

副本

平成 23 年 (㉮) 第 21 号 玄海原子力発電所 2 号機, 3 号機再稼働差止仮処分
命令申立事件

債権者 味志陽子外 89 名

債務者 九州電力株式会社

準備書面 10

平成 28 年 4 月 8 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	斉藤	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章	債権者らの主張	4
第2章	債務者の地震動評価が合理的であること	4
第1	はじめに	4
第2	新規制基準に基づく基準地震動策定の概要	5
1	基準地震動の策定に係る設置許可基準規則等	5
2	「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の概念	7
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	9
4	基準地震動の策定	11
第3	「入倉・三宅式」を用いることが合理的であること	11
1	本件原子力発電所における地震動評価と入倉・三宅式の関係	11
2	強震動予測レシピの位置づけ	12
3	強震動予測レシピにおける「入倉・三宅式」の位置づけ	12
4	「入倉・三宅式」を含む強震動予測レシピの合理性	14
5	小括	17
第4	武村式を用いるべきとする債権者らの主張が合理的でないこと	17
1	武村式について	17
2	武村式は不十分なデータを基に構築された手法であること	18
3	債権者らの主張は観測事実との検証を欠いた独自の理論であること	24
4	小括	25
第5	基準津波の策定における武村式の採用	26
第6	本件原子力発電所においては経験式のばらつきを踏まえて安全側に地震動評価をおこなっていること	27
1	地震動評価における基本的な考え方	27
2	入倉・三宅式の適用性の確認及び安全側評価	28

3	債権者らの主張への反論	34
第7	まとめ	35
第3章	玄海3号機における配管の安全性の確保	35
第1	はじめに	35
第2	配管の破断防止に向けた取り組み	35
1	配管の管理の概要	35
2	余剰抽出配管の破断防止策	37
3	補助給水設備配管の破断防止策	41
4	小括	44
第3	1次系配管の破断時等における安全性の確保	45
1	仮にひび割れが貫通したとしても原子炉を安全に停止できること...	45
2	本件L字部分が破断に至っても原子炉を安全に冷却できること.....	46
3	小括.....	51
第4	その他債権者らの主張に対する反論	51
第5	まとめ	57
第4章	まとめ	57

債務者は、本書面をもって、債権者らの平成 28 年 2 月 2 日付「申立の理由の変更申立書」に対する反論を行う。

第 1 章 債権者らの主張

債権者らは、玄海原子力発電所 3 号機（以下「玄海 3 号機」という。）に関して、①債務者が基準地震動の設定に「武村式」ではなく、「入倉・三宅式」を採用したことにより基準地震動が過小評価となっている、②玄海原子力発電所 2 号機（以下「玄海 2 号機」という。）の余剰抽出配管にひび割れが確認されたことに関して、玄海 3 号機の配管に「傷」があることが否定できず、配管の破断から重大事故が引き起こされる可能性がある、などと主張する。

以下、①及び②の主張に対し順次反論する。

第 2 章 債務者の地震動評価が合理的であること

第 1 はじめに

債権者らは、債務者が基準地震動の設定にあたって「入倉・三宅式」を適用していることは不適切で、「武村式」を用いるべきであり、さらに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。）I.3.2.3(2)【乙 59 (3 頁)】の記載からすれば、「武村式」に「経験式のばらつき」を考慮すると、地震モーメント M_0 は一層大きくなるので、本件原子力発電所の基準地震動は過小評価である旨主張する。

しかしながら、基準地震動の設定に「入倉・三宅式」を適用することは合理的であり、また、債権者らは、審査ガイドの意味を正確に理解しないで、独自の解釈に基づいて主張しており、債権者らの主張は理由がない。

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を述べた上で、「第 3」では入倉・三宅式を用いることの合理性について、「第 4」では武村式を地震動評価に用いるべきとする主張が合理的でないことについて、「第 5」では本件原子力発電所の津波評価に武村式を

採用することが何ら問題がないことについて、「第6」では本件原子力発電所の地震動評価を経験式のばらつきを踏まえて安全側におこなっていることについて順次述べる。

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60（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60（126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¹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

¹ 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

することとされている【乙60（126頁）】。

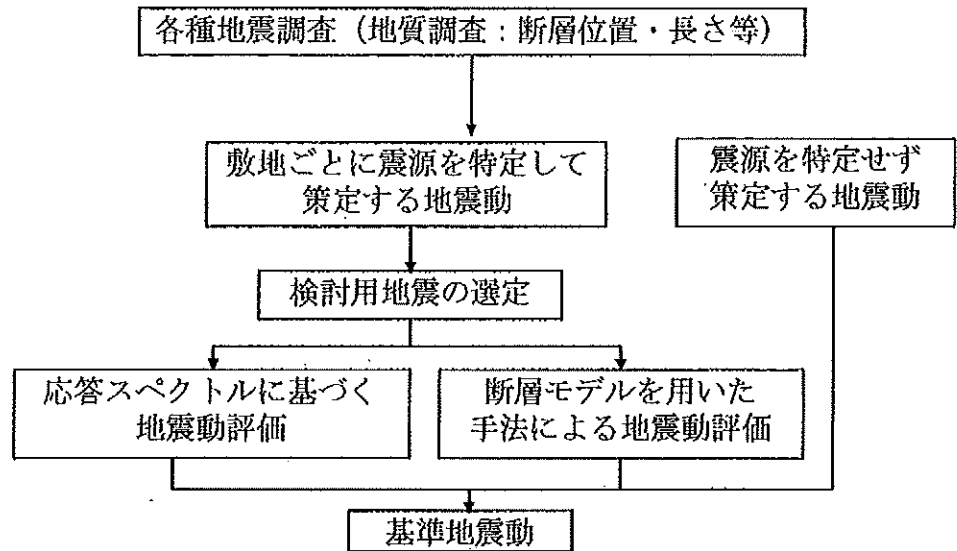


図1 基準地震動の策定過程

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は，活断層の性質や地震発生状況を精査し，中・小・微小地震の分布，応力場²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

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，ほぼ水平で相当な広がりのある基盤の表面をいう。

² 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。

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60（126～128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。もっと具体的に言えば、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³や応答スペクトル⁴などを求めることができる。

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、そもそも内陸地殻内に生じる地震とは、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のではなく、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。

³ 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。

⁴ 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。

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。

ここで注意する必要があるのは、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⁵が用いられる。

⁵ 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。

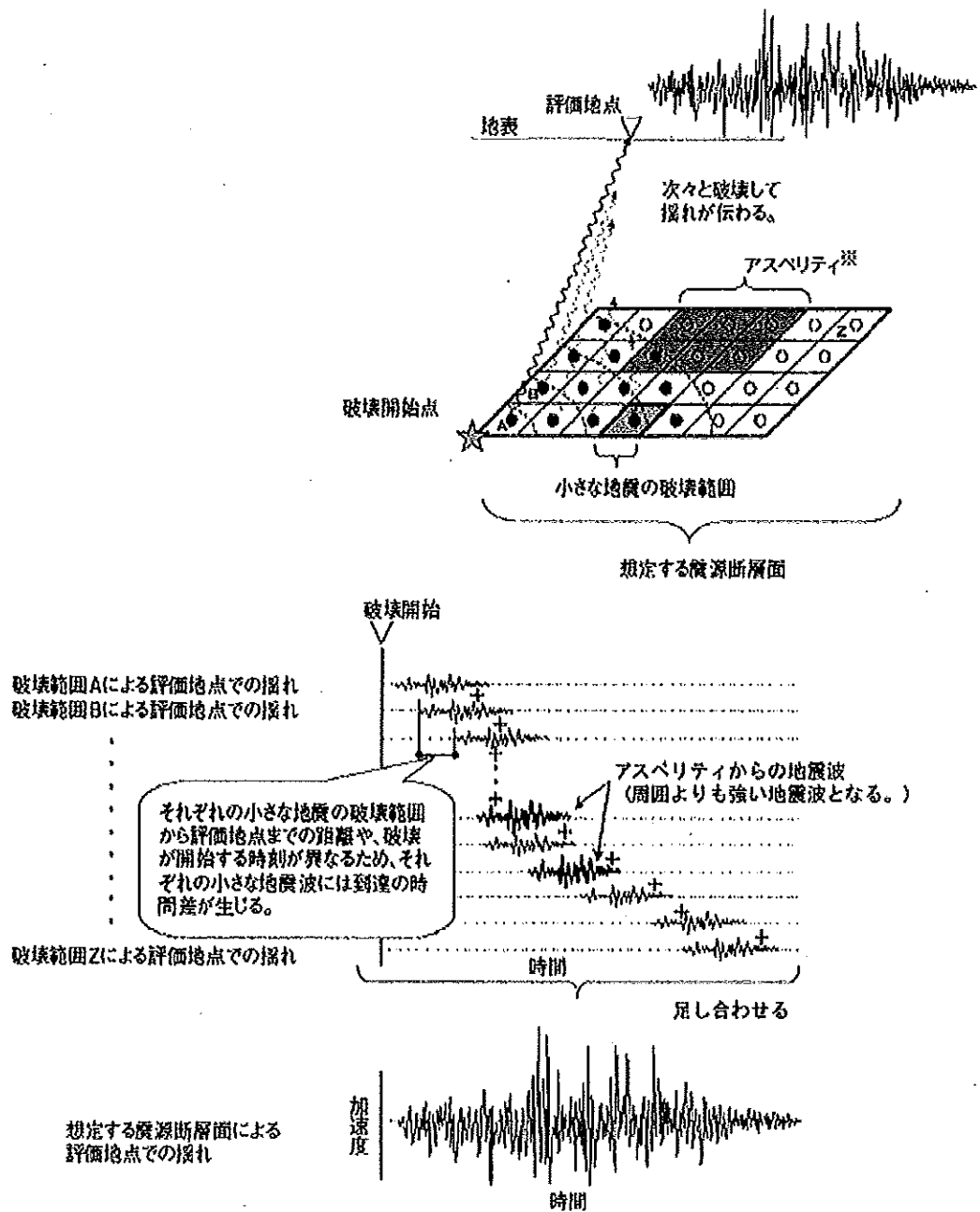


図2 「(参考) 断層モデルの手法の概念について」(原子力安全委員会)

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」が制定されている。

同ガイドは、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【乙59（1頁）】、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。

(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⁶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60（128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」（強震動予測レシピ）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【乙59（4～5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、評価の過程に伴う不確かさ（震源断層の形状（長さ、傾斜角）、アスペリティ⁷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

⁶ 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る背景領域がないクラックモデルがある。

⁷ 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、この部分がずれると特に大きなずれを生じ、大きな揺れが生じる。

反映させることとされている【乙59（6～7頁）】。

ウ 断層モデルを用いた手法による基準地震動

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【乙59（9頁）】。

4 基準地震動の策定

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【乙59（9頁）】。

第3 「入倉・三宅式」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、上記審査ガイドに従い、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・三宅式を評価体系に含んだ強震動予測レシピを用いている【乙61（82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。

そして、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【乙62（付録3-1頁）】。

後述するように、強震動予測レシピは、現実が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、上述したように、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」の位置づけ

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。

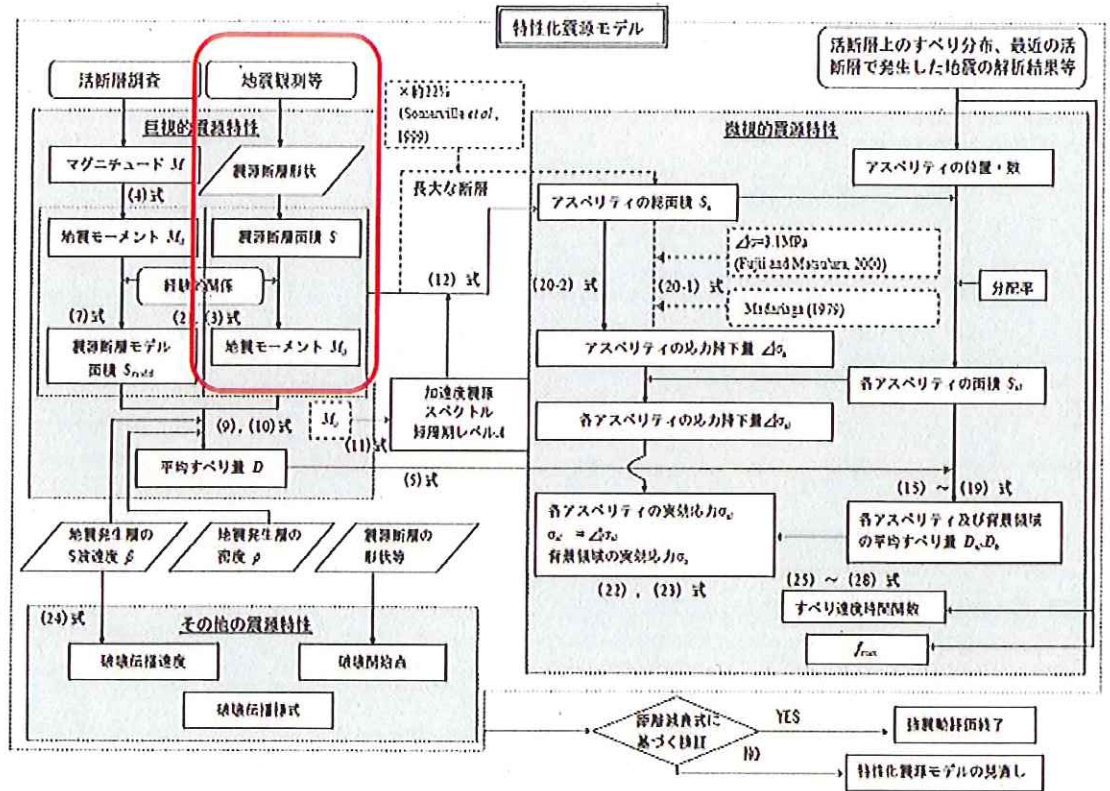


図3 強震動予測レシピにおける震源パラメータの設定フロー

【乙62 付録3-36 付図2】に一部加筆（本書面に関係の深い箇所を赤線にて囲んだ）

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。【乙62（付録3-4頁）】

$$\begin{cases} M_0 = (S/2.23 \times 10^{15})^{3/2} \times 10^{-7} & (M_0 < 7.5 \times 10^{18} \text{ (Nm)}) & (2) \text{ 式} \\ M_0 = (S/4.24 \times 10^{11})^2 \times 10^{-7} & (M_0 \geq 7.5 \times 10^{18} \text{ (Nm)}) & (3) \text{ 式} \end{cases}$$

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⁸ 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) 【乙63】) 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。

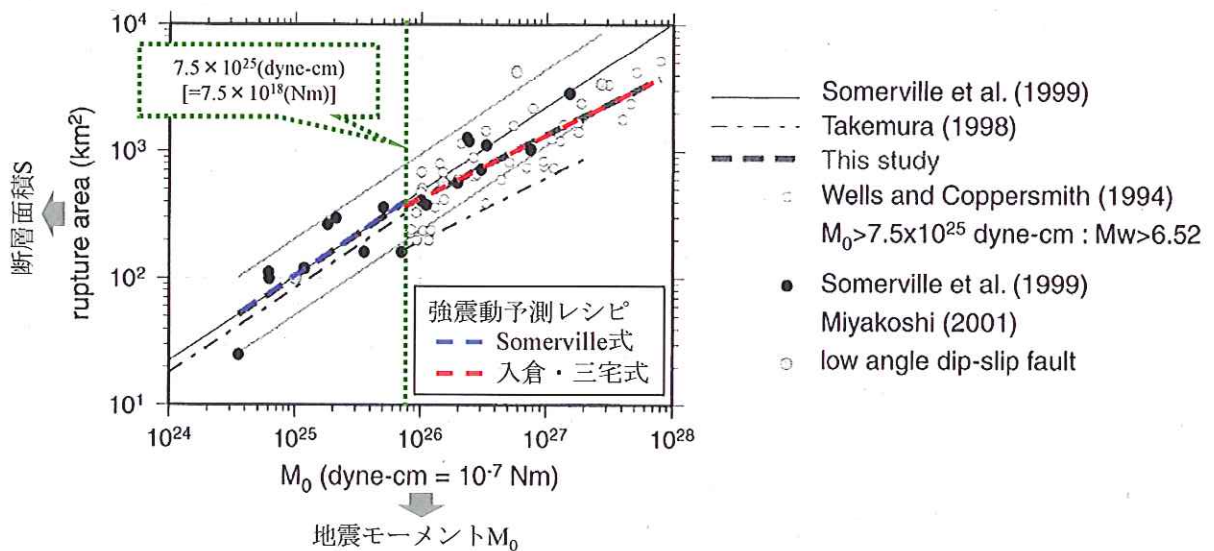


図4 強震動予測レシピによる断層面積Sと地震モーメント M_0 との関係

(入倉・三宅(2001)【乙63(858~859頁)】の図7に加筆)

4 「入倉・三宅式」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

⁸ 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(M_w)という。

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。

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⁹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¹⁰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。【乙63（850～854頁）】

そして、「入倉・三宅（2001）」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¹¹、微視的断層パラメータ¹²及びその他のパラメータ¹³により、以下のとおり与えられる【乙63（873

⁹ 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、驗潮、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。

¹⁰ 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。

¹¹ 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。

¹² 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。

¹³ 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

～874頁)】【乙62(付録3・2～3・14)】。

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關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¹⁴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)。

このように震源を特性化する有効性は、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¹⁵、並びにハイブリッドグリーン関数法¹⁶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【乙64(32～33頁, 図4ないし図7)】。

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¹⁷(関係

点等がある。

¹⁴ 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。

¹⁵ 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。

¹⁶ 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。

¹⁷ 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(「震源特性」参照)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)いっぱいにはたがる地震(断層幅が飽和した地震)と、地震発生

式) について「入倉・三宅式」を用いることも合理的である。

さらに、地震調査委員会は、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た結果、整合的であることを確認している【乙62（付録3-1頁）】。

以上のおり、「入倉・三宅式」を含む強震動予測レシピの合理性を確認している。

5 小括

以上のおり、入倉・三宅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。

第4 武村式を用いるべきとする債権者らの主張が合理的でないこと

1 武村式について

(1) 武村(1998)【乙65】は、断層長さ L と地震モーメント M_0 との関係式として式(a)及び式(b)を、断層面積 S と地震モーメント M_0 との関係式として式(c)及び式(d)を、それぞれ提案している（総称して「武村式」という）【乙65（215～216頁）】。

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。

$$\begin{cases} \log L(\text{km}) = 1/3 \log M_0(\text{dyne} \cdot \text{cm}) - 7.28 & (M_0 < 7.5 \times 10^{25}(\text{dyne} \cdot \text{cm})) \text{ 式(a)} \\ \log L(\text{km}) = 1/2 \log M_0(\text{dyne} \cdot \text{cm}) - 11.82 & (M_0 \geq 7.5 \times 10^{25}(\text{dyne} \cdot \text{cm})) \text{ 式(b)} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \log S(\text{km}^2) = 2/3 \log M_0(\text{dyne} \cdot \text{cm}) - 14.74 & (M_0 < 7.5 \times 10^{25}(\text{dyne} \cdot \text{cm})) \text{ 式(c)} \\ \log S(\text{km}^2) = 1/2 \log M_0(\text{dyne} \cdot \text{cm}) - 10.71 & (M_0 \geq 7.5 \times 10^{25}(\text{dyne} \cdot \text{cm})) \text{ 式(d)} \end{cases}$$

2 武村式は不十分なデータを基に構築された手法であること

(1) 武村式及び入倉・三宅式は、いずれも過去の地震のデータを基にして、各パラメータ（断層長さ L 、断層面積 S 及び地震モーメント M_0 ）の関係式を導き出したものであり、その関係式としての正確性は、基にするデータの信頼性に依存することになる【乙 66 (1526 頁)】。

前述のとおり、実際の地震動は、地下の断層運動（断層面での動き）により生成されるものであるため、断層長さ L は、地下にある震源断層の長さを把握する必要がある。

この点、我が国では、1995 年兵庫県南部地震以前は強震観測網 (K-NET¹⁸, KiK-net¹⁹等) が貧弱であり、地震学的情報が必ずしも十分には取得できなかったため、地震直後の地表断層調査や測地学的な情報から震源パラメータを間接的に推定する場合が多く、断層長さ L についても地表断層長さに近い不十分なデータしか取得できないことが多かった【乙 66 (1526 頁)】。

これに対して、1995 年兵庫県南部地震以降は、強震観測網 (K-NET,

¹⁸ K-NET : K-NET (Kyoshin Net : 全国強震観測網) は、独立行政法人防災科学技術研究所が運用する、全国を約 20km 間隔で均質に覆う 1,000 箇所以上の強震観測施設からなる強震観測網のことである。地震被害に直接結びつく地表の強震動を均質な観測条件で記録するために、各観測施設は、一部の例外を除き統一した規格で建設され、自由地盤上（地表）に強震計が設置されている。

¹⁹ KiK-net : KiK-net (Kiban-Kyoshin Net : 基盤強震観測網) は、全国にわたる総合的な地震防災対策を推進するために、政府の地震調査研究推進本部が推進している「地震に関する基盤的調査観測計画」の一環として、独立行政法人防災科学技術研究所が整備した強震観測網である。KiK-net の観測施設は、全国約 700 箇所に配置され、各観測施設には観測用の井戸（観測井）が掘削されており地表と地中（井戸底）の双方に強震計が設置されているのが特徴である。

KiK-net 等) が整備され、強震動記録を用いた震源インバージョン解析結果が数多く蓄積され、地下の震源断層の長さが把握できるようになり、より信頼性の高いデータが集積された【乙 66 (1526~1527 頁)】。

(2) 武村式で用いられたデータは、表 1 のとおり、1995 年兵庫県南部地震以前に国内で発生した地震の測地学的データが大半であった。

表 1 武村式の基となった震源パラメータ及び解析データ
(入倉ほか(2014)【乙 66 (1532 頁)】の表 4 に加筆)

No.	発生年 地震名		文献	地震モーメント		断層長さ		断層面積		測地学データ	地震動記録
	Mech.	Name		M_0 (Nm)	M_w	L(km)	W(km)	S(km ²)	D(m)		
1	SS	1891年濃尾地震	Mkumo and Ando(1976)	1.5E+20	7.38	85	15	1275	3.8	○	○
2	SS	1927年北丹後地震	Kanamori(1973)	4.6E+19	7.04	33	19	627	3.7	○	○
3	SS	1943年鳥取地震	Kanamori(1972)	3.8E+19	6.97	33	13	429	2.5	○	○
4	SS	1948年福井地震	Kanamori(1973)	3.3E+19	6.95	30	13	390	2.0	○	○
5	SS	1930年北伊豆地震	Abe(1978)	2.7E+19	6.89	22	12	264	3.0	○	○
6	SS	1995年兵庫県南部地震	武村(1998)	2.5E+19	6.87	25	15	375	2.2		○
7	SS	1939年男鹿地震	吉岡(1974)	1.7E+19	6.75	16	12	192	2.0	○	
8	SS	1978年伊豆大島地震	Shimazaki and Somerville(1978)	1.1E+19	6.63	17	10	170	1.9		○
9	OB	1961年北茨城地震	Kawasaki(1975)	9.0E+18	6.57	12	10	120	2.5	○	○
10	RV	1945年三河地震	Ando(1974)	8.7E+18	6.56	12	11	132	2.3	○	

【表 1 の説明】：表 1 は、武村式の基となった 10 地震のデータがどのような手法によって決定されたかを示した表である。表 1 には、各地震の発生年・地震名、その震源パラメータが示されている文献 (Reference)、震源パラメータ (地震モーメント M_0 、モーメントマグニチュード M_w 、断層長さ L、断層幅 W、断層面積 S、すべり量 D) 及びその決定方法 (測地学データ (Geodetic data)、地震動記録 (Seismological data)) が示されている。

これに対して、武村式で用いられたデータについて、入倉ほか(2014)により既往の震源インバージョン結果を整理したもの (つまり「地下の震源断層の長さ」)【乙 66 (1532~1533) 頁】が表 2 である。

表2 武村式の基となった地震のうち震源インバージョン解析による震源パラメータ（入倉ほか(2014)【乙66(1532頁)】の表5に加筆)

No.	Name	Mech.	Reference	地震モーメント		断層長さ		断層面積		断層破壊領域の抽出
				M_0 (Nm)	M_w	L_{sub} (km)	W (km)	S (km ²)	D (m)	
1	1891年濃尾地震	SS	Murotani et al.(2014) ¹⁾	1.8E+20	7.44	122	15*	1830	3.3	x
2	1927年北丹後地震	SS	x	-	-	-	-	-	-	-
3	1943年鳥取地震	SS	x	-	-	-	-	-	-	-
4	1948年福井地震	SS	菊池・他(1999) ²⁾	2.1E+19	6.81	30	10	300	2.3	x
5	1930年北伊豆地震	SS	x	-	-	-	-	-	-	-
6	1995年兵庫県南部地震	SS	Sekiguchi et al.(2002) ¹¹⁾	3.8E+19	6.98	64	21	1303	1.7	○
7	1939年男鹿地震	SS	x	-	-	-	-	-	-	-
8	1978年伊豆大島地震	SS	Kkuchi and Sudo(1984) ³⁴⁾	1.9E+19	6.78	35*	-	-	-	-
9	1961年北美濃地震	OB	Takeo(1990) ²⁹⁾	5.8E+18	6.44	16	12	192	0.9	○
10	1945年三河地震	RV	Kkuchi et al.(2003) ³³⁾	1.0E+19	6.60	20	15	300	1.1	x

*Estimated value in this study

【表2の説明】：表2は、武村式の基となった10地震のうち6地震について、既往の震源インバージョン解析結果の震源パラメータを整理した表である。表2には、各地震の発生年・地震名、その震源インバージョン結果が実施されている文献(Reference)及び震源パラメータ(地震モーメント M_0 、モーメントマグニチュード M_w 、断層長さ L_{sub} 、断層幅 W 、断層面積 S 、すべり量 D)が示されている。

表1及び表2から明らかのように、表2の断層長さ L は、表1の断層長さ L よりも大幅に長くなっている【乙66(1533頁)】。これは、武村式が用いた表1のデータが「地表断層長さ」に近い不十分なデータであったことを示している。

(3) 以上に対して、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について震源インバージョン解析に基づくデータと同等の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【乙66(1527~1529頁)】(図5)。

また、入倉ほか(2014)において、武村式に用いられた地震データについて、既往の震源インバージョン解析結果によるデータ(表2)も入倉・三宅式と整合的であることが確認されている【乙66(1532~1533頁)】(図6)。

このように、入倉・三宅式は、地下の震源断層長さ L と地震モーメント

M_0 の関係を適切に表す関係式となっている。

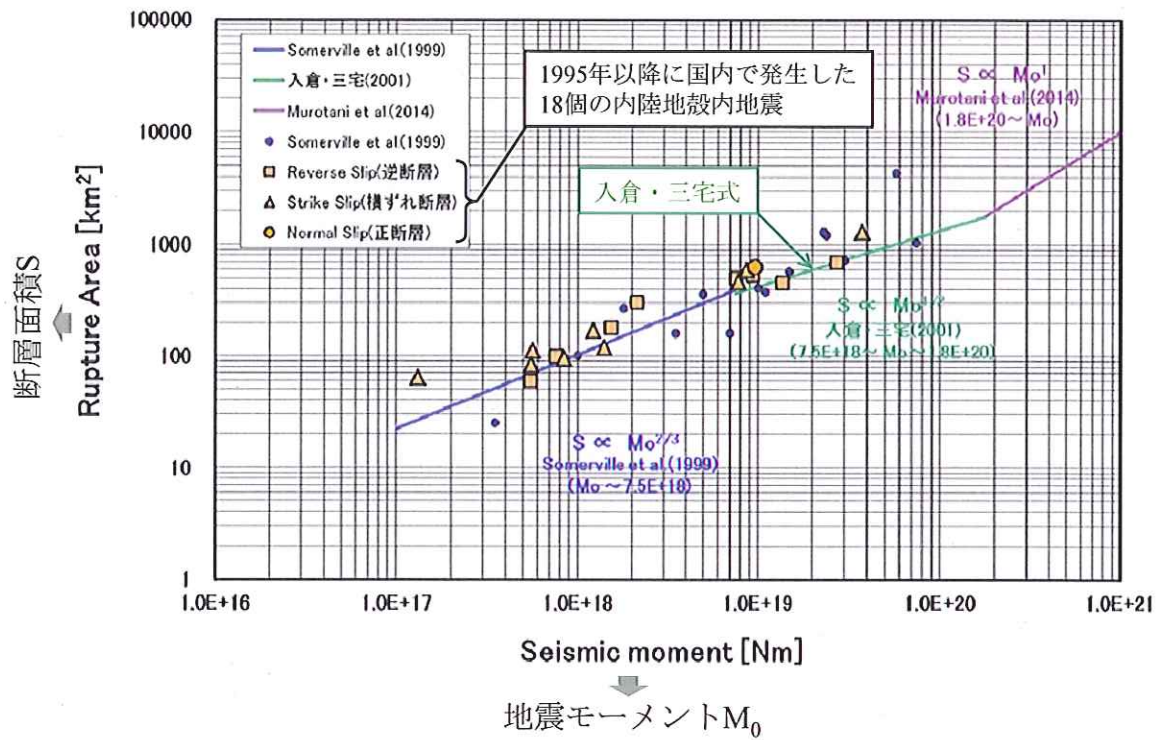


図5 1995年以降に国内で発生した18個の内陸地殻内地震の断層面積 S と地震モーメント M_0 との関係 (入倉ほか(2014)【乙66(1529頁)】の図2(a)に加筆)

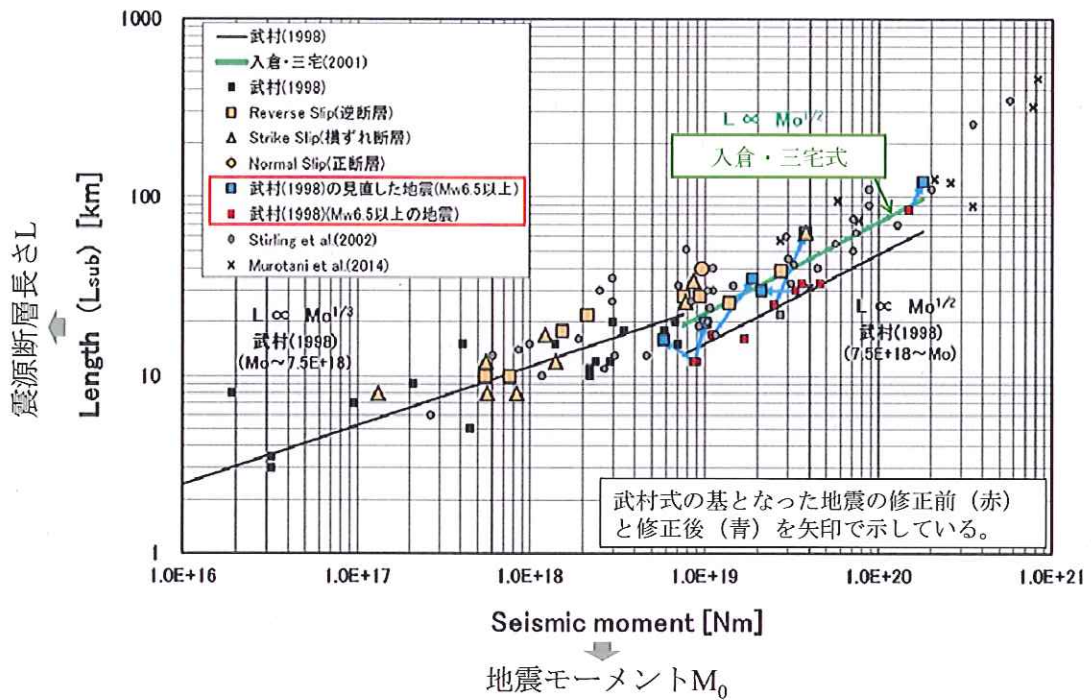


図6 震源断層長さと地震モーメントとの関係
(入倉ほか(2014)【乙 66 (1532 頁)】の図 5 に加筆)

【図 6 の説明】：図 6 は縦軸に震源断層長さ L ，横軸に地震モーメント M_0 を示したものである。図 6 には，入倉・三宅式及び武村式が示されているとともに，1995 年以降に国内で発生した 18 個の内陸地殻内地震のデータ及び武村式の基となったデータ（表 1）と震源インバージョンによる見直し結果のデータ（表 2）が示されている。

(4) なお，入倉ほか(2014)による図 6 で，武村式と入倉・三宅式とを比較すると，同じ断層長さ L では，地震モーメント M_0 は武村式の方が大きくなる（言い換えると，同じ地震モーメント M_0 では断層長さ L は武村式の方が短くなる）。

これは，上述したように，武村式においては，本来「地下の震源断層長さ」であるべき断層長さ L について，「地表断層長さ」に近い不十分なデータ（「地下の震源断層長さ」よりも短い長さ）を基に地震モーメント M_0 との関係式を導いているためである（図 7）。

(5) また、債権者らは、武村式は日本の地震の特性を表している、入倉・三宅式は海外の地震データによるものであり、海外の特性であると主張する。

しかしながら、入倉・三宅式は、上述のとおり、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と整合することが確認されているのであって、債権者らの主張は理由がない。

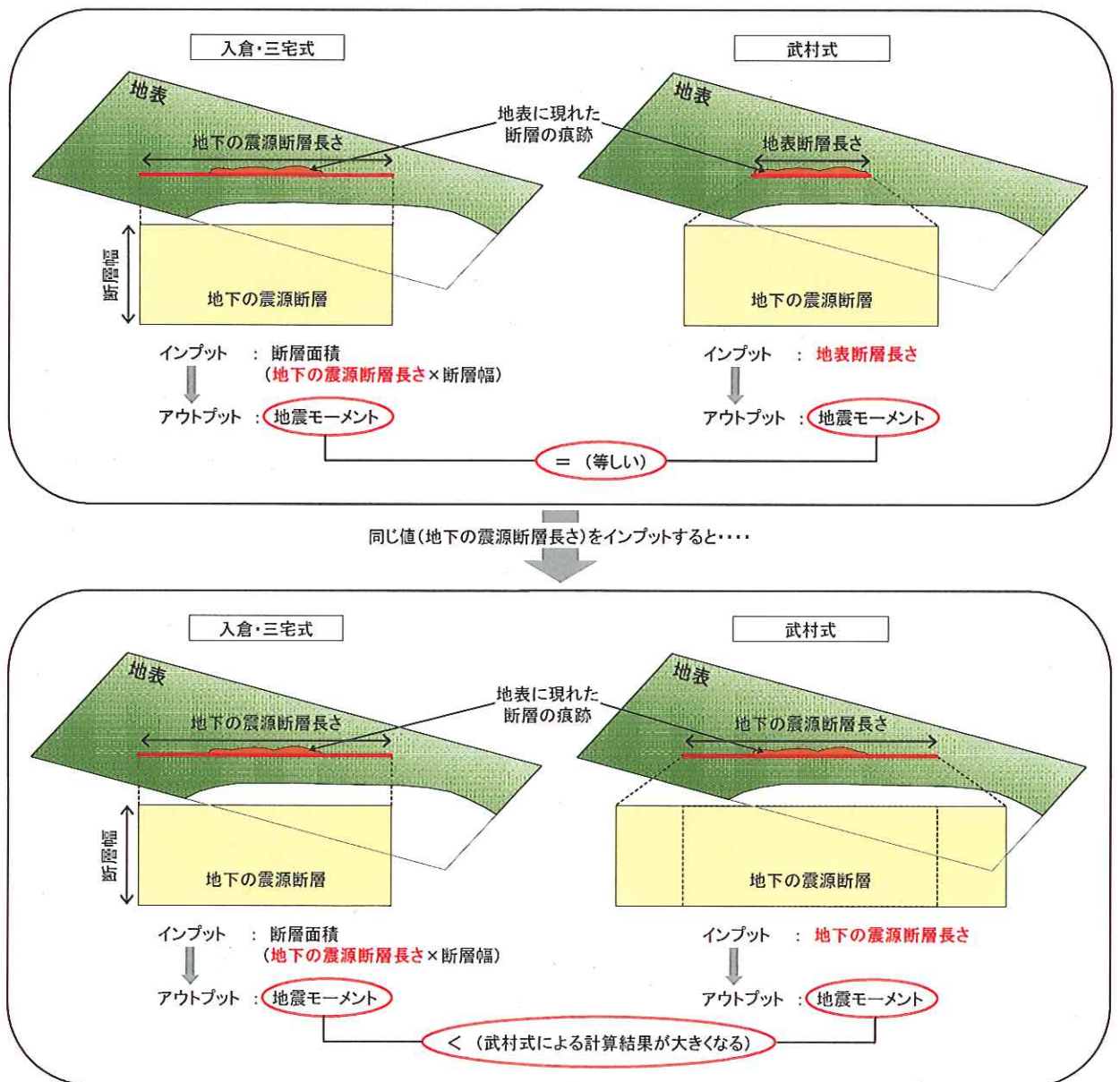


図7 入倉・三宅式と武村式との違いのイメージ

3 債権者らの主張は観測事実との検証を欠いた独自の理論であること

(1) 前述(第2及び第3)の審査ガイドにおける地震動評価手法の考え方は、全国的な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(「基本震源モデルの策定」における強震動予測レシピ)を基に、各サイト周辺の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(「不確かさの考慮」というものである(図8)。

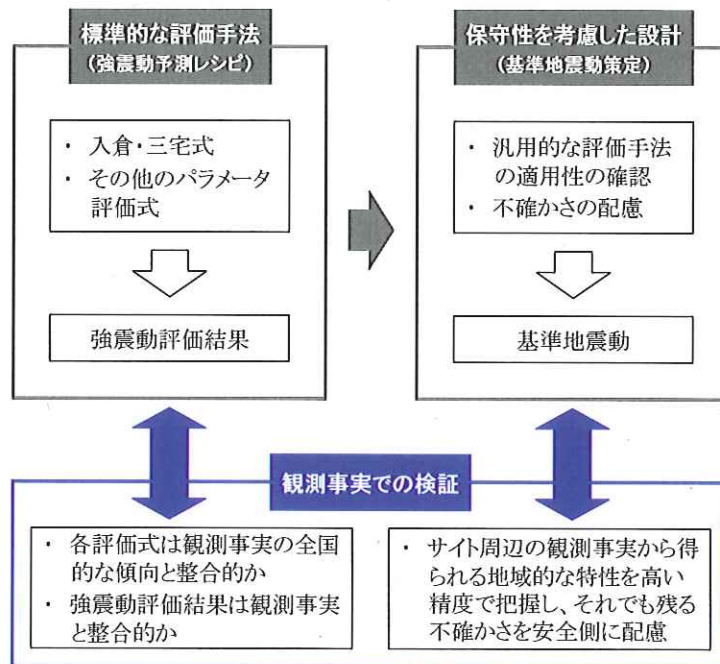


図8 自然現象(地震)の評価の考え方

(2) このような考え方は、地震に限らず、自然現象を評価するに当たって一般的に共通する考え方であり、各地域毎あるいは対象となる構造物の種類毎に多種多様な評価手法を定めるのではなく、一定の共通的な評価手法をベースに、地域や構造物毎にその特性に応じて必要な事項を適宜付加していくという極めて合理的な考え方である。

例えば、建築基準法に従った建物の設計においても、全国共通の地震力を定めた上で、それに地域係数を乗じて地域毎の地震力を求めることとさ

れている。

(3) 標準的な評価手法については、観測事実との整合性を検証し、手法の汎用性（標準的な傾向を見て取ることができること）が確認されていることが重要である。

債務者が用いた、入倉・三宅式を含む地震動評価手法（強震動予測レシピ）は、各パラメータの評価式を基に体系的に評価した結果としての強震動が観測事実と整合することが検証され、手法の汎用性が確認されている。

債権者らは、観測事実との整合性を無視し、ただやみくもに「武村式」を用いて評価をすべきことを主張するものであり、合理的でない。

4 小括

「第3」で述べたとおり、入倉・三宅式は、断層長さLについて、震源インバージョン解析による「地下の震源断層長さ」として信頼性の高いデータとの整合性が確認されているのに対して、武村式は、「地表断層長さ」に近い不十分なデータを基に構築された手法であり、入倉・三宅式の代わりに武村式を用いるべきとする債権者らの主張は理由がない。

なお、債権者らは「地震モーメントが4.7倍になると、地震による揺れの加速度も4.7倍になる」と主張する（債権者ら申立の理由の変更申立書・8頁）が、実際に発生した地震の観測記録の回帰分析から求められた壇ほか(2001)による地震モーメントと短周期レベルとの経験式からは、地震動の短周期レベルは、地震モーメントの $1/3$ 乗に比例することが確認されている【乙67（53～54頁）】。仮にある条件の下で地震モーメントが4.7倍になっても、地震による揺れの加速度は4.7倍ではなく、その $1/3$ 乗の1.7倍程度になるだけであり、債権者らの上記主張は誤りである。

第5 基準津波の策定における武村式の採用

- 1 債務者は、本件原子力発電所に係る基準津波策定における海域活断層による津波評価で用いる地震モーメント M_0 は、武村式を用いて評価している（なお、断層長さは「地下の震源断層長さ」の数値を用いて解析している）。

また、本件原子力発電所を含め全国の原子力発電所の基準津波の策定が準拠する土木学会の「原子力発電所の津波評価技術（2002）」【乙 68】も、武村式を用いることが示されている【乙 68（1-37 頁）】。

これは、内陸地殻内地震に起因する津波の観測データが少なく、その検証が十分になされていない現状に鑑み、津波評価においては、入倉・三宅式と相違があることは十分承知の上、津波評価の観点からはすべり量²⁰、すなわち海底面の変動が大きくなる武村式をあえて用いているのである。

- 2 武村式によって評価している現行の津波評価で用いている「地下の震源断層長さ」を基に入倉・三宅式で再評価すると、地震モーメント M_0 は小さくなり（上述したとおり、同じ断層長さ L では地震モーメント M_0 は武村式のほうが大きくなるためである）、それによって海底面の変動量が小さくなり、津波高さは小さくなる（図 9）。

武村式に基づく現行の津波評価が安全側の評価であり、本件原子力発電所の安全性に関して何ら問題がないことは明らかである。

²⁰ すべり量：地震により固着した岩板(プレート)同士がずれ動くことで津波は起こり、津波の高さは、このずれ動いた大きさ、つまり、すべり量によって決まる。大きなすべり量を想定すると津波も大きくなる。

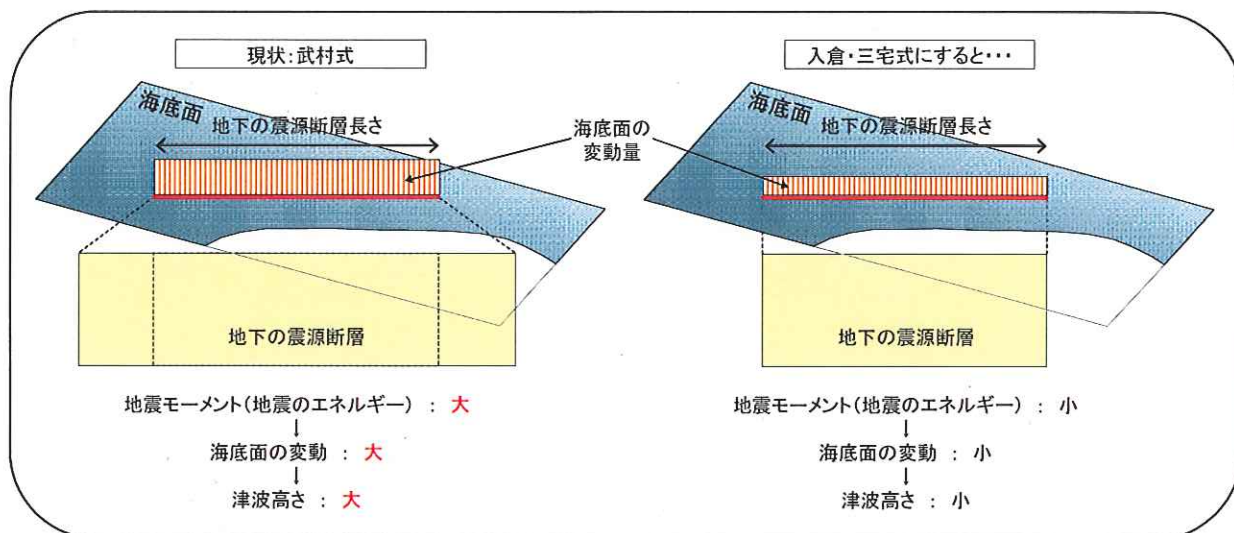


図9 入倉・三宅式で再評価した場合の津波評価のイメージ

第6 本件原子力発電所においては経験式のばらつきを踏まえて安全側に地震動評価をおこなっていること

1 地震動評価における基本的な考え方

(1) 審査ガイドが定める地震動評価手法の考え方は、前述(第4の3)のとおり、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(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る(図8)。

(2) ここで言う「標準的な評価手法」で汎用的に用いられる関係式のひとつが「経験式」である。

経験式は、観測データ(データセット)を回帰分析²¹して得られるものであって、多くの地震に適用可能な一般法則である。

²¹ 回帰分析：回帰分析(regression analysis)とは、2変数X,Yのデータがあるときに、回帰方程式(regression equation)と呼ばれる説明の関係を定量的に表す式を求めることを目的としている。説明される変数をYで表し、これを従属変数、被説明変数、内生変数などと呼ぶ。また、説明する変数をXで表し、独立変数、説明変数、外生変数などと呼ぶ。回帰分析の目的は、XとYとの定量的な関係の構造(モデル(model)ということがある)を求めることである。ある一方が他方を左右する(決定する)という一方方向の関係にある場合、かかる関係を分析するには回帰分析の方法がふさわしい。

ある特定の地域の地震動評価において経験式を用いる際は、①その経験式自体の信頼性を確認することと、②その経験式が評価しようとする地震の地域性と照合して適用できるかを確認することが重要である。

(3) 経験式による評価には多少の「ばらつき」が存在する。

したがって、地震動評価を行う際には、経験式による評価結果を基に、地域的な特性を踏まえて安全側の評価となるように様々な考慮を行うことが必要である。

2 入倉・三宅式の適用性の確認及び安全側評価

(1) 入倉・三宅式の信頼性

ア 入倉・三宅式は、地震調査研究推進本部（推本）が公表した「強震動予測レシピ」において、震源断層面の形状（断層長さ L ，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中で、断層面積 S と地震モーメント M_0 の関係式として採用されている式である（第3の3）。

イ 入倉・三宅式を含む強震動予測レシピにおける強震動予測手法については、実際に発生した地震（2000年鳥取県西部地震，2005年福岡県西方沖地震）における実際の観測記録（防災科学技術研究所 K-NET・KiK-net 観測点，気象庁観測点，自治体観測点）と，強震動予測レシピに基づくシミュレーション結果が整合することが確認されており，その信頼性が実証されている（第3の4）【乙62（付録3-1頁）】。

ウ さらに，入倉ほか(2014)【乙66】において，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，既往の震源インバージョン結果が，入倉・三宅式と調和的であることが確認されており（図5）【乙66（1527～1529頁）】，最新かつ国内のデータによっても入倉・三宅式の信頼性は損なわれないことが実証されている（第4の2（3））。

エ 以上のとおり、入倉・三宅式は、経験式として信頼性を有する。

(2) 本件原子力発電所における入倉・三宅式の適用性の確認

ア 入倉・三宅式の適用範囲について、強震動予測レシピでは、「地震モーメント $M_0=7.5 \times 10^{18}$ (N・m) (モーメントマグニチュード Mw6.5 相当) 以上」とされているが、この数値は利便性に配慮して機械的に値を設定したものであり、原理的には、断層幅が飽和しているか飽和していないかでスケーリング則が変わるため、強震動予測レシピにおいても「断層幅が飽和している場合は入倉・三宅式を用いる方が合理的である」とされている【乙 62 (付録 3-4 頁)】。

本件原子力発電所の基準地震動策定にあたっては、敷地周辺の詳細な活断層調査等の結果を基に、2つの検討用地震(城山南断層による地震及び竹木場断層による地震)を選定し、これを基に評価を行っているが、これらの地震は、いずれも「断層幅が飽和した地震」を想定しており【乙 61 (67,91~94 頁)】、入倉・三宅式の適用範囲内であることを確認している。

イ また、債務者は、本件原子力発電所に関して、入倉・三宅式を含む強震動予測レシピの予測手法を採用するにあたって、本件原子力発電所の敷地地盤における観測記録を用いて、入倉・三宅式を含む強震動予測レシピの予測手法の信頼性を確認している。

具体的には、2005年福岡県西方沖地震時に本件原子力発電所の敷地地盤において観測された地震記録が、入倉・三宅式を含む強震動予測レシピに基づくシミュレーション解析によって精度良く再現できることを確認している【乙 61 (77~78 頁)】。

つまり、本件原子力発電所の敷地周辺の地域的な特性に照らしても、入倉・三宅式を含む強震動予測レシピを地震動評価に用いることが妥当であることが確認されたのである。

ウ 以上より、本件原子力発電所の敷地周辺の地震動評価において、入倉・三宅式を適用することは妥当である。

(3) 地震動評価が安全側となるよう多面的に考慮していること

ア 債務者は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」の基準地震動策定に当たっては、『簡便な手法』である「応答スペクトルに基づく地震動評価」と、地域的な特性（「震源特性」、「伝播経路特性²²」及び「サイト特性²³」）を考慮し、より精緻に実像を評価できる『詳細な手法』である「断層モデルを用いた手法による地震動評価」の2つの評価手法を用いて適切な評価を実施している（図10）。

その過程において、債務者は、経験式自体にばらつき（内在する誤差）が存在することを踏まえ、その影響を極力小さくする努力を行うとともに、最終的に策定する基準地震動が過小なものとならないように、多面的な評価を行っている。

²² 伝播経路特性：伝播経路特性については、震源断層からの距離が遠ければ遠いほど、震源から放出された揺れは小さくなる。この、距離に応じて揺れが小さくなる現象を距離減衰という。ただし、地下の深いところの傾き等によって、影響を受けることがあるため留意しなければならない。

²³ サイト特性：サイト特性については、地盤が軟らかいほど増幅し、硬いほど増幅しない。地盤の軟らかい・硬いだけでなく、地盤の形状（整形・不整形）等によって増幅する例も見られる。

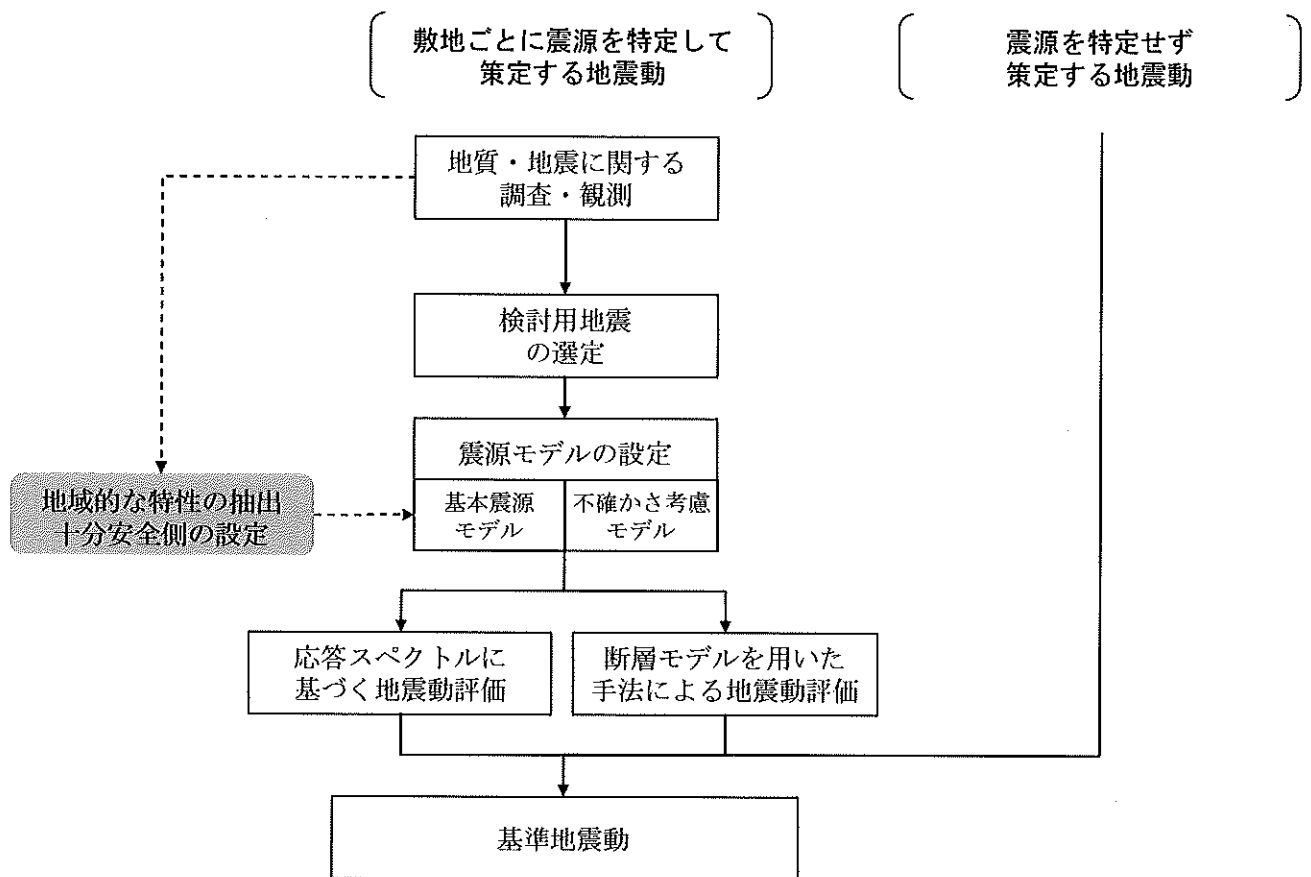


図 10 基準地震動 S_s の策定フロー

イ 具体的には、本件原子力発電所への影響が最も大きいと選定した2つの検討用地震（城山南断層による地震及び竹木場断層による地震）の「断層モデルを用いた手法による地震動評価」において、詳細な活断層調査等の結果及び観測記録に基づく分析により把握した地域的な特性を踏まえて、以下で述べるとおり、地震動評価に用いる「基本震源モデル」を十分安全側に設定している。さらに、上記分析等によっても十分に把握しきれないものについては不確かさとして考慮し、「不確かさ考慮モデル」として設定している。

(ア) 基本震源モデル

- ① 「断層長さ」については、調査により、活断層の存在の可能性が否定できない箇所まで「延ばす」ことによって長くなるように評価している。さらに、孤立した長さの短い竹木場断層（約5 km）については、

震源幅と同じ断層長さ（約 17km）が広がるものとして、より長く設定している【乙 61（9,70,84,91,93 頁）】。

② 「断層幅」については、微小地震分布（気象庁一元化震源データ）、防災科学技術研究所の地下の速度構造データ及び 2005 年福岡県西方沖地震における臨時余震観測²⁴データ（高い精度で余震分布領域を把握できる）から、2つの検討用地震で想定される断層幅は、2005 年福岡県西方沖地震震源と比べて小さい傾向にあるものの、安全側評価となるよう 2005 年福岡県西方沖地震に合わせて大きく設定した【乙 61（61,62,64～67 頁）】。

③ 「断層傾斜角」については、九州北部地方では、東西圧縮の応力場により、横ずれ主体の活断層が分布していること、また、検討用地震と同等規模（M7）で同じ九州北部地域で発生した 2005 年福岡県西方沖地震のメカニズムは鉛直横ずれ断層であることを踏まえて、強震動予測レシピに基づき、断層傾斜角を鉛直（90 度）に設定した。竹木場断層については、本件原子力発電所から最も近くに位置し、地質調査結果により、断層露頭では傾斜の傾向が見られること等を踏まえて、安全側に敷地への影響の度合いが大きくなるように西側傾斜（80 度）と設定した（西側に傾斜させることで、震源断層面が敷地に近づき、震源断層も大きくなる）【乙 61（84,140 頁）】【乙 69（36 頁）】。

④ 「アスペリティ位置」については、調査により活断層存在の可能性を認定した範囲で、敷地に最も近い位置に設定した【乙 61（84,89,90 頁）】。

⑤ 「破壊開始点²⁵」については、巨視的断層面（断層面全体）下端で、敷地に破壊が向かうように設定した【乙 61（84,89,90 頁）】。

(イ) 不確かさ考慮モデル【乙 61（84,89～94 頁）】

① 2つの検討用地震ともに、断層長さをさらに長くして、調査により活断層存在の可能性を認定した範囲で、敷地に最も近い位置に震源断

²⁴ 臨時余震観測：比較的大きな地震（本震）の発生直後から、震源域周辺等に地震計を設置し、震源特性の分析等を目的として余震データを収集すること。

²⁵ 破壊開始点：固着している断層面において、最初にずれ始める点（破壊が始まる点）のことであり、これを起点にして次第に断層面全体に破壊が広がる。

層面を想定した。

- ② 「断層傾斜角」については、2つの検討用地震ともに、断層傾斜角を60度として評価した（断層面を傾斜させることにより、基本震源モデルに比べて、震源断層面が敷地に近づき、震源断層面積及び地震モーメントが増加する。竹木場断層は、断層傾斜角の不確かさを考慮することにより、敷地直下まで震源断層を想定している）。
- ③ 「応力降下量」については、2007年新潟県中越沖地震（マグニチュード²⁶ 6.8）の知見を踏まえ、短周期レベル²⁷ Aに関する既往の経験式の1.5倍相当の値を考慮して、地震動評価を行った。
- ④ 「破壊開始点及びアスペリティの位置」については、破壊が敷地に向かう方向となる複数ケースを選定し、地震動評価を行った。

ウ また、債務者は、「応答スペクトルに基づく地震動評価」においても、Noda et al.(2002)²⁸で算定した地震動と本件原子力発電所敷地での観測記録とを比較したところ、本件原子力発電所敷地での観測記録の方が相対的に小さい傾向になることを確認し、地域的な特性を踏まえて修正する（実際の観測記録が小さいことを踏まえ下方修正する）ことも可能であったが、地震動評価がより安全側となるよう修正しなかった【乙 61

²⁶ マグニチュード：マグニチュード（M）とは、地震の際に放出するエネルギーを対数で表現したものをいう。マグニチュードには、日本で一般に用いられている気象庁マグニチュードのほか、モーメント・マグニチュード（Mw）等がある。

²⁷ 短周期レベル：短周期レベルとは、震源特性のうち強震動に直接影響を与える短周期領域における加速度震源スペクトルのレベルを表す値（ $N \cdot m/s^2$ ）をいう。なお、Nはニュートン、mはメートル、sは秒である。実際に発生した地震の短周期レベルは、地震観測記録から伝播経路特性及び地盤増幅特性の影響を取り除くことにより震源特性の加速度震源スペクトルを求めることで知ることができる。

短周期レベルと強震断層モデルとの関係については、短周期レベル（A）は、強震動生成域の面積（ S_a ）の平方根と強震動生成域の応力降下量（ $\Delta \sigma a$ ）との積に比例する値として、壇ほか（2001）の関係式で表される。

²⁸ Noda et al.(2002)：Noda et al.(2002)の方法については、日本電気協会原子力発電耐震設計専門部会にて、議論・検討されたことから、「耐専スペクトル」もしくは「日本電気協会の手法」と呼ばれることがある。

Noda et al.(2002)の方法は、岩盤における観測記録に基づいて提案された距離減衰式で、解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動の応答スペクトルを予測することができ、敷地における地震観測記録に基づいて補正することにより、地震の分類に従った震源特性、伝播経路特性及びサイト特性を的確に反映することが可能である。また、内陸地殻内地震に適用する場合には、周期0.02秒～0.6秒で0.6、周期0.6秒～5.0秒までは周期5.0秒で1.0となるよう、0.6秒から徐々に大きくなる補正係数を用いることができる。

(80頁)】。

エ このように、債務者は、地震動評価において多くの観点から安全側となる評価を行っており、本件原子力発電所の基準地震動は十分な余裕が確保されたものである。

3 債権者らの主張への反論

(1) 債権者らは、審査ガイド I.3.2.3(2)【乙 59 (3頁)】において「経験式が有するばらつきも考慮されている必要がある」としているにもかかわらず、債務者は「経験式が有するばらつきの考慮」を怠っており、経験式である「入倉・三宅式」において「ばらつき」を考慮すると「武村式」を採用するのとほぼ同じ結果になること、さらに、「武村式」において「ばらつき」を考慮すると、地震モーメント M_0 が、「ばらつき」を考慮しない「入倉・三宅式」の約 11.5 倍になると主張する。

(2) しかしながら、上記 2 で述べたとおり、債務者が用いた入倉・三宅式を含む地震動評価手法（強震動予測レシピ）は、各パラメータの評価式を基に体系的に評価した結果としての強震動が観測事実と整合することが検証され、手法の信頼性が確認されている。

また、債務者は、入倉・三宅式その他の経験式にばらつき（内在する誤差）が存在することを踏まえて、最終的に策定する基準地震動が過小なものとならないように、地震動評価全体において多面的な考慮を行っている。

「入倉・三宅式のばらつきを考慮していない」との債権者らの主張は、合理性を有しない。

なお、「経験式が有するばらつき」に関する審査ガイドの記載は、当該地域の地質調査等の結果を踏まえて設定される震源断層の面積等と経験式が前提とするモデルとの整合性など、当該「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際の留意事項として示されたものと解することができ、経験式そのものの修正を要求するものではない。

第7 まとめ

以上より、本件原子力発電所の基準地震動の設定において「入倉・三宅式」を適用することは科学的な合理性を有する妥当なものであるとともに、債権者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合理性のないものであることが明らかである。

第3章 玄海3号機における配管の安全性の確保

第1 はじめに

債務者は、玄海3号機の配管について、基準地震動に対する耐震安全性を確保するとともに、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に管理している。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。

以下において、配管の破断防止に向けた取り組み、1次系配管の破断時等における安全性の確保について述べるとともに、債権者らの主張に反論する。

第2 配管の破断防止に向けた取り組み

1 配管の管理の概要

玄海3号機における配管の安全性の確保、すなわち配管の設計・据付時における破断防止策及び保守点検による配管の安全性確保については、債務者準備書面8・9～14頁等で述べたとおりであるが、以下に改めてその概要を述べる。

(1) 玄海3号機で使用する配管は、配管の中を流れる内包流体の条件等を踏まえた上で安全が確保されるよう、材料の選定や設計を行っている。

具体的には、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【乙 28（21頁）】、また配管の設計にあたっては、上記の条件を踏まえた限界流速²⁹や応力解析³⁰の結果等を考慮し、寸法（配管の内外径や厚さ等）や配管ルート（配管の接続や曲げ角度、直管部の長さ等のレイアウト）を決定している【乙 29（235～237頁）】。

また、配管の据付時には、配管メーカーの厳格な品質管理で製造された配管を厳格な品質管理の下据付し、配管に問題がないことを確認している³¹。

- (2) 運転開始後は、配管の使用状況等に応じて、点検、補修、取替え及び改造（以下「点検・補修等」という。）の必要な保全³²を行っている。

すなわち、ステンレス鋼や炭素鋼といった配管の材料と1次冷却材や2次冷却材といった配管の内包流体の種類等との組み合わせから、当該配管に発生しうる経年劣化事象が異なる³³ところ、これらの経年劣化事象には設計の際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³⁴とできないものがあり、主に設計で防止できないものについては運転開始後の保全で対応している。

運転開始後の保全では、配管の使用状況や部品・部材等の劣化状況に応じ、定期的に点検・補修等を実施している。具体的には、保全プログラム

²⁹ 限界流速：配管の中を流れる流体の抵抗、振動等を考慮し、配管に影響を与えないような速度

³⁰ 応力解析：配管の内圧、自重、熱や基準地震動による地震力等により配管に生じる応力の解析

³¹ なお、同時に、後述の保全における経年変化の状況と比較するため、運転開始前の基本データを採取している。

³² 保全：原子力発電所の運転に関わる設備の機能を確認、維持又は向上させる活動。原子力発電所の安全確保を前提に、電力の供給信頼性を維持するとの観点から設備の重要さ度合いに応じて、効率性、経済性を考慮しながら行われる。

³³ 例えば、1次冷却材を内包する配管の多くは、耐食性に優れたステンレス鋼を使用しているが、ステンレス鋼管に想定される経年劣化事象としては、疲労割れ、応力腐食割れ、減肉（エロージョン）がある。

³⁴ 例えば、ステンレス鋼管の疲労割れには、適切に配管ルートを設計することにより、発生を防止できるものがある。

³⁵で保全を行うべき対象範囲を定め【乙 34 (5~6 頁, 15~16 頁)], 保全重要度³⁶に応じて点検計画, 補修・取替え・改造計画といった保全計画を立て【乙 34 (6 頁)], その保全計画に従って点検・補修等を実施している【乙 34 (9 頁)】。

また, 保全計画においては, 設備が関係法令, 関係規格, 基準に適合していることを確認するとともに, 設備の重要性を勘案して, 必要に応じて事故事例・科学的知見も考慮することとし【乙 34 (6, 19 頁)], 事故事例・科学的知見等を入手した場合には, 随時, 必要な点検・補修等を実施している。

(3) 配管については, 玄海 3 号機周辺で発生することが予測される地震に対しても十分な安全性を確保している。すなわち, 債務者は, 安全上重要な建物・構築物及び機器・配管系が基準地震動 (最大加速度 540 ガル) による地震力に対する耐震安全性を備えていることを確認している (債務者準備書面 4・41~59 頁)【乙 26 の 3 (6-6, 6-13 頁), 乙 13, 乙 26 の 4 (7-19~27 頁), 乙 14】。

(4) 以下, 債権者らが地震によって破損するおそれがあると主張する余剰抽出配管及び補助給水設備配管の, 各配管における材料の選定・設計及び保全など具体的な破断防止策について述べる³⁷。

2 余剰抽出配管の破断防止策

(1) 余剰抽出配管の役割

余剰抽出配管とは, 化学体積制御設備の一部である余剰抽出系統を構成する配管である (図 1 1)。化学体積制御設備は, 1 次冷却材中の腐食生成

³⁵ 保全プログラム: 保全の計画, 実施, 評価及び改善の活動を行うために必要なプロセス及びその内容を適切な単位ごとに具体的に定めたもの。

³⁶ 保全重要度: 安全機能, リスク情報, 供給信頼性及び運転経験等を勘案して保全プログラムを実行する際における構築物, 系統及び機器の重要さ度合い。

³⁷ なお, 債務者は新規制基準を踏まえ, 平成 25 年 7 月 12 日に, 玄海 3, 4 号機について, 原子炉設置変更許可, 工事計画認可及び保安規定変更認可をそれぞれ原子力規制委員会に申請しており, 現在, 当該各申請に対する審査が進められているところであるが, 配管の材料選定・設計及び保全に関しては, 従前の考え方から大きく変更となったものはない。

物等の不純物の除去等の水質調整，1次冷却設備中の1次冷却材保有量の調整等を目的として，1次冷却材の一部を1次冷却設備から抽出・処理し，再度1次冷却設備に充てんする機能を持つ。1次冷却材抽出のための系統は，抽出系統と余剰抽出系統との2系統があるが，通常運転中の抽出は抽出系統を用いて行い，余剰抽出系統は抽出系統に加えて抽出を行う必要がある場合（主にプラント起動時）に用いられ，通常運転中は用いられない。

余剰抽出配管を流れる1次冷却材は，1次系配管を流れる1次冷却材と同様，最大の圧力は約17MPa，最高の温度は約340℃³⁸である。

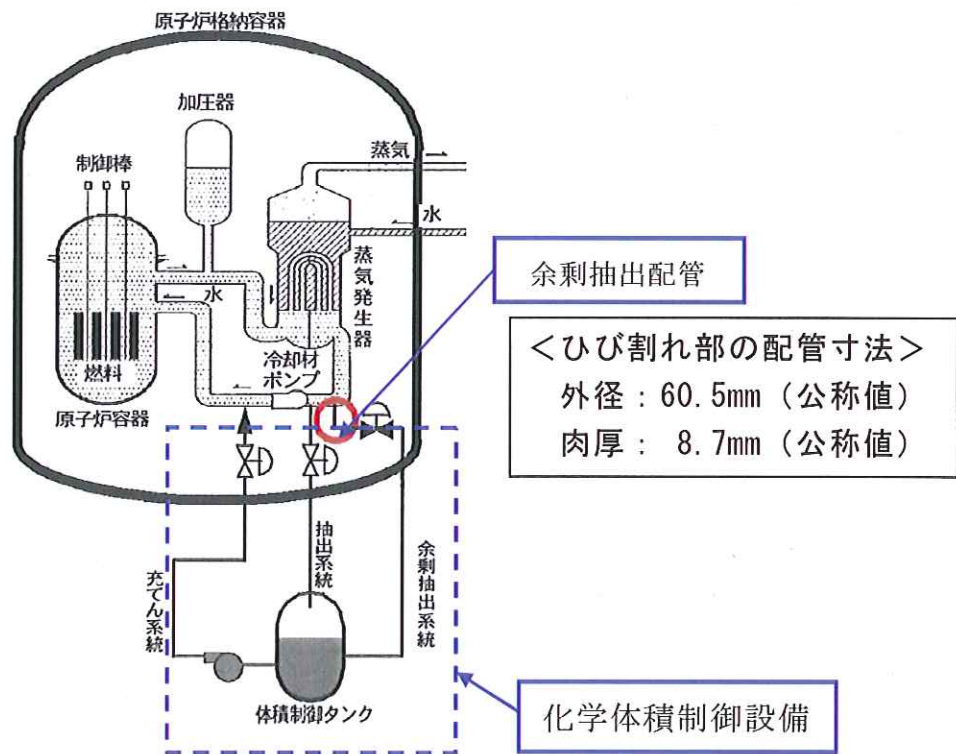


図1-1 余剰抽出系統の概要図（玄海2号機）
（赤○は，ひび割れが発生した箇所）

（2）余剰抽出配管の材料選定

- ア 余剰抽出配管の材料は，内包流体である1次冷却材が放射性物質を含んでいること及び上記の運転時の条件からステンレス鋼を使用している。ステンレス鋼を使用するのは，耐食性に優れている（劣化が生じにくい）

³⁸ 最大の圧力及び温度はいずれも設計値。

からである【乙 28 (22 頁), 乙 29 (232 頁), 乙 30 (131 頁)】。

イ なお、余剰抽出配管に使用する上記の材質は、法令等が定める基準（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 17 条）にも適合するものである。

（3）余剰抽出配管の設計

ア 債務者は、余剰抽出配管の設計にあたり、①配管の口径については、限界流速を考慮し、②配管の板厚については、使用圧力、管の外径等から求めた計算結果に基づき決定し、③配管ルートについては、応力解析の結果等を考慮して決定している【乙 29 (235～237 頁)】。また、配管ルートについては、疲労割れ（高サイクル熱疲労割れ）を防ぐため、その原因を排除することも考慮している³⁹。

イ また、債務者は、前述のとおり、余剰抽出配管（1次冷却材管との接続配管）を含む安全上重要な配管系が基準地震動（最大加速度 540 ガル）による地震力に耐えることができることを確認している。

ウ 余剰抽出配管に関する上記構造については、法令等が定める基準（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 17 条、5 条）にも適合するものである。

（4）運転の際の劣化防止策

債務者は、ステンレス鋼を使用した配管に想定される経年劣化事象の一つである応力腐食割れ（金属が酸素と反応して生じる錆の一種であり、金属の粒界に沿って割れが進む形態）を起こさないよう、1次冷却材の溶存酸素濃度を 5ppb⁴⁰以下と極めて低く制限するなどの1次冷却材の水質管理を実施している【乙 28 (22 頁)】。

（5）余剰抽出配管に対する点検・補修等

³⁹ 高サイクル熱疲労割れは、高温の熱水が流れる主配管から L 字型に伸びた閉塞分岐管内に滞留している低温水に、主配管からの高温の熱水が渦を巻いて流入し、その渦の先端が L 字型のエルボ部付近にある場合に発生する現象である。対策として、配管ルート（エルボ部までの距離）を渦の先端がエルボ部にこないように設計する【乙 70-2 (A13～A14 頁)】。

⁴⁰ ppb : 10 億分率。

ア 債務者は、前述の保全計画に従って、余剰抽出配管の溶接部については「浸透探傷検査（PT 検査）⁴¹」を、溶接部以外の耐圧部分（圧力保持範囲）については「漏えい検査⁴²」をそれぞれ実施している【乙 35（IB-2，IB-11，IB-15，IA-8，IA-10 頁）】。

イ 「浸透探傷検査（PT 検査）」は、定点サンプリング方式⁴³を採用しており、類似箇所を取り纏め、全検査対象箇所に対し維持規格に基づき機器と配管との溶接継手等の構造不連続部位、使用環境条件の厳しい部位、過去の損傷発生部位等を、当該機器の重要性、接近性等の検査性、過去の検査実績等を勘案して「定点」（全検査対象箇所の 25%）を選定し、各定点について 10 年間に 1 回の頻度で検査を実施している。なお、検査箇所で異常が発見された場合には、定点に限らず、全検査対象箇所に水平展開する。

玄海 3 号機については直近、第 10 回定期検査（平成 18 年 12 月 17 日～平成 19 年 4 月 11 日）で実施している【乙 71-2（22 頁），乙 55】。

ウ 「漏えい検査」は、定期検査の都度実施しており、玄海 3 号機については直近、第 12 回定期検査（平成 21 年 8 月 30 日～平成 21 年 12 月 2 日）で実施している【乙 72（11 頁），乙 57】。

エ さらに、これらとは別に、他電力における余剰抽出配管のひび割れの発生を踏まえて、玄海 3 号機については「超音波探傷検査（UT 検査）⁴⁴」を第 10 回定期検査（平成 18 年 12 月 17 日～平成 19 年 4 月 11 日）で実施し、異常のないことを確認している【乙 71-2（30 頁），乙 55】。

また、玄海 3 号機については、設備の信頼性維持・向上を図るため、

⁴¹ 浸透探傷検査：非破壊検査の一つで、検査物の表面に浸透液を塗布し、その後表面に付着している余剰浸透液を洗浄、乾燥後表面に現象剤を吹き付けることによって、亀裂等に浸透した浸透液が表面に染み出てくることにより亀裂等を検出する検査のこと。

⁴² 漏えい検査：検査物の内部に流体又は空気等の気体を注入し、圧力をかけて漏えいの有無を検出する検査のこと。

⁴³ 経年劣化の有無を確認することが重要であるとの観点から、同一部位を繰り返し検査すること。

⁴⁴ 超音波探傷検査：非破壊検査の一つで、検査物に超音波をあて、その反射波（エコー）の大きさ、ひろがり等から内部のきず等を検出する検査のこと。

より抜本的な対策として、第 11 回定期検査（平成 20 年 5 月 2 日～平成 20 年 7 月 31 日）で余剰抽出配管の取替えを実施した【乙 73-2(43 頁), 乙 56】。

(6) 玄海 2 号機のひび割れ事象について

玄海 2 号機でひび割れが生じた部位は、余剰抽出配管のうち溶接部以外の耐圧部分であり、保全計画では「漏えい検査」のみの対象としているところ、他社の事故事例を踏まえて「超音波探傷検査（UT 検査）」を実施したことによって発見したものである。当該部位は、溶接等がなく、過去のトラブル事例等もなかったため、保全計画において「漏えい検査」のみの対象としていたものであって、それ自体は何ら不合理なことではない。

なお、万一当該部位で小規模漏えいや破断が生じても、玄海 3 号機の安全性に問題がないことは、後述のとおりである。

3 補助給水設備配管の破断防止策

(1) 補助給水設備の役割

補助給水設備は、加圧水型（PWR 型）原子力発電所において、原子炉が 1 次系配管の破断等により緊急停止した場合などに起動する設備である。すなわち、1 次系配管の破断等により原子炉が緊急停止した場合、2 次冷却材の循環に通常用いている主給水ポンプ⁴⁵に代わり、補助給水ポンプが起動することによって、別途設けている復水タンク等から補助給水管及び主給水管を經由して蒸気発生器へ 2 次冷却材を供給し、1 次冷却材と熱交換することにより、原子炉を冷却（原子炉停止後の崩壊熱を除去）する。

補助給水設備配管は、図 1 2 のとおり、A～E の 5 つの部分から構成されており、A～C 及び E 部分の配管の最高使用圧力及び最高使用温度は約 8.2MPa、約 300℃であり、D 部分の配管の最高使用圧力及び最高使用温度は約 0MPa、約 40℃である。

⁴⁵ 主給水ポンプ：所定の電気出力を生むために必要な蒸気を発生させるための水を蒸気発生器に送ることを主な役割とする設備であり、発電所の通常運転に不可欠な設備。

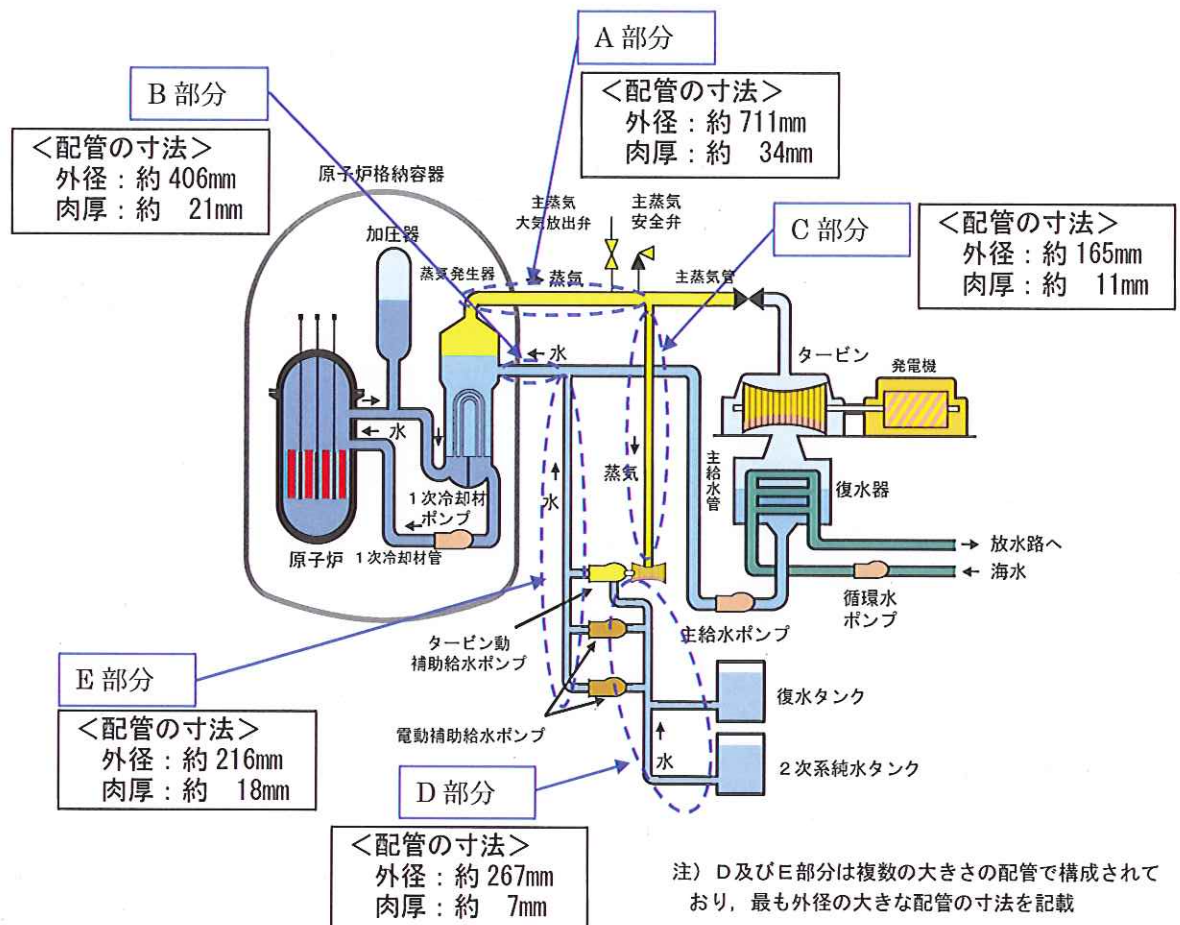


図 1 2 補助給水設備の概要図（玄海 3 号機）

(2) 補助給水設備配管の材料選定

ア 補助給水設備配管の材料は、内包流体である 2 次冷却材が放射性物質を含んでいないこと及び上記の運転時の条件を踏まえ、A～C 及び E 部分の配管には火力プラント等で多数の使用実績がある炭素鋼を使用している【乙 28 (23 頁), 乙 29 (235 頁), 乙 30 (131～132 頁)】。D 部分の配管は、屋外に設置してある箇所があることから耐食性に優れたステンレス鋼を使用している。

イ 補助給水設備配管に使用する上記の材質は、余剰抽出配管と同様、法令等が定める基準にも適合するものである。

(3) 補助給水設備配管の設計

ア 債務者は、補助給水設備配管の設計にあたり、各配管の使用条件等を

考慮し、①配管の口径、②配管の板厚、③配管ルート等を決定している【乙 29 (235～237 頁)】。

イ また、債務者は、前述のとおり、補助給水設備（ポンプ、配管）を含む安全上重要な機器・配管系が、基準地震動（最大加速度 540 ガル）による地震力に耐えることができることを確認している。

ウ 補助給水設備の配管に関する上記構造については、法令等が定める基準にも適合するものである。

(4) 運転の際の劣化防止策

債務者は、炭素鋼を使用した配管に想定される経年劣化対策の一つとして、2次冷却材の pH を 8.5 以上に保つ（冷却材をアルカリ性に保つことによって、鉄と反応して錆を発生させる酸の活動を抑えている）などの2次冷却材の水質管理を実施している【乙 28 (23 頁)】。

(5) 補助給水設備配管に対する点検・補修等

ア 債務者は、前述の保全計画に従って定期検査の際、補助給水設備配管のうち、A及びB部分の配管に対しては「肉厚測定（減肉管理）」及び「漏えい検査」を、C及びE部分の配管に対しては「肉厚測定（減肉管理）」及び「外観検査」を、D部分の配管に対しては「外観検査」をそれぞれ実施している。

イ 「肉厚測定（減肉管理）」は、定期検査の際に実施しているが、測定対象部位全てについて定期検査の都度実施しているわけではなく、測定対象部位ごとに測定結果から配管肉厚の余寿命を評価し、それに基づき次回測定時期を設定している。直近、A及びC部分については第 12 回定期検査（平成 21 年 8 月 30 日～平成 21 年 12 月 2 日）において、B部分については第 11 回定期検査（平成 20 年 5 月 2 日～平成 20 年 7 月 31 日）において、E部分については第 10 回定期検査（平成 18 年 12 月 17 日～平成 19 年 4 月 11 日）において、それぞれ「肉厚測定（減肉管理）」を実施しており、いずれも異常のないことを確認している【乙 51, 52, 53, 55, 56, 57】。

ウ 「漏えい検査」については、10年間の検査期間中に対象となる配管全体を網羅するように実施しており、直近、A及びB部分については第12回定期検査において実施し、異常のないことを確認している【乙54, 57】。

エ 「外観検査」については、定期検査の都度実施しており、直近、第12回定期検査において実施し、異常のないことを確認している【乙53, 57】。

オ なお、補助給水設備の配管は、事故時に備えるものであり、常に水や蒸気の流れがあるわけではないため、減肉管理の必要性は低く、法令上も減肉管理は求められていない。

すなわち配管の減肉は、水や蒸気流れることにより発生するため、主に事故時に使用する系統など使用時間が短く（流れが発生する時間が短く）、減肉の発生が無視できる配管や流れのない配管については、減肉管理の対象から除外することができるからである。

この点、原子力規制委員会が制定した「発電用原子炉施設の使用前検査、施設定期検査及び定期事業者検査に係る実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則のガイド」においても、「技術基準第17条及び第55条への適合性を確認するために行う検査のうち、配管の摩耗を確認するための十分な方法」が定められており、玄海3号機の型式であるPWRにおいては日本機械学会「発電用原子力設備規格 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）」に規定する方法で試験を行うこととされているところ、同技術規格においても、使用時間が短く、減肉の発生が無視できる配管や流れのない配管については、減肉管理の対象から除外することができることを明記している【乙74（3頁）、乙16（16頁）】。

4 小括

以上述べたとおり、玄海3号機の配管については、想定される経年劣化事象に対して、設計の段階で適切に考慮するとともに、運転開始後におい

ても適切に保全を行うことによって、配管が破断しないよう管理している。あわせて、基準地震動による地震力に対する耐震安全性を確認しており、配管の安全性について問題はない。

第3 1次系配管の破断時等における安全性の確保

玄海3号機の配管の安全性が確保されていることは上述のとおりであるが、仮に配管に漏えいが発生し、更には万一破断事故が発生したとしても、玄海3号機の安全性は確保される。このことは、債務者準備書面8・14～21頁等で述べたところであるが、再度以下のとおり説明する。

1 仮にひび割れが貫通したとしても原子炉を安全に停止できること

玄海2号機の余剰抽出配管のひび割れ事象は、保全（点検）の結果、ひび割れが当該発生部（以下「本件L字部分」という。）を貫通する前に発見したものであるが、仮にひび割れが本件L字部分を貫通していたとしても、1次冷却材が喪失するような事故に至る前に原子炉を安全に停止・冷却することができる。

すなわち、仮にひび割れが進行して本件L字部分を貫通した場合、ひび割れの貫通部から1次冷却材のわずかな漏えいが生じ、原子炉格納容器モニタの数値上昇⁴⁶や凝縮液量測定装置の凝縮液量の増加⁴⁷、格納容器サンプ水位の上昇率増加⁴⁸等によって漏えいを早期に検知することができる。したがって、本件L字部分が破断するに至る前に原子炉停止等の適切な対応が取れる。

⁴⁶ 漏えいした1次冷却材の一部は、蒸気となり原子炉格納容器内に循環している空気流に混合するため、原子炉格納容器モニタにより原子炉格納容器内空気の放射能を測定することにより漏えいが検知される。

⁴⁷ 漏えい蒸気が原子炉格納容器内の冷却装置で凝縮されることを利用して、その凝縮液量を測定することにより漏えいを検知する。

⁴⁸ 漏えいした1次冷却材は、最終的には原子炉格納容器内の底部に設置された格納容器再循環サンプ（水槽）に集まるのでその水位上昇を測定することにより漏えいを検知する。

2 本件 L 字部分が破断に至っても原子炉を安全に冷却できること

また、仮に本件 L 字部分が破断し、1 次冷却材が流失するような事故に至ったとしても、本件 L 字部分が属する配管の口径は小さく、1 次冷却材の漏えい量は小さいので、原子炉の緊急停止後、非常用炉心冷却設備(E C C S⁴⁹)及び補助給水設備により原子炉を安全に冷却することができる⁵⁰。したがって、玄海 3 号機において、債権者らが主張する炉心溶融のような重大事故に至る可能性はない。

以下、1 次系配管が破断した場合における(1)原子炉の緊急停止、(2)非常用炉心冷却設備(E C C S)等の作動、及び(3)補助給水設備による冷却について述べる。

(1) 原子炉の緊急停止

1 次系配管の破断等により原子炉格納容器内に 1 次冷却材が漏えいした場合、検出器が 1 次冷却材の流量等の異常を検知し、中央制御室へ警報が発せられる。あわせて、燃料や原子炉容器等の損傷を防止するため、検出器があらかじめ定めた許容値を超える異常を検知した時点で「原子炉トリップ信号」により、制御棒が急速に挿入され、原子炉は自動的に緊急停止する⁵¹(制御棒が中性子を吸収し核分裂反応が停止)。

(2) 非常用炉心冷却設備(E C C S)等の作動

ア 非常用炉心冷却設備(E C C S)の作動

非常用炉心冷却設備(E C C S)とは、1 次系配管の破断等により燃料や原子炉容器等に損傷のおそれがある場合(1 次冷却材が原子炉格納容

⁴⁹ 非常用炉心冷却設備(E C C S) : Emergency Core Cooling System

⁵⁰ なお、債務者は、本件 L 字部分が属する配管よりも口径が大きく、したがって破断時の 1 次冷却材の漏えい量がより大きい 1 次冷却材管が破断した場合にも、原子炉は安全に停止できることを確認している。

⁵¹ 具体的には、運転時には、制御棒は制御棒駆動装置により燃料集合体からほぼ全部を引き抜いた状態で保持されているが、原子炉トリップ信号によって原子炉トリップ遮断器が自動的に開放され(制御棒を保持している制御棒駆動装置への電源が遮断され)、制御棒駆動装置による保持力が失われて制御棒が自重で炉心に落下することで、原子炉を緊急停止できる。

器へ漏えいし、燃料が露出、損傷するなど)に、原子炉内にほう酸水⁵²を注水する設備である。以下の3つの注水系統から構成されており、検出器が1次冷却材圧力の著しい低下や原子炉格納容器圧力の上昇等の異常を検知した際に自動作動し、原子炉への注水を開始する(図13)。

① 高圧注入系

高圧注入系は、高圧注入ポンプにより、燃料取替用水タンク⁵³に貯蔵されているほう酸水を原子炉内に注水する系統である⁵⁴。高圧注入ポンプは、1次冷却設備を構成するいかなる配管の破断等を想定しても、1台のみで炉心の損傷を防止するに十分な量のほう酸水を原子炉容器内に注水できる容量のポンプを2台分離して設置しており(2系列)、ポンプの電動機は各々独立した非常用母線に接続している。また、外部電源が喪失した場合でも、非常用ディーゼル発電機から受電できる。さらに、燃料取替用水タンク内の水量が減少した場合には、水源を格納容器再循環サンプに切り替え、原子炉格納容器の底に溜まった水を再循環して注水することができる⁵⁵。

② 低圧注入系

低圧注入系は、高圧注入系と同様、1次冷却設備を構成するいかなる配管の破断等を想定しても1台のみで炉心の損傷を防止するに十分な量のほう酸水を原子炉容器内に注水できる容量の余熱除去ポンプを2台備え(2系列)、高圧注入ポンプによる注水等により原子炉容器内の圧力が一定程度低下した際に、燃料取替用水タンクに貯蔵したほう酸水

⁵² ほう酸水：中性子を吸収する物質であるほう素を溶かした水。ほう酸水の注入により核分裂の速度を遅くできる。

⁵³ 燃料取替用水タンク：ほう酸水を貯えるタンク。事故等発生時には、非常用炉心冷却設備、原子炉格納容器スプレイ設備の水源となる。

⁵⁴ 1次系配管の破断により、高圧注入系の高圧注入ポンプ及び低圧注入系の余熱除去ポンプが直ちに自動作動し、原子炉容器の圧力が高い際には高圧注入系が、その後原子炉容器の圧力が低下すると低圧注入系がそれぞれほう酸水を注水する。

⁵⁵ 注水され、原子炉格納容器の底(格納容器再循環サンプ)に溜まったほう酸水は、燃料の崩壊熱を奪って、自身の温度は上昇しているが、再循環する場合は冷却器で冷却され、注水される。後述する原子炉格納容器スプレイ設備の再循環の場合も同スプレイ設備冷却器で冷却されたほう酸水が注水される。

う酸水を原子炉内に注水する系統である。低圧注入系も、非常用ディーゼル発電機の利用、格納容器再循環サンプからの給水の利用ができることは高圧注入系と同じである。

③ 蓄圧注入系

蓄圧注入系は、ほう酸水を貯える蓄圧タンク（4基）という窒素ガスで加圧されたタンクと1次冷却設備とを配管で接続した装置であり、1次冷却材の圧力が一定程度低下した場合に、外部駆動源を必要とせず、逆止弁の自動開放によってほう酸水を原子炉内に自動的に注水する。

イ 原子炉格納容器スプレイ設備の作動

原子炉格納容器スプレイ設備は、格納容器スプレイポンプ（2台）及びスプレイリング等で構成された設備であり、燃料取替用水タンク内のほう酸水に苛性ソーダを混ぜた冷却水を原子炉格納容器内に噴霧する設備であり、1次系配管の破断等による原子炉格納容器内の圧力上昇が検知された時点で自動作動する（図13）。

このような設備が具備されているのは、第一に、1次系配管が破断し、高圧・高温の1次冷却材が蒸気の状態で原子炉格納容器内に充満した場合、原子炉格納容器内の圧力・温度が上昇し、原子炉格納容器が破損するおそれがある。このため、スプレイリングから冷却水を原子炉格納容器内に噴霧することによって、蒸気を凝縮して水に変え（体積を減少させ）、原子炉格納容器内の圧力・温度を低下させるためである。第二には、苛性ソーダを添加し、噴霧することによって1次系配管の破断等により原子炉格納容器内に漏えいした放射性よう素と苛性ソーダとを反応させ、放射性よう素を除去するためである⁵⁶。また、燃料取替用水タンクの水量が減少した場合には、水源を格納容器再循環サンプに切り替え、注水を継続できる。

⁵⁶ 苛性ソーダは、原子炉格納容器内に漏えいした1次冷却材（蒸気）に含まれる気体状の放射性よう素と反応し、よう素イオンを生成する。よう素イオンは噴霧された冷却水に取り込まれるため、放射性よう素の周辺環境への放出を防ぐことができる。

ウ・アニュラス空気浄化設備の作動

アニュラス空気浄化設備は、アニュラス部という原子炉格納容器を取り巻く、密閉された空間に設置された設備であり、非常用炉心冷却設備（ECCS）の作動と同時に自動作動する（図13）。

アニュラス空気浄化設備（2台）は、アニュラス空気浄化ファン、アニュラス空気浄化フィルタユニット等により構成された設備であり、アニュラス空気浄化ファンの作動によりアニュラス部の圧力を原子炉格納容器より負圧にし、アニュラス部に漏れ出た原子炉格納容器の空気（蒸気）に含まれる放射性物質をアニュラス空気浄化フィルタユニットにより除去する。

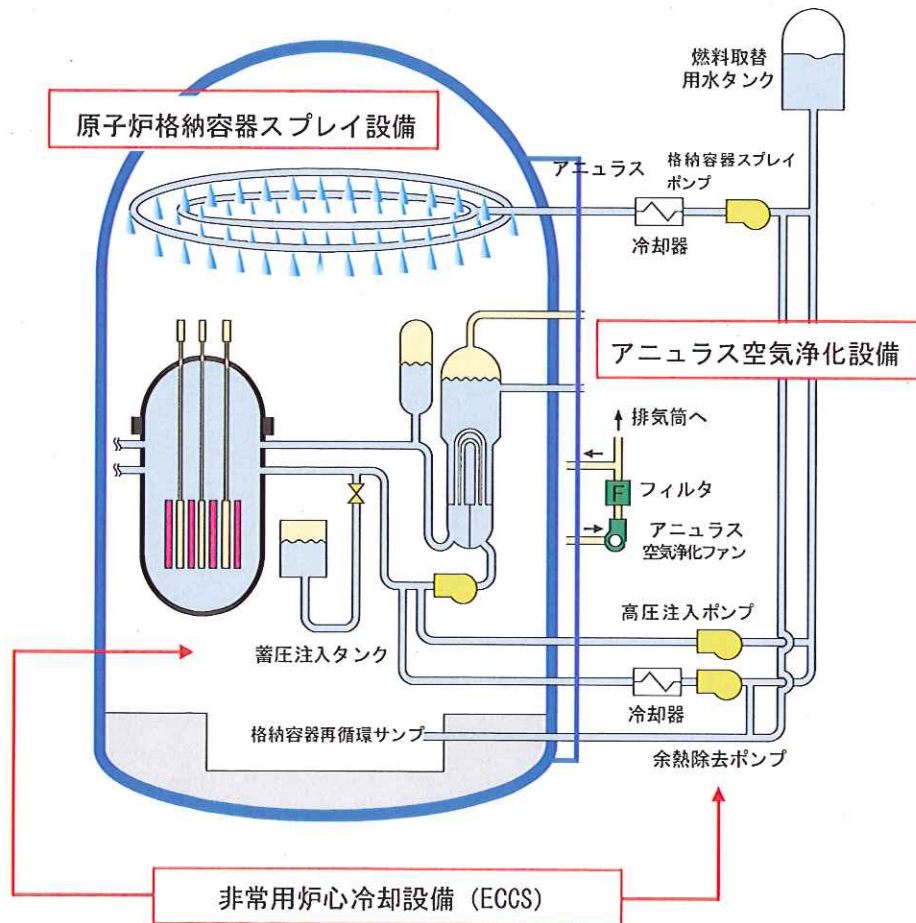


図13 非常用炉心冷却設備（ECCS）等の概略図

(3) 補助給水設備による冷却

補助給水設備は「第3章第2の3」で述べたとおり、2次冷却材の循環に通常用いている主給水ポンプが使用できない場合や1次系配管の破断等により非常用炉心冷却設備(ECCS)が作動した場合などに、復水タンク等から蒸気発生器へ2次冷却材を供給し、1次冷却材と熱交換することにより、原子炉を冷却(原子炉停止後の崩壊熱を除去)する設備である(44頁, 図12)。

補助給水設備は、1次系配管の破断等により非常用炉心冷却設備(ECCS)が作動した際、自動作動し、原子炉の冷却を開始する。

補助給水設備には、電動機により駆動する電動補助給水ポンプと動力源として電力を必要とせず、蒸気タービンにより駆動するタービン動補助給水ポンプとがあり、玄海3号機には前者が2台、後者が1台設置されている。電動補助給水ポンプの電動機は、外部電源が失われた場合でも、非常用ディーゼル発電機から電源供給を受けることができる。タービン動補助給水ポンプは、動力源として電力を必要とせず、主蒸気管から分岐した蒸気で駆動するため、外部電源及び非常用ディーゼル発電機からの電源が失われた場合にも運転が可能である。また、原子炉停止後の崩壊熱除去のために、余剰な蒸気を逃がす(1次冷却材で除去した原子炉の崩壊熱を蒸気発生器で2次冷却材へ伝え、蒸気(放射性物質を含まない)として大気へ逃がす)必要が生じた場合には、蒸気を大気に直接放出する主蒸気逃がし弁を手動で開ける等の操作ができ、仮に主蒸気逃がし弁が動作不能となった場合にも、主蒸気安全弁により蒸気を大気に放出できる。

なお、こうした補助給水設備による冷却は、非常用炉心冷却設備(ECCS)による注水により蒸気発生器が1次冷却材で満たされ、1次冷却材の自然循環が期待できる場合に効果的である。万一補助給水設備による冷却が期待できないような1次系配管の破断が発生した場合も、非

常用炉心冷却設備（ECCS）による原子炉容器への注水等により原子炉を冷却することができ、炉心が著しく損傷することはない。【乙 46（1～7頁）】

3 小括

万一1次系配管にひび割れによる貫通や破断が発生した場合においても、玄海3号機においては、速やかに当該事象を検知し、運転中の原子炉を緊急停止し、非常用炉心冷却設備（ECCS）や補助給水設備により原子炉を冷却することができるため、原子炉の安全性は確保できる。

第4 その他債権者らの主張に対する反論

債権者らは、地震により余剰抽出配管が破断した場合の事故の様相を独自に想定し、炉心溶融が起こる蓋然性がある旨主張する。以下に、債権者らが述べる事故の様相に順じ、反論する。

1 炉心溶融に至ることはないこと

(1) 債権者らは、余剰抽出配管のような1次系配管の小口径配管が破断した際に地震動により補助給水設備配管が破損した場合には、補助給水設備による蒸気発生器を通じた原子炉の冷却ができず、炉心溶融に至る可能性が高い旨主張する（債権者ら申立の理由の変更申立書・18, 19頁）。

(2) しかしながら、玄海3号機の1次系配管や補助給水設備配管等は、基準地震動による地震力に対する耐震安全性を確保しているため、地震動により破損することはない。また、万一補助給水設備が機能しない場合にも、非常用炉心冷却設備（ECCS）による原子炉への注水により原子炉を冷却することができるので、債権者らの主張には理由がない。

2 原子炉格納容器の破損に至ることはないこと

- (1) 債権者らは、炉心溶融がおきると溶融燃料が原子炉容器の底を溶かし、原子炉格納容器に落下し、原子炉格納容器が破損すれば大量の放射性物質が原子炉施設外に流出する旨主張する（債権者ら申立の理由の変更申立書・19, 20頁）。
- (2) しかしながら、玄海3号機の1次系配管や補助給水設備配管等は、適切に設計、保全がなされ、基準地震動に対する耐震安全性も備えている。万一1次系配管の破断が発生した場合でも、非常用炉心冷却設備（ECCS）による原子炉容器内への注水等により原子炉を冷却することができるので、炉心の著しい損傷に至ることはない。

また、債務者は、福島第一原子力発電所の事故を契機に従来からさらに安全性を向上させ、非常用炉心冷却設備（ECCS）や補助給水設備等という信頼性の高い安全上重要な設備がその安全機能を喪失するような事象をもあえて想定したうえ、そうした事態においても炉心の著しい損傷や原子炉格納容器の破損を防止できるように、表3のとおり、事態収束のための手順の整備や、常設及び可搬型の設備（注水設備、電源設備等）を新たに設置している。

表3 新たに設置した常設及び可搬型の主な設備

	設置目的	新たに設置した常設及び可搬型の設備
冷やす	炉心への注水	常設電動注入ポンプ (1台/プラント) 可搬型ディーゼル注入ポンプ (6台)
	熱の逃がし場の確保	移動式大容量ポンプ車 (3台)
	水源の確保 (八田浦ダムまたは海からの給水)	取水用水中ポンプ (14台), 中間受槽 (5台) 復水タンク補給用水中ポンプ (10台)
	使用済燃料ピットへの注水	使用済燃料ピット補給用水中ポンプ (6台)
放射性物質を閉じ込める	原子炉格納容器へのスプレイ	常設電動注入ポンプ (1台/プラント) 可搬型ディーゼル注入ポンプ (6台) ※炉心注水と共用
	水素爆轟の防止	静的触媒式水素再結合装置 (5個/プラント) 電気式水素燃焼装置 (イグナイター, 14個/プラント)
	放射性物質の拡散抑制	放水砲 (2台), 移動式大容量ポンプ車 (1台) シルトフェンス (海中カーテン)
電源の強化	交流電源の確保	大容量空冷式発電機 (1台/プラント) 号炉間電力融通ケーブル 中容量発電機車 (2台), 高圧発電機車 (4台) 燃料油貯蔵タンク (2基/プラント), タンクローリ (2台以上)
	直流電源の確保 (計測制御機器の電源)	蓄電池 (重大事故対処用, 2組/プラント) 可搬型直流電源設備 (6台)

(注) 常設及び可搬型設備で「/プラント」の記載のない設備は、玄海原子力発電所4号機との共用設備。

- (3) 債権者らが債務者の新規規制基準適合性審査における資料から引用している原子炉格納容器破損防止対策（格納容器過圧・過温破損）は、債務者が新たに設置した常設及び可搬型の設備等により事故等発生時に熔融炉心により原子炉格納容器が破損に至らないことを評価・確認したものである。具体的には、評価条件として、あえて炉心を損傷させるため、最も厳しい事象として「大破断LOCA時に非常用炉心冷却設備(ECCS)の低圧注入及び高圧注入機能並びに原子炉格納容器スプレイ注入機能が喪失する事象」、すなわち通常では破断が考えられないような配

管が大破断し、多重性及び独立性を有している非常用炉心冷却設備(ECCS)の低圧注入系及び高圧注入系が全て機能喪失するという事態をあえて想定したものである。さらに、新たに設置した常設電動注入ポンプによる代替格納容器スプレイ、及び格納容器再循環ユニット⁵⁷による原子炉格納容器内自然対流冷却の有効性を確認する観点から、外部電源及び非常用ディーゼル発電機並びに原子炉補機冷却機能⁵⁸の喪失を付加している⁵⁹。【乙 75-2 (3.1-6 頁)】

評価した結果、新たに設置した大容量空冷式発電機により交流動力電源を確保した後、新設した常設電動注入ポンプによる代替格納容器スプレイにより原子炉格納容器雰囲気冷却・減圧及び原子炉下部キャビティへの注水を実施し、溶融炉心を同キャビティで冷却するとともに、格納容器再循環ユニットによる原子炉格納容器の除熱により、原子炉格納容器が破損に至らないことを確認している(図14)。【乙 75-2 (3.1-25 頁)】

⁵⁷ 格納容器再循環ユニット：原子炉補機冷却水が通るコイル等を内蔵した機器で、事故時には、水蒸気を冷却・凝縮することにより、原子炉格納容器内の温度・圧力を下げる設備。

⁵⁸ 原子炉補機冷却機能(設備)：1次冷却材や原子炉格納容器内の雰囲気、非常用ディーゼル発電機等の水冷式の機器等と熱交換するための原子炉補機冷却水を供給する原子炉補機冷却水設備及び熱交換により水温が上昇した原子炉補機冷却水を冷却し、最終ヒートシンク(海)へその熱を移送する原子炉補機冷却海水設備(原子炉補機冷却水冷却器や海水ポンプ等)から構成される設備。

⁵⁹ 外部電源及び非常用ディーゼル発電機並びに原子炉補機冷却機能の喪失を考慮することにより、大容量空冷式発電機による交流動力電源の確保及び原子炉補機冷却設備の代替となる移動式大容量ポンプ車の準備に要する時間が必要となり、厳しい(安全側の)評価となる。

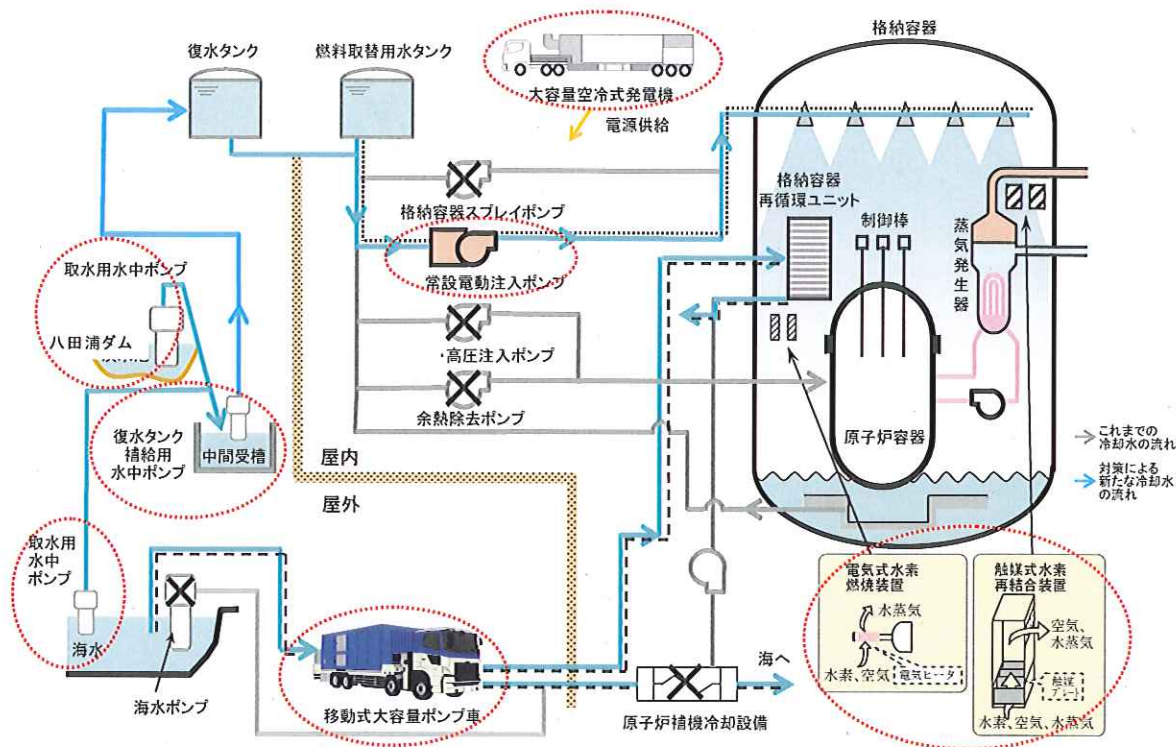


図 1 4 原子炉格納容器破損防止対策の概略図

(上記評価における対策等, ○内は新たに設置した設備)

(4) また、債権者らは、上記評価における対策をもって、原子炉容器内の炉心の冷却によって原子炉格納容器の破損防止を求める設置許可基準規則 3 7 条 2 項に違反している旨主張する（債権者ら申立の理由の変更申立書・19～20 頁）。

しかしながら、そもそも設置許可基準規則 3 7 条 2 項⁶⁰は、設置許可基準規則の解釈によると「想定される格納容器破損モードに対して、原子炉格納容器の破損を防止し、かつ、放射性物質が異常な水準で敷地外へ放出されることを防止する対策に有効性があることを確認する」ことを求めたものである【乙 60 (76 頁)】。債務者は、前述のとおり、

⁶⁰ 設置許可基準規則 3 7 条 2 項：発電用原子炉施設は、重大事故が発生した場合において、原子炉格納容器の破損及び工場等外への放射性物質の異常な水準の放出を防止するために必要な措置を講じたものでなければならない。

格納容器破損モードのひとつである「雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）」に対し、原子炉格納容器の破損を防止できることを評価・確認している。

3 水素爆轟に至ることはないこと

- (1) 債権者らは、溶融燃料が原子炉容器を破損して原子炉格納容器内に落下した場合、原子炉容器内にあった水素が原子炉格納容器内に放出されるなどして水素爆轟が起こり、原子炉格納容器が破損する旨主張する（債権者ら申立の理由の変更申立書・21～22頁）。
- (2) しかしながら、繰り返し述べるとおり、玄海3号機の1次系配管や補助給水設備配管等は、適切に設計、保全がなされ、基準地震動による地震力により破断に至ることはなく、万一1次系配管の破断が発生した場合でも非常用炉心冷却設備（ECCS）等により原子炉を冷却できるので、水素発生につながるような炉心の著しい損傷に至ることはない。

また、玄海3号機は加圧水型(PWR型)原子炉であり、沸騰水型(BWR型)原子炉の福島第一原子力発電所と比べ、原子炉格納容器が大きく、自由体積が大きい(約10倍)ことから、万一原子炉格納容器内に水素が発生したとしても水素濃度が高濃度となりにくい特徴を有しているところ、玄海3号機においては、福島第一原子力発電所事故を契機に、水素濃度を低減するための静的触媒式水素再結合装置⁶¹を5台設置するとともに、より一層の水素低減を図るための設備として電気式水素燃焼装置(イグナイタ)⁶²を14台設置(予備1台含む)している(55頁:表3, 57頁:図14)。

- (3) その上で債務者は、最も厳しい事象として、「大破断LOCA時に非

⁶¹ 静的触媒式水素再結合装置：触媒（白金，パラジウム）により水素を酸素と反応させて水にする装置。

⁶² 電気式水素燃焼装置（イグナイタ）：電気ヒータにより水素を燃焼させて水にする装置。

常用炉心冷却設備(ECCS)の低圧注入及び高圧注入機能が喪失する事象」をあえて想定し、その上で水素濃度低減を図るために設置した電気式水素燃焼装置(イグナイタ)が機能しないという安全側の条件も付加して評価した結果、炉心が溶融した場合においても水素爆轟に至らないことを評価・確認している【乙75-3(3.4-5, 3.4-6, 3.4-8, 3.4-18頁)】。

第5 まとめ

債務者は、以上のとおり、配管の破断防止に向けた取り組みに万全を期しており、配管破断等が生じること自体がまず考えられないところ、万一の1次系配管の破断等発生時には炉心の著しい損傷を防止する対策として非常用炉心冷却設備(ECCS)等の安全確保対策を講じている。

したがって、配管の安全性は確保されており、また、仮に配管に異常が生じたとしても玄海3号機の安全性は十分に確保されているのであるから、債権者らの主張するような重大事故(1次系配管の破断、炉心溶融から水素爆轟による原子炉格納容器等の破損)に至ることはない。

第4章 まとめ

以上のとおり、債権者らの請求に理由はなく、よって本件申立ては速やかに却下されるべきである。

以上