

事件番号 平成28年（行ウ）第161号

美浜原子力発電所3号機運転期間延長認可処分等取消請求事件

原告 松下照幸 外2名

被告 国

準備書面（2）の説明要旨
（地震の繰り返しの揺れに対する原子炉の耐震安全性）
（高浜原発1，2号機事件の準備書面（8））

2017（平成29）年3月30日

名古屋地方裁判所 民事9部A2係 御中

原告ら訴訟代理人弁護士 北村 栄 ほか

はじめに

熊本地震では、最大震度が7の地震が間を置かずに2度発生し、その後も一か月の間に大きな揺れが何度も発生したが、原子炉の耐震審査では、強い前震や強い余震の影響及び基準地震動に匹敵する揺れが複数回発生する場合には考慮されていない。本書面では、この熊本地震により明らかとなった問題について本件原発における審査の問題点を指摘する。

また、繰り返しの揺れによる影響で安全上重要なものに「疲労（金属疲労）」がある。本書面では、安全上重要な機器・配管の疲労累積係数による評価結果が、許容値ぎりぎりであり、繰り返しの揺れを考慮すると、許容値を超えてしまうという問題についても説明する。

第1 熊本地震の繰り返し揺れと被害

1. 熊本地震により発生した繰り返しの揺れ

熊本地震では、本震の約28時間前に前震が発生し、震度7のという大きな揺れが2回発生した。その後も最大震度が6強の地震が2回、6弱の地震が3回発生した。震度5弱以上の地震は19回に及ぶ。

震度6弱以上を観測した地震

発生時刻	震央	深さ	M	最大震度
4月14日21時26分	熊本県熊本地方	11km	6.5	7
4月14日22時07分	熊本県熊本地方	8km	5.8	6弱
4月15日00時03分	熊本県熊本地方	7km	6.4	6強
4月16日01時25分	熊本県熊本地方	12km	7.3	7
4月16日01時45分	熊本県熊本地方	11km	5.9	6弱
4月16日03時55分	熊本県熊本地方	11km	5.8	6強
4月16日09時48分	熊本県熊本地方	16km	5.4	6弱

「熊本地震における建築物被害の原因分析を行う委員会報告書」より (P9)

2. 繰り返しの揺れにより新建築基準後の建物にも被害

熊本地震による木造建築物の調査結果について、「前震で被害が軽微であった木造住宅が本震で倒壊した例が多数確認された。」など報告されており、耐震基準が厳しくなった後の建物についても多くの被害が出ている。建築基準に関する新耐震基準は「震度6強～7の巨大地震でも倒壊や崩壊はしない」ことを目安としているが、一方で、基準は一度の地震に耐えることを前提としていた。熊本地震では、倒壊した建築物の多くが、1度の震度7には耐えても2度目の震度7には耐えられなかったという事実が明らかとなった。



写真 3.3-1 4/15 時点では壁が外れただけの家屋（左）が本震で倒壊（右）した例

第 2 原子炉の耐震審査では地震の繰り返しの揺れは想定されていない

1. 原子力規制委員長の見解は誤った解釈によるものであること

原子力規制委員会の田中委員長は、熊本地震後の定例記者会見において、以下のよう述べている。

「一般の家屋が何回か繰り返して、今回もそうですけれども、2回目の地震で倒壊したというのは、結局もう1回目で塑性変形、弾性領域を超えているということなのですね。ですから、原子力施設についてはそういう設計はしていません」（「原子力規制委員会臨時記者会見録」平成28年4月18日）

弾性範囲（弾性領域）というのは、外力をかけて生じた応力によりできたひずみですが、外力（応力）を0にすると元の形状に戻る場合であり、応力が弾性領域内であれば、何度繰り返しても理論上は元に戻ることになる。弾性限界を超える応力により塑性領域に入ると、応力を0にしてもひずみ残り、元の形には戻らず、それが繰り返されると変形することになる。

2. 設置許可規則は塑性ひずみを許容している

設置許可規則及びその解釈では、「地震力に十分に耐える」との説明中の「許容限界」の説明として、「局部的に弾性限界を超える場合を容認しつつも施設全体として

おおむね弾性範囲に留まり得ることをいう。」とある（「規則の解釈」P122）。このように設置許可規則は、弾性限界を超え、塑性ひずみが生じうる場合を容認している¹。

このように、田中委員長の発言は明らかに設置許可規則の解釈を誤った発言である。

3. 弾性範囲に収まる設計は基準地震動に対してではない

（省略）

4. 地震の繰り返しの揺れは想定外

設置許可規則やその解釈では、地震力については基準地震動によるものだけが考慮され、熊本地震のような、強い前震や余震が発生した場合や基準地震動に匹敵するような揺れが、時間をおかずに発生した場合の繰り返される場合についての考慮はなく、繰り返しの揺れは想定外とされている。

5. 蒸気発生器伝熱管の耐震評価

本件原子炉の蒸気発生器伝熱管の基準地震動（ S_s ）における1次応力（膜応力+曲げ応力）の発生値と、基準値（評価基準値（許容値）及び弾性設計用評価基準値）は次のとおりである。

蒸気発生器伝熱管の基準地震動 S_s による1次応力評価結果（単位：MPa）

原子炉	<u>S_sによる 1次応力発生値</u>	S_s 用評価基準値	弾性設計用 評価基準値
美浜3号炉	<u>527</u>	539	<u>295</u>
高浜1号炉	324	481	263
高浜2号炉	316	481	263

¹ 「地震力に十分に耐える」とは、ある地震力に対して施設全体としておおむね弾性範囲の設計がなされていることをいう。この場合、上記の「弾性範囲の設計」とは、施設を弾性体とみなして応力解析を行い、施設各部の応力を許容限界以下に留めることをいう。また、この場合、上記の「許容限界」とは、必ずしも厳密な許容限界ではなく、局部的に弾性限界を超える場合を容認しつつも施設全体としておおむね弾性範囲に留まり得ることをいう。」とある（「規則の解釈」P122）

関電:各原子炉の工事計画認可申請書より 「繰り返し地震を想定する耐震基準改正を求める」

滝谷紘一雑誌「科学」より

例えば、美浜3号炉では、「基準地震動 S_s による1次応力発生値」は527MPa に対し、弾性設計範囲内にあることを要求する評価基準値（許容値）は、295MPa であり、これを上回っている。このことは、前述のように、基準地震動に対しては塑性ひずみの発生を容認していることから、本件各原子炉が、基準地震動に匹敵する地震動により、塑性変形を引き起こす可能性が否定できないことを数値的に示している。

原子炉がもう一度、基準地震動に匹敵する揺れに襲われたらどうなるのか。一度目の揺れによる塑性変形により、強度が低下し、二度目の揺れの際には、 S_s に対する評価基準値（許容値）がより小さい値となっているおそれがあり、二度目の揺れによる1次応力の発生値がそれを上回る可能性が否定できない。しかし、審査の中で、このような確認は全く行われていないのである。

6. 小括

(省略)

第3 疲労（金属疲労）について

繰り返しの揺れによる繰り返しの荷重が原子炉の機器や配管に与える影響の一つに疲労によるき裂がある。

1. 「疲労」とは…小さい応力でも繰り返しのよりき裂が進行し破壊に至る

疲労（金属疲労）とは、金属材料が繰り返しの荷重を受けたときに、小さな力でもき裂が進展し、破壊に至る現象である。

例えば、「缶ジュースや缶ビール…のタブを引っ張り上げ…また元に戻したり…繰り返して遊んでいると、タブは根元から折れて取れてしまうことがあります。また、細い針金なども、指先で同じところを曲げたり伸ばしたりを繰り返すと、ついには

折れてしまいます。」というものである（「金属疲労のおはなし」西島敏著：日本規格協会 P13）。

2. 疲労破面からわかること…破断前を見つけることは困難

疲労を、それが原因で破断する前を見つけることは非常に困難である。

3. 振動による疲労

疲労は振動によっても発生する。

振動では、力がかかっていないように見えるが、疲労の原因として知られている。

4. 弾性と塑性…弾性限界を超えて塑性領域にはいると変形が残る

（省略）

5. 温度変化の繰り返しによる疲労

疲労は、温度変化の繰り返しによっても発生する。

「温度変化による疲労が深刻な問題となるのは、ある程度厚い板や太い軸などで、表面と内部の温度差ができるときです。温度差ができると、そこには応力が発生するのですが、それを熱応力と呼びます。」

過去にはアメリカで、発電用タービンの軸が、熱応力の繰り返しによって疲労破壊し、大事故となったこともある。

6. 疲労の事例

金属疲労事故には、ジャンボ機の墜落、ロケット打ち上げ失敗、トレーラーの車輪脱輪などがあり、疲労による事故は人命が失われるような重大事故にもつながっている。このようにロケットや航空機のような最新の科学技術が用いられる分野においても度々発生している。

7. 小括

金属材料が繰り返し荷重を受けると、小さい荷重でも破壊することがあり、この金属疲労の特徴としては、

- ・ 微細な現象であり破壊前を見つけることは困難である
- ・ 荷重が弾性領域を超えて塑性領域に入ると、変形（塑性ひずみ）が残り、繰

り返し回数が比較的少なくても破壊に至る

- ・ 疲労は、機械的な振動だけでなく、温度変化の繰り返しによっても引き起こされる。流体が流れる配管や弁についても疲労が生じる。

第4 原子炉の耐震審査における疲労累積係数を用いた疲労評価

1. 原子力施設でも疲労による事故が多発している

国内の原子力発電プラントにおいても疲労事例は多数発生しており、件数は 200 件を超えている。

原子力発電所の疲労破壊（き裂）の歴史的事例（「金属疲労の歴史と今」）

年	発電所	機器	材料	事象	原因
1988	玄海 1 号機	余熱除去系配管	304 溶接部	一次冷却水 漏えい	熱成層
1989	福島第二 3 号機	再循環ポンプ 軸受リング	316NG 溶接部	リング脱落	溶込み不足 共振
1991	美浜 2 号機	蒸気発生器 伝熱管	インコネル	伝熱管破断	流体振動 フレットング疲労
1995	高速増殖原型炉 もんじゅ	二次冷却系配管 温度計さや	304	ナトリウム 漏洩	流体振動
1999	敦賀 2 号機	再生熱交換器 連絡配管エルボ	304	一次冷却水 漏洩	温度揺らぎ
2003	泊 2 号機	再生熱交換器 胴側出口配管	304	一次冷却水 漏洩	温度揺らぎ
2006	浜岡 5 号機	低圧蒸気 タービン	クロム鋼	羽根のき裂	流体振動

2007	玄海2号機	余剰抽出水系統 取出配管エルボ	304	UTで き裂検出	熱成層
------	-------	--------------------	-----	-------------	-----

UT：超音波探傷試験

2. 耐震設計に係る工認審査ガイドの要求

工事計画認可に係る耐震設計の審査においては、機器・配管系の構造強度に関する耐震設計について、許容限界を超えていないことに加え、

「塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に対し十分な余裕を有し、その施設に要求される機能に影響を及ぼさないこと。」

(「耐震設計に係る工認審査ガイド」平成25年6月原子力規制委員会)を要求している。

3. 実用発電用原子炉の運転期間延長の審査基準の要求

運転期間延長認可の審査においても、

「○経年劣化事象を考慮した機器・構造物について地震時に発生する応力及び疲れ累積係数を評価した結果、耐震設計上の許容限界を下回ること」が要求事項とされ

ている(「実用発電用原子炉の運転の期間の延長の審査基準」平成25年11月 平成28年4月改正 原子力規制委員会)。

4. 審査で用いられている評価方法…疲労は累積するので足し算

耐震設計に係る審査では、疲労累積係数(疲れ累積係数ともいう)による評価が行われる。疲労累積係数は、(地震力による影響については、)許容繰返し回数を分母、等価繰返し回数(地震による最大の繰返し回数を機器・配管と共振する揺れによる応力から保守的に見積もった回数)を分子においた分数からを算出し、これに、温度や圧力変化による熱疲労による疲労累積係数を足し合わせて算出する。

疲労の影響は累積するので足し算となる。疲労累積係数の許容値は1であり、1を超えるか否かで合否が決まる。

5. 疲労の発生・進展を前提にするしかない

疲労の発生、進展を破断前に発見することは困難であること、また原子炉の通常運転による温度、圧力変化による応力や地震力による応力が、塑性ひずみをもたら

す可能性があることから、どこかで疲労によるき裂が発生し、発見されないままに進展を続けていることを前提にせざるを得ない。その上で、そうしたき裂が、原子炉の供用中に破断に至る可能性については、計算上で見積もるしかないというのが現状である。

6. 東電による中越沖地震の疲労評価…余震が本震の3割弱に及ぶ

東京電力は、新潟県中越沖地震で被災した柏崎刈羽原発について、疲労累積係数の算出の基となる等価繰り返し回数を算出しており、余震の影響についても検討している。余震の回数そのものは、許容回数に比べれば非常に小さい値であるが、本震に比べて規模が小さい余震の影響が、疲労の評価では本震の3割弱に及ぶとしていることは注目に値する。

7. 小括

(省略)

第5 美浜原発3号炉の評価結果

1. 主給水系配管の疲労割れを想定した耐震評価（運転期間延長審査）

関西電力は、美浜3号炉の40年超えの運転期間延長審査に際し、主給水系配管の疲労割れ（疲労破壊）を想定した耐震評価において、以下の数値を出している。なお、許容値は「1」であり、それを超える場合には審査不適合となることを意味する重要な評価数値である。

主給水系配管の疲労割れを想定した耐震評価

	通常運転時	S _s 地震時	合計
疲労累積係数	0.209	0.725	0.934

関電：平成28年8月26日 美浜3号炉耐震安全性評価書
（「美浜発電所運転期間延長認可申請書の一部補正について」より）

これによると、基準地震動による1回の揺れで、疲労累積係数は0.93を超え、余裕は、わずか7%程度しかないことを示している。続けて強い余震に襲われた場合には、それだけで許容値の1を超えてしまうことは明らかである。(「美浜発電所運転期間延長認可申請書の一部補正について」)

2. 原子炉格納容器の伸縮式配管貫通部の疲労割れを想定した耐震評価

原子炉格納容器の伸縮式配管貫通部は、放射性物質を原子炉格納容器内に閉じ込めるためのものであり、大気中への放射性物質の拡散を防ぐという重要な部位である。この部位の疲労割れを想定した耐震評価について、40年目にあたる運転期間延長審査における評価結果と、10年以上前に行われた30年目の評価結果の比較をすると不可解な結果が示される。

伸縮式配管貫通部の疲労割れに対する評価結果（運転期間延長審査（40年目））

系統	評価部位	耐震重要度		疲労累積係数（許容値1以下）		
				通常運転時	地震時	合計
主蒸気系	伸縮継手	S	Ss	0.005	0.584	<u>0.589</u>

関電：平成28年8月26日 美浜3号炉耐震安全性評価書
 （「美浜発電所運転期間延長認可申請書の一部補正について」より）

伸縮式配管貫通部の疲労割れに対する評価結果（高経年化技術評価（30年目））

系統	評価部位	地震力		疲れ累積係数（許容値1以下）		
				通常運転時	地震時	合計
主蒸気系統	伸縮継手	Aクラス	S2	0.005	0.741	<u>0.746</u>

関電：平成18年1月 美浜3号炉 高経年化技術評価書

40年目と30年目の評価については、許容値との関係でそれぞれ問題はあるが、

不可解なのは、30年目の値が40年目の値よりも大きいことである。40年目の方が地震動が大きいにもかかわらず、疲労累積係数は40年目の方が小さくなっているという常識的に考えて極めて不自然不合理な内容となっている。

3. 保守管理に関する方針書

(省略)

第6 高浜原発1・2号炉の評価結果

(省略)

第7 繰り返しの揺れ問題で原子力規制庁・規制委員会の見解と反論

1. 意見募集に対する原子力規制庁・規制委員会の回答

美浜原発3号炉の設置変更許可の審査においては、パブリック・コメント（意見公募）が実施された。

この中で、熊本地震のように複数回の強い揺れの影響について考慮されていないことに関する意見が多数寄せられた。

2. 原子力規制庁・規制委員会の回答に対する反論

パブリックコメントにおける意見に対し、原子力規制庁・規制委員会は、回答として、地震の繰り返しの揺れによる繰り返しの荷重の想定の必要性については否定していない。

そして回答は、「繰り返しの荷重に耐えられるよう、弾性設計用地震動及び静的地震力に対して…おおむね弾性範囲に収まる方針である」と述べているが、このような回答は、寄せられた意見に対する回答には全くなっていない。

あらかじめ、繰り返しの揺れを前提にした耐震安全評価が必要であるが、現実的に発生しうる、このように極めて重要な内容が、工事計画認可処分や運転期間延長認可処分の審査対象とはされていないのである。

3. 小括

(省略)

第8 結論

本件原子炉における耐震審査においては、地震の繰り返しの揺れによる荷重の影響は考慮されていない。基準地震動に匹敵する1度目の揺れに耐えたとしても、機器・配管が変形して強度が低下して、そこに2度目の揺れが生じ、評価基準値（許容値）を上回る可能性がある。今回指摘した点から、そのような可能性が現に考えられるが、規制委員会による審査では、こうした確認は全く行われていない。

疲労（金属疲労）の問題については、疲労累積係数による評価結果から、繰り返しの揺れについて考慮すると、確実に許容値を超えてしまうことが示される。

このような考慮を要求しない新規制基準については、規制委員会の調査審議において用いられた具体的審査基準に不合理な点があると言わざるを得ず、規制委員会の判断はこれに依拠してされたと認められ、当該判断に基づく工事計画認可及び運転期間延長認可処分は違法である。

また、実際に、繰り返しの荷重を考慮した場合には、本件原子炉は、疲労評価の許容値を満たさないことは明らかであり、原子力規制委員会の調査審議及び判断の過程には、単なる過誤・欠落にとどまらず、安全上看過し難い過誤・欠落があるというべきである。当該判断に基づく工事計画変更認可処分及び運転期間延長認可処分は、この点からしても違法というべきである。

以 上