

茨城県原子力安全対策委員会
東海第二発電所
安全性検討ワーキングチーム(第25回)
ご説明資料

東海第二発電所安全性検討ワーキングチーム 説明資料改訂版

2023年10月4日
日本原子力発電株式会社

第2回、第4回、第5回、第13回、第25回WT資料改訂版
(論点No. 1~11, 13~16, 18, 20~23, 25, 82, 83反映)

東海第二発電所

茨城県原子力安全対策委員会
東海第二発電所
安全性検討ワーキングチーム(第23回)
敦賀発電所2号機審査資料の不適切事
案による東海第二発電所への影響確認
により一部修正(2023年3月29日)

地震対策への対応について(改訂版)

2023年10月4日

日本原子力発電株式会社

本資料のうち、 は営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

地震対策への対応	.....	3
地質・地質構造	.....	9
地震動評価	.....	21
補足説明資料	.....	132
耐震設計評価	.....	195
補足説明資料	.....	227

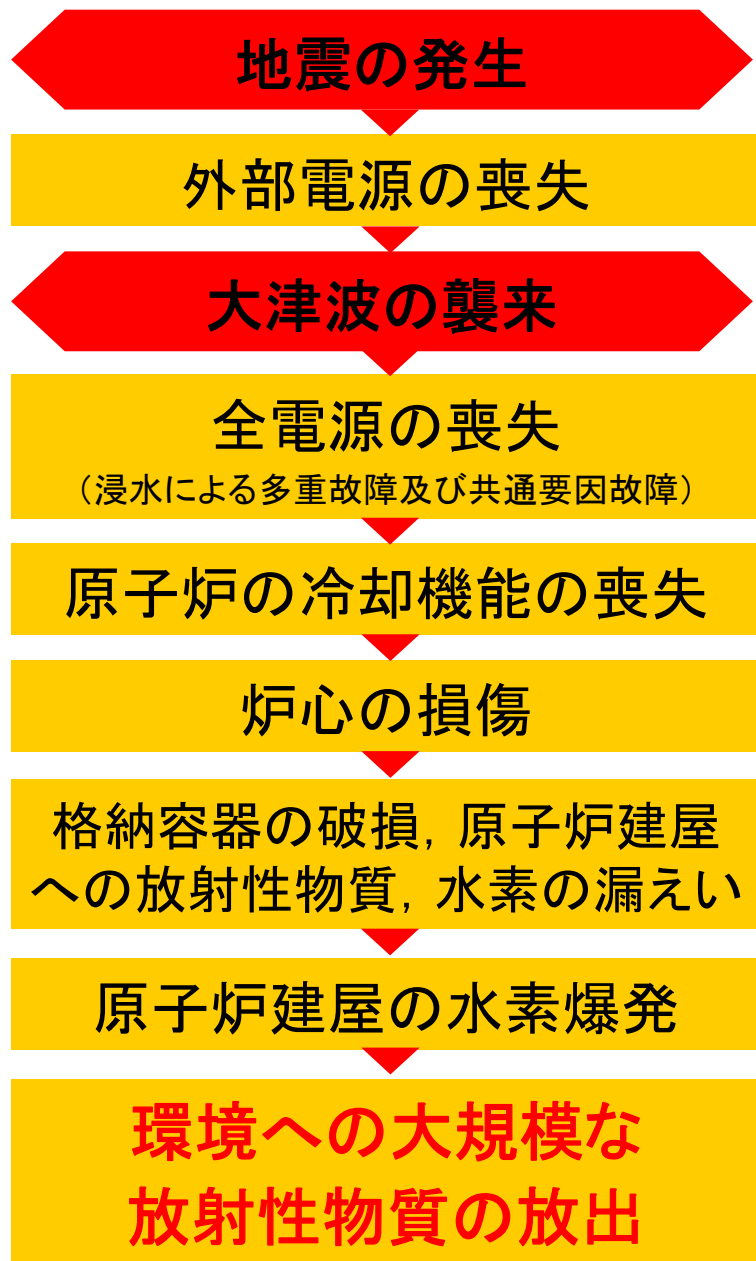
地震対策への対応

1. 福島第一原子力発電所事故の教訓	.....	5
2. 福島第一原子力発電所事故の教訓に対する新たな対応	.....	6

1. 福島第一原子力発電所事故の教訓



【事故の推移】




【事故の教訓】

- 津波に対する備えが不十分
- 原子炉への代替注水機能や注水用水源が多様化されていなかった。
- 消防車等の重機を活用した原子炉冷却の手段が整備されていなかった。
- 原子炉の減圧に時間を要した。
- 注水用の水源容量が十分に確保されておらず、水源が枯渇した。
- 海水ポンプの機能喪失により最終の熱の逃がし場を失った。
- 原子炉建屋における水素対策がとられていなかった。
- それまで使用済燃料プールの代替冷却, 代替注水等の措置は考慮されてこなかった。

【対応方針】

- 防潮堤等の設置により敷地に津波を流入させない対策
- 原子炉の停止機能の強化
- 高圧注水手段の強化
- 低圧注水手段の強化
- 減圧手段の強化
- 注水に必要な水源の強化
- 最終ヒートシンクによる除熱の強化
- 格納容器内及び原子炉建屋内の水素対策
- 使用済燃料プールの冷却手段の強化

 : 基準地震動Ssにより耐震安全性を確認

- 従来の発電所設備に加えて、福島第一原子力発電所事故で得られた教訓を踏まえ新たに設置する施設についても、地震に対する健全性を確保する。

従来の耐震設計方針	新たに加わる耐震設計方針	備考
<p>○耐震Sクラス施設に対する耐震健全性 耐震Sクラスについて基準地震動S_sに対して健全性を有する設計</p>	<p>○耐震Sクラス施設として防潮堤等の追加 耐震Sクラス施設が設置された敷地に津波が遡上することを防止するために設置する防潮堤等について基準地震動S_sに対する健全性を有する設計とする。</p>	新規
	<p>○重大事故等対処施設に対する耐震健全性 重大事故等を想定し、重大事故等に対処するための設備について基準地震動S_sに対する健全性を有する設計とする。</p>	新規

2. 福島第一原子力発電所事故の教訓に対する新たな対応(2/3)



- 設計基準対象施設は、重要度によりSクラス、Bクラス、Cクラスに分類する。津波防護施設等はSクラスとする。また重大事故等対処施設については、施設の有する機能により常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備、常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備に分類する。

	耐震重要度	該当する施設	備考
設計基準対象施設	Sクラス	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系 使用済燃料を貯蔵するための施設 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 原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設 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 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際に、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 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施設であり、上記の「放射性物質の放散を直接防ぐための施設」以外の施設 	継続
		<ul style="list-style-type: none"> 津波防護機能を有する設備及び浸水防護機能を有する設備 敷地における津波監視機能を有する施設 	新規
	Bクラス	<ul style="list-style-type: none"> 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得る施設 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実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則(昭和53年通商産業省令第77号)第2条第2項第6号に規定する「周辺監視区域」外における年間の線量限度に比べ十分に小さいものは除く。) 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、公衆及び従事者に過大な放射線被ばくを与える可能性のある施設 使用済燃料を冷却するための施設 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 	継続
	Cクラス	<ul style="list-style-type: none"> 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 	継続
重大事故等対処施設	常設耐震重要重大事故防止設備	<ul style="list-style-type: none"> 重大事故防止設備のうち常設のものであって、重大事故等時において耐震Sクラスに属する設備の機能を代替するもの 	新規
	常設耐震重要重大事故防止施設以外の常設重大事故防止設備	<ul style="list-style-type: none"> 重大事故防止設備のうち常設のものであって、重大事故等時において耐震Bクラス及び耐震Cクラスに属する設備の機能を代替するもの 	新規
	常設重大事故緩和設備	<ul style="list-style-type: none"> 重大事故緩和設備(Ssでの機能維持設備)のうち常設のもの 	新規

2. 福島第一原子力発電所事故の教訓に対する新たな対応(3/3)



- 各施設の重要度に応じて、以下に定める地震力に対して、健全性が確保できるように設計する。また、既設設備については、基準適合のため必要に応じて耐震補強を行った上で、基準地震動 S_s に対する健全性を確保する。

	重要度 分類	静的地震力 ^(注1)		動的地震力 ^{(注1)(注2)}		備考
		水平	鉛直	水平	鉛直	
建物・構築物 ^(注3)	S	3.0 C_i ^(注4)	1.0 C_v ^(注5)	S_s, S_d	S_s, S_d	継続
	B	1.5 C_i ^(注4)	—	$S_d \times 1/2$ ^(注6)	$S_d \times 1/2$ ^(注6)	
	C	1.0 C_i ^(注4)	—	—	—	
機器・配管系	S	3.6 C_i ^(注4)	1.2 C_v ^(注5)	S_s, S_d	S_s, S_d	
	B	1.8 C_i ^(注4)	—	$S_d \times 1/2$ ^(注6)	$S_d \times 1/2$ ^(注6)	
	C	1.2 C_i ^(注4)	—	—	—	
土木構造物	C	1.0 C_i ^(注4)	—	S_s ^(注7)	S_s ^(注7)	
津波防護施設 浸水防止設備 津波監視設備	S	—	—	S_s	S_s	新規
重大事故等 対処施設	<ul style="list-style-type: none"> ・常設耐震重要重大事故防止設備は、基準地震動S_sによる地震力 ・常設重大事故緩和設備は、基準地震動S_sによる地震力 ・常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備は、代替する設備の耐震クラスに適用される地震力 					新規

(注1) 機器・配管系については設置された床の応答を入力とする。

(注2) S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力

S_d : 弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力

(注3) 建物・構築物の保有水平耐力は、必要保有水平耐力に対して、施設の耐震重要度分類に応じた妥当な安全余裕を有していることを確認する。必要保有水平耐力の算定においては、地震層せん断力係数に乗じる施設の耐震重要度分類に応じた係数はS, B, Cクラスともに1.0とし、その際に用いる標準せん断力係数 C_0 は耐震重要度分類にかかわらず1.0とする。

(注4) $C_i = R_t \cdot A_i \cdot C_0$ (R_t : 振動特性係数0.8 A_i : C_i の分布係数 C_0 : 標準せん断力係数0.2)

(注5) $C_v = R_v \cdot 0.3$ (R_v : 鉛直方向振動特性係数0.8)

(注6) 地震動に対して共振のおそれのある施設について適用する。

(注7) 屋外重要土木構造物(非常用取水設備, Sクラスの機器・配管系を支持する土木構造物)に適用する。

地質・地質構造

1. 2011年3月以降の新規制基準等を踏まえた評価	11
2. 東北地方太平洋沖地震(M9.0)による地殻変動(水平)	13
3. 東北地方太平洋沖地震発生前後M4.0以下地震の震央分布図(20km以浅)	14
4. 敷地周辺及び近傍の評価	15
5. 敷地内の評価	19

評価の考え方

2011年東北地方太平洋沖地震に伴い、地殻変動による顕著なひずみの変化及び地震発生状況の顕著な変化が敷地を含む広い範囲において認められた。

○地殻変動による顕著なひずみの変化

「東北地方太平洋沖地震(M9.0)による地殻変動」(国土交通省国土地理院)

○地震発生状況の顕著な変化

「地震年報」(気象庁)より「2011年東北地方太平洋沖地震発生前後のM4.0以下の地震の震央分布図(20km以浅)」を作成

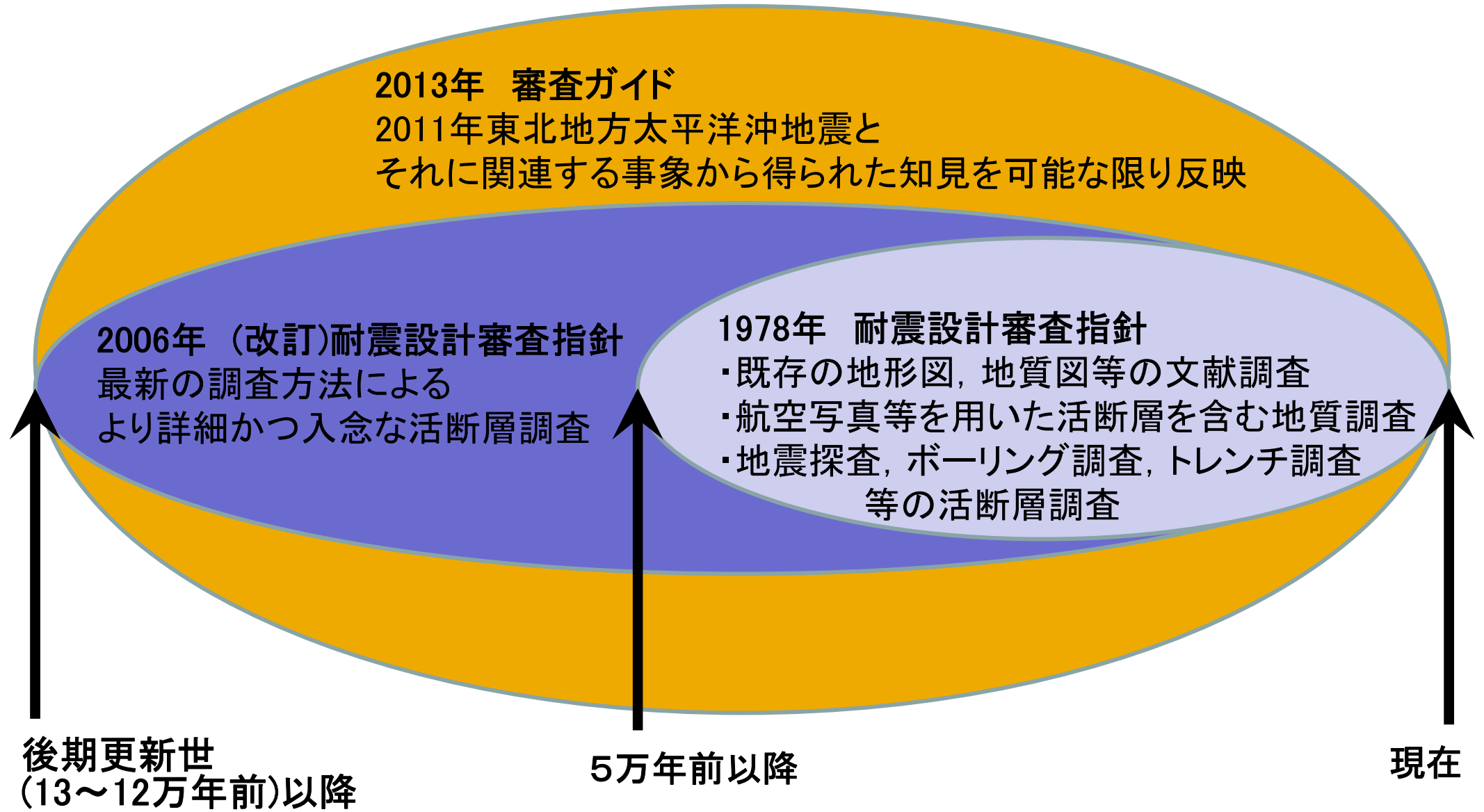
これらの状況を踏まえて、2011年3月以前の調査結果に加え、下記に該当する断層を安全評価上、耐震設計において考慮する断層として取り扱うこととした。

○上載地層法*で明確に後期更新世以降の活動が否定できない断層を評価対象とした。

○当該断層近傍で地震が集中して発生しているものは評価対象とした。

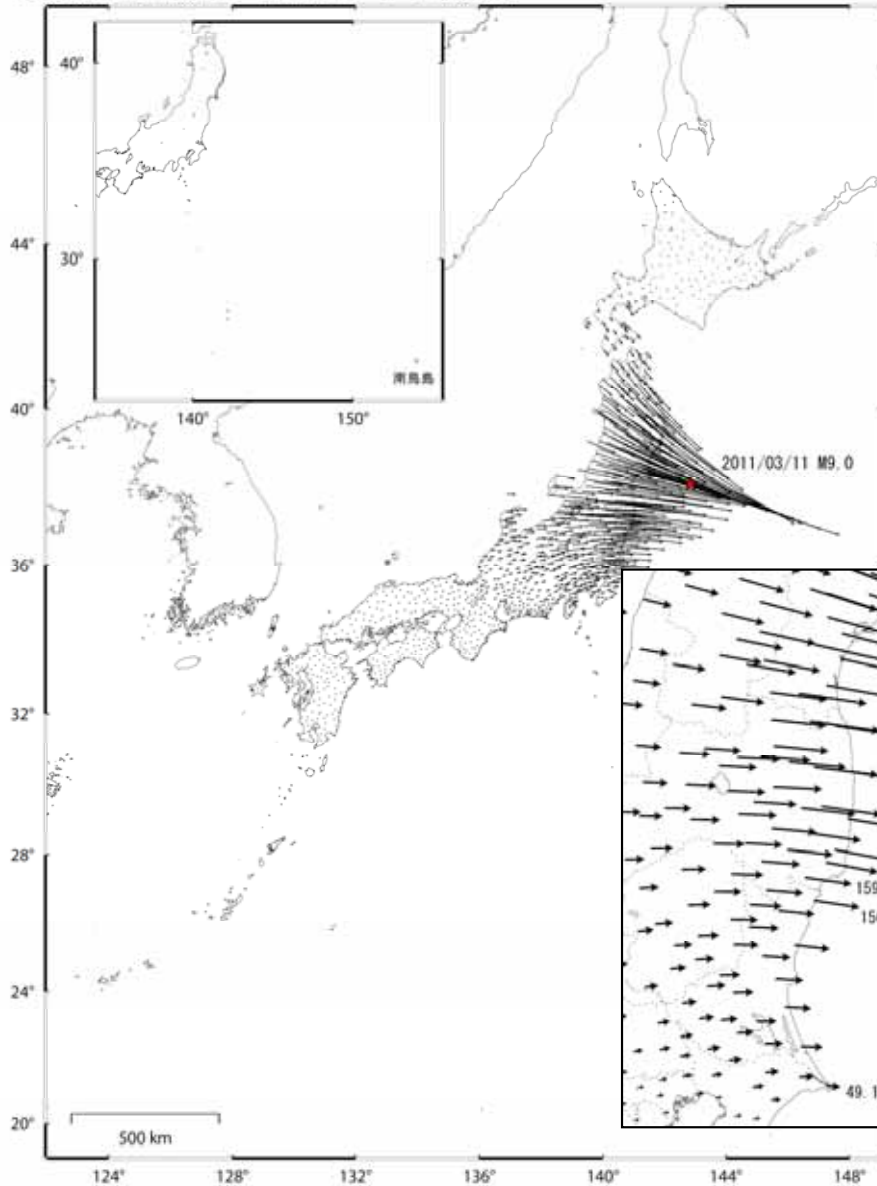
○近いものは同時活動を考慮して、つないで評価するものとした。

* 破砕帯を覆う地層(上載地層)の年代を特定することにより、破砕帯の活動時期を判断する方法を上載地層法と呼んでいる。

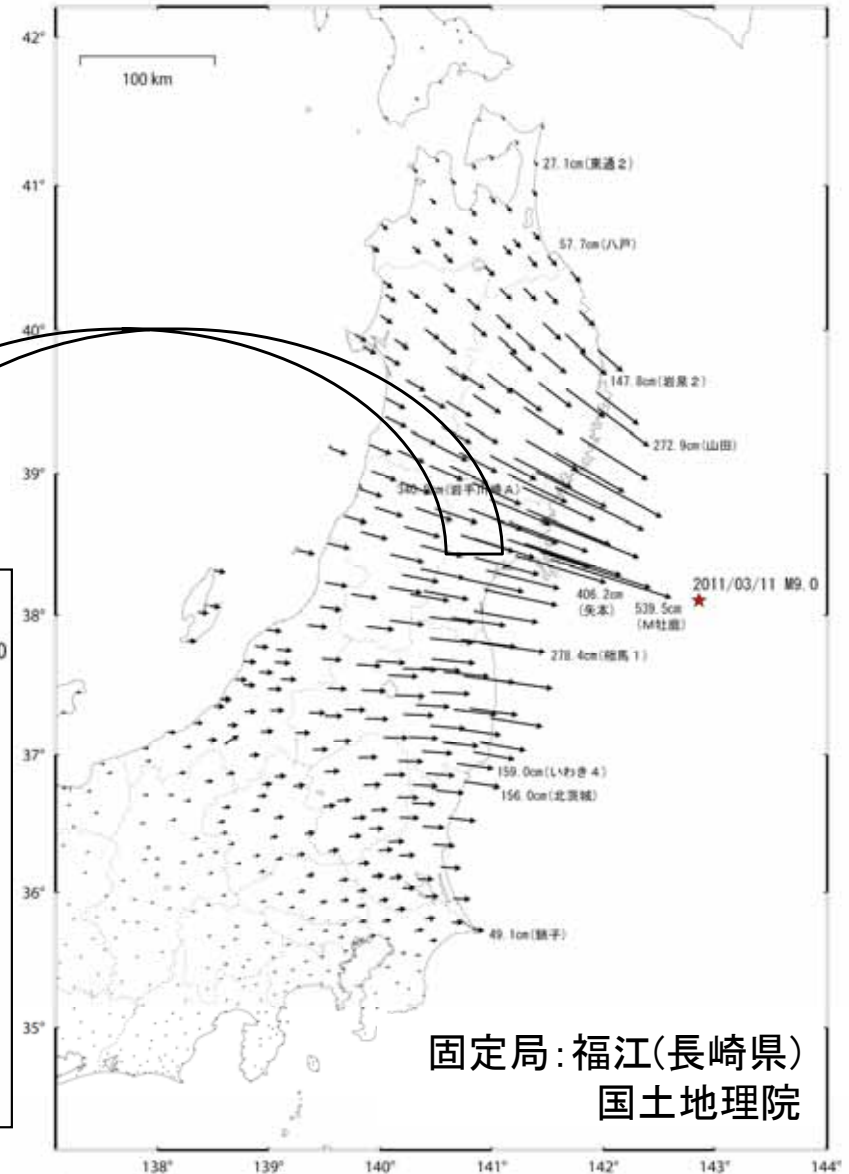


2. 東北地方太平洋沖地震(M9.0)による地殻変動(水平)

基準期間 : 2011/03/10 -- 2011/03/10 [F3 : 最終解]
比較期間 : 2011/03/12 -- 2011/03/12 [F3 : 最終解]

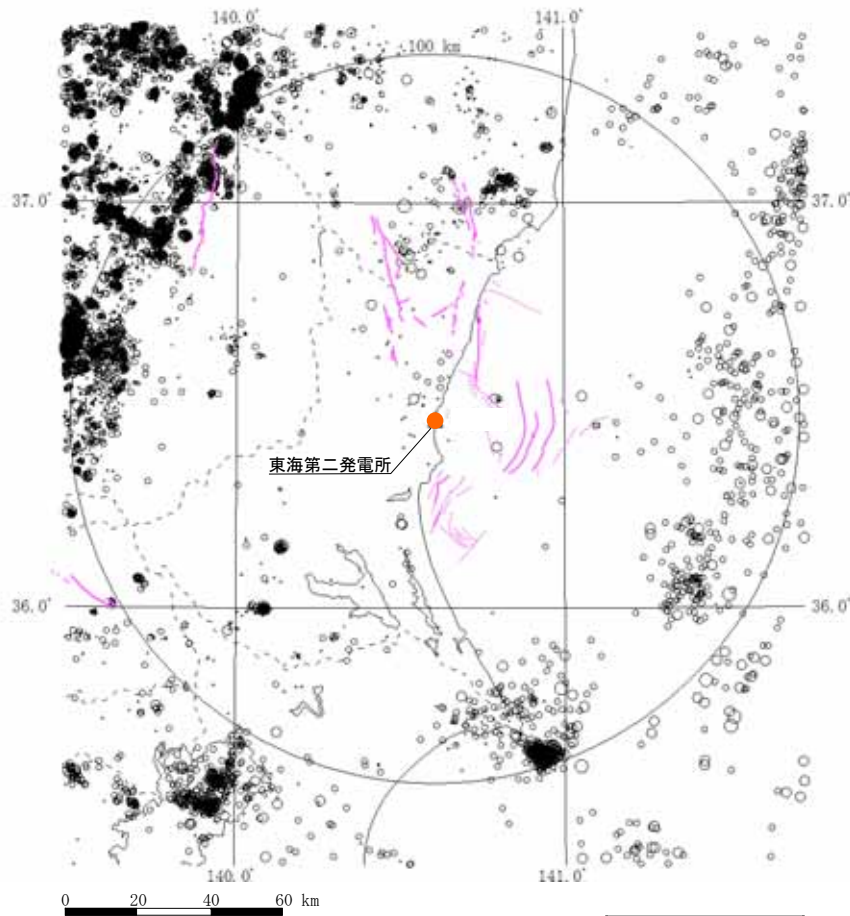


基準期間 : 2011/03/10 -- 2011/03/10 [F3 : 最終解]
比較期間 : 2011/03/12 -- 2011/03/12 [F3 : 最終解]



「関東・中部地方は3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動が見られます。(国土地理院)」とされている。東海第二発電所周辺の北茨城においては、156.0cmの地殻変動量(水平)となっている。

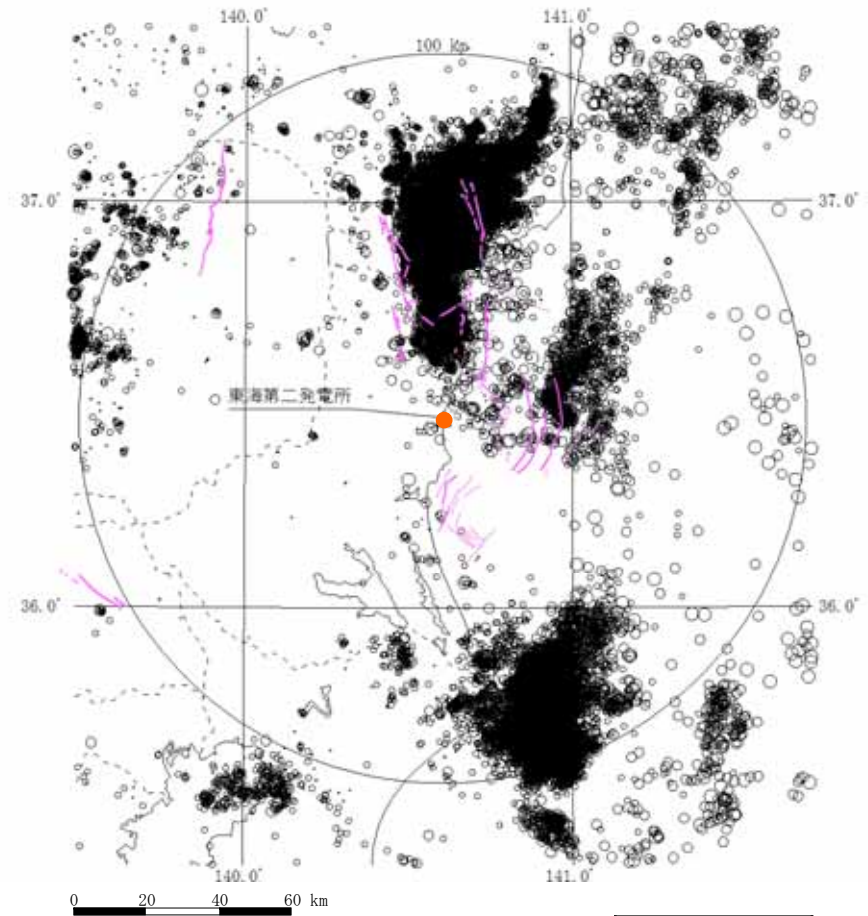
3. 東北地方太平洋沖地震発生前後M4.0以下地震の震央分布図(20km以浅)



— : 将来活動する可能性のある断層等
 : 後期更新世以降の活動がないものと判断される断層等

- 3.0 ≤ M
- 2.0 ≤ M < 3.0
- 1.0 ≤ M < 2.0
- M < 1.0

発生前(気象庁, 1997年10月~2011年2月)



— : 将来活動する可能性のある断層等
 : 後期更新世以降の活動がないものと判断される断層等

- 3.0 ≤ M
- 2.0 ≤ M < 3.0
- 1.0 ≤ M < 2.0
- M < 1.0

発生效后(気象庁, 2011年3月~2012年8月)

2011年東北地方太平洋沖地震発生效后, 発電所北方の福島県と茨城県の県境付近及び発電所東方の海域で, 地震が集中して発生している。

4. 敷地周辺及び近傍の評価(1/4)

調査は、敷地周辺(敷地を中心とする半径約30kmの範囲)及びその周辺について実施した。

1) 震源として考慮する活断層が存在する可能性のある範囲を抽出

- 文献調査
- 変動地形学的調査
(空中写真判読, 航空レーザー測量)
- 地球物理学的調査
(海上音波探査)



2) 断層の有無, 性状, 最新活動時期等の調査

- 地質調査
(地表地質調査, ボーリング調査, トレンチ調査等)
- 地球物理学的調査
(陸域: 反射法地震探査, 海域: 海上音波探査)



3) 活動性の評価

- 各断層の活動性の評価
- 近接する断層の性状, 位置関係等から同時活動の可能性を検討

2011年東北地方太平洋沖地震に伴い、「地殻変動による顕著なひずみの変化」及び「地震発生状況の顕著な変化」が認められた。



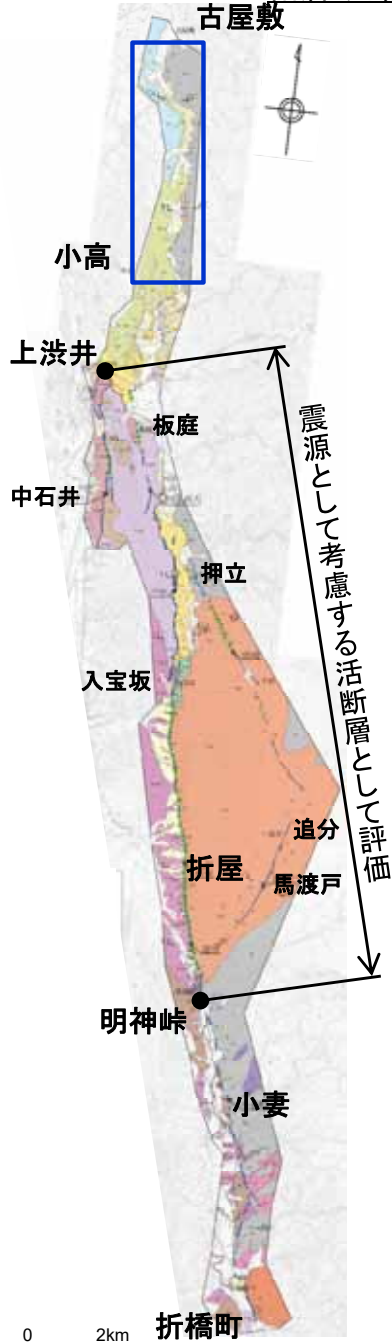
下記の断層について、震源として考慮する活断層として取り扱うこととした。

- 2011年東北地方太平洋沖地震に関連して活動した状況は認められないが、断層破碎部の性状(断層面の平面性, 破碎部の固結度等)に関するデータのみしか得られておらず、上載地層法で明確に後期更新世以降の活動が否定できない断層
- 2011年東北地方太平洋沖地震以降、当該断層近傍で地震が集中して発生しており、活動した可能性が否定できない断層

4. 敷地周辺及び近傍の評価(2/4)

棚倉破碎帯東縁付近の北端及び棚倉破碎帯西縁断層(の一部)の南端について追加の調査・検討を行い、評価が妥当であることを確認している。

棚倉破碎帯東縁付近の推定活断層



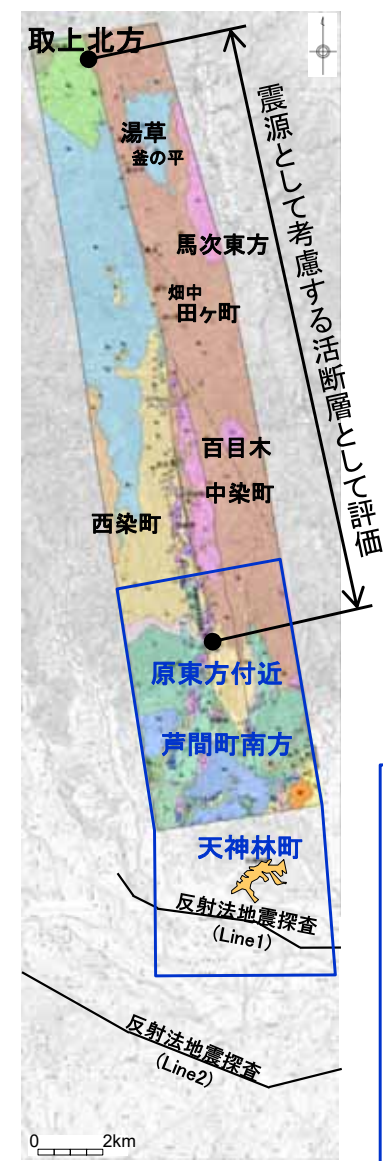
古屋敷～小高の追加調査・検討項目
<p>文献調査</p> <ul style="list-style-type: none"> ・新編 日本の活断層(1991) ・活断層詳細デジタルマップ(2002) ・活断層データベース(2015) ・20万分の1地質図幅「白河」(2007) ・大槻(1975) ・島本ほか(1998) ・50万分の1活構造図「新潟」(1984)
<p>空中写真及び航空レーザーDEM(1mメッシュ及び10mメッシュ)による変動地形学的調査</p> <ul style="list-style-type: none"> ・鳥瞰図 ・段彩陰影図 ・アナグリフ
<p>地表地質調査</p>

古屋敷～小高については、いずれの調査結果からも、活構造を示唆する状況は得られなかった。

- ・活構造の可能性は指摘されておらず、リニアメントも判読されない。
- ・「新編 日本の活断層」のリニアメント位置付近には断層は認められず、先新第三系及び新第三系が不整合関係で接していること、層理面の傾斜が緩く断層の存在を示唆する急傾斜構造が認められないことを確認した。

この地図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の20万分1地勢図、数値地図200000(地図画像)及び数値地図25000(地図画像)を複製したものである。
(承認番号 平28情複, 第124号)
本図面を第三者がさらに複製する場合は、国土地理院の長の承認を得なければならない。

棚倉破碎帯西縁断層(の一部)



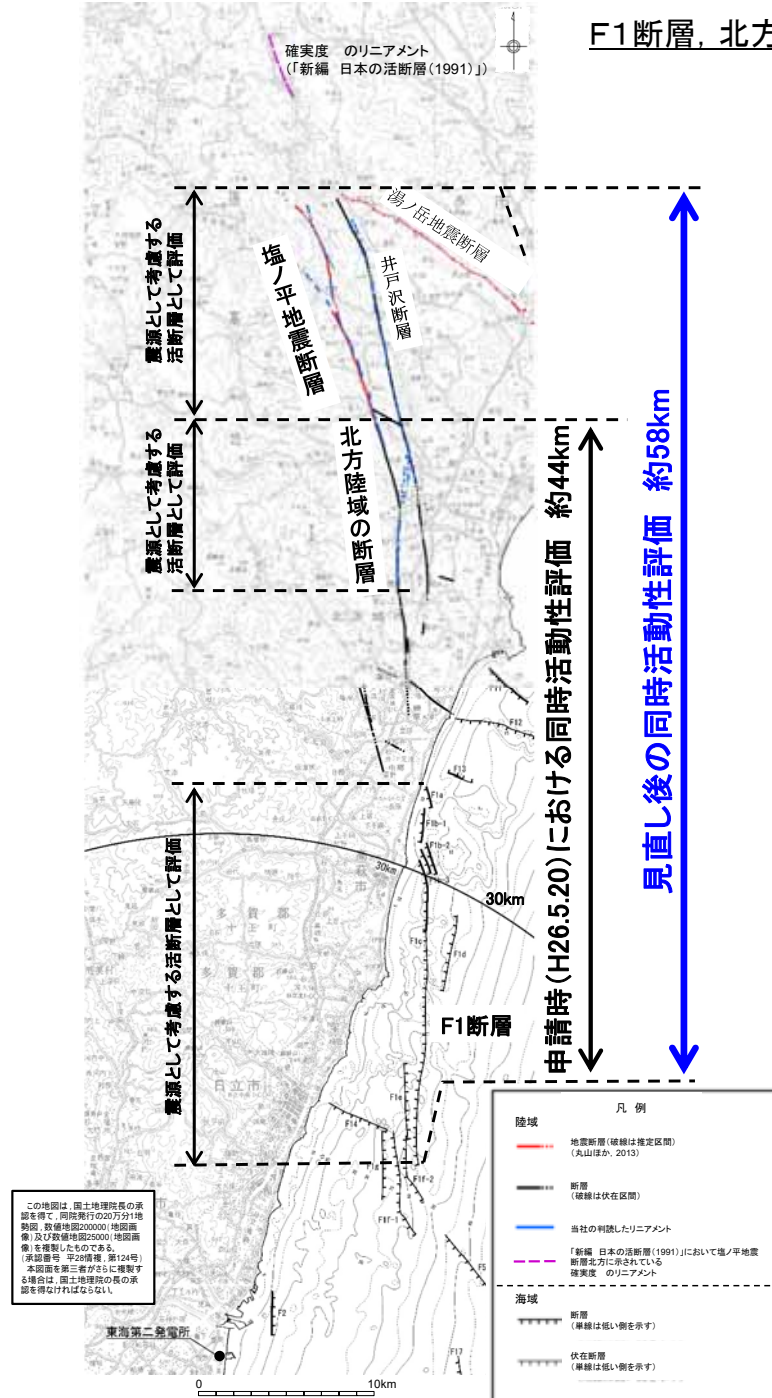
原東方以南の追加調査・検討項目
<p>文献調査</p> <ul style="list-style-type: none"> ・新編 日本の活断層(1991) ・活断層詳細デジタルマップ(2002) ・活断層データベース(2015) ・50万分の1活構造図「新潟」(1984) ・関東地域の活断層の長期評価(2015) ・20万分の1地質図幅「水戸」(2001) ・大槻(1975)
<p>空中写真及び航空レーザーDEM(1mメッシュ及び10mメッシュ)による変動地形学的調査</p> <ul style="list-style-type: none"> ・鳥瞰図 ・段彩陰影図 ・アナグリフ
<p>地表地質調査 反射法地震探査</p>

原東方以南については、いずれの調査結果からも、活構造を示唆する状況は得られなかった。

- ・活構造の可能性は指摘されておらず、リニアメントも判読されない。
- ・原東方付近において、変動地形の可能性のある地形がないこと、L1段丘面に変位・変形がないことを確認した。
- ・芦間町南方において、棚倉破碎帯西縁断層(の一部)と同方向(N-S走向)の断層が確認されたが、断層面は連続性が悪く雁行状をなし、粘土状破碎部は認められず、断層面では剥離しない。
- ・芦間町南方において、NW-SE走向の断層はないことを確認した。
- ・天神林町において、反射法地震探査の結果から、棚倉破碎帯西縁断層(の一部)はM1段丘面の直下に位置し、同段丘面に変位・変形がないことを確認した。

4. 敷地周辺及び近傍の評価(3/4)

F1断層、北方陸域の断層及び塩ノ平地震断層の同時活動性の評価



塩ノ平地震断層とF1断層及び北方陸域の断層の同時活動性に関する追加調査・検討項目	
文献調査(活動履歴及び単位変位量の調査・検討を含む)	
<ul style="list-style-type: none"> ・新編 日本の活断層(1991) ・活断層データベース(2015) ・5万分の1地質図幅 竹貫(1973) ・50万分の1活構造図「新潟」(1984) ・丸山ほか(2013) ・国土地理院HP「平成23年(2011年)4月11日福島県浜通りの地震(M7.0)に伴う地殻変動」 ・Kato et al.(2013) ・芝・野口(2012) ・黒澤ほか(2012) ・堤・遠田(2012) 	<ul style="list-style-type: none"> ・活断層詳細デジタルマップ(2002) ・Toda and Tsutsumi(2013) ・20万分の1地質図幅「白河」(2007) ・地震調査委員会「主要活断層の長期評価」 ・石山ほか(2012) ・引間(2012) ・Tanaka et al.(2014) ・丸山ほか(2012) ・丹生ほか(2013)
空中写真及び航空レーザーDEM(5mメッシュ)による変動地形学的調査	
<ul style="list-style-type: none"> ・鳥瞰図 	<ul style="list-style-type: none"> ・段彩陰影図
地表地質調査	
地震本部の手法による塩ノ平断層の地震発生確率の算定	

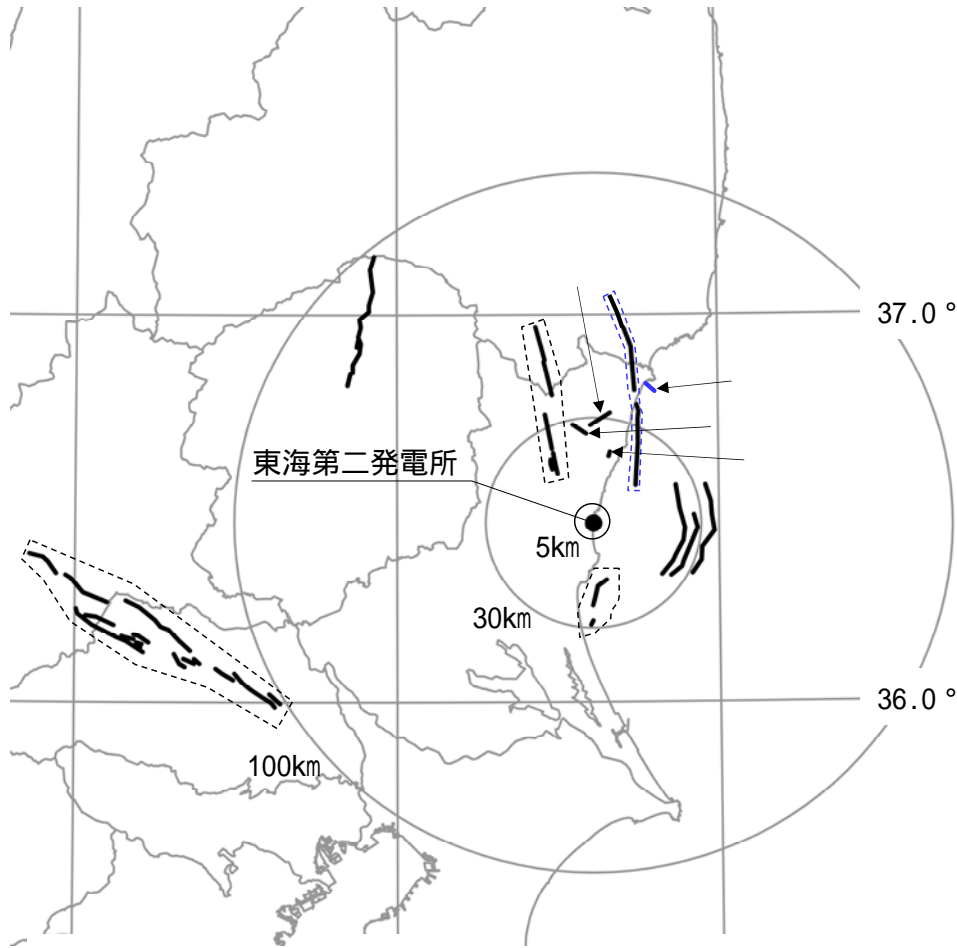
塩ノ平地震断層とF1断層及び北方陸域の断層について、同時活動性を考慮する。

- ・他機関の調査結果も含め、後期更新世以降に「塩ノ平断層」が「F1断層」や「北方陸域の断層」と同時活動した事実はない。
- ・このため、これらの断層の同時活動の評価にあたっては、「塩ノ平断層」の「活動履歴」や「単位変位量」の情報から、地震本部の評価手法も参考に検討した。その結果、「塩ノ平断層自体の今後50年間における地震発生確率はほぼ0%*」であり、また「塩ノ平断層とF1断層及び北方陸域の断層が今後50年間で同時活動する場合の地震発生確率は更に小さい」と評価される。
*約10⁻⁸⁴⁸パーセント
- ・しかしながら、断層の走向・傾斜の類似性等も勘案し、これらの断層の同時活動を考慮する。
- ・震源として考慮する活断層の北端については、地震断層、リニアメント及び文献が示す活構造のうち、断層長さが最長となる地震断層(丸山ほか, 2013及び栗田ほか, 2011)の北端とする。なお、2011年4月11日の地震の地殻変動、余震分布及び震源過程解析によるすべり分布は、地震断層の範囲と対応している。

(参考)「新編 日本の活断層(1991)」が塩ノ平地震断層の北方に示す確実度Ⅲのリニアメントについて

- ・文献調査の結果、「新編 日本の活断層(1991)」が塩ノ平地震断層の北方に示す確実度Ⅲのリニアメントについて活構造であることを指摘する見解はない。
- ・変動地形学的調査の結果、「新編 日本の活断層(1991)」が示すリニアメント付近にリニアメントは判読されない。
- ・地表地質調査の結果、「新編 日本の活断層(1991)」が示すリニアメントに対応して認められた断層の最新活動面は右横ずれを伴う逆断層センスであるのに対し、塩ノ平地震断層の過去数万年間の活動はいずれも正断層センスである。
- ・以上のことから、「新編 日本の活断層(1991)」が示すリニアメントについて活構造を示唆する状況はなく、塩ノ平地震断層との同時活動を考慮する必要はないと判断する。

4. 敷地周辺及び近傍の評価(4/4)



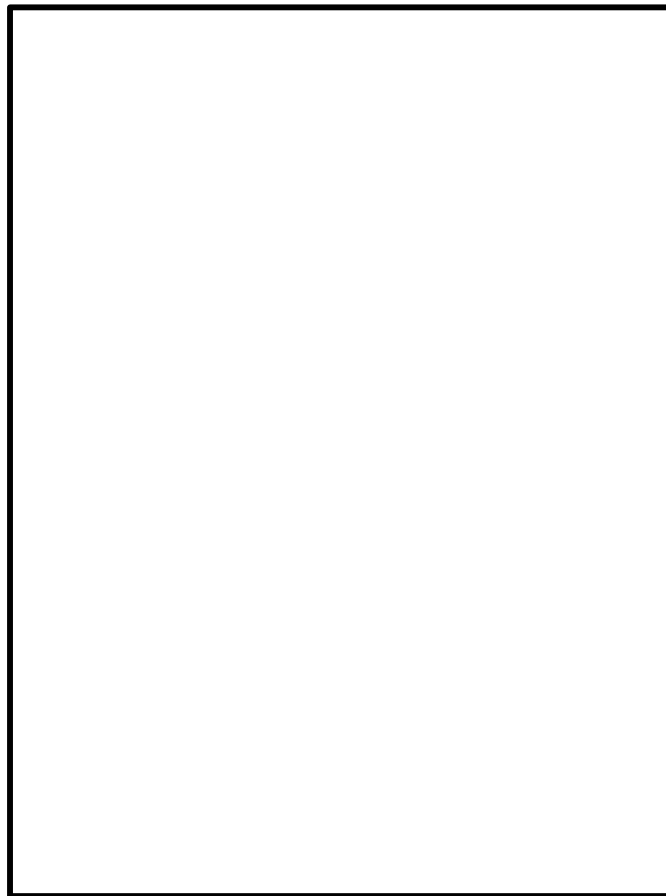
断層名	長さ(km)
① 棚倉破砕帯東縁付近の推定活断層, 棚倉破砕帯西縁断層(の一部)*の連動 <small>* 中染付近・西染付近のリニアメントを含む。</small>	42
② 関口-米平リニアメント	6
③ <small>たつわれ</small> 豎破山リニアメント	4
④ 宮田町リニアメント	1
⑤ F1断層, 北方陸域の断層の連動 ↓	44 ↓
⑤ F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動	58
⑥ F3断層, F4断層の連動	16
⑦ F8断層	26
⑧ F16断層	26
⑨ A-1背斜	20
⑩ 関谷断層	40
⑪ 関東平野北西縁断層帯	82
⑫ F11断層	5

※ 変動地形の可能性のある地形を「リニアメント」という。
断層の同時活動を考慮した場合は「連動」と記す。

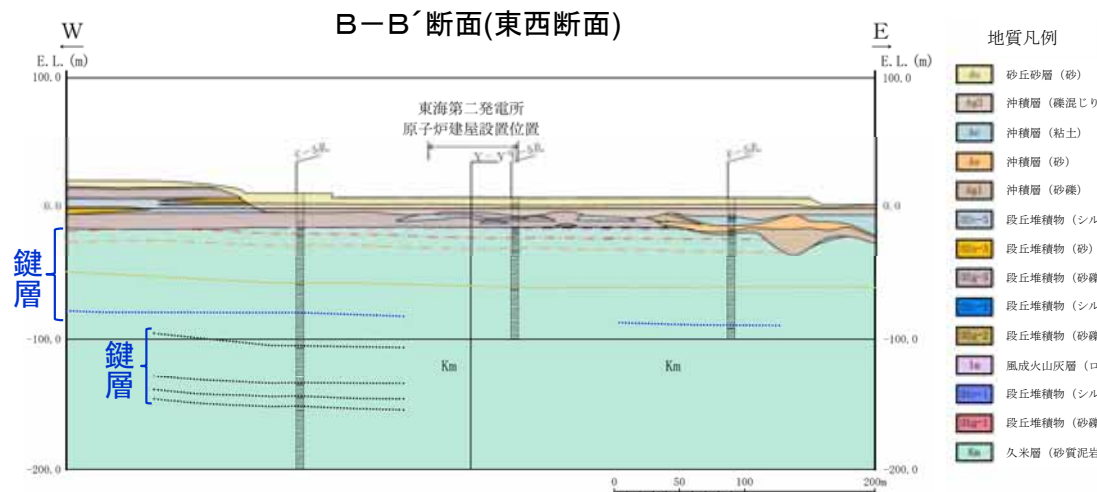
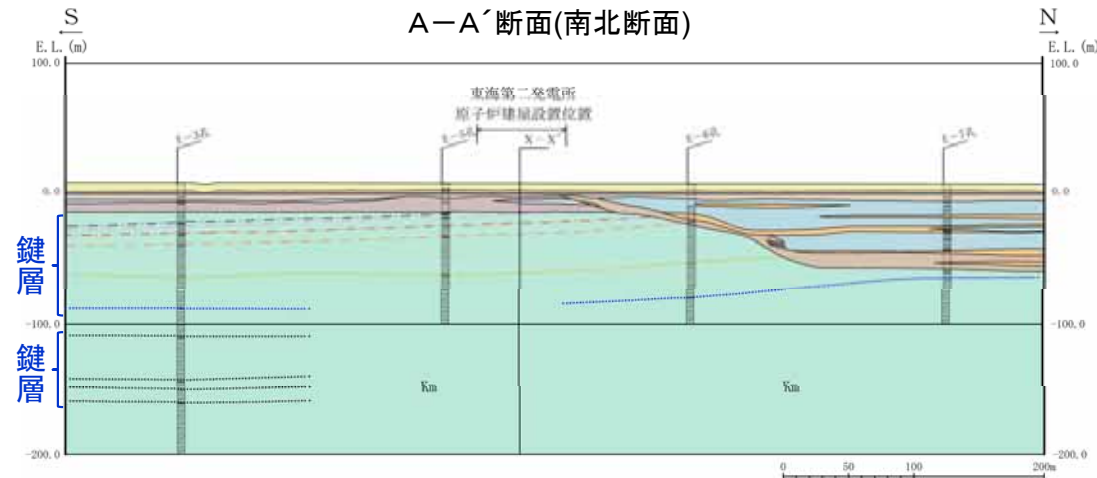
- 敷地周辺の地質・地質構造に関する調査の結果, 上記の断層を震源として考慮する活断層として評価する。
- 敷地近傍(敷地を中心とする半径約5kmの範囲)において, 震源として考慮する活断層は認められない。

5. 敷地内の評価

- 原子炉建屋等の基礎地盤である久米層は新第三系鮮新統であり、敷地全域に分布している。
 - ボーリングコア観察の結果、久米層に断層は認められない。久米層中には複数の鍵層がほぼ水平に連続して分布している。
- 敷地内には「将来活動する可能性のある断層等」は存在しない。



地質断面位置図



地質凡例	柱状図凡例
砂丘砂層 (砂)	砂
沖積層 (礫混じり砂)	砂礫
沖積層 (粘土)	シルト
沖積層 (砂)	粘土
沖積層 (砂礫)	ローム
段丘堆積物 (シルト)	砂質泥岩
段丘堆積物 (砂)	軽石質凝灰岩
段丘堆積物 (砂礫)	細粒凝灰岩
段丘堆積物 (シルト)	鍵層 (軽石質凝灰岩)
段丘堆積物 (砂礫)	鍵層 (細粒凝灰岩)
風成火山灰層 (ローム)	地層境界
段丘堆積物 (シルト)	ボーリング孔名
段丘堆積物 (砂礫)	<small>注: 盛土・埋戻土は層厚が小さいため表現していない。</small>
久米層 (砂質泥岩)	

余白

地震動評価

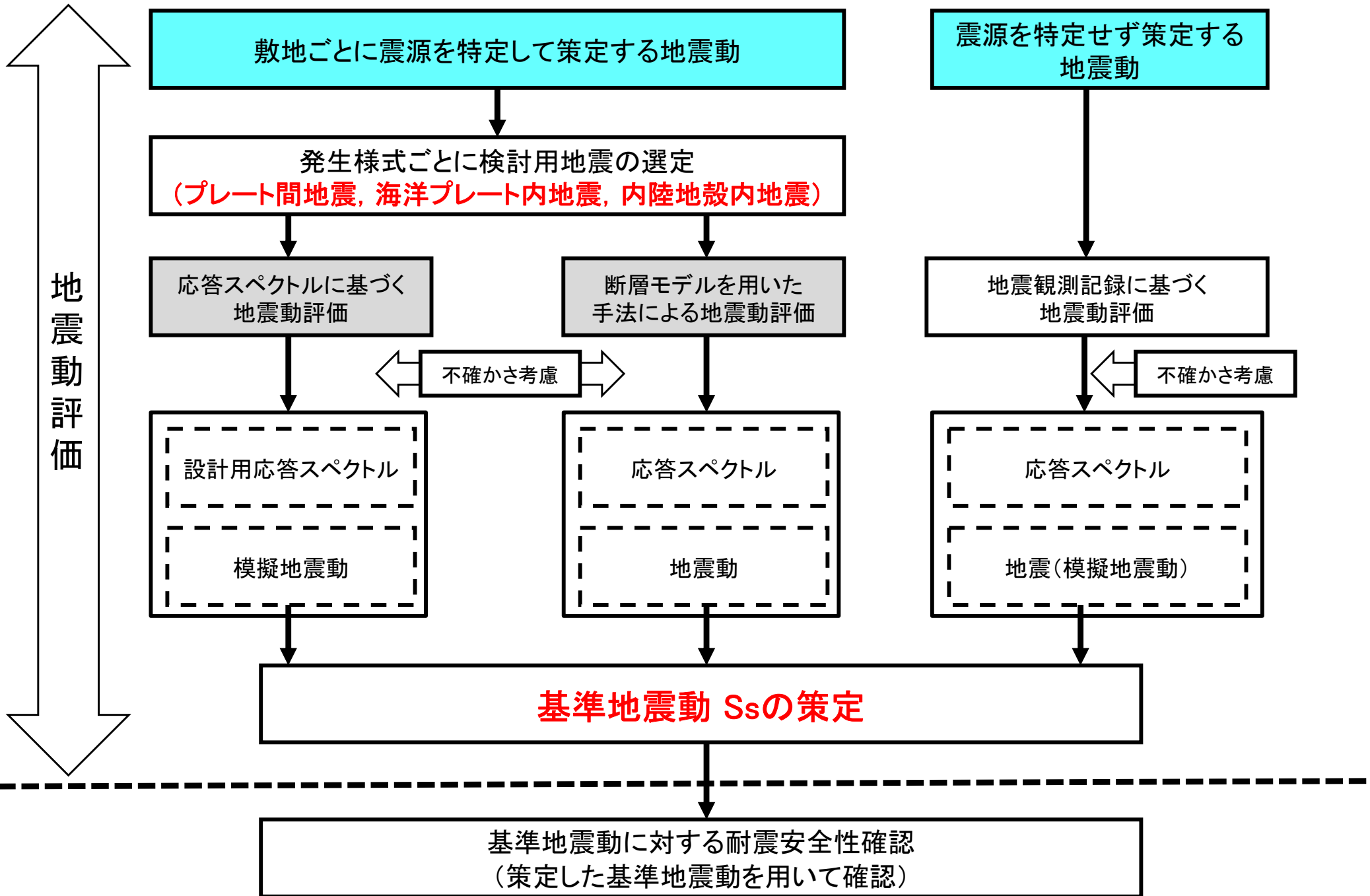
1. 基準地震動Ssの概要	23
2. 地下構造評価	41
3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうちプレート間地震	47
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち海洋プレート内地震	58
5. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち内陸地殻内地震	69
6. 震源を特定せず策定する地震動	
(1) 標準応答スペクトルの評価前	82
(2) 標準応答スペクトルの知見を用いた評価	92
参考 断層モデル手法に用いる要素地震 地震動評価結果の整理	119

1. 基準地震動 S_s の概要

【新規制基準の要求事項】

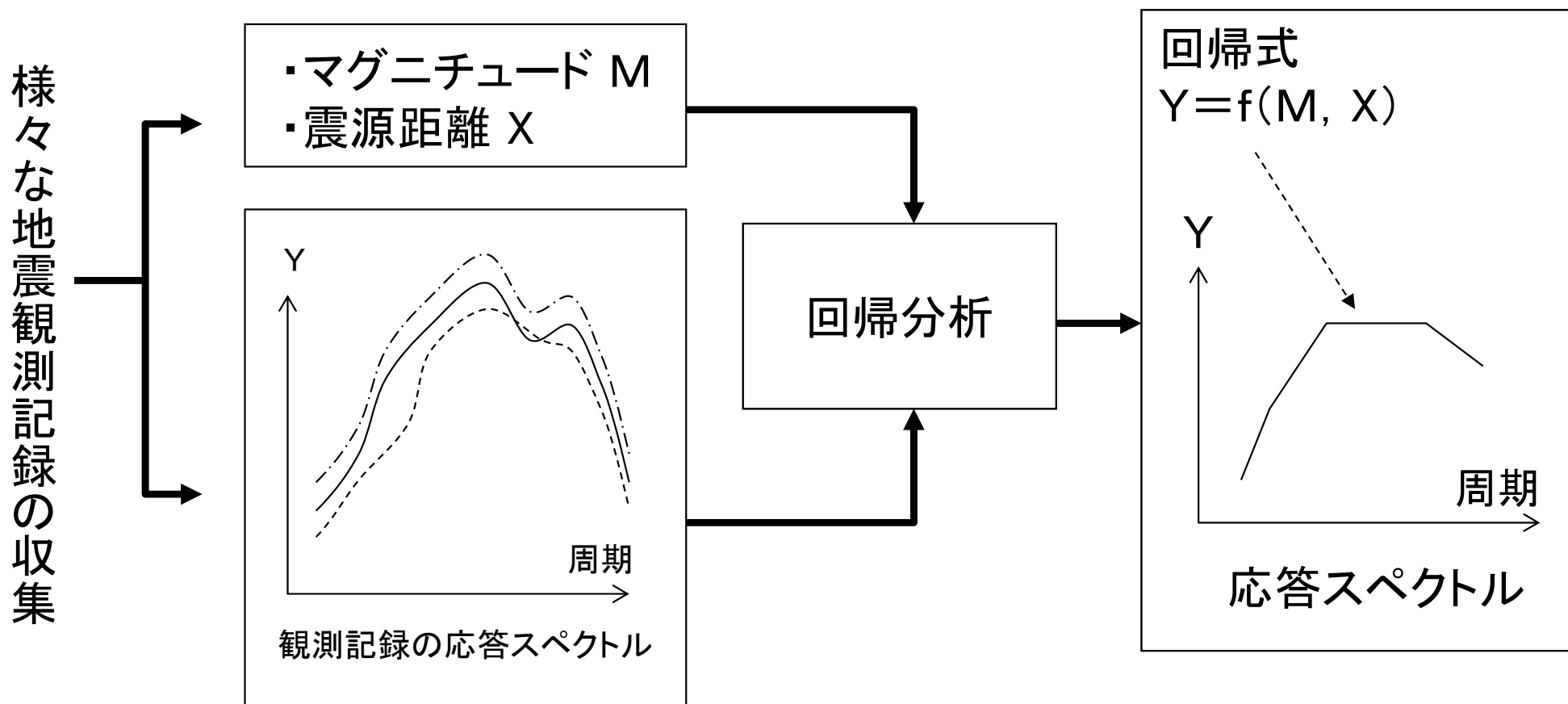
(基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド抜粋)改正 令和4年6月8日 原子力規制委員会

- (1) 基準地震動は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」について、それぞれ解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動として策定されていることを確認する。
- (2) 基準地震動の策定に係る審査は、設置許可基準規則及び設置許可基準規則解釈に適合するかどうかを本ガイドを参照しながら判断するものであり、基準地震動が、地震動評価に大きな影響を与えると考えられる不確かさを考慮して適切に策定されていることを、地震学及び地震工学的見地に基づく総合的な観点から判断する。
- (3) 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」は、内陸地殻内地震、プレート間地震及び海洋プレート内地震について、敷地に大きな影響を与えると予想される地震(以下「検討用地震」という。)を複数選定し、選定した検討用地震ごとに不確かさを考慮して、応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価により、それぞれ解放基盤表面までの地震波の伝播特性を反映して策定されていることを確認する。
- (4) 「震源を特定せず策定する地震動」は、震源と活断層を関連づけることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍における観測記録を基に、各種の不確かさを考慮して敷地の地盤物性に応じた応答スペクトルを設定して策定されていることを確認する。
- (5) 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」を相補的に考慮することによって、敷地で発生する可能性のある地震動全体を考慮した地震動として策定されていることを確認する。



応答スペクトルに関する回帰式

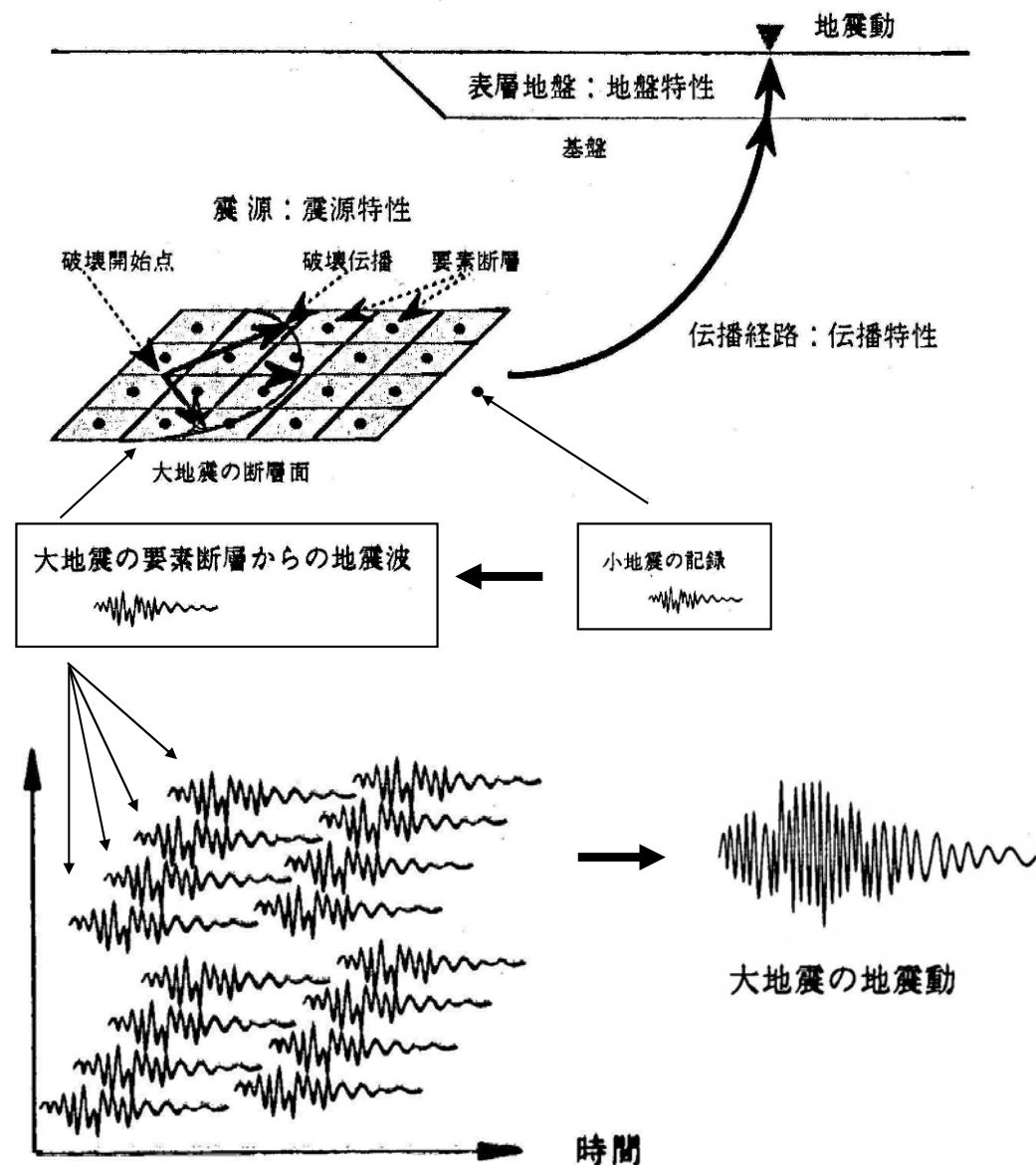
地震のマグニチュード: M , 震源距離: X と, その地震の応答スペクトルとの関係を回帰分析等により求めたもの。少ないパラメータで地震動の応答スペクトルを評価できる。複数の評価式がある。



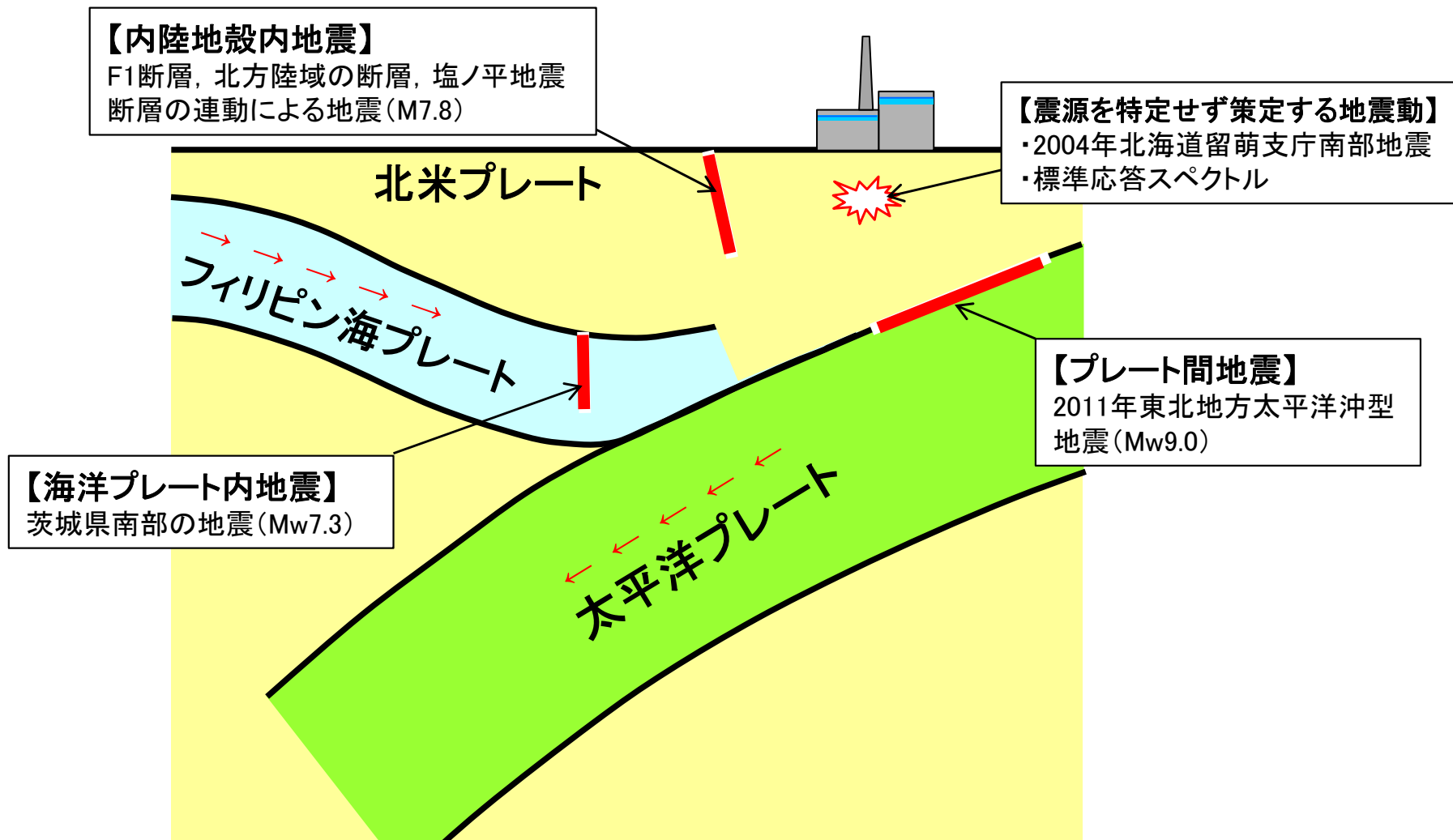
概要: 小地震記録の重ねあわせによって大地震の地震動を推定する方法である。

特徴: 地震動の再現性が良い。
: 適切な小地震記録が必要。

出力: 時刻歴波形



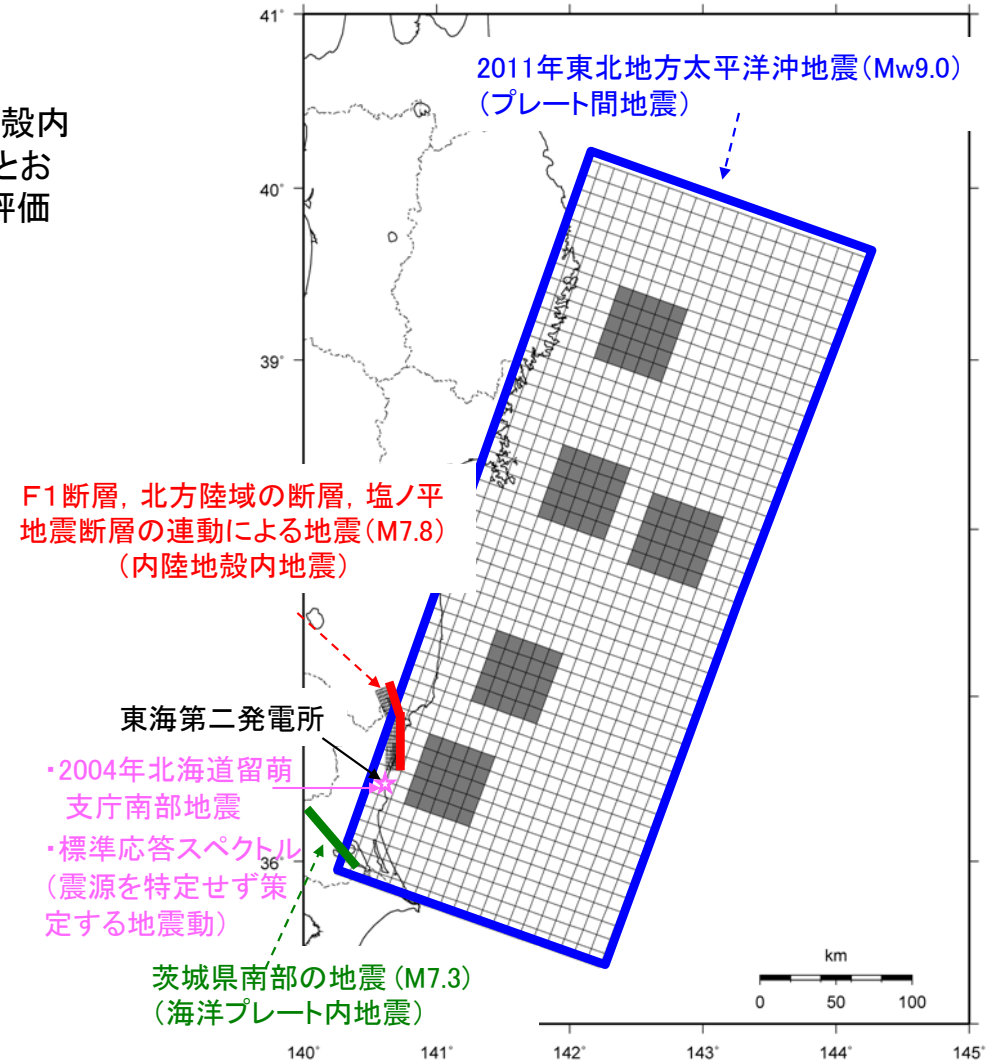
東海第二発電所周辺の直下は、3つのプレートが重なり合っており、そこで発生する地震のタイプも多岐にわたっている。地震動評価(基準地震動 S_s の策定)にあたっては、以下の4つの地震(震源)を考慮した。



発電所周辺で発生する地震のイメージ図

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の評価について、内陸地殻内地震、プレート間地震、海洋プレート内地震毎に検討用地震を下記のとおり選定した。また震源を特定せず策定する地震動として下記のとおり評価を実施した。

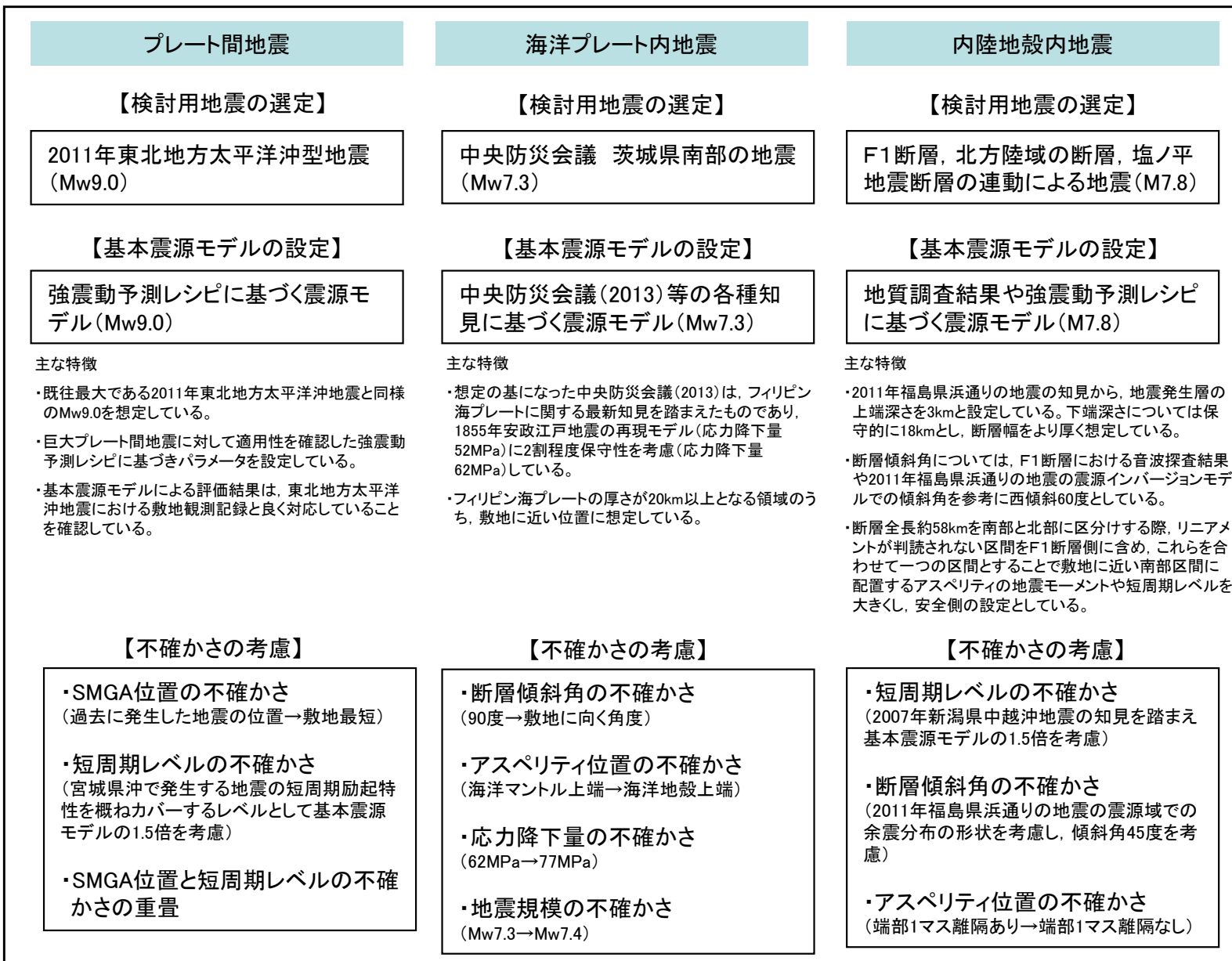
地震発生様式		検討用地震
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	内陸地殻内地震	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(M7.8)
	プレート間地震	2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)
	海洋プレート内地震	茨城県南部の地震(M7.3)
震源を特定せず策定する地震動	・2004年北海道留萌支庁南部地震 ・標準応答スペクトル	



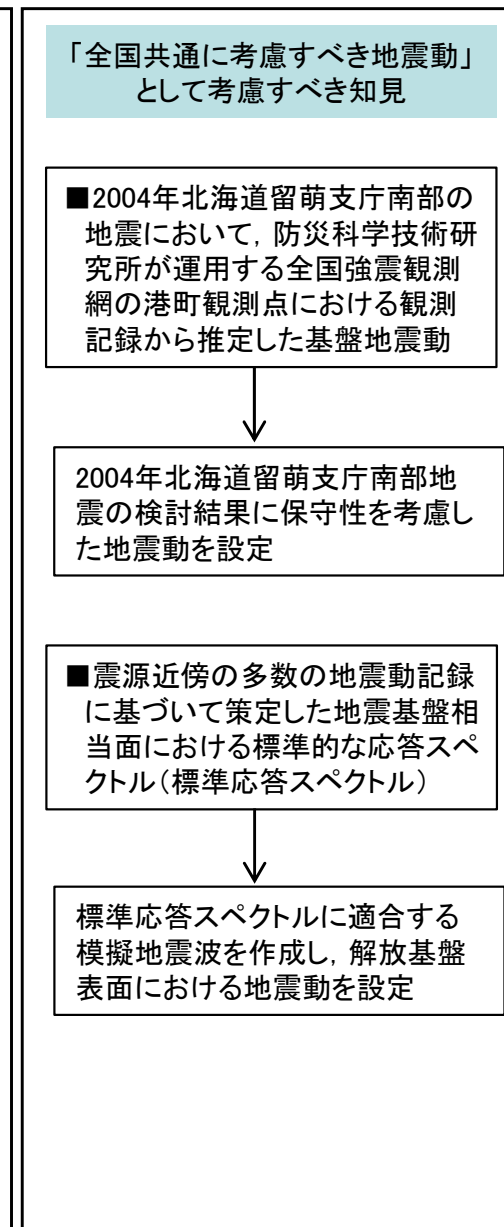
検討用地震の断層面

■敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■震源を特定せず策定する地震動



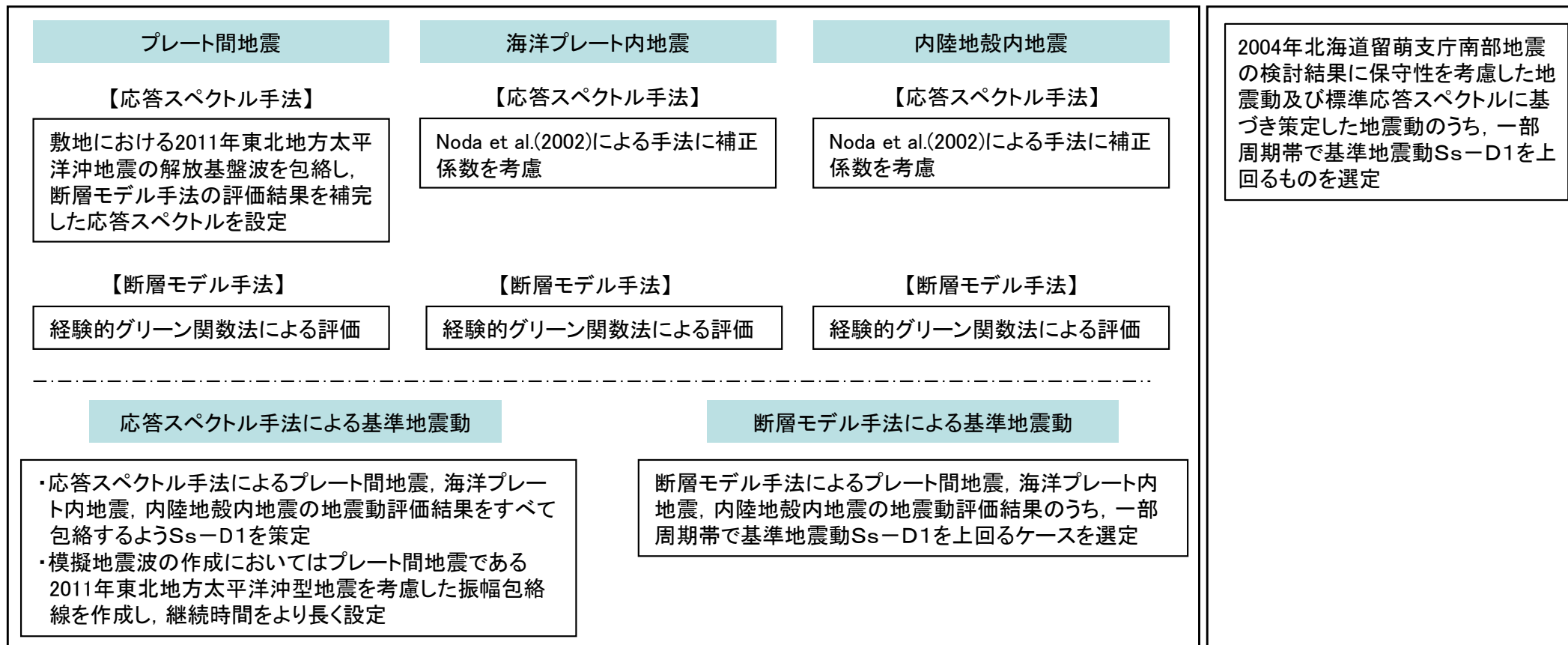
次頁へ



次頁へ

■敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

■震源を特定せず策定する地震動



2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動及び標準応答スペクトルに基づき策定した地震動のうち、一部周期帯で基準地震動Ss-D1を上回るものを選定

■基準地震動Ssの策定

- Ss-D1 応答スペクトル手法による基準地震動
- Ss-11 F1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震(M7.8)(短周期レベルの不確かさ、破壊開始点1)
- Ss-12 F1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震(M7.8)(短周期レベルの不確かさ、破壊開始点2)
- Ss-13 F1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震(M7.8)(短周期レベルの不確かさ、破壊開始点3)
- Ss-14 F1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震(M7.8)(断層傾斜角の不確かさ、破壊開始点2)
- Ss-21 2011年東北地方太平洋沖型地震(Mw9.0)(短周期レベルの不確かさ)
- Ss-22 2011年東北地方太平洋沖型地震(Mw9.0)(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)
- Ss-31 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動
- Ss-32 標準応答スペクトルに基づき策定した地震動

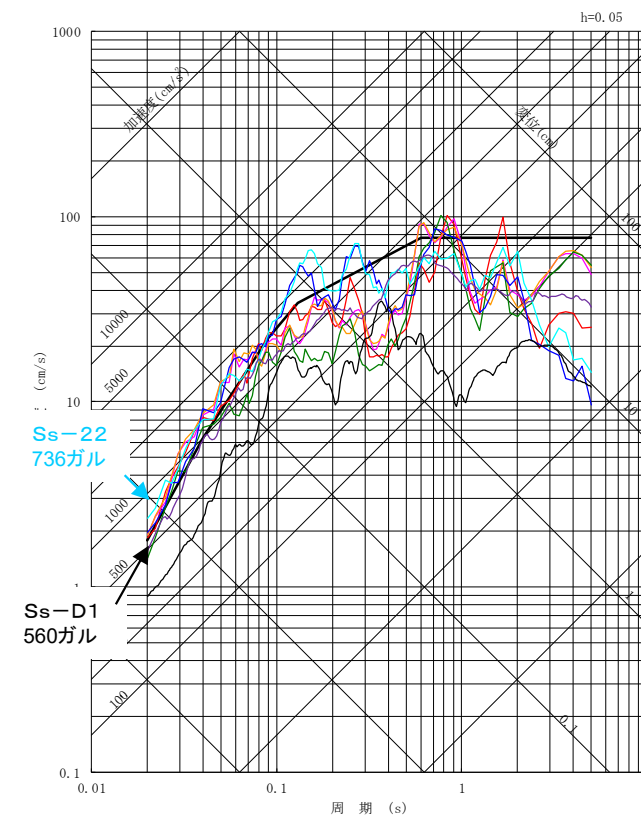
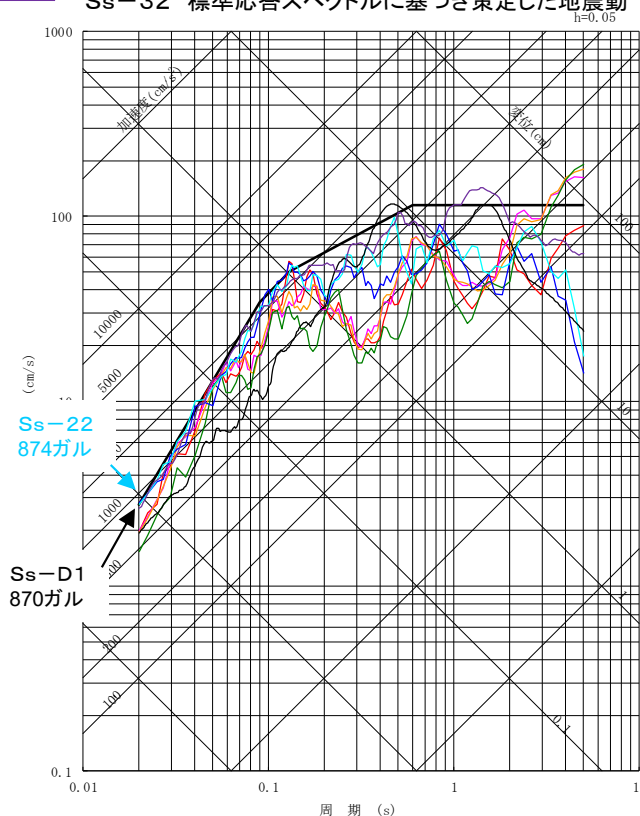
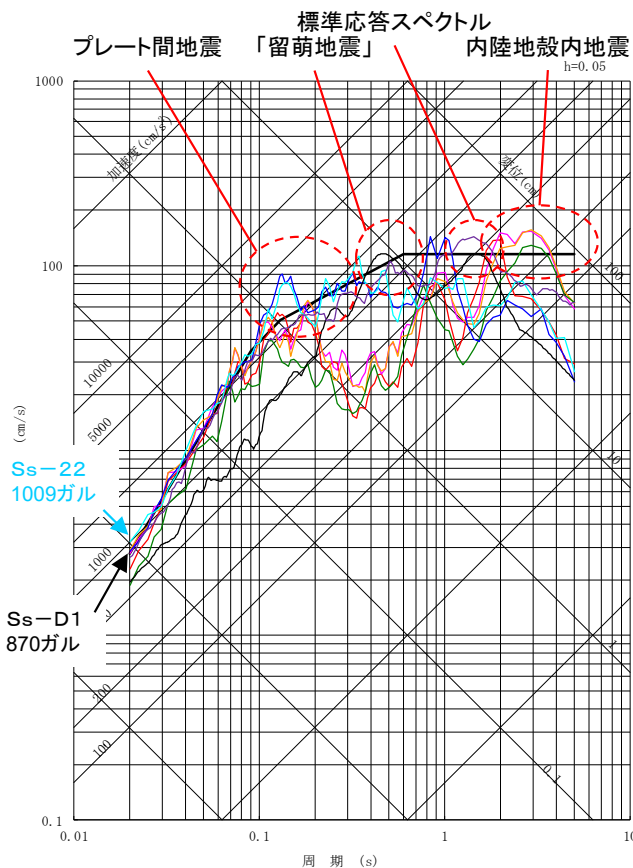
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動		評価の概要
プレート間地震	2011年東北地方太平洋沖型地震 (Mw9.0)	<ul style="list-style-type: none"> ・既往最大である2011年東北地方太平洋沖地震と同様のMw9.0を想定（幅200km, 長さ500kmの震源面）した。 ・SMGA※1位置の不確かさと短周期レベル※2の不確かさを二重に考慮した。
海洋プレート内地震	茨城県南部の地震 (Mw7.3) (中央防災会議(2013)を参考に設定)	<ul style="list-style-type: none"> ・中央防災会議(2013)の知見を踏まえ、アスペリティ※3の応力降下量※4を62MPaとして設定した。 ・応力降下量の大きさ(77MPa)や地震の規模(Mw7.4)等の不確かさを考慮した。評価結果は、他のSsに包絡されていることを確認した。
内陸地殻内地震 (活断層による地震)	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (M7.8)	<ul style="list-style-type: none"> ・断層の連動を考慮した。 ・短周期レベルの不確かさ, 断層傾斜角の不確かさ, アスペリティ位置の不確かさを考慮した結果, Ssとして4波を選定した。(合計4波)
応答スペクトル手法 によるSs	上記地震の応答スペクトル手法による評価結果を包絡して応答スペクトルを設定	<ul style="list-style-type: none"> ・応答スペクトル手法の評価結果を包絡し, 水平870ガル, 鉛直560ガルの応答スペクトルのSsを設定した。(1波) ・なお, 模擬地震波は, 振幅包絡線をプレート間地震の緒元をもとに作成し継続時間をより長く設定(約140秒)した。
震源を特定せず策定する地震動		評価の概要
<ul style="list-style-type: none"> ・2004年北海道留萌支庁南部地震 ・標準応答スペクトル 		<ul style="list-style-type: none"> ・2004年北海道留萌支庁南部地震の基盤波(地震記録)を軟岩補正(東海第二の地盤特性※5を反映)して, Ssとして設定した。(1波) ・標準応答スペクトルに適合する模擬地震波を軟岩補正して, Ssとして設定した。(1波)

※1: 強震動生成域(短周期側の強い揺れを発生させる断層面の領域)。Strong Motion Generation Area。
 ※2: 原子力発電所の建物・機器の耐震性評価にとって重要である短周期帯の震源における加速度のレベル。
 ※3: 断層面(震源面)において強く固着した部分(SMGAと同義語であり, 強い揺れを発生させる領域)。
 ※4: 地震の時にアスペリティで解放される応力の大きさ。この値が大きいほど地震動が大きくなる。
 ※5: 大深度ボーリング及び地震観測記録から得られた地盤の増幅特性。

■基準地震動Ssを示す。

短周期側ではプレート間地震、「留萌地震」の基準地震動が、長周期側では内陸地殻内地震、標準応答スペクトルの基準地震動がそれぞれSs-D1を上回る。

- Ss-D1 応答スペクトル手法による基準地震動
- Ss-11 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- Ss-12 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-13 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- Ss-14 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-21 2011年東北地方太平洋沖型地震(短周期レベルの不確かさ)
- Ss-22 2011年東北地方太平洋沖型地震(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)
- Ss-31 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動
- Ss-32 標準応答スペクトルに基づき策定した地震動



東海第二発電所の基準地震動Ssは、応答スペクトル法によるSs-D1に加え、一部周期帯でSs-D1を上回る断層モデル手法による6波(内陸地殻内地震4波、プレート間地震2波)及び震源を特定せず策定する地震動2波の合計9波とした。断層モデル手法によるSs及び「特定せず」のSsは、Ss-D1を上回る周期帯が異なるため、それぞれの基準地震動Ssによる地震力を用いた耐震安全性評価を行う。

プレート間地震

基本震源モデル: 2011年東北地方太平洋沖型地震(Mw9.0)

不確かさ: ①SMGA位置, ②短周期レベル, ③SMGA位置と短周期レベルの重畳

海洋プレート内地震

基本震源モデル: 茨城県南部の地震(Mw7.3)

不確かさ: ①断層傾斜角, ②アスペリティ位置, ③応力降下量, ④地震規模

内陸地殻内地震

基本震源モデル: F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(M7.8)

不確かさ: ①短周期レベル, ②断層傾斜角, ③アスペリティ位置

震源を特定せず策定する地震動

- ・2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動
- ・標準応答スペクトルに基づき策定した地震動

模擬地震波

- ・応答スペクトル手法の評価結果を包絡し作成

以上の不確かさなどを考慮することで, さらなる安全性向上に努めている。

震災前 : 最大加速度 600ガル, 3波

申請時(2014年): 最大加速度 901ガル, 3波

2016年12月現在: 最大加速度 1009ガル, 8波

2023年10月現在: 最大加速度 1009ガル, 9波

変更点(1/2)



○:考慮, -:未考慮

発生様式	検討ケース	2014年頃	標準応答スペクトルの規制への取り入れに伴うバックフィット時点(2023年)
プレート間地震	基本震源モデル	2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)	2011年東北地方太平洋沖型地震(Mw9.0)
	SMGA位置の不確かさ	○	○
	短周期レベルの不確かさ	○	○
	SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳	-	○
海洋プレート内地震	基本震源モデル	茨城県南部の地震(Mw7.3) ・中央防災会議(2004)を参考に設定 ・アスペリティの応力降下量21MPa	茨城県南部の地震(Mw7.3) ・中央防災会議(2013)を参考に設定 ・アスペリティの応力降下量62MPa
	断層傾斜角の不確かさ	-	○
	アスペリティ位置の不確かさ	○	○
	応力降下量の不確かさ	-	○
	地震規模の不確かさ	-	○
内陸地殻内地震	基本震源モデル	F1断層, 北方陸域の断層の連動による地震(M7.6) ・破壊開始点2箇所 ・断層上端深さ5km	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(M7.8) ・破壊開始点7箇所のうち影響の大きい3箇所を選定 ・断層上端深さ3km
	短周期レベルの不確かさ	○	○
	断層傾斜角の不確かさ	-	○
	アスペリティ位置の不確かさ	-	○
震源を特定せず策定する地震動		加藤ほか(2004)による応答スペクトル	・2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動 ・標準応答スペクトルに基づき策定した地震動
模擬地震波		応答スペクトル手法の評価結果を包絡し作成 ・水平700ガル, 鉛直420ガル ・振幅包絡線を内陸地殻内地震(M7.6, Xeq=25.7km)をもとに作成	応答スペクトル手法の評価結果を包絡し作成 ・水平870ガル, 鉛直560ガル ・振幅包絡線をプレート間地震(M8.3, Xeq=135.8km)をもとに作成し継続時間をより長く設定

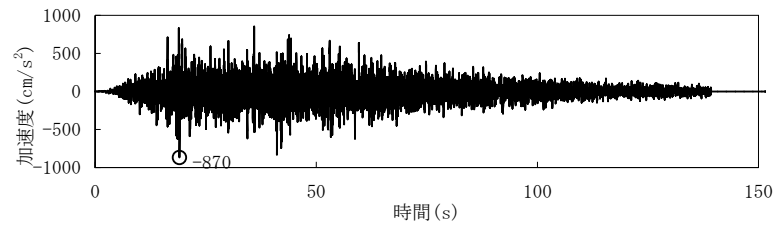
※標準応答スペクトルの規制への取り入れに伴うバックフィット(2023年)で新たに考慮し, その他の検討ケースは, 既許可において考慮している

2014年頃					標準応答スペクトルの規制への取り入れに伴うバックフィット時点(2023年)				
基準地震動		最大加速度(cm/s ²)			基準地震動		最大加速度(cm/s ²)		
		NS成分	EW成分	UD成分			NS成分	EW成分	UD成分
Ss-D	応答スペクトル手法による基準地震動	700		420	Ss-D1	応答スペクトル手法による基準地震動	870		560
Ss-1	F1断層, 北方陸域の断層の連動による地震(M7.6) (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)	788	728	563	Ss-11	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(M7.8) (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)	717	619	579
					Ss-12	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(M7.8) (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)	871	626	602
					Ss-13	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(M7.8) (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)	903	617	599
					Ss-14	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(M7.8) (断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)	586	482	451
Ss-2	2011年東北地方太平洋沖型地震 (短周期レベルの不確かさ)	901	887	620	Ss-21	2011年東北地方太平洋沖型地震 (短周期レベルの不確かさ)	901	887	620
—	—	—	—	—	Ss-22	2011年東北地方太平洋沖型地震 (SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)	1009	874	736
—	—	—	—	—	Ss-31	2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動	610		280
—	—	—	—	—	Ss-32	標準応答スペクトルに基づき策定した地震動	829		499

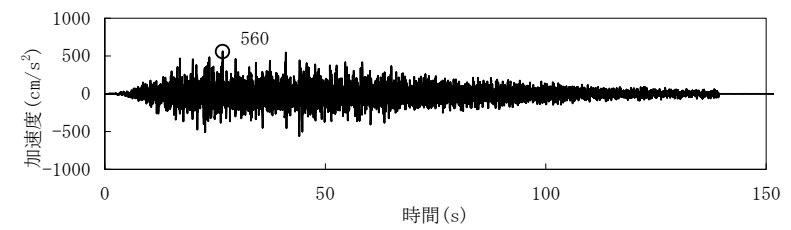
※ 標準応答スペクトルの規制への取り入れに伴うバックフィット(2023年)で新たに考慮し, 基準地震動Ss-D1, Ss-11~Ss-31は, 既許可で考慮している

■基準地震動Ssの加速度時刻歴波形(1/3)

Ss-D1 応答スペクトル手法に基づく模擬地震波



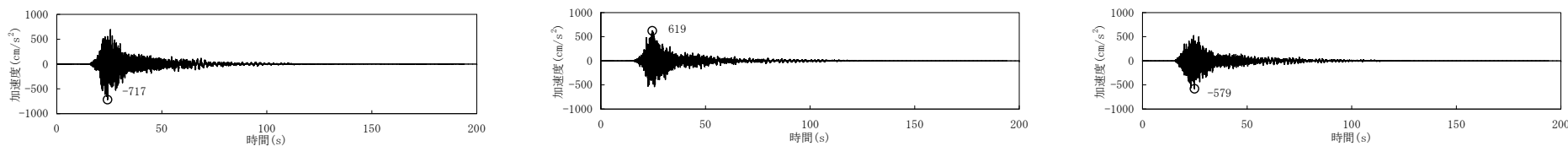
Ss-D1H(水平成分)



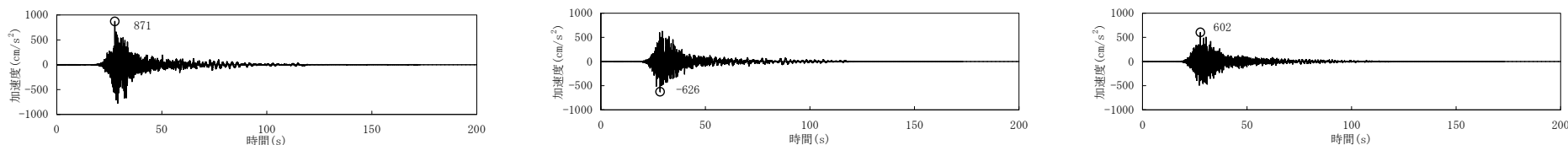
Ss-D1V(鉛直成分)

■基準地震動Ssの加速度時刻歴波形(2/3)

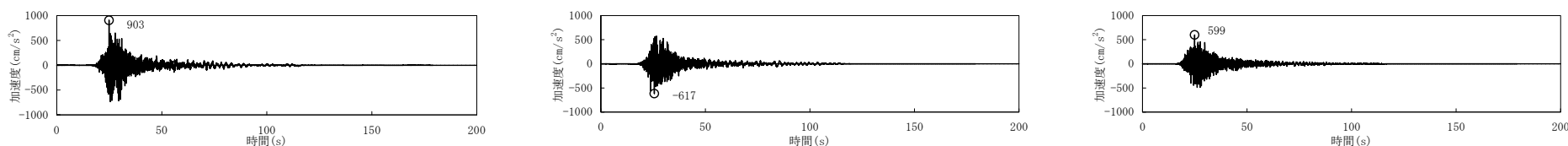
Ss-11 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)



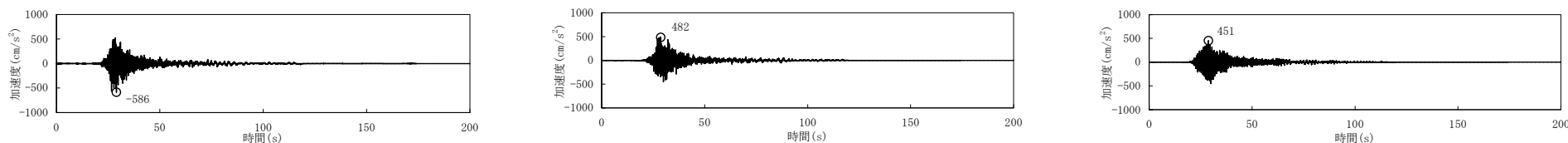
Ss-12 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)



Ss-13 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)



Ss-14 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)



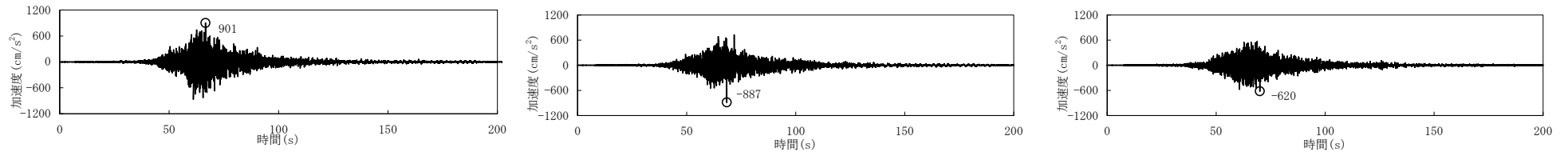
NS成分

EW成分

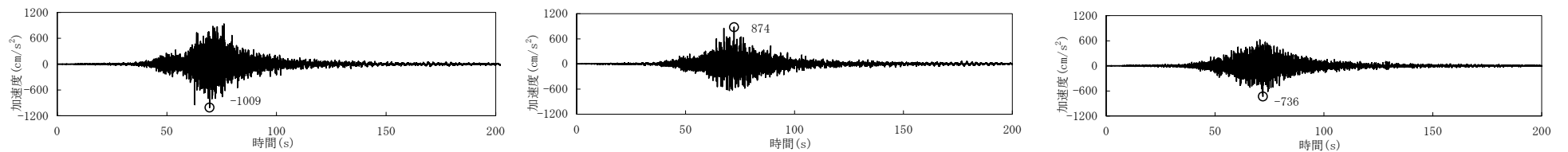
UD成分

■ 基準地震動Ssの加速度時刻歴波形(3/3)

Ss-21 2011年東北地方太平洋沖型地震(短周期レベルの不確かさ)



Ss-22 2011年東北地方太平洋沖型地震(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)



NS成分

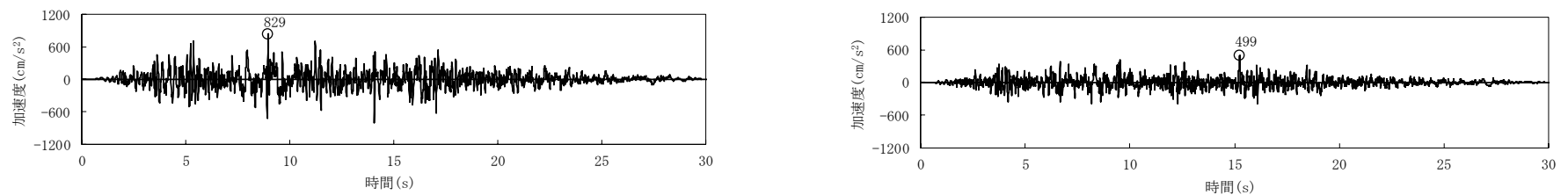
EW成分

UD成分

Ss-31 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動



Ss-32 標準応答スペクトルに基づき策定した地震動



水平成分

鉛直成分

2006年耐震設計審査指針の改訂に伴う耐震バックチェック				2014年頃				さらなる不確かさを反映(2018年)				標準応答スペクトルの規制への取り入れに伴うバックフィット(2023年)							
	最大加速度(cm/s ²)				最大加速度(cm/s ²)				最大加速度(cm/s ²)				最大加速度(cm/s ²)						
	NS成分	EW成分	UD成分		NS成分	EW成分	UD成分		NS成分	EW成分	UD成分		NS成分	EW成分	UD成分				
Ss-D	600			400	Ss-D	700			420	Ss-D1	870			560	Ss-D1	870			560
Ss-1	516	475	357	Ss-1	788	728	563	Ss-11	717	619	579	Ss-11	717	619	579				
—	—	—	—	Ss-2	901	887	620	Ss-12	871	626	602	Ss-12	871	626	602				
—	—	—	—	—	—	—	—	Ss-13	903	617	599	Ss-13	903	617	599				
—	—	—	—	—	—	—	—	Ss-14	586	482	451	Ss-14	586	482	451				
—	—	—	—	—	—	—	—	Ss-21	901	887	620	Ss-21	901	887	620				
—	—	—	—	—	—	—	—	Ss-22	1009	874	736	Ss-22	1009	874	736				
—	—	—	—	—	—	—	—	Ss-31	610			280	Ss-31	610			280		
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Ss-32	829			499			

バックチェック時の600ガルから大きくなった主な要因は下記のとおり。

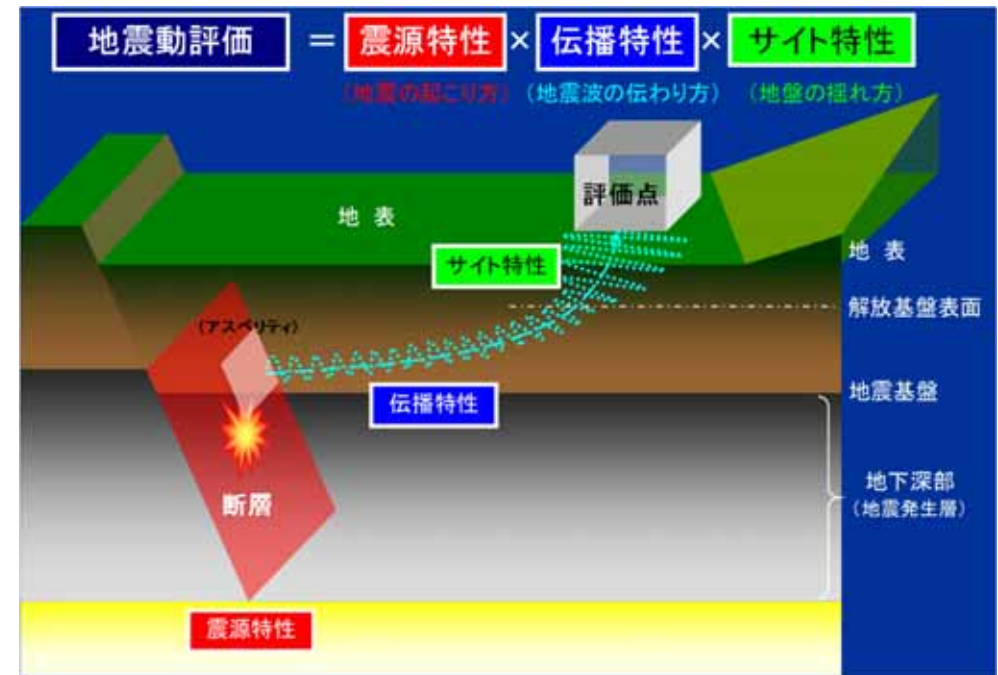
- ・2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた評価を行い、更に不確かさを二重に考慮したこと。(Ss-22, 1009ガル)
- ・断層長さが延びたことに加え、断層幅についてもより大きく設定したこと。(Ss-13, 903ガル)

2. 地下構造評価

地下構造評価では、地震動評価に必要な特性のうち、「伝播特性」と「サイト特性」の妥当性について評価する。

広域地下構造調査(概査)により、地震発生層を含む地下深部から解放基盤までの「伝播特性」を確認する。

敷地近傍地下構造調査(精査)により、地下深部から地表面までの「サイト特性」を確認する。



・解放基盤表面の設定

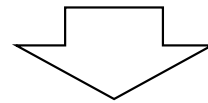
敷地・敷地周辺の地盤調査によると、敷地周辺では新第三紀の久米層がほぼ水平で相当な拡がりを有して分布している。敷地内のボーリング孔で実施したPS検層結果によると、E.L.−370m以深ではS波速度が0.7km/s以上となっていることから、E.L.−370mの位置に解放基盤表面を設定する。なお、地震動評価のうち応答スペクトルに基づく手法において、解放基盤表面での地盤の弾性波速度値については、敷地の地盤調査より、P波速度を2.0km/s、S波速度を0.7km/sと設定する。

・敷地周辺の地盤構造

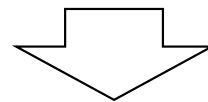
重力異常分布によると、敷地の北西部には重力の急変部が、敷地西側には船底状の構造が見られる。これらは、敷地周辺の地盤調査で明らかのように、基盤が深さ4km程度に達する不整形地盤が存在するためであるが、地震観測記録の分析結果及び反射法探査、屈折法探査及び微動アレイ探査による速度構造を用いた解析的検討の結果から、これらが敷地における地震動評価に与える影響は小さい。

「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」
(原子力規制委員会，平成26年7月9日改正)

基準地震動を策定するために，基盤面上の表層及び構造物が無いものとして仮想的に設定する自由表面であって，著しい高低差がなく，ほぼ水平で相当な拡がりを持って想定される基盤の表面をいう。ここでいう上記の「基盤」とは，おおむねせん断波速度 $V_s = 700\text{m/s}$ 以上の硬質地盤であって，著しい風化を受けていないものとする。



- 東海第二発電所の基礎地盤の特徴
 - ・ 新第三系鮮新統の砂質泥岩である久米層が広く分布する。
 - ・ 久米層の速度構造はおおむね水平である。
 - ・ E.L.-370m程度で $V_s = 700\text{m/s}$ 以上となる。
 - ・ 久米層は新鮮であり，著しい風化は見られない。



解放基盤表面の位置はE.L.-370mとする。

東海第二発電所の地下構造が水平成層かつ均質であることを確認するため、地震観測記録と地球物理学的調査を組合せ、地震基盤の位置や形状、地震波速度構造等の調査・解析を実施した。

● 地震観測記録による地下構造評価

解放基盤表面における検討

- ・地震観測記録の到来方向による検討により、解放基盤表面より深部の地下構造が水平成層かつ均質とみなして評価できることを確認

浅部地下構造の検討

- ・解放基盤表面以浅の地震観測記録を用いて、敷地地盤の地下構造が水平成層かつ均質とみなして評価できることを確認

● 地球物理学的調査による地下構造評価

地球物理学的調査 敷地周辺

- ・屈折法地震探査
- ・微動アレイ探査
- ・重力異常分布(文献)

敷地内

- ・単点微動測定
- ・微動アレイ探査

3次元地下構造モデル

作成

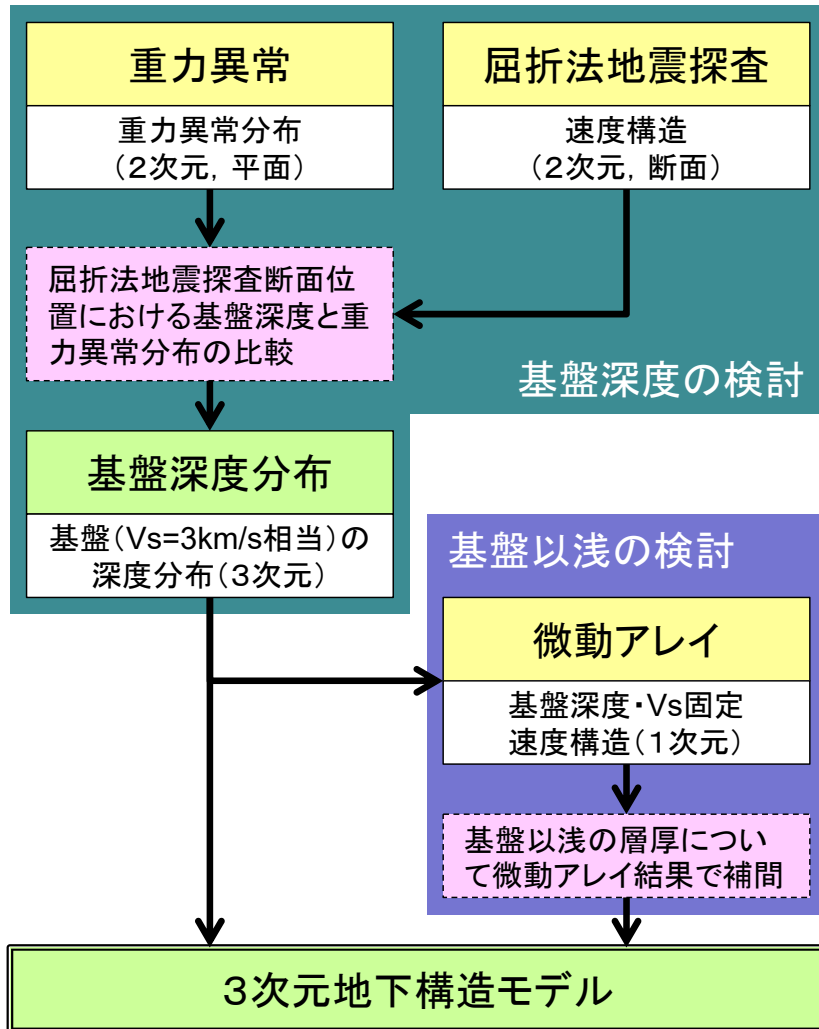
確認

解析による検討

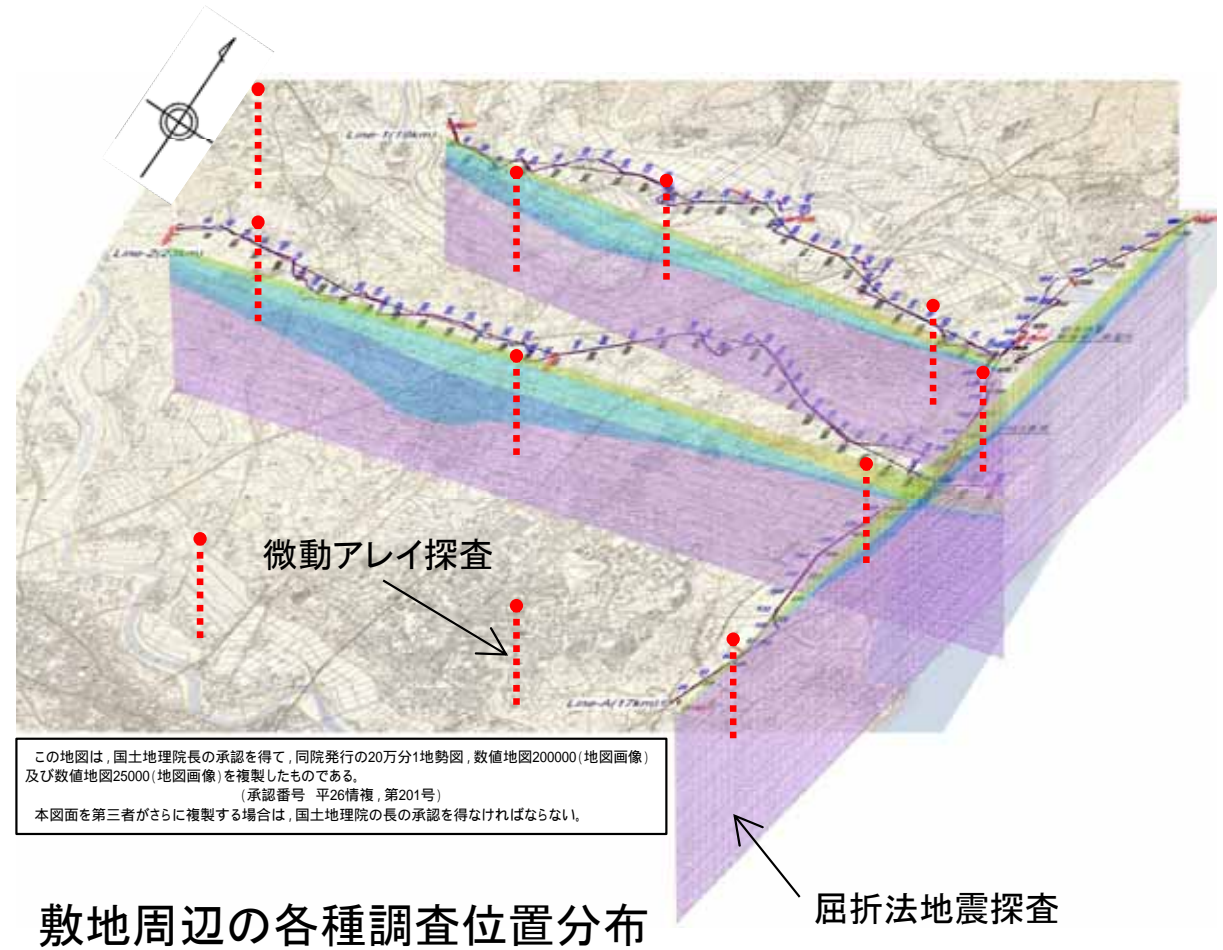
- ・2次元FEMモデル
→ 東西断面, 南北断面
- ・敷地の西側及び南側に見られる深い基盤形状による影響を検討
- ・敷地地盤の地下構造は水平成層かつ均質とみなして評価できることを確認

なお、東海第二発電所の地震動評価においては、地震観測記録を用いた経験的グリーン関数法を用いている。

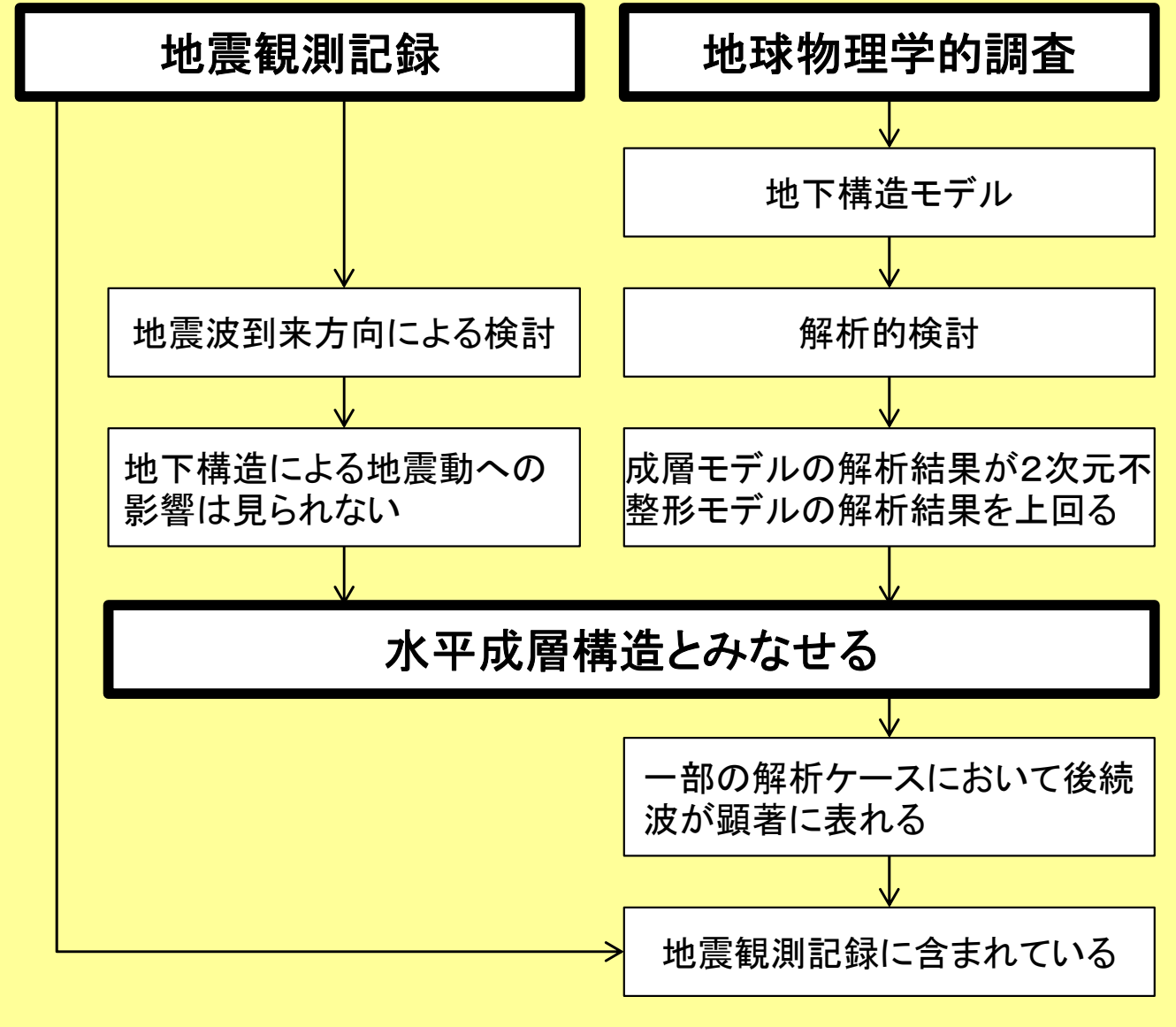
- 敷地周辺における重力異常分布, 屈折法地震探査結果及び微動アレイ探査結果を基に, 3次元の地下構造を把握する。



3次元地下構造モデル作成手順



地下構造による検討



地震動評価

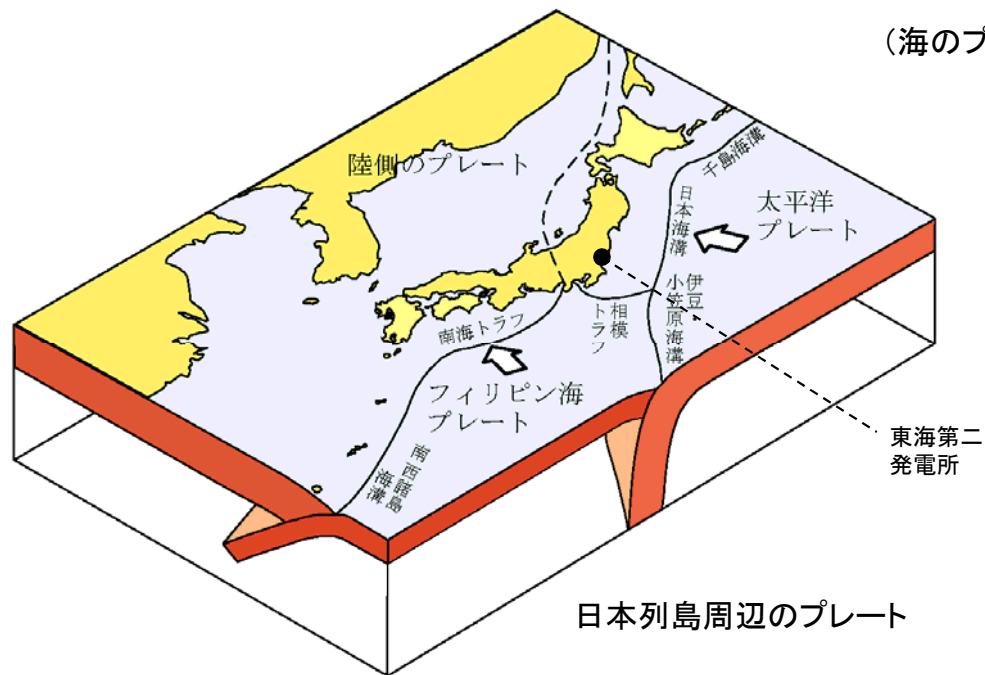
応答スペクトルに基づく地震動評価

地震の発生様式や地域性を考慮して地震波の伝播特性の影響を評価し、応答スペクトルに反映させる。

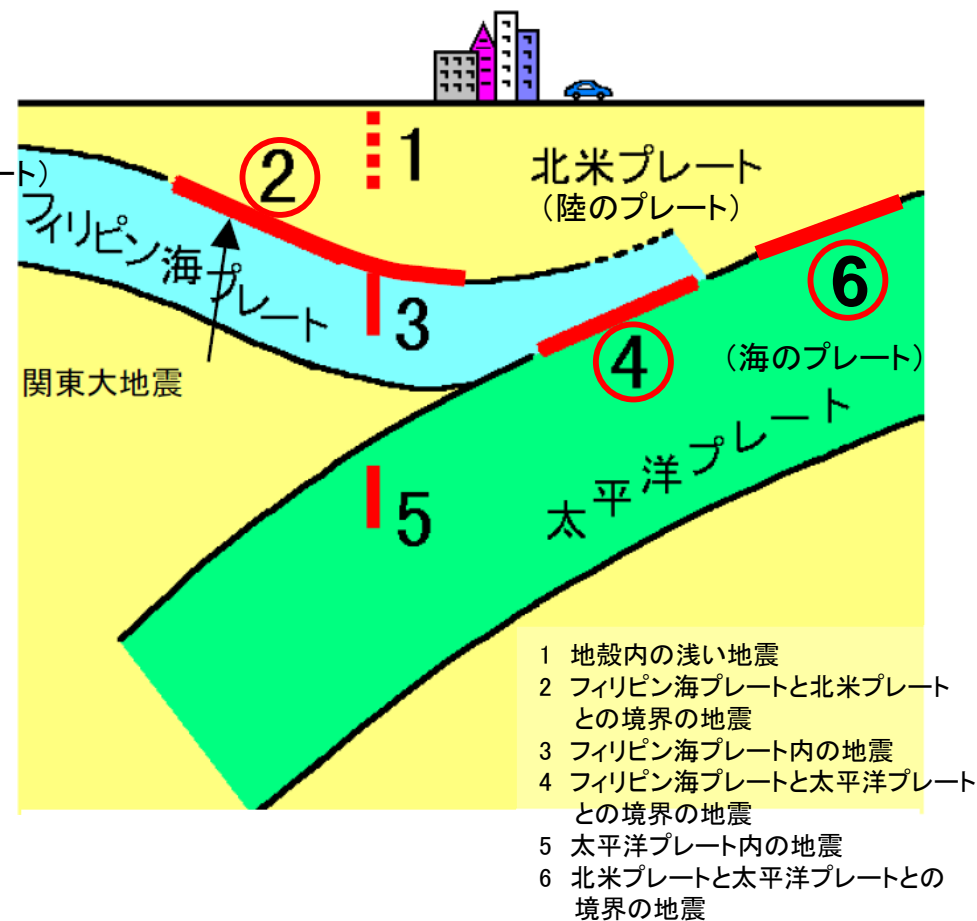
断層モデルを用いた手法による地震動評価

観測記録の精度や想定する震源断層の特徴を踏まえ、要素地震としての適性について慎重に検討した上で、経験的グリーン関数法による地震動評価を行う。

3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち プレート間地震



日本のプレートテクトニクスモデル概念図
(防災科学技術研究所)

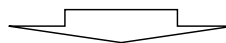


南関東地域で発生する地震のタイプ
(中央防災会議に一部加筆)

- 内陸地殻内地震は陸のプレートの内部で発生する地震で、図の1のタイプである。
- プレート間地震は異なるプレートの境界で発生する地震で、図の2, 4, 6のタイプである。
- 海洋プレート内地震は海のプレートの内部で発生する地震で、図の3, 5のタイプである。

■内容

- 検討用地震(敷地に最も大きな影響を与える地震)として東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)を選定
- 地震動評価ケース
 - ・基本ケース
 - ・不確かさケース1 強震動生成域の位置(敷地最短位置に設定)
 - ・不確かさケース2 短周期レベル(基本ケースに対して1.5倍) → 基準地震動Ss-2(901gal)に選定



■ポイント

- 応力降下量など, 重要な断層パラメータの妥当性
- 不確かさ考慮の妥当性



■反映事項

- 地震動評価ケースについて, 不確かさの重畳ケースを追加(青字)
- ・基本ケース
- ・不確かさケース1 強震動生成域の位置(敷地最短位置に設定)
- ・不確かさケース2 短周期レベル(基本ケースに対して1.5倍) → 基準地震動Ss-2(901gal)に選定
- ・不確かさケース3 強震動生成域と短周期レベルの不確かさを重畳(1009gal)

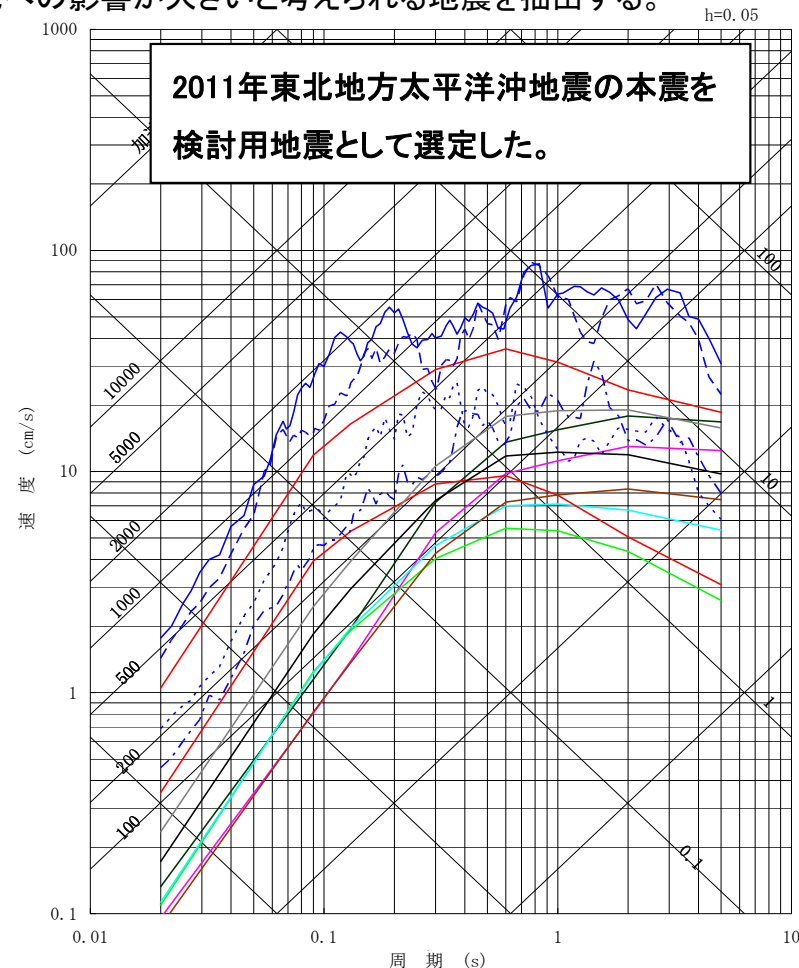
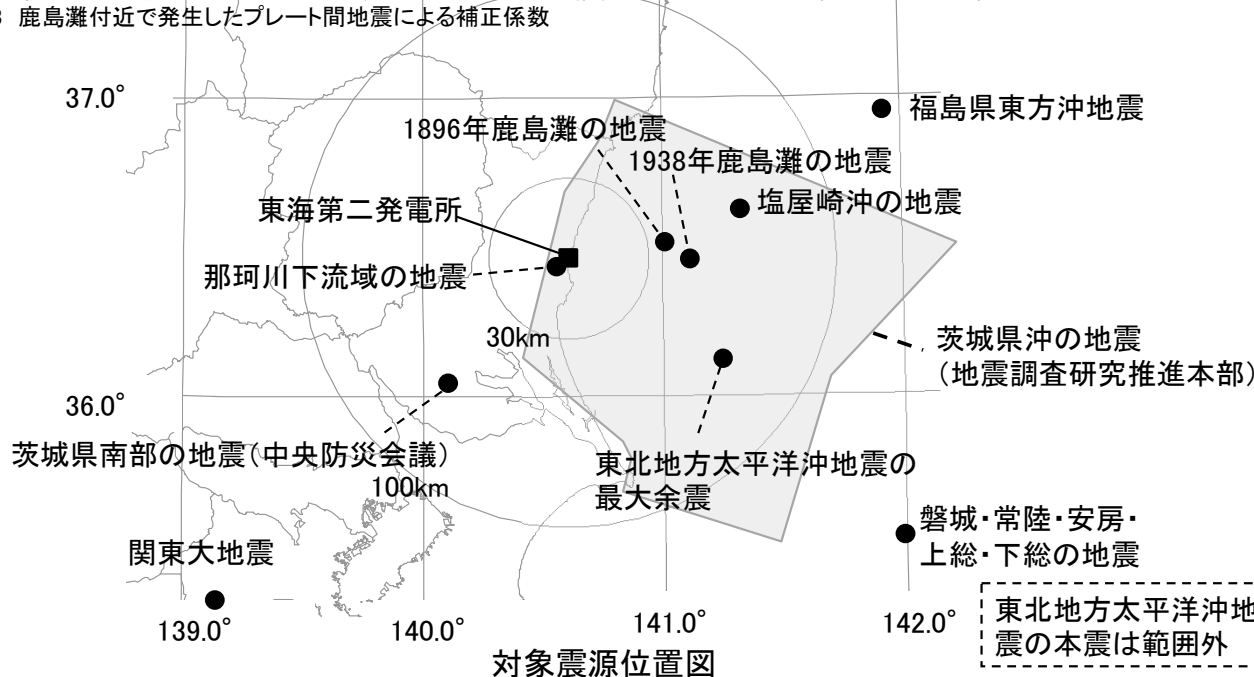
検討用地震の選定



■敷地で震度5程度以上となる過去の被害地震, 各機関の想定したプレート間地震のうち敷地への影響が大きいと考えられる地震を抽出する。

年月日	地名(地震名)	地震規模 M	等価震源距離 (km) ^{※2}	補正係数 ^{※3}
1677.11.4	磐城・常陸・安房・上総・下総の地震	8.0	169	
1896.1.9	鹿島灘の地震	7.3	60	考慮
1923.9.1	関東大地震	7.9	187	
1930.6.1	那珂川下流域の地震	6.5	55	
1938.5.23	塩屋崎沖の地震	7.0	75	
1938.9.22	鹿島灘の地震	6.5	63	考慮
1938.11.5	福島県東方沖地震	7.5	136	
2011.3.11	2011年東北地方太平洋沖地震の本震 ^{※1}	Mw9.0	—	
2011.3.11	2011年東北地方太平洋沖地震の最大余震 ^{※1}	7.6	—	
—	茨城県南部の地震(中央防災会議)	7.3	77	
—	茨城県沖の地震(地震調査研究推進本部)	7.6	84	

※1 解放基盤波を用いる。 ※2 地震カタログによる位置情報やプレート境界等深線等に基づいて算出
 ※3 鹿島灘付近で発生したプレート間地震による補正係数



- 磐城・常陸・安房・上総・下総の地震, M8.0, Xeq=169km
- 1896年鹿島灘の地震, M7.3, Xeq=60km
- 関東大地震, M7.9, Xeq=187km
- 那珂川下流域の地震, M6.5, Xeq=55km
- 塩屋崎沖の地震, M7.0, Xeq=75km
- 1938年鹿島灘の地震, M6.5, Xeq=63km
- 福島県東方沖地震, M7.5, Xeq=136km
- 2011年東北地方太平洋沖地震の本震の解放基盤波 NS
- 2011年東北地方太平洋沖地震の本震の解放基盤波 EW
- 2011年東北地方太平洋沖地震の最大余震の解放基盤波 NS
- 2011年東北地方太平洋沖地震の最大余震の解放基盤波 EW
- 茨城県南部の地震(中央防災会議), M7.3, Xeq=77km
- 茨城県沖の地震(地震調査研究推進本部), M7.6, Xeq=84km

プレート間地震の地震動の応答スペクトル (Noda et al.(2002)の手法に補正係数を考慮)

■断層形状, SMGA位置等については下記の通り設定する。

【断層形状】

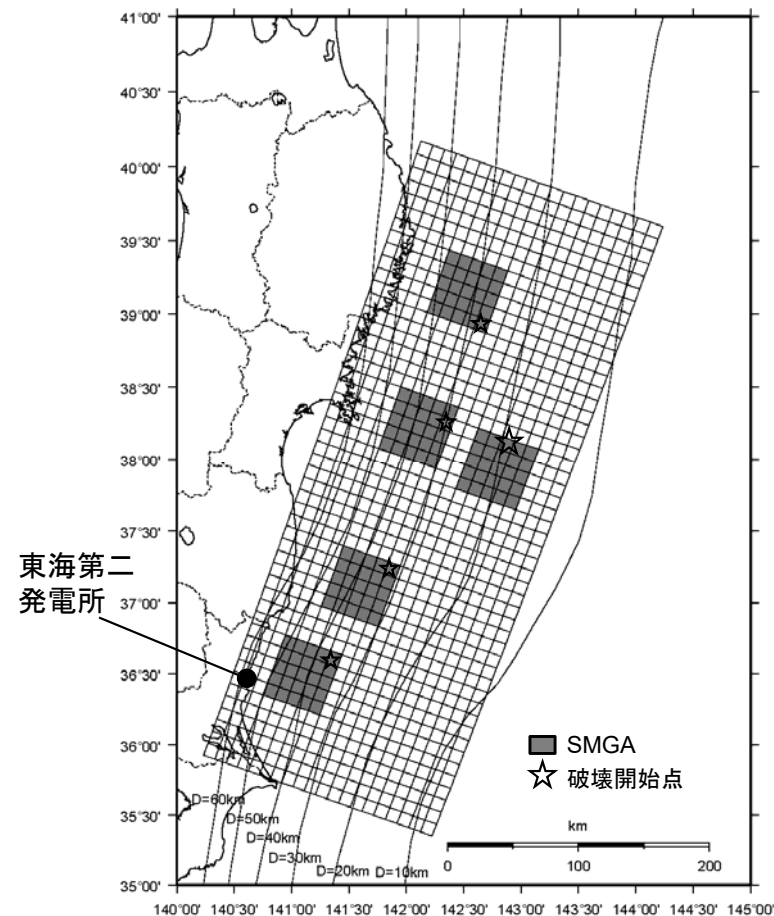
- ・長さ, 幅は, 東北地方太平洋沖地震の震源域を参考にそれぞれ500km, 200kmとする。
- ・走向は, 東北地方太平洋沖地震に関する防災科学技術研究所F-netのCMT解を用いる。深さは, 太平洋プレートの上面に沿ってモデル化する。

【SMGAの位置】

- ・地震調査研究推進本部の領域区分に基づき5個のSMGAを設定し, 東北地方太平洋沖地震のSMGAや, それぞれの領域で過去に発生したM7~M8クラスの地震の震源域を参考に配置する。
- ・茨城県沖のSMGA位置は, 東北地方太平洋沖地震の敷地での観測記録を再現できる位置としており, 各文献で示された東北地方太平洋沖地震のSMGAの中では敷地に最も近い位置である。
- ・この位置は, 過去に発生したM7クラスの地震の中では最も敷地に近い1938年塩屋崎沖の地震(M7.0)や1896年鹿島灘の地震(M7.3)の震央位置と対応していることを確認している。

【破壊開始点】

東北地方太平洋沖地震の震源位置に設定する。



基本震源モデル

SMGA: Strong Motion Generation Areas (強震動生成域)

2011年東北地方太平洋沖地震の震源モデル



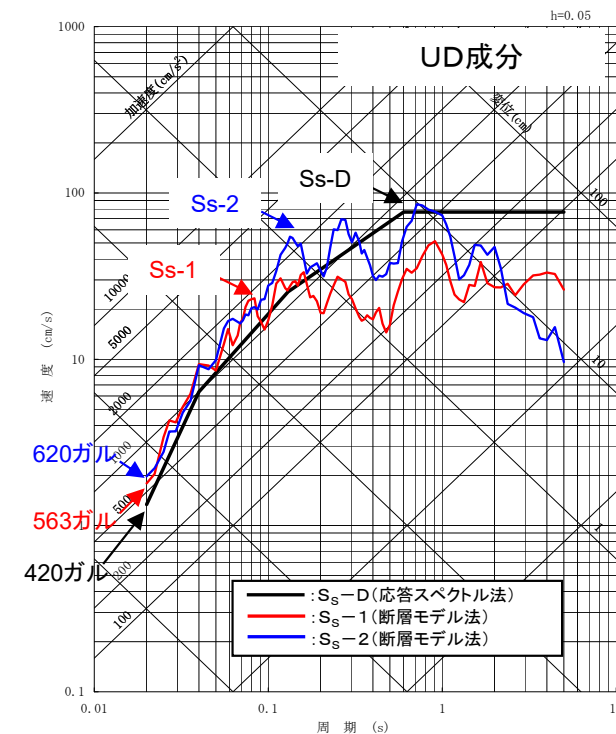
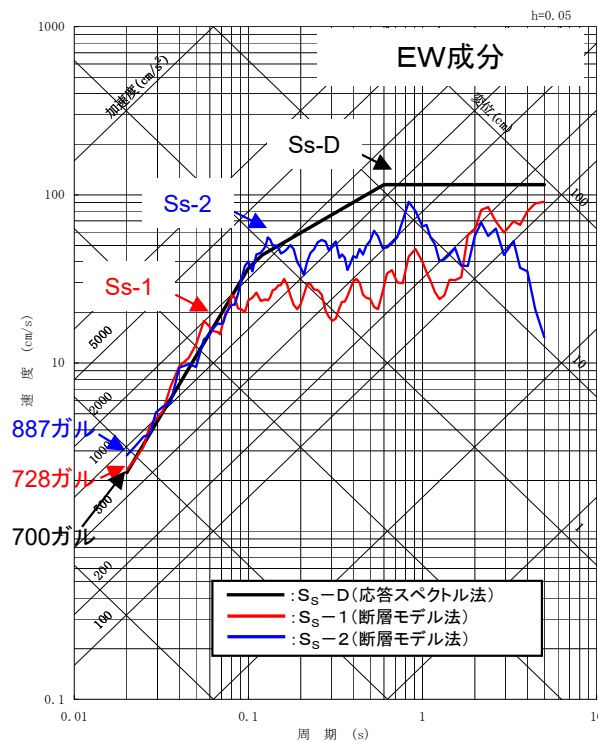
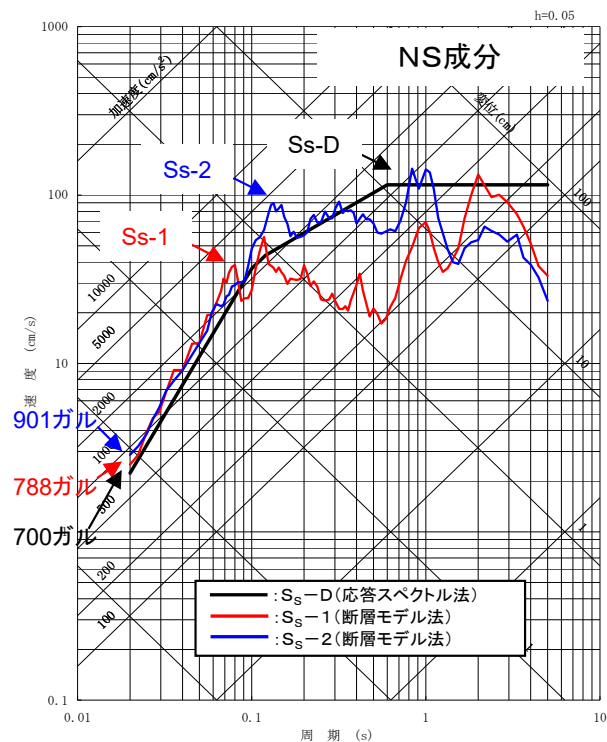
■断層パラメータ(基本震源モデル)

項目		設定値	設定方法
走向	θ (度)	200	F-net
傾斜角1(東側)	δ_1 (度)	12	壇ほか(2005)
傾斜角2(西側)	δ_2 (度)	21	壇ほか(2005)
すべり角	λ (度)	88	F-net
長さ	L(km)	500	断層面積に基づき算定
幅	W(km)	200	断層面積に基づき算定
基準点北緯	N(度)	38.1035	本震の震源位置(気象庁)
基準点東経	E(度)	142.8610	本震の震源位置(気象庁)
基準点深さ	H(km)	23.7	本震の震源位置(気象庁)
上端深さ	h_u (km)	12.3	$h_u = H - w_1 \sin \delta_1$
下端深さ	h_l (km)	68.9	$h_l = H + (100 - w_1) \sin \delta_1 + 100 \sin \delta_2$
断層面積	S(km ²)	100000	$S = L \times W$
平均応力降下量	$\Delta \sigma$ (MPa)	3.08	$M_0 = 16/7 \times (S/\pi)^{3/2} \Delta \sigma$
地震モーメント	M_0 (N·m)	4.00E+22	$\log M_0 = 1.5 M_w + 9.1$
モーメントマグニチュード	M_w	9.0	2011年東北地方太平洋沖地震
平均すべり量	D(cm)	854.3	$D = M_0 / (\mu S)$
剛性率	μ (N/m ²)	4.68E+10	$\mu = \rho V_s^2$, $\rho = 3.08 \text{g/cm}^3$ 地震調査研究推進本部 (2002), (2005)
せん断波速度	V_s (km/s)	3.9	地震調査研究推進本部 (2002), (2005)
破壊伝播速度	V_r (km/s)	3.0	地震調査研究推進本部 (2002), (2005)

項目		設定値	設定方法
SMGA全体	面積	S_a (km ²)	12500 $S_a = cS$, $c = 0.125$
	地震モーメント	M_{0a} (N·m)	1.00E+22 $M_{0a} = \mu D_a S_a$
	すべり量	D_a (cm)	1708.6 $D_a = 2 \times D$
	応力降下量	$\Delta \sigma_a$ (MPa)	24.6 $\Delta \sigma_a = S/S_a \times \Delta \sigma$
	短周期レベル	A_a (N·m/s ²)	2.97E+20 $A_a = (\sum A_{ai}^2)^{1/2} = 5^{1/2} A_{a1}$
各SMGA	面積	S_{a1} (km ²)	2500 $S_{a1} = S_a / 5$
	地震モーメント	M_{0a1} (N·m)	2.00E+21 $M_{0a1} = M_{0a} S_{a1}^{1.5} / \sum S_{ai}^{1.5} = M_{0a} / 5$
	すべり量	D_{a1} (cm)	1708.6 $D_{a1} = M_{0a1} / (\mu S_{a1})$
	応力降下量	$\Delta \sigma_{a1}$ (MPa)	24.6 $\Delta \sigma_{a1} = \Delta \sigma_a$
	短周期レベル	A_{a1} (N·m/s ²)	1.33E+20 $A_{a1} = 4 \pi r_1 \Delta \sigma_{a1} V_s^2$, $r_1 = (S_{a1} / \pi)^{1/2}$
	ライズタイム	τ_{a1} (s)	8.33 $\tau_{a1} = 0.5 W_{ai} / V_r$, W_{ai} : SMGA幅
背景領域	面積	S_b (km ²)	87500 $S_b = S - S_a$
	地震モーメント	M_{0b} (N·m)	3.00E+22 $M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	すべり量	D_b (cm)	732.2 $D_b = M_{0b} / \mu S_b$
	応力降下量	$\Delta \sigma_b$ (MPa)	4.9 $\Delta \sigma_b = 0.2 \Delta \sigma_a$
	ライズタイム	τ_b (s)	33.33 $\tau_b = 0.5 W / V_r$, W: 断層幅
Q値	Q	110f ^{0.69}	佐藤ほか(1994)

■敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 S_s

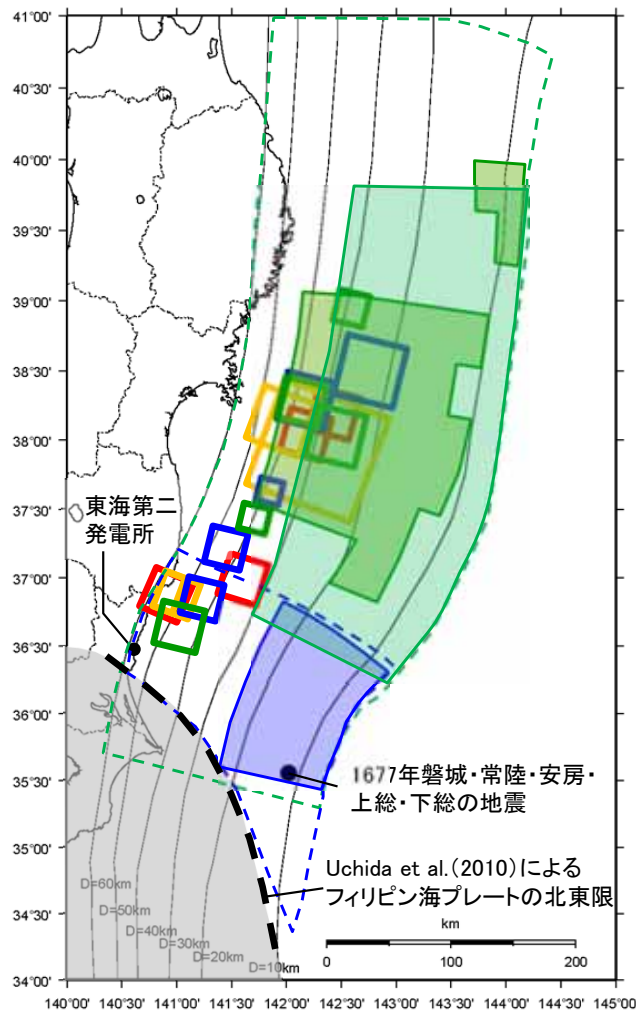
地震発生様式	検討用地震	地震規模	応答スペクトルに基づく手法による基準地震動	断層モデルを用いた手法による基準地震動
内陸地殻内地震	F1断層, 北方陸域の断層の連動による地震	M7.6	S_s-D_H (700ガル) S_s-D_V (420ガル)	S_s-1_{NS} (788ガル) S_s-1_{EW} (728ガル) S_s-1_{UD} (563ガル)
プレート間地震	2011年東北地方太平洋沖地震	Mw9.0	(すべての検討用地震を包絡させて設定)	S_s-2_{NS} (901ガル) S_s-2_{EW} (887ガル) S_s-2_{UD} (620ガル)
海洋プレート内地震	茨城県南部の地震	M7.3		他の基準地震動に包絡されるため設定していない。



■津波評価で考慮している主な波源と地震動評価で考慮している震源との関係について整理し、敷地への影響を検討する。

- 東北地方太平洋沖地震に関する内閣府(2012)等、津波インバージョン解析によるすべり量の大きな領域
- 当社の津波評価で考慮している東北地方太平洋沖型の津波波源(網掛け部は大すべり域)
- 当社の津波評価で考慮している茨城県沖に想定する津波波源(網掛け部は大すべり域)

- 東北地方太平洋沖地震の強震動生成域
- Asano and Iwata(2012)
 - Kurahashi and Irikura(2013)
 - 川辺・釜江(2013)
 - 佐藤(2012)



津波評価及び地震動評価で考慮している主な波源、震源

■津波評価、地震動評価の基本方針
過去に発生した地震や、今後発生が想定される地震等の中から敷地に与える影響の大きいものを選定し、詳細評価を行う。

■津波評価と地震動評価の着目点

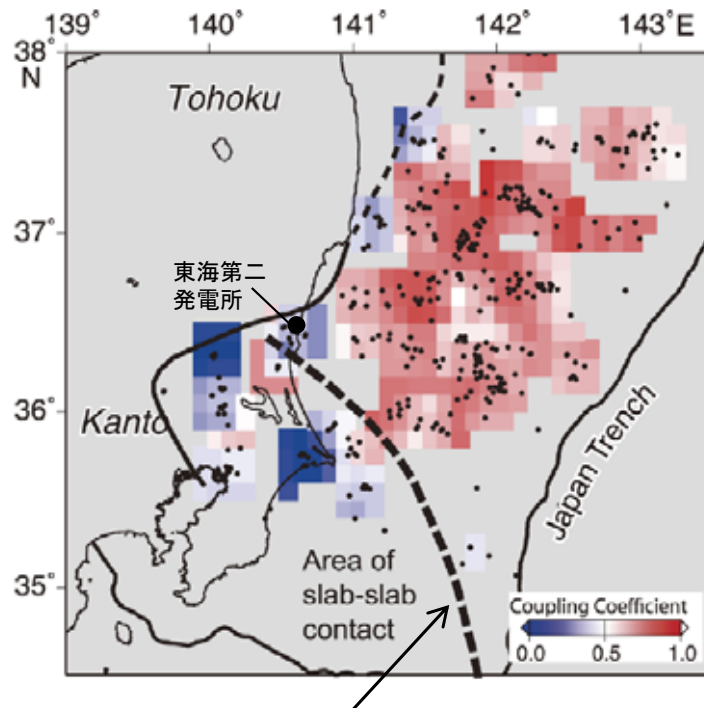
- ・Mw9.0程度の規模の大きい地震では、大すべり域と強震動生成域が空間的に分離し、また分布の範囲も異なる。
- ・津波評価では大すべり域を海溝軸付近に配置する場合に影響が大きく、一方、地震動評価では強震動生成域を敷地に近い場所に配置するほど影響が大きい。

地震	津波評価での扱い	地震動評価での扱い
1677年磐城・常陸・安房・上総・下総の地震(延宝の地震)(M8.0)	敷地に影響を及ぼした既往津波として評価	<ul style="list-style-type: none"> ・中央防災会議(2013)等によれば、大きな揺れの被害はなく、津波地震の可能性が高いとされている。 ・しかしながら宇佐美ほか(2013)の諸元に基づきM-Δ図で評価すると震度5程度以上となるため、地震動評価を実施
2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)	<ul style="list-style-type: none"> ・敷地に影響を及ぼした既往津波として評価 ・今後発生が想定される津波として評価を実施 	敷地で震度5程度以上であり、また敷地に最も大きな影響を与えた地震として地震動評価を実施
茨城県沖に想定する津波波源(Mw8.5)	過去に発生していないが、今後発生が想定される津波として評価を実施	<ul style="list-style-type: none"> ・東北地方太平洋沖地震の強震動生成域は、大すべり域と異なり茨城沖にも存在し、敷地での揺れは茨城県沖の強震動生成域の影響が大きい。 ・従って、茨城県沖に想定する津波波源による地震動は東北地方太平洋沖地震の地震動で代表させることとする。

表中の網掛け： 敷地に与える影響が最も大きい波源または震源

■プレート間結合度の分布について

- Uchida et al.(2009)は、繰り返し小地震のすべり量から推定したプレート間結合度の分布を検討し、フィリピン海プレート端部を境にして、その境より南ではプレート間結合度が低くなっているとしている。
- また、長谷川ほか(2013)では、Uchida et al.(2009)等の分析結果を踏まえ、東北地方太平洋沖地震について、「北から伝播してきた破壊が、上盤側がフィリピン海プレートに変わり、プレート間結合度が小さく、すべり遅れがほとんどない領域に入ると、そこで破壊がとまったということになる。すべり遅れのない領域には破壊が広がっていかないはずであり、すべり域の南限はそれで規定されたと考えられる。」としている。



フィリピン海プレート北東端

プレート間結合度の分布

図4 繰り返し小地震のすべり量の積算から推定されたプレート間結合度の分布 (Uchida et al., 2009). 各領域で推定されたカプリング係数をカラースケールで示す。黒点は推定に用いた繰り返し小地震の各グループの位置を示す。太破線はフィリピン海プレートの北東端。

Fig. 4 Spatial distribution of interplate coupling (color) estimated from cumulative slip of repeating earthquakes sequences (Uchida et al., 2009). Black dots and thick broken curve denote locations of repeating earthquake sequences and northeastern edge of PHS plate, respectively.

長谷川ほか(2013)に一部加筆

長谷川昭・中島淳一・内田直希・海野徳仁(2013):東京直下に沈み込む2枚のプレートと首都圏下の特異な地震活動, 地学雑誌, 122(3)398-417, 2013, doi:10.5026/jgeography.122.398

不確かさ重畳について

■主要な断層パラメータについて、敷地周辺のプレート間地震に関する知見等を踏まえて認識論的不確かさと偶然的不確かさに分類し、敷地での地震動に大きな影響を与えるパラメータを不確かさとして考慮する。

【認識論的不確かさ】：事前の詳細な調査や経験式などにに基づき設定できるもの ⇒ それぞれ独立させて考慮することを基本とする。



【偶然的不確かさ】：事前の詳細な調査や経験式からは設定が困難なもの ⇒ 重畳させて考慮する。

■コメントを踏まえSMGA位置の不確かさについては下記のとおり扱うこととし、SMGA位置の不確かさと短周期レベルの不確かさを重畳させることとした。

【2014年頃】：SMGA位置の不確かさは認識論的不確かさとして扱う

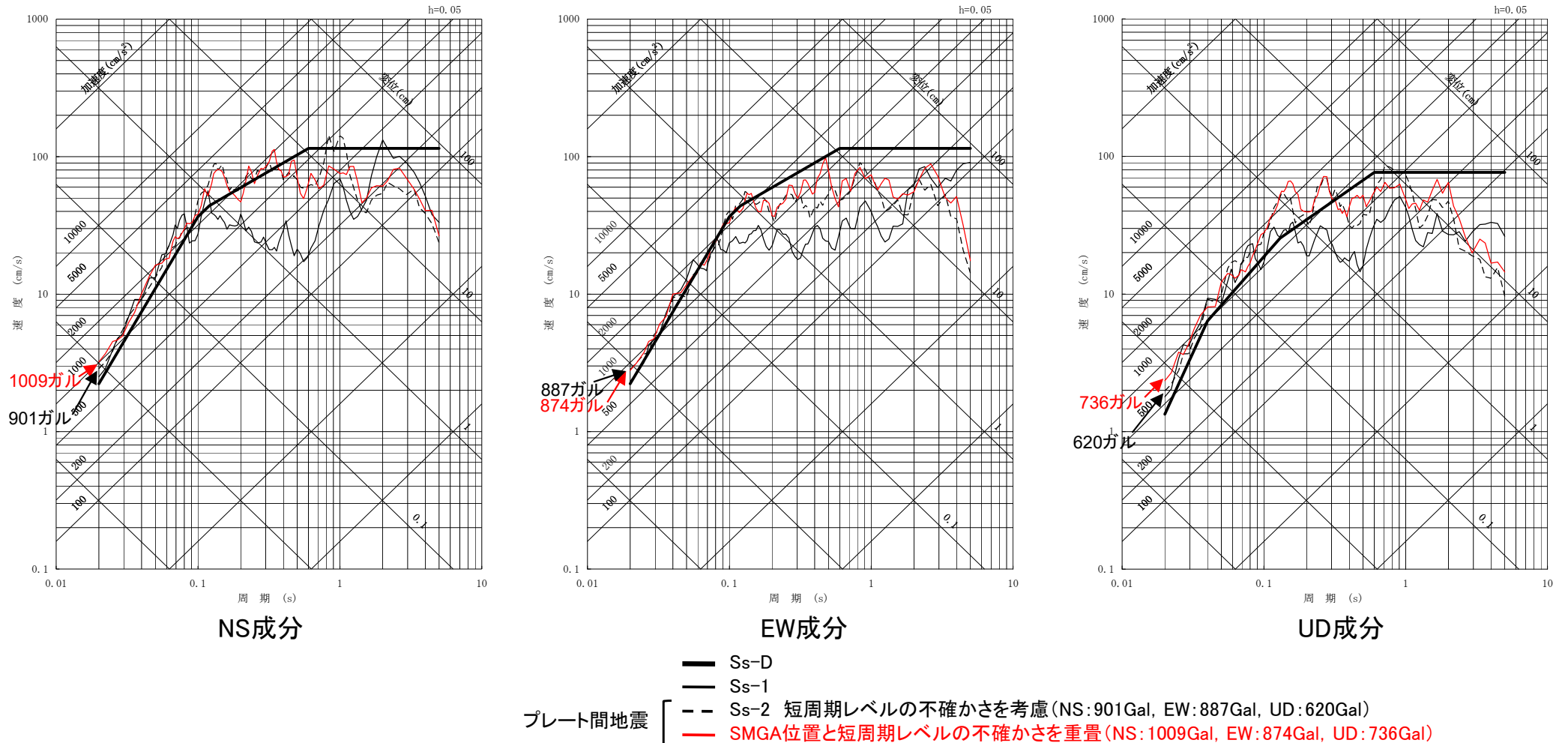
【2018年】：SMGA位置の不確かさは認識論的不確かさと偶然的不確かさが混在した不確かさとして扱う

評価ケース	認識論的不確かさ			偶然的不確かさ	
	断層設定位置	地震規模	短周期レベル	SMGA位置	破壊開始点
基本ケース	フィリピン海プレートの北東限を考慮し、三陸沖中部～茨城県沖に設定	Mw9.0	宮城県沖、福島県沖、茨城県沖で発生する地震の平均※1	東北地方太平洋沖地震のSMGAや、それぞれの領域で過去に発生したM7～M8クラスの地震の震源域を参考に配置	2011年東北地方太平洋沖地震の気象庁震源位置※3
SMGA位置の不確かさ	フィリピン海プレートの北東限を考慮し、三陸沖中部～茨城県沖に設定	Mw9.0	宮城県沖、福島県沖、茨城県沖で発生する地震の平均※1	基本震源モデルのSMGA位置に対し、茨城県沖のSMGAを敷地に最も近い位置に移動	2011年東北地方太平洋沖地震の気象庁震源位置※3
短周期レベルの不確かさ	フィリピン海プレートの北東限を考慮し、三陸沖中部～茨城県沖に設定	Mw9.0	基本震源モデルの1.5倍※2	東北地方太平洋沖地震のSMGAや、それぞれの領域で過去に発生したM7～M8クラスの地震の震源域を参考に配置	2011年東北地方太平洋沖地震の気象庁震源位置※3
SMGA位置の不確かさと短周期レベルの不確かさの重畳	フィリピン海プレートの北東限を考慮し、三陸沖中部～茨城県沖に設定	Mw9.0	基本震源モデルの1.5倍※2	基本震源モデルのSMGA位置に対し、茨城県沖のSMGAを敷地に最も近い位置に移動	2011年東北地方太平洋沖地震の気象庁震源位置※3

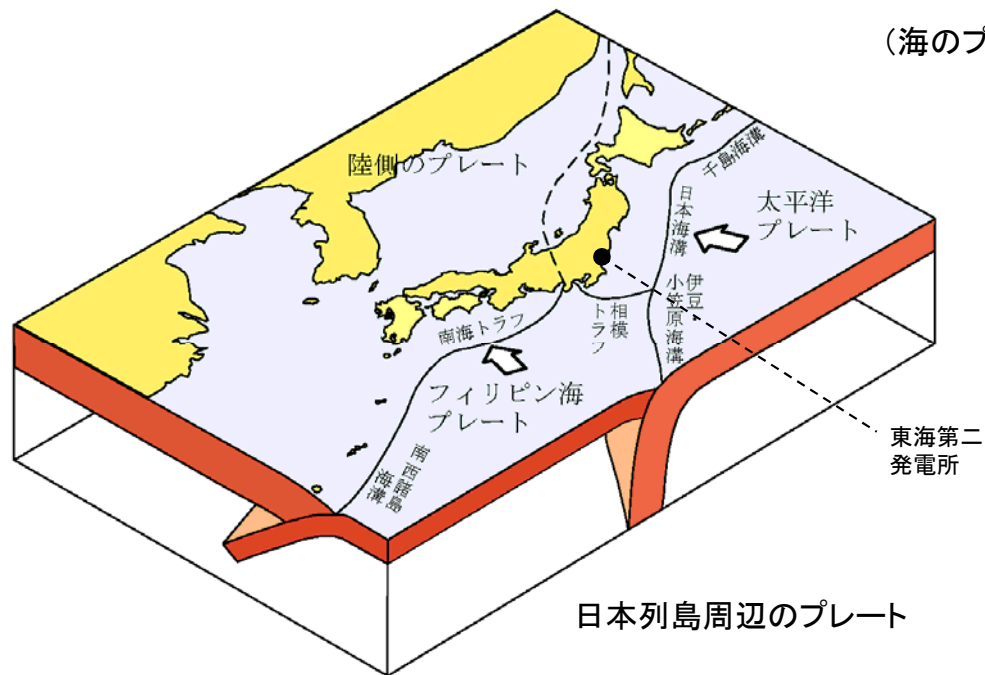
 不確かさを考慮して設定するパラメータ
 追加したケース

※1 茨城県沖で発生する地震に対しては大きめの設定となっている。
 ※2 すべてのSMGAの短周期レベルを1.5倍している。
 ※3 破壊が敷地に向かう位置に設定されている。

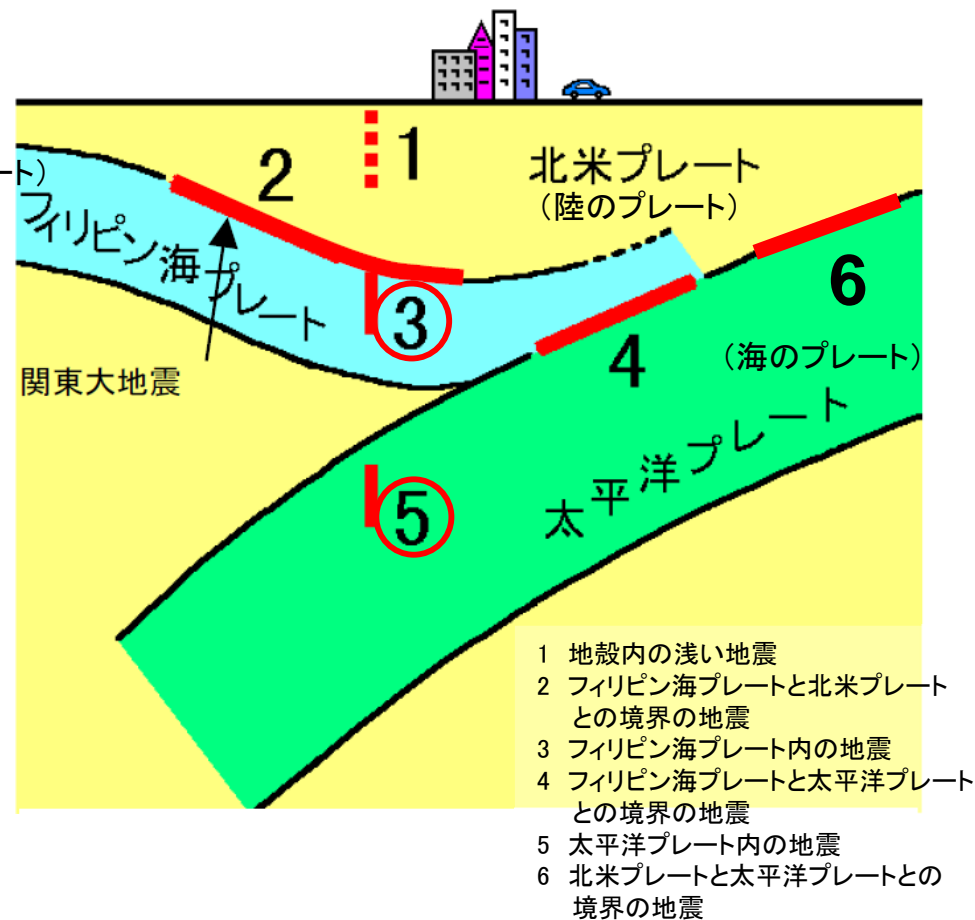
■ SMGA位置と短周期レベルの不確かさを重畳させたケースは，NS成分で1009Galの地震動評価結果となり，短周期レベルの不確かさを考慮したケース(申請時Ss-2，NS成分で901Gal)を上回った。



4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち 海洋プレート内地震



日本のプレートテクトニクスモデル概念図
(防災科学技術研究所)



南関東地域で発生する地震のタイプ
(中央防災会議に一部加筆)

- 内陸地殻内地震は陸のプレートの内部で発生する地震で、図の1のタイプである。
- プレート間地震は異なるプレートの境界で発生する地震で、図の2, 4, 6のタイプである。
- 海洋プレート内地震は海のプレートの内部で発生する地震で、図の3, 5のタイプである。

■内容

- 検討用地震(敷地に最も大きな影響を与える地震)として, 中央防災会議(2004)に基づいた茨城県南部の地震(M7.3)を選定
- 地震動評価ケース
 - ・基本ケース
 - ・不確かさケース 強震動生成域の位置(敷地最短位置に設定)



■ポイント

- 応力降下量など, 重要な断層パラメータの妥当性
- 不確かさ考慮の妥当性



■反映事項

- 検討用地震の候補として下記を追加
 - ・太平洋プレート内地震としてM7.3を茨城県沖に設定(地震調査研究推進本部)
 - ・太平洋プレート内地震としてM8.2を海溝寄りに設定(地震調査研究推進本部)
- 検討用地震の地震動評価において中央防災会議(2013)の知見反映(応力降下量が21MPa→62MPaに増大)
- 地震動評価ケースの追加(青字)
 - ・基本ケース
 - ・不確かさケース1 断層傾斜角(基本ケース90度→断層破壊が敷地に向かうよう傾斜)
 - ・不確かさケース2 強震動生成域の位置(敷地最短位置に設定)
 - ・不確かさケース3 応力降下量(基本ケース62MPa→78MPa)
 - ・不確かさケース4 地震規模(基本ケースM7.3→M7.4)

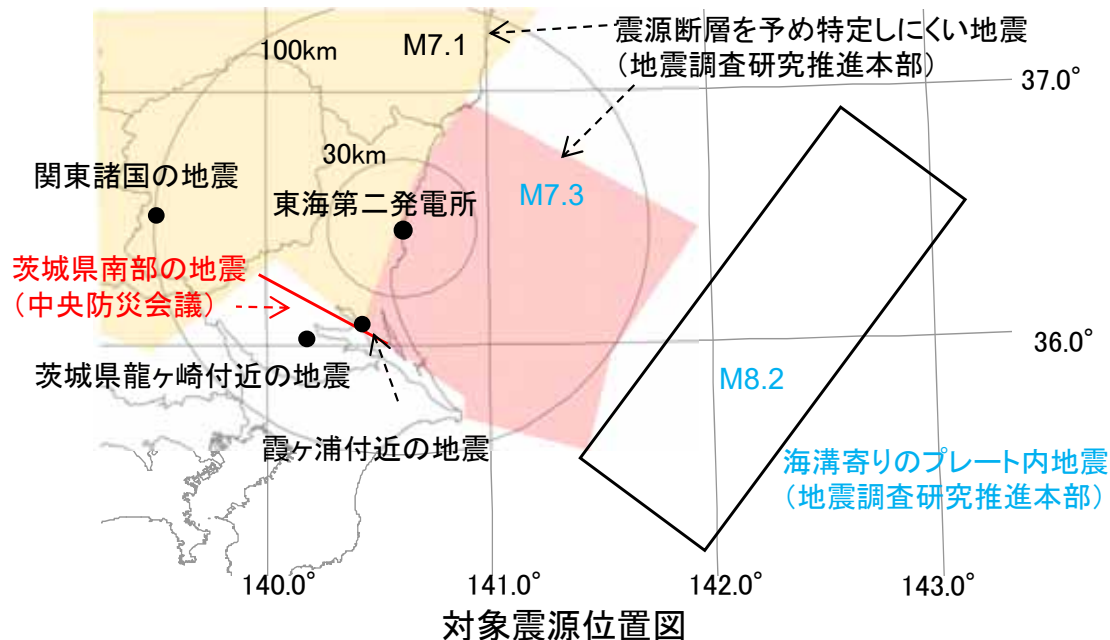
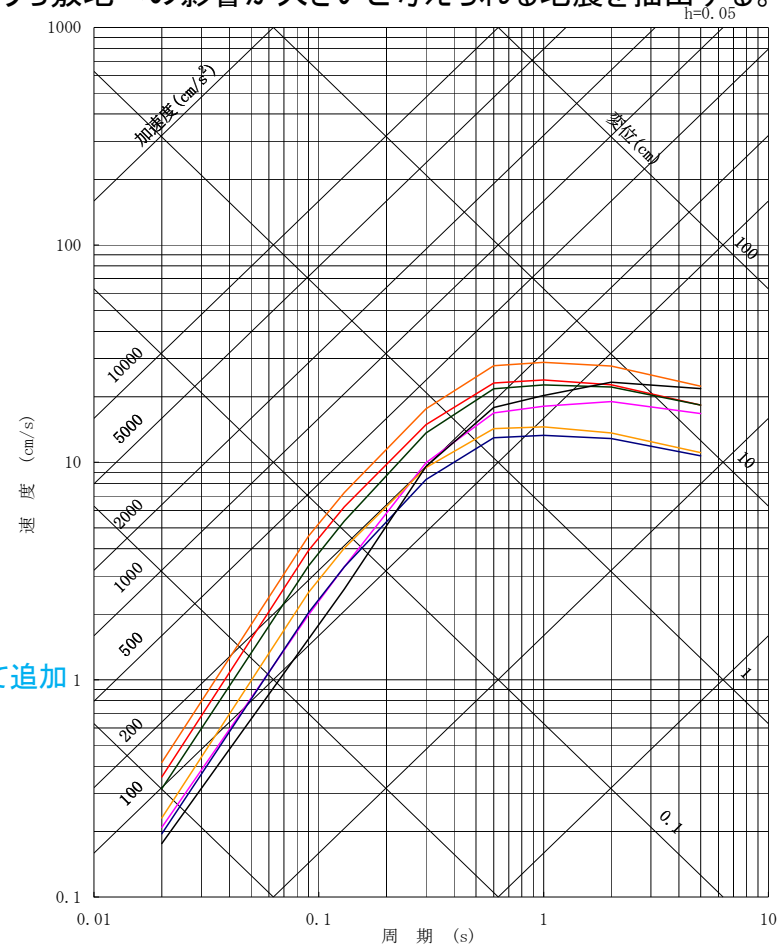
検討用地震の選定

■敷地で震度5程度以上となる過去の被害地震、各機関の想定した海洋プレート内地震のうち敷地への影響が大きいと考えられる地震を抽出する。

年月日	地名(地震名)	地震規模 M	等価震源距離 (km) ^{※1}	プレート	補正係数 ^{※4}
818.-.-	関東諸国の地震	7.5	123	フィリピン海	考慮
1895. 1.18	霞ヶ浦付近の地震	7.2	69	フィリピン海	考慮
1921.12. 8	茨城県龍ヶ崎付近の地震	7.0	74	フィリピン海	考慮
-	茨城県南部の地震(中央防災会議)	7.3	69	フィリピン海	考慮
-	震源断層を予め特定しにくい地震(陸域) (地震調査研究推進本部)	7.1	89 ^{※2}	太平洋	考慮
-	震源断層を予め特定しにくい地震(海域) (地震調査研究推進本部)	7.3	81 ^{※3}	太平洋	考慮
-	海溝寄りのプレート内地震 (地震調査研究推進本部)	8.2	164	太平洋	

- ※1 地震カタログによる位置情報やプレート境界等深線等に基づいて算出
- ※2 敷地直下のプレート境界から30km下方に震源を想定して算出
- ※3 敷地からプレート境界最短となる線上でプレート境界から30km下方に震源を想定して算出
- ※4 陸域寄りの場所で発生した海洋プレート内地震による補正係数

審査コメントを踏まえて追加



検討用地震としてフィリピン海プレート内地震である茨城県南部の地震(M7.3, 中央防災会議)を選定した。

■基本震源モデルの設定

中央防災会議(2004)「首都直下地震対策専門調査会」(第12回)地震ワーキンググループ報告書で想定されている茨城県南部のフィリピン海プレート内地震を参考に設定する。

地震規模

同報告書に基づき, Mj7.3とする。

断層面の位置・形状

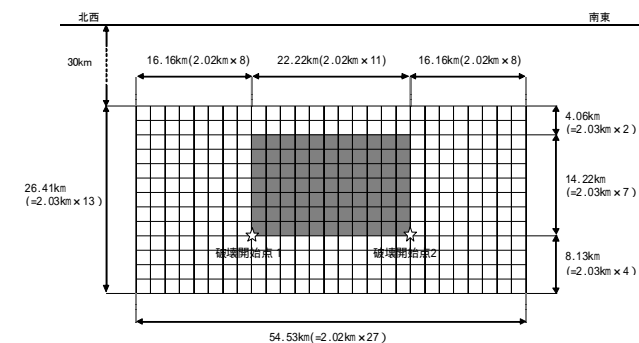
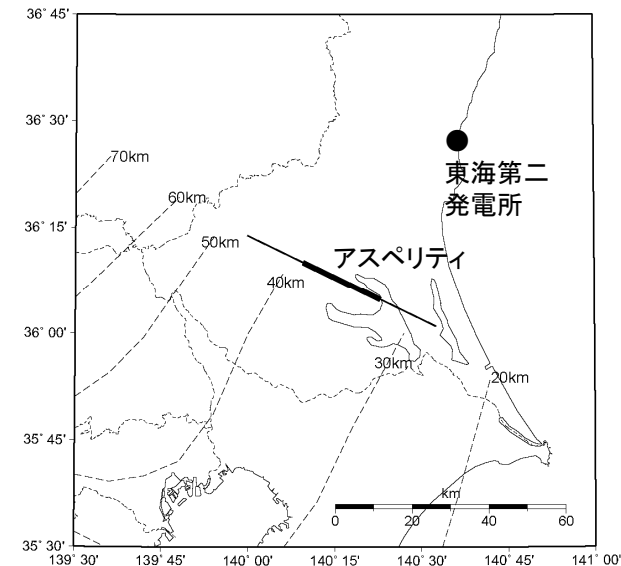
- ・断層位置は, 同報告書の茨城県南部のプレート境界地震の断層面の北端(フィリピン海プレートの敷地に最も近い位置)とした。
- ・断層傾斜角は同報告書を基に90度とした。

断層面の深さ

同報告書(図表集)によるフィリピン海プレートの上面位置となる深さ30kmに設定する。

アスペリティの位置

同報告書(図表集)による東京湾北部直下のプレート内地震のモデルを参考に, 断層の中央に設定する。

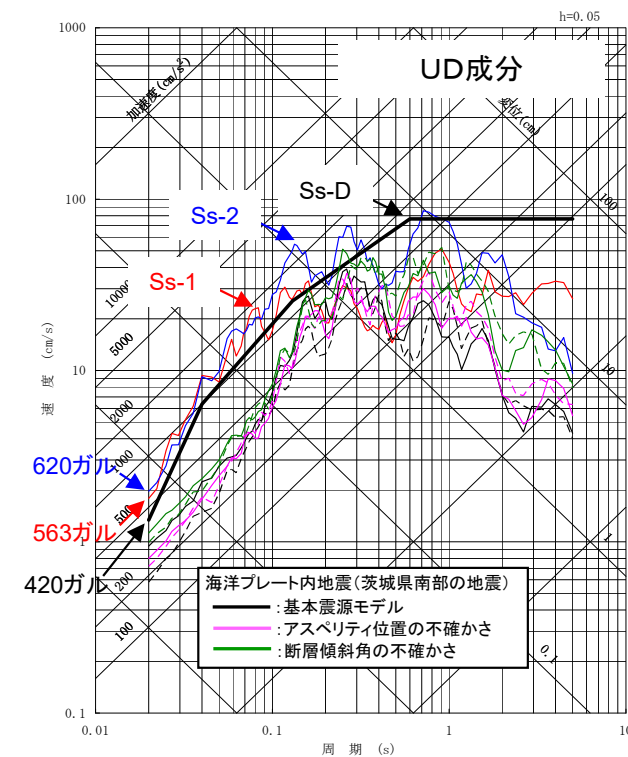
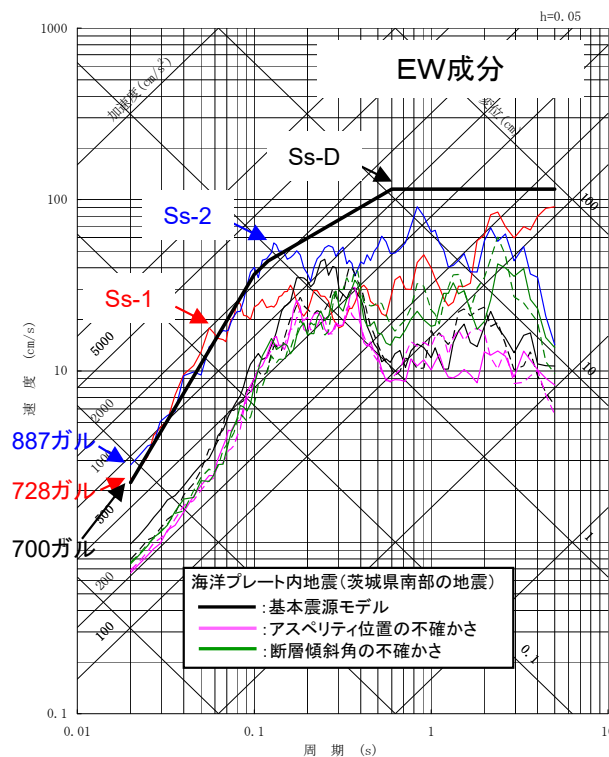
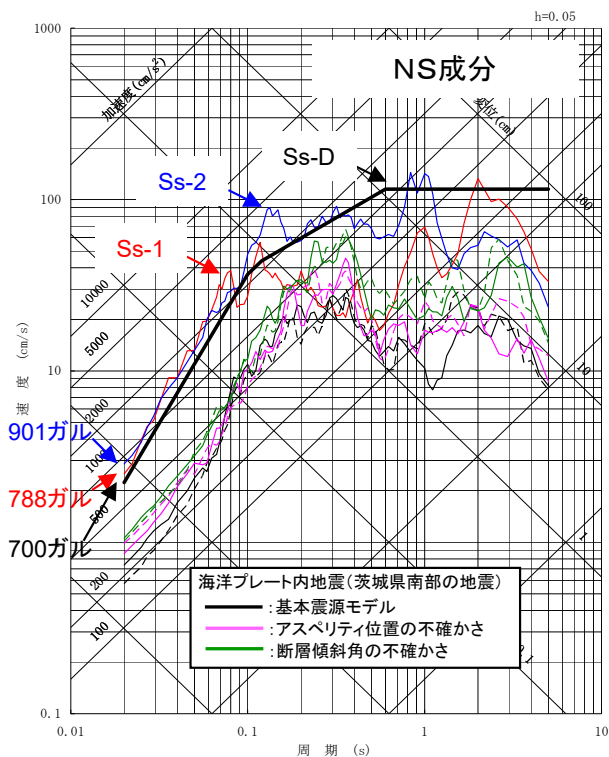


基本震源モデル

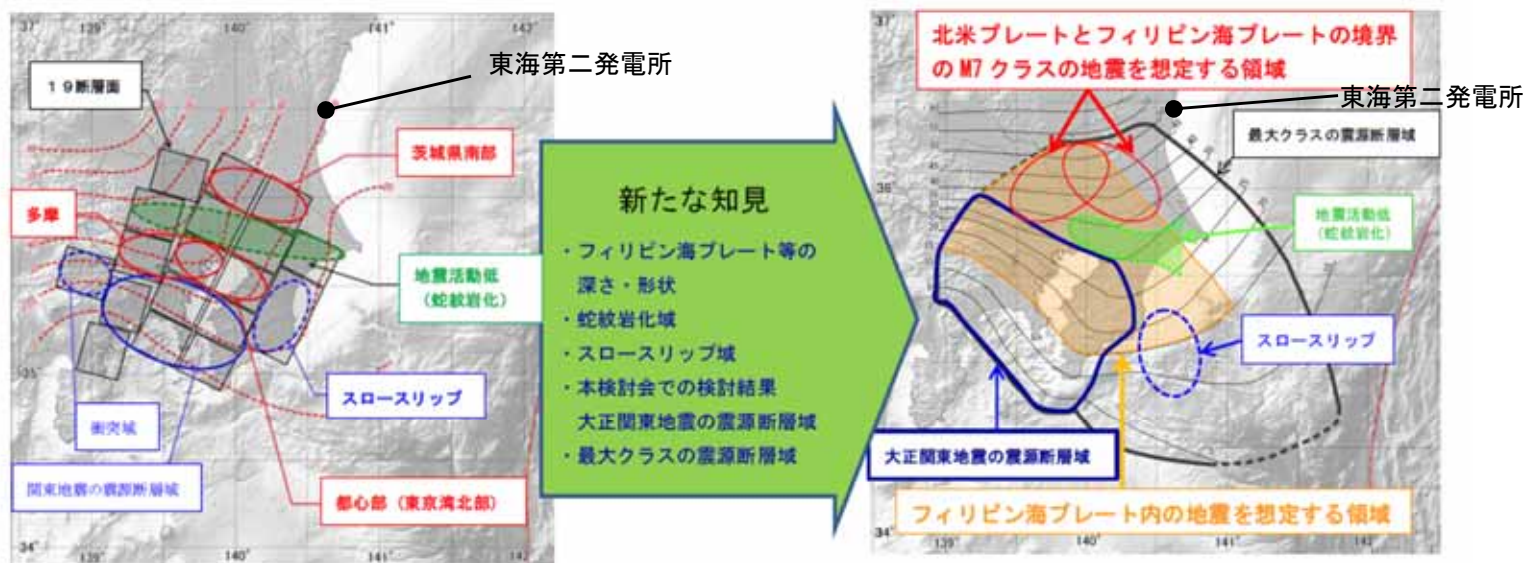
中央防災会議(2004): 中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」(第12回)地震ワーキンググループ報告書, 平成16年11月
 中央防災会議(2004): 中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」(第12回)地震ワーキンググループ報告書(図表集), 平成16年11月

■敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動Ss

地震発生様式	検討用地震	地震規模	応答スペクトルに基づく手法による基準地震動	断層モデルを用いた手法による基準地震動
内陸地殻内地震	F1断層, 北方陸域の断層の連動による地震	M7.6	S _S -D _H (700ガル) S _S -D _V (420ガル) (すべての検討用地震を包絡させて設定)	S _S -1 _{NS} (788ガル) S _S -1 _{EW} (728ガル) S _S -1 _{UD} (563ガル)
プレート間地震	2011年東北地方太平洋沖地震	Mw9.0		S _S -2 _{NS} (901ガル) S _S -2 _{EW} (887ガル) S _S -2 _{UD} (620ガル)
海洋プレート内地震	茨城県南部の地震	M7.3		他の基準地震動に包絡されるため設定していない。



■中央防災会議(2013)「首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書」では、中央防災会議(2004)以降の新たな知見を考慮し、フィリピン海プレートの深さ・形状の見直しや各震源の見直しがされている。



大正関東地震の震源断層域の拡大 ⇒ **プレート境界地震の東京湾北部地震、多摩地震を対象外**
 ⇒ **首都直下のM7クラスの地震としてフィリピン海プレート内地震を想定※**
 ※前回検討では、フィリピン海プレート内の地震は、その震度分布はプレート境界の地震に震度分布が包含されるとして検討対象外としていた。
 蛇紋岩化の領域の縮小 ⇒ **プレート境界型の地震として茨城・埼玉県境地震を追加**

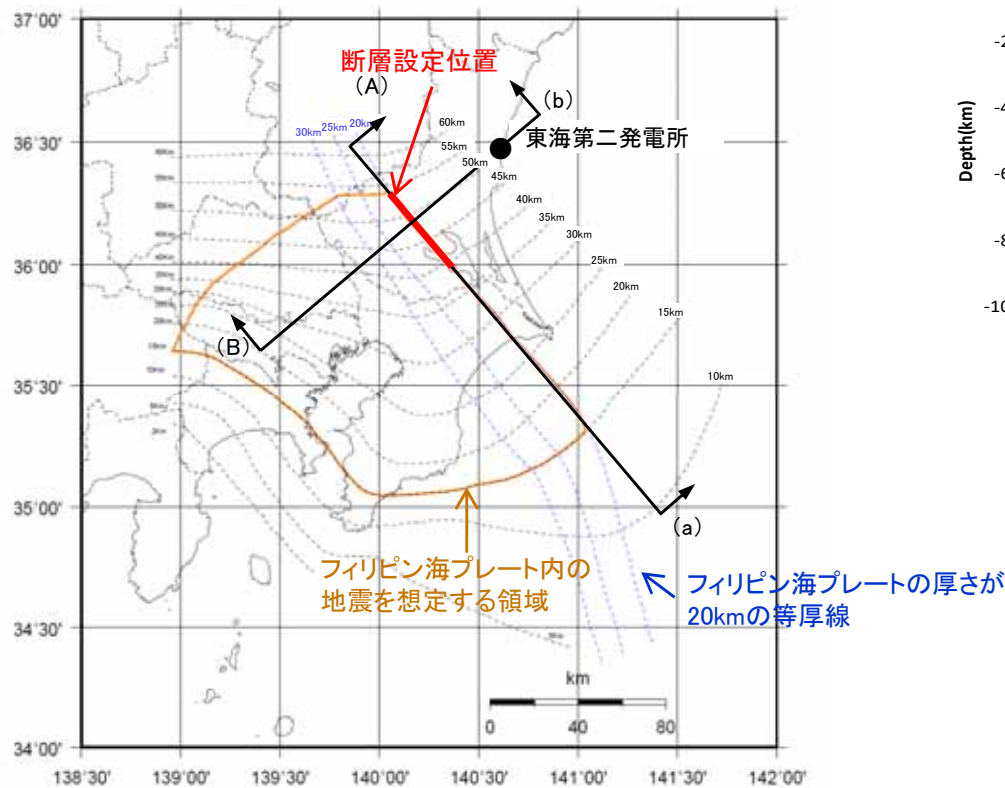
中央防災会議(2013)で新たに考慮された知見

中央防災会議(2013)に一部加筆

中央防災会議(2013):首都直下地震モデル検討会「首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書」, 平成25年12月

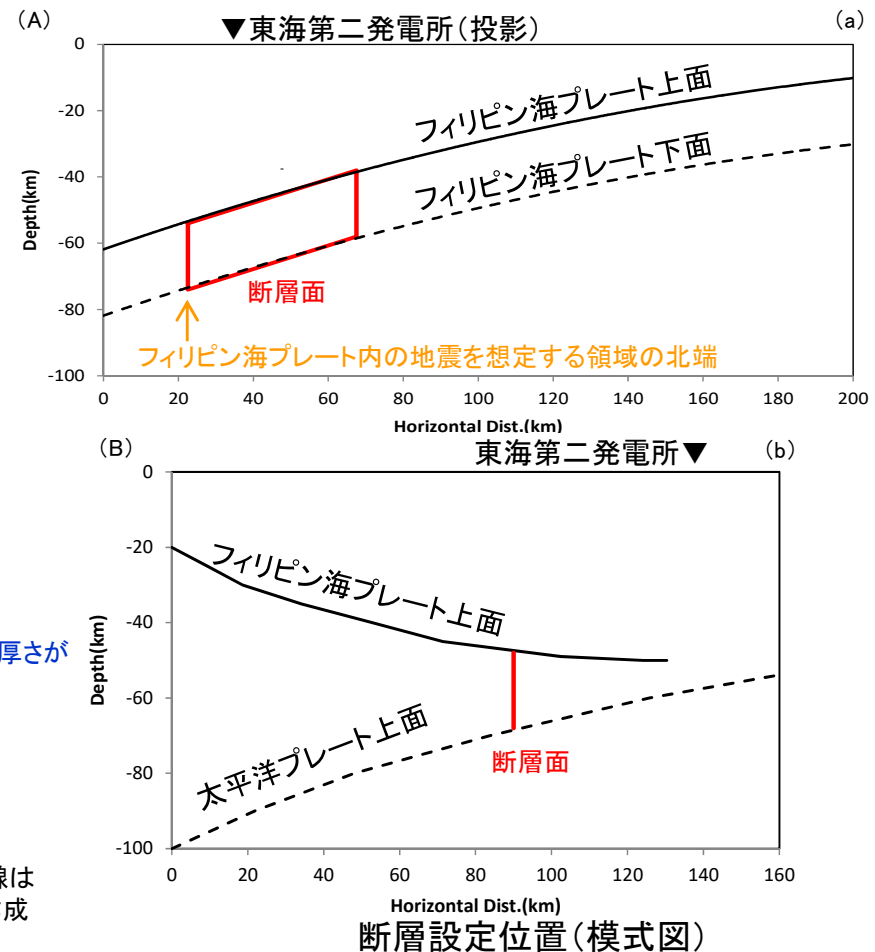
■基本震源モデルの断層面位置・形状

- ・海洋プレート内地震の発生位置については事前情報が乏しいので、断層中心と敷地の投影位置が概ね一致するように配置することを基本とする。
- ・中央防災会議(2013)では、フィリピン海プレート内の地震はプレートの厚さが20km以上となる左図の「フィリピン海プレート内の地震を想定する領域」で発生するとしているため、その範囲に断層面を設定する。
- ・上記に従い、プレートの厚さが20kmの等厚線に沿って断層幅と断層長さの比を概ね1:2とし、傾斜角90度として設定する。
- ・断層位置・形状の設定に際しては、次頁以降に示す長谷川ほか(2013)の知見も参考とする。



断層設定位置

※フィリピン海プレートの等深線は中央防災会議(2013)を基に作成



■断層パラメータ(基本震源モデル)

項目		設定値	設定方法
基準点 (断層北西端)	N(度)	36.291	中央防災会議(2013)のフィリピン海プレート内の地震を想定する領域の北端
	E(度)	140.06	
上端深さ	h(km)	38~54	フィリピン海プレートの上面位置
気象庁マグニチュード*	M _j	7.3	M _j =M _w
モーメントマグニチュード*	M _w	7.3	中央防災会議(2013)
地震モーメント	M ₀ (N・m)	1.12E+20	logM ₀ =1.5M _w +9.1
走向	θ(度)	140.7	中央防災会議(2013)のフィリピン海プレート内の地震を想定する領域
傾斜角	δ(度)	90	中央防災会議(2013)
ずれの種類	—	右横ずれ	長谷川ほか(2013)
すべり角	λ(度)	180	長谷川ほか(2013)
平均応力降下量	Δσ(MPa)	10.3	中央防災会議(2013)
断層面積	S(km ²)	900	中央防災会議(2013)
長さ	L(km)	45	L=S/W
幅	W(km)	20	中央防災会議(2013)のフィリピン海プレートの厚さ
密度	ρ(g/cm ³)	2.875	μ=ρV _s ²
せん断波速度	V _s (km/s)	4.0	佐藤(2003)
剛性率	μ(N/m ²)	4.6E+10	中央防災会議(2013)
平均すべり量	D(m)	2.55	D=M ₀ /(μS)
破壊伝播速度	V _r (km/s)	2.9	中央防災会議(2013)

項目		設定値	設定方法	
ア ス ベ リ テ イ	面積	S _a (km ²)	150	中央防災会議(2013)
	すべり量	D _a (m)	5.1	D _a =2D
	地震モーメント	M _{0a} (N・m)	3.52E+19	M _{0a} =μD _a S _a
	応力降下量	Δσ _a (MPa)	62	中央防災会議(2013)
	短周期レベル(参考)	A(N・m/s ²)	8.61E+19	A _a =4πr _a Δσ _a V _s ²
背 景 領 域	面積	S _b (km ²)	750	S _b =S-S _a
	すべり量	D _b (m)	2.23	D _b =M _{0b} /(μS _b)
	地震モーメント	M _{0b} (N・m)	7.7E+19	M _{0b} =M ₀ -M _{0a}
	実効応力	Δσ _b (MPa)	12.4	Δσ _b =0.2Δσ _a
Q値		Q	110f ^{0.69}	佐藤(1994)

不確かさの考慮について



■不確かさの検討の要否を踏まえ、基本震源モデルに対し、地震動評価の観点から影響が大きいと考えられるパラメータに対し不確かさを考慮する。認識論的不確かさについては単独で考慮し、偶然的不確かさについては重畳させて考慮する。

評価ケース	認識論的不確かさ			偶然的不確かさ		
	地震規模	断層傾斜角	応力降下量	アスペリティ位置	震源位置※2	破壊開始点
基本震源モデル	中央防災会議(2013)で想定されている最大規模である Mw7.3※1	中央防災会議(2013)に基づき90度に設定	中央防災会議(2013)に基づき62MPa※1に設定	海洋性マントルの最上部に配置	フィリピン海プレート内の地震を想定する領域のうち敷地から十分近い位置	アスペリティ下端に複数設定
断層傾斜角の不確かさ	中央防災会議(2013)で想定されている最大規模である Mw7.3※1	敷地へ向く傾斜角37度に設定	中央防災会議(2013)に基づき62MPa※1に設定	海洋性マントルの最上部に配置	フィリピン海プレート内の地震を想定する領域のうち敷地から十分近い位置	アスペリティ下端に複数設定
アスペリティ位置の不確かさ	中央防災会議(2013)で想定されている最大規模である Mw7.3※1	中央防災会議(2013)に基づき90度に設定	中央防災会議(2013)に基づき62MPa※1に設定	断層上端に設定	フィリピン海プレート内の地震を想定する領域のうち敷地から十分近い位置	アスペリティ下端に複数設定
応力降下量の不確かさ (笹谷ほか(2006)に基づく)	中央防災会議(2013)で想定されている最大規模である Mw7.3※1	中央防災会議(2013)に基づき90度に設定	77.59MPaに設定	海洋性マントルの最上部に配置	フィリピン海プレート内の地震を想定する領域のうち敷地から十分近い位置	アスペリティ下端に複数設定
地震規模の不確かさ	2004年紀伊半島南東沖地震を参考にMw7.4	中央防災会議(2013)に基づき90度に設定	中央防災会議(2013)に基づき62MPa※1に設定	海洋性マントルの最上部に配置	フィリピン海プレート内の地震を想定する領域のうち敷地から十分近い位置	アスペリティ下端に複数設定

※1 地震規模、アスペリティの応力降下量については、1855年安政江戸地震の最大震度を再現する強震断層モデル(それぞれMw7.2, 52MPa)に2割程度の大きな地震を想定し、それぞれMw7.3, 62MPaとしている。

※2 震源位置を敷地に十分近く設定することにより、予め不確かさを考慮した。また、震源域付近のフィリピン海プレートの厚さを考慮し、断層上端をプレート上面に合わせて設定した。

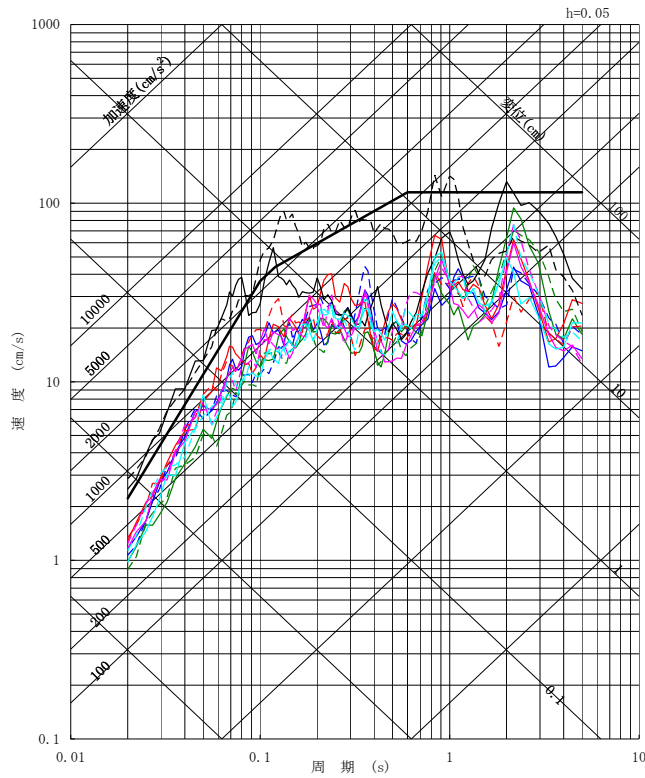


基本震源モデルの設定の段階で
予め不確かさを考慮するパラメータ

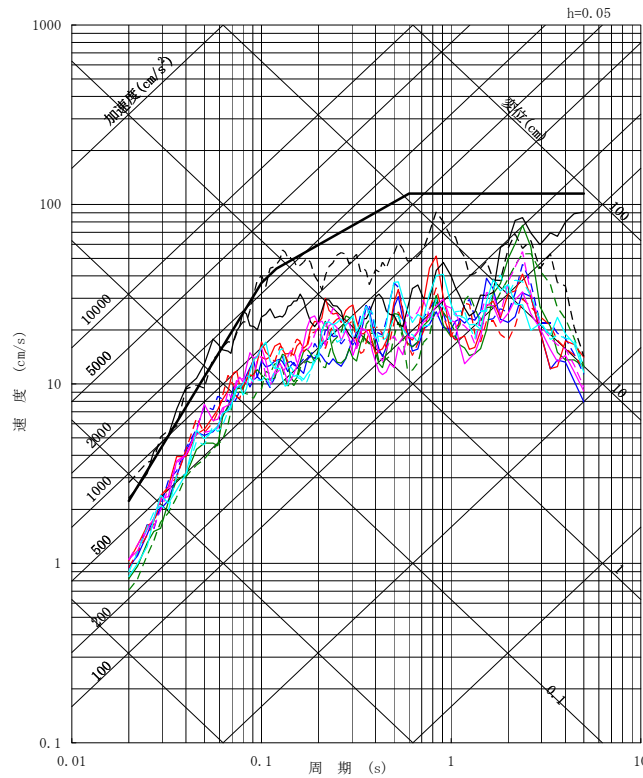


不確かさを考慮して設定するパラメータ

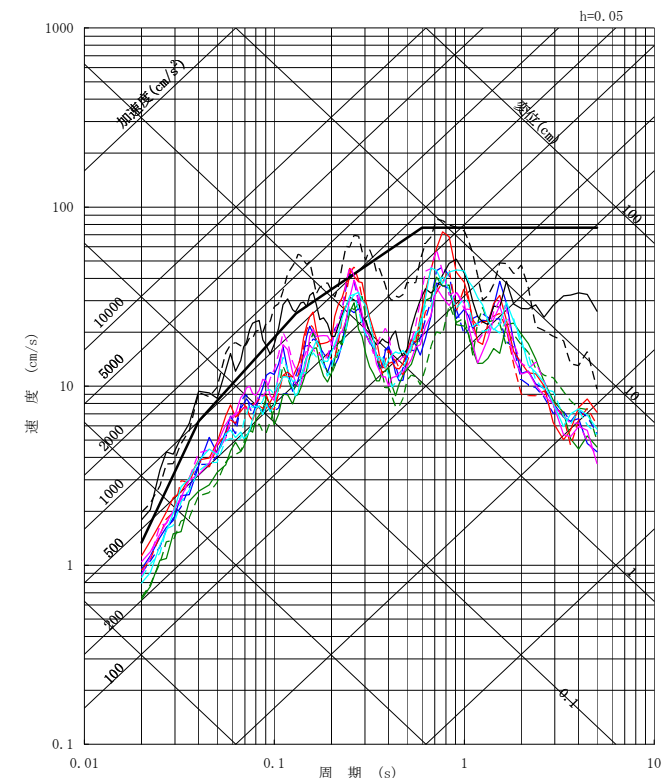
■茨城県南部の地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価は、基準地震動 S_s に包絡される結果となった。



NS成分



EW成分



UD成分

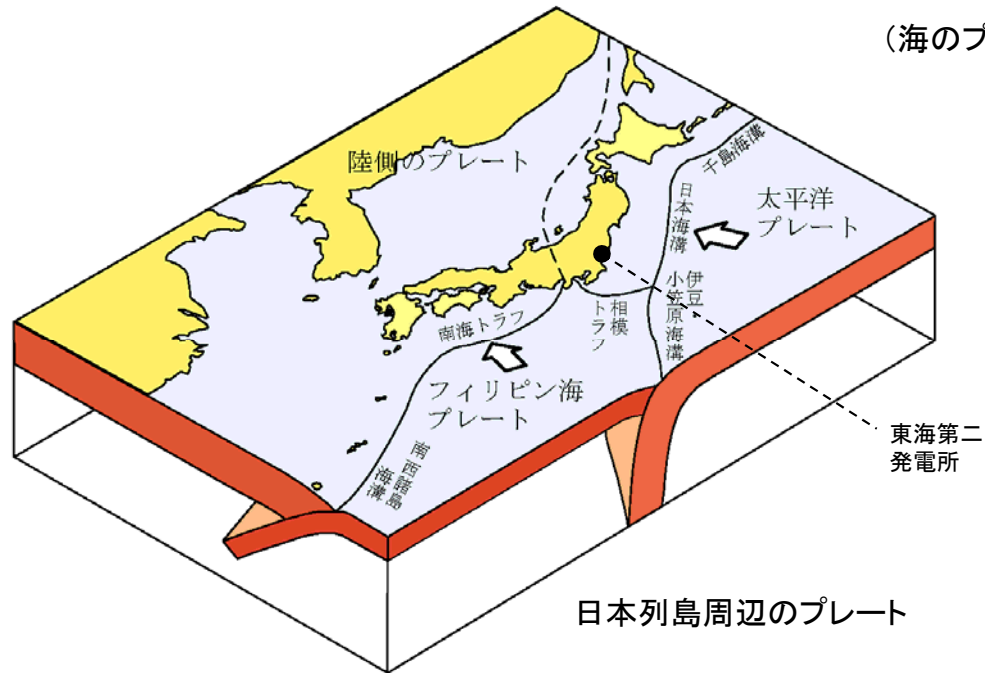
- 基本震源モデル
- 断層傾斜角の不確かさを考慮したケース
- アスペリティ位置の不確かさを考慮したケース
- 応力降下量の不確かさを考慮したケース
- 地震規模の不確かさを考慮したケース

〔 実線: 破壊開始点1
破線: 破壊開始点2 〕

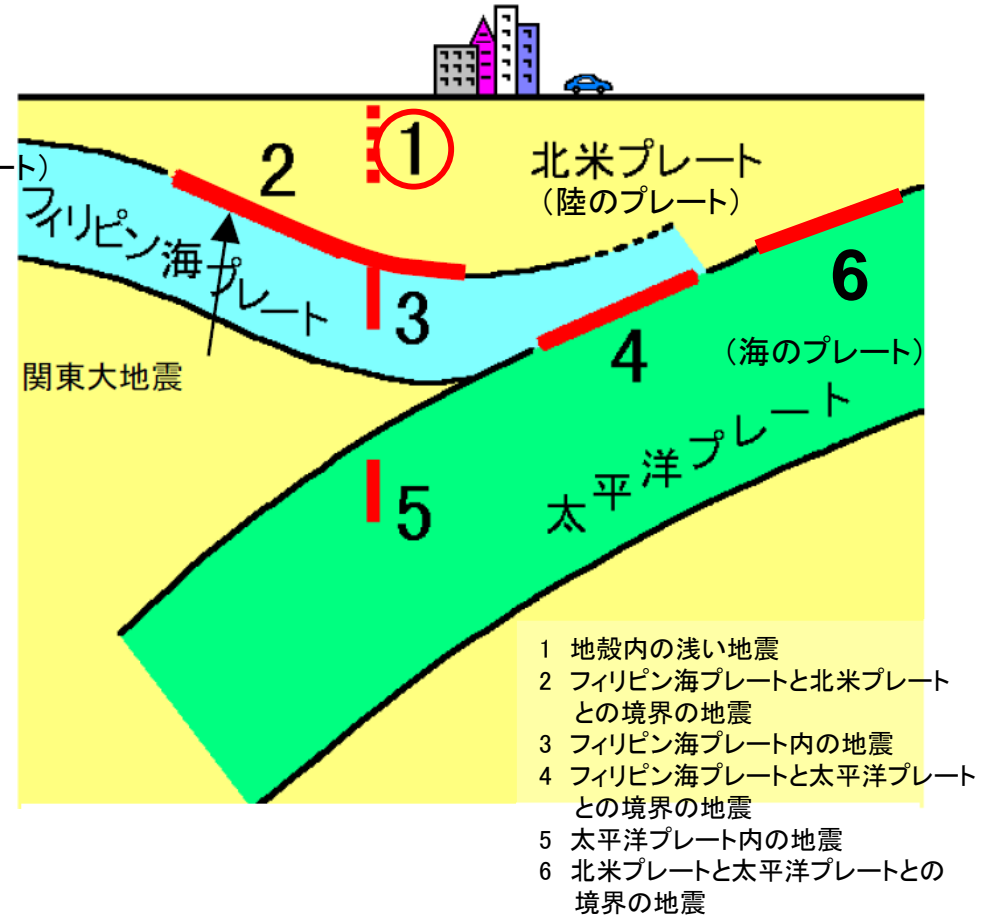
- S_s -D (応答スペクトルに基づく手法による各評価結果を包絡し策定)
- S_s -1 (F1断層, 北方陸域の断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさを考慮))
- S_s -2 (2011年東北地方太平洋沖地震(短周期レベルの不確かさを考慮))

※基準地震動 S_s は設置変更許可申請時のものを記載している。

5. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち 内陸地殻内地震について



日本のプレートテクトニクスモデル概念図
(防災科学技術研究所)



南関東地域で発生する地震のタイプ
(中央防災会議に一部加筆)

- **内陸地殻内地震は陸のプレートの内部で発生する地震で、図の1のタイプである。**
- プレート間地震は異なるプレートの境界で発生する地震で、図の2, 4,, 6のタイプである。
- 海洋プレート内地震は海のプレートの内部で発生する地震で、図の3, 5のタイプである。

■内容

- 検討用地震(敷地に最も大きな影響を与える地震)としてF1断層, 北方陸域の断層の連動(長さ44km, M7.6)を選定
- 地震動評価ケース
 - ・基本ケース
 - ・不確かさケース 短周期レベル(基本ケースに対して1.5倍) → 基準地震動Ss-1(788gal)に選定

■ポイント

- アスペリティ位置の妥当性
- 破壊開始点位置の妥当性

震源モデルの見直し

断層長さの見直し: 44km→58km

(「敷地周辺及び近傍の地質・地質構造」で審議)

■反映事項

- 破壊開始点位置を追加(どの評価ケースでも共通に考慮)するとともに, アスペリティ位置の不確かさをケースを追加(青字)
- ・基本ケース
 - ・不確かさケース1 強震動生成域の位置(敷地最短位置に設定)
 - ・不確かさケース2 短周期レベル(基本ケースに対して1.5倍)
 - ・不確かさケース3 傾斜角(基本ケースの60度に対して45度)
 - ・不確かさケース4 **アスペリティ位置(断層端部に配置)**

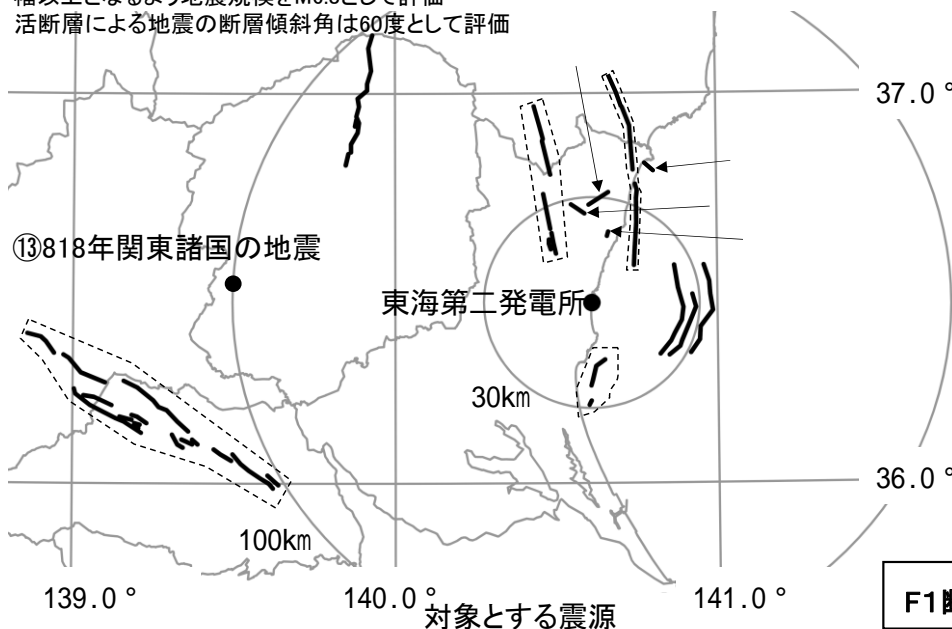
検討用地震の選定

■敷地で震度5程度以上となる活断層及び過去の被害地震を抽出する。

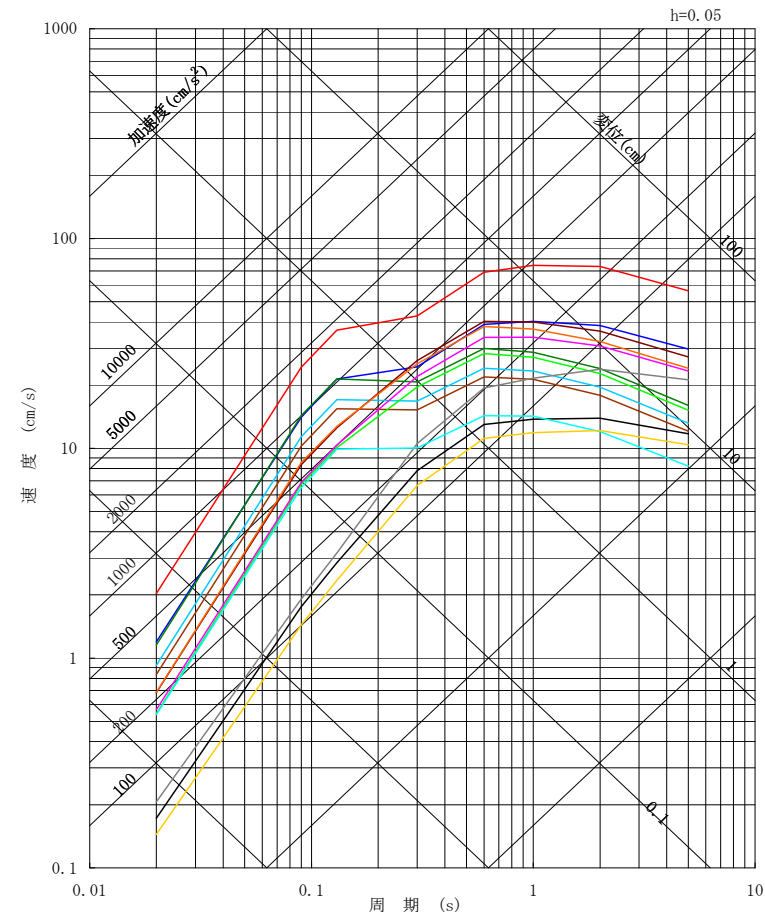
地震名		長さ (km)	地震規模 M	断層上端深さ (km)	等価震源距離 (km) ^{※2}	補正係数
活断層による地震	① 棚倉破砕帯東縁断層, 同西縁断層の連動	42	7.5	3	37	考慮
	② 関口-米平リニアメント	6	6.8 ^{※1}	3	27	考慮
	③ 堅破山リニアメント	4	6.8 ^{※1}	3	25	考慮
	④ 宮田町リニアメント	1	6.8 ^{※1}	3	21	考慮
	⑤ F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動	58	7.8	3	31	考慮
	⑥ F3断層, F4断層の連動	16	6.8	5	22	
	⑦ F8断層	26	7.2	5	26	
	⑧ F16断層	26	7.2	5	30	
	⑨ A-1背斜	20	7.0	5	22	
	⑩ 関谷断層	40	7.5	5	92	
	⑪ 関東平野北西縁断層帯	82	8.0	5	130	
	⑫ F11断層	5	6.8 ^{※1}	3	38	考慮
被害地震	⑬ 818年関東諸国の地震	—	7.5	—	102	

※1 長さの短い断層については、地表で認められる断層長さが震源断層の長さを示さない可能性を踏まえ、震源断層の長さが断層幅以上となるよう地震規模をM6.8として評価

※2 活断層による地震の断層傾斜角は60度として評価



— : 震源として考慮する活断層
 - - - : 連動を考慮する断層



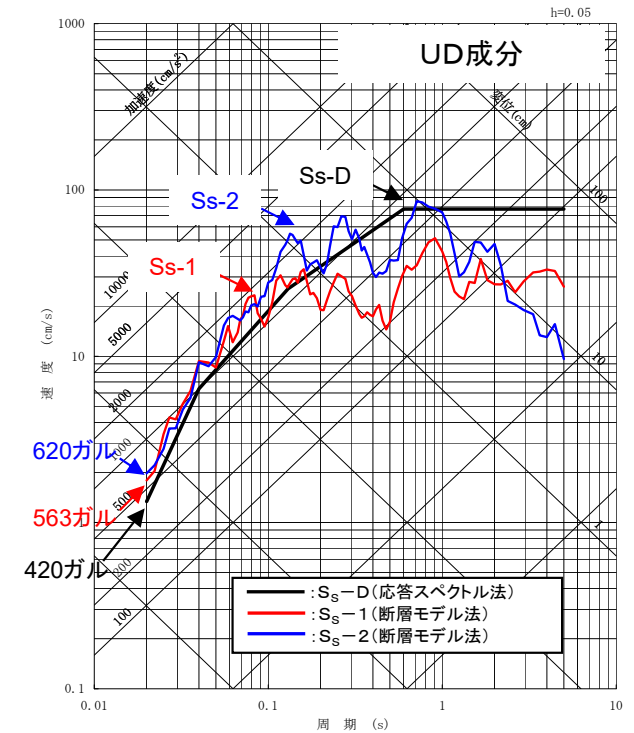
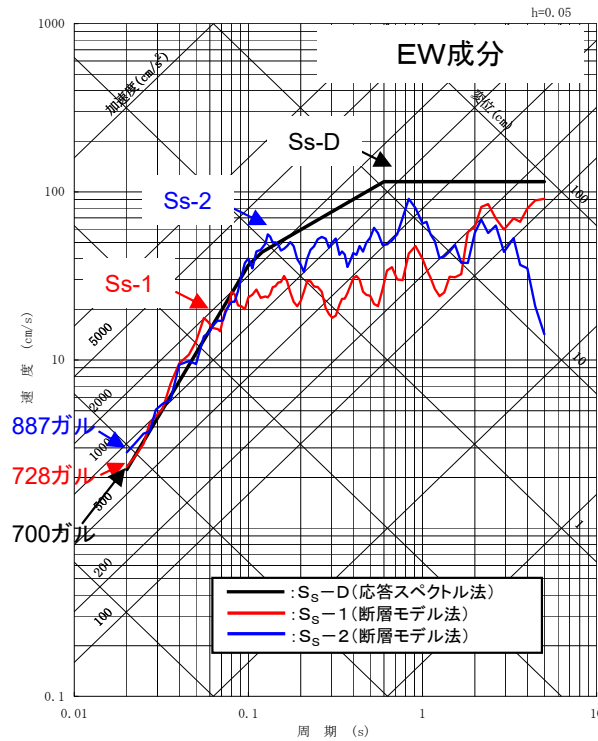
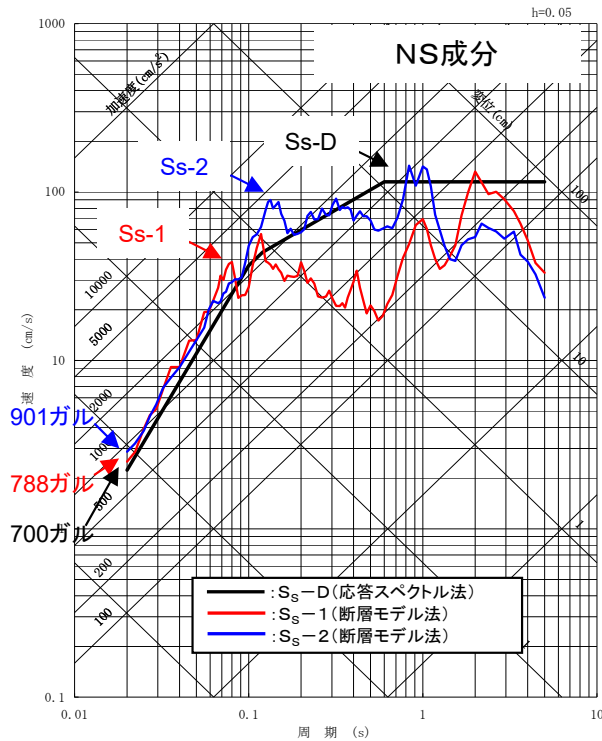
- ① 棚倉破砕帯東縁断層, 同西縁断層の連動, M7.5, Xeq=37km
- ② 関口-米平リニアメント, M6.8, Xeq=27km
- ③ 堅破山リニアメント, M6.8, Xeq=25km
- ④ 宮田町リニアメント, M6.8, Xeq=21km
- ⑤ F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動, M7.8, Xeq=31km
- ⑥ F3断層, F4断層, M6.8, Xeq=22km
- ⑦ F8断層, M7.2, Xeq=26km
- ⑧ F16断層, M7.2, Xeq=30km
- ⑨ A-1背斜, M7.0, Xeq=22km
- ⑩ 関谷断層, M7.5, Xeq=92km
- ⑪ 関東平野北西縁断層帯, M8.0, Xeq=130km
- ⑫ F11断層, M6.8, Xeq=38km
- ⑬ 818年関東諸国の地震, M7.5, Xeq=102km

内陸地殻内地震の地震動の応答スペクトル (Noda et al.(2002) の手法に補正係数を考慮)

F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震を検討用地震として選定した。

■敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動S_s

地震発生様式	検討用地震	地震規模	応答スペクトルに基づく手法による基準地震動	断層モデルを用いた手法による基準地震動
内陸地殻内地震	F1断層, 北方陸域の断層の連動による地震	M7.6	S _S -D _H (700ガル) S _S -D _V (420ガル)	S _S -1 _{NS} (788ガル) S _S -1 _{EW} (728ガル) S _S -1 _{UD} (563ガル)
プレート間地震	2011年東北地方太平洋沖地震	Mw9.0	(すべての検討用地震を包絡させて設定)	S _S -2 _{NS} (901ガル) S _S -2 _{EW} (887ガル) S _S -2 _{UD} (620ガル)
海洋プレート内地震	茨城県南部の地震	M7.3		他の基準地震動に包絡されるため設定していない。



塩ノ平地震断層

- リニアメントにほぼ一致して断層が認められる。
- 後期更新世以降の活動が認められる。
(2011年4月11日の地震等)

震源として考慮する活断層として評価

北方陸域の断層

- リニアメントにほぼ一致して断層が認められる。
- 後期更新世以降の活動は否定できない。
 - 確認された断層は、軟質な粘土を伴い、平面的である。
 - 上載地層との関係は確認できない。

震源として考慮する活断層として評価

リニアメントは判読されないが、断層の連続性等の情報が十分でない。

F1断層

上載地層法により後期更新世の活動が否定できない。

震源として考慮する活断層として評価

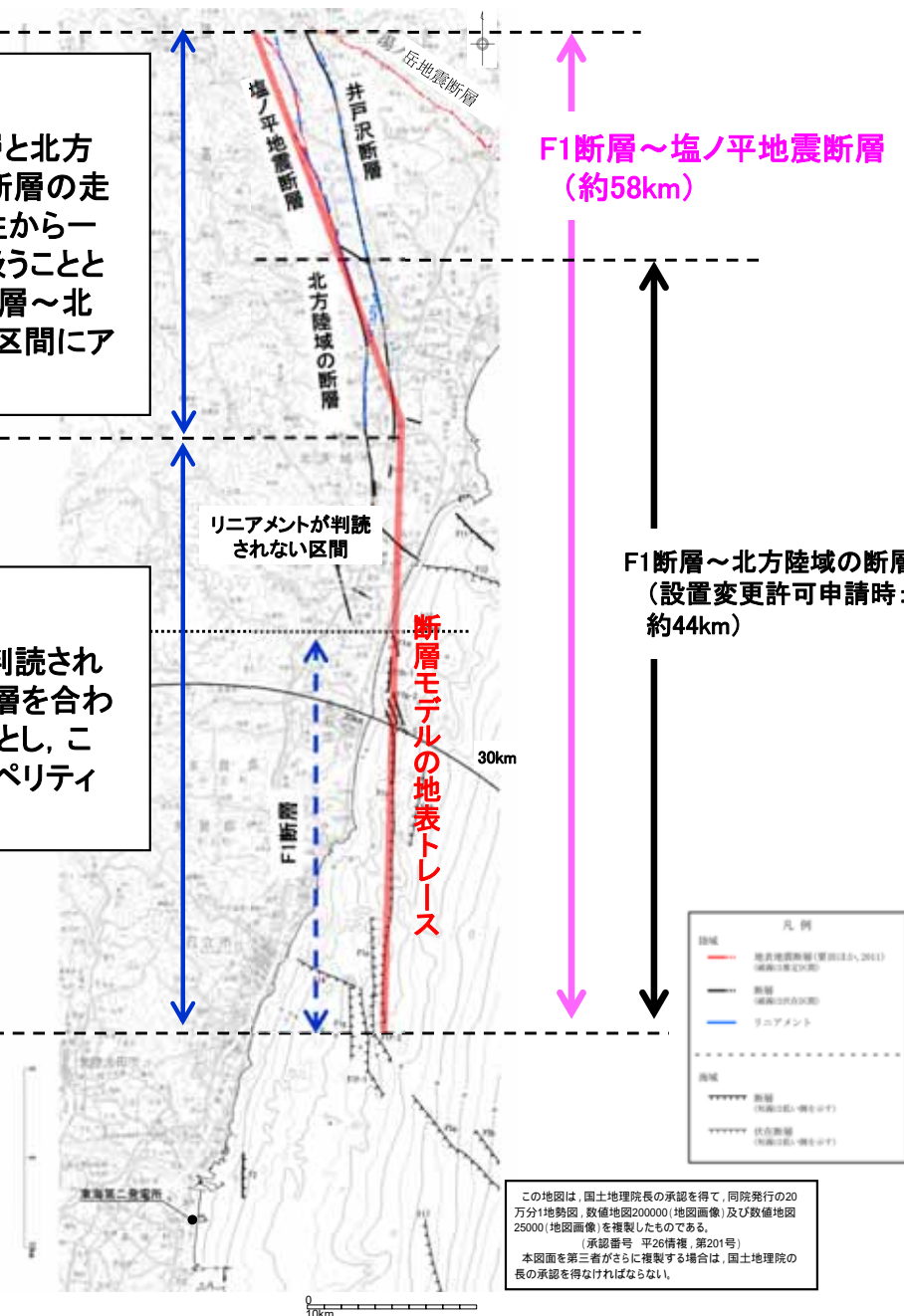
■北部

塩ノ平地震断層と北方陸域の断層は、断層の走向・傾斜の類似性から一連の断層として扱うこととし、塩ノ平地震断層～北方陸域の断層の区間にアスペリティを配置

■南部

リニアメントが判読されない区間とF1断層を合わせて一つの区間とし、この区間内にアスペリティを配置

- 巨視的面は地質調査による断層線に沿うよう設定する。
- 断層の分布状況から震源を南部、北部に区分する。
- アスペリティは、地質調査結果や各種文献に基づき、南部ではF1断層に1つ、北部では北方陸域の断層～塩ノ平地震断層に1つ、それぞれ敷地寄りに配置する。
- リニアメントが判読されない区間はF1断層側に含め、これらを合わせて一つの区間とすることで敷地に近い南部に配置するアスペリティの地震モーメントを大きくし、安全側の設定とする。



断層長さの見直しに伴う震源モデルの検討(2/4)

■地質調査結果や2011年福島県浜通りの地震から得られる知見を参考に基本震源モデルを設定する。

【断層形状, 断層タイプ】

- 断層長さについては、新規規制基準適合性審査第381回会合に基づき、F1断層から塩ノ平地震断層までの同時活動を考慮した約58kmとする。
- 地震動評価におけるセグメント区分については、断層の分布状況から震源を南部と北部に区分する。その際、リニアメントが判読されない区間はF1断層側に含め、これらを合わせて一つの区間とすることで敷地に近い南部区間の地震モーメントを大きくし、安全側の設定とする。
- 地震のタイプについては、2011年福島県浜通りの地震が正断層であることや福島県から茨城県にかけての領域は正断層応力場とする知見(例えば青柳・上田(2012)), さらにF1断層における音波探査結果から正断層センスのずれが認められることを踏まえ正断層とする。
- 断層傾斜角については、F1断層における音波探査結果や2011年福島県浜通りの地震の震源インバージョンモデルでの傾斜角(57~73度)を参考に西傾斜60度とする。

【アスペリティ位置】

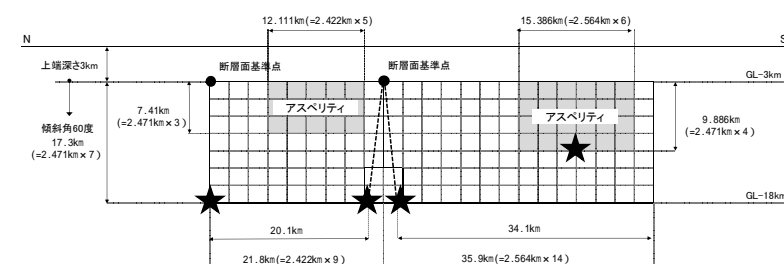
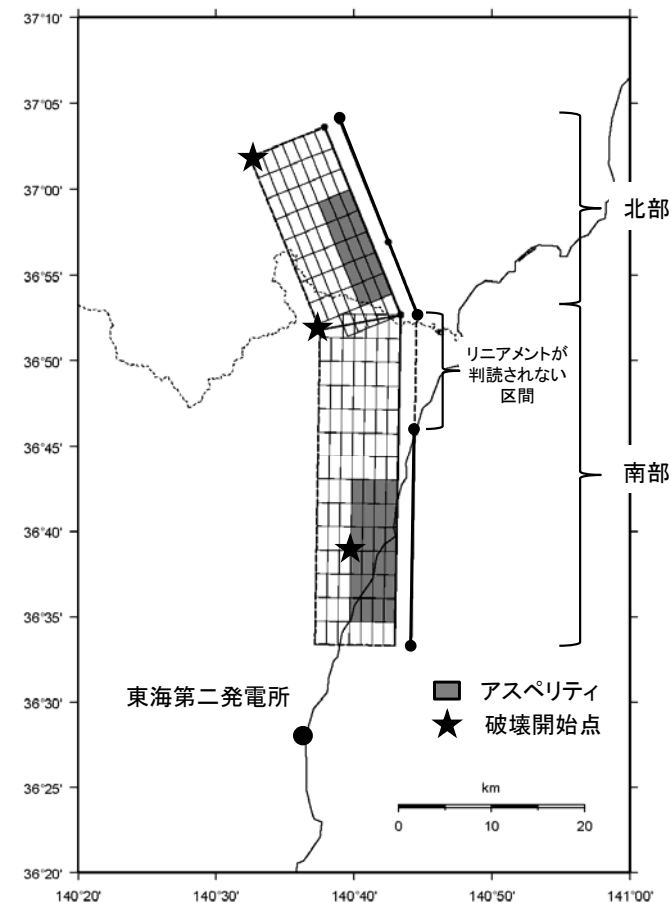
- アスペリティの位置については、地質調査結果に基づき、南部区間のうち調査でわかっているF1断層に1つ、北部では北方陸域の断層~塩ノ平地震断層に1つ、それぞれ敷地に近くなるように配置する。
- 断層長さ方向の配置については、Manighetti et al.(2005)等の知見を踏まえるとアスペリティのように大きなすべりが生じる領域とすべりが無い領域が隣接することは考えにくいことから、断層端部との間に1マス分背景領域を設定する。断層幅方向の配置については、すべりに追従する表層(地表から断層上端までの強震動を出さない層)が存在するので安全側に断層上端にアスペリティを配置する。
- なお、リニアメントが判読されない区間をF1断層側に含め、これらを合わせて一つの区間とすることで、敷地に近い南部に配置するアスペリティの地震モーメントを大きくし、安全側の設定とする。

【破壊開始点位置】

破壊開始点については、強震動予測レシピ, 糸井ほか(2009), 平田・佐藤(2007)を踏まえ、アスペリティ下端や断層下端のうち敷地への影響の大きい位置に複数設定する。

【破壊伝播速度Vr】

破壊伝播速度については、強震動予測レシピで用いられているGeller(1976)より、 $V_r=0.72V_s$ とする。ただし、2011年福島県浜通りの地震における破壊伝播速度の各知見と比較の上、妥当性を確認する。



基本震源モデル

■主要なパラメータの設定

下記4個の断層パラメータを与条件として与え、アスペリティの応力降下量 $\Delta\sigma_a$ については、Madariaga(1979)の関係式を用いて算定する。

・断層面積 $S(\text{km}^2)$

断層長さと同層幅より算出

・地震モーメント $M_0(\text{N}\cdot\text{m})$

入倉・三宅(2001)より $M_0 = \{S / (4.24 \times 10^{-11})\}^{2.0} / 10^7$

・平均応力降下量 $\Delta\sigma$ (MPa), アスペリティ面積比 S_a/S

Boatwright(1988), 壇ほか(2001)からアスペリティ面積を算出すると30%を超えるため、与条件として平均応力降下量をFujii and Matsu'ura(2000)より3.1MPa, アスペリティ面積比をSomerville et al.(1999)より0.22と設定する。

Madariaga(1979)の関係式

$$\Delta\sigma_a = (S / S_a) \cdot \Delta\sigma$$

ここで,

S_a : アスペリティ総面積 (km^2)

$\Delta\sigma_a$: アスペリティの応力降下量(MPa)

$\Delta\sigma$: 平均応力降下量(MPa)

佐藤・堤(2012)では、正断層の地震である2011年福島県浜通りの地震の短周期レベルは、内陸地殻内地震の平均的な値であると推定されている。

断層長さの見直しに伴う震源モデルの検討(4/4)

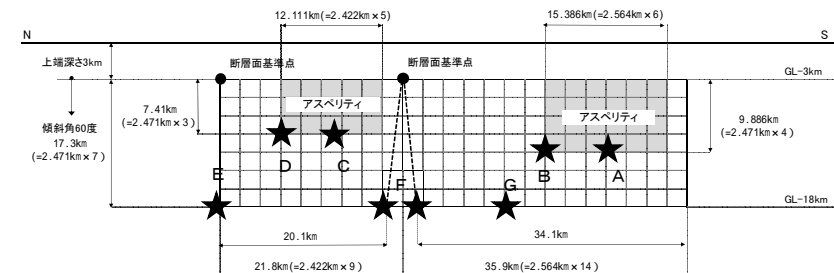
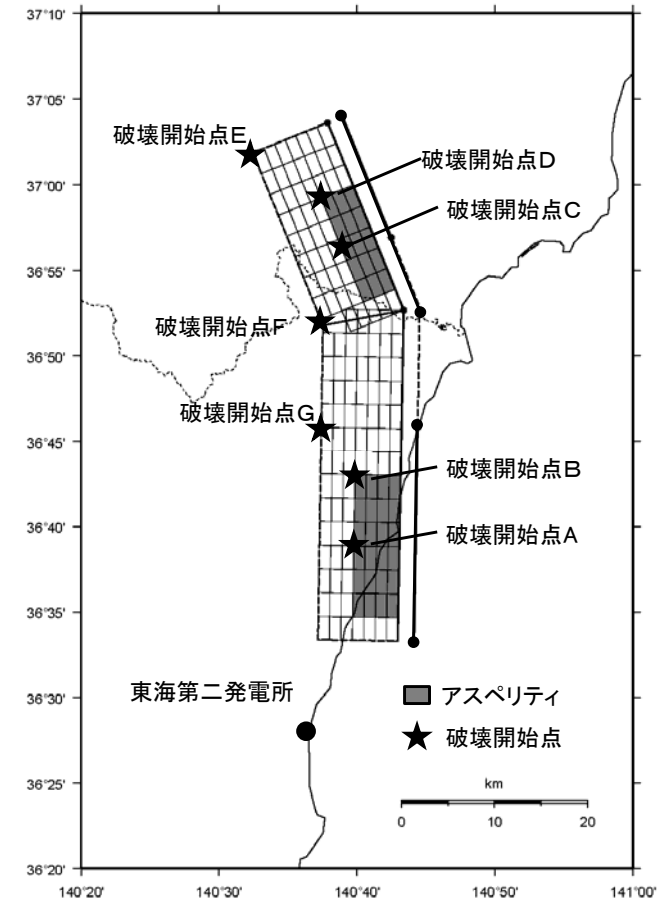


■断層パラメータ(基本震源モデル)

項目	設定値			設定方法	
	全体	北部	南部		
断層上端長さ(km) 断層下端長さ(km)	57.7 54.2	21.8 20.1	35.9 34.1	活断層調査結果による位置を基に設定	
断層傾斜角(度)	60(西傾斜)	60(西傾斜)	60(西傾斜)	活断層調査結果や2011年福島県浜通りの地震の震源インバージョン解析モデルを参考に設定。海上音波探査記録からはF1断層は西側落下の高角な断層であると考えられるものの、傾斜角60度と設定する。	
断層上端深さ(km) 断層下端深さ(km)	3 18	3 18	3 18	断層上端深さは、2011年福島県浜通りの地震の震源域における微小地震分布等の知見を考慮し3kmと設定している。震源モデルの南部では3kmよりも深いと想定されるが、保守的に3kmとする。 断層下端深さは、広域の微小地震分布を考慮し18kmと設定している。震源モデルの北部ではそれよりも浅いと想定されるが、保守的に18kmとする。	
断層幅W(km)	17.3	17.3	17.3	地震発生層と断層傾斜角から設定	
断層面積S(km ²)	967.9	362.4	605.5	断層面より算定	
破壊伝播様式	同心円状	同心円状	同心円状	—	
地震モーメントM ₀ (N・m)	5.21E+19	1.65E+19	3.56E+19	$M_0 = [S / (4.24 \times 10^{-11})]^2 / 10^7$ 全体の地震モーメントを断層面積の1.5乗比で分配	
剛性率(N/m ²)	3.50E+10	3.50E+10	3.50E+10	$\mu = \rho \beta^2$, $\rho = 2.7\text{g/cm}^3$, $\beta = 3.6\text{km/s}$ (β は敷地周辺を対象にした地震波速度トモグラフィ、 ρ は地震本部による「全国1次地下構造モデル(暫定版)」を参考に設定)	
平均すべり量D(cm)	153.9	130.1	168.1	$D = M_0 / (\mu S)$	
平均応力降下量 $\Delta \sigma$ (MPa)	3.1	3.1	3.1	Fujii and Matsu'ura(2000)による	
破壊伝播速度V _r (km/s)	2.59	2.59	2.59	$V_r = 0.72 \beta$ (Geller, 1976)による	
短周期レベルA(N・m/s ²)(参考)	1.98E+19	—	—	$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	
アスペリティ	面積S _a (km ²)	212.9	79.7	133.2	$S_a = 0.22S$
	平均すべり量D _a (cm)	307.7	260.1	336.2	$D_a = 2D$
	地震モーメントM _{0a} (N・m)	2.29E+19	7.26E+18	1.57E+19	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
	応力降下量 $\Delta \sigma_a$ (MPa)	14.09	14.09	14.09	$\Delta \sigma_a = \Delta \sigma \times S / S_a$
	短周期レベルA(N・m/s ²)(参考)	1.89E+19	1.16E+19	1.49E+19	$A = 4 \pi r_a \Delta \sigma_a \beta^2$
背景領域	面積S _b (km ²)	755.0	282.7	472.3	$S_b = S - S_a$
	平均すべり量D _b (cm)	110.5	93.4	120.7	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
	地震モーメントM _{0b} (N・m)	2.92E+19	9.24E+18	1.99E+19	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	実効応力 $\Delta \sigma_b$ (MPa)	2.82	2.82	2.82	$\Delta \sigma_b = 0.2 \Delta \sigma_a$

■破壊開始点の設定位置については、下記の方針で検討する。

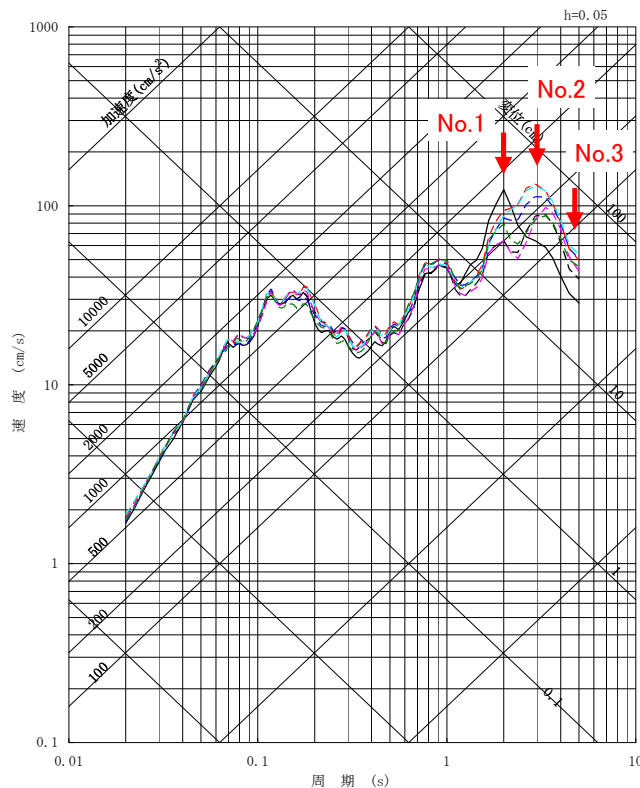
- ・破壊開始点について、強震動予測レシピ、糸井ほか(2009)、平田・佐藤(2007)を踏まえアスペリティ下端及び断層下端に設定する。
- ・設定に際しては、破壊が敷地に向かう位置に複数設定する。具体的には各アスペリティ下端(中央及び北)と断層下端(中央及び北)に設定する。また、物理的観点から、ひずみの差が生じる可能性のあるF1断層の断層下端にも設定する。
- ・基本震源モデルを対象に、経験的グリーン関数法により評価を実施し、影響の大きい破壊開始点を代表として選定し今後の地震動評価を行う。



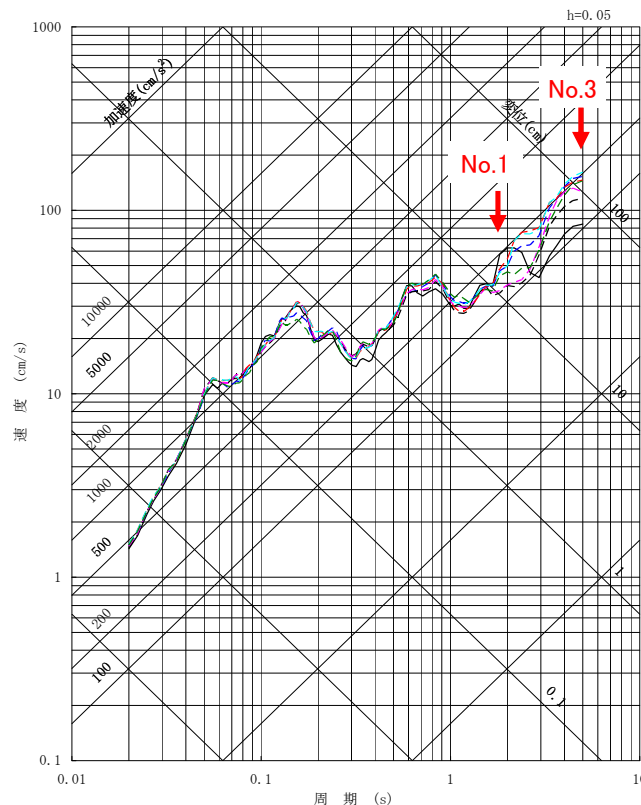
基本震源モデル

■各破壊開始点による地震動評価結果(平均応答スペクトル)

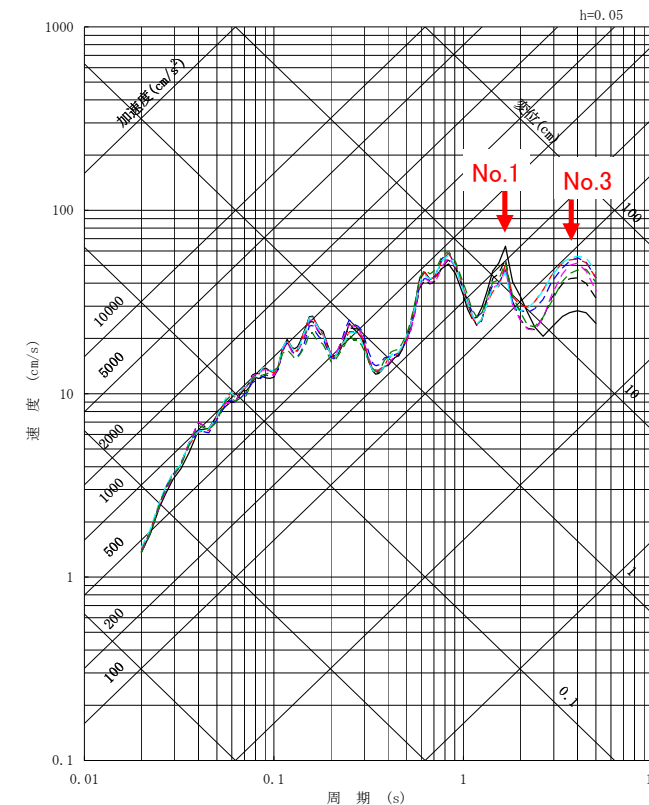
- 破壊開始点A(破壊開始点1)
- - - 破壊開始点B
- - - 破壊開始点C
- - - 破壊開始点D
- - - 破壊開始点E(破壊開始点2)
- - - 破壊開始点F(破壊開始点3)
- - - 破壊開始点G



NS成分



EW成分



UD成分

短周期側においては、各破壊開始点の地震動評価結果は同様の傾向を示している。長周期側においては破壊開始点A, E, Fの影響がやや大きい。断層モデルを用いた手法による地震動評価の破壊開始点は、破壊開始点A, E, F(以降、それぞれ破壊開始点1, 2, 3と表記)で代表させる。

■主要な断層パラメータについて、認識論的不確かさと偶然的不確かさに分類し、敷地での地震動に大きな影響を与えるパラメータを不確かさとして考慮する。


【認識論的不確かさ】：事前の詳細な調査や経験式などにに基づき設定できるもの ⇒ それぞれ独立させて考慮する。

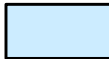
【偶然的不確かさ】：事前の詳細な調査や経験式からは設定が困難なもの ⇒ 重畳させて考慮する。

評価ケース	認識論的不確かさ					偶然的不確かさ
	断層上端 深さ※1	断層下端 深さ※2	断層 傾斜角	短周期レベル	アスペリティ位置	破壊開始点
基本震源モデル	3km	18km	60度 (西傾斜)	強震動予測レシピの 平均	敷地に近い位置に配置	複数設定
短周期レベルの 不確かさ	3km	18km	60度 (西傾斜)	強震動予測レシピの 1.5倍	敷地に近い位置に配置	複数設定
断層傾斜角の 不確かさ	3km	18km	45度 (西傾斜)	強震動予測レシピの 平均	敷地に近い位置に配置	複数設定
● アスペリティ位置 の不確かさ	3km	18km	60度 (西傾斜)	強震動予測レシピの 平均	断層端部に配置	複数設定

※1 2011年福島県浜通りの地震の震源域以外では断層上端深さは3kmよりも深いことが推定されるが、震源モデルの全域にわたり保守的に3kmに設定した。

※2 2011年福島県浜通りの地震の震源域では断層下端深さは浅いことが推定されるが、震源モデルの全域にわたり保守的に18kmに設定した。

 不確かさを考慮して設定するパラメータ

 基本震源モデルの段階で予め不確かさを考慮して設定するパラメータ

● :コメントNo.2を踏まえ、追加したケース

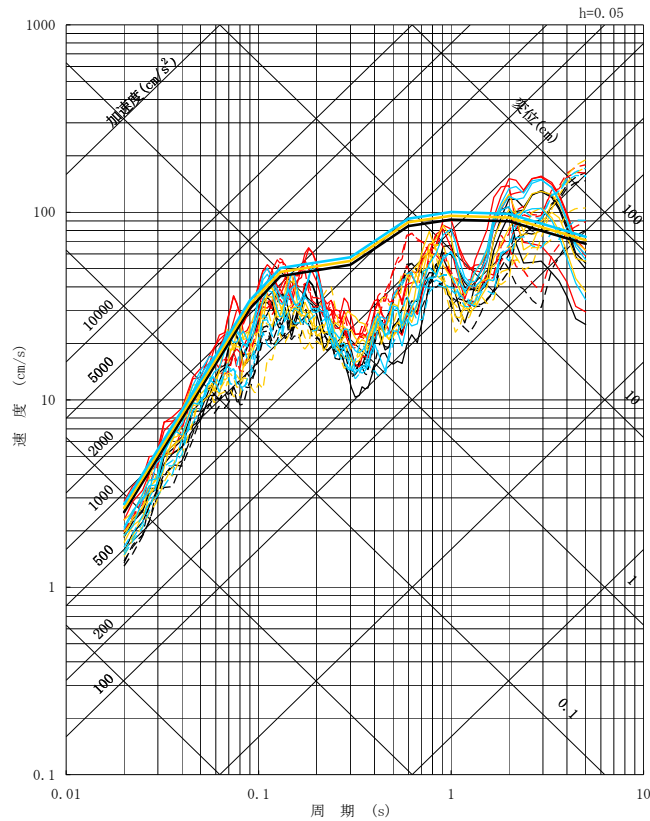
■応答スペクトル手法と断層モデル手法の各評価結果

【応答スペクトル手法】

- 基本震源モデル
- 断層傾斜角の不確かさ
- アスペリティ位置の不確かさ

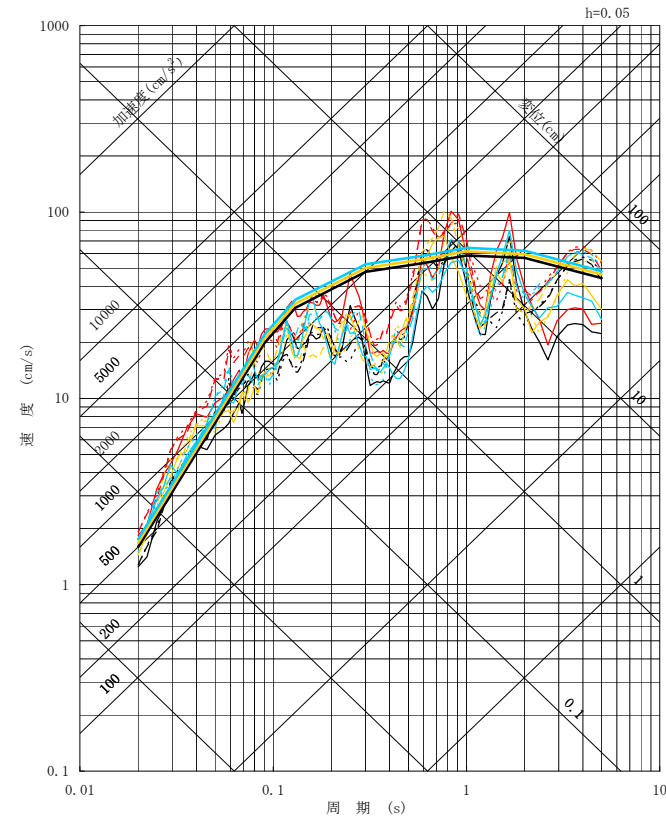
【断層モデル手法】

- 基本震源モデル(破壊開始点1~3)
- 短周期レベルの不確かさ(破壊開始点1~3)
- 断層傾斜角の不確かさ(破壊開始点1~3)
- アスペリティ位置の不確かさ(破壊開始点1~3)



水平成分

実線: NS成分
破線: EW成分

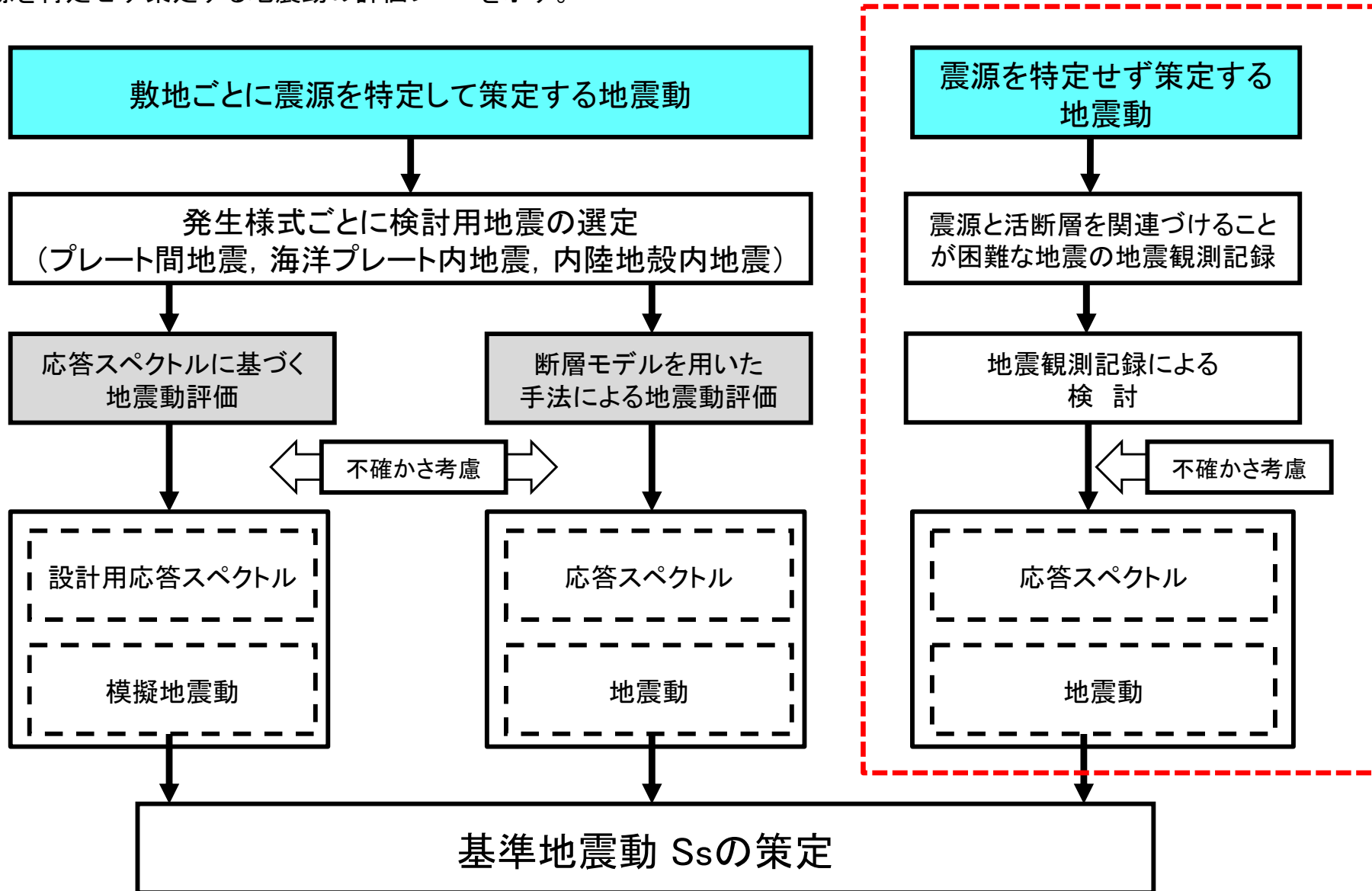


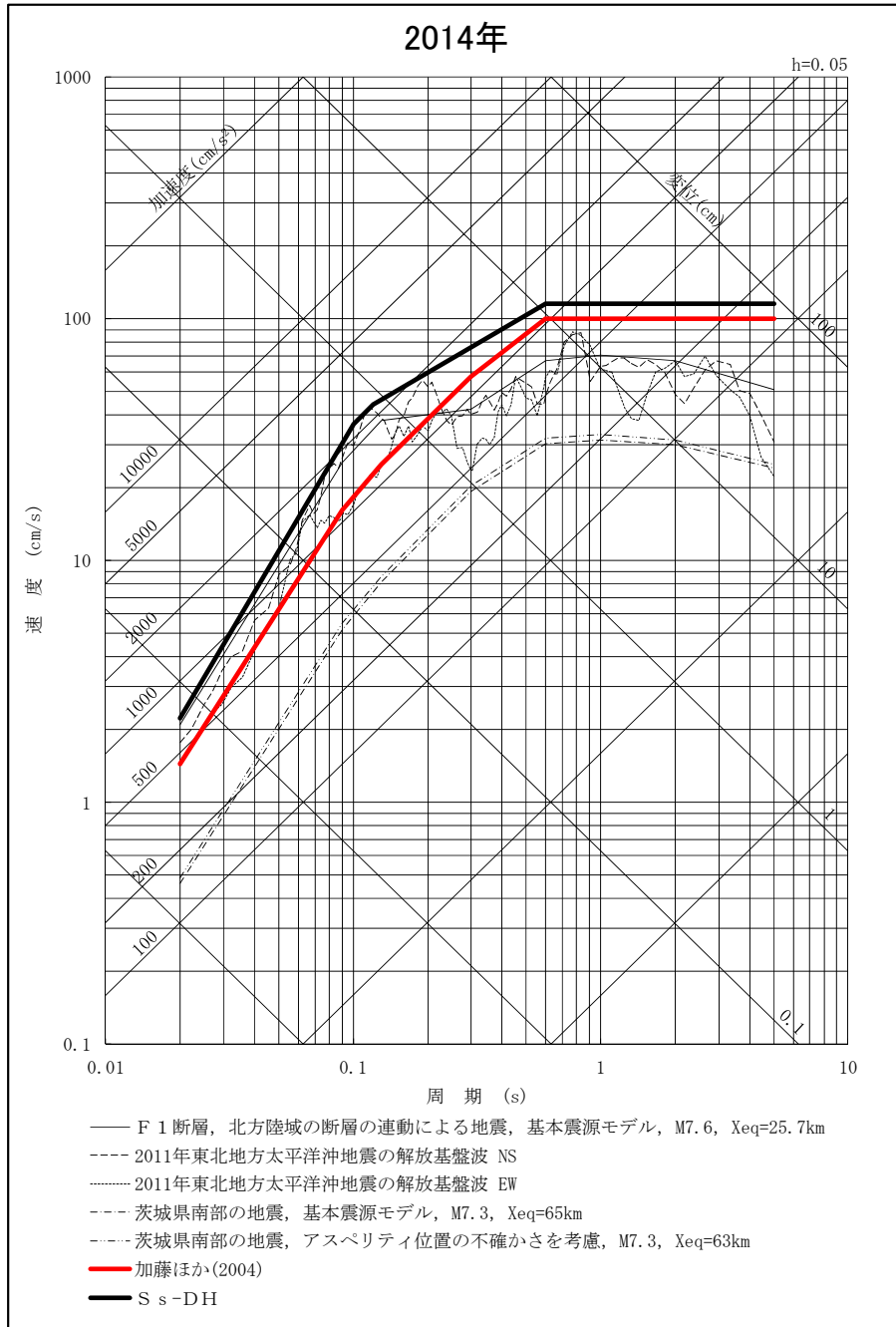
鉛直成分

6. 震源を特定せず策定する地震動

(1) 標準応答スペクトルの評価前

- 「震源を特定せず策定する地震動」は、敷地周辺の状況等を十分考慮した詳細な調査を実施しても、なお敷地近傍において発生する可能性のある内陸地殻内の地震の全てを事前に評価しうるとは言い切れないことから、震源と活断層を関連づけることが困難な過去の内陸地殻内の地震について得られた震源近傍の観測記録を収集し、それらが敷地直下で発生したと仮定して評価を行う。
- 震源を特定せず策定する地震動の評価フローを示す。





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
1	2008年岩手・宮城内陸地震	2008/06/14, 08:43	Mw6.9
2	2000年鳥取県西部地震	2000/10/06, 13:30	Mw6.6
3	2011年長野県北部地震	2011/03/12, 03:59	Mw6.2
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
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年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

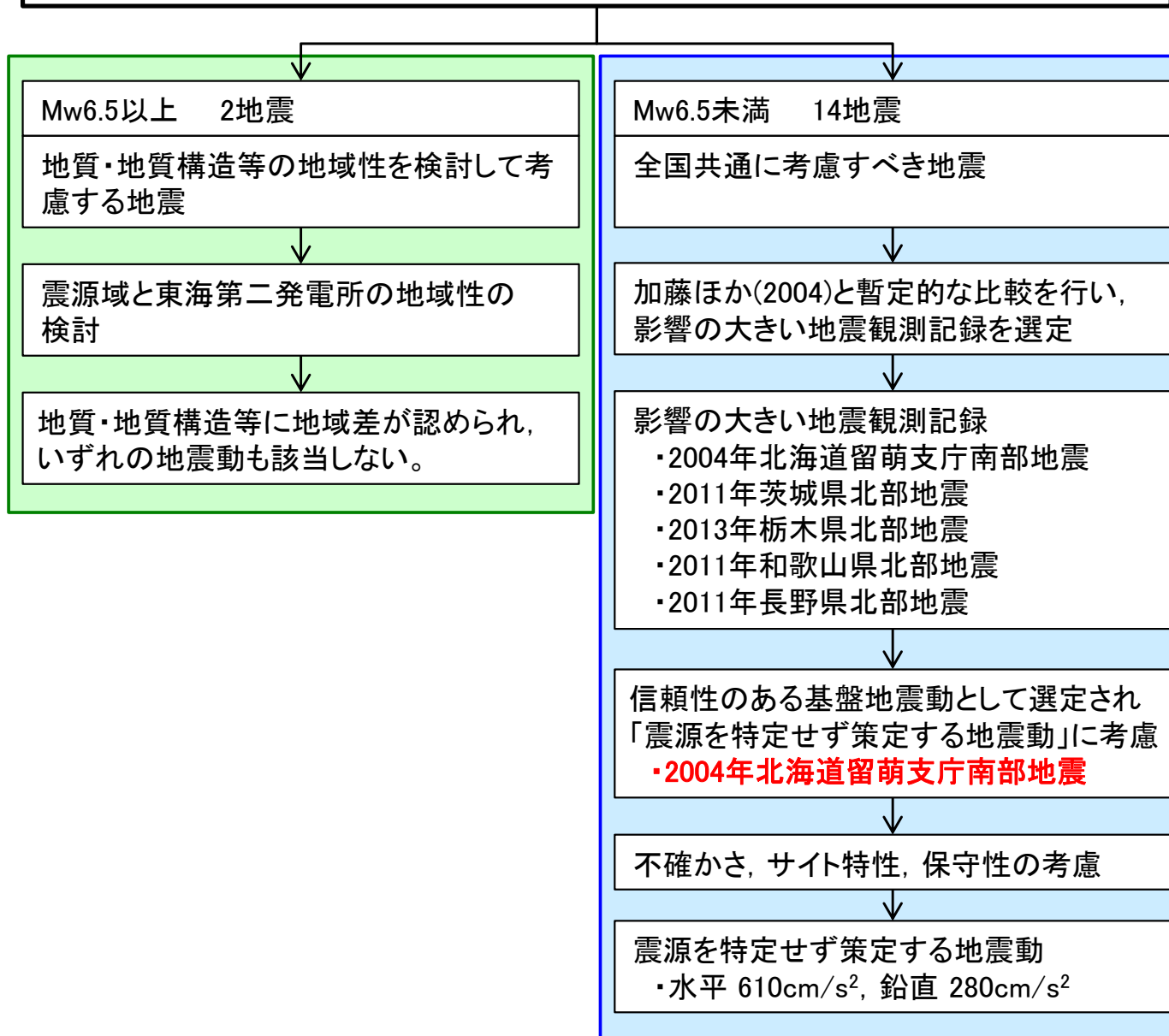
原子力規制委員会(2013)

地震動の評価

- 加藤ほか(2004)による応答スペクトル*
- 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動

*: 設置変更許可申請時から変更無し

検討対象地震: 審査ガイドに記載の16地震



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
1	2008年岩手・宮城内陸地震	2008/06/14 08:43	Mw6.9
2	2000年鳥取県西部地震	2000/10/06 13:30	Mw6.6
3	2011年長野県北部地震	2011/03/12 03:59	Mw6.2
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
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年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

原子力規制委員会(2013)「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」より抜粋

2008年岩手・宮城内陸地震と東海第二発電所の比較



【凡例】○類似性あり, △:類似性低い～一部あり, ×:類似性なし

項目	比較結果	2008年岩手・宮城内陸地震震源域	東海第二発電所
地質	△	・ 震源域近傍には、主に中新統から鮮新統の堆積岩・火山岩等、第四系の火山岩類が分布する。	・ 敷地近傍には、中新統の堆積岩、鮮新統の堆積岩、更新統の段丘堆積物等、完新統の沖積層及び砂丘砂層が分布する。
地質構造	×	・ 震源域近傍には、中新世以降に形成された褶曲構造が認められる。 ・ カルデラが密集することから、地質構造が複雑である。	・ 敷地近傍に広く分布する鮮新統(久米層)及びこれを不整合に覆う上部更新統はほぼ水平に分布している。 ・ 敷地近傍にカルデラは分布しない。
変動地形等	×	・ 下記の観点より、震源域近傍は変動地形等の検出が難しい地域である。 - 震源域は山間部に位置し、近傍に河成段丘が一部分布するのみであり、指標となる地形が少ない。 - 大規模地すべりを含めた地すべりが密集している。 ・ 田力ほか(2009)によると、柞木立付近には短いながら明瞭な断層変位地形があり、低位段丘礫層堆積期以降に複数回、比較的活発な活動を繰り返していることが明らかとなった。	・ 下記の観点より、敷地近傍は変動地形等が検出しやすい地域である。 - 陸域には後期更新世以降に形成された段丘面が広く分布している。 - 地すべりが認められない。 - 海域には堆積層からなる鮮新統及び下部更新統が水平に広く分布している。 ・ 変動地形学的調査の結果、敷地近傍陸域に変動地形は認められない。
火山	×	・ 火山フロントに近接する。	・ 火山フロントの遠方に位置する。
地震地体構造	×	・ 東北日本弧内帯(8C)	・ 東北日本弧外帯(8B)
応力場	×	・ 防災科学技術研究所(2013)において、ひずみ集中帯と指摘されている。 ・ 東西圧縮の逆断層型が卓越	・ ひずみ集中帯と指摘している文献はない。 ・ 敷地周辺の茨城県北部では南西-北東引張の正断層型が卓越

● 2008年岩手・宮城内陸地震の震源域と東海第二発電所における地質・地質構造等を整理した結果、地域の特徴が異なっていることから、当該地震の観測記録は収集対象外とする。

2000年鳥取県西部地震と東海第二発電所の比較

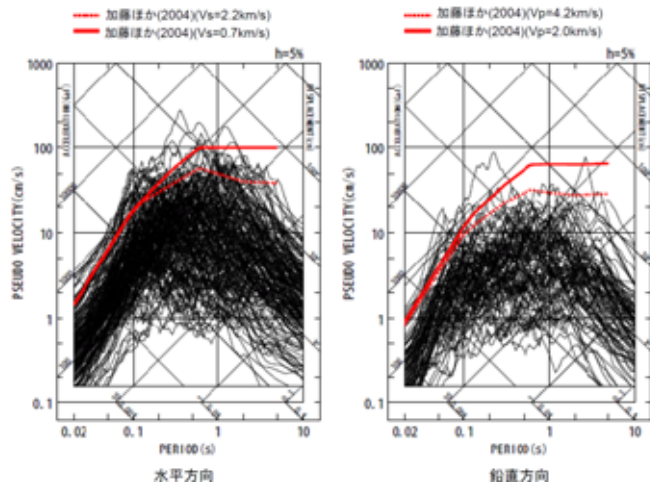


【凡例】○類似性あり, △:類似性低い～一部あり, ×:類似性なし

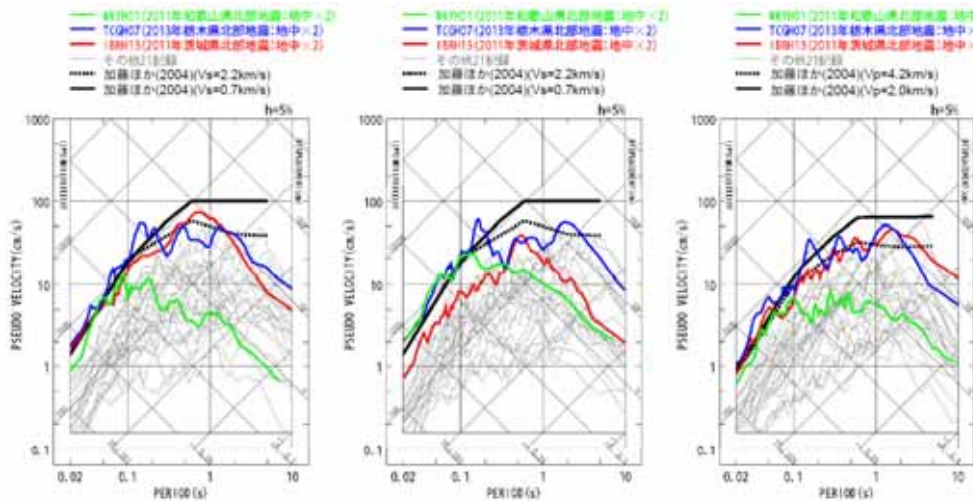
項目	比較結果	2000年鳥取県西部地震震源域	東海第二発電所
地質	×	・ 震源域近傍には、主に白亜系～古第三系の花崗岩及び中新統の安山岩～玄武岩の岩脈が分布する。	・ 敷地近傍には、 <u>中新統の堆積岩</u> 、 <u>鮮新統の堆積岩</u> 、 <u>更新統の段丘堆積物等</u> 、 <u>完新統の沖積層及び砂丘砂層</u> が分布する。
地質構造	×	・ <u>第四紀中期以降に新たに断層面を形成して、断層が発達しつつあり</u> 、活断層の発達過程としては初期ないし未成熟な段階にある。	・ 敷地近傍に広く分布する <u>鮮新統(久米層)</u> 及びこれを不整合に覆う <u>上部更新統</u> はほぼ水平に分布している。
変動地形等	×	・ 下記の観点より、震源域近傍は <u>変動地形等の検出が難しい</u> 地域である。 - 岡田(2002)によると、震源域近傍の活断層の特徴として、 <u>第四紀中期以降に新たな断層面を形成して断層が発達しつつあり</u> 、活断層の発達過程としては初期ないし未成熟な段階にある。 ・ 震源域に震源断層の方向とほぼ一致する <u>短く断続するリニアメント群</u> が判読されるとともにリニアメント沿いで水平に近い条線をもつ断層露頭が多く確認され、これらの断層は横ずれ断層に伴うフラワー構造を呈して地下では1本の断層に収斂すると推測されている。	・ 下記の観点より、敷地近傍は <u>変動地形等が検出しやすい</u> 地域である。 - 陸域には後期更新世以降に形成された段丘面が広く分布している。 - 地すべりが認められない。 - 海域には堆積層からなる鮮新統及び下部更新統が水平に広く分布している。 ・ 変動地形学的調査の結果、敷地近傍陸域に <u>変動地形は認められない</u> 。
火山	×	・ <u>火山フロントに近接する</u> 。	・ <u>火山フロントの遠方に位置する</u> 。
地震地体構造	×	・ <u>中国山地・瀬戸内海(10C5)</u>	・ <u>東北日本弧外帯(8B)</u>
応力場	×	・ 西村(2014)において、 <u>ひずみ集中帯と指摘されている</u> 。 ・ <u>東西圧縮の横ずれ断層型が卓越</u>	・ <u>ひずみ集中帯と指摘している文献はない</u> 。 ・ 敷地周辺の茨城県北部では <u>南西－北東引張の正断層型が卓越</u>

● 2000年鳥取県西部地震の震源域と東海第二発電所における地質・地質構造等を整理した結果、地域の特徴が異なっていることから、**当該地震の観測記録は収集対象外とする。**

観測記録の選定例



14地震の観測記録(地表)の応答スペクトル



14地震の観測記録(地中×2)の応答スペクトル



選定結果

- KiK-net観測点における基盤地震動が、加藤ほか(2004)の応答スペクトルを上回ると想定される3記録(下表の②~④), 及びK-NET観測点の観測記録で、特に影響の大きいと思われる2記録(下表①, ⑤)を観測した5地震を検討対象地震として選定し、以降で詳細に検討する。

Mw6.5未満の検討対象地震

No.	地震名 (発震日時)	観測点
①	2004年北海道留萌支庁南部地震 Mw5.7(2004/12/14, 14:56)	HKD020 (港町)
②	2011年茨城県北部地震 Mw5.8(2011/3/19, 18:56)	IBRH13 (高萩)
③	2013年栃木県北部地震 Mw5.8(2013/2/25, 16:23)	TCGH07 (栗山西)
④	2011年和歌山県北部地震 Mw5.0(2011/7/5, 19:18)	WKYH01 (広川)
⑤	2011年長野県北部地震 Mw6.2(2011/3/12, 3:59)	NIG023 (津南)

●以下に、Mw6.5未満の地震のうち、影響の大きいと考えられる5記録について整理した結果を示す。

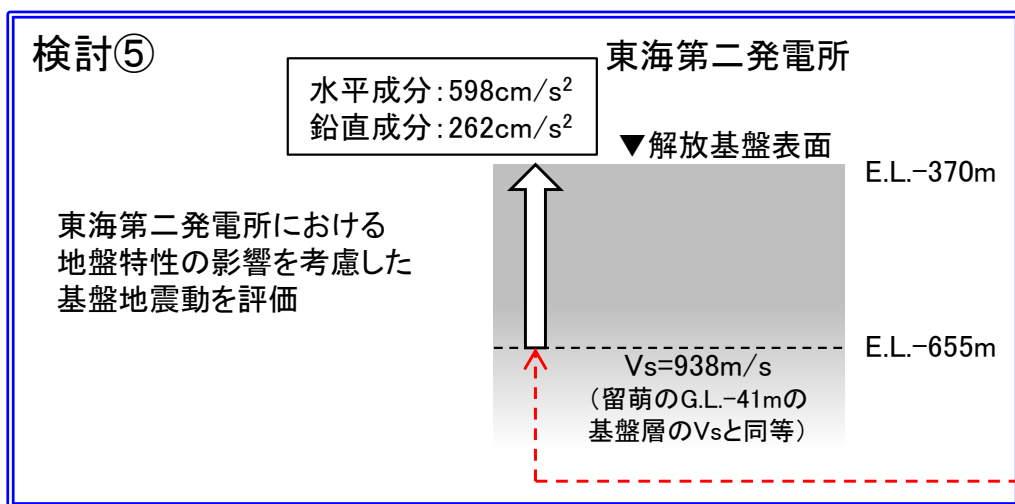
	2004年 北海道留萌支庁南部地震	2011年 茨城県北部地震	2013年 栃木県北部地震	2011年 和歌山県北部地震	2011年 長野県北部地震	
地盤モデル	使用モデル	・佐藤ほか(2013)のボーリング結果に基づく地盤モデル	・KiK-net観測記録に基づく地盤同定モデル	・KiK-net観測記録に基づく地盤同定モデル	・KiK-net観測記録に基づく地盤同定モデル	・地盤情報が少なく、地盤モデルを構築できない
	既往の知見との整合性	・微動探査による地盤データと整合 ・知見で指摘されている非線形性を考慮	・観測記録の伝達関数及びKiK-net地盤データと整合しない。 ・知見で指摘されている減衰の影響が不明	・KiK-net地盤データと整合しない ・知見で指摘されている減衰、方位依存性の影響が不明	・KiK-net地盤データと整合しない ・知見で指摘されている減衰の影響が不明	・地盤モデルに関する既往の知見がない
	更なる知見収集・検討事項	○	×	×	×	×
はざとり解析	解析手法	・非線形性を考慮した等価線形解析	・線形解析	・線形解析	・線形解析	・地盤モデルが構築できないため、解析できない
	精度	・観測記録と整合	・はざとり解析の適用性が不明	・はざとり解析の適用性が不明	・はざとり解析の適用性が不明	・はざとり解析の適用性が不明
	更なる知見収集・検討事項	○	×	×	×	×
結果の信頼性	○	×	×	×	×	



2004年留萌支庁南部地震のHKD020(港町)の観測記録については、信頼性のある基盤地震動が評価できたと考えられることから、震源を特定せず策定する地震動として考慮する。

- 2004年北海道留萌支庁南部地震のK-NET HKD020(港町)観測点における基盤地震動はS波速度938m/sの基盤層において評価されているため、東海第二発電所の地盤モデルにより地盤特性の影響を考慮した解放基盤表面における地震動を評価する。

	佐藤ほか(2013)		検討①	検討②	検討③	検討④
	水平成分	鉛直成分	水平成分	水平成分	鉛直成分	鉛直成分
G.L. 0m ~ G.L.-6m	室内試験結果を考慮した等価線形解析	体積弾性率一定と仮定した線形解析	室内試験結果を考慮した等価線形解析	室内試験結果を考慮した等価線形解析	表層部のPS検層を再実施し、地盤モデルに反映	地下水位の状況を踏まえポアソン比一定とした線形解析
G.L.-6m ~ G.L.-41m	減衰定数を一律1%とした線形解析			減衰定数を一律3%とした線形解析	体積弾性率一定と仮定した線形解析	体積弾性率一定と仮定した線形解析
最大加速度	585 cm/s ²	—	561 cm/s ²	609 cm/s ²	—	—
	—	296 cm/s ²	—	+	306 cm/s ²	262 cm/s ²

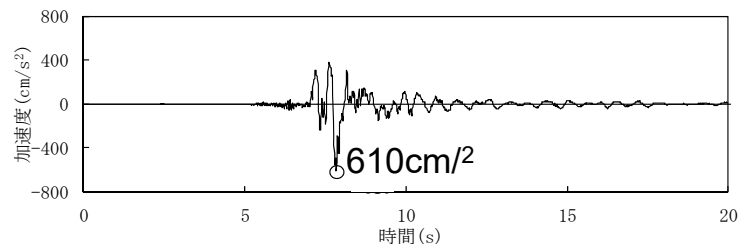


※ 地盤物性の影響を評価するにあたり、はざとり解析の不確かさ等を考慮して、最も大きい最大加速度値の検討結果を考慮することにより、保守的な設定とする。

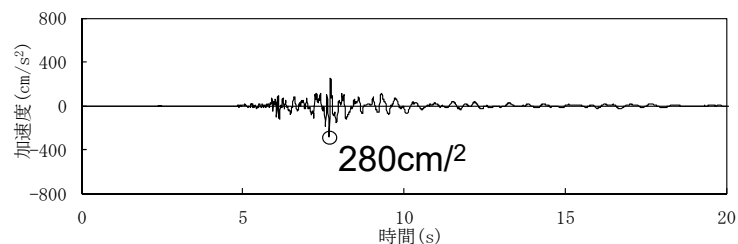
「震源を特定せず策定する地震動」として考慮する地震動



- 加藤ほか(2004)による応答スペクトル, 及び, 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果(水平成分: 598cm/s^2 鉛直成分: 262cm/s^2)に保守性を考慮した, 水平成分 610cm/s^2 , 鉛直成分 280cm/s^2 の地震動を, 震源を特定せず策定する地震動として考慮する。



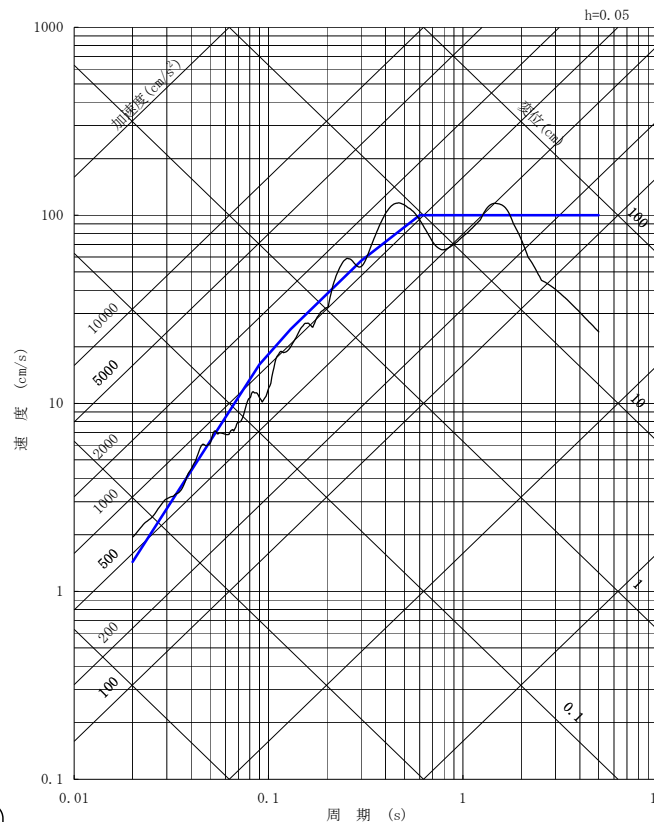
水平成分



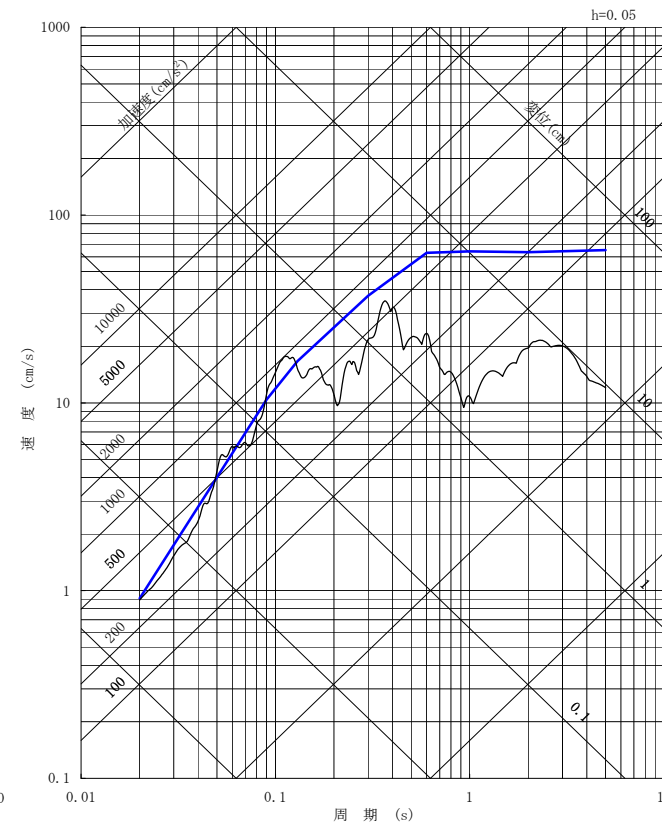
鉛直成分

加速度時刻歴波形

〔 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動 〕



水平成分



鉛直成分

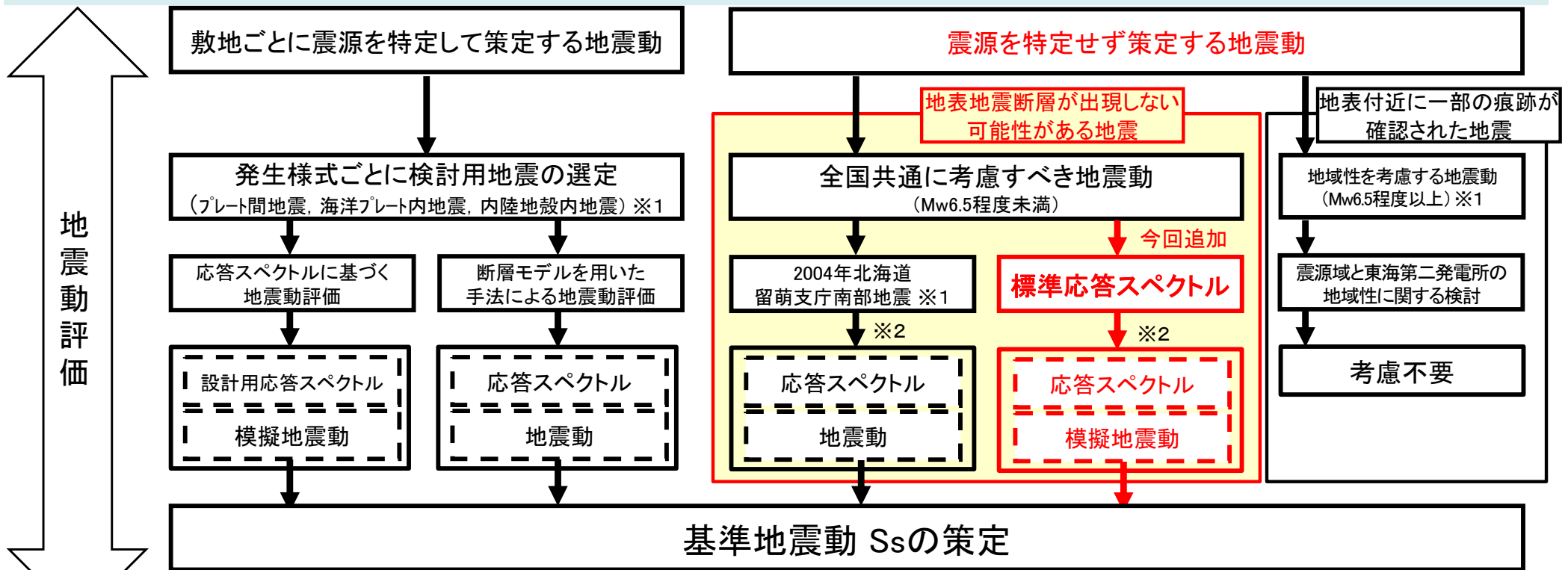
擬似速度応答スペクトル

6. 震源を特定せず策定する地震動

(2) 標準応答スペクトルの知見を用いた評価

基準地震動Ssの策定フロー

- これまで基準地震動Ssは「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」と「震源を特定せず策定する地震動」について評価し、8波の基準地震動Ssを策定していた。
- このうち、「震源を特定せず策定する地震動」は、全国共通に考慮すべき地震(Mw6.5未満の地震)として、2004年北海道留萌支庁南部地震をもとに基準地震動Ssを策定していた。
- 2021年4月21日の基準規則の解釈の改正により、標準応答スペクトルの知見を用いることが定められたため、標準応答スペクトルに基づく地震動評価を行った。
- 標準応答スペクトルに基づく地震動評価を行った結果、**基準地震動Ssを一部周期帯で上回ることから、新たに基準地震動Ssを追加した。**



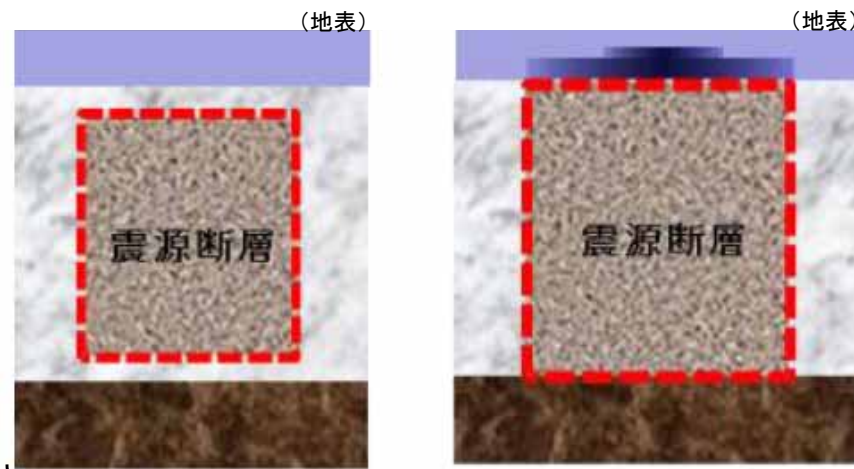
※1 プレート間地震, 海洋プレート内地震に係る地震動評価は、第4回ワーキングチームで説明しており、内陸地殻内地震, 2004年北海道留萌支庁南部地震, 地域性を考慮する地震動に係る地震動評価は、第5回ワーキングチームで説明している。

※2 地盤物性の違いを考慮して評価

震源を特定せず策定する地震動とは

- 震源を特定せず策定する地震動とは、全ての敷地において考慮する地震動である。
- これらの地震動には、「**地表地震断層が出現しない可能性がある地震**」と「**地表付近に一部の痕跡が確認された地震**」がある。
- 事業者による震源を特定せず策定する地震動の評価にあたっては、震源と活断層とを関連付けることが困難な過去の内陸地殻内地震の震源近傍における観測記録を基に、各種の不確かさを考慮して、敷地の地盤物性に応じた応答スペクトルを設定して策定する。

地表地震断層が出現しない可能性がある地震



全国共通に考慮すべき地震 (Mw6.5程度未満の地震)

断層破壊領域が地震発生層の内部にとどまり、国内においてどこでも発生すると考えられる地震で、震源の位置及び規模が推定できない地震

地表付近に一部の痕跡が確認された地震



地域性を考慮する地震 (Mw6.5程度以上の地震)

震源断層がほぼ地震発生層の厚さ全体に広がっているものの、地表地震断層としてその全容を表すまでには至っておらず、震源の規模が推定できない地震

基準規則の解釈

【改正前】

➤ 原子力規制委員会

震源を特定せず策定する地震動のうち、「**地表地震断層が出現しない可能性がある地震**」について、審査ガイドの14地震を対象に検討を行うことを求めた。

➤ 原子力事業者

審査ガイドの14地震の観測記録を収集し、敷地に及ぼす影響の大きい地震動として5地震を選定し、そのうち、信頼性のある基盤地震動が推定できた「2004年北海道留萌支庁南部地震」を検討・評価していた。



【改正後】

➤ 原子力規制委員会

「**地表地震断層が出現しない可能性がある地震**」については、地表地震断層が出現しない可能性がある地震(Mw6.5程度未満)の内陸地殻内地震のうち、震源近傍の地震動記録を統計的に処理を行って定めることとした。

これを、**全国標準的な応答スペクトル(標準応答スペクトル)**として策定し、検討を行うことを求めた。

➤ 原子力事業者

「**2004年北海道留萌支庁南部地震**」に加え、「**標準応答スペクトル**」を検討・評価することとなった。

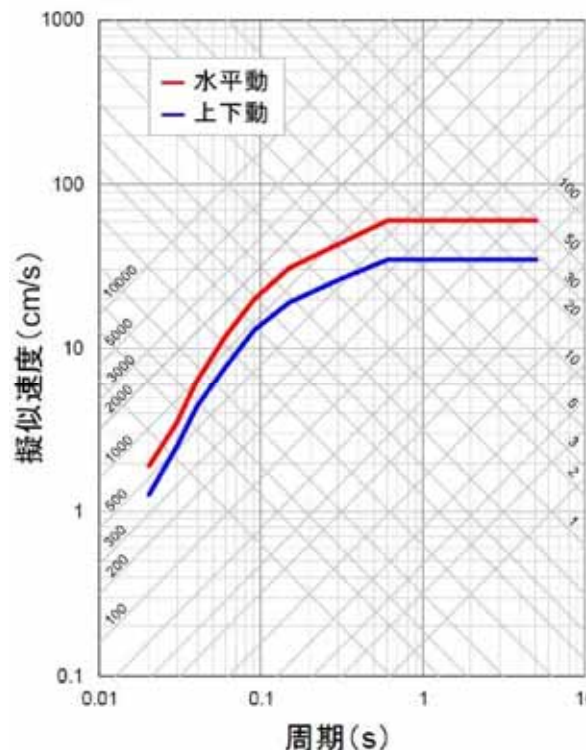
標準応答スペクトルとは(2/2)

- 標準応答スペクトルは、原子力規制委員会が**地表地震断層が出現しない可能性がある過去の内陸地殻内地震**の地震動観測記録の収集・分析を行い、これら地震動記録について統計的な手法を用いた処理を行うなどして策定された**全国標準的な応答スペクトル**である。
- 標準応答スペクトルは全国共通に考慮すべき地震動であることから、地域的な特徴を極力低減させて普遍的な地震動レベルを設定するために、地震基盤相当面(地震基盤と同等とみなすことができる地盤の解放面(せん断波速度Vs2200m/s以上の地盤)。地震基盤とは、地盤による影響を受けず、震源からの距離がほとんど同じであれば、地震動の増幅がほとんど同じとなる基盤(Vs3,000m/s以上。))で定義されている。

地震観測記録の収集条件

期 間	2000年～2017年の18年間
地震規模	Mw5.0～6.6
震源深さ	20km以浅
観測記録	震央距離30km以内のKiK-net観測地点における地表・地中地震計の地震観測記録(NS, EW, UD成分)
対象地震	89地震

擬似速度応答スペクトル(h=5%)



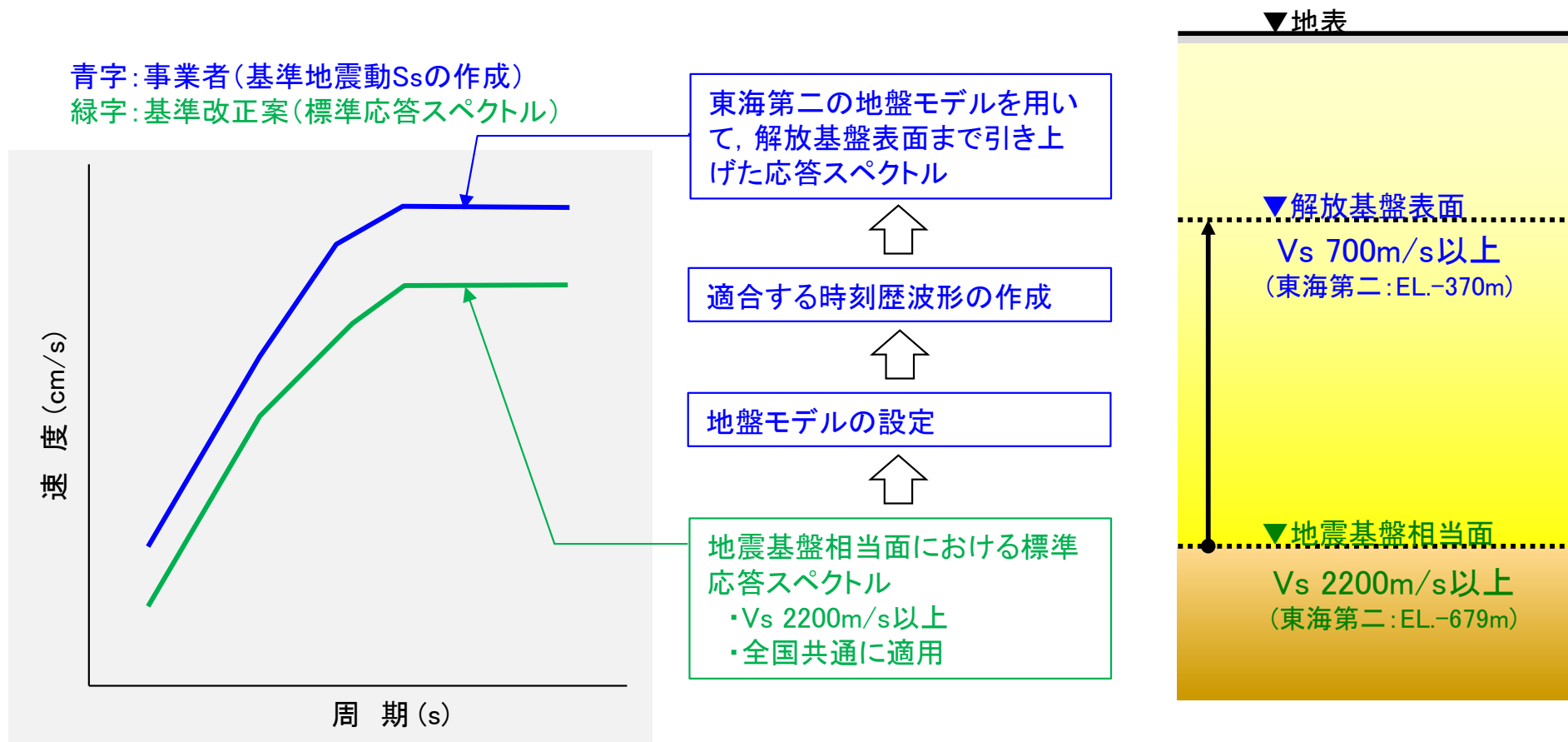
コントロールポイント

周期(s)	水平動	上下動
	擬似速度(cm/s)	擬似速度(cm/s)
0.02	1.910	1.273
0.03	3.500	2.500
0.04	6.300	4.400
0.06	12.000	7.800
0.09	20.000	13.000
0.15	31.000	19.000
0.30	43.000	26.000
0.60	60.000	35.000
5.00	60.000	35.000

(原子力規制委員会(2021))

地震基盤相当面における標準応答スペクトル

- 標準応答スペクトルに基づく地震動評価のため、地震基盤相当面で定義された標準応答スペクトルをもとに時刻歴波形を作成した上で、東海第二発電所の地盤モデルを用いて、解放基盤表面(著しい高低差がなく、ほぼ水平で相当な拡がりを持って想定され、基準地震動 S_s を策定するための基盤の表面(V_s 700m/s以上))での地震動評価を行った。



①地盤モデルの設定

下記により速度構造, 減衰定数を設定し, 地盤モデルを作成する。

(1) 速度構造と地震基盤相当面位置の設定

大深度ボーリング調査結果を含めた地下構造調査結果に基づき, 検討に用いる速度構造と地震基盤相当面位置を設定する。

(2) 減衰定数の設定

大深度地震計の地震観測記録を用いた伝達関数の逆解析により, 地震基盤相当面から解放基盤表面までの区間を含め, 地震基盤相当面以深から地表までの減衰定数を設定する。



②地震基盤相当面位置における模擬地震波の検討

標準応答スペクトルに適合する模擬地震波を複数の手法により検討する。



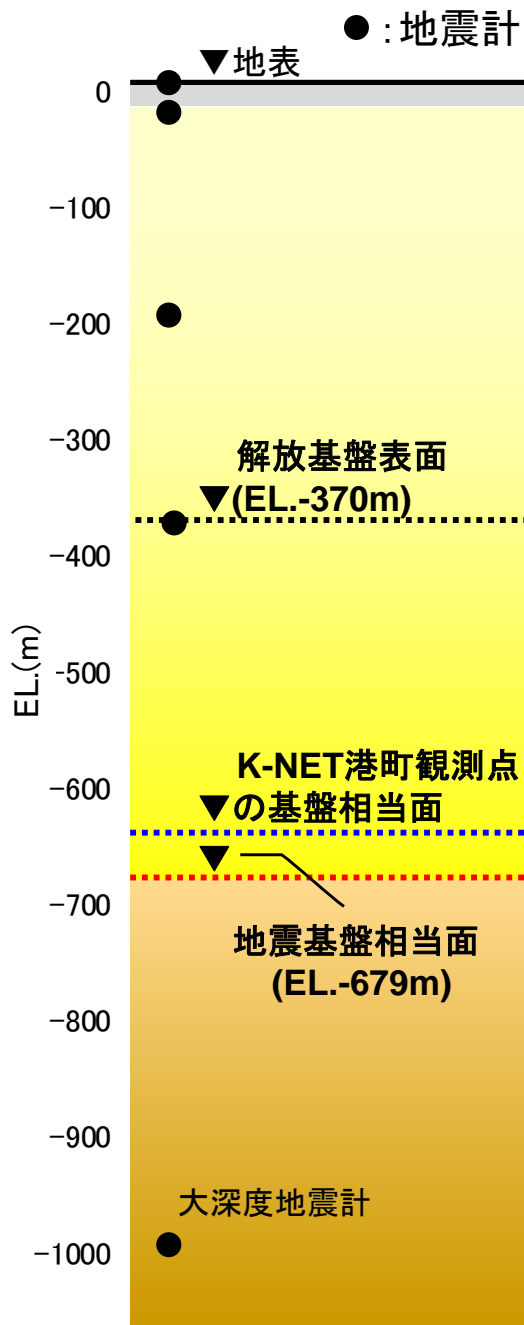
③解放基盤表面の地震動評価

地震基盤相当面位置から解放基盤表面までの地盤増幅特性を考慮した地震動を評価する。また, 複数の手法により検討した地震動評価結果について比較検討を行う。



④基準地震動 S_s の策定

既許可の基準地震動 S_s -D1(応答スペクトルに基づく地震動評価により策定した基準地震動 S_s)との比較より, 基準地震動 S_s を策定する。



■ 敷地における地盤増幅特性の考慮

敷地における解放基盤表面は $V_s 700\text{m/s}$ 以上となるEL.-370m位置に設定している。一方、標準応答スペクトルが地震基盤相当面($V_s 2200\text{m/s}$ 以上の地層)で定義されていることを踏まえ、標準応答スペクトルを解放基盤表面において評価するうえでは、地震基盤相当面から解放基盤表面までの増幅特性を考慮する。

■ 地盤モデルの新規設定

- ・ 既許可の留萌用地盤モデルの検討では、K-NET港町観測点の基盤に相当する層が $V_s 938\text{m/s}$ の層であったことから、地震基盤相当面以浅に着目していた。
- ・ 一方、今回の検討では、標準応答スペクトルが $V_s 2200\text{m/s}$ 以上となる地震基盤相当面で定義されていることから、地震基盤相当面以深まで掘削している大深度ボーリングデータや地震観測記録を精査する必要があると考え、既許可審査以降も蓄積されている地震観測記録等を活用し、標準応答スペクトルに基づく地震動評価のための地盤モデルを新たに設定する。

左図： 東海第二発電所敷地地盤のイメージ図

下記により速度構造, 地震基盤相当面位置, 減衰定数を設定し, 地盤モデルを作成する。

(1) 速度構造及び地震基盤相当面位置の設定

大深度ボーリング調査結果を含めた地下構造調査結果に基づき, 検討に用いる速度構造を設定する。その際, **EL.-679m以浅とEL.-679m以深とで速度構造が大きく異なるため, EL.-679m以浅と以深に分けて, 速度構造を設定する。**

・EL.-679m以浅の速度構造の設定

複数のボーリング調査結果より求めた標高依存式を用いて, EL.-679m以浅の速度構造を設定

・EL.-679m以深の速度構造の設定

大深度ボーリングのサスペンション法の結果を用いて, EL.-679m以深の速度構造を設定

・地震基盤相当面位置の設定

EL.-679m以浅と以深の速度構造を基に, $V_s 2200\text{m/s}$ 以上の地震基盤相当面位置を設定

(2) 減衰定数の設定

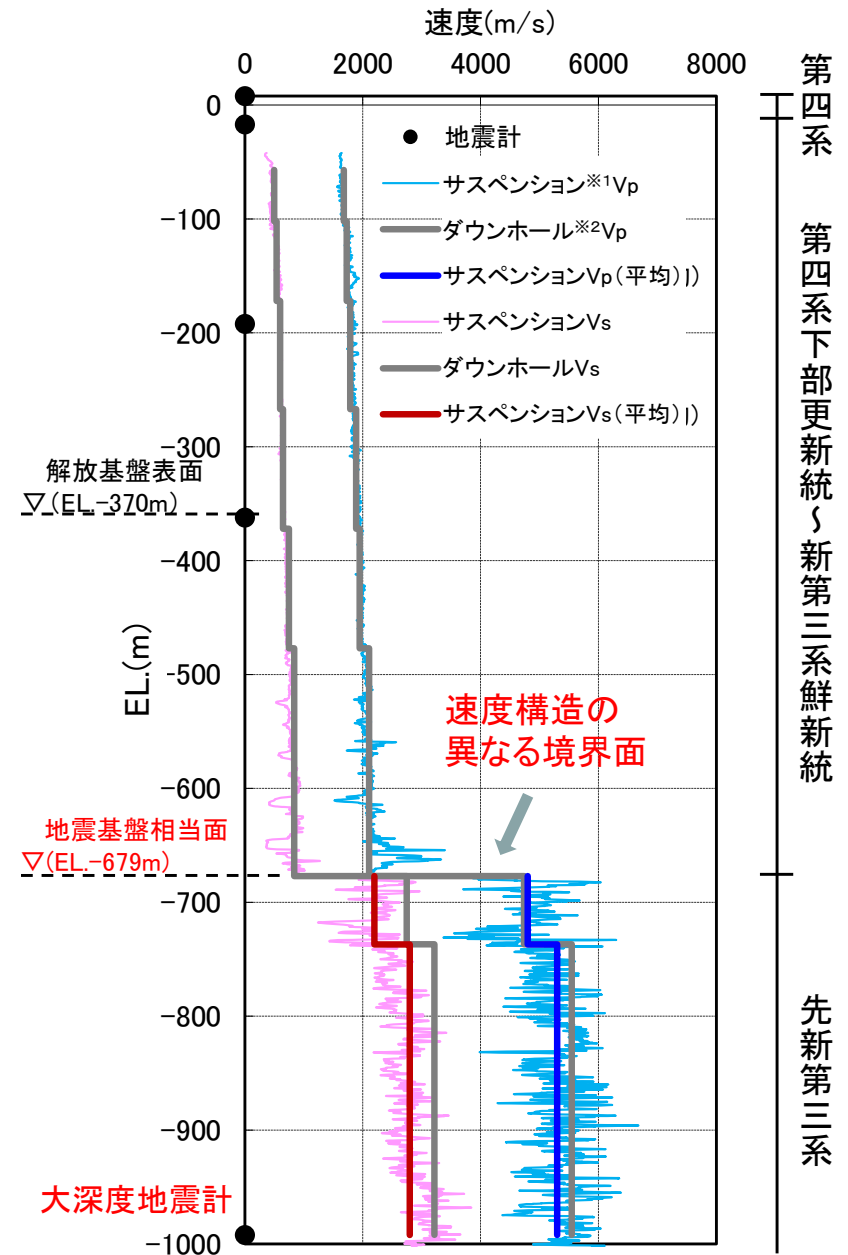
大深度地震計の地震観測記録を用いた伝達関数の逆解析により, 地震基盤相当面以深から地表までの減衰定数を設定する。

※1 サスペンション

起震と受信が一体となった機器をボーリング孔内に挿入し, 孔内に設置された2つの受信器により孔壁周辺の地盤を伝わる波動の速度を測定する手法

※2 ダウンホール

地表で弾性波(P波, S波)を発生させ, ボーリング孔内に設置した受振器により地盤を伝わる波動の速度を測定する手法

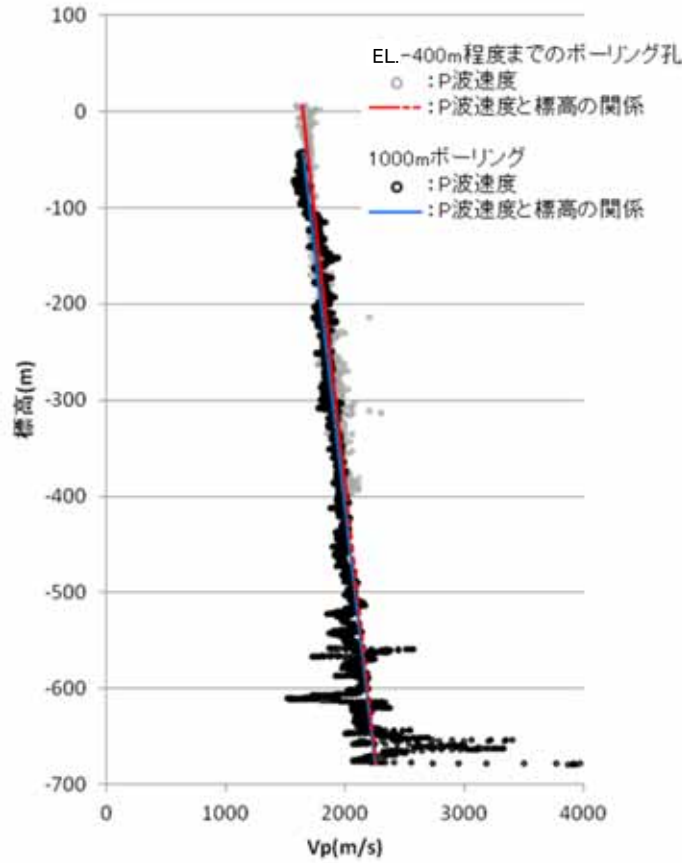
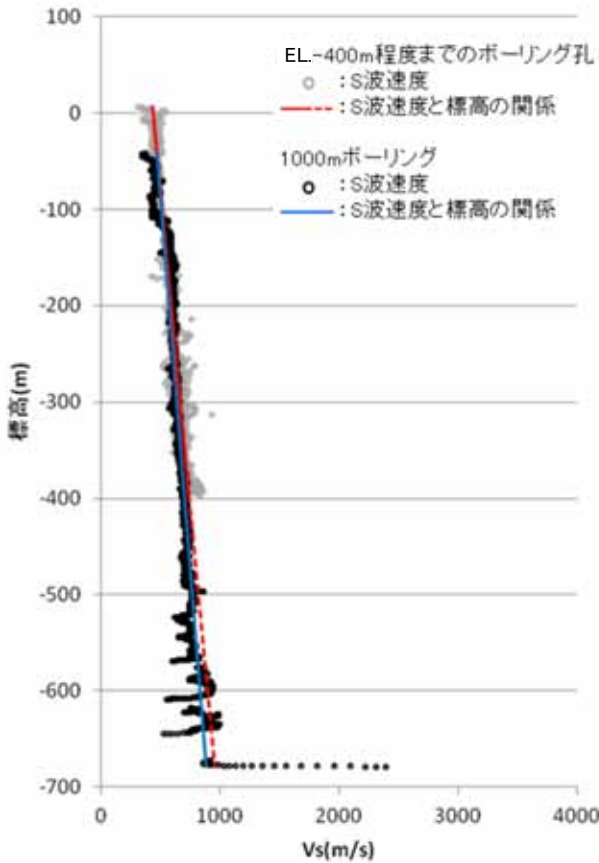


大深度ボーリングのPS検層結果の例

地盤モデルの設定 速度構造 地震基盤相当面(EL.-679m)以浅

■EL.-679m以浅(解放基盤表面～新第三系鮮新統下端)

- ・Vs, Vpとも深くなるにつれ値が漸増する構造であり, また複数の調査結果と整合していることから, 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討においては, 解放基盤表面からEL.-679m(新第三系鮮新統下端)までの速度構造を標高依存式により設定している。
- ・標準応答スペクトルによる地震動の検討に際しても, 解放基盤表面からEL.-679m(新第三系鮮新統下端)までの速度構造は, 既許可の2004年北海道留萌支庁南部地震の検討で用いたものを採用する。



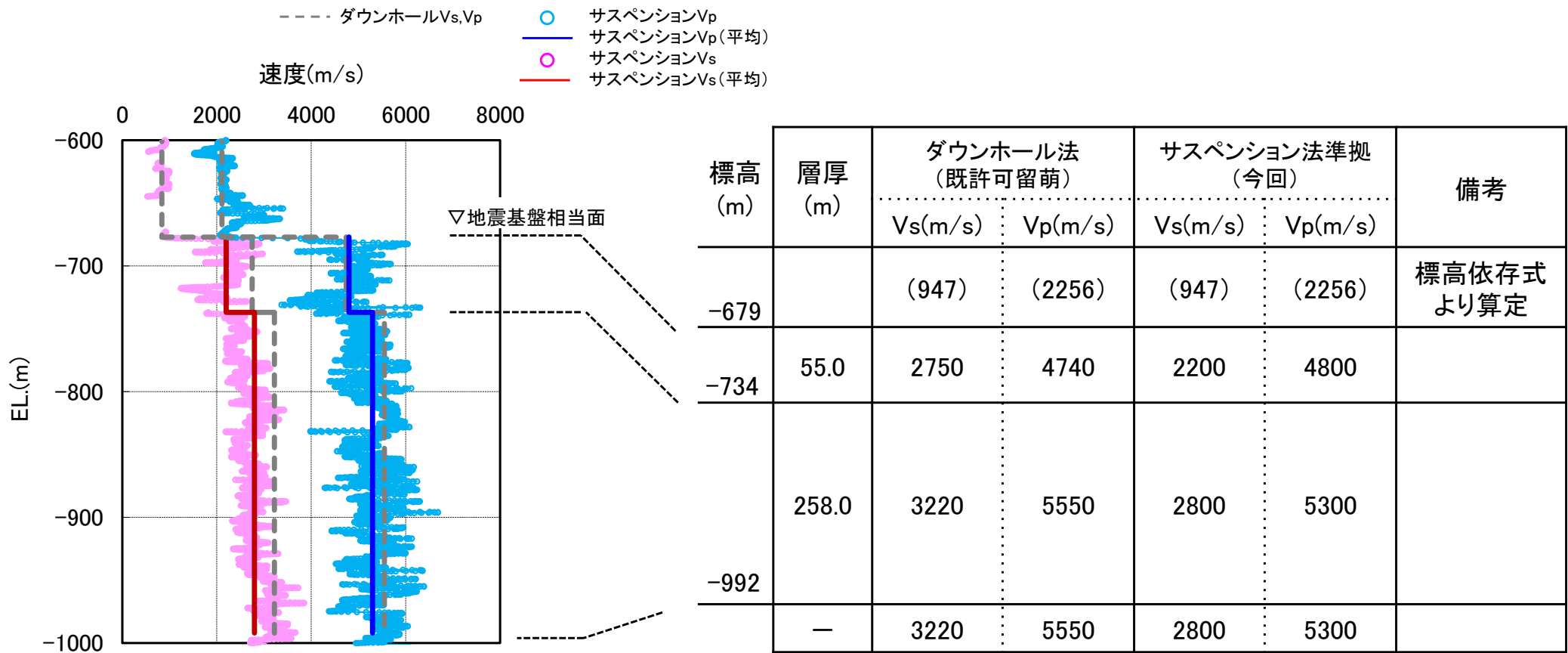
久米層における
地盤速度と標高の関係

$$V_s = 0.433 - 7.71 \times 10^{-4} \cdot Z$$
$$V_p = 1.65 - 9.09 \times 10^{-4} \cdot Z$$

ここで, Vs: S波速度 (km/s)
Vp: P波速度 (km/s)
Z: 標高 (m)

■EL.-679m以深(先新第三系)

- 地震基盤相当面以深では、大深度ボーリングのダウンホール法とサスペンション法との結果で差が生じていることから速度構造を再検討する。今回は、サスペンション法に準拠して速度構造を設定する。具体的には、ダウンホール法における同一層内で、サスペンション法のVs, Vpをそれぞれ平均して求めた値を用いる。
- 地震基盤相当面位置は、Vs2200m/s以上に相当する敷地での層の上面としてEL.-679m(Vs2200m/s)に設定する。



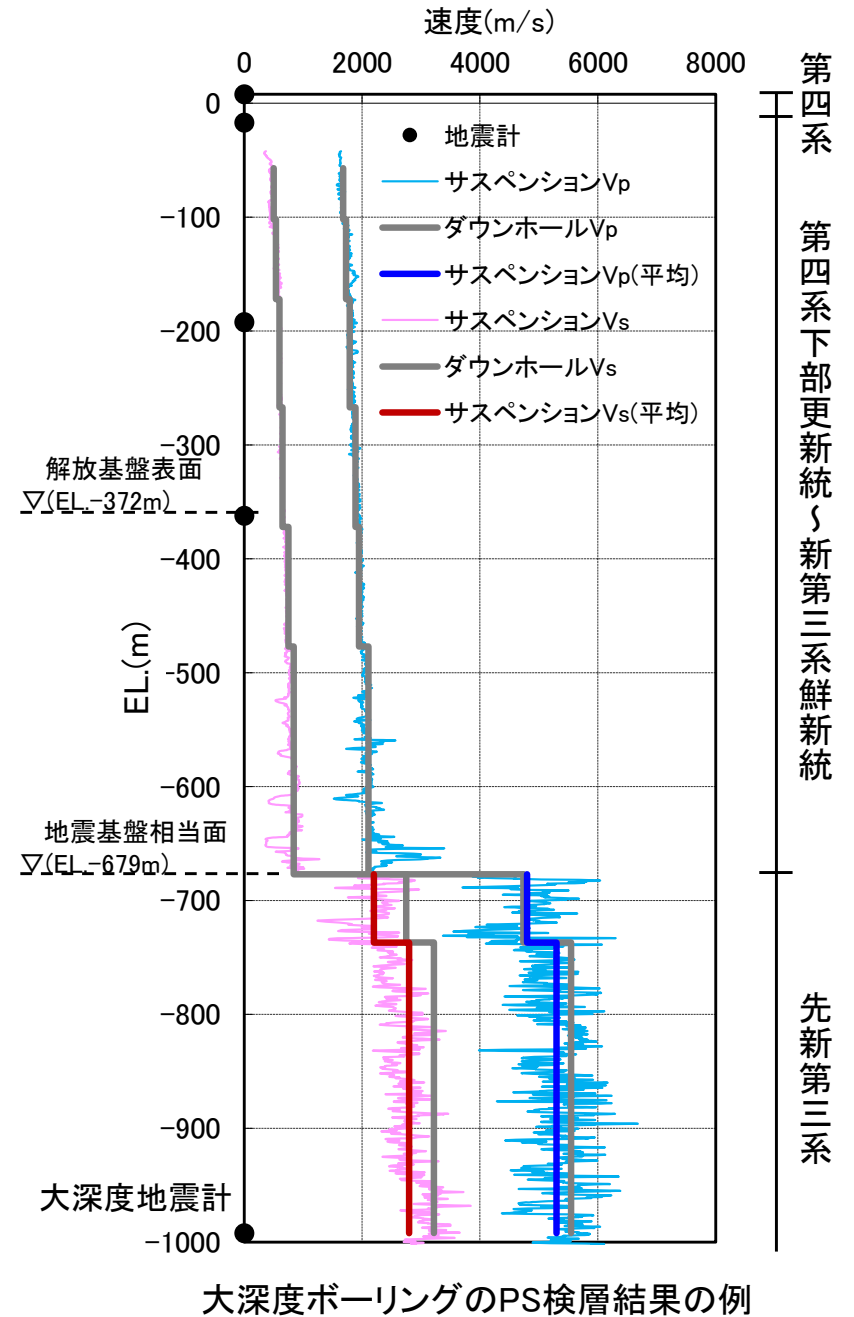
地盤モデルの設定 減衰定数

■大深度地震計を含む鉛直アレイ地震観測記録を用いて減衰定数を設定する。

- ・大深度地震計は地震基盤相当面より深い位置(EL.-992m)に設置されており、他の鉛直アレイ地震観測記録と併用することで、地震基盤相当面から解放基盤表面までの地震波の伝播の状況を直接調べることができる。そこで、**大深度地震計を含めた鉛直アレイ地震観測記録の伝達関数の逆解析により、地震基盤相当面以深から地表までの減衰定数(Q値)を求める。**
- ・伝達関数の逆解析による減衰定数(Q値)の同定範囲は地表面からEL.-992mの範囲とする。
- ・地盤の減衰定数 h は一般に振動数依存が認められ、高振動数になるほど減衰定数 h が低下する性質があるが、それには下限が存在すると考えられることから(例えば佐藤他(2006))、減衰定数 h の同定に際しては、減衰定数 h の下限を考慮する。

参考 評価方法との比較

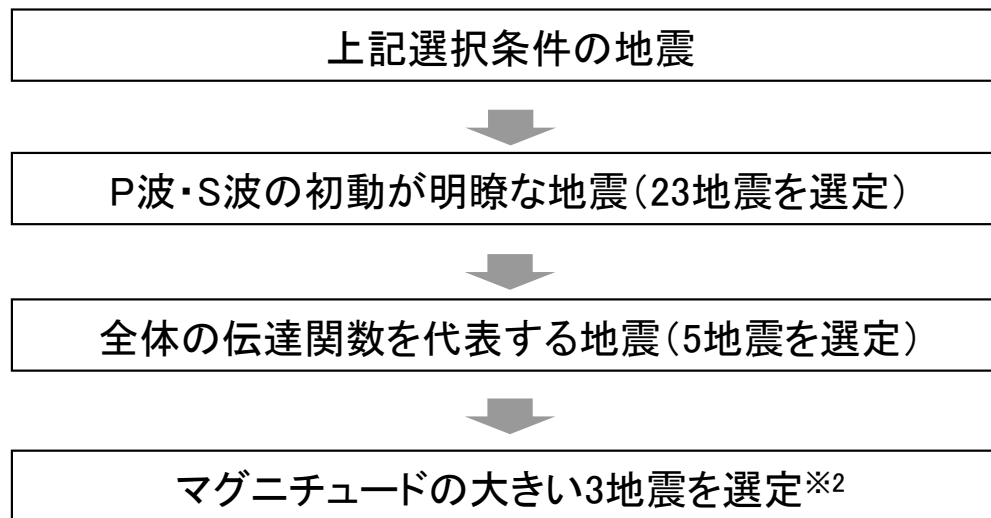
項目		2004年北海道留萌支庁南部地震の検討	本検討
設定方法	地表～解放基盤表面	EL.-372m以浅の地震観測記録による同定解析	大深度地震観測記録を含めた同定解析
	解放基盤表面～地震基盤相当面	上記結果のうち、第四系下部更新統～新第三系鮮新統の値を設定	
	地震基盤相当面以深	大深度地震観測記録を含めた同定解析	
減衰定数 h のモデル		振動数依存(下限考慮なし)	振動数依存(下限考慮あり)



- 地盤同定解析に用いる検討対象地震については、標準応答スペクトルの策定において対象とされた地震同様、内陸地殻内地震とし、具体的には下記に示す手順に従って選定する。

【検討対象地震の選定条件】

- ・地震発生様式 : 内陸地殻内地震
- ・対象期間^{※1} : 2012年8月～2019年1月
- ・震源深さ : 25km以浅

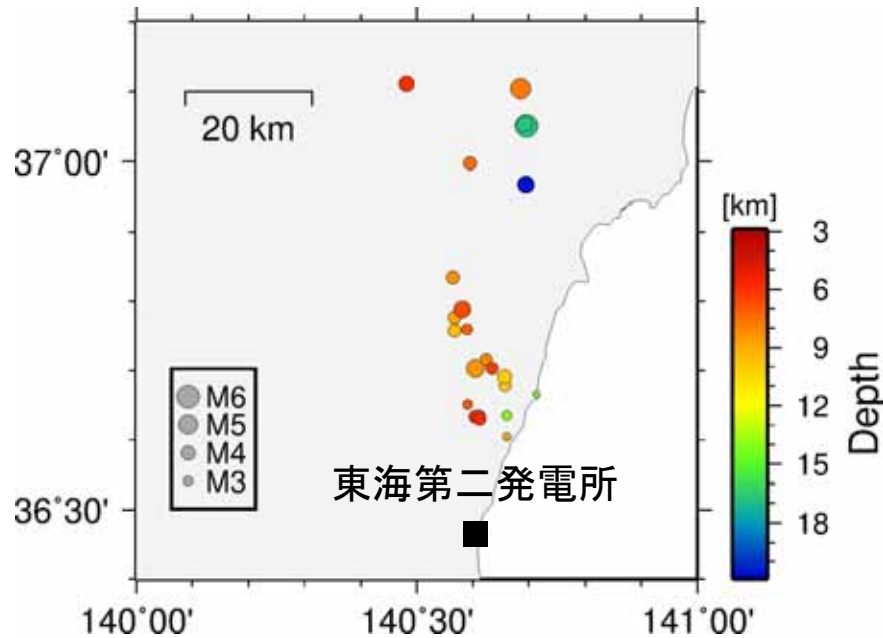


地盤同定解析に用いる地震の選定フロー

※1 検討対象とした地震記録は、大深度地震観測開始時期の2012年から地盤同定解析を開始した2019年までのものとした。

※2 比較的規模の大きい地震を選定することで、振幅が大きく、また広帯域の振動数成分が含まれることになる。その結果、S/Nが大きくなり、地盤同定解析に用いる伝達関数の精度が高まる。

■ 2012年8月～2019年1月に観測した地震から、ノイズや機器の不具合による影響のないデータを選定し、P波・S波の初動が明瞭に見られた下記に示す23地震を選定する。



選定した23地震の震央分布図

23地震の諸元

No.	発震日時		震央位置		マグニチュード	震源深さ (km)	震央距離 (km)
			緯度(度)	経度(度)			
1	2012/08/10	07:18	36.7590	140.5900	3.2	7.2	32.6
2	2012/11/12	00:12	36.6350	140.6600	3.0	13.9	19.4
3	2013/01/13	02:54	36.6510	140.5910	3.1	7.0	20.6
4	2013/01/15	09:08	36.6040	140.6600	2.9	8.8	16.1
5	2013/01/31	23:53	36.7030	140.6040	4.7	8.4	26.0
6	2013/02/24	13:55	36.9680	140.6940	4.5	20.6	56.0
7	2013/04/25	16:16	37.1110	140.4820	4.2	6.0	72.5
8	2013/06/04	13:09	36.7580	140.5670	3.7	9.6	32.6
9	2013/07/12	03:18	36.7760	140.5670	3.8	8.7	34.6
10	2013/07/23	12:02	37.1040	140.6850	5.2	7.8	71.2
11	2013/08/14	09:45	36.6330	140.6040	3.8	6.3	18.6
12	2013/08/14	14:31	36.6330	140.6100	4.1	6.3	18.6
13	2013/08/19	11:22	36.6310	140.6120	3.8	5.7	18.3
14	2013/09/20	02:25	37.0510	140.6950	5.9	16.7	65.0
15	2013/09/26	14:44	36.7160	140.6230	3.6	8.0	27.8
16	2013/09/27	07:37	37.0530	140.6920	4.2	16.7	65.6
17	2013/11/12	03:28	36.7030	140.6338	3.6	6.4	26.4
18	2014/01/09	04:08	36.7885	140.5810	4.6	6.6	35.9
19	2014/03/27	14:20	36.8345	140.5643	3.8	8.3	41.1
20	2014/04/01	01:15	36.6780	140.6570	3.6	10.0	24.0
21	2014/07/03	07:57	36.6910	140.6560	4.0	10.2	25.4
22	2014/08/08	03:47	36.6660	140.7130	2.5	14.6	24.2
23	2014/11/17	08:59	36.9970	140.5950	3.8	7.5	59.0

地盤モデルの設定 減衰定数 地盤同定解析に用いる地震(3/3)

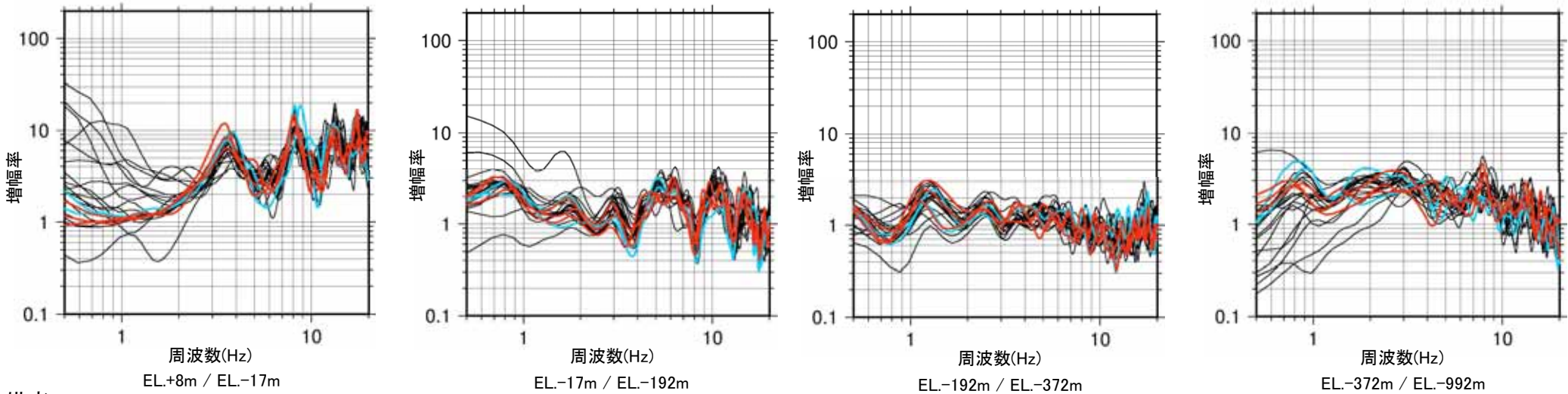
■P波・S波の初動が明瞭に見られた23地震の伝達関数を比較して、全体の伝達関数を代表する地震を5地震選定し、このうちマグニチュードが大きい3地震を地盤同定解析に用いる地震に選定する。

伝達関数を代表する5地震

No.	発震日時		震央位置		マグニチュード	震源深さ (km)	震央距離 (km)
			緯度(度)	経度(度)			
5	2013/01/31	23:53	36.7030	140.6040	4.7	8.4	26.0
6	2013/02/24	13:55	36.9680	140.6940	4.5	20.6	56.0
14	2013/09/20	02:25	37.0510	140.6950	5.9	16.7	65.0
18	2014/01/09	04:08	36.7885	140.5810	4.6	6.6	35.9
21	2014/07/03	07:57	36.6910	140.6560	4.0	10.2	25.4

網掛け：地盤同定解析に用いる3地震

— 選定した5地震のうち、地盤同定解析に用いる3地震
— 選定した5地震のうち、地盤同定解析に用いない2地震
— 残りの18地震



備考
伝達関数は、0.5HzのParzen windowで平滑化。

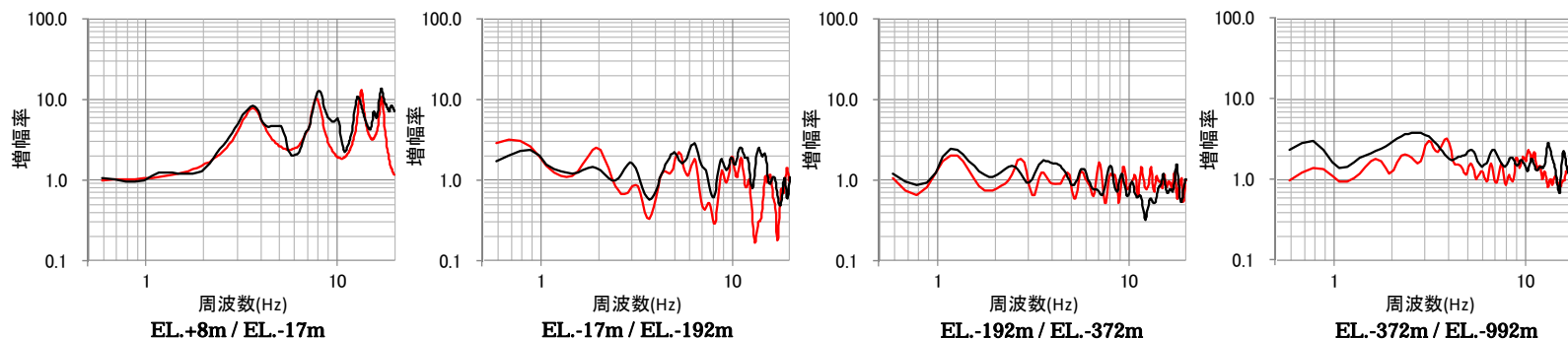
23地震の伝達関数(Transverse方向)

- ・P波・S波の初動が明瞭に見られた23地震の伝達関数については、3Hz以下の周波数帯では、イベント毎のばらつきが大きいものの3Hz以上の周波数帯では小さくなっている。
- ・全体の伝達関数を代表するよう5地震を選定した段階で、3Hz以下も含めた全周波数帯において伝達関数のばらつきは小さくなり、地盤同定解析に用いる3地震と他の2地震の伝達関数に大きな差はない。

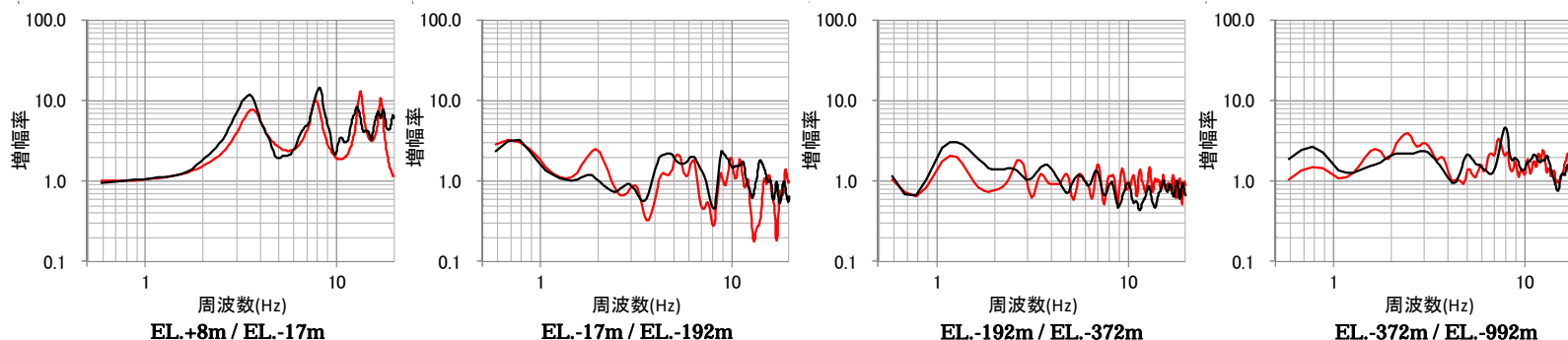
■地盤同定解析により推定した地盤モデルの伝達関数は、観測記録の伝達関数と整合している。

— 同定結果
— 観測記録

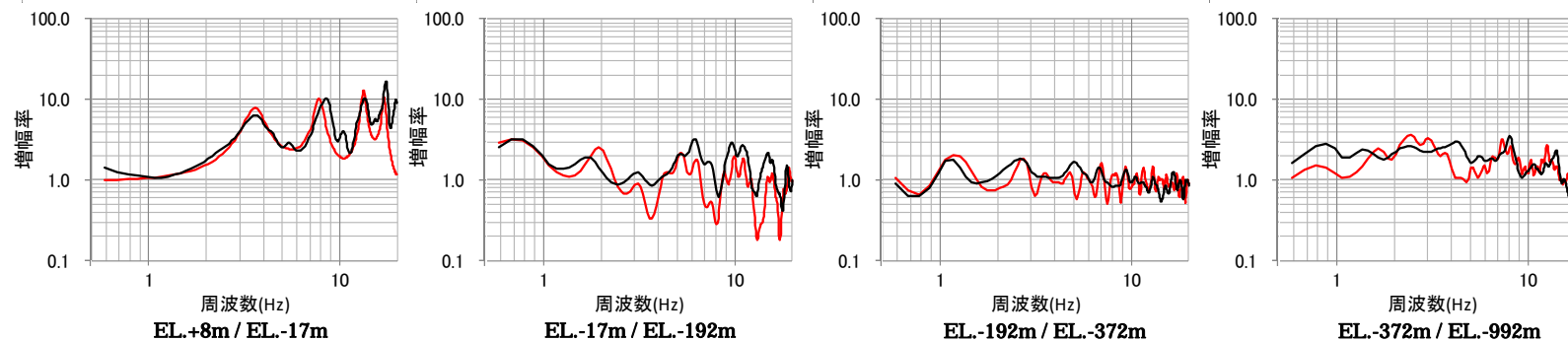
2013年1月31日
入射角: 55.63°



2013年9月20日
入射角: 30.22°



2014年1月9日
入射角: 34.30°



観測記録の伝達関数と同定結果の伝達関数

対象周波数は、0.5~20Hzをプロットした。
地震観測記録の伝達関数は、0.5HzのParzen windowで平滑化した。

地盤モデルの設定 地盤モデルの設定結果



■地盤同定解析に基づき新たに地盤モデルを設定し、地震基盤相当面から解放基盤表面の地盤増幅特性を考慮して地震動を推定した。

新たに設定した地盤モデル (減衰定数hは $Q=1/(2h)$ の関係より算定)

固定パラメータ						同定結果 (f: 周波数 (Hz))							
EL. (m)	層厚 (m)	地層	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm ³)	$Q=(V_s/n)(f/f_0)^\alpha$			$Q=(V_p/n)(f/f_0)^\alpha$			減衰定数h(f)	
						水平			鉛直			水平		鉛直
						n	α	f ₀	n	α	f ₀		
● 8.0	2.5	第四系	130	280	1.71	5	1.32	18.74	44	0.91	19.45	0.921f ^{-1.32} (f≤18.74)	1.170f ^{-0.91} (f≤19.45)
	4.5		0.019 (f>18.74)	0.079 (f>19.45)									
5.5	8.0		151	403								0.793f ^{-1.32} (f≤18.74)	0.813f ^{-0.91} (f≤19.45)
	8.0		0.017 (f>18.74)	0.055 (f>19.45)									
1.0	8.0		308	1589								0.389f ^{-1.32} (f≤18.74)	0.206f ^{-0.91} (f≤19.45)
	8.0	478	1509	0.008 (f>18.74)	0.014 (f>19.45)								
-7.0												0.250f ^{-1.32} (f≤18.74)	0.217f ^{-0.91} (f≤19.45)
	2.0	第四系 下部更新統 ~ 新第三系 鮮新統	477	1753	1.69	13	1.05	6.78	28	1.05	31.74	0.005 (f>18.74)	0.015 (f>19.45)
-15.0	89.0		0.102f ^{-1.05} (f≤6.78)	0.301f ^{-1.05} (f≤31.74)									
● -17.0	62.0		0.014 (f>6.78)	0.008 (f>31.74)									
	24.0		0.087f ^{-1.05} (f≤6.78)	0.303f ^{-1.05} (f≤31.74)									
-106.0	68.0		0.012 (f>6.78)	0.008 (f>31.74)									
	108.0		0.072f ^{-1.05} (f≤6.78)	0.256f ^{-1.05} (f≤31.74)									
-168.0	2.0		0.010 (f>6.78)	0.007 (f>31.74)									
● -192.0	2.0		0.064f ^{-1.05} (f≤6.78)	0.234f ^{-1.05} (f≤31.74)									
	104.0		0.009 (f>6.78)	0.006 (f>31.74)									
-260.0	90.0		0.061f ^{-1.05} (f≤6.78)	0.264f ^{-1.05} (f≤31.74)									
	89.0	0.008 (f>6.78)	0.007 (f>31.74)										
-368.0	2.0	0.061f ^{-1.05} (f≤6.78)	0.264f ^{-1.05} (f≤31.74)										
	2.0	0.008 (f>6.78)	0.007 (f>31.74)										
▽解放基盤表面	104.0	0.061f ^{-1.05} (f≤6.78)	0.264f ^{-1.05} (f≤31.74)										
	90.0	0.008 (f>6.78)	0.007 (f>31.74)										
	90.0	0.058f ^{-1.05} (f≤6.78)	0.249f ^{-1.05} (f≤31.74)										
	89.0	0.008 (f>6.78)	0.007 (f>31.74)										
	89.0	0.054f ^{-1.05} (f≤6.78)	0.240f ^{-1.05} (f≤31.74)										
	24.0	0.007 (f>6.78)	0.006 (f>31.74)										
	24.0	0.051f ^{-1.05} (f≤6.78)	0.234f ^{-1.05} (f≤31.74)										
	24.0	0.007 (f>6.78)	0.006 (f>31.74)										
	55.0	先新第三系	2200	4800	2.65	53	0.21	1.31	20	0.23	16.46	0.013f ^{-0.21} (f≤1.31)	0.004f ^{-0.23} (f≤16.46)
	258.0		0.012 (f>1.31)	0.002 (f>16.46)									
-734.0	-		2800	5300								2.78	0.010f ^{-0.21} (f≤1.31)	0.004f^{-0.23} (f≤16.46)
	-	2800	5300	2.78	0.009 (f>1.31)	0.002 (f>16.46)							
● -992.0													

●: 地震計位置

- ・審査ガイドでは、設定された応答スペクトルに基づいて模擬地震波を作成する場合、複数の方法により検討を行うことを求めている。
- ・敷地の地下構造に関しては、標準応答スペクトルが定義されている地震基盤相当面位置(EL.-679m)と解放基盤表面位置(EL.-370m)が異なることから、地震動の位相の違いが地震基盤相当面から解放基盤表面までの伝播の特性に与える影響を検討するため、模擬地震波作成に用いる位相について複数考慮する。
- ・考慮する位相としては、既許可の模擬地震波作成において使用実績のある乱数位相と実現象を評価に反映することができる実観測記録の位相とする。
- ・地震動評価結果を比較した上で、標準応答スペクトルに基づく地震動評価に用いる位相を採用する。

地震動評価位置	乱数位相による地震動評価 (地震動の計算に必要な位相をランダムに発生させて設定したもの)	実観測記録の位相による地震動評価 (地震動の計算に必要な位相を地震観測記録の分析に基づいて設定したもの)
解放基盤表面 (EL.-370m)	新しく設定した地盤モデルを用いて解放基盤表面の地震動を評価する。	新しく設定した地盤モデルを用いて解放基盤表面の地震動を評価する。
地震基盤相当面 (EL.-679m)	<ul style="list-style-type: none"> ・乱数の位相を持つ正弦波の重ね合わせによって模擬地震波を作成する。 ・Noda et al.(2002)に基づき振幅包絡線を設定する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・実観測記録の位相を与えて模擬地震波を作成する。 ・用いる観測記録については、敷地における適切な記録があればこれを用いることとするが、そのような記録がない場合には敷地周辺における観測点の記録を用いる。



地震動の位相の違いが地震基盤相当面から解放基盤表面までの伝播の特性に与える影響を検討し、
標準応答スペクトルに基づく地震動評価に用いる位相を採用

■乱數位相を用いた模擬地震波は、乱数の位相を持つ正弦波の重ね合わせによって作成する。振幅包絡線の経時的変化については、Noda et al.(2002)の方法に基づき設定することとし、その設定に必要な M と Xeq を設定する。

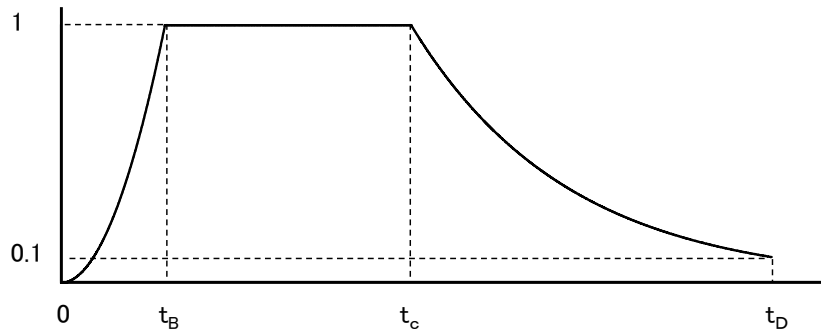
【M（速度波形または変位波形の最大振幅を基に気象庁が発表するマグニチュード）の設定】

原子力規制委員会の審査ガイドにおける「全国共通に考慮すべき地震動」の地震規模は、Mw(断層の面積・剛性率・すべり量から計算されるマグニチュード)6.5程度未満と記載されており、武村(1990)のMo-M関係及びHanks and Kanamori(1979)のMo-Mw関係によりMw6.5をMに換算すると6.9となる。ここで、審査ガイドでは「Mw6.5程度未満」と幅をもって示されていることから、換算式から求められるMについても幅を持たせ、模擬地震波の特に強震部の継続時間が長めとなるよう保守的にM7.0として設定する。

【Xeq（面震源から受けるエネルギーと等価なエネルギーを受ける点震源からの距離）の設定】

震源近傍で発生する地震を想定したうへ、継続時間が長めとなるようXeq10kmとして設定する。

模擬地震波	最大加速度 (cm/s ²)	継続時間 (s)	振幅包絡線の経時的変化(s)		
			t _B	t _C	t _D
水平方向	600	29.80	3.72	16.31	29.80
鉛直方向	400	29.80	3.72	16.31	29.80



$$t_B = 10^{0.5M - 2.93}$$

$$t_C - t_B = 10^{0.3M - 1.0}$$

$$t_D - t_C = 10^{0.17M + 0.54 \log X_{eq} - 0.6}$$

$$E(t) = \begin{cases} (t/t_B)^2 & 0 \leq t \leq t_B \\ 1 & t_B \leq t \leq t_C \\ \exp[(\ln 0.1)(t-t_C)/(t_D-t_C)] & t_C \leq t \leq t_D \end{cases}$$

振幅包絡線

- 実観測記録の位相を用いた模擬地震波は、実観測記録の位相を与えて作成する。用いる観測記録の候補としては、敷地に近い位置(震央距離10km以内)で発生した内陸地殻内地震の敷地における観測記録が考えられるが、そのような記録がない場合には、応力場が敷地と類似する周辺の領域における地震基盤相当面(V_s 2200m/s以上)の観測記録とする。
- 敷地に近い位置(震央距離10km以内)で発生したMw6.5程度未満の内陸地殻内地震の敷地で得られた観測記録(Mj: 5.0~7.0)を収集・整理した結果、そのような観測記録は得られていなかった。
- そこで、敷地と同じ応力場である福島県浜通りから茨城県北部にかけての領域で発生した内陸地殻内地震の揺れを震源近傍で観測した記録(震央距離:10km以内, Mj:5.0~7.0)を収集・整理した結果、2011年茨城県北部地震の揺れを震央距離約1kmの地震基盤相当面で観測したKiK-net観測点IBRH13(高萩)の観測記録を用いる。
- 2011年茨城県北部地震のKiK-net観測点用IBRH13(高萩)の観測記録について、佐藤他(2019)により下降波の影響を除去した露頭基盤波が推定されているため、露頭基盤波の位相を用いて実観測記録の位相を用いた模擬地震波を作成する。

2011年茨城県北部地震の概要

発生日時: 2011/03/19 18:56

地震規模: Mj6.1 (Mw5.8)

深さ : 5km

タイプ : 正断層型

震度5強: 茨城県日立市

5弱: 茨城県常陸太田市,

高萩市, 笠間市,

ひたちなか市

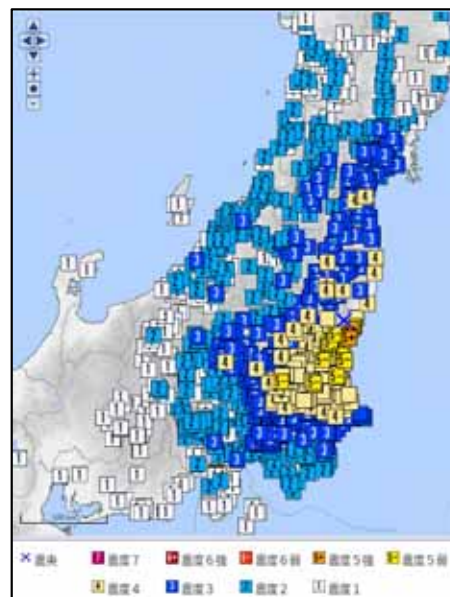
(東海第二発電所周辺は震度4)

KiK-net観測点IBRH13(高萩)の概要

観測点名 : 高萩

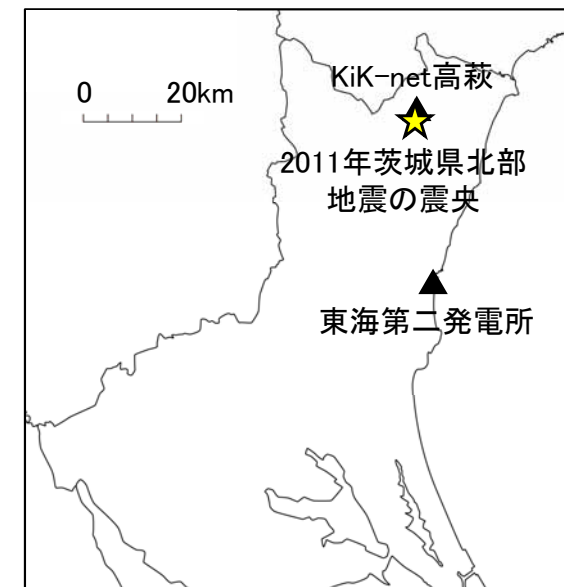
所在地 : 茨城県高萩市大字上君田

地中観測点位置: 深さ100m位置(V_s 3000m/s)



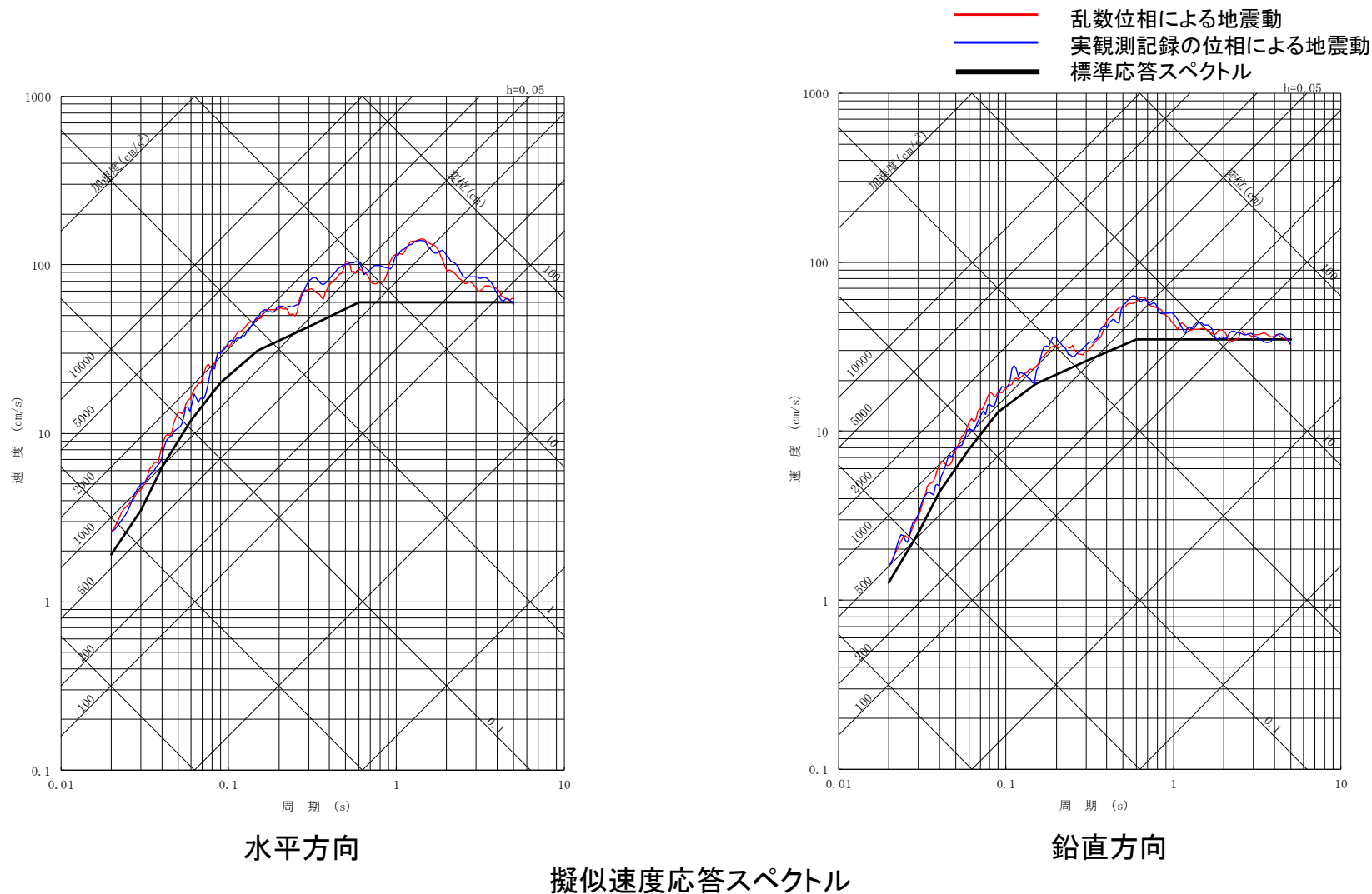
震度分布図

気象庁HPより抜粋・加筆



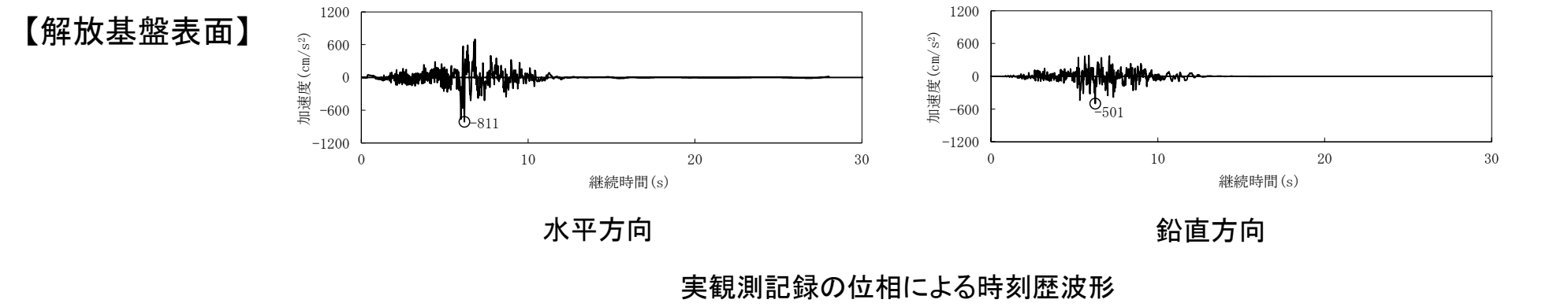
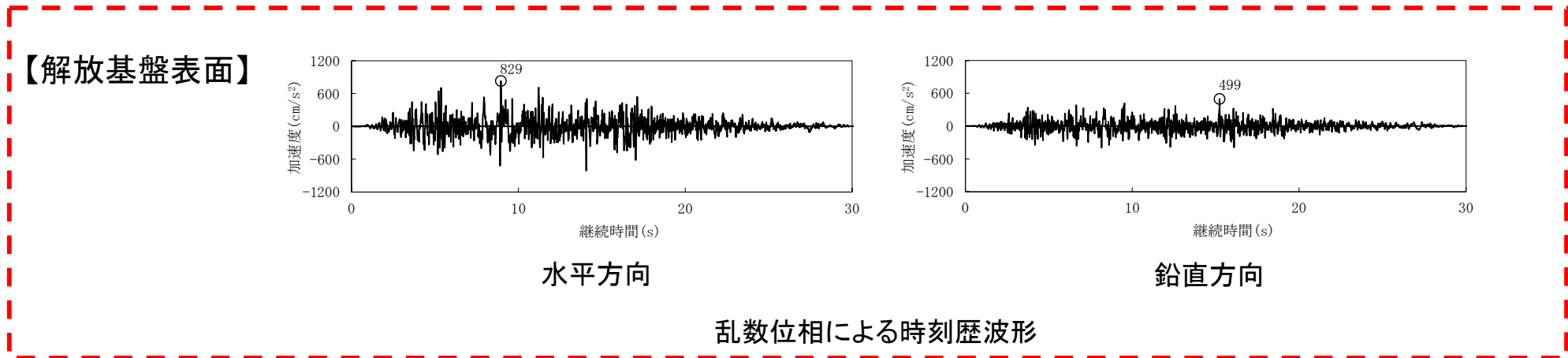
震央と観測点位置

- 乱数位相, 実観測記録の位相による地震動評価結果を比較し, 位相の違いが地震基盤相当面から解放基盤表面までの伝播の特性に与える影響を検討する。
- 乱数位相, 実観測記録の位相による地震動について, 解放基盤表面における応答スペクトルを比較したところ, **両者は同程度であり, 全周期帯において有意な差が生じていないことを確認した。**



■乱數位相, 実観測記録の位相を用いた模擬地震波を解放基盤表面まで伝播させ, 時刻歴波形を比較したところ, 強震部の継続時間については, 乱數位相による時刻歴波形の方が長いことを確認した。

【採用】



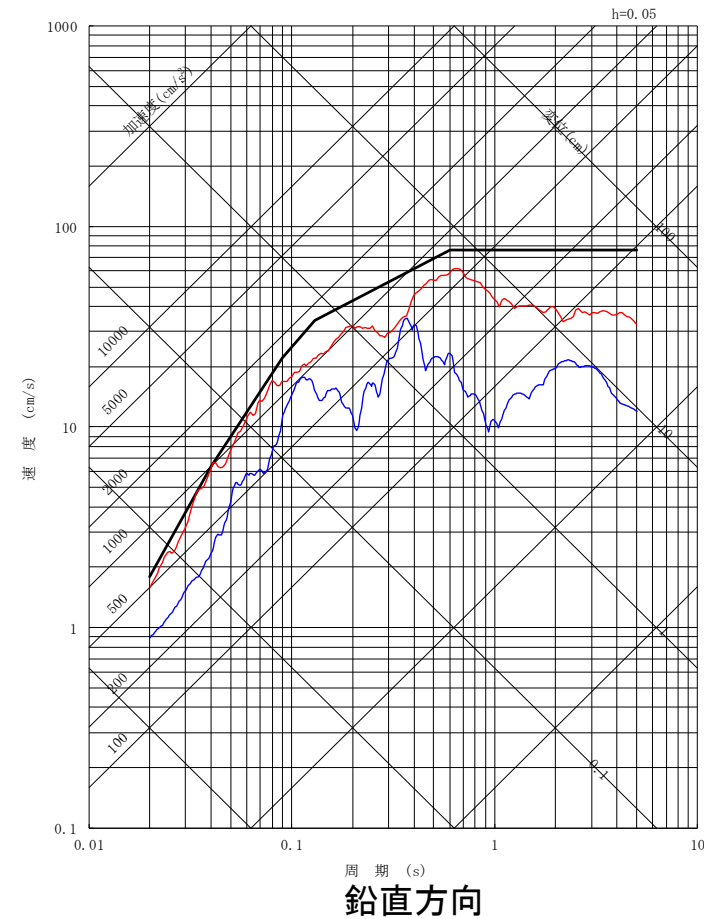
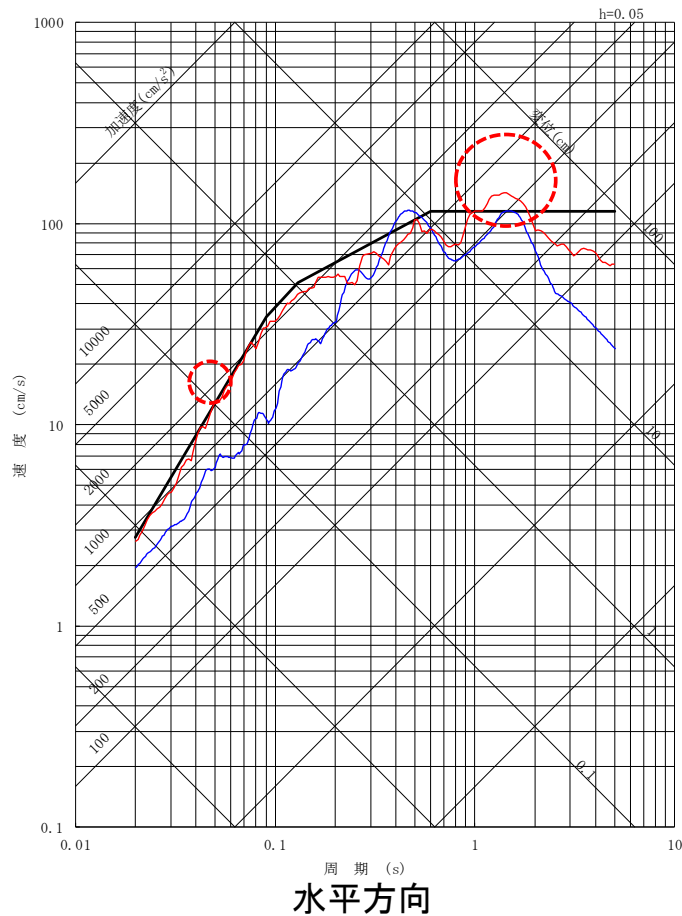
乱數位相, 実観測記録の位相による地震動は, 応答スペクトルでは差が生じないが, **時刻歴波形では乱數位相の方が強震部の継続時間が長いことから, 標準応答スペクトルに基づく地震動評価に用いる位相として, 乱數位相を採用する。**

基準地震動S_sの策定(1/3)



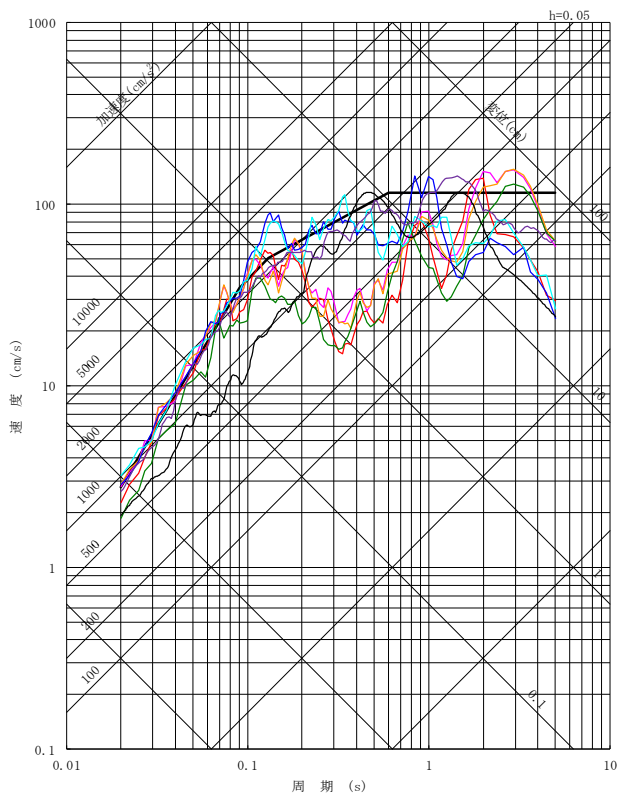
- 審査ガイドでは、断層モデル手法による基準地震動S_sは、応答スペクトル手法による基準地震動S_s-D1との関係を踏まえて策定することが求められており、基準地震動S_s-11～S_s-31は、基準地震動S_s-D1との比較により策定している。
- このため、標準応答スペクトルに基づき策定した地震動に対しても、基準地震動S_s-D1との比較により基準地震動を策定する。
- 標準応答スペクトルに基づき策定した地震動と既許可の基準地震動S_s-D1を比較した結果、一部の周期帯において、基準地震動S_s-D1を上回るため、基準地震動S_sとする。

— 標準応答スペクトルに基づき策定した地震動
— S_s-31(2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動)
— S_s-D1

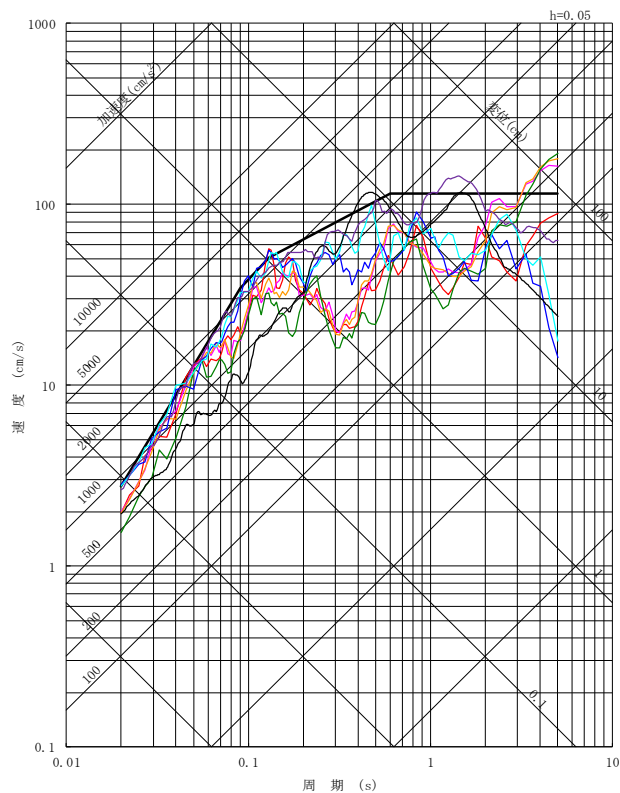


■ 標準応答スペクトルに基づき策定した地震動を基準地震動Ss-32として追加する。

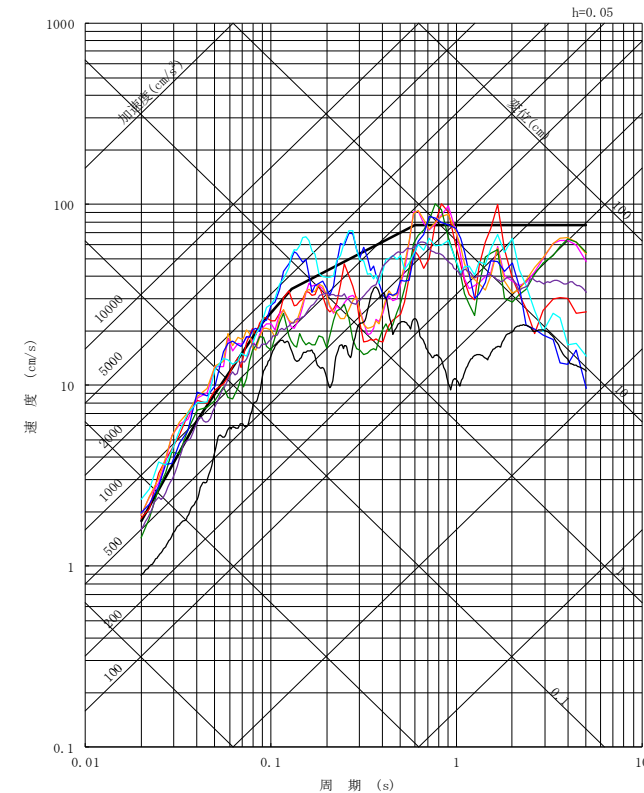
- Ss-D1 応答スペクトル手法による基準地震動
- Ss-11 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- Ss-12 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-13 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- Ss-14 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-21 2011年東北地方太平洋沖型地震(短周期レベルの不確かさ)
- Ss-22 2011年東北地方太平洋沖型地震(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)
- Ss-31 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動
- Ss-32 標準応答スペクトルに基づき策定した地震動



NS方向



EW方向



UD方向

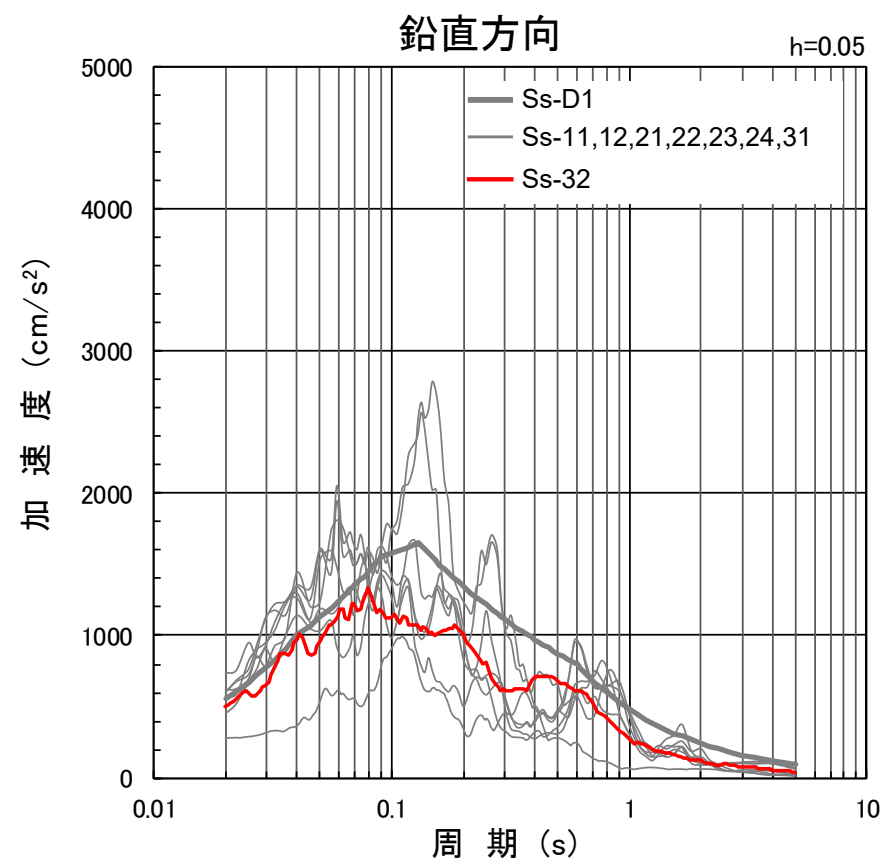
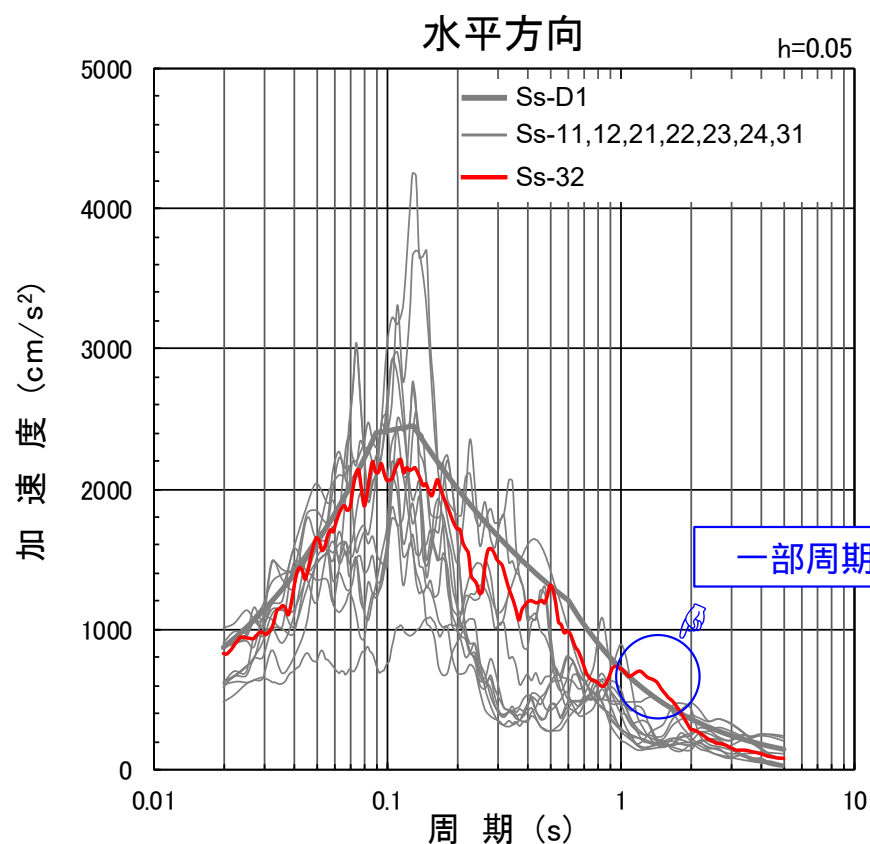
- 追加した基準地震動Ss-32(標準応答スペクトルに基づく地震動)の最大加速度は, 829cm/s²である。
- 基準地震動Ssは8波から9波となるが, 最大加速度1,009cm/s²は変更とならない。

地震動	地震動の評価		最大加速度(cm/s ²)	
			水平方向	鉛直方向
震源を特定して策定する地震動	断層モデルを用いた手法による地震動(6波)	内陸地殻内地震(4波): 基準地震動Ss-11~14	903	602
		プレート間地震(2波): 基準地震動Ss-21,22	1009	736
	応答スペクトルに基づく地震動(1波): 基準地震動Ss-D1		870	560
震源を特定せず策定する地震動 (全国共通に考慮すべき地震動)	北海道留萌支庁南部地震に基づく地震動(1波): 基準地震動Ss-31		610	280
	標準応答スペクトルに基づく地震動(1波): 基準地震動Ss-32		829	499

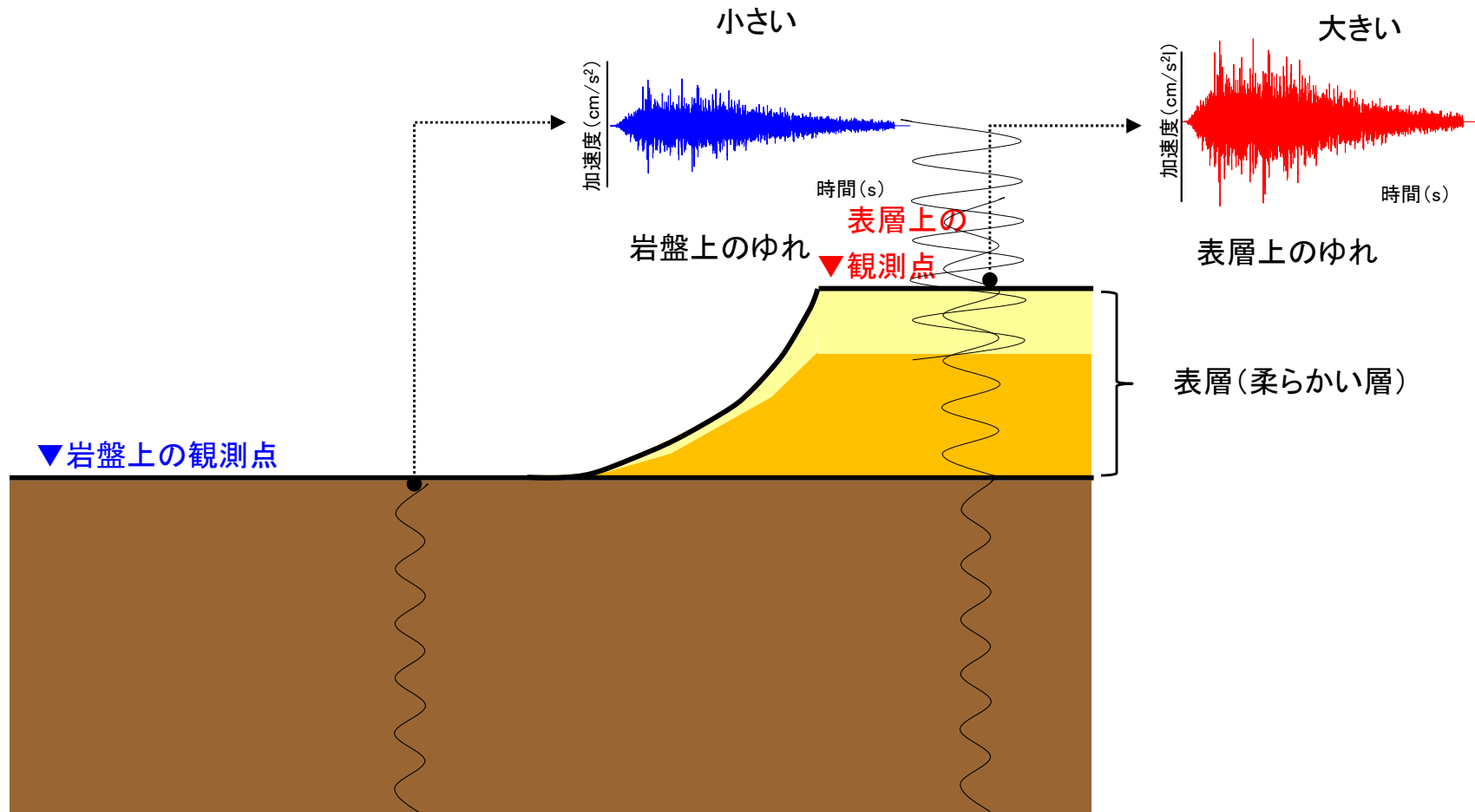
今回追加

■ Ss-32に対する施設等の耐震性の詳細評価を実施中であるが、施設等への影響確認を行った結果、**機能維持への影響はないものと考えている。**

- ・ 応答スペクトルの比較において、Ss-32は許可済のSsに対して水平方向の長周期帯の一部(1秒から2秒)で超えるため、当該位置に固有周期を有する施設等について、影響確認を行った。
- ・ その結果、常設代替高圧電源装置について、地震による機能維持のために実施した加振試験結果に影響があることを確認したため、Ss-32を考慮した加振波を用いて加振試験を行い、**機能維持に問題ないことを確認した。**
- ・ その他の施設等については、許可済のSsでの評価結果に包絡されるか、または評価結果に包絡されなくても**耐震裕度内に収まるものと想定している。**

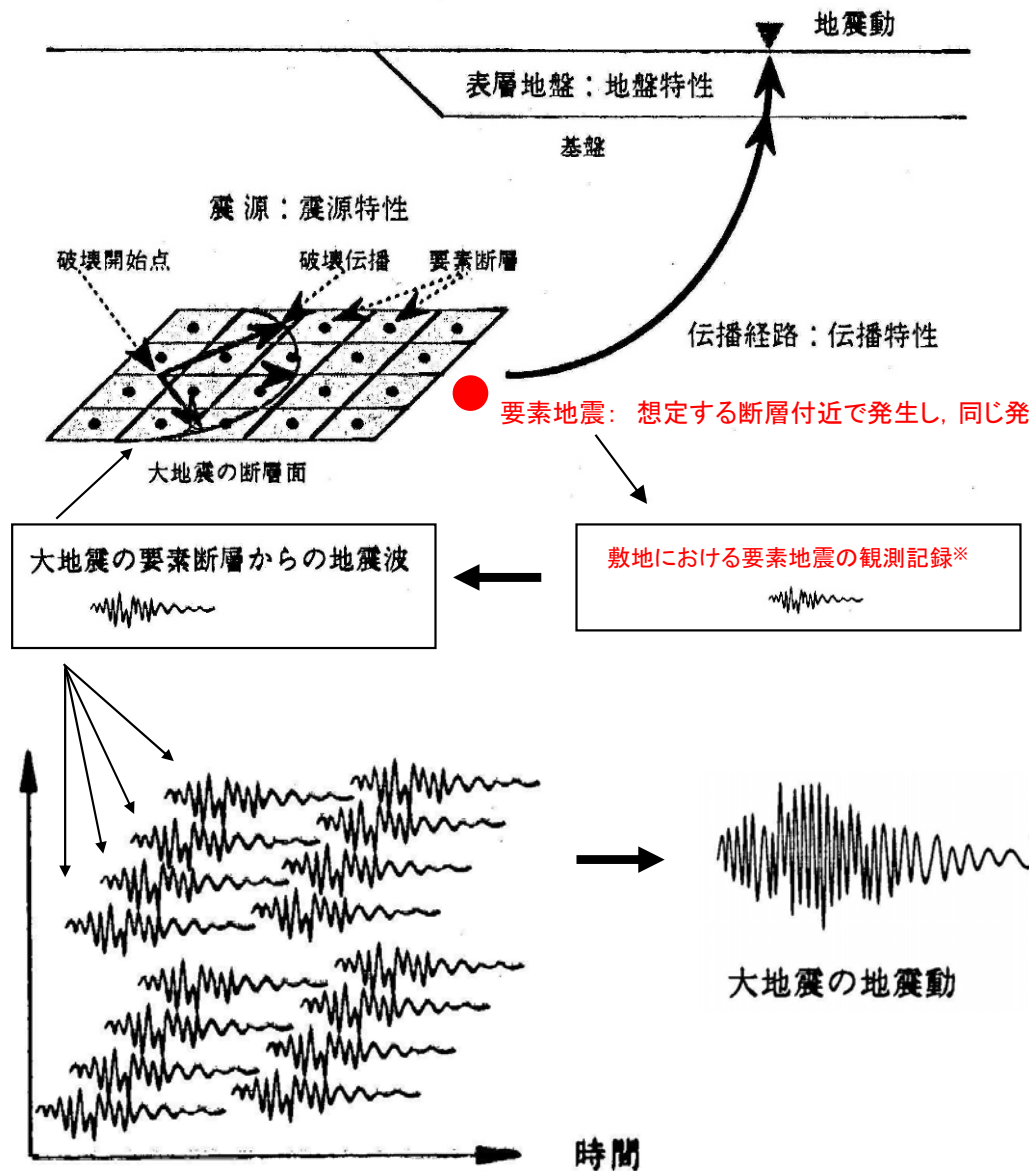


- 岩盤から表層に地震動が伝播する際、表層の地盤が柔らかいため、地震動が増幅する。
- このため、震源からの距離が同じでも、柔らかい表層の方がゆれが大きくなる。
- 複数の観測点間のゆれを比較する際は、地盤条件の違いの有無を考慮する必要がある。



参考

断層モデル手法に用いる要素地震
地震動評価結果の整理



※ 適切な要素地震が無い場合は人工的に作成したものをういて波形合成を行う(統計的グリーン関数法)。

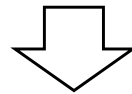
■要素地震は下記のフローで選定する。

発生位置

想定断層面付近で発生しており、震源から到来する伝播経路特性が反映されている地震



宮城県沖、茨城県沖のSMGA付近から選定する。

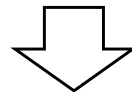


規模

要素地震として適切な規模の地震



クラック破壊を想定した ω^{-2} モデルが適用できるM5~M6程度を目安とする。

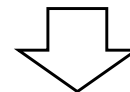


震源メカニズム

震源メカニズムが明らかである地震のうち、放射特性が同様であり、想定地震と同様の震源メカニズムを有する地震



低角逆断層(プレート間地震)を選定する。

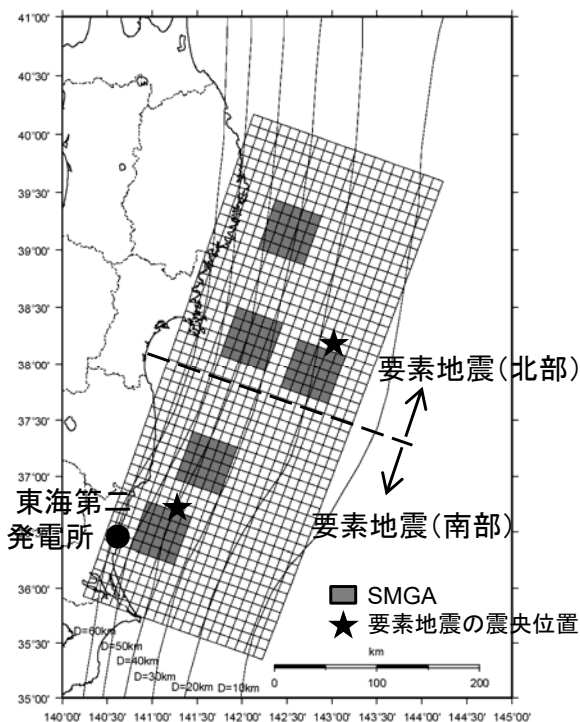


2011年3月10日の地震(M6.8), 2009年2月1日の地震(M5.8)を用いることとする。

各種文献で示された要素地震の震源パラメータについて、東海第二発電所及び敷地周辺の観測記録により妥当性を確認する。

■要素地震の選定方法

- ・要素地震の選定においては、設定した断層モデルと同じ震源メカニズムを有する地震とした。
- ・震源断層が広域になることから、北部の領域と南部の領域からそれぞれ要素地震を選定した。
- ・断層面の北半分については要素地震(北部)を、断層面の南半分については要素地震(南部)をそれぞれ用いた。



要素地震の震央位置

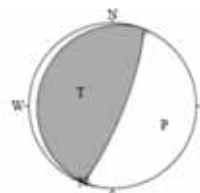
要素地震(北部)

発生日 2011年3月10日

地震規模※1 M6.8

震源深さ※1 9.3km

地震モーメント※2 $5.51E+18(N \cdot m)$



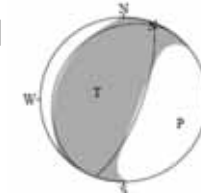
要素地震(南部)

発生日 2009年2月1日

地震規模※1 M5.8

震源深さ※1 47.0km

地震モーメント※2 $4.65E+17(N \cdot m)$



要素地震のメカニズム解(下半球)

※1 気象庁による。

※2 F-netによる。

■要素地震の選定のフロー

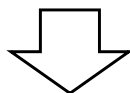
1996年9月以降に東海第二発電所で観測された記録を対象とする。

発生位置

想定断層面付近で発生しており、震源から到来する伝播経路特性が反映されている地震



茨城県南部の深さ約40km~80kmで発生した地震の中から選定する。

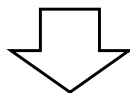


規模

要素地震として適切な規模の地震



クラック破壊を想定した ω^{-2} モデルが適用できるM5程度を目安とする。

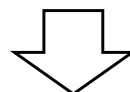


震源メカニズム

震源メカニズムが明らかである地震のうち、放射特性が同様であり、想定地震と同様の震源メカニズムを有する地震



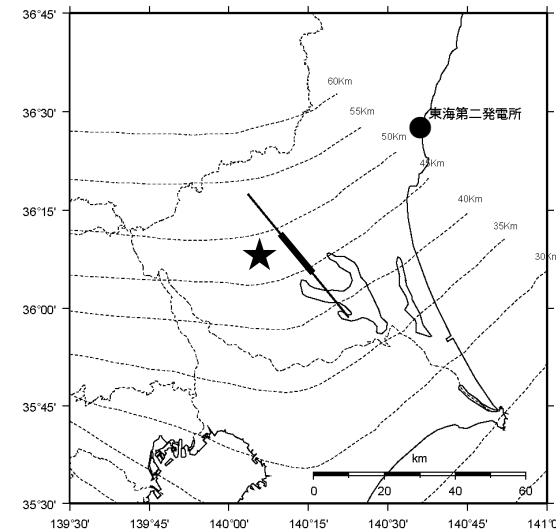
想定地震と同様の震源メカニズムを有する地震を選定することが望ましいが、その地震がない場合は放射特性係数を補正して用いる。



2014年11月12日の地震(M4.8)を用いることとする。

■要素地震の選定結果

基本震源モデル及び不確かさを考慮した各モデルの断層面と地震波の到来方向がほぼ等しく、伝播特性とサイト特性が共通であると考えられる2014年11月12日の地震(M4.8)を要素地震として選定する。なお、この要素地震は、想定する断層面と震源メカニズムが異なるため、合成に際しては放射特性係数の補正の必要性について検討したうえで使用する。



★ 要素地震の震央位置
— アスペリティ

基本震源モデルの断層面と
要素地震の震央位置との関係

震源メカニズムの比較



要素地震のメカニズム解(下半球)

※¹ 気象庁による。
※² F-netによる。

地震	メカニズム解			放射特性係数	
	走向(度)	傾斜(度)	すべり(度)	F _{SV}	F _{SH}
要素地震(2014.11.12, M4.8)	4	64	88	0.54	0.20
茨城県南部の地震(Mw7.3)	140.7	90	0	メッシュごとの方位角, 射出角を用いて算定 (参考)-0.10※ ³	(参考)-0.66※ ³

※³ アスペリティの中心位置(方位角約45度, 射出角約137度)で算定した場合

■要素地震の選定のフロー

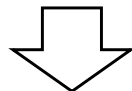
1996年9月以降に東海第二発電所で観測された記録を対象とする。

発生位置

想定断層面付近で発生しており、震源から到来する伝播経路特性が反映されている地震



東北地方太平洋沖地震の発生後福島県から茨城県にかけて発生している内陸地殻内地震の中から選定する。

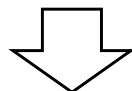


規模

要素地震として適切な規模の地震



クラック破壊を想定した ω^{-2} モデルが適用できるM5程度を目安とする。

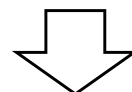


震源メカニズム

震源メカニズムが明らかである地震のうち、放射特性が同様であり、想定地震と同様の震源メカニズムを有する地震



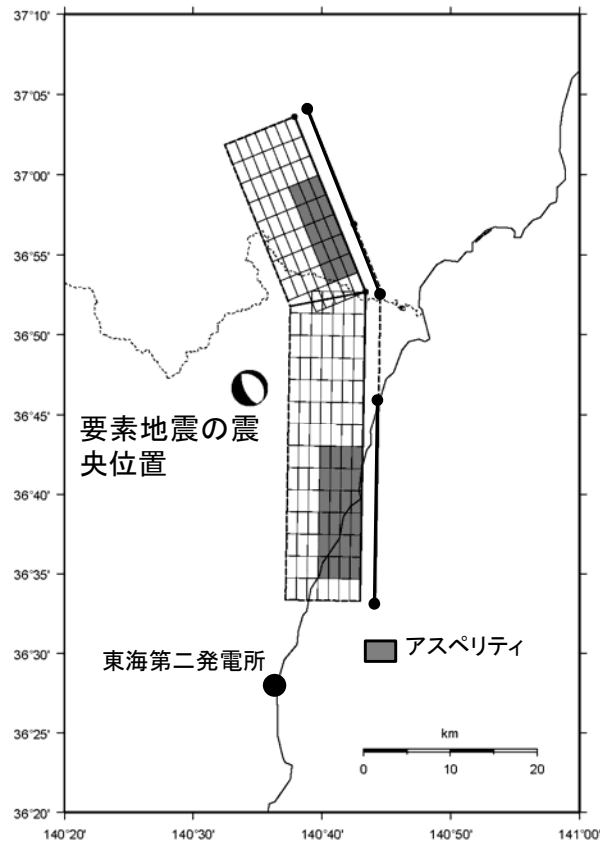
想定地震と同様の震源メカニズムを有する正断層のメカニズムの地震を選定する。



2011年4月14日の地震(M5.1)を用いることとする。

■要素地震の選定結果

設定した断層モデル近辺で発生した同じ断層タイプ(正断層)の地震で、規模がM5程度である2011年4月14日の地震(M5.1)を選定する。



要素地震の震央位置

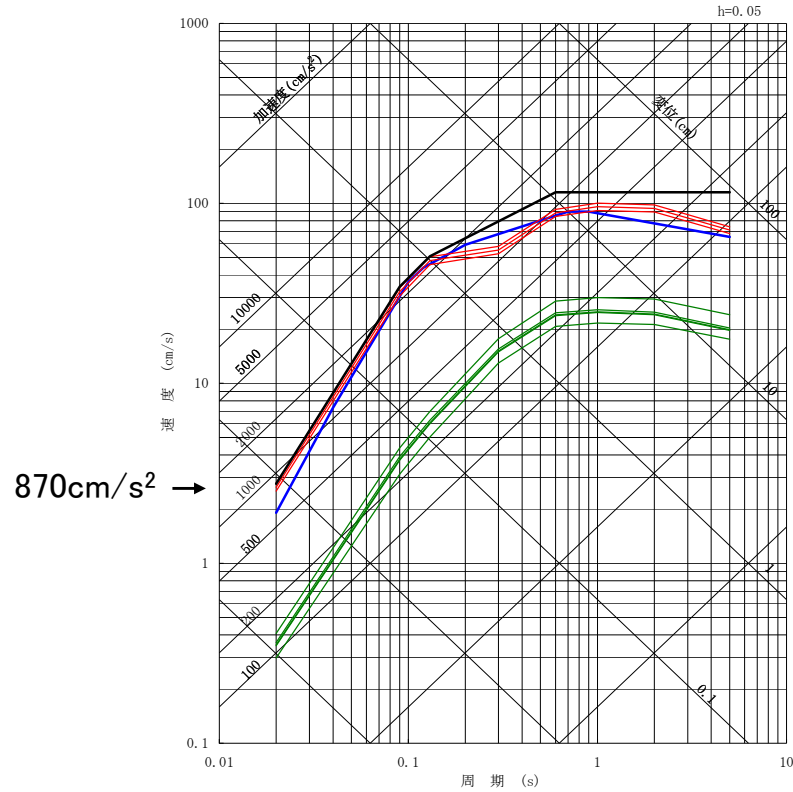


要素地震のメカニズム解(下半球)

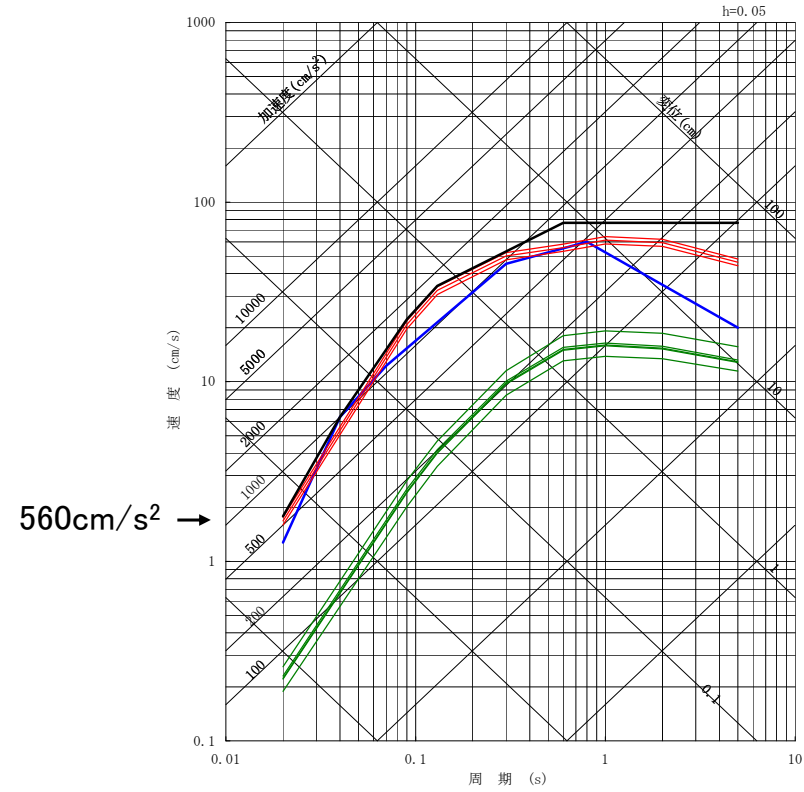
※1 気象庁による。
※2 F-netによる。

■ 応答スペクトル手法による地震動評価結果をすべて包絡するよう基準地震動S_s-D1のコントロールポイントを設定する。

- 基準地震動S_s-D1
- プレート間地震による評価
- 海洋プレート内地震による評価
- 内陸地殻内地震による評価



水平成分



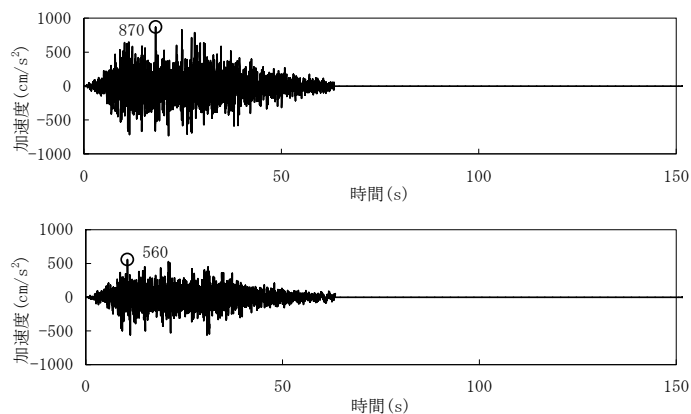
鉛直成分

応答スペクトル		コントロールポイント				
		A	B	C	D	E
S _s -D1H	周期(s)	0.02	0.09	0.13	0.60	5.00
	速度(cm/s)	2.77	34.38	50.69	115.00	115.00

応答スペクトル		コントロールポイント					
		A	B	C	D	E	F
S _s -D1V	周期(s)	0.02	0.04	0.09	0.13	0.60	5.00
	速度(cm/s)	1.78	6.37	22.20	34.14	76.67	76.67

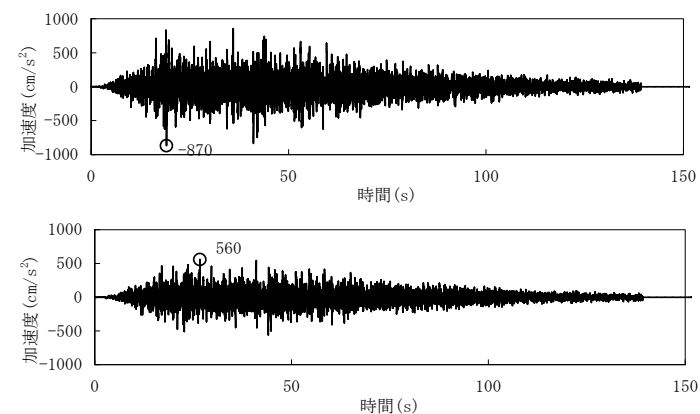
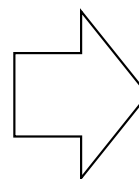
○ 2014年頃の模擬地震波

- ・応答スペクトルで支配的な内陸地殻内地震の諸元 (M7.8, $X_{eq}=28\text{km}$) より継続時間を63.38秒と設定



○ 検討を反映した模擬地震波

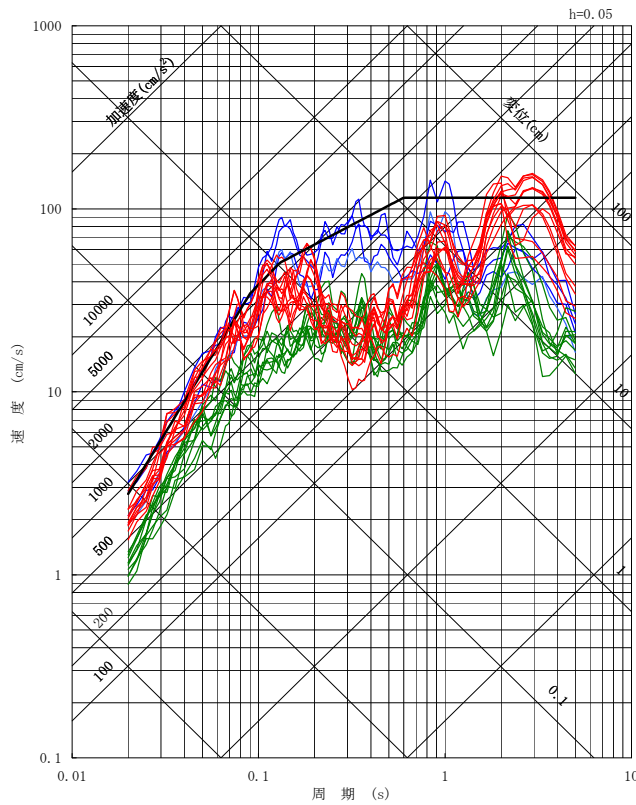
- ・2011年東北地方太平洋沖地震はMw9.0であるものの、地震動レベルからはM8.3程度との知見よりM8.3, X_{eq} は2011年東北地方太平洋沖地震の断層面より135.8kmとして、継続時間を139.28秒と設定



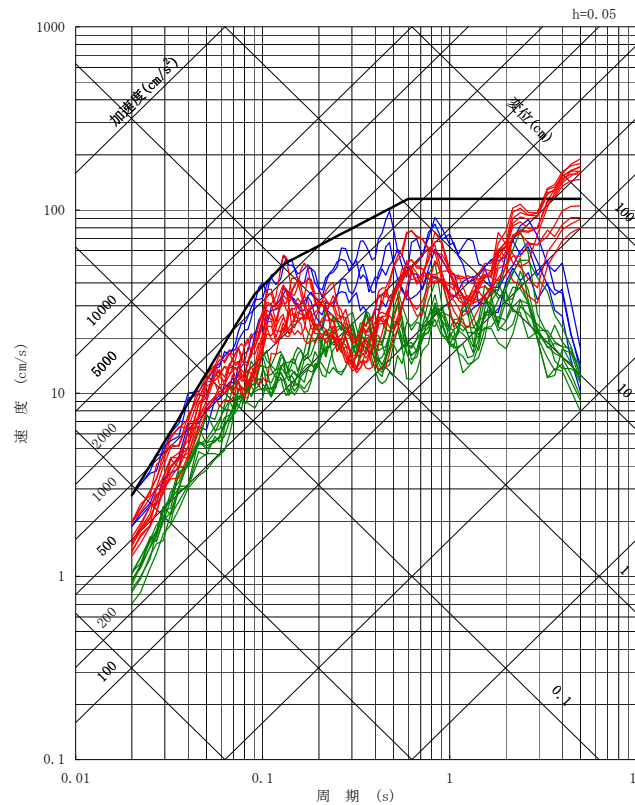
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 断層モデル手法(1/2)

■各地震発生様式における断層モデル手法の地震動評価結果(全ケース)と基準地震動S_s-D1を比較する。

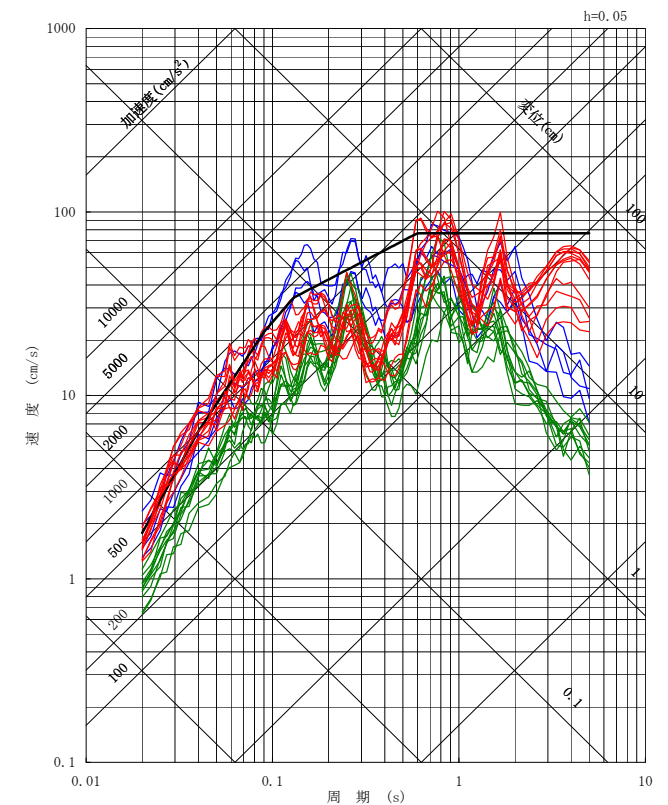
- 基準地震動S_s-D1
- プレート間地震の評価結果
- 海洋プレート内地震の評価結果
- 内陸地殻内地震の評価結果



NS成分



EW成分



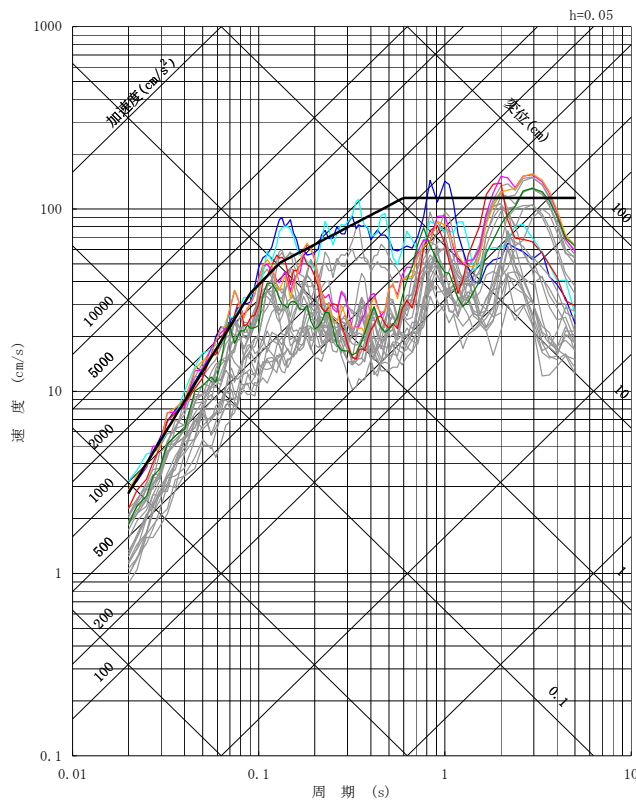
UD成分

断層モデル手法による各地震動評価結果のうち、プレート間地震及び内陸地殻内地震の評価結果が基準地震動S_s-D1を一部の周期帯で上回る。なお、海洋プレート内地震の地震動評価結果は、基準地震動S_s-D1に包絡されている。

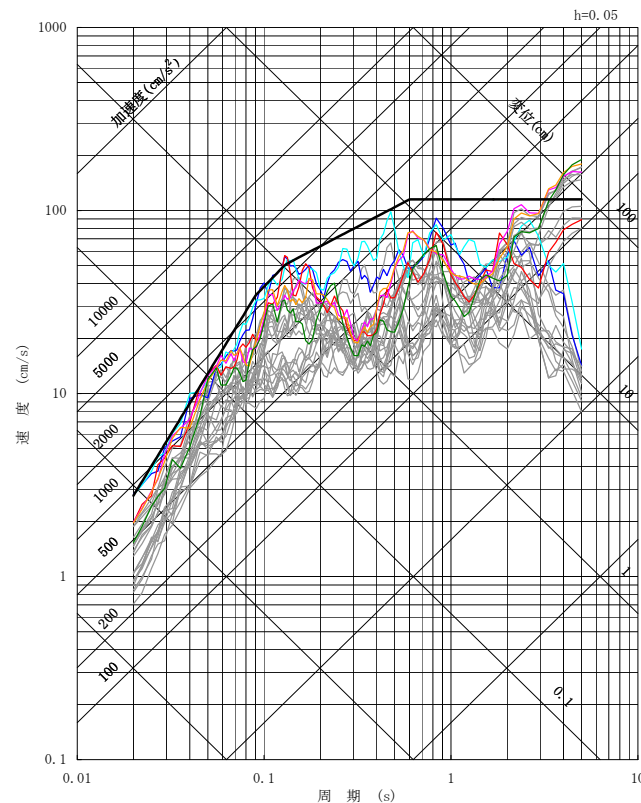
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 断層モデル手法(2/2)

■各地震発生様式における断層モデル手法による地震動評価結果のうち、一部周期帯で基準地震動Ss-D1を上回るケースを示す。

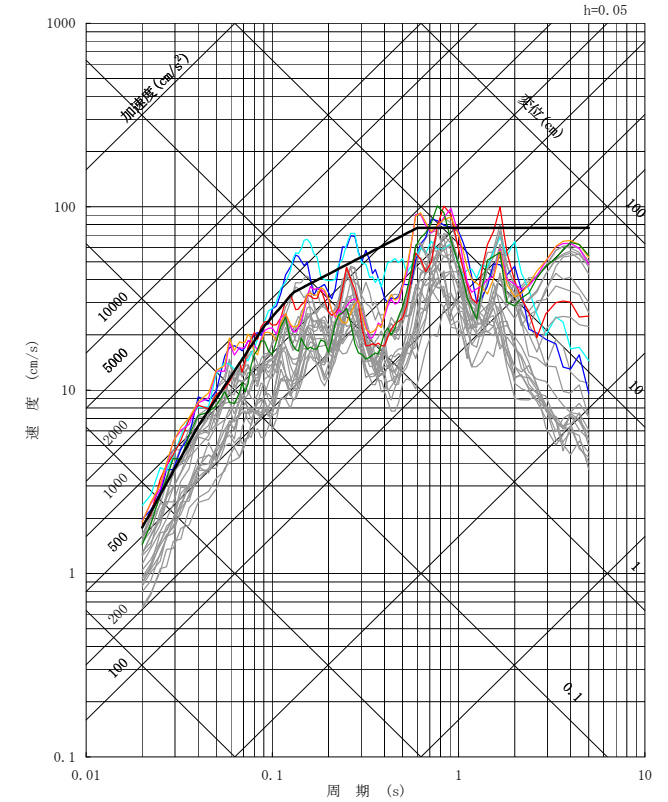
- Ss-D1 応答スペクトル手法による基準地震動
- Ss-11 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の運動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- Ss-12 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の運動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-13 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の運動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- Ss-14 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の運動による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-21 2011年東北地方太平洋沖型地震(短周期レベルの不確かさ)
- Ss-22 2011年東北地方太平洋沖型地震(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)
- 断層モデル手法の各評価結果



NS成分



EW成分

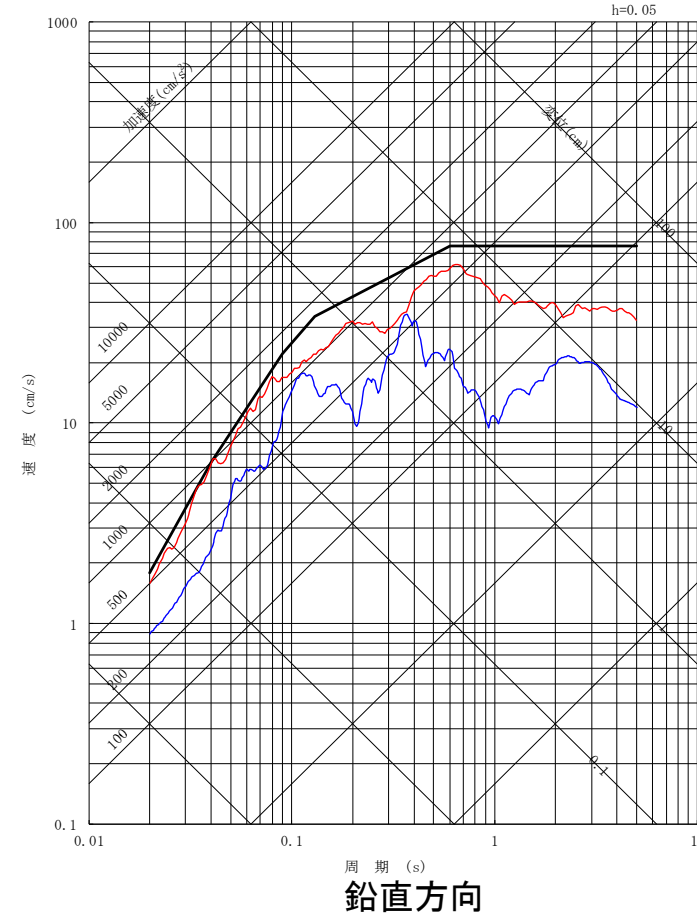
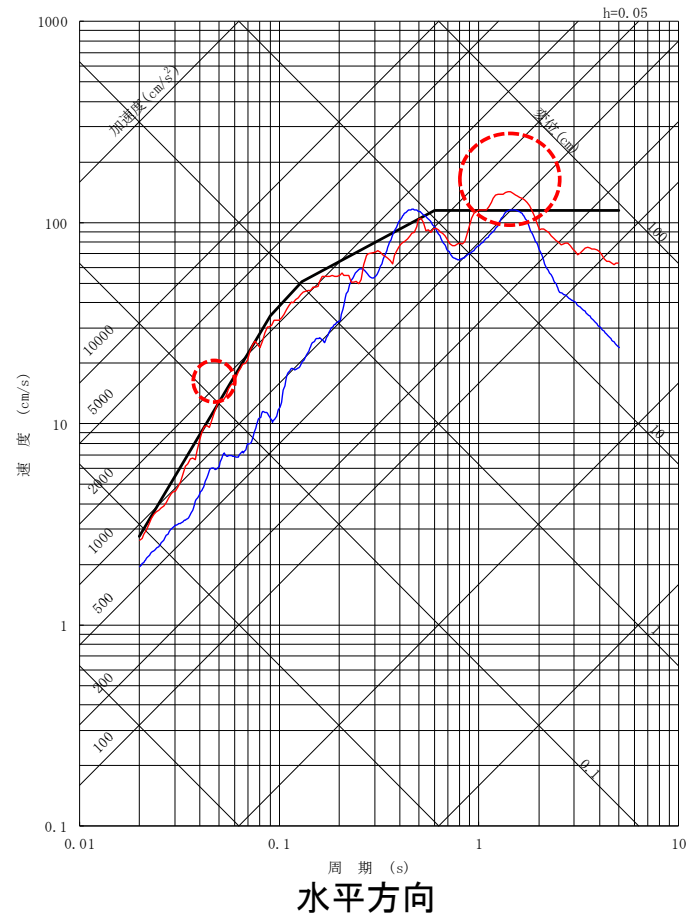


UD成分

各地震発生様式の断層モデル手法による地震動評価結果のうち、一部周期帯で基準地震動Ss-D1を上回る6ケースを断層モデル手法による基準地震動に選定し、それぞれSs-11, Ss-12, Ss-13, Ss-14, Ss-21, Ss-22とする。

■ 震源を特定せず策定する地震動と基準地震動S_s-D1を比較する。

- 標準応答スペクトルに基づき策定した地震動
- S_s-31 (2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動)
- S_s-D1



擬似速度応答スペクトル

2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動及び標準応答スペクトルに基づき策定した地震動は、一部周期帯で基準地震動S_s-D1を上回るため、基準地震動に選定する。

地震動評価 補足説明資料

1. 発電所真下又はサイトから最も近くなる位置の太平洋プレート内に震源を置いた場合	134
2. アスペリティや破壊開始点等の評価の前提条件に係る保守性の考え方	151
3. 内陸地殻内地震における不確かさを重ねた場合の地震動評価結果 及び施設や地盤等への影響評価の結果	158
4. 茨城県地震被害想定の見直し(2018年12月)を踏まえた評価	166
5. 基準地震動の代表性及び策定時における他地域の地震の考慮	183
6. 地震調査研究推進本部 活断層 及び海溝型地震の長期評価(2019年2月公表)を踏まえた評価	187
参考 用語の定義	192

第16回

1993年釧路沖型地震(深さ100kmモデル)

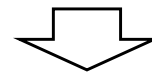
- ・敷地周辺の沈み込んだプレート内地震の発生状況から、敷地周辺では基準地震動策定で考慮したM7.3を超える規模の海洋プレート内地震は発生していないことを確認した。
- ・沈み込んだプレート内地震の発生状況の探索範囲を北海道まで広げると、同じ太平洋プレートの沈み込んだプレート内地震として、1993年釧路沖地震(M7.5)が発生している。そこで、この地震と同じ規模であるM7.5の地震が敷地下方で発生することを想定する。
- ・深さの設定に際しては1993年釧路沖地震(M7.5)を参考に沈み込んだプレートの下面で発生することを想定し、深さ100kmとする。

1993年釧路沖型地震(敷地最短位置)

- ・震源モデルのパラメータは深さ100kmモデル(第5回ワーキングチームで説明)と同様とし、敷地からの距離が最短となる位置に震源を想定する。断層傾斜角やプレート境界からの深さについては茨城県地震被害想定調査報告書(平成30年12月)による設定値を参考に設定する。

1993年釧路沖型地震(敷地最短位置+短周期帯1.5倍の影響確認)

- ・さらに敷地に厳しい条件で地震が発生した場合の影響確認として、1993年釧路沖型地震(敷地最短位置)に対し、原子力施設にとって重要な短周期帯0.02秒から0.5秒の応答スペクトルを1.5倍する。



第20回

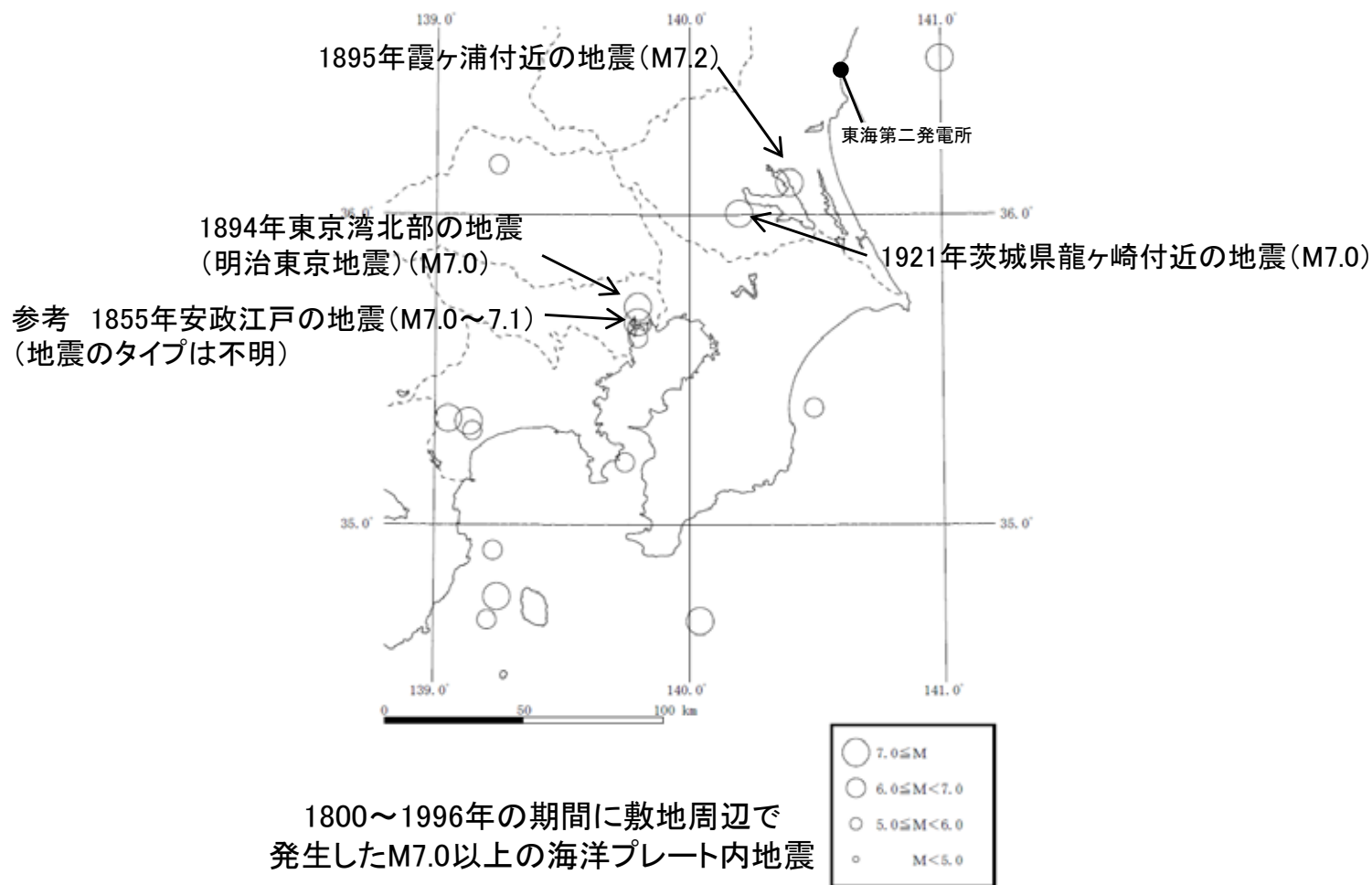
1993年釧路沖型地震(敷地最短位置+応力降下量1.5倍の影響確認)

- ・0.02秒から0.5秒という限定された周期帯ではなく全周期帯で影響確認を行うこととし、1993年釧路沖型地震(敷地最短位置)に対し、応力降下量を1.5倍とした震源モデルを設定して地震動を再評価しても、発電所の安全性が確保されることを確認した。

敷地周辺における海洋プレート内地震の発生状況(1800年代後半～1996年)



■地震のタイプを分類するには、地震観測記録の分析が重要である。そこで1800年代後半～1996年の期間に敷地周辺で発生したM7.0以上の地震のうち、観測記録の分析がなされた近年の研究成果により海洋プレート内地震と推定された地震を下図に示す。



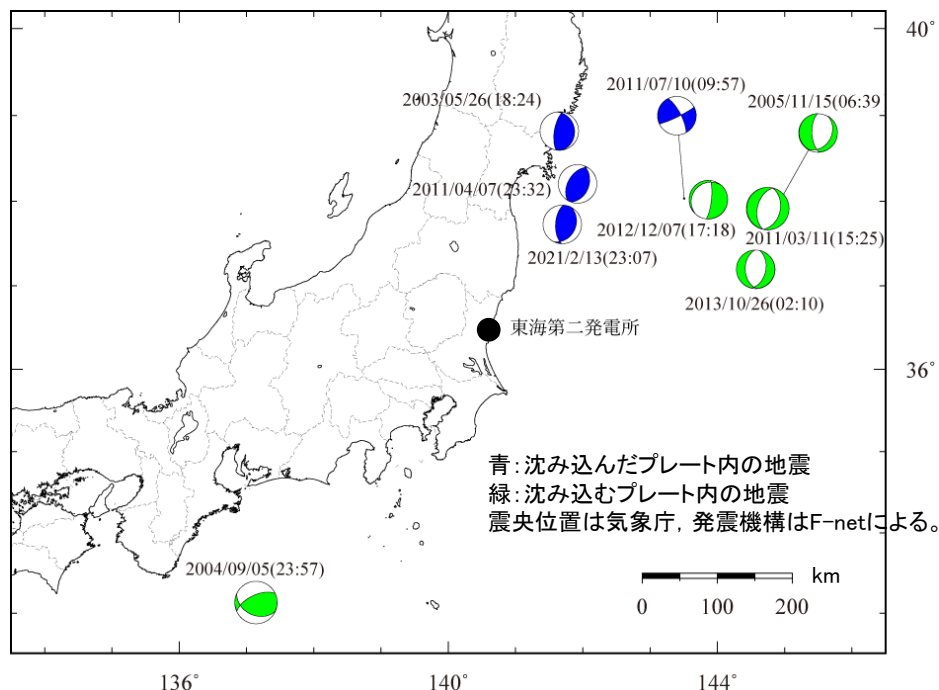
- 1800年～1996年の期間に敷地周辺の海洋プレート内で発生した地震の最大規模は、1895年霞ヶ浦付近の地震(M7.2)とされている。この地震は太平洋プレート内地震の可能性が示唆されている。
- フィリピン海プレート内で発生した地震の最大規模は、1921年茨城県龍ヶ崎付近の地震(M7.0)である。

1. 発電所真下又はサイトから最も近くなる位置の太平洋プレート内に震源を置いた場合 敷地周辺における海洋プレート内地震の発生状況(1997年以降)



■1997年以降(気象庁による一元化震源以降)に発生した海洋プレート内地震の抽出(東北地方から紀伊半島まで)

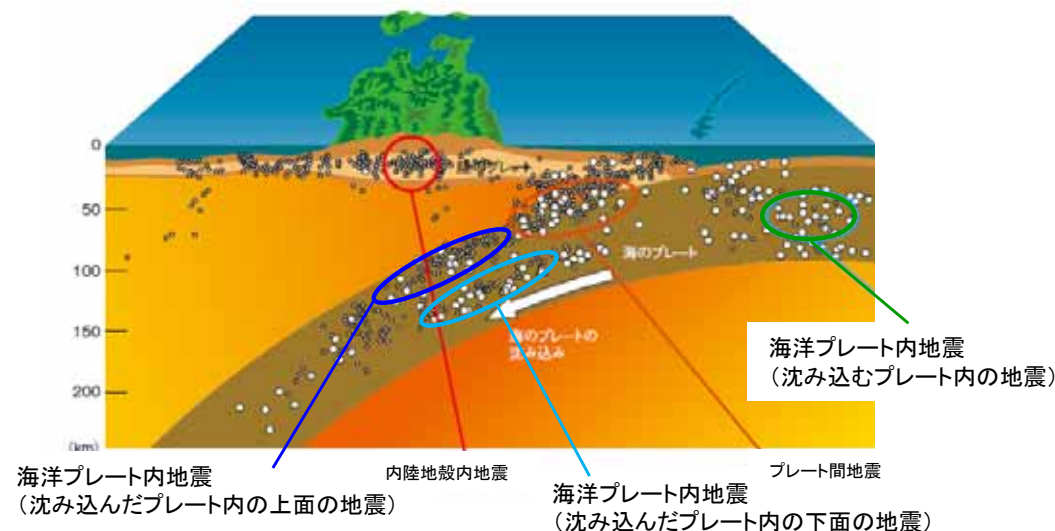
気象庁地震カタログを用い、1997年から2014年3月までの期間に東北地方から紀伊半島までの範囲で発生したM7.0以上の海洋プレート内地震と推定される地震を抽出した。青色は沈み込んだプレート内の上面の地震、緑色は沈み込むプレート内の地震を示す。



M7.0以上の海洋プレート内地震の震央位置及び震源メカニズム

発生日	時刻	M	深さ(km)	分類
2003.5.26	18:24	7.1	72	沈み込んだ太平洋プレート内の上面
2004.9.5	23:57	7.4	44	沈み込むフィリピン海プレート内
2005.11.15	06:38	7.2	45	沈み込む太平洋プレート内
2011.3.11	15:25	7.5	11	沈み込む太平洋プレート内
2011.4.7	23:32	7.2	66	沈み込んだ太平洋プレート内の上面
2011.7.10	09:57	7.3	34	沈み込んだ太平洋プレート内の上面
2012.12.7	17:18	7.3	49	沈み込む太平洋プレート内
2013.10.26	02:10	7.1	56	沈み込む太平洋プレート内
2021.2.13	23:07	7.3	55	沈み込んだ太平洋プレート内の上面

気象庁地震カタログや震源メカニズムなどを参考に海洋プレート内地震を抽出した。



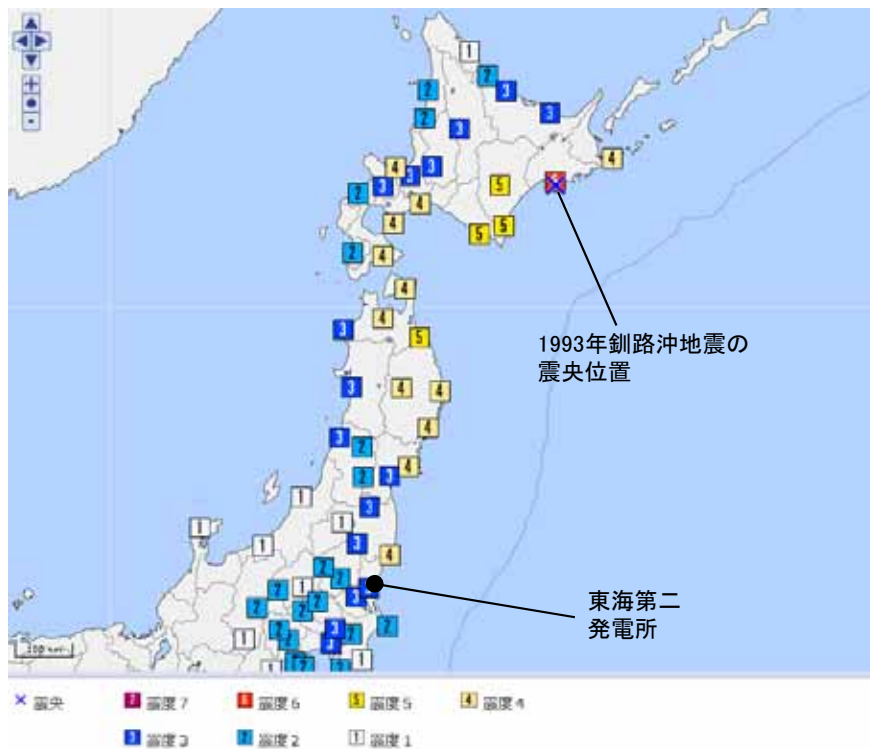
地震の発生様式の模式図(東北地方での例)
(地震調査研究推進本部に一部加筆)

1997年以降に東北地方以南で発生した沈み込んだ太平洋プレート内の地震の最大規模は、宮城県沖、福島県沖で発生したM7.3である。

敷地周辺では基準地震動策定で考慮したM7.3を超える規模の海洋プレート内地震は発生していない。

1993年釧路沖地震の概要

- ・沈み込んだプレート内地震の発生状況の探索範囲を北海道まで広げると、1993年釧路沖地震(M7.5)が発生している。
- ・宮城県沖で発生する沈み込んだプレート内地震はその上面で発生することが多いのに対し、1993年釧路沖地震(M7.5)は沈み込んだプレート内の下面で発生し、震源深さは約100kmである。

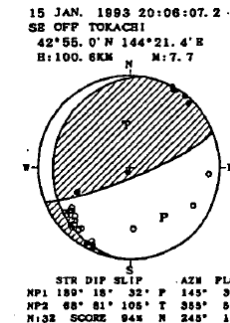


1993年釧路沖地震(M7.5)の震度分布(気象庁)

中村他(1994)によると、「この断層はもぐり込んでいる太平洋プレートの二重深発面の上面と下面の間にあり上面にはとどいていないように思われる。二重深発地震面の下面においては、down-dip extension型の地震が発生する傾向があることが知られているが、この地震は二重深発地震面の下面の地震としては、典型的な発震機構をもつ地震であると言える。」とされている。

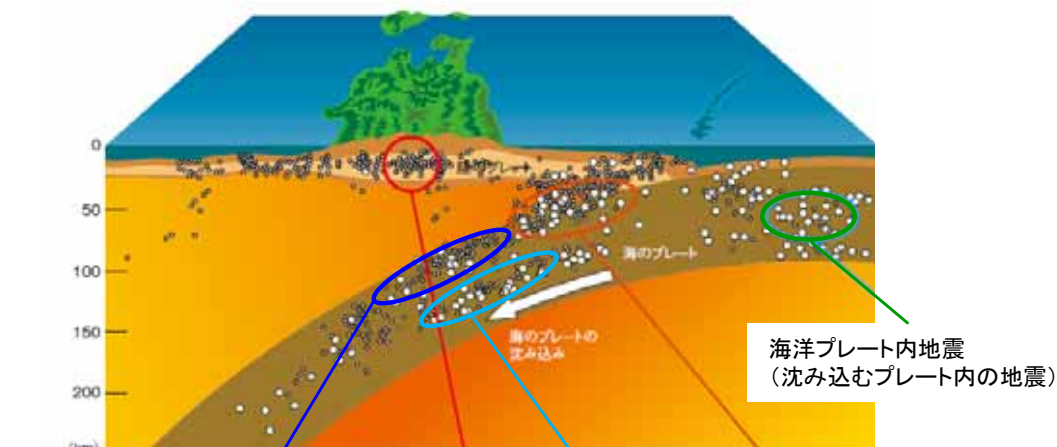
1993年釧路沖地震(M7.5)の諸元

発生日時	1993年1月15日20時6分
震源地	釧路沖
北緯	42° 55.2′
東経	144° 21.2′
震源深さ	101km
地震規模	M7.5



中村ほか(1994)より抜粋

震源メカニズム



海洋プレート内地震 (沈み込んだプレート内の上面の地震)
 海洋プレート内地震 (沈み込んだプレート内の下面の地震) ⇒ 1993年釧路沖地震(M7.5)
 プレート間地震
 内陸地殻内地震
 海のプレートの変形

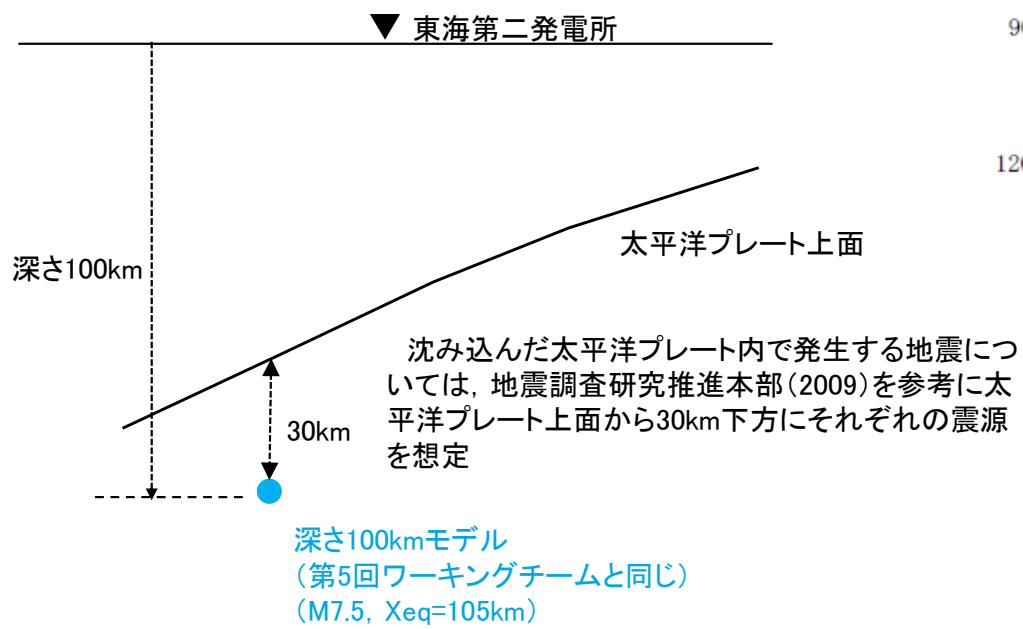
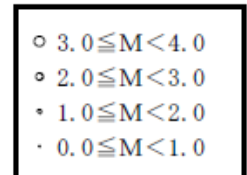
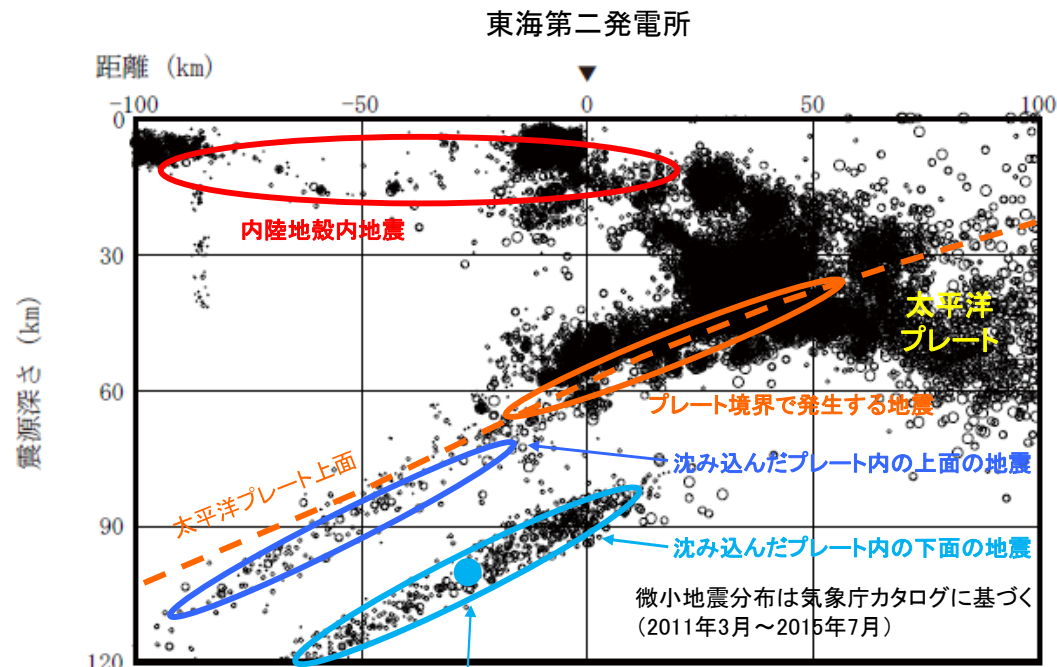
地震の発生様式の模式図(東北地方での例)
(地震調査研究推進本部に一部加筆)

1993年釧路沖型地震(深さ100kmモデル)の想定

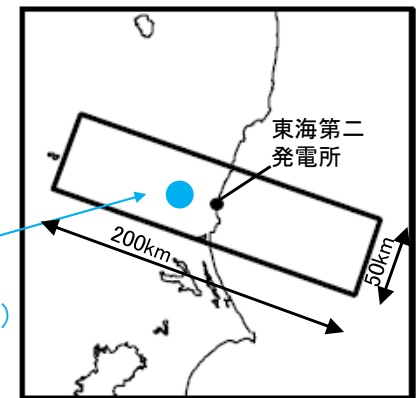
■震源を想定する位置

- ・同じ太平洋プレートの沈み込んだプレート内地震として、1993年釧路沖地震(M7.5)が発生している。そこで、この地震と同じ規模であるM7.5の地震が敷地下方で発生することを想定する。
- ・前述のとおり、1993年釧路沖地震(M7.5)は沈み込んだプレート内地震の下面で発生しており、深さ約100kmで発生している。
- ・そこで、深さの設定に際しては1993年釧路沖地震(M7.5)を参考に沈み込んだプレートの下面で発生することを想定し、深さ100kmとする。

参考：敷地周辺で発する地震には、陸のプレートの内部で発生する内陸地殻内地震や陸のプレートと海洋プレート(太平洋プレート、フィリピン海プレート)の境界で発生する地震、海洋プレートの内部で発生する地震というように様々なタイプがある(右図)。基準地震動の策定にあたっては、上記タイプ毎に調査を行い、タイプ毎に敷地に影響の大きい地震を選定してそれらについて詳細評価を行っている。



深さ100kmモデル (第5回ワーキングチームと同じ) (M7.5, Xeq=105km)



太平洋プレート内地震の震源の設定位置(模式図)

1. 発電所真下又はサイトから最も近くなる位置の太平洋プレート内に震源を置いた場合 1993年釧路沖型地震(敷地最短位置)の想定

■震源モデルのパラメータは深さ100kmモデル(第5回ワーキングチームで説明)と同様とし、敷地からの距離が最短となる位置に震源を想定する。断層傾斜角やプレート境界からの深さについては茨城県地震被害想定調査報告書(平成30年12月)*による設定値を参考に設定する。

※以降, 茨城県(2018)という

【主要パラメータ】(第5回ワーキングチームと同じ)

・地震規模はTakeo et al.(1993)による1993年釧路沖地震の地震モーメントより与える。

$$M_0 = 3.30 \times 10^{20} (\text{N} \cdot \text{m})$$

・強震動予測レシピ(笹谷ほか(2006)のスケーリング則)に基づき算出する。

【断層面の位置・形状】

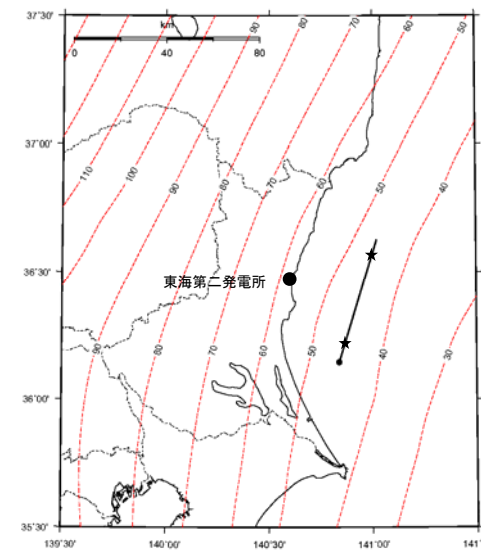
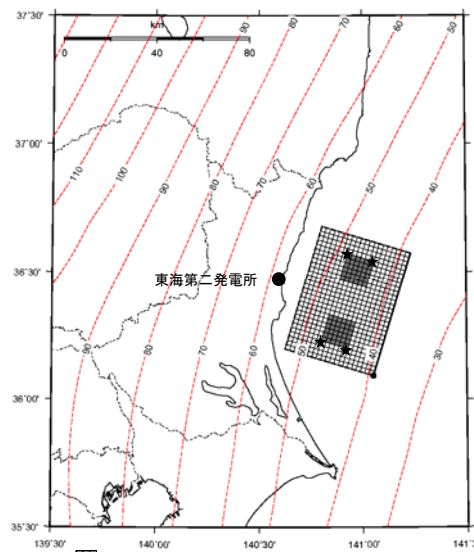
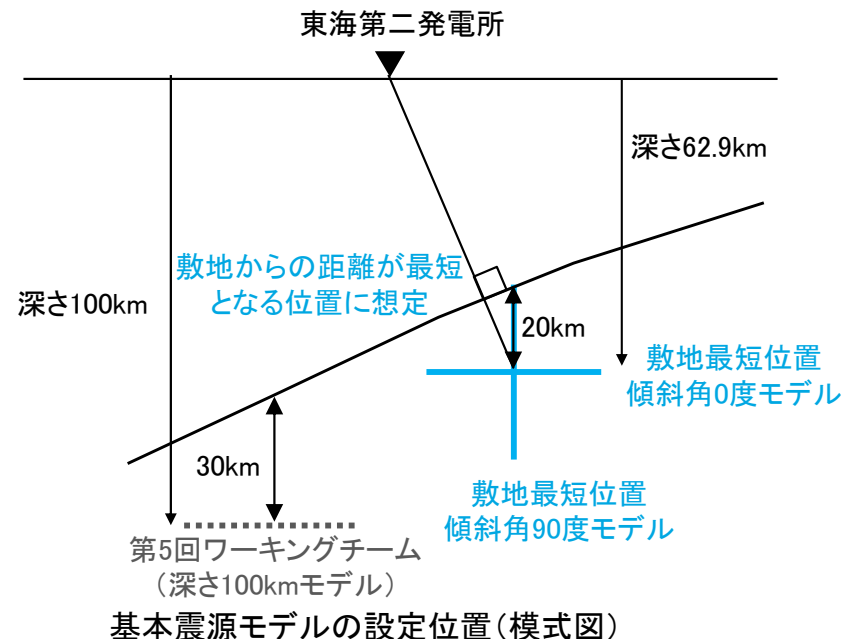
- ・断層傾斜角は茨城県(2018)に基づき0度及び90度とする。
- ・断層面は敷地からの距離が最短となる位置に設定し、プレート境界からの深さは、茨城県想定を参考に20kmとする。

・アスペリティ位置

断層面の中央に2箇所設定する。

・ずれの種類

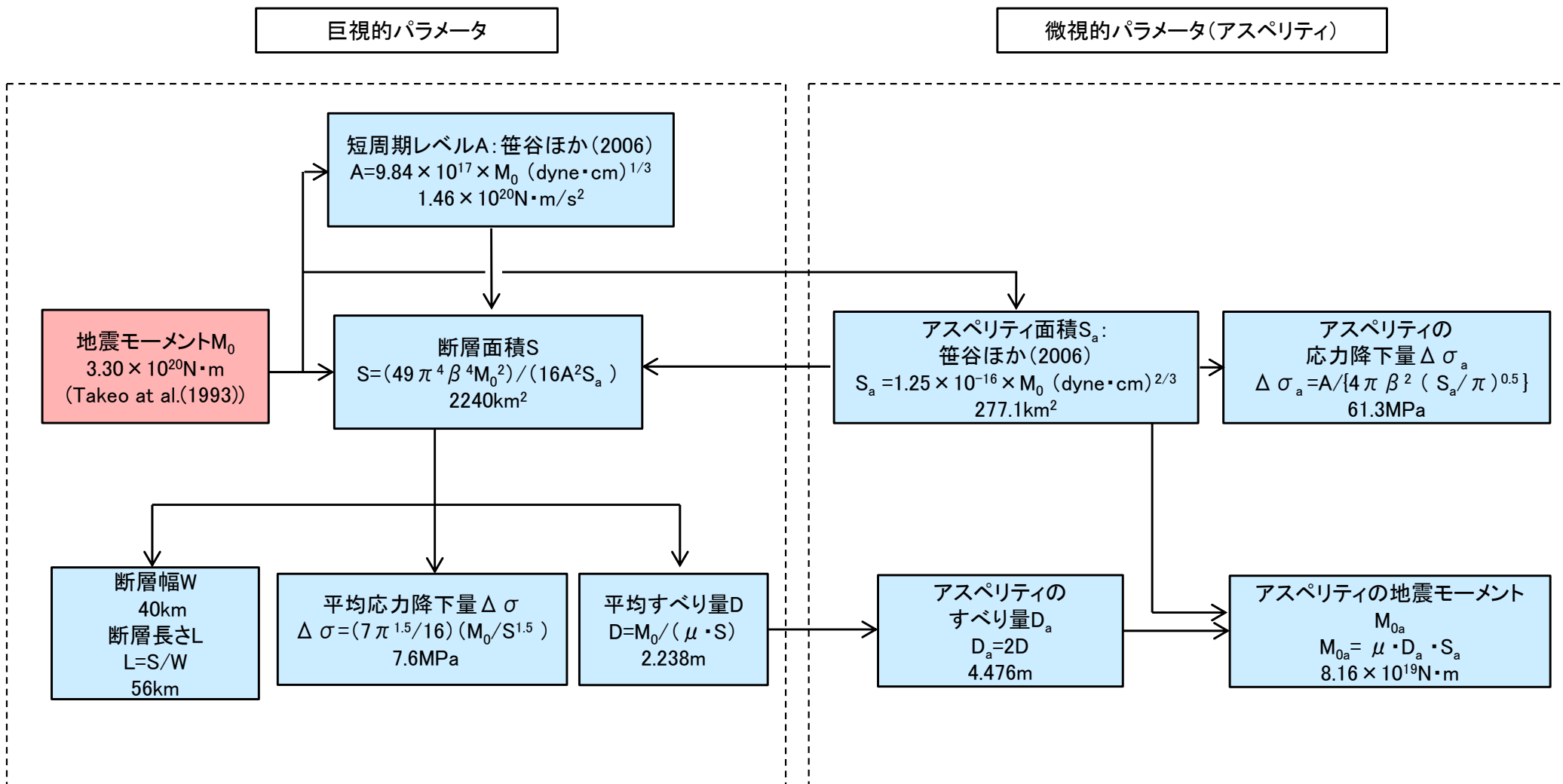
逆断層と設定する。



1993年釧路沖型地震(敷地最短位置) 断層パラメータの設定フロー



■ 震源モデルのパラメータについて、強震動予測レシピ(2016)(笹谷ほか(2006))に基づき設定する。地震モーメントについては1993年釧路沖地震に関する知見(Takeo et al.(1993))に基づき設定する。断層パラメータの設定フローを下記に示す。



1993年釧路沖地震に基づき、与条件とした項目
 与条件から強震動予測レシピ(笹谷ほか(2006))に基づき設定

1. 発電所真下又はサイトから最も近くなる位置の太平洋プレート内に震源を置いた場合

1993年釧路沖型地震(敷地最短位置+応力降下量1.5倍の影響確認) 断層パラメータ



項目		設定値	設定方法
断層上端深さ	h(km)	0度:62.9 90度:42.9	断層面は敷地からの距離が最短となる位置に設定し、プレート境界からの深さは、茨城県想定を参考に20kmとする
気象庁マグニチュード*	M _j	7.5	1993年釧路沖地震
モーメントマグニチュード*	M _w	7.6	logM ₀ =1.5M _w +9.1
地震モーメント	M ₀ (N・m)	3.30E+20	Takeo et al.(1993)
走向	θ(度)	17	プレート境界等深線より設定
傾斜角	δ(度)	0, 90	茨城県(2018)
ずれの種類	—	逆断層	—
すべり角	λ(度)	90	—
平均応力降下量	Δσ(MPa)	7.6	Δσ=(7π ^{1.5} /16)(M ₀ /S ^{1.5})
断層面積	S(km ²)	2240	S=(49π ⁴ β ⁴ M ₀ ²)/(16A ² S _a)
断層長さ	L(km)	56	L=S/W
断層幅	W(km)	40	1993年釧路沖地震(Morikawa and Sasatani(2004))
密度	ρ(g/cm ³)	3.25	地震調査研究推進本部(2004)
せん断波速度	β(km/s)	4.5	地震調査研究推進本部(2004)
剛性率	μ(N/m ²)	6.58E+10	μ=ρβ ²
平均すべり量	D(m)	2.238	D=M ₀ /(μS)
破壊伝播速度	V _r (km/s)	3.2	V _r =0.72V _s (Geller,1976)
短周期レベル	A(N・m/s ²)	1.46E+20	A=9.84×10 ¹⁷ ×M ₀ ^{1/3} [dyne・cm] (笹谷ほか(2006)のM ₀ -A関係)
高周波遮断係数	f _{max} (Hz)	13.5	地震調査研究推進本部の海溝型地震

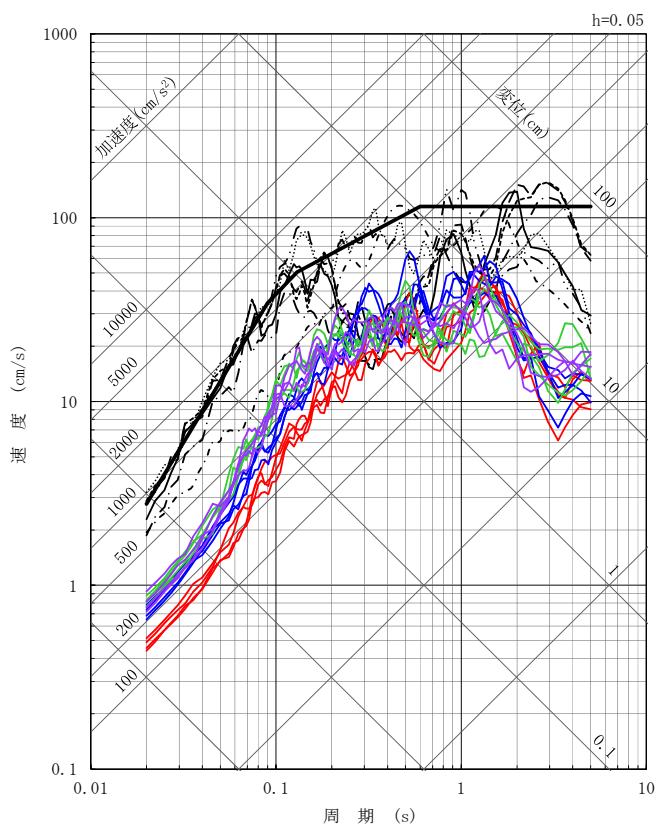
項目		設定値	設定方法
アスペリティ全体	面積	S _a (km ²)	277.1
	すべり量	D _a (m)	4.476
	地震モーメント	M _{0a} (N・m)	8.16E+19
	応力降下量	Δσ _a (MPa)	92.0
各アスペリティ	面積	S _{a1} (km ²)	138.5
	すべり量	D _{a1} (m)	4.476
	地震モーメント	M _{0a1} (N・m)	4.08E+19
	応力降下量	Δσ _{a1} (MPa)	92.0
背景領域	面積	S _b (km ²)	1963.2
	すべり量	D _b (m)	1.922
	地震モーメント	M _{0b} (N・m)	2.48E+20
	実効応力	Δσ _b (MPa)	11.8
Q値		Q	110f ^{0.69}
			佐藤他(1994)

1. 発電所真下又はサイトから最も近くなる位置の太平洋プレート内に震源を置いた場合 断層モデルを用いた手法による評価結果(敷地最短位置)

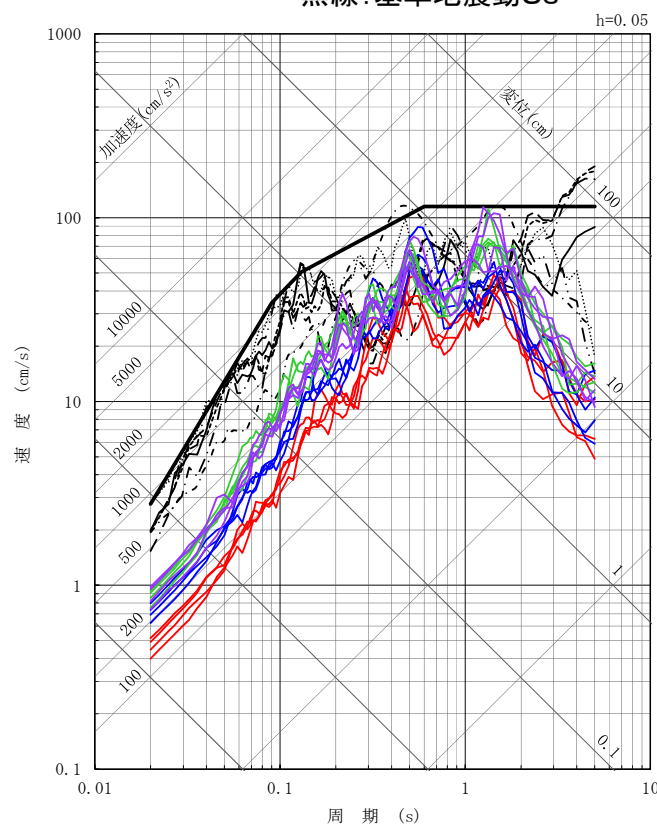


■統計的グリーン関数法による地震動評価結果

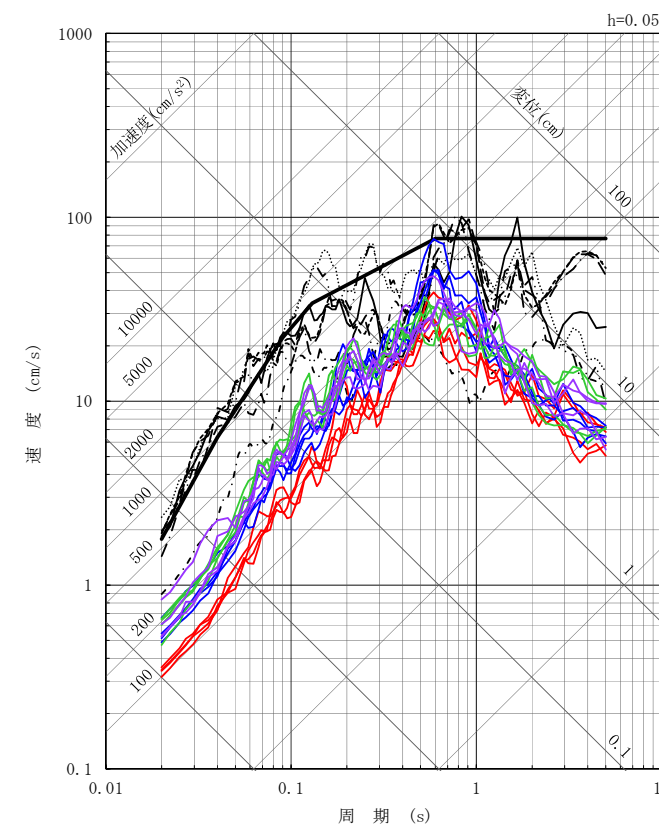
- 深さ100kmモデル(破壊開始点1~4)
 - 深さ100kmモデル+ $\Delta\sigma$ 1.5倍(破壊開始点1~4)
 - 敷地最短位置 傾斜角0度モデル(破壊開始点1~4)
 - 敷地最短位置 傾斜角90度モデル(破壊開始点1~4)
 - 黒線: 基準地震動Ss
- } 第5回ワーキングチーム
 } 第16回ワーキングチーム
 } 追加ケース



NS方向



EW方向



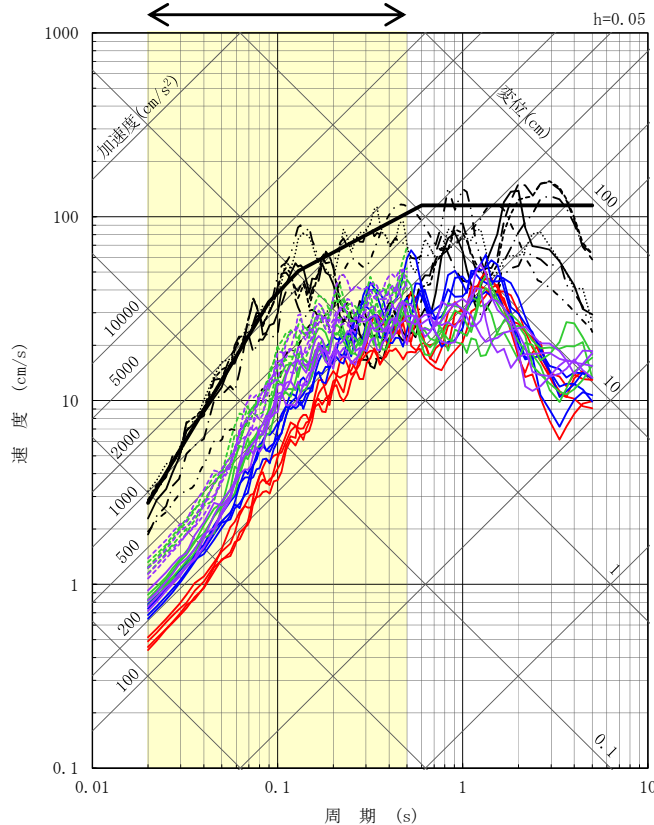
UD方向

敷地からの距離が最も近くなる位置の太平洋プレート内に震源を置いた場合の地震動評価を行い、基準地震動Ssを下回っていることを確認した。

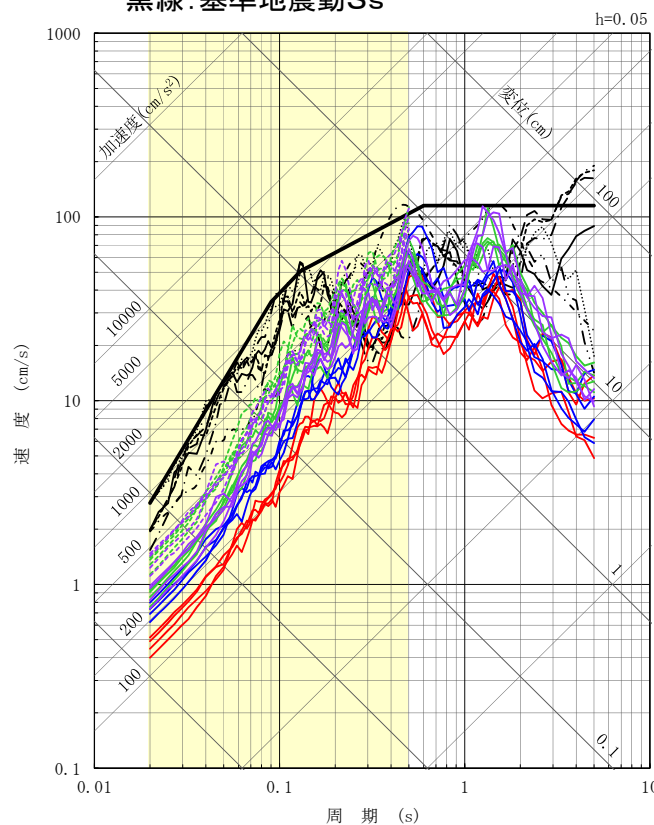
■統計的グリーン関数法による地震動評価結果

- 深さ100kmモデル(破壊開始点1~4)
 - 深さ100kmモデル+ $\Delta\sigma$ 1.5倍(破壊開始点1~4)
 - 敷地最短位置 傾斜角0度モデル(破壊開始点1~4)
 - 敷地最短位置 傾斜角90度モデル(破壊開始点1~4)
 - - - 敷地最短位置 傾斜角0度モデル 短周期帯1.5倍(破壊開始点1~4)
 - - - 敷地最短位置 傾斜角90度モデル短周期帯1.5倍(破壊開始点1~4)
 - 黒線: 基準地震動Ss
- } 第5回ワーキングチーム
} 第16回ワーキングチーム追加ケース

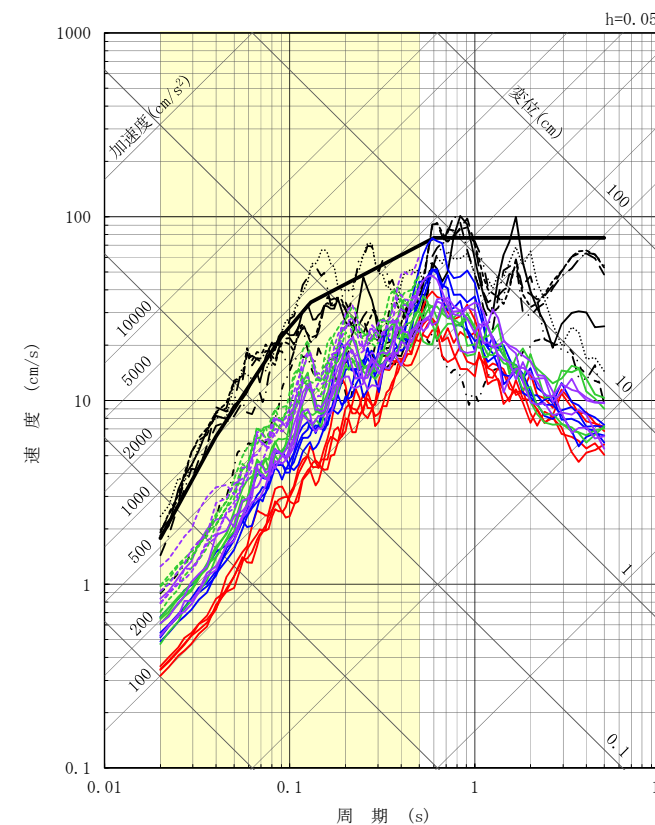
原子力施設にとって
重要な短周期帯
(0.02s~0.5s)



NS方向



EW方向



UD方向

さらに敷地に厳しい条件で地震が発生した場合の影響確認として、敷地からの距離が最も近くなる位置の太平洋プレート内に震源を置いた場合の地震動評価に対し、原子力施設にとって重要な短周期帯0.02秒から0.5秒の応答スペクトルを1.5倍(基本震源モデルの応力降下量1.5倍に相当)にしても、基準地震動Ssを下回っていることを確認した。

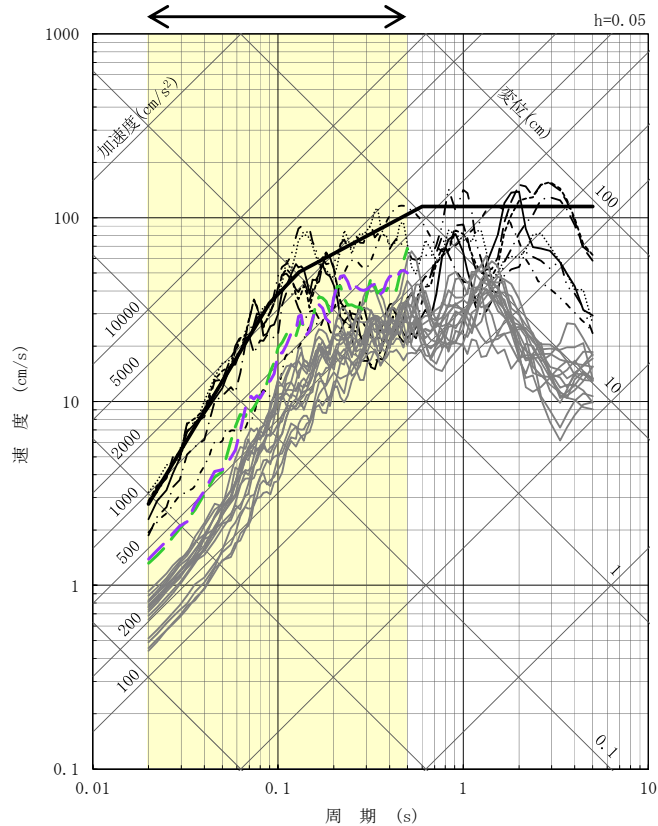
■統計的グリーン関数法による地震動評価結果

原子力施設にとって
 重要な短周期帯
 (0.02s~0.5s)

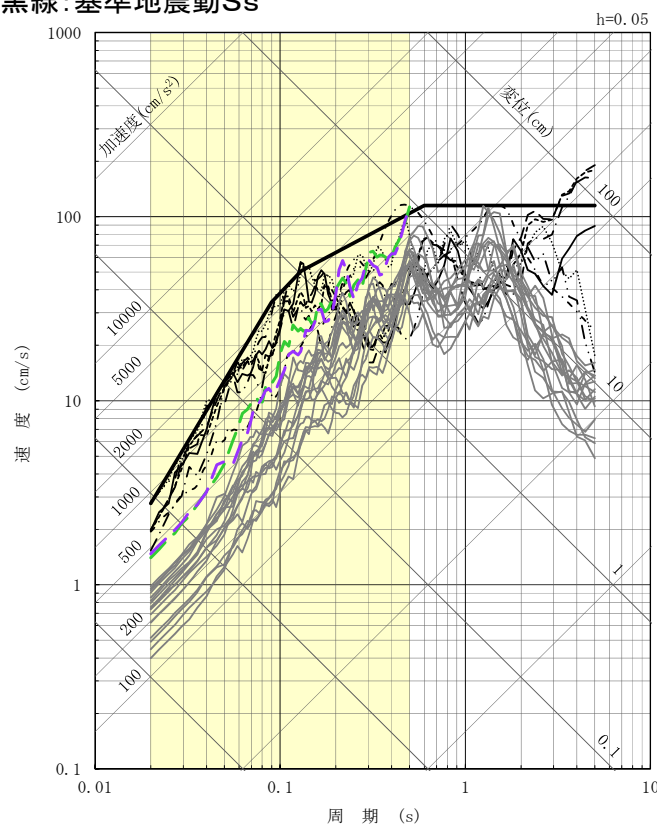
- 深さ100kmモデル(破壊開始点1~4)
- 深さ100kmモデル+ $\Delta\sigma$ 1.5倍(破壊開始点1~4)
- 敷地最短位置 傾斜角0度モデル(破壊開始点1~4)
- 敷地最短位置 傾斜角90度モデル(破壊開始点1~4)
- 敷地最短位置 傾斜角0度モデル 短周期帯1.5倍(破壊開始点1~4の包絡線)
- 敷地最短位置 傾斜角90度モデル短周期帯1.5倍(破壊開始点1~4の包絡線)
- 黒線:基準地震動 S_s

第5回ワーキングチーム

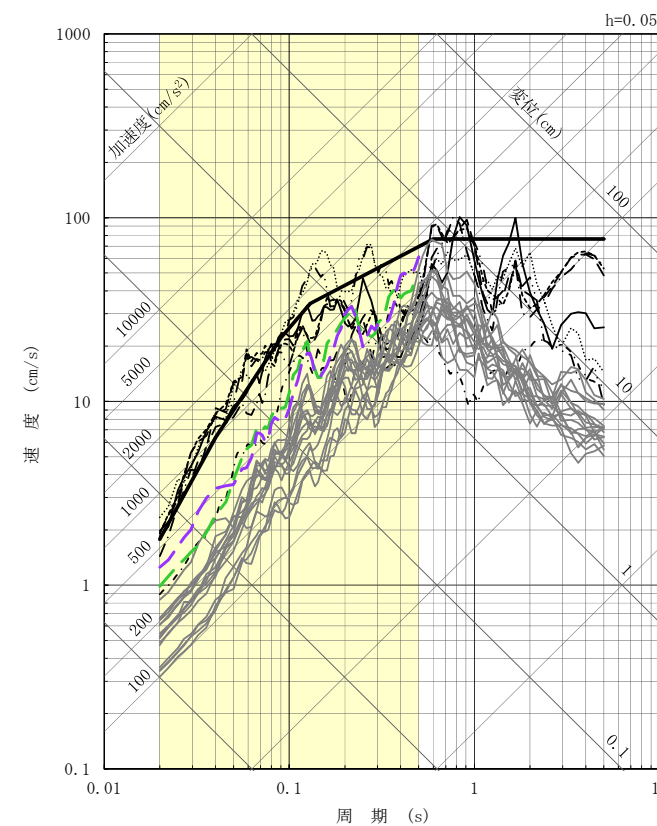
第16回ワーキングチーム
 追加ケース



NS方向



EW方向



UD方向

1. 発電所真下又はサイトから最も近くなる位置の太平洋プレート内に震源を置いた場合
断層モデルを用いた手法による評価結果(敷地最短位置+短周期帯1.5倍(詳細)の影響確認)

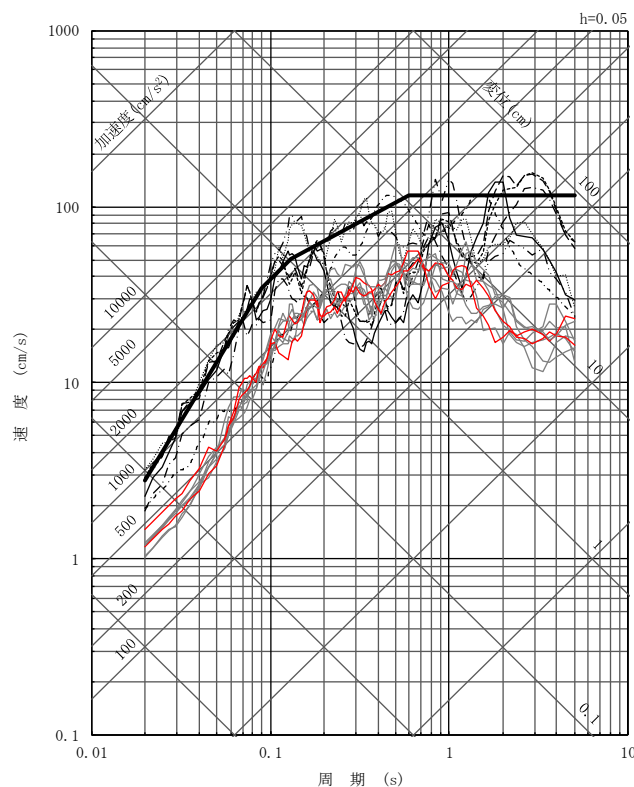


■統計的グリーン関数法による地震動評価結果

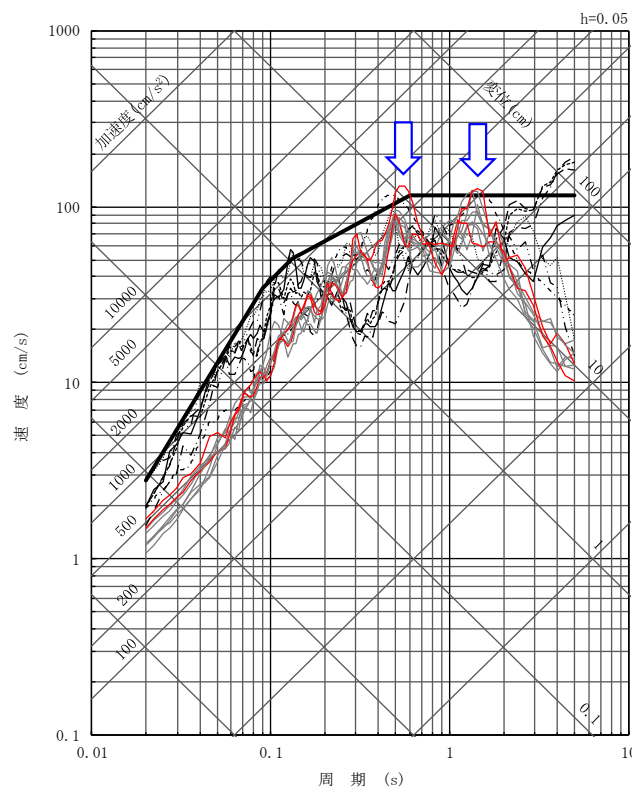
- ・1993年釧路沖型地震(敷地最短位置+応力降下量1.5倍(詳細)の影響確認)は、一部の周期帯で基準地震動 S_s を超過した(傾斜角 0° 破壊開始点2, 傾斜角 90° 破壊開始点1,2,3)。
- ・これらのうち、影響が大きいと考えられる傾斜角 90° 破壊開始点2,3を代表として選定し、施設への影響評価を行う。

— : 1993年釧路沖型地震(敷地最短位置+応力降下量1.5倍(詳細)の影響確認) 施設影響検討ケース
— : 1993年釧路沖型地震(敷地最短位置+応力降下量1.5倍(詳細)の影響確認) その他のケース
 黒実線, 黒破線 : 基準地震動 S_s

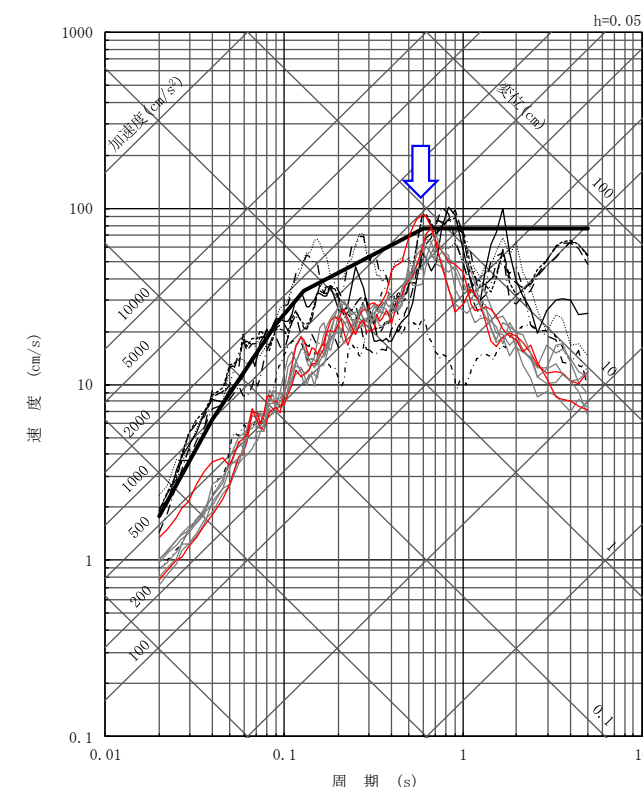
(青矢印は S_s 超過の個所を示す)



NS成分



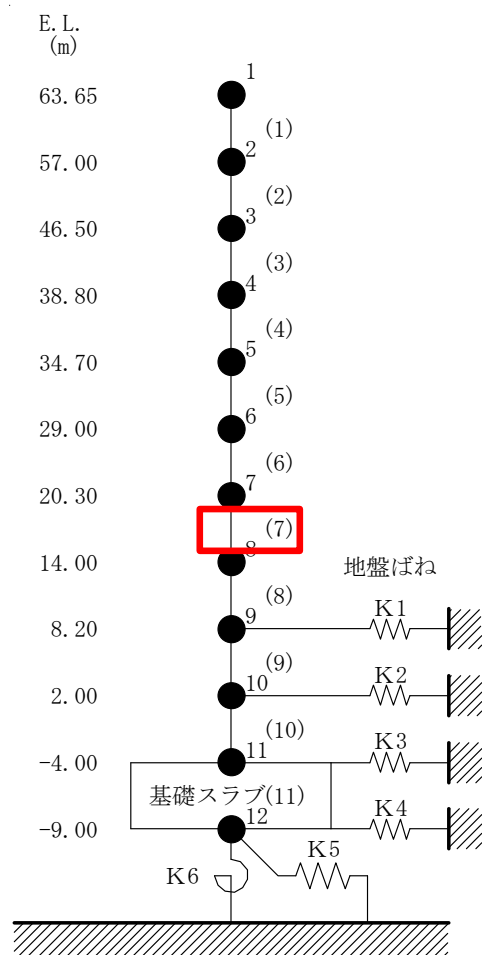
EW成分



UD成分

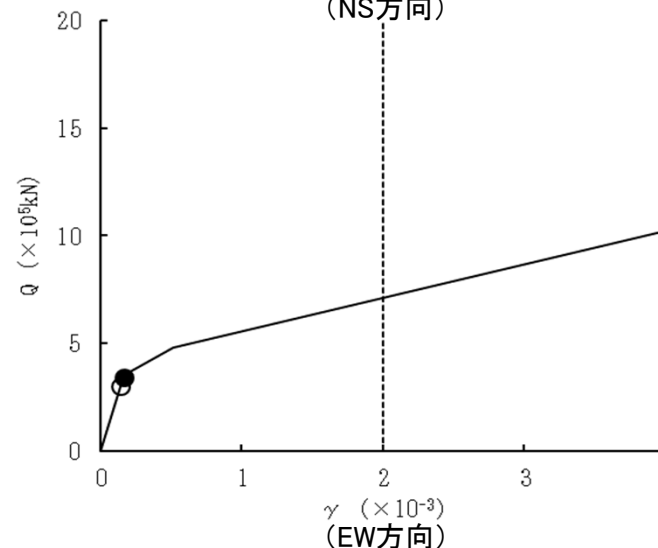
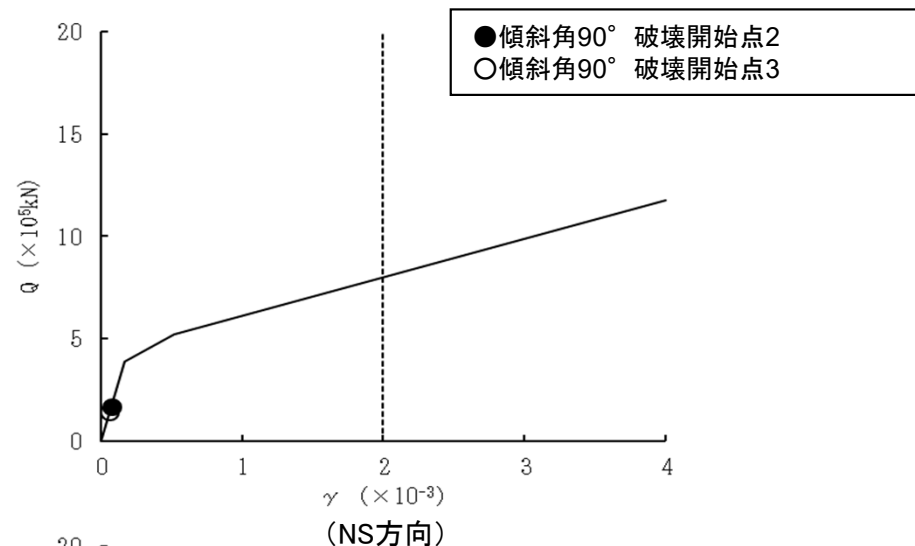
■ [] の耐震評価結果

- 1993年釧路沖型地震(敷地最短位置+応力降下量1.5倍の影響確認)を入力とした [] の地震応答解析を実施し、耐震壁のせん断ひずみを算出した結果、耐震壁の最大せん断ひずみが最も大きくなるのは要素番号(7)の 0.166×10^{-3} であり、許容限界(2.0×10^{-3})を超えないことを確認した。



※ 数字は質点番号を示す。
 ※ () 内は要素番号を示す。

地震応答解析モデル(水平方向)

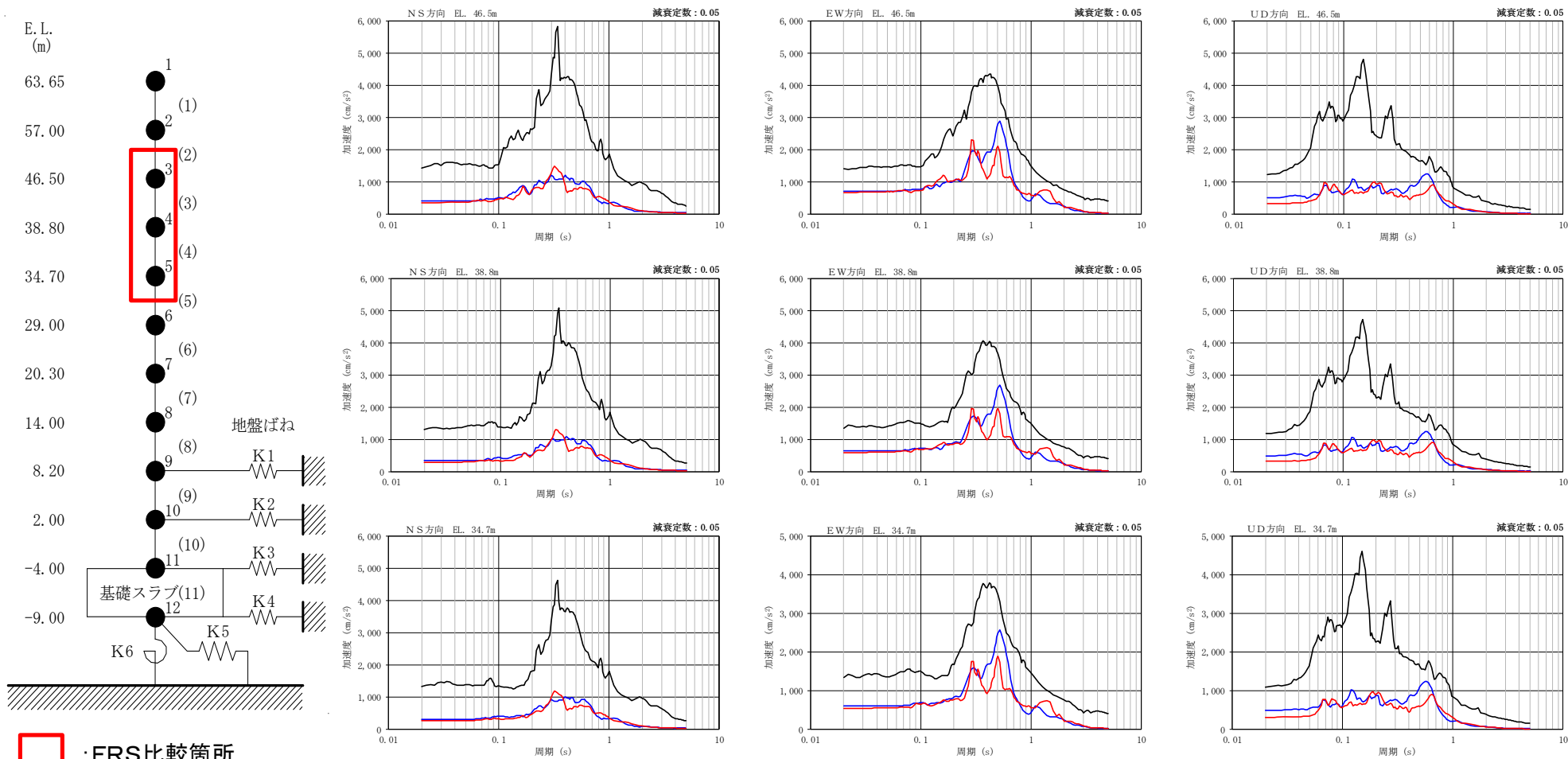


せん断スケルトン曲線上の最大応答値(要素番号(7))

■ 設備の影響検討結果

1993年釧路沖型地震(敷地最短位置+応力降下量1.5倍の影響確認)を入力とした の地震応答解析の応答を用いて作成した床応答スペクトルと、設備設計に適用した基準地震動Ss8波を用いた床応答スペクトルとを比較した。下図に示すとおり**設備設計に適用した床応答スペクトルは、1993年釧路沖型地震(敷地最短位置+応力降下量1.5倍の影響確認)による床応答スペクトルよりも大きいことを確認した。**

——— 傾斜角90° 破壊開始点2
 ——— 傾斜角90° 破壊開始点3
 ——— 設備設計用床応答スペクトル(Ss8波包絡)



 : FRS比較箇所

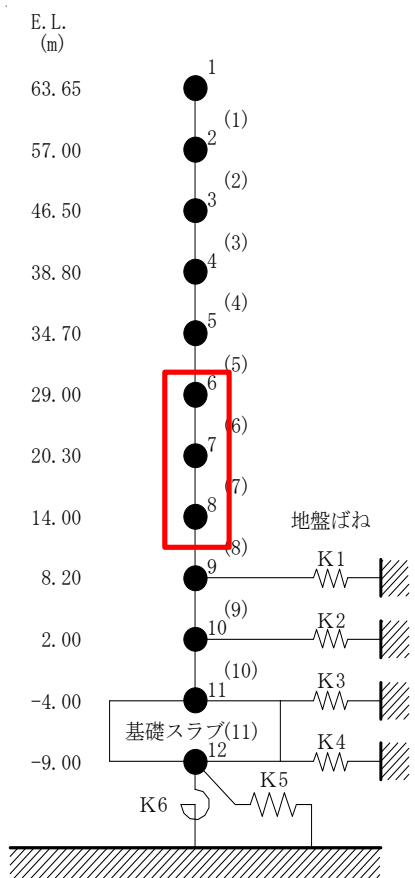
地震応答解析モデル(例:水平方向)

床応答スペクトル比較図

1. 発電所真下又はサイトから最も近くなる位置の太平洋プレート内に震源を置いた場合 施設影響検討(3/4)

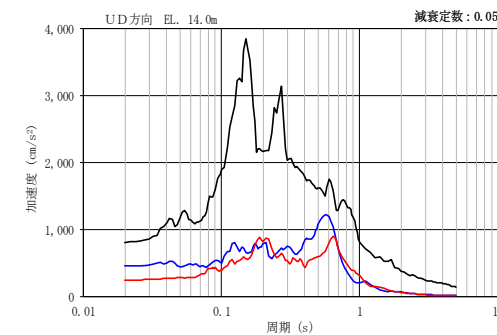
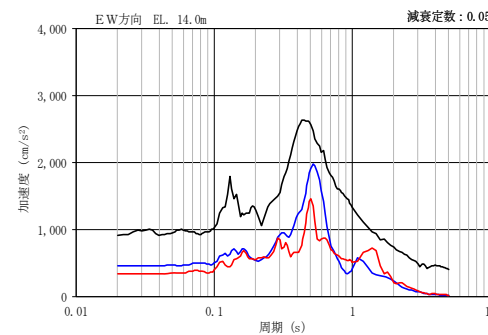
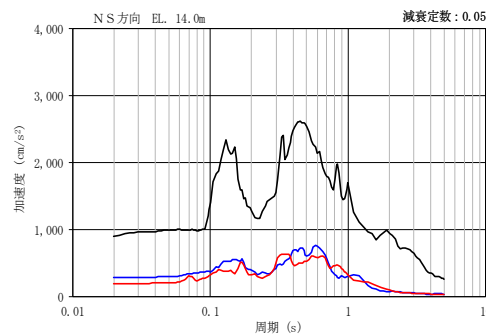
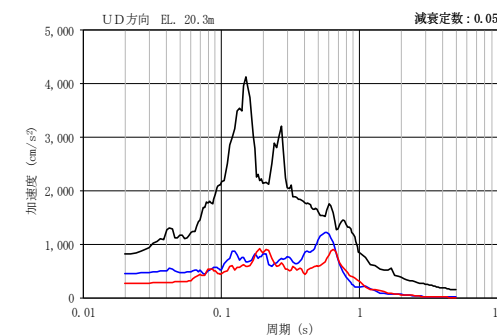
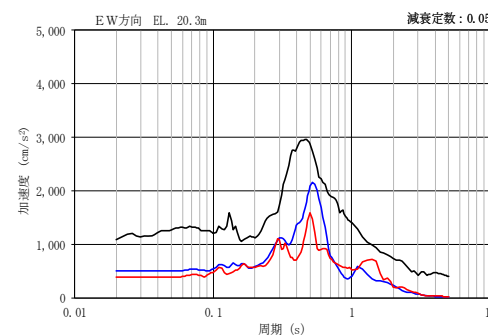
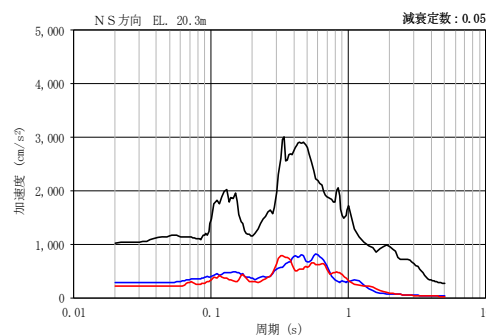
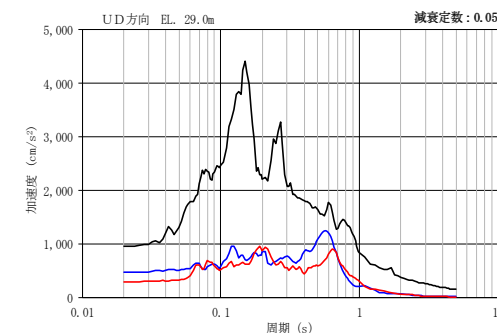
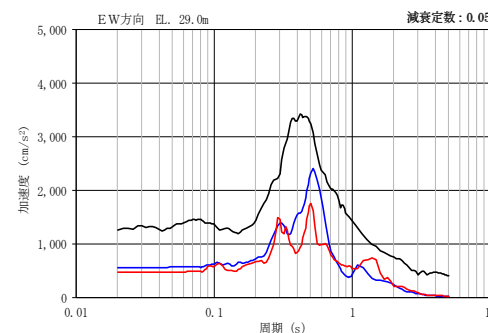
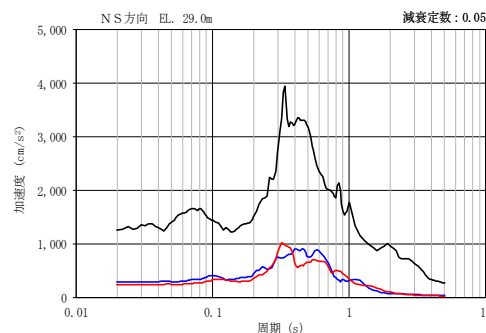


— 傾斜角90° 破壊開始点2
 — 傾斜角90° 破壊開始点3
 — 設備設計用床応答スペクトル(Ss8波包絡)



 : FRS比較箇所

地震応答解析モデル(水平方向)

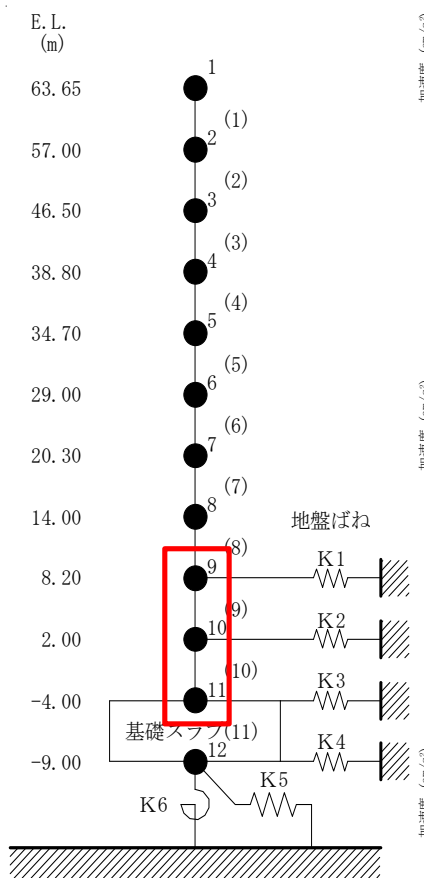


床応答スペクトル比較図

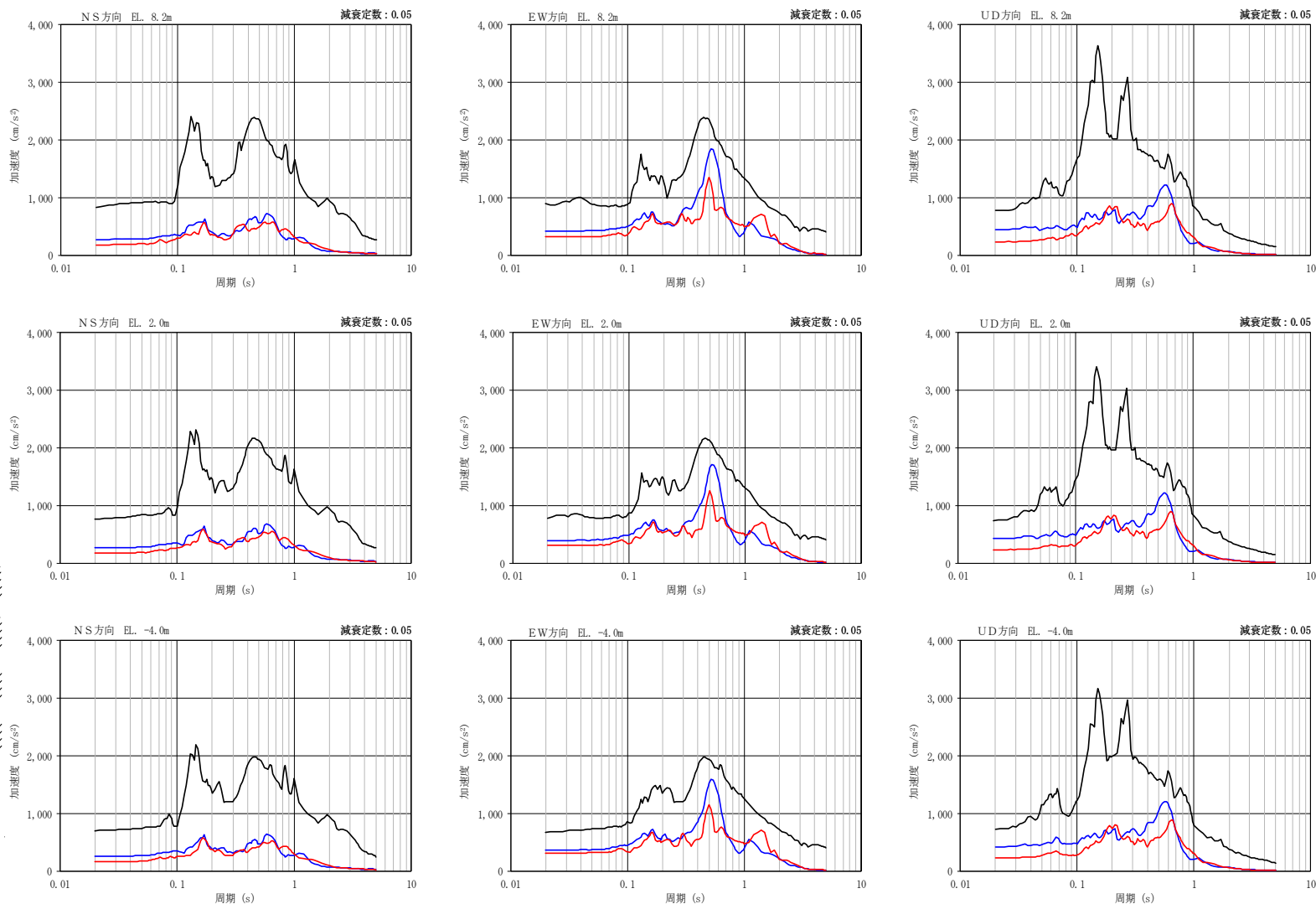
1. 発電所真下又はサイトから最も近くなる位置の太平洋プレート内に震源を置いた場合 施設影響検討(4/4)



— 傾斜角90° 破壊開始点2
 — 傾斜角90° 破壊開始点3
 — 設備設計用床応答スペクトル(Ss8波包絡)



: FRS比較箇所
 地震応答解析モデル(水平方向)









床応答スペクトル比較図

1. 発電所真下又はサイトから最も近くなる位置の太平洋プレート内に震源を置いた場合

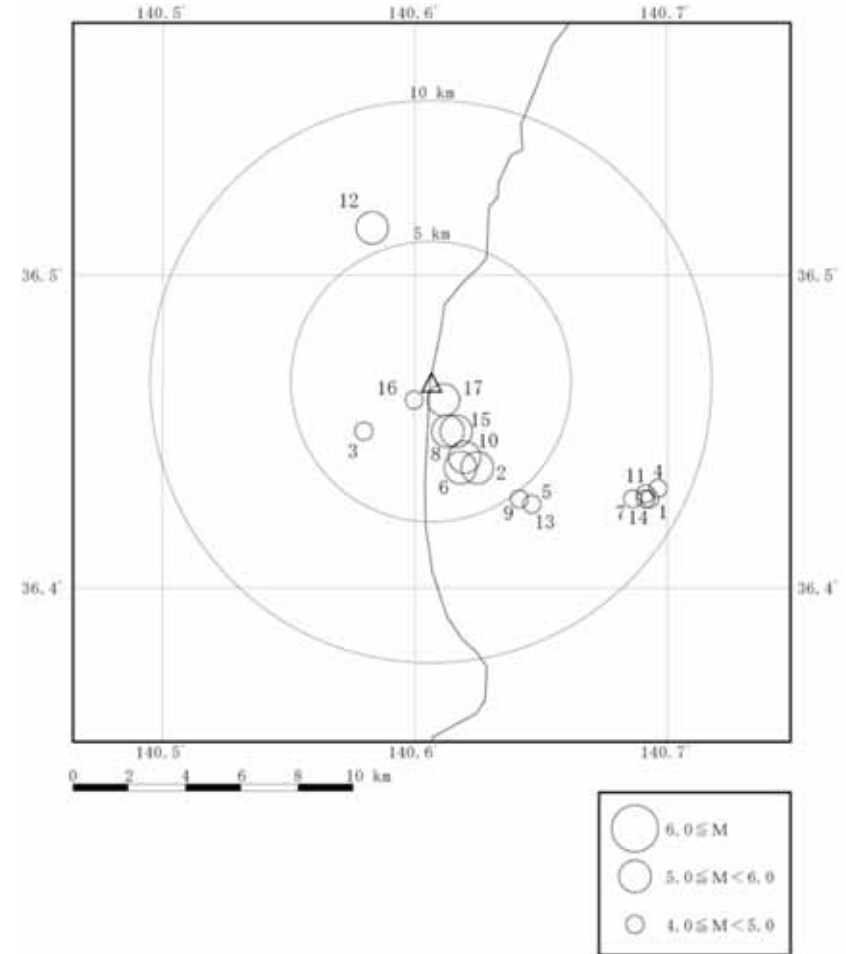
参考 2011年東北地方太平洋沖地震以降、敷地周辺で発生した地震(2022年1月現在) 

■2011年東北地方太平洋沖地震以降、敷地周辺(半径10km以内)で発生した地震のうち、最大震度が4以上の地震について、発生場所と地震諸元を整理した。全て50kmより深い場所で発生しており、震源メカニズム解より、ほとんどがプレート間地震と考えられるが、2019年6月17日の地震(M5.1)については太平洋プレートの内部で発生した地震と考えられる。

2011年東北地方太平洋沖地震～2021年12月31日の期間に発生した敷地周辺(半径10km以内)の地震のうち、最大震度が4以上の地震の諸元

	発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度 ¹	震源メカニズム解	タイプ
1	2011/9/10 15:00	茨城県沖	36° 25.7'N	140° 41.6'E	53km	M4.8	4		プレート間
2	2012/3/1 7:32	茨城県沖	36° 26.3' N	140° 37.5' E	56km	M5.3	5弱		プレート間
3	2013/3/18 6:53	茨城県北部	36° 27.0'N	140° 34.8'E	56km	M4.4	4		プレート間
4	2013/10/12 2:43	茨城県沖	36° 25.9'N	140° 41.8'E	52km	M4.8	4		プレート間
5	2013/10/20 10:07	茨城県沖	36° 25.6'N	140° 38.8'E	53km	M4.3	4		プレート間
6	2015/8/6 18:22	茨城県沖	36° 26.3'N	140° 37.1'E	55km	M5.2	4		プレート間
7	2015/11/22 8:20	茨城県沖	36° 25.7'N	140° 41.2'E	52km	M4.8	4		プレート間
8	2016/7/27 23:47	茨城県北部	36° 27.0' N	140° 36.8' E	57km	M5.4	5弱		プレート間
9	2017/1/18 17:19	茨城県沖	36° 25.7'N	140° 38.5'E	53km	M4.2	4		プレート間
10	2018/3/30 8:17	茨城県沖	36° 26.5'N	140° 37.2'E	56km	M5.1	4		プレート間
11	2018/7/17 4:34	茨城県沖	36° 25.8'N	140° 41.5'E	52km	M4.8	4		プレート間
12	2019/6/17 8:00	茨城県北部	36° 30.9'N	140° 35.0'E	77km	M5.1	4		プレート内
13	2020/1/21 19:17	茨城県沖	36° 25.6'N	140° 38.8'E	53km	M4.2	4		プレート間
14	2020/6/4 5:31	茨城県沖	36° 25.7'N	140° 41.5'E	52km	M4.8	4		プレート間
15 ³	2020/12/30 9:35	茨城県沖	36° 27.0'N	140° 37.0'E	56km	M5.2	4		プレート間
16 ³	2020/12/30 9:36	茨城県北部	36° 27.6'N	140° 36.0'E	51km	M4.1			プレート間
17	2021/11/01 6:14	茨城県北部	36° 27.6'N	140° 36.7'E	57km	M5.3	4		プレート間

参考: 左表の地震では被害が生じておらず、2011年東北地方太平洋沖地震の影響を下回る。



2011年東北地方太平洋沖地震～2021年12月31日の期間に発生した敷地周辺(半径10km以内)の地震のうち、最大震度が4以上の地震の震央分布

※1 敷地から10km以内かどうかに関わらず当該地震で観測した最大震度を示す。
 ※2 地震諸元(発生日時～最大震度)は気象庁地震カタログ、震源メカニズム解は防災科学技術研究所広帯域地震観測網F-netによる。
 ※3 2つの地震はほぼ同時刻に発生しており、気象庁によると震度の分離はできないとされている。

F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層:地質調査結果と震源モデルの対応



塩ノ平地震断層

- リニアメントにほぼ一致して断層が認められる。
- 後期更新世以降の活動が認められる。
(2011年4月11日の地震等)

震源として考慮する活断層として評価

北方陸域の断層

- リニアメントにほぼ一致して断層が認められる。
- 後期更新世以降の活動は否定できない。
 - 確認された断層は、軟質な粘土を伴い、平面的である。
 - 上載地層との関係は確認できない。

震源として考慮する活断層として評価

リニアメントは判読されないが、断層の連続性等の情報が十分でない。

F1断層

上載地層法により後期更新世の活動が否定できない。

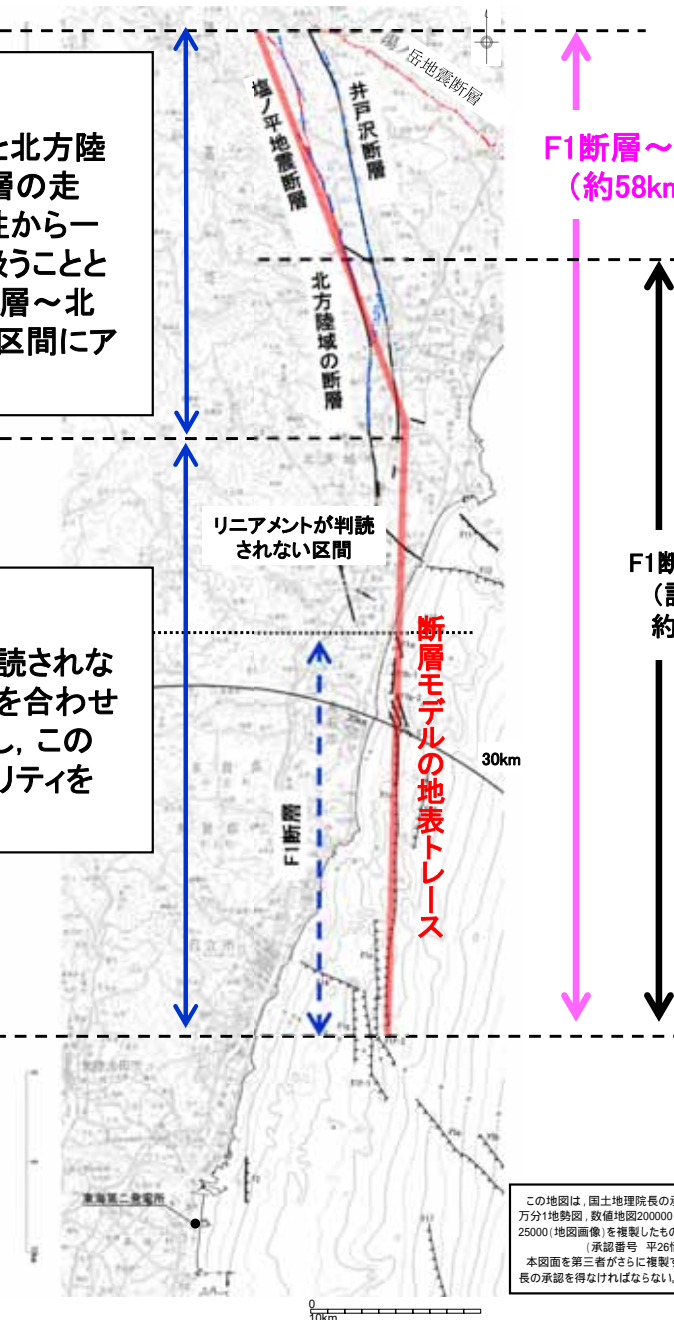
震源として考慮する活断層として評価

■北部

塩ノ平地震断層と北方陸域の断層は、断層の走向・傾斜の類似性から一連の断層として扱うこととし、塩ノ平地震断層～北方陸域の断層の区間にアスペリティを配置

■南部

リニアメントが判読されない区間とF1断層を合わせて一つの区間とし、この区間内にアスペリティを配置



F1断層～塩ノ平地震断層 (約58km)

F1断層～北方陸域の断層 (設置変更許可申請時: 約44km)

リニアメントが判読されない区間

断層モデルの地表トレース

この地図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の20万分1地勢図、数値地図200000(地図画像)及び数値地図25000(地図画像)を複製したものである。
(承認番号 平26情補, 第201号)
本図面を第三者がさらに複製する場合は、国土地理院長の承認を得なければならない。

- 巨視的面は地質調査による断層線に沿うよう設定する。
- 断層の分布状況から震源を南部、北部に区分する。
- アスペリティは、地質調査結果や各種文献に基づき、南部ではF1断層に1つ、北部では北方陸域の断層～塩ノ平地震断層に1つ、それぞれ敷地寄りに配置する。
- リニアメントが判読されない区間はF1断層側に含め、これらを合わせて一つの区間とすることで敷地に近い南部に配置するアスペリティの地震モーメントを大きくし、安全側の設定とする。

基本震源モデルの設定

■地質調査結果や2011年福島県浜通りの地震から得られる知見を参考に基本震源モデルを設定する。

【断層形状, 断層タイプ】

- 断層長さは、2018年9月の設置変更許可に基づき、F1断層から塩ノ平地震断層までの同時活動を考慮した約58kmとする。
- 地震動評価におけるセグメント区分は、断層の分布状況から震源を南部と北部に区分する。その際、リニアメントが判読されない区間はF1断層側に含め、これらを合わせて一つの区間とすることで敷地に近い南部区間の地震モーメントを大きくし、安全側の設定とする。
- 地震のタイプは、2011年福島県浜通りの地震が正断層であることや福島県から茨城県にかけての領域は正断層応力場とする知見(例えば青柳・上田(2012))、さらにF1断層における音波探査結果から正断層センスのずれが認められることを踏まえ正断層とする。
- 断層傾斜角は、F1断層における音波探査結果や2011年福島県浜通りの地震の震源インバージョンモデルでの傾斜角(57~73度)を参考に西傾斜60度とする。
- 断層幅は、断層上端深さを3km, 下端深さを18kmとして断層傾斜角60度を考慮した17.3kmとする。

【アスペリティ位置】

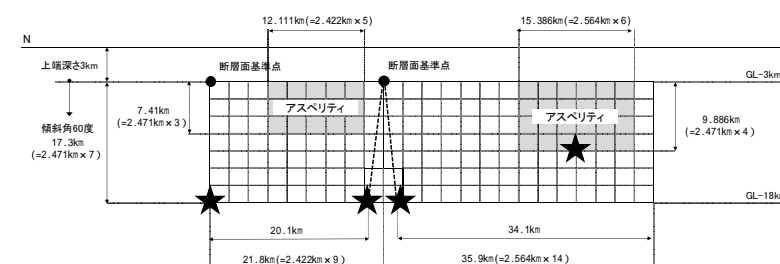
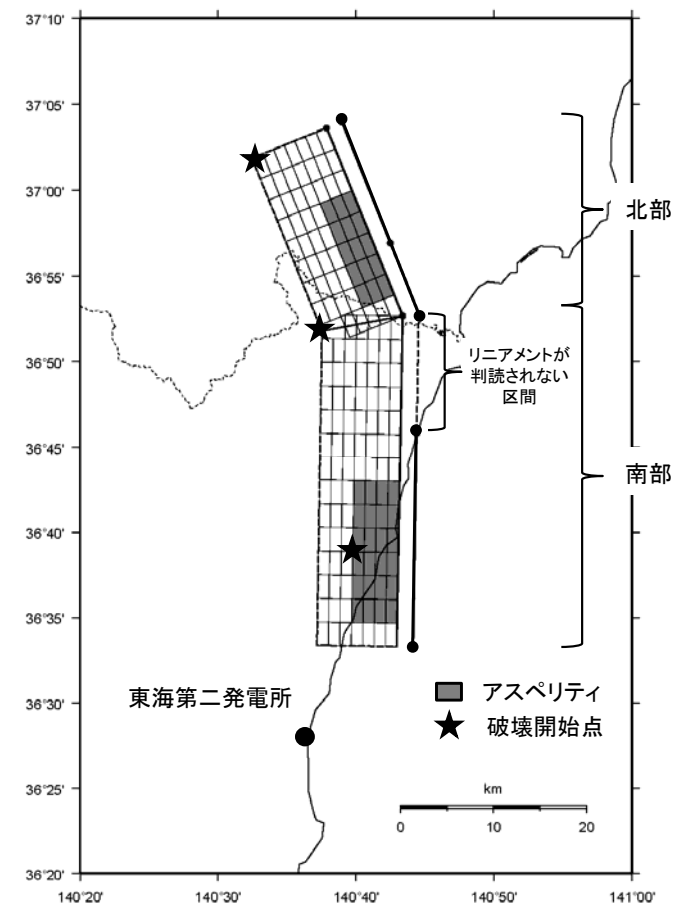
- アスペリティの位置は、地質調査結果に基づき、南部区間のうち調査でわかっているF1断層に1つ、北部では北方陸域の断層~塩ノ平地震断層に1つ、それぞれ敷地に近くなるように配置する。
- 断層長さ方向の配置は、Manighetti et al.(2005)等の知見を踏まえるとアスペリティのように大きなすべりが生じる領域とすべりが無い領域が隣接することは考えにくいことから、断層端部との間に1マス分背景領域を設定する。断層幅方向の配置については、すべりに追随する表層(地表から断層上端までの強震動を出さない層)が存在するので安全側に断層上端にアスペリティを配置する。
- なお、リニアメントが判読されない区間をF1断層側に含め、これらを合わせて一つの区間とすることで、敷地に近い南部に配置するアスペリティの地震モーメントを大きくし、安全側の設定とする。

【破壊開始点位置】

破壊開始点は、強震動予測レシピ、糸井ほか(2009)、平田・佐藤(2007)を踏まえ、アスペリティ下端や断層下端のうち敷地への影響の大きい位置に複数設定する。

【破壊伝播速度Vr】

破壊伝播速度は、強震動予測レシピで用いられているGeller(1976)より、 $V_r=0.72V_s$ とする。

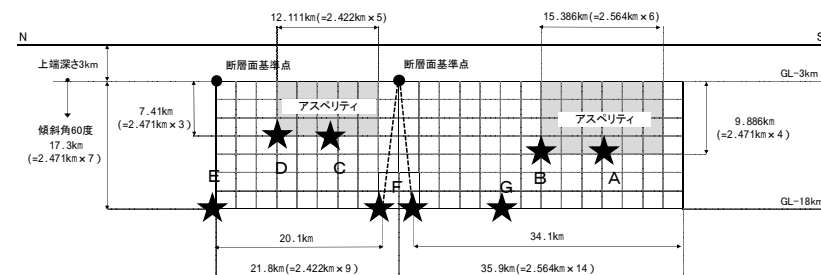
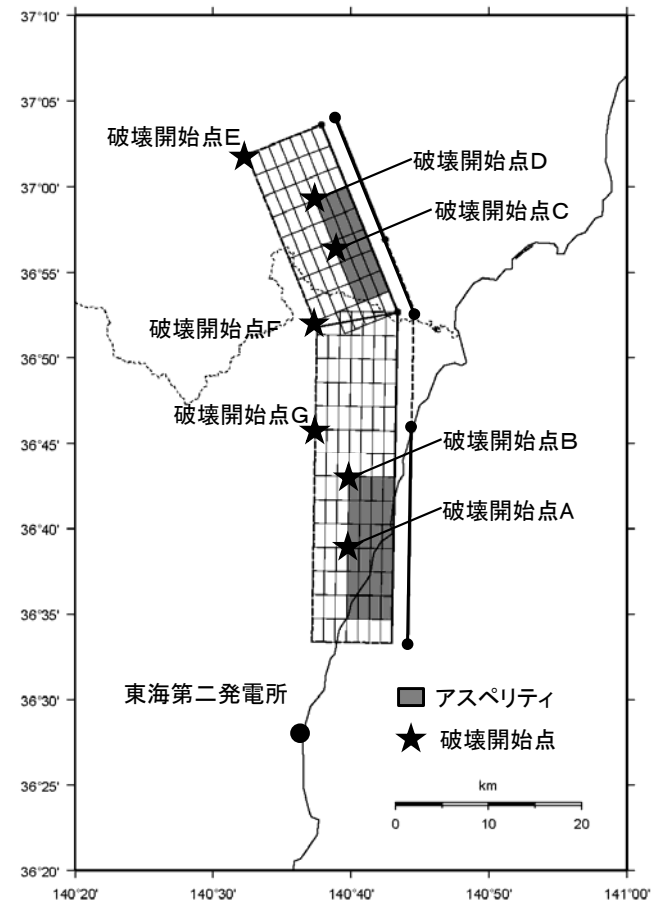


基本震源モデル

破壊開始点位置：検討方針

■破壊開始点の設定位置は、下記の方針で検討する。

- ・破壊開始点について、強震動予測レシピ、糸井ほか(2009)、平田・佐藤(2007)を踏まえアスペリティ下端及び断層下端に設定する。
- ・設定に際しては、破壊が敷地に向かう位置に複数設定する。具体的には各アスペリティ下端(中央及び北)と断層下端(中央及び北)に設定する。また、物理的観点から、ひずみの差が生じる可能性のあるF1断層の断層下端にも設定する。
- ・基本震源モデルを対象に、経験的グリーン関数法により評価を実施し、影響の大きい破壊開始点を代表として選定する。

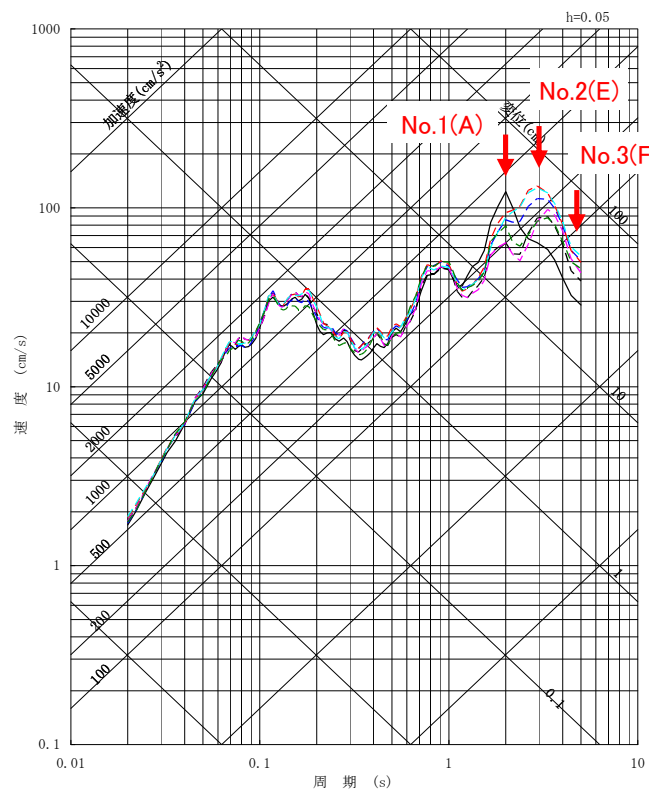


基本震源モデル

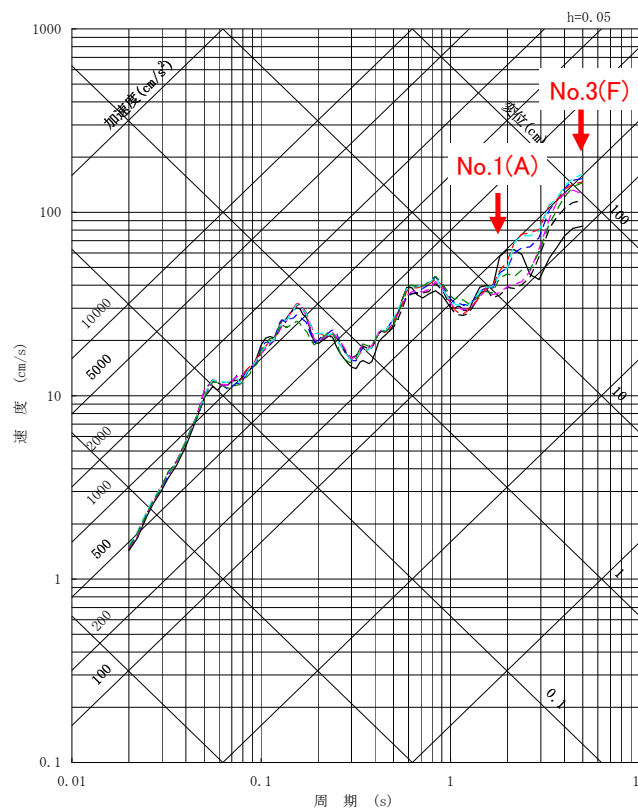
破壊開始点位置:破壊開始点の選定結果

■各破壊開始点による地震動評価結果(平均応答スペクトル)

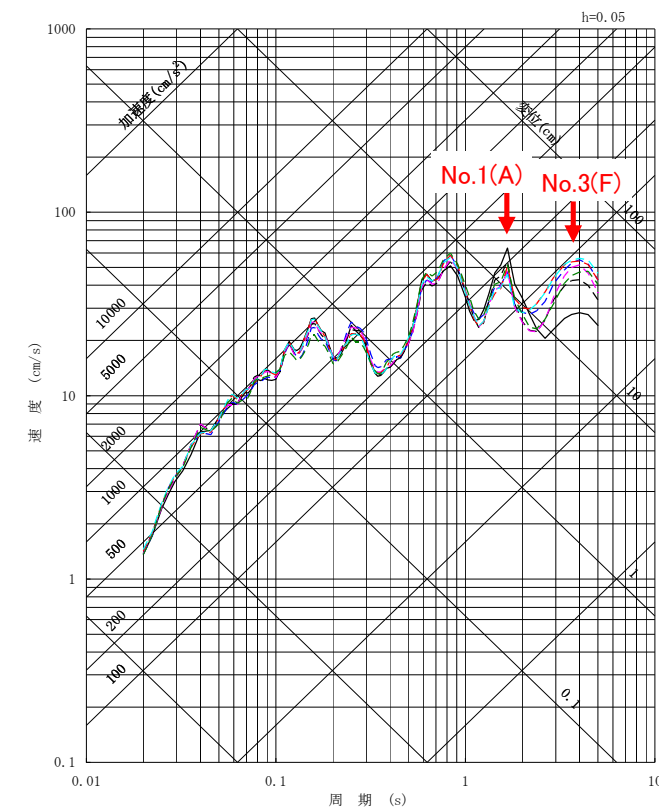
- 破壊開始点A(破壊開始点1)
- - - 破壊開始点B
- - - 破壊開始点C
- - - 破壊開始点D
- - - 破壊開始点E(破壊開始点2)
- - - 破壊開始点F(破壊開始点3)
- - - 破壊開始点G



NS成分



EW成分



UD成分

短周期側は、各破壊開始点の地震動評価結果は同様の傾向を示している。長周期側は破壊開始点A, E, Fの影響がやや大きい。断層モデルを用いた手法による地震動評価の破壊開始点は、アスペリティ下端及び断層下端に設定した中から敷地への影響が大きい3点(破壊開始点A, E, F)で代表させ、それぞれ破壊開始点1, 2, 3とする。

2011年東北地方太平洋沖型地震の基本震源モデル

■断層形状，強震動生成域の位置等は下記の通り設定する。

【断層形状】

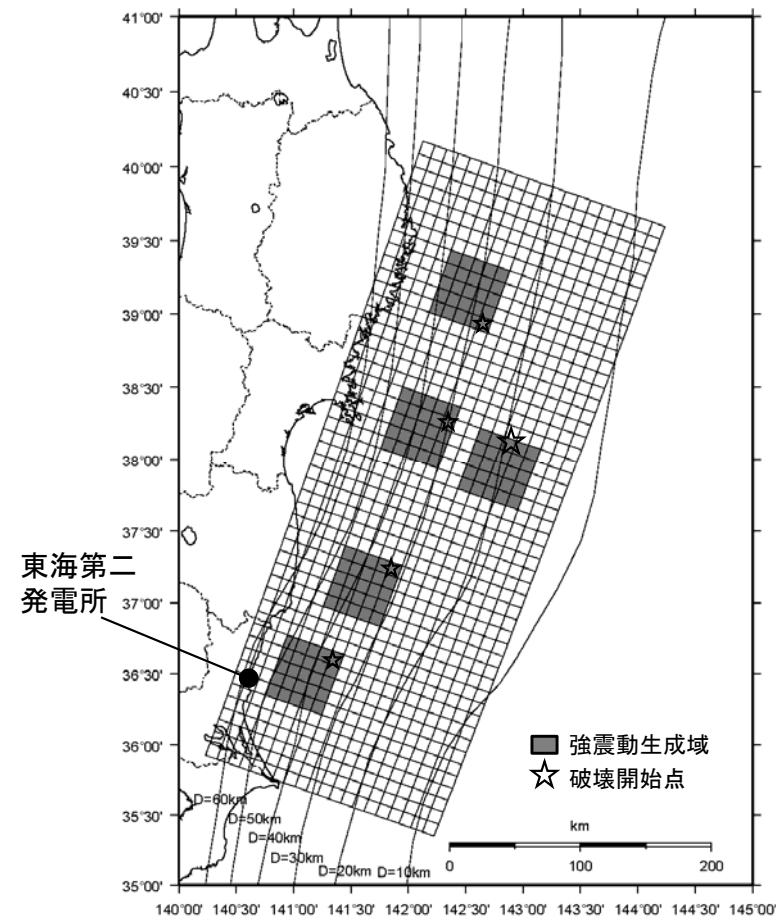
- ・長さ，幅は，東北地方太平洋沖地震の震源域を参考にそれぞれ500km，200kmとする。
- ・走向は，東北地方太平洋沖地震に関する防災科学技術研究所F-netのCMT解を用いる。深さは，太平洋プレートの上面に沿ってモデル化する。

【強震動生成域の位置】

- ・地震調査研究推進本部の領域区分に基づき5個の強震動生成域を設定し，東北地方太平洋沖地震の強震動生成域や，それぞれの領域で過去に発生したM7～M8クラスの地震の震源域を参考に配置する。
- ・茨城県沖の強震動生成域の位置は，東北地方太平洋沖地震の敷地での観測記録を再現できる位置としており，各文献で示された東北地方太平洋沖地震の強震動生成域の中では敷地に最も近い位置である。
- ・この位置は，過去に発生したM7クラスの地震の中では最も敷地に近い1938年塩屋崎沖の地震(M7.0)や1896年鹿島灘の地震(M7.3)の震央位置と対応していることを確認している。

【破壊開始点】

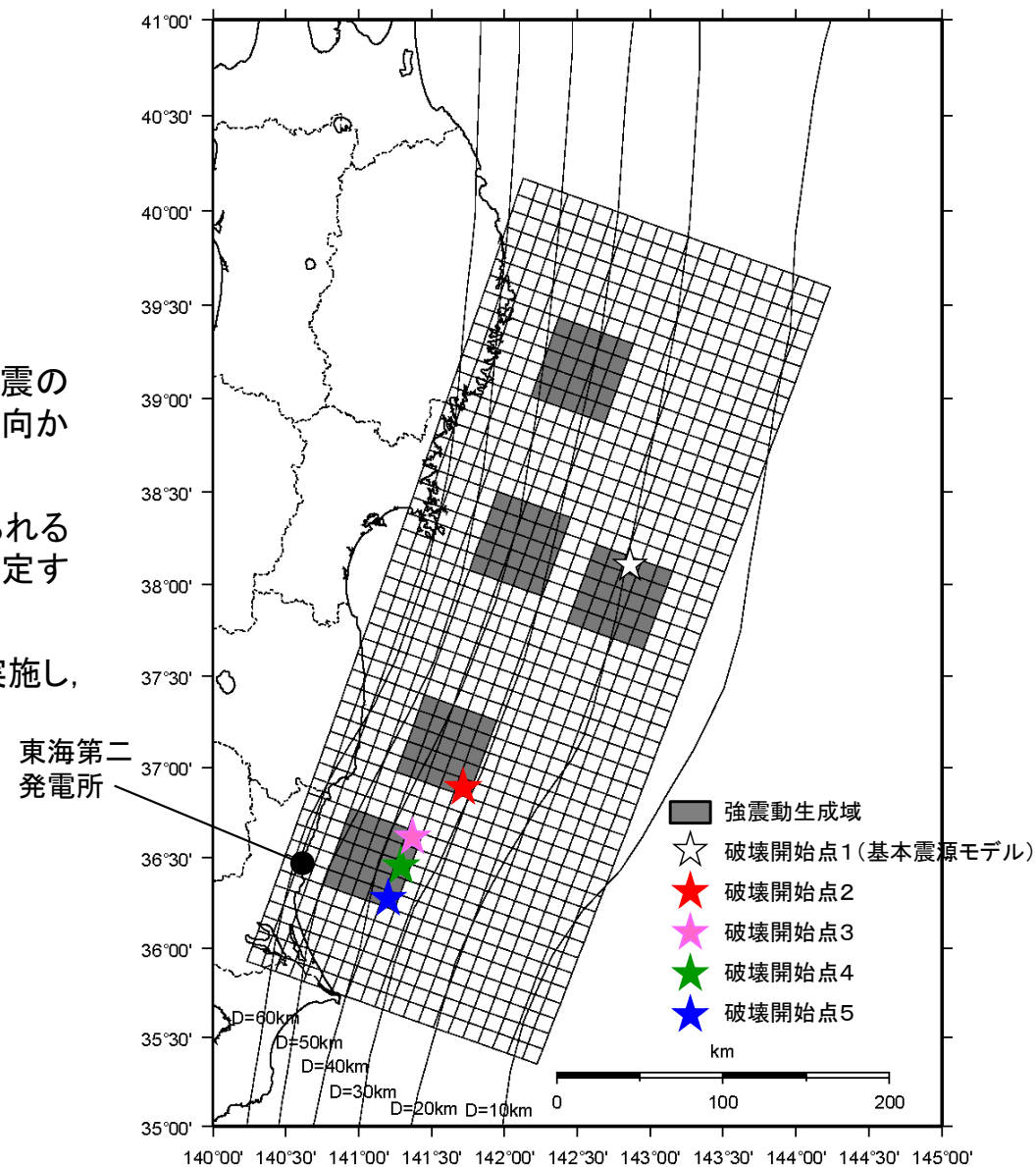
東北地方太平洋沖地震の震源位置に設定する。



基本震源モデル

破壊開始点位置の違いによる影響検討(1/2)

- ・基本震源モデルの破壊開始点は、東北地方太平洋沖地震の本震の破壊開始点(図の破壊開始点1)とすることにより、敷地へ破壊が向かうような設定となっている。
- ・しかしながら、敷地近くの強震動生成域から破壊することもあると考えられるため、茨城県沖や福島県沖の強震動生成域に破壊開始点を設定する。
- ・基本震源モデルを対象に、経験的グリーン関数法により評価を実施し、各破壊開始点による影響を確認する。



全体の破壊開始点のみ図示する。

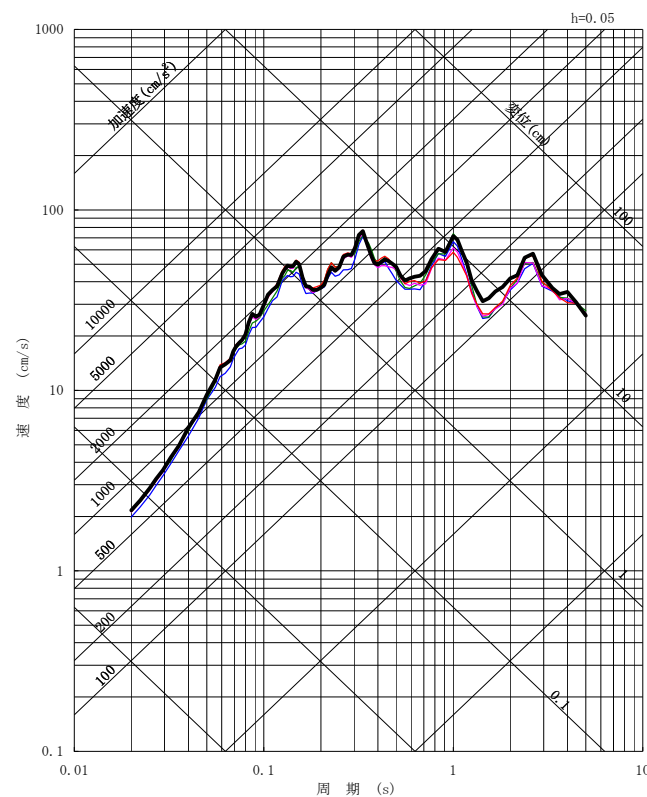
基本震源モデル

破壊開始点位置の違いによる影響検討(2/2)

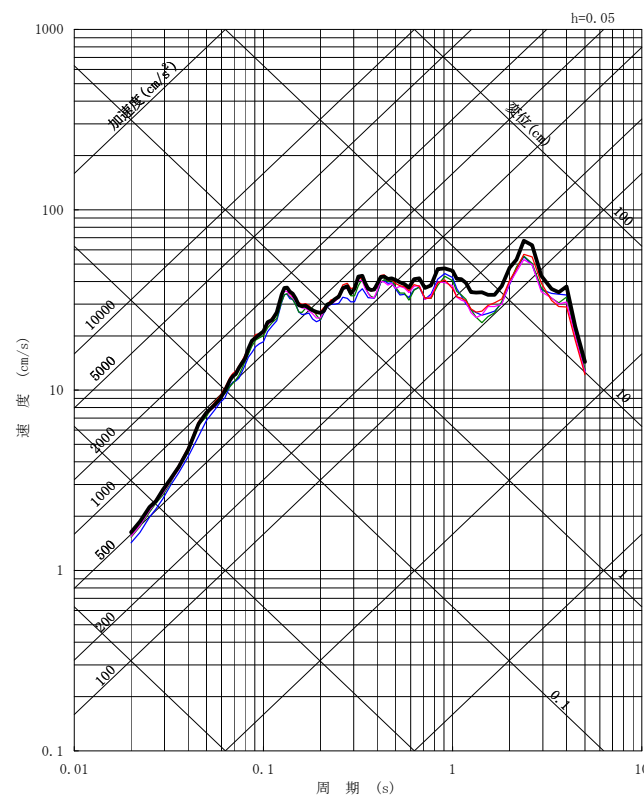
■各破壊開始点による地震動評価結果(平均応答スペクトル)

- 各破壊開始点の地震動評価結果はいずれも同様の傾向を示しており、破壊開始点位置の影響は小さいため、基本震源モデルで考慮する破壊開始点は破壊開始点1で代表させる。

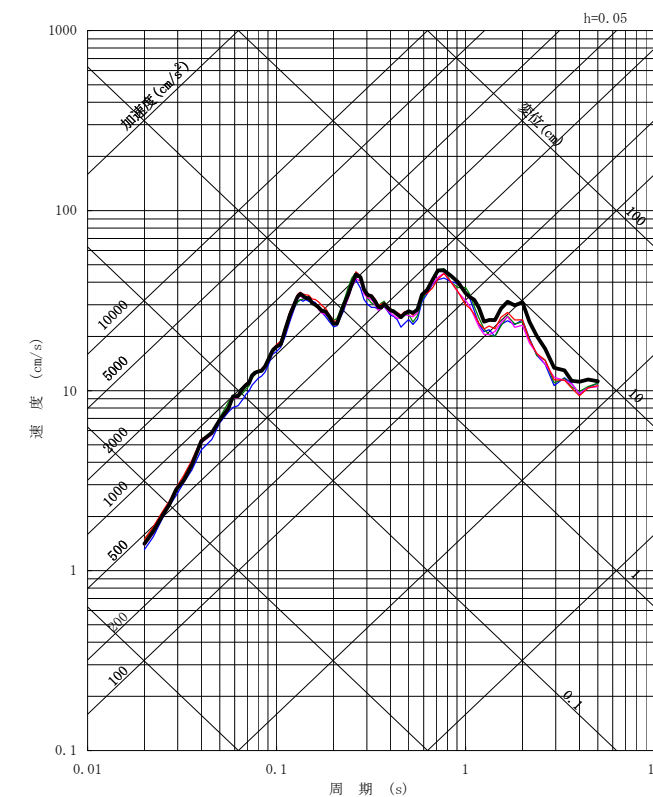
- 破壊開始点1(基本震源モデル)
- 破壊開始点2
- 破壊開始点3
- 破壊開始点4
- 破壊開始点5



NS成分



EW成分



UD成分

プレート間地震(2011年東北地方太平洋沖型地震)の破壊開始点は、敷地へ破壊が向かう、東北地方太平洋沖地震の本震の破壊開始点としている。また、敷地近くの強震動生成域から破壊すること想定して地震動評価を行い、破壊開始点位置の影響は小さいことを確認した。

不確かさの考慮

■不確かさの考慮

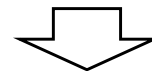
F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震に関する各パラメータについて、地震動への影響の程度を検討し、敷地に大きな影響を与えると考えられるパラメータに対して不確かさを考慮する。

第5回

評価ケース	認識論的不確かさ					偶然的な不確かさ
	断層上端 深さ※1	断層下端 深さ※2	断層 傾斜角	短周期レベル	アスペリティ位置	破壊開始点
基本震源モデル	3km	18km	60度 (西傾斜)	強震動予測レシピ の平均	敷地に近い位置に配置	複数設定
短周期レベルの 不確かさ	3km	18km	60度 (西傾斜)	強震動予測レシピ の1.5倍	敷地に近い位置に配置	複数設定
断層傾斜角の 不確かさ	3km	18km	45度 (西傾斜)	強震動予測レシピ の平均	敷地に近い位置に配置	複数設定
アスペリティ位 置の不確かさ	3km	18km	60度 (西傾斜)	強震動予測レシピ の平均	断層端部に配置	複数設定

<基準地震動Ssに選定している地震動>

- Ss-11 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- Ss-12 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-13 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- Ss-14 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)



基準地震動Ss-14に選定しているF1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)を対象として、短周期レベルの不確かさの重畳を考慮して地震動評価を行う。

※1 2011年福島県浜通りの地震の震源域以外では断層上端深さは3kmよりも深いことが推定されるが、震源モデルの全域にわたり保守的に3kmに設定した。

※2 2011年福島県浜通りの地震の震源域では断層下端深さは浅いことが推定されるが、震源モデルの全域にわたり保守的に18kmに設定した。

追加ケースの断層パラメータ

■断層パラメータ(断層傾斜角と短周期レベルの不確かさ重畳)

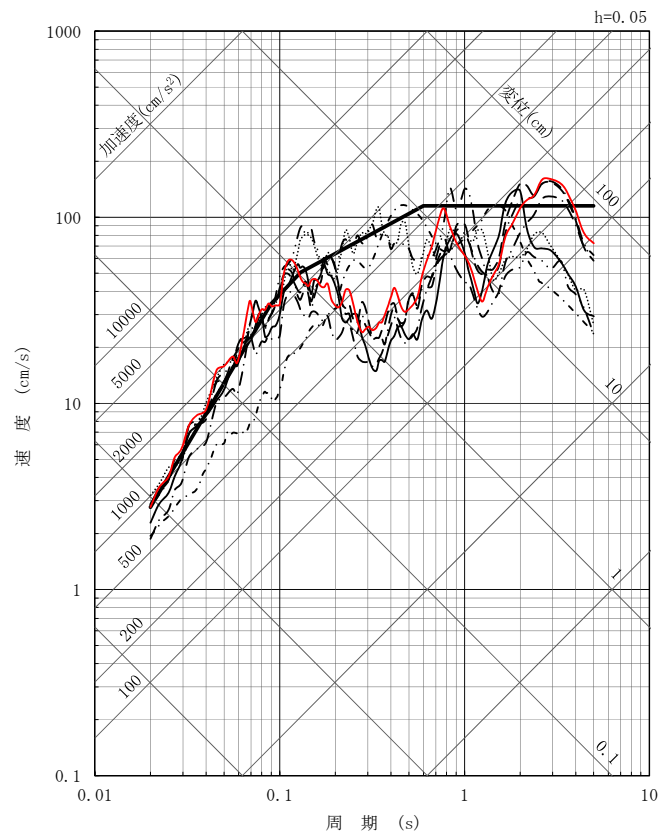
項目	設定値			設定方法	
	全体	北部	南部		
断層上端長さ(km) 断層下端長さ(km)	57.1 51.1	21.5 18.5	35.6 32.6	活断層調査結果による位置を基に設定	
断層傾斜角(度)	45(西傾斜)	45(西傾斜)	45(西傾斜)	活断層調査結果の不確かさなどを踏まえ設定	
断層上端深さ(km) 断層下端深さ(km)	3 18	3 18	3 18	断層上端深さは、2011年福島県浜通りの地震の震源域における微小地震分布等の知見を考慮し3kmと設定している。震源モデルの南部では3kmよりも深いと想定されるが、保守的に3kmとする。 断層下端深さは、広域の微小地震分布を考慮し18kmと設定している。震源モデルの北部ではそれよりも浅いと想定されるが、保守的に18kmとする。	
断層幅W(km)	21.2	21.2	21.2	地震発生層と断層傾斜角から設定	
断層面積S(km ²)	1146.9	424.0	722.9	断層面より算定	
破壊伝播様式	同心円状	同心円状	同心円状	—	
地震モーメントM ₀ (N・m)	7.32E+19	2.27E+19	5.05E+19	$M_0 = [S / (4.24 \times 10^{-11})]^2 / 10^7$ 全体の地震モーメントを断層面積の1.5乗比で分配	
剛性率(N/m ²)	3.50E+10	3.50E+10	3.50E+10	$\mu = \rho \beta^2$, $\rho = 2.7 \text{g/cm}^3$, $\beta = 3.6 \text{km/s}$ (β は敷地周辺を対象にした地震波速度トモグラフィ、 ρ は地震本部による「全国1次地下構造モデル(暫定版)」を参考に設定)	
平均すべり量D(cm)	182.3	152.9	199.6	$D = M_0 / (\mu S)$	
平均応力降下量 $\Delta \sigma$ (MPa)	3.1	3.1	3.1	Fujii and Matsu'ura(2000)による	
破壊伝播速度Vr(km/s)	2.59	2.59	2.59	$Vr = 0.72 \beta$ (Geller, 1976)による	
短周期レベルA(N・m/s ²)(参考)	2.22E+19	—	—	$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	
アスペリティ	面積S _a (km ²)	252.3	93.3	159.0	$S_a = 0.22S$
	平均すべり量D _a (cm)	364.6	305.7	399.2	$D_a = 2D$
	地震モーメントM _{0a} (N・m)	3.22E+19	9.98E+18	2.22E+19	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
	応力降下量 $\Delta \sigma_a$ (MPa)	21.14	21.14	21.14	$\Delta \sigma_a = \Delta \sigma \times S / S_a \times 1.5$
	短周期レベルA(N・m/s ²)(参考)	3.10E+19	1.86E+19	2.44E+19	$A = 4 \pi r_a \Delta \sigma_a \beta^2$
背景領域	面積S _b (km ²)	894.6	330.7	563.9	$S_b = S - S_a$
	平均すべり量D _b (cm)	130.9	109.7	143.3	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
	地震モーメントM _{0b} (N・m)	4.10E+19	1.27E+19	2.83E+19	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	実効応力 $\Delta \sigma_b$ (MPa)	4.23	4.23	4.23	$\Delta \sigma_b = 0.2 \Delta \sigma_a$

断層モデルを用いた手法による評価結果

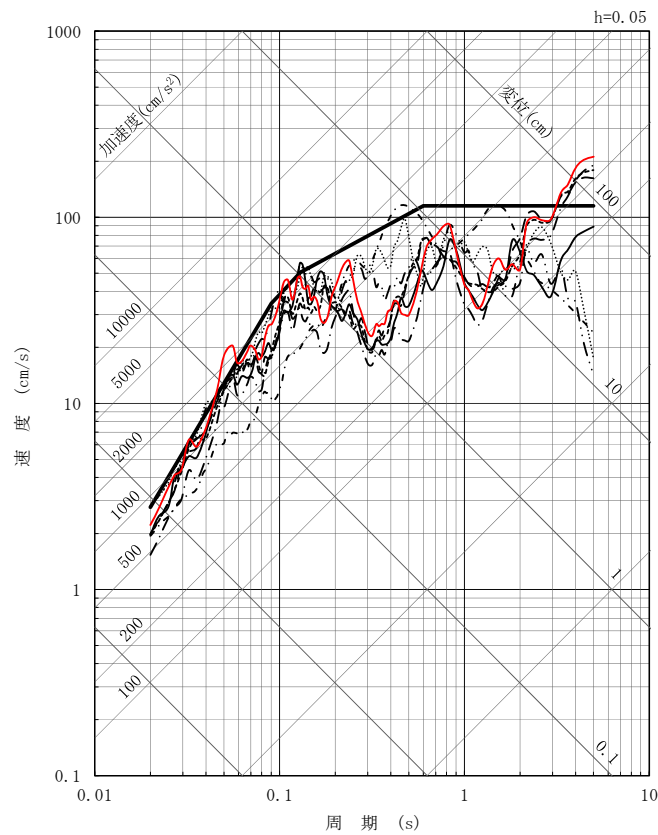
■ 経験的グリーン関数法による地震動評価結果

— 断層傾斜角と短周期レベルの不確かさ重畳ケース(破壊開始点2)

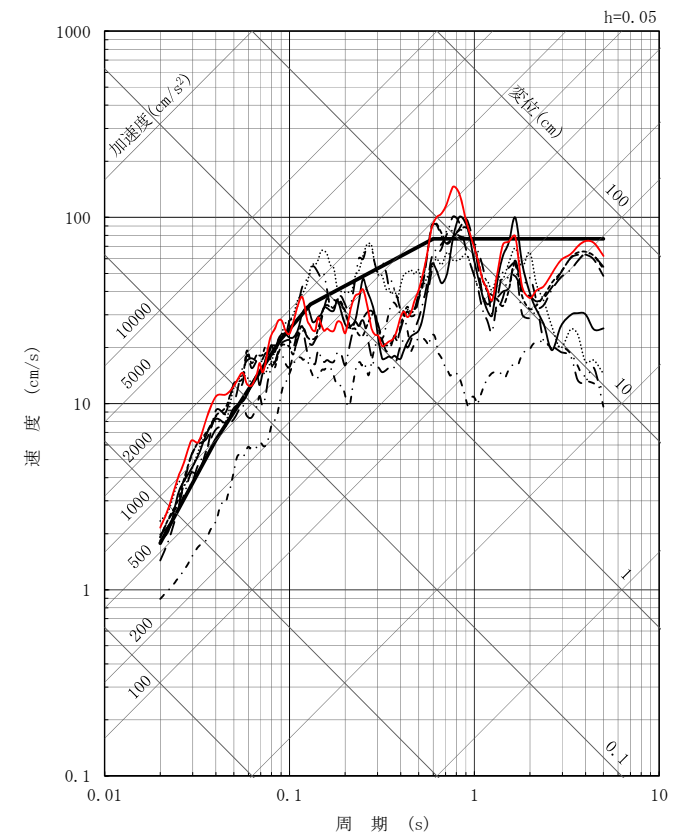
黒線: 基準地震動S_s



NS成分



EW成分

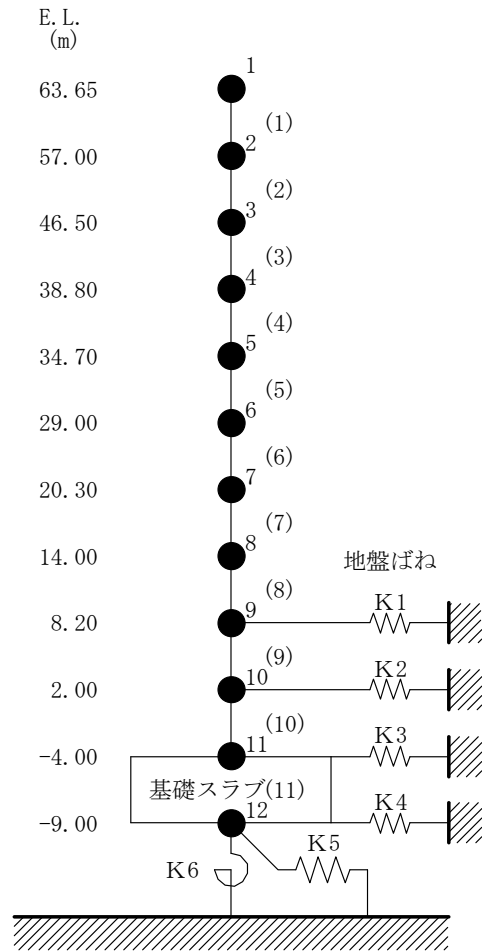


UD成分

施設影響検討(1/4)

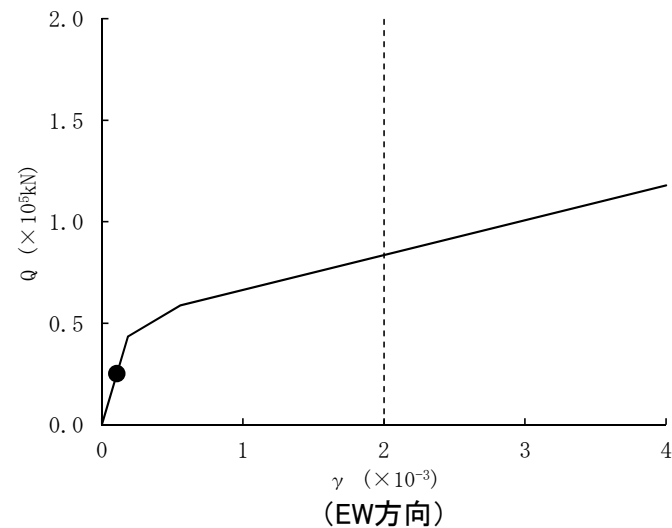
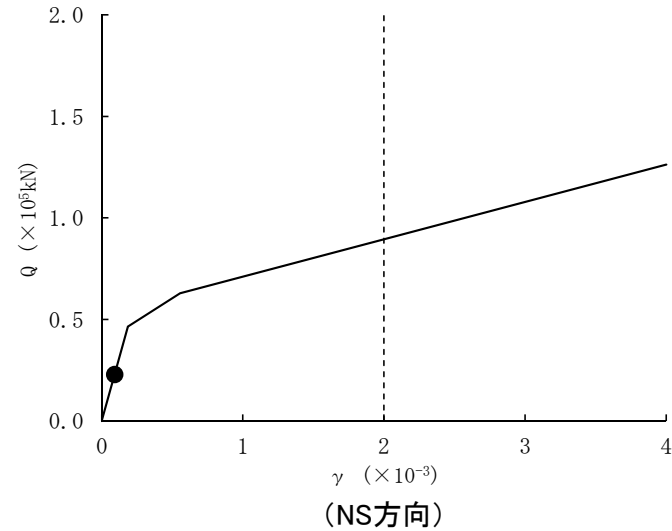
■ [] の耐震評価結果

- 不確かさの重畳を考慮した地震動を入力とした [] の地震応答解析を実施し、耐震壁のせん断ひずみを算出した結果、耐震壁の最大せん断ひずみは 0.107×10^{-3} であり、許容限界(2.0×10^{-3})を超えないことを確認した。



※ 数字は質点番号を示す。
 ※ () 内は要素番号を示す。

地震応答解析モデル(水平方向)



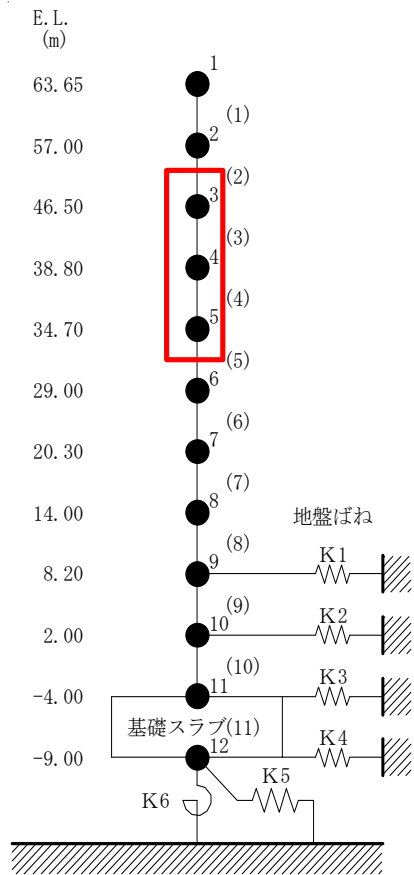
せん断スケルトン曲線上の最大応答値(要素番号(2))

施設影響検討(2/4)

■ 設備の影響検討結果

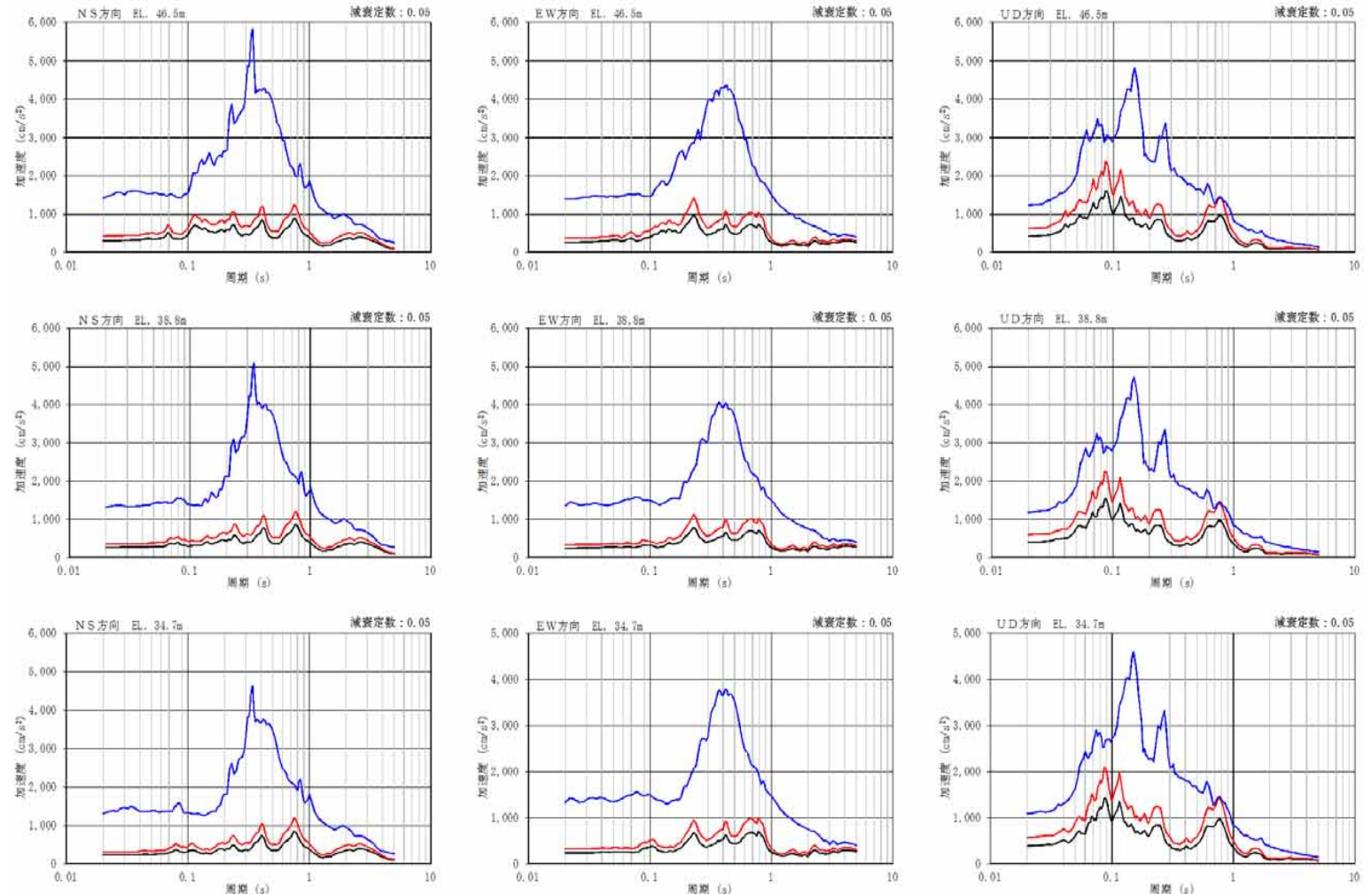
不確かさの重畳を考慮した地震動を入力とした の地震応答解析の応答を用いて作成した床応答スペクトルと、設備設計に適用した基準地震動Ss8波を用いた床応答スペクトルとを比較した。下図に示すとおり設備設計に適用した床応答スペクトルは、不確かさの重畳を考慮した地震動による床応答スペクトルよりも大きいことを確認した。

- 不確かさの重畳を考慮した地震動による床応答スペクトル
- 設備設計用床応答スペクトル(Ss8波包絡)
- Ss-14(断層傾斜角の不確かさ)による床応答スペクトル



: FRS比較箇所

地震応答解析モデル(水平方向)

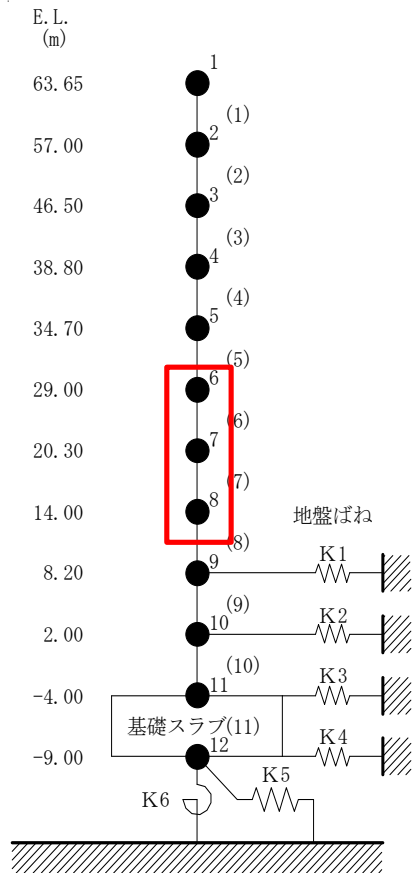


床応答スペクトル比較図

3. 内陸地殻内地震における不確かさを重ねた場合の地震動評価結果及び施設や地盤等への影響評価の結果 施設影響検討(3/4)

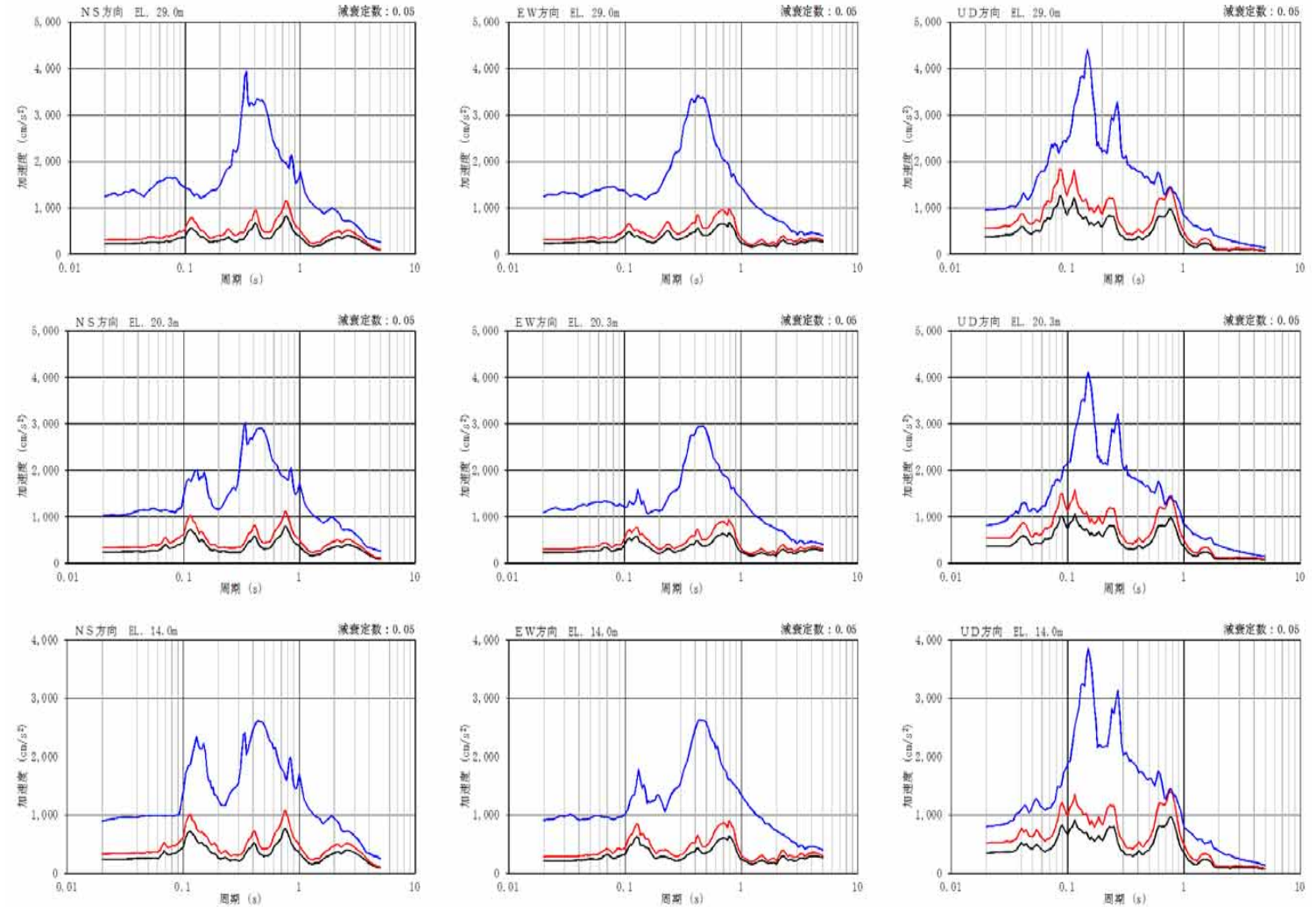


— 不確かさの重畳を考慮した地震動による床応答スペクトル — 設備設計用床応答スペクトル(Ss8波包絡)
— Ss-14(断層傾斜角の不確かさ)による床応答スペクトル



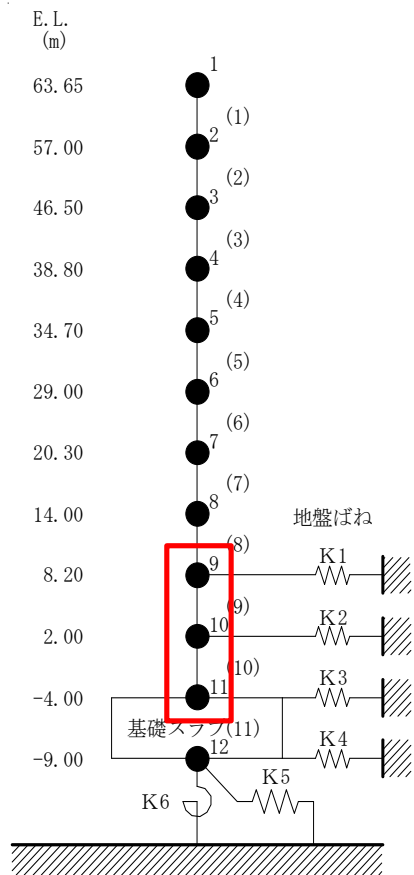
 : FRS比較箇所

地震応答解析モデル(水平方向)

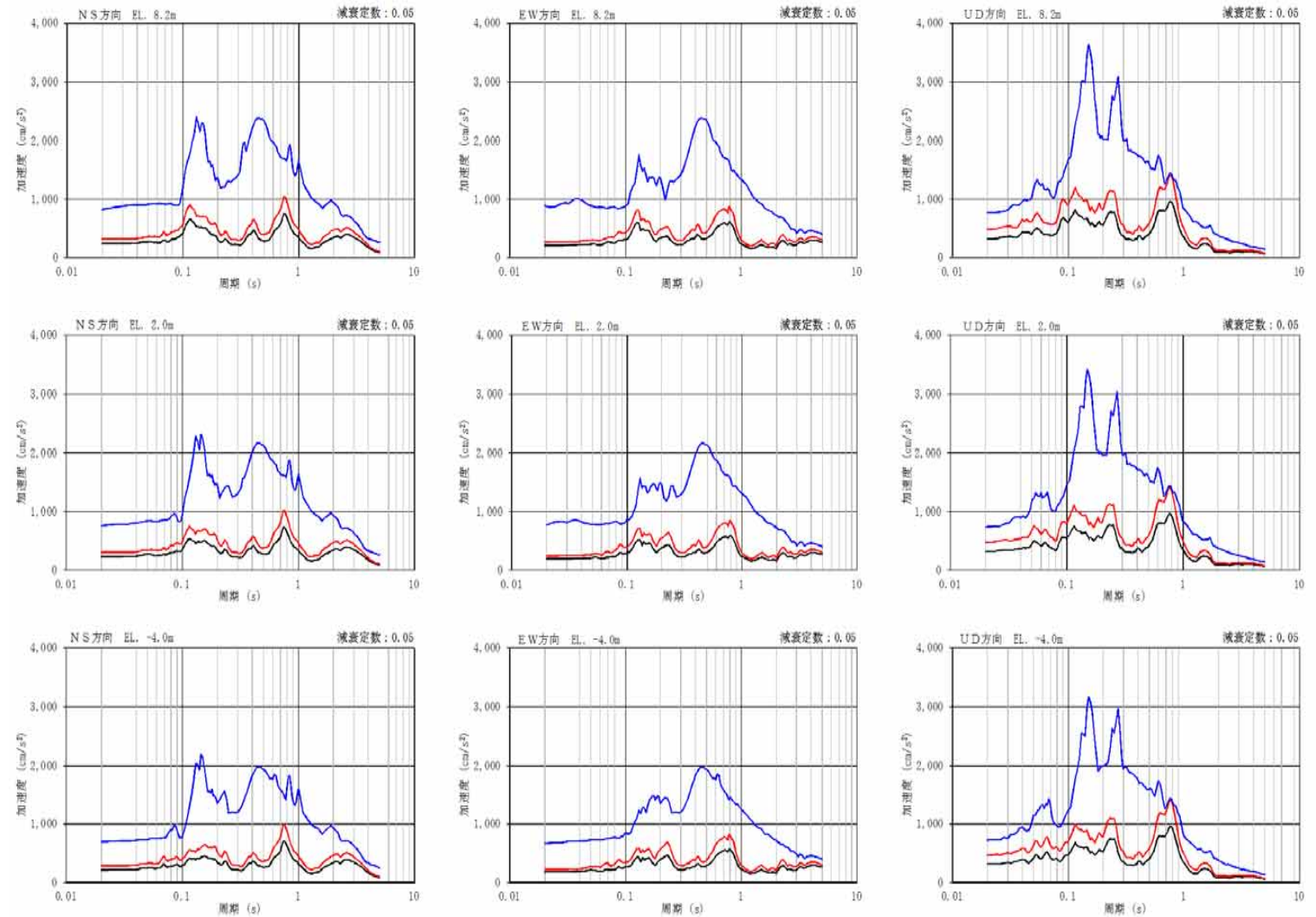


床応答スペクトル比較図

— 不確かさの重畳を考慮した地震動による床応答スペクトル — 設備設計用床応答スペクトル(Ss8波包絡)
— Ss-14(断層傾斜角の不確かさ)による床応答スペクトル



:FRS比較箇所
 地震応答解析モデル(水平方向)



床応答スペクトル比較図

茨城県で備えるべき想定地震

- ・ 茨城県及びその周辺における過去の被害地震や断層の分布状況を踏まえ、県内の各地域の地震被害の分布状況を勘案して茨城県に大きな被害をもたらすおそれのある想定地震を設定した。
- ・ No.1とNo.2の地震は、内閣府による首都直下のM7クラスの地震の中で県南部に影響のある地震として想定した。
- ・ No.3とNo.4の茨城県北部の活断層による地震は、県内では確実に活断層であるとされるものは知られていないが、原子力規制委員会の審査会合資料で設定された地震を、発生すれば県北部に大きな被害をもたらす地震として想定した。
- ・ さらに、太平洋プレート内での地震の発生を考慮して、No.5とNo.6の地震を想定した。
- ・ 以上の6つの想定地震は詳細法により地震動を計算し、被害予測を行った。
- ・ No.7の地震は、茨城県が実施(2012)した津波浸水想定区域調査結果を用いて、主に津波による被害を想定する地震として設定した。地震動は簡易法を用いて被害想定を行った。

想定地震とその概要

No	地震名	地震規模	想定の観点	地震動評価法	参考モデル
1	茨城県南部の地震 (茨城県南部)	Mw7.3	首都直下の M7 クラスの茨城県南部地域に影響のある地震の被害	詳細法	内閣府(2013)
2	茨城・埼玉県境の地震 (茨城・埼玉県境)	Mw7.3			内閣府(2013)
3	F 1 断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層の連動による地震 (F 1 断層)	Mw7.1	県北部の活断層による地震の被害		原子力規制委員会審査会合資料など
4	棚倉破砕帯東縁断層、同西縁断層の連動による地震 (棚倉破砕帯)	Mw7.0			
5	太平洋プレート内の地震(北部) (太平洋プレート(北部))	Mw7.5	プレート内で発生する地震の被害			地震調査委員会長期評価部会での議論
6	太平洋プレート内の地震(南部) (太平洋プレート(南部))	Mw7.5			
7	茨城県沖から房総半島沖にかけての地震 (茨城県沖～房総半島沖)	Mw8.4	津波による被害	簡易法	茨城県(2012)

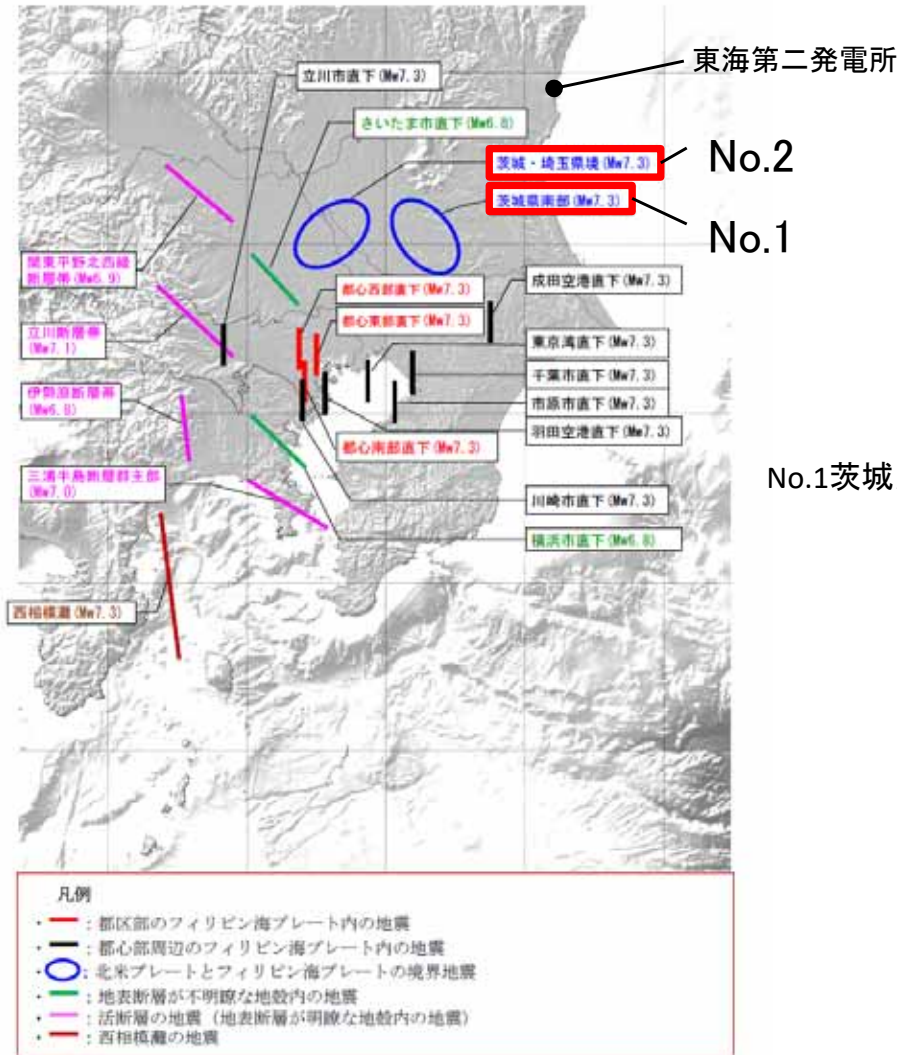
注1：Mw は、モーメントマグニチュード

注2：地震名の下段にあるカッコ内の名称は略称

- ・ 茨城県の想定地震と東海第二発電所の基準地震動策定で考慮した地震を比較し評価を取りまとめた。

No.	茨城県(2018)		当社が基準地震動策定で考慮した地震との関係	評 価
	地震名	地震規模		
1	茨城県南部の地震 (茨城県南部)	Mw 7.3	プレート間地震の検討用地震の選定の過程で考慮している。	基準地震動策定で考慮した地震と同じである。 (論点No.15-4~6頁で詳細を説明)
2	茨城・埼玉県境の地震 (茨城・埼玉県境)	Mw 7.3	プレート間地震の検討用地震の選定の過程で、より敷地に近い地震名No.1を考慮している。	基準地震動策定で考慮した地震で包含される。 (論点No.15-4~6頁で詳細を説明)
3	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震 (F1断層)	Mw 7.1	茨城県の想定と巨視面は同じ設定である。ただし、震源パラメータの設定法やアスペリティ配置は異なっている。	茨城県の想定では、レシピで設定される標準的な位置として断層中央にアスペリティが配置されている。 当社の評価は、原子炉施設への影響が大きい敷地に近い位置にアスペリティを配置しており、さらに安全側の設定としている。 (論点No.15-7~9頁で詳細を説明)
4	棚倉破碎帯東縁断層, 同西縁断層の連動による地震 (棚倉破碎帯)	Mw 7.0	内陸地殻内地震の検討用地震の選定の過程で考慮している。	基準地震動策定で考慮した地震と同じである。 (論点No.15-10,11頁で詳細を説明)
5	太平洋プレート内の地震(北部) (太平洋プレート(北部))	Mw 7.5	海洋プレート内地震の検討用地震の選定の過程で、敷地からの距離が最短となる位置に考慮している。 ただし、地震規模は異なっている。	基準地震動Ssの策定においては、茨城県沖における太平洋プレートの特徴から、想定する規模をMw7.3としている。 しかし、茨城県(2018)を踏まえ、Mw7.5とした場合の地震動評価を行い、基準地震動Ssに影響しないことを確認した。 (論点No.15-12~17頁で詳細を説明)
6	太平洋プレート内の地震(南部) (太平洋プレート(南部))	Mw 7.5		
7	茨城県沖から房総半島沖にかけての地震 (茨城県沖~房総半島沖)	Mw 8.4	プレート間地震の検討用地震として、より規模が大きい2011年東北地方太平洋沖型地震(Mw9.0)をより敷地に近い位置で考慮している。	基準地震動策定で考慮した地震で包含される。 (論点No.15-18頁で詳細を説明)

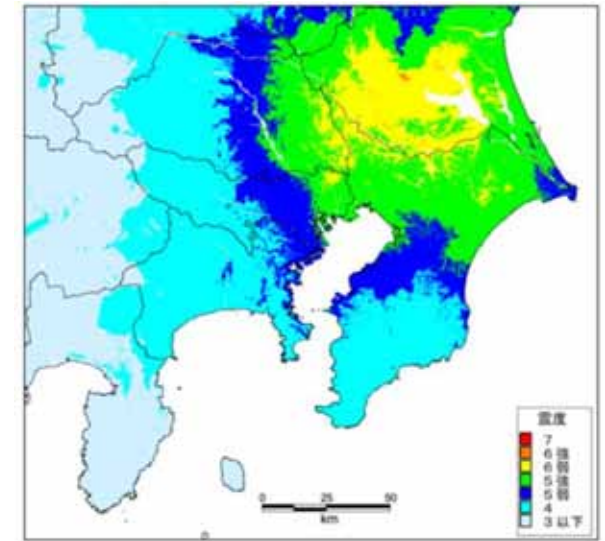
・茨城県(2018)では, 茨城県南部地域で発生するM7クラスの地震(プレート境界)として, 内閣府(2013)に基づき茨城県南部の地震及び茨城・埼玉県境の地震が想定されている。



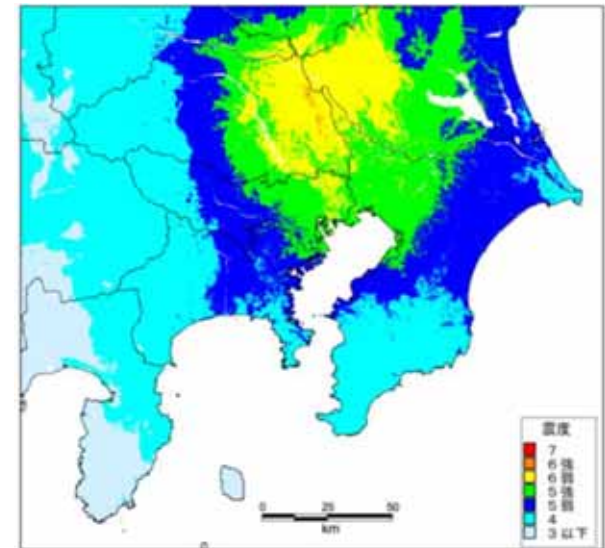
内閣府(2013)による北米プレートとフィリピン海プレートとの境界の地震



No.1茨城県南部の地震の断層モデル(左図)及び内閣府(2013)による震度分布図(右図)
(□: 強震動生成域, ★: 破壊開始点)



No.2茨城・埼玉県境の地震の断層モデル(左図)及び内閣府(2013)による震度分布図(右図)
(□: 強震動生成域, ★: 破壊開始点)



- ・ 当社のプレート間地震の評価では, 内閣府(2013)に基づき茨城県南部の地震を考慮している。

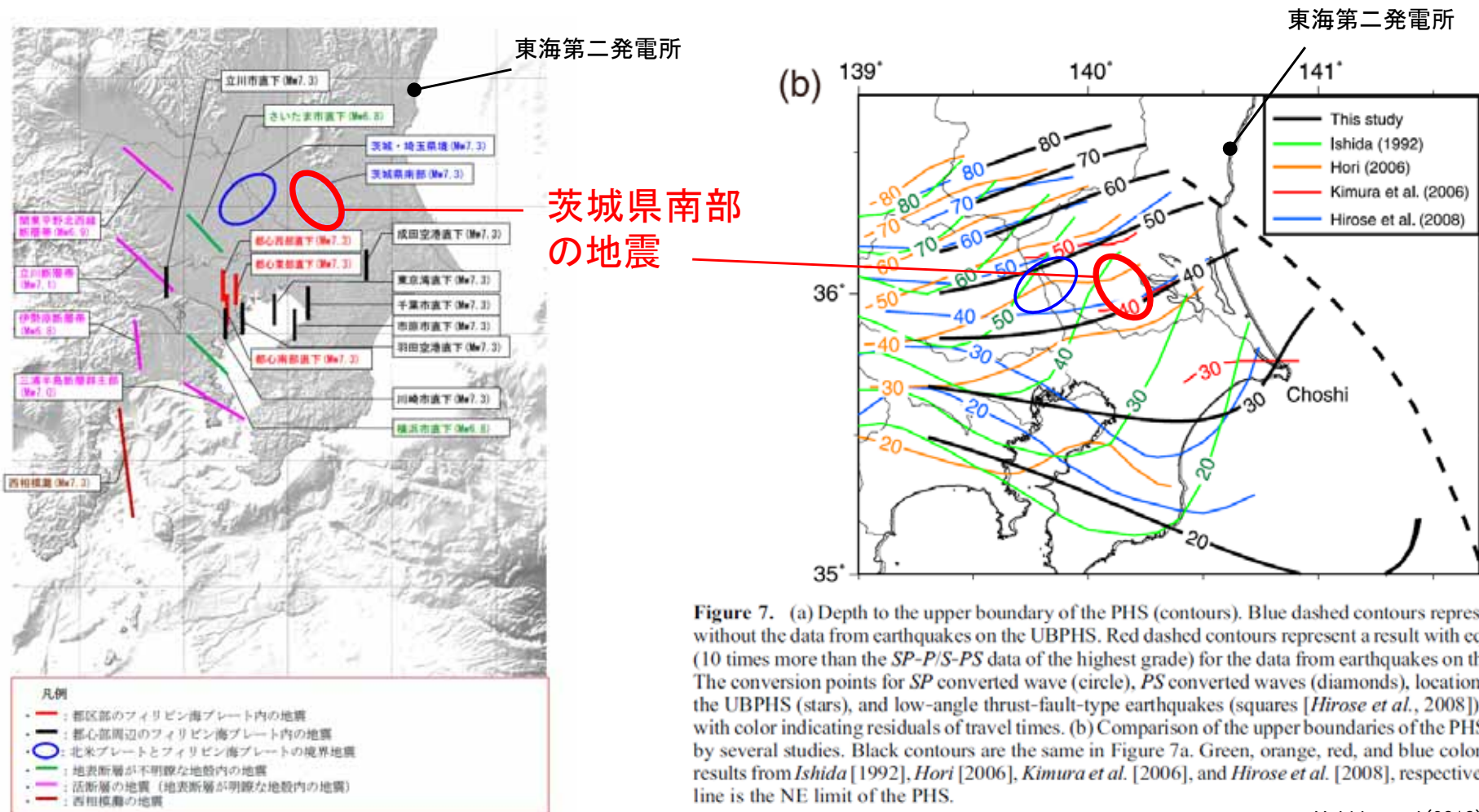


Figure 7. (a) Depth to the upper boundary of the PHS (contours). Blue dashed contours represent a result without the data from earthquakes on the UBPHS. Red dashed contours represent a result with equal weight (10 times more than the *SP-P/S-PS* data of the highest grade) for the data from earthquakes on the UBPHS. The conversion points for *SP* converted wave (circle), *PS* converted waves (diamonds), locations of REs at the UBPHS (stars), and low-angle thrust-fault-type earthquakes (squares [Hirose et al., 2008]) are shown with color indicating residuals of travel times. (b) Comparison of the upper boundaries of the PHS estimated by several studies. Black contours are the same in Figure 7a. Green, orange, red, and blue colors show the results from Ishida [1992], Hori [2006], Kimura et al. [2006], and Hirose et al. [2008], respectively. Dashed line is the NE limit of the PHS.

Uchida et al.(2010)に一部加筆

内閣府(2013)による北米プレートとフィリピン海プレートとの境界の地震

内閣府(2013)に一部加筆

フィリピン海プレート上面の深さ分布

内閣府(2013)では, フィリピン海プレートと北米プレートとの境界の地震として茨城県南部の地震及び茨城・埼玉県境の地震がいずれもM7.3の規模で想定されている。フィリピン海プレートの形状を考慮すると, 当該地震の敷地からの距離は茨城県南部の地震の方が近くなることから茨城県南部の地震を評価対象に選定する。

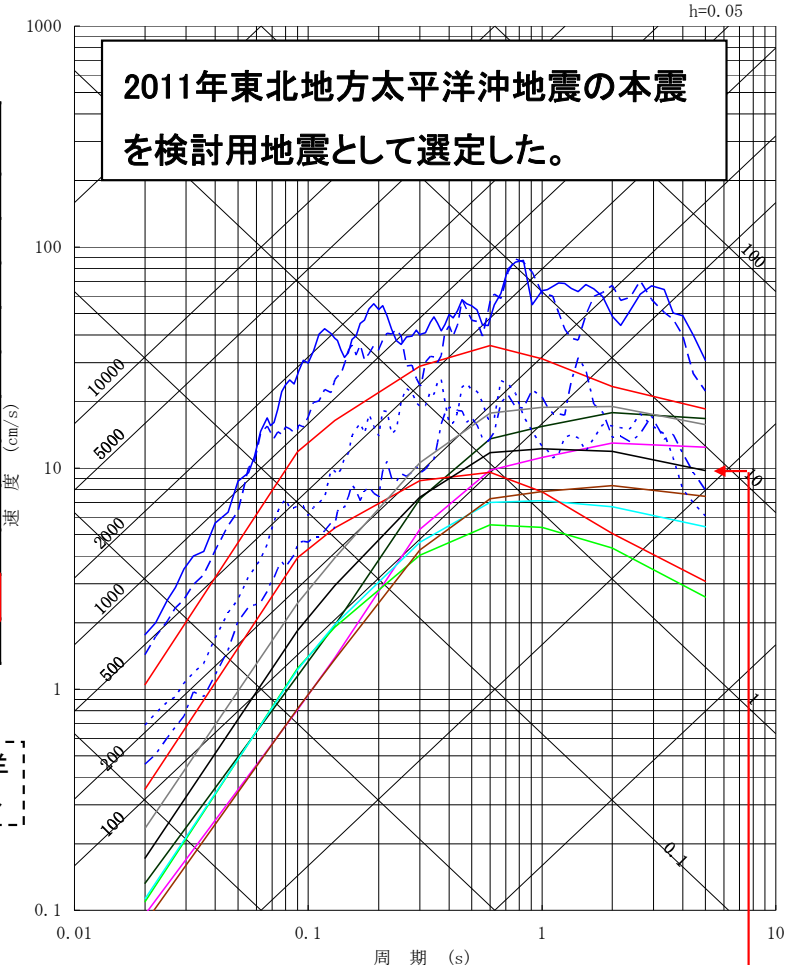
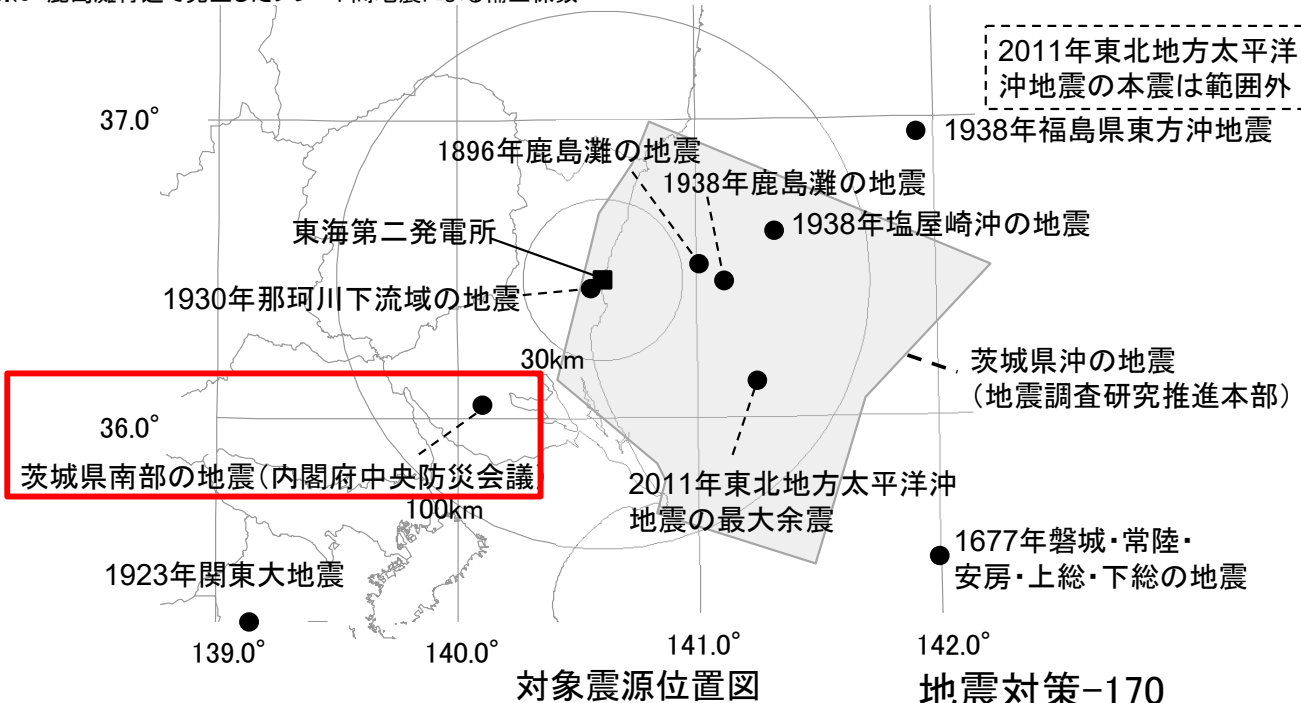
4. 茨城県地震被害想定の見直し(2018年12月)を踏まえた評価
地震名No.1, 2 当社のプレート間地震の評価



・No.1 茨城県南部の地震は基準地震動策定で考慮した地震と同じである。
 当社のプレート間地震の地震動評価で考慮した震源

年月日	地名(地震名)	地震規模 M	等価震源距離 (km) ^{※2}	補正係数 ^{※3}
1677.11.4	1677年磐城・常陸・安房・上総・下総の地震	8.0	169	
1896.1.9	1896年鹿島灘の地震	7.3	60	考慮
1923.9.1	1923年関東大地震	7.9	187	
1930.6.1	1930年那珂川下流域の地震	6.5	55	
1938.5.23	1938年塩屋崎沖の地震	7.0	75	
1938.9.22	1938年鹿島灘の地震	6.5	63	考慮
1938.11.5	1938年福島県東方沖地震	7.5	136	
2011.3.11	2011年東北地方太平洋沖地震の本震 ^{※1}	Mw9.0	—	
2011.3.11	2011年東北地方太平洋沖地震の最大余震 ^{※1}	7.6	—	
—	茨城県南部の地震(内閣府中央防災会議)	7.3	77	
—	茨城県沖の地震(地震調査研究推進本部)	7.6	84	

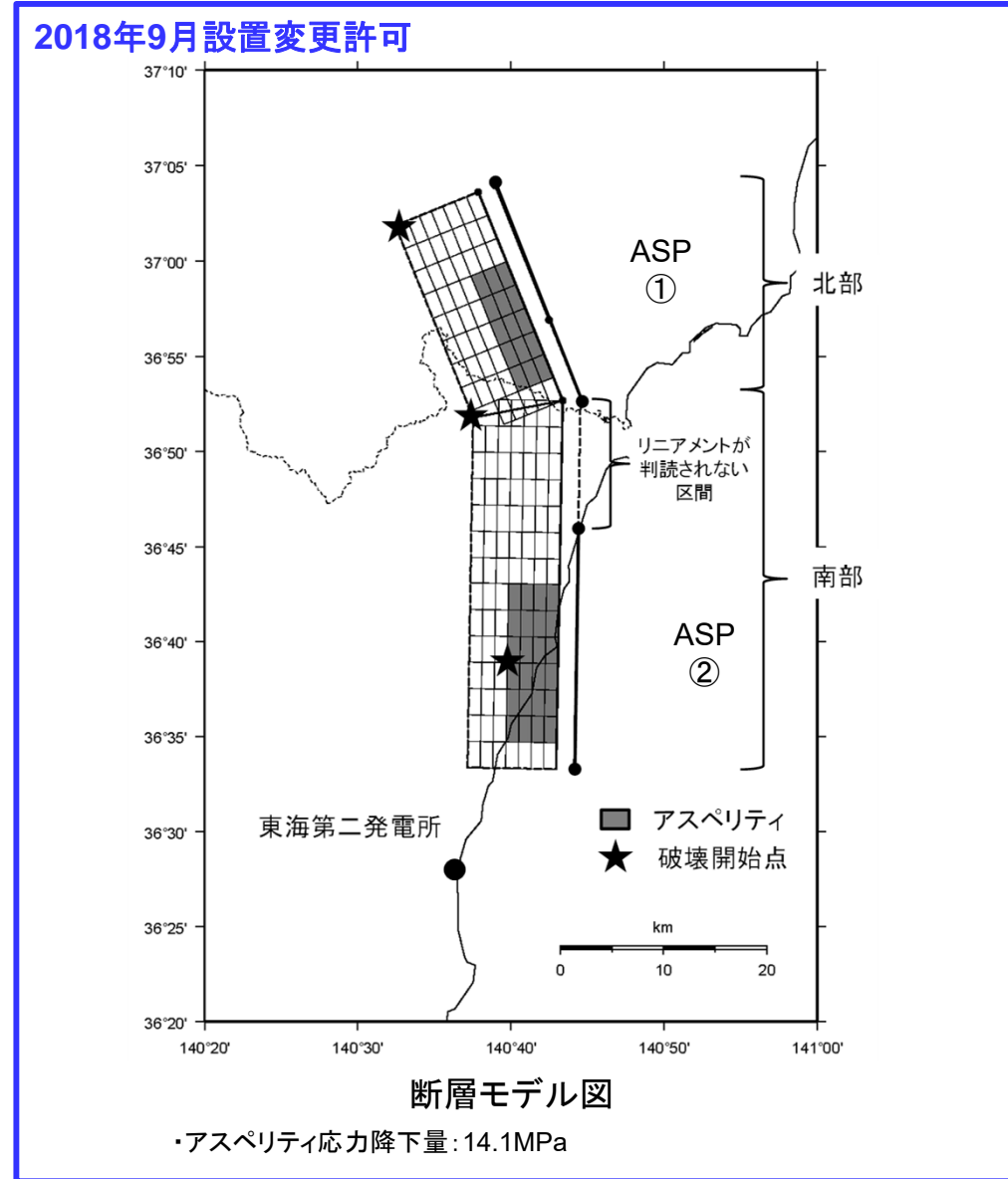
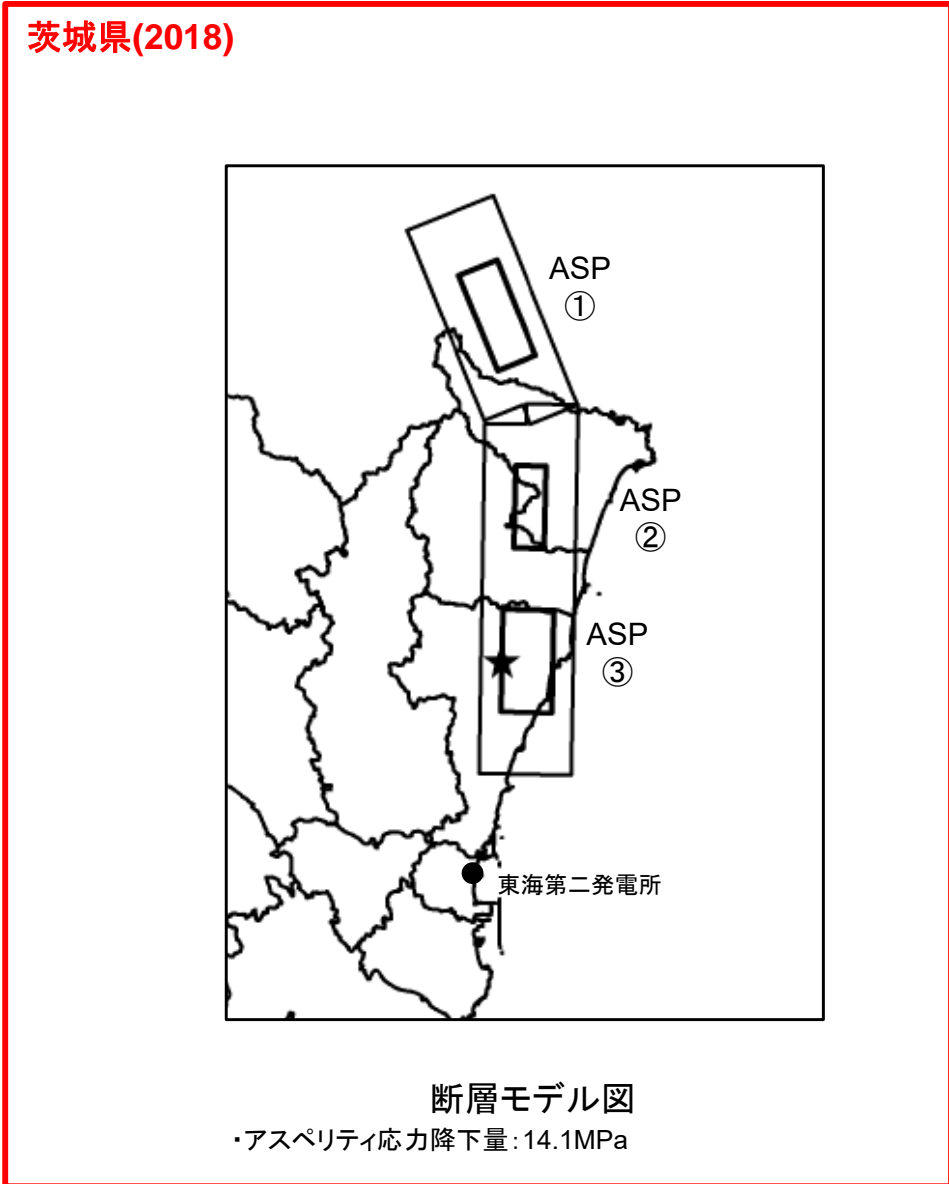
※1 解放基盤波を用いる。 ※2 地震カタログによる位置情報やプレート境界等深線等に基づいて算出
 ※3 鹿島灘付近で発生したプレート間地震による補正係数

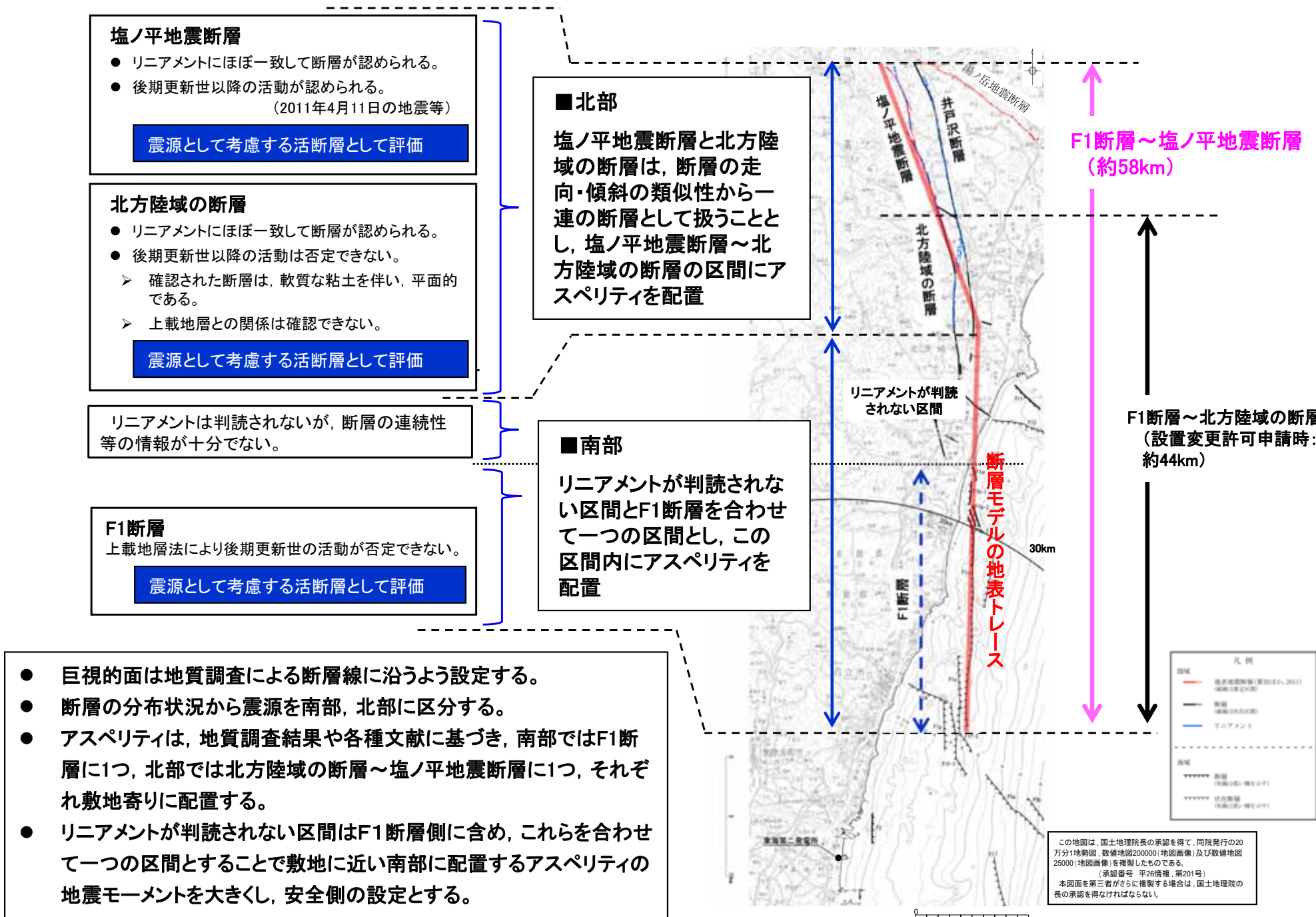


- 1677年磐城・常陸・安房・上総・下総の地震, M8.0, Xeq=169km
- 1896年鹿島灘の地震, M7.3, Xeq=60km
- 1923年関東大地震, M7.9, Xeq=187km
- 1930年那珂川下流域の地震, M6.5, Xeq=55km
- 1938年塩屋崎沖の地震, M7.0, Xeq=75km
- 1938年鹿島灘の地震, M6.5, Xeq=63km
- 1938年福島県東方沖地震, M7.5, Xeq=136km
- 2011年東北地方太平洋沖地震の本震の解放基盤波 NS
- 2011年東北地方太平洋沖地震の本震の解放基盤波 EW
- 2011年東北地方太平洋沖地震の最大余震の解放基盤波 NS
- 2011年東北地方太平洋沖地震の最大余震の解放基盤波 EW
- 茨城県南部の地震(中央防災会議), M7.3, Xeq=77km
- 茨城県沖の地震(地震調査研究推進本部), M7.6, Xeq=84km

プレート間地震の地震動の応答スペクトル
 (Noda et al.(2002)の手法に補正係数を考慮)

- ・ 茨城県(2018)では, レシピで設定される標準的な位置として断層中央にアスペリティが配置されている。
- ・ 当社の評価は, 原子炉施設への影響が大きい敷地に近い位置にアスペリティを配置しており, さらに安全側の設定としている。





地震名No.3 基本震源モデルの設定

■地質調査結果や2011年福島県浜通りの地震から得られる知見を参考に基本震源モデルを設定する。

【断層形状, 断層タイプ】

- 断層長さについては、2018年9月の設置変更許可に基づき、F1断層から塩ノ平地震断層までの同時活動を考慮した約58kmとする。
- 地震動評価におけるセグメント区分については、断層の分布状況から震源を南部と北部に区分する。その際、リニアメントが判読されない区間はF1断層側に含め、これらを合わせて一つの区間とすることで敷地に近い南部区間の地震モーメントを大きくし、安全側の設定とする。
- 地震のタイプについては、2011年福島県浜通りの地震が正断層であることや福島県から茨城県にかけての領域は正断層応力場とする知見(例えば青柳・上田(2012))、さらにF1断層における音波探査結果から正断層センスのずれが認められることを踏まえ正断層とする。
- 断層傾斜角については、F1断層における音波探査結果や2011年福島県浜通りの地震の震源インバージョンモデルでの傾斜角(57~73度)を参考に西傾斜60度とする。
- 断層幅については、断層上端深さを3km、下端深さを18kmとして断層傾斜角60度を考慮した17.3kmとする。

【アスペリティ位置】

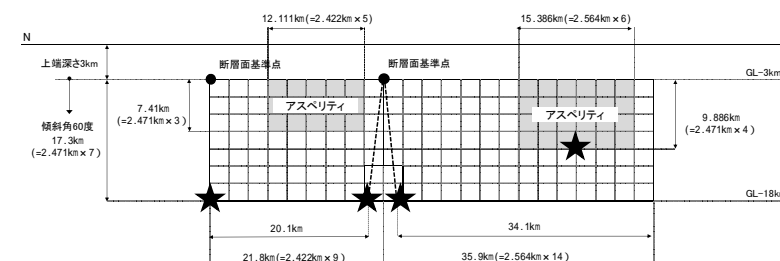
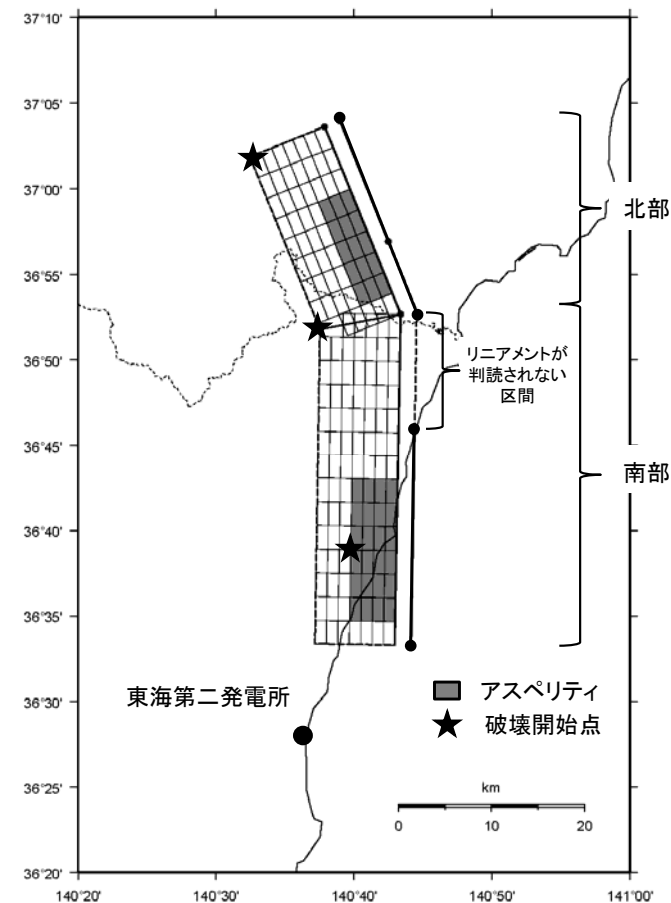
- アスペリティの位置については、地質調査結果に基づき、南部区間のうち調査でわかっているF1断層に1つ、北部では北方陸域の断層~塩ノ平地震断層に1つ、それぞれ敷地に近くなるように配置する。
- 断層長さ方向の配置については、Manighetti et al.(2005)等の知見を踏まえるとアスペリティのように大きなすべりが生じる領域とすべりが無い領域が隣接することは考えにくいことから、断層端部との間に1マス分背景領域を設定する。断層幅方向の配置については、すべりに追従する表層(地表から断層上端までの強震動を出さない層)が存在するので安全側に断層上端にアスペリティを配置する。
- なお、リニアメントが判読されない区間をF1断層側に含め、これらを合わせて一つの区間とすることで、敷地に近い南部に配置するアスペリティの地震モーメントを大きくし、安全側の設定とする。

【破壊開始点位置】

破壊開始点については、強震動予測レシピ、糸井ほか(2009)、平田・佐藤(2007)を踏まえ、アスペリティ下端や断層下端のうち敷地への影響の大きい位置に複数設定する。

【破壊伝播速度Vr】

破壊伝播速度については、強震動予測レシピで用いられているGeller(1976)より、 $V_r=0.72V_s$ とする。



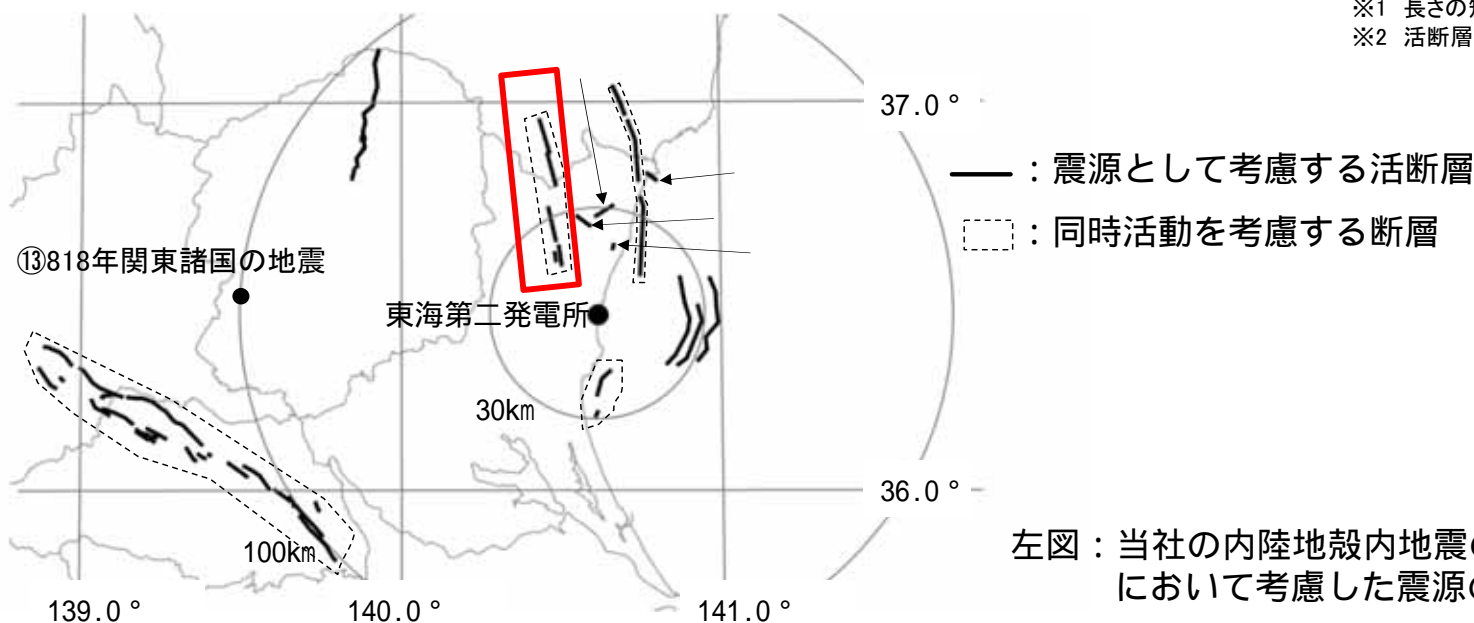
基本震源モデル

当社の内陸地殻内の地震動評価で考慮した震源

- 当社の内陸地殻内地震による地震動評価で考慮した震源の一つに、棚倉破砕帯西縁断層～同東縁付近の推定活断層がある。
- 茨城県(2018)では、当社の評価による上記断層を、No.4棚倉破砕帯東縁断層、同西縁断層の連動による地震として想定している。

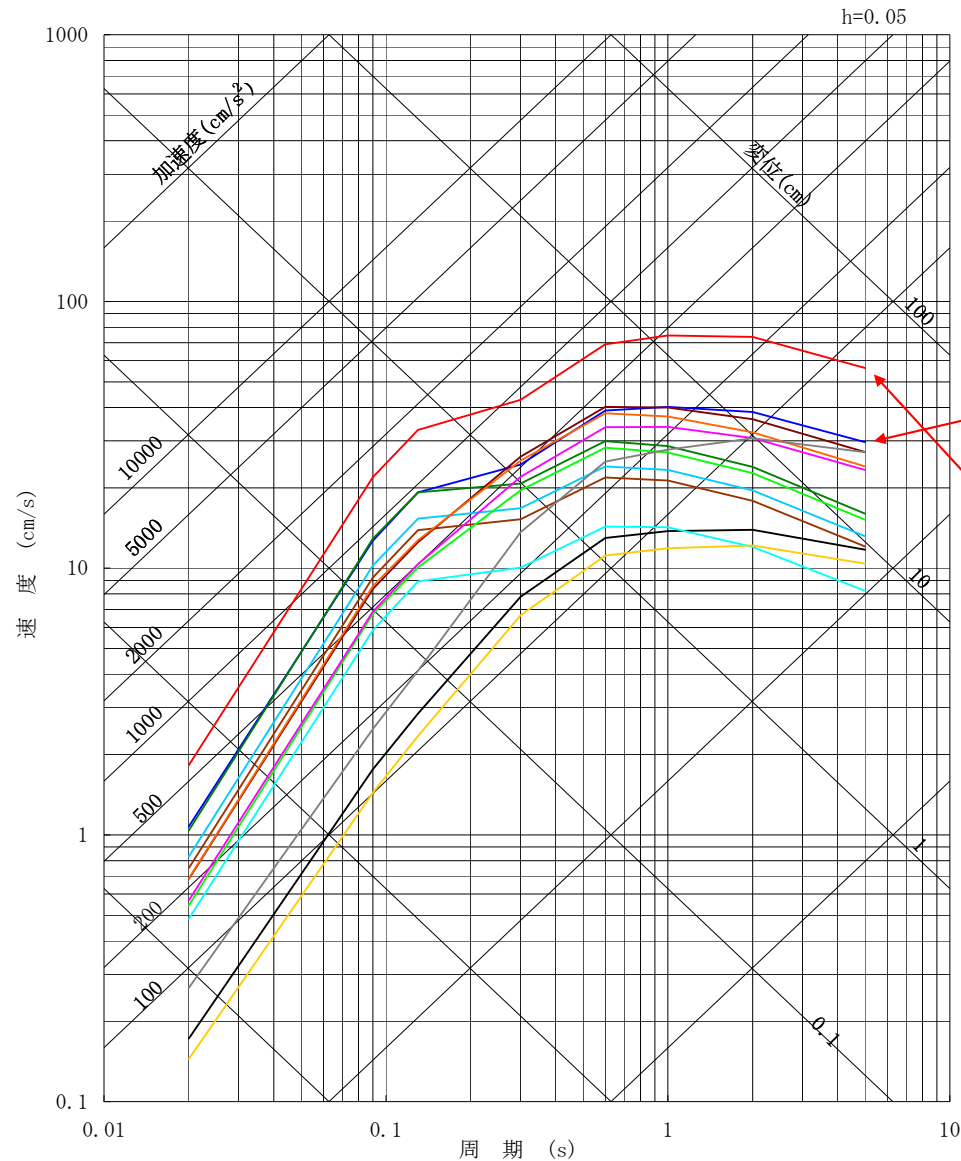
地震名		長さ (km)	地震規模 M	断層上端深さ (km)	等価震源距離 (km) ^{※2}	補正係数
活断層による地震	① 棚倉破砕帯西縁断層～同東縁付近の推定活断層	42	7.5	3	37	考慮
	② 関口～米平リニアメント	6	6.8 ^{※1}	3	27	考慮
	③ 豎破山リニアメント	4	6.8 ^{※1}	3	25	考慮
	④ 宮田町リニアメント	1	6.8 ^{※1}	3	21	考慮
	⑤ F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層	58	7.8	3	31	考慮
	⑥ F3断層～F4断層	16	6.8	5	22	
	⑦ F8断層	26	7.2	5	26	
	⑧ F16断層	26	7.2	5	30	
	⑨ A-1背斜	20	7.0	5	22	
	⑩ 関谷断層	40	7.5	5	92	
	⑪ 深谷断層帯・綾瀬川断層	103	8.2	5	128	
	⑫ F11断層	5	6.8 ^{※1}	3	38	考慮
被害地震	⑬ 818年関東諸国の地震	—	7.5	—	102	

※1 長さの短い断層については、地震規模をM6.8として評価
 ※2 活断層による地震の断層傾斜角は60度として評価



左図：当社の内陸地殻内地震の地震動評価において考慮した震源の分布

4. 茨城県地震被害想定の見直し(2018年12月)を踏まえた評価
 地震名No.4 当社の内陸地殻内地震の評価(2/2)



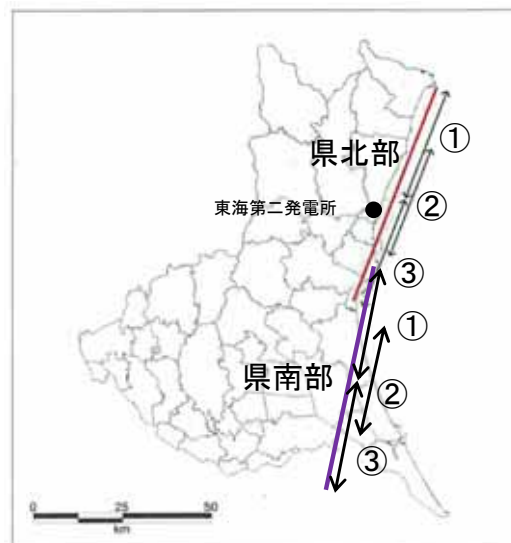
東海第二発電所に最も大きな影響を与える断層は、F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震である。

- ① 棚倉破砕帯西縁断層～同東縁付近の推定活断層, M7.5, Xeq=37km
- ② 関口-米平リニアメント, M6.8, Xeq=27km
- ③ 堅破山リニアメント, M6.8, Xeq=25km
- ④ 宮田町リニアメント, M6.8, Xeq=21km
- ⑤ F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層, M7.8, Xeq=31km
- ⑥ F3断層～F4断層, M6.8, Xeq=22km
- ⑦ F8断層, M7.2, Xeq=26km
- ⑧ F16断層, M7.2, Xeq=30km
- ⑨ A-1背斜, M7.0, Xeq=22km
- ⑩ 関谷断層, M7.5, Xeq=92km
- ⑪ 深谷断層帯・綾瀬川断層, M8.2, Xeq=128km
- ⑫ F11断層, M6.8, Xeq=38km
- ⑬ 818年関東諸国の地震, M7.5, Xeq=102km

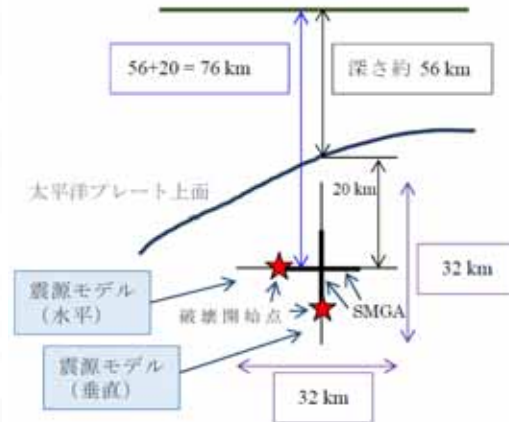
内陸地殻内地震の地震動の応答スペクトル
 (Noda et al.(2002)の手法に補正係数を考慮)

茨城県(2018)

- ・茨城県沿岸付近に太平洋プレート内の地震(Mw7.5)が想定されている。
- ・茨城県北部沿岸の太平洋プレートの潜り込み深さを勘案して県北部の震源モデルが設定されている。さらに、県北部の震源モデルを南部に延長し、霞ヶ浦付近に太平洋プレート内に震源が位置するように県南部の震源モデルが設定されている



断層位置の考え方

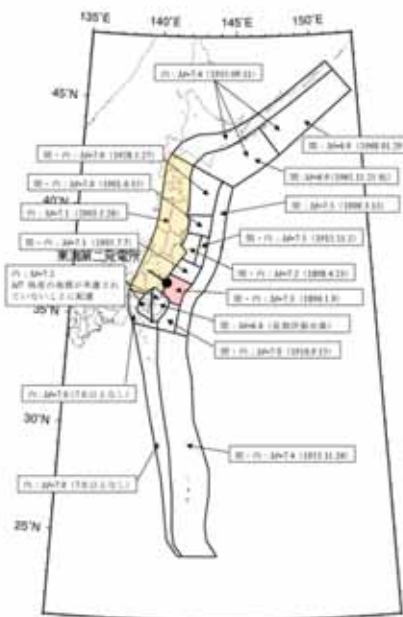


傾斜と深さの考え方

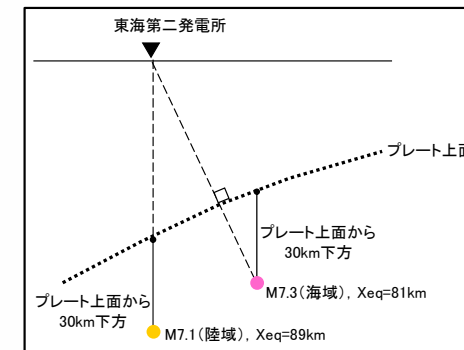
- ・断層位置: 県北部, 県南部それぞれ, ①~③のケース
- ・深さ: プレート上面より20km下方に震源断層の中心を設定
- ・傾斜: 鉛直および水平の2ケース
- ・アスペリティ: 中央に1つ
- ・断層パラメータ: レシピに準拠

当社 2018年

- ・茨城県沖における太平洋プレートの特徴から、規模が大きいプレート内地震の発生は起こりにくい。
- ・敷地最短位置にMw7.3を想定。

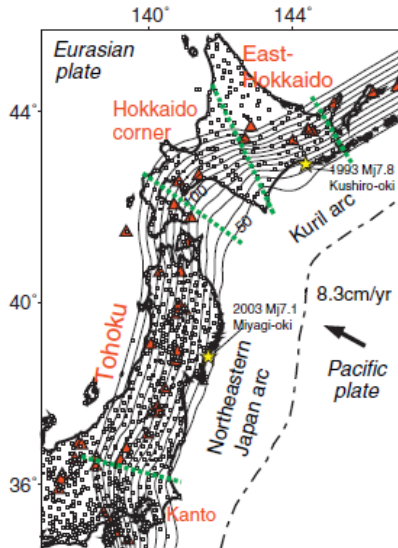


地震調査研究推進本部(2009)による震源断層を予め特定しにくい地震の領域(一部加筆)



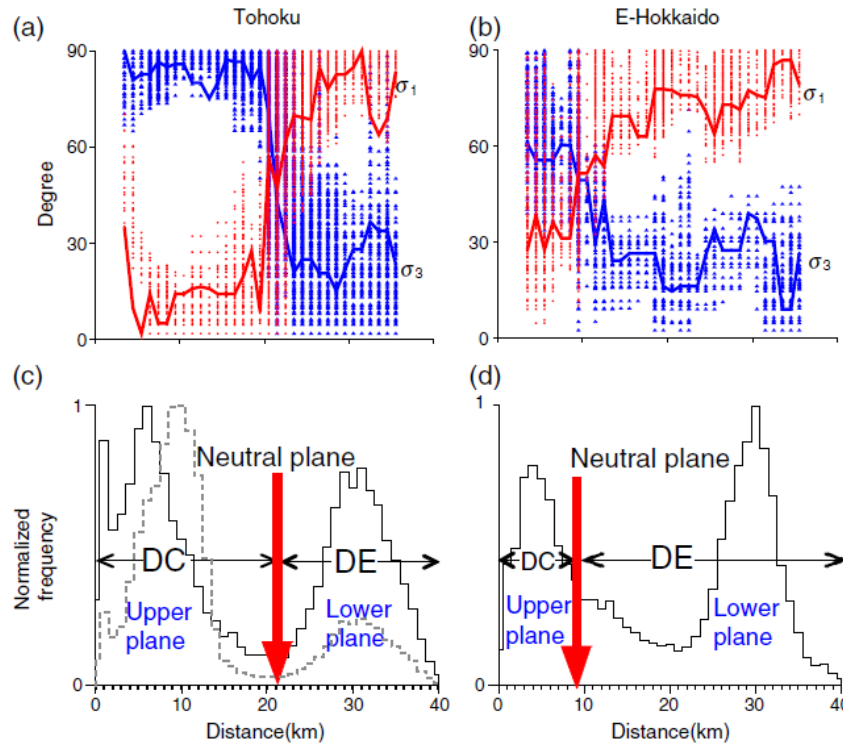
震源断層を予め特定しにくい地震の設定位置(模式図)

- 北海道から東北地方に至る領域の太平洋プレート内で発生した地震の分析から、北海道東方と東北地方とは中立面位置が異なること、余震は中立面内に留まっていることが示されている。また、このことは規模の大きな地震が発生しても断層面は中立面を超えないことを示唆しているとされている。なお、中立面位置は、北海道東方、東北地方それぞれの領域内においては大きな差は生じていないとされている。



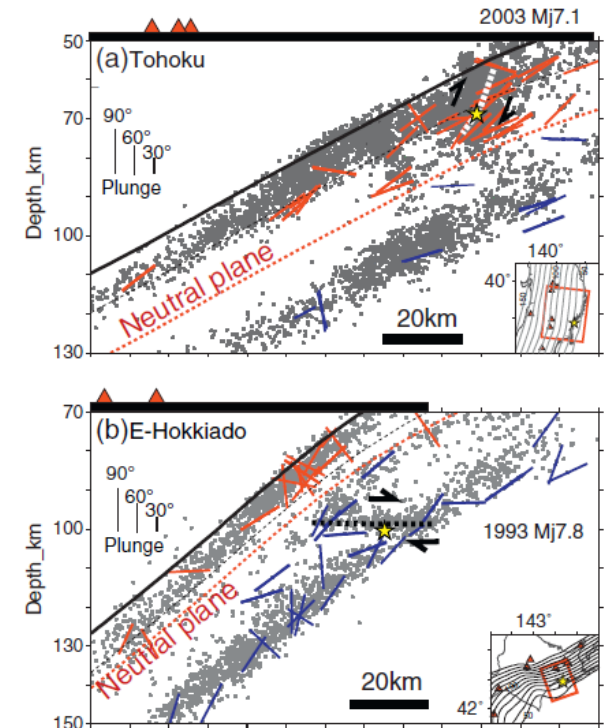
検討対象領域

Kita et al.(2010)より抜粋



上図: 主応力軸 (赤: 最大圧縮軸, 青: 最少圧縮軸) と海洋プレートとの傾斜角

下図: 海洋プレート内地震の発生頻度分布と中立面



上図: 2003年宮城沖地震M7.1の本震, 余震位置

下図: 1993年釧路沖地震M7.5の本震, 余震位置

Saeko Kita, Tomomi Okada, Akira Hasegawa, Junichi Nakajima, Toru Matsuzawa (2010): Existence of interplane earthquakes and neutral stress boundary between the upper and lower planes of the double seismic zone beneath Tohoku and Hokkaido, northeastern Japan, Tectonophysics 496 (2010) 68-82

地震名No.5, 6 震源モデル

■ 震源モデルのパラメータは第5回ワーキングチームで説明したものを、敷地からの距離が最短となる位置に想定する。断層傾斜角やプレート境界からの深さについては茨城県想定による設定値を参考に設定する。

【主要パラメータ】(第5回ワーキングチームと同じ)

- 地震規模はTakeo et al.(1993)による1993年釧路沖地震の地震モーメントより与える。

$$M_0 = 3.30 \times 10^{20} (\text{N} \cdot \text{m})$$

- 強震動予測レシピ(笹谷ほか(2006)のスケーリング則)に基づき算出する。

【断層面の位置・形状】

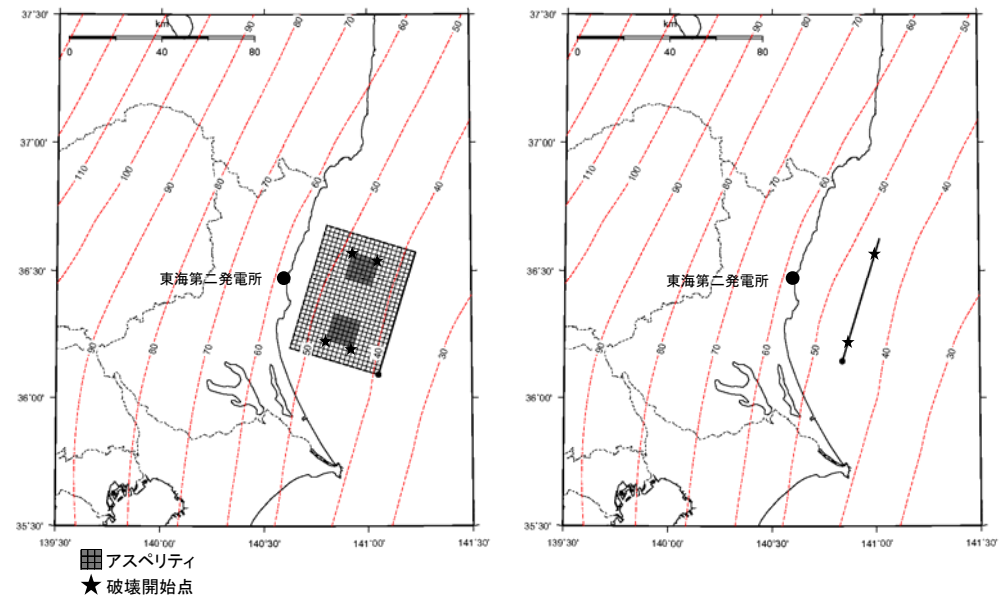
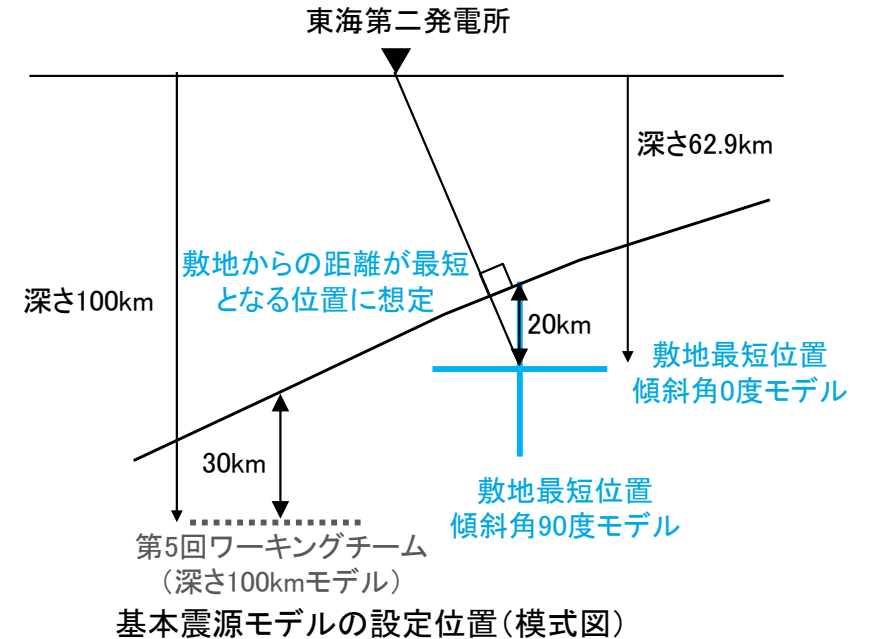
- 断層傾斜角は茨城県想定に基づき0度及び90度とする。
- 断層面は敷地からの距離が最短となる位置に設定し、プレート境界からの深さは、茨城県想定を参考に20kmとする。

・アスペリティ位置

断層面の中央に2箇所設定する。

・ずれの種類

逆断層と設定する。



敷地最短位置
傾斜角0度モデル

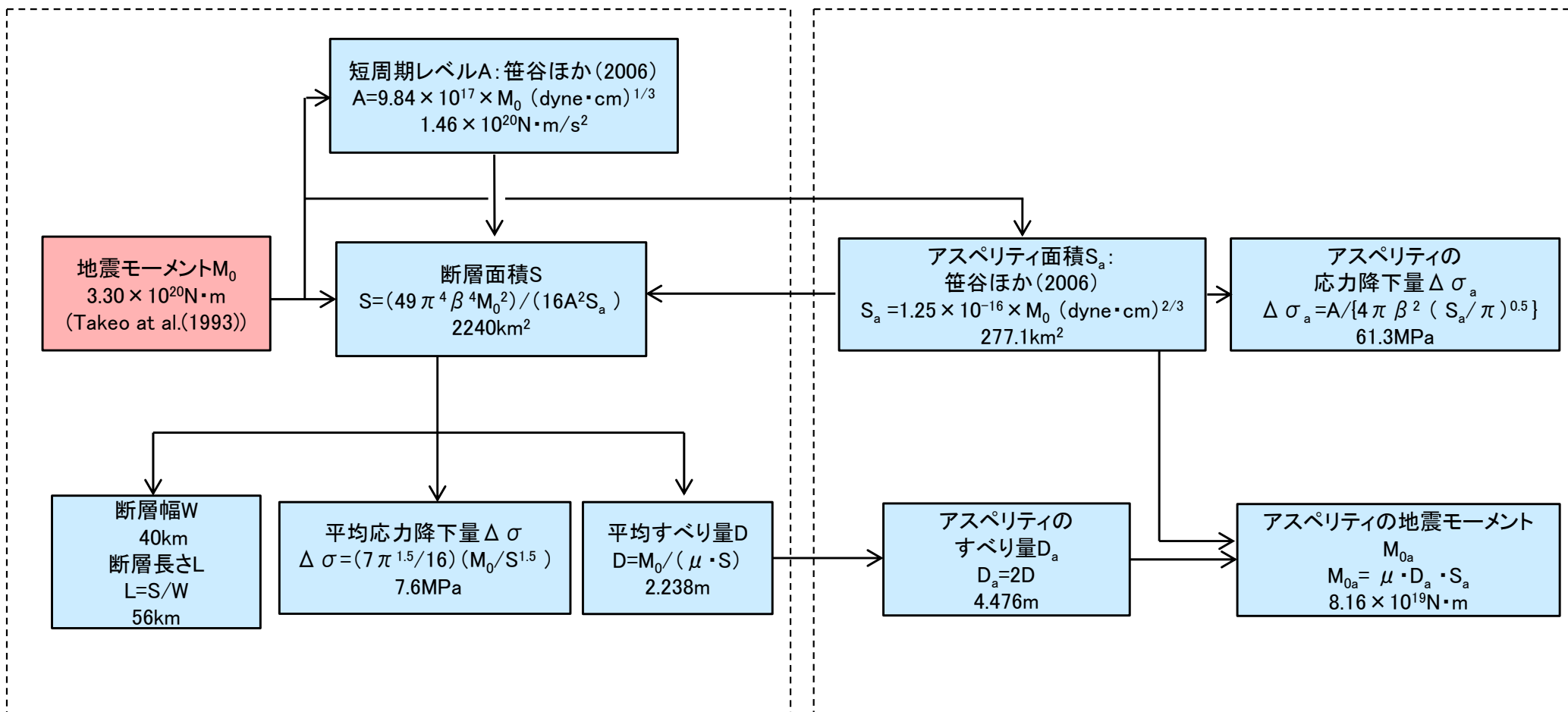
敷地最短位置
傾斜角90度モデル

地震名No.5, 6 震源モデル

■ 震源モデルのパラメータについて、強震動予測レシピ(2016)(笹谷ほか(2006))に基づき設定する。地震モーメントについては1993年釧路沖地震に関する知見(Takeo et al.(1993))に基づき設定する。断層パラメータの設定フローを下記に示す。

巨視的パラメータ

微視的パラメータ(アスペリティ)



1993年釧路沖地震に基づき、与条件とした項目

与条件から強震動予測レシピ(笹谷ほか(2006))に基づき設定

地震名No.5, 6 断層パラメータ

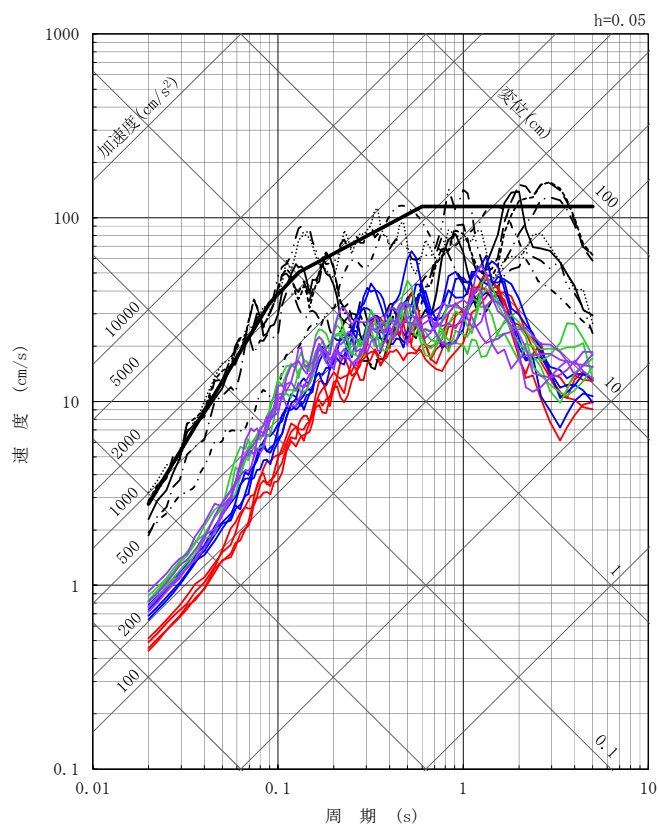


項目		設定値	設定方法
断層上端深さ	h(km)	0度:62.9 90度:42.9	断層面は敷地からの距離が最短となる位置に設定し、プレート境界からの深さは、茨城県想定を参考に20kmとする
気象庁マグニチュード*	M _j	7.5	1993年釧路沖地震
モーメントマグニチュード*	M _w	7.6	logM ₀ =1.5M _w +9.1
地震モーメント	M ₀ (N・m)	3.30E+20	Takeo et al.(1993)
走向	θ(度)	17	プレート境界等深線より設定
傾斜角	δ(度)	0, 90	茨城県想定
ずれの種類	—	逆断層	—
すべり角	λ(度)	90	—
平均応力降下量	Δσ(MPa)	7.6	Δσ=(7π ^{1.5} /16)(M ₀ /S ^{1.5})
断層面積	S(km ²)	2240	S=(49π ⁴ β ⁴ M ₀ ²)/(16A ² S _a)
断層長さ	L(km)	56	L=S/W
断層幅	W(km)	40	1993年釧路沖地震(Morikawa and Sasatani(2004))
密度	ρ(g/cm ³)	3.25	地震調査研究推進本部(2004)
せん断波速度	β(km/s)	4.5	地震調査研究推進本部(2004)
剛性率	μ(N/m ²)	6.58E+10	μ=ρβ ²
平均すべり量	D(m)	2.238	D=M ₀ /(μS)
破壊伝播速度	V _r (km/s)	3.2	V _r =0.72V _s (Geller,1976)
短周期レベル	A(N・m/s ²)	1.46E+20	A=9.84×10 ¹⁷ ×M ₀ ^{1/3} [dyne・cm] (笹谷ほか(2006)のM ₀ -A関係)
高周波遮断係数	f _{max} (Hz)	13.5	地震調査研究推進本部の海溝型地震

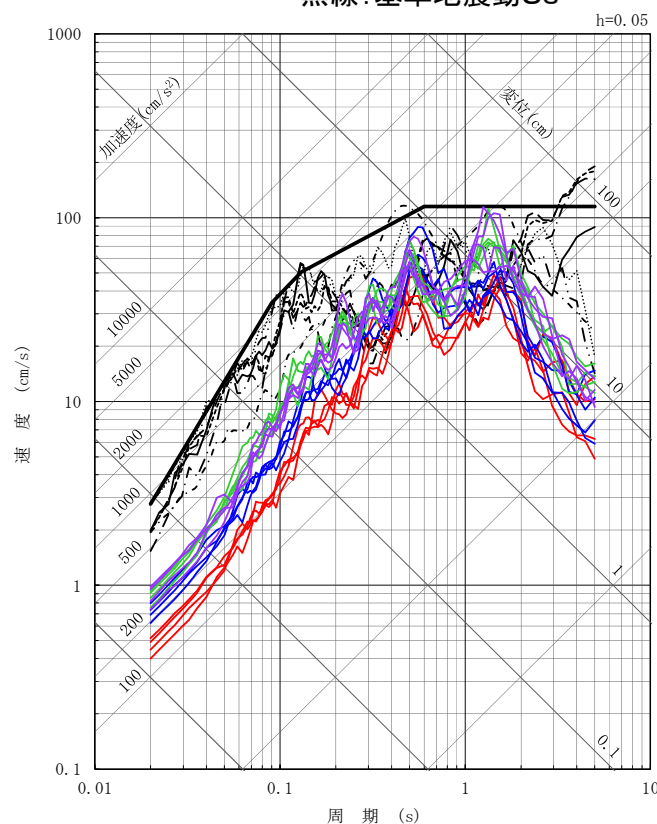
項目		設定値	設定方法
アスペリティ全体	面積	S _a (km ²)	277.1
	すべり量	D _a (m)	4.476
	地震モーメント	M _{0a} (N・m)	8.16E+19
	応力降下量	Δσ _a (MPa)	61.3
各アスペリティ	面積	S _{a1} (km ²)	138.5
	すべり量	D _{a1} (m)	4.476
	地震モーメント	M _{0a1} (N・m)	4.08E+19
	応力降下量	Δσ _{a1} (MPa)	61.3
背景領域	面積	S _b (km ²)	1963.2
	すべり量	D _b (m)	1.922
	地震モーメント	M _{0b} (N・m)	2.48E+20
	実効応力	Δσ _b (MPa)	7.9
Q値	Q	110f ^{0.69}	佐藤他(1994)

統計的グリーン関数法による地震動評価結果

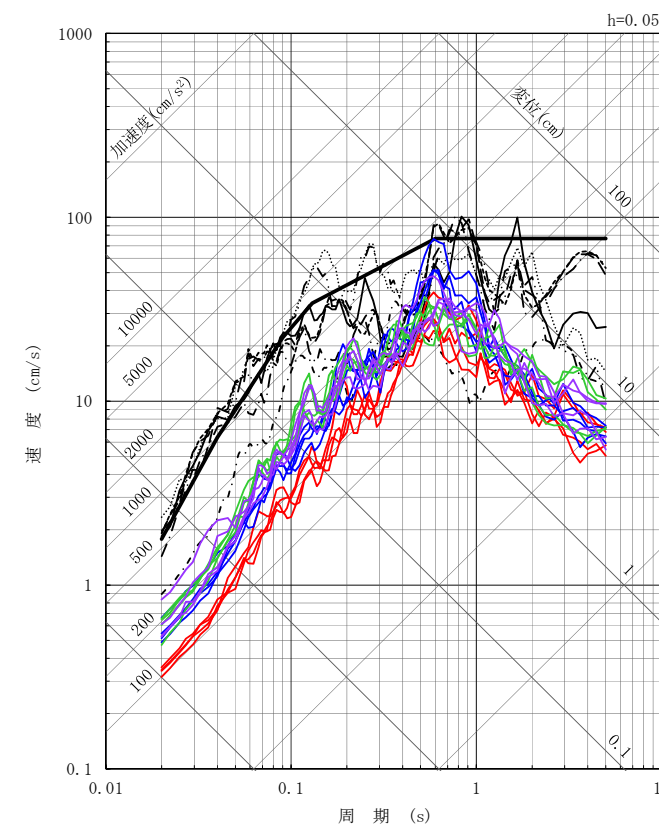
- 深さ100kmモデル(破壊開始点1~4)
 - 深さ100kmモデル+ $\Delta\sigma$ 1.5倍(破壊開始点1~4)
 - 敷地最短位置 傾斜角0度モデル(破壊開始点1~4)
 - 敷地最短位置 傾斜角90度モデル(破壊開始点1~4)
 - 黒線: 基準地震動Ss
- } 第5回ワーキングチーム
 } 今回追加ケース



NS方向



EW方向



UD方向

敷地からの距離が最も近くなる位置の太平洋プレート内に震源を置いた場合の地震動評価を行い、基準地震動Ssを下回っていることを確認した。

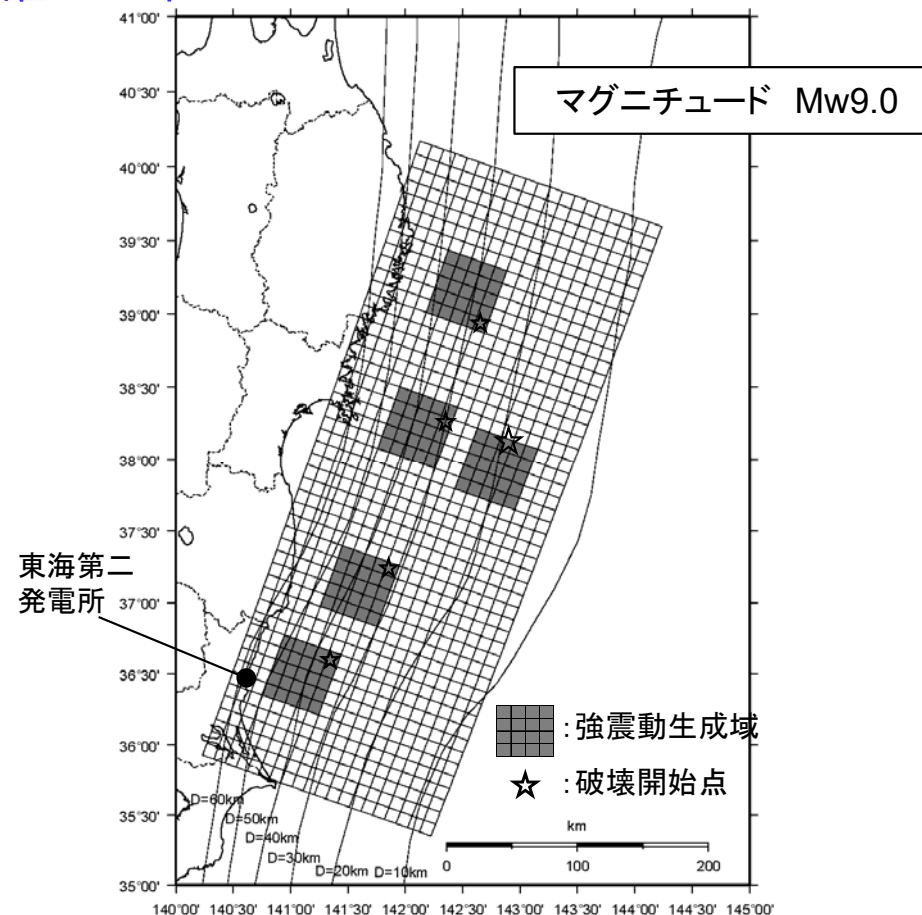
- ・茨城県(2018)では、津波被害の観点から茨城県沖から房総半島沖にかけての地震(茨城県沖～房総半島沖)(Mw8.4, Mt8.6～9.0)を日本海溝付近に想定している。
- ・当社のプレート間地震の評価で考慮した2011年東北地方太平洋沖型地震(Mw9.0)は、上記地震よりも規模が大きく、また地震動に大きな影響を与える強震動生成域をより敷地に近い場所(敷地前面の茨城県沖)に想定していることから、上記茨城県(2018)による地震動は、基準地震動策定で考慮した地震で包含される。

茨城県(2018)

対象津波	H23 想定津波
マグニチュード	Mw = 8.4 Mt = 8.6~9.0
使用モデル	茨城県モデル
説明	地震調査研究推進本部から平成 23 年 11 月に公表された「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)について」を基に想定した地震。 (平成 19 年に茨城県で想定した津波「延宝房総沖地震津波」の震源域等を参考にした地震。)
概要	
震源域	

茨城県沖から房総半島沖にかけての地震(茨城県(2012))の震源域

当社 2018年



2011年東北地方太平洋沖型地震(Mw9.0)の断層モデル図(基本震源モデル)

内閣府(2012) 南海トラフの巨大地震モデル

・内閣府(2012)の南海トラフの巨大地震モデル検討会では、「あらゆる可能性を考慮した最大クラスの巨大な地震・津波を検討していくべきである」との考え方にに基づき、南海トラフで想定される最大クラスの地震が想定されている。

・この地震による東海第二発電所の敷地周辺の震度は震度4と推計されている。

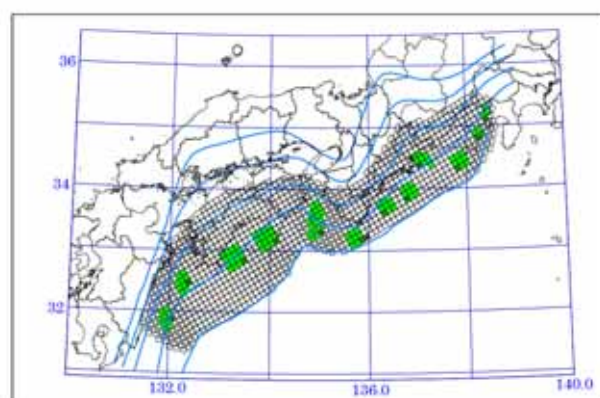


図3.3 強震動生成域の設定の検討ケース(基本ケース)

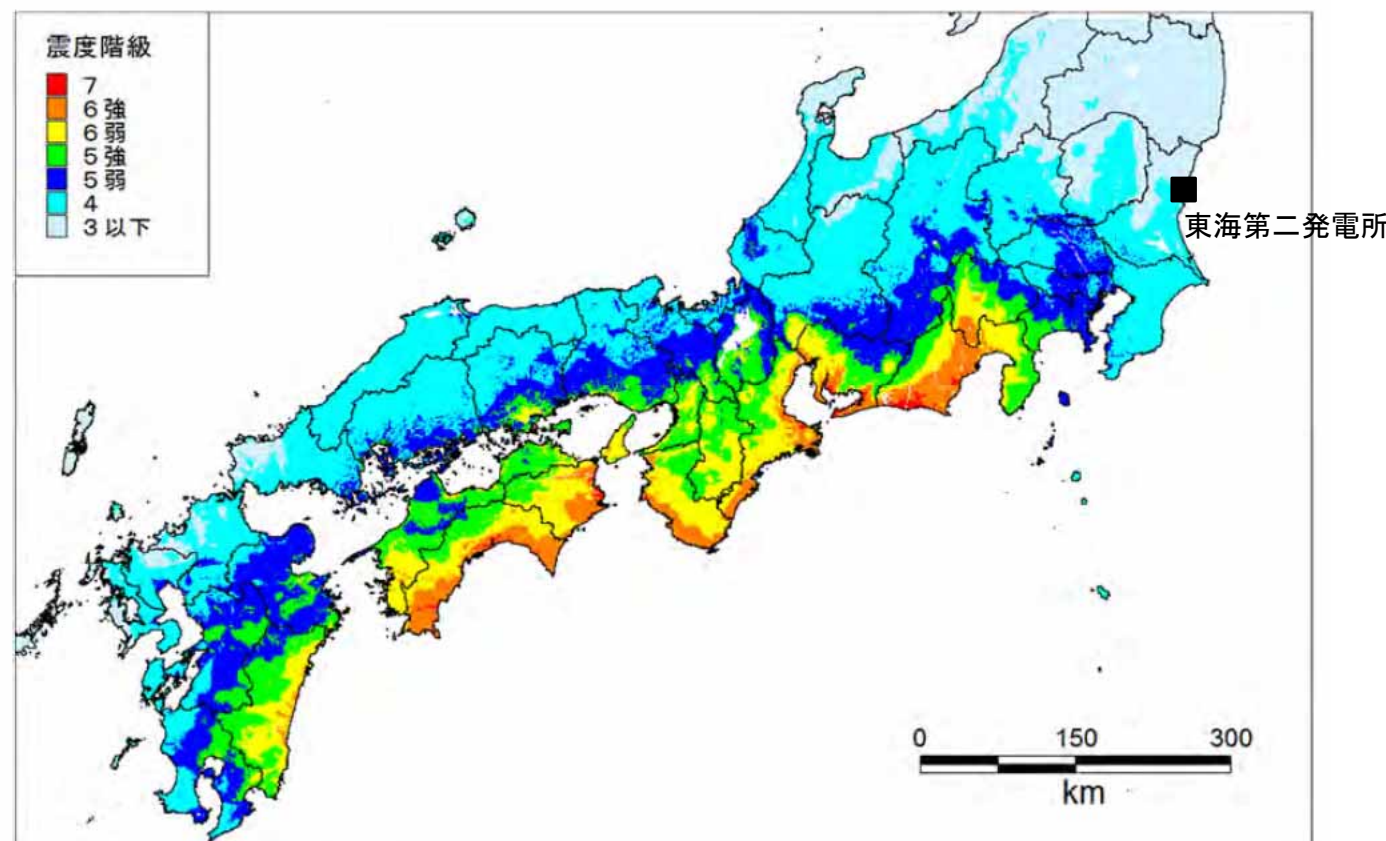
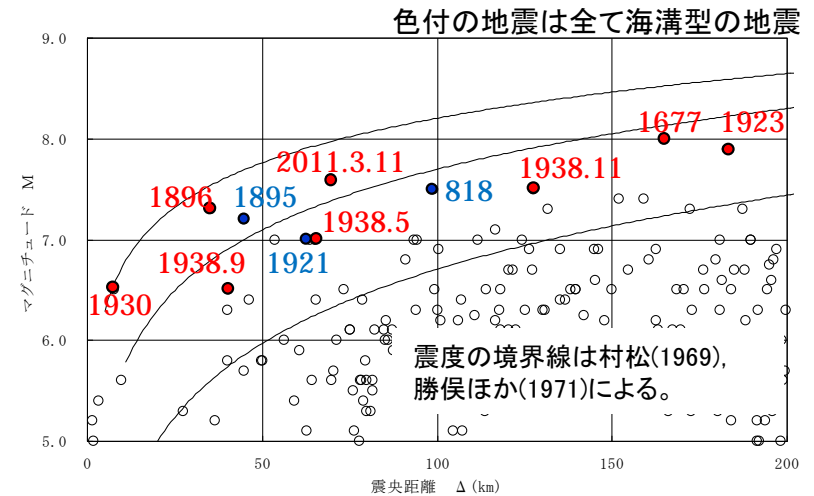
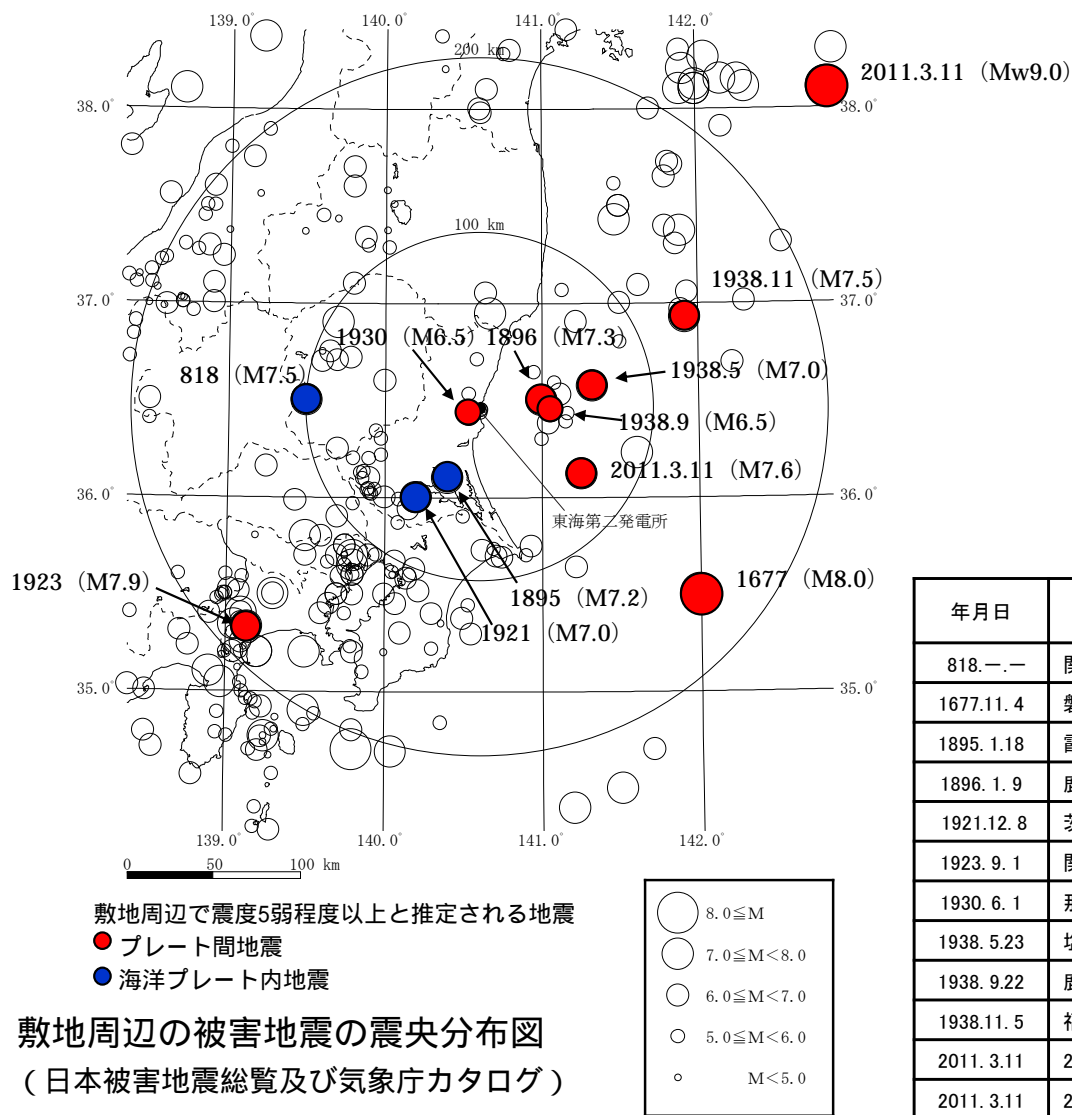


図5.1 基本ケースの震度分布

東海第二発電所の基準地震動は、敷地周辺で震度5程度以上となる過去の被害地震を踏まえて設定しており、南海トラフ地震による施設への影響は基準地震動の評価に包含される。

過去の被害地震

・敷地で震度5程度以上となる過去の被害地震を抽出する。



敷地周辺の被害地震から想定されるMとΔの関係

敷地での震度5程度以上となる被害地震リスト

年月日	地震	地震規模 M	震央距離 (km)	深さ (km)	地震発生様式
818.一.一	関東諸国の地震	7.5	99	—	海洋プレート内地震
1677.11.4	磐城・常陸・安房・上総・下総の地震	8.0	165	—	プレート間地震
1895.1.18	霞ヶ浦付近の地震	7.2	45	—	海洋プレート内地震
1896.1.9	鹿島灘の地震	7.3	35	—	プレート間地震
1921.12.8	茨城県龍ヶ崎付近の地震	7.0	64	—	海洋プレート内地震
1923.9.1	関東大地震	7.9	183	23	プレート間地震
1930.6.1	那珂川下流域の地震	6.5	8	54	プレート間地震
1938.5.23	塩屋崎沖の地震	7.0	65	35	プレート間地震
1938.9.22	鹿島灘の地震	6.5	40	48	プレート間地震
1938.11.5	福島県東方沖地震	7.5	128	43	プレート間地震
2011.3.11	2011年東北地方太平洋沖地震の本震	Mw9.0	270	23.7	プレート間地震
2011.3.11	2011年東北地方太平洋沖地震の最大余震	7.6	69	42.7	プレート間地震

- 敷地で震度5程度以上となる被害地震について、気象庁カタログや文献から震源位置を求め地震発生様式毎に分類した。
- 敷地で震度5程度以上となる被害地震は、いずれもプレート間地震または海洋プレート内地震である。
- 内陸地殻内地震で敷地で震度5程度以上となる被害地震は確認されていない。

■東海第二発電所周辺以外の地域の海溝型巨大地震の評価について整理した。

■内閣府

報告書	震源モデル	地震規模	東海第二発電所への影響
南海トラフの巨大地震モデル検討会 (第二次報告)(平成24年8月29日)	南海トラフ巨大地震の強 震断層モデル	Mw9.0	敷地での震度は震度4と推計され ており、震度5程度以上の被 害地震を踏まえている基準地 震動の評価に包含される。

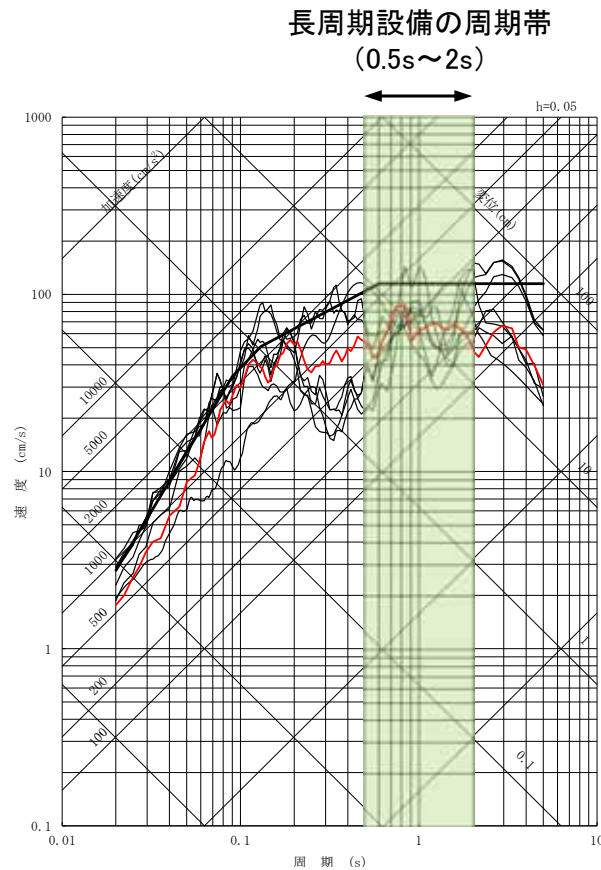
■地震調査研究推進本部

報告書	震源モデル	地震規模	東海第二発電所への影響
千島海溝沿いの地震活動の長期評価 (第三版)(平成29年12月19日)	十勝沖から択捉島沖 (根室沖を含む可能性高)	M8.8程度 以上	より規模が大きい2011年東北 地方太平洋沖型地震(Mw9.0) をより敷地に近い位置で考慮し ており、この地震に包含される。
日本海溝沿いの地震活動の長期評価 (平成31年2月26日)	東北地方太平洋沖型 岩手県沖南部～茨城県沖	M9.0程度	同様の領域・規模を設定した地 震を検討用地震として考慮済 みである。

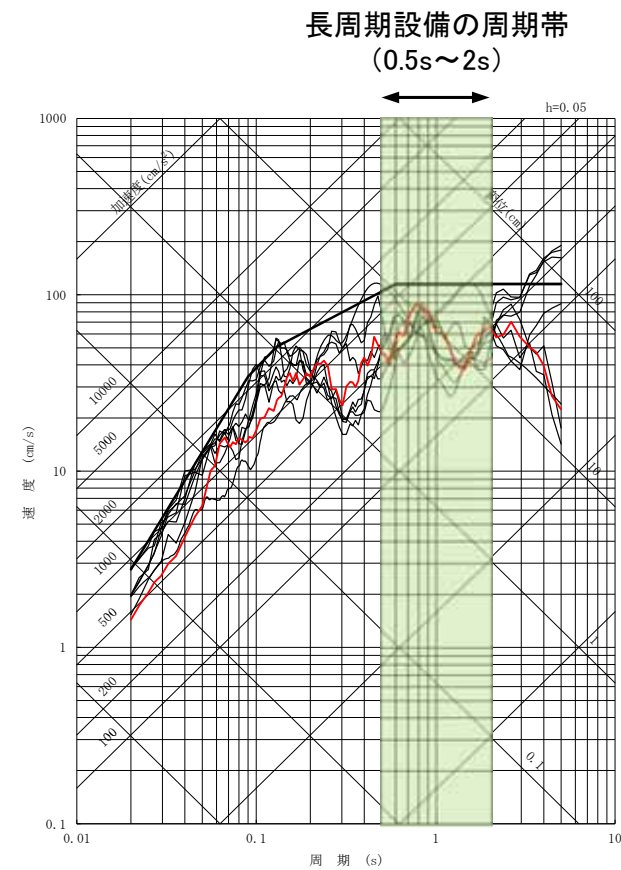


- ・東海第二発電所の基準地震動 S_s (S_s -D1, S_s -11~ S_s -31の合計8波)と2011年東北地方太平洋沖地震(M_w 9.0)の観測記録(はぎとり波)を比較すると、長周期に固有周期をもつ設備の周期帯でも、基準地震動 S_s は観測記録を大きく上回る。
- ・長周期に固有周期をもつ施設として、耐震Sクラス等の重要施設及び耐震Sクラス等の重要施設近傍に位置する施設については、2011年東北地方太平洋沖地震(M_w 9.0)時に被害は生じておらず、また同地震による地震動を上回る基準地震動 S_s に対して、耐震評価を行い健全性を確認している。従って、同地震と同程度の規模をもつ地震調査研究推進本部の想定した震源に対しても、当該施設の安全性は確保される。

— : 2011年東北地方太平洋沖地震のはぎとり波
 — : 基準地震動 S_s



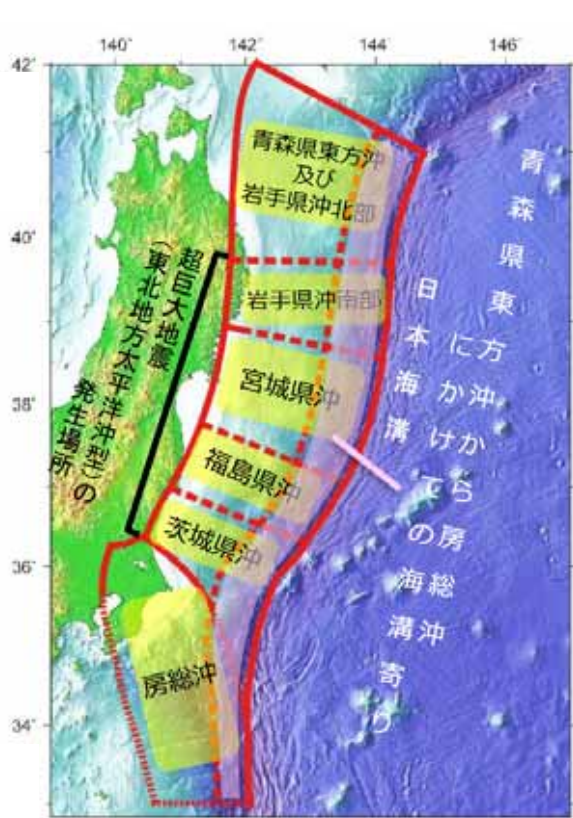
NS成分



EW成分

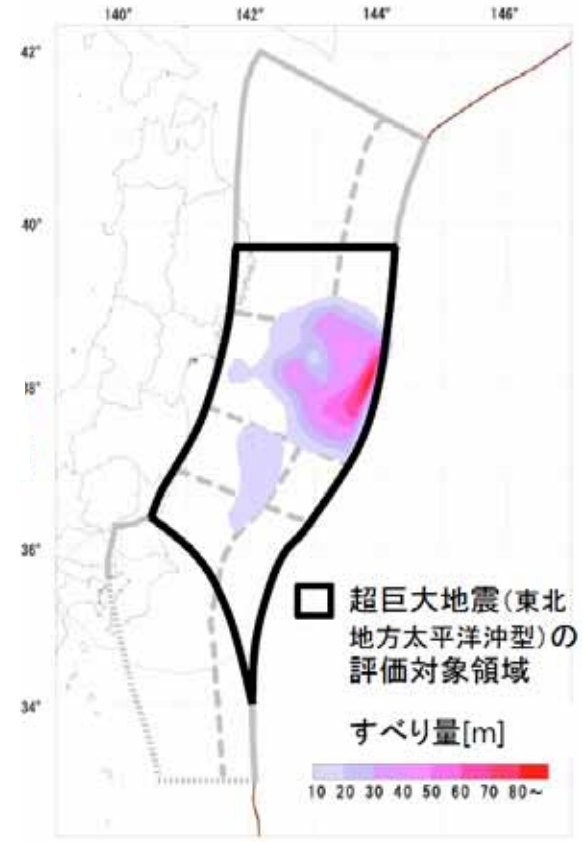
(地震対策)地震本部(2019)の検討について

- 地震調査研究推進本部(以下、地震本部という。)では、日本海溝沿いで発生する地震を対象に長期評価を行っており、2011年に「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)」を公表しているが、2011年の長期評価以降の新しい知見の取り込み等を行い、2019年に「日本海溝沿いの地震活動の長期評価」を公表した。
- 下記が改訂のポイントとして挙げられている。
 - ①評価対象領域・地震を再編
 - ②津波堆積物から超巨大地震(東北地方太平洋沖型)を再評価
 - ③東北地方太平洋沖地震を受けて、将来発生する地震を再評価
- これらの改訂ポイントについて敷地における地震動評価及び津波評価への影響を確認した。



地震本部(2019)

①評価対象領域・地震



地震本部(2019)

②超巨大地震の評価対象領域

評価対象地震	場所	規模	本評価*	(参考) 第二版*
超巨大地震 (東北地方太平洋沖型)	岩手県沖南部～茨城県沖	M9.0程度	I	I
プレート間 巨大地震	青森県東方沖及び岩手県沖北部	M7.9程度	III	III
	宮城県沖	M7.9程度	II ^(注1)	I
プレート間地震 ひとまわり小さい プレート間地震	青森県東方沖及び岩手県沖北部	M7.0～7.5程度	III	III
	岩手県沖南部	M7.0～7.5程度	III	—
	宮城県沖	M7.0～7.5程度	III ^(注1)	—
	宮城県沖の陸寄り (宮城県沖地震)	M7.4前後	III	X
	福島県沖	M7.0～7.5程度	III	II
	茨城県沖	M7.0～7.5程度	III ^(注1)	III
海溝寄りのプレート間 地震(津波地震等)	青森県東方沖から房総沖にかけての海溝寄り	Mt ^(注2) : 8.6～9.0	III ^(注1)	III
沈み込んだ プレート内の地震	青森県東方沖及び岩手県沖北部～茨城県沖	M7.0～7.5程度	III ^(注1)	—
海溝軸外側の地震	日本海溝の海溝軸外側	M8.2前後	II ^(注1)	II

注1) 本評価で評価対象領域・地震を再編したため、場所と規模の範囲が異なり、厳密には第二版と対応しない
注2) Mtは津波マグニチュード

30年以内の地震発生確率 2019年1月1日時点
 IIIランク: 26%以上 IIランク: 3～26%未満 Iランク: 3%未満 Xランク: 不明

地震本部(2019)

③将来発生する地震の場所・規模・確率

(地震対策) ①「評価対象領域・地震を再編」による影響について



■ 地震本部(2019)の検討

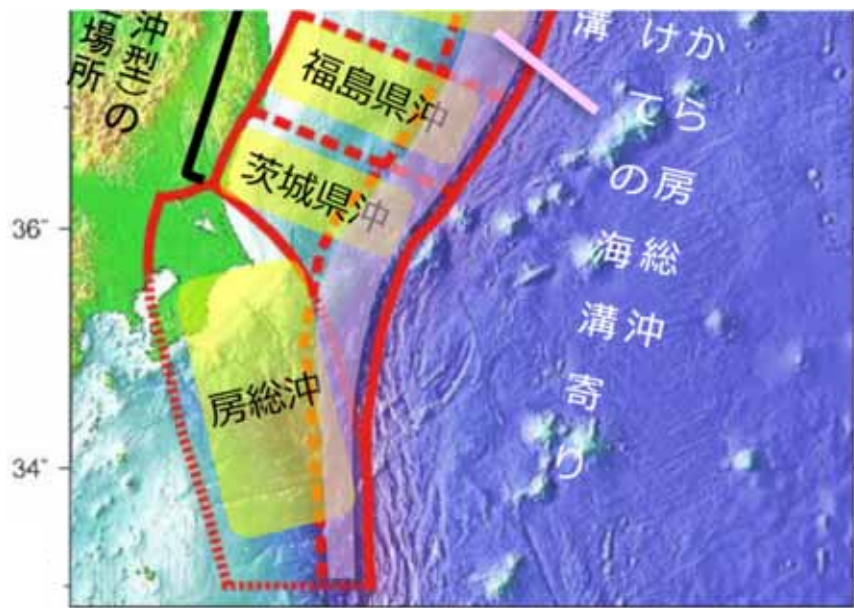
評価対象領域は、「地形(幾何形状)の変化, 力学条件の変化, 既往の巨大地震の震源域, 現在の地震活動等」から定義され, このうち茨城県沖と房総沖の領域の境界は, 「太平洋プレートが接するプレートの違いによって, 太平洋プレート上面で起きる地震の発震機構は異なる」ことから, Uchida et al.(2009)のフィリピン海プレートの北東端を基に見直されている。

■ 敷地における地震動評価

プレート間地震の検討用地震としている2011年東北地方太平洋沖型地震の震源域の南限の設定にあたり, フィリピン海プレート北東端を境に地震のすべり方向が異なることを示したUchida et al.(2009)等の知見を考慮している。

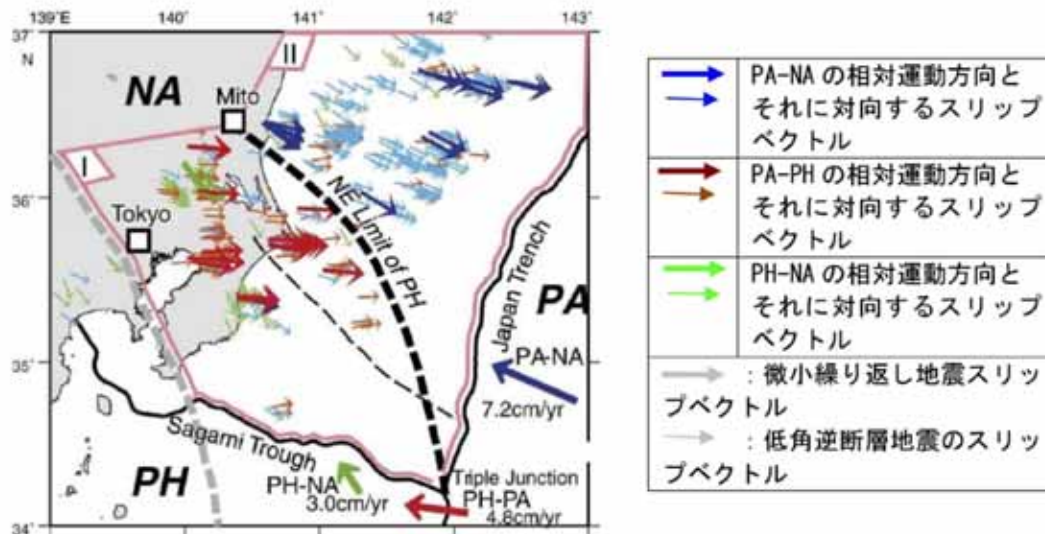
■ 確認結果

地震本部(2019)が茨城県沖と房総沖の領域の設定に用いたUchida et al.(2009)の知見は, 2011年東北地方太平洋沖型地震の震源域の南限の設定において既に考慮していることから, 地震動評価を見直す必要はないと判断した。また, 地震ハザード評価では, フィリピン海プレートと太平洋プレートを区別せず海溝型地震として評価しており, 評価対象領域の見直しによる影響はないことから, 地震ハザード評価を見直す必要はないと判断した。



地震本部(2019)

評価対象領域・地震



プレート上面における微小繰り返し地震・低角逆断層のすべり角とプレートの運動方向 (Uchida et al., 2009)

NA: 陸側のプレート PA: 太平洋プレート PH: フィリピン海プレート

地震本部(2019)

茨城県沖と房総沖の境界線の設定根拠

■ 地震本部(2019)の検討

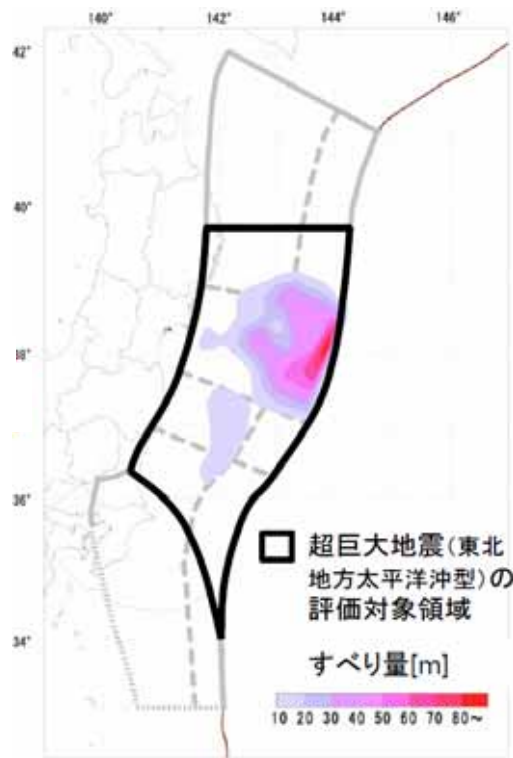
超巨大地震(東北地方太平洋沖型)は、「東北地方太平洋沖地震の知見から、震源域は宮城県沖を必ず含み、隣接するいずれかの領域(岩手県沖南部または福島県沖)の少なくとも一方にまたがり、場合によっては茨城県沖まで破壊が及ぶ超巨大地震であると評価」されており、地震の規模は、津波堆積物調査結果を踏まえ、「最も信頼性の高い東北地方太平洋沖地震を代表値として、M9.0程度」とされている。

■ 敷地における地震動評価

プレート間地震の検討用地震として、震源域を岩手県沖から茨城県沖、地震規模をMw9.0とする2011年東北地方太平洋沖型地震を考慮している。

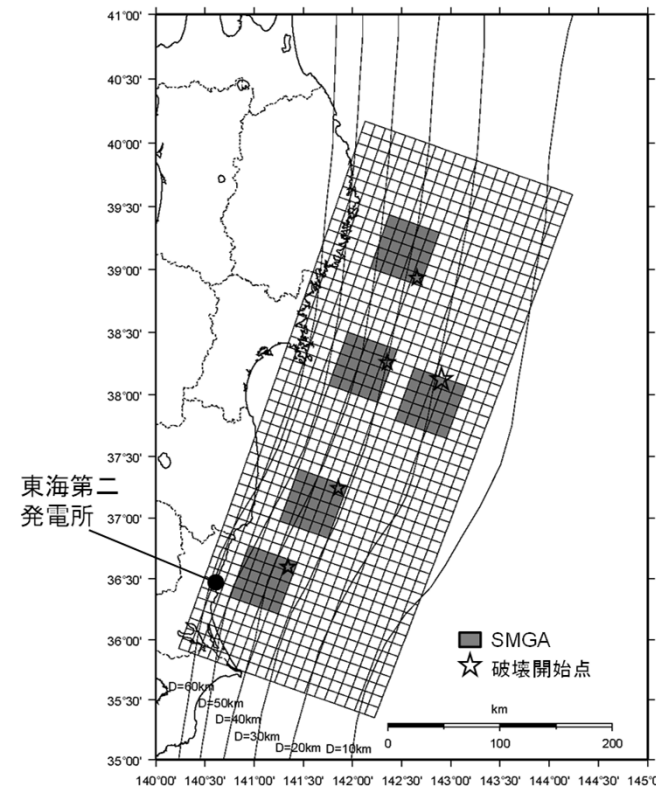
■ 確認結果

地震本部(2019)と同様の領域・規模を設定した地震を検討用地震としており、地震動評価を見直す必要はないと判断した。



地震本部(2019)

超巨大地震の評価対象領域



東北地方太平洋沖型地震の基本震源モデル

■ 地震本部(2019)の検討

東北地方太平洋沖地震を受けて、将来発生する地震を再評価し、ひとまわり小さいプレート間地震として茨城県沖でM7.0~7.5の地震、沈み込んだプレート内の地震として青森県東方沖及び岩手県沖北部~茨城県沖でM7.0~7.5の地震が想定されている。また、地震発生確率を第二版と比較すると、福島県沖等の一部の領域で地震発生確率が上がっている。

■ 敷地における地震動評価

プレート間地震として2011年東北地方太平洋沖型地震(Mw9.0)、太平洋プレート内の地震としてM7.3を考慮している。

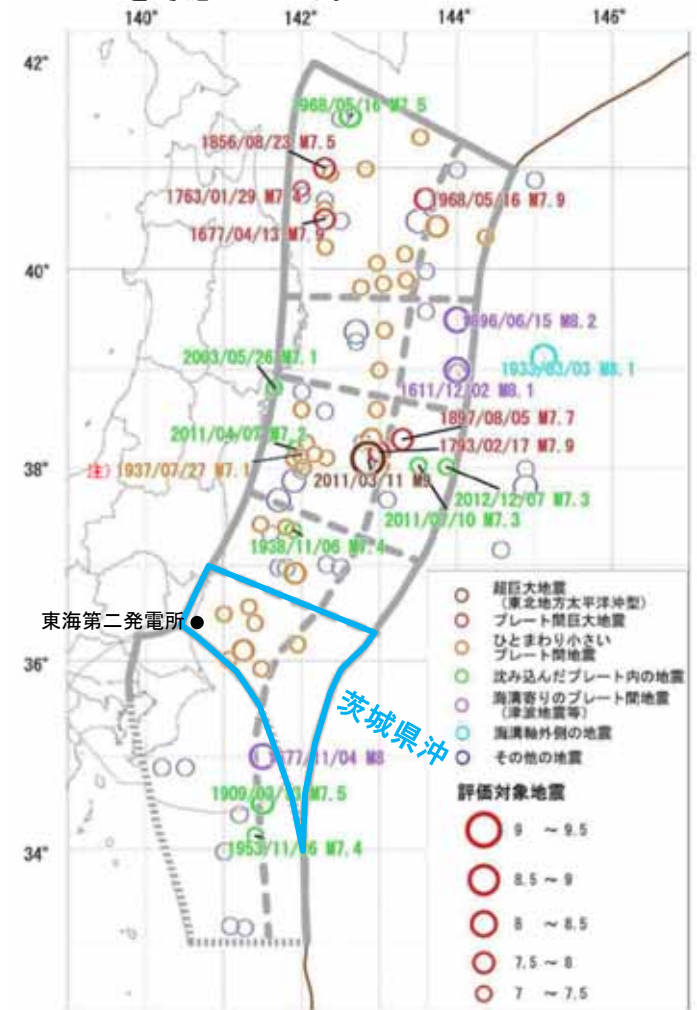
■ 確認結果

- ・プレート間地震については、地震本部(2019)で想定されている地震規模M7.0~7.5を上回るMw9.0の2011年東北地方太平洋沖型地震を検討用地震として考慮しているため、地震動評価を見直す必要はないと判断した。
- ・プレート内地震については、右図によると、茨城県沖では過去にM7.0を超える沈み込んだプレート内の地震は発生しておらず、茨城県沖にM7.3の地震を想定したプレート内地震の評価を見直す必要はないと判断した。
- ・地震ハザード評価については、プレート間地震とプレート内地震を区別せず海溝型地震として考慮し、敷地への影響が大きい福島県沖、茨城県沖で発生する地震の上限規模については、ロジックツリーでM7.6~8.3の地震規模を考慮しており、地震ハザード評価を見直す必要はないと判断した。

地震本部(2019)の将来発生する地震の場所・規模・発生確率

評価対象地震	発生領域	規模	地震発生確率	評価に使用した地震	地震後経過率 ^{※1}	第二版の評価
超巨大地震 (東北地方太平洋沖型)	岩手県沖南部~ 茨城県沖	M9.0程度	ほぼ0%	過去約3000年間の5回	0.01	ほぼ0%
プレート間 巨大地震	青森県東方沖及び 岩手県沖北部	M7.9程度	5~30%	1677年以降の4回	0.52	5~30%
	宮城県沖	M7.9程度	20%程度 ^{※2}	1793年以降の3回 ^{※1}	-	ほぼ0%
ひとまわり小さい プレート間地震	青森県東方沖及び 岩手県沖北部	M7.0~7.5程度	90%程度以上	1923年以降の10回 ^{※1}	-	90%程度
	岩手県沖南部	M7.0~7.5程度	30%程度	1923年以降の1回 ^{※1}	-	確率未計算
	宮城県沖	M7.0~7.5程度	90%程度 ^{※2}	1923年以降の6~7回 ^{※1}	-	本評価で 幅域を統合
	宮城県沖の陸寄り (宮城県沖地震)	M7.4前後	50%程度	1897年以降の4回	0.21	不明
	福島県沖	M7.0~7.5程度	50%程度	1923年以降の2回 ^{※1}	-	10%程度
茨城県沖	M7.0~7.5程度	80%程度 ^{※2}	1923年以降の5回 ^{※1}	-	90%程度 以上	
海溝寄りのプレート間 地震(津波地震等)	青森県東方沖から宮城県 沖にかけての海溝寄り	M7.8~9.0 ^{※3}	30%程度 ^{※2}	1600年以降の4回 ^{※1}	-	30%程度
沈み込んだプレート内 の地震	青森県東方沖及び岩手 県沖北部~茨城県沖	M7.0~7.5程度	60~70% ^{※2}	1923年以降の3~4回 ^{※1}	-	確率未計算
海溝軸外側の地震	日本海溝の海溝軸外側	M8.2前後	7% ^{※2}	1600年以降の1回 ^{※1}	-	4~7%

^{※1} 東北地方太平洋沖地震より後の期間は除いた
^{※2} 地震後経過率=最新発生時期からの経過時間÷平均発生間隔
 -は時間が経過しても地震の起こりやすさが変わらないと仮定した地震
^{※3} Mは津波マグニチュード
^{※4} 本評価で評価対象領域・地震を再編したため、場所と規模の範囲が異なり、厳密には第二版と対応しない
 ■Ⅲランク(高い) :26%以上
 ■Ⅱランク(やや高い) :3~26%未満
 ■Ⅰランク :3%未満
 ■Xランク :不明



注) 沈み込んだプレート内の地震の可能性もある。

地震本部(2019)に加筆

日本海溝周辺で発生したM7以上の地震の震央分布図

6. 地震調査研究推進本部 活断層及び海溝型地震の長期評価(2019年2月公表)を踏まえた評価
(地震対策)地震の平均発生間隔の見直しによる地震ハザード評価への影響について



■ 地震本部(2019)の検討

超巨大地震(東北地方太平洋沖型)については、地震の規模は津波堆積物調査結果を踏まえ、「最も信頼性の高い東北地方太平洋沖地震を代表値として、M9.0程度」とされている。平均発生間隔は約550~600年とされ、これに基づく今後30年以内の発生確率はほぼ0%とされている。

ひとまわり小さいプレート間地震については、茨城県沖でM7.0~7.5の地震が想定され、今後30年以内の発生確率は80%程度とされている。

■ 敷地における地震動評価

地震ハザード評価では、特定震源として2011年東北地方太平洋沖型地震(Mw9.0)を考慮し、平均発生間隔600年の更新過程としており、今後30年以内の発生確率を算定するとほぼ0%となる。

また、領域震源である推本参考モデル(海溝型地震)の茨城県沖におけるG-R式からM7.0~M7.5の地震の今後30年以内の発生確率を算定すると73%であり、特定震源である茨城県沖の地震(繰り返し発生する地震)(M7.0)を含めて考慮すると93%である。

■ 確認結果

2011年東北地方太平洋沖型地震(Mw9.0)は、地震本部(2019)と同様、発生確率はほぼ0%であり、また、茨城県沖のひとまわり小さいプレート間地震も、地震本部(2019)と同等の発生確率であることから、地震ハザード評価を見直す必要がないと判断した。

地震本部(2019)の将来発生する地震の場所・規模・発生確率

評価対象地震	発生領域	規模	地震発生確率	評価に使用した地震	地震後経過率 ^{注1}	第二版の評価
超巨大地震 (東北地方太平洋沖型)	岩手県沖南部~ 茨城県沖	M9.0程度	ほぼ0%	過去約3000年間の5回	0.01	ほぼ0%
プレート間 巨大地震	青森県東方沖及び 岩手県沖北部	M7.9程度	5~30%	1677年以降の4回	0.52	5~30%
	宮城県沖	M7.9程度	20%程度 ^{注4}	1793年以降の3回 ^{注1}	-	ほぼ0%
	青森県東方沖及び 岩手県沖北部	M7.0~7.5程度	90%程度以上	1923年以降の10回 ^{注1}	-	90%程度
ひとまわり小さい プレート間地震	岩手県沖南部	M7.0~7.5程度	30%程度	1923年以降の1回 ^{注1}	-	確率未計算
	宮城県沖	M7.0~7.5程度	90%程度 ^{注4}	1923年以降の6~7回 ^{注1}	-	本評価で 領域を統合
	宮城県沖の陸寄り (宮城県沖地震)	M7.4前後	50%程度	1897年以降の4回	0.21	不明
	福島県沖	M7.0~7.5程度	50%程度	1923年以降の2回 ^{注1}	-	10%程度
	茨城県沖	M7.0~7.5程度	80%程度 ^{注4}	1923年以降の5回 ^{注1}	-	90%程度 以上
海溝寄りのプレート間 地震(津波地震等)	青森県東方沖から房総 沖にかけての海溝寄り	Mt8.6~9.0 ^{注3}	30%程度 ^{注4}	1600年以降の4回 ^{注1}	-	30%程度
沈み込んだプレート内 の地震	青森県東方沖及び岩手 県沖北部~茨城県沖	M7.0~7.5程度	60~70% ^{注4}	1923年以降の3~4回 ^{注1}	-	確率未計算
海溝軸外側の地震	日本海溝の海溝軸外側	M8.2前後	7% ^{注4}	1600年以降の1回 ^{注1}	-	4~7%

^{注1} 東北地方太平洋沖地震より後の期間は除いた
^{注2} 地震後経過率=最新発生時期からの経過時間÷平均発生間隔
 -は時間が経過しても地震の起こりやすさが変わらないと仮定した地震
^{注3} Mtは津波マグニチュード
^{注4} 本評価で評価対象領域・地震を再編したため、場所と規模の範囲が異なり、厳密には第二版と対応しない

Ⅲランク(高い) :26%以上
 Ⅱランク(やや高い) :3~26%未満
 Iランク :3%未満
 Xランク :不明

地震ハザード評価の茨城県沖の海溝型地震の発生確率

評価対象地震	今後30年以内の発生確率
2011年東北地方太平洋沖型地震	ほぼ0%
推本参考モデル(海溝型地震)茨城県沖	73%
推本参考モデル(海溝型地震)茨城県沖 +茨城県沖の地震(繰り返し発生する地震)	93%

本資料で使用する用語の定義を以下に示す。

・応答スペクトルに基づく手法

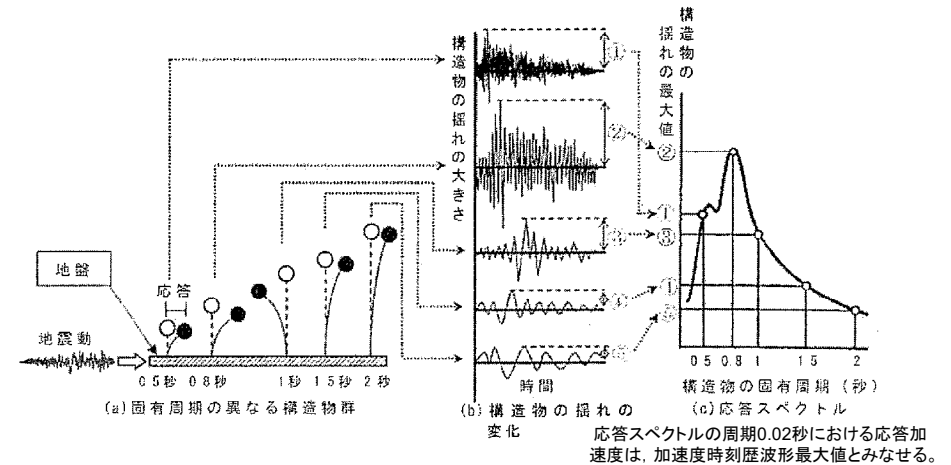
応答スペクトルに基づく手法とは、多数の地震観測記録を分析して求めた経験的な関係に基づき、主に地震の規模や震源距離を入力パラメータに用いて、検討対象の地震による地震動の応答スペクトルを計算する手法をいう。同手法には、Noda et al.(2002)の方法(耐専スペクトル)等がある。

・断層モデルを用いた手法

断層モデルを用いた手法(波形合成法)とは、断層をモデル化し、断層面での地震発生や地震波の伝播を、震源断層面を分割した小断層ごとに、中小地震の時刻歴波形を重ね合わせて合成することで、地震動の時刻歴波形を計算する手法をいう。同手法の主なものとして、経験的グリーン関数法、統計的グリーン関数法がある。

・応答スペクトル

応答スペクトルとは、地震動がいろいろな固有周期を持つ建物・構築物及び機器・配管系に対して、どのような揺れ(応答)を生じさせるかを、縦軸に加速度・速度等の最大応答値、横軸に固有周期(又はその逆数の固有振動数)をとって、分かりやすいように描いたものをいう。加速度応答スペクトルの短周期側は地震動の加速度時刻歴波形最大値に漸近する。従って、周期0.02秒での応答加速度は時刻歴波形の最大値とみなすことができる。



・SMGA/アスペリティ

Strong Motion Generation Areas (強震動生成域)の略で、強震動を強く放出する領域のことを指す。本資料ではアスペリティも同義語として用いている。

・要素地震

要素地震とは、経験的グリーン関数法(「経験的グリーン関数法」参照)の計算に用いる中小地震の観測記録及び統計的グリーン関数法の計算に用いる人工的に作成した中小地震の地震波をいう。

・地震モーメント

地震モーメントは、断層運動としての地震の大きさ(地震規模)を示す量で、岩盤の剛性率(硬さを表す指標の一つ)と震源断層面の平均すべり量と震源断層の面積との積で表される。地震モーメントの値は、地震によって発生した地震波のうち、地表面を伝わる周期の長い波の振幅から直接求めることができる。

・正断層

正断層とは、断層の上側の地盤が断層面上をすべり落ちる形となる断層をいい、引張力の働く場で形成される。一方、逆断層とは、断層の上側の地盤が断層面上をのし上がる形となる断層をいい、圧縮力の働く場で形成される。

本資料で使用する用語の定義を以下に示す。

・経験的グリーン関数法

経験的グリーン関数法とは、波形合成法の一つであり、実際に発生した中小地震の敷地における観測記録(これを「経験的グリーン関数」という。)を要素地震として足し合わせ、大きな地震による揺れを計算する方法をいう。大きな断層面が破壊する地震は、断層面の一部が破壊する小地震の集合として評価することができる。このため、断層面全体への破壊伝播等を考慮して小地震の波形を足し合わせると、評価対象とする地震による波形を合成することができる。この方法では、震源断層面付近で発生した中小地震による評価地点での適切な観測記録が必要となるものの、地下構造による影響は観測記録に含まれるため、地下構造のモデルを設定する必要がない。

・統計的グリーン関数法

統計的グリーン関数法とは、波形合成法の一つであり、既往の観測記録を統計処理し、人工的に時刻歴波形(これを「統計的グリーン関数」という。)を作成し、それを要素地震として足し合わせ、大きな地震による揺れを計算する方法をいう。大きな断層面が破壊する地震は、断層面の一部が破壊する小地震の集合として評価することができる。このため、断層面全体への破壊伝播等を考慮して小地震の波形を足し合わせると、評価対象とする地震による波形を合成することができる。

統計的グリーン関数法では解放基盤表面よりも深い地盤地下構造のモデルを設定することにより、評価地点の地下構造による影響を反映している。

・リニアメント

リニアメントとは、崖、尾根の傾斜急変部、谷や尾根の屈曲等の地形的特徴が、直線又はそれに近い状態に配列している場合、その線状の地形をいう。リニアメントは、断層活動によって生ずるばかりでなく、軟質な岩盤が浸食されることによって生ずることもあるので、断層であるか否か判断するに際して、その成因を地表地質調査等により調査する必要がある。

・不確かさ

評価の過程に含まれる物理量・モデルなどにおけるばらつきのこと。震源モデルの不確かさを考慮する場合には、敷地における地震動評価に大きな影響を与えると考えられる支配的なパラメータについて分析し、その結果を地震動評価に反映させることが必要である。

・検討用地震

敷地に大きな影響を与えると予想される地震のこと。「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」においては、内陸地殻内地震、プレート間地震及び海洋プレート内地震について、検討用地震を選定し評価を行う。

・マグニチュード(M)とモーメントマグニチュード(M_w)

「地震は地下の岩盤がずれて起こるものです。この岩盤のずれの規模(ずれ動いた部分の面積×ずれた量×岩石の硬さ)をもとにして計算したマグニチュードを、モーメントマグニチュード(M_w)と言います。一般に、マグニチュード(M)は地震計で観測される波の振幅から計算されますが、規模の大きな地震になると岩盤のずれの規模を正確に表せません。これに対してモーメントマグニチュードは物理的な意味が明確で、大きな地震に対しても有効です。ただし、その値を求めるには高性能の地震計のデータを使った複雑な計算が必要なため、地震発生直後迅速に計算することや、規模の小さい地震で精度よく計算するのは困難です。」(気象庁HPより抜粋)

余白