

【整番】 FE-06-RP-003	【標題】 DUO チェッキを用いたポンプ吐出系の水撃計算方法
分類：流れ(非定常流れ)／種別：推奨指針	作成年月：H18.10／改訂：Ver0.0 (H18.8) 作成者：N.Miyamoto

全 5 枚

1. はじめに

ポンプ吐出ラインにはポンプ寄りに逆止弁(チェッキ)が設けられることが多いが、これは主に逆流によるポンプ逆回転の防止と吐出ラインの充水保持を目的としている。チェッキのタイプには、リフト、スイング、フラップなどいろいろある。ここで扱うダブルドア式逆止弁(通称 **DUO チェッキ**)は構造的にフラップタイプに分類され、下図のようにバタフライ弁体を 2 分割したような半割りディスクの間に挿入されたスプリング力によって閉作動する。周知のようにチェッキにはスラミング(閉じ遅れ)という現象があり、それを防ぐため弁作動として急閉鎖方式ないし緩閉鎖方式が採られているが、DUO チェッキはバネ力で急激に閉じるところが”売り”になっており、前者の急閉鎖方式に分類される(閉鎖方式については[FE-06-TM-010 スイングチェッキの水撃関連情報]を参照)。本 TS はこの DUO チェッキを適用したポンプ輸送ラインの水撃解析計算について推奨的な方法/手順を示すものがある。

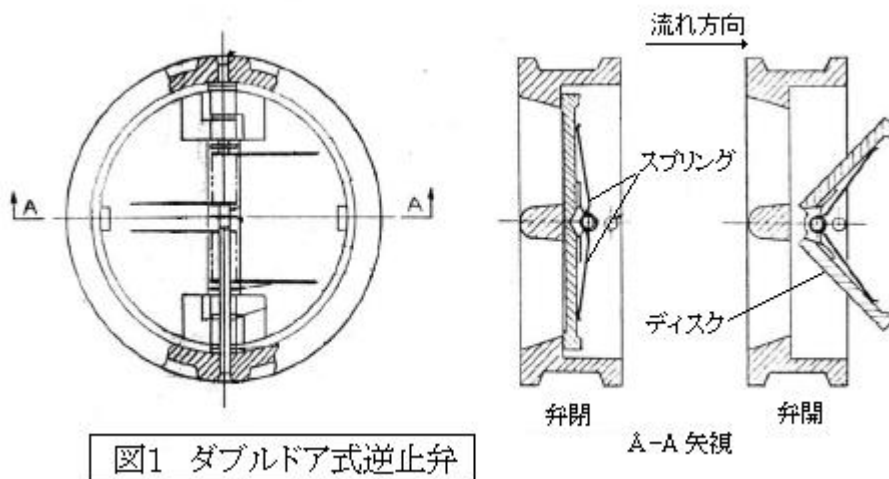


図1 ダブルドア式逆止弁

なお、計算の対象は下図のようなポンプ輸送ラインまたはこれに類するものとする。

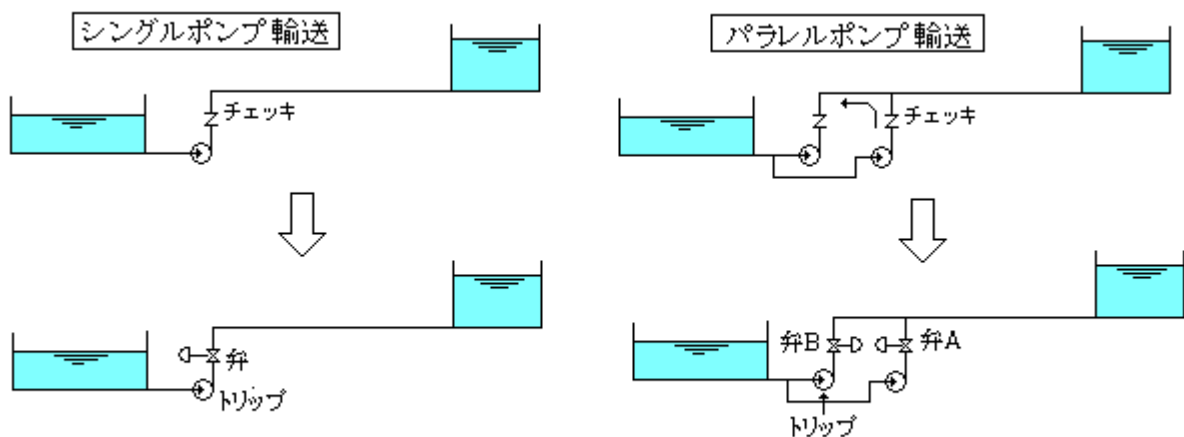
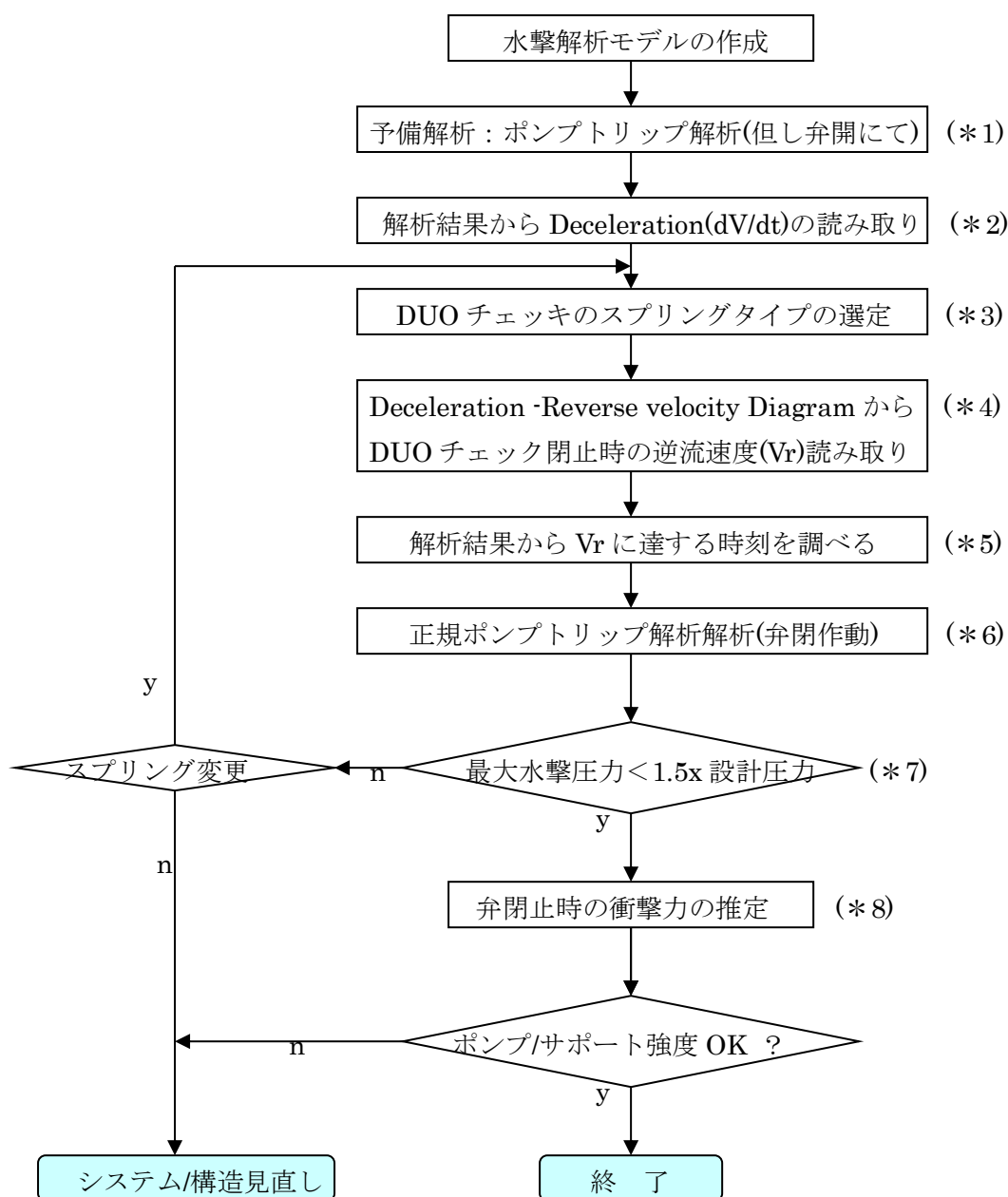


図2 解析モデル

シングルポンプ輸送ではポンプがトリップすると液面差によってリザーバから逆流が起きチェッキが、閉じる。パラレルポンプ輸送ではこの逆流パターン以外に、片側のポンプのみがトリップした時、別のポンプからトリップポンプ側に流れ込んでトリップポンプ側のチェッキが閉じるパターンがある。

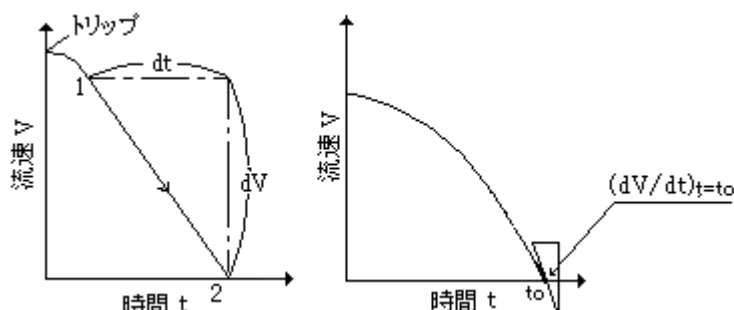
2. 計算手順

- ステップ 1: まず、通常のやり方で出来るだけシンプルな水撃解析モデルを作る。ただチェックは通常の弁(例えばバタフライ弁)で置き換える。
- ステップ 2: 水撃時閉止するチェックに関しては置換え弁の開度を全開に保持して、ポンプトリップ解析を行い、その解析結果から置換え弁位置の流れの減速度を求める。
- ステップ 3: 使用する DUO チェックの「減速度-逆流速度の関係線図」から対応する最大逆流速度 V_r を読み取って、ステップ 2 の解析結果からこの逆流速度 V_r の発生時刻を求める。
- ステップ 4: 再び水撃解析を行う。この場合、逆流速度 V_r の発生時刻で弁を全閉する。
- ステップ 5: 解析結果を評価し、必要に応じて是正を行う。



(*1) チェッキが瞬間的に閉じるまでの経過を調べる解析。従って置換え弁は運転時の開度のままとして解析する。なお、チェックが瞬間的に閉じるかは？ だが、ディスクが半割りであるため閉じるのが速いうえに、バネ力加わるので通常弁よりも速く閉まるのは確かだろう。

(*2) トリップ後のライン流量の低下は通常、線形に近いので減速度(Deceleration)は、線形部分に任意の点を2つとって、 $dV/dt=(V_1-V_2)/(t_2-t_1)$ とすればよい。湾曲するときは流速ゼロ付近のきびしい傾斜度を探る。



(*3) メーカーによって違うと思うが、閉止時にディスクを拡げるスプリングにはバネ力の低いものと高いものあるいは中間のもの2、3種類ある。通常運転で開状態を保持するための限界流速があるので、運転流速に見合ったスプリングタイプを選択する。水撃時の急閉鎖からいけば、バネ力の高いものの方がいいが、低流量運転時に弁体の動きが不安定になる恐れがある。

(*4) Deceleration—Reverse velocity Diagram(減速度-逆流速度関係線図)は通常、弁メーカーから提供される。その一例を下図に示す。

(線図はサイズ/形式などで異なってくるので、設計に際してはメーカーから正式に入手のこと)

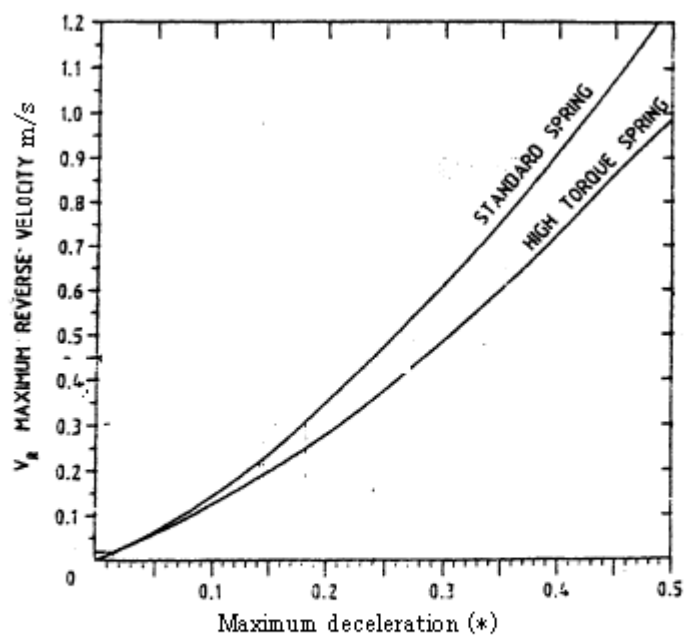


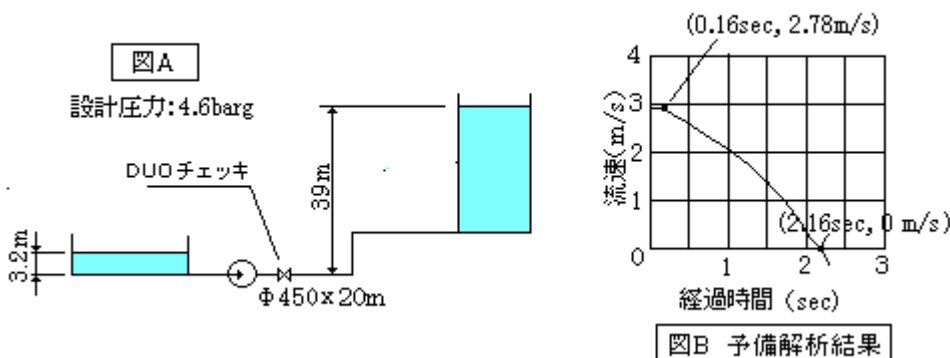
図3. 減速度-逆流速度関係線図

(*1) 単位はg(重力加速度)。例えば0.2は0.2gであって
 $0.2 \times 9.807 \text{ m/s}^2 = 1.96 \text{ m/s}^2$ の減速度を表す。

- (※ 5) 図3で得られた V_r はチェックが閉止する直前の弁位置での逆流速度である。予備解析の結果(流量の時間変化)からチェック閉止時の逆流速度 V_r が生じるときの時刻をカウントし、これを置換え弁の閉止時刻として次の正規解析でインプットする。
- (※ 6) 解析モデルは予備解析と同じであるが、置換え弁の閉止時刻を指定して全閉する。理想的には弁通過流速がゼロのときに閉止すれば、閉止時の圧力変動は Minimum になるが、多少の逆流があるのである程度の圧力攪乱は避けられない。なお、全閉時間は 0 即ち瞬時とすれば安全側になるが、大口径の場合は当然時間がかかるので、 $\phi 500$ 以上の弁では 1sec としてもよいだろう。なお、図2の平行ポンプ輸送一片ポンプトリップの場合はトリップポンプ側の置換え弁のみを閉動作させる。
- (※ 7) 正規解析の結果、系の各部の最大圧力上昇が耐圧試験圧力(=1.5x 設計圧力)以下に収まらない時もし可能であれば、バネ力の高いスプリングに変更して再度、正規解析を行う。
- (※ 8) たとえ耐圧試験圧力を下回っていても、耐圧試験圧力と異なり水撃圧力は衝撃的な動荷重であるため配管の動きを拘束するサポート/接続機器やその基礎が損壊しやすい。弁閉止時に弁体に作用する衝撃荷重に対し、前後の管サポートやポンプについて反力をチェックし損壊の恐れがないか、十分検討する。

3. 例題

下図の平行ポンプ系で、片方のポンプがトリップしたときの水撃圧および衝撃力をチェックする。



予備解析の結果を図 B に示す。少しカーブしているが線形とみなしてもよいと思われるので

$$\text{Deceleration } dV/dt = (2.78 - 0) / (2.16 - 0.16) = 1.4 \text{ m/s}^2 \quad \dots > \quad 1.4 / 9.807 = 0.142g$$

図3が使えるので、Standard Spring を使用するとしてこれから逆流速度を求めると、おおよそ $V_r = 0.22 \text{ m/s}$ になる。これは図 B で -0.22 m/s なので、カーブを外挿して約 2.3 sec で、チェックの閉止がおきることになる。なお、サイズが小さいので、安全側に閉止は瞬時とする。

正規解析の結果、逆止弁が閉じた直後(2.336sec)に最大の圧力上昇 6.7 barg 発生している。これはラインの耐圧試験圧力 6.9 barg を下回るが、不安が残るので、High torque spring を採用し、

逆流速度を 0.18m/sec に下げるものとする。再解析は割愛。なお、この逆流速度で、ポンプに作用する衝撃圧は、安全側にて、

$$P_{\text{shock}} = (\gamma/g)CVr = (1000/9.8) \times 1200 \times 0.18 = 22025 \text{ kg/m}^2 = 2.2 \text{ kg/cm}^2$$

$$F = DLF \times (\pi D^2/4) P_{\text{shock}} = 1.5 \times (0.7856 \times 45^2) \times 2.2 = 5250 \text{ kgf} = 5.25 \text{ ton}$$

ここで γ = 流体比重量、 g = 重力加速度、 C = 流体音速、 D = ディスク径、 DLF = 動荷重係数
短期としては、一応、ポンプ許容反力内にはいつている。

【 解 説 】

1. ダブルドア式逆止弁は米国の TRW ミッション社が開発したものであるが、S59 年ぐらいに特許が切れている。旧来より大口径配管用として需要があり、API594「Wafer-Type Check Valves」として規格化されている。ただ、メインの輸送ラインについては、最近、制御弁方式のノンリターン弁が用いられることが多くなっている。この制御弁方式であれば、開閉操作(開度-時間)の設定は自在で調整が効く。これに対し DUO チェッキはスプリングのバネ力によっているので自由度が限られるが、構造が簡単で軽量であるため、これからも補助的な給水ラインで需要が残ると思われる。
2. Flow-master などの解析ソフトでは、フラッパータイプの逆止弁モデルをパラメータ入力して水撃解析できるようになっているが、DUO チェッキはダブルドアで形状がフィットせず、扱いが難しい。旧来からメーカーは、流れの減速と閉止作動の関係からチェックが閉じる直前の流速を計算して顧客に提供しているので、これを使って水撃計算するのが手堅いと思える。本 TS はこの趣旨によっている。
3. 本方式による水撃計算は、メーカーの Deceleration -Reverse velocity Diagram に依存している。然るに例えば図 3 が如何にして得られたかは分からない。推測するに、弁廻りの流れの時間変化を解析し、ディスクに作用する流体力とバネ力のバランスから、弁閉止時の流速を求めたものと思われる。なお、閉止時の流速が逆流流速になっているところから、ディスクの動きの時間遅れがカウントされているような気がする。ただ閉止過程が不明なので、ある逆流速度に至ったとき瞬時全閉とするほかないが、大口径ではある程度、閉止まで時間(例えば 1~3Ssec)がかかる筈であるから、瞬時閉とするのは厳しすぎるであろう。この点は今後の課題としたい。

引用文献：

1. TRW ミッション社カタログおよび技術資料、