日本原子力学会　2014 春の年会
標準委員会セッション１
「地震PRA実施基準の改定について」

地震ハザード評価

２０１４年３月２７日
東京都市大学世田谷キャンパス１号館A会場

東京都市大学
蛯沢　勝三

Ⅰ．地震ハザード評価高度化の基本方針と追加項目

基本方針

(1) 2006年実施基準以降に発生した国内外の地震からの知見を分析・検討し、重要項目を委員合意の上で整理し、基準に全て取り入れる。
(2) 特に、中越沖地震、東北地方太平洋沖地震（東北地震）、伊国ラクイラ地震等からの知見については、詳細な分析・検討を行う。
(3) 東北地震を踏まえた原子力規制からのニーズも考慮する。
(4) 2006年実施基準が実運用された事例については、詳細に記述する。
(5) 津波ハザード評価における技術的整合を図る。

基本方針に基づく地震ハザード作業会での分析・検討の概要

(1) 2006年実施基準以降の国内外地震からの知見の把握

・国内：中越沖地震（2007）、岩手・宮城内陸地震（2008）、駿河湾の地震（2009）、東北地震(2011)

・国外：四川地震（2008, 中国）、ラクイラ地震（2009, イタリア）、クライストチャーチ地震（2011, ニュージランド）

(2-1) 中越沖地震

・深部地下不規則構造による地震動増幅

・ひずみ集中帯

・複数基立地の取扱い

(2-2) 東北地方太平洋沖地震

・M9級巨大地震とそれに伴う余震・誘発地震・地殻変動

・地震動と津波の重畳

・マルチハザードに対するマルチユニットのリスク評価

(2-3) イタリア　　地震

・地震専門家の行政上の責任

(3) 東北地震を踏まえた原子力規制からのニーズ

・震源極近傍地震動評価

・断層変位と構造物への影響

(4) 2006年実施基準が実運用された例

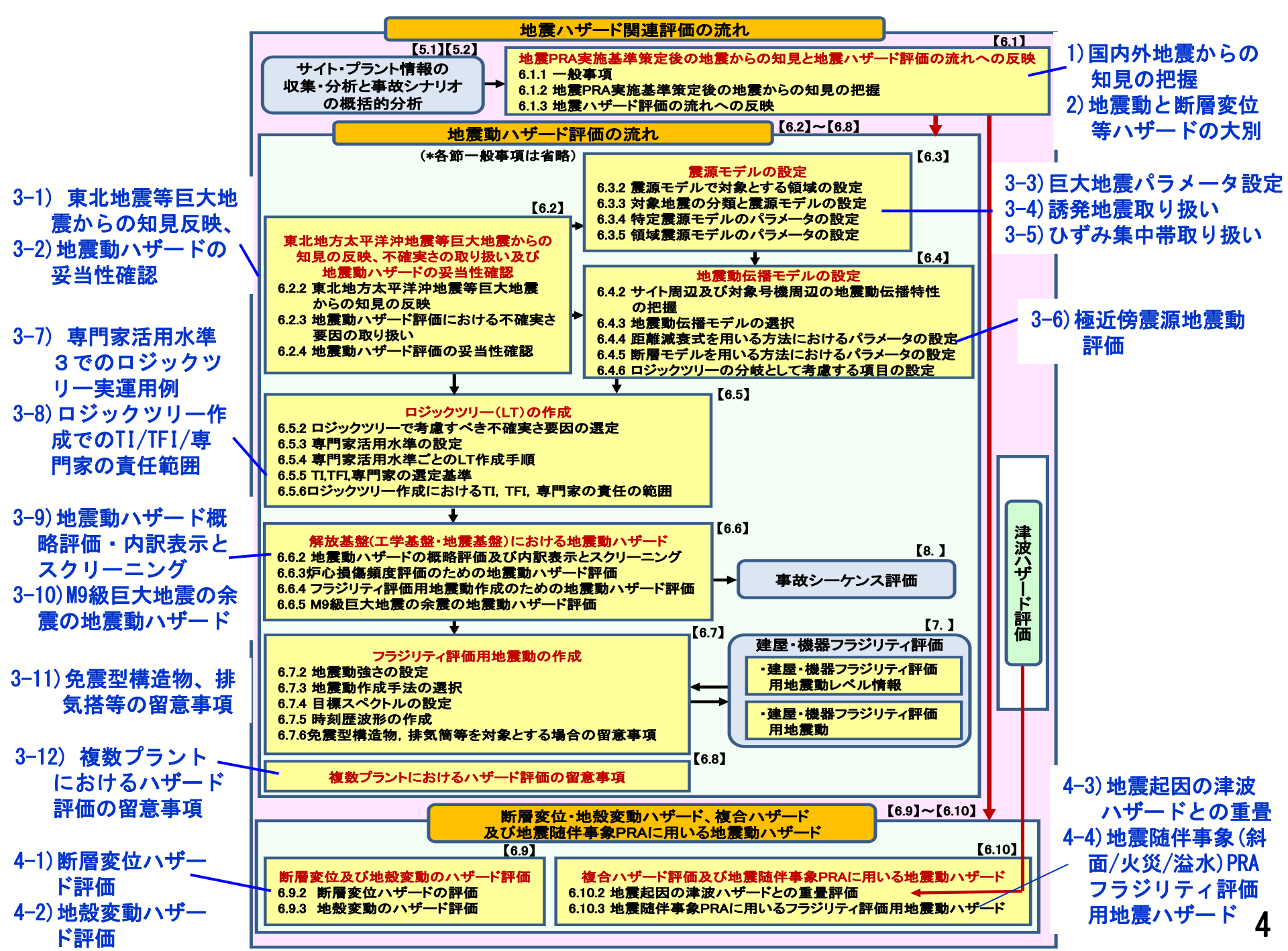
・柏崎刈羽NPP基準地震動バックチェックにおけるロジックツリーを用いた地震ハザード評価

(5) 津波ハザード評価における技術的整合

・震源モデルと波源モデルの整合

具体的な追加項目

1) 2007年実施基準以降の国内外地震からの知見の把握 (6.1.2)
2) 地震ハザードを地震動ハザードと断層変位・地殻変動・複合ハザードに大別 (6.1.3)
3) 地震動ハザード評価での主な追加項目は、次の通り。
   3-1) 東北太平洋沖地震等巨大地震からの知見の把握 (6.2.2)
   3-2) 地震動ハザード評価の妥当性確認 (6.2.4)
   3-3) 特定震源モデルにおける巨大地震のパラメータ設定 (6.3.4.3)
   3-4) サイト周辺の誘発地震の取り扱い (6.3.4.4)
   3-5) 領域震源モデルにおけるひずみ集中帯の取り扱い (6.3.5)
   3-6) 断層モデルにおける極近傍震源の地震動評価 (6.4.5)
   3-7) 専門家活用水準３でのロジックツリー実運用例 (6.5.4)
   3-8) ロジックツリー作成におけるTI,TFI,専門家の責任の範囲 (6.5.6)
   3-9) 地震動ハザード概略評価及び内訳表示とスクリーニング (6.6.2)
   3-10) M9級巨大地震の余震の地震動ハザード (6.6.5)
   3-11) 免震型構造物、排気搭を対象とした場合の留意事項 (6.7.6)
   3-12) 複数プラントにおけるハザード評価の留意事項 (6.8)
4) 断層変位・地殻変動及び複合ハザード評価での主な追加項目は次の通り。
   4-1) 断層変位ハザードの評価 (6.9.2)
   4-2) 地殻変動のハザード評価 (6.9.3)
   4-3) 地震起因の津波ハザードとの重畳評価 (6.10.2)
   4-4) 地震随伴事象PRAフラジリティ評価用地震動ハザード (6.10.3)


地震ハザード関連評価の流れ
【5.1】【5.2】
サイト・プラント情報の収集・分析と事故シナリオの概括的分析
【6.1】
地震PRA実施基準策定後の地震からの知見と地震ハザード評価の流れへの反映
6.1.1 一般事項
6.1.2 地震PRA実施基準策定後の地震からの知見の把握
6.1.3 地震ハザード評価の流れへの反映
地震動ハザード評価の流れ
【6.2】～【6.8】
（*各節一般事項は省略）
【6.3】
震源モデルの設定
6.3.2 震源モデルで対象とする領域の設定
6.3.3 対象地震の分類と震源モデルの設定
6.3.4 特定震源モデルのパラメータの設定
6.3.5 領域震源モデルのパラメータの設定
【6.2】
東北地方太平洋沖地震等巨大地震からの知見の反映、不確実さの取り扱い及び地震動ハザードの妥当性確認
6.2.2 東北地方太平洋沖地震等巨大地震からの知見の反映
6.2.3 地震動ハザード評価における不確実さ要因の取り扱い
6.2.4 地震動ハザード評価の妥当性確認
【6.4】
地震動伝播モデルの設定
6.4.2 サイト周辺及び対象号機周辺の地震動伝播特性の把握
6.4.3 地震動伝播モデルの選択
6.4.4 距離減衰式を用いる方法におけるパラメータの設定
6.4.5 断層モデルを用いる方法におけるパラメータの設定
6.4.6 ロジックツリーの分岐として考慮する項目の設定
【6.5】
ロジックツリー（LT）の作成
6.5.2 ロジックツリーで考慮すべき不確実さ要因の選定
6.5.3 専門家活用水準の設定
6.5.4 専門家活用水準ごとのLT作成手順
6.5.5 TI,TFI,専門家の選定基準
6.5.6ロジックツリー作成におけるTI，TFI，専門家の責任の範囲
【6.6】
解放基盤(工学基盤・地震基盤)における地震動ハザード
6.6.2 地震動ハザードの概略評価及び内訳表示とスクリーニング
6.6.3炉心損傷頻度評価のための地震動ハザード評価
6.6.4 フラジリティ評価用地震動作成のための地震動ハザード評価
6.6.5 M9級巨大地震の余震の地震動ハザード評価
【8.】
事故シーケンス評価
【7.】
建屋・機器フラジリティ評価
・建屋・機器フラジリティ評価用地震動レベル情報
・建屋・機器フラジリティ評価用地震動
【6.7】
フラジリティ評価用地震動の作成
6.7.2 地震動強さの設定
6.7.3 地震動作成手法の選択
6.7.4 目標スペクトルの設定
6.7.5 時刻歴波形の作成
6.7.6免震型構造物，排気筒等を対象とする場合の留意事項
【6.8】
複数プラントにおけるハザード評価の留意事項
津波ハザード評価
【6.9】～【6.10】
断層変位・地殻変動ハザード、複合ハザード及び地震随伴事象PRAに用いる地震動ハザード
【6.9】
断層変位及び地殻変動のハザード評価
6.9.2 断層変位ハザードの評価
6.9.3 地殻変動のハザード評価
【6.10】
複合ハザード評価及び地震随伴事象PRAに用いる地震動ハザード
6.10.2 地震起因の津波ハザードとの重畳評価
6.10.3 地震随伴事象PRAに用いるフラジリティ評価用地震動ハザード
1) 国内外地震からの知見の把握
2) 地震動と断層変位等ハザードの大別
3-1) 東北地震等巨大地震からの知見反映、
3-2) 地震動ハザードの妥当性確認
3-3) 巨大地震パラメータ設定
3-4) 誘発地震取り扱い
3-5) ひずみ集中帯取り扱い
3-6) 極近傍震源地震動評価
3-7) 専門家活用水準３でのロジックツリー実運用例
3-8) ロジックツリー作成でのTI/TFI/専門家の責任範囲
3-9) 地震動ハザード概略評価・内訳表示とスクリーニング
3-10) M9級巨大地震の余震の地震動ハザード
3-11) 免震型構造物、排気搭等の留意事項
3-12) 複数プラントにおけるハザード評価の留意事項
4-1) 断層変位ハザード評価
4-2) 地殻変動ハザード評価
4-3) 地震起因の津波ハザードとの重畳
4-4) 地震随伴事象（斜面/火災/溢水）PRAフラジリティ評価用地震ハザード

Ⅱ．主な追加内容

6.2 東北地方太平洋沖地震等巨大地震からの知見の反映、不確実さの取扱い及び地震動ハザードの妥当性確認

6.2.1　一般事項　次の項目について，手順に従い実施する。

① 東北地方太平洋沖地震等巨大地震からの知見の反映　（6.2.2に記述）
② 地震動ハザード評価における不確実さ要因の取扱い　（6.2.3に記述）
③ 地震動ハザード評価の妥当性確認　（6.2.4に記述）

6.2.2　東北地方太平洋沖地震等巨大地震からの知見の反映

1）M9級巨大地震による強震動評価のための震源モデル
- 後述 6.3.4 「特定震源モデルのパラメータの設定手順」で記述

2）M9級巨大地震による余震の取扱い 【附属書AC（参考）参照】
- 後述 6.6.5 「M9級巨大地震の余震の地震動ハザード評価」で記述

3）M9級巨大地震による誘発地震の取扱い 【附属書AE（参考）参照】
- 後述 6.3.4.4 「特定震源モデルの設定における留意事項」で記述

4）地殻変動
- 後述 6.9.3 「地殻変動のハザード評価」で記述

5）震源モデルと波源モデルの整合性
- 震源モデルと波源モデルにおける破壊領域，連動，破壊開始位置の取り扱い等のパラメータの整合性を考慮する

6.2.4　地震動ハザード評価の妥当性確認

・現状では、観測期間は長くても30年から40年程度である。
・そのため，評価結果の妥当性確認の仕方としては，時間軸を過去に遡って評価した地震動ハザードを，対応する期間内に実際に発生した地震による地震動と対比して確認する手法を用いる等，確認方法に留意する。
・確認例と問題点も挙げられているので参考とする。【附属書AH（参考）参照】

a）地震動ハザード評価の妥当性の評価【附属書AH（参考）参照】
・石川・他（2011）：　時間軸原点を過去に遡って作成した確率論的地震動予測地図と、対応する期間内に実際に発生した地震による揺れとを対比し、以下の結果を示した。

1）全国の地震動ハザードの総量（論文では、震度6弱以上に見舞われた面積割合）は、予測と実績で概ね整合
2）沈み込むプレートでの地震（固有地震、震源不特定併せて）の影響が支配的な地域では、事前の超過確率が高い地点ほど震度6弱以上を経験した割合が多く、確率論手法の有用性を支持
3）陸側プレートの地殻内地震（活断層、震源不特定併せて）の影響が支配的な地域は、そもそも事前の超過確率が低い地点が多く、震度6弱以上を受ける具体的な地域を事前の超過確率の高低から予測することは困難

6.3　震源モデルの設定

6.3.1　一般事項　次の項目について，手順に従い実施する。

① 震源モデルで対象とする領域の設定　（6.3.2に記述）
② 対象地震の分類と震源モデルの設定　（6.3.3に記述）
③ 特定震源モデルのパラメータの設定　（6.3.4に記述）
④ 領域震源モデルのパラメータの設定　（6.3.5 に記述）

6.3.4　特定震源モデルのパラメータの設定

6.3.4.3 特定震源モデルのパラメータの設定手順

1.1)　巨大地震の発生領域：

・既往最大に囚われず、物理現象や物理探査等に基づき科学的想像力を働かせる。
・地震本部の知見等を参考とし，日本列島のプレート構造や形状等を考慮して，単独で発生する震源域と，連動して発生する震源域の範囲を設定する。

1.2)　巨大地震の地震規模

・断層面積及び平均応力降下量に基づき地震モーメントを設定する。
・東北地震の平均応力降下量は3MP程度であり，M8クラス以下の地震とほぼ同程度であったことに留意する。

6.3.4.4 特定震源モデルの設定における留意事項

・対象サイト周辺の誘発地震は，サイト周辺の領域震源の活動度を高く設定することや，サイト周辺の活断層（特定震源）がクーロン破壊応力等で動き易くなると想定される場合には，発生確率を高めに設定する等により対応する。

6.3.5　領域震源モデルのパラメータの設定

b)　地震PRA実施基準(2007年版)策定後の地震関連情報

1) ひずみ集中帯に関する知見
- ひずみ集中帯に対しては，GPSによる地表変位の分布からその領域を示した文献や，領域震源モデルとして地震動ハザード評価に取り込んだ例が示されているので，参考としても良い。

2) M9級巨大地震による余震
- 東北地震に伴う余震の規模は，過去の歴史地震の記録や観測記録にもない。
- そこで，後述6.6.5に示すが，このような余震の炉心損傷頻度への影響を見るため，独立に地震動ハザードを評価する。

3) M9級巨大地震による誘発地震
- 対象サイト周辺の領域震源で，M9級巨大地震の誘発地震活動として活動度が高まると想定される場合には，活動度を高めに設定することが望ましい。

4) 対象サイト極近傍の地震動の断層モデルによる評価
- 対象サイト極近傍の領域震源モデルに対して，震源モデルによる短周期地震動長周期地震動及び永久変位を説明できていることを確認する。

6.4　地震動伝播モデルの設定

6.4.1　一般事項　次の項目について，手順に従い実施する。
① サイト周辺及びサイト内号機周辺の地震動伝播特性の把握　（6.4.2に記述）
② 地震動伝播モデルの選択　（6.4.3に記述）
③ 距離減衰式を用いる方法におけるパラメータの設定　（6.4.4に記述）
④ 断層モデルを用いる方法におけるパラメータの設定　（6.4.5に記述）
⑤ 地震動伝播モデルにおいてロジックツリーの分岐として考慮する項目の設定（6.4.6に記述）

6.4.5　断層モデルを用いる方法におけるパラメータの設定

c)　サイト極近傍震源の地震動評価への適用

1) 評価地点近傍に存在する強震動生成領域における応力降下量などの特性に係る最新の科学的・技術的知見を踏まえる。
2) 特に，生成強度に関するパラメータ，強震動生成領域内の破壊開始時間のずれ，破壊進行パターンの設定等，破壊シナリオの不確かさを考慮する。
3) 地表に変位を伴う断層全体（地表地震断層から震源断層までの断層全体）を考慮した上で，震源モデルの形状及び位置の妥当性，敷地及び評価サイトとの位置関係，並びに震源特性パラメータの設定の妥当性について詳細に検討する。
4) 地下構造モデサイト近傍の3次元深部ルを用いて評価する。

6.5　ロジックツリーの作成

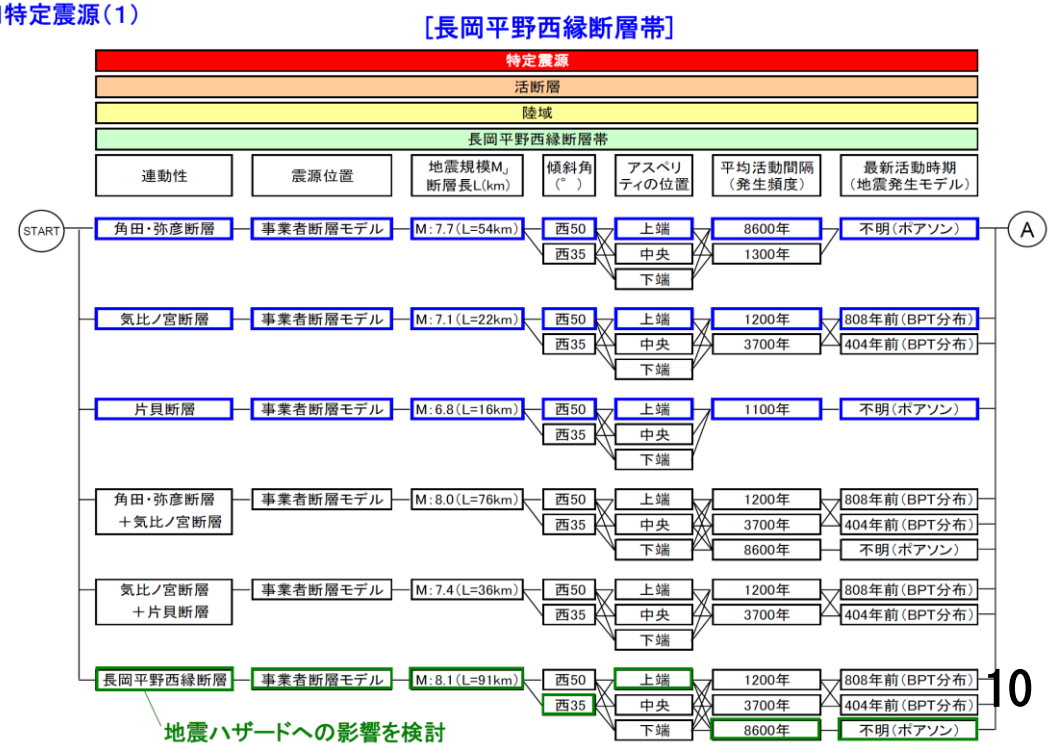
6.5.1　一般事項　次の項目について，手順に従い実施する。

① ロジックツリーで考慮すべき不確実さ要因の選定（6.5.2に記述）
② 専門家活用水準の設定（6.5.3に記述）
③ 専門家活用水準ごとのロジックツリー作成手順（6.5.4に記述）
④ TI，TFI，専門家の選定基準（6.5.5に記述）
⑤ TI,TFI,専門家の責任の範囲（6.5.6に記述）

6.5.4　専門家活用水準毎のロジックツリー作成手順

■ 専門家活用水準２でのロジックツリー作成手順の実運用例（柏崎刈羽NPP基準地震動審査）

■特定震源(1)



6.5.6　ロジックツリー作成におけるTI，TFI，専門家の責任の範囲

・ロジックツリー作成におけるTI，TFI，専門家は，提案した技術的内容については責任を負うが，
・その結果作成された地震動ハザード評価結果及びその結果に基づく原子力発電所の安全性，並びにリスク評価結果の活用に関する責任は負わせないものとする。

6.6　地震動ハザードの評価

6.6.1 一般事項　次の項目について，手順に従い実施する。

① 地震動ハザードの概略評価及び内訳表示とスクリーニング　（6.6.2）
② 炉心損傷頻度評価のための地震動ハザード評価　（6.6.3）
③ フラジリティ評価用地震動作成のための地震動ハザード評価　（6.6.4）
④ M9級巨大地震の余震の地震動ハザード評価　（6.6.5）

6.6.5　地震動ハザードの概略評価及び内訳表示とスクリーニング

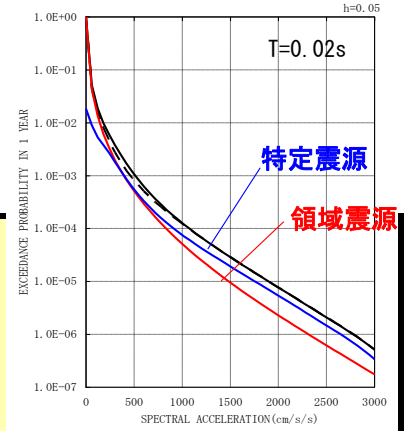
■ 地震動ハザード評価に当っては，震源モデルの設定に多くの時間をかけることを避け，効率よくハザード評価を行うことに留意する。

・まず，概略のハザード評価を行い，ハザードを特定及び領域の震源に大別した上で，更に，それぞれに含まれる震源の内訳を明示する。

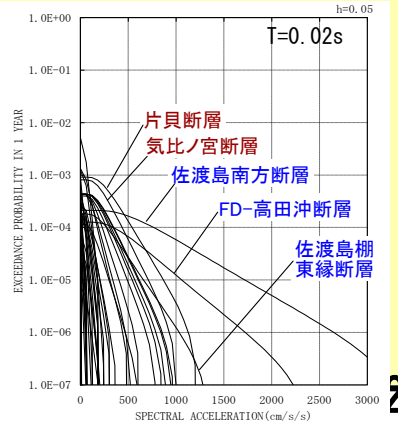
・次いで，これらの内訳から全震源のハザードに寄与する震源としない震源に大別し，スクリーニングを行う。

・そして，ハザードに寄与する震源を対象として，震源モデル及び地震動伝播モデルの設定を詳細化する。

・また，理学的観点から震源モデルの設定を検討している段階において，工学的観点から地震動ハザードの概略を明示し，ハザードに寄与する震源について，理学の知見を積極的に活用する。



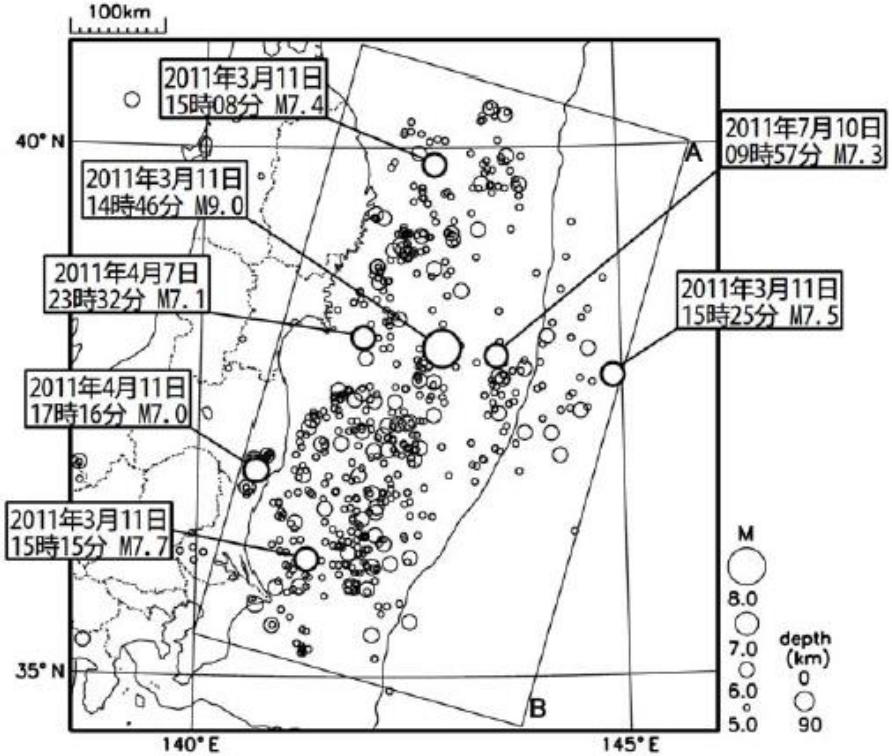
■各特定震源の地震ハザー



6.6.5　M9級巨大地震の余震の地震動ハザード評価

c)　M9級巨大地震の余震の地震動ハザードの取り扱いの留意事項

- 2007年実施基準では，M8.6程度以下の本震による余震のCDFへの影響は小さいとして，地震動ハザード評価では余震を取り除いていた。
- 東北地震では，M7.7の最大余震が観測された。
- M9級巨大地震による余震地震動ハザードを評価し，CDFへの影響を定量評価する
- 上記余震地震動ハザード評価は，本震の地震動ハザード評価と独立に評価する



6.7　フラジリティ評価用地震動の作成

6.7.1　一般事項　次の項目ついて，手順に従い実施する。

① 地震動強さの設定　（6.7.2に記述）
② 地震動作成手法の選択　（6.7.3に記述）
③ 目標スペクトルの設定　（6.7.4に記述）
④ 時刻歴波形の作成　（6.7.5に記述）
⑤ 免震型原子力発電施設を対象とする場合の留意事　（6.7.6に記述）

6.7.6　免震型構造物，排気筒等を対象とする場合の留意事項

1）機器免震

・機器免震としては，水平，上下，両用免震が想定される。
・上下免震は、設定周期が約1秒前後と周期設定の範囲が限られている。
・約1秒以下では加速度低減効果が少なく，それ以上では自重支持が維持できない。
・上下動免震においては，入力動の周期特性の免震効果への影響が特に大きい。

2）排気筒

・排気筒は、やや長周期地震動の影響構造を受けやすい物であるが，
・制振ダンパー等を設置し，応答を低減させている場合も多い。

3）スロッシング

・スロッシングは長周期地震動により発生し易い。
・長周期のスロッシングが発生しないよう間仕切りを設ける等が行われる。

6.8　複数プラントにおけるハザード評価の留意事項

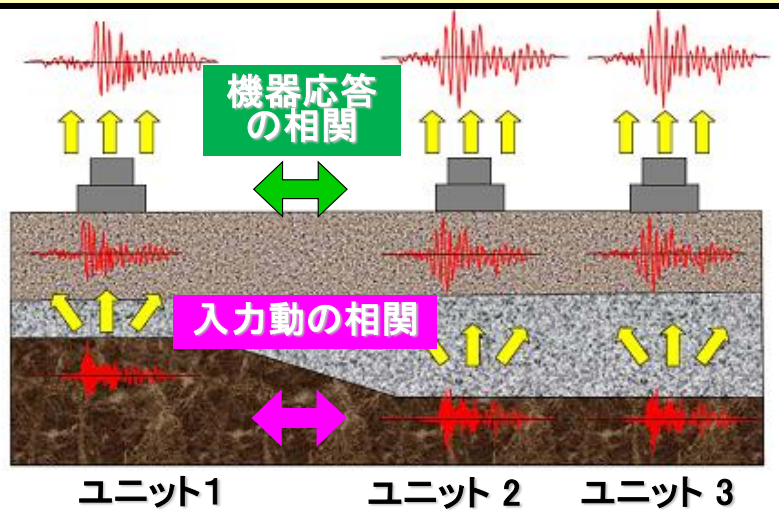
a）全ての対象建物・構築物に対して同一の距離減衰式を適用する場合，観測記録から対象建物・構築物地点の地震動が同程度であることを確認する。

b）観測記録が不十分等の理由から確認できない場合や地点により揺れが異なる場合は，認識論的不確実さとして考慮する。

c）観測記録により対象建物・構築物地点の地震動に明確な違いが認められる場合には，違いが認められる地点ごとに異なる距離減衰式を適用してもよい。

d）フラジリティ評価で複数の対象建物・構築物を評価する場合は，観測記録から地震に対する揺れの相関性を確認することが望ましい。

e）地震動強度の相関は，震源特性，伝播特性，サイト特性のそれぞれにおける不確実性の分離，地点間の距離による相関の定量化など適切に評価する。



6.9　断層変位及び地殻変動のハザード評価

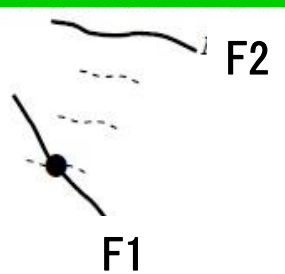
6.9.1　一般事項　次の項目について，手順に従い実施する。
① 断層変位ハザードの評価　（6.9.2に記述）
② 地殻変動ハザードの評価　（6.9.3に記述）

6.9.2 断層変位ハザードの評価

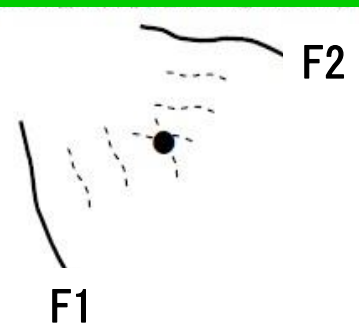
b）評価手順

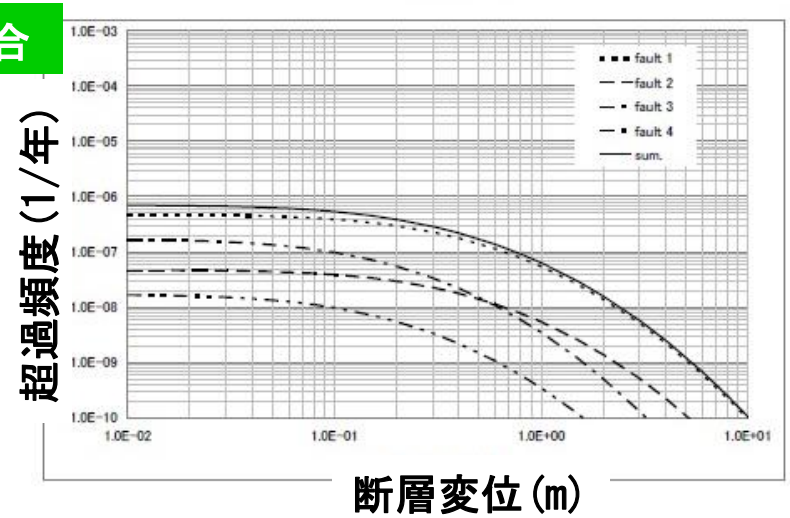
1）断層変位の年超過頻度は，図6.20に示すように地表面での主断層及び副断層の2種類の断層による断層変位の頻度の和として評価する。
2）主断層による断層変位の年超過頻度の評価
3）副断層による断層変位の年超過頻度の評価

主断層が評価点を通る場合



主断層が評価点を通る場合





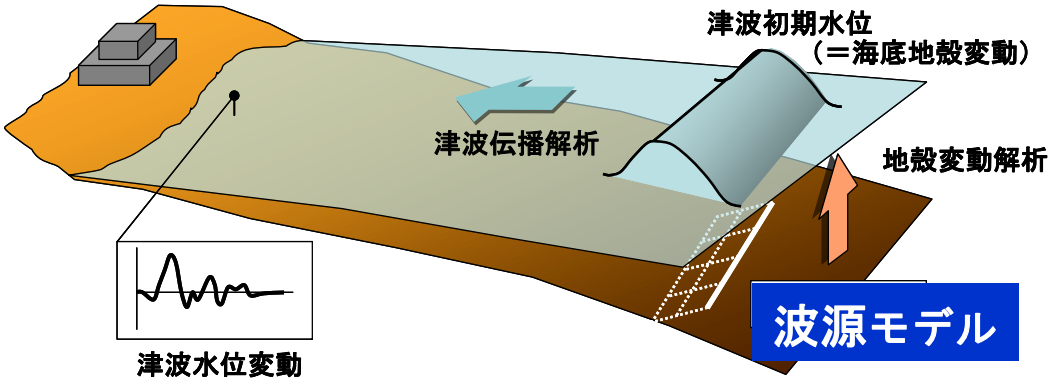
●：評価点　　F1,F2：活断層

——：活断層の活動による主断層
------：　同　副断層

6.9.3 地殻変動のハザード評価

a) 基本方針

1) 地殻変動のハザードの評価方法は、現状で提案されていない。
2) 個々の地震動・津波モデルに対して隆起・沈降，傾斜等を評価することが望ましい。
3) 地殻変動のハザード評価は，基本として，津波ハザード評価の波源モデルを参照として評価する。
   3.1) 海域の震源断層による海底地形面の隆起・沈降に伴う海面の変形が、初期水位分布となるから，断層モデルの設定が望ましい。
   3.2) 巨大地震による地震動評価と津波評価においては，広域な震源の地殻変動や断層変位は整合性を確保することが望ましい。
   3.3) その全貌を捉えるためには，地殻変動量等が直接的に影響する津波の情報を活用することが望ましい。



6.10　複合ハザード評価及び地震随伴事象PRAに用いる地震動ハザード

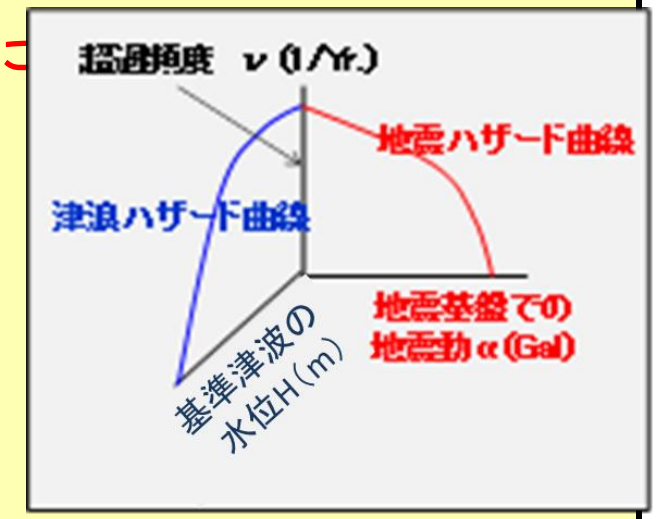
6.10.1　一般事項　複合ハザード評価及び地震随伴事象PRAで用いる地震動ハザードについては，次の項目について，手順に従い実施する。

① 地震起因の津波ハザードとの重畳評価（6.10.2）
② 地震随伴事象PRAでフラジリティ評価に用いる地震動ハザード（6.10.3）

6.10.2　地震起因の津波ハザードとの重畳評価

b)　地震と津波ハザードとの重畳評価の手順

1) 地震動ハザードは，解放基盤での地震動の大きさとその超過頻度の関係（図6.22）。
2) 津波ハザードは，海岸地形の影響を受けない地点での津波水位とその超過頻度との関係（図6.22）。
3) 両ハザードを評価する地震は全て共通とし，地震毎に地震動と津波高さの中央値とばらつきを評価する。
4) 地震動と津波のばらつきに相関がないと仮定すれば，地震毎に特定の地震動の大きさが生じる場合の津波高さの分布が得られる。
5) 全頻度を考慮して地震に対して足し合わせれば，全体として特定の地震動の大きさが生じる場合の津波高さの分布が得られる。



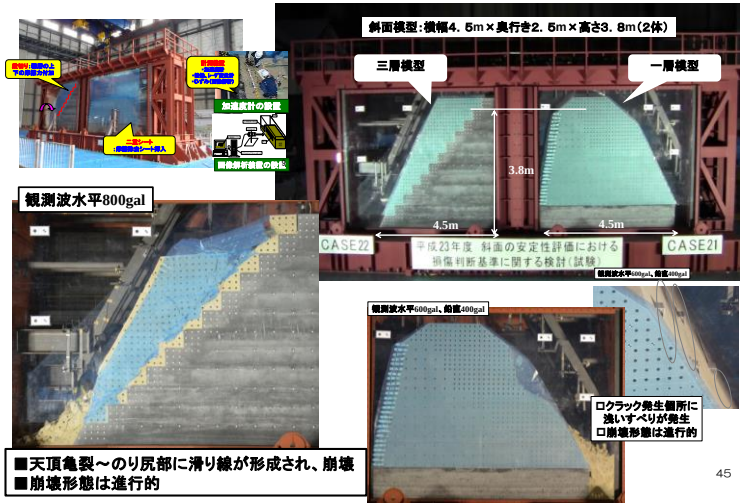
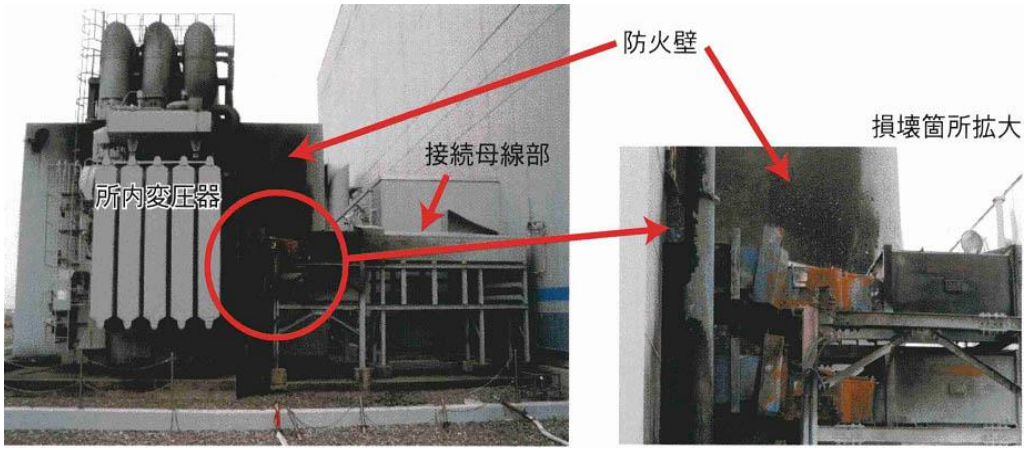
6.10.3　地震随伴事象PRAに用いるフラジリティ評価用地震動ハザード

a）地震起因の周辺斜面崩壊による建屋・構造物・機器のフラジリティ評価用地震動ハザード

・サイト周辺斜面は地震動によって崩壊し，屋外構造物・機器や建屋の損傷に影響を及ぼす。これらのフラジリティ評価では，6.6での地震動ハザードを用いる。

b）地震起因の火災源のフラジリティ評価用地震動ハザード

・建屋内外の構造物・機器（電気機器，変圧器内絶縁油，ケーブル等）は，地震動下において火災源となる。火災源の発火確率は，地震動で損傷する確率と，損傷した場合に発火するかどうかの条件付き確率を求め，両者を掛け合わせて求める。地震動による火災源のフラジリティ評価では，上記a)と同様とする。

c）地震起因の内部溢水による構造物・機器のフラジリティ評価用地震動ハザード

・地震起因の内部溢水源のフラジリティ評価では，地震動ハザードの加速度・速度レベル毎に対応して評価されるので，上記a)と同様とする。