

## 第8回 超高压ガス設備分科会 議事録

I. 日時： 令和元年11月26日(火) 13:30～17:30

II. 場所： 高压ガス保安協会 第1会議室

III. 出席者(順不同、敬称略)：

主 査：小林

副 主 査：辻

委 員：朝田、荒島、寺田、山中、高梨

K H K：加藤、富岡、磯村、山田、梶山、小池

IV. 議題：

- (1) 疲労に係る規定の見直しについて
- (2) 高压水素に係る規定の見直しについて
- (3) その他

V. 配布資料：

- 8資料1 疲労に係る規定の対応について
- 8資料2 附属書V改定案
- 8資料3 高压水素に係る規定の対応について
- 8資料4 本文改定案(高压水素に係る規定に関するもの)
- 8資料5 附属書XIV(案)
- 8資料6  $K_{IH}$ の求め方について
- 8資料7 大気中のき裂進展速度の実測値とKHKS0220の提案式との比較結果について
- 8資料8 高压水素に係る規定の解説(案)
- 8資料9 KHKS0220の改定に係る書面投票(分科会)の実施について

## VI. 議事概要：

### 1. 議題（1）疲労に係る規定の見直しについて

#### 1. 1 低合金鋼の最適疲労曲線について

参考資料3-1（非公開）に基づき、低合金鋼の最適疲労曲線について、事務局が説明を行った。これについて、次の意見等があった。

- 1) 荷重制御の疲労試験データは、応力振幅の変化に対して、疲労寿命の変化が大きい。
- 2) 材料に熱処理を2回行っていることは、水素適合性及び低サイクル領域では有利に作用するため、データの扱いに注意が必要である。  
→ NIMSの一部のデータシートでは、過去のプロジェクトの材料を再利用しているため、熱処理をやり直している。最初に同じ温度で焼ならしを行っているため、強度的にはあまり影響がないと思われる。
- 3) HYDRO GENIUSの試験片で熱処理を2回行っているのは、Small sizeの場合のみである。図1-1-6から図1-1-11でLarge sizeとSmall sizeを比較すると、実機から採取したLarge sizeの場合では、焼きの入り方や採取位置の影響が出ていると思われる。
- 4) 水素中でひずみ制御で行った疲労試験データはないか。  
→ 荷重制御でしか実施されていない。
- 5) 疲労限度については、JWESの最適疲労曲線とおおよそ一致しており、水素の影響もなさそうである。

以上の結果、次の①及び②の方針が決定された。

- ① JWESの炭素鋼及び低合金鋼の最適疲労曲線は、高強度低合金鋼にも適用できるため、JWESの最適疲労曲線を採用する。
- ② NIMS及びHYDRO GENIUSの疲労試験データは検討の対象から外す。水素の影響については次回の分科会の課題とする。

#### 1. 2 オーステナイト系ステンレス鋼の最適疲労曲線について

参考資料3-2（非公開）に基づき、オーステナイト系ステンレス鋼の最適疲労曲線について、高梨委員が説明を行った。これについて、次の意見等があった。

- 1) 高サイクル領域のひずみ制御の疲労試験データが少ないが、疲労限度近傍でひずみ制御のデータはないのか。  
→ 現状は $10^6$ 回までしかないので、改めてデータを確認する。
- 2) 日本溶接協会GCF小委員会では、荷重制御の疲労試験データを取得していないか。  
→  $10^8$ 回のデータはいくつかあるが、試験結果の半分程度が未破断で終了している。
- 3) 高サイクル領域の疲労試験データがなければ、適用範囲を設ける必要がある。また、高サイクル領域を疲労限度で設定しているため試験結果が合わないという可能性もある。  
→ 日本溶接協会DFC小委員会で $10^8$ 回の疲労強度を $0.488\sigma_u$ で規定していることの確認が必要である。

以上の結果、高サイクル領域のひずみ制御の疲労試験データを確認することとなった（高梨委員）。

### 1. 3 A6061-T6 の最適疲労曲線について

参考資料 3-3（非公開）に基づき、A6061-T6 の最適疲労曲線について、事務局が説明を行った。これについて、次の意見等があった。

- 1) 荷重制御のみの疲労試験データで最適疲労曲線を作成できるのかという議論は NEDO 事業でもある。KHK 総合研究所で試験は続行中である。
- 2) A6061-T6 の最適疲労曲線は、圧縮水素スタンド用複合蓄圧器のライナーに適用することを目的としている。複合蓄圧器のライナーについては自緊処理の効果があるため、平均応力が圧縮側となる場合の平均応力の補正も検討する必要がある。
- 3) 現在取得している疲労試験は、荷重制御で行っているのか。  
→ ひずみ制御でも行っているが、高サイクル領域の荷重制御の結果と一致していないようである。

以上の結果、A6061-T6 の最適疲労曲線の追加は、次回以降の改正に持ち越しとすることが決定された。

### 1. 4 インコネル 718 及びインコネル 600 の最適疲労曲線について

参考資料 3-4（非公開）に基づき、インコネル 718 及びインコネル 600 の最適疲労曲線について、事務局が説明を行った。これについて、次の意見等があった。

- 1) インコネル 718 の疲労試験データは、Sheet と Bar で区別されているが、Sheet とはどのようなものか。  
→ Sheet は Plate よりも薄い素材形状のことを指している。高圧ガス設備では用途のない形状である。

以上の結果、次の①及び②の方針が決定された。

- ① インコネル 718 は現行の最適疲労曲線のままとする。
- ② インコネル 600 は、JWES の最適疲労曲線を採用できそうであるため、追加を検討する。

### 1. 5 附属書 V の検討項目等について

8 資料 1 及び 8 資料 2 に基づき、附属書 V の検討項目等について、事務局が説明を行った。これについて、次の意見等があった。

- 1) 設計疲労曲線で、ASME から引用しているものは現状のままとし、ASME とはバックグラウンドの異なる設計疲労曲線は最適疲労曲線とした方がよい。
- 2) オーステナイト系ステンレス鋼の設計疲労曲線は、最新版では繰返し回数が延長されているが、これは反映するのか。  
→ これは採用しない。
- 3) 高強度低合金鋼の設計疲労曲線は削除できないか。  
→ HPIS で引用している設計疲労曲線に影響がなければ問題ない。  
→ 高強度低合金鋼の疲労試験データは元々 HPI のものであるため、KHKS から削除することは問題ない。
- 4) 変動応力の疲労寿命の扱いについては、JWES の最適疲労曲線と同様の扱いとするのか。  
→ これは検討する。

- 5) 設計疲労曲線がない材料については、最適疲労曲線を使用するというだけでよい。  
→ よい。

以上の結果、次の①から⑫の方針及び⑬から⑯の検討事項が決定された。

- ① 炭素鋼、低合金鋼及びフェライト系ステンレス鋼の設計疲労曲線（本文図1）は、現行のままとする。
- ② 高強度低合金鋼の設計疲労曲線（本文図2）は削除し、JWESの最適疲労曲線のみ附属書Vに規定する。
- ③ 高強度鋼ボルトの設計疲労曲線（本文図3）は、現行のままとする。
- ④ オーステナイト系ステンレス鋼の設計疲労曲線（本文図4）は、現行のままとする。
- ⑤ SUS630系ステンレス鋼の設計疲労曲線（本文図5）は削除し、現行の最適疲労曲線のみ附属書Vに規定する。
- ⑥ 2.25Cr-1Mo改良鋼の設計疲労曲線（本文図6）は削除し、現行の最適疲労曲線のみ附属書Vに規定する。
- ⑦ 炭素鋼及び低合金鋼の最適疲労曲線（附属書V図1）に替えて、強度区分なしでJWESの炭素鋼及び低合金鋼の最適疲労曲線を採用する。
- ⑧ SUS630系ステンレス鋼の最適疲労曲線（附属書V図3）は、現行のままとする。
- ⑨ インコネル718の最適疲労曲線（附属書V図4）は、現行のままとする。
- ⑩ 2.25Cr-1Mo改良鋼の最適疲労曲線は、追加することとする。
- ⑪ A6061-T6の最適疲労曲線は、採用を見送る。
- ⑫ 600系インコネルは最適疲労曲線の炭素鋼及び低合金鋼のグループに含める。
- ⑬ オーステナイト系ステンレス鋼の最適疲労曲線（附属書V図2）は、検討課題の結果をもとに決定する。
- ⑭ 2.25Cr-Mo改良鋼の安全係数を検討する。
- ⑮ 最適疲労曲線の疲労限度の扱いを検討する（脈動の扱いも含む。）。
- ⑯ 材料の種類のグループを整理する。

## 2. 議題（2）高圧水素に係る規定の見直しについて

### 2. 1 高圧水素に係る規定の対応及び本文改定案について

8資料3及び8資料4に基づき、高圧水素に係る規定の対応及び本文改定案について、事務局が説明を行った。これについて、次の意見等があった。

- 1) 本文における圧縮水素用の設備の設計は、「4.2 設計の基本事項」のみに附属書によることを規定し、疲労解析等の各項目からは削除した方がよい。
- 2) 「5.7 破裂前漏洩の評価」において、現行の規定ではすべての部位に対して破裂前漏洩の評価を実施することとなっているが、公称応力の高い部位を選択して実施すると規定すべきである。現行の規定では、局部応力が含まれてしまう。  
→ 経緯は不明であるが、現行の規定は破裂前漏洩が成立しなかったすべてに部位に対して、き裂進展解析を行うことを意図していると思われる。
- 3) き裂進展解析の手順7の応力比の計算で残留応力による応力拡大係数が含まれているが、手順3で応力分布を求める場合には残留応力が考慮することとなっている。残留応力は応力分布で考慮すべきであるため、残留応力による応力拡大係数は不要である。また、 $R < 0$  の場合は、 $f(R) = 1$  である。

- 4) 適用範囲で、「低温において十分な靱性を有すること」という表現はよいか。  
→ 最低設計温度が 0°C より低い設備を、適用範囲とすればよいのではないか。

以上の結果、次の①から④の方針が決定した。

- ① 圧縮水素用の設備の設計に係る規定は、基本事項のみに規定することとする。
- ② 破裂前漏洩の評価を実施する部位に係る規定を見直す。
- ③ き裂進展解析における応力比の計算に係る規定を見直す。
- ④ 最低設計温度が 0°C より低い設備は、適用範囲に含める。

## 2. 2 附属書 XIV (案)

8 資料 5 に基づき、附属書 XIV (案) について、事務局が説明を行った。これについて、次の意見等があった。

(附属書 XIV (案) 1. から 3. について)

- 1) SNCM439 の引張強さの範囲の根拠はなにか。  
→ フォークリフト燃料装置用容器の基準と整合させた。
- 2) SSRT 試験の水素圧力を 40MPa 以上とするとあるが、設計圧力とするのでは。  
→ 40MPa 以上とするというのは、設計圧力が 40MPa 未満の場合には、水素圧力を 40MPa とすることを意味する。
- 3) SSRT 試験の試験片の直径は、低合金鋼の場合も 4mm 以下とするのか。NEDO 事業の検討結果では、低合金鋼の試験片は直径 6mm でも直径 8mm でも同じ結果が示されており、九州大学では直径 6mm の試験片で試験が実施されている。  
→ 低合金鋼の SSRT 試験の試験片の直径については見直す。
- 4) 水素適合性の判定において、1)  $RYS \cong 1$ ,  $RTS \cong 1$ 、及び 2)  $RYS > RTS > REL > RRA$  を確認するとなっているが、数値処理で  $RYS > RTS$  を満足できない場合があるのでは。また、 $\cong$  という基準はどのように考えればよいか。  
→ 1) が成立するのは必須であり、2) についてはおおよそ成立することが、実データより確認されている。  
→ この基準は事前評価のためのものであるため、最終的な判断は事前評価による。  
→ 2) は  $RYS \cong RTS$  としてもよいのでは。  
→ この基準については、実データに基づき議論すべきである。
- 5) 水素適合性の柱書きの a)~c) とはどのように読めばよいか。a)~c) のいずれか、又は a)~c) のすべてのどちらか。  
→ a)~c) のすべてを満足する必要がある。
- 6) 水素適合性の判定基準は、低合金鋼にも適用されるのか。  
→ 低合金鋼にも適用するとしている。
- 7) 実際、低合金鋼は SSRT 試験の伸び及び絞りの判定基準を満足できていない。
- 8) SSRT 試験を除外する規定は、陽に規定はしない。申請者が条件を設定し、水素適合性を確認するのが主旨である。
- 9) 附属書 XIV (案) で引用している ASME Sec. VIII-3 は、年度が記載されていないため明記した方がよい。

(附属書 XIV (案) 4. から 6. について)

- 1) 低合金鋼の  $K_{IH}$  は、引張強さが 900N/mm<sup>2</sup> 以下のものが対象ということでよいか。  
→ そのとおりである。なお、 $K_{IH}$  を実測した結果、45MPa m<sup>1/2</sup> を満たしているが、ASME

CC2938 の  $K_{I\max}$  の計算打切り点が  $40\text{MPa m}^{1/2}$  であるため、 $40\text{MPa m}^{1/2}$  とすると ASME CC2938 と整合する。

→ き裂進展解析の計算式の適用範囲が、引張強さ  $915\text{N/mm}^2$  以下となっているので、引張強さも整合させた方がよい。

2)  $K_{IH}$  の値の採用に当たり、引張強さの上限を満足すれば、強度低減材の熱処理温度の規定は無視できるか。

→ 熱処理温度の規定のとおりでなければ、採用する  $K_{IH}$  の値はでないと思われる。

3) 低合金鋼の強度低減材については、水素環境を考慮したき裂進展解析を水素適合性の伸び及び絞りを満足できない場合の代替規定とすればよい。

以上の結果、次の①から⑦の方針が決定した。

- ① 低合金鋼の強度低減材の位置づけを検討する。
- ② 水素適合性の判定基準に係る規定の案を見直す。
- ③ 低合金鋼の SSRT 試験の試験片の直径を見直す。また、見直しに当たり、NEDO 事業の検討結果を確認する。
- ④ 水素適合性の判定基準 2) は、 $\text{RYS} \approx \text{RTS} > \text{REL} > \text{RRA}$  とする。また、この判定基準の採用に当たり、KHK 総合研究所の試験データを確認する。
- ⑤ 低合金鋼の強度低減材の  $K_{IH}$  の値は  $40\text{MPa m}^{1/2}$  とし、引張強さを  $900\text{N/mm}^2$  以下のものに限り適用できることとする。
- ⑥ き裂進展解析の  $K_{IH}$  の値を適用できるのは、低合金鋼の強度低減材に限定する。
- ⑦ 水素中のき裂進展解析は、低合金鋼の水素適合性の判定において、伸び及び絞りを満足しない場合の代替規定とする。

## 2. 3 $K_{IH}$ の決定方法及び大気中のき裂進展速度の比較結果について

8 資料 6 及び 8 資料 7 に基づき、高強度低合金鋼の大気中のき裂進展速度の実測値と KHKS0220 の予測式の比較結果について、荒島委員が説明を行った。これについて、次の意見等があった。

- 1) 現行の KHKS0220 のき裂進展速度の予測式と大気中のき裂進展速度の測定結果は、予測式の方が安全側となっているが、結果が合わないため、式の見直しが必要である。予測式は根拠となるデータがあるものを採用すべきである。
- 2) 水素中のき裂進展の測定結果と Sandia の水素中き裂進展の予測式を比較し、傾向が一致するか改めて確認が必要である。

以上の結果、次の①の方針並びに②及び③の検討事項が決定した。

- ① ライジングロード法において、 $K_{IH}$  の判定はデビエーションポイントによる方法を採用する。
- ② 現行の KHKS0220 のき裂進展速度の予測式を見直す。
- ③ 水素中のき裂進展速度の測定結果と Sandia の水素中き裂進展の予測式を比較する（荒島委員）。

## 3. 議題（3）その他

検討事項の報告及び審議は、次回分科会で行うこととなった。

次回分科会は、12/19（木）13：30～17：00に開催することとなった。

以上