平成２４年（ワ）第３６７１号外　大飯原子力発電所運転差止等請求事件
原　告　　竹本　修三　　外
被　告　　国　　外１名

原告第８７準備書面

－被告関西電力準備書面（２７）に対する反論②－

２０２１年１２月６日

京都地方裁判所　第６民事部合議はＢ係　御中

原告ら訴訟代理人
弁　護　士　　出　口　治　男

同　　渡　辺　輝　人

外

目次

第１　本書面の概要 3
第２　低速度層の影響を無視することは誤りであり基準地震動が過小評価であること . . 3
１　序 3
２　関電モデルに低速度層を挿入した場合. 3
３　ＰＳ検層結果を適用した場合 8
４　低速度層による増幅特性 10
５　トモグラフィー解析結果とその震動特性への影響. 17
６　まとめ 18

第１　本書面の概要

被告関西電力は，地質調査の原本であるボーリング柱状図（丙１７８・６－３－５８８頁～６４１頁)に基づいて原告らが主張していること(原告第６７，６９準備書面）について，ボーリング柱状図の生データそのものについては否定・批判をしていない（準備書面（２８）７頁以下)。また，ＰＳ検層結果についても同様に，速度低下の存在自体は自認している。

そのような低速度層の存在に対する被告関西電力の反論は，寸法効果等を理由に基準地震動の評価に影響を与えないというものであるが，あくまでも定性的な論証であって，証拠等の裏付けのあるものではない（２４頁など)。

そこで本準備書面は，原告第８６準備書面・「第３」の内容を補充・敷衍し，定量的に，低速度層の存在による増幅効果やＰＳ検層結果から示される増幅特性を明らかにし，もって基準地震動が過小評価であることを明らかにするものである。

第２　低速度層の影響を無視することは誤りであり基準地震動が過小評価であること

１　序

地盤に不均質がある場合の地盤震動特性への影響を原告らにおいて定量的に検討した結果，次項以下のとおり，その影響は最も影響を与える波長にのみ限られるのではなく，それよりも数倍長い波長にも影響を及ぼすことが示された。

そのため，被告関西電力の，「地盤の中に数mの規模で低速度部分が存在したとしても…かかる低速度部分が地震波の増幅に与える影響は極めて小さい」との主張は誤りである。

２　関電モデルに低速度層を挿入した場合

(1) 低速度層の深さとその震動特性への影響

被告関西電力の地盤モデルは地震基盤を深さ３ｋｍに想定し，１１層の速度層からなっている。同モデルでは低速度層の存在が想定されていないが，ボーリング柱状図等から低速度層の存在が明らかであるため，第１層（厚さ１８０ｍ，Ｖｓ＝２．２ｋｍ／ｓ）の上部に，厚さ１０ｍ，Ｖｓ＝１．６ｋｍ／ｓの低速度層を挿入して地盤震動特性（地震波がどのように増幅される

か）を検討する。

減衰定数は，仮に，被告関西電力が用いる３％とする。低速度層の深さは，①０～１０ｍ（地表），②１０～２０ｍ，③２０～３０ｍ，④５０～６０ｍとする。

結果は次のとおりである。なお，各図の左図は関電モデルと低速度層モデルの増幅特性，右図は関電モデルに対する低速度層モデルの増幅倍率である。

・　①低速度層の深さ：０～１０ｍ

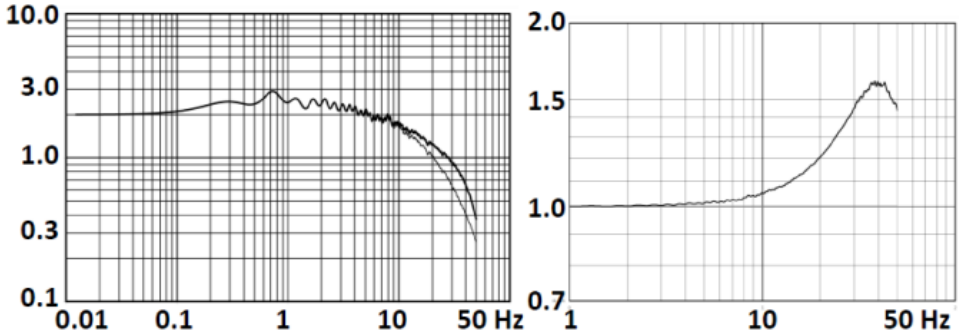

図 12. 厚さ 10m、Vs=1.6km/s の低速度層が地表にある場合の震動特性（左図：太線）.
左図の細線は関電地盤モデル、右図：関電モデルに対する増幅倍率.

・　②低速度層の深さ：１０～２０ｍ

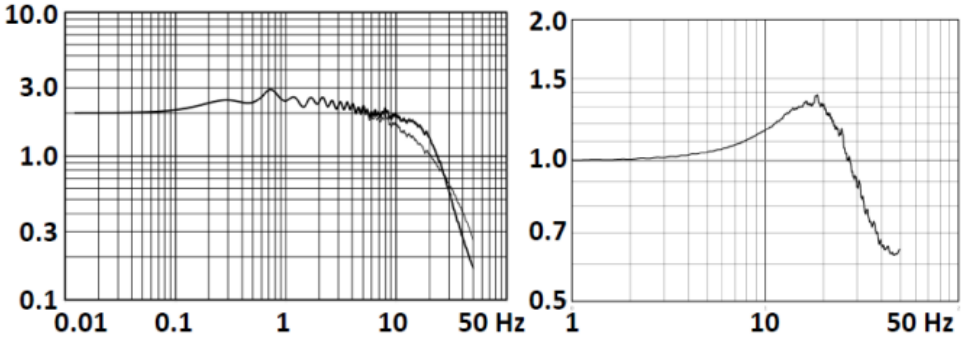

図 13. 厚さ 10m、Vs=1.6km/s の低速度層が深さ 10～20m にある場合の震動特性
左図：太線、左図の細線は関電地盤モデル、
右図：関電モデルに対する増幅倍率.

・　③低速度層の深さ：２０～３０ｍ

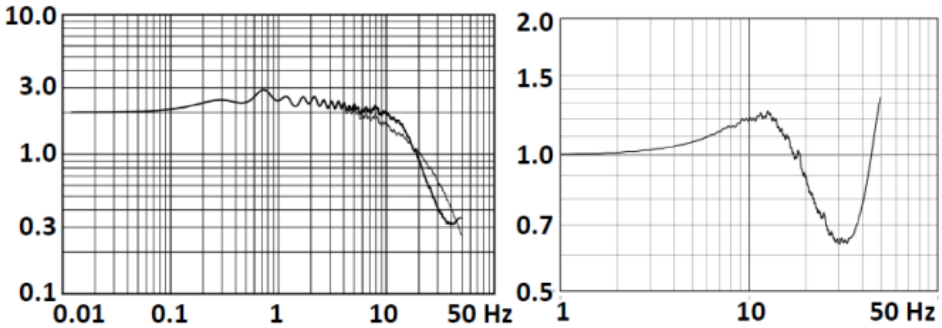

図 14.　厚さ 10m、Vs=1.6km/s の低速度層が深さ 20～30m にある場合の震動特性
左図：太線、左図の細線は関電地盤モデル、
右図：関電モデルに対する増幅倍率.

・　④低速度層の深さ：５０～６０ｍ

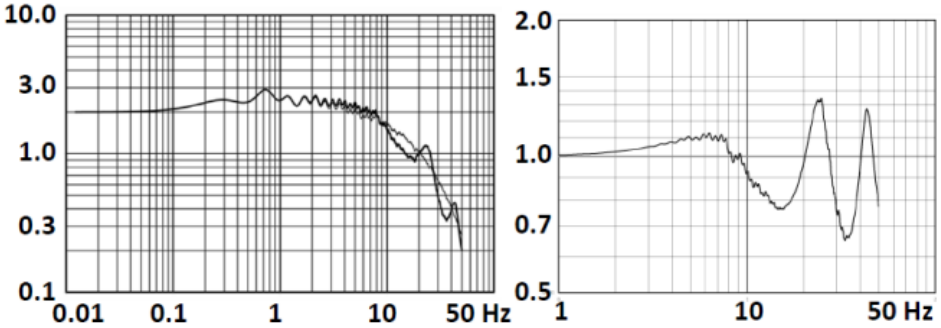

図 15.　厚さ 10m、Vs=1.6km/s の低速度層が深さ 50～60m にある場合の震動特性
左図：太線、左図の細線は関電地盤モデル、
右図：関電モデルに対する増幅倍率.

地盤の地震波増幅率は，低速度層の深さによって異なるが，１０Ｈｚ程度より高い周波数域で，関電モデルに比べ２０～５０％増加していることが分かる。

(2)　低速度層の厚さがより薄い場合の震動特性への影響

次に，被告関西電力の主張は，低速度層の厚さが薄い場合はその影響を無視できるという趣旨であるため，(1) よりも厚さを薄くして，その震動特性（地震波がどのように増幅されるか）への影響を検討する。

具体的には，速度が小さいと目されるＣＭ級について，①厚さ３ｍの層が

深さ１０～１３ｍに，②同じく２０～２３ｍに，③厚さ５ｍの層が深さ３０ｍに，それぞれある場合を想定する。

結果は次のとおりである。

・　①厚さ３ｍの層が深さ１０～１３ｍにある場合

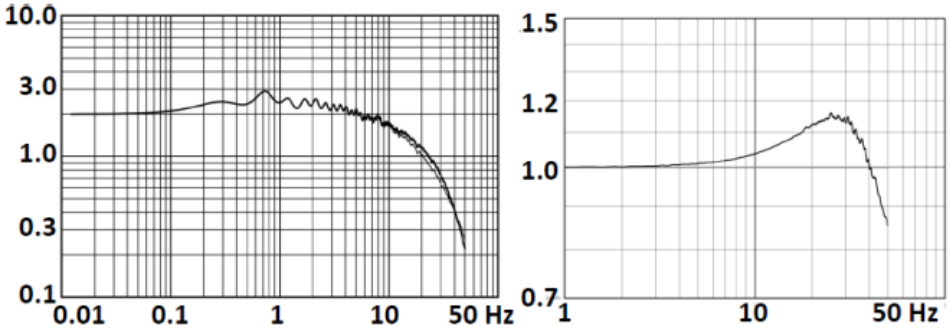

図 16. 厚さ 3m の低速度層が深さ 10～13m にある場合の震動特性（左図：太線）．
左図の細線は関電地盤モデル、右図：関電モデルに対する増幅倍率.

１８～３４Ｈｚで１１％以上，最大１５％の増加となっている。

・　②厚さ３ｍの層が深さ２０～２３ｍにある場合

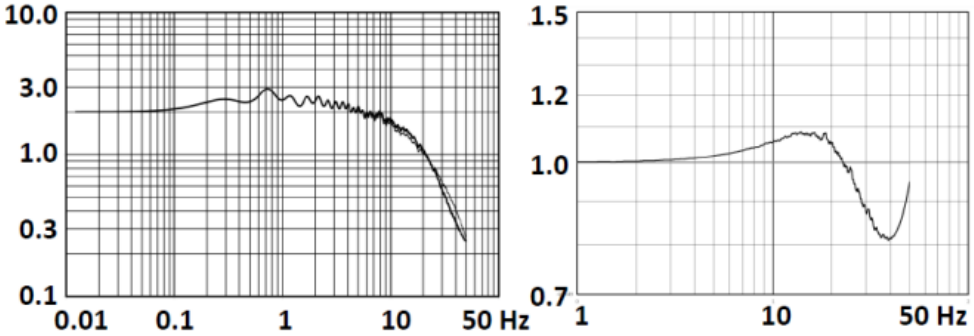

図 17. 厚さ 3m の低速度層が深さ 20～23m にある場合の震動特性（左図：太線）．
左図の細線は関電地盤モデル、右図：関電モデルに対する増幅倍率.

１０～２０Ｈｚで６％以上，最大８％の増加となっている。

・　③厚さ５ｍの層が深さ３０ｍにある場合

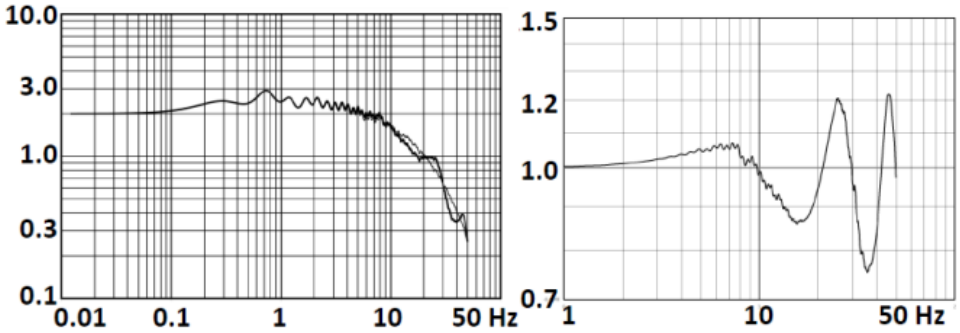

図 18.　厚さ 5m の低速度層が深さ 50～55m にある場合の震動特性（左図：太線）．
左図の細線は関電地盤モデル、右図：関電モデルに対する増幅倍率.

第１のピークでは５～８Ｈｚで５％程度，２０～３０Ｈｚと４０Ｈｚ以上の帯域で最大２０％の増加となっている。

このように，厚さの薄い低速度層であっても地盤による増幅率は１０～２０％程度の増加となっており，被告関西電力の主張するようなかたちでその影響を無視することはできない。

(3)　小括

以上のように，関電モデルを前提に低速度層の存在を想定すると，厚さ１０ｍ程度の場合は２０～５０％程度増加する結果となり，厚さ３ｍないし５ｍの場合でも最大２０％程度の増加となるのであるから，被告関西電力の主張するように低速度層の存在を震動特性に影響しないとして無視することはできない。

３　ＰＳ検層結果を適用した場合

(1) 関電モデルにＰＳ検層の実測値を適用

次に，関電モデルにＰＳ検層の結果である実測値を適用して検討する。

ＰＳ検層の分析結果は次のとおりである。全体の傾向（次図の点線）としては，Ｏ１－３孔では深さと共に増加し，Ｏ１－１１孔は殆ど一定である。また，平均値（次図の黒色の折れ線）では数m～数十m区間で深部の速度が低下している。

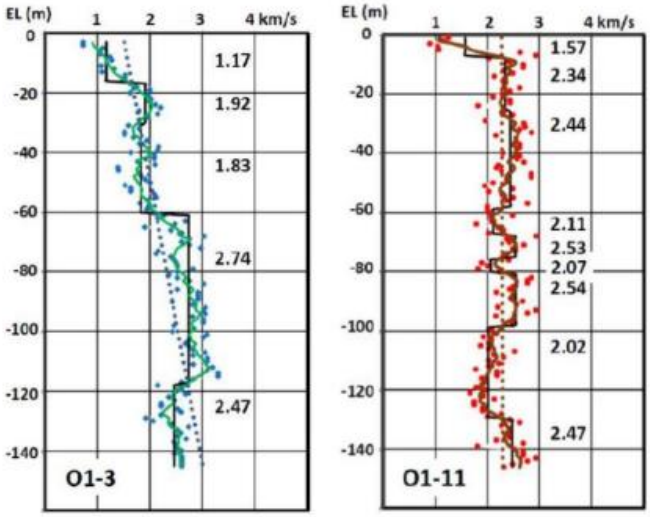

図 19. PS 検層による S 波速度分布．緑、赤の点：測定実測値で 1m 間隔．
点線：全体の傾向、黒折れ線：全体の傾向より速度の大きい（小さい）区間．

関電モデルの第１層は厚さ１８０ｍ，Ｖｓ＝２．２ｋｍ／ｓであるため，その上部約１５０ｍを，ＰＳ検層の実測値であるＳ波速度を有する厚さ１ｍの約１５０枚の速度層に置き換える。各層の減衰定数は関電モデルと同じ３％である。

結果は次のとおりである。

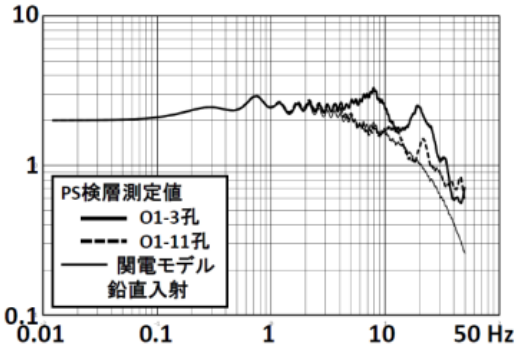

図 20. 関電地盤モデルの上部を PS 検層結果の速度層で置き換えたモデルの震動特性.

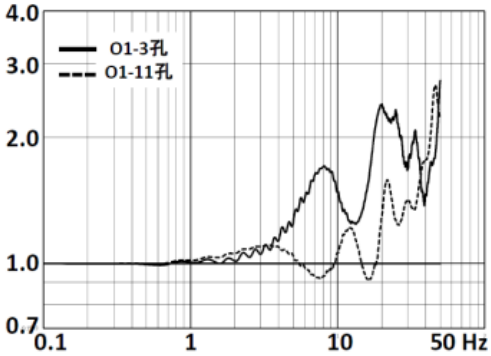

図 21. 関電地盤モデルに対する PS 検層結果モデルの増幅倍率.

(2) Ｏ１－３孔について

Ｏ１－３孔では，関電モデルに対して，８Ｈｚを中心に約１．７倍以上，２０～２５Ｈｚで２．３倍に達する増加率である。この増幅特性は，標高０～－６０ｍが低速度であることの影響と考えられる。

また，２０～２５Ｈｚのピークの周波数は，８Ｈｚのピーク周波数の３倍であるので，６０ｍ層による高次の重複反射の影響と考えられる

(3) Ｏ１－１１孔について

Ｏ１－１１孔では，３～４Ｈｚで約１．１倍，１２Ｈｚ付近で約１．２倍，さらに２０Ｈｚ以上の周波数域で１．５～２．６倍の増加率である。この増

幅特性は，標高－６０m以深の低速度区間の影響を反映したと考えられる。

(4) 小括

このように,関電モデルにＰＳ検層の実測値を当てはめて検討すると，１．７倍～２．６倍程度の増加率となるから，被告関西電力の主張するように低速度層の存在を震動特性に影響しないとして無視することはできない。

４　低速度層による増幅特性

(1) 序

基盤：２．２ｋｍ／ｓ，低速度層：１．６，１．８，２．０ｋｍ／ｓとして，そのような低速度層が表面に存在し，その厚さがそれぞれ１０ｍ，２０ｍ，６０ｍの場合の増幅の周波数特性は次のとおりである。

(2) 低速度層が表面にある場合

ア　ピークでの増幅率（重複反射の影響）

（ア）　低速度層の厚さが１０ｍの場合の増幅の周波数特性

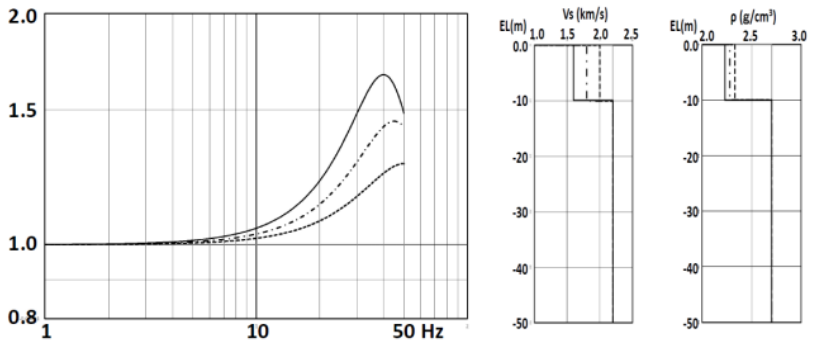

図 1. 厚さ 10m の低速度層が表面にある場合の増幅特性.　S 波速度と密度の分布.
S 波速度 実線：1.6km/s、鎖線：1.8km/s、点線：2.0km/s. (以下同様)

（イ）　低速度層の厚さが２０ｍの場合の増幅の周波数特性

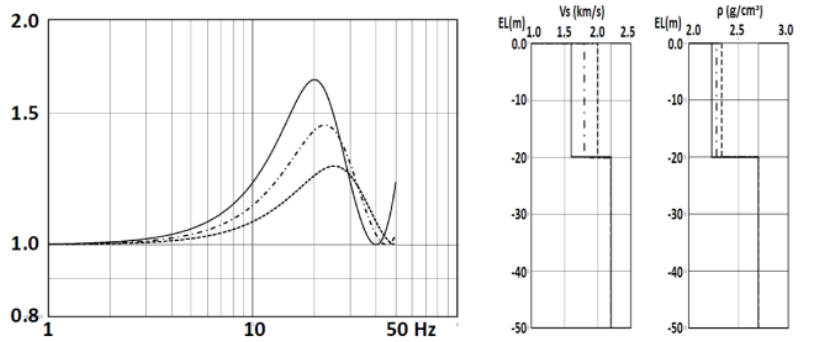

図 2. 厚さ 20m の低速度層が表面にある場合の増幅特性.　S 波速度と密度の分布.

（ウ）　低速度層の厚さが６０ｍの場合の増幅の周波数特性

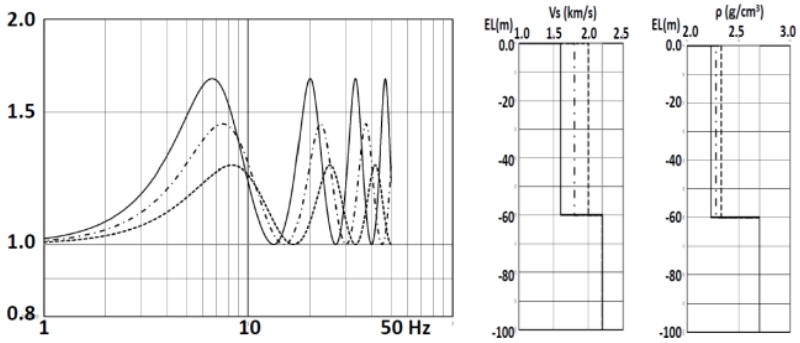

図 3．厚さ 60m の低速度層が表面にある場合の増幅特性．　S 波速度と密度の分布．

（エ）　それぞれのピークの周波数とピークにおける増幅倍率

表 1 低速度層が表面にある場合に生じるピークの周波数と増幅倍率（図 1～3）

	Vs = 1.6 km/s		Vs = 1.8 km/s		Vs = 2.0 km/s	
層の厚さ	f_peak(Hz)	倍 率	f_peak(Hz)	倍 率	f_peak(Hz)	倍 率
10 m	40.0	1.66	45.0	1.45	50.0	1.27
20 m	20.0	1.66	22.5	1.45	25.0	1.27
60 m P1	6.67	1.66	7.50	1.45	8.33	1.27
60 m P2	20.0	1.66	22.5	1.45	25.0	1.27
60 m P3	33.4	1.66	37.5	1.45	41.7	1.27
60 m P4	46.7	1.66	—	—	—	—

(P1～P4：ピークの番号)

Vs (km/s)	1.6	1.8	2.0	2.2
ρ (g/cm³)	2.23	2.28	2.33	2.7
インピーダンス	3.56	4.10	4.66	5.94

増幅のピークの周波数は，厚さ１０ｍでは４０Ｈｚ（１．６ｋｍ／ｓの場合），４５Ｈｚ（１．８ｋｍ／ｓの場合），５０Ｈｚ（２．０ｋｍ／ｓの場合）であり，厚さ２０ｍではそれぞれ２０Ｈｚ，２２．５Ｈｚ，２５Ｈｚ，厚さ６０ｍではそれぞれ６．６７Ｈｚ，７．５Ｈｚ，８．３３Ｈｚである。厚さ６０ｍの場合，重複反射により，最初のピーク（６．６７Ｈｚ）の３倍（６．６７Ｈｚ×３＝２０．０Ｈｚ），５倍（６．６７Ｈｚ×５＝３３．４Ｈｚ），７倍（６．６７Ｈｚ×７＝４６．７Ｈｚ）の周波数にもそれぞれピークが表れているように，層の厚さに固有の周波数以外にも影響が及ぶことが重要である。

ピークでの増幅倍率は，１．６６（１．６ｋｍ／ｓの場合），１．４５

（１．８ｋｍ／ｓの場合），１．２７（２．０ｋｍ／ｓの場合）であり，地表における低速度層の存在によるピークでの増幅特性が確認できる。

よって，たとえ１０m程度の厚さであろうとも，低速度層による増幅特性を考慮することが必要不可欠である。

イ　ピーク以外での増幅率（重複反射の影響）

図１（厚さ１０ｍ，Ｖｓ＝１．６ｋｍ／ｓ。４・⑵・ア・(ア)）の低速度層が表面にある場合を例にすると，周波数４０Ｈｚすなわち波長が４０ｍ（１．６ｋｍ÷４０Ｈｚ）で多重反射が生じ，振幅は６６％増加する（表１。「１．６６」倍)。この半分の３３％の増加は周波数２４．７Ｈｚ，すなわち波長が約６５ｍで生じる。また，１０％の増加は周波数１４．０Ｈｚ，波長約１１４ｍで生じる。つまり，波長が，低速度層の厚さの６．５倍で３３％，１１．４倍で１０％，それぞれ増加するということである。

このように，地表面にある低速度層は，厚さが波長の１／１０程度であっても，１０％以上の看過できない増幅作用を有するのであり，「地震波の増幅に大きな影響を与えない」などとする被告関西電力の主張には理由がない。

さらに，低速度層による増幅効果は広い周波数範囲に及ぶことも明らかである。例えば，表層２０ｍがＶｓ＝１．６ｋｍ／ｓの低速度である場合（図２。４・⑵・ア・(イ)），ピーク（２０Ｈｚ）で１．６６倍であるほか，１０～３０Ｈｚの範囲でも１．２倍を超えている。

また，「低速度層の厚さが６０ｍの場合の増幅の周波数特性」で複数のピークが発生しているように，低速度層の厚さが増加すると重複反射によって増幅ピークが多く現れてくることも明らかである。そのピークは基準地震動の評価対象である５０Ｈｚ未満に発生している。

(3) 低速度層が地中にある場合

ア　ピークでの増幅率（重複反射の影響）

（ア）　厚さ１０ｍの低速度層さが深さ１０～２０ｍにある場合の増幅の周波数特性

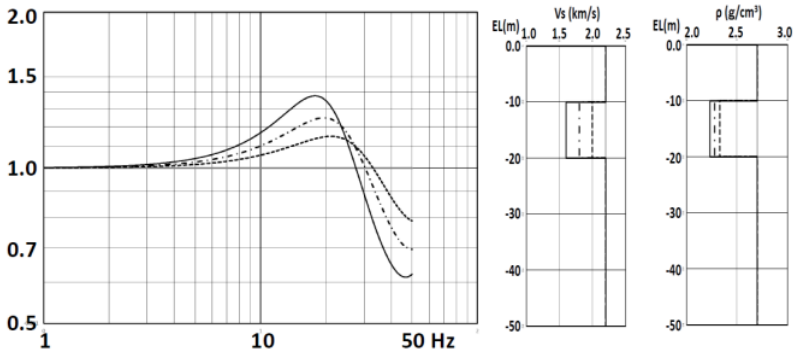

図 4. 厚さ 10m の低速度層が深さ 10～20m にある場合の増幅特性.
S 波速度と密度の分布.
S 波速度 実線：1.6km/s、鎖線：1.8km/s、点線：2.0km/s.

（イ）　厚さ１０ｍの低速度層さが深さ２０～３０ｍにある場合の増幅の周波数特性

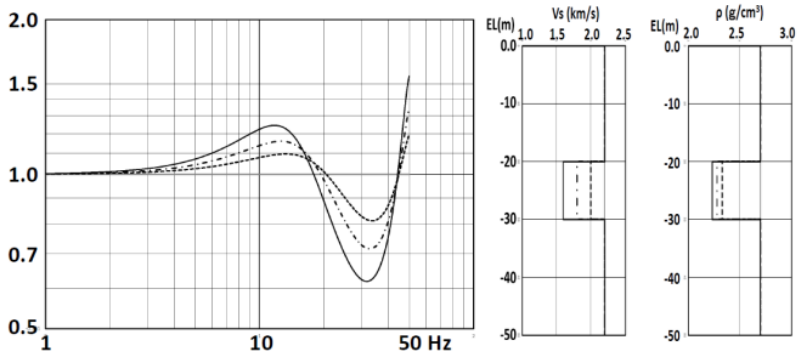

図 5. 厚さ 10m の低速度層が深さ 20～30m にある場合の増幅特性.
S 波速度と密度の分布.
S 波速度 実線：1.6km/s、鎖線：1.8km/s、点線：2.0km/s.

（ウ）　厚さ１０ｍの低速度層さが深さ５０～６０ｍにある場合の増幅の周波数特性

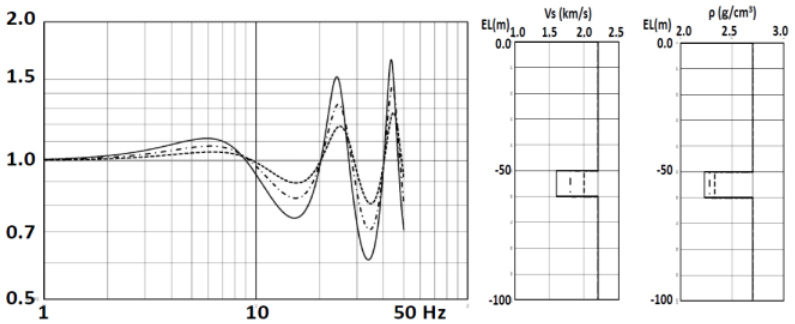

図 6.　厚さ 10m の低速度層が深さ 50～60m にある場合の増幅特性.
S 波速度　実線：1.6km/s、鎖線：1.8km/s、点線：2.0km/s.

（エ）　厚さ１０ｍの低速度層さが深さ７５～８５ｍにある場合の増幅の周波数特性

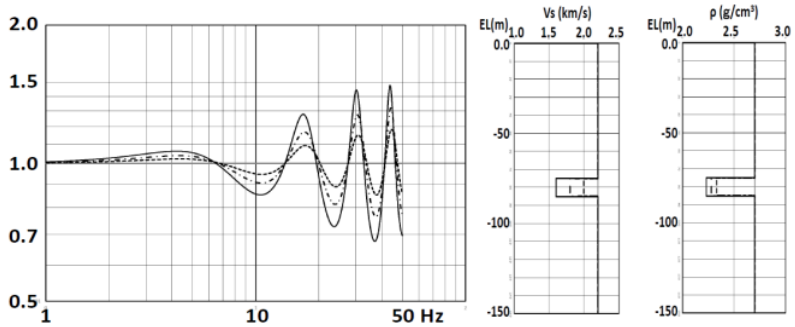

図 7.　厚さ 10m の低速度層が深さ 75～85m にある場合の増幅特性.
S 波速度　実線：1.6km/s、鎖線：1.8km/s、点線：2.0km/s.

（オ）　厚さ１０ｍの低速度層さが深さ１００～１１０ｍにある場合の増幅の周波数特性

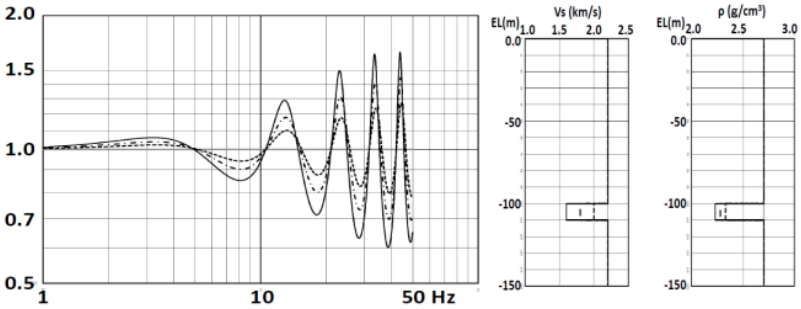

図 8.　厚さ 10m の低速度層が深さ 100～110m にある場合の増幅特性.　S 波速度　実線：1.6km/s、鎖線：1.8km/s、点線：2.0km/s.

（カ）　それぞれのピークの周波数とピークにおける増幅倍率

表 2 厚さ 10m の低速度層が地中にある場合のピークの周波数と増幅倍率

10-20m	Vs = 1.6 km/s		Vs = 1.8 km/s		Vs = 2.0 km/s	
ピーク	f_peak(Hz)	倍 率	f_peak(Hz)	倍 率	f_peak(Hz)	倍 率
1	17.8	1.38	19.5	1.25	21.1	1.15

低速度層の深さ：10～20m（図 3）

20-30m	Vs = 1.6 km/s		Vs = 1.8 km/s		Vs = 2.0 km/s	
ピーク	f_peak(Hz)	倍 率	f_peak(Hz)	倍 率	f_peak(Hz)	倍 率
1	11.7	1.25	12.6	1.16	13.3	1.10
2	(50)	1.55	(50)	1.35	(50)	1.20

低速度層の深さ：20～30m（図 4）　（）：ピークでない値.

50-60m	Vs = 1.6 km/s		Vs = 1.8 km/s		Vs = 2.0 km/s	
ピーク	f_peak(Hz)	倍 率	f_peak(Hz)	倍 率	f_peak(Hz)	倍 率
1	5.8	1.12	6.1	1.08	6.3	1.04
2	24.1	1.52	24.6	1.33	25.0	1.19
3	43.6	1.66	44.1	1.45	44.6	1.27

低速度層の深さ：50～60m（図 5）

75-85m	Vs = 1.6 km/s		Vs = 1.8 km/s		Vs = 2.0 km/s	
ピーク	f_peak(Hz)	倍 率	f_peak(Hz)	倍 率	f_peak(Hz)	倍 率
1	4.2	1.06	4.3	1.04	4.4	1.02
2	16.8	1.28	17.1	1.17	17.3	1.09
3	30.2	1.44	30.5	1.28	30.8	1.15
4	43.7	1.48	44.1	1.32	44.4	1.19

低速度層の深さ：75～85m（図 6）

100-110m	Vs = 1.6 km/s		Vs = 1.8 km/s		Vs = 2.0 km/s	
ピーク	f_peak(Hz)	倍 率	f_peak(Hz)	倍 率	f_peak(Hz)	倍 率
1	3.2	1.06	3.3	1.04	3.3	1.02
2	12.9	1.29	13.0	1.18	13.2	1.10
3	23.1	1.50	23.3	1.31	23.5	1.17
4	33.4	1.64	33.7	1.41	33.9	1.24
5	43.8	1.66	44.1	1.45	44.3	1.27

低速度層の深さ：100～110m（図 7）.

いずれも，高周波数域に向かって繰り返しピークが現れていること，かつ，高次のピークになるほど増幅が大きいことが明らかである。

イ　ピーク以外での増幅率（重複反射の影響）

低速度層が地中にある場合，低速度層内での多重反射と表面からの反射波とが干渉する。低速度の層が深くなるほどピークは低周波数に移行するところ，低速度層下面の深さとピーク周波数の波長とは比例関係にある。

増幅特性は，低速度層下面の深さが２０ｍの場合１．３８倍，３０ｍの場合１．２５倍，６０ｍの場合１．１２倍，８５ｍの場合１．０６倍，１

１０ｍの場合１．０６倍であり，第１のピークの増幅は低速度層が深くなるほど減少する。しかし，他方で，深くなるほど高次のピークが次々と現われ，それによる増幅が顕著になる。

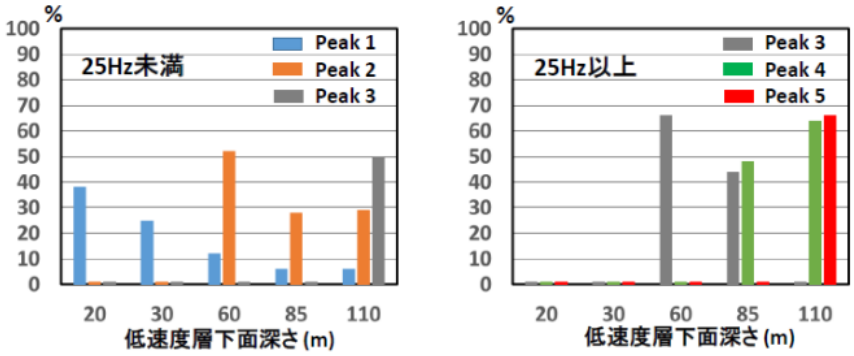

図 11．地中の低速度層による振幅増加率（表 2 の倍率の％表示）．
左図：25Hz 未満、右図：25Hz 以上．第１～５のピークを色別に示す。

上図のとおり，２５Ｈｚ未満の周波数帯域では概ね２０～５０％の増加率，２５Ｈｚ以上の帯域では概ね４０～６０％の増加率となっている。低速度層が深部にある場合，高周波域の増幅が特に大きくなるのである。

５　トモグラフィー解析結果とその震動特性への影響

被告関西電力の行った弾性波トモグラフィー解析により，不整形な地盤構造が明らかとなった（原告第８６準備書面・９頁以下）。

同Ｐ波速度断面図にＯ１－３孔と原子炉の位置を追記した次図から分かるとおり，基盤はＤ測線の概ね１５０～５５０ｍ区間で標高－２５ｍ程度以深に沈降しており，沈降域の幅は約４００ｍ以上である。基盤は３号炉付近と１，２号炉付近で，さらに深く標高－５０ｍ以深にまで沈降している。

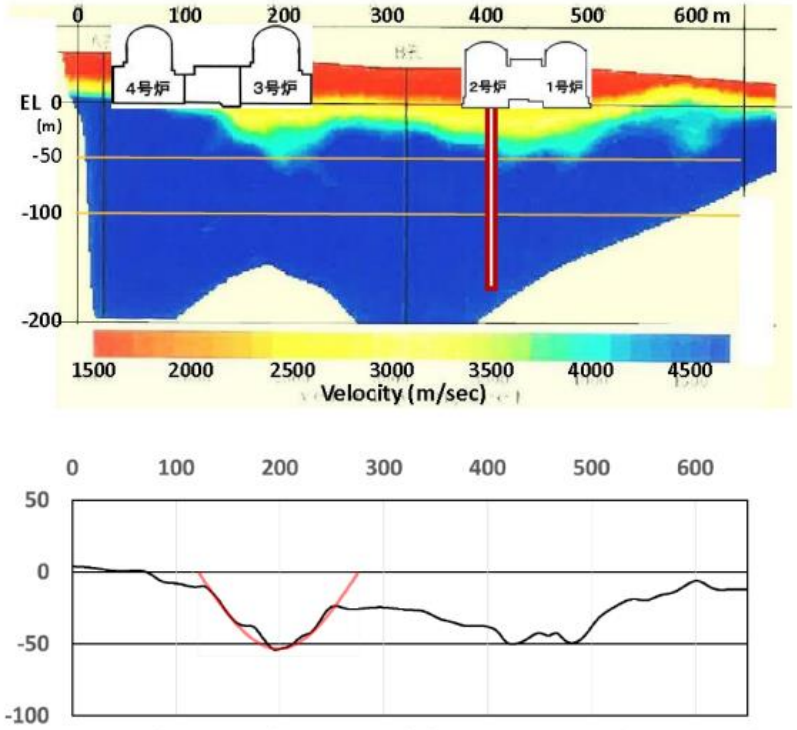

図 23.　上図　トモグラフィー解析による速度断面と O1-3 孔（400m 付近）の位置.
[8]、8 頁に加筆.

下図　黒線：基盤の沈降プロファイル
赤線：註 1 の不整形地盤モデル（model B 半余弦）

Ｏ１－３孔は２号炉付近の沈降域に掘削されている。ＰＳ検層結果（３・(1)）において，Ｏ１－３孔では，全体の傾向としては深さとともに速度が増加するものの，区間の平均値（黒色の折れ線）では数ｍ～数十ｍ区間で深部の速度が低下しているのは，沈降域のＳ波速度の不均質を表したものと考えられる。

検討の結果（甲６０２・５～６頁），こうした地盤の不整形な沈降は約６Ｈ

ｚ以上の周波数域に影響を及ぼし，１．２倍程度周波数を増幅させることが明らかとなった。この点を考慮していない基準地震動は過小評価である。

６　まとめ

大飯原発の基準地震動（０．１～５０Ｈｚの周波数域で評価される）は，速度が深さと共に単調に増加する堅硬で均質な水平成層構造を仮定した地盤モデルで計算されている。被告関西電力も存在自体は認めている，低速度層の影響は何ら考慮されていない。

しかし，低速度層は，層の厚さに固有の周波数のみならずその１／１０の低周波数においても大きな増幅特性を有する上，層の厚さが増加すれば重複反射の影響が大きくなる。こうした増幅特性は低速度層の厚さが例え１０ｍであっても無視し得ないほどのものを生ずる。

実際にも，第一に，Ｏ１－３孔について，地盤構造モデルにＰＳ検層結果を適用すると，８Ｈｚ以上の周波数域で関電地盤モデルより１．７～２．５倍もの増幅特性の存在が明らかとなる。トモグラフィー解析結果による基盤の不整形も，概ね６Ｈｚ以上の周波数の波を１．２倍程度増幅する。第二に，Ｏ１－１１孔について，地盤構造モデルにＰＳ検層結果を適用すると，１０数Ｈｚ以上の周波数域で関電地盤モデルより２．６倍を超える増幅特性の存在が明らかとなる。このように増幅となる理由は，表層部や標高－６０ｍ以深に存在する低速度層の存在によるものである。

然るに，被告関西電力はこうした低速度層による増幅特性を何ら考慮していない。そのようにして策定された基準地震動は明らかに過小評価である。

以　上