

柏崎刈羽1・4号炉基礎版上での観測地震波を用いた 電力各社による「原発耐震安全性」評価はここが問題！

(1) 設計用基準地震動S1およびS2を超える地震が 実際に4回も起こったことへの反省がない！

7月16日に起きた新潟県中越沖地震(M6.8)では、柏崎刈羽原発1～7号を強い地震動が襲い、いずれの原子炉建屋基礎版上でも設置用基準地震動S1およびS2を超える地震動が観測されました。にもかかわらず、電力会社も、政府も、原子力安全委員会も、そのことについては何も反省していません。それどころか、設計用基準地震動を超える地震は「起こって当然だ」というような顔をしています。

設計用基準地震動はすでに4回超えられた

それもそのはず。実は、設計用基準地震動を超える地震が原発を襲ったのは今回で4回目です。最初は、2003年5月の宮城県沖スラブ内地震(三陸南地震、M7.1)、2回目は2005年8月の宮城県沖プレート境界地震(M7.2)、3回目は今年3月の能登半島地震(M6.9)、そして今回が4回目です。地震の再来周期がプレート間地震で百年単位、内陸地殻内地震で千年単位であることを考えると、わずか30年程度の運転期間の間に設計用基準地震動が実際の地震で4回も超えられたというのは、極めて異常です。電力会社の地震想定や政府・原子力安全委員会の安全審査に重大な欠陥があることはもはや明らかではないでしょうか。

しかも、昨年9月に旧指針が改訂され、新しい指針が策定されましたが、柏崎刈羽原発で観測された新潟県中越沖地震による地震動は、新指針で新たに想定された「震源を特定せず策定する地震動」をも超えているのです。

安全審査の重大な瑕疵を認めよ

厳然たるこれらの事実を前にして、電力会社、政府、原子力安全委員会は真摯に反省し、原発耐震性に関するこれまでの安全審査の「^{かし}瑕疵」を認め、全原発を運転停止すべきです。新・旧の耐震設計審査指針に重大な欠陥があることを認め、指針の抜本的な改定を再度行うべきです。

基準地震動S1およびS2は旧指針による基準地震動ですが、現在運転・建設中の原発はすべてこの指針に基づいています。(初期の原発では旧指針すら存在しませんでした。旧指針ができてからはこれに適合していることがバックチェックされています。)

S1は現実に起こりうる「最強地震」だったはず

S1は「設計用最強地震による基準地震動」と呼ばれ、「歴史的資料から過去において敷地又はその近傍に影響を与えたと考えられる地震が再び起こり、敷地及びその周辺に同様の影響を与えるおそれのある地震及び近い将来敷地に影響を与えるおそれのある活動度の高い活断層による地震のうちから最も影響の大きいものを想定する」ことになっています。

S2は万万が一を想定した「限界地震」だったはず

また、S2は「設計用限界地震による基準地震動」と呼ばれ、「地震学的見地に立脚し設計用最強地震を上回る地震について、過去の地震の発生状況、敷地周辺の活断層の性質及び地震地体構造に基づき工学的見地からの検討を加え、最も影響の大きいものを想定する」ことになっています。

政府によるこれまでの説明では、S1は現実に起こりうる地震による最大の地震動であり、S2は万万が一を考慮して仮に想定した地震による最大の地震動です。このような基準地震動S1およびS2が簡単に4回も超えられたのですから、安全審査における重大な瑕疵についての深刻な反省があつてしかるべきではないでしょうか。にもかかわらず、経済産業省原子力安全・保安院は、何の反省もせず、柏崎刈羽原発1・4号の原子炉建屋基礎版上での地震観測記録に基づく耐震安全性の評価を全原発で「自主的」に実施させ、新指針による原発耐震安全性評価(いわゆる「バックチェック」)を前倒しで実施させる方針です。

バックチェックではなく新・旧指針の破綻を認めよ

しかし、新指針でも、基準地震動が過小評価されています。新潟県中越沖地震は、地表の活断層からは

**柏崎刈羽1～7号では原子炉建屋基礎版上の観測地震波の
応答スペクトルが設計用基準地震動を超えた！**

— 観測記録
— EL CENTRO(450Gal規準化)による応答
- - - TAFT(450Gal規準化)による応答
— GOLDEN GATE(450Gal規準化)による応答

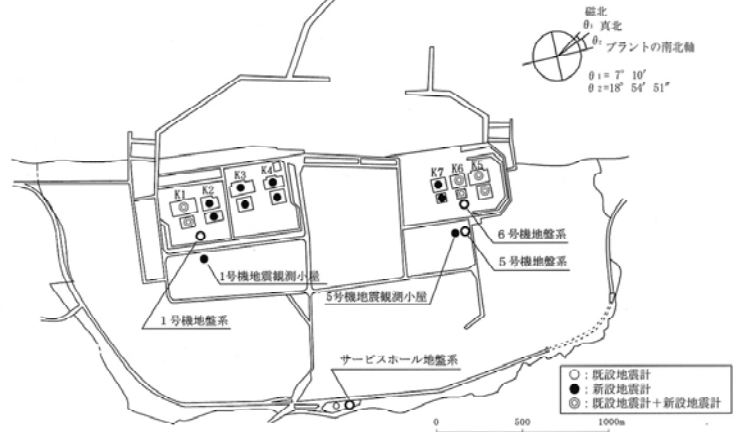
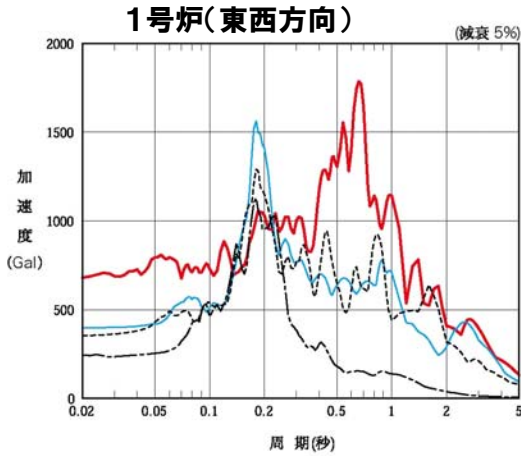
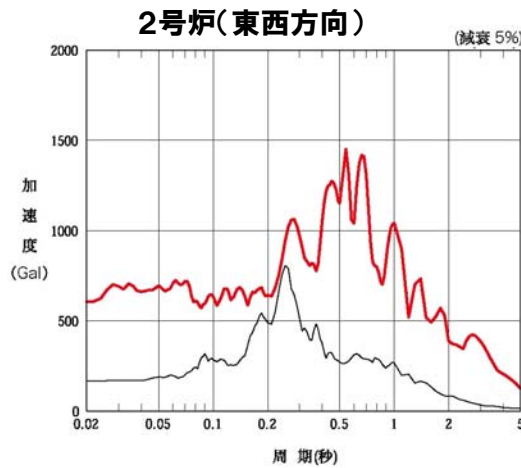


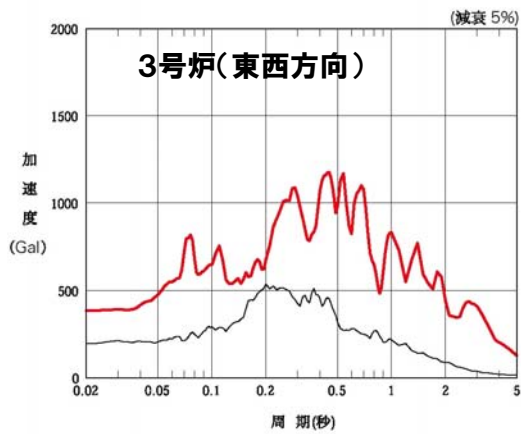
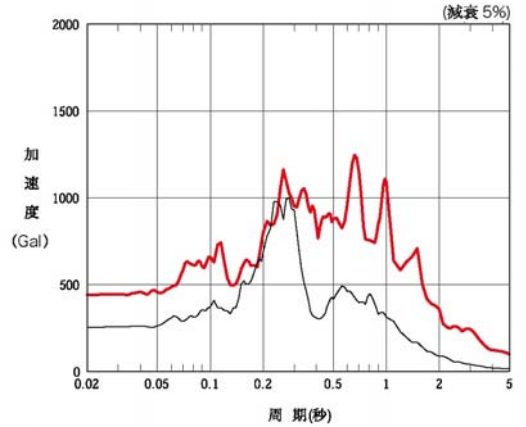
図1 柏崎刈羽原子力発電所における地震観測点の配置

— 観測記録
— 基準地震動 S2による応答

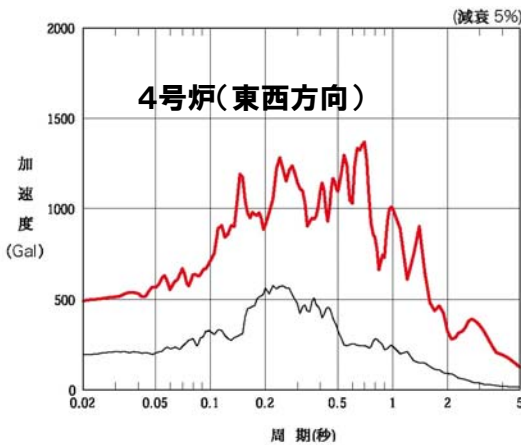
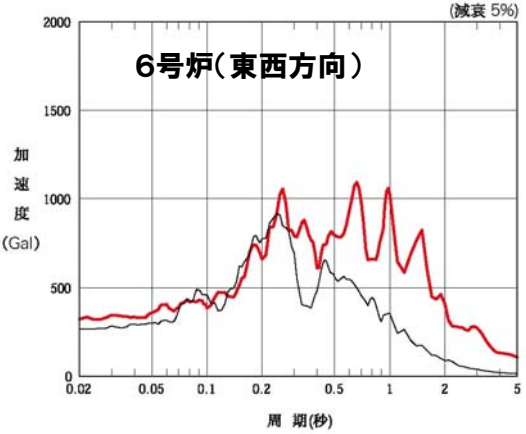


上図でK1～K4が
柏崎刈羽1～4号で、
敷地南側に位置し、
解放基盤表面が地下
230mより深い所
にある。敷地北側の
K5～K7が5～7号で、
解放基盤表面は地下
120mとやや浅い。

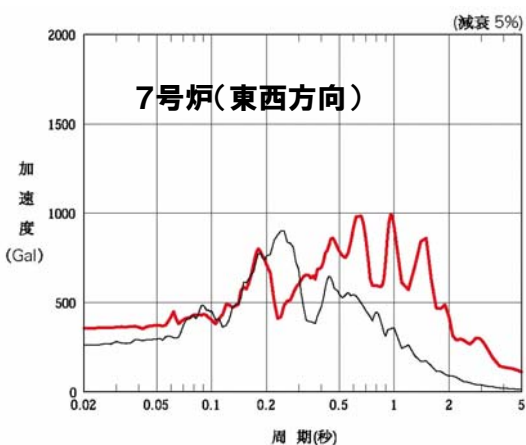
— 観測記録
— 基準地震動 S2による応答



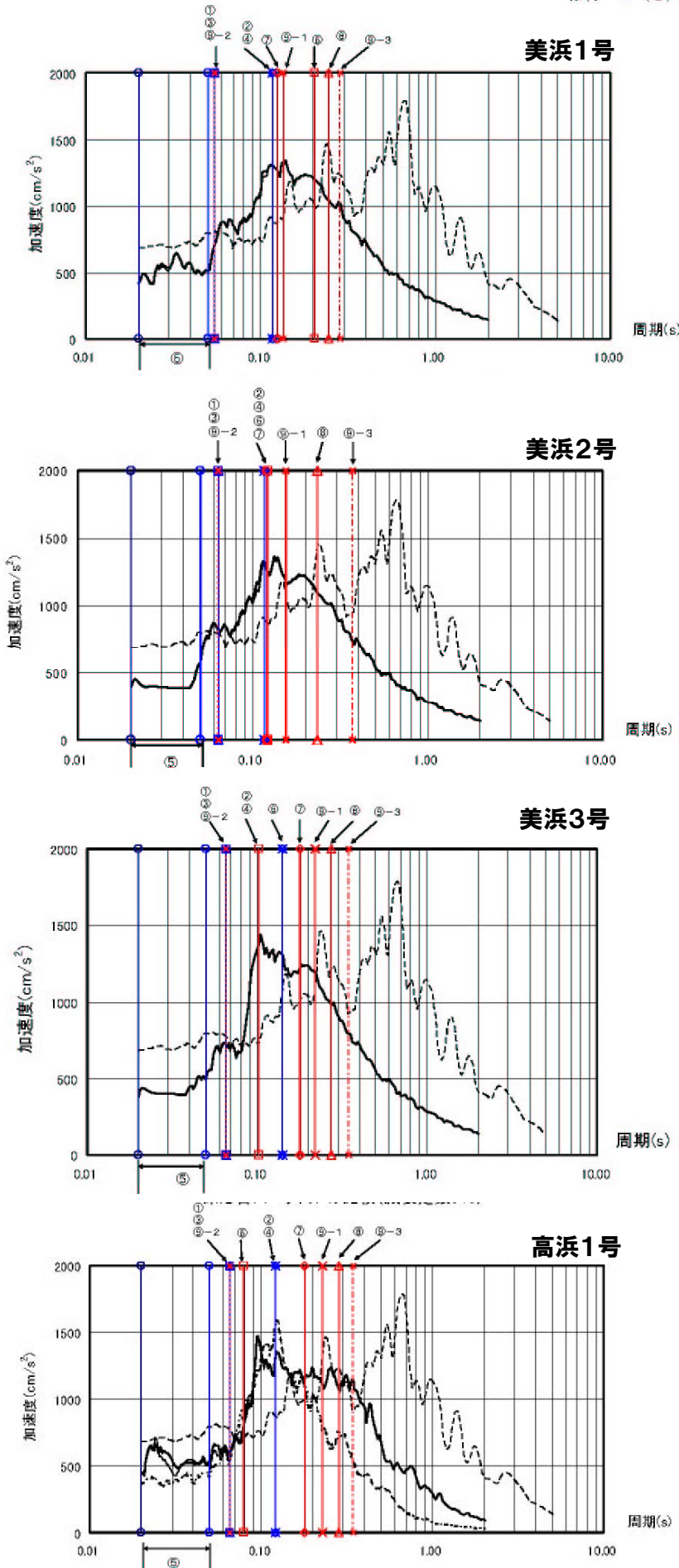
地震動は、解放基
盤表面から原子炉
建屋基礎版上へ伝
わる間に、短周期地
震動が減衰したにも
かかわらず、全原発
で設計時の加速度
応答スペクトルを大
幅に超えている。



この設計時の応答
スペクトルは万万が
一を考えて想定され
た限界地震による地
震動の応答スペクト
ルであり、間違った
想定で設置許可を
出すという重大な瑕
疵を犯したと言える。



関西電力の美浜1～3号、高浜1～4号、大飯1～4号でも、全原発で、
 柏崎刈羽1・4号の基礎版上観測地震波の応答スペクトル包絡値が、設計用加速度応答スペクトルを超えた



破線: 柏崎刈羽1・4号の原子炉建屋基礎版上地震動のEW・NS応答スペクトルの包絡曲線

実線: 各原発の基準地震動S2(高浜1号はSK2)の応答スペクトル(EW成分)

各施設の固有周期:

- ①原子炉容器(支持構造物)、
- ②蒸気発生器(支持構造物)、
- ③炉内構造物(炉心そう)、
- ④一次冷却材配管(本体)、
- ⑤余熱除去ポンプ(基礎ボルト)、
- ⑥余熱除去配管(本体)、
- ⑦原子炉格納容器(本体)、
- ⑧原子炉建屋(外部遮へい建屋)、
- ⑨-1制御棒挿入性(制御棒駆動装置)、
- ⑨-2制御棒挿入性(ガイドチューブ)、
- ⑨-3制御棒挿入性(燃料集合体)

柏崎刈羽1号の解放基盤表面での地震動(はぎとり波)を美浜・高浜・大飯原発の解放基盤表面に入力すれば、破線の柏崎刈羽1・4号の原子炉建屋基礎版上の応答スペクトルをかなり超えることになる。全周期で基準地震動S2の応答スペクトルを超えることは間違いないと思われる。そうすれば、9月20日に電力各社から原子力安全・保安院へ提出された「概略影響検討結果」報告書は無意味になる。

関西電力の報告書では、各施設の固有周期で破線の応答スペクトルと実線の応答スペクトルの比を α とし、設計時の地震以外の荷重を考慮した許容値と応答値の比を β として、 $\alpha \leq \beta$ であれば、柏崎刈羽1・4号の基礎版上の地震動に対する応答値が許容値を下回るとしている。しかし、この評価でも①の原子炉容器(支持構造物、固有周期0.052～0.083秒)は余裕がほとんどない。高浜1号では α と β はどちらも1.27でほぼ同じ値である。これで技術基準を満たしていると本当に言えるのか。

(関西電力9月20日付け「概略影響検討結果報告書」より作成)

容易に推定できない震源断層による地震でした。この震源断層については、諸説入り交じり、百家争鳴の状態で、未だに決着はついていません。はっきりしているのは、これまでの活断層調査の延長線上では推定できない震源断層だったということです。つまり、新指針で言えば、「震源を特定せず策定する地震動」でカバーされるべき地震動なのです。ところが、この地震動は、旧指針のM6.5の直下地震に関する地震動の応答スペクトルと周期0.2秒以下の短周期側でほぼ同じです。これより長周期側では応答スペクトルがより大きく設定されていますが、原発では重要な建屋・施設の固有周期が0.02～0.4秒に集中しており、0.4秒より大きな周期では排気筒など一部を除いて、ほとんど影響はありません。つまり、新指針でも旧指針と同じような基準地震動が策定されるようになっているのです。

M7.3の直下地震を巧みに除外した新指針

実は、新指針を検討している途上で、「M7.3以下の地震では鳥取県西部地震(2000年10月、M7.3)のように必ずしも震源断層が地震断層となって現れないから、M7.3までの岩盤での地震観測記録に基づいて地震動の応答スペクトルを設定すべきだ。」「活断層に基づいて震源断層を推定できた地震を除外するのではなく、地震断層の有無にかかわらずM7.3以下の地震によるすべての地震観測記録を用いるべきだ。」との議論がありました。ところが、「そのような既往最大の地震動を想定すると活断層調査の熱意が失われる。」「地震断層の現れた地震による地震動のほうが地震断層の現れない地震による地震動より小さい。」というわけのわからない理由で採用されなかったのです。

つまり、新指針の「震源を特定せず策定する地震動」そのものが、直下地震を過小評価するものになっているのです。その結果、新潟県中越沖地震による地震動が新指針の「震源を特定せず策定する地震動」の応答スペクトルをも超える事態が生じたのです。これでは、新指針に基づいて原発の耐震安全性をバックチェックすれば良いということにはなりません。ひよっとすると、原子力安全委員会や政府は「新指針には考え方だけを書いており、具体的にはその都度定めればよい」と主張して、「新潟県中越沖地震の解放基盤表面での地震動」を推定し、これを考慮して「震源を特定せず策定する地震動」を策定し直すかも知れません。しかし、政府や原子力安全委員会は新指針の考え方そ

のものが問われているということを認識すべきでしょう。今の新指針の考え方に基づけば、設計用基準地震動を超える地震が起こるたびに設計用地震動を策定し直すという「後追い指針」にならざるを得ないのです。新潟県中越沖地震を機に、政府・原子力安全委員会は、「M7.3以下の直下地震に耐えられない原発は設置を許可しない」という考え方に指針を根本的に変更すべきです。

基準地震動が実際に超えられるまで知らぬ顔！？

関西電力は9月28日の若狭ネットとの交渉で、「実際の地震動が設計用基準地震動を超えても良いとは考えていない。今回の評価はあくまでもそのような地震が起きたら耐震安全性が確保されるかという仮定の話だ。」と逃げていました。まだ、美浜・大飯・高浜原発で現実に設計用基準地震動を超える地震が生じていないからと言って、許されるものではありません。女川、志賀、柏崎刈羽原発の耐震設計の安全審査で重大な瑕疵が明らかになった以上、全原発にその影響が及ぶのは当然のことです。M7.3までの地震観測記録に基づいて「震源を特定せず策定する地震動」に代わる地震動を設定し直し、全原発の安全審査をもう一度やり直すべきです。そして、それが済むまで、全原発の運転を停止すべきです。M7.3の直下地震に耐えられない原発は永久閉鎖すべきです。

(2) 解放基盤表面での地震動をまず評価し、これに基づいて全原発の耐震性評価を行うべきだ！

電力各社は、「柏崎刈羽1・4号の原子炉建屋基礎版上で観測された地震動と同様の地震動に対する安全機能維持の確認」について自主的に検討した結果を9月20日、一斉に経済産業省原子力安全・保安院へ提出しました。もちろん、そこには、実際の地震動が設計用基準地震動を超えたことについては、遺憾の意の表明はなく、同様の事態が相次いでいることに対する反省の言葉もありません。そこでは、柏崎刈羽原発を襲った地震動が他の原発を襲った場合、地震動の応答スペクトルが設計用基準地震動S2の応答スペクトルを超えることを認めながら、「この地震動によって発生する応答応力はS2で求められる許容応力の範囲内に収まっているから大丈夫だ」と居直ってさえます。「盗人猛々しい」とはこのことではないでしょうか。

直下地震に襲われたのは柏崎刈羽原発7基すべて

であり、それぞれで基礎版上の地震観測記録は異なります。もっとも、7基の各応答スペクトルは1・4号の基礎版上地震動の応答スペクトルで包絡されますので、この応答スペクトルを議論している限りでは問題なさそうに見えます。この応答スペクトルを用いた評価で応答値が許容値を超えた場合には、「詳細評価」と言って、1・4号の地震観測記録(地震波形)そのものを用いた評価を行います。当然のことながら、これでは2・3号や5～7号の地震観測記録(地震波形)を包絡できず、各施設の応答値はずっと小さくなります。地震波のバラツキを考慮するのであれば、7基すべての地震観測記録(地震波形)に対して各原発の耐震安全性を評価すべきだと言うべきでしょう。

解放基盤表面の地震動で評価せよ

しかし、もっと大きな問題が隠されているのです。実は、柏崎刈羽原発の原子炉建屋基礎版相当の地盤の弾性波速度 V_s は500m/secと他の原発より小さく、 V_s が700m/secの解放基盤表面から原子炉建屋へ地震動が到達する途中で短周期地震波が大きく減衰した可能性があるのです。新潟県中越沖地震による原発への影響を検討するのであれば、本来、解放基盤表面での地震観測記録を他の原発の解放基盤表面に地震動として入力し、各施設の応答応力を求めるべきだと言えます。

このことをもう少し詳しく見てみましょう。

軟らかい地盤での地震波の複雑な増幅と減衰

震源断層で地震波が形成され、岩盤や地層を伝わって建物や施設に地震動をもたらすまでには、地震波の伝わる経路によって、「増幅」と「減衰」という相反する作用を受けます。地震波はさまざまな周期の波から成り立っていますが、どの周期の波がより大きく増幅されるのか、また、より大きく減衰されるのかは、地震の規模、震源断層からの距離、伝わる地盤の特徴などによって大きく変わります。建物や施設の固有周期と一致する地震の波が大きい場合には、その地震波に襲われた建物や施設は、大きく揺さぶられ、破壊されてしまいます。だから、どの周期の地震波が増幅されるのか、あるいは減衰されるのかは極めて重要なのです。

地震波にはP波とS波の2種類があります。

P波は波の進行方向に振動する「疎密波」で、液体中でも伝わります。S波は進行方向と直角に振動し、液

体中では伝わりません。P波やS波の伝わる速度を「弾性波速度」と言い、岩盤中ではP波が $V_p=5\sim 7\text{km/秒}$ 、S波は $V_s=3\sim 4\text{km/秒}$ とP波のほうが約1.7倍速く伝わります。最近導入された地震警報は、この速度差を利用して、何秒後にS波が到達するのかを予測し、警報を出すのです。

柏崎刈羽原発は軟らかい地盤の上に建つ

地震波のうち大きな被害をもたらすのはS波です。S波の地層による増幅が問題になります。これは地層の弾性波速度 V_s と密接に関わっています。弾性波速度 V_s は岩盤中では3～4km/秒ですが、軟らかい地層では100m/秒程度にまで落ちて、S波が数倍に増幅されます。原発では、弾性波速度 V_s が700m/秒程度の岩盤を「解放基盤表面」と呼び、できるだけこの条件に近い岩盤に原発を設置することになっています。柏崎刈羽原発では地層が軟らかく、原発は弾性波速度 V_s が500m/秒の地層に7～8mのふ厚いコンクリート床を作ってその上に建てています。したがって、解放基盤表面から原発敷地へ伝わる間に地震波(S波)が少し増幅されることが当然予想されます。

ところが、7月16日に起きた新潟県中越沖地震では、解放基盤表面相当の地下岩盤で993gal(ガル、 cm/秒^2)の大きな地震動を観測したものの、原発敷地に近い深さの地層では867galに留まり、13%ほど小さかったのです。他方、余震では、上に述べたとおり、解放基盤表面と比べて原発敷地付近の地層では、少し地震動が増幅しています。このような「異常現象」はなぜ起こるのでしょうか。それは、地震波の減衰によるものであり、減衰の起こり方が地震の規模や地層の特徴によって異なることによるものなのです。

減衰には、幾何減衰、内部減衰、散乱減衰の3種類があります。

震源断層から離れると小さくなる「幾何減衰」

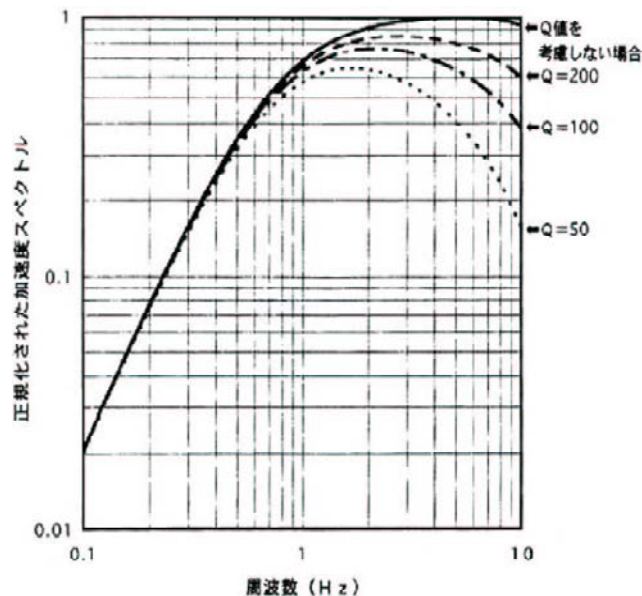
「幾何減衰」は、震源断層から遠く離れるほど地震波が減衰するというものです。地震波に含まれる波のうち周期の長い波は遠くまで余り減衰せずに届きますが、周期の短い波は距離と共に大きく減衰するため、余り遠くまで届きません。原発では、重要な建物・機器の固有周期は0.02～0.4秒の短周期域に集中しており、短周期の波が余り減衰せずに届く「直下地震」や近距離地震が一番危ないのです。ただし、これは内

陸地殻内地震(いわゆる「活断層による地震」)の場合であり、地下深くで起きるプレート間地震やプレート内地震(スラブ内地震)では震源断層から原発までの距離は遠いのですが、震源断層ではより強い短周期地震波が生成されますので、2003年の宮城県沖スラブ内地震や2005年の宮城県沖プレート間地震などのように、距離が遠くても強い短周期地震動が原発を襲います。陸地から遠い沖合で起こる海溝型プレート間地震では、幾何減衰のため地震動は長周期側になりますが、大きな津波が原発を襲います。

地盤で起きる「内部減衰」と「散乱減衰」

「内部減衰」は、地震波が岩盤や地層を伝わる間に摩擦などによって地震波のエネルギーが吸収されるといふものです。また、「散乱減衰」は地殻内部の岩石に含まれる水分や微細なひび割れなどの不均質構造のために地震波が散乱されて起こる減衰です。どちらの減衰がより大きく効いてくるのかは、地層の特徴や地震波に含まれる波の周期成分によって変わります。

これらの内部減衰や散乱減衰は地震波の伝わる岩盤や地層の特徴によって変わりますので、これを「減衰係数Q値」という値で表しています。このQ値が大きいと減衰しにくいのですが、軟らかい地層ではQ値が100以下の50とか30とかの小さな値になります。Q値が小さいと、地震波は減衰しますが、すべての波が一様に減衰するのではなく、周期が長いと余り減衰せず、約1秒未満の短周期の波でより大きく減衰する傾向があります。周期0.1秒の波ではQ値が100未満になると半分程度の振幅へ大きく減衰します。もっとも、このQ値は地層による減衰の特徴を表しますが、地震波の周期によって異なり、短周期の波に対してはQ値が大きくなるという性質があり、その分、減衰が抑制されます。その結



Q値が地震動(S波)に与える影響

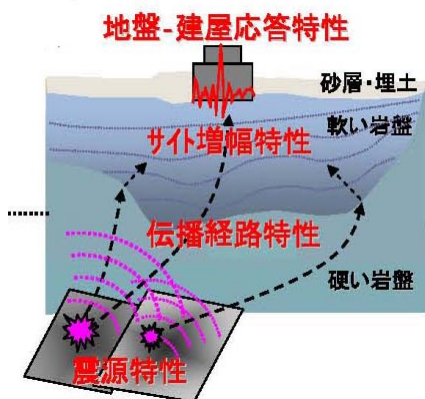
震源から出る地震波の周波数特性を適当に仮定し、ある距離離れた地点での地震動の加速度スペクトル。Q値を考慮しない場合の最大値を1とする。(「地震災害の基礎知識」1章2節地震と地震災害p.30より)

果、地震波に含まれる波の短周期成分が、あるときは増幅され、あるときは減衰するのです。

地震の規模が大きいほど軟らかい地盤で大きく減衰

さらに、減衰の大きさは地震の規模に依存するということが最近分かってきています。地震の規模が大きいと、軟らかい地層では地震による歪みが大きくなり、地震動の伝わる地層は弾性体というよりも粘弾性体や塑性体としてふるまい、地震動の減衰が大きくなります。しかも、このとき短周期成分の波ほど大きく減衰します。そのため、小さな地震では、軟らかい地層で地震波が増幅されるにもかかわらず、大きな地震では、増幅率が長周期成分の側へシフトし、地震による地層の歪みが大きい場合には、微細なひび割れや岩石からの脱水が増え、その影響で短周期成分の波がより大きく減衰し、地震動の最大加速度が小さくなるのです。

柏崎刈羽1号の地盤系地震計では、この現象が起きたのです。弾性波速度Vsが700m/秒で解放基盤表面相当といえる地下250m(東京湾平均海面を0mとする標高、以下同じ)の岩盤においてNS 753gal、EW 993galの大きな地震動を観測し、Vsが540m/秒の地下122mではNS 780gal、EW 739gal、Vsが500m/秒の地下40m(1号原子炉建屋の位置)ではNS 529gal、EW 867galと減衰しているのです。ところが、その後のM4.8以下の余震では増幅傾向を示し、M5.8の最大余震で



サイト増幅特性は減衰を含む(地震・津波、地質・地盤合同WG資料1-2:原子力安全・保安院、原子力安全基盤機構、p.4の図より)

再び減衰傾向を示しています。サービスホール地盤系の地震観測記録についても同じことが言えます。

つまり、柏崎刈羽原発の原子炉建屋基礎版上の地震動より、地下深い解放基盤表面の地震動のほうが大きいと言えます。しかも、短周期地震動がより大きいと言えるのです。ところが、残念なことに、1号炉の地下250mの解放基盤表面相当の岩盤にある地震計が古かったため、地震観測記録が残っていないのです。サービスホール地盤系の最も深い地下182mの地震計は地震観測記録が残っているものの、弾性波速度Vsが640m/秒しかなく、解放基盤表面より少し軟らかい地盤です。つまり、解放基盤表面相当位置での地震観測記録が存在しないのです。

そのため、東京電力は、解放基盤表面での地震動を次の3つの方法で評価しようとしています。

- (a)原子炉建屋基礎版上の記録から、設計時と逆の手順で解放基盤表面の地震動を再現する。
- (b)サービスホール地盤系の地震観測記録から、弾性波速度700m/秒の地層からの地震波の減衰効果を逆算して解放基盤表面の地震動を再現する。
- (c)解放基盤表面相当位置での余震の地震観測記録から、地震の規模がM6.8の本震での解放基盤表面の地震動を再現する。

これらの評価に際しては、1・5号地盤系の本震での最大加速度値、1・5号地震観測小屋の地震観測記録を参照するとしています。これらのどこに注意すべきで

しょうか。

(a)では、M6.8の規模の大きな地震時の地震波の短周期成分の減衰効果が設計時の想定で過小評価されていないかどうか重要です。逆に、設計時に地震波の減衰効果を過大評価していた可能性もあります。というのは、設計時には、解放基盤表面で450galの地震動が原子炉建屋基礎版上で260gal(58%へ減衰)とか、160gal(36%へ減衰)に小さくなると評価しており、新潟県中越沖地震では解放基盤表面相当で最大加速度993gal(EW)に対し、1号原子炉建屋基礎版上では680gal(EW、68%へ減衰)であり、設計時に減衰効果を過大評価していた可能性もあります。いずれにせよ、今回の解放基盤表面相当の地震動が過小評価されないように注意する必要があります。

(b)では、サービスホール地盤系における弾性波速度Vsが700m/秒相当位置の解放基盤表面相当の地盤からの地震波の減衰効果、とりわけ、短周期成分が過小評価されないかどうか重要です。このサービスホールは柏崎刈羽1～7号の各原発からほぼ1km離れた内陸側にあります。既設の古い地震計67台のうちサービスホールの4台を除く63台すべての地震計で、余震観測記録でデータが上書きされたため、これらの地震計では本震の地震観測記録が残っていません。記憶容量の大きい新設の地震計30台はすべて建屋内にあり、地盤系にはありません。そのため、サービスホール地盤系の地震観測記録が唯一、解放基盤表面

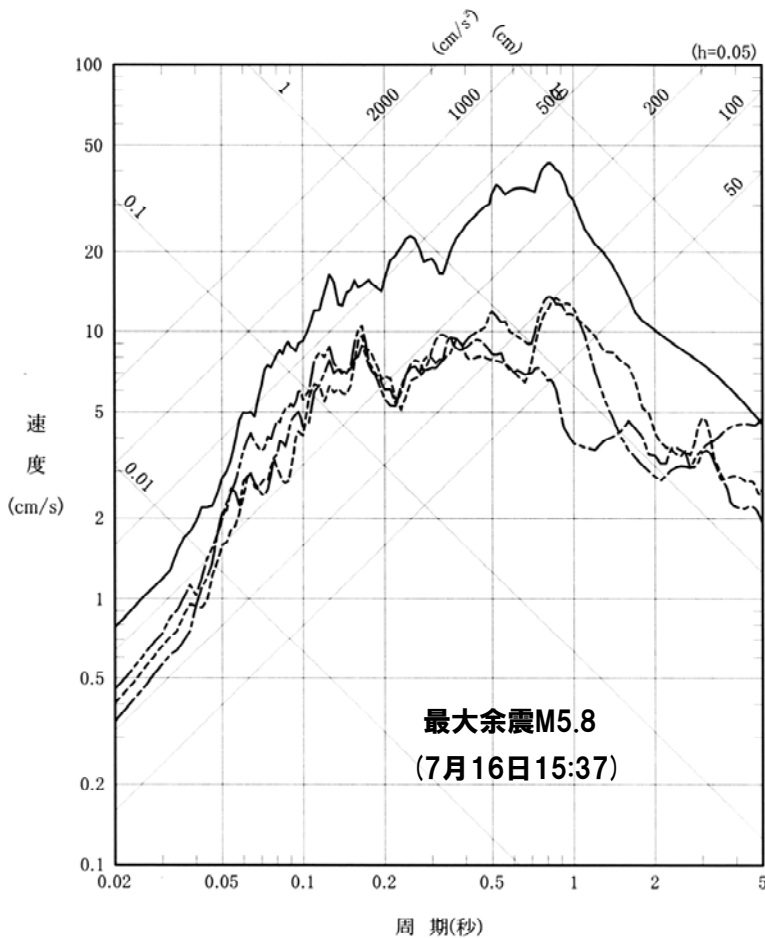
柏崎刈羽原発の地盤系で観測された最大加速度値(gal:南北NS, 東西EW, 上下UD)

	標高	Vs m/秒	本震M6.8 7/16.10:13	余震M3.7 11:00	最大余震 M5.8 15:37	余震M4.2 17:42	余震M4.4 21:08	余震M4.8 7/25.06:52	余震M3.2 8/4.00:16
SG1	+65.1m	310	347, 437, 590	36, 23, 45	163, 186, 194	35, 50 , 37	73 , 51, 66	64, 77 , 49	18, 33 , 26
SG2	+16.7m	350	340, 411 , 179	15, 13, 19	128 , 117, 70	15, 29 , 10	41 , 34, 20	29, 35 , 11	11, 26 , 8
SG3	-31.9m	500	403, 647 , 174	14 , 12, 14	138 , 123, 60	17, 35 , 13	40 , 34, 25	27, 38 , 13	13, 31 , 11
SG4	-182.3m	640	430, 728 , 160	13 , 10, 13	140 , 111, 52	18, 33 , 7	40 , 28, 14	30, 31 , 13	11, 28 , 4
G7	+5.0m	300	503, 548, 620	22, 36, 40	249, 246, 415	223,307, 418	38, 67 , 43	58, 99 , 42	231, 256 , 88
G8	-40.0m	500	529, 867 , 260	6, 10 , 6	92, 127 , 49	70, 95 , 50	12, 21 , 8	20, 29 , 13	79 , 58, 15
G9	-122m	540	780 , 739, 264	10, 12 , 7	93, 108 , 59	91 , 88, 56	11, 15 , 9	19, 30 , 10	87 , 51, 11
G10	-250m	700	753, 993 , —	3, 11 , —	184 , 143, —	91, 103 ,—	14, 15 , —	18, 37 , —	73 , 63, —
G51	+9.3m	160	685, 737 , 308	19, 24 , 21	217, 275 , 97	39, 43 , 25		101, 102 , 29	
G52	-24.0m	500	415 , 388, 166	18 , 13, 7	140 , 117, 53	31 , 23, 10	停電による	46 , 45, 14	起動せず
G53	-100m	660	396, 586 , 226	16 , 12, 9	110 , 102, 32	22, 25 , 9	欠測	41, 45 , 8	
G54	-180m	840	419 , 407, 146	14 , 11, 8	129 , 107, 32	16, 20 , 11		39 , 36, 11	
G55	-300m	870	407, 450 , 187	11, 11, 9	121 , 113, 51	16, 17, 6		40 , 39, 10	

SG1～SG4: サービスホール地盤系の地震計、G7～G10: 1号地盤系の地震計、G51～G55: 5号地盤系の地震計
 (「柏崎刈羽原子力発電所における平成19年新潟県中越沖地震時に取得された地震観測データの分析に係る報告(第二報)」(2007年8月22日、東京電力)より作成)

- G7(T.M.S.L.+5.0m)
- - - G8(T.M.S.L.-40.0m)
- G9(T.M.S.L.-122m)
- - - G10(T.M.S.L.-250m)

**1号地盤系地震計の
深度別応答スペクトル (EW)**



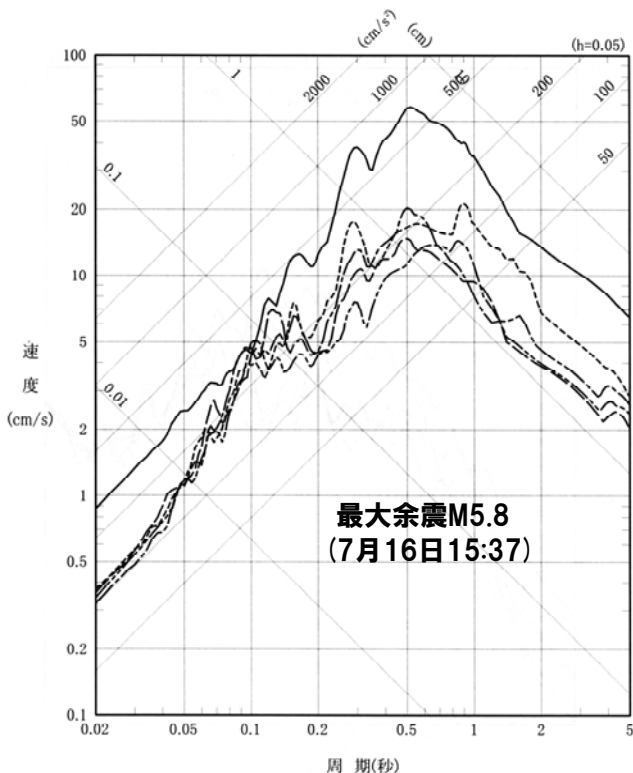
最大余震M5.8の地盤系地震観測記録

解放基盤表面の地震動は1号地盤系G10 (右図の2点鎖線、 $V_s=700\text{m/秒}$) で得られるはずだったが、新潟県中越沖地震の本震M6.8(7月16日10:13、震央距離16km、震源深さ17km、震源距離23km)では消失し、最大加速度993galしか残っていない。5号地盤系もあるが、G53(下図1点鎖線、 $V_s=660\text{m/秒}$)とG54(下図2点鎖線、 $V_s=840\text{m/秒}$)の間が解放基盤表面に相当する。

左図は最大余震M5.8(震央距離10km、震源深さ23km、震源距離25km)に対する地下での地震観測記録の応答スペクトルである。残念ながらNS成分は地震計の異常で不明である。G10とG7~G9を比べると(G8が1号原子炉建屋敷地位置相当)、周期1秒以上では浅いほど地震動が増幅される傾向が見られ、周期1秒未満では逆に、浅いほど減衰する傾向が見られる。この短周期側での減衰傾向は地震の規模が大きいほど大きいことが最近分かっている。本震再現に際してはこれらが過小評価されないよう監視する必要がある。(東京電力8月22日報告第2報より)

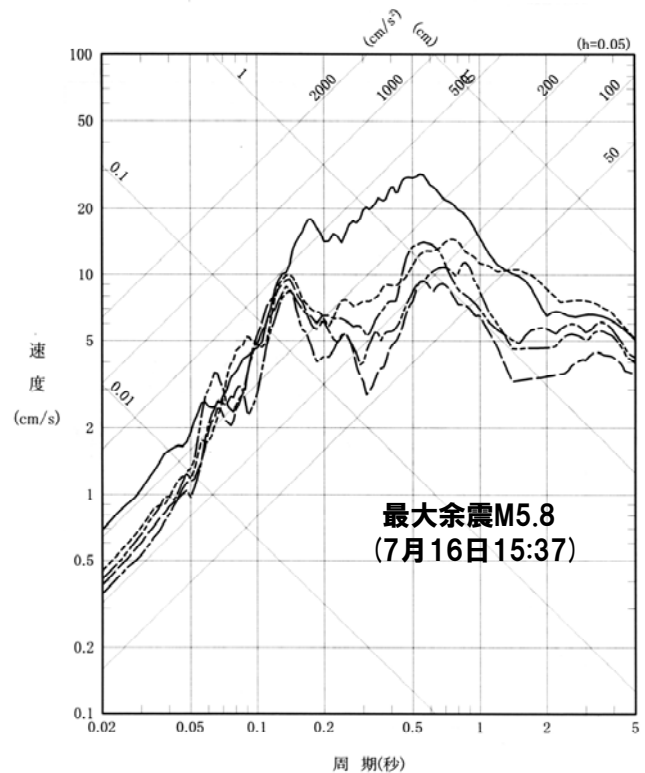
- G51(T.M.S.L.+9.3m)
- - - G52(T.M.S.L.-24.0m)
- G53(T.M.S.L.-100m)
- - - G54(T.M.S.L.-180m)
- - - G55(T.M.S.L.-300m)

**5号地盤系深度別
応答スペクトル (EW)**



- G51(T.M.S.L.+9.3m)
- - - G52(T.M.S.L.-24.0m)
- G53(T.M.S.L.-100m)
- - - G54(T.M.S.L.-180m)
- - - G55(T.M.S.L.-300m)

**5号地盤系深度別
応答スペクトル (NS)**



相当に近い地層での地震観測記録なのです。ところが、最も深い地下182mでも弾性波速度Vsは640m/秒にすぎず、700m/秒の解放基盤表面相当位置までどれくらい地層が続くのかは公表されていません。1号地盤系では地下230mで700m/秒ですから、おそらく50m程度あるのではないのでしょうか。東京電力がその地盤データを持っているのかもわかりません。

(c)では、M5.8の最大余震に対して、本震の規模はM6.8、エネルギー規模で32倍も大きく、この規模の違いが地震波の減衰効果の違いとなっている可能性があり、とくに短周期成分に対して減衰効果が過小評価されないかどうか重要です。単純に余震と本震の最大加速度の比で、解放基盤表面での応答スペクトルがM5.8の余震の応答スペクトルに対して全周期で比例的に大きく評価されるというだけでは、解放基盤表面での短周期側の応答スペクトルが過小評価される恐れがあります。

以上をまとめると、(a)では1号炉での設計時の解放基盤表面から原子炉建屋までの地震動の減衰解析の正しさが問題になり、(b)ではサービスホール地下の地盤構造による解放基盤表面までの減衰効果をどのように評価するのが問題になり、(c)では地震の規模の違いによる減衰効果の違いをどう評価するのが問題になります。いずれにせよ、解放基盤表面の地震動の応答スペクトルが過小評価されないよう見張る必要があるのです。

そして、柏崎刈羽原発での今回の解放基盤表面での地震動の応答スペクトルをそっくりそのまま他の原発にも適用し、各施設の応答応力を評価させる必要があるのです。そうでなければ、柏崎刈羽原発を襲った地震動に他の原発が耐えられるかどうかを評価することなどできないはずです。

その際、設計時の解析による応答応力の計算が現実の応答応力を正しく計算できているのかも問われます。次には、この問題に触れましょう。

(3) 設計時の応力解析が正しいかどうかを まず検証すべきだ！

電力各社は柏崎刈羽1・4号の原子炉建屋基礎版上での地震動観測記録に基づき、その応答スペクトルを設計時に用いた応答スペクトルと比較することにより、また、観測地震波をコンピュータ解析モデルの基礎版上へ直接入力することにより、発生する応答応力を

計算しています。しかし、そもそも、このコンピュータ解析モデルが現実の地震動を正しく反映しているかどうかはチェックされていません。このコンピュータ解析モデルは現実の複雑な建屋・構造物や機器・配管を単純な質点系でモデル化したものであり、現実とは必ずしも一致しません。それが応答応力を安全側に評価するものであれば問題ないのですが、応答応力を過小評価することになっていれば、コンピュータ解析モデルで許容応力を下回っていると言われても、意味がありません。

コンピュータ解析モデルは地震観測記録に合うか？

少なくとも、新潟県中越沖地震の本震時に柏崎刈羽1～7号の建屋内地震計で観測されたすべての地震観測記録について、その応答スペクトルを求め、各建屋基礎版上での地震観測波をコンピュータ解析モデルの基礎版上に入力して得られる応答スペクトルと比較し、安全側にあることを示すべきです。柏崎刈羽原1～7号の原子炉建屋内で観測された地震動の最大加速度値を設計値と比較する限りでは、基礎版上での観測値と設計値との比より大きい箇所が何カ所もあります。これは設計時の解析モデルでは応答値が過小評価されていた可能性を示唆しています。

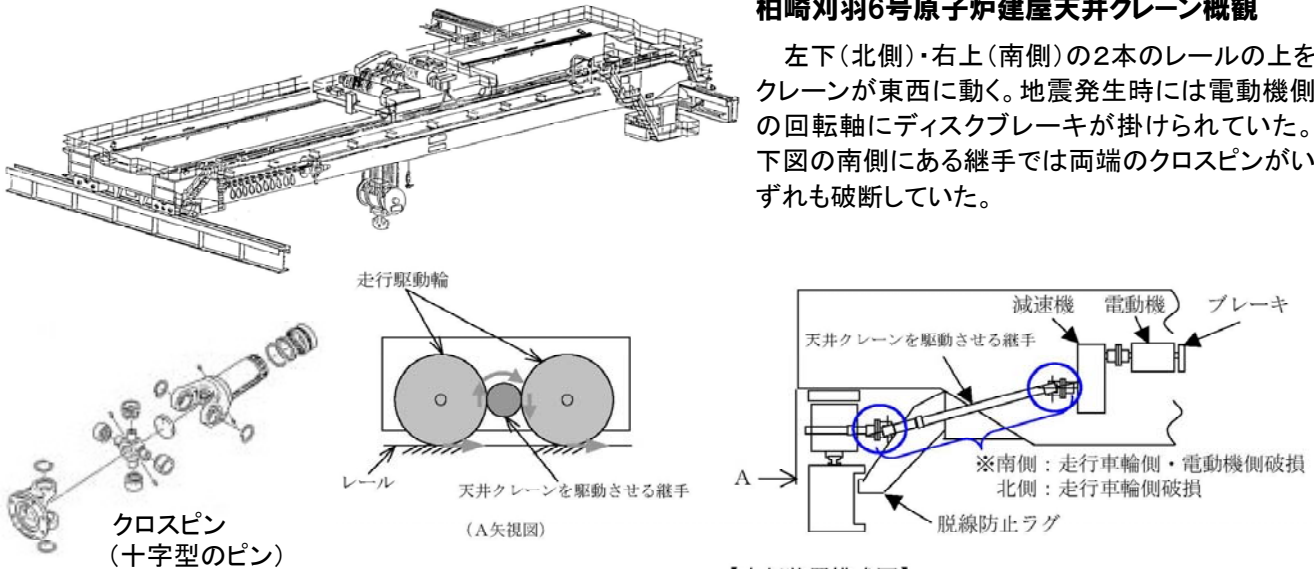
また、設計時には上下動を水平動の1/2(最大加速度値を水平成分の1/2とする)しか考慮せず、しかも、静的に考慮しているだけです。ところが、今回の地震では、基礎版上で、この上下動が4・6・7号では水平動を上回り、1・2・3号では水平動の1/2を超えています。この上下動についても、設計時の解析値との差を評価し、過小評価であったことをはっきり認めるべきです。

これらの評価に基づき、6号原子炉建屋の天井クレーンを駆動させる車軸継手部のクロスピンが破断した現象、および7号原子炉ウエルの厚さ6mmのステンレス製内張が損傷した現象をこのコンピュータ解析モデルによる応答応力の計算で説明すべきです。それができないようなコンピュータ解析モデルであれば、それを使った計算で「応答値が許容値を下回っている」と言われても、架空のものになり、科学的根拠が全くないことになります。

東京電力は10月11日、天井クレーン車軸継手クロスピンの破断原因を「電動機側でブレーキがかかった状態で、車輪が地震による水平動でズレ動き、レールと車輪の間の摩擦力で車軸にトルクがかかり、継手クロ

柏崎刈羽6号原子炉建屋天井クレーン概観

左下(北側)・右上(南側)の2本のレールの上でクレーンが東西に動く。地震発生時には電動機側の回転軸にディスクブレーキが掛けられていた。下図の南側にある継手では両端のクロスピンがいずれも破断していた。



【走行装置模式図】

スピン3個が破断した可能性がある」と結論付けました。地震動との具体的な関係は今後の課題としていますが、南側継手では継手軸の両端にあるクロスピンが両方とも破断しており、なぜこうなったのかは疑問です。というのは、電動機側のクロスピンには、継手(軸)を介してしかトルクが伝わりませんので、走行車輪側のクロスピンが破断した瞬間にトルクは消え去り、破断しえないからです。同じことは走行車輪側にも言え、電動機側のクロスピンが破断した瞬間に継手(軸)は電動機側のブレーキによる拘束から解放されるため、走行車輪側のクロスピンからトルクが消え去ります。継手に直接トルクが生じたのであれば両端のクロスピンが同時に破断することはありえますが、継手を介してしかトルクが伝わらない状況で、両端のクロスピンが瞬時に同時破断するというのは有り得ないと思われます。トルクがかかった状態で、地震動が同時に作用して瞬時に継手両端のクロスピンがほぼ同時に破断した可能性はないのでしょうか。いずれにせよ、地震荷重との関係で説明ができなければ、破断原因が解明されたことにはなりません。

さらに、柏崎刈羽原発の1次系と原子炉内の状況はまだ十分確認されたとは言えません。コンピュータ解析モデルによる計算で「耐震安全性が確認された」と言っても、現実の機器で変形・破損・破壊が生じておれば、その説明が不可欠です。国内で初めて直下地震に見舞われた原発として、柏崎刈羽原発1～7号の建屋・構築物、機器・配管のすべてについて、閉鎖につながるような破壊検査を含めて、徹底した調査が必要です。

電力各社では柏崎刈羽原発で用いられたコンピュータ解析モデルとほぼ同じモデルを用いて計算しているため、柏崎刈羽原発でコンピュータ解析モデルが現実を正しく説明できないというのであれば、全原発についても同じことが言えるのです。

(4) 応答値が許容値を超えれば、 技術基準違反であり、即刻運転中止すべき！

電力会社は、「応答値が許容値を超えても許容値自体に設計余裕が含まれているから安全だ」というようなことを主張しているようですが、それは技術基準違反であり、電気事業法違反です。

電気事業法では、地震が原発を襲うような事態は運転状態Ⅱ、Ⅲ、Ⅳに分類され、耐震安全性評価の結果、発生応力が運転状態Ⅱ・Ⅲ・Ⅳによって要求される許容応力を超えた場合には、「技術基準」違反となり、電気事業法第39条・第40条に基づき、経済産業大臣は当該原発の即刻停止・使用中止を命じなければならないとされています。

たとえば、原子炉容器・一次冷却系の配管・ポンプ・弁など第1種容器において、運転状態Ⅲで一次一般膜応力(注1)が降伏応力(弾性限界)を超えれば、技術基準を満たさないと言うこととなります(注2)。したがって、「地震によって弾性限界の許容値を超えても、まだ、破壊するわけではなく、安全だ。」というような電力会社の主張は意味をなしません。電力会社には法律を遵守し、手前勝手な安全論を展開しないよう警告する必要があります。

注1:「一次一般膜応力」は、圧力または機械的荷重によ

って生じる板圧断面垂直応力の平均値であり、周囲からの拘束や自己拘束による応力および局所的な熱応力や応力集中は含まない。板圧方向の外周部では垂直応力が平均値(膜応力)より大きくなるが、技術基準ではこの変化成分を「曲げ応力」と呼ぶ。

注2: 技術基準は省令で定められ、具体的な規格は告示501号(発電用原子力設備に関する構造等の技術基準)で別途規定されていた。ここに引用した内容も告示501号に記載されたものである。ところが、2005年12月に改正された省令で技術基準が性能規定化され、告示501号は廃止された。しかし、告示501号の基本的な内容は省令に取り込まれ、たとえば、省令第9条では「材料及び構造」が15項目に渡って規定されており、炉心支持構造物は14項目に次のように規定されている。

「14 炉心支持構造物の構造及び強度は、次によること。

イ 設計上定める条件において、全体的な変形を弾性域に抑えること。

ロ 運転状態Ⅲにおいて、全体的な塑性変形が生じないこと。ただし、構造上の不連続部における局所的な塑性変形はこの限りではない。

ハ 運転状態Ⅳにおいて、延性破断に至る塑性変形が生じないこと。

ニ 炉心支持構造物にあつては、運転状態Ⅰ及び運転状態Ⅱにおいて、進行性変形による破壊が生じないこと。

ホ 運転状態Ⅰ及び運転状態Ⅱにおいて、疲労破壊が生じないこと。

ヘ 運転状態Ⅰ、運転状態Ⅱ、運転状態Ⅲ及び運転状態Ⅳにおいて、座屈が生じないこと。」

このように省令が性能規定化され、告示501号で定められていた具体的な内容は学協会規格で定められるようになった。しかし、以前の告示501号と整合性を失わないようにされており、基本的には民間規格に引き継がれている。

発電用原子力設備に関する技術基準を定める省

令(最終改正:2005年12月22日経済産業省令第121

号)第2条第25~22号に定める運転状態

運転状態Ⅰ:原子炉施設の通常運転時の状態

運転状態Ⅱ:運転状態Ⅰ・Ⅲ・Ⅳおよび試験状態
以外の状態

運転状態Ⅲ:原子炉施設の故障、誤作動等により
原子炉の運転の停止が緊急に必要とされる
状態

運転状態Ⅳ:原子炉施設の安全設計上想定され
る異常な事態が生じている状態

試験状態:耐圧試験により原子炉施設に最高使
用圧力を超える圧力が加えられている状態

また、技術基準はそもそも、旧告示501号第13条で示されているように、破壊される極限の状態(究極強さ)での運転など認めてはいません。最も厳しい応力状態を想定した運転状態Ⅳは、「発電設備の安全評価上仮想的に想定された状態」であり、「この状態における応力評価の目的は“格納容器バウンダリ、耐圧部材および炉心支持構造物の機能は維持される”とする安全評価上の仮定に保証を与えることである。このため、運転状態Ⅳの許容応力は、鋼材の終局的な強さを基にして、これに弾性計算により、塑性不安定現象の評価を行うことへの理論的安全裕度を考慮して定められたものである。」(旧告示501号第13条解説)とされています。つまり、運転状態Ⅳは「仮想的な状態」であり、これが現実にかかるようなことはあつてはならないのです。このような状態が万一起こっても、かろうじて機能が維持されるかどうかを確認しているだけであり、「安全だ」とは到底言えないギリギリの状態なのです。

(5) 老朽化による固有周期の変化や

許容値・応答値の変化を考慮すべき!

コンピュータ解析モデルによって応答値が技術基準に定められた許容値を満たしていたとしても、現実には、それで耐震安全性が確保されているという保証にはなりません。というのは、現実の建屋・構築物、機器・配管で技術基準が満たされているという具体的な保証がないからです。

関西電力について言えば、ごく最近でも、美浜2号で蒸気発生器の管台にひび割れがみつき、3年前には美浜3号の復水系配管が減肉のために破断し、5名が亡くなり6名が重軽傷を負われています。

このような現実を目の当たりにすれば、設計・製造・施工上のミス、減肉、応力腐食割れ、金属疲労による亀裂、コンクリートの劣化、中性子線による原子炉容器の照射脆化など老劣化現象が見えないところで蓄積されているのではないかと危惧されます。このような老劣化に伴い、地震発生時の応答応力が局所的に過大になったり、また、材料の許容値が減少していたりして、想定外の破壊が生じる危険性があります。原発では本来、固有周期の長い施設が多いのですが、サポート部をたくさんつけてムリヤリ短周期にしています。そのため、原子炉容器、1次系配管、蒸気発生器など重量物を支える支持構造物の変形破損すれば、その固有周期が大きくなり、地震による揺れがより大きくなり、応答

電気事業法（昭和39年7月11日法律第170号、
最終改正：平成18年6月2日法律第50号）

第三章 電気工作物

第二節 事業用電気工作物

第一款 技術基準への適合

（事業用電気工作物の維持）

第39条 事業用電気工作物を設置する者は、事業用電気工作物を経済産業省令で定める技術基準に適合するように維持しなければならない。

2 前項の経済産業省令は、次に掲げるところによらなければならない。

一 事業用電気工作物は、人体に危害を及ぼし、又は物件に損傷を与えないようにすること。

二 事業用電気工作物は、他の電氣的設備その他の物件の機能に電氣的又は磁氣的な障害を与えないようにすること。

三 事業用電気工作物の損壊により一般電気事業者の電気の供給に著しい支障を及ぼさないようにすること。

四 事業用電気工作物が一般電気事業の用に供される場合にあつては、その事業用電気工作物の損壊によりその一般電気事業に係る電気の供給に著しい支障を生じないようにすること。

（技術基準適合命令）

第40条 経済産業大臣は、事業用電気工作物が前条第一項の経済産業省令で定める技術基準に適合していないと認めるときは、事業用電気工作物を設置する者に対し、その技術基準に適合するように事業用電気工作物を修理し、改造し、若しくは移転し、若しくはその使用を一時停止すべきことを命じ、又はその使用を制限することができる。

第三款 工事計画及び検査

（工事計画）

第47条 事業用電気工作物の設置又は変更の工事であつて、公共の安全の確保上特に重要なものとして経済産業省令で定めるものをしようとする者は、そ

の工事の計画について経済産業大臣の認可を受けなければならない。ただし、事業用電気工作物が滅失し、若しくは損壊した場合又は災害その他非常の場合において、やむを得ない一時的な工事とするときは、この限りでない。

2 前項の認可を受けた者は、その認可を受けた工事の計画を変更しようとするときは、経済産業大臣の認可を受けなければならない。ただし、その変更が経済産業省令で定める軽微なものであるときは、この限りでない。

3 経済産業大臣は、前2項の認可の申請に係る工事の計画が次の各号のいずれにも適合していると認めるときは、前2項の認可をしなければならない。

一 その事業用電気工作物が第39条第1項の経済産業省令で定める技術基準に適合しないものでないこと。

二 事業用電気工作物が一般電気事業の用に供される場合にあつては、その事業用電気工作物が電気の円滑な供給を確保するため技術上適切なものであること。

三 特定対象事業に係るものにあつては、その特定対象事業に係る第46条の17第二項の規定による通知に係る評価書に従っているものであること。

四 環境影響評価法第2条第3項に規定する第二種事業（特定対象事業を除く。）に係るものにあつては、同法第四条第3項第2号（同条第4項及び同法第29条第2項において準用する場合を含む。）の措置がとられたものであること。

4 事業用電気工作物を設置する者は、第1項ただし書の場合は、工事の開始の後、遅滞なく、その旨を経済産業大臣に届け出なければならない。

5 第1項の認可を受けた者は、第2項ただし書の場合は、その工事の計画を変更した後、遅滞なく、その変更した工事の計画を経済産業大臣に届け出なければならない。ただし、経済産業省令で定める場合は、この限りでない。

応力が一気に増え、破壊に至る危険性があります。

関西電力の9月20日の耐震安全性評価報告書によれば、原子炉容器支持構造物の余裕が極めて小さいことが分かります。関西電力は α (=対象施設の固有周期における床応答スペクトルの観測地震波の加速度応答値/設計時の加速度応答値)と β (=許容値/設計時の応答値:いずれも応力の許容値・応答値で、応答値は地震以外の応力を含む)の比較をしています。関西電力は、 $\alpha \leq \beta$ であれば「耐震余裕がある」と主張していますが、ほとんど余裕はありません。

美浜1号の原子炉容器支持構造物の場合、 $\alpha = 1.13$ 、 $\beta = 1.25$ で、 α / β の比をとると0.904(=1.13/1.25)になります。わずか1割の余裕ですから、支持構造物の老劣化、地震動のバラツキ、コンピュータ解析モデルの計算精度等を考慮すると余裕があるととても言えません。高浜1号では1.00 (=1.27/ 1.27)と余裕はありません。高浜2号でも0.961(=1.22/1.27)と余裕が少ないことが分かります。

もっとも、関西電力に言わせれば、 β の設計時の応答値には地震以外の応力が含まれるから、これを考慮して、 $\beta' = (\text{許容値} - \text{設計時の地震以外の応答値}) / \text{設計時の地震による応答値}$ (いずれも応力の許容値・応答値)を求めて、 α を β' と比較すれば余裕が出てくるとか、1・4号の原子炉建屋基礎版上で観測された地震波で解析すればもっと余裕は大きくなるとか、主張するかも知れません。それなら、柏崎刈羽原発の解放基盤表面での地震動を正しく評価し、それを美浜・大飯・高浜原発の解放基盤表面に入力して解析すべきです。また、関西電力は美浜原発近くの海底断層を陸域の野坂断層と切り離し、起こりうる地震の規模を小さく評価していますが、地震調査研究推進本部の主張しているように、両者が連続して動くと思なし「野坂断層帯」として評価すれば、美浜原発の直下でM7.3の直下地震が起きる可能性があるわけですから、その直下地震による耐震安全性を評価すべきです。

(6) 振動台実験をやるのなら、兵庫県南部地震での破断を再現する地震波で実施すべき！

直下地震による実際の地震動では、大きな水平力だけでなく、それをも上回る上下動も加わる3次元の地震動になります。今のコンピュータ解析モデルでは地震動を3次元で動的に解析することはできません。そこで、模型や実物大のモデルを使った振動実験が行わ

れています。今はもう閉鎖されましたが、四国の多度津にあった振動台による振動実験や兵庫県三木市に新しくできた振動台実験がそれです。しかし、多度津の振動台は2次元の水平動しか再現できません。三木市の振動台でようやく3次元の振動実験ができるようになったのです。最大の問題は、どのような地震波を振動台に入力するかです。

当然のことながら、振動台が壊れてしまうような振動実験は行えません。だから、自ずと振動実験の最大規模は限られます。阪神・淡路大震災をもたらした兵庫県南部地震を再現するのに、神戸大学での地震観測記録が使われますが、神戸大学ですら破壊していないのに、そのような地震波を用いて原発の耐震性を評価することなどできません。もし、振動台実験をやるのであれば、芦屋浜シーサイドタウンで起きた、約40cm四方、肉厚5cmの中空箱形鋼鉄柱が416本中53本も破断した地震動を再現し、その地震波を用いて実施すべきです。この鋼鉄柱の破断は大きな水平力によるのか、上下動の激しい衝撃波によるのかで学者の中でも意見が分かれ、決着がついていません。もし、衝撃波であれば、振動台で再現するのは難しいでしょう。再現したたんに振動台が破壊されてしまうからです。

兵庫県南部地震では周期1～2秒の地震波が卓越するキラーパルスが形成されたと言われています。新潟県中越沖地震でも柏崎刈羽原発をキラーパルスが襲ったようです。東京電力による10月12日の「地震・津波、地質・地盤合同WG」での報告によれば、新潟県中越沖地震では兵庫県南部地震とは異なり、キラーパルスの卓越周期は0.6程度と小さく、短周期側も応答スペクトルが大きくなっています。大規模な直下地震ではこのようなキラーパルスが原発を襲う可能性があるのですから、衝撃波による破壊に耐えられるかどうかのチェックをしておく必要があるのではないのでしょうか。

新潟県中越沖地震を教訓とするのであれば、活断層があるかないかにかかわらず、地震断層が現れる保証のないM7.3までの直下地震に耐えられるようにすべきです。そして、このような規模で発生しうる衝撃波にも耐えられるようにすべきです。もし、それができないのであれば、原発の運転を即刻中止すべきです。新潟県中越沖地震は「想定外」の恐怖を警告しています。設計用基準地震動を4回も超えられ、それでも「想定外」を繰り返そうというのであれば、原発震災を避けることはできないでしょう。それはまっぴらゴメンです。