

## 第 76 回破壊靱性検討会 議事録

1. 日 時:平成 29 年 7 月 26 日(水) 13:30~16:00

2. 場 所:航空会館 801 会議室

3. 出席者(順不同, 敬称略)

○出席委員

平野主査(IHI), 廣田副主査(MHI), 秋山(四国電力), 伊藤(中部電力),  
上坂(東京電力 HD), 大厩(関西電力), 勝山(JAEA), 橋内(NFD),  
曾根田(電中研), 辻(富士電機), 中川<sub>(健)</sub>(日本原電), 蓮沼(電源開発),  
長谷川(発電技検), 廣川(日立 GE) (計 14 名)

○代理出席者

村上(MHI・堤委員代理), 吉岡(中国電力・中川委員代理),  
羽田野(東芝・内橋委員代理) (計 3 名)

○常時参加者

船田(規制庁), 神長(東京電力 HD), 山本<sub>(真)</sub>(電中研) (計 3 名)

○欠席委員

相澤(日本製鋼所), 岩崎(関西電力), 高本(MHPS), 田川(JFE),  
野崎(九州電力), 山崎(JANSI) (計 6 名)

○オブザーバ

佐藤(IHI), 板谷(東芝) (計 2 名)

○事務局: 飯田, 大村(日本電気協会) (計 2 名)

4. 配付資料

資料 76-1 委員名簿

資料 76-2 第 75 回破壊靱性検討会 議事録(案)

資料 76-3 「確率論的破壊力学に基づく原子炉圧力容器の破損頻度の算出要領」構造分科会意見に対する回答

資料 76-4 確率論的破壊力学に基づく原子炉圧力容器の破損頻度の算出要領 JEAG4640

5. 議 事

(1) 代理出席者の承認, 会議定足数の確認, 配付資料の確認

事務局より代理出席者 3 名及びオブザーバ 2 名の紹介があり, 主査の承認を得た。出席委員数は代理出席者を含めて, 検討会決議に必要な条件(委員総数(23 名)の 3 分の 2 以上の出席)を満たしていることが確認された。また, 配付資料の確認があった。

(2) 前回検討会議事録(案)の確認

事務局より資料 76-2 に基づき, 前回破壊靱性検討会の議事録(案)の紹介があり, 一部を修正して, 承認された。

・P4 下から 13 行目:長崎技術科学大学→長岡技術科学大学

(3) 確率論的破壊力学に基づく原子炉圧力容器の破損頻度の算出要領 構造分科会意見対応について

## 1) 指針案改定版の確認

副主査より、資料 76-4 に基づき、前回検討会のコメントを受け、PFM WG で検討した指針案の修正版について説明があった。

(主な検討、意見、コメントは以下のとおり)

○(亀裂)伝播と進展が使用されているが、使い分けがあるのか。

→ $K_{Ia}$ は亀裂伝播停止、その他は進展、停止としている。

・維持規格の最新版を確認し、維持規格に合わせる形とする。

○P9: PFM-5220:「～再サンプリングを行う必要はない。」としているがなぜか。

→破壊靱性については、亀裂が多少進んだとしても基本的には同じ組成で、大きく破壊靱性に影響する因子が変わることはないという前提で再サンプリングは行わないとしている。

・ワイブル分布とすると、亀裂前縁の weakest point がどうなっているかに依存して生じる確率分布なので、亀裂が進展すれば、進展した先でも、ワイブル分布の中で、どこで壊れるかが変わるのではないか。 $K_{Ic}$  と  $K_{Ia}$  の相関を同一にするのは良いが、板厚方向のばらつきでパーセンタイルが同一で良い理由は何か。

→FAVOR と PASCAL の考え方で、母材については、 $K_{Ic}$ 、 $K_{Ia}$  の再サンプリングは亀裂の進展中にはしない。

・FAVOR も、新しい PASCAL もワイブル分布から直接破壊確率を計算していて、破壊靱性値のサンプリングはしていないのではないか。

→亀裂が進展したと判定後の亀裂進展中の計算すなわち CPF での計算では、 $K_{Ic}$  と  $K_{Ia}$  についてサンプリングしている。過渡中に再発生する可能性があるためである。

→亀裂が発生したと判定される過渡中のある時点で、亀裂が発生したと判定されたらそこから進展計算をしなくてはならず、そこで亀裂が伝播停止するかどうかを判定する。亀裂伝播停止が生じた場合には、さらに過渡が進展して亀裂進展が再発生するかどうかを含めて計算することになるので、その発生したと判定された時点で、 $K_{Ic}$  の累積分布確率をサンプリングする。それと同じサンプリングの結果を使って、 $K_{Ia}$  がその確率に準じた値を持つとして扱われる。その  $K_{Ic}$  と  $K_{Ia}$  と応力拡大係数との比較がなされることになる。

・トランジェントの時間が過ぎていくと、温度が変わり、 $K$  の値と破壊靱性の値が変わってくるので、それを考慮した計算を行うということか。

→そのとおりである。

・ $K_{Ic}$  のサンプリングについて、モンテカルロ法等の場合、ワイブル分布に従った  $K_{Ic}$  を何回もサンプリングして、CPI を求める方法がある。その方法はすでに PASCAL で採用しておらず、 $K_{Ic}$  の式をそのまま与えて、破損確率が出てくる。

→FAVOR, PASCAL とも CPI の計算では、モンテカルロ法等によるサンプリングは行っていないが、CPF を求める際、亀裂の進展計算が必要になるので、そこでは  $K_{Ic}$  と  $K_{Ia}$  についてサンプリングをしている。

・化学成分が一緒としてもモンテカルロ法等で  $K_{Ic}$  をサンプリングしているのか。

→そのとおりである。

・FAVOR は  $K_{Ic}$  の評価はサンプリングをしていないと思われる。どういう風に計算するかを表があって、亀裂が発生した時に、その後亀裂が伝播して、破損確率の掛け算を時刻歴ごとに採っていく際、 $K_{Ic}$  はモンテカルロ法等を使っていなかったと思う。

・CPF の計算をしても計算時間が早いので、モンテカルロ法等によるサンプリングは行って

いないと思われる。

→母材については、亀裂が進展したと判定された後に 1 回だけサンプリングして、その後はしていないはずである。

・ $K_I$  と  $K_{Ic}$  の比較の仕方が変わるということか。一旦亀裂進展が開始したと判定された時には、そこから先は破壊靱性値をモンテカルロ法等でワイブル分布に基づきサンプリングして、解析的に、 $K_I$ と比べて確率を計算しているということか。

→そのとおりである。

・サンプリングする必要がないのではないか。そこに亀裂があるだけであり、ワイブル分布と  $K_I$ を比べるだけである。なぜそこでモンテカルロ法等をやらなくてはいけぬか。

・ $K_{Ic}$  が決まっていれば、進展した亀裂が止まる条件として  $K_{Ia}$  も決まっているので、計算は逐次  $K_I$  がどれだけ変わるかを求めて、 $K_I$ と  $K_{Ia}$  がクロスするかどうかを判定するだけだと思った。どのタイミングで  $K_{Ia}$ と  $K_{Ic}$  をサンプリングするのか。亀裂進展が始まったものに対し、 $K_{Ic}$  は関係ないはずである。 $K_{Ia}$ を都度  $K_I$  が変わるたびに再サンプリングするというのも、理屈が違うかと思う。

・亀裂進展開始と判定された後、亀裂形状は二次元亀裂に置き換えられるので、そういうことであれば、 $K_{Ia}$ と  $K_{Ic}$  を再サンプリングする考え方は理解できる。

・サンプリングという言葉がいろいろな定義で使われている。単純にある条件で計算する時にはサンプリングとは言わない。

→サンプリングとは、ある分布にしたがって確率変数を取り直すことを言っている。

・確認いただきたい。FAVOR と PASCAL だけでなく、誰かがプログラムを作るかも知れない。破壊靱性値と  $K_I$  の比較をする時、モンテカルロ法等によるサンプリングを行うかも知れない。

○板厚内で、 $K_{Ia}$ と  $K_{Ic}$  について同じパーセンタイル値をサンプリングするとはどのような意味か。サンプリングではなく、同じパーセンタイル値を持つてくるのではないか。なぜ破壊靱性値がワイブル分布するかを物理的に考えると、サンプリングした方が良いのではないか。

・亀裂進展と判定された後は再サンプリングした方が良いと思われる。

→検討する。

・「両者で同一のパーセンタイル値をサンプリングする。」は「両者で同一のパーセンタイル値を用いる。」としたらよいのではないか。

・ $K_{Ia}$ と  $K_{Ic}$  の分布型については記載があった方がよいのではないか。

・FAVOR の方法で説明すると、母材については、板厚を通じて同じ  $K_{Ic}$  と  $K_{Ia}$  を用いた亀裂進展計算が行われる。溶接部については、亀裂が進んだら、板厚の 1/4 ごとに、サンプリングが行われて、新たに  $K_{Ic}$  と  $K_{Ia}$  を取り直して進展計算が行われる。PASCAL では、その根拠がはっきりとしないこと、国内の評価でそのような考え方がないことを踏まえて、現状ではその機能は入れていない。

・P9 で化学組成は再サンプリングしないというのであれば、それはそれで良い。P9 では何のサンプリングをしているか分からない。もう少し検討されたい。

・P9 PFM-5220 で「亀裂貫通に至るまで」は「亀裂伝播停止又は亀裂貫通まで」。

・この再サンプリングは後ろの記載と合っているのか。

→ここは言葉足らずであった。化学成分と照射量の再サンプリングを行う必要がないことを記載している。

・再サンプリングしないのは何かを明確に書くこと。

OP 附 B-11「計算値」の表現は「計算値」が良いか、「評価値」が良いか。

→現状の「計算値」が良い。

・「～分析値に設定する。」→「～値又は～分析値。」で良い。

→語尾を修正して、統一する。

・P 附 C-1 C-2000「～頻度を設定する」→「～頻度を用いる」

・C-3000 2 行目: その間隔と記載されているが、これは時間間隔である。メッシュの間隔は言及しなくて良いか。時間とメッシュ、両方注意が必要と書いた方が良い。

・PTS 事象は 30 秒間隔で温度を採れば良いのか。30 秒は大きいような気がする。

→事象によっては 2 分の間にながってしまうことがある。

→きちんとピークを拾わないといけない。

・EDF と EPRI とベンチマークをやった時、時間間隔は 1 秒を使用した。30 秒は長い。

→亀裂評価位置にもよる。わりと浅い位置に亀裂がサンプリングされた時は非常に短い時間にピークが出て、過ぎ去ってしまう。

・1/4t であると、30 秒で良いかも知れない。

→ベンチマークの時、確率が合わなくて確認すると、過渡のシミュレーションが合っていないくて、時間も空間もメッシュが違うとなった。ここは注意すべき点である。

・P 解-10  $RT_{NDT}(r, \dots)$  の表記はこれで良いか。また、どのように計算するのか。

→ $RT_{NDT}(r, \dots)$  の表記は FAVOR のマニュアルのとおりであるが、表記を変更する。計算等の詳細は参考文献を引用している。

・FAVOR のマニュアルで、SI 単位が載っているのであれば、SI の式を載せた方が良い。

・P5 フローチャートで、線を超える時は丸くしないで良いか。

・P7 3300 の下から 5 行目、「～場合等～場合」は表現がくどい。照射脆化の平均的なカーブを想定していて、それを用いれば良いとすれば良い。

→解説に記載する。

・P9 5230: 「塑性崩壊と判定される状態」と記載されているが、「0.8 倍に達した状態あるいは以下の式を満足する場合」で良い。

・式番号が必要である。

・P 附 B-16: 打切りの取扱いを破壊靱性の欄に記載して良いか。

→破壊靱性に入れた理由は、項目が破壊靱性に効くものであるためである。ここに記載することで統一した。

・破壊靱性値  $K_{Ic}$  の下限値はないのか。

→ $K_{Ic}$  の時には  $a_k$  より小さければ破壊とは判定されない。

・P9: 不等号であるが、「=」は不要か。JEAC4206 を確認した方が良い。

→拝承。

## 2) 構造分科会意見に対する回答について

副主査より、資料 76-3 に基づき、構造分科会意見に対する回答の見直し箇所について説明があった。

(主な検討、意見、コメントは以下のとおり)

・No.4～18 をコメントした委員と個別に調整した結果、保留意見として No.11, 13, 15, 17 が残っている。

・No.3 の安全設計分科会のレビューの件は、実施しない方向で了解されたか。

→メールでのやりとりでは ok であった。

・資料のタイトルが「～解析要領」となっている。

→修正する。

○7月27日に、No.4～18をコメントした委員と再度調整する予定であるが、その結果を反映して修正した指針案を構造分科会に上程することについて、特に異議なく承認された。

・再サンプリングの件を含め見直した案を副主査から委員へ送付することとなった。

・指針案は、(10月の原子力規格委員会上程を目指して)9月に構造分科会に上程するのではなく、11月に開催予定の構造分科会に上程することとなった。本件はエディトリアル  
の範囲を超えた変更であり、再審議が必要。上程の際には比較表も準備する。

#### (4) その他

##### 1) 監視試験 WG の件

主査より、監視試験 WG を1度開催したが報告事項なしと紹介があった。次回は9月1日に開催予定。

##### 2) 次回検討会

・10月4日(水)

以上