

平成23年（ワ）第886号浜岡原子力発電所運転終了・廃止等請求事件

原告 石垣清水 外33名

被告 中部電力株式会社

原告 準備書面 37

平成30年3月15日

静岡地方裁判所 民事第2部 合議係 御中

原告ら訴訟代理人を兼ねる

弁護士 鈴木 敏 弘

弁護士 河 合 弘 之

弁護士 青 山 雅 幸

弁護士 大 石 康 智

弁護士 南 條 潤

外

第1 はじめに

被告はその平成28年10月4日付準備書面(20)において、平成28年9月19日付原告準備書面30に対する反論として、内陸地殻内地震（熊本地震）とプレート間地震（東北地方太平洋沖地震）の規模や継続時間を比較した上で、基準地震動（Ss1-D）においてはその地震規模（M9.0）に応じて地震動継続時間を約200秒としていることなどから、地震動継続時間の観点においても熊本地震の前震・本震の合計を超えており保守的であるから、原告の批判はあたらない旨主張する。

しかしながら、原告は、熊本地震における前震・本震のみを問題としている訳ではなく、準備書面30で指摘したとおり、余震を含む地震動による荷重が繰り返されることによる構造物（配管等を含む）が損傷される危険性を指摘するものである。

本震（主震）について厳しい想定をすることの重要性はいうまでもないが、後述する過去の巨大地震発生の際の余震の状況に照らせば、余震が加わることの影響の想定が不要であるとする理由はない。

本書面では、前提として原子炉施設における疲労損傷・疲労評価の手法及びその問題点に触れた上、地震発生後に原子炉が冷温停止に至るまでの所要時間や、その間における繰り返し地震や余震の影響を考慮すべきことを主張する。

第2 地震動と疲労損傷

福島第一原子力発電所事故においては、東北地方太平洋沖地震によって同原発は「長く激しい（強い）揺れ」に見舞われた。

同事故のように、揺れの継続時間が長くなると、重要な配管に作用する「地震力」の繰り返し回数が多くなり、配管が「金属疲労破壊」を起こさなかったかどうかとも問題となってくる。

原子炉系配管¹の損傷により冷却材喪失が起きた場合、例えそれが小破口冷却材喪失事故（SB-LOCA）といえども、長時間放置されると、炉心損傷や炉心溶融へとつながりかねない。

（以上につき、甲 D 第 1 号証「国会事故調査報告書」204頁。）

そのため、地震という力学的荷重により原子力発電所の配管に損傷（疲労き裂）が生じないかについては、厳しく評価を行う必要がある。

第 3 被告における原子炉施設における疲労評価の方法

- 1 この点に関し、一例として、本件原子力発電所 3 号機の高経年化に関する保安規定変更認可申請手続²においては、平成 29 年 3 月 15 日の審査ヒアリング³において、原子力規制委員会から被告に対し、低サイクル疲労に関し、原子炉容器の疲労評価に係る各評価対象部位の累積疲労係数の算出根拠につき、確認が求められた。

これに対し、平成 29 年 3 月 29 日の同審査ヒアリングにおいて、被告より、「原子炉圧力容器の疲労評価は、日本機械学会『発電用原子炉設備規格 設計・建設規格 2005 年版（2007 年追補版含む）』…に基づき実施している。」との回答がなされている。

- 2 日本機械学会「発電用原子炉設備規格 設計・建設規格」について

日本機械学会「発電用原子炉設備規格 設計・建設規格」に基づく場合の疲労評価の手順は、概要以下の通りである⁴。

(1) 使用材料に適合する設計疲労線図を選択

¹ 原子炉圧力容器に直接つながっている大小さまざまな種類の重要な配管—主蒸気管、給水管、再循環系出口配管、再循環系入口配管、ECCS 系配管、IC 系配管など。（「国会事故調査報告書」205頁）

² <http://www.nsr.go.jp/disclosure/law/BWR/00000189.html>

³ <http://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/youshikisya/keinenka/hamaoka3.html>

⁴ 一般社団法人日本溶接協会 溶接情報センター（JWES）ウェブサイト公開資料より。日立製作所日立研究所岩松史則・西川嗣彬作成「原子力に関する疲労と原子力発電プラントの維持規格の概要」25頁より引用。

http://www-it.jwes.or.jp/fatigue_knowledge/pdf/fatigue_knowledge/fatigue_knowledge_4.pdf

- (2) 想定される事象別に弾性応力解析を行い、発生応力を算出
- (3) 上記(2)で求めた発生応力から繰り返しピーク応力強さ（一次+二次+ピーク応力）とその繰り返し数を算出
- (4) 繰り返しピーク応力強さ S_{a1} , S_{a2} , S_{a3} …に対応する許容繰り返し数 N_1 , N_2 , N_3 …を設計疲労線図から決定
- (5) $U_1=n_1/N_1$, $U_2=n_2/N_2$, …を求め、マイナー則に基づき疲労累積係数 UF が 1 以下か確認

第4 変動荷重を受ける場合の疲労寿命評価におけるマイナー則の採用と問題点

- 1 変動荷重を受ける場合の疲労寿命評価手法としては、一定振幅荷重条件下で得られた S-N 線図において変動荷重の各成分の頻度を考慮し、マイナー則に代表される線形累積被害則が適用される。

マイナー則においては、疲労限度以下の荷重については、（いかに多数回であっても）疲労に寄与しないことをその前提としている。

- 2(1) しかしながら、一定振幅下においては疲労限度（耐久限度）応力以下では疲労損傷は起きないが、変動荷重のように疲労限度以上の応力と組み合わせられることにより、疲労限度以下の応力も疲労損傷に寄与することがある。

具体的には、鉄道車両の板車輪やたわみ板ばねの寿命がマイナー則を用いて推定した寿命の 1/100～1/1000 になることがあると報告されている。⁵

このように、実例の寿命がマイナー則で計算した寿命の 1/100～1/1000 となる原因に関し、同報告の後、疲労限度以下の過小応力を多く繰り返す変動応力振幅試験結果から、少ない頻度の疲労限度以上の応力（過大応力）と大部分の頻度を占める疲労限度以下の応力（過小応力）が組み合わせられた場合には、過小応力が疲労損傷累積に及ぼす影響が非常に大きいことが明らかとなっている。（甲 E 第 1 3 0 号証「金属疲労の基礎と疲労強度設計への応用」98 頁以

⁵ 中村宏，田中真一「機械の疲れ寿命算出法」（養賢堂，1972年）

下。)

- (2) このようなマイナー則に内在する問題点に照らし、振幅が一定でない応力に対する疲労強度に対する評価としては、疲労限度以下の応力も損傷に寄与するような評価をする必要がある。

そこで、一般的には、S-N 線図の傾きを疲労限度以下に延長し、全ての応力範囲レベルによる疲労損傷を累積する修正マイナー則が用いられている。(以上、甲 E 1 3 1 号証「JWES 接合溶接技術 Q&A1000 Q04-02-17」⁶⁾)

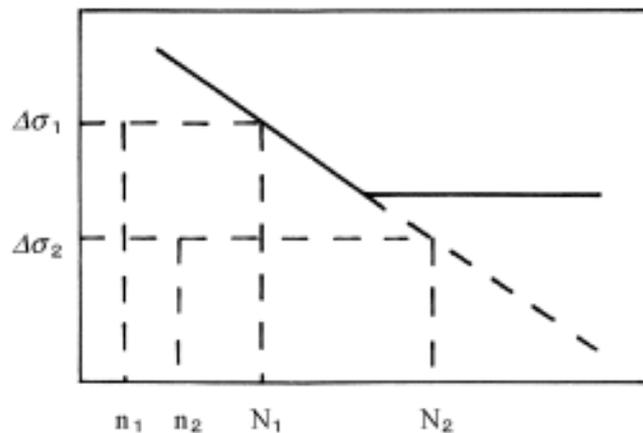


図2 修正マイナー則

© (社)日本溶接協会, 2004

※実線部分がマイナー則、折れ線部分を右下まで延長したものが修正マイナー則である。

- (3) 後述のように、現行の耐震基準においては基準地震動により機器・配管系に塑性ひずみが生じることを許容していること、実際にも、巨大地震による荷重は原子炉施設に加わる最も過酷な力学的荷重の1つといえるから、地震動による疲労耐力を評価するにあたっては、マイナー則ではなく修正マイナー則を用いるべきである。

第5 本震（主震）以外の地震動を考慮する必要性（冷温停止までの所要時間）

1 スクラム直後の原子炉の状態

ところで、稼働中の原子力発電所において巨大地震に罹災した場合、制御棒挿入による原子炉緊急停止（スクラム）をした上で炉心冷却を開始することになる。

⁶⁾ http://www-it.jwes.or.jp/qa/details.jsp?pg_no=0040020170

しかしながら、緊急停止直後の原子炉は未だ高温・高圧である上、通常運転時の7%の熱出力を持っている（訴状15頁など）。

そのため、まずは炉心冷却を続け、冷温停止状態に向けて作業を続けることとなる。

2 冷温停止までの所要時間等

(1) 福島第一原子力発電所事故のケース

福島第一原子力発電所事故においては、平成23年3月11日午後2時46分に東北地方太平洋沖地震が発生した直後、定期点検中であった4号機を除く1～3号機においてスクラムし成功しているが、同日午後3時37分ころ最大津波が到来したことにより全（交流）電源喪失に陥った（甲D第1号証「国会事故調査報告書」24頁など）。

そこで、大地震発生後に冷温停止とすることができたケースとして、新潟中越沖地震の際の柏崎刈羽原子力発電所のケースを見てみることにする。

(2) 新潟中越沖地震の際の柏崎刈羽原子力発電所のケース

新潟中越沖地震は、平成19年7月16日午前10時13分ころ発生したマグニチュード6.8の逆断層型の地震である。

地震発生当時、柏崎刈羽原子力発電所では、3号機、4号機及び7号機が運転中で、2号機が起動中であった。

運転中及び起動中の原子炉は、地震の揺れを感知し、自動的に停止した。

その後、これらの原子炉は、順次、冷温停止のための操作が行われ、翌7月17日の朝までに作業が完了した。

地震時の原子炉の状況と冷温停止までの時間は以下のとおりであった（「新潟中越沖地震誌 第7章中越沖地震に係る原子力発電所への影響」⁷第2節[264頁]）。

⁷ 新潟県ウェブサイトより引用。

<http://www.pref.niigata.lg.jp/kikitaisaku/1245355328679.html>

なお、1～5号機がBWR、6・7号機がABWRである。

| 号機 | 地震発生時の状況 | 地震後の状況 | 冷温停止時刻（所要時間） |
|----|------------|------------|---------------------|
| 1 | 停止中(点検中) | | |
| 2 | 起動中(調整運転中) | 自動停止（スクラム） | 7月16日19:40（9時間27分） |
| 3 | 営業運転中 | 自動停止（スクラム） | 7月16日23:07（12時間54分） |
| 4 | 営業運転中 | 自動停止（スクラム） | 7月17日 6:54（20時間41分） |
| 5 | 停止中(点検中) | | |
| 6 | 停止中(点検中) | | |
| 7 | 営業運転中 | 自動停止（スクラム） | 7月17日 1:15（15時間 2分） |

※ 冷温停止とは、原子炉内の温度が100℃未満となり、炉内の圧力が1気圧（大気圧）になっても沸騰しない状態（安定状態）

- (3) 冷温停止状態に至る前に配管破断が生じた場合、冷却材喪失事故（LOCA）につながる可能性があるため、その間に発生した地震動（余震）による機器の健全性への影響についても考慮する必要がある。

第6 被告主張（及び現行の耐震基準）の問題点

1 現行の耐震基準

- (1) 現行の「実用発電用原子炉及びその附属設備の位置、構造及び設備の基準に関する規則」第4条3項では、「耐震重要施設は、その供用中にその当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力（以下「基準地震動による地震動」という。）に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。」とされている。
- (2) その意味するところについては、原子力規制委員会による同規則の解釈⁸によれば、以下のとおりとされている。
- ・建物・構築物については、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力との組合せに対して、当該建物・構築物が構造物全体としての変形能力（終局耐力時の変形）について十分な余裕を有し、建物・構築物の終局耐力に対し妥当な安全余裕を有していること。
 - ・機器・配管系については、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び事故時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重

⁸ http://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/kettei/02/02_01_jitsuyoro_shinsa_naiki.html
平成30年2月20日版規則の解釈136頁。

条件に対して、その施設に要求される機能を保持すること。なお、上記により求められる荷重により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、その施設に要求される機能に影響を及ぼさないこと。また、動的機器等については、基準地震動による応答に対して、その設備に要求される機能を保持すること。具体的には、実証実験等により確認されている機能維持加速度等を許容限界とすること。

- (3) この耐震設計の方針は、1回の基準地震動により、建物・構築物は変形が生じても終局耐力に対して余裕があればよく、また、機器・配管系は塑性ひずみが生じても破断限界に余裕があればよいと定めている。

つまり、現行の耐震基準は、複数回の地震（繰り返し地震）に対して耐震安全を確保することは何ら求めていないのである。

2 被告主張の問題点等

- (1) 被告も、上記耐震基準を前提として、基準地震動 S_s の規模・継続時間のみを問題とし、本震（主震）よりは小さい規模の余震について、その規模の程度・継続時間を問題とすることなく「保守的なもの」とであると主張している。

このような耐震基準や被告主張の背景には、一定レベル以下の地震荷重（応力）については、繰り返し発生したとしても疲労限度以下であれば建物や機器・配管系の疲労損傷に寄与しない（健全性に影響を与えない）という、疲労寿命評価におけるマイナー則があると思われる。

- (2) この点に関しては、熊本地震から間もない平成28年4月20日の原子力規制委員会記者会見において、田中俊一規制委員長が記者から繰り返しの地震に対する設計の余裕を質問され、以下のとおり回答している⁹。

「重要な機器をですね、安全上、それがいわゆる弾性範囲におさまるようにという設計を求めています。だから、弾性範囲にある分には、5回、10回、

⁹ http://www.nsr.go.jp/nra/kaiken/28_kaiken.html

100回ぐらい繰り返したって何も起こらない。疲労試験という金属炭化の疲労というものがあって、これはもう物すごい数、何十万回とか、何百万回とかいうことをやれば、金属というものはポキンと。(中略)

ですから、少し言いますと、Ssに耐えられるSdという弾性範囲のそういうことです。物によっては、基準地震動を超えるようなことがあれば変形がでるような構造物もゼロではないということですが、安全上に影響を及ぼすことはないと思います。ただ、熊本で起こっているような地震の繰り返して何が起こるかということはおよそ考えなくていいと思います。」

このような考え方・理解は、原子力業界全体に共有されているように思われる。

3 余震を考慮すべきこと（余震の発生回数等）

(1) しかしながら、上記考え方は、大規模地震の際に実際に発生する余震の回数等や、変動荷重が繰り返し加わる場合の疲労寿命に関する実情に照らせば、到底許容できるものではない。

(2) まず、地震動の発生回数等に関し、東北地方太平洋沖地震の際には、地震発生当日である平成23年3月11日のみに限っても、震度4以上を観測した回数54回、震度1以上を観測した回数419回となっている。¹⁰

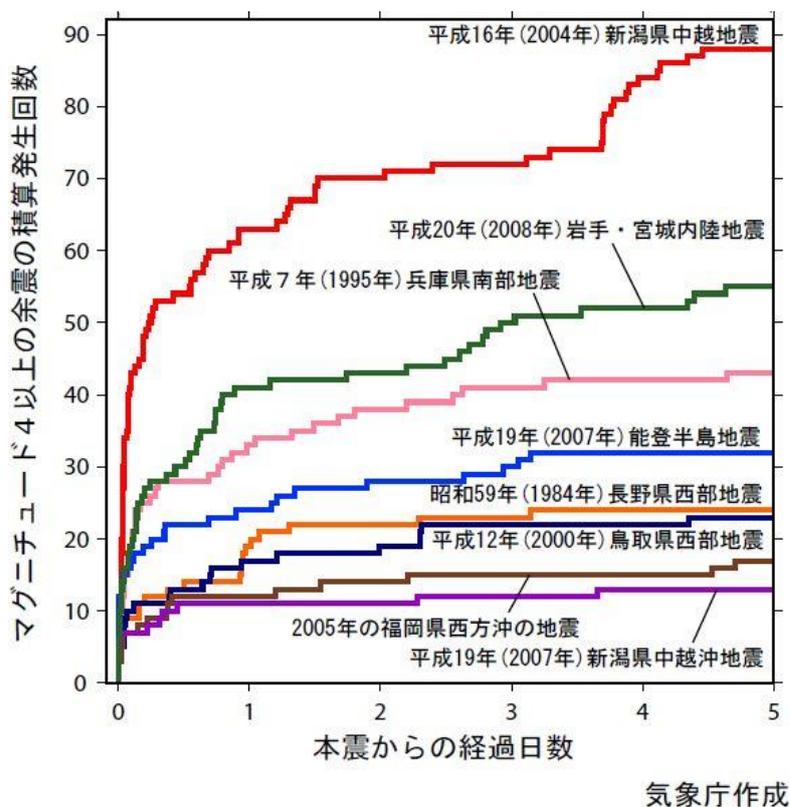
翌3月12日においては、震度4以上を観測した回数で17回、震度1以上を観測した回数であれば485回に上っている。

また、新潟県中越沖地震を始めとした過去の大規模地震においても、下図のとおり、多数回の余震が発生している¹¹。

¹⁰ http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2011_03_11_tohoku/index.html

気象庁火山部発表資料。なお、3月11日については、震度7が1回（本震）、震度6強が1回、震度5強が2回、震度5弱が9回と続く。

¹¹ http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/aftershocks/kako_aftershock.html



大規模地震において、多数回の余震を伴うことは、歴史上顕著な事実である。

南海トラフにおいて巨大地震が発生した場合にも、当然、同様の余震の繰り返しが予想される。

3 国会事故調報告書の指摘

同報告書204頁では、福島第一原子力発電所事故に関し、「余震の揺れによって機器・配管系の損傷（及び損傷の拡大）が生じた可能性はあまり高くないと推定される。」としつつも、「ただし、建屋の上階にいくほど揺れは強くなるから、本震による破損の拡大や新たな損傷の発生に影響を与えた可能性を完全に否定するわけにはいかない。」と指摘している。

余震による損傷の発生・拡大については、当然起こりうる事態であるから、その想定自体を不要とし放棄することは、安全性を軽視した割り切りというほかない。

4 小括

以上のとおり、巨大地震発生の際には多数回の余震を伴うこと、建物や機器・配管系の疲労寿命を検討するにあたっては疲労限度以下の応力についても累積させる修正マイナー則を採用すべきことに照らせば、基準地震動のみの評価をもって足りるとする被告の主張は到底許容できない。

以上