副本

平成29年（ラ）第246号　玄海原子力発電所3号機，4号機再稼働差止仮処分命令申立却下決定に対する即時抗告事件

抗告人　　石丸ハツミ　外172名

相手方　　九州電力株式会社

答弁書

平成30年1月26日

福岡高等裁判所　第5民事部　御中

相手方訴訟代理人弁護士　堤　克彦

同　山内喜明

同　永原豪

同　熊谷善昭

同　家永由佳里

同　池田早織

目　次

第１章　総論 5

第２章　相手方の地震動評価が合理的であること 5

第１　はじめに 5

第２　新規制基準に基づく基準地震動策定の概要 6

１　基準地震動の策定に係る設置許可基準規則等 6

２　「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の概念 8

３　「断層モデルを用いた手法による地震動評価」に係る審査ガイドの定め 10

４　基準地震動の策定に関する審査ガイドの定め 12

第３　入倉・三宅式及び壇ほかの式を用いることが合理的であること 12

１　本件原子力発電所における地震動評価と入倉・三宅式及び壇ほかの式との関係 12

２　強震動予測レシピの位置づけ 13

３　強震動予測レシピにおける入倉・三宅式について 14

４　強震動予測レシピにおける壇ほかの式について 19

５　入倉・三宅式及び壇ほかの式を含む強震動予測レシピの合理性 21

６　相手方が行った強震動予測レシピの本件原子力発電所敷地周辺における適用性の確認 23

７　小括 24

第４　相手方は経験式が有するばらつきを考慮した上で十分安全側に地震動評価を行っていること 25

第５　抗告人らの主張に対する反論 26

１　はじめに 26

２　強震動予測レシピが不合理であるとの主張に対する反論 26

（１）　強震動予測レシピの改訂は強震動予測レシピの合理性を否定す

る理由とはならないこと 26
（２） 強震動予測レシピによる理論波形は鳥取県西部地震及び福岡県西方沖地震の各観測記録と整合すること 27
（３） 強震動予測レシピの一部の関係式だけを他の式に置き換えると地震動評価手法としての科学的合理性が失われること 28
（４） 過去の地震記録がなくとも強震動予測レシピに基づいて合理的な地震動評価が可能であること 28
３ 入倉・三宅式ではなく武村式を用いるべきとの主張に対する反論 30
（１） 入倉・三宅式が過小評価になるとする抗告人らの主張には理由がないこと 30
（２） 平成７年以降に国内で発生した最新の 18 個の内陸地殻内地震のうち入倉・三宅式がその対象とする Mw6.5 以上のものに関する震源インバージョン結果が入倉・三宅式と一致すること 31
（３） 地下の震源断層に基づく地震動評価において武村式を用いることの合理性を否定した原決定は妥当であること 33
（４） 震源インバージョンは平成 11 年トルコ・Kocaeli 地震，同年台湾・Chi-Chi 地震とも整合すること 35
（５） 熊本地震の解析結果が異なることをもって震源インバージョンの信用性が損なわれるものではないこと 35
４ 壇ほかの式ではなく片岡ほかの式を用いるべきとの主張に対する反論 37
５ 経験式が有するばらつきを考慮すべきとの主張に対する反論 39
第６ まとめ 41
第３章 本件原子力発電所における配管の安全性の確保 41
第１ はじめに 41
第２ 本件原子力発電所における配管の健全性確保に向けた取り組み 42
１ 設計・施工時における配管の健全性確保 42
２ 運転開始後における配管の健全性確保 43

第３　玄海２号機のひび割れ事象の原因及び相手方が講じた対策 53
１　発見に至った経緯及びひび割れの原因 53
２　相手方が講じた対策 54
第４　抗告人らの主張に対する反論 56
１　原決定が技術基準規則 18 条 1 項への適合性に関して「発生した欠陥の早期発見の観点から合理的」との判断基準を立てたことは適切であること 56
２　相手方が維持規格に基づき実施しているクラス１配管の点検内容は何ら問題がないこと 58
３　本事象に係る対策については省令 62 号に適合することが確認されていること 60
第５　まとめ 61
第４章　結論 61

抗告の趣旨に対する答弁

1　本件抗告を棄却する。

2　訴訟費用は，第一審及び抗告審を通じて抗告人らの負担とする。

との裁判を求める。

抗告の理由に対する答弁

第１章　総論

玄海原子力発電所３号機及び４号機（以下それぞれ「玄海３号機」及び「玄海４号機」といい，併せて「本件原子力発電所」という。）の再稼働差し止めを求める本件仮処分申立てを却下した原決定は相当であり，また，抗告人らが，平成 29 年 7 月 7 日付即時抗告理由書（以下「理由書」という。）及び平成 29 年 10 月 16 日付即時抗告理由補充書（以下「理由補充書」という。）において主張する抗告理由は，基本的に第一審での主張の繰返しであるため，本件抗告は理由がないことから，速やかに棄却されるべきである。

以下，第２章で相手方の地震動評価が合理的であることについて，第３章で本件原子力発電所の配管の安全性を確保していることについて改めて述べるとともに，各章において，抗告人らが理由書及び理由補充書において主張する抗告理由に対し，必要な範囲で反論を行う。

第２章　相手方の地震動評価が合理的であること

第１　はじめに

相手方は，準備書面１３において，ボーリング調査等の各種調査や多くの観測記録の分析により敷地周辺の地域的な特性を把握した上で保守的なパラメータを設定するとともに，不確かさを考慮して本件原子力発電所の地震動評価を行っていること，準備書面１２において，経験式にばらつきが存在す

ることを踏まえ，最終的に策定する本件原子力発電所の基準地震動 Ss が過小とならないように安全側の評価を行っており，相手方の行った地震動評価は合理的かつ妥当なものである旨主張し，原決定では相手方の主張が全般的に認められた。

本章では，まず，「第２」で新規制基準に基づく基準地震動策定における地震動評価の体系について，「第３」で本件原子力発電所の地震動評価に入倉・三宅式及び壇ほかの式を用いることの合理性について，「第４」で経験式が有するばらつきを考慮した上で十分安全側に地震動評価を行っていることについて改めて述べた上で，「第５」で必要な範囲で抗告人らの主張に対する反論を行う。

第２　新規制基準に基づく基準地震動策定の概要

１　基準地震動の策定に係る設置許可基準規則等

（１）　2011 年の福島第一原子力発電所事故発生を踏まえ，原子炉等規制法[1]が改正されるとともに，原子力規制委員会規則やこれに関連する原子力規制委員会の内規（以下総称して「新規制基準」という。）が多数策定された。

新規制基準においては，耐震重要施設の耐震設計に用いる基準地震動は「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則」（以下「設置許可基準規則」という。）に，以下（２）の通り定められている。

（２）　設置許可基準規則4条3項は，発電用原子炉施設の地震による損傷の防止に関して，「耐震重要施設は，その供用中に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力」という。）に対して安全機能が損

[1] 原子炉等規制法：正式には「核原料物質，核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」（昭和 32 年法律第 166 号）

なわれるおそれがないものでなければならない。」と定めている【乙141（11頁）】。同項にいう「基準地震動」は，最新の科学的・技術的知見を踏まえ，敷地及び敷地周辺の地質・地質構造，地盤構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から想定することが適切なものとして策定することとされている【乙141（128頁）】。

基準地震動の策定過程は，下記図１に示したとおりであり，「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」を，解放基盤表面[2]における水平方向及び鉛直方向の地震動としてそれぞれ策定することとされている【乙141（128頁）】。

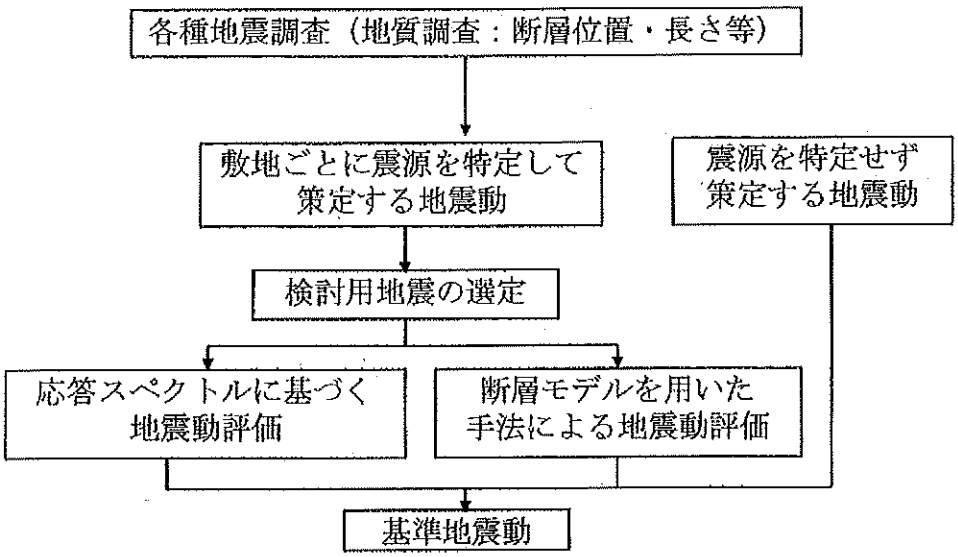


図１　基準地震動の策定過程

そして，「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の策定に当たっては，（ｉ）内陸地殻内地震，プレート間地震及び海洋プレート内地震について，活断層の性質や地震発生状況を精査し，中・小・微小地震

[2] 解放基盤表面：基盤（概ね第三紀層及びそれ以前の堅牢な岩盤で，著しい風化を受けていないもの）面上に表層や構築物がないものと仮定した上で，基盤面に著しい高低差がなく，ほぼ水平で相当な拡がりのある基盤の表面をいう。

の分布，応力場[3]及び地震発生様式（プレートの形状・運動・相互作用を含む。）に関する既往の研究成果等を総合的に検討し，検討用地震を複数選定し，（ⅱ）選定した検討用地震ごとに不確かさを考慮して，①応答スペクトルに基づく地震動評価及び②断層モデルを用いた手法による地震動評価を解放基盤表面までの地震波の伝播特性を反映して策定することとされている【乙141（128～130頁）】。

2　「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の概念

「断層モデルを用いた手法による地震動評価」とは，活断層調査により「将来活動する可能性のある断層等」を認定した上で，震源断層面を設定し，ある一点の破壊開始点からこれが次第に破壊伝播し，揺れが伝わっていく様子を解析することにより地震動を計算する評価手法である。具体的に言えば，①震源断層面を設定した上で更に細かい要素面に分割する，②ある特定の要素面から破壊が始まるものとして破壊開始点を設定する，③破壊開始点から破壊が各要素面に伝播し，分割された各要素面からの地震波が次々に評価地点に伝わることにより評価地点に生じる地震動を足し合わせる，④足し合わせの結果，評価地点での地震動が求められる（以上①から④を含めた断層モデルの手法の概念について図２）。

断層モデルを用いた手法による地震動評価により，評価地点における地盤の揺れを表す時刻歴波形[4]や応答スペクトル[5]などを求めることができる。

3　応力場：応力場とは，地下にどのような力が加わっているかを示すもので，水平方向を基準にして押されていれば圧縮応力場，引っ張られていれば引張応力場という。応力場の変化は，プレートの運動に関係している。この地下にかかっている力を直接測定することは難しく，代わりに，力がかかった結果，大地がどのようにひずんで変形したかを観測して，それから逆に広い範囲での地下にかかる力の様子を推定するという方法（GPS（全地球測位システム）による地殻変動の測定）がとられる。近年，宇宙測地技術が発達し，広範囲の大地の変形を高精度に効率的かつ連続的に測定することができるようになった。その代表的なものとして，人工衛星を用いた測量技術（GPS）がある。

4　時刻歴波形：地震波の到達によって起こされた評価地点での地震動が時間の経過とともに生じる変化を表したもの。変化の指標として，加速度，速度，変位があるが，強震動予測においては，加速度の時間変化を指すことが多い。

5　応答スペクトル：評価地点における地震動の周期ごとの最大応答値を算出し，周期と最

この手法は，地震の発生メカニズムを反映した手法である。すなわち，そもそも地震は，プレート運動などにより地中に蓄積されたひずみが限界に達し，断層が破壊される現象であり，その断層の面のことを震源断層面という。震源断層面は，全範囲が同時に破壊されるわけではなく，破壊の範囲が次第に広がっていくものであることから，大きな地震は，小さな地震が次々に発生して，それが集まったものと分析することができる。このように，断層モデルを用いた手法は，震源を面として評価している点が特徴である。そして，断層モデルを用いた手法は，震源近傍における地震動特性を詳細に表すことができるのである。

断層モデルを用いるにあたっては，地下の断層の形状（断層長さL及び断層幅W）とその動きを的確に捉えることが重要であり，強震動を生成する地下の断層面の動きを的確に把握する観点から，一般的に強震記録を用いた震源インバージョン[6]が用いられる。

大応答値をグラフ化したもの。応答値としては，加速度，速度，変位があるが，強震動予測においては加速度の応答スペクトルを指すことが多い。

6 震源インバージョン：複数の地震観測記録に基づき，地下の震源の動きを求める逆解析（インバージョン解析）を行うことにより，地下の震源断層の形状やすべり分布や時々刻々変化する破壊の過程等を求める手法。

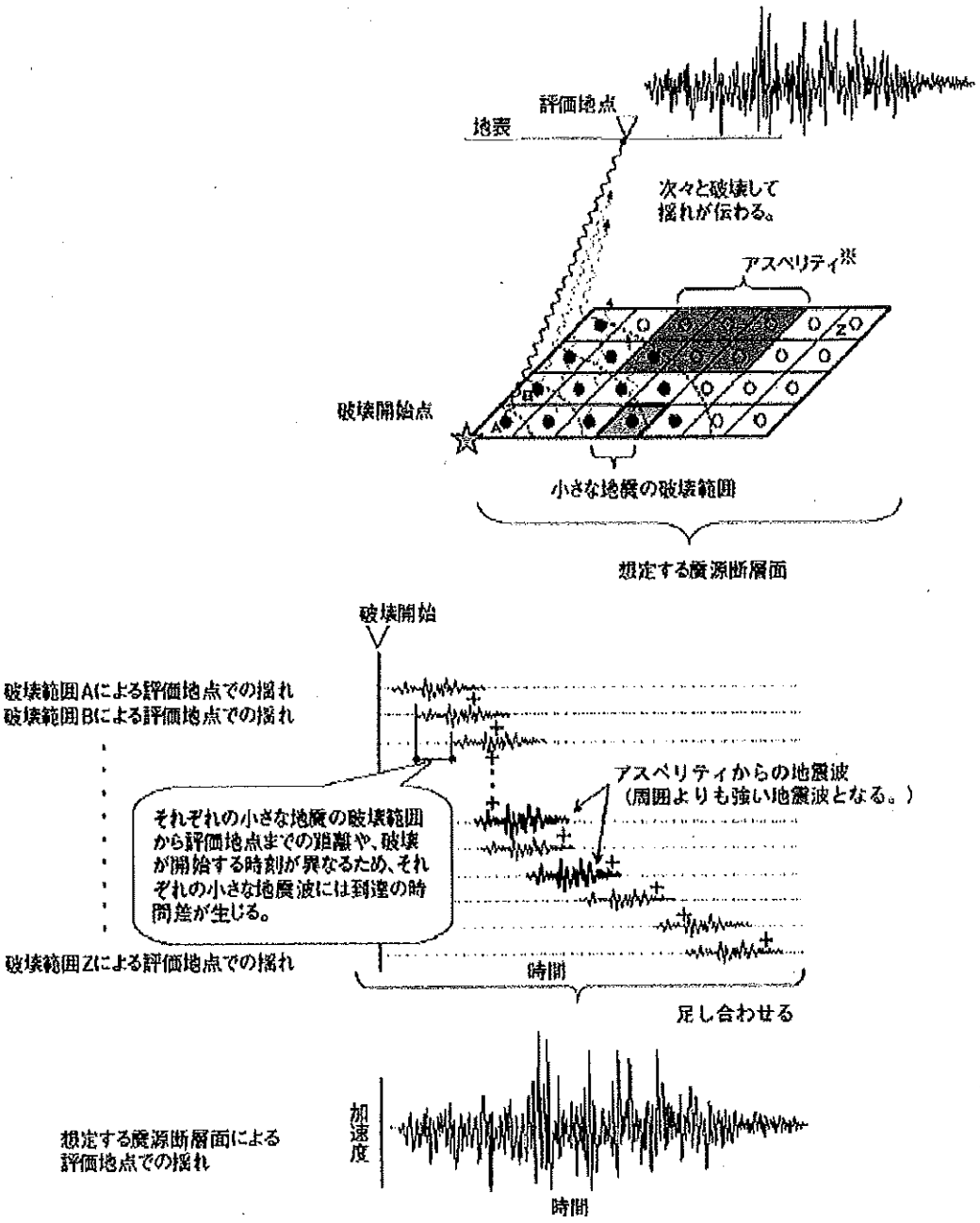


図２　「(参考) 断層モデルの手法の概念について」(原子力安全委員会)

３　「断層モデルを用いた手法による地震動評価」に係る審査ガイドの定め

（１）　基準地震動策定に係る審査ガイド

基準地震動策定に係る審査ガイドとして，「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」（以下「審査ガイド」という。）が制定されて

いる。

審査ガイドは，発電用軽水型原子炉施設の設置（変更）許可段階の審査において審査官等が設置許可基準規則4条3項を含む同規則を踏まえて基準地震動策定の妥当性を確認するために活用することを目的としたものであり，断層モデルを用いた手法による地震動評価に関する専門家を含めた検討チーム（以下「地震・津波検討チーム」という。）の検討を踏まえて原子力規制委員会で策定されたものである。（相手方準備書面１０・10頁）

（２）　審査ガイドにおける「断層モデルを用いた手法による地震動評価」に係る定め

ア　基本震源モデル[7]の策定

断層モデルを用いた手法による地震動評価に当たっては，検討用地震ごとに適切な手法を用いて震源特性パラメータを設定したモデル（以下「基本震源モデル」という。）を策定し，地震動評価を行うとされている【乙141（130頁）】。

これを受けて，審査ガイドでは，断層モデルを用いた手法による地震動評価を行う際の震源特性パラメータは，活断層調査結果等に基づき，地震調査研究推進本部（以下「推本」という。）による「震源断層を特定した地震の強震動予測手法」（以下「強震動予測レシピ」という。）等最新の研究成果を考慮して設定されていることを確認することとされている。（相手方準備書面１０・10頁）

イ　不確かさの考慮

審査ガイドでは，基本震源モデルを前提として，評価の過程に伴う

7　震源モデル：震源モデルとは，震源（地震が発生した地下の場所）の断層面をモデル化したものであり，「断層モデル」もしくは「震源断層モデル」と呼ばれることがある。震源モデルには，本件原子力発電所において用いているアスペリティと背景領域からなる特性化震源モデルや，アスペリティのみからなり背景領域のないクラックモデルがある。

不確かさ（震源断層の形状（長さ，傾斜角），アスペリティ[8]の応力降下量（短周期レベル），破壊開始点等の不確かさ）について分析して地震動評価に反映させることとされている。（相手方準備書面１０・10～11頁）

ウ　断層モデルを用いた手法による基準地震動

審査ガイドでは，検討用地震ごとに各種の不確かさを考慮して評価した応答スペクトルを比較し，施設に与える影響の観点から地震動特性（周波数特性，位相特性，継続時間等）を考慮して，別途評価した応答スペクトルとの関係を踏まえつつ，複数の地震動評価結果から適切なものを基準地震動として策定することとされている。（相手方準備書面１０・11頁）

4　基準地震動の策定に関する審査ガイドの定め

審査ガイドでは，前記２及び３で述べた「断層モデルを用いた手法による基準地震動」に加え，「応答スペクトルに基づく手法による基準地震動」を策定し，これらに基づき「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動」を策定することとされている。さらに，別途策定した「震源を特定せず策定する地震動による基準地震動」と併せ，基準地震動を策定することとされている。（相手方準備書面１０・11頁）

第３　入倉・三宅式及び壇ほかの式を用いることが合理的であること

1　本件原子力発電所における地震動評価と入倉・三宅式及び壇ほかの式との関係

本件原子力発電所の基準地震動を策定するに際しては，審査ガイドに従い，断層モデルを用いた手法による地震動評価を行っているが，その際，入倉・三宅式及び壇ほかの式を評価体系に含んだ強震動予測レシピを用い

8　アスペリティ：地震を起こす震源断層面の中でも強く固着した領域で，この部分がずれ，大きな揺れが生じる。

ている【乙142（106頁）】。強震動予測レシピは，震源特性を表す様々なパラメータを設定する方法を体系的に整理し，観測事実との整合性を検証することでその妥当性が確認された合理的な手法である。以下，強震動予測に用いる強震動予測レシピが合理的な手法であって，それに組み込まれている入倉・三宅式及び壇ほかの式も合理的であることを説明する。

2　強震動予測レシピの位置づけ

（1）　地震調査研究推進本部（推本）について

推本は，1995年1月の兵庫県南部地震を契機に明らかになった我が国の地震防災対策に関する課題を踏まえ，同年7月，全国にわたる総合的な地震防災対策を推進するために制定された地震防災対策特別措置法（平成7年法律第111号）7条の規定に基づき総理府（当時）に設置されたものである。推本は，現在は文部科学省に設置されている。

推本の下部組織として，地震に関する観測，測量，調査又は研究を行う関係行政機関，大学等の調査結果等を収集し，整理し，及び分析し，並びにこれに基づき総合的な評価を行うため，地震調査委員会が設置されている。

（2）　強震動予測レシピについて

強震動予測レシピは，地震調査委員会において実施してきた強震動評価に関する検討結果から，強震動予測手法の構成要素となる震源特性，地下構造モデル，強震動計算並びに予測結果の検証の現状における手法や震源特性パラメータの設定に当たっての考え方をとりまとめたものであり，震源断層を特定した地震を想定した場合の強震動を高精度に予測するための「誰がやっても同じ答えが得られる標準的な方法論」を確立することを目的としている。（相手方準備書面１０・12頁）

後述するように，強震動予測レシピは，現実に発生した地震の観測記

録を精度よく再現できることが確認されており，前述（11頁）のように，審査ガイドにおいて，断層モデルを用いた手法による地震動評価を行う際の震源特性パラメータの設定に関する代表的な手法として例示されるに至っている。

3　強震動予測レシピにおける入倉・三宅式について

（1）　強震動予測レシピにおける入倉・三宅式の位置づけについて

強震動予測レシピにおいては，図３に示すフローのように，震源断層面の形状（断層長さL 及び断層幅W）から震源特性を表す様々なパラメータを設定する方法が体系的に整理されている。

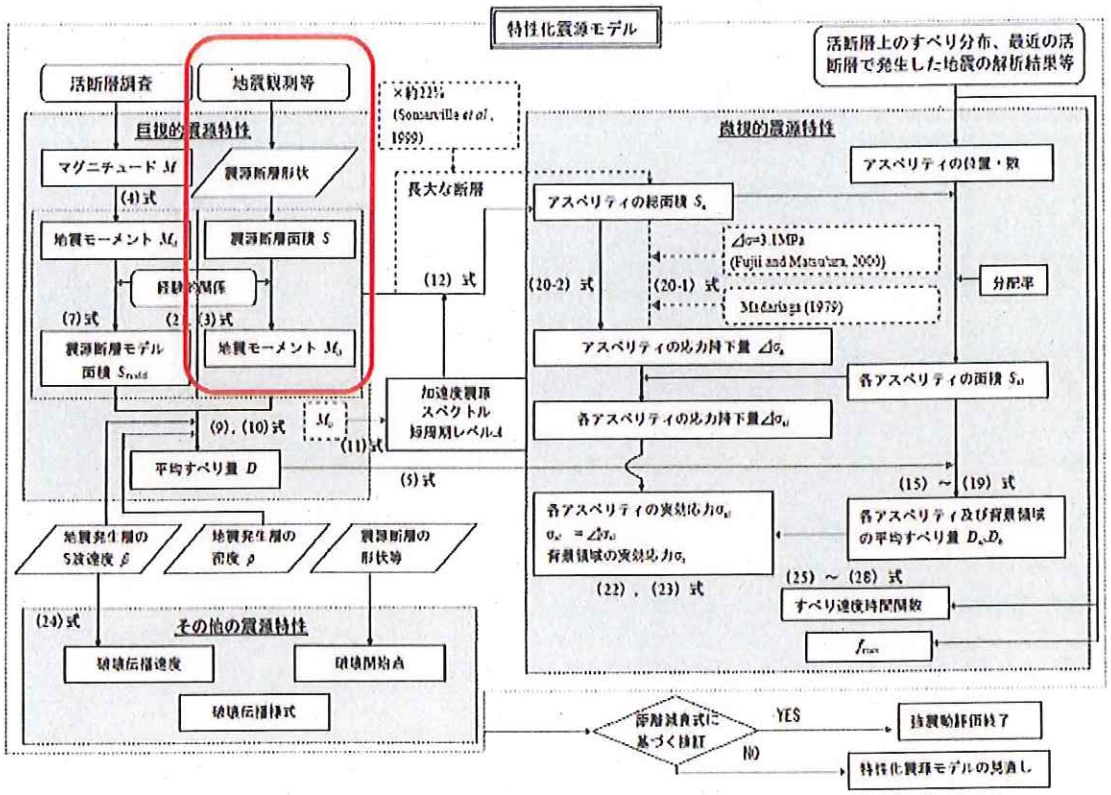


図３　強震動予測レシピにおける震源パラメータの設定フロー

（【乙62 付録3-36 付図2】に加筆）

そして，強震動予測レシピにおいて，「過去の地震記録などに基づき震源断層を推定する場合や詳細な調査結果に基づき震源断層を推定する場合」に，断層面積Sと地震モーメントM_0との関係式として採用されているのが上記図３の（2）式及び（3）式である。（相手方準備書面１０・13頁）

$$\begin{cases} M_0 = \left(S/2.23\times10^{15}\right)^{3/2}\times10^{-7} & (M_0 < 7.5\times10^{18}(\mathrm{Nm})) \quad (2)\text{式} \\ M_0 = \left(S/4.24\times10^{11}\right)^{2}\times10^{-7} & (M_0 \geqq 7.5\times10^{18}(\mathrm{Nm})) \quad (3)\text{式} \end{cases}$$

上記（2）式は，Somerville et al.（1999）により提案された関係式であり，モーメントマグニチュード[9] Mw 6.5相当未満の地震に適用される関係式である。

他方（3）式は，モーメントマグニチュードMw 6.5以上の地震に適用される関係式であり，論文「シナリオ地震の強震動予測」（入倉・三宅（2001）により提案された関係式であって，この（3）式が「入倉・三宅式」と呼ばれるものである。

上記（2）式及び（3）式を用いた断層面積Sと地震モーメントM_0との関係を図４に示す。（相手方準備書面１０・14頁）

9 モーメントマグニチュード：地震は地下の岩盤がずれて起こるが，この岩盤のずれの規模（ずれ動いた部分の面積×ずれた量×岩石の硬さ）をもとにして計算したマグニチュードをモーメントマグニチュード（Mw）という。

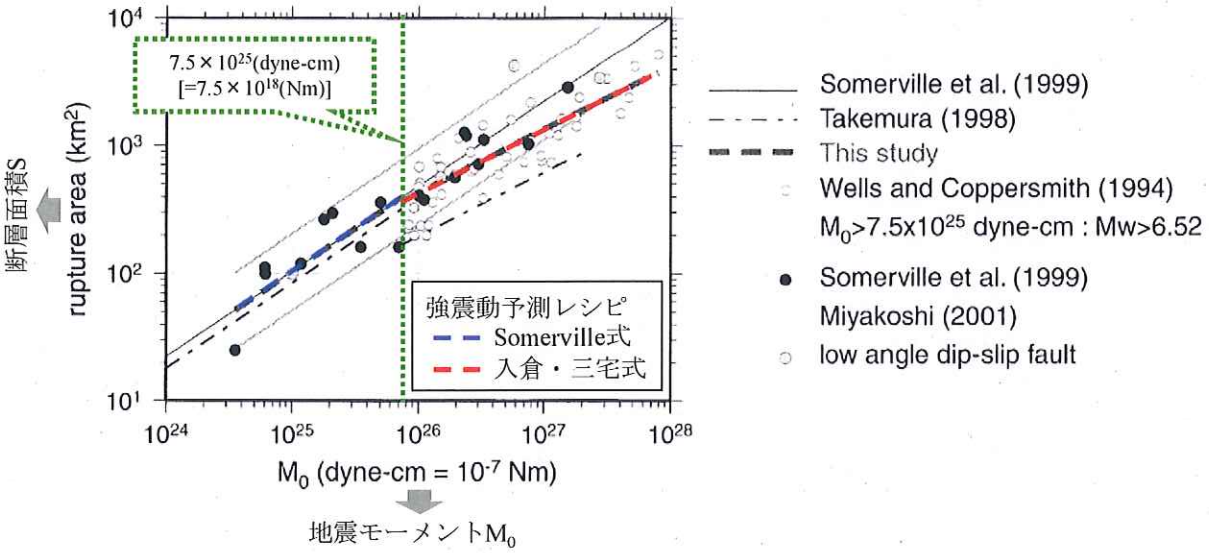


図４　強震動予測レシピによる断層面積Ｓと地震モーメント M_0 との関係
（入倉・三宅(2001)【乙 63（858 頁)】の図７に加筆）

（２）　入倉・三宅式の信頼性

ア　震源インバージョンという手法は信頼性が高いこと

入倉・三宅式は，主として海外で発生した地震に関する震源インバージョンデータに基づいて作成された経験式である。

震源インバージョンとは，地震観測記録を用いて，実際に起きた地震における地下の断層面の動きを把握する手法の一つである。複数の観測地点で得られた観測記録を基に断層面を仮定し，当該断層面の各地点において生じるすべり量及びすべりの方向等を解析によって求め，それらの結果から震源断層を推定する方法であり，高精度に断層面積Ｓを求めることができる，地震学においては確立された手法である。（相手方準備書面１４・10 頁）

震源インバージョンについては，国内外の研究者によって，1999 年トルコ・Kocaeli 地震（Mw7.4），1999 年台湾・Chi-Chi 地震（Mw7.6），さらに鳥取県西部地震（Mw6.8）をはじめとする最近の日本の 5 つの内陸地殻内地震（Mw5.8～6.9）の各観測結果とも

整合することが確認されており，震源インバージョンによる断層パラメータは，最も精度が高いと言われている。（相手方準備書面１４・10頁）

イ　国内で最近発生した 18 地震についても整合性が確認されていること

入倉・三宅式は，入倉・三宅(2001)において，元々主として海外で発生した地震の震源インバージョンデータを基に提案されていたものであるが，入倉ほか(2014)における，1995年以降に国内で発生した最新の18個の内陸地殻内地震に関する震源インバージョン結果も，入倉・三宅式による計算結果と調和的である（表１，図５）。（相手方準備書面１４・11～12頁）

表１　1995 年以降に国内で発生した最新の 18 個の内陸地殻内地震
（入倉ほか(2014)【乙 66（1528 頁）】の表３に加筆）

地震名　　地震モーメント　　断層面積

No.	地震名	Reference	Mo	M_w	Length	Width	Rupture Area	Av. Slip	Max. Slip	Asperity Area		Av. Asp. Slip		Δσ grp	Δσ asp
			Nm		km	km	km²	m	m	km²	/Area	m	/Av.Slip	MPa	MPa
1	1995年兵庫県南部地震	Somerville et al.(2002)[18]	2.75E+19	6.9	64	21	1303	0.79	4.01	244	0.19	1.74	2.20	1.9	10.4
2	2008年岩手・宮城内陸地震	Asano and Iwata(2011b)[7] Suzuki et al.(2010)[19]	2.72E+19	6.9	39 [38] [40]	18 [18] [18]	702 [684] [720]	1.31 [1.20] [1.44]	5.74 [5.04] [5.55]	112 [104] [120]	0.16 [0.15] [0.17]	3.22 2.61 [3.85]	2.45 2.34 [2.58]	3.6	22.4
3	2007年能登半島地震	Asano and Iwata(2011a)[6] Horikawa(2008a)[20]	1.36E+19	6.7	26 [20] [22]	18 [10] [20]	460 [490] [440]	0.92 [1.09] [0.77]	3.73 [5.07] [2.75]	82 [84] [61]	0.18 [0.19] [0.18]	1.96 2.32 [1.85]	2.14 2.13 [2.14]	3.4	18.7
4	2011年福島県浜通り地震	引間(2012)[21]	6.55E+18	6.6	40	16	640	0.52	2.51	144	0.23	1.25	2.40	1.4	6.4
5	2007年新潟県中越沖地震	Aoi et al.(2008)[22] 引間・纐纈(2008)[23] Horikawa(2008b)[24] Miyakoshi et al.(2008)[25]	9.30E+18	6.6	28 [30] [25] [28]	19 [24] [18] [17] [18]	537 [720] [540] [426] [594]	0.76 [0.91] [0.56] [0.64] [1.22]	2.65 [2.68] [2.66] [2.12] [3.28]	84 [76] [92] [100] [72]	0.16 [0.11] [0.17] [0.24] [0.14]	1.69 2.05 [1.44] [1.87] [2.12]	2.24 2.30 [2.57] [2.35] [1.74]	1.8	11.1
6	2000年鳥取県西部地震	岩田・関口(2002)[26]	8.62E+18	6.6	34	16	598	0.61	4.44	101	0.17	2.40	2.64	1.4	6.5
7	2005年福岡県西方沖地震	Asano and Iwata(2006)[27]	7.60E+18	6.6	26	18	468	0.78	3.17	64	0.14	1.97	2.53	1.9	13.7
8	2004年新潟県中越地震	Asano and Iwata(2009)[28]	7.53E+18	6.6	28	15	504	0.67	3.08	84	0.17	1.43	2.13	1.6	9.7
9	2011年長野県北部地震	気象庁(2012a)[13]	2.13E+18	6.2	22	14	308	0.43	1.19	72	0.23	0.88	2.05	1.0	4.1
10	2003年宮城県北部地震	Hikima and Koketsu(2004)[29]	1.53E+18	6.1	18	10	180	0.51	1.04	20	0.11	0.78	2.52	1.5	13.9
11	1997年秋田県北西部地震(3月)	宮腰・他(2004)[30]	1.40E+18	6.1	12	10	120	0.40	1.20	18	0.15	0.68	1.91	2.6	17.3
12	1997年鹿児島県北西部地震(5月)	Horikawa(2001)[31]	1.22E+18	6.0	17	10	170	0.21	0.41	15	0.09	0.30	1.71	1.3	16.2
13	2011年静岡県東部地震	気象庁(2012b)[32]	8.38E+17	5.9	8	12	96	0.32	1.10	16	0.17	0.80	2.50	2.2	13.0
14	1998年岩手県内陸北部地震	Miyakoshi et al.(2000)[33]	7.53E+17	5.9	10	10	100	0.16	0.52	16	0.16	0.43	2.69	1.8	11.5
15	1997年山口県北部地震	宮腰・他(2004)[30]	6.06E+17	5.8	8	14	112	0.14	0.83	18	0.16	0.41	2.93	1.2	7.2
16	2013年栃木県北部地震	染井・他(2014)[34]	6.54E+17	6.5	12	7	84	0.26	0.95	12	0.14	0.60	2.30	1.8	12.5
17	2013年淡路島地震	気象庁(2013)[35]	5.47E+17	5.8	10	6	60	0.20	0.71	12	0.20	0.58	2.90	2.9	14.3
18	2005年福岡県西方沖地震 余震系	Asano and Iwata(2006)[27]	1.31E+17	5.4	8	8	64	0.14	0.51	9	0.14	0.33	2.36	0.6	4.4
											Av. 0.18 S.D.= 0.04		Av. 2.37 S.D.= 0.32		

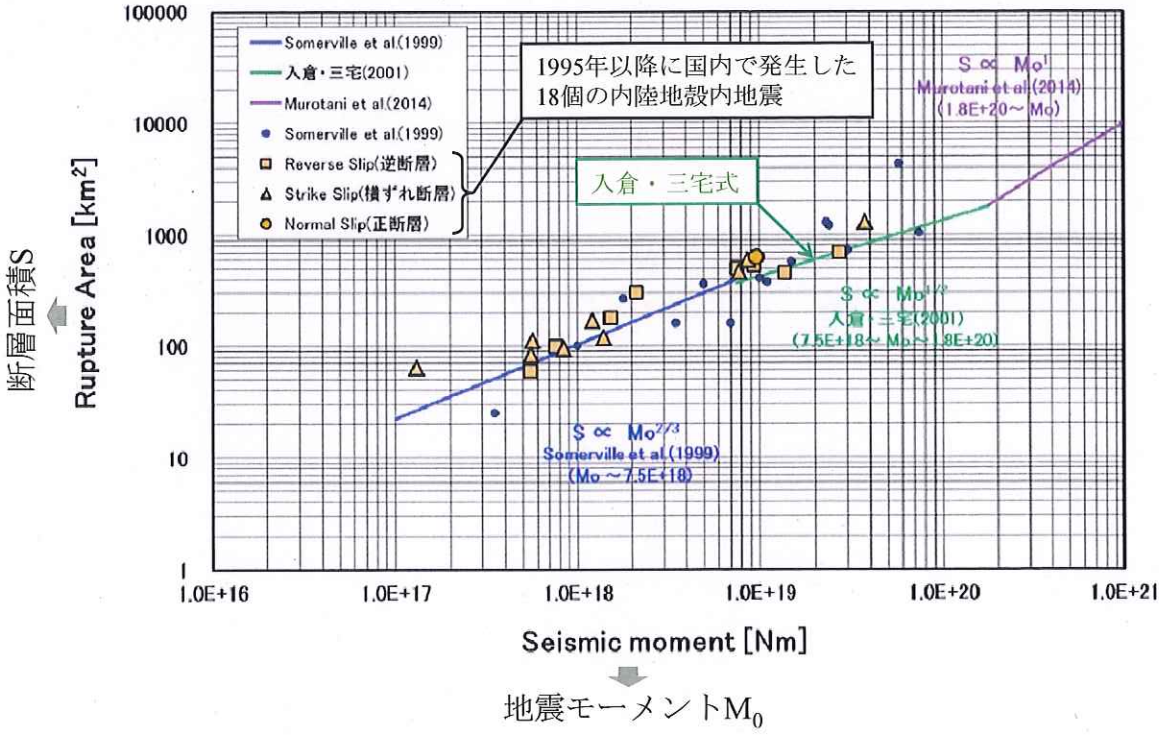
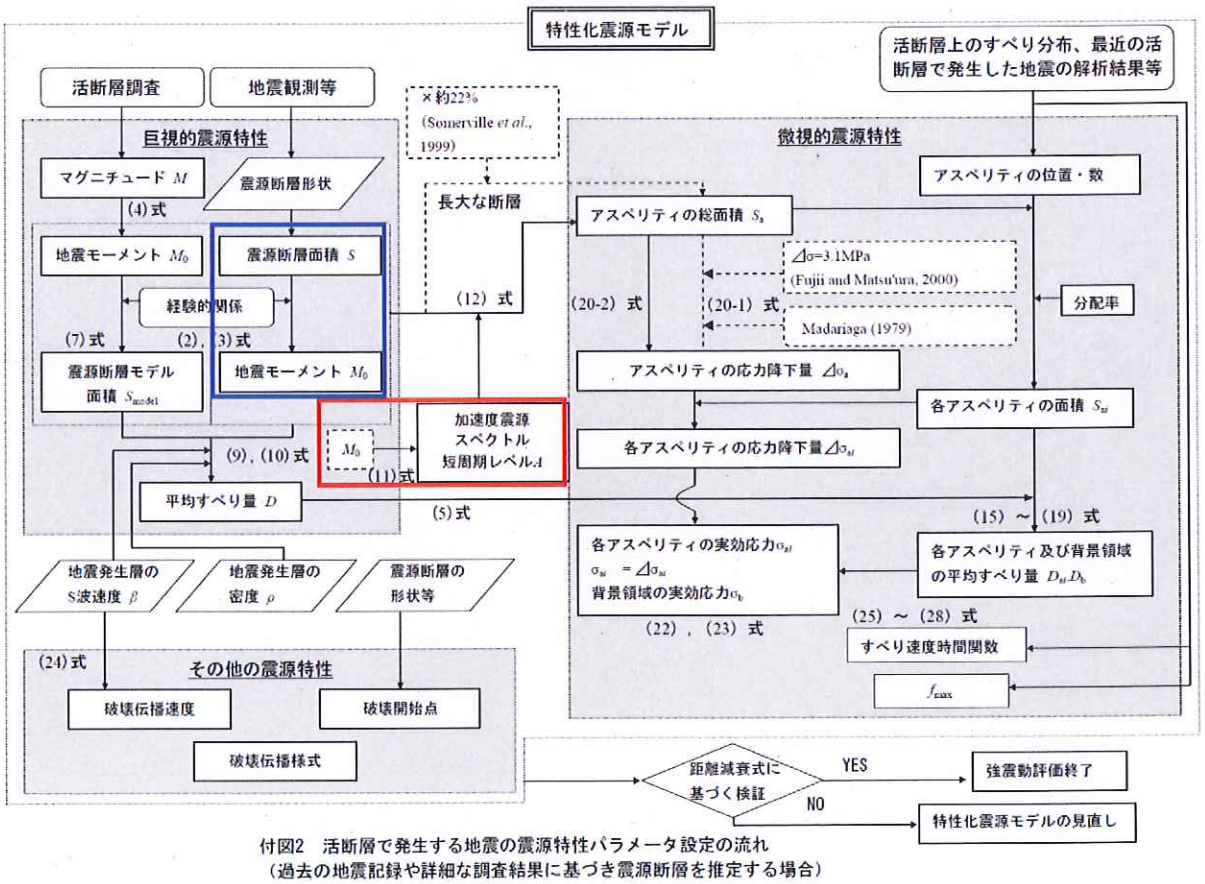


図５　1995 年以降に国内で発生した 18 個の内陸地殻内地震の断層面積 S と地震モーメント M_0 との関係（入倉ほか(2014)【乙 66（1529 頁）】の図２(a)に加筆）

4　強震動予測レシピにおける壇ほかの式について

（1）　強震動レシピにおける壇ほかの式の位置づけ

強震動予測レシピによる震源特性パラメータ設定においては，前述した入倉・三宅式（図６　青枠）により，断層面積から地震モーメントが導かれる。この地震モーメントを基にして，短周期レベルＡ（強震動予測において重要となる短周期の揺れの大きさに直接影響を与えるパラメータ）を求めるときに用いられるのが，壇ほか(2001)による地震モーメントM_0と短周期レベルＡの関係式（図６　赤枠）（以下「壇ほかの式」という。）である。（相手方準備書面１６・6～7頁）



付図2　活断層で発生する地震の震源特性パラメータ設定の流れ
（過去の地震記録や詳細な調査結果に基づき震源断層を推定する場合）

図６　強震動予測レシピによる震源特性パラメータ設定の流れ
（【乙62 付録3-36 付図2】に加筆）

（２）　「壇ほかの式」の信頼性

壇ほか(2001)は，比較的規模の大きいMw5.6以上の地震を対象に，短周期レベルＡが地震モーメントM_0の1/3乗に比例するという関係性を仮定した上で，観測記録の回帰分析を行っているが，短周期レベルＡが地震モーメントM_0の1/3乗に比例するという仮定については，過去の内陸地殻内地震の観測記録等から合理的であることが確認されている。（相手方準備書面１６・7頁）

また，壇ほかの式は，入倉・三宅式と同じように，地震調査委員会による強震動予測レシピに体系的に組み込まれ，後述のとおり，地震調査委員会により2000年鳥取県西部地震及び2005年福岡県西方沖地震の地震観測記録の再現性が確認されている。

熊本地震に関しても，熊本地震の短周期レベルＡと地震モーメントM_0との関係が壇ほかの式に整合することが佐藤(2016)により示されている（図７：壇ほかの式の線以下に存在)。（相手方準備書面１６・8頁）

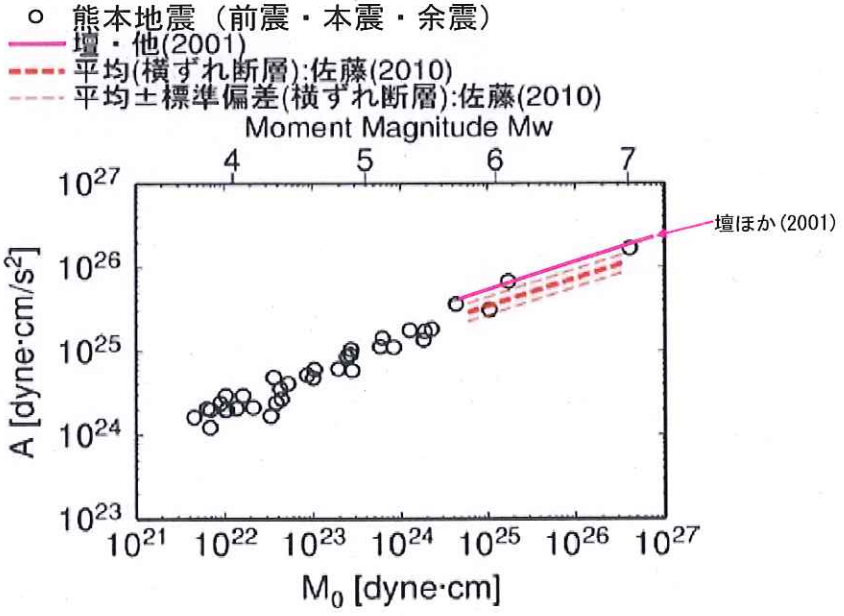


図７　熊本地震の短周期レベルＡと地震モーメントM_0の関係

（佐藤(2016)【乙130】に加筆）

このように，短周期レベルＡを設定するにあたって「壇ほかの式」を適用することは，科学的合理性を有し妥当である。

5　入倉・三宅式及び壇ほかの式を含む強震動予測レシピの合理性

地震による揺れ（強震動）は，震源となる断層の性質や震源から観測点に至る地下構造により異なり，結果として構造物に対する強い破壊力の地震動が生じた地域で大きな被害が引き起こされることになる。それぞれの構造物に対する地震動の破壊力を１つの指標で表すのは困難であり，それぞれの構造物・施設の動的な耐震性を知るためには地震動の時刻歴波形あるいは応答スペクトルの評価が必要となる。そして，そのためには震源断層の破壊過程及び震源から対象地点までの地下構造による伝播特性に基づいた強震動の予測がなされなければならない。（相手方準備書面１０・14～15頁）

強震動予測を行うには，地質・地形学的アプローチだけでなく，地下にある断層の動きを知るために地震記録や測地記録[10]から断層運動を推定する地震学的アプローチとの連携が重要であって，精緻な調査や観測，そしてそれらのデータ解析から得られる震源や波動伝播に関する高精度の情報が必要となる。すなわち，活断層や地震活動の調査に基づく活断層ごとの地震危険度評価，これまでの地震動記録のインバージョン（逆解析）に基づく震源のモデル化，さらには地下構造調査や地震動観測によるグリーン関数[11]の評価などを総合して，各地の地震動を推定する。このようにして予測された地震動は，これまでに得られている強震動の関係式や過去の大地震の被害分布などとの比較により，その有効性を検証している。（相手方準備書面１０・15頁）

10　測地記録：断層運動による地殻の変動等を把握するために，三角・三辺測量，水準測量，験潮，GPS 連続観測等により地球上の任意の点の位置や変化を測定した記録。

11　グリーン関数：ある地点に入力された情報が伝播し，評価地点で確認される応答を求めるもの。

そして，入倉・三宅式及び壇ほかの式を採用した強震動予測レシピによれば，強震動予測のための震源モデルは，巨視的断層パラメータ[12]，微視的断層パラメータ[13]及びその他のパラメータ[14]により，以下のとおり与えられる。（相手方準備書面１０・15～16頁）

巨視的断層パラメータとしては，活断層調査により同時に活動する可能性の高い断層セグメントの総和から断層長さが，また地震発生の深さ限界から断層幅がそれぞれ推定され，長さと幅との積から断層面積，そして断層面積と地震モーメントとの経験的関係から地震モーメントがそれぞれ推定される。断層の走向と傾斜角は，地質・地形・地理的調査，さらには反射法探査[15]などから推定される。次に，微視的断層パラメータは，断層面上のすべり不均質性をモデル化するものであって，アスペリティ面積の総和，最大アスペリティ面積，アスペリティの面積及びそこでの応力降下量が与えられる。（前記図３参照）

このように震源をモデル化する有効性は，1995年兵庫県南部地震の震源モデル化及びそれに基づいた経験的グリーン関数法[16]，並びにハイブリッドグ

---

12 巨視的断層パラメータ：巨視的パラメータとは，震源断層面の形状や規模等，その全体的なパラメータを示すもので，その諸元には震源断層の位置や走向・長さ・幅・深さ・傾斜角，地震規模，平均すべり量等がある。

13 微視的断層パラメータ：微視的パラメータとは，震源断層面での細かな特徴を表すもので，その諸元にはアスペリティの位置・個数・面積，アスペリティと背景領域の応力降下量等がある。

14 その他のパラメータ：その他のパラメータとは，巨視的パラメータ及び微視的パラメータ以外のパラメータであり，岩盤のずれ破壊に関する特性として破壊伝播速度，破壊開始点等がある。

15 反射法探査：反射法地震探査とは，地表又は海面付近で人工的に弾性波（P 波又は S 波）を発生させ，地下の音響インピーダンス（弾性波速度と密度とを掛けた量）の異なる境界で反射して戻ってきた反射波を地表又は海面付近に設置した受振器で観測し，その結果を解析して地下の地質構造等を求める探査法をいう。

16 経験的グリーン関数法：経験的グリーン関数法とは，実際に発生した小さな地震の観測記録のうち，地震動評価に用いるのに適切な観測記録（要素地震）を足し合わせて大きな地震による揺れを計算する方法をいう。この方法には，評価する活断層付近で発生した小さな地震による評価地点での適切な観測記録が必要となる。経験的グリーン関数法に用いる要素地震には観測記録を用いるため，震源から敷地までの地震波の伝わり方を適切に反映している。

リーン関数法[17]を用いて合成された強震動が観測記録とよく一致することで確認されている。（相手方準備書面１０・16頁）

そのため，強震動予測レシピは，現在の科学技術水準に照らして特定の活断層を想定した強震動の予測手法として合理的であり，また，上記巨視的断層パラメータの1つである地震モーメントM_0と断層面積Sとのスケーリング則[18]（関係式）について入倉・三宅式を用いること，地震モーメントM_0と短周期レベルA（地震動の強さ）とのスケーリング則について壇ほかの式を用いることも合理的である。

さらに，地震調査委員会は，2000年鳥取県西部地震及び2005年福岡県西方沖地震等の各観測波形と，これらの地震の震源像を基に強震動予測レシピを用いて行ったシミュレーション解析により得られる理論波形とを比較検討した結果，整合的であることを確認している【乙131（8頁）】【乙143（1～2頁）】。（相手方準備書面１０・16～17頁）

6　相手方が行った強震動予測レシピの本件原子力発電所敷地周辺における適用性の確認

相手方は，2005 年福岡県西方沖地震を用いて，強震動予測レシピが本件原子力発電所敷地周辺において適用できるかどうかを確認した。

具体的には，強震動予測レシピを用いて 2005 年福岡県西方沖地震の震

17　ハイブリッドグリーン関数法：ハイブリッドグリーン関数法（ハイブリッド合成法）とは，短周期領域の評価に適している経験的グリーン関数法又は統計的グリーン関数法により計算した地震動と，長周期帯の評価に適している理論的手法により計算した地震動とを組み合わせて，広い周期帯で精度よく地震動を評価する手法をいう。

18　スケーリング則：（地震の）スケーリング則とは，地震の震源特性を表す断層パラメータ間に見られる一定の比例関係をいう。相似則とも呼ばれる。

地下に分布する断層の断層幅（地下の深さ方向の幅）が地震発生層（地中において地震が発生する深さ方向の幅）いっぱいに拡がる地震（断層幅が飽和した地震）と，地震発生層の一部の領域にとどまる地震（断層幅が飽和しない地震）では，地震モーメントM_0と断層面積Ｓのスケーリング則が異なることが強震動予測レシピや各種文献等で一般的に知られている。

強震動予測レシピにおいては，地震モーメントM_0と断層面積Ｓのスケーリング則は，断層幅が飽和しない地震は Somerville et al.(1999)の関係式，断層幅が飽和した地震は入倉・三宅式がそれぞれ用いられる。

源モデルを策定し，本件原子力発電所敷地の地震動をシミュレーションした結果が実際に 2005 年福岡県西方沖地震の際に敷地で観測された記録を良く再現できることを確認した（図８）。このことは，2005 年福岡県西方沖地震の震源特性が強震動予測レシピで設定する標準的な震源特性と良く整合すること（再現できること）を意味し，入倉・三宅式などの経験式を含む強震動予測レシピが本件原子力発電所敷地周辺を含む北部九州地域に適合すること（北部九州地域の震源特性は強震動予測レシピの標準的な震

（相手方準備書面１２・6～7 頁）

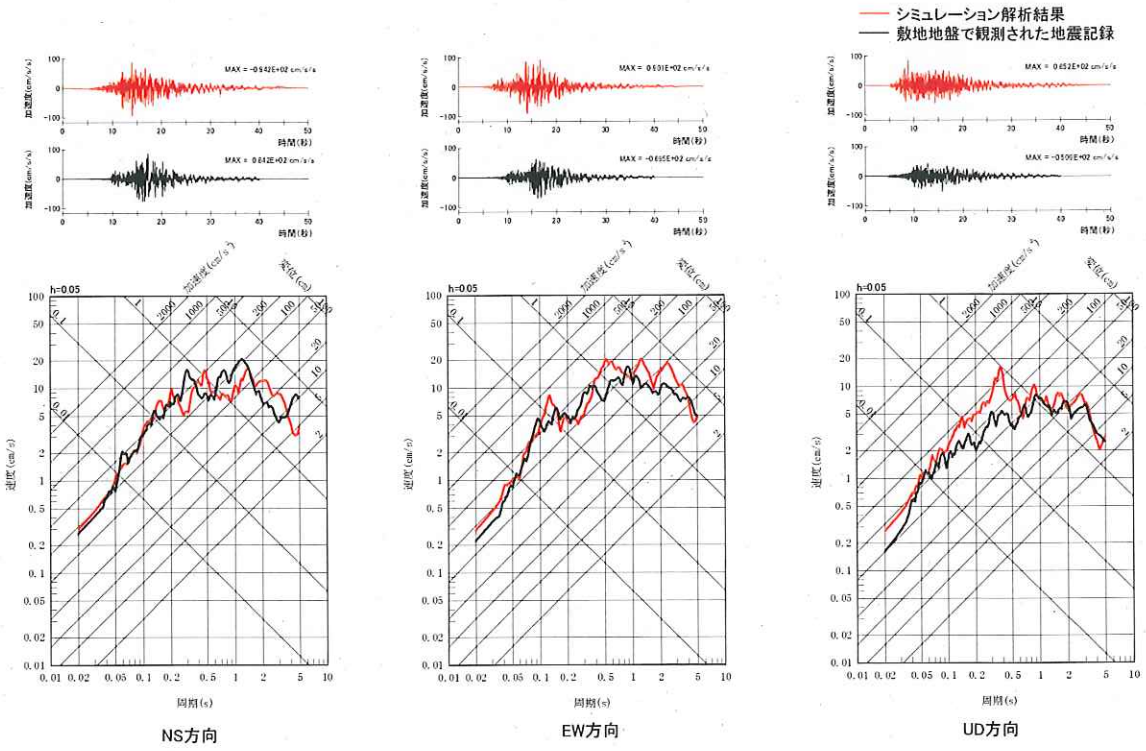


図８　本件原子力発電所敷地地盤の観測記録とシミュレーション結果との比較【乙 142（100 頁）】

7　小括

以上のとおり，入倉・三宅式及び壇ほかの式を含む強震動予測レシピは，専門家から構成された地震調査委員会で取りまとめられたものであって，

2000 年以降に我が国で発生した地震に係る地震観測記録を精度よく再現できるとともに，原子力規制委員会の地震・津波検討チームにおいても，最新の知見を反映するものとして評価されているのであり，入倉・三宅式及び壇ほかの式を含む強震動予測レシピが現在の科学技術水準に照らして合理的なものであり，それに組み込まれている入倉・三宅式及び壇ほかの式も合理的であることは明らかである。

第４　相手方は経験式が有するばらつきを考慮した上で十分安全側に地震動評価を行っていること

そもそも経験式とは，ある事象（関係性）を最も確からしく表す（求める）ために策定されるものであり，実際に発生した事象の各データを基に，最小二乗法によって求められるものである。

そのため，最小二乗法で求められた経験式とその基となった各データとの間には乖離（ばらつき）が存在し，当然のことながら，地震動評価に用いる経験式においても同様に乖離（ばらつき）が存在する。

したがって，上記各データから求められた経験式は，地震の「平均像」を示すものであり，各データにおける経験式との乖離（ばらつき）は，当該地震が発生した地域の地域的な特性を示すものである。

そこで，地震動評価において経験式を用いるにあたっては，経験式に上記の乖離（ばらつき）があることを踏まえ，評価対象地域における地震の地域的な特性を十分に考慮した上で評価する必要があるのであり，これが「ばらつき」の考慮である。

準備書面１２及び１３で詳細に主張したとおり，相手方は，本件原子力発電所の地震動評価においては，経験式にばらつきが存在することを踏まえ，強震動予測レシピが本件原子力発電所敷地周辺を含む北部九州地域において適合性があることを確認した上で，詳細な調査や観測事実等を基に地域的な特性を安全側に反映し，さらに不確かさを考慮し，最終的に策定

する本件原子力発電所の基準地震動が過小とならないよう安全側に評価している。

なお，審査ガイドにおいては，「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の策定における震源特性パラメータの設定に際しては，「経験式を用いて地震規模を設定する場合には，経験式の適用範囲が十分に検討されていることを確認する。」とされており，相手方は，本件原子力発電所の基準地震動策定において経験式を用いる際には，震源断層の規模が経験式の適用範囲を満たしていることを確認している。

第５　抗告人らの主張に対する反論

１　はじめに

抗告人らは，相手方が策定した基準地震動が過小評価であるとして，相手方が策定した基準地震動の合理性を認めた原決定を論難する。抗告人らの主張の趣旨は必ずしも明らかではないが，①強震動予測レシピが不合理であるとの主張，②入倉・三宅式ではなく，武村式を用いるべきであるとの主張，③壇ほかの式ではなく，片岡ほかの式を用いるべきであるとの主張，④経験式に内在するばらつきが考慮されていないとの主張に大別されると思われるため，以下必要な範囲でそれぞれ反論する。

２　強震動予測レシピが不合理であるとの主張に対する反論

（１）　強震動予測レシピの改訂は強震動予測レシピの合理性を否定する理由とはならないこと

抗告人らは，強震動予測レシピは 2016 年 6 月から 2017 年 4 月にかけて 3 度にわたって改訂されており，強震動予測レシピは地震動評価手法として確立したものとはいえないとして，強震動予測レシピの合理性を肯定した原決定を批判する。（理由書 22 頁）

しかしながら，強震動予測レシピの改訂は，地震動評価に関する最

新知見の反映にとどまっており，活断層で発生する地震の震源パラメータ設定の基本的な評価体系自体は改訂されていない。そもそも，強震動予測レシピは，震源断層を特定した地震を想定した場合の強震動予測を高精度に予測することを目的とし，地震動評価の知見の進展を踏まえて随時修正・改訂されることが前提となっており【乙 144(1 頁)】，改訂が繰り返されていることは強震動予測レシピが地震動評価手法として確立していないことを意味するものではない。

したがって，強震動予測レシピが複数回改訂されていることを理由に強震動予測レシピが確立していないとする抗告人らの主張は理由がない。

（2） 強震動予測レシピによる理論波形は鳥取県西部地震及び福岡県西方沖地震の各観測記録と整合すること

抗告人らは，原決定が，地震調査委員会が鳥取県西部地震及び福岡県西方沖地震の各観測記録と強震動予測レシピを用いておこなったシミュレーション解析により得られる理論波形とを比較，検討した結果，整合的であることを強震動予測レシピの合理性の根拠としている点に対し，地震調査委員会による鳥取県西部地震及び福岡県西方沖地震の各検証結果からは強震動予測レシピによる理論波形が観測記録と整合するとは評価できず，かかる検証結果を根拠として強震動予測レシピが合理性を有するとは判断することができない旨主張する。(理由補充書 16～26 頁)

しかしながら，地震調査委員会は，鳥取県西部地震の観測記録を利用した地震動評価手法の検証結果において「地震動評価手法や震源特性化手法の妥当性が概ね確認できた」としており【乙 143 (1～2 頁)】，また，福岡県西方沖地震についてもおおむね同様に整合性が確認できたと評価している【乙 131 (8 頁)】のであって，抗告人らの主張は理由

がない。

（３）　強震動予測レシピの一部の関係式だけを他の式に置き換えると地震動評価手法としての科学的合理性が失われること

抗告人らは，強震動予測レシピで採用されている入倉・三宅式及び壇ほかの式では地震動評価が過小になるので，入倉・三宅式を武村式に，壇ほかの式を片岡ほかの式にそれぞれ置き換えるべきである旨主張する。（理由書 23～24 頁）

しかしながら，強震動予測レシピが採用する入倉・三宅式及び壇ほかの式は，前述の通り観測記録とも整合する信頼性の高い関係式であって，これらの関係式を採用した強震動予測レシピは合理的であり，武村式，片岡ほかの式に置き換える必要性はない。

そもそも強震動予測レシピは，前述（14 頁・図３）のとおり，多くの震源特性パラメータが，一連の体系・フローに従って順次算定されるものであり，この体系全体をもって観測記録との整合性も確認された合理性を有する地震動評価手法であるため一部の関係式を他の式に置き換えた場合，地震動評価手法としての科学的合理性も失われることになる。

したがって，入倉・三宅式と壇ほかの式をそれぞれ武村式，片岡ほかの式と置き換えるべきであるとする抗告人らの主張は理由がない。

（４）　過去の地震記録がなくとも強震動予測レシピに基づいて合理的な地震動評価が可能であること

抗告人らは，強震動予測レシピは，入倉・三宅式が適用できるのは過去の地震記録が存在する場合を原則とするように修正され，過去の地震記録が存在しない場合には合理的な地震動評価ができないとして原決定が「入倉・三宅（2001）は…（略）…合成された強震動が観測

記録とよく一致することで検証されている」とした点を誤っている旨主張する。（理由補充書 11～16 頁）

しかしながら，強震動予測レシピが，入倉・三宅式の適用について原則として過去の地震記録が存在する場合と修正された事実はない。強震動予測レシピの修正（平成 28 年 12 月）によって，表題が「(ア) 過去の地震記録や調査結果などの諸知見を吟味・判断して震源断層モデルを設定する場合」に変更されたに過ぎず【乙 144（3 頁)】，入倉・三宅式の適用において過去の地震記録が必須とされたわけではないため，かかる主張は事実に反する。

地震動評価においては，今後起こりうる地震を科学的な根拠を持って想定するかが肝要であり，「考慮すべき活断層」の過去の地震観測記録が存在しない場合であっても，詳細な調査や微小地震観測記録等を用いることで科学的に合理的な震源モデル（震源断層）を設定することは可能である。本件原子力発電所においては，「考慮すべき活断層」の過去の地震観測記録は存在しないが，相手方は，新規制基準の要求[19]を踏まえ，活断層の詳細な調査結果や敷地周辺で発生した地震観測記録に基づき，「考慮すべき活断層」の震源断層の長さ及び幅（地震発生層，断層傾斜角）を把握している。その上で，震源モデル（震源断層）を設定するにあたっては，審査ガイドで示された，地震調査研究推進本部の「強震動予測レシピ」等の最新の研究成果を考慮し，基準地震動を策定している。

したがって，過去の地震観測記録が存在しなくとも合理的な地震動

19「基準地震動は，最新の科学的・技術的知見を踏まえ，敷地及び敷地周辺の地質・地質構造，地盤構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から想定することが適切」とされている。また，内陸地殻内地震に関しては，「震源として考慮する活断層の評価に当たっては，調査地域の地形・地質条件に応じ，既存文献の調査，変動地形学的調査，地質調査・・・その結果を総合的に評価し活断層の位置・形状・活動性等を明らかにすること」とされている。【乙 141 別記 2 126～127 頁】

評価は可能であり，合理的な地震動評価ができないことを前提とした抗告人らの主張には理由がない。

なお，抗告人らは，Kamae and Irikura, 1998 の図表（甲 83，403 頁 Fig.2 及び 404 頁表 4，以下「本件図表」という。）を引用し，本件図表に示された L と W から得られる S（各 Subevent の面積）から入倉・三宅式を用いて導いた地震モーメントが本件図表の値の 1/6～1/15 程度の値にしかならないとし，入倉・三宅式による評価では過小評価となるかの如く主張する。（理由補充書 16 頁）

しかしながら，抗告人らは，入倉・三宅式が震源断層面全体の面積 S と地震モーメント M_0 との関係を示す式であるところ，入倉・三宅式では用いることのないアスペリティ面積を用いて地震モーメント M_0 を算定しており，その適用自体が誤っている（本件図表の subevent が震源断層面積ではなく，アスペリティ面積を表すことは記載から明らかであり，抗告人らも自認するところである）。抗告人らの主張は，本来適用できない式に無理に数値を入れた結果，地震モーメント M_0 の数値が過小になったことを理由として，入倉・三宅式による評価では過小評価となるとするものであり，抗告人らの主張は理由がない。

3　入倉・三宅式ではなく武村式を用いるべきとの主張に対する反論

（1）　入倉・三宅式が過小評価になるとする抗告人らの主張には理由がないこと

抗告人らは，相手方が実施した福岡県西方沖地震の観測記録と強震動予測レシピを用いた断層モデルによるシミュレーション解析（乙 61・78 頁）において，本震 2 日後の余震記録を用いる理由が不明であり，また，その解析結果について，観測記録が断層モデルによる計算値を上回っている周期領域があり，入倉・三宅式によるモデル計算が過小評価になっている旨主張する。（理由書 7～8 頁）

しかしながら，相手方は，福岡県西方沖地震本震を再現するにあた

り，余震記録を経験的グリーン関数法の要素地震として用いているところ【乙 142（99～101 頁，103 頁，123～125 頁，133 頁)】，経験的グリーン関数法において本震を再現するために対象地震の震源域やその近傍で発生した中小地震（余震も含む）を選択することは地震学で確立された計算方法であり【乙 145（61～67 頁)】，何ら問題はない。

また，相手方は，福岡県西方沖地震の観測記録と強震動予測レシピを用いた断層モデルによる計算値との比較を実施し，レシピに基づく計算値が観測記録を概ね包絡ないしは同等であり，特に短周期ではほぼ一致していることから，レシピに基づき設定した震源パラメータが妥当であることを確認した。

さらに，福岡県西方沖地震の地震観測記録を用いた強震動予測レシピの検証は，地震調査委員会も実施しており，整合的であることを確認している【乙 131（8 頁)】。なお，抗告人らは，整合性の確認を行ったのは地震調査委員会ではなく，相手方であると主張するが，抗告人らは原決定の認定が乙 61 号証の 78 頁に基づくものと誤って解釈したものであり，抗告人らの主張は理由がない。

（2） 平成 7 年以降に国内で発生した最新の 18 個の内陸地殻内地震のうち入倉・三宅式がその対象とする Mw6.5 以上のものに関する震源インバージョン結果が入倉・三宅式と一致すること

抗告人らは，震源インバージョンでは Somerville et al.の規範 0.3 によるトリミングが予定されているところ，平成 7 年以降に国内で発生した最新の 18 個の内陸地殻内地震のうち入倉・三宅式がその対象とする Mw6.5 以上の 8 地震 13 解析（乙 66・表 3）について 10 解析はトリミングがなされておらず，入倉・三宅式の対象とする上記地震に関する震源インバージョン結果が入倉・三宅式とよく一致することが確認されたとする原決定は誤りである旨主張する。（理由書 10～12

頁）（理由補充書 33～37，39～41 頁）

しかしながら，仮定した断層面におけるすべり量をその大小に関わらず求める手法である「震源インバージョン」と，「震源インバージョン」の結果を基に仮定した断層面の中で特に大きくすべって強い揺れ（強震動）を放出した領域（破壊領域）を求める「Somerville et al.の規範」とは，それぞれ別々の目的を持った異なる手法であるところ，それを一体のものとして誤認し，「震源インバージョンではSomerville et al.の規範 0.3 によるトリミングが予定されている」とする抗告人らの主張は，誤りである。

Somerville et al.の規範は，「震源インバージョン」の結果，「断層面を基盤の目に分けた時，端の行または列におけるすべり量の平均値が全体のすべり量の平均値×0.3 未満であれば，その行または列を削減する（トリミングする）」というものであるが，近年は，地震観測網の充実により，余震分布の情報等から地震の際の震源の動き（大きくすべっている領域）が精度高く想定できるようになってきており，「震源インバージョン」において仮定した断層面が，「Somerville et al.の規範」によるトリミングを経ることなく，そのまま破壊領域として適用できる場合が多い。

入倉ほか（2014）においては，平成 7 年以後国内で発生した最新 18 個の内陸地殻内地震のうち，入倉・三宅式が対象とする Mw6.5 以上の地震について，Somerville の規範に従い断層破壊面積（破壊領域）の抽出を試みた結果，いずれもすべり量が 0.3 以上であるためトリミングの実施は不要であること，すなわち震源インバージョンにおける仮定断層面がそのまま破壊領域として適用可能であることが確認されている。

また，抗告人らは，熊本地震本震の震源インバージョンの結果についても，「久保ほか」及び「浅野ほか」の 2 つの論文を取り上げ，ト

リミングが実施されておらず，仮定に過ぎない断層面積がそのまま断層面積とされているため，客観性がなく，信用性が乏しいと主張するが，これらの論文でも，仮定した断層面の端の行または列の平均すべり量がいずれも 0.3 以上であるため，トリミングの実施は不要であると判断されたものである。

以上のとおり，トリミングが実施されていないということは震源インバージョンにおける断層の設定（仮定）が破壊領域として概ね妥当であったということを示すものであり，平成 7 年以後国内で発生した最新 18 個の内陸地殻内地震のうち，入倉・三宅式の対象とする Mw6.5 以上の地震についてはトリミングを実施する必要はなく，それらの震源インバージョン結果が入倉・三宅式とよく一致することが確認されているとした原決定は妥当であり，抗告人らの主張は理由がない。

（3） 地下の震源断層に基づく地震動評価において武村式を用いることの合理性を否定した原決定は妥当であること

ア 抗告人らは，原決定が，入倉ほか（2014）において，武村式の基となった 10 地震について震源インバージョン解析を行ったところ，データが収集できた 6 地震のうち 5 地震について震源断層の長さが武村式に用いられた震源断層の長さに比して大幅に長くなったとされていること等から武村式の合理性を否定したことについて，入倉ほか（2014）において，6 地震のうち破壊領域の抽出ができたのは 2 地震のみであり，残りの 4 地震は破壊領域の抽出に失敗したのだから当初の仮定にすぎない断層面積を武村式のデータと比較することこと自体無意味であり，武村式の合理性を否定する根拠となるものではない旨主張する。（理由書 12～14 頁）

しかしながら、武村式の基となった 6 地震についての震源インバージョン解析結果は，破壊領域の抽出まではできなかった 4 地震につい

ても，破壊領域が抽出できた2地震と同様に，地下の震源断層の姿を捉えており，一定程度の信頼性があるため（入倉ほか（2014）でも，震源断層長さが他の地震に比べて若干過大評価であることを認識しつつも用いていることからも明らかである。），入倉・三宅式のスケーリング則との比較に用いることは可能であり，比較した結果スケーリング則と整合することが確認されている。

また，上記インバージョン解析結果と武村式データとの比較によって，武村式は，地下の震源断層としては不十分な長さ（地表の断層長さに近い長さ）と地震モーメントのスケーリングを表すものであることについても確認されているのであって，強震動予測レシピに基づき地下の震源断層を想定して地震動評価を実施する場合には，地下の震源断層から地震モーメントを導き出す入倉・三宅式による方が合理的であることは明らかであり，武村式によるべきであるとの抗告人らの主張は理由がない。

イ　また，抗告人らは，原決定が武村式において用いられた断層長さが測地学的データによることから不十分なデータであることを武村式の合理性を否定する根拠としていることに対して，武村式が測地学的データによることから不十分なデータであるとするのであれば，8割弱のデータが測地学的データによっている入倉・三宅式も同様に不十分となるはずであり，測地学的データであることを根拠に武村式に合理性がないと判断することはできない旨主張する。（理由書12～14頁）

しかしながら，入倉・三宅式のデータベースとなった震源インバージョン以外のデータ（余震分布，活断層情報，測地学データによるもの）については，入倉・三宅（2001）において「信頼性のあるものに限定するため 7.5×10^{18}Nm 以上の大きさの地震でかつ信頼できる（reliable）と記載されているもののみを用いる」とされており，さらに震源インバージョンによるデータと整合していることを確認した

上で用いられている【乙63（852～854頁）】。

したがって，入倉・三宅式では震源インバージョンと整合する信頼性の高いデータを用いているのであり，震源インバージョンと整合しない測地学的データを用いている武村式とは異なり，武村式の合理性を否定した原決定は妥当であり，抗告人らの主張は理由がない。

（4） 震源インバージョンは平成11年トルコ・Kocaeli地震，同年台湾・Chi-Chi地震とも整合すること

抗告人らは，原決定が震源インバージョンについて平成11年トルコ・Kocaeli地震，同年台湾・Chi-Chi地震とも整合することが確認されているとしたことについて，原決定が引用する書証（乙63・66・102）のうち，両地震に言及するのは，乙63号証850頁右段のみであり，原決定は証拠によらないで認定している旨主張する。（理由書14～15頁）

しかしながら，両地震については，両地震を含む最近の日本の5つの内陸地殻内地震について震源インバージョン解析により震源パラメータの特性化を行い，Somerville et al.（1999）のスケーリング則と整合することが確認されている旨言及されており【乙63（852頁）】，抗告人らの主張は理由がない。

（5） 熊本地震の解析結果が異なることをもって震源インバージョンの信用性が損なわれるものではないこと

抗告人らは，熊本地震本震の震源インバージョンに基づく震源断層面積の数値が解析者により異なることを理由に震源インバージョンは信用性を欠く旨主張する。（理由書15頁）

しかしながら，熊本地震本震についての震源インバージョンの知見を調査すると，震源断層の長さは，概ね40～50km，断層幅は，概ね

20km 程度と類似の結果が多数を占めている（表２）【乙 146（26～33頁）】。抗告人らが主張する「久保ほか（2016）」及び「浅野ほか（2016）」における解析結果の数値の違いは，各論文で使用した地震観測記録等のデータの違いによるものと考えられる。

原子力規制委員会は，上記の「久保ほか（2016）」及び「浅野ほか（2016）」を含む５つの解析結果を用いて熊本地震本震の震源インバージョンによる震源断層面積と地震モーメントの関係が入倉・三宅式と整合（震源断層面積が大きい場合には地震モーメントも大きく，既往のスケーリング則に整合）するか否かの検討を実施した結果，それぞれの解析結果は入倉・三宅式とほぼ整合するとし，熊本地震の震源インバージョンによる震源断層面積と地震モーメントの関係は，入倉・三宅式と整合していると判断している（図９）【乙 147（1～2 頁）】。

したがって，解析者により熊本地震本震の震源インバージョン結果が異なることをもって，震源インバージョンの信用性が損なわれるものではなく，抗告人らの主張には理由がない。

表２　熊本地震本震の震源インバージョンによる断層諸元【乙 146】

表3　強震波形・測地データを用いた解析による本震の断層モデルの諸元

No.	解析者	データ	長さ×幅 (km)	(Str, Dip) (°)	M_0 (N-m)	M_W	最大すべり (m)	対象周波数 (Hz)	V_{Rw} (km/s)
4	国土地理院[12]	測地 (GNSS, InSAR)	5.1×6.6; 20.0×12.5; 10.2×13.0	(56, 62); (235, 60); (205, 72)	5.1×10^{19}	7.1	4.1	---	---
5	Asano and Iwata[13]	近地強震波形 (理論的GF)	42×18	(235, 65); (205, 72)	4.5×10^{19}	7.0	5.1	0.05-0.5	2.4
6	Kubo *et al.*[14]	近地強震波形 (理論的GF)	54×24**	(224, 75); (235, 65); (215, 74)**	5.5×10^{19}	7.1	3.8	0.05-1.0	2.6
7	吉田・他[15]	近地強震波形 (理論的GF)	44×18 *(52×18)*#	(220, 65); (236, 65); (226, 77); (205, 72)	4.8×10^{19}	7.1	5.2	0.05-1.0	2.2
8	引間[16]	近地強震波形 (理論的GF)	44×20 *(57×24)*#	(233, 75); (193, 78)	4.7×10^{19}	7.0	3.5	0.05-0.8	2.7
9	気象庁[17]	近地強震波形 (理論的GF)	52×20	(235, 60)	7.6×10^{19}	7.2	5.7	0.05-0.2	2.2
10	小林・他[18]	近地, 遠地, 測地	54×16.5	3枚の平面で構成	4.6×10^{19}	7.0	8.3		
11	芝[19]	近地強震波形 (経験的GF)	40×18	(235, 60); (205, 70)	4.2×10^{19}	7.0	5.3	0.1-5.0	---
12	野津[20]	近地強震波形 (経験的GF)	40×20	(232, 84)				0.2-2.0	2.1

** 断層面は曲面として設定，# 予備的解析の断層面サイズ

表1 各機関の震源断層モデル

項目	Yoshida et al.*1 (2016地震学会)	浅野・岩田 (2016JpGU)	久保・他 (2016JpGU)	小林・他 (2016JpGU)	引間（2016地震工学会）
地震モーメントMo[Nm]	4.8E+19	4.67E+19	5.3E+19	4.60E+19	4.65E+19
断層長さL[km]	44	42	56	45	44
断層幅W[km]	18	18	24	16.5	20
面積S[km^2]	792	756	1344	742.5	880

注*1 原子力規制庁委託業務

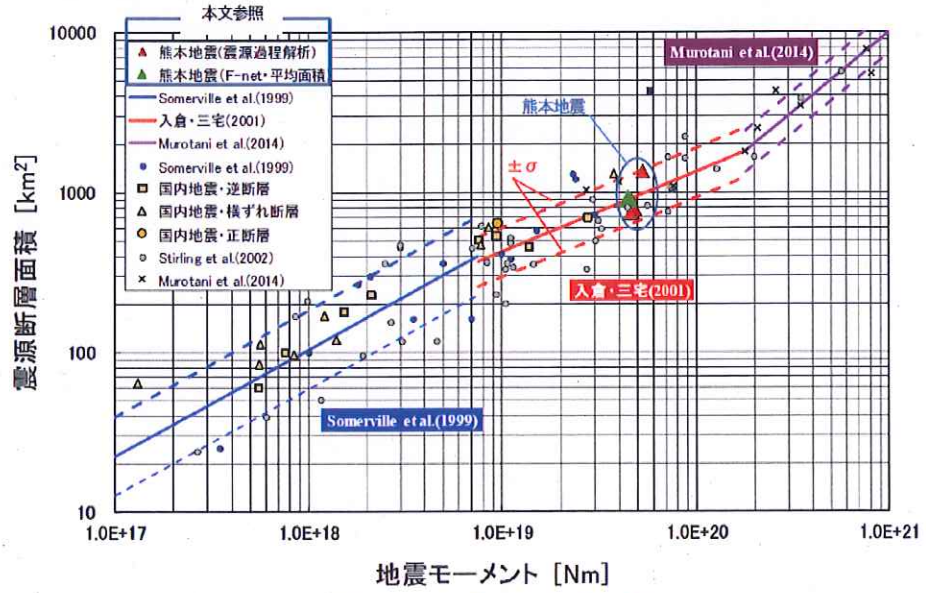


図2 地震モーメントと震源断層面積との関係

図９　熊本地震の震源断層面積と地震モーメントの関係【乙 147】

４　壇ほかの式ではなく片岡ほかの式を用いるべきとの主張に対する反論

（１）　抗告人らは，壇ほかの式を用いるとアスペリティの面積が断層面積を超えるという矛盾が発生したり，短周期レベルが過小評価になるとして，壇ほかの式ではなく，片岡ほかの式を用いるべきである旨主張する。（理由書 21～28 頁）

しかしながら，そもそも強震動予測レシピは，多くの震源特性パラメータが，一連の体系・フローに従って順次算定されるものであり，この体系全体をもって観測記録との整合性も確認された合理性を有する地震動評価手法であるため，一部の関係式を他の式に置き換えた場合には地震動評価手法としての科学的合理性も失われることになるこ

とは前述のとおりである。

前述（20頁）のとおり，壇ほかの式は，比較的規模の大きいMw5.6以上の地震を対象に，短周期レベルAが地震モーメントM_0の1/3乗に比例するという関係性を仮定した上で，観測記録の回帰分析を行っているが，短周期レベルAが地震モーメントM_0の1/3乗に比例するとの仮定については，過去の内陸地殻内地震の観測記録等から合理的であることが確認されている。また，壇ほかの式は，強震動予測レシピに体系的に組み込まれており，地震調査委員会により鳥取県西部地震及び福岡県西方沖地震の地震観測記録の再現性が確認されていること等から，短周期レベルAを設定する際の手法として，信頼性が高く，科学的合理性を有するものである。さらに，壇ほかの式や片岡ほかの式が示された後の知見である佐藤ほか（2010）及び佐藤・堤（2012）においても，片岡ほかの式ではなく壇ほかの式が用いられていることから，特に大規模な地震についての短周期レベルAと地震モーメントの関係を表す場合は，壇ほかの式を適用することが合理的であるといえる。

一方，片岡ほかの式は，準備書面１６（13頁）で述べたとおり，武村式と同様，強震動予測において重要である地震動推定結果と観測記録との照合による検証等を経た科学的な裏づけがなく，評価体系として確立したものではない。

したがって，壇ほかの式ではなく片岡ほかの式を用いるべきであるとする抗告人らの主張は理由がない。

（２）　また，抗告人らは，壇ほかの式を適用するとアスペリティの面積が断層面積を超えるという矛盾が発生する例として，福井地震を挙げている。

抗告人らがその根拠として主張する計算式（理由書25頁・脚注2）

をみると，抗告人らはアスペリティ面積を求めるにあたり，断層面積 $S=300\,km^2$，地震モーメント $M_0=2.1\times10^{19}\,Nm$ を用いている。しかしながら，強震動予測レシピでは地震モーメント M_0 は，入倉・三宅式を用いて導き出すことになっているところ，抗告人らが用いている地震モーメント M_0 は，強震動予測レシピから導かれる数値とはなっておらず，一連の地震動評価手法である強震動予測レシピに基づいて算出した結果とはいえない。したがって，強震動予測レシピに従わずにアスペリティ面積が断層面積を超える矛盾が生じたとしても，壇ほかの式が不合理であることの根拠にはならない。

したがって，抗告人らの主張は理由がない。

5　経験式が有するばらつきを考慮すべきとの主張に対する反論

抗告人らは，「相手方は経験式が有するばらつきの考慮をしていない」旨主張する。（理由書 17～21 頁，理由補充書 43～52 頁）

しかしながら，準備書面１２及び準備書面１３で詳細に主張したとおり、相手方は，地震動評価に用いる経験式にばらつきがあることを踏まえ，本件原子力発電所の地震動評価においては，敷地周辺の地域的な特性（「震源特性」，「伝播経路特性」，「サイト特性」）を把握するため，各種調査・観測（地震調査，地質調査，地下構造調査，地震観測）を実施し，十分に把握した地域的な特性を踏まえた上で，基本震源モデルの構築に際しては，震源特性パラメータ（断層長さ，傾斜角，アスペリティの位置等）を安全側に考慮した上で構築しており，さらに，基準地震動の策定過程において不確かさが存在することを考慮し，基本震源モデルを更に保守的に設定した不確かさ考慮モデルについても構築している。（図１０）

また，前述（25～26 頁）のとおり，相手方は入倉・三宅式などの経験式を含む強震動予測レシピが，本件原子力発電所敷地周辺を含む北部九州地域に適合すること（北部九州地域の震源特性が強震動予測レシピの標準的

な震源特性と整合すること）を確認しており，経験式を用いる際には，震源断層の規模が経験式の適用範囲を満たしていることについても確認している。

このように，相手方は，地震動評価に用いる経験式にばらつきがあることを踏まえ，本件原子力発電所の敷地周辺の地域的な特性を十分に考慮した上で、最終的に策定する本件原子力発電所の基準地震動 Ss が過小とならないよう安全側の地震動評価を行っているのであり，経験式のばらつきを考慮していないとの抗告人らの主張は理由がない。

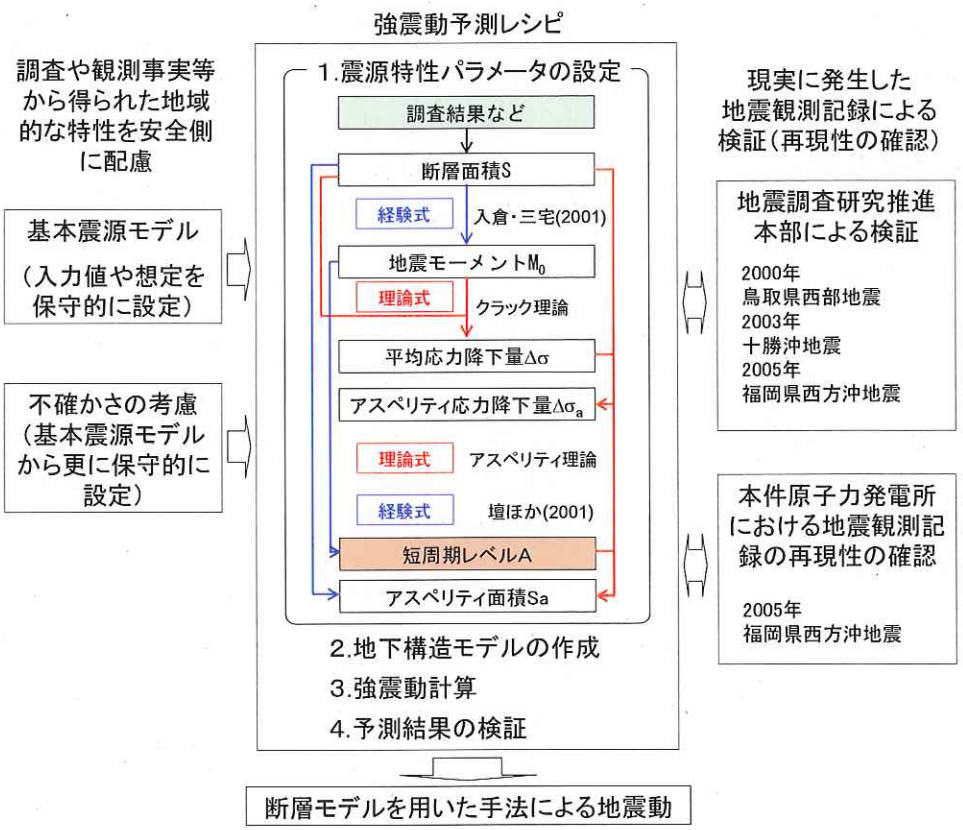


図１０　経験式にばらつきがあることを踏まえ相手方が実施した強震動予測レシピに基づく地震動評価

第６　まとめ

以上より，相手方による基準地震動の評価は科学的な合理性を有する妥当なものであり，抗告人らの主張は観測事実との整合による検証に立脚した地震動評価体系を無視した独自の解釈に基づく理由のないものであることが明らかである。

第３章　本件原子力発電所における配管の安全性の確保

第１　はじめに

相手方は，準備書面１５において，本件原子力発電所の配管について，材料の選定から設計，製作及び据付時の品質管理並びに運転開始後の保全（点検，補修，取替え，改造）によって配管が破断することがないよう健全性を確保し続けているとともに，基準地震動に対する耐震安全性を確保していること，また，運転中，万一１次系配管が破断等したとしても，原子炉を安全に停止し，炉心を冷却するため様々な安全確保対策を講じており，放射性物質の大量放出等に至る現実的危険は存在しないことについて既に主張済である。あわせて，玄海原子力発電所２号機（以下「玄海２号機」という。）の余剰抽出配管のひび割れ事象については，本件原子力発電所を含めて，ひび割れ事象が発生しない設計に変更した上で当該配管の取替えを実施し，法令上も適切に対応している旨主張したところ，原決定において相手方の主張が全般的に認められている。

本章では，「第２」で本件原子力発電所における配管の健全性確保に向けた取り組み，「第３」で玄海２号機の余剰抽出配管のひび割れ事象の原因及び相手方が講じた対策について改めて概略的に述べた上で，「第４」で必要な範囲で抗告人らの主張に対する反論を行う。

第２　本件原子力発電所における配管の健全性確保に向けた取り組み

１　設計・施工時における配管の健全性確保

（１）　配管の材料の選定については，内包流体の種類，性質，圧力，温度，配管の使用環境等の条件を考慮し，オーステナイト系ステンレス鋼（以下「ステンレス鋼」という。）や炭素鋼を使用している。具体的には，１次冷却材が循環する１次系配管については，耐食性[20]に優れており，劣化が生じにくいステンレス鋼を素材とするものを使用し，１次系配管以外の配管については，火力発電所等で使用実績があり，安全性が確立されている炭素鋼を素材とするものを多く使用している。

（２）　配管の設計にあたっては，内包流体の種類や性質，圧力，温度，及び配管の使用環境等の条件を考慮することはもとより，長年の火力発電所や原子力発電所における運転実績及び様々なトラブル実績を踏まえ，同様のトラブルが発生しないよう定められた国の「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）に適合するよう，配管の口径，厚さ及び配管ルートを決定している。具体的には，①配管の口径については限界流速[21]を，②配管の板厚については使用圧力や管の外径等から求めた計算結果を，③配管ルートについては配管の内圧や自重，熱等により配管に加わる力を分析した結果（応力解析）等をそれぞれ考慮のうえ決定している。

（３）　そして，配管の据付時には，厳格な品質管理のもと，一般社団法人日本機械学会（以下「日本機械学会」という。）の「発電用原子力設備規格 溶接規格（2007 年版）JSME S NB1-2007」等に従い据付を行っている。相手方は，配管の受入時や溶接等の各過程において社内検査（「材料検査」，「非破壊検査」及び「漏えい検査」等）を行うとともに，国の使用前検査（「漏えい検査」等）を受け，配管に問題がないことを

20　１次系配管で発生する腐食生成物は，炉心での中性子照射により放射化され，配管内表面に沈着し，放射線源の主因となるため，腐食生成物を抑制することが必要である。

21　限界流速：配管の中を流れる流体の抵抗等を考慮し，配管に影響を与えないような流速のことである。

確認している。同時に，運転開始後の配管の保全における経年変化状況の比較のため，運転開始前に基本データを収集している。

（4） 加えて，配管のひび割れ事象の一つである応力腐食割れ[22]を防止するため，ステンレス鋼配管の内包流体である1次冷却材については腐食の原因となりうる溶存酸素濃度を5ppb[23]以下と極めて低く制限するよう，また，炭素鋼配管の主な内包流体である2次冷却材についてはアルカリ性に保つよう（pHを8.5以上に保ち酸の活動を抑える。），それぞれ設備を設置し，管理している。

2 運転開始後における配管の健全性確保

運転開始後，相手方は配管を含めた設備について，「実用発電用原子炉の設置，運転等に関する規則（昭和53年12月28日通商産業省令77号）」等に基づき，一般社団法人日本電気協会「原子力発電所の保守管理規程JEAC4209-2007」に準拠した「保全プログラム」を策定したうえ，保全（点検，補修，取替及び改造）を実施している。（図１１）

---

[22] 応力腐食割れ：腐食性の環境におかれた金属材料に引張応力が作用して生ずる割れ現象であり，材料，応力，環境の3要因が重畳した場合に発生する。

[23] ppb：10億分率。

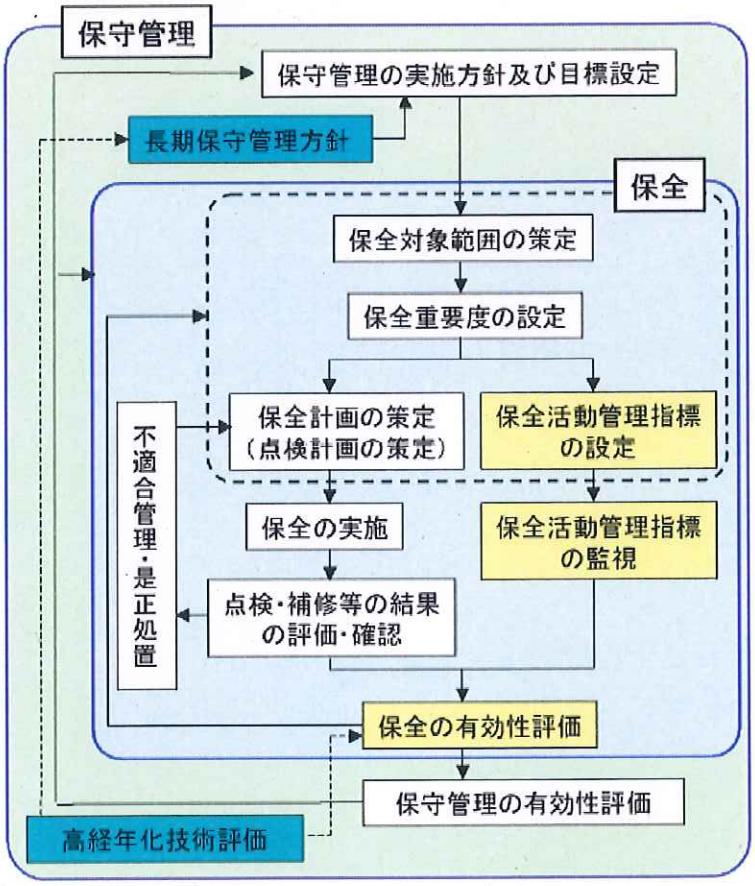


図１１　保全プログラムを含む保守管理の流れ

（図の水色部分が保全プログラム）

そして，相手方は，保全プログラムに基づく保全対象範囲の策定及び保全重要度の設定，保全計画[24]の策定，保全の実施並びに点検・補修等の結果の評価・確認等を通じて，関係する法令，規格及び基準に適合していることを確認し，配管を含めた設備の健全性を継続的に確保している。あわせて，国内外の他の原子力発電所等において新たな知見が得られた場合には，国から発出された指示文書に基づく点検等を行うほか，自主的に点検，補修及び取替等を行っている。

ちなみに，配管に発生しうる経年劣化事象は，配管の材料と配管の内包

24 保全計画とは，点検計画や補修，取替え及び改造計画，特別な保全計画の総称。

流体等との組み合わせや，配管の構造（直管部か，曲がり部か，溶接部か）等から，様々な原因が考えられるところ，火力発電所や原子力発電所における長期にわたる運転実績から，設計する際に配管ルートを考慮することによりその発生を防止することができるもの（応力腐食割れや高サイクル熱疲労等によるひび割れ事象等）については，設計段階で対応することとし，主に設計によって発生を防止できないもの（減肉事象等によるひび割れ事象等）について保全プログラムに基づく保全を行っている。

（1）　保全対象範囲の策定及び保全重要度の設定

原子力発電所の配管には，高温・高圧で放射性物質を含む1次冷却材を内包する配管及び安全設備を構成する配管等の安全上重要な配管（主に1次系配管）の他，発電用設備を構成する配管（主に2次系配管），さらには放射性物質を含まない排水等の処理設備や補助蒸気等を製造する設備を構成する配管など様々な配管がある。

このため，まずは保全を行う対象範囲について，安全上の重要度や国の定めた技術基準規則の適用状況等を勘案して設定している（基本的には発電所における殆どの設備が対象である）。

次に，設備の安全上の重要度に応じて，これら設備を保全重要度として「高」または「低」の2つに分類し，この保全重要度に応じて，（2）で述べる保全方式によって保全を実施している。（表3）

表３　保全重要度別の設備内容

高	・その損傷又は故障により発生する事象により，炉心の著しい損傷，又は燃料の大量の破損を引き起こす恐れのある構築物，系統及び機器 【例：原子炉冷却材圧力バウンダリ機能等】 ・異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し，残留熱を除去し，原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し，敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物，系統及び機器 【例：原子炉の緊急停止機能等】 ・安全上必須なその他の構築物，系統及び機器 【例：工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能等】
	・その損傷又は故障により発生する事象により，炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こす恐れはないが，敷地外への過度の放射性物質の放出の恐れがある構築物，系統及び機器 【例：原子炉冷却材を内蔵する機能等】 ・通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に作動を要求されるものであって，その故障により，炉心冷却が損なわれる可能性の高い構築物，系統及び機器 【例：安全弁及び逃がし弁の吹き止り機能等】 ・上記構築物，系統及び機器の損傷又は故障により敷地周辺公衆に与える放射線の影響を十分小さくするようにする構築物，系統及び機器 【例：燃料プール水の補給機能等】 ・異常状態への対応上特に重要な構築物，系統及び機器 【例：事故時のプラント状態の把握機能等】
	・リスク重要度が高い構築物，系統及び機器 【例：原子炉格納容器の空調機能等】
低	・上記以外の構築物，系統及び機器 【例：補助蒸気及び補給水製造機能等】

（２）　保全計画の策定

配管については，（１）で設定した保全重要度に応じて系統（化学体積制御設備系統など）ごとに保全方式を決定し，供用期間中において，ひび割れの有無の確認を含めてその健全性を確認するとともに，設計で防止できない配管の主な経年劣化事象である減肉事象を管理している。

配管の健全性の確認については「発電用原子力設備規格 維持規格

（2008 年版） JSME S NA1-2008」（以下「維持規格」という。）が，減肉事象については「加圧水型原子力発電所配管減肉管理に関する技術規格（2006 年版）JSME S NG1-2006」（以下「減肉管理規格」という。）が，日本機械学会によりそれぞれ定められており，相手方はこれらの規格に準拠して保全計画を策定している。

ア　維持規格に基づく保全計画の策定

a　維持規格は，原子力発電所の安全上重要な設備（設備を構成する配管を含む。）について，その重要度に応じてクラス１から３に分類（表４，図１２）し，クラス毎に各種機器類の維持のための点検方法や欠陥評価，補修等に関する事項が規定されている。

表４　クラス１～３の対象設備・配管

クラス 1	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器の耐圧部分及びその支持部材取付け部分をいう。
クラス 2	a. 原子炉を安全に停止させるために必要な設備または非常時に安全を確保するために必要な設備であって，その故障・損壊等により公衆に放射線障害を及ぼす恐れを間接的に生じさせるものに属する機器（放射線管理設備に属するダクトにあっては原子炉格納容器の貫通部から外側隔離弁までの部分に限る）。 b. タービンを駆動させることを主たる目的とする流体が循環する回路に係わる設備に属する機器であって，クラス１機器からこれに最も近い弁までのもの。 c. a.及び b.に掲げる機器以外の機器であって，原子炉格納容器の貫通部から内側隔離弁または外側隔離弁までのもの。
クラス 3	クラス１機器，原子炉格納容器，クラス２機器及び放射線管理設備に属するダクト以外の容器または管（内包する流体の放射性物質の濃度が 37mBq/cm³（流体が液体の場合には，37kBq/cm³）以上の管または最高使用圧力 0MPa を超える管に限る）をいう。

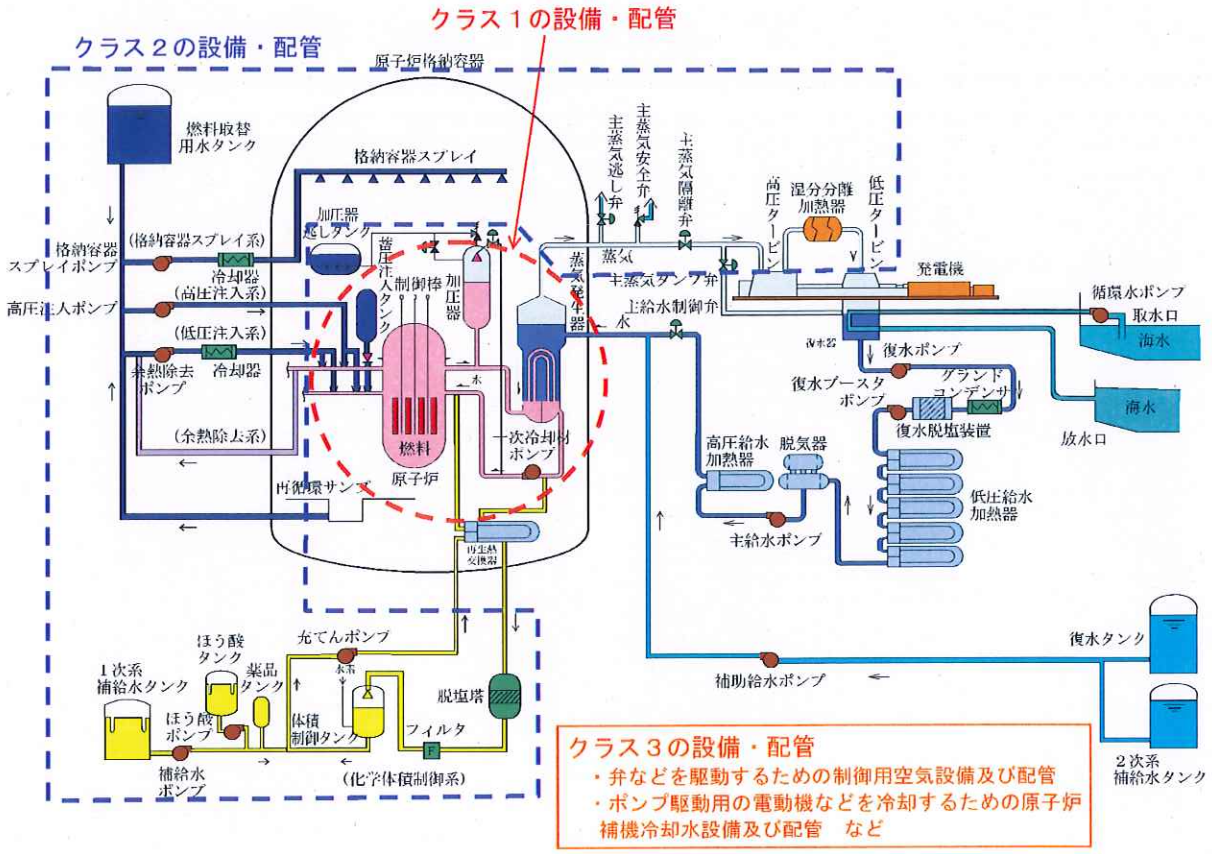


図１２　クラス区分毎の配管のイメージ

b　相手方は，本件原子力発電所において，表５のとおり，維持規格に基づきクラス区分毎に配管の点検計画（点検箇所，点検方法及び点検頻度等）を定めている。

なお，点検箇所については，これまでの火力発電所及び原子力発電所の運転経験において，ひび割れ事象の多くが配管の溶接継手またはその近傍で発生していることから，いずれのクラスについても，原則として点検可能な溶接継手部及びその近傍の母材部を点検箇所としている。あわせて，１次冷却系統等の耐圧部を構成する設備（設備を構成する配管を含む。）に対し，漏えい試験を行っている。漏えい試験とは，検査物に液体または気体を注入し，圧力をかけ，漏えいの有無を確認する試験であり，クラス１配管については定期検査ごとに，クラス２及び３配管については10年に１回行っている。

表５　本件原子力発電所における配管の点検計画の概要

	点検範囲の考え方	①　点検箇所	②　点検方法	③点検頻度（10年間の試験程度）
クラス１	原子炉冷却材圧力バウンダリに属する機器かつ呼び径25A以上の配管	呼び径100A以上の配管，管台溶接継手	超音波探傷試験	25%
		呼び径100A未満の配管，管台溶接継手	浸透探傷試験	25%
		ソケット溶接継手	浸透探傷試験	25%
		配管支持部材溶接継手	浸透探傷試験	7.5%
クラス２	下記のいずれかに該当し，かつ呼び径100Aを超えるもの（※高圧注入系は呼び径40Aを超えるもの） ・工学的安全施設のうち直接系に属する機器 ・原子炉緊急停止系に属する機器 ・原子炉の停止に直接必要な冷却系に属する機器	呼び径100Aを超えかつ公称板厚9.5mmを超える配管溶接継手（※高圧注入系は呼び径40Aを超えるもの）	超音波探傷試験及び浸透探傷試験，又は浸透探傷試験のみ	7.5%
		呼び径50Aを超えかつ公称板厚5.0mmを超える配管溶接継手（※高圧注入系は呼び径40Aを超えるもの）	浸透探傷試験	7.5%
		呼び径50Aを超える管台溶接継手（※高圧注入系は呼び径40Aを超えるもの）	浸透探傷試験	7.5%
		呼び径50A以上100A以下かつ公称板厚5mmを超えるソケット溶接継手	浸透探傷試験	7.5%
		配管支持部材溶接継手	浸透探傷試験	7.5%
クラス３	下記のいずれかに該当するもの ・工学的安全施設の間接系に属する機器 ・使用済み燃料貯蔵設備及びその冷却系設備に属する機器	配管支持部材溶接継手（耐震クラスＳの配管）	目視試験	7.5%

※1　超音波探傷試験とは，検査物内部の欠陥を検出する試験（体積試験）の一種であり，検査物に超音波をあて，そのエコー（反射波）の大きさや拡がり等を分析して検査物内部の欠陥を検出する試験。

※2　浸透探傷試験とは，検査物表面の欠陥を検出する試験（表面試験）の一種であり，検査物表面に浸透液を塗布し，余剰浸透液を洗浄，乾燥した後に現象剤を吹き付け，亀裂等に浸透した浸透液が表面に染み出てくる状況を分析し，検査物表面の欠陥を検出する試験。

※3　目視試験とは，検査物における表面の磨耗，亀裂，変形，心合わせ不良，ボルト締め付け部の緩み及び耐圧部からの漏えい等の異常を検出（確認）するための試験。

そして，相手方は，点検箇所について，投影図等に検査対象箇所毎に番号を付番し，検査対象箇所が明確になるように管理している。また，点検箇所毎の点検方法及び点検頻度については，

10年を基本とする「供用期間中検査10年計画表」を作成し，当該表により検査管理を行っている。

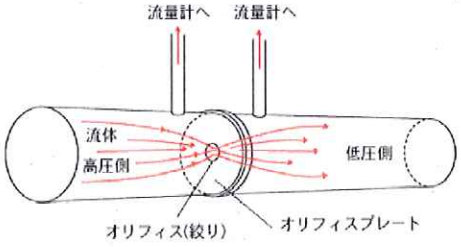
イ　減肉管理規格に基づく保全計画の策定

a　火力発電所や原子力発電所の配管においては，一般的に水や蒸気が流れる配管の肉厚が徐々に薄くなる配管減肉事象が発生する。配管減肉事象については，設計上の配慮での対応は難しいものの，適切に配管の肉厚管理を行い，必要に応じて配管の取替を行えば問題はない。

b　本件原子力発電所においては，流体による配管壁面の腐食である「流れ加速型腐食」及び流体中で飛散する水滴の衝突による配管壁面の損傷である「液滴衝撃エロージョン」による配管減肉事象について，減肉管理規格に基づき，これらの事象が発生する可能性のある配管（系統）を対象として，試験計画に基づき配管の肉厚測定を行い，その結果を評価し，必要に応じて配管の取替等を実施している。

流れ加速型腐食については，減肉事象が極めて小さいステンレス鋼等配管は試験の対象外とし，炭素鋼配管のみを試験対象としている。試験対象部位については，選定された試験対象系統うち，偏流が発生するオリフィス[25]やエルボ（L字型の曲がり部）等の部位や機器の出口管を選定している。

また，液滴衝撃エロージョンについては，炭素鋼配管，ステンレス鋼等配管ともその発生が知られていることから，材料に係らず試験対象系統を選定している。試験対象系統については，負圧機器に接続され，連続的に高速二層流が流れる系統において液滴衝撃エロージョンが発生する可能性があることから，負圧機器で



25 オリフィス：配管（内径）を絞り流量を測定するため，配管の途中等に取り付けるドーナツ状の板であり，流体がオリフィスを通過すると噴流が発生することから，流れ加速型腐食の試験対象部位に選定されている。なお，流量は，オリフィスの上流と下流の圧力差を利用して測定する。

ある復水器や第一給水加熱器[26]，第２給水加熱器，低圧ドレンタンクに接続され，連続的に高速二層流が流れる系統を対象としている。試験対象部位としては，負圧機器に接続され，常時流れがある系統についてはオリフィスや制御弁下流側など急激に減圧され，フラッシングが発生する部位の下流管及びその下流で高速流れが発生する範囲のうち，液滴の衝突により比較的損傷し易いエルボ，曲がり管等を対象としている。

相手方は，こうした配管減肉管理のため，保全プログラムに基づき，発電所の累積運転時間や，各定期検査における計測予定箇所数，配管個別の点検計画表などを記載した「配管肉厚管理中期計画表」を定めており，定期検査時における肉厚測定結果を踏まえて，適宜，同計画表の見直しを行っている。

そして，肉厚測定結果に基づき，配管減肉の進み具合（減肉率）の評価を行い，配管の余寿命（必要な肉厚を下回るまでの期間）を踏まえ，配管の取替など適切な管理を行っている。

（３）　保全（点検）の実施

相手方は，配管の管理に関し，供用期間中検査 10 年計画表及び配管肉厚管理中期計画表に基づき計画的に検査を行い，必要に応じ配管の取替等必要な対策を行うことで配管の健全性を確保している。

（４）　配管の点検結果

相手方は，これまでの定期検査において，前述した保全計画に従って，各箇所について超音波探傷試験や浸透探傷試験等を実施してきたが，本件原子力発電所において，これまで配管に関するひび割れ等は発見されていない。また，配管の肉厚測定において，配管の減肉事象は発生しているものの，適切に配管の取替を行うことで，技術基準規

[26] 給水加熱器は，発電所の熱効率を上げるため，復水器から蒸気発生器へ戻る水を途中で加熱する機器である。加熱の熱源としてタービンに流入している蒸気の一部を抽出し，使用するが，この蒸気は湿度が高く（液体及び気体の二層混合）かつ空気抜き用のため，負圧機器である真空状態の復水器に接続されている。

則で要求されている肉厚を下回るような配管はない。

（５）　国による確認

配管の点検結果については，相手方による確認のほか，国による確認もなされている。

原子炉等規制法は，原子炉施設の設計から運転に至るまでの過程を段階的に区分し，それぞれの段階に対応して，発電用原子炉設置許可，工事計画認可，使用前検査及び施設定期検査等の規制手続を介在させ，これらを通じて原子炉の利用に係る安全確保を図るという，段階的安全規制の体系を採用しており[27]，発電用原子炉を設置しようとする者は，運転開始後においても一定の時期ごとに原子力規制委員会が行う施設定期検査を受けなければならない。

そして，施設定期検査においては，発電用原子炉設置者が負っている技術基準適合維持義務[28]を前提とし，定期的に，発電用原子炉施設等が技術基準規則に適合していることが確認される[29]。

直近，玄海３号機については第12回定期検査（平成21年8月30日～同年12月2日），玄海４号機については第10回定期検査（平成22年9月4日～同年11月26日）を行い，それぞれ経済産業大臣より「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令（昭和40年6月15日通商産業省令第62号）」（現在の技術基準規則）に適合していることが確認されている。

---

[27] 原子炉等規制法は，福島第一原子力発電所の事故を契機に改正されたが，段階的安全規制の体系を採用していることは改正の前後を通じて変更はない。

[28] 原子炉等規制法第43条の3の14において，「発電用原子炉設置者は，発電用原子炉施設を原子力規制委員会規則で定める技術上の基準に適合するように維持しなければならない。」と定められている。

[29] 相手方が実施する保全計画に従った点検や補修等のうち，技術基準規則に適合していることを確認した結果については，原子力規制委員会による施設定期検査において検査され，技術基準規則に適合していることが確認される。

第３　玄海２号機のひび割れ事象の原因及び相手方が講じた対策

１　発見に至った経緯及びひび割れの原因

（１）　玄海２号機の余剰抽出配管のひび割れ事象（以下「本事象」という。）については，玄海２号機の第20回定期検査（平成18年11月14日～平成19年４月19日）の際，他社で発生したトラブルを踏まえ，念のため複数の配管について超音波探傷検査を実施したところ，１次系余剰抽出配管のＬ字状に曲がった部分（以下「本件Ｌ字部分」という。）に欠陥を示す有意な信号が確認され，詳細調査を実施した結果，本件Ｌ字部分の内面に２箇所のひび割れ（長さ約90㎜，同約20㎜）を発見したものである。本事象は，配管肉厚8.7㎜に対しひび割れの深さが最大で約8.1㎜であり，当該配管は，省令62号９条の２[30]（現在の技術基準規則18条１項）に適合しない。

（２）　本事象の原因は，①１次冷却材管からＬ字型に伸びた１次系余剰抽出配管[31]内に滞留している低温水に，１次冷却材管からの高温水（原子炉運転中は約300℃）が渦を巻いて流入すること（以下「キャビティフロー」という。）により熱成層[32]が発生し，②その渦の先端が本件Ｌ字部分に達して，当該部分において，熱成層の境界面が上下に変動する時に，接触している配管に高・低温水が交互に接触し，加熱・冷却され，③この局部的な温度変動による繰返し応力の発生によって，疲労亀裂が発生し，進展したことにある[33]（以下「キャビティフロー型熱成層による高サイクル熱疲労割れ」という。）。（図１３）

---

[30] ９条の２は，配管の使用中のき裂等による破壊の防止を定めたものであり，現在の技術基準規則18条１項にあたる。

[31] 当該配管は，原子炉運転中，下流側を弁で閉止している閉塞分岐管のため，低温の１次冷却材が滞留している。

[32] 高温水と低温水の境界面が存在すること。水，空気，その他の物質が層を成し，混ざり合わず，層状に分かれている状態。

[33] キャビティフローにより形成された熱成層の境界面がＬ字部分にある場合，キャビティフローの旋回渦は配管の形状の変化（鉛直→Ｌ字）により不安定となり，境界面が顕著に変動することとなる（図１３）。この境界面の顕著な変動により，接触している配管に温度変動による繰り返し応力が生じる。

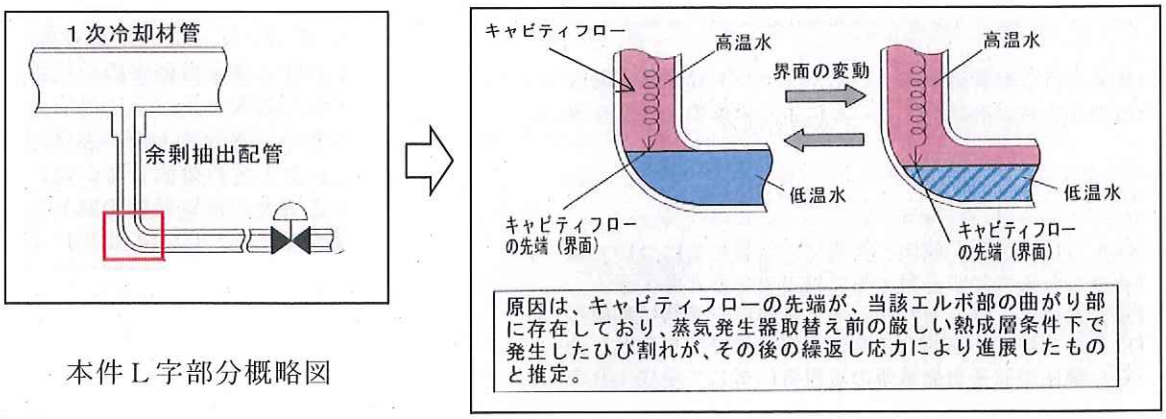


図１３　本事象の原因

２　相手方が講じた対策

（１）　玄海２号機については，省令 62 号 6 条[34]（現在の技術基準規則 19 条）に基づき，キャビティフローの先端が本件 L 字部分より下流側の水平部に位置するように１次系余剰抽出配管のルートを変更することによって，局所的な温度変動が生じず，キャビティフロー型熱成層による高サイクル熱疲労割れが発生しない設計に変更した上で配管の取替えを実施している（図１４）。そして，上記配管の取替えについては，当該取替えに係る工事計画及び使用前検査において，省令 62 号 9 条の 2 及び同 6 条を含む省令 62 号に適合していることが国により確認されている。（表６）

[34] 6 条は，配管の高サイクル熱疲労等による損傷の発生防止を定めたものであり，現在の技術基準規則 19 条にあたる。

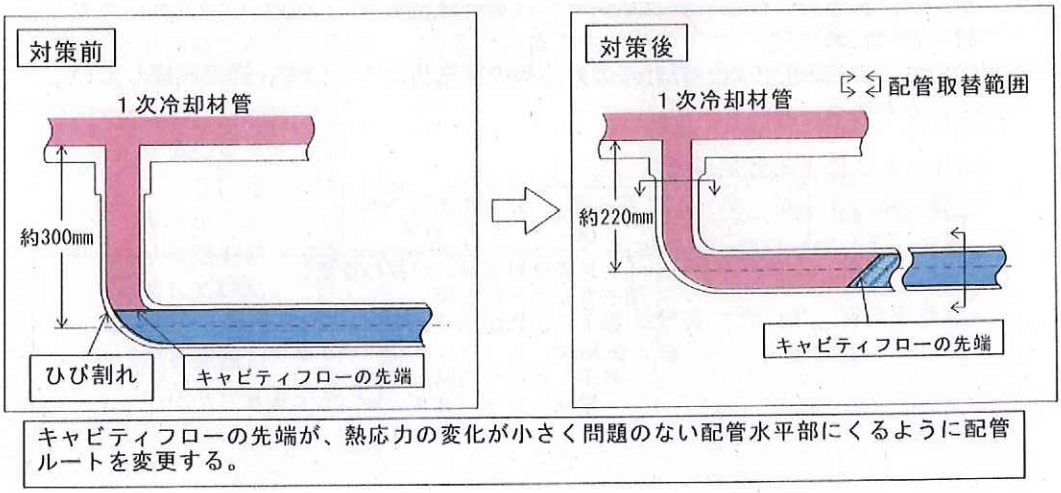


図１４　本事象の対策

（２）　本件原子力発電所については，本事象が発覚する以前の平成 17 年 12 月及び本事象が発覚した後の平成 19 年 2 月に発出された原子力安全・保安院（当時）の指示[35]により，１次冷却材系，化学体積制御系及び余熱除去系を対象に，配管の高サイクル熱疲労割れが発生する可能性が高い部位を抽出し，日本機械学会「配管の高サイクル熱疲労に関する評価指針（JSME S 017)」に基づき評価して，抽出した全配管（本件 L 字部分に該当する箇所を含む）の健全性を確認していた。【乙 148（1～2，2-5，4-1 頁)】

その上で，本件 L 字部分に該当する箇所については，設備の信頼性維持・向上を図るため，それぞれ直後の定期検査期間中（玄海 3 号機：第 11 回定期検査(平成 20 年 5 月 2 日～同年 7 月 31 日)，玄海 4 号機：第 8 回定期検査（平成 20 年 1 月 5 日～同年 4 月 16 日）に，上記(１)と同様の設計変更を行って，配管の取替えを実施している。そして，上記配管の取替えについては，当該取替えに係る工事計画及び使用前

[35] 他社で発生した事象を踏まえて出された「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令の改正に伴う電気事業法に基づく定期事業者検査の実施について（平成 17 年 12 月 27 日付け)」及び本事象を踏まえて出された「高サイクル熱疲労に係る評価及び検査に対する要求事項について（平成 19 年 2 月 16 日付け)」による指示。

検査において，省令62号9条の2及び同6条を含む省令62号に適合していることが国により確認されている（表6）。【乙149，乙150，乙151，乙152，乙153，乙154，乙155，乙156】

表6　本事象に係る対応

		玄海2号機	玄海3号機	玄海4号機
①	ひび割れ事象の発見	H19年1月24日		
②	経済産業大臣報告：1回目	〃　2月2日		
	〃　：2回目	〃　2月16日		
③	工事計画認可申請(届出※)	〃　2月16日	H20年2月21日	H19年10月10日
	工事計画認可	〃　3月12日	—	—
④	使用前検査申請	〃　3月19日	〃　5月22日	H20年1月31日
	使用前検査合格	〃　4月19日	〃　7月9日	〃　3月21日
⑤	通常運転復帰	〃　5月16日	〃　7月31日	〃　4月16日

※　玄海3号機及び玄海4号機の工事計画は届出に該当するため，国による認可は不要。

第4　抗告人らの主張に対する反論

1　原決定が技術基準規則18条1項への適合性に関して「発生した欠陥の早期発見の観点から合理的」との判断基準を立てたことは適切であること

抗告人らは，原決定が原子力事業者の配管の健全性確保の取組に関し，欠陥が発生することを前提として「発生した欠陥の早期発見の観点から合理的」であればよいとの恣意的な基準を立てており，これは，技術基準規則18条1項違反を容認するものである旨主張する。(理由補充書・56～57頁)

しかしながら，技術基準規則18条1項への適合性については，非破壊検査の実施により確認することが定められていることを踏まえると，原決定が技術基準規則18条1項への適合性に関して「発生した欠陥の早期発見の観点から合理的」との判断基準を立てたことは何ら不合理ではない。

以下に詳述する。

技術基準規則18条1項は，「使用中のクラス1機器・・・には，その破壊を引き起こす亀裂その他の欠陥があってはならない。」と定めており，「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「技術基準規則解釈」という。）に，「技術基準規則18条1項に規定する「その破壊を引き起こす亀裂その他の欠陥があってはならない。」とは，「実用発電用原子炉及びその附属施設における破壊を引き起こす亀裂その他の欠陥の解釈」（以下「亀裂その他の欠陥の解釈」という。）の規定に適合するものであること。」と定められている。そして，亀裂その他の欠陥の解釈は，技術基準規則18条1項の「破壊を引き起こす亀裂その他の欠陥」（以下「規則不適合欠陥」という。）のうち，抗告人らの主張するクラス1機器に関して以下のとおり定めている【乙110（1頁）】。

1．機器及び構造物一般の場合

原子炉施設に属する機器及び構造物のうち維持規格に規定するクラス1機器・・・については，次に掲げる方法により確認する。

（1）別紙1に定める非破壊検査を行う。

（2－1）当該試験によって検出された亀裂，孔その他の損傷（以下「亀裂等」という。）については，その形状及び大きさが特定されたとき，別紙2に定める評価を行う。

（2－2）当該評価の結果，維持規格及び事例規格の許容基準に適合する亀裂等については，規則不適合欠陥に該当しないものとして扱う。

つまり，クラス1機器の技術基準規則18条1項への適合性については，非破壊検査を行うことによって，亀裂等がないことを確認する，もしくは亀裂等が同検査により検出された場合は，その亀裂等が規則不適合欠陥に

該当するか否かを評価することによって確認するというものである。

以上のとおり，クラス１機器の技術基準規則 18 条 1 項への適合性については，適切に非破壊検査を行うことで継続的に確認することが求められており，そもそも非破壊検査については欠陥を早期に発見するために行うものであることを踏まえると，原決定が技術基準規則 18 条 1 項への適合性に関して「発生した欠陥の早期発見の観点から合理的」との判断基準を立てたことは適切であり，抗告人らの主張は理由がない。

2　相手方が維持規格に基づき実施しているクラス１配管の点検内容は何ら問題がないこと

抗告人らは，本事象を踏まえると，クラス１機器の全配管について超音波探傷検査を行わなければならず，点検頻度としても 10 年ごとに全配管の検査を行わなければ十分なものと言えない旨主張する。（理由補充書・57～59 頁）

しかしながら，本事象については，前述（53～56 頁）のとおり，適切に対策を実施しており，現時点においては設計によってキャビティフロー型熱成層による高サイクル熱疲労割れの発生を防止することができることから，本事象の発生をもって，本件原子力発電所におけるクラス１配管の検査方法が不合理であるという抗告人らの主張は理由がない。

この点は措くとしても，配管のひび割れ事象については，第３章第２で述べたとおり，火力発電所や原子力発電所における長期にわたる運転実績から，配管ルートを設計する際に考慮することによりその発生を防止することができるもの（原因が応力腐食割れや高サイクル熱疲労等によるひび割れ事象等）については設計段階で防止することを基本としている。その上で，相手方は維持規格等に準拠して，点検箇所，点検方法及び点検頻度等を定めた保全計画を策定し，ひび割れの有無を検査しており，抗告人らの主張するクラス１配管の試験部位等については，表５（49 頁）のとおり，

点検を実施している。

維持規格は，日本機械学会が運転開始後における軽水減速軽水冷却型の発電用原子力設備維持のための技術的諸規定について，国内外のトラブル事例や，一般社団法人日本電気協会「軽水型原子力発電所用機器の供用期間中検査 JEAC4205」[36]，国際的な実績を有する ASME 規格[37]を参考に定めたもので，国からエンドース[38]されている規格である。

そして，維持規格が，クラス１配管の呼び径[39] 25A 以上の試験方法について，呼び径 100A を境に超音波探傷試験と浸透探傷試験とに区分しているのは，超音波探傷試験が技術的に厚肉材と同等の方法で適用できる限界として，適用肉厚が 6 ㎜以上，曲率半径[40]が 50 ㎜以上であるためである。上記条件に該当しない小口径管へ適用する場合は，①音波の入射が不安定となる，②特殊なシュー[41]等を用いた特殊試験となる，③水浸法[42]等を用いた音波の入射も考えられるが，使用前検査／供用期間中検査において現実的な方法と言えない等の理由から安定した試験ができるとは言い難いため，超音波探傷試験の適用は呼び径 100A 以上の配管と定められている【乙 157（IB-7, IB-11, IB-13, 解説 2-2-10 頁）】。

---

36 一般社団法人日本電気協会が原子力発電所の具体的検査方法を定めた技術規程で，維持規格制定以前は，当該規程に準拠して供用期間中検査が行われてきた。

37 ASME 規格は，米国原子力規制委員会が安全規制を行うための規制基準として活用している規格で，原子力発電設備を対象とした供用期間中の検査，検査の評価，補修・取替等について規定された民間規格。1970 年代に策定されて以降 3 年ごとに改訂されており，米国内外の研究成果などの最新の知見が反映されている。

38 エンドース：原子力規制委員会が，規制基準で要求する性能を満たすと判断した民間規格について，その結果を技術評価書として取りまとめ，公開した上で，規制上の位置づけを審査基準等で明確化（読み込み）すること。

39 呼び径：配管の外径寸法を表現するために用いる方法。呼び径には，寸法体系によりミリメートルを用いる「A 呼称」とインチを用いる「B 呼称」の二通りがある。ちなみに，A 呼称における 100A の配管の外径は，114.3 ㎜となる。

40 曲率半径：曲率とは曲線の曲がり具合を示すもの（例えば，楕円は様々な曲率の曲線で構成されている。）で，ある曲率で正円を書いた場合の半径を曲率半径という。

41 シュー：探触子（超音波を発生または受信する振動子を組み込んだセンサー）に取り付ける治具で，例えば小口径管については曲げ部の曲率が大きく，探触子と当該部の密着性を高めるためにシューを用いる。なお，本事象の超音波探傷試験においてもシューを用いている。

42 水浸法：超音波探傷試験のうち，探触子と試験体の間に水の層を形成して試験を行う方法で，水の層を形成することによって，試験体の表面性状の影響を受けにくくなる。

また，維持規格が点検頻度について，全体の 25%に相当する部分を 10 年間で検査する旨定めているのは，機器の重要度，構造健全性が損なわれる可能性及び構造健全性が損なわれた時のプラントへの影響度を考慮すると，10 年間で 100%を検査する原子炉容器の異種金属溶接継手部及び構造不連続部並びに蒸気発生器伝熱管の次にクラス 1 配管がランクし，10 年間で 100%を検査する必要はないと考えられたためである。【乙 157（IA-4，解説 2-2-2 頁)】なお，維持規格は，10 年間で 100%を検査しない場合の試験箇所の選定方法として，経年劣化事象の顕在化が懸念される同一部位に対して繰り返し検査を行い，経年変化の状況を確認する定点サンプリング方式を採用しており，仮にひび割れが検出された場合等には，材料と使用条件が類似な他の箇所を追加で試験し，その発生状況を把握することによって健全性を確認することを定めている【乙 157（IA-5～IA-6，解説 2-1-5～解説 2-1-6 頁)】。

以上のとおり，維持規格はクラス 1 配管について，適切に点検方法等を定めているのであり，抗告人らの主張には理由がない。

3　本事象に係る対策については省令 62 号に適合することが確認されていること

抗告人らは，本事象後の相手方の対処についても技術基準規則 19 条違反の有無について検討がなされるべきところ，原決定はその検討自体を怠っている旨主張する。（理由書・33～34 頁）

しかしながら，本事象については，前述（53～56 頁）のとおり，適切に対策を実施しており，当該対策については，省令 62 号 6 条（現在の技術基準規則 19 条）を含めた省令 62 号への適合性が，工事計画及び使用前検査において国により確認されている。

そして，原決定は，決定文・108 頁において，「本件各原子炉施設について，余剰抽出ラインの配管取替工事として，熱疲労評価指針を基とした配

管ルートへの設計変更を行い，２号機配管ひび割れ事象の原因となったキャビティフロー型熱成層による高サイクル熱疲労について，必要な対策を講じたのであるから，現時点においては同様の事象が生ずるおそれがあるとは認め難い。」と判示している。

以上のとおり，本事象に係る対策については，省令 62 号 6 条を含めた省令 62 号への適合性が国により確認されるとともに，原決定はその内容を認定していることから，抗告人らの主張は理由がない。

第５　まとめ

相手方は，これまで述べたとおり，配管の健全性確保に向けた取り組みに万全を期しており，また，抗告人らのいずれの主張も独自の解釈による理由がないものである。

第４章　結論

以上のとおり，本件抗告は，いずれも理由がないから速やかに棄却されるべきである。

以　上