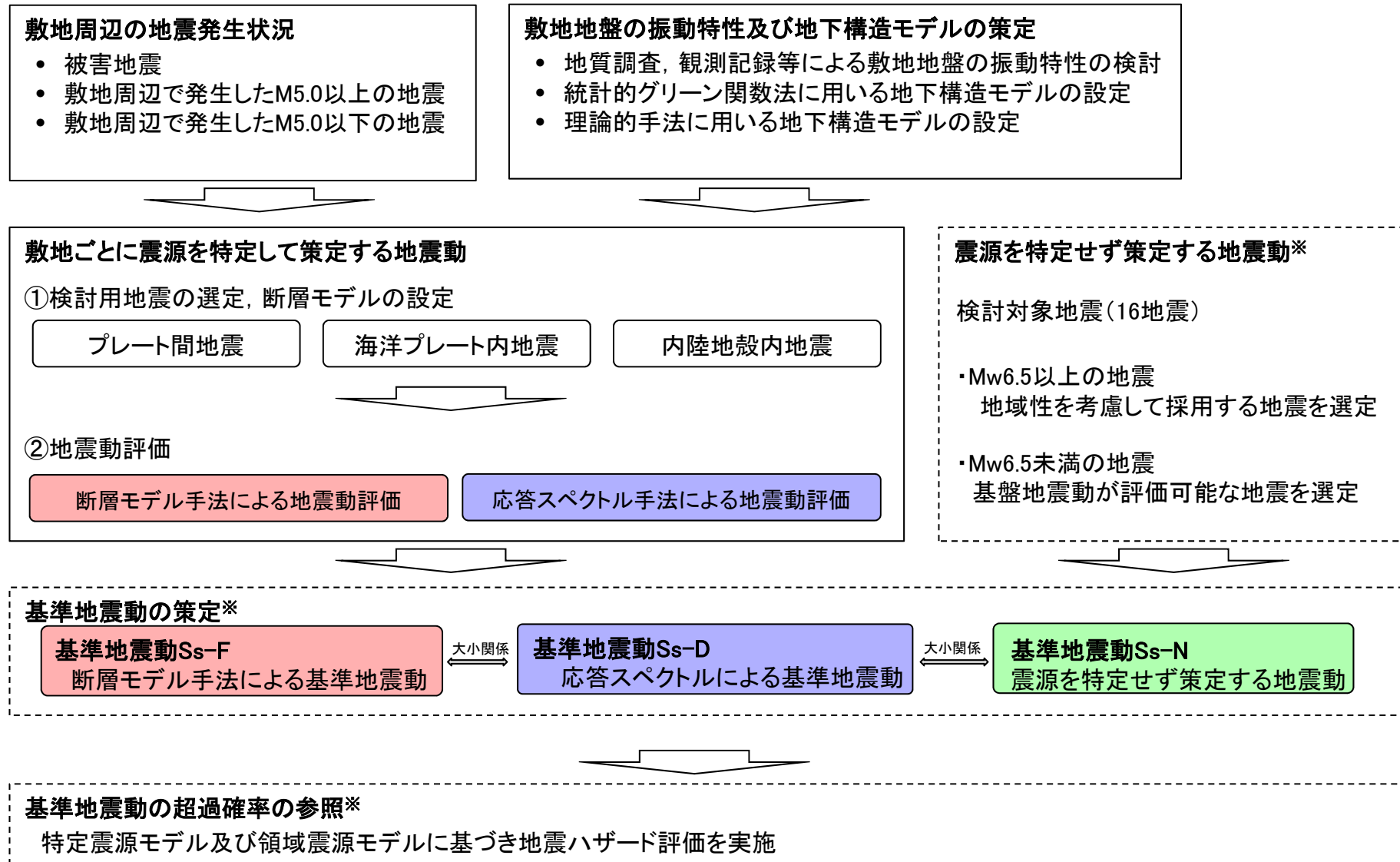


東通原子力発電所  
基準地震動策定のうち敷地ごとに震源を特定して  
策定する地震動について(概要)

---

令和元年12月6日  
東北電力株式会社

# 基準地震動の策定全体フロー



# 目次

---

|                          |       |    |
|--------------------------|-------|----|
| 1. 敷地周辺の地震発生状況           | ..... | 4  |
| 2. 敷地地盤の振動特性及び地下構造モデルの策定 | ..... | 12 |
| 3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動   |       |    |
| 3. 1 プレート間地震             | ..... | 16 |
| 3. 2 海洋プレート内地震           | ..... | 22 |
| 3. 3 内陸地殻内地震             | ..... | 28 |
| 4. 基準地震動 $S_s$ の策定       | ..... | 38 |
| ・参考文献                    | ..... | 41 |

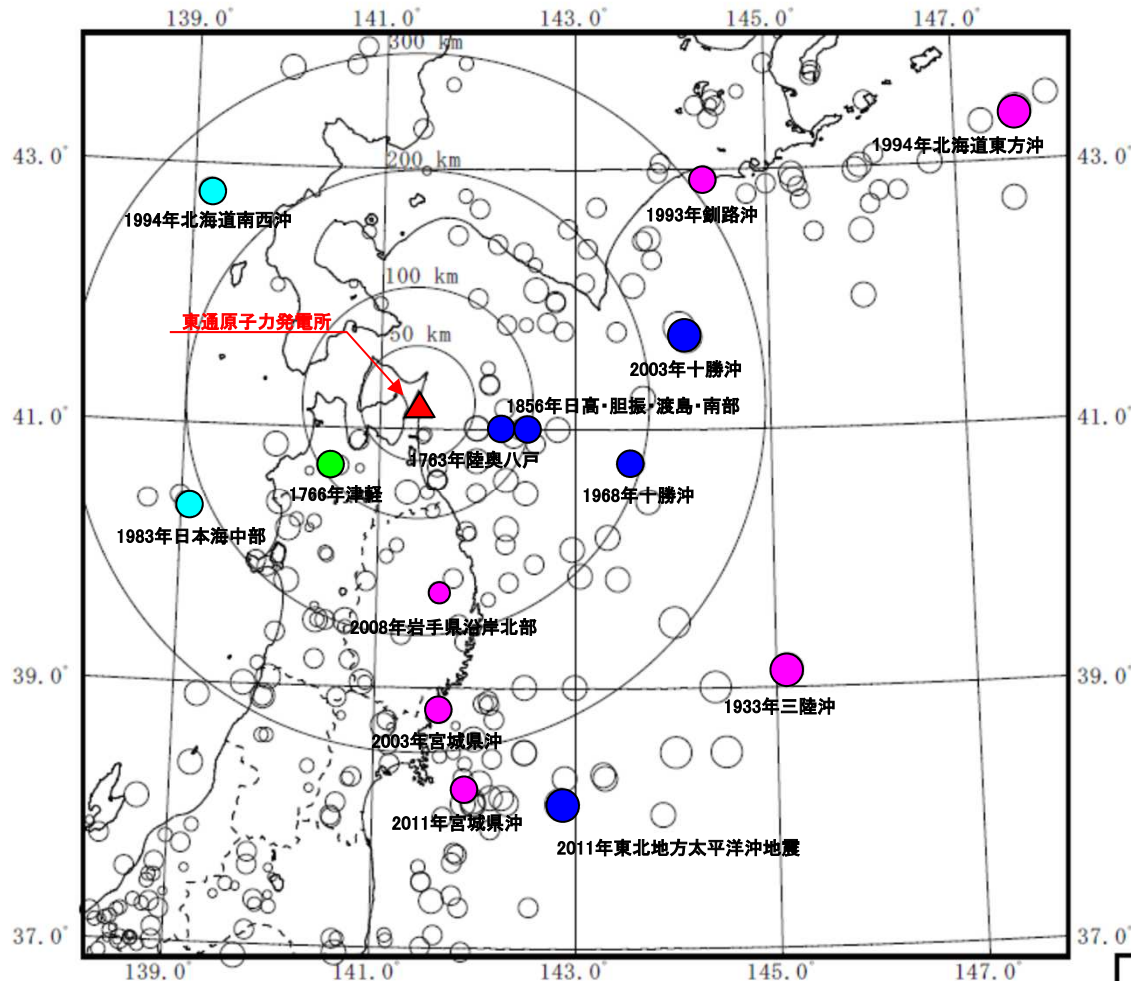
余白

# 1. 敷地周辺の地震発生状況

---

# 1. 敷地周辺の地震発生状況

## (1) 敷地周辺における主な被害地震の震央分布



敷地周辺の主な被害地震の分布  
(599年～2019年2月)

[1922年以前は宇佐美ほか(2013), 1923年以降は気象庁(2019)による。]

主な被害地震  
 ● : プレート間地震  
 ● : 海洋プレート内地震  
 ● : 内陸地殻内地震  
 ● : 日本海東縁部の地震

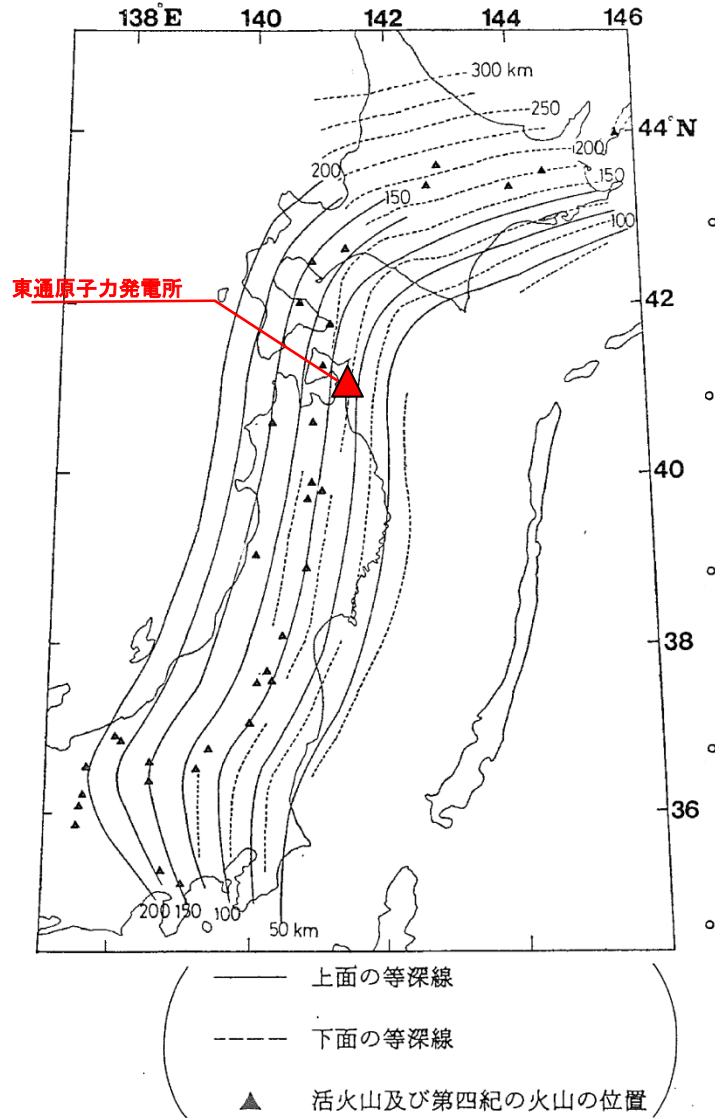
○ 8.0 ≤ M  
 ○ 7.0 ≤ M < 8.0  
 ○ 6.0 ≤ M < 7.0  
 ○ 5.0 ≤ M < 6.0  
 ○ M < 5.0

### 特徴

- 青森県東方沖で1968年十勝沖地震(M7.9)等のM7クラスのプレート間地震が発生。また、岩手県沖から茨城県沖にかけての震源域が活動した2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)が発生。
- 敷地周辺では、海洋プレート内地震の被害地震は知られていない。東北地方では二重深発地震面上面の活動が優勢で、遠方では、2011年4月7日宮城県沖の地震(M7.2)等が発生。一方、下面の地震としては2008年岩手県沿岸北部の地震(M6.8)が発生。遠方では、1994年北海道東方沖地震(M8.2), 1933年三陸沖の地震(M8.1)が発生。
- 内陸地殻内地震として、1766年津軽の地震(M7.4)等が発生。
- 日本海東縁部では1983年日本海中部地震(M7.7)等が発生しているが敷地への影響は小さい。

# 1. 敷地周辺の地震発生状況

## (2) プレート境界面



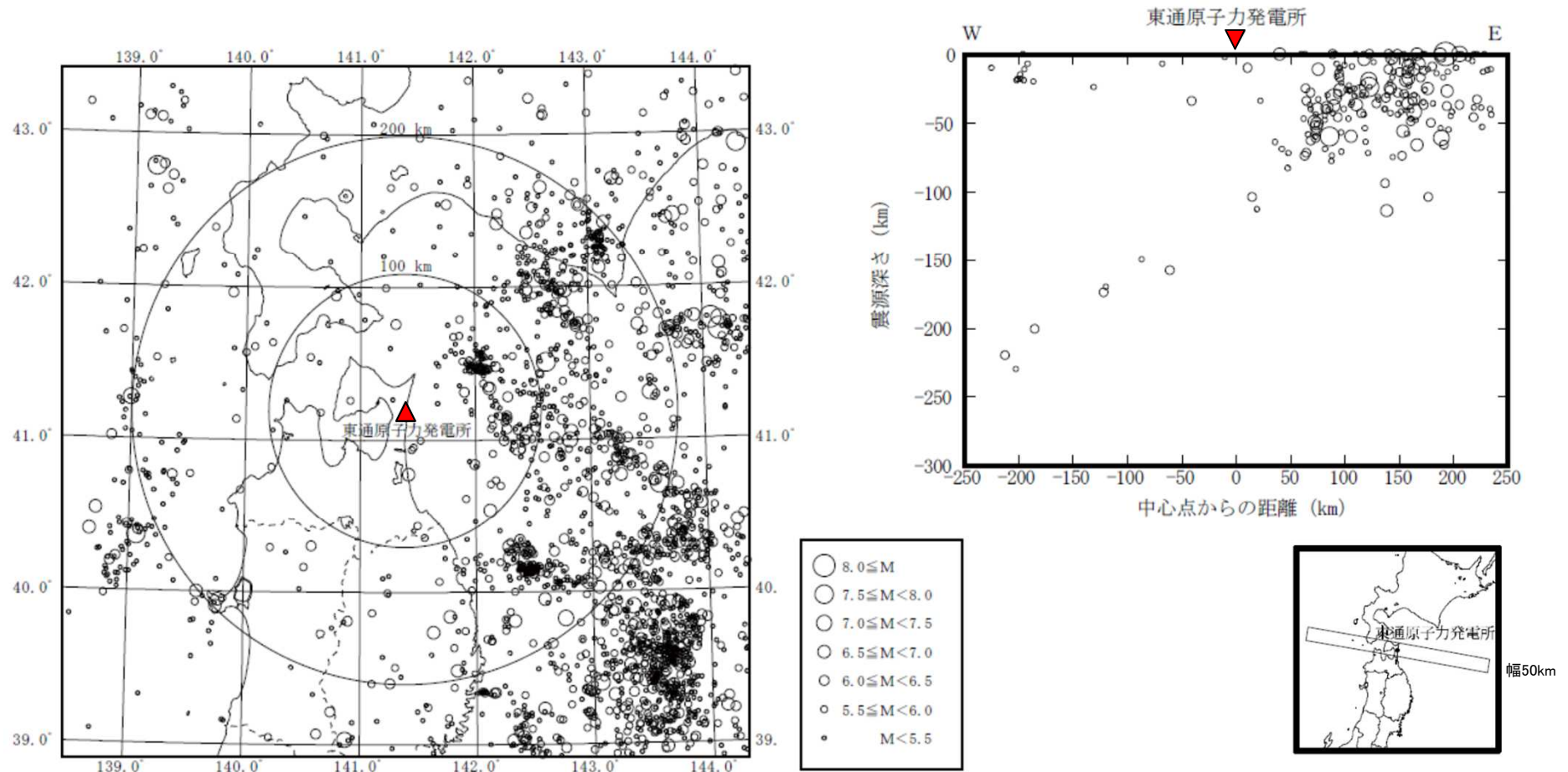
### 特徴

- 敷地が位置する東北地方では、日本海溝で陸側のプレートの下に海洋プレートである太平洋プレートが沈み込んでいる。
- 沈み込んだ太平洋プレートは、陸側に近づくにしたがって深くなっている。
- 敷地周辺では、プレート境界の深さは80km程度であり、敷地はアサイスミックフロントよりも西側に位置する。

深発地震の震源の等深線〔長谷川ほか(1983)に一部加筆〕

## 1. 敷地周辺の地震発生状況

### (3) 敷地周辺におけるM5.0以上の地震の発生状況



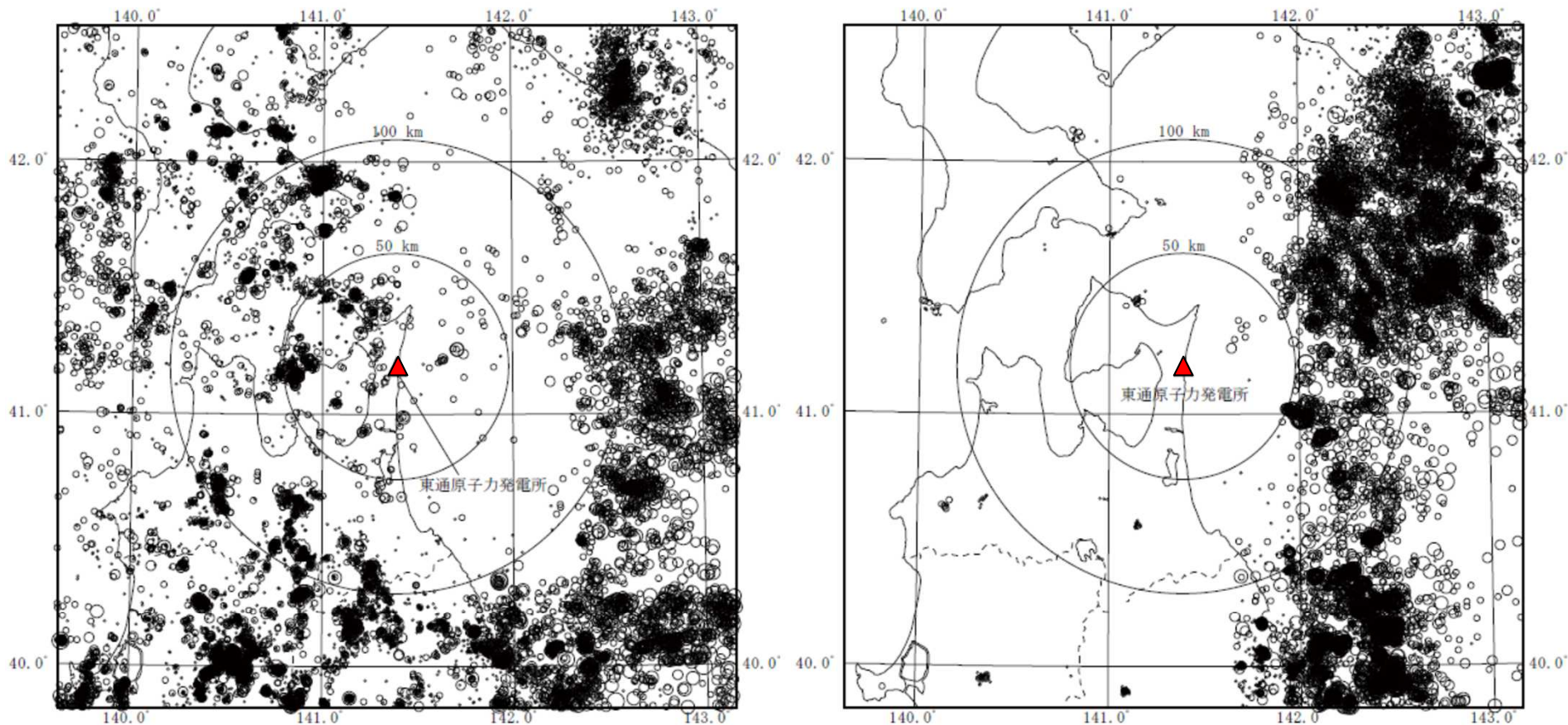
(1922年～2017年:気象庁(2019))

- 太平洋側海域で発生頻度が高い。敷地から50km以内ではM7を超える地震は発生していない。



# 1. 敷地周辺の地震発生状況

## (4) 敷地周辺におけるM5.0以下の地震の発生状況(1)

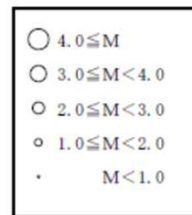


震源深さ 0~30km

震源深さ 30~60km

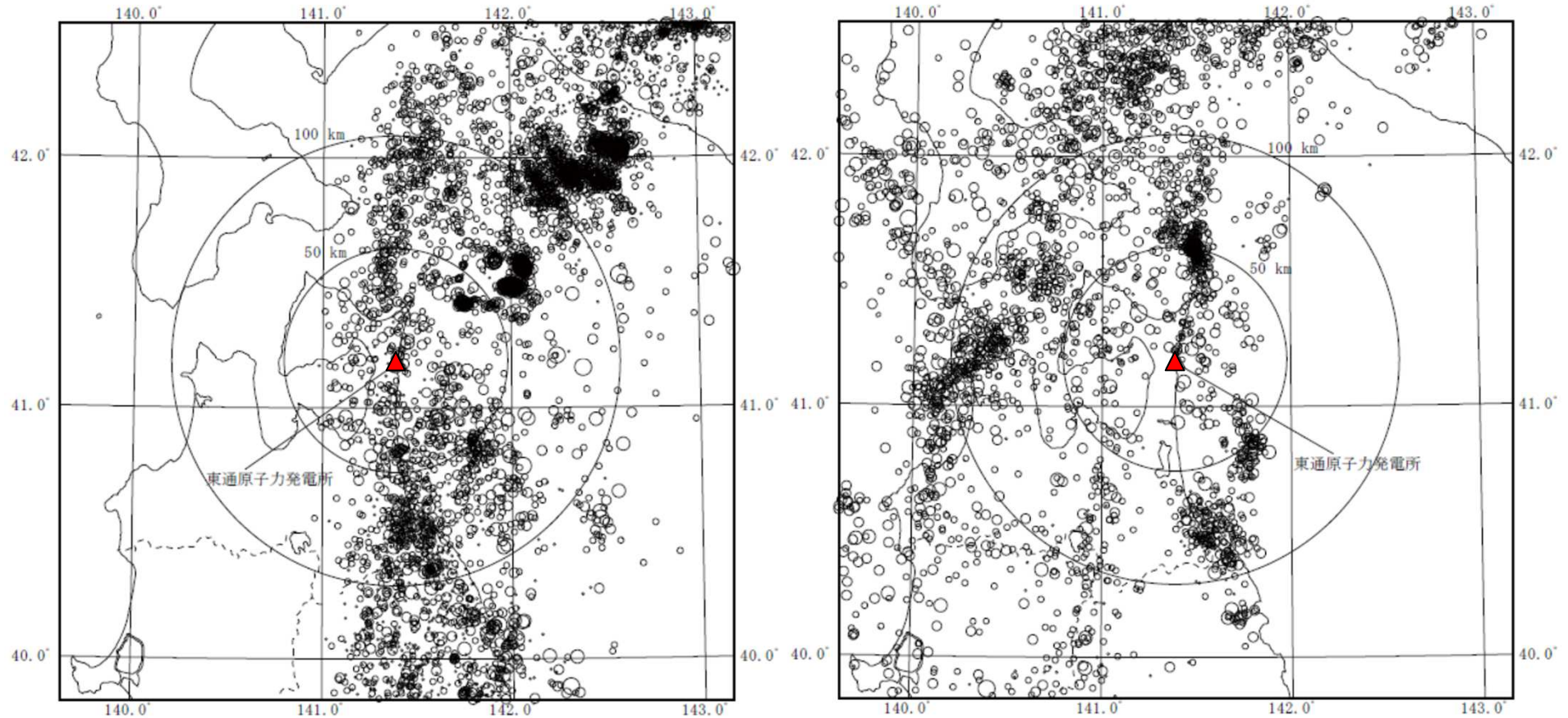
(2011年~2017年:気象庁(2019))

- 深さ0~30kmでは、海域のプレート境界付近および陸域の地殻内で地震が発生。
- 深さ30~60kmでは、多くの地震がプレート境界付近で発生しており、陸域の地震はほとんど見られない。



## 1. 敷地周辺の地震発生状況

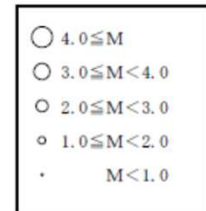
## (5) 敷地周辺におけるM5.0以下の地震の発生状況(2)



震源深さ 60~100km

震源深さ 100km以深

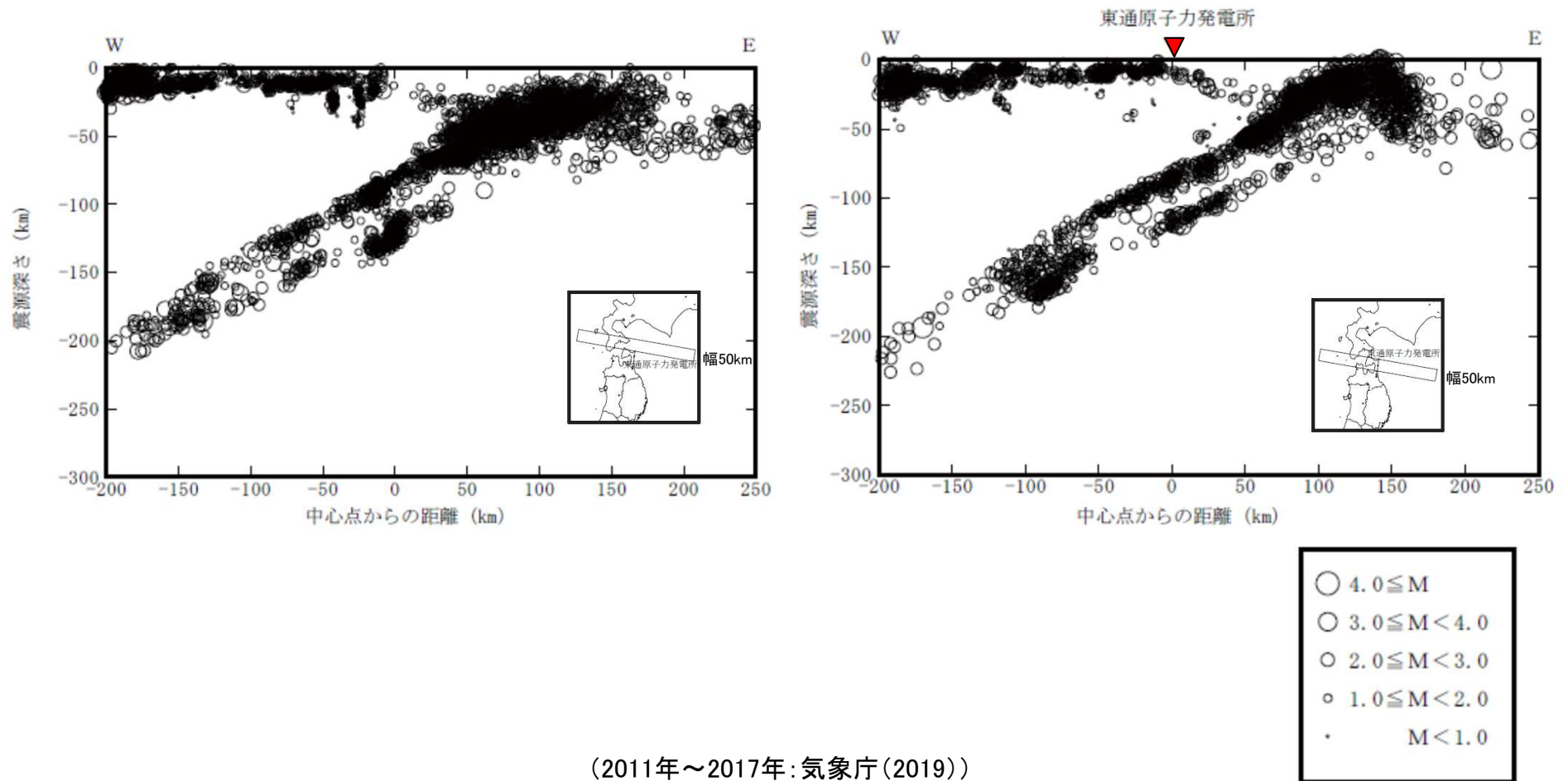
(2011年~2017年:気象庁(2019))



➤ 深さ60km以深では、太平洋プレートの沈み込みに沿って地震の発生が見られる。

## 1. 敷地周辺の地震発生状況

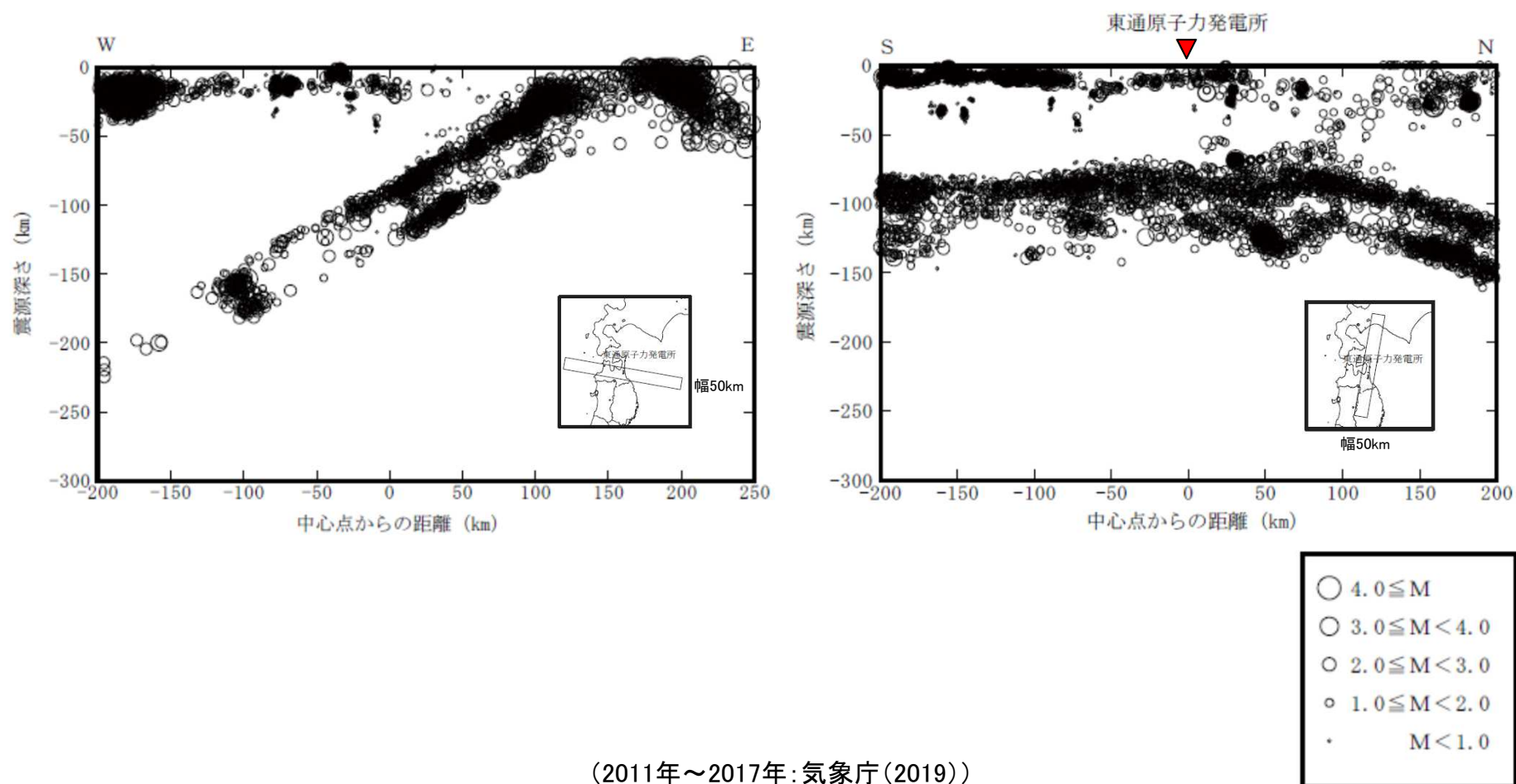
## (6) 敷地周辺におけるM5.0以下の地震の発生状況(3)



➤ 太平洋プレートの沈み込みに沿って二重深発地震面が見られる。

## 1. 敷地周辺の地震発生状況

## (7) 敷地周辺におけるM5.0以下の地震の発生状況(4)



➤ 太平洋プレートの沈み込みに沿って二重深発地震面が見られる。

## 2. 敷地地盤の振動特性及び地下構造モデルの策定

---

## 2. 敷地地盤の振動特性及び地下構造モデルの策定

### (1) はぎとり解析に用いる地下構造モデル

- 各観測点におけるはぎとり波算定に用いる地盤モデルのせん断波速度等は、池浦(2009)に基づく地震観測記録(信号成分)の伝達関数を対象とした逆解析により設定。Q値(減衰)は、地震観測記録(信号成分+雑音)の伝達関数を対象とした逆解析により設定。
- 解放基盤表面の地震動評価として採用する観測点はT.P.+2.0m、地盤のせん断波速度は $V_s=1300\text{m/s}$ 。

| T.P.<br>(m) | 層厚<br>(m) | 密度<br>( $\text{t/m}^3$ ) | $V_s$<br>(m/s) | $V_p$<br>(m/s) | $Q_s$          | $Q_p$          |
|-------------|-----------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| +12.0       | —         | —                        | —              | —              | —              | —              |
| +11.5       | 0.5       | 1.90                     | 58             | 130            | $0.52f^{0.53}$ | $1.01f^{0.50}$ |
| +11.0       | 0.5       | 1.90                     | 60             | 180            | $0.52f^{0.53}$ | $1.01f^{0.50}$ |
| +11.0       | 1.0       | 1.90                     | 280            | 480            | $9.94f^{1.00}$ | $1.00f^{0.50}$ |
| +10.0       | 2.0       | 1.90                     | 280            | 480            | $9.94f^{1.00}$ | $1.00f^{0.50}$ |
| +8.0        | 2.0       | 1.90                     | 380            | 810            | $9.97f^{1.00}$ | $1.24f^{0.53}$ |
| +6.0        | 3.0       | 1.90                     | 920            | 1710           | $9.97f^{1.00}$ | $1.24f^{0.53}$ |
| +3.0        | 1.0       | 2.24                     | 1300           | 2250           | $1.02f^{0.83}$ | $1.53f^{0.72}$ |
| +2.0        | 9.0       | 2.24                     | 1300           | 2250           | $1.02f^{0.83}$ | $1.53f^{0.72}$ |
| -7.0        | 55.0      | 2.24                     | 1790           | 3020           | $1.02f^{0.83}$ | $1.53f^{0.72}$ |
| -62.0       | 20.8      | 2.72                     | 1800           | 3200           | $1.02f^{0.83}$ | $1.53f^{0.72}$ |
| -82.8       | 23.2      | 2.72                     | 1800           | 3200           | $1.02f^{0.83}$ | $1.53f^{0.72}$ |
| -106.0      | 60.0      | 2.30                     | 1910           | 3500           | $1.57f^{0.88}$ | $1.37f^{0.91}$ |
| -166.0      | 24.0      | 2.30                     | 2030           | 3540           | $1.57f^{0.88}$ | $1.37f^{0.91}$ |
| -190.0      | 62.0      | 2.30                     | 2100           | 3600           | $1.57f^{0.88}$ | $1.37f^{0.91}$ |
| -252.0      | 30.8      | 2.33                     | 2090           | 3690           | $1.57f^{0.88}$ | $1.37f^{0.91}$ |
| -282.8      | $\infty$  | 2.33                     | 2090           | 3690           | $1.57f^{0.88}$ | $1.37f^{0.91}$ |

▽岩盤上部  
(解放基盤表面相当)

地震観測点位置を示す

## 2. 敷地地盤の振動特性及び地下構造モデルの策定

### (2) 統計的グリーン関数法に用いる地下構造モデル

- 地震観測点以浅のせん断波速度やQ値(減衰)等は, 池浦(2009)に基づく地震観測記録(信号成分)の伝達関数を対象とした逆解析により設定。
- 地震観測点以深のせん断波速度等は, 観測記録の水平/上下スペクトル振幅比の逆解析結果に基づき設定。Q値(減衰)についてはAbercrombie(1997)を参照し設定。

| T.P.<br>(m) | 層厚<br>(m) | 密度<br>(t/m <sup>3</sup> ) | V <sub>S</sub><br>(m/s) | V <sub>P</sub><br>(m/s) | Q <sub>s</sub>        | Q <sub>p</sub>        |
|-------------|-----------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| +2.0        | —         | —                         | —                       | —                       | —                     | —                     |
| -7.0        | 9.0       | 2.24                      | 1300                    | 2250                    | 1.23f <sup>0.74</sup> | 3.06f <sup>0.51</sup> |
| -62.0       | 55.0      | 2.24                      | 1790                    | 3020                    | 1.23f <sup>0.74</sup> | 3.06f <sup>0.51</sup> |
| -82.8       | 20.8      | 2.72                      | 1800                    | 3200                    | 1.23f <sup>0.74</sup> | 3.06f <sup>0.51</sup> |
| -106.0      | 23.2      | 2.72                      | 1800                    | 3200                    | 1.23f <sup>0.74</sup> | 3.06f <sup>0.51</sup> |
| -166.0      | 60.0      | 2.30                      | 1910                    | 3500                    | 8.91f <sup>0.94</sup> | 3.55f <sup>0.76</sup> |
| -190.0      | 24.0      | 2.30                      | 2030                    | 3540                    | 8.91f <sup>0.94</sup> | 3.55f <sup>0.76</sup> |
| -252.0      | 62.0      | 2.30                      | 2100                    | 3600                    | 8.91f <sup>0.94</sup> | 3.55f <sup>0.76</sup> |
| -282.8      | 30.8      | 2.33                      | 2090                    | 3690                    | 8.91f <sup>0.94</sup> | 3.55f <sup>0.76</sup> |
| -553.8      | 271.0     | 2.45                      | 2440                    | 3760                    | 100                   | 100                   |
| -1484.8     | 931.0     | 2.45                      | 2450                    | 3930                    | 100                   | 100                   |
| -2407.8     | 923.0     | 2.46                      | 2490                    | 3940                    | 100                   | 100                   |
| -2987.8     | 580.0     | 2.52                      | 2780                    | 4060                    | 100                   | 100                   |
|             | ∞         | 2.63                      | 3360                    | 5800                    | 150                   | 150                   |

▽岩盤上部

(解放基盤表面相当)

地震観測点位置を示す

▽地震基盤

## 2. 敷地地盤の振動特性及び地下構造モデルの策定

### (3) ハイブリッド合成法のうち理論的手法に用いる地下構造モデル


- 地震基盤以浅は、統計的グリーン関数法による地震動評価で用いる地盤構造モデルと同様。
- 地震基盤以深は、地震調査研究推進本部(2004a)及び永井ほか(2001)を参考に設定。

| T.P.<br>(m) | 層厚<br>(m) | 密度<br>(t/m <sup>3</sup> ) | V <sub>s</sub><br>(m/s) | V <sub>p</sub><br>(m/s) | Q <sub>s</sub> | Q <sub>p</sub> |
|-------------|-----------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|----------------|
| +2.0        | —         | —                         | —                       | —                       | —              | —              |
| -7.0        | 9.0       | 2.24                      | 1300                    | 2250                    | 100            | 100            |
| -62.0       | 55.0      | 2.24                      | 1790                    | 3020                    | 100            | 100            |
| -82.8       | 20.8      | 2.72                      | 1800                    | 3200                    | 100            | 100            |
| -106.0      | 23.2      | 2.72                      | 1800                    | 3200                    | 100            | 100            |
| -166.0      | 60.0      | 2.30                      | 1910                    | 3500                    | 100            | 100            |
| -190.0      | 24.0      | 2.30                      | 2030                    | 3540                    | 100            | 100            |
| -252.0      | 62.0      | 2.30                      | 2100                    | 3600                    | 100            | 100            |
| -282.8      | 30.8      | 2.33                      | 2090                    | 3690                    | 100            | 100            |
| -553.8      | 271.0     | 2.45                      | 2440                    | 3760                    | 100            | 100            |
| -1484.8     | 931.0     | 2.45                      | 2450                    | 3930                    | 100            | 100            |
| -2407.8     | 923.0     | 2.46                      | 2490                    | 3940                    | 150            | 150            |
| -2987.8     | 580.0     | 2.52                      | 2780                    | 4060                    | 150            | 150            |
| -3000.0     | 12.2      | 2.63                      | 3360                    | 5800                    | 150            | 150            |
| -15000.0    | 12000.0   | 2.69                      | 3580                    | 6180                    | 300            | 300            |
| -25000.0    | 10000.0   | 2.80                      | 3700                    | 6400                    | 300            | 300            |
|             | ∞         | 3.20                      | 4100                    | 7100                    | 500            | 500            |

▽岩盤上部

(解放基盤表面相当)

▽地震基盤

 地震観測点位置を示す



### 3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

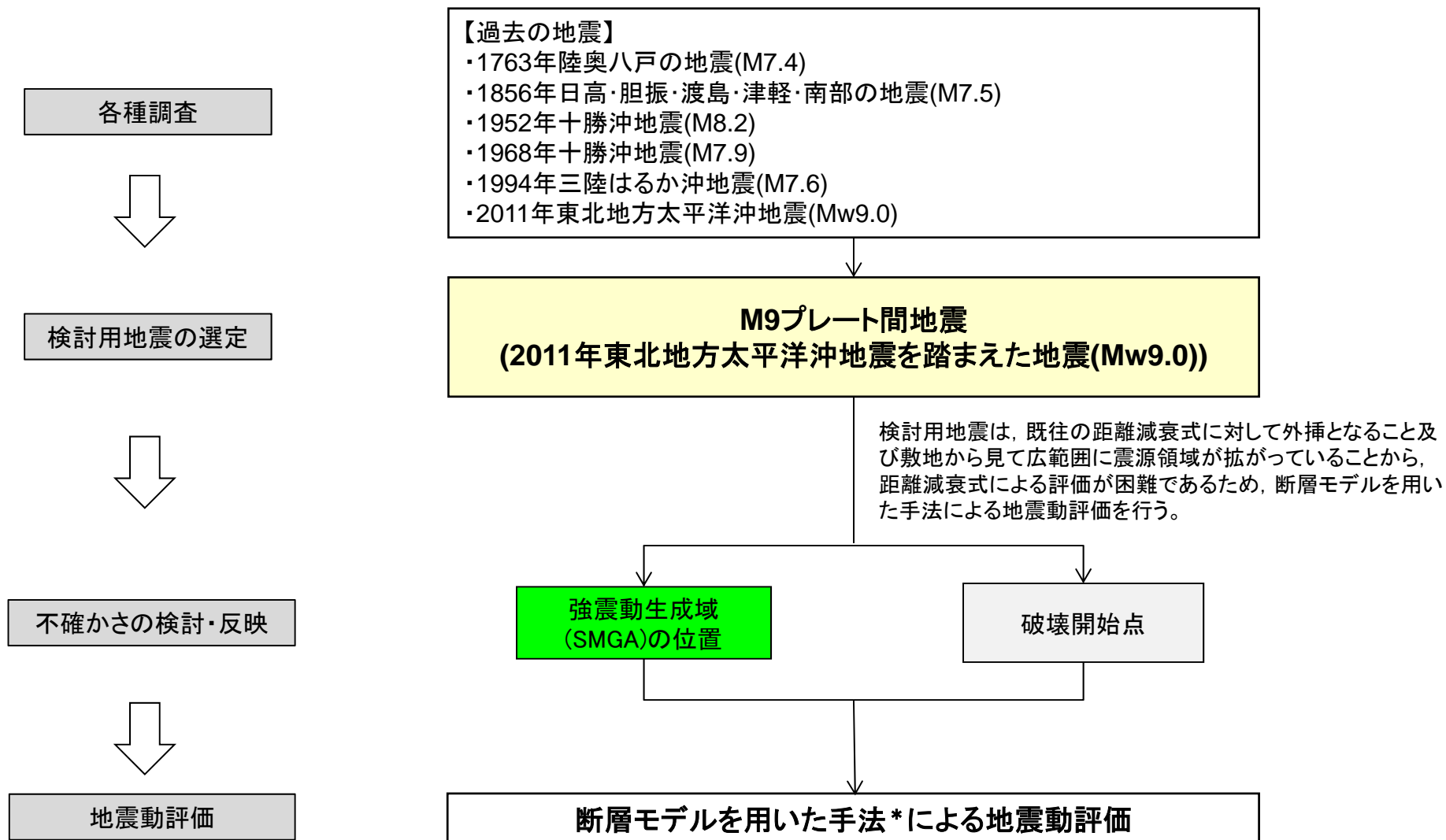
#### 3. 1 プレート間地震

---

### 3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動／3.1 プレート間地震

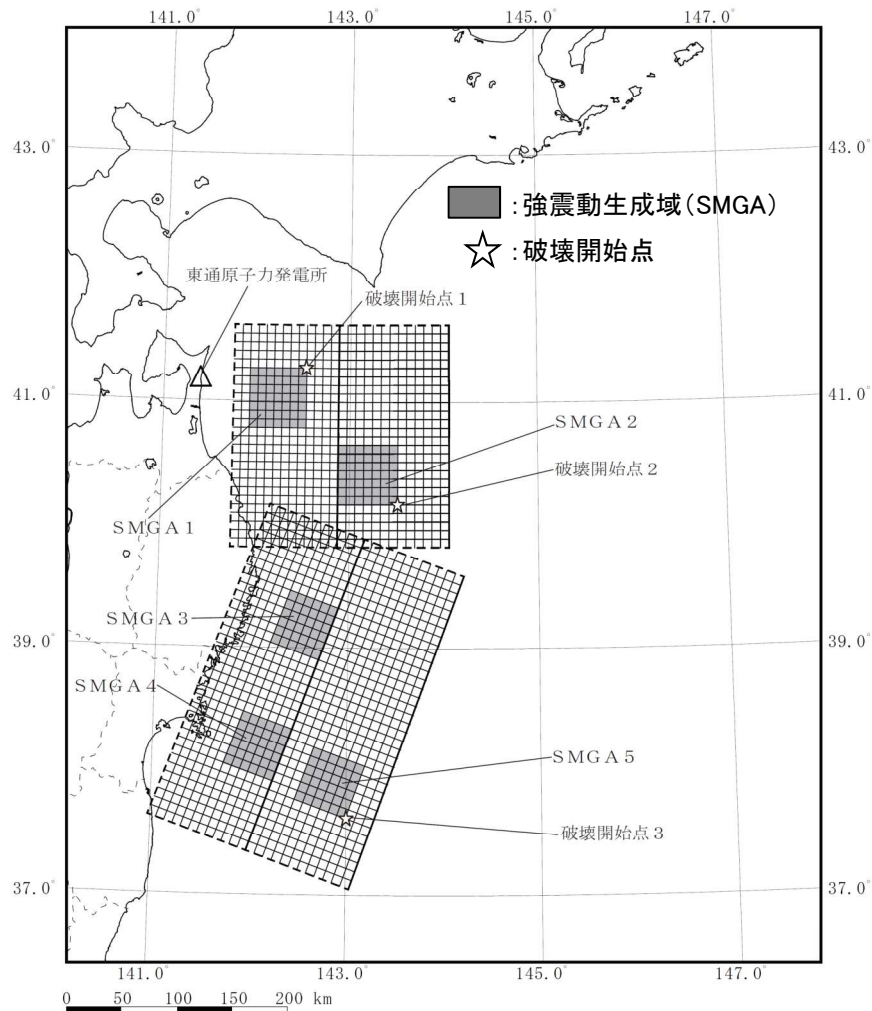
#### (1) 地震動評価フロー

- プレート間地震としては、敷地前面の青森県沖の領域が破壊するM9プレート間地震を想定する。



\* 経験的グリーン関数法  
波形合成は入倉ほか(1997)を用いる。

### 3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動／3.1 プレート間地震 (2) 検討用地震の地震動評価(基本ケース)



検討用地震の基本震源モデル

#### 基本ケースの主な特徴

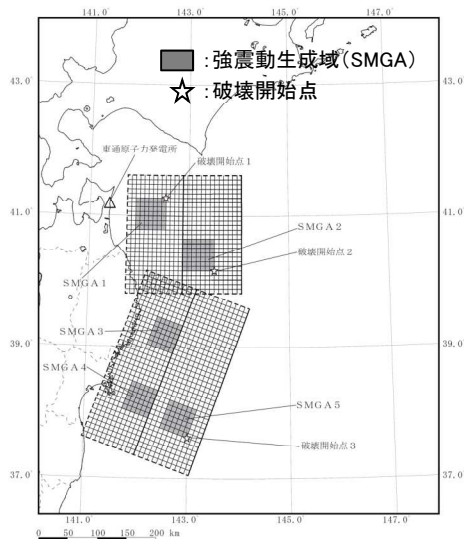
- 三陸沖北部の領域にも2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)と同程度の規模の地震を想定。
- モデル諸元は諸井ほか(2013)に基づき設定, SMGAの配置は過去に発生したM7~8の地震の震源域の場所に設定。
- 敷地に最も近い三陸沖北部のSMGAについては, 1978年宮城県沖地震の短周期レベルを参考に応力降下量を考慮。
- 破壊開始点は, 破壊が敷地に向かう位置に複数設定。

### 3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動／3.1 プレート間地震 (3) 検討用地震の地震動評価(不確かさケース)

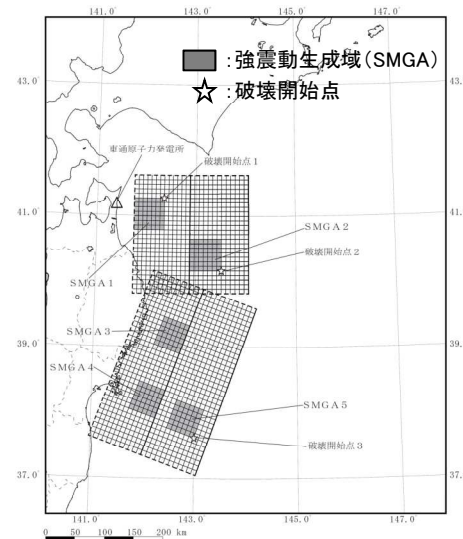
➤ 不確かさケースとして、敷地に最も近い三陸沖北部のSMGA1を敷地側に寄せたケースを考慮。

| 検討ケース                                  | 地震規模   | SMGAの位置                      | 応力降下量<br>(短周期レベル)   | 破壊<br>開始点 |
|--|--|------------------------------|---|-----------|
| ①基本震源モデル<br>(基本ケース)                    | M9.0<br>Mw9.0<br>( $M_0=4.0 \times 10^{22}\text{Nm}$ ) | M7~8の過去の地震の震源域と<br>の対応を考慮し設定 | SMGA1~2:1978年宮城県沖地震を踏まえた短周期レベル<br>SMGA3~5:諸井ほか(2013)に基づく面積比12.5%相当の短周期レベル | 複数        |
| ②SMGAの位置の不確かさを<br>考慮したケース(不確かさ<br>ケース) | M9.0<br>Mw9.0<br>( $M_0=4.0 \times 10^{22}\text{Nm}$ ) | SMGA1をサイト直近に移動               | SMGA1~2:1978年宮城県沖地震を踏まえた短周期レベル<br>SMGA3~5:諸井ほか(2013)に基づく面積比12.5%相当の短周期レベル | 複数        |

■ : 考慮する不確かさ    ■ : 予めモデルに織り込む不確かさ



①基本震源モデル

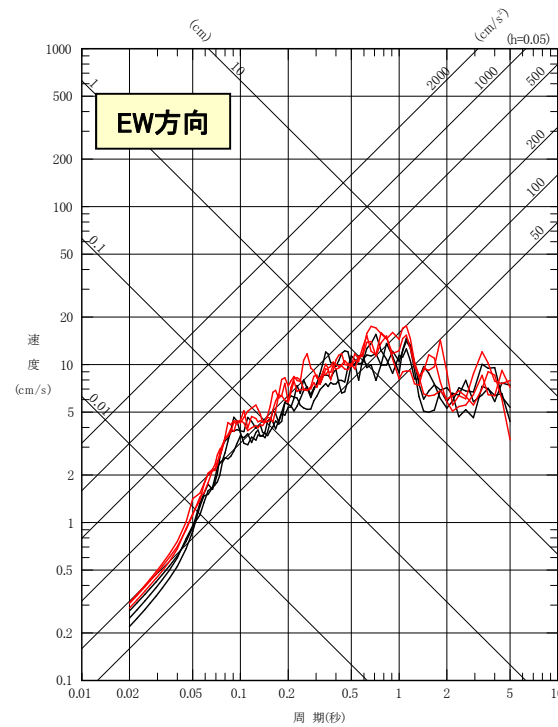
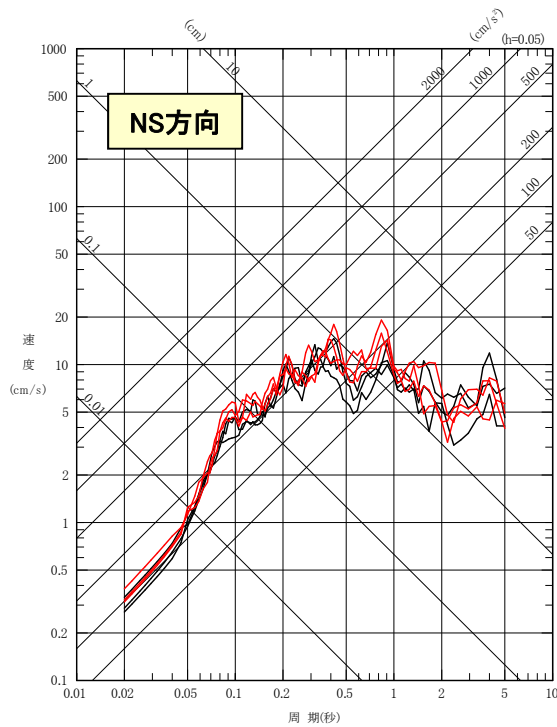


②SMGAの位置の不確かさを考慮したケース

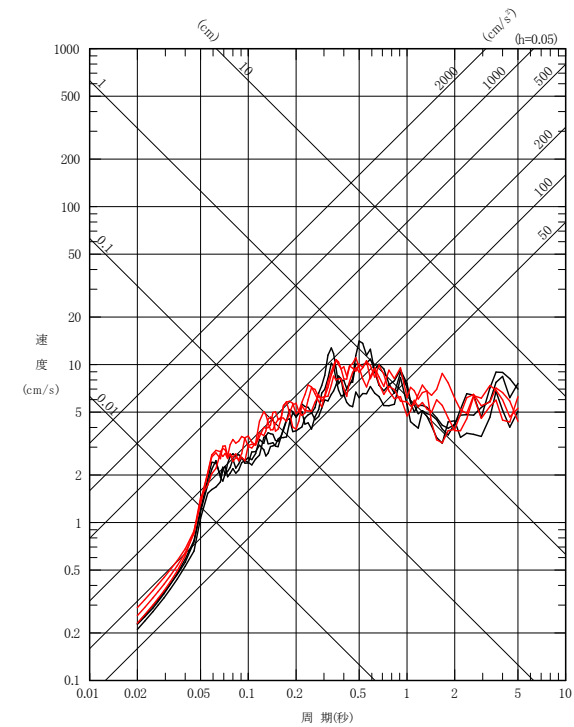
### 3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動／3.1 プレート間地震 (4) 検討用地震の地震動評価結果

➤ 断層モデルを用いた地震動の評価には、経験的グリーン関数法を採用。

- ①基本震源モデル
- ②SMGA位置の不確かさを考慮したケース



水平方向



鉛直方向

余白

### 3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

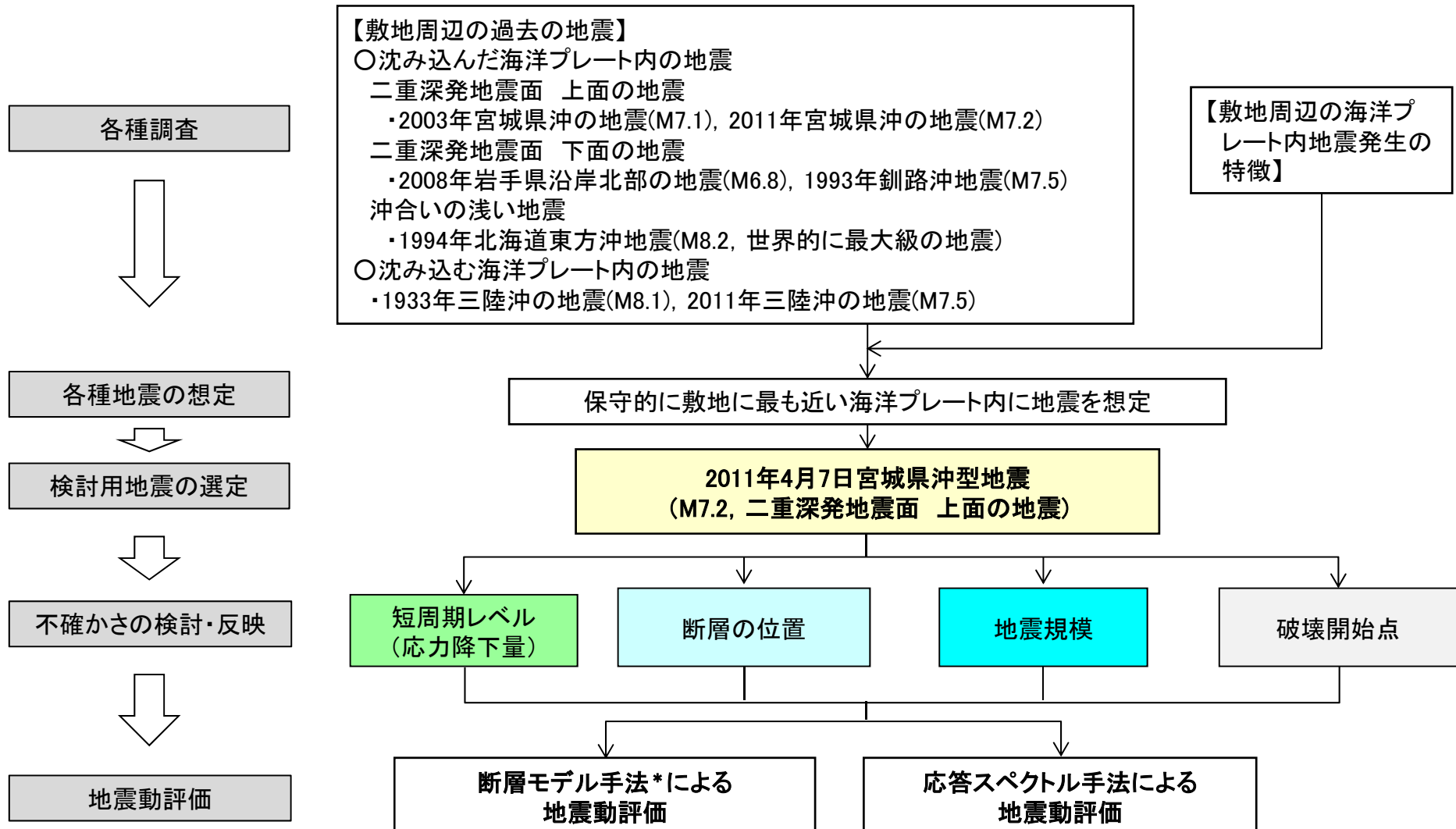
#### 3. 2 海洋プレート内地震

---

### 3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動／3.2 海洋プレート内地震

#### (1) 地震動評価フロー

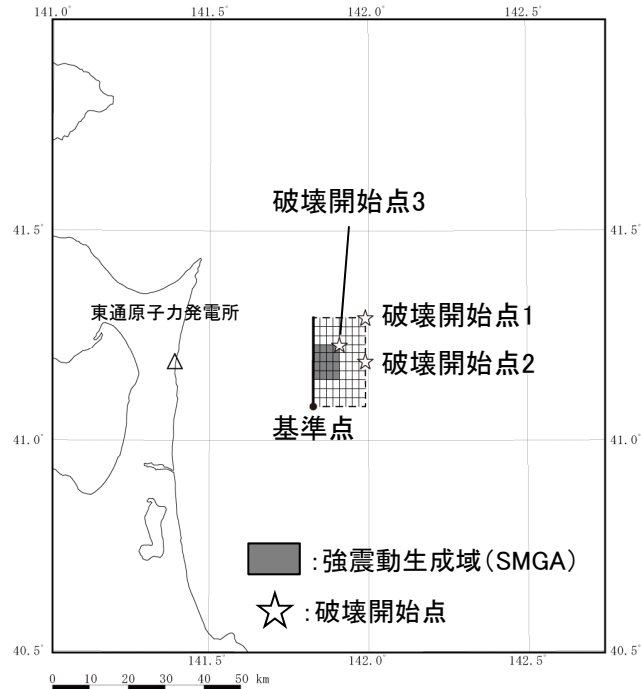
- 敷地の位置する東北地方と北海道のテクトニクス上の違い及び敷地周辺のテクトニクス上の特徴等を踏まえ、「2011年4月7日宮城県沖型地震(M7.2)」を海洋プレート内地震の検討用地震として選定。



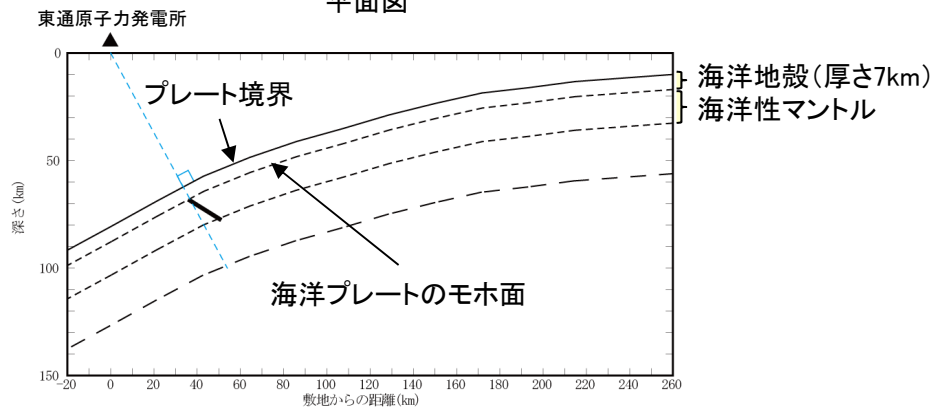
\* 統計的グリーン関数法  
波形合成は入倉ほか(1997)を用いる。



### 3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 / 3.2 海洋プレート内地震 (2) 検討用地震の地震動評価(基本ケース)



平面図



断面図

検討用地震の基本震源モデル

#### 基本ケースの断層モデル

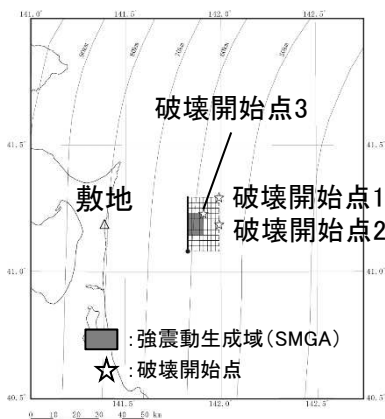
- 検討用地震の地震規模は、2011年4月7日宮城県沖の地震(M7.2)に基づきM7.2(Mw7.1)と設定。
- 断層面位置は、沈み込む海洋プレートに対して、敷地に最も近い位置(海洋プレート上面に垂線を引いた位置)に想定。プレートの上面深さはJ-SHIS(2018)を参考に設定。
- 断層面は、2011年4月7日宮城県沖の地震(M7.2)に基づきプレート上面との傾斜角を $60^\circ$ とし、断層上端深さを海洋性マントル最上部(モホ面)に設定。
- 断層モデルの各種諸元は、地震調査研究推進本部(2017)「震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)」に基づき設定。
- SMGAの位置は、敷地に近づくように断層面上端の中央に設定。破壊開始点は、複数設定。

### 3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動／3.2 海洋プレート内地震 (3) 検討用地震の地震動評価(不確かさケース)

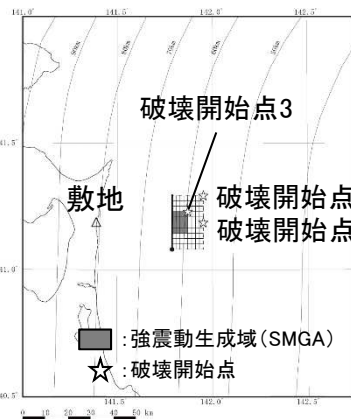
▶不確かさケースとして応力降下量(短周期レベル, 地震調査研究推進本部(2017)の1.5倍), 断層面位置(海洋性地殻上端まで引き上げ), 地震規模(M7.5)の不確かさを考慮。

| ケース                                   | 地震規模        | 断層面位置                         | 応力降下量(短周期レベル)              | SMGA位置 | 破壊開始点 |
|---------------------------------------|-------------|-------------------------------|----------------------------|--------|-------|
| ①基本震源モデル(基本ケース)                       | M7.2(Mw7.1) | 断層面: 敷地直近となる位置(海洋性地殻下端~応力中立面) | 地震調査研究推進本部(2017)に基づく値      | 断層面上端  | 複数    |
| ②応力降下量(短周期レベル)の不確かさを考慮したケース(不確かさケース1) | M7.2(Mw7.1) | 断層面: 敷地直近となる位置(海洋性地殻下端~応力中立面) | 地震調査研究推進本部(2017)に基づく値×1.5倍 | 断層面上端  | 複数    |
| ③断層面位置の不確かさを考慮したケース(不確かさケース2)         | M7.2(Mw7.1) | 断層面: 敷地直近となる位置(海洋性地殻上端に配置)    | 地震調査研究推進本部(2017)に基づく値      | 断層面上端  | 複数    |
| ④地震規模の不確かさを考慮したケース(不確かさケース3)          | M7.5(Mw7.4) | 断層面: 敷地直近となる位置(海洋性地殻下端~応力中立面) | 地震調査研究推進本部(2017)に基づく値      | 断層面上端  | 複数    |

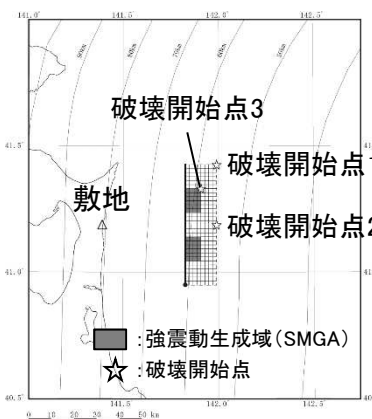
■ : 考慮する不確かさ    ■ : 予めモデルに織り込む不確かさ



①基本震源モデル  
②応力降下量(短周期レベル)の不確かさを考慮したケース

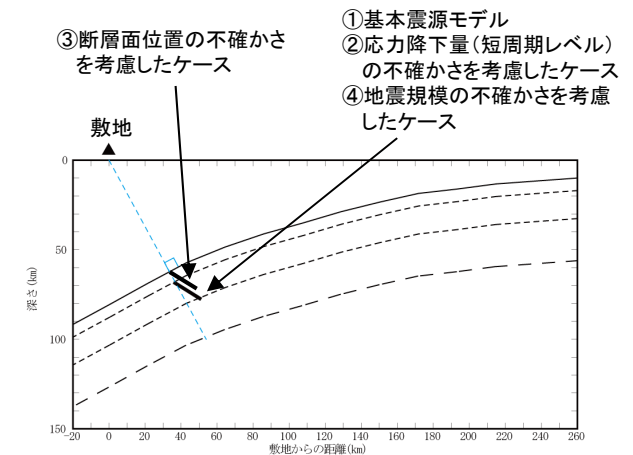


③断層面位置の不確かさを考慮したケース



④地震規模の不確かさを考慮したケース

断層モデル(平面図)

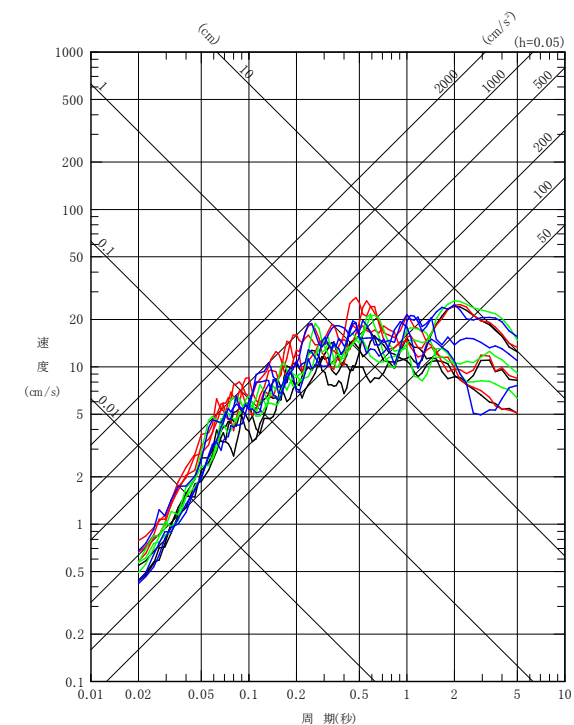
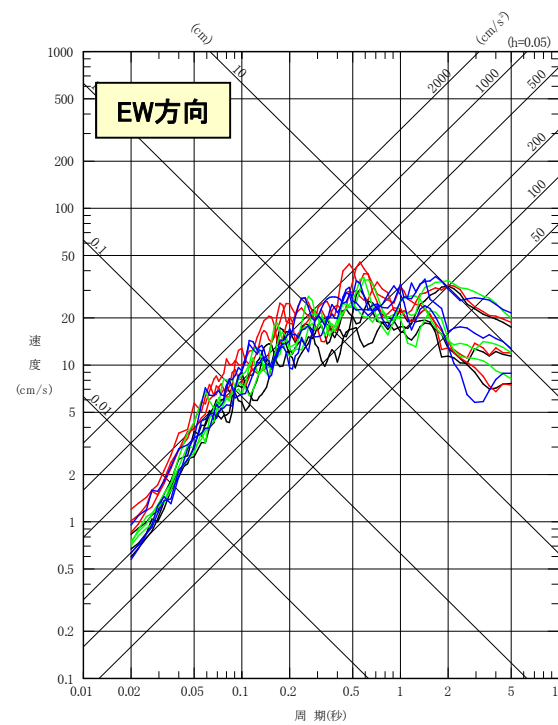
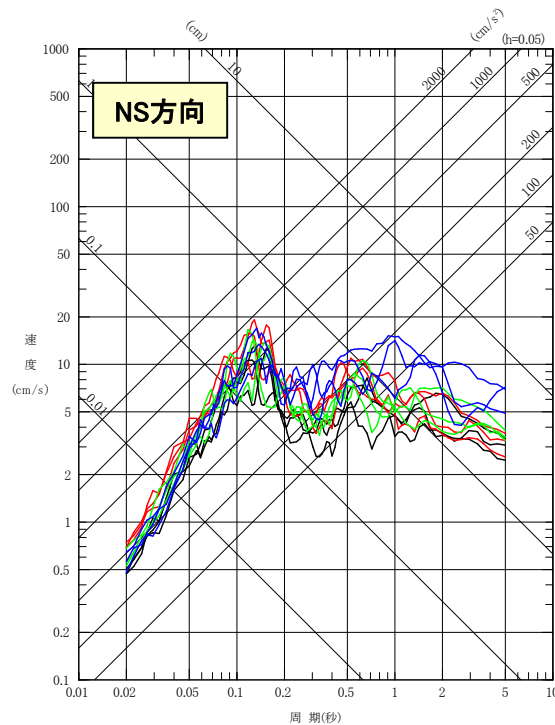


断層モデル(断面図)

### 3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 / 3.2 海洋プレート内地震 (4) 検討用地震の地震動評価結果(断層モデル手法による地震動評価)

➤ 断層モデルを用いた地震動の評価には、統計的グリーン関数法を採用。

- ①基本震源モデル
- ②短周期レベルの不確かさを考慮したケース
- ③断層面位置の不確かさを考慮したケース
- ④地震規模の不確かさを考慮したケース



水平方向

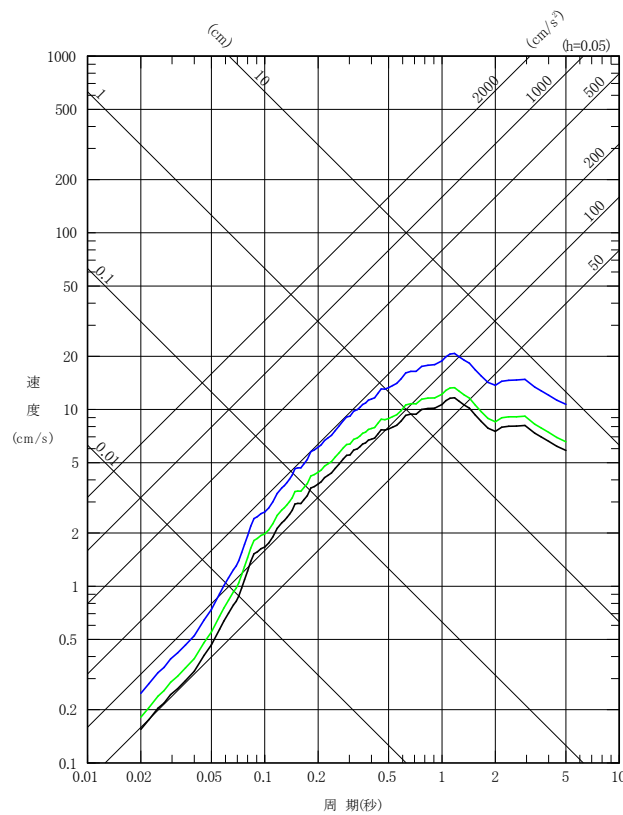
鉛直方向

### 3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動／3.2 海洋プレート内地震

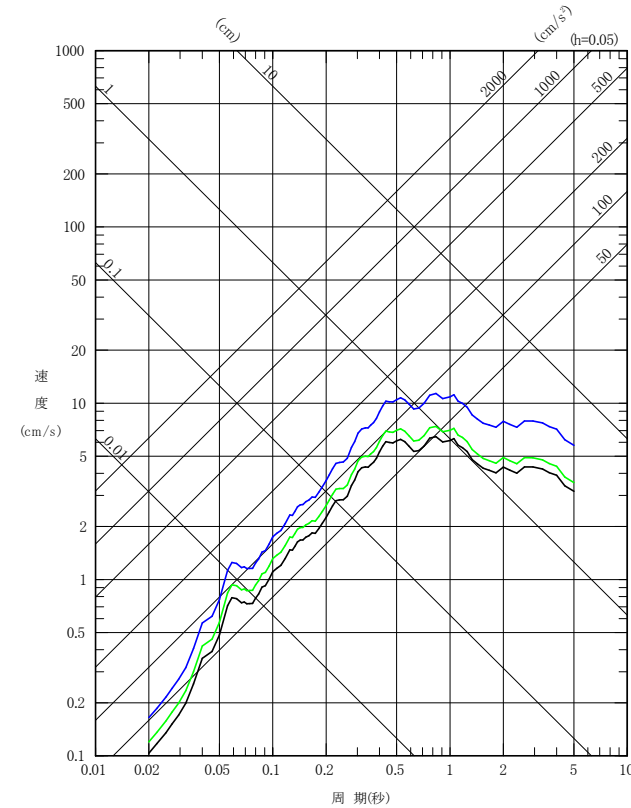
#### (5) 検討用地震の地震動評価結果(応答スペクトル手法による地震動評価)

- 応答スペクトルに基づく手法では, Noda et al.(2002)による距離減衰式に, 敷地で得られた海洋プレート内地震の観測記録の残差を考慮して評価。

- ①基本震源モデル, ②短周期レベルの不確かさを考慮したケース(M7.2,  $X_{eq}=83\text{km}$ )
- ③断層面位置の不確かさを考慮したケース(M7.2,  $X_{eq}=76\text{km}$ )
- ④地震規模の不確かさを考慮したケース(M7.5,  $X_{eq}=83\text{km}$ )



水平方向



鉛直方向

### 3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

#### 3.3 内陸地殻内地震

---

### 3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動／3.3 内陸地殻内地震 (1) 検討用地震選定にあたっての基本的考え方

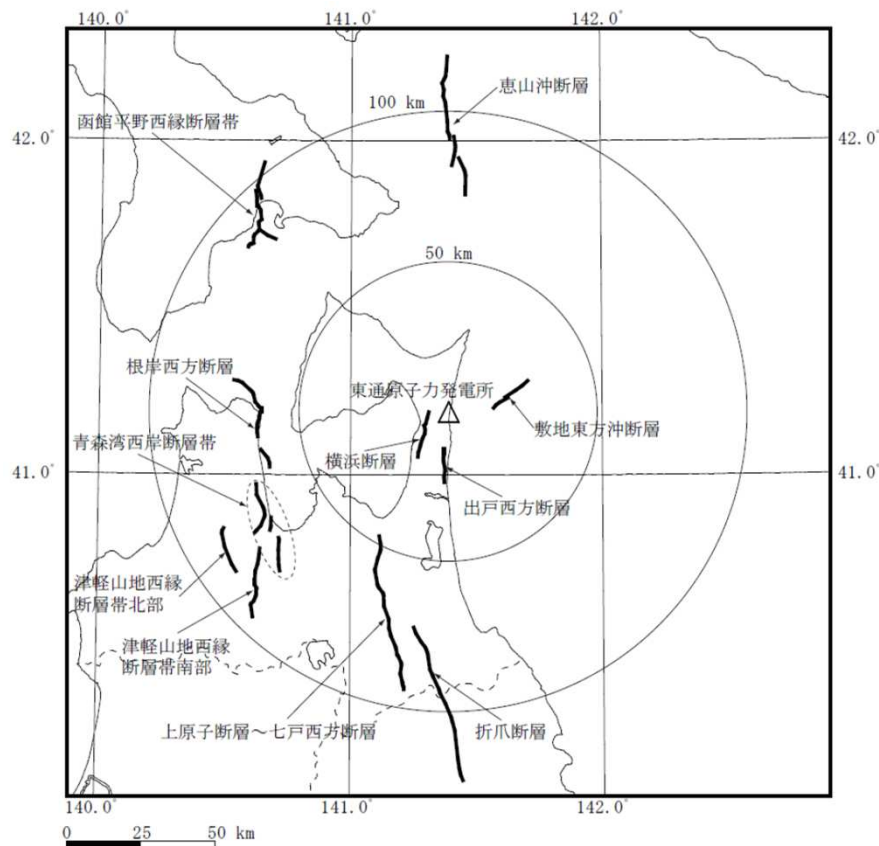
---

#### 【検討用地震選定にあたっての基本的考え方】

- 検討用地震としては、①震源として考慮する活断層による地震から選定される地震、に加え、②下北半島東部の地質構造上の特徴等を踏まえ敷地に対しより影響の大きい地震、も検討用地震として考慮することにより、地震動評価上の保守性を確保する。
- 特に、②については、敷地・敷地近傍の地質・地質構造上の特徴も踏まえ、その断層モデルの断層面の一部が敷地近傍に及ぶモデルを想定する。

### 3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 / 3.3 内陸地殻内地震 (2) 敷地周辺における主な活断層分布

- ▶ 地質調査の結果、敷地周辺に認められる活断層のうち、敷地に最も近い活断層は横浜断層(断層長さL=15.4km, 等価震源距離17.5km)である。
- ▶ なお、横浜断層の等価震源距離算定に当たっては、地質調査結果に基づき断層傾斜角60°の西傾斜の逆断層としている。



敷地周辺の主な活断層分布

敷地周辺の主な活断層の諸元および想定する地震

| No. | 断層名         | 断層長さ (km)               | 地震規模 M※1 | 等価震源距離(km)※2 |       |
|-----|-------------|-------------------------|----------|--------------|-------|
| 1   | 横浜断層        | 15.4                    | 7.0      | 17.5         |       |
| 2   | 敷地東方冲断層     | 14.5                    | 7.0      | 20.5         |       |
| 3   | 出戸西方断層      | 11                      | 7.0      | 20.3         |       |
| 4   | 上原子-七戸西方断層  | 51                      | 7.7      | 69.8         |       |
| 5   | 恵山冲断層       | 47                      | 7.6      | 95.3         |       |
| 6   | 折爪断層        | 53                      | 7.7      | 97.5         |       |
| 7   | 根岸西方断層      | 38                      | 7.5      | 73.7         |       |
| 8   | 青森湾西岸断層帯    | 31                      | 7.3      | 77.1         |       |
| 9   | 津軽山地西縁断層帯北部 | 16                      | 7.1      | 78.2         |       |
| 10  | 津軽山地西縁断層帯南部 | 23                      | 7.2      | 80.7         |       |
| 11  | 函館平野西縁断層帯   | 海域南東延長部を含む<br>函館平野西縁断層帯 | 26       | 7.2          | 97.5  |
|     |             | 海域南西延長部を含む<br>函館平野西縁断層帯 | 28       | 7.2          | 103.0 |

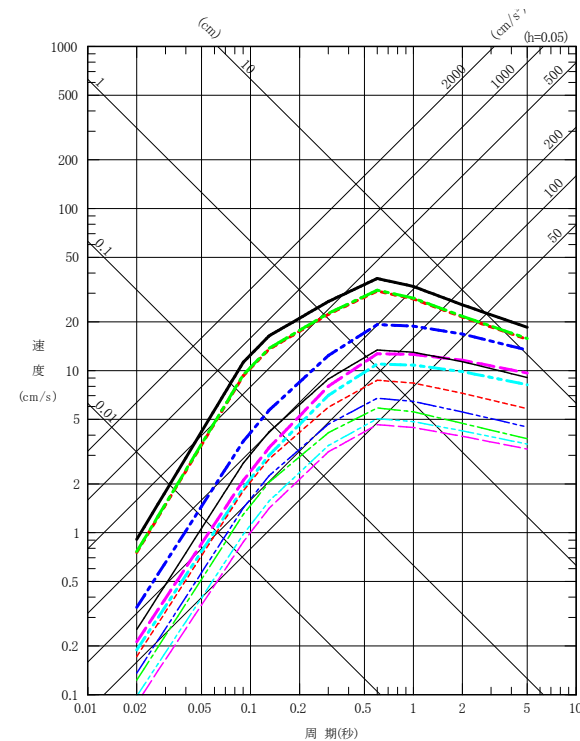
※1 孤立した短い活断層であるNo.1~3は $M_0=7.5 \times 10^{18} \text{Nm}$ を仮定し武村(1990)により算定, No.8~10は地震調査研究推進本部(2004b), (2004c)を参考に設定, それ以外は松田(1975)により算定。

※2 等価震源距離算定にあたり、地震発生層深さは微小地震分布などから3km~15kmに設定, 断層傾斜角は地質調査, 地震調査研究推進本部(2004b), (2004c)および地震調査研究推進本部(2017)を参考に設定。

### 3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動／3. 3 内陸地殻内地震 (3) 震源として考慮する活断層による地震の検討用地震の選定

- 敷地周辺に存在する主な活断層により想定される地震が敷地に与える影響について、経験式(Noda et al.(2002)による距離減衰式)で評価した場合、敷地に与える影響が最も大きい地震は横浜断層による地震(M7.0, 等価震源距離17.5km)である。
- よって、「**横浜断層(西傾斜)による地震**」を、震源として考慮する活断層による地震の検討用地震として選定する。

- 横浜断層による地震(M7.0)
- - - 敷地東方沖断層による地震(M7.0)
- 出戸西方断層による地震(M7.0)
- - - 上原子-七戸西方断層による地震(M7.7)
- - - 恵山沖断層による地震(M7.6)
- 折爪断層による地震(M7.7)
- 根岸西方断層による地震(M7.5)
- - - 青森湾西岸断層帯による地震(M7.3)
- 津軽山地西縁断層帯北部による地震(M7.1)
- - - 津軽山地西縁断層帯南部による地震(M7.2)
- - - 海域南東延長部を含む函館平野西縁断層帯による地震(M7.2)
- - - 海域南西延長部を含む函館平野西縁断層帯による地震(M7.2)

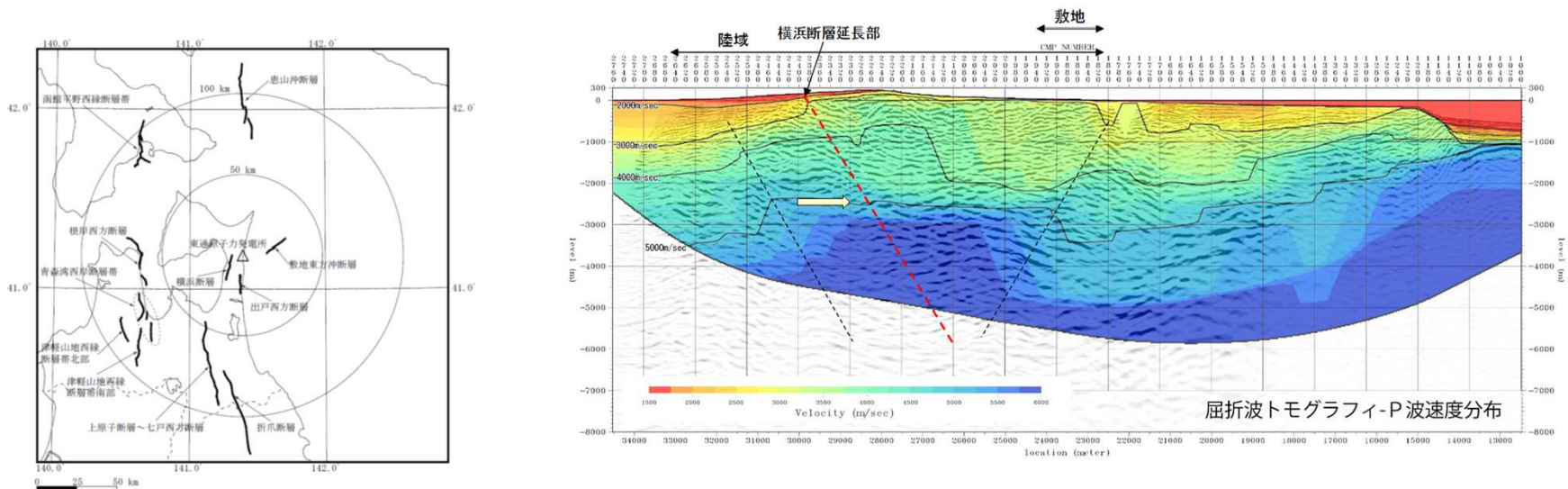


敷地周辺の活断層に想定する地震の地震動評価  
(Noda et al.(2002)による) 内陸補正なし



### 3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動／3.3 内陸地殻内地震 (4) 下北半島東部の地質構造上の特徴等を踏まえ想定する地震

- 敷地周辺に存在する活断層は下北半島の広域的な応力場等に対応した高角な逆断層が多い。また、地下深部構造(屈折法トモグラフィによるP波速度分布)では、半島東西断面中央部付近に狭隘な速度構造の高まりが認められる。
- この狭隘な速度構造の高まりと関連するような活断層は存在しないため、この速度構造の高まりをテクトニックなものとしてとらえた場合、活断層を伴わない規模の小さい地震として陸奥湾付近(東傾斜)及び太平洋側(西傾斜)に想定することが考えられる。
- 一方、陸奥湾側には、敷地により近い位置に横浜断層が存在する。横浜断層は西傾斜の活断層であるが、陸奥湾付近に想定される規模の小さい東傾斜の地震を横浜断層の位置に考慮することにより、地震動評価上の保守性を確保する(「**横浜断層(東傾斜)による地震**」)。



敷地周辺の活断層の分布

下北半島の速度構造(東西断面図)と検討用地震

### 3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動／3.3 内陸地殻内地震 (5) 検討用地震の断層モデルとその不確かさケース 横浜断層(西傾斜)による地震

#### 横浜断層(西傾斜)による地震

##### 【震源モデル(基本ケース)】

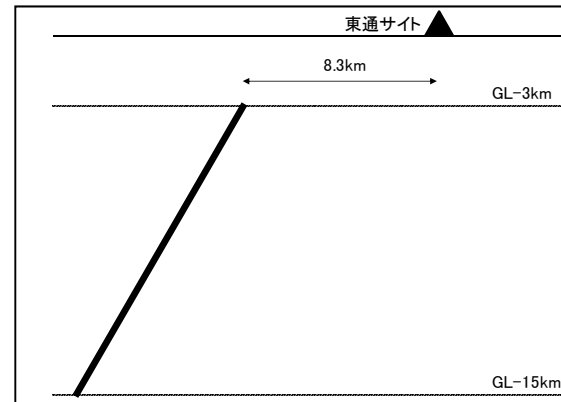
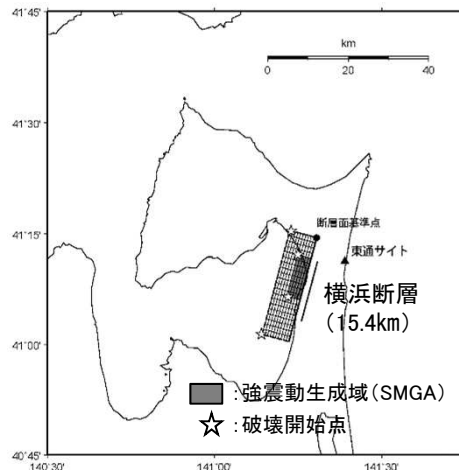
- ・地質調査結果では横浜断層は断層傾斜角 $60^\circ$ の西傾斜の逆断層であること、下北半島では高角な逆断層が卓越していること、地震調査研究推進本部(2017)では高角な逆断層の場合傾斜角を $60^\circ$ と設定していることを踏まえ、傾斜角は $60^\circ$ を採用。
- ・地質調査の結果では、断層長さは15.4kmと短い活断層のため、 $M_0=7.5 \times 10^{18}\text{Nm}$ を上回るように断層長さは27kmを採用。
- ・SMGAは、保守的に活断層の認定される範囲において最も敷地に近い位置に考慮。また、応力降下量は地震調査研究推進本部(2017)に基づいた値を採用。

##### 【震源モデル(不確かさケース)】

- ・不確かさケースとして、応力降下量の不確かさ(短周期レベルで1.5倍)を考慮。

| 検討ケース                            | 地震規模            | 断層傾斜角          | 応力降下量<br>(短周期レベル)                        | SMGA位置 | 破壊開始点 |
|----------------------------------|-----------------|----------------|--|--------|-------|
| ①基本震源モデル<br>(基本ケース)              | M7.0<br>(Mw6.5) | $60^\circ$ 西傾斜 | 地震調査研究推進本部<br>(2017)に基づく値                | 断層面上端  | 複数    |
| ②応力降下量の不確かさを考慮したケース<br>(不確かさケース) | M7.0<br>(Mw6.5) | $60^\circ$ 西傾斜 | 地震調査研究推進本部<br>(2017)に基づく値 $\times 1.5$ 倍 | 断層面上端  | 複数    |

■ : 考慮する不確かさ    □ : 予めモデルに織り込む不確かさ



地震発生層については、  
 ・上端深さ: 3km  
 ・下端深さ: 15km  
 地震発生層厚さ12kmと設定

横浜断層(西傾斜)による地震の震源モデル

### 3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動／3.3 内陸地殻内地震 (6) 検討用地震の断層モデルとその不確かさケース 横浜断層(東傾斜)による地震

#### 横浜断層(東傾斜)による地震

##### 【震源モデル(基本ケース)】

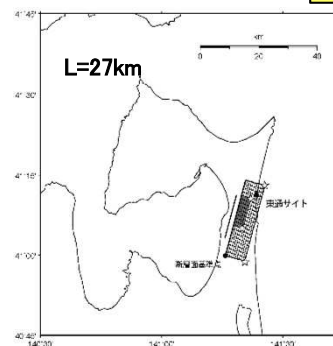
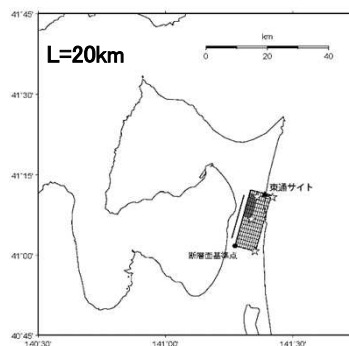
- ・下北半島では高角な逆断層が卓越していること、横浜断層より西側の陸奥湾付近に高角な断層を想定すると下北半島中軸部の狭隘な高まりと整合すること、地震調査研究推進本部(2017)では高角な逆断層の場合傾斜角を $60^\circ$ と設定していることを踏まえ、傾斜角は $60^\circ$ に設定。
- ・当該想定震源は、下北半島中軸部の狭隘な高まりと整合する位置には活断層は認められない上で、その断層を保守的に横浜断層位置に仮定した位置づけになるため、基本ケースとしては、断層長さをStirling et al.(2002)に基づき20kmを採用。
- ・SMGAは、保守的に活断層の認定される範囲において最も敷地に近い位置に考慮。また、応力降下量は地震調査研究推進本部(2017)に基づいた値を採用。  
→ 設定した震源モデルの断層面は敷地近傍に及ぶものとなる。

##### 【震源モデル(不確かさケース)】

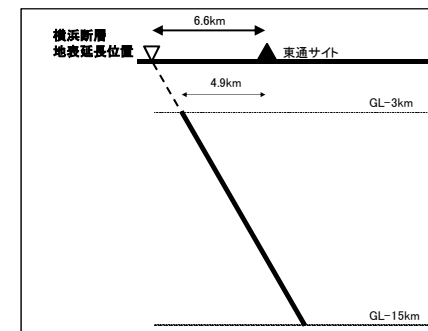
- ・不確かさケースとして、保守的に短い活断層の扱いに準じ、 $M_0=7.5 \times 10^{18}\text{Nm}$ を上回るように断層長さ27kmを採用。
- ・不確かさケースとして、応力降下量の不確かさ(短周期レベルで1.5倍)を考慮、断層長さの不確かさケースと重畳させる。

| 検討ケース                                    | 地震規模            | 断層傾斜角          | 応力降下量<br>(短周期レベル)                        | SMGA位置 | 破壊開始点 |
|--|-----------------|----------------|--|--------|-------|
| ③基本震源モデル<br>(基本ケース)                      | M6.8<br>(Mw6.4) | $60^\circ$ 東傾斜 | 地震調査研究推進本部<br>(2017)に基づく値                | 断層面上端  | 複数    |
| ④断層長さの不確かさを考慮したケース<br>(不確かさケース1)         | M7.0<br>(Mw6.5) | $60^\circ$ 東傾斜 | 地震調査研究推進本部<br>(2017)に基づく値                | 断層面上端  | 複数    |
| ⑤断層長さおよび応力降下量の不確かさを考慮<br>したケース(不確かさケース2) | M7.0<br>(Mw6.5) | $60^\circ$ 東傾斜 | 地震調査研究推進本部<br>(2017)に基づく値 $\times 1.5$ 倍 | 断層面上端  | 複数    |

■ : 考慮する不確かさ    ■ : 予めモデルに織り込む不確かさ



横浜断層(東傾斜)による地震の震源モデル



検討用地震の断面と敷地との関係

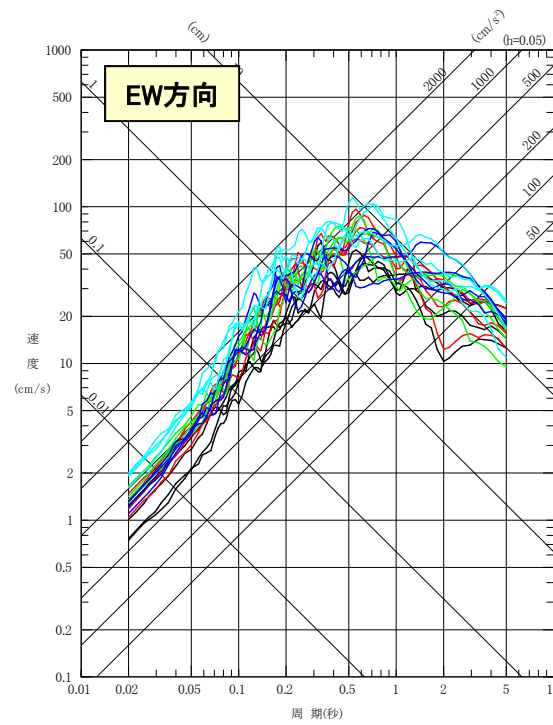
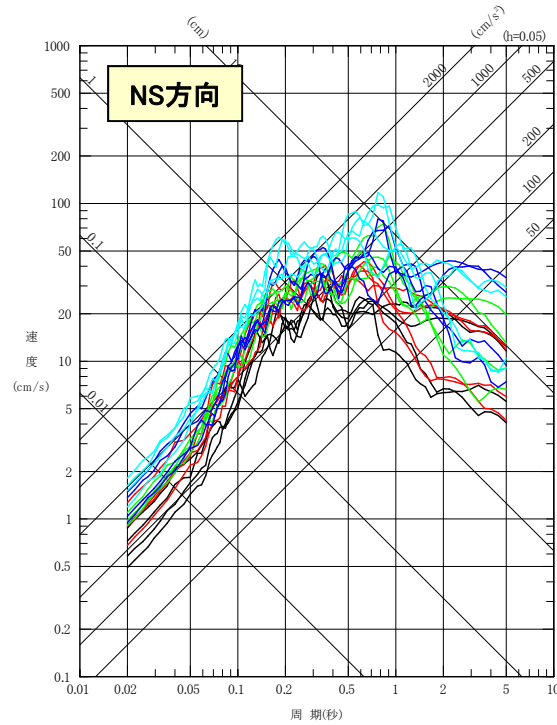
### 3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 / 3.3 内陸地殻内地震 (7) 検討用地震の地震動評価結果(断層モデルを用いた手法)

➤ 断層モデルを用いた地震動の評価には、統計的グリーン関数法※<sup>1</sup>(一部理論的手法とのハイブリッド※<sup>2</sup>)を採用。

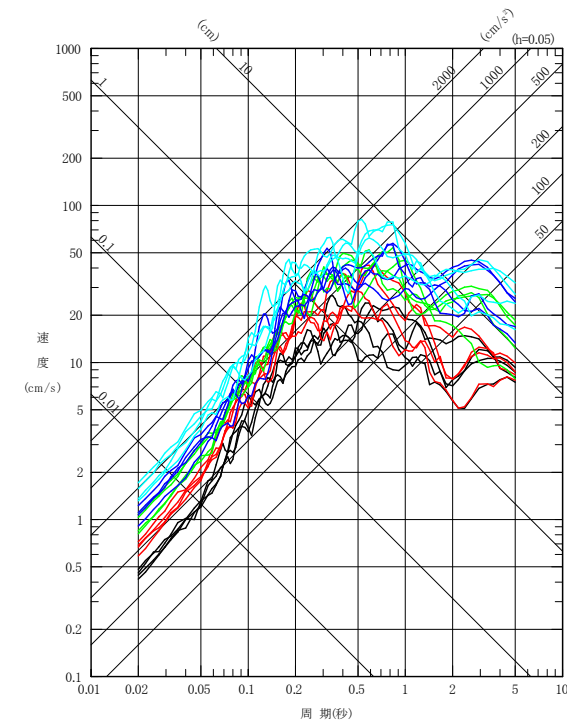
※<sup>1</sup> 波形合成は入倉ほか(1997)を用いる。

※<sup>2</sup> 短周期は入倉ほか(1997)による統計的グリーン関数法、長周期はHisada(1994)による理論的方法(波数積分法)を用いる。

- ①西傾斜 基本震源モデル
- ②西傾斜 応力低下量の不確かさを考慮したケース
- ③東傾斜 基本震源モデル
- ④東傾斜 断層長さの不確かさを考慮したケース
- ⑤東傾斜 断層長さおよび応力低下量の不確かさを考慮したケース



水平方向

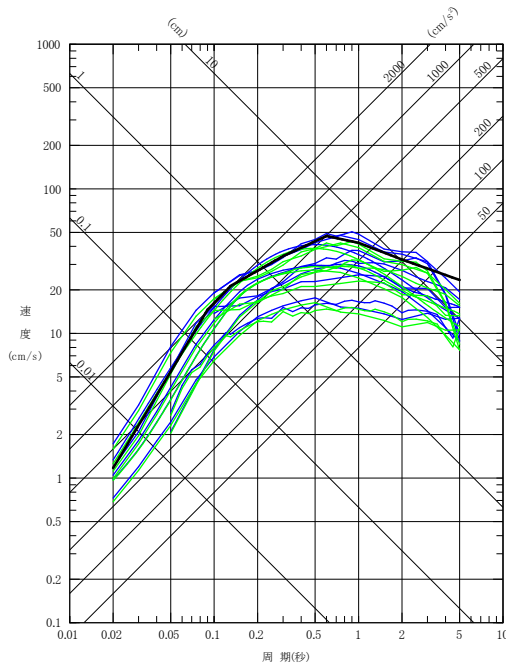


鉛直方向

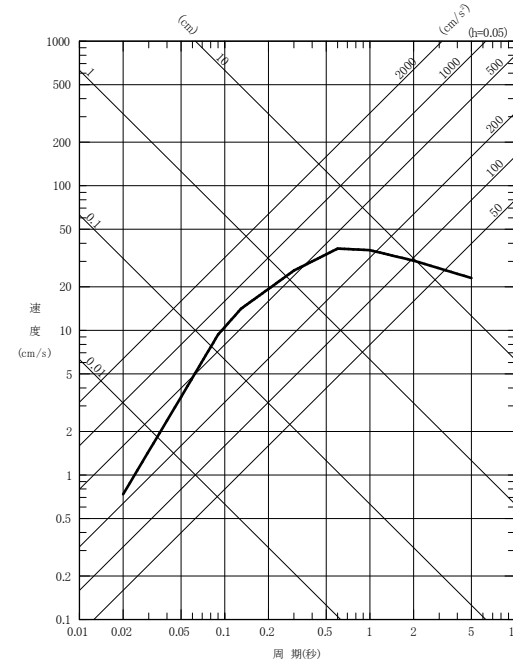
### 3. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動 / 3.3 内陸地殻内地震 (8) 検討用地震の地震動評価結果(応答スペクトルに基づく手法)

- 横浜断層(西傾斜)による地震については, Noda et al.(2002)(内陸補正なし)により評価。
- 横浜断層(東傾斜)による地震については, Noda et al.(2002)の適用範囲外のため, その他の各種距離減衰式で評価。

- ①西傾斜 基本震源モデル, ②西傾斜 応力降下量の不確かさを考慮したケース(M7.0,  $X_{eq}=14\text{km}$ )
- ③東傾斜 基本震源モデル(M6.8,  $X_{eq}=9\text{km}$ ) ※
- ④東傾斜 断層長さの不確かさを考慮したケース, ⑤東傾斜 断層長さおよび応力降下量の不確かさを考慮したケース(M7.0,  $X_{eq}=10\text{km}$ ) ※



水平方向



鉛直方向

※Noda et al.(2002)による距離減衰式の適用範囲外であるため, Noda et al.(2002)以外の距離減衰式による評価(水平方向)を実施。

Noda et al.(2002)以外の距離減衰式:kanno et al.(2006), Zhao et al.(2006), 内山・翠川(2006), 片岡ほか(2006), Abrahamson et al.(2014), Boore et al.(2014), Campbell et al.(2014), Chiou et al.(2014), Idriss(2014)

余白

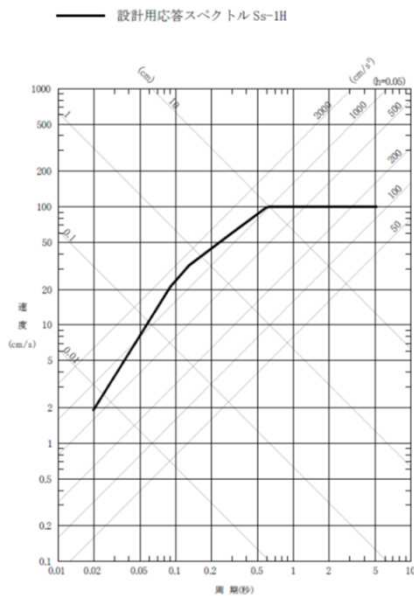
## 4. 基準地震動 $S_s$ の策定

---

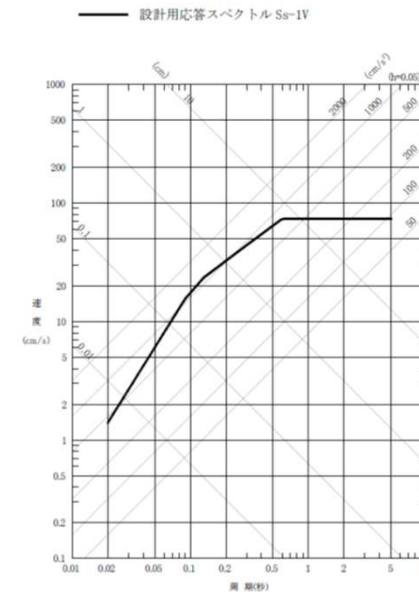
## 4. 基準地震動S<sub>s</sub>の策定

### (1) 基準地震動S<sub>s</sub>の設計用応答スペクトル, 設計用模擬地震波

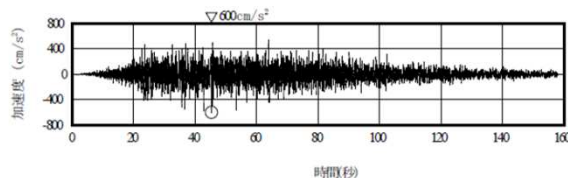
- 応答スペクトル手法に基づく基準地震動は最大加速度(水平方向)が600cm/s<sup>2</sup>(平成26年6月設置変更許可申請時のもの)。
  - これについては、「震源を特定せず策定する地震動」の応答スペクトルとの関係について今後精査した上で、改めて再設定を行う予定。
- 断層モデル手法に基づく基準地震動は、改めて設定する応答スペクトル手法に基づく基準地震動S<sub>s</sub>との関係を踏まえ、採用していく。



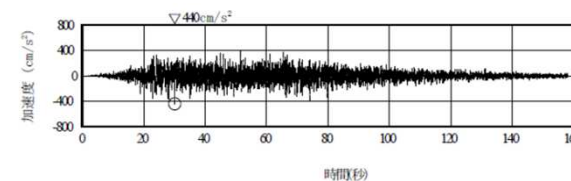
基準地震動S<sub>s</sub>の設計用応答スペクトルS<sub>s</sub>-1H(水平方向)



基準地震動S<sub>s</sub>の設計用応答スペクトルS<sub>s</sub>-1V(鉛直方向)



設計用模擬地震波S<sub>s</sub>-1Hの加速度時刻歴波形



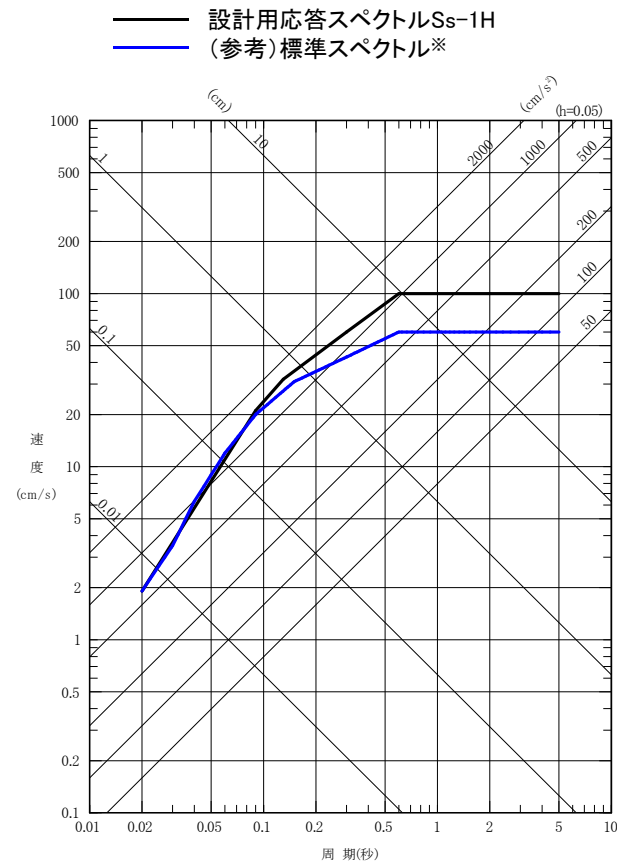
設計用模擬地震波S<sub>s</sub>-1Vの加速度時刻歴波形



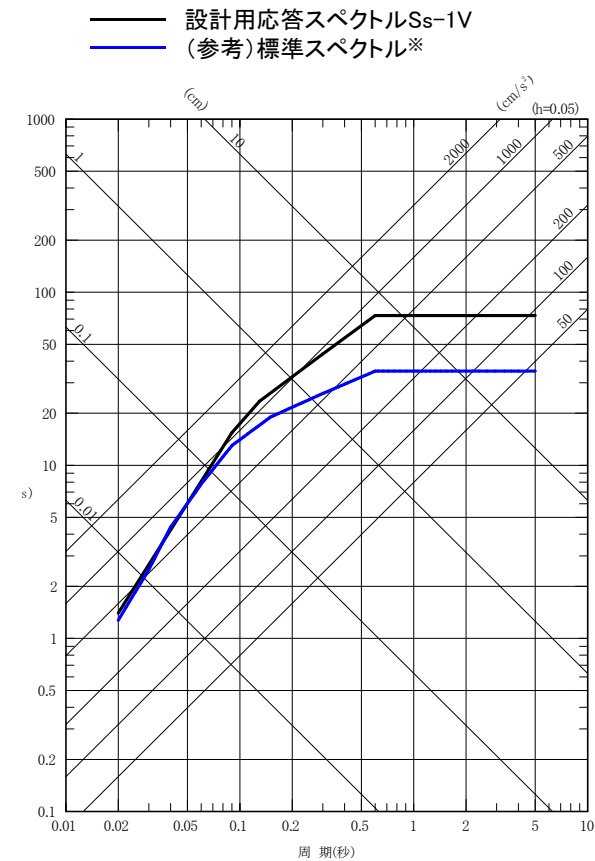
## 4. 基準地震動Ssの策定

### (2) (参考)震源を特定せず策定する地震動の標準応答スペクトルとの関係

- 「標準応答スペクトル」は地震基盤相当面で定義されるが、基準地震動Ssは解放基盤表面で定義されるため、両者の関係については、今後精査していく。



水平方向



鉛直方向

※ 原子力規制委員会(2019):第24回原子力規制委員会(令和元年8月28日),  
別添資料「別添1 全国共通に考慮すべき「震源を特定せず策定する地震動」に関する検討 報告書」による。

## 参考文献(1)

1. 宇佐美龍夫, 石井寿, 今村隆正, 武村雅之, 松浦律子(2013):日本被害地震総覧 599-2012, 東京大学出版会
2. 気象庁(2019):地震・火山月報(防災編), 地震月報(カタログ編), 震源リスト<[https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/daily\\_map/index.html](https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/daily_map/index.html)>
3. 長谷川昭, 海野徳仁, 高木章雄, 鈴木貞臣, 本谷義信, 亀谷悟, 田中和夫, 澤田義博(1983):北海道および東北地方における微小地震の震源分布—広域の験震データの併合処理—, 地震 第2輯, 第36巻, 129-150
4. 池浦友則(2009):鉛直アレー観測点間で相関する地震動成分の地盤伝達関数, 日本地震工学会論文集 第9巻, 第1号, 2009
5. Abercrombie (1997):Near-Surface Attenuation and Site Effects from Comparison of Surface and Deep Borehole Recordings, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.87, No.3, pp.731-744
6. 地震調査研究推進本部(2004a):三陸沖北部の地震を想定した強震動評価について
7. 永井理子, 菊地正幸, 山中佳子(2001):三陸沖における再来大地震の震源過程の比較研究—1968年十勝沖地震と1994年三陸はるか沖地震の比較—, 地震 第2輯, 第54巻
8. 入倉孝次郎, 香川敬生, 関口春子(1997):経験的グリーン関数法を用いた強震動予測方法の改良, 日本地震学会講演予稿集, No.2, B25
9. 諸井孝文, 広谷浄, 石川和也, 水谷浩之, 引間和人, 川里健, 生玉真也, 釜田正毅(2013):標準的な強震動予測レシピに基づく東北地方太平洋沖巨大地震の強震動の再現, 日本地震工学会第10回年次大会梗概集
10. J-SHIS(2019):独立行政法人防災科学技術研究所, 地震ハザードステーション(Japan Seismic Hazard Information Station, 略称:J-SHIS)(オンライン), <<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>>
11. 地震調査研究推進本部(2017):震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)
12. Noda, S., K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M.Tohdo and T. Watanabe (2002):RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations Between Seismological Data and Seismic Engineering Analysis. Oct. 16-18, Istanbul
13. 武村雅之(1990):日本およびその周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係, 地震 第2輯, 第43巻
14. 地震調査研究推進本部(2004b):青森湾西岸断層帯の長期評価について
15. 地震調査研究推進本部(2004c):津軽山地西縁断層帯の長期評価について
16. 松田時彦(1975):活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震 第2輯, 第28巻
17. Stirling, M. W., Rhoades, D. and Berryman, K.(2002):Comparison of earthquake scaling relations derived from data of the instrumental and preinstrumental Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 92, No.2, pp.812-830
18. Hisada, Y.(1994):An Efficient Method for Computing Green's Functions for a Layered Half-Space with Sources and Receivers at Close Depths, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.84, No.5, pp.1456-1472

## 参考文献(2)

19. Kanno T., A. Narita, N. Morikawa, H. Fujiwara and Y. Fukushima(2006): A New Attenuation Relation for Strong Ground Motion in Japan Based on Recorded Data, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.96, No.3, pp.879-897
20. Zhao, J. X., J. Zhang, A. Asano, Y. Ohno, T. Oouchi, T. Takahashi, H. Ogawa, K. Irikura, H.K. Thio, P. G. Somerville, Y. Fukushima and Y. Fukushima (2006): Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.96, No.3, pp.898-913
21. 内山泰生, 翠川三郎(2006):震源深さの影響を考慮した工学的基盤における応答スペクトルの距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, 第606号, 81-88
22. 片岡正次郎, 佐藤智美, 松本俊輔, 日下部 毅明(2006): 短周期レベルをパラメータとした地震動強さの距離減衰式, 土木学会論文集A, Vol.62, No.4, 740-757
23. Norman A. Abrahamson, Walter J. Silva and Ronnie Kamai (2014): Summary of the ASK14 Ground Motion Relation for Active Crustal Regions, Earthquake Spectra, Vol.30, No.3, 1025-1055
24. David M. Boore, Jonathan P. Stewart, Emel Seyhan, and Gail M. Atkinson (2014) : NGA-West2 Equations for Predicting PGA, PGV, and 5% Damped PSA for Shallow Crustal Earthquakes, Earthquake Spectra, Vol.30, No.3, pages 1057-1085
25. Kenneth W. Campbell and Yousef Bozorgnia (2014) : NGA-West2 Ground Motion Model for the Average Horizontal Components of PGA, PGV, and 5% Damped Linear Acceleration Response Spectra, Earthquake Spectra, Vol.30, No.3, pages 1087-1115
26. Brian S.-J. Chiou and Robert R. Youngs (2014) : Update of the Chiou and Youngs NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra, Earthquake Spectra, Vol.30, No.3, pages 1117-1153
27. I. M. Idriss (2014) : An NGA-West2 Empirical Model for Estimating the Horizontal Spectral Values Generated by Shallow Crustal Earthquakes, Earthquake Spectra, Vol.30, No.3, pages 1155-1177
28. 原子力規制委員会(2019): 第24回原子力規制委員会(令和元年8月28日), 別添資料「別添1 全国共通に考慮すべき「震源を特定せず策定する地震動」に関する検討 報告書」