

PSB (Process Safety Beacon) 2017年6月号 の内容に対応	SCE・Net の 安全談話室 (No.132)	化学工学会 SCE・Net 安全研究会作成 (編集担当:澤 寛)
	http://www.sce-net.jp/anzen.html	

今月のテーマ: スチーム配管破損の事故調査

(PSB 翻訳担当: 牛山 啓、澤 寛、竹内亮)

司会: 今回の事例は、設備の欠陥に気付かず長年使用してきたこと、内圧で配管が破損したこと、事故調査で当初の見立てが間違っていたこと、など示唆に富んだ内容でした。PSBの説明が少し分かり難いと思いますので、まず、破損の状況から考えてみたいと思います。

井内: この報告書の内容についてですがベンチュリの破損でなくベンチュリの上流で破損が生じた話のようですがここで発生したのかももう一度状況を確認してみたいですね。ベンチュリの上流ということが理解できにくいです。

司会: どなたかどのような状況で事故が起こったか図示して説明いただくと皆さん共通の理解が可能となると思われそうですがいかがでしょうか?

渋谷: PSBの記事に記載されていることは、「上部側直近配管の長さ1m部分が破損」・「破損配管には10°のテーパがつけられている」・「肉厚の配管から切削」・「切削の芯がずれていた」・「最上部で所定の厚さの25%しかなかった」です。これから配管の事故部を想定してみると、図のようになるのではと思われそうですが、如何でしょうか。このような繋ぎ配管を作成し、実際に設置するとは考えにくいですが。(図参照)

飯濱: 私も渋谷さんの説明図で正しいと思います。

長安: 破裂の原因は肉厚が薄かったことであるようですが、ベンチュリへの配管にテーパをつけるために削るということとはごく普通のことなのでしょうか? わずかな角度とされているが10度という相当な角度です。例え10cmでも約1.8センチとなるから相当大きな切削が必要です。

牛山: 肉厚配管からテーパをつけて削り出すことはやることはあると思います。しかしご指摘のように、今回の管径が30.5cmの場合、10°のテーパであれば1mの長さで18cm弱内径が減りますから、もう一端は内径がなくなってしまうおかしいですね。1°のテーパなら1mで1.7cm程度ですので、理解できるのですが。もともと取り付ける段階で25%減肉していればわかるはずなのになぜ気付かなかったのか理解不能です。普通はベンチュリ管の前は直管でなければならないのに、変ですね。

飯濱: これは中ぐり盤というような切削機械を使用していると考えられますが、こんなに偏った切削がされていれば、異音が生じて気付くはずですよ。かなり異常な切削がされたようですね。

司会: 今回のベンチュリの切削不良の状況について説明いただけたと思います。では次に、今回のPSBにある、事故調査の過程で発見された事実により事故調査の結果が当初の予測から大きく変わってしまったようですが、このような経験はお持ちでしょうか?

竹内: ウォーターセパレーターから空気を吸い上げているルーツブローアのルーツが突然破損する事故を経験した時のことです。当初はルーツに付着した繊維質の物から直前の清掃で雑巾を配管内に置き忘れたものと考えていました。しかし、メーカーの専門家に見て貰ったところ、水の流入が原因であると指摘されました。調査を進めた結果、セパレーター下部のチェック弁が開いたままになり、空気の流れが水の排出を妨げていたものと判明したという経験があります。

長安: なぜそのような繊維状のものが見えたのですか?

竹内: このプロセスは紙を抄く工程で、紙抄機から出た大量の水を含んだ紙を乾燥させる前工程で、水を吸い上げるためのものでした。水と共に紙の繊維が飛んできていたのです。

牛山: その繊維自体がこのルーツブローア故障の原因と考えられませんか?

竹内: メーカーさんは一目見て水の流入を言い当てましたので、このような事故はルーツブローアにはよくあることだと知りました。

司会: 専門家の一言で事故調査の内容が一変してしまったわけですね。ところで、今回のPSBの事例について、皆様

のご意見は如何でしょうか？

山岡：線状痕の原因が工作機械の加工痕だったとしても、薄くなったところにエロージョンが発生したとは考えられないでしょうか？

飯濱：実際の配管系は多くの曲がり部分があり、蒸気エロージョンが発生してもおかしくないような箇所がたくさんあるはずですが、30年間検査をしないで使用していたのならほかの場所でも問題を起こして不思議ではないように思いました。他は何もなくここだけエロージョンを起こすことはあるのでしょうか？

渡辺：この話を読んで最初に浮かんだのは、2004年8月の関西電力美浜原発3号機の復水配管破裂による蒸気噴出で、定検準備中の作業員11名が被災し、うち5名が死亡した事故です。原因は復水配管に設置されたオリフィスの下流側におけるエロージョン・コロージョン(エロ・コロ)による経年(27年間)の減肉で、当該部分ではエロ・コロが発生し易いことは一般的に衆知の事象であったのに検査の対象に登録されておらず、肉厚測定が実施されずに長年放置されていたそうです。そのため突然破損に至り、最悪の結果となってしまいました。こういう蒸気噴出による事故は、まず蒸気によるエロ・コロを疑うことですね。

澤：昔、工場建設のプロジェクトを実施したときに溶接箇所を減らして安価にするため曲げ工法を採用しましたが特に薄いことで漏れたりするようなことは経験しませんでした。曲げられた外側は相当薄くなっているのではないかと考えられますが、配管は相当薄くなっても使用に耐えられることが多いと思います。

三平：私が経験したPVCの空気輸送配管では屈折部にエルボを使わず、SUSのパイプを大きな曲率に曲げて使っていました。屈曲部の外側が伸びて肉厚が不均一に薄くなり、またパイプが潰れることもあるので、専門業者がパイプに砂を詰めて外から加熱しながら時間をかけて曲げていました。比較的低圧のラインにしか使えないと思います。

牛山：このエロージョン・コロージョンは、流れ加速腐食(Flow accelerated corrosion:FAC)と液滴衝撃エロージョン(Liquid Droplet Impingement Erosion:LDI)の2種類に分けられますが、美浜原発で発生したのはオリフィスによって流れが乱れて起こったFACによるものとされています。一方蒸気中の液滴の衝撃で発生するLDIは、エルボなどの曲がり部で発生しやすく、蒸気がウエットな場合は液滴が発生しやすいので、この腐食に注意しておく必要があります。

竹内：水のラインですが、極端に減圧させていたコントロールバルブの下流側でキャビテーションが発生し、配管のエロージョンを起こした例があります。

飯濱：流れが絞られて局部的に流速が上り、液体の飽和蒸気圧より静圧が下がると気泡が発生します。その下流側で流速が下がり、静圧が回復すると気泡が消滅するのですが、壁の近傍をハンマーでたたくような衝撃を与えます。ポンプを扱う場合には吸込み最低圧を確保するようにしないとキャビテーションでポンプがやられるしバルブもやられることがあるので気を付けないといけません。

牛山：エロージョン・コロージョンのケースでは、アメリカのサリー原発でもスチームの配管の肉厚の減少がみられたため、1990年に管理指針を定め定期的に肉厚測定を実施することを要求されています。美浜でも同時期調査を進め管理指針を策定していたが、事故が起こった場所は測定するのを測定し忘れていたようです。

飯濱：測っていなかったというか優先度が低く漏れていたようです。二次冷却水の復水側であったため本来放射性物質が入らず、検査の優先度が落ちていました。それに気が付き、測ろうとした矢先に事故が起きてしまったものです。結果論からいうと、そこがエロージョン・コロージョンの発生しやすい部位でした。こともあろうに作業員が休憩をとるようなところにそのような蒸気配管をつけるような構造となっていたのが大きな事故につながる結果となってしまいました。このような箇所は従業員がいるような場所から離しておくべきであって、これを事前に指摘しておく必要があったでしょう

澤：少し話がそれるかもしれませんが、コントロールルームをどこに作るかということは、会社ごとにガイドラインがあって、ダウケミカルでは非常に寒いところに立地していても、プロセスとコントロールルームは同一建物にしないということのある時期から徹底していました。

三平：更地にプラントを建設した経験があり、レイアウトの検討でプラントの各セクションや付帯設備とともにコントロールルームの配置を決めました。高圧ガスプラントでしたので、コントロールルームとの距離は法規制がありますが、その規制値より大きな距離で設計しました。

澤：日本でも昔はプロセス内にコントロールルームがあって死亡事故が発生したことがあったように思いますが、昔はそのようなことが発生することもあったようです。

竹内：事故の経験に基づいて改善するという点でいえば、昔のスチーム配管では電縫管(平板を丸めて電気溶接した管)なども使われていたが、溶接部が破断して建物内に高温のスチームが流入するという事故があり、それがきっかけとなってシームレス配管とするようになったという話を聞いたことがあります。

澤：確かに電縫管の腐食は工業用水の配管で私も経験があります。埋設配管でしたが10年程度の使用でひびが入って全管取り換えの経験がありました。

竹内：今回のPSBのケースは30年も前に施工されたもので、当時の安全意識が低かったこともあるのではないかと思います。東日本大震災で壁が剥がれた際に、いい加減な施工箇所が見つかり、施工者の安全意識が大切だと感じると共に、完成時には見えなくなる箇所の安全確保の重要性を思い知りました。

澤：建築物の話といえば、最近施工不備で重要配筋が切断されていて強度が足りない可能性があるため、横浜のほうで立て直すこととしたマンションがあったようですが、表に見えにくいところで手抜き工事がされているケースもありますね。

牛山：昔の建築工事では後の工事を考えずまず建物を作ってしまうので、後でコンクリートをはつって配管などを通すようなことが普通に行われていました。後にはそのような工事は認められないようになってきたようですが。阪神大震災後建築基準が変わっていわゆる手抜き工事は避けられるようになったのでしょうか。

司会：配管の構造やエロージョン・コロージョンの話が一通り出尽くした様ですので、事故調査の話に戻りたいと思います。

長安：事故調査では各工場では製造の人間メンテナンスの人間などを呼び集めて調査実施しますが、信頼性の専門家や材質の専門家まで呼び集めることまで可能でしょうか？各工場でそのような専門家がないのが普通のように思いますが？

三平：事例のような大きな事故でなくても、プラントでは運転上のトラブル、機器故障、小さな事故が起きていました。製造、保全の関係者によるミーティングで、内容把握、原因究明、補修計画、部品調達などを迅速に決め、実働に入っていました。一種類の製品のみを造る小工場の経験では、製造と保全のコミュニケーションがよく、処理はスムーズに行われていました。そこで設計から建設全般に関与したので、メーカーの技術者等とのコネを大事にして、何か難しい故障などがあった時は相談して解決していました。その他に社内の専門技術者を把握しておき、対応するメーカーがない場合に相談していました。これは上級管理職になると大事で、多くの経験で社内にコネを作っておき、部下が困っている時に助言できるようにするのです。

山岡：今回の事故調査の事例では、結果として調査チームのメンバーの見立て違いでしたが、疑問があったから現場の専門技術者に意見を求めたのだと思います。初めからこのような技術者を調査チームに入れる必要があると思います。その意味でチームの長になる人の資質と事情に応じたチームメンバー選定が重要です。

三平：トラブル等の発生時のミーティングでは、ベテランだけでなく若い人にも積極的に発言させることがエンジニアの育成につながると思います。私自身はこの種のミーティングで多くの知識と経験を得るとともに、その後につながる多くの人的交流も得ました。今月号のPSBの「あなたにできること」は単なるオペレーター向けではなく、休業中の若手エンジニア向けの内容だと思います。

渡辺：自分の経験から言えばトラブルの重大性でA、B、C…にランク分けし、ランクに応じて調査委員会が設置されます。メンバーは当該部署長が保安部署と相談し選任します。例えば、課のレベルでは職制の他、機械・保全、計装、ケミストは必ず召集しました。人為的ミスのような場合には人事労務、場合によっては職場の組合代表にも参加を要請しました。

竹内：事故の規模にもよりますが、事故調査の過程で専門家の意見を聞く必要性が生じることも少なくありません。安全担当者の役割として、この様な時に「適切な人材を呼ぶことが出来る」ということも大切ですね。

井内：大学の先生のような専門家が入ってくる場合は、それまでに事故調査と証拠集めは内部で進められています。詳細な証拠の収集や証言の確認が事故の原因について理解するためには重要です。

竹内：PSMで言うPHA(プロセスハザード分析)とかPSSR(運転開始前の安全審査)、MOC(変更管理)のような場合でも必要に応じて専門家を呼ぶことが大切だと感じていました。また、若い人材を育成するためには、そのような場面に同席させることも重要だと思います。

山岡：30年もたっていると設計思想そのものが変わっている場合や文書も失われているケースも多いので、その伝承を確実にするためには、変更管理をしっかり行って、記録に残しておくことが重要です。

井内：会社の技術を LOG(一定の形式で時系列で記録すること)で残すことの重要性を改めて感じました。

飯濱：個別の技術情報は担当した個人毎に残っているようですが、体系的に関連付けられていない場合が多いと感じます。

司会：今回の事例は、かなり古いプラントでの、建設当初の設備欠陥に端を発したものでした。このような工作ミスを見逃さないこと、設備の更新時や製造部の責任者の変更時に技術の伝承が大切なことを訴えて今日の談話室は閉めたいと思います。皆さん、貴重なご意見をありがとうございました。

【談話室メンバー】

飯濱 慶、井内謙輔、牛山啓、小谷卓也、齋藤興司、澤 寛、澁谷徹、竹内亮、
中村喜久男、長安敏夫、松井悦郎、三平忠宏、山岡龍介、山本一己、渡辺紘一

以上

破損単管部想像図

