

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

2022年2月21日

日本原子力発電株式会社

東海第二発電所

地震対策への対応について(改訂版)

2022年2月21日

日本原子力発電株式会社

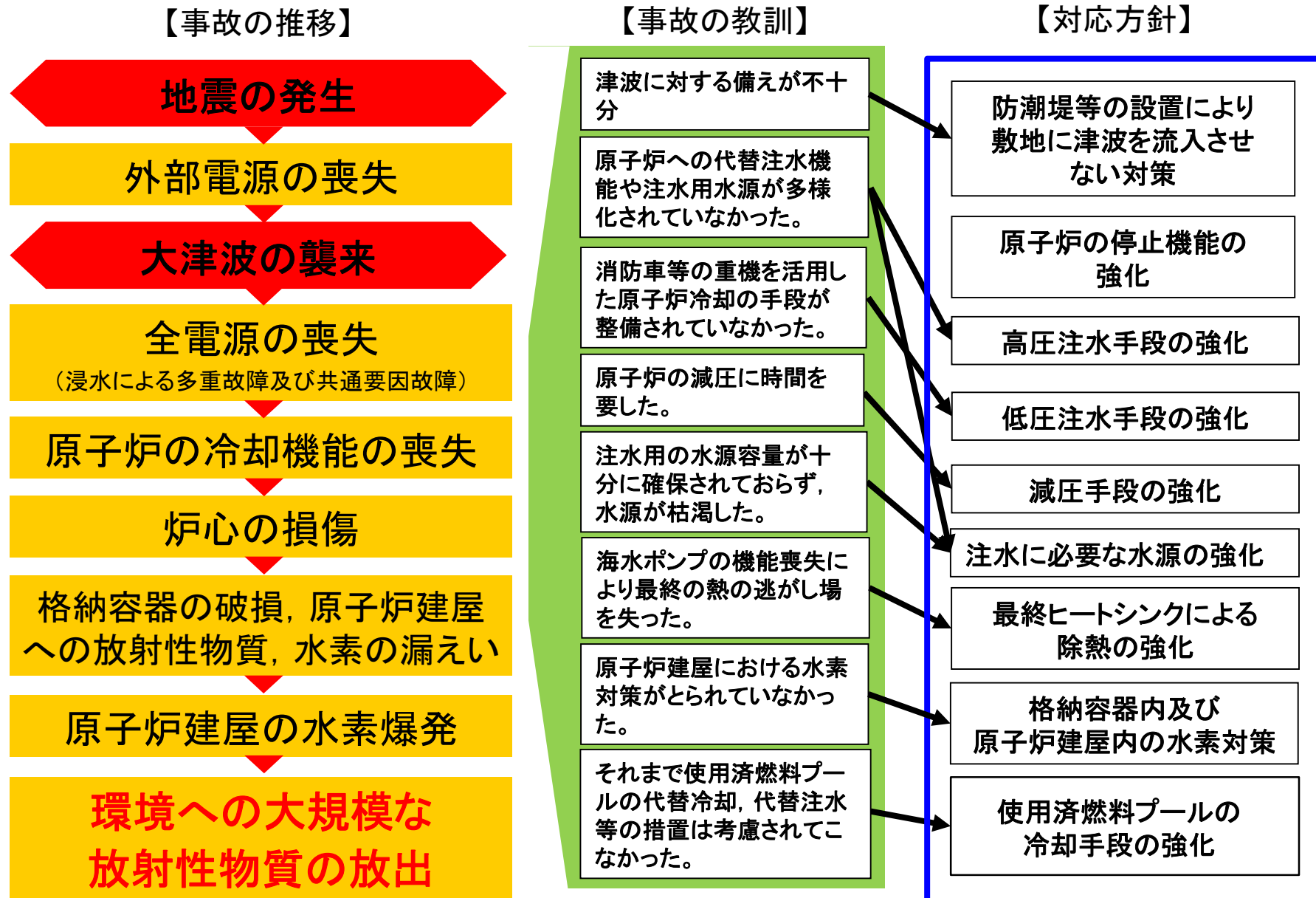
本資料のうち、 は営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

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	.....	105
耐震設計評価	.....	167
補足説明資料	.....	199

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



 : 基準地震動Ssにより耐震安全性を確認

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(1/3)



- 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Ss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Ss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Ss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_o は耐震重要度分類にかかわらず1.0とする。

(注4) $C_i = R_t \cdot A_i \cdot C_o$ (R_t : 振動特性係数0.8 A_i : C_i の分布係数 C_o : 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

1. 2011年3月以降の新規制基準等を踏まえた評価(1/2)



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

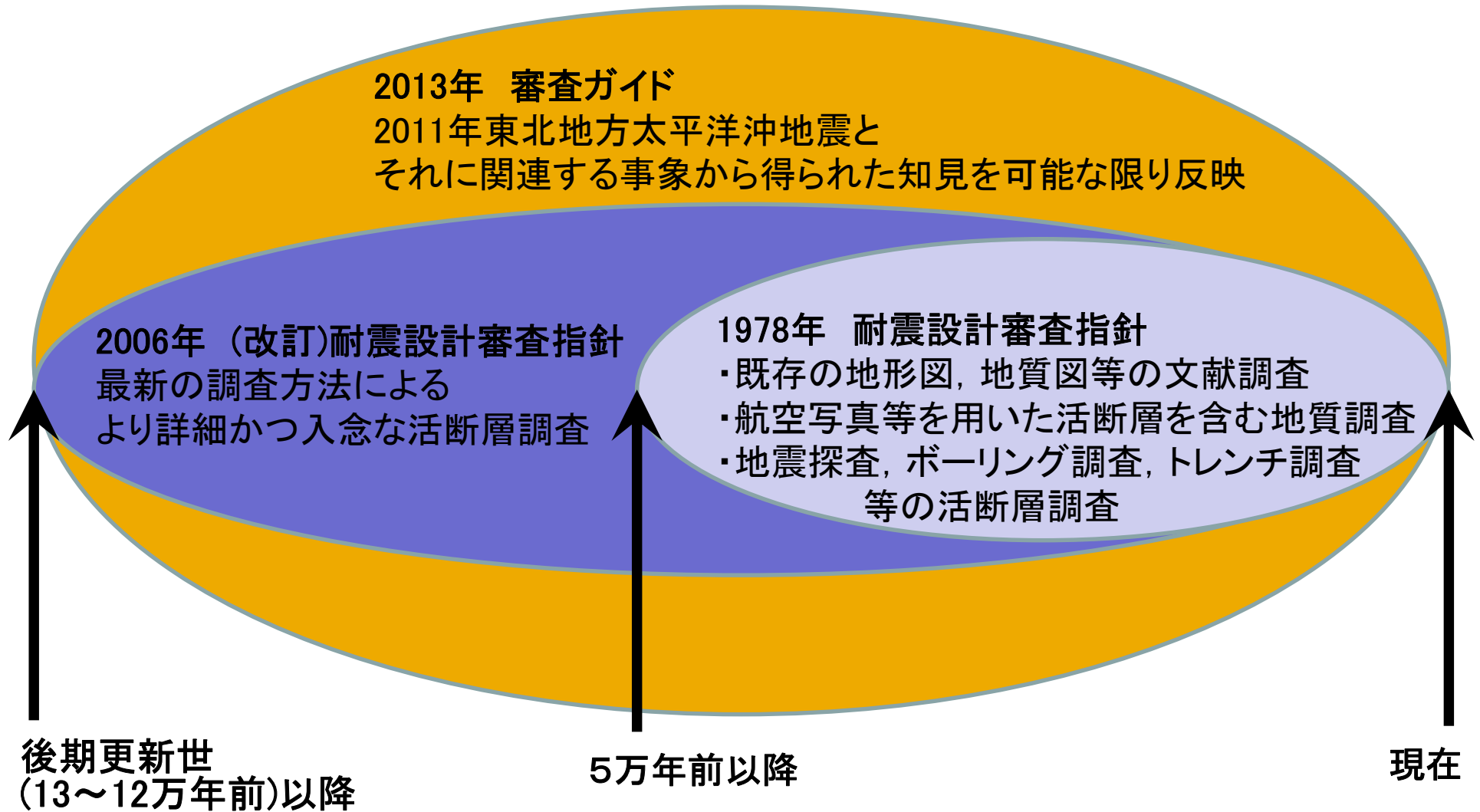
これらの状況を踏まえて、2011年3月以前の調査結果に加え、下記に該当する断層を安全評価上、耐震設計において考慮する断層として取り扱うこととした。

○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。

* 破碎帯を覆う地層(上載地層)の年代を特定することにより、破碎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。

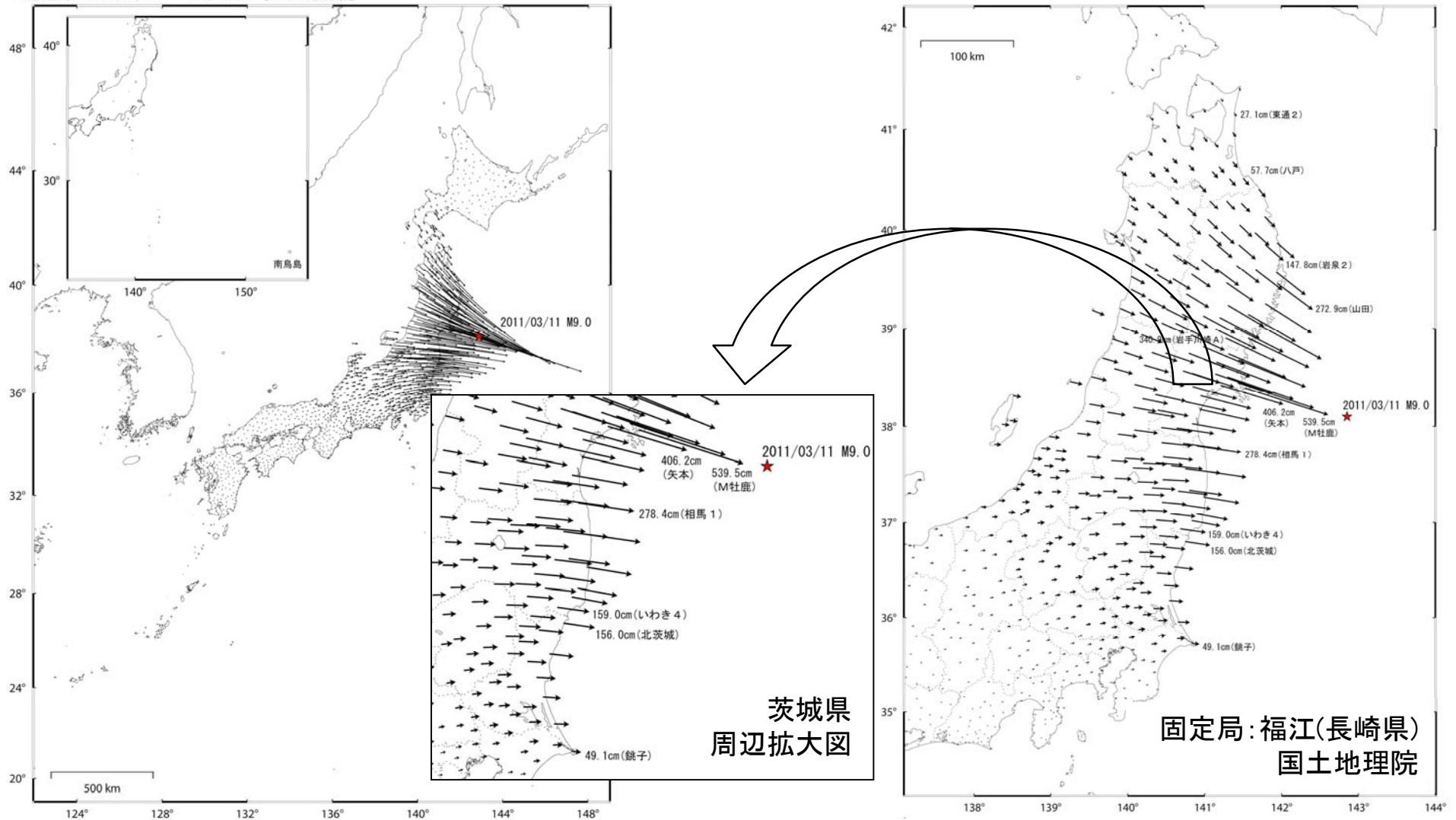


2. 東北地方太平洋沖地震(M9.0)による地殻変動(水平)



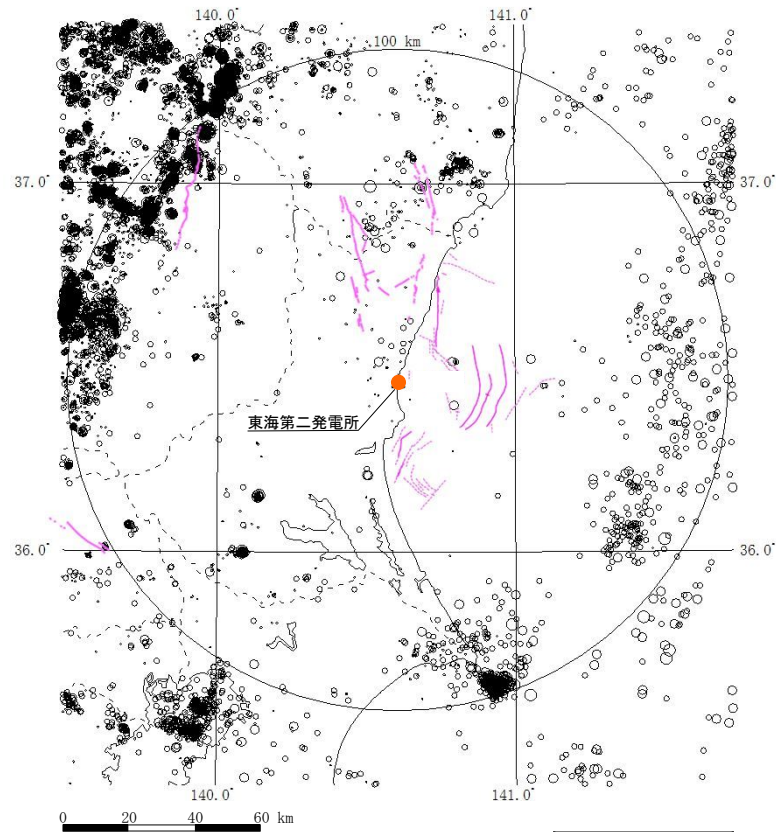
基準期間 : 2011/03/10 -- 2011/03/10 [F3 : 最終解]
比較期間 : 2011/03/12 -- 2011/03/12 [F3 : 最終解]

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。

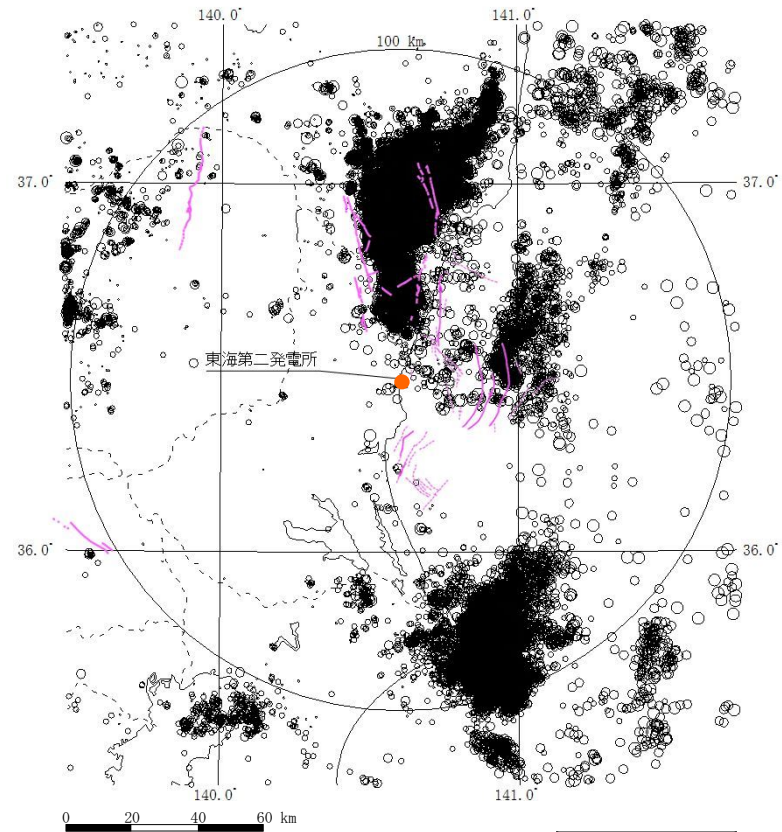
3. 東北地方太平洋沖地震発生前後M4.0以下地震の震央分布図(20km以浅)



— : 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

発生後(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後、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。



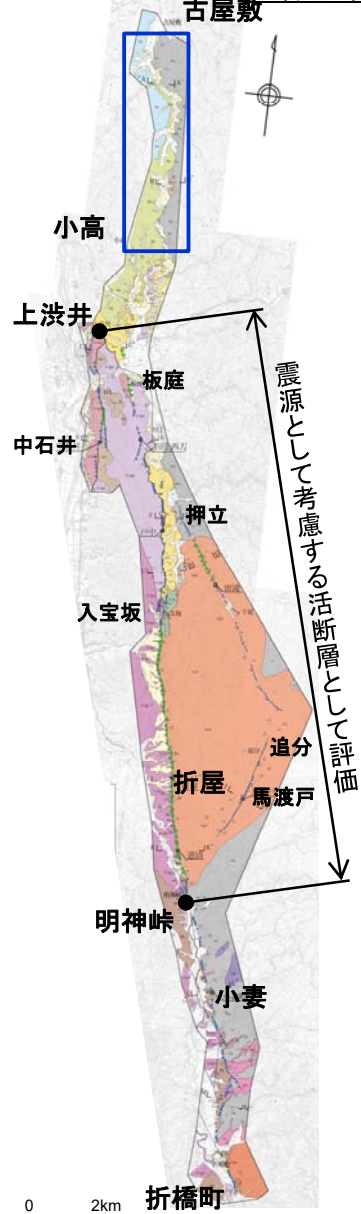
下記の断層について、震源として考慮する活断層として取り扱うこととした。

- 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、断層破砕部の性状(断層面の平面性, 破砕部の固結度等)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)

棚倉破砕帯東縁付近の北端及び棚倉破砕帯西縁断層(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。

棚倉破砕帯東縁付近の推定活断層



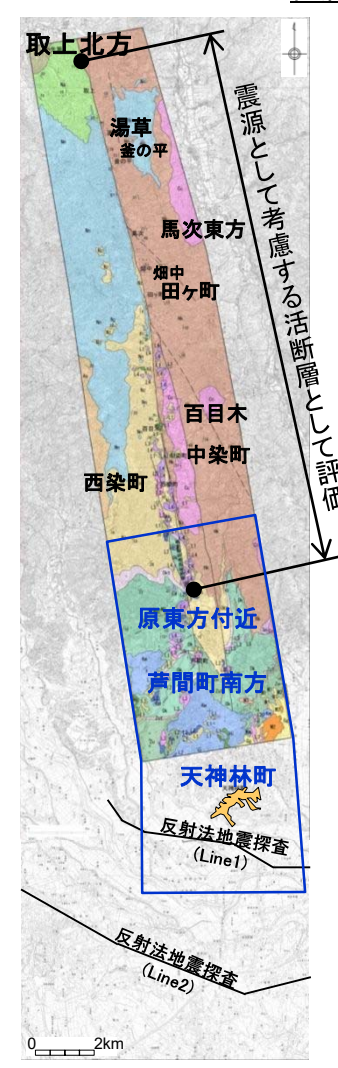
古屋敷～小高の追加調査・検討項目
<p>文献調査</p> <ul style="list-style-type: none"> ・新編 日本の活断層(1991) ・活断層詳細デジタルマップ(2002) ・活断層データベース(2015) ・20万分の1地質図幅「白河」(2007) ・大槻(1975) ・島本ほか(1998) ・50万分の1活構造図「新潟」(1984)
<p>空中写真及び航空レーザーDEM(1mメッシュ及び10mメッシュ)による変動地形学的調査</p> <ul style="list-style-type: none"> ・鳥瞰図 ・段彩陰影図 ・アナグリフ
<p>地表地質調査</p>

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情復 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。

棚倉破砕帯西縁断層(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>

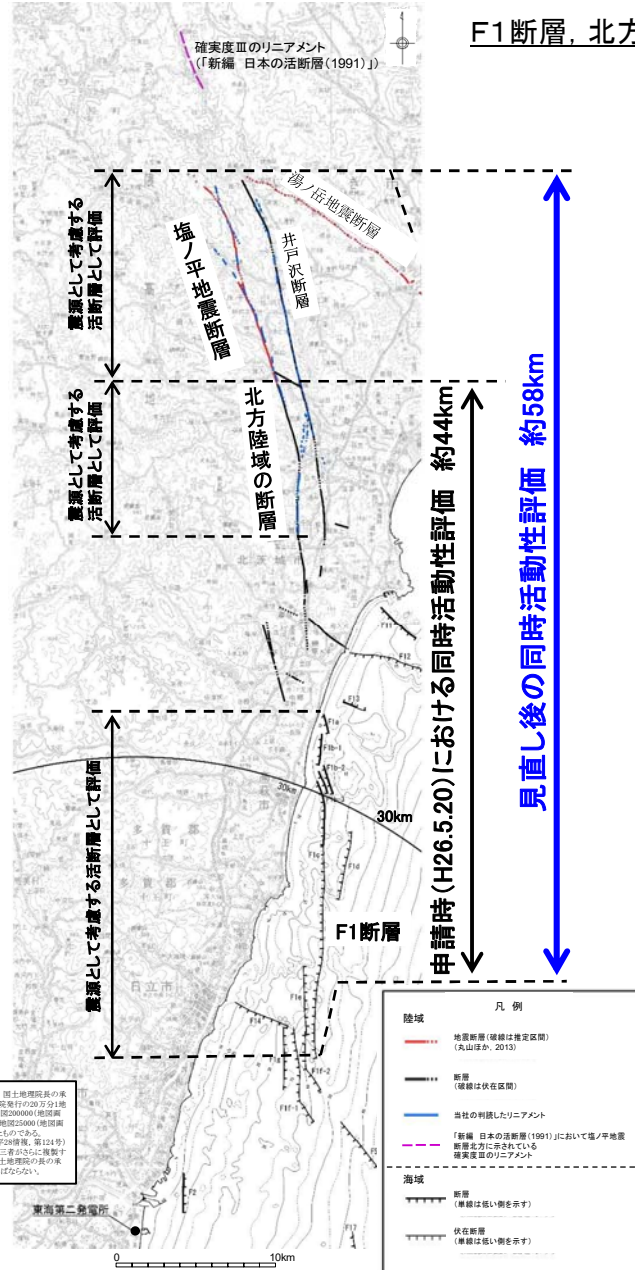
原東方以南については、いずれの調査結果からも、活構造を示唆する状況は得られなかった。

- ・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、棚倉破砕帯西縁断層(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、粘土状破砕部は認められず、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、棚倉破砕帯西縁断層(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	

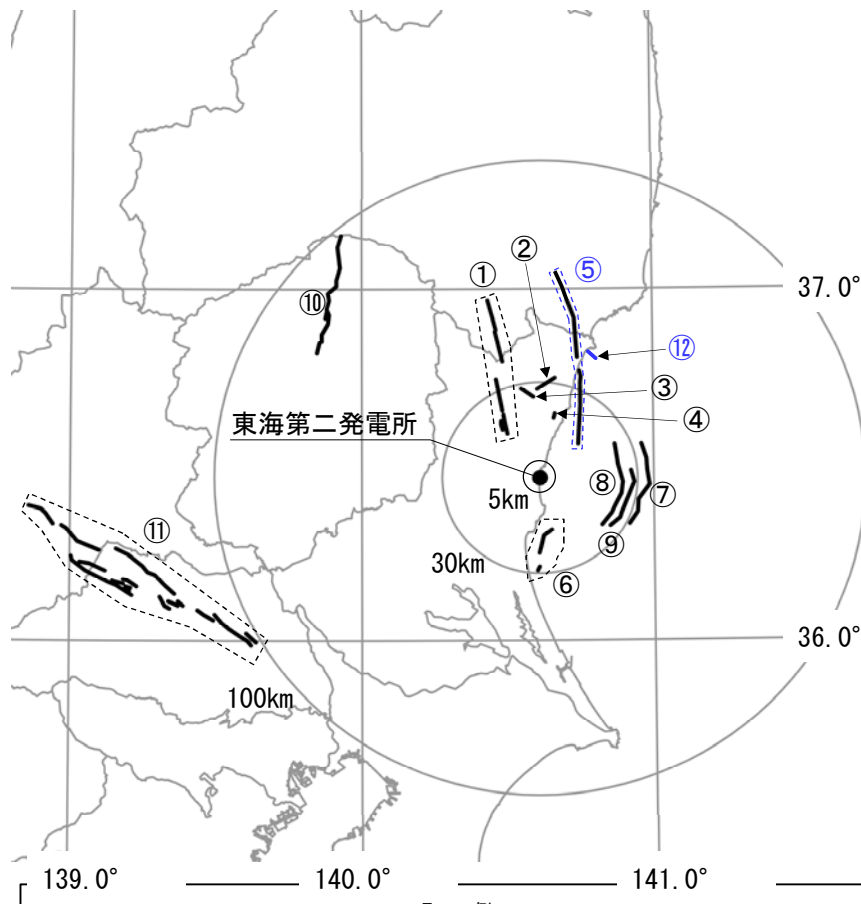
塩ノ平地震断層とF1断層及び北方陸域の断層について、同時活動性を考慮する。

- ・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)



凡 例

: 連動を考慮する断層	: 震源として考慮する活断層
: 連動を考慮する断層 (申請時 (H26.5.20) の評価から見直したもの)	: 震源として考慮する活断層 (申請時 (H26.5.20) の評価から見直したもの)

断層名	長さ(km)
① 棚倉破碎帯東縁付近の推定活断層, 棚倉破碎帯西縁断層(の一部)*の連動 * 中染付近・西染付近のリニアメントを含む。	42
② 関口-米平リニアメント	6
③ ^{たつわれ} 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

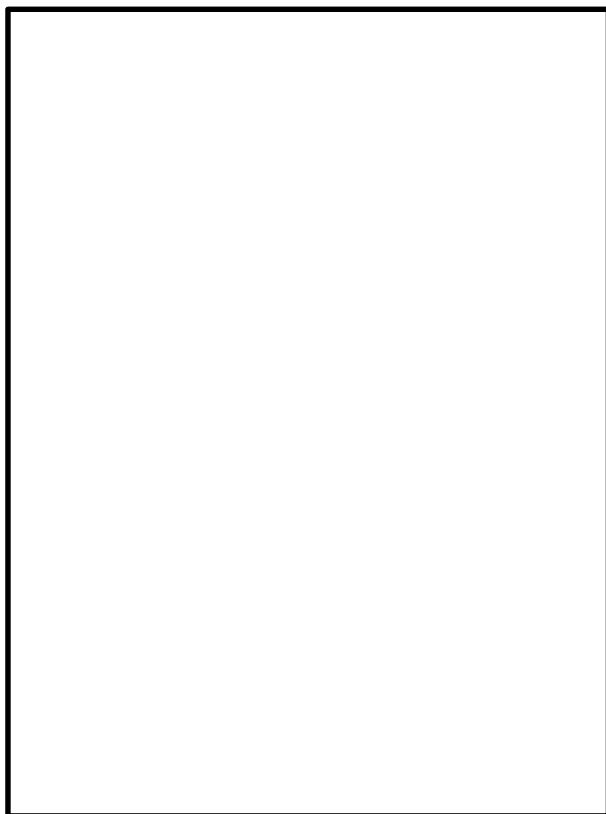
※ 変動地形の可能性のある地形を「リニアメント」という。
断層の同時活動を考慮した場合は「連動」と記す。

- 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。

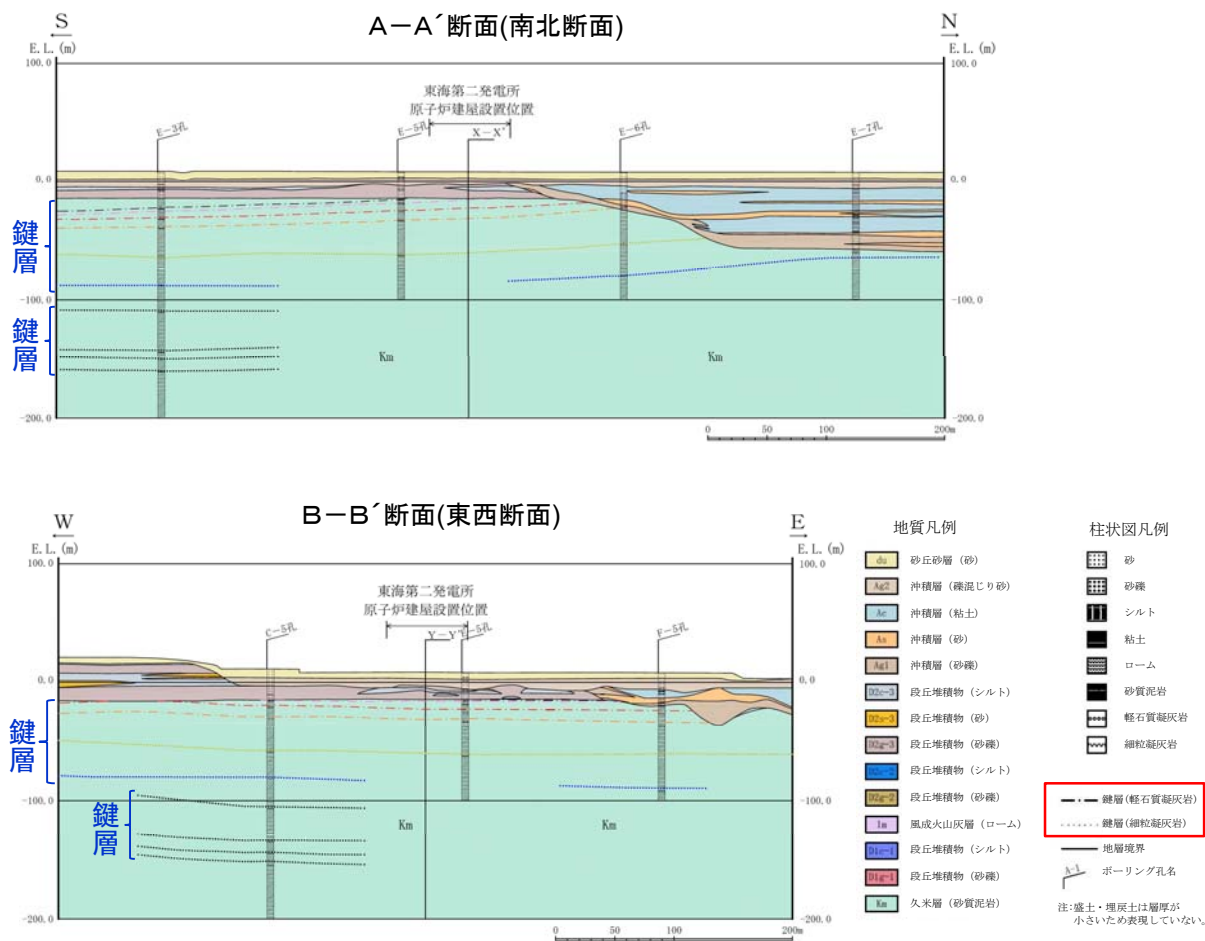
5. 敷地内の評価



- ・ 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



余白

地震動評価

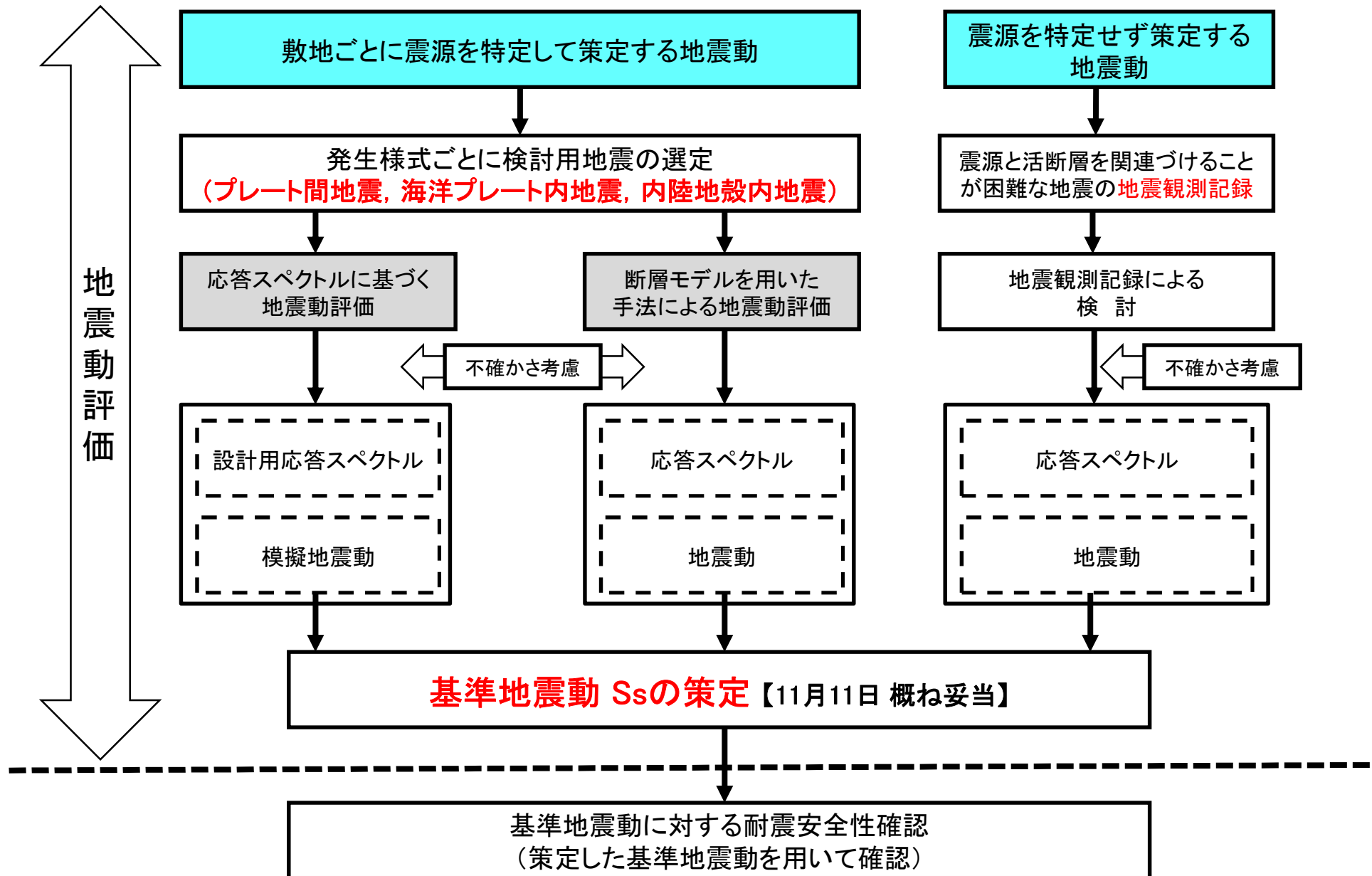
1. 基準地震動S _s の概要	23
2. 地下構造評価	41
3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうちプレート間地震	47
4. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち海洋プレート内地震	58
5. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち内陸地殻内地震	69
6. 震源を特定せず策定する地震動	82
参考 断層モデル手法に用いる要素地震 地震動評価結果の整理	92

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)

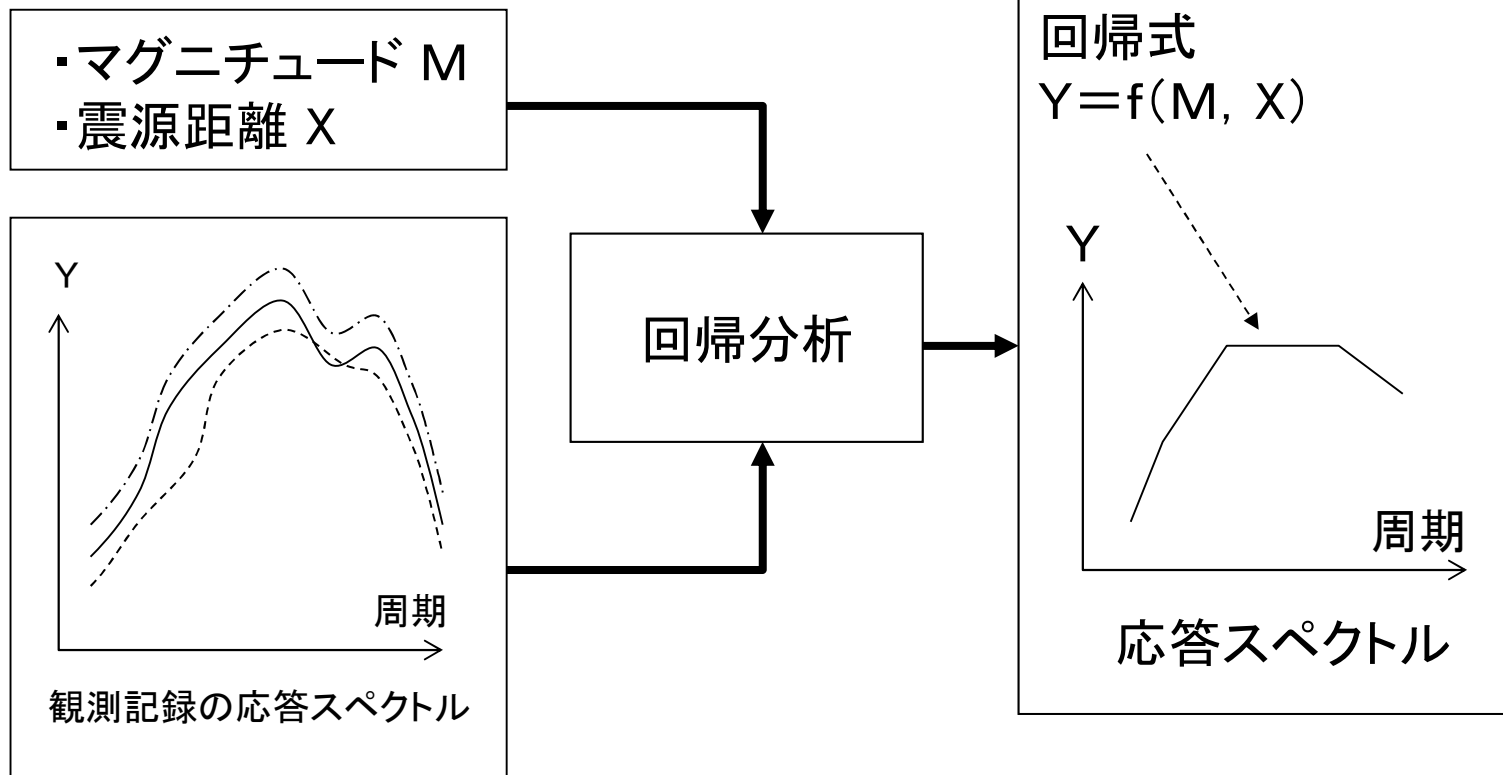
- (1) 基準地震動は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」について、それぞれ解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動として策定されていること。
- (2) 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」は、内陸地殻内地震、プレート間地震及び海洋プレート内地震について、敷地に大きな影響を与えると予想される地震(以下「検討用地震」という。)を複数選定し、選定した検討用地震ごとに不確かさを考慮して、応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価により、それぞれ解放基盤表面までの地震波の伝播特性を反映して策定されていること。不確かさの考慮については、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た上で、必要に応じて不確かさを組み合わせるなどの適切な手法を用いて評価すること。
- (3) 「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収集し、これら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。
- (4) 「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。



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。

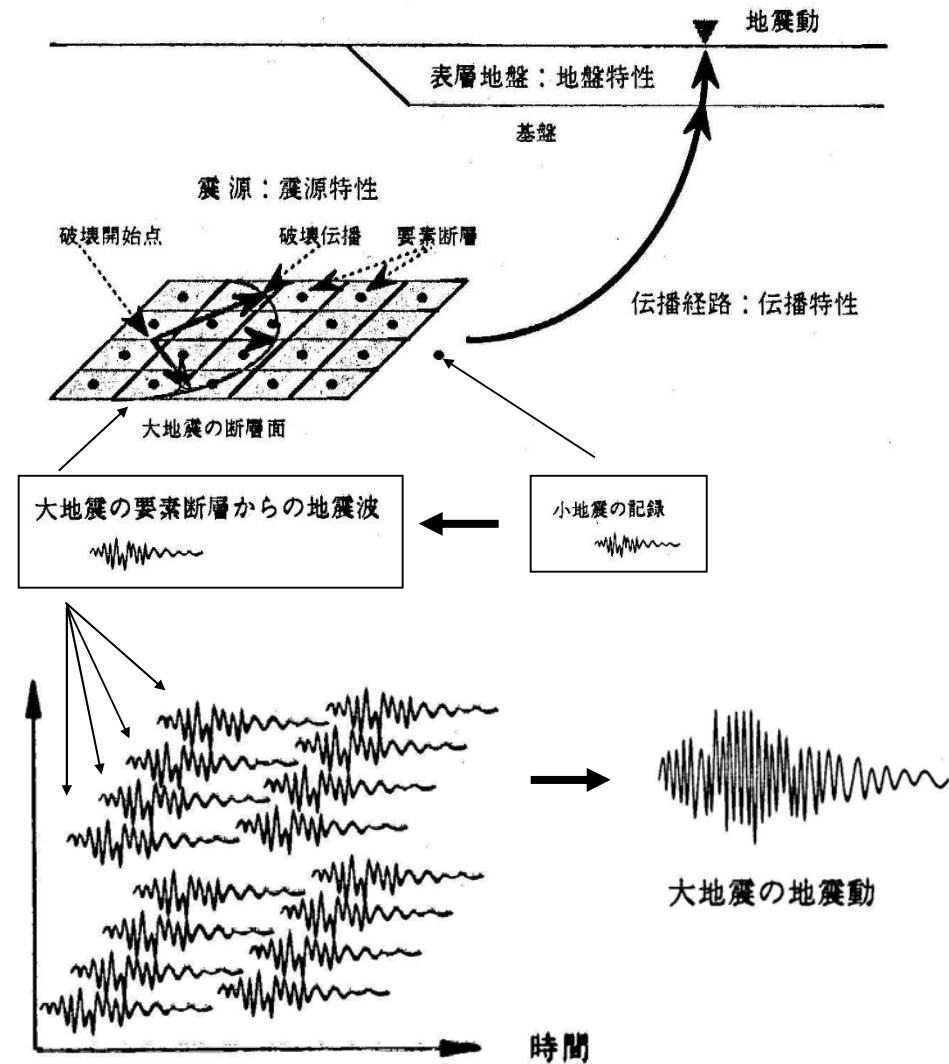
様々な地震観測記録の収集



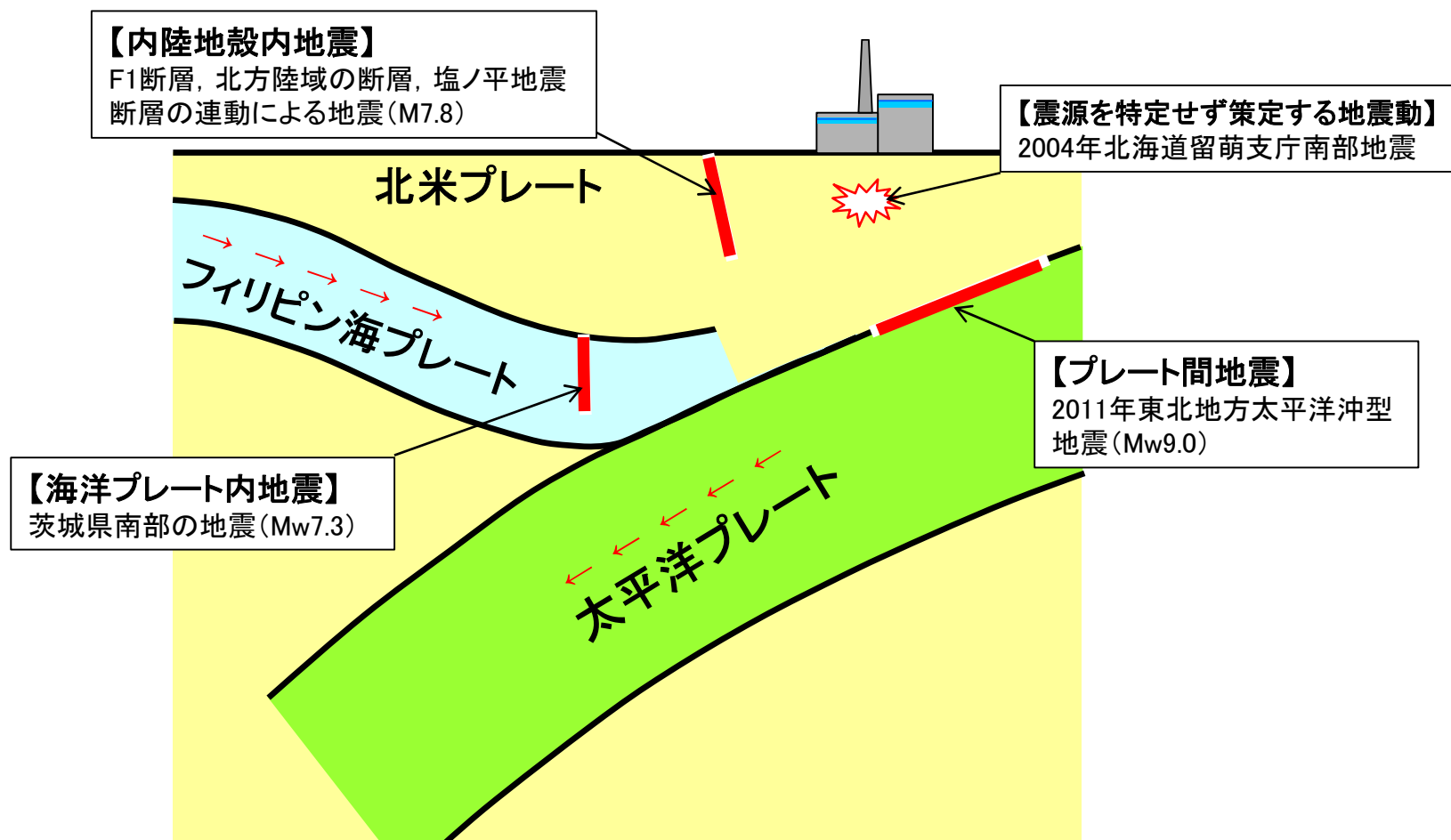
概要：小地震記録の重ねあわせによって大地震の地震動を推定する方法である。

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。



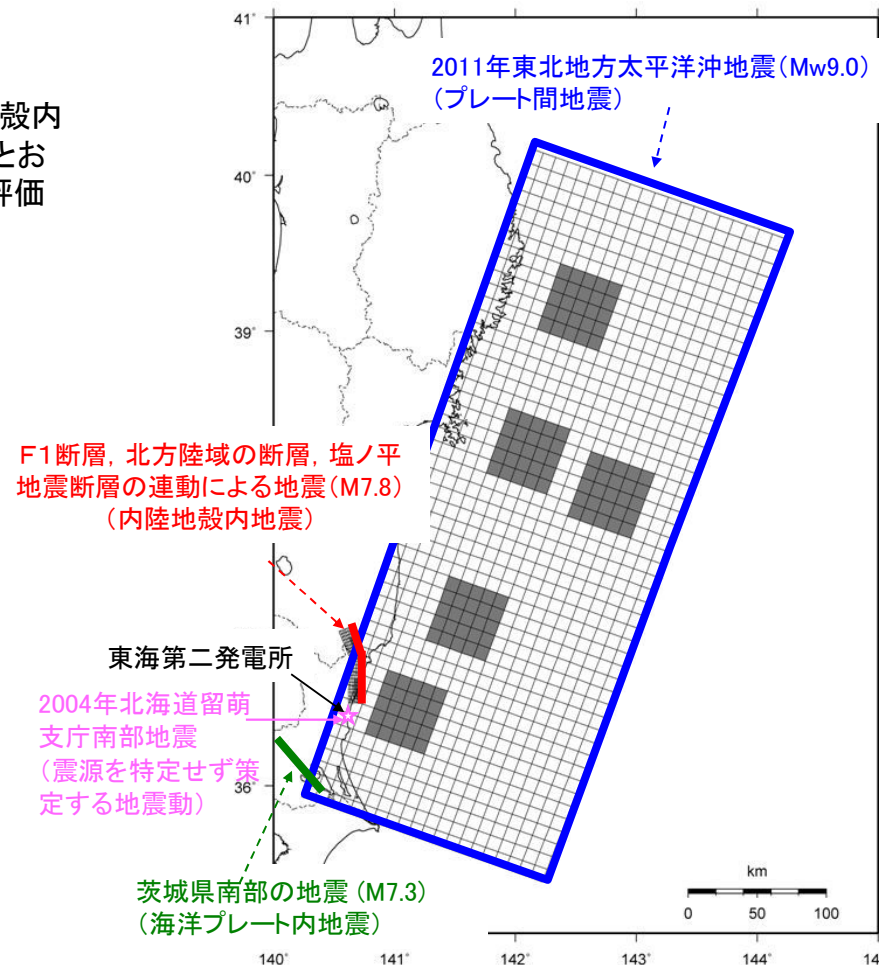
発電所周辺で発生する地震のイメージ図

東海第二発電所の周辺で発生する地震の特徴



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	



検討用地震の断層面

地震動評価の概要(1/2)



■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

プレート間地震	海洋プレート内地震	内陸地殻内地震	既往の知見
<p>【検討用地震の選定】</p> <p>2011年東北地方太平洋沖型地震 (Mw9.0)</p>	<p>【検討用地震の選定】</p> <p>中央防災会議 茨城県南部の地震 (Mw7.3)</p>	<p>【検討用地震の選定】</p> <p>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)</p>	<p>震源を事前に特定できない地震に関する既往の知見である加藤ほか(2004)による応答スペクトル</p>
<p>【基本震源モデルの設定】</p> <p>強震動予測レシピに基づく震源モデル (Mw9.0)</p>	<p>【基本震源モデルの設定】</p> <p>中央防災会議(2013)等の各種知見に基づく震源モデル (Mw7.3)</p>	<p>【基本震源モデルの設定】</p> <p>地質調査結果や強震動予測レシピに基づく震源モデル (M7.8)</p>	
<p>主な特徴</p> <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を想定している。 ・巨大プレート間地震に対して適用性を確認した強震動予測レシピに基づきパラメータを設定している。 ・基本震源モデルによる評価結果は、東北地方太平洋沖地震における敷地観測記録と良く対応していることを確認している。 	<p>主な特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・想定になった中央防災会議(2013)は、フィリピン海プレートに関する最新知見を踏まえたものであり、1855年安政江戸地震の再現モデル(応力降下量52MPa)に2割程度保守性を考慮(応力降下量62MPa)している。 ・フィリピン海プレートの厚さが20km以上となる領域のうち、敷地に近い位置に想定している。 	<p>主な特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2011年福島県浜通りの地震の知見から、地震発生層の上端深さを3kmと設定している。下端深さについては保守的に18kmとし、断層幅をより厚く想定している。 ・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を参考に西傾斜60度としている。 ・断層全長約58kmを南部と北部に区分けする際、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区間に配置するアスペリティの地震モーメントや短周期レベルを大きくし、安全側の設定としている。 	<p>審査ガイド例示16地震</p>
<p>【不確かさの考慮】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・SMGA位置の不確かさ (過去に発生した地震の位置→敷地最短) ・短周期レベルの不確かさ (宮城県沖で発生する地震の短周期励起特性を概ねカバーするレベルとして基本震源モデルの1.5倍を考慮) ・SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳 	<p>【不確かさの考慮】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・断層傾斜角の不確かさ (90度→敷地に向く角度) ・アスペリティ位置の不確かさ (海洋マントル上端→海洋地殻上端) ・応力降下量の不確かさ (62MPa→77MPa) ・地震規模の不確かさ (Mw7.3→Mw7.4) 	<p>【不確かさの考慮】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・短周期レベルの不確かさ (2007年新潟県中越沖地震の知見を踏まえ基本震源モデルの1.5倍を考慮) ・断層傾斜角の不確かさ (2011年福島県浜通りの地震の震源域での余震分布の形状を考慮し、傾斜角45度を考慮) ・アスペリティ位置の不確かさ (端部1マス離隔あり→端部1マス離隔なし) 	<p>信頼性のある基盤地震動の検討結果を踏まえ2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮</p>
<p>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を設定</p>			

次頁へ

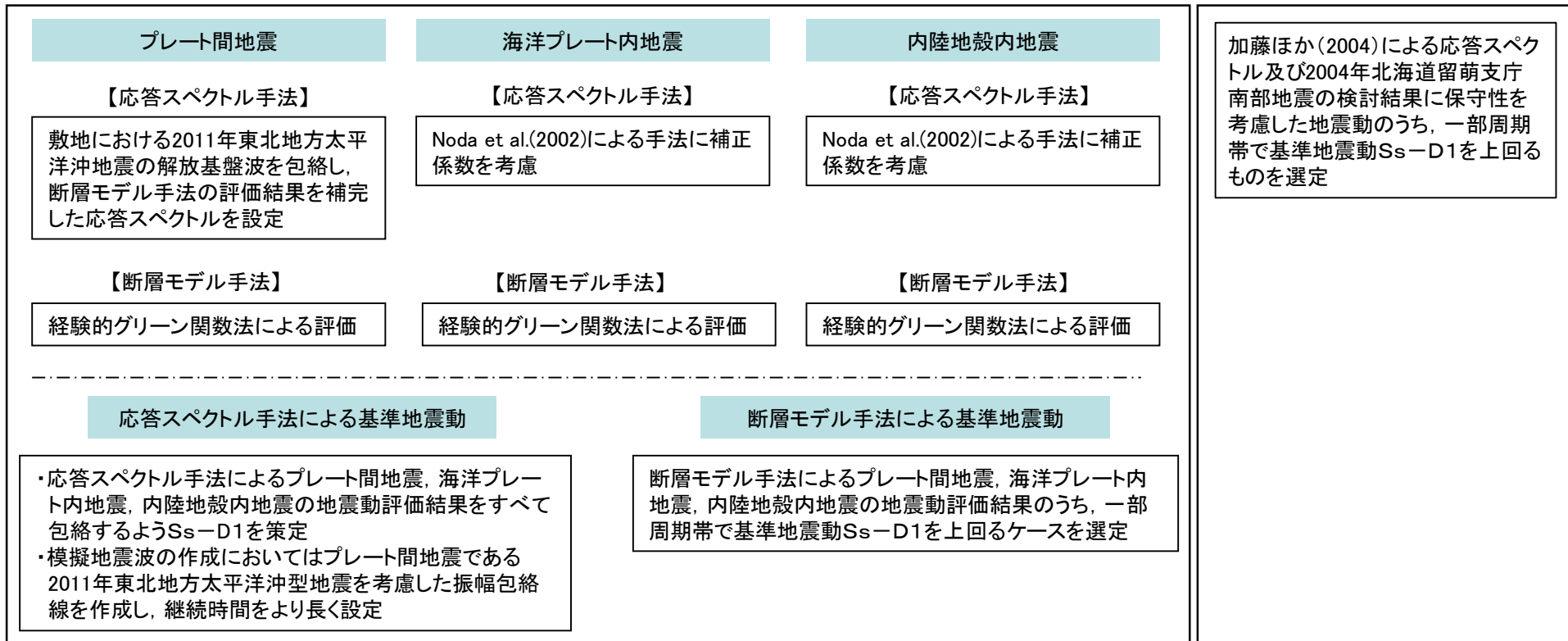
次頁へ

地震動評価の概要(2/2)



■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



■基準地震動S_sの策定

- S_s-D1 応答スペクトル手法による基準地震動
- S_s-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)
- S_s-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)
- S_s-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)
- S_s-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)
- S_s-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)
- S_s-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)
- 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

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"> ・加藤ほか(2004)による応答スペクトル(450ガル) ・2004年北海道留萌支庁南部地震 		<ul style="list-style-type: none"> ・従来の加藤ほか(2004)による応答スペクトルは, 他のSsに包絡されていることを確認した。 ・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)

※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S_s

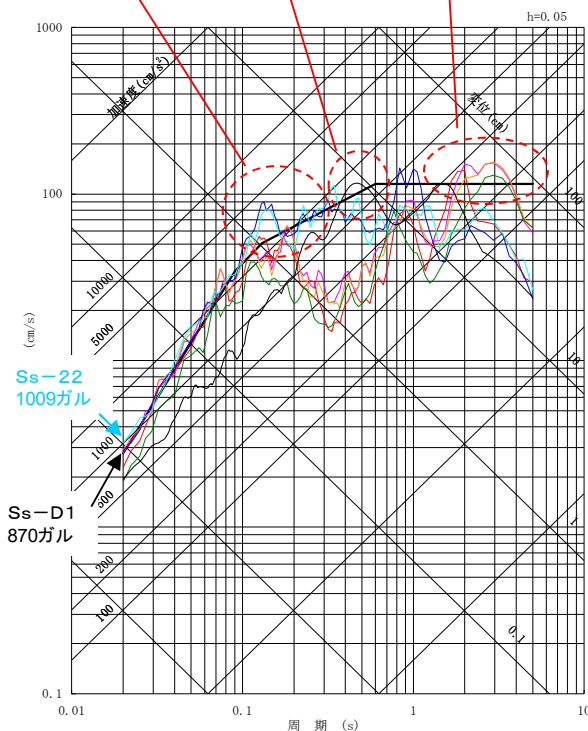


■基準地震動S_sを示す。

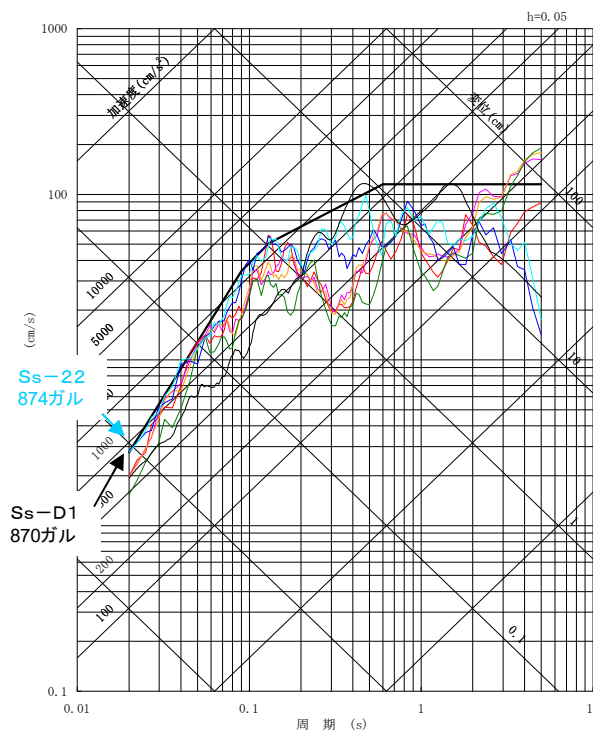
短周期側ではプレート間地震、「特定せず」の基準地震動が、長周期側では内陸地殻内地震の基準地震動がそれぞれS_s-D1を上回る。

プレート間地震 「特定せず」 内陸地殻内地震

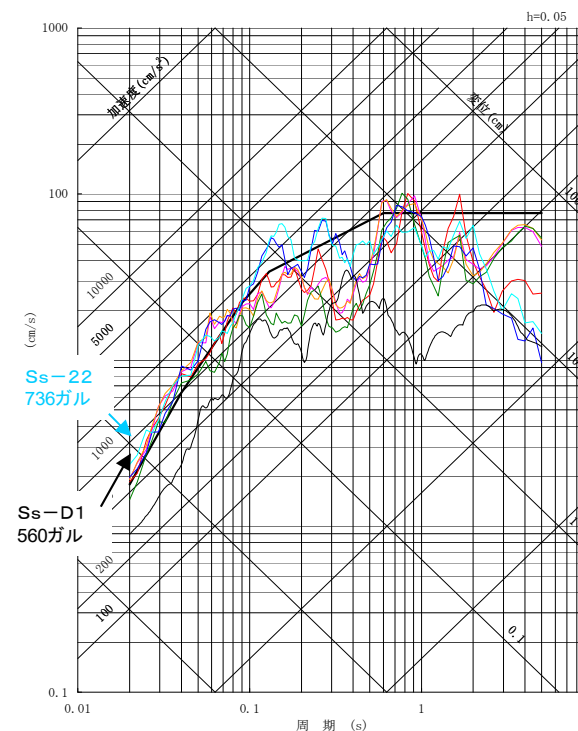
- S_s-D1 応答スペクトル手法による基準地震動
- S_s-11 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- S_s-12 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- S_s-13 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- S_s-14 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)
- S_s-21 2011年東北地方太平洋沖型地震(短周期レベルの不確かさ)
- S_s-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)
- 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



NS成分



EW成分



UD成分

東海第二発電所の基準地震動S_sは、応答スペクトル法によるS_s-D1に加え、一部周期帯でS_s-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1波の合計8波とした。断層モデル手法によるS_s及び「特定せず」のS_sは、S_s-D1を上回る周期帯が異なるため、それぞれの基準地震動S_s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

・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

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

変更点(1/2)



○:考慮, -:未考慮

発生様式	検討ケース	2014年頃	さらなる不確かさを考慮(2018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	・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
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

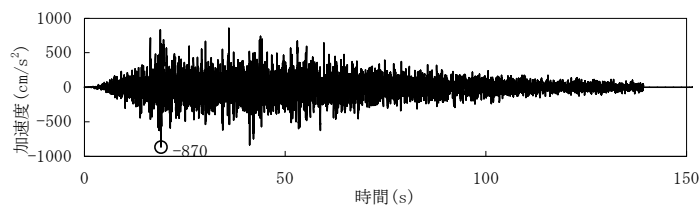
変更点(2/2)



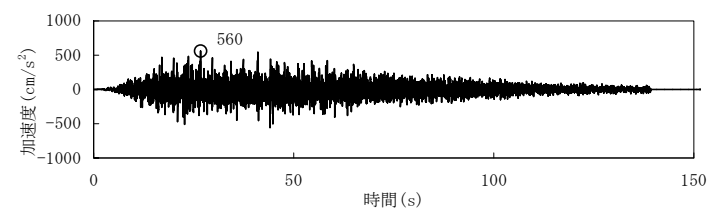
2014年頃					さらなる不確かさを反映(2018年)					
基準地震動		最大加速度 (cm/s ²)			基準地震動		最大加速度 (cm/s ²)			
		NS成分	EW成分	UD成分			NS成分	EW成分	UD成分	
Ss-D	応答スペクトル手法による基準地震動	700			420	Ss-D1	応答スペクトル手法による基準地震動	870		560
Ss-1	F1断層, 北方陸域の断層の連動による地震(M7.6) (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)	788	728	563	Ss-11	F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(M7.8) (短周期レベルの不確かさ, 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	

■ 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



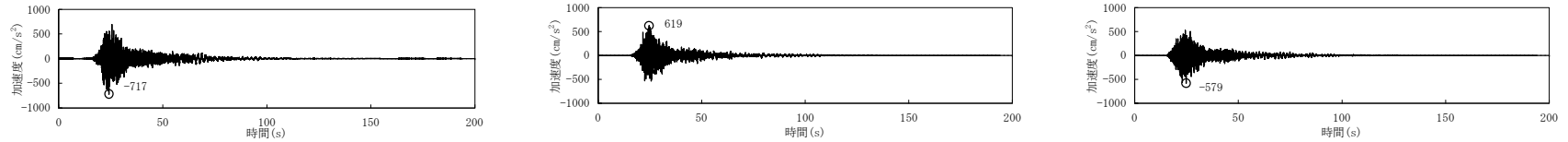
Ss-D1H(水平成分)



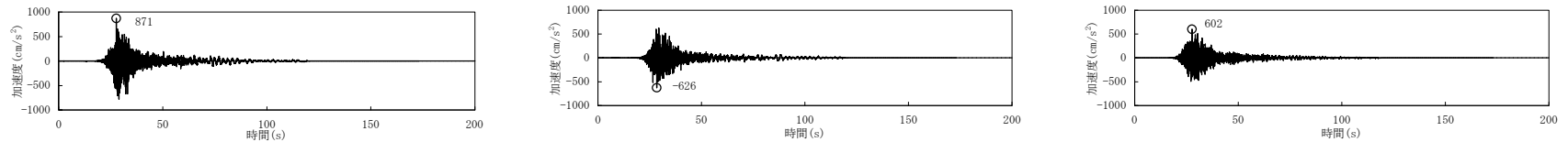
Ss-D1V(鉛直成分)

■ 基準地震動Ssの加速度時刻歴波形(2/3)

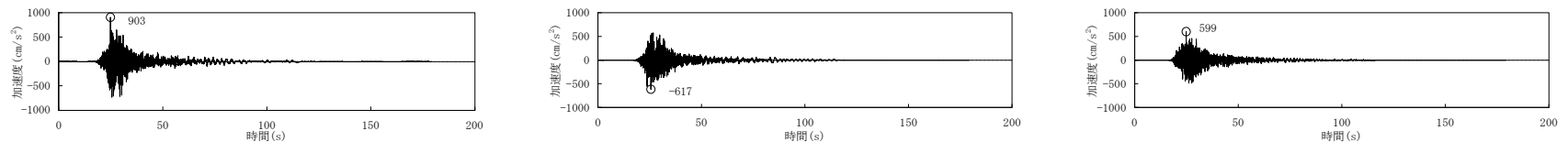
Ss-11 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)



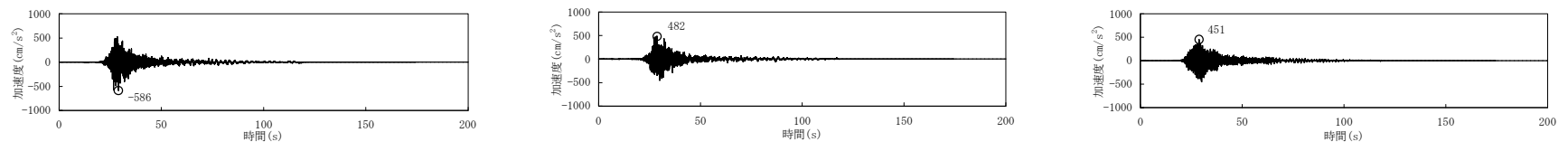
Ss-12 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)



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)



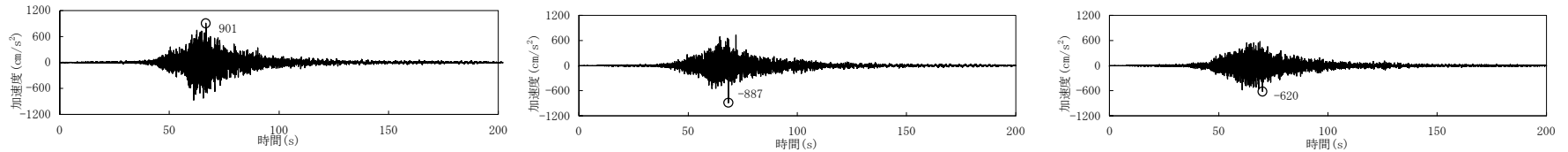
NS成分

EW成分

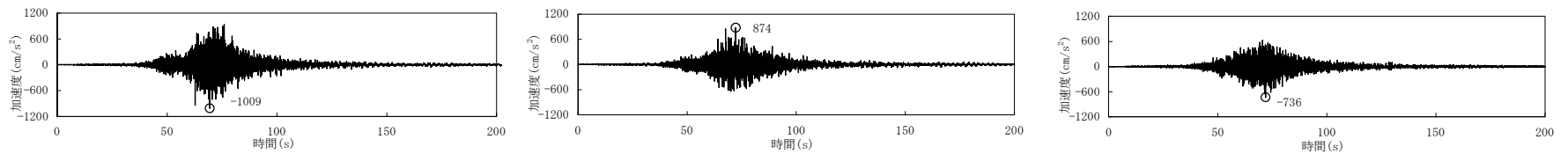
UD成分

■ 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)

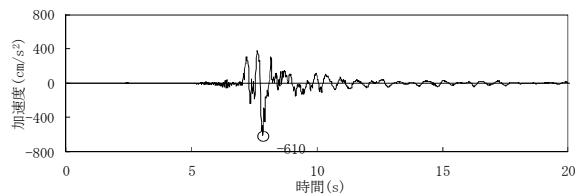


NS成分

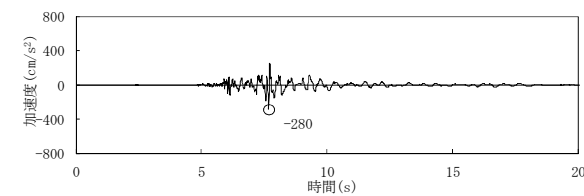
EW成分

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



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)			
	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
Ss-D	600		400	Ss-D	700		420	Ss-D1	870		560
Ss-1	516	475	357	Ss-1	788	728	563	Ss-11	717	619	579
—	—	—	—	Ss-2	901	887	620	Ss-12	871	626	602
—	—	—	—	—	—	—	—	Ss-13	903	617	599
—	—	—	—	—	—	—	—	Ss-14	586	482	451
—	—	—	—	—	—	—	—	Ss-21	901	887	620
—	—	—	—	—	—	—	—	Ss-22	1009	874	736
—	—	—	—	—	—	—	—	Ss-31	610		280

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。

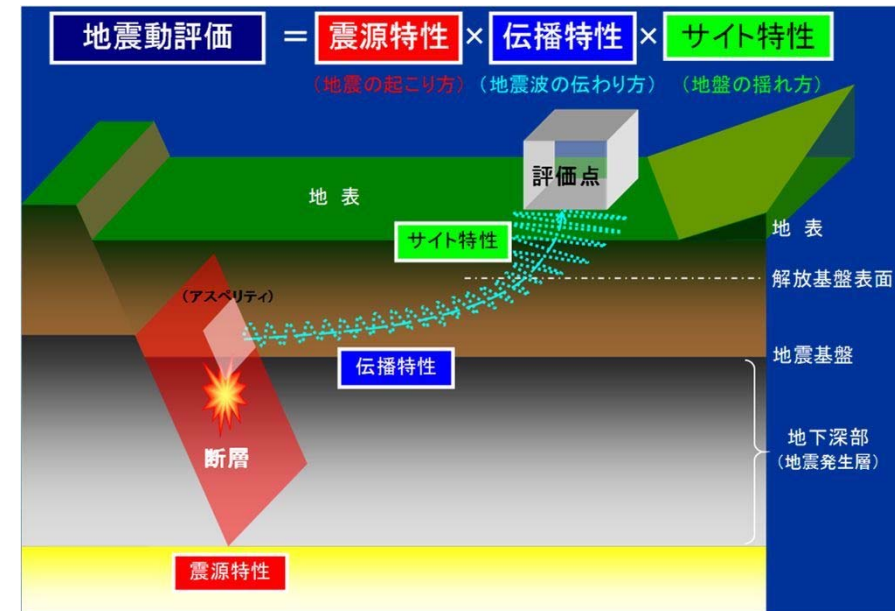
- ・2011年東北地方太平洋沖地震を踏まえた評価を行い、更に不確かさを二重に考慮したこと。(Ss-22, 1009ガル)
- ・断層長さが延びたことに加え、断層幅についてもより大きく設定したこと。(Ss-13, 903ガル)

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

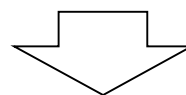
敷地・敷地周辺の地盤調査によると、敷地周辺では新第三紀の久米層がほぼ水平で相当な拡がりを有して分布している。敷地内のボーリング孔で実施したPS検層結果によると、E.L.−370m以深ではS波速度が0.7km/s以上となっていることから、E.L.−370mの位置に解放基盤表面を設定する。なお、地震動評価のうち応答スペクトルに基づく手法において、解放基盤表面での地盤の弾性波速度値については、敷地の地盤調査より、P波速度を2.0km/s、S波速度を0.7km/sと設定する。

・敷地周辺の地盤構造

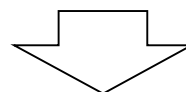
重力異常分布によると、敷地の北西部には重力の急変部が、敷地西側には船底状の構造が見られる。これらは、敷地周辺の地盤調査で明らかのように、基盤が深さ4km程度に達する不整形地盤が存在するためであるが、地震観測記録の分析結果及び反射法探査、屈折法探査及び微動アレイ探査による速度構造を用いた解析的検討の結果から、これらが敷地における地震動評価に与える影響は小さい。

「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

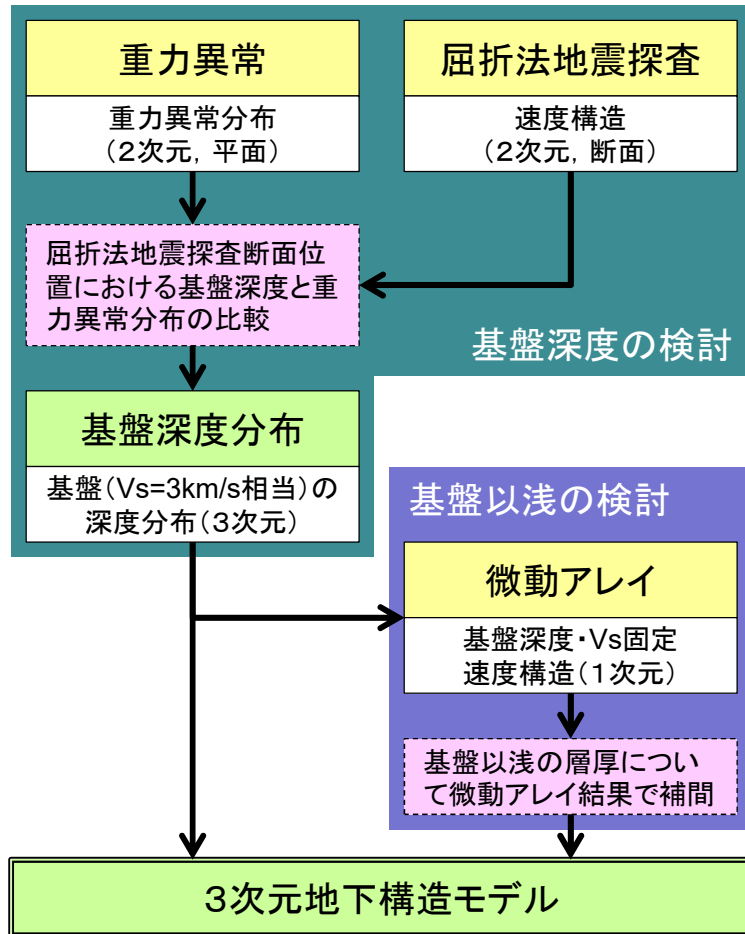
確認

解析による検討

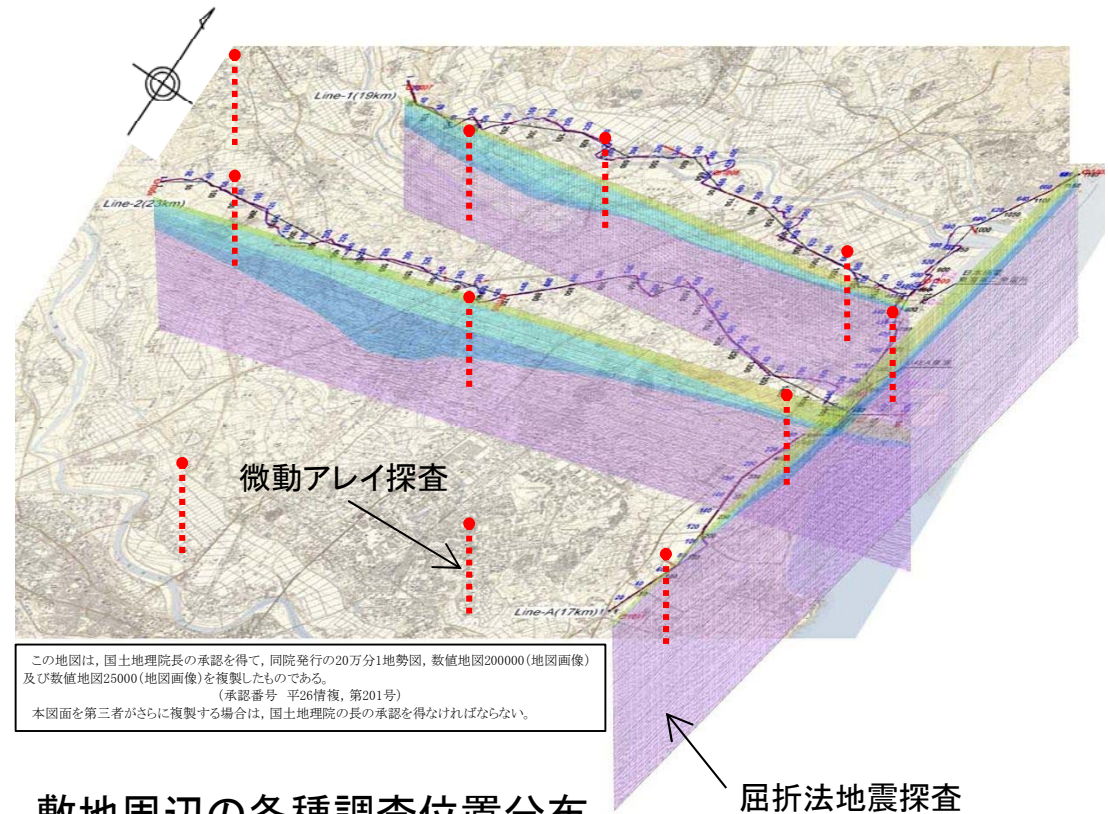
- ・2次元FEMモデル
→ 東西断面, 南北断面
- ・敷地の西側及び南側に見られる深い基盤形状による影響を検討
- ・敷地地盤の地下構造は水平成層かつ均質とみなして評価できることを確認

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。

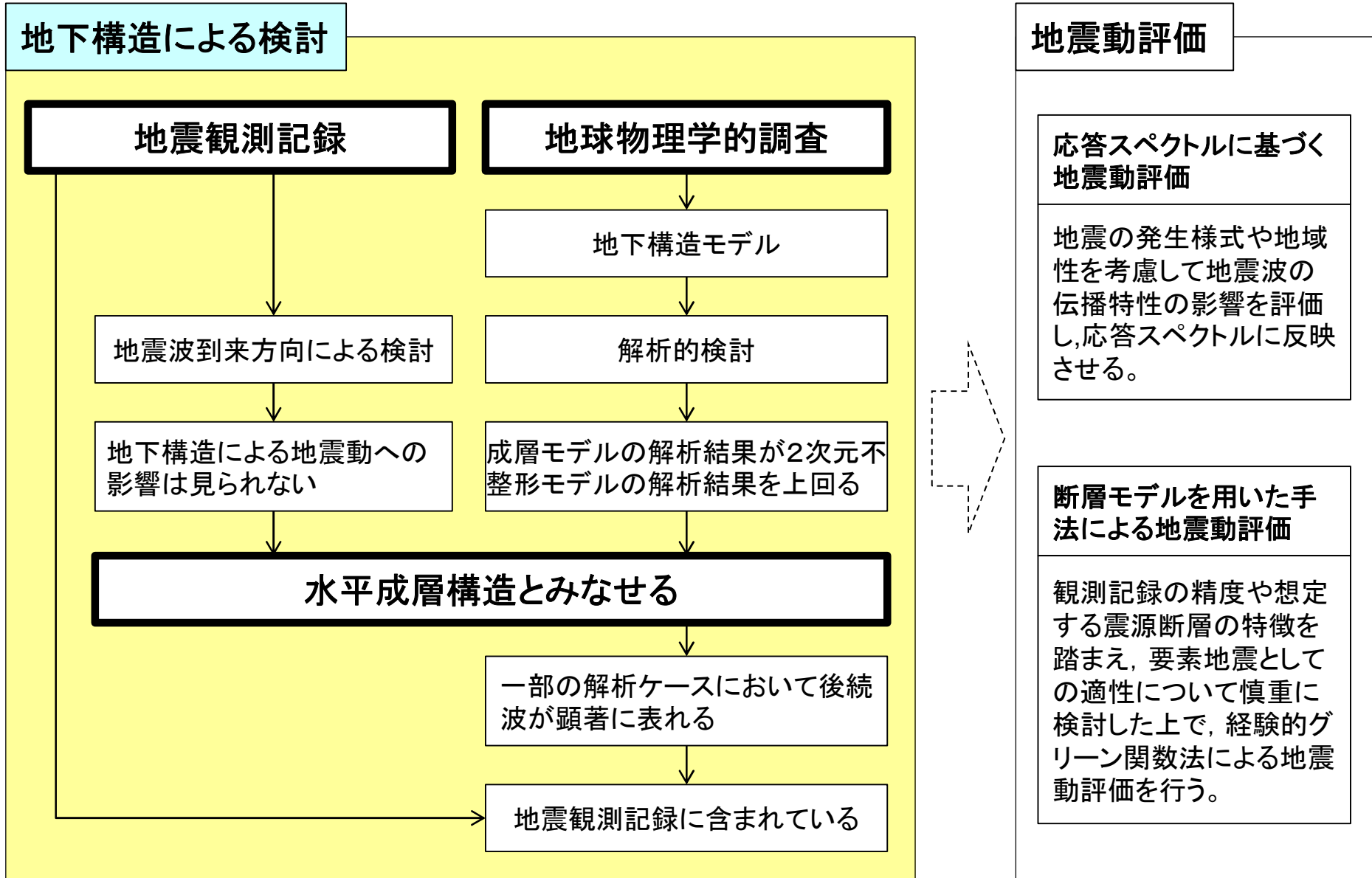
- 敷地周辺における重力異常分布, 屈折法地震探査結果及び微動アレイ探査結果を基に, 3次元の地下構造を把握する。



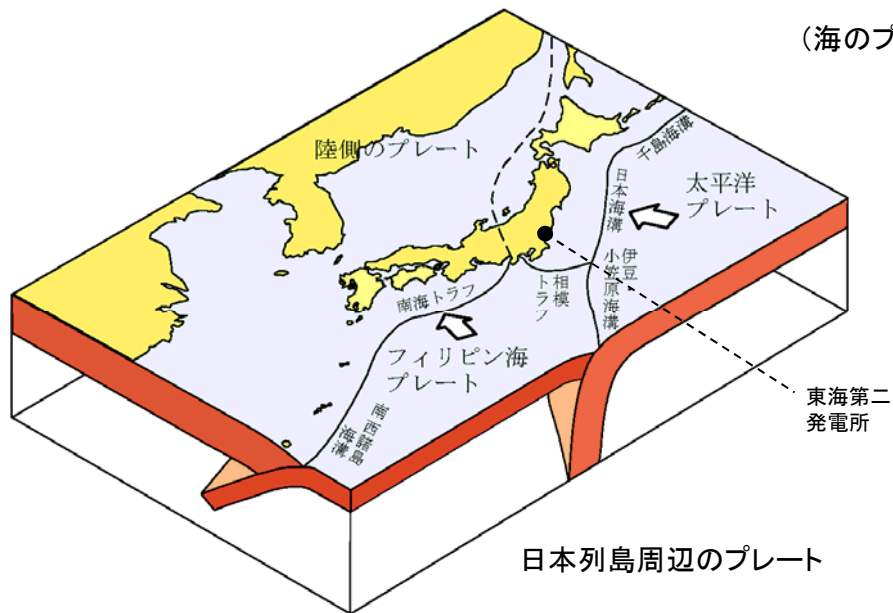
3次元地下構造モデル作成手順



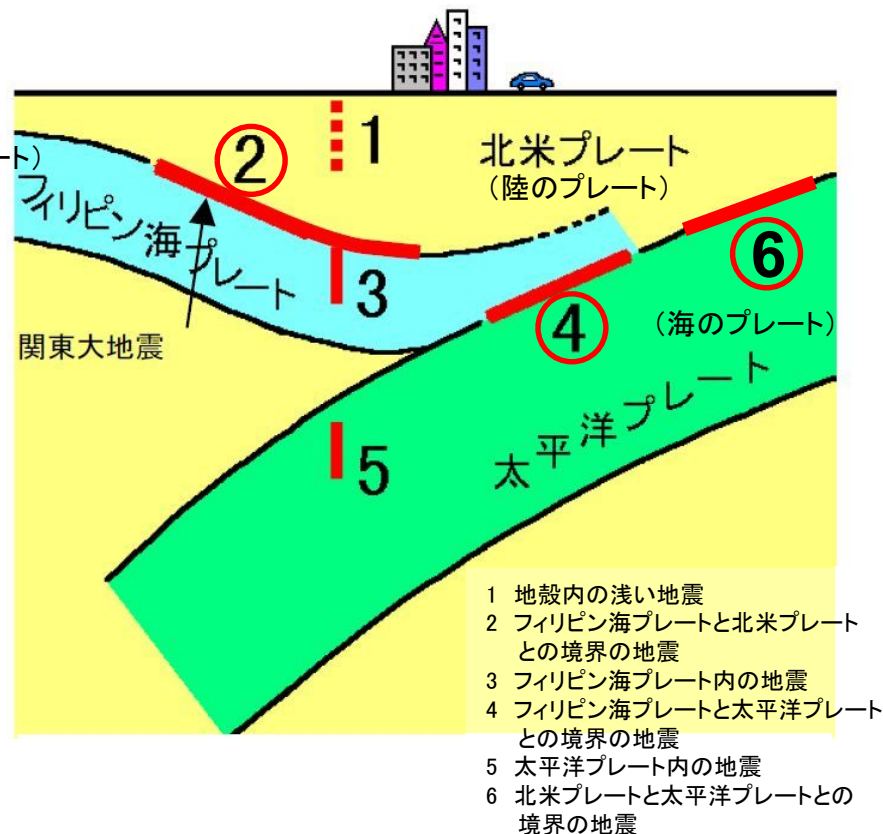
敷地周辺の各種調査位置分布



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)

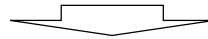


南関東地域で発生する地震のタイプ
(中央防災会議に一部加筆)

- 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

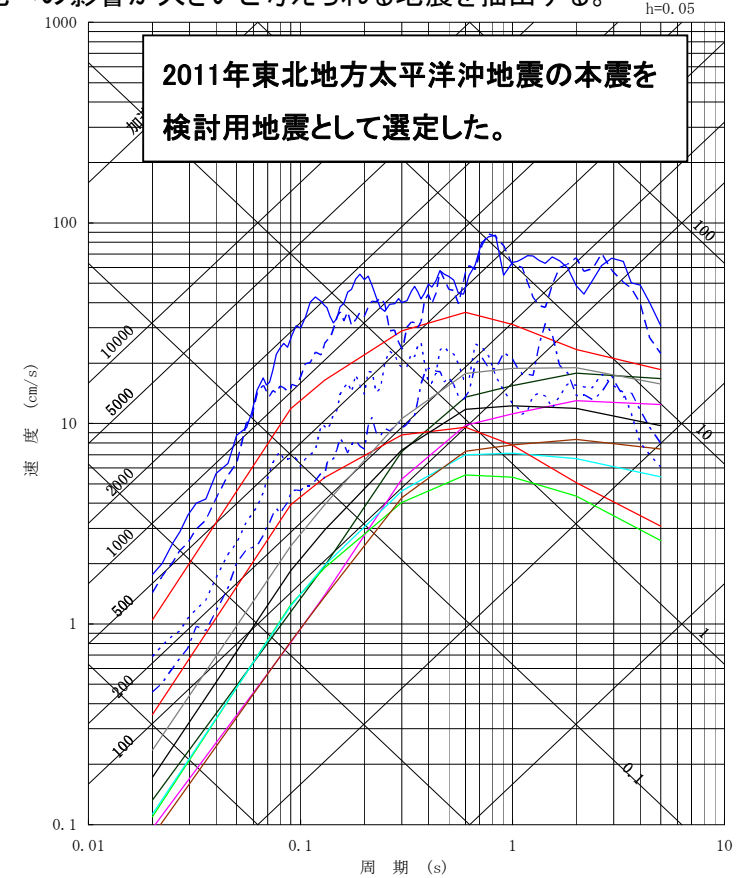
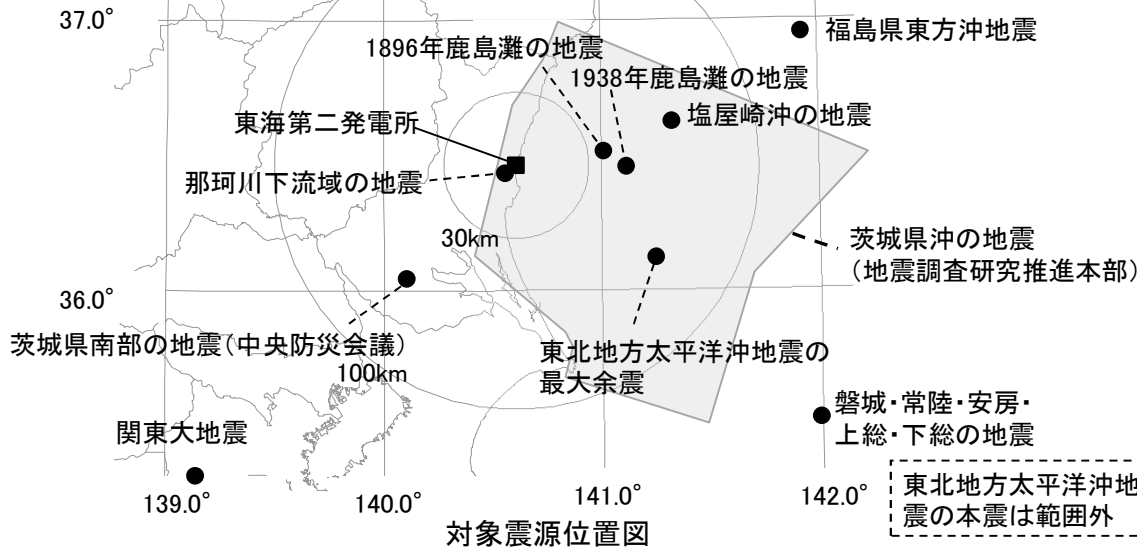
- 地震動評価ケースについて, 不確かさの重畳ケースを追加(青字)
- ・基本ケース
 - ・不確かさケース1 強震動生成域の位置(敷地最短位置に設定)
 - ・不確かさケース2 短周期レベル(基本ケースに対して1.5倍) → 基準地震動Ss-2(901gal)に選定
 - ・不確かさケース3 強震動生成域と短周期レベルの不確かさを重畳(1009gal)

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)

2011年東北地方太平洋沖地震の震源モデル

■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】

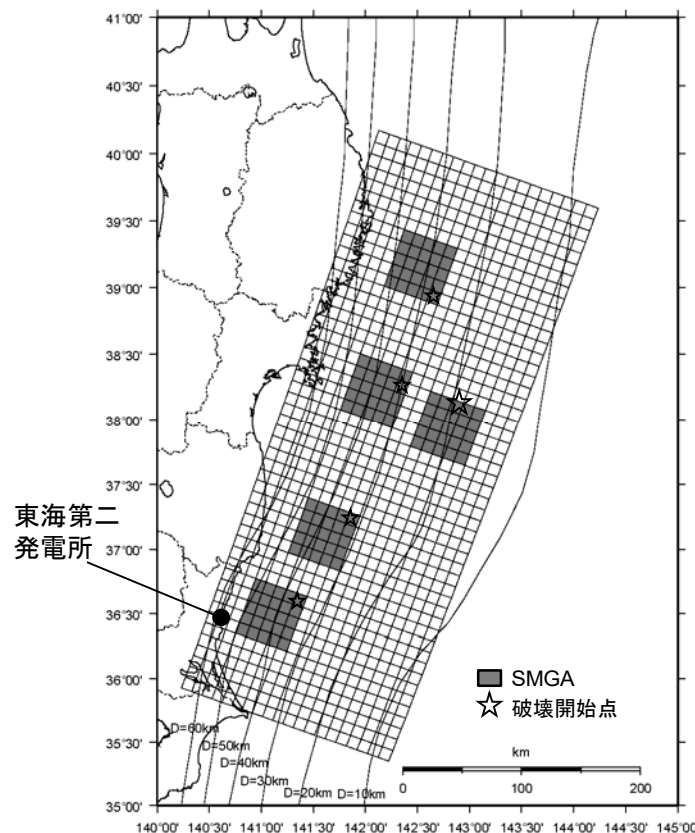
- ・長さ, 幅は, 東北地方太平洋沖地震の震源域を参考にそれぞれ500km, 200kmとする。
- ・走向は, 東北地方太平洋沖地震に関する防災科学技術研究所F-netのCMT解を用いる。深さは, 太平洋プレートの上面に沿ってモデル化する。

【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×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)

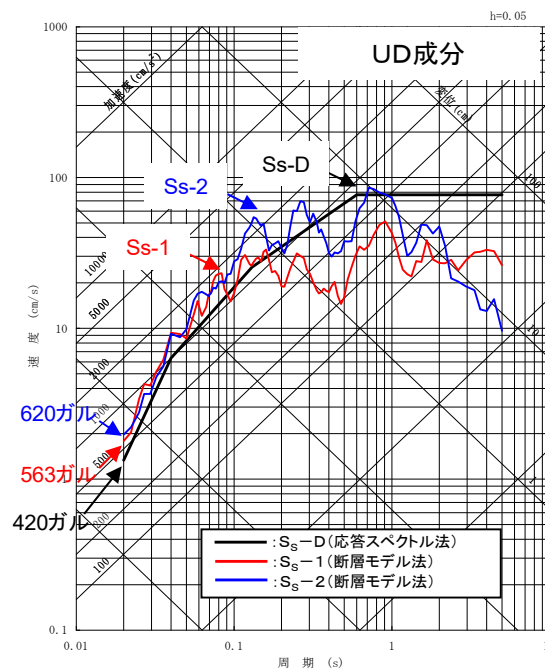
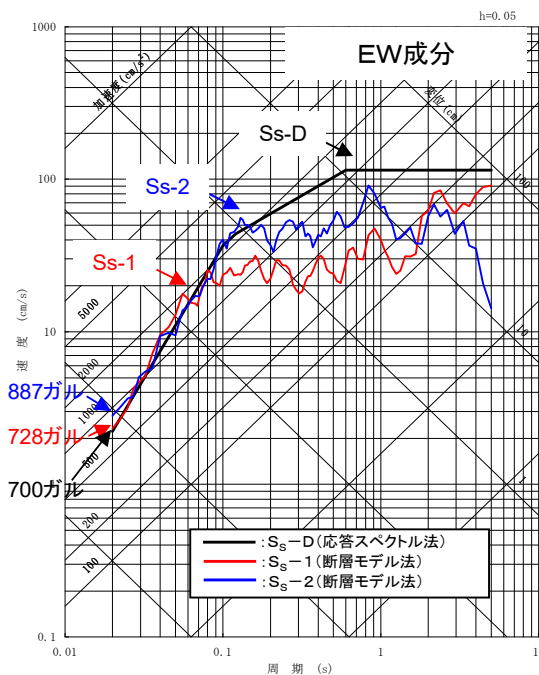
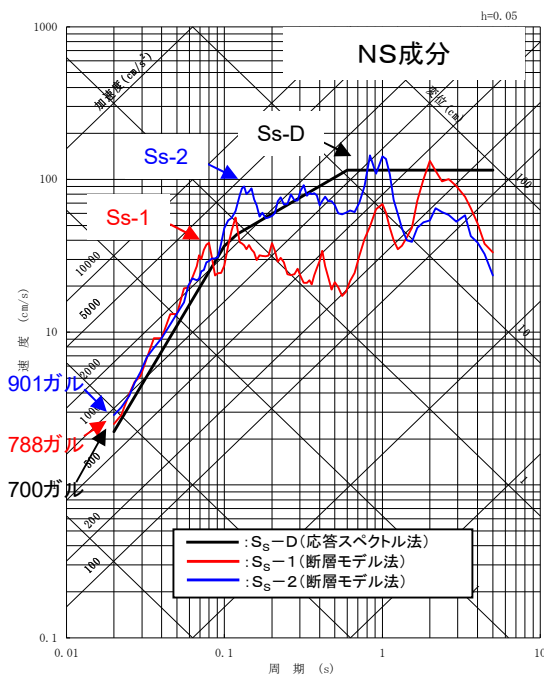
項目		設定値	設定方法
SMGA全体	面積	S_a (km ²)	12500 $S_a = cS$, $c = 0.125$
	地震モーメント	M_{0a} (N·m)	1.00E+22 $M_{0a} = \mu D_a S_a$
	すべり量	D_a (cm)	1708.6 $D_a = 2 \times D$
	応力降下量	$\Delta \sigma_a$ (MPa)	24.6 $\Delta \sigma_a = S/S_a \times \Delta \sigma$
	短周期レベル	A_a (N·m/s ²)	2.97E+20 $A_a = (\sum A_{ai}^2)^{1/2} = 5^{1/2} A_{a1}$
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)

基準地震動



■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。



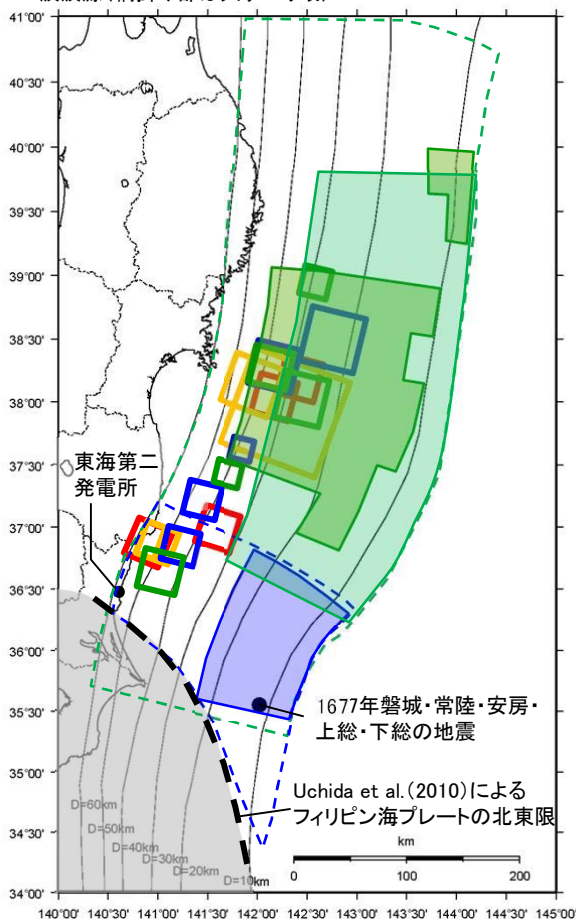
津波評価で考慮している波源



■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	・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)	・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	・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県沖にも存在し, 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。

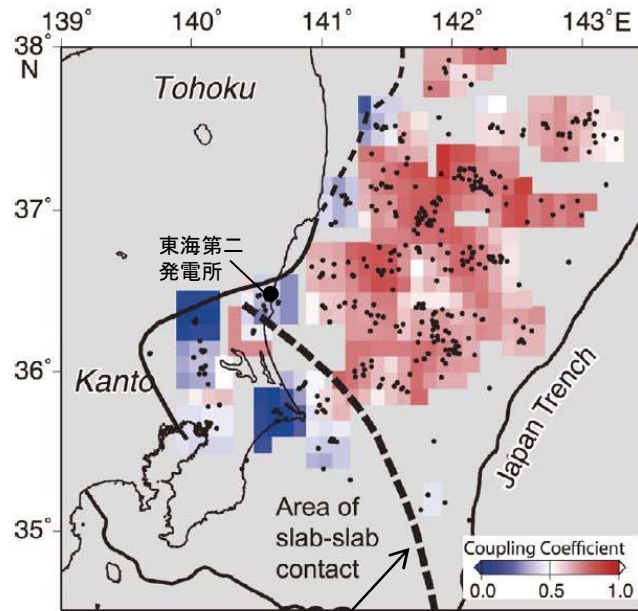


図4 繰り返し小地震のすべり量の積算から推定されたプレート間結合度の分布 (Uchida et al., 2009). 各領域で推定されたカプリング係数をカラースケールで示す。黒点は推定に用いた繰り返し小地震の各グループの位置を示す。太破線はフィリピン海プレートの北東端。

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.

フィリピン海プレート北東端

長谷川ほか(2013)に一部加筆

プレート間結合度の分布

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

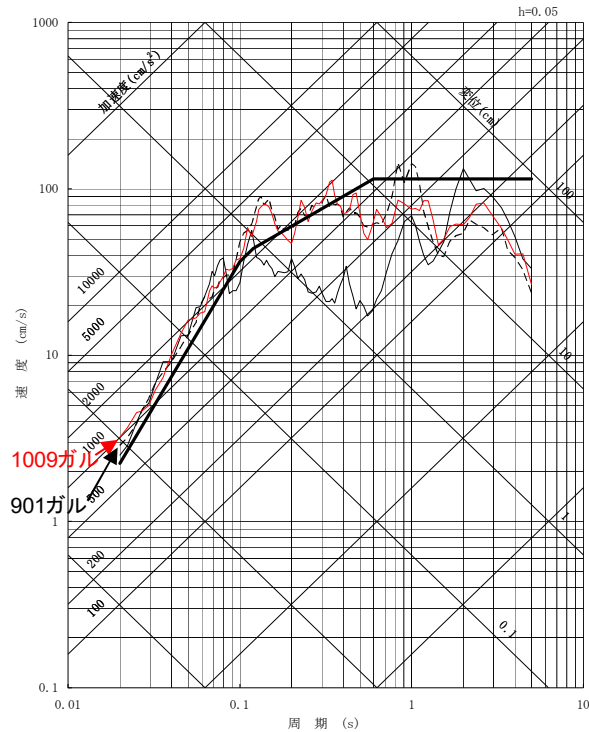
 不確かさを考慮して設定するパラメータ
 追加したケース

※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。

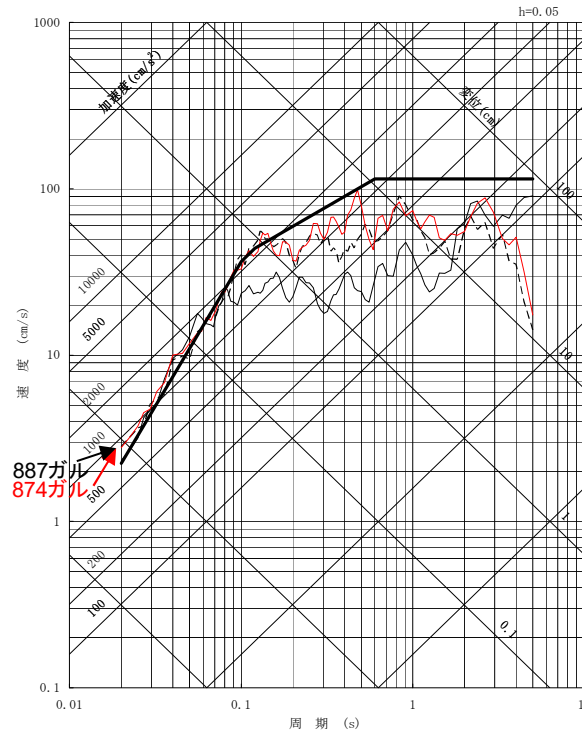
※2 すべてのSMGAの短周期レベルを1.5倍している。

※3 破壊が敷地に向かう位置に設定されている。

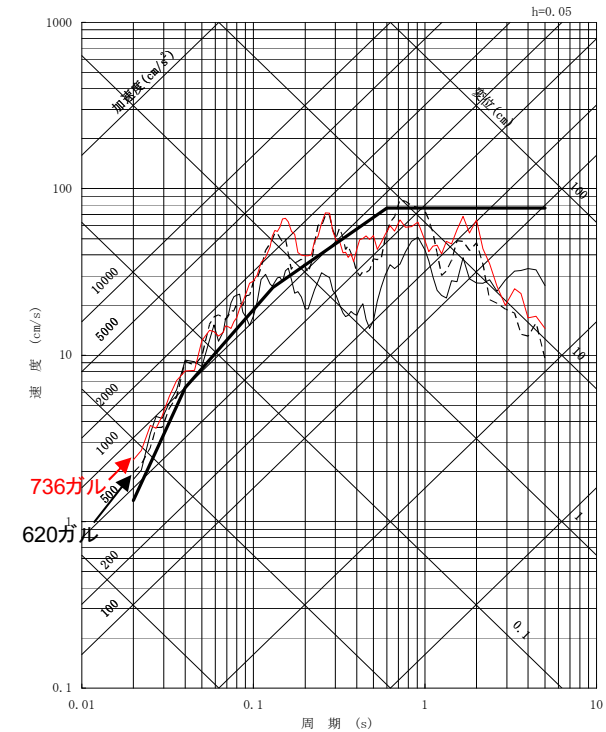
■ SMGA位置と短周期レベルの不確かさを重畳させたケースは、NS成分で1009Galの地震動評価結果となり、短周期レベルの不確かさを考慮したケース(申請時Ss-2, NS成分で901Gal)を上回った。



NS成分



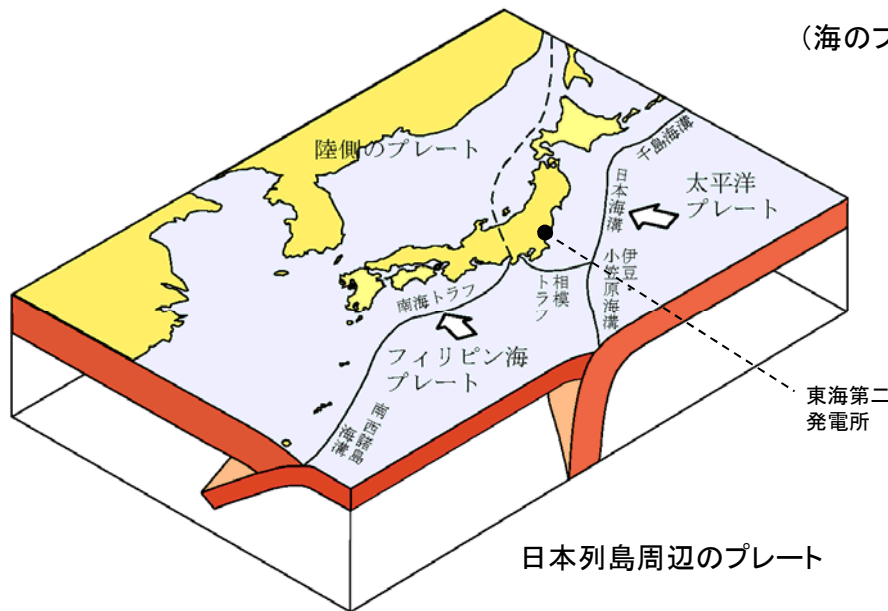
EW成分



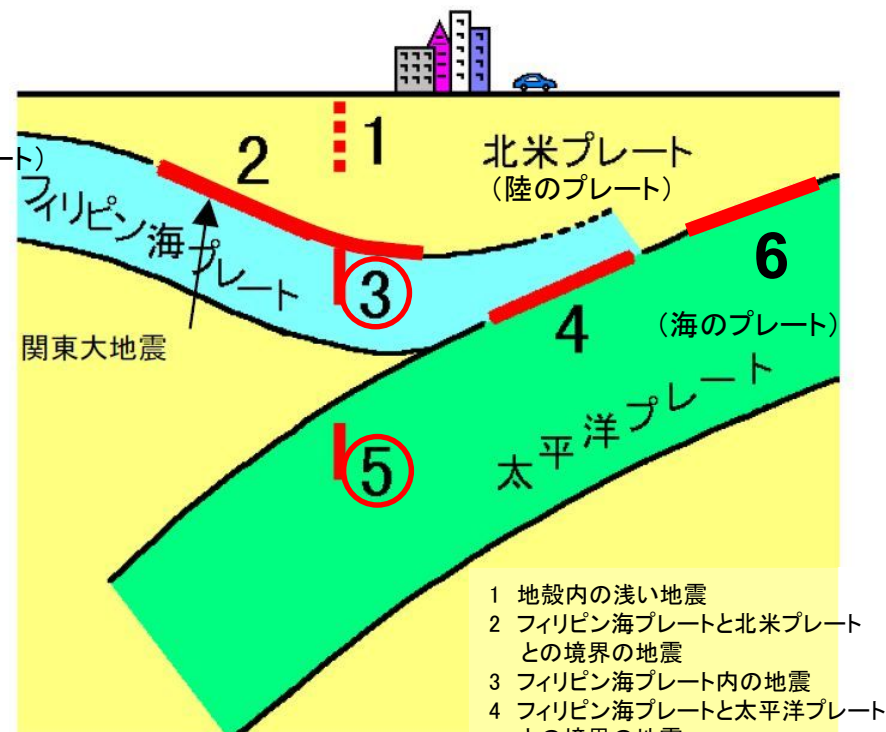
UD成分

- Ss-D
 - Ss-1
 - Ss-2 短周期レベルの不確かさを考慮 (NS:901Gal, EW:887Gal, UD:620Gal)
 - SMGA位置と短周期レベルの不確かさを重畳 (NS:1009Gal, EW:874Gal, UD:736Gal)
- プレート間地震

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)



- 1 地殻内の浅い地震
- 2 フィリピン海プレートと北米プレートとの境界の地震
- 3 フィリピン海プレート内の地震
- 4 フィリピン海プレートと太平洋プレートとの境界の地震
- 5 太平洋プレート内の地震
- 6 北米プレートと太平洋プレートとの境界の地震

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° →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

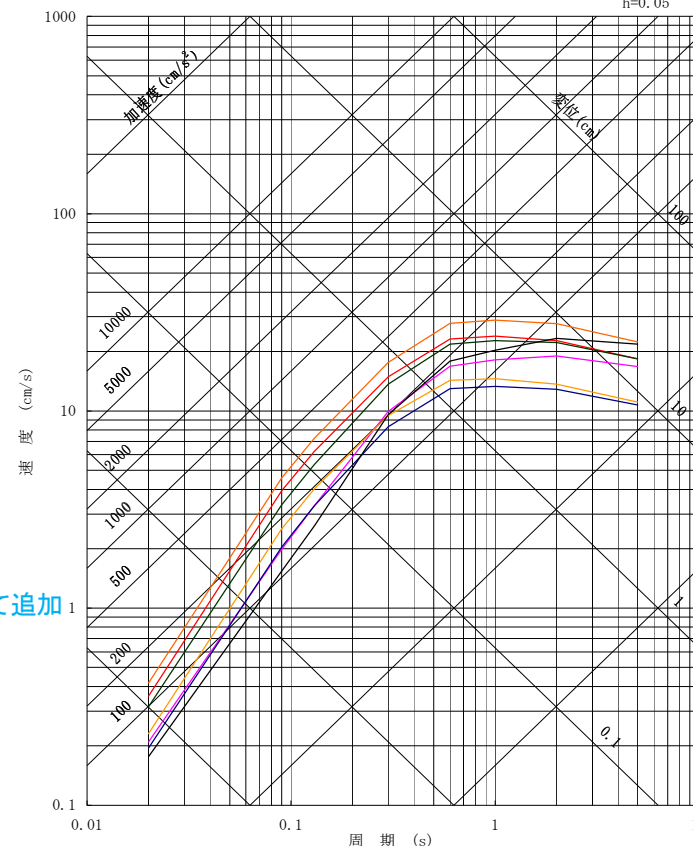


■敷地で震度5程度以上となる過去の被害地震、各機関の想定した海洋プレート内地震のうち敷地への影響が大きいと考えられる地震を抽出する。

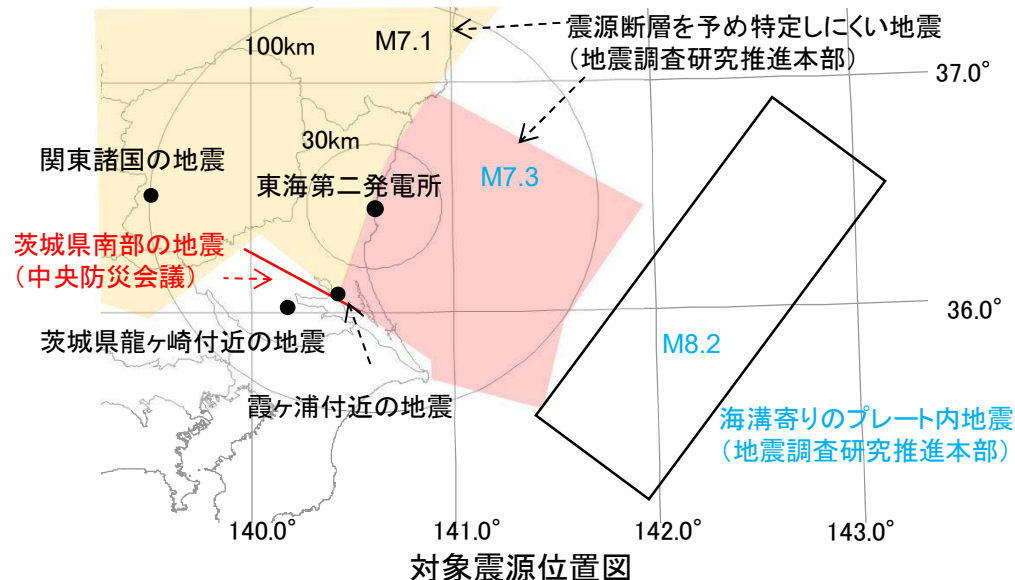
年月日	地名(地震名)	地震規模 M	等価震源距離 (km)※1	プレート	補正係数 ※4
818.-.-	関東諸国の地震	7.5	123	フィリピン海	考慮
1895.1.18	霞ヶ浦付近の地震	7.2	69	フィリピン海	考慮
1921.12.8	茨城県龍ヶ崎付近の地震	7.0	74	フィリピン海	考慮
-	茨城県南部の地震(中央防災会議)	7.3	69	フィリピン海	考慮
-	震源断層を予め特定しにくい地震(陸域) (地震調査研究推進本部)	7.1	89※2	太平洋	考慮
-	震源断層を予め特定しにくい地震(海域) (地震調査研究推進本部)	7.3	81※3	太平洋	考慮
-	海溝寄りのプレート内地震 (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



- 関東諸国の地震, M7.5, Xeq=123km
- 霞ヶ浦付近の地震, M7.2, Xeq=69km
- 茨城県龍ヶ崎付近の地震, M7.0, Xeq=74km
- 茨城県南部の地震(中央防災会議), M7.3, Xeq=69km
- 震源断層を予め特定しにくい地震(地震調査研究推進本部, 陸域), M7.1, Xeq=89km
- 震源断層を予め特定しにくい地震(地震調査研究推進本部, 海域), M7.3, Xeq=81km
- 海溝寄りのプレート内地震(地震調査研究推進本部), M8.2, Xeq=164km



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

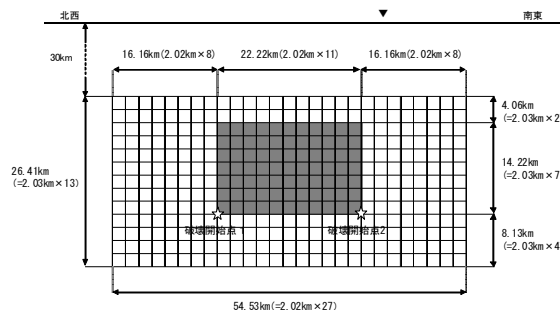
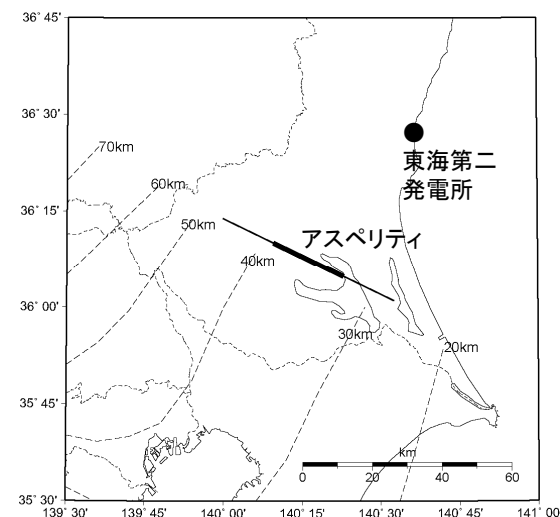
- ・断層位置は、同報告書の茨城県南部のプレート境界地震の断層面の北端(フィリピン海プレートの敷地に最も近い位置)とした。
- ・断層傾斜角は同報告書を基に90度とした。

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端位置となる深さ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

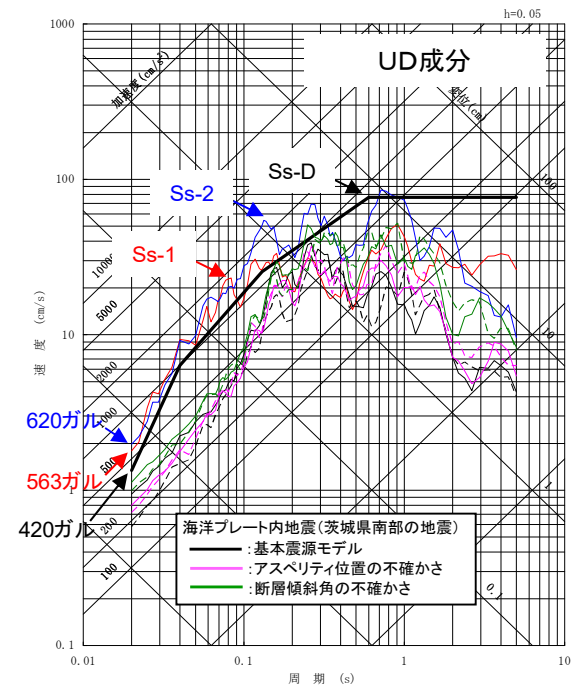
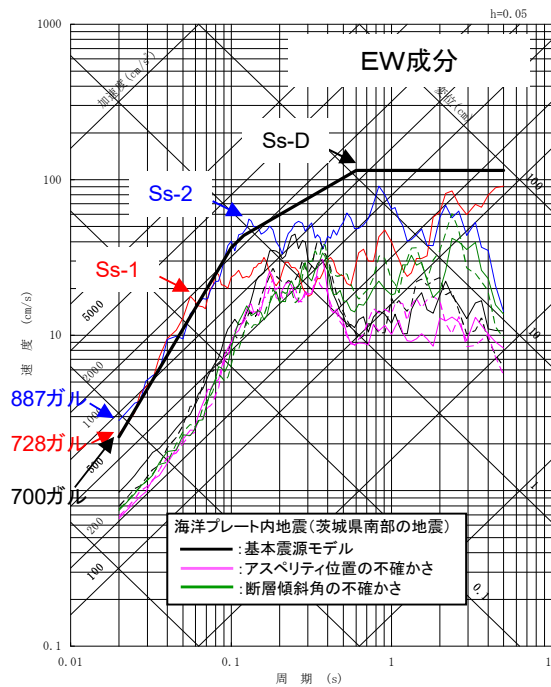
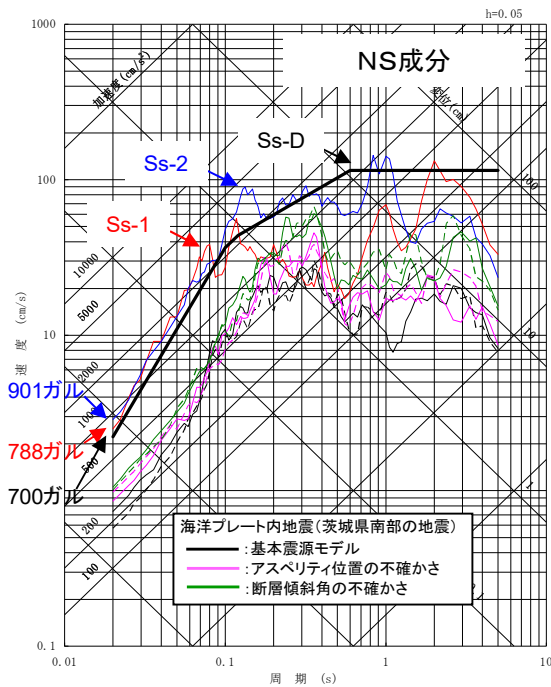
中央防災会議(2004): 中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」(第12回)地震ワーキンググループ報告書, 平成16年11月
 中央防災会議(2004): 中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」(第12回)地震ワーキンググループ報告書(図表集), 平成16年11月

基準地震動

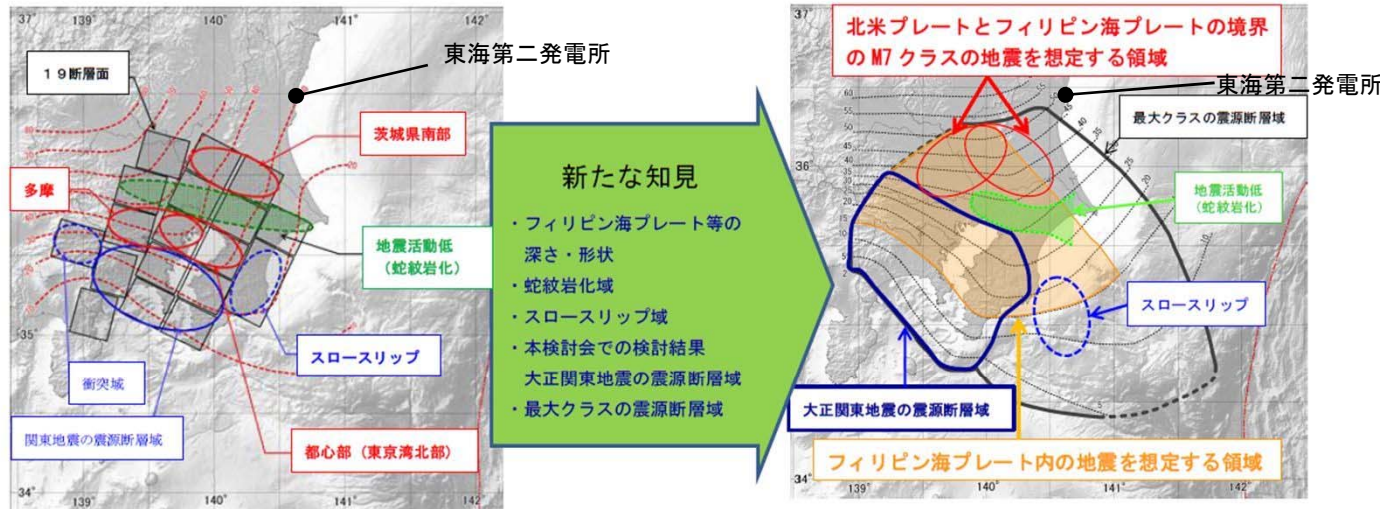


■敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 S_s

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) (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

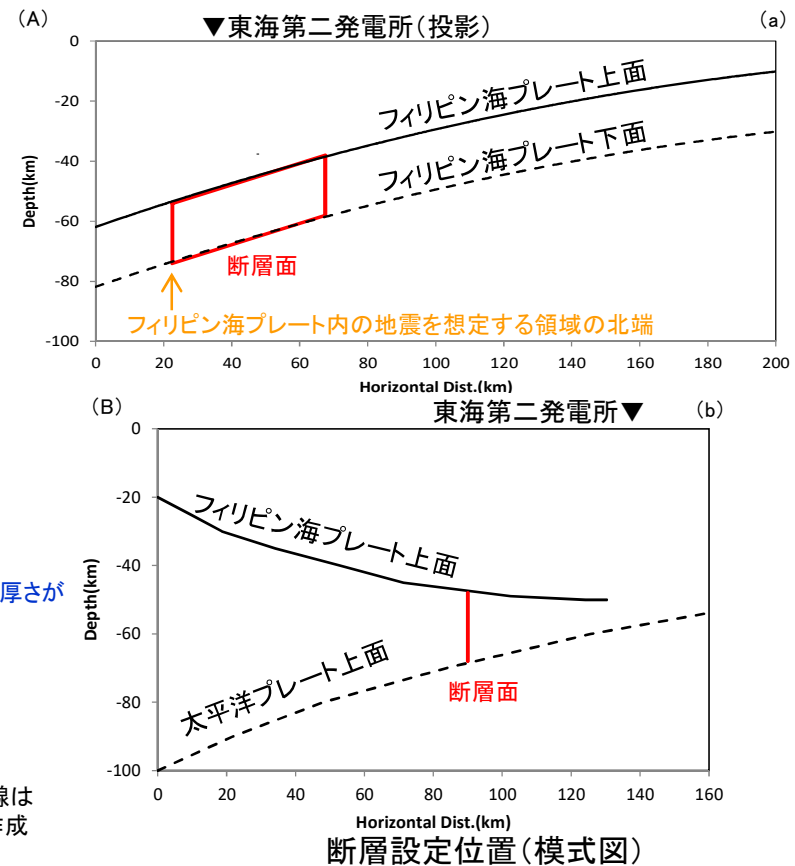
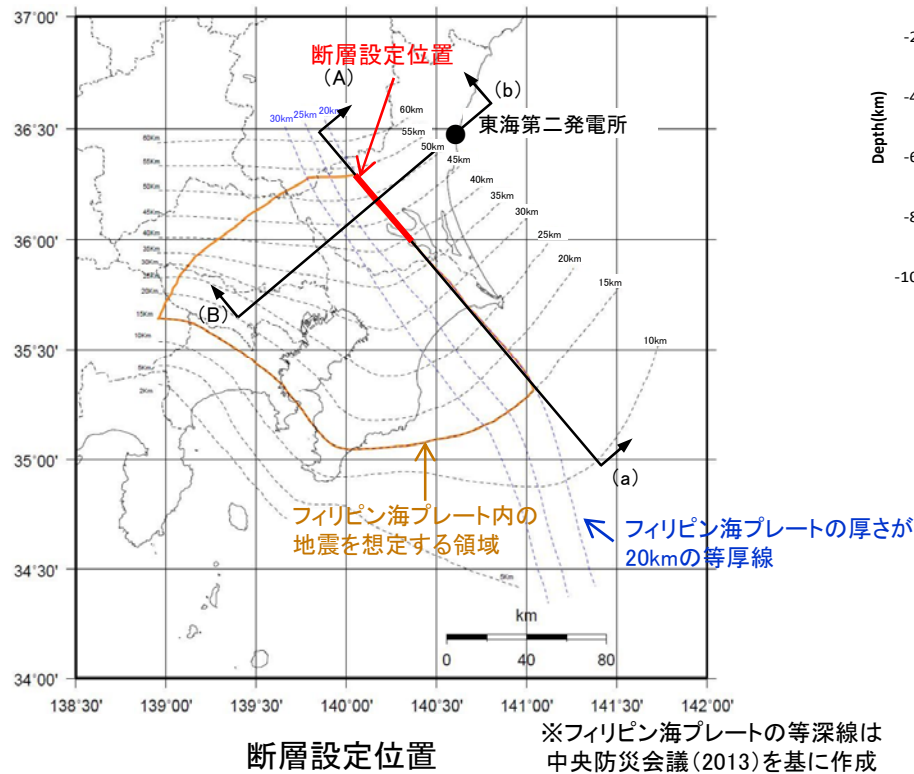
中央防災会議(2013)で新たに考慮された知見

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。



中央防災会議(2013)を踏まえた震源モデルの設定について(2/2)



■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端位置
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	
アスペリティ	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	海洋性マンタルの最上部に配置	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	海洋性マンタルの最上部に配置	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	海洋性マンタルの最上部に配置	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	海洋性マンタルの最上部に配置	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

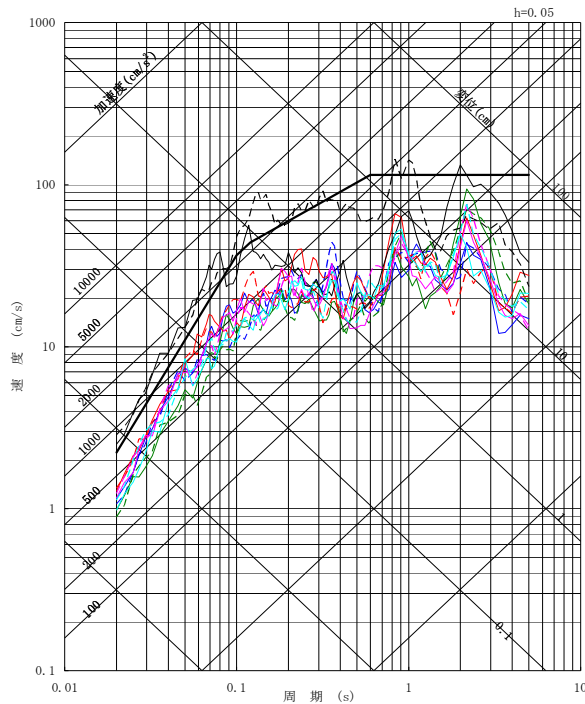
※1 地震規模、アスペリティの応力降下量については、1855年安政江戸地震の最大震度を再現する強震断層モデル(それぞれMw7.2, 52MPa)に2割程度の大きな地震を想定し、それぞれMw7.3, 62MPaとしている。

※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。

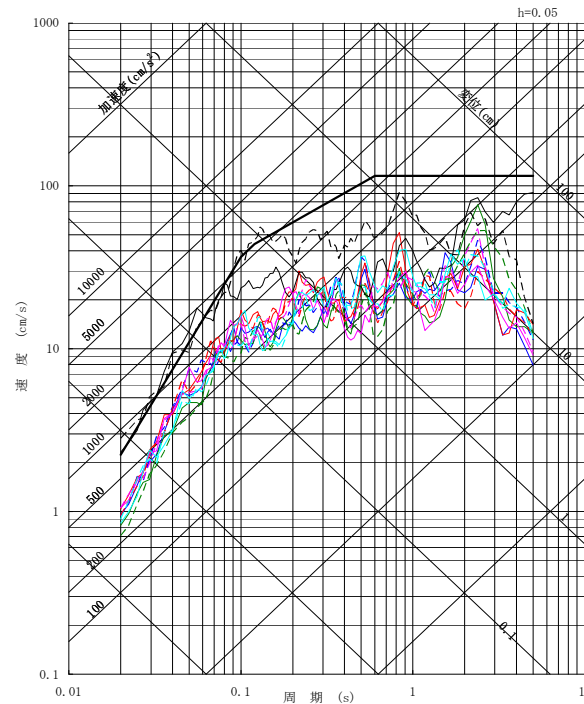
 基本震源モデルの設定の段階で
予め不確かさを考慮するパラメータ

 不確かさを考慮して設定するパラメータ

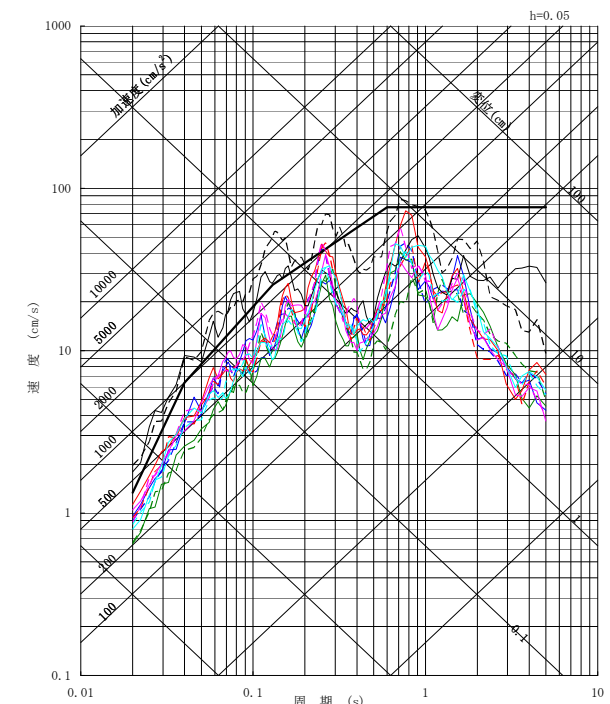
■茨城県南部の地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価は、基準地震動 S_s に包絡される結果となった。



NS成分



EW成分



UD成分

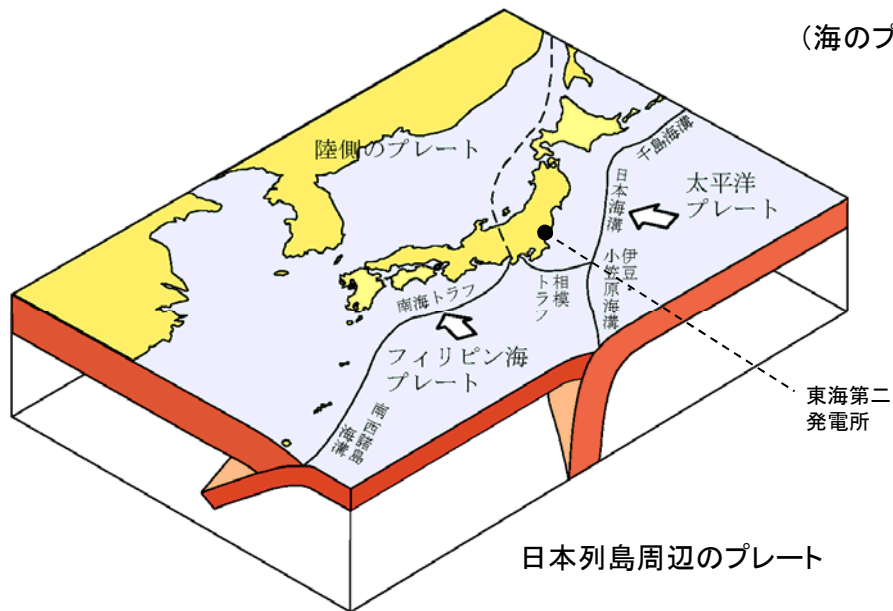
- 基本震源モデル
- 断層傾斜角の不確かさを考慮したケース
- アスペリティ位置の不確かさを考慮したケース
- 応力降下量の不確かさを考慮したケース
- 地震規模の不確かさを考慮したケース

〔実線：破壊開始点1
破線：破壊開始点2〕

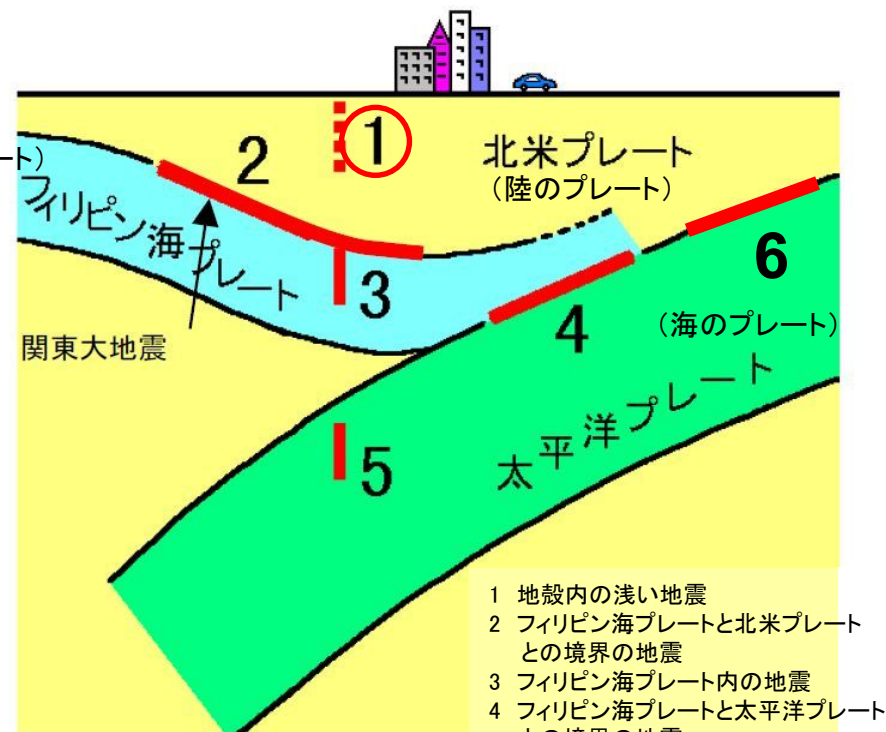
- S_s -D(応答スペクトルに基づく手法による各評価結果を包絡し策定)
- S_s -1(F1断層, 北方陸域の断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさを考慮))
- S_s -2(2011年東北地方太平洋沖地震(短周期レベルの不確かさを考慮))

※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)



- 1 地殻内の浅い地震
- 2 フィリピン海プレートと北米プレートとの境界の地震
- 3 フィリピン海プレート内の地震
- 4 フィリピン海プレートと太平洋プレートとの境界の地震
- 5 太平洋プレート内の地震
- 6 北米プレートと太平洋プレートとの境界の地震

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)

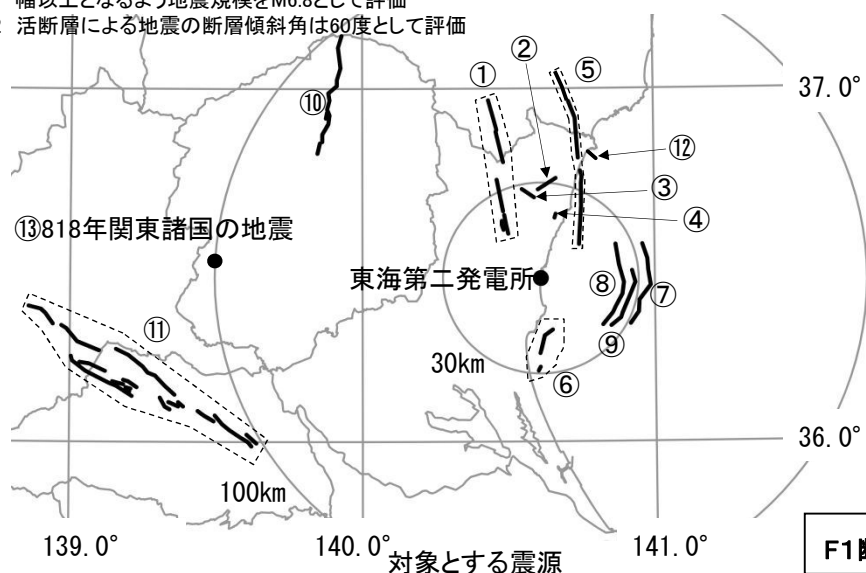
検討用地震の選定



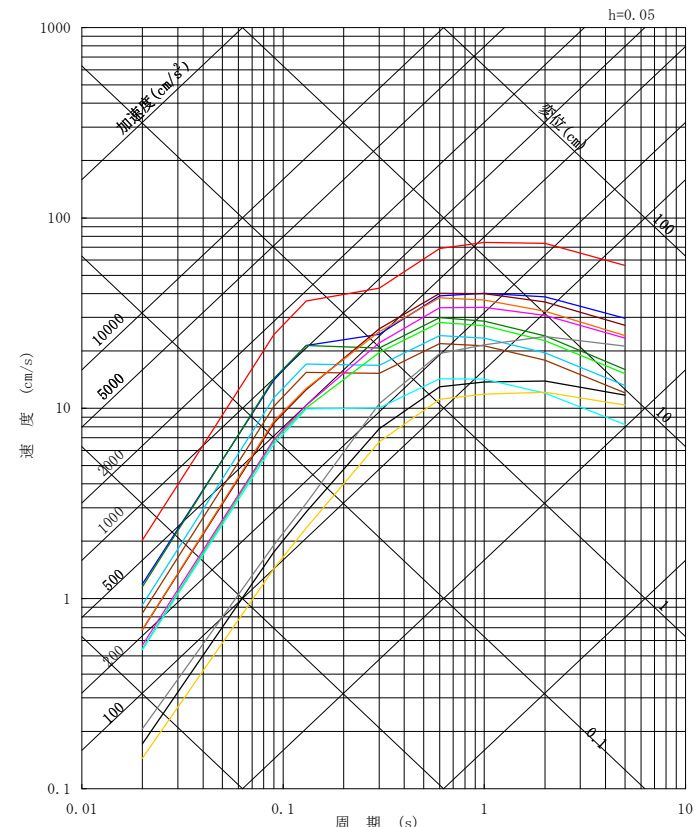
■敷地で震度5程度以上となる活断層及び過去の被害地震を抽出する。

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 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



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。

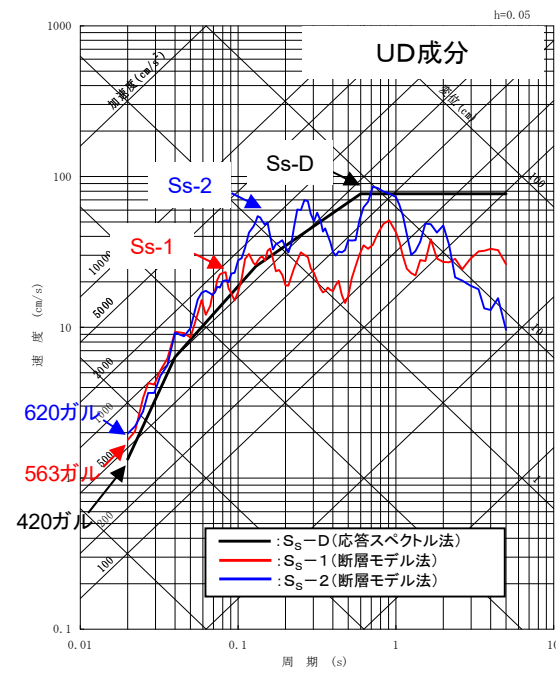
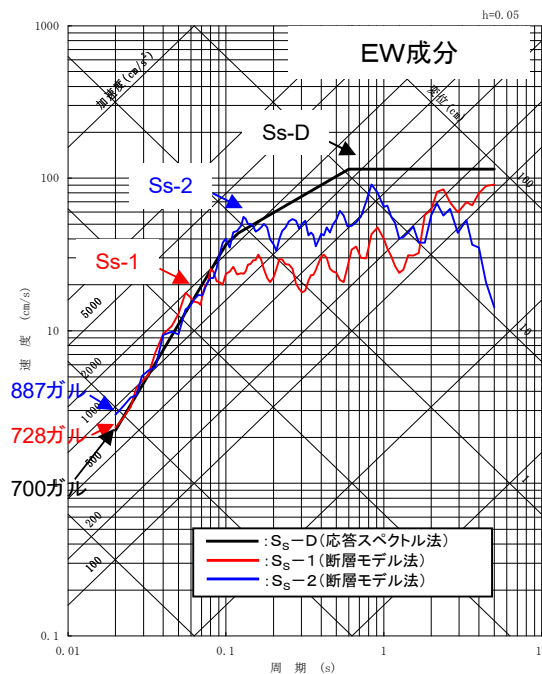
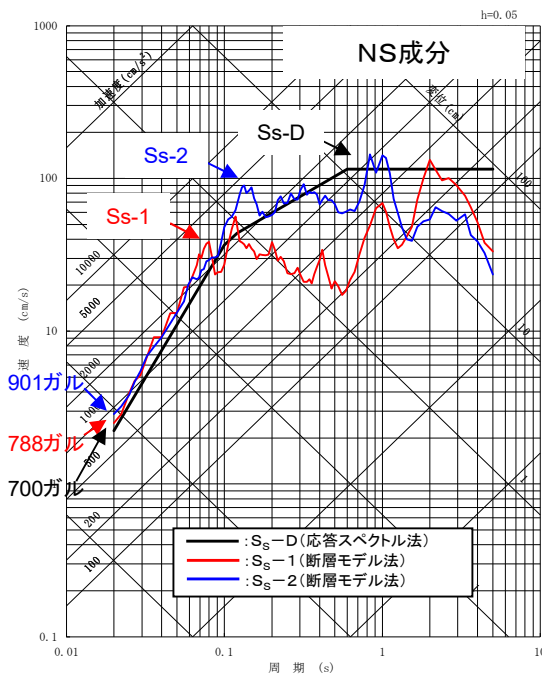


- ①棚倉破砕帯東縁断層, 同西縁断層の連動, M7.5, Xeq=37km
- ②関口-米平リニアメント, M6.8, Xeq=27km
- ③豎破山リニアメント, M6.8, Xeq=25km
- ④宮田町リニアメント, M6.8, Xeq=21km
- ⑤F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動, M7.8, Xeq=31km
- ⑥F3断層, F4断層, M6.8, Xeq=22km
- ⑦F8断層, M7.2, Xeq=26km
- ⑧F16断層, M7.2, Xeq=30km
- ⑨A-1背斜, M7.0, Xeq=22km
- ⑩関谷断層, M7.5, Xeq=92km
- ⑪関東平野北西縁断層帯, M8.0, Xeq=130km
- ⑫F11断層, M6.8, Xeq=38km
- ⑬818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)

■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	$S_s-D_H(700\text{ガル})$ $S_s-D_V(420\text{ガル})$	$S_s-1_{NS}(788\text{ガル})$ $S_s-1_{EW}(728\text{ガル})$ $S_s-1_{UD}(563\text{ガル})$
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)	$S_s-2_{NS}(901\text{ガル})$ $S_s-2_{EW}(887\text{ガル})$ $S_s-2_{UD}(620\text{ガル})$
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。



断層長さの見直しに伴う震源モデルの検討(1/4)

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。

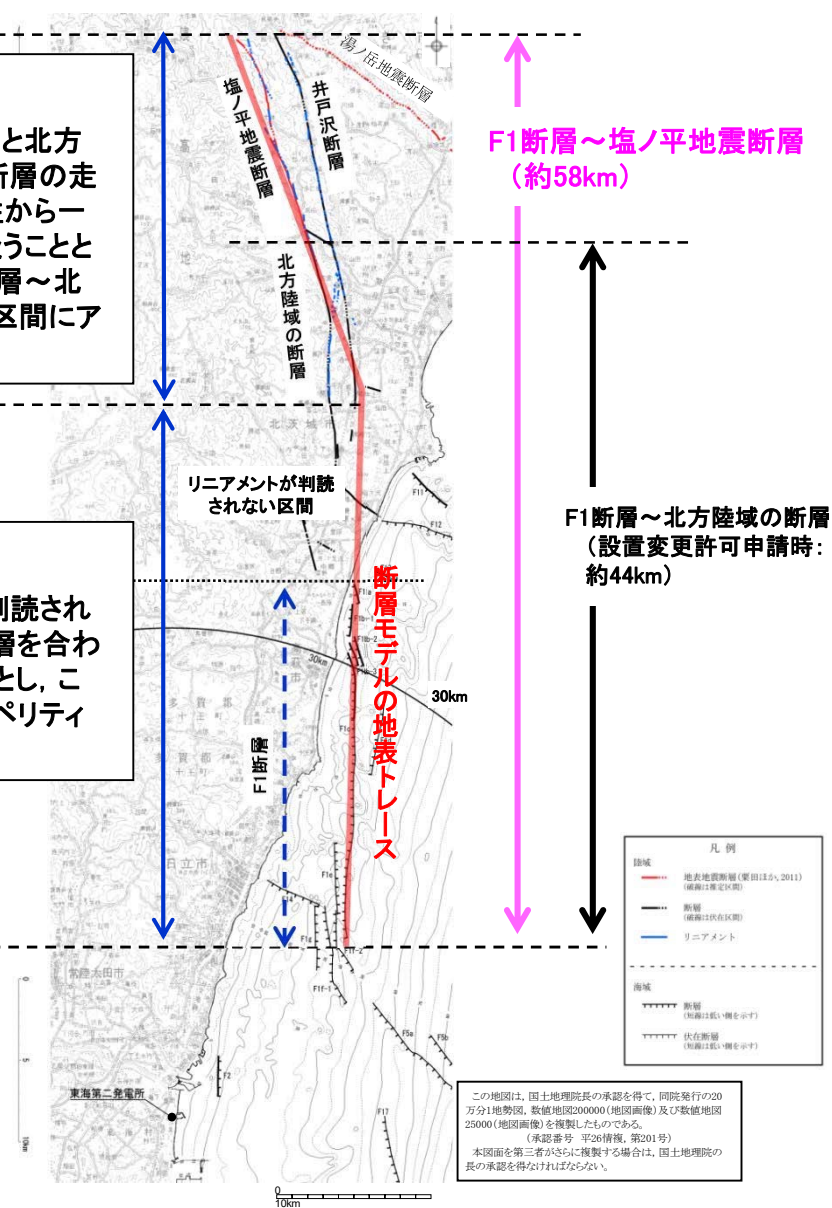
⇒ 震源として考慮する活断層として評価

■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。
- 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】

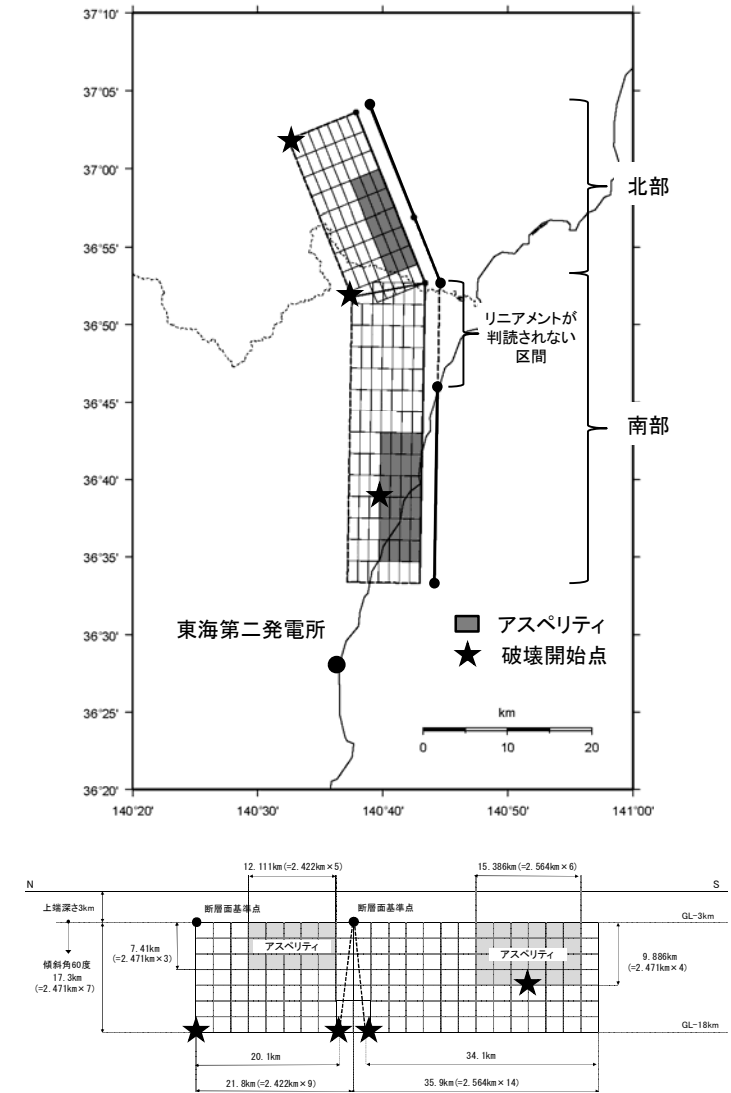
- アスペリティの位置については、地質調査結果に基づき、南部区間のうち調査でわかっているF1断層に1つ、北部では北方陸域の断層~塩ノ平地震断層に1つ、それぞれ敷地に近くなるように配置する。
- 断層長さ方向の配置については、Manighetti et al.(2005)等の知見を踏まえるとアスペリティのように大きなすべりが生じる領域とすべりが無い領域が隣接することは考えにくいことから、断層端部との間に1マス分背景領域を設定する。断層幅方向の配置については、すべりに追従する表層(地表から断層上端までの強震動を出さない層)が存在するので安全側に断層上端にアスペリティを配置する。
- なお、リニアメ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。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 $S(\text{km}^2)$

断層長さと断層幅より算出

・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)



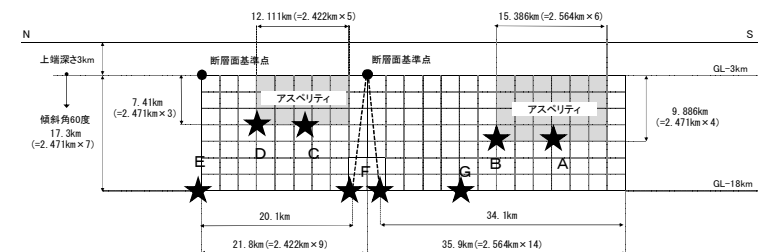
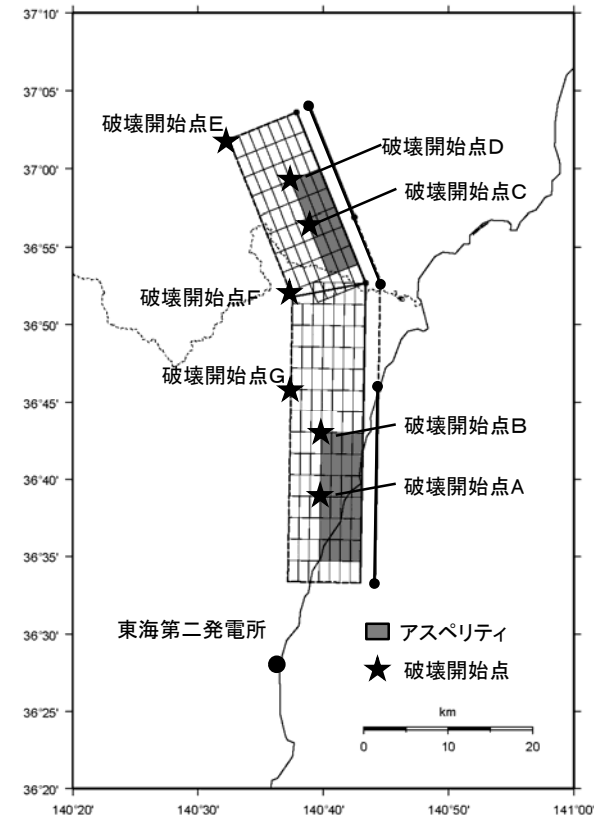
■断層パラメータ(基本震源モデル)

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)	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	$\Delta \sigma_b=0.2 \Delta \sigma_a$

破壊開始点の検討(1/2)

■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。



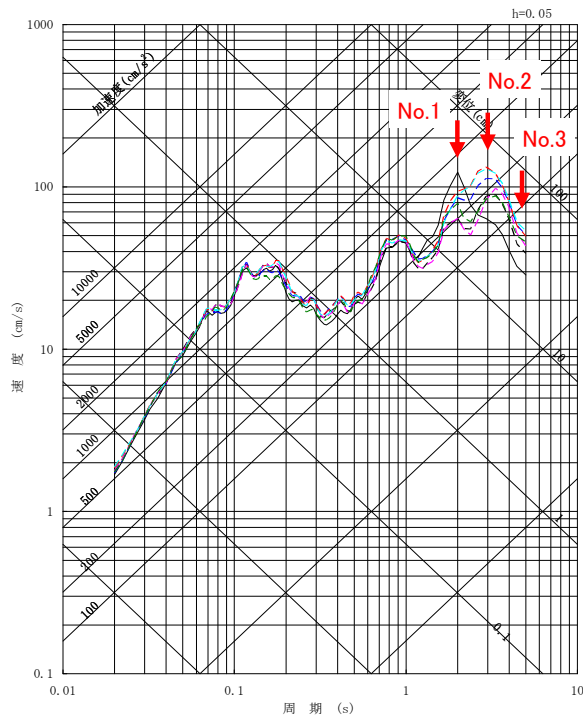
基本震源モデル

破壊開始点の検討(2/2)

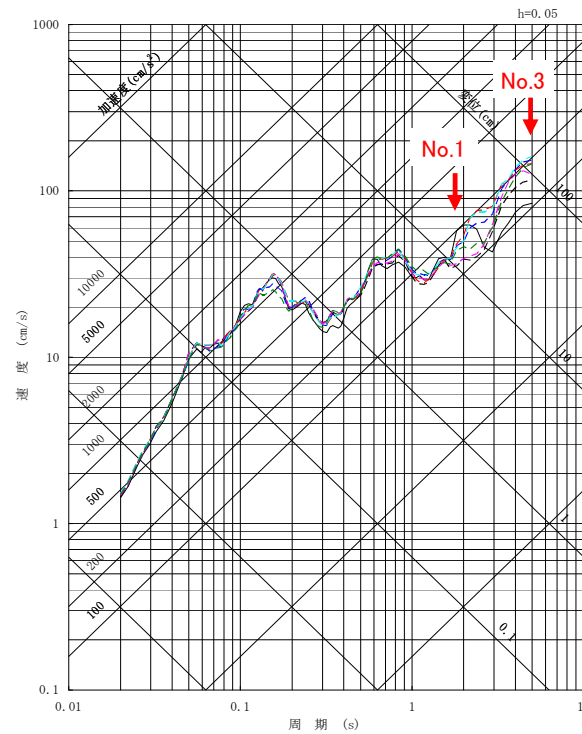


■各破壊開始点による地震動評価結果(平均応答スペクトル)

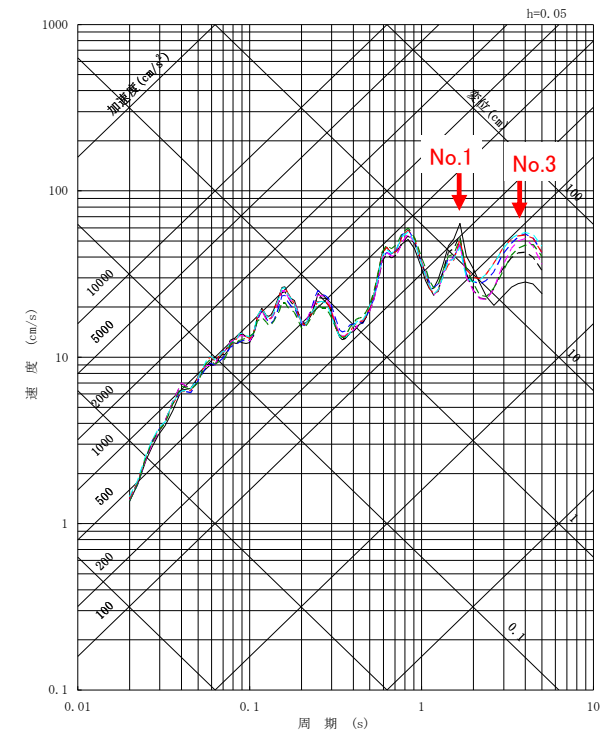
- 破壊開始点A(破壊開始点1)
- - - 破壊開始点B
- - - 破壊開始点C
- - - 破壊開始点D
- - - 破壊開始点E(破壊開始点2)
- - - 破壊開始点F(破壊開始点3)
- - - 破壊開始点G



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。

不確かさの考慮について



■ 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

● :コメントNo.2を踏まえ、追加したケース

 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

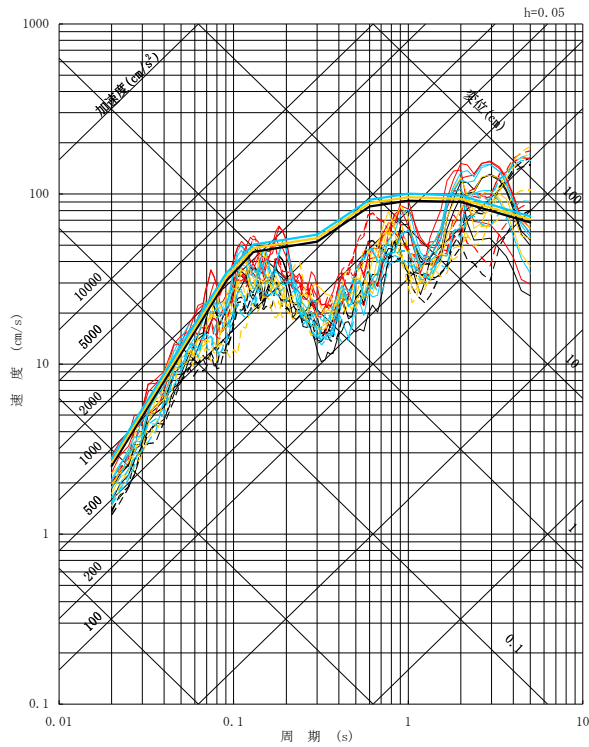
■応答スペクトル手法と断層モデル手法の各評価結果

【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

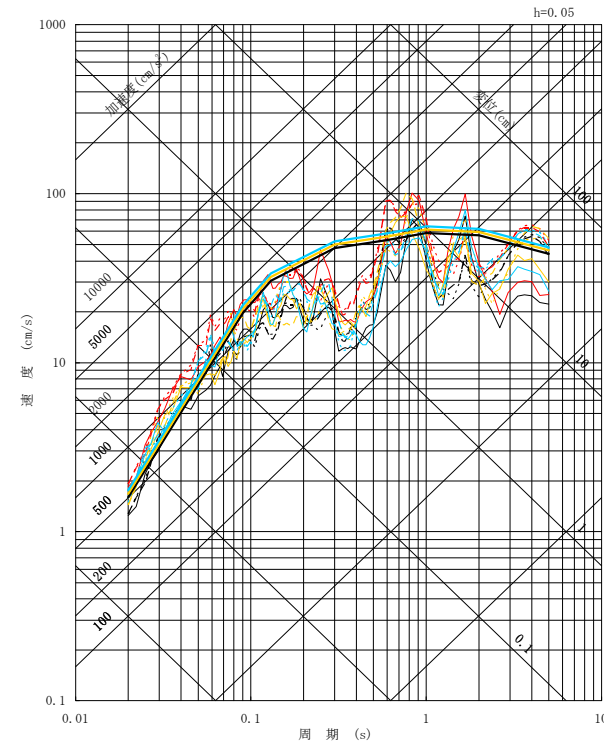
【断層モデル手法】

- 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)



実線: NS成分
破線: EW成分

水平成分



鉛直成分

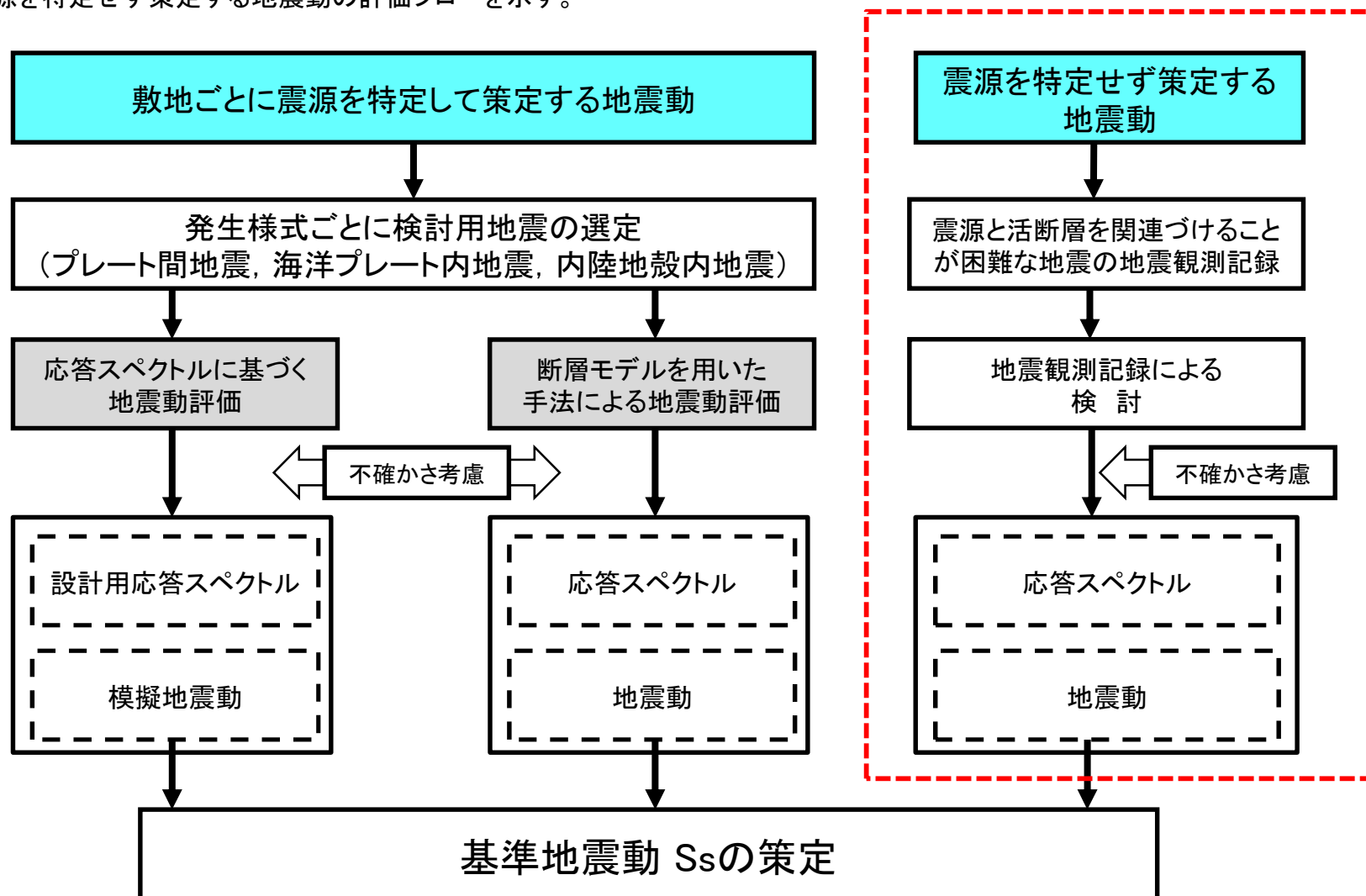
6. 震源を特定せず策定する地震動

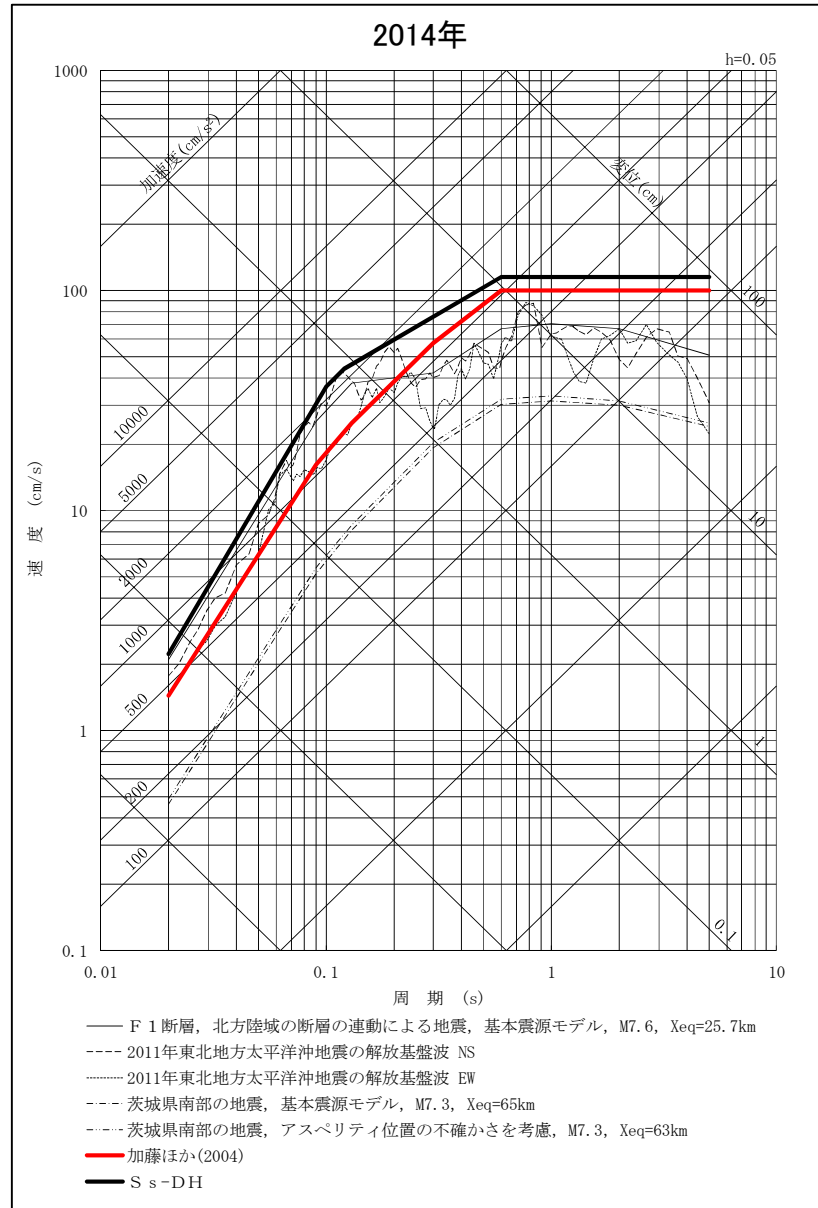
評価目的



■「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

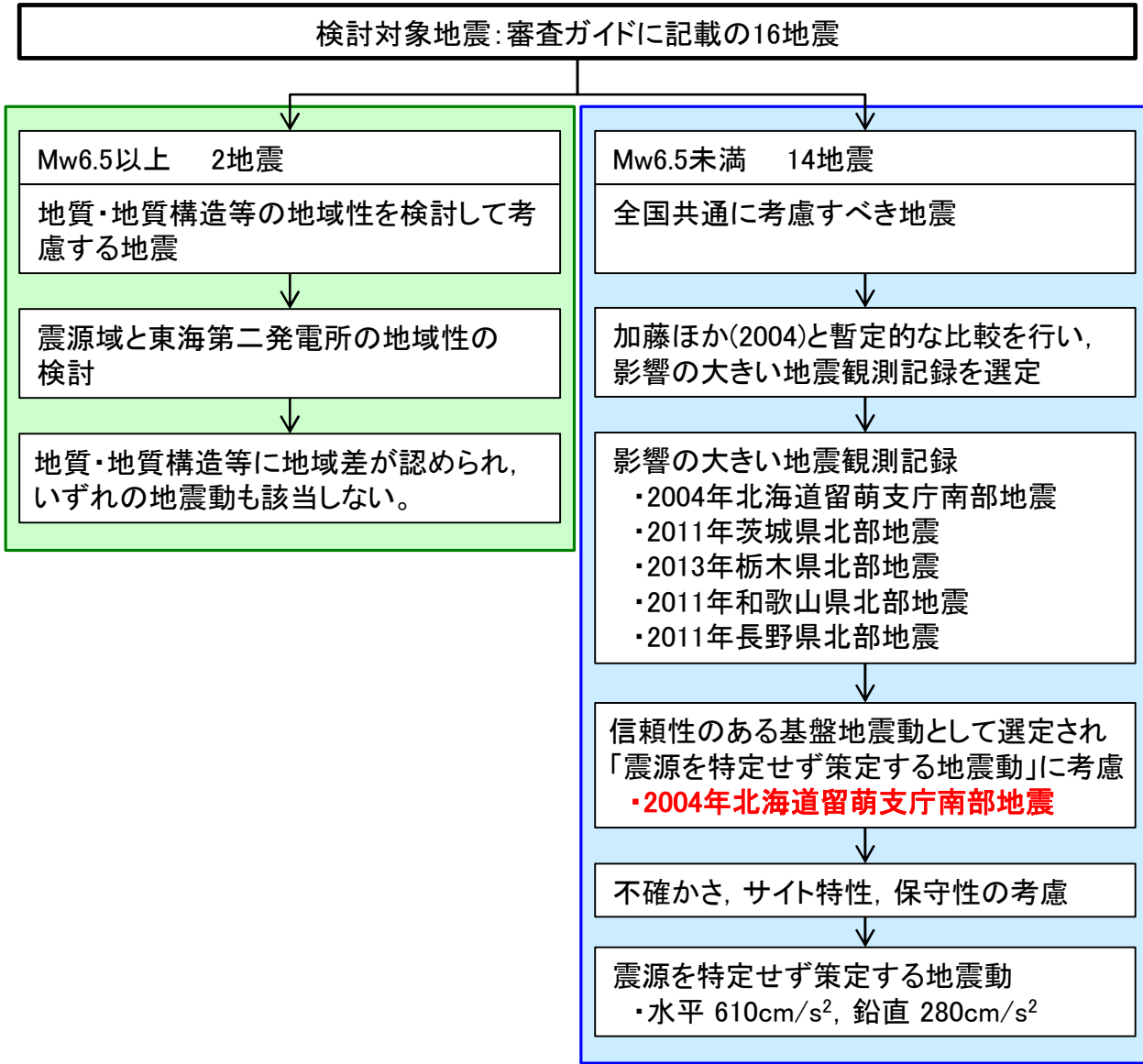
原子力規制委員会(2013)

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

検討対象地震と検討概要



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

【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、柵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

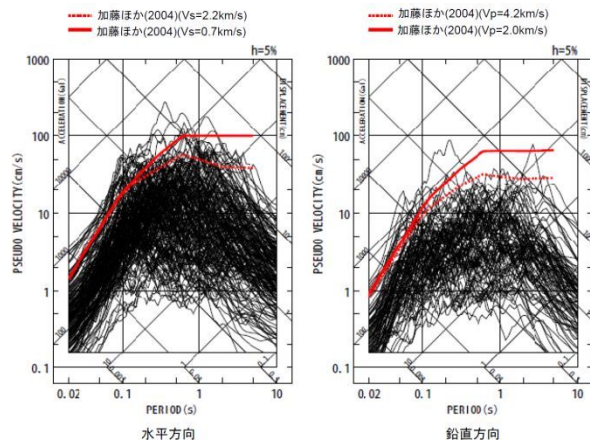


【凡例】○類似性あり, △:類似性低い～一部あり, ×:類似性なし

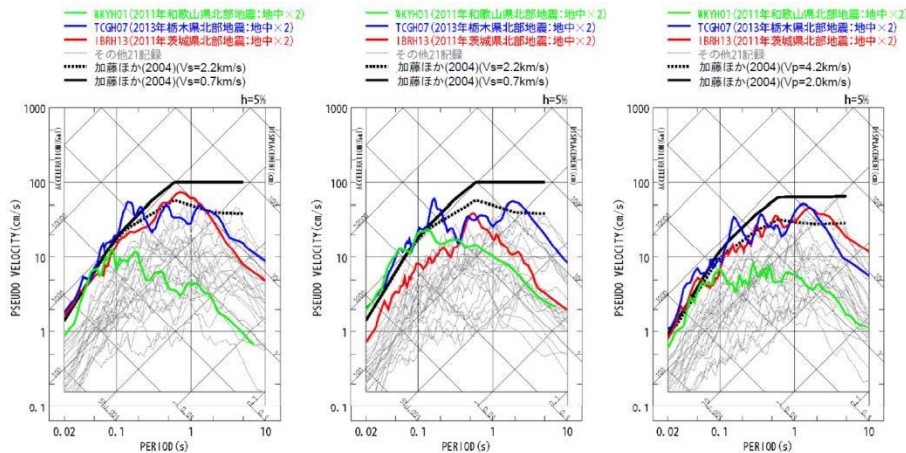
項目	比較結果	2000年鳥取県西部地震震源域	東海第二発電所
地質	×	・ 震源域近傍には、主に白亜系～古第三系の花崗岩及び中新統の安山岩～玄武岩の岩脈が分布する。	・ 敷地近傍には、 <u>中新統の堆積岩</u> 、 <u>鮮新統の堆積岩</u> 、 <u>更新統の段丘堆積物等</u> 、 <u>完新統の沖積層及び砂丘砂層</u> が分布する。
地質構造	×	・ <u>第四紀中期以降に新たに断層面を形成して、断層が発達しつつあり</u> 、活断層の発達過程としては初期ないし未成熟な段階にある。	・ 敷地近傍に広く分布する <u>鮮新統(久米層)</u> 及びこれを不整合に覆う <u>上部更新統</u> はほぼ水平に分布している。
変動地形等	×	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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、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、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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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	×	・ 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	×	・ <u>中国山地・瀬戸内海(10C5)</u>	・ <u>東北日本弧外帯(8B)</u>
応力場	×	<ul style="list-style-type: none"> ・ 西村(2014)において、<u>ひずみ集中帯と指摘</u>されている。 ・ <u>東西圧縮の横ずれ断層型が卓越</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>ひずみ集中帯と指摘</u>している文献はない。 ・ 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	○	×	×	×	×	



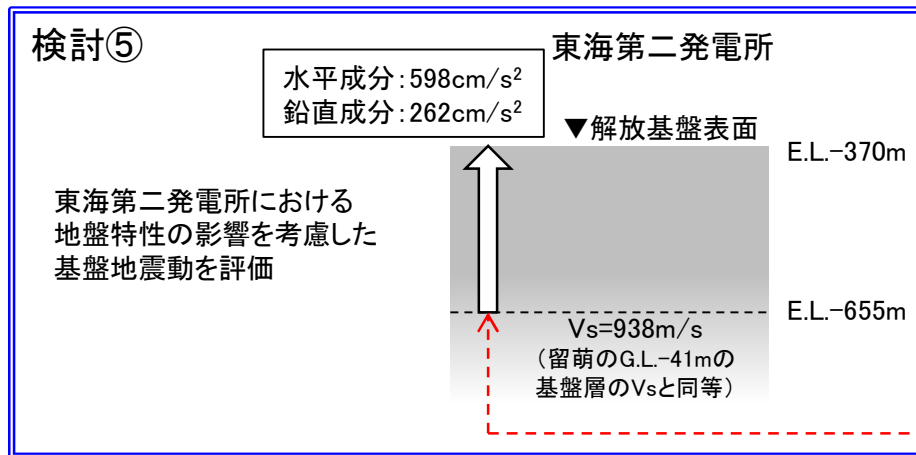
2004年留萌支庁南部地震のHKD020(港町)の観測記録については、信頼性のある基盤地震動が評価できたと考えられることから、震源を特定せず策定する地震動として考慮する。

2004年北海道留萌支庁南部地震として考慮する地震動の策定



- 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

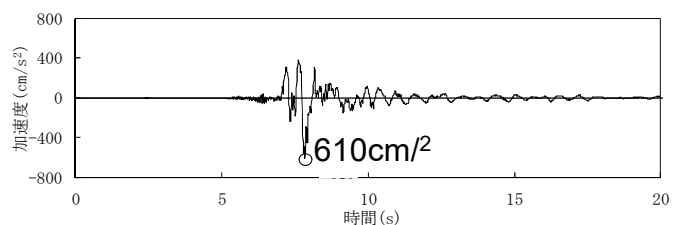


※ 地盤物性の影響を評価するにあたり、はざとり解析の不確かさ等を考慮して、最も大きい最大加速度値の検討結果を考慮することにより、保守的な設定とする。

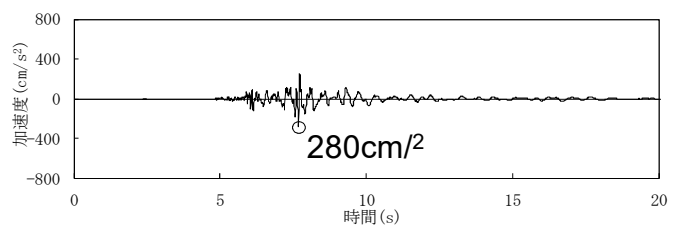
「震源を特定せず策定する地震動」として考慮する地震動



- 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。



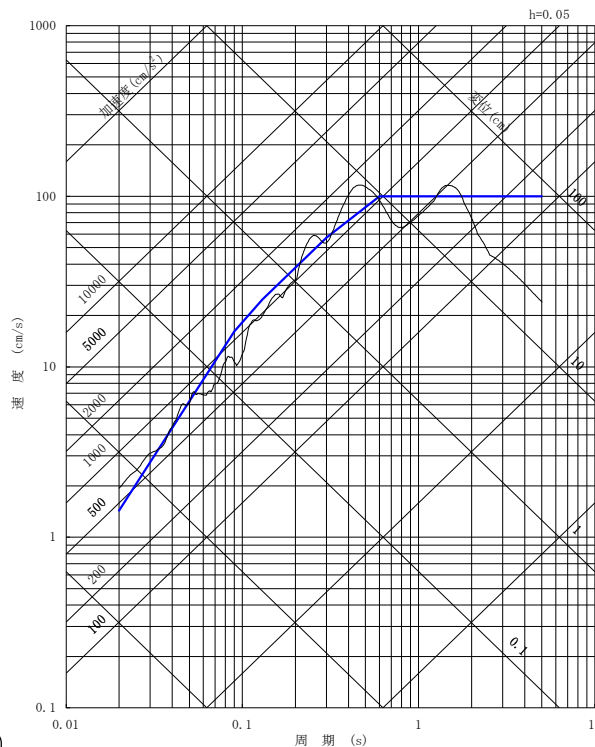
水平成分



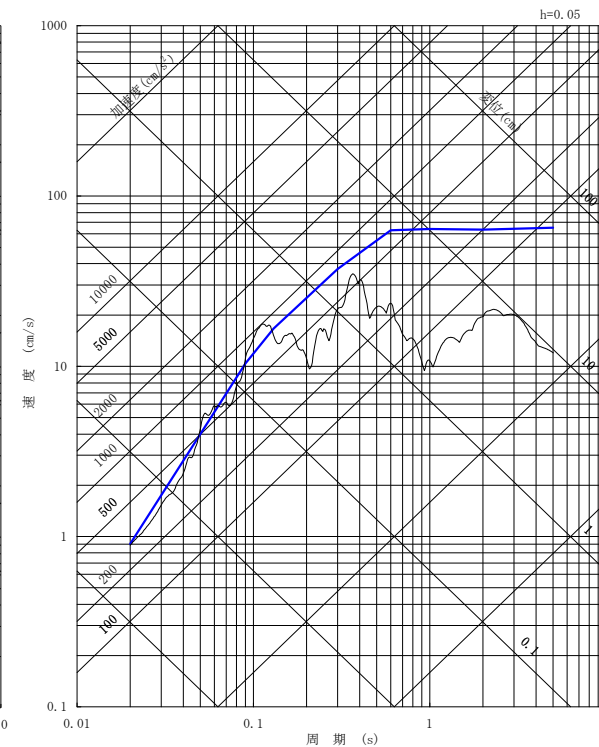
鉛直成分

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

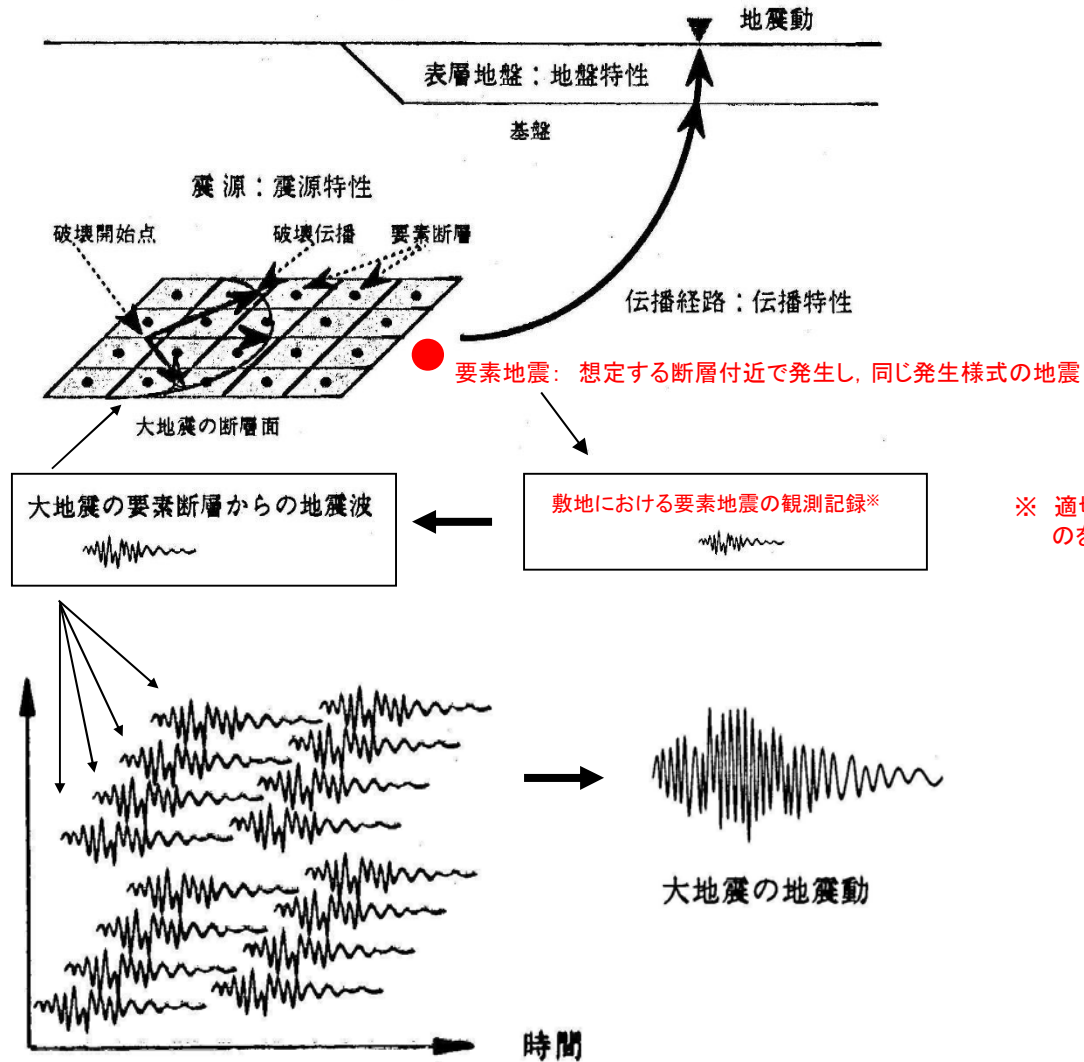


鉛直成分

擬似速度応答スペクトル

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



要素地震の選定フロー(プレート間地震)



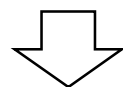
■要素地震は下記のフローで選定する。

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。

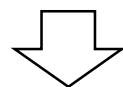


規模

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。

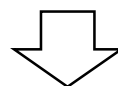


震源メカニズム

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。

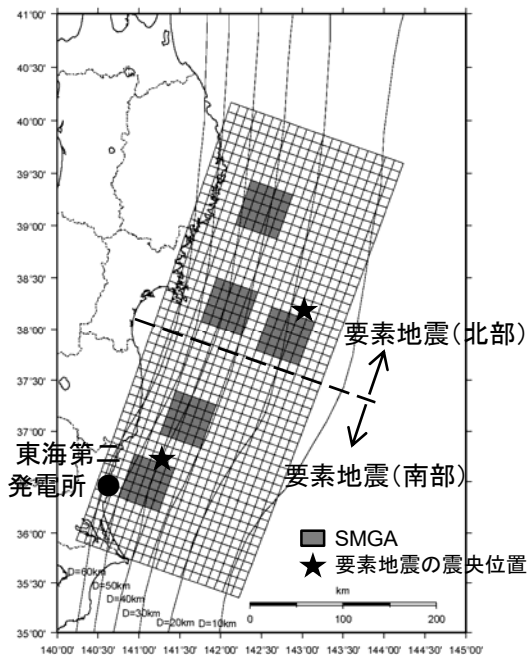
各種文献で示された要素地震の震源パラメータについて、東海第二発電所及び敷地周辺の観測記録により妥当性を確認する。

要素地震の選定結果(プレート間地震)



■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

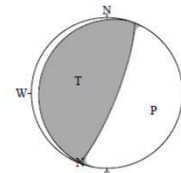
要素地震(北部)

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 $5.51E+18(N \cdot m)$



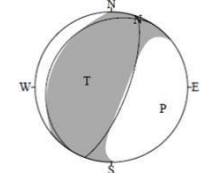
要素地震(南部)

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。

要素地震の選定フロー(海洋プレート内地震)



■要素地震の選定のフロー

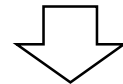
1996年9月以降に東海第二発電所で観測された記録を対象とする。

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。

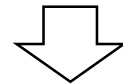


規模

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。

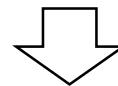


震源メカニズム

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。

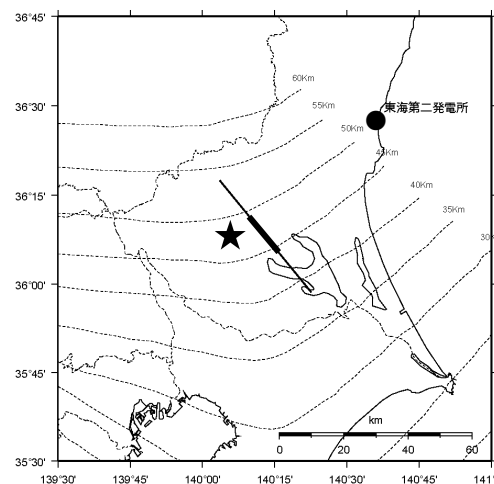


2014年11月12日の地震(M4.8)を用いることとする。

要素地震の選定結果(海洋プレート内地震)

■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
— アスベリティ

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

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 アスベリティの中心位置(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。

要素地震の選定フロー(内陸地殻内地震)



■要素地震の選定のフロー

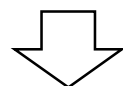
1996年9月以降に東海第二発電所で観測された記録を対象とする。

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。

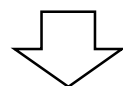


規模

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。

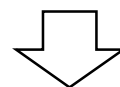


震源メカニズム

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



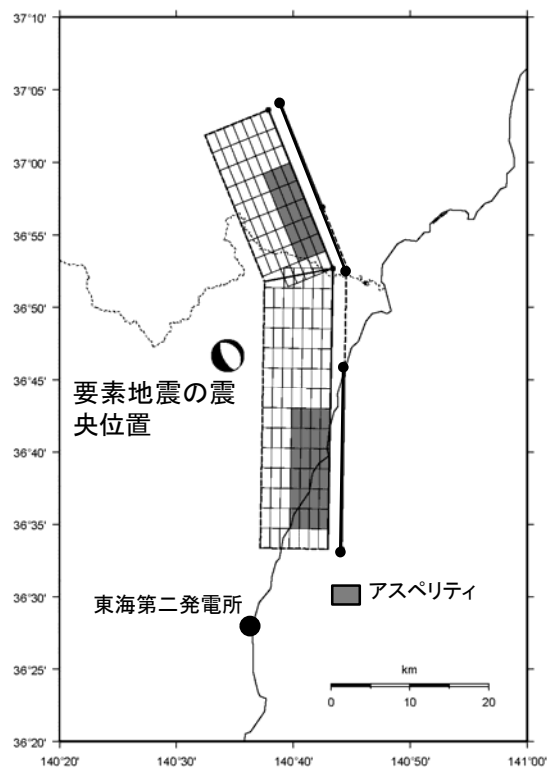
想定地震と同様の震源メカニズムを有する正断層のメカニズムの地震を選定する。



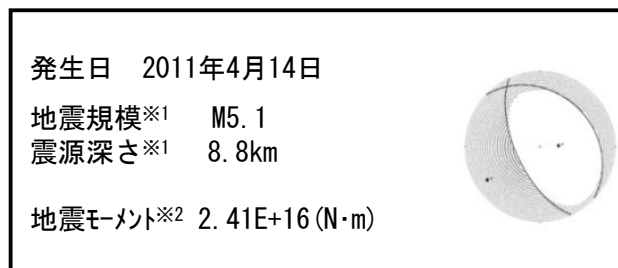
2011年4月14日の地震(M5.1)を用いることとする。

■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)

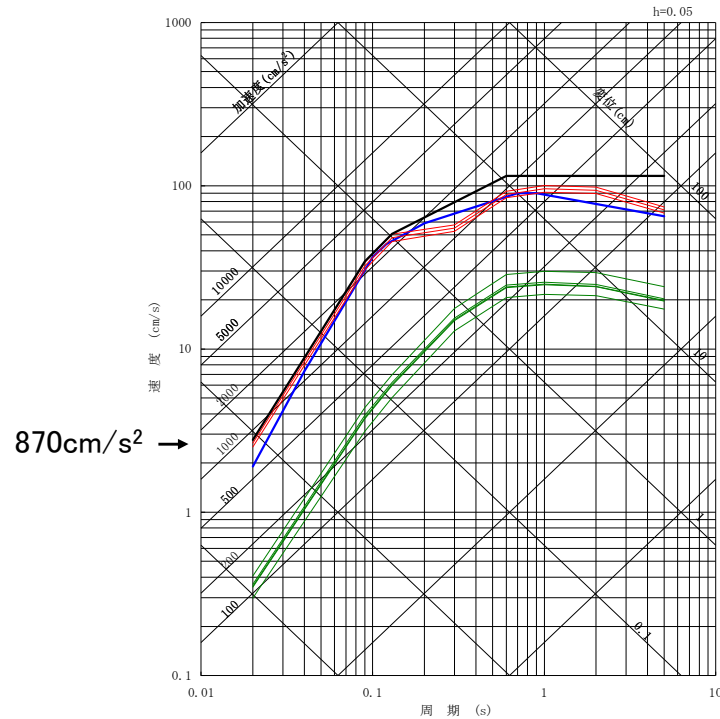
※1 気象庁による。
※2 F-netによる。

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 応答スペクトル手法

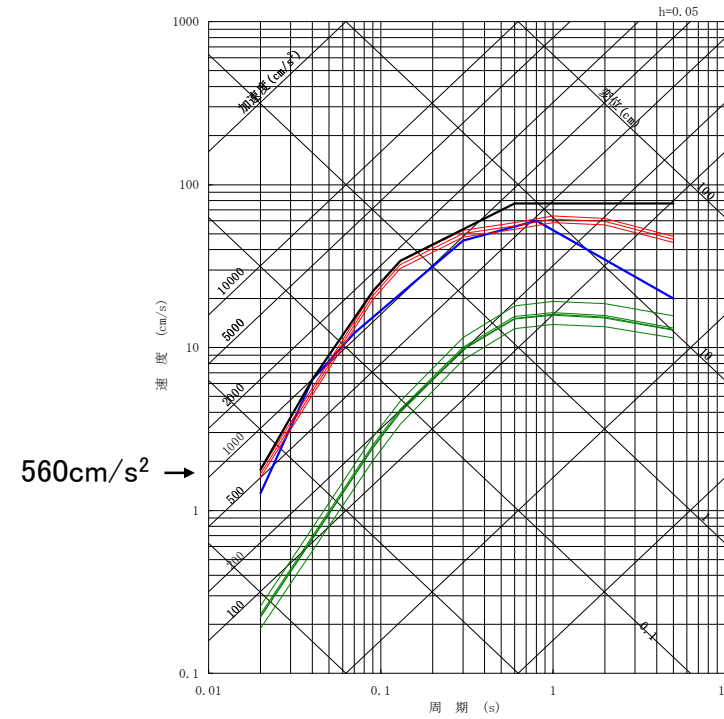


■ 応答スペクトル手法による地震動評価結果をすべて包絡するよう基準地震動S_s-D1のコントロールポイントを設定する。

- 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



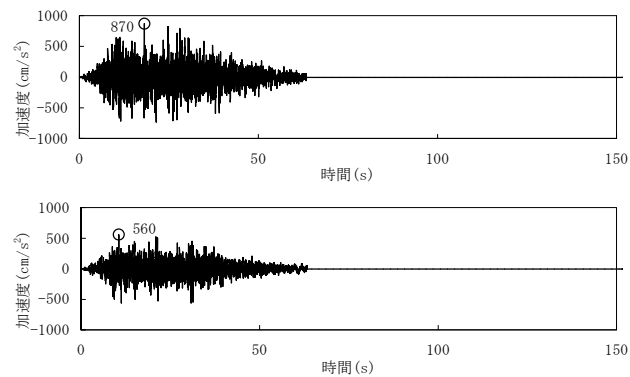
鉛直成分

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

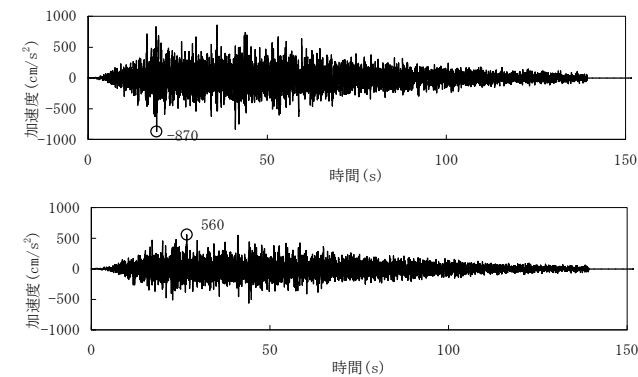
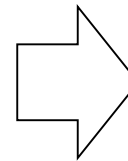
○ 2014年頃の模擬地震波

- ・応答スペクトルで支配的な内陸地殻内地震の諸元(M7.8, Xeq=28km)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

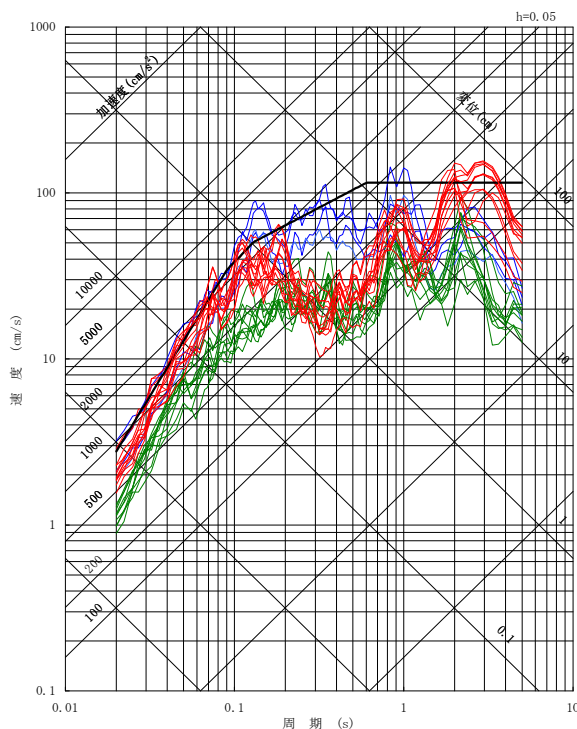
- ・2011年東北地方太平洋沖地震はMw9.0であるものの、地震動レベルからはM8.3程度との知見よりM8.3, Xeqは2011年東北地方太平洋沖地震の断層面より135.8kmとして、継続時間を139.28秒と設定



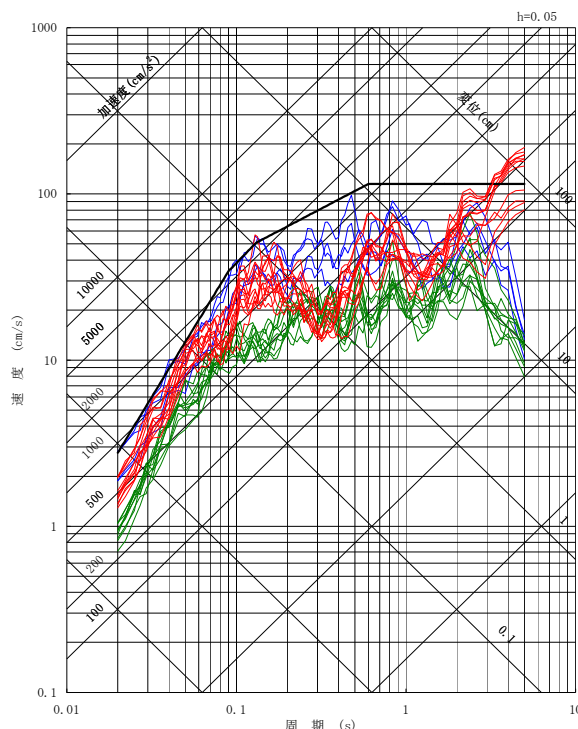
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 断層モデル手法(1/2)

■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。

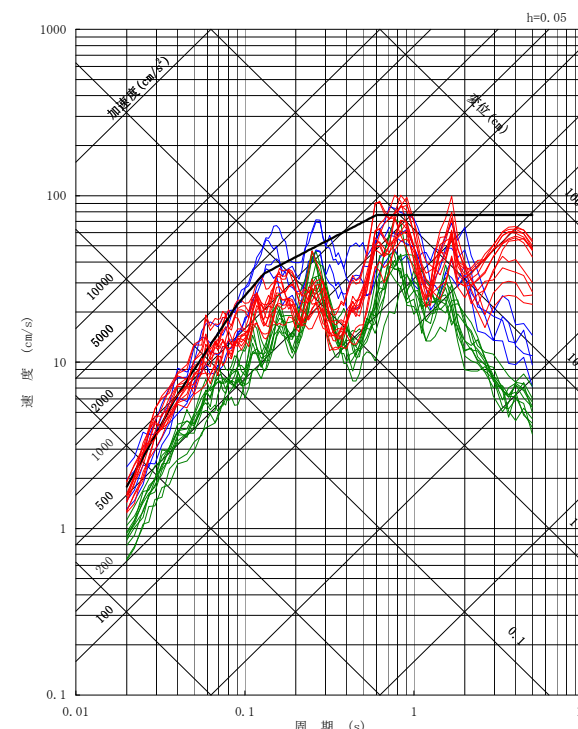
-  基準地震動S_s-D1
-  プレート間地震の評価結果
-  海洋プレート内地震の評価結果
-  内陸地殻内地震の評価結果



NS成分



EW成分



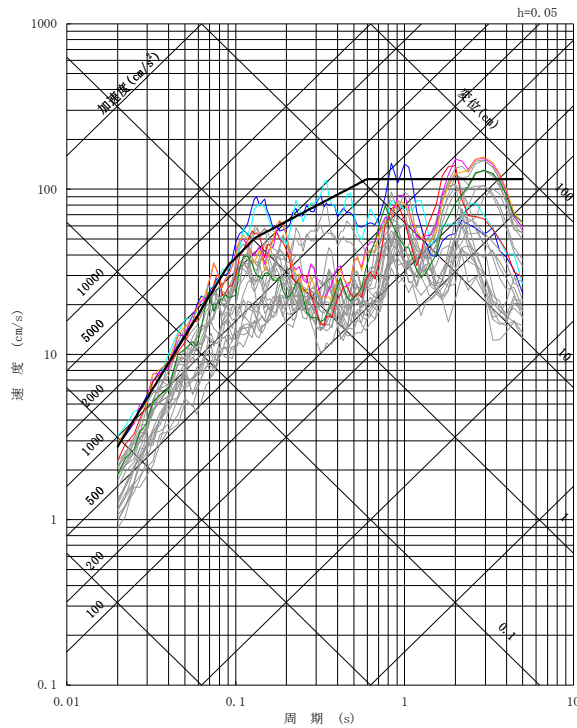
UD成分

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。

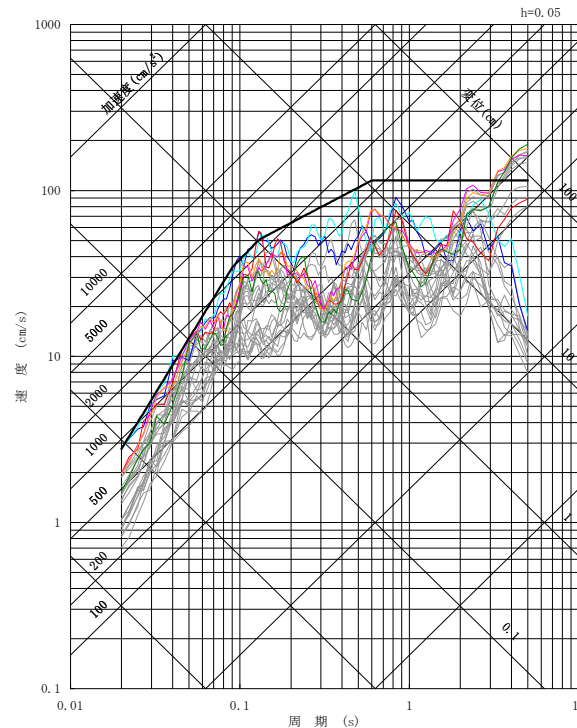
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 断層モデル手法(2/2)

■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。

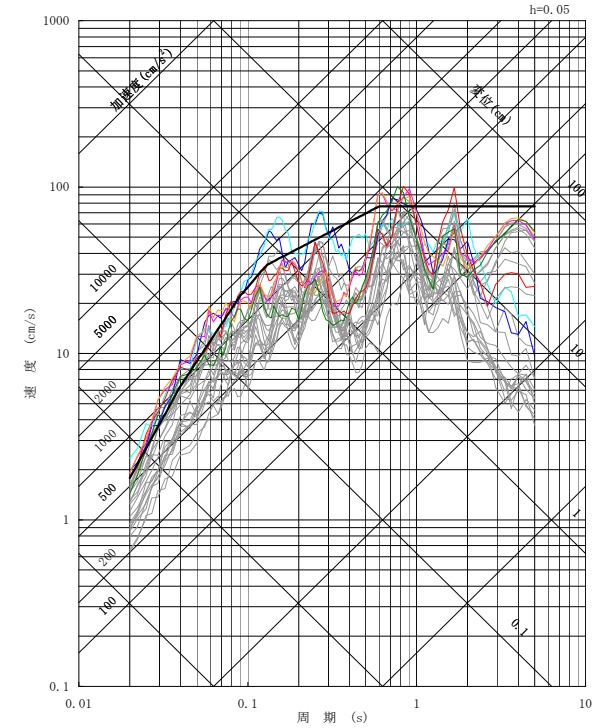
- Ss-D1 応答スペクトル手法による基準地震動
- Ss-11 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の運動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- Ss-12 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の運動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-13 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の運動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- Ss-14 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の運動による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-21 2011年東北地方太平洋沖型地震(短周期レベルの不確か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

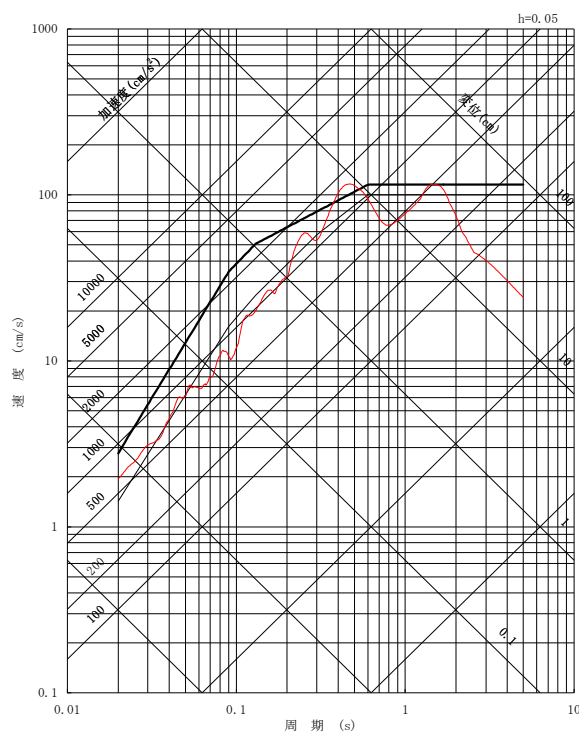
各地震発生様式の断層モデル手法による地震動評価結果のうち、一部周期帯で基準地震動Ss-D1を上回る6ケースを断層モデル手法による基準地震動に選定し、それぞれSs-11, Ss-12, Ss-13, Ss-14, Ss-21, Ss-22とする。

震源を特定せず策定する地震動

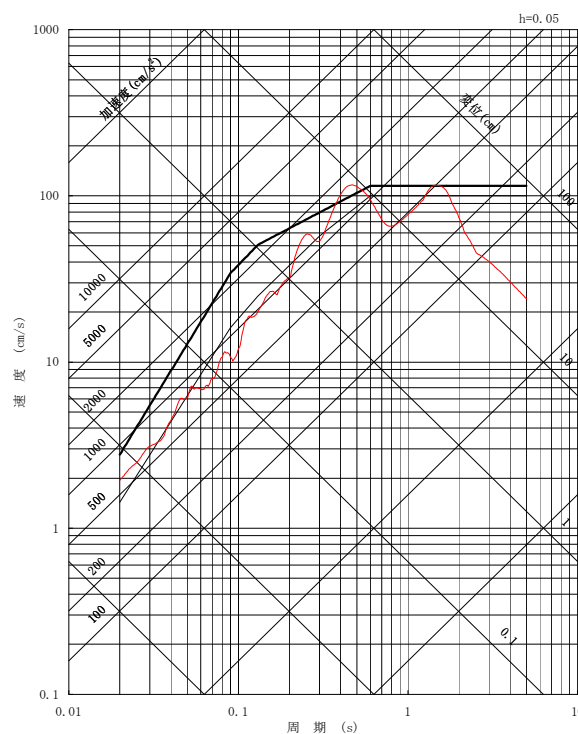


■震源を特定せず策定する地震動と基準地震動S_s-D1を比較する。

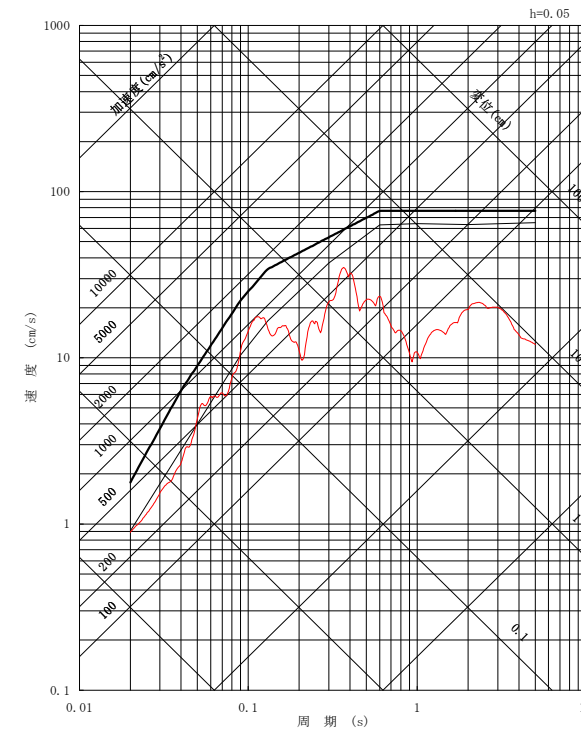
- S_s-D1 応答スペクトル手法による基準地震動
- S_s-31 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動
- 加藤ほか(2004)による応答スペクトル



NS成分



EW成分



UD成分

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。