

ている加速度の単位はガル。この図では、 S_1 の水平方向の加速度の最大値は300ガル、 S_2 のそれは450ガルになっている（加速度とかガルとかいう言葉に慣れていない読者のために——速度がどのように変化するか、その変化割合を示すものが加速度だ。高いところから静かに物を落とす。手を離れた瞬間のその物体の速度はゼロだが、重力加速度の作用により、1秒後は約980 cm/秒、2秒後は約1960 cm/秒、3秒後は約2940 cm/秒……と毎秒約980 cm/秒ずつ速度が増していく。そこで「重力加速度（1G）は約980 cm/秒²である」と言う。一方、1 cm/秒²という加速度を1ガルと称ぶ。ガルはガリレオ・ガリレイの名からとられている。このガルを使えば、1Gは約980ガルということになる。

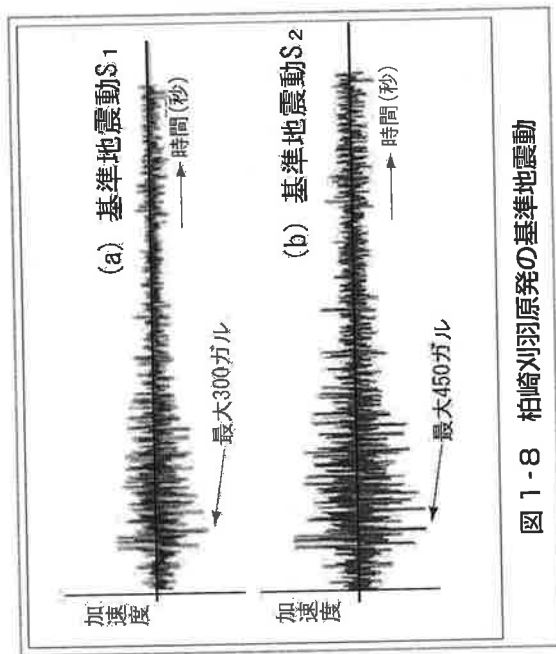


図 1-8 柏崎刈羽原発の標準地震動

S_1 、 S_2 はもちろん原発の敷地に対する地震動だが、では敷地のどこの部分の地震動かと言えば、実はどこの部分のものでもなく、「解放基盤表面」と呼ばれる一種の仮想表面における地震動で

ある。ここで「基盤」とは、第三紀層（約6500万年前〜165万年前）以前の堅固な岩盤のこと。そして、表層もない、構造物もない、大きな高低差もない、水平に大きな広がりをもっている——そんな仮想的な基盤表面を「解放基盤表面」という。

表1・2は、日本の各原発がどれほどの最大水平加速度を前提に構造設計されているかを示したもの。いずれも解放基盤表面の値である。

近い将来必ず起きるとされている東海地震。その震源域の只中に建つ中部電力浜岡原発に使われた標準地震動の最大水平加速度は450ガル（ S_1 ）と600ガル（ S_2 ）と、他の原発と比べてひときわ大きい*。

当然といえば当然だが、では、東京電力柏崎刈羽原発の構造設計で使われた水平方向の最大加速度はどうかと言えば、300ガル（ S_1 ）、450ガル（ S_2 ）と、さほど大きくはない。しかし……である。あの中越沖地震のとき、1号機の敷地の地下約250メ

表 1-2 日本各地の原発の S_2 の最大加速度

北海道電力・泊原発	370
東北電力・女川原発	375
東京電力・福島第一、第二原発	370
東京電力・柏崎刈羽原発	450
中部電力・浜岡原発	600
北陸電力・志賀原発	490
日本原子力発電・東海第二原発	380
日本原子力発電・敦賀原発	532
関西電力・美浜原発	405
関西電力・大飯原発	405
関西電力・高浜原発	370
中国電力・島根原発	456
四国電力・伊方原発	473
九州電力・玄海原発	370
九州電力・川内原発	372

注：1) 上記の数字の単位はすべてガル (Gal)
2) これらの数値はすべて建設時に使用されたもの

*厳密に言えば、浜岡原発1号機だけは当初300ガル（ S_1 ）、450ガル（ S_2 ）で設計されている。その後、3〜5号機の設計に使われた標準地震動 S_1 、 S_2 を使ってバックチェックなるものを行い、450ガル（ S_1 ）、600ガル（ S_2 ）でも耐えるとしている。

1メートルに設置されていた地盤用の地震計は、993ガルというとても大きく大きな水平方向加速度を記録した。これを設計時に使った300ガル(S¹)、450ガル(S²)と単純に比較すると、それぞれ3.3倍、2.2倍にもなる。ただし、この比較、実はあまり意味がない。なぜなら、観測値993ガルは「解放」基盤表面での値ではないからだ。地下250メートルでの観測値993ガルを、設計で使った300ガルや450ガルと比較しようと思えば、上を覆う250メートルの表層地盤を理論的に「はぎとり」、解放基盤という、いわば同じ土俵の上で比較しなければならない。この解析プロセスを「はぎ取り解析」という。

中越地震から10カ月過ぎた二〇〇八年五月、東京電力はようやくそのはぎ取り解析結果を公表した。そして1号機の場合、解放基盤表面における推定加速度は1699ガルであることを明らかにした。付け加えれば、2〜7号機はそれぞれ、1011、1113、1478、766、539、613ガルだった。どれもこれも、設計時に想定していた300ガル(S¹)、450ガル(S²)をはるかに上回る値だった。それにしても、いったいなんということだろうか。すでに何度も強調しているように、S¹は起こる可能性がある地震動、S²は「およそ現実的ではない」仮想的な地震動である。中越沖地震では、その「およそ現実的ではない」、はずの地震動S²をもはるかにしのぐ強い地震動が柏崎刈羽原発を襲ったのだ。

こんな事態をいったい誰が予想し得ただろうか。おそらく、何十年と原発の耐震設計に携わってきた原発メーカーの耐震設計の専門家でさえ「まさか……」と啞然としたに違いない。文字どおり、

それは「想定外」に大きい地震動だった。そんな想定外の地震動にもかかわらず原発震災のような大事に至らなかったのは、すでに書いたように、日本の技術が高かったからではなく、単に運がよかったに過ぎないからだ。今この文脈で最も強調すべきことはそのことではない。理論的に策定された基準地震動がなんとい加減であったか、なんと不確かなものであったか、である。

結局：

とりあえず、ここまでの話をまとめておこう。S氏の丸棒の設計では、照明装置全体の重さが唯一の設計荷重だった。唯一であるだけでなく、それは明確でもある。単純な計算間違いでもしなければ、誰が計算してもほとんど同じ重さが設計荷重として確定する。しかし構造設計における設計荷重は、いつもこのように客観的、確定的なものかと言えば、けつしてそうではない。原発の場合、熱荷重は不確定、そして地震荷重もそうである。

熱荷重。すでに書いたように、いくつかの原発で、給水ノズルや制御棒駆動水戻りノズルが熱疲労損傷を起こした。原因は、構造設計に使った熱荷重がいちじるしく不適切だったからだ。

そして地震荷重。原発の耐震設計に精通している技術者にとって、二〇〇七年七月十六日間で、東海地震の想定震源域に建つ中部電力浜岡原発の設計で使われた水平加速度600ガル(S²)と450ガル(S¹)は、胸を張れるほど大きかった。地震動S²を策定する際に考慮しているM6.5の直下地震(41ページ参照)も、そうだった。しかし、中越沖地震によって彼らの自信と常識は一瞬

にして崩壊したにちがいない。柏崎刈羽原発1号機の敷地、地下250メートルに設置された地震計はなんと993ガルを記録した。しかも、この値、すでに述べたように、「はぎとり解析」前の値である。原発の重要構造物にかかる地震荷重は、基準地震動 S_1 、 S_2 をもとにした地震応答解析（後述）などをおして理論的に算出される。基準地震動がこれほど不確実であるということは、構造設計に用いる地震荷重も同じように不確実、ということになる。

以上のように、原発の構造設計に用いる設計荷重それ自体が、じつはなにがしか不確実である。その不確実さの程度は、運転中に大きな事故やトラブルを引き起こしかねないほどかもしれない。いや、問題は設計荷重ばかりではない。以下で述べるように、ほかにもいろいろ不確実な要素がある。そして、奇妙なことに、経験豊かな原発の構造設計者はこの事実を十分承知している。では、彼らが、「だから原発は危ない」と思っているかということ——ここは人により意見の分かれるところだが——必ずしもそうではない。それはなぜだろうか。まさにここに安全率が登場する。

原発の場合、原子炉容器や主配管などの重要構造物は基本的に安全率3で設計されている。さまざまな不確実な要素を吸収してくれるであろう、3という安全率があるからこそ、原発の構造設計が可能なのだ。安全率3は、構造物に一眼すると不要な“贅肉”を授ける。しかし経験豊かな設計者にとって、それはけっして“贅肉”でも“余裕”でもない。それは、けっして削ぐことのできない贅肉、必要不可欠な安全代、である。彼らにとって、それなしに構造設計など不可能である。実

際、もしその安全代をすべて削ぎ落としたら、大事故が頻発することは、長い構造設計の歴史に照らし、自明である。

モデル化という問題

熱荷重と地震荷重だけが、原発の構造設計における不確実な要素というわけではない。ほかにもたくさんある。その一つが理論計算のための「モデル化」。二三、紹介しておこう。

たとえば、原子炉をはじめとする原発の重要な構造物の多くは、原子炉建屋の中に収納されている。その原子炉建屋が地盤と相互作用しながら、たとえば水平方向の地震動に対してどのように応答するかを知るために、設計者は、建屋と地盤をモデル化して「地震応答解析」というものを行っている。そのモデルは「地盤—建屋連成モデル」などと呼ばれている。

原子炉建屋は複数の「質点」（質量をもつが、大きさのない点）と、それらを連結する「曲げせん断棒」で表現される。一方、地盤は多数の「バネ」で表現される。また原子炉建屋の底には「地盤回転バネ」を置く。ちなみに、このような「バネ—質点モデル」の下端にいきなり基準地震動 S_1 や S_2 を入力するわけではない。なぜなら、すでに書いたように S_1 、 S_2 は解放基盤表面における地震動であるからだ。そこで設計者は、たとえば「一次元波動理論」を使って、解放基盤表面における地震動 S_1 、 S_2 が計算モデルの下端でどのようになるかを計算し、入力地震動を決めている。

このようなモデルを使って地震応答解析を行えば、原子炉建屋そのものの耐震性を検討できるだ

けでなく、原子炉建屋各階の床が時間的にどのように応答するか——これを「時刻歴応答」と言う——も推定できる。詳しい話は省くが、床の時刻歴応答が分かると、床に設置されている重要な機器（配管、タンク、ポンプなど）に、最大どのような大きさの力が作用するかを、「床応答スペクトル」というものを作成することで、算定することができる。

一方、図1・9は、沸騰水型原発の原子炉容器に溶接されている「再循環入口ノズル」の各部に

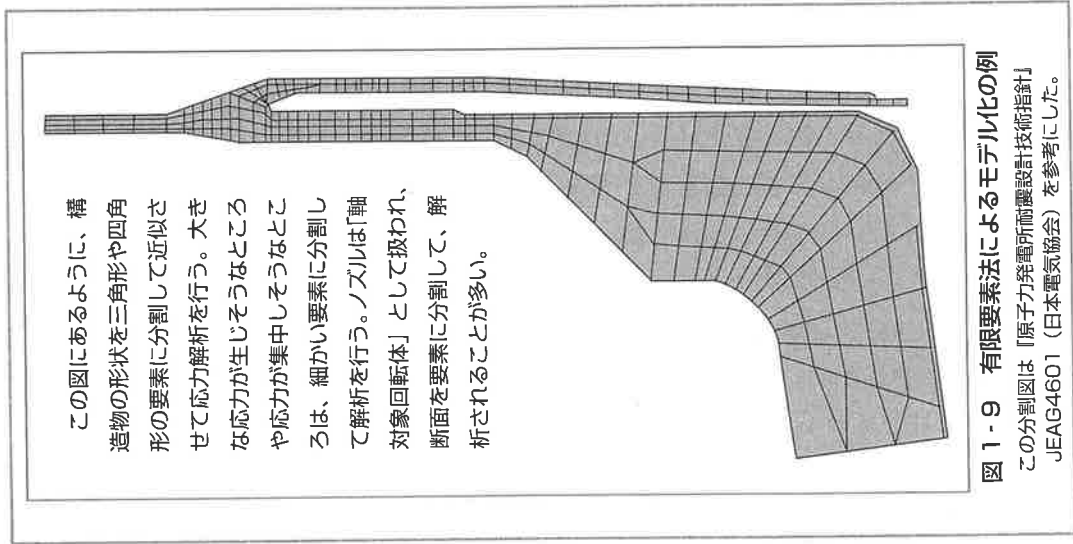


図1-9 有限要素法によるモデル化の例

この分割図は「原子力発電所耐震設計技術指針」JEA64601（日本電気協会）を参考にした。

この図にあるように、構造物の形状を三角形や四角形の要素に分割して近似させて応力解析を行う。大きな応力が生じそうなところや応力が集中しそうなところは、細かい要素に分割して解析を行う。ノズルは「軸対象回転体」として扱われ、断面を要素に分割して、解析されることが多い。

どのような応力が生じるかを検討するための「有限要素法」による応力解析モデルだ。ちなみに、沸騰水型の原子炉容器にはこのノズルのほか、給水ノズル、蒸気出口ノズル、炉心スプレインノズルなど、多くの種類のノズルが溶接されている。有限要素法による応力解析というのは、三角形や四角形の要素をいくつも使って構造物の形状に近似させ、構造物に生じる応力やひずみを求める方法だ。コンピュータの演算速度が遅く記憶容量が小さかった一昔前は、この図のような「二次元」の有限要素法が多く使われたが、今日は、四面体や六面体を使う「三次元有限要素法」も使われる。

このように、なにか複雑な計算をする場合、たいてい「モデル化」が必要になる。しかしそのモデル化が適切でなかったら、結果は悲惨だ。だから、たとえば先に述べた「バネ—質点モデル」による地震応答解析の場合、建屋や地盤に関する多くの種類の定数*の値を一つひとつ慎重に決定していかなければならない。それらは可能なかぎり現実に合ったものでなければならぬ。中でも、建屋や地盤の「減衰定数」は重要だ。建物が時間的に長く大きく揺れるかどうかはこの減衰定数の値次第だ。言葉を換えれば、設計者の「さじ加減」でどうにでもなってしまうということだ。大きい減衰定数を使えば揺れは抑制される。この減衰定数が問題になるのは、地震応答解析のときばかりではない。すぐ前に書いたように、配管やポンプなどに加わる力は、床応答スペクトルを作成して算定するが、床応答スペクトルも、どんな値の減衰定数を使うかで大きく変わる。

構造物の振動現象が時間とともに減衰するのは、振動エネルギーが構造部材（鉄やコンクリート）

*たとえば、地盤と関わる定数には、せん断波速度、単位体積重量、ポアソン比、せん断弾性係数、剛性低下率、ヤング係数、減衰定数 といったものがある。

の分子摩擦や、他の物体（たとえば配管の場合なら、支持装置や保温材など）との摩擦やガタなどで消費されるからだが、減衰定数を理論的に引き出すことは、実質的に不可能だ。そこで、その値はたいてい類似の構造の実験データなどをもとに決定されている。

有限要素法による応力解析も、結果はモデル化次第だ。構造物が、内圧や地震荷重といった外力を受ける場合、形状がなめらかでない部分（これを「不連続部」と言う）に大きな応力が発生することが多い。一方、熱応力の場合は、急激な温度分布が生じている部分に大きな熱応力が発生する。設計者はこうした事情を考えながら、構造物を三角形や四角形の要素に分割していくが、その要素の数や細かさが適切でない場合、肝心の最大応力を逃してしまうこともあり得る。地震応答解析の場合もそうだが、有限要素法による応力解析の場合もまた、結果は設計者の経験や勘やセンスといったものに大きく左右される。また有限要素法による応力解析は、本質的に近似解であつて、厳密解ではない。

専門家から、「発生応力は〇〇である」などと言われると、われわれはついそれが絶対に正しいように思ってしまうが、けつしてそういうものではない。原発の構造物はS氏が設計した丸棒とはちがう。照明器具を吊り下げる丸棒に発生する応力の値は誰が計算しても同じだが、原発の構造物の場合、そうはならない。「誰が計算したか」、「どのようにモデル化したか」によって結果が変わる。したがつて、得られた応力解析は、あくまで「目安」でしかない。あとで触れるが、構造設計者はけつして「真の応力」を求めようとしているわけではない。彼らは、いわば、なにがしかの不

確実さを有する応力シミュレーションをしているに過ぎない。

精魂込めて計算しても

構造設計者が高性能のコンピュータをフルに使い精魂込めて地震応答解析や応力解析を行つても、製造される構造物の「品質」が悪ければ、構造設計者の努力は意味を失う。

品質に関しては、まず、工場で製造されたもの、あるいは現地で組み立てられたものが、設計者が計算書や図面で指示したとおりの材質、形状、寸法であるかどうか、という基本的な問題がある。本当にそんなことが問題になるのかと思う人もいるだろうが、工場における製造時のトラブル、現地での組み立て時のトラブルの多くが、材質や形状や寸法に関することだ。典型的な例を二つ。東電福島第一原発4号機用の原子炉圧力容器は、「最終焼鈍」と呼ばれる製造最終段階の熱処理のあと、設計寸法を大きく逸脱して変形した（この変形は違法な作業によつて秘密裏に矯正された*）。私が記憶しているもう一つの例。沸騰水型原発の原子炉容器の底には制御棒が通り抜けるための孔（制御棒貫通孔）が多数あいているが、ある原発用の原子炉容器の製造過程で、孔の周辺を作業者がグラインダーで削りすぎて大騒ぎになったことがあつた（この問題がどのように処理されたかに関しては、私が直接関与しなかつたので、問題を社会に提起するだけ十分正確には記憶していない）。

あるいは、「溶接」という問題。原発の重要構造物は多数の溶接線を有している。たとえば、少

*これに関しては、拙著『原発はなぜ危険か』（岩波新書 一九九〇）に詳しく書いた。

し古めの原発の原子炉容器には、太い溶接線が何本も走っている。また、主給水管や主蒸気管をはじめとするいくつもの重要な配管が、原子炉容器に溶接されているノズルに、これまた溶接によって接合している。長い配管も、ところどころで溶接されている。総延長何百メートルにもなるであろう、そうした溶接線のどこかに、もし小さなひび割れが潜んでいたら大変だ。潜んでいるひび割れが非常に大きければ、力（水圧）をかけたとたん、耐えきれずにそこから破断するかもしれない。いや、たとえ小さくても、何年か運転しているうちに金属疲労によってそれが拡大して冷却材漏れを起こしたり、最悪の場合は、「加圧熱衝撃」（P.T.S、35ページ参照）により、そこから一気に原子炉容器が大破壊を起こしたりしないともかぎらない。原発の建造物の多くは、他に例をみないような分厚い鋼でできているので、その溶接にはとくに高い経験と知識と技術が必要だ。また、本当にうまく溶接されたかどうか、放射線透過検査や超音波探傷検査をはじめとする「非破壊検査」を行って、注意深く検査する必要がある。

あるいは、使用する金属材料の問題。原発の建造物の多くは鋼だが、一口に鋼と言っても、炭素鋼から低合金鋼やステンレス鋼までいろいろあるし、そのそれぞれにまた多くの種類がある。また鋼以外の金属材料が使われることもある。こうした金属材料は、構造設計が前提としている強度（引張り強さ、降伏応力、破壊靱性、など）や特性を有していなければならない。また原発の場合、構造部材の選択にはとくに十分注意しなければならない。なぜなら、ノズルや配管などの「ステンレス鋼の応力腐食割れ」と、原子炉容器用材の「中性子照射脆化」という経年劣化の問題があるからだ。

以上は建造物の品質と関わる話だが、原発の場合、当然、建造物の品質は高いレベルで実現されねばならないから、関係法規には製造や検査などに関していろいろ細かく規定されている。また当然、電力会社独自の要求や、原発メーカーや材料メーカー独自の内規もある。

とくに強調しておきたいことは、設計者が詳細な構造解析を行うことと、製造現場や建設現場の技術者が建造物の品質を高いレベルで実現しようとするのは表裏一体の作業であるということ。どちらか一方をおろそかにすると、他方の意味が完全に失われる。

なぜ化学プラントの安全率は4で、原発は3か

長距離電車の車窓からなんとなく目を外に向けていると、ピカピカと陽光を反射する銀色の細長い塔や配管からなる化学プラントが目飛び込んでくることがある。一口に化学プラントと言っても、合成繊維や合成樹脂をつくる石油化学プラントから石油精製プラントまで種類はいろいろだが、圧力容器、ノズル、配管、弁（バルブ）、ポンプなど、原発に見られる建造物の多くがそれら化学プラントにも見られる。原発は、基本的には、化学プラントや火力発電用ボイラーで長く培われてきたさまざまな技術をもとにつくられている。しかし化学プラントの安全率は4、原発のそれは3である。この事実はすでに述べた。では、なぜ化学プラントの安全率は大きく、原発のそれは小さいのか？ これまで長々と述べてきた話のまとめとして、それについてざっと書いておきたい。

まず化学プラントの場合、原発とはちがひ、何か特別な理由でもないかぎり、理論的な構造設計というものを行わない。関連法規がそれを求めているからだ。化学プラントの設計者は、歴史的、経験的に定められた「簡単な式」を使いながら、構造物の材質や寸法をきめていく^{*1}。繰り返せば、コンピュータを回し構造物の詳細な応力解析をするようなことはしない^{*2}。したがって化学プラントの場合、運転中に構造物のどこにどのぐらいの応力が発生していそうか、実は誰もよく把握してはいない。そういう意味では——つまり、構造強度的な意味では——化学プラントはかなり「アバウト」に設計されていると言つてよい。そして構造強度的にアバウトであるということは、化学プラントには（原発に比べて）安全性を脅かす不確実な要素が多く含まれていることを意味する。

このように、化学プラントの場合、構造設計的にアバウトだから、材料、溶接、製造、検査、などに関する法的要求も、やはり「それなり」で、原発のように厳しくはない。構造設計がアバウトなのに、こちらをむやみに厳しくしても構造設計的にはバランスが悪く、あまり意味がないから、これは現実的である。

以上から、総じて化学プラントにはその安全性を脅かす不確実な要素が（原発に比べて）多く存在する。だから化学プラントは、歴史的、伝統的に4という安全率を採用してきた。皆無ではないとしても滅多に大事故が起きないという現実を考えれば、安全率4を採用していることは工学的に

*1このような設計手法を Design By Formula と言つ。日本語では「規格式による設計」とか「公式による設計」などと訳されている。コンピュータが存在しなかった時代はこのような簡便な設計法が必要でもあり、また有用でもあった。
*2例外もある。アメリカ機械学会の規格 ASME Code Section III Division 2 を濫用して化学プラントを建てる場合は、原発の場合同様、詳細な応力解析を行うことが求められる。

は妥当なのだろう。もし設計方法や製造方法はそのままに、安全率だけを4から3に下げれば、化学プラントの事故は大幅に増えるはずだ。

一方、化学プラントの安全率が4であるのに対して原発の安全率が3であるのは、設計に詳細な応力解析を採り入れて構造設計の質を向上させ^{*1}、さらに、材料、溶接、製造、検査などに関しても厳しい要求を付帯させることで、安全性に関わる不確実な要素を化学プラントより少なくしているからにはかならない。しかしそれでも、4から3に「1」落とすのが精一杯だ。なぜなら——すでに詳しく書いたように——それでもなお不確実な要素をいろいろ抱えているからだ。実際、仮に完全率を3から2に落とせば、原発の事故やトラブルが頻発し、そればかりが大惨事さえ起きるかもしれない。

以上、安全率とは、けっして「安全余裕」の程度を示しているのではなく、安全性を脅かす不確実な要素に備えるためのもの、必要不可欠な安全代を確保するためのもの、ということが分かっていただけかと思う。

4 ■ 「三つの安全余裕」のでたらめぶり ■

六ヶ所村ラプソディ

「最近劇場公開されている映画の『六ヶ所村ラプソディ』という映画^{*2}で、インタビューで出演さ

*1このような設計手法を Design By Analysis (解析による設計) と言ひ、先述の Design By Formula と区別している。
*2 鎌仲ひとみ監督による二〇〇六年三月完成のドキュメンタリー映画。

れています……」

「そうらしいですね。私のところにインタビュアーにきたんですが、私、見ていないのですが……」

「まだご覧になっていませんか？」

「映画自体は見ていません」

「この中で先生がなかなか興味深いことを仰られているんですが、『原子力発電に対して安心する日なんかきませんよ、せめて信頼してほしいと思えますけど、安心なんかできるわけないじゃないですか、あんな不気味なもの』と言われているんですが、発言されたことは覚えていますか？」

「そういう意味です。あんな不気味なコンクリート構造物を見て、心安らくなる人はいないと思います。だからこそみんなが、これは危険だと考え、したがって真剣に取り組む、だから安全が得られるんであって、私は安全こそがすべてであって、安心を求めるのはよくないと思っています」

「不気味というのは、どういう意味ですか？」

「やっぱり私、緑豊かな森が大好きです。そんな中で、私、風車も本当は不気味ですけども、とくにああいうコンクリートの巨大な真四角の建物なんていうのは嫌いです。どんなふうに色を塗られても、嫌いは嫌いです」

これは二〇〇七年二月十六日、浜岡原発裁判での、被告・中部電力側証人と原告側弁護士とのやりとりの一部だ。質しているのは海渡雄一弁護士、答えているのは班目春樹・東京大学大学院工学系研究科原子力専攻教授である。

*証人調書による。ただし、一部漢字を平仮名にしている。

三つの安全余裕

その日、私は午後から中部電力側の弁護士から反対尋問を受けることになっていた。午前中、傍聴席の3列目に座り、目の前3メートルで展開されている班目証人と海渡弁護士のやりとりを傍聴していた。

班目氏が原発の安全性に関してどういう研究をし、どういう貢献をしてきたのか、よく知らない。彼は3年ほど東芝で仕事をしていたらしいが、そこで何をしていたのか、原発構造物の設計業務をしたことがあるのかどうか、知らない。原発の重要構造物の設計を担当したものの、発生応力を材料の許容応力内に収めることができず、しかしものはすでに工場で形をなしつつあり、したがっていまさら「もちません」とも言い出せず、人知れず眠れないほど悩んだことがあったのかどうか、私は知らない。

知らないが、彼は原子力発電なんて「安心できるわけない」と言った。原発の建物を見て心が安らかくなる人はいない、とも言った。「緑豊かな森が好き」であり、ああいうコンクリートの巨大な真四角の建物なんて不気味で嫌いだと言った。ラジカルエコロジストや反原発運動家が思わず手をたたいて喜びそうな台詞をすらすらと並べながら、しかし不思議なことに、彼はぼりぼりの原発推進派学者である。原発関係のさまざまな公的委員会の委員や委員長を務め、そしていまは、東電柏崎刈羽原発の運転再開を目論む原子力安全保安院の「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」の委員長職にある、ばりばりの原発御用学者である。

「安全こそすべてであり、安心を求めるのはよくない」などと彼は言う。いったいどういう意味か。(専門家が言う)安全こそすべてであり、(素人がやみくもに)安心を求めることはよくない、ということなのか。専門家が安全と言ったら素人はただそれを信ぜよ、安心、安心とダダをこねるな、信ぜれば、安心は求めずともおのずと得られる、ということか。彼は浜岡原発裁判で、あるいは中越沖地震で被災した柏崎刈羽原発に関するシンポジウムで、原発には「三つの余裕」があるから安全だと、まるで余裕教のエバンジェリストのごとくに、余裕論の伝道にこれ努めている。彼が言う三つの余裕とは何か。以下の(ア)～(ウ)である。彼が裁判所に提出した「陳述書」にしたがって、それがまっとうなものかどうか、一つずつ検討してみる。

- (ア) 発生応力の算定における余裕
- (イ) 発生応力が許容応力に対して有する余裕
- (ウ) 許容応力の設定における余裕

あるべくもない話

まず(ア)の余裕から。これについて班目氏は、「実際の地震(動)によって発生する真の応力に対して、発生応力を大き目に算定することにより生じる余裕のことである」などと説明してい

る(一)と傍点は筆者による。マダラメさん、あなたは本当に原発の安全性について論じる資格をもつ専門家ですか?と思わず問いたくなるほどの、これは荒唐無稽な話だ。

前に詳しく書いたように、構造設計者は、基準地震動 S_1 、 S_2 によって、原発の重要構造物(原子炉建屋、一次格納容器、原子炉容器、内部構造物、配管、ノズル、ポンプなど)にどのような応力が発生するかを、理論的に算定している。しかし理論的に算定されるその応力が——班目氏が言うように——「実際の地震(動)によって発生する真の応力」より「大き目に算定」される必然性など、どこにもない。なぜなら、大き目に算定されるか、小さ目に算定されるかは、基準地震動 S_1 、 S_2 次第であるからだ。

旧指針に基づいて策定した基準地震動が絶対的に適切で、将来起こるどんな地震動よりも大きいことが証明できるなら、(ア)のようなことが言えなくもない。しかし基準地震動の絶対的な適切さを証明することは論理的に不可能だ。逆に、ある日、基準地震動を上回るような地震動が一度でも起きたら、基準地震動は不適切だったことになる。そしてそのような場合、班目氏の言う「真の応力」は、当然、算定応力より大きくなる可能性が高いから、(ア)は否定される。

実際、すでに書いたように、そういう憂慮すべき事態が二〇〇三年五月と二〇〇五年八月に東北電力女川原発で、二〇〇七年三月には北陸電力志賀原発で、現実には起きている。そしていわばとどめの一撃が二〇〇七年七月の新潟県中越沖地震だった。この地震によって、柏崎刈羽原発は、設計時に使用した基準地震動 S_1 はおろか、 S_2 をもはるかに上回る強烈な地震動に見舞われた。それによつ

ていったいどれほど大きな応力が発生したのか、その応力は許容応力を上回らなかったか、その応力によって重要な構造物が塑性変形を起こしゆがまなかったか。そうしたことが分からないからこそ、7基の柏崎刈羽原発が今なお立ち上がれないでいるのだ。「余裕」どころの話ではない。「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」の委員長が、(ア)を主張する班目氏であるというのは、実に皮肉なことと言わねばならない。

禁断の野原

(イ)を後に回して、(ウ)について考えてみよう。班目氏は、これについて次のように説明している。「J E A G 4 6 0 Iでは、運転状態やさまざまな荷重の組み合わせを考慮し、この荷重に対して機器が破損を引き起こすことのないように余裕を持たせて許容応力が決められます。これが許容応力の設定における余裕です」(陳述書から。文面通り)。少々長くて分かりにくい文をまとめれば、要するに氏は、許容応力そのものに「余裕」が込められている、と言っているのだ。

私は、すでに大量の文字を動員して「安全率」の意味を説明した。安全率は、安全性を脅かすさまざまな不確実な要素に対するものであって、けっして「余裕」をとるためのものではないことを繰り返し強調した。安全率が大きければ、そのぶん、安全性を脅かす不確実な要素が多いことを意味している。しかし、一般にはこのことがほとんど理解されていない。安全率が大きければ、それだけ余裕があり、安全性が高いと信じている人がほとんどだ。

許容応力は、材料の引張り強さ(引張り試験で材料が実際に破断または破損する応力。22ページ図1-4参照)を安全率で割ったものだ(27ページ②式参照)。だから、材料の引張り強さと許容応力の差は「安全余裕」のように思えてしまう。そして実際、それを班目氏は「許容応力の設定における余裕です」と主張しているのだ。しかし、それならばふたたび、安全率4の化学プラントのほうが、安全率3の原発より、大きな安全余裕を備えているという、これまた奇妙な結論が導かれてしまう*。

構造設計者が絶対に守らねばならないことは、理論的な応力解析によって算定される「発生応力」が、関連法規に規定されている「材料の許容応力」を絶対に超えないようにすることだ。許容応力がどのようにして設定されているか、その背景を問うことはしない。まっとうな構造設計者であれば、材料の引張り強さと許容応力との「ばさま」に構造物の安全性を委ねるようなことはけっしてしない。なぜなら、それは基本的に「違法」であるからだ。

もちろん構造設計者は、理論的に推定される発生応力が材料の許容応力を超えたら直ちに物が破壊する、などとは思っていないが、それを超えることはリスクであることもよく承知している。そのあたりをイメージ的に言えば、構造設計者にとって許容応力とは、「これより先、未撤去地雷多し。立ち入り厳禁」という立て看板みたいなものだろう。もちろんその看板より手前にいても、地雷を踏む可能性はゼロではない(つまり、理論的な発生応力が許容応力以下でも物が破損することはある)。しかし実際には(確率的には)そう気にすることはない。しかしその看板を越えると、そうではない。越えれば越えるほど、看板を越えて遠くへ進めば進むほど、埋設地雷を踏む確率は高くなっていく。

*たとえば、引張り強さが90である材料の場合、安全率4の化学プラントの場合は許容応力が22.5になるから「安全余裕」は67.5、一方、安全率3の原発の場合は許容応力が30になるので「安全余裕」は60となり、化学プラントのほうが「安全余裕」が多くなってしまふ。

このイメージで言えば、(ウ)で班目氏は、立て看板の向こうを、目に見えぬ埋設地雷が徐々に数を増していく野原をあえて指さしながら、看板を少々乗り越えても実際には大丈夫、すぐに地雷を踏むことはありません、と強調しているようなものだ。「安全こそすべて、安心を求めるのはよくない」と言う班目氏。明らかに、目を向けている方向が180度ちがっている。

一方、立て看板の向こうに、「余裕」があると信じ、看板を乗り越え、禁断の野原に入った人物もいた。耐震偽装事件を引き起こしたA元一級建築士である。彼は裁かれ、耐震性が不十分として、多くのマンションやホテルが壊されたり、建て替えられたりした。しかしもし、許容応力の設定に余裕があるという班目氏の主張が工学的に正当であるなら、同じ論理で、マンションやホテルを建て直すこともなかった。同じ禁断の野原に目を向けながら、かたや裁かれ、かたや原発御用学者として立場が強化される。とてつもなく理不尽な話だ。

(注)班目氏の説明中に登場するJ E A G 4601というのは、日本の原発の耐震設計者が、旧指針にしたがって耐震設計を行うときに参照する民間の技術指針『原子力発電所耐震設計技術指針』(日本電気協会)である。この技術指針の中に、構造物の種類、荷重の種類、材料の種類、発生応力の種類、などに応じて許容応力の算出法が示されているが、これに関して一つ付け加えておけば、それらは必ずしも、これまで述べてきたような、引張り応力の値を安全率3で割ったものではない。場合場合で、安全率をいろいろに奏している。本書は専門家向けのものではないので、話が煩雑になることを避け、安全率に関しては最も基本的な3を使って話を進めた。

「安全余裕」がないわけではない

前出の(ア)～(ウ)によって、原発の機器は「全体として大きな安全余裕を有します」と、班目氏は陳述書に書いている。私がなんとしても同意できないのは、大きな安全余裕を有している、という点だ。ここでとくに強調しておきたいのは、私は一言も、原発に安全余裕がないとは言っていないということ。当然、原発にも「なにがしかの」安全余裕はある。問題はその「中身」だ。

安全余裕を論じるとき、一つの重要な前提が必要だ。それは、その議論が法的根拠をもっているかどうか、である。「実際にはもつと余裕があるだろう」といった、推測による実際論はすべて除外されなければならない。なぜなら、そういう種類の安全余裕は定量的に示すことが不可能であるだけでなく、法的にも根拠がないからだ。科学的にも法的にも根拠がないそのような安全余裕論は、学者、研究者の興味の対象とはなっても、われわれ一般大衆の原発に対する不安を払拭するものにはなり得ない。ふたたび取り上げるなら、耐震偽装事件で「強度不足」を宣言されたマンションやホテル。強度不足とはどういうことかと言えば、法律が求めている耐震強度が確保されていない、という意味だ。では、たとえば50パーセントの耐震強度しかないマンションが「本当」に地震がきたときに倒壊するのか、と言えば、それはまた別の話である。もしかすると、実際にはいろいろ余裕があるので倒壊しないかもしれない。しかしいくらそう言っても、居住者の不安が解消されるものではない。

では、法的に根拠をもつ安全余裕とはどういうものか。それは法的に定められている材料の許容応力と、構造設計者が詳細な応力解析によって理論的に推定している応力との差、である。それは、設計技術者が社会に対して責任をもって量的に提示できる唯一の安全余裕である。たとえば——以下に記す数字そのものには意味がないが——許容応力が100で、推定応力が70であれば、その差30が安全余裕である。

取り上げるのが遅くなったが、そしてこれが、班目氏が(イ)で主張している「発生応力が許容応力に対して有する余裕」でもある。これに関してのみ、異存はない。

「私にはよく分かりません」

二〇〇七年七月の中越沖地震から一年を過ぎたいまも、東電・柏崎刈羽原子力発電所の7基の原発は止まったままだ。運転再開は可能か、それとも閉鎖か。それを最終的に判断するのが、原子力安全・保安院が設置した「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」であり、その委員会の総責任者が班目春樹委員長だ。

一方、新潟県には以前から「新潟県原子力発電所の安全管理に関する技術委員会」（以後「技術委員会」と略す）というものがあつたが、運転再開の目処が立たない柏崎刈羽原発問題を検討するため、二〇〇八年初め、この委員会の下に二つの小委員会が設置された。一つは、「設備健全性・耐震安全性に関する小委員会」、もう一つは「地震、地質・地盤に関する小委員会」だ。

*新潟県中越沖地震から10日後の二〇〇七年七月二十六日に経済産業省原子力安全・保安院が「総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会」の下に設置した委員会。地元自治体（新潟県・柏崎市・刈羽村）からの委員を除けば、原発推進に積極的ないしは好意的な「有識者」だけで構成されている。

二〇〇八年五月十二日、「設備健全性・耐震安全性に関する小委員会」は三人の元原発設計技師を小委員会に招いて、原発の重要機器の設計思想などについて話を聞いた。最初に説明したのは、数年前、日立製作所の原子力部門から日本原子力研究開発機構の研究所長へと「天上がり」した、小山田修氏だった。彼はアメリカの「プロフェッショナル・エンジニア」の資格をもつ、切れ者の元原発設計技師だ。

その小山田氏の説明のあと、黒田光太郎委員（名古屋大学教授）が次のように質問した。「この図は原子力学会の去年の報告会で東大の班目先生が使われた図で、設計余裕が30倍くらいあるとも、そのとき発言されています。いかがお考えですか？」

原子力学会で「班目先生が使われた図」とは何か。図1・10がそれだ。じつはこれこそ、すでに詳しく説明した班目氏の「三つの安全余裕」の図式バージョンである。浜岡原発裁判で氏は図を使わなかったが、中越沖地震以後、講

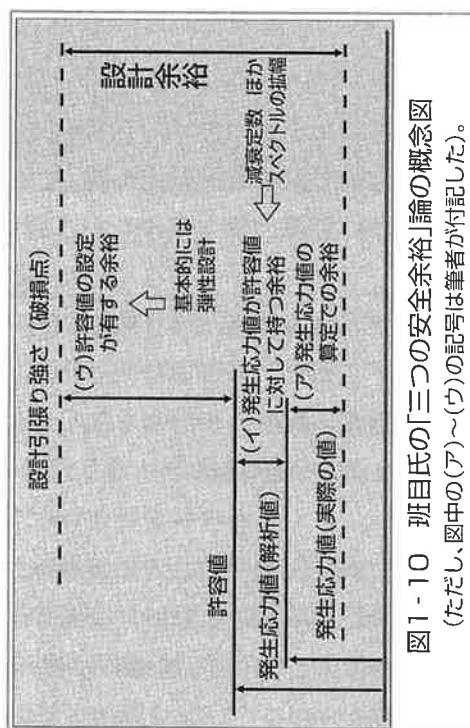


図1-10 班目氏の「三つの安全余裕」論の概念図
(ただし、図中の(ア)～(ウ)の記号は筆者が付記した)。

演会やシンポジウムで頻繁にこの図を使うようになっていいる。よほどこの図を気に入っているのだろう。

それはともかく、黒田委員の質問に小山田氏はつぎのように正直に答えたものだ——「この図、私も確かに何かのときに見たことはあるのですが、そういう図を作るときに、人間の頭の中でどういふふうに物を組み立てていくかというのが、人それぞれなものですから。どうも、必ずしもぴったり、班目先生が書かれたものが、私にはよく分かっていないところもあります*」

原子力推進の盟友、班目春樹氏に対する気遣いから、意味のない多くの言葉が宙を舞っているが、要するに、小山田氏には班目氏が何を言っているかわからないということである。学者・班目氏が浜岡原発裁判で証人として主張した「三つの安全余裕論」。その安全神話は、不幸にも地方裁判所の裁判官たちを領かせはしたものの、プロフェッショナル・エンジニアで切れ者の元原発設計技師の首を縦に振らせるだけの力をもたない、ということである。

【補足】この章では「安全率」が安全余裕の大きさを意味しないことを繰り返し説明したが、それは著者の勝手な論理ではないのかとお疑いの読者もいるかもしれない。そこで、機械工学系の大学生の入門書、菊地正紀・和田義孝共著『よくわかる材料力学の基本』（秀和システム）につぎのような説明があることを紹介しておきたい——「安全率が大きいということは応力予測の不確実性が大きいということの意味するものであり、安全性が高いことを意味するのではないことを正しく理解しましょう。」

* 「設備健全性、耐震安全性に関する小委員会」第3回議事録より

1 ■材料劣化で原発事故が起こった■

金属材料は必ず劣化する。身近でよく出会うのは疲労と腐食（さび）だろう。一般に金属材料が関係した事故原因は統計的にこの二つが圧倒的に多い。ニュースなどでも、金属疲労による航空機の事故や鉄筋の腐食による橋の崩落などを耳にする。

原発も例外ではない。疲労と腐食が主な事故原因になっている。それ以外に原発の場合は、最も恐れられていて避けることができない材料劣化原因がある。それは材料の照射脆化である。炉心からとび出してくる中性子が容器の鋼材に当たって、鋼材が脆くなる。最も注意しなければならない材料劣化である。これについては3節で詳しく述べる。材料劣化が原因で起こった事故を原因別に表2・1に示す。

著者紹介

田中 三彦 (たなか みつひこ)

一九四三年日光市生まれ。東京工業大学生産機械工学科を卒業後、九年間民間企業で原子炉圧力容器の設計などに従事。その後退社し、自然科学系の著述ならびに翻訳に従事。

著書——『原発はなぜ危険か』(岩波新書)、『科学という考え方』(晶文社)など、主訳書に『ホロン革命』(工作舎)、『複雑系』(新潮社)、『生存する脳』(講談社)他。

井野 博満 (いの ひろみつ)

一九三八年生まれ。東京大学工学部卒業。同大学院放射線研究科博士課程修了。工学博士。大阪大学基礎工学部、東京大学生産技術研究所・同工学部、法政大学工学部を経て、現在、東京大学名誉教授。

著書——『循環型社会』を問う(共編著、藤原書店)、『材料科学概論』(共著、朝倉書店)、『現代技術と労働の思想』(共著、有斐閣)、『金属材料の物理』(共著、日刊工業新聞社)他。

上澤 千尋 (かみさわ ちひろ)

一九六六年生まれ。新潟大学理学部数学科卒業。一九九二年より原子力資料情報室のスタ

ッフ。原子力発電所の事故解析および工学的安全性問題の担当。

著書——『東京湾の原子力空母—横須賀母港の危険性』(新泉社)、『老朽化する原発』(原子力資料情報室)、『検証 東電原発トラブル隠し』(岩波ブックレット)、『MOX総合評価』(七つ森書館)他。

武本 和幸 (たけもと かずゆき)

一九五〇年 原発敷地の東五キロメートルの農家に生まれる。測量士・技術士・一級土木施工管理技士・住宅地盤調査主任技士。

六八年二月、受験生の際に敷地内地質調査を目撃。その夏、新潟大学教養部の講義で『プレートテクトニクス理論を聴く』。

六九年九月の原発計画発表以来、反対運動に加わる。七二年、炉心変更で地盤に関心をもち、七四年八月原発地盤論争提起、農家の傍ら土木調査・計画・設計・施工管理に関わる。七五年四月、一九九四年四月、刈羽村村議会議員。

一九六四年新潟地震、二〇〇四年中越地震、二〇〇七年中越沖地震を経験。

二〇〇四年中越地震、二〇〇七年中越沖地震では災害調査や住宅復旧計画に関わる。

日野 靖 (ただの やすし)

一九七二年二月生まれ。早稲田大学法学部卒業。二〇〇一年十月弁護士登録(第二東京弁護士会)。東京共同法律事務所所属。

主な担当事件——浜岡原子力発電所運転差し止め訴訟。ハツ場ダム建設反対住民訴訟。PLCによる電波妨害差し止め訴訟。ホトケトジョウ自然の権利訴訟。米軍横須賀基地原子力艦船上空の航空機飛行制限等請求事件。近未来通信被害者対策弁護士団(事務局長)。その他、労働事件、欠陥建築事件、クレーン被害事件、先物被害事件等の一般民事事件及び刑事事件多数。

山口 幸夫 (やまぐち ゆきお)

一九三七年新潟県生まれ。一九六五年東京大学大学院放射線研究科博士課程修了。工学博士。物性物理学専攻。米ノースウエスタン大学、東京大学などを経て、原子力資料情報室共同代表。

著書——『理科がおもしろくなる12話』、『新版20世紀理科年表』(共に岩波書店)、『エントロピーと地球環境』(七つ森書館)他。

原発老朽化問題研究会

〔連絡先〕

郵便番号 162-10065

東京都新宿区住吉町八一五

曙橋コーポ2階B

原子力資料情報室系付

TEL 03-3335713800

FAX 03-3335713801

まるで原発などないかのように
——地震列島、原発の真実

二〇〇八年九月十五日 第一版第一刷発行

二〇一一年四月十五日 第一版第三刷発行

編者 原発老朽化問題研究会

発行者 菊地泰博

発行所 株式会社現代書館

東京都千代田区飯田橋二二二一五

郵便番号 102-10072

電話 03(3221)1321

FAX 03(3262)5906

振替 001200383725

組版 デザイン・編集室エディット

印刷所 平河工業社(本文)

東光印刷所(カバー)

製本所 矢嶋製本

装丁 中山銀士

校正協力/岩田純子
©2008 Citizen's Research Group on Nuclear Power Plant Aging Issues Printed in Japan
ISBN978-4-7684-6971-2

定価はカバーに表示してあります。乱丁・落丁本はおとりかえいたしません。
<http://www.gendatshokan.co.jp/>

本書の一部あるいは全部を無断で利用(コピー等)することは、著作権法上の例外を除き禁じられています。但し、視覚障害者その他の理由で活字のままでこの本を利用できない人のために、営利を目的としない場合は「録音図書」「点字図書」「拡大字本」の製作を認めます。その際は事前に当社までご連絡ください。また、テキストデータをご希望の方は左下の請求券を当社までお送りください。

活字で利用できない方のために
テキストデータ請求券
「まるで原発などないかのように」