

【整番】FE-15-RP-002	弁のキャビテーションの予測方法		
分類：流れ(キャビテーション)/種別：推奨指針	作成年月：H19.8/改訂：Ver0.0 (H19.8)	作成者：N.Miyamoto	

全 13 枚

## 1. はじめに

(1) 管路要素のキャビテーショントラブルの多くは絞られた弁の後でおきる。その場合、有害なキャビが発生するか否かは、弁製造者がもっているデータや判定基準に依っていることが多い。しかし、実際の設計では、弁製造者がデータを持ち合わせていないとか保証したとらないとかの理由で購入者がキャビ発生の可否を判定せざるを得ない場合もある。そうでなくとも、**購入者が自分なりの判断基準を持ち問題に対処できる状態にあるのは意義があると思う。**

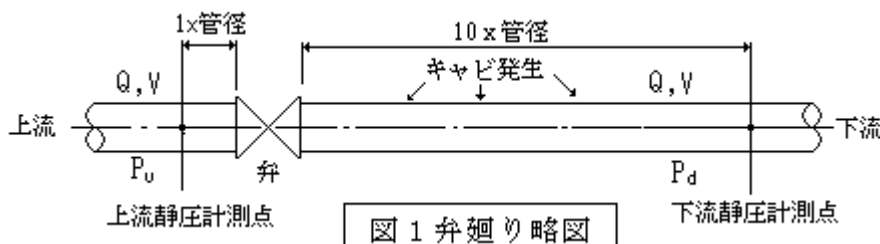
(2) 本 TS は、特殊性の少ない**一般弁**について、弁製造者との煩雑によることなく購入者自身でキャビ発生を評価できるように作成したもので、下記の文献/データに基づいている。

「Cavitation Data for Valves and its Application」 by J.P.Tullis & J.W.Ball  
(Proceedings of Conference on Cavitation, Edinburgh, U.K Sep.1974)

この Tullis の文献は南カルフォルニア水道局(MDW)とコロラド州立大(CSU)の成果を要約したもので弁のキャビテーション分野でよく知られている。その内容は別途[TS-15-TM-001]による。

(一般弁のキャビ判定には例えば Miller の方法(別途[FE-15-RP-001]で採用)もある。**Tullis の方法と Miller の方法は今後比較する必要がある。**)

(3) なお、キャビテーションの発生は流体の性状に依存する。基本的に本 TS は次の流体に適用を限る。  
 溶存空気量が 10-40ppm 程度の水またはこれに類似する液体(但し、高粘度の液体、固形分濃度の高い液体および気液混相流体は除く)  
 また、弁前後は一樣な流れで弁絞り部以外の流速変化はないものとする。



## 2. キャビテーションの評価方法

(1) 弁のキャビテーションは他の管路要素に比べて相当に複雑な形態になると思われるが、基本的には**弁体通過部分の流体の加速に由るもので、高速流れの静圧降下と剥離渦に付帯して起きる現象である。**そのため、弁のキャビテーションは、弁廻りの構造と絞りの度合いに依存して変化する。

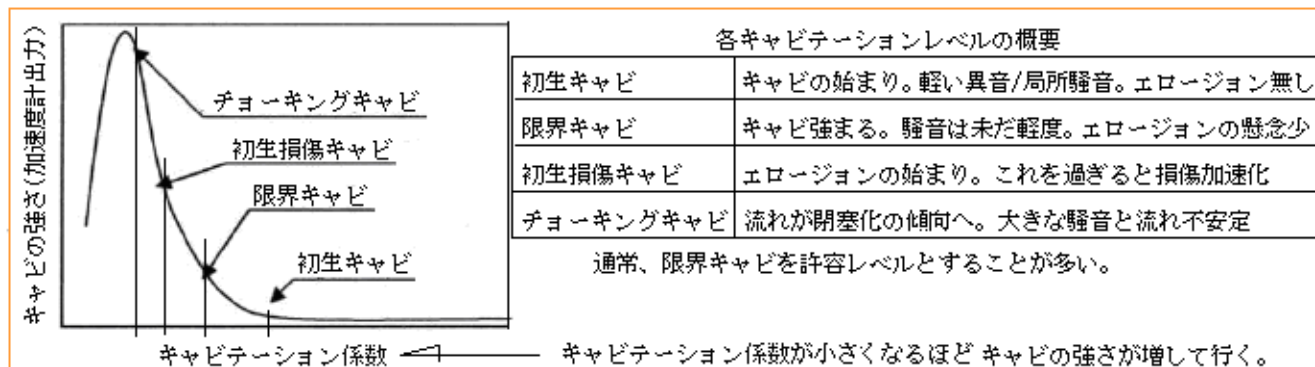
(2) 近年は CFD の進歩で解析的なアプローチも可能になっているが、通常キャビ評価は実験データにその根拠を置くことが多い。その場合、実験条件と実際の運転条件の違いから実験データがそのまま使えることはごくまれで、何らかの**スケーリングテクニック**が必要になる。

(3) キャビテーションの評価では、キャビテーションの強さ加減即ち**キャビテーションレベル**を指標に

する。通常キャビテーションレベルは次の4ランクがあり、矢印の向きにキャビの度合いは重くなる。

**初生キャビ→限界キャビ→初生損傷キャビ→チョーキングキャビ**

これらキャビレベルは以下のように要約される。



(4) 既存の実験データは“あるキャビレベル”の発生限界点で計測されたものである。このデータを運用して該設備における“あるキャビレベル”の発生ポイントを推定する。具体的には、

任意キャビレベルの実験データをスケーリングして当該運転条件下でそのキャビレベルが発現すると思われる流速(限界流速)を推定して実際の流速と比較する。もし実際の流速が限界流速を下回るならそのキャビレベルには至らないと判断する。

(4) 実験データから如何に限界流速を得るか？ Tullis が提案するスケーリング則(圧力/サイズスケール調整式)は次のようである。

$$\textcircled{1} \quad V_x = 0.94 V_{x0} \left\{ \frac{(P_u - P_d)}{(P_{u0} - P_{v0})} \right\}^N \left\{ 1 - \text{Log}(D_0/d_0) / 10^r \right\}$$

$$\textcircled{2} \quad V_x = 1.06 V_{x0} \left\{ \frac{(P_u - P_d)}{(P_{u0} - P_{v0})} \right\}^N \left\{ 1 - \text{Log}(D_0/d_0) / 10^r \right\}$$

ここで  $V_x$  = 評価対象弁の各限界流速(キャビ発生流速)、 $V_{x0}$  = 各実験データの限界流速

$P_u$  = 弁上流圧力、 $P_d$  = 弁下流圧力、 $D_0$  = 大径側の弁径、 $d_0$  = 小径側の弁径、 $N$  = 定数

$P_{u0}$  = 実験データにおける上流圧力、 $P_{d0}$  = 実験データにおける下流圧力、 $V$  = 管内流速

$r$  = ベキ乗数 =  $0.4 - 0.52 \text{Log}_{10} C_d$ 、 $C_d$  = 弁の排出係数

[ 式の運用/記号定義の詳細は、後述の評価チャートを参照のこと。 ]

①はより径の小さい弁の実験データから、より径の大きい弁の限界流速を求める場合に適用し、②は逆に、大径弁の実験データから小径弁の限界流速を求める場合に適用される。

### 3. キャビテーションの評価手順

(1) 図1のような弁設備のキャビテーション評価手順をチャートにして5頁以下に例示する。

このチャートはプログラム化を意図したためちょっと複雑になっているが、要は前述の(4)を具体化したものである。評価に用いる実験データの種類の、

キャビレベル：初生キャビ、限界キャビ、チョーキングキャビの3様(初生損傷データは現状無し)  
弁タイプ：タイバタフライ弁、ボール弁、グローブ弁、ニードル弁、ゲート弁の4種

であって、いずれも Tullis 文献に由っている。なおチャートでは“任意弁”を設けて Tullis 文献以外の実験データも扱えるようにしている。

(2) チャートではまず、弁の開度か排出係数をベースにして該当する実験データの必要部分をテークオフし、

次いで、これに Tullis の圧力/サイズに関するスケール調整式を適用して、実験データから限界流速を計算する。更に、評価対象弁について得られた各キャビレベルの限界流速と実際流速を比較することで実際の流速の是非を判断する。通常は限界キャビレベルの限界流速が設計リミットになっている。限界を越えるときは、差圧/サイズ/開度などを調整する。

### 3. 例題

上流圧力  $P_u$  が  $40\text{N/cm}^2\text{G}$  のパイプラインの操作弁として  $1.0\text{m}$  径のバタフライ弁を設置する。この時の初生キャビ、限界キャビの限界流速を確認しておきたい。弁設備の要目は、

$$Q = 2.435 \text{ m}^3/\text{s}, P_d = 39.5 \text{ N/cm}^2, P_v = -10 \text{ N/cm}^2, \rho = 1000 \text{ Ns}^2/\text{m}^4$$

\*\*\*\*\*

$$\text{弁通過流速: } V = Q / (\pi D^2/4) = 2.435 / (\pi \times 1^2/4) = 3.1 \text{ m/s}$$

$$\text{排出係数: } C_d = V / \{2 \times 10^4 \times \sqrt{(P_u - P_v) / \rho + V^2}\}^{0.5} = 3.1 / \{2 \times 10^4 \times (40 - 39.5) / 1000 + 3.1^2\}^{0.5} = 0.7$$

バタフライ弁では表 0 をみるに初生キャビ/限界キャビのデータがあり、最大口径  $508\text{mm}/610\text{mm}$  である。

初生キャビ & 弁サイズ  $508\text{mm}$  の場合、表 1 から次の初生キャビデータをインテークする。対象弁の排出係数に等しい  $C_d^* = 0.7$  はこれらの中間にある。

$$V_{O1}^* = 65, C_{d1}^* = 0.597, P_{u01} = 28.3, \sigma_{i01} = 9.09, V_{i01} = 6.31, P_{v01} = -7.93,$$

$$V_{O2}^* = 80, C_{d2}^* = 0.81, P_{u02} = 22.1, \sigma_{i02} = 16.3, V_{i02} = 8.14, P_{v02} = -7.93,$$

これを用いて以下、初生キャビの発生流速(限界流速)を計算する。

$$r_1 = 0.4 - 0.52 \text{Log}_{10} C_{d1}^* = 0.4 - 0.52 \times \text{Log}_{10} 0.597 = 0.5165$$

$$r_2 = 0.4 - 0.52 \text{Log}_{10} C_{d2}^* = 0.4 - 0.52 \times \text{Log}_{10} 0.81 = 0.448$$

$$\begin{aligned} V_{i1} &= 0.94 V_{i01} \{ (P_u - P_v) / (P_{u01} - P_{v01}) \}^N \{ 1 - \text{Log}(D_o/d_o) / 10^{r_1} \} \\ &= 0.94 \times 6.31 \times \{ (40 + 10) / (28.3 + 7.93) \}^{0.39} \{ 1 - \text{Log}(1.0/0.508) / 10^{0.5165} \} \\ &= 6.725 \times 0.9105 = 6.12 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{i2} &= 0.94 V_{i02} \{ (P_u - P_v) / (P_{u02} - P_{v02}) \}^N \{ 1 - \text{Log}(D_o/d_o) / 10^{r_2} \} \\ &= 0.94 \times 8.14 \times \{ (40 + 10) / (22.1 + 7.93) \}^{0.39} \{ 1 - \text{Log}(1.0/0.508) / 10^{0.448} \} \\ &= 9.335 \times 0.895 = 8.36 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_i &= V_{i1} + (V_{i2} - V_{i1}) (C_d - C_{d1}^*) / (C_{d2}^* - C_{d1}^*) = 6.12 + (8.36 - 6.12) (0.7 - 0.597) / (0.81 - 0.597) \\ &= 7.2 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$V_{i \text{ max}} = 1.15 \times 7.2 = 8.3 \text{ m/s}, V_{i \text{ min}} = 0.85 \times 7.2 = 6.1 \text{ m/s}$$

初生キャビは、 $C_d = 0.7$  の条件で、 $6.1 \sim 8.3 \text{ m/s}$  の範囲で発生する。従って、運転流速  $V = 3.1 \text{ m/s}$  は初生キャビに対して十分に安全側にある。

次に表 2 から  $610\text{mm}$  弁の限界キャビデータをインテークする。

$$V_{O1}^* = 55, C_{d1}^* = 0.375, P_{u01} = 44.8, \sigma_{i01} = 4.60, V_{i01} = 5.58, P_{v01} = -9.86,$$

$$V_{O2}^* = 60, C_{d2}^* = 0.467, P_{u02} = 44.8, \sigma_{i02} = 5.75, V_{i02} = 6.61, P_{v02} = -9.86,$$

対象弁の排出係数に等しい  $C_d^* = 0.7$  はこれらの延長にある。限界キャビの限界流速は、

$$r_1 = 0.4 - 0.52 \text{Log}_{10} C_{d1}^* = 0.4 - 0.52 \times \text{Log}_{10} 0.375 = 0.6215$$

$$r_2 = 0.4 - 0.52 \text{Log}_{10} C_{d2}^* = 0.4 - 0.52 \times \text{Log}_{10} 0.467 = 0.5720$$

$$V_{c1} = 0.94 V_{c01} \{ (P_u - P_v) / (P_{u01} - P_{v01}) \}^N \{ 1 - \text{Log}(D_o/d_o) / 10^{r_1} \}$$

$$= 0.94 \times 5.58 \times \{(40+10)/(44.8+9.86)\}^{0.39} \{1 - \text{Log}(1.0/0.61)/10^{0.6215}\}$$

$$= 5.066 \times 0.949 = 4.807 \text{ m/s}$$

$$V_{c2} = 0.94 V_{i02} \{(P_u - P_v)/(P_{u02} - P_{v02})\}^N \{1 - \text{Log}(D_o/d_o)/10^{r2}\}$$

$$= 0.94 \times 6.61 \times \{(40+10)/(44.8+9.86)\}^{0.39} \{1 - \text{Log}(1.0/0.61)/10^{0.5720}\}$$

$$= 6 \times 0.942 = 5.65 \text{ m/s}$$

$$V_c = V_{c1} + (V_{c2} - V_{c1})(C_d - C_{d1}^*)/(C_{d2}^* - C_{d1}^*)$$

$$= 4.807 + (5.65 - 4.807)(0.7 - 0.375)/(0.467 - 0.375) = \mathbf{7.78 \text{ m/s}}$$

外挿の場合、その精度に不安が残る。そこで 406mm 弁の実験データを用いて計算してみる。表 2 からデータをインテークすると、

$$V_{O^*} = 70, C_{d1}^* = 0.665, P_{u01} = 30.7, \sigma_{c01} = 5.87, V_{c01} = 10.8, P_{v01} = -7.93,$$

$$V_{O^*} = 80, C_{d2}^* = 0.810, P_{u02} = 19.9, \sigma_{c02} = 10.2, V_{c02} = 11.1, P_{v02} = -7.93,$$

対象弁の排出係数に等しい  $C_d^* = 0.7$  はこれらの中間にある。内挿できる。

$$r1 = 0.4 - 0.52 \text{Log}_{10} C_{d1}^* = 0.4 - 0.52 \times \text{Log}_{10} 0.665 = 0.492$$

$$r2 = 0.4 - 0.52 \text{Log}_{10} C_{d2}^* = 0.4 - 0.52 \times \text{Log}_{10} 0.810 = 0.448$$

$$V_{c1} = 0.94 V_{c01} \{(P_u - P_v)/(P_{u01} - P_{v01})\}^N \{1 - \text{Log}(D_o/d_o)/10^{r1}\}$$

$$= 0.94 \times 10.8 \times \{(40+10)/(30.7+7.93)\}^{0.39} \{1 - \text{Log}(1.0/0.406)/10^{0.492}\}$$

$$= 11.23 \times 0.874 = 9.81 \text{ m/s}$$

$$V_{c2} = 0.94 V_{c02} \{(P_u - P_v)/(P_{u02} - P_{v02})\}^N \{1 - \text{Log}(D_o/d_o)/10^{r2}\}$$

$$= 0.94 \times 11.1 \times \{(40+10)/(19.9+7.93)\}^{0.39} \{1 - \text{Log}(1.0/0.406)/10^{0.448}\}$$

$$= 13.1 \times 0.8605 = 11.3 \text{ m/s}$$

$$V_c = V_{c1} + (V_{c2} - V_{c1})(C_d - C_{d1}^*)/(C_{d2}^* - C_{d1}^*)$$

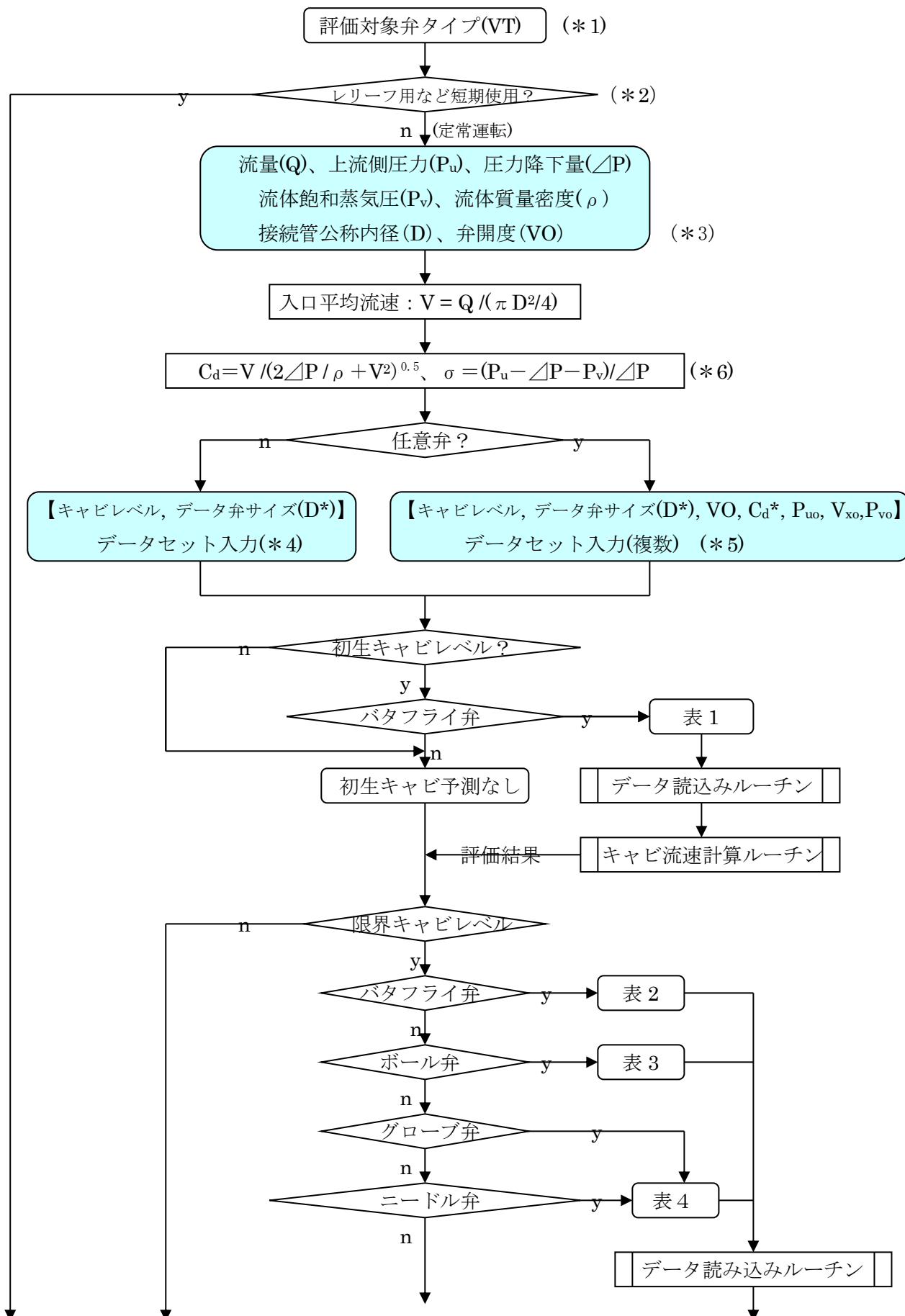
$$= 9.81 + (11.3 - 9.81)(0.7 - 0.665)/(0.810 - 0.665) = \mathbf{10.2 \text{ m/s}}$$

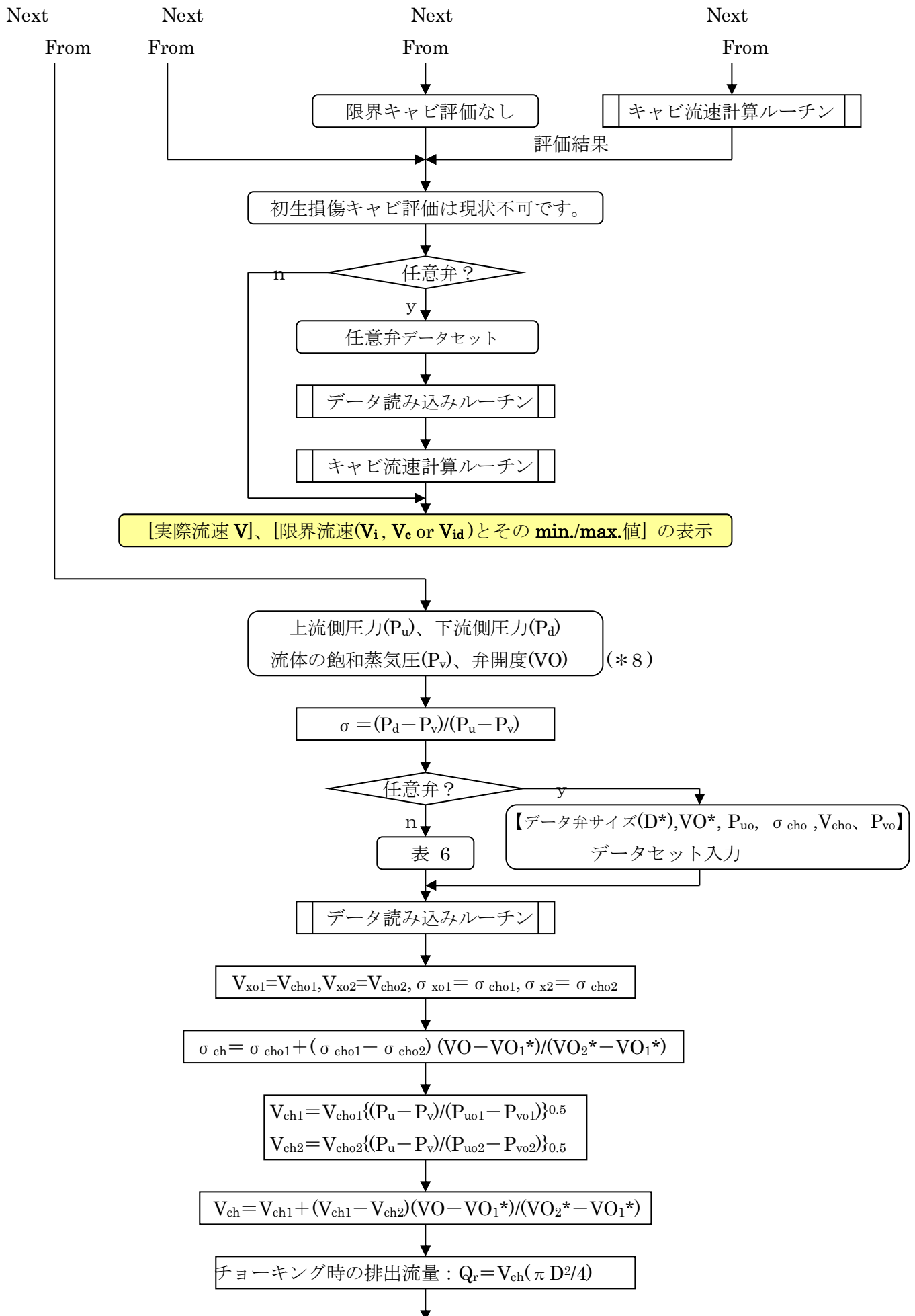
610mm 弁データの外挿による 7.78 m/s に比べてかなり高くなる。初生キャビ限界速度 7.22 m/s に比べて 7.78m/s は低すぎる。多分 406mm 弁データの内挿による 10.2m/s の方が現実的なのでこれを採用する。その場合、

$$V_{i \text{ max}} = 1.15 \times 10.2 = 11.7 \text{ m/s} \quad , \quad V_{i \text{ min}} = 0.85 \times 10.2 = 8.7 \text{ m/s}$$

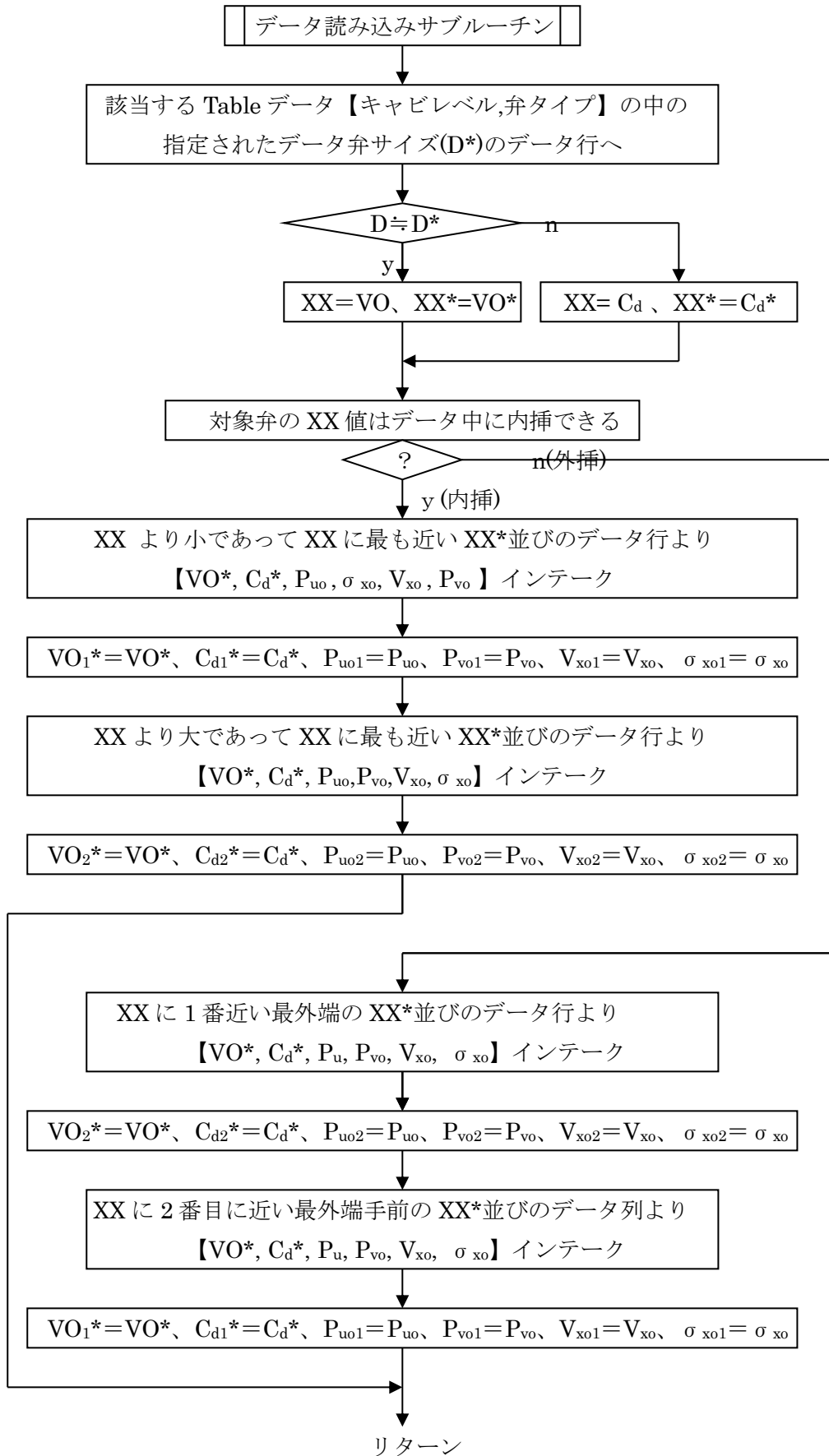
限界キャビテーションは、 $C_d = 0.7$  の条件で、8.7~11.7 m/s の範囲で発生する。従って、運転流速  $V = 3.1 \text{ m/s}$  は十二分に安全側である。

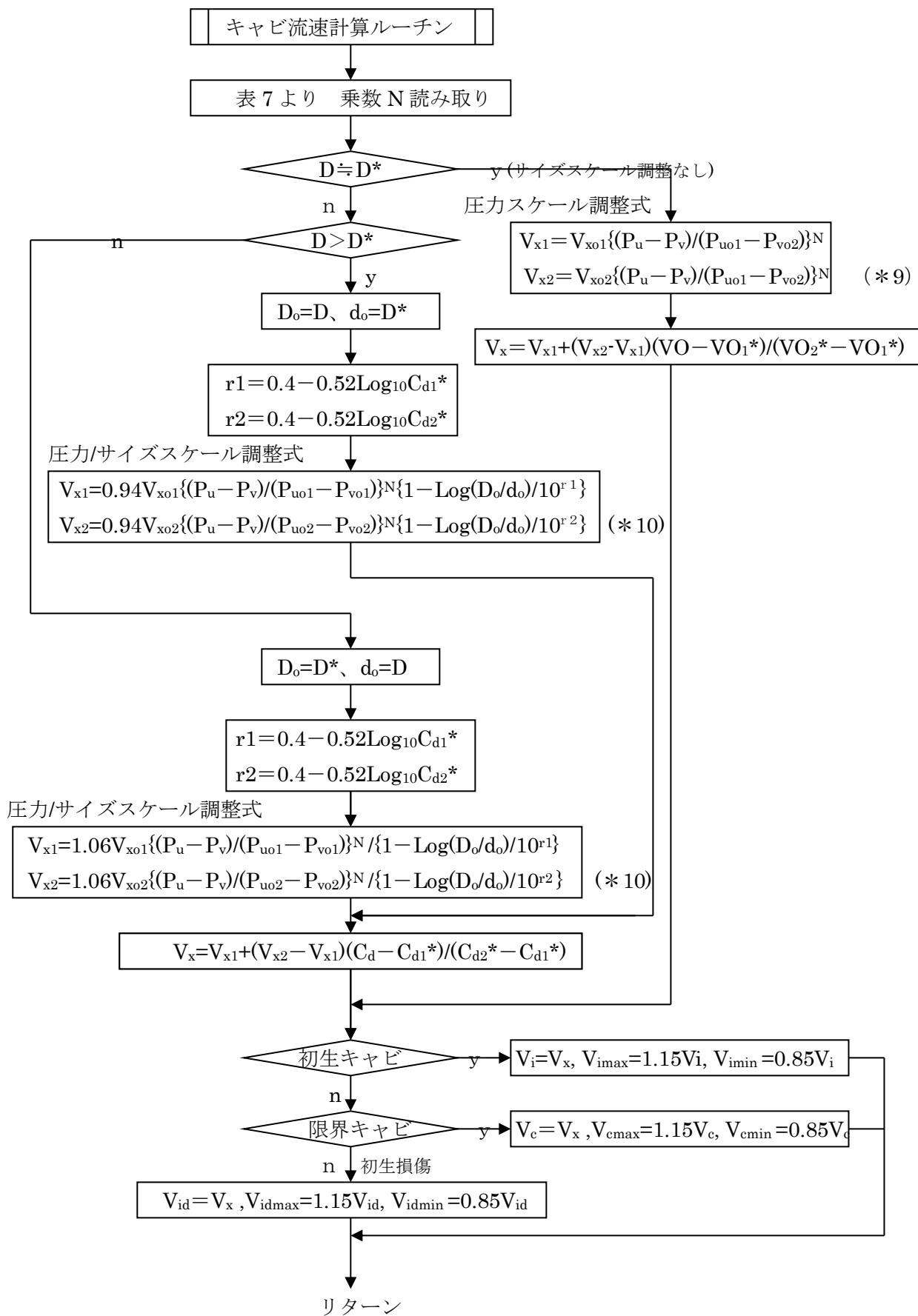
### キャビテーション評価チャート





[実際流速  $V$ ]、[限界流速  $V_{ch}$  とその  $\min./\max.$  値]、[排出流量  $Q$ ] の表示





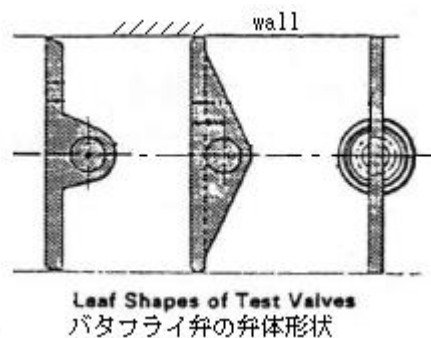


＜ チャートの脚注 ＞

( \* 1 ) 評価対象の弁タイプは、次の5つである( 表 0 参照 )。

- ・ バタフライ弁：通常タイプ。下図のいずれかの弁体( Leaf )形状をもつもの。
- ・ ボール弁： 入口径の 75%のボア径を有する通常のボール弁
- ・ グローブ弁： 玉形弁、通常タイプ
- ・ ニードル弁： ペルトン形
- ・ ゲート弁： 仕切弁、通常タイプ
- ・ 任意弁： 構造/形状は任意。キャビの実験データがあるもの。

実験データのある弁タイプであれば、その実験データ( \* 5 参照)を入力すると共に“任意弁”として、入力すれば評価できる。



( \* 2 ) 通常運転ではなく、圧力/流量のレリーフ用などごく短期的に運転する場合をいう。この場合はチョーキングキャビについて評価する。

( \* 3 )  $\Delta P$  はいわゆる弁の圧力損失で、 $(P_u - P_d)$  に等しい。接続管公称内径  $D$  は弁カタログによってもいい。弁開度  $VO$  は、公称内径  $D$  とデータ弁サイズ  $D^*$  ( 表 0 参照 ) が 略々同じ である時に入力する。そして  $C_d$  ではなく  $VO$  を用いてデータの内挿/外挿を行う。

( \* 4 ) 任意弁以外は Table 形式( 表 1~4、6 )で実験データがデータ列として記憶されているとして、これを呼び出すためのインデックスとしてのデータ。引用する実験データのキャビレベルと弁サイズを指定する( 表 0 参照 )。なお、データ弁サイズ  $D^*$  の選択は原則として下記による。

実際の弁サイズ  $D$  にできるだけ近いものを選択する。但し、外挿は精度がかなり劣ることがあるので、内挿が可能な  $C_d^*/VO^*$  値を持った弁サイズの採用を検討する。

( \* 5 ) 上記と同様にデータを入力する。なお当然ながら開度  $VO$  (排出係数  $C_d$ ) の内外挿が出来るように複数のデータを入力する。

( \* 6 ) 排出係数( discharge co-efficient )  $C_d$  は、データの内外挿に用いる。  $\sigma$  は運転時のキャビ係数で計算には使わないが、指標としてアウトプットされる。

( \* 7 ) Tullis 文献[TS-15-TM-001]によれば初生損傷データは未整理(?)とのこと。従って現状、任意弁以外は初生損傷の評価ができないことを表示しておく。

( \* 8 ) チョーキングキャビの場合、流量  $Q$  を与えることができないので、 $C_d$  値を用いた内挿/外挿処理が

できない。そこで VO 値(放出時の弁の設定開度)を与える。

(\*9) Tullis の圧力スケール調整式。サイズスケール調整が不要なので圧力スケールのみ。

(\*10) Tullis の圧力/サイズスケール調整式。評価対象弁サイズ D がデータ弁サイズ D\*より大きい小さいかで式が変わる。

<チャートの記号定義 >

Q = 弁通過流量(m<sup>3</sup>/s)、Q<sub>r</sub> = ライン排出流量(m<sup>3</sup>/s)、

V = 対象弁入口の平均管内流速(m/s) - サフィックス付きの場合、当該キャビレベルの限界流速(m/s)

P<sub>u</sub> = 弁の上流側圧力(N/cm<sup>2</sup>G) → 弁入口から約 1x 管径 D 手前の位置の圧力

P<sub>d</sub> = 弁の下流側圧力(N/cm<sup>2</sup>G) → 弁出口から 10x 管径 D 下流の位置の圧力から 10xD 管路の  
圧力損失分を引いたもの

ΔP = 弁通過による圧力降下量(N/cm<sup>2</sup>) = P<sub>u</sub> - P<sub>d</sub>、

ρ = 流体の質量密度(Ns<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)、P<sub>v</sub> = 流体の飽和蒸気圧(N/cm<sup>2</sup>G)、σ = キャビテーション係数、

D = 評価対象弁の入口側接続管の公称内径(m) ≡ 弁径、D\* = 実験データにおける D(m)、

D<sub>o</sub> = D と D\* で大きい方の値(m)、d<sub>o</sub> = D と D\* で小さい方の値(m)、

N = 圧力スケール調整式で用いるべき乗数(表 7)

VO = 評価対象弁の開度(deg. または%)、VO\* = 実験データにおける VO(deg. または%)、

C<sub>d</sub> = 評価対象弁の排出係数(discharge co-efficient)、C<sub>d</sub>\* = 実験データにおける C<sub>d</sub>

サフィックス: “i, c, id, ch” → 夫々 初生キャビ、限界キャビ、初生損傷、チョーキングキャビ

“o” → 実験データ、“x” → i, c, id または ch

表 0 データ弁サイズ一覧

	初生キャビ D*(VO*)	限界キャビ D*(VO*)	初生損傷キャビ D*(VO*)	チョーキングキャビ D*(VO*)
バタフライ弁	102mm(20~70° ) 152mm(15~90° ) 305mm(20~90° ) 406mm(10~90° ) 508mm(20~90° ) <表 1 >	102mm(20~90° ) 152mm(20~90° ) 305mm(20~90° ) 406mm(10~90° ) 508mm(35~60° ) 610mm(25~60° ) <表 2 >	—	152mm(30~90° ) 254mm(20~70° ) <表 6 >
ボール弁	—	51mm(30~90° ) 76mm(60~90° ) 203mm(40~80° ) 305mm(30~90° ) <表 3 >	—	51mm(30~90° ) 102mm(20~70° ) <表 6 >
グローブ弁	—	254mm(35~100%) 305mm(10~80%) <表 4 >	—	76mm(100%) <表 6 >
ゲート弁	—	—	—	76mm(42~75%) <表 6 >
ニードル弁	—	203mm(8~83%)	—	—

	<b>&lt;表 4&gt;</b>		
--	--------------------	--	--

**表1 初生キャビテーション-バタフライ弁**

データ 弁サイズ D* <sub>mm</sub>	V0* deg.	C <sub>d</sub> *	P <sub>uo</sub> N/cm <sup>2</sup>	σ <sub>io</sub>	V <sub>io</sub> m/sec	P <sub>vo</sub> N/cm <sup>2</sup>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
102	20	0.083	27.0	1.58	1.37	-7.93
	30	0.162	13.5	1.21	2.29	
	40	0.257	26.9	3.02	3.51	
	50	0.334	46.7	3.56	5.49	
	70	0.535	13.9	4.13	5.85	
152	15	0.040	33.1	1.27	0.76	
	30	0.0956	51.7	2.30	1.83	
	50	0.272	33.1	5.41	3.20	
	60	0.445	33.1	7.53	4.88	
	70	0.608	33.1	8.01	7.32	
	80	0.727	33.1	9.45	9.39	
305	20	0.056	34.5	1.99	0.94	
	30	0.112	34.5	2.23	1.83	
	40	0.171	34.5	3.00	2.53	
	50	0.277	34.5	4.28	3.66	
	60	0.401	34.5	6.11	4.79	
	70	0.577	34.5	8.43	6.71	
406	10	0.0274	71.7	1.67	0.67	
	20	0.0975	55.2	2.63	1.83	
	30	0.158	45.0	3.55	2.44	
	40	0.242	51.8	5.61	3.35	
	50	0.340	48.7	7.50	4.18	
	60	0.505	36.7	9.61	5.49	
508	20	0.060	35.9	2.33	0.98	
	35	0.173	35.9	4.32	2.26	
	50	0.360	35.9	6.60	4.15	
	65	0.597	28.3	9.09	6.31	
	80	0.810	22.1	16.3	8.14	
	90	0.870	21.4	26.6	8.14	

**表2 限界キャビテーション-バタフライ弁**

データ 弁サイズ D* <sub>mm</sub>	V0* deg.	C <sub>d</sub> *	P <sub>uo</sub> N/cm <sup>2</sup>	σ <sub>co</sub>	V <sub>co</sub> m/sec	P <sub>vo</sub> N/cm <sup>2</sup>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
102	20	0.083	27.1	1.11	1.52	-7.93
	30	0.162	54.6	1.48	3.69	
	40	0.257	26.9	1.67	4.30	
	50	0.334	39.6	2.04	6.28	
	60	0.442	27.0	2.55	6.92	
	70	0.535	13.4	3.03	6.52	
	80	0.619	26.9	4.55	8.84	
	90	0.700	23.6	5.79	9.45	
	152	20	0.0590	63.1	1.64	
30		0.0956	43.4	1.62	1.91	
40		0.174	95.8	2.52	4.30	
50		0.272	33.0	2.81	4.14	
60		0.445	33.1	3.68	6.58	
70		0.608	36.2	4.63	9.60	
80		0.727	27.2	6.81	10.1	
90		0.775	22.1	7.93	10.1	
305		20	0.056	34.5	1.02	1.16
	30	0.112	34.5	1.30	2.16	
	40	0.171	34.5	2.22	2.83	
	50	0.277	34.5	2.51	4.48	
	60	0.401	34.5	3.43	6.10	
	70	0.577	34.5	6.10	7.77	
	80	0.781	30.3	9.67	10.7	
	90	0.824	29.6	11.7	11.3	
	406	10	0.0274	71.7	1.67	0.76
20		0.0975	55.2	1.74	2.40	
30		0.158	45.0	1.92	3.48	
40		0.242	51.8	2.71	5.18	
50		0.340	48.7	3.93	6.26	
60		0.505	36.7	4.97	8.35	
70		0.665	30.7	5.87	10.8	
80		0.810	19.9	10.2	11.1	
90		0.855	17.3	12.6	11.5	
508	35	0.173	34.5	2.13	2.96	
	50	0.360	33.9	3.15	5.49	
	65	0.597	27.6	6.39	7.32	
610	25	0.0504	44.8	2.00	0.945	-9.86
	30	0.0891	44.8	2.15	1.64	
	35	0.129	44.8	2.30	2.33	
	40	0.172	44.8	2.60	3.00	
	45	0.224	44.8	3.30	3.60	
	50	0.288	44.8	4.00	4.39	
	55	0.375	44.8	4.60	5.58	
	60	0.467	44.8	5.75	6.61	

表7 圧力スケール調整式の乗数 N 値

	初生キャビ	限界キャビ	初生損傷キャビ	チョーキングキャビ
バタフライ弁	0.39	0.39	0.34	0.5
ボール弁	0.40	0.40	0.35	0.5
グローブ弁	0.46	0.46	0.41	0.5
ニードル弁	0.46	0.46	0.41	0.5
ゲート弁	—	—	—	0.5

表3 限界キャビテーション-ボール弁

データ 弁サイズ D* mm	VO* deg.	C <sub>d</sub> *	P <sub>uo</sub> N/cm <sup>2</sup>	σ <sub>co</sub>	V <sub>co</sub> m/sec	P <sub>vo</sub> N/cm <sup>2</sup>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
51 mm	30	.039	51.7	0.60	1.07	-7.93
	60	.222	51.7	1.64	4.85	
	90	.82	51.7	6.33	18.3	
76 mm	60	.202	40.9	1.46	4.11	-7.93
	75	.383	44.8	2.18	7.56	
	90	.769	24.5	4.52	13.0	
203 mm	40	.104	68.9	1.45	2.62	-7.93
	50	.164	66.9	2.10	3.66	
	60	.254	52.4	2.51	4.88	
	70	.351	41.7	2.76	6.10	
	80	.500	34.8	4.12	7.47	
305 mm	30	.065	68.9	2.12	1.45	-7.93
	40	.112	51.7	2.43	2.10	
	50	.175	55.5	2.92	3.20	
	60	.273	51.7	3.04	4.88	
	70	.380	28.6	3.60	5.18	
	80	.520	27.6	4.36	7.01	
	90	.695	13.4	5.20	8.02	

表4 限界キャビテーション-グローブ弁/ニードル弁

データ 弁サイズ D* mm	VO* %	C <sub>d</sub> *	P <sub>uo</sub> N/cm <sup>2</sup>	σ <sub>co</sub>	V <sub>co</sub> m/sec	P <sub>vo</sub> N/cm <sup>2</sup>	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
globe valve	254 mm	35%	0.084	105	2.18	2.25	-9.86
		40	0.126	105	2.36	3.29	
		50	0.179	105	2.52	4.60	
		60	0.253	105	2.80	6.37	
		70	0.322	105	2.97	8.11	
	100	0.405	105	3.20	10.2		
	305 mm	10%	0.023	41.4	1.4	0.47	-7.93
		20	0.070	44.8	1.7	1.39	
		30	0.160	44.8	2.3	2.90	
		40	0.220	43.4	2.70	3.76	
60		0.296	42.0	3.30	4.73		
80		0.334	41.4	3.80	5.08		
needle valve (*)	203 mm	8%	0.036	44.8	0.40	0.99	-7.93
		13	0.052	44.8	0.55	1.36	
		23	0.078	44.8	0.70	1.95	
		53	0.146	44.8	1.11	3.30	
		83	0.200	44.8	1.40	4.28	

(\*) seat dia. = 108 mm exp. dia. = 356 mm

表6 チョーキングキャビテーション-各種弁

データ 弁サイズ D* mm	VO* deg. %	(a) C <sub>d</sub> *	P <sub>uo</sub> N/cm <sup>2</sup>	σ <sub>cho</sub>	V <sub>cho</sub> m/sec	P <sub>vo</sub> N/cm <sup>2</sup>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
51mm ball valve (ボール弁)	30°	0.0381	66.6	0.0415	1.44	-8.06
	40	0.0768	140.0	0.119	3.96	
	50	0.134	61.2	0.218	4.58	
	60	0.224	65.8	0.355	7.58	
	70	0.350	95.9	0.670	13.2	
	80	0.589	100.0	2.09	19.3	
102mm ball valve (ボール弁)	30°	0.0355	165.	0.053	2.04	-8.06
	40	0.0740	149.	0.120	3.95	
	50	0.136	63.2	0.229	4.69	
	60	0.220	55.2	0.334	6.95	
	70	0.356	19.8	0.704	6.89	
	80	0.565	27.3	1.72	11.1	
76mm globe valve (グローブ弁)	100%	0.369	55.1	0.224	12.6	-8.06
	42%	0.145	67.6	0.391	4.84	
76mm gate valve (ゲート弁)	50	0.322	55.1	0.684	9.33	-8.06
	75	0.691	34.6	1.28	18.5	
	92	0.833	23.3	1.91	22.1	
	92	0.833	23.3	1.91	22.1	
152 mm bfly. valve (バタフライ弁)	30°	0.109	66.9	.343	3.65	-8.06
	50	0.337	52.7	0.714	9.54	
	60	0.500	40.4	0.993	12.7	
	70	0.709	26.6	1.77	15.9	
	90	0.874	16.0	3.80	18.0	
254 mm bfly. valve (バタフライ弁)	20°	0.050	44.7	0.299	1.43	-8.06
	30	0.145	45.5	0.356	4.14	
	40	0.253	39.4	0.434	6.73	
	50	0.387	24.2	0.665	8.55	
	60	0.556	15.8	1.53	9.21	
	70	0.731	9.24	3.12	9.82	

(a) C<sub>d</sub> calculated for nonchoking conditions.

## 【 解 説 】

1. 本 TS は Tullis が提案したキャビテーション評価方法を手順化したものである。ベースにした Tullis 文献は中間報告的なもので、その後の展開があった筈であるが、残念ながらその消息を知らない。ただ初生損傷に関するデータの欠如を除けば、だいたい議論は尽くしているような印象がある。Tullis 文献の詳しい内容紹介は[TS-15-TM-001]に譲るが、その主要な論点は次の通り。

- ① 各キャビテーション状態(レベル)におけるデータとその運用
- ② 各キャビテーションレベル(初生/限界/初生損傷/チョーキング)の特性
- ③ 圧力及び寸法に関するスケール効果の調整方法の提案

特に①と③は重要で、圧力/サイズスケール調整式即ちスケーリング則は、キャビ評価上の要になる。

この Tullis の提案以降、キャビテーションのスケーリング則に関し一定の議論があったと思われる、幾つかの異なる調整式もでていると思われる(今後調査する必要がある)。

2. 評価チャートでは、5つのデータ弁タイプを扱えるようになっているが、グローブ/ニードル/ゲート弁はデータが少なく、圧力やサイズに格差があると不安が残る。データを補充する必要がある。そこでオプションとして“任意弁”を設定した。手持ちのデータを利用して容易に評価できる。

なお、チャートでは適用する実験データを入力者が指定するようになっているので、ベースとなる実験データの選択ができる。なるべく近いサイズのデータを選択する。

なお Tullis の文献にはコーン弁、ディスク弁などやや特殊なバルブのデータが含まれているが、形状依存性が強そうなので、ここでは除外している。もし使うなら[TS-15-TM-001]を参照のこと。

2. チャートはデータの処理手続き(内挿/外挿)などで煩雑に見えるが、実際は単純な操作である。要は評価対象弁のそれに相当する弁開度ないし排出係数( $VO/C_d$ )における実験データを読み取り、スケール調整式が計算できる形にもってゆく。読み取りは単純な線形内挿ないし外挿による。なおこの場合、スケール調整を引用ポイント(1,2)ごとに行った後で線形補完する(この点煩雑になる)。

3. Tullis の調整式には多少問題が残る。下記の調整式、

$$V_x = 0.94 V_{xo} \left\{ \frac{(P_u - P_v)}{(P_{uo} - P_{vo})} \right\}^N \{ 1 - \text{Log}(D_o/d_o)/10^r \}$$

では、評価対象弁と実験データが同サイズ即ち  $D_o = d_o$  のとき、

$$V_x = 0.94 V_{xo} \left\{ \frac{(P_u - P_v)}{(P_{uo} - P_{vo})} \right\}^N$$

になる。しかしこの場合、サイズスケール不要なので圧力スケール調整式のみを適用すれば

$$V_x = V_{xo} \left\{ \frac{(P_u - P_v)}{(P_{uo} - P_{vo})} \right\}^N$$

ではないかと思える。サイズスケールに付く 0.94 がいったい何であるかという議論である。これについては、チャートでは同サイズの場合  $V_x = V_{xo} \left\{ \frac{(P_u - P_v)}{(P_{uo} - P_{vo})} \right\}^N$  として運用している。ただ 6%程度の誤差になるので、今後調査してゆく必要がある。

4. Tullis は圧力調整式の誤差を流量の 10%程度にしている。ここでは±15%をとり最大予想限界流速、最小予想限界流速とする。