

福島第一原子力発電所の新設設備の耐震設計の基本方針について

2021年6月25日

東京電力ホールディングス株式会社

TEPCO

- 1F設備に対する標準的な耐震重要度分類の規定はなく、これまで実施計画の個別変更申請案件に対して設計要件を決定
- 供用期間が長期となる設備の申請案件ができており、今後の新設設備に対して、1Fの特殊状況を考慮した耐震設計の統一的な考え方（耐震設計の基本方針）の策定が必要
- 法令要求（原子炉等規制法、措置を講ずべき事項）に従うことが基本
- 1Fの特殊状況（早期のリスク低減、燃料デブリの崩壊熱が大幅に減少し、放射性物質の放出を駆動する内在エネルギーが発電炉に比べて小さい）を踏まえると、リスクの早期低減を考慮すべき。

耐震設計の基本方針策定に係る基本的な考え方

- 法令要求（原子炉等規制法第64条の2第2項の規定に基づき定められた、「特定原子力施設への指定に際し東京電力株式会社福島第一原子力発電所に対して求める措置を講ずべき事項について」（平成24年11月7日，原子力規制委員会決定））に適合すること
- 法令への適合に際しては、早期のリスク低減の観点から、設計実現性（技術、期間）、廃炉進捗、供用期間、事故シナリオによる影響評価を適切に考慮

【措置を講ずべき事項】

- 特定原子力施設全体のリスク低減及び最適化を図り、敷地内外の安全を図ることを目標とし、その達成のために必要な措置を迅速かつ効率的に講じること

Ⅱ．設計、設備について措置を講ずべき事項

14．設計上の考慮

②自然現象に対する設計上の考慮

- 安全機能を有する構築物、系統及び機器は、その安全機能の重要度及び地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響を考慮して、耐震設計上の区分がなされるとともに適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計であること

敷地境界線量への影響

耐震設計の基本方針（設定手法、耐震クラス）

本設定は、設備の耐震設計上の重要度を、地震により発生する可能性のある安全機能の喪失、及びそれに続く環境への放射線による影響を防止する観点、並びにこれらの影響の大きさから、耐震クラスを分類するもので、発電炉及びその他の原子力施設と共通の考え方である。
また、特定原子力施設全体のリスク低減及び最適化の達成を迅速かつ効率的に行うことを考慮したものの。

【設計要件の設定の手法】 以下の考え方にて設定

- 安全機能喪失時の公衆への放射線影響評価に基づく耐震クラス仮設定（安全機能の重要度については発電炉（止める、冷やす、閉じ込める）に関する分類も参考）
- 仮設定した耐震クラスに対して、設計実現性（技術、期間）、廃炉進捗、供用期間、事故シナリオによる公衆への放射線影響評価と緩和措置を考慮して、現実的な耐震クラスに見直し
- 廃炉の進捗（ロードマップ）に影響のある作業については、耐震クラスを上げることも検討

【公衆への放射線影響による耐震クラス分類】

耐震クラス	公衆への放射線影響※	耐震クラスの設定上の考慮事項
Sクラス	機能喪失による被ばく影響が大きい (敷地境界線量：> 5mSv/事故)	✓ 時間余裕を考慮して、機動的対応により影響緩和及び機能回復できるものは、機能喪失を想定しない。
Bクラス	機能喪失による被ばく影響あり (敷地境界線量：50μSv～5mSv/事故)	✓ 時間余裕を考慮して、機動的対応により影響緩和及び機能回復できるものは、機能喪失を想定しない。 ✓ 復旧が長期間となり、廃炉の進捗（ロードマップ）に影響のある設備については、耐震クラスを上げることも検討
Cクラス	公衆に与える放射線の影響が十分小さい (敷地境界線量：≤50μSv/事故)	✓ 復旧が長期間となり、廃炉の進捗（ロードマップ）に影響のある設備については、耐震クラスを上げることも検討

※ 参考1-1～1-3 再処理施設、加工施設（MOX燃料）、使用施設等の新規基準における耐震クラスの判断基準を基に設定

耐震設計の基本方針（現実的な適用地震力の設定）

考慮する要素

1. 設計実現性、廃炉進捗（リスク低減及び最適化）、供用期間の考慮

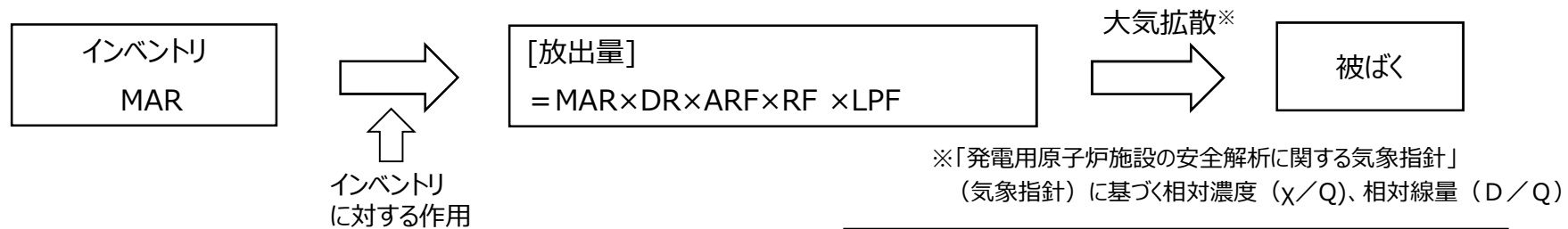
- 技術、期間：仮設定した設計要件の合理性・実現性を評価
 - － 設計要件に対する技術的な設備の成立性、リスクの早期低減と設備の設置に要する期間のバランス、供用期間を評価（参考2）
 - － 評価の結果、設計要件の見直しが必要と判断した場合は、事故シナリオを考慮した影響評価を実施

2. 事故シナリオを考慮した設計要件の評価

- 当該設備が機能喪失する事故シナリオを設定し、上記 1. の評価に基づく設計要件が妥当かどうかを判断
 - － 設計対象設備を閉じ込める設備の影響も合わせてFP放出量を評価し、影響に応じた耐震クラスを設定（閉じ込め機能維持に対する波及影響も考慮）
 - 例）敷地境界で1回の事故あたり5mSvを超えない場合は、耐震Bクラスを設定
（バウンダリ機能（建屋）の多重化等により、放射性物質の放出抑制対策を行うことも考慮可能）（参考3）
 - － 緩和措置（機動的対応等）でリカバリすることも考慮可能
 - 例）原子炉注水系は、基準地震動Ssによる地震力に対して、その安全機能を確保できることを基本としているが、震災前に設置されている注入ラインの一部（給水系注水ライン）を除き、耐震Bクラスで評価がなされていることから、それらが同時に機能喪失した場合を想定して、機動的対応（消防車、ホース再敷設等による注水）手順を整備しており、基準地震動Ssにおいても安全機能の確保が可能（参考4）
 - なお、燃料デブリの崩壊熱は大きく低下しており、他の発電所と比較して時間余裕があることから、リソースを投入して、強固な設備を設置するよりも、機動的対応を行うことにより機能を回復
 - － バウンダリの多重性も考慮可能
 - 例）着目している設備のバウンダリ機能が喪失しても、内and/or外のバウンダリが維持できれば、当該設備のバウンダリ機能維持は設計要件とせず、内and/or外のバウンダリに波及影響を及ぼさないことが設計要件となる。（参考5）

耐震設計の基本方針（機能喪失時の被ばく評価方法）

- 耐震クラスを決定するための被ばく影響評価は、DOE、NRCにおいても標準的な評価手法（DSA、ISA）として採用されている「五因子法」により放射性物質の放出量を評価して、被ばく評価を実施。
- 評価では、他設備からの波及影響も考慮して、当該クラスを超える地震に対しても閉じ込め機能維持が図られることが確認されているもの以外は、閉じ込め機能が喪失するものとして影響を評価
- 上記手法は、実施計画変更申請において既に評価を適用
（参考6、7、3 1F分析・研究棟第2棟、2号機PCV内部調査アクセスルート構築、原燃 JMOX施設）



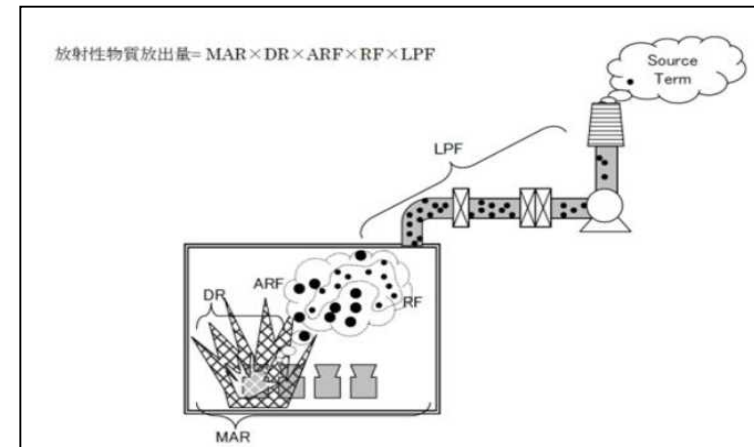
MAR：事象によって影響を受ける可能性のある放射性物質の総量
（インベントリ）（Material At Risk）

DR：事象の影響を受ける割合（Damage Ratio）
（地震ではインベントリ全体が影響を受けるものとして1を設定）

ARF：事象の影響を受けたもののうち雰囲気中に放出され浮遊する割合
（Airborne Release Fraction）（DOEのデータを参考に設定）

RF：肺に吸入され得る微粒子の割合（Respirable Fraction）
（微粒子の大きさによる変数であるため1と設定）

LPF：環境中へ漏えいする割合（Leak Path Factor）
（IAEAの文献を参考に設定）



出典 JAEA-Technology 2010-004, MOX 燃料加工施設PSA 実施手順書

耐震設計の基本方針（機能喪失時の被ばく評価方法）

[拡散係数]

- インベントリが、地震の影響を受けることにより放出される、放射性物質の放出割合を示す係数
- 形態が、気体→液体→スラッジ→固体の順に拡散しにくくなるため、放射性物質の放出割合が小さくなり、敷地境界へ与える影響も小さくなる。

(DOE HANDBOOK AIRBORNE RELEASE FRACTIONS/RATES AND RESPIRABLE FRACTIONS FOR NONREACTOR NUCLEAR FACILITIES DOE-HDBK-3010-94 引用)

形態	拡散係数（案）	備考（出典等）
気体	1	直接大気へ放出されることから1を設定
液体	1	直接敷地外へ漏洩する可能性がある場合（例 海岸の近く等）
	2E-4	直接敷地外へ放出される可能性が無い場合 DOE Handbook 3.2.3.1 Free-Fall Spill Liquid, aqueous solution, spill distance
スラッジ、スラリー （吸着塔、HIC等）	0.1	直接敷地外へ放出される可能性がある場合（例 海岸の近く等） スラッジ、スラリーは、滞留水等の液体よりも拡散しにくいと想定されるため、液体の1/10として設定
	5E-5	直接敷地外へ放出される可能性が無い場合 DOE Handbook 3.2.3.2 Free-Fall Spill Liquid, slurry (<40 percent solids), spill distance < 3 m
固体 （地震による破碎の影響）	6E-5	DOE Handbook 4.3.3 Free-Fall Spill and Impaction Stress 拡散係数 $(ARF \times RF) = (A)(P)(g)(h)$ A = 経験的相関値、P = 試料密度、g = 重力加速度 (sea level)、h = 落下高さ
粉末 （全て粉末状態で強い衝撃を受けた場合）	1E-2	DOE Handbook 4.4.3.3.2 Free-Fall Spill Powder, shock impact due to falling debris

なお、地震の揺れや建物倒壊以外の（過熱、水素爆発、臨界等）シナリオがある場合は、影響を踏まえて耐震設計を行う。

耐震設計の基本方針（設計用地震力）

【各耐震クラスに適用する設計用地震力及び考慮すべき事項】

- 原則として、適用実績がある規格を適用

耐震クラス	設計用地震力	
	静的地震力 C_i 地震せん断力係数 ^{※1}	動的地震動 ^{※2}
Sクラス	建物・構築物 水平： $3.0C_i$ ，鉛直：鉛直震度より算定 機器・配管系 水平： $3.6C_i$ ，鉛直：鉛直震度より算定 水平地震力と鉛直地震力は同時に不利な方向の組合せで作用することを考慮	基準地震動 S_s 弾性設計用地震動 S_d 水平2方向と鉛直方向の組合せを考慮
Bクラス	建物・構築物 水平： $1.5C_i$ 機器・配管系 水平： $1.8C_i$	$1/2S_d$
Cクラス	建物・構築物 水平： $1.0C_i$ 機器・配管系 水平： $1.2C_i$	—

※1 C_i ：地震せん断力係数 $1.0C_i$ は、建築基準法と同等の静的地震力で評価を行うことを示す。よって、 $1.5C_i$ は建築基準法の1.5倍、 $3.0C_i$ は建築基準法の3倍の静的地震力で評価を行う。

※2 Sクラス設備の動的地震動については、設備の信頼性向上の観点から、自主的に検討用地震動による評価を行い、評価結果に応じて、機動的対応を含めた影響緩和措置の検討を行う。

既設設備についても、本基本方針を適用していくことを基本とする。

- 既設設備の改造についても、本基本方針を適用
- また、既設設備については、本基本方針に基づく影響評価を優先順位（例 長期の供用期間となる設備等）をつけて計画的に実施していく。
- 評価により、追加の措置が必要であることが確認された場合は、影響緩和措置（補強、機動的対応）の対応を実施していく。

- 計画・設計センター内に、組織横断的に耐震設計を確認していく体制の構築を検討中（10月を目標）

【体制（案）】

- 計画・設計センターに耐震担当（仮称）、耐震チームを新設※

※ 機械／建築分野はチームを新設、土木／電気／計装分野は現行の体制で役割を明確化、安全部門も耐震チームと連携

【耐震チームの位置づけ（案）】

- 耐震クラスのお考え方、敷地境界への影響評価、個別の耐震計算、解析検証は従前どおり、主管グループが実施
- 耐震チームは、耐震クラスのお考え方、敷地境界への影響評価、個別の耐震計算、解析検証に対して、横並びの観点や、発電炉の最新知見に関して反映の必要性などの観点から横串的役割を担う。

【参考1-1】安全上の影響を考慮した耐震設計上の区分（再処理施設の新規制基準の解釈より）

（「再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」別記2より）

一 Sクラス

自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しており**その機能喪失により**放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、放射性物質を外部に放出する可能性のある事態を防止するために必要な施設及び**事故発生の際に、外部に放出される放射性物質による影響を低減させるために必要な施設、並びに地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設**であって、**環境への影響が大きいものをいい、例えば、次の施設**が挙げられる。

- ① その破損又は機能喪失により**臨界事故**を起こすおそれのある施設
- ② 使用済燃料を貯蔵するための施設
- ③ **高レベル放射性液体廃棄物を内蔵**する系統及び機器並びにその冷却系統
- ④ **プルトニウムを含む溶液を内蔵**する系統及び機器
- ⑤ 上記③及び④の系統及び機器から放射性物質が漏えいした場合に、その影響の拡大を防止するための施設
- ⑥ 上記③、④及び⑤に関連する施設で放射性物質の外部への放出を抑制するための施設
- ⑦ 津波防護機能を有する設備及び浸水防止機能を有する設備
- ⑧ 敷地における津波監視機能を有する施設
- ⑨ 上記①から⑧の施設の機能を確保するために必要な施設

上記に規定する「**環境への影響が大きい**」とは、敷地周辺の公衆の実効線量の評価値が**発生事故あたり5 mSv を超えること※**をいう。

二 Bクラス

安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響が**Sクラス施設と比べ小さい施設をいい、例えば、次の施設**が挙げられる。

- ① **放射性物質の放出を伴うような場合に、その外部放散を抑制するための施設で、Sクラスに属さない施設**
- ② **放射性物質を内蔵している施設であって、Sクラスに属さない施設**（ただし内蔵量が少ないか又は貯蔵方式により、その破損により公衆に与える放射線の影響が十分小さいものは除く。）

三 Cクラス

Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設をいう。

※「安全上重要な施設」の定義においても、従前の定性的規定（「過度の放射線被ばくを及ぼすおそれ」）に対して同じ線量値が与えられている。

【参考1-2】安全上の影響を考慮した耐震設計上の区分（加工施設（MOX燃料）新規制基準の解釈より）

（「加工施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」別記3より）

ー プルトニウムを取り扱う加工施設

① Sクラス

自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しており**その機能喪失により放射性物質を外部に放散する可能性のある施設**、放射性物質を外部に放散する可能性のある**事態を防止するために必要な施設及び放射性物質が外部に放散される事故発生の際に外部に放散される放射性物質による影響を低減させるために必要な施設**、並びに地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、**環境への影響が大きいものをいい、例えば次の施設が挙げられる。**

- a) MOXを非密封で取り扱う設備・機器を収納するグローブボックス及びグローブボックスと同等の閉じ込め機能を必要とする設備・機器であって、その破損による公衆への放射線の影響が大きい施設
- b) 上記 a)に関連する設備・機器で放射性物質の外部への放散を抑制するための設備・機器
- c) 上記 a)及び b)の設備・機器の機能を確保するために必要な施設

上記に規定する「環境への影響が大きい」とは、敷地周辺の公衆の実効線量の評価値が発生事故当たり5ミリシーベルトを超えること※をいう。

② Bクラス

安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響が**Sクラス施設と比べ小さい施設をいい、例えば次の施設が挙げられる。**

- a) 核燃料物質を取り扱う設備・機器又はMOXを非密封で取り扱う設備・機器を収納するグローブボックス及びグローブボックスと同等の閉じ込め機能を必要とする設備・機器であって、その破損による公衆への放射線の影響が比較的小さいもの。（ただし、核燃料物質が少ないか又は収納方式によりその破損による公衆への放射線の影響が十分小さいものは除く。）
- b) 放射性物質の外部への放散を抑制するための設備・機器であってSクラス以外の設備・機器

③ Cクラス

Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設をいう。

※「安全上重要な施設」の定義においても、従前の定性的規定（「過度の放射線被ばくを及ぼすおそれ」）に対して同じ線量値が与えられている。

【参考1-3】安全上の影響を考慮した耐震設計上の区分（使用施設等の新規制基準の解釈より）

（「使用施設等の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」別記3より）

一 耐震クラス分類 I

使用前検査対象施設は、以下のクラスに分類するものとする。ただし、施設の特徴に応じて、合理的な理由がある場合は、二の耐震クラス分類Ⅱによることができる。

① Sクラス

自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しており、**その機能喪失により放射性物質を外部に放出する可能性のある施設**、放射性物質を外部に放散する可能性のある事態を防止するために必要な施設及び放射性物質が外部に放散される事故発生の際に、外部に放散される放射性物質による影響を低減させるために必要な施設、並びに地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、**環境への影響が大きいものをいい、例えば、次の施設が挙げられる。**

- a) 核燃料物質を非密封で取り扱う設備・機器を収納するセル又はグローブボックス及びこれらと同等の閉じ込め機能を必要とする設備・機器であって、その破損による公衆への放射線の影響が大きい施設。
- b) 上記a) に関連する設備・機器で放射性物質の外部への放散を抑制するための設備・機器
- c) 上記a) 及びb) の設備・機器の機能を確保するために必要な施設

上記に規定する「環境への影響が大きい」とは、周辺監視区域周辺の公衆の実効線量の評価値が発生事故当たり5ミリシーベルトを超えることをいう。

② Bクラス

機能喪失した場合の影響が**Sクラス施設と比べ小さい施設をいい、例えば、次の施設が挙げられる。**

- a) 核燃料物質を取り扱う設備・機器又は核燃料物質を非密封で取り扱う設備・機器を収納するセル又はグローブボックス及びこれらと同等の閉じ込め機能を必要とする設備・機器であって、その破損による公衆への放射線の影響が比較的小さいもの。（ただし、核燃料物質が少ないか又は収納方式によりその破損による公衆への放射線の影響が十分小さいものは除く。）
- b) 放射性物質の外部への放散を抑制するための設備・機器であってSクラス以外の設備・機器

なお、Sクラスに属する施設を有しない使用施設等のうち、安全機能を喪失した場合に敷地周辺の公衆が被ばくする線量が十分に低いものは、Cクラスに分類することができる。この場合において、上記の**「敷地周辺の公衆が被ばくする線量が十分に低い」**

とは、「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針」（昭和50年5月13日原子力委員会決定）を参考に、実効線量が発生事故当たり50マイクロシーベルト以下であることをいう。

③ Cクラス

Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の、一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設をいう。

2.1 地震・津波対策の基本的考え方：プール内使用済燃料

■ プール内使用済燃料

- 検討用地震動(900Gal),検討用津波(26.3m)は、機動的対応（消防車等の可搬設備による注水等）の信頼性向上に用いる
 - 原子炉建屋の構造健全性は、検討用地震動(900Gal),検討用津波(26.3m)に対しても確保できることを確認済み
⇒使用済燃料プールの水位維持が可能
 - 冷却設備が検討用地震動(900Gal),検討用津波(26.3m)により機能を喪失した場合、消防車等の可搬設備による注水再開が可能
⇒機動的対応の信頼性を向上させる
- 燃料取り出しのための新設設備（建屋カバー含む）については、基準地震動（600gal）,15m級津波で設計する。
[燃料取り出し用カバー，燃料取扱設備]
 - 運転プラントと異なり、崩壊熱が低下していること、揮発性放射性物質の希ガスやヨウ素は、大部分が減衰していることから、使用済燃料が抱えるリスクは、大幅に低下。重量物の落下等による燃料破損時の敷地境界におけるの年間の実効線量は、1mSvを大幅に下回る。
 - 使用済燃料を取り出す期間は、1～2年程度。供用期間が短い新設設備に対して地震動を大きくし、工期・作業員被ばくを増加させるより、リスク源である使用済燃料を速やかに取り出した方がリスクの低減に効果的。



＜バウンダリの多重化による線量影響の緩和の例＞

- グローブボックス・機器、工程室、建屋によるバウンダリの多重化により、敷地境界線量への影響を抑制

周辺公衆への実効線量評価モデル(1/2)

■ 評価モデルの考え方

- ① グローブボックスは建屋内の地下2、3階に設置する設計であるが、安全上重要な施設の選定としては、建屋内の配置を考慮せずに、グローブボックス・機器、工程室、建屋の3つの閉じ込めでモデル化する。
- ② 外部への放出は、排気フィルタ・排風機の機能を期待せずに、グローブボックス・機器→工程室→建屋→地上放散とし、周辺公衆への実効線量を評価する。
- ③ 外部への放出量評価では五因子法を使用し、グローブボックス・機器、工程室、建屋の除染係数(DF)をそれぞれ用いて評価する。

■ 除染係数(DF)の考え方

- グローブボックスの除染係数(DF)
 - ・ グローブボックスに損傷がある状態としてDF=10とする。
(DF=10は、IAEAの参考文献*より重大破損したグローブの値を採用している)
 - ・ グローブボックスと同等の閉じ込め機能を有する機器(焼結炉)に対しては、DF=1とする。
- 工程室・建屋の除染係数(DF)
 - ・ 工程室及び建屋の壁に損傷がある状態としてDF=10とする**。
(DF=10は、IAEAの参考文献*より軽微損傷した建屋の値を採用している)

閉じ込め	DF
グローブボックス・機器	10(機器の場合は1)
工程室	10
建屋	10

*) Elizabeth M. Fiew, 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

**) 粉末、ペレットを取り扱う設備は地下3階に設置する。そのため、実際には構築物内の床・壁などの複数の障壁があり放出量低減が期待できるが、本評価モデルにおいてはその低減効果を期待しない条件を設定している。

出典 第42回核燃料施設等の新規制基準適合性に係る審査会合 資料5
 「MOX 燃料加工施設における新規制基準に対する適合性【設計基準】安全機能を有する施設及び安全上重要な施設の選定について（平成27年1月26日）」より

周辺公衆への実効線量評価モデル（2/2）

■ 評価式

- 五因子法による放射性物質放出量 算出式
 $ST(Bq) = MAR(Bq) \times DR \times ARF \times RF \times LPF$
- 内部被ばく線量 算出式
 $Di(Sv) = ST(Bq) \times \chi/Q \times R \times H$

■ 評価パラメータ

- MAR(当該場所の放射性物質質量(Bq))
- DR(MARのうち、事故の影響を受ける割合): 1
- ARF(雰囲気中に放出され浮遊する割合)

放射性物質の形態	ARF
粉末	7×10^{-4}
焼結ペレット	3×10^{-6}

評価が厳しくなるよう放射性物質の落下事象を想定した値を設定している。

- RF(肺に吸入され得る微粒子の割合): 1
- LPF(環境中へ漏れ出る割合)
 グローブボックス・機器、工程室、建屋のDFの逆数を掛け合わせた値

気象条件を見直しにより
大気拡散条件が変わった
ため χ/Q (相対濃度)を

$7.3 \times 10^{-5} \text{ s/m}^3$

↓

$9.3 \times 10^{-5} \text{ s/m}^3$
に変更している。

↓

● χ/Q (相対濃度): $9.3 \times 10^{-5} \text{ s/m}^3$
建屋から敷地境界への放射性物質の移行モデル、地上放散
(発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針)

● R(一般公衆の呼吸率): $1.2 \text{ m}^3/\text{h}$
(発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針)

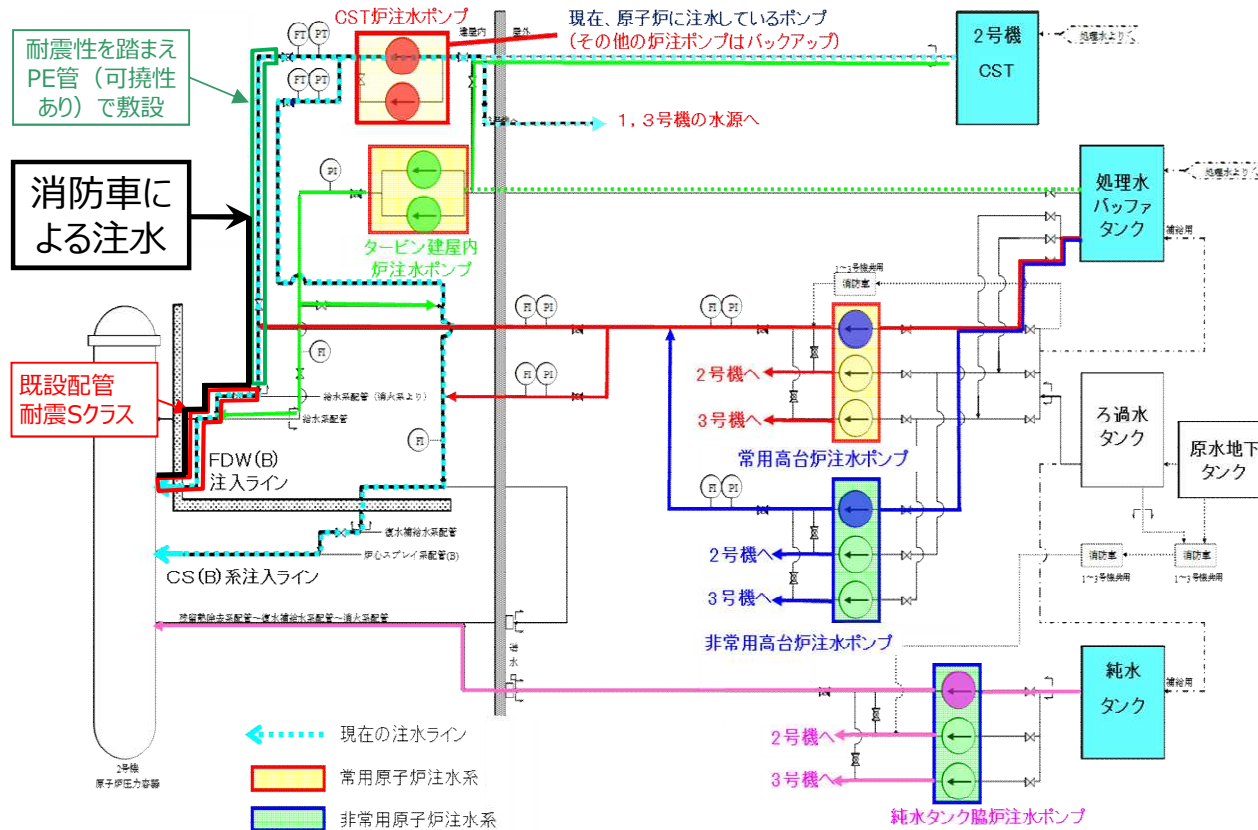
● H(実効線量換算係数)
ICRP Publication 72 実効線量換算係数(Sv/Bq)を使用

出典 第42回核燃料施設等の新規制基準適合性に係る審査会合 資料5
 「MOX 燃料加工施設における新規制基準に対する適合性【設計基準】安全機能を有する施設及び安全上重要な施設の選定について（平成27年1月26日）」より

＜機動的対応による機能維持の例＞

- 震災前に設置されている注入ラインの一部（給水系注水ライン）は耐震Sクラスを確保
- 震災後に設置した設備は、耐震Bクラスで評価がなされていることから、それらが同時に機能喪失した場合を想定して、機動的対応（消防車、ホース再敷設等による注水）手順を整備しており、基準地震動Ssにおいても安全機能の確保が可能

原子炉注水設備 系統概略図（2号機）



機動的対応

- 消防車の操作訓練、消防ホースの敷設訓練を実施

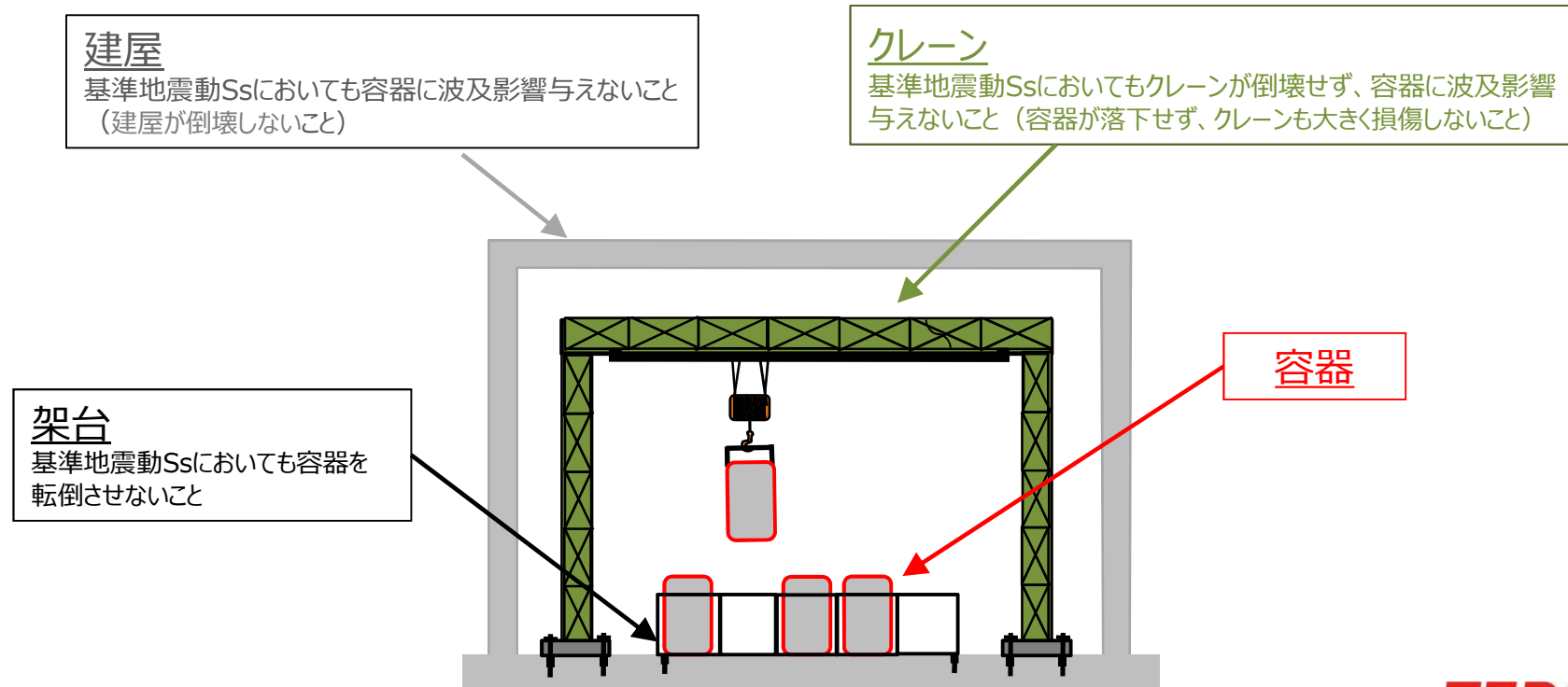


消防車操作訓練の様子

＜機器の耐震設計で容器の健全性を確保する例＞

- 建屋およびクレーン、架台は、地震による倒壊等により容器を破損させないこと（波及影響を与えないこと）が設計要件（耐震Bクラス）
 - クレーンについては、さらに、安全上の影響に応じて、容器を落下させないことも設計要件
- なお、建屋、クレーンについて、廃炉の進捗への影響や財産保護の観点から、耐震設計のクラスを上げる場合もある。

機器の耐震設計で容器の健全性を確保する例



【参考6】 1F分析・研究棟第2棟の例

■ 1F分析・研究棟第2棟の建屋及び設備の耐震設計は、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（平成18年9月19日）」（以下「耐震指針」という。）における耐震設計上の重要度分類しており、各設備毎に、地震により発生する可能性のある公衆への放射線影響を整理し、耐震クラスを設定

2. 耐震指針に基づく耐震重要度分類の考え方(1/4) 174

◆設備の重要度による耐震クラス別分類
第2棟の建屋及び設備の耐震重要度分類は、耐震指針に基づき行う。

【耐震Sクラス】

耐震重要度分類及び定義	クラス別分類
Sクラス 自ら放射性物質を内蔵しているか又は内蔵している施設に直接関係しており、その機能喪失により放射性物質を外部に放散する可能性のあるもの、及びこれらの事態を防止するために必要なもの、並びにこれらの事故発生の際に外部に放散される放射性物質による影響を低減させるために必要なものであって、その影響の大きいもの	i)「原子炉冷却材圧力バウンダリ」を構成する配管・機器系 ii)使用済燃料を貯蔵するための施設 iii)原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、及び原子炉の停止状態を維持するための施設 iv)原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設 v)原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後、炉心から崩壊熱を除去するための施設 vi)原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際、圧力障壁となり放射性物質の放散を直接防ぐための施設 vii)放射性物質の放出を伴うような事故の際に、その外部放散を抑制するための設備で上記vi以外の施設

耐震指針では、上記のように原子炉冷却材バウンダリ、使用済燃料の貯蔵施設、原子炉の緊急停止のための施設等をSクラスの施設としており、**第2棟にはSクラスの施設に該当する設備はない。**

なお、第2棟で取り扱う放射性物質の量は発電用原子炉施設に比ベ十分少ないことから、試料ピットはii)項に該当しない。

TEPCO 無断転載・複製禁止 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 JAEA

2. 耐震指針に基づく耐震重要度分類の考え方(2/4) 175

【耐震Bクラス】

耐震重要度分類及び定義	クラス別分類
Bクラス Sクラスの定義において、影響が比較的小さいもの	i)原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて、一次冷却材を内蔵しているか又は内蔵しうる施設 ii)放射性廃棄物を内蔵している施設。 ただし、内蔵量が少ないか又は貯蔵方式により、その破損によって公衆に与える放射線の影響が周辺監視区域外における年間の線量限度に比ベ十分小さいものは除く。 iii)放射性廃棄物以外の放射性物質に関連した施設で、その破損により、公衆及び従業員に過大な放射線被ばくを与える可能性のある施設 iv)使用済燃料を冷却するための施設 v)放射性物質の放出を伴うような場合に、その外部放散を抑制するための施設で、Sクラスに属さない施設

↓

第2棟には、Bクラスの施設のiii)に該当する設備を有しており、その破損により公衆に影響を与える可能性の大きい設備はBクラスに分類している。一方、地震によって破損しても、公衆に影響を与える可能性が十分小さい設備は耐震Cクラスに分類している。

なお、上位の分類に属する設備は、下位の分類に属する設備の破損によって波及的影響が生じないように設計する。

TEPCO 無断転載・複製禁止 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 JAEA

「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（耐震性評価について）」（2020年11月20日）より



【参考6】 1F分析・研究棟第2棟の例

■ 地震により発生する可能性のある公衆への放射線影響の観点から、各設備の耐震クラスを区分

2. 耐震指針に基づく耐震重要度分類の考え方(3/4)

一部改訂

◆第2棟 建屋及び設備の耐震重要度分類(1/2)

	耐震Bクラス	耐震Cクラス
建屋	・第2棟建屋(コンクリートセル含む)	・電気設備棟 ・消火用ガスボンベ庫
設備 (1)分析設備	・鉄セル ・グローブボックス	・フード
(2)液体廃棄物一時貯留設備	-	・分析廃液受槽A、B ・設備管理廃液受槽A、B ・分析廃液移送ポンプ ・分析廃液回収ポンプ ・設備管理廃液移送ポンプ ・設備管理廃液回収ポンプ ・主要配管*2(銅管)
(3)換気空調設備	・セル・グローブボックス用排風機A、B ・セル・グローブボックス用排気フィルタユニットA、B、C、D ・コンクリートセル用給気フィルタユニットA、B ・鉄セル用給気フィルタユニットA、B、C、D ・グローブボックス用給気フィルタユニットA~H ・主要排気管(銅管、ダクト)*1 ・主要給気管(銅管)*3	・フード用排風機 ・管理区域用排風機 ・管理区域用送風機 ・フード用排気フィルタユニット ・管理区域用排気フィルタユニット
(4)その他設備	-	・電気設備 ・消火設備

4. 使用許可基準規則を考慮した耐震重要度分類(1/3)

「使用施設等の位置、構造及び設備の基準に関する規則」(その解釈含む。以下「使用許可基準規則」という。)の第九条(地震による損傷の防止)では、**破損(機能喪失)による公衆への放射線影響の程度でクラス分類を行うよう求めている。**

- ・Sクラス:5mSvを超える場合
- ・Bクラス:5mSvを超えない場合。50 μ Sv以下の場合にはCクラスに分類できる。

放射性物質を内蔵している設備について、機能喪失を想定した場合の影響を評価した。

【「使用許可基準規則」より抜粋】
 第9条(地震による損傷の防止)
 一 耐震クラス分類
 ② Bクラス
 機能喪失した場合の影響がSクラス施設と比べ小さい施設をいい、例えば、次の施設が挙げられる。
 a) 核燃料物質を取り扱う設備・機器又は核燃料物質を非密封で取り扱う設備・機器を収納するセル又はグローブボックス及びこれらと同等の閉じ込め機能が必要とする設備・機器であって、その破損による公衆への放射線の影響が比較的小さいもの。(ただし、核燃料物質が少ない又は収納方式によりその破損による公衆への放射線の影響が十分小さいものは除く。)
 b) 放射性物質の外漏への放散を抑制するための設備・機器であってSクラス以外の設備・機器
 なお、Sクラスに属する施設を有しない使用施設等のうち、安全機能を喪失した場合に敷地周辺の公衆が被ばくする線量が十分に低いものは、Cクラスに分類することができる。この場合において、上記の「敷地周辺の公衆が被ばくする線量が十分に低い」とは、「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針」(昭和50年5月13日原子力委員会決定)を参考に、突効線量が発生事故当たり50マイクロシーベルト以下であることをいう。

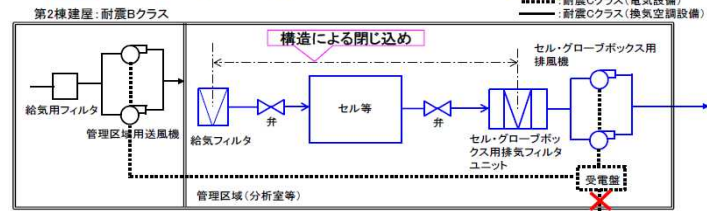
3. セル等の放射性物質閉じ込めの考え方、耐震クラス

一部改訂

◆Bクラス地震が発生して電源喪失した場合の対応

- 構造^{※1}による閉じ込めとして、給気フィルタと排気フィルタの間で放射性物質を閉じ込める。
- その際、フィルタから放出される放射性物質による影響は十分に小さい。(別紙1)
- フィルタからの放射性物質の放出をさらに低減するため、セル等の直近の給排気ラインに弁を設置し、閉止できる設計とする。
- 弁の閉止が速やかに出来るよう操作性・アクセス性を考慮する。
- 排風機が停止した場合の弁の操作を含めマニュアル化する。

※1:セル等、給気管、排気管、弁及び給排気系のフィルタ



◆耐震Bクラスの換気空調設備
放射性物質の拡散防止(バウンダリの確保)及び電源復帰後に速やかに負圧を回復できるように耐震Bクラスとしている。

4. 使用許可基準規則を考慮した耐震重要度分類(2/3)

◆機能喪失を想定した場合の影響を評価(詳細は別紙2を参照)

設備	想定事象	線量評価の概要	線量の評価値
第2棟建屋(コンクリートセル含む)	閉じ込め機能喪失	コンクリートセル内の燃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 ^{※1} 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放出 ^{※2} され地上放出によって敷地境界に達したと想定	1.1mSv < 5mSv
鉄セル	閉じ込め機能喪失	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 ^{※1} 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放出 ^{※2} され地上放出によって敷地境界に達したと想定	0.3mSv < 5mSv
グローブボックス、フード	閉じ込め機能喪失	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セル内の気相に移行 ^{※1} 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放出 ^{※2} され地上放出によって敷地境界に達したと想定	0.03 μ Sv < 50 μ Sv
廃液受槽(分析廃液受槽)	閉じ込め機能喪失	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室内に漏れ出し、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 ^{※1} し、排気系統を通じてではなく、直接、建屋から外部へ放出 ^{※2} され地上放出によって敷地境界に達したと想定	0.008 μ Sv < 50 μ Sv
消火設備	消火機能喪失(火災)	コンクリートセル内の燃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切断時に飛散 ^{※3} することに加え、火災に伴ってセル内の気相に移行 ^{※4} するものとし、これが排気系統を通じて、排気口から火災によって放出され敷地境界に達したと想定	0.001 μ Sv < 50 μ Sv

※1 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% (日本原子力安全協会「ボックラの設計と管理」、K等の気体の放射性物質は100%移行)
 ※2 コンクリートセル、建屋の健全係数として気体の放射性物質を評価、各410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健全係数のみ考慮
 Elizabeth M.Fleet 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, 1989. IAEA-SM-119/7
 ※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の量が粉体化するものとし、①の移行率を用いた。
 ※4 液体状の放射性物質の漏れ出し時の気相への移行率0.02% ("Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook", NUREG/CR-6410)
 ※5 火災に伴う粉体から気相への放射性物質の移行率0.8% ("Nuclear Fuel Cycle Facility Accident Analysis Handbook", NUREG/CR-6410)

「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(耐震性評価について)」(2020年11月20日)より

【参考6】1F分析・研究棟第2棟の例

- 地震により、コンクリートセル、建屋が損傷し、閉じ込め機能が喪失することを想定した被ばく評価を実施
- 敷地境界線量への影響は、約1.1mSvと評価し、コンクリートセルの設計は、耐震Bクラスと設定

機能喪失時の影響評価（コンクリートセル）

184

別紙2 機能喪失時の線量評価について(1/5)

①第2棟建屋(コンクリートセル含む)

- ◆想定事象
 - ・地震によりコンクリートセル、建屋が損傷し、閉じ込め機能が喪失することを想定。
- ◆放射性物質の放出経路
 - ・コンクリートセルにて、切断時に発生する粉体(約 7×10^{12} Bq)の1%(トリチウム、希ガス、ヨウ素は100%)が気相に移行(既存使用施設で同様な評価に用いている移行率^{※1})。
 - ・コンクリートセルから、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放出され地上放出によって敷地境界に達したと想定。
- ◆除染係数
 - ・コンクリートセル、建屋については、損傷した場合の除染係数(DF)をIAEAの文献^{※2}から引用。→コンクリートセル、建屋ともDF:10を考慮する。
 - ・なお、ガス状の放射性物質については、除染係数を考慮しない。
- ◆放出された放射能
 - ・建屋外に放出された放射能 → 4.2×10^9 Bqと評価。
- ◆放射性物質の大気拡散
 - ・「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」に従い、地上放出によって敷地境界に達する場合の相対濃度 → 3.2×10^{-7} h/m³と評価。

セル等
燃料デブリ

セル等の閉じ込め喪失により、燃料デブリ中の放射性物質の一部が建屋から地上放出

想定事象①における建屋外への放出量

核種	放出量 [Bq]
Pu-238	4.7×10^7
Pu-239	3.4×10^8
Pu-240	6.1×10^8
Pu-241	4.7×10^8
Am-241	2.5×10^7
Am-242m	8.5×10^8
Cm-244	6.4×10^8
その他	3.6×10^9
合計	4.2×10^9

「その他」以外の核種が全体の実効線量のうち約99%を占める。

「その他」の主な核種

核種	放出量 [Bq]
Kr-85	3.2×10^9
H-3	3.3×10^8

◆線量評価結果

- ・「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」を参考に求めた呼吸摂取による内部被ばく線量 → 約1.1mSv

※1 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」)
 ※2 コンクリートセル、建屋の除染係数として各々10を考慮。
 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

無断転載・複製禁止 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

© 「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（耐震性評価について）」（2020年11月20日）より



【参考6】 1F分析・研究棟第2棟の例

- 地震により、鉄セル、建屋が損傷し、閉じ込め機能が喪失することを想定した被ばく評価を実施
- 敷地境界線量への影響は、約0.3mSvと評価し、鉄セルの設計は、耐震Bクラスと設定

機能喪失時の影響評価（鉄セル）

別紙2 機能喪失時の線量評価について(2/5)

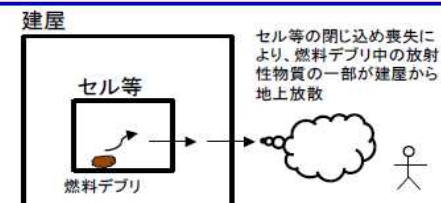
185

②鉄セル

- ◆想定事象
 - ・地震により鉄セル、建屋が損傷し、閉じ込め機能が喪失することを想定。
- ◆放射性物質の放出経路
 - ・鉄セル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のすべてが粉体化(約 2×10^{11} Bq)しているものとし、その1%(トリチウム、希ガス、ヨウ素は100%)が気相に移行^{※1}。
 - ・鉄セルから、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放出され地上放出によって敷地境界に達したと想定。
- ◆除染係数
 - ・鉄セルの除染係数は考慮せず、建屋については、除染係数(DF)として10を考慮する^{※2}。
 - ・なお、ガス状の放射性物質については、除染係数を考慮しない。
- ◆放出された放射能
 - ・建屋外に放出された放射能 → 2.6×10^8 Bqと評価。
- ◆放射性物質の大気拡散
 - ・「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」に従い、地上放出によって敷地境界に達する場合の相対濃度 → 3.2×10^{-7} h/m³と評価。



- ◆線量評価結果
 - ・「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」を参考に求めた呼吸摂取による内部被ばく線量 → 約0.3mSv



想定事象②における建屋外への放出量

核種	放出量 [Bq]
Pu-238	1.2×10^7
Pu-239	8.4×10^5
Pu-240	1.5×10^6
Pu-241	1.2×10^8
Am-241	6.2×10^6
Am-242m	2.1×10^5
Cm-244	1.6×10^6
その他	1.2×10^8
合計	2.6×10^8

「その他」以外の核種が全体の実効線量のうち約99%を占める。

「その他」の主な核種

核種	放出量 [Bq]
Kr-85	8.0×10^7
Cs-137	9.4×10^6
Ba-137m	8.9×10^6
H-3	8.3×10^6

※1 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「ホツラボの設計と管理」)

※2 建屋の除染係数として10を考慮。

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



無断転載・複製禁止 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



【参考7】2号機 PCV 内部調査アクセスルート構築の例

1. PCV内ダスト浮遊量

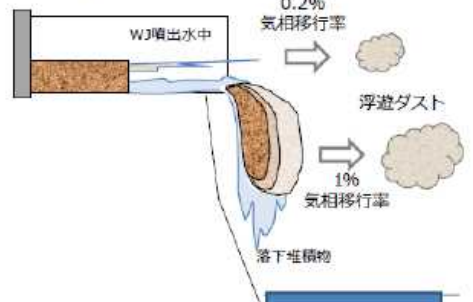
X-6ベネ内堆積物のWJによる洗浄・落下による浮遊

TEPCO

ダスト浮遊量[Bq]
 =放射能濃度[Bq/g]×堆積物量[g]×気相移行率[-]

<気相移行率> DOE HANDBOOK®に基づき設定

- WJ洗浄：高圧水の圧力開放時のダスト浮遊に類似すると見なし、「加圧容器/配管からのベント時の飛散率」の液面上もしくは容器全体破損条件の気相移行率（0.35MPa以上）の0.2%を設定（1号機AWJの気相移行率と同条件）。
- 堆積物落下：水との混合が不確実であるため、「乾燥粉体の自由落下」の気相移行率として1%を設定。



「乾燥粉体自由落下」の気相移行率 (DOE HANDBOOKに基づき設定)

$$ARF = 0.1064(M_0^{0.125})(H^{2.37})/\rho_{sp}^{1.02}$$

ここで、
 ARF: 気相移行率の平均値、Bounding Factorとして2倍する
 M₀: 粉体重量(堆積物236 kg)
 H: 落下高さ(X-6ベネ高さ5.20 m)
 ρ_{sp}: 密度(堆積物密度2000 kg/m³)
 より、
 = 9.25 × 10⁻³ ⇒ 気相移行率

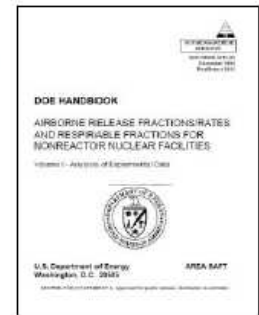
設定条件

WJ洗浄によるダスト浮遊	0.2%
堆積物落下によるダスト浮遊	1%
合計	1.2%

図 堆積物除去のダスト飛散想定

® Department of Energy, "DOE HANDBOOK: AIRBORNE RELEASE FRACTIONS/RATES AND RESPIRABLE FRACTIONS FOR NONREACTOR NUCLEAR FACILITIES Volume I - Analysis of Experimental Data", DOE-HDBK-3010-94, December, 1994 Reaffirmed 2013
 ©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 参照複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

影響を受ける放射性物質の気中移行（飛散）：
DOE HANDBOOK等に基づく評価が可能



2号機原子炉格納容器内部詳細調査
 アクセスルート構築作業時の影響評価について
 (2020年10月13日)

1. PCV内ダスト浮遊量

AWJ影響範囲にある構造物の汚染表面からの剥離による浮遊

TEPCO

ダスト浮遊量[Bq]
 =汚染密度[Bq/cm²]×対象範囲[cm²]×気相移行率[-]

<気相移行率> DOE HANDBOOK®に基づき設定

- 1m以内は剥離のエネルギーが大きく（切断可能）、影響範囲の増加率も大きいことから、「加圧容器/配管からのベント時の飛散率」の液面上もしくは容器全体破損条件の気相移行率（0.35MPa以上）の0.2%を設定（1号機AWJの気相移行率と同条件）。
- 1m以遠は剥離のエネルギーが弱まるため、気相移行率は「高圧水噴出時」（図1）の0.01%を設定（図2）。

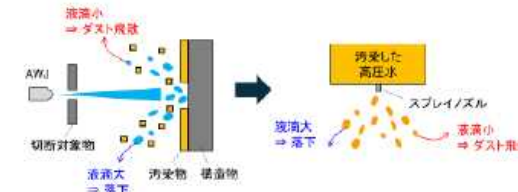
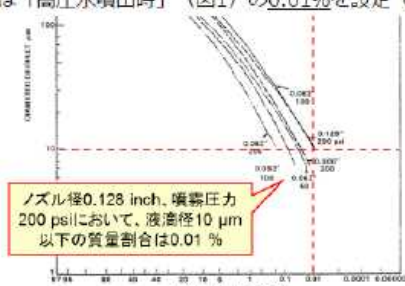


図1 AWJ噴流速方（左）と高圧水噴出（右）のダスト飛散の類似性

設定条件	気相移行率[-]	
(参考)切断欠損表面	1m以内	1m以遠
	0.2%	0.01%

図2 高圧水噴出時の気相移行率試験結果（0.01%）

ノズル径0.128 inch、噴霧圧力200 psiにおいて、液滴径10 μm以下の質量割合は0.01%



WJの液滴径の研究®によれば液滴径は吐出圧増加により低下し、また300mm以遠では増加することが確認されている。作業使用マシンの運転条件に照らしても10μm以下の液滴が支配的にならないと推定できる。このため、DOE HANDBOOKの適用範囲内と判断し、バウンディング値の0.01%を採用。

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 参照複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

弾性設計用地震動Sdについて

2021年6月25日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

1. 弾性設計用地震動Sdについて

【Sdの役割と設定の考え方】（JEAC4601より）

- 弾性設計用地震動Sd（以下、Sd）は、基準地震動Ss（以下、Ss）に対する原子炉施設の安全機能の保持をより高い精度で確認するために考慮する地震動である。
- Sdを設定する目的は、Sdによる地震応答をおおむね弾性限界を超えない範囲以内とすることにより、Ssによる応答に対する結果の信頼性を高めることである。
- このため、SdはSsと関連づけて設定することとし、SdはSsとの応答スペクトルの比が、目安として0.5を下回らない値で設定する。

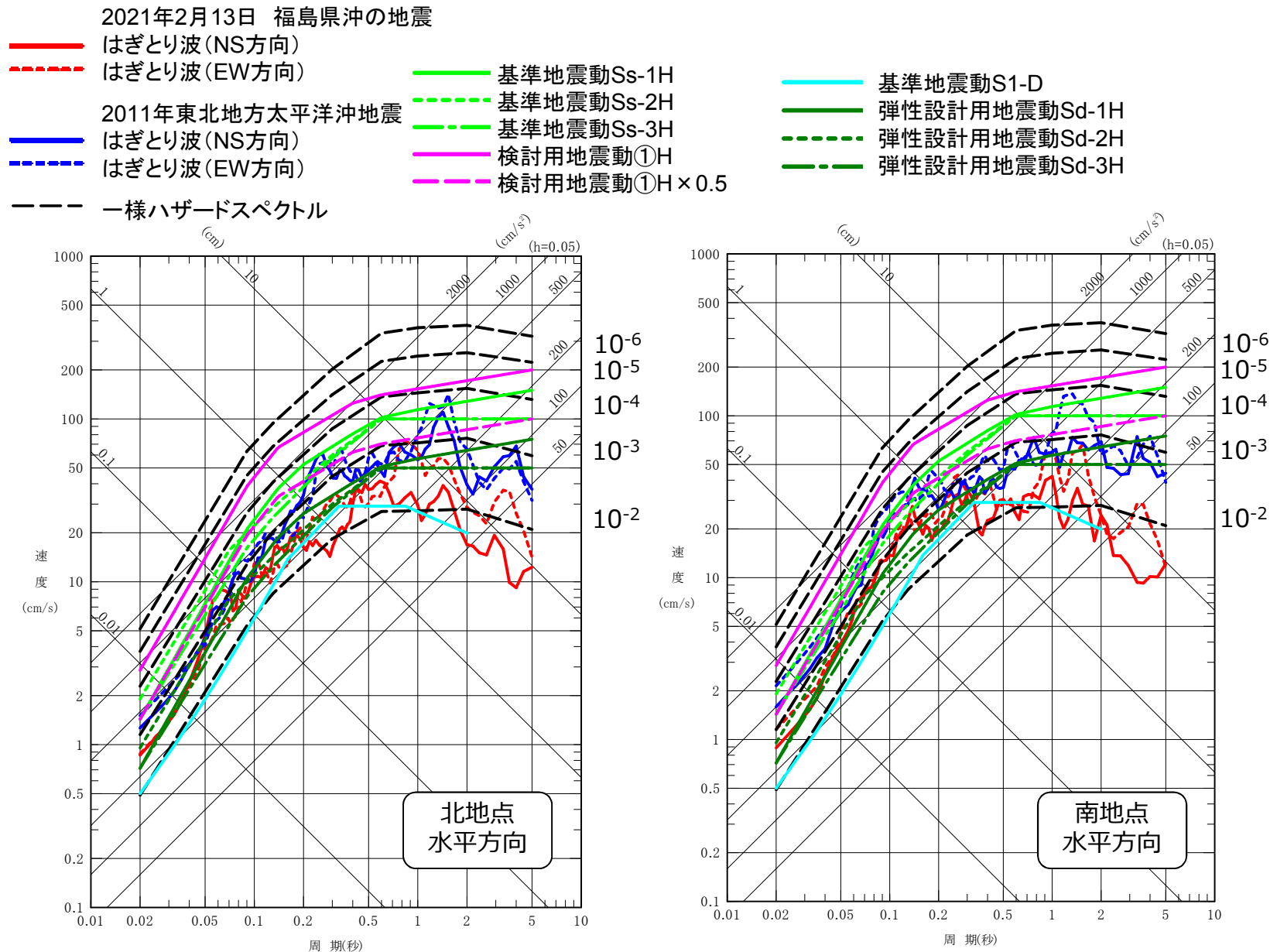
【運転状態と地震動との組み合わせ】（JEAC4601より）

- 耐震設計では、運転状態の発生確率と、地震動の発生確率を適切に組み合わせ評価するよう規定されている。
- Ss及びSdは、旧指針の基準地震動S2及びS1（以下、S2、S1）の発生確率をそれぞれ踏襲しており、Ssの発生確率は $5 \times 10^{-4} \sim 10^{-5}$ /年程度、Sdの発生確率は $10^{-2} \sim 5 \times 10^{-4}$ /年程度とされている。

【SdとS1】

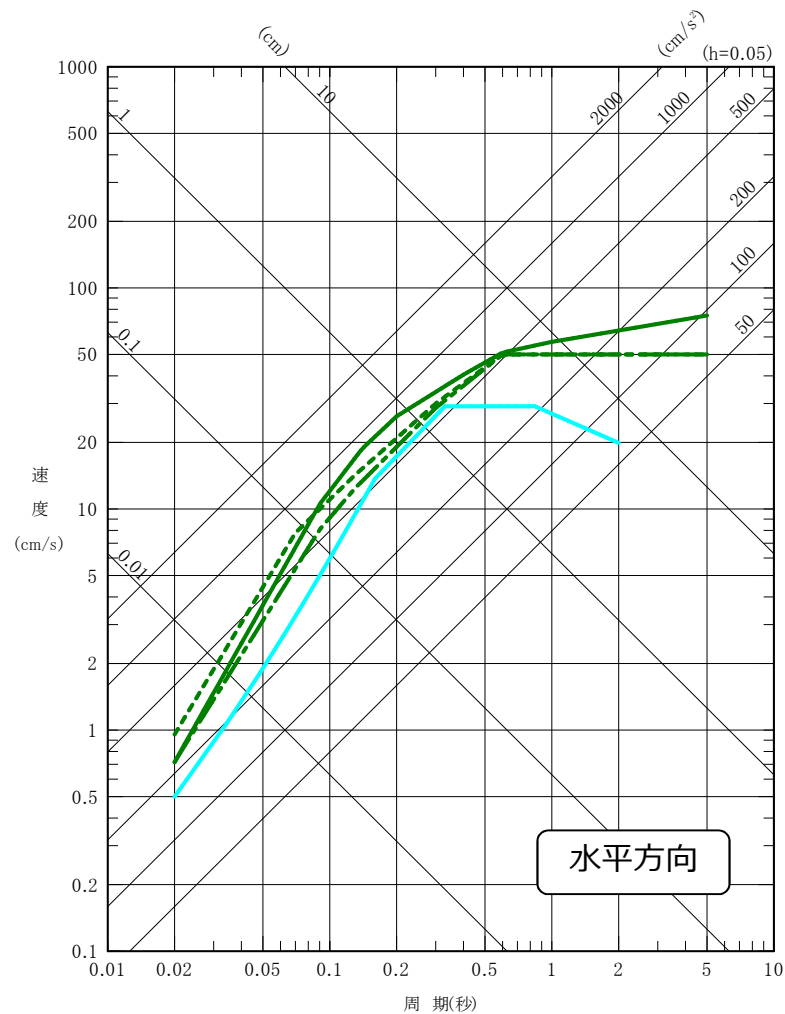
- Sdの役割は前述のとおりであり、S1と直接の関連性はない。
- しかし、「おおむね弾性限界を超えないことを確認する」という意味においては、S1の役割の一部を担っていると考えることもできる。
- このため、Sdが従来のS1を下回らない程度の地震動であれば、旧指針での耐震設計との連続性は確保されると考えられる。

2. 弾性設計用地震動Sdとハザードスペクトルとの比較

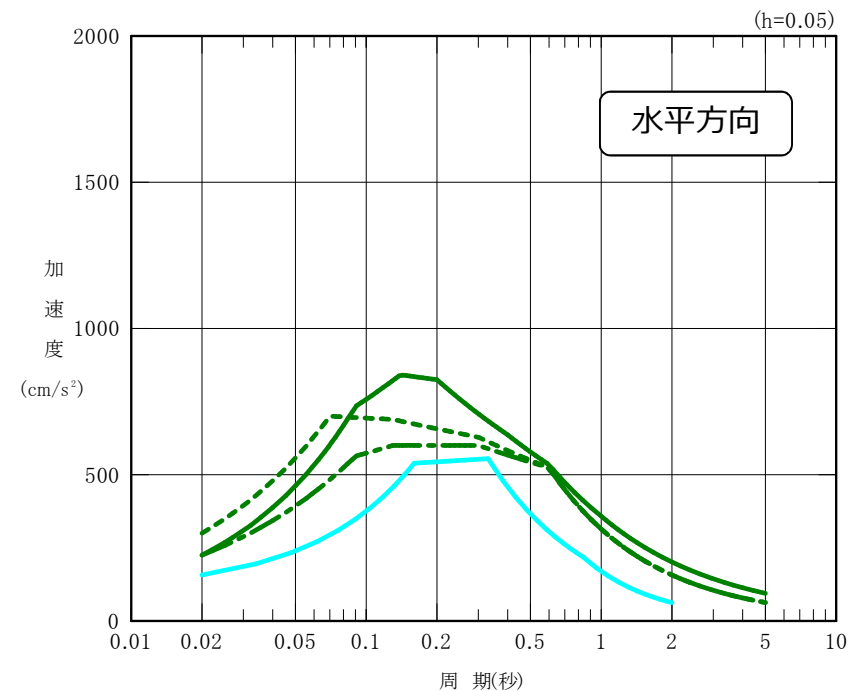


■ Sdの発生確率は、おおむね $10^{-2} \sim 5 \times 10^{-4}$ /年程度の範囲となっている

3. 弾性設計用地震動Sdと基準地震動S₁との比較



- 基準地震動S1-D
- 弾性設計用地震動Sd-1H
- - 弾性設計用地震動Sd-2H
- · 弾性設計用地震動Sd-3H



■ Sdを旧指針に基づくS1と比較すると、Sdは全ての周期帯でS1を包絡している

4. 弾性設計用地震動Sdの妥当性

- 現行のSdについて
- ✓ 現行のSdをハザードスペクトルと比較した結果、現行のSdは発生確率 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ の間にあり、適切な範囲にある
- ✓ 現行のSdと旧指針のS1を比較した結果、現行のSdは旧指針のS1を下回らない範囲にある

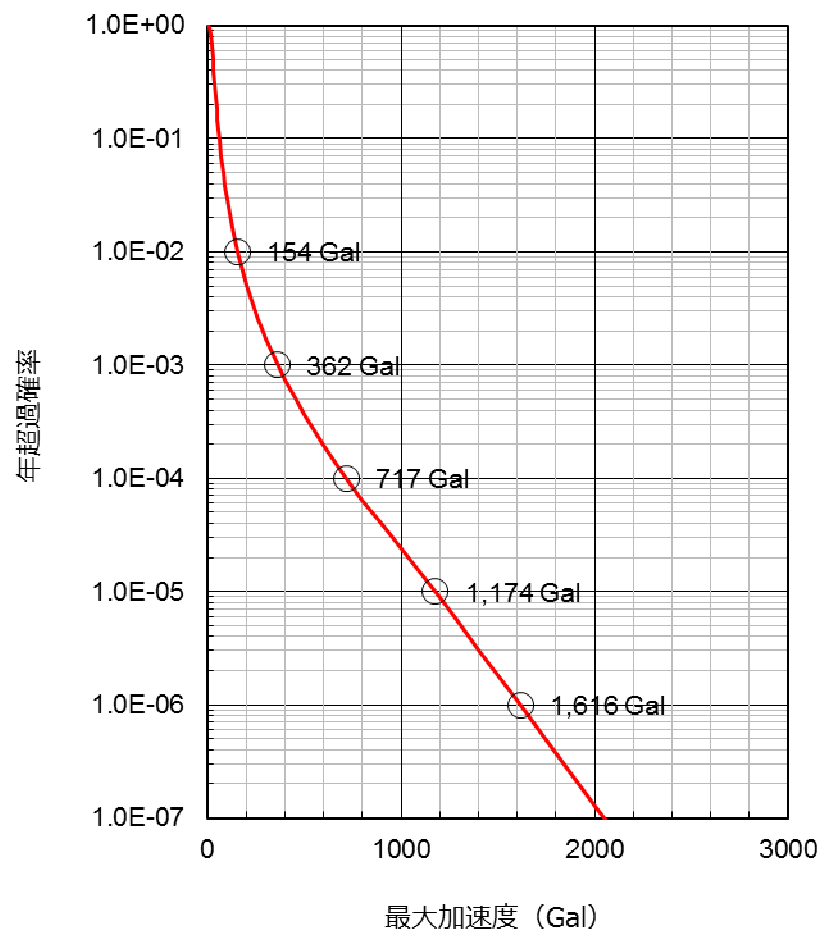
以上のことから、現行のSdはJEACの要求は満足していると判断できる。

以降，検討用地震動に関する参考資料

(参考) 地震ハザード評価結果 (平均ハザード曲線)

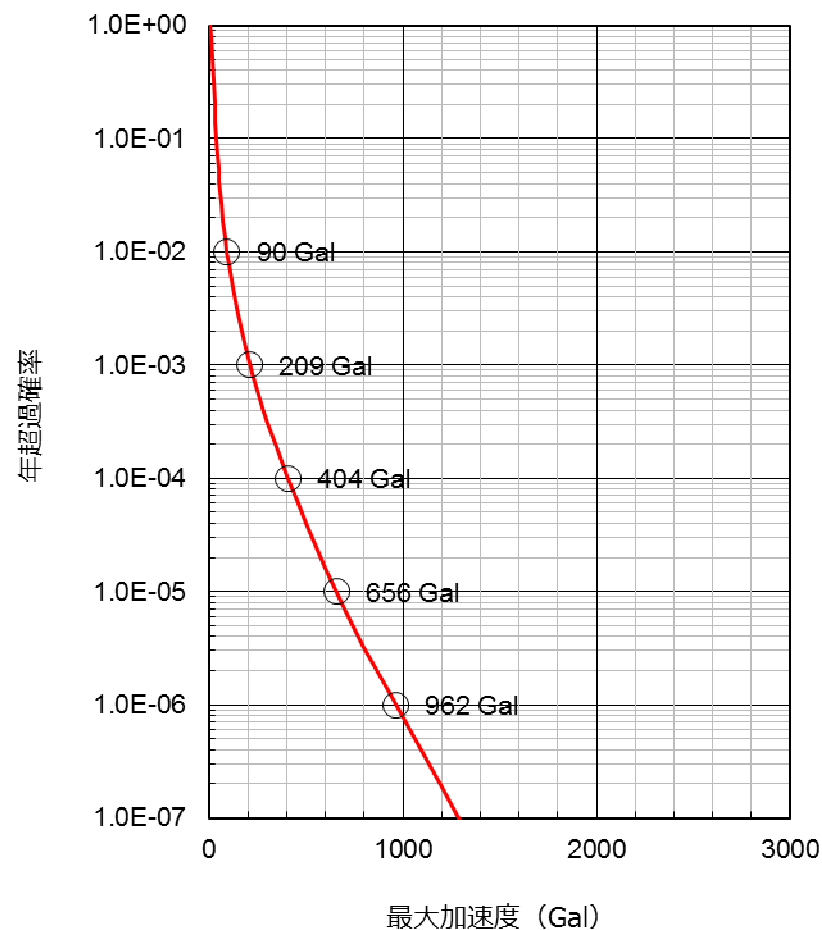


平均ハザード曲線 (周期0.02秒、水平方向)



最大加速度	年超過確率
450 Gal	5.1×10^{-4}
600 Gal	1.9×10^{-4}
900 Gal	3.9×10^{-5}

平均ハザード曲線 (周期0.02秒、鉛直方向)



最大加速度	年超過確率
300 Gal	3.0×10^{-4}
400 Gal	1.0×10^{-4}
600 Gal	1.6×10^{-5}

検討用地震

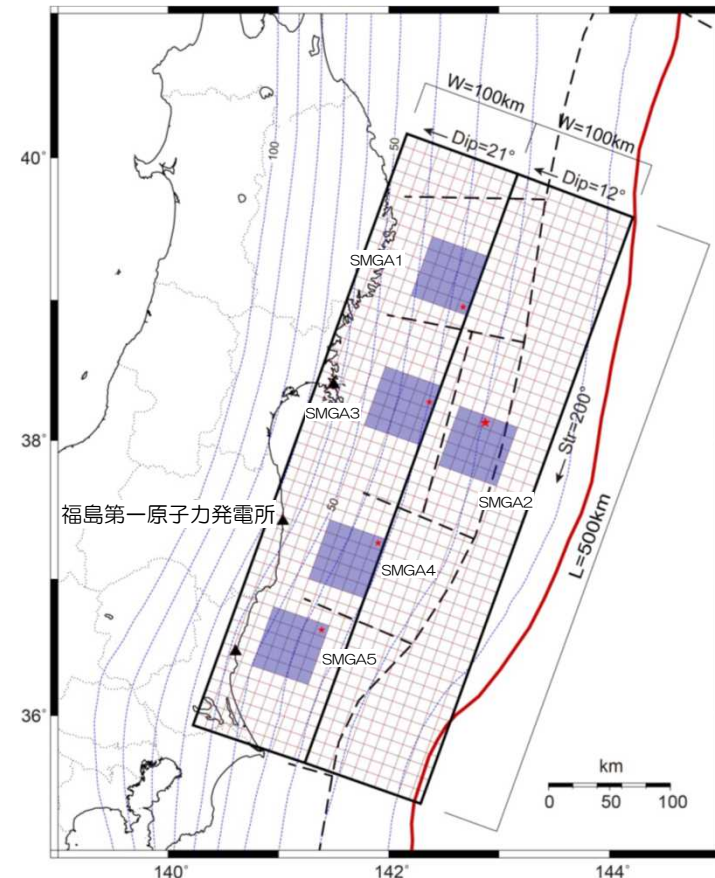
■ 3.11型地震

地震動評価

- 応答スペクトルに基づく地震動評価
 - 地震規模が大きくNoda et al. (2002)の適用範囲外。その他の距離減衰式も適用が困難。
- 断層モデルを用いた手法による地震動評価
 - 要素地震として適切な記録が得られていることから、経験的グリーン関数法により評価。
 - 2011年東北地方太平洋沖地震の解放基盤波と基本震源モデルの結果を比較し、妥当性を確認。

震源モデルの設定

- 基本震源モデルは、2011年東北地方太平洋沖地震について提案されている震源モデルを確認のうえ、諸井ほか(2013)に基づき設定。
- 敷地前面の強震動生成域を敷地至近に配置したケースを不確かさとして考慮。



諸井ほか(2013)の震源モデル
(一部加筆)

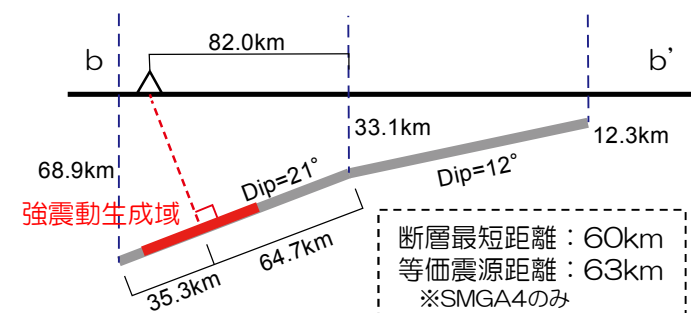
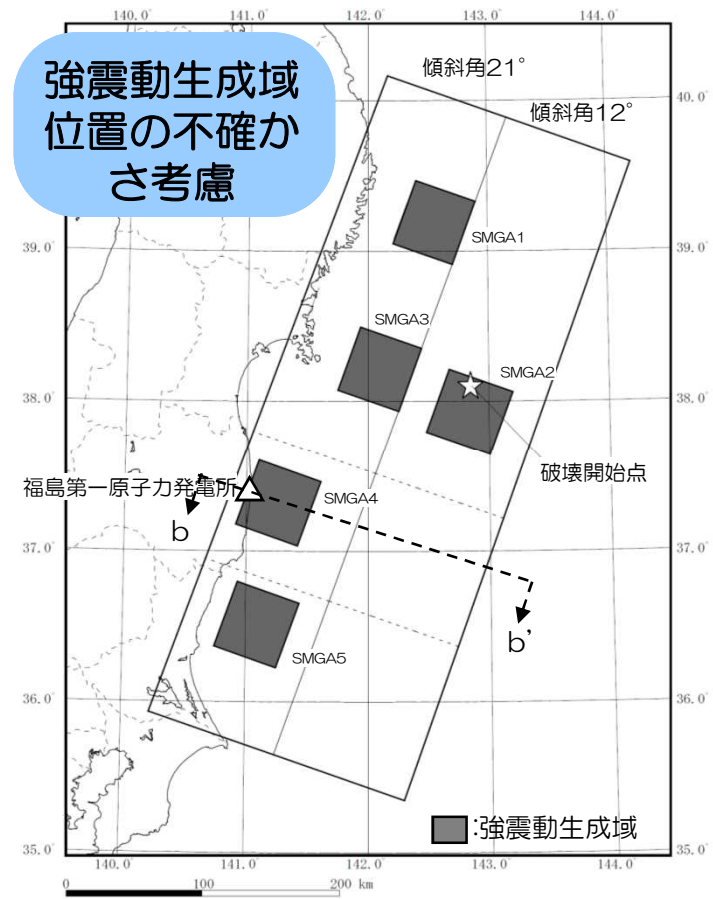
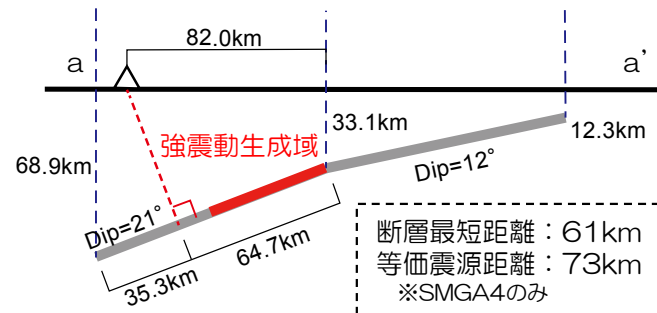
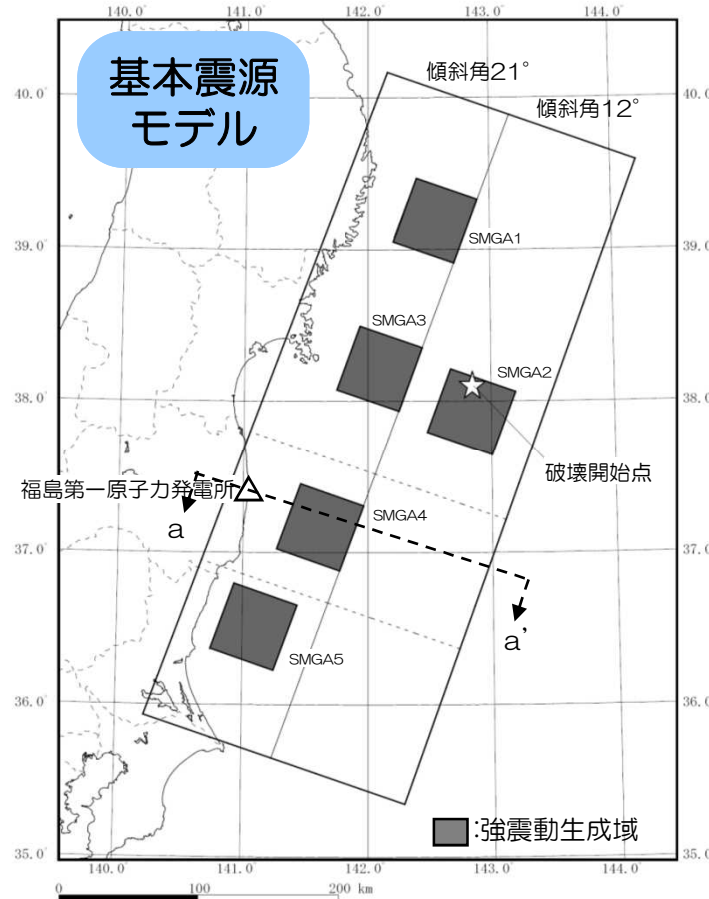
	L (km)	W (km)	M ₀ (N·m)	応力降下量 (MPa)
SMGA1	50	50	2.00×10 ²¹	24.6
SMGA2	50	50	2.00×10 ²¹	24.6
SMGA3	50	50	2.00×10 ²¹	24.6
SMGA4	50	50	2.00×10 ²¹	24.6
SMGA5	50	50	2.00×10 ²¹	24.6

(参考) 3.11型地震 震源モデル

平成26年10月22日面談
資料3より抜粋

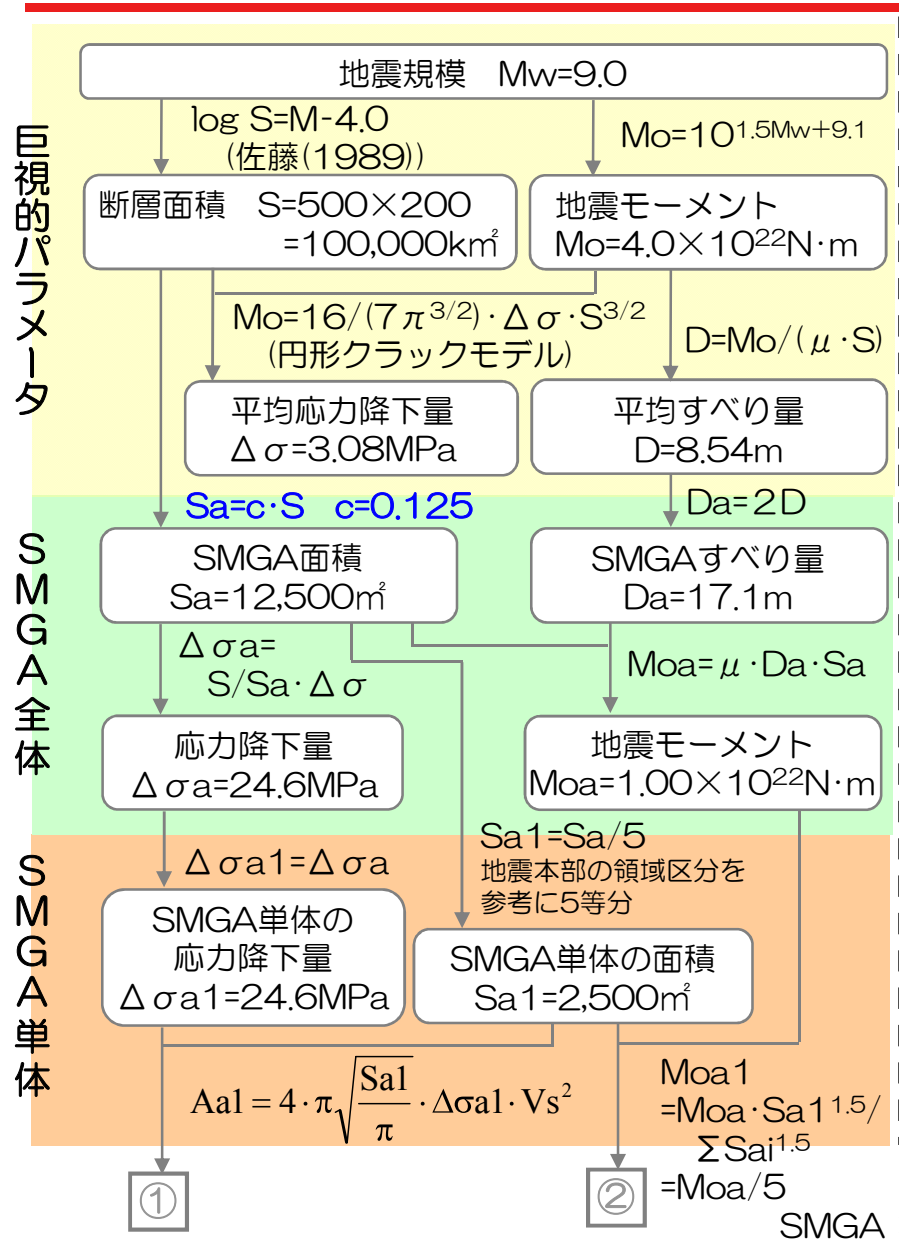


- 3.11型地震の基本震源モデルは諸井ほか(2013)に基づき設定。
- なお、不確かさとして敷地前面の強震動生成域を敷地至近に配置したケースを考慮。

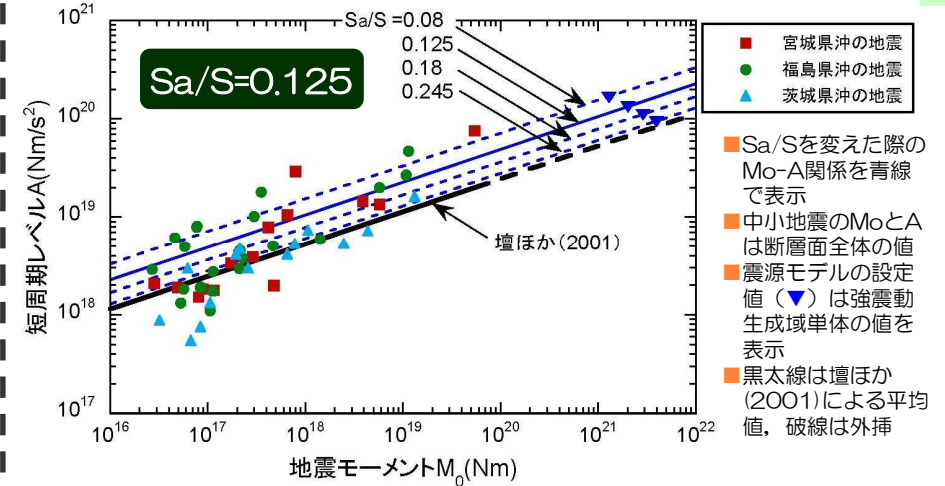
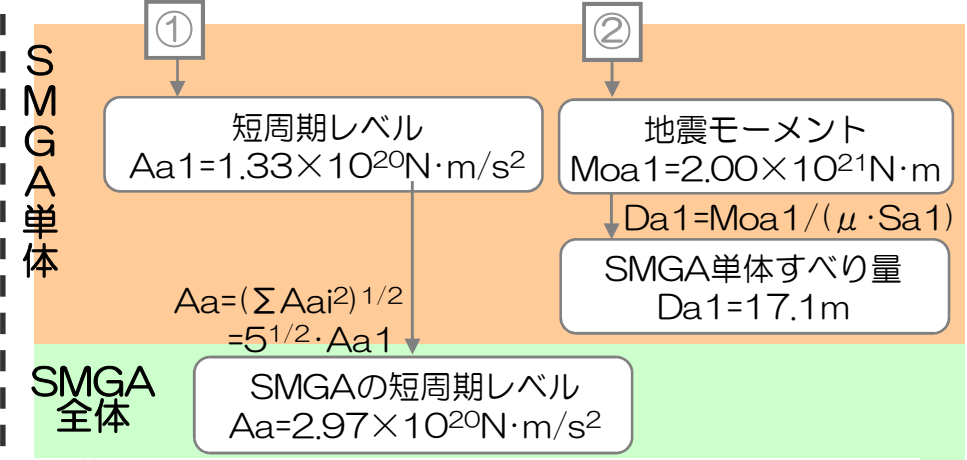


(参考) 3.11型地震 震源モデル 設定フロー

平成26年10月22日面談
資料3より抜粋



■ 諸井ほか(2013)に基づき地震規模 $M_w9.0$ から震源パラメータを設定。



強震動生成域全面積 S_a と断層面積 S の比と M_o-A 関係 (中小地震の M_o-A 関係との比較)

$S_a/S=0.125$ の震源モデルは、この地域の地震の平均的な M_o-A 関係に対応

SMGA：強震動生成域

(参考) 3.11型地震 震源モデル 断層パラメータ

平成26年10月22日面談
資料3より抜粋

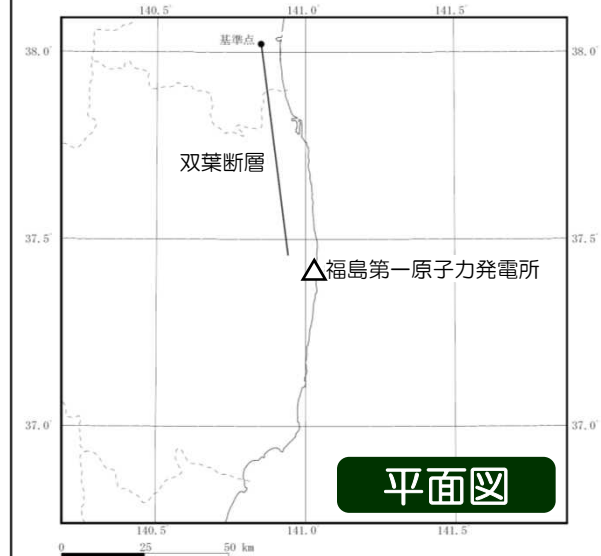


項目		設定値			
		三陸沖中南部 +宮城県沖	福島県沖	茨城県沖	
巨視的断層面	断層上端深さ(km)	12.3			
	断層長さ(km)	280	100	120	
	断層幅(km)	200	200	200	
	断層面積(km ²)	56000	20000	24000	
	走向(°)	200			
	傾斜角(°)	浅部：12, 深部：21			
	S波速度(km/s)	3.9			
	破壊伝播速度(km/s)	3.0			
	地震モーメント(N・m)	4.00×10 ²²			
強震動生成域	全体	面積(km ²)	12500		
		地震モーメント(N・m)	1.00×10 ²²		
		平均すべり量(m)	17.1		
		応力降下量(MPa)	24.6		
	個別	面積(km ²)	2500* ¹	2500	2500
		地震モーメント(N・m)	2.00×10 ²¹ * ¹	2.00×10 ²¹	2.00×10 ²¹
		平均すべり量(m)	17.1 * ¹	17.1	17.1
		応力降下量(MPa)	24.6 * ¹	24.6	24.6
背景領域	全体	面積(km ²)	87500		
		地震モーメント(N・m)	3.00×10 ²²		
	個別	面積(km ²)	48500	17500	21500
		地震モーメント(N・m)	1.66×10 ²²	6.00×10 ²¹	7.40×10 ²¹
		平均すべり量(m)	7.3	7.3	7.3
		実効応力(MPa)	4.9	4.9	4.9

※1：三陸沖中南部+宮城県沖の領域に配置した3つの強震動生成域のうち1つあたりの値

震源モデルの設定

- 巨視的断層パラメータのうち、断層の位置・断層長さについては、地質調査結果に基づき設定。断層長さは、地質調査結果から53kmと考えられるものの、地震調査研究推進本部の長期評価を参考に断層の北端について予め不確かさを考慮して63kmと設定。
- 断層の傾斜角は、地質調査結果及び地震調査研究推進本部の長期評価を参考に90°を基本として設定し、不確かさとして60°を考慮。
- アスペリティの位置は、断層上端へ均等に配置することを基本とし、不確かさとして敷地至近に配置したケースを考慮。
- 応力降下量は、不確かさとして強震動予測レシピの1.5倍の値を考慮。
- 断層モデルの破壊開始点は、巨視的断層面中央下端を基本とし、不確かさとして巨視的断層面端部とアスペリティ端部を考慮。



No.	検討ケース	断層長さ	断層幅	断層傾斜角	破壊開始点	アスペリティ位置	応力降下量
0	(地質調査結果等)	53km	15km	90°	—	—	—
1	基本震源モデル	63km	15km	90°	巨視的断層面 下端	均等配置	強震動予測 レシピ
2	破壊開始点の 不確かさ考慮	63km	15km	90°	複数 (巨視的断層面端部・ア スペリティ端部)	均等配置	強震動予測 レシピ
3	アスペリティ位置の 不確かさ考慮	63km	15km	90°	巨視的断層面 下端	敷地至近	強震動予測 レシピ
4	応力降下量の 不確かさ考慮	63km	15km	90°	巨視的断層面 下端	均等配置	強震動予測 レシピ×1.5
5	断層傾斜角の 不確かさ考慮	63km	18km	60°	巨視的断層面 下端	均等配置	強震動予測 レシピ

: 予め不確かさを考慮するパラメータ

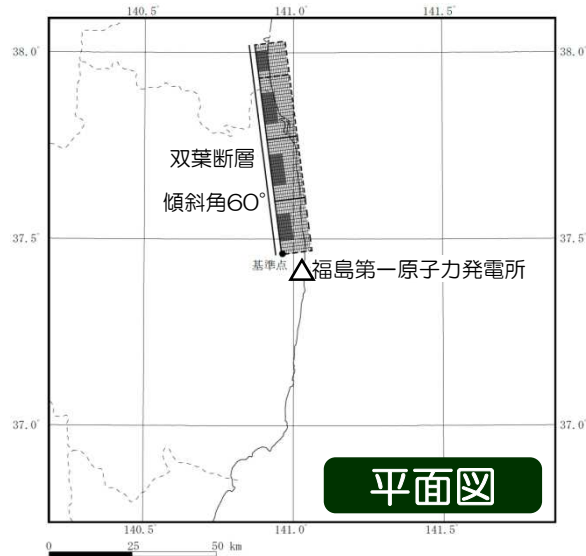
: 不確かさを考慮するパラメータ

(参考) 双葉断層による地震 震源モデル

平成26年10月22日面談
資料3より抜粋

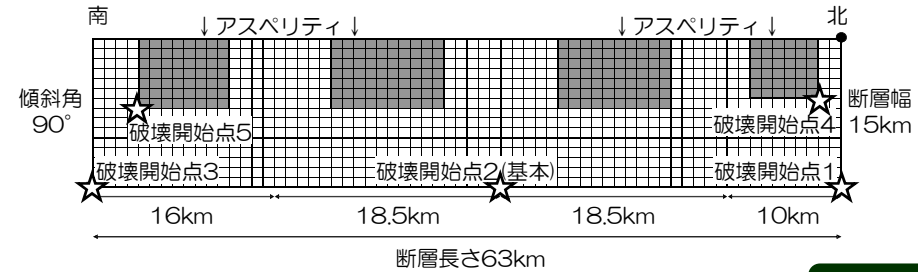


平面図



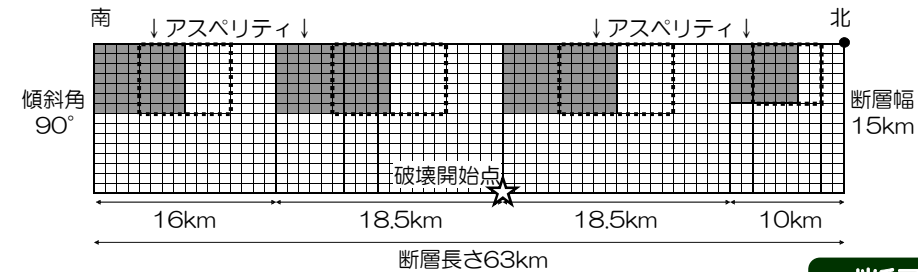
平面図

基本震源モデル(No.1), 破壊開始点の不確かさ考慮(No.2), 応力降下量の不確かさ考慮(No.4)



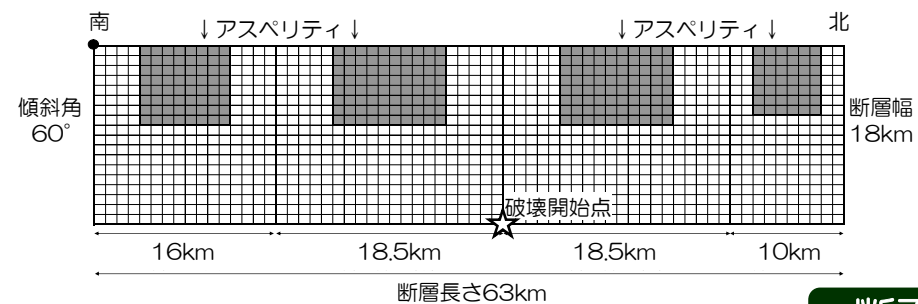
断面図

アスペリティ位置の不確かさ考慮(No.3)



断面図

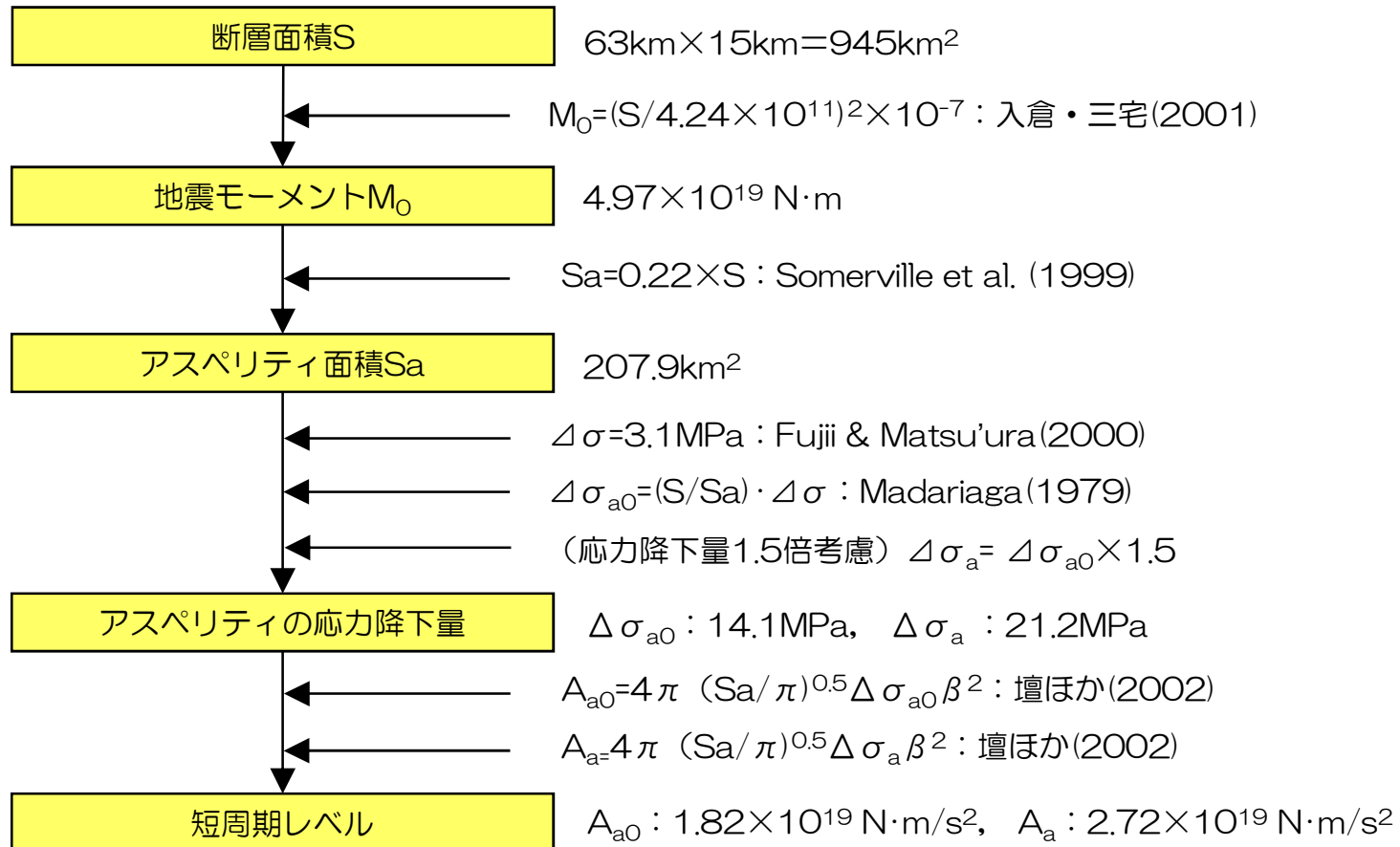
断層傾斜角の不確かさ考慮(No.5)



断面図

■ 微視的断層パラメータは、地震調査研究推進本部(2009)による強震動予測レシピア及び以下の考え方にに基づき設定。

- ①アスペリティの面積は、Somerville et al.(1999)を参考に断層面積の22%と設定
- ②地震調査研究推進本部の長大断層の評価と同様、平均応力降下量を一定値と仮定。
地震調査研究推進本部の横ずれ断層である山崎断層の評価を参考に、3.1MPaと設定



(参考) 双葉断層による地震 震源モデル 断層パラメータ

平成26年10月22日面談
資料3より抜粋



基本震源モデル(No.1), 破壊開始点の不確かさ考慮(No.2),
アスペリティ位置の不確かさ考慮(No.3), 応力降下量の不確かさ考慮(No.4)

項目		設定値				
		全体	巨理～島田	島田～馬場 (北)	島田～馬場 (南)	馬場～大堀南
基準点	東経 (°)	140.85	—	—	—	—
	北緯 (°)	38.02	—	—	—	—
巨視的断層面	断層上端深さ (km)	3				
	断層長さ (km)	63	10	18.5	18.5	16
	断層幅 (km)	15				
	断層面積 (km ²)	945	150	277.5	277.5	240
	走向 (°)	172.7				
	傾斜角 (°)	90				
	すべり角 (°)	22				
	S波速度 (km/s)	3.55				
	破壊伝播速度 (km/s)	2.6				
	地震モーメント (N・m)	4.97×10 ¹⁹	7.88×10 ¹⁸	1.46×10 ¹⁹	1.46×10 ¹⁹	1.26×10 ¹⁹
	アスペリティ	面積 (km ²)	207.9	33.0	61.05	61.05
地震モーメント (N・m)		2.19×10 ¹⁹	3.47×10 ¹⁸	6.42×10 ¹⁸	6.42×10 ¹⁸	5.55×10 ¹⁸
平均すべり量 (cm)		320.8				
応力降下量 (MPa)		レシピ	14.1			
	1.5倍	21.2				
背景領域	面積 (km ²)	737.1	117.0	216.45	216.45	187.2
	地震モーメント (N・m)	2.78×10 ¹⁹	4.42×10 ¹⁸	8.17×10 ¹⁸	8.17×10 ¹⁸	7.06×10 ¹⁸
	平均すべり量 (cm)	115.2				
	実効応力 (MPa)	レシピ	—	2.0	2.4	2.4
1.5倍		—	3.0	3.5	3.5	3.5

(参考) 双葉断層による地震 震源モデル 断層パラメータ

平成26年10月22日面談
資料3より抜粋

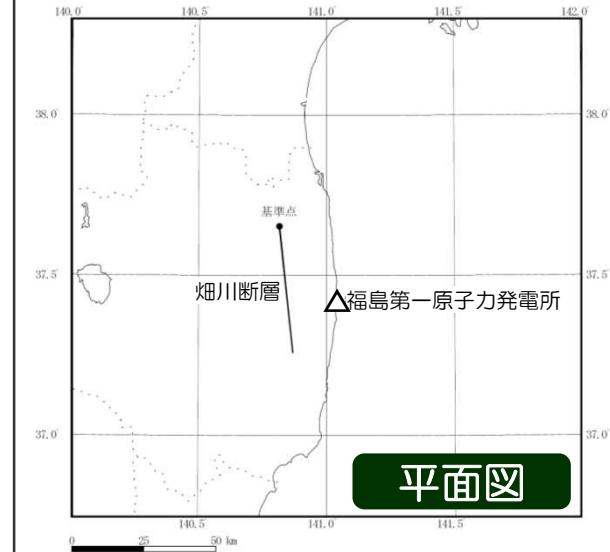


断層傾斜角の不確かさ考慮(No.5)

項目		設定値					
		全体	巨理～島田	島田～馬場 (北)	島田～馬場 (南)	馬場～大堀南	
巨視的断層面	基準点	東経 (°)	140.96	—	—	—	—
		北緯 (°)	37.46	—	—	—	—
	断層上端深さ (km)		3				
	断層長さ (km)		63	10	18.5	18.5	16
	断層幅 (km)		18				
	断層面積 (km ²)		1134	180	333	333	288
	走向 (°)		352.7				
	傾斜角 (°)		60				
	すべり角 (°)		22				
	S波速度 (km/s)		3.55				
	破壊伝播速度 (km/s)		2.6				
	地震モーメント (N・m)		7.15×10 ¹⁹	1.14×10 ¹⁹	2.10×10 ¹⁹	2.10×10 ¹⁹	1.82×10 ¹⁹
アスペリティ	面積 (km ²)		249.48	39.6	73.26	73.26	63.36
	地震モーメント (N・m)		3.15×10 ¹⁹	5.00×10 ¹⁸	9.24×10 ¹⁸	9.24×10 ¹⁸	7.99×10 ¹⁸
	平均すべり量 (cm)		385.0				
	応力降下量 (MPa)		14.1				
背景領域	面積 (km ²)		884.52	140.4	259.74	259.74	224.64
	地震モーメント (N・m)		4.01×10 ¹⁹	6.36×10 ¹⁸	1.18×10 ¹⁹	1.18×10 ¹⁹	1.02×10 ¹⁹
	平均すべり量 (cm)		138.2				
	実効応力 (MPa)		—	2.0	2.2	2.2	2.2

震源モデルの設定

- 巨視的断層パラメータのうち、断層の位置・断層長さについては地質調査結果に基づき設定。
- 断層の傾斜角は、地質調査結果を参考に90°を基本として設定し、不確かさとして60°を考慮。
- 地震発生層は、速度構造や微小地震分布等に基づき上端深さ3km、下端深さ18km、厚さ15kmと設定。
- アスペリティの位置は、断層上端へ均等に配置することを基本とし、予め敷地至近に配置。
- 応力降下量は、不確かさとして強震動予測レシピの1.5倍の値を考慮。
- 断層モデルの破壊開始点は、巨視的断層面中央下端を基本とし、不確かさとして巨視的断層面端部とアスペリティ端部を考慮。



No.	検討ケース	断層長さ	断層幅	断層傾斜角	破壊開始点	応力降下量
1	基本震源モデル	44km	15km	90°	巨視的断層面 下端	強震動予測 レシピ
2	破壊開始点の不確かさ考慮	44km	15km	90°	複数 (巨視的断層面端部・ア スペリティ端部)	強震動予測 レシピ
3	応力降下量の不確かさ考慮	44km	15km	90°	巨視的断層面 下端	強震動予測 レシピ×1.5
4	断層傾斜角の不確かさ考慮	44km	18km	60°	巨視的断層面 下端	強震動予測 レシピ

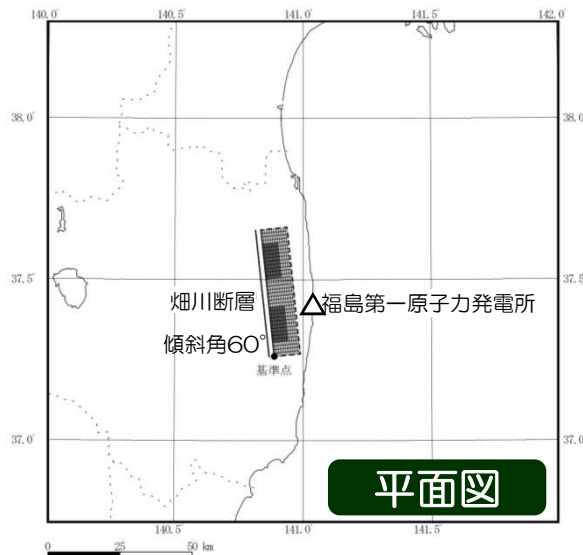
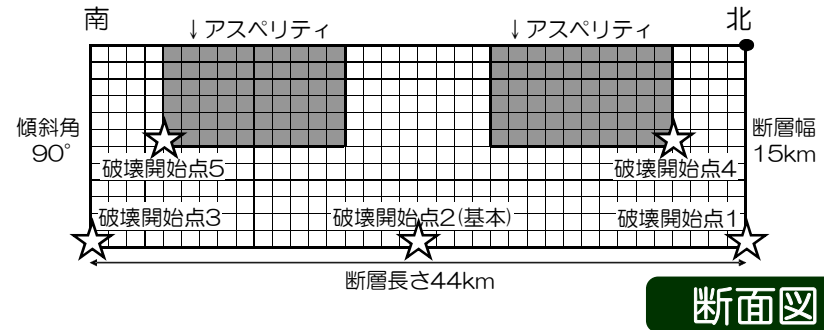
: 不確かさを考慮するパラメータ

(参考) 畑川断層による地震 震源モデル

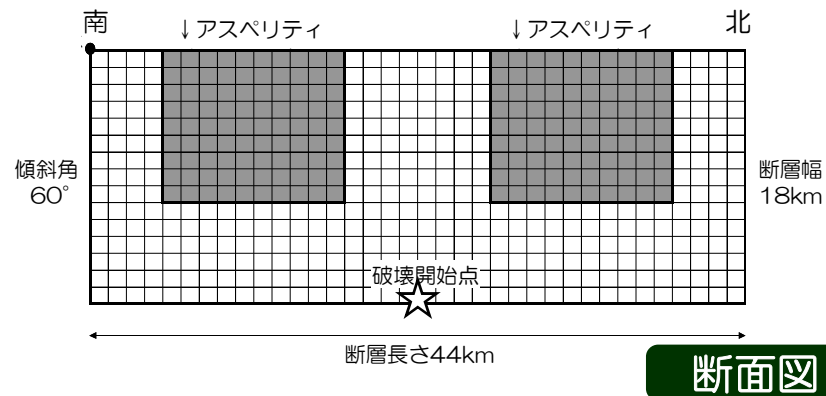
平成26年10月22日面談
資料3より抜粋



基本震源モデル(No.1), 破壊開始点の不確かさ考慮(No.2), 応力降下量の不確かさ考慮(No.3)



断層傾斜角の不確かさ考慮(No.4)



(参考) 畑川断層による地震 震源モデル 断層パラメータ

平成26年10月22日面談
資料3より抜粋



基本震源モデル(No.1), 破壊開始点の不確かさ考慮(No.2), 応力降下量の不確かさ考慮(No.3)

■ 微視的断層パラメータは、地震調査研究推進本部(2009)による強震動予測レシピに基づき設定。

項目		設定値	
巨視的断層面	基準点	東経 (°)	140.81
		北緯 (°)	37.65
	断層上端深さ (km)	3	
	断層長さ (km)	44	
	断層幅 (km)	15	
	断層面積 (km ²)	660	
	走向 (°)	174	
	傾斜角 (°)	90	
	すべり角 (°)	0	
	S波速度 (km/s)	3.55	
	破壊伝播速度 (km/s)	2.6	
	地震モーメント (N·m)	2.42×10 ¹⁹	
	アスペリティ	面積 (km ²)	89.6
地震モーメント (N·m)		6.58×10 ¹⁸	
平均すべり量 (cm)		224.1	
応力降下量 (MPa)		レシピ	12.8
	1.5倍	19.2	
背景領域	面積 (km ²)	480.8	
	地震モーメント (N·m)	1.11×10 ¹⁹	
	平均すべり量 (cm)	70.3	
	実効応力 (MPa)	レシピ	2.5
1.5倍		3.8	

断層傾斜角の不確かさ考慮(No.4)

項目		設定値	
巨視的断層面	基準点	東経 (°)	140.89
		北緯 (°)	37.26
	断層上端深さ (km)	3	
	断層長さ (km)	44	
	断層幅 (km)	18	
	断層面積 (km ²)	792	
	走向 (°)	354	
	傾斜角 (°)	60	
	すべり角 (°)	-90	
	S波速度 (km/s)	3.55	
	破壊伝播速度 (km/s)	2.6	
	地震モーメント (N·m)	3.49×10 ¹⁹	
	アスペリティ	面積 (km ²)	121.4
地震モーメント (N·m)		1.07×10 ¹⁹	
平均すべり量 (cm)		268.9	
応力降下量 (MPa)		12.4	
背景領域	面積 (km ²)	549.2	
	地震モーメント (N·m)	1.35×10 ¹⁹	
	平均すべり量 (cm)	75.0	
	実効応力 (MPa)	2.1	

アスペリティについては1個あたりの諸元 (全体で2個設定)

検討用地震

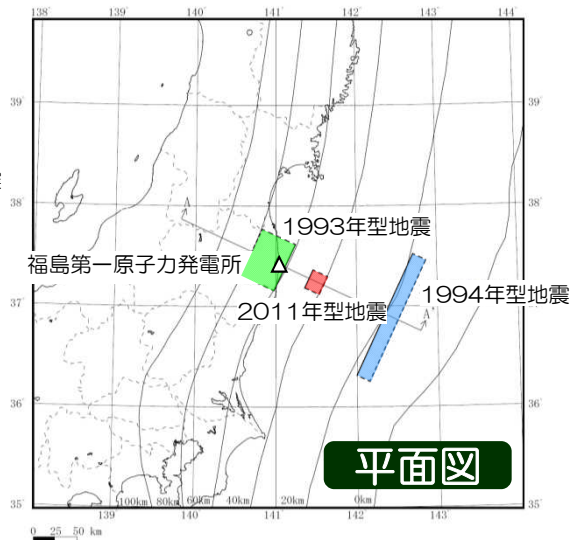
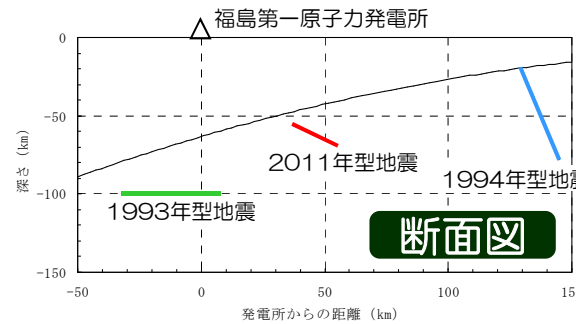
- 2011年型地震
 - 1994年型地震
 - 1993年型地震
- 敷地前面の想定海洋プレート内地震

地震動評価

- 応答スペクトルに基づく地震動評価
 - ・ Noda et al.(2002)を用いて評価。
 - ・ 評価にあたり、敷地における観測記録を用いて算定した補正係数を考慮。
- 断層モデルを用いた手法による地震動評価
 - ・ 要素地震として適切な記録が得られていることから、経験的グリーン関数法により評価。

震源モデルの設定

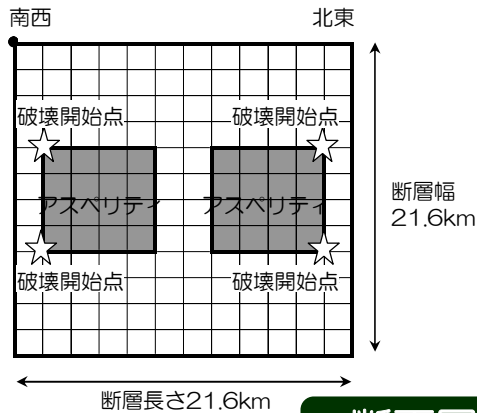
- 基本震源モデルは、各地震の規模及び太平洋プレートとの深さ方向の位置関係を保持して敷地前面に想定し、笹谷ほか(2006)に基づき設定。
- 2011年宮城県沖の地震(M7.2)において大加速度の記録が得られた要因に関する知見を反映し、応力降下量及び断層傾斜角の不確かさを重畳させて考慮し、併せて破壊開始点の不確かさの影響も考慮。



No.	検討ケース	断層長さ	断層傾斜角	破壊開始点	応力降下量
1-1	2011年型地震(M7.2) 基本震源モデル	21.6km	37°	複数 (7.8° リティ端部)	笹谷ほか (2006)
1-2	2011年型地震(M7.2) 応力降下量の不確かさ考慮	21.6km	37°	複数 (7.8° リティ端部)	笹谷ほか (2006) × 1.5
2-1	1994年型地震(M8.2) 基本震源モデル	147.8km	75°	複数 (7.8° リティ端部)	笹谷ほか (2006)
2-2	1994年型地震(M8.2) 応力降下量及び断層傾斜角の不確かさ考慮	147.8km	10°	複数 (7.8° リティ端部)	笹谷ほか (2006) × 1.5
3-1	1993年型地震(M7.5) 基本震源モデル	56.0km	0°	複数 (7.8° リティ端部)	笹谷ほか (2006)
3-2	1993年型地震(M7.5) 応力降下量及び断層傾斜角の不確かさ考慮	56.0km	80°	複数 (7.8° リティ端部)	笹谷ほか (2006) × 1.5

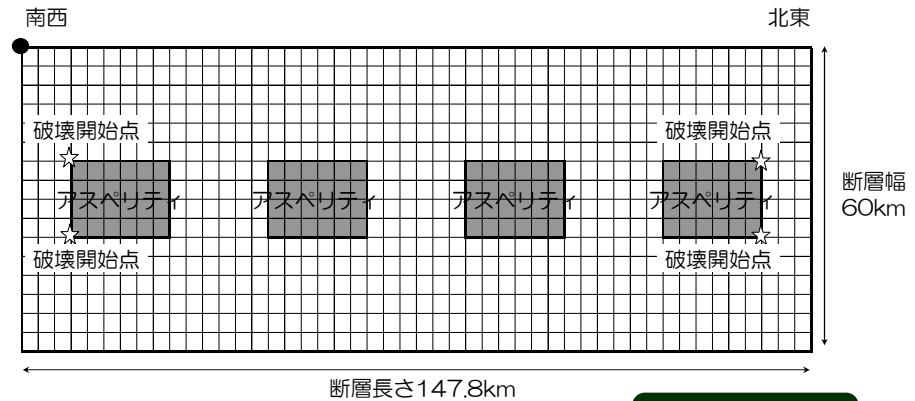
■ : 予め不確かさを考慮するパラメータ ■ : 不確かさを考慮するパラメータ

2011年型地震
基本震源モデル(No.1-1),
応力降下量の不確かさ考慮(No.1-2)



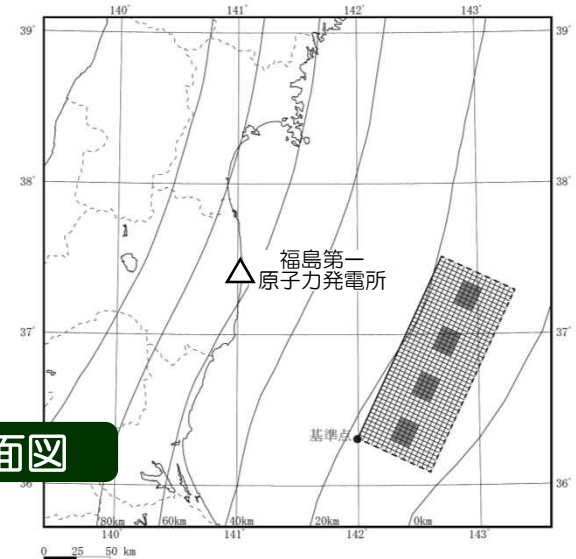
断面図

1994年型地震
基本震源モデル
(No.2-1)

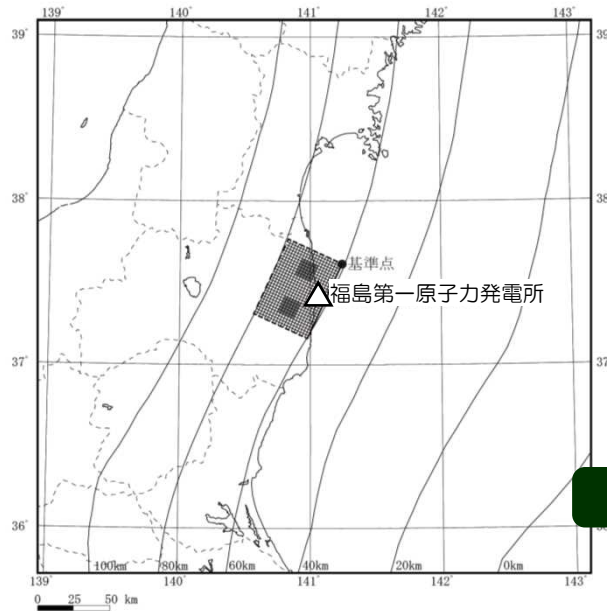


断面図

1994年型地震
応力降下量及び断層傾斜角の
不確かさ考慮(No.2-2)



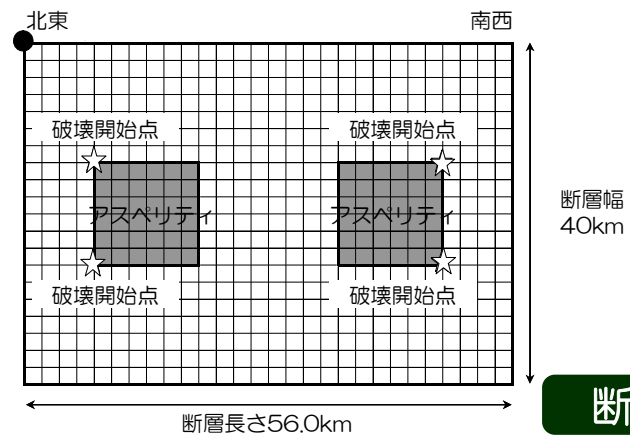
1993年型地震
基本震源モデル(No.3-1)



1993年型地震
応力降下量及び断層傾斜角の
不確かさ考慮(No.3-2)



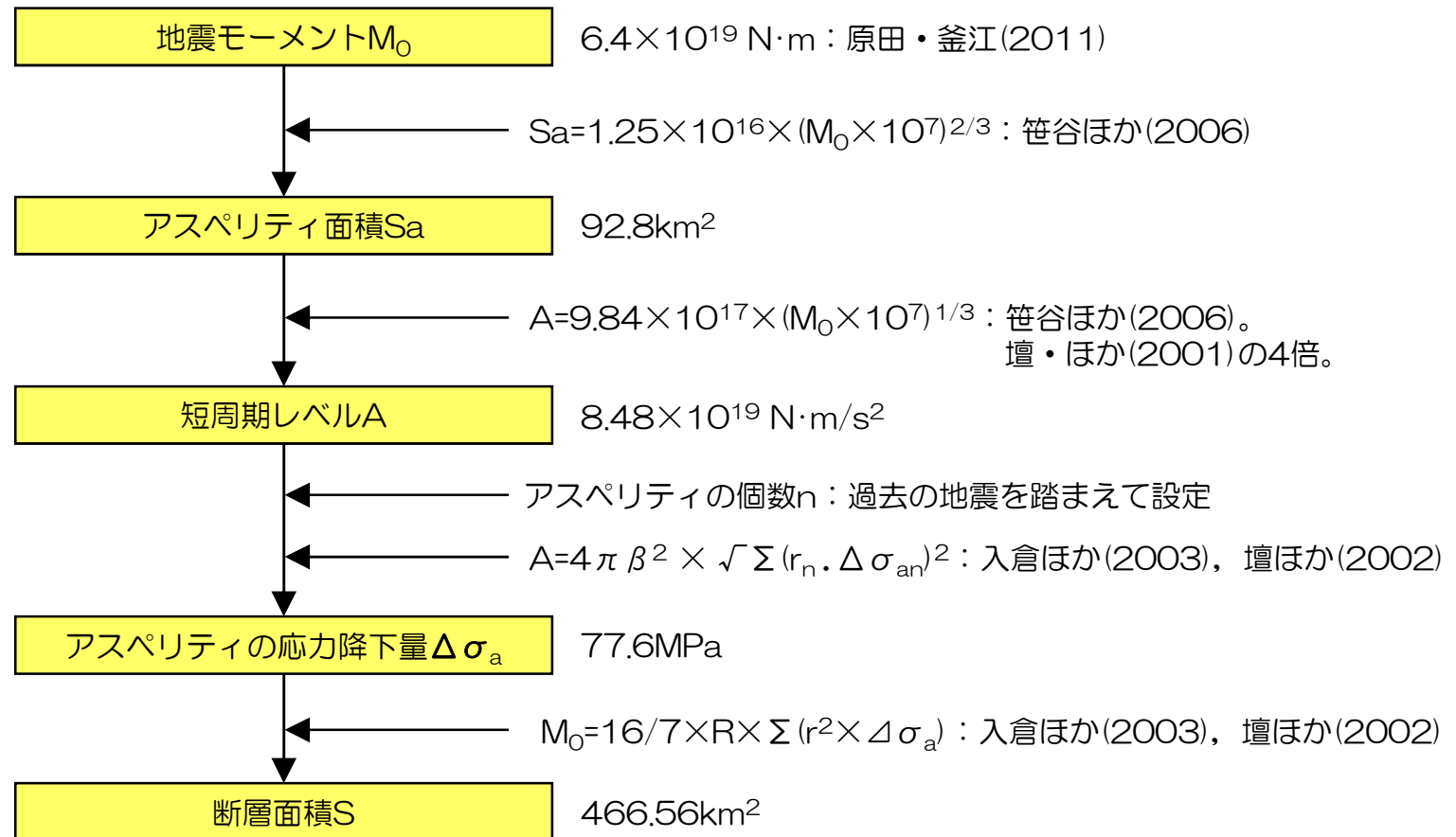
平面図



断面図

■ 微視的断層パラメータは、海洋プレート内地震について整理された笹谷ほか(2006)に基づき設定。

【2011年型地震の例】



※応力低下量の不確かさについては、応力低下量の値のみを1.5倍し、断層面積は変更しない。

(参考) 海洋プレート内地震 震源モデル 断層パラメータ

平成26年10月22日面談
資料3より抜粋



項目		2011年型地震	1994年型地震	1993年型地震
巨視的断層面	基準点	東経 (°)	141.36	142.00
		北緯 (°)	37.19	36.31
	断層上端深さ (km)	56	20	100
	断層長さ (km)	21.6	147.8	56.0
	断層幅 (km)	21.6	60.0	40.0
	断層面積 (km ²)	466.56	8868	2240
	走向 (°)	25	25	205
	傾斜角 (°)	37	75 (10)	0 (80)
	S波速度 (km/s)	4.0	4.5	4.5
	破壊伝播速度 (km/s)	2.9	3.2	3.2
地震モーメント (N・m)	6.40×10 ¹⁹	2.60×10 ²¹	3.30×10 ²⁰	
アスペリティ	面積 (km ²)	46.4	274.3	138.5
	地震モーメント (N・m)	1.27×10 ¹⁹	1.61×10 ²⁰	4.08×10 ¹⁹
	平均すべり量 (cm)	569.1	890.7	447.6
	応力降下量 (MPa)	77.6 (116.4)	61.3 (92.0)	61.3 (92.0)
背景領域	面積 (km ²)	373.76	7770.8	1963
	地震モーメント (N・m)	3.86×10 ¹⁹	1.96×10 ²¹	2.48×10 ²⁰
	平均すべり量 (cm)	214.2	382.5	192.2
	実効応力 (MPa)	9.7 (14.6)	6.6 (9.9)	7.9 (11.8)

- ・ () 内は不確かさケース
- ・ アスペリティについては1個あたりの諸元 (2011年型地震：2個, 1994年型地震：4個, 1993年型地震：2個)