

(案)

耐震設計審査指針の改訂に伴う

国立大学法人京都大学原子炉実験所研究用原子炉施設 (KUR)

耐震安全性に係る評価について (案)

平成 22 年 9 月 7 日

文 部 科 学 省
研究炉等安全規制検討会
試験研究用原子炉施設耐震安全性評価
妥当性確認ワーキンググループ

目 次

| | |
|----------------------------------|----|
| 1 . はじめに | 1 |
| 2 . 主な経緯 | 2 |
| 3 . 検討結果 | 3 |
| 3 . 1 耐震バックチェック報告の妥当性確認に係る主なポイント | 3 |
| 3 . 2 基準地震動 Ss の妥当性 | 4 |
| (1) 敷地周辺の地質・地質構造の評価 | 4 |
| 1) 中央構造線断層帯(和泉山脈南縁 金剛山地東縁) の評価 | 4 |
| 2) 上町断層帯、生駒断層帯及び大阪湾断層帯の評価 | 5 |
| 3) その他敷地近傍及び周辺の活断層の評価 | 6 |
| (2) 地震動評価 | 6 |
| 1) 解放基盤表面の設定 | 6 |
| 2) 震源を特定して策定する地震動 | 7 |
| 3) 震源を特定せず策定する地震動 | 11 |
| 4) 基準地震動 Ss の策定 | 12 |
| 3 . 3 原子炉建屋への入力地震動の評価 | 13 |
| 3 . 4 施設の耐震安全性の妥当性 | 15 |
| (1) 建物・構築物の耐震安全性評価 | 15 |
| 1) 原子炉建屋の地震応答解析モデル | 15 |
| 2) 原子炉建屋の耐震安全性評価結果 | 18 |
| (2) 機器・配管系の耐震安全性評価 | 19 |
| 1) 剛体モデルにおける静的解析による耐震安全性評価 | 20 |
| 2) 地震応答解析による耐震安全性評価 | 20 |
| 3 . 5 原子炉建屋基礎地盤の安定性評価の妥当性 | 21 |
| 3 . 6 地震随件事象の妥当性 | 22 |
| (1) 周辺斜面の安定性評価 | 22 |
| (2) 津波に対する安全性評価 | 22 |
| 4 . まとめ | 23 |
| 4 . 1 基準地震動 Ss・入力地震動の妥当性 | 23 |
| (1) 敷地周辺の地質・地質構造の評価 | 23 |
| (2) 地震動評価 | 23 |
| 4 . 2 施設の耐震安全性評価の妥当性 | 24 |
| (1) 建物・構築物の耐震安全性評価 | 24 |
| (2) 機器・配管系の耐震安全性評価 | 25 |
| 4 . 3 原子炉建屋基礎地盤の安定性評価の妥当性 | 25 |

| | |
|-------------------|----|
| 4.4 地震随件事象の評価の妥当性 | 25 |
| (1) 周辺斜面の安定性 | 25 |
| (2) 津波に対する安全性 | 25 |
| 5. 参考文献 | 26 |
| 6. 添付図表 | 28 |

< 別添 >

| | |
|---|----|
| 研究炉等安全規制検討会 試験研究用原子炉施設耐震安全性評価 妥当性確認ワーキンググループの開催について | 49 |
| 研究炉等安全規制検討会 試験研究用原子炉施設耐震安全性評価妥当性確認ワーキンググループ 委員名簿 | 50 |
| 研究炉等安全規制検討会 試験研究用原子炉施設耐震安全性評価妥当性確認ワーキンググループ 地質・地震動サブワーキンググループ委員名簿 | 51 |
| 研究炉等安全規制検討会 試験研究用原子炉施設耐震安全性評価妥当性確認ワーキンググループ 施設・構造サブワーキンググループ委員名簿 | 52 |
| 研究炉等安全規制検討会妥当性確認WG等における検討の経緯 | 53 |

1. はじめに

平成 18 年 9 月 19 日付けで原子力安全委員会により「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」等の耐震安全性に係る安全審査指針類が改訂された。

これを受け、文部科学省（以下、「当省」という。）は、改訂後の「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」（以下、「新耐震指針」という。）の既設試験研究用原子炉施設への参考のあり方に関し検討を行い、平成18年12月21日、試験研究用原子炉施設の耐震重要度分類の考え方や分類の方法及び耐震性を確認する際の基本的な考え方を示した「試験研究用原子炉施設の耐震重要度の分類の考え方について」を策定した。同日、原子炉設置者に対して、上記考え方等に照らし、耐震安全性評価（以下、「耐震バックチェック」という。）の対象となる原子炉施設については、評価実施期間等を示した耐震安全性評価実施計画書を提出後、耐震バックチェックを実施し報告すること、並びに、耐震バックチェックの対象とならない原子炉施設については、その根拠を示した検討書の提出を求めた。

原子炉設置者より提出された耐震バックチェックに係る耐震安全性評価実施計画書及び検討書に関して、当省はその妥当性の確認を実施し、平成 20 年 2 月 28 日、原子力安全委員会にその結果を報告した。

耐震安全性評価実施計画書に基づき実施した、「京都大学原子炉実験所研究用原子炉（KUR）の「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果中間報告書」が、平成 21 年 6 月 30 日、国立大学法人京都大学（以下、「京都大学」という。）から提出された。

当省においては、京都大学原子炉実験所研究用原子炉（KUR）（以下、「KUR」という。）の耐震バックチェックの妥当性を確認するため、研究炉等安全規制検討会の下に「試験研究用原子炉施設耐震安全性評価妥当性確認ワーキンググループ」（以下、「妥当性確認ワーキンググループ」という。）を開催した。さらに、この妥当性確認ワーキンググループの下に「地質・地震動サブワーキンググループ」及び「施設・構造サブワーキンググループ」を開催し、個別事項の検討を行った。

地質・地震動サブワーキンググループにおいては、敷地周辺活断層の認定、基準地震動 Ss 策定における震源のモデル化やパラメータの不確かさの考慮、地震動評価手法及び建屋への入力地震動の妥当性等を確認のポイントとして、検討を行った。

また、施設・構造サブワーキンググループにおいては、原子炉建屋の地震応答解析モデルや応答せん断ひずみ、機器・配管系の地震時応力の評価方法の妥当性等を確認のポイントとして、検討を行った。

さらに、当省は、京都大学が原子炉建屋等の耐震安全性評価のため実施した地震応答解析等の結果について、独自の立場からチェックするため、別途地震応答解析等を実施した。

本報告書は、KUR に係る地質・地質構造、基準地震動 Ss 及び施設の耐震安全性について、妥当性確認ワーキンググループ、地質・地震動サブワーキンググループ、施設・構造サブ

ワーキンググループの検討結果及び現地調査結果、並びにクロスチェックの実施結果を踏まえ、**当省としての**評価結果を取りまとめたものである。

2. 主な経緯

KURの耐震バックチェックに係る主な経緯は、以下のとおりである。

- (1) 平成18年9月19日 原子力安全委員会において新耐震指針を決定。
- (2) 平成18年12月21日 当省は、原子炉設置者に対して、新耐震指針を参考として試験研究用原子炉施設の耐震重要度分類の考え方や分類の方法及び耐震安全性を確認する際の基本的な考え方を示した「試験研究用原子炉施設の耐震重要度分類の考え方等について」を示し、耐震バックチェックの対象となる原子炉施設については、耐震安全性評価実施計画書の提出、耐震バックチェックの実施及び報告を、耐震バックチェック対象とならない原子炉施設については、その根拠を示した検討書の提出を要請。
- (3) 平成20年2月18日 京都大学は、当省に耐震バックチェック対象となるKURの耐震安全性評価実施計画書、及び耐震バックチェック対象とはならないとする臨界実験装置(KUCA)の検討書を提出。
- (4) 平成20年2月28日 当省は、提出された耐震バックチェックに係る耐震安全性評価実施計画書及び検討書に関して、その妥当性の確認を実施し、原子力安全委員会にその結果を報告。KURの耐震バックチェックにおいて評価対象とした設備・機器等は表-1のとおり。
- (5) 平成21年6月30日 京都大学は、当省にKURの耐震バックチェックの中間報告書を提出。
- (6) 平成21年7月15日 妥当性確認ワーキンググループを開催。当省は、新耐震指針を参考として耐震安全性評価の妥当性を確認する際の基本的な考え方を示した、「試験研究用原子炉施設耐震安全性評価の妥当性確認の考え方について」(以下、「妥当性確認の考え方」という。)を示し、KURの耐震バックチェックに係る妥当性確認を開始。
- (7) 平成21年7月31日～10月15日 地質・地震動サブワーキンググループを計2回開催しKURに係る地質調査結果、及び基準地震動Ss、入力地震動の策定結果等に係る妥当性確認を検討。
- (8) 平成21年9月30日 妥当性確認ワーキンググループ及び当省による京都大学KURの現地調査を実施。
- (9) 平成21年9月30日 当省は、KURの耐震バックチェック報告に係るクロスチェックに関する委託契約を締結し、原子炉建屋及び機器・配管系の地震応答解析等**について、施設・構造サブワーキングの意見を反映した**クロスチェックを開始。

- (10) 平成 21 年 10 月 27 日～平成 22 年 3 月 30 日 施設・構造サブワーキンググループを計 3 回開催し、KUR の原子炉建屋及び主要な設備に係る耐震バックチェックの妥当性確認を検討。なお、妥当性確認は、耐震安全性評価実施計画書で評価対象とした全ての設備・機器等を実施。
- (11) 平成 22 年 7 月 28 日 京都大学は、当省に妥当性確認ワーキンググループ等における検討を踏まえた耐震バックチェック報告書、「京都大学原子炉実験所研究用原子炉（KUR）の「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価結果報告書」を提出。
- (12) 平成 22 年 8 月 4 日、9 月 7 日 妥当性確認ワーキンググループを開催し、京都大学からの耐震バックチェック報告書に基づく当省における評価書等を確認。

3．検討結果

3．1 耐震バックチェック報告の妥当性確認に係る主なポイント

当省は、耐震バックチェックについて、あらかじめ妥当性確認のポイントを明確にし、妥当性確認ワーキンググループ等において確認することとした。

KURの耐震バックチェック報告の妥当性確認に係るポイントとして、妥当性確認ワーキンググループ等で検討された内容は、以下のとおりである。

(1) 地質・地質構造

1) 陸域

- ・中央構造線断層帯
- ・上町断層帯

2) 海域

- ・大阪湾断層帯

(2) 基準地震動 Ss

- 1) 内陸地殻内地震（中央構造線断層帯、上町断層帯）の想定と地震動評価（震源のモデル化を含む解析手法、パラメータの設定や不確かさの考慮について）
- 2) プレート間地震の想定と地震動評価（震源のモデル化を含む解析手法、パラメータの設定や不確かさの考慮について）
- 3) プレート内地震の想定と地震動評価（震源のモデル化を含む解析手法、パラメータの設定や不確かさの考慮について）
- 4) 震源を特定せず策定する地震動の評価
- 5) 基準地震動 Ss の策定
 - ・解放基盤表面の設定（GL-181m 付近の花崗岩、地盤のせん断波速度 $V_s=1600\text{m/s}$ ）
 - ・基準地震動 Ss の策定結果

(3) 原子炉建屋への入力地震動の評価

解放基盤表面で定義された基準地震動 S_s を、表層地盤を成層構造と仮定した一次元地盤構造モデルに基づく等価線形解析法及び逐次非線形地震応答解析によって、原子炉建屋基礎底位置における入力地震動として評価。

(4) 施設の耐震安全性評価

1) 建物・構築物の評価

- ・原子炉建屋の地震応答解析モデル
地盤ばね定数、地盤減衰係数及び原子炉建屋の復元力特性
円筒形原子炉建屋の地震時挙動を模擬出来るモデルとの比較
- ・原子炉建屋の耐震安全性評価結果
地震力の作用方向と直交する壁の面外応力
地震力の作用方向の壁の面内せん断力

2) 機器・配管系の評価

- ・剛体モデルにおける静的解析による耐震安全性評価
- ・地震応答解析による耐震安全性評価

(5) 地震随件事象

- ・施設周辺における傾斜地の有無
- ・津波による影響の有無

3 . 2 基準地震動 S_s の妥当性

(1) 敷地周辺の地質・地質構造の評価

京都大学は基準地震動を策定するため、敷地周辺の地質・地質構造に関する文献調査を実施している。調査結果は以下のとおりであるが、京都大学が実施した文献調査が十分に行われているかどうかについて、新耐震指針及び妥当性確認の考え方に照らして確認した。その結果、京都大学は、敷地からの距離に応じて、変動地形学的調査、地表地質調査、地球物理学的調査等に関する既存文献の調査は、要求されている事項を満足していることから、**当省は**、基本的に必要な事項は調査されているものと判断した。

京都大学は、上記の調査結果に基づき、図 - 1 に示すとおり耐震設計上考慮する活断層を評価している。

これらのうち、重要な活断層の評価については、以下のとおりである。

1) 中央構造線断層帯(和泉山脈南縁 - 金剛山地東縁)(以下、「中央構造線断層帯」という。)の評価

京都大学は、岡田・東郷偏(2000)⁽¹⁾等から総合的に検討を行い、中央構造線断層帯の金剛山地の東縁から和泉山脈の南縁までの区域を耐震設計上考慮すべき活断層と

したとしている。

断層長さについては、地震調査研究推進本部地震調査委員会（以下、「地震本部」という。）(2003)⁽²⁾の「中央構造線断層帯(金剛山地東縁 - 伊予灘)の長期評価について」(以下、「長期評価」という。)による評価と同様に、推定された活動時期の違いに基づき、磯ノ浦の西端から金剛断層の北端までの全長 78km を活動区間として考慮したとしている。

また、断層の傾斜角については、根来断層、五條谷断層の地表トレースは、その走向が西南西から東北東方向で、比較的直線性が顕著であることが指摘されているなどとし、和泉山脈南縁の断層を右横ずれ断層とし、傾斜角 80 度（北傾斜）としたとしている。一方、金剛山地東縁については、断層変位は上下成分が卓越すること、断層面の傾斜は約 15～45 度西傾斜であることから、地震本部による長期評価に基づき西傾斜 43 度の逆断層としたとしている。

地質・地震動サブワーキンググループは、磯ノ浦の西端から金剛断層の北端までとする断層長さについては妥当なものと判断したが、中央構造線断層帯の和泉山脈南縁における断層の傾斜角について、横ずれ断層のすべてが高角とは限らないこと、吉川他(1987)⁽³⁾、文部科学省(2007)⁽⁴⁾によって示された反射法地震探査の結果、低角度な北西傾斜の境界面（地質境界）が確認されていることから、この境界面が弱面となり滑りが生じることも否定できないと判断し、地震本部及び中央防災会議が示している低角度断層傾斜角を考慮し、見直すことを求めた。

これを踏まえ、京都大学は、和泉山脈南縁における断層傾斜角についても、地震本部(2003)⁽²⁾の長期評価等を踏まえて北西傾斜 43 度とする設定に変更した。

以上のことから、当省は、京都大学による中央構造線断層帯の断層長さ及び傾斜角等の評価については妥当なものと判断した。

2) 上町断層帯、生駒断層帯及び大阪湾断層帯の評価

京都大学は、岡田・東郷偏(2000)⁽¹⁾、横倉・他(1998)⁽⁵⁾等により、上町断層帯、生駒断層帯及び大阪湾断層帯を耐震設計上考慮すべき活断層としている。

上町断層帯については、断層の位置及び走向から、断層の破壊過程によっては敷地への影響を考慮する必要があるとしている。

地質・地震動サブワーキンググループは、上町断層帯については、桜川撓曲、住之江撓曲の両分岐断層を加え評価し、想定できる最大規模の断層が考慮されていることを確認した。また、生駒断層帯及び大阪湾断層帯の評価についても、特段の問題がないことを確認した。

以上のことから、当省は、京都大学による上町断層帯、生駒断層帯及び大阪湾断

層帯の評価は妥当なものと判断した。

3) その他敷地近傍及び周辺の活断層の評価

陸域の断層については、岡田・東郷(2000)⁽¹⁾に、神於山断層、成合断層、内畑断層、久井断層、若樫断層及び九鬼断層が図示されているが、京都大学は、露頭での段丘堆積物との不整合関係や断層変位特有の崖及び撓曲といった地形が確認されていないとし、耐震設計上考慮すべき活断層ではないとしている。

また、海域の断層については、大阪湾では地盤構造を捉えることを目的とした地盤探査が数多く行われており、海上保安庁(1995)⁽⁶⁾による海底地質構造図では、大阪湾南東部の関西国際空港周辺に短い断層が図示されているが、京都大学は、岩淵・他(2000)⁽⁷⁾から大阪湾東部においては、地震基盤に変位を与えている優位な活断層は認められないこと、また、浸食及び堆積によって形成された段差を検出しているものとし、耐震設計上考慮すべき活断層ではないとしている。

地質・地震動サブワーキンググループにおける確認結果に基づき、当省は、京都大学のその他敷地近傍及び周辺の活断層の評価については妥当なものと判断した。

(2) 地震動評価

新耐震指針では、基準地震動 S_s として、「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」について、敷地の解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動として策定することとしている。

地質・地震動サブワーキンググループでは、京都大学による「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」について、新耐震指針及び妥当性確認の考え方に照らして検討を行った。

1) 解放基盤表面の設定

京都大学は、文献調査、地表地質調査、ボーリング調査等より、敷地及び敷地周辺の地質は、新第三紀鮮新世～新四紀の大阪層群の最下部にあたる泉南累層が広く分布し、その下に基盤岩の成合花崗岩が分布するとしている。

ボーリング孔内のPS検層の結果より、S波速度が0.7km/s以上の硬質地盤で、著しい風化を受けていない岩盤が分布する位置(GL-181m)を解放基盤表面と設定したとしている。

地質・地震動サブワーキンググループにおける確認結果に基づき、当省は、京都大学の設定した解放基盤表面の設定位置は妥当なものと判断した。

2) 震源を特定して策定する地震動

検討用地震の選定

京都大学は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」については、敷地周辺の地震の発生様式を考慮し、敷地周辺の活断層の分布状況、地震の発生状況等から、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区分し、検討したとしている。

内陸地殻内地震については、地震規模と敷地までの距離に基づき、Noda et al.(2002)⁽⁸⁾による距離減衰式を用いて評価した応答スペクトルを比較することにより、敷地に大きな影響を与えると想定される中央構造線断層帯及び上町断層帯による地震を検討用地震として選定したとしている。なお、地震規模は断層長さから松田(1975)⁽⁹⁾の関係式を用い算定したとしている。

プレート間地震については、地震本部(2001)⁽¹⁰⁾の「南海トラフの地震を想定した強震動評価について(中間報告)」による想定南海地震(M8.4)、想定東南海地震(M8.1)及びそれらが連動した地震(M8.5)を選定したとしている。

海洋プレート内地震については、地震本部(2006)⁽¹¹⁾の「全国を概観した地震動予測地図」報告書・分冊1の「震源断層を予め特定しにくい地震」に、敷地を含む領域における海洋プレート内地震の最大規模が、2004年紀伊半島南東沖の地震(M7.4)とされていることにより、耐震安全評価上、震源位置の不確かさを考慮し、敷地下方のプレート内の地震(M7.4)を想定し、選定したとしている。

地質・地震動サブワーキンググループでは、検討用地震の選定の妥当性について、活断層の分布状況等を踏まえて検討を行った。

陸域の活断層については、中央構造線断層帯、上町断層帯及び生駒断層帯が、海域の活断層としては大阪湾断層帯が認められることを確認した。これらの活断層による内陸地殻内地震について、Noda et al.(2002)⁽⁸⁾による応答スペクトルを比較し、敷地への影響を考慮して中央構造線断層帯及び上町断層帯が選定されていることを確認した。

プレート間地震については、敷地に最も影響を与える南海トラフ沿いのプレート間地震として、想定南海地震(M8.4)、想定東南海地震(M8.1)及びそれらの連動した地震(M8.5)が選定されていることを確認した。

海洋プレート内地震については、M7.4の地震が敷地下方のプレート内で発生すると想定し、選定されていることを確認した。

以上のことから、**当省は**、京都大学による検討用地震の選定は妥当なものと判断した。

検討用地震の震源モデル

基準地震動 S_s の策定に当たっては、検討用地震について基本震源モデルを設定

するとともに、震源パラメータの不確かさを考慮した震源モデルを設定する必要がある。

(a) 中央構造線断層帯による地震の震源モデル

京都大学は、中央構造線断層帯による地震の基本震源モデルは、地震本部(2005)⁽¹²⁾の「中央構造線断層帯(金剛山地東縁 - 和泉山脈南縁)の地震を想定した強震動評価」に基づき設定したとしている。具体的には、震源断層の長さを60 km、傾斜角を43度とし、アスペリティについては根来断層付近(西側アスペリティ)と五條谷断層付近(東側アスペリティ)に設定している。なお、震源断層の長さについては、和泉山脈南縁の一部と金剛山地東縁の震源断層面が共有しているため、和泉山脈南縁断層の長さとしたとしている。

また、震源断層の巨視的パラメータや微視的パラメータは、地震本部(2005)⁽¹²⁾の震源モデルと同一としたとしている。また、破壊開始点については、地震本部(2005)⁽¹²⁾の震源モデルに基づき、西側アスペリティの西側下端に設定した基本ケース、東側アスペリティの東側下端に設定した基本ケースの、2ケースを設定したとしている。

不確かさを考慮した震源モデルについては、アスペリティ位置の不確かさを考慮し、基本震源モデルの西側アスペリティを敷地直下に配置し破壊開始点の位置を中央下端に設定した不確かさケース、新潟県中越沖地震を踏まえ、基本震源モデルの基本ケースの短周期の地震動レベル(以下、「短周期レベル」という。)を1.5倍とした不確かさケースの、2ケースを設定したとしている。

中央構造線断層帯による地震の検討ケースを表-2に、基本震源モデル及び不確かさを考慮した震源パラメータを表-3に、これら震源モデルを図-2に示す。

地質・地震動サブワーキンググループでは、京都大学が設定した中央構造線断層帯による地震の基本震源モデル及び不確かさを考慮した震源モデルの妥当性について検討を行った。

基本震源モデルは、地震本部(2005)⁽¹²⁾の震源モデルに従い適切に設定されていることを確認した。また、アスペリティ位置の不確かさを考慮した不確かさケースについては、敷地への影響を考慮して、西側のアスペリティを敷地直下に配置し、破壊開始点の位置を中央下端に適切に設定されていることを確認した。水平動については、この震源モデル(不確かさケース)が最も大きく評価されるが、鉛直動については、基本震源モデルに短周期レベルの不確かさを考慮した震源モデルの方が大きく評価されることから、短周期レベルの不確かさを考慮した震源モデルを不確かさケースとして設定されていることを確認した。

以上のことから、京都大学による中央構造線断層帯の震源モデルについて、

基本震源モデル及び震源パラメータの不確かさを考慮した震源モデルともに、適切に設定されており、**当省は妥当なものと判断した。**

(b) 上町断層帯による地震の震源モデル

京都大学は、上町断層帯による地震の基本震源モデルは地震本部⁽¹³⁾の「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)」(以下、「レシピ」という。)に基づき設定したとしている。断層帯としては、^{ぶつねんじやま}佛念寺山断層の北端から^{くめだ}久米田池断層の南端までに加え、^{さくらがわ}桜川撓曲及び^{すみのえ}住之江撓曲も考慮している。具体的には、断層長さを45km、断層の傾斜角を65度とし、北側セグメントに大きなアスペリティを配置した基本ケースを設定したとしている。

不確かさを考慮した震源モデルとして、アスペリティ位置の不確かさを考慮し、敷地に近い南側セグメントに大きなアスペリティを配置した不確かさケース、新潟県中越沖地震を踏まえ、短周期レベルを基本震源モデルの1.5倍とした不確かさケースの、2ケースを設定したとしている。

上町断層帯による地震の検討ケースを表-4に、基本震源モデル及び不確かさを考慮した震源パラメータを表-5に、これら震源モデルを図-3に示す。

地質・地震動サブワーキンググループでは、京都大学による上町断層帯の基本震源モデルについては、分岐断層も含め、地震本部のレシピに従い、適切に設定されていること、不確かさを考慮した震源モデルについては、アスペリティ位置及び短周期レベルの不確かさが適切に考慮されていることを確認した。

以上のことから、京都大学による上町断層帯の震源モデルについて、基本震源モデル及び震源パラメータの不確かさを考慮した震源モデルともに、適切に設定されており、**当省は妥当なものと判断した。**

(c) プレート間地震の震源モデル

京都大学は、選定した南海トラフ沿いの想定南海地震(M8.4)及び想定東南海地震(M8.1)の震源モデルは、地震本部(2001)⁽¹⁰⁾の「南海トラフの地震を想定した強震動評価について(中間報告)」を踏まえ、Kawabe and Kamae(2008)⁽¹⁴⁾のパラメータを用い設定したとしている。また、不確かさとして、当該2つの地震が連動する場合を設定したとしている。

地質・地震動サブワーキンググループでは、京都大学が選定した想定南海地震、想定東南海地震及びそれらが連動した場合の震源モデルについては、地震本部(2001)⁽¹⁰⁾の知見を踏まえ、適切に設定されていることを確認した。

以上のことから、京都大学によるプレート間地震の震源モデルについて、基本震源モデル及び震源パラメータの不確かさを考慮した震源モデルともに、適

切に設定されており、**当省は妥当なもの**と判断した。

(d) 海洋プレート内地震の震源モデル

京都大学は、敷地下方に海洋プレート内地震の既往最大規模である M7.4 の地震を想定し、震源モデルを設定したとしている。また、不確かさを考慮した震源モデルとして、震源深さは敷地周辺のフィリピン海プレートの沈み込み形状を参考に設定したとしている。

地質・地震動サブワーキンググループでは、京都大学が設定した想定敷地下方の海洋プレート内地震における震源モデルについて、地震規模については敷地周辺の海洋プレート内地震の最大規模の地震が設定されていること、不確かさを考慮した震源モデルとして、地震発生位置を敷地周辺のフィリピン海プレートの沈み込み形状を参考に、適切に設定されていることを確認した。

以上のことから、京都大学による海洋プレート内地震の震源モデルについて、基本震源モデル及び震源パラメータの不確かさを考慮した震源モデルともに、適切に設定されており、**当省は妥当なもの**と判断した。

応答スペクトルによる手法に基づく地震動評価

基準地震動 Ss の策定に当たっては、応答スペクトルによる手法（以下、「応答スペクトル手法」という。）に基づいて地震動を評価する必要がある。

京都大学は、応答スペクトル手法として、岩盤における観測記録に基づき策定された Noda et al.(2002)⁽⁸⁾による方法を用い、敷地での解放基盤表面での地盤特性を考慮して応答スペクトルを評価したとしている。なお、Noda et al.(2002)⁽⁸⁾による方法を選定するに当たっては、用いる地震記録の規模、震源距離等から、適用条件及び範囲について検討したとしている。

中央構造線断層帯及び上町断層帯による内陸地殻内地震への適用に当たっては、兵庫県南部地震時の敷地内での観測記録を踏まえ、内陸補正による低減を考慮したとしている。また、中央構造線断層帯による地震については、震源近傍における破壊伝播効果を考慮したとしている。

地質・地震動サブワーキンググループでは、兵庫県南部地震時の敷地内での観測記録に基づき、鉛直アレイ地震観測から評価された地盤の伝達特性及び地震基盤からの地震波の入射角を考慮して評価した解放基盤表面でのスペクトルと、Noda et al.(2002)⁽⁸⁾によって評価された応答スペクトルとの比較から、内陸補正係数を考慮することの妥当性を確認した。

以上のことから、**当省は**、京都大学が実施した応答スペクトル手法による地震

動の評価は妥当なものと判断した。

断層モデルを用いた手法による地震動評価

基準地震動 S_s の設定に当たっては、断層モデルを用いた手法に基づいて地震動の評価を行う必要がある。

京都大学は、検討用地震の応答スペクトル手法に基づく地震動評価の結果から、敷地への影響を考慮し、中央構造線断層帯及び上町断層帯による地震を選定し、震源モデルをもとに断層モデルを用いた手法に基づく地震動評価を実施したとしている。

地震動評価に当たっては、敷地において要素地震として適切な観測記録が得られていないことから、釜江・他(1991)⁽¹⁵⁾による統計的グリーン関数法及び理論的手法を用いたハイブリッド合成法を用いたとしている。統計的グリーン関数法における震源放射特性は、釜江・他(1990)⁽¹⁶⁾を用いたとしている。

また、統計的グリーン関数法で用いる地盤構造モデルについては、原子炉建屋近傍で実施したPS検層による速度構造をもとに設定し、一方、理論的手法を適用する際に用いた地盤構造モデルは、大阪平野の速度構造については、堀川・他(2003)⁽¹⁷⁾の地盤構造モデルを、大阪平野以外の速度構造は、Kawabe and Kamae(2008)⁽¹⁴⁾の地盤構造モデルを採用したとしている。

地質・地震動サブワーキンググループにおける確認結果に基づき、当省は、京都大学が実施した断層モデルを用いた手法による地震動評価は妥当なものと判断した。

3) 震源を特定せず策定する地震動

新耐震指針では、震源を特定せず策定する地震動について、震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に策定することとしている。

京都大学は、敷地周辺におけるM5.0以下の微小地震の分布から、敷地周辺の地震発生層の上端深さ及び下端深さをそれぞれ4km、15kmとしている。その地震発生層に等しい断層長さをもつ震源断層と仮定し、入倉・三宅(2001)⁽¹⁸⁾の断層面積と地震モーメントの関係式及び武村(1990)⁽¹⁹⁾の地震モーメントとマグニチュードの関係式により、地震規模はM6.7に相当するとしている。また、地震本部(2009)⁽²⁰⁾の「全国地震予測地図 技術報告書」内の「震源断層を予め特定しにくい地震」の領域震源の最大規模はM6.8とされている。これらのことから「震源を特定せず策定する地震動」として考慮すべき地震規模をM6.8と設定したとしている。

一方、「震源を特定して策定する地震動」における地震動評価において、敷地直下に設定された中央構造線断層帯による地震規模としてM8クラスを想定しており、「震源を特定せず策定する地震動」として考慮すべき地震規模であるM6.8を大きく上回ること、また、中央構造線断層帯による地震の断層モデルを用いた手法による地震動レベルは、(社)日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-2008」(以下、「JEAG 4601-2008」という。)に基づく「震源を特定せず策定する地震動」の応答スペクトルを大きく上回ることから、「震源を特定せず策定する地震動」は基準地震動としては考慮しないとしている。なお、地震本部(2005)⁽¹²⁾では、中央構造線断層帯による地震発生層の厚さを11kmと設定している。

地質・地震動サブワーキンググループでは、京都大学による「震源を特定せず策定する地震動」の評価及びその位置づけの妥当性について検討を行った。

「震源を特定せず策定する地震動」として考慮すべき地震規模がM6.8であり、敷地直下に存在する中央構造線断層帯による地震規模がM8クラスであること、中央構造線断層帯による地震の断層モデルを用いた手法による地震動レベルが、JEAG 4601-2008に基づく「震源を特定せず策定する地震動」の応答スペクトルを大きく上回ることから、「震源を特定せず策定する地震動」については、「震源を特定して策定する地震動」による基準地震動Ssで代表させるとしていることは支障ないことを確認した。

以上のことから、**当省は**、京都大学が「震源を特定せず策定する地震動」について、「震源を特定して策定する地震動(敷地直下に存在する中央構造線断層帯による地震)」による基準地震動Ssで代表させるとしていることは支障のないものと判断した。

4) 基準地震動 Ss の策定

基準地震動Ss

京都大学は、「震源を特定して策定する地震動」のうち応答スペクトル手法に基づく地震動評価において、検討用地震のうち、中央構造線断層帯による地震動を基準地震動Ss-1と設定したとしている。

また、断層モデルを用いた手法による基準地震動については、中央構造線断層帯の地震におけるアスペリティ位置の不確かさを考慮した地震動(不確かさケース)を基準地震動Ss-2とし、中央構造線断層帯の地震における短周期レベルの不確かさを考慮した地震動(不確かさケース)を基準地震動Ss-3と設定したとしている。

応答スペクトル手法に基づく地震動評価結果を図-4(a),(b)に、断層モデルを用いた手法による地震動評価結果を図-5(a)~(d)に、基準地震動Ss-1、Ss-2及びSs-3の応答スペクトルを図-6(a),(b)に示す。

地質・地震動サブワーキンググループにおける、京都大学による基準地震動Ssの策定の妥当性についての確認結果に基づき、当省は、京都大学が「震源を特定して策定する地震動」による基準地震動として、Ss-1、Ss-2 及びSs-3 を設定していることは妥当なものと判断した。

基準地震動Ss-1の時刻歴波形

京都大学は、基準地震動Ss-1の時刻歴波形について、基準地震動Ss-1 の応答スペクトルをもとに乱数位相をもつ正弦波を重ね合わせるにより作成したとしている。振幅包絡線の経時的変化をNoda et al.(2002)⁽⁸⁾に基づく形状とし、模擬地震波の応答スペクトルに対する適合性は、応答スペクトル比の最小値が0.85 以上かつ応答スペクトル強さ（周期 0.1 秒から2.5 秒）の比が1以上であるとしている。

地質・地震動サブワーキンググループにおける、京都大学による基準地震動Ss-1の時刻歴波形の作成についての確認結果に基づき、当省は、策定された基準地震動Ss-1の応答スペクトルに対する適合性等は特段の問題はないことを確認し、基準地震動Ss-1は妥当なものと判断した。

3.3 原子炉建屋への入力地震動の評価

新耐震指針の解説では、解放基盤表面が施設を設置する地盤に比して相当に深い場合は、解放基盤表面より上部の地盤における地震動の増幅特性を十分に調査し、必要に応じて地震応答評価等に反映させることとしている。

京都大学は、原子炉建屋の水平方向の入力地震動については、一次元波動論に基づき、解放基盤表面で設定された基準地震動 Ss に対する地盤の応答を評価したとしている。

具体的には、解放基盤表面（GL-181m, Vs=1.6km/sec 程度）で定義される基準地震動 Ss を入力とし、解放基盤表面から原子炉建屋基礎底位置（GL-7.3m）までの地盤を平行成層構造と仮定した地盤構造モデルを用いた一次元波動論による地震応答解析を行い、入力地震動としている。

一次元地盤構造モデルについては、原子炉建屋近傍で実施した基盤岩までのボーリングによる土質試験、弾性波調査等により、地表面から GL- 184m までの地震波速度（P 波速度、S 波速度）、密度、地盤非線形特性等を用い、設定したとしている。

この一次元地盤構造モデルの妥当性は、ボーリング孔を利用した鉛直アレイ地震観測による観測データの線形なシミュレーション解析によって確認されたとしている。

基準地震動 Ss に対する地震応答解析については、地盤のせん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を考慮した等価線形解析を用いたとしている。

原子炉建屋の鉛直方向の入力地震動については、水平方向と同様に、一次元波動論に基づき、解放基盤表面から原子炉建屋基礎底位置までの地盤を平行成層構造と仮定した線形の地震応答解析によって評価したとしている。

入力地震動として評価する基準地震動については、中央構造線断層帯による震源域は敷地に近く、震源での破壊過程の影響が大きいことから、断層モデルによる地震動評価を重視し、さらに、基準地震動の地震動レベルが、大きな基準地震動 Ss-2 及び Ss-3 を対象にしたとしている。

地質・地震動サブワーキンググループでは、京都大学が行った地盤構造のモデル化、地震応答解析等の妥当性について検討した。

地盤構造モデルの設定について、地盤調査、土質調査等に基づき、地層毎に詳細に地盤定数（P 波速度、S 波速度、密度及び地盤非線形特性）が設定されていることを確認した。

地盤構造モデルの妥当性について、原子炉建屋近傍での鉛直アレイ地震観測による記録の線形のシミュレーション解析によって検証されていることを確認した。

基準地震動 Ss-2 及び Ss-3 に対して等価線形を仮定した地震応答解析の結果については、せん断ひずみレベルから等価線形解析の適用範囲を超えている可能性があるため、京都大学に時刻歴非線形解析による入力地震動の再評価を求めた。

再評価の結果、最大せん断ひずみ分布から、等価線形解析が適用できるせん断ひずみの上限を超えており、時刻歴非線形解析による結果とも大きく異なるため、等価線形解析のみによる評価では不十分であるとし、等価線形解析と時刻歴非線形解析の両方の結果を考慮する必要があるとしている。

さらに、周期 1 秒以下の周期帯で、基準地震動 Ss-2 に基づく等価線形解析と時刻歴非線形解析による入力地震動が、基準地震動 Ss-3 に基づく両解析による入力地震動よりも大きいこと、原子炉建屋、機器・配管系への影響を考慮し、入力地震動については基準地震動 Ss-2 に基づき、等価線形解析と時刻歴非線形解析による両解析の結果を用いたとしている。

以上のことから、当省は、原子炉建屋への入力地震動評価のための解放基盤表面から原子炉建屋基礎盤位置までの地盤構造モデル、及びこの地盤構造モデルを用いた地震応答解析によって評価された建屋基礎盤位置における入力地震動は妥当なものであると判断した。

施設・構造サブワーキンググループでは、京都大学が策定した基準地震動 Ss により評価した入力地震動について、「超高層建築物の構造耐力上の安全性を確かめるための構造計算の基準を定める件(平成 19 年国土交通省告示第 622 号)」（以下、「国土交通省告示」という。）に規定する解放工学的基盤における極めて稀に発生する地震動の加速度応答スペクトルと比べ、原子炉建屋の 1 次固有周期の周期帯域において、入力地震動の

方が 5 割程度大きくなることを確認した。なお、原子炉建屋の支持地盤は、S 波速度は 400m/s 程度であり、国土交通省告示において加速度応答スペクトルを規定する工学的基盤と整合している。

また、「京都大学研究用原子炉(KUR)の設計及び工事の方法の承認申請書」(昭和 37 年 6 月)における耐震設計法について、昭和 25 年に施行された建築基準法に規定する水平震度(高さ 16m までは水平震度が 0.2、それ以上は 4m 毎に水平震度を 0.01 ずつ増加)に 1.5 倍を乗じた地震力に対し、許容応力度設計法が行われていたことを確認した。

さらに、確認保有水平耐力から求めたせん断力係数は、耐震設計に用いた水平震度から換算したせん断力係数に対して 5 倍程度大きなものとなっており、現行の建築基準法における 1 次設計と 2 次設計の層せん断力係数の比と同程度であることを確認した。また、基準地震動 Ss により評価した入力地震動に基づく地震応答解析における最大応答せん断力係数についても、現行の建築基準法における 2 次設計の層せん断力係数と同程度であることを確認した。

基準地震動に基づき評価した入力地震動と国土交通省告示による極めて稀に発生する地震動の加速度応答スペクトルとの比較を図-7 に、基準地震動に基づき評価した入力地震動と現行建築基準法による層せん断力係数等との比較を図-8 に示す。

3.4 施設の耐震安全性の妥当性

施設・構造サブワーキンググループでは、京都大学による施設の耐震安全性評価について、新耐震指針及び妥当性確認の考え方に照らして確認を行った。

また、妥当性確認に際して、妥当性確認ワーキンググループ及び当省による現地調査を実施し、原子炉建屋及び機器・配管系の構造・配置等の状況を確認した。

(1) 建物・構築物の耐震安全性評価

京都大学は、KURの耐震バックチェックに係る中間報告において、建物・構築物の評価対象施設として、安全上重要な機器・配管系(Sクラス相当)に対する波及的影響を確認するため原子炉建屋を選定している。

原子炉建屋の耐震安全性評価に当たっては、構造物全体としての変形は終局耐力時の変形に対して十分小さく、また、終局耐力に対し妥当な安全余裕を有していることを確認する必要があるため、京都大学は、水平方向及び鉛直方向の地震応答解析モデルを構築し、基準地震動Ssに基づき評価した入力地震動を用いた地震応答解析を行ったとしている。

1) 原子炉建屋の地震応答解析モデル

京都大学による評価は、以下のとおりである。

原子炉建屋の水平方向の地震応答解析モデルについては、原子炉建屋基礎と地盤との動的相互作用を考慮するため、水平及び回転方向の自由度を有する地盤ばね系と、

基礎1質点及び上部構造4質点を直列に配した弾塑性復元力特性をもつ等価せん断ばね系とした質点系モデルとしたとしている。

原子炉建屋の外周壁は円筒シェル構造であるため、外周壁を等価な正16角形の耐震壁付ラーメン構造（壁要素の面外剛性を柱要素の曲げ剛性に置換）に置換し、せん断耐力等の終局強度等については(社)日本建築学会「建築耐震設計における保有耐力と変形性能(1990)」⁽²¹⁾に基づき設定し、剛床仮定に基づいた静的弾塑性立体解析モデルの荷重増分解析結果から、原子炉建屋各階の復元力特性を設定したとしている。なお、基礎と地盤間の水平及び回転ばねの剛性及び減衰は、地盤を薄層要素、基礎を3次元有限要素とし、それぞれを結合したモデルに対して、Lysmer他(1981)⁽²²⁾による容積法を用いた動的サブストラクチャー法^{(23),(24)}に基づき設定したとしている。

一方、鉛直方向の地震応答解析モデルについては、原子炉建屋基礎と地盤の動的相互作用を考慮した鉛直方向の地盤ばねと、屋根版、外周壁及び基礎部分を一体とした有限要素モデルとして、モード重ね合わせ法に基づく線形な時刻歴応答解析を実施したとしている。なお、鉛直方向の地盤ばねの剛性及び減衰は、水平及び回転ばねと同様な方法に基づき設定したとしている。

原子炉建屋の屋根版の水平方向の地震応答解析モデルは、屋根版を有限要素モデルとし、モード重ね合わせ法に基づく線形な時刻歴応答解析を実施したとしている。なお、地震応答解析に当たっては、屋根版端部を固定とし、入力波形については、原子炉建屋の地震応答解析における最上階の応答加速度波形を用いたとしている。

解析モデルの剛性はコンクリートの設計基準強度により評価し、減衰は歪エネルギー比例減衰として与え、減衰定数は3%としたとしている。

原子炉建屋の水平方向の地震応答解析モデルを図-9に示す。

施設・構造サブワーキンググループでは、京都大学が設定した原子炉建屋の水平方向及び鉛直方向の地震応答解析モデルの妥当性について、**当省が施設・構造サブワーキンググループの意見を反映し実施したクロスチェックの検討結果とあわせて、以下のとおり確認した。**

地盤ばね定数及び地盤減衰係数について、京都大学では、地盤を薄層要素、基礎を3次元有限要素とし、それぞれを結合したモデルを、Lysmer他(1981)⁽²²⁾による容積法を用いた動的サブストラクチャー法^{(23),(24)}に基づき設定したとしている。

クロスチェックにおける検討では(社)日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術規定 JEAC 4601-2008」(以下、「JEAC 4601-2008」という。)に基づき、地盤を成層補正し円形基礎を正方形に面積等価置換して設定し、また、(社)日本建築学会「建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計」⁽²⁵⁾に示されている静的理論解によっても設定している。

これらの結果を比較し、水平及び回転方向の地盤ばね定数、並びに回転方向の

地盤減衰係数についてはほぼ一致していることを確認した。また、水平方向の地盤減衰係数については、クロスチェックの JEAC 4601-2008 に基づく係数の方が 30% 程度大きくなる結果となったが、水平方向の地盤減衰係数を 30% 増大させた地震応答解析において、その応答値は 3～4% 低下する程度であったため、この程度の差が生じても建物応答への影響は小さく、京都大学が設定した水平方向の地盤減衰係数は保守的であることを確認した。

原子炉建屋の水平方向地震応答解析モデルについて、直列 4 質点の弾塑性復元力特性をもつ等価せん断型とし、その復元力特性を剛床仮定に基づいた静的弾塑性立体解析モデルの荷重増分解析結果から設定したとしているが、剛床仮定設定の有無による復元力特性の妥当性等について追加検討を求めた。

これを踏まえ、京都大学は、剛床仮定を設けない正 16 角形の弾性有限要素モデルによる地震応答解析結果において、外周壁節点間の変位差を確認し、復元力特性設定に係る荷重増分解析に際しては、剛床仮定の適用について検討を要することを確認した。

クロスチェックにおける検討では、原子炉建屋を正 64 角形に置換した格子梁モデル（壁の面内方向に作用するせん断力に対してはシアパネルによりモデル化、面外方向に作用する水平力に対しては格子梁として考慮）による荷重増分解析結果においても、外周壁節点間の変位差を確認した。また、格子梁モデルによる弾塑性地震応答解析と、剛床仮定として設定した復元力特性を用いた弾塑性地震応答解析において、最大応答層せん断力等の差が小さいことから、原子炉建屋の全体的な応答性状を把握するには、剛床仮定に基づく荷重増分解析結果から設定した復元力特性を用いることに支障はないが、円筒形外周壁において、面外方向に作用する水平力によるリテーニングウォールのな曲げ応力等の、詳細な地震時挙動を模擬するためには、有限要素モデル、格子梁モデル等の精密な解析モデルにより確認する必要があることを確認した。

弾性動的解析に用いた有限要素モデルを図-10 に、クロスチェックにおいて用いた格子梁モデルの外観と壁版モデルの概念を図-11 及び図-12 に示す。

原子炉建屋の全体的な応答性状を把握するための質点系モデルによる地震応答解析における復元力特性の初期剛性及びせん断耐力は、クロスチェックの質点系モデルにおけるそれらよりも低く、また、最大応答層間変位も大きな応答値となっていることから、京都大学が設定した復元力特性は保守的であることを確認した。

また、上部構造におけるモデル化の妥当性を確認するため、各モデルの基礎部を固定とした解析モデルの質点系モデルの 1 次固有周期が、弾性有限要素モデル及びクロスチェックの質点系モデル並び格子梁モデルよりも長く、地盤ばねを考慮した各解析モデルの 1 次固有周期は、良く一致することを確認した。

以上のことから、当省は、原子炉建屋の耐震安全性評価に用いられた地震応答解析モデル（質点系モデル）については、原子炉建屋の全体的な応答性状を把握し、総合的な耐震安全性を評価するために用いることは支障のないものと判断した。

2) 原子炉建屋の耐震安全性評価結果

京都大学は、原子炉建屋について、1)の地震応答解析モデルを用い、水平方向及び鉛直方向の入力地震動をそれぞれ水平及び鉛直のばねを介して入力して地震応答解析を実施したとしている。

水平方向の地震応答解析の結果、耐震壁となる円筒形外周壁の最大応答せん断ひずみは、基準地震動 Ss-2EW による入力地震動に対して、最大 1.35×10^{-3} (1-2 階間) であり、評価基準値 2.0×10^{-3} を下回っているとしている。また、原子炉建屋の最大応答層せん断力については、確認保有水平耐力以下であるとしている。原子炉建屋屋根版の端部における引張応力については、鉄筋の許容引張応力度以下であり、構造健全性は確保されることを確認したとしている。

施設・構造サブワーキンググループでは、京都大学が評価した原子炉建屋の耐震安全性評価結果の妥当性について、当省が施設・構造サブワーキンググループの意見を反映し実施したクロスチェックにおける検討結果とあわせて以下のとおり確認した。

京都大学の質点系モデルによる地震応答解析結果において、クロスチェックの質点系モデル及び格子梁モデルよりも大きな応答値となるが、原子炉建屋の最大応答せん断力については確認保有水平耐力を下回っており、また、最大応答せん断ひずみの値についても、RC 造耐震壁のせん断ひずみの評価基準値である 2.0×10^{-3} を下回っていることを確認した。

原子炉建屋の円筒形外周壁において、地震力の作用方向が面外方向となる部分に生じる応力について、その応力の伝搬経路及び断面照査について追加検討を求めた。

これを踏まえ、京都大学は、1)の弾性有限要素モデルを用い、その剛床仮定設定の有無をパラメータとした地震応答解析により、円筒形外周壁の面外方向に生じる曲げ応力等については、外周壁の側面方向に伝搬する応力よりも、基礎側下方に伝搬する応力が大きいことを確認した。また、同モデルに最大せん断力相当の水平力を作用させた静的解析により、1 階壁脚部の発生応力については、曲げモーメントと軸力の相関関係に基づく評価では、短期許容応力度は超えるものの終局耐力以下となっていることを確認した。また、同モデルによる地震応答解析結果における面内せん断応力度については、コンクリートの短期許容せん断応力度以下であることを確認した。

クロスチェックにおける検討では、1)の格子梁モデルを用いた弾塑性地震応答解析における応答時の最大応力については、面外方向に生じる応力は、曲げモーメントと軸力の相関関係に基づく評価では短期許容応力度以下となり、水平力の作用方向が面内方向となる側面部分に生じるせん断応力は、壁開口隅角部付近ではせん断ひび割れ応力度程度となるが、それ以外の部分はせん断ひび割れ応力度以下であることを確認した。

これら検討結果より、円筒形外周壁に作用する地震力により、面外方向に作用する水平力では壁脚部に曲げひび割れ発生応力は超えるが、面内方向に作用するせん断力では、外周壁一般部分にはせん断ひび割れ発生応力以下であることを確認した。

屋根版はテンションリング梁を介して円筒形外周壁に接続されており、面外方向の応力が外周壁に伝達できる架構となっていることを確認した。

シェル構造となる屋根版の、端部における長期荷重時応力については、法線方向は圧縮力、円周方向には引張力が作用し、鉄筋とコンクリートを考慮した曲げモーメントと軸力の相関関係に基づく評価により、長期許容応力度以下となっていることを確認した。また、屋根版周辺を固定とした弾性有限要素モデルによる地震応答解析により、水平地震動よりも鉛直地震動による応力変動が大きいこと、屋根版端部に生じる地震時の最大応力は、鉄筋とコンクリートを考慮した曲げモーメントと軸力の相関関係に基づく評価においては短期許容応力度以下となっていることを確認した。さらに、クロスチェックでは弾塑性応答解析を用いたが、その応答は弾性域内となっており、発生応力は十分に小さいことを確認した。

地震時の変形については、屋根版の頂部ライズによる転倒モーメントによって、加力方向の屋根版は鉛直方向に沈み込む挙動となること、また、屋根版が沈み込む側の壁頂部は屋根版の沈み込みに抵抗するような変形となることを確認した。

以上のことから、当省は、基準地震動 S_s に基づく入力地震動による地震応答解析の結果、原子炉建屋の耐震安全性は確保されるものと判断した。

(2) 機器・配管系の耐震安全性評価

京都大学は、安全上重要な機器・配管系(Sクラス相当)について、基準地震動 S_s-2 の東西方向成分(S_s-2 EW)に基づき評価した入力地震動を用いて耐震安全性評価を実施したとしている。

評価対象設備・機器等を表-1に示す。なお、炉心タンクの評価は生体遮へい体の評価に兼ね、使用済燃料貯蔵ラックの評価は使用済燃料プール室プールの評価に兼ねたとしている。

機器・配管系の耐震安全性評価に当たっては、基準地震動 S_s による地震力と地震

以外の荷重を組み合わせた構造強度評価（評価対象設備の評価部位に発生する応力が評価基準値を超えないことの確認）について、評価対象設備の形状及び 1 次固有周期に応じて、剛体または弾性体としてモデル化し、前者に対しては静的解析により、後者に対しては地震応答解析により実施したとしている。

また、安全上重要な機器・配管系の耐震安全性の評価にあたっては、検討対象部材の発生応力度の最大値が当該材料の評価基準値として、短期許容応力度を超えないことを確認したとしている。なお、使用材料の短期許容応力度は、日本工業規格、「京都大学研究用原子炉(KUR)の設計及び工事の方法の承認申請書（昭和 37 年 6 月）」及び「京都大学研究用原子炉(KUR)の変更に係る設計及び工事の方法の承認申請書」（平成 7 年 2 月）に基づく値を用いたとしている。

構造強度評価の結果を表 - 6 に示す。

1) 剛体モデルにおける静的解析による耐震安全性評価

京都大学は、評価対象設備である使用済燃料プール室プール、生体遮へい体、粗・微調整棒取付金具及び炉心支持構造物については、1 次固有振動数が 20Hz 以上であることを確認し、剛体モデルとして扱い、原子炉建屋の地震応答解析による 1 階床の床応答加速度を震度換算した水平・鉛直震度を地震荷重とする静的解析により耐震安全性評価を実施し、その結果、いずれの機器・配管系の応力度等は評価基準値以下であることを確認したとしている。

なお、水平震度（CH）については、床応答加速度 983gal から 1.0 と設定し、また、鉛直震度（CV）については、床応答加速度 268gal から保守的に 0.4 と設定したとしている。

施設・構造サブワーキンググループでは、剛体モデルにおける静的解析による耐震安全性評価の妥当性について、当省が施設・構造サブワーキンググループの意見を反映し実施したクロスチェックの検討結果とあわせて検討した。

クロスチェックの検討では、入力地震動に基づく原子炉建屋 1 階床の床応答加速度は水平方向 1,116gal、及び鉛直方向 243gal となることから、機器配管を剛体モデルに近似する場合の水平震度（CH）を 1.2 とし、鉛直震度（CV）を 0.4 とし検討を行った。その結果、いずれの機器・配管系の発生応力は評価基準値以下であることを確認した。

2) 地震応答解析による耐震安全性評価

京都大学は、評価対象設備である制御棒駆動装置案内管及び炉心直下 1 次冷却系配管については、地震応答解析に基づき耐震安全性評価を実施したとしている。

制御棒駆動装置案内管

制御棒駆動装置案内管の静的解析については、21 質点モデルによる 1 次固有周期に対する床応答加速度 3,040gal から、水平震度 (CH) を 3.5 とし、鉛直震度 (CV) は、鉛直方向の剛性が高いことから、1) の鉛直震度と同じ 0.4 とした検討により、発生応力は評価基準値以下であることを確認したとしている。

さらに、追加検討として、分布質量系フレームモデル (連続体モデル) によって、原子炉建屋 1 階床の床応答加速度波形 (水平方向) を用いて地震応答解析を実施し、発生応力は評価基準値以下であることを確認したとしている。

なお、地震時における原子炉の自動停止の設定値を約 20gal (水平動又は上下動) としており、制御棒の全挿入に要する時間は約 0.6 秒であることから、地震時には初期微動の段階で、原子炉は安全に停止できる構造となっているとしている。

炉心直下 1 次冷却系配管

炉心直下 1 次冷却系配管の静的解析については、L 字型配管を直線単純梁にモデル化し、中央 1 点集中荷重による加力モデルとし、水平及び鉛直震度は、1) と同一とした検討により、発生応力は評価基準値以下であることを確認したとしている。

さらに、追加検討として、分布質量系フレームモデルにより、原子炉建屋 1 階の床応答加速度波形 (水平方向 (2 方向) 及び鉛直方向) を用いて、地震応答解析を実施し、発生応力は評価基準値以下であることを確認したとしている。

施設・構造サブワーキンググループでは、地震応答解析による耐震安全性評価の妥当性について、**当省が施設・構造サブワーキンググループの意見を反映し実施したクロスチェックの検討結果とあわせて確認した。**

クロスチェックにおける検討では、京都大学が追加検討した解析モデルを用い、クロスチェックで解析した原子炉建屋 1 階の床応答加速度波形を用いた地震応答解析を実施した。評価結果は京都大学による結果とほぼ一致し、いずれの機器・配管系の発生応力は、評価基準値以下であることを確認した。

以上のことから、**当省は、機器・配管系の耐震安全性は確保されるものと判断した。**

3.5 原子炉建屋基礎地盤の安定性評価の妥当性

新耐震指針では、建物・構築物について、十分な支持性能を有する地盤に設置することとしている。

京都大学は、3.4 (1) の最大応答に対応する原子炉建屋基礎底面の接地圧については、「地盤の許容応力度及び基礎ぐいの許容支持力を求めるための地盤調査の方法並びにその結果に基づき地盤の許容応力度及び基礎ぐいの許容支持力を定める方法等を定

める件(平成13年国土交通省告示第1113号)」に基づき算定した短期許容支持力を評価基準値とし、評価基準値以下であることを確認したとしている。なお、基礎の引き揚げ力については、(財)日本建築センター「地震力に対する建築物の基礎の設計指針」⁽²⁶⁾に基づき算定した原子炉建屋地下根入れ部における基礎の側面に働く引き揚げ抵抗力以下であることを確認したとしている。

以上のことから、当省は、原子炉建屋基礎地盤は基準地震動 S_s による地震力に対して十分な支持性能を有していると判断した。

3.6 地震随件事象の妥当性

地質・地震動サブワーキンググループでは、京都大学による地震随件事象の評価について、新耐震指針及び妥当性確認の考え方に照らして確認を行った。

また、妥当性確認に際しては、妥当性確認ワーキンググループ及び当省による現地調査を実施し、敷地周辺斜面等の状況を確認した。

(1) 周辺斜面の安定性評価

新耐震指針では、地震随件事象として施設の周辺斜面で地震時に想定しうる崩壊等によって、施設の安全機能が重大な影響を受けるおそれがないこととしている。

京都大学は、原子炉建屋は丘陵部切土の堅固な地盤上に建設されており、周辺には原子炉建屋の地盤レベルより高い位置に崖や斜面は存在しないとしている。

地質・地震動サブワーキンググループは、原子炉建屋近傍にある農業用の池の深さと原子炉建屋基礎底の深さとの関係、及び地盤の液状化について検討するよう求めた。

これを踏まえ、京都大学は、原子炉建屋と農業用の池との離隔距離は 40m であること、原子炉建屋基礎底の標高は、池の最深部より 1m 程度高いとしていることを確認した。また、地盤の液状化についても、20m 以浅の地盤では、地震時のせん断ひずみは 0.1~0.2%程度と小さく、液状化の発生はないとしていることを確認した。

以上のことから、周辺斜面の安定性評価について、特段の問題はないとし、当省は妥当なものと判断した。

(2) 津波に対する安全性評価

新耐震指針では、地震随件事象の考慮として、津波については、施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性があるとして想定することが適切な津波によっても、施設の安全機能が重大な影響を受けるおそれがないこととしている。

敷地は、大阪湾から約4.5km、標高約60mに位置し、津波の影響を考慮する必要はないとしている。

地質・地震動サブワーキンググループでは、敷地と大阪湾の位置関係により、津波に対する安全性評価について、特段の問題はないとし、**当省は妥当なものと判断した。**

4. まとめ

4.1 基準地震動 Ss・入力地震動の妥当性

地質・地震動サブワーキンググループにおける検討結果を踏まえ、基準地震動 Ss 及び入力地震動の策定に係る検討結果に基づく**当省**の評価は以下のとおりである。

(1) 敷地周辺の地質・地質構造の評価

変動地形学的調査、地表地質調査、地球物理学的調査等に関する既存文献の調査は、要求されている事項を満足していることから、基本的に必要な事項は調査されているものと判断した。

敷地周辺陸域及び海域の活断層の評価は妥当なものと判断した。

(2) 地震動評価

「震源を特定して策定する地震動」の評価に際して、中央構造線断層帯による地震、上町断層帯による地震、想定南海地震 (M8.4)、想定東南海地震 (M8.1) 及びそれらが連動した地震 (M8.5) 並びにプレート内地震 (想定敷地下方の地震) (M7.4) を検討用地震としていることは妥当なものと判断した。

中央構造線断層帯及び上町断層帯による地震の基本震源モデル、及びその不確かさとして、アスペリティの配置、破壊開始点及び短周期レベルのそれぞれを考慮した震源モデルのパラメータについては妥当なものと判断した。

また、想定南海地震、想定東南海地震及びそれらが連動した場合の地震、並びにプレート内地震 (想定敷地下方の地震) の震源モデルについても妥当なものと判断した。

中央構造線断層帯及び上町断層帯による地震、想定南海地震、想定東南海地震、及びそれらが連動した場合の地震、並びにプレート内地震 (想定敷地下方の地震) の震源モデルをもとにした、応答スペクトル手法として Noda et al. (2002)⁽⁸⁾ による方法を用いた地震動の評価については、敷地の地下構造特性等を適切に考慮しており、妥当なものと判断した。

中央構造線断層帯及び上町断層帯による地震の各震源モデルをもとに、断層モデルを用いた手法による地震動の評価については、短周期側に統計的グリーン関数法、長周期側に理論的方法を適用したハイブリッド合成法を用い、敷地の地下

構造特性を適切に考慮しており、妥当なものと判断した。

「震源を特定せず策定する地震動」については、断層モデルを用いた手法による地震動評価によって策定された「震源を特定して策定する地震動」が優位であることから、基準地震動の選定に関して考慮しないことは支障のないものと判断した。

「震源を特定して策定する地震動」のうち、応答スペクトル手法による地震動評価において、中央構造線断層帯による地震動を基準地震動 Ss-1 とし、断層モデルを用いた手法による地震動評価において、中央構造線断層帯による地震におけるアスペリティ位置及び短周期レベルの不確かさを考慮した地震動を、基準地震動 Ss-2 及び Ss-3 と設定していることは妥当なものと判断した。

解放基盤表面以浅の堆積地盤における増幅特性を考慮するための地下構造モデルについては妥当なものと判断した。

基準地震動 Ss-2 に基づく建屋基礎底位置における入力地震動については妥当なものと判断した。

以上のことから、基準地震動として、「震源を特定して策定する地震動」による基準地震動 Ss-1 ~ Ss-3 が策定されていることは妥当なものと判断した。

また、入力地震動として、最も厳しい評価となる基準地震動 Ss-2 を選定し、評価していることは妥当なものと判断した。

4.2 施設の耐震安全性評価の妥当性

施設・構造サブワーキンググループにおける検討結果を踏まえ、施設の耐震安全性評価に係る検討結果に基づく当省の評価は以下のとおりである。

(1) 建物・構築物の耐震安全性評価

地震応答解析モデル(質点系モデル)については、原子炉建屋の円筒形外周壁に作用するリテーニングウォールの面外曲げ等の詳細な地震時挙動は模擬できないが、原子炉建屋の全体的な応答性状を把握し、総体的な耐震安全性を評価するために用いることは支障のないものと判断した。

基準地震動 Ss に基づく入力地震動による地震応答解析の結果、最大応答せん断力は確認保有水平耐力を、また、原子炉建屋の耐震壁の最大応答せん断ひずみ値は評価基準値を下回っていることから、原子炉建屋の耐震安全性は確保されるものと判断した。

なお、原子炉建屋の耐震安全性に係る詳細な評価は以下のとおりである。

- ・原子炉建屋の円筒形外周壁については、地震力の作用方向が壁の面外方向となる部分と面内方向となる部分からなり、基準地震動 Ss に基づく入力地震動による発生応力は、水平力の作用方向が壁の面外方向となる壁脚部では曲げ

ひび割れ発応力を超えるが、面内方向となる壁ではせん断ひび割れ発生応力以下であること。

- ・屋根版の長期荷重時はシェル構造特有の応力状態にあり、基準地震動Ssに基づく入力地震動によって屋根版端部に生じる最大応力は、鉄筋とコンクリートを考慮した曲げモーメントと軸力の相関関係に基づく評価において、短期許容応力度以下となっていること。

(2) 機器・配管系の耐震安全性評価

機器・配管系の構造強度評価については、基準地震動 Ss に基づく入力地震動による地震力と地震力以外の荷重を組み合わせで算定した評価部位の発生応力が評価基準値以下であることから、安全上重要な機器・配管系（Sクラス相当）の耐震安全性は確保されるものと判断した。

以上のことから、原子炉建屋及び機器・配管系の耐震安全性は、基準地震動 Ss に対して確保されるものと判断した。

4.3 原子炉建屋基礎地盤の安定性評価の妥当性

地質・地震動及び施設・構造サブワーキンググループにおける検討結果を踏まえ、原子炉建屋基礎地盤の安定性に対する当省の評価は以下のとおりである。

原子炉建屋基礎底面の地震時接地圧については、評価基準値以下であることから、原子炉建屋基礎地盤は基準地震動Ssによる地震力に対して十分な支持性能を有していると判断した。

4.4 地震随件事象の評価の妥当性

地質・地震動サブワーキンググループにおける検討結果を踏まえ、地震随件事象に対する当省の評価は以下のとおりである。

(1) 周辺斜面の安定性

原子炉建屋は丘陵部切土の堅固な地盤上に建設されており、周囲には原子炉建屋の地盤レベルより高い位置に崖や傾斜地は存在せず、周辺斜面の安定性は確保されているため、基準地震動Ssによる地震力に対して、特段の問題はないものと判断した。

(2) 津波に対する安全性

敷地は大阪湾から約4.5km、標高約60mに位置し、特段の問題はないものと判断した。

5. 参考文献

- (1) 岡田篤正・東郷正美 (2000) : 近畿の活断層, 東京大学出版会
- (2) 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2003) : 中央構造線断層帯(金剛山地東縁 - 伊予灘)の長期評価について
- (3) 吉川宗治・町田義之・寺本光雄・横田裕・長尾英孝・梶原正章 (1987) : 大阪市内における反射法地震探査, 物理探査学会 77 回学術講演会講演論文集, pp.114-117
- (4) 文部科学省(2007) : 大都市大震災軽減化特別プロジェクト 地震動(強い揺れ)の予測「大都市圏近く構造調査研究」成果報告書
- (5) 横倉隆伸・加野直巳・山口和雄・宮崎光旗・井川猛・太田陽一・川中卓・阿部進 (1998) : 大阪湾における反射法深部構造探査, 地質調査所月報, 49, 11, pp.571-590
- (6) 海上保安庁水路部 (1995) : 1 / 100,000 海底地質構造図 明石海峡及び大阪湾
- (7) 岩淵洋・西川公・野田直樹・雪松隆夫・田賀傑・宮野正美・酒井建治・深沢満 (2000) : 反射法音波探査に基づく大阪湾の基盤と活構造, 海上保安庁水路部研究報告, 36, pp.1-23
- (8) Shizuo Noda, Kazuhiko Yashiro, Katsuya Takahashi, Masayuki Takemura, Susumu Ohno, Masanobu Tohdo, Takahide Watanabe(2002) : RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis, Oct.16-18, Istanbul
- (9) 松田時彦(1975) : 活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震第 2 輯, 第 28 巻, pp.269-283
- (10) 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2001) : 南海トラフの地震を想定した強震動評価について(中間報告)
- (11) 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2006) : 全国を概観した地震動予測地図 2006 年版報告書, 分冊 1 確率論的地震予測地図の説明, pp.141-142
- (12) 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2005) : 中央構造線断層帯(金剛山地東縁 - 和泉山脈南縁)の地震を想定した強震動評価
- (13) 地震調査研究推進本部地震調査委員会(平成20年4月11日) : 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)
- (14) H.Kawabe and K.Kamae(2008) : Prediction of long-period ground motions from huge subduction earthquakes in Osaka, Japan, Journal of Seismology, Vol.12, No.2, pp.173-184
- (15) 釜江克宏・入倉孝次郎・福知保長 (1991) : 地震のスケーリング則に基づいた大地震時の強震動予測: 統計的波形合成法による予測, 日本建築学会構造系論文報告集, 430, pp.1-9

- (16) 釜江克宏・入倉孝次郎・福知保長 (1990) : 地域的な震源スケーリング則を用いた大地震 (M 7 級) のための設計用地震動予測, 日本建築学会構造系論文報告集, 416, pp.57-70
- (17) 堀川晴央・水野清秀・石山達也・佐竹健治・関口春子・加瀬祐子・杉山雄一・横田裕・末廣匡基・横倉隆伸・岩淵洋・北田奈緒子・Arben Pitarka (2003): 断層による不連続構造を考慮した大阪堆積盆地の 3 次元地盤構造モデル, 活断層・古地震研究報告, No. 3, pp.225-259
- (18) 入倉孝次郎・三宅弘恵(2001): シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌, 110, pp.849-875.
- (19) 武村雅之(1990): 日本列島およびその周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係, 地震第 2 輯, 第 43 号, pp.257-265
- (20) 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2009): 全国地震動予測地図 技術報告書 (平成 21 年 7 月)
- (21) (社)日本建築学会: 建築耐震設計における保有耐力と変形性能(1990), pp.339-504
- (22) Lysmer, J., Tabatabaie, R.M., Tajirian, F., Vahdani, S. and Ostadan, F. (1981) : SASS-A System for Analysis of Soil-structure Interaction,UCB/GT/81-02, University of California
- (23) 文学章・福和伸夫(2006) : 隣接建物の存在が直接基礎の動的相互作用特性に与える影響, 日本建築学会構造系論文集, No. 600, 2006.2, pp.97-105
- (24) 文学章・福和伸夫(2006) : 直接基礎の基礎形状と基礎形式が動的相互作用効果に及ぼす影響, 構造工学論文集, Vol.52B, 2006, pp.23-31
- (25) (社)日本建築学会: 建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計, pp.121-123
- (26) (財)日本建築センター: 地震力に対する建築物の基礎の設計指針 1989

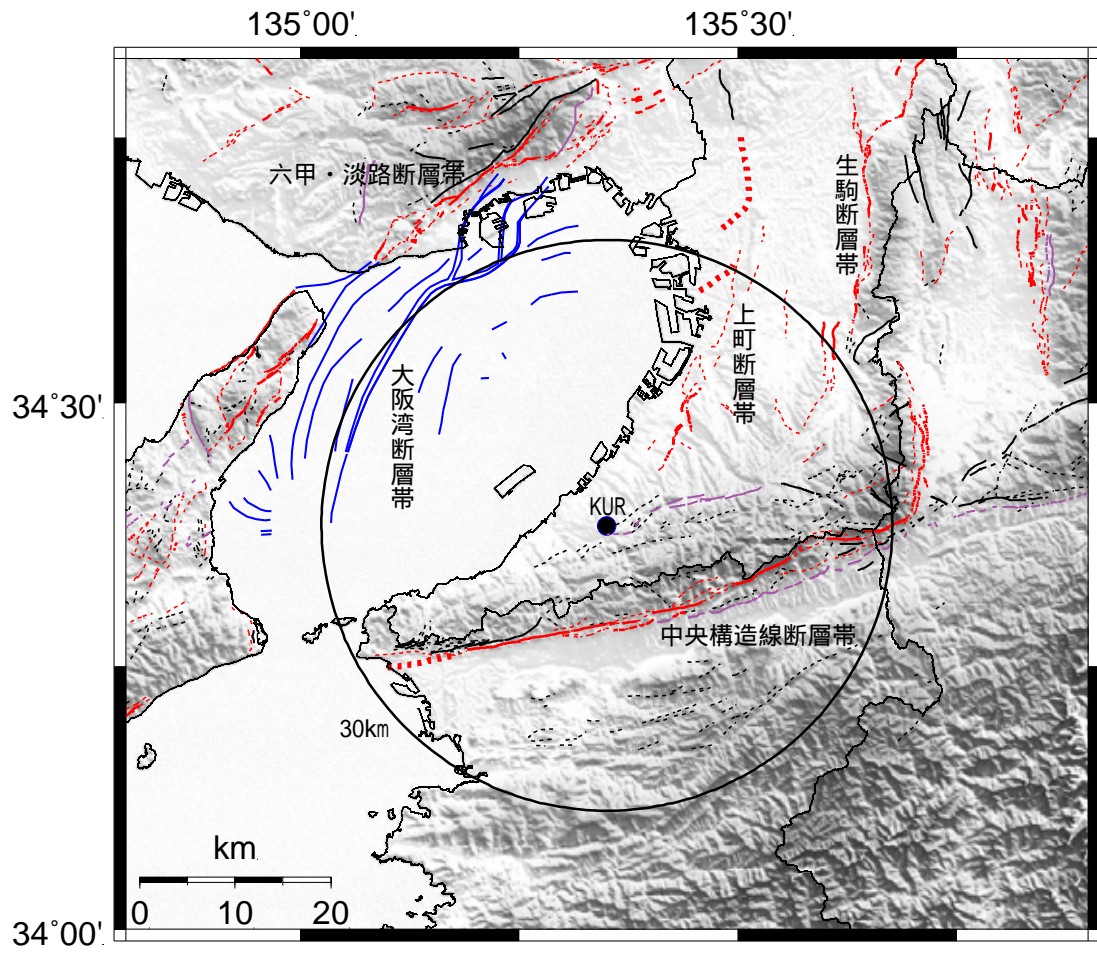
6 . 添付図表

表 - 1 KUR原子炉施設における評価対象設備・機器等

| 評価対象 | 設備・機器等の内訳 | |
|----------------------|--------------------|---------------------------|
| 基礎地盤 | 原子炉建屋基礎地盤 | |
| 建物・構築物 | 原子炉建屋 ⁺ | |
| 機器・配管系 | 原子炉本体 | 燃料要素、炉心支持構造物、生体遮へい体、炉心タンク |
| | 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設 | 使用済燃料プール室プール、使用済燃料貯蔵ラック |
| | 原子炉冷却系統施設 | 1次冷却系配管（炉心直下部のみ） |
| | 計測制御系施設 | 制御棒、制御棒駆動装置 |
| 地震随件事象 ^{**} | 津波、周辺斜面 | |

⁺ : 波及的影響について評価する。

^{**} : 地震随件事象については、敷地の状況を踏まえ適切に評価する。



- 活断層 (30万年前以降にも活動した活断層、确实度)
 - - - 活断層 (30万年前以降にも活動した活断層、确实度)
 - 活断層 (30万年前以降にも活動した活断層、
物理探査などにより明らかになった活断層)
 - 断層 (30万年前以前にのみ活動した活断層)
 - 断層組織地形 (シャープなリアメント)
 - - - 断層組織地形 (主なリアメント)
 - 横倉・他(1998)⁽⁵⁾による大阪湾内の活断層
- 活断層、断層、断層組織地形の分類は岡田・東郷(2000)⁽¹⁾による

図 - 1 耐震設計上考慮する活断層

表 - 2 中央構造線断層帯による地震の検討ケース

| | 断層長さ | 断層傾斜角 | アスペリティ | 破壊開始点 | 短周期レベル | 備考 |
|---------|------|-------|--------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------|
| 基本ケース | 60km | 43° | 地震本部 ¹⁾ | 西側アスペリティ 西側下端 | レシピア ²⁾ | |
| 基本ケース | | | | 東側アスペリティ 東側下端 | | |
| 不確かさケース | | | 敷地近傍に大きなアスペリティを配置 | 敷地近傍に設定したアスペリティ 中央下端 | | |
| 不確かさケース | | | 地震本部 ¹⁾ | 西側アスペリティ 西側下端 | レシピア ²⁾ × 1.5 倍 | 中越沖地震 反映 |

1) : 地震本部(2005)⁽¹²⁾における震源モデルにおけるアスペリティと同配置とした。

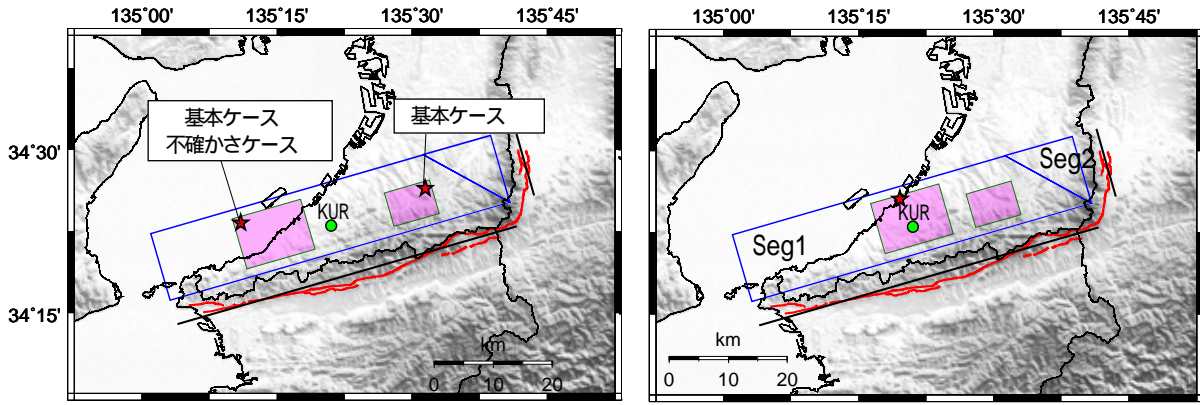
2) : 地震本部⁽¹³⁾のレシピア

表 - 3 中央構造線断層帯の震源パラメータ

| 断層パラメータ | | 記号 | 単位 | 設定方法 | 基本ケース 基本ケース 不確かさ ケース | 不確かさ ケース | | |
|------------------|--------------|---------|--------------------------------------|---|---|-----------------------------|-------|--|
| 断層全体 | 断層長さ | L | km | 文献調査により設定 | 60.0 | | | |
| | 断層幅 | W | km | 地震発生層と傾斜角から設定 | 16.1 | | | |
| | 断層面積 | S | km ² | 断層長さ × 断層幅 | 968 | | | |
| | 断層上端深さ | DepU | km | 微小地震の震源深さの上限を参照して設定 | 4.0 | | | |
| | 断層下端深さ | DepD | km | 微小地震の震源深さの下限を参照して設定 | 15.0 | | | |
| | 気象庁マグニチュード | Mj | - | $Mj = (\log L + 2.9) / 0.6$ (松田, 1975) | 7.8 | | | |
| | モーメントマグニチュード | Mw | - | $Mw = (\log Mo - 9.1) / 1.5$ (Kanamori, 1977) | 7.1 | | | |
| | 傾斜角 | dip | ° | 文献調査により設定 | 43 | | | |
| | 地震モーメント | Mo | Nm | $Mo = (S / (4.24 \times 10^{-11}))^{2.0}$ (入倉・三宅, 2001) | 5.21×10^{19} | | | |
| | 平均すべり量 | D | m | $D = Mo / (\mu \times S)$ | 1.63 | | | |
| | 静的 応力降下量 | | MPa | $= 3.1$ (Fujii and Matsuura, 2000) (レシビ) | 3.10^1 4.65^2 | 4.65 | | |
| 破壊伝播速度 | Vr | km/s | $Vr = 0.72 \times Vs$ (Geller, 1976) | 2.52 | | | | |
| アスペリテイ | 全体 | 平均すべり量 | Da | m | $Da = 2 \times D$ (Somerville et al., 1999) (石井・他 2000) | 3.26 | | |
| | | 面積 | Sa | km ² | Sa は断層面積 (S) の約 0.22 倍 (Somerville et al., 1999) | 213 | | |
| | | 地震モーメント | Moa | Nm | $Moa = \mu \times Sa \times Da$ (Irikura et al., 2004) (Eshelby, 1957) | 2.29×10^{19} | | |
| | | 実行応力 | a | MPa | $a = \mu \times (S / Sa)$ (Irikura et al., 2004) (Madoriage, 1957) | 14.09 | 21.63 | |
| | Asp1 | すべり量 | Da1 | m | $Da1 = (1 / i^3) \times Da$ | 3.61 | | |
| | | 面積 | Sa1 | km ² | $Sa1 : Sa2 = 2 : 1$ | 142 | | |
| | | 地震モーメント | Moa1 | Nm | $Moa1 = \mu \times Sa1 \times Da1$ | 1.69×10^{19} | | |
| | Asp2 | すべり量 | Da2 | m | $Da2 = (2 / i^3) \times Da$ | 2.55 | | |
| | | 面積 | Sa1 | km ² | $Sa1 : Sa2 = 2 : 1$ | 71 | | |
| | | 地震モーメント | Moa2 | Nm | $Moa2 = \mu \times Sa2 \times Da2$ | 5.99×10^{18} | | |
| | 背景領域 | 全体 | すべり量 | Db | m | $Db = Mo / (\mu \times Sb)$ | 1.17 | |
| | | | 面積 | Sb | km ² | $Sb = S - Sa$ | 755 | |
| 地震モーメント | | | Mob | Nm | $Mob = Mo - Moa$ | 2.92×10^{19} | | |
| 実行応力 | | | b | MPa | $b = (Db / Wb) \times (1/2 / Da) \times r \times i^3 \times a$ | 3.37 | 5.25 | |
| 泉南山縁 脈部分 | | 断層長さ | L1 | km | 文献調査により設定 | 60.0 | | |
| | | 断層幅 | W1 | km | $(DepD - DepU) / \sin(dip1)$ | 16.1 | | |
| | | 走向 | Strike1 | ° | 文献調査により設定 | 254 | | |
| | | 傾斜角 | dip1 | ° | 文献調査により設定 | 43 | | |
| | | すべり角 | rake1 | ° | 文献調査により設定 | 180 | | |
| | | 面積 | S1b | km ² | $S1t - S1a$ | 659.71 | | |
| 金東剛縁 山部 地分 | | 断層長さ | L2 | km | $L2 = W2 \cos(dep1)$ | 11.8 | | |
| | | 断層幅 | W2 | km | $(DepD - DepU) / \sin(dip2)$ | 16.1 | | |
| | | 走向 | Strike2 | ° | 文献調査により設定 | 164 | | |
| | | 傾斜角 | dip2 | ° | 文献調査により設定 | 43 | | |
| | | すべり角 | Rake2 | ° | 文献調査により設定 | 90 | | |
| | | 面積 | S2b | km ² | $S2t - S2a$ | 95.1 | | |

1: 基本ケース 及び基本ケース に適用

2: 不確かさケース に適用

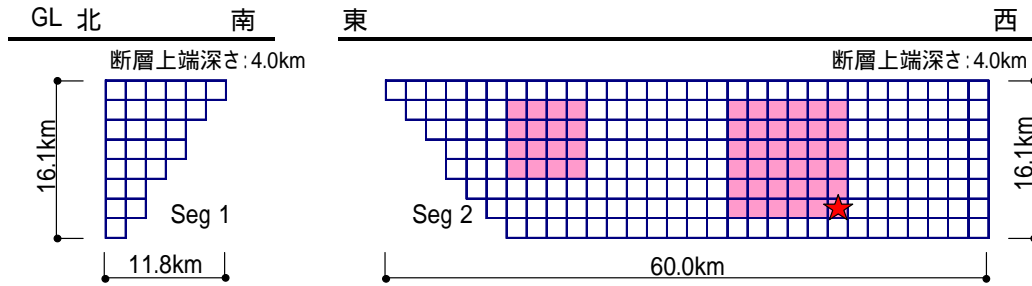


<基本ケース、基本ケース、不確かさケース>

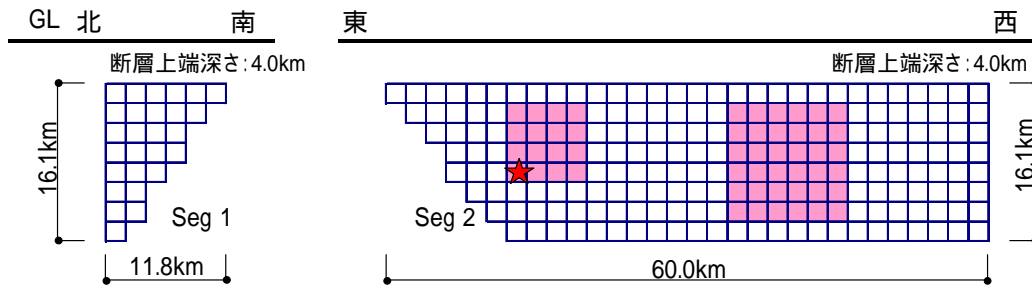
<不確かさケース>

(a) 断層配置図

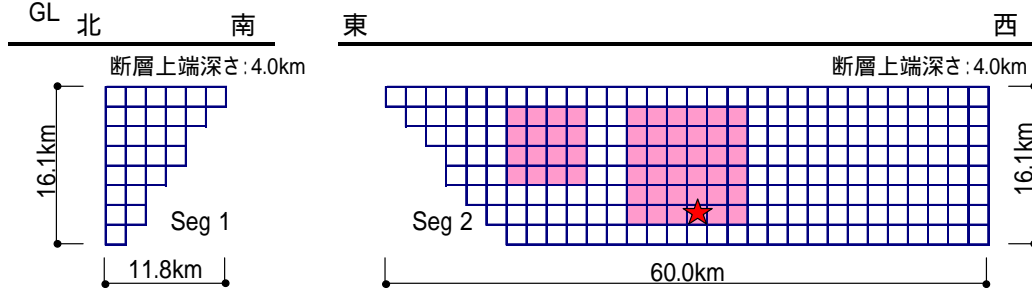
<基本ケース、不確かさケース>



<基本ケース>



<不確かさケース>



★:破壊開始点 □:アスペリティ □:背景領域

(b) アスペリティと破壊開始点の位置

図 - 2 中央構造線断層帯の震源モデル

表 - 4 上町断層帯による地震の検討ケース

| | 断層長さ | 断層傾斜角 | アスペリティ | 破壊開始点 | 短周期レベル | 備考 |
|---------|------|-------|----------------------------|--------------|-----------------------------|---------|
| 基本ケース | 58km | 65° | 北側セグメントに大きなアスペリティを配置 | 左記アスペリティ北側下端 | レシピア) ¹⁾ | |
| 不確かさケース | | | 南側セグメント(敷地近傍)に大きなアスペリティを配置 | 左記アスペリティ北側下端 | レシピア) ¹⁾ | |
| 不確かさケース | | | 北側セグメントに大きなアスペリティを配置 | 左記アスペリティ北側下端 | レシピア) ¹⁾ × 1.5 倍 | 中越沖地震反映 |

1) : 地震本部⁽¹²⁾のレシピア

表 - 5 上町断層帯の震源パラメータ

| 断層パラメータ | | 記号 | 単位 | 設定方法 | 基本 ケース | 不確か ケース | 不確か ケース | |
|---------|--------------|---------|--------------------------------------|---|---|--------------------|------------|-------|
| 断層全体 | 断層長さ | L | km | 文献調査により設定 | 58 | | | |
| | 断層幅 | W | km | 地震発生層と傾斜角から設定 | 16 | | | |
| | 断層面積 | S | km ² | 断層長さ×断層幅 | 928 | | | |
| | 断層上端深さ | DepU | km | 微小地震の震源深さの上限を参照して設定 | 3.0 | | | |
| | 断層下端深さ | DepD | km | 微小地震の震源深さの下限を参照して設定 | 17.5 | | | |
| | 気象庁マグニチュード | Mj | - | $Mj = (\log L + 2.9) / 0.6$ (松田, 1975) | 7.6 | | | |
| | モーメントマグニチュード | Mw | - | $Mw = (\log Mo - 9.1) / 1.5$ (Kanamori, 1977) | 7.1 | | | |
| | 傾斜角 | dip | ° | 文献調査により設定 | 65 | | | |
| | 地震モーメント | Mo | Nm | $Mo = \{S / (4.24 \times 10^{-11})\}^{2.0}$ (入倉・三宅, 2001) | 4.79×10^9 | | | |
| | 平均すべり量 | D | m | $D = Mo / (\mu \times S)$ | 1.56 | | | |
| | 静的 応力降下量 | | MPa | $= 3.1$ (Fujii and Matsuura, 2000) (レシビ) | 3.10 | 3.10 | 4.65 | |
| 破壊伝播速度 | Vr | km/s | $Vr = 0.72 \times Vs$ (Geller, 1976) | 2.52 | | | | |
| アスペリティ | 全体 | 平均すべり量 | Da | m | $Da = 2 \times D$ (Somerville et al., 1999) (石井・他 2000) | 3.12 | | |
| | | 面積 | Sa | km ² | Sa は断層面積 (S) の約 0.22 倍 (Somerville et al., 1999) | 204 | | |
| | | 地震モーメント | Moa | Nm | $Moa = \mu \times Sa \times Da$ (Irikura et al., 2004) (Eshelby, 1957) | 2.11×10^9 | | |
| | | 実行応力 | a | MPa | $a = \mu \times (S / Sa)$ (Irikura et al., 2004) (Madoriga, 1957) | 14.09 | 21.14 | 21.14 |
| | 1 | すべり量 | Da1 | m | $Da1 = (1 / i^3) \times Da$ | 3.46 | | |
| | | 面積 | Sa1 | km ² | $Sa1 : Sa2 = 2 : 1$ | 136 | | |
| | 2 | 地震モーメント | Moa1 | Nm | $Moa1 = \mu \times Sa1 \times Da1$ | 1.56×10^9 | | |
| | | すべり量 | Da2 | m | $Da2 = (2 / i^3) \times Da$ | 2.45 | | |
| | | 面積 | Sa1 | km ² | $Sa1 : Sa2 = 2 : 1$ | 68 | | |
| | | 地震モーメント | Moa2 | Nm | $Moa2 = \mu \times Sa2 \times Da2$ | 5.51×10^8 | | |
| 背景領域全体 | すべり量 | Db | m | $Db = Mo_b / (\mu \times S_b)$ | 1.12 | | | |
| | 面積 | Sb | km ² | $S_b = S - S_a$ | 724 | | | |
| | 地震モーメント | Mob | Nm | $Mo_b = M - Mo_a$ | 2.68×10^9 | | | |
| | 実行応力 | b | MPa | $b = (Db / W_b) \times (1/2 / Da) \times r \times i^3 \times a$ | 3.33 | 3.33 | 4.99 | |
| セグメント | 1 | 断層長さ | L1 | km | 文献調査により設定 | 8 | | |
| | | 断層幅 | W1 | km | $(DepD - DepU) / \sin(dip1)$ | 16 | | |
| | | 走向 | Strike1 | ° | 文献調査により設定 | 342 | | |
| | | 傾斜角 | dip1 | ° | 文献調査により設定 | 65 | | |
| | | すべり角 | rake1 | ° | 文献調査により設定 | 90 | | |
| | | 面積 | S1b | km ² | 長さ×幅 - アスペリティ面積 | 82 | 128 | 82 |
| | 2 | 断層長さ | L2 | km | 文献調査により設定 | 12 | | |
| | | 断層幅 | W2 | km | $(DepD - DepU) / \sin(dip2)$ | 16 | | |
| | | 走向 | Strike2 | ° | 文献調査により設定 | 354 | | |
| | | 傾斜角 | dip2 | ° | 文献調査により設定 | 65 | | |
| | | すべり角 | rake2 | ° | 文献調査により設定 | 90 | | |
| | | 面積 | S2b | km ² | 長さ×幅 - アスペリティ面積 | 102 | 124 | 102 |
| | 3 | 断層長さ | L3 | km | 文献調査により設定 | 26 | | |
| | | 断層幅 | W3 | km | $(DepD - DepU) / \sin(dip3)$ | 16 | | |
| | | 走向 | Strike3 | ° | 文献調査により設定 | 23 | | |
| | | 傾斜角 | dip3 | ° | 文献調査により設定 | 65 | | |
| | | すべり角 | rake3 | ° | 文献調査により設定 | 90 | | |
| | | 面積 | S3b | km ² | 長さ×幅 - アスペリティ面積 | 348 | 280 | 348 |
| | 4 | 断層長さ | L4 | km | 文献調査により設定 | 4 | | |
| | | 断層幅 | W4 | km | $(DepD - DepU) / \sin(dip4)$ | 16 | | |
| 走向 | | Strike4 | ° | 文献調査により設定 | 48 | | | |
| 傾斜角 | | dip4 | ° | 文献調査により設定 | 65 | | | |
| すべり角 | | rake4 | ° | 文献調査により設定 | 90 | | | |
| 面積 | | S4b | km ² | 長さ×幅 - アスペリティ面積 | 64 | | | |
| 5 | 断層長さ | L5 | km | 文献調査により設定 | 8 | | | |
| | 断層幅 | W5 | km | $(DepD - DepU) / \sin(dip5)$ | 16 | | | |
| | 走向 | Strike5 | ° | 文献調査により設定 | 55 | | | |
| | 傾斜角 | dip5 | ° | 文献調査により設定 | 65 | | | |
| | すべり角 | rake5 | ° | 文献調査により設定 | 90 | | | |
| | 面積 | S5b | km ² | 長さ×幅 - アスペリティ面積 | 128 | | | |