

放射性物質分析・研究施設第2棟に係る
実施計画の変更認可申請について
(第2棟の耐震クラス及び適用地震動の設定について)
8月24日面談資料改訂版

2022年11月25日

東京電力ホールディングス株式会社
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構



1. 第2棟の耐震評価の考え方 (1/15)

一部改訂

第2棟の耐震評価の考え方は、第51回原子力規制委員会で示された文書「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方」（参考資料1）に従うと以下のとおりとなる。

1-①：地震により安全機能を失った際の公衆への被ばく影響により、暫定的に耐震クラスをS、B及びCに分類

安全機能を失った際（建屋、コンクリートセルの壁・天井が無いとした場合）の公衆被ばく線量は下表のとおり5mSvを超過する。

- ・閉じ込め機能：コンクリートセル、建屋の除染係数は見込めないと想定
 - ・遮蔽機能：コンクリートセル、建屋の遮蔽機能は見込めないと想定
- なお、試料ピットは堅牢な構造であるため、臨界には達しない（別紙1参照）

(1/3)

| 設備名称 | 耐震上の安全機能 | 機能喪失時の敷地境界線量評価の概要 | 内部被ばく | 外部被ばく※1 | 敷地境界線量 |
|----------|----------|--|-----------------------|---------------------------|--------------------------|
| 建屋 | 遮蔽 | 【外部被ばく】建屋の遮蔽機能が喪失し、地下階に存在する固体廃棄物払出準備設備及び液体廃棄物払出準備設備に含まれる放射性物質の放射能（それぞれ 2.3×10^{10} Bq及び 2.4×10^8 Bq）から燃料デブリ重量に換算し、その直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の遮蔽を考慮しない。 ・固体廃棄物払出準備設備及び液体廃棄物一時貯留設備は地下階に存在するため、土壌による遮蔽を考慮する。 | — | 6.5×10^{-4} mSv* | 6.5×10^{-4} mSv |
| コンクリートセル | 閉じ込め | 【内部被ばく】コンクリートセル内の試料調製時に発生する燃料デブリからの粉体の発生量を安全側に見積もり、粉体中の放射性物質がセル内の気相に移行※2し、排気系統を通じてではなく、直接、セル周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・コンクリートセル及び建屋の除染係数を考慮しない。 | 1.1×10^2 mSv | 2.2×10^1 mSv | 1.4×10^2 mSv |
| | 遮蔽 | 【外部被ばく】コンクリートセルの遮蔽機能が喪失し、燃料デブリからの直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。 ・コンクリートセル及び建屋による遮蔽を考慮しない。 | — | 1.9×10^2 mSv* | 1.9×10^2 mSv |
| 試料ピット | 遮蔽 | 【外部被ばく】試料ピットの遮蔽機能が喪失し、燃料デブリからの直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の遮蔽を考慮しない。 ・試料ピットは地下階に存在するため、土壌による遮蔽を考慮する。 | — | 1.9×10^2 mSv* | 1.9×10^2 mSv |
| | (臨界管理) | ・試料ピットは堅牢な構造であり形状は維持されるため、臨界に達するおそれはない。 | | | |

※1 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

※2 燃料デブリ切断時の粉体から気相への放射性物質の移行率1%（日本原子力学会「ホットラボの設計と管理」）。Kr等の気体状の放射性物質は100%移行。

* モデルを見直し再評価した。（その他設備の線量については有効数字2桁に表記を統一した（以下、同じ）。）

1. 第2棟の耐震評価の考え方 (2/15)

一部改訂

3

(2/3)

| 設備名称 | 耐震上の安全機能 | 機能喪失時の敷地境界線量評価の概要 | 内部被ばく | 外部被ばく※1 | 敷地境界線量 |
|-------------|----------|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 鉄セル | 閉じ込め | 【内部被ばく】鉄セル内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がセル内の気相に移行※3し、排気系統を通じてではなく、直接、セル周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。 | 2.7 mSv | 5.3×10 ⁻² mSv | 2.8 mSv |
| | 遮蔽 | 【外部被ばく】鉄セルの遮蔽機能が喪失し、燃料デブリから直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の遮蔽を考慮しない。 | | | |
| グローブボックス | 閉じ込め | 【内部被ばく】グローブボックス内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がグローブボックス内の気相に移行※3し、排気系統を通じてではなく、直接、グローブボックス周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。 | 2.7×10 ⁻⁴ mSv | — | 2.7×10 ⁻⁴ mSv |
| フード | 閉じ込め | 【内部被ばく】フード内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がフード内の気相に移行※3し、排気系統を通じてではなく、直接、フード周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。 | 2.7×10 ⁻⁴ mSv | — | 2.7×10 ⁻⁴ mSv |
| 液体廃棄物一時貯留設備 | 閉じ込め | 【内部被ばく】液体廃棄物一時貯留設備のうち分析廃液受槽が破損し、内蔵している放射性の液体廃棄物が堰内に漏えいし、漏えいに伴い液体廃棄物中の放射性物質の一部が室内の気相に移行※4し、排気系統を通じてではなく、直接、建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。 | 7.2×10 ⁻⁵ mSv | — | 7.2×10 ⁻⁵ mSv |

※1 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

※2 燃料デブリ切断時の粉体から気相への放射性物質の移行率 1%（日本原子力学会「ホットラボの設計と管理」）。Kr等の気体状の放射性物質は100%移行。

※3 鉄セル、グローブボックス、フードでは、燃料デブリの切断は行わないが、取り扱う燃料デブリ全量が粉体化するものとし、※2の移行率を用いた。

※4 液体状の放射性物質の漏えい時の気相への移行率0.02%（“Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook”, NUREG/CR-6410）

1. 第2棟の耐震評価の考え方 (3/15)

一部改訂

4

(3/3)

| 設備名称 | 耐震上の安全機能 | 機能喪失時の敷地境界線量評価の概要 | 内部被ばく | 外部被ばく※1 | 敷地境界線量 |
|--------------------|----------|--|--------------------------|-----------------------|--------------------------|
| セル・グローブボックス用換気空調設備 | 閉じ込め | 【内部被ばく】コンクリートセル内の試料調製時に発生する燃料デブリからの粉体の発生量を安全側に見積もり、粉体中の放射性物質がセル内の気相に移行※2し、コンクリートセルの排気配管内の放射性物質を含む気体が直接周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。 <u>別紙2参照</u> | 2.0 mSv | — | 2.0 mSv |
| フード用換気空調設備 | 閉じ込め | 【内部被ばく】フード内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がフード内の気相に移行※3し、フードの排気配管内の放射性物質を含む気体が直接フード周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。 | 2.7×10^{-4} mSv | — | 2.7×10^{-4} mSv |
| 管理区域用換気空調設備 | — | 設備が機能喪失しても公衆への被ばく影響はない。 | — | — | — |
| 消火設備 | — | 設備が機能喪失しても公衆への被ばく影響はない。 | — | — | — |
| 固体廃棄物払出準備設備 | — | 固定して使用する設備がないため、耐震上の安全機能はない。 | — | — | — |
| 合計 | | | 1.2×10^2 mSv | 2.2×10^2 mSv | 3.4×10^2 mSv |

※1 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

※2 燃料デブリ切断時の粉体から気相への放射性物質の移行率1%（日本原子力学会「ホットラボの設計と管理」）。Kr等の気体状の放射性物質は100%移行。

※3 鉄セル、グローブボックス、フードでは、燃料デブリの切断は行わないが、取り扱う燃料デブリ全量が粉体化するものとし、※2の移行率を用いた。

1. 第2棟の耐震評価の考え方 (4/15)

一部改訂

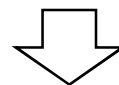
安全機能を失った際（建屋、コンクリートセルの壁・天井が無いとした場合）の公衆被ばく影響を基に暫定的に耐震クラス分類すると下表のとおりとなる。

| 主要設備 | 耐震上の安全機能 | 暫定耐震クラス | 補助設備（安全機能） | | 直接支持構造物 | 間接支持構造物 | 波及的影響を考慮すべき施設 | 説明 |
|-------------|--------------|---------|----------------------------|---------|----------------------------|--|---------------|---|
| | | | 適用範囲 | 暫定耐震クラス | | | | |
| 建屋 | ・遮蔽 | C | — | — | — | 建屋【S _C (S _s で確認)】 | — | ・建屋が安全機能を喪失した場合50μSv以下となるため暫定Cクラス |
| コンクリートセル | ・遮蔽 ・閉じ込め | S | セル・グローブボックス用換気空調設備（閉じ込め※2） | B | 設備の支持構造物（B） | 建屋【S _B 】 | — | ・コンクリートセルの安全機能が喪失した場合5mSvを超えるため暫定Sクラス ・セル・グローブボックス用換気空調設備の安全機能が喪失した場合50μSvを超え、5mSv以下となるため暫定Bクラス |
| 試料ピット | ・遮蔽 ・臨界管理 | S | — | — | 設備の支持構造物（S） | 建屋【S _S 】 | — | ・試料ピットの安全機能が喪失した場合5mSvを超えるため暫定Sクラス |
| 鉄セル | ・遮蔽 ・閉じ込め | B | セル・グローブボックス用換気空調設備（閉じ込め※2） | B | 設備の支持構造物（B） | 建屋【S _B 】 | — | ・鉄セルの安全機能が喪失した場合50μSvを超え、5mSv以下となるため暫定Bクラス ・セル・グローブボックス用換気空調設備の安全機能が喪失した場合50μSvを超え、5mSv以下となるため暫定Bクラス |
| グローブボックス | ・閉じ込め | C | セル・グローブボックス用換気空調設備（閉じ込め※2） | B | 設備の支持構造物（C） 設備の支持構造物（B） | 建屋【S _C 】 建屋【S _B 】 | — | ・グローブボックスの安全機能が喪失した場合50μSv以下となるため暫定Cクラス ・セル・グローブボックス用換気空調設備の安全機能が喪失した場合50μSvを超え、5mSv以下となるため暫定Bクラス |
| フード | ・気流による閉じ込め | C | フード用換気空調設備（換気※3） | C | 設備の支持構造物（C） | 建屋【S _C 】 | — | ・フードの安全機能が喪失した場合50μSv以下となるため暫定Cクラス ・フード用換気空調設備の安全機能が喪失した場合50μSv以下となるため暫定Cクラス |
| 液体廃棄物一時貯留設備 | ・液体の閉じ込め | C | — | — | 設備の支持構造物（C） | 建屋【S _C 】 | — | ・液体廃棄物一時貯留設備の安全機能が喪失した場合50μSv以下となるため暫定Cクラス |
| 管理区域用換気空調設備 | — | C | 電気設備（電源供給） | C | 設備の支持構造物（C） | 建屋【S _C 】 | — | ・JEAC4601の放射線安全に関係しない施設等を参考に設定 |
| 消火設備 | — | C | 電気設備（電源供給） | C | 設備の支持構造物（C） | 建屋【S _C 】 | — | ・JEAC4601の放射線安全に関係しない施設等を参考に設定 |
| 固体廃棄物払出準備設備 | — | — | — | — | — | — | — | ・固定して使用する設備がないため耐震クラスなし |

※1 確認用地震動について、S_sは基準地震動、S_BはBクラスの施設に適用される地震動（剛の場合は静的震度、共振する場合は1/2S_d）、S_CはCクラスの施設に適用される静的震度を示す。

※2 セル等、給気管、排気管、弁及び給排気系のフィルタによる構造による閉じ込めを行う。

※3 フードは気流により放射性物質を閉じ込める設備であるため、構造による閉じ込めはない。



○よって、第2棟全体としての暫定耐震クラスについては以下のとおりとなる。

暫定sクラス

動的地震力： Ss900機能維持、Sd450弾性範囲

静的地震力： 水平3.0Ci (0.6G)、鉛直1.0Cv (0.2G)

1. 第2棟の耐震評価の考え方 (6/15)

追加説明

暫定耐震クラスの安全機能が維持されとした場合の線量評価

暫定耐震クラスに基づき、以下の安全機能を考慮して公衆の被ばく影響を評価した。

- ・閉じ込め機能：コンクリートセルは暫定クラスであるため、閉じ込め機能は維持される。コンクリートセル以外の閉じ込め機能を持つ設備については、建屋が暫定クラスであるため、設備が破損したとしても、内包する放射性物質が外部へ放出されることは考えにくい。換気設備で除染されることなく、排気口から放射性物質が大気放出されるものとして評価を行う。
- ・遮蔽機能：建屋及びコンクリートセルは暫定クラスであるため、遮蔽機能は維持されるものとして評価を行う。

(1/3)

| 設備名称 | 耐震上の安全機能 | 機能喪失時の敷地境界線量評価の概要 | 内部被ばく | 外部被ばく※1 | 敷地境界線量 |
|----------|----------|---|-------|---------------------------|---------------------------|
| 建屋 | 遮蔽 | 【外部被ばく】建屋の遮蔽機能が見込め、地下階に存在する固体廃棄物払出準備設備及び液体廃棄物払出準備設備に含まれる放射性物質の放射能（それぞれ 2.3×10^{10} Bq及び 2.4×10^8 Bq）から燃料デブリ重量に換算し、その直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の遮蔽を考慮する。 ・固体廃棄物払出準備設備及び液体廃棄物一時貯留設備は地下階に存在するため、土壌による遮蔽を考慮する。 | — | 1.5×10^{-11} mSv | 1.5×10^{-11} mSv |
| コンクリートセル | 閉じ込め | 【内部被ばく】コンクリートセルは暫定クラスなので、閉じ込め機能は喪失せず放射性物質はセル外に漏えいしない。 | — | 2.4×10^{-4} mSv | 2.4×10^{-4} mSv |
| | 遮蔽 | 【外部被ばく】コンクリートセルの遮蔽機能が喪失し、燃料デブリから直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定 ・コンクリートセル及び建屋による遮蔽を考慮する。 | — | 2.6×10^{-4} mSv | 2.6×10^{-4} mSv |
| 試料ピット | 遮蔽 | 【外部被ばく】試料ピットの遮蔽機能が見込め、燃料デブリから直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。 ・建屋による遮蔽を考慮する。 ・試料ピットは地下階に存在するため、土壌による遮蔽を考慮する。 | — | 2.6×10^{-4} mSv | 2.6×10^{-4} mSv |
| | (臨界管理) | ・試料ピットは堅牢な構造であるため、臨界に達するおそれはない。 | | | |

※1 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

1. 第2棟の耐震評価の考え方 (7/15)

追加説明

8

(2/3)

| 設備名称 | 耐震上の安全機能 | 機能喪失時の敷地境界線量評価の概要 | 内部被ばく | 外部被ばく※1 | 敷地境界線量 |
|-------------|----------|--|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 鉄セル | 閉じ込め | 【内部被ばく】建屋が暫定Sクラスのため、建屋外に放射性物質が放出することは考えにくい。鉄セル内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がセル内の気相に移行※3し、排気系統を通じてではなく、直接、セル周辺の室に放出され、さらに排気口から外部へ放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。 | 1.1×10 ⁻¹ mSv | 3.1×10 ⁻⁷ mSv | 1.2×10 ⁻¹ mSv |
| | 遮蔽 | 【外部被ばく】鉄セルの遮蔽機能が喪失し、燃料デブリから直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の遮蔽を考慮する。 | | | |
| グローブボックス | 閉じ込め | 【内部被ばく】建屋が暫定Sクラスのため、建屋外に放射性物質が放出することは考えにくい。グローブボックス内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がグローブボックス内の気相に移行※3し、排気系統を通じてではなく、直接、グローブボックス周辺の室に放出され、さらに排気口から外部へ放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。 | 1.1×10 ⁻⁵ mSv | — | 1.1×10 ⁻⁵ mSv |
| フード | 閉じ込め | 【内部被ばく】建屋が暫定Sクラスのため、建屋外に放射性物質が放出することは考えにくい。フード内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がフード内の気相に移行※3し、排気系統を通じてではなく、直接、フード周辺の室に放出され、さらに排気口から外部へ放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。 | 1.1×10 ⁻⁵ mSv | — | 1.1×10 ⁻⁵ mSv |
| 液体廃棄物一時貯留設備 | 閉じ込め | 【内部被ばく】建屋が暫定Sクラスのため、建屋外に放射性物質が放出することは考えにくい。液体廃棄物一時貯留設備のうち分析廃液受槽が破損し、内蔵している放射性の液体廃棄物が壇内に漏れいし、漏れいに伴い液体廃棄物中の放射性物質の一部が室内の気相に移行※4し、排気系統を通じてではなく、直接、排気口から外部へ放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。 | 2.8×10 ⁻⁶ mSv | — | 2.8×10 ⁻⁶ mSv |

※1 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

※2 燃料デブリ切断時の粉体から気相への放射性物質の移行率1%（日本原子力学会「ホットラボの設計と管理」）。Kr等の気体状の放射性物質は100%移行。

※3 鉄セル、グローブボックス、フードでは、燃料デブリの切断は行わないが、取り扱う燃料デブリ全量が粉体化するものとし、※2の移行率を用いた。

※4 液体状の放射性物質の漏れい時の気相への移行率0.02%（“Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook”, NUREG/CR-6410）

1. 第2棟の耐震評価の考え方 (8/15)

追加説明

(3/3)

| 設備名称 | 耐震上の安全機能 | 機能喪失時の敷地境界線量評価の概要 | 内部被ばく | 外部被ばく ^{※1} | 敷地境界線量 |
|--------------------|----------|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| セル・グローブボックス用換気空調設備 | 閉じ込め | 【内部被ばく】建屋が暫定Sクラスのため、建屋外に放射性物質が放出することは考えにくい。コンクリートセル内の試料調製時に発生する燃料デブリからの粉体の発生量を安全側に見積もり、粉体中の放射性物質がセル内の気相に移行 ^{※2} し、コンクリートセルの排気配管内の放射性物質を含む気体が直接周辺の室に放出され、さらに排気口から外部へ放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。 | 8.0×10^{-2} mSv | — | 8.0×10^{-2} mSv |
| フード用換気空調設備 | 閉じ込め | 【内部被ばく】建屋が暫定Sクラスのため、建屋外に放射性物質が放出することは考えにくい。フード内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がフード内の気相に移行 ^{※3} し、フードの排気配管内の放射性物質を含む気体が直接フード周辺の室に放出され、さらに建屋排気口から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数を考慮しない。 | 1.1×10^{-5} mSv | — | 1.1×10^{-5} mSv |
| 管理区域用換気空調設備 | — | 設備が機能喪失しても公衆への被ばく影響はない。 | — | — | — |
| 消火設備 | — | 設備が機能喪失しても公衆への被ばく影響はない。 | — | — | — |
| 固体廃棄物払出準備設備 | — | 固定して使用する設備がないため、耐震上の安全機能はない。 | — | — | — |
| 合計 | | | 2.0×10^{-1} mSv | 5.1×10^{-4} mSv | 2.1×10^{-1} mSv |

※1 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

※2 燃料デブリ切断時の粉体から気相への放射性物質の移行率1%（日本原子力学会「ホットラボの設計と管理」）。Kr等の気体状の放射性物質は100%移行。

※3 鉄セル、グローブボックス、フードでは、燃料デブリの切断は行わないが、取り扱う燃料デブリ全量が粉体化するものとし、※2の移行率を用いた。

※4 液体状の放射性物質の漏えい時の気相への移行率0.02%（“Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook”, NUREG/CR-6410）

1-②：現実的な緩和対策を考慮（被ばく評価期間、放射線防護対策、建屋耐震設計など）

第2棟は、設計が進捗している状況を踏まえて、Ss900体系による建屋の耐震性を評価し、その結果を踏まえて建屋に期待できる機能を考慮して、公衆への被ばく影響を評価する。

Ss900体系による建屋の耐震性の評価（結果の概要）（詳細は資料-2に記載）

- 第2棟建屋の耐震性評価として、Ss900による地震応答解析を行い、評価基準値である耐震壁に生じるせん断ひずみ ($\gamma \leq 4.0 \times 10^{-3}$) 及び接地圧 ($q_u \leq 3000 \text{ kN/m}^2$) が評価基準値を超えないことを確認した。
- 最大せん断ひずみは 1.48×10^{-3} であるため評価基準値に対して裕度を有しており、終局に至らないことを確認した。

現実的な緩和策を考慮した線量評価

Ss900による建屋の耐震性の評価結果に基づき、以下の安全機能を考慮して公衆の被ばく影響を評価した。

- ・閉じ込め機能 : 換気空調設備による負圧維持機能が喪失されるため、放射性物質が外部に放出することを想定する。なお、原子力発電所耐震設計技術規程 (JEAC4601) に基づき、最大せん断ひずみが 2.0×10^{-3} を下回っていることから、コンクリートセル及び建屋の除染係数として気体状の放射性物質を除き、各々 10^{*1} を見込めるものとして評価を行う。
- ・遮蔽機能 : 原子力発電所耐震設計技術規程 (JEAC4601) に基づき、最大せん断ひずみが 2.0×10^{-3} を下回っていることから、建屋・コンクリートセルの遮蔽機能は保持されるものとして評価を行う。

(1/3)

| 設備名称 | 耐震上の安全機能 | 機能喪失時の敷地境界線量評価の概要 | 内部被ばく | 外部被ばく ^{*2} | 敷地境界線量 |
|----------|----------|--|---------|----------------------------|---------------------------|
| 建屋 | 遮蔽 | 【外部被ばく】建屋の遮蔽機能が見込め、地下階に存在する固体廃棄物払出準備設備及び液体廃棄物払出準備設備に含まれる放射性物質の放射能 (それぞれ 2.3×10^{10} Bq及び 2.4×10^8 Bq) から燃料デブリ重量に換算し、その直接線・スカイライン線が敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の遮蔽を考慮する。 ・固体廃棄物払出準備設備及び液体廃棄物一時貯留設備は地下階に存在するため、土壌による遮蔽を考慮する。 | — | 1.5×10^{-11} mSv* | 1.5×10^{-11} mSv |
| コンクリートセル | 閉じ込め | 【内部被ばく】コンクリートセル内の試料調製時に発生する燃料デブリからの粉体の発生量を安全側に見積もり、粉体中の放射性物質がセル内の気相に移行 ^{*3} し、排気系統を通じてではなく、直接、セル周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定 ・建屋、コンクリートセルの除染係数各々 10^{*1} を考慮する。 | 1.1 mSv | 2.4×10^{-4} mSv* | 1.2 mSv |
| | 遮蔽 | 【外部被ばく】コンクリートセルの遮蔽機能が喪失し、燃料デブリ [■] からの直接線・スカイライン線が敷地境界に達したと想定 ・コンクリートセル及び建屋による遮蔽を考慮する。 | — | 2.6×10^{-4} mSv* | 2.6×10^{-4} mSv |
| 試料ピット | 遮蔽 | 【外部被ばく】試料ピットの遮蔽機能が見込め、燃料デブリ [■] からの直接線・スカイライン線が敷地境界に達したと想定する。 ・ [■] 建屋による遮蔽を考慮する。 ・試料ピットは地下階に存在するため、土壌による遮蔽を考慮する。 | — | 2.6×10^{-4} mSv* | 2.6×10^{-4} mSv |
| | (臨界管理) | ・試料ピットは堅牢な構造であるため、臨界に達するおそれはない。 | — | — | — |

※1 コンクリートセル、建屋の除染係数として気体状の放射性物質を除き、各々10を考慮。鉄セル、グローブボックス、フード、廃液受槽については建屋の除染係数のみ考慮
Elizabeth M. Flew, et al. "Assessment of the Potential Release of Radioactivity from Installations at AERE, Harwell. Implications for Emergency Planning". Handling of Radiation Accidents. International Atomic Energy Agency. Vienna, 1969, IAEA-SM-119/7

※2 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

※3 燃料デブリ切断時の粉体から気相への放射性物質の移行率1% (日本原子力学会「ホットラボの設計と管理」)。Kr等の気体状の放射性物質は100%移行。

* モデルを見直し再評価した。(その他設備の線量については有効数字2桁に表記を統一した(以下、同じ)。)

1. 第2棟の耐震評価の考え方 (11/15)

一部改訂

(2/3)

| 設備名称 | 耐震上の安全機能 | 機能喪失時の敷地境界線量評価の概要 | 内部被ばく | 外部被ばく※2 | 敷地境界線量 |
|-------------|----------|---|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 鉄セル | 閉じ込め | 【内部被ばく】鉄セル内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がセル内の気相に移行※4し、排気系統を通じてではなく、直接、セル周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数10※1を考慮する。 | 2.7×10^{-1} mSv | 3.1×10^{-7} mSv* | 2.8×10^{-1} mSv |
| | 遮蔽 | 【外部被ばく】鉄セルの遮蔽機能が喪失し、燃料デブリから直接線・スカイシャイン線が敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の遮蔽を考慮する。 | | | |
| グローブボックス | 閉じ込め | 【内部被ばく】グローブボックス内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がグローブボックス内の気相に移行※4し、排気系統を通じてではなく、直接、グローブボックス周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数10※1を考慮 | 2.7×10^{-5} mSv | — | 2.7×10^{-5} mSv |
| フード | 閉じ込め | 【内部被ばく】フード内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がフード内の気相に移行※4し、排気系統を通じてではなく、直接、フード周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数10※1を考慮する。 | 2.7×10^{-5} mSv | — | 2.7×10^{-5} mSv |
| 液体廃棄物一時貯留設備 | 閉じ込め | 【内部被ばく】液体廃棄物一時貯留設備のうち分析廃液受槽が破損し、内蔵している放射性の液体廃棄物が堰内に漏えいし、漏えいに伴い液体廃棄物中の放射性物質の一部が室内の気相に移行※5し、排気系統を通じてではなく、直接、建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定 ・建屋の除染係数10※1を考慮する。 | 7.2×10^{-6} mSv | — | 7.2×10^{-6} mSv |

※1 コンクリートセル、建屋の除染係数として気体状の放射性物質を除き、各々10を考慮。鉄セル、グローブボックス、フード、廃液受槽については建屋の除染係数のみ考慮
Elizabeth M.Flew, et al. "Assessment of the Potential Release of Radioactivity from Installations at AERE, Harwell. Implications for Emergency Planning". Handling of Radiation Accidents. International Atomic Energy Agency. Vienna, 1969, IAEA-SM-119/7

※2 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

※3 燃料デブリ切断時の粉体から気相への放射性物質の移行率1%（日本原子力学会「ホットラボの設計と管理」）。Kr等の気体状の放射性物質は100%移行。

※4 鉄セル、グローブボックス、フードでは、燃料デブリの切断は行わないが、取り扱う燃料デブリ全量が粉体化するものとし、※3の移行率を用いた。

※5 液体状の放射性物質の漏えい時の気相への移行率0.02%（"Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook", NUREG/CR-6410）

* モデルを見直し再評価した。（その他設備の線量については有効数字2桁に表記を統一した（以下、同じ）。）

1. 第2棟の耐震評価の考え方 (12/15)

一部改訂

(3/3)

| 設備名称 | 耐震上の安全機能 | 機能喪失時の敷地境界線量評価の概要 | 内部被ばく | 外部被ばく※2 | 敷地境界線量 |
|--------------------|----------|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| セル・グローブボックス用換気空調設備 | 閉じ込め | 【内部被ばく】コンクリートセル内の試料調製時に発生する燃料デブリからの粉体の発生量を安全側に見積もり、粉体中の放射性物質がセル内の気相に移行※3し、コンクリートセルの排気配管内の放射性物質を含む気体が直接周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数10※1を考慮する。 | 2.0×10^{-1} mSv | — | 2.0×10^{-1} mSv |
| フード用換気空調設備 | 閉じ込め | 【内部被ばく】フード内の燃料デブリ中の放射性物質の一部がフード内の気相に移行※4し、フードの排気配管内の放射性物質を含む気体が直接フード周辺の室に放出され、さらに建屋から外部へ地上放出され、敷地境界に達したと想定する。 ・建屋の除染係数10※1を考慮する。 | 2.7×10^{-5} mSv | — | 2.7×10^{-5} mSv |
| 管理区域用換気空調設備 | — | 設備が機能喪失しても公衆への被ばく影響はない。 | — | — | — |
| 消火設備 | — | 設備が機能喪失しても公衆への被ばく影響はない。 | — | — | — |
| 固体廃棄物払出準備設備 | — | 固定して使用する設備がないため、耐震上の安全機能はない。 | — | — | — |
| 合計 | | | 1.6 mSv | 5.1×10^{-4} mSv | 1.7 mSv |

※1 コンクリートセル、建屋の除染係数として気体状の放射性物質を除き、各々10を考慮。鉄セル、グローブボックス、フード、廃液受槽については建屋の除染係数のみ考慮
Elizabeth M.Flew, et al. "Assessment of the Potential Release of Radioactivity from Installations at AERE, Harwell. Implications for Emergency Planning". Handling of Radiation Accidents. International Atomic Energy Agency. Vienna, 1969, IAEA-SM-119/7

※2 安全機能の喪失が継続する期間を7日間として評価した。

※3 燃料デブリ切断時の粉体から気相への放射性物質の移行率 1% (日本原子力学会「ホットラボの設計と管理」)。Kr等の気体状の放射性物質は100%移行。

※4 鉄セル、グローブボックス、フードでは、燃料デブリの切断は行わないが、取り扱う燃料デブリ全量が粉体化するものとし、※3の移行率を用いた。

1. 第2棟の耐震評価の考え方 (13/15)

一部改訂

14

2: 施設・設備の特徴に応じた評価

○第2棟は設計が完了しており、状況をまとめると以下のとおりである。

| 項目 | 第2棟の状況 | 備考 |
|----------------|---|--|
| 廃炉活動への影響 | <ul style="list-style-type: none">・1Fで生じた燃料デブリ等の性状を把握することにより、その安全な取り出し等の作業の推進に資する情報を取得するため、分析等を行うことを目的とする施設である。・燃料デブリの段階的な取り出し規模の拡大に合わせて運用開始する予定であるため、第2棟の運用開始が大幅に遅延した場合は影響あり。 | <ul style="list-style-type: none">・第2棟の設計を再実施する場合、3年程度の工期が想定され、第2棟の運用開始が大幅に遅延する。 |
| 上位クラスへの波及的影響 | なし | — |
| 供用期間 | 長期間 | — |
| 設計の進捗状況 | <ul style="list-style-type: none">・建屋はBクラスとして設計済みであり、Sクラスを想定した設計となっていない。(水平3.0Ci (0.6G) が厳しいと想定) | — |
| 内包する液体の放射エネルギー | <ul style="list-style-type: none">・液体廃棄物一時貯留設備は地下階に設置されるため、外部へ流出するおそれはない。 | — |

1. 第2棟の耐震評価の考え方 (14/15)

一部改訂

○前頁の第2棟の状況を踏まえ、耐震クラスを下記のとおりとする。

| 設備名称 | 耐震クラス | 耐震上の安全機能 | 耐震上の具体的な要求事項 | 備考 |
|--------------------|-------|--------------|--|--|
| 建屋 | B+ | ・遮蔽 ・間接支持 | ・Ss900で遮蔽機能が見込めること。 ・Ss900で間接支持機能が見込めること。 ・B+クラスの地震力で遮蔽機能が失われないこと。 ・B+クラスの地震力で間接支持機能が失われないこと。 | ・公衆被ばく線量は50μSv以下であるが、 <u>一体構造であるコンクリートセル</u> の公衆被ばく線量は50μSvを超え、 <u>5mSv以下となる。</u> ・長期的に使用するため、B+クラスとする。 |
| コンクリートセル | B+ | ・遮蔽 ・閉じ込め | ・Ss900で遮蔽機能が見込めること。 ・Ss900で閉じ込め機能が見込めること。 ・B+クラスの地震力で遮蔽機能が失われないこと。 ・B+クラスの地震力で閉じ込め機能が失われないこと。 | ・実力としてSs900でコンクリートセルの安全機能が見込めるため、公衆被ばく線量は50μSvを超え、5mSv以下となる。 ・長期的に使用するため、B+クラスとする。 |
| 試料ピット | B+ | ・遮蔽 ・臨界管理 | ・Ss900で遮蔽機能が見込めること。 ・Ss900で臨界管理機能が見込めること。 ・B+クラスの地震力で遮蔽機能が失われないこと。 ・B+クラスの地震力で臨界管理機能が失われないこと。 | ・実力としてSs900で試料ピットの安全機能が見込めるため、公衆被ばく線量は50μSvを超え、5mSv以下となる。 ・長期的に使用するため、B+クラスとする。 |
| 鉄セル | B+ | ・遮蔽 ・閉じ込め | ・B+クラスの地震力で遮蔽機能が失われないこと。 ・B+クラスの地震力で閉じ込め機能が失われないこと。 | ・公衆被ばく線量は50μSvを超え、5mSv以下となる。 ・長期的に使用するため、B+クラスとする。 |
| グローブボックス | B+ | ・閉じ込め | ・B+クラスの地震力で閉じ込め機能が失われないこと。 | ・公衆被ばく線量は50μSv以下である。 ・将来の機能拡張を考慮するとともに長期的に使用するため、B+クラスとする。 |
| セル・グローブボックス用換気空調設備 | B+ | ・閉じ込め | ・B+クラスの地震力で閉じ込め機能が失われないこと。 | ・公衆被ばく線量は50μSvを超え、5mSv以下となる。 ・長期的に使用するため、B+クラスとする。 |
| フード | C | ・気流による閉じ込め | ・Cクラスの地震力で気流による閉じ込め機能が失われないこと。 | — |
| 液体廃棄物一時貯留設備 | C | ・液体の閉じ込め | ・Cクラスの地震力で液体の閉じ込め機能が失われないこと。 | — |
| フード用換気空調設備 | C | ・換気 | ・Cクラスの地震力で換気機能が失われないこと。 | — |
| 電気設備 | C | ・電源供給 | ・Cクラスの地震力で電源供給機能が失われないこと。 | — |
| 管理区域用換気空調設備 | C | — | — | ・設備がなくても放射線影響は生じないため、JEAC4601の放射線安全に関係しない施設等を参考にCクラスとする。 |
| 消火設備 | C | — | — | ・設備がなくても放射線影響は生じないため、JEAC4601の放射線安全に関係しない施設等を参考にCクラスとする。 |
| 固体廃棄物払出準備設備 | — | — | — | ・固定して使用する設備がないため耐震クラスなし。 |

1. 第2棟の耐震評価の考え方 (15/15)

一部改訂

○耐震性を確認する地震動は以下のとおり。

| 設備名称 | 動的地震力 | | 静的地震力 | 確認用地震動 | 説明 |
|--|----------|-----------------|--------------------------|--------|---|
| | 機能維持 | 弾性範囲 (共振時のみ) | | | |
| コンクリートセル 試料ピット 建屋 | 1/2Ss450 | 1/2Sd225* | 水平：1.5Ci (0.3G) 鉛直：— | Ss900 | ・建屋の公衆被ばく線量は50μSv以下であるが、公衆被ばく線量が50μSvを超え、5mSv以下となるコンクリートセルと一体の構造である。さらに長期的に使用することから、B+クラスの地震力を適用する。 |
| 鉄セル グローブボックス セル・グローブボックス用換気空調設備 | 1/2Ss450 | 1/2Sd225* | 水平：1.8Ci (0.36G) 鉛直：— | — | ・公衆被ばく線量評価を実施した結果50μSvを超え、5mSv以下となり、長期間使用する設備であることを考慮し、B+クラスの地震力を適用する。 |
| フード 液体廃棄物一時貯留設備 フード用換気空調設備 電気設備 | — | — | 水平：1.2Ci (0.24G) 鉛直：— | — | ・公衆被ばく線量評価を実施した結果、50μSv以下となるため、Cクラスの地震力を適用する。 |
| 管理区域用換気空調設備 消火設備 | — | — | 水平：1.2Ci (0.24G) 鉛直：— | — | ・JEAC4601の放射線安全に関係しない施設等を参考にCクラスの地震力を適用する。 |
| 固体廃棄物払出準備設備 | — | — | — | — | ・固定して使用する設備はない。 |

(注) 地震力の算定に際しては、水平2方向、鉛直1方向の適切な組合せを行う。

※ 現設計において、第2棟の設備は剛であり共振のおそれはない。

2. 令和4年3月16日地震に対する耐震性に係る説明

追加説明

17

令和4年3月16日地震（以下「3.16地震」という。）に対する耐震性を以下に示す。

○建屋

Ss900に対する建屋の耐震性評価の結果から、3.16地震に対して建屋は機能維持できる。

○内装設備（第2棟の内装設備は剛構造）

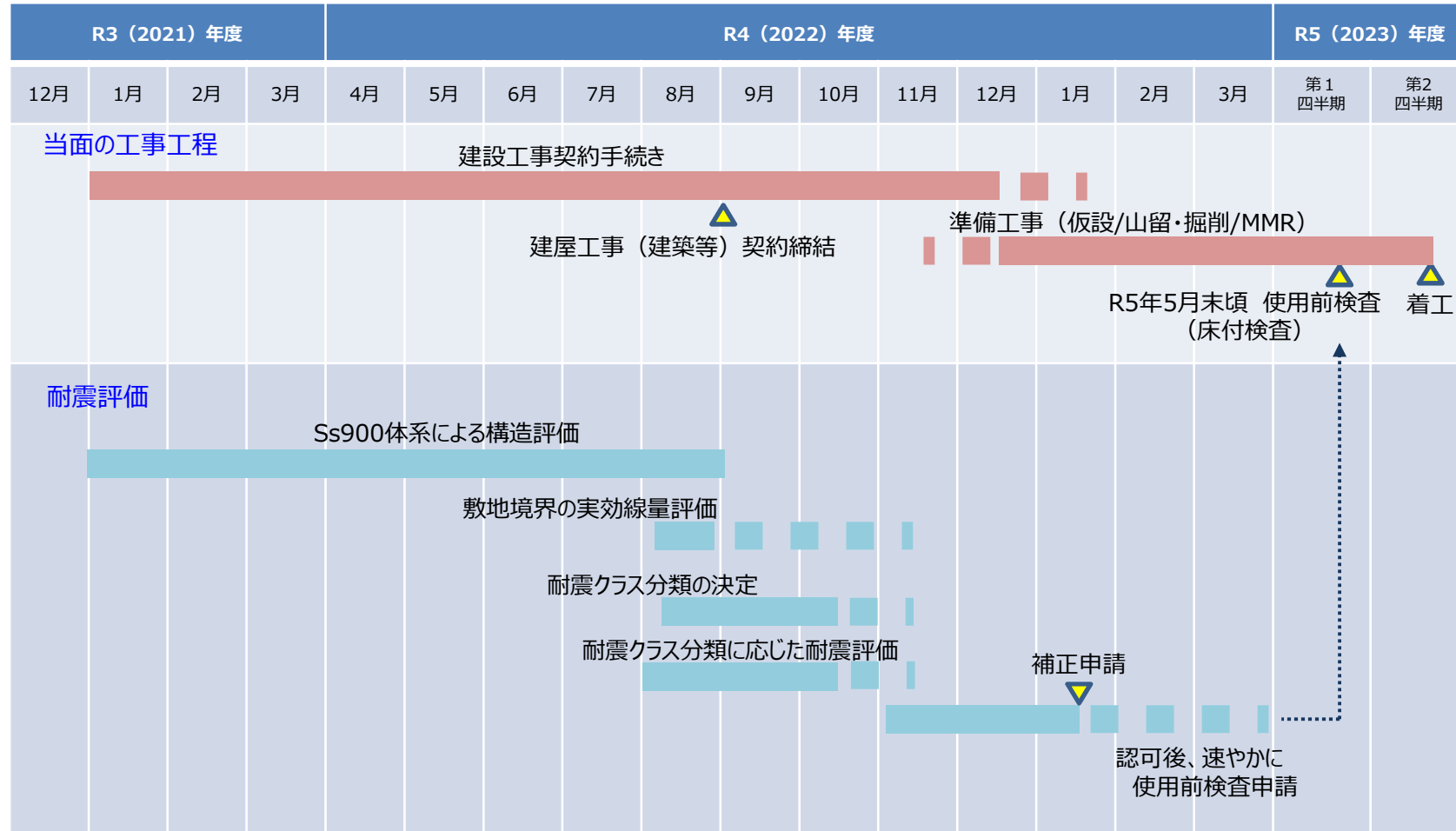
3.16地震動を1/2Ss450と比較すると、最大加速度は約1.12倍となっており（下表参照）、1/2Ss450を超過している。剛構造のB+クラス設備の機能維持評価（1/2Ss450）では、1/2Ss450の最大加速度の1.2倍を用いて評価しており、3.16地震の影響はないと判断している。

| 地震動 | 最大加速度(Gal) |
|-----------------------|------------|
| 1/2Ss450 | 450 |
| 3.16地震 はぎとり波(南地点NS方向) | 469 |
| 3.16地震 はぎとり波(南地点EW方向) | 505 |

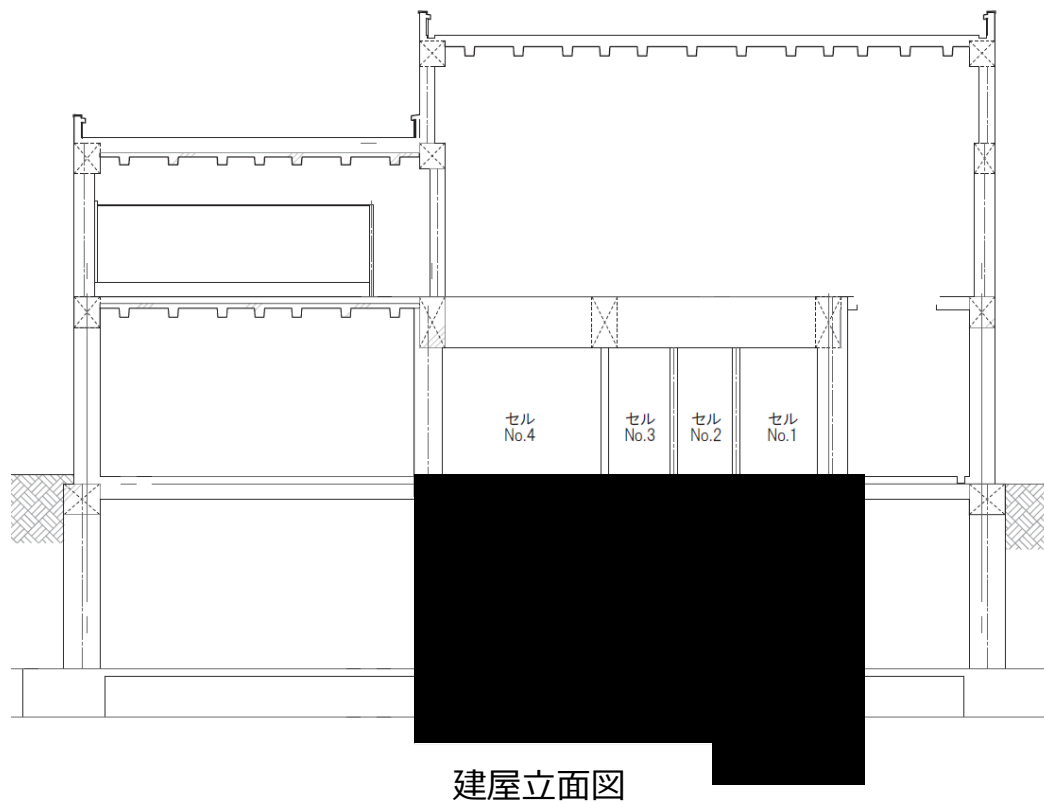
3. 第2棟着工までのスケジュール

一部改訂

準備工事、着工時期は、2022年8月24日の面談資料で示したスケジュールから変更はない。



試料ピットの概要は以下のとおり。



■ 試料ピットの形状維持評価

- 試料ピットは[] 建屋と一体な構造であることから、建屋のSs900チェックの評価結果より、試料ピットの形状維持について評価する。
- 原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601）※において、機能維持の検討は「基準地震動Ssにおいて、鉄筋コンクリート造耐震壁の最大応答せん断ひずみ度が許容限界（ 2.0×10^{-3} ）を超えないことを確認する。」とされている。
- また、許容限界を満足している場合は、「耐震壁の変形に追従する建物・構築物の部位の健全性も確保されており、間接支持機能を維持している。」とされている。
- 試料ピットは、建屋[]と一体的に設置されることから地震時の変形（形状維持）は建屋の変形に追従するものとする。建屋のSs900チェックによる[]最大せん断ひずみは 1.48×10^{-3} である。
- 以上より、第2棟の最大せん断ひずみは 2.0×10^{-3} を下回っていることから、試料ピットは形状維持できると考える。

※原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601）

・3.6.4.1 機能維持の検討

基準地震動Ssが作用した場合において、負圧維持機能、漏洩防止機能、遮へい機能または支持機能が要求される建物・構築物を構成する部位は「3.6.1 基準地震動Ssに対する検討」の規定に適合していることを確認する。

・3.6.1 基準地震動Ssに対する検討

・3.6.1.1 建物・構築物の評価

（1）鉄筋コンクリート造耐震壁の評価

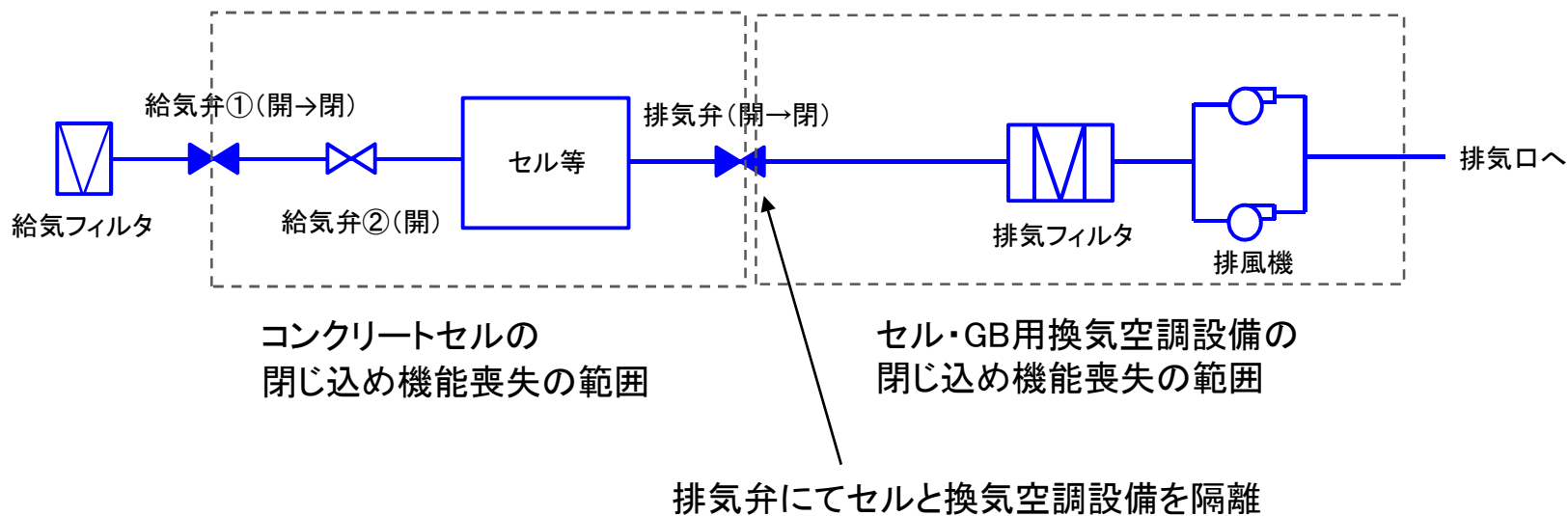
Sクラスの建物・構築物の鉄筋コンクリート造耐震壁については、基準地震動Ssによる各層の鉄筋コンクリート造耐震壁の最大応答せん断ひずみ度が下記に示す許容限界を超えてはならない。

$$Y_a = 2.0 \times 10^{-3} \quad Y_a : \text{せん断ひずみ度に関する許容限界}$$

・3.6.4.1 機能維持の検討

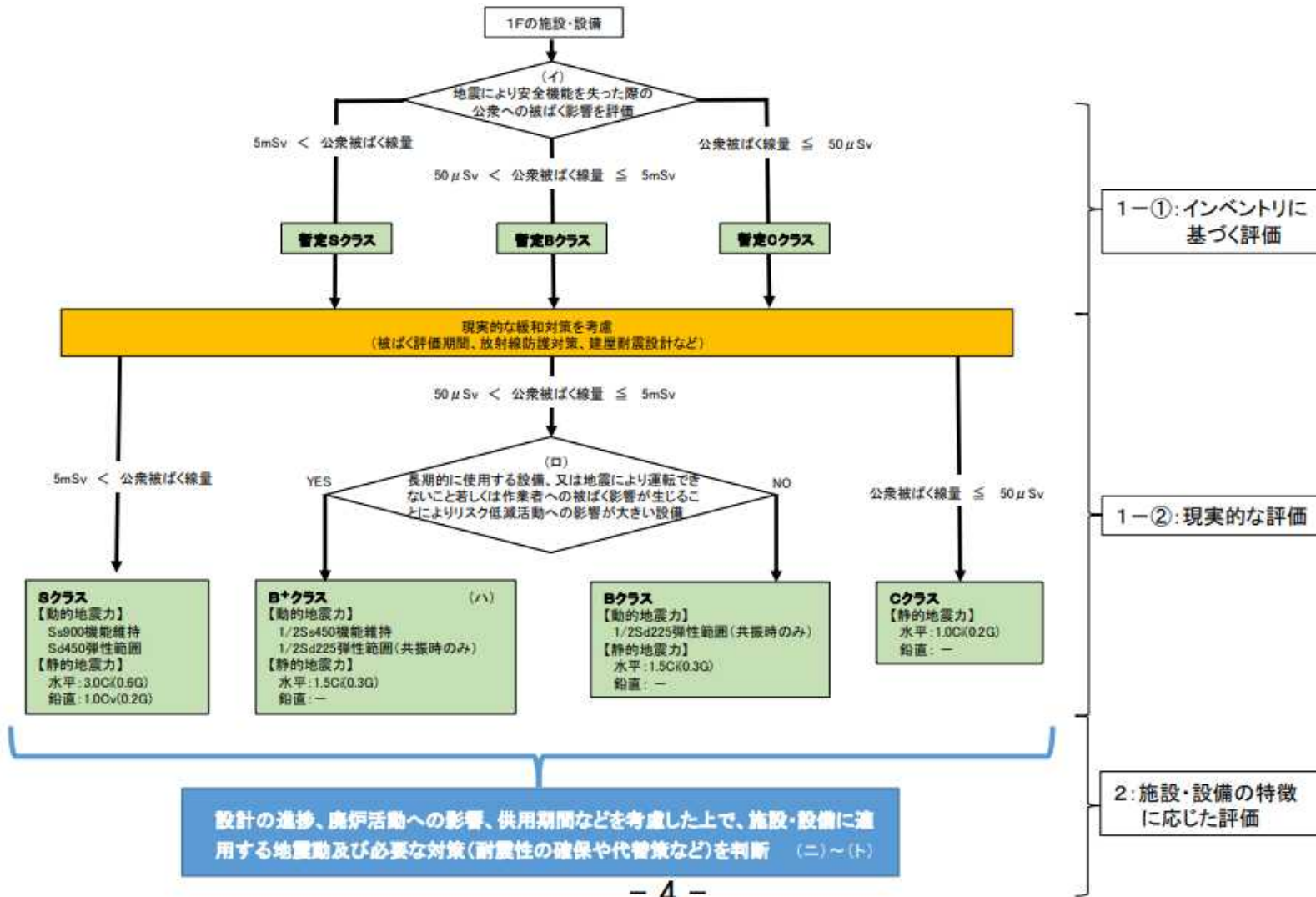
（d）支持機能

耐震壁以外の建物・構築物の部位に関しても、施設からの地震時反力に対して健全であり、かつ、支持される施設の耐震重要度に応じた地震力（Sクラス設備であれば基準地震動Ssによる地震力）に対して、耐震壁が「3.6.1.1（1）鉄筋コンクリート造耐震壁の評価」に示すせん断ひずみ度の許容限界を満足している場合は、耐震壁の変形に追従する建物・構築物の部位の健全性も確保されており、間接支持機能を維持していると考えられる。



セル・グローブボックス用換気空調設備の閉じ込め機能の線量評価では、弁からフィルタの間のダクト内にセル等内と同じ放射性物質濃度の気体が滞留していると想定。ダクト等が損傷して外部に放射性物質が放出された想定で評価。

耐震クラス分類と施設・設備の特徴に応じた地震動の設定及び必要な対策を判断する流れ



【(イ)： 地震により安全機能を失った際の公衆被ばく影響】

- 核燃料施設等の耐震クラス分類を参考にして、地震による安全機能喪失時の公衆被ばく線量により、S、B、Cを分類する。液体放射性物質を内包する施設・設備にあつては、液体の海洋への流出のおそれのない設計を前提とした線量評価によるものとする。

【(ロ)： 通常のBクラスよりも高い耐震性が求められるB+クラスの対象設備の要件】

- 「運転できないこと若しくは作業者への被ばく影響が生じることによりリスク低減活動への影響が大きい設備」の具体例は以下のとおり。
 - ・ 建屋滞留水・多核種除去設備などの水処理設備、使用済燃料をプールからより安定性の高い乾式キャスクへ移動させるために必要な燃料取出設備等。
 - ・ 閉じ込め・遮へい機能喪失時の復旧作業における従事者被ばく線量が1日当たりの計画線量限度を超える設備等。

【(ハ)： B+クラスの1/2Ss450機能維持】

- 1/2Ss450に対して、運転の継続に必要な機能の維持や閉じ込め・遮へい機能の維持を求める。
- 令和4年3月16日の福島県沖地震の地震動が1/2Ss450を上回った周期帯に固有振動数を有する施設・設備は、当該地震動による施設・設備の機能への影響を評価する。

【(ニ)： 耐震性の確保】

- 地震力の算定に際しては、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせる。

【(ホ)： 耐震性の確保に対する代替策】

- 耐震性の確保の代替策として、耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させるための対策を講ずるとしてもよい。具体例は以下のとおり。
例：中低濃度タンクや吸着塔一時保管施設等の耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させる対策として、耐震性の高い建屋やタンクへの移替え及び移管、スラリー安定化処理設備や海洋放出設備による処理等を早期に行うことを想定。

【(ヘ)： 上位クラスへの波及的影響】

- 上位クラスへの波及的影響がある場合、原則上位クラスに応じた地震動を念頭に置くが、耐震クラス分類の考え方と同様に、下位クラスによる波及的影響を起因とする敷地周辺の公衆被ばく線量も勘案し、適切な地震動を設定する。

【(ト)： 液体放射性物質を内包する設備】

- 多核種除去設備等で処理する前の液体等、放出による外部への影響が大きい液体を内包する設備については、Ss900に対して、海洋に流出するおそれのない設計とすることを求める（滞留水が存在する建屋、ALPS処理前の水や濃縮廃液を貯留するタンクの堰等）。これ以外の液体を内包する設備については、上位クラスの地震動に対する閉じ込め機能の確保又は漏えい時の影響緩和対策を求める*。
※：設備自体を耐震CクラスからBクラスに格上げ、周囲の堰等に上位クラスの地震動に対して閉じ込め機能を維持する、漏えい時に仮設ホースによる排水等の機動的対応を講ずる等により、海洋への流出を緩和する措置を想定。

東京電力福島第一原子力発電所における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方の新旧比較表

参考

| (旧) 昨年9月の耐震要求 | (新) 今回の耐震要求案 | 備考 |
|---|---|---|
| <p>耐震クラス分類と施設等の特徴に応じた地震動の設定及び必要な対策を判断する流れ</p> <p>①</p> <p>②</p> <p>心の耐震クラスを踏まえて、高が活動への影響、上流クラスへの波及的影響、使用期間、設計の進捗状況、内訳する個体の放射能値等の影響を考慮した上で、施設等の特徴に応じた地震動の設定及び必要な追加減衰等の追加の代替措置を判断する。(1) (2) (3) (4)</p> <p>※項目(1)～(4)の順に示すは、決りは記載</p> | <p>1Fの施設・設備</p> <p>1-①: インベントリに基づく評価</p> <p>1-②: 現実的な評価</p> <p>2: 施設・設備の特徴に応じた評価</p> <p>設計の進捗、使用期間への影響、使用期間などを考慮した上で、施設・設備に適用する地震動及び必要な対策(耐震性の確保や代替措置など)を判断。(1)～(4)</p> | <p>【1-①: インベントリに基づく評価】</p> <ul style="list-style-type: none"> 公衆への最大の放射線影響を把握するために全ての安全機能が喪失した場合のインベントリに基づく評価を求める。ただし、物理的に起こり得ないこと(例:地下施設の地上化)などは考慮する必要はない。 6日目までに外部支援を受けれる方針であることを前提に、原則7日間で評価する。 <p>【1-②: 現実的な評価】</p> <ul style="list-style-type: none"> 評価期間として7日より短い期間を設定する場合は、その対策の実現性(人・資機材・時間等)を審査する。 建屋等がSクラス設計の場合は、当該建屋等は地震により損傷しないことを前提としても良い。なお、Sクラス設計以外の施設・設備の損傷程度に鑑み、当該施設・設備の機能に期待する場合は、十分な技術的根拠を示すこと。 <p>【2: 施設・設備の特徴に応じた評価】</p> <p>間接的な施設・設備の損傷を考慮した場合に、耐震設計上の主たる機能を有する施設・設備に波及的な影響を及ぼさず、フロー1で定めた耐震クラスの決定の際の線量評価に影響がない場合は、間接的な施設・設備は下位の耐震クラスとしても良い。</p> |

| 昨年9月の耐震要求（旧） | 今回の耐震要求（新） | 備考 |
|--|--|--|
| <p>【(イ)：地震により安全機能を失った際の公衆被ばく影響】</p> <ul style="list-style-type: none"> 核燃料施設等の耐震クラス分類を参考にして、地震による安全機能喪失時の公衆被ばく線量により、S、B、Cを分類する。液体放射性物質を内包する施設・設備にあっては、液体の海洋への流出のおそれのない設計を前提とした線量評価によるものとする。 <p>【(ロ)：通常のBクラスよりも高い耐震性が求められるB+クラスの対象設備の要件】</p> <ul style="list-style-type: none"> 「運転できないこと若しくは作業への被ばく影響が生じることによりリスク低減活動への影響が大きい設備」の具体例は以下のとおり。 <ul style="list-style-type: none"> 建屋滞留水・多核種除去設備などの水処理設備、使用済燃料をプールからより安定性の高い乾式キャスクへ移動させるために必要な燃料取出設備等。 閉じ込め・遮へい機能喪失時の復旧作業における従事者被ばく線量が1日当たりの計画線量限度を超える設備等。 <p>【(ハ)：B+クラスの1/2Ss450機能維持】</p> <ul style="list-style-type: none"> Ss900の1/2の最大加速度450galの地震動に対して、運転の継続に必要な機能の維持や閉じ込め・遮へい機能の維持を求める。 <p>【(ニ)：上位クラスへの波及的影響】</p> <ul style="list-style-type: none"> 上位クラスへの波及的影響がある場合、原則上位クラスに応じた地震動を念頭に置すが、耐震クラス分類の考え方と同様に、下位クラスによる波及的影響を起因とする敷地周辺の公衆被ばく線量も動かし、適切な地震動を設定する。 <p>【(ホ)：地震力の組合せ】</p> <ul style="list-style-type: none"> 地震力の算定に際しては、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせる。 <p>【(ヘ)：液体放射性物質を内包する設備】</p> <ul style="list-style-type: none"> 多核種除去設備等で処理する前の液体等、放出による外部への影響が大きい液体を内包する設備については、Ss900に対して、海洋に流出するおそれのない設計とすることを求める（滞留水が存在する建屋、ALPS処理前の水や濃縮廃液を貯留するタンクの堰等）。これ以外の液体を内包する設備については、上位クラスの地震動に対する閉じ込め機能の確保又は漏えい時の影響緩和対策を求める*。 <p><small>※：設備自体を耐震CクラスからBクラスに格上げ、周囲の堰等に上位クラスの地震動に対して閉じ込め機能を維持する、漏えい時に仮設ホースによる排水等の機動的対応を講ずる等により、海洋への流出を緩和する措置を想定。</small></p> <p>【(ト)：耐震性の確保に対する代替措置】</p> <ul style="list-style-type: none"> 耐震性の確保の代替策として、機動的対応や耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させるための対策を講ずるとしてもよい。具体例は以下のとおり。 <p>例1：B+クラス設備の1/2Ss450機能維持の手段としては、耐震性の確保の他、機動的対応（予備品への交換、可搬型設備の運用等）による代替手段を想定。</p> <p>例2：中低濃度タンクや吸着塔一時保管施設等の耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させる対策として、耐震性の高い建屋やタンクへの移替え及び移管、スラリー安定化処理設備や海洋放出設備による処理等を早期に行うことを想定。</p> | <p>【(イ)～(ロ)】 同左</p> <p>【(ハ)：B+クラスの1/2Ss450機能維持】</p> <ul style="list-style-type: none"> 1/2Ss450に対して、運転の継続に必要な機能の維持や閉じ込め・遮へい機能の維持を求める。 令和4年3月16日の福島県沖地震の地震動が1/2Ss450を上回った周期帯に固有振動数を有する施設・設備は、当該地震動による施設・設備の機能への影響を評価する。 <p>【(ニ)：耐震性の確保】 【(ホ)：地震力の組合せ】と同じ</p> <p>【(ホ)：耐震性の確保に対する代替策】</p> <ul style="list-style-type: none"> 耐震性の確保の代替策として、耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させるための対策を講ずるとしてもよい。具体例は以下のとおり。 <p><small>例：中低濃度タンクや吸着塔一時保管施設等の耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させる対策として、耐震性の高い建屋やタンクへの移替え及び移管、スラリー安定化処理設備や海洋放出設備による処理等を早期に行うことを想定。</small></p> <p>【(ハ)：上位クラスへの波及的影響】 【(ニ)：上位クラスへの波及的影響】と同じ</p> <p>【(ト)：液体放射性物質を内包する設備】 【(ヘ)：液体放射性物質を内包する設備】と同じ</p> | <p>影響評価としては、実際に3.16地震が起こった際の施設・設備の損傷程度や公衆への被ばく影響の程度などについて評価することを求める。</p> <p>機動的対応は、フロー「1-②：現実的な評価」で考慮する。</p> <p>その他は記載の適正化</p> |

放射性物質分析・研究施設第2棟に係る
実施計画の変更認可申請について
(Ss900による耐震評価)

2022年11月25日

東京電力ホールディングス株式会社
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構



1-1. Ss900による耐震性の評価

Ss900による耐震性を評価

- 敷地境界の実効線量評価で考慮すべき「放射性物質の施設外漏えい率」や「遮蔽性の低下度合い」係数を決定するため、Ss900による建屋の耐震性の確認（Ss900チェック）を行うことを目的に実施する。
- Ss900チェックは図1の評価方針に基づき実施する。

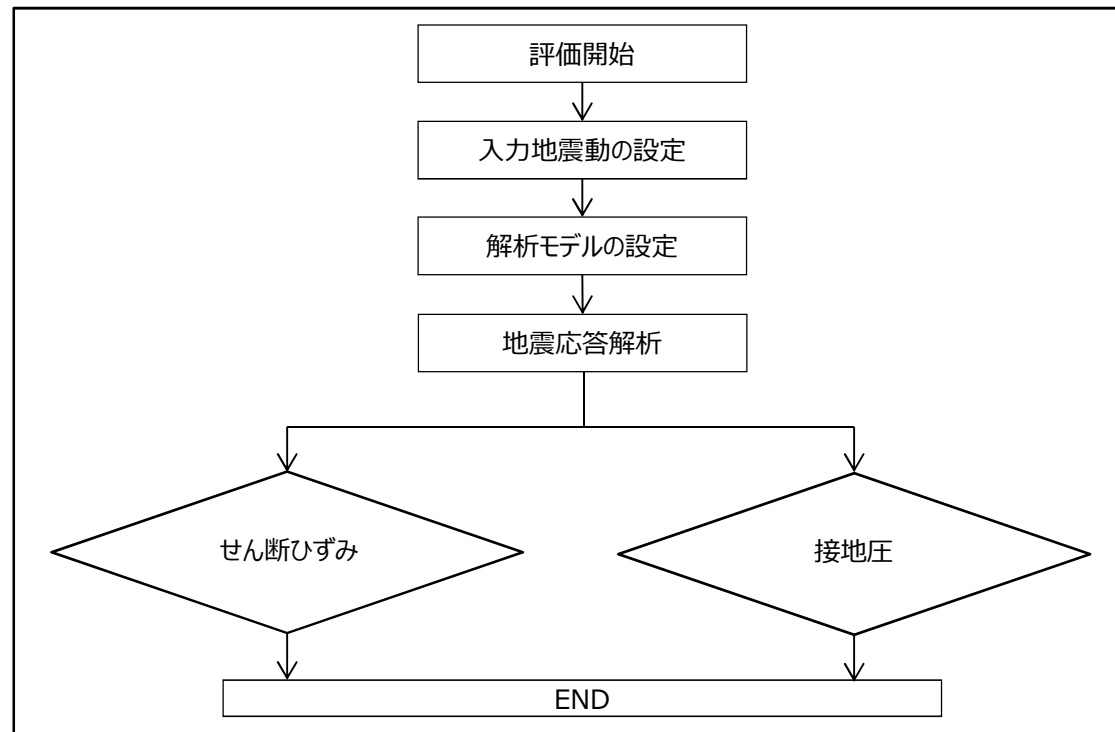


図1：耐震評価概略フロー

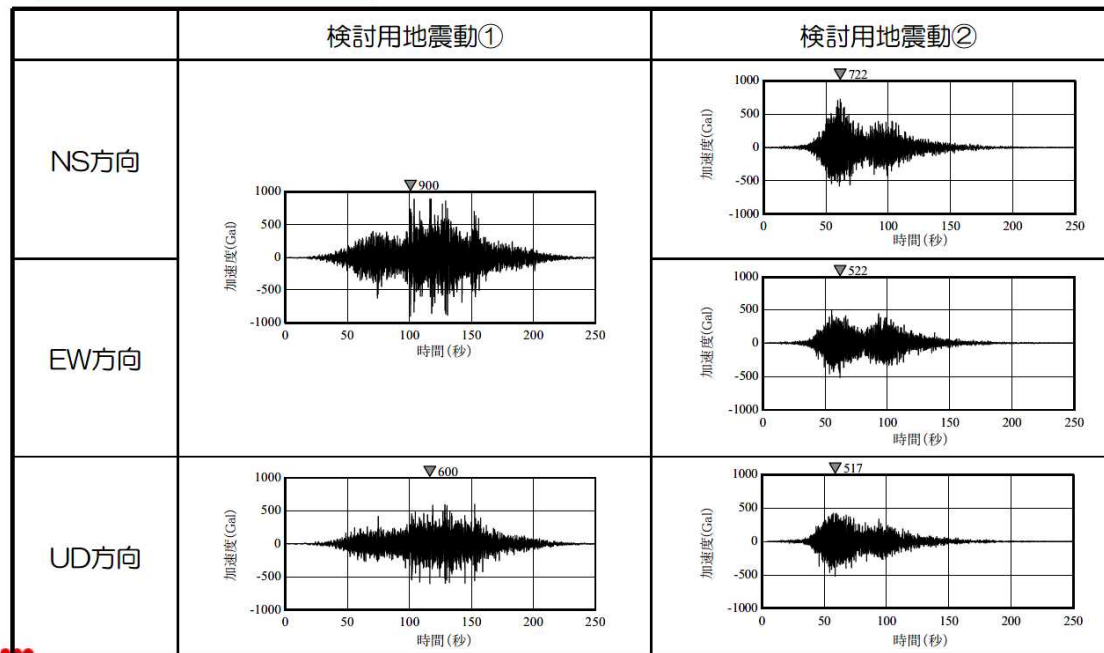
1-2. 検討に用いる地震動

■ 検討に用いる地震動

- 地震動は、検討用地震動（以下「Ss900」という）とする。
- 解放基盤表面をT.P.約-197mに設定する。

4. 1 検討用地震動の評価（検討用地震動）

加速度時刻歴波形



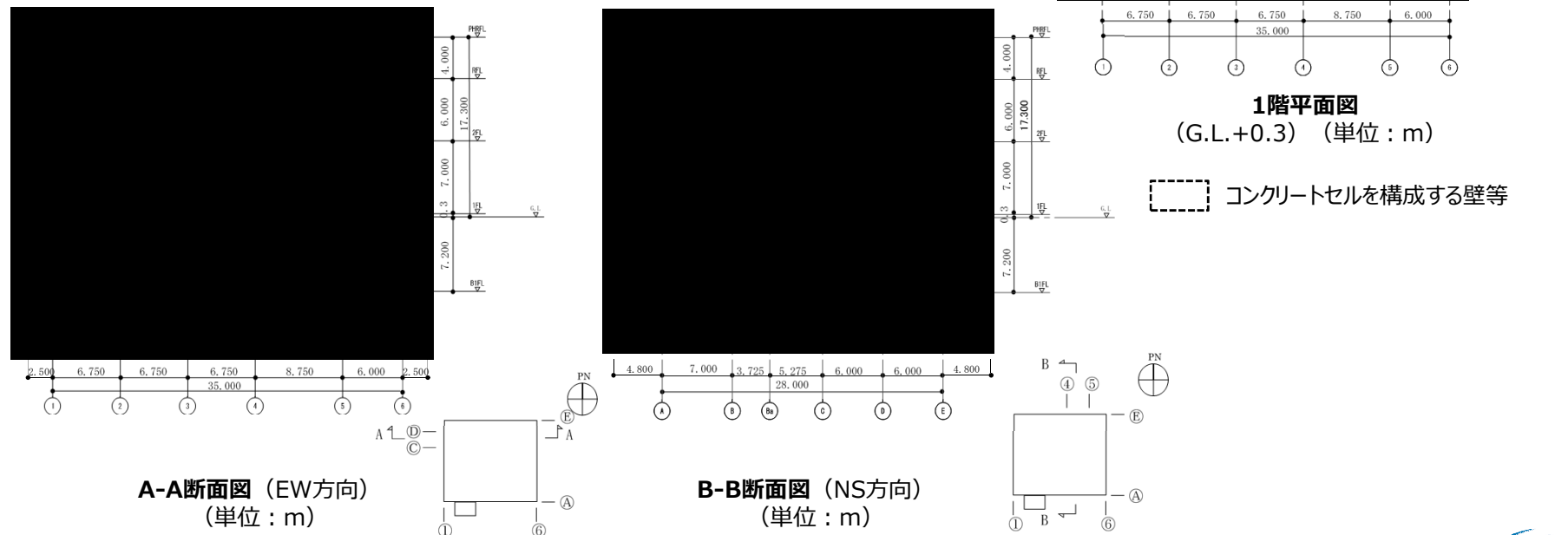
第27回特定原子力施設監視・評価検討会

資料2「東京電力福島第一原子力発電所の外部事象に対する防護の検討について」より抜粋

1-3. 第2棟建屋の概要

■ 建物概要

- 構造：鉄筋コンクリート造
- 階数：地上2階、地下1階
- 基礎：直接基礎で人工岩盤を介して富岡層に支持
- 平面寸法：35.0m(EW方向)×28.0m(NS方向)
- 基礎形状：40.0m(EW方向)×37.6m(NS方向)
- 地上高さ：17.3m

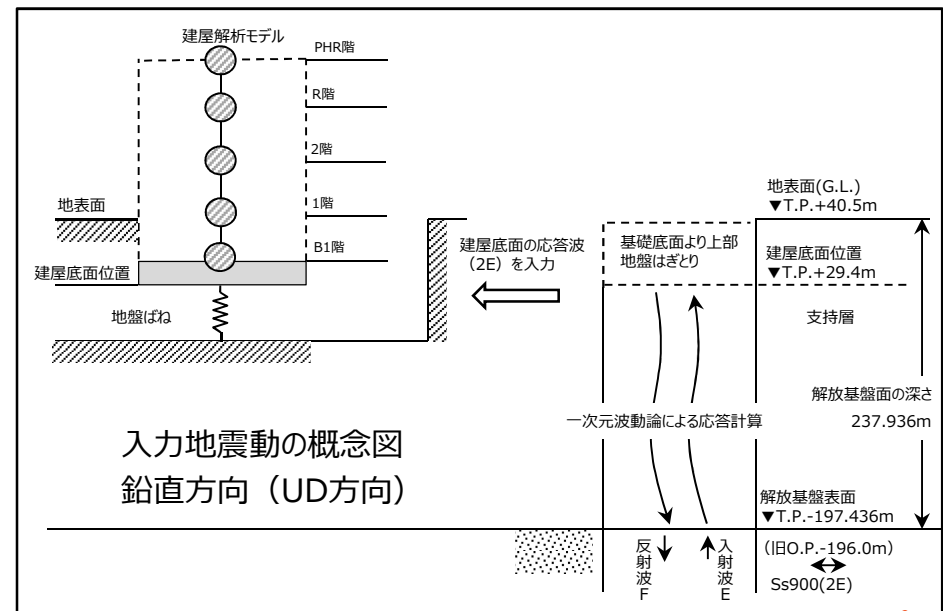
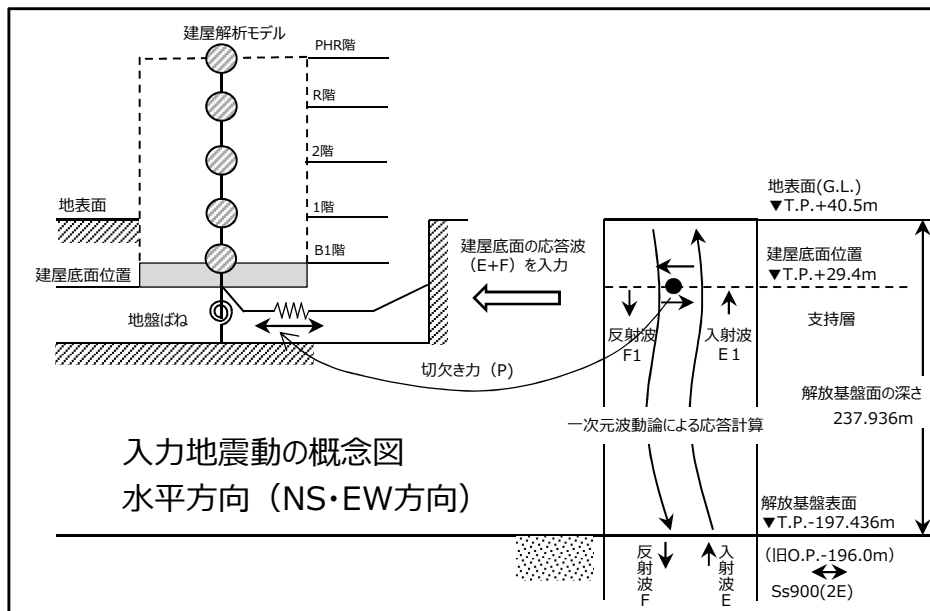


1-4. 地震応答解析モデル概要

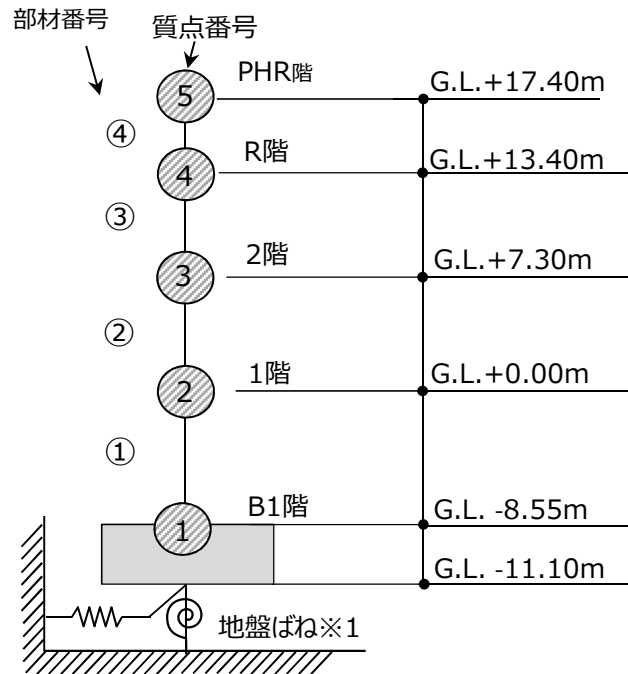
■ 解析方法

- Ss900チェックの地震応答解析は、誘発上下動を考慮できる浮き上がり非線形地震応答解析にて実施する。(参考資料①、②)
- 動的解析に用いる建屋－地盤連成地震応答解析モデルは、水平動は建屋と地盤相互作用を評価したスウェイ・ロッキングモデルとし、鉛直動は上下バネマスモデルを使用する。
- 建屋は、形状及び構造特性等を考慮し、水平モデルは質点とばね要素からなる集中質点系に置換した弾塑性等価せん断解析モデルとし、鉛直モデルは質点とばね要素とした集中質点系解析モデルを設定する。
- 地盤は、建屋の埋込み効果は無視し、建屋底面位置の地盤をばねによってモデル化する。
- 水平方向の入力地震動は、地表面までモデル化した自由地盤の次元等価線形解析結果により求められる建屋底面位置での応答波(E+F)に、建屋基礎底面レベルにおけるせん断力(切欠き力P※)を付加することにより、地盤の切欠き効果を考慮する。
- 鉛直方向の入力地震動は、基礎底面位置より上部を剥ぎ取った地盤モデルにより求められる建屋底面位置での応答波(2E)とする。
- 地盤解析の解析プログラムは「SoilPlus」、建屋解析の解析プログラムは「DYNA2E」を使用する。

※P：補正水平力（切欠き力）＝建屋底面位置の地盤のせん断応力度×建屋底面積



1-5. 建屋解析モデルの諸元 (水平方向)



水平方向 (NS,EW方向)

※1：浮き上がり非線形を考慮した誘発上下動モデルとなるため、鉛直ばね要素、回転・鉛直連成ばね要素を考慮する。

※2：建屋の基礎底面における回転慣性重量 ($\text{kN}\cdot\text{m}^2$) は以下の通り。

NS方向： $42206(\times 10^3\text{kN}\cdot\text{m}^2)$

EW方向： $47765(\times 10^3\text{kN}\cdot\text{m}^2)$

<NS方向>

| 質点番号 | 質点重量 (kN) | 部材番号 | せん断断面積 (m^2) |
|------|-----------|------|-------------------------|
| 5 | 5660 | | |
| 4 | 35104 | ④ | 4.274 |
| 3 | 59280 | ③ | 14.57 |
| 2 | 84932 | ② | 22.88 |
| 1 | 173265 | ① | 32.01 |

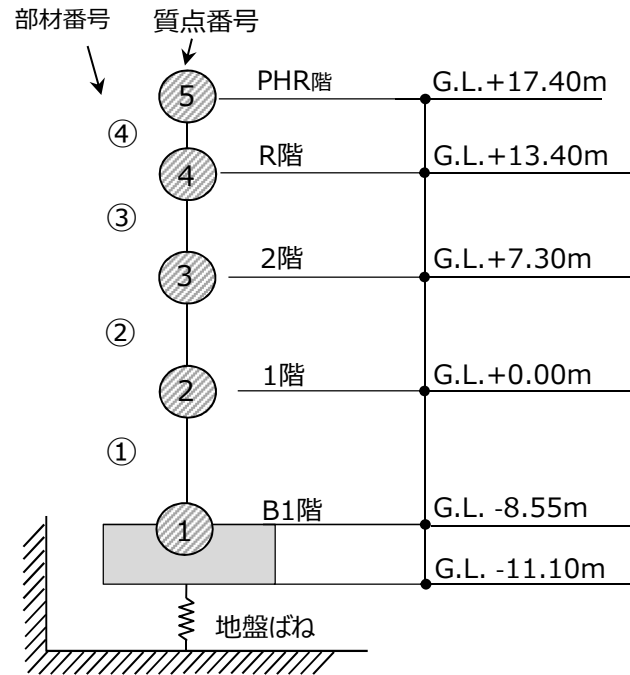
<EW方向>

| 質点番号 | 質点重量 (kN) | 部材番号 | せん断断面積 (m^2) |
|------|-----------|------|-------------------------|
| 5 | 5660 | | |
| 4 | 35104 | ④ | 9.681 |
| 3 | 59280 | ③ | 31.81 |
| 2 | 84932 | ② | 30.63 |
| 1 | 173265 | ① | 56.38 |

<コンクリートの材料定数>

| 設計基準強度 $F_c(\text{N}/\text{mm}^2)$ | ヤング係数 $E(\text{kN}/\text{m}^2)$ | せん断弾性係数 $G(\text{kN}/\text{m}^2)$ | 減衰定数 $h(\%)$ |
|------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| 36 | 2.595×10^7 | 1.081×10^7 | 3.0 |

1-6. 建屋解析モデルの諸元（鉛直方向）



鉛直方向（UD方向）

<UD方向>

| 質点番号 | 質点重量 (kN) | 部材番号 | 軸断面積 (m ²) | 鉛直剛性 (kN/m) |
|------|-----------|------|------------------------|---------------------|
| 5 | 5660 | - | | |
| 4 | 35104 | ④ | 43.51 | 2.823×10^8 |
| 3 | 59280 | ③ | 145.4 | 6.187×10^8 |
| 2 | 84932 | ② | 172.8 | 6.142×10^8 |
| 1 | 173265 | ① | 225.4 | 6.840×10^8 |
| | | - | | |

<コンクリートの材料定数>

| 設計基準強度 Fc(N/mm ²) | ヤング係数 E(kN/m ²) | せん断弾性係数 G (kN/m ²) | 減衰定数 h (%) |
|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------|
| 36 | 2.595×10^7 | 1.081×10^7 | 3.0 |

1-7. 地盤モデルの設定

■ 地盤モデルの設定

- 地層構成は、第2棟建屋中央部付近で実施したボーリングの結果に基づいて水平成層地盤としてモデル化する。
- 物性値については、福島第一原子力発電所の地盤物性※を用いることとし、地盤物性が示されていない地層（ローム層）については第2棟地盤調査結果にもとづいて設定する。

※ 福島第一原子力発電所 原子炉設置変更許可申請書（平成5年4月）等から設定した使用済燃料乾式キャスク仮保管設備の地盤物性

| 地層名 | 標高 | | 湿潤密度 ρ (t/m^3) | 単位体積重量 γ (kN/m^3) | せん断波速度 V_s (m/s) | 動的変形特性 | | 動的変形特性 | |
|------------|----------------|----------------|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | 上端 T.P. (m) | 下端 T.P. (m) | | | | せん断弾性係数 G_0 (kN/m^2) | 動ポアソン比 ν_d | $G/G_0 \sim \gamma(\%)$ | $h(\%) \sim \gamma(\%)$ |
| | | | | | | | | | |
| 埋戻土 | 40.500 | 37.930 | 1.80 | 17.65 | 201 | 72600 | 0.350 | $1/(1+10.65\gamma^{0.778})$ | $22.97\gamma^{0.289}$ |
| ローム層 | 37.930 | 35.930 | 1.74 | 17.06 | 164 | 46700 | 0.410 | $1/(1+11.00\gamma^{0.802})$ | $17.80\gamma^{0.277}$ |
| 段丘堆積物 | 35.930 | 33.370 | 1.59 | 15.59 | 315 | 158000 | 0.480 | $1/(1+6.872\gamma^{0.614})$ | $14.79/(1+0.036/\gamma)$ |
| T3 部層 互層部 | 33.370 | 18.450 | 1.76 | 17.26 | 414 | 302000 | 0.460 | $1/(1+3.257\gamma^{0.688})$ | $17.57/(1+0.084/\gamma)$ |
| T3 部層 泥質部 | 18.450 | 16.230 | 1.71 | 16.77 | 500 | 427000 | 0.450 | $1/(1+3.600\gamma^{0.962})$ | $11.90\gamma^{1.086}+1.617$ |
| T3 部層 細粒砂岩 | 16.230 | 14.470 | 1.84 | 18.04 | 338 | 210000 | 0.480 | $1/(1+3.009\gamma^{0.604})$ | $21.80/(1+0.122/\gamma)$ |
| T3 部層 泥質部 | 14.470 | 12.220 | 1.71 | 16.77 | 500 | 427000 | 0.450 | $1/(1+3.600\gamma^{0.962})$ | $11.90\gamma^{1.086}+1.617$ |
| T3 部層 粗粒砂岩 | 12.220 | 11.400 | 1.84 | 18.04 | 338 | 210000 | 0.480 | $1/(1+3.009\gamma^{0.604})$ | $21.80/(1+0.122/\gamma)$ |
| T3 部層 泥質部 | 11.400 | -18.070 | 1.71 | 16.77 | 500 | 427000 | 0.450 | $1/(1+3.600\gamma^{0.962})$ | $11.90\gamma^{1.086}+1.617$ |
| T2 部層 | -18.070 | -110.470 | 1.75- 0.000417Z | 17.16- 0.004089Z | 深度依存 | 254000- 3220Z | 0.467+ 0.000222Z | $1/(1+2.845\gamma^{0.918})$ | $10.54\gamma^{0.865}+0.903$ |
| T1 部層 | -110.470 | -183.180 | 1.79 | 17.55 | 610 | 667000 | 0.440 | $1/(1+2.586\gamma^{0.722})$ | $15.04\gamma^{0.517}$ |
| 先富岡層 | -183.180 | -197.436 | 1.88 | 18.44 | 712 | 954000 | 0.420 | $1/(1+2.714\gamma^{0.920})$ | $14.69\gamma^{0.583}$ |
| 解放基盤表面 | -197.436 | - | 1.88 | 18.44 | 712 | - | - | - | - |

注) Z: 標高O.P. (m)

O.P.は震災前の「旧O.P.」を指す。O.P.±0m=T.P.-1.436m

1-8. 入力地震動の設定

■ 入力地震動

- 建屋基礎底面位置における入力地震動（水平方向、鉛直方向）の加速度時刻歴波形は以下の通り。

| | Ss900-① | Ss900-② |
|------|---|---|
| NS方向 | <p>最大加速度：653 cm/s²</p> <p>水平方向_検討用地震動①</p> | <p>水平方向_検討用地震動②_(NS方向) 最大加速度：374 cm/s²</p> |
| EW方向 | | <p>水平方向_検討用地震動②_(EW方向) 最大加速度：305 cm/s²</p> |
| UD方向 | <p>鉛直方向_検討用地震動① 最大加速度：628 cm/s²</p> | <p>鉛直方向_検討用地震動②_(UD方向) 最大加速度：510 cm/s²</p> |

1-9. 地盤ばねの設定

■ 地盤ばねの算定

- 矩形基礎の算定式にて地盤ばねを設定する。
- 一次元波動論による解析に用いた地盤モデルを用いて成層補正を行い、小堀の方法により地盤ばねを算定する。

<Ss900-①>

| | 水平 | | 回転 | |
|------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 地盤ばね定数K (kN/m) | 減衰係数C (kN・s/m) | 地盤ばね定数K (kN・m/rad) | 減衰係数C (kN・m・s/rad) |
| NS方向 | 2.97×10^7 | 1.01×10^6 | 1.31×10^{10} | 1.68×10^8 |
| EW方向 | 2.94×10^7 | 1.03×10^6 | 1.43×10^{10} | 2.12×10^8 |
| | 鉛直 | | | |
| | 地盤ばね定数K (kN/m) | 減衰係数C (kN・s/m) | | |
| UD方向 | 5.76×10^7 | 2.47×10^6 | | |

<Ss900-②>

| | 水平 | | 回転 | |
|------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 地盤ばね定数K (kN/m) | 減衰係数C (kN・s/m) | 地盤ばね定数K (kN・m/rad) | 減衰係数C (kN・m・s/rad) |
| NS方向 | 3.33×10^7 | 1.06×10^6 | 1.47×10^{10} | 1.74×10^8 |
| EW方向 | 3.36×10^7 | 1.12×10^6 | 1.63×10^{10} | 2.27×10^8 |
| | 鉛直 | | | |
| | 地盤ばね定数K (kN/m) | 減衰係数C (kN・s/m) | | |
| UD方向 | 6.53×10^7 | 2.62×10^6 | | |

1-10. 固有値解析結果

■ 解析結果

<Ss900-①>

| 方向 | 次数 | 固有周期 (s) | 振動数 (Hz) |
|----|----|-------------|-------------|
| NS | 1 | 0.279 | 3.58 |
| | 2 | 0.161 | 6.22 |
| | 3 | 0.139 | 7.20 |

| 方向 | 次数 | 固有周期 (s) | 振動数 (Hz) |
|----|----|-------------|-------------|
| EW | 1 | 0.262 | 3.81 |
| | 2 | 0.161 | 6.22 |
| | 3 | 0.136 | 7.36 |

| 方向 | 次数 | 固有周期 (s) | 振動数 (Hz) |
|----|----|-------------|-------------|
| UD | 1 | 0.161 | 6.22 |
| | 2 | 0.029 | 34.18 |
| | 3 | 0.016 | 64.36 |

<Ss900-②>

| 方向 | 次数 | 固有周期 (s) | 振動数 (Hz) |
|----|----|-------------|-------------|
| NS | 1 | 0.269 | 3.72 |
| | 2 | 0.132 | 7.56 |
| | 3 | 0.082 | 12.19 |

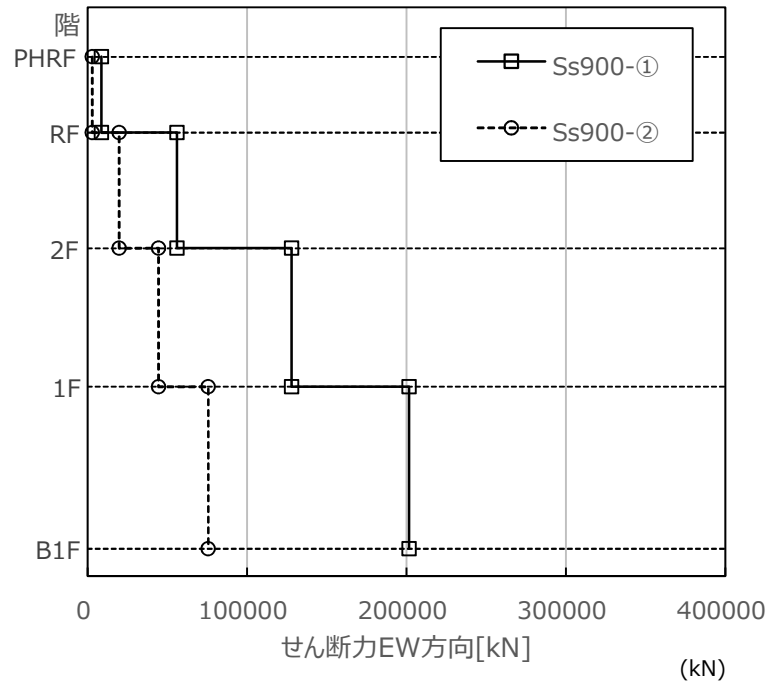
| 方向 | 次数 | 固有周期 (s) | 振動数 (Hz) |
|----|----|-------------|-------------|
| EW | 1 | 0.249 | 4.02 |
| | 2 | 0.128 | 7.82 |
| | 3 | 0.073 | 13.77 |

| 方向 | 次数 | 固有周期 (s) | 振動数 (Hz) |
|----|----|-------------|-------------|
| UD | 1 | 0.151 | 6.61 |
| | 2 | 0.029 | 34.25 |
| | 3 | 0.016 | 64.37 |

1-11. 地震応答解析結果（最大応答せん断力）

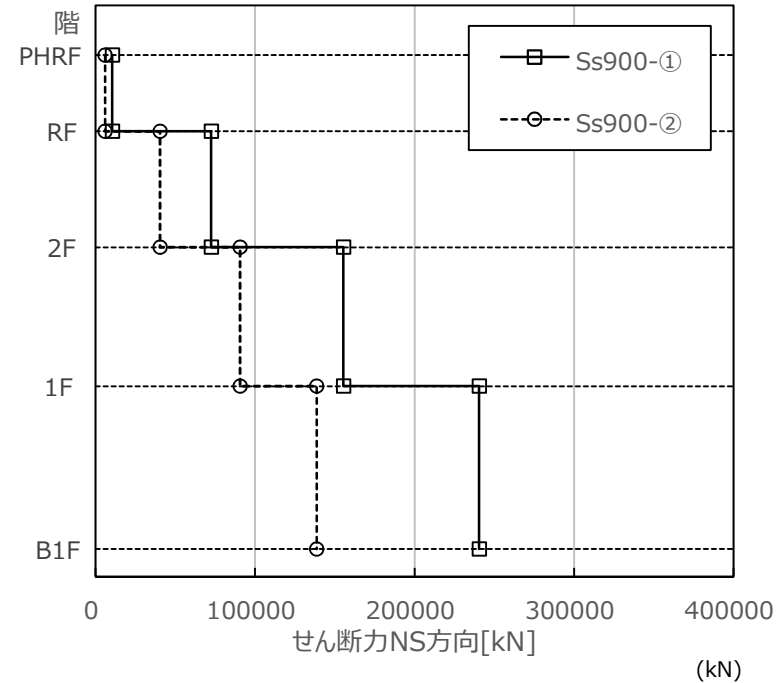
■ 解析結果（最大応答せん断力）

<EW方向>



| | Ss900-① | Ss900-② |
|-------|---------|---------|
| PHRF階 | 8630 | 2898 |
| R階 | 56108 | 19699 |
| 2階 | 127938 | 44427 |
| 1階 | 201506 | 75637 |
| B1階 | 201506 | 75637 |

<NS方向>



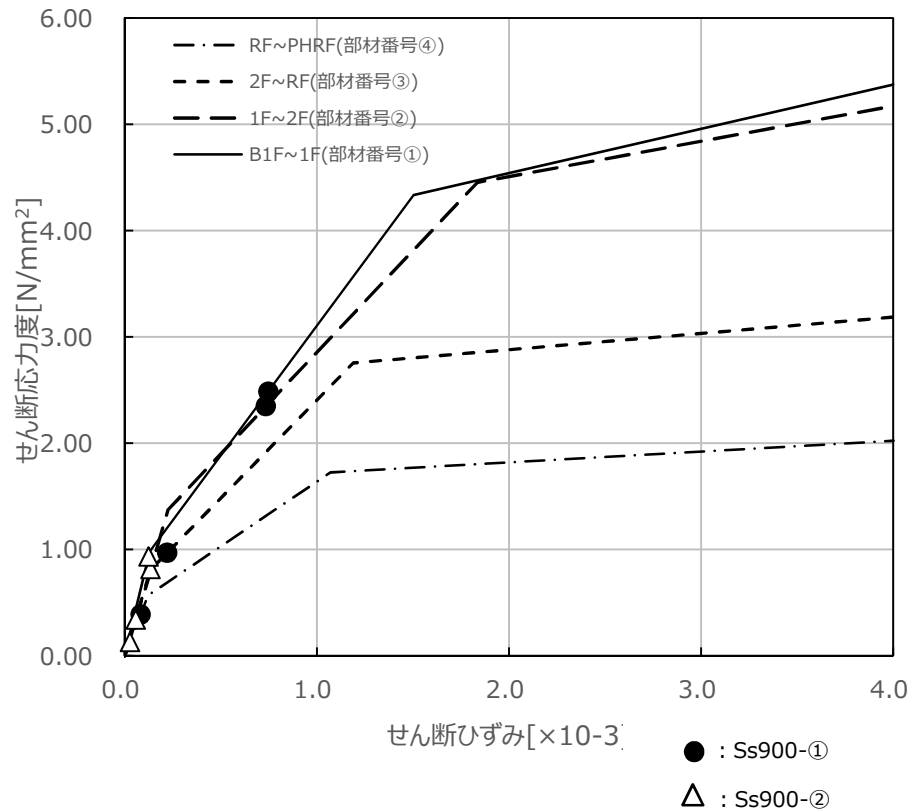
| | Ss900-① | Ss900-② |
|-------|---------|---------|
| PHRF階 | 10367 | 5890 |
| R階 | 72505 | 40370 |
| 2階 | 155283 | 90443 |
| 1階 | 240473 | 138575 |
| B1階 | 240473 | 138575 |

1-12. 地震応答解析結果（せん断変形成分の復元力特性）

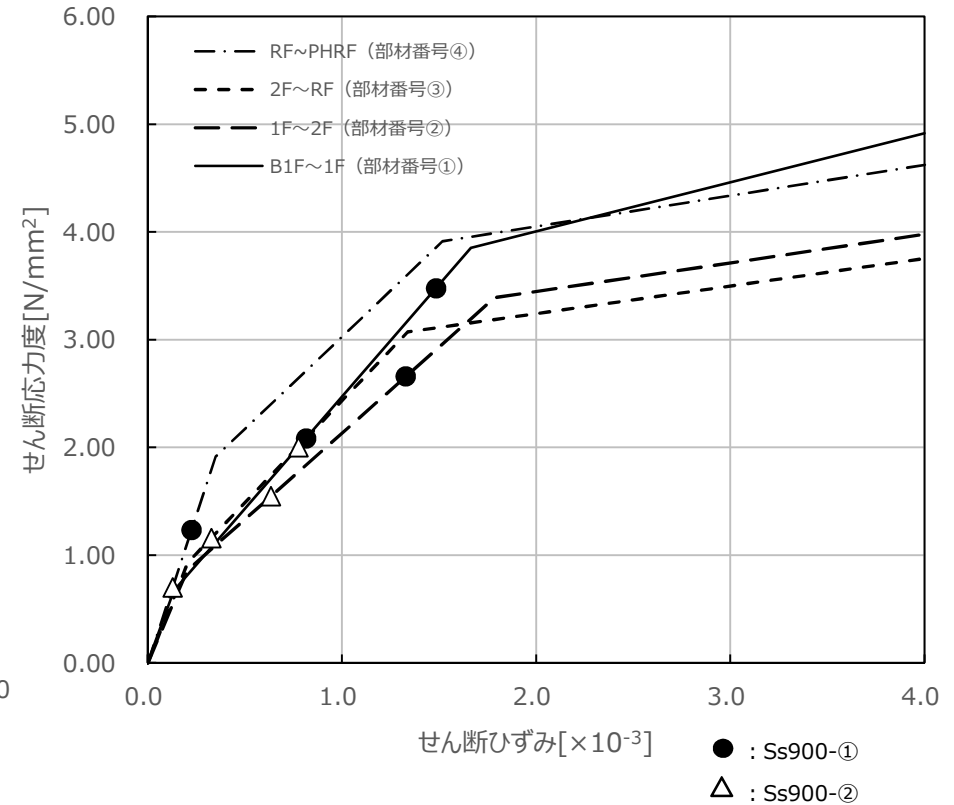
■ 復元力特性

- 建屋各層のせん断応力度－せん断ひずみ関係は下記のスケルトンカーブ（ τ - γ ）関係となる。
- 各層に発生するせん断応力度におけるせん断ひずみは（ 4.0×10^{-3} ）以下であり、応答値はいずれも第2折れ点以下である。

<EW方向>



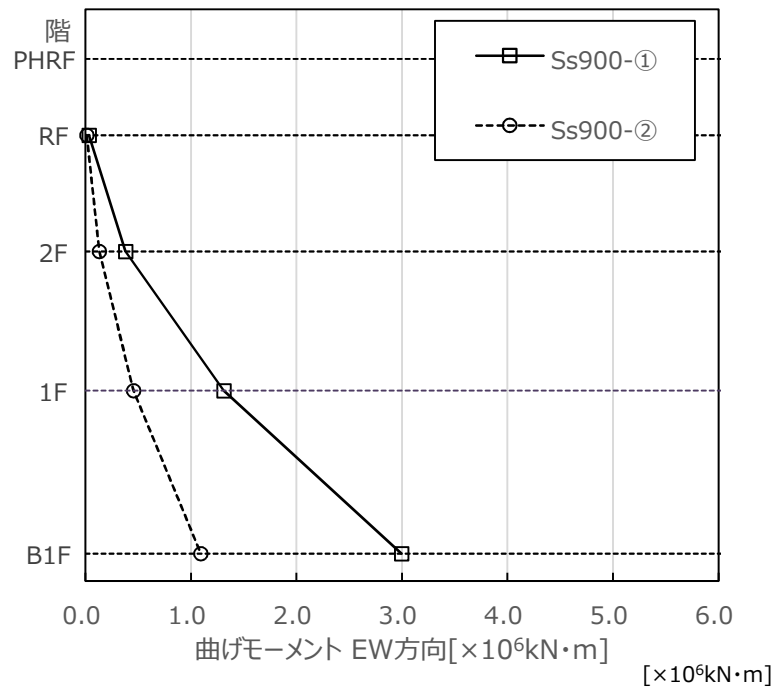
<NS方向>



1-13. 地震応答解析結果（最大応答曲げモーメント）

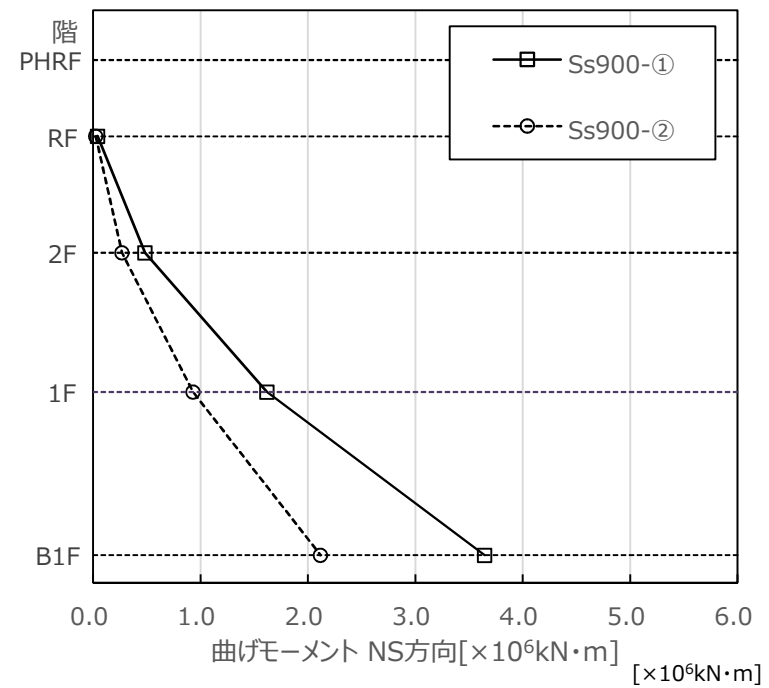
■ 解析結果（最大応答曲げモーメント）

<EW方向>



| | Ss900-① | Ss900-② |
|-------|---------|---------|
| PHRF階 | 0.035 | 0.012 |
| R階 | 0.379 | 0.132 |
| 2階 | 1.311 | 0.455 |
| 1階 | 2.994 | 1.092 |
| B1階 | 2.994 | 1.092 |

<NS方向>

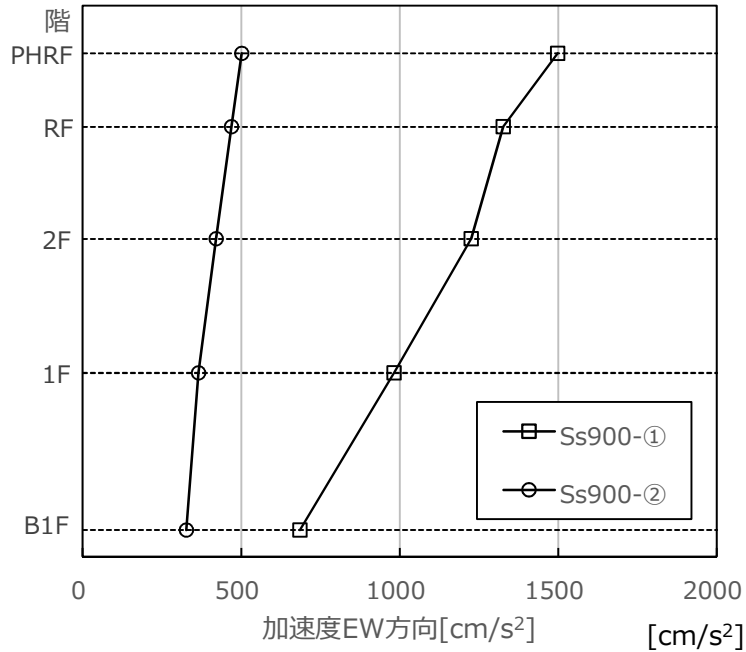


| | Ss900-① | Ss900-② |
|-------|---------|---------|
| PHRF階 | 0.041 | 0.024 |
| R階 | 0.481 | 0.268 |
| 2階 | 1.617 | 0.929 |
| 1階 | 3.646 | 2.116 |
| B1階 | 3.646 | 2.116 |

1-14. 地震応答解析結果（水平方向）

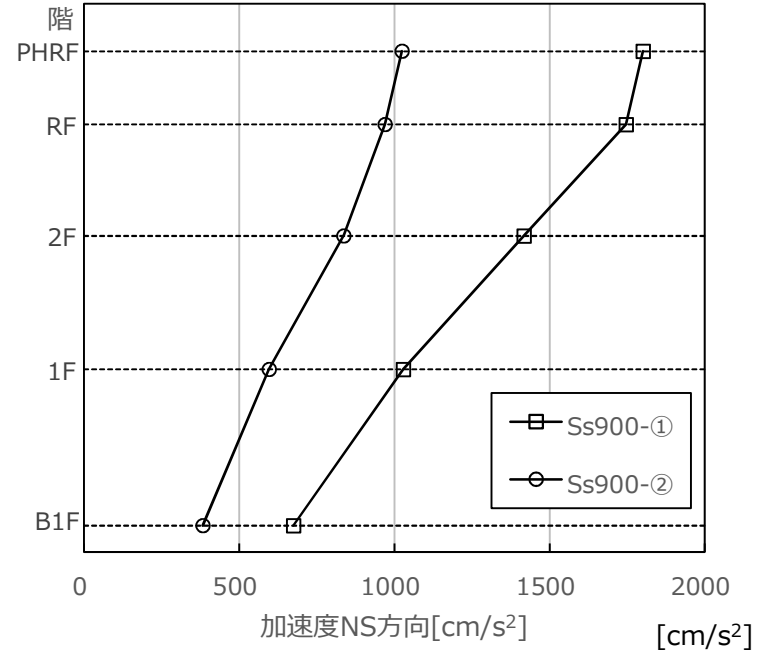
■ 解析結果（最大応答加速度）

<EW方向>



| | Ss900-① | Ss900-② |
|-------|---------|---------|
| PHRF階 | 1498 | 502 |
| R階 | 1326 | 469 |
| 2階 | 1225 | 420 |
| 1階 | 982 | 365 |
| B1階 | 685 | 326 |

<NS方向>

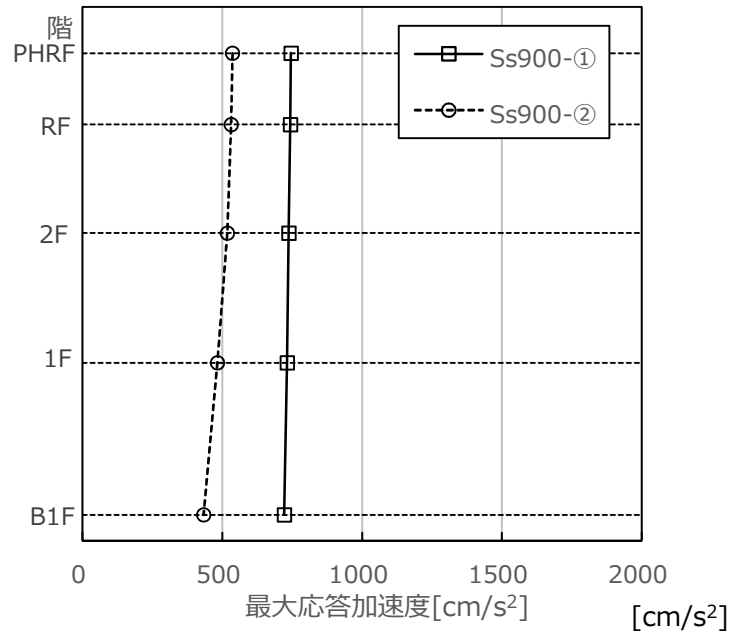


| | Ss900-① | Ss900-② |
|-------|---------|---------|
| PHRF階 | 1801 | 1024 |
| R階 | 1746 | 969 |
| 2階 | 1417 | 836 |
| 1階 | 1028 | 596 |
| B1階 | 675 | 382 |

1-15. 地震応答解析結果（鉛直方向）

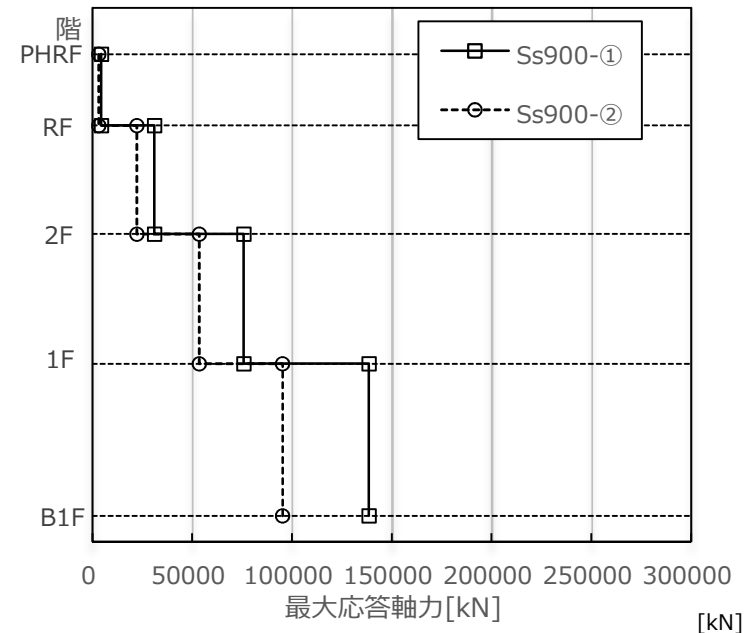
■ 解析結果（最大応答加速度、最大応答軸力）

<最大応答加速度>



| 階 | Ss900-① | Ss900-② |
|-------|---------|---------|
| PHRF階 | 745 | 536 |
| R階 | 743 | 531 |
| 2階 | 737 | 517 |
| 1階 | 732 | 482 |
| B1階 | 721 | 433 |

<最大応答軸力>



| 階 | Ss900-① | Ss900-② |
|-----|---------|---------|
| R階 | 4318 | 3104 |
| 2階 | 30993 | 22190 |
| 1階 | 75676 | 53489 |
| B1階 | 138415 | 95241 |

1-16. 評価結果（せん断ひずみ）

■ 評価結果

- 耐震壁のせん断ひずみは、最大で 1.48×10^{-3} （NS方向）であり、耐震壁の評価基準値（ 4.0×10^{-3} ）を超えず、十分な裕度を確保していることを確認した。

(1) Ss900-①

| 評価項目 | | 評価基準 | EW方向 | NS方向 |
|--------|-----|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| せん断ひずみ | R階 | $\gamma \leq 4.0 \times 10^{-3}$ | 0.08×10^{-3} | 0.22×10^{-3} |
| | 2階 | | 0.22×10^{-3} | 0.82×10^{-3} |
| | 1階 | | 0.74×10^{-3} | 1.33×10^{-3} |
| | B1階 | | 0.75×10^{-3} | 1.48×10^{-3} |

(2) Ss900-②

| 評価項目 | | 評価基準 | EW方向 | NS方向 |
|--------|-----|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| せん断ひずみ | R階 | $\gamma \leq 4.0 \times 10^{-3}$ | 0.03×10^{-3} | 0.13×10^{-3} |
| | 2階 | | 0.06×10^{-3} | 0.33×10^{-3} |
| | 1階 | | 0.13×10^{-3} | 0.64×10^{-3} |
| | B1階 | | 0.12×10^{-3} | 0.78×10^{-3} |

1-17. 評価結果（接地圧）

■ 評価結果

- 地震時の最大接地圧は、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力を組み合わせ係数法（係数0.4）にて考慮して算出する。
- 接地圧は、最大で1697 kN/m²（NS方向）であり、評価基準値（極限鉛直支持力度3000 kN/m²※）を超えないことを確認した。

(1) Ss900-①

(kN/m²)

| 評価項目 | 上下動 | 評価基準 | EW方向 | NS方向 |
|-------|-----|-----------------|------|------|
| 最大接地圧 | 上向き | $q_u \leq 3000$ | 650 | 1697 |
| | 下向き | | 722 | 839 |

(2) Ss900-②

(kN/m²)

| 評価項目 | 上下動 | 評価基準) | EW方向 | NS方向 |
|-------|-----|-----------------|------|------|
| 最大接地圧 | 上向き | $q_u \leq 3000$ | 353 | 335 |
| | 下向き | | 521 | 526 |

※極限鉛直支持力度は、建築基準法施行令の地盤の許容応力度（岩盤：長期1000【kN/m²】、短期2000【kN/m²】）より設定

1-18. 評価結果まとめ

- 第2棟建屋の耐震性評価として、Ss900による地震応答解析を行い、耐震壁に生じるせん断ひずみ及び接地圧が評価基準値を超えないことを確認した。
- 以上により、第2棟建屋はSs900に対して耐震裕度を有しており、終局に至らないことを確認した。

＜参考①＞ 1-2. 耐震評価の状況について

2022年6月8日面談（参考資料）

① Ss900体系による耐震性を評価

- ・敷地境界の実効線量評価で考慮すべき「放射性物質の施設外漏えい率」や「遮蔽性の低下度合い」係数を決定するため、Ss900による建屋の耐震性の評価（Ss900チェック）を行うことを目的に実施する。
- ・Ss900チェックの地震応答解析を、地盤ばねモデルの線形地震応答解析で実施する方針で検討を進めた。
- ・解析モデルの設定にあたり、地震応答解析法の適用性の確認を、原子力発電所耐震設計技術規定（JEAC4601）の基礎浮き上がり評価手順に基づき実施した。
- ・上記確認において、接地率 $\eta \geq 75\%$ を下回ることが判明したため、線形地震応答解析から誘発上下動を考慮できる浮き上がり非線形地震応答解析（誘発上下動解析）に変更する。

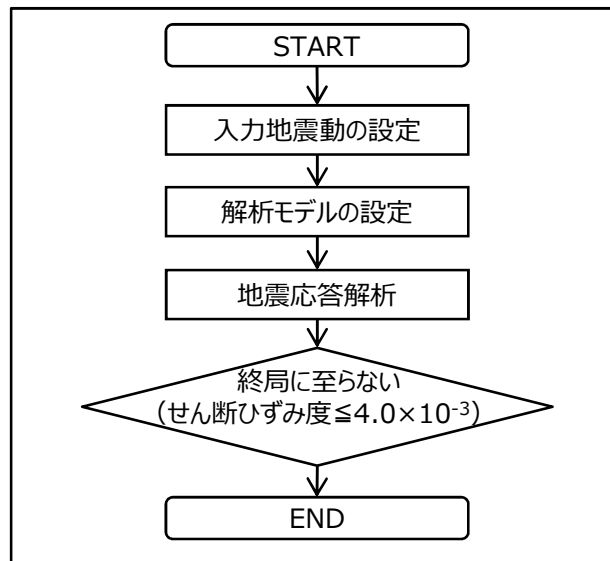


図1：耐震評価概略フロー

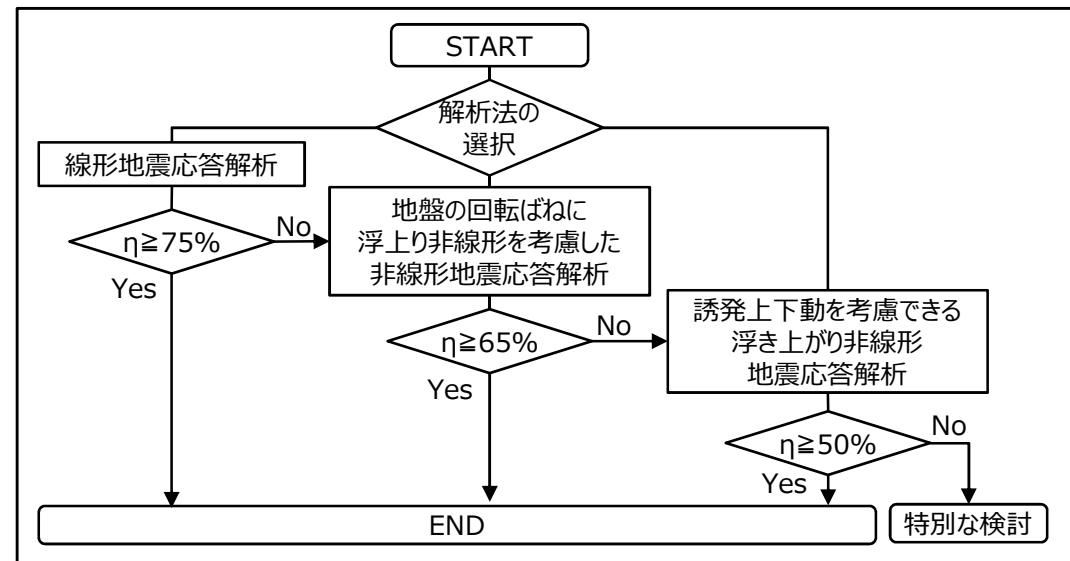


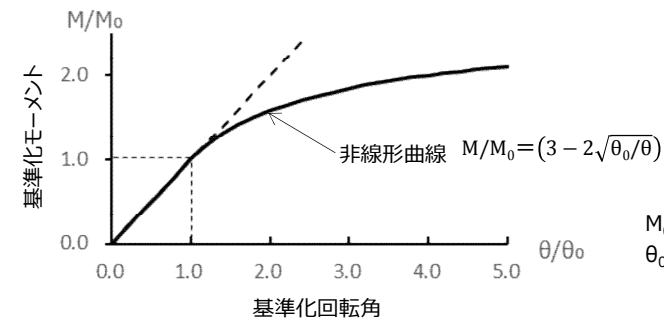
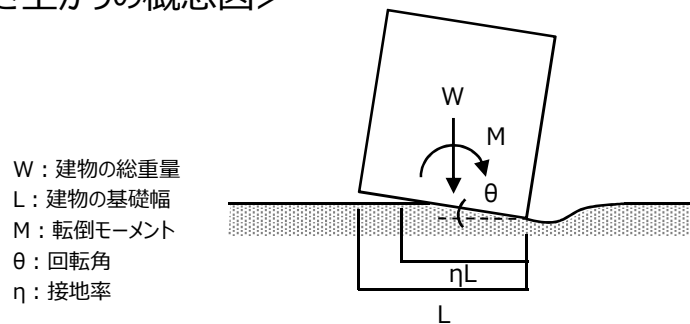
図2：基礎浮き上がり評価の手順

<参考②> 第2棟建屋のSs900チェック状況について（誘発上下動非線形地震応答解析）

■ 誘発上下動非線形地震応答解析について

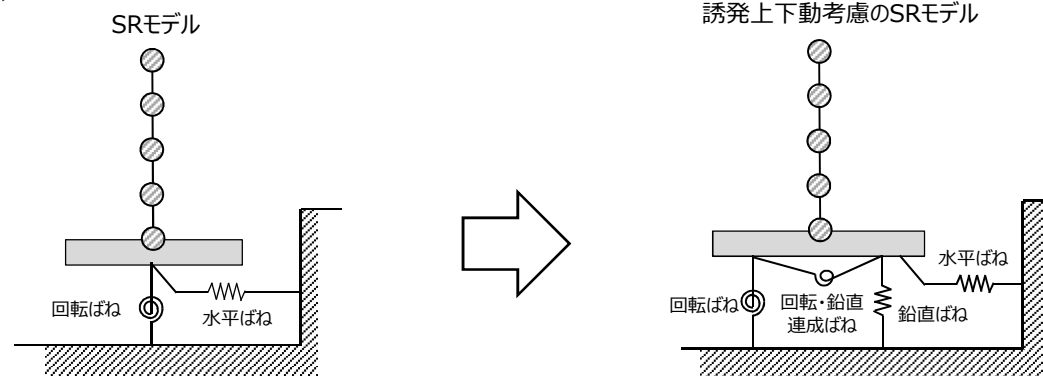
- 地震時において基礎に作用する転倒モーメントが大きい場合には、基礎と地盤が離れる現象（基礎の浮き上がり）が生じる。また、基礎の浮き上がりに伴い鉛直動が誘発（誘発上下動）される。
- 誘発上下動非線形地震応答解析は、この基礎の浮き上がり現象を考慮できる解析であり、回転ばねに加え接地率に応じて変化する鉛直及び回転・鉛直連成ばねを考慮したモデルを用いて解析する。

<基礎浮き上がりの概念図>



M_0 : 浮き上がり限界転倒モーメント
 θ_0 : 浮き上がり限界回転角

<解析モデルの概念図>



<参考③> 接地率の算定結果

■ 算定結果

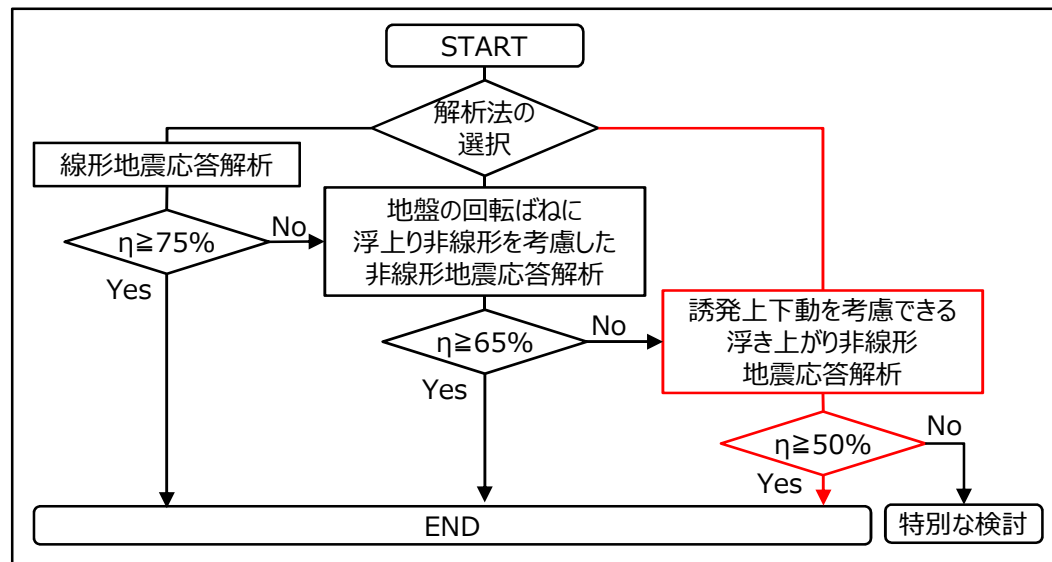
- 接地率 (η) は、最小で62% (NS方向) であり、原子力発電所耐震設計技術規程 (JEAC4601) の基礎浮き上がり評価の手順※である誘発上下動を考慮した非線形地震応答解析の適用範囲内であることを確認した。

(1) Ss900-①

| 評価項目 | 評価基準 | EW方向 | NS方向 |
|------------|------------------|------|------|
| 接地率 η | $\eta \geq 50\%$ | 80% | 62% |

(2) Ss900-②

| 評価項目 | 評価基準 | EW方向 | NS方向 |
|------------|------------------|------|------|
| 接地率 η | $\eta \geq 50\%$ | 100% | 97% |



※基礎浮き上がり評価の手順

放射性物質分析・研究施設第2棟に係る
実施計画の変更認可申請について
(1/2Ss450による耐震評価)

2022年11月25日

東京電力ホールディングス株式会社
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構



1-1. 1/2Ss450による耐震性の評価

1/2Ss450による耐震性を評価

- 耐震B+クラスに求められる動的地震力による建屋の耐震性の確認（1/2Ss450評価）を行うことを目的に実施する。
- 1/2Ss450評価は（図1）の評価方針に基づき実施する。

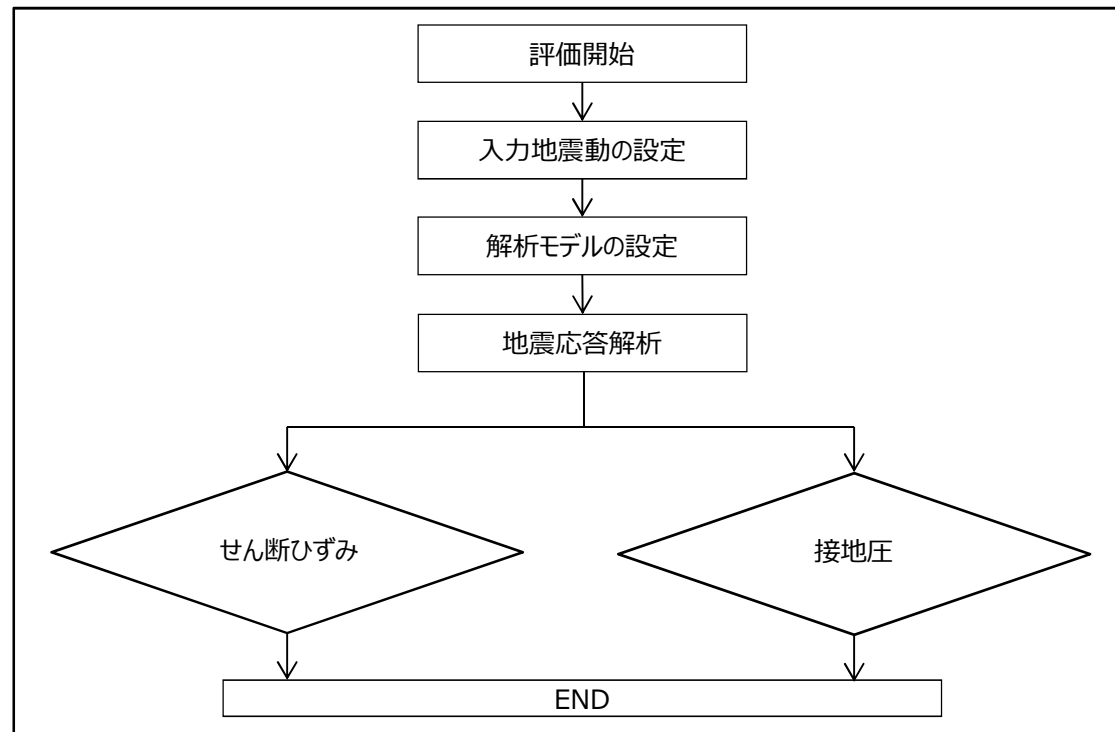
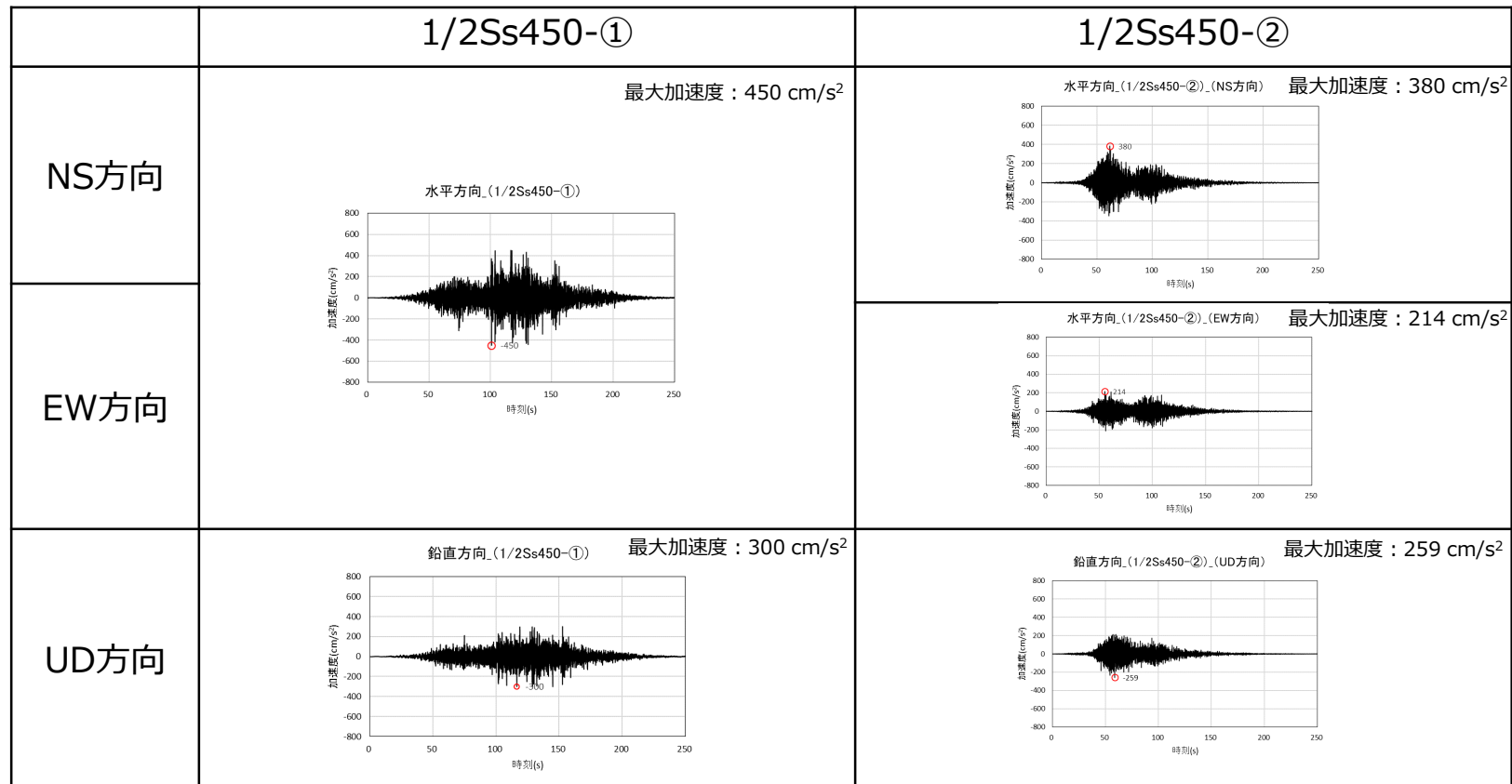


図1：耐震評価概略フロー

1-2. 検討に用いる地震動

■ 検討に用いる地震動

- 地震動は、検討用地震動（Ss900）※1に係数0.5を乗じて設定した地震動（以下「1/2Ss450」という）とする。
- 解放基盤表面をT.P.約-197mに設定する。

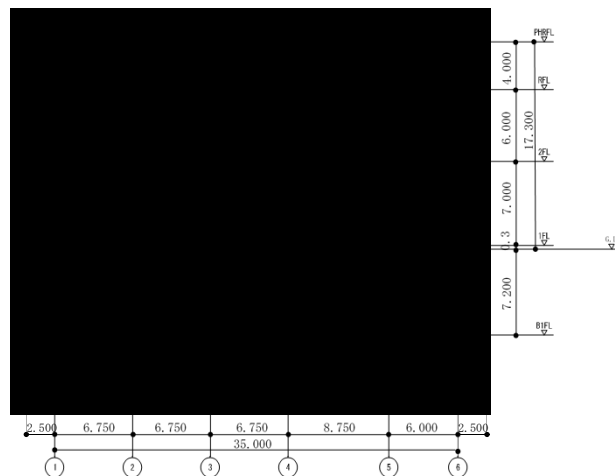


※1：第27回特定原子力施設監視・評価検討会 資料2「東京電力福島第一原子力発電所の外部事象に対する防護の検討について」にて示された検討用地震動①、検討用地震動②。

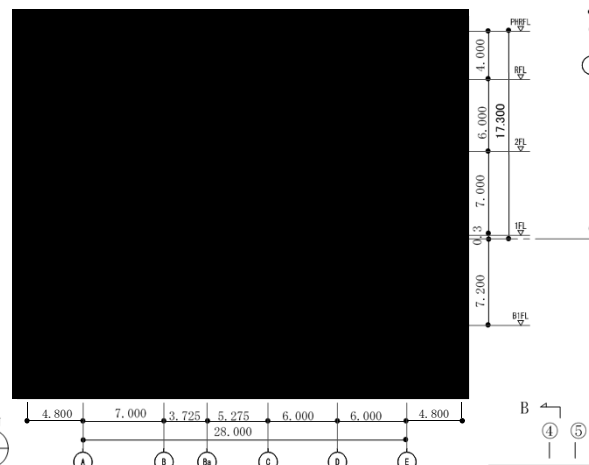
1-3. 第2棟建屋の概要

■ 建物概要

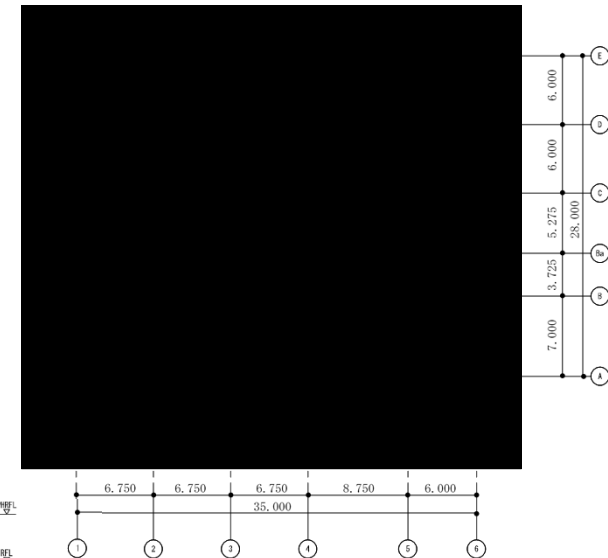
- 構造：鉄筋コンクリート造
- 階数：地上2階、地下1階
- 基礎：直接基礎で人工岩盤を介して富岡層に支持
- 平面寸法：35.0m(EW方向)×28.0m(NS方向)
- 基礎形状：40.0m(EW方向)×37.6m(NS方向)
- 地上高さ：17.3m



A-A断面図 (EW方向)
(単位：m)



B-B断面図 (NS方向)
(単位：m)



1階平面図
(G.L.+0.3) (単位：m)

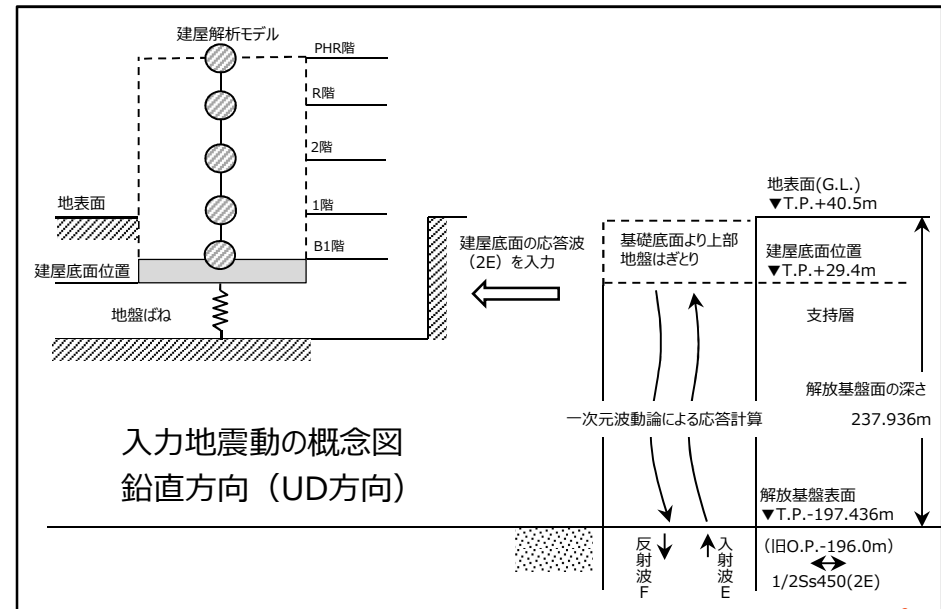
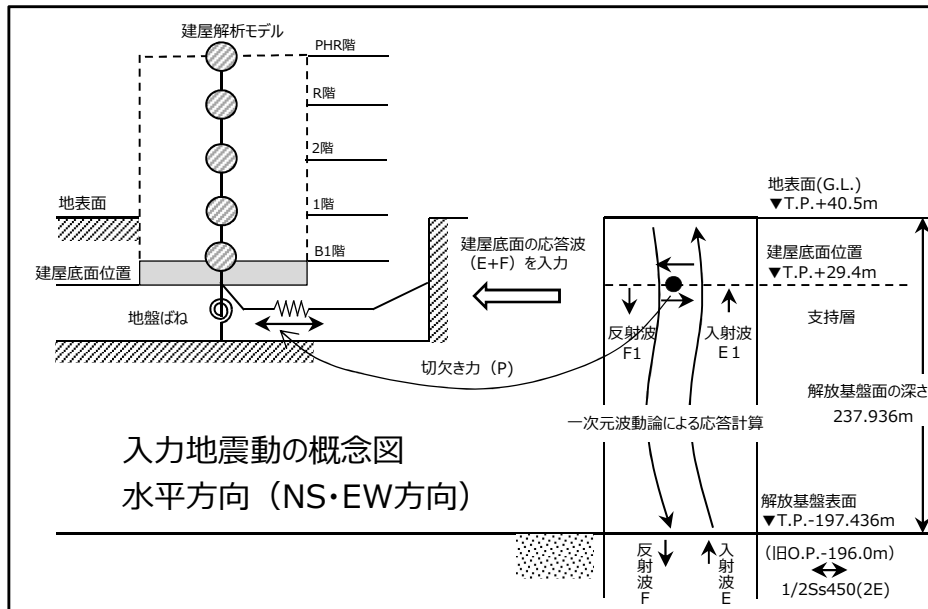
コンクリートセルを構成する壁等

1-4. 地震応答解析モデル概要

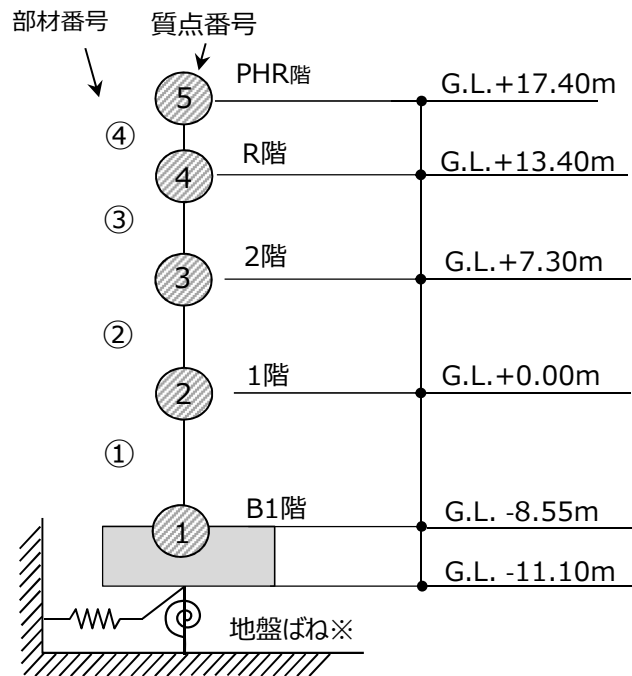
■ 解析方法

- 1/2Ss450評価は、地震応答解析にて実施する。
- 動的解析に用いる建屋－地盤連成地震応答解析モデルは、水平動は建屋と地盤相互作用を評価したスウェイ・ロッキングモデルとし、鉛直動は上下バネマスモデルを使用する。
- 建屋は、形状及び構造特性等を考慮し、水平モデルは質点とばね要素からなる集中質点系に置換した弾塑性等価せん断解析モデルとし、鉛直モデルは質点とばね要素とした集中質点系解析モデルを設定する。
- 地盤は、建屋の埋込み効果は無視し、建屋底面位置の地盤をばねによってモデル化する。
- 水平方向の入力地震動は、地表面までモデル化した自由地盤の次元等価線形解析結果により求められる建屋底面位置での応答波(E+F)に、建屋基礎底面レベルにおけるせん断力(切欠き力P※)を付加することにより、地盤の切欠き効果を考慮する。
- 鉛直方向の入力地震動は、基礎底面位置より上部を剥ぎ取った地盤モデルにより求められる建屋底面位置での応答波(2E)とする。
- 地盤解析の解析プログラムは「SoilPlus」、建屋解析の解析プログラムは「DYNA2E」を使用する。

※P：補正水平力（切欠き力）＝建屋底面位置の地盤のせん断応力度×建屋底面積



1-5. 建屋解析モデルの諸元 (水平方向)



水平方向 (NS,EW方向)

※：建屋の基礎底面における回転慣性重量 ($\text{kN}\cdot\text{m}^2$) は以下の通り。

NS方向： $42206(\times 10^3\text{kN}\cdot\text{m}^2)$

EW方向： $47765(\times 10^3\text{kN}\cdot\text{m}^2)$

<NS方向>

| 質点番号 | 質点重量 (kN) | 部材番号 | せん断断面積 (m^2) |
|------|-----------|------|-------------------------|
| 5 | 5660 | | |
| 4 | 35104 | ④ | 4.274 |
| 3 | 59280 | ③ | 14.57 |
| 2 | 84932 | ② | 22.88 |
| 1 | 173265 | ① | 32.01 |

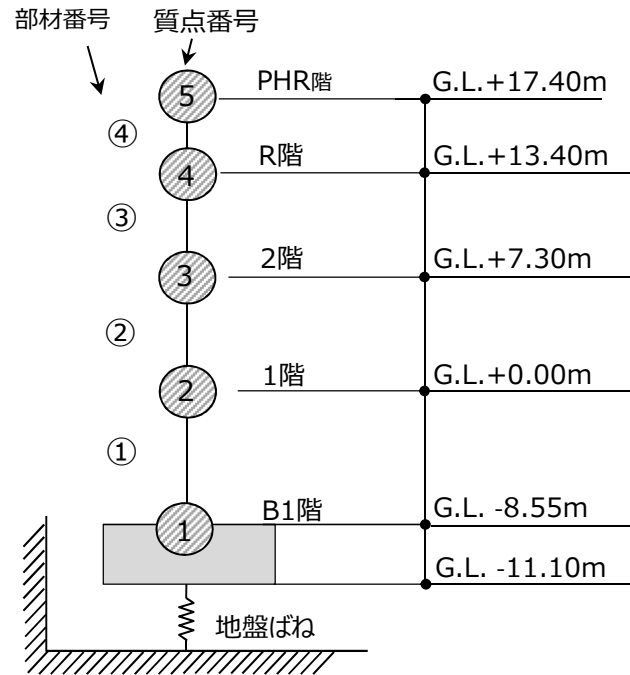
<EW方向>

| 質点番号 | 質点重量 (kN) | 部材番号 | せん断断面積 (m^2) |
|------|-----------|------|-------------------------|
| 5 | 5660 | | |
| 4 | 35104 | ④ | 9.681 |
| 3 | 59280 | ③ | 31.81 |
| 2 | 84932 | ② | 30.63 |
| 1 | 173265 | ① | 56.38 |

<コンクリートの材料定数>

| 設計基準強度 $F_c(\text{N}/\text{mm}^2)$ | ヤング係数 $E(\text{kN}/\text{m}^2)$ | せん断弾性係数 $G(\text{kN}/\text{m}^2)$ | 減衰定数 $h(\%)$ |
|------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| 36 | 2.595×10^7 | 1.081×10^7 | 3.0 |

1-6. 建屋解析モデルの諸元 (鉛直方向)



鉛直方向 (UD方向)

<UD方向>

| 質点番号 | 質点重量 (kN) | 部材番号 | 軸断面積 (m ²) | 鉛直剛性 (kN/m) |
|------|-----------|------|------------------------|---------------------|
| 5 | 5660 | - | | |
| 4 | 35104 | ④ | 43.51 | 2.823×10^8 |
| 3 | 59280 | ③ | 145.4 | 6.187×10^8 |
| 2 | 84932 | ② | 172.8 | 6.142×10^8 |
| 1 | 173265 | ① | 225.4 | 6.840×10^8 |
| | | - | | |

<コンクリートの材料定数>

| 設計基準強度 F _c (N/mm ²) | ヤング係数 E(kN/m ²) | せん断弾性係数 G(kN/m ²) | 減衰定数 h(%) |
|---|--------------------------------|----------------------------------|--------------|
| 36 | 2.595×10^7 | 1.081×10^7 | 3.0 |

1-7. 地盤モデルの設定

■ 地盤モデルの設定

- 地層構成は、第2棟建屋中央部付近で実施したボーリングの結果に基づいて水平成層地盤としてモデル化する。
- 物性値については、福島第一原子力発電所の地盤物性※を用いることとし、地盤物性が示されていない地層（ローム層）については第2棟地盤調査結果に基づいて設定する。

※ 福島第一原子力発電所 原子炉設置変更許可申請書（平成5年4月）等から設定した使用済燃料乾式キャスク仮保管設備の地盤物性

| 地層名 | 標高 | | 湿潤密度 ρ (t/m^3) | 単位体積重量 γ (kN/m^3) | せん断波速度 V_s (m/s) | 動的変形特性 | | 動的変形特性 | |
|------------|----------------|----------------|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | 上端 T.P. (m) | 下端 T.P. (m) | | | | せん断弾性係数 G_0 (kN/m^2) | 動ポアソン比 ν_d | $G/G_0 \sim \gamma(\%)$ | $h(\%) \sim \gamma(\%)$ |
| | | | | | | | | | |
| 埋戻土 | 40.500 | 37.930 | 1.80 | 17.65 | 201 | 72600 | 0.350 | $1/(1+10.65\gamma^{0.778})$ | $22.97\gamma^{0.289}$ |
| ローム層 | 37.930 | 35.930 | 1.74 | 17.06 | 164 | 46700 | 0.410 | $1/(1+11.00\gamma^{0.802})$ | $17.80\gamma^{0.277}$ |
| 段丘堆積物 | 35.930 | 33.370 | 1.59 | 15.59 | 315 | 158000 | 0.480 | $1/(1+6.872\gamma^{0.614})$ | $14.79/(1+0.036/\gamma)$ |
| T3 部層 互層部 | 33.370 | 18.450 | 1.76 | 17.26 | 414 | 302000 | 0.460 | $1/(1+3.257\gamma^{0.688})$ | $17.57/(1+0.084/\gamma)$ |
| T3 部層 泥質部 | 18.450 | 16.230 | 1.71 | 16.77 | 500 | 427000 | 0.450 | $1/(1+3.600\gamma^{0.962})$ | $11.90\gamma^{1.086}+1.617$ |
| T3 部層 細粒砂岩 | 16.230 | 14.470 | 1.84 | 18.04 | 338 | 210000 | 0.480 | $1/(1+3.009\gamma^{0.604})$ | $21.80/(1+0.122/\gamma)$ |
| T3 部層 泥質部 | 14.470 | 12.220 | 1.71 | 16.77 | 500 | 427000 | 0.450 | $1/(1+3.600\gamma^{0.962})$ | $11.90\gamma^{1.086}+1.617$ |
| T3 部層 粗粒砂岩 | 12.220 | 11.400 | 1.84 | 18.04 | 338 | 210000 | 0.480 | $1/(1+3.009\gamma^{0.604})$ | $21.80/(1+0.122/\gamma)$ |
| T3 部層 泥質部 | 11.400 | -18.070 | 1.71 | 16.77 | 500 | 427000 | 0.450 | $1/(1+3.600\gamma^{0.962})$ | $11.90\gamma^{1.086}+1.617$ |
| T2 部層 | -18.070 | -110.470 | 1.75- 0.000417Z | 17.16- 0.004089Z | 深度依存 | 254000- 3220Z | 0.467+ 0.000222Z | $1/(1+2.845\gamma^{0.918})$ | $10.54\gamma^{0.865}+0.903$ |
| T1 部層 | -110.470 | -183.180 | 1.79 | 17.55 | 610 | 667000 | 0.440 | $1/(1+2.586\gamma^{0.722})$ | $15.04\gamma^{0.517}$ |
| 先富岡層 | -183.180 | -197.436 | 1.88 | 18.44 | 712 | 954000 | 0.420 | $1/(1+2.714\gamma^{0.920})$ | $14.69\gamma^{0.583}$ |
| 解放基盤表面 | -197.436 | - | 1.88 | 18.44 | 712 | - | - | - | - |

注) Z: 標高O.P. (m)

O.P.は震災前の「旧O.P.」を指す。O.P.±0m=T.P.-1.436m

1-8. 入力地震動の設定

■ 入力地震動

- 建屋基礎底面位置における入力地震動（水平方向、鉛直方向）の加速度時刻歴波形は以下の通り。

| | 1/2Ss450-① | 1/2Ss450-② |
|------|--|--|
| NS方向 | <p>最大加速度：374 cm/s²</p> <p>水平方向_(1/2Ss450-①)</p> | <p>水平方向_(1/2Ss450-②)_(NS方向) 最大加速度：205 cm/s²</p> |
| EW方向 | | <p>水平方向_(1/2Ss450-②)_(EW方向) 最大加速度：170 cm/s²</p> |
| UD方向 | <p>鉛直方向_(1/2Ss450-①) 最大加速度：324 cm/s²</p> | <p>鉛直方向_(1/2Ss450-②)_(UD方向) 最大加速度：264 cm/s²</p> |

1-9. 地盤ばねの設定

■ 地盤ばねの算定

- 矩形基礎の算定式にて地盤ばねを設定する。
- 一次元波動論による解析に用いた地盤モデルを用いて成層補正を行い、小堀の方法により地盤ばねを算定する。

<1/2Ss450-①>

| | 水平 | | 回転 | |
|------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 地盤ばね定数K (kN/m) | 減衰係数C (kN・s/m) | 地盤ばね定数K (kN・m/rad) | 減衰係数C (kN・m・s/rad) |
| NS方向 | 3.35×10^7 | 1.07×10^6 | 1.48×10^{10} | 1.75×10^8 |
| EW方向 | 3.32×10^7 | 1.11×10^6 | 1.61×10^{10} | 2.25×10^8 |
| | 鉛直 | | | |
| | 地盤ばね定数K (kN/m) | 減衰係数C (kN・s/m) | | |
| UD方向 | 6.48×10^7 | 2.61×10^6 | | |

<1/2Ss450-②>

| | 水平 | | 回転 | |
|------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 地盤ばね定数K (kN/m) | 減衰係数C (kN・s/m) | 地盤ばね定数K (kN・m/rad) | 減衰係数C (kN・m・s/rad) |
| NS方向 | 3.66×10^7 | 1.09×10^6 | 1.62×10^{10} | 1.75×10^8 |
| EW方向 | 3.54×10^7 | 1.12×10^6 | 1.72×10^{10} | 2.25×10^8 |
| | 鉛直 | | | |
| | 地盤ばね定数K (kN/m) | 減衰係数C (kN・s/m) | | |
| UD方向 | 6.95×10^7 | 2.69×10^6 | | |

1-10. 固有値解析結果

■ 解析結果

< 1/2Ss450-① >

| 方向 | 次数 | 固有周期 (s) | 振動数 (Hz) |
|----|----|----------|----------|
| NS | 1 | 0.268 | 3.73 |
| | 2 | 0.132 | 7.58 |
| | 3 | 0.082 | 12.21 |

| 方向 | 次数 | 固有周期 (s) | 振動数 (Hz) |
|----|----|----------|----------|
| EW | 1 | 0.250 | 4.00 |
| | 2 | 0.129 | 7.78 |
| | 3 | 0.073 | 13.75 |

| 方向 | 次数 | 固有周期 (s) | 振動数 (Hz) |
|----|----|----------|----------|
| UD | 1 | 0.152 | 6.59 |
| | 2 | 0.029 | 34.24 |
| | 3 | 0.016 | 64.37 |

< 1/2Ss450-② >

| 方向 | 次数 | 固有周期 (s) | 振動数 (Hz) |
|----|----|----------|----------|
| NS | 1 | 0.260 | 3.84 |
| | 2 | 0.127 | 7.87 |
| | 3 | 0.080 | 12.46 |

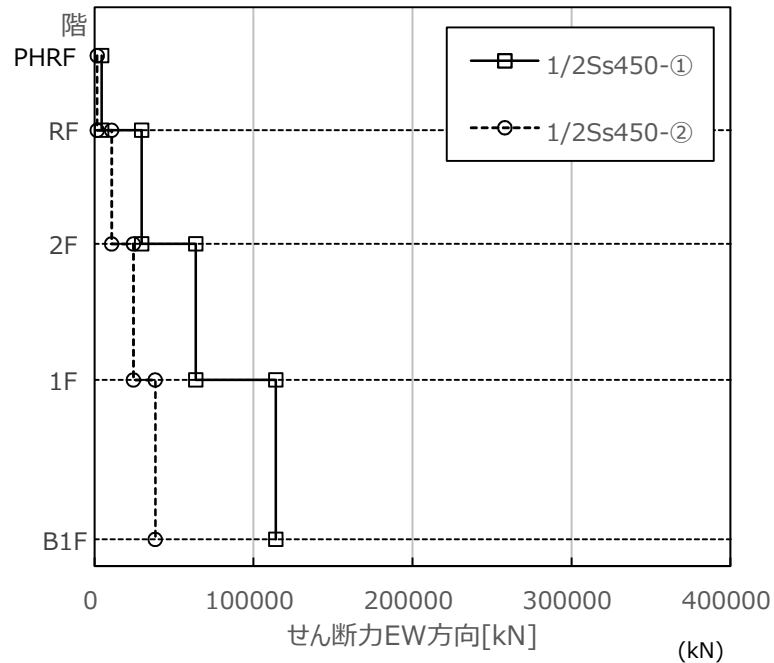
| 方向 | 次数 | 固有周期 (s) | 振動数 (Hz) |
|----|----|----------|----------|
| EW | 1 | 0.248 | 4.03 |
| | 2 | 0.126 | 7.93 |
| | 3 | 0.072 | 13.86 |

| 方向 | 次数 | 固有周期 (s) | 振動数 (Hz) |
|----|----|----------|----------|
| UD | 1 | 0.147 | 6.81 |
| | 2 | 0.029 | 34.29 |
| | 3 | 0.016 | 64.37 |

1-11. 地震応答解析結果（最大応答せん断力）

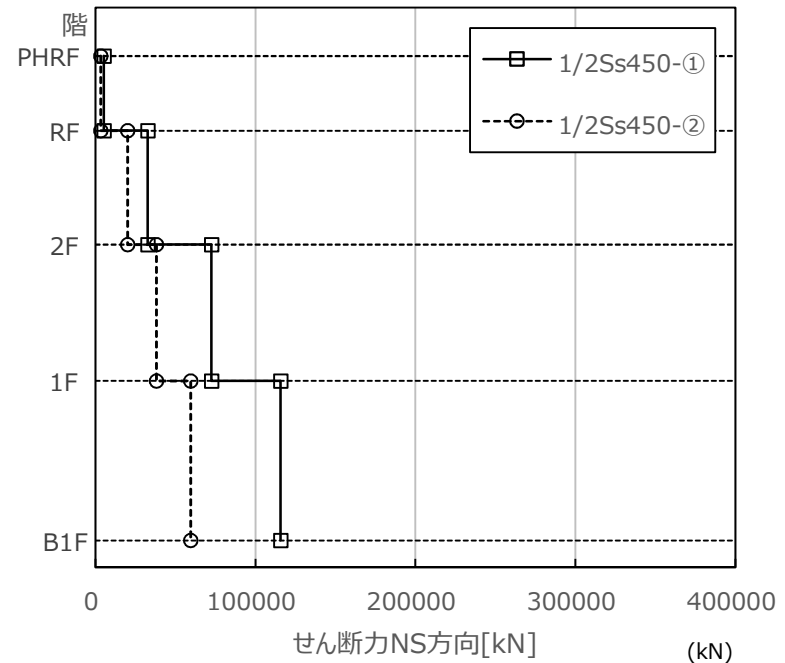
■ 解析結果（最大応答せん断力）

<EW方向>



| | 1/2Ss450-① | 1/2Ss450-② |
|-------|------------|------------|
| PHRF階 | 4452 | 1614 |
| R階 | 29603 | 10777 |
| 2階 | 63596 | 24337 |
| 1階 | 114112 | 38200 |
| B1階 | 114112 | 38200 |

<NS方向>



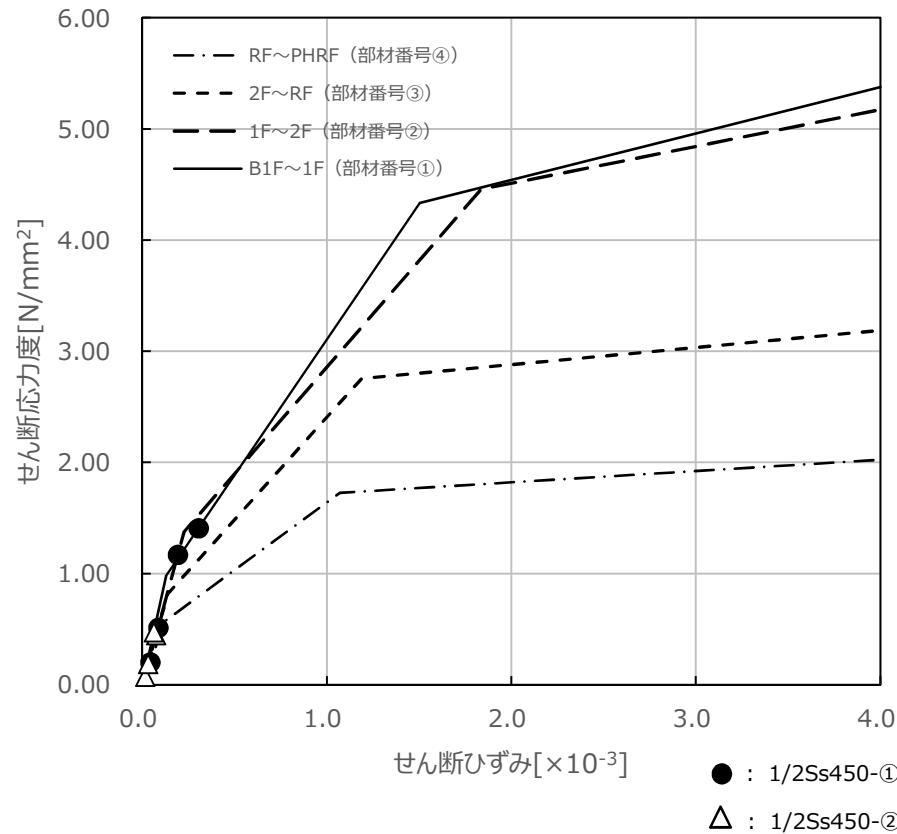
| | 1/2Ss450-① | 1/2Ss450-② |
|-------|------------|------------|
| PHRF階 | 5276 | 3218 |
| R階 | 32603 | 20027 |
| 2階 | 72476 | 38019 |
| 1階 | 115580 | 59452 |
| B1階 | 115580 | 59452 |

1-12. 地震応答解析結果（せん断変形成分の復元力特性）

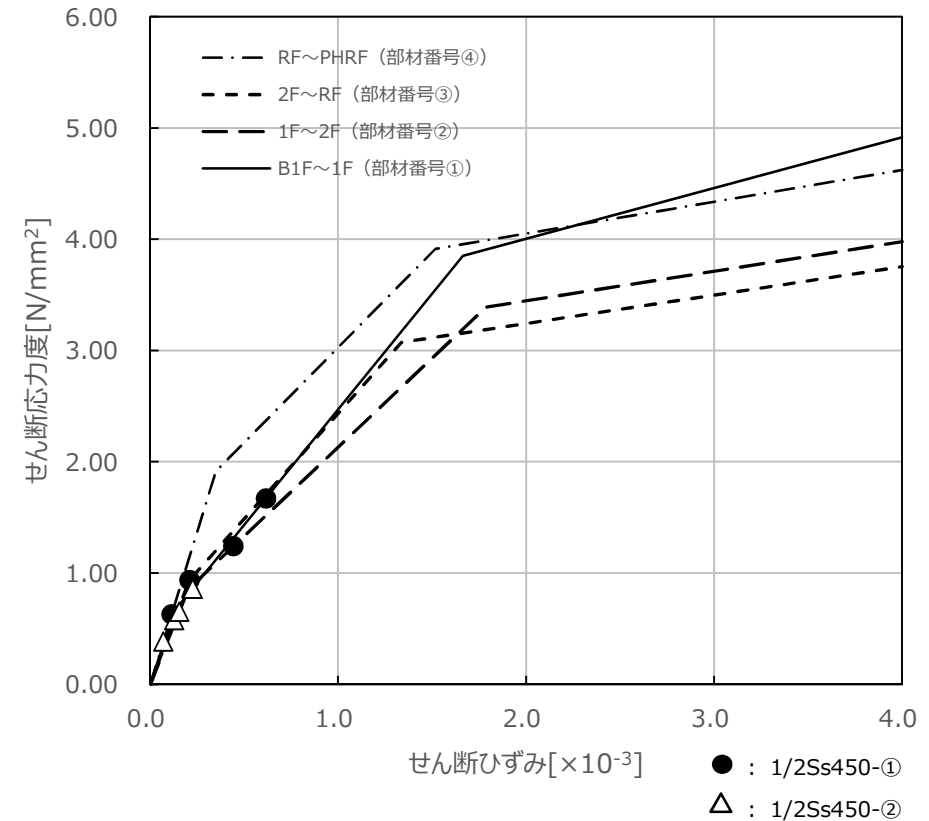
■ 復元力特性

- 建屋各層のせん断応力度－せん断ひずみ関係は下記のスケルトンカーブ（ τ － γ ）関係となる。
- 各層に発生するせん断応力度におけるせん断ひずみは（ 2.0×10^{-3} ）以下であり、応答値はいずれも第2折れ点以下である。

<EW方向>



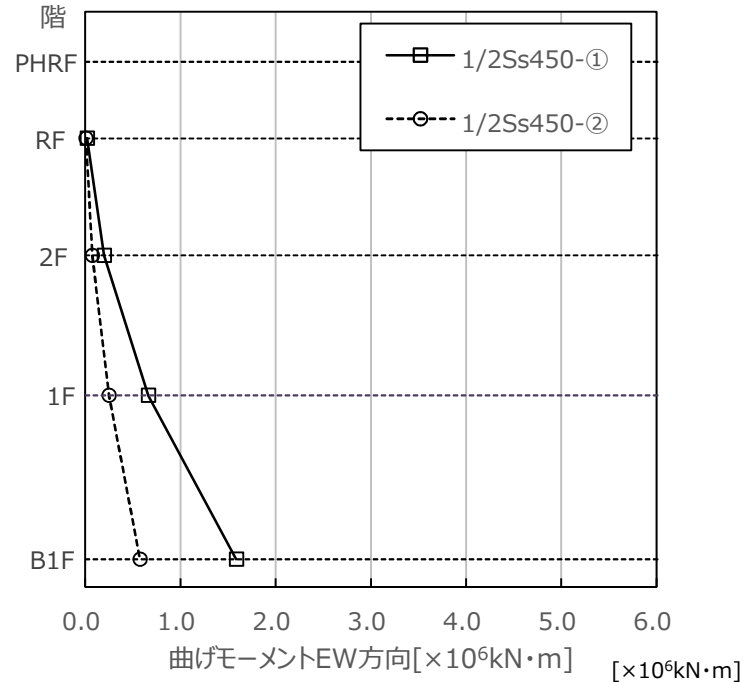
<NS方向>



1-13. 地震応答解析結果（最大応答曲げモーメント）

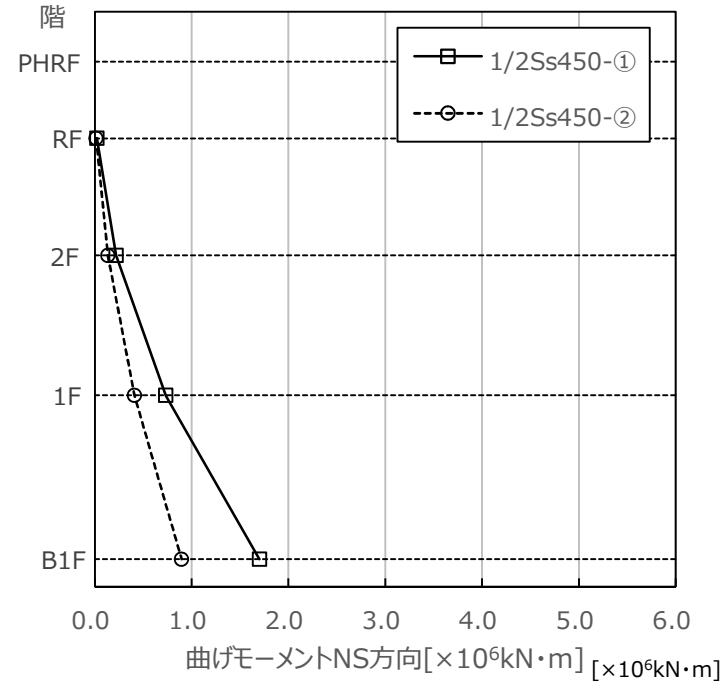
■ 解析結果（最大応答曲げモーメント）

<EW方向>



| | 1/2Ss450-① | 1/2Ss450-② |
|-------|------------|------------|
| PHRF階 | 0.018 | 0.006 |
| R階 | 0.198 | 0.072 |
| 2階 | 0.662 | 0.249 |
| 1階 | 1.585 | 0.574 |
| B1階 | 1.585 | 0.574 |

<NS方向>

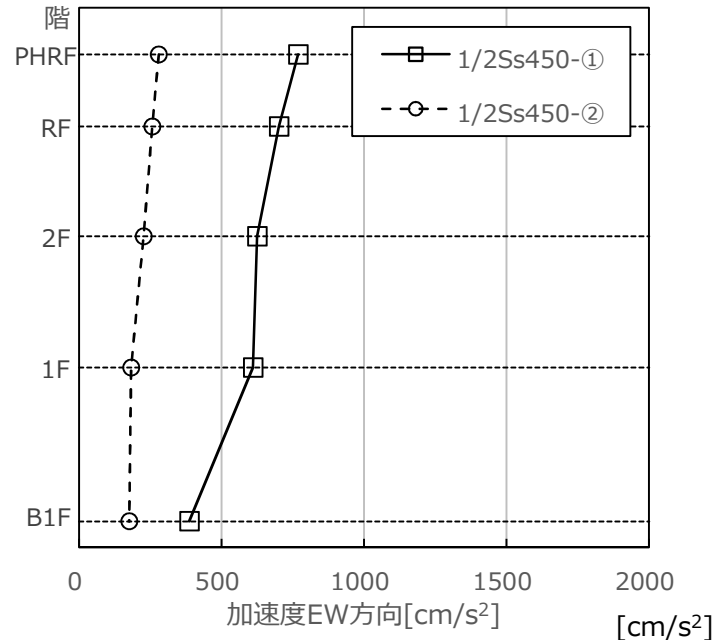


| | 1/2Ss450-① | 1/2Ss450-② |
|-------|------------|------------|
| PHRF階 | 0.021 | 0.013 |
| R階 | 0.220 | 0.135 |
| 2階 | 0.731 | 0.409 |
| 1階 | 1.699 | 0.895 |
| B1階 | 1.699 | 0.895 |

1-14. 地震応答解析結果（水平方向）

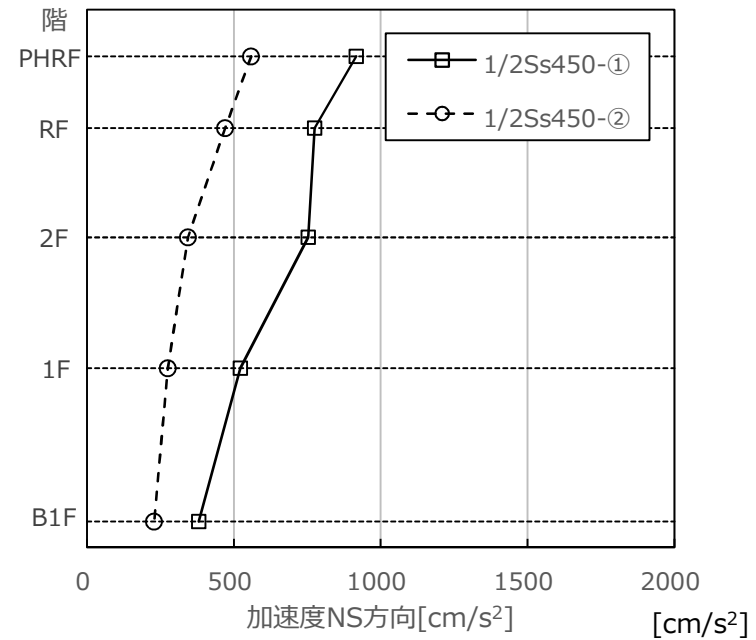
■ 解析結果（最大応答加速度）

<EW方向>



| | 1/2Ss450-① | 1/2Ss450-② |
|-------|------------|------------|
| PHRF階 | 768 | 279 |
| R階 | 701 | 256 |
| 2階 | 625 | 226 |
| 1階 | 610 | 182 |
| B1階 | 387 | 175 |

<NS方向>

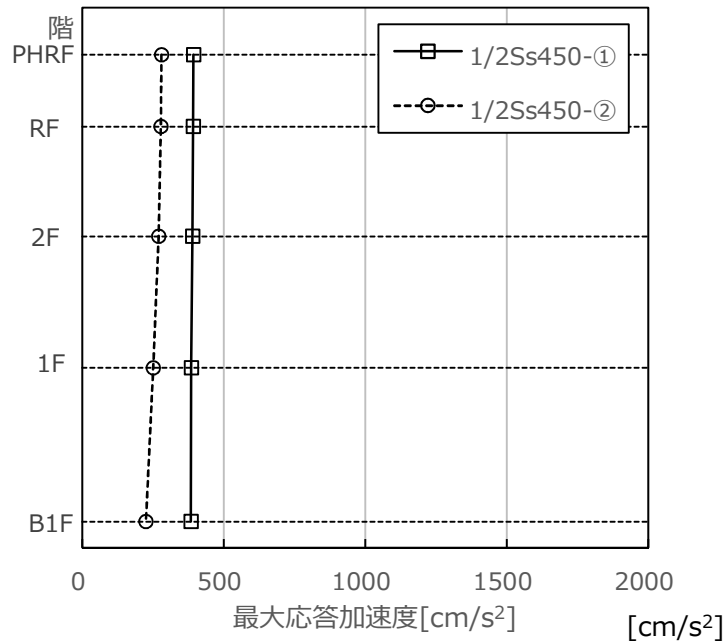


| | 1/2Ss450-① | 1/2Ss450-② |
|-------|------------|------------|
| PHRF階 | 917 | 559 |
| R階 | 775 | 471 |
| 2階 | 754 | 344 |
| 1階 | 522 | 275 |
| B1階 | 381 | 228 |

1-15. 地震応答解析結果（鉛直方向）

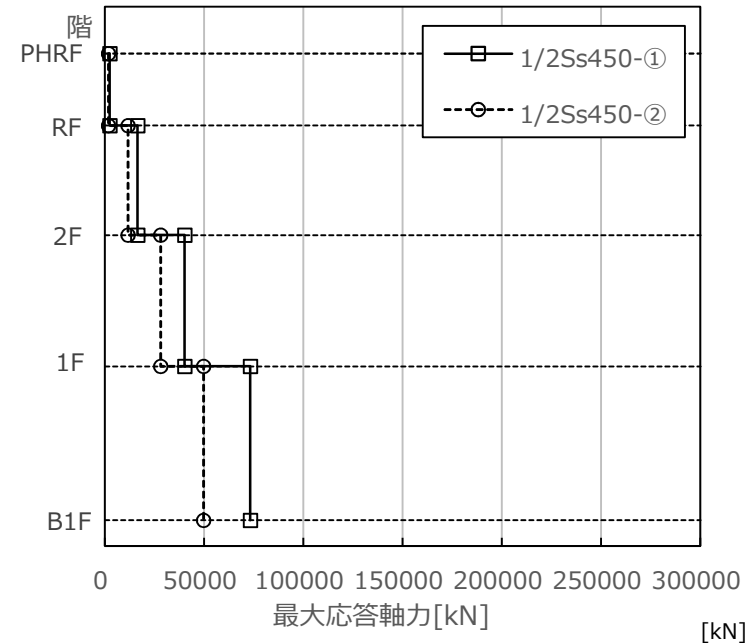
■ 解析結果（最大応答加速度、最大応答軸力）

<最大応答加速度>



| 階 | 1/2Ss450-① | 1/2Ss450-② |
|-------|------------|------------|
| PHRF階 | 393 | 279 |
| R階 | 392 | 277 |
| 2階 | 390 | 270 |
| 1階 | 385 | 250 |
| B1階 | 383 | 225 |

<最大応答軸力>



| 階 | 1/2Ss450-① | 1/2Ss450-② |
|-----|------------|------------|
| R階 | 2278 | 1618 |
| 2階 | 16378 | 11579 |
| 1階 | 40020 | 27923 |
| B1階 | 73158 | 49589 |

1-16. 評価結果（せん断ひずみ）

■ 評価結果

- 耐震壁のせん断ひずみは、最大で 0.62×10^{-3} （NS方向）であり、耐震壁の評価基準値（ 2.0×10^{-3} ）を超えず、十分な裕度を確保していることを確認した。

(1) 1/2Ss450-①

| 評価項目 | | 評価基準 | EW方向 | NS方向 |
|--------|-----|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| せん断ひずみ | R階 | $\gamma \leq 2.0 \times 10^{-3}$ | 0.04×10^{-3} | 0.11×10^{-3} |
| | 2階 | | 0.09×10^{-3} | 0.21×10^{-3} |
| | 1階 | | 0.19×10^{-3} | 0.44×10^{-3} |
| | B1階 | | 0.31×10^{-3} | 0.62×10^{-3} |

(2) 1/2Ss450-②

| 評価項目 | | 評価基準 | EW方向 | NS方向 |
|--------|-----|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| せん断ひずみ | R階 | $\gamma \leq 2.0 \times 10^{-3}$ | 0.02×10^{-3} | 0.07×10^{-3} |
| | 2階 | | 0.03×10^{-3} | 0.13×10^{-3} |
| | 1階 | | 0.07×10^{-3} | 0.15×10^{-3} |
| | B1階 | | 0.06×10^{-3} | 0.23×10^{-3} |

1-17. 評価結果（接地圧）

■ 評価結果

- 地震時の最大接地圧は、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力を組み合わせ係数法（係数0.4）にて考慮して算出する。
- 接地圧は、最大で566 kN/m²（NS方向）であり、評価基準値（短期許容支持力度 2000 kN/m²※）を超えないことを確認した。

(1) 1/2Ss450-①

(kN/m²)

| 評価項目 | 上下動 | 評価基準 | EW方向 | NS方向 |
|-------|-----|-----------------|------|------|
| 最大接地圧 | 上向き | $q_a \leq 2000$ | 398 | 414 |
| | 下向き | | 555 | 566 |

(2) 1/2Ss450-②

(kN/m²)

| 評価項目 | 上下動 | 評価基準 | EW方向 | NS方向 |
|-------|-----|-----------------|------|------|
| 最大接地圧 | 上向き | $q_a \leq 2000$ | 340 | 321 |
| | 下向き | | 466 | 488 |

※短期許容支持力度は、建築基準法施行令の地盤の許容応力度（岩盤：長期1000【kN/m²】、短期2000【kN/m²】）より設定

1-18. 評価結果まとめ

- 第2棟建屋の耐震性評価として、1/2Ss450による地震応答解析を行い、耐震壁に生じるせん断ひずみ及び接地圧が評価基準値を超えないことを確認した。
- 以上により、第2棟建屋は耐震B+クラスの耐震性を有している。

放射性物質分析・研究施設第2棟に係る
実施計画の変更認可申請について
(耐震B⁺クラスの機器・配管系に係る耐震性評価結果)

2022年11月25日

東京電力ホールディングス株式会社
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

1. 耐震B+クラス設備の評価方針

◆ 評価方針

- 耐震B+クラスに対する機器・配管系の「1/2Ss450機能維持」の評価にあたっては、応答倍率法※1により1/2Ss450での発生応力を算出し、許容応力以下であることを確認する。
- 応答倍率法では、1/2Ss450による建屋の地震応答解析結果の最大応答加速度（以下「最大応答加速度」という。）と耐震Bクラスの静的地震力による設計加速度の比率（以下「応答比」という。）を各設備の発生応力に乗じて1/2Ss450に対する発生応力を算出する。

※1:弾性範囲であれば、入力加速度に比例して応力も増加するものとして評価する手法

2. 機器の評価概要

○評価対象設備（B+クラスの機器）

- ① 鉄セル（遮へい体、インナーボックス）
- ② グローブボックス（No1, 2, 4、No3）
- ③ セル・グローブボックス用排風機
- ④ セル・グローブボックス用排気フィルタユニットA,B
- ⑤ セル・グローブボックス用排気フィルタユニットC,D
- ⑥ コンクリートセル用給気フィルタユニットA,B
- ⑦ 鉄セル用給気フィルタユニットA～D
- ⑧ グローブボックス用給気フィルタユニットA～H

○評価内容

耐震Bクラスの設計地震力である1.8Ciで評価した際の発生応力に対して、機器が設置される階ごとに求めた応答比を乗じて1/2Ss450での発生応力を算出し、許容応力以下であることを確認する。

$$F_{1/2Ss450} = F_{1.8Ci} \times R_i$$

| 凡例 | |
|----------------|----------------|
| $F_{1/2Ss450}$ | 1/2Ss450での発生応力 |
| $F_{1.8Ci}$ | 1.8Ciでの発生応力 |
| R_i | i階に設置された機器の応答比 |

3. 応答比の計算方法

応答比の計算方法は、EW、NS及びUD方向（水平2方向及び鉛直1方向）の最大応答加速度を1.2倍し、二乗和平方根（SRSS）方法で保守的に組み合わせ、耐震Bクラスの設計加速度との比を取ることで、応答比を算出した。計算式は以下のとおり。

$$R = \frac{\sqrt{(1.2a_{EW,max})^2 + (1.2a_{NS,max})^2 + (1.2a_{UD,max})^2}}{K_h(B)}$$

凡例

| | |
|--------------|-----------------------------------|
| R | 応答比 |
| $a_{EW,max}$ | EW方向の最大応答加速度 |
| $a_{NS,max}$ | NS方向の最大応答加速度 |
| $a_{UD,max}$ | UD方向の最大応答加速度 |
| $K_h(B)$ | Bクラスの設計用地震力 (=1.8Ci=0.36G≈353gal) |

4. 建屋の地震応答解析結果と応答比

◆ 1/2Ss450による建屋の地震応答解析結果 (各床面での最大加速度)

(単位: gal)

| 階層 | 水平方向 | | | | 鉛直方向 | |
|------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | EW方向 | | NS方向 | | UD方向 | |
| | 検討用地震動①※ ¹ に基づく1/2Ss450 | 検討用地震動②※ ¹ に基づく1/2Ss450 | 検討用地震動①※ ¹ に基づく1/2Ss450 | 検討用地震動②※ ¹ に基づく1/2Ss450 | 検討用地震動①※ ¹ に基づく1/2Ss450 | 検討用地震動②※ ¹ に基づく1/2Ss450 |
| 2階 | 625 | 226 | 754 | 344 | 390 | 270 |
| 1階 | 610 | 182 | 522 | 275 | 385 | 250 |
| 地下1階 | 387 | 175 | 381 | 228 | 383 | 225 |

※1: 第 92 回特定原子力施設監視・評価検討会-資料3

◆ Bクラスの静的地震力による設計加速度と1/2Ss450の応答比

| 階層 | ①Bクラスの 設計加速度※ ² | ②1/2Ss450での最大加速度※ ³ | 応答比 (②/①) |
|------|-------------------------------|--------------------------------|--------------|
| 2階 | 353gal | 1265gal | 3.59 |
| 1階 | 353gal | 1069gal | 3.03 |
| 地下1階 | 353gal | 798gal | 2.27 |

※2 設計加速度は、設計用地震力 $1.8C_i=0.36$ に重力加速度 $980.665\text{cm}/\text{sec}^2$ (980.665gal)を乗じた値

※3 1/2Ss450での建屋応答解析の結果を1.2倍し、加速度を組み合わせた値(P.3に示す応答比Rの算出式の分子に記載した式で求めた値)

5.1 機器の1/2Ss450評価の結果

| 設備名 | | 設置床面 | ①Bクラスでの発生応力 (MPa) | | ②応答比 | ③1/2Ss450での発生応力 (①×②) | 許容応力 (MPa) |
|---------------------------|--------------|------|-------------------|------|------|--------------------------|------------|
| 鉄セル | 遮へい体 | 1階 | 引張 | —※1 | — | — | — |
| | | | せん断 | 86 | 3.03 | 261 | 135 |
| インナーボックス | 1階 | 引張 | —※1 | — | — | — | |
| | | せん断 | 5 | 3.03 | 16 | 141 | |
| グローブボックス (GB-No.1,2,4) | 1階 | 引張 | —※1 | — | — | — | |
| | | せん断 | 1 | 3.03 | 4 | 141 | |
| グローブボックス (GB-No.3) | 1階 | 引張 | —※1 | — | — | — | |
| | | せん断 | 2 | 3.03 | 7 | 141 | |
| セル・グローブボックス用排風機 | 地下1階 | 引張 | —※1 | — | — | — | |
| | | せん断 | 4 | 2.27 | 10 | 131 | |
| セル・グローブボックス用排気フィルタユニットA,B | 地下1階 | 引張 | 1 | 2.27 | 3 | 170 | |
| | | せん断 | 6 | 2.27 | 14 | 131 | |
| セル・グローブボックス用排気フィルタユニットC,D | 地下1階 | 引張 | 3 | 2.27 | 7 | 170 | |
| | | せん断 | 6 | 2.27 | 14 | 131 | |
| コンクリートセル用給気フィルタユニットA,B | 2階 | 引張 | —※1 | — | — | — | |
| | | せん断 | 2 | 3.59 | 8 | 131 | |
| 鉄セル用給気フィルタユニットA~D | 1階歩廊 (2階) | 引張 | 1 | 3.59 | 4 | 153 | |
| | | せん断 | 1 | 3.59 | 4 | 118 | |
| グローブボックス用給気フィルタユニットA~H | 1階歩廊 (2階) | 引張 | 1 | 3.59 | 4 | 153 | |
| | | せん断 | 1 | 3.59 | 4 | 118 | |

※1: Bクラスの地震力では引張応力は発生しない。なお、地震力が1/2Ss450の場合の引張応力の許容引張応力に対する割合は最大で37%であり、許容応力以下であることを確認している。

- 鉄セル遮へい体以外の設備については、発生応力が許容応力以下である。
- 鉄セル遮へい体については、発生応力が許容応力を超える(表内の□□)ため、基礎ボルトの仕様を見直しを行う。

5.2 鉄セル遮へい体の基礎ボルトの仕様見直し

鉄セル遮へい体の基礎ボルトについて、1/2Ss450に対して発生応力が許容応力を超えることから仕様を見直した。

| 仕様 | 見直し前 | | 見直し後 |
|-----------|-------|---|------|
| 基礎ボルトの材質 | SS400 | ⇒ | S45C |
| 基礎ボルトの呼び径 | M20 | | M24 |

※1 原子力発電所耐震設計技術規程JEAC4601に基づき、評価を実施

○鉄セル遮へい体の基礎ボルトの仕様見直し後のBクラス(静的地震力:水平方向1.8Ci)評価

基礎ボルトの仕様見直し後、耐震Bクラスの設計地震力で耐震性評価を原子力発電所耐震設計技術規程(JEAC4601)に基づき実施した。その結果は以下のとおり。

| 項目 | 発生応力 | 許容応力 |
|-----|------|------|
| 引張 | —※2 | — |
| せん断 | 60 | 277 |

※2: 引張応力は発生しない。

○鉄セル遮へい体の基礎ボルトの仕様見直し後の1/2Ss450評価

Bクラスの設計地震力による発生応力から、応答倍率法で評価した1/2Ss450での結果は以下のとおり。

| 設備名 | | 設置床面 | ①Bクラスでの発生応力(MPa) | | ②応答比 | ③1/2Ss450での発生応力(①×②) | 許容応力(MPa) |
|-----|------|------|------------------|-----|------|----------------------|-----------|
| 鉄セル | 遮へい体 | 1階 | 引張 | —※1 | — | — | — |
| | | | せん断 | 60 | 3.03 | 182 | 277 |

※1: Bクラスの地震力では引張応力は発生しない。なお、地震力が1/2Ss450の場合の引張応力の許容引張応力に対する割合は最大で37%であり、許容応力以下であることを確認している。

5.3 設備(機器)の評価結果まとめ

設備(機器)の1/2Ss450評価のまとめ

以上から、すべてのB⁺クラス機器について、1/2Ss450での発生応力が許容応力以下であることを確認した。

6. 配管系の評価概要

○評価対象設備

- ① 主要排気管(鋼管、ダクト)※1
- ② 主要給気管(鋼管)※2

※1: コンクリートセル排気口から排気母管まで, 鉄セル排気口から排気母管まで, グローブボックス排気口から排気母管まで, 排気母管, 排気母管からセル・グローブボックス用排気フィルタユニット入口まで, セル・グローブボックス用排気フィルタユニット出口から第2棟の排気口入口まで

※2: コンクリートセル用給気フィルタユニットからコンクリートセル給気口まで, 鉄セル用給気フィルタユニットから鉄セル給気口まで, グローブボックス用給気フィルタユニットからグローブボックス給気口まで

○評価内容

| 設備名称 | 1.8Ciでの評価項目 | 1/2Ss450での評価項目 | 備考 |
|----------------|--|-----------------------|---------------------------------------|
| ①-1 主要排気管(鋼管) | ・支持間隔 ・応力評価 | ・応力評価 | ・支持間隔は設計地震力に依存しないため、追加評価なし。 |
| ①-2 主要排気管(ダクト) | ・固有振動数から求まる支持間隔 ・許容座屈限界モーメントから定まる支持間隔 | ・許容座屈限界モーメントから定まる支持間隔 | ・固有振動数から求まる支持間隔は設計地震力に依存しないため、追加評価なし。 |
| ② 主要給気管(鋼管) | ・支持間隔 ・応力評価 | ・応力評価 | ・支持間隔は設計地震力に依存しないため、追加評価なし。 |

・応力評価は、P.2に示す式で評価を行う。

・支持間隔は、以下に示す許容座屈限界モーメントから定まる支持間隔の算出式で評価を行う。

$$L_{R2} = \sqrt{\frac{8 \times M}{w \times g \times \alpha}} = \sqrt{\left(\frac{8 \times M}{w}\right) \left(\frac{1}{g \times \alpha}\right)} \quad \text{※3}$$

凡例

| | |
|-------------------|------------------------|
| L_{R2} | 許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔 |
| M | 許容座屈曲げモーメント |
| w | ダクト単位長さ質量 |
| g | 重力加速度 |
| α | 設計震度 |
| $g \times \alpha$ | 設計加速度又は1/2Ss450での最大加速度 |

※3 出典: 共同研究報告書 機器配管系の合理的な耐震設計手法の確立に関する研究

7.1 主要排気管(鋼管)の応力評価結果

主要排気管(鋼管)の1/2Ss450での応力評価の結果は以下のとおり。

| 配管分類 | 主要排気管(鋼管) | | | | | | | |
|----------------------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| 配管材料 | SUS304 | | | | | | | |
| 配管口径 | 100A | 125A | 150A | 200A | 250A | 350A | 450A | 600A |
| Sch | 10S | | | | | 40 | | |
| 設計圧力 (MPa) | 0.0095 | | | | | | | |
| ①Bクラスでの発生応力 (MPa) | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| ②応答比※1 | 3.59 | 3.59 | 3.59 | 3.59 | 3.59 | 3.59 | 3.59 | 3.59 |
| ③弾性設計用地震動Sdでの発生応力 (①×②) | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 |
| ④許容応力 (MPa) | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 |

※1:最も応答比が大きい2階の値を使用した。

7.2 主要排気管(ダクト)の許容座屈限界モーメントから定まる支持間隔の評価結果

主要排気管(ダクト)の許容座屈限界モーメントから定まる支持間隔の評価結果は以下のとおり。

| 評価部材 | 主要排気管(ダクト) | | |
|---|---------------|---------------|-----------------------|
| 材料 | SS400 | | |
| 設計温度(°C) | 60 | | |
| 寸法(mm) | 559.0 × 559.0 | 659.0 × 659.0 | φ 706.4 ^{※1} |
| 板厚(mm) | 4.5 | 4.5 | 3.2 |
| ①ダクト系の固有振動数より定まる支持間隔(m) | 6.6 | 7.1 | 7.0 |
| ②-1許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔(m) (設計震度1Gの場合) | 57.8 | 55.3 | 42.2 |
| ②-2許容座屈曲げモーメントから定まる支持間隔(m) (1/2Ss450の場合) | 50.8 | 48.6 | 37.1 |
| 耐震支持間隔(=Min[①, ②-2])(m) | 6.6 | 7.1 | 7.0 |

※1: 寸法706.4mm × 706.4mm、板厚3.2mmの矩形ダクトとして代表した支持間隔を示す。

7.3 主要給気管(鋼管)の応力評価結果

主要給気管(鋼管)の応力評価結果は以下のとおり。

| 配管分類 | 主要給気管(鋼管) | | | | |
|----------------------------|-----------|------|------|--------|------|
| 配管材料 | SUS304 | | | | |
| 配管口径 | 80A | 150A | 200A | 250A | 300A |
| Sch | 20S | | | 10S | |
| 設計圧力(MPa) | 0.001 | | | 0.0005 | |
| ①Bクラスでの発生応力(MPa) | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| ②応答比※1 | 3.59 | 3.59 | 3.59 | 3.59 | 3.59 |
| ③弾性設計用地震動Sdでの発生応力 (①×②) | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 |
| ④許容応力(MPa) | 153 | 153 | 153 | 153 | 153 |

※1:最も応答比が大きい2階の値を使用した。

以上から、1/2Ss450に対する主要給・排気配管(鋼管)の発生応力が許容応力を超えないことを確認した。また、主要排気配管(ダクト)については、座屈モーメントから求まる支持間隔が固有振動数で定まる支持間隔より大きいことを確認した。

8. まとめ

第2棟の機器・配管系について、1/2Ss450に対する耐震性評価を行った。

○機器について

- ・B⁺クラスのすべての機器に対して、1/2Ss450での発生応力を算出し、許容応力を超えないことを確認した。(なお、鉄セル遮へい体の基礎ボルトは仕様を見直した。)

○配管系について

- ・主要給・排気管(鋼管)に対して、発生応力を算出し、許容応力を超えないことを確認した。
- ・主要排気管(ダクト)に対して、許容座屈限界モーメントから定まる支持間隔を評価し、固有振動数から定まる支持間隔より大きいことを確認した。

以上のとおり、第2棟のB⁺クラスの機器・配管系は1/2Ss450に対して、発生応力が許容応力以下、許容座屈限界モーメントから定まる支持間隔が固有振動数から定まる支持間隔より大きいことを確認した。