

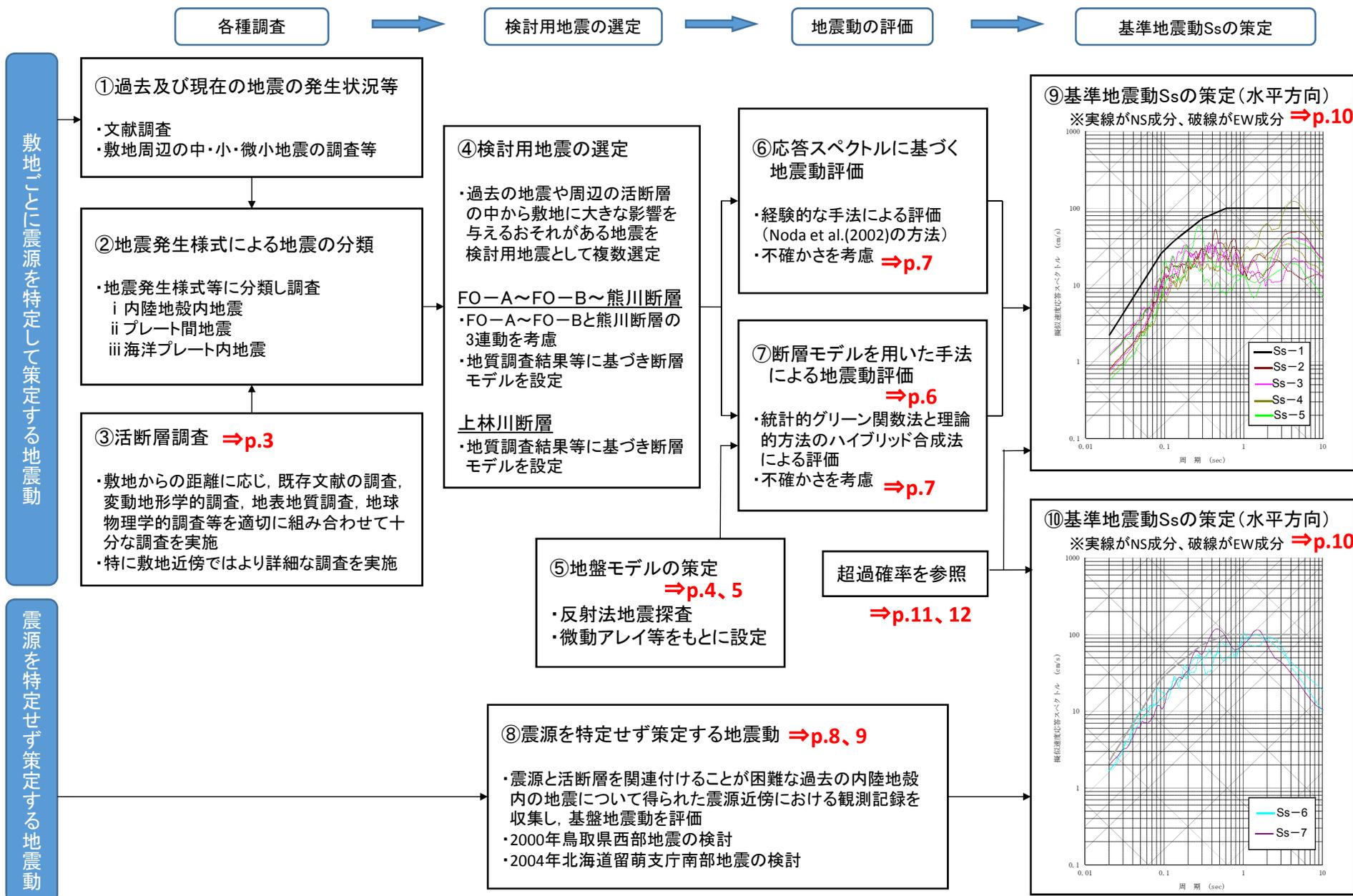
これまでの委員会で出された
主なご意見への対応について

平成27年 7月22日
関西電力株式会社

○高浜発電所の基準地震動について	1	~	14
○大規模損壊に対する対応等について	15	~	18
○放射性物質拡散抑制効果および追加対策について		19	~	22

高浜発電所の基準地震動について

高浜発電所における基準地震動の策定フロー



地盤モデルの策定(新規制基準対応を受けた調査)

■ 基準地震動の設定にあたり、これまでに実施した地盤モデル策定のための調査は以下のとおり。

建設時・耐震バックチェック時	新規制基準対応
<ul style="list-style-type: none"> ○PS検層※1 浅部※2の速度構造の評価 ○試掘坑弾性波探査 解放基盤表面のP波・S波速度の評価 ○ボーリング調査等による地質構造の評価 敷地内に特異な構造がないことの確認 ○PS検層結果を用いた不均質強度の評価 浅部の減衰定数の評価 	<ul style="list-style-type: none"> ○Q値※3測定 浅部の減衰定数の評価 ○単点微動調査 解放基盤表面に著しい高低差等の特異な構造がないことを確認 ○反射法地震探査 敷地の地下構造に特異な構造がないことを確認 ○屈折法地震探査 浅部のP波速度の評価、および浅部に特異な構造がないことを確認 ○微動アレイ探査 2～3秒以下の短周期側の位相速度の評価 ○地震波干渉法 2～3秒以上の長周期側の位相速度・群速度の評価
<p>データを元に地盤モデルを策定</p>	<p>データを拡充し、地盤モデルを更新</p>

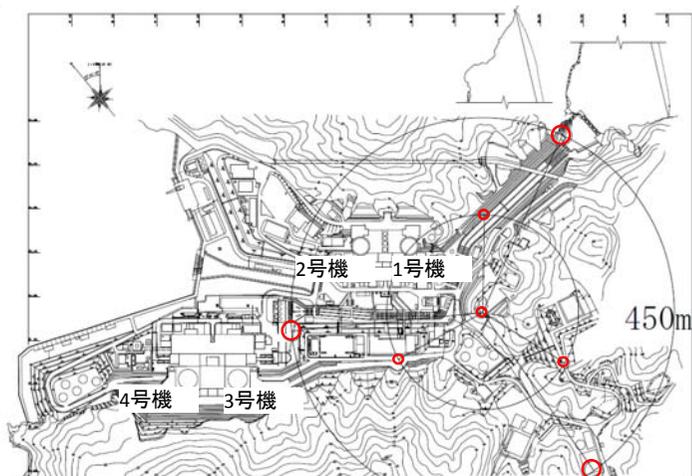
※1 PS検層:ボーリング孔を用いて地盤を伝播するP波(縦波)・S波(横波)の速度を測定する調査

※2 浅部:約200m以浅

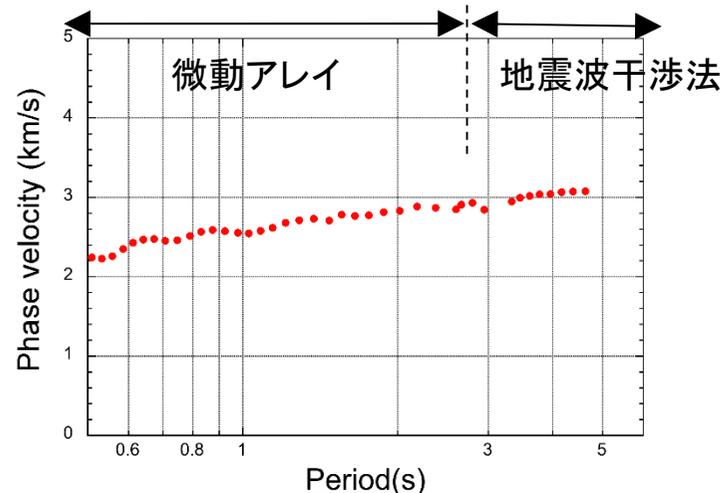
※3 Q値測定:地盤の減衰のしやすさを測る調査

地盤モデルの策定(新規制基準対応を受けた調査)

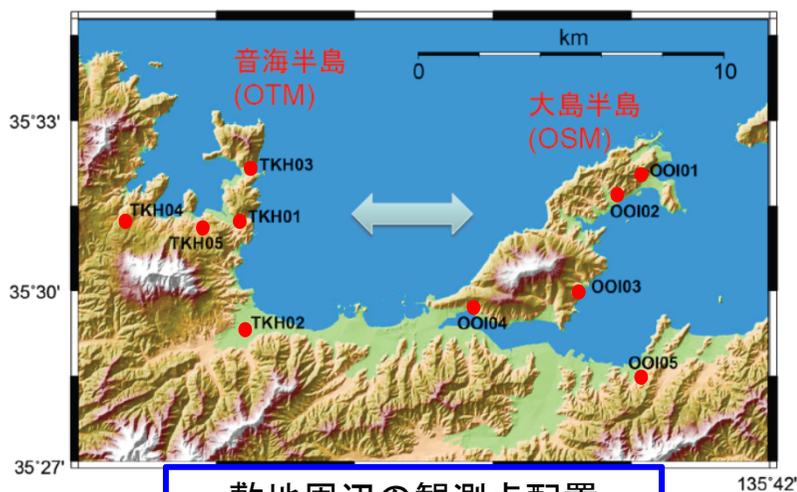
- 敷地内の微動アレイにより2.6秒以下の短周期側の位相速度、敷地周辺の地表面地震観測で得られた微動データを用いた地震波干渉法により2.6秒以上の長周期側の位相速度を求めた。
- 得られた位相速度の同定により速度構造を推定し、地震動評価に用いる地盤モデルを策定した。
- 策定した地盤モデルの浅部は短周期側の位相速度、深部は長周期側の位相速度を説明するものとなっている。



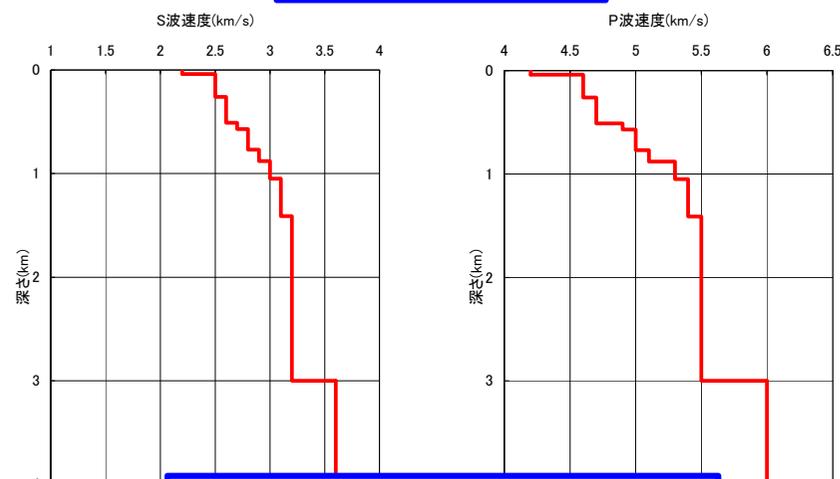
微動アレイの観測点配置



得られた位相速度



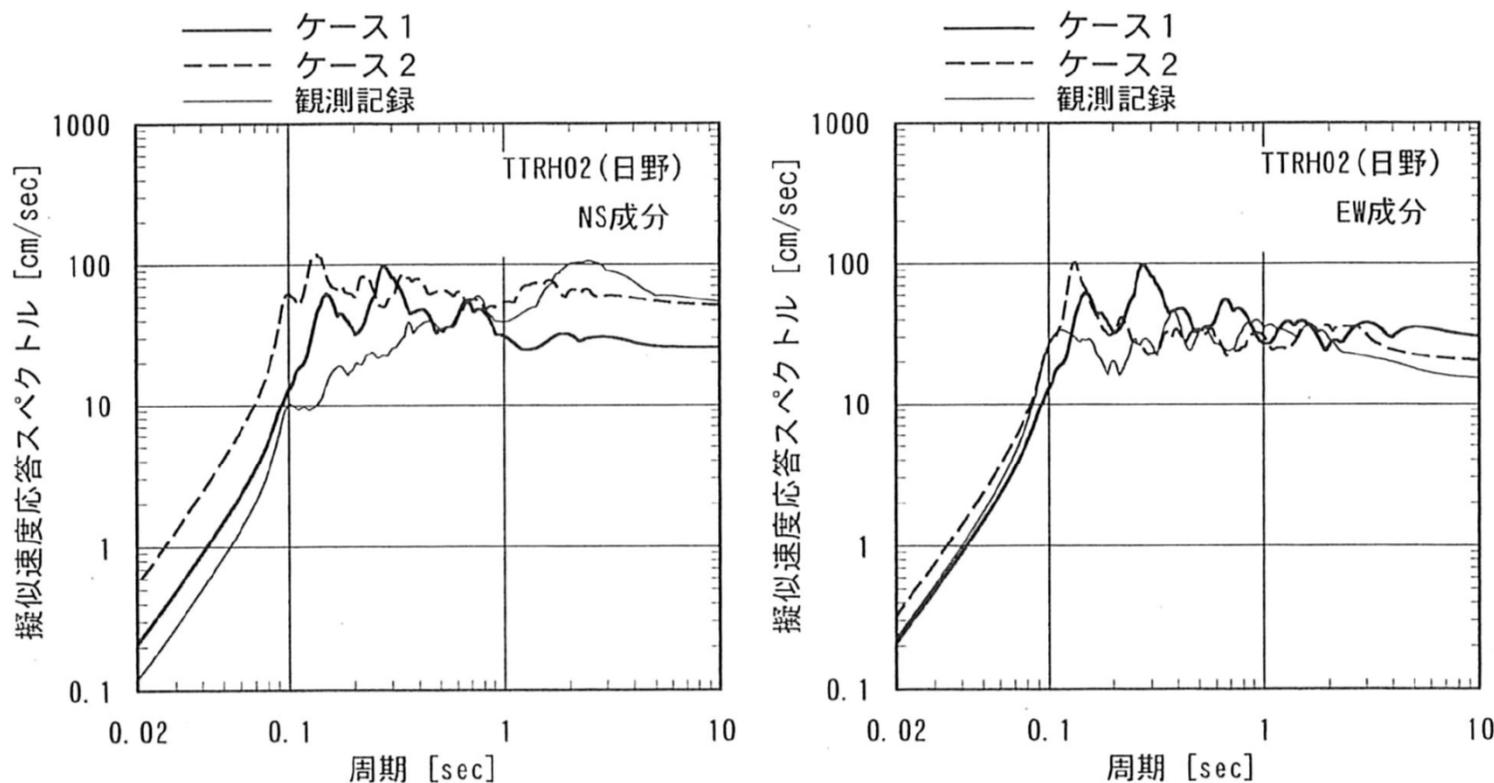
敷地周辺の観測点配置



地震動評価に用いる地盤モデル

強震動予測手法(「レシピ」)の検証について

- 原子力発電所の地震動評価において参考に行っている強震動予測手法(「レシピ」)に関しては、地震調査委員会強震動評価部会※により、平成12年(2000年)鳥取県西部地震、平成15年(2003年)十勝沖地震、2005年福岡県西方沖の地震での観測記録を用いた検証が実施されている。
- 観測記録との比較から、レシピによる強震動評価手法においてスペクトルレベルではある程度観測記録を説明できることが確認できたとしている。



KiK-net日野の地中観測記録とレシピによる地震動評価結果の比較

新規制基準における基準地震動(不確かさの考慮)

■例えば、FO-A～FO-B断層と熊川断層との3連動を考慮した地震動評価においては、設定した基本ケースに対して、以下の断層パラメータの不確かさを考慮している。

断層パラメータ	基本ケースの設定	不確かさを考慮したケースの設定
短周期の地震動レベル	レシピ平均	2007新潟県中越沖地震の知見を踏まえて、レシピ平均×1.5倍 ^{※2}
断層傾斜角 ^{※1}	調査結果に基づき90°	横ずれ断層であるが、縦ずれ成分もあることを考慮し、また、周辺の断層も参照して、75°
すべり角	調査結果に基づき0°	横ずれ断層であるが、縦ずれ成分もあることを考慮し、また、周辺の断層も参照して、30°
破壊伝播速度	レシピに基づき $V_r=0.72\beta$ (Geller, 1976) (β は地震発生層のS波速度)	宮腰・他(2003)の知見を参考にしてアスペリティ領域の平均的な破壊伝播速度に標準偏差1 σ を考慮した $V_r=0.87\beta$ としたケース
アスペリティ配置 ^{※1}	①FO-A～FO-B断層および熊川断層それぞれについて敷地近傍に配置	②FO-A～FO-B断層～熊川断層を1セグメントと考えると、敷地近傍に正方形に一塊にして配置 ③FO-A～FO-B断層～熊川断層を1セグメントと考えると、敷地近傍に長方形に一塊にして配置
破壊開始点	断層面およびアスペリティの下端に複数設定(5～9箇所)	

※1: 応答スペクトルに基づく地震動評価で考慮している不確かさ。

※2: 短周期の地震動レベル1.5倍ケースでは、短周期領域のフーリエスペクトルの比が基本ケースの1.5倍となるように設定する。

震源を特定せず策定する地震動の評価

内陸地殻内で発生する地震を対象に、既存の文献による調査、現地における地表踏査等の詳細な地質学的調査によっても、震源位置と地震規模を前もって特定できない地震の地震動レベルを、震源近傍の硬質地盤上の強震記録を用いて設定した加藤(2004)のスペクトルと審査ガイドに示されている16地震について、比較検討し震源を特定せず策定する地震動を評価する。なお、16地震については、以下のとおり取り扱っている。

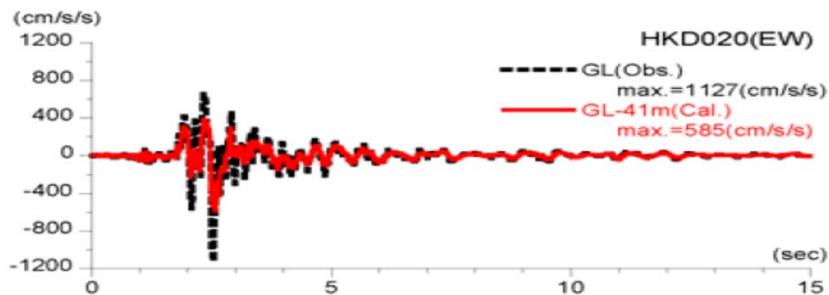
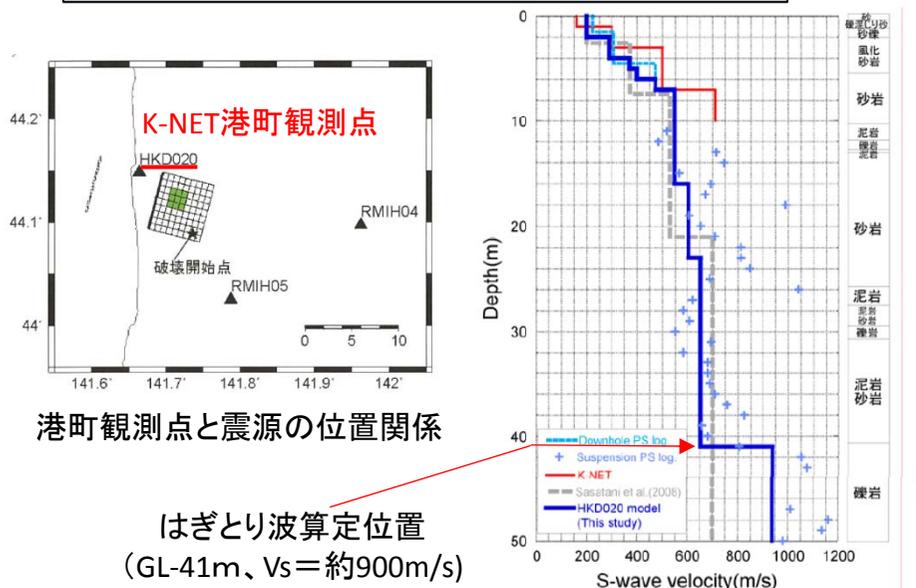
- ①Mw6.5以上の2地震(2008年岩手・宮城内陸地震、2000年鳥取県西部地震)については、地域性について整理・分析した結果、鳥取県西部地震を観測記録収集の対象とした。
- ②Mw6.5未満の14地震については、震源近傍の観測記録を収集し、基盤地震動の検討・評価を実施。

表-1 収集対象となる内陸地殻内の地震の例

No	地震名	日時	規模		
Mw6.5以上	1	2008年岩手・宮城内陸地震	2008/06/14, 08:43	Mw6.9	⇒地質構造の違いから検討対象外
	2	2000年鳥取県西部地震	2000/10/06, 13:30	Mw6.6	⇒Ssに反映
Mw6.5未満	3	2011年長野県北部地震	2011/03/12, 03:59	Mw6.2	Mw6.5未満の地震のうち影響の大きい5記録 (No.3,12,13,15,16の地震の記録)について ・No.13(2004年北海道留萌支庁南部地震) ⇒Ssに反映
	4	1997年3月鹿児島県北西部地震	1997/03/26, 17:31	Mw6.1	
	5	2003年宮城県北部地震	2003/07/26, 07:13	Mw6.1	
	6	1996年宮城県北部(鬼首)地震	1996/08/11, 03:12	Mw6.0	
	7	1997年5月鹿児島県北西部地震	1997/05/13, 14:38	Mw6.0	
	8	1998年岩手県内陸北部地震	1998/09/03, 16:58	Mw5.9	・No.3,12,15,16 ⇒今後の検討
	9	2011年静岡県東部地震	2011/03/15, 22:31	Mw5.9	
	10	1997年山口県北部地震	1997/06/25, 18:50	Mw5.8	
	11	2011年茨城県北部地震	2011/03/19, 18:56	Mw5.8	
	12	2013年栃木県北部地震	2013/02/25, 16:23	Mw5.8	
	13	2004北海道留萌支庁南部地震	2004/12/14, 14:56	Mw5.7	
	14	2005年福岡県西方沖地震の最大余震	2005/04/20, 06:11	Mw5.4	
	15	2012年茨城県北部地震	2012/03/10, 02:25	Mw5.2	
	16	2011年和歌山県北部地震	2011/07/05, 19:18	Mw5.0	

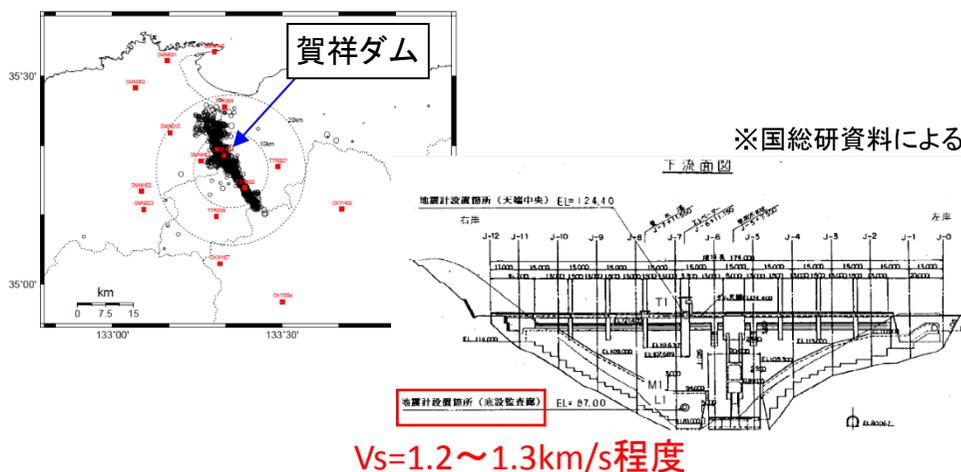
震源を特定せず策定する地震動の評価

2004年北海道留萌支庁南部地震

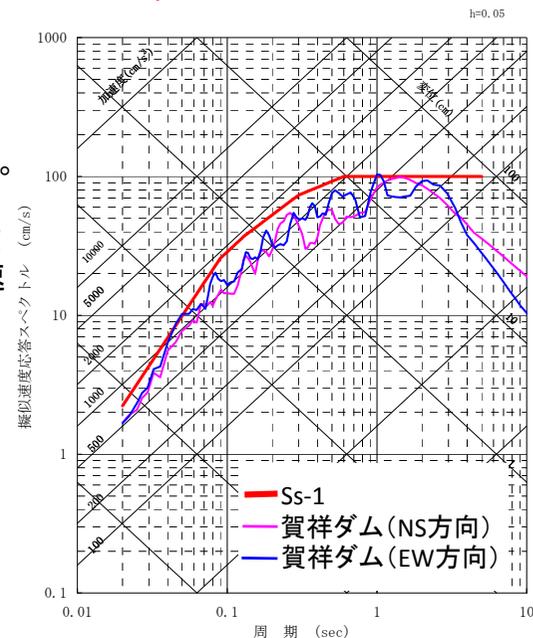


- 佐藤他(2013)による基盤地震動評価は最大585ガル
- GL-6m~41mの減衰定数を3%に変更した場合、最大609ガル
- ⇒調査の不確かさを勘案して、最大**620ガル**としてSsに反映。

2000年鳥取県西部地震

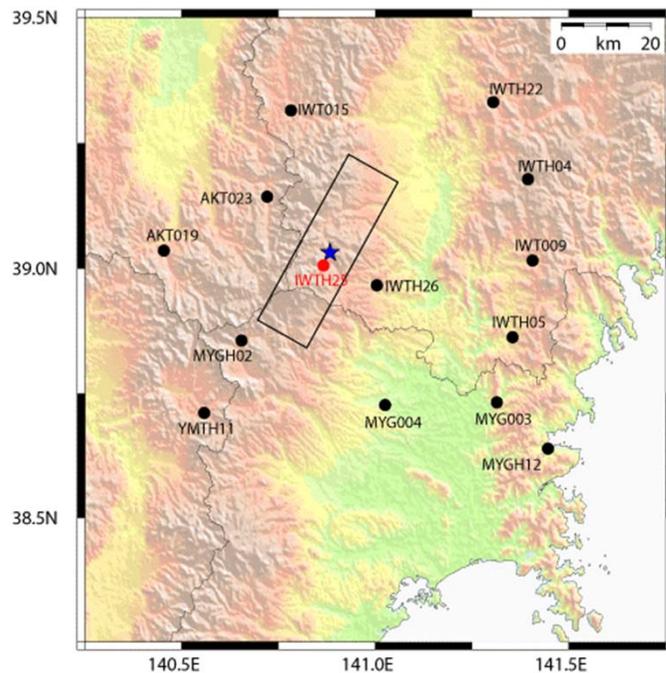


震源近傍の岩盤上 ($V_s=0.7 \text{ km/s}$ 以上)の記録を用いる。賀祥ダムの監査廊における観測記録は、高浜発電所の解放基盤 ($V_s=2.2 \text{ km/s}$)に比べて速度の遅い岩盤上 ($V_s=1.2 \sim 1.3 \text{ km/s}$ 程度)の記録であることから、地盤特性の補正等を行わず、観測記録をそのままSsに反映。(高浜の解放基盤と比べて遅いため、地盤補正は行わない)

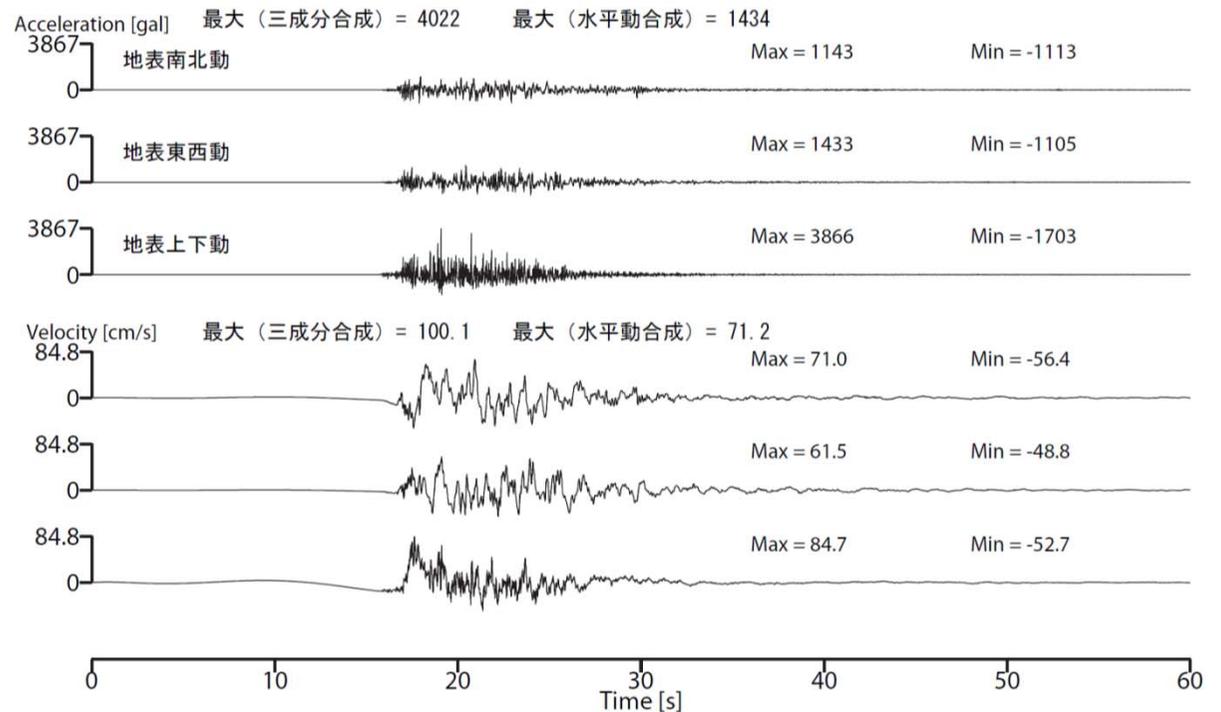


震源を特定せず策定する地震動の評価

- 2008年岩手・宮城内陸地震では、震源近傍の観測点であるKiK-net一関西 (IWTH25)において、最大加速度4022ガル(3成分合成値、地表面)の記録が観測されている。
- 既往の研究では、表層地盤の特異な増幅現象による影響や、観測小屋の基礎等の振動による影響により大加速度が生じたことが指摘されている。

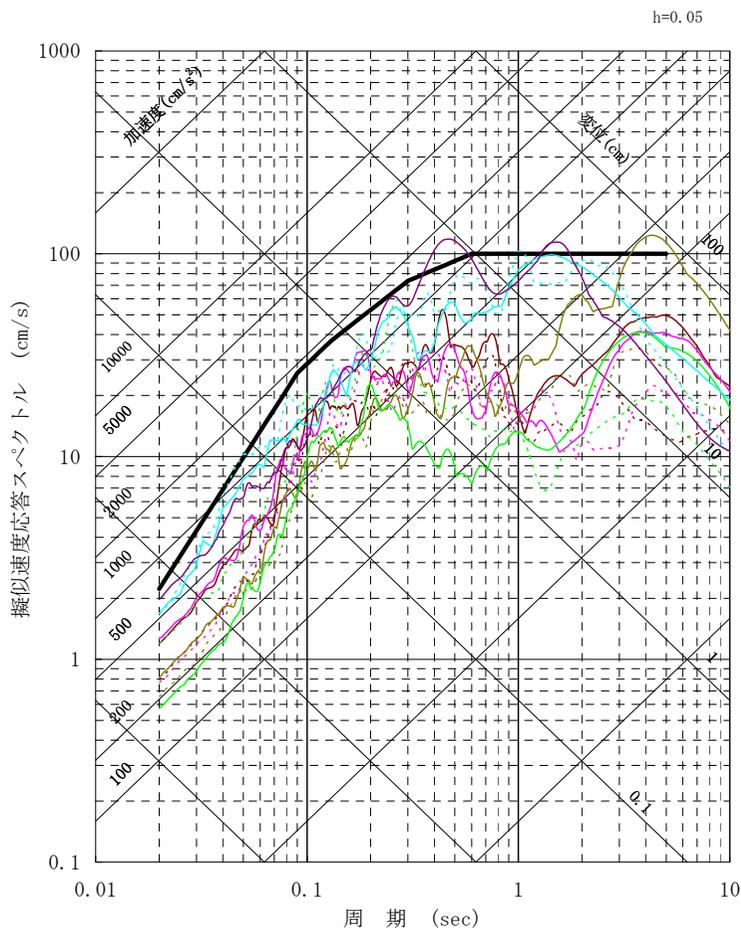


震源断層と観測点分布



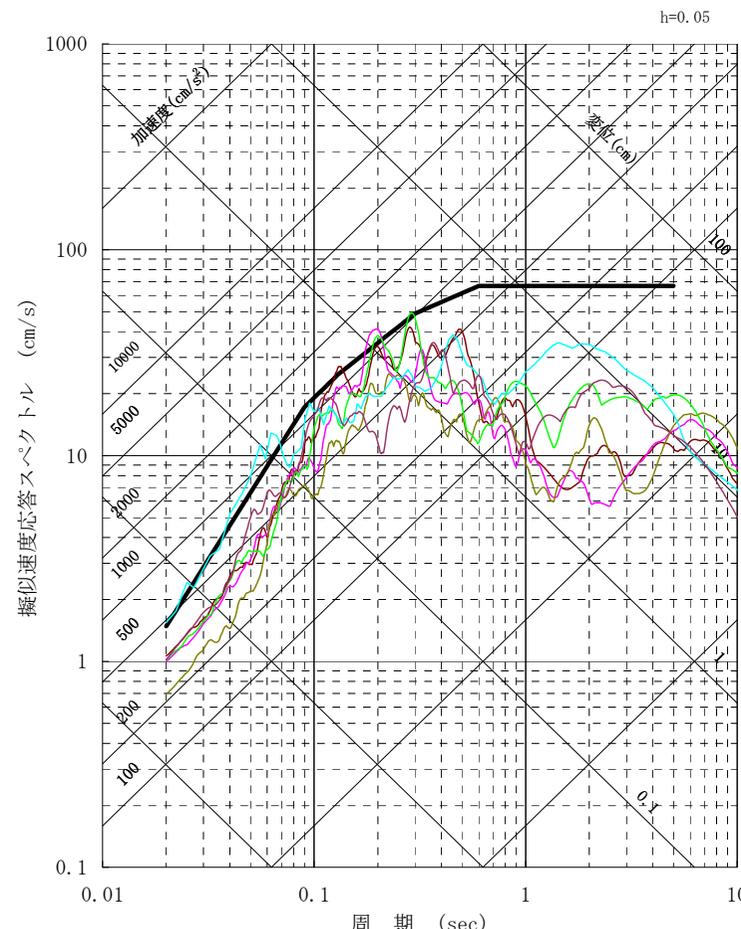
一関西 (IWTH25) の加速度波形 (上段) と速度波形 (下段)

■高浜発電所の基準地震動Ss-1～Ss-7の応答スペクトル



水平方向

(Ss-2～Ss-6では実線がNS成分、点線がEW成分)



鉛直方向

- Ss-1
- Ss-2: FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.5倍ケース、破壊開始点5)
- Ss-3: FO-A～FO-B～熊川断層(短周期1.5倍ケース、破壊開始点6)
- Ss-4: FO-A～FO-B～熊川断層($V_r=0.87\beta$ ケース、破壊開始点9)
- Ss-5: 上林川断層(短周期1.5倍ケース、破壊開始点3)
- Ss-6: 2000年鳥取県西部地震・賀祥ダムの記録
- Ss-7: 2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動

■ 日本原子力学会(2007)の方法を基に一様ハザードスペクトルを算定し、基準地震動の年超過確率を参照する。

■ 震源モデルの設定

(1) 特定震源モデル

敷地への影響度に応じて、3種類に分類。

(A) 詳細なロジックツリーを設定する主要活断層モデル

FO-A~FO-B~熊川断層、上林川断層

(B) 上記(A)以外の主要活断層モデル

上記(A)以外の主要な活断層

(C) その他の活断層モデル

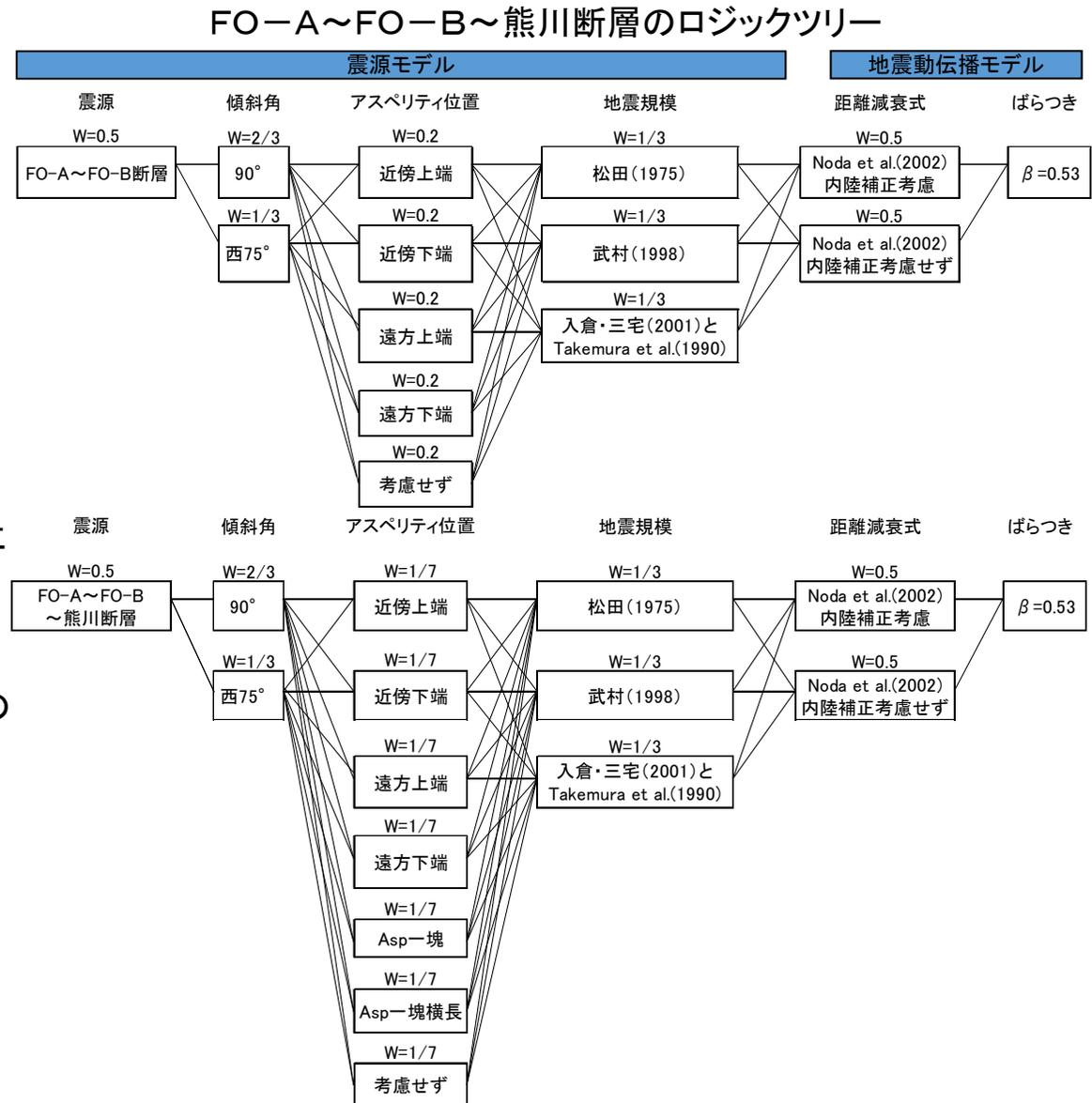
(A)、(B)以外でサイトから100km程度以内にある確実度 I 及び II の活断層

(2) 領域震源モデル

萩原(1991)及び垣見・他(2003)の領域区分のうちサイトから100km以内の領域。

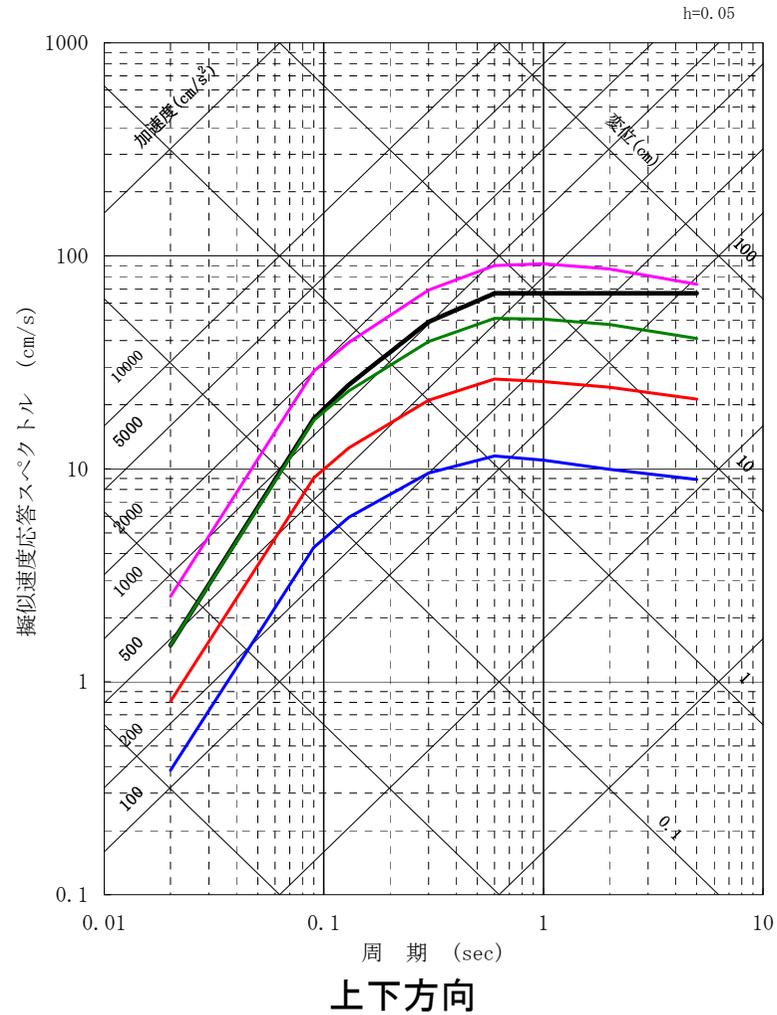
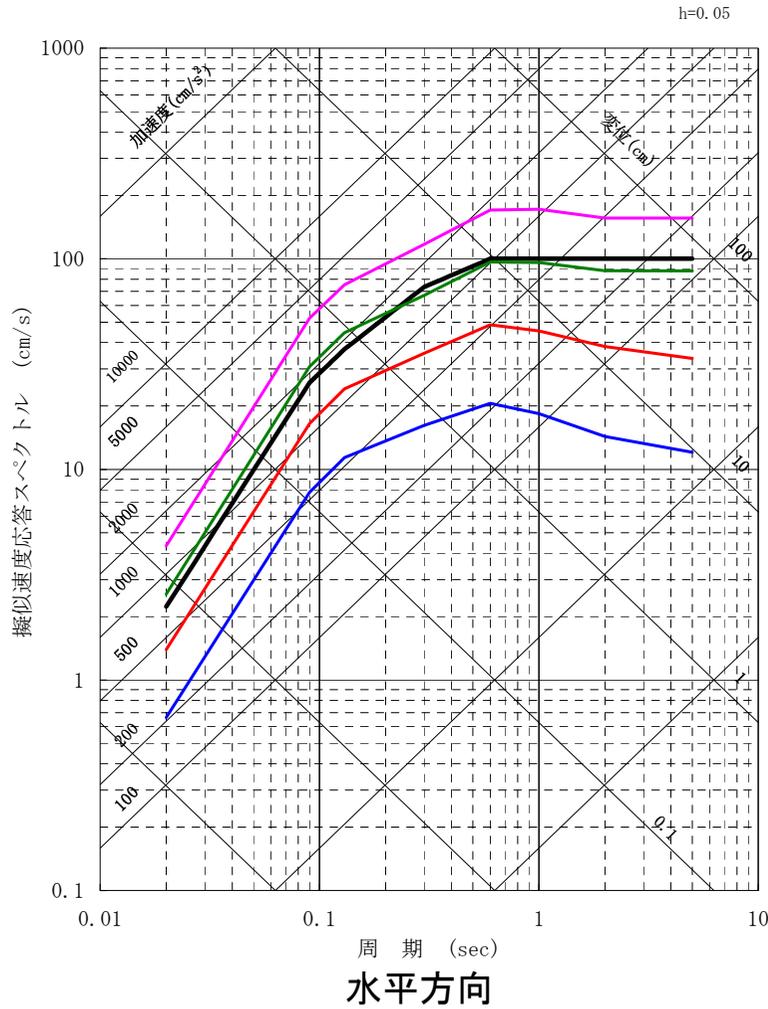
■ 地震動評価モデルの設定

- ・Noda et al.(2002)の方法。
- ・ばらつきは対数標準差で0.53、打切り範囲は対数標準偏差の3倍。
- ・内陸補正のあり・なしをロジックツリーの分岐で考慮。



■ 一様ハザードスペクトルと基準地震動Ss-1の比較

⇒ 基準地震動Ss-1は、短周期側では $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度、長周期側では $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 程度となっている。



- 一様ハザードスペクトル
- 年超過確率 10^{-3}
 - 年超過確率 10^{-4}
 - 年超過確率 10^{-5}
 - 年超過確率 10^{-6}
- Ss-1

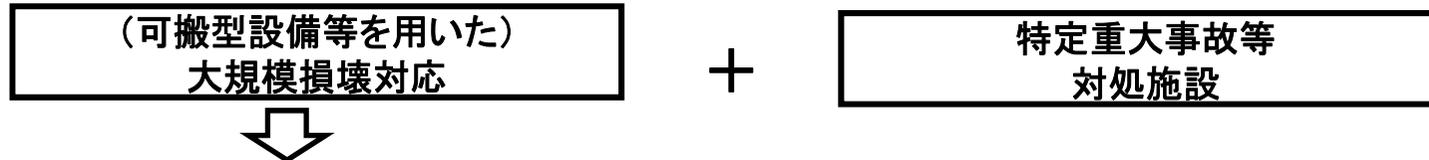
- 基準地震動や基準津波、施設の地震・津波に対する安全性評価に関する情報(学術論文、研究成果等)を引き続き確認し、必要に応じ耐震安全性評価に反映させる。
- 地盤モデルの信頼性向上のため、鉛直アレイ地震観測や大深度地震観測によるデータ収集を行う。

大規模損壊に対する対応等について

大規模損壊対応について(1/3)

○新規制基準における規制要求事項について

新規制基準においては、これまでのテロリズム対応に加えて、新たに以下の要求事項が追加されている。



「大規模損壊」に係る規制要求事項

原子炉等規制法第43条の3の6第1項第3号に基づく「实用発電用原子炉に係る発電用原子炉設置者の重大事故の発生及び拡大防止に必要な措置を実施するために必要な技術的能力に係る審査基準」(以下、「技術的能力に係る審査基準」)」、及び保安規定の審査にあたり確認すべき事項を定める「保安規定審査基準」に記載の「第92条第1項第23号(大規模損壊発生時における発電用原子炉施設の保全のための活動を行う体制の整備)」が、大規模損壊に対する規制要求事項となっている。

○原子炉等規制法
第43条の3の6第1項第3号
(許可の基準:技術的能力)
許可の基準として技術的能力があること

「技術的能力に係る審査基準」
(2. 大規模な自然災害又は故意による大型航空機の衝突その他のテロリズムへの対応における要求事項)

○实用炉規則第86条(体制の整備)
○实用炉規則第92条(保安規定)
第1項第23号(大規模損壊発生時における発電用原子炉施設の保全のための活動を行う体制の整備)
大規模損壊の体制の整備を行うとともに保安規定において定めること

「保安規定審査基準」
(实用炉規則第92条第1項第23号—大規模損壊発生時における発電用原子炉施設の保全のための活動を行う体制の整備—)

原子炉施設保安規定
第18条の6
(大規模損壊発生時の体制の整備)

大規模損壊対応について(2/3)

大規模損壊対応では、大規模な自然災害・故意による大型航空機の衝突・その他のテロリズム、及び重大事故等対策における要求事項について、「可搬型設備等を用いて対応する」ことを確認している。



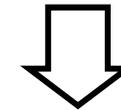
対応に必要な「手順書の整備」、「体制の整備」及び「設備・資機材の整備」を行う。

【手順書の整備】

- ・通常の原子力防災体制での指揮命令系統が機能しない可能性を考慮した手順書の整備
- ・多様性及び柔軟性を有する対応操作の手順書の整備
- ・当該手順書の大規模損壊発生時への適用性の検証

例

航空機衝突等による
大規模損壊発生時の対応フロー



18

【体制の整備】

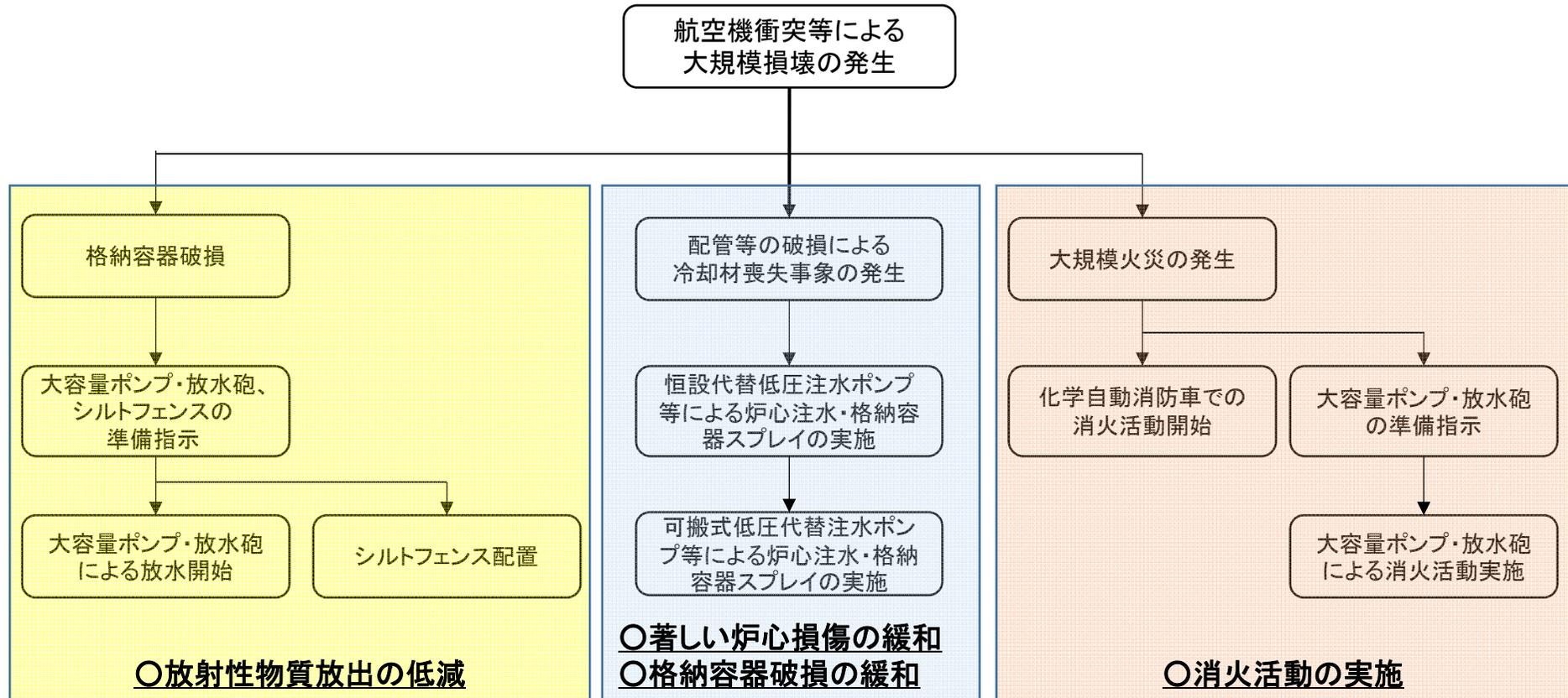
- ・大規模損壊発生時の体制
- ・大規模損壊発生時の要員の確保及び指揮命令系統の確立
- ・大規模損壊発生時の対応拠点について
- ・本店対策本部支援及び外部支援体制の確立
- ・大規模損壊への対応のための要員への教育・訓練の実施、通信手段の確保

【設備・資機材の整備】

- ・可搬型重大事故等対処設備の配備及び維持・管理
- ・アクセスルートの確保のための資機材の配備
- ・複数の接続口の設置及び資機材の配備

大規模損壊対応について(3/3)

航空機衝突等による大規模損壊発生時の対応フロー



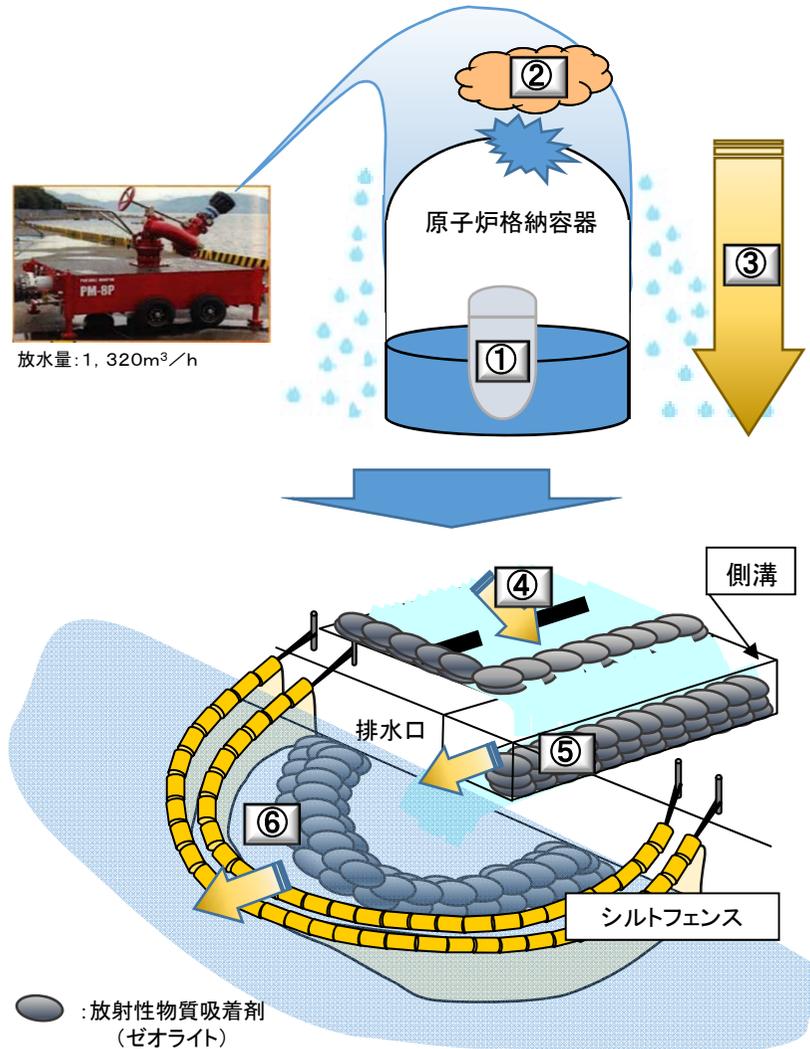
想定される事象に対して、「手順」、「体制」、「設備・資機材」等を整備しており、対策が有効である事を確認。

放射性物質拡散抑制効果 および追加対策について

放射性物質の拡散抑制



放水量: 1, 320m³/h



①

燃料に保有する放射性物質量は核種により異なるが、短半減期（30日以内）核種を除いた場合、Sr-89, Sr-90, Y-91, Nb-95, Ru-103, Ru-106, Ce-141, Ce-144, Pm-147, Cs-134, Cs-137, Pu-241, Cm-242の放射性物質量が比較的多い。

②

燃料溶融により、沸点の低い放射性物質（Cs等）が気化され気体となり、格納容器の損傷により格納容器外へ放出された放射性物質は微粒子となって大気中を漂う。

③

格納容器外へ放出された放射性物質は、放水砲により放水される水との接触により地表へ打ち落とされる。

④

放水砲により打ち落とされた放射性物質は砂等（シルト）に吸着され粒子状および、水に溶け込んだ状態で流れる。

⑤

放水砲により打ち落とされた放射性物質は側溝等に設置したゼオライトによる、ふるい作用およびイオン交換等により捕捉され、港湾内への流出を抑制する。

⑥

ゼオライトに捕捉されずに排水口より流出する放射性物質のうち、砂等に吸着され粒子状となったものはシルトフェンスで捕捉することにより海洋への拡散を抑制する。また、水に溶け込んだ放射性物質はシルトフェンスを通過するが、シルトフェンスの整流効果等により影響範囲を小さく留めることができる。

福島第一原子力発電所の知見を踏まえた汚染水対策の検討(1/2)

◇ 福島第一原子力発電所での汚染水対策の状況

対策No.	拡散抑制対策	対策の内容	評価
①	シルトフェンス設置 (平成23年4月～)	1～4号機取水口付近など6箇所に放射性物質の拡散を抑制するためにシルトフェンスを設置	シルトフェンス内側に比べ外側の放射性物質濃度は高くない値。
②	ゼオライト入り土嚢袋をシルトフェンス内側に投入 (平成23年4月～)	放射性物質の沖合への拡散抑制の応急対策として、ゼオライト入りの土嚢袋(合計1,890kg)を設置したカゴを海中に投入	シルトフェンス内に合計1,890kgのゼオライトを投入。 6 × 10 ⁸ Bq程度のCsを吸着。
③	海水循環型浄化装置による港湾内の浄化 (平成23年6月～)	港湾内(シルトフェンス内側)の海水を水中ポンプで汲み上げ、Cs吸着剤(ゼオライト)を充填した吸着塔へ通水し、処理した海水を再び港湾内(シルトフェンス内側)へ戻すことによる浄化システム	海水中に含まれる油分や懸濁物質を前処理フィルタにより除去することで、40%程度のCs吸着率が期待できる。
④	港湾内海底土の被覆材による被覆 (平成24年2月～)	港湾内の海底土からは比較的高い濃度の放射性物質が検出されており、波浪等の影響による港湾外への拡散が考えられることから、海底土を固化土により被覆することにより、海洋汚染拡大防止を図るもの	公表された評価結果はないが、被覆により海底の放射性物質が巻き上がることを防止できるため一定の効果が期待できる。
⑤	繊維状吸着材浄化装置による港湾内の浄化 (平成25年6月～)	海水中でも選択的にCsを吸着する吸着材(フェロシアン化合物)を、接触面積を増やすためにモール上の繊維に付加した吸着材浄化装置を港湾内(シルトフェンス内側)に設置し浄化するシステム	福島第一原子力発電所において実機検証中。
⑥	汚染水処理対策技術事業 (平成26年度)	海水中のCs、Sr等の放射性核種を効率よく除去することができる新規捕集材と、海水を新規捕集材に供給する汚濁物質除去機構を組み合わせ、閉鎖海域での放射性物質回収システムに必要な技術を開発。	本事業において開発された汚染水処理対策技術(5件)について、今後、実証試験等により適用検討される見込み。

福島第一原子力発電所の知見を踏まえた汚染水対策の検討(2/2)

◇ 福島第一原子力発電所での汚染水対策を踏まえた当社への反映検討

対策 No.	拡散抑制対策	検討結果	追加対策
①	シルトフェンス設置	発電所構内に配備済み。	—
②	ゼオライト入り土嚢袋	発電所構内に配備済み。(高浜発電所:10トン、大飯発電所:14トン)	—
③	海水循環型浄化装置	海から汲み上げた海水をゼオライトに通水することで、放射性物質の低減が期待できる。放水砲の使用段階からの実施が効果的であるため、事前に必要機材を配備する。	詳細検討中
④	海底土の被覆材による被覆	海底に堆積した放射性物質を被覆することにより、巻き上げ等による拡散の防止が期待できるため、事象発生後の海底への放射性物質の堆積状況を確認後、実施について判断する。	継続調査
⑤	繊維状吸着材浄化装置	現在試験段階であるため現時点における効果は不明であり、実運用段階での効果について継続的に調査する。	継続調査
⑥	汚染水処理対策技術	開発された汚染水処理対策技術について、今後、実証試験等により適用検討される見込みであるため、試験結果等を踏まえ検討を実施する。	継続調査



拡散抑制対策として、既に配備しているシルトフェンスおよびゼオライト土嚢袋に加え、追加対策として海水循環型浄化装置の必要機材を事前配備することで、更なる拡散抑制を図る。
また、今後の福島第一原子力発電所での汚染水対策状況等を注視し、更なる追加対策の可能性調査を継続的に実施する。