

副 本

平成24年(行ウ)第15号 東海第二原子力発電所運転差止等請求事件

原告 大石光伸外234名

被告 日本原子力発電株式会社

準備書面(22)

水戸地方裁判所民事第2部 御中

令和2年5月14日

被告訴訟代理人

弁護士 溝呂木 商太郎



弁護士 山内 喜明



弁護士 谷 健太郎



弁護士 浅井 弘章



弁護士 井上 韶太



## 目次

はじめに.....	1
第1 本件発電所の敷地の地質・地質構造.....	1
第2 地震観測記録を用いた検討.....	1
第3 地球物理学的調査の結果に基づく検討.....	2
1 検討の概要.....	2
2 広域地下構造モデルを用いた検討.....	3
3 更なる検討.....	6
第4 地下構造の検討結果と地震動評価に当たっての配慮.....	7
図 .....	9
語句注.....	19

## 略語表

設置許可基準規則	実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（平成25年原子力規制委員会規則第5号）
設置許可基準規則 解釈	実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈（平成25年6月19日原子力規制委員会決定）
本件発電所	日本原子力発電株式会社東海第二発電所
原子力機構	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
野津意見書（2）	野津証人作成に係る令和2年3月14日付け意見書

## はじめに

被告は、本件発電所における基準地震動を策定するに当たり、地下構造が地震動に与える影響を適切に把握すべく、豊富な敷地の地震観測記録や詳細な地下構造調査を踏まえた検討ないし評価を行い、特異な増幅は認められないことを確認したうえで、本件発電所敷地直下の地下構造を水平成層構造とみなすことができると判断している（被告準備書面（10）37頁、同（16）4頁）。これに対し、野津意見書（2）（甲D第201号証7、9頁）では、かかる被告の検討ないし評価に疑問があるとしている。

本準備書面では、被告の行った上記の検討ないし評価に関し、地球物理学的な調査により確認された敷地の西側及び南側における船底状の基盤の形状について、敷地での揺れに及ぼす影響を、三次元地下構造モデルを作成したうえで二次元不整形FEM<sup>\*注</sup>モデルで解析評価することにより、特定の方向から到来する地震動に後続波<sup>\*注</sup>を生じさせる場合があること、その後続波は長周期成分が主体であることを確認した上で、成層モデル<sup>\*注</sup>と不整形モデル<sup>\*注</sup>による比較検討を通して敷地の地下構造は水平成層とみなせることを含め、従前の主張を補充する。

### 第1 本件発電所の敷地の地質・地質構造

被告は、本件発電所の敷地内でボーリング調査<sup>\*注</sup>等を行い、その結果、敷地の地質・地質構造として、新第三系鮮新統<sup>\*注</sup>の砂質泥岩<sup>\*注</sup>である久米層が広く分布し、ほぼ水平かつ新鮮であることを確認している（丙D第180号証6～14頁）。

### 第2 地震観測記録を用いた検討

被告は、以下のとおり、敷地で得られた様々な方向から到来した地震の観測記録等を用いて、地下構造が不整形である場合に見られるような特定の方向から到来する地震波による地震動が顕著に増幅する傾向にあるかを検討してい

る。

まず、深部地盤構造の検討として、地下深部の地震基盤<sup>注</sup>から解放基盤表面<sup>注</sup>までの増幅について、敷地の解放基盤表面相当位置の観測記録と、より硬い岩盤（地震基盤相当）での記録が得られているK i K - n e t ひたちなか（I B R H 1 8）の観測記録（191地震）の応答スペクトル比を到来方向（東西南北の4領域および地震発生領域や地震発生様式等に着目した9領域）別に求め、その結果、到来方向による大きな違いは見られないことを確認している。

次に、浅部地盤構造の検討として、解放基盤表面から地表面までの増幅について、敷地の解放基盤表面相当位置の観測記録と地表面の観測記録（305地震）の応答スペクトル比を到来方向別に求め、その結果、到来方向による大きな違いは見られないことを確認している。

これらの結果から、敷地地盤の地下構造が水平成層<sup>注</sup>かつ均質とみなして評価できることを確認している。（丙D第11号証4-30～58頁）【図1-1～4】

### 第3 地球物理学的調査の結果に基づく検討

#### 1 検討の概要

被告は、本件発電所の敷地周辺を対象とする重力探査<sup>注</sup>の文献調査を行ったところ、そこに示された重力異常図には、敷地周辺及び近傍において重力異常<sup>注</sup>の急変部が認められたことから、重力異常と地下深部の構造との関係を明らかにすべく、敷地周辺で屈折法地震探査<sup>注</sup>や微動アレイ探査<sup>注</sup>といった地球物理学的調査<sup>注</sup>を行い、敷地を含む広域について三次元地下構造に関する詳細なデータを得た。その結果、敷地西側及び南側において基盤が船底状にくぼんだ形状にあることを確認し、後記2及び3のとおり、それらを模擬した三次元地

下構造モデルを用いた解析評価により、基盤形状による影響を検討した<sup>1</sup>。この三次元地下構造モデルについては、敷地内で実施した単点微動観測<sup>注</sup>（100地点）及び微動アレイ探査の結果と整合していることをもって、その妥当性を確認している。（丙D第11号証4-60～80頁）

なお、野津意見書（2）には「三次元的な地下構造が明らかになっているわけではありません」（甲D第201号証7頁）とあるが、丙D第11号証4-72頁の「S波速度<sup>注</sup>層の上面深度分布図」は、三次元的に地下構造を把握した結果を表したものである。【図2-1～3】

## 2 広域地下構造モデルを用いた検討

上記1で述べたとおり、地球物理学的調査により得られた結果によれば、本件発電所の敷地は、基盤が船底状にくぼんでいるなかで、そのくぼみの内側に位置している。かかる形状ないし位置関係に照らし、敷地での揺れとして、地震波の到来方向によっては、深部地盤の影響が長周期の地震動に現れ、特に盆地の端部から励起される表面波<sup>注</sup>の寄与が大きくなることが考えられる。（丙D第208号証102頁）。

そこで、被告は、三次元地下構造モデルから、敷地の西側及び南側に見られる船底状の基盤形状を考慮した広域の二次元不整形FEMモデルと敷地直下の地下構造をモデル化した成層モデル<sup>2</sup>を作成し、基盤形状が解放基盤表面にお

<sup>1</sup> ただし、三次元地下構造モデルが策定されても、そもそも同モデルを用いた強震動計算は、広域を対象として、周期3～4秒以上の長周期の周期帶の強震動予測に使われることを前提としているので（甲D第155号証NL-2-33頁、丙D第213号証）、地震調査研究推進本部<sup>注</sup>でも、短周期の地震動は、水平成層構造を仮定した一次元地下構造モデルを用いる統計的グリーン関数法により計算するのであって、三次元地下構造モデルは用いられていない（丙D第209号証28頁）。なお、震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）<sup>注</sup>（丙D第18号証）の26頁の「水平成層構造を仮定できる場合」とあるのは、長周期を対象とした理論計算<sup>注</sup>の適用の場面であって、短周期地震動の計算は、あらかじめ評価地点で適切な観測波形が入手されている場合は経験的グリーン関数法が、そうでない場合は統計的グリーン関数法が用いられる（同31～32頁）。

<sup>2</sup> この成層モデルは、二次元不整形FEMモデルから本件発電所原子炉建屋直下の地下構造を一

ける地震動に及ぼす影響を検討した。具体的には、モデル底部（深さ－400m）に、0度（鉛直）入射、東西南北のそれぞれの方向から20度、同40度というように様々な角度でもってリッカーワー波<sup>注</sup>を入力し、二次元不整形FEMモデルと成層モデルにおけるそれぞれの解放基盤表面上の応答波形を求め、両者を比較した。ここで、リッカーワー波の中心周期については、4つのケース（0.3秒、0.5秒、1.0秒、2.0秒）を採用している。

その結果、主要動<sup>注</sup>については、成層モデルによる最大値のほうが二次元不整形FEMモデルのそれよりも大きいといえることを確認している。北から40度で入射した場合では特に周期1.0秒付近で傾向が異なるが（丙D第11号証4-92頁），当該入射角は、盆地構造の特徴を網羅的に把握する目的であえて設定したもの一つであり、前記第2のとおり、本件発電所敷地の多数の地震観測記録を用いた到来方向別の増幅傾向をみれば、北から到来する地震動の周期1秒付近に特異な増幅が見られない（丙D第11号証4-35, 39頁参照）。被告は、本件発電所敷地の解放基盤表面に入射する地震動の入射角を9領域毎の到来方向別に求めたところ、最大で12度程度であり、おむね鉛直入射と見なせることを確認している（丙D第180号証236頁）。地震波が深部地盤に北から40度で入射したと仮定しても、深部の地下構造の傾斜（約17度）の影響により、解放基盤表面上では20度以上の入射角となってしまうこと（丙D第210号証）に照らし、現実の地震においては地下深部への地震動の入射は40度よりも高角度にあると考えられる<sup>3</sup>。

次元で切り出したモデルである（丙D第11号証4-82～83頁）。なお、SGFモデル（同号証4-118頁）のうち、解放基盤表面以深の地下構造モデルは、1000mボーリングの調査結果をもとに設定されたものであり、この成層モデルとは異なる。

<sup>3</sup> 本件発電所の約3km南に位置する訴外原子力機構の東海再処理施設の基準地震動の検討においても、深部地盤の影響について本件発電所と同様の検討がなされており、リッカーワー波を用いて西から40度入射させた場合に後続波が顕著に励起されたものの、観測記録を用いた到来方向別の増幅特性には特異な増幅は認めらなかつた点に関して、やはり現実的には解放基盤表面に入射する際には10度前後の高角度になり、表面波が発達しにくくなるためと考えられている（丙D第211号証の71頁参照）。

また、後続波については、中心周期1.0秒のリッカ一波を南から40度で入力した場合に顕著に表れることを確認したが（丙D第11号証4-92頁），主要動の最大振幅と同等かそれ以下であり、この特徴は、敷地南方に発生した地震観測記録でも確認されており、解析結果と整合性を有する（丙D第11号証4-94頁）。同号証同頁の図は、後続波の有無を確認するため、フィルタをかけない実際の波形（青線）と、周期1秒を強調するバンドパスフィルタをかけたもの（赤線）との最大振幅を同一に基準化して示したものであるが、同図における実際の青線と赤線の最大振幅は、それぞれ2.72ガルと0.26ガル（1999年茨城県南部の地震）、1.19ガルと0.16ガル（2001年千葉県北東部の地震）、2.36ガルと0.50ガル（2005年千葉県北東部の地震）であり、観測波形における周期1秒成分の寄与は極めて小さい（丙D第212号証）。なお、野津意見書（2）（甲D第201号証9頁）は、この周期1秒の最大振幅が観察された時点がS波初動<sup>性</sup>よりも後続位相であるとして、後続位相のほうがかえって振幅が大きくなっている、水平成層構造を仮定した場合に説明がつかないとするが、周期1秒の最大振幅が観察された時点の地震動はいずれも主要動部であって、いわゆる後続波ではないし、また、極めて小さな振幅の比較最大値を問題とするのは妥当でない。被告は、主要動の後の後続波が振幅は小さくても複数回到達するという観測記録の特徴が解析と整合していることを確認しているのであって、この後続波においても主要動の振幅よりも十分に小さな振幅がみられるだけであるから、特異な増幅は見られず、水平成層構造とみなすとの被告の判断の合理性は否定されない。【図3-1～2】

以上のことから、敷地の西側及び南側に見られる船底状の基盤形状の影響を踏まえても、地下構造を水平成層構造とみなして地震動が評価できる。（丙D第11号証4-82～96頁）

### 3. 更なる検討

被告は、基準地震動の策定位置である解放基盤表面よりも上部の地下構造の影響評価等の妥当性の確認に資するよう、深部については広域地盤調査結果や広域三次元地盤モデルを、浅部については敷地の地盤調査結果を、それぞれ参考として地表面まで含めた二次元詳細地下構造モデルを設定し、これを用いて、解放基盤表面における地震動の差異と解放基盤表面から地表にかけての地震動の変化を分析するとの更なる検討を行った。この際、表層は地震波の伝播する速度が遅く、波長は短いため、解析可能な要素規模を踏まえつつ解析モデルのメッシュサイズを細かいものとすべく、解析モデルの領域は原子炉建屋を中心とする幅2km、深さ1kmとした。

まず、解放基盤表面の位置における地震動の差異の分析として、前述の広域地下構造モデルの検討と同様に、リッカーワークを様々な方向（0度（鉛直）入射、東西南北のそれぞれの方向から20度、同40度で入射）から、この二次元詳細地下構造モデル底部（標高-1000m）に入力し、解放基盤表面上における応答波形を敷地の複数箇所で求め、局所的に急激な変化が生ずるかどうかを確認したところ、そのような変化はなく、解放基盤表面の位置における地震動の振幅が一定とみなせることを確認した。

次に、解放基盤表面から地表にかけての地震動の変化の分析として、その間の地震動の增幅率を敷地の複数箇所で求め、成層モデル<sup>4</sup>による増幅率と比較したところ、両者は概ね一致しており、特に成層モデルと二次元詳細地下構造モデルとの大きな違いである深部地下構造の傾斜による影響が表れる長周期帯<sup>5</sup>では成層モデルの方が保守的な評価となることを確認した。（丙D第11号

<sup>4</sup> この成層モデルは、二次元詳細地下構造モデルから本件発電所原子炉建屋直下の地下構造を一次元で切り出したモデルである（丙D第11号証4-98頁参照）。なお、SGFモデル（同号証4-118頁）のうち、解放基盤表面以浅の地下構造モデルは、164地震の観測記録との地盤同定解析の結果をもとに設定しており、この成層モデルとは異なる（丙D第180号証214～222頁、丙D第11号証4-114～118頁）。

<sup>5</sup> 二次元詳細地下構造モデルについては、深部の地下構造は傾斜しているものの、浅部の地下構

#### 第4 地下構造の検討結果と地震動評価に当たっての配慮

被告は、これまでに述べた地震観測記録及び地下構造の調査結果の両面から成る一連の詳細な検討ないし評価の結果を踏まえて、本件発電所の敷地の地下構造を水平成層構造とみなせると判断し、一次元波動論に基づき地下構造モデル（SGFモデル）を設定した（丙D第11号証4-114~118頁）。

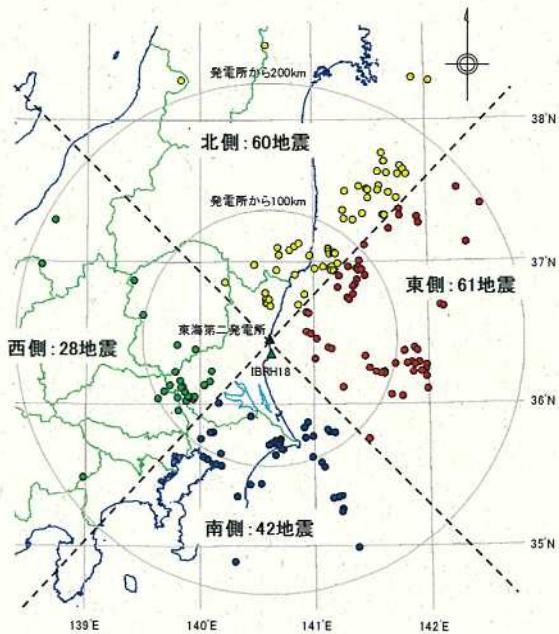
もっとも、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動の検討用地震に対する断層モデルを用いた手法による地震動評価<sup>注</sup>では、要素地震<sup>注</sup>のグリーン関数として敷地の観測記録を用いる経験的グリーン関数法<sup>注</sup>を採用しているため、基準地震動の策定においては上記の地下構造モデルは使用していない<sup>6</sup>。上記に關し、内陸地殻内地震については、プレート境界付近（地下約60km）から地震動が到達するプレート間地震に比べて、表面波が生成されやすいと考えられるところ（丙D第216号証1158頁），F1断層～北方断層～塩ノ平地震断層の断層モデルを用いた手法による地震動評価において選定した要素地震（2011年4月14日の地震）及び地震動評価結果のいずれをみても、時刻歴波形に表面波（後続波）がみられるなど、敷地における地震観測記録を用いた経験的グリーン関数法の適用によって、地下構造の影響が地震動評価に適切に反映されていることを確認できる（丙D第217号証90~103頁）。

#### 【図4-1~2】

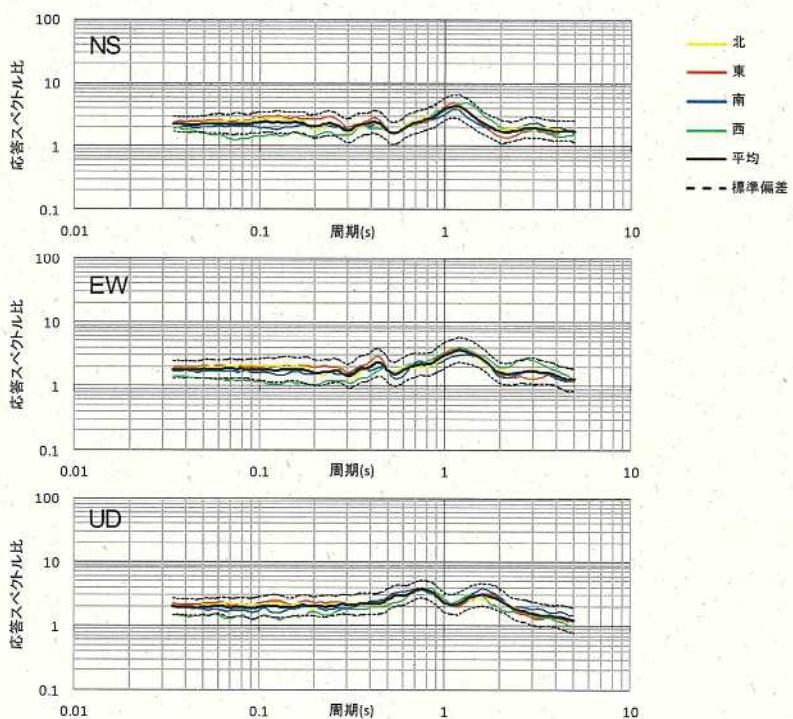
造は前記1のとおり地質構造がほぼ水平であることから、浅部の大部分を占める新第三系鮮新統の久米層を水平成層としてモデル化している。従って比較対象とした成層モデルとの大きな違いは深部の地下構造の影響となるが、その影響は前述の広域地下構造モデルを用いた検討結果（丙D第11号証4-90~93頁）に表れているように、周期1秒以上の長周期に現れる。

<sup>6</sup> 震源を特定せず策定する地震動のうち2004年北海道留萌支庁南部地震については、丙D第11号証4-118頁の地下構造モデルを基礎としつつ、ボーリング調査結果に加えて134地震の観測記録による伝達関数と理論伝達関数との比較により地盤同定解析を行い、留萌モデル（被告準備書面（16）5頁参照）を使用しているが、2004年北海道留萌支庁南部地震の基盤地震動の入力位置は、標高-655mであり（丙D第11号証4-206頁），深部不整形の影響はない。

以 上



(a) 検討対象地震



(b) 領域ごとの平均応答スペクトル比

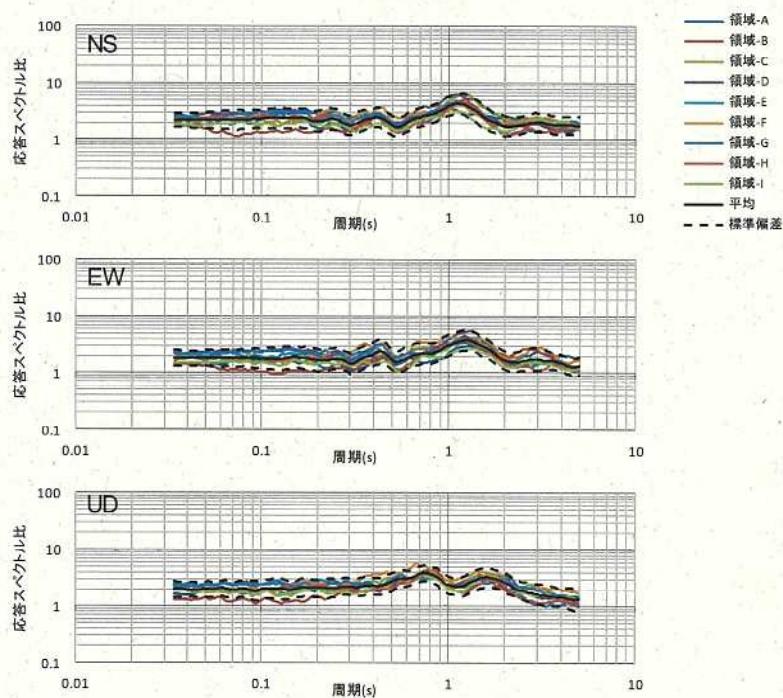
【図1－1】敷地の地震観測記録等を用いた到来方向ごとの  
增幅特性の検討（191地震、4領域）

（出典：丙D第11号証4-34～35頁に基づき作成）

領域-A:福島県浜通り、茨城県北部の深さ30km以浅  
 領域-B:茨城県南部の深さ40~80km  
 領域-C:首都直下の深さ40~80km  
 領域-D~I:太平洋プレートの走向に対し北方から時計回りに60度ごとに3分割した領域  
 そのうち、領域-D~Fは深さ30km以浅、  
 領域-G~Iは深さ30~60km



(a) 検討対象地震

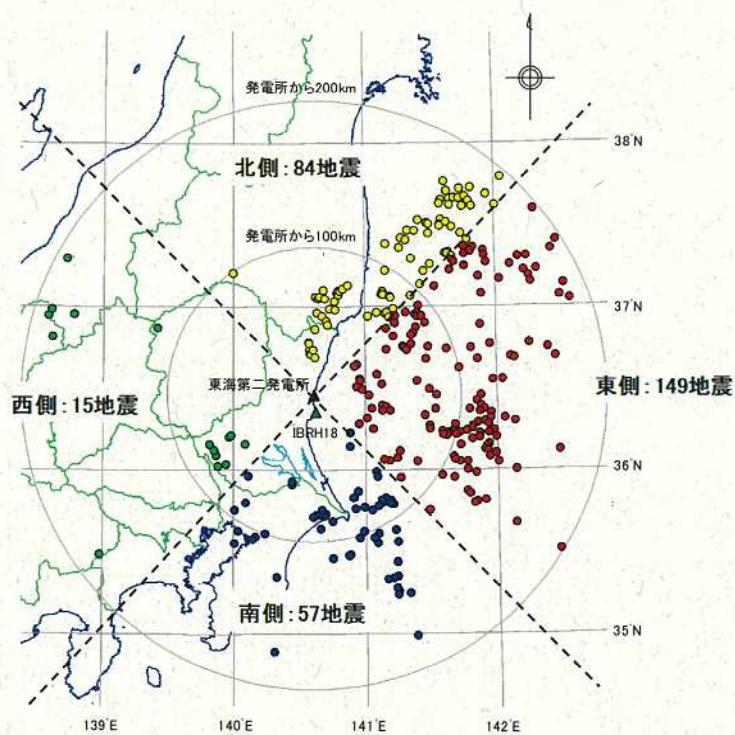


領域ごとの平均応答スペクトル比(9領域)

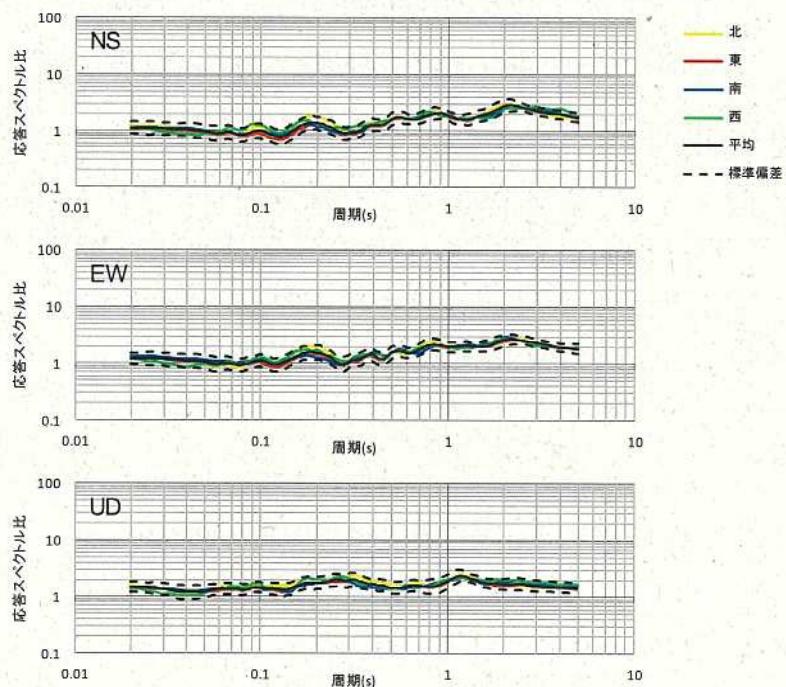
(b) 領域ごとの平均応答スペクトル比

【図1－2】敷地の地震観測記録等を用いた到来方向ごとの增幅特性の検討（191地震、9領域）

(出典：丙D第11号証4-38～39頁に基づき作成)



(a) 検討対象地震

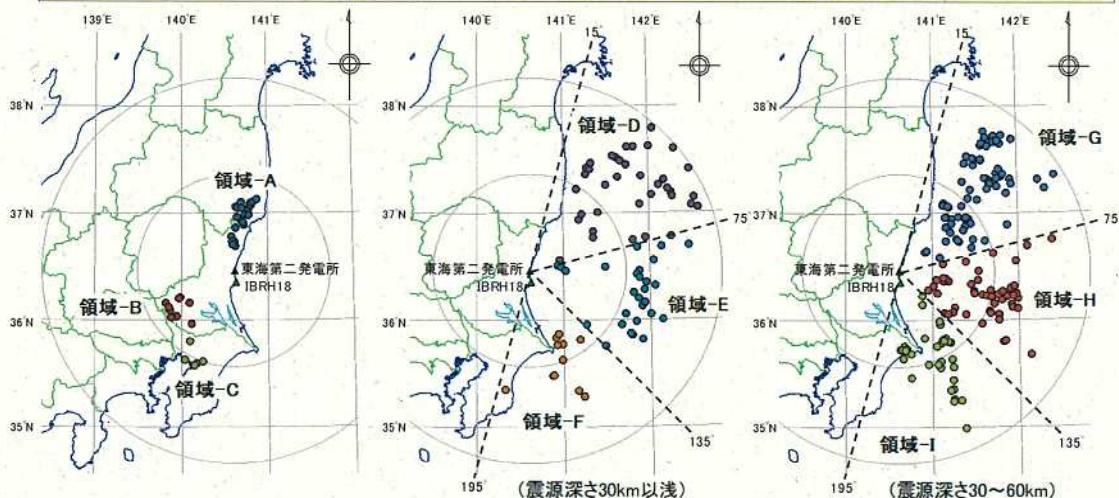


(b) 領域ごとの平均応答スペクトル比

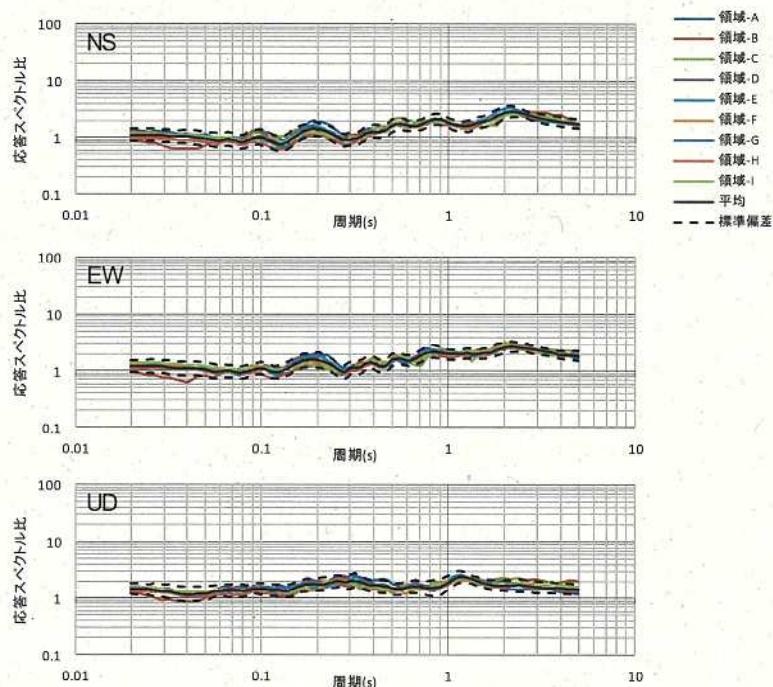
**【図1-3】敷地の地震観測記録を用いた到来方向ごとの  
増幅特性の検討（305地震、4領域）**

(出典：丙D第11号証4-49～50頁に基づき作成)

領域-A: 福島県浜通り、茨城県北部の深さ30km以浅  
 領域-B: 茨城県南部の深さ40~80km  
 領域-C: 首都直下の深さ40~80km  
 領域-D~I: 太平洋プレートの走向に対し北方から時計回りに60度ごとに3分割した領域  
 そのうち、領域-D~Fは深さ30km以浅、  
 領域-G~Iは深さ30~60km



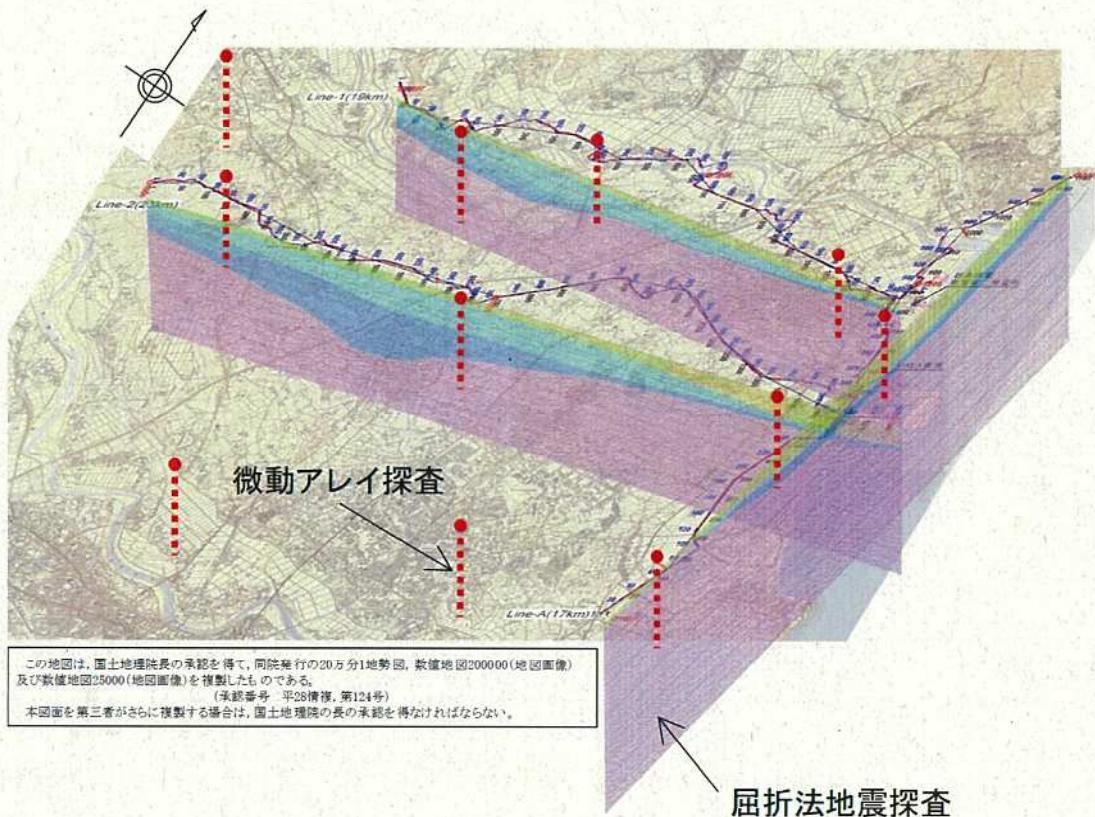
(a) 検討対象地震



(b) 領域ごとの平均応答スペクトル比

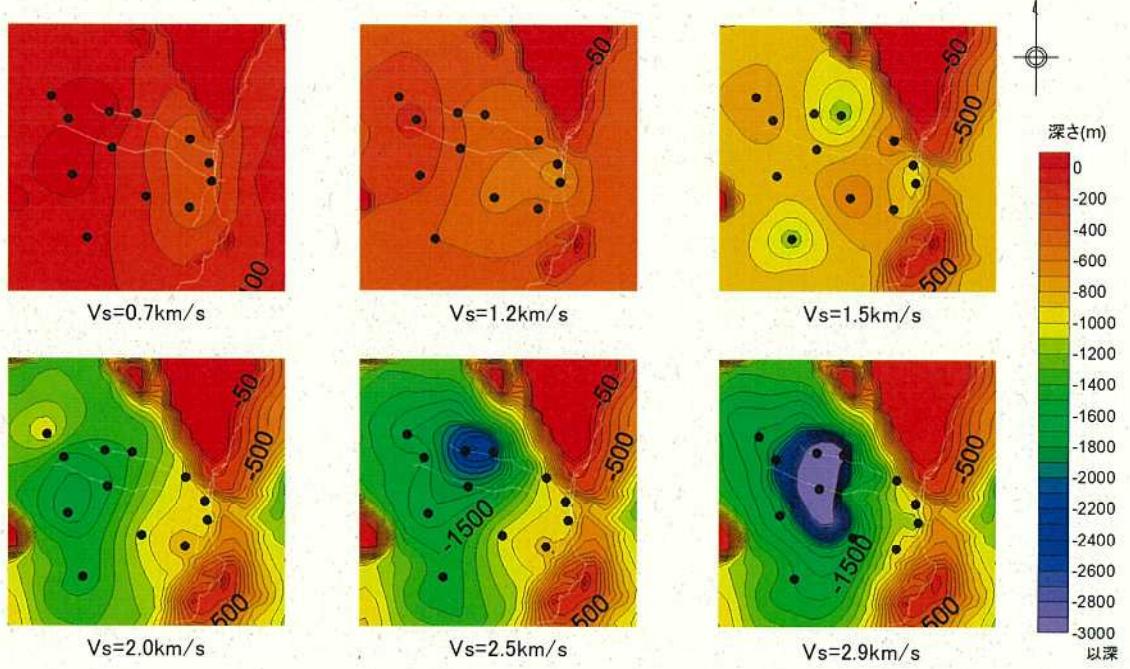
【図1-4】敷地の地震観測記録を用いた到来方向ごとの增幅特性の検討（305地震、9領域）

(出典：丙D第11号証4-53～54頁に基づき作成)



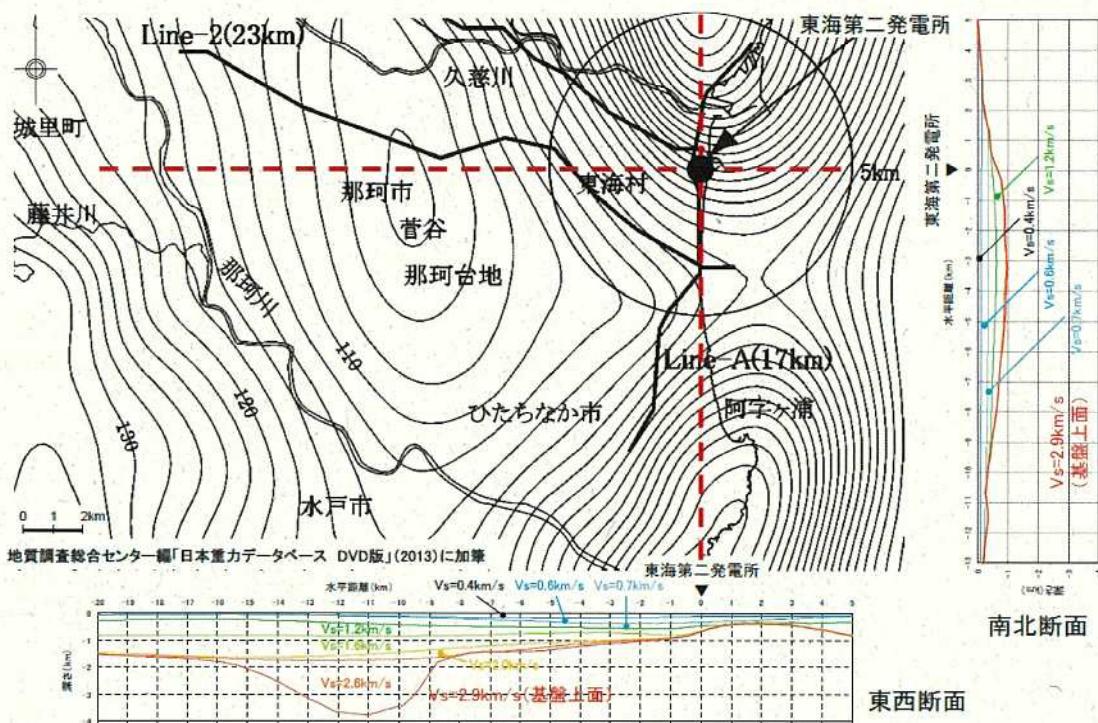
【図2-1】敷地周辺の各種調査位置分布

(出典：丙D第11号証4-71頁に基づき作成)



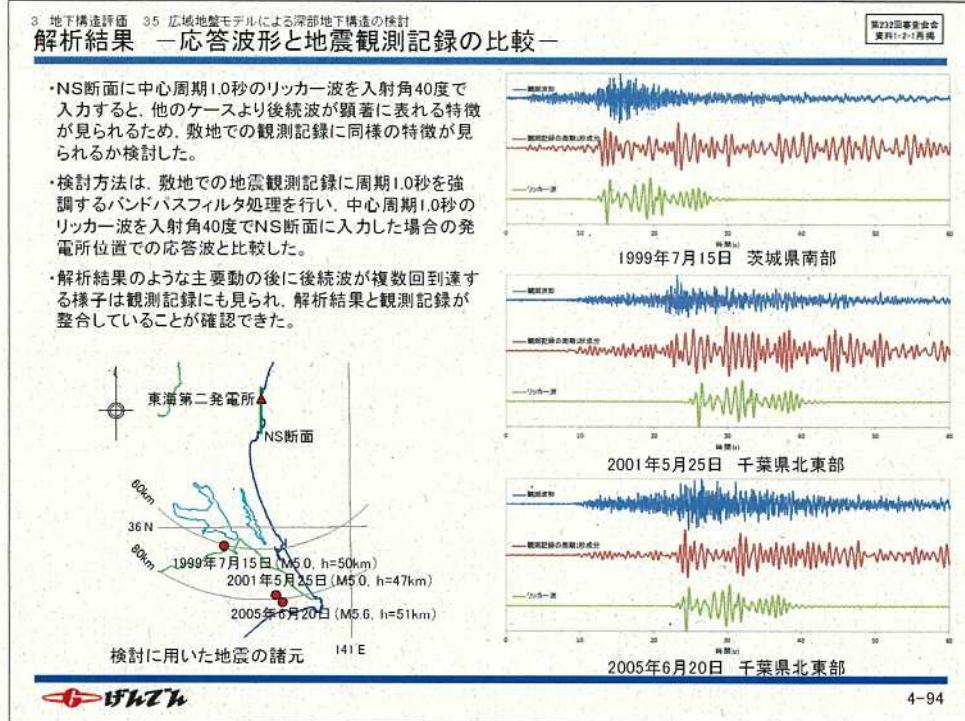
【図2-2】敷地周辺の重力異常とモデル化した地盤構造

(出典：丙D第11号証4-72頁)



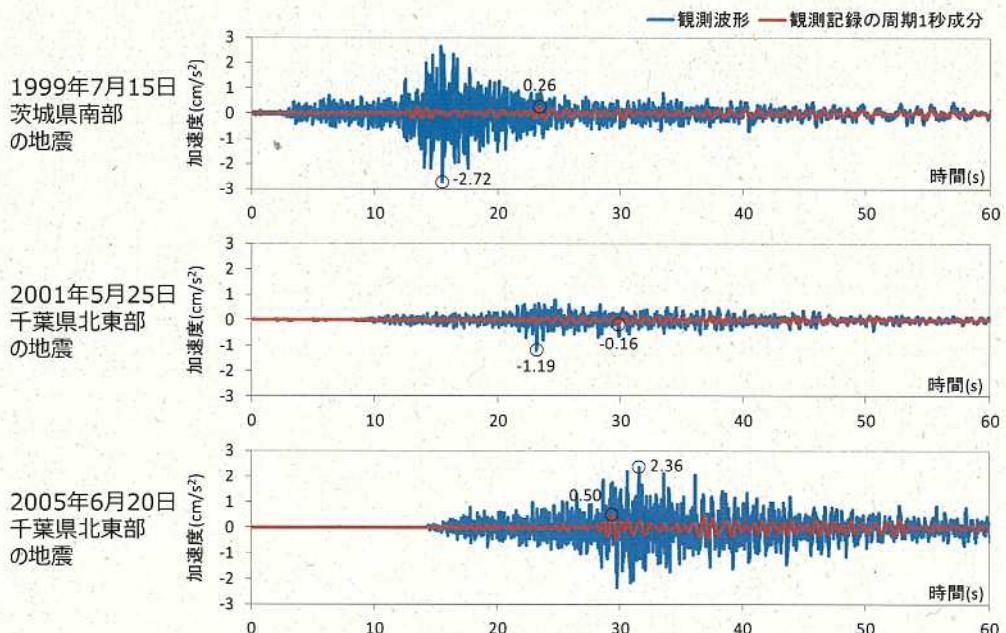
【図2-3】敷地周辺の重力異常とモデル化した地盤構造

(出典：丙D第11号証4-73頁)



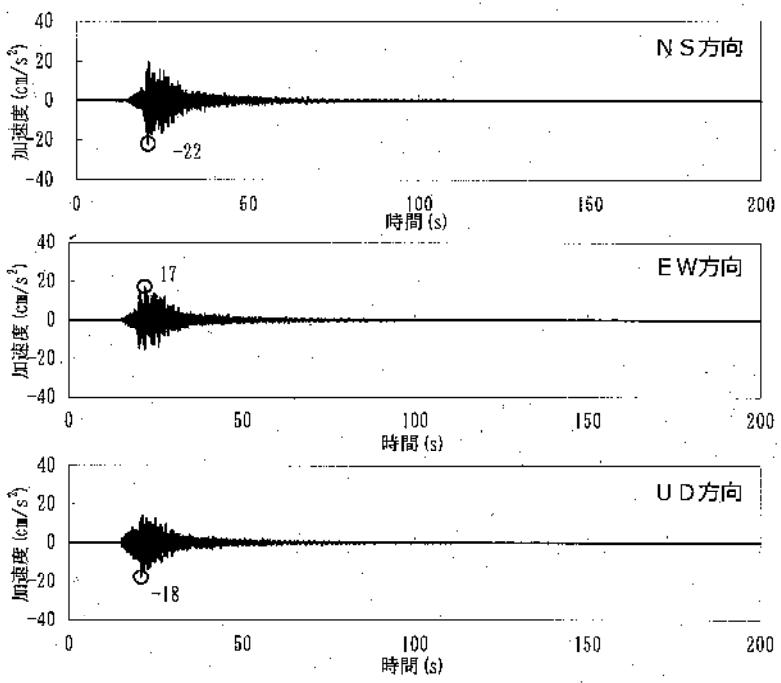
【図3-1】応答波形と地震観測記録の比較

(出典：丙D第11号証4-94頁)

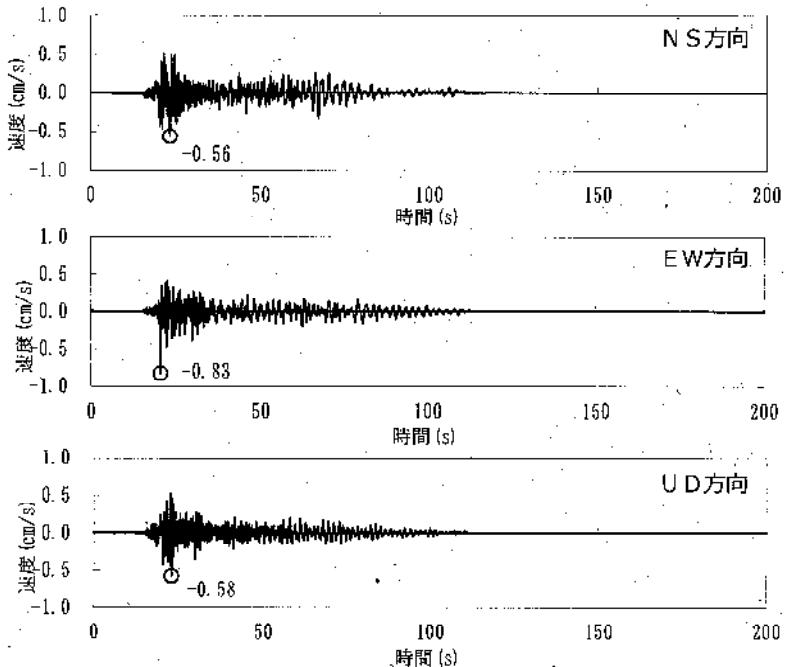


【図3-2】加速度波形の比較  
(図3-1に記載の3地震の加速度波形の縦軸の係数倍を解除)

(出典：丙D第11号証4-94頁に基づき作成)



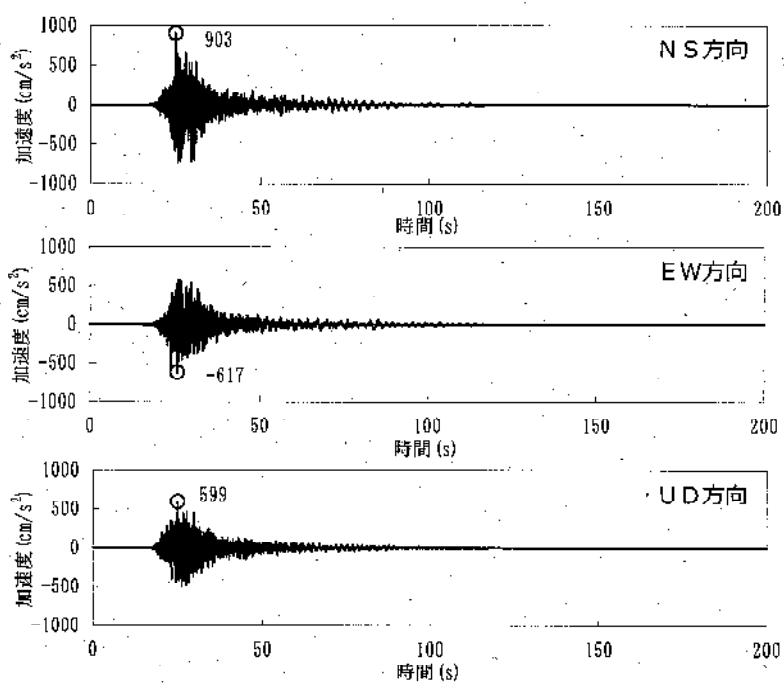
(a) 加速度波形



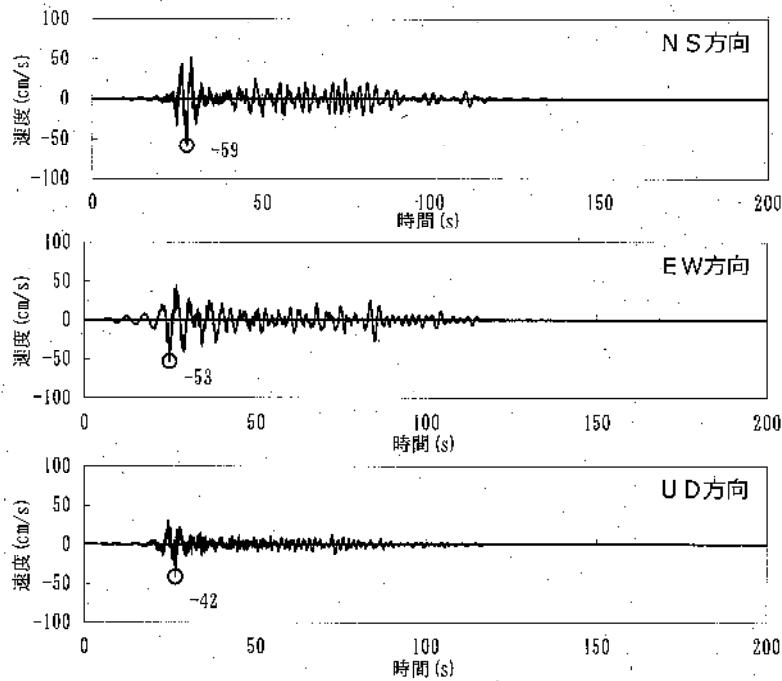
(b) 速度波形

【図 4-1】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時刻歴波形

(出典：丙D第21-7号証91頁に基づき作成)



(a) 加速度波形



(b) 速度波形

【図4-2】基準地震動 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）の時刻歴波形

（出典：丙D第217号証101頁に基づき作成）

## 語句註

### (注1) 水平成層構造

水平成層構造とは、地盤の弾性波速度構造に顕著な不整形性が存在せず、水平の層状構造をなしていること。なお、一般に弾性波速度は深度に依存して増大するため、地盤の弾性波速度構造に顕著な不整形性が存在しない場合でも、鉛直方向には全くの均質ではなく、層状構造（地下深くになればなるほど弾性波速度が大となる）と近似する。

### (注2) 地球物理学的調査

地球物理学的調査とは、地球に関連する自然現象を物理学的な手法により調査するものであり、具体的には、海上音波探査、反射法地震探査、屈折法地震探査、微動探査等がある。

### (注3) 成層モデルと不整形モデル

成層モデルとは、地盤を水平成層構造とみなし、モデル化したもので、不整形モデルとは、地盤が成層構造をなしているという前提のもと、地盤の不整形性を二次元もしくは三次元で詳細にモデル化したものをいう。

### (注4) ポーリング調査

ポーリング調査とは、掘削機を用いて地中に孔を掘るポーリングによって、地下の土や岩石等を棒状の試料として採取し、これを観察して地質の状況を把握する調査をいう。また、ポーリング調査により採取した試料をコア（ポーリングコア）という。

### (注5) 地質年代、前期鮮新世、前期更新世、後期更新世、中新統、鮮新統、更新統、完新統

地質年代（地質に関する年代）は、大きくは、古生代、中生代及び新生代に区分されている。そのうち新生代（約6550万年前から現在まで）は、古第三紀、新第三紀及び第四紀の三つに区分されている。

新第三紀は、中新世（約2300万年前から約530万年前まで）及び鮮新世（約

530万年前から約260万年前まで)に区分されている。

第四紀(約260万年前から現在まで)は、地質年代最後の時代で、更新世(約260万年前から約1.2万年前まで)及び完新世(約1.2万年前から現在まで)に区分されている。さらに、更新世は、前期更新世(約260万年前から約7.8.1万年前まで)、中期更新世(約7.8.1万年前から約12.6万年前まで)、後期更新世(約12.6万年前から約1.2万年前まで)に細分されることがある。

新第三紀、中新世、鮮新世、第四紀、更新世、完新世に堆積した地層・岩石(地質系統)を、それぞれ、新第三系、中新統、鮮新統、第四系、更新統、完新統という。

#### (地質年代区分)

代	紀	世	期	年代 (百万年前)
新生代	第四紀	完新世		
			後期	0.0117
		更新世	中期	0.126
			前期	0.781
				カラブリアン
	新第三紀	鮮新世	後期	1.80
				ジェラシアン
			前期	2.58
	中新世		ピアセンジアン	3.600
			ザンクリアン	5.333
	古第三紀			23.03
				66.0

#### (注6) 砂質泥岩

泥岩とは、シルトや粘土などから構成される堆積岩であり、砂質泥岩とは、泥岩に砂が含有された岩盤をいう。

#### (注7) 地震基盤

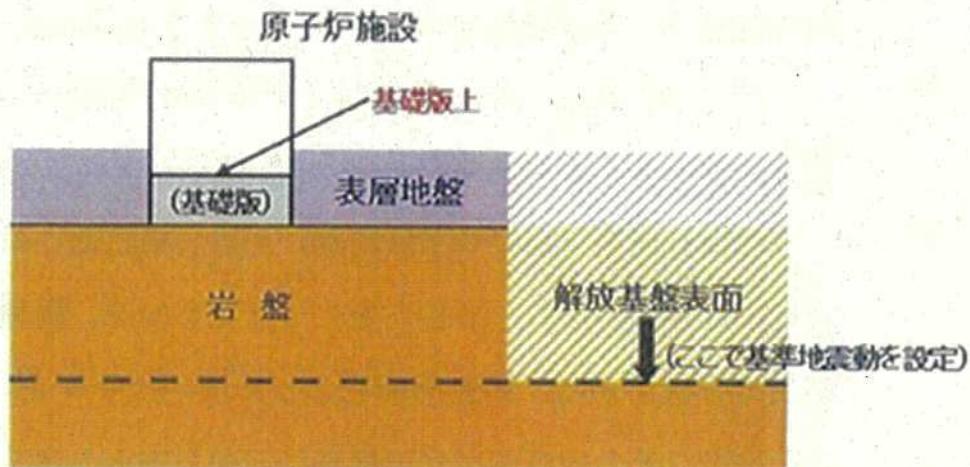
地震基盤とは、地震動を決める3つの特性(震源特性、伝播経路特性、地盤增幅特性)のうち、伝播経路特性と地盤增幅特性とを分離する層をいう。また、長周期を含

め、以下の基準で設定された地盤の上層（S波速度の目安として約3 km/s以上）とされている。①基盤面は空間的にある広がりを持ち、かつこの面での力学的性質は同一であることが望ましい。②基盤面以下の地層は以浅のそれに比べて、構成、力学的性質の変化が小さいことが望ましい。

#### (注8) 解放基盤表面

解放基盤表面とは、基準地震動を策定するために、基盤（硬質地盤であって著しい風化を受けていないもの）面上の表層や構造物がないものとして仮想的に設定されるVs（S波が地盤中を伝わる速度）=700m/s以上の基盤の表面をいう。

設置許可基準規則は、基準地震動を、解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動としてそれぞれ策定することを求める（設置許可基準規則解釈別記2の5一（丙Bア第9号証133頁））。



#### (注9) 地震観測網, K-NET, KiK-net

我が国には、独立行政法人防災科学技術研究所が運用する地震観測網として、全国強震観測網（K-NET : Kyoshin Net），基盤強震観測網（KiK-net : Kiban-Kyoshin Net），広帯域地震観測網（F-net : Full Range Seismograph Network of Japan）が設置されている。

K-NETは、全国を約20km間隔で覆う1000か所以上の観測点からなり、強震計は地表（自由地盤上）に設置されている。KiK-netの観測点は全国約7

00か所に配置され、強震計は地表と地中の2深度に設置されている。また、F-netは、現在、約70箇所の観測点があり、広帯域地震計\*は、通常、横杭（トンネル）の奥に設置されている。

\*広帯域地震計は、地震による地面の速い振動から、非常にゆっくりとした振動まで、広い周波数範囲にわたって地震動を記録できるのが特徴である。平成25年度末には防災科学技術研究所の73地点(F-net)のほか、大学47地点、海洋研究開発機構21地点を合わせ、143点が稼動している。高感度地震観測と同様、基盤的広帯域地震観測網の観測データはテレメータによって防災科学技術研究所へ常時伝送され、波形の自動解析や蓄積、及びデータ公開がなされている。

#### (注10) 重力探査

重力探査とは、調査地の地表において重力を測定し、測定した結果から地下の構造を把握する方法である。

地表における重力の値は、地下に分布する岩石・岩盤の密度、分布深度、形状に大きく起因する。地下に密度の同じ岩盤が存在する場合、出現深度が浅いと地表の重力値は大きく測定され、逆に地下に空洞が存在する場合には重力値は小さく測定される。

#### (注11) 重力異常

重力異常とは、「重力」の「異常」のことである。重力異常は、地下に高密度の岩石があると大きくなり、低密度の岩石があると小さくなる。平野など厚い堆積層に覆われた場所であっても、地下の岩石に大きな起伏があると、重力異常値に起伏が現れる。これらに基づき重力値の測定から地下構造を推定することができる。

#### (注12) 屈折法地震探査

屈折法地震探査とは、地表付近での発破等によって人工的に弾性波(P波・S波)を発生させ、地下の速度の異なる地層境界で屈折して戻ってきた屈折波を地表に設置した測定装置で観測し、地下の速度構造を求める調査手法をいう。

### (注13) 微動アレイ探査

地盤はわずかながら常に動いており、微小な地盤振動のうち、振動源が特定できないものを微動と呼ぶが、微動は観測地点付近の地盤特性、すなわち地盤の伝播速度や卓越する振動数、增幅特性などを反映しており、微動を観測することによって大局的な地盤構造を把握することができる。

微動アレイ探査とは、この微動を、複数の地震計で同時観測し、このデータを処理することによって観測地点の地下構造を求める深部地盤探査法である。

### (注14) 経験的グリーン関数法、要素地震、統計的グリーン関数法

経験的グリーン関数法とは、波形合成法の一つであり、実際に発生した中小地震の敷地における観測記録（これを「経験的グリーン関数」という。）を要素地震として足し合わせ、大きな地震による揺れを計算する方法をいう。

大きな断層面が破壊する地震は、断層面の一部が破壊する小地震の集合として評価することができる。このため、断層面全体への破壊伝播等を考慮して小地震の波形を足し合わせると、評価対象とする地震による波形を合成することができる。この方法では、震源断層面付近で発生した中小地震による評価地点での適切な観測記録が必要となるものの、地下構造による影響は観測記録に含まれるため、地下構造のモデルを設定する必要がない。

統計的グリーン関数法とは、波形合成法の一つであり、既往の観測記録を統計処理し、人工的に時刻歴波形（これを「統計的グリーン関数」という。）を作成し、それを要素地震として足し合わせ、大きな地震による揺れを計算する方法をいう。

### (注15) 地震調査研究推進本部

地震調査研究推進本部とは、政府が行政施策に直結すべき地震に関する調査研究を一元的に推進するため、地震防災対策特別措置法に基づき、総理府（現在は文部科学省）内に設置した政府の特別の機関であり、本部長（文部科学大臣）と本部員（関係府省の事務次官等）から構成される。

その下に関係機関の職員及び学識経験者から構成される政策委員会と地震調査委員会とが設置されている。このうち、地震調査委員会では、気象庁、国土地理院、（独）防災科学技術研究所、海上保安庁、大学等の関係機関の調査結果を収集・整理して、

総合的な評価を行っている。

#### (注16) 「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）」

強震動予測レシピとは、震源断層を特定した地震を想定した場合の強震動を高精度に予測するため、強震動予測手法の構成要素となる震源特性、地下構造モデル、強震動計算及び予測結果の検証の現状における手法や震源特性パラメータの設定に当たつての考え方を取りまとめたものである。レシピは、「断層モデルを用いた手法」による地震動評価の際に用いられる。

震源特性パラメータの設定に関しては、同レシピに従うことにより、震源断層面積や地震規模のような震源の全体像を表す巨視的断層パラメータや震源断層の中の不均質性を表す強震動生成域の面積やそこでの応力降下量等の微視的断層パラメータ等を設定することができる。内陸地殻内地震では、入倉・三宅（2001）で提案された震源断層面積と地震モーメントとの関係式（「入倉・三宅式」）が用いられるところ、その有効性については、全国の地震観測網の充実により得られた国内の内陸地殻内地震の地震観測記録を用いた検証がされており、熊本地震についても同様の検証がされている。

（丙D第14号証ないし同第26号証）

#### (注17) 理論計算

理論計算（理論的手法）とは、地震波の伝播特性と表層地盤の增幅特性を弾性波動論により計算する方法。時刻歴波形を予測でき、破壊過程の影響やアスペリティの影響を考慮できる。理論的手法には、水平成層構造のみに適用可能な波数積分法や、二次元または三次元で表現される不整形な地盤構造に適用可能な差分法、有限要素法（注21参照）などがある。この方法では震源断層の不均質特性の影響を受けにくい長周期領域については評価し得るもの、短周期地震動の生成に関する破壊過程および地下構造の推定の困難さのため、短周期領域についての評価は困難となる。

#### (注18) 断層モデルを用いた手法（波形合成法）、断層モデルを用いた手法による地震動評価

設置許可基準規則は、基準地震動の策定に関し、「『敷地ごとに震源を特定して策

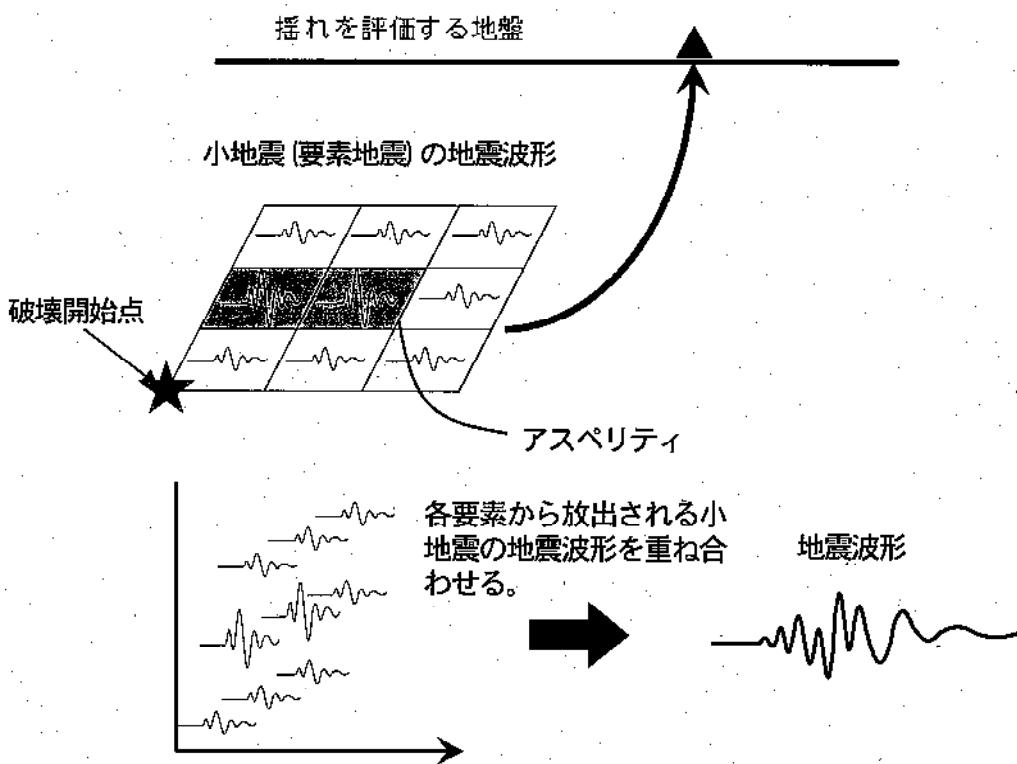
定する地震動』は、内陸地殻内地震、プレート間地震及び海洋プレート内地震について、敷地に大きな影響を与えると予想される地震（以下『検討用地震』という。）を複数選定し、選定した検討用地震ごとに、不確かさを考慮して応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価を、解放基盤表面までの地震波の伝播特性を反映して策定すること」を求める（同規則の解釈別記2の5二（丙Bア第9号証133～134頁））。

断層モデルを用いた手法による地震動評価とは、震源断層面の拡がりを考慮し、その震源断層面の力学的な性状及び破壊の特徴等を考えて地震動を計算する手法をいう。震源が近い場合は特に有効な手法であり、経験的グリーン関数法や統計的グリーン関数法等のいくつかの手法が提案されている。

具体的には、下図のように、地震の震源断層面を小断層面に分割し、小断層面から発生する小地震（要素地震）の地震動（時刻歴波形）を重ね合わせることにより、断層面全体から発生する大地震時の地震動（時刻歴波形）を計算する。地震動を重ね合わせることから波形合成法とも呼ばれる。大地震と小地震の震源パラメータ間の相似則の関係（スケーリング則）が理論的あるいは経験的に推定されていなければならない。

波形合成法には、要素地震として用いる小地震の地震動の違いにより、小地震の観測記録を用いる経験的グリーン関数法及び既往の観測記録を統計処理して作成した人工的な時刻歴波形を用いる統計的グリーン関数法がある。

なお、アスペリティないし強震動生成域（SMGA）からは、振幅の比較的大きな地震波が放出されることが知られており、この効果を地震動評価に反映させることもできる。



#### (注19) 単点微動観測

単点微動観測とは、微小な地震、波浪、交通等に伴う振動等によって地表付近に常に存在する地面の小さな揺れを測定する調査手法であり、複数の観測点ごとに得られた観測記録を分析することで、任意のS波速度の岩盤等の上面の深度を推定し、各観測点の岩盤の上面深度からその分布を把握するものである。

#### (注20) S波速度

S波速度  $V_s$  とは、密度  $\rho$  と、物質の硬さを表す剛性率  $\mu$  との関係で、 $V_s = (\mu / \rho)^{1/2}$  で表される。一般に、地球内部では、深くなるにしたがって地層の剛性率も密度も大きくなる。密度の増加は、速度の低下をもたらすが、密度よりも剛性率の増加の方が大きいので、一般にはS波速度は深度とともに増大する。

#### (注21) FEM

FEMとは、Finite Element Method の略称で日本語では「有限要素法」と訳される。この方法では、方程式を解かなくても良い陽解法を用いるこ

とで、比較的小さな計算機負荷により、二次元、三次元の計算を行うことができるところから、現実の複雑な地盤構造を忠実にモデル化して地震波動を計算できるという利点がある。

#### (注22) リッカ一波

リッカ一波とは、数値解析に用いる波の一種である。振動数領域において着目した中心周期を持つ局在化した滑らかな関数であり、更に時間領域においても中心時刻に対称に局在化する滑らかな関数となる特徴がある。リッカ一波を用いることで、着目する周期や時刻に特化した検討が可能になることから、リッカ一波は地盤の不整形性が增幅特性に与える影響を検討する際に用いる入力波として適している。

#### (注23) 主要動、後続波、S波初動

地震波には、地球内部を伝わっていく「実体波」と、地球の表面に沿ってのみ伝わっていく「表面波」がある。実体波には、波の進む方向と同じ方向に振動するP波（縦波）と、波の進む方向と直交の方向に振動するS波（横波）がある。大きな地震が遠くで起こると、最初に「カタカタ」と小刻みに揺れ、次いで「ユサユサ」というややゆっくりとした横揺れを感じ、その後に「ユラユラ」というゆっくりとした揺れを感じる。これは、地震波が、主に最初に到達するP波（縦波）と、その後に到達するS波（横波）、それに続く表面波から構成されているためである。このような順番で地震波が到達するのは、地震波の進む速度が波の種類によって異なるためである。P波による比較的小さい揺れを初期微動という。主要動と後続波については必ずしも統一的に定義されたものは見当たらないが、本書面では、S波による揺れを主要動といい、S波の後に到達する表面波による揺れを後続波という。S波による揺れの先頭部分をS波初動といい。

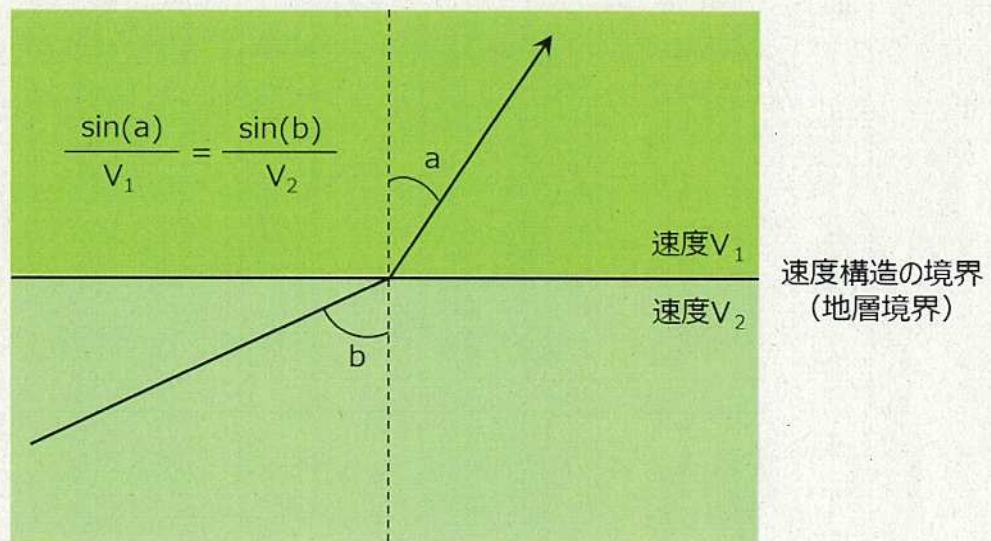
#### (注24) 表面波

表面波とは、地表面付近にエネルギーを集中して地表面に沿って伝播する波のことである。表面波は、地表面や地盤の層境界におけるP波やS波の反射、屈折または干渉によって発生する。

### (注25) 一次元重複反射理論、理論伝達関数、観測伝達関数、スネルの法則

震源から放出された地震波（震源特性）は、波動のエネルギーの拡散により、震源から遠ざかるにつれて地震波の振幅を減衰させながら、比較的伝播速度の変化が小さい地殻内を伝わり（伝播経路特性），地震基盤面と呼ばれる岩盤面に達する。そこから上部の地盤に入射した地震波は地表に向かって、地震波の振幅を増大させながら伝播していく（地盤增幅特性）。

このうち、地盤增幅特性のメカニズムは、地震波が光や電波などの一般的な波と同じく、均質な媒質のなかではまっすぐに伝播し、物理的な性質が異なる媒質の境界では、波が反射ないし屈折して伝播することによるものである。この屈折は、スネルの法則と呼ばれる下図において示した関係式に基づくものであり、二つの媒質の地震波速度の差が大きいほど、曲がる角度は大きくなる。一般的に、地表に近づくほど、地震波の速度は小さくなり、震源から放出された地震波は、地震波速度の小さい地層に入射するたびに鉛直に近い方向に伝播方向を変えて伝わっていくこととなる。



このように、地震波は、対象地点の速度構造に応じた変化に基づき伝播するものであるから、地盤增幅特性は、地下構造調査によって対象地点の地盤の速度構造を明らかにすることにより把握することができる。一般に、地層区分と速度構造とは対応することが多いことから、敷地の地質・地質構造を把握するための各種調査に基づくデータを、速度構造の検討なし評価に活用することもできる。

地震動評価に当たっては、対象地点の速度構造に基づき地下構造モデルを構築し、当該モデルを用いて敷地の地盤増幅特性を算定するところ、地盤の速度構造が水平成層構造とみなせる場合、地盤の速度が鉛直方向のみ変化する一次元地下構造モデルを用いることができる。このように、地盤の速度構造を水平成層構造とみなして、地震基盤から入力される地震波が鉛直上方に伝達する間に、透過・反射を繰り返しながら地表の応答波形を形成していくとする考え方を一次元重複反射理論といい、その解析コードとして、SHAKEが一般によく用いられている（本件発電所の地下構造モデルの構築に当たっても使用している。）。一次元地下構造モデルにおいては、地盤中を深部から浅部に伝播する地震波についての深部における地震波（入力）と浅部における地震波（出力）との間の関係を表す関数、すなわち、伝達関数により、地盤増幅特性が表されることとなる。この伝達関数は、一次元波動理論に基づくものであることから、本書面では、次に述べる観測伝達関数と区別すべく、理論伝達関数と呼称している。

また、地下構造調査に基づく方法以外に、直接、地盤増幅特性を検討する方法として、敷地の地震観測記録に基づく方法がある。地震観測記録には、「震源特性」、「伝播経路特性」、「地盤増幅特性」の影響が反映されているため、震源特性と伝播経路特性の影響を地震観測記録から取り除くことにより敷地の地盤増幅特性を推定し、それを地震動評価に反映することができる。地震観測記録から伝達関数を求めることもでき、本書面では、地震観測記録から求めた伝達関数を観測伝達関数と呼称している。

以上