

平成 23 年（ヨ）第 21 号、平成 28 年（ヨ）第 49 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事件

債 権 者 味 志 陽 子 外

債 務 者 九 州 電 力 株 式 会 社

準 備 書 面 16

平成 28 年 12 月 22 日

佐賀地方裁判所 民事部 御中

債務者訴訟代理人弁護士 堤 克 彦

同 山 内 喜 明

同 松 崎 隆

同 齊 藤 芳 朗

同 永 原 豪

同 熊 谷 善 昭

同 家 永 由 佳 里

同 池 田 早 織

目 次

第 1 はじめに.....	3
第 2 新規制基準に基づく基準地震動の策定	3
1 地震動評価における基本的な考え方	3
2 経験式について	4
第 3 強震動予測レシピについて	5
1 「入倉・三宅式」および「壇他の式」を含む強震動予測レシピの信頼性..	5
2 強震動予測レシピにおける「入倉・三宅式」について	5
3 強震動予測レシピにおける「壇他の式」について	6
第 4 債権者らの主張に対する反論	8
1 債権者らの主張	8
2 「武村式」ではなく「入倉・三宅式」を用いることが合理的であること..	9
3 債務者はばらつきの考慮を行っていること	12
4 「片岡他の式」ではなく「壇他の式」を用いることが合理的であること.	13
5 小括.....	14
第 5 熊本地震を踏まえた検討	15
1 債権者らの主張	15
2 熊本地震で観測された大きな揺れと同様の揺れが玄海原子力発電所で発生 する可能性は極めて低いこと	15
3 地震に対する安全性の確保	16
4 小括.....	24
第 6 まとめ.....	24

第1 はじめに

債務者は、これまで、地震による揺れの評価を行う場合には地域的な特性を十分考慮すること（地域的な震源の特性、地震の伝わり方の特性、地盤の揺れの特性を踏まえて安全側に考慮すること）が重要であり、玄海原子力発電所の基準地震動については、詳細な調査結果や多くの観測記録等に基づき地域的な特性を把握し、十分安全側に評価していること（債務者準備書面13）、地震動評価で用いた「入倉・三宅式」が合理的であること（債務者準備書面10、14）、さらに地震動評価において用いる経験式にはばらつきが存在することを考慮して、策定する基準地震動が過小とならないよう十分安全側に評価していること（債務者準備書面12、14）を主張してきた。

本書面においては、債務者の行った地震動評価が合理的かつ妥当であることを改めて主張するとともに、債権者主張書面（14）へ反論を行う。

なお、自然現象である地震動の評価については、玄海原子力発電所3号機及び4号機（以下「玄海3、4号機」という。）に違いはない。

第2 新規制基準に基づく基準地震動の策定

1 地震動評価における基本的な考え方

（1）地震動を評価するにあたって債務者の基本的な考え方は、汎用的に用いることが出来るように標準化された評価手法（強震動予測レシピなど）を基に、調査や観測事実等から得られる地域的な特性を安全側に配慮するというものであり、原子力規制委員会による「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。）が定める評価手法における考え方と同じである（図1）。

この考え方に基づき債務者は債務者準備書面13で詳細に述べたとおり、ボーリング調査等の各種調査や多くの観測記録の分析を行い、玄海原子力発電所敷地周辺の地域的な特性を把握している。

そのうえで、玄海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、標準化された評価手法として強震動予測レシピ（「入倉・三宅式」、「壇他の式」等の経験式を含む）を用いている【乙 61（82 頁）】。

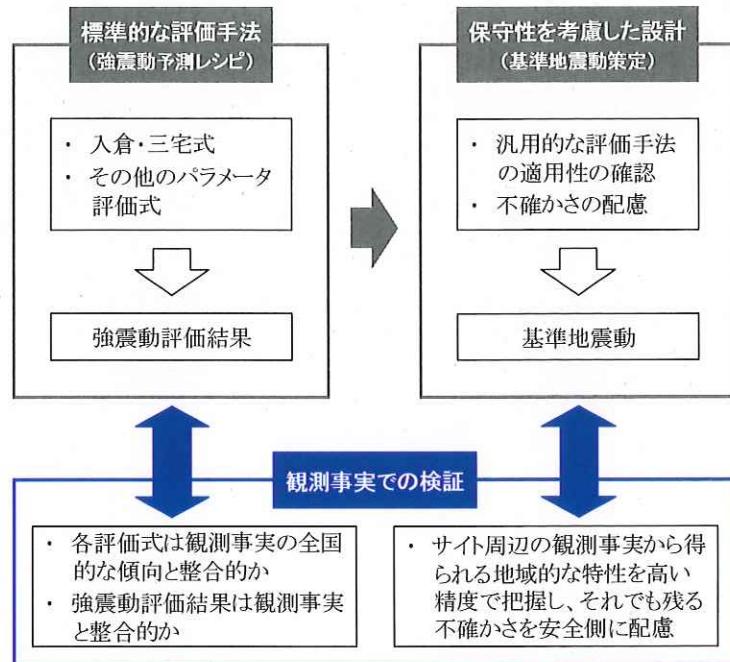


図 1 自然現象（地震）の評価の考え方

2 経験式について

「入倉・三宅式」や「武村式」などは標準的な評価手法において、汎用的に用いられる関係式のひとつである「経験式」である。

経験式は、地震の「平均像」を示すものであり、その基となった各データとの間に乖離（ばらつき）が存在する。そのため、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と経験式（平均像）との差異の有無等を十分に踏まえた上で評価することが重要である。（債務者準備書面 12・3～4 頁）

第3 強震動予測レシピについて

1 「入倉・三宅式」および「壇他の式」を含む強震動予測レシピの信頼性

債務者準備書面10で述べたとおり、強震動予測レシピは、国の地震調査研究推進本部（推本）の下部組織である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、強震動計算及び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る。

地震調査委員会は、強震動予測レシピ策定以降に発生した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、整合的であることを確認している（債務者準備書面10・17頁）【乙62（付録3-1頁）】。

また、債務者においても、強震動予測レシピに基づく地震動評価により、2005年福岡県西方沖地震の際の敷地の観測記録を再現できること、すなわち玄海原子力発電所周辺の地域的な特性に適合していることを確認している（債務者準備書面10・29頁）【乙61（77～78頁）】。

従って、「入倉・三宅式」および「壇他の式」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ることは明らかである。

2 強震動予測レシピにおける「入倉・三宅式」について

強震動予測レシピにおける「入倉・三宅式」の位置付けやその合理性は債務者準備書面10及び14で述べたとおりである。

「入倉・三宅式」は、断層長さと断層幅で計算される断層面積と地震モーメントの関係性を示すもので、信頼性の高い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り、国内の最新の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とも整合性が確認された合理的なものである。

また、熊本地震本震（平成28年4月16日 マグニチュード7.3）についても、

熊本地震本震の平均破壊面積と地震モーメントの関係について、「入倉・三宅式」に整合することが確認されている（図2：島崎邦彦氏の雑誌「科学」7月号の記事に対し2016年7月13日に発表した入倉氏のコメント【乙129】）。

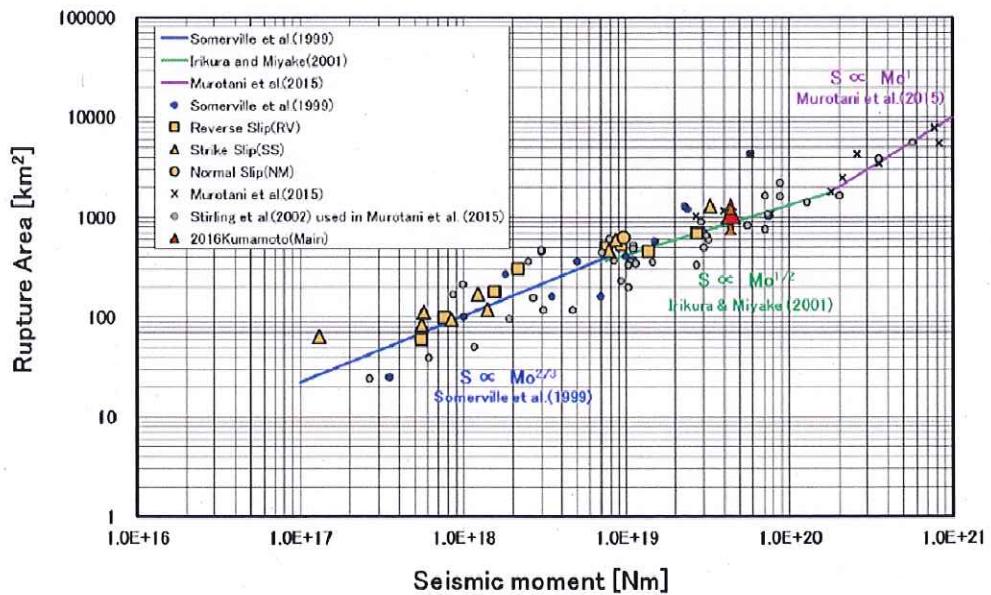


図5. 内陸地殻内地震の破壊域面積 S と地震モーメント M_0 の関係 (宮腰・他(2015)に加筆)。
2016年熊本地震(M7.3)の平均破壊域面積は▲で示される。

図2 熊本地震の断層面積と地震モーメントの関係(入倉氏コメント) 【乙129】

3 強震動予測レシピにおける「壇他式」について

(1) 強震動予測レシピにおける「壇他式」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、上述した「入倉・三宅式」（図3中 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の関係式である（図3中 赤枠「壇他の式」【乙62】）。

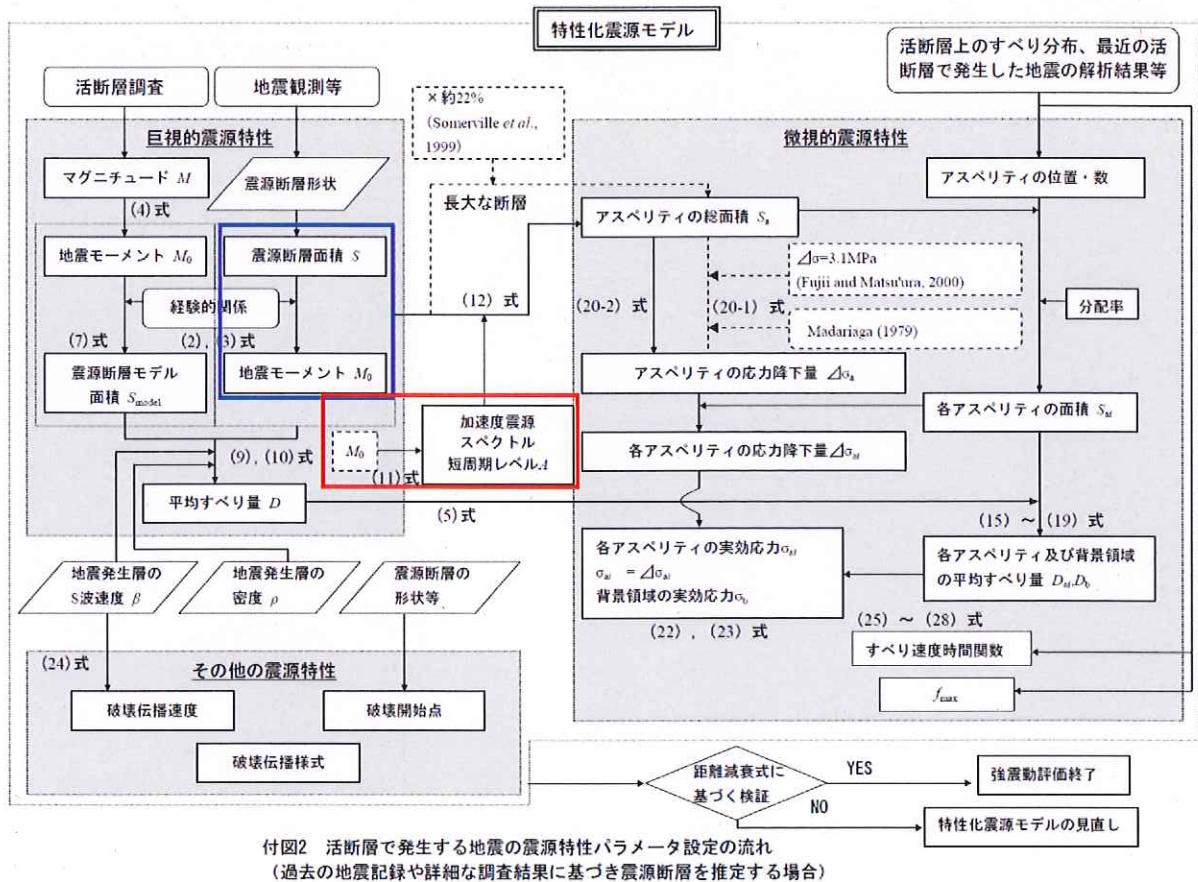


図3 強震動予測レシピによる震源特性パラメータ設定の流れ【乙62】

(2) 「壇他の式」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。【乙67（53頁）】

また、「壇他の式」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、「1 「入倉・三宅式」および「壇他の式」を含む強震動予測レシピの信頼性」で主張したとおり、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 の関係が「壇他の式」に整合することが、佐藤(2016)により示されている（図4：「壇他の式」の線上またはそれ以下）【乙130】。

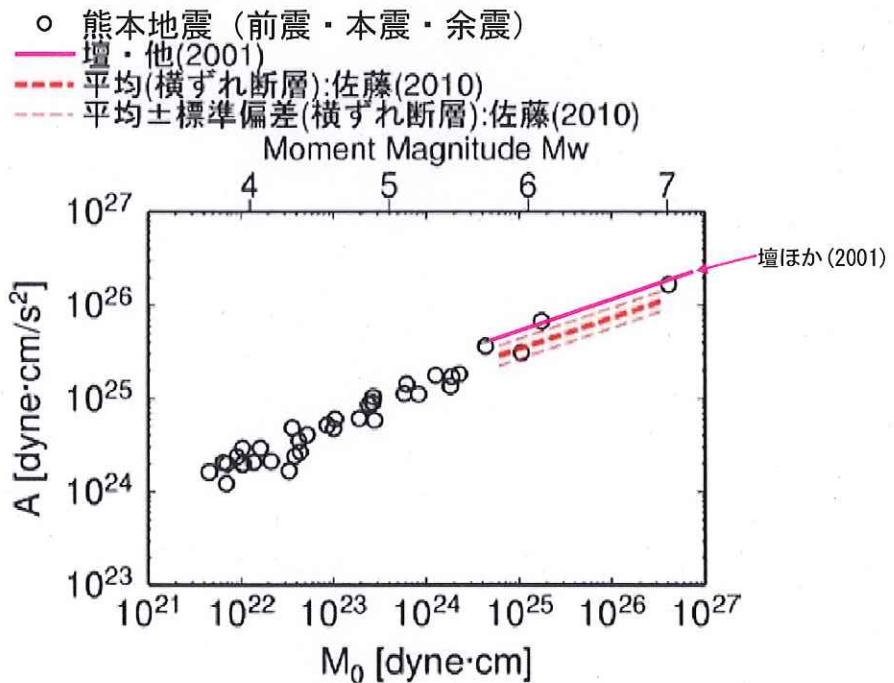


図4 熊本地震の短周期レベルAと地震モーメント M_0 の関係
(佐藤(2016) 【乙130】に加筆)

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

第4 債権者らの主張に対する反論

1 債権者らの主張

債権者らは主張書面（14）において以下の3点を問題点としてあげている。

① 地震モーメントを算出する「入倉・三宅式」は過小評価になっており、「武村式」を用いるべきである。

- ② 「入倉・三宅式」あるいは「武村式」などの経験式によって地震モーメントを算出する場合その数値は平均値であり、さらにはばらつきを考慮すべきところ、このばらつきは考慮されていない。
- ③ 地震モーメントから短周期レベル（地震動の強さ）を「壇他の式」を用いて評価しているがこれも過小評価であり、「片岡の式」を用いるべきである。

そして、「武村式」と「片岡他の式」を用いれば、竹木場断層の現行の 524 ガルは 2017 ガルに跳ね上がり、玄海 3, 4 号機は 2017 ガルの地震動に耐えられる耐震性を有していないと主張する。

しかしながら、債権者らの主張は、基準地震動の評価体系の全体像を無視して、一部の経験式の大小関係にのみ着目したもので、しかも各々の経験式の成り立ち・適用性についても正確に理解しておらず、失当である。

以下、債権者らが問題点としてあげた 3 点について個々に反論する。

2 「武村式」ではなく「入倉・三宅式」を用いることが合理的であること

(1) 「入倉・三宅式」の信頼性

上述したとおり、「入倉・三宅式」は、強震動予測レシピを含む地震動評価体系として確立されたものであり、さらに、入倉ほか(2014)【乙 66】により、近年国内で発生した 18 地震の震源インバージョン結果に基づく断層面積 S と地震モーメント M_0 と整合することが確認されており、最新の知見に照らしても信頼性を有するものである（第 3-2）。

(2) 「武村式」を用いた地震動評価は体系化されていないこと

「武村式」による地震モーメントを用いた地震動評価は、「入倉・三宅式」を含む強震動予測レシピのように、地震観測記録の再現性の確認等を経た評価体系として確立されておらず、これを用いることは合理的でない。この点、島崎氏より同様の指摘を受けた関西電力株式会社の大飯発電所の地

震動評価について、原子力規制庁（原子力規制委員会）は、「入倉・三宅式から武村式に置き換えて評価すると、非現実的なモデルとなり、この結果をもって、大飯発電所の基準地震動の妥当性を議論することは適切ではないこと、大飯発電所の基準地震動策定に用いた入倉・三宅式は、震源断層の詳細な調査結果をもとに断層モデルを用いて地震動を策定するまでの一連の手法として広く検証されたものであり、審査にあたっては断層長さや断層幅等に係る保守性の考慮が適切になされていることを確認していることから、基準地震動を見直す必要がなく、武村式を用いた地震動評価手法は確立されておらず、規制において要求または推奨すべき手法として位置づけるまでの科学的・技術的な熟度には至っていない（基準地震動 S_s の妥当性を議論するのに適さない）」としている【乙103、乙104（3頁）】。

（3）震源インバージョンにおけるトリミングへの反論

債権者らは、「入倉・三宅式」を用いることへの批判として、入倉ほか(2014)における「入倉・三宅式」と整合する 8 地震の震源断層面積は、最初に想定する面積を大きく取っているため「入倉・三宅式」に近付くのは当たり前で、トリミングすれば「武村式」に近付くと主張する。

さらに、震源断層面積を大きく取れば、Somerville 規範によるトリミングは不可能で、地震調査委員会(2007)による福岡県西方沖地震の事実上のトリミングを行うべきと主張する。

ア まず、震源インバージョンにおける「トリミング」について述べる。

一般に、観測波形に基づく震源インバージョンによる震源過程の推定（震源断層面のすべり分布推定）は、「震源断層面」を仮定して設定し、その断層面上でのすべり量分布を推定する。

「震源断層面」は、分析の対象とする地震直後の余震分布や CMT 解（地震の発震機構（横ずれ型、縦ずれ型））、地表の断層情報（断層による地変

動の痕跡、測地データ等)を基に設定されるが、破壊過程を説明するため、実際の震源の破壊領域よりも大きめに設定される場合がある。

仮に大きめの破壊領域が設定された場合、断層端部のすべり量は小さくなるが、この領域を一定のルールに基づき除外して適切なすべり分布を有する震源断層面積を求める行為(すべり量の小さい領域の除外)が「トリング」であり、Somerville et al.(1999)により示された考え方である(図5)。

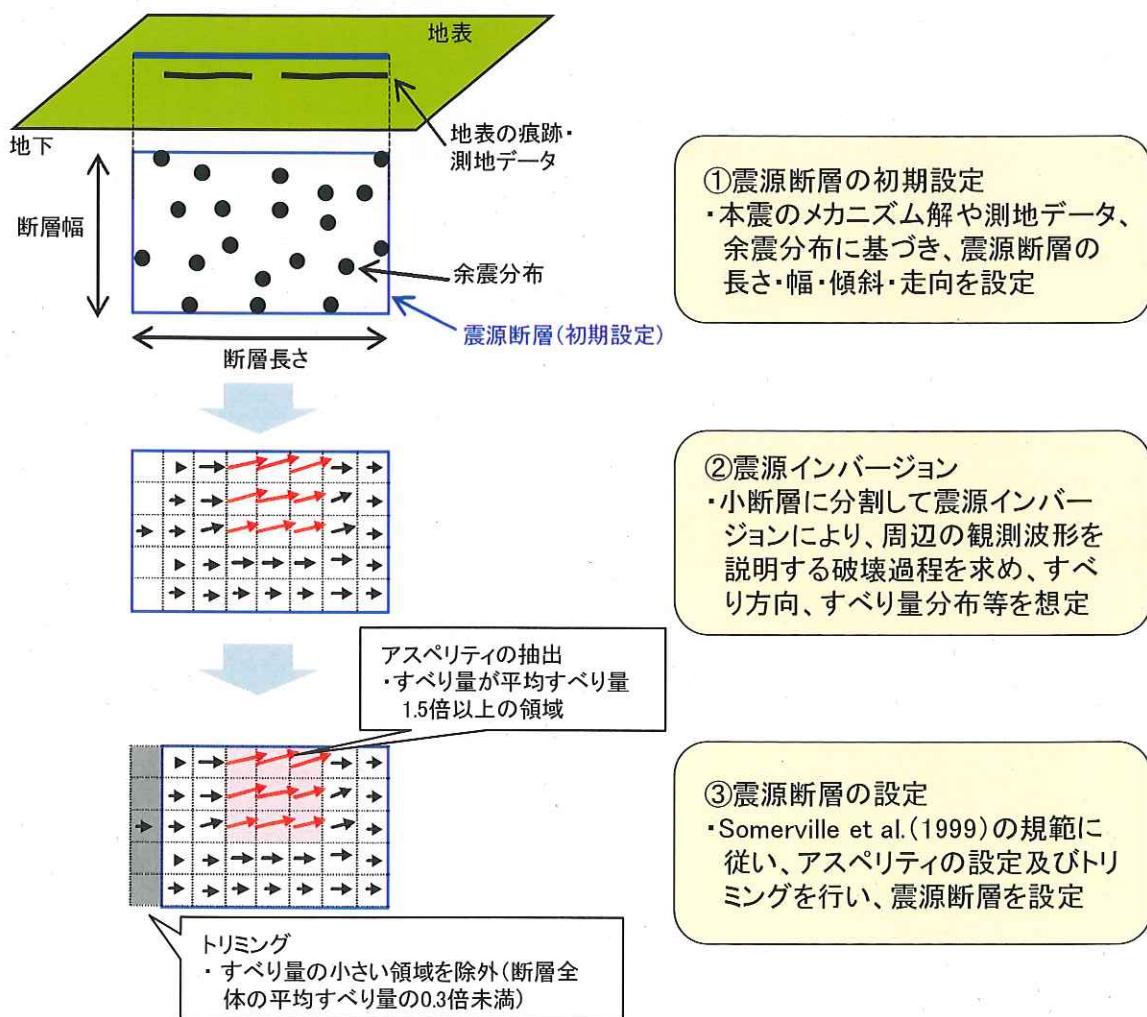


図5 震源インバージョンに基づく震源断層のトリング(イメージ)

イ 入倉ほか(2014)において示される 8 地震は、解析の精度が高く信頼性のある知見として著者が選定し, Somerville et al.(1999)の規範に基づき震源領域の抽出を行ったとされていることからも、トリミングの要否について適切な検討がなされていると考えられる。【乙 66 (1529 頁)】

仮に、債権者らの主張のとおり、8 地震の断層面積 $S \cdot$ 地震モーメント M_0 の分布を武村式に近づけるには、震源断層の面積を半分程度以下とする必要があるが（債権者主張書面 14・15 頁の図から推定）、8 地震の震源断層は、地震後の余震分布等に基づき断層長さや断層幅を想定して震源インバージョンを行ったもので、トリミングによって面積が半分になるような精度の低いものではないため、債権者らの主張は科学的根拠がなく失当である。

なお、債権者らが「2005 年福岡県西方沖地震で事実上行ったようなトリミング」と主張する点に関して、地震調査委員会(2007) 【乙 131】による 2005 年福岡県西方沖地震の断層面積の設定は、地震動予測レシピに基づく特性化震源モデル構築の妥当性検証のため、震源インバージョンに関する複数の知見を同一条件（断層幅・断層長さ）に揃えたものであって、「(事実上の) トリミング」ではなく、主張の前提に誤りがある。

ウ また、債権者らは、熊本地震において研究機関による断層（長さ・幅等）の評価に違い（ばらつき）があることを理由に、震源インバージョンという手法は信頼性がないと主張するが、現段階で評価にばらつきが生じるのは、熊本地震についてはまだ知見が固まっていないためであり、余震分布（気象庁の一元化震源データによる統一）、震源像に関する知見・見解が固まれば、ばらつきは小さくなると考えられる。

3 債務者はばらつきの考慮を行っていること

経験式は、その基となった各データとの間に乖離（ばらつき）が存在し、また、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。そのため、債務者は、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、基準地震動が過小とならないよう多面的に安全側の評価を行っている。（債務者準備書面12・6～12頁、準備書面14・5～8頁）

4 「片岡他の式」ではなく「壇他の式」を用いることが合理的であること

（1）「片岡他の式」とは

「片岡他の式」とは、片岡ほか(2006)【乙132】において、1978年から2003年までに発生したMw5.0以上の内陸地殻内地震の強震記録を用いて、スケーリングの仮定を置かず回帰分析を行い、短周期レベルAが地震モーメントの約1/2乗に比例する関係（片岡他の式）を導き出したものである。

回帰分析にあたって使用されたデータセットにおける「Mw 5.0以上の地震」には、中規模地震が多く含まれている。

（2）「片岡他の式」を用いた地震動評価は体系化されていないこと

債権者らは「片岡他の式」により短周期レベルAを算定して地震動評価に用いるべきと主張するが、前述の「武村式」と同様、強震動予測において重要な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裏づけはなく、評価体系として確立されていない（図6）。

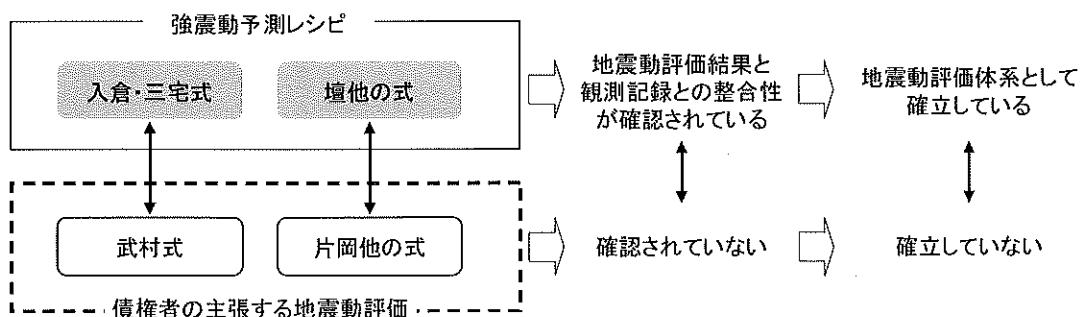


図6 強震動予測レシピと債権者らの主張する地震動評価の比較

(3) 佐藤ほか(2010)でも「壇他の式」を適用していること

「壇他の式」(2001年)や「片岡他の式」(2006年)が示された後の知見である佐藤(2010)では、1995年～2008年に発生した比較的大きなMw5.7以上の地震を対象に分析を行った結果に関して、短周期レベルAと地震モーメントの関係性を示しているが、その比較検証の相手として「片岡他の式」ではなく「壇他の式」を用いている。

この論文の中では、「大地震の方が中規模地震よりも応力降下量が大きい傾向にあり、応力降下量が小さな中規模地震を含めると短周期レベル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が成り立たなくなる」という既往の研究結果が指摘されており、規模の大きな地震を対象とした本論文においては「壇他の式」を用いるのが妥当であると判断したことが伺える。【乙81(923～924, 928～929頁)】

また、その後の佐藤・堤(2012)でも「壇他の式」が用いられている。【乙82(8・15頁)】

これらの事実は、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、「壇他の式」を適用することが合理的であることを示している。

5 小活

以上より、玄海原子力発電所の地震動評価において「武村式」及び「片岡他の式」を用いるべきとする債権者らの主張に科学的な合理性はなく、熊本地震の知見を踏まえても、「入倉・三宅式」及び「壇他の式」を含む強震動予測レシピに基づく地震動評価が信頼性を有することは明らかである。

債務者は、玄海原子力発電所の基準地震動については、調査や観測事実等に基づき汎用的に用いることが出来るよう標準化された評価手法（確立され信頼性の高い強震動予測レシピなど）を基に、調査や観測事実等から得られる地域的な特性を配慮して策定している。さらに地震動評価において用いる

経験式にはばらつきが存在することを考慮して、策定する基準地震動が過小とならないように十分安全側に評価しているため、債務者の行った地震動評価は合理的かつ妥当なものである。

第5 熊本地震を踏まえた検討

1 債権者らの主張

債権者らは、熊本地震と同じ様の地震が玄海原子力発電所の近傍で起こった場合、耐震安全性に問題がある旨の主張を行っている。

しかしながら、以下述べるとおり、そもそも玄海原子力発電所周辺で熊本地震と同じ様の地震が発生する可能性は極めて低く、また、玄海3、4号機については、基準地震動に対する耐震安全性を確保していることなどから、債権者らの主張は失当である。

2 熊本地震で観測された大きな揺れと同様の揺れが玄海原子力発電所で発生する可能性は極めて低いこと

(1) 熊本地震において震度7が連続して発生した要因は、震源とされる複数の活動区間から成る長大な布田川・日奈久断層帯（長さ約93km）の異なる一部の区間が前震・本震としてそれぞれ動いたこと、震度7を観測した地点（熊本県益城町）の地盤条件が軟らかい地盤（S波速度約110m/s）であったことが重なったためである。

一方、玄海原子力発電所周辺では、玄海原子力発電所への影響が最も大きい活断層（城山南断層、竹木場断層）の長さは各々20km程度と想定しており熊本地震の震源断層に比べて短く、また発電所は硬い岩盤上（S波速度約1350m/s）に設置されているため、これらの断層（城山南断層、竹木場断層）の一部の異なる領域が別々に動いたとしても、発電所において

熊本地震の際に益城町で観測されたような大きな揺れが2回続けて発生する可能性は極めて低い。

(2) 債務者は、玄海原子力発電所の基準地震動を策定するにあたり、検討用地震（城山南断層、竹木場断層）の震源モデルの設定において、そもそも断層長さを調査結果及び不確かさを考慮して安全側に長く設定した上で、一度に全てがずれ動く想定を行っている。さらに、アスペリティを敷地に最も近い位置に設定し、アスペリティの破壊が敷地に向かうように破壊開始点の位置を設定するなど安全側の評価となるように設定している。

また、地震は、長期間にわたって岩盤に蓄えられたひずみが限界に達して、断層面を境にしてずれ動くことによって生じるものであるため、一度地震（検討用地震の断層が一度に全てずれ動く地震）が発生すると、ひずみとして蓄えられたエネルギーが解放されることから、次にひずみが限界に達する（検討用地震の断層が一度に全てずれ動く地震が発生する）までには長期間を要する。

上記のような債務者の設定及び地震発生のメカニズムからすれば、熊本地震で観測されたような大きな揺れが2回続けて発生する可能性は極めて低い。

3 地震に対する安全性の確保

(1) 玄海3、4号機における耐震安全性の確保

原子力発電所の地震に対する安全確保対策は、基準地震動を適切に策定した上で、この基準地震動による地震力に対して、原子炉等の安全を確保する上で重要な役割を果たす「安全上重要な建物・構築物及び機器・配管（以下「安全上重要な建物・機器等」という。）」が耐震安全性を備える（安全機能を喪失しない）ようにすることである。

債務者は、前述のとおり、玄海原子力発電所の基準地震動を策定するにあたって、周辺地域を十分調査し、豊富な観測データに基づいて地域的な

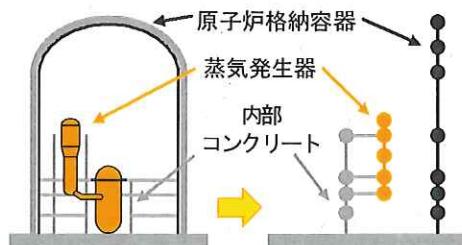
特性（震源特性、伝播経路特性及びサイト特性）を十分把握した上で、最新の知見に基づいた地震動評価手法により、基準地震動を安全側に評価している。

玄海3、4号機が、このように安全側に評価した基準地震動による地震力に対して耐震安全性を確保していることを確認するため、債務者は、安全上重要な建物・機器等の基準地震動による地震力に対する評価値（応力値）を求め、それが評価基準値（許容応力）を下回ることを評価（耐震安全性評価）している。

具体的には、建物・構築物の評価値については、各建屋の地震応答解析モデル¹に基準地震動による加速度時刻歴波を入力し、当該モデルがどのように揺れるか、またどの箇所にどのような応力が働くかを解析によって求めている。また、機器・配管の評価値については、上記地震応答解析モデルから建屋の各階床の揺れ（床応答波）を求め、この床応答波を基に当該階床に設置している機器・配管に生じる応力を求めている。

評価基準値は、社団法人日本電気協会が策定した民間規格である「原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601-1987）」及び「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編（JEAG4601・補-1984）」等に基づき定めている²。この指針は、基準地震動 S_2 （設計用限界地震、基準地震動 S_s に相当）による地震力に、他の荷重を組み合わせた状態でも、建物・構築物が「構造物全体として十分変形能力（ねばり）の余裕を有し、

¹ 例えば建屋等については、床や壁の重量を模擬した質点と、変形への抵抗力を模擬したせん断棒でモデル化を行っている（質点モデル、右図）。



² JEAG4601-1987 及び JEAG4601・補-1984 は、原子力規制委員会が新規制基準に基づく工事計画認可の審査にあたって用いる「耐震設計に係る工認審査ガイド」において「安全上適切と認められる規格及び基準等」とされている。

終局耐力³に対して安全余裕をもたせる」値を、機器・配管が「過大な変形を起して必要な機能が損なわれない」値をそれぞれ評価基準値としている⁴【乙 133 (275 頁, 496~497 頁), 乙 134 (78~79 頁)】。

債務者は上記評価基準値を用いて、玄海 3, 4 号機について、基準地震動に対する耐震安全性評価を実施した結果、安全上重要な建物・機器等の評価値が評価基準値を下回ることを確認している⁵（債務者準備書面 4・53~56 頁）【乙 13, 乙 26 の 3 (6・6 頁, 6・13 頁, 6・18 頁), 乙 107, 乙 108】。すなわち、玄海 3, 4 号機の安全上重要な建物・機器等は、基準地震動による地震力に対し、建物・構築物は構造物全体として十分変形能力（ねばり）の余裕を有し、機器・配管等は過大な変形を起して必要な機能が損なわれないことから、いずれもその安全機能を喪失することなく、地震に対する安全性が確保されている。

（2）原子力発電施設耐震信頼性実証試験による耐震安全上の余裕

前述のとおり、玄海 3, 4 号機が基準地震動に対する耐震安全性を確保しているところ、さらに原子力発電所が耐震安全上の余裕を有することが、財団法人原子力発電技術機構（当時）多度津工学試験所における大型高性能振動台⁶

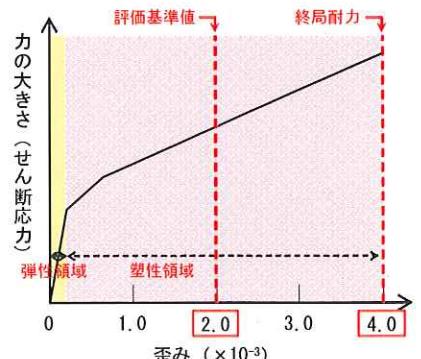
³ 終局耐力とは、建物・構築物に対する荷重または応力を漸次増大していくとき、その変形またはひずみが著しく増加するに至る限界の最大耐力のこと。

⁴ 例えば、鉄筋コンクリート造耐震壁の評価基準値については、「原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-1987)」に、終局耐力時の歪み「 4.0×10^{-3} 」に 2 倍の余裕を持たせた「 2.0×10^{-3} 」という歪みの値が定められている（右図）。また、原子炉容器の評価基準値については、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」、「同 材料規格」に最大の引張り強さ（最大強度）Su に 1.5 倍の余裕を持たせた「 $2/3Su$ 」という引張り強さの値が定められている。

なお、右図の弾性領域とは、力を加えると変形するものの、力を取り除けば元の状態に戻る領域。塑性領域とは、力を取り除いても元の状態に戻らなくなる領域。

⁵ 「安全上重要な建物・機器等」のうち、動的機器（ポンプ、弁等）については、動的機能維持評価も実施しており、基準地震動 Ss による地震力が当該機器に作用している際もその動的機能が損なわれることがないことを確認している。

⁶ 大型高性能振動台：1982 年 11 月、多度津工学試験所（香川県仲多度郡多度津町）に完成した、最大搭載質量 1,000 t、振動台寸法縦 15m × 横 15m、水平加振機 7 基と垂直加振機 12 基によって水平・上下の 2 方向を同時に加振できる装置。2005 年 9 月、多度津工学試験



(以下「振動台」という。)を用いて実施された「原子力発電施設耐震信頼性実証試験(以下「耐震実証試験」という。)」によって明らかとなっている。

ア 試験の目的及び内容

耐震実証試験は、原子力発電所の安全上重要な設備について、可能な限り実機に近い条件で加振試験を行い地震に対する安全性、すなわち設備の耐震安全上の余裕や、耐震設計手法の妥当性、制御棒挿入性など機能の信頼性等を実証するため、振動台に実機を模擬した試験体を設置し、各種試験を行つたものである(図7)。また、試験用地震波については、試験毎に、当時運転中の全原子力発電所の基準地震動S₁(設計用最強地震)及びS₂(設計用限界地震)を踏まえ、試験体に最も大きい応答を与え、より厳しい試験が期待できる地震波(基礎もしくは床応答波)としている。【乙135(1~12頁)】

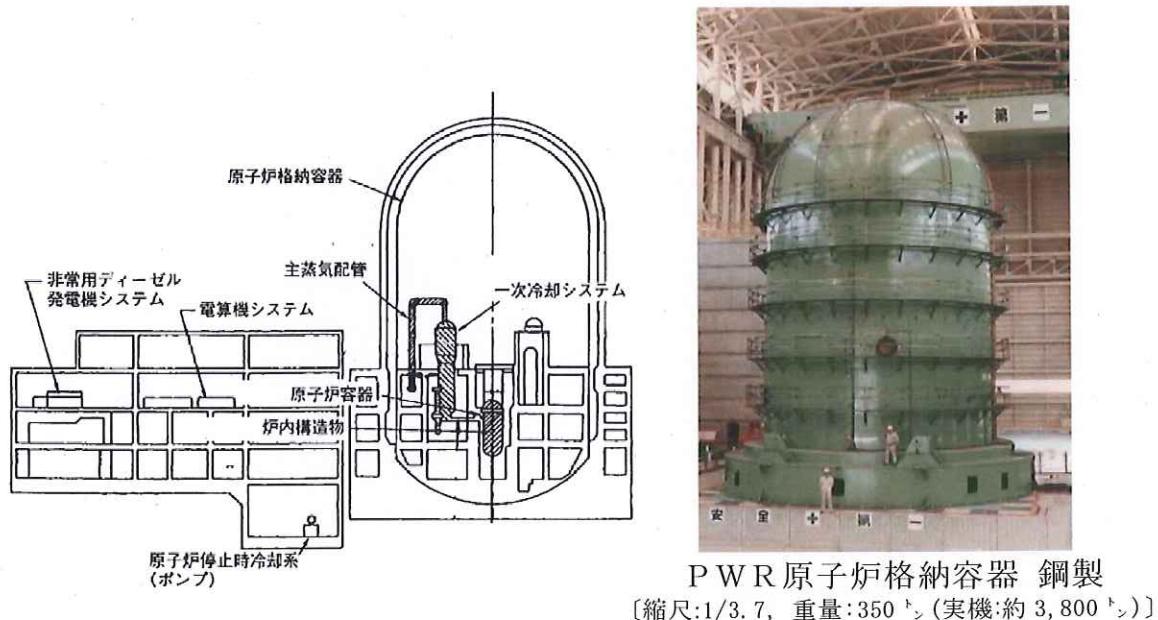


図7 PWRの試験対象機器の位置及び試験体の例

イ 耐震実証試験の結果

耐震実証試験の結果、全ての試験対象設備について、基準地震動S₁及びS₂に対する構造強度の確保、地震時(地震後)における原子炉格納容器の機密性や

所の閉鎖に伴い撤去された。

制御棒挿入性等の機能維持及び耐震設計手法等の妥当性が実証されている。あわせて、全ての試験対象設備が、基準地震動 S_2 を超える地震波に対して何ら異常は発生せず、十分な耐震安全上の余裕を有していることが実証されている。例えば、原子炉容器については、試験体重量及び寸法による振動台の性能限界である961ガルまで加振しても損傷は確認できず、961ガル以上の耐震安全上の余裕を有することが実証されている（表1）。【乙135（13～24頁、157頁）】

表1 PWRの設備に係る試験用地震波の最大加速度

	強度実証試験 ^{(注)2}	限界加振試験 ^{(注)2}
原子炉格納容器（鋼製） $<1/3.7, 350 \text{ t}, \text{ 約 } 3,800 \text{ t}>$ ^{(注)1}	591 ガル	887 ガル 〔1.5倍〕 ^{(注)3}
炉内構造物 $<1/1, 555 \text{ t}, \text{ 約 } 500 \text{ t}>$	729 ガル	1,094 ガル 〔1.5倍〕
1次冷却システム $<1/2.5, 525 \text{ t}, \text{ 約 } 1,000 \text{ t}>$	1,433 ガル	2,866 ガル 〔2.0倍〕
原子炉容器 $<1/1.5, 700 \text{ t}, \text{ 約 } 850 \text{ t}>$	714 ガル	961 ガル 〔1.3倍〕
非常用ディーゼル発電機システム ※クランク軸などの部分試験を実施	1,360 ガル	1,770 ガル 〔1.3倍〕
電算機システム $<1/1, 81 \text{ t}, \text{ 約 } 300 \text{ t}>$	526 ガル	2,262 ガル 〔4.3倍〕
原子炉停止時冷却系 $<1/1, 294 \text{ t}, \text{ 約 } 300 \text{ t}>$	1,800 ガル	2,700 ガル 〔1.5倍〕
主蒸気系 $<1/2.5, 190 \text{ t}, \text{ 約 } 200 \text{ t}>$	1,940 ガル	4,850 ガル 〔2.5倍〕
プレストレスコンクリート製原子炉格納容器 $<1/10, 757 \text{ t}, \text{ 約 } 27,000 \text{ t}>$	557 ガル	3,398 ガル 〔6.1倍〕
制振サポート支持重機器 $<1/2.5, 550 \text{ t}, \text{ 約 } 600 \text{ t}>$	1,824 ガル	5,290 ガル 〔2.9倍〕
配管（一般化モデル） $<1/1, 200 \text{ t}, - >$	—	1,900 ガル

(注)1 <> 内は、縮尺、試験体重量（支持構造物の重量含み）、実機重量を示す。

(注)2 強度実証試験とは、基準地震動 S_1 及び S_2 に対する強度並びに機能の信頼性を確認する試験。限界加振試験とは、基準地震動 S_2 を超える地震波で加振し、耐震安全上の余裕を確認する試験。

(注)3 [] 内は、強度実証試験における基準地震動 S_2 応答波に対する比率を示す。

また、プレストレストコンクリート製原子炉格納容器⁷及び配管について
は、試験体が機能喪失するまで加振しところ、プレストレストコンクリート
製原子炉格納容器については、3,398ガルで機能喪失し、十分な耐震安全上
の余裕を有することが実証されている【乙135(22, 108~109頁)】。配管につ
いては、振動台の加振性能範囲内で試験体を破損させるため、試験体から一
部の配管支持物を外すなど、同じ応答加速度に対し大きな曲げ応力が生じる
ようにした上で、振動台の性能限界である最大加速度 約1,900ガルで加振し、
試験体に応答最大加速度 約5,900ガルを与えた結果、5回目の加振でようや
く機能喪失し、十分な耐震安全上の余裕を有することが実証されている【乙
135(22, 151, 193頁)】。

ウ PWR 実機配管の耐震安全上の余裕

財団法人原子力発電技術機構（当時）は、上記の耐震実証試験により得ら
れた解析コードを用いて、PWR 実機配管の耐震安全上の余裕を解析してい
る。

解析にあたっては、安全上重要な設備であり、エルボ（L字部分）など応
力が集中しやすい構造や耐震支持構造物を有する主給水系配管モデルが選
択され、① 基準地震動S₂応答波入力時の配管にかかる応力、② 配管の発生
応力が当該配管の機能維持のために定められた評価基準値に達するときの
最大加速度、③ 配管が一回の地震波で機能喪失するときの最大加速度をそ
れぞれ解析している。

まず、基準地震動S₂応答波（原子炉建屋床応答波、最大加速度：1,940ガ
ル）を入力した場合の主給水系配管モデルにおける各質点の応力を解析した
ところ、図8のとおり、評価基準値458MPaに対し57~102 MPaとなり、評
価基準値を大きく下回り、4.5~8倍の耐震安全上の余裕を有する結果が得ら

⁷ プレストレストコンクリート製原子炉格納容器：建設時に圧縮力を構造体にあらかじめ加
えておくことで、引張力を発生させるような荷重（一次冷却材管の破断による圧力上昇に
による荷重等）に耐えられるようにしたコンクリート製の原子炉格納容器（原子炉格納容器、
原子炉建屋一体型）で、玄海3、4号機は同原子炉格納容器を用いている。

れている(①)。

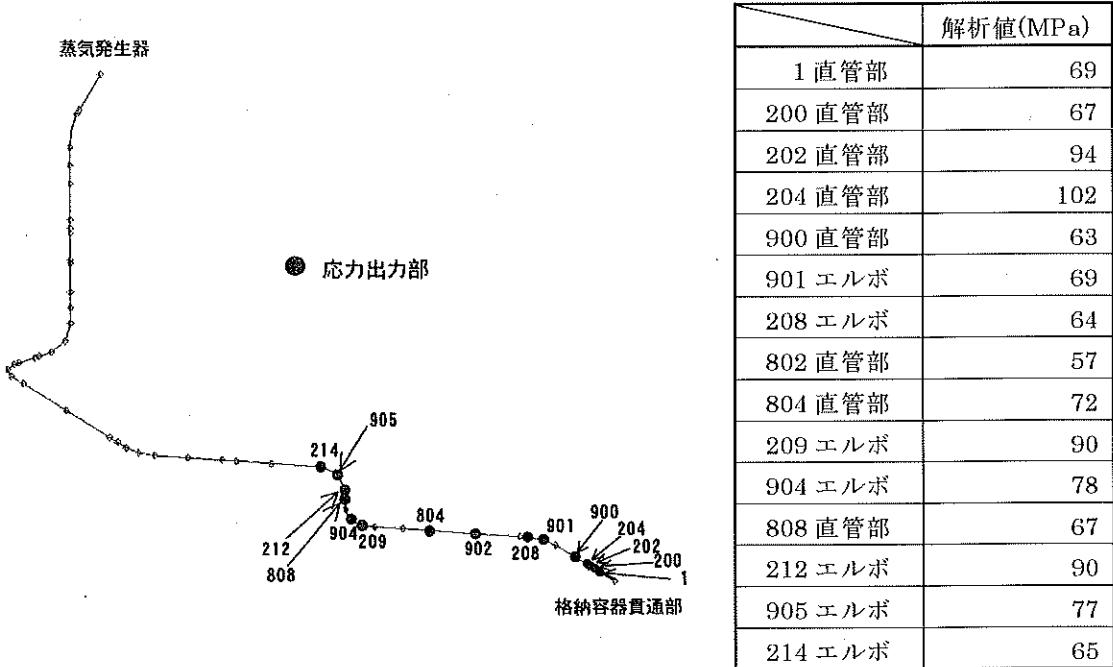


図8 主給水系配管質点モデルの応力評価部位及び評価結果

次に、いずれかの質点が、評価基準値458 MPaに達する最大加速度を解析した結果、18,600ガルで評価基準値に達する結果が得られている(②)。さらに、1回の地震で配管が機能喪失とした場合の最大加速度を解析したところ、248,300ガルとなり(③)、評価基準値458 MPaに達する地震動18,600ガルに対し13.3倍(③/②)の耐震安全上の余裕を有することが明らかとなっている。【乙136 (5-50頁, 5-52頁, 5-58頁)】

(3) 地震発生時（後）における原子炉施設の保全のための活動

ア 債務者は地震に対する安全性を確保するため、「玄海原子力発電所原子炉施設保安規定」に地震発生時における原子炉の停止措置や地震終了後における原子炉施設の点検等を定めており、以下にその内容を述べる。

玄海3, 4号機においては、原子炉施設の災害を未然に防止するための措置として、地震の影響により原子炉施設の保安に重大な影響を及ぼす可能性があると判断した場合は、原子炉停止等の措置について協議し、必要に応じて運転員の操作により原子炉を停止する。

あわせて、ある一定以上の地震加速度を検知した場合、自動的に運転中原子炉の停止措置をとることを定めている。具体的には、玄海 3, 4 号機に設置している原子炉停止用地震感知器が、地震発生時における運転中原子炉の運転継続に係る設定値を超過する地震加速度を検知した場合、原子炉保護装置からの原子炉トリップ（停止）信号により自動的に制御棒が挿入され、原子炉が緊急停止する。原子炉停止用地震感知器は、玄海 3, 4 号機の岩盤部付近（解放基盤表面に相当）の揺れを検知するため原子炉補助建屋⁸の最下階等に設置しており、その設定値は、表 2 のとおり、基準地震動による最大加速度に対して十分低いレベルに設定している【乙 137 (4-65 頁)】。

なお、玄海 3, 4 号機の運転開始以降、上記設定値を超過する地震加速度により原子炉が緊急停止した実績はない。

表 2 原子炉停止用地震感知器の設定値と基準地震動(最大加速度)の比較

	水平方向	鉛直方向
原子炉停止用地震感知器 設定値 (原子炉補助(周辺)建屋最下階)	170 ガル以下	80 ガル以下
基準地震動 Ss・1	540 ガル	360 ガル
基準地震動 Ss・2	268 ガル	172 ガル
基準地震動 Ss・3	524 ガル	372 ガル
基準地震動 Ss・4	620 ガル	320 ガル
基準地震動 Ss・5	531 ガル	485 ガル

* 地震発生時における運転中原子炉の運転継続に係る設定値

イ 地震発生後の影響確認（点検）として、玄海 3, 4 号機の最寄りの気象庁震度観測点において震度 5 弱以上の地震が観測された場合には、地震終了後、原子炉施設の損傷の有無について確認することを定めている【乙 137 (4-6 頁)】。具体的には、運転中機器の異常な振動、異臭、異音や、

⁸ 玄海 3 号機は原子炉補助建屋に、玄海 4 号機は原子炉周辺建屋にそれぞれ設置している。

機器・配管からの冷却材等の漏えい、計器類の異常等について原子炉、汽機、電気、制御別に点検を行うとともに、使用済燃料ピットにおけるいて水面の清浄度や異物の混入等について確認する。

一方、原子炉停止用地震感知器が設定値以上の地震加速度を検知し、原子炉が自動停止した場合は、上記点検を実施し原子炉施設の安全に問題のないことを確認する。仮に、点検の結果、長期停止を伴った保全を実施する場合等は、当該原子炉施設の状態に応じた保全方法及び実施時期を定めた特別な保全計画を策定し【乙 137 (8-5 頁)】、点検・補修等の保全を実施する。特別な保全計画に基づく保全の終了後、当該原子炉施設の安全に問題のないことを確認する。

以上のとおり、玄海 3、4 号機では、地震発生時における原子炉の停止措置や地震終了後における原子炉施設の点検等を「玄海原子力発電所原子炉施設保安規定」に定めており、前記「第 5 の 3 (1), (2)」とあわせ、地震に対する安全性を確保している。

4 小括

以上述べたとおり、債務者の基準地震動の設定及び地震発生のメカニズムからすれば、基準地震動の基となる地震と同等規模の地震が連続して発生することは考えにくく、故に熊本地震で観測されたような大きな揺れが 2 回続けて発生する可能性は極めて低い。また、玄海 3、4 号機は十分安全側に策定した基準地震動に対する耐震安全性を確保しており、さらに耐震安全上の余裕を有していることなどからすると、玄海 3、4 号機の耐震安全性が損なわれることはない。

第 6 まとめ

以上述べたとおり、債務者は、基準地震動の策定にあたって、標準化された評価手法として確立された信頼性の高い入倉・三宅式および壇他の式を含む強

震動予測レシピなどを用いて安全側に策定しており、熊本地震を踏まえても玄海原子力発電所の地震に対する安全性は十分確保されている。

以 上