

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-076 改0
提出年月日	平成30年2月7日

V-2-1-2 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要

目 次

1. 概 要	1
2. 敷地周辺の地震発生状況	1
2.1 過去の被害地震	1
2.2 敷地周辺の地震活動	1
3. 活断層の分布状況	1
4. 地震の分類	1
4.1 内陸地殻内地震	2
4.2 プレート間地震	2
4.3 海洋プレート内地震	3
4.4 その他の地震	3
5. 敷地地盤の振動特性	3
5.1 解放基盤表面の設定	3
5.2 地震観測	4
5.3 敷地周辺の地盤構造	4
5.4 地下構造モデル	4
6. 基準地震動 S_s	4
6.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	4
6.1.1 内陸地殻内地震	5
6.1.1.1 検討用地震の選定	5
6.1.1.2 検討用地震の地震動評価	6
6.1.2 プレート間地震	8
6.1.2.1 検討用地震の選定	8
6.1.2.2 検討用地震の地震動評価	8
6.1.3 海洋プレート内地震	10
6.1.3.1 検討用地震の選定	10
6.1.3.2 検討用地震の地震動評価	10
6.2 震源を特定せず策定する地震動	12
6.2.1 評価方針	12
6.2.2 既往の知見	12
6.2.3 検討対象地震の選定と震源近傍の観測規則の収集	12
6.2.3.1 Mw6.5以上の地震	12
6.2.3.2 Mw6.5未満の地震	13
6.2.3.3 震源を特定せず策定する地震動の設定	14
6.3 基準地震動 S_s の策定	14
6.3.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	14

6.3.1.1	応答スペクトルに基づく手法による基準地震動 S_s	14
6.3.1.2	断層モデルを用いた手法による基準地震動 S_s	14
6.3.2	震源を特定せず策定する地震動による基準地震動 S_s	14
6.3.3	基準地震動 S_s の時刻歴波形	15
7.	基準地震動 S_s の年超過確率の参照	15
8	弾性設計用地震動 S_d	16
8.1	設定根拠	16
8.2	安全機能限界と弾性限界に対する入力荷重の比率について	17
9	参考文献	17

1. 概要

施設の供用中に耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による地震動（以下「基準地震動 S_s 」という。）は、以下の方針により策定することとする。

まず、敷地周辺における活断層の性質や敷地周辺における地震発生状況等を考慮して、その発生様式による地震の分類を行った上で、敷地に大きな影響を与えると予想される地震（以下「検討用地震」という。）を選定した後、敷地での地震動評価を行い、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」を評価する。

次に、敷地周辺の状況等を十分考慮した詳細な調査を実施しても、なお敷地近傍において発生する可能性のある内陸地殻内地震の全てを事前に評価し得るとは言い切れないとの観点から、「震源を特定せず策定する地震動」を評価する。

最後に、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」の評価結果に基づき、基準地震動 S_s を策定する。

2. 敷地周辺の地震発生状況

発電所が位置する茨城県周辺は、陸のプレート、太平洋プレート、フィリピン海プレートの3つのプレートが接触する場所である。敷地周辺で発生する地震は、内陸地殻内地震、各プレート間で発生する地震、太平洋プレートやフィリピン海プレートの海洋プレート内で発生する地震に分類される。

2.1 過去の被害地震

第2-1図は、「日本被害地震総覧」⁽¹⁾及び「気象庁地震カタログ」⁽²⁾に記載されている被害地震のうち、敷地からの震央距離が200km程度以内の被害地震の震央分布を示したものである。また、第2-1図に示した主な被害地震の諸元を第2-1表に示す。

ここで、地震の規模及び震央位置は、1884年以前の地震については「日本被害地震総覧」⁽¹⁾を、1885年以降1922年までの地震については「宇津カタログ（1982）」⁽³⁾を、1923年以降の地震については「気象庁地震カタログ」⁽²⁾を用いる。

2.2 敷地周辺の地震活動

「気象庁地震カタログ」⁽²⁾に示されている1923年から2016年3月までの地震のうち、敷地から約200km以内の範囲で発生したM4.0以上の地震の震央分布を第2-2図、震源の鉛直分布を第2-3図に示す。

さらに、1923年から2016年3月までの地震のうち、敷地から約100km以内の範囲で発生したM4.0以下の地震の震央分布を第2-4図、震源の鉛直分布を第2-5図に示す。

3. 活断層の分布状況

敷地周辺の活断層等の分布を第3-1図に示す。

4. 地震の分類

第4-1表に示す「気象庁震度階級関連解説表」⁽⁴⁾によれば、地震によって建物等に被害が発生するのは震度5弱（1996年以前は震度V）程度以上であることから、「2. 敷地周辺の地震発生状況」による地震の規模、位置等に関する最新の知見をもとに、敷地に大きな影響を与える地震として、震度5弱程度以上のものを地震発生様式別に選定する。

「日本被害地震総覧」⁽¹⁾に記載されている震度分布図及び気象庁から公表されている震度分布図によれば、第2-1図の地震のうち、敷地周辺で震度5弱（震度V）程度以上であったと推定される地震は、1895年霞ヶ浦付近の地震、1923年関東大地震、1930年那珂川下流域の地震、1938年塩屋崎沖の地震、1938年鹿島灘の地震、1938年福島県東方沖地震、2011年東北地方太平洋沖地震の本震及び同日15時15分に発生した余震である。

また、第2-1図の地震のうち、敷地及びその周辺での震度等が明らかでない地震については、第4-1図に示すように、地震の規模及び震央距離と震度との関係⁽⁵⁾⁽⁶⁾から敷地での震度を推定した。これによれば、敷地周辺で震度5弱（震度V）程度以上であったと推定される地震は、818年関東諸国の地震、1677年磐城・常陸・安房・上総・下総の地震、1896年鹿島灘の地震及び1921年茨城県龍ヶ崎付近の地震である。

4.1 内陸地殻内地震

第2-1図に示す過去の被害地震のうち、敷地周辺で震度5弱（震度V）程度以上であったと推定される内陸地殻内地震は、818年関東諸国の地震である。

次に、「3. 活断層の分布状況」の活断層等について、想定される地震の規模及び震央距離と震度との関係から敷地での震度を推定し、第4-2図に示す。ここで、活断層等から想定される地震の規模は、松田（1975）⁽⁷⁾により算定する。第4-2図に示すように、敷地周辺で震度5弱（震度V）程度以上になると推定される地震は、関谷断層による地震、深谷断層帯・綾瀬川断層による地震、F 3断層とF 4 b-1断層の同時活動による地震（以下「F 3断層、F 4 b-1断層による地震」という。）、関口-米平リニアメントによる地震、堅破山南西付近リニアメントによる地震（以下「堅破山リニアメントによる地震」という。）、日立市宮田町付近リニアメントによる地震（以下「宮田町リニアメントによる地震」という。）、F 8断層による地震、F 1 6断層による地震、A-1背斜による地震、棚倉破砕帯西縁断層（の一部）と棚倉破砕帯東縁付近の推定活断層の同時活動による地震（以下「棚倉破砕帯西縁断層、同東縁付近の推定活断層による地震」という。）、F 1断層、北方陸域の断層と塩ノ平地震断層の同時活動による地震（以下「F 1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層による地震」という。）、F 1 1断層による地震である。

なお、断層長さの短い、関口-米平リニアメントによる地震、堅破山リニアメントによる地震、宮田町リニアメントによる地震、F 1 1断層による地震の規模については、M6.8として評価する。

4.2 プレート間地震

第2-1図に示す過去の被害地震のうち、敷地周辺で震度5弱（震度V）程度以上であったと推定されるプレート間地震は、1677年磐城・常陸・安房・上総・下総の地震、1896年鹿島灘の

地震，1923年関東大地震，1930年那珂川下流域の地震，1938年塩屋崎沖の地震，1938年鹿島灘の地震，1938年福島県東方沖地震，2011年東北地方太平洋沖地震の本震及び同日15時15分に発生した余震である。これらのうち，1923年関東大地震はフィリピン海プレートと陸側のプレートの境界で発生したプレート間地震であるが，それ以外の地震は太平洋プレートと陸側のプレートの境界で発生したプレート間地震である。

また，中央防災会議（2013）⁽⁸⁾では，フィリピン海プレートと北米プレートとの境界の地震として，茨城県南部を震源とするM7.3のプレート間地震が想定されている。さらに，地震調査研究推進本部（2012a）⁽⁹⁾では，茨城県沖でM6.9～M7.6のプレート間地震が想定されている。

4.3 海洋プレート内地震

第2-1図に示す過去の被害地震のうち，敷地周辺で震度5弱（震度V）程度以上であったと推定される海洋プレート内の地震は，1895年霞ヶ浦付近の地震及び1921年茨城県龍ヶ崎付近の地震である。首都直下地震防災・減災特別プロジェクト（2012）⁽¹⁰⁾では，1895年霞ヶ浦付近の地震は太平洋プレート内で発生した地震であり，1921年茨城県龍ヶ崎付近の地震はフィリピン海プレート内で発生した地震であることが指摘されている。

また，中央防災会議（2004）⁽¹¹⁾では，茨城県南部のフィリピン海プレート内を震源とするM7.3の海洋プレート内地震が想定されている。さらに，中央防災会議（2013）⁽⁸⁾に基づけば，茨城県南部においてM7.3の海洋プレート内地震を想定できる。また，地震調査研究推進本部（2009a）⁽¹²⁾では，「震源断層を予め特定しにくい地震」として北関東から東北地方の陸域にかけて，太平洋プレート内を震源とするM7.1の海洋プレート内地震，茨城県沖の太平洋プレート内を震源とするM7.3の海洋プレート内地震が想定されている。さらに，地震調査研究推進本部（2009a）⁽¹²⁾では，茨城県沖の海溝寄りの太平洋プレート内を震源とするM8.2の海洋プレート内地震が想定されている。

4.4 その他の地震

敷地周辺において，上記3種類の地震のいずれにも分類されない特徴的な地震は発生していない。

5. 敷地地盤の振動特性

5.1 解放基盤表面の設定

敷地内で実施した地質調査結果によると，敷地では新第三系の久米層がほぼ水平で相当な拵がりを有して分布している。敷地内のボーリング孔で実施したP S検層結果によると，EL. -370m以深ではS波速度が0.7km/s以上となっていることから，EL. -370mの位置に解放基盤表面を設定する。なお，地震動評価のうち応答スペクトルに基づく手法において，解放基盤表面での地盤の弾性波速度値については，P S検層結果を踏まえ，P波速度を2.0km/s，S波速度を0.7km/sと設定する。

5.2 地震観測

敷地地盤における地震観測は、第5-1図に示す位置で実施している。

5.3 敷地周辺の地盤構造

第5-2図に示す重力異常分布⁽¹³⁾によると、敷地の北西部には重力の急変部が、敷地西側には船底状の構造が見られる。これらは、基盤が深さ4km程度に達する不整形地盤が存在するためである。これらの不整形地盤が、敷地の地震動に与える影響について、地震観測記録の分析及び地盤モデルを用いた解析により検討した。

地震観測記録の分析では、第5-3図に震央位置を示す地震波の到来方向ごとに応答スペクトル比を比較した結果、第5-4図に示すように到来方向による大きな違いは見られず、ばらつきも小さいことを確認した。

また、敷地及び敷地周辺で実施した屈折法地震探査及び微動アレイ探査結果等に基づき作成した第5-5図に示す2次元地盤モデルを用いて、敷地の解放基盤表面における地震動について検討した。

2次元地盤モデルを用いた解析結果では、第5-6図に示すように敷地周辺において特異な増幅を示す傾向は見られず、第5-7図に示すように敷地直下の地盤構造に基づく成層モデルによる解析結果を下回ることを確認した。

これらの結果により、敷地直下の地下構造は水平成層構造と見なして地震動が評価できることを確認した。

5.4 地下構造モデル

地震動評価に用いる地下構造モデルは、以下の通り設定する。

速度構造及び密度については、深さ1,000mのボーリング調査結果を基に設定する。減衰定数については、解放基盤表面から地震基盤までは信岡ほか(2012)⁽¹⁴⁾、地震基盤以深は佐藤ほか(1994)⁽¹⁵⁾に基づき設定する。設定した地下構造モデルを第5-1表に示す。

6. 基準地震動 S_s

基準地震動 S_s は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」について、敷地の解放基盤表面における水平成分及び鉛直成分の地震動としてそれぞれ策定する。

6.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

「4. 地震の分類」を踏まえ、地震発生様式ごとに敷地に特に大きな影響を及ぼすと考えられる地震をNoda et al. (2002)⁽¹⁶⁾の方法により検討用地震として選定する。Noda et al. (2002)⁽¹⁶⁾の方法による応答スペクトルの算定に当たっては、震源位置や地震の発生様式ごとに分類した地震観測記録を用いた補正係数を必要に応じて用いる。具体的には、敷地で観測した地震のうち、M5.3以上かつ震央距離200km以内の観測記録について、表層地盤の影響を取り除き解放基盤表面における地震波（以下「解放基盤波」という。）を評価し、Noda et

a1. (2002) ⁽¹⁶⁾ の方法による応答スペクトルとの比（以下「残差」という。）を算出する。そして、地震発生様式や震源領域に応じた残差の平均的な特性を検討し、必要に応じて補正係数として用いる。

次に、検討用地震について、基本震源モデルの設定、不確かさを考慮するパラメータの選定を行い、検討用地震の地震動評価を行う。

6.1.1 内陸地殻内地震

6.1.1.1 検討用地震の選定

(1) 地震観測記録を用いた補正係数

内陸地殻内地震の残差によると、福島県と茨城県の県境付近で発生した地震には、短周期側において水平成分で1.4倍程度、鉛直成分で1.7倍程度大きくなる傾向が見られることから、この領域で発生する地震については、短周期側で2倍の補正係数を考慮する。なお、これ以外の領域における内陸地殻内地震については、残差の傾向を踏まえ、観測記録の応答スペクトル比に基づく補正係数や Noda et al. (2002) ⁽¹⁶⁾ による内陸地殻内地震に対する補正を考慮しない。

内陸地殻内地震の残差と設定した補正係数を第6-1図に示す。

(2) 地震発生層の設定

活断層等については、地震発生層の上端深さと下端深さより断層幅を仮定し、断層長さから断層幅から断層モデルを設定する。

地震発生層の設定の際には、2011年東北地方太平洋沖地震後に地震活動が活発になった地域にも着目し、地震発生層の地域性を考慮して設定する。

a. 福島県と茨城県の県境付近以外の断層に対する地震発生層の設定

「気象庁地震カタログ」⁽²⁾ をもとに「震源として考慮する活断層の分布」と概ね対応する福島県南部から茨城県南部までの領域における地震発生状況について、地震の震源鉛直分布から求められるD10、D90（その値より震源深さが浅い地震数がそれぞれ全体の10%、90%となる震源深さ）を検討した結果、それぞれ5.2km、12.3kmとなった。

しかしながら、上記の検討は、2011年東北地方太平洋沖地震以降、福島県と茨城県の県境付近で地震活動が活発化した影響を受けていると考えられる。その影響を受けていない原子力安全基盤機構(2004)⁽¹⁷⁾ によるD10、D90は、敷地周辺の「福島・茨城」ではそれぞれ6.1km、18.1kmとされている。

地震発生層と速度構造の関係については、廣瀬・伊藤(2006)⁽¹⁸⁾ によると、浅い地殻内で発生する微小地震は、P波速度5.8km/s~6.4km/sの層に集中しているとされている。三浦ほか(2000)⁽¹⁹⁾ による日本海溝・福島沖前弧域における海底地震計及びエアガンを用いた深部構造探査結果では、福島県の海岸線においてP波速度5.5km/s、6.0km/s及び6.5km/sとなる深さは、それぞれ約6km、約9km及び約15kmとなっている。

福島県と茨城県の県境付近以外の断層の地震発生層については、福島県南部から茨

城県南部における地震発生状況や原子力安全基盤機構（2004）⁽¹⁷⁾等を参考に、上端深さを5km、下端深さを18kmに設定する。

b. 福島県と茨城県の県境付近の断層に対する地震発生層の設定

2011年東北地方太平洋沖地震後に地震活動が活発になった地域に着目し、地震発生層を設定する。

青柳・上田（2012）⁽²⁰⁾では、阿武隈南部を対象に2011年東北地方太平洋沖地震後の臨時稠密余震観測により震源再決定が行われている。それらのデータを用いたD10、D90がそれぞれ深さ3.0km、7.9kmであることから、上端深さは3kmに設定する。また、2011年福島県浜通りの地震の震源インバージョン解析モデル⁽²¹⁾⁽²²⁾⁽²³⁾や震源域周辺の微小地震分布⁽²⁴⁾から、下端深さは13km～16km程度と推定されるが、安全側に18kmと設定する。

(3) 検討用地震の選定

Noda et al.（2002）⁽¹⁶⁾の方法により応答スペクトルを求める。活断層等については、「(2) 地震発生層の設定」で設定した地震発生層の上端深さと下端深さより一様断層モデルを設定し、等価震源距離（ X_{eq} ）を算出する。

応答スペクトルの算定に用いた諸元を第6-1表に示す。算定結果の比較を第6-2図に示す。

第6-2図より、敷地への影響が大きいF1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層による地震を検討用地震として選定する。

6.1.1.2 検討用地震の地震動評価

(1) 基本震源モデルの設定

F1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層による地震の基本震源モデルは、原則として「強震動予測レシピ」⁽²⁵⁾及び地質調査結果に基づき設定する。

F1断層、北方陸域の断層、塩ノ平地震断層による地震の断層面は、地質調査結果を参考に南部と北部に区分する。南部については、F1断層からリニアメントが判読されない測線までの区間とする。リニアメントが判読されない区間を南部に含めることで敷地に近い南部区間の断層面積を安全側に大きく設定する。北部については、北方陸域の断層及び塩ノ平地震断層の区間とする。

地震のタイプについては、2011年福島県浜通りの地震が正断層であること、F1断層における音波探査結果から正断層センスのずれが認められること、さらに青柳・上田（2012）⁽²⁰⁾において福島県から茨城県にかけての領域は正断層応力場とされていることを踏まえ正断層とする。

断層上端、下端深さは「6.1.1.1 検討用地震の選定」に示す、福島県と茨城県の県境付近の断層に対する地震発生層に基づき、断層上端深さについては断層全長にわたり3kmに、下端深さについては断層全長にわたり安全側に18kmとする。

断層傾斜角については、F1断層の海上音波探査結果では西傾斜の高角な断層であることや2011年福島県浜通りの地震の震源インバージョン解析で設定されている断層傾斜

角を参考に、全長にわたり西傾斜60度とする。

アスペリティ位置について、F1断層に対応するセグメント及び北方陸域の断層から塩ノ平地震断層に対応するセグメントの一つずつアスペリティを設定し、それぞれセグメントの敷地に近い位置の断層上端に配置する。

破壊開始点については、基本震源モデルを対象に、アスペリティ下端及び断層下端に複数設定した上で、影響の大きい破壊開始点を選定する。

断層パラメータの設定フローを第6-3図に、設定した基本震源モデルを第6-2表及び第6-4図に示す。

(2) 不確かさを考慮するパラメータの選定

地震動評価における不確かさとして、短周期レベル、断層傾斜角、アスペリティ位置について考慮する。

短周期レベルについて、佐藤・堤(2012)⁽³⁰⁾により正断層の地震である2011年福島県浜通りの地震の短周期レベルが壇ほか(2001)⁽³¹⁾の関係式とほぼ同等であることを確認した上で、2007年新潟県中越沖地震の知見を踏まえ、「強震動予測レシピ」⁽²⁵⁾による値の1.5倍の値を考慮する。

断層傾斜角について、震源モデルの北部において2011年福島県浜通りの地震の震源再決定による余震分布形状が必ずしも明瞭なトレンドを示していないため、不確かさとして震源モデル全長にわたり45度を考慮する。

アスペリティ位置について、震源モデルの南部及び北部のアスペリティを断層端部に設定するケースを考慮する。

破壊開始点について、基本震源モデルと同様の位置に設定する。

地震動評価において考慮する各検討ケースの主な諸元の比較を第6-3表に、設定した各検討ケースの断層パラメータ及び断層モデルを第6-2表、第6-4表、第6-5表及び第6-4図から第6-6図に示す。

(3) 応答スペクトルに基づく手法による地震動評価

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)⁽¹⁶⁾に基づき行うものとし、「6.1.1.1 検討用地震の選定」に基づき、福島県と茨城県の県境付近で発生した内陸地殻内地震による補正係数を考慮し、Noda et al.(2002)⁽¹⁶⁾による内陸地殻内地震に対する補正を考慮しない。

第6-3表に示す各検討ケースを対象として、上記の手法に基づき算定した応答スペクトルを第6-7図に示す。

(4) 断層モデルを用いた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は、経験的グリーン関数法により行う。

要素地震の諸元及び震央位置を第6-6表及び第6-8図に示す。この要素地震は、想定する地震の震源域で発生した同じ地震発生様式の地震であり、震源特性、伝播経路特性及び敷地地盤の振動特性を適切に反映したものであると考えられる。第6-3表に示す各検討ケースを対象として、上記の手法に基づき算定した応答スペクトルを第6-9図に示す。

6.1.2 プレート間地震

6.1.2.1 検討用地震の選定

(1) 地震観測記録を用いた補正係数

プレート間地震の残差によると、敷地から40km程度東方沖合の鹿島灘で発生した地震には、短周期側で4倍程度、長周期側で1.4倍程度大きくなる傾向が見られることから、この領域で発生する地震については、残差の傾向を踏まえた補正係数を考慮する。なお、これ以外の領域におけるプレート間地震については、残差の傾向を踏まえ、補正係数を考慮しない。

プレート間地震の残差と設定した補正係数を第6-10図に示す。

(2) 検討用地震の選定

「4.2 プレート間地震」で選定した地震のうち、2011年東北地方太平洋沖地震の本震及び同日15時15分に発生した余震以外の地震については、Noda et al. (2002) ⁽¹⁶⁾の方法により応答スペクトルを求める。このうち鹿島灘で発生した1896年鹿島灘の地震及び1938年鹿島灘の地震については、「6.1.2.1 検討用地震の選定」に基づき、鹿島灘付近で発生したプレート間地震による補正係数を考慮する。その他の地震については、補正係数は考慮しない。

2011年東北地方太平洋沖地震の本震及び同日15時15分に発生した余震の応答スペクトルについては、敷地での地震観測記録より求めた解放基盤波により評価する。

応答スペクトルの算定に用いた諸元を第6-7表に示す。算定結果の比較を第6-11図に示す。

第6-11図より、敷地への影響が大きい2011年東北地方太平洋沖地震の本震を検討用地震として選定し、以降では、2011年東北地方太平洋沖型地震として地震動評価を行う。

6.1.2.2 検討用地震の地震動評価

(1) 基本震源モデルの設定

2011年東北地方太平洋沖地震については、諸井ほか (2013) ⁽³²⁾により「強震動予測レシピ」⁽²⁵⁾の適用性が確認されている。よって、2011年東北地方太平洋沖型地震の基本震源モデルは、「強震動予測レシピ」⁽²⁵⁾に基づき設定する。断層パラメータの設定フローを第6-12図に、設定した基本震源モデルを第6-8表及び第6-13図に示す。

震源位置については、長谷川ほか (2013) ⁽³³⁾に基づけば、陸のプレートと太平洋プレートの境界で発生する地震の破壊が、Uchida et al. (2010) ⁽³⁴⁾のフィリピン海プレートの北東端以南へ伝播する可能性は低いと考えられることから、三陸沖中部から茨城県沖にかけて長さ500kmの断層を設定する。

強震動生成域（以下「SMGA」という。）位置について、入倉 (2012) ⁽³⁸⁾によると過去のM8以下の地震の震源域に対応し、地震調査研究推進本部の領域区分に関係づけられるとされていることを踏まえ、地震調査研究推進本部の領域区分に対応するよ

う5個のSMGAを設定する。

茨城県沖のSMGA位置については、過去に1896年鹿島灘の地震等規模が大きい地震が発生している位置であり、2011年東北地方太平洋沖地震の本震の観測記録を再現できる位置に設定する。

短周期レベルについて、茨城県沖では、他の地域で発生した地震に比べて小さい傾向が見られるものの、諸井ほか(2013)⁽³²⁾で検討されている宮城県沖、福島県沖、茨城県沖で発生した地震の平均的な短周期レベルとする。その場合、SMGA面積比は0.125となる。

破壊開始点については、破壊が敷地に向かう位置となる2011年東北地方太平洋沖地震の本震の破壊開始点とする。なお、破壊開始点の設定にあたり、茨城県沖のSMGA等に複数設定して、当該破壊開始点の影響が最も大きいことを確認した。

(2) 不確かさを考慮するパラメータの選定

地震動評価における不確かさとして、SMGA位置及び短周期レベルについて考慮する。

茨城県沖のSMGA位置について、入倉(2012)⁽³⁸⁾では過去のM8以下の地震の震源域に対応するとされており、位置はある程度特定できると考えられるものの、茨城県沖では宮城県沖等に比べ近年における規模が大きい地震の発生が少なく、SMGA位置を確定的に設定することが難しいことから、SMGAを敷地に最も近づけたケースを不確かさとして考慮する。

短周期レベルについては、基本震源モデルにおいて茨城県沖で発生する地震に対しては安全側の設定になっているものの、宮城県沖で発生する短周期レベルが大きい地震と同程度の設定を考慮することとし、佐藤(2010)⁽³⁹⁾や片岡ほか(2006)⁽⁴⁰⁾等におけるプレート間地震の短周期レベルと地震モーメントの関係を参考に、不確かさとして基本震源モデルで設定した値の1.5倍を考慮する。

さらに、SMGA位置については、前述のとおり確定的に設定することが難しいことから、短周期レベルの不確かさとの重畳を考慮する。

地震動評価において考慮する各検討ケースの主な諸元の比較を第6-9表に、設定した各検討ケースの断層パラメータ及び断層モデルを第6-8表、第6-10表及び第6-13図、第6-14図に示す。

(3) 応答スペクトルに基づく手法による地震動評価

2011年東北地方太平洋沖地震では、複数のSMGAが時間的にも空間的にも離れて連動したが、敷地での揺れは、特に短周期域において敷地近傍のSMGAの影響が支配的であった。このような複雑な震源過程から生成される強震動を短周期から長周期にわたり精度よく評価できる距離減衰式はないと考えられるため、「6.1.2.1 検討用地震の選定」に示す同地震の解放基盤波をもとに、それを包絡した応答スペクトルを用いる。

応答スペクトルに基づく手法による地震動評価結果を第6-15図に示す。

(4) 断層モデルを用いた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は、経験的グリーン関数法により行う。

要素地震の諸元及び震央位置を第6-11表及び第6-16図に示す。この要素地震は、想定する地震の震源域で発生した同じ地震発生様式の地震であり、震源特性、伝播経路特性及び敷地地盤の振動特性を適切に反映したものであると考えられる。

第6-9表に示す各検討ケースを対象として、断層モデルを用いた手法に基づき算定した応答スペクトルを第6-17図に示す。また、基本震源モデルによる地震動評価と、2011年東北地方太平洋沖地震の観測記録の解放基盤波との比較を第6-18図に示す。

6.1.3 海洋プレート内地震

6.1.3.1 検討用地震の選定

(1) 地震観測記録を用いた補正係数

海洋プレート内地震の残差によると、陸域寄りの場所で発生した地震には、短周期及び長周期側で2倍程度大きくなる傾向が見られることから、この領域で発生する地震については、全周期帯で2倍の補正係数を考慮する。なお、これ以外の領域における海洋プレート内地震については、残差の傾向を踏まえ、補正係数を考慮しない。

海洋プレート内地震の残差と設定した補正係数を第6-19図に示す

(2) 検討用地震の選定

「4.3 海洋プレート内地震」で選定した地震について、Noda et al. (2002)⁽¹⁶⁾の方法により応答スペクトルを求める。1895年霞ヶ浦付近の地震、1921年茨城県龍ヶ崎付近の地震、中央防災会議(2004)⁽¹¹⁾の茨城県南部の地震、中央防災会議(2013)⁽⁸⁾に基づく茨城県南部の地震、地震調査研究推進本部(2009a)⁽¹²⁾の震源断層を予め特定しにくい地震(陸域)、地震調査研究推進本部(2009a)⁽¹²⁾の震源断層を予め特定しにくい地震(海域)については、「6.1.3.1 検討用地震の選定」に基づき、陸域寄りの場所で発生した海洋プレート内地震による補正係数を考慮する。その他の地震については補正係数を考慮しない。算定に用いた諸元を第6-12表に、算定結果の比較を第6-20図に示す。

第6-20図より、敷地への影響が大きい中央防災会議(2004)⁽¹¹⁾、(2013)⁽⁸⁾の茨城県南部の海洋プレート内地震を検討用地震として選定する。

6.1.3.2 検討用地震の地震動評価

(1) 基本震源モデルの設定

茨城県南部の地震の基本震源モデルは、原則として、最新のフィリピン海プレートの形状やフィリピン海プレート内地震の規模、応力降下量等が検討されている中央防災会議(2013)⁽⁸⁾並びに茨城県南部から房総沖にかけてのフィリピン海プレートの地震発生メカニズムについて検討されている長谷川ほか(2013)⁽³³⁾等に基づき設定する。中央防災会議(2013)⁽⁸⁾によるフィリピン海プレートの形状を第6-21図に示す。

地震規模について、中央防災会議(2013)⁽⁸⁾では1855年安政江戸地震を海洋プレート内地震として想定した場合の過去の震度を再現できる震源モデルとして地震規模Mw7.2(応力降下量52MPa)に保守性を考慮したMw7.3(応力降下量62MPa)が提案されて

いる。基本震源モデルの地震規模としては、上記に基づきMw7.3と設定する。

断層面の位置について、中央防災会議（2013）⁽⁸⁾による「フィリピン海プレート内地震を想定する領域」のうち敷地に近い位置に配置する。

断層傾斜角やずれについては、長谷川ほか（2013）⁽³³⁾による知見を踏まえ90度の右横ずれ断層として設定する。

アスペリティ位置については、海洋性マントル内ではどこでも想定される可能性があるため、海洋性マントルの最上部に設定する。

破壊開始点については、アスペリティ下端に複数設定する。

断層パラメータの設定フローを第6-22図に、設定した基本震源モデルを第6-13表及び第6-23図に示す。

(2) 不確かさを考慮するパラメータの選定

地震動評価における不確かさとして、断層傾斜角、アスペリティ位置、応力降下量及び地震規模について考慮する。

断層傾斜角については、断層面から放出される地震波が密に重なるよう断層傾斜角を敷地に向けたケースを考慮する。

アスペリティ位置については、海洋性地殻内に想定される可能性は低いものの、敷地に近くなるよう海洋性地殻内の上端に配置したケースを考慮する。

アスペリティの応力降下量については、笹谷ほか（2006）⁽⁴³⁾のスケーリング則に基づきパラメータ設定したケースを考慮する。

地震規模については、南海トラフで発生したフィリピン海プレート内地震である2004年伊半島南東沖地震の規模を参考にM7.4を考慮する。

地震動評価において考慮する各検討ケースの主な諸元の比較を第6-14表に、設定した各検討ケースの断層パラメータ及び断層モデルを第6-13表、第6-15表から第6-17表及び第6-23図から第6-27図に示す。

(3) 応答スペクトルに基づく手法による地震動評価

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)⁽¹⁶⁾に基づき行うものとし、「6.1.3.1 検討用地震の選定」に基づき、陸域寄りの場所で発生した海洋プレート内地震による補正係数を考慮する。

第6-14表に示す各検討ケースを対象として、上記の手法に基づき算定した応答スペクトルを第6-28図に示す。

(4) 断層モデルを用いた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は、経験的グリーン関数法により行う。

要素地震の諸元及び震央位置を第6-18表及び第6-29図に示す。この要素地震は、想定する地震の震源域で発生した地震であるため、伝播経路特性及び敷地地盤の振動特性を適切に反映したものである。なお、震源メカニズムについては、想定する地震と異なるが、要素地震の放射特性に等方化の傾向がみられたため、放射特性係数の補正を行わないこととした。

第6-14表に示す各検討ケースを対象として、上記の手法に基づき算定した応答スペ

クトルを第6-30図に示す。

6.2 震源を特定せず策定する地震動

敷地周辺の状況等を十分考慮した詳細な調査を実施しても、なお敷地近傍において発生する可能性のある内陸地殻内地震の全てを事前に評価し得るとは言い切れないとの観点から、震源を特定せず策定する地震動を考慮する。

6.2.1 評価方針

震源を特定せず策定する地震動の策定にあたっては、震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内地震で得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらを基に敷地の地盤物性を加味した応答スペクトルを設定する。

6.2.2 既往の知見

加藤ほか（2004）^{（44）}では、内陸地殻内地震を対象として、詳細な地質学的調査によっても震源位置と地震規模を予め特定できない地震による震源近傍の硬質地盤上における強震記録を用いて、震源を事前に特定できない地震による水平成分の地震動の上限スペクトルが設定されている。加藤ほか（2004）^{（44）}による水平成分の応答スペクトルに対し、Noda et al.（2002）^{（16）}の方法による地盤増幅特性を用いて、敷地の地盤物性を考慮して水平成分及び鉛直成分の応答スペクトルを評価した。加藤ほか（2004）^{（44）}に基づき設定した応答スペクトルを第6-31図に示す。

6.2.3 検討対象地震の選定と震源近傍の観測記録の収集

震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内地震の震源近傍の観測記録の収集においては、震源断層がほぼ地震発生層の厚さ全体に広がっているものの、地表地震断層としてその全容を表すまでには至っていないMw6.5以上の地震及び断層破壊領域が地震発生層内部に留まり、国内においてどこでも発生すると考えられる地震で、震源の位置も規模もわからない地震として地震学的検討から全国共通で考慮すべきMw6.5未満の地震を対象とする。検討対象地震を第6-19表に示す。

6.2.3.1 Mw6.5以上の地震

2008年岩手・宮城内陸地震及び2000年鳥取県西部地震については、事前に活断層の存在が指摘されていなかった地域において発生し、地表付近に一部痕跡が確認された地震であり、地城による活断層の成熟度の相違、上部に軟岩、火山岩又は堆積層が厚く分布する場合、地質体の違い等の地域差があると考えられる。

2008年岩手・宮城内陸地震の震源域近傍は、新第三紀以降の火山岩及び堆積岩が厚く堆積し、顕著な褶曲又は撓曲構造が発達する。地質構造としてはカルデラが密集することから複雑である。震源域は山間部に位置し、指標となる地形が少ないこと及び大規模地すべりを含めた地すべりが密集していることから震源域近傍は変動地形等の認識が難

しい地域である。

また、2008年岩手・宮城内陸地震の震源域は火山フロントに近接し、地震地体構造区分としては東北日本弧内帯（8C）、応力場としては防災科学技術研究所（2013）^{（46）}において、ひずみ集中帯と指摘され、東西圧縮型の逆断層が卓越する。

一方、東海第二発電所敷地近傍には、中新統の堆積岩、鮮新統の堆積岩、更新統の段丘堆積物等、完新統の沖積層及び砂丘砂層が分布し、地質が類似する点があるが、敷地近傍に広く分布する鮮新統（久米層）及びこれを不整合に覆う上部更新統はほぼ水平に分布しており、地質構造は異なり、敷地近傍にカルデラも分布しない。敷地近傍陸域には後期更新世以降に形成された段丘面が分布していること、地すべりが認められないこと及び海域には堆積層からなる鮮新統及び下部更新統が水平に広く分布していることから変動地形等が認識しやすい地域である。

また、東海第二発電所は火山フロントの遠方に位置し、地震地体構造区分としては東北日本弧外帯（8B）、応力場としてはひずみ集中帯として指摘している文献はなく、敷地周辺の茨城県北部では南西―北東引張の正断層が卓越する。

以上のことから、2008年岩手・宮城内陸地震の震源域は、東海第二発電所敷地近傍とは地域の特徴が異なることから、観測記録収集対象外とする。

第6―20表に2008年岩手・宮城内陸地震の震源域と東海第二発電所敷地近傍の比較を示す。

2000年鳥取県西部地震の震源域近傍は、主に古第三系の花崗岩及び中新統の安山岩～玄武岩の岩脈が分布する。第四紀中期以降に新たに断層面を形成して、断層が発達しつつあり、活断層の発達過程としては初期ないし未成熟な段階にあることから変動地形等の認識が難しい地域である。

また、2000年鳥取県西部地震の震源域は火山フロントに近接し、地震地体構造区分としては中国山地・瀬戸内海（10C5）、応力場としては西村（2014）^{（48）}において、ひずみ集中帯と指摘され、東西圧縮の横ずれ断層型が卓越する。

一方、東海第二発電所敷地近傍の地質・地質構造等の特徴は前述のとおりであり、2000年鳥取県西部地震の震源域は、東海第二発電所敷地近傍とは地域の特徴が異なることから、観測記録収集対象外とする。

第6―21表に2000年鳥取県西部地震の震源域と東海第二発電所敷地近傍の比較を示す。

6.2.3.2 Mw6.5未満の地震

第6―19表に示した検討対象地震のうち、2008年岩手・宮城内陸地震及び2000年鳥取県西部地震を除いた14地震について、震源近傍の観測記録を収集して、その地震動レベルを整理した。その結果、2004年北海道留萌支庁南部地震では、震源近傍のK-NET港町観測点において加藤ほか(2004)^{（44）}による応答スペクトルを上回る地震観測記録が得られており、さらに佐藤ほか(2013)^{（49）}では、K-NET港町観測点において詳細な地盤調査及び基盤地震動の推定が行われ、信頼性の高い基盤地震動が得られていることから、これらを参考にK-NET港町観測点の地下構造モデルの不確かさを考慮し

基盤地震動を評価する。

6.2.3.3 震源を特定せず策定する地震動の設定

以上の検討を踏まえ、震源を特定せず策定する地震動として、加藤ほか(2004)⁽⁴⁴⁾等に基づき設定した応答スペクトル、6.2.3.2で評価した基盤地震動にK-N-E-T港町観測点と敷地の解放基盤表面相当位置の地盤物性の相違による影響等を考慮して評価した地震動の応答スペクトルを考慮する。「震源を特定せず策定する地震動」の応答スペクトルを第6-32図に示す。

解放基盤表面相当位置の地盤物性の相違による影響等を考慮する際には、速度構造及び密度は、新第三系の標高依存式に基づき設定し、減衰定数は、地震観測記録から求めた伝達関数に、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して設定した地下構造モデルを用いる。設定した地下構造モデルを第6-22表に示す。

6.3 基準地震動 S_s の策定

基準地震動 S_s は、「6.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「6.2 震源を特定せず策定する地震動」の評価に基づき、敷地の解放基盤表面における水平成分及び鉛直成分の地震動として策定する。

6.3.1 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動

6.3.1.1 応答スペクトルに基づく手法による基準地震動 S_s

応答スペクトルに基づく手法による基準地震動 S_s は、内陸地殻内地震、プレート間地震、海洋プレート内地震の各評価結果の応答スペクトルを全て包絡し、裕度を考慮して策定した水平成分の設計用応答スペクトル S_s-D1_H と鉛直成分の設計用応答スペクトル S_s-D1_V とする。

設計用応答スペクトル S_s-D1_H 及び S_s-D1_V を第6-33図に示す。また、そのコントロールポイントの値を第6-23表に示す。

6.3.1.2 断層モデルを用いた手法による基準地震動 S_s

内陸地殻内地震、プレート間地震、海洋プレート内地震の断層モデルを用いた手法による各評価結果を第6-34図に示す。断層モデルを用いた手法による基準地震動 S_s については、上記評価結果のうち一部周期帯で設計用応答スペクトル S_s-D1_H または S_s-D1_V を上回るものを選定する。

断層モデルを用いた手法による基準地震動 S_s の応答スペクトルを第6-35図に示す。

6.3.2 震源を特定せず策定する地震動による基準地震動 S_s

震源を特定せず策定する地震動による基準地震動 S_s については、加藤ほか(2004)⁽⁴⁴⁾による応答スペクトル及び2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動のうち、一部周期帯で設計用応答スペクトル S_s-D1_H または S_s-D1_V を上回る

ものを選定する。

震源を特定せず策定する地震動による基準地震動 S_s の応答スペクトルを第6-36図に示す。

6.3.3 基準地震動 S_s の時刻歴波形

基準地震動 S_s の時刻歴波形は、先に策定した設計用応答スペクトル S_{s-D1H} 及び S_{s-D1V} に適合する模擬地震波と、断層モデルを用いた手法による基準地震動 S_s 及び震源を特定せず策定する地震動による基準地震動 S_s の地震波とする。

設計用応答スペクトル S_{s-D1H} 及び S_{s-D1V} に適合する模擬地震波は、乱数の位相を持つ正弦波の重ね合わせによって作成するものとし、振幅包絡線の経時変化については、Noda et al. (2002) ⁽¹⁶⁾の方法に基づき、第6-24表に示す形状とする。

基準地震動 S_{s-D1H} 及び S_{s-D1V} の模擬地震波の作成結果を第6-25表に、設計用応答スペクトルに対する模擬地震波の応答スペクトル比を第6-37図に示す。

以上により策定した基準地震動 S_{s-D1H} 及び S_{s-D1V} の時刻歴波形を第6-38図に、断層モデルを用いた手法による基準地震動 S_s の時刻歴波形を第6-39図に、震源を特定せず策定する地震動による基準地震動 S_s の時刻歴波形を第6-40図に示す。また、基準地震動 S_s の応答スペクトルを第6-41図に、最大加速度を第6-26表に示す。

7. 基準地震動 S_s の年超過確率の参照

(1) 確率論的地震ハザード評価の方法

日本原子力学会 (2015) ⁽⁵⁰⁾に基づき評価を行う。

(2) 確率論的地震ハザード評価に当たっての主要な仮定

a. 震源モデルの設定

震源モデルは、以下のとおり特定震源モデルと領域震源モデルを設定する。それぞれの震源モデルにおいて、当社の調査結果等に基づき設定した震源モデル（以下「調査モデル」という。）の他、地震調査研究推進本部 (2012b) ⁽⁵¹⁾の知見を参考に設定した震源モデル（以下「推本参考モデル」という。）をロジックツリーで考慮する。

(a) 特定震源モデル

イ. 内陸地殻内地震

調査モデルについては、敷地周辺の震源として考慮する活断層等の他、活断層研究会編 (1991) ⁽⁵²⁾に掲載されている活断層に基づいて評価する。推本参考モデルについては、地震調査研究推進本部 (2012b) ⁽⁵¹⁾で考慮されている活断層を評価対象とする。

敷地周辺の考慮する活断層の分布及び諸元をそれぞれ第7-1図、第7-2図及び第7-1表、第7-2表に示す。

ロ. 海溝型地震

調査モデルでは、関東地震及び2011年東北地方太平洋沖型地震を、推本参考モデルでは関東地震、茨城県沖で発生する地震（繰り返し発生する地震）及び2011年東北地方太平洋沖型地震を特定震源として扱う。調査モデル及び推本参考モデルで考慮する震源位

置及び諸元を第7-3図、第7-4図及び第7-3表、第7-4表に示す。

(b) 領域震源モデル

領域震源モデルについては、内陸地殻内地震及び海溝型地震を考慮する。調査モデルについては、垣見ほか(2003)⁽⁵⁶⁾を参照して領域区分し、各領域の最大マグニチュードを領域内の過去の地震の最大値を基に設定する。推本参考モデルについては、地震調査研究推進本部(2012a)⁽⁹⁾に基づいて領域区分及び各領域の最大マグニチュードを設定する。内陸地殻内地震及び海溝型地震の領域区分を第7-5図から第7-9図に示す。

b. 地震動伝播モデル

2011年東北地方太平洋沖型地震については、断層モデルを用いた手法を用いる。それ以外の震源については、Noda et al.(2002)⁽¹⁶⁾の方法を用い、第7-10図から第7-12図に示す領域については、地震観測記録を用いた補正係数を考慮する。

c. ロジックツリーの作成

ロジックツリーは、震源モデル及び地震動伝播モデルの設定において、地震ハザード評価に大きな影響を及ぼす要因に基づいて作成する。震源モデルについては前述のとおり、調査モデルと推本参考モデルをロジックツリーで考慮する。作成したロジックツリーを第7-13図に示す。

(3) 確率論的地震ハザード評価結果

a. 地震ハザード曲線

上記により評価した平均地震ハザード曲線を第7-14図に、フラクタル地震ハザード曲線を第7-15図に示す。また、震源別の平均ハザード曲線を第7-16図に示す。

b. 一様ハザードスペクトル

一様ハザードスペクトルと応答スペクトルに基づく手法による基準地震動 S_s-D1 及び断層モデルを用いた手法による基準地震動 $S_s-11 \sim S_s-22$ との比較を第7-17図に示す。基準地震動 S_s-D1 の年超過確率は $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度である。基準地震動 $S_s-11 \sim S_s-22$ の年超過確率は基準地震動 S_s-D1 を超過する周期帯で $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度である。また、内陸地殻内地震の領域震源モデルによる一様ハザードスペクトルと震源を特定せず策定する地震動に基づく基準地震動 S_s-31 との比較を第7-18図に示す。基準地震動 S_s-31 の年超過確率は $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 程度である。

8. 弾性設計用地震動 S_d

8.1 設定根拠

弾性設計用地震動 S_d は、基準地震動 S_s との応答スペクトルの比率が目安として0.5を下回らないよう基準地震動 S_s に係数0.5を乗じて設定する。ここで、係数0.5は工学的判断として、原子炉施設の安全機能限界と弾性限界に対する入力荷重の比率が0.5程度であるという知見を踏まえ、さらに応答スペクトルに基づく地震動評価による基準地震動 S_s-D1 に対しては、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針(昭和56年7月20日原子力安全委員会決定、平成13年3月29日一部改訂)」に基づいた「原子炉設置変更許可申請書(平成11年3月10日許可/平成09・09・18資第5号)」の「添付書類六 変更後に係る原子炉施設の場所に関する気象、

地盤、水理、地震、社会環境等の状況に関する説明書「3.2.6.3基準地震動」における基準地震動 S_1 の応答スペクトルをおおむね下回らないよう配慮した値とする。

また、建物・構築物及び機器・配管系ともに0.5を採用することで、弾性設計用地震動 S_d に対する設計に一貫性をとる。なお、弾性設計用地震動 S_d の年超過確率は、 10^{-3} から 10^{-5} 程度である。弾性設計用地震動 S_d の応答スペクトルを第8-1図に、弾性設計用地震動 S_d の時刻歴波形を第8-2図～第8-4図に、弾性設計用地震動 S_d と基準地震動 S_1 の比較を第8-5図に、弾性設計用地震動 S_d と解放基盤表面における地震動の一樣ハザードスペクトルの比較を第8-6図に示す。

8.2 安全機能限界と弾性限界に対する入力荷重の比率について

安全機能限界に対応する入力荷重と弾性限界に対応する入力荷重の比率としての α は、日本電気協会⁽⁵⁷⁾を参照して評価する。日本電気協会⁽⁵⁷⁾には、鉄筋コンクリート造壁式構造の建屋を2質点系の簡易なSRモデルに置換し、入力地震動を100galずつ順次増加して非線形地震応答解析を行って求められたせん断ひずみと層せん断力係数の関係を示した図があり、この図に許容限界①および許容限界②を加筆したものを第8-7図に示す。ここで、許容限界②は、建屋はある程度の損傷を受けるがその程度は小さく、終局に対して余裕のある基準地震動 S_s の許容限界（せん断ひずみ度で 2.0×10^{-3} ）を示しており、許容限界①は許容限界②の入力加速度を1/2倍とした場合の応答値を示している。

許容限界①の応答値は短期許容応力度相当と考えられ、設置許可基準 別記2でいう弾性設計用地震動 S_d に求められる「おおむね弾性範囲の設計」と考えられる。

以上より、許容限界①を弾性限界、許容限界②を安全機能限界と捉えた場合、安全機能限界に対応する入力荷重と弾性限界に対応する入力荷重の比率としての α は0.5程度の値となる。

9. 参考文献

- (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：地震年報2016年版ほか
- (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，168-176
- (6) 勝又譲・徳永規一（1971）：震度IV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，1-8
- (7) 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，No. 3，269-283
- (8) 中央防災会議（2013）：首都直下地震モデル検討会「首都直下のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書」，

平成25年12月

- (9) 地震調査研究推進本部 (2012a) : 「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
- (10) 東京大学地震研究所・防災科学技術研究所・京都大学防災研究所 (2012) : 文部科学省委託研究 首都直下地震防災・減災特別プロジェクト 総括成果報告書, 平成24年3月
- (11) 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
- (12) 地震調査研究推進本部 (2009a) : 「全国地震動予測地図」, 平成21年7月21日
- (13) 地質調査総合センター編 (2013) : 日本重力データベース DVD版, 数値地質図 P-2, 産業技術総合研究所地質調査総合センター
- (14) 信岡大・川里健・生玉真也 (2012) : 人工振源を用いた軟岩サイトにおけるQ値測定, 物理探査学会第127回学術講演会論文集, 102-105
- (15) 佐藤智美・川瀬博・佐藤俊明 (1994) : 表層地盤の影響を取り除いた工学的基礎波の統計的スペクトル特性—仙台地域のボアホールで観測された多数の中小地震記録を用いた解析—, 日本建築学会構造系論文集, 第59巻, 第462号, 79-89
- (16) 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
- (17) 原子力安全基盤機構 (2004) : 地震記録データベースSANDEL のデータ整備と地震発生上下限層深さの評価に関する報告書 (平成15年度), JNES/SAE04-017
- (18) 廣瀬一聖・伊藤潔 (2006) : 広角反射法及びおよび屈折法解析による近畿地方の地殻構造の推定, 京都大学防災研究所年報, 第49号B, 275-288
- (19) 三浦誠一・小平秀一・仲西理子・鶴哲郎・高橋成実・金田義行 (2000) : エアガン—海底地震計データによる日本海溝・福島沖前弧域の地震波速度構造, JAMSTEC深海研究, 第16号, 87-100
- (20) 青柳恭平・上田圭一 (2012) : 2011年東北地方太平洋沖地震による阿武隈南部の正断層型誘発地震の特徴—臨時余震観測に基づく震源分布と速度構造—, 電力中央研究所報告 N11048
- (21) 芝良昭・野口科子 (2012) : 広帯域地震動を規定する震源パラメータの統計的特性—震源イメージング解析に基づく検討—, 電力中央研究所報告 N11054
- (22) 引間和人 (2012) : 2011年4月11日福島県浜通りの地震 (Mj7.0) の震源過程—強震波形と再決定震源による2枚の断層面の推定—, 地震, 第2輯, 第64巻, No. 4, 243-256
- (23) Miho Tanaka, Kimiyuki Asano, Tomotaka Iwata, Hisahiko Kubo (2014) : Source rupture process of the 2011 Fukushima-ken Hamadori earthquake: how did the two subparallel faults rupture?, Earth, Planets and Space 2014, 66:101
- (24) Aitaro Kato, Toshihiro Igarashi, Kazushige Obara, Shinichi Sakai, Tetsuya Takeda, Atsushi Saiga, Takashi Iidaka, Takaya Iwasaki, Naoshi Hirata, Kazuhiko Goto, Hiroki, Miyamachi, Takeshi Matsushima, Atsuki Kubo, Hiroshi Katao, Yoshiko Yamanaka,

- Toshiko Terakawa, Haruhisa Nakamichi, Takashi Okuda, Shinichiro Horikawa, Noriko Tsumura, Norihito Umino, Tomomi Okada, Masahiro Kosuga, Hiroaki Takahashi, Takuji Yamada (2013) : Imaging the source regions of normal faulting sequences induced by the 2011 M9.0 Tohoku-Oki earthquake, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, Vol.40, 1-6.
- (25) 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」)
- (26) 入倉孝次郎・三宅弘恵 (2001) : シナリオ地震の強震動予測, 地学雑誌, 110 (6), 849-875
- (27) Paul Somerville, Kojiro Irikura, Robert Graves, Sumio Sawada, David Wald, Norman Abrahamson, Yoshinori Iwasaki, Takao Kagawa, Nancy Smith, and Akira Kowada (1999) : Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, Seismological Research Letters, 70, 59-80.
- (28) Yoshihiro Fujii and Mitsuhiro Matsu'ura (2000) : Regional Difference in Scaling Laws for Large Earthquakes and its Tectonic Implication, Pure and Applied Geophysics, 157, 2283-2302.
- (29) Robert J. Geller (1976) : Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes, Bulletin of the Seismological Society of America, 66, 1501-1523.
- (30) 佐藤智美・堤英明 (2012) : 2011 年福島県浜通り付近の正断層の地震の短周期レベルと伝播経路・地盤増幅特性, 日本地震工学会論文集 第12巻, 第7号
- (31) 壇一男・渡辺基史・佐藤俊明・石井透 (2001) : 断層の非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化, 日本建築学会構造系論文集, 第66巻, 第545号, 51-62
- (32) 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, 381-382
- (33) 長谷川昭・中島淳一・内田直希・海野徳仁 (2013) : 東京直下に沈み込む2枚のプレートと首都圏下の特異な地震活動, 地学雑誌, Vol.122, No.3, 398-417
- (34) 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
- (35) 壇一男・畑奈緒未・武藤尊彦・宮腰淳一・神田順 (2005) : シナリオ地震の生起確率を考慮した基準地震動策定に関する研究(その3)宮城県沖で発生するプレート境界大地震の断層破壊シナリオとそれに基づく強震動の計算, 日本建築学会大会(近畿)学術講演梗概集, B-1, 構造I, 97-98
- (36) 地震調査研究推進本部 (2002) : 宮城県沖地震を想定した強震動評価手法について (中間報告) (説明文の訂正)
- (37) 地震調査研究推進本部 (2005) : 宮城県沖地震を想定した強震動評価 (一部修正版) について (平成17年12月14日公表)

- (38) 入倉孝次郎 (2012) : 海溝型巨大地震の強震動予測のための震源モデルの構築, 第40回地盤震動シンポジウム (2012)
- (39) 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, 923-932
- (40) 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, 740-757
- (41) 岩田知孝・浅野公之 (2010) : 強震動予測のためのスラブ内地震の特性化震源モデルの構築, 北海道大学地球物理学研究報告, 73, 129-135
- (42) 佐藤智美 (2003) : 中小地震の応力降下量の断層タイプ・震源深さ依存性及び地域性に関する研究, 土木学会地震工学論文集, 27, 75
- (43) 笹谷努・森川信之・前田宜浩 (2006) : スラブ内地震の震源特性, 北海道大学地球物理学研究報告, Geophysical Bulletin of Hokkaido University, Sapporo, Japan, No. 69, March 2006, 123-134
- (44) 加藤研一・宮腰勝義・武村雅之・井上大栄・上田圭一・壇一男 (2004) : 震源を事前に特定できない内陸地殻内地震による地震動レベル—地質学的調査による地震の分類と強震観測記録に基づく上限レベルの検討—, 日本地震工学会論文集, 第4巻, 第4号, 46-86
- (45) 田力正好・池田安隆・野原壯 (2009) : 河成段丘の高度分布から推定された, 岩手・宮城内陸地震の震源断層, 地震第2輯, 第62巻, No. 1, 1-11
- (46) 防災科学技術研究所 (2013) : ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究 総括成果報告書, 平成25年5月
- (47) 岡田篤正 (2002) : 山陰地方の活断層の諸特徴, 活断層研究, 22, (松田時彦先生古稀記念号), 17-32
- (48) 西村卓也 (2014) : 山陰地方のGNSSデータに認められるひずみ集中帯, 日本地球惑星科学連合2014年大会, SSS31-06
- (49) 佐藤浩章・芝良昭・東貞成・功刀卓・前田宜浩・藤原広行 (2013) : 物理探査・室内試験に基づく2004年留萌支庁南部の地震によるK-NET港町観測点 (HKD020) の基盤地震動とサイト特性評価, 電力中央研究所報告N13007
- (50) 日本原子力学会 (2015) : 日本原子力学会標準, 原子力発電所に対する地震を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準: 2015
- (51) 地震調査研究推進本部 (2012b) : 「今後の地震動ハザード評価に関する検討〜2011年・2012年における検討結果〜」
- (52) 活断層研究会編 (1991) : [新編] 日本の活断層, 東京大学出版会
- (53) 武村雅之 (1998) : 日本列島における地殻内地震のスケーリング則—地震断層の影響および地震被害との関連—, 地震第2輯, 第51巻, No. 2, 211-228
- (54) 佐藤良輔編 (1989) : 日本の地震断層パラメータハンドブック, 鹿島出版会
- (55) 地震調査研究推進本部 (2009b) : 三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価の一部改訂について
- (56) 垣見俊弘・松田時彦・相田勇・衣笠善博 (2003) : 日本列島と周辺海域の地震地体構造区分,

地震第2輯，第55巻，No. 4， 389-406

- (57) 社団法人日本電気協会（1994）電気技術調査委員会原子力発電耐震設計特別調査委員会建築部会 静的地震力の見直し（建築編）に関する調査報告書（概要）

第2-1表(1) 敷地周辺の主な被害地震

年	月	日	震央位置		深さ (km)	マグニ チュード	震央距離 (km)	地 名
			北緯	東経				
818	—	—	36.0~37.0°	139.0~140.0°	—	≥7.5	99	関東諸国
878	11	1	35.5°	139.3°	—	7.4	159	関東諸国
1257	10	9	35.2°	139.5°	—	7.0~7.5	172	関東南部
1360	—	—	35.2°	140.0°	—	—	151	上総
1433	11	6	37.7°	139.8°	—	6.7	155	会津
1611	9	27	37.6°	139.8°	—	6.9	145	会津
1615	6	26	35.7°	139.7°	—	6 1/4 ~6 3/4	118	江戸
1630	8	2	35 3/4°	139 3/4°	—	6 1/4	111	江戸
1633	3	1	35.2°	139.2°	—	7.0 ±1/4	190	相模・駿河・伊豆
1635	3	12	35 3/4°	139 3/4°	—	6.0	111	江戸
1636	12	3	37.0°	138.7°	—	5.0~5.5	180	越後中魚沼郡
1646	6	9	38.1°	140.65°	—	6.5~6.7	182	陸前
1648	6	13	35.2°	139.2°	—	7.0	190	相模
1649	7	30	35.8°	139.5°	—	7.0 ±1/4	124	武蔵・下野
1649	9	1	35.5°	139.7°	—	6.4	135	江戸・川崎
1659	4	21	37.1°	139.8°	—	6 3/4 ~7.0	101	岩代・下野
1670	6	22	37.85°	139.25°	—	6 3/4	195	越後中・南蒲原郡
1677	11	4	35.5°	142.0°	—	8.0	165	磐城・常陸・安房・ 上総・下総
1683	6	17	36.7°	139.6°	—	6.0~6.5	94	日光
1683	6	18	36.75°	139.65°	—	6.5~7.0	91	日光
1683	10	20	36.9°	139.7°	—	7.0 ±1/4	94	日光
1697	11	25	35.4°	139.6°	—	6.5	150	相模・武蔵
1706	10	21	35.6°	139.8°	—	5 3/4	120	江戸
1710	9	15	37.0°	141.5°	—	6.5 ±1/2	99	磐城
1725	5	29	36.25°	139.7°	—	6.0	85	日光
1731	10	7	38.0°	140.6°	—	6.5	170	岩代

第2-1表(2) 敷地周辺の主な被害地震

年	月	日	震央位置		深さ (km)	マグニ チュード	震央距離 (km)	地 名
			北緯	東経				
1738	1	3	37.0°	138.7°	—	5 1/2	180	中魚沼郡
1755	4	21	36.75°	139.6°	—	—	96	日光
1756	2	20	35.7°	140.9°	—	5.5~6.0	89	銚子
1767	10	22	35.7°	139.8°	—	6.0	112	江戸
1768	7	19	35.3°	139.05°	—	5.0	191	箱根
1782	8	23	35.4°	139.1°	—	7.0	181	相模・武蔵・甲斐
1786	3	23	35.2°	139.1°	—	5.0~5.5	196	箱根
1791	1	1	35.8°	139.6°	—	6.0~6.5	118	川越・蕨
1801	5	27	35.3°	140.1°	—	6.5	138	上総
1812	12	7	35.45°	139.65°	—	6 1/4 ±1/4	142	武蔵・相模東部
1817	12	12	35.20°	139.05°	—	6.0	199	箱根
1821	12	13	37.45°	139.6°	—	5.5~6.0	142	岩代
1828	12	18	37.6°	138.9°	—	6.9	197	越後
1831	3	26	35.65°	139 1/4°	—	5.5	119	江戸
1843	3	9	35.35°	139.1°	—	6.5 ±1/4	184	御殿場・足柄
1853	3	11	35.3°	139.15°	—	6.7 ±0.1	185	小田原付近
1855	11	11	35.65°	139.8°	—	7.0~7.1	117	江戸および付近 (江戸地震)
1856	11	4	35.7°	139.5°	—	6.0~6.5	131	江戸・立川・所沢
1859	1	11	35.9°	139.7°	—	6.0	104	岩槻
1870	5	13	35.25°	139.1°	—	6.0~6.5	192	小田原
1880	2	22	35.4°	139.75°	—	5.5~6.0	142	横浜
1884	10	15	35.7°	139.75°	—	—	115	東京付近
1887	1	15	35.5°	139.3°	—	6.2	162	相模・武蔵南東部
1887	7	22	37.5°	138.9°	—	5.7	190	新潟県古志郡
1888	4	29	36.6°	140.0°	—	6.0	56	栃木県
1889	2	18	35.5°	139.7°	—	6.0	135	東京湾周辺

第2-1表(3) 敷地周辺の主な被害地震

年	月	日	震央位置		深さ (km)	マグニ チュード	震央距離 (km)	地 名
			北緯	東経				
1891	12	24	35.4°	138.9°	—	6.5	194	山中湖付近
1892	6	3	35.7°	139.9°	—	6.2	106	東京湾北部
1894	6	20	35.7°	139.8°	—	7.0	112	東京湾北部
1894	10	7	35.6°	139.8°	—	6.7	120	東京湾北部
1895	1	18	36.1°	140.4°	—	7.2	45	霞ヶ浦付近
1896	1	9	36 1/2°	141°	—	7.3	35	鹿島灘
1896	8	1	37 1/2°	141 1/2°	—	6.5	140	福島県沖
1897	1	17	36.2°	139.9°	—	5.6	70	利根川中流域
1897	10	2	38.0°	141.7°	—	6.6	196	仙台沖
1898	2	13	36.2°	139.8°	—	5.6	78	茨城県南西部
1898	5	26	37.0°	138.9°	—	6.1	163	新潟県六日町付近
1899	4	15	36.3°	141.0°	—	5.8	40	茨城県沖
1902	3	25	35.9°	140.5°	—	5.6	64	千葉県佐原町付近
1902	5	25	35.6°	139.0°	—	5.4	173	甲斐東部
1904	5	8	37.1°	138.9°	—	6.1	167	新潟県六日町付近
1906	2	23	34.8°	139.8°	—	6.3	200	安房沖
1906	2	24	35.5°	139.8°	—	6.4	137	東京湾
1908	12	28	35.6°	138.65°	—	5.8	197	山梨県中部
1909	7	3	35.6°	139.8°	—	6.1	120	東京湾西部
1910	9	26	36.8°	141.5°	—	5.9	88	常陸沖
1912	7	16	36.4°	138.5°	—	5.7	184	浅間山
1913	12	15	35.5°	140.0°	—	6.0	120	東京湾
1915	6	20	35.5°	139.0°	—	5.9	180	山梨県南東部
1915	11	16	35.4°	140.3°	—	6.0	122	房総南部
1916	2	22	36.5°	138.5°	—	6.2	188	浅間山麓
1918	6	26	35.4°	139.1°	—	6.3	181	山梨県上野原付近

第2-1表(4) 敷地周辺の主な被害地震

年	月	日	震央位置		深さ (km)	マグニ チュード	震央距離 (km)	地 名
			北緯	東経				
1921	12	8	36.0°	140.2°	—	7.0	64	茨城県龍ヶ崎付近
1922	1	23	37.5°	141.5°	—	6.5	140	磐城沖
1922	4	26	35.2°	139.8°	—	6.8	160	浦賀水道
1922	5	9	36.0°	140.0°	—	6.1	75	茨城県谷田部付近
1923	1	14	36° 06′	139° 54′	60	6.1	75	水海道付近
1923	9	1	35° 19.87′	139° 08.14′	23	7.9	183	関東南部 (関東大地震)
1924	1	15	35° 20.44′	139° 03.30′	20	7.3	187	丹沢山塊
1926	8	3	35° 35.41′	139° 43.89′	57	6.3	125	東京市南東部
1927	10	27	37° 30.00′	138° 50.97′	0	5.2	194	新潟県中部 (関原地震)
1928	5	21	35° 40.16′	140° 03.98′	75	6.2	101	千葉付近
1929	7	27	35° 30.87′	139° 05.01′	37	6.3	173	丹沢山付近
1930	6	1	36° 25.57′	140° 32.22′	54	6.5	8	那珂川下流域
1931	9	21	36° 09.50′	139° 14.85′	3	6.9	126	埼玉県中部 (西埼玉地震)
1933	10	4	37° 14.35′	138° 57.55′	0	6.1	170	新潟県小千谷
1936	11	2	37° 22.35′	140° 00.92′	1	4.1	114	会津若松市付近
1938	5	23	36° 34.43′	141° 19.44′	35	7.0	65	塩屋崎沖
1938	9	22	36° 26.61′	141° 03.49′	48	6.5	40	鹿島灘
1938	11	5	36° 55.54′	141° 55.12′	43	7.5	128	福島県東方沖 (福島県東方沖地震)
1942	2	21	37° 42.63′	141° 50.75′	42	6.5	177	福島県沖
1943	8	12	37° 20.16′	139° 52.48′	26	6.2	117	福島県田島付近 (田島地震)
1949	12	26	36° 43.11′	139° 46.99′	8	6.4	79	今市地方(今市地震)
1950	9	10	35° 17.71′	140° 32.98′	56	6.3	130	九十九里浜
1951	1	9	35° 27.04′	140° 4.24′	64	6.1	123	千葉県中部
1956	2	14	35° 42.24′	139° 56.68′	54	5.9	103	東京湾北岸
1956	9	30	37° 58.74′	140° 36.62′	11	6.0	168	宮城県南部
1956	9	30	35° 37.80′	140° 11.40′	81	6.3	100	千葉県中部

第2-1表(5) 敷地周辺の主な被害地震

年	月	日	震央位置		深さ (km)	マグニ チュード	震央距離 (km)	地 名
			北緯	東経				
1961	2	2	37° 26.9′	138° 50.1′	0	5.2	191	長岡付近
1968	7	1	35° 59′	139° 26′	50	6.1	118	埼玉県中部
1974	8	4	36° 01′	139° 55′	50	5.8	79	茨城県南西部
1975	8	15	37° 04′	141° 08′	50	5.5	82	福島県沿岸
1976	6	16	35° 30′	139° 00′	20	5.5	180	山梨県東部
1977	10	5	36° 08′	139° 52′	60	5.5	76	茨城県南西部
1979	4	25	37° 22′	139° 29′	0	4.4	141	福島県西部
1979	5	5	35° 48′	139° 11′	20	4.7	148	秩父市付近
1980	9	24	35° 58′	139° 48′	80	5.4	91	埼玉県東部
1980	9	25	35° 31′	140° 13′	80	6.0	111	千葉県中部
1982	8	12	34° 53′	139° 34′	30	5.7	199	伊豆大島近海
1983	2	27	35° 56.4′	140° 09.1′	72	6.0	71	茨城県南部
1983	8	8	35° 31.3′	139° 01.3′	22	6.0	177	神奈川・山梨県境
1984	2	14	35° 35.3′	139° 06.2′	25	5.4	167	神奈川・山梨県境
1984	12	17	35° 36.0′	140° 03.3′	78	4.9	108	東京湾
1987	2	6	36° 57.9′	141° 53.6′	35	6.7	127	福島県沖
1987	4	7	37° 18.2′	141° 51.8′	44	6.6	145	福島県沖
1987	4	23	37° 05.5′	141° 37.4′	46.8	6.5	114	福島県沖
1987	6	16	37° 30.5′	140° 03.4′	7.1	4.5	126	会津若松付近
1987	9	14	36° 59.5′	138° 29.0′	7.1	4.8	198	長野県北部
1987	12	17	35° 22.5′	140° 29.6′	57.9	6.7	122	千葉県東方沖
1988	3	18	35° 39.9′	139° 38.6′	96.1	5.8	124	東京都東部
1988	8	12	35° 05.9′	139° 51.8′	69.4	5.3	166	千葉県南部
1988	9	5	35° 30.0′	138° 59.0′	29.6	5.6	181	山梨県東部
1989	2	19	36° 01.3′	139° 54.3′	55.3	5.6	80	茨城県南西部
1989	3	6	35° 41.8′	140° 42.6′	55.7	6.0	86	千葉県北部

第2-1表(6) 敷地周辺の主な被害地震

年	月	日	震央位置		深さ (km)	マグニ チュード	震央距離 (km)	地 名
			北緯	東経				
1990	5	3	36° 26.2′	140° 36.6′	58.0	5.4	3	鹿島灘
1992	2	2	35° 13.8′	139° 47.3′	92.3	5.7	156	東京湾南部
1992	5	11	36° 32.0′	140° 32.2′	56.2	5.6	10	茨城県中部
1992	12	27	36° 58.6′	138° 34.8′	10.0	4.5	189	新潟県南部
1993	5	21	36° 02.7′	139° 53.8′	60.8	5.4	79	茨城県南西部
1994	12	18	37° 17.7′	139° 53.5′	6.3	5.5	112	福島県西部
1995	1	7	36° 18.10′	139° 58.63′	71.5	5.4	59	茨城県南西部
1995	4	1	37° 53.47′	139° 14.88′	16.2	5.6	199	新潟県北東部
1995	12	22	38° 12.21′	140° 23.05′	11.1	4.6	194	蔵王付近
1996	2	17	37° 18.57′	142° 32.86′	58.0	6.8	196	福島県沖
1996	3	6	35° 28.55′	138° 56.86′	19.6	5.5	185	山梨県東部
1996	9	11	35° 38.33′	141° 13.01′	52.0	6.4	107	銚子沖
1996	12	21	36° 05.77′	139° 51.65′	53.1	5.6	78	茨城県南部
1998	2	21	37° 16.22′	138° 47.74′	19.1	5.2	184	中越地方
1999	3	26	36° 27.04′	140° 36.93′	59.0	5.0	2	水戸付近
1999	9	13	35° 35.86′	140° 09.59′	75.8	5.1	104	千葉市付近
2000	4	26	37° 34.80′	140° 00.73′	12.6	4.5	135	会津若松・喜多方付近
2000	6	3	35° 41.39′	140° 44.79′	48.1	6.1	87	千葉県北東部
2000	7	21	36° 31.76′	141° 07.12′	49.4	6.4	46	茨城県沖
2001	1	4	36° 57.39′	138° 46.12′	11.2	5.3	173	中越地方
2002	2	12	36° 35.38′	141° 04.96′	47.8	5.7	45	茨城県沖
2002	6	14	36° 12.98′	139° 58.63′	57.0	5.1	63	茨城県南部
2003	5	12	35° 52.13′	140° 05.14′	46.9	5.3	81	茨城県南部
2003	9	20	35° 13.13′	140° 18.02′	70.0	5.8	141	千葉県南部
2003	10	15	35° 36.82′	140° 02.99′	73.9	5.1	107	千葉県北西部
2003	11	15	36° 25.95′	141° 09.91′	48.4	5.8	50	茨城県沖

第2-1表(7) 敷地周辺の主な被害地震

年	月	日	震央位置		深さ (km)	マグニ チュード	震央距離 (km)	地 名
			北緯	東経				
2004	4	4	36° 23.41′	141° 09.24′	49.0	5.8	50	茨城県沖
2004	7	17	34° 50.29′	140° 21.36′	68.7	5.5	182	房総半島南東沖
2004	10	6	35° 59.33′	140° 05.39′	66.0	5.7	70	茨城県南部
2004	10	23	37° 17.55′	138° 52.03′	13.1	6.8	180	中越地方 (新潟県中越地震)
2005	1	18	37° 22.24′	138° 59.81′	7.6	4.7	175	中越地方
2005	2	16	36° 02.31′	139° 53.33′	46.2	5.3	80	茨城県南部
2005	4	11	35° 43.61′	140° 37.27′	51.5	6.1	82	千葉県北東部
2005	6	20	37° 13.76′	138° 35.44′	14.5	5.0	198	中越地方
2005	6	20	35° 44.03′	140° 41.68′	50.7	5.6	82	千葉県北東部
2005	7	23	35° 34.90′	140° 08.31′	73.1	6.0	107	千葉県北西部
2005	7	28	36° 07.57′	139° 50.78′	51.1	5.0	78	茨城県南部
2005	8	7	35° 33.57′	140° 06.89′	73.3	4.7	110	千葉県北西部
2005	8	21	37° 17.90′	138° 42.71′	16.7	5.0	192	中越地方
2005	10	16	36° 02.36′	139° 56.25′	47.1	5.1	76	茨城県南部
2005	10	19	36° 22.90′	141° 02.59′	48.3	6.3	40	茨城県沖
2007	8	16	35° 26.6′	140° 31.8′	30.8	5.3	114	九十九里浜付近
2007	8	18	35° 20.9′	140° 21.6′	23.5	4.8	126	九十九里浜付近
2007	10	1	35° 13.5′	139° 07.1′	14.2	4.9	192	神奈川県西部
2008	3	8	36° 27.2′	140° 36.7′	57.0	5.2	2	茨城県北部
2008	5	8	36° 13.7′	141° 36.5′	50.6	7.0	93	茨城県沖
2008	7	5	36° 38.6′	140° 57.1′	49.7	5.2	37	茨城県沖
2009	5	12	37° 04.3′	138° 32.0′	12.1	4.8	196	上越地方
2009	10	12	37° 25.9′	139° 41.8′	3.9	4.9	134	会津地方
2010	3	14	37° 43.5′	141° 49.1′	39.8	6.7	176	福島県沖
2010	5	1	37° 33.6′	139° 11.5′	9.3	4.9	175	中越地方
2010	6	13	37° 23.8′	141° 47.7′	40.3	6.2	148	福島県沖

第2-1表(8) 敷地周辺の主な被害地震

年	月	日	震央位置		深さ (km)	マグニ チュード	震央距離 (km)	地 名
			北緯	東経				
2010	9	29	37° 17.1′	140° 01.5′	7.6	5.7	105	福島県中通り
2011	3	11	38° 06.2′	142° 51.7′	23.7	9.0	270	東北沖(2011年東北地方 太平洋沖地震の本震)
2011	3	11	36° 07.2′	141° 15.1′	42.7	7.6	69	茨城県沖
2011	3	12	36° 59.2′	138° 35.9′	8.4	6.7	188	長野県北部
2011	4	11	36° 56.7′	140° 40.4′	6.4	7.0	54	福島県浜通り
2011	4	16	36° 20.5′	139° 56.7′	78.8	5.9	61	茨城県南部
2011	4	17	37° 01.4′	138° 41.3′	8.0	4.9	182	中越地方
2011	6	2	37° 01.1′	138° 42.3′	5.7	4.7	180	中越地方
2011	7	31	36° 54.2′	141° 13.3′	57.3	6.5	73	福島県沖
2011	8	19	37° 38.9′	141° 47.8′	51.2	6.5	169	福島県沖
2011	11	20	36° 42.6′	140° 35.3′	9.0	5.3	27	茨城県北部
2012	1	28	35° 29.4′	138° 58.6′	18.2	5.4	182	富士五湖地方
2012	3	14	35° 44.9′	140° 55.9′	15.1	6.1	85	千葉県東方沖
2013	9	20	37° 03.1′	140° 41.7′	16.7	5.9	65	福島県浜通り
2014	9	16	36° 05.6′	139° 51.8′	46.5	5.6	78	茨城県南部
2015	5	25	36° 03.3′	139° 38.3′	55.7	5.5	98	埼玉県北部
2015	9	12	35° 33.3′	139° 49.8′	56.6	5.2	123	東京湾
2016	5	16	36° 02.0′	139° 53.2′	53.2	5.5	81	茨城県南部
2016	11	22	37° 21.2′	141° 36.2′	36.2	7.4	133	福島県沖
2016	12	28	36° 43.2′	140° 34.4′	34.4	6.3	28	茨城県北部

第4-1表 気象庁震度階級関連解説表（2009）（抜粋）

●木造建物（住宅）の状況

震度階級	木造建物（住宅）	
	耐震性が高い	耐震性が低い
5弱	—	壁などに軽微なひび割れ・亀裂がみられることがある。
5強	—	壁などにひび割れ・亀裂がみられることがある。
6弱	壁などに軽微なひび割れ・亀裂がみられることがある。	壁などのひび割れ・亀裂が多くなる。壁などに大きなひび割れ・亀裂が入ることがある。瓦が落下したり、建物が傾いたりすることがある。倒れるものもある。
6強	壁などにひび割れ・亀裂がみられることがある。	壁などに大きなひび割れ・亀裂が入るものが多くなる。傾くものや、倒れるものが多くなる。
7	壁などのひび割れ・亀裂が多くなる。まれに傾くことがある。	傾くものや、倒れるものがさらに多くなる。

(注1) 木造建物（住宅）の耐震性により2つに区分けした。耐震性は、建築年代の新しいものほど高い傾向があり、概ね昭和56年（1981年）以前は耐震性が低く、昭和57年（1982年）以降には耐震性が高い傾向がある。しかし、構法の違いや壁の配置などにより耐震性に幅があるため、必ずしも建築年代が古いというだけで耐震性の高低が決まるものではない。既存建築物の耐震性は、耐震診断により把握することができる。

(注2) この表における木造の壁のひび割れ、亀裂、損壊は、土壁（割り竹下地）、モルタル仕上壁（ラス、金網下地を含む）を想定している。下地の弱い壁は、建物の変形が少ない状況でも、モルタル等が剥離し、落下しやすくなる。

(注3) 木造建物の被害は、地震の際の地震動の周期や継続時間によって異なる。平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震のように、震度に比べ建物被害が少ない事例もある。

●鉄筋コンクリート造建物の状況

震度階級	鉄筋コンクリート造建物	
	耐震性が高い	耐震性が低い
5強	—	壁、梁（はり）、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂が入ることがある。
6弱	壁、梁（はり）、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂が入ることがある。	壁、梁（はり）、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂が多くなる。
6強	壁、梁（はり）、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂が多くなる。	壁、梁（はり）、柱などの部材に、斜めやX状のひび割れ・亀裂がみられることがある。1階あるいは中間階の柱が崩れ、倒れるものがある。
7	壁、梁（はり）、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂がさらに多くなる。1階あるいは中間階が変形し、まれに傾くものがある。	壁、梁（はり）、柱などの部材に、斜めやX状のひび割れ・亀裂が多くなる。1階あるいは中間階の柱が崩れ、倒れるものが多くなる。

(注1) 鉄筋コンクリート造建物では、建築年代の新しいものほど耐震性が高い傾向があり、概ね昭和56年（1981年）以前は耐震性が低く、昭和57年（1982年）以降は耐震性が高い傾向がある。しかし、構造形式や平面的、立面的な耐震壁の配置により耐震性に幅があるため、必ずしも建築年代が古いというだけで耐震性の高低が決まるものではない。既存建築物の耐震性は、耐震診断により把握することができる。

(注2) 鉄筋コンクリート造建物は、建物の主体構造に影響を受けていない場合でも、軽微なひび割れがみられることがある。

第5-1表 地震動評価に用いる地下構造モデル

EL. (m)	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm ³)	減衰定数	
					水平	鉛直
-370.0						
	107.0	790	2000	1.85	0.02	0.01
-477.0	200.0	840	2110	1.96		
-677.0	60.0	2750	4740	2.63	Q=110f ^{0.69}	
-737.0	265.0	3220	5550	2.70		
-1002.0	—	3220	5550	2.70		

第6-1表 検討用地震の選定に用いる内陸地殻内地震の諸元

地震名	長さ (km)	地震 規模 M	断層上 端深さ (km)	等 価 震源距離 (km)	補正 係数 ^{※2}
818年関東諸国の地震	—	7.5	—	102	
棚倉破碎帯西縁断層, 同東縁付近の 推定活断層	42	7.5	3	37	考慮
関口一米平リニアメント	6	6.8 ^{※1}	3	27	考慮
豎破山リニアメント	4	6.8 ^{※1}	3	25	考慮
宮田町リニアメント	1	6.8 ^{※1}	3	21	考慮
F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平 地震断層	58	7.8	3	31	考慮
F3断層, F4b-1断層	16	6.8	5	22	
F8断層	26	7.2	5	26	
F16断層	26	7.2	5	30	
A-1背斜	20	7.0	5	22	
関谷断層	40	7.5	5	92	
深谷断層帯・綾瀬川断層	103	8.2	5	128	
F11断層	5	6.8 ^{※1}	3	38	考慮

※1 短い断層については、地震規模をM6.8として評価する。

※2 福島県と茨城県の県境付近で発生した地震による補正係数

第6-2表 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層による地震の断層パラメータ(基本震源モデル, アスペリティ位置の不確かさを考慮)

項目	設定値			設定方法	
	全体	北部	南部		
断層上端長さ (km)	57.7	21.8	35.9	活断層調査結果による位置を基に設定	
断層下端長さ (km)	54.2	20.1	34.1		
断層傾斜角 (°)	60 (西傾斜)	60 (西傾斜)	60 (西傾斜)	活断層調査結果に基づき設定	
断層上端深さ (km)	3	3	3	微小地震の発生及び地下構造から設定	
断層下端深さ (km)	18	18	18		
断層幅W (km)	17.3	17.3	17.3	地震発生層と断層傾斜角から設定	
断層面積S (km ²)	967.9	362.4	605.5	断層面より算定	
破壊伝播様式	同心円状	同心円状	同心円状	—	
地震モーメントM ₀ (N・m)	5.21E+19	1.65E+19	3.56E+19	$M_0 = \{S / (4.24 \times 10^{-11})\}^2 / 10^7$ 全体の地震モーメントを断層面積の1.5乗比で分配	
剛性率(N/m ²)	3.50E+10	3.50E+10	3.50E+10	$\mu = \rho \beta^2$, $\rho = 2.7 \text{g/cm}^3$, $\beta = 3.6 \text{km/s}$ (β は敷地周辺を対象にした地震波速度トモグラフィ, ρ は地震調査研究推進本部(2009a)の「全国1次地下構造モデル(暫定版)」を参考に設定)	
平均すべり量D (cm)	153.9	130.1	168.1	$D = M_0 / (\mu S)$	
平均応力降下量 $\Delta \sigma$ (MPa)	3.1	3.1	3.1	Fujii and Matsu'ura(2000)による	
破壊伝播速度V _r (km/s)	2.59	2.59	2.59	$V_r = 0.72 \beta$ (Geller(1976) ⁽²⁹⁾ による)	
短周期レベルA (N・m/s ²) (参考)	1.98E+19	—	—	$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	
アスペリティ	面積S _a (km ²)	212.9	79.7	133.2	$S_a = 0.22S$
	平均すべり量D _a (cm)	307.7	260.1	336.2	$D_a = 2D$
	地震モーメントM _{0a} (N・m)	2.29E+19	7.26E+18	1.57E+19	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
	応力降下量 $\Delta \sigma_a$ (MPa)	14.09	14.09	14.09	$\Delta \sigma_a = \Delta \sigma \times S / S_a$
	短周期レベルA (N・m/s ²) (参考)	1.89E+19	1.16E+19	1.49E+19	$A = 4 \pi r_a \Delta \sigma_a \beta^2$
背景領域	面積S _b (km ²)	755.0	282.7	472.3	$S_b = S - S_a$
	平均すべり量D _b (cm)	110.5	93.4	120.7	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
	地震モーメントM _{0b} (N・m)	2.92E+19	9.24E+18	1.99E+19	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	実効応力 $\Delta \sigma_b$ (MPa)	2.82	2.82	2.82	$\Delta \sigma_b = 0.2 \Delta \sigma_a$

第6-3表 F1断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層による地震の検討ケース

ケース名	断層長さ (km)	断層上端深さ (km)	断層下端深さ (km)	断層幅 (km)	断層傾斜角 (°)	アスペリティ位置	破壊開始点	短周期レベル
基本震源モデル	58	3	18	17.3	西 60	断層端部から1マス空けて配置	複数設定	平均
短周期レベルの不確かさを考慮	58	3	18	17.3	西 60	断層端部から1マス空けて配置	複数設定	1.5倍
断層傾斜角の不確かさを考慮	58	3	18	21.2	西 45	断層端部から1マス空けて配置	複数設定	平均
アスペリティ位置の不確かさを考慮	58	3	18	17.3	西 60	断層端部に配置	複数設定	平均

※応答スペクトルに基づく手法における基本震源モデルと短周期レベルの不確かさケースは共通とする。

第6-4表 F1断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層による地震の断層パラメータ（短周期レベルの不確かさを考慮）

項目	設定値			設定方法	
	全体	北部	南部		
断層上端長さ (km)	57.7	21.8	35.9	活断層調査結果による位置を基に設定	
断層下端長さ (km)	54.2	20.1	34.1		
断層傾斜角 (°)	60 (西傾斜)	60 (西傾斜)	60 (西傾斜)	活断層調査結果に基づき設定	
断層上端深さ (km)	3	3	3	微小地震の発生及び地下構造から設定	
断層下端深さ (km)	18	18	18		
断層幅W (km)	17.3	17.3	17.3	地震発生層と断層傾斜角から設定	
断層面積S (km ²)	967.9	362.4	605.5	断層面より算定	
破壊伝播様式	同心円状	同心円状	同心円状	—	
地震モーメントM ₀ (N・m)	5.21E+19	1.65E+19	3.56E+19	$M_0 = \{S / (4.24 \times 10^{-11})\}^2 / 10^7$ 全体の地震モーメントを断層面積の1.5乗比で分配	
剛性率(N/m ²)	3.50E+10	3.50E+10	3.50E+10	$\mu = \rho \beta^2$, $\rho = 2.7 \text{g/cm}^3$, $\beta = 3.6 \text{km/s}$ (β は敷地周辺を対象にした地震波速度トモグラフィ, ρ は地震調査研究推進本部(2009a)の「全国1次地下構造モデル(暫定版)」を参考に設定)	
平均すべり量D (cm)	153.9	130.1	168.1	$D = M_0 / (\mu S)$	
平均応力降下量 $\Delta \sigma$ (MPa)	3.1	3.1	3.1	Fujii and Matsu'ura(2000)による	
破壊伝播速度V _r (km/s)	2.59	2.59	2.59	$V_r = 0.72 \beta$ (Geller(1976)による)	
短周期レベルA (N・m/s ²) (参考)	1.98E+19	—	—	$A = 2.46 \times 10^{10} \times (M_0 \times 10^7)^{1/3}$	
アスベリ テイ	面積S _a (km ²)	212.9	79.7	133.2	$S_a = 0.22S$
	平均すべり量D _a (cm)	307.7	260.1	336.2	$D_a = 2D$
	地震モーメントM _{0a} (N・m)	2.29E+19	7.26E+18	1.57E+19	$M_{0a} = \mu S_a D_a$
	応力降下量 $\Delta \sigma_a$ (MPa)	21.14	21.14	21.14	$\Delta \sigma_a = \Delta \sigma \times S / S_a \times 1.5$
	短周期レベルA (N・m/s ²) (参考)	2.83E+19	1.73E+19	2.24E+19	$A = 4 \pi r_a \Delta \sigma_a \beta^2$
背景領域	面積S _b (km ²)	755.0	282.7	472.3	$S_b = S - S_a$
	平均すべり量D _b (cm)	110.5	93.4	120.7	$D_b = M_{0b} / (\mu S_b)$
	地震モーメントM _{0b} (N・m)	2.92E+19	9.24E+18	1.99E+19	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	実効応力 $\Delta \sigma_b$ (MPa)	4.23	4.23	4.23	$\Delta \sigma_b = 0.2 \Delta \sigma_a$

第6-5表 F1断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層による地震の断層パラメータ（断層傾斜角の不確かさを考慮）

項目	設定値			設定方法	
	全体	北部	南部		
断層上端長さ (km)	57.1	21.5	35.6	活断層調査結果による位置を基に設定	
断層下端長さ (km)	51.1	18.5	32.6		
断層傾斜角 (°)	45 (西傾斜)	45 (西傾斜)	45 (西傾斜)	活断層調査結果の不確かさなどを踏まえ設定	
断層上端深さ (km)	3	3	3	微小地震の発生及び地下構造から設定	
断層下端深さ (km)	18	18	18		
断層幅W (km)	21.2	21.2	21.2	地震発生層と断層傾斜角から設定	
断層面積S (km ²)	1146.9	424.0	722.9	断層面より算定	
破壊伝播様式	同心円状	同心円状	同心円状	—	
地震モーメントM ₀ (N・m)	7.32E+19	2.27E+19	5.05E+19	M ₀ ={S/(4.24×10 ⁻¹¹)} ² /10 ⁷ 全体の地震モーメントを断層面積の1.5乗比で分配	
剛性率(N/m ²)	3.50E+10	3.50E+10	3.50E+10	$\mu = \rho \beta^2$, $\rho = 2.7\text{g/cm}^3$, $\beta = 3.6\text{km/s}$ (β は敷地周辺を対象にした地震波速度トモグラフィ, ρ は地震調査研究推進本部(2009a)の「全国1次地下構造モデル(暫定版)」を参考に設定)	
平均すべり量D (cm)	182.3	152.9	199.6	D=M ₀ /(μ S)	
平均応力降下量 $\Delta\sigma$ (MPa)	3.1	3.1	3.1	Fujii and Matsu'ura(2000)による	
破壊伝播速度V _r (km/s)	2.59	2.59	2.59	V _r =0.72 β (Geller(1976)による)	
短周期レベルA (N・m/s ²) (参考)	2.22E+19	—	—	A=2.46×10 ¹⁰ ×(M ₀ ×10 ⁷) ^{1/3}	
アスペリティ	面積S _a (km ²)	252.3	93.3	159.0	S _a =0.22S
	平均すべり量D _a (cm)	364.6	305.7	399.2	D _a =2D
	地震モーメントM _{0a} (N・m)	3.22E+19	9.98E+18	2.22E+19	M _{0a} = μ S _a D _a
	応力降下量 $\Delta\sigma_a$ (MPa)	14.09	14.09	14.09	$\Delta\sigma_a = \Delta\sigma \times S/S_a$
	短周期レベルA (N・m/s ²) (参考)	2.06E+19	1.25E+19	1.63E+19	A=4 $\pi r_a \Delta\sigma_a \beta^2$
背景領域	面積S _b (km ²)	894.6	330.7	563.9	S _b =S-S _a
	平均すべり量D _b (cm)	130.9	109.7	143.3	D _b =M _{0b} /(μ S _b)
	地震モーメントM _{0b} (N・m)	4.10E+19	1.27E+19	2.83E+19	M _{0b} =M ₀ -M _{0a}
	実効応力 $\Delta\sigma_b$ (MPa)	2.82	2.82	2.82	$\Delta\sigma_b = 0.2\Delta\sigma_a$

第6-6表 F1断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層による地震の地震動評価に用いる要素地震の諸元

項目		設定値
発生日時		2011年4月14日7時35分
気象庁マグニチュード		5.1
震央位置	東経(°)	140.57
	北緯(°)	36.78
震源深さ(km)		8.8
走向(°)※		155 ; 314
傾斜(°)※		63 ; 29
すべり角(°)※		-80 ; -109
地震モーメント(N・m)※		2.41×10^{16}
コーナー周波数(Hz)		1.2
応力降下量(MPa)		7.54

※ F-netによる。

第6-7表 検討用地震の選定に用いるプレート間地震の諸元

年月日	地震規模 M	等 価 震源距離 (km)	地 名 (地震名)
1677. 11. 4	8.0	169	磐城・常陸・安房・上総・下総の地震
1896. 1. 9	7.3	60	鹿島灘の地震
1923. 9. 1	7.9	187	関東大地震
1930. 6. 1	6.5	55	那珂川下流域の地震
1938. 5.23	7.0	75	塩屋崎沖の地震
1938. 9.22	6.5	63	鹿島灘の地震
1938. 11. 5	7.5	136	福島県東方沖地震
2011. 3. 11	Mw9.0	—	2011年東北地方太平洋沖地震の本震※
2011. 3. 11	7.6	—	2011年東北地方太平洋沖地震の最大余震※
—	7.3	77	茨城県南部の地震 (中央防災会議(2013))
—	7.6	84	茨城県沖の地震 (地震調査研究推進本部(2012))

※ 観測記録より求めた解放基盤波を用いる。

第 6-8 表 2011 年東北地方太平洋沖型地震の断層パラメータ（基本震源モデル，SMGA 位置の不確かさを考慮）

項目		設定値	設定方法
走向	θ (°)	200	F-net
傾斜角1 (東側)	δ_1 (°)	12	壇ほか (2005) ⁽³⁵⁾
傾斜角2 (西側)	δ_2 (°)	21	壇ほか (2005)
すべり角	λ (°)	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 (°)	38.1035	本震の震源位置 (気象庁)
基準点東経	E (°)	142.8610	本震の震源位置 (気象庁)
基準点深さ	H (km)	23.7	本震の震源位置 (気象庁)
上端深さ	h_u (km)	12.3	$h_u = H - w_1 \sin \delta_1$
下端深さ	h_l (km)	68.9	$h_l = H + (100 - w_1) \sin \delta_1 + 100 \sin \delta_2$
断層面積	S (km ²)	100000	S=L×W
平均応力降下量	$\Delta \sigma$ (MPa)	3.08	$M_0 = 16/7 \times (S/\pi)^{3/2} \Delta \sigma$
地震モーメント	M_0 (N・m)	4.00E+22	$\log M_0 = 1.5M_w + 9.1$
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) ⁽³⁶⁾ , (2005) ⁽³⁷⁾
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)
SMGA全体	面積	S_a (km ²)	12500 $S_a = cS$, $c = 0.125$
	地震モーメント	M_{0a} (N・m)	1.00E+22 $M_{0a} = \mu D_a S_a$
	すべり量	D_a (cm)	1708.6 $D_a = 2 \times D$
	応力降下量	$\Delta \sigma_a$ (MPa)	24.6 $\Delta \sigma_a = S/S_a \times \Delta \sigma$
	短周期レベル	A_a (N・m/s ²)	2.97E+20 $A_a = (\sum A_{ai}^2)^{1/2} = 5^{1/2} A_{a1}$
各SMGA	面積	S_{a1} (km ²)	2500 $S_{a1} = S_a/5$
	地震モーメント	M_{0a1} (N・m)	2.00E+21 $M_{0a1} = M_{0a} S_{a1}^{1.5} / \sum S_{ai}^{1.5} = M_{0a}/5$
	すべり量	D_{a1} (cm)	1708.6 $D_{a1} = M_{0a1} / (\mu S_{a1})$
	応力降下量	$\Delta \sigma_{a1}$ (MPa)	24.6 $\Delta \sigma_{a1} = \Delta \sigma_a$
	短周期レベル	A_{a1} (N・m/s ²)	1.33E+20 $A_{a1} = 4\pi r_1 \Delta \sigma_{a1} V_s^2$, $r_1 = (S_{a1}/\pi)^{1/2}$
	ライズタイム	τ_{a1} (s)	8.33 $\tau_{a1} = 0.5W_{a1}/V_r$, W_{a1} : SMGA幅
背景領域	面積	S_b (km ²)	87500 $S_b = S - S_a$
	地震モーメント	M_{0b} (N・m)	3.00E+22 $M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	すべり量	D_b (cm)	732.2 $D_b = M_{0b} / \mu S_b$
	応力降下量	$\Delta \sigma_b$ (MPa)	4.9 $\Delta \sigma_b = 0.2 \Delta \sigma_a$
	ライズタイム	τ_b (s)	33.33 $\tau_b = 0.5W/V_r$, W: 断層幅
Q値	Q	110f ^{0.69}	佐藤ほか (1994)

第6-9表 2011年東北地方太平洋沖型地震の検討ケース

ケース名	断層設定位置	地震規模	断層傾斜角(°)	SMGA位置	短周期レベル
基本震源モデル	フィリピン海プレートの北東限を考慮し、三陸沖中部～茨城県沖に設定	Mw9.0	12(東半分) 21(西半分)	過去の地震発生状況を踏まえ配置	当該地域で発生した過去の地震の短周期レベルに基づき設定
SMGA位置の不確かさを考慮	フィリピン海プレートの北東限を考慮し、三陸沖中部～茨城県沖に設定	Mw9.0	12(東半分) 21(西半分)	茨城県沖のSMGA位置を敷地近傍に配置	当該地域で発生した過去の地震の短周期レベルに基づき設定
短周期レベルの不確かさを考慮	フィリピン海プレートの北東限を考慮し、三陸沖中部～茨城県沖に設定	Mw9.0	12(東半分) 21(西半分)	過去の地震発生状況を踏まえ配置	基本震源モデルの1.5倍
SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳を考慮	フィリピン海プレートの北東限を考慮し、三陸沖中部～茨城県沖に設定	Mw9.0	12(東半分) 21(西半分)	茨城県沖のSMGA位置を敷地近傍に配置	基本震源モデルの1.5倍

第 6-10 表 2011 年東北地方太平洋沖型地震の断層パラメータ（短周期レベルの不確かさを考慮，SMGA 位置と短周期レベルの不確かさの重畳を考慮）

項目		設定値	設定方法
走向	θ (°)	200	F-net
傾斜角1 (東側)	δ_1 (°)	12	壇ほか(2005)
傾斜角2 (西側)	δ_2 (°)	21	壇ほか(2005)
すべり角	λ (°)	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 (°)	38.1035	本震の震源位置 (気象庁)
基準点東経	E (°)	142.8610	本震の震源位置 (気象庁)
基準点深さ	H (km)	23.7	本震の震源位置 (気象庁)
上端深さ	h_u (km)	12.3	$h_u = H - w_1 \sin \delta_1$
下端深さ	h_l (km)	68.9	$h_l = H + (100 - w_1) \sin \delta_1 + 100 \sin \delta_2$
断層面積	S (km ²)	100000	S=L×W
平均応力降下量	$\Delta \sigma$ (MPa)	3.08	$M_0 = 16/7 \times (S/\pi)^{3/2} \Delta \sigma$
地震モーメント	M_0 (N・m)	4.00E+22	$\log M_0 = 1.5 M_w + 9.1$
モーメントマグニチュード	M_w	9.0	2011年東北地方太平洋沖地震
平均すべり量	D (cm)	854.3	$D = M_0 / (\mu S)$
剛性率	μ (N/m ²)	4.68E+10	$\mu = \rho V_s^2$, $\rho = 3.08 \text{g/cm}^3$ 地震調査研究推進本部 (2002), (2005)
せん断波速度	V_s (km/s)	3.9	地震調査研究推進本部 (2002), (2005)
破壊伝播速度	V_r (km/s)	3.0	地震調査研究推進本部 (2002), (2005)
SMGA全体	面積	S_a (km ²)	12500 $S_a = cS$, $c = 0.125$
	地震モーメント	M_{0a} (N・m)	1.00E+22 $M_{0a} = \mu D_a S_a$
	すべり量	D_a (cm)	1708.6 $D_a = 2 \times D$
	応力降下量	$\Delta \sigma_a$ (MPa)	37.0 $\Delta \sigma_a = S/S_a \times \Delta \sigma \times 1.5$
	短周期レベル	A_a (N・m/s ²)	4.46E+20 $A_a = (\sum A_{ai}^2)^{1/2} = 5^{1/2} A_{a1}$
各SMGA	面積	S_{a1} (km ²)	2500 $S_{a1} = S_a/5$
	地震モーメント	M_{0a1} (N・m)	2.00E+21 $M_{0a1} = M_{0a} S_{a1}^{1.5} / \sum S_{ai}^{1.5} = M_{0a}/5$
	すべり量	D_{a1} (cm)	1708.6 $D_{a1} = M_{0a1} / (\mu S_{a1})$
	応力降下量	$\Delta \sigma_{a1}$ (MPa)	37.0 $\Delta \sigma_{a1} = \Delta \sigma_a$
	短周期レベル	A_{a1} (N・m/s ²)	1.99E+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 $\tau_{a1} = 0.5 W_{a1} / V_r$, W_{a1} : SMGA幅
背景領域	面積	S_b (km ²)	87500 $S_b = S - S_a$
	地震モーメント	M_{0b} (N・m)	3.00E+22 $M_{0b} = M_0 - M_{0a}$
	すべり量	D_b (cm)	732.2 $D_b = M_{0b} / \mu S_b$
	応力降下量	$\Delta \sigma_b$ (MPa)	7.4 $\Delta \sigma_b = 0.2 \Delta \sigma_a$
	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)

第6-11表 2011年東北地方太平洋沖型地震の地震動評価に用いる要素地震の諸元

(要素地震 (北部))

項目		設定値
発生日時		2011年3月10日6時23分
気象庁マグニチュード		6.8
震央位置	東経 (°)	143.05
	北緯 (°)	38.17
震源深さ (km)		9.3
走向 (°) ※		22 ; 213
傾斜 (°) ※		68 ; 23
すべり角 (°) ※		85 ; 101
地震モーメント (N・m) ※		5.51×10^{18}
コーナー周波数 (Hz)		0.22
応力降下量 (MPa)		11.8

※ F-n e tによる。

(要素地震 (南部))

項目		設定値
発生日時		2009年2月1日6時51分
気象庁マグニチュード		5.8
震央位置	東経 (°)	141.28
	北緯 (°)	36.72
震源深さ (km)		47.0
走向 (°) ※		25 ; 232
傾斜 (°) ※		76 ; 15
すべり角 (°) ※		83 ; 116
地震モーメント (N・m) ※		4.65×10^{17}
コーナー周波数 (Hz)		0.48
応力降下量 (MPa)		10.4

※ F-n e tによる。

第6-12表 検討用地震の選定に用いる海洋プレート内地震の諸元

年月日	地震規模 M	等 価 震源距離 (km)	地 名 (地震名)
1895. 1. 18	7.2	69	霞ヶ浦付近の地震
1921. 12. 8	7.0	74	茨城県龍ヶ崎付近の地震
—	7.3	64	茨城県南部の地震（中央防災会議（2004））
—	7.3	70	茨城県南部の地震（中央防災会議（2013））
—	7.1	89	震源断層を予め特定しにくい地震（陸域）（地震調査研究推進本部（2009））
—	7.3	81	震源断層を予め特定しにくい地震（海域）（地震調査研究推進本部（2009））
—	8.2	164	海溝寄りのプレート内地震（地震調査研究推進本部（2009））

第6-13表 茨城県南部の海洋プレート内地震の断層パラメータ（基本震源モデル、アスペリティ位置の不確かさを考慮）

項目		設定値	設定方法
基準点（断層北西端）	N (°)	36.291	中央防災会議(2013)のフィリピン海プレート内の地震を想定する領域の北端
	E (°)	140.060	
上端深さ	h(km)	38~54	フィリピン海プレートの上面位置
気象庁マグニチュード [*]	M _j	7.3	M _j =M _w
モーメントマグニチュード [*]	M _w	7.3	中央防災会議(2013)
地震モーメント	M ₀ (N・m)	1.12E+20	logM ₀ =1.5M _w +9.1
走向	θ (°)	140.7	中央防災会議(2013)のフィリピン海プレート内の地震を想定する領域
傾斜角	δ (°)	90	中央防災会議(2013)
ずれの種類	—	右横ずれ	長谷川ほか(2013)
すべり角	λ (°)	180	長谷川ほか(2013)
平均応力降下量	Δσ (MPa)	10.3	中央防災会議(2013)
断層面積	S(km ²)	900	中央防災会議(2013)
長さ	L(km)	45	L=S/W
幅	W(km)	20	中央防災会議(2013)のフィリピン海プレートの厚さ
密度	ρ (g/cm ³)	2.875	μ = ρ V _s ²
せん断波速度	V _s (km/s)	4.0	佐藤(2003) ^(4,2)
剛性率	μ (N/m ²)	4.60E+10	中央防災会議(2013)
平均すべり量	D(m)	2.55	D=M ₀ /(μ S)
破壊伝播速度	V _r (km/s)	2.9	中央防災会議(2013)
アスペリティ	面積	S _a (km ²)	150 中央防災会議(2013)
	すべり量	D _a (m)	5.1 D _a =2D
	地震モーメント	M _{0a} (N・m)	3.52E+19 M _{0a} =μ D _a S _a
	応力降下量	Δσ _a (MPa)	62.0 中央防災会議(2013)
短周期レベル (参考)	A(N・m/s ²)	8.61E+19 A=4πr _a Δσ _a V _s ²	
背景領域	面積	S _b (km ²)	750 S _b =S-S _a
	すべり量	D _b (m)	2.23 D _b =M _{0b} /(μ S _b)
	地震モーメント	M _{0b} (N・m)	7.70E+19 M _{0b} =M ₀ -M _{0a}
	実効応力	Δσ _b (MPa)	12.4 Δσ _b =0.2Δσ _a
Q値	Q	110f ^{0.69}	佐藤(1994)

第6-14表 茨城県南部の海洋プレート内地震の検討ケース

ケース名	地震規模 M	断層傾斜角 (°)	応力降下量 (MPa)	アスペリティ位置	震源位置	等価震源距離 (km)
基本震源モデル	7.3	90	62	海洋性マントルの最上部	フィリピン海プレート内の地震を想定する領域のうち敷地から十分近い位置	76.0
断層傾斜角の不確かさを考慮	7.3	37	62	海洋性マントルの最上部	フィリピン海プレート内の地震を想定する領域のうち敷地から十分近い位置	83.4
アスペリティ位置の不確かさを考慮	7.3	90	62	断層上端	フィリピン海プレート内の地震を想定する領域のうち敷地から十分近い位置	74.7
応力降下量の不確かさを考慮	7.3	90	77.59	海洋性マントルの最上部	フィリピン海プレート内の地震を想定する領域のうち敷地から十分近い位置	76.5
地震規模の不確かさを考慮	7.4	90	62	海洋性マントルの最上部	フィリピン海プレート内の地震を想定する領域のうち敷地から十分近い位置	76.3

第6-15表 茨城県南部の海洋プレート内地震の断層パラメータ（断層傾斜角の不確かさを考慮）

項目		設定値	設定方法	
基準点（断層北西端）	N (°)	36.291	中央防災会議(2013)のフィリピン海プレート内の地震を想定する領域の北端	
	E (°)	140.060		
上端深さ	h (km)	38~51	フィリピン海プレートの上面位置	
気象庁マグニチュード	M _j	7.3	M _j =M _w	
モーメントマグニチュード	M _w	7.3	中央防災会議(2013)	
地震モーメント	M ₀ (N・m)	1.12E+20	logM ₀ =1.5M _w +9.1	
走向	θ (°)	140.7	中央防災会議(2013)のフィリピン海プレート内の地震を想定する領域	
傾斜角	δ (°)	37	敷地へ向く傾斜角	
ずれの種類	—	右横ずれ	長谷川ほか(2013)	
すべり角	λ (°)	180	長谷川ほか(2013)	
平均応力降下量	Δσ (MPa)	10.3	中央防災会議(2013)	
断層面積	S (km ²)	900	中央防災会議(2013)	
長さ	L (km)	45	L=S/W	
幅	W (km)	20	中央防災会議(2013)のフィリピン海プレートの厚さ	
密度	ρ (g/cm ³)	2.875	μ = ρ V _s ²	
せん断波速度	V _s (km/s)	4.0	佐藤(2003)	
剛性率	μ (N/m ²)	4.60E+10	中央防災会議(2013)	
平均すべり量	D (m)	2.55	D=M ₀ /(μ S)	
破壊伝播速度	V _r (km/s)	2.9	中央防災会議(2013)	
アスペリティ	面積	S _a (km ²)	150	中央防災会議(2013)
	すべり量	D _a (m)	5.1	D _a =2D
	地震モーメント	M _{0a} (N・m)	3.52E+19	M _{0a} =μ D _a S _a
	応力降下量	Δσ _a (MPa)	62.0	中央防災会議(2013)
	短周期レベル (参考)	A (N・m/s ²)	8.61E+19	A _a =4πr _a Δσ _a V _s ²
背景領域	面積	S _b (km ²)	750	S _b =S-S _a
	すべり量	D _b (m)	2.23	D _b =M _{0b} /(μ S _b)
	地震モーメント	M _{0b} (N・m)	7.70E+19	M _{0b} =M ₀ -M _{0a}
	実効応力	Δσ _b (MPa)	12.4	Δσ _b =0.2Δσ _a
Q値	Q	110f ^{0.69}	佐藤(1994)	

第6-16表 茨城県南部の海洋プレート内地震の断層パラメータ（応力降下量の不確かさを考慮）

項目		設定値	設定方法	
基準点（断層北西端）	N (°)	36.291	中央防災会議(2013)のフィリピン海プレート内の地震を想定する領域の北端	
	E (°)	140.060		
上端深さ	h(km)	42~54	フィリピン海プレートの上端位置	
気象庁マグニチュード [*]	M _j	7.3	M _j =M _w	
モーメントマグニチュード [*]	M _w	7.3	中央防災会議(2013)	
地震モーメント	M ₀ (N・m)	1.12E+20	logM ₀ =1.5M _w +9.1	
走向	θ (°)	140.7	中央防災会議(2013)のフィリピン海プレート内の地震を想定する領域	
傾斜角	δ (°)	90	中央防災会議(2013)	
ずれの種類	—	右横ずれ	長谷川ほか(2013)	
すべり角	λ (°)	180	長谷川ほか(2013)	
平均応力降下量	Δσ (MPa)	15.37	Δσ = (7π ^{1.5} /16) (M ₀ /S ^{1.5})	
断層面積	S(km ²)	681	S = (49π ⁴ β ⁴ M ₀ ²) / (16A ² S _a)	
長さ	L(km)	34.07	L=S/W	
幅	W(km)	20	中央防災会議(2013)のフィリピン海プレートの厚さ	
密度	ρ (g/cm ³)	2.875	μ = ρ V _s ²	
せん断波速度	V _s (km/s)	4.0	佐藤(2003)	
剛性率	μ (N/m ²)	4.60E+10	中央防災会議(2013)	
平均すべり量	D(m)	3.58	D=M ₀ /(μ S)	
破壊伝播速度	V _r (km/s)	2.9	中央防災会議(2013)	
短周期レベル	A(N・m/s ²)	1.02E+20	A=9.84×10 ¹⁷ ×M ₀ ^{1/3} [dyne-cm]（笹谷ほか(2006)のM ₀ -A関係）	
アスペリティ	面積	S _a (km ²)	135	S _a =1.25×10 ⁻¹⁶ M ₀ ^{2/3} [dyne-cm]（笹谷ほか(2006)のM ₀ -S _a 関係）
	すべり量	D _a (m)	7.16	D _a =2D
	地震モーメント	M _{0a} (N・m)	4.45E+19	M _{0a} =μ D _a S _a
	応力降下量	Δσ _a (MPa)	77.59	Δσ _a =A/(4πβ ²)/(S _a /π) ^{0.5}
背景領域	面積	S _b (km ²)	546	S _b =S-S _a
	すべり量	D _b (m)	2.7	D _b =M _{0b} /(μ S _b)
	地震モーメント	M _{0b} (N・m)	6.77E+19	M _{0b} =M ₀ -M _{0a}
	実効応力	Δσ _b (MPa)	15.52	Δσ _b =0.2Δσ _a
Q値	Q	110f ^{0.69}	佐藤(1994)	

第6-17表 茨城県南部の海洋プレート内地震の断層パラメータ（地震規模の不確かさを考慮）

項目		設定値	設定方法	
基準点（断層北西端）	N (°)	36.291	中央防災会議(2013)のフィリピン海プレート内の地震を想定する領域の北端	
	E (°)	140.060		
上端深さ	h (km)	34~54	フィリピン海プレートの上面位置	
気象庁マグニチュード	M _j	7.4	M _j =M _w	
モーメントマグニチュード	M _w	7.4	与条件	
地震モーメント	M ₀ (N・m)	1.58E+20	logM ₀ =1.5M _w +9.1	
走向	θ (°)	140.7	中央防災会議(2013)のフィリピン海プレート内の地震を想定する領域	
傾斜角	δ (°)	90	中央防災会議(2013)	
ずれの種類	—	右横ずれ	長谷川ほか(2013)	
すべり角	λ (°)	180	長谷川ほか(2013)	
平均応力降下量	Δσ (MPa)	10.3	中央防災会議(2013)	
断層面積	S (km ²)	1120	与条件より算定	
長さ	L (km)	56	L=S/W	
幅	W (km)	20	中央防災会議(2013)のフィリピン海プレートの厚さ	
密度	ρ (g/cm ³)	2.875	μ = ρ V _s ²	
せん断波速度	V _s (km/s)	4.0	佐藤(2003)	
剛性率	μ (N/m ²)	4.60E+10	中央防災会議(2013)	
平均すべり量	D (m)	2.55	D=M ₀ /(μ S)	
破壊伝播速度	V _r (km/s)	2.9	中央防災会議(2013)	
アスぺリティ全体	面積	S _a (km ²)	187	S _a = 0.167S
	すべり量	D _a (m)	6.15	D _a = 2D
	地震モーメント	M _{0a} (N・m)	5.28E+19	M _{0a} = μ D _a S _a
	応力降下量	Δσ _a (MPa)	62	中央防災会議(2013)
	短周期レベル (参考)	A _a (N・m/s ²)	9.61E+19	A _a = 4 π r _a Δσ _a V _s ²
各アスぺリティ	面積	S _{a1} (km ²)	93	S _{a1} = S _a /2
	すべり量	D _{a1} (m)	6.15	D _{a1} = D _a
	地震モーメント	M _{0a1} (N・m)	2.64E+19	M _{0a1} = μ D _{a1} S _{a1}
	応力降下量	Δσ _{a1} (MPa)	62.0	中央防災会議(2013)
	短周期レベル (参考)	A _{a1} (N・m/s ²)	6.79E+19	A _{a1} = 4 π r _{a1} Δσ _{a1} V _s ²
背景領域	面積	S _b (km ²)	933	S _b = S - S _a
	すべり量	D _b (m)	2.46	D _b = M _{0b} / (μ S _b)
	地震モーメント	M _{0b} (N・m)	1.06E+20	M _{0b} = M ₀ - M _{0a}
	実効応力	Δσ _b (MPa)	12.4	Δσ _b = 0.2 Δσ _a
Q値	Q	110f ^{0.69}	佐藤(1994)	

第6-18表 茨城県南部の海洋プレート内地震の地震動評価に用いる要素地震の諸元

項目		設定値
発生日時		2014年11月12日9時53分
気象庁マグニチュード		4.8
震央位置	東経 (°)	140.086
	北緯 (°)	36.133
震源深さ (km)		65.8
走向 (°) ※		4 ; 189
傾斜 (°) ※		64 ; 26
すべり角 (°) ※		88 ; 95
地震モーメント (N・m) ※		2.59×10^{16}
コーナー周波数 (Hz)		1.17
応力降下量 (MPa)		5.5

※ F-netによる。

第6-19表 検討対象とする内陸地殻内地震

No	地震名	日時	規模
1	2008年岩手・宮城内陸地震	2008/06/14, 08:43	Mw6.9
2	2000年鳥取県西部地震	2000/10/06, 13:30	Mw6.6
3	2011年長野県北部地震	2011/03/12, 03:59	Mw6.2
4	1997年3月鹿児島県北西部地震	1997/03/26, 17:31	Mw6.1
5	2003年宮城県北部地震	2003/07/26, 07:13	Mw6.1
6	1996年宮城県北部(鬼首)地震	1996/08/11, 03:12	Mw6.0
7	1997年5月鹿児島県北西部地震	1997/05/13, 14:38	Mw6.0
8	1998年岩手県内陸北部地震	1998/09/03, 16:58	Mw5.9
9	2011年静岡県東部地震	2011/03/15, 22:31	Mw5.9
10	1997年山口県北部地震	1997/06/25, 18:50	Mw5.8
11	2011年茨城県北部地震	2011/03/19, 18:56	Mw5.8
12	2013年栃木県北部地震	2013/02/25, 16:23	Mw5.8
13	2004北海道留萌支庁南部地震	2004/12/14, 14:56	Mw5.7
14	2005年福岡県西方沖地震の最大余震	2005/04/20, 06:11	Mw5.4
15	2012年茨城県北部地震	2012/03/10, 02:25	Mw5.2
16	2011年和歌山県北部地震	2011/07/05, 19:18	Mw5.0

第6-20表 2008年岩手・宮城内陸地震の震源域と東海第二発電所敷地近傍の比較

項目	比較結果	2008年岩手・宮城内陸地震の震源域	東海第二発電所敷地近傍
地質	△	<ul style="list-style-type: none"> 震源域近傍には、主に中新統から鮮新統の堆積岩・火山岩等、第四系の火山岩類が分布する。 	<ul style="list-style-type: none"> 敷地近傍には、中新統の堆積岩、鮮新統の堆積岩、更新統の段丘堆積物等、完新統の沖積層及び砂丘砂層が分布する。
地質構造	×	<ul style="list-style-type: none"> 震源域近傍には、中新世以降に形成された褶曲構造が認められる。 カルデラが密集することから、地質構造が複雑である。 	<ul style="list-style-type: none"> 敷地近傍に広く分布する鮮新統(久米層)及びこれを不整合に覆う上部更新統はほぼ水平に分布している。 敷地近傍にカルデラは分布しない。
変動地形等	×	<ul style="list-style-type: none"> 下記の観点より、震源域近傍は変動地形等の認識が難しい地域である。 <ul style="list-style-type: none"> 震源域は山間部に位置し、近傍に河成段丘が一部分布するのみであり、指標となる地形が少ない。 大規模地すべりを含めた地すべりが密集している。 田力ほか(2009)⁽⁴⁵⁾によると、柞木立付近には短いながら明瞭な断層変位地形があり、低位段丘礫層堆積期以降に複数回、比較的活発な活動を繰り返していることが明らかとなった。 	<ul style="list-style-type: none"> 下記の観点より、敷地近傍は変動地形等が認識しやすい地域である。 <ul style="list-style-type: none"> 陸域には後期更新世以降に形成された段丘面が広く分布している。 地すべりが認められない。 海域には堆積層からなる鮮新統及び下部更新統が水平に広く分布している。 変動地形学的調査の結果、敷地近傍陸域に変動地形は認められない。
火山	×	<ul style="list-style-type: none"> 火山フロントに近接する。 	<ul style="list-style-type: none"> 火山フロントの遠方に位置する。
地震地体構造	×	<ul style="list-style-type: none"> 東北日本弧内帯(8C) 	<ul style="list-style-type: none"> 東北日本弧外帯(8B)
応力場	×	<ul style="list-style-type: none"> 防災科学技術研究所(2013)⁽⁴⁶⁾において、ひずみ集中帯と指摘されている。 東西圧縮の逆断層型が卓越 	<ul style="list-style-type: none"> ひずみ集中帯と指摘している文献はない。 敷地周辺の茨城県北部では南西-北東引張の正断層型が卓越

【凡例】○：類似性あり，△：類似性低い～一部あり，×：類似性なし

第6-21表 2000年鳥取県西部地震の震源域と東海第二発電所敷地近傍の比較

項目	比較結果	2000年鳥取県西部地震の震源域	東海第二発電所敷地近傍
地質	×	<ul style="list-style-type: none"> 震源域近傍には、主に白亜系～古第三系の花崗岩及び中新統の安山岩～玄武岩の岩脈が分布する。 	<ul style="list-style-type: none"> 敷地近傍には、中新統の堆積岩、鮮新統の堆積岩、更新統の段丘堆積物等、完新統の沖積層及び砂丘砂層が分布する。
地質構造	×	<ul style="list-style-type: none"> 第四紀中期以降に新たに断層面を形成して、断層が発達しつつあり、活断層の発達過程としては初期ないし未成熟な段階にある。 	<ul style="list-style-type: none"> 敷地近傍に広く分布する鮮新統(久米層)及びこれを不整合に覆う上部更新統はほぼ水平に分布している。
変動地形等	×	<ul style="list-style-type: none"> 下記の観点より、震源域近傍は変動地形等の認識が難しい地域である。 <ul style="list-style-type: none"> 岡田(2002)⁽⁴⁷⁾によると、震源域近傍の活断層の特徴として、第四紀中期以降に新たな断層面を形成して断層が発達しつつあり、活断層の発達過程としては初期ないし未成熟な段階にある。 震源域に震源断層の方向とほぼ一致する短く断続するリニアメント群が判読されるとともにリニアメント沿いで水平に近い条線をもつ断層露頭が多く確認され、これらの断層は横ずれ断層に伴うフラワー構造を呈して地下では1本の断層に収斂すると推測されている。 	<ul style="list-style-type: none"> 下記の観点より、敷地近傍は変動地形等が認識しやすい地域である。 <ul style="list-style-type: none"> 陸域には後期更新世以降に形成された段丘面が広く分布している。 地すべりが認められない。 海域には堆積層からなる鮮新統及び下部更新統が水平に広く分布している。 変動地形学的調査の結果、敷地近傍陸域に変動地形は認められない。
火山	×	<ul style="list-style-type: none"> 火山フロントに近接する。 	<ul style="list-style-type: none"> 火山フロントの遠方に位置する。
地震地体構造	×	<ul style="list-style-type: none"> 中国山地・瀬戸内海(10C5) 	<ul style="list-style-type: none"> 東北日本弧外帯(8B)
応力場	×	<ul style="list-style-type: none"> 西村(2014)⁽⁴⁸⁾において、ひずみ集中帯と指摘されている。 東西圧縮の横ずれ断層型が卓越 	<ul style="list-style-type: none"> ひずみ集中帯と指摘している文献はない。 敷地周辺の茨城県北部では南西-北東引張の正断層型が卓越

【凡例】 ○：類似性あり， △：類似性低い～一部あり， ×：類似性なし

第6-22表 震源を特定せず策定する地震動の設定に用いる地下構造モデル

EL. (m)	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	密度 (g/cm ³)	減衰定数	
					水平	鉛直
-370.0						
	106.0	790	2000	1.85	0.072f ^{-0.931}	0.203f ^{-0.93}
-476.0	90.0	835	2124	1.89		
-566.0	89.0	904	2205	2.00		
-655.0	24.0	947	2256	2.07		
-679.0	55.0	2750	4740	2.65	0.022	0.001f ^{-1.000}
-734.0	258.0	3220	5550	2.78		
-992.0	—	3220	5550	2.78		

第6-23表 設計用応答スペクトルのコントロールポイント

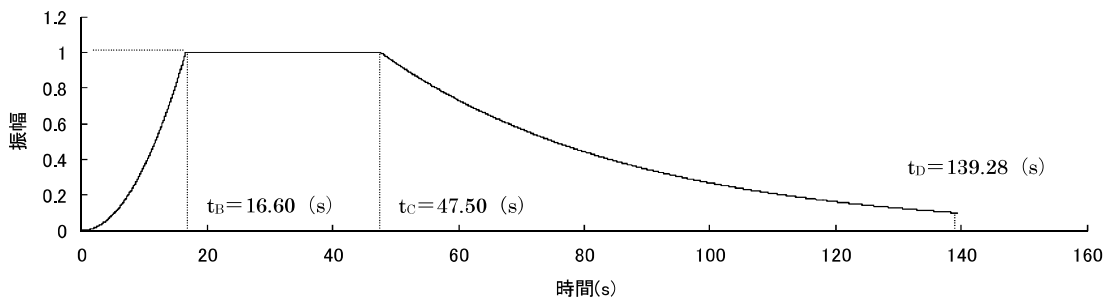
応答スペクトル		コントロールポイント				
		T _A	T _B	T _C	T _D	T _E
S _s -D1 _H	周期 (s)	0.02	0.09	0.13	0.60	5.00
	速度 (cm/s)	2.77	34.38	50.69	115.00	115.00

応答スペクトル		コントロールポイント					
		T _A	T _B	T _C	T _D	T _E	T _F
S _s -D1 _V	周期 (s)	0.02	0.04	0.09	0.13	0.60	5.00
	速度 (cm/s)	1.78	6.37	22.20	34.14	76.67	76.67

・ T_A～T_Fは周期 (s)

第6-24表 振幅包絡線の経時的変化

種別	継続時間 (s)	振幅包絡線の経時的変化 (s)		
		t_B	t_C	t_D
S_S-D1_H	139.28	16.60	47.50	139.28
S_S-D1_V	139.28	16.60	47.50	139.28



$M=8.3$, $X_{eq}=135.8\text{km}$ として評価

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

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

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

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

$$0 \leq t \leq t_B$$

$$t_B \leq t \leq t_C$$

$$t_C \leq t \leq t_D$$

第6-25表 模擬地震波の作成結果

種別	作成条件	作成結果			
	応答 スペクトル	最大加速度 (cm/s^2)	継続時間等	応答 スペクトル比	S I 比
S_S-D1_H	第6-33図 (1)	870	第6-38図	第6-37図	1.0 以上
S_S-D1_V	第6-33図 (2)	560	第6-38図	第6-37図	1.0 以上

第6-26表 基準地震動S_sの最大加速度

基準地震動		最大加速度 (cm/s ²)		
		NS 成分	EW 成分	UD 成分
S _s -D1	応答スペクトル手法による基準地震動	870		560
S _s -11	F1断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層による地震 (短周期レベルの不確かさ，破壊開始点1)	717	619	579
S _s -12	F1断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層による地震 (短周期レベルの不確かさ，破壊開始点2)	871	626	602
S _s -13	F1断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層による地震 (短周期レベルの不確かさ，破壊開始点3)	903	617	599
S _s -14	F1断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層による地震 (断層傾斜角の不確かさ，破壊開始点2)	586	482	451
S _s -21	2011年東北地方太平洋沖型地震 (短周期レベルの不確かさ)	901	887	620
S _s -22	2011年東北地方太平洋沖型地震 (SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)	1009	874	736
S _s -31	2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動	610		280

第7-1表 活断層のリスト（調査モデル）

断層番号	断層名	断層長さ(km)	等価震源距離(km)	M ^{※1} (松田式)	M ^{※2} (武村式)	活動度	再来期間(年)
1	関谷断層	40	92	7.5	7.6	—	3,350 ^{※4}
2	三郡森付近	18	106	6.9	7.0	B	5,600
3	大阪-足沢	7	91	6.8	6.9	B	4,800
4	二ッ箭断層	8	82	6.8	6.9	B	4,800
5	赤井断層	5	73	6.8	6.9	C	25,600
6	湯ノ岳断層	5	64	6.8	6.9	B	4,800 ^{※4}
7	江花-虫笠	9	94	6.8	6.9	B	4,800
8	那須湯本北	9	94	6.8	6.9	B	4,800
9	那須湯本北東	4	89	6.8	6.9	B	4,800
10	湯本塩原断層群	3	92	6.8	6.9	B	4,800
11	深谷断層帯・綾瀬川断層	103	128	8.2	8.3	—	58,000 ^{※4}
12	新編日活海域 ^{※3}	11	102	6.8	6.9	C	25,600
13	新編日活海域 ^{※3}	23	110	7.1	7.2	C	38,000
14	新編日活海域 ^{※3}	22	98	7.1	7.2	C	36,700
15	新編日活海域 ^{※3}	12	99	6.8	6.9	C	25,600
16	新編日活海域 ^{※3}	15	109	6.8	6.9	C	26,000
17	新編日活海域 ^{※3}	17	93	6.9	7.0	C	28,900
18	新編日活海域 ^{※3}	30	83	7.3	7.4	C	50,200
19	新編日活海域 ^{※3}	12	90	6.8	6.9	C	25,600
20	新編日活海域 ^{※3}	12	87	6.8	6.9	C	25,600
21	新編日活海域 ^{※3}	12	72	6.8	6.9	C	25,600
22	新編日活海域 ^{※3}	13	112	6.8	6.9	C	25,600
23	新編日活海域 ^{※3}	32	106	7.3	7.5	C	53,600
24	F 3断層, F 4 b-1断層	16	22	6.8	7.0	B	5,100
25	棚倉破砕帯西縁断層, 同東縁付近の推定活断層	42	37	7.5	7.7	B	13,300
26	F 1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層	58	31	7.8	7.9	B	18,400 ^{※5}
	F 1断層, 北方陸域の断層	44	28	7.6	7.7	B	13,900
27	F 8断層	26	26	7.2	7.3	B	8,300
28	F 1 6断層	26	30	7.2	7.3	B	8,300
29	A-1背斜	20	22	7.0	7.1	B	6,400
30	関口-米平リニアメント	6	27	6.8	7.0	B	5,400
31	宮田町リニアメント	1	21	6.8	7.0	B	5,400
32	堅破山リニアメント	4	25	6.8	7.0	B	5,400
33	F 1 1断層	5	38	6.8	7.0	B	5,400

※1 松田（1975）に基づき算定。ただし下限はM6.8とする。

※2 武村（1998）^(5,3)に基づき算定。ただし下限はM6.8とする。

※3 活断層研究会編（1991）に記載されている活断層

※4 更新過程に基づき評価

※5 2011年4月に活動した塩ノ平地震断層の地震調査研究推進本部の手法による今後50年発生確率はほぼ0%であることから、F 1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の全長が破壊する場合の確率は更に低くなる。

第7-2表 活断層のリスト (推本参考モデル)

断層番号	断層名	断層長さ (km)	等価震源 距離(km)	M	再来期間(年) ^{※1}
1	関谷断層	38	97	7.5	3,350 ^{※2}
2	関東平野北西縁断層主部	82	132	8.0	21,500 ^{※2}
3	平井-楡挽断層帯	23	138	7.1	7,000
4	大阪-足沢断層帯	16	88	6.8	12,700
5	二ツ箭断層	10	81	6.5	3,200
6	三郡森断層帯	18	105	6.9	5,700
7	湯ノ岳断層	12	65	6.6	3,800
8	井戸沢断層	19	56	7.0	62,900
9	高萩付近推定	17	34	6.9	56,300
10	棚倉破碎帯西縁断層	20	40	7.0	66,200
11	白河西方断層帯	18	94	6.9	59,600
12	越生断層	13	132	6.7	22,000

※1 地震調査研究推進本部(2012)に基づき算定。地震発生については地震調査研究推進本部(2012)に基づき、断層番号1, 2は更新過程, それ以外はポアソン過程とする。

※2 地震調査研究推進本部(2012)で示されている50年発生確率0%より、年発生確率を算出する。

第7-3表 海溝型地震で考慮している特定震源モデル（調査モデル）

断層名	断層長さ及び断層幅(km)	等価震源距離(km)	M	平均発生間隔(年) ^{※1}
関東地震 ^{※2}	22×45 63×55	162	7.9～8.2	220 ^{※3}
2011年東北地方太平洋沖型地震	500×200	—	Mw9.0	600 ^{※4}

※1 地震調査研究推進本部（2012）に基づく。

※2 巨視的断層は佐藤（1989）⁽⁵⁴⁾に、Mは宇佐美（2013）に基づく。

※3 地震調査研究推進本部（2009a）、（2012）に基づき更新過程として扱い、示されている50年発生確率1%より、年発生確率を算出する。

※4 地震調査研究推進本部（2012）に基づき更新過程として扱い、示されている50年発生確率0%より、年発生確率を算出する。

第7-4表 海溝型地震で考慮している特定震源モデル(推本参考モデル)

断層名	断層長さ及び断層幅(km)	等価震源距離(km)	M	平均発生間隔(年) ^{※1}
関東地震 ^{※2}	22×45 63×55	162	7.9～8.2	220 ^{※3}
茨城県沖の地震 (繰り返し発生する地震) ^{※4}	60×60	103	7.0	21 ^{※5}
2011年東北地方太平洋沖型地震	500×200	—	Mw9.0	600 ^{※6}

※1 地震調査研究推進本部（2009a）、（2009b）⁽⁵⁵⁾、（2012）に基づく。

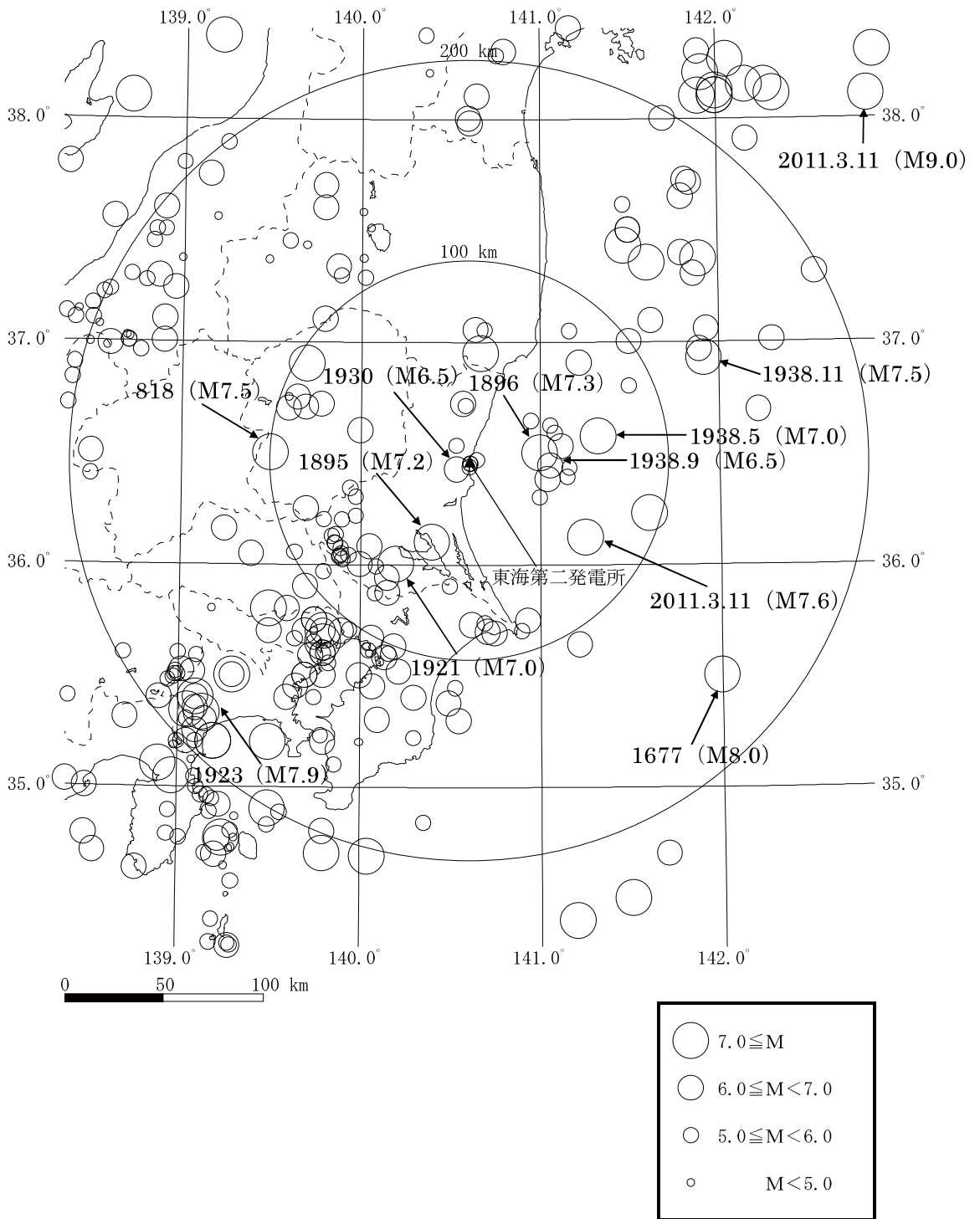
※2 巨視的断層は佐藤（1989）に、Mは宇佐美（2013）に基づく。

※3 地震調査研究推進本部（2009a）、（2012）に基づき更新過程として扱い、示されている50年発生確率1%より、年発生確率を算出する。

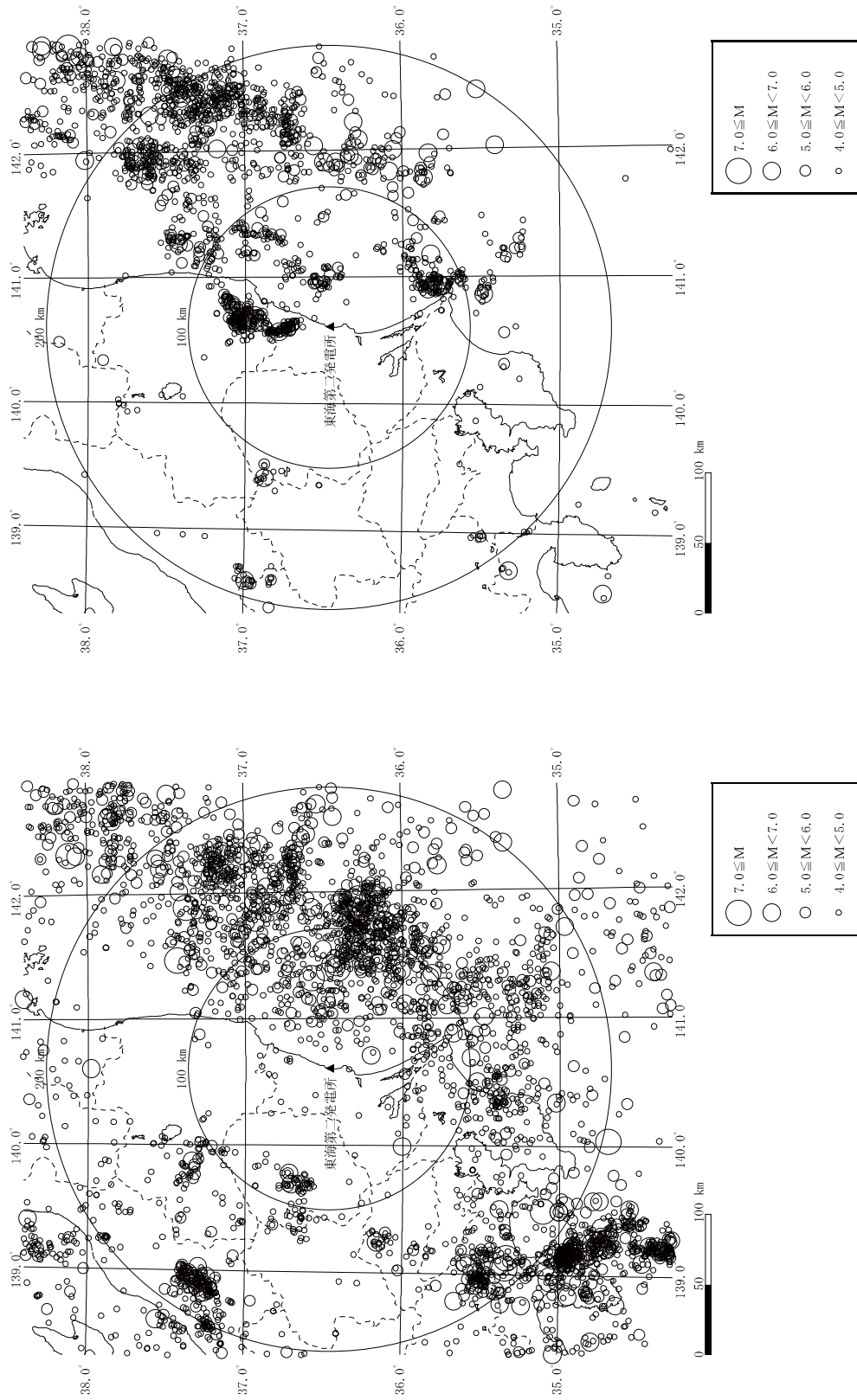
※4 巨視的断層及びMは地震調査研究推進本部（2009a）に基づく。

※5 ポアソン過程で評価する。

※6 地震調査研究推進本部（2012）に基づき更新過程として扱い、示されている50年発生確率0%より、年発生確率を算出する。

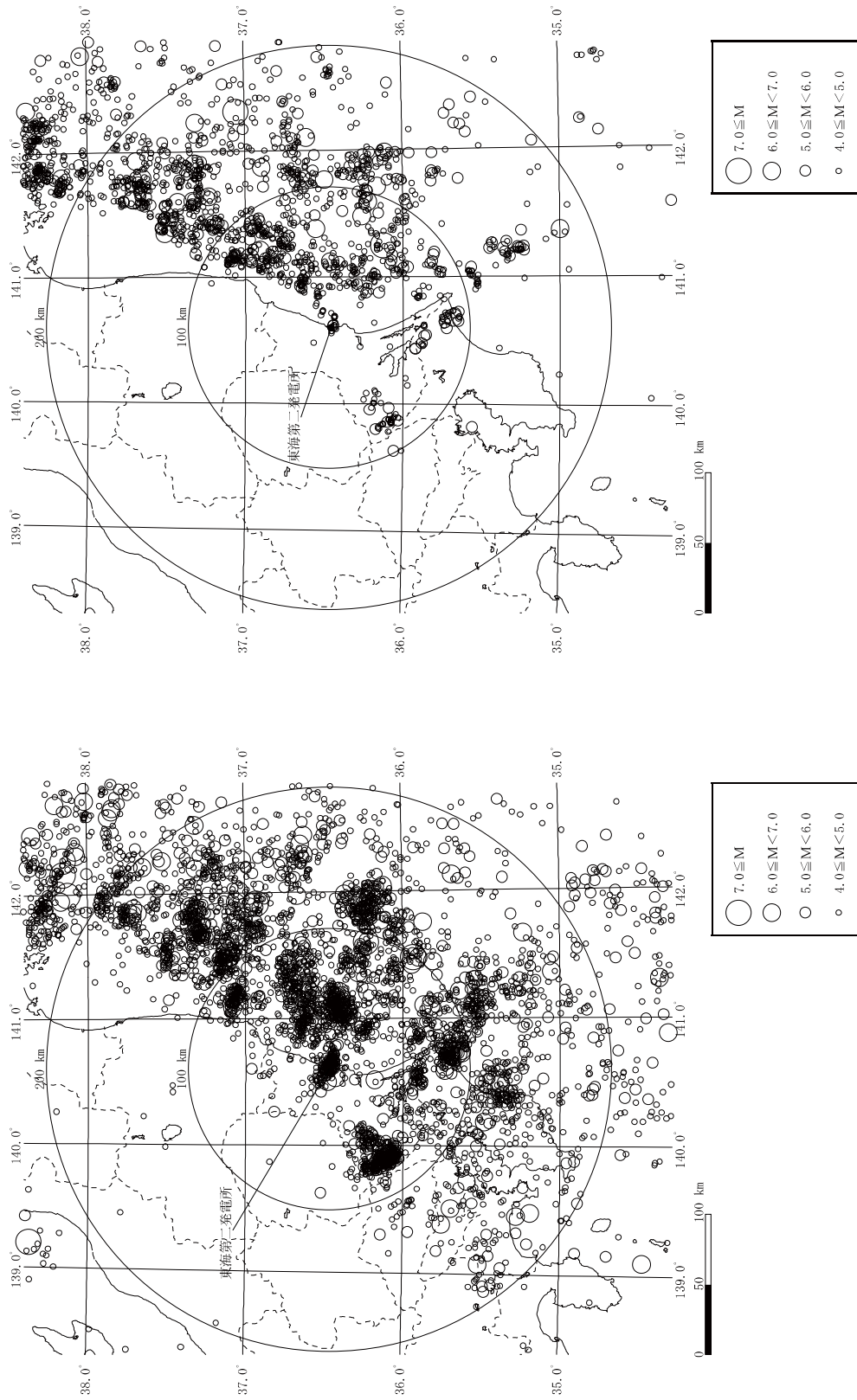


第2-1図 敷地周辺における過去の被害地震の震央分布図



(1923年～2011年2月) (2011年3月～2016年3月)

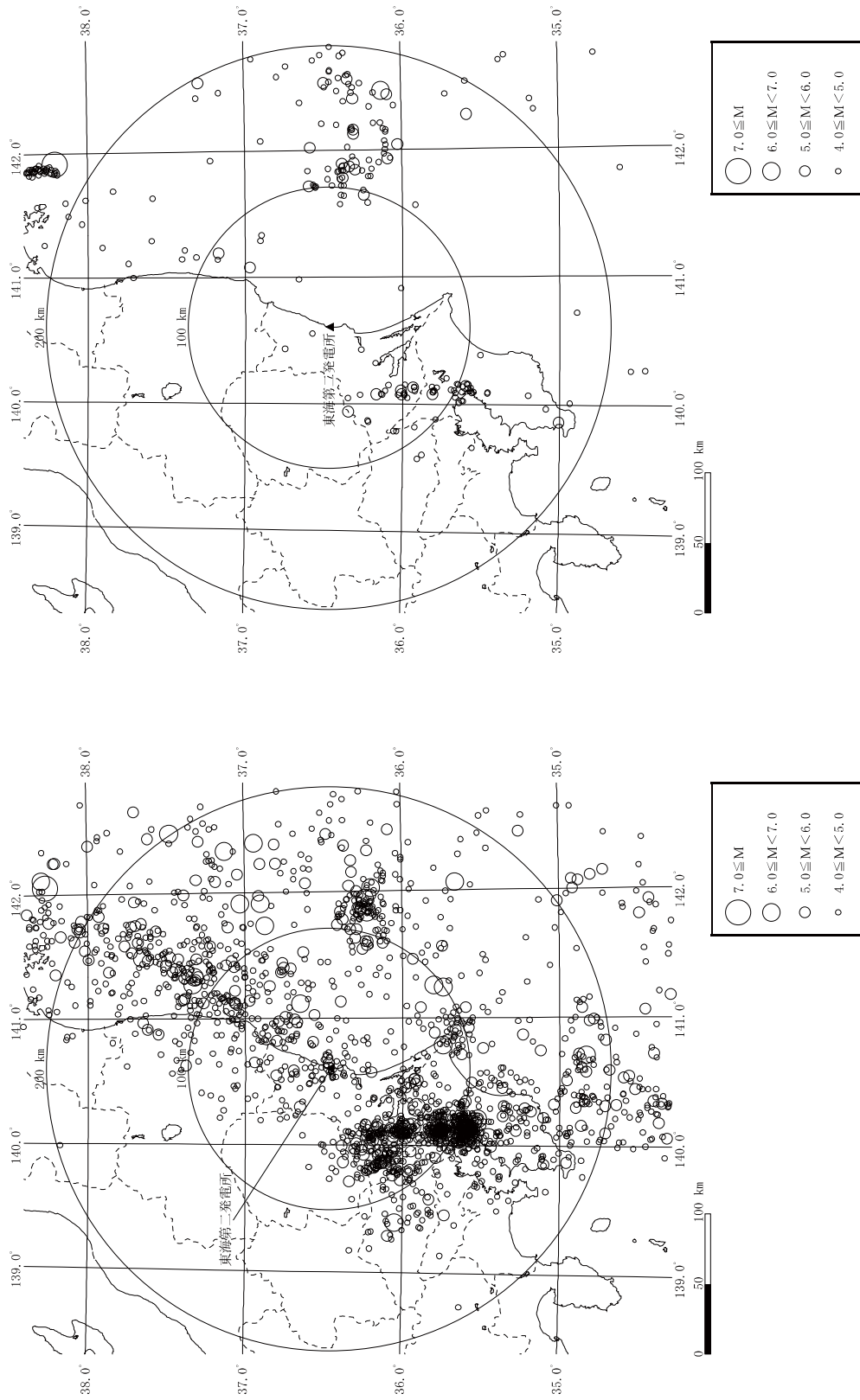
第2-2図 (1) 敷地周辺におけるM4.0以上の地震の震央分布図 (深さ30km以下)



(1923年～2011年2月)

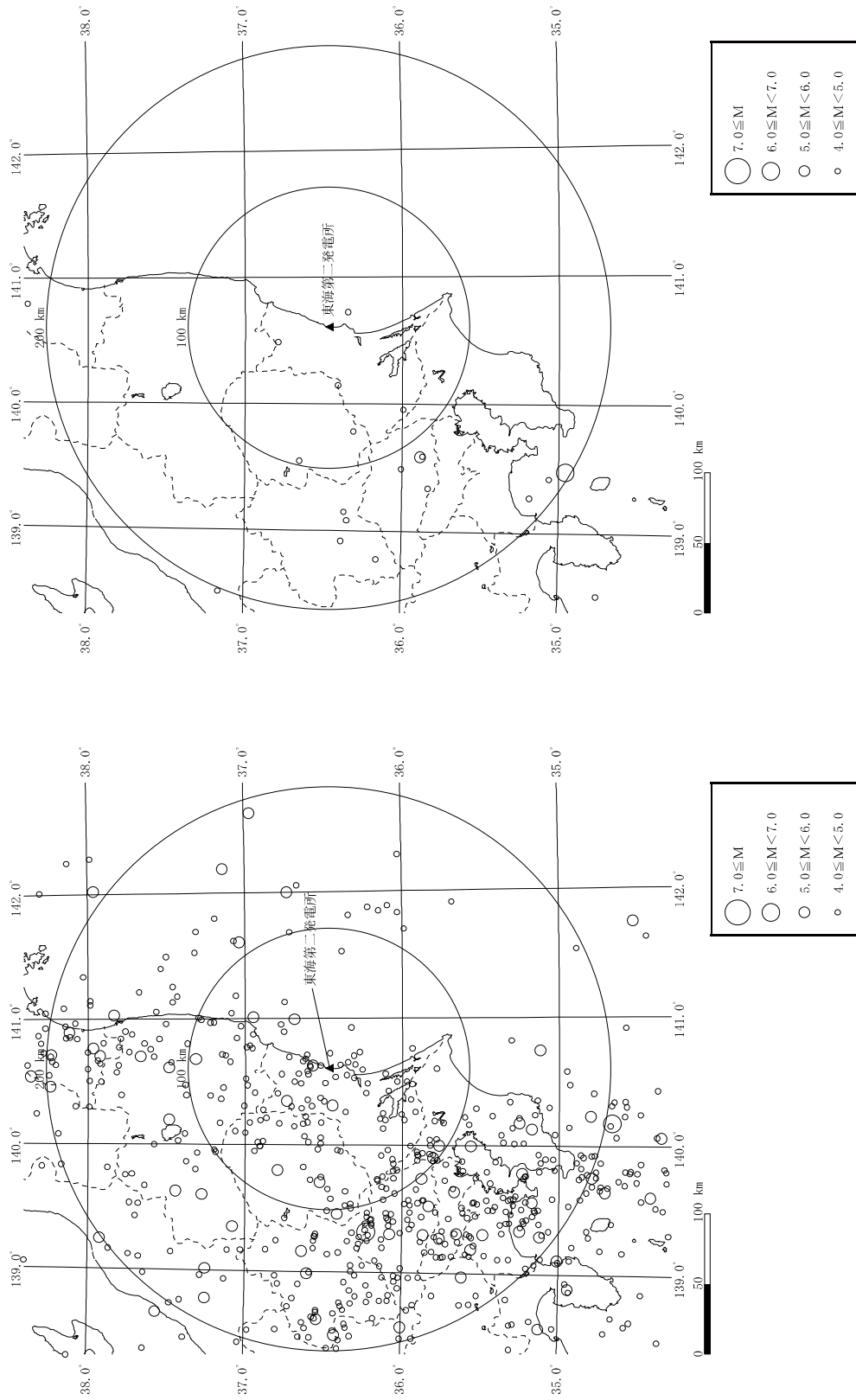
(2011年3月～2016年3月)

第2-2図 (2) 敷地周辺におけるM4.0以上の地震の震央分布図 (深さ 30km～60km)



(1923年～2011年2月) (2011年3月～2016年3月)

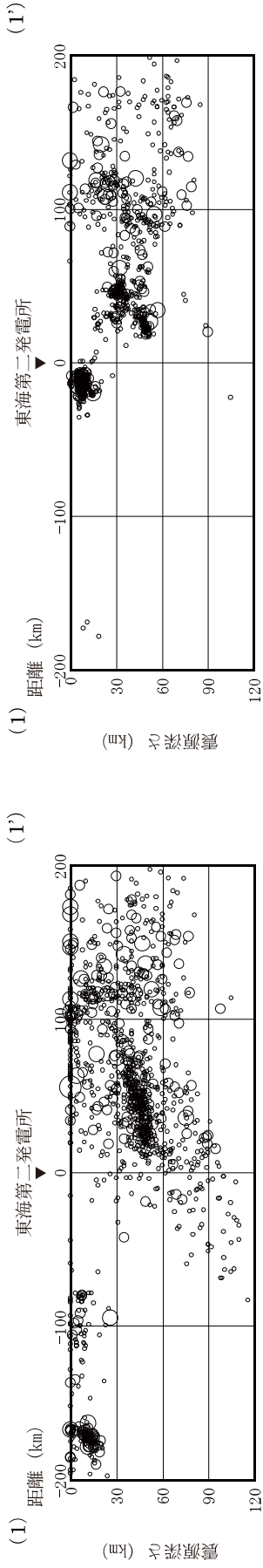
第2-2 図 (3) 敷地周辺におけるM4.0以上の地震の震央分布図 (深さ60km～90km)



(1923年～2011年2月)

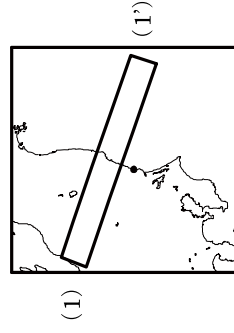
(2011年3月～2016年3月)

第2-2 図 (4) 敷地周辺におけるM4.0以上の地震の震央分布図 (深さ90km以深)

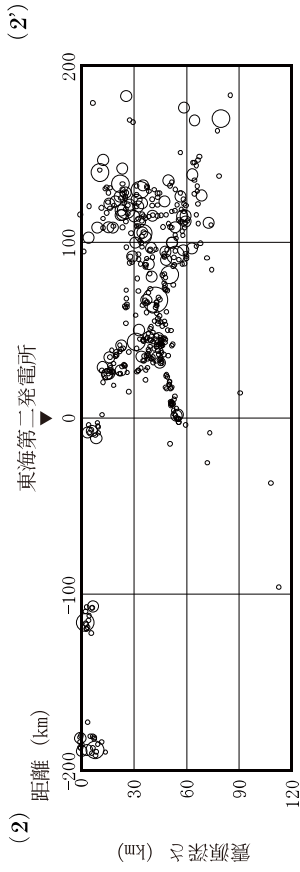


(1923年～2011年2月)

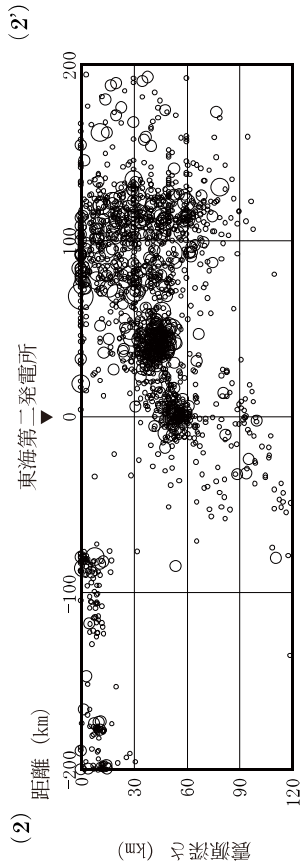
(2011年3月～2016年3月)



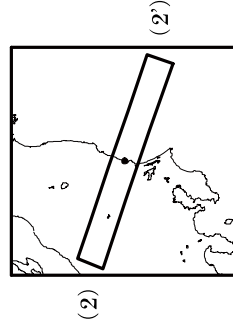
第2-3図 (1) 敷地周辺におけるM4.0以上の地震の震源鉛直分布



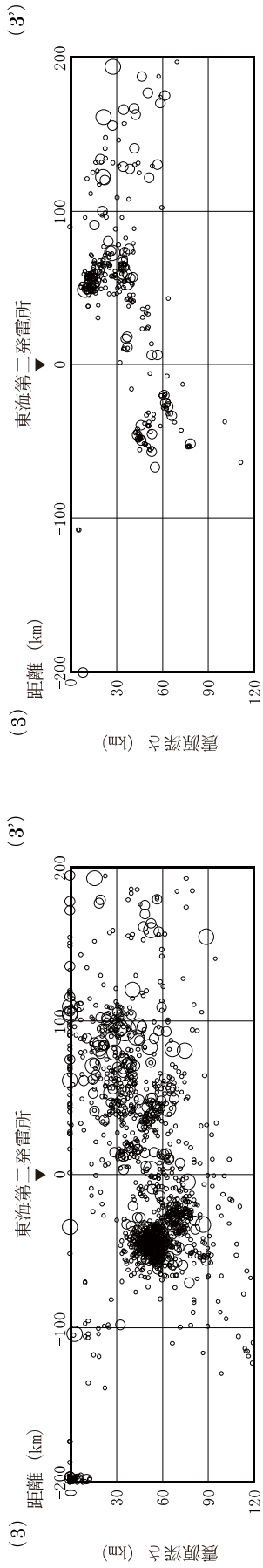
(2011年3月～2016年3月)



(1923年～2011年2月)

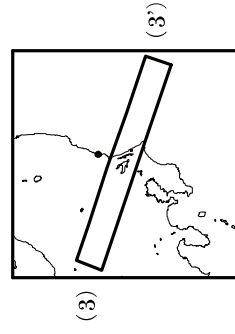


第2-3図 (2) 敷地周辺におけるM4.0以上の地震の震源鉛直分布

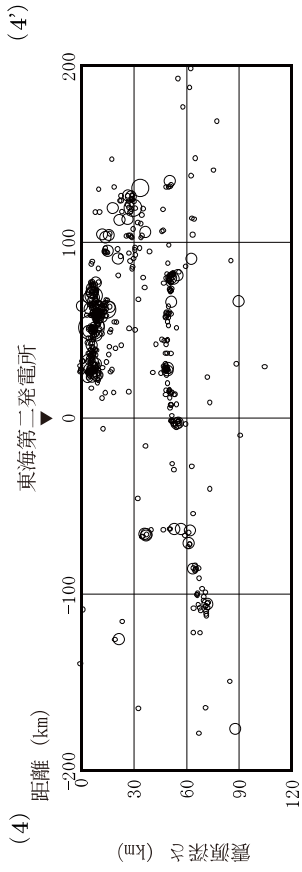


(1923年～2011年2月)

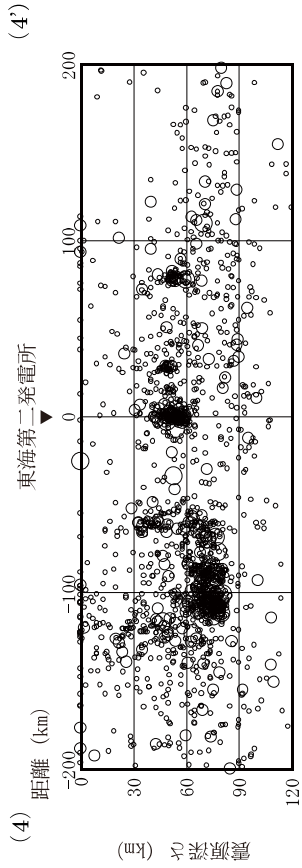
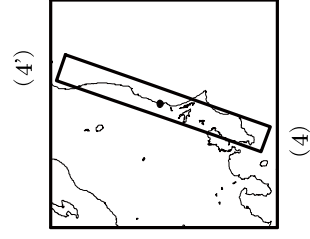
(2011年3月～2016年3月)



第2-3図 (3) 敷地周辺におけるM4.0以上の地震の震源鉛直分布

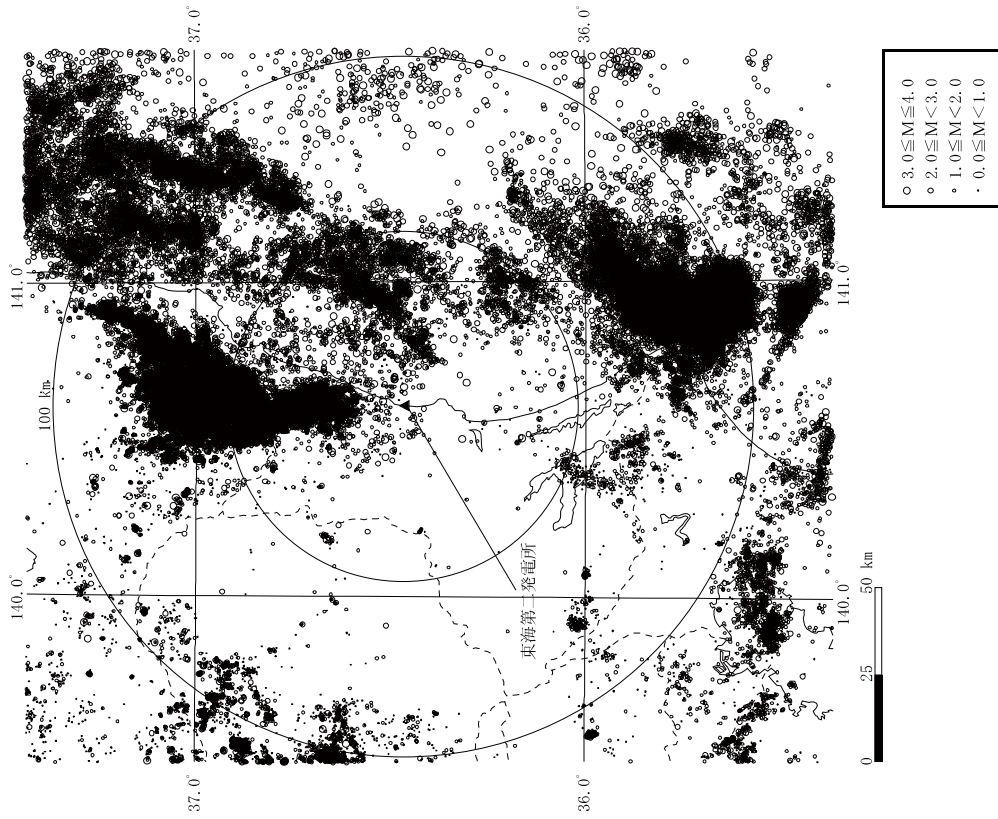


(2011年3月～2016年3月)

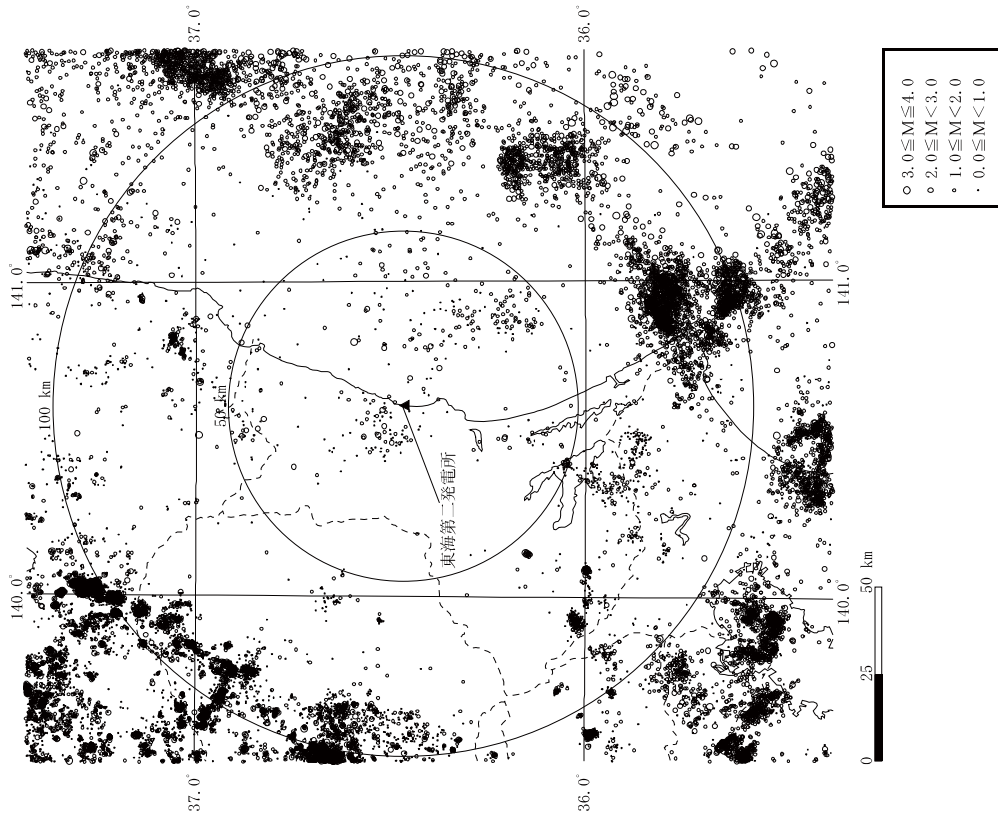


(1923年～2011年2月)

第2-3図 (4) 敷地周辺におけるM4.0以上の地震の震源鉛直分布

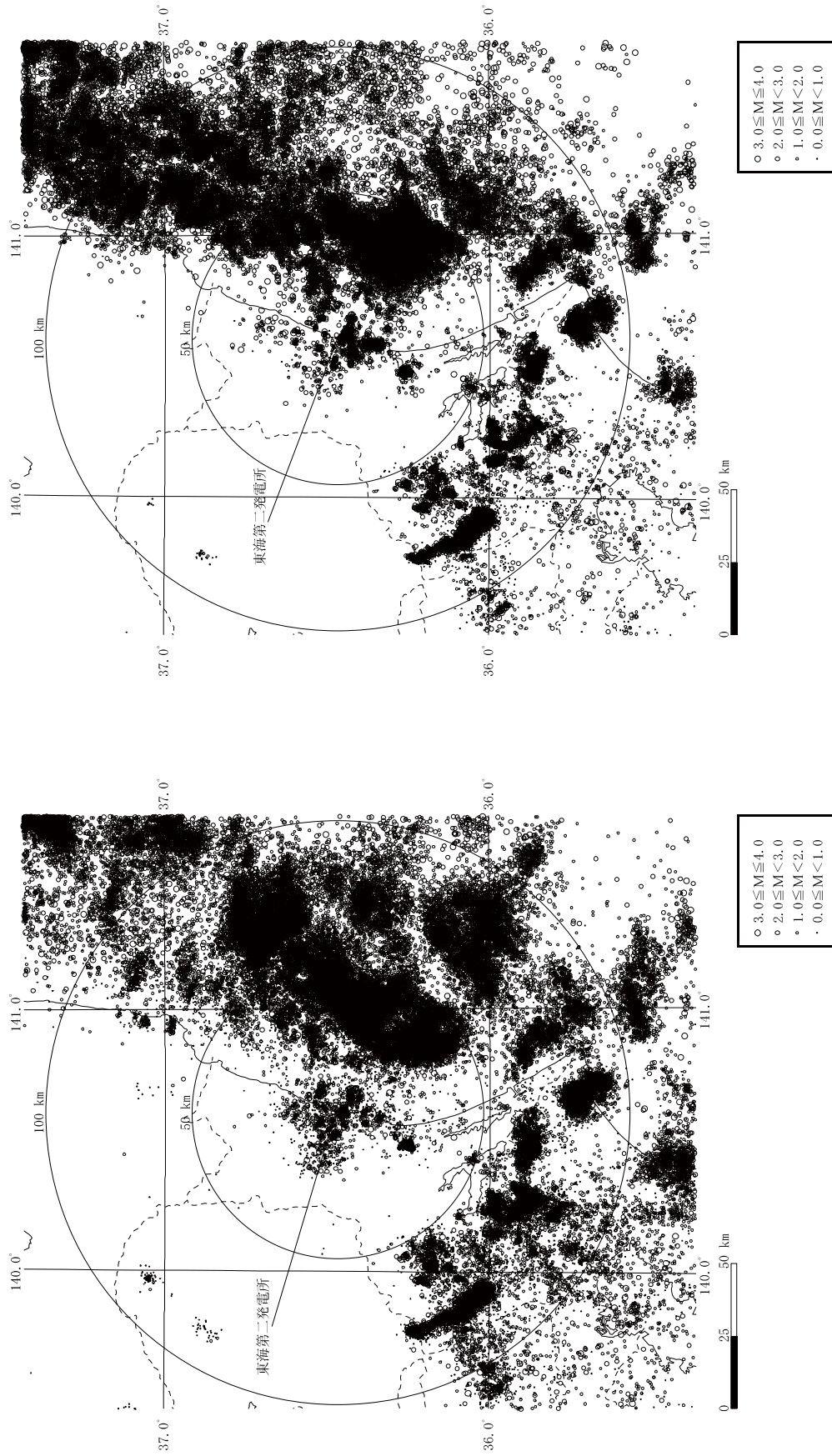


(1923年～2011年2月)



(2011年3月～2016年3月)

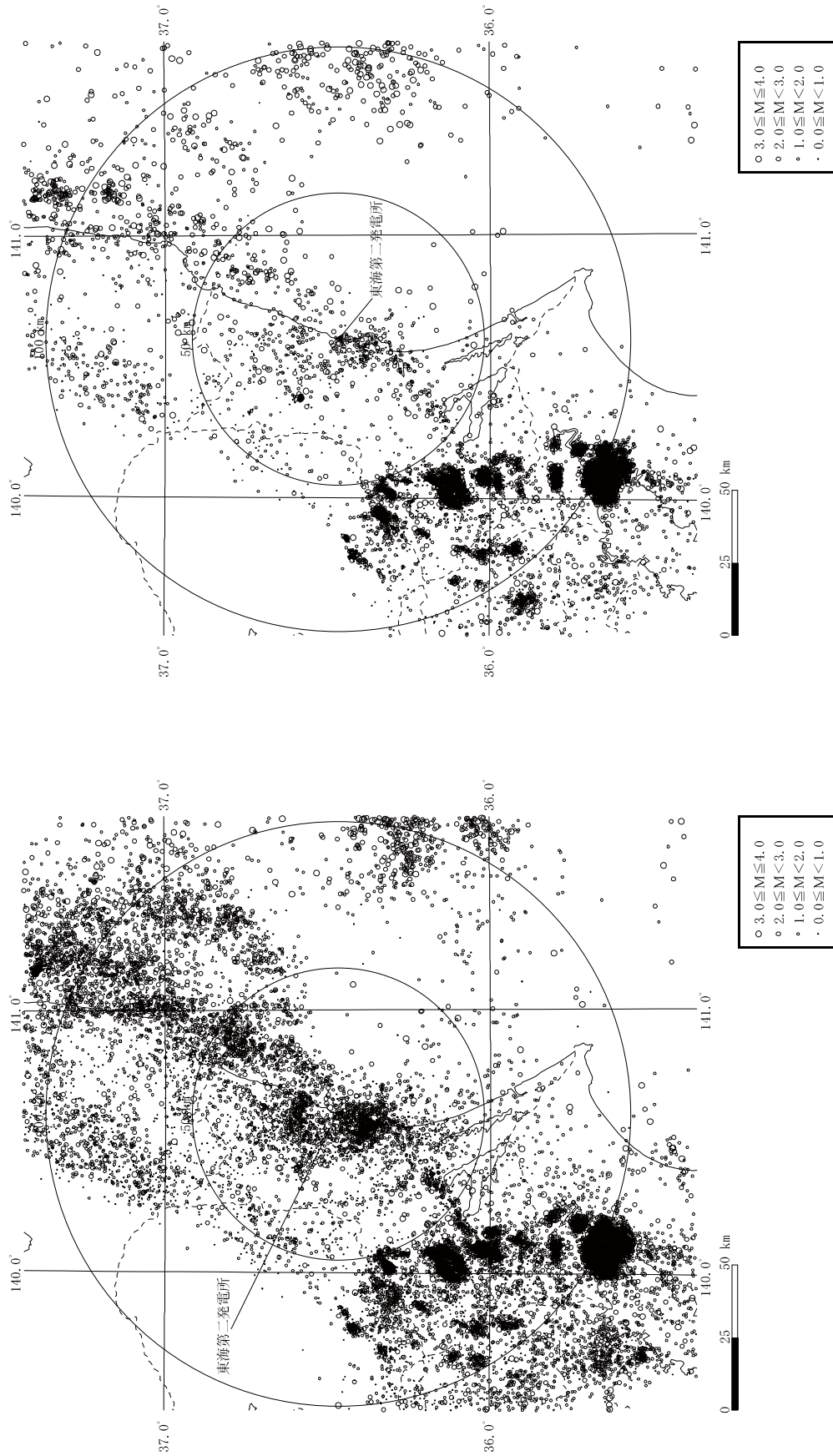
第2-4図 (1) 敷地周辺におけるM4.0以下の地震の震央分布図 (深さ30km以下)



(1923年～2011年2月)

(2011年3月～2016年3月)

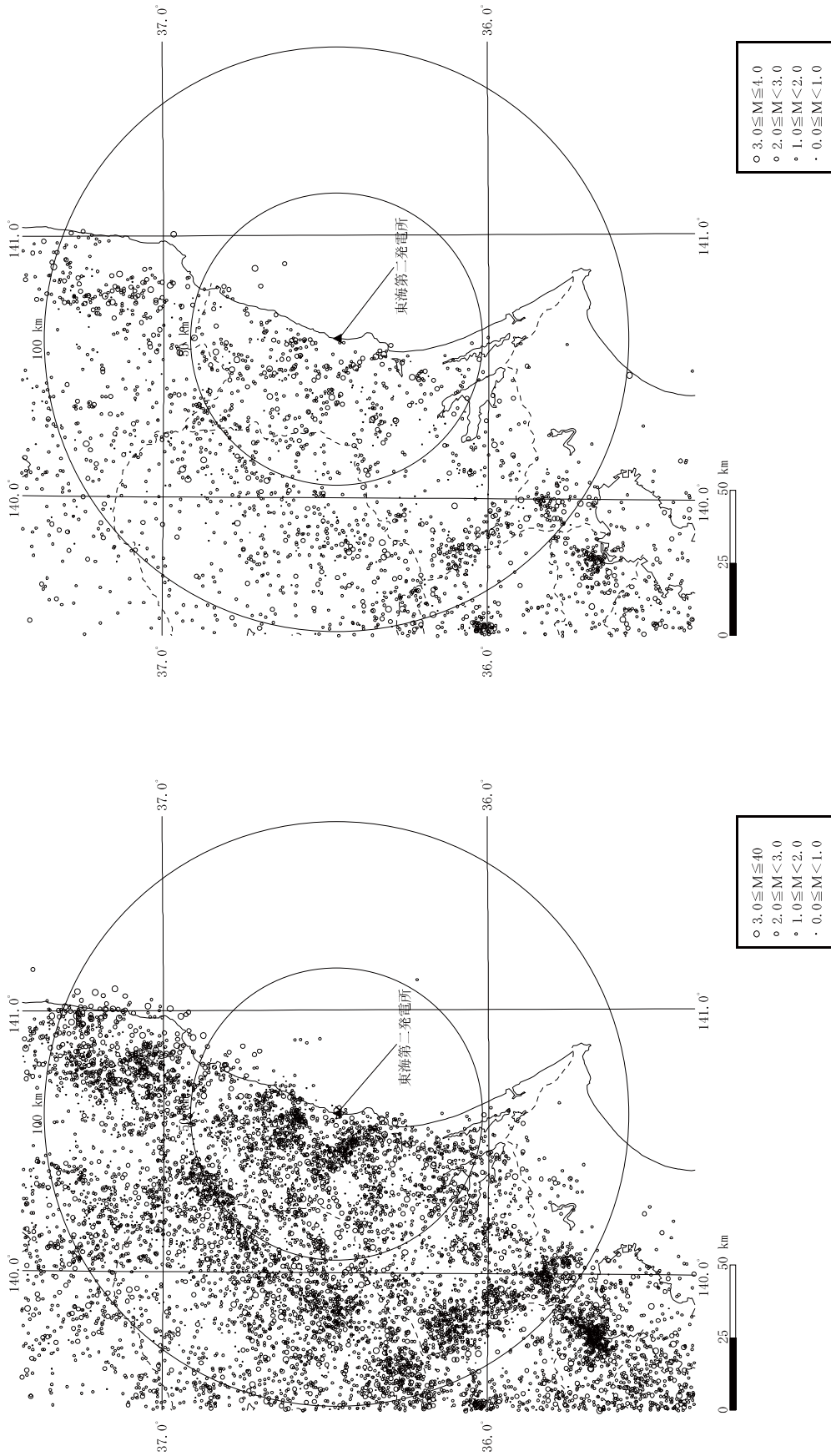
第2-4図 (2) 敷地周辺におけるM4.0以下の地震の震央分布図 (深さ30km～60km)



(1923年～2011年2月)

(2011年3月～2016年3月)

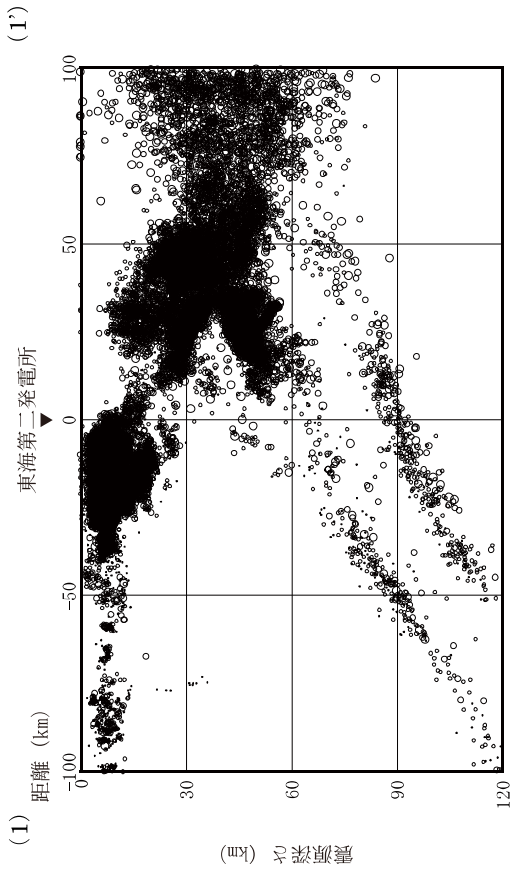
第2-4 図 (3) 敷地周辺におけるM4.0以下の地震の震央分布図 (深さ60km～90km)



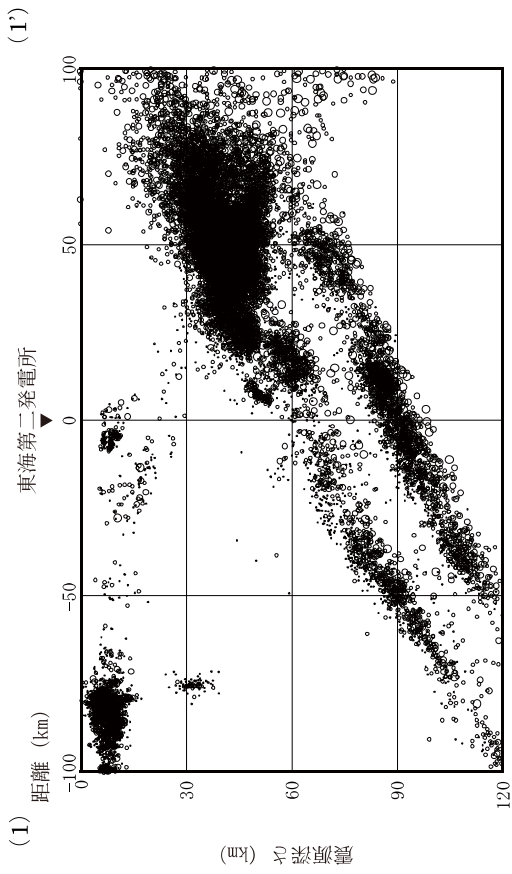
(1923年～2011年2月)

(2011年3月～2016年3月)

第2-4図 (4) 敷地周辺におけるM4.0以下の地震の震央分布図 (深さ90km以深)

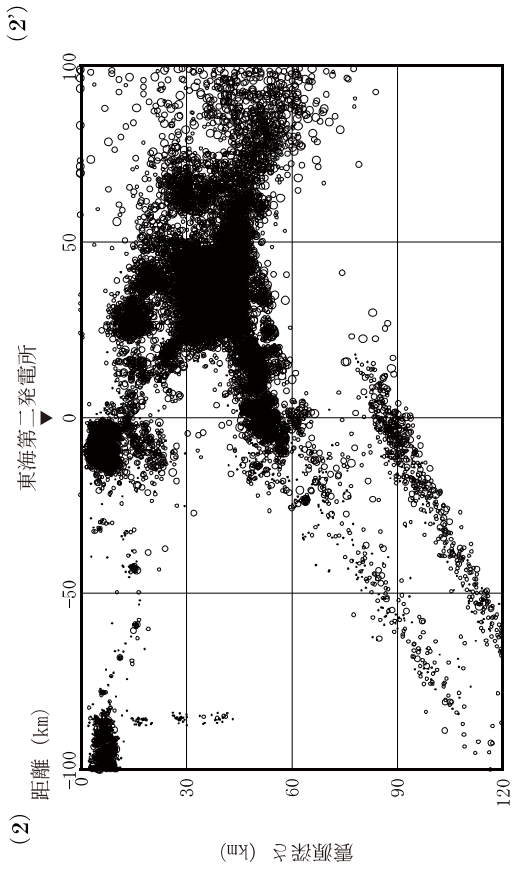


(2011年3月～2016年3月)

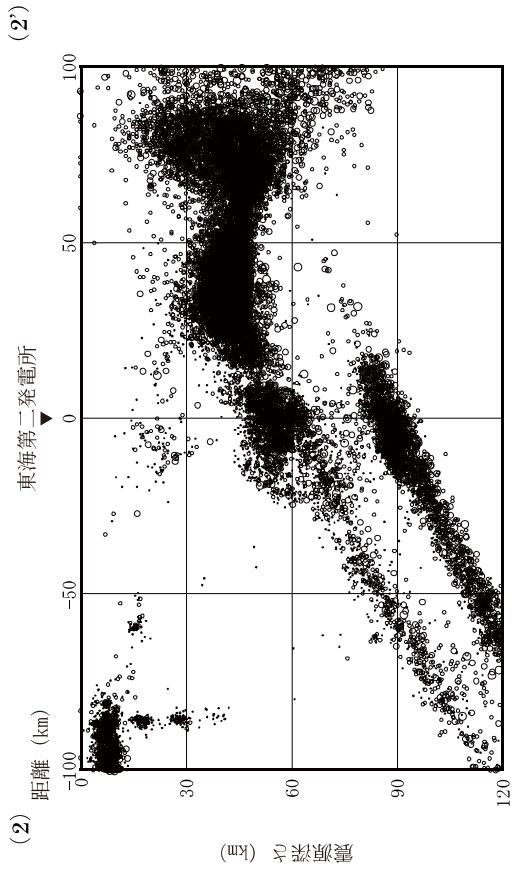
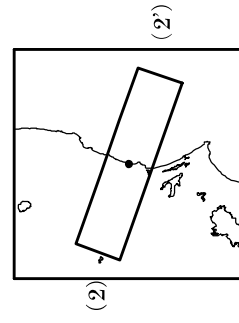


(1923年～2011年2月)

第2-5図 (1) 敷地周辺におけるM4.0以下の地震の震源鉛直分布

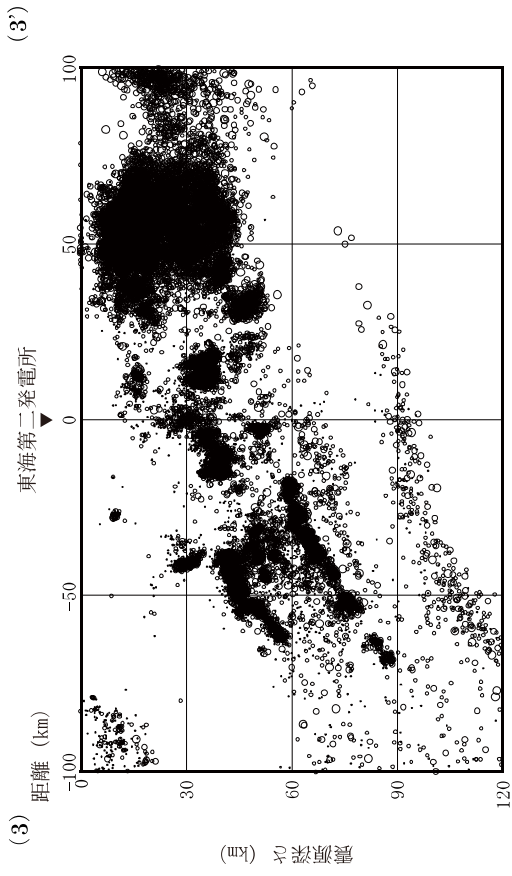


(2011年3月～2016年3月)

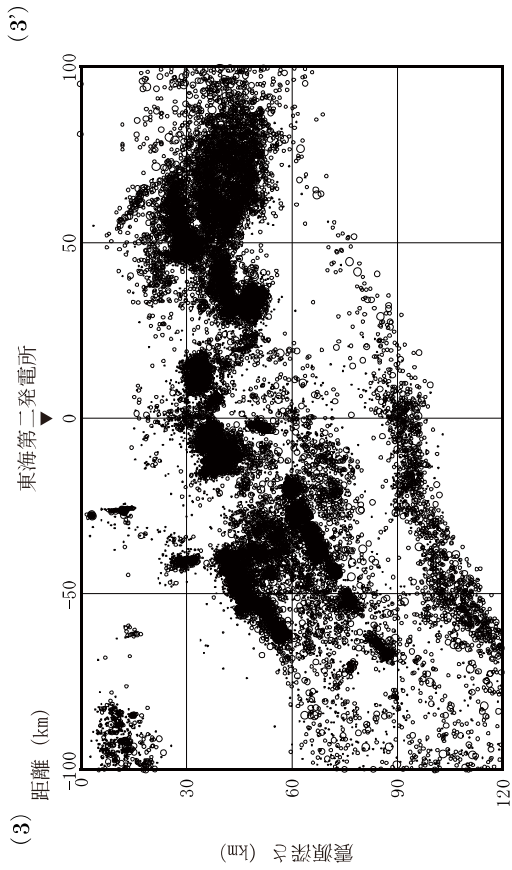
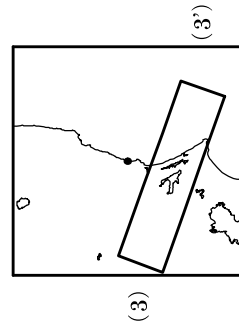


(1923年～2011年2月)

第2-5図 (2) 敷地周辺におけるM4.0以下の地震の震源鉛直分布

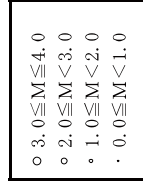
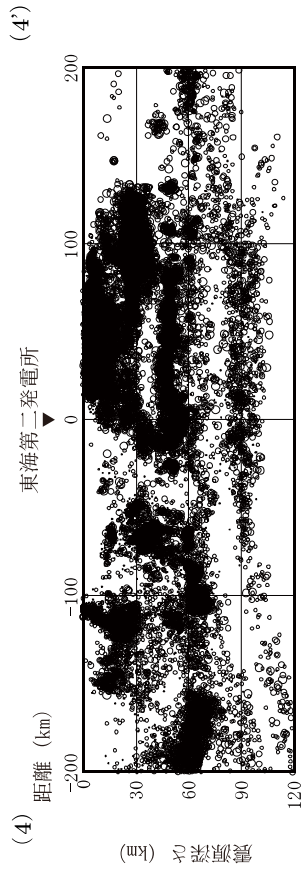


(2011年3月～2016年3月)

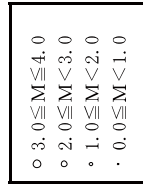
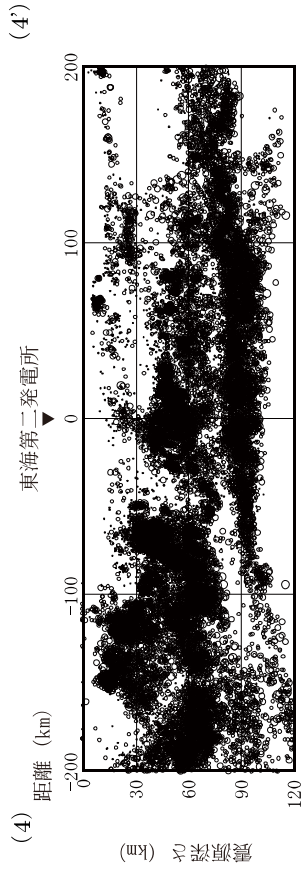


(1923年～2011年2月)

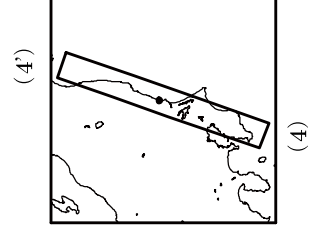
第2-5図 (3) 敷地周辺におけるM4.0以下の地震の震源鉛直分布



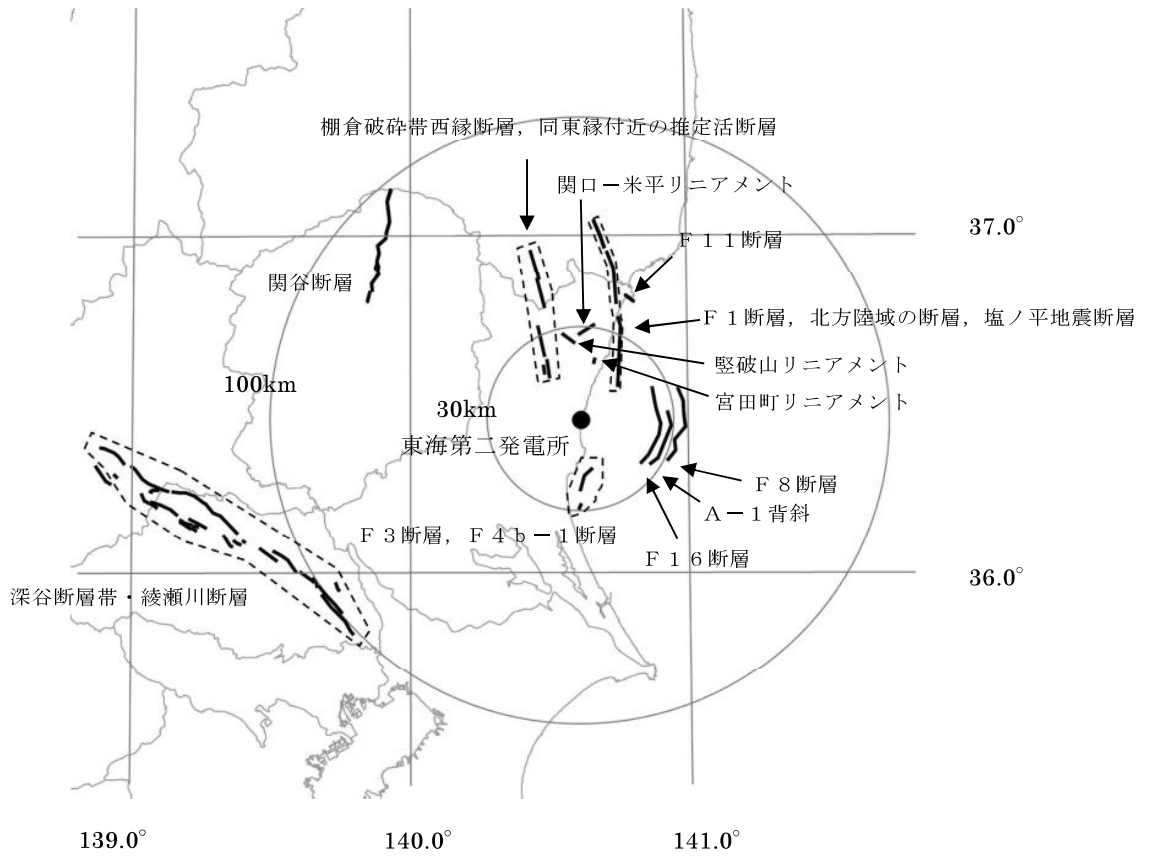
(2011年3月～2016年3月)



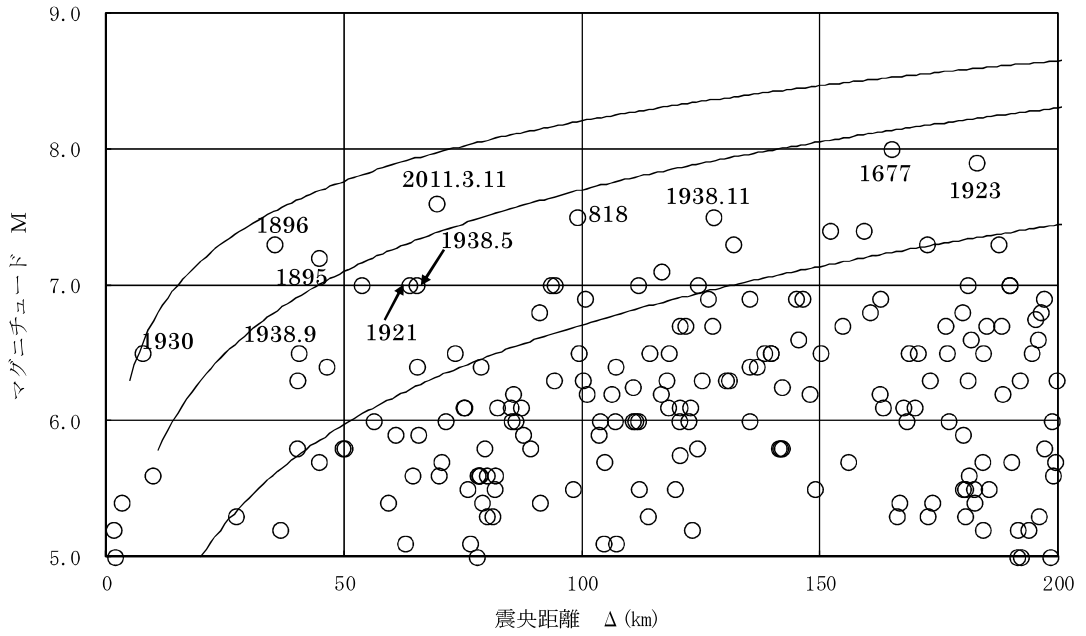
(1923年～2011年2月)



第2-5図 (4) 敷地周辺におけるM4.0以下の地震の震源鉛直分布

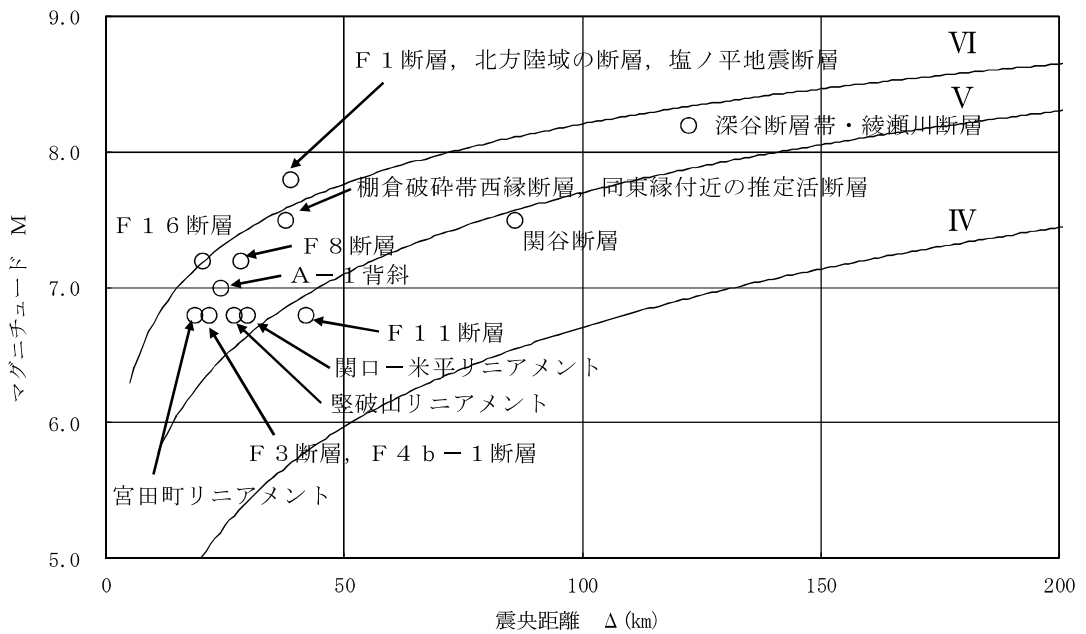


第3-1図 地質調査結果に基づく敷地周辺の活断層等の分布

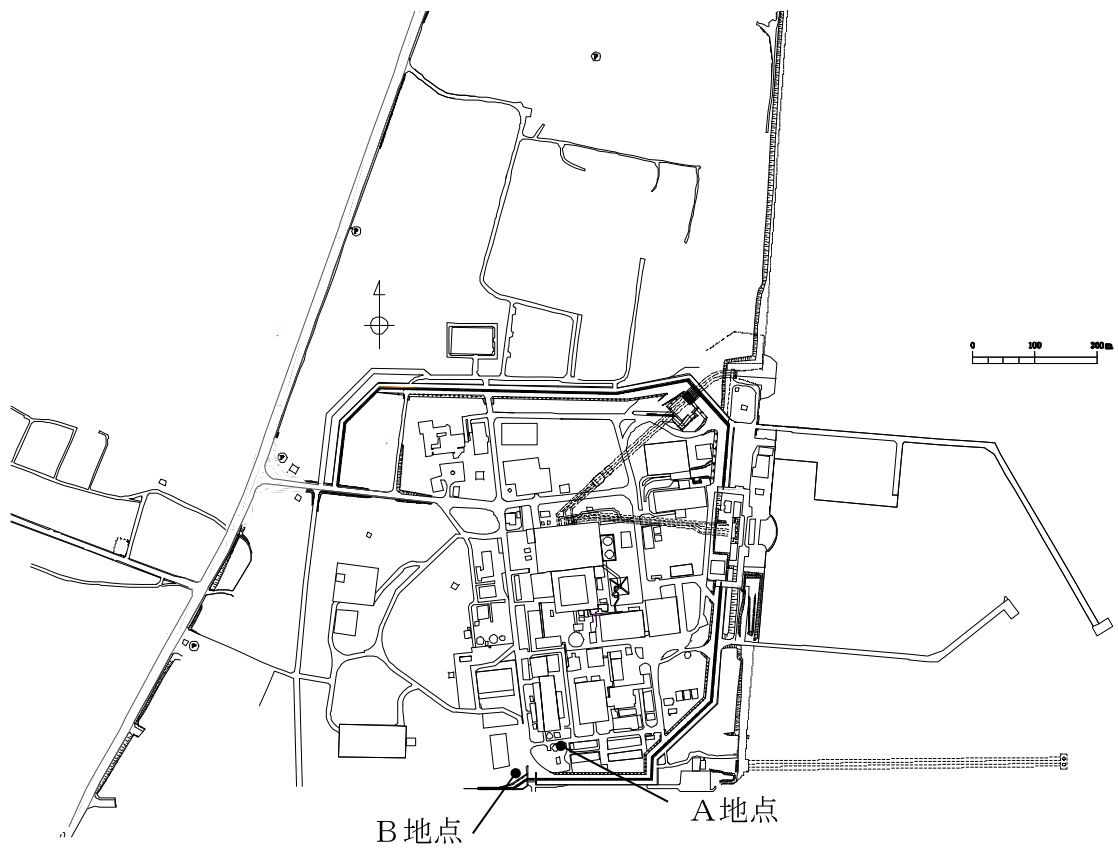


(数字は震度V程度以上の地震の年号を示す)

第4-1図 敷地周辺の被害地震のマグニチュードー震央距離



第4-2図 地質調査結果に基づく敷地周辺の活断層等から想定されるマグニチュードー震央距離

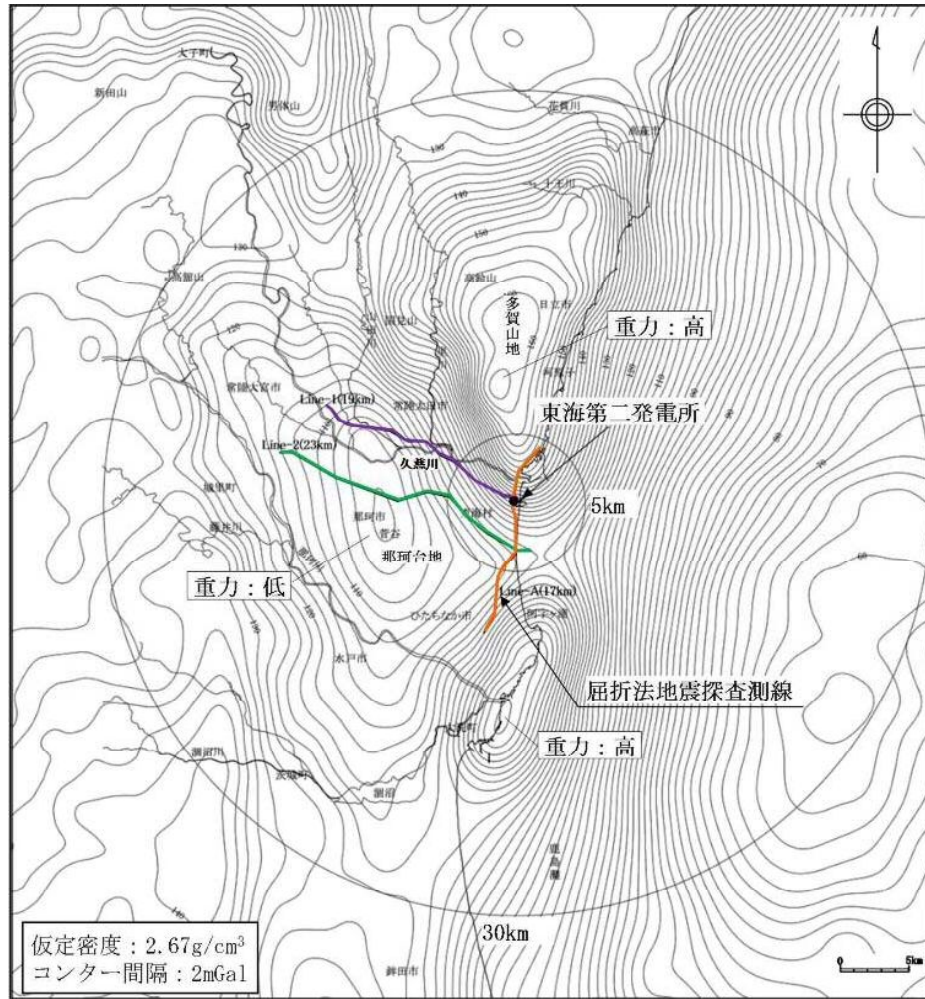


平面図

標高 E. L.	地震観測点位置		地質年代
	A地点	B地点	
+8m (G. L.)	○		第四紀
-15m			
-17m	○		第三紀
-192m	○		
-372m	○		
-992m		○	

深さ方向の地震観測点位置

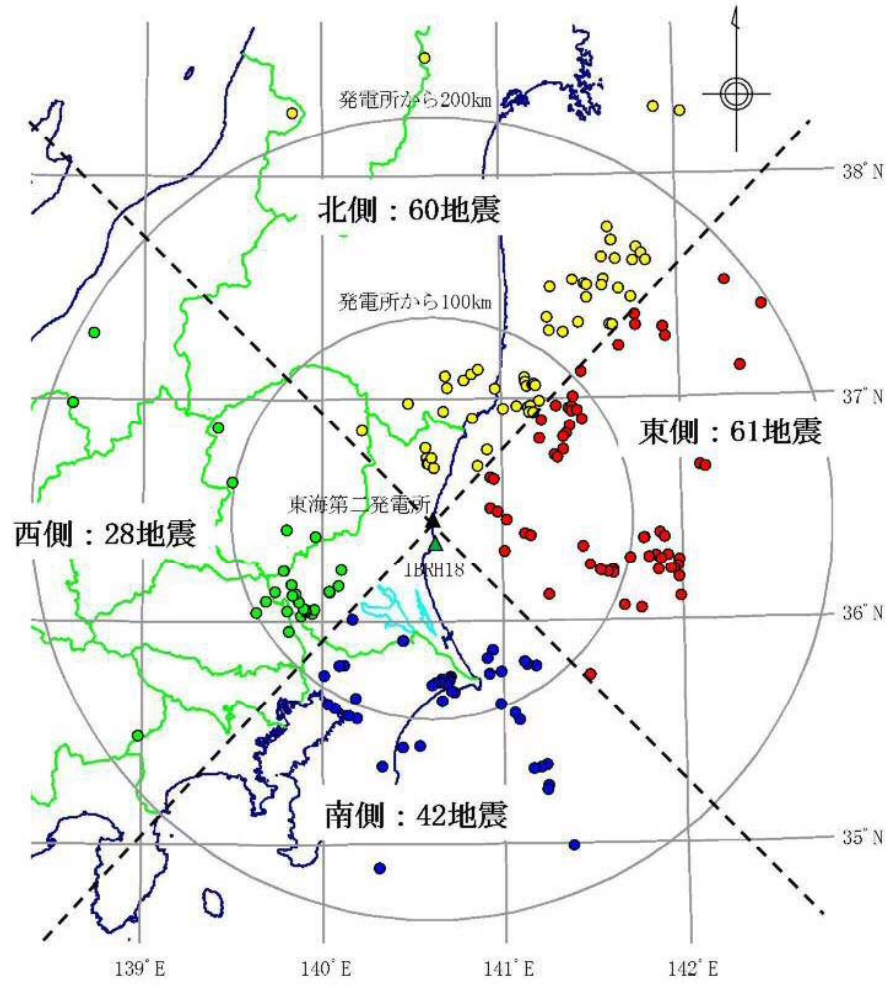
第5-1図 敷地地盤における地震観測点



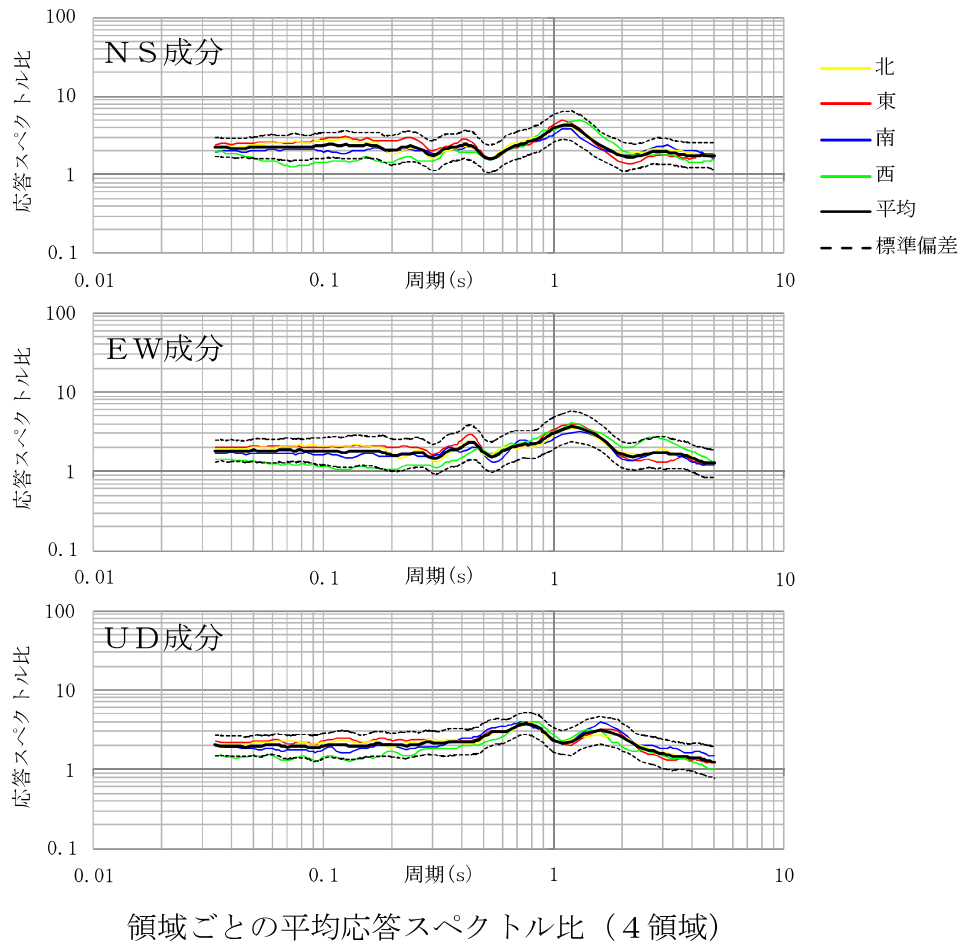
地質調査総合センター編 (2013) に加筆

屈折法地震探査測線 凡例	
— (orange line) —	: Line-A (17km)
— (purple line) —	: Line-1 (19km)
— (green line) —	: Line-2 (23km)

第5-2図 敷地周辺の重力異常分布



第 5-3 図 到来方向の検討に用いた地震の震央位置



$$R_{TKI2/IBRH18}(T) = \frac{S_{TKI2}(T) \cdot X_{TKI2}}{S_{IBRH18}(T) \cdot X_{IBRH18}}$$

$R_{TKI2/IBRH18}(T)$: 応答スペクトル比

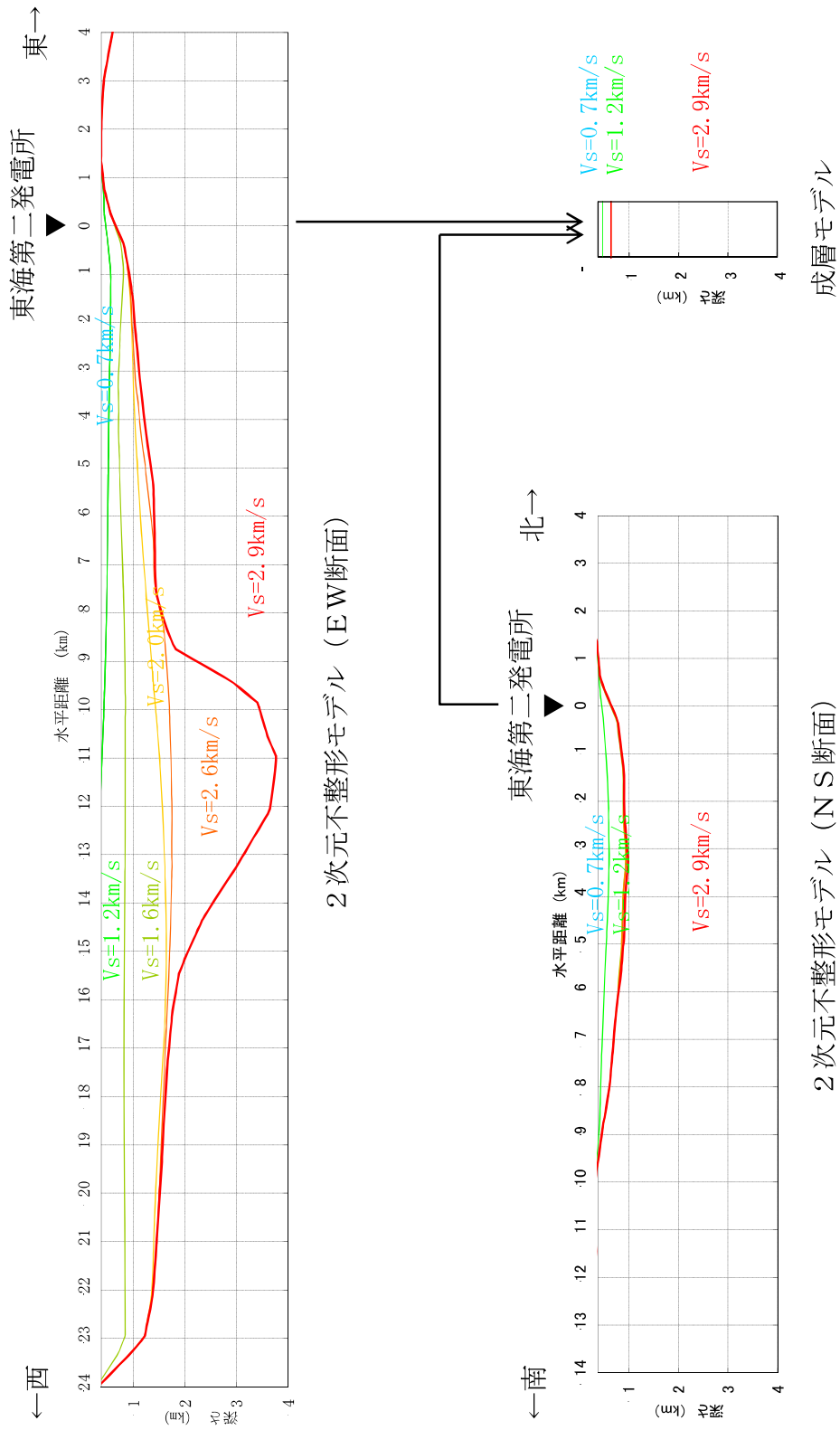
$S_{TKI2}(T)$: 東海第二発電所観測記録の加速度応答スペクトル

$S_{IBRH18}(T)$: KiK-netひたちなか観測記録の加速度応答スペクトル

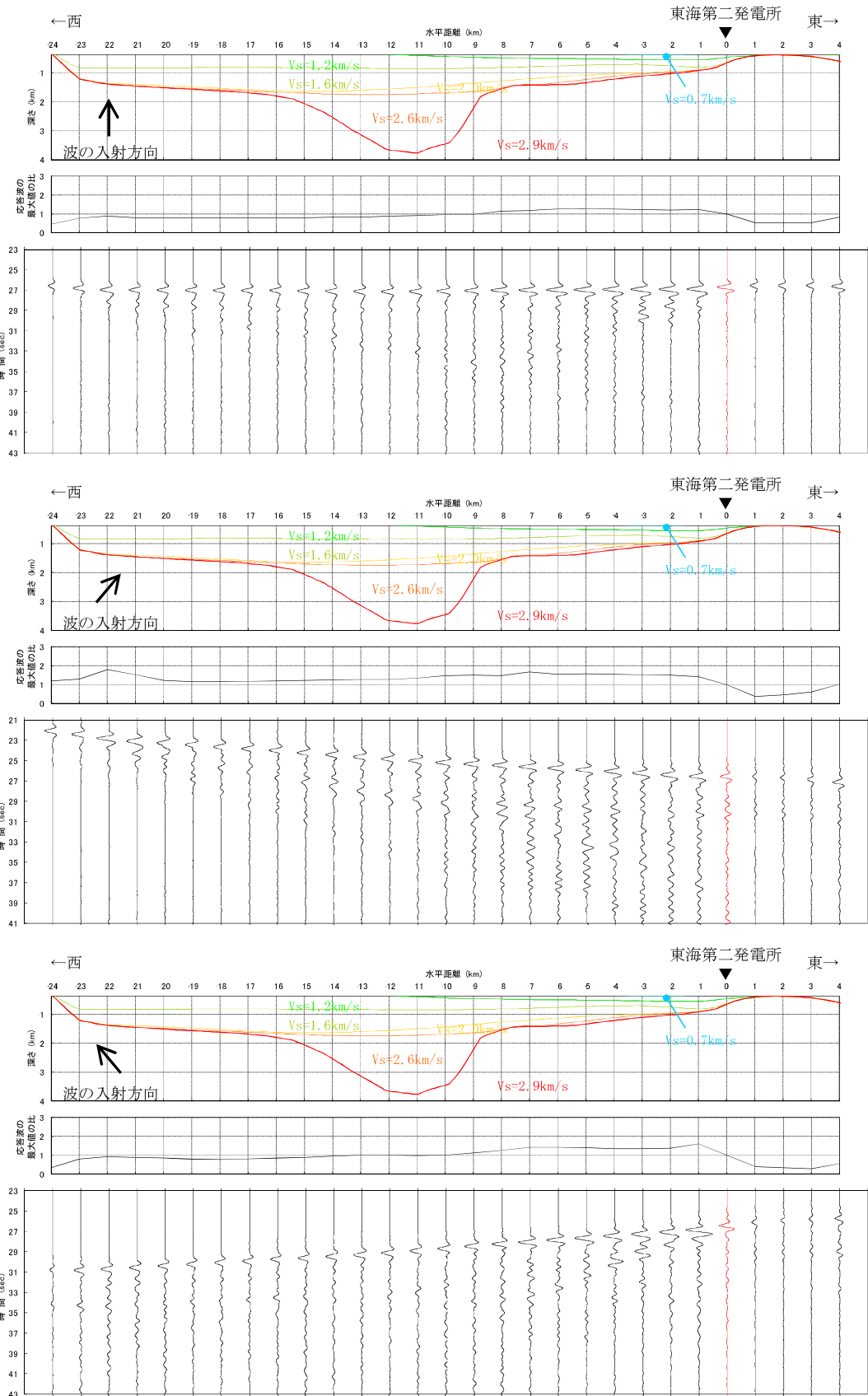
X_{TKI2} : 東海第二発電所から震源までの距離

X_{IBRH18} : KiK-netひたちなかから震源までの距離

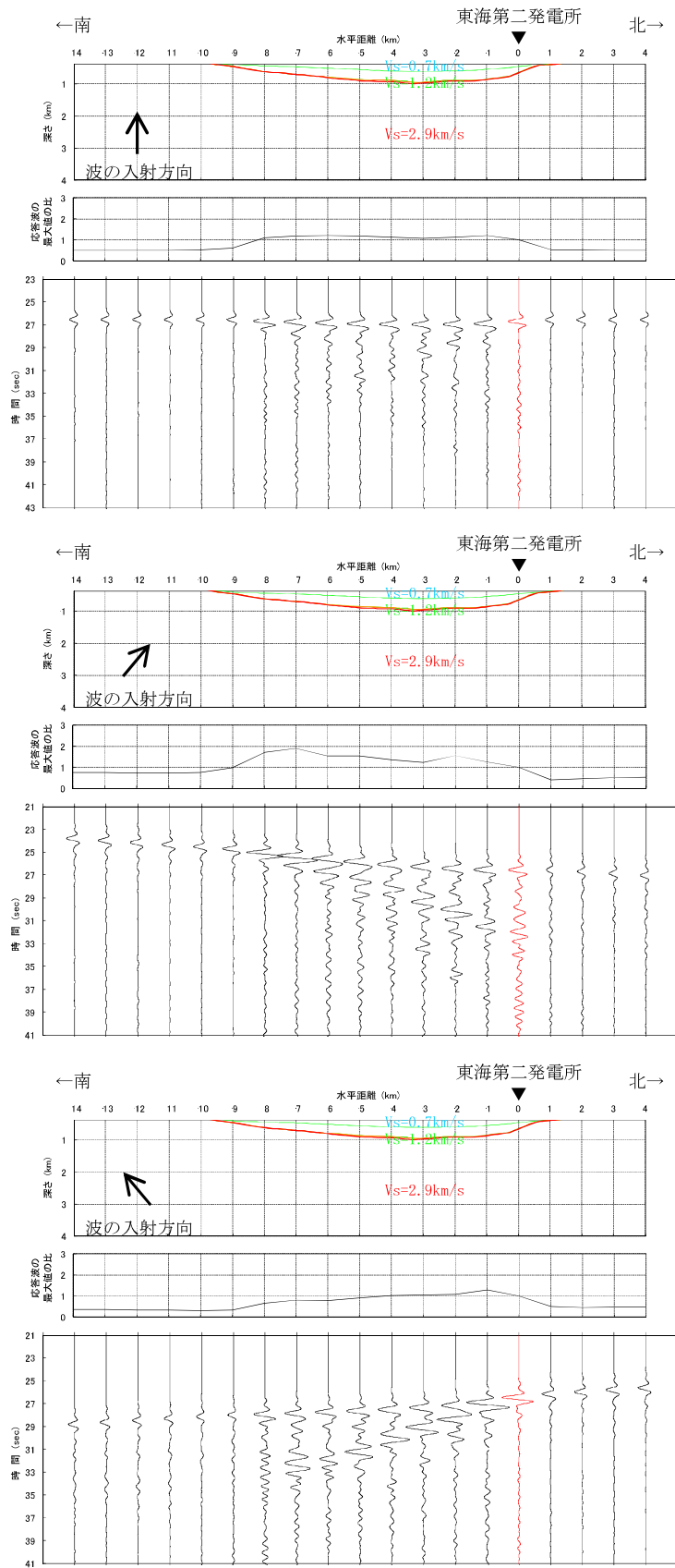
第5-4図 地震波の到来方向ごとの応答スペクトル比



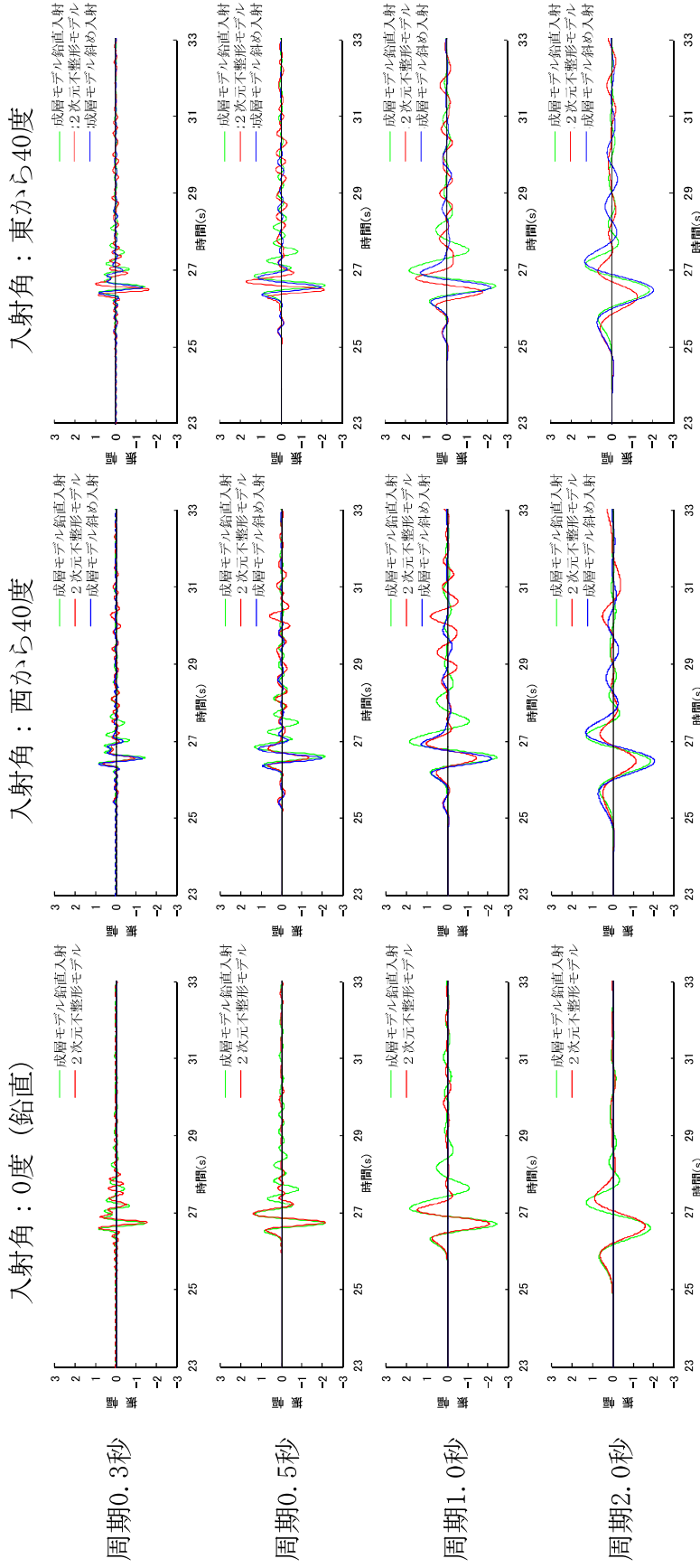
第5-5図 敷地及び敷地周辺で実施した各種探査結果等を基に作成した2次元地盤モデル



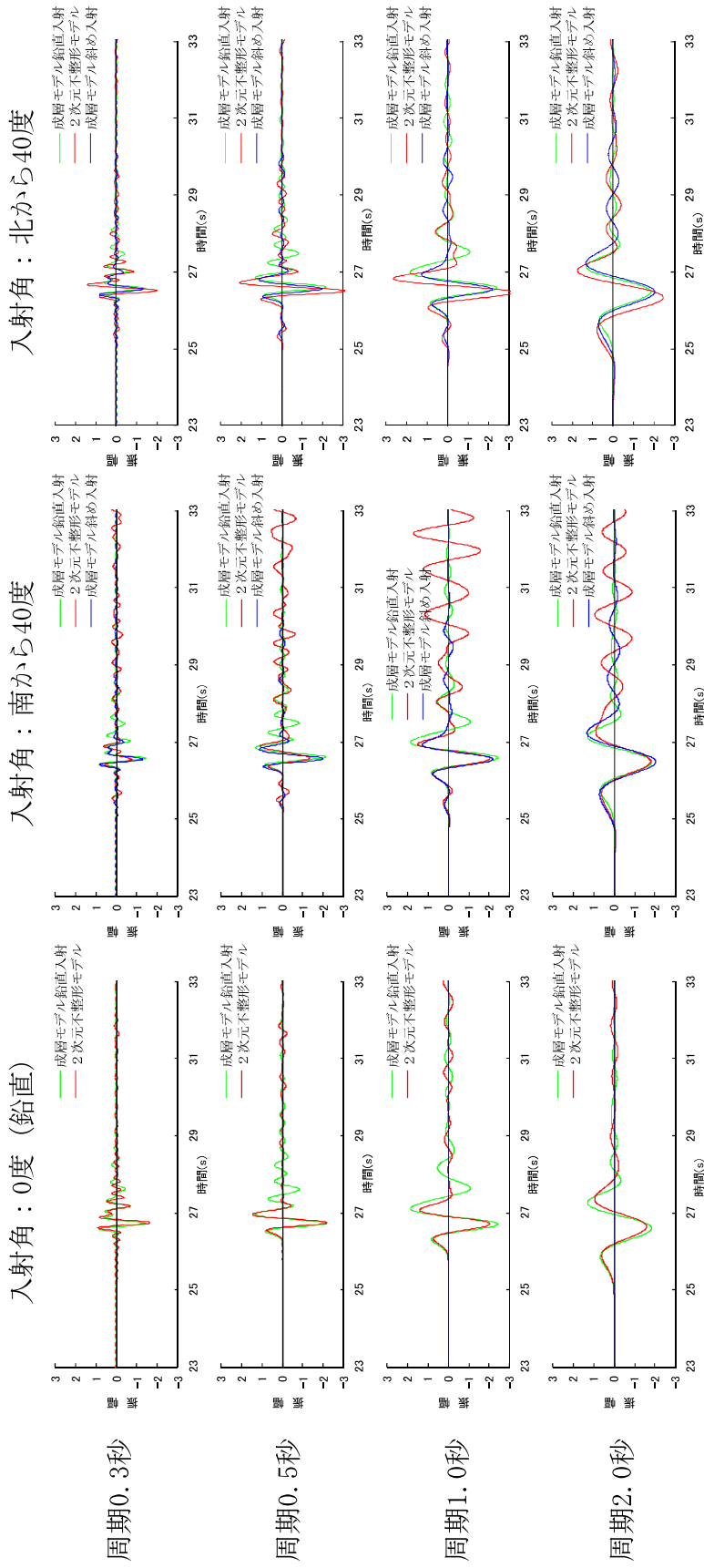
第5-6図(1) 解析結果(東西断面)



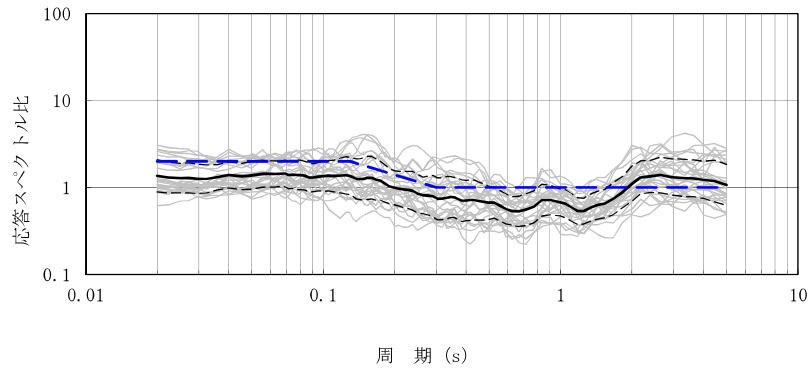
第5-6図(2) 解析結果(南北断面)



第5-7図 (1) 解析結果 (敷地における応答波形)

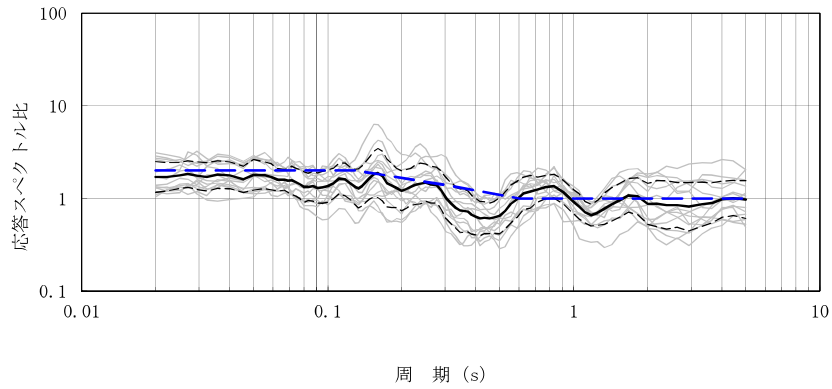


第5-7図 (2) 解析結果 (敷地における応答波形)



— 応答スペクトル比の平均
 - - - ±σ
 - - - 補正係数

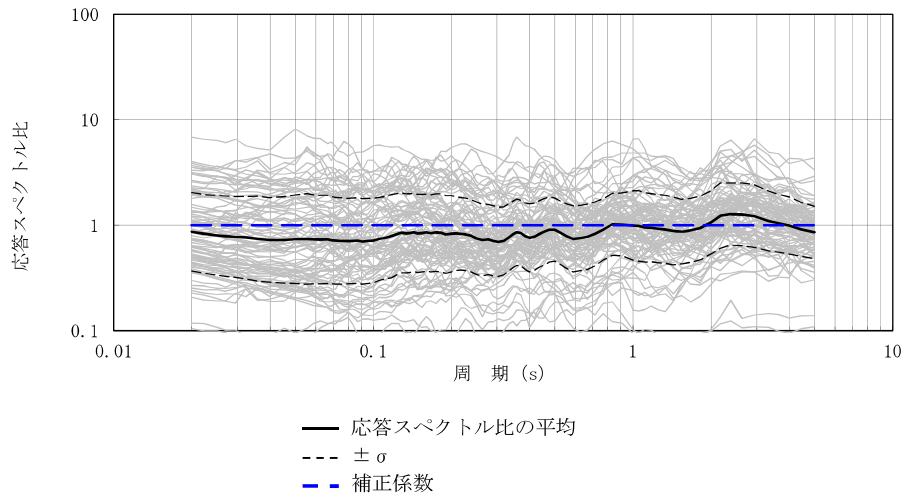
水 平 動



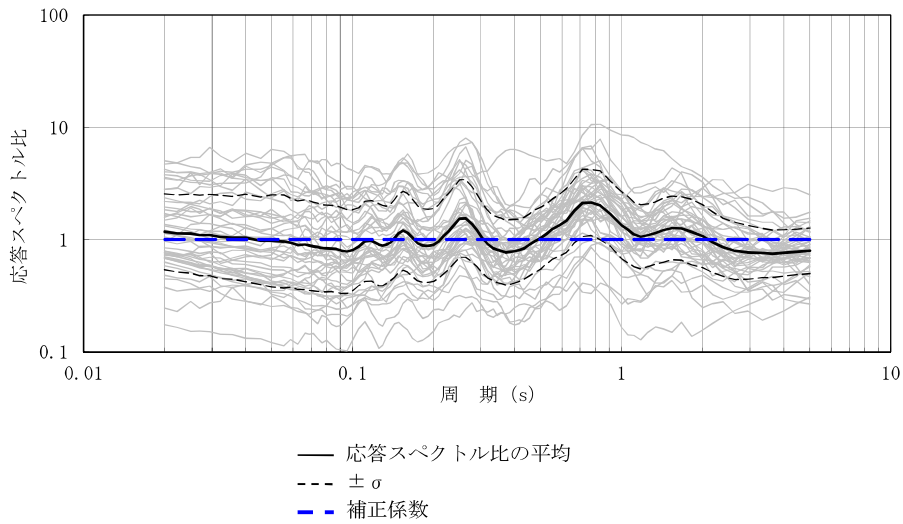
— 応答スペクトル比の平均
 - - - ±σ
 - - - 補正係数

鉛 直 動

第6-1図 (1) 解放基盤波とNoda et al. (2002)の方法による応答スペクトルとの比(福島県と茨城県の県境付近で発生した内陸地殻内地震)

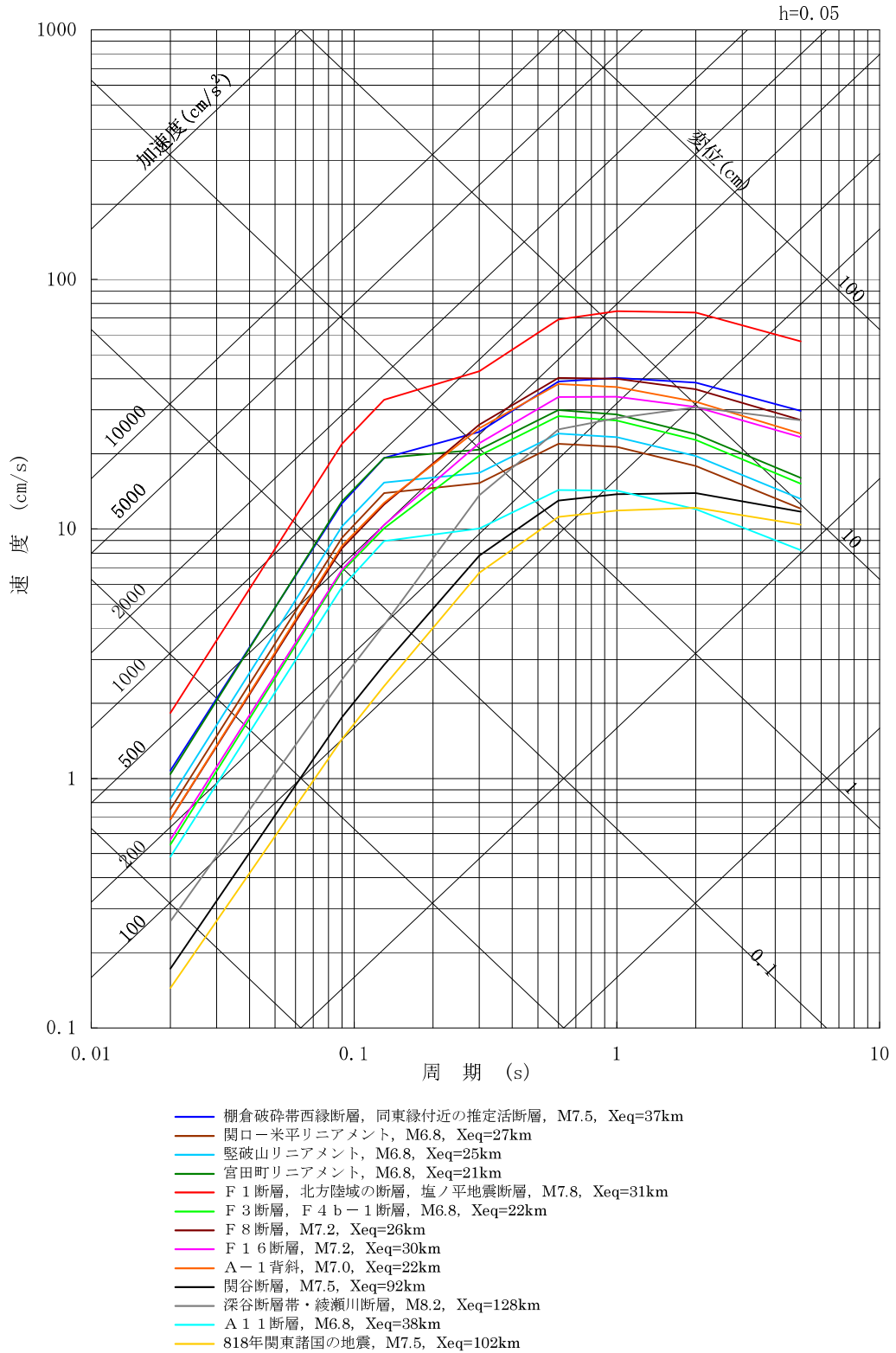


水 平 動

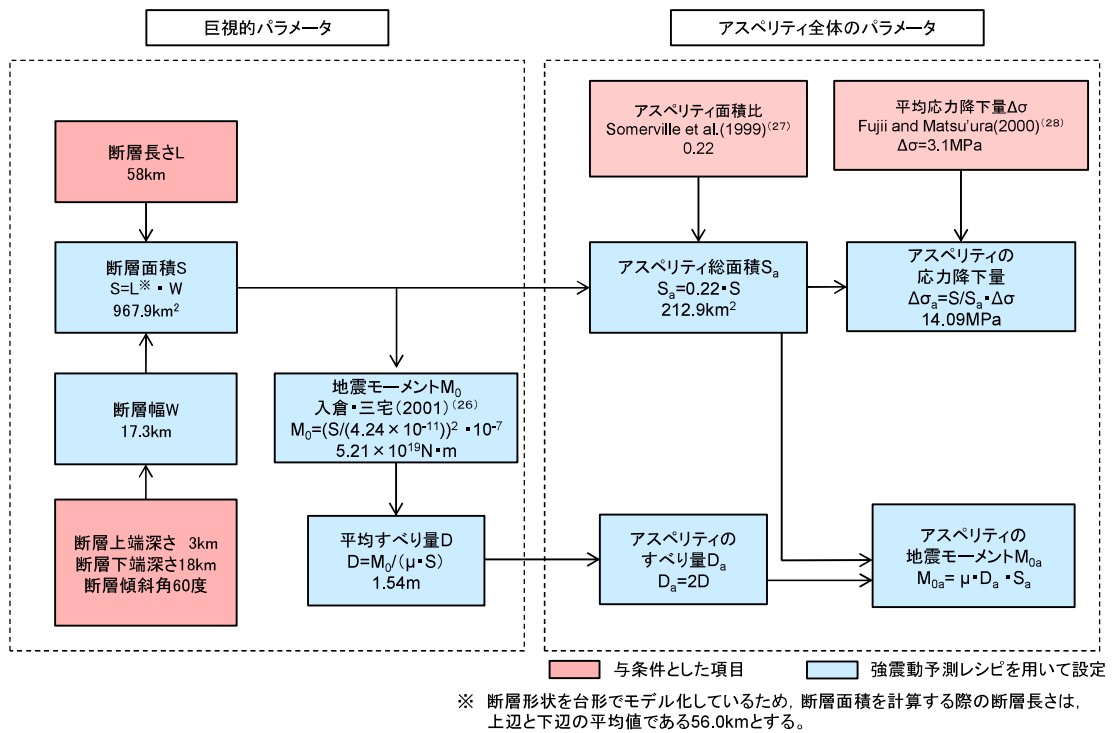


鉛 直 動

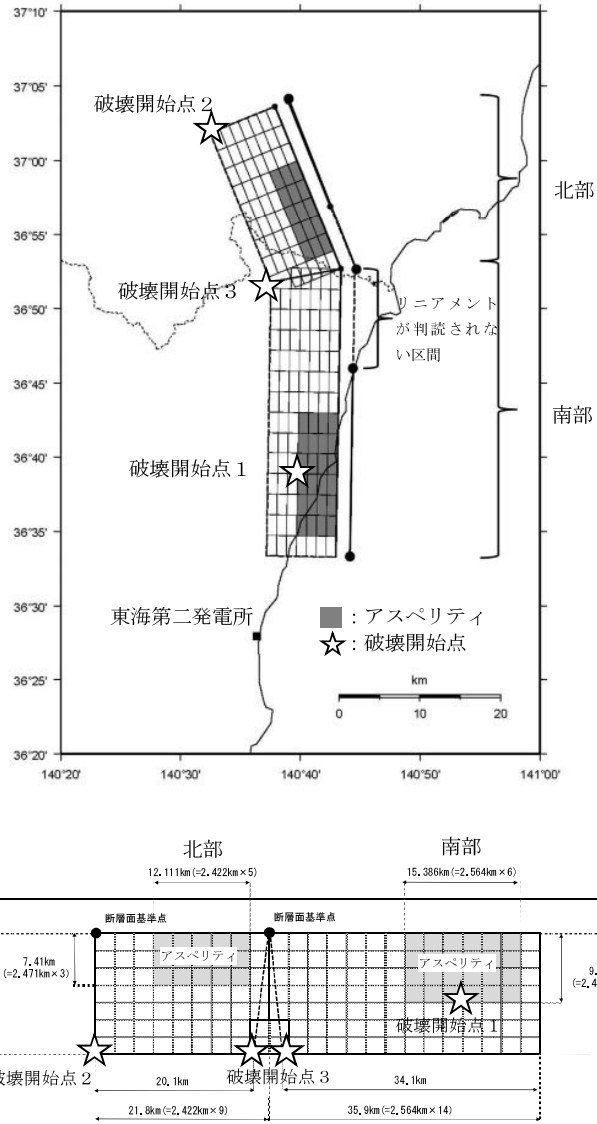
第 6-1 図 (2) 解放基盤波と Noda et al. (2002) の方法による応答スペクトルとの比 (福島県と茨城県の県境付近で発生した地震を除く内陸地殻内地震)



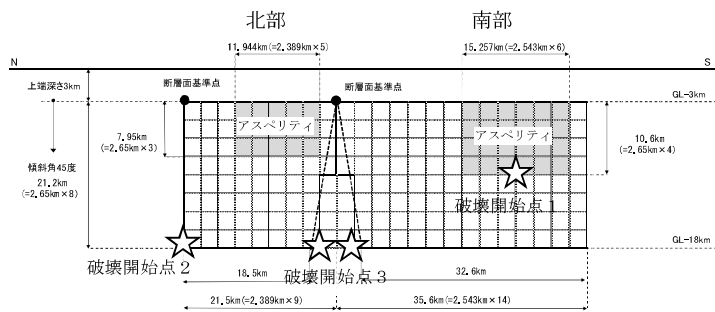
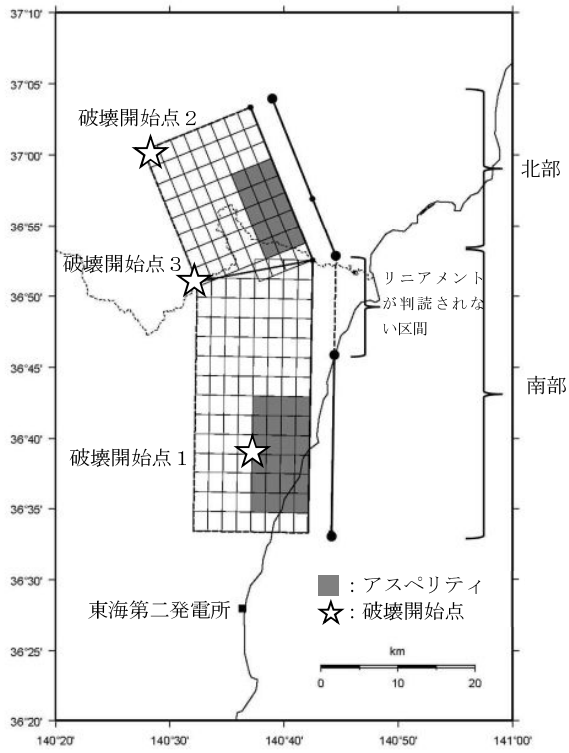
第6-2図 Noda et al. (2002) の方法による応答スペクトルの比較 (内陸地殻内地震)



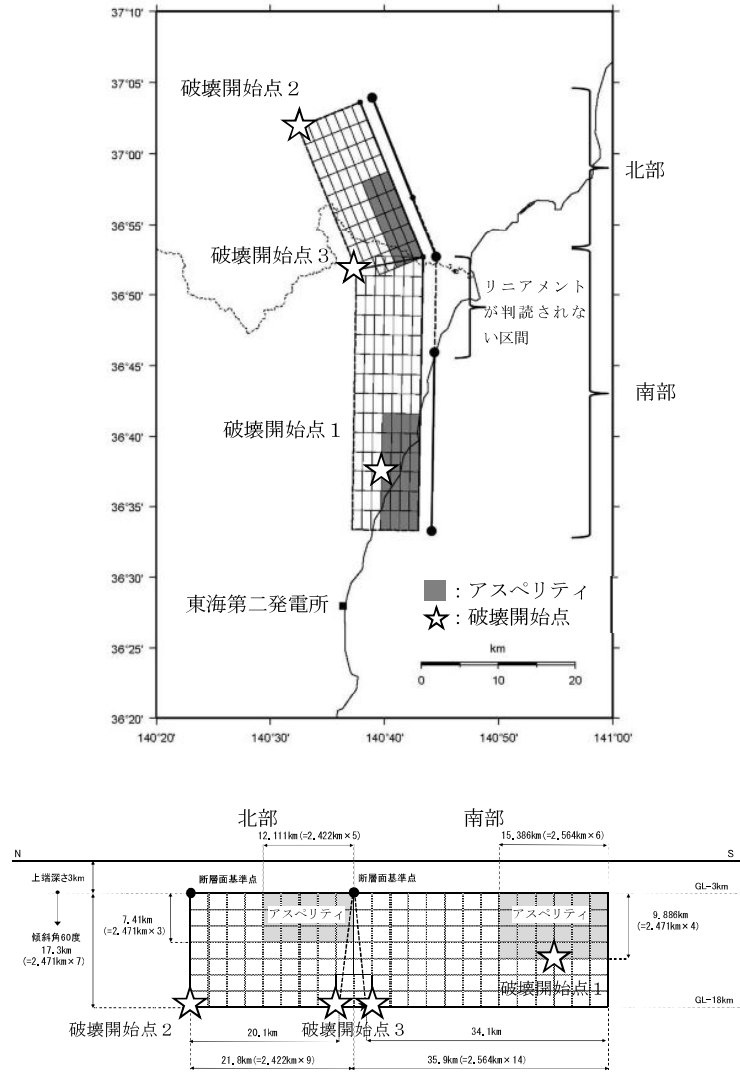
第6-3 図 断層パラメータの設定フロー (F 1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層による地震, 基本震源モデル)



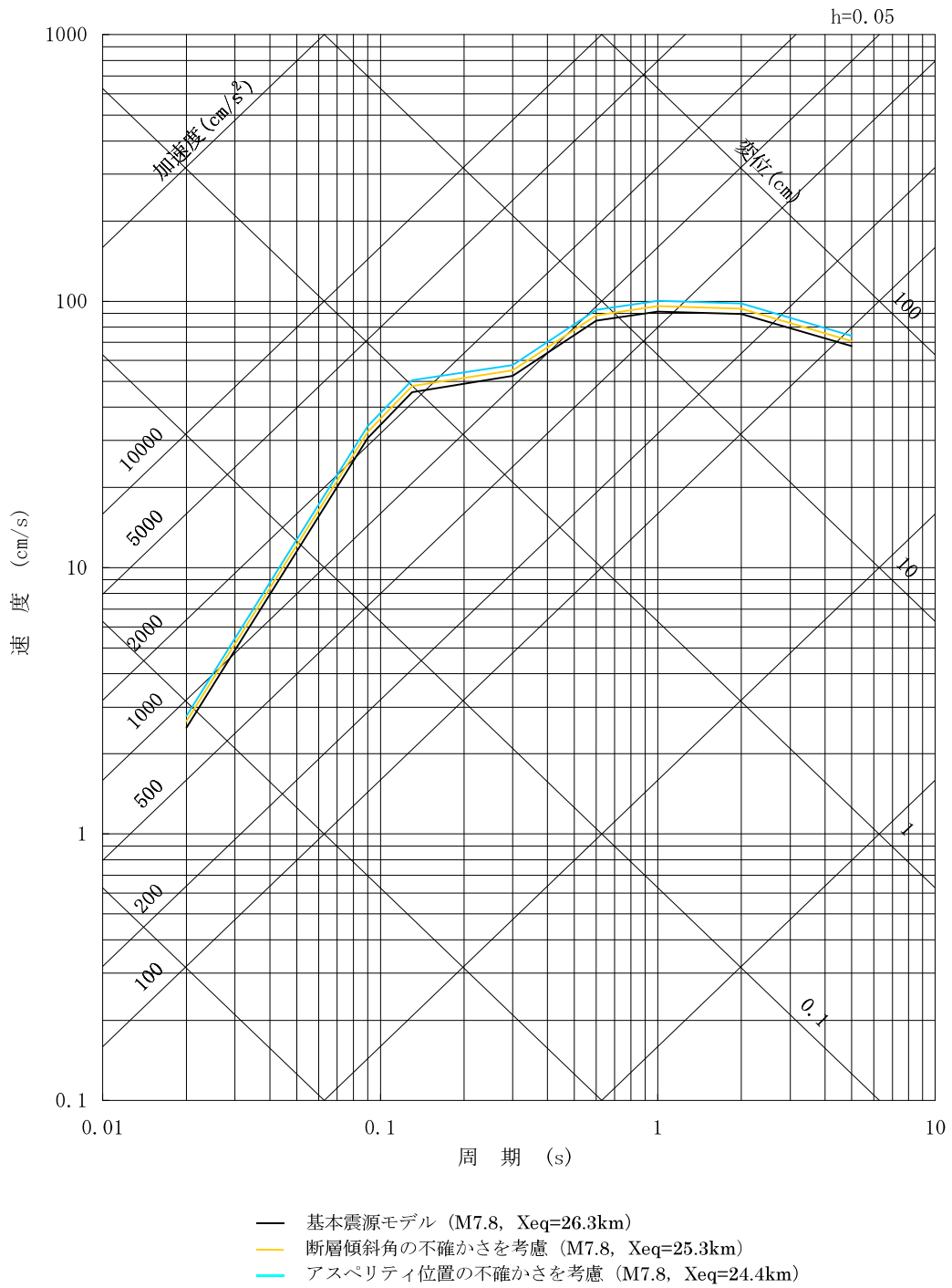
第6-4図 F1断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層による地震の断層モデル（基本震源モデル，短周期レベルの不確かさを考慮）



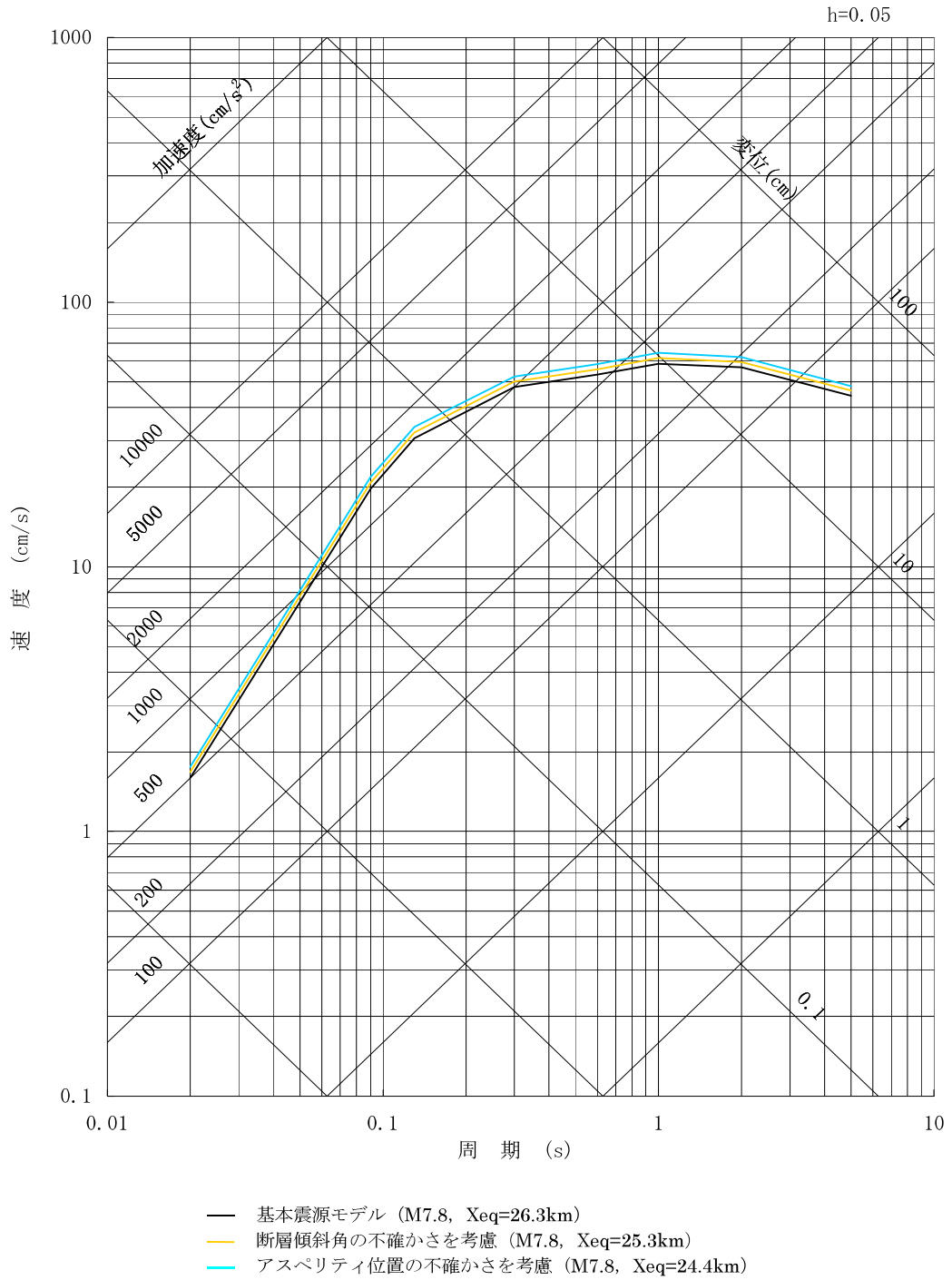
第6-5図 F1断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層による地震の断層モデル（断層傾斜角の不確かさを考慮）



第6-6図 F1断層，北方陸域の断層，塩ノ平地震断層による地震の断層モデル（アスペリティ位置の不確かさを考慮）



第6-7 図 (1) F 1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層による地震の応答スペクトルに基づく手法による地震動評価結果 (水平成分)



第6-7 図 (2) F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層による地震の応答スペクトルに基づく手法による地震動評価結果 (鉛直成分)