

東海第二発電所

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動のうち プレート間地震について

平成27年6月26日

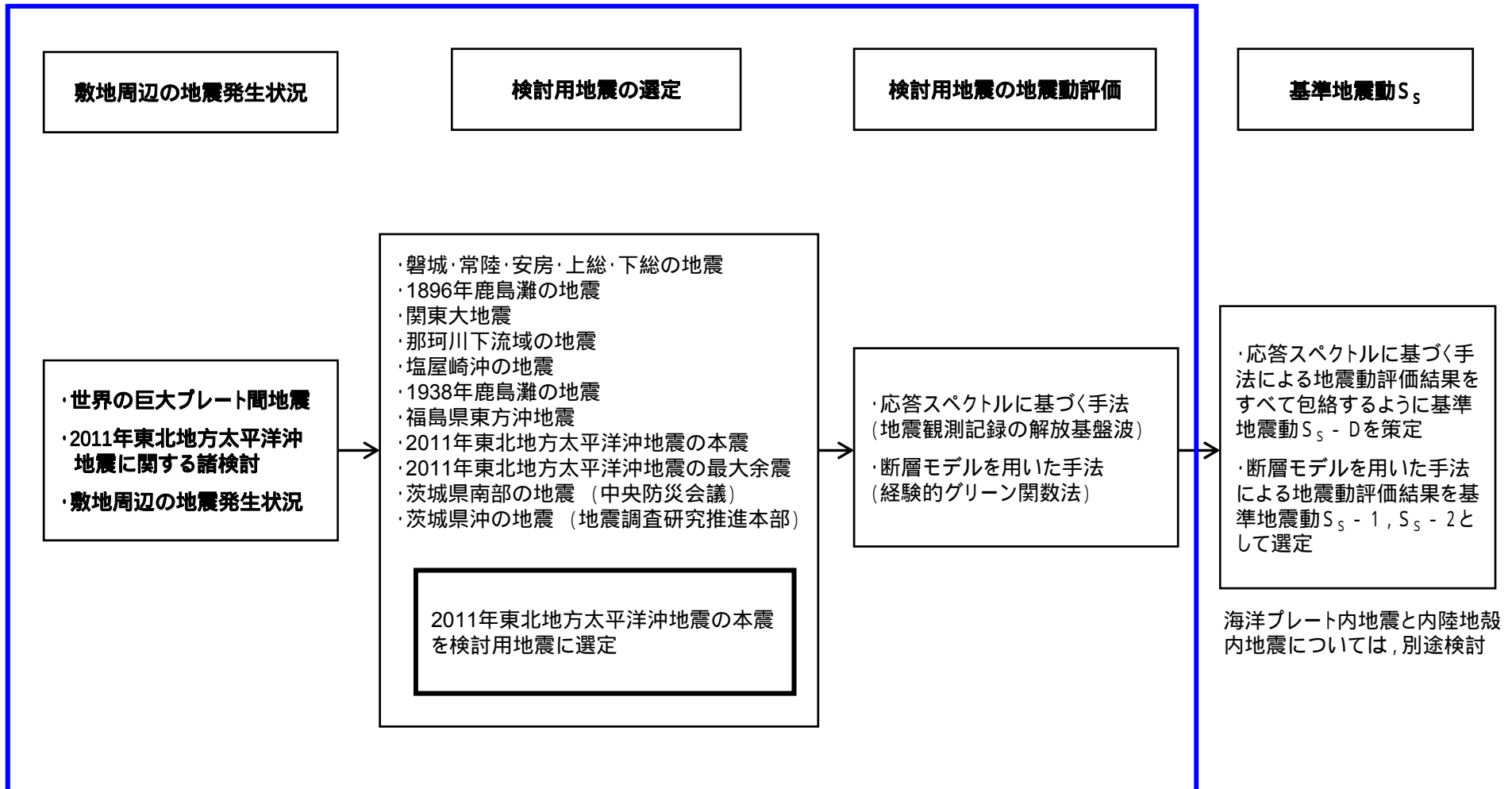
日本原子力発電株式会社

目次

1. 評価フロー	3
2. 世界の巨大プレート間地震	4
3. 2011年東北地方太平洋沖地震に関する諸検討	9
4. 敷地周辺の地震発生状況	26
5. プレート間地震の検討用地震の選定	40
6. プレート間地震の地震動評価	54
7. 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	78
8. 参考文献	84
参考資料	85
1. 2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録のはざとり解析について	
2. 2011年東北地方太平洋沖地震の断層モデルを用いた手法による 地震動評価と解放基盤波の比較について	

1. 評価フロー

「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について」の説明範囲



1. 評価フロー	3
2. 世界の巨大プレート間地震	4
3. 2011年東北地方太平洋沖地震に関する諸検討	9
4. 敷地周辺の地震発生状況	26
5. プレート間地震の検討用地震の選定	40
6. プレート間地震の地震動評価	54
7. 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	78
8. 参考文献	84

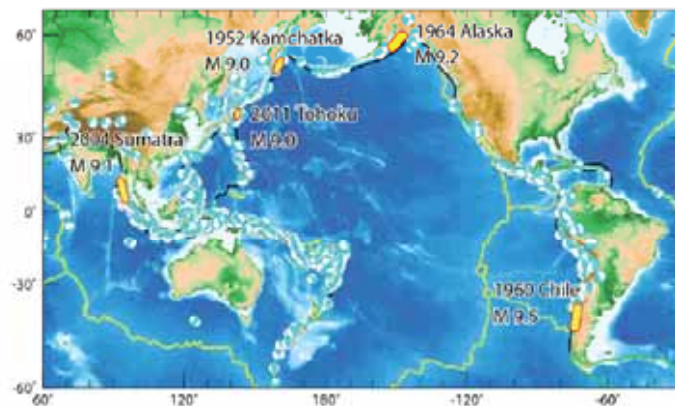
参考資料	85
------	----

- | | |
|---|--|
| 1. 2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録のはざとり解析について | |
| 2. 2011年東北地方太平洋沖地震の断層モデルを用いた手法による
地震動評価と解放基盤波の比較について | |

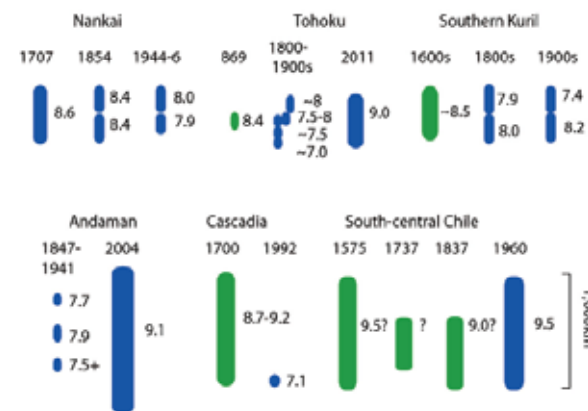
2. 世界の巨大プレート間地震

■ 第197回地震予知連絡会 重点検討課題「世界の巨大地震・津波」概要(佐竹(2013))について

- ・第197回地震予知連絡会(2012年11月21日)での議題の一つである「世界の巨大地震・津波」について、当日の議論の内容を取りまとめたものである。
- ・2011年東北地方太平洋沖地震は日本周辺で発生した初のM9超巨大地震であったが、世界では20世紀以降でも数回の巨大地震が発生しているとしている。(左図)
- ・歴史記録が残っていない地域でもM9クラスの地震が数百年の間隔で発生していることが明らかになってきたが、同時に、これらの地震はすべて同じ規模で発生していないことも明らかになりつつあるとしている。(右図)



第1図. 環太平洋における大地震の分布。水色のメカニズム解は、Global CMTによるM7以上の地震(1976年～2011年)を示す。20世紀以降に発生したM9以上の地震については、地震名・発生年とともに、震源域を黄色で示す。プレート境界を黄色(発散境界)と黒色(収束境界)で示す。



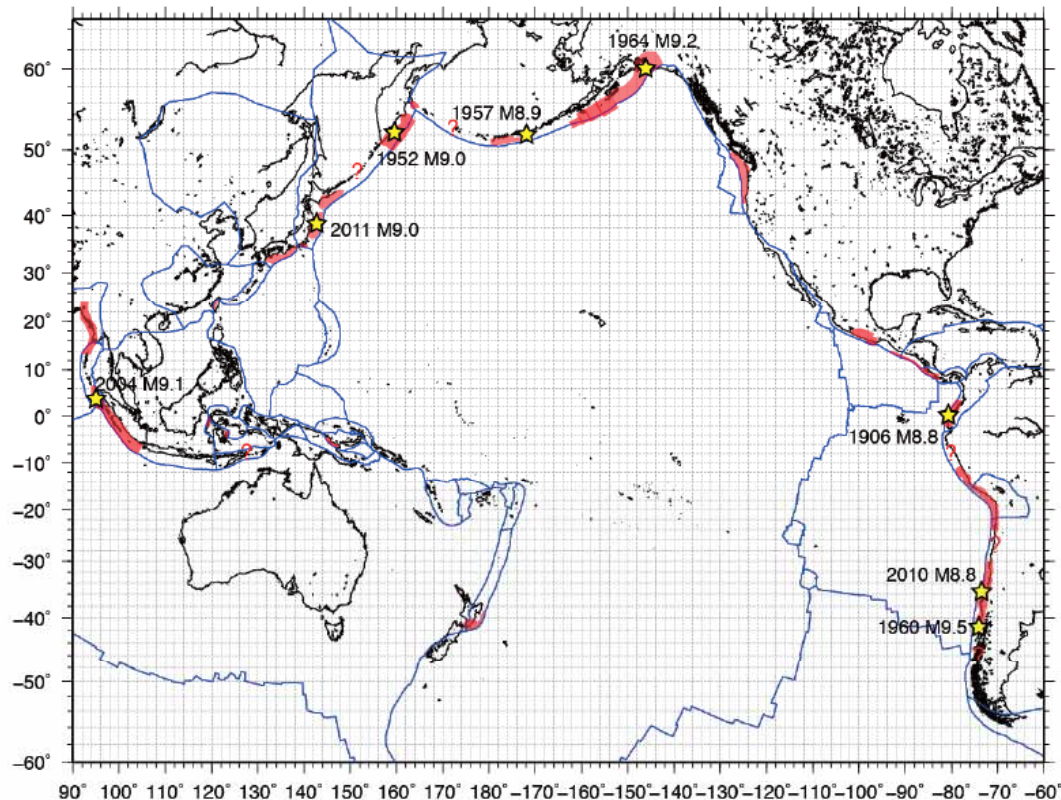
第2図. 世界の沈み込み帯における巨大地震の規模の多様性。それぞれの形は大きな震源域の大きさを表す(数字はモーメントマグニチュード)。青色は地震の器械記録・歴史記録に基づき、緑色は古地震データにも基づくもの。Satake and Atwater (2007)に東北地方太平洋沖地震を追加。

佐竹(2013)より抜粋

〔 佐竹 健治(2013):第197 回地震予知連絡会 重点検討課題「世界の巨大地震・津波」概要,地震予知連絡会 会報 第89巻 〕

2. 世界の巨大プレート間地震

■ 測地データから推定された環太平洋地域のプレート間カップリング(西村(2013))について



第1図 環太平洋とその周辺における測地データから推定されたプレート間カップリング分布。赤色の領域は、滑り欠損速度が2cm以上と推定されている領域。1900年以降のM8.8以上の超巨大地震の震央を星印で示す。クエスチョンマークは、カップリングしていると疑われるが、文献が調査できなかった地域を示す。プレート境界位置(青線)は、PB2002³⁷⁾に基づく。
西村(2013)より抜粋

- ・測地データに基づくプレート間カップリングに関する既往研究を整理し、大地震の震源域との関係を検討している。
- ・20世紀以降に発生したM9クラスの超巨大地震は、全てカップリング係数が中程度以上の地域で発生していることが述べられている。

〔西村 卓也(2013): 測地データから推定された環太平洋地域のプレート間カップリング, 地震予知連絡会 会報 第89巻〕

2. 世界の巨大プレート間地震

■ Lay et al.(2012)について

- ・巨大プレート間地震(2004年スマトラ地震, 2010年チリ地震, 2011年東北地方太平洋沖地震)の断層破壊について, 深さに応じた特徴を整理している。これらの特徴は巨大プレート間地震で共通であるとしている。
- ・特徴は深さに応じて次の通り示されている。 15km以浅は津波地震を発生する領域, 15km ~ 35kmは大すべりを生じるがそれほど短周期成分は出さない領域, 35km ~ 55kmは短周期を強く放出する領域, 30km ~ 45kmはスロースリップなどが発生する領域とされている。

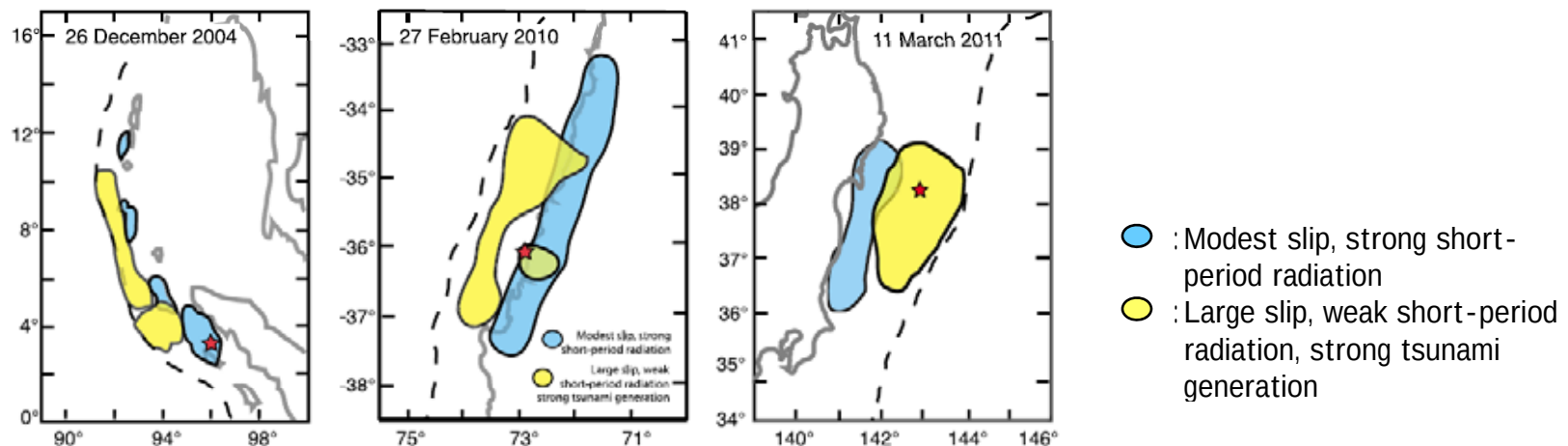


Figure 5. Schematic summary of patterns of coherent short-period radiation and large coseismic slip regions for the great (left) 26 December 2004 Sumatra (M_w 9.2), (middle) 27 February 2010 Chile (M_w 8.8), and (right) 11 March 2011 Tohoku, Japan (M_w 9.0) earthquakes. Regions of largest fault displacements (yellow) and regions of coherent short-period (~ 1 s) teleseismic radiation (blue) are indicated. The dashed lines are the position of the subduction zone trench, the thick gray lines are coastlines, and the red stars are the epicenters. In each case the coherent short-period radiation comes from downdip, closer to the coast (25–50 km deep), while the large slip zones are in the upper 25 km, extending seaward toward the trench. Short-period energy is located by network back-projections, while main slip regions are located by inverting seismic, geodetic, and/or tsunami observations, as described in the text for each event.

Lay et al.(2012)に一部加筆

Thorne Lay, Hiroo Kanamori, Charles J. Ammon, Keith D. Koper, Alexander R. Hutko, Lingling Ye, Han Yue, and Teresa M. Rushing(2012): Depth-varying rupture properties of subduction zone megathrust faults, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 117, B04311, doi:10.1029/2011JB009133, 2012

2. 世界の巨大プレート間地震(まとめ)

- ・Lay et al.(2012)によれば, 2011年東北地方太平洋沖地震を含めた世界の巨大プレート間地震の断層破壊には共通の特徴があり, 浅いところでは大きなすべりを生じるが短周期の強震動は放出せず, 深いところではすべり量は大きくないが短周期の強震動を放出する領域となるとされている。
- ・上記事項は, 巨大地震の地震動評価における震源モデルの設定を行う上で重要な知見と考えられる。
- ・敷地への影響が大きい2011年東北地方太平洋沖地震については, 3章でさらに断層破壊に関する特徴の整理や敷地地震観測記録を用いた分析を行う。

1. 評価フロー	3
2. 世界の巨大プレート間地震	4
3. 2011年東北地方太平洋沖地震に関する諸検討	9
4. 敷地周辺の地震発生状況	26
5. プレート間地震の検討用地震の選定	40
6. プレート間地震の地震動評価	54
7. 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	78
8. 参考文献	84

参考資料	85
------	----

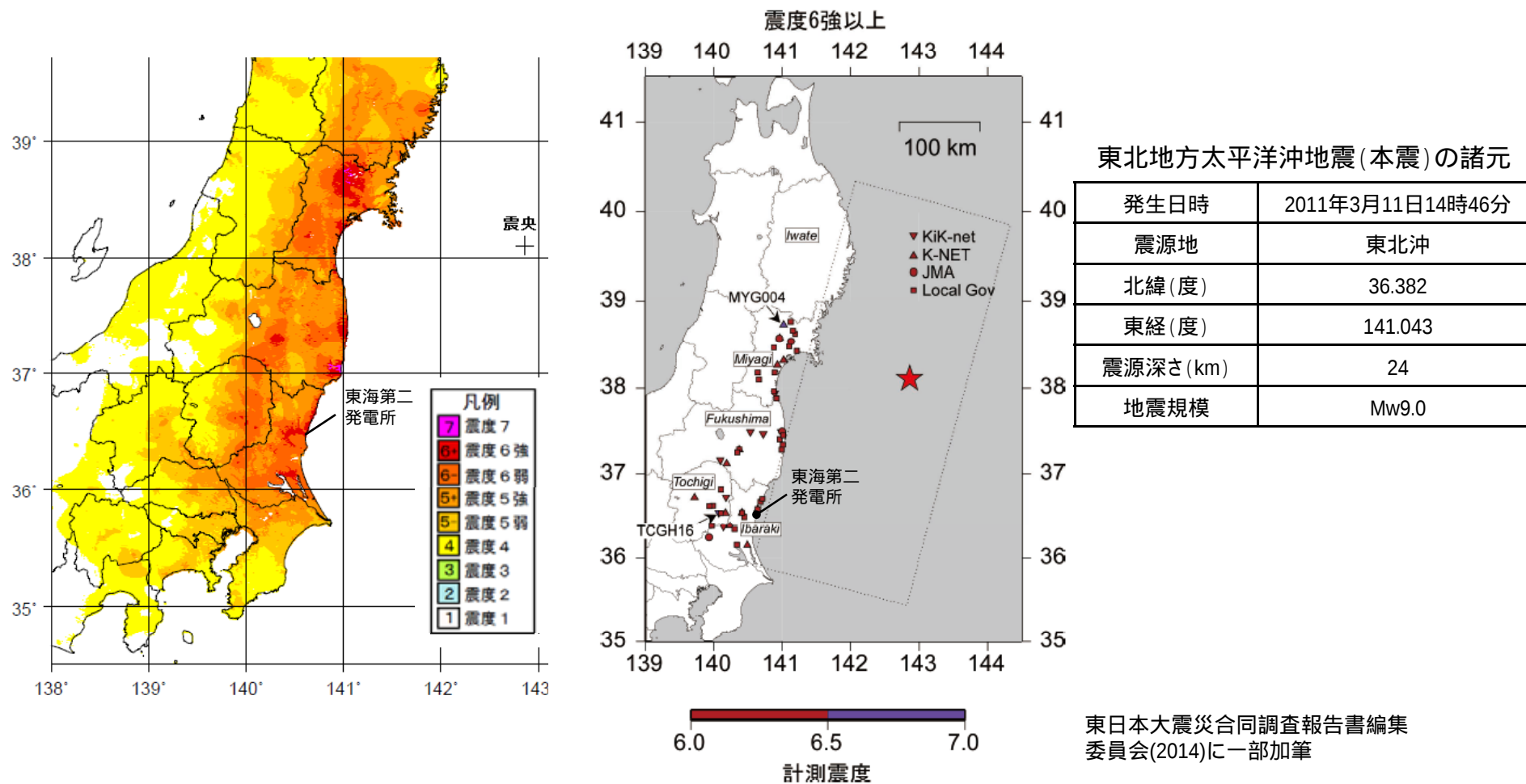
- | | |
|---|--|
| 1. 2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録のはざとり解析について | |
| 2. 2011年東北地方太平洋沖地震の断層モデルを用いた手法による
地震動評価と解放基盤波の比較について | |

3. 2011年東北地方太平洋沖地震に関する諸検討

2011年東北地方太平洋沖地震について下記のとおり、整理・分析を行う。

- 2011年東北地方太平洋沖地震の震度分布，余震分布
- 震源モデルに関する知見の整理
- 震源モデルを用いた敷地地震観測記録のシミュレーション

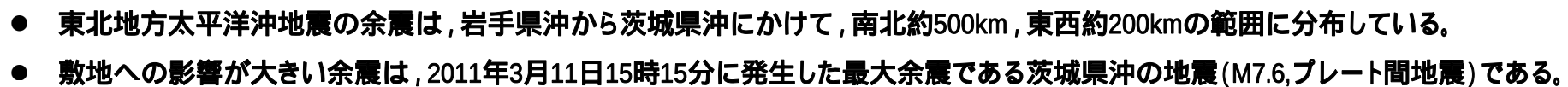
震度分布



東北地方太平洋沖地震(本震)の震度分布(右図は震度6強以上の観測点)

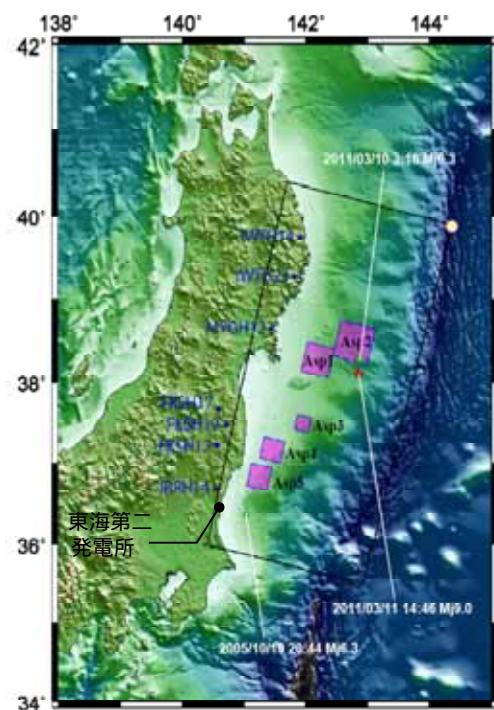
2011年東北地方太平洋沖地震では、東日本を中心に広い範囲で揺れが観測され、敷地周辺でも震度6弱を観測した。

〔 東日本大震災合同調査報告書編集委員会(2014): 東日本大震災合同調査報告, 共通編1, 地震・地震動 〕

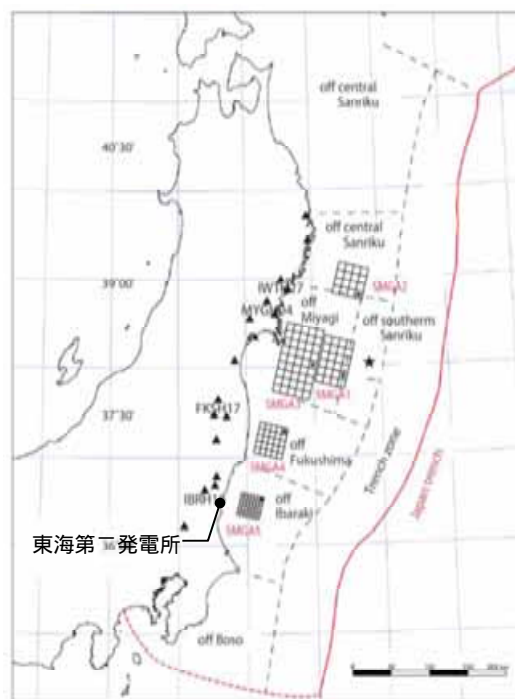


3. 2011年東北地方太平洋沖地震に関する諸検討

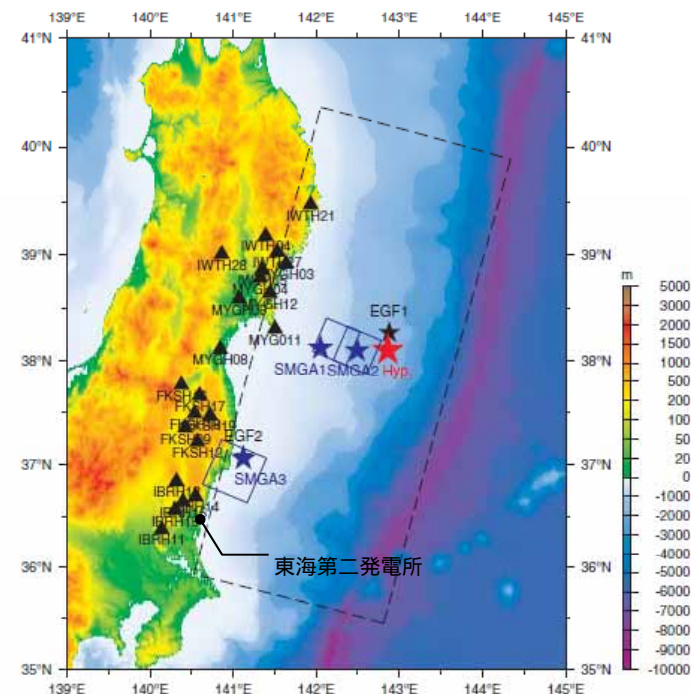
震源モデルに関する知見(強震動生成域)



釜江・川辺(2011)による
震源モデル(一部加筆)



入倉・倉橋(2011)による
震源モデル(一部加筆)

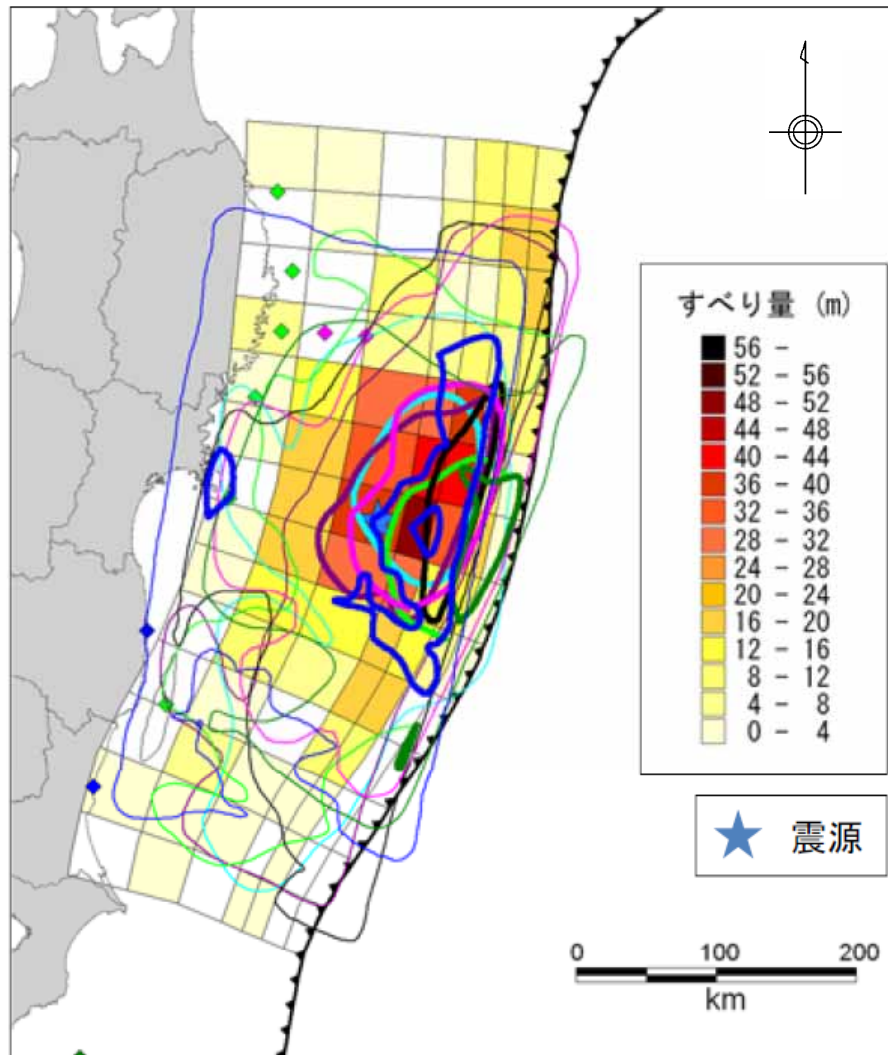


浅野・岩田(2011)による
震源モデル(一部加筆)

周期10秒程度以下の周期帯の強震波形を用いて推定した震源モデルによれば、強震動生成域は、陸側に近いプレート境界の宮城県沖から茨城県沖の領域にわたって複数存在している。

釜江克宏・川辺秀憲(2011): 2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)の震源のモデル化(強震動生成域), 日本地球惑星科学連合2011年大会
入倉孝次郎・倉橋奨(2011): 2011年東北地方太平洋沖地震の強震動生成域のための震源モデル, 日本地球惑星科学連合2011年大会
浅野公之・岩田知孝(2011): 経験的グリーン関数法による2011年東北地方太平洋沖地震の震源モデル, 日本地球惑星科学連合2011年大会

震源モデルに関する知見(大すべり域)



長周期の強震波形やGPSデータ等を用いて推定した震源モデルによれば、すべりが生じた領域は海溝軸付近に存在する。

引用論文

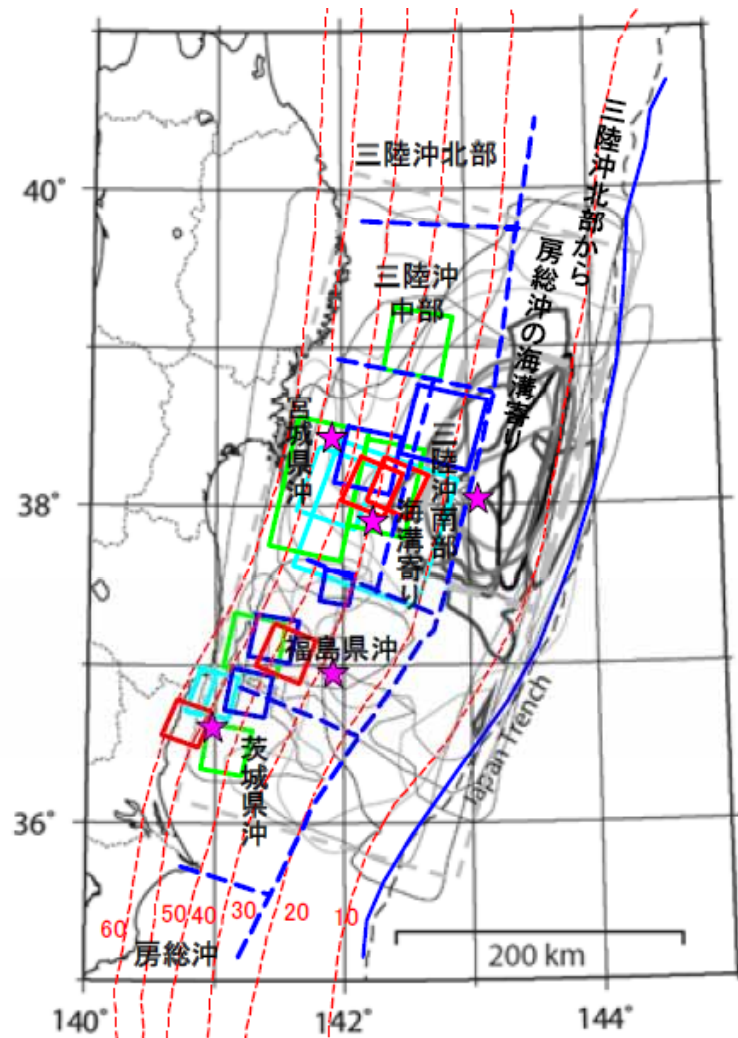
Ide et al. (2011)
Lay et al. (2011)
Lee et al. (2011)
Suzuki et al. (2011)
Yagi and Fukahata (2011)
Yoshida et al. (2011)
国土地理院・海上保安庁(2011)

中央防災会議(2012)より抜粋

2011年東北地方太平洋沖地震ですべりが生じた範囲

〔 中央防災会議(2012): 南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について(第一次報告) 〕

震源モデルに関する知見



- 2011年東北地方太平洋沖地震については、強震波形、遠地地震波形、GPSデータ等、様々なデータに基づく震源モデルが示されている。
- 内閣府「南海トラフの巨大地震検討会」は、2011年東北地方太平洋沖地震を含めた海溝型地震の震源モデルについて知見の整理を行っており、2011年東北地方太平洋沖地震の強震動生成域の位置はすべり量の大きな領域と必ずしも一致するものではなく、その多くがすべり量の大きな領域に比べて陸域側にあるとしている。

- ★：青木ほか(2011)
- ：浅野ほか(2011)
- ：川辺(2011)
- ：Kurahashi et al (2011)
- ：佐藤(2011)

東北地方太平洋沖地震の地震波形及び地殻変動による震源過程解析結果と強震動生成域

中央防災会議(2012)より抜粋

釜江・川辺(2011)の震源モデルを用いたシミュレーション解析(モデル概要, 1 / 2)

■ 釜江・川辺モデルの概要

太平洋沿岸部のKiK-net観測記録(0.1～10Hz)を用いて、経験的グリーン関数法によるフォワードモデリングに基づき、強震動生成域のモデル化を行った結果、宮城県沖、岩手県南部沖、福島県沖、茨城県沖等の5箇所に強震動生成域を配置した震源モデルを提案した。

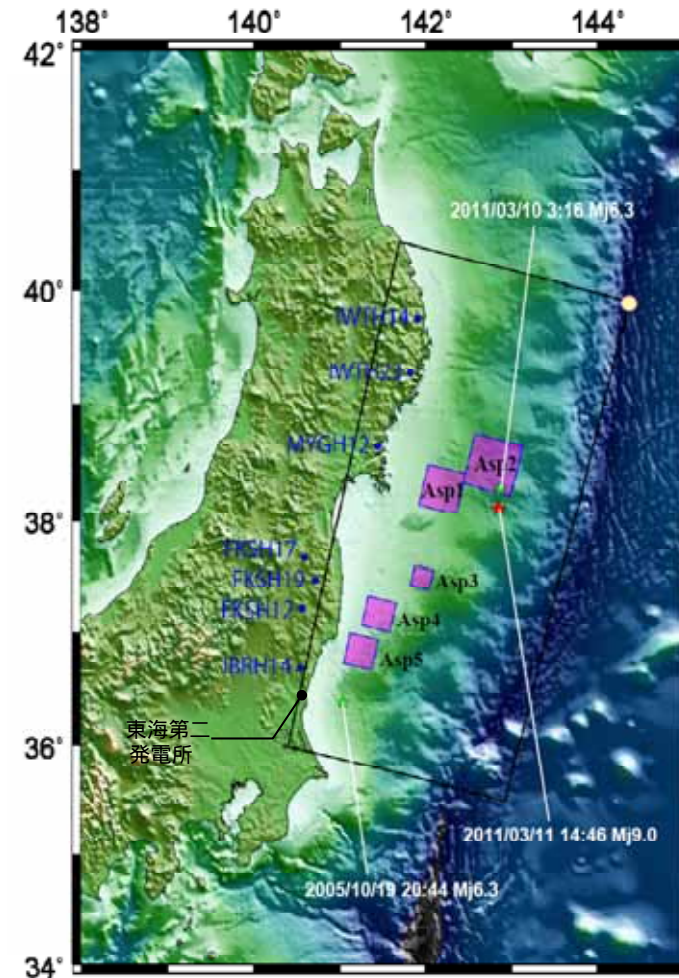
グリーン関数として使用した地震の震源パラメータ

	要素地震A ³	要素地震B ³
発生日時 ¹	2005/10/19 20:44	2011/03/10 03:16
震源地 ¹	茨城県沖	宮城県沖
北緯(度) ¹	36.382	38.271
東経(度) ¹	141.043	142.879
震源深さ(km) ¹	48.3	28.9
地震規模M ¹	6.3	6.4
地震モーメント $M_0(N \cdot m)$ ²	3.18×10^{18}	1.10×10^{18}

1 気象庁による。

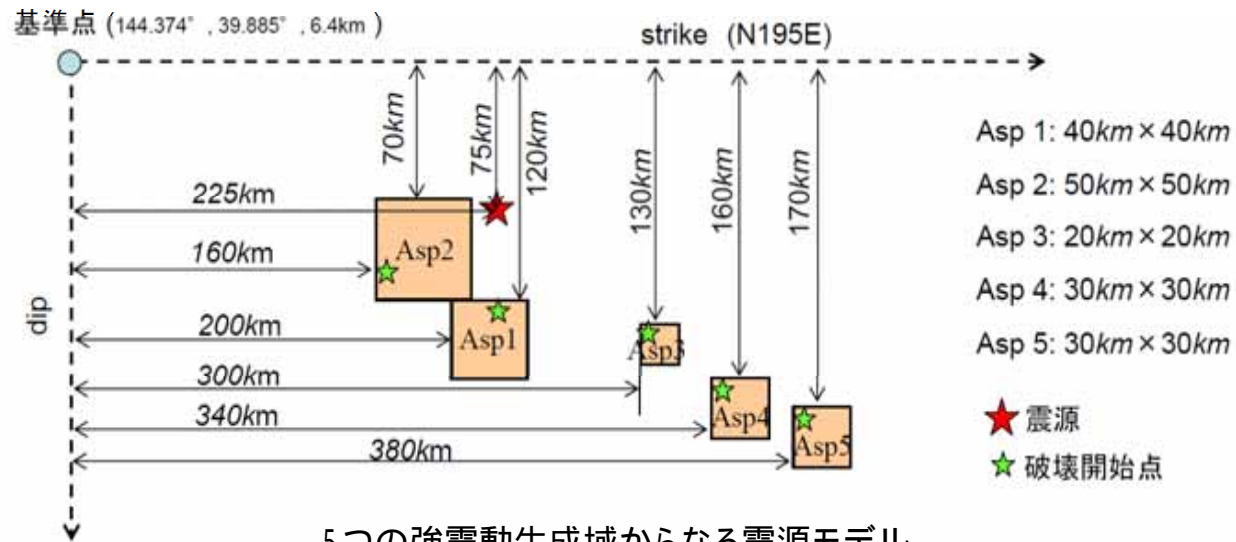
2 F-netによる。

3 要素地震AはAsp5に、要素地震BはAsp1～4に用いている。



釜江・川辺(2011)による
震源モデル(一部加筆)

釜江・川辺(2011)の震源モデルを用いたシミュレーション解析(モデル概要, 2 / 2)



釜江・川辺モデルの震源パラメータ

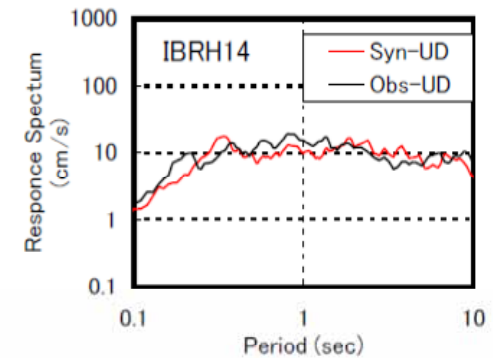
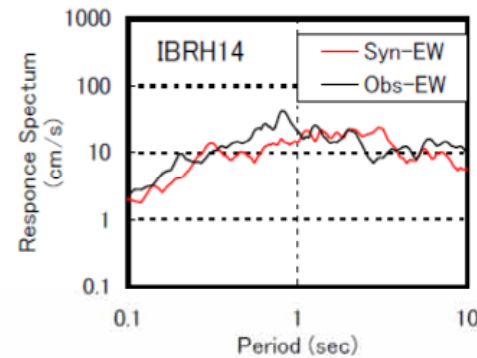
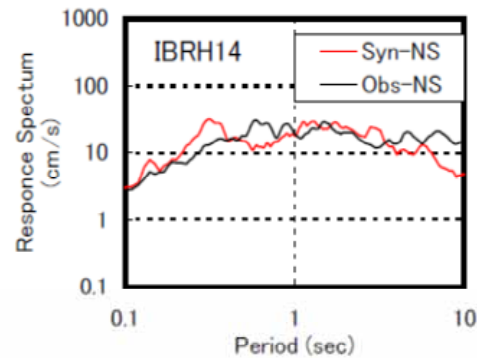
	Asp1	Asp2	Asp3	Asp4	Asp5
走行 (°)	195	195	195	195	195
傾斜角 (°)	13	13	13	13	13
面積 (km ²)	40 × 40	50 × 50	20 × 20	30 × 30	30 × 30
地震モーメント (N・m)	4.93×10^{20}	1.10×10^{21}	8.8×10^{19}	1.19×10^{20}	2.58×10^{20}
応力降下量 (MPa)	18.9	21.6	27.0	10.8	23.1
ライズタイム (s)	3.6	4.5	1.8	2.7	2.7
破壊開始時間 (s)	0.0	35.0	57.0	87.0	102.0
経験的グリーン関数 として用いた地震	2011/03/10 3:16 M6.4	2011/03/10 3:16 M6.4	2011/03/10 3:16 M6.4	2011/03/10 3:16 M6.4	2005/10/19 20:44 M6.3

釜江・川辺(2011)より抜粋

釜江・川辺(2011)の震源モデルを用いたシミュレーション解析(解析結果, 1 / 3)

■ 発電所周辺KiK-net観測点の応答スペクトル(h=5%) 【釜江・川辺(2011)より抜粋】

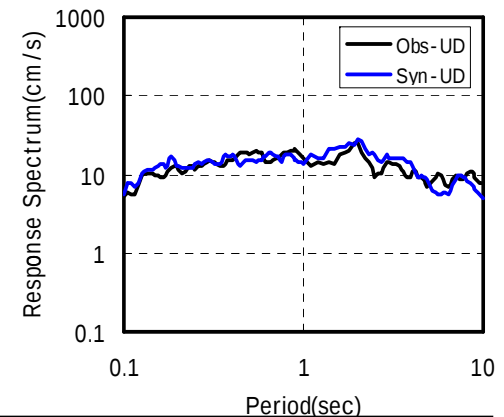
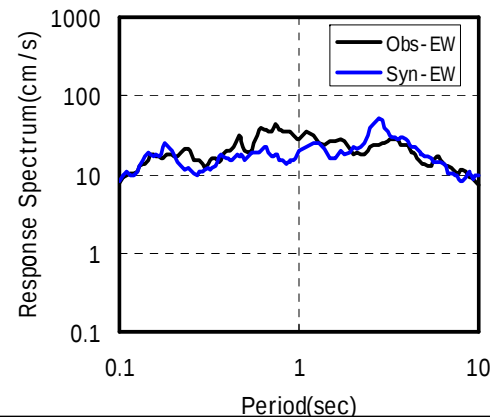
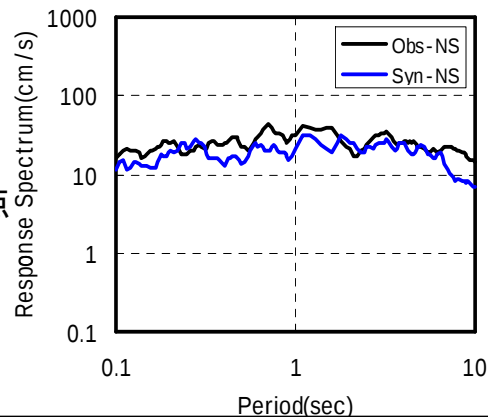
KiK-net
IBRH14(十王)
観測点



■ 東海第二発電所の応答スペクトル(h=5%)

釜江・川辺(2011)でグリーン関数として使用した地震については発電所敷地でも観測しているため, これらを用いて経験的グリーン関数法により解析を行う。また, 対象とする周期帯も釜江・川辺(2011)同様, 0.1 ~ 10Hzとする。

東海第二観測点
(E.L.-372m)

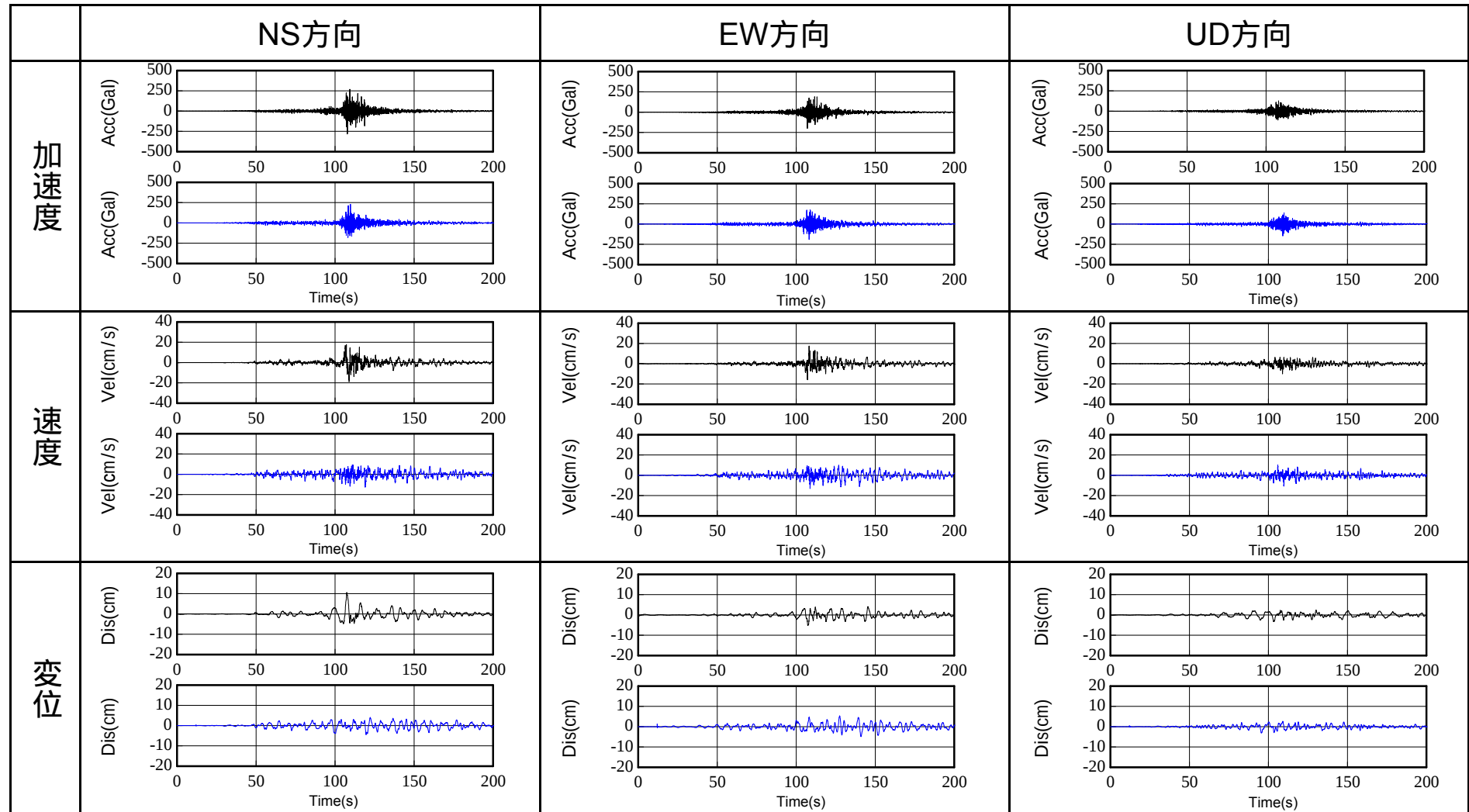


釜江・川辺(2011)では, シミュレーション解析結果は敷地周辺の観測点の記録を良く再現しているとされている。また, 釜江・川辺(2011)の震源モデルを用いた東海第二発電所でのシミュレーション結果は, 敷地周辺の観測点と同様の再現性を有している。

釜江・川辺(2011)の震源モデルを用いたシミュレーション解析(解析結果, 2 / 3)

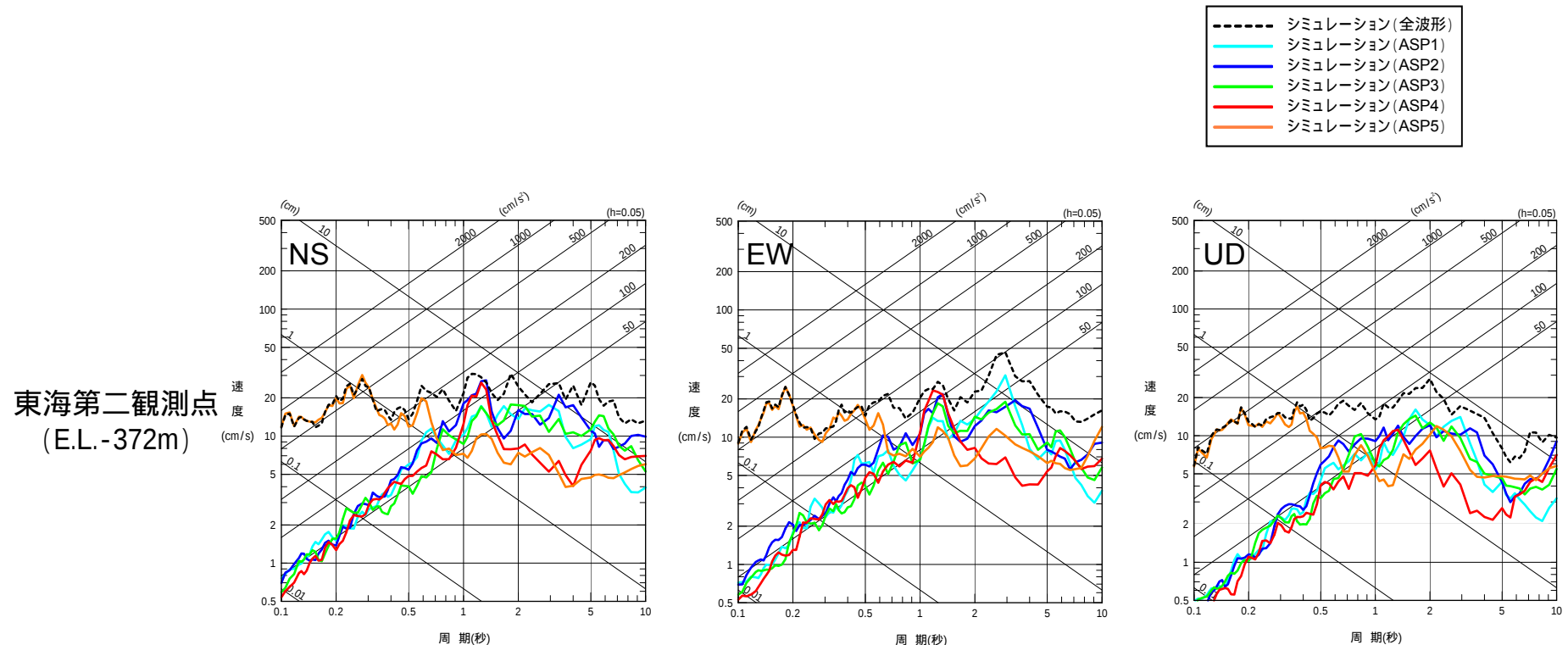
■ 東海第二発電所 解放基盤表面相当位置 (E.L.-372m) での加速度・速度・変位時刻歴波形

観測波形(黒線), シミュレーション結果(青線)



釜江・川辺(2011)の震源モデルを用いたシミュレーション解析(解析結果, 3 / 3)

■ 各強震動生成域による応答スペクトルの比較 (h=5%)



短周期側(約0.5～0.6秒以下)では、敷地に最も近い強震動生成域であるASP5の影響が支配的であり、それより長周期側ではASP5以外の強震動生成域による影響を受けている。

入倉・倉橋(2011)の震源モデルを用いたシミュレーション解析(モデル概要)

■ 入倉・倉橋モデルの概要

K-NET及びKiK-netの観測記録(0.1～8秒)を用いて、経験的グリーン関数法によるフォワードモデリングに基づき、強震動生成域のモデル化を行った結果、5箇所に強震動生成域を配置した震源モデルを提案した。

入倉・倉橋モデルの震源パラメータ

	L (km)	W (km)	Mo(Nm)	Stress Drop (Mpa)	Delay time from Origin time (sec)
SMGA 1	62.40	41.60	2.31E+21	41.3	15.64
SMGA 2	41.60	41.60	7.05E+20	23.6	66.42
SMGA 3	93.60	52.00	4.34E+21	29.5	68.41
SMGA 4	38.50	38.50	3.83E+20	16.4	109.71
SMGA 5	33.60	33.60	3.99E+20	26.0	118.17

入倉・倉橋(2011)より抜粋

入倉・倉橋モデルの要素地震の諸元

	要素地震A ³	要素地震B ³	要素地震C ³
発生日時 ¹	2011/03/10 06:24	2007/11/26 22:51	2009/02/01 06:51
震源地 ¹	宮城県沖	福島県沖	茨城県沖
北緯(度) ¹	38.172	37.304	36.717
東経(度) ¹	143.045	141.757	141.279
震源深さ(km) ¹	9.3	44.1	47.0
地震規模M ¹	6.8	6.0	5.8
地震モーメントM ₀ (N・m) ²	5.51 × 10 ¹⁸	7.66 × 10 ¹⁷	4.65 × 10 ¹⁷

¹ 気象庁による。

² F-netによる。

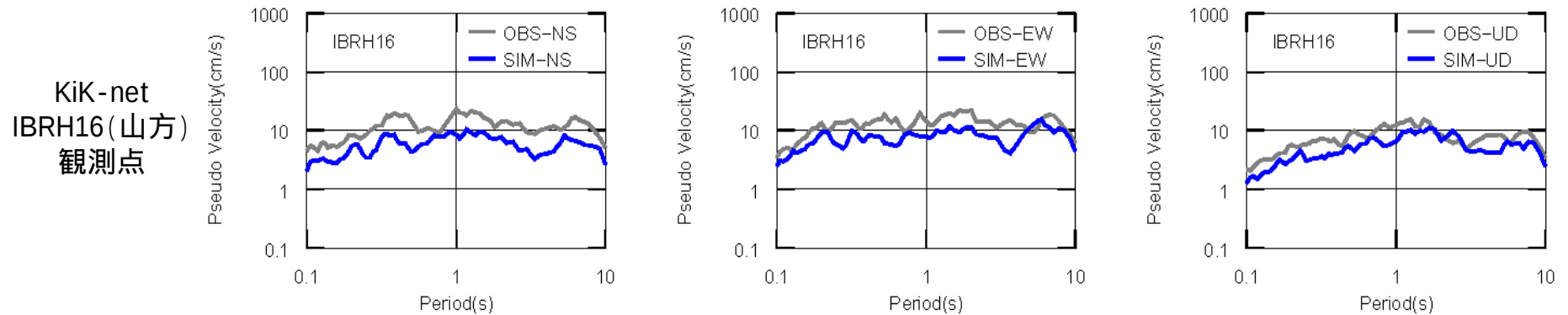
³ 要素地震AはSMGA1～3に、要素地震BはSMGA4に、要素地震CはSMGA5に用いている。



入倉・倉橋(2011)による
震源モデル(一部加筆)

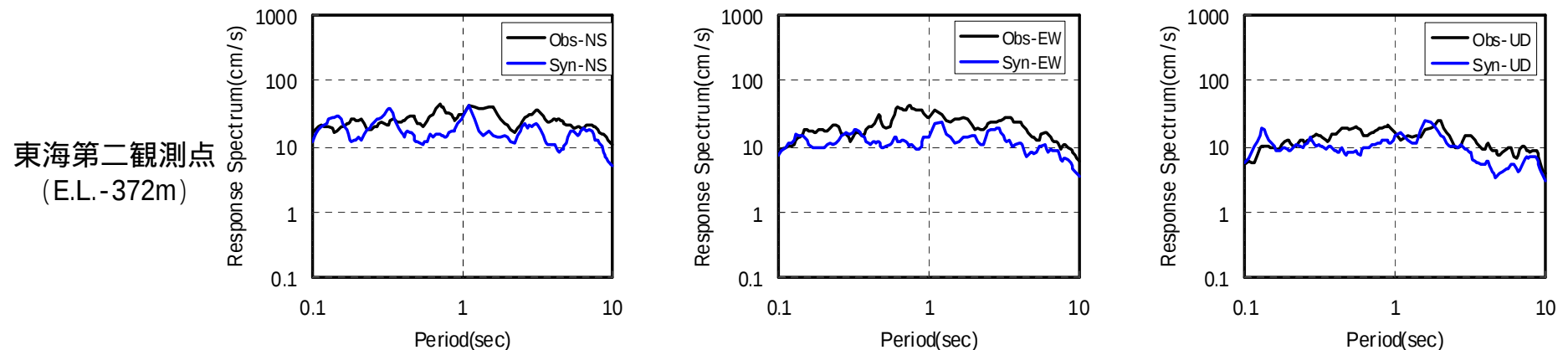
入倉・倉橋(2011)の震源モデルを用いたシミュレーション解析(解析結果, 1 / 3)

■ 敷地周辺KiK-net観測点の応答スペクトル(h=5%)【再現解析】



■ 東海第二発電所の応答スペクトル(h=5%)

入倉・倉橋(2011)でグリーン関数として使用した地震については発電所敷地でも観測しているため, これらを用いて経験的グリーン関数法により解析を行う。また, 対象とする周期帯も入倉・倉橋(2011)同様, 0.1~8秒とする。

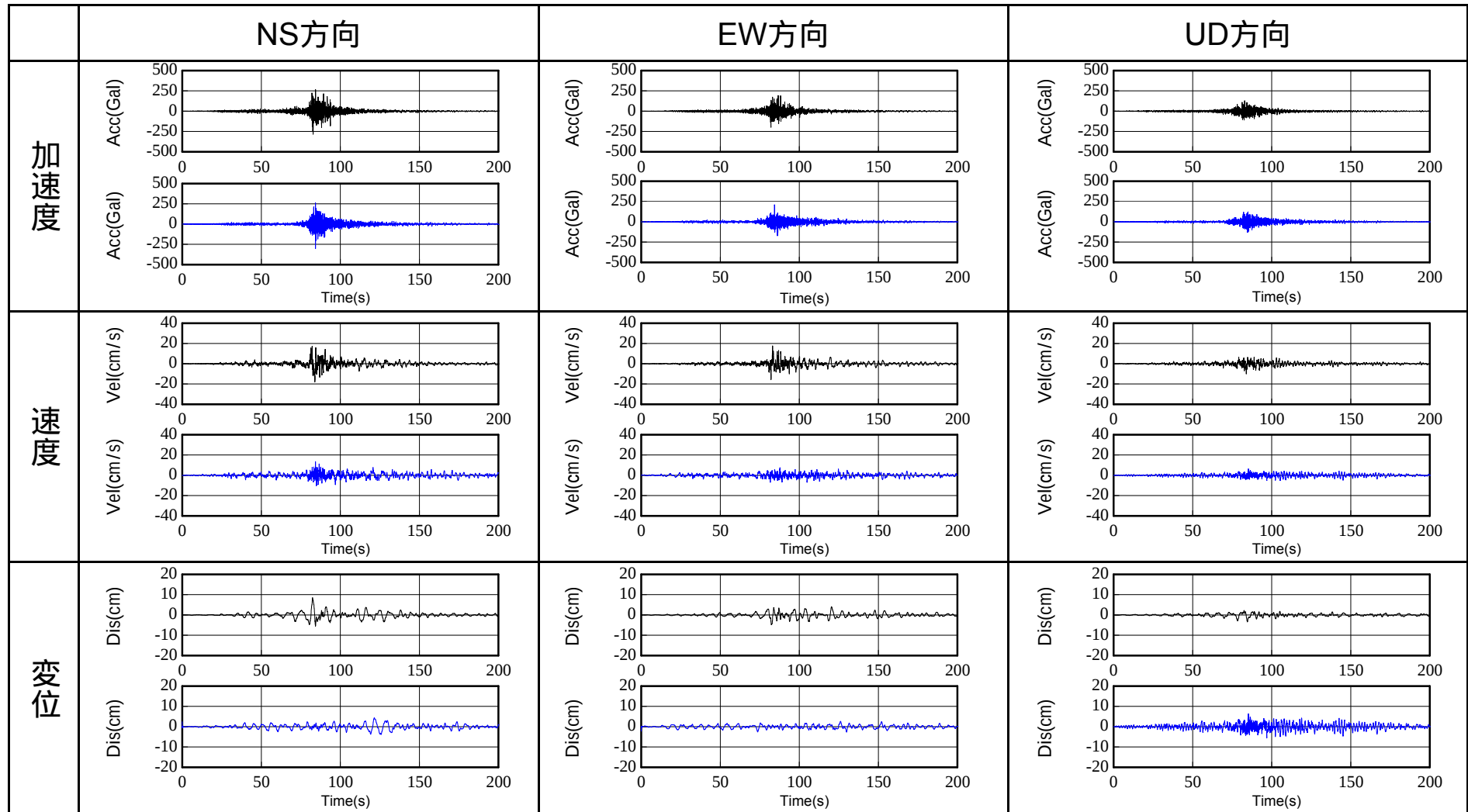


入倉・倉橋(2011)では, シミュレーション解析結果は敷地周辺の観測点の記録を良く再現しているとされている。また, 入倉・倉橋(2011)の震源モデルを用いた東海第二発電所でのシミュレーション結果は, 敷地周辺の観測点と同様の再現性を有している。

入倉・倉橋(2011)の震源モデルを用いたシミュレーション解析(解析結果, 2 / 3)

■ 東海第二発電所 解放基盤表面相当位置 (E.L.-372m) での加速度・速度・変位時刻歴波形

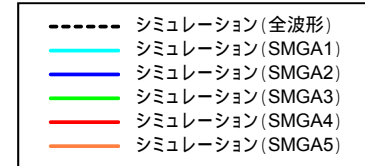
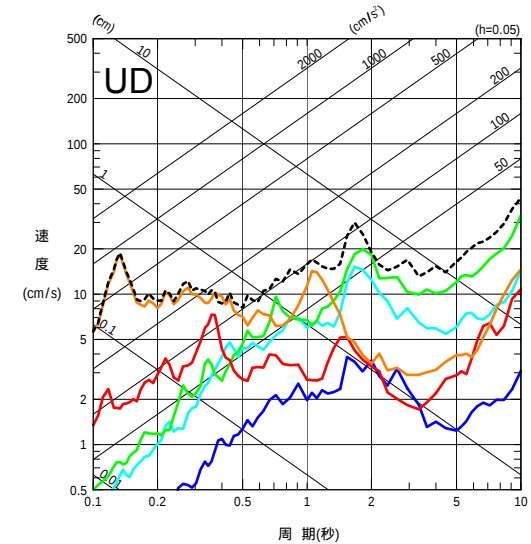
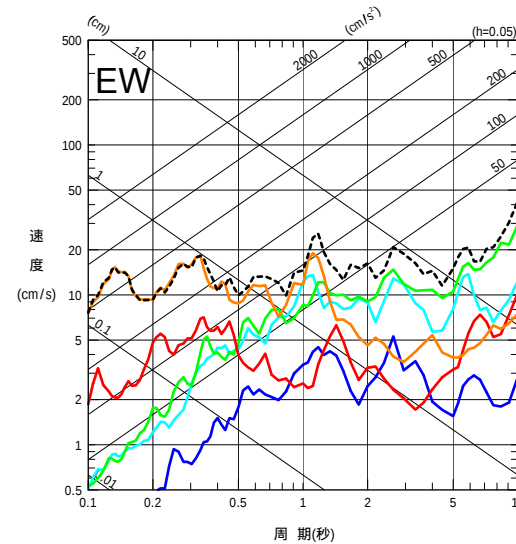
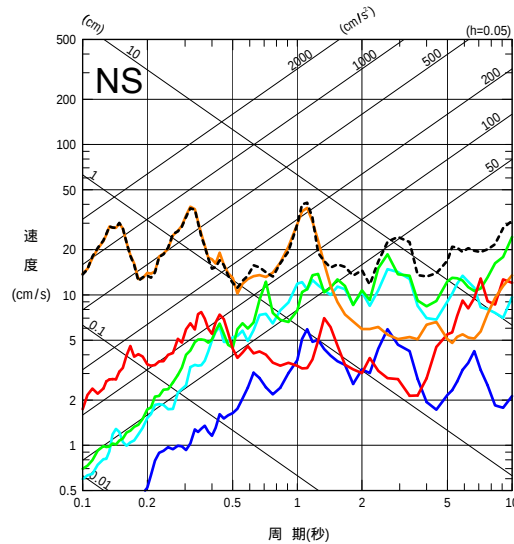
観測波形(黒線), シミュレーション結果(青線)



入倉・倉橋(2011)の震源モデルを用いたシミュレーション解析(解析結果, 3 / 3)

■ 各強震動生成域による応答スペクトルの比較 (h=5%)

東海第二観測点
(E.L.-372m)



短周期側(約1秒以下)では、敷地に最も近い強震動生成域であるSMGA5の影響が支配的であり、それより長周期側ではSMGA5以外の強震動生成域による影響を受けている。

まとめ

■ 東北地方太平洋沖地震に関する地震発生状況

- ・震度6強以上を観測したエリアは、宮城県～茨城県にまたがり、広範囲に分布する。
- ・東北地方太平洋沖地震の発生により、宮城県沖の海溝軸付近では大きなすべり量が観測されているが、強震動生成域はこれとは別に、陸側に近いプレート境界の宮城県沖から茨城県沖の領域にわたって複数存在することが示されている。
- ・強震動生成域の一つは、茨城県沖に推定されている。

■ 東北地方太平洋沖地震の観測記録のシミュレーション

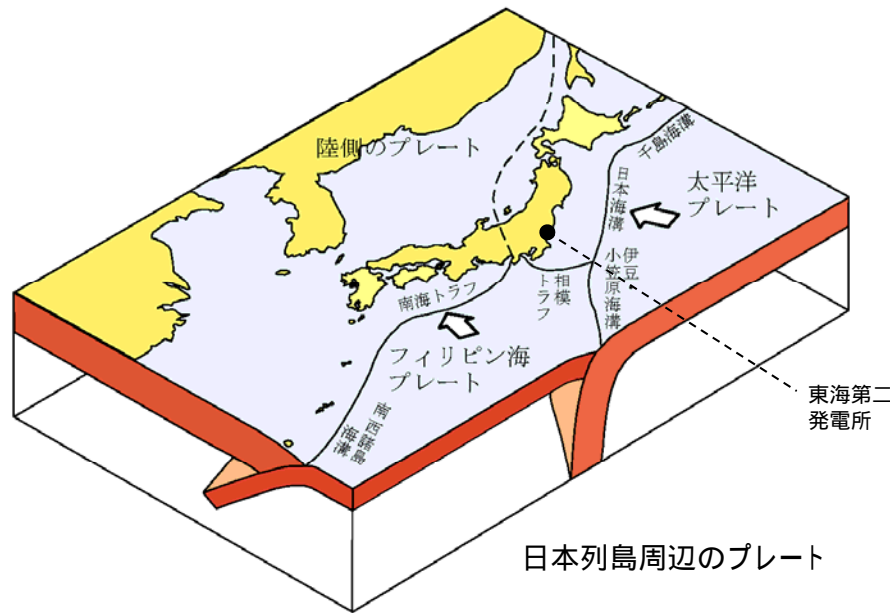
- ・釜江・川辺(2011)及び入倉・倉橋(2011)では、東北地方太平洋沖地震の敷地周辺の観測記録を良く再現しているとされている。
- ・同モデルを用いた東海第二発電所のシミュレーション結果は、いずれも敷地周辺の観測点と同様の再現性を有していることを確認した。
- ・敷地における地震動の短周期成分は、敷地に近い茨城県沖の強震動生成域による影響が支配的であることがわかった。

1. 評価フロー	3
2. 世界の巨大プレート間地震	4
3. 2011年東北地方太平洋沖地震に関する諸検討	9
4. 敷地周辺の地震発生状況	26
5. プレート間地震の検討用地震の選定	40
6. プレート間地震の地震動評価	54
7. 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	78
8. 参考文献	84

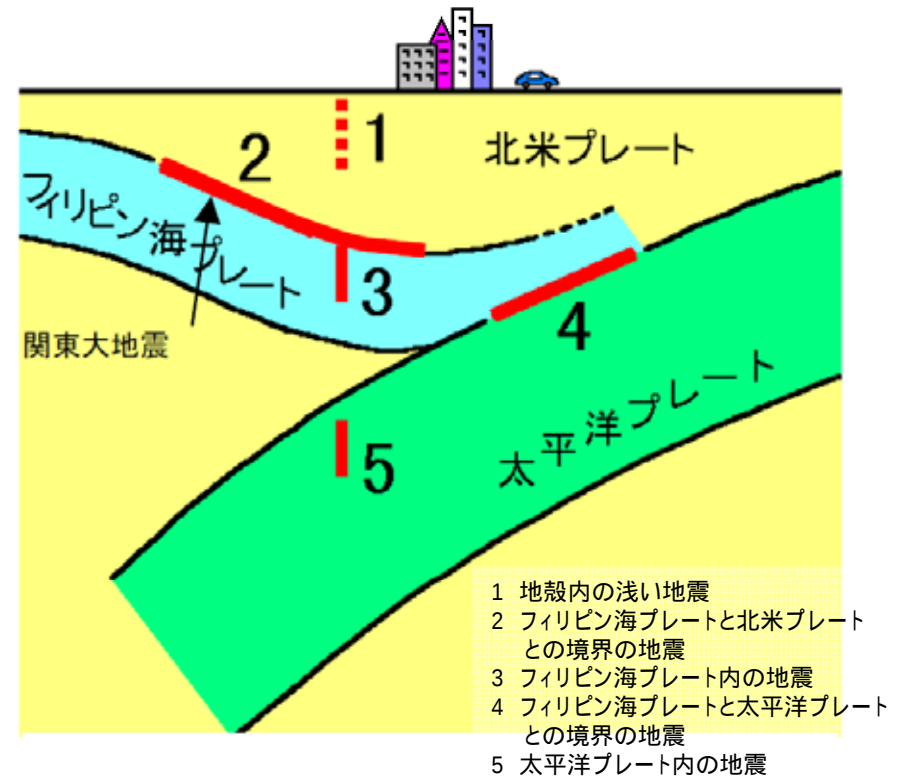
参考資料	85
------	----

- | | |
|---|--|
| 1. 2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録のはざとり解析について | |
| 2. 2011年東北地方太平洋沖地震の断層モデルを用いた手法による
地震動評価と解放基盤波の比較について | |

敷地周辺のプレートテクトニクス(1 / 2)



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)

- 敷地東方においては、陸側のプレートの下に太平洋プレートが沈み込んでいる。
- 敷地南方においては、陸側のプレートの下に相模トラフから北西方向にフィリピン海プレートが沈み込んでいる。
- さらにその下には、日本海溝から西向きに太平洋プレートが沈み込んでいる。

敷地周辺のプレートテクトニクス(2 / 2)

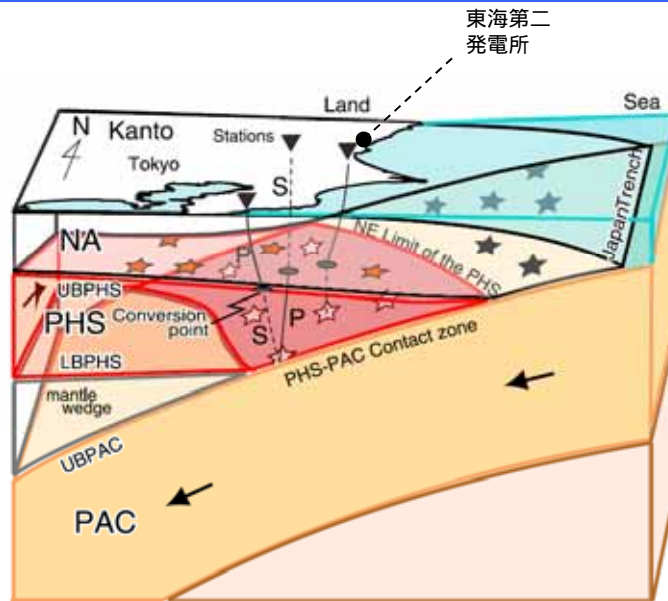


Figure 2. Schematic showing the configuration of three plates in Kanto. Not to scale. The Pacific plate (PAC) is subducting from the east beneath the North American (NA) plate. Between these two plates, the Philippine Sea plate (PHS) subducts from the southeast. Interplate earthquakes including small repeating earthquakes occur on the plate boundaries between the three plates. Gray, white (pink), and red stars indicate the earthquakes on the PAC-NA, PHS-PAC, and NA-PHS boundaries, respectively. The shaded area on the UBPHS shows the PHS-PAC contact zone. Black lines from white stars (contact zone earthquakes) to reverse triangles (stations) show the raypaths of converted waves at the UBPHS.

Uchida et al.(2010)に一部加筆

関東地方におけるプレートテクトニクスモデル
(南からの概観)

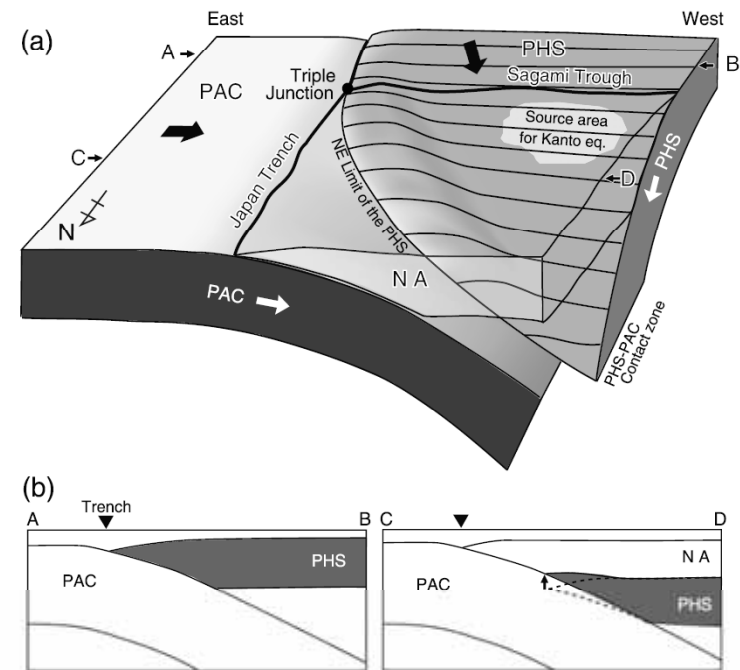


Figure 9. (a) Schematic figure showing the shape of the PHS subducting beneath Kanto. (b) East-west cross sections along A-B and C-D in Figure 9a. The PHS near the NE limit of the PHS is deformed because of the interaction with the PAC and the slab dip near the NE limit of the PHS is relatively gentle.

Uchida et al.(2010)より抜粋

フィリピン海プレートの沈み込み形状
(北からの概観)

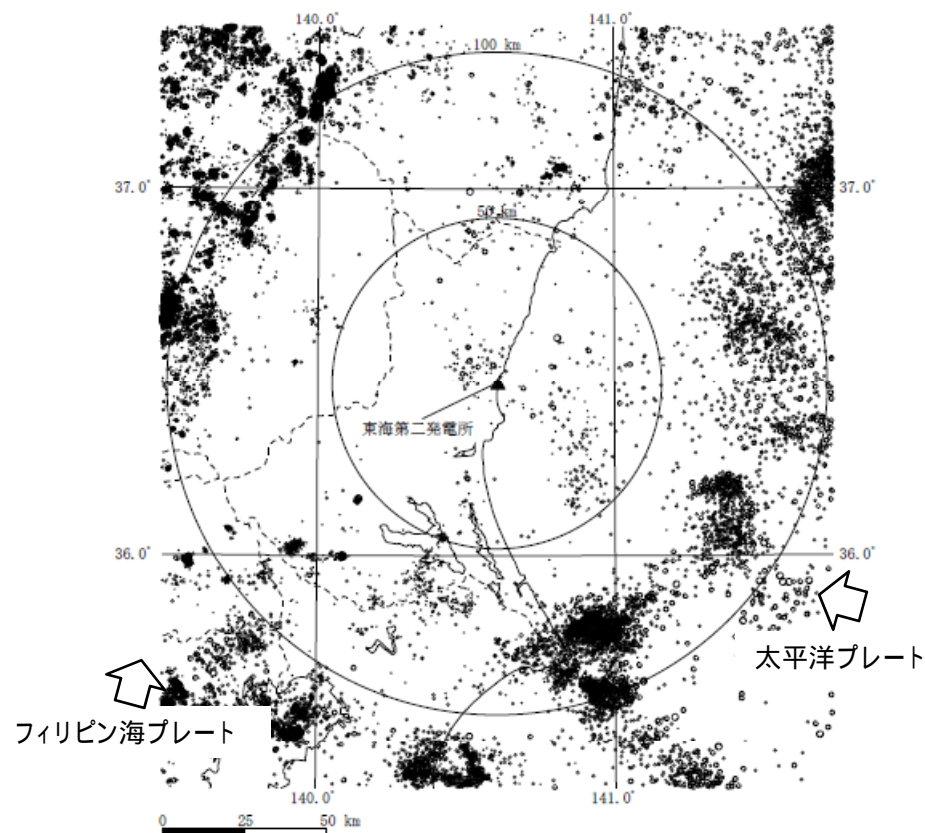
- 関東地方においては、南方からフィリピン海プレートが沈み込み、その下に東方から太平洋プレートが沈み込んでいる。
- 茨城県南部付近においては、フィリピン海プレートは北西方向に沈み込んでいる。

Naoki Uchida, Toru Matsuzawa, Junichi Nakajima, and Akira Hasegawa (2010):

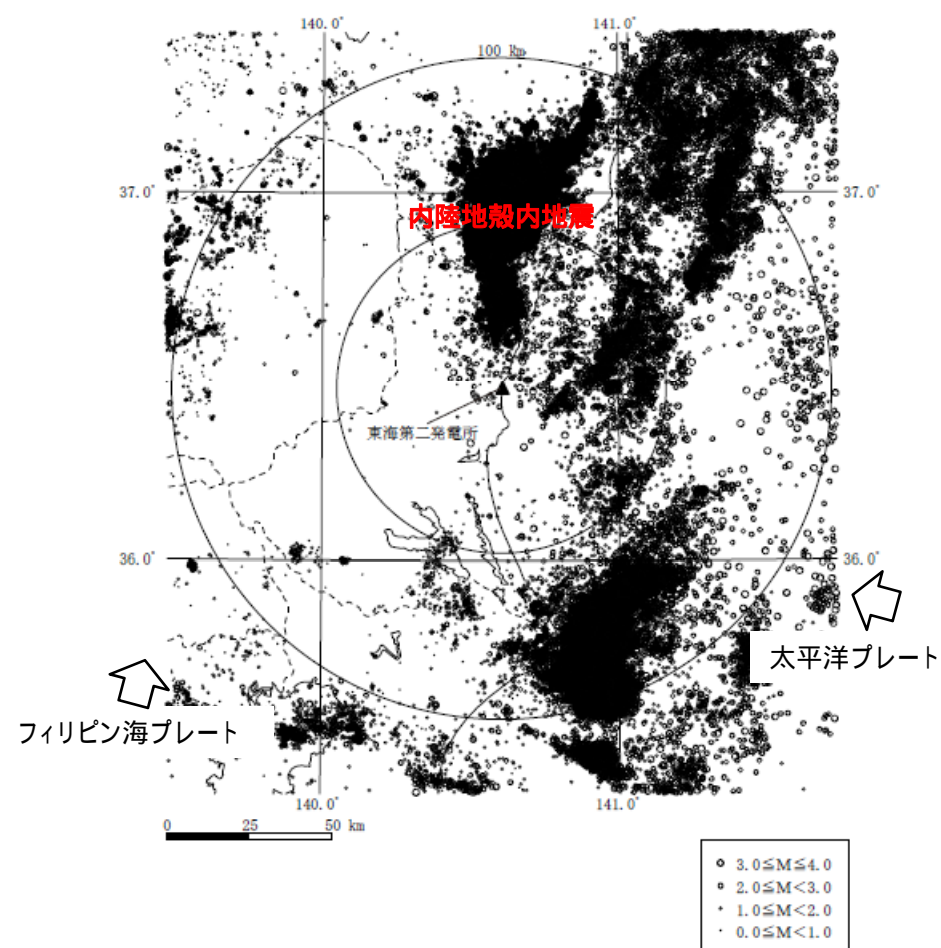
Subduction of a wedge - shaped Philippine Sea plate beneath Kanto, central Japan, estimated from converted waves and small repeating earthquakes, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 115, B07309, doi:10.1029/2009JB006962, 2010

4. 敷地周辺の地震発生状況

敷地周辺の地震活動(M4.0以下, 深さ30km以浅, 震央分布)



(気象庁, 1997年10月 ~ 2011年2月)

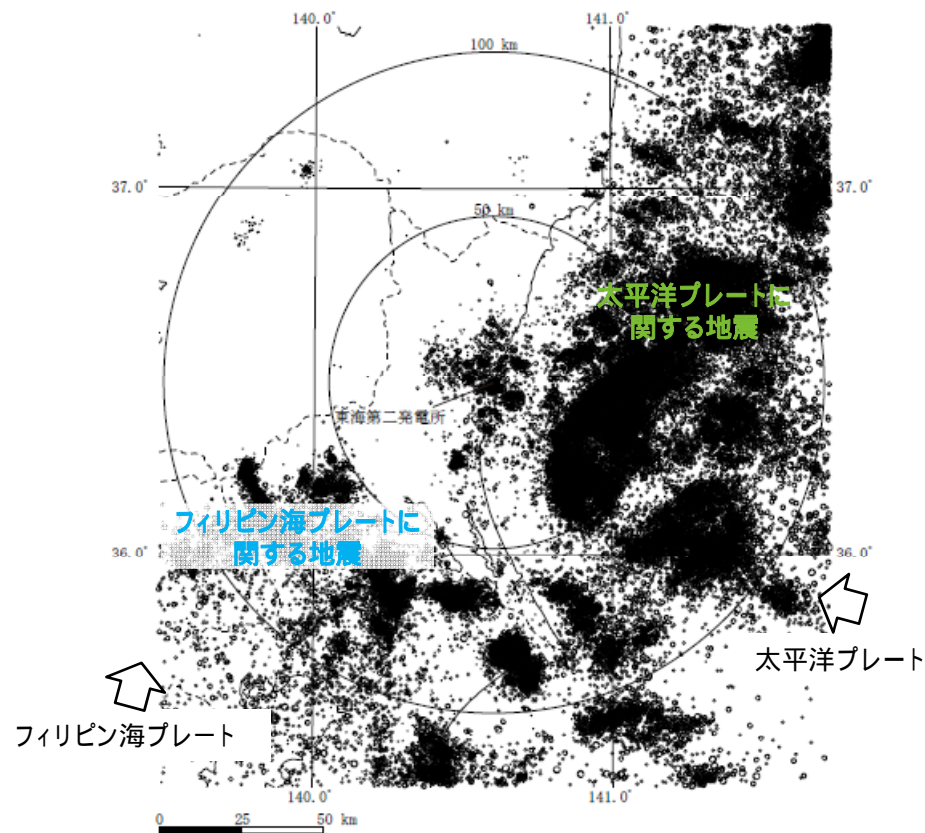


(気象庁, 2011年3月 ~ 2014年3月)

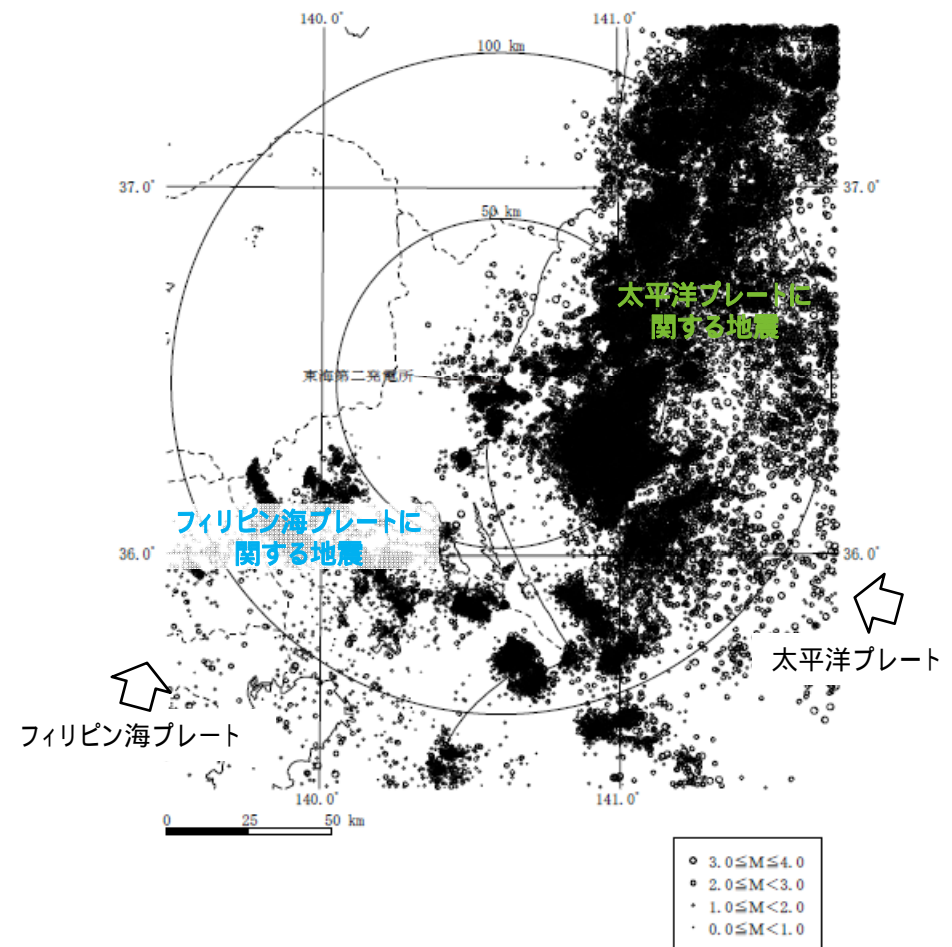
2011年3月以降は, 福島県と茨城県の県境付近で内陸地殻内地震が集中して発生している。

4. 敷地周辺の地震発生状況

敷地周辺の地震活動(M4.0以下, 深さ30km ~ 60km, 震央分布)



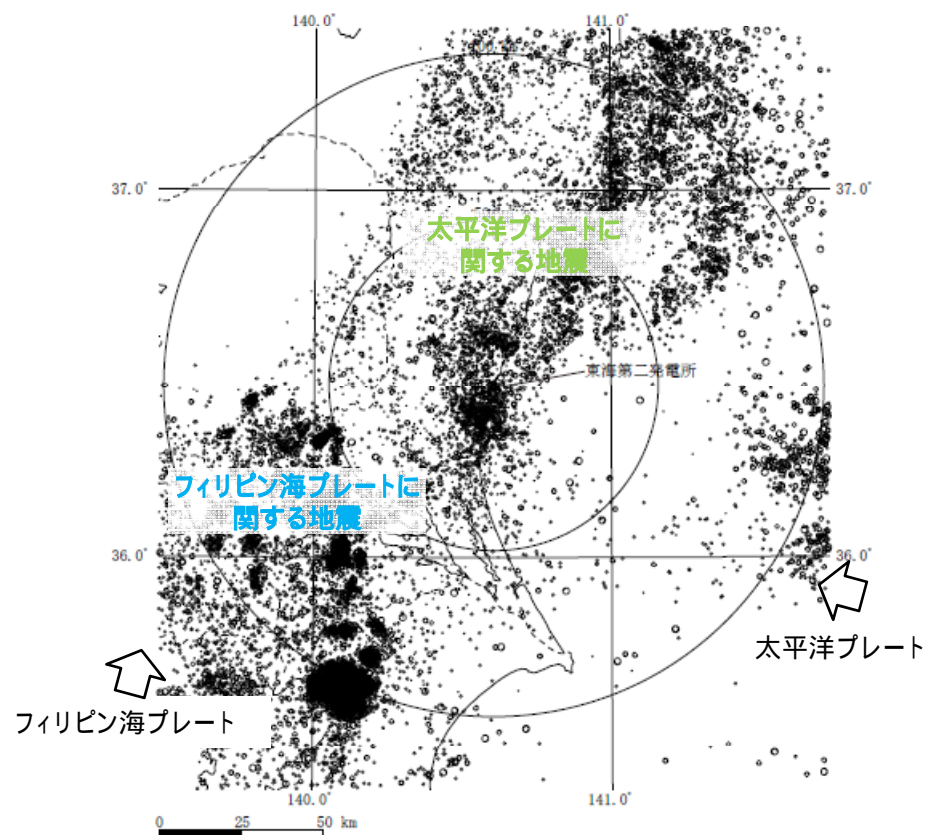
(気象庁, 1997年10月 ~ 2011年2月)



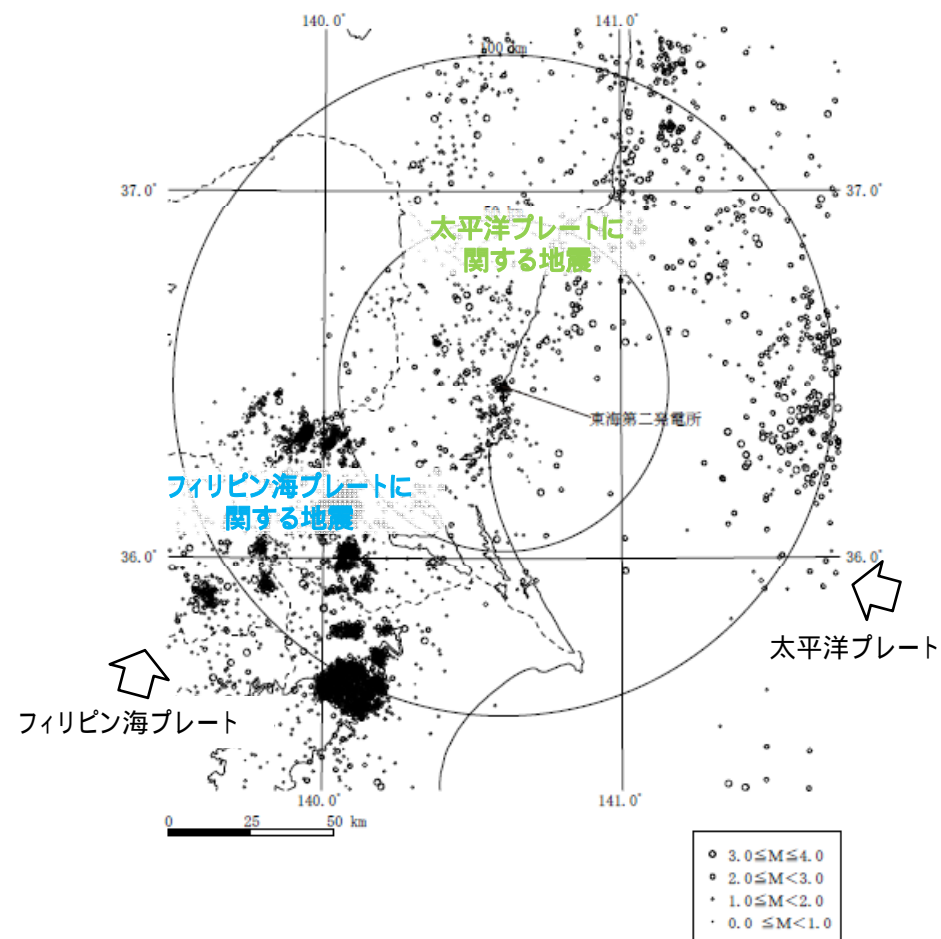
(気象庁, 2011年3月 ~ 2014年3月)

- 敷地周辺では太平洋プレートに関する地震が発生している。また、茨城県南西部ではフィリピン海プレートに関する地震が発生している。
- 2011年3月以降、地震発生頻度は増加したものの、地震の発生する位置に大きな変化はない。

敷地周辺の地震活動(M4.0以下, 深さ60km ~ 90km, 震央分布)



(気象庁, 1997年10月 ~ 2011年2月)

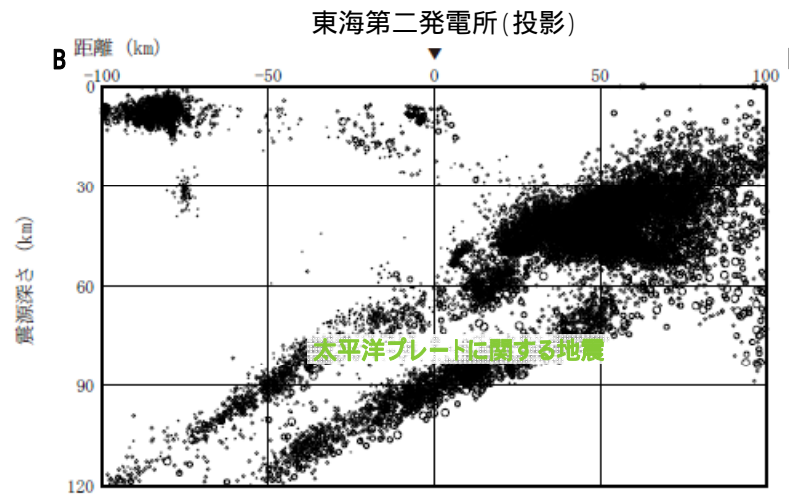


(気象庁, 2011年3月 ~ 2014年3月)

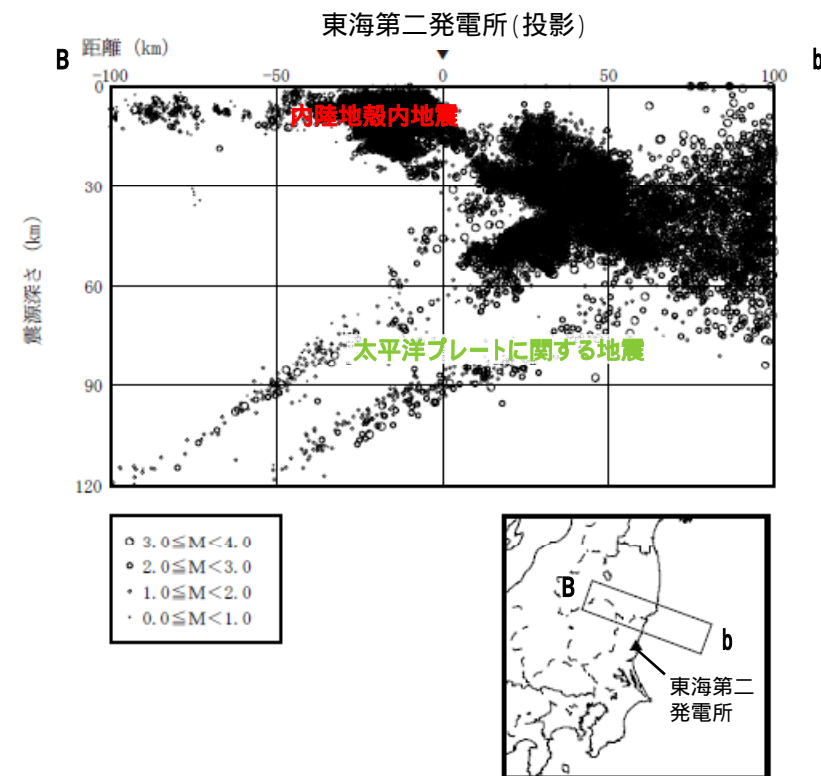
- 敷地周辺では太平洋プレートに関する地震が発生している。また、茨城県南西部ではフィリピン海プレートに関する地震が発生している。
- 2011年3月以降、地震発生頻度は増加したものの、地震の発生する位置に大きな変化はない。

4. 敷地周辺の地震発生状況

敷地周辺の地震活動(M4.0以下, 敷地北方, 震源鉛直分布)



(気象庁, 1997年10月 ~ 2011年2月)

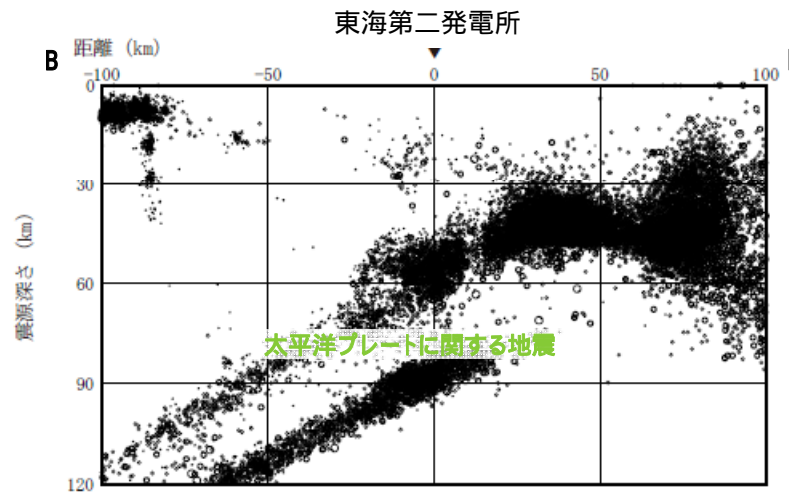


(気象庁, 2011年3月 ~ 2014年3月)

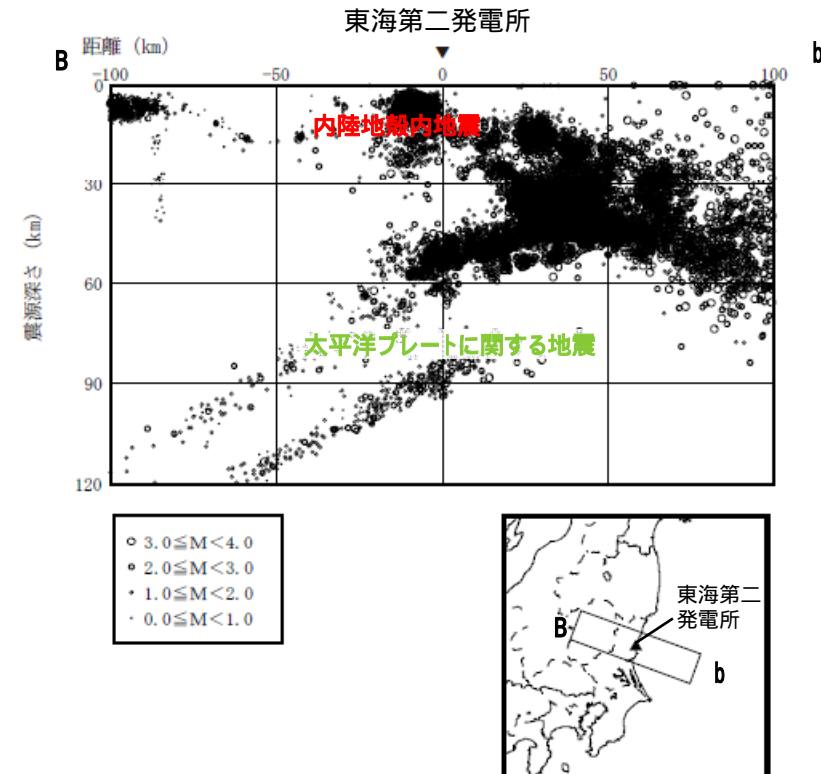
- 2011年3月以降は, 福島県と茨城県の県境付近の深さ10km程度において内陸地殻内地震が発生している。
- 深さ80km程度以深では, 太平洋プレートの二重深発地震面が見られる。

4. 敷地周辺の地震発生状況

敷地周辺の地震活動(M4.0以下, 敷地周辺, 震源鉛直分布)



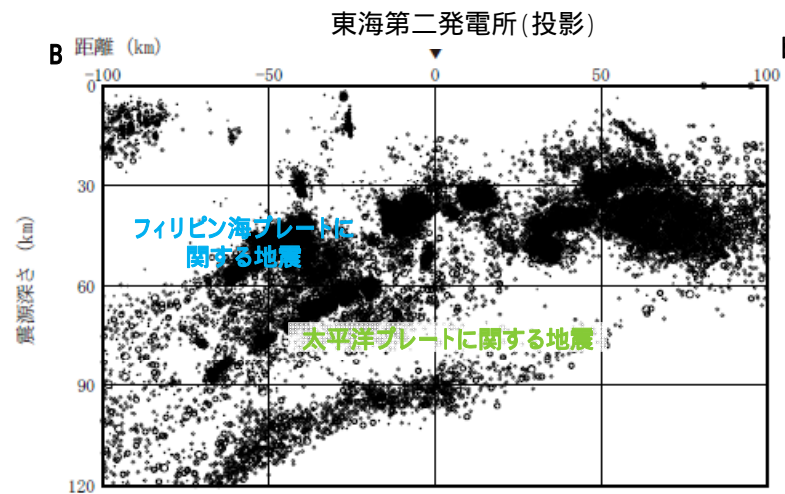
(気象庁, 1997年10月 ~ 2011年2月)



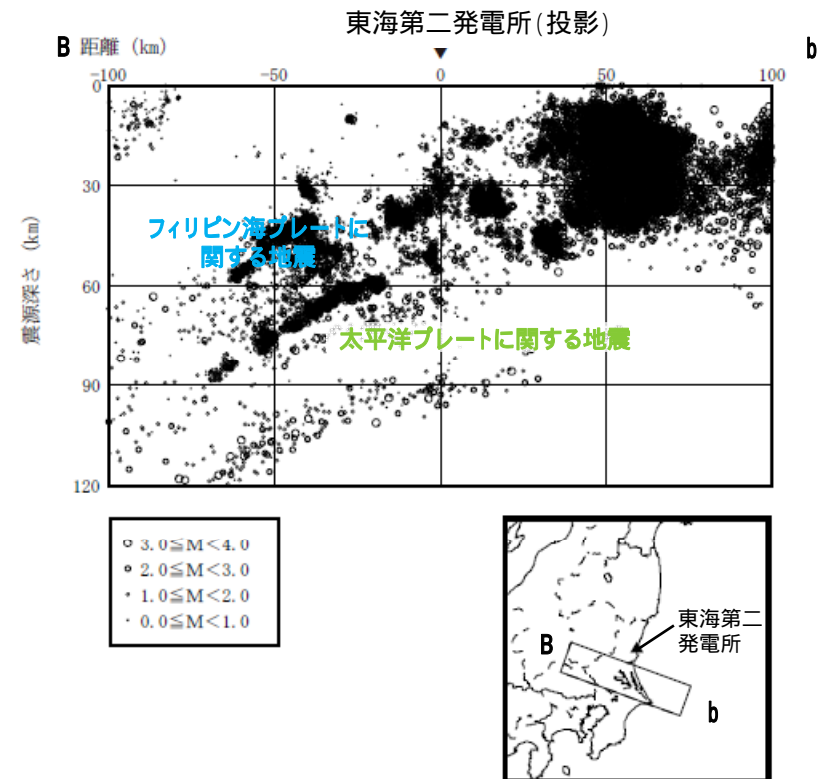
(気象庁, 2011年3月 ~ 2014年3月)

- 2011年3月以降は, 深さ10km程度において内陸地殻内地震が発生している。
- 深さ80km程度以深では, 太平洋プレートの二重深発地震面が見られる。

敷地周辺の地震活動(M4.0以下, 敷地南方, 震源鉛直分布)



(気象庁, 1997年10月 ~ 2011年2月)

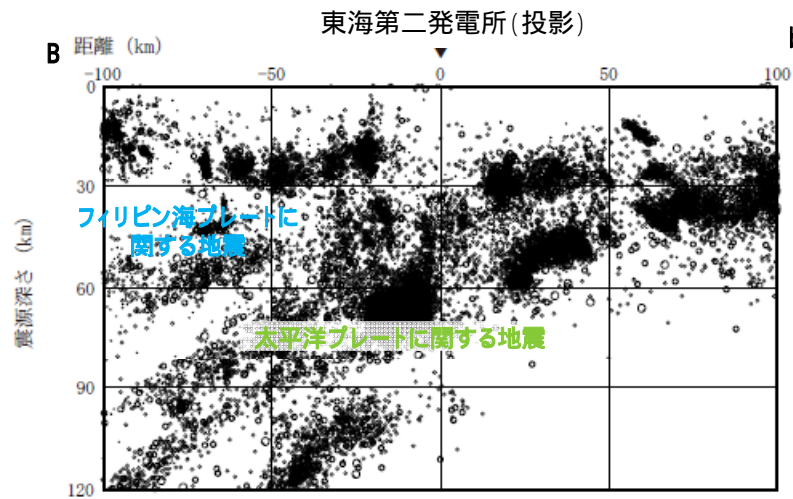


(気象庁, 2011年3月 ~ 2014年3月)

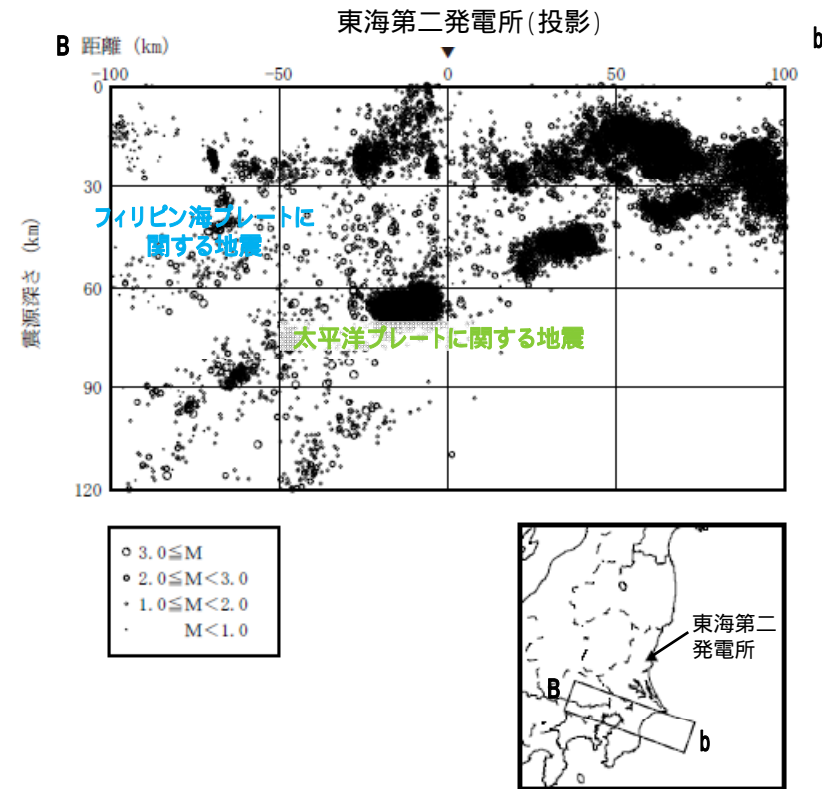
- 深さ40km程度以深では, フィリピン海プレートに関する地震が見られる。
- 深さ80km程度以深では, 太平洋プレートの二重深発地震面が見られる。
- 2011年3月以降, 地震発生頻度は増加したものの, 地震の発生する位置に大きな変化はない。

4. 敷地周辺の地震発生状況

敷地周辺の地震活動(M4.0以下, 敷地南方, 震源鉛直分布)



(気象庁, 1997年10月 ~ 2011年2月)

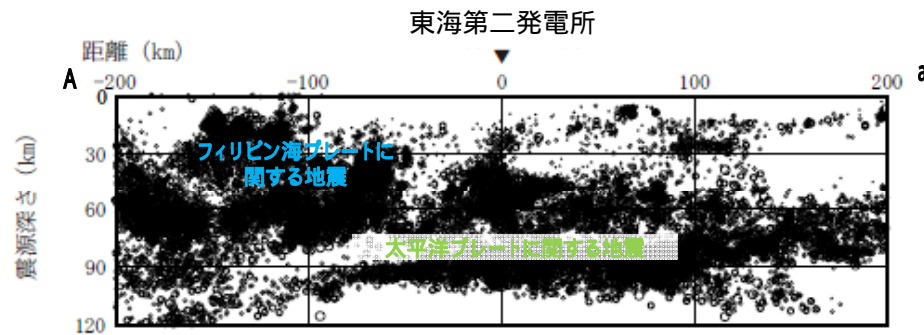


(気象庁, 2011年3月 ~ 2014年3月)

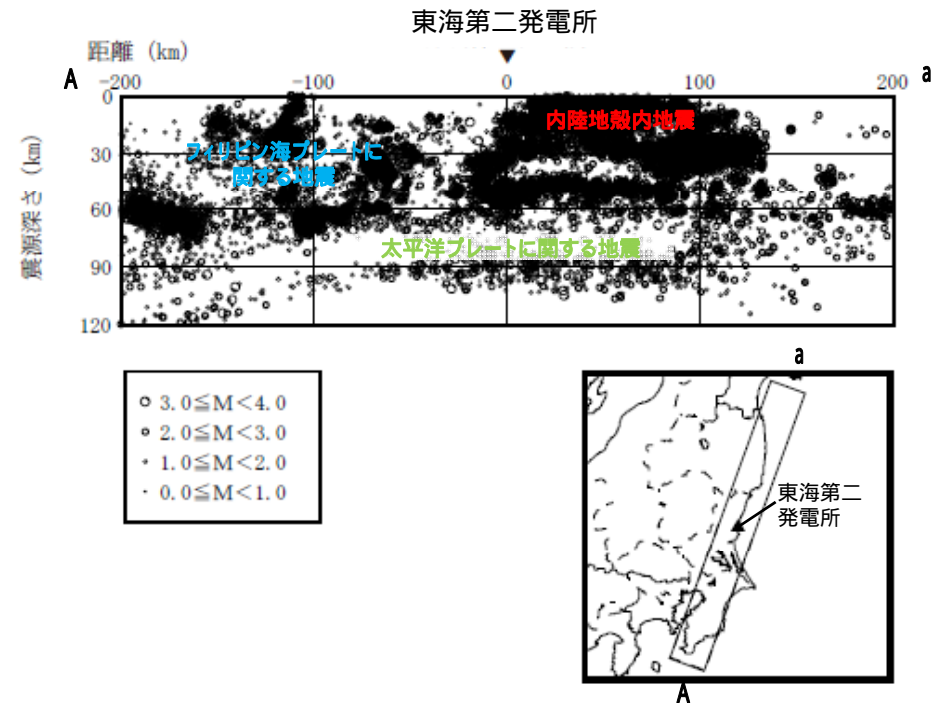
- 深さ30km程度では, フィリピン海プレートに関する地震が見られる。
- 深さ80km程度以深では, 太平洋プレートの二重深発地震面が見られる。
- 2011年3月以降, 地震発生頻度は増加したものの, 地震の発生する位置に大きな変化はない。

4. 敷地周辺の地震発生状況

敷地周辺の地震活動(M4.0以下, 敷地周辺(広域), 震源鉛直分布)



(気象庁, 1997年10月～2011年2月)

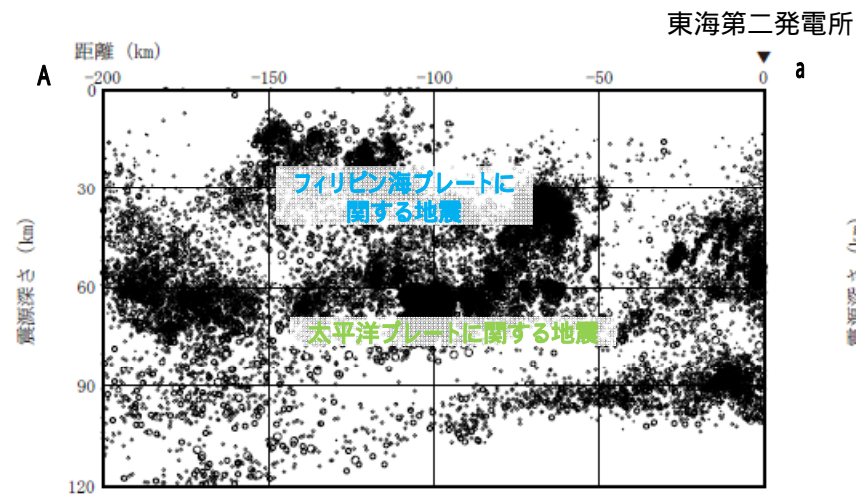


(気象庁, 2011年3月～2014年3月)

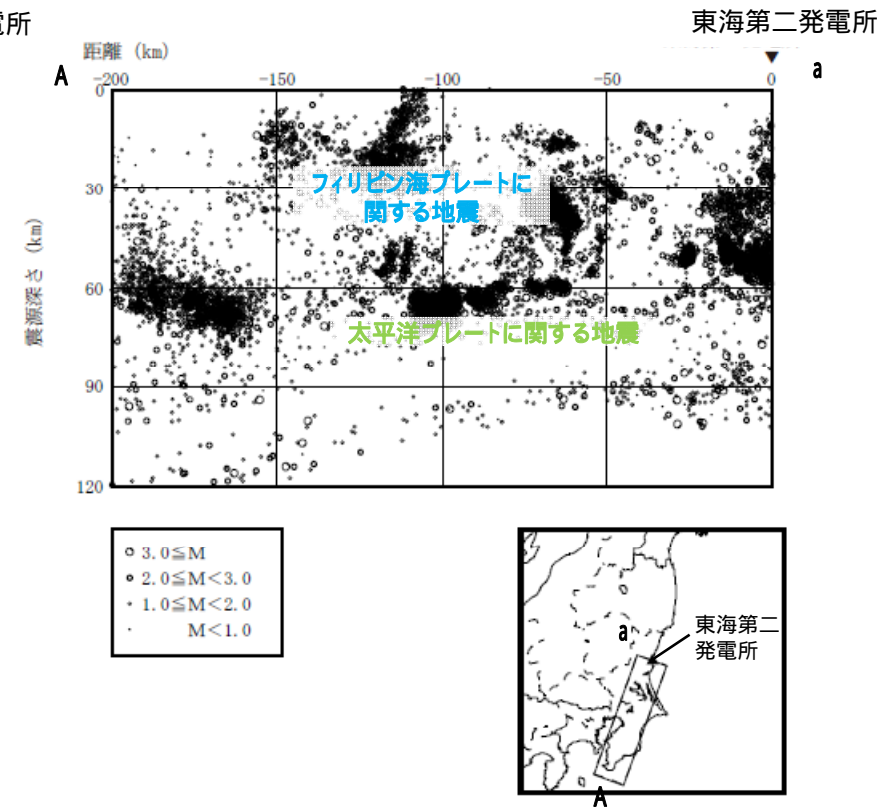
- 2011年3月以降は、深さ10km程度において内陸地殻内地震が発生している。
- 深さ30km程度では、フィリピン海プレートに関する地震が見られる。
- 深さ60km程度以深では、太平洋プレートに関する地震が見られる。

4. 敷地周辺の地震発生状況

敷地周辺の地震活動(M4.0以下, 敷地南方, 震源鉛直分布)



(気象庁, 1997年10月 ~ 2011年2月)

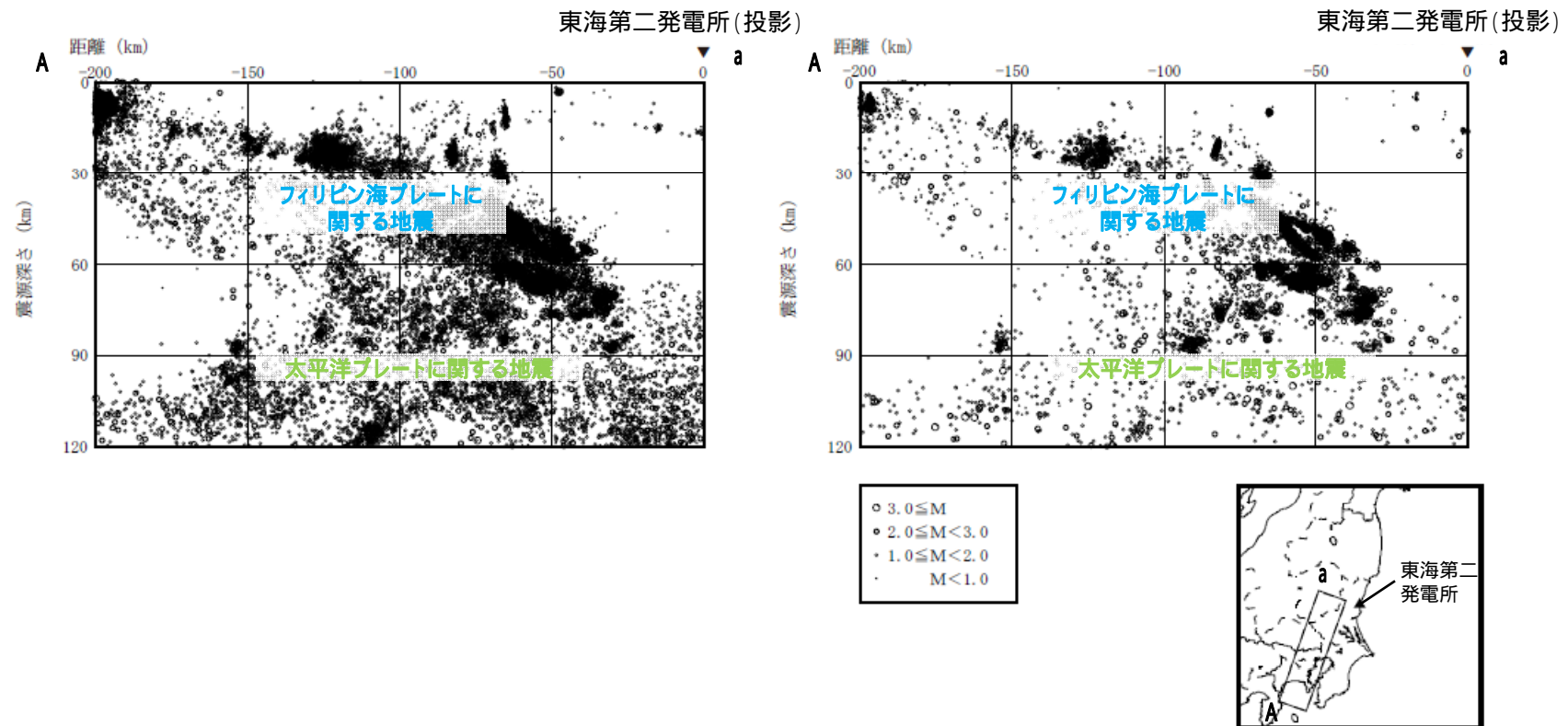


(気象庁, 2011年3月 ~ 2014年3月)

- 深さ30km程度では, フィリピン海プレートに関する地震が見られる。
- 深さ60km程度以深では, 太平洋プレートに関する地震が見られる。
- 2011年3月以降, 地震発生頻度は増加したものの, 地震の発生する位置に大きな変化はない。

4. 敷地周辺の地震発生状況

敷地周辺の地震活動(M4.0以下, 敷地南西, 震源鉛直分布)



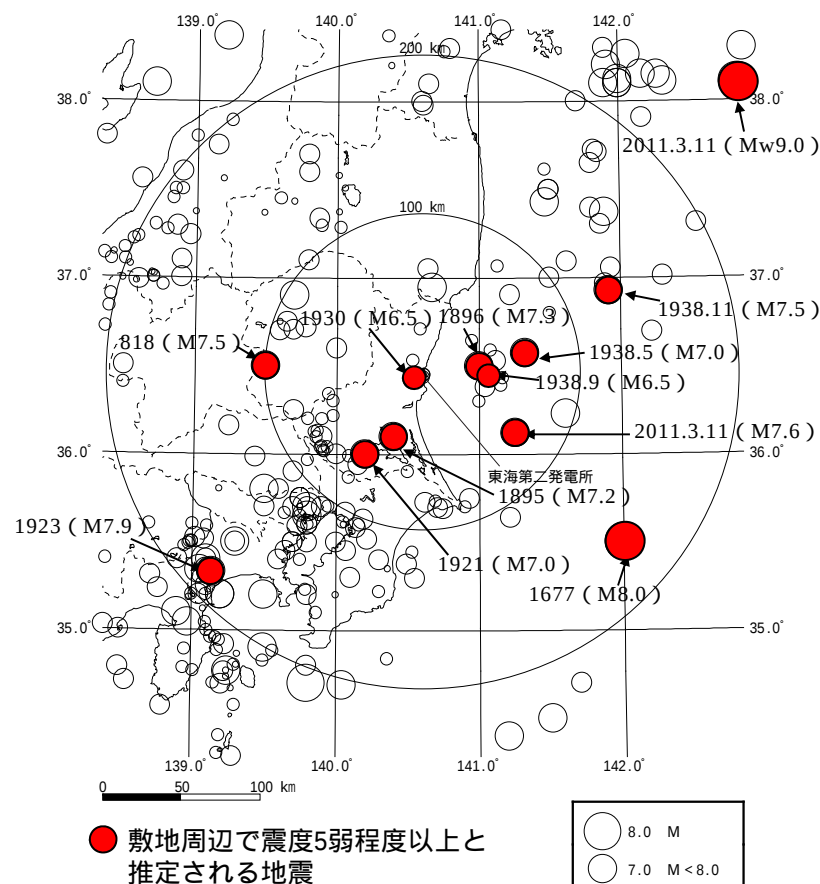
(気象庁, 1997年10月 ~ 2011年2月)

(気象庁, 2011年3月 ~ 2014年3月)

- 深さ30km程度以深では, フィリピン海プレートに関する地震が見られる。
- 深さ70km程度以深では, 太平洋プレートに関する地震が見られる。
- 2011年3月以降, 地震発生頻度は増加したものの, 地震の発生する位置に大きな変化はない。

過去の被害地震

- 「日本被害地震総覧」及び「気象庁地震カタログ」に記載されている被害地震のうち、敷地周辺で震度5弱程度以上であったと推定される被害地震を抽出し、その震央分布を下図に示す。



敷地周辺の被害地震の震央分布図

敷地周辺で震度5弱程度以上の被害地震

年月日	地震規模 M	地震	震央距離 (km)	深さ (km)
818. - . -	7.5	関東諸国の地震	99	-
1677.11. 4	8.0	磐城・常陸・安房・上総・下総の地震	165	-
1895. 1.18	7.2	霞ヶ浦付近の地震	45	-
1896. 1. 9	7.3	鹿島灘の地震	35	-
1921.12. 8	7.0	茨城県龍ヶ崎付近の地震	64	-
1923. 9. 1	7.9	関東大地震	183	23
1930. 6. 1	6.5	那珂川下流域の地震	8	54
1938. 5.23	7.0	塩屋崎沖の地震	65	35
1938. 9.22	6.5	鹿島灘の地震	40	48
1938.11. 5	7.5	福島県東方沖地震	128	43
2011. 3.11	Mw9.0	2011年東北地方太平洋沖地震の本震	270	23.7
2011. 3.11	7.6	2011年東北地方太平洋沖地震の最大余震	69	42.7

- 敷地から100km以内ではM7クラスの被害地震が発生している。
- 2011年には東北地方太平洋沖地震が発生し、敷地周辺で被害が生じている。

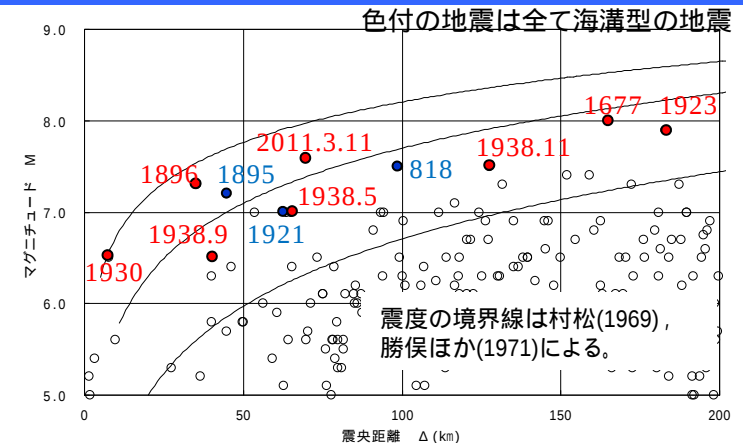
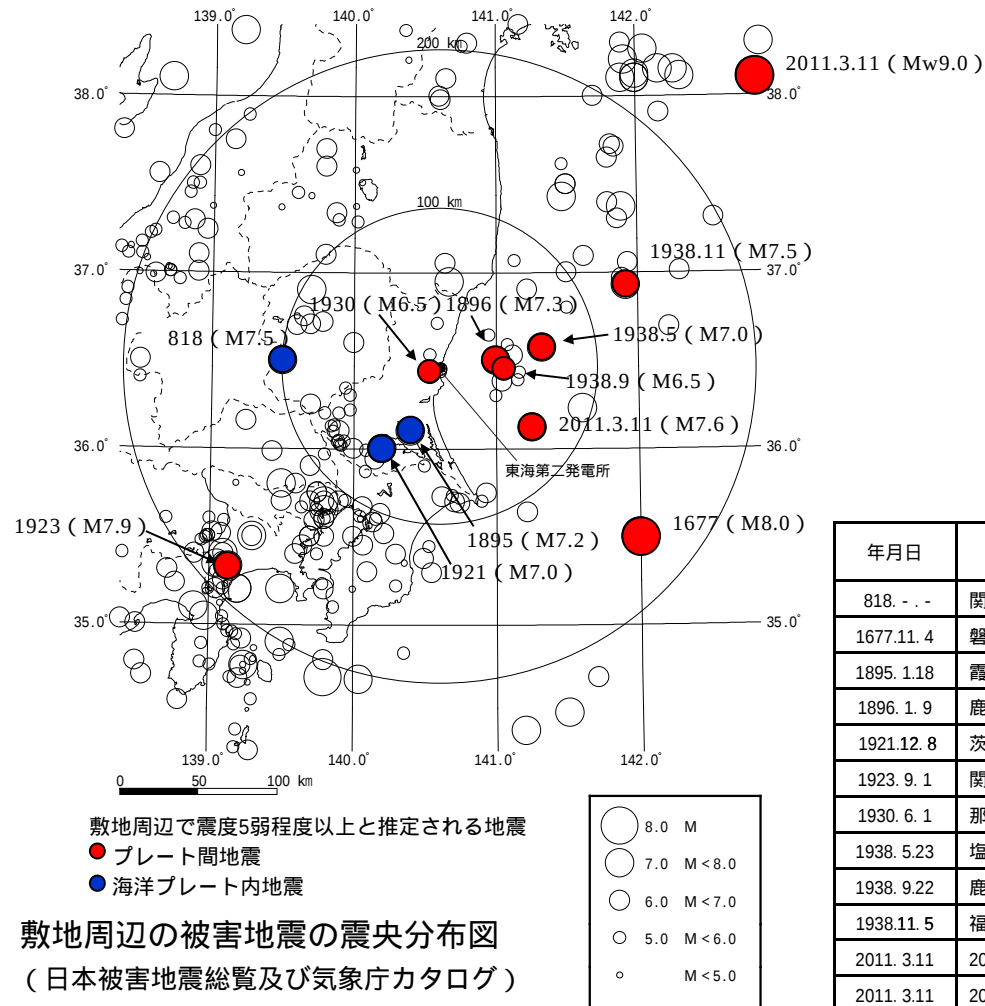
1. 評価フロー	3
2. 世界の巨大プレート間地震	4
3. 2011年東北地方太平洋沖地震に関する諸検討	9
4. 敷地周辺の地震発生状況	26
5. プレート間地震の検討用地震の選定	40
6. プレート間地震の地震動評価	54
7. 敷地ごとに震源を特定して策定する 地震動による基準地震動 S_s	78
8. 参考文献	84

参考資料	85
------	----

- | | |
|---|--|
| 1. 2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録のはざとり解析について | |
| 2. 2011年東北地方太平洋沖地震の断層モデルを用いた手法による
地震動評価と解放基盤波の比較について | |

過去の被害地震の分類

- 敷地で震度5程度以上となる過去の被害地震を抽出する。



敷地周辺の被害地震から想定されるMとΔの関係

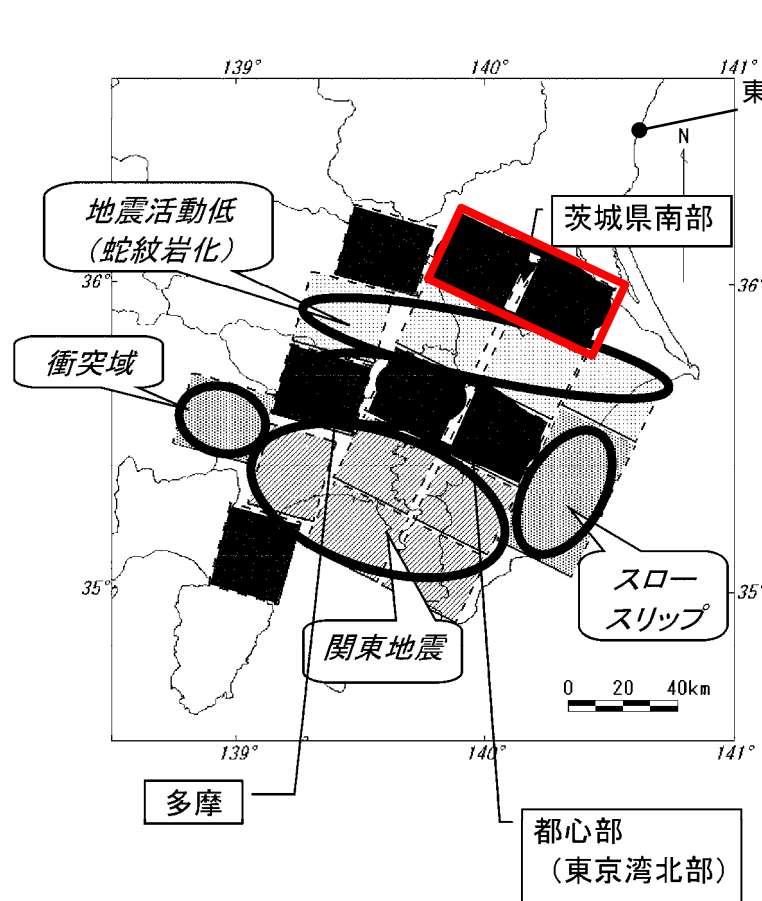
敷地での震度5程度以上となる被害地震リスト

年月日	地震	地震規模 M	震央距離 (km)	深さ (km)	地震発生様式
818. - -	関東諸国の地震	7.5	99	-	海洋プレート内地震
1677.11. 4	磐城・常陸・安房・上総・下総の地震	8.0	165	-	プレート間地震
1895. 1.18	霞ヶ浦付近の地震	7.2	45	-	海洋プレート内地震
1896. 1. 9	鹿島灘の地震	7.3	35	-	プレート間地震
1921.12. 8	茨城県龍ヶ崎付近の地震	7.0	64	-	海洋プレート内地震
1923. 9. 1	関東大地震	7.9	183	23	プレート間地震
1930. 6. 1	那珂川下流域の地震	6.5	8	54	プレート間地震
1938. 5.23	塩屋崎沖の地震	7.0	65	35	プレート間地震
1938. 9.22	鹿島灘の地震	6.5	40	48	プレート間地震
1938.11. 5	福島県東方沖地震	7.5	128	43	プレート間地震
2011. 3.11	2011年東北地方太平洋沖地震の本震	Mw9.0	270	23.7	プレート間地震
2011. 3.11	2011年東北地方太平洋沖地震の最大余震	7.6	69	42.7	プレート間地震

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

各機関の想定した震源による地震

- 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選定する。



中央防災会議(2004)によるフィリピン海プレート
上面付近の19枚の断層(一部加筆)

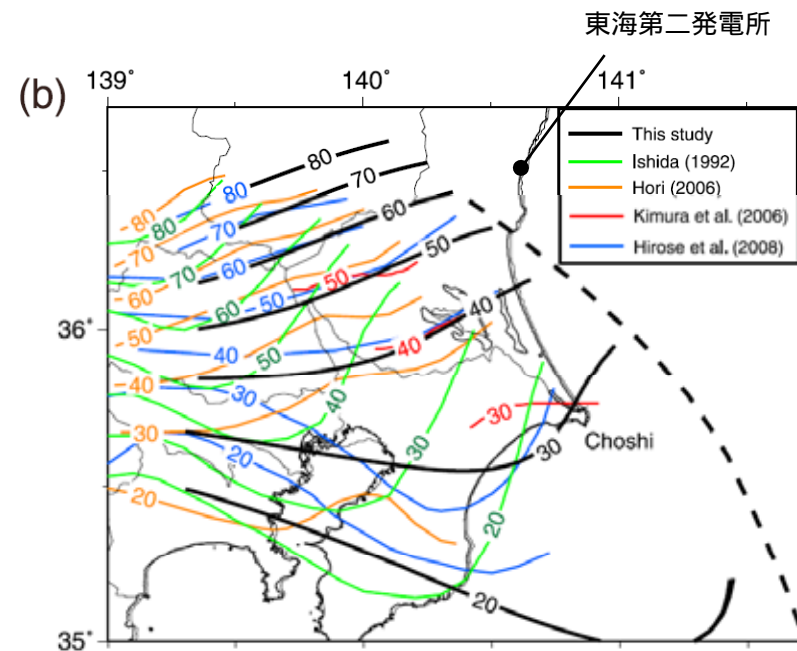


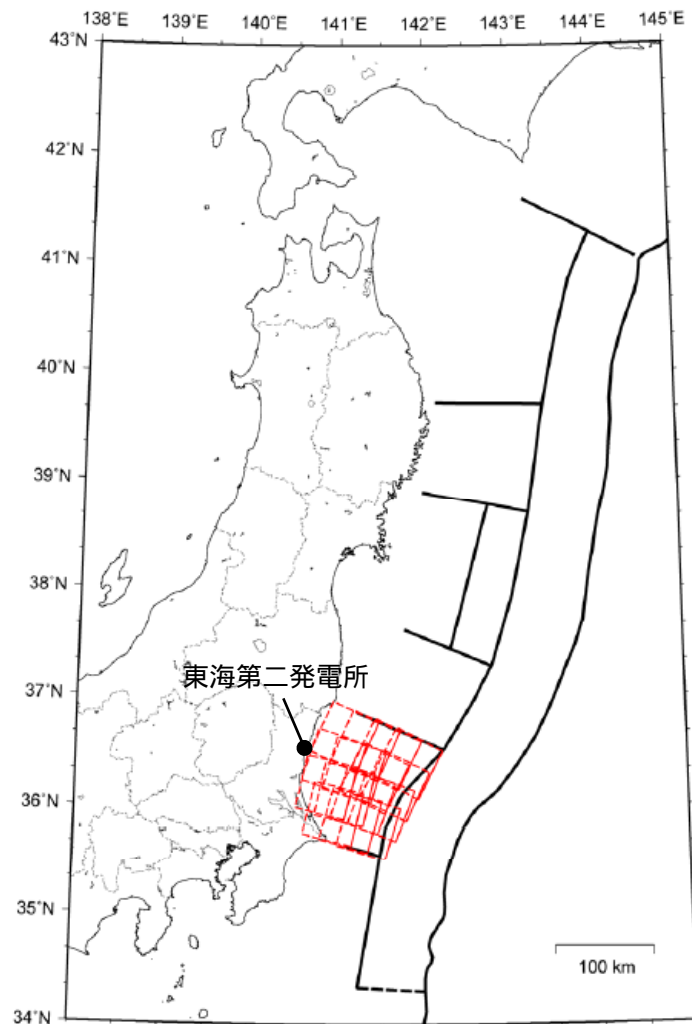
Figure 7. (a) Depth to the upper boundary of the PHS (contours). Blue dashed contours represent a result without the data from earthquakes on the UBPHS. Red dashed contours represent a result with equal weight (10 times more than the SP - P/S - PS data of the highest grade) for the data from earthquakes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

Uchida et al.(2010)に一部加筆
フィリピン海プレート上面の深さ分布

中央防災会議(2004)では、茨城県南部においてフィリピン海プレートと北米プレートの境界の地震としてM7.3が想定されている。フィリピン海プレートの形状を考慮すると、当該断層面の敷地からの距離は、フィリピン海プレート上面のほかの断層面と比較し近くなる。よって、フィリピン海プレートと北米プレートの境界の地震としてM7.3の地震を茨城県南部に設定する。

各機関の想定した震源による地震

- 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選定する。



地震調査研究推進本部(2012)では、「茨城県沖の繰り返し発生する地震以外の地震」としてM7.3～7.6(断層数15)が想定されている。よって、太平洋プレートと北米プレートの境界の地震としてM7.6の地震を茨城県沖に設定する。

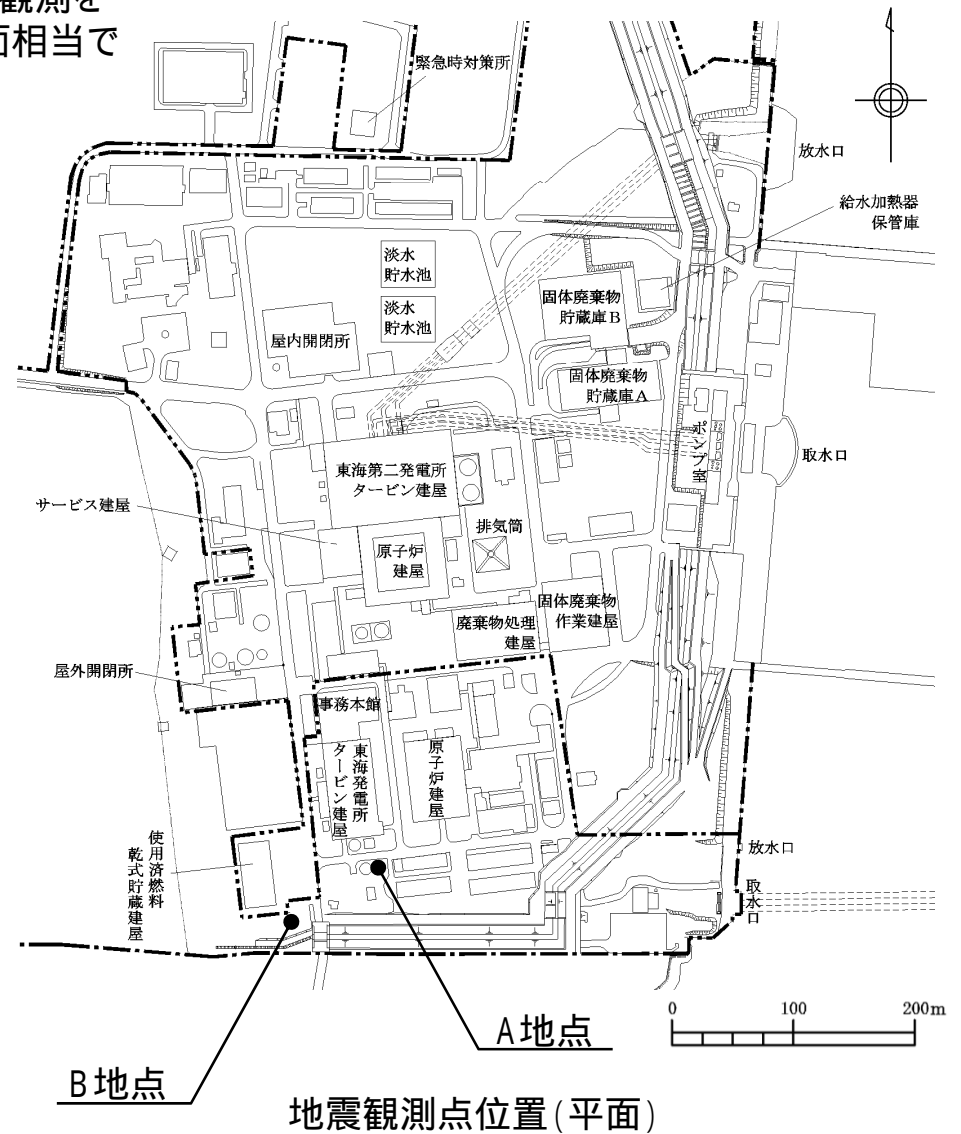
地震調査研究推進本部(2012)による茨城県沖の地震の震源域(一部加筆)

応答スペクトルに基づく手法による地震動評価に用いる補正係数

- 東海第二発電所では、敷地地盤において以下の通り地震観測を実施している。補正係数の算出に際しては、解放基盤表面相当であるE.L.-372mの地震観測記録を用いた。

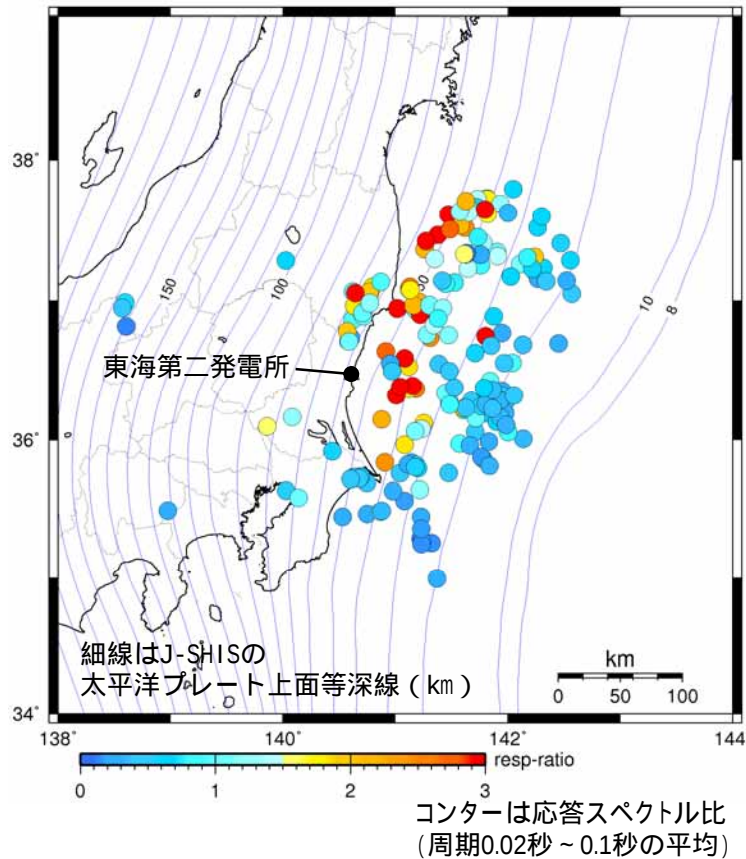
地震観測点位置(深さ方向)

	標高	地震観測点位置		
		A地点	B地点	地層
●:地震計設置位置	E.L.			
地表	+8m (G.L.)	●		第四系
原子炉建屋 人工岩盤下端相当	-15m			新第三系
	-17m	●		
	-192m	●		
解放基盤表面相当 (解放基盤表面E.L.-370m)	-372m	●		
地震基盤相当	約-700m			先新第三系
	-992m		●	
観測開始		1996年3月	2012年8月	



応答スペクトルに基づく手法による地震動評価に用いる補正係数

- 応答スペクトルに基づく手法による地震動評価は、Noda et al.(2002)による手法(耐専スペクトル)で行う。
- 評価に際しては、地震発生様式ごとに分類した地震観測記録の分析に基づく補正係数を考慮する。

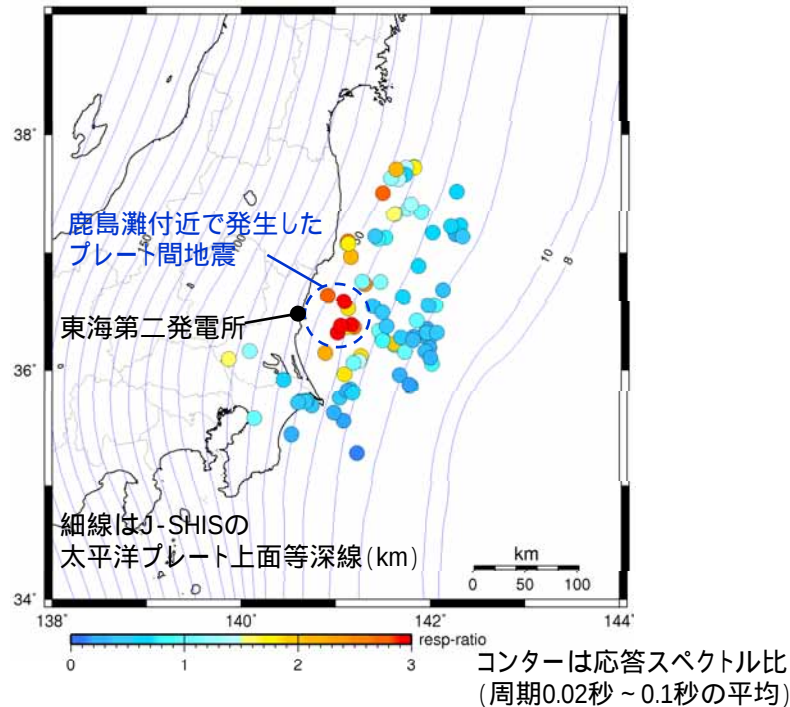


応答スペクトル比の算出に用いた
M5.3以上の地震の震央分布
(水平成分)

- ・東海第二発電所の地震観測記録のうちM5.3以上で震央距離200km以内の地震を対象に、解放基盤波の応答スペクトルを耐専スペクトルで除した「応答スペクトル比」を算出する。
- ・プレート間地震、海洋プレート内地震、内陸地殻内地震の地震発生様式ごとに各地震の「応答スペクトル比」を算出し、地域性の観点からグルーピングを行う。

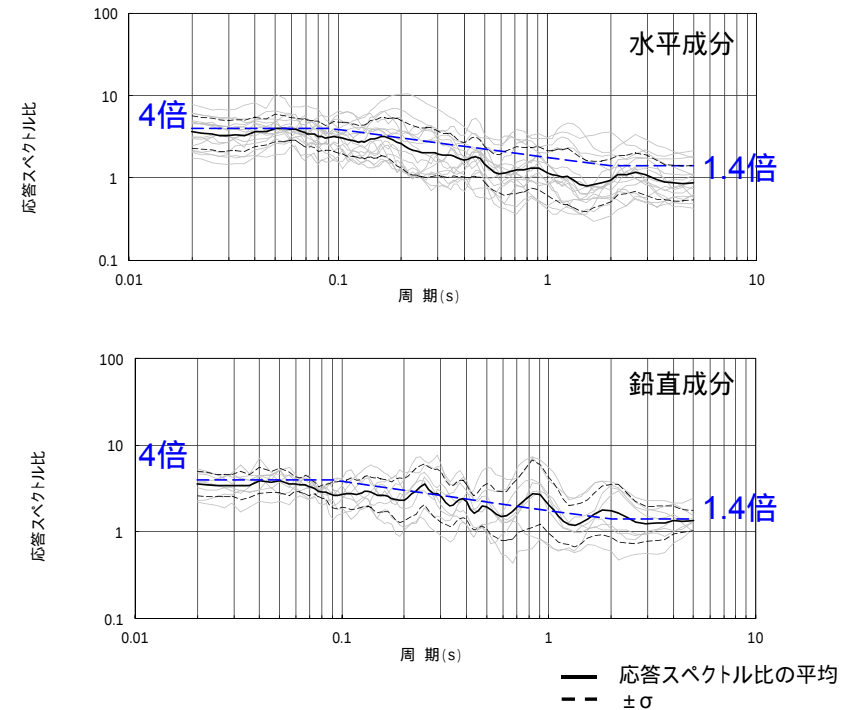
$$\text{応答スペクトル比} = \frac{\text{敷地の観測記録 (解放基盤表面)}}{\text{Noda et al. (2002) による値}}$$

プレート間地震の地震動評価に用いる補正係数(鹿島灘付近で発生した地震)

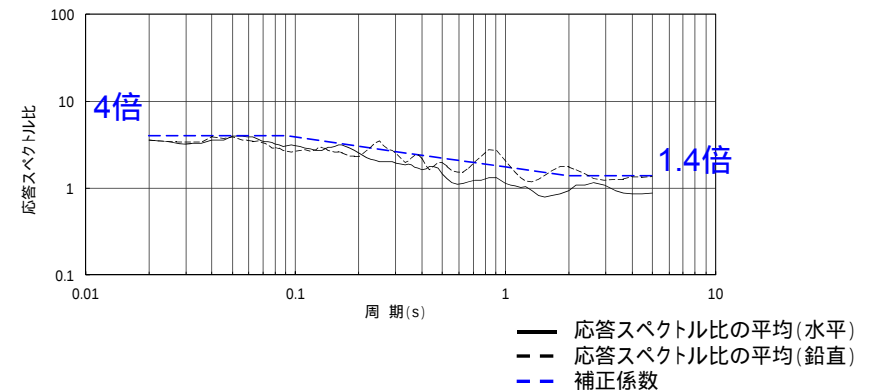


検討対象地震の震央分布図
(水平成分)

鹿島灘付近で発生した地震の応答スペクトル比には、短周期側で4倍程度となる傾向が見られるため、短周期側で4倍の補正係数を考慮する。



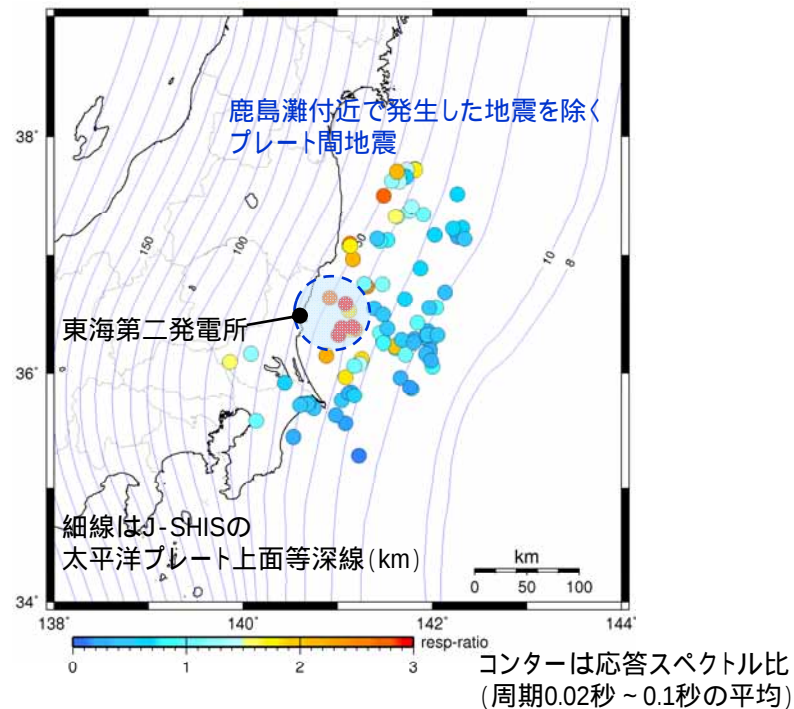
応答スペクトル比



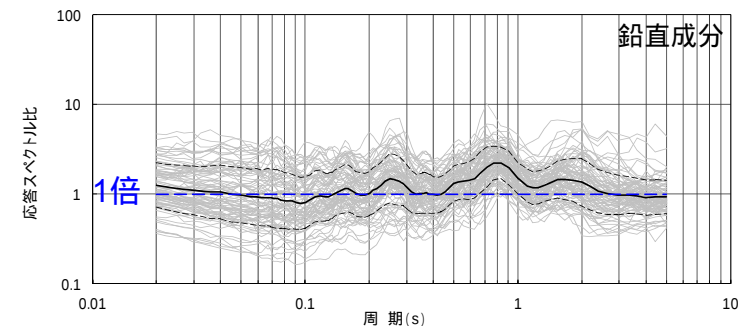
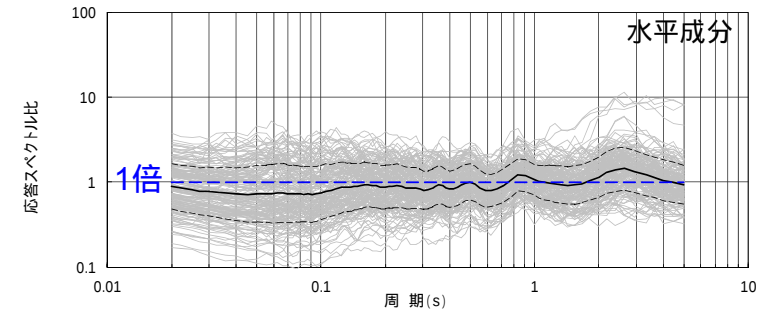
補正係数

5. プレート間地震の検討用地震の選定

プレート間地震の地震動評価に用いる補正係数(鹿島灘付近で発生した地震を除く)



検討対象地震の震央分布図
(水平成分)



— 応答スペクトル比の平均
-- ±σ

応答スペクトル比

鹿島灘付近を除く地域で発生した地震については、応答スペクトル比がほぼ1倍であるため補正は行わない。

5. プレート間地震の検討用地震の選定

検討対象地震 (1 / 5)

検討対象期間： 1996年9月～2012年12月 検討対象地震数：187地震

発震日時		震央位置		震源深さ (km)	マグニ チュード	方位角 (度)	震央距離 (km)	見かけの 入射角(度)	地震発生様式
		緯度(度)	経度(度)						
1996/09/11	11:37:14.33	35.639	141.217	51.99	6.4	148.9	107.0	64.1	海洋プレート内地震
1996/12/21	10:28:47.71	36.096	139.861	53.11	5.6	238.7	78.6	55.9	プレート間地震(鹿島灘以外)
1998/03/23	18:37:09.22	36.369	141.182	48.60	5.4	101.6	52.7	47.3	プレート間地震(鹿島灘)
1998/04/09	17:45:39.14	36.945	141.017	94.87	5.4	34.5	64.6	34.3	海洋プレート内地震
1998/06/14	22:17:06.19	35.465	140.749	46.43	5.7	173.4	111.8	67.5	海洋プレート内地震
1998/08/16	23:05:19.50	37.251	141.759	42.06	5.3	49.4	134.7	72.7	海洋プレート内地震
1998/08/29	08:46:42.35	35.633	140.029	64.60	5.3	209.5	106.0	58.7	海洋プレート内地震
1999/02/01	01:51:50.91	37.128	141.526	44.96	5.3	47.9	110.1	67.8	プレート間地震(鹿島灘以外)
2000/06/03	17:54:47.70	35.690	140.747	48.06	6.1	171.6	87.0	61.1	プレート間地震(鹿島灘以外)
2000/07/21	03:39:18.60	36.529	141.119	49.37	6.4	81.1	46.4	43.2	プレート間地震(鹿島灘)
2000/07/21	14:16:33.91	35.253	141.322	37.14	5.7	154.2	149.3	76.0	海洋プレート内地震
2000/08/19	21:41:28.33	36.274	141.480	45.66	5.5	104.9	81.2	60.7	プレート間地震(鹿島灘以外)
2000/12/05	01:47:34.57	35.835	141.143	34.86	5.5	145.3	85.0	67.7	プレート間地震(鹿島灘以外)
2001/02/25	06:53:50.83	37.190	142.255	15.83	5.9	60.9	167.6	84.6	プレート間地震(鹿島灘以外)
2001/02/26	15:08:30.87	37.155	142.269	27.00	5.5	62.2	166.9	80.8	プレート間地震(鹿島灘以外)
2001/09/04	23:54:39.41	36.757	141.473	41.92	5.3	67.1	83.9	63.5	プレート間地震(鹿島灘以外)
2001/10/02	17:19:50.24	37.729	141.814	40.76	5.5	37.1	176.5	77.0	プレート間地震(鹿島灘以外)
2002/02/12	22:44:37.93	36.590	141.083	47.79	5.7	72.0	44.8	43.1	プレート間地震(鹿島灘)
2002/06/19	18:16:26.65	36.192	141.804	58.00	5.4	105.4	111.7	62.6	海洋プレート内地震
2002/07/24	05:05:30.35	37.232	142.316	30.00	5.9	60.3	174.6	80.2	プレート間地震(鹿島灘以外)
2002/10/21	01:06:01.13	36.369	141.124	49.66	5.4	102.9	47.6	43.8	プレート間地震(鹿島灘)
2004/03/11	11:34:57.57	36.322	141.008	47.52	5.3	113.8	39.4	39.7	プレート間地震(鹿島灘)
2004/04/04	08:02:00.69	36.390	141.154	48.99	5.8	99.5	49.8	45.5	プレート間地震(鹿島灘)
2005/04/04	02:57:10.20	37.373	141.754	43.97	5.3	45.1	143.5	73.0	プレート間地震(鹿島灘以外)
2005/04/11	07:22:15.63	35.727	140.621	51.51	6.1	179.1	82.0	57.9	プレート間地震(鹿島灘以外)
2005/05/19	10:14:26.28	35.559	141.082	33.35	5.4	156.8	109.3	73.0	プレート間地震(鹿島灘以外)
2005/06/20	01:15:14.20	35.734	140.695	50.65	5.6	174.4	81.6	58.2	プレート間地震(鹿島灘以外)
2005/07/23	16:34:56.32	35.582	140.139	73.08	6.0	203.4	106.8	55.6	プレート間地震(鹿島灘以外)
2005/08/08	00:06:43.81	36.340	141.446	46.03	5.6	100.3	76.6	59.0	プレート間地震(鹿島灘以外)
2005/10/19	20:44:42.68	36.382	141.043	48.32	6.3	103.3	40.2	39.8	プレート間地震(鹿島灘)
2005/10/22	22:12:46.78	37.080	141.121	51.96	5.6	33.8	82.1	57.7	プレート間地震(鹿島灘以外)
2006/02/03	13:37:35.35	36.215	141.611	62.08	5.9	106.9	94.4	56.7	プレート間地震(鹿島灘以外)
2006/02/03	15:10:03.64	36.229	141.612	63.29	5.3	105.9	94.0	56.0	プレート間地震(鹿島灘以外)
2007/08/16	04:15:06.64	35.444	140.531	30.77	5.3	183.5	113.6	74.8	プレート間地震(鹿島灘以外)
2008/03/24	12:40:11.07	37.120	141.447	47.81	5.3	45.7	104.4	65.4	プレート間地震(鹿島灘以外)
2008/05/08	01:02:00.30	36.231	141.949	60.00	6.4	101.8	123.2	64.0	海洋プレート内地震
2008/05/08	01:03:37.48	36.295	141.916	22.00	5.8	98.8	119.0	79.5	プレート間地震(鹿島灘以外)
2008/05/08	01:16:34.09	36.275	141.979	18.00	6.3	99.4	125.0	81.8	プレート間地震(鹿島灘以外)

方位角：東海第二発電所から震央位置を望む方向を北から時計回りの角度で示している。

震央距離：東海第二発電所から震央位置までの距離を示している。

見かけの入射角：震央距離と震源深さから求めた震源方向の角度を示している。垂直が0度、水平が90度となる。

見かけの入射角 = $\tan^{-1}$ (震央距離 / 震源深さ)

5. プレート間地震の検討用地震の選定

検討対象地震 (2 / 5)

発震日時		震央位置		震源深さ (km)	マグニ チュード	方位角 (度)	震央距離 (km)	見かけの 入射角(度)	地震発生様式
		緯度(度)	経度(度)						
2008/05/08	01:45:18.77	36.228	141.608	50.57	7.0	106.1	93.6	61.6	プレート間地震(鹿島灘以外)
2008/05/08	02:31:16.32	36.288	141.811	58.16	5.4	100.0	109.9	62.1	プレート間地震(鹿島灘以外)
2008/05/09	08:21:06.47	36.193	141.976	68.58	5.8	103.4	126.6	61.6	プレート間地震(鹿島灘以外)
2008/07/19	11:39:28.69	37.521	142.265	31.55	6.9	51.1	188.4	80.5	プレート間地震(鹿島灘以外)
2008/07/21	20:30:26.66	37.137	142.341	27.38	6.1	63.8	171.8	80.9	プレート間地震(鹿島灘以外)
2010/03/13	21:46:26.75	37.614	141.472	77.70	5.5	30.9	148.9	62.4	海洋プレート内地震
2010/03/14	17:08:04.18	37.724	141.818	39.75	6.7	37.3	176.3	77.3	プレート間地震(鹿島灘以外)
2010/09/29	16:59:55.98	37.285	140.026	7.62	5.7	330.5	104.6	85.8	内陸地殻内地震
2011/03/11	14:51:20.56	37.311	142.238	33.00	6.8	56.7	173.0	79.2	内陸地殻内地震
2011/03/11	14:54:42.13	36.713	140.582	9.53	5.7	355.3	27.6	70.9	内陸地殻内地震
2011/03/11	14:58:05.58	37.689	141.934	35.20	6.6	40.6	179.9	78.9	内陸地殻内地震
2011/03/11	15:05:06.38	37.519	141.622	22.48	5.9	37.4	147.8	81.4	内陸地殻内地震
2011/03/11	15:11:19.00	36.865	140.619	6.41	5.5	1.4	44.3	81.8	内陸地殻内地震
2011/03/11	15:12:58.66	37.228	141.645	38.90	6.7	47.3	125.4	72.8	内陸地殻内地震
2011/03/11	15:15:34.25	36.121	141.253	42.70	7.6	123.2	69.5	58.4	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/11	15:17:16.69	35.964	141.082	34.29	5.9	142.4	70.2	64.0	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/11	15:44:57.62	36.640	140.915	49.57	5.3	54.9	33.7	34.2	プレート間地震(鹿島灘)
2011/03/11	15:57:13.25	35.819	141.182	27.53	6.2	144.1	88.5	72.7	内陸地殻内地震
2011/03/11	16:14:57.04	36.557	142.041	25.00	6.8	85.1	128.9	79.0	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/11	16:16:55.68	37.141	141.417	47.71	5.3	43.8	104.1	65.4	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/11	16:28:11.39	36.891	141.874	44.02	6.2	67.0	122.7	70.3	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/11	16:30:15.63	37.365	141.260	26.96	5.9	30.1	115.5	76.9	内陸地殻内地震
2011/03/11	16:42:55.54	36.079	141.233	37.46	5.4	127.2	70.8	62.1	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/11	16:44:29.04	36.301	141.901	60.00	5.6	98.6	117.6	63.0	海洋プレート内地震
2011/03/11	16:49:45.51	36.555	141.967	34.43	5.5	85.0	122.3	74.3	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/11	16:54:43.35	37.669	141.684	35.43	5.5	35.4	164.3	77.8	内陸地殻内地震
2011/03/11	16:56:09.24	37.049	142.569	11.24	6.2	69.1	186.8	86.6	内陸地殻内地震
2011/03/11	17:01:57.09	36.354	141.951	16.66	5.5	95.5	121.2	82.2	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/11	17:04:53.53	37.260	142.110	19.17	5.9	56.2	160.4	83.2	内陸地殻内地震
2011/03/11	17:10:28.59	36.057	141.709	18.45	5.4	114.3	108.9	80.4	内陸地殻内地震
2011/03/11	17:12:06.40	36.549	141.386	32.46	6.6	82.3	70.4	65.3	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/11	17:19:17.24	36.157	141.716	35.54	6.8	108.7	105.3	71.4	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/11	17:31:07.88	37.468	141.377	30.71	5.9	31.5	130.6	76.8	内陸地殻内地震
2011/03/11	17:40:54.53	37.424	141.273	29.91	6.0	29.0	121.8	76.2	内陸地殻内地震
2011/03/11	17:52:20.63	36.772	141.948	0.11	5.6	73.8	124.7	89.9	内陸地殻内地震
2011/03/11	18:04:13.52	36.551	140.956	16.53	5.3	73.2	32.7	63.2	内陸地殻内地震
2011/03/11	18:55:21.24	36.750	141.802	0.00	5.4	73.2	111.5	90.0	内陸地殻内地震
2011/03/11	19:21:07.63	37.346	141.906	21.98	5.5	49.5	151.4	81.7	プレート間地震(鹿島灘以外)

方位角: 東海第二発電所から震央位置を望む方向を北から時計回りの角度で示している。

震央距離: 東海第二発電所から震央位置までの距離を示している。

見かけの入射角: 震央距離と震源深さから求めた震源方向の角度を示している。垂直が0度、水平が90度となる。

見かけの入射角 = $\tan^{-1}$ (震央距離 / 震源深さ)

5. プレート間地震の検討用地震の選定

検討対象地震 (3 / 5)

発震日時		震央位置		震源深さ (km)	マグニ チュード	方位角 (度)	震央距離 (km)	見かけの 入射角(度)	地震発生様式
		緯度(度)	経度(度)						
2011/03/11	20:00:53.09	37.723	141.730	46.06	5.5	35.3	171.5	75.0	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/11	20:13:10.79	36.321	141.947	37.00	5.6	97.2	121.3	73.0	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/11	20:16:49.73	36.628	141.709	42.54	5.5	79.4	100.3	67.0	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/11	20:20:59.95	35.795	141.200	38.55	5.6	144.2	91.6	67.2	内陸地殻内地震
2011/03/11	20:44:23.03	36.697	142.451	13.00	5.7	80.6	167.0	85.5	内陸地殻内地震
2011/03/11	20:46:43.31	36.062	141.175	41.18	5.4	131.1	68.0	58.8	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/11	20:56:13.12	36.281	141.675	40.34	5.3	101.8	98.0	67.6	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/11	21:13:03.09	37.225	142.218	26.00	6.2	59.1	166.6	81.1	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/11	21:49:00.16	36.243	141.762	35.45	5.3	103.1	106.6	71.6	海洋プレート内地震
2011/03/11	21:56:03.61	37.794	142.048	28.99	5.3	40.6	195.2	81.6	内陸地殻内地震
2011/03/11	21:59:18.90	36.148	141.914	35.00	5.3	106.3	122.6	74.1	海洋プレート内地震
2011/03/11	22:16:48.63	36.427	141.843	28.00	5.7	91.9	111.0	75.8	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/11	22:34:32.93	36.285	141.930	23.00	5.6	99.2	120.4	79.2	内陸地殻内地震
2011/03/11	22:56:05.68	37.666	141.722	46.36	5.3	36.4	166.1	74.4	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/11	23:00:37.29	36.148	140.879	43.42	5.4	145.2	42.9	44.7	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/11	23:53:58.22	36.006	142.138	13.00	5.4	109.9	146.8	84.9	内陸地殻内地震
2011/03/11	23:56:13.86	35.972	141.570	31.21	5.8	122.1	102.5	73.1	内陸地殻内地震
2011/03/12	00:07:41.53	36.378	141.525	40.58	5.4	96.5	83.0	63.9	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/12	00:13:12.44	36.054	142.002	22.82	6.7	109.6	133.4	80.3	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/12	00:19:34.73	36.322	142.055	18.00	5.7	96.6	130.9	82.2	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/12	00:32:31.66	37.307	142.173	13.56	5.3	55.8	168.0	85.4	内陸地殻内地震
2011/03/12	00:42:02.82	36.130	141.902	16.37	5.5	107.4	122.2	82.4	海洋プレート内地震
2011/03/12	03:11:25.63	37.171	142.026	25.55	6.0	57.9	148.8	80.3	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/12	03:17:03.04	36.258	141.804	16.00	5.7	101.8	109.9	81.7	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/12	03:59:15.62	36.986	138.598	8.38	6.7	288.4	188.5	87.5	内陸地殻内地震
2011/03/12	04:24:28.13	35.759	141.041	35.13	5.7	153.4	87.6	68.2	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/12	04:31:55.60	36.949	138.573	0.78	5.9	287.0	189.5	89.8	内陸地殻内地震
2011/03/12	05:23:43.19	35.958	141.663	9.66	5.4	120.4	110.4	85.0	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/12	08:59:21.37	36.498	141.480	28.43	5.5	87.1	78.3	70.1	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/12	09:45:07.42	36.162	141.932	20.00	5.6	105.4	123.7	80.8	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/15	22:27:53.62	37.599	142.299	10.03	6.2	49.6	196.2	87.1	内陸地殻内地震
2011/03/15	22:37:54.91	37.624	142.001	29.51	5.3	43.6	178.6	80.6	内陸地殻内地震
2011/03/16	05:30:00.29	35.285	141.224	24.16	5.8	156.8	142.4	80.4	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/16	12:52:02.77	35.837	140.907	9.97	6.1	158.8	74.8	82.4	内陸地殻内地震
2011/03/16	13:14:29.65	37.535	141.581	25.33	5.6	35.9	146.9	80.2	内陸地殻内地震
2011/03/16	22:39:02.59	35.917	140.440	53.41	5.4	193.9	62.8	49.6	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/17	17:25:22.76	36.681	141.851	17.21	5.4	77.5	113.9	81.4	内陸地殻内地震
2011/03/17	21:32:02.49	35.630	140.979	27.87	5.7	160.0	98.6	74.2	プレート間地震(鹿島灘以外)

方位角: 東海第二発電所から震央位置を望む方向を北から時計回りの
角度で示している。

震央距離: 東海第二発電所から震央位置までの距離を示している。

見かけの入射角: 震央距離と震源深さから求めた震源方向の角度を示
している。垂直が0度、水平が90度となる。

見かけの入射角 = $\tan^{-1}$ (震央距離 / 震源深さ)

5. プレート間地震の検討用地震の選定

検討対象地震 (4 / 5)

発震日時		震央位置		震源深さ (km)	マグニ チュード	方位角 (度)	震央距離 (km)	見かけの 入射角(度)	地震発生様式
		緯度(度)	経度(度)						
2011/03/17	21:54:53.66	36.738	141.309	47.01	5.7	64.2	69.7	56.0	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/18	03:55:31.97	37.142	142.523	9.00	5.7	65.7	186.8	87.2	内陸地殻内地震
2011/03/18	09:41:16.26	35.986	141.831	28.00	5.4	115.5	122.3	77.1	内陸地殻内地震
2011/03/18	17:01:34.43	35.822	141.112	34.58	5.4	147.4	84.7	67.8	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/19	08:49:31.45	36.737	140.605	4.95	5.3	359.6	30.1	80.7	内陸地殻内地震
2011/03/19	18:56:48.06	36.784	140.572	5.37	6.1	354.9	35.4	81.4	内陸地殻内地震
2011/03/20	10:30:45.53	36.939	141.177	29.31	5.5	44.0	73.2	68.2	内陸地殻内地震
2011/03/20	14:55:28.36	37.663	141.650	42.17	5.4	34.6	162.0	75.4	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/22	12:38:34.78	35.264	141.237	36.97	5.9	156.7	145.0	75.7	海洋プレート内地震
2011/03/22	18:19:05.28	37.316	141.910	43.00	6.4	50.5	149.7	74.0	海洋プレート内地震
2011/03/22	21:04:05.04	36.231	141.627	48.42	5.9	105.6	95.2	63.0	海洋プレート内地震
2011/03/22	22:50:49.81	35.861	141.781	21.61	6.0	122.1	125.2	80.2	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/23	00:03:46.28	35.875	141.764	22.68	5.8	121.9	123.0	79.6	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/03/23	01:12:07.28	35.811	141.837	34.74	5.4	122.9	132.4	75.3	海洋プレート内地震
2011/03/23	07:12:28.78	37.085	140.788	7.60	6.0	13.2	70.6	83.9	内陸地殻内地震
2011/03/23	07:13:52.77	37.035	140.769	0.93	5.8	12.9	64.8	89.2	内陸地殻内地震
2011/03/23	07:34:56.09	37.098	140.796	6.69	5.5	13.5	72.2	84.7	内陸地殻内地震
2011/03/23	07:36:31.31	37.063	140.771	7.30	5.8	12.4	67.9	83.9	内陸地殻内地震
2011/03/28	14:44:54.78	36.362	141.865	72.90	5.3	95.4	113.4	57.3	海洋プレート内地震
2011/03/29	19:54:30.44	37.409	142.470	13.37	6.6	57.2	196.2	86.1	内陸地殻内地震
2011/03/30	21:51:37.17	35.444	141.228	30.12	5.3	153.5	126.4	76.6	内陸地殻内地震
2011/04/03	16:38:45.14	37.626	141.650	46.80	5.4	35.5	158.7	73.6	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/04/06	22:54:51.13	37.634	141.572	45.90	5.3	33.2	155.5	73.6	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/04/11	17:16:12.02	36.946	140.673	6.42	7.0	6.3	53.6	83.2	内陸地殻内地震
2011/04/11	17:17:47.50	36.891	140.715	9.18	5.7	11.6	48.2	79.2	内陸地殻内地震
2011/04/11	17:26:29.04	37.063	140.623	5.25	5.4	1.3	66.2	85.5	内陸地殻内地震
2011/04/11	20:42:35.16	36.966	140.635	10.58	5.9	2.6	55.5	79.2	内陸地殻内地震
2011/04/12	07:26:16.87	36.819	138.606	0.00	5.6	282.9	183.2	90.0	内陸地殻内地震
2011/04/12	08:08:15.89	35.482	140.868	26.27	6.4	167.7	111.7	76.8	海洋プレート内地震
2011/04/12	14:07:42.28	37.053	140.644	15.08	6.4	2.9	65.2	77.0	内陸地殻内地震
2011/04/13	08:36:20.20	35.487	140.879	26.90	5.3	167.2	111.4	76.4	内陸地殻内地震
2011/04/13	10:07:58.05	36.915	140.707	4.52	5.7	10.1	50.7	84.9	内陸地殻内地震
2011/04/14	12:08:58.35	36.984	140.773	10.75	5.4	14.4	59.4	79.7	内陸地殻内地震
2011/04/28	18:27:46.79	37.413	141.782	43.53	5.7	44.5	148.4	73.6	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/04/30	14:06:31.10	36.760	141.281	36.94	5.3	61.4	68.6	61.7	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/05/10	19:14:38.85	36.226	141.863	58.00	5.4	102.9	115.8	63.4	海洋プレート内地震
2011/05/14	08:35:50.99	37.328	141.628	40.92	5.9	43.3	132.1	72.8	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/05/15	21:14:20.77	37.287	142.556	68.00	5.3	61.7	196.2	70.9	海洋プレート内地震

方位角: 東海第二発電所から震央位置を望む方向を北から時計回りの角度で示している。

震央距離: 東海第二発電所から震央位置までの距離を示している。

見かけの入射角: 震央距離と震源深さから求めた震源方向の角度を示している。垂直が0度、水平が90度となる。

見かけの入射角 = $\tan^{-1}$ (震央距離 / 震源深さ)

5. プレート間地震の検討用地震の選定

検討対象地震 (5 / 5)

発震日時		震央位置		震源深さ (km)	マグニ チュード	方位角 (度)	震央距離 (km)	見かけの 入射角(度)	地震発生様式
		緯度(度)	経度(度)						
2011/05/20	09:46:15.48	35.802	141.176	35.86	5.8	145.0	89.8	68.2	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/05/22	07:06:27.44	35.730	140.644	48.33	5.5	177.6	81.8	59.4	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/06/04	01:00:14.16	36.990	141.211	29.61	5.5	42.7	79.4	69.5	内陸地殻内地震
2011/06/09	19:38:32.94	36.497	140.971	12.59	5.7	83.8	32.8	69.0	内陸地殻内地震
2011/06/18	20:31:04.61	37.618	141.821	27.65	6.0	39.8	167.4	80.6	内陸地殻内地震
2011/06/21	17:49:39.90	35.760	141.474	21.10	5.5	134.8	110.6	79.2	内陸地殻内地震
2011/07/07	00:15:00.04	36.375	141.788	76.38	5.9	95.1	106.4	54.3	海洋プレート内地震
2011/07/08	03:35:41.84	37.097	141.130	55.48	5.6	33.5	84.2	56.6	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/07/15	21:01:10.80	36.164	140.083	66.36	5.4	234.6	57.7	41.0	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/07/19	10:38:48.40	37.326	141.758	30.80	5.4	46.7	140.1	77.6	内陸地殻内地震
2011/07/25	03:51:25.30	37.709	141.627	45.81	6.3	33.0	165.1	74.5	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/07/25	20:54:48.95	35.245	141.232	36.96	5.7	157.2	146.8	75.9	海洋プレート内地震
2011/07/29	23:53:17.45	36.688	142.134	29.00	5.6	79.3	138.9	78.2	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/07/31	03:53:50.64	36.903	141.221	57.31	6.5	48.4	73.3	52.0	海洋プレート内地震
2011/08/12	03:22:04.71	36.969	141.161	52.26	6.1	41.4	74.6	55.0	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/08/19	14:36:31.61	37.649	141.797	51.15	6.5	38.5	168.7	73.1	海洋プレート内地震
2011/08/22	20:23:35.34	36.107	141.984	34.00	6.1	107.4	130.0	75.3	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/09/15	17:00:08.62	36.255	141.483	50.88	6.3	106.3	82.1	58.2	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/09/29	19:05:05.66	37.133	140.870	8.84	5.4	17.5	77.6	83.5	内陸地殻内地震
2011/10/03	01:49:00.69	37.338	141.636	17.58	5.3	43.2	133.3	82.5	内陸地殻内地震
2011/10/10	11:45:57.02	37.508	141.486	46.99	5.6	33.8	139.6	71.4	プレート間地震(鹿島灘以外)
2011/11/20	10:23:40.78	36.711	140.588	8.99	5.3	356.5	27.2	71.7	内陸地殻内地震
2011/11/24	04:24:30.45	37.330	141.613	45.41	6.1	42.8	131.3	70.9	プレート間地震(鹿島灘以外)
2012/01/12	12:20:49.03	36.968	141.304	33.35	5.9	48.0	83.6	68.2	内陸地殻内地震
2012/01/28	07:43:14.09	35.489	138.977	18.16	5.4	234.1	182.6	84.3	内陸地殻内地震
2012/04/01	23:04:24.95	37.077	141.133	53.04	5.9	34.6	82.5	57.3	プレート間地震(鹿島灘以外)
2012/04/12	20:19:57.23	36.829	141.343	28.81	5.6	58.3	77.2	69.5	内陸地殻内地震
2012/04/12	23:50:50.42	37.452	141.734	26.80	5.9	42.2	148.5	79.8	内陸地殻内地震
2012/04/13	19:10:00.37	36.947	141.422	31.54	6.0	53.5	90.4	70.8	内陸地殻内地震
2012/04/25	05:22:09.42	35.723	140.679	43.12	5.5	175.5	82.7	62.5	プレート間地震(鹿島灘以外)
2012/04/29	19:28:51.59	35.716	140.601	48.26	5.8	180.4	83.2	59.9	プレート間地震(鹿島灘以外)
2012/06/06	04:31:33.33	34.993	141.371	37.02	6.3	156.9	177.5	78.2	海洋プレート内地震
2012/11/09	12:51:53.47	36.878	141.380	32.50	5.5	56.3	82.8	68.6	内陸地殻内地震
2012/11/16	17:25:53.87	35.357	141.230	30.24	5.5	155.3	135.3	77.4	内陸地殻内地震
2012/12/15	13:27:01.67	37.297	141.349	59.02	5.3	35.4	113.6	62.5	海洋プレート内地震

方位角: 東海第二発電所から震央位置を望む方向を北から時計回りの角度で示している。

震央距離: 東海第二発電所から震央位置までの距離を示している。

見かけの入射角: 震央距離と震源深さから求めた震源方向の角度を示している。垂直が0度、水平が90度となる。

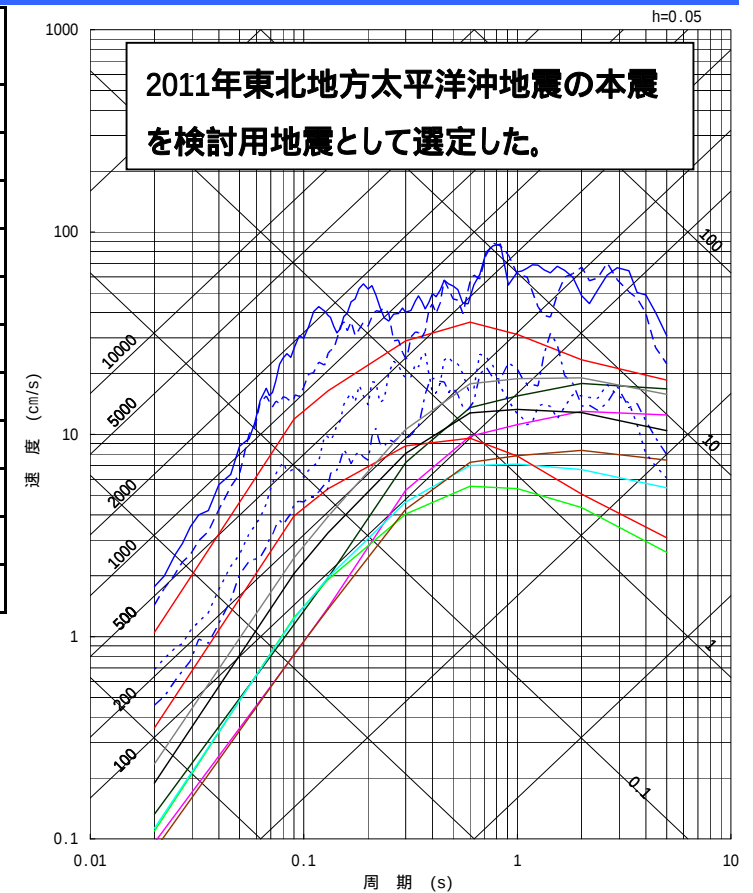
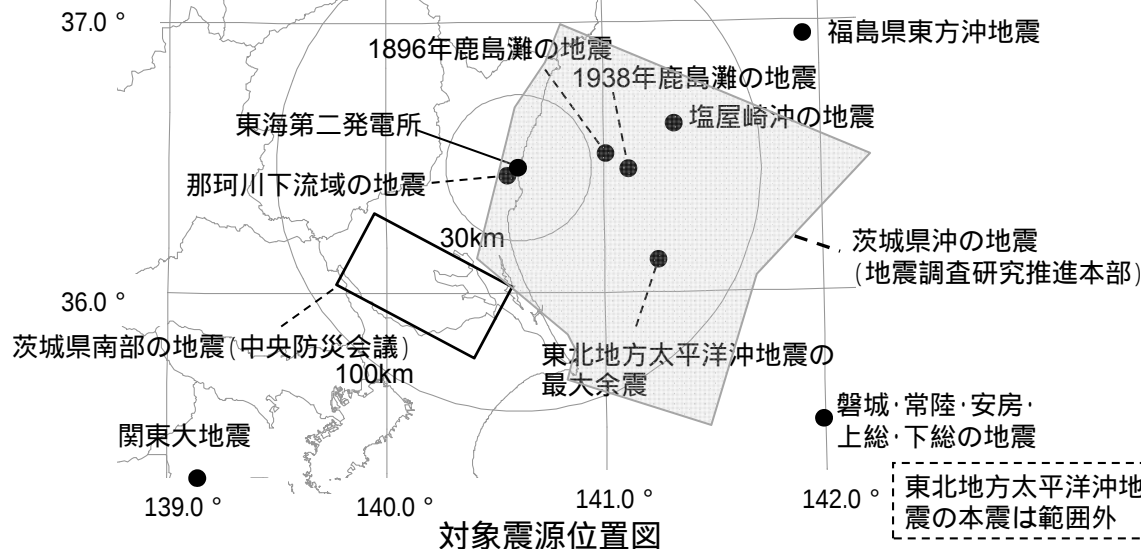
見かけの入射角 = $\tan^{-1}$ (震央距離 / 震源深さ)

5. プレート間地震の検討用地震の選定

検討用地震の選定

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	73	
-	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=73km
- 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)

1. 評価フロー	3
2. 世界の巨大プレート間地震	4
3. 2011年東北地方太平洋沖地震に関する諸検討	9
4. 敷地周辺の地震発生状況	26
5. プレート間地震の検討用地震の選定	40
6. プレート間地震の地震動評価	54
7. 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	78
8. 参考文献	84

参考資料	85
------	----

- | | |
|---|--|
| 1. 2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録のはざとり解析について | |
| 2. 2011年東北地方太平洋沖地震の断層モデルを用いた手法による
地震動評価と解放基盤波の比較について | |

6. プレート間地震の地震動評価 (2011年東北地方太平洋沖地震)

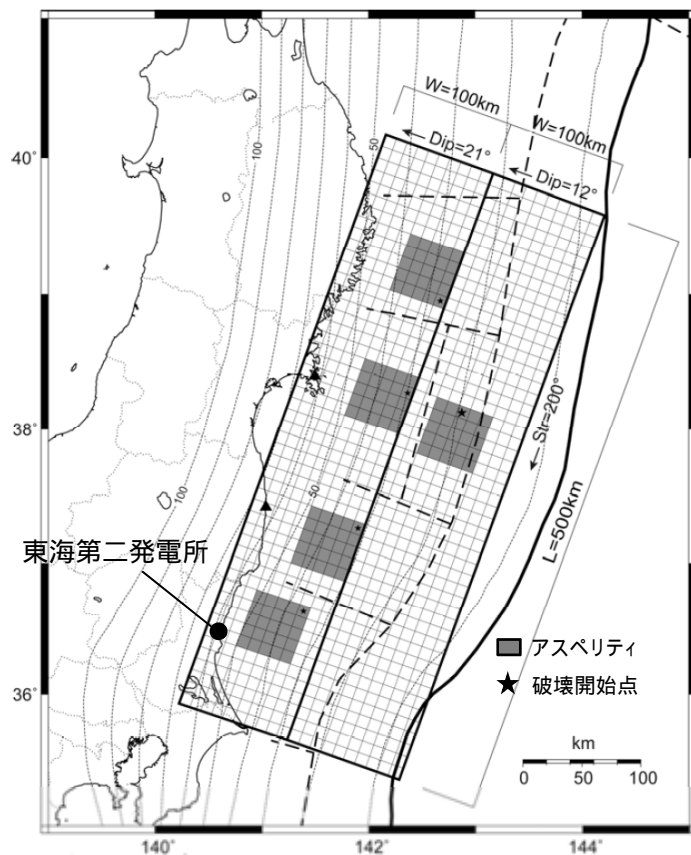
震源モデルの設定

応答スペクトルに基づく手法による地震動評価

断層モデルを用いた手法による地震動評価

諸井ほか(2013)について

■ 諸井ほか(2013)における東海第二発電所地震観測記録の再現性



背景の太線は日本海溝, 破線は海溝型地震の発生領域

諸井ほか(2013)による震源モデル
(一部加筆)

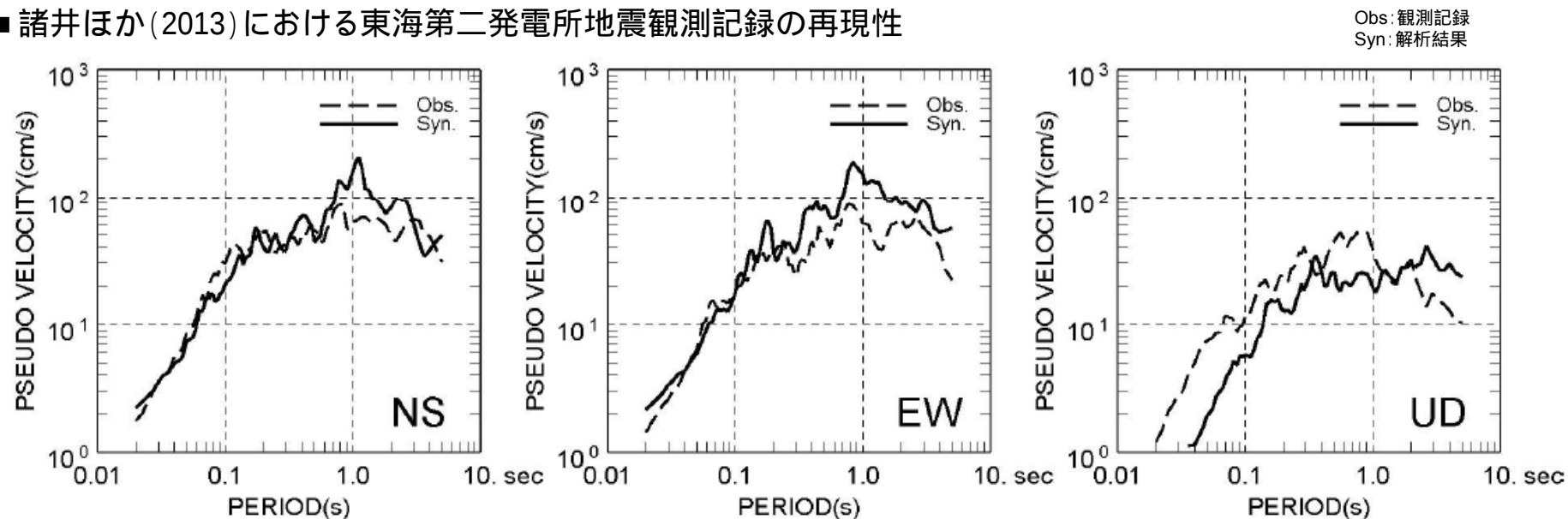
- 諸井ほか(2013)では, 2011年東北地方太平洋沖地震と同規模の $M_w 9.0$ となる震源を想定している。地震発生前の先験的な情報に基づき, 標準的な強震動予測レシビを用いて震源をモデル化している。
- 上記で設定したパラメータを用い, 統計的グリーン関数法により東海第二発電所を含めた原子力発電所の強震動記録の再現を実施している。

諸井ほか(2013)による断層パラメータ

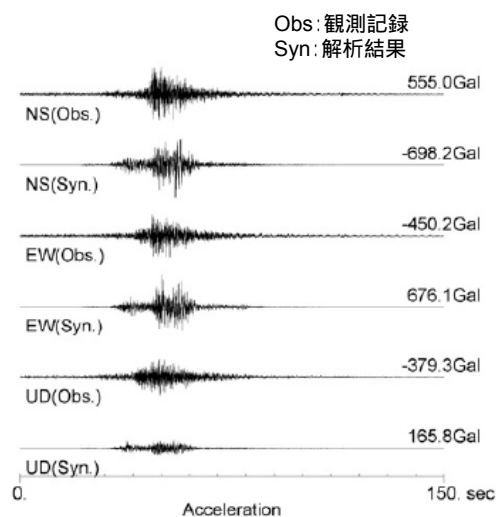
	面積 $S(\text{km}^2)$	地震モーメント $M_0(\text{Nm})$	平均すべり量 $D(\text{m})$	応力降下量 $\Delta\sigma(\text{MPa})$	短周期レベル $A(\text{Nm/s}^2)$
断層全体	100,000	$4.0\text{E}+22$	8.5	3.08	$2.97\text{E}+20$
SMGA1個あたり	2,500	$2.0\text{E}+21$	17.1	24.6	$1.33\text{E}+20$
背景領域	87,500	$3.0\text{E}+22$	7.3	4.9	—

諸井ほか(2013)について

■ 諸井ほか(2013)における東海第二発電所地震観測記録の再現性



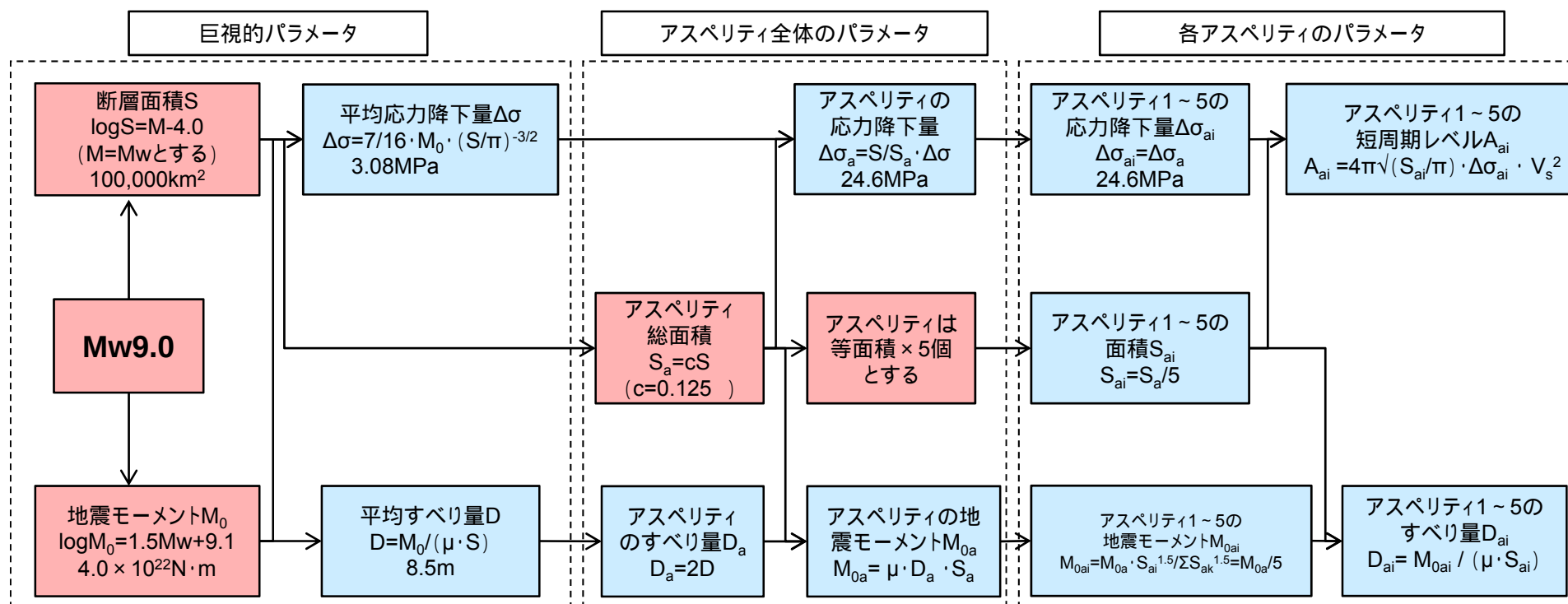
諸井ほか(2013)より抜粋



諸井ほか(2013)による東海第二発電所における解析結果は、はざとり波と整合していることから、海洋プレート間巨大地震に対する強震動予測レシビの有用性を示す結果となっている。

基本震源モデルの設定

- 2章で述べたように巨大地震の特徴は、津波の原因となるすべりの大きな領域と、強震動を放出する領域は異なることであり、3章で述べたように2011年東北地方太平洋沖地震でも同様の傾向であることは複数の知見で示されている。そこで、地震動評価における2011年東北地方太平洋沖地震の基本震源モデルは、強震動を評価する観点から検討された知見に基づき設定する。
- 諸井ほか(2013)は、2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)での東海第二発電所観測記録(はぎとり波)を再現し、プレート間巨大地震に対しても強震動予測レシピが有用であることを示している。従って、基本震源モデルを諸井ほか(2013)に基づき設定する。断層パラメータの設定フローを下記に示す。



当該地域で発生した中小地震の短周期レベルの特性に基づきアスぺリティ面積比を設定

与条件とした項目

強震動予測レシピを用いて設定

基本震源モデルの設定

- 断層形状, アスぺリティ位置等については下記の通り設定する。

【断層形状】

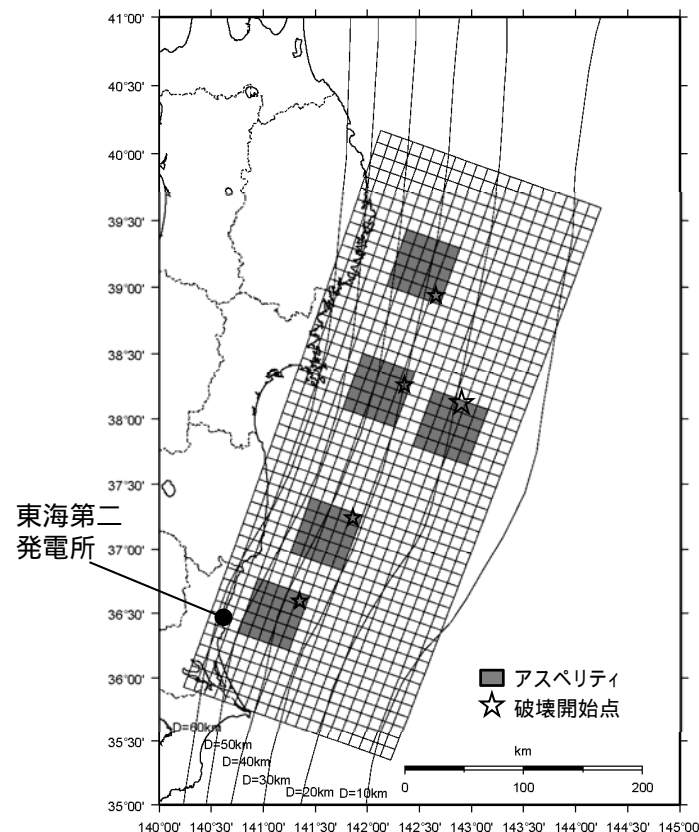
- ・断層面積 S は, 想定する地震規模 $M_w 9.0$ より, 佐藤(1989)による $\log S = M - 4.0$ を用いて $100,000 \text{ km}^2$ と算出。($M_w = M$ とする)
- ・長さ, 幅は, 東北地方太平洋沖地震の震源域を参考にそれぞれ 500 km , 200 km とする。
- ・走向は, 2011年東北地方太平洋沖地震に関する防災科学技術研究所F-netのCMT解を用いる。深さは, 太平洋プレートの上面に沿ってモデル化する。

【アスぺリティの位置】

当該地域に過去に発生した $M 7 \sim 8$ の地震の震源域への対応を考慮して設定する。具体的には東北地方の海溝型地震の発生領域の区分けに基づき5個のアスぺリティを設定し, 過去の地震の震源域相当の場所に配置する。

【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

基本震源モデルの設定

■ 主要なパラメータの設定

主要な6個の断層パラメータ(断層面積 $S(\text{km}^2)$, 地震モーメント $M_0(\text{N}\cdot\text{m})$, 応力降下量 $\Delta\sigma(\text{MPa})$, アスぺリティ面積 $S_a(\text{km}^2)$, 短周期レベル $A(\text{N}\cdot\text{m}/\text{s}^2)$, アスぺリティの応力降下量 $\Delta\sigma_a(\text{MPa})$)のうち, 下記3つのパラメータの値を与条件とし, 残りのパラメータを関係式を用いて算定する。

【断層面積 S 】

想定する地震規模 $M_w 9.0$ より, 佐藤(1989)による $\log S = M - 4.0$ を用いて $100,000\text{km}^2$ と算出する。
($M_w = M$ とする。)

【地震モーメント M_0 】

Hanks and Kanamori(1979)による $\log M_0 = 1.5M_w + 9.1$ より $M_0 = 4.00 \times 10^{22}(\text{N}\cdot\text{m})$ と算出する。

【アスぺリティ面積比】

宮城県沖, 福島県沖, 茨城県沖の過去の中小地震における短周期レベルの励起特性を有するように, M_9 プレート間地震の震源モデルの断層面積とアスぺリティの面積の比(S_a/S)の検討を行い, 中小地震のほぼ中間的な傾向にある $S_a/S = 0.125$ とした。

■ パラメータ間の関係式

・アスぺリティの応力降下量 $\Delta\sigma_a$ (Madariaga, 1979)

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

ここで, $\Delta\sigma$: 応力降下量, S : 断層面積, S_a : アスぺリティ面積

・応力降下量 $\Delta\sigma$ (Eshelby, 1957)

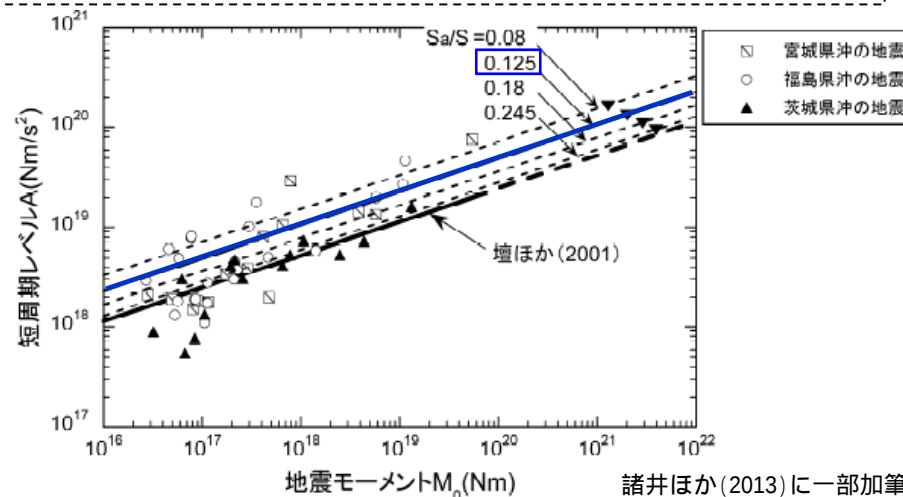
$$\Delta\sigma = (7 / 16) \times M_0 / R^3$$

ここで, M_0 : 地震モーメント, R : 断層の等価半径

・短周期レベル A (Brune, 1970)

$$A = 4\pi r \Delta\sigma_a \beta^2$$

ここで, r : アスぺリティの総面積の等価半径(km), β : せん断波速度(km/s)



諸井ほか(2013)による震源モデルの A と M_0 の関係(SMGA単体)

基本震源モデルの設定

■ 断層パラメータ設定根拠の整理

項目	設定根拠	備考
断層面積	地震規模 $M_w 9.0$ を基本条件とし、佐藤(1989)の式より、 $S=100,000\text{km}^2$ と設定する($M_w=M$)。東北地方太平洋沖地震の震源域の長さ約 $500\text{km} \times$ 幅約 $200\text{km}=100,000\text{km}^2$ と整合。また、内閣府(2012)での2011年東北地方太平洋沖地震の断層モデルの整理では、 $72,000 \sim 107,100\text{km}^2$ となっており整合している。	
断層長さ	断層面積 / 断層幅=断層長さ 500km であり、三陸沖中部から茨城県沖の領域に対応する。	
断層幅	海溝軸から陸までのプレート境界地震の発生域の幅に対応する 200km に設定する。	
断層傾斜角	太平洋プレートの形状を考慮して設定している壇ほか(2005)による。	壇ほか(2005)は地震調査研究推進本部(2005)に基づき設定されている。
断層の走向, すべり角, 破壊開始点	断層の走向とすべり角は防災科学技術研究所のF-netによる。破壊開始点は、気象庁による2011年東北地方太平洋沖地震の震源情報を参照し設定した。	
平均応力降下量	断層面積及び地震モーメントより、 $\Delta \sigma = 3.08\text{MPa}$ と設定。中央防災会議(2012)南海トラフの巨大地震モデル検討会におけるプレート間巨大地震(2004年スマトラ地震, 2010年チリ地震, 東北地方太平洋沖地震等の8地震)の平均応力降下量の平均 + 標準偏差は 3.1MPa とされており、整合している。	
剛性率	地震調査研究推進本部(2002), (2005)による。1978年宮城県沖地震の観測記録を踏まえて断層パラメータが設定されている。	地震調査研究推進本部(2002)は地震調査研究推進本部(2005)に改訂されている。
S波速度		
破壊伝播速度		

不確かさを考慮するパラメータの選定

■ 不確かさの考慮

検討用地震として選定した2011年東北地方太平洋沖地震に関する各パラメータについて、地震動への影響の程度を検討し、敷地に大きな影響を与えと考えられるパラメータに対して不確かさを考慮した。

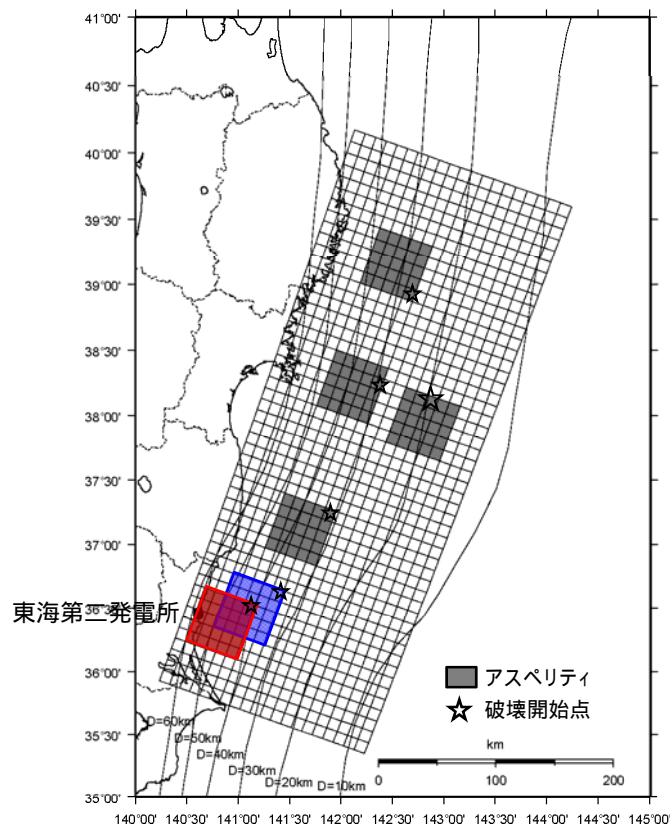
評価ケース	断層長さ (km)	断層幅 (km)	断層傾斜角 (度)	アスペリティ位置	短周期レベル	破壊開始点
基本震源モデル	500	200	12, 21	当該地域で過去に発生したM7～8の地震の震源域への対応を考慮し設定	強震動予測レシピの平均	2011年東北地方太平洋沖地震の気象庁震源位置
アスペリティ位置の不確かさ	500	200	12, 21	基本震源モデルのアスペリティ位置に対し、茨城県沖のアスペリティを敷地に最も近い位置に移動	強震動予測レシピの平均	2011年東北地方太平洋沖地震の気象庁震源位置
短周期レベルの不確かさ	500	200	12, 21	当該地域で過去に発生したM7～8の地震の震源域への対応を考慮し設定	基本震源モデルの1.5倍	2011年東北地方太平洋沖地震の気象庁震源位置

 不確かさを考慮して設定するパラメータ

不確かさを考慮するパラメータの選定

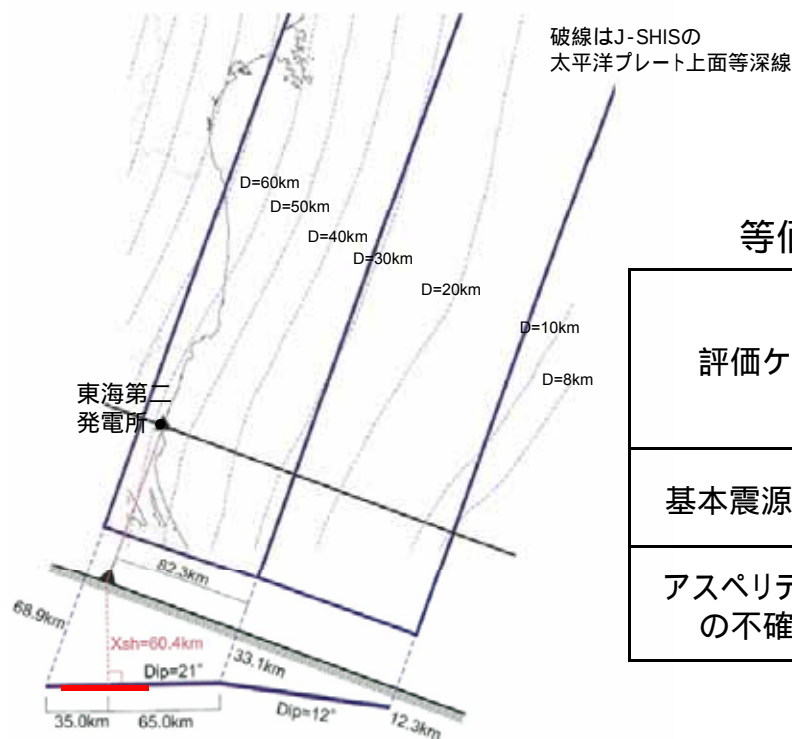
■ アスペリティ位置の不確かさについて

茨城県沖のアスペリティを敷地に最も近い位置に移動させたケースを考慮する。



基本震源モデルとの比較

- 茨城県沖のアスペリティ(基本震源モデル)
- 茨城県沖のアスペリティ(アスペリティ位置の不確かさを考慮)



等価震源距離の比較

評価ケース	茨城県沖のアスペリティの等価震源距離(km)
基本震源モデル	68.4
アスペリティ位置の不確かさ	63.5

- 茨城県沖のアスペリティの位置を,断層面上で敷地からの距離が最短となる点がアスペリティの中心となるように配置する。
- 茨城県沖のアスペリティの等価震源距離は,基本震源モデルと比較し5km程度近くなる。

不確かさを考慮するパラメータの選定

■ 短周期レベルの不確かさについて

不確かさとして考慮する短周期レベルは、宮城県沖で発生する地震の短周期レベルを概ねカバーするレベルとして基本ケースの1.5倍を考慮する。このレベルは、佐藤(2012)における太平洋プレート間地震の短周期レベルと地震モーメント平均 + 標準偏差とほぼ同レベルである。

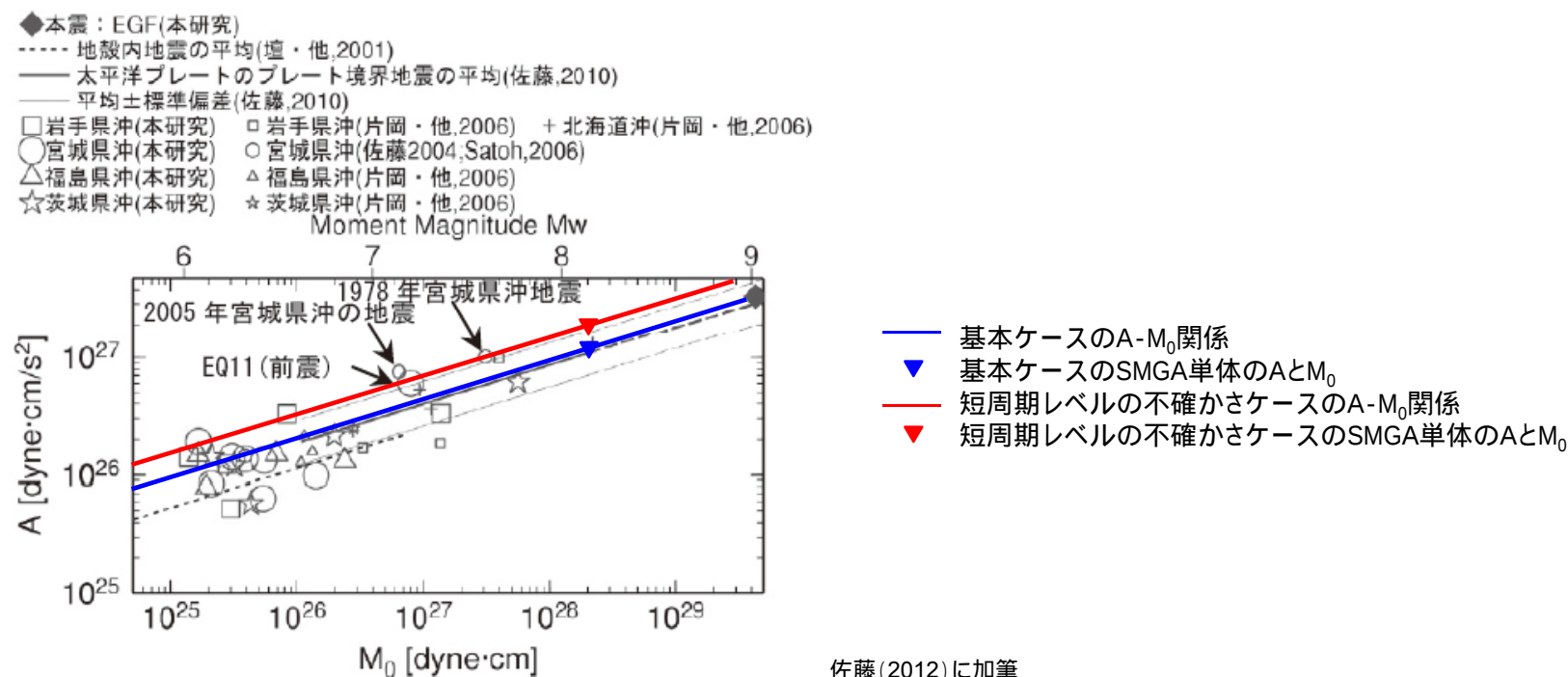


図11 本研究と既往の研究^{9),42),43),44)}の太平洋プレートのプレート境界地震の M_0 - A 関係と地殻内地震の M_0 - A 関係⁸⁾の比較

佐藤(2012)に加筆

佐藤(2012)における太平洋プレートのプレート間地震の A と M_0 の関係

佐藤智美(2012): 経験的グリーン関数法に基づく2011年東北地方太平洋沖地震の震源モデル - プレート境界地震の短周期レベルに着目して - 日本建築学会構造系論文集 第77巻 第675号, 695-704

断層パラメータ

■ 断層モデルのパラメータ(基本震源モデル及びアスペリティ位置の不確かさを考慮したモデル)

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

項目		設定値	設定方法
ア ス ペ リ テ ィ 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 ア ス ペ リ テ ィ	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} : アスぺリティ幅
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)

断層パラメータ

■ 断層モデルのパラメータ(短周期レベルの不確かさを考慮したモデル)

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

項目		設定値	設定方法
ア ス ペ リ テ ィ 全 体	面積	S_a (km ²)	12500
	地震モーメント	M_{0a} (N・m)	1.00E+22
	すべり量	D_a (cm)	1708.6
	応力降下量	$\Delta \sigma_a$ (MPa)	37.0
	短周期レベル	A_a (N・m/s ²)	4.46E+20
各 ア ス ペ リ テ ィ	面積	S_{a1} (km ²)	2500
	地震モーメント	M_{0a1} (N・m)	2.00E+21
	すべり量	D_{a1} (cm)	1708.6
	応力降下量	$\Delta \sigma_{a1}$ (MPa)	37.0
	短周期レベル	A_{a1} (N・m/s ²)	1.99E+20
背 景 領 域	ライズタイム	τ_{a1} (s)	8.33
	面積	S_b (km ²)	87500
	地震モーメント	M_{0b} (N・m)	3.00E+22
	すべり量	D_b (cm)	732.2
	応力降下量	$\Delta \sigma_b$ (MPa)	7.4
	ライズタイム	τ_b (s)	33.33
	Q値	Q	110f ^{0.69}
			佐藤ほか(1994)

地震動評価手法

■ 応答スペクトルに基づく手法による地震動評価

地震規模がMw9.0となる2011年東北地方太平洋沖地震については、距離減衰式による評価によらず、敷地における同地震の解放基盤波 によるものとする。

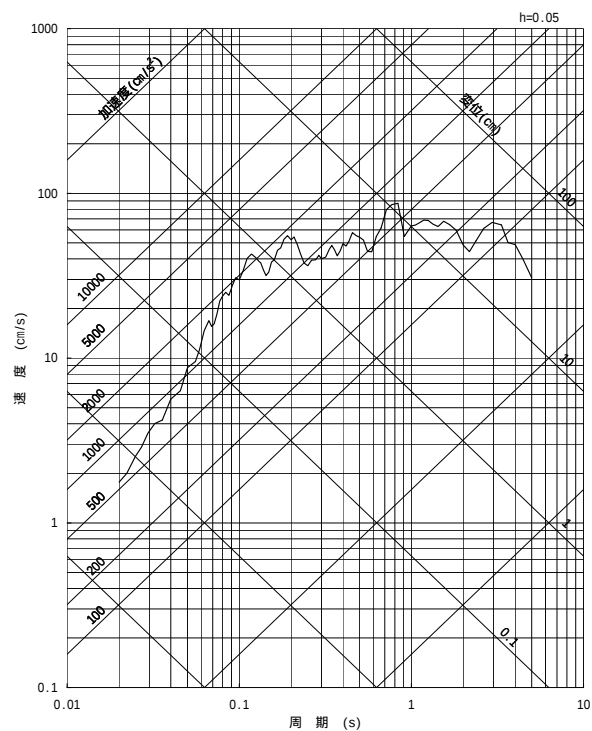
詳細は、「参考資料 1. 2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録のはぎとり解析について」にて説明

■ 断層モデルを用いた手法による地震動評価

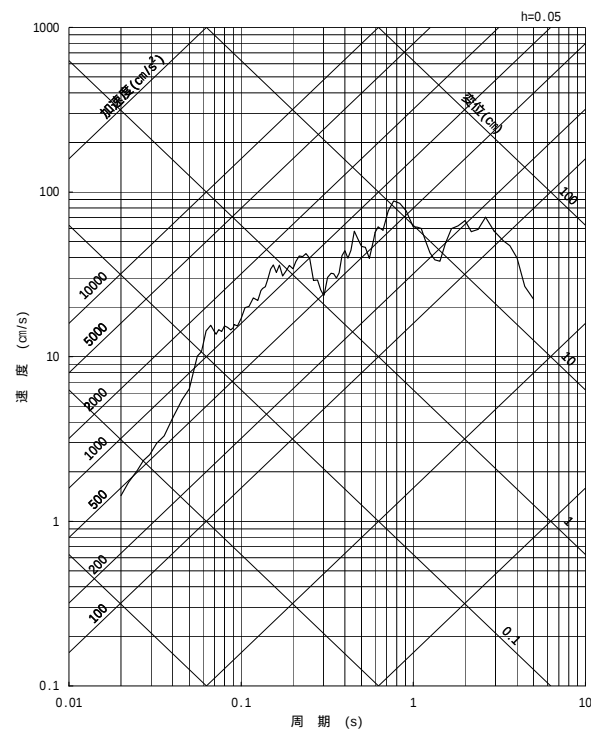
震源近傍で発生した地震の適切な観測記録が敷地で得られているため、経験的グリーン関数法により評価する。

評価結果(応答スペクトル)

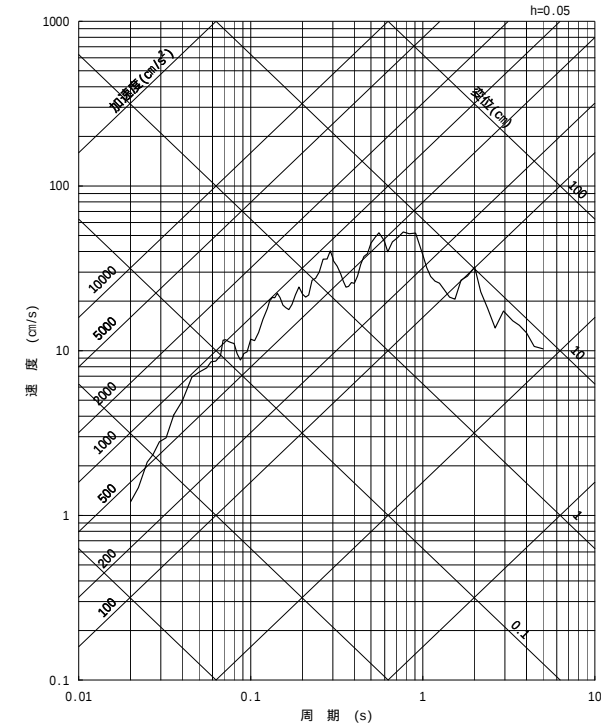
■ 2011年東北地方太平洋沖地震の解放基盤波



NS成分



EW成分



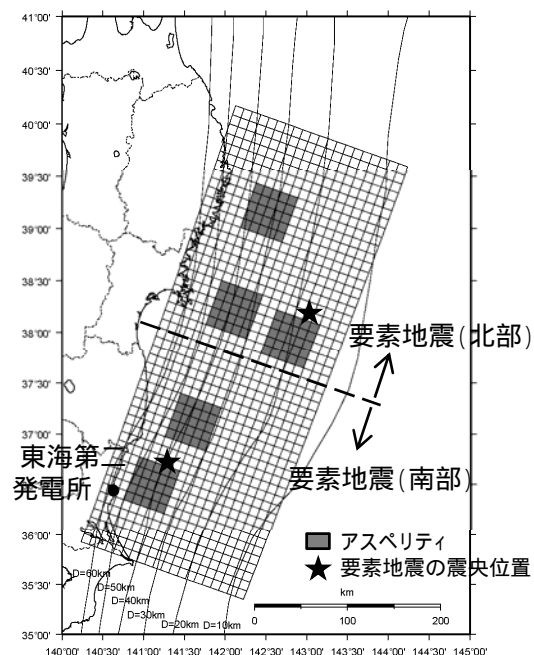
UD成分

応答スペクトルに基づく手法による地震動評価結果は、東北地方太平洋沖地震の敷地における解放基盤波とした。

要素地震の選定

■ 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

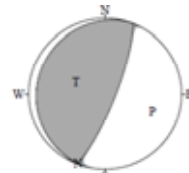
要素地震(北部)

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 $5.51 \times 10^{18} (\text{N} \cdot \text{m})$



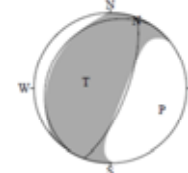
要素地震(南部)

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 $4.65 \times 10^{17} (\text{N} \cdot \text{m})$



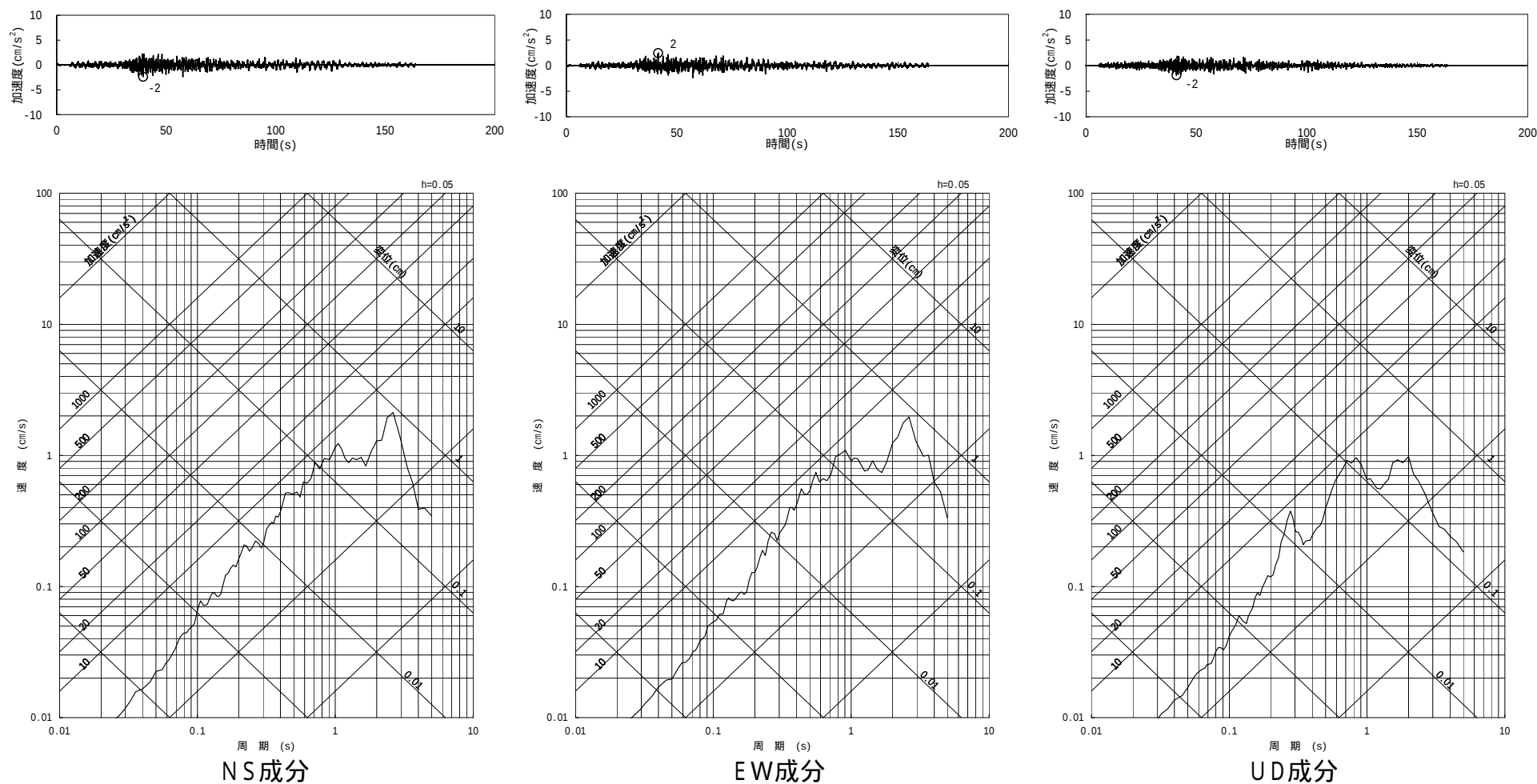
要素地震のメカニズム解(下半球)

- ¹ 気象庁による。
- ² F-netによる。

要素地震の選定

■ 要素地震(北部)の解放基盤波

E.L.-372mの地震観測記録の解放基盤波を示す。

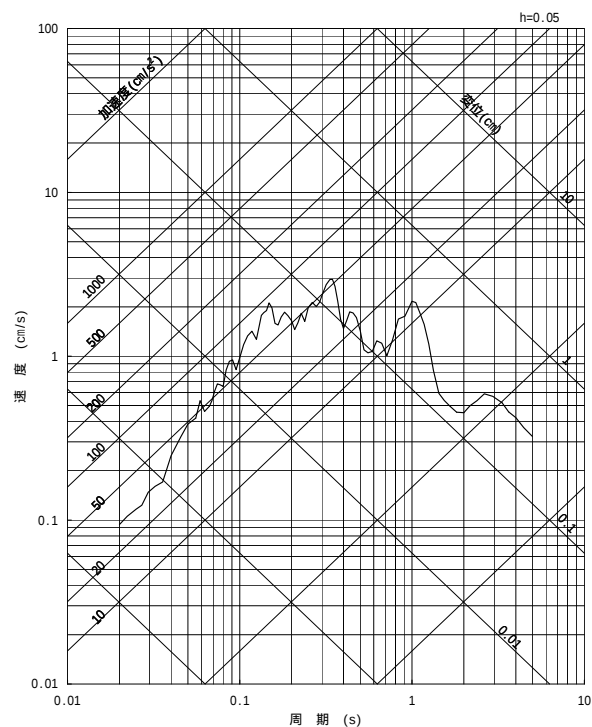
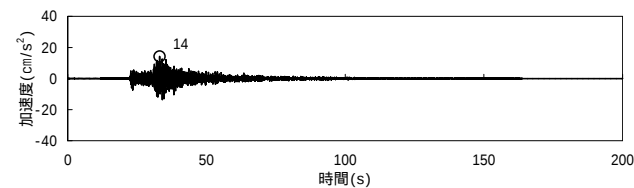
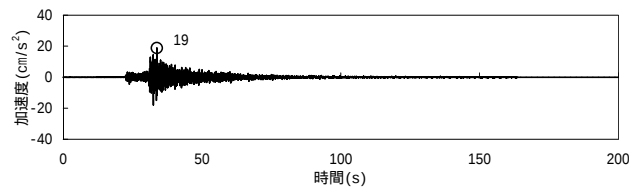
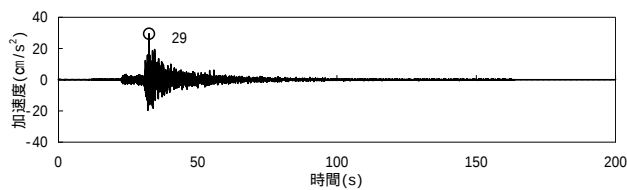


要素地震(北部)の解放基盤波

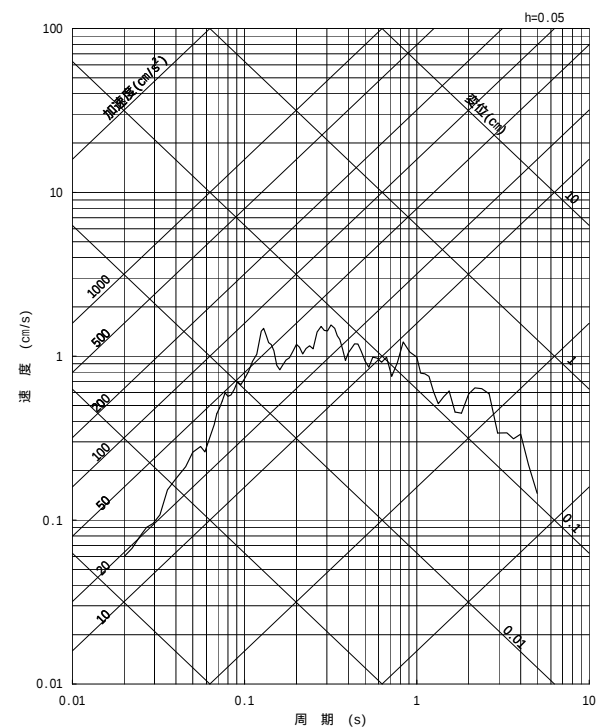
要素地震の選定

■ 要素地震 (南部) の解放基盤波

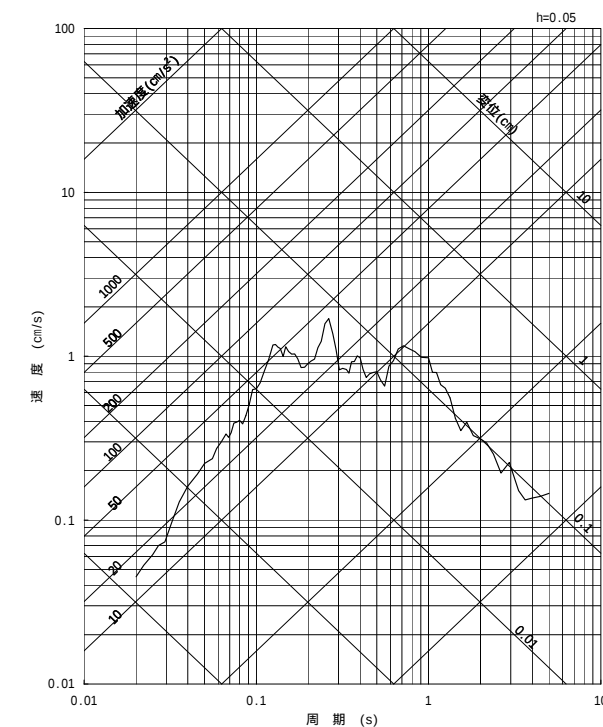
E.L.-372mの地震観測記録の解放基盤波を示す。



NS成分



EW成分



UD成分

要素地震 (南部) の解放基盤波

要素地震の選定

■ 要素地震の応力降下量の見積もりについて

経験的グリーン関数として用いた要素地震の震源情報については入倉・倉橋(2011)による値を用いた。

地震名	震央位置		M	震源深さ (km)	地震モーメント M_0 (N・m)	応力降下量 $\Delta \sigma$ (MPa)
	緯度(度)	経度(度)				
要素地震(北部) (2011年3月10日)	38.172	143.045	6.8	9.3	5.51×10^{18}	11.8
要素地震(南部) (2009年2月1日)	36.717	141.279	5.8	47.0	4.65×10^{17}	10.4

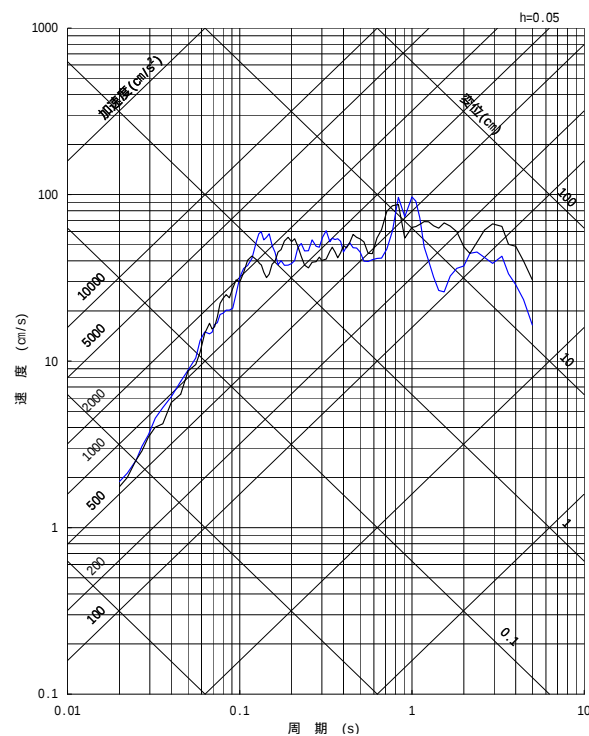
入倉・倉橋(2011)による。

基本震源モデルによる評価結果

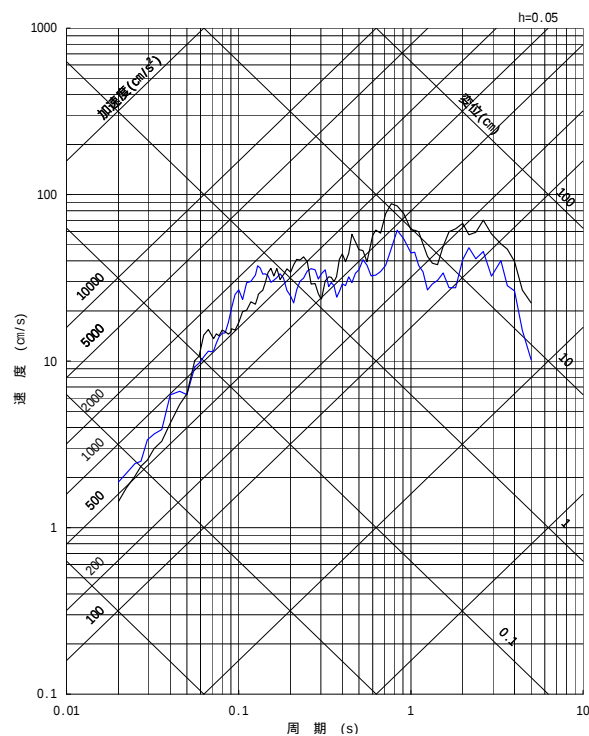
■ 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果と東北地方太平洋沖地震の解放基盤波との比較

基本震源モデルを対象に、断層モデルを用いた手法による地震動評価結果(経験的グリーン関数法)と東北地方太平洋沖地震の解放基盤波とを比較する。

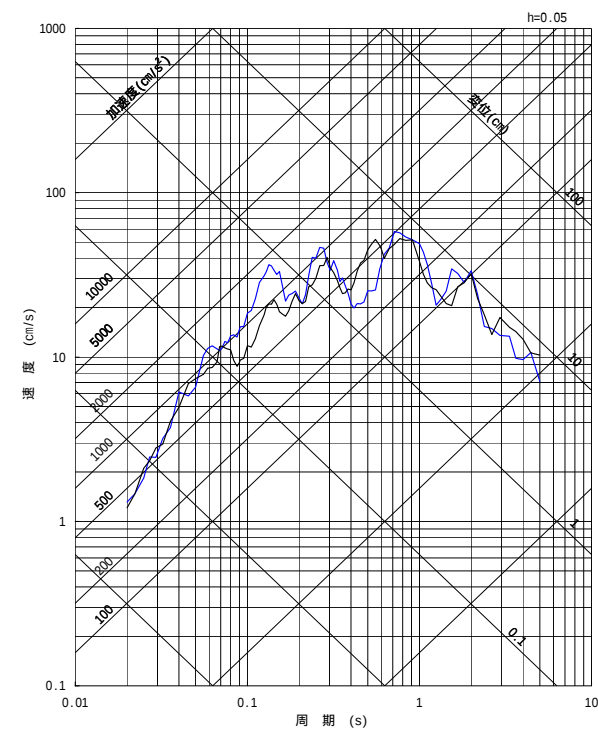
— 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果
— 東北地方太平洋沖地震の解放基盤波



NS成分



EW成分



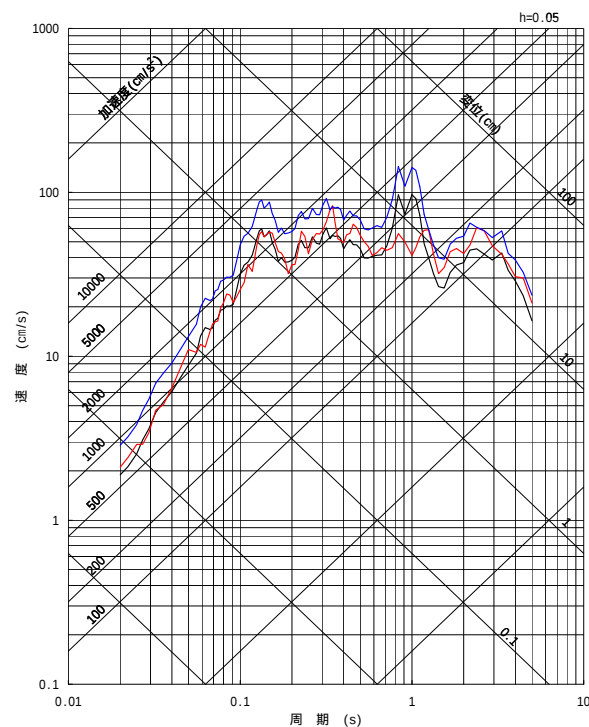
UD成分

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果(経験的グリーン関数法)は、東北地方太平洋沖地震の解放基盤波と対応していることを確認した。

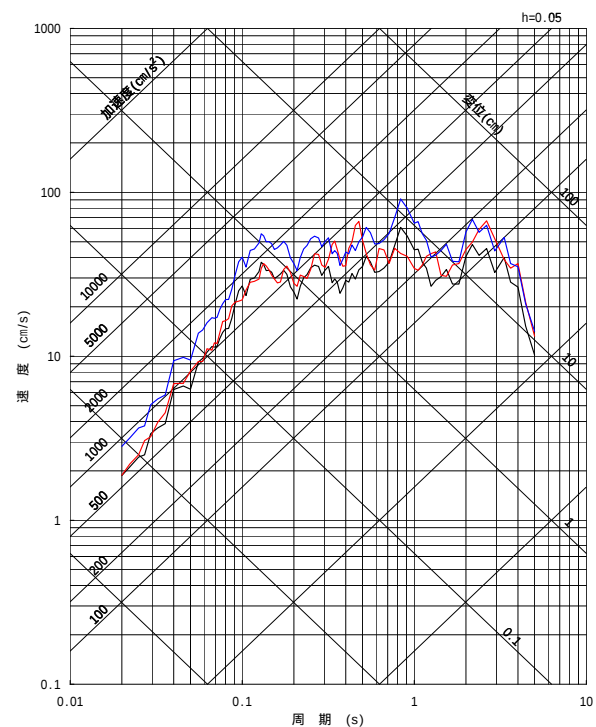
評価結果(応答スペクトル)

■ 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果(経験的グリーン関数法)

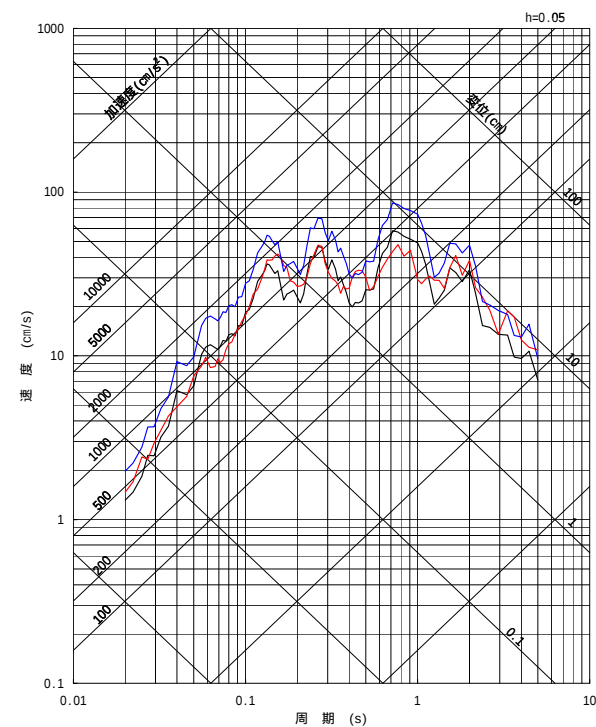
- 基本的震源モデル
- アスぺリティ位置の不確かさを考慮
- 短周期レベルの不確かさを考慮



NS成分



EW成分

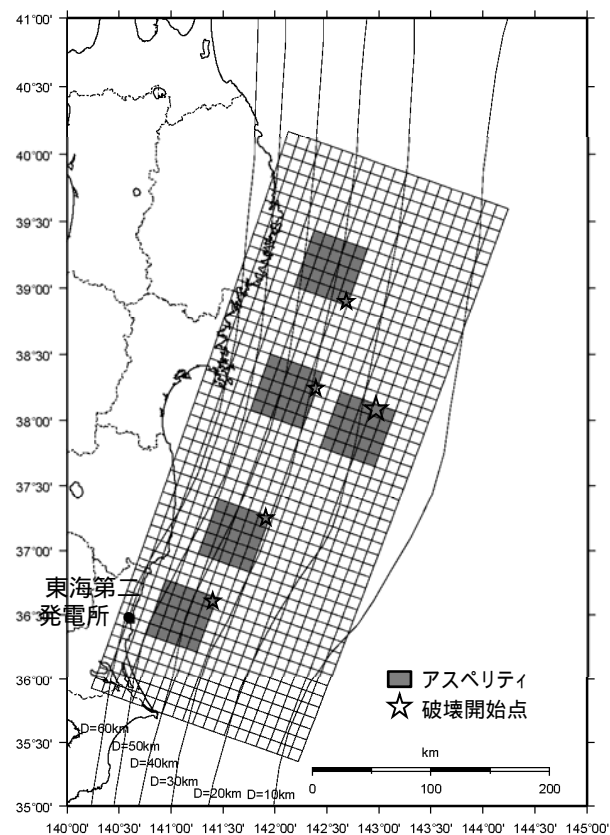


UD成分

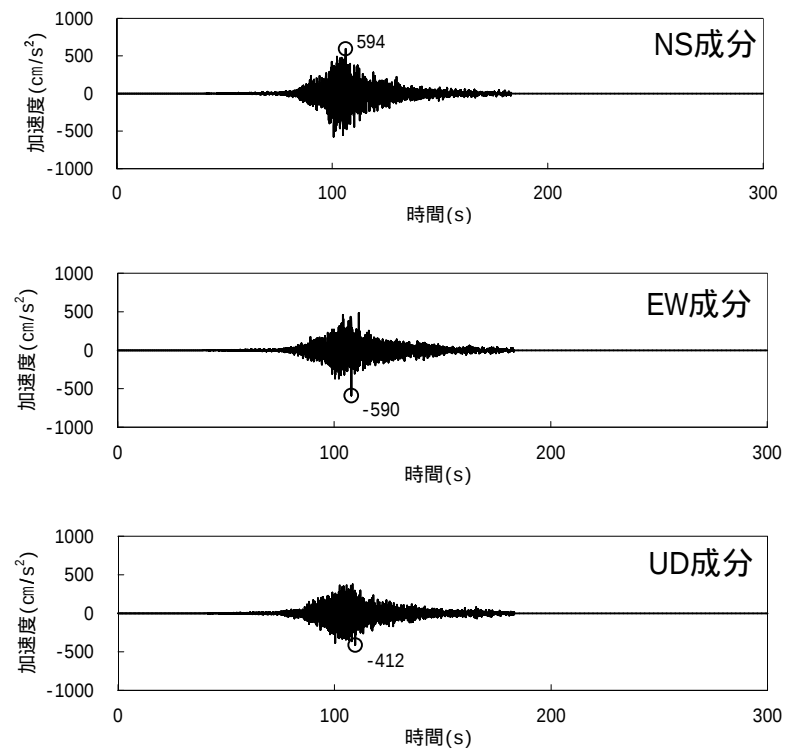
2011年東北地方太平洋沖地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価は、経験的グリーン関数法により実施した。

評価結果(時刻歴波形)

■ 加速度時刻歴波形及びアイソクロン(基本震源モデル)



基本震源モデル



加速度時刻歴波形
(2011年東北地方太平洋沖地震)

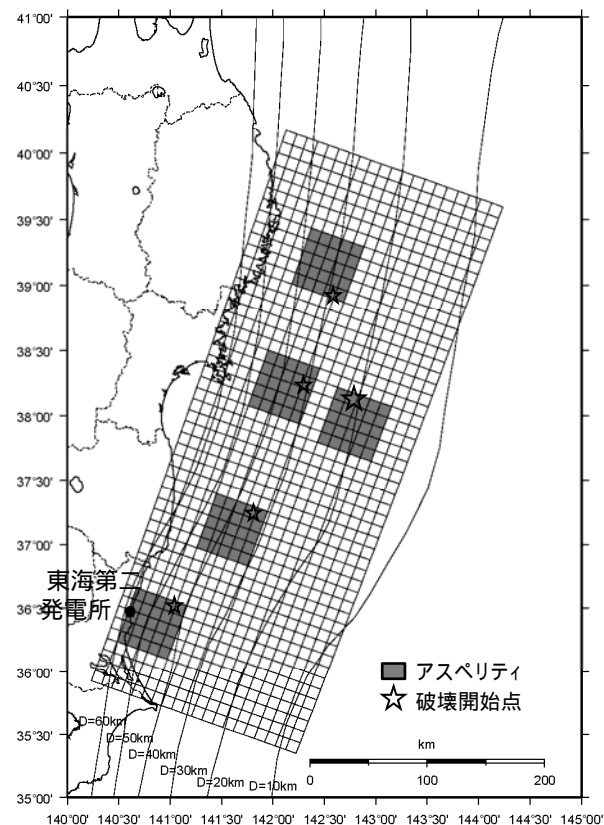


● 全体の破壊開始点
☆ アスベリティの破壊開始点
□ アスベリティ位置

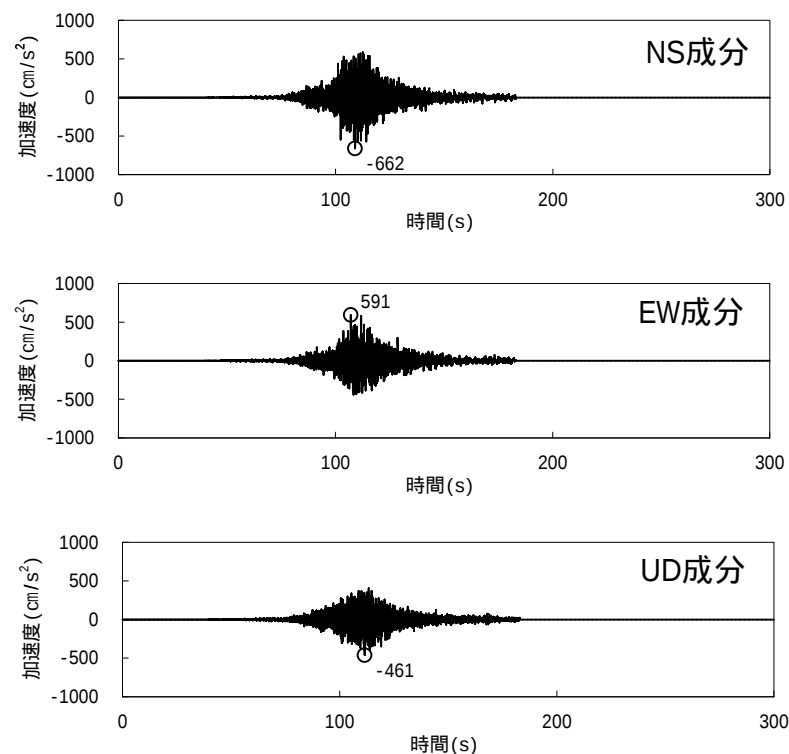
アイソクロン

評価結果(時刻歴波形)

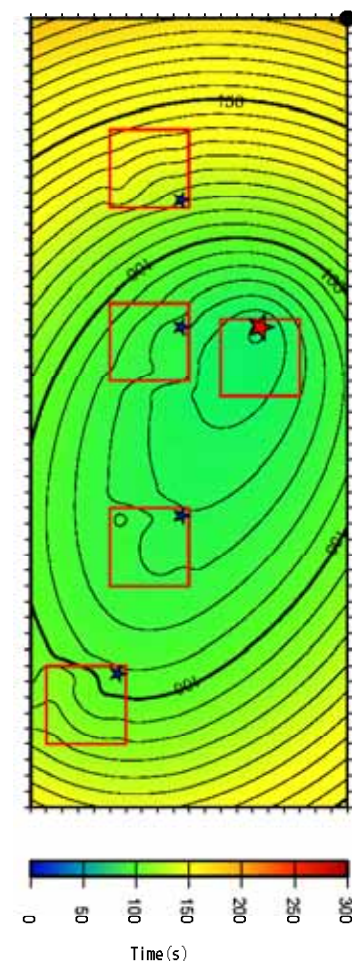
■ 加速度時刻歴波形及びアイソクロン(アスペリティ位置の不確かさを考慮)



アスペリティ位置の不確かさを
考慮したモデル



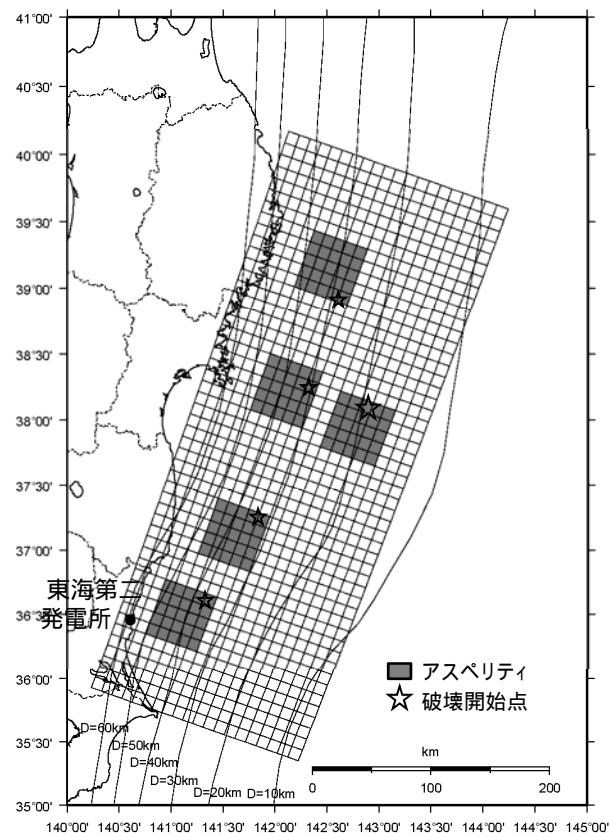
加速度時刻歴波形
(2011年東北地方太平洋沖地震)



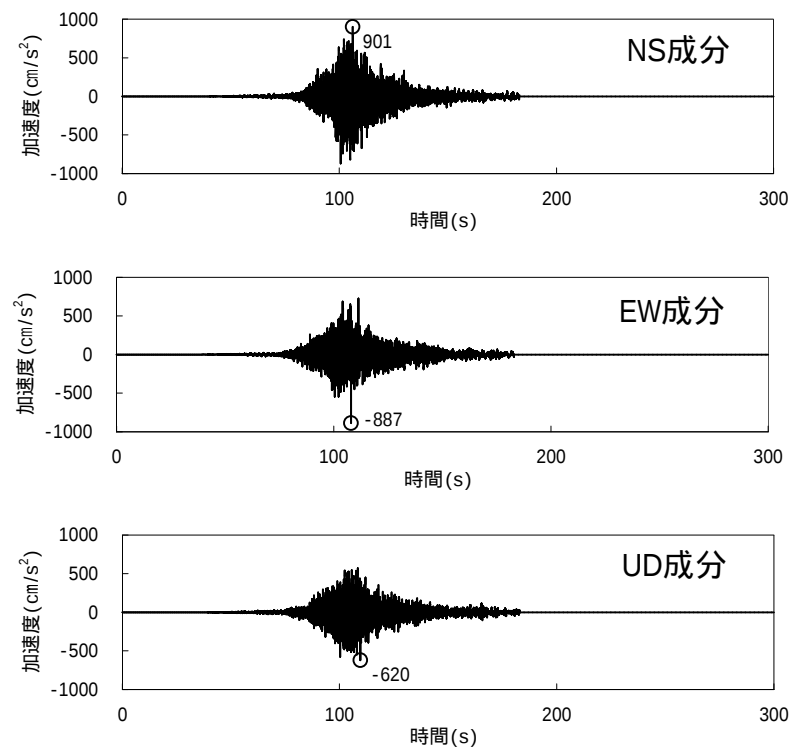
アイソクロン

評価結果(時刻歴波形)

■ 加速度時刻歴波形及びアイソクロン(短周期レベルの不確かさを考慮)



短周期レベルの不確かさを
考慮したモデル



加速度時刻歴波形
(2011年東北地方太平洋沖地震)



アイソクロン

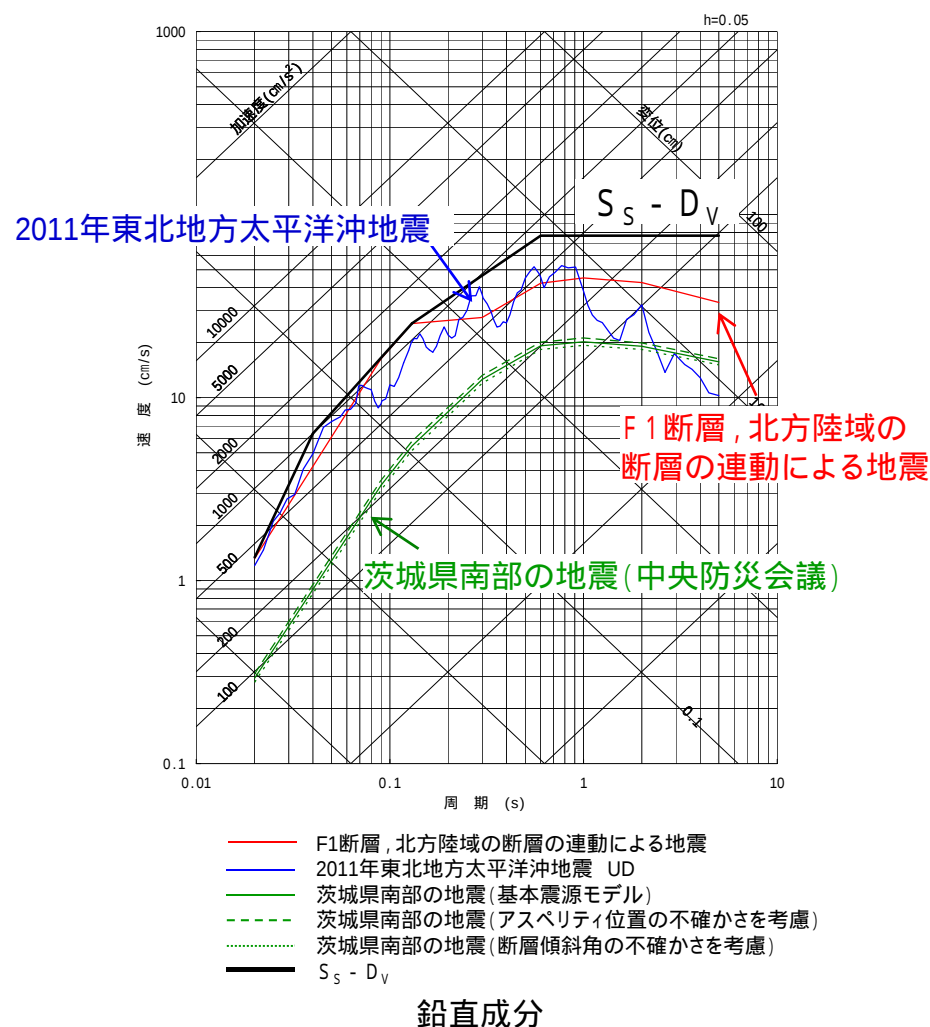
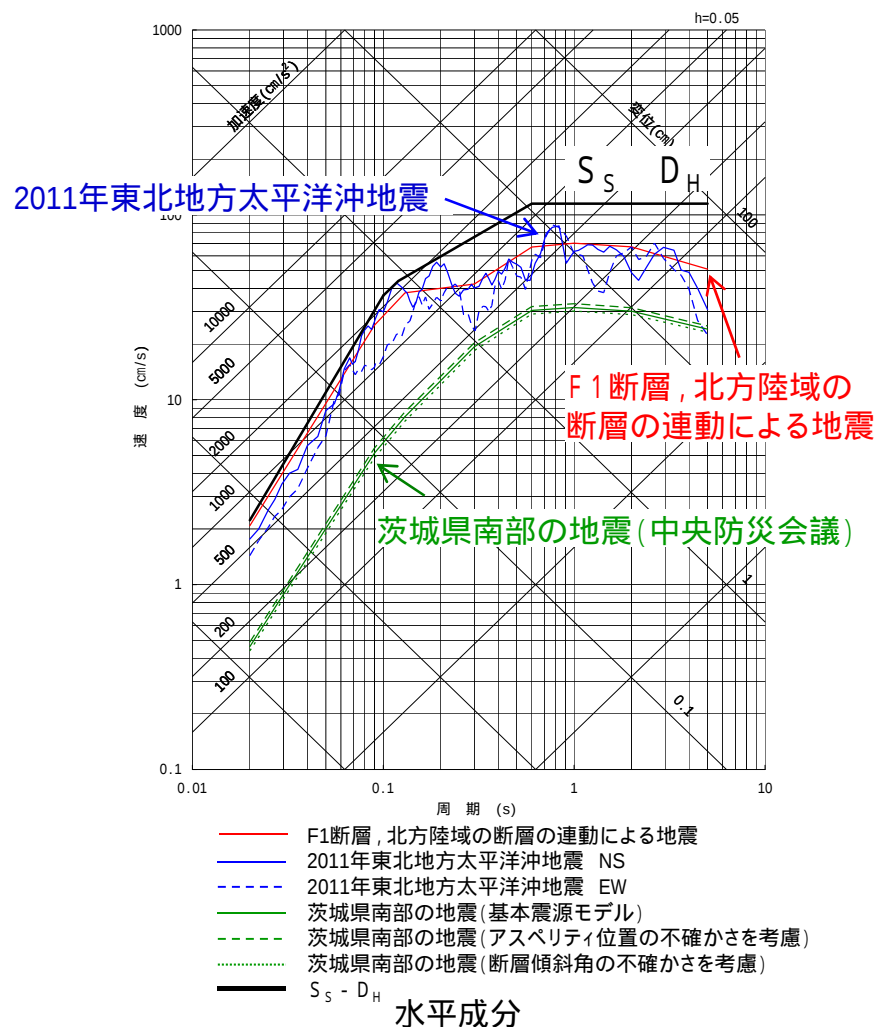
1. 評価フロー	3
2. 世界の巨大プレート間地震	4
3. 2011年東北地方太平洋沖地震に関する諸検討	9
4. 敷地周辺の地震発生状況	26
5. プレート間地震の検討用地震の選定	40
6. プレート間地震の地震動評価	54
7. 敷地ごとに震源を特定して策定する 地震動による基準地震動 S_s	78
海洋プレート内地震と内陸地殻内地震については、別途説明	
8. 参考文献	84

参考資料	85
------	----

- | | |
|---|--|
| 1. 2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録のはざとり解析について | |
| 2. 2011年東北地方太平洋沖地震の断層モデルを用いた手法による
地震動評価と解放基盤波の比較について | |

応答スペクトルに基づく手法による基準地震動 S_s (1 / 2)

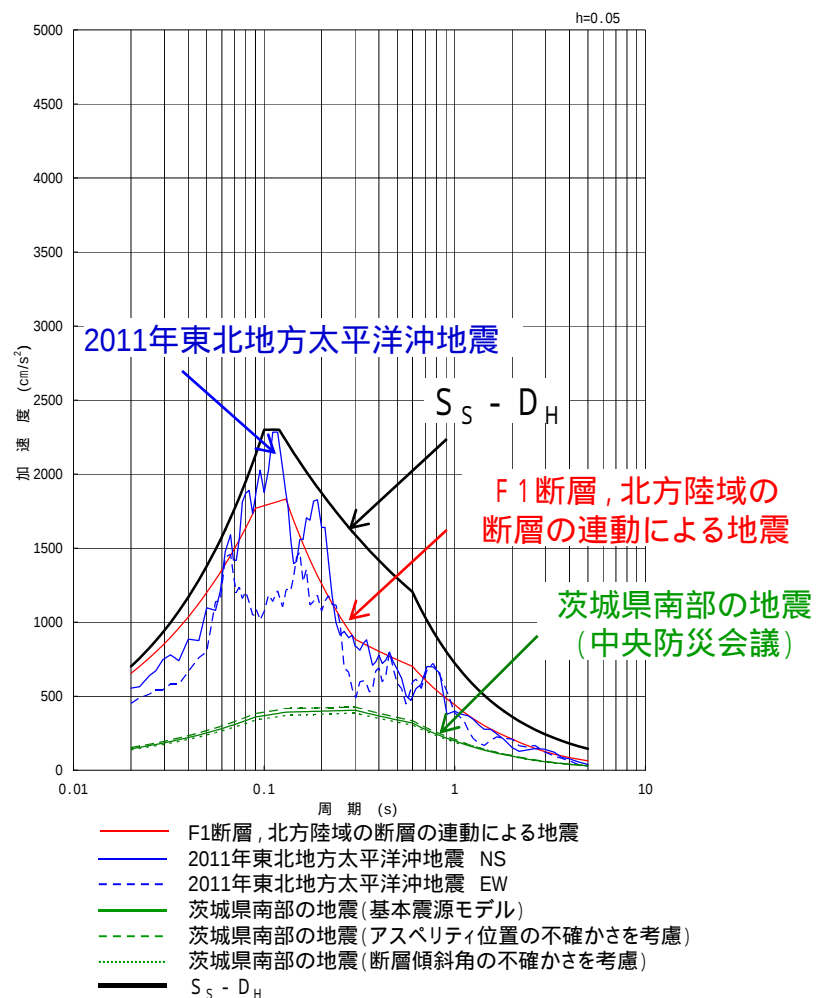
■ 基準地震動 $S_s - D$ (設計用応答スペクトル)



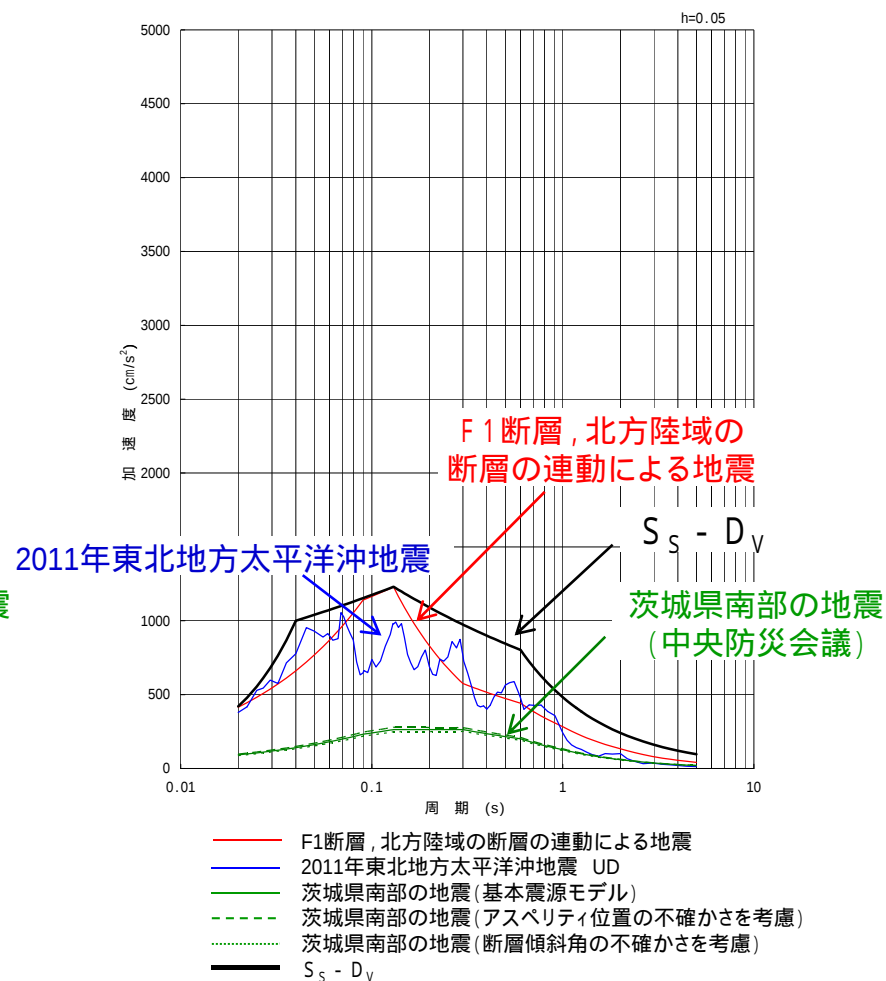
F1断層, 北方陸域の断層の連動による地震 (応答スペクトルに基づく手法), 2011年東北地方太平洋沖地震 (敷地での解放基盤波), 茨城県南部の地震 (応答スペクトルに基づく手法) をすべて包絡する応答スペクトルとして $S_s - D$ を設定した。

応答スペクトルに基づく手法による基準地震動 S_S (2 / 2)

■ 基準地震動 S_S - D (設計用応答スペクトル)



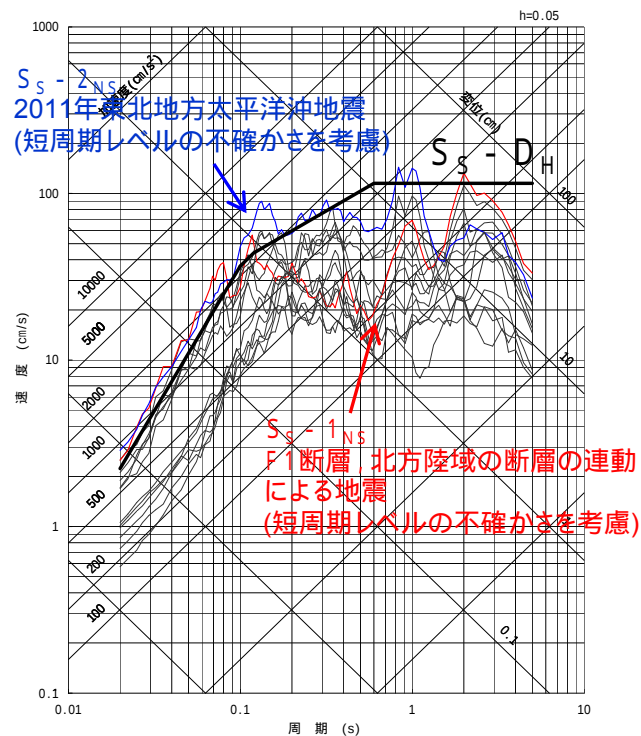
水平成分



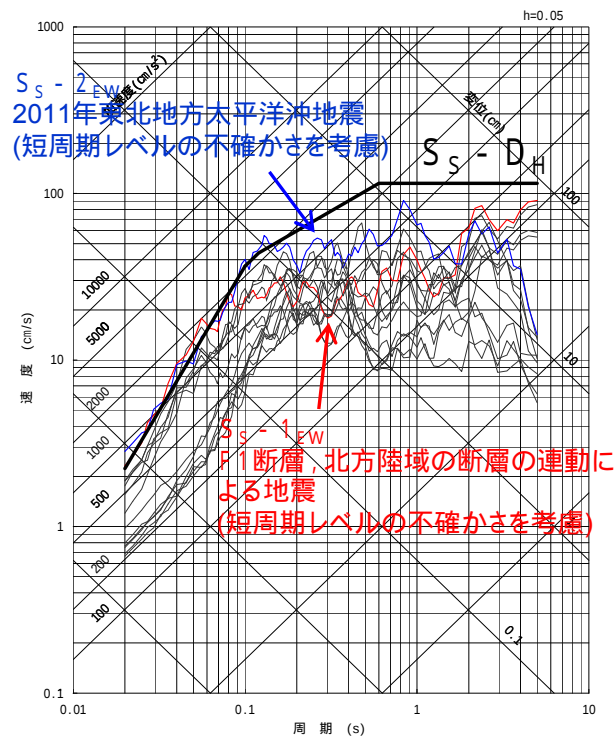
鉛直成分

断層モデルを用いた手法による基準地震動 $S_S(1/2)$

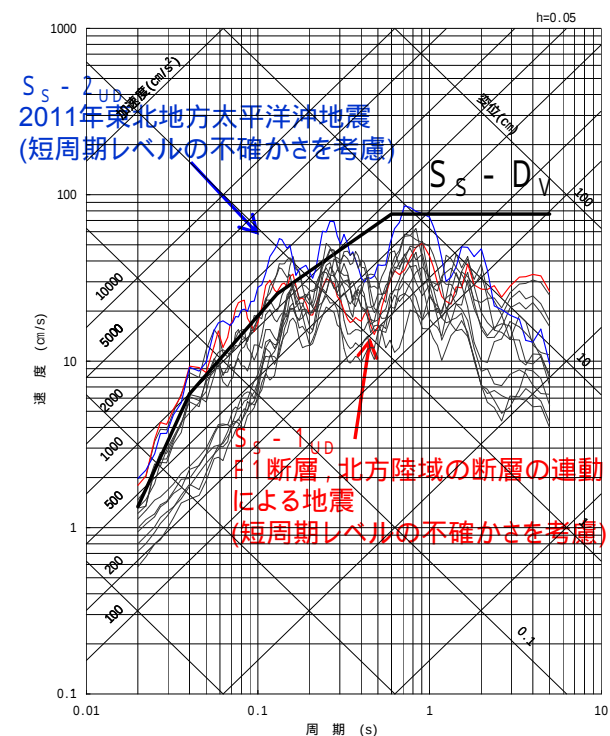
■ 基準地震動 $S_S - 1, S_S - 2$ (断層モデルを用いた手法)



NS成分



EW成分



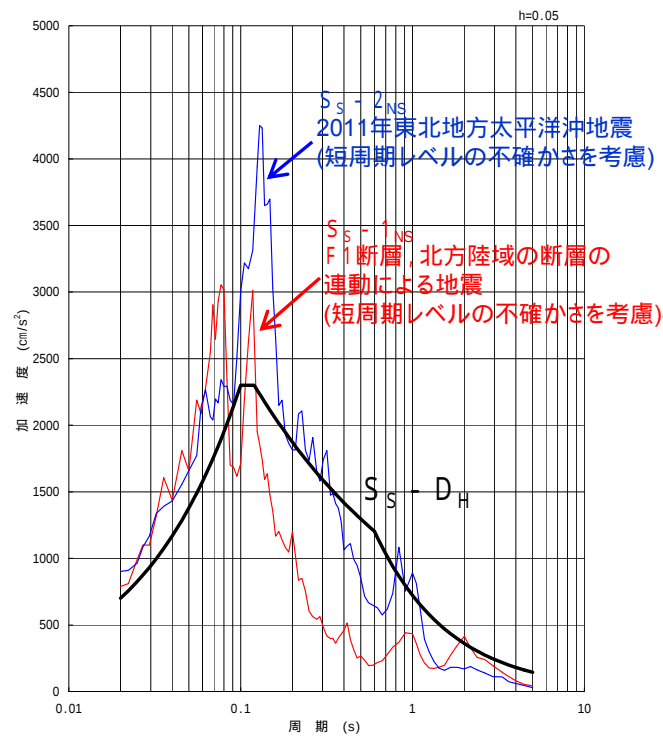
UD成分

基準地震動 $S_S - D$ との包絡関係より以下の地震動評価結果を断層モデルを用いた手法による基準地震動 S_S として選定した。

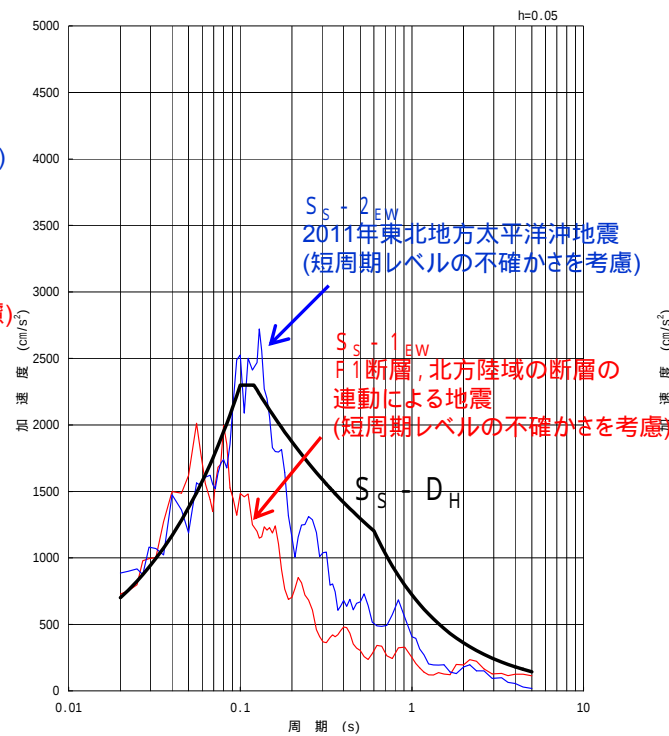
- ・ F1断層, 北方陸域の断層の連動による地震 (短周期レベルの不確かさを考慮) $\cdots S_S - 1$
- ・ 2011年東北地方太平洋沖地震 (短周期レベルの不確かさを考慮) $\cdots S_S - 2$

断層モデルを用いた手法による基準地震動 S_S (2 / 2)

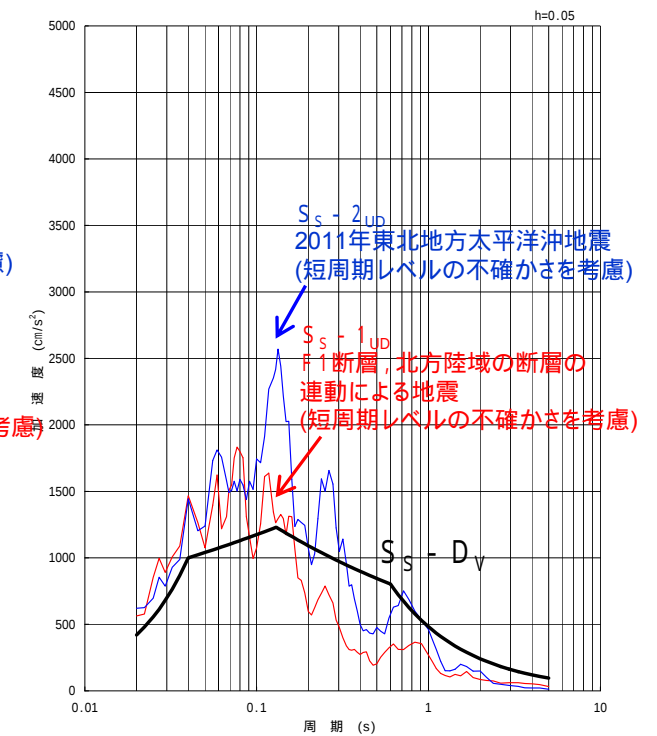
■ 基準地震動 $S_S - 1, S_S - 2$ (断層モデルを用いた手法)



NS成分



EW成分

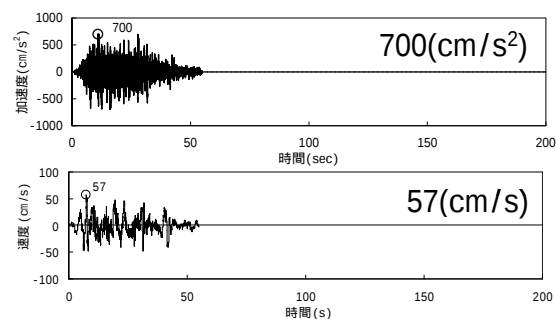


UD成分

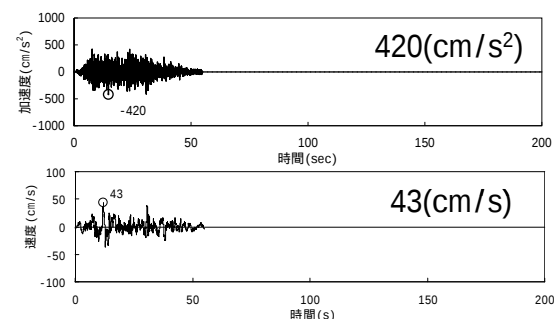
7. 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 S_S

基準地震動 S_S の時刻歴波形

■ 応答スペクトルに基づく手法による基準地震動 S_S

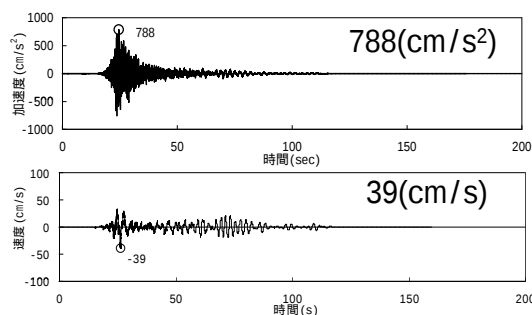


$S_S - D_H$

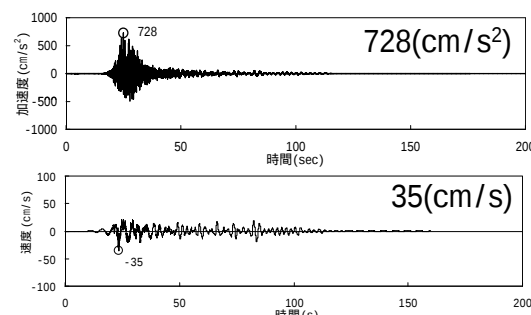


$S_S - D_V$

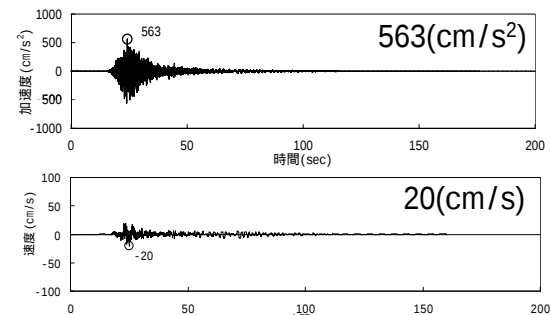
■ 断層モデルを用いた手法による基準地震動 S_S



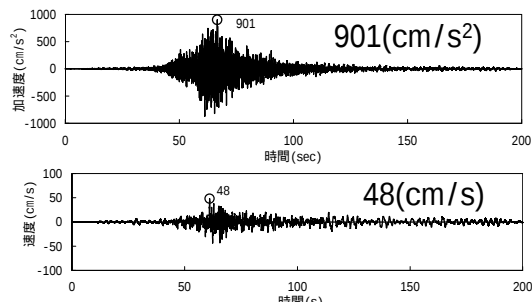
$S_S - 1_{NS}$



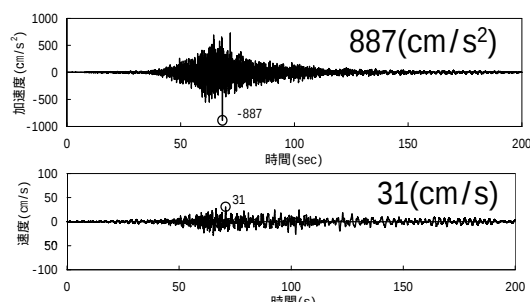
$S_S - 1_{EW}$



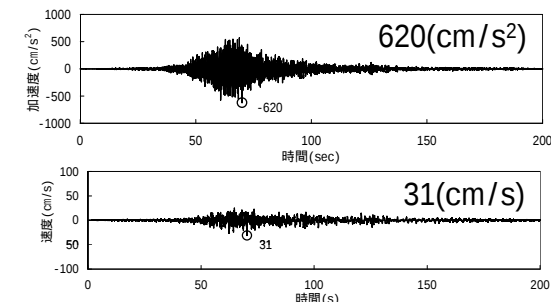
$S_S - 1_{UD}$



$S_S - 2_{NS}$



$S_S - 2_{EW}$



$S_S - 2_{UD}$

8. 参考文献

- (1) 気象庁：地震年報2012年版他
- (2) 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
- (3) 宇津徳治(1982)：日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表，1885年～1980年，東京大学地震研究所彙報，Vol.57
- (4) 気象庁・消防庁(2009)：震度に関する検討会報告書，平成21年3月
- (5) 村松郁栄(1969)：震度分布と地震のマグニチュードとの関係，岐阜大学教育学部研究報告，自然科学，第4巻，第3号，p.168 - 176
- (6) 勝又譲・徳永規一(1971)：震度 の範囲と地震の規模および震度と加速度の対応，験震時報，第36巻，第3，4号，p.1 - 8
- (7) 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」，平成16年11月17日
- (8) 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2012)：「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)について」，平成24年2月9日変更
- (9) Shizuo Noda, Kazuhiko Yashiro, Katsuya Takahashi, Masayuki Takemura, Susumu Ohno, Masanobu Tohdo, Takahide 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
- (10) 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)：標準的な強震動レシビ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，p.381-382
- (11) 佐藤智美(2010)：逆断層と横ずれ断層の違いを考慮した日本の地殻内地震の短周期レベルのスケーリング則，日本建築学会構造系論文集，第75巻，第651号，p.923-932
- (12) 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，土木工学会論文集A，Vol.62，No.4，p.740-757

1. 評価フロー	3
2. 世界の巨大プレート間地震	4
3. 2011年東北地方太平洋沖地震に関する諸検討	9
4. 敷地周辺の地震発生状況	26
5. プレート間地震の検討用地震の選定	40
6. プレート間地震の地震動評価	54
7. 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	78
8. 参考文献	84

参考資料	85
------	----

- | | |
|---|--|
| 1. 2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録のはざとり解析について | |
| 2. 2011年東北地方太平洋沖地震の断層モデルを用いた手法による
地震動評価と解放基盤波の比較について | |

参考資料

1. 2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録のはざとり解析について

はじめに

東北地方太平洋沖地震の地震観測記録は、振幅が大きいことから、この記録に対する地盤同定解析を行い、解放基盤表面におけるはぎとり解析を実施する。

■ 地盤同定解析

- ・ 東北地方太平洋沖地震の地震観測記録を用い、第四紀層の V_S 、 V_P 及び第四紀層、新第三紀層それぞれの減衰を同定する。なお、層厚及び新第三紀層の V_S は、中小地震の観測記録を用いた既往の地盤同定結果で固定する。
- ・ 水平成分と上下成分の記録で同定した地盤モデルに、最深部(E.L.-372m)の地震観測記録を入力し、E.L.-17m(岩盤上端、原子炉建屋基礎下端に相当する深さ)のシミュレーション結果と観測記録を比較する。

■ 観測記録のはぎとり

- ・ 同定した地盤モデルを用いて解放基盤表面におけるはぎとり解析を行い、東北地方太平洋沖地震における地震観測記録の解放基盤波を算出する。

地盤同定解析

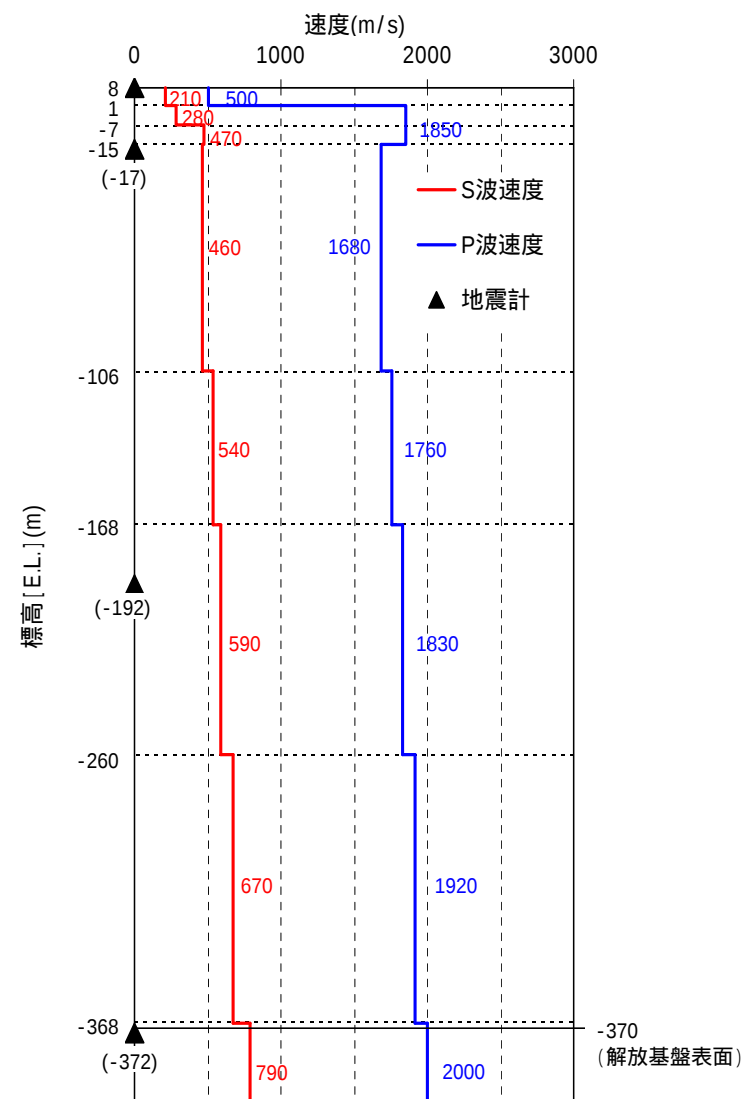
■ 地盤系地震観測点の地盤の概要

地盤系地震観測点位置及び地盤物性値

E.L. (m)	地層 区分	地質 年代	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm ³)
▲ 8.0	砂	第四系	7.0	210	500	1.71
1.0	砂礫		5.0	280	1850	1.66
-4.0	粘土		3.0			
-7.0	砂礫		8.0	470	1850	1.82
-15.0	砂質泥岩	新第三系	91.0	460	1680	1.69
▲ -17.0			62.0	540	1760	1.74
-106.0			92.0	590	1830	1.78
▲ -168.0			108.0	670	1920	1.82
▲ -192.0			2.0	790	2000	1.85
-260.0			2.0			
-368.0			-			
▲ -370.0						
▲ -372.0						

▲:地震計設置位置

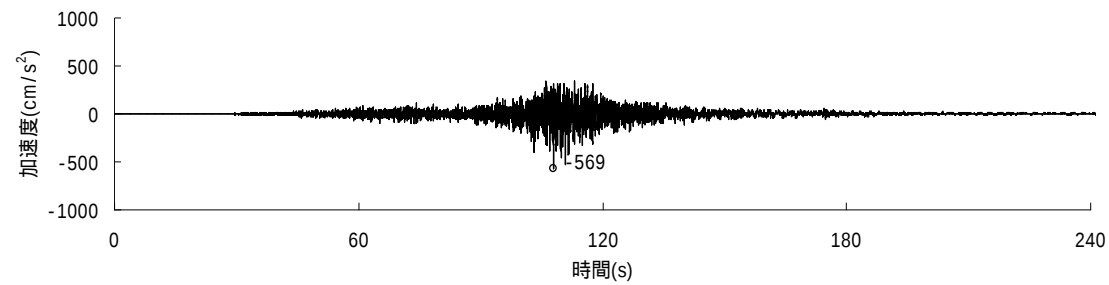
:解放基盤表面



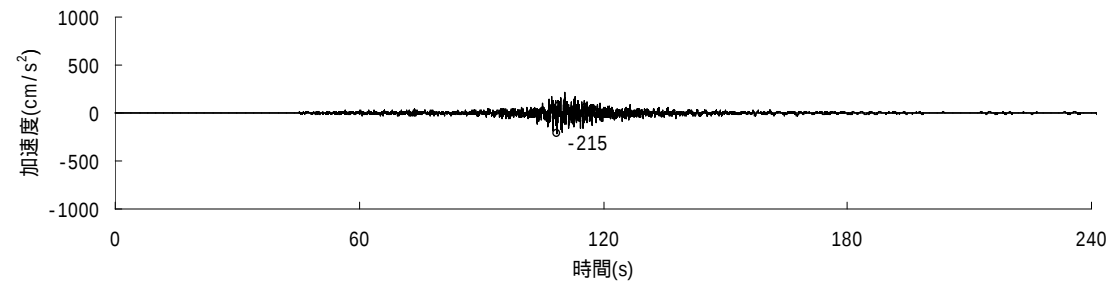
地盤同定解析

■ 地震観測記録 (N S成分)

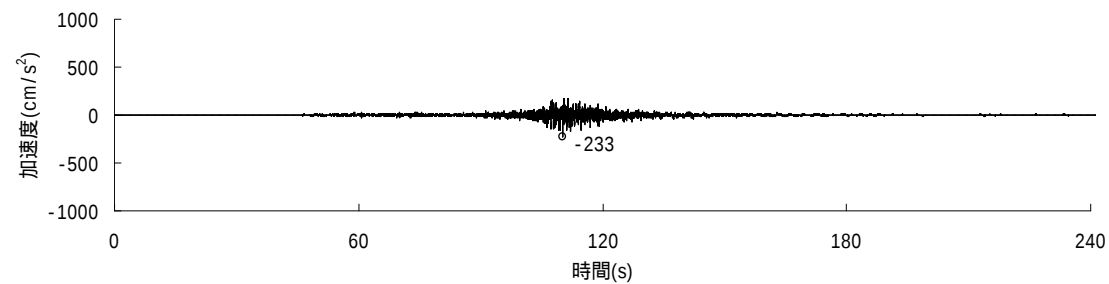
E.L. 8m



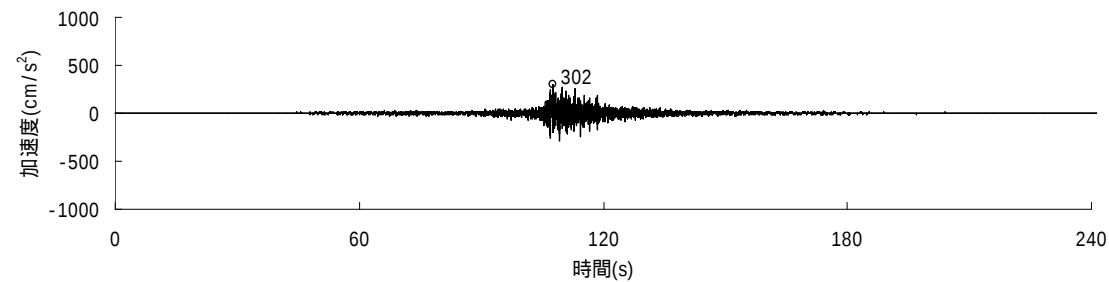
E.L. -17m



E.L. -192m



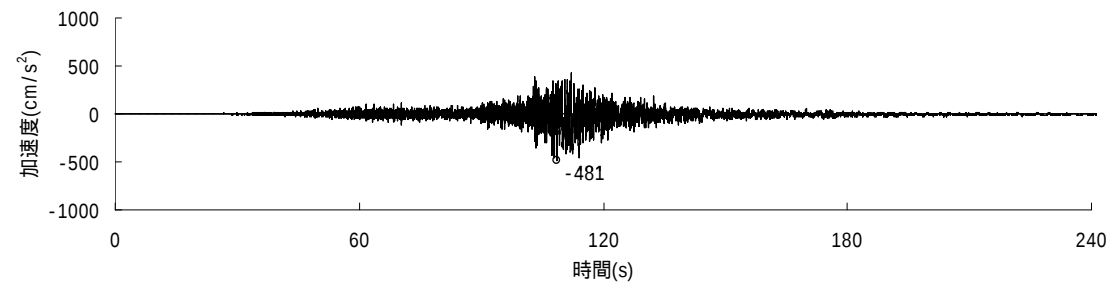
E.L. -372m



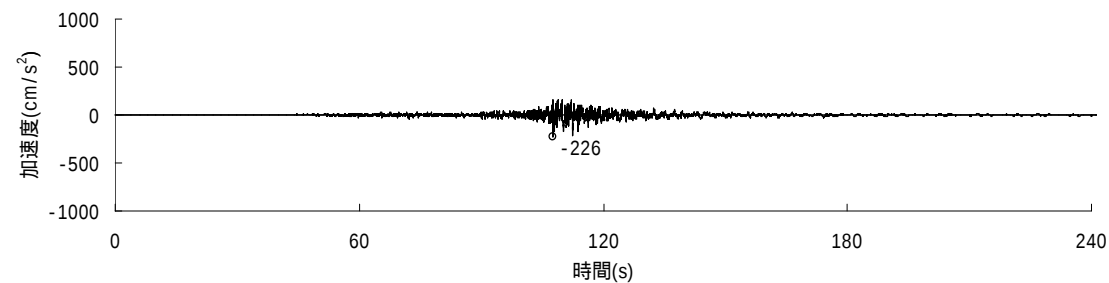
地盤同定解析

■ 地震観測記録 (E W成分)

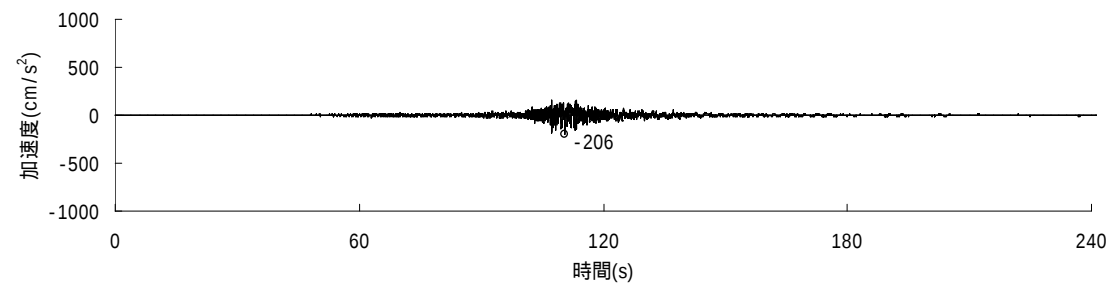
E.L. 8m



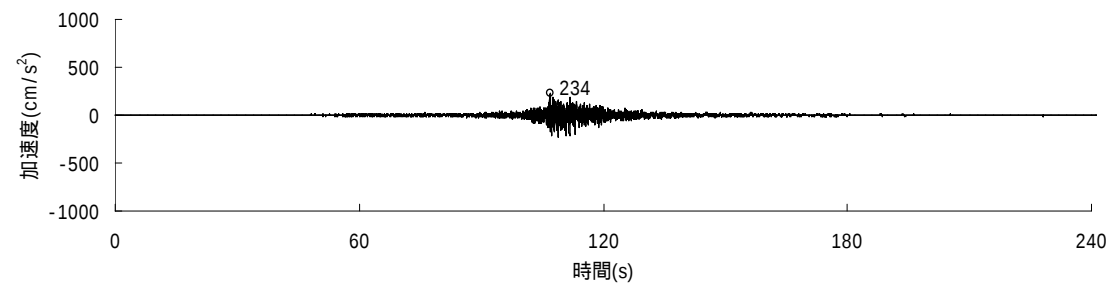
E.L. -17m



E.L. -192m



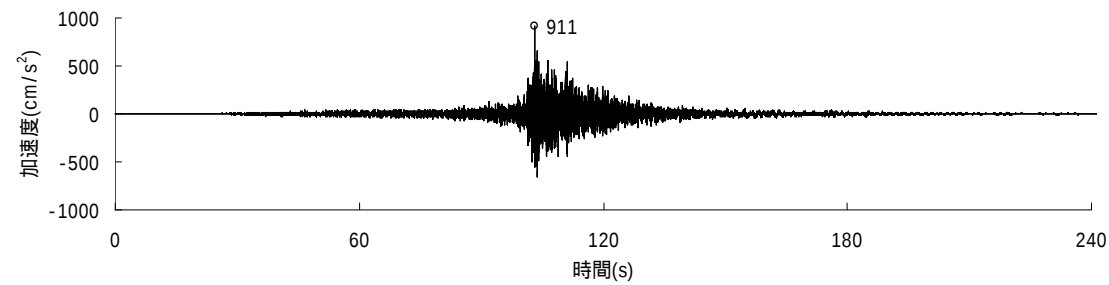
E.L. -372m



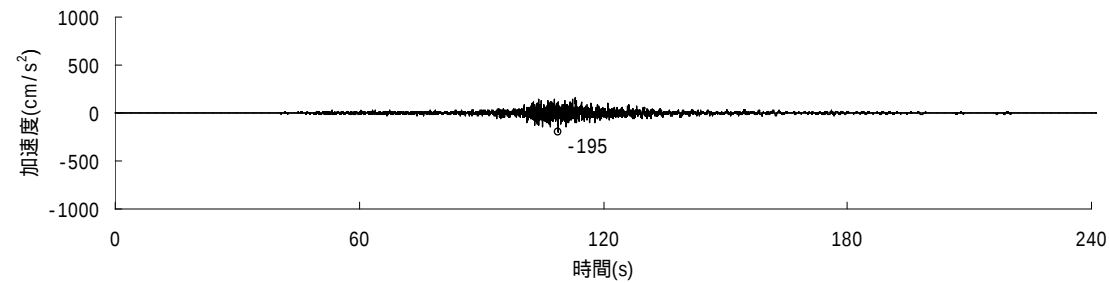
地盤同定解析

■ 地震観測記録(UD成分)

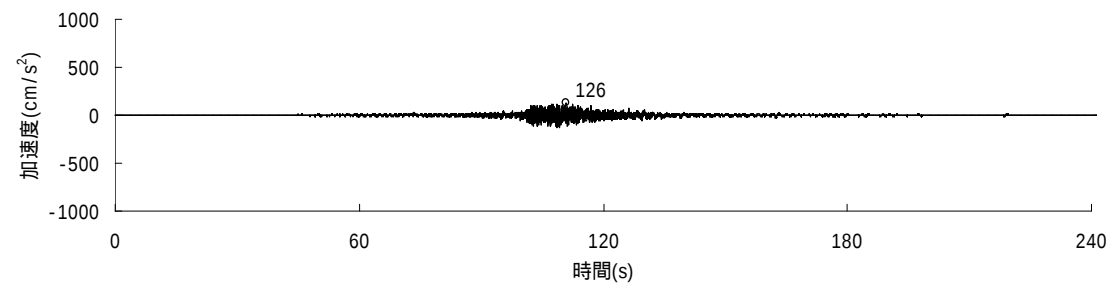
E.L. 8m



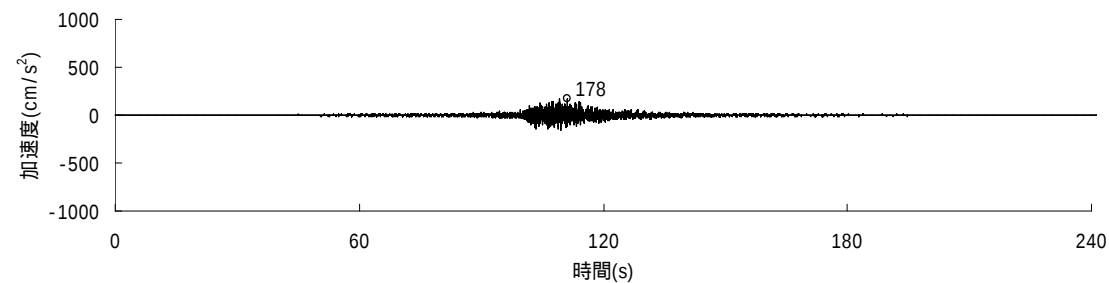
E.L. -17m



E.L. -192m



E.L. -372m



地盤同定解析

■ 地盤モデルの同定結果 (水平動)

- ・一次元波動論に基づく理論伝達特性を当てはめる逆解析により同定
 - ・観測記録のNS成分とEW成分から石田(1992)の手法に基づき水平成分の伝達関数を設定
 - ・同定対象は、第四紀層のS波速度及び第四紀層と第三紀層に分割した減衰
(層厚、密度及び第三紀層のS波速度は、中小地震観測記録を用いた既往の地盤同定結果で固定)
 - ・遺伝的アルゴリズムを用い、初期乱数を変えた5回の計算を実施し、計算結果の平均値を地盤モデルとして採用
 - ・探索範囲は以下の通り設定
- 【S波速度】
初期モデルの 0.5 ~ 1.5倍
- 【減衰】
 $h(f)=h_0 \times f^{-\alpha}$
 h_0 は 0.01 ~ 1.0
 α は 0.0 ~ 1.0

地盤モデルの同定結果 (水平動)

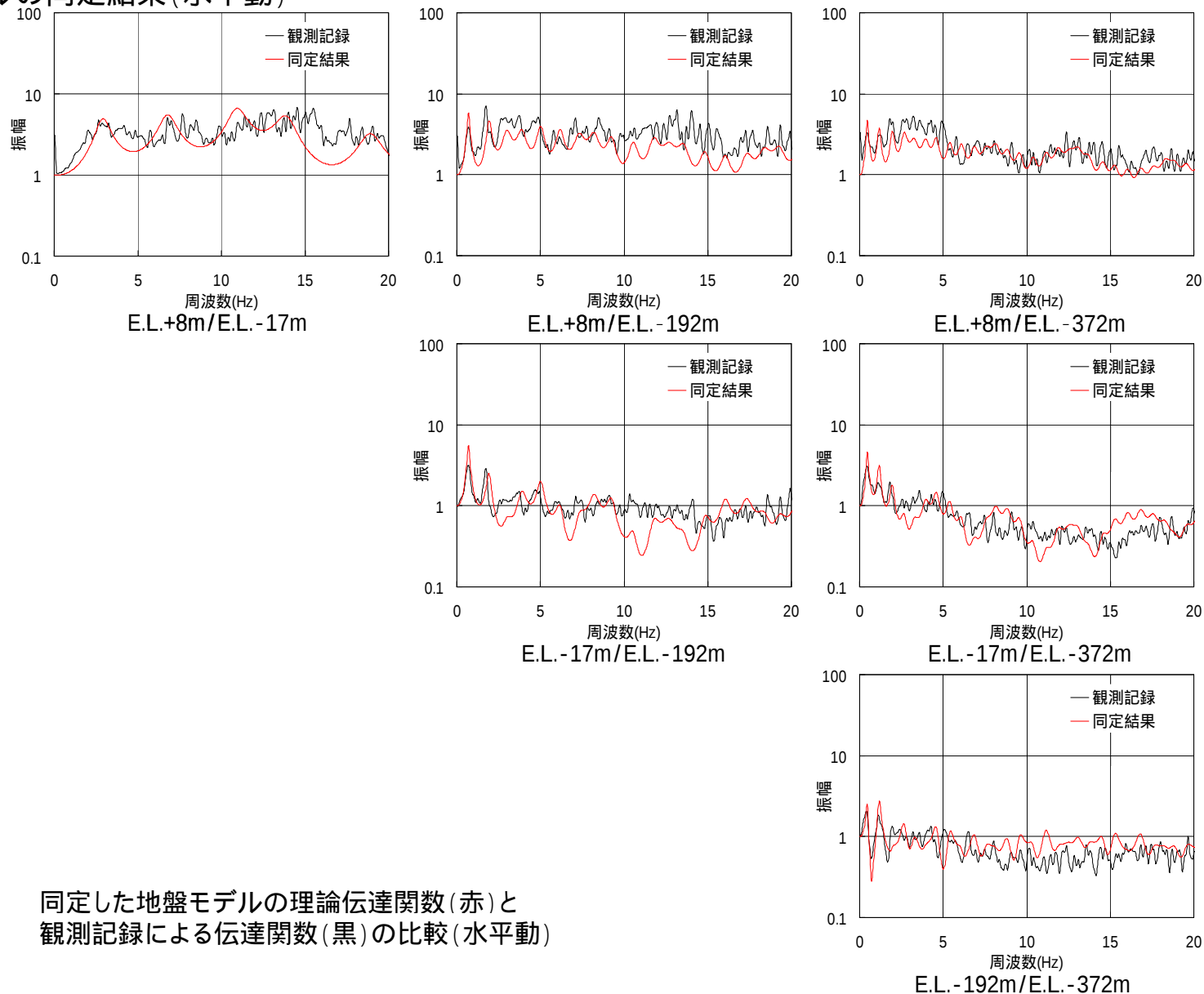
固定パラメータ				初期値	同定結果		
E.L. (m)	層番号	層厚 (m)	密度 (g/cm ³)	S波速度 (m/s)		減衰 $h(f)=h_0 \times f^{-\alpha}$	
						h_0	α
▲ 8.0							
	1	2.5	1.71	130	102	0.38	0.81
	2	4.5		169	132		
	3	5.0	1.66	274	214		
	4	3.0					
	5	8.0	1.82	560	438		
	-15.0	6	2.0	1.69	477	477	
▲ -17.0	7	89.0					
-106.0	8	62.0	1.74	557	557	0.09	0.67
-168.0	9	24.0	1.78	669	669		
▲ -192.0	10	68.0	1.78				
-260.0	11	108.0	1.82	756	756		
-368.0	12	2.0	1.85	790	790		
-370.0	13	2.0					
▲ -372.0		-					

▲ : 地震計設置位置
: 解放基盤表面

 同定対象

地盤同定解析

■ 地盤モデルの同定結果 (水平動)



地盤同定解析

■ 地盤モデルの同定結果(上下動)

- ・一次元波動論に基づく理論伝達特性を当てはめる逆解析により同定
- ・同定対象は、第四紀層のP波速度及び第四紀層と第三紀層に分割した減衰
(層厚、密度及び第三紀層のP波速度は、中小地震観測記録を用いた既往の地盤同定結果で固定)
- ・遺伝的アルゴリズムを用い、初期乱数を変えた5回の計算を実施し、計算結果の平均値を地盤モデルとして採用
- ・探索範囲は以下の通り設定
 [P波速度]
 初期モデルの 0.5 ~ 1.5倍
 [減衰]
 $h(f)=h_0 \times f^{-\alpha}$
 h_0 は 0.01 ~ 1.0
 α は 0.0 ~ 1.0

地盤モデルの同定結果(上下動)

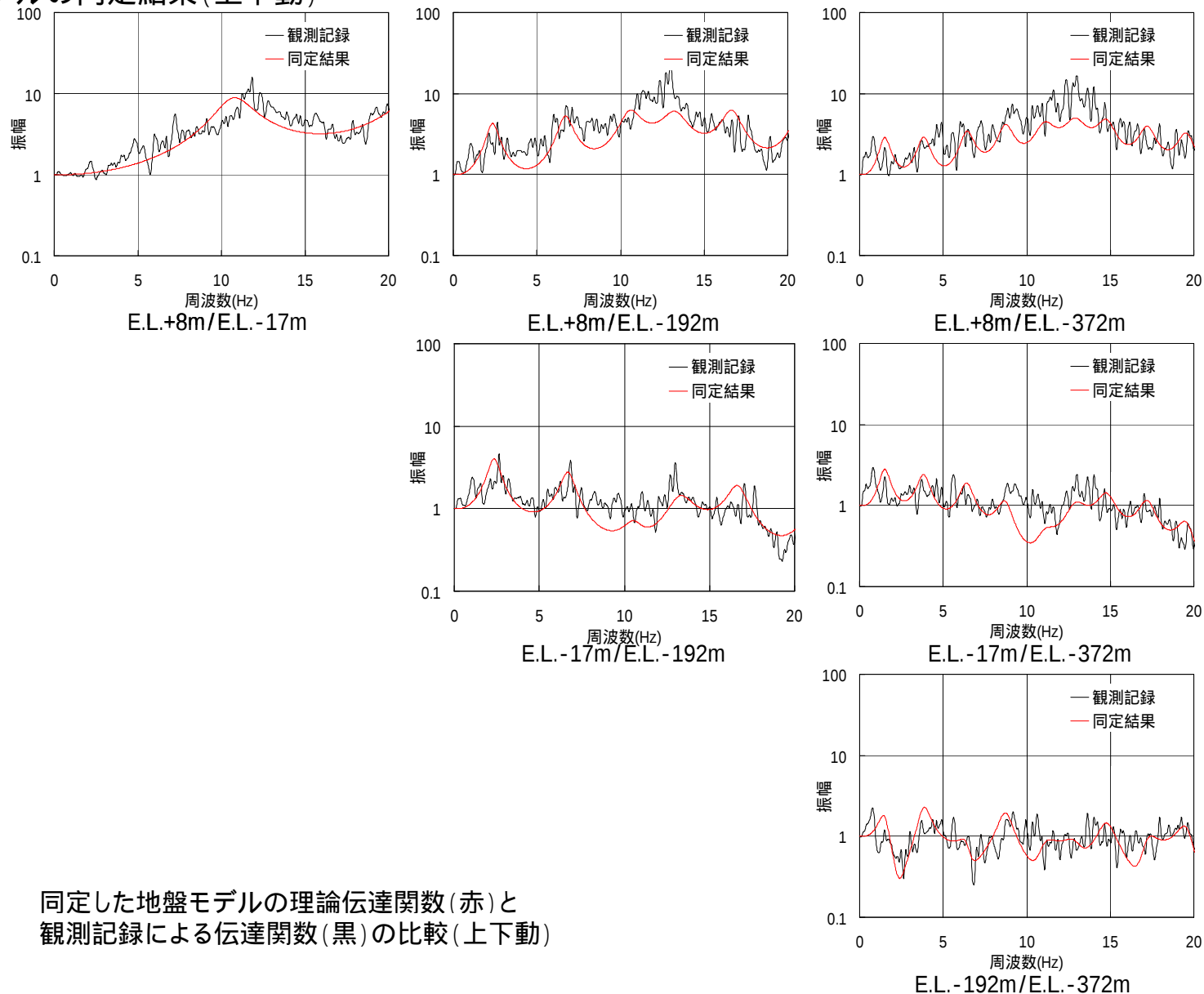
固定パラメータ				初期値	同定結果		
E.L. (m)	層番号	層厚 (m)	密度 (g/cm ³)	P波速度 (m/s)		減衰 h(f)=h ₀ × f ^{-α}	
						h ₀	α
▲ 8.0							
	1	2.5	1.71	280	255	0.38	0.56
	2	4.5		403	368		
	3	5.0	1.66	1589	1449		
	4	3.0		1509	1376		
	5	8.0	1.82	1509	1376		
	6	2.0	1.69	1753	1753		
7	89.0	1753		1753			
▲ -17.0	8	62.0	1.74	1742	1742	0.37	1.00
	9	24.0	1.78	2067	2067		
	10	68.0	1.78				
	11	108.0	1.82	2256	2256		
▲ -372.0	12	2.0	1.85	2000	2000		
	13	2.0					
		-					

▲ :地震計設置位置
 :解放基盤表面

 同定対象

地盤同定解析

■ 地盤モデルの同定結果(上下動)

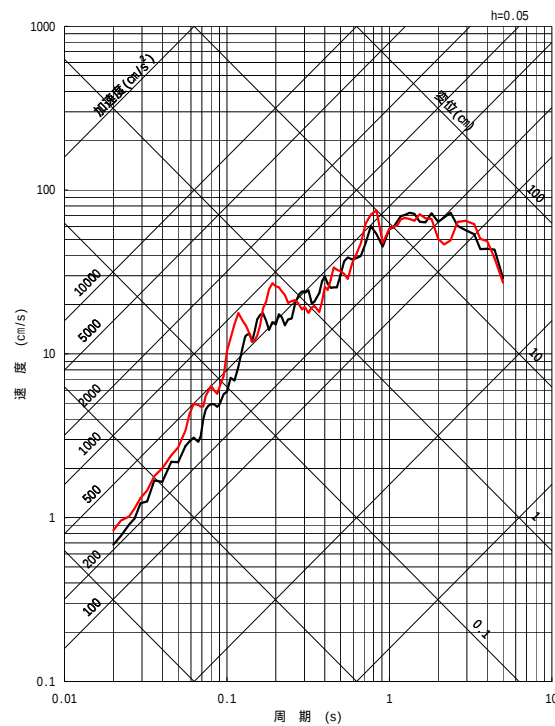
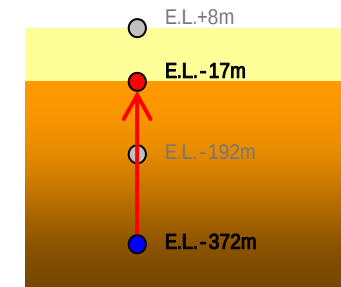


同定した地盤モデルの理論伝達関数(赤)と
観測記録による伝達関数(黒)の比較(上下動)

地盤同定解析

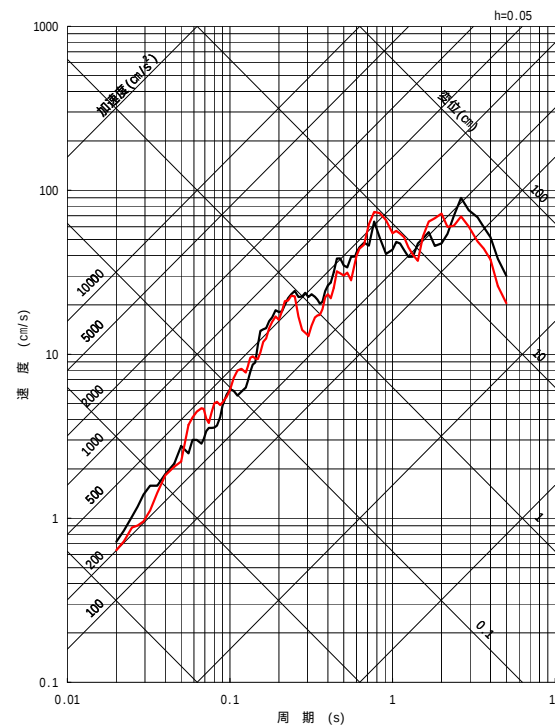
■ 地震波シミュレーション結果

水平成分と上下成分の記録で同定した地盤モデルに、最深部の地震観測記録を入力し、E.L.-17m(岩盤上端、原子炉建屋基礎下端に相当する深さ)のシミュレーション結果と観測記録を比較したところ、それらは良い対応を示した。



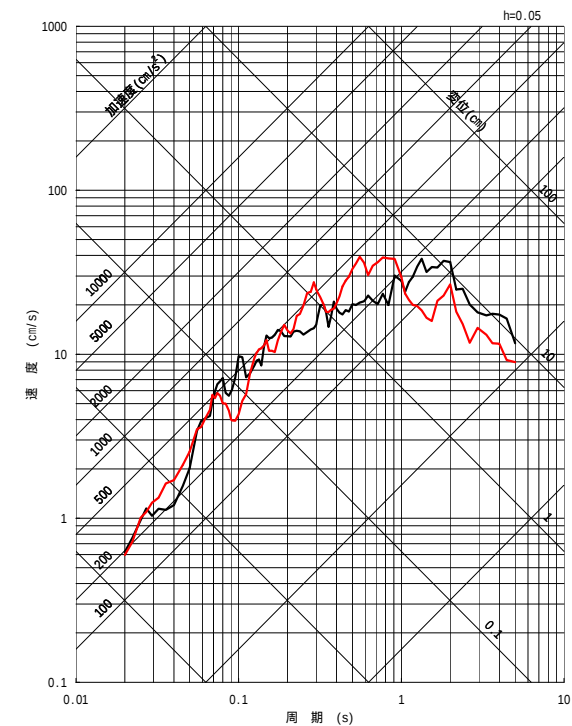
NS成分

— 観測記録
— シミュレーション結果



EW成分

— 観測記録
— シミュレーション結果



UD成分

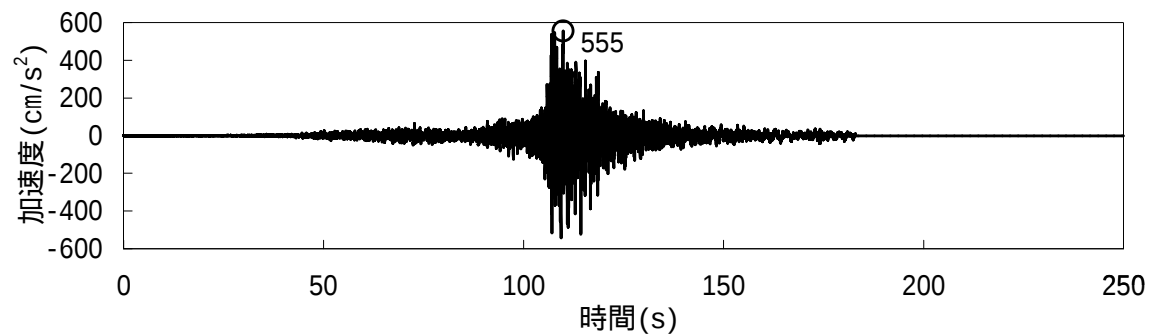
— 観測記録
— シミュレーション結果

同定した地盤モデルによる地震波シミュレーションの結果(E.L.-17m)

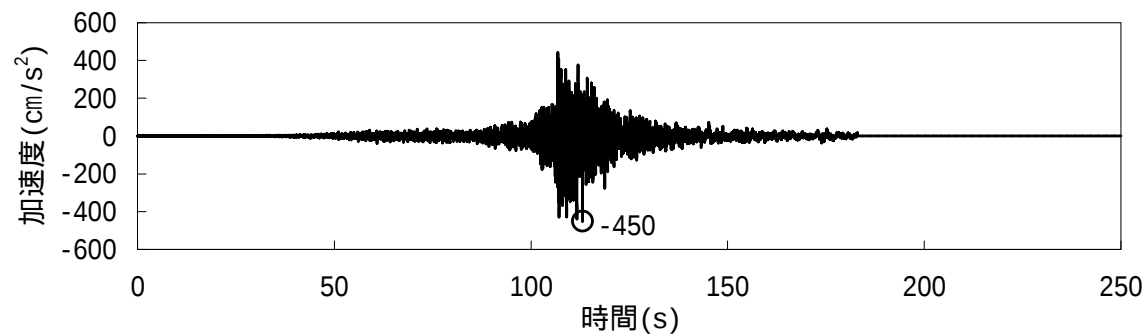
観測記録のはざとり

■ 解放基盤表面におけるはざとり結果(東北地方太平洋沖地震本震の加速度時刻歴波形)

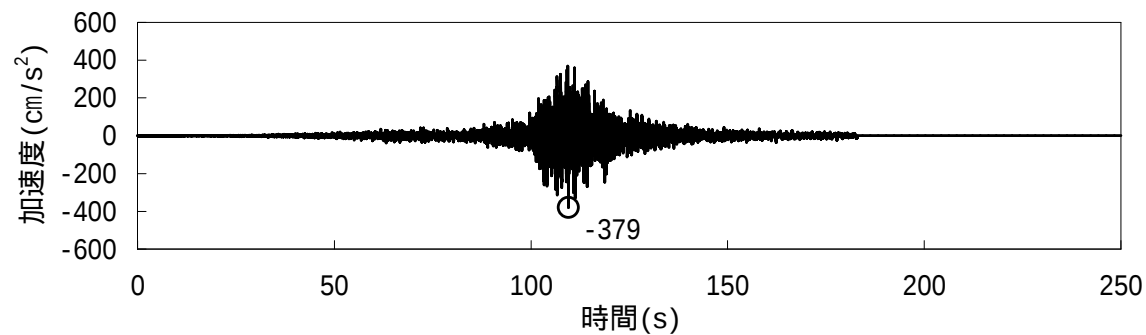
NS成分



EW成分

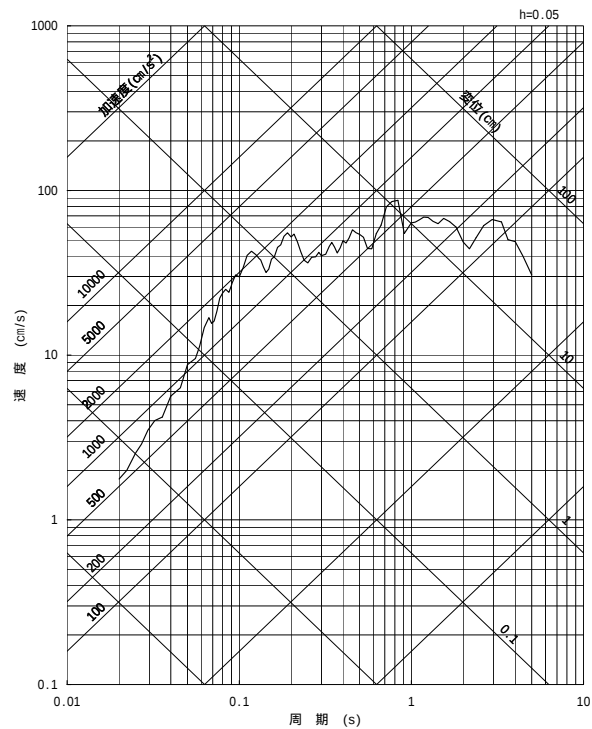


UD成分

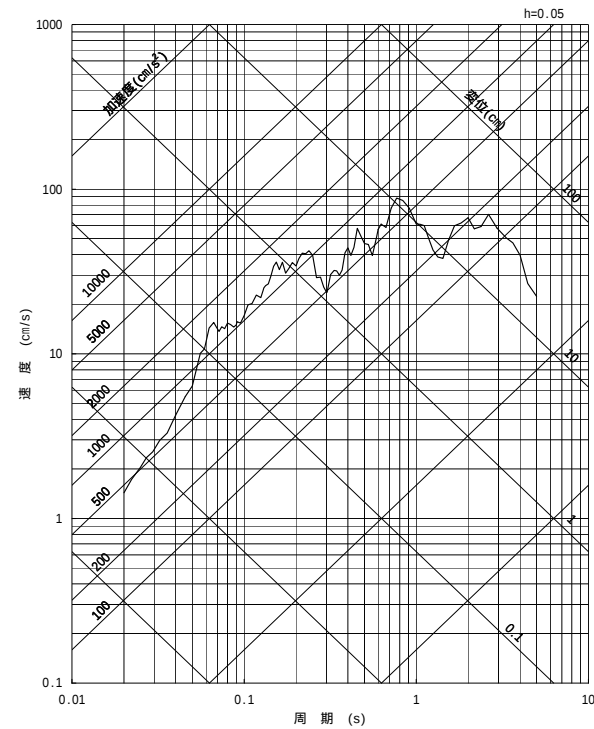


観測記録のはざとり

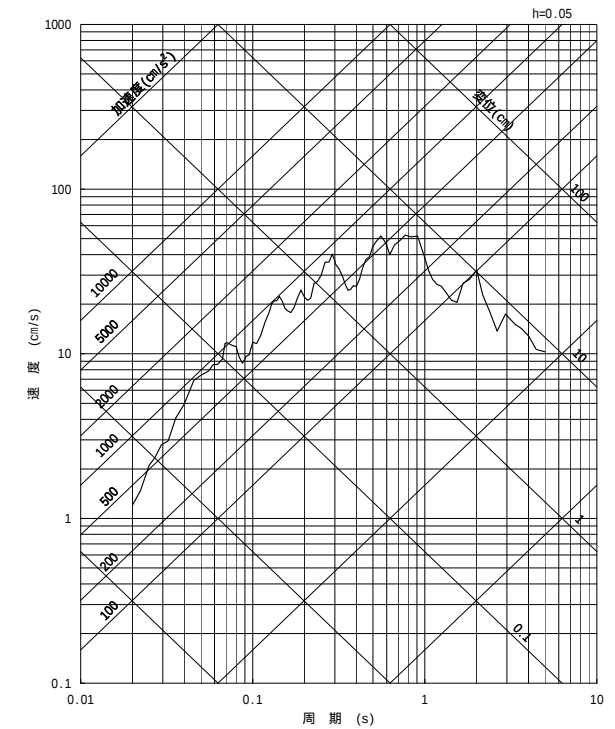
■ 解放基盤表面におけるはざとり結果(東北地方太平洋沖地震本震の応答スペクトル)



NS成分



EW成分



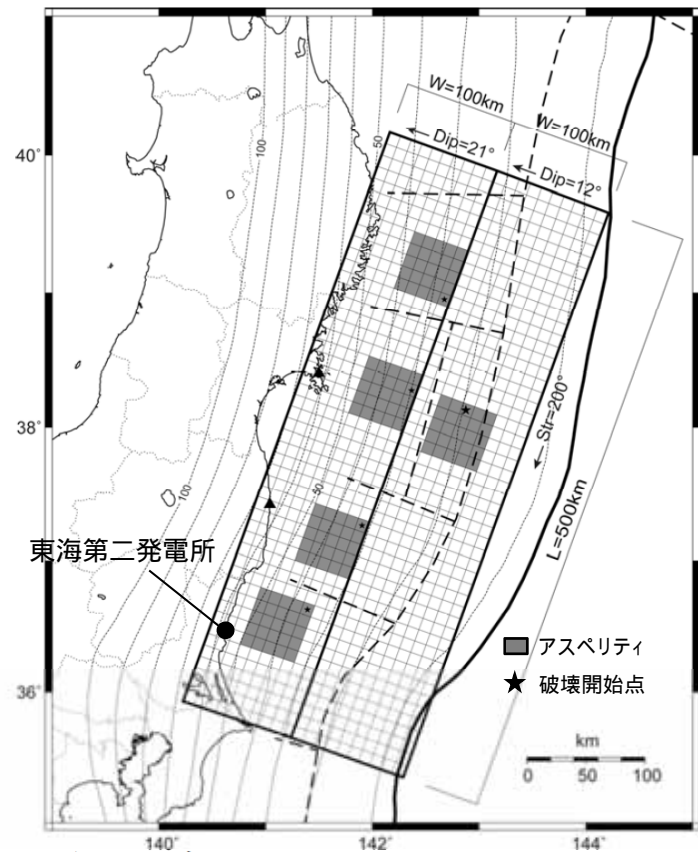
UD成分

参考資料

2. 2011年東北地方太平洋沖地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価と解放基盤波の比較について

諸井ほか(2013)の検討に用いた諸条件

- 諸井ほか(2013)の検討に用いた諸条件を示す。



背景の太線は日本海溝, 破線は海溝型地震の発生領域

諸井ほか(2013)による震源モデル
(一部加筆)

諸井ほか(2013)による断層パラメータ

	面積 S(km ²)	地震モーメント M ₀ (Nm)	平均すべり量 D(m)	応力降下量 Δσ(MPa)	短周期レベル A(Nm/s ²)
断層全体	100,000	4.0E+22	8.5	3.08	2.97E+20
SMGA1個あたり	2,500	2.0E+21	17.1	24.6	1.33E+20
背景領域	87,500	3.0E+22	7.3	4.9	—

地盤モデル

G.L. (m)	層厚 (m)	P波速度 (m/s)	S波速度 (m/s)	密度 (g/cm ³)	Q値	備考
-378						▼解放基盤表面(E.L.-370m)
-474	96	1855	700	1.898	100	
-674	200	2608	1200	2.112	100	▼地震基盤相当
-	∞	5492	2900	2.656	110f ^{0.69}	

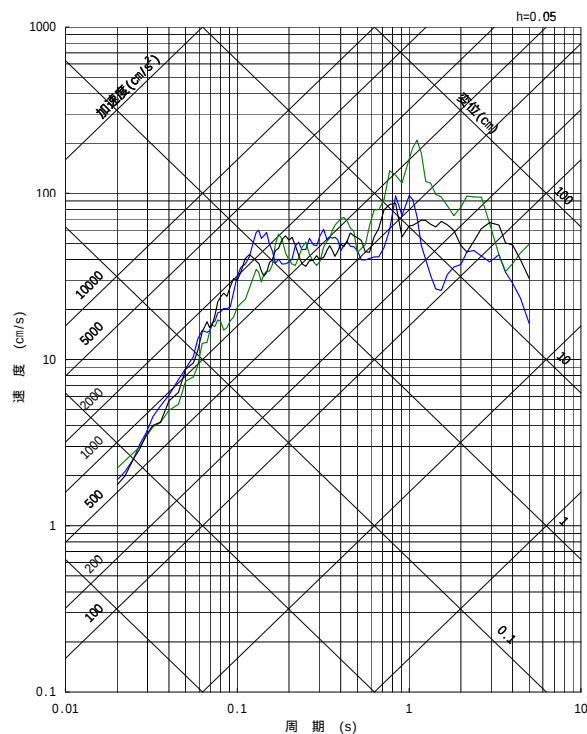
地震調査研究推進本部(2005)

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果

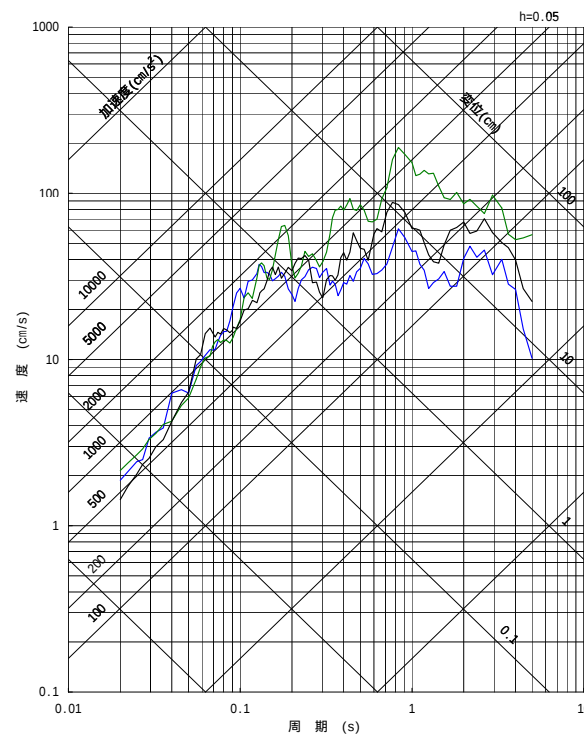
■ 断層モデルを用いた手法による地震動評価結果と東北地方太平洋沖地震の解放基盤波の比較

基本震源モデルを対象に、断層モデルを用いた手法による地震動評価結果(統計的グリーン関数法及び経験的グリーン関数法)と東北地方太平洋沖地震の解放基盤波とを比較する。

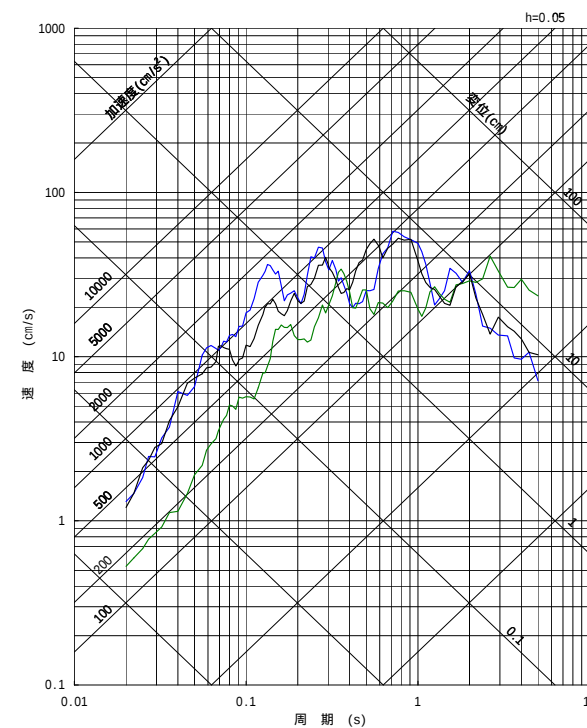
- 統計的グリーン関数法
- 経験的グリーン関数法
- 東北地方太平洋沖地震の解放基盤波



NS成分



EW成分



UD成分

断層モデルを用いた手法による地震動評価結果(統計的グリーン関数法(諸井ほか(2013))及び経験的グリーン関数法)は、東北地方太平洋沖地震の解放基盤波と対応していることを確認した。なお、UD成分においては経験的グリーン関数法を用いた方が観測記録との対応がよいことを確認した。