

総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会原子炉安全小委員会検査技術評価ワーキンググループ（第36回）

議事録

日時：平成22年11月16日（火曜日）10：00～12：00

場所：経済産業省別館10階1028号会議室

議題

1. 新保全技術に関する検討状況について
2. 欠陥を有する配管系に対するIHSI（高周波誘導加熱応力改善法）の技術基準適合性確認について

議事内容

1. 新保全技術に関する検討状況について

○石垣統括安全審査官 おはようございます。本日もお忙しいところ御出席いただきまして、ありがとうございます。定刻よりちょっと早いですけれども、御予定の方は皆さん席にそろっておりますので、第36回目になります「検査技術評価ワーキンググループ」を開催させていただきたいと思っております。

今日は議題を2つ準備させていただいております。1つは新保全技術の検討状況の御紹介と御審議でございます。2つ目の議題が本日のメインとして御審議いただきたいものでありますけれども、欠陥がある配管にIHSIを適用するという技術基準の適合性の確認状況につきまして、RNP委員会等々で議論してきました成果がまとまりましたので、御審議をいただきたいということで、今日の御審議をよろしくお願ひしたいと思います。

それでは、ここからの議事進行は主査の宮先生よろしくお願ひいたします。

○宮主査 どうもありがとうございました。

それでは、定足数と配付資料の確認を事務局からお願いします。

○石垣統括安全審査官 まず定足数でございます。規定上定員は全委員の過半数でございます。本日は10名の委員のうち7名の委員に御出席いただいておりますので、有効に成立をしているということでございます。

それから、配付資料を確認させていただきたいと思っております。

一番初めに座席表をお配りしてございます。次に本日の議事次第が1枚、次にこのワーキンググループの委員名簿、配付資料一覧という紙を御用意してございます。今日の資料は全部で5つございます。

次からが配付資料ですけれども、資料36-1「新保全技術に関する検討状況」。議題の1番目の資料になります。

資料 36-2 でございます。これが議題の 2 つ目になりますけれども「対策 I H S I への対応について（案）」という資料でございます。

資料 36-3 は、同じく対策 I H S I への適合性確認結果についてというパワーポイントの資料になります。

資料 36-4 は、ちょっと大きい A 3 の横型、色刷りの資料になりますけれども、R N P 委員会でまとめていただいております適合性確認結果の概要という資料になります。

最後はちょっと厚い資料になりますけれども、資料 36-5 です。技術基準適合性の評価書になります。

配付資料は以上でございます。

過不足がございましたら、事務局までお申し付けいただければと思います。

以上でございます。

○宮主査 どうもありがとうございました。よろしいですね。

それでは、事務局から御紹介がありましたように、本日は 2 件検討したいということでございます。

最初の議題ですが「(1) 新保全技術に関する検討状況について」。これは従来から R N P ワーキンググループの場でずっと継続して検討されてきている重要なものでございます。

それでは、事務局から説明をお願いいたします。

○津金検査課施設検査係長 それでは、お手元の資料 36-1 「新保全技術に関する検討状況」という資料に基づきまして、御説明いたします。

今後導入が見込まれる新たな保全技術や検査技術について、より円滑な導入環境を整備するために J N E S に電力関係者、メーカー、J N E S 及び原子力安全・保安院により新保全技術適合性検討作業会、R N P というものを一昨年 6 月に設置して以来 20 回開催して検討を行ってところでございます。

開催実績ですけれども、資料を 2 枚ほどめくっていただきまして、3 枚目、4 枚目になります。こちらの方が R N P の開催実績ということで、第 1 回から第 20 回までそれぞれどのようなことを検討してきたかということについて実績をこちらに記載しております。

1 枚目に戻っていただきまして、現在まで 20 回開催しているところなんですけれども、このワーキンググループの 35 回以降、検討してきた状況について御説明申し上げます。

「1. プロセス 2：き裂を有する配管への高周波誘導加熱応力改善法（I H S I 工法）の適用検討」ということで、亀裂を有する配管への I H S I 工法については、確性試験において I H S I 施工が亀裂及び継手に対して悪影響を及ぼさないこと、亀裂先端での応力が改善され、亀裂の進展が抑制されること、亀裂近傍における残留応力改善が確認されたこと、亀裂のない健全部では既存の I H S I と同等の効果があることという技術的妥当性が確認されていることを踏まえ、技術基準の 9 条及び 9 条の 2 への適合性を確認するとともに、実機における検査等（溶接事業者における要求事項、欠陥の評価方法、運転後の供用期間中検査の頻度）の取扱いについて検討し、その結果を欠陥を有する配管系に対する I H S I（対策 I H S I）の技術基準適合性評価書としてまとめたこと

ろであります。

こちらの評価書については、本日お配りしております資料 36-5 でとりまとめが行われたところ
であります。この評価書の内容については、後ほど御説明したいと思います。

「2. プロセス2：封止溶接工法の適用検討」。S C C 進展を抑制するために亀裂開口面を溶接
により覆う工法（封止溶接工法）について確性試験において確認された開先面に亀裂がある場合の
技術的妥当性（封止溶接が技術的に機能であること、現在行っている確性試験の実施状況、過去の
国内外実績）、技術基準への適合性、国内の封止溶接のニーズ等を調査しております。現在、封止
溶接を行う場合の検査・評価・補修・検査全体の流れにおいて、法令上の措置に関する検討を行っ
ているところであります。

「3. プロセス2：その他の新技術適用検討」ということで、確性試験において技術的妥当性が
確認された水中レーザ溶接の技術基準適合性について検討しております。

水中レーザ溶接については、既存のテンパービード溶接と施工環境が異なり、気中ではなく水中
で施工されるものでありますけれども、溶接ヘッドを覆うチャンバーとシールドガスにより施工時
の溶接箇所の環境は気中であること、熱源がT I Gではなくレーザに変わることのみで確性試験で
技術的に妥当性が確認されているものであること、既存のテンパービード溶接法については、既に
規制上の取扱いを溶接事業者検査に係るN I S A 文書、電気事業法施行規則に基づく溶接事業者検
査（原子力設備）の解釈（内規）にて明確にしておき、技術基準適合性が確認されていることから、
水中レーザ溶接は既存のテンパービード溶接と施工場所の環境が異なり、気中ではなく水中で施工
されるものですが、施工時の溶接箇所の環境は気中であること、熱源がT I Gではなくレー
ザに変わることのみで確性試験で技術的に妥当性が確認されているものであることから、N A レタ
ーにより対応可能としております。

「4. プロセス3：日本機械学会 維持規格補修章エンドースに向けてのR N Pでの検討」です。
第 35 回ワーキンググループにおいて維持規格補修章の体系化がなされた改訂版のエンドースを円
滑に進めるため、個別技術についての規格の記載内容について検討していくことを報告してあり
ます。

現在まで補修工法を欠陥除去補修、予防保全、欠陥残留補修、暫定補修の4つに分類し、それぞ
れの代表工法（テンパービード溶接工法、W O L 工法含む）について、R N P において議論して
おります。今後、維持規格 2010 年追補版を含めた維持規格の技術評価を行い、必要に応じて現状の
規格への当院としての要求事項の要望を明確化し、規格へ反映する場合の方向性を整理する。

以上が第 35 回ワーキンググループ以降にR N P で検討してきた内容となっております。

こちらの資料については、以上です。

○宮主査 どうもありがとうございました。

何か御質問、コメントはございますでしょうか。よろしいですか。

実質的に補修技術について着々と検討を進めているという状況だと理解されると思うんですけ
れども、こういう方法で今後とも継続して有効な検討を進めていただきたいと思います。

どうもありがとうございました。

2. 欠陥を有する配管系に対する I H S I（高周波誘導加熱応力改善法）の技術基準適合性確認について

○宮主査 それでは、次の議題ですけれども、今回対策 I H S I と呼んでいるようでございますけれども、資料 36-2 について御説明していただければと思います。よろしくをお願いします。

○津金検査課施設検査係長 それでは、資料 36-2 と右肩に付しました「対策 I H S I への対応について（案）」を御説明いたします。

今回検討しておりました対策 I H S I というものは、欠陥がある場所に I H S I を施そうというもので、これまで予防保全としての I H S I は実施されてきているところなんですけれども、欠陥がある部分について行われるのは今回が初めてとなりますので、対策 I H S I が行われた場合の対応についてとりまとめておりますので、こちらを御説明いたします。

1 として、対策 I H S I は欠陥を有する配管系に対して I H S I 施工を行う工法であります。これにより亀裂先端部の応力が正から負へ改善されること、亀裂のない部分においては従前の I H S I 工法と同等の効果があると言われる工法であります。施工のプロセスについては、従前の I H S I 工法と同じとなっております。

2、対策 I H S I は発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令、以下技術基準といいますけれども、こちらの第 9 条第 15 号適用可能寸法以下の亀裂及び溶接継手に対して悪影響を及ぼさないこと、施工プロセスが従来の I H S I と同様であること、技術基準第 9 条の 2 において適用可能寸法以下の亀裂及び溶接継手に対して悪影響を及ぼさないこと、亀裂の進展性が抑制されていることが明記されていないことから、亀裂を有する配管溶接部に適用できることが明確となっていないということがあります。

3、一方、発電技検におけるメーカー実施の確性試験の評価結果及び新保全技術適合性作業会（RNP）による基準適合性評価の結果のとおり、対策 I H S I は従前の I H S I と同様の施工プロセスであること、施工中に亀裂が進展しないこと及び継手の材料への悪影響を及ぼさないことから、技術基準第 9 条第 15 号に適合していると判断することができる。

また、定期事業者検査において、亀裂の非破壊検査結果を用いて技術基準第 9 条の 2 の欠陥の解釈に基づく評価、亀裂進展評価及び破壊評価を行い、許容基準を満足すると判断することができます。

4 として、対策 I H S I を施工した後も欠陥評価を行うこととなりますけれども、そのための亀裂進展評価に用いる残留応力は、欠陥のない配管へ I H S I を施工した残留応力を用いることで保守的な評価ができると判断しております。

5 ですけれども、対策 I H S I 実施後は、SCC の進展抑制効果を確認するため、当面（5 年間または実績が確認できるまでの期間）は、保守的に亀裂の解釈に従った頻度による検査を行うこととすると考えております。

今、概略をまとめて説明したんですけれども、I H S I の技術基準への適合性確認結果についてということで、続いて、資料 36-3 に基づきまして御説明したいと思います。

資料 36-3 ですけれども、後ろについております資料 36-5 の評価書を取りまとめた内容とな

っております。その上にあります資料 36-4 は、更に報告書の内容を抽出した 1 枚紙になっておりまして、こちらは 1 枚で全貌が確認できますので、適宜御参照いただきながら御説明をさせていただきたいと思っております。

資料 36-3 をごらんいただきたいと思っております。『『欠陥を有する配管系に対する I H S I (対策 I H S I)』の技術基準への適合性確認結果について』というものです。

「対策 I H S I の工法概要」ですけれども、I H S I は配管内側を冷却しながら配管外側を高周波誘導加熱により加熱し、加熱終了後の冷却により配管内側に圧縮応力を付与する工法ということで、皆さんによく知られている工法でして、予防保全として既に原子力発電所の配管に適用されているものです。

今回の対策 I H S I については、欠陥を有する配管に対し I H S I を施工するものであります。

対策 I H S I により I H S I 加熱中に欠陥先端部も引っ張り荷重を受け、塑性変形を与えられて、加熱終了後の冷却により亀裂先端部には圧縮応力場が形成されることとなります。

施工においては、繰り返し説明しておりますけれども、従前の予防保全 I H S I と同様であるということです。

1 枚目めくっていただきまして、3 ページでございます。「対策 I H S I 技術の確認結果」ということで、対策 I H S I は確性試験の結果から、以下の条件を満足する技術であることを確認しております。

- ① 亀裂及び継手に対して悪影響を及ぼさないこと。
- ② 亀裂先端部での応力が改善され、亀裂の進展性が抑制されること。
- ③ 亀裂近傍において、残留応力改善効果を有すること。
- ④ 亀裂の存在しない健全部においては、予防保全 I H S I と同等の効果があること。

図には②亀裂の進展性の確認結果の例として、亀裂形成後の軸応力分布とそれに対する I H S I 後の軸応力分布を示しております。

続いて、4 枚目のパワポ「技術基準適合性確認結果（第 9 条第 15 号）」ですけれども、対策 I H S I は以下のとおりの溶接事業者検査を行うことで、第 9 条第 15 号への適合性が確認できると判断しております。

対策 I H S I の施工プロセスは、予防保全 I H S I のプロセスと同様であることから、対策 I H S I の施工法は予防保全 I H S I と同様の施工法を用いる。

第 9 条第 15 号における以下の（イ）～（ニ）への適合性については、予防保全 I H S I と同様に、主に新たに溶接後熱処理として確認すべき項目（施工の前提条件と施工時のエッセンシャルバリアブルスを満足すること）を満足した施工がなされていることを確認するとともに、当該継手の溶接実施時の記録により確認を行う。

なお、対策 I H S I 施工可否、亀裂寸法が板厚の 8 分の 3 t 以下、かつ第 9 条の 2 に適合していることについては、定事検の U T 記録にて溶接事業者検査前確認事項として確認されることとなっております。

1 枚めくっていただきまして、続いて第 9 条の 2 に関する確認結果でございます。対策 I H S I

は以下の評価を行うことで、第9条の2への適合性が確認できると判断しております。

定期事業者検査におけるUTの結果を用い、亀裂の解釈に基づく評価（亀裂進展評価＋破壊評価）結果が適合することを確認する。

亀裂進展評価に用いる残留応力は、亀裂なしでIHSIを施工した部位に亀裂を想定した残留応力と比較した結果、同等であることが確認されております。このことから、対策IHSI後の亀裂の評価に用いる残留応力は、欠陥のない配管へIHSIを施工した残留応力を用いることで保守的な評価ができると判断しております。

「施行後の効果の確認」については、対策IHSI実施後、SCCの進展抑制効果を確認するため、当面（5年間または実績が確認できるまでの期間）は保守的に亀裂の解釈に従った頻度による検査を行うとして扱う。

進展予測により許容される欠陥大きさまでの期間を評価期間として、その間を原則評価期間の10分の1または3年のいずれか短い方、4分の1または7年のいずれか短い方及び2分の1または10年のいずれか短い方の時期に実施を行い、進展予測の保守性を確認することとしております。

1枚めくっていただきまして「まとめ」ですが、対策IHSI工法は、確性試験の結果を踏まえ、以下のとおり技術基準に適合することが確認できると判断しております。

省令第9条第15号への適合性については、予防保全IHSIと同様に溶接後熱処理として確認すべき項目を満足した施工がなされていることを確認するとともに、溶接実施時の記録により確認する。

第9条の2への適合性については、UTの結果を用い、亀裂の解釈に基づく評価結果を適合することを確認する。

上記の技術基準への適合性の確認については、定期事業者検査、溶接事業者検査、電事法55条第3項に基づく報告により確認する。

施工後の効果の確認としては、当初の5年間について保守的に亀裂の解釈におけるSCCに対する点検周期にて検査を行い、進展状況を確認する。その後の継続検査については別途判断することとしております。

ただいま御説明申し上げた内容について、詳細を記載したものが資料36-5になっております。前半はただいまの技術基準適合性について記載をしておるところですけれども、実際に確性試験が行われておりまして、確性試験の結果の概要を15ページの後ろの添付資料1-1、添付資料1-2で記載しております。こちらについては、今日実際に確性試験を実施されたメーカーさんにお越しいただいておりますので、御説明いただきたいと思います。よろしく申し上げます。

○説明員（笹山） 東芝の笹山でございます。

対策IHSIについては、弊社と日立GEさんでそれぞれ実施しておりまして、まずは添付資料1-1で弊社の内容、概略でございますが、御説明させていただきたいと思っております。

「1. 目的」でございますが、1つは、現状、明確に欠陥の存在が確認された溶接継手に対してはIHSIを施工することができないということになっております。欠陥の存在が確認された場合には、維持規格に準じた継続使用、補修・取り替え等の選択肢から適宜状況に応じた手法を使って

います。それに伴ってプラントが長期停止につながる可能性もございました。

そこで、本確性試験は明確に欠陥の存在が確認された配管溶接継手に対するIHSI施工が、既存欠陥の進展を抑制するとともに、健全部の予防保全効果も有することを確認しまして、対策工法としての実機適用を目指すということを目的に実施させていただいております。

3ページにいきまして「2. IHSIの概要」でございます。先ほど津金さんから御説明いただきましたが、IHSIとは、配管がステンレス鋼で配管の溶接部の内表面にSCC欠陥のようなものが存在しているといった場合の予防保全工法でございます。内面を冷却しながら外面を加熱するというので、内面を施工後に冷却して圧縮するという工法でございます。

4ページにまいりまして、こちらでは予防保全工法のIHSIと対策工法のIHSIの違いを明記しております。

予防保全のIHSIは、従来からやっていますが、施工前のUT検査で欠陥が確認された場合には施工を実施してございません。予防保全工法の確性試験の中で過去に実施してございますが、これらはUT検出限界以下の非常に小さなものが存在した場合、潜在的なものが存在した場合ということで実施してございました。技術確認もそこで実施してございました。

今回の対策工法としてのIHSIは、明確に欠陥の存在が確認された場合にあって施工しようというものでございます。

5ページになります。確性試験の中で確認項目として4つあります。

1つ目が亀裂及び継手に対して悪影響を及ぼさないこと。施工中に存在している亀裂が、施工することによって進展したりすることはないか確認します。

これが重要なところなんです。亀裂先端部での応力が改善されまして、亀裂の進展性が抑制されること。

3つ目は、亀裂の近傍におけるIHSIによる残留応力改善効果を確認するということ。

4つ目、亀裂の存在しない部分については、予防保全の工法と同等の効果があること。

この4つの確認項目について、確性試験の中で確認してございます。

概要でございます。6ページです。

1つ目の亀裂及び継手に対して悪影響を及ぼさないことの結果でございます。これは欠陥を有する配管にIHSIを施工することで、欠陥がIHSI加熱中に有意に進展しないこと、材料の機械的性質に悪影響が生じていないことを確認してございます。

試験の条件としては、EDMノッチに疲労亀裂を入れて、今回の確性試験の目標としましては、深さを板厚の8分の3程度ということで設けまして、これにIHSIを施工してございます。

ここに写真がございまして。断面観察の1例ですが、左下がEDMノッチから疲労亀裂を縦に入れていっている結果でございます。IHSI施工後、先端部に延性破壊の兆候は確認できませんでした。これはごく一部でございますので、恐縮でございますが、こういう概要でございました。

7ページは硬さ測定を断面について行ってございまして、280という硬さを示しているものもございまして、極端な硬さの上昇は確認されてございませんでした。したがって、IHSIの施工が亀裂及び継手に対しまして悪影響を及ぼさないということが確認されたということになります。

す。

8 ページにまいりまして、こちらは亀裂先端部での応力が改善され、亀裂に進展性が抑制されることの確認でございます。

試験では塩化マグネシウムにより SCC を模擬した深い亀裂を強制的に付与しまして、I H S I を施工した試験体を再度塩化マグネシウムに浸漬しまして、亀裂に有意な進展がないことを確認してございます。こちらでも深さは8分の3 t 程度の深さは入るようにしまして、それに I H S I を施工して、再度塩化マグネシウムに浸けるということをやりました。

試験の結果は以上でございますが、ここのシートに F E M 解析での傾向を示してございます。それに先立ちまして、解析上どうなるかという応力分布を確認してございます。

左側が As Weld の状態でございますが、見にくくて恐縮でございますが、真ん中に溶接金属の部分がございまして、ちょうど右側のところに内表面での亀裂位置と書いているところがございまして、内表面から8分の3 t 程度までの亀裂を模擬してございます。

この状態で I H S I を施工したものが右側の図になります。亀裂の先端部については強圧縮の状態が確認されてございます。

前後しますが、9 ページにまいりまして、こちらは試験の結果の概要でございます。

1 つ目は塩化マグネシウムによって亀裂を入れまして、I H S I を施工しました。その時点での U T の検査結果が左手の塩化マグネシウム浸漬前と言っているところでございます。右側が更にそこから 120 時間程度浸漬した結果でございます。つまり I H S I をかけたことの効果の確認を行ってございます。その結果、平均値でサイジング結果を示してございますが、ほぼ有意な変化は確認されないということでございます。

10 ページ目です。こちらは塩化マグネシウムに浸漬した亀裂の先端の断面観察を行ったものでございます。試験結果としては写真が3段並んでございますが、真ん中のものが全体の断面図でございまして、主亀裂と書いている部分がございまして、こちらでは明確な拡幅が出ているということで、施工後に亀裂先端まで鈍化するということが確認されてございます。

一方、下に副次亀裂というものがございまして、ごく表層については、施工後、浅い欠陥が幾つか確認されました。こちらは先端の方を確認したんですが、明確に拡幅されていないということがございました。

こういう試験結果からの結論から申しますと、主亀裂先端は強圧縮となりまして、亀裂の進展が抑制されるということが確認されました。ただし、ごく表層については I H S I による亀裂の拡幅等は見られませんでしたので、ここは保守的に考えまして、新たな亀裂の発生の可能性は否定できない。つまり、ない部分に比べ、若干亀裂のある部分については残留応力の改善効果が多少弱まっているというのが知見の結果としてわかったところでございます。

続きまして、11 ページです。こちらでも確認としては1つございます。亀裂の近傍における I H S I による残留応力改善効果を確認するというので、E D M 亀裂を有する試験体に I H S I 施工したものの、あと施工していないものを塩化マグネシウムに浸漬しまして、新たな亀裂の発生の有無を確認してございます。深さは同様に8分の3 t を設けてございます。

12 ページがその結果でございます、これは内表面の P T の観察結果になってございます。上の 2 枚が I H S I 施工なしの場合、下の 2 枚が施工したものでございます。

E D M 亀裂と記載している部分がございます。施工していないものの方は、内表面の全周にわたって細かい P T の指示模様が確認されておりました。

一方、I H S I 施工したものの場合には、E D M がある部分のみ、ある周状のところのみ P T 指示が出てきたということで、欠陥のない部分については出なかったという結果でございます。

13 ページは E D M の先端部の確認結果でございます。左側が I H S I を施工した場合、右側が施工しなかった場合でございます、施工したものについては先端部にひびはないんですが、施工しなかったものについては微小なひびが確認されてございます。

このことから、亀裂近傍での I H S I の効果はやや減少傾向だった。ただし、何もしない場合、つまり As Weld の状態よりは十分改善されていると確認してございます。

14 ページは、内表面の残留応力がどのようになるかということを確認したものでございます。こちらは F E M 解析で行ってございますが、横軸が溶接中心からの距離になりまして、ちょうど真ん中の一点鎖線になっている部分が溶接金属の部分になります。8 分の 3 t という亀裂を片側の方に設けまして、青い線が I H S I 施工前の As Weld の状態、緑色が施工後の状態でございます。このことから残留応力は I H S I 施工によって低減されるということが確認されてございます。

15 ページは 4 つ目の確認項目ですが、亀裂の存在しない健全部においては予防保全工法 I H S I と同等の効果があることということで、こちらにも E D M 亀裂を設けまして、試験体に I H S I 施工後更に塩化マグネシウムに浸漬しまして、亀裂部以外のところに新たな亀裂の発生がないかを確認してございます。

16 ページも試験体の内面の P T 観察結果でございます。上の 2 枚が E D M 亀裂なし部分、下の 2 枚が E D M 亀裂がある部分でございます。亀裂がない部分は新たなひびは確認されませんでした。一方、亀裂を設けた部分については、亀裂近傍において新たなひびが発生するということが確認されました。

17 ページは試験体の残留応力の測定結果でございます。左側が E D M 亀裂なし部のもの、右側が E D M 亀裂あり部の残留応力です。E D M 亀裂がない部分は全般的なマイナスの圧縮応力に改善されていることが確認されました。一方、亀裂がある部分については、亀裂なし部に比べて若干応力が高目に出ているということが確認されました。

このことから、健全部は予防保全の I H S I と同等の効果があるということで確認がされてございます。

「6. まとめ」でございますが「①き裂及び継手に対して悪影響を及ぼさないこと」については、加熱中に亀裂が進展しないこと、また材料的に悪影響がなかったということは確認がとれました。

「②き裂先端部での応力が改善され、き裂の進展性が抑制されること」については、主亀裂は先端が強圧縮になるということを解析上も確認してございます。また、進展が抑制されるということを確認の結果から確認しました。ただし、ごく表層においては新たな亀裂の発生の可能性は否定できないという結果が出てきました。

「③き裂の近傍における I H S I による残留応力改善効果を確認する」については、近傍での I H S I の効果は若干効きが悪くなる。ただし、新たな亀裂の発生は As Weld よりは改善されているということで、施工をしないよりはした方がいいという結果になってきてございます。

「④き裂の存在しない健全部においては予防保全工法 I H S I と同等手の効果があること」ということで、健全部は予防保全の I H S I と同等の効果があるという確認がとれてございます。

このことから、亀裂を有する実機配管への I H S I 施工は技術的には問題なく、その有効性、深い亀裂の進展性を抑制することが確認されました。ただし、施工後の運用においては、既に発生している亀裂近傍からの新たな亀裂の発生は可能性がないとも言えないということでございまして、留意する必要があるということが確性試験からは得られております。新たな亀裂の発生については、後ほどの R N P の審議の中でもいろんな条件を踏まえて確認させていただいてございます。

引き続き、日立さんからになります。

○津金検査課施設検査係長 それでは、引き続き、日立さんで実施された確性試験について御説明いただきたいと思えます。

○説明員（増田） 日立の増田と申します。よろしくお願いします。

まずタイトルなんですけれども、弊社の確性試験は「補修 I H S I」という呼び方をしておりますので、資料の中では「対策 I H S I」ではなくて「補修 I H S I」になっておりますが、言葉が違うだけで内容的には同一のものでございます。

2枚目「1. 試験の目的」ですけれども、予防保全 I H S I というのは従来からあったんですが、その前段階の施工前 U T で亀裂があった場合にそのまま施工できないということになっておりましたので、そここのところは効果があるのであれば施工したいというニーズでございまして。

3枚目なんですけれども、今までの話の中で「亀裂のない健全部」とか「亀裂の周辺部」という言葉が出ていたと思うんですけれども、この絵でいうと右側の下のイメージです。ここに I H S I をかけますと、内面側では引っ張り荷重がかかりまして、その後、圧縮が出てくる。そのときに亀裂があると、亀裂の周辺は I H S I がかかりにくいところがございます。ここでいうと三角形の部分ですけれども、こういう部分が出てくるということで、ここの内側のところは先ほど少し細かいひびが見えたという領域でございまして。この領域から離れた外側とかあるいは周方向で亀裂がないところについては、健全部ということで定義しております。

「3. 対策 I H S I の確認項目」ですけれども、3項目となっております。東芝さんの4項目とはちょっと違うんですけれども、③の a b が2つに分かれているのが東芝さんの確性試験のまとめ方で、内容的には変わりません。

亀裂及び継手に対して悪影響を及ぼさないこと。亀裂先端で応力が改善され亀裂の進展が抑制されるということ。未施工に比べて残留応力が低減される。健全部については同等です。

添付1-2-5は「4. 対策 I H S I の確認結果（概要）」でございまして。基本的には予防全 I H S I と同じ施工法を適用いたします。

添付1-2-6も「4. 対策 I H S I の確認結果（概要）」ということで、これは亀裂及び継手に対して悪影響を及ぼさないことということです。これは継手の横にノッチを入れまして、そこに

塩化マグネシウムで予亀裂を入れまして、そこに I H S I をかけて、かけた後の亀裂の先端を見たものです。亀裂先端から延性破裂は発生していないということを確認したものでございます。

添付 1-2-7 は同様に硬さ試験をやって、極度に硬くなっていないという結果でございます。

添付 1-2-8 は応力解析の結果でございます。亀裂の先端及びその周辺に圧縮領域ができていているという図でございます。亀裂を圧縮応力場で覆い囲うような分布になっております。

添付 1-2-9 ですけれども、これは亀裂の先端で応力改善されているということなんです。亀裂の先端の性状を見たときに、一度口が開いた方向になって、その後、閉じているので、亀裂の先端に鈍化の傾向が見られるだろうということで見えたものです。亀裂の先端が少し丸まっているということが確認できたということでございます。

添付 1-2-10 ですけれども、これについては残留応力測定、解析で亀裂の周辺部、一般部のところが I H S I を施工しなかった場合に比べて、I H S I を施工することによって全体的に応力が下がってくるという測定結果でございます。

添付 1-2-11 です。健全部については I H S I を施工したものと同様に塩化マグネシウムの浸漬試験をやって、健全部に新たな亀裂は発生していないということでございます。

「5. まとめ」としては、先ほど言った3つについて確認されたということでございます。

添付 1-2-13 に添付資料として、先ほど亀裂周辺部で細かな割れが少し出ているということで、今回 S C C があるかないかという判断として、塩化マグネシウムの浸漬試験をやったんですけれども、その浸漬試験の割れが発生する応力はどのぐらいかということを確認する試験を行いました。

左上の4点曲げの試験片で各負荷応力を変えていきまして、塩化マグネシウムの浸漬試験を実施したものです。その結果が右下のグラフになっておりまして、真ん中が0で、左側が圧縮側です。試験体を曲げていますので、圧縮側と引っ張り側の両方を見えています。これで見えていきますと、約 50MPa 程度の小さな応力でも塩化マグネシウムの試験をやると割れが出るということで、先ほどの周辺部の表面に出ているのは試験でかなり厳しい試験をやったから出ていると考えています。ただ、割れている事実はありますので、そこは実機でも点検していくということでございます。

以上です。

○津金検査課施設検査係長 ただいまメーカーさんから添付資料 1-1 と添付資料 1-2 に従って説明していただきましたけれども、その後ろに添付資料 2 「対応 I H S I 維持規格評価における溶接部残留応力の扱い」というものも付けておりますので、こちらの方もメーカーさんから簡単に説明していただきたいと思っております。

○説明員（笹山） こちらについては、確性試験の中では一応案という形で取り扱ってございまして、RNPの中で協議していた内容になってございます。

「○対策 I H S I 施工後の主き裂の評価（案）」ということで、対策 I H S I 施工後の亀裂進展評価において、軸方向応力の板厚分布を定義する場合、残留応力等の取扱いに関しては以下の手法が考えられました。

1つ目は、対策 I H S I 未施工の As Weld の応力分布を使う方法。

2つ目は、検出された亀裂を模擬しまして、対策 I H S I を施工した後の応力分布を用いる方法。

3つ目は、亀裂なしの状態に対策 I H S I を施工した後の応力分布を用いる。

この3つの手法が考えられます。

対策 I H S I 後の応力分布は、3ページから5ページに示しますが、亀裂の先端が強圧縮になりまして、亀裂の進展性は抑制されます。これは確性試験において実験的にも確認されております。これらを踏まえた上記3つの応力分布に基づく亀裂進展評価は以下の特徴があります。

1つ目は、対策 I H S I 効果を考慮していないことから、過度に保守的な評価をすることになる。

2つ目の応力分布については、亀裂先端が圧縮応力となる対策 I H S I の効果を考慮した評価ができる。

3つ目はIIと同様の評価であるとともに、合理的な評価ができるということで、3つ考えられました。

3ページ目は亀裂を有する配管での応力分布の例で、軸方向の応力分布です。軸方向の応力分布は先ほど来出ていますが、施工後、亀裂先端部が強圧縮になる。内表面も施工前に比べて改善されるということが確認されています。

4ページは径方向の分布を示してございます。

ちょっと資料が飛びますが、6ページに進みたいと思います。「○対策 I H S I の効果を見込んだき裂進展評価の考え方」ということで、対策 I H S I の効果については、解析的・実験的に確認されているとおり、施工することで当該主亀裂の深さ及び長さ方向へ S C C 及び疲労の進展は抑制される。

一方で対策 I H S I 後の進展評価を行う場合、評価に用いる残留応力の検討としては、溶接後、亀裂を導入し、その後対策 I H S I を施工。溶接後、対策 I H S I、これは亀裂がないので予防全 I H S I を施工し、その後に亀裂を導入することについて比較した結果、次のページに示しますが、両者の応力分布は同等であることが確認されました。

8ページの赤い線が溶接後の As Weld の状態の残留応力分布になってございます。ある状態で I H S I を施工したものがピンク色の線になってございます。横軸が内表面からの距離ですので、板厚だと考えていただければいいと思います。亀裂先端から強圧縮になって、若干右肩上がりで上がっていくような線になっております。その中間として青い線がありますが、こちらが亀裂なしの状態です。通常の予防保全と同様の考えになるんですが、残留応力分布をこのように考えてみたところ、結論としましては、亀裂形成後に I H S I をしたものと亀裂から板厚方向の部分の残留応力分布は、ほぼ同等の結果が得られてございます。

このことから、亀裂がある場合の I H S I 施工後の残留応力分布は亀裂なしのものに施工したもので適用することで問題ないという結論を得てございます。

補足としまして、7ページに亀裂なしの状態に対策 I H S I を施工した場合の妥当性確認をやってございます。こちらは亀裂の存在している配管に施工した後の再分布した応力分布に対しまして、重ね合わせの原理が成立するか確認するため、亀裂がある場合とない場合の残留応力の解析を実施してございます。

右側の残留応力分布の方で、これも横軸は同じく内面からの距離で、縦軸が軸方向の応力分布を

示しております。(a)と書いてあるのが亀裂ありの配管にIHSIした場合、(b)が亀裂なしの配管にIHSIをかけまして、その後、仮想亀裂を進展させたものです。こちらに示しますように、どちらの線もほぼ同様の分布を示していることが確認されました。これらの解析結果はIHSIによる応力の再分布の影響は非常に小さく、上記に示すようにおおむね等しいということがわかりました。このことから、亀裂なし状態で対策IHSIを施工した残留応力を用いることで、妥当な評価ができると判断してございます。

このような妥当性確認の結果から、先ほどの8ページの青い線を使って評価を行っていくのが妥当だと判断してございます。

以上でございます。

○津金検査課施設検査係長 ありがとうございます。

以上で欠陥を有する配管系に対するIHSIの技術基準適合性についての説明を終わりにしたいと思います。

○宮主査 どうもありがとうございました。大変興味深い技術的内容をもった説明でした。

論点は3点あるかと思うんですけれども、亀裂にIHSIを施したときに健全性を確保できるかという点と、亀裂進展の評価をどういうふうにするかということと、その後の検査頻度をどうするかということがあるかと思うんですけれども、自由に御議論いただいて、それらの妥当性について最後に評価をいただければと思います。よろしくお願いします。

どうぞ。

○高木委員 このデータを見る限りしっかり圧縮がかかっているというのは間違えないと思うんですが、2点教えてください。

1つ、圧縮応力は緩和するのではないかと思うんですけれども、それを検査で補うということなのか、あるいは圧縮がだんだん小さくなるというデータがあるのかということをお教えいただきたいと思います。

それから、実測されているのは疲労亀裂でやられているようですが、応力腐食割れの場合とほぼ同様になるのか、あるいは違いがあるのかということをお教えいただきたいと思います。

○宮主査 どうぞ。

○説明員(増田) 残留応力の緩和については、SCCで割れている事例でもかなり長期の事象でありますので、基本的にはそう大きな緩和はないと考えております。

もう一つの亀裂の成長については、東芝さんの方は疲労亀裂で入れていまして、日立の方は塩化マグネシウム浸漬の予亀裂を入れているんですけれども、基本的に先端の圧縮の確認としてはSCCの性状の影響はないと思っています。試験としては応力の観点から見ているので、SCCの試験をやっているわけではなくて、応力が改善されているということを塩マグで確認しているということなので、それに入れている亀裂の先端も特に鋭利な先端をつくるという目的で入れておりますので、疲労の場合もありますし、塩化マグで入れる場合もあります。ノッチだと先が少し丸まります。

○宮主査 ほかにご意見はどうでしょうか。小林先生、どうぞ。

○小林委員 私は I H S I の効果というのは全く疑いを持っていなくて非常にいいと思っているんだけれども、今日の説明を聞くと物すごく不可思議なんです。

東芝さんの8枚目は有限要素法の解析結果なんだけれども、これは溶接残留応力があるケースを解析した、あるいは溶接残留応力がないケースを解析した、どちらですか。

○説明員（本郷） 溶接残留応力を模擬した解析をやっております。

○小林委員 溶接残留応力を初めから入れておいて解析したわけですね。

○説明員（本郷） そうです。

○小林委員 溶接残留応力の解析をするときに亀裂の前後関係はどうなっているんですか。

○説明員（本郷） 溶接を模擬する解析のときには、要素上はメッシュとしてはスリットを模擬しているんです。接点をつなげておいて、溶接をした後に接点を離して亀裂を形成しています。

○小林委員 だから、溶接残留応力を解析的に導入して、そこから亀裂を導入して、それで I H S I をかけた解析をしたということですね。

○説明員（本郷） そうです。

○小林委員 左と右の解析結果を見ていただくと、最初に I H S I をかけると亀裂先端で引っ張りの応力場が出てきて、そこで塑性変形するわけですね。今は亀裂先端で応力場を示しているのは特異応力場の解析をしているわけですか。亀裂の先端の応力だから、当然特異応力場ですね。その解析をしているわけですね。

今度は右側見て、強圧縮応力場が形成されますと強調していますね。強圧縮応力場というのはどういう応力場ですか。特異応力場ですか。

○宮主査 通常、強というのは 200MPa とか 600MPa とか値が大きいという意味ですね。

○説明員（本郷） そうです。

○小林委員 だから、それがどうして亀裂先端でできるんですかと聞いているんです。要するに亀裂先端で圧縮の応力ができるというのは、その前に引っ張りの塑性変形をするから圧縮の応力が出る。だから、強圧縮応力場という場が本当にできるんだったら、この場が全部引っ張りで塑性変形しなければ、そんな場はできない。そんなことは当たり前です。そうしたら、左側の図でどうしてそれができないかと聞いているんです。こんな解析結果を見せてもらわなければ私は問題ありませんと思うんだけれども、こんな解析結果を見せられたら、何をやっているんですかという話です。説明になっていないんです。

○説明員（本郷） ちょっと補足になるかとは思いますが、左側のものは溶接をして亀裂の様子を開いた状態の解析結果です。

○小林委員 これは I H S I をかけた状態の解析ではないんですか。

○説明員（本郷） 左側は違うんです。

○小林委員 我々が知りたいのは、I H S I で亀裂の先端で引っ張りの応力が出て、それで塑性変形します。だから、圧縮ではないんです。その後、引っ張りの応力場がなくなったらそこで圧縮の残留応力が出るわけです。強圧縮応力場というのはこんなに大きいサイズのものが本当にできるのか。これだけのサイズのものができるといえるのは、この3倍などの引っ張りの塑性変形する応力場

が出なければ、こんな圧縮場はでない。解析だからメッシュの問題とかいろいろあるけれども、量的には余り言わないけれども、少なくともこの2枚を比較していただいて、何の説明をしているんですかということになるわけです。

一番重要なのは亀裂の先端で圧縮の応力が出ます、その場がかなり大きいですということであって、それを説明するためには引っ張り状態でちゃんとした引っ張り応力が出て、塑性変形していますという説明をしていただかないと、その説明に多分ならない。

○宮主査 していることになるんでしょう。

○説明員（本郷） そういう意味では、加熱中のものがあります。

○小林委員 それを出していただかなければ何の説明にもなりません。

ついでだから、資料36-3のこの図です。これは日立さんの図です。これも間違えとは言わないけれども、完全に誤解を生みます。右側の説明図、一番下の3枚だけでも、亀裂があってIHSIをかけて引っ張りの応力になって、亀裂先端で塑性変形します。これが本質的な説明なわけです。だから、私が言っているのはこれに対応する解析結果はありませんと言っているわけです。それはいいんだけど、この図はだめです。一番右側は何を説明していますかというのは、最後の状態で圧縮応力が亀裂側に出ていますという説明をしているわけです。圧縮応力の形成と亀裂の先端に書かれていますね。この圧縮応力の形成は引っ張りの応力がなくなった時点の話です。あとの圧縮荷重が加わりましたというのは関係ない。これを見たら、引っ張りから圧縮に変わって、亀裂の先端で圧縮応力が出るんですとみんな思う。そうですね。だれでも絶対にそう思います。それはメカニズムとか効果の説明になっていないわけです。ごめんなさい。だから、この図は直してほしいということと、一番大事な解析結果を出していないということです。

○宮主査 解析結果はないんですか。途中で温度を上げていくわけですね。これは外力のないところでは膨張しようとするから圧縮荷重を受ける。それを示している絵ですね。したがって、内力のバランスがあるので、先端では引っ張りを受ける。熱荷重の説明は通常こういうふうになられます。先生が言われるように、そのプロセスは応力解析でやっていきますか。

○説明員（本郷） 同じ対応をするようなコンター図はお出ししていませんけれども、解析的には先端部はこの程度です。

○宮主査 やっているわけですね。それも答えないとね。

○小林委員 技術的にきちんと説明しなければいけないということです。私みたいな年寄りで大学の先生で学生に教えている立場からすると情けないと思います。ちゃんとした解析をやっても、その解析結果をみんなに納得のいくような説明がされていないというのはね。そういう話です。変なことを言って申し訳ないです。

社会一般の人にこれで本当に理解してもらえますかといったら、間違えなく理解してもらえないです。最後は全部圧縮の応力になるから亀裂の先端で圧縮応力が出ますとみんな思う。それは全く違いますね。

○宮主査 いいですか。先生の御意見を参考にして、わかりやすい説明資料、説明の仕方を考えていくということにして下さい。

○説明員（笹山） 済みません。情報として少なかったところもありましたので、恐縮でございました。ありがとうございました。

○小林委員 きちんと説明してください。

○説明員（笹山） ありがとうございました。

○宮主査 どうぞ。

○野本委員 今回の件で議論するというのではなくて、ちょっとだけ私の知識ということですが、IHSIの場合には650℃ぐらいに外表面が加熱されていて、それで少し長い時間だということで、溶接の残留応力があってもほとんど残留応力が残らないような状態で新しい残留応力ができるんです。ですから、勿論小林先生がおっしゃっているのは全部正しいんですけども、そういうプロセスをきちんと説明しなければいけないし、私も説明の仕方が下手だという感じはしましたけれども、過去の経験からIHSIは相当温度が高いということで、ほとんど前の残留応力が影響しないです。特に予防と言われている亀裂のないものです。ですから、亀裂のあるものについてはまた違うということではあります。板厚の半分ぐらいまで高い温度が効いていますので、きちんとメーカーさんが現象を把握されて説明をされればよろしいと思いました。

○宮主査 どうぞ。

○船田委員 簡単な質問です。実験の方は650℃以上の温度で加熱して実験させたと書いてあるんですけども、実際の適用の条件は650℃までの温度となっていますが、そこら辺の温度の効果というのはどれぐらい確認されているのか。例えば400℃とか500℃でも効果があるのかどうかということです。

もう一つはもっと簡単な質問です。これは荷重履歴は3回までいいと書いてあるんですけども、履歴は従来の疲労評価に入るのでしょうか。

○宮主査 650℃でやっているけれども、温度を超えているということですね。

○船田委員 実験は650℃を超える温度でやりましたと書いてあるんです。東芝さんの6枚目のシートです。

○宮主査 最高温度が650℃ですね。

○船田委員 650℃を超える加熱となっています。

○宮主査 どうぞ。

○説明員（笹山） 6ページの650℃を超える加熱というのは、①が悪影響を及ぼさないことということで、加熱中に有意に進展しないということを確認するという目的がございますので、多少厳しい条件でやっているということです。管理値としてはオーステナイト系ステンレス鋼の場合650℃ということで一応上限値を設けております。これはそういう目的のためにちょっと厳しい条件でやったところがございます。

○船田委員 効果の方はどうですか。

○説明員（笹山） 効果の観点で申し上げますと、 ΔT ということで内外面の温度差が施工に起因してまいりますので、そこは先生がおっしゃったように外表面の温度を下げて ΔT がなかなかとれなくなってくると、多少効きが悪くなるという形になります。なので、実際の施工については比較

的高い 550°C 近傍で施工は行っていくという形になります。

○宮主査 2点目はいいですか。実機状態になったときに繰り返しですね。それは多分内圧による軸方向応力というのは5キロぐらいで低いわけですね。そういうものが繰り返しかかったときに、亀裂が疲労によって進展するか、しないかということです。違いますか。

○船田委員 通常の損傷係数が変わるかどうかです。

○庄子委員 施工している間に3回やるから、それでファクターが増えるかどうか。

○宮主査 それはわかりますか。

○説明員（増田） まず I H S I でかけている温度は、上限 650°C などをかけているんですけども、通常の溶接で繰り返し熱が加わったり、冷却したりというものに比べると、回数的には1回で650°Cに上がって下りるだけなので、余り疲労強度に影響を与えるような極端なかけ方だとは考えておりません。

○宮主査 実験結果があるわけですね。鈍化しているだけですね。進展はしていないんですね。

○説明員（増田） 今、言っているのは、一般として疲労評価をするときに影響をどう考えるかということです。

○船田委員 例えばこの部分の外表面はかなり高い引っ張り応力と圧縮が繰り返されますね。

○説明員（増田） はい。

○船田委員 それは影響するんですか。通常考えている応力よりもかなり大きなものがかけられているような気がしたんです。この影響があるのかどうか。（弾塑性解析結果の説明図によると、外表面近くには非常に大きな引張応力が残留しています。IHSI が健全部に影響を与えていないことを確認するために、この大きな残留応力をどのように評価しているのか質問したものです。）

○説明員（増田） 評価上は S N カーブの方に、通常の溶接部とかそういう効力がかかっているところの適用ができるようになっていきますので、Cカーブを使うとかそういうことで、その範疇の中だと理解しております。

○宮主査 どうぞ。

○小林委員 どの段階かも忘れてしまったけれども、ちゃんとそれはディスカッションしてお互いに了解したと私は理解していました。東芝さんの説明だと今も亀裂の先端の写真を撮っているわけですね。疲労であっても S C C であっても I H S I をかけたら亀裂の先端は鈍化するんです。鈍化したものは疲労亀裂ではないんです。だから、一旦鈍化した亀裂は同じ応力を何回繰り返し返しても進展できない。今の質問に対する回答はそういうことです。

ただ、小さな応力が何千万回繰り返されるといいう話になると、鈍化した亀裂の先端からまた疲労亀裂が出てくるという問題が出るわけですね。それが無い限りは、同じような応力を幾ら繰り返し返しても、疲労亀裂であっても S C C であっても進展しません。今、柏崎の地震の評価が全部その評価になっているわけですね。

○船田委員 亀裂先端だけではなくて、外表面側もあれですね。

○宮主査 熱サイクルをかけているときに外表面にという話ですか。それはないでしょう。

○小林委員 それは圧縮応力場だったら圧制できない。

○船田委員 冷えたら外表面プラスですね。

○宮主査 それは現に見ればわかりますね。発生していますか。

○船田委員 これでは発生していないけれどもね。

○宮主査 発生していないでしょう。

○船田委員 わかりました。

○宮主査 どうぞ。

○古村委員 残留応力の測定結果というものがあるんですけども、東芝さんの 17 ページと日立さんの 10 ページです。日立さんの方は測定結果に引張残留応力がでているわけですけども、こちら辺は 2 社の結果は同等とみなしてよろしいのでしょうか。

○説明員（増田） 亀裂の脇のところですか。

○古村委員 東芝さんの方はビード中心の辺りは書いていませんけれども、引張残留応力はないですね。日立さんの方は引張残留応力が出ているような測定結果が書かれていますけれども、このぐらいの誤差は生じるという考え方なのでしょうか。

○説明員（増田） 亀裂のすぐ脇で引っ張りが少し出るといのは同じだと思っているんですけども、その値については試験体も違いますので、それが同じという評価はしていません。この部分についてはお互いに施工しないで置いておくよりは、健全部ほど 100%ではないですけども、施工した方が効きますということでございます。

○古村委員 絶対値の大小ではなくて、効果が I H S I をかけた方があるということですね。

○説明員（増田） はい。

○古村委員 わかりました。

○説明員（増田） その部分が逆に大きくなってしまいかそういうことはないです。

○宮主査 どうぞ。

○庄子委員 2点教えてほしいんですけども、1つは一番最初の高木先生の御質問と関連するんですが、基本的にこれは非常に効果があるだろう。悪さはしないということなんですけれども、例えば今の解析の中あるいは試験も塩化マグの試験なので、どちらかという亀裂は割とフラットな亀裂あるいはスリット入っている。そうすると、多分一番表面に残留応力が出やすい状態です。広がった部分がちゃんとそのまま閉じる。ただ、高木先生が言われていたように、亀裂というのはいろんな凹凸があるので、開いた部分が本当に元どおりに閉じるのか。S C Cなどは非常にぎざぎざしているので、必ずしも元どおりに閉じないかもしれない。スリットだったら必ず閉じるんですけどもね。多分計算上も表面は非常にフラットにしているので、元どおりに閉じる。そうすると、先端には残留応力が出やすい。マキシマムに出る状態になっていると思うんですけども、実際に凸凹があった場合、完全に戻るか。それによって恐らく応力状態は変わるのではないかというのが1つです。

それから、口が開いたまま使うことになるので、中に多分酸化物ができてくる。そうすると、オキサイドウェッジングフォースというのが効いてくるかもしれない。それはまだよくわからないんですけども、そういう可能性もあり得るので、ネガティブなことを2つ言わせてもらおうと、そう

いうところはちゃんと吟味されたのか。あるいはこれは程度問題なので、あったとしても実際のものには効かないというのであればそれはそれで構わないです。一応そういう視点で検討されたかどうかだけ教えてください。

○説明員（増田） 今回の検討の中では応力的な観点から見ていますので、確性試験の中で先端のSCC、応力場が圧縮になっているという確認をしたということでございます。

RNPとしては先端が止まっているかどうかの確認をするので、点検は継続するようになっております。

○庄子委員 確認したというのは、塩化マグの試験でという意味ですか。

○説明員（増田） 確性試験の中では応力的な観点から先端側が圧縮場になりますという確認をして、進展抑制効果がありますという確認をしています。先端のケミカルな部分の進展が進むかどうかというのはなかなか難しい問題なので、そこは実機の点検を実施して伸びないという確認をしていく。

○庄子委員 極端なことをいうと、加熱して開口して、開口したときにたまたま開口したところに物が詰まって、その後に冷やした。凸凹しているところはそれに近いようなことが起こり得るわけです。そのときに本当に先端圧縮になりますかという質問です。

○小林委員 質問ではなくて技術的な討論でいいですか。

○宮主査 どうぞ。

○庄子委員 今、私は非常に極端な話を言いました。

○小林委員 わかりますけれども、私はそういう研究をずっとやってきました。疲労亀裂も応力腐食割れの亀裂も開口したときに、完全には元に戻らない。必ず破面がずれてくる。凹凸があるんだけれども、それがぴたっと元に戻るという現象は初めからない。だから、閉じたといっても部分的にどこかが接触していて閉じている。そういう問題です。

おっしゃったように、我々はくさび効果と言うんだけど、亀裂の中にくさびを入れたら、圧縮したら亀裂の先端に引っ張りの応力が出るだろう。亀裂面部分接触という問題で、それも山ほど解析してきたんだけど、ほとんど効果がない。京都大学の駒井先生が腐食性成物の効果が物すごく大きいということで論文を幾つか書いたんだけど、実際にはその効果はほとんどない。非常に悪い条件で大きなくさびを入れると先端の引っ張り応力が出るというケースは勿論あるけれども、実際の現象としてそれはない。

○宮主査 そういうふうに答えなさい。

どうぞ。

○山本原子力発電検査課長 ちょっと補足ですが、先生が御指摘のように技術的なところの解明は、確かにまだ残っている部分が当然あるんだと思います。小林先生の御指摘のような効果もあるんだと思います。

我々是对策の効果として、亀裂がある程度抑制できるだろう。これで完全に止まってしまうわけではないと思っておりますので、そういう面での不確実性は当然ありますから、私どもの資料にありましたように、対策をした後に継続的に亀裂の状況がどうであるかということの検査をすること

によって、対策の効果を後で確認していく。もしそこで問題があるのであれば、次の対策を検討するということになりますので、後で行う検査との組み合わせで対策の効果を見ていく、評価していくと御理解いただければと思っております。

○宮主査 どうもありがとうございました。

発生についてはそういうところだと思うんですが、亀裂進展の解析はどうですか。解析の仕方について保守的な解析をしますということが一番最後の資料の8ページで説明されました。実際は亀裂があってIHSIを導入すると、赤になっていて600MPaの圧縮です。そこから立ち上がっている曲線が本当の応力分布なんだけれども、これは使わないで、真ん中にある青の曲線を使います。この分布をそのまま使うということです。亀裂がどこにあったとしてもこれを使うわけです。その妥当性はということなんだけれども、今の下の赤と青を比較したら、保守的な進展解析になっているだろうというのが妥当性の根拠になるということです。こういうことで評価をした結果、進展はないということです。そういう理解でいいですか。

それについて何か御質問はございますでしょうか。

それはいいとして、塩化マグの強列な加速のSCC発生試験導入になっているわけです。それに基づいて亀裂が健全部にもちょっと発生したという話がありますけれども、そういうところは強調していいということですね。つまり実験サイドも安全側になっている、保守的になっている。その辺はどうでしょうか。

○庄子委員 少なくともこの辺は余り効果がないということです。つまり、冷やしたときの効果がクラックの周辺は余り期待できないんですね。

○説明員（徳間） 亀裂の周辺のところはまさに傘の下ということで、ここは効果がないということです。塩化マグでは割れたんですけれども、実機環境下で本当に割れるかということと必ずしもそうではないと思っています。

○宮主査 厳しい試験をしているということですね。

○説明員（徳間） はい。

○宮主査 どうぞ。

○小林先生 本当のディスカッションです。山本課長の御説明に反論するようで申し訳ないんですけれども、技術評価としてこれは非常に結構だと思うんですが、最後の資料36-2の5番目のただし書きに当面の間は抑制効果を確認するために亀裂の解釈に従った頻度による検査を行うことにするとあります。これは理由が必要だと思います。我々は技術的には非常にいい手法であって、問題なくて亀裂があっても大丈夫ですという技術評価をしているわけです。それにもかかわらず、やはり心配です。原子力は屋上屋を重ねる。要するに余りにやり過ぎだと思います。ただし書きを本当に全面に出したら、一般社会の人たちとか反原子力の人たちがやはり心配でしょうという議論に必ずなると思います。皆さんがやっても構わないというんだったら別に構わないんですけれども、やるとしたら抑制効果のどこが心配なんですかということを確認すべきだと思います。そうではなくて、検査で見ますというのは、検査であっても見る観点が違ってくるわけです。

例えば御質問があったように圧縮の残留応力を導入しても、それはやがて消えるのではないかと。

そういうことが心配だったら応力計測をすべきで、S C Cの進展をチェックしてもしようがない話だと思います。だから、これを採用するとしたら、やはり本当に何が心配ですかということを確認にさせていただいて、そういう心配があるからやはりこれをやりましょうという結論にさせていただきたい。私の意見としては何の心配もないから、これはやめた方がいいと思います。これがない方がむしろ社会的な説得になると思います。

○宮主査 どうぞ。

○山本原子力発電検査課長 技術的には確かに確立された手法であろうかと思っております。メーカーさんで確性試験が行われてこれだけのデータと解析の結果もあって、したがって、技術としては規制当局側としても基準の適合性があり妥当なものであると考えているところでございます。

先生のおっしゃるように、確かにここはS C Cの進展抑制効果と書いてございますが、恐らく確性試験でありますので、実機の適用はまさにこれからでございます。したがって、実機に適用して本当にそれが大丈夫であることを確認するために、当面の間とさせていただきます。何を確認するのか、それをいつまでにやるのかというのは当然必要な点でありますので、実機を適用したデータを我々として解釈をした上で、継続的な確認が不要という判断ができましたら、これを除外していくような対応をしたいと思っております。

○小林委員 ただ、保守的に亀裂の解釈に従った頻度による検査を行うというのは亀裂があると認めて、何にも対策になっていないという表現ですね。後半はなくて、何らかの確認行為が必要ですよというのは結構だし、多分事業者はそれをやると思います。だけれども、保安院の立場として亀裂の解釈に従った頻度による検査を行うというのは、言い過ぎ、やり過ぎではないかと思えます。

○山本原子力発電検査課長 この書きぶりにつきましては、検討させていただきます。確かにやや保守的で踏み込み過ぎた形になっております。むしろ対策の効果などを検証するためにという趣旨に変えていきたいと思えます。

○小林委員 お願いします。

○宮主査 どうぞ。

○野本委員 それに対して私もお願いがあるんですけども、新しい補修のようなもの、特に今回RNPからはそういうものが出てくる可能性があって、それは初めてだということで確認は必ずすべきだと思います。1回目か2回目かよくわかりませんが、必ず確認することとずっと続けてそれを維持するというのはちょっと別だと思えます。ですから、考え方をこの際に整理していただけるとありがたいんですが、新しい工法については必ず次回以降点検することは当然だと思いますが、小林先生がおっしゃるとおり、いつもするんだ、いつまでということをおある程度認識しておく、新しい技術が生まれやすいとか導入しやすいのではないかと思いますので、どうぞよろしく願いいたします。

○山本原子力発電検査課長 了解いたしました。

○宮主査 何かありますか。

○庄子委員 今回のものはこれで結構なんですけれども、先ほど塩化マグの試験等をもって確性試験というのは、S C Cからすると先ほどのオキサイドの話があると思えます。海水とか塩化マグで

やると、中にできるオキサイドはそんなにないんです。ところが、この水中でできるオキサイドというのはそれなりに早いですし、酸化物も硬い。これは実際にやりながら見ていくので結構ですけども、そこはやはり私が気にしているところです。

○宮主査 それでは、そんなところでよろしいでしょうか。対策 I H S I の適用に関して技術的に確性試験が実施されているわけですけども、技術的な妥当性は十分と言ってもいいかもしれないです。確証されているという評価をこの場では下していいということです。それでよろしいですね。

(「異議なし」と声あり)

○宮主査 どうもありがとうございました。

貴重な御意見ありがとうございました。

それでは、今後の予定について何かございますでしょうか。

○石垣統括安全審査官 御審議ありがとうございました。

もし資料等々で気になる点がありましたら、また事務局へお願いします。後ほどでも結構ですので、1週間ぐらいの間に御連絡をいただければありがたいと思います。

それから、次回のワーキンググループについては、別途個別に御相談をさせていただければと思っております。よろしく願いいたします。

○宮主査 それでは、第 36 回の「検査技術評価ワーキンググループ」はこれで終了とさせていただきます。どうもありがとうございました。

問い合わせ先

経済産業省原子力安全・保安院原子力発電検査課

TEL:03-3501-9547

FAX:03-3501-1848