

## 原発の材料劣化と地震による損傷

井野博満

柏崎刈羽原発は設計基準を大きく超える地震動に見舞われ、敷地は波打ち、陥没し、ダクトはひん曲がり、タービン建屋傍の変圧器での火災も起った。しかし、原発の「核反応を止める」「炉心を冷却する」「放射能を漏らさない」という機能はほぼ確保できた、これは設計に余裕があったからだと言う。本当だろうか。危機一発だったのではないのか。

### 設計というのは、設計者が予測できないことが起こりうるので余裕をみて設計する

定員を超える人が乗ったからとしてエレベーターがすぐ落ちるわけでないし、重量オーバーのトラックがつぶれるわけでもない。しかし、そういう危険があるから乗せてよい重さを決めてある。地震の場合も同じである。耐震基準を超える地震動を受けたからといって建物が壊れるとは限らない。もしかすると姉齒建築士が建てた耐震強度が基準の1/3しかないマンションも地震で壊れないかもしれない。しかし、壊れる危険があるから、そういう建物は建ててはいけぬ。原発も同じだろう。いや、その災害の大きさを考えたら、もっと厳しく考えなければいけぬ。今回、危機一髪で助かったからと言って、この原発は安全なのだということにはならない。耐震基準が間違っていたのだ。

設計基準以上の地震動で揺さぶられたけれども、「安全余裕がとってあったから重要機器は損傷を受けていないかもしれない、調査して損傷が見つからなければ再稼働しよう」というのが本音のようである。しかし、調査が始まったばかりの現段階で、すでに機器の損傷を示唆する事実があちこちで見ついている。7号機で制御棒が引き抜けなくなった、6号機でタービンの羽根に傷がついていた、5号機では燃料棒が引き抜けぬ、再循環配管や主蒸気管を吊るすハンガーのゼロ点が狂った（配管の変形を示唆）などである。原子炉建屋やタービン建屋が不等沈下し、地表の惨状に比べればわずかではあるが傾いているのも不気味だ。

### 機器は地震によってどのように損傷するか

機器は地震によってどのように損傷するか。地震動によって機器に力が加わり、機器を構成する金属材料が歪む（ゆがむ）ことによってである。

金属材料は、ある力（降伏応力）までは弾性変形し、力を除くと元に戻るが、それを超えた力を受けると塑性変形し元に戻らなくなる（後で示す図1参照）。材料がこのような塑性変形を起こすことは設計上通常は認められておらず、そのような変形（歪み）を受けた機器や材料はもはや使用すべきでない。

### ワーキンググループでの驚くべき議論

ところが、被災した柏崎・刈羽原発の設備健全性を評価する委員会（ワーキンググループ）では驚くべき議論がなされている。少し長くなるが議事録からそのまま引用しよう<sup>(1)</sup>。

小林（英）委員 さっきから皆さんから、耐震基準だとか設計基準に照らした検討、それも必要だと思うんですけど、私はむしろ、今まで想定していない非常に大きな地震を経験して、それでいて何が起きていますかとい

うその評価が一番重要だと思うんですね。具体的に言ったら、今のいろいろな設計だとか解析で、裕度というのが非常に大きく入っているわけですね。それを一切除外する。それから、材料強度だったら、規格最小値というのは、そういう使い方が現実にはしていないわけですね。そうではなくて、実力としてどんな強度をそもそも持っているのか。そういうことで、今の非常に大きな地震を受けて、一体構造としてどんな挙動をしているのかと。IAEAの指摘がまさにそうだと思うんですね。どのように耐えたか、それが基本的には一番重要だと思うんです。それがわかってくると、多分それは、後の話として耐震基準とか設計基準の見直しということに役に立つ。そういう意味で、できるだけ従来の規制だとか規格にとらわれない技術、最新の科学技術で実力値を使って評価を是非実行していただきたい。それが希望です。その意味は、多分降伏点を超えて塑性変形するとかで、損傷、損傷という言葉が出ていますけれども、それは多分違うと思うんです。非常に大きな塑性変形を受けたとしたら、かえって強くなるという問題で、損傷という心配はむしろないと思うんです。それは従来の耐震基準とか設計基準の中ではそういう考え方はないわけです。ないけれども、我々、日本にいますと、こういう想定外の地震を受ける。大橋先生はあり得ないと言いましたけれども、私はこういうのを2回、3回経験するのではないかと考えているわけです。では、2回、3回経験するということに対して、我々が本当に2回目は大丈夫ですよということを言い切れるかどうかという問題。そういう新しい視点を入れていくべきだと思うんですね。それで、現在の機器に何が起きていますかという現在の我々の持っている科学技術でベストの答えを是非期待したい。逆に言うと、我々はそういう観点からは幾らでもお手伝いできますということだろうと思うんですね。要するに、耐震基準とか設計基準という話は、その後の話にしていただきたい。現状の耐震基準とか設計基準でいいとか悪いとかという話は、ほとんど今の問題に対して役に立たないと思うんです。アウトという答え以外出てこないのであって、それを是非お願いしたいと思っています。

関村主査 ありがとうございます。非常に重要な御指摘でございますので、今後、予断をもちず進めていくという中で是非取り込んでいきたいと考えています。

この発言の問題点は2つある。

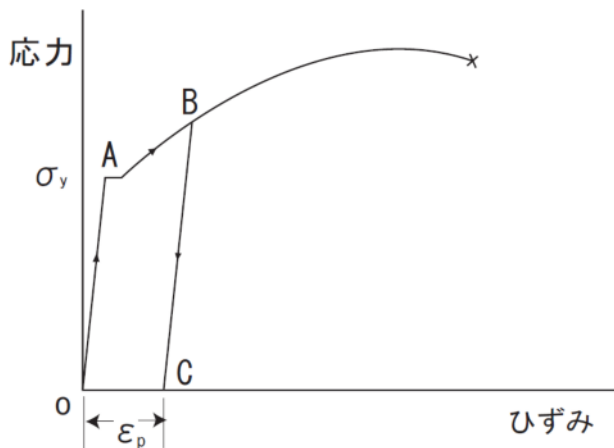
### 機器の「実力値」？

1つは耐震基準とか設計基準とかは後の話にして、機器の「実力値」で評価をやるよ、そういう新しい視点を入れてベストの答を期待したいと言っていることである。平たく言えば、耐震基準や設計基準ではアウトという答え以外出てこないけれども、実際はセーフなんじゃないのか、そういう新しい考えで評価せよ、と読める。これは安全性を無視した非常に危険な考え方ではないか。

### 地震で材料は強くなる！

もう1つは、「損傷、損傷という言葉が出ていますけれども、非常に大きな塑性変形を受けたとしたら、(金属材料は)かえって強くなるという問題で、損傷という心配はむしろないと思うんです。」と発言していることである。これは本気だろうか？

図1に示すように、塑性変形をすると材料の変形応力(材料が耐えられる力)はAからBへ大きくなり、材料は強くなったように見える。しかし、さらに塑性変形を続ければ材料は×印の破断点へ向かうのであって、B点はその途中まで進んだことを意味する。このように塑性変形を受けた材料は破断までの余力が減ってしまう。破断までの余力が減るということは、材料が外部の力(地震動など)を吸収できなくなることを意味する。この吸収エネルギーは耐震設計においても重要なファクターであり、吸収エネルギーが減ればそれだけ弱く、脆くなってしまふのである。



## 金属材料の応力とひずみの関係

図1 応力ひずみ曲線（金属材料に力をかけたときの変形の様子）を模式的に示す。点Aの降伏点までは弾性的に変形し、そのち塑性変形を起こす。変形が進むと硬くなり変形に要する力は大きくなる（点B）、さらに変形を進めると破断する（×印）

塑性変形によって金属材料は強くなるのではなく、硬化するのである。硬化というのは脆くなることへのステップである。動脈硬化を起こしたとき誰も血管が強くなったとは言わない。こういう金属材料は塑性変形で強くなる、損傷という心配はないというような認識で健全性を評価されてはたまらない。

### 「たわごと」が方針になった

このワーキンググループでの会合を傍聴していて、単に一委員の「たわごと」に過ぎないかとも思ったが、驚いたことに原子力安全保安院はこれを真に受けて今後の評価に取り入れるというまとめを行っている。「第1回運営管理・設備健全性評価 WG 資料に対する意見等を踏まえた対応について（その1）」（2007.10.2）で次のように質問を要約し、保安院として答えている。

問 経験した地震に対して、機器が実力としてどのような挙動をしたか、どのような応答をしたかについて確認する必要がある。どうして耐えたのか、塑性化すると強度は増す。規格にとらわれない実力値で評価するといった新しい視点をいれた評価を期待する。その結果が耐震基準、設計基準に役に立つ。（小林委員）

【答】外観上特に損傷が認められない機器について、地震による応答が認可された工事計画上の耐震設計における許容応力を超える場合には、御指摘のとおり、機器の実力としての評価を行う必要があると考えている。

一体どういう評価をやらうとするのか。何が解るといふのだろうか。機器に塑性変形（ひずみ）があってはならない、塑性変形した機器や材料はもはや使うべきでない。これは鉄則であろう。それを踏みはずすといふのだろうか。

## 原子力安全・保安院の「点検・評価計画」

さて、原子力安全・保安院は、11月9日付けで「点検・評価計画」を発表し、それを東京電力に指示した<sup>(2)</sup>。それによれば、点検・評価の対象は電気事業法に基づく工事計画書に記載された全ての設備を含むとしている。また、点検・評価の方法は、目視点検や非破壊検査などの実物の検査と計算による発生応力の解析の両面から行うとしている。

単純化したモデルを立ててコンピュータによって発生応力を計算した解析結果がどの程度本当なのかはいつも議論になるところである。コンピュータによる解析だけで大丈夫だということはできないので、現実とのつき合わせが必要になる。それが目視点検であり非破壊検査である。

しかし、目視点検や非破壊検査で解ることは限られている。機器にひび割れが生じていれば、超音波検査 UT や浸透検査 (PT) などの非破壊検査で見つけ出すことが可能である。しかし、そこに至る途中の塑性変形 (ひずみ) をこれらの方法で見つけることはできない。原理的には X 線回折検査でひずみを検出できるはずだが現状では使われていない。塑性変形を見つける方法がないから、小林英夫氏は「強くなるから問題ない」などと議論をミスリードするのか。

## 設備・機器の経年劣化と過酷な地震動のダブルパンチ

原子力発電所は、原子炉を中心に圧力容器とその炉内構造物があり、圧力容器には多数のノズルや配管等々が取り付けられている。原子炉建屋からは主蒸気管がタービン建屋へ連なっており、タービン建屋にはまたタービンや発電機を始めとするさまざまな重要機器があり、多くの配管が張り巡らされている。しかも、柏崎刈羽原発の運転開始は 1 号機が 1985 年で 20 年以上、最も新しい 7 号機 (1997 年) でも 10 年を経過しており、設備・機器の経年劣化も起っていると考えられる。予期せぬ苛酷な地震動に見舞われたこれらの機器類が健全に設計当初の状態を保っているのかどうか、経年劣化と地震の影響の両方を考えねばならぬことは IAEA (国際原子力機関) の調査団も指摘している。そういうダブルパンチを受けた機器の健全性評価をきちんとやるには膨大な時間と手間がかかるであろう。それに伴う被曝労働も懸念される。

## 代表選定の危険

前述の保安院が東電に指示した点検・評価のやり方の終わりには「代表設備を選定する等により点検事項や解析対象を絞り込むことは妨げない」とある。「その場合は代表設備の選定の考え方を明確にすること」という注釈がついているが、コストを優先して手間・暇を惜しんできた東電がどこまできちんと必要十分な点検をやるかどうか、その調査結果に対して保安院や「調査・対策委員会」が事業者の立場に偏らない公正な判断を下せるのかどうか、きびしい監視が必要である。

## 参考文献

- (1) 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会「中越沖地震における原子力施設に関する調査・対策委員会」(班目春樹東大原子力教授)の「運営管理・設備健全性評価ワーキンググループ」(主査・関村直人東大原子力教授)第1回会合(2007年9月4日)議事録
- (2) 経済産業省原子力安全・保安院「新潟県中越沖地震を受けた柏崎刈羽原子力発電所の設備の健全性に係る点検・評価計画について」(2007年11月9日)