

## 《福島第一原発事故、「課題1」検証の現状》

「3者打合せ」で浮上してきた新たな重要問題

# シビアアクシデント進行時、原子炉圧力容器主フランジの「シール機能」は維持されていたか？

新潟県技術委員会委員、元国会事故調委員 田中三彦

### はじめに

新潟県技術委員会(以下、技術委員会)が福島第一原発事故(以下、福島事故)の本格的検証作業に入ったのは2013年秋、以来すでに約7年半が過ぎた。検証は6つの課題に対して行われてきた。ご承知の方も多いと思うが、技術委員会の委員が各課題に2~4人「コア委員」として就き、そのコア委員と東電が議論しながら検証する「課題別ディスカッション」という名の分科会方式が採られてきた。以下が6つの課題である(注1)。

- 課題1 地震動(注2)による重要機器の影響
- 課題2 海水注入等の重大事項の意思決定
- 課題3 東京電力の事故対応マネジメント
- 課題4 メルトダウン等の情報発信の在り方
- 課題5 高線量下の作業
- 課題6 シビアアクシデント対策

以下では、このうち私がコア委員として関わっている「課題1」に関するディスカッション(以下、「課題1D」)における検証作業の現状を報告したい。

### 公開の課題1Dから非公開の「3者打合せ」へ

課題1は、福島事故をなんでも“津波”だけで説明しようとする世の中の動きに対して、たとえば重要な機器や配管が地震による強烈な揺れで破損しなかったか、そしてそれが事故の全体像に大きな影響を及ぼしていないかという、当然の問題意識から生まれている。しかし、津波vs地震という構図もまた、

それはそれで思考の範囲を狭めてしまい問題だ。たとえ事故のきっかけが津波の襲来であろうと、あるいは巨大地震に起因する機器・配管類の激しい揺れであろうと、その後の事故の進展には、津波や地震と無関係な別の因子が大きく関わっていた可能性がある。たとえば、シビアアクシデント時の“超”高温環境下における材料強度の問題、あるいは保安規定や運転操作手順書が遵守されたかどうか、などはそれにあたるが、私はそうした問題もこの課題1Dで積極的に議論すべきであると信じ、実際にそうしてきた。そのような議論は検証作業を長引かせるだけ、との批判があることも承知しているが、課題別ディスカッションの福島事故検証は、あの事故から柏崎刈羽原発を抱える新潟県が何を学ぶべきかを唯一の目的として、福島事故の原因究明のための検証ではない。潜在的危険因子を議論しないで柏崎刈羽原発の再稼働を許すことはできない。

さて、重要問題の議論はあくまで公開で行われるべきだと、私は考えている。その考えが受け入れられたからかどうかわからないが、他の課題別ディスカッションが原則非公開で行われてきたのに対して、課題1Dは公開を原則としてきた。しかし、回を重ねるにつれ、公開の場での議論ゆえに肝心の議論が深まらないことも身にしみて感じてきた。議論を深めるのに必要な東電非公開資料を東電に開示してもらえなかったり、東電と徹底的に議論ができなかったり、といったことがあるからだ。

昨年はじめ、技術委員会事務局に以上のような話

を伝えたところ、技術委員会の中島健座長の承諾をいただき、昨年4月から、ほぼ毎月一度のペースで、技術委員会事務局立ち会いの下、東電に非公開資料を見せてもらいながら、東電と私が一対一で議論するということが行われている。この「3者打合せ」で議論していることは、そのほとんどが公開の課題1Dですすでに議論ずみのことだが、この3者打合せでは、非公開資料を参照しながら、それまでの東電の説明に問題がないかを細かく議論してきた。

以下が、最初の3者打合せで当方から提示した「議論予定項目」である。ただし、これらはかならずしも独立した問題ではない点に注意が要る。とくに①～④は、場合によっては、相互に因果関係を有している可能性がある。

- ① 1号機原子炉圧力測定データの信頼性
- ② 1号機原子炉SR弁不作動の可能性
- ③ シビアアクシデント下における1号機原子炉圧力容器主フランジのシール機能
- ④ 地震発生直後の1号機原子炉建屋4階における出水事象
- ⑤ SBOと津波遡上の関係(とくに1号機)
- ⑥ 2号機PCVの地震による破損の可能性
- ⑦ 運転手順書、保安規定に関するいくつかの確認

課題1Dの検証作業の一つとして、じつは昨年4月からこのような非公開の議論の場がもたれてきたことは、本年3月18日に新潟で開催された第13回の課題1D(新型コロナ問題のため、傍聴はマスコミ関係者にだけ許可)において公表されているので、現在はいわば公知の事実であり、また当日私のほうからそれまでの議論内容の概要を「3者打合せ時点報告(2020.03.18)」として説明してもいる。ただ、その時点報告以上の詳細をいまここに記すことはできない。細かい議論の多くが、私が第三者に公表することを禁じている東電の非公開文書にもとづいてなされているからであり、また、もともと非公開の議論を勝手に私がここで全面的に公開するわけにも

いかない。

そこで、以下では、前述の「3者打合せ時点報告(2020.03.18)」の中の、とくに私が柏崎刈羽原発再稼働との関連で重要な問題であると考えている「シビアアクシデント下における1号機原子炉圧力容器主フランジのシール機能」(前記③参照)について、私自身が前々から有する知識だけをもとに少し詳しく書いておこうと思う。

なお、もう一つの重要問題、⑤「SBOと津波遡上の関係」については、前出の第13回課題別ディスカッションにおいて議論され、それをもとに、6月5日に開催された技術委員会(県外委員はオンライン参加)において「時点報告」<sup>(注3)</sup>されているので、紙幅の関係もありここでは取り上げない。

### 1号機原子炉圧力容器主フランジのシール機能は維持されたか?

この問題③は過去の課題1Dで議論されてはいない。にもかかわらず、あえて3者打合せの議論予定項目に掲げたのは、じつは事故直後から個人的にはひじょうに気になっていた問題だったからだ。気になっていながら国会事故調においても課題1Dにおいても議論しなかったのは、国内、国外を問わず、この問題がメーカー技術者や専門家の間でまったく議論されないのは何かそれなりの理由があるにちがいないと思い、なんとなく躊躇してしまった。それでもし何か理由があるなら尋ねてみたいと思い、3者打合せの予定の議題に掲げた。

しかし、前述の「3者打合せ時点報告(2020.03.18)」に記したように、東電によれば、「主フランジからの水蒸気や放射性のガスの漏えいの可能性もあるとは考えているが、とくにそれを詳しく検討したことはない」のだという。可能性はあるが検討したことはない——これはじつに驚くべき話である。

原子炉圧力容器(以下、RPV)は、福島事故以前、原発推進派が声高に説いていた例の「原発は5重の壁で守られている」によれば、燃料ペレット、燃料被覆管、につぐ「第3の壁」である。私は、1970年代

前半、その第3の壁の設計実務に従事していたおりに、福島第一原発4号機の主フランジの詳細設計に深くかかわったことがある。45年以上前のことから重要なこと思い出せないことがいくつもあるが、ここに示した図は私の記憶と一般に公開されている関連資料などをもとに描いた「RPV主フランジ」の概略図である。この図はとくに1号機のものということではないし縦横比なども適当であるが、これを使って私が気になっている問題を少し詳しく説明する。

内部に核燃料を有する「胴体」部と燃料交換などの際に取り外される「上蓋」は、運転中は図のような形で植込みボルトとナットにより「フランジ結合」している。この「RPV主フランジ」の構造上の最大の特徴は、上蓋フランジと胴体フランジの接触面（シート面）の専用収納溝に2体の金属製中空Oリングが楕円状に潰れた状態で収まっていることだ。そして、シート面には、この潰れたOリングからの反力により、RPV内部から高温高圧の蒸気が漏出することを防ぐ「シール機能」が生み出されている。ちなみに、中空Oリングは、私が知る範囲では、通常、断面直径が半インチ（約13ミリ）、厚みは1ミリ前後、材質はニッケル合金、表面に銀メッキがほどこされている。

Oリング収納溝の高さは、Oリングの直径よりほんのわずかに（およそ1ミリ前後）小さい。つまり、Oリングの潰れは、せいぜい1ミリ程度だ。しかし、上蓋フランジは十分に大きなボルト締め付け荷重（引っ張り応力）によって抑え込まれているので、運転中、Oリングの反力が極端に小さくなったり、Oリングとフランジ面との間にすき間が生じたりするようなことはない。

以上が主フランジの構造と、そのシール機能の仕組みのごく簡単な説明だが、では、福島事故のようなシビアアクシデント下においても主フランジのシール機能が維持されたかとなると、話はそう単純ではない。主フランジのシール機能を維持している中心的構造物は植込みボルトである。前述のように、このボルトには、運転中に原子炉の大きな内圧力を

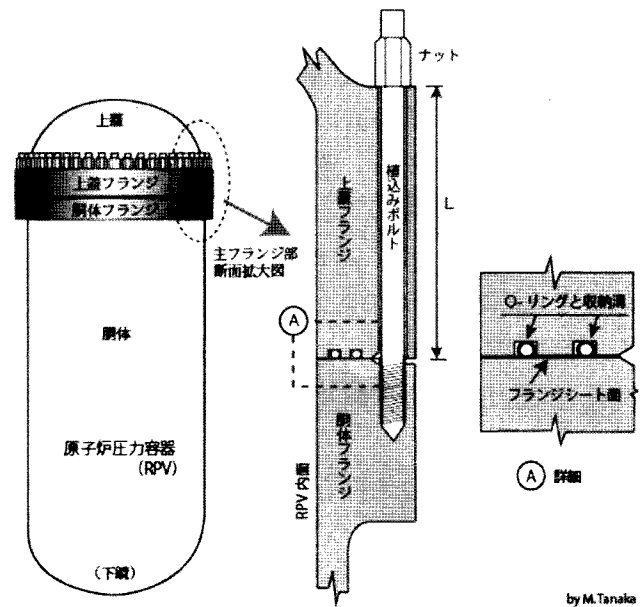


図 原子炉圧力容器(RPV)の主フランジの概略構造

受けて上蓋が少しでも持ち上がることがないように、上蓋を閉じる際、あらかじめ十分に大きな締め付け荷重（引っ張り荷重）が与えられている。しかし、こうした仕組みは、あくまでRPVの設計温度（302℃）と最高運転圧力（約7MPa）を前提にしての話である。事故の様態がシビアアクシデントに移行すれば、炉心温度はどんどん高くなり、炉心溶融により最終的に原子炉圧力容器の底部に穴が開く頃の炉心温度は3000℃ 近くになっている可能性がある。したがって、炉心からの輻射熱で主フランジの温度も、シビアアクシデントの進行にともないどんどん上昇していったと考えられる。

そのようなひじょうに厳しい温度環境下では、ボルトにかかっていた初期締め付け荷重（引っ張り応力）が、ボルト内部で生じる高温クリープ変形による「ストレスリラクゼーション（応力緩和）」により、かなり短時間のうちにゼロにまで低下してしまう可能性がある。そしてこうした締め付け荷重減少過程のいずれかの時点から、もはやRPV主フランジのシール機能は維持されなくなり、主フランジシート面から水素を含むきわめて高い温度の高圧ガスが大量に噴出する可能性がある。

仮に、RPV主フランジからこのようなダイナミックな高温高圧ガスの噴出が起きれば、RPV主フ

ランジのすぐ近くには、格納容器(PCV)の「本体」(ドライウエル)と「上蓋」を接続しているPCVトップフランジがあるので、このフランジに使われているシリコン製のOリングが高熱でたちまち損壊し、そこから高温ガスが格納容器外へと漏出し、「ウエル」を経由して、最終的には上階のオペレーティングフロアへと拡散する可能性がある。

私は、とくに1号機のRPV主フランジのシート面から、こうしたダイナミックなガスの噴出が起きたのではないかと考えている。直接的“物証”はないが“傍証”はいくつかある。その1つは、3月11日の20時07分に、1号機の原子炉圧力(炉圧)が6.6 MPaから7.2MPaの間でさかんに変動していたことだ。この事実は、吉田昌郎第一原発所長(当時)が、福島県知事等、各自治体の長に送付したファックスに記録されており、東電によれば、この値は運転員が1号機原子炉建屋2階の計測ラック内に設置されている炉圧測定用の「ブルドン管圧力計」の針の指示値を読んで得たというが、たまたま運転員が炉圧を測定したこの時刻においてのみ、このような圧力変動が起きていたと考えるのは常識的ではない。20時07分より前から、そして20時07分のあとも、この変動は起きていたと考えるのが常識的だろう。ではいったい何が起きていたのか？

東電のMAAP解析(コンピュータによる事故進展解析)の最新版によれば、この時間帯はすでにシビアアクシデント進行の只中にあり、原子炉水位はBAF(有効燃料底部)を切っている。したがって、炉心温度はかなり高温で(局部的には3000℃に近い温度)、その輻射熱を受けてRPV本体もそして主フランジもひじょうに高い温度になっていたと想像される。したがって、運転員が20時07分に観測した炉圧の変動とは、1号機の主フランジのシール機能が失われたあとの炉圧変動の一断面、と推測することが可能だろう。

なぜ変動するのかに関してはいまのところ正確に説明することはできないが、0.6MPa(約6気圧)という大きな炉圧変動幅が関係しているように思える。たとえば、RPV内の蒸気を格納容器の圧力抑制室

に一気に排出する主蒸気逃し安全弁(SR弁)による炉圧調節においても、その変動幅はせいぜい0.3MPa程度だから、観測された変動幅はその倍近くもある。このような大きな圧力変動が起きていたことは、RPVのどこかからかなり大量のガスが外部に放出されていたことを推測させ、そのようなことを可能にするのはRPV主フランジからのガスの漏出以外にはないように思える。なぜ変動するかについては、まだうまく説明できないが、たとえば、炉圧が一気に下がればそれによりRPV主フランジのシール機能がごく短時間だが少し回復し、それにより炉圧が上昇し、その結果またシール機能が失われ…というようなことが繰り返されたのかもしれない。

## おわりに

以上は、1号機のRPV主フランジの、シビアアクシデントという異常に高い温度環境下でのシール機能喪失の可能性という問題の大まかな話だが、この問題の根本にあるのは、「植込みボルトの材質」である。RPV主フランジの植込みボルトの材質は、私の知る範囲では、ASTM規格のA540 Gr.B24あるいはそのJIS相当材である。高張力鋼として知られるこれらの材料は、基本的に、クリープ変形が問題になるような高温領域で使用されることは想定されていない。実際、ころもみにA540 Gr.B24のクリープ特性の研究が行われているかどうかをインターネットで調べてみると、ほとんどこれといった研究も実験もなされていない。そういう材料がRPV主フランジのボルト材として使われていることが、最大の問題である。

シビアアクシデント下でRPV主フランジのシール機能が維持されるかどうか。この問題は福島1号機特有の問題ではない。柏崎刈羽6、7号機のような改良型もふくめ、今後再稼働が予想されるすべての沸騰水型炉に共通する潜在的危険因子として、ボルト材を変更する、RPV主フランジからの高温ガスの噴出にそなえて格納容器トップフランジを格納