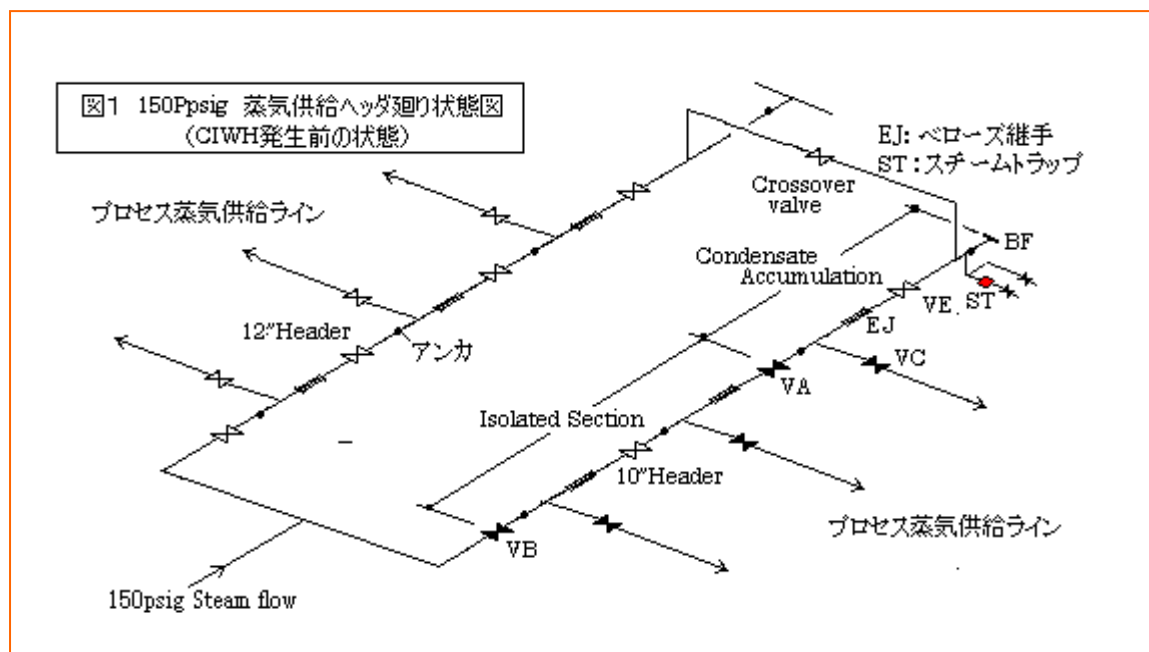


【整番】EE-06-TC-006	【標題】CIWH(凝縮誘起水撃)による蒸気供給ヘッダの破損
分類：流れ(非定常流れ)／種別：トラブル事例	作成年月：H18.12／改訂：Ver0.0 (H18.12) 作成者：N.Miyamoto

全3枚

1. あらまし

米国のある動力プラントの蒸気供給ヘッダで、スチームトラップの閉じ忘れに起因する典型的な凝縮誘起水撃(Condensation induced water hammer)が起きた。この事故については事後、その状況/原因/措置などについて詳しい報告⁽⁶⁾が公開されており、蒸気系設備の設計に有用である。本TSはその内容を要約して紹介したものである。

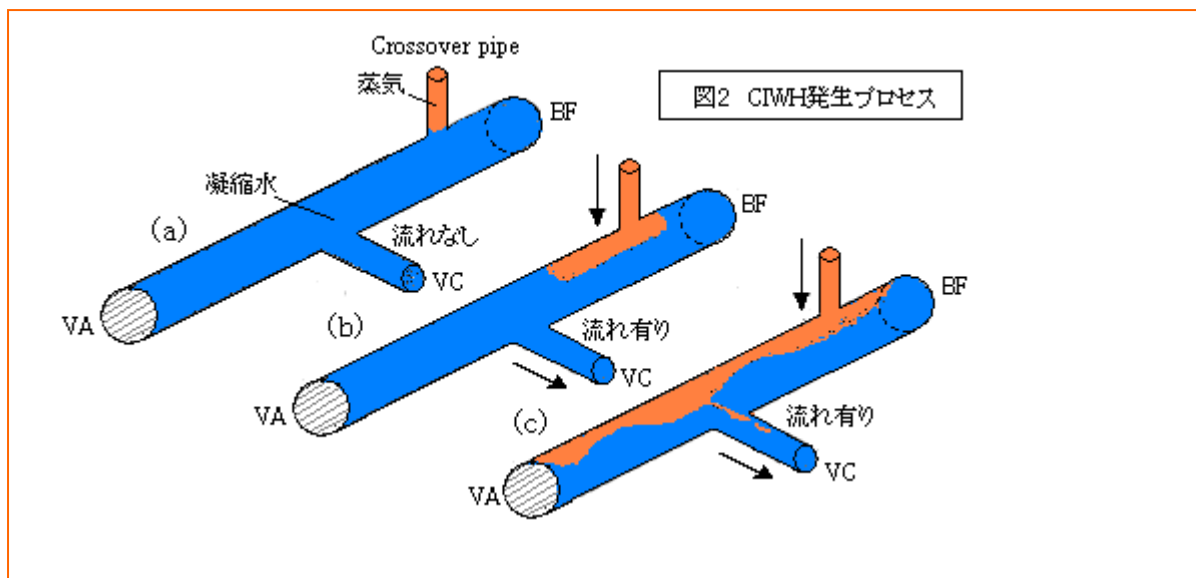


2. 状況

当該蒸気供給ヘッダは 150 psig(10K)/185°Cの蒸気をプロセス系統に分配供給するもので、その構成及びプロポーシオンは図1のようになっている。全体でループ形状になっており、2つの主管(12"/10")はそれぞれ4つの遮断弁で分割され、分割区間ごとにプロセス行きのラインが分岐している。運転時の熱膨張は各アンカ間に設けられたベローズ継手(EJ)で吸収される。EJの両側には管移動用のガイドが設けられている。また配管自重はロッドハンガで支持されている。

事故の前4週間の間、10"主管側は停止状態にあった。即ち遮断弁閉によりVA～VB間はブロックされ各分岐弁は閉止していた。また、スチームトラップも閉じていた。この状態から分岐弁VCをゆっくり開けてゆくと大きな水撃音が発生した。そこで、下流側を遮断し水撃を止めるため(?)にVCを閉じたが、水撃はその後も、クロスオーバー弁を閉じるまで10～15分間も続いた。この水撃によって、遮断弁VEのガスケット/パッキングが破損し水-蒸気が漏れて建屋床を覆いアクセス不可能になった。またベローズ継手のガイドが破損しベローズが座屈を起こして、幾つかのロッドハンガが傾いてしまった。また、10"主管に隣接する配管やケーブルトレイが損傷した。なお、VEのリーク以外、耐圧部分の破損はなく、圧力バウンダリの健全は一応確保された。

事故後、水撃原因やその規模を調べ今後の是正措置を講じるため、破損部分/影響部分を対象に、種々の目視表面検査/溶接検査/リーク検査が実施された。



3. 原因とメカニズム

前述のように、10"主管側は4週間の間、停止している。この間もクロスオーバー弁は開いているのでVA～BF(盲フランジ)の間では凝縮が続く。然るにこの区間のスチームトラップの出口弁は閉じられているので、凝縮ドレンは蓄積され、おそらく図2の(a)のような状態になっていったと思われる。この状態で分岐弁VCが開くと、VA～BF区間にクロスオーバーからの蒸気が(b)のように入り込んで激しく波立ちながら(c)のように区間の上面いっぱいに広がると思われる。この際、蒸気スラグ(塊)が凝縮水の中にトラップされて凝縮し、水スラグがその跡地を急激に埋めて大きな水撃音が発生したと思われる。凝縮があってもドレン量はそれほど増えないので、この状態はVCを閉じても継続する。然るに、クロスオーバー弁を閉じるとこの区間の蒸気はたちまち底をついて水撃はストップする。

この事故は、クロスオーバー弁が閉じられているか、スチームトラップの出口弁が開かれておれば発生しなかっただろう。

CWIS から生じる負荷重については、詳細流れ解析あるいはスケールモデル試験によって把握できるが、余りに仮定条件が多過ぎ費用/時間がかかるので、通常エンジニアリング手法によって検討された。この手法によれば、ベローズの座屈(コラム座屈)は、1400psi のパルス波で起きたことになる。これは運転圧力150psig の約10倍、耐圧試験圧力の3倍以上になる(*1)。

4. 是正措置など

事故の後、損傷したベローズ継手とそのガイドおよび遮断弁が更新された。また、損傷や永久変形はなかったが、念のために損傷したベローズ継手前後の配管も更新された。更に次のような再発防止のための是正措置が講じられた。

- ① 運転中のスチームトラップの閉塞を避けるための運転手順の変更
- ② CIWH の原因/兆候および水撃の防止/緩和についてのオペレータの訓練
- ③ CIWH が起こりそうな状況を排除するためのシステム設計のレビュー
- ④ システム構成の現状を表示するステータスボードの導入
- ⑤ 凝縮ドレンの完全排除を損なうようなシステム構成の異常に関する全表示
- ⑥ 事故発生におけるコミュニケーション及び他の現場施設への連絡に関する訓練

なお、CIW など不可測の水撃が起きたときのサポートの耐力について議論があったが、この種の予測できない負荷に対して、サポートを設計し直すのは不可能であって、結局、適正な配管配置/運転手順/オペレータ訓練/保守に依るべきであるという結論になった。

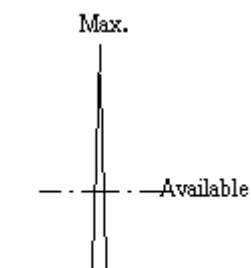
詰るところ、この事故の原因は次の3つに要約される。

- (i) 蒸気-水の混合に潜むリスクに対するオペレータの認識不足
- (ii) 不注意に蒸気-水の混合を起すような運転手順
- (iii) 水撃に至らしめる状況を導くような設計不全

特に(iii)の設計不全については、次の是正項目が抽出された。

- ① スチームトラップやフリーブローは蒸気ラインの低点に設ける(垂直立ち上がりの底やパイプが最も撓む所などに設ける)。
- ② スチームトラップは確実に凝縮分を除去できるように適正にサイジングする。
- ③ 遮断弁のいずれの側でもドレンを除去できるようにする。
- ④ 重力でドレンが除去できるようにパイプに傾斜を付けねばならない。重力によって排出できないドレンポケット(バルブボンネットやストレーナなど)は避ける。
- ⑤ 安全弁は減圧弁の低圧側に置かれねばならない。減圧弁ステーションにはトラップやストレーナの付いた絞り弁バイパスループが含まれること。
- ⑥ 共通のドレンヘッドに排出される場合はトラップの下流にチェック弁を設ける。
- ⑦ パイプから凝縮分を排出する場合、高所にベントを設ける。
- ⑧ 意図的に水-蒸気を混合させるときはミキシングバルブを通すこと。
- ⑨ 配管/サポート/構成部品は良好な運転状態に維持され定期的に検査されねばならない。
- ⑩ 運転手順では CIWH の恐れを説明し、水撃発生において蒸気供給を絶つ方法を指示すること。これは新規のシステムあるいは多様なバルブの組み合わせを持ったシステムの場合に特に重要である。

- (※1) パルス波の圧力がそのままベローズの座屈圧力であるとは思えないので、構造物に負荷される有効圧力は 1400psig よりももっと低くなると思われる。そうでないとベローズの座屈応力 1400psig は余りに非現実的な値になる(筆者注記)。



引用文献：

PVP-Vol.313-1 International Pressure Vessels and Piping Code & St'd:Vol.1 ASME1995
 「Condensation Induced Water Hammer in Steam Supply System」 P. B. Andrews et al.