 空気弁モデル のテスト例

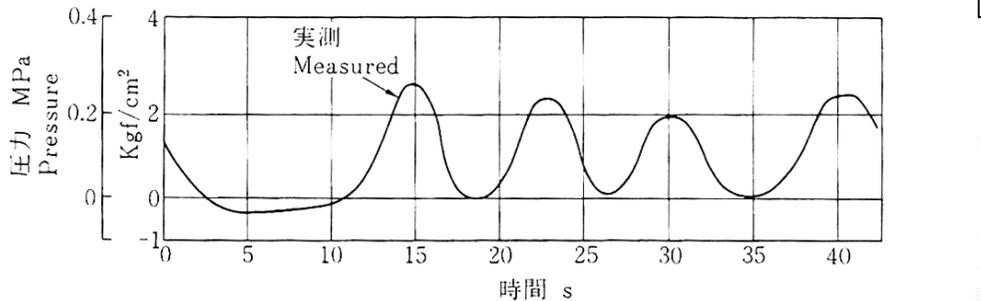
出典：中田他、“空気弁による水撃防止”,エハラ時報1980,114号



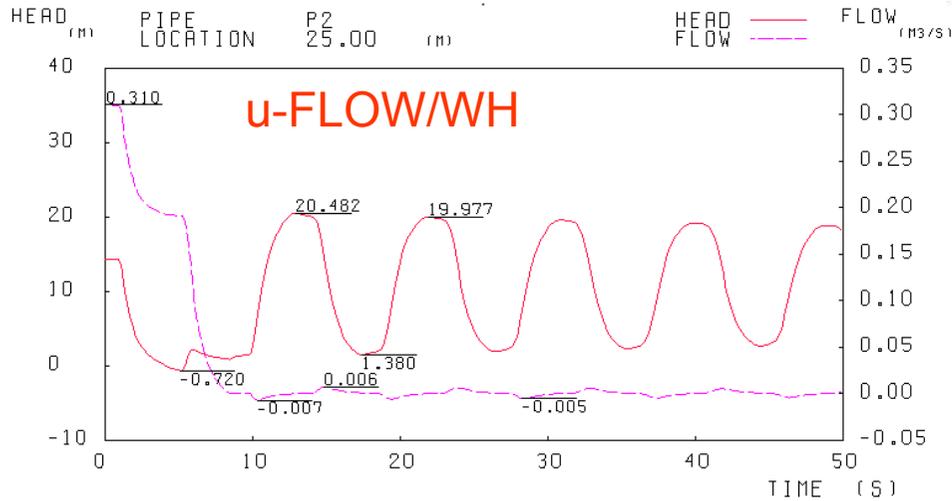
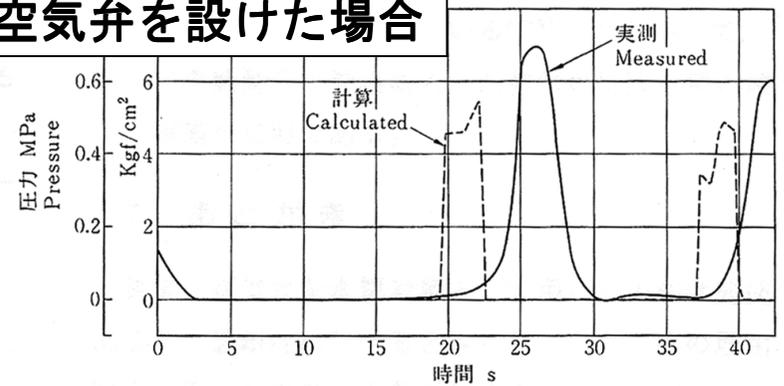
# シミュレーション方法／水撃解析

出典：中田他、“空気弁による水撃防止”，エハラ時報1980,114号

空気弁がない場合



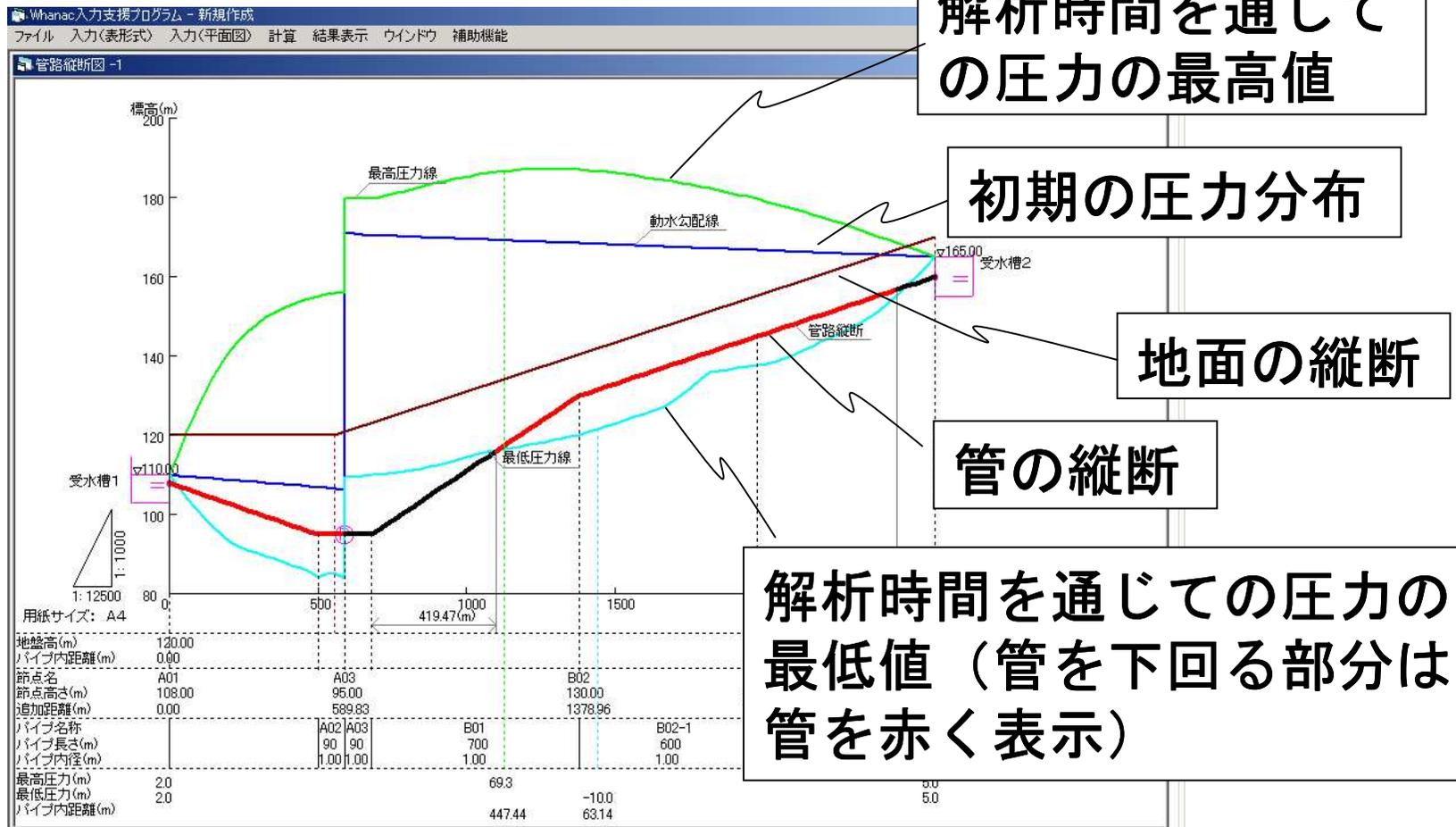
空気弁を設けた場合



(u-FLOW/WHでは流体機器の諸元を仮定)

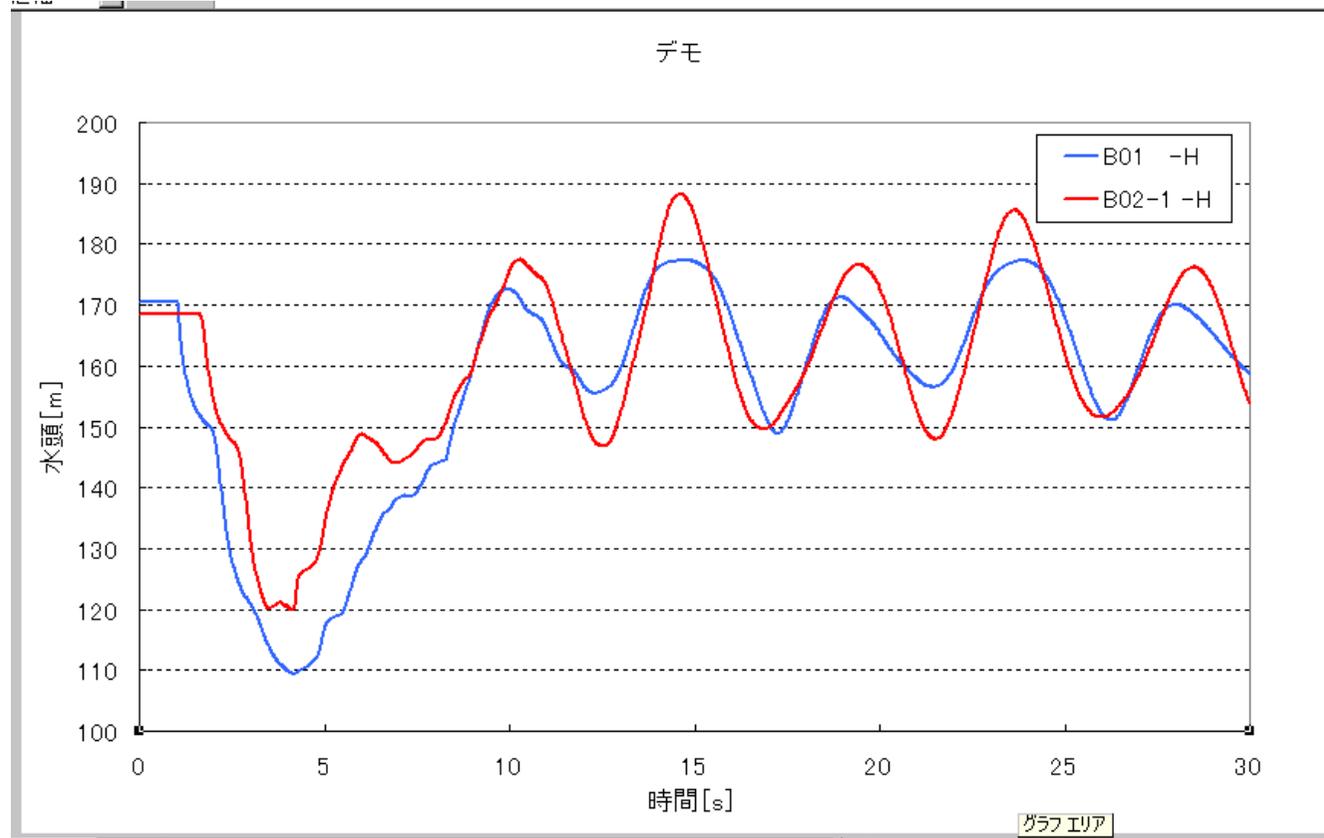
# シミュレーション方法／水撃解析

## 表示機能（縦断図）



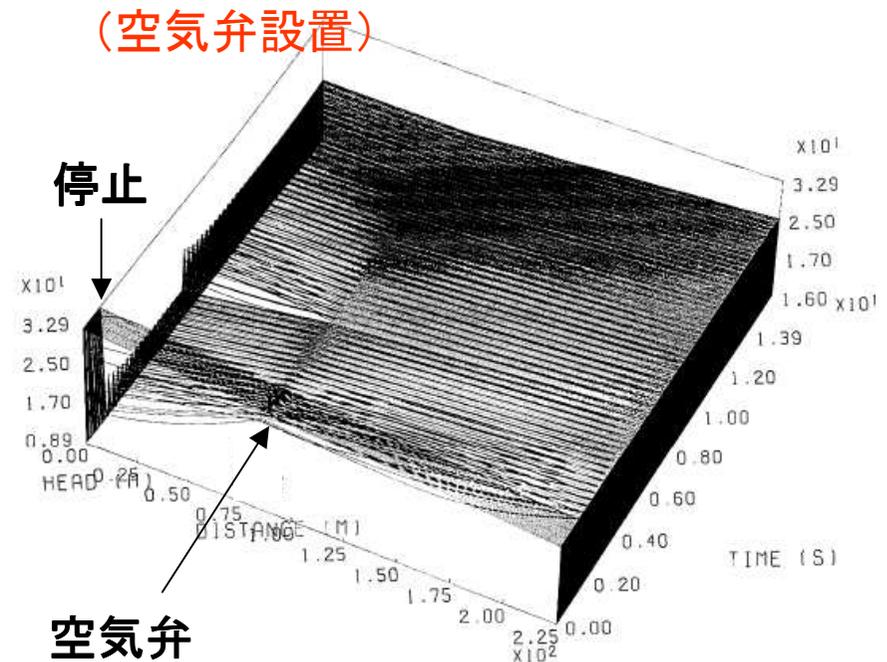
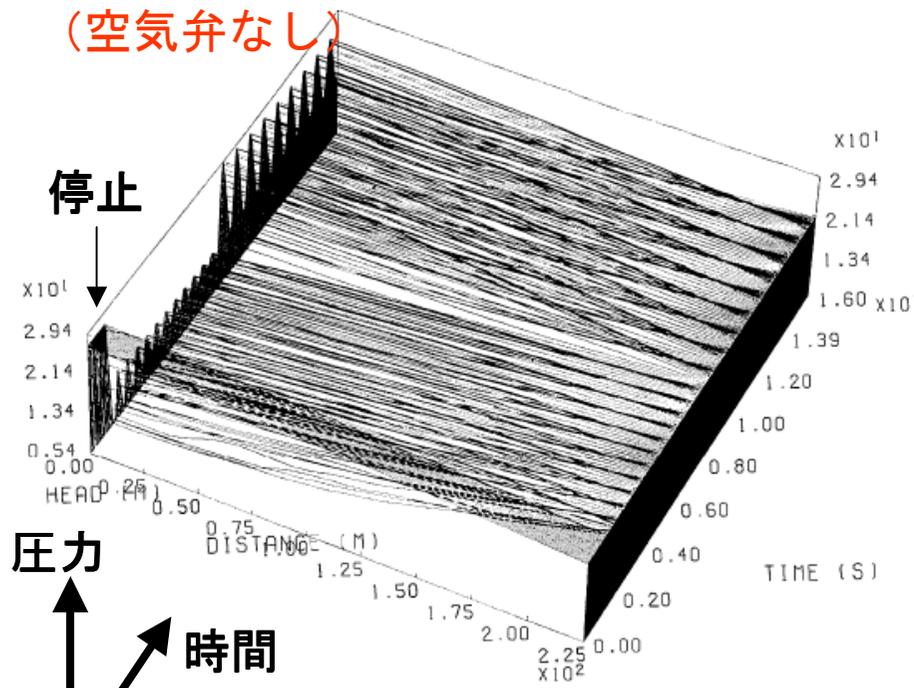
# シミュレーション方法／水撃解析

## ■ 表示機能（過渡変化図）

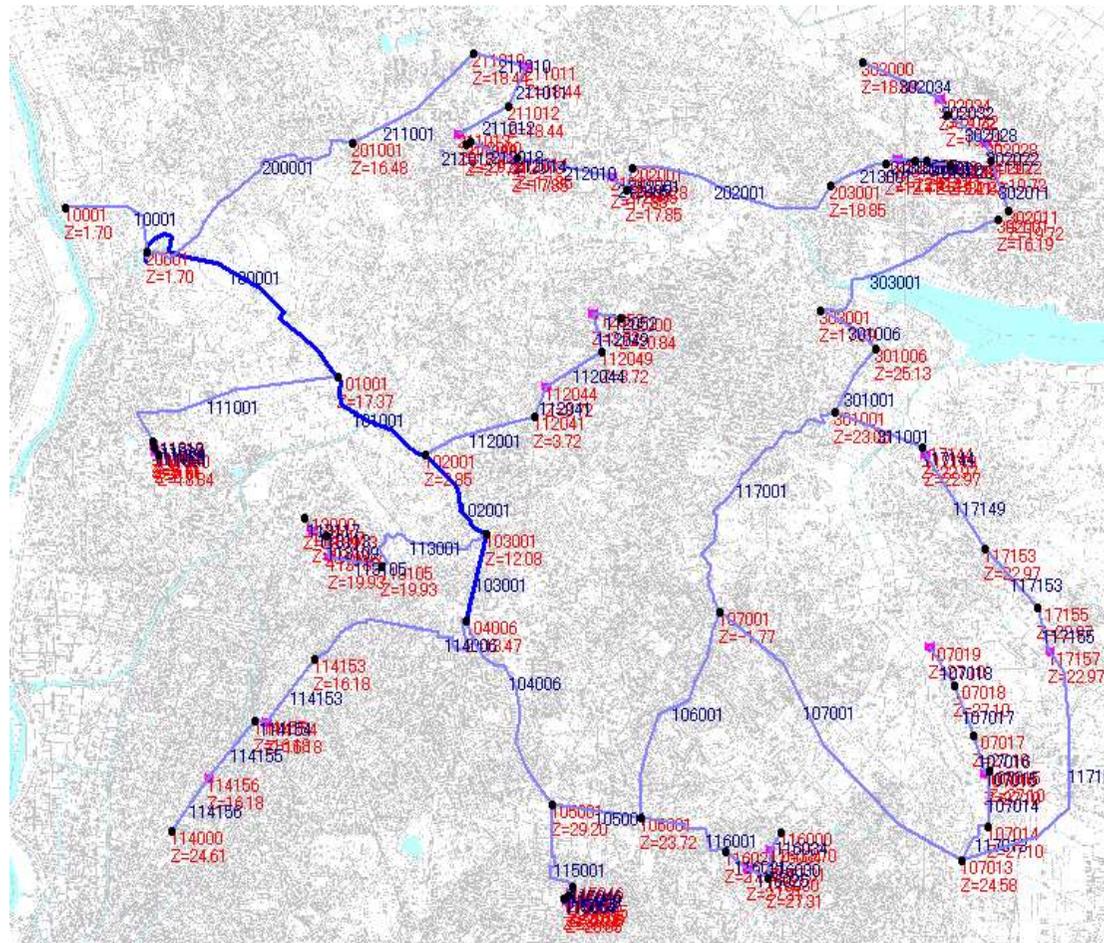


# シミュレーション方法／水撃解析

## ■ 表示機能（タイムラインチャート）



# 上水道管路系のシミュレーション



管路系図例(仮想管路系)

# 上水道管路系のシミュレーション

---

## ■ 事例の対象

人口120万人を対象とした毎時1万トンを超える水道水の供給系

(川から取水し、浄水場のポンプを通じて各市の給水場まで)

# 上水道管路系のシミュレーション

---

## ■ 検討内容

- ・ 途中の高低差によって負圧が生じることのないように、流体機器による対策の確認
- ・ ポンプ運転と需要条件によって変化する、分岐・合流における流量分配状況の確認
- ・ 一部の配管が事故で閉鎖された場合の、迂回運用方策の確認
- ・ 非常時のポンプ停止やバルブ閉鎖に伴う水撃（圧力波）発生を緩和するための流体機器による対策の確認

# 上水道管路系のシミュレーション

---

## ■ 解析項目

- 動水位，動水頭（管高さを反映）
- バルブキャビテーション  
$$c = (H2+10) / (H1-H2)$$
- 浄水場を起点とした、主要点の到達時間
- 排水時間（ライン別）

# 上水道管路系のシミュレーション

---

## ■ 解析項目（水撃対策）

浄水場のポンプを停止

（圧力差が大きい場合が最も不利となるため最大吐出圧で送水している場合について検討）

- ・ 空気弁を設置
- ・ 浄水場ポンプの慣性（GD2）の変更
- ・ サージタンクの基数の変更

# 地震時の配管応答シミュレーション

## ■ 加振モデル（運動方程式に項を追加）

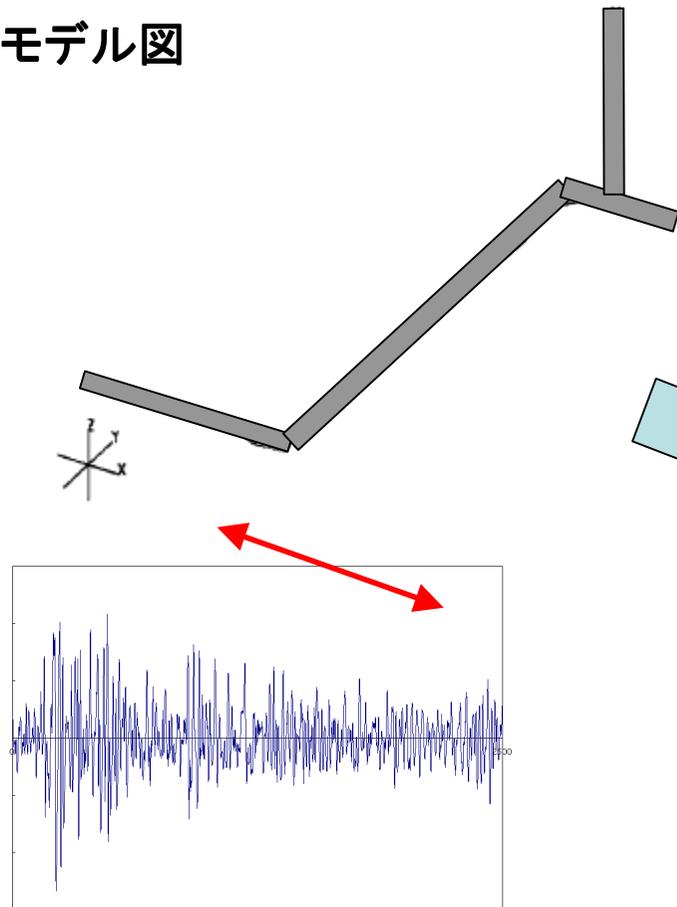
$$g \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{A} \left( V \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial t} \right) + \frac{fQ}{2DA^2} |Q| + G_V \cos \beta \cos \delta + G_H \cos \gamma \cos \alpha = 0$$

$G_V, G_H$  : 鉛直、水平方向の加振加速度 ← 地震波のデータ

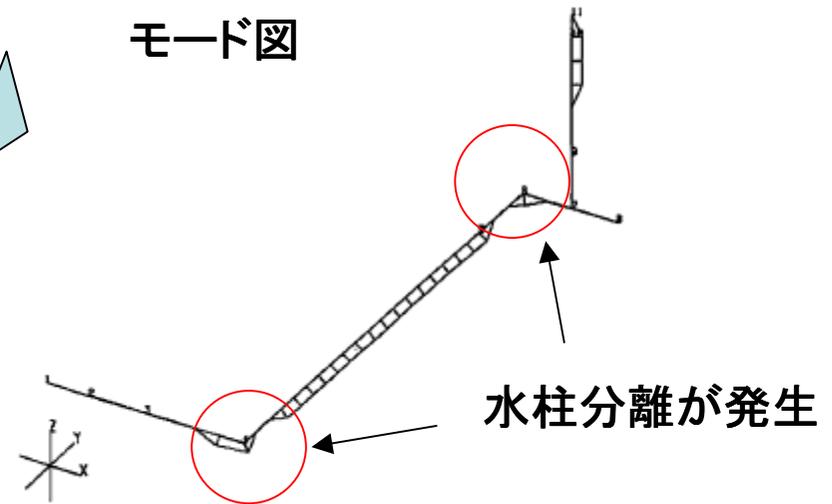
$\beta, \gamma$  : 鉛直、水平方向の入力加振に対する配管角度  
(入力加振の角度と配管角度の差より)

# 地震時の配管応答シミュレーション

モデル図



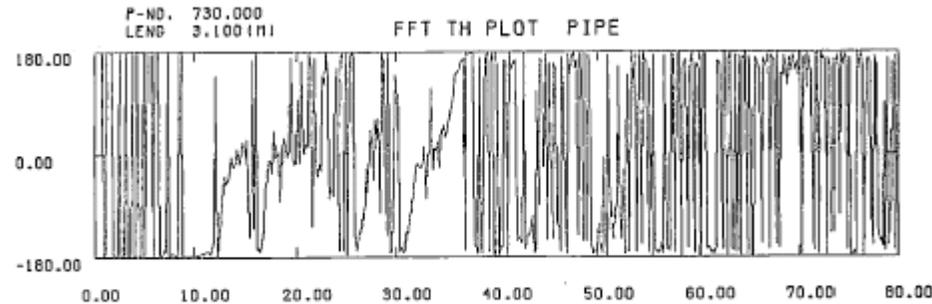
モード図



# 地震時の配管応答シミュレーション

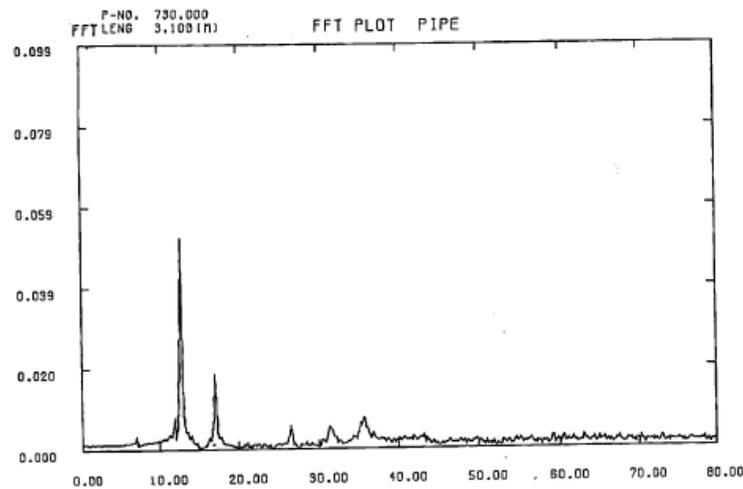
## 位相図

位相(deg)



周波数 (HZ)

## 着目点の伝達関数



周波数

## 水管路系シミュレーション／今後の展開

---

- 防災・災害対策  
地図との連携による非常時即応システム  
(破断事故・地震影響予測、携帯化)
- 保守支援システムとしての強化
- 出力機能の強化  
報告書用表形式・図のWord貼り付け  
アニメーション表示