

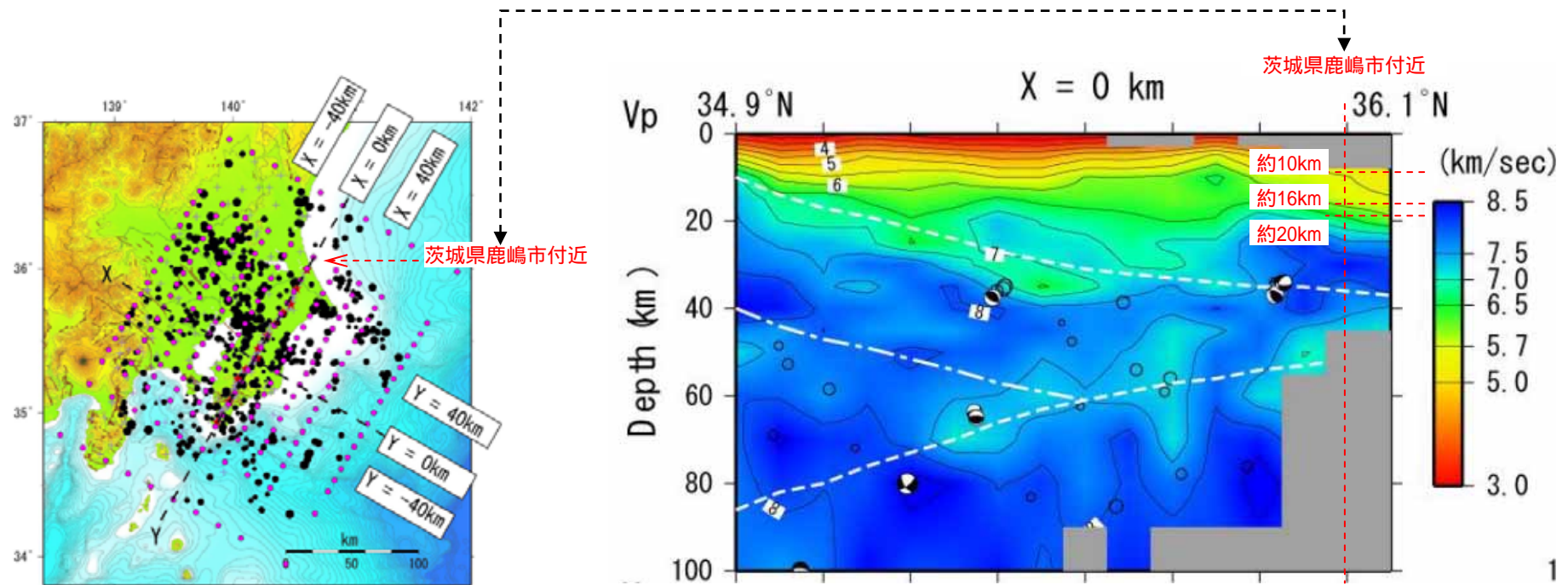
地震発生層の検討(6/11)

2) 地盤の速度構造に基づく検討

大都市大災害軽減化特別プロジェクト(2007)による深部地盤の速度構造探査

大都市大災害軽減化特別プロジェクト(2007)では、千葉県房総半島を中心とした領域において、精密震源決定法の一つである二重走時差震源決定法のアルゴリズムを利用した走時インバージョンにより、三次元の速度構造モデルを推定している。

下図によると、測線の一番北側(茨城県鹿嶋市付近)におけるP波速度 V_p と深度の関係は、 $V_p=5.5\text{km/s}$ で約10km、 $V_p=6.0\text{km/s}$ で約16km、 $V_p=6.5\text{km/s}$ で約20kmと評価されている。



大大特(2007)によるインバージョンのグリッド図及びP波速度構造断面図(一部加筆)

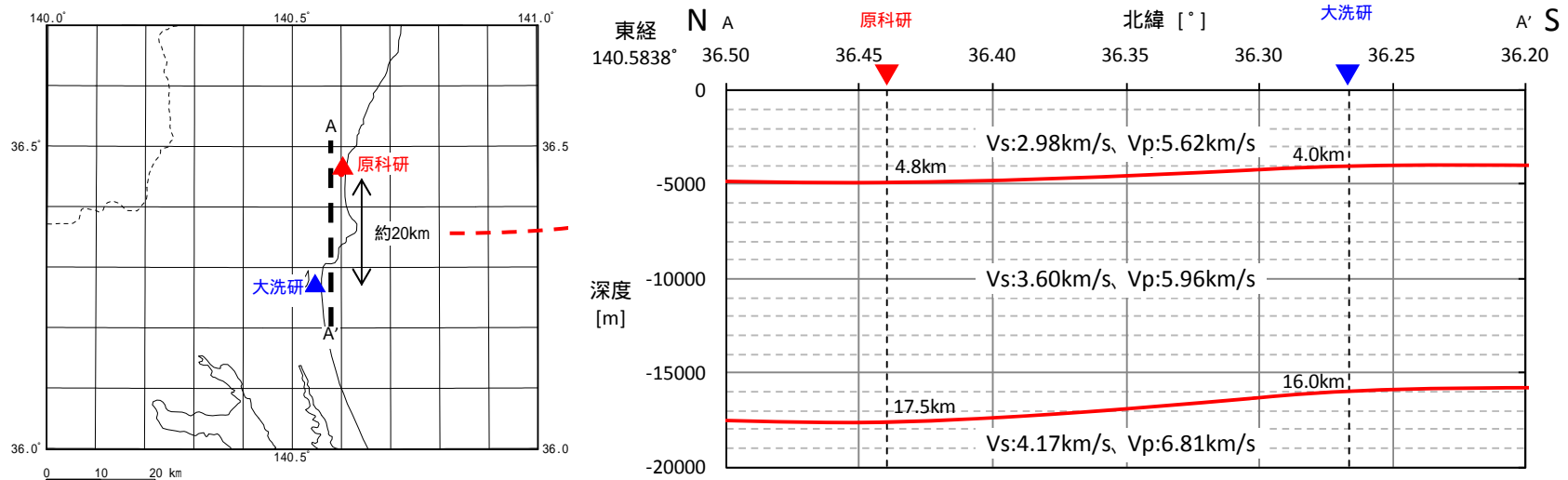
地震発生層の検討(7/11)

2) 地盤の速度構造に基づく検討

敷地周辺の物理探査による地盤の速度構造

敷地の深部地盤構造を把握するために実施した地震波速度トモグラフィ解析の結果、内陸地殻内地震の発生と相関があると考えられるP波速度6km/s相当の層が、東海地区においては4.8～17.5km程度に評価された。

また、東海地区より南に20km程度離れた位置にある大洗研究開発センターにかけてP波速度6km/s相当層が上昇し、大洗地区においては深さ4～16km程度に評価された。



東海地区及び大洗地区における深部地盤の速度構造
(左図:東海地区から大洗地区にかけての測線、右図:深部地盤の速度構造)

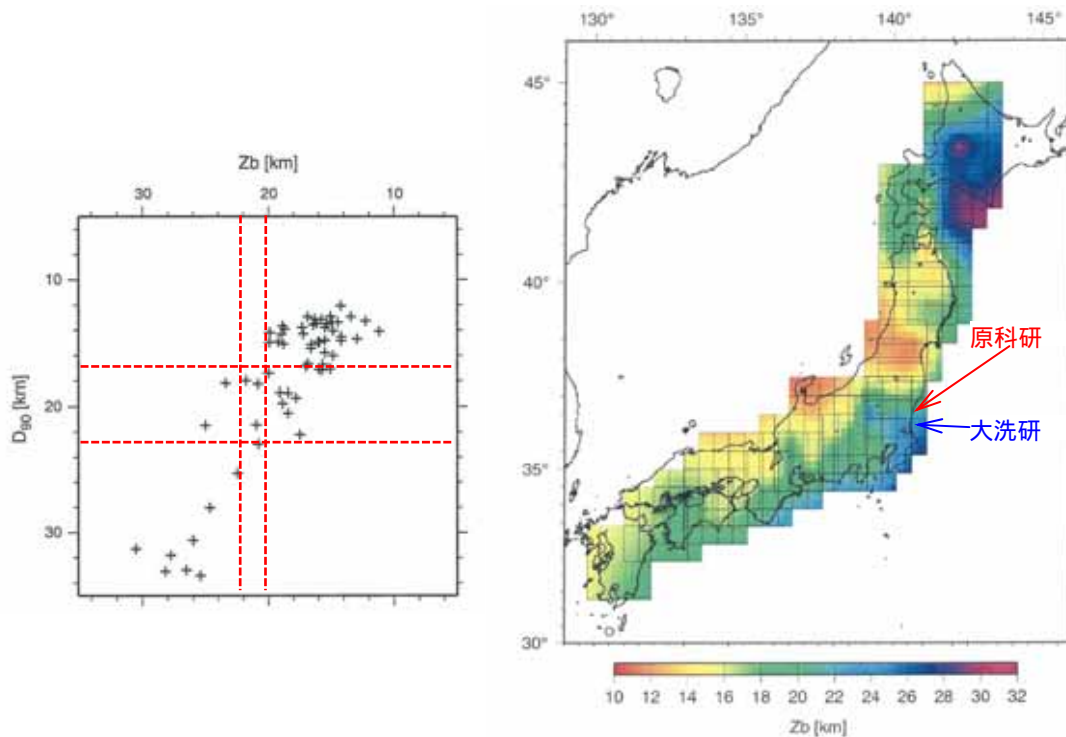
地震発生層の検討(8/11)

3) 地球物理学的な知見に基づく検討

地殻熱構造による検討

地震の発生層と地殻の熱構造には関係があるとされ、Tanaka *et al.*(2005) はD90%深度とキュリー一点深度に相当するZb深度に相関があることを示している。

大久保(1984)による敷地周辺のキュリー一点深度は約14kmであり、Tanaka *et al.*(2005)によればZb深度は20~22km程度であった。Tanaka *et al.*(2005)によるZb深度の結果を、D90%深度とZb深度との関係に照らし合わせると、D90%深度は17~23km程度となる。



Tanaka *et al.*(2005) によるD90%深度とZb深度との関係及びZb深度分布(一部加筆)



大久保(1984)によるキュリー一点深度(敷地周辺拡大、一部加筆)

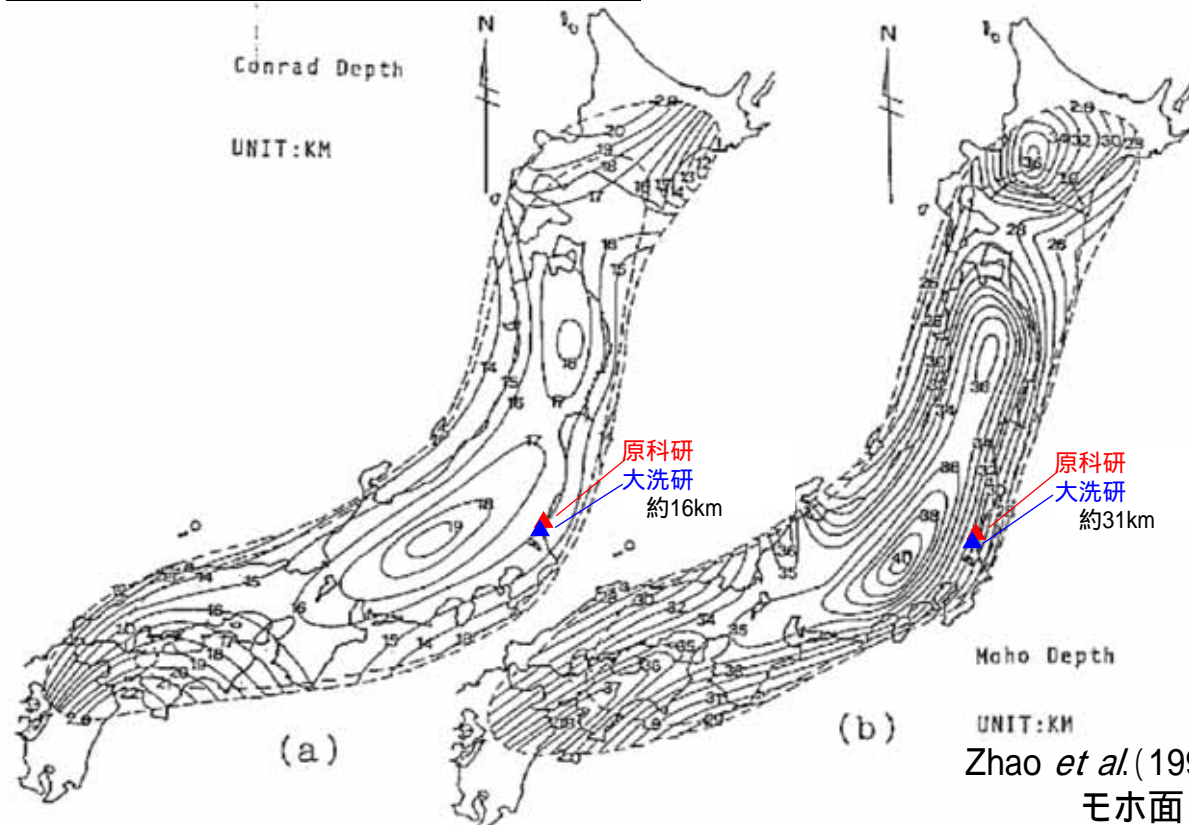
地震発生層の検討(9/11)

3) 地球物理学的な知見に基づく検討

地殻構造による検討

地球内部は大きく分けて核、マントル及び地殻から構成され、マントルと地殻の境界面をモホロビチッチ不連続面(モホ面)という。さらに、地殻においては花崗岩質層の上部地殻及び玄武岩質層の下部地殻に大別され、その境界面をコンラッド不連続面(コンラッド面)といい、内陸地殻内の地震は主にコンラッド面より上層の上部地殻内で発生するといわれている。

Zhao *et al.*(1992)によるコンラッド面とモホ面の深度分布によると、敷地周辺のコンラッド面深度は約16km、モホ面深度は31km程度である。



Zhao *et al.*(1992)によるコンラッド面(左)及びモホ面(右)の深度(一部加筆)

地震発生層の検討(10/11)

4) 敷地における地震発生層の設定

敷地周辺における地震発生層に関する情報を整理すると以下のとおりである。

	上端深さ [km]	下端深さ [km]	厚さ [km]
1) 微小地震分布に基づく検討			
原子力安全基盤機構(2004)による 福島茨城の地震発生上下限層(D10%深度及びD90%深度)	6.1	18.1	12.0
2) 地盤の速度構造に基づく検討			
海洋研究開発機構(JAMSTEC)(三浦ほか(2000))による 深部地盤の速度構造探査(Vp=5.5~6.5km/s層の深度)	約6~9	約15	約6~9
大大特(2003)による深部地盤の速度構造探査 (Vp=6km/s程度層の深度)	約5	-	-
大大特(2007)による深部地盤の速度構造探査 (Vp=5.5~6.5km/s層の深度)	約10~16	約20	約4~10
敷地周辺の物理探査による地盤の速度構造 (Vp=約6km/s層の深度)	東海地区	4.8	17.5
	大洗地区	4.0	16.0

- ・ 地震発生層の上端深さは概ね5km程度と評価される。
- ・ 地震発生層の厚さは最大で13km程度と評価される。
- ・ 大洗地区(F3~F4断層近傍)については、周辺の物理探査により地震発生層に関連する速度層の上昇が見られ、その上端深さは約4km、下端深さは16km程度である。

地震発生層の検討(11/11)

(1) 微小地震分布に基づく検討

原子力安全基盤機構(2004)による、茨城福島地域の微小地震のD10%深度及びD90%深度はそれぞれ、約6km及び18km程度と評価されている。



地震発生層の上端・下端深さ
5 ~ 18km
として評価

東海再処理施設及び東海第二発電所と同様

地震発生層の上端・下端深さ
4 ~ 16km
として評価

大洗研近傍のF3 ~ F4断層の地震動評価時

(2) 地盤の速度構造に基づく検討

文献に基づき、内陸地殻内の微小地震が発生する層は、地盤のP波速度が5.8 ~ 6.4km/s程度の層に相当すると考え、他機関による地盤の速度構造探查結果を検討した。

海洋研究開発機構(JAMSTEC)
福島県の海岸線付近におけるP波速度と深度の関係は、 $V_p=5.5\text{km/s}$ で約6km、 $V_p=6.0\text{km/s}$ で約9km、 $V_p=6.5\text{km/s}$ で約15kmと評価されている。

大都市大災害軽減化特別プロジェクト(2003)
茨城県鹿嶋市付近において、 $V_p=6\text{km/s}$ 程度の速度層が深度約5kmに評価されている。

大都市大災害軽減化特別プロジェクト(2007)
茨城県鹿嶋市付近におけるP波速度と深度の関係は、 $V_p=5.5\text{km/s}$ で約10km、 $V_p=6.0\text{km/s}$ で約16km、 $V_p=6.5\text{km/s}$ で約20kmと評価されている。

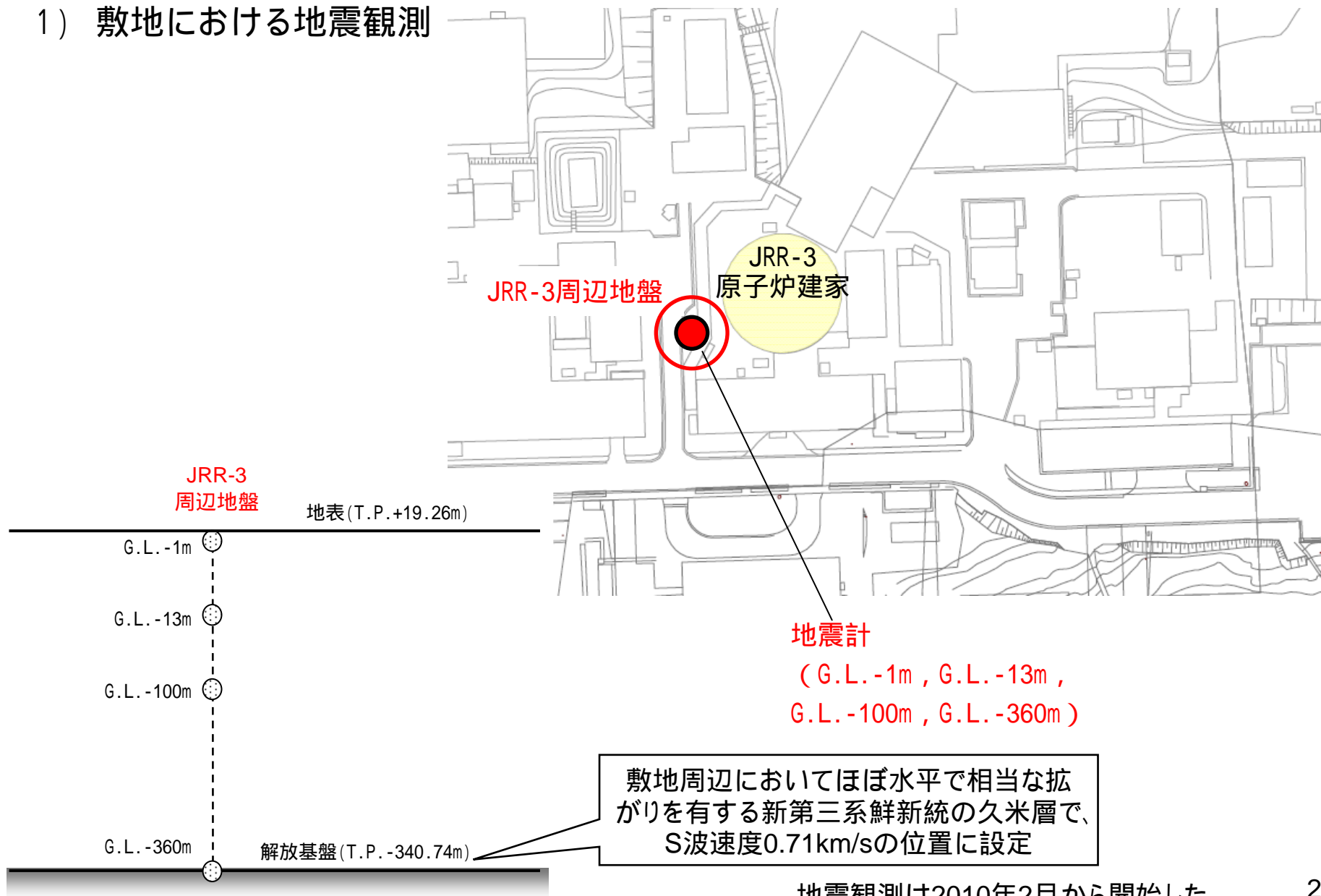
(2) 地盤の速度構造に基づく検討

敷地周辺の物理探查による地盤の速度構造
内陸地殻内地震の発生と相関が考えられるP波速度6km/s相当の層が、大洗地区においては4 ~ 16km程度の深さに評価された。

敷地におけるF3 ~ F4断層の地震動評価にあたっては、多角的な検討(断層上下端深さ5 ~ 18km及び4 ~ 16km)を実施することとする。

敷地地盤の特性(1/15)

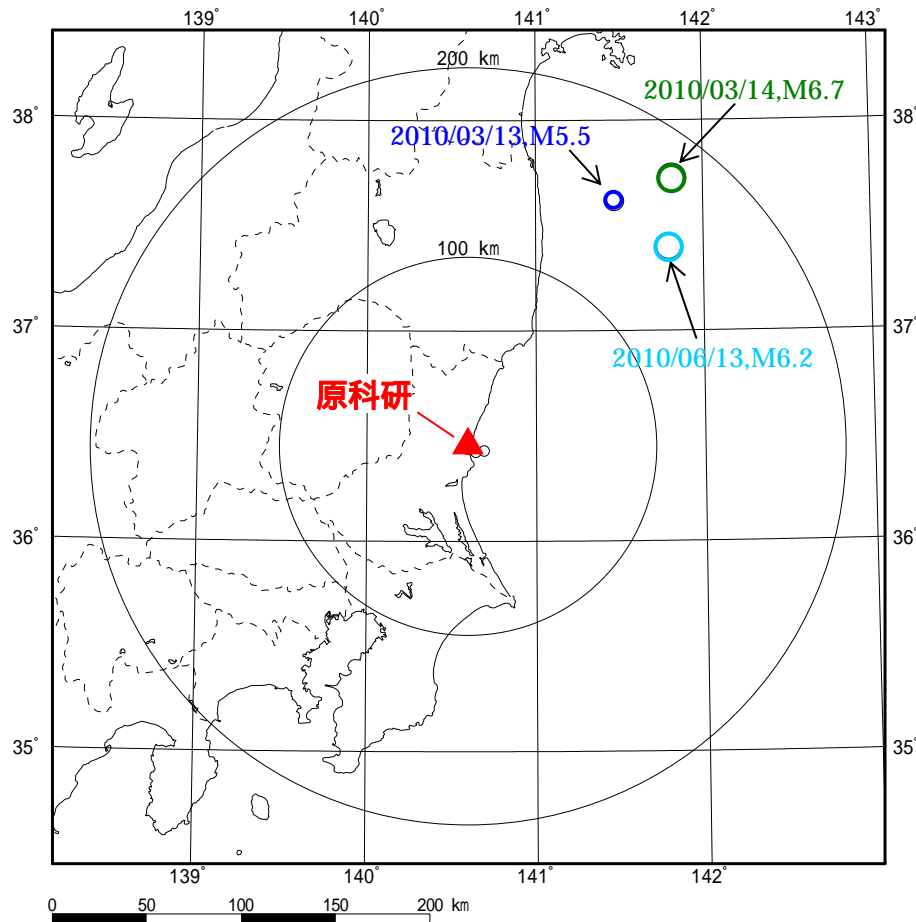
1) 敷地における地震観測



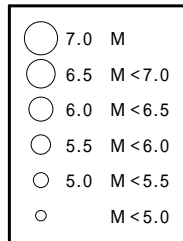
地震観測は2010年2月から開始した。

敷地地盤の特性(2/15)

1) 敷地における地震観測



- 観測地震の選定条件
- ・マグニチュード: 4以上
 - ・震央距離: 200km以内
 - ・最大加速度: 10cm/s²以上
 - ・東海地区の震度: 2以上



敷地で観測した主な地震の震央分布

2010年3月13日 21時46分
 地震の規模 M5.5
 震源深さ 77.7km
 震央距離 150.1km
 東海震度 2

2010年3月14日 17時08分
 地震の規模 M6.7
 震源深さ 39.8km
 震央距離 177.6km
 東海震度 3

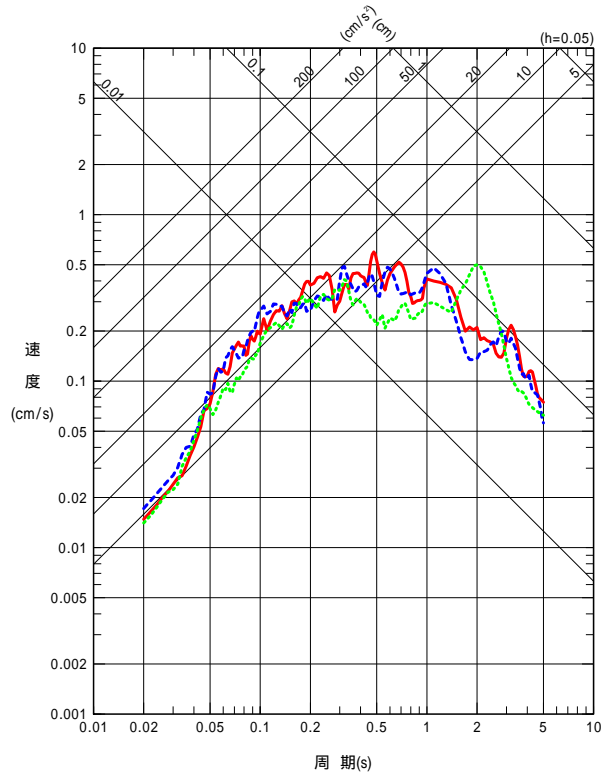
2010年6月13日 12時32分
 地震の規模 M6.2
 震源深さ 40.3km
 震央距離 149.1km
 東海震度 3

地震観測は2010年2月から開始した。

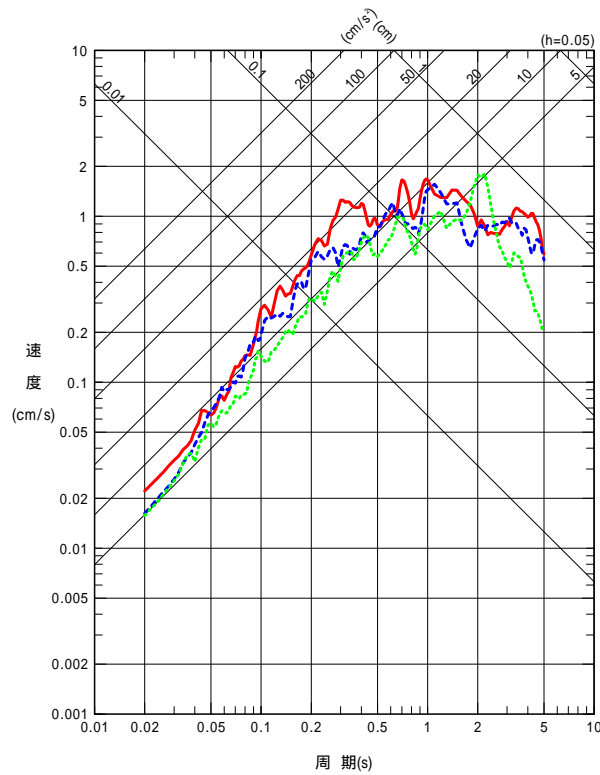
敷地地盤の特性(3/15)

1) 敷地における地震観測(観測記録毎)

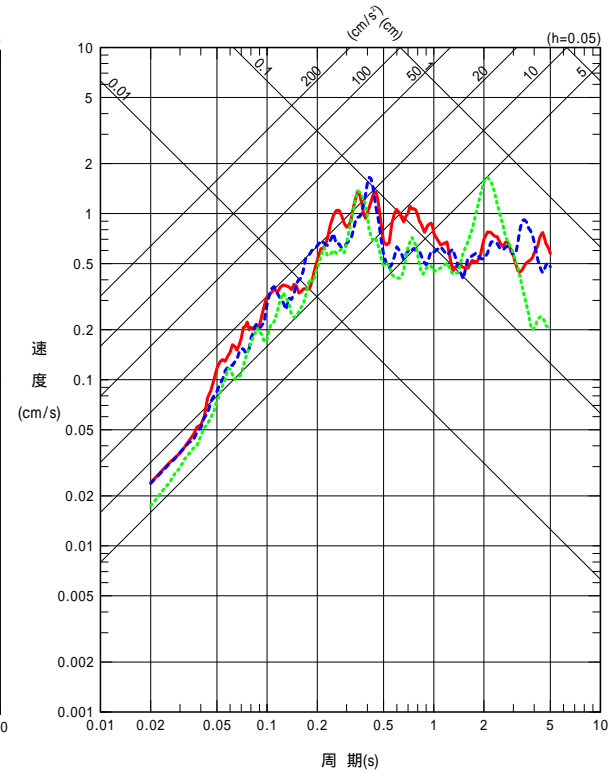
— JRR-3周辺地盤 G.L.-360m NS方向
- - - JRR-3周辺地盤 G.L.-360m EW方向
⋯ JRR-3周辺地盤 G.L.-360m UD方向



2010年3月13日 21時46分
 地震の規模 M5.5
 震源深さ 77.7km
 震央距離 150.1km
 東海震度 2



2010年3月14日 17時08分
 地震の規模 M6.7
 震源深さ 39.8km
 震央距離 177.6km
 東海震度 3



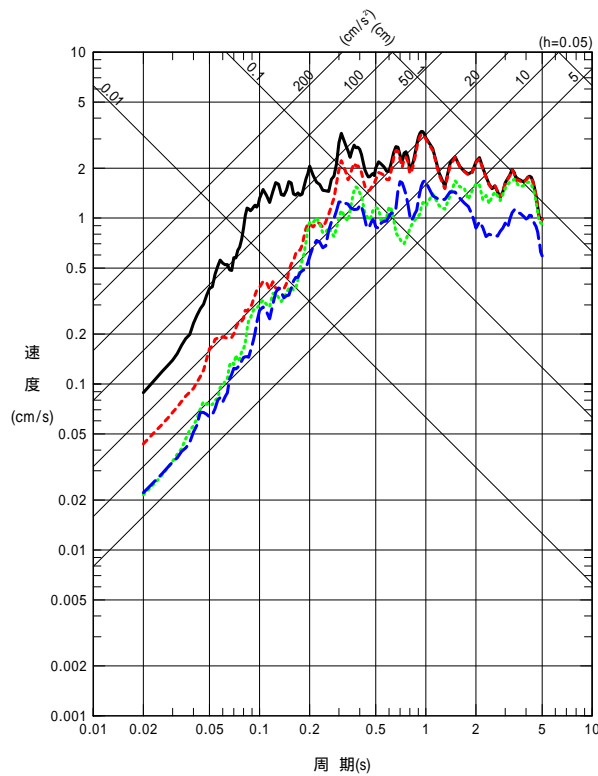
2010年6月13日 12時32分
 地震の規模 M6.2
 震源深さ 40.3km
 震央距離 149.1km
 東海震度 3

敷地地盤の特性(4/15)

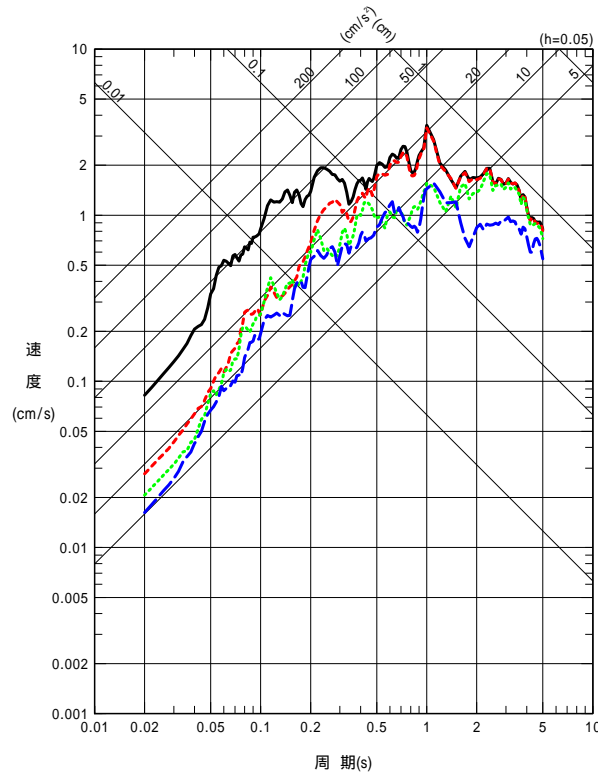
1) 敷地における地震観測(深度方向)

2010年3月14日 17時08分
 地震の規模 M6.7
 震源深さ 39.8km
 震央距離 177.6km
 東海震度 3

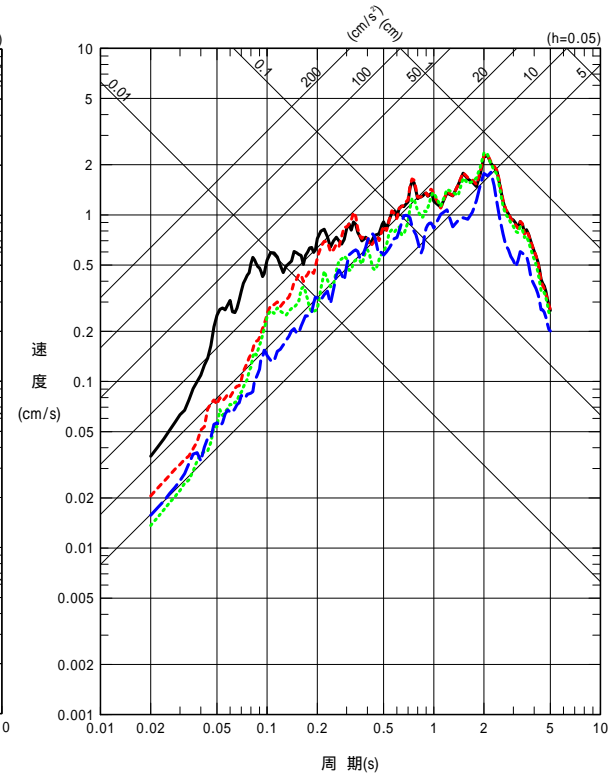
— JRR-3周辺地盤 G.L.-1m
 - - - JRR-3周辺地盤 G.L.-13m
 ····· JRR-3周辺地盤 G.L.-100m
 - - - JRR-3周辺地盤 G.L.-360m



NS成分



EW成分



UD成分

2) 地震観測記録を用いた検討

検討方針

基準地震動Ssの策定に関して、地震観測記録を用いた検討により評価される事項：

- ・応答スペクトルに基づく手法による地震動評価
- ・サイトの震動特性に係わる補正係数
- ・断層モデルを用いた手法による地震動評価
- ・経験的グリーン関数法による地震動評価における要素地震の解放基盤はぎ取り波



原科研では地震観測記録が十分ないため、現状では、上記事項が精度良く得られない。



本検討

敷地に隣接するサイクル研)との比較を行い、この結果及びサイクル研での検討結果に基づいて、原科研における地震動評価を実施する。 ➡ **原科研の補正係数スペクトルの作成**



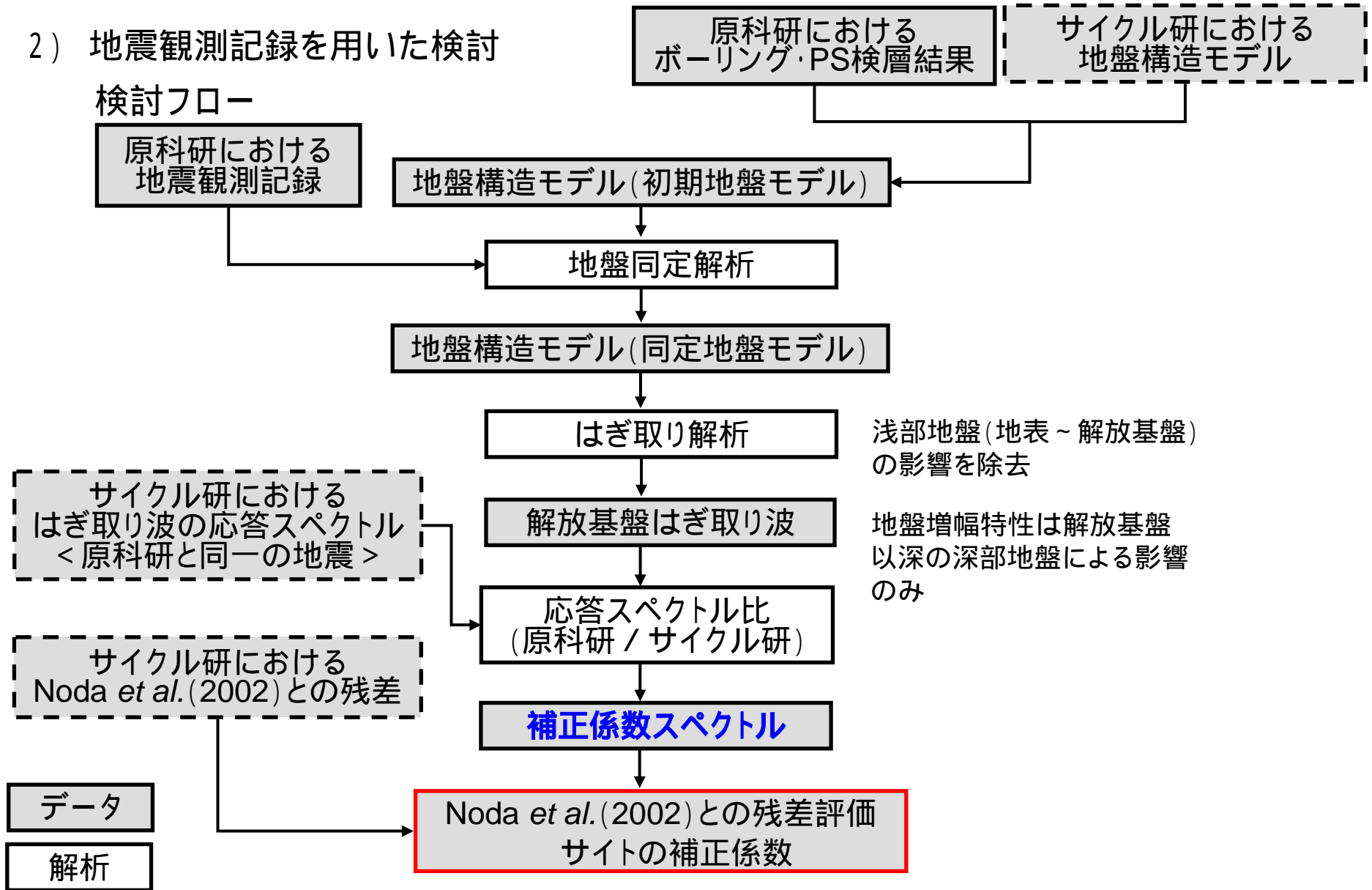
今後の検討

今後、地震観測記録の蓄積を待って、**原科研独自の検討**を行い、上記の**地震動評価結果の妥当性を検証**する。

敷地地盤の特性 (6/15)

2) 地震観測記録を用いた検討

検討フロー



敷地地盤の特性(7/15)

2) 地震観測記録を用いた検討 浅部地盤構造モデル(地表～解放基盤)

T.P. (m)	No.	密度 (g/cm ³)	S波速度 Vs(m/s)	減衰定数(S波) ¹⁾		P波速度 Vp(m/s)	減衰定数(P波) ¹⁾		地震計位置等
				h ₀			h ₀		
+19.3									
	1	1.97	181	0.218	0.861	470	0.980	1.021	← JRR-3, G.L.-1m
+18.3	2	1.97	181			470			
+13.3	3	1.92	405			1384			
+10.3	4	1.77	521			1856			
+7.3	5	1.82	492			1659			
+6.3	6	1.82	492			1659			
-10.7	7	1.73	549			2032			
	8	1.73	561	0.044	1.106	1823	0.190	1.195	← JRR-3, G.L.-100m
-190.7	9	1.75	598			1680			
-260.7	10	1.78	680			2033			
-340.7	11	1.86	710			2040			← 解放基盤位置 JRR-3, G.L.-360m

1) 減衰定数: $h = h_0 \times f^{-1}$ f は周波数(Hz)

敷地地盤の特性 (8/15)

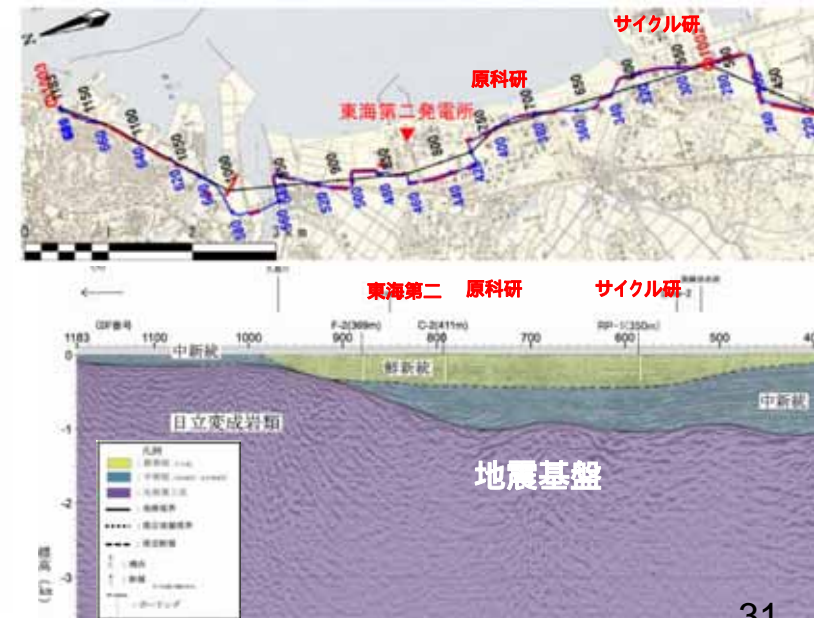
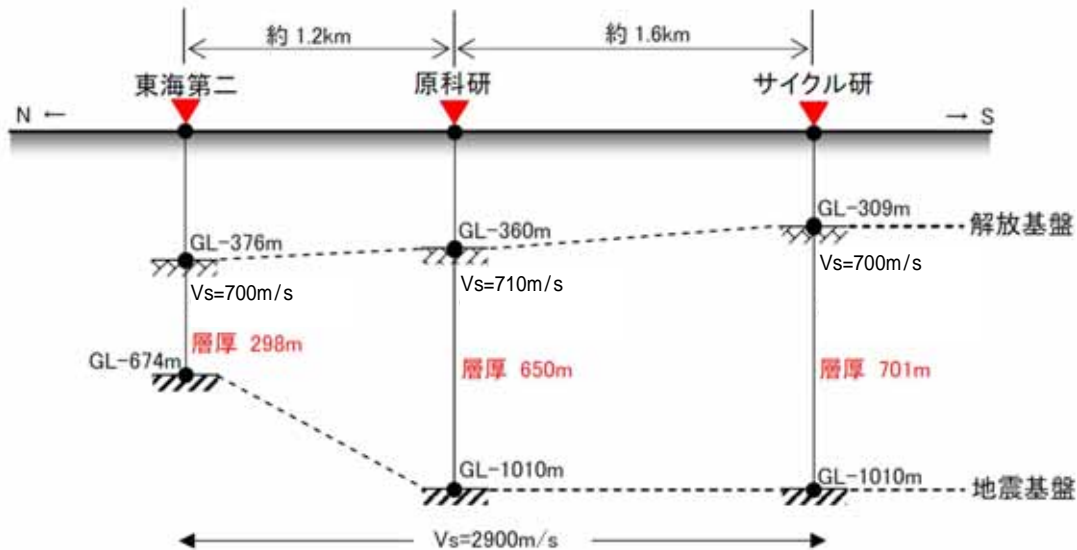
2) 地震観測記録を用いた検討 深部地盤構造モデル (解放基盤以深)

原科研の深部地盤構造は、
サイクル研と同様

- ・速度構造: 解放基盤層以外は同一
- ・Q値 : 同一

T.P. (km)	No.	密度 (g/cm ³)	S波速度 Vs (km/s)	減衰定数 (S波) ¹⁾		P波速度 Vp (km/s)	減衰定数 (P波) ¹⁾		速度の設定根拠等
				Qs	hs		Qp	hp	
-0.341	1	1.86	0.710	100	0.005	2.040	100	0.005	PS検層結果
-0.628	2	2.11	1.200			2.610			
-0.955	3	2.24	1.500			3.100			
-0.964	4	2.42	2.000			3.950			
-0.978	5	2.57	2.500			4.800			
-0.991	6	2.66	2.900	110 × f ^{0.69}	0.0045 × f ^{-0.69}	5.490	110 × f ^{0.69}	0.0045 × f ^{-0.69}	地震基盤位置
-4.781	7	2.70	3.600			5.960			
-17.421	8	2.80	4.170			6.810			
-31.981	9	3.20	4.320			7.640			地震波速度 トモグラフィ解析結果

1) 減衰定数: $Q = Q_0 \times f$ 、 $h = h_0 \times f^{-1}$ 、 f は周波数 (Hz)



反射法探査結果

敷地地盤の特性 (9/15)

2) 地震観測記録を用いた検討

深部地盤構造モデルによる理論伝達関数

・鉛直SH波入射による解放基盤～地震基盤の理論伝達関数は、原科研とサイクル研でほぼ同等

▶ 地震動の構成式に基づき、**原科研の解放基盤はぎ取り波はサイクル研とほぼ同等と推定**される。

【地震動に影響を及ぼす要因】

$$O(f) = S(f)P(f)G(f)$$

O(f): 解放基盤はぎ取り波

S(f): 震源特性

P(f): 伝播経路特性

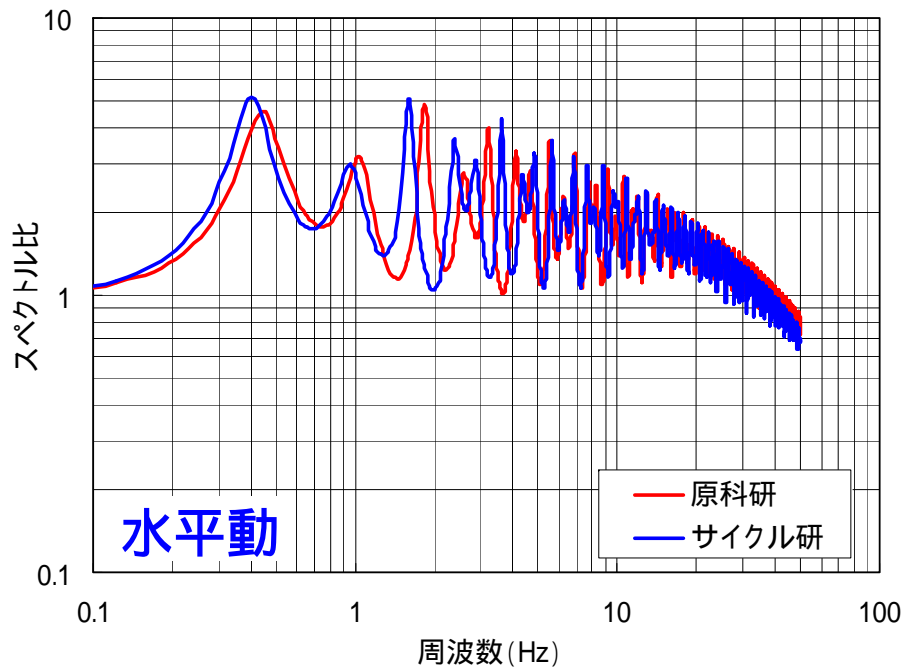
G(f): サイトの地盤増幅特性

同一地震の場合、同じ

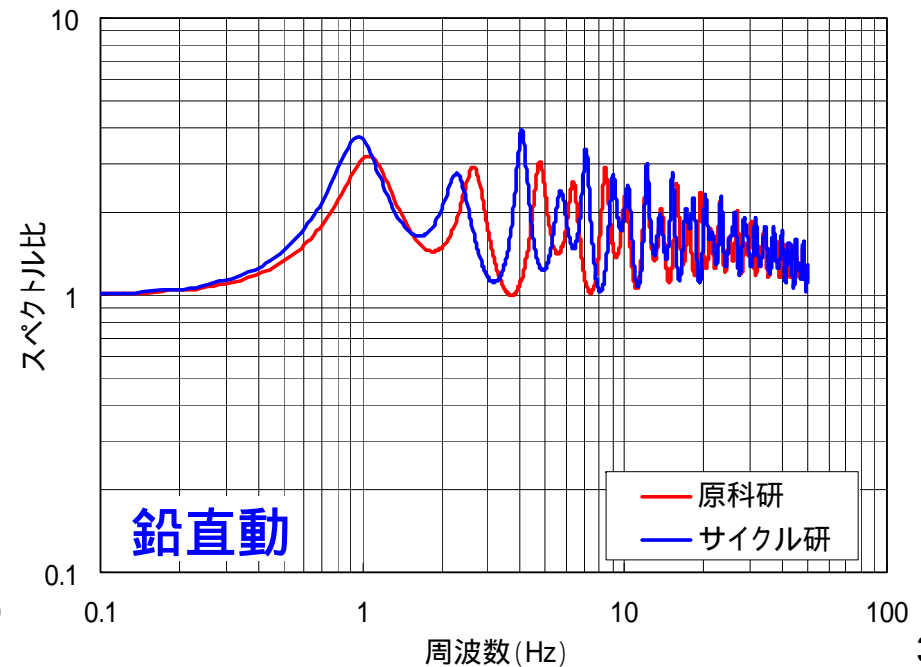
通常、原科研とサイクル研はほぼ同じ

下図より、ほぼ同等

理論伝達関数: 解放基盤(2E) / 地震基盤(2Eb)



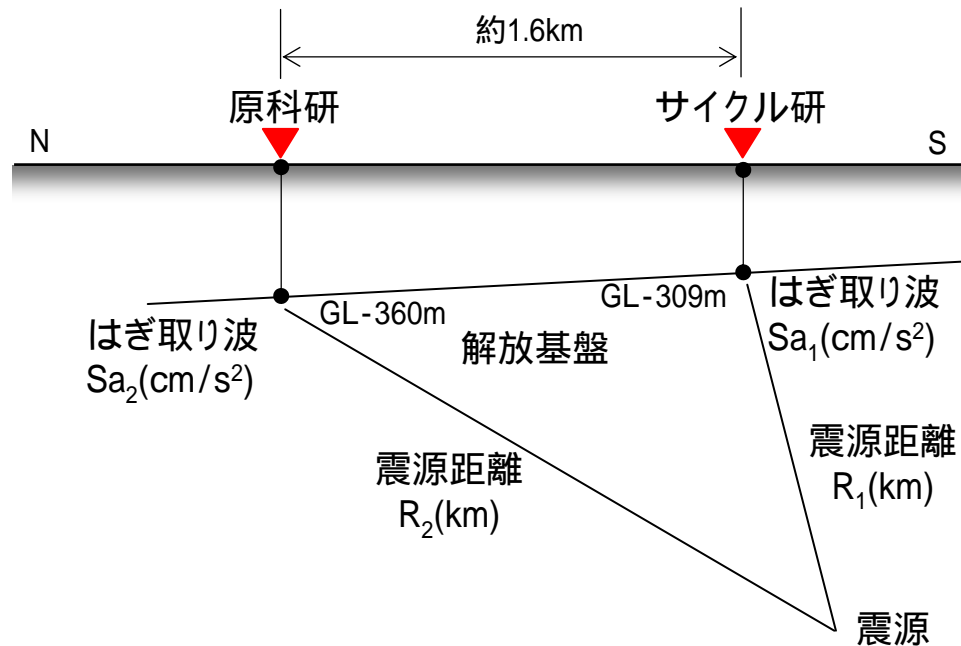
理論伝達関数: 解放基盤(2E) / 地震基盤(2Eb)



敷地地盤の特性 (10/15)

2) 地震観測記録を用いた検討

補正係数スペクトルの算出・・・原科研・サイクル研の同時観測記録



原科研とサイクル研は隣接しており、同一地震の観測記録を分析することで、地震動の震源特性及び伝播経路特性の影響を除去し、原科研サイトの地盤震動特性を評価することができる。

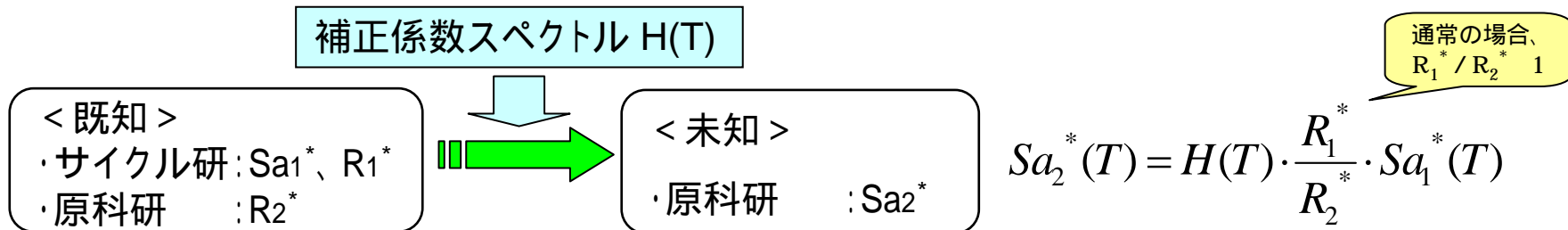
補正係数スペクトル:

$$H(T) = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{Sa_2(T)}{Sa_1(T)}$$

通常の場合、 $R_2/R_1 = 1$

ここに、 $Sa(T)$: 固有周期T(s)の加速度応答スペクトル(減衰5%)

補正係数スペクトルの適用・・・サイクル研のみで観測された2009年以前の地震



敷地地盤の特性 (11/15)

2) 地震観測記録を用いた検討 補正係数スペクトルの評価

【解放基盤はぎ取り波の算出】

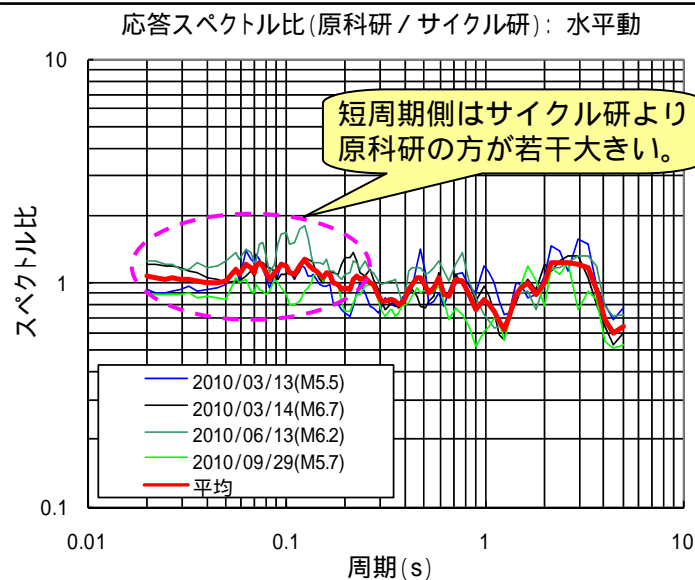
- ・原科研: 観測記録(G.L.-100m及び-360m; E+F) はぎ取り波(G.L.-360m; 2E)
- ・サイクル研: 観測記録(G.L.-100m; E+F) はぎ取り波(G.L.-309m ; 2E)

2010年2月以降、原科研及びサイクル研とともに観測された地震記録を用いて、解放基盤はぎ取り波による応答スペクトル比(原科研 / サイクル研)を求め、補正係数スペクトルを評価した。

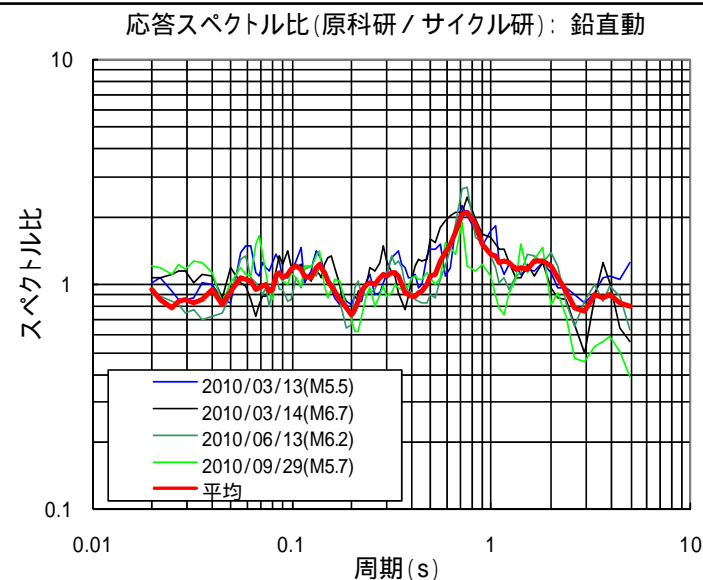
< 算出結果 >

- ・応答スペクトル比の地震によるばらつきは小さい。
- ・平均の応答スペクトル比は周期により変動するが、変動幅は0.6 ~ 2.0程度である。

➡ [平均の応答スペクトル比 = 補正係数スペクトル] とする。



水平成分 ($=\sqrt{NS^2 + EW^2}$)

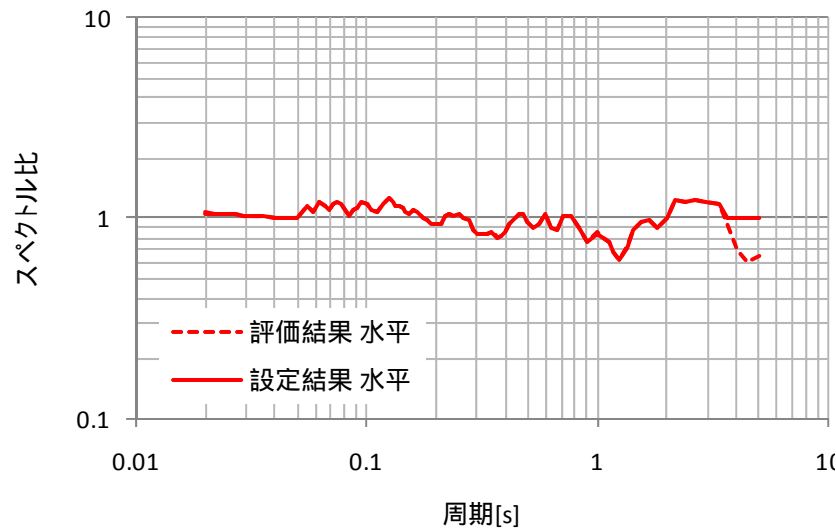


鉛直成分 (=UD)

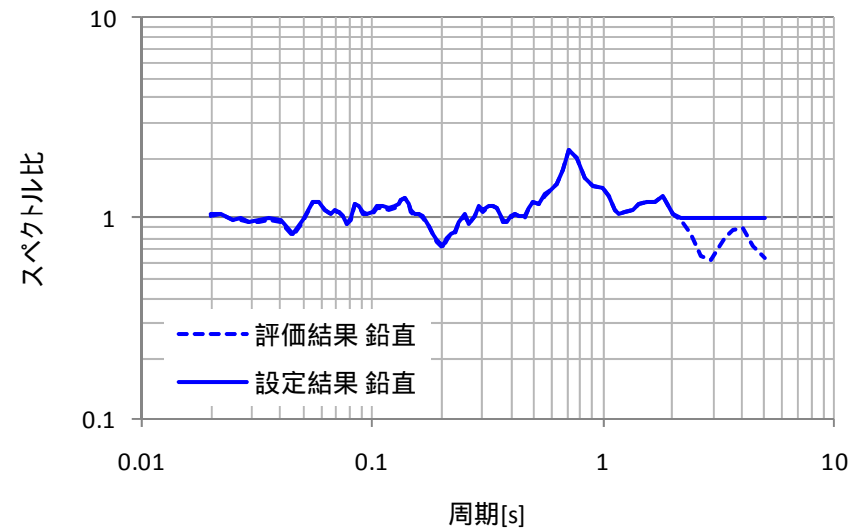
敷地地盤の特性 (12/15)

2) 地震観測記録を用いた検討 補正係数スペクトルの設定

評価した原科研 / サイクル研の応答スペクトル比について、長周期領域においては理論的には1に近づくと考えられるため、周期2秒程度以降の長周期領域における補正係数スペクトルについては保守的に1を下回らないように設定する。



水平成分



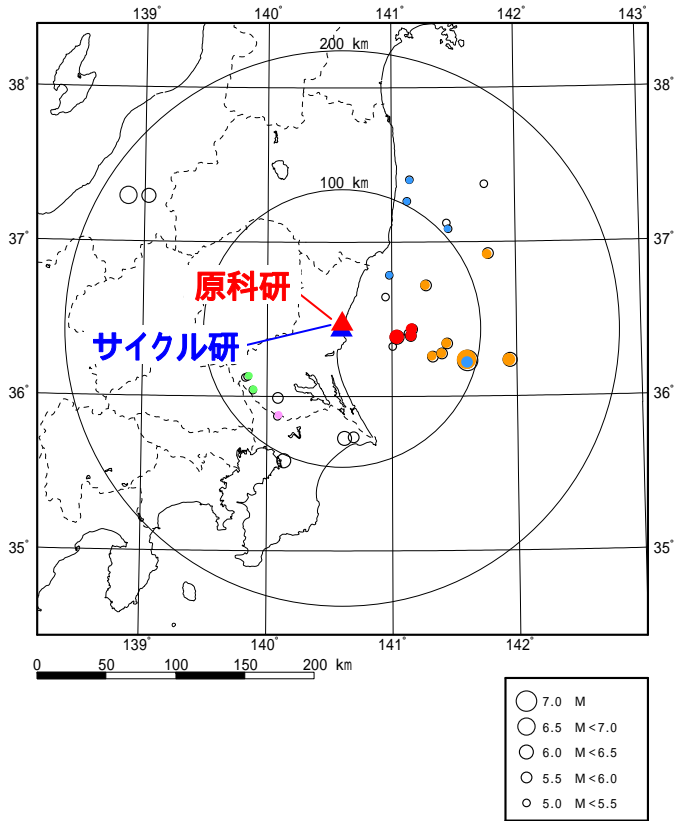
鉛直成分

敷地地盤の特性 (13/15)

2) 地震観測記録を用いた検討

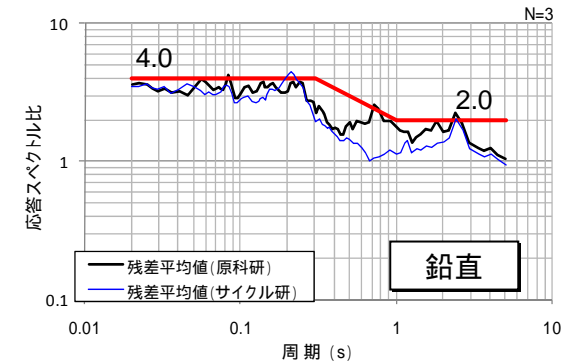
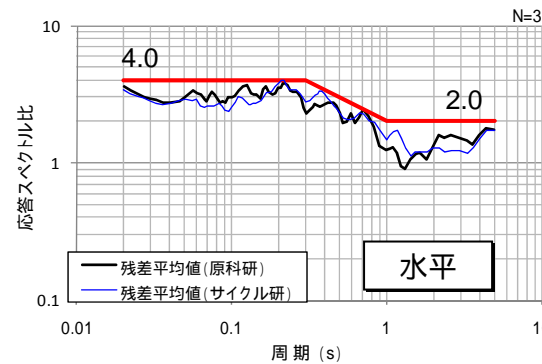
【原科研の残差平均値の算出方法】

- ・個々の地震に対して、補正係数スペクトルを乗じて原科研のはぎ取り波の応答スペクトルを算出
- ・原科研の等価震源距離を求めて残差を算出、その後平均値を算出

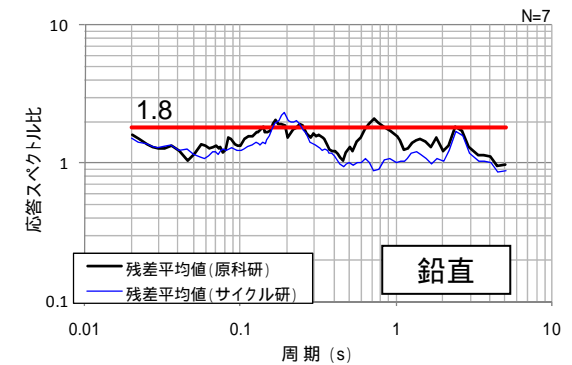
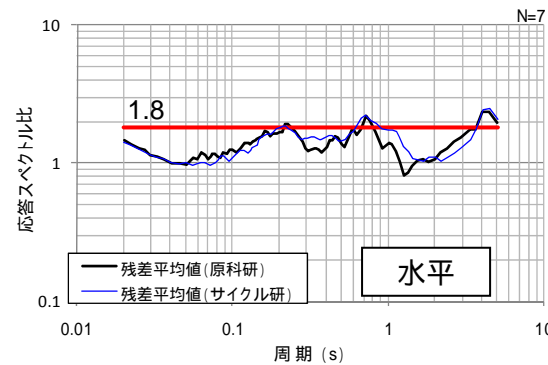


サイクル研で観測された主な地震の震央分布
(補正係数評価に用いた地震を着色)

プレート間地震(鹿島灘のプレート間地震)



プレート間地震(鹿島灘を除くプレート間地震)



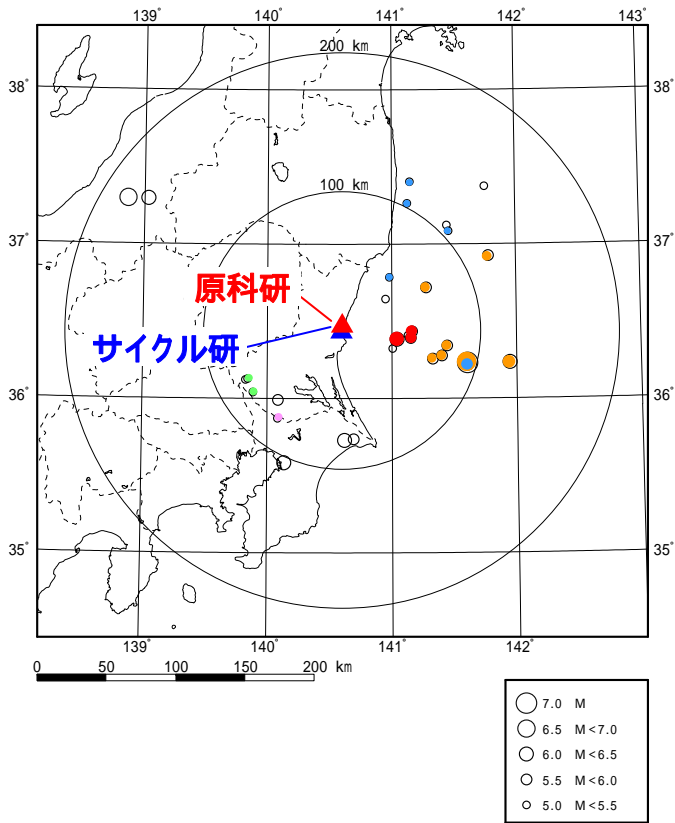
先の補正係数スペクトルを考慮した原科研の残差平均値とサイクル研の残差平均値の重ね描き

- Noda et al. (2002) との残差
- サイクル研における Noda et al. (2002) との残差 (平均)
- 応答スペクトルに基づく手法に適用する際の補正係数

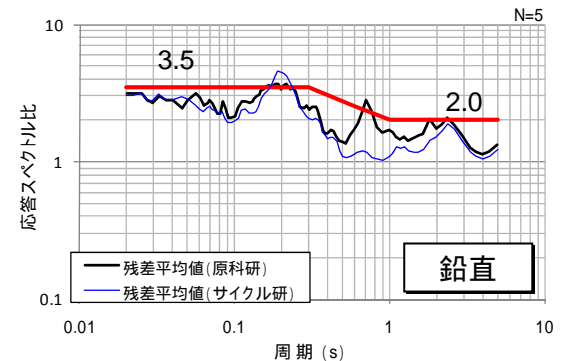
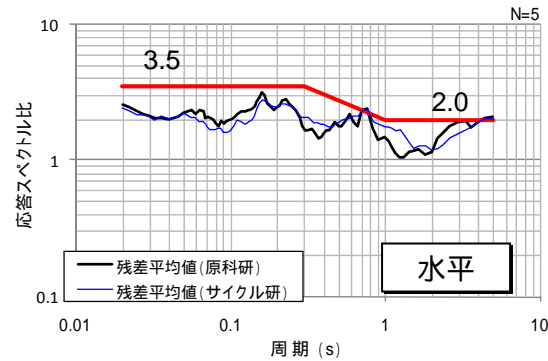
敷地地盤の特性 (14/15)

2) 地震観測記録を用いた検討

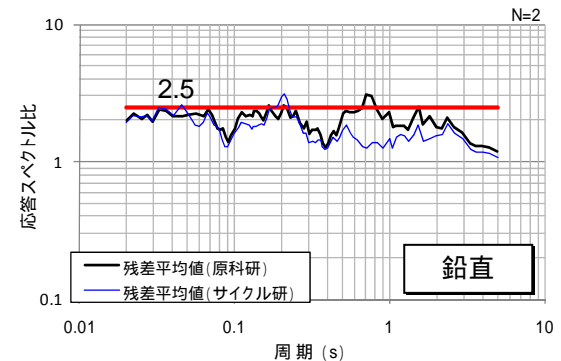
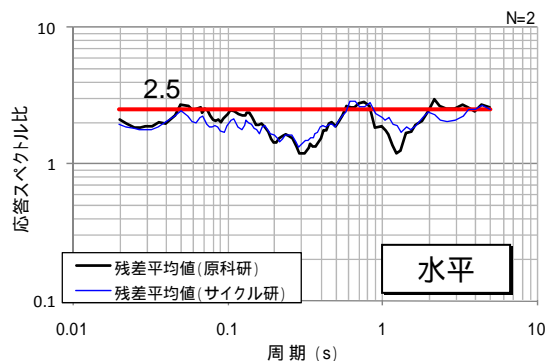
沈み込んだ太平洋プレート内の地震



サイクル研で観測された主な地震の震央分布
(補正係数評価に用いた地震を着色)



フィリピン海プレートと陸のプレートの境界の地震



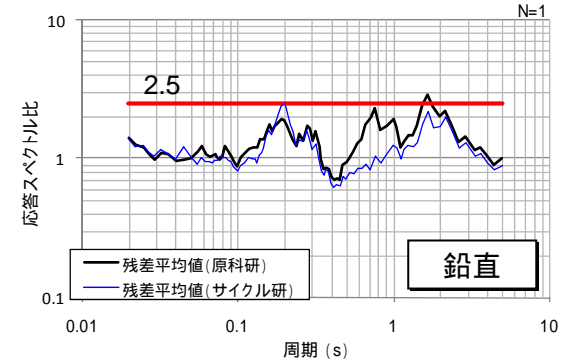
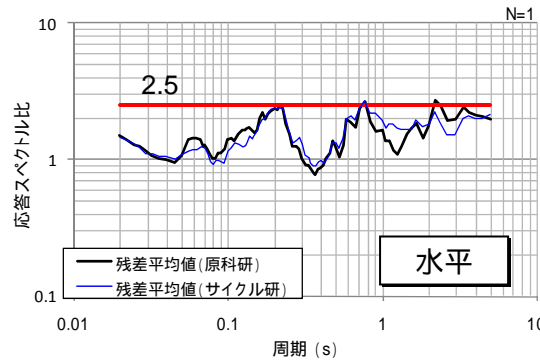
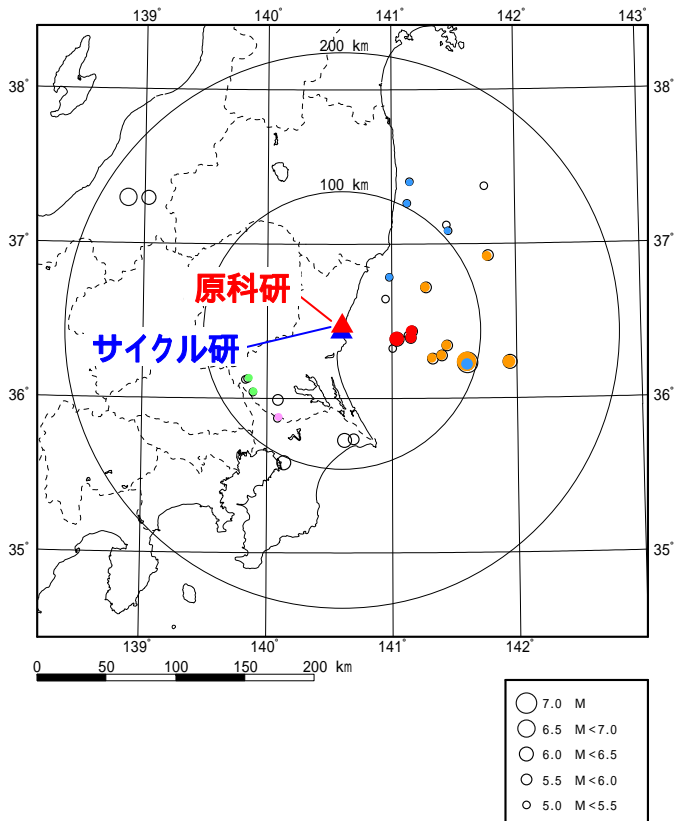
先の補正係数スペクトルを考慮した原科研の残差平均値とサイクル研の残差平均値の重ね描き

- Noda et al. (2002) との残差
- サイクル研における Noda et al. (2002) との残差 (平均)
- 応答スペクトルに基づく手法に適用する際の補正係数

敷地地盤の特性 (15/15)

2) 地震観測記録を用いた検討

沈み込んだフィリピン海プレート内の地震



内陸地殻内の地震

敷地において適切な観測記録が得られておらず、「Noda *et al.* (2002) の方法における内陸地殻内地震の補正係数」の適用性を検討することができないので、補正係数は用いない。

サイクル研で観測された主な地震の震央分布
(補正係数評価に用いた地震を着色)

先の補正係数スペクトルを考慮した原科研の残差平均値とサイクル研の残差平均値の重ね描き

- Noda *et al.* (2002) との残差
- サイクル研における Noda *et al.* (2002) との残差 (平均)
- 応答スペクトルに基づく手法に適用する際の補正係数

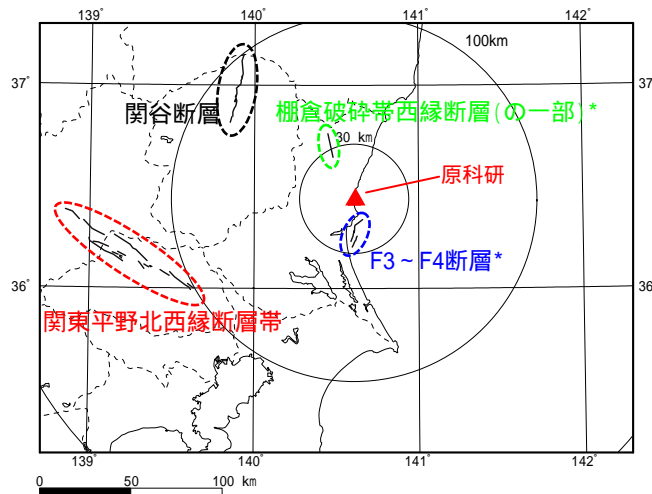
検討用地震の選定(1/4)

1) 内陸地殻内地震

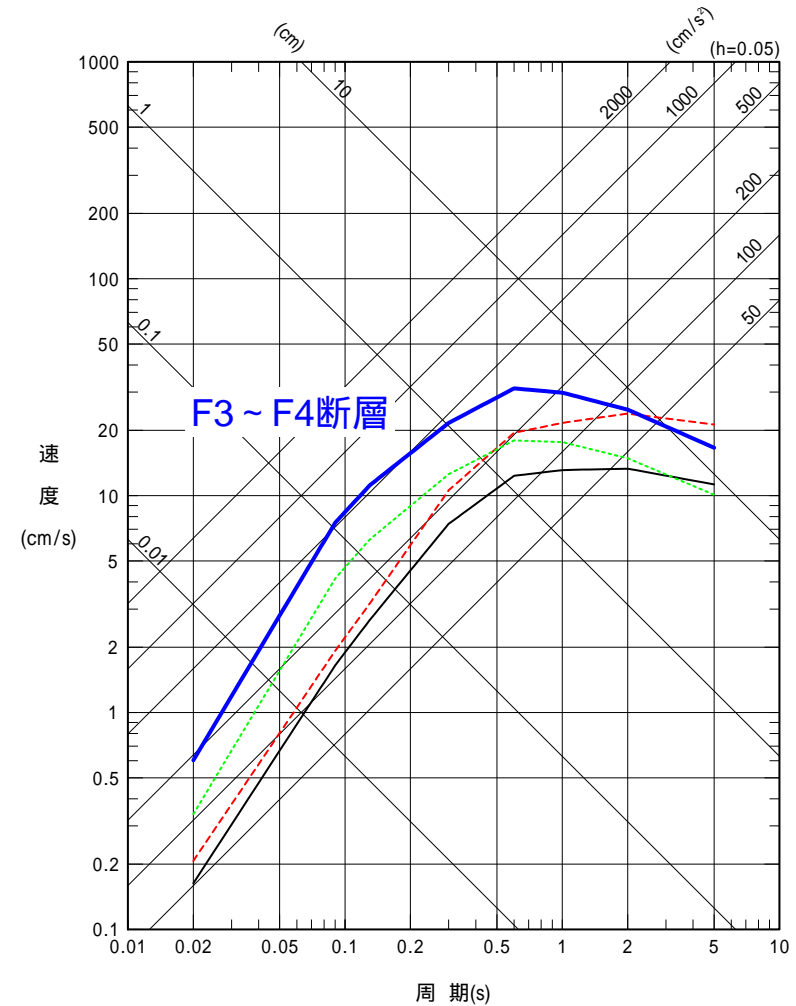
番号	断層名	断層長さ (km)	マグニチュード M**	等価震源距離 (km)
1	関谷断層	40	7.5	95
2	関東平野北西縁断層帯	82	8.0	130
3	棚倉破碎帯西縁断層 (の一部)*	16	6.8	32
4	F3~F4断層*	16	6.8	20

* 地質学的に最終活動時期を評価するための地層が上載しないことから、後期更新世以降の活動性が否定できない断層

** マグニチュードの算定は、松田(1975)に基づく。



対象震源位置

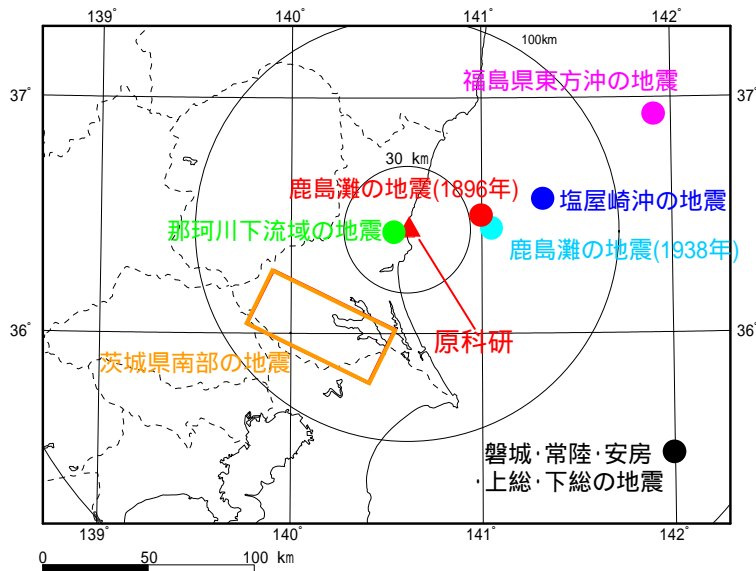


内陸地殻内地震の地震動の応答スペクトル【水平】
(Noda et al.(2002)の手法)

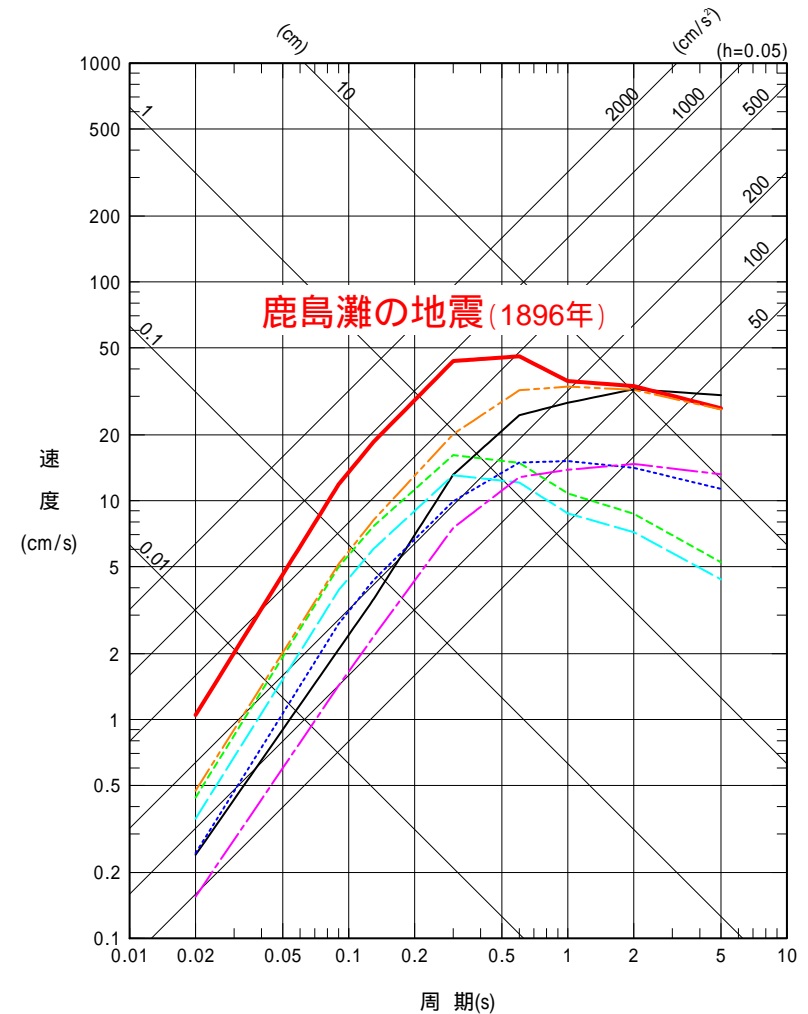
検討用地震の選定(2/4)

2) プレート間地震

番号	地震発生年月日	マグニチュード M	等価震源距離 (km)	地名 (地震名)
1	1677.11.4	8.0	169	磐城・常陸・安房・上総・下総の地震
2	1896.1.9	7.3	60	鹿島灘の地震
3	1930.6.1	6.5	55	那珂川下流域の地震
4	1938.5.23	7.0	67	塩屋崎沖の地震
5	1938.9.22	6.5	63	鹿島灘の地震
6	1938.11.5	7.5	137	福島県東方沖の地震
7		7.3	74	茨城県南部(中央防災会議)



対象震源位置

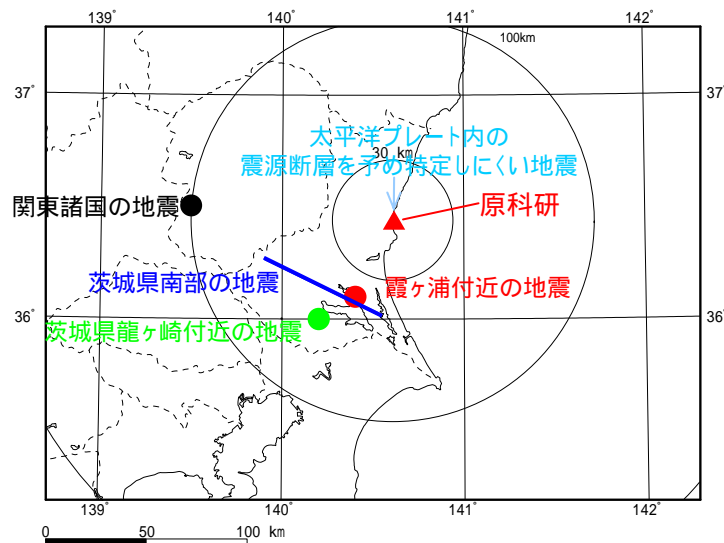


プレート間地震の地震動の応答スペクトル【水平】
(Noda et al.(2002)の手法に補正係数を考慮)

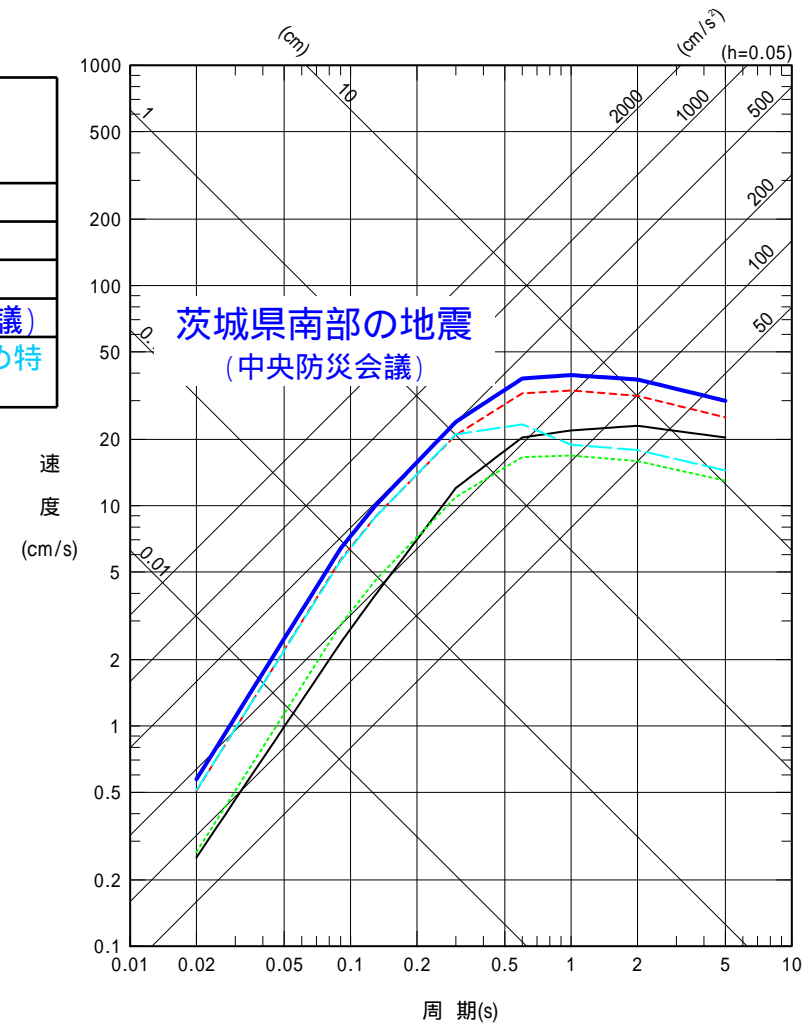
検討用地震の選定(3/4)

3) 海洋プレート内地震

番号	地震発生年月日	マグニチュード M	等価震源距離 (km)	地名 (地震名)
1	818.	7.5	126	関東諸国の地震
2	1895.1.18	7.2	64	霞ヶ浦付近の地震
3	1921.12.8	7.0	77	茨城県龍ヶ崎付近の地震
4		7.3	65	茨城県南部の地震(中央防災会議)
5		7.1	71	太平洋プレート内の震源断層を予め特定しにくい地震(地震調査委員会)



対象震源位置



プレート内地震の地震動の応答スペクトル【水平】
(Noda et al.(2002)の手法に補正係数を考慮)

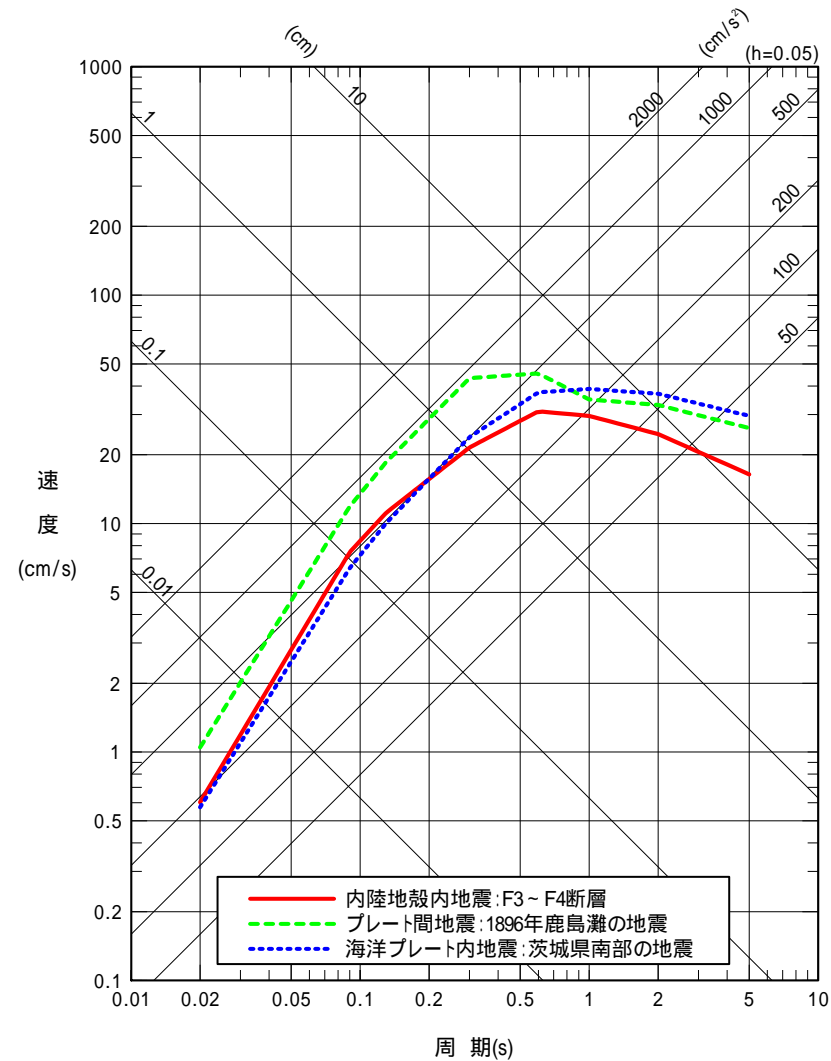
4) 検討用地震の選定結果

- ・内陸地殻内地震: F3 ~ F4断層
- ・プレート間地震: 1896年鹿島灘の地震
- ・海洋プレート内地震: 茨城県南部の地震



3地震の中で、短周期側(0.6秒程度以下)では鹿島灘の地震の応答スペクトルが最も大きい

選定された検討用地震は、大洗研、サイクル研及び東海第二発電所の結果と同一



地震発生様式ごとの検討用地震の応答スペクトル【水平】

地震動評価手法の選択(1/2)

応答スペクトルに基づく地震動評価

解放基盤表面の地震動として評価できること、震源の拡がりを考慮できること、敷地における地震観測記録等を用いて諸特性を考慮できること、水平方向及び鉛直方向の地震動が評価できることから、Noda et al.(2002)の手法を採用する。

断層モデルを用いた手法による地震動評価

評価地点の震源近傍で発生した適切な地震観測記録が得られた検討用地震については、観測記録から要素地震を評価し、経験的グリーン関数法を用いて地震動を評価する。一方、適切な地震観測記録が得られていない検討用地震においては、統計的グリーン関数法を用いて評価する。

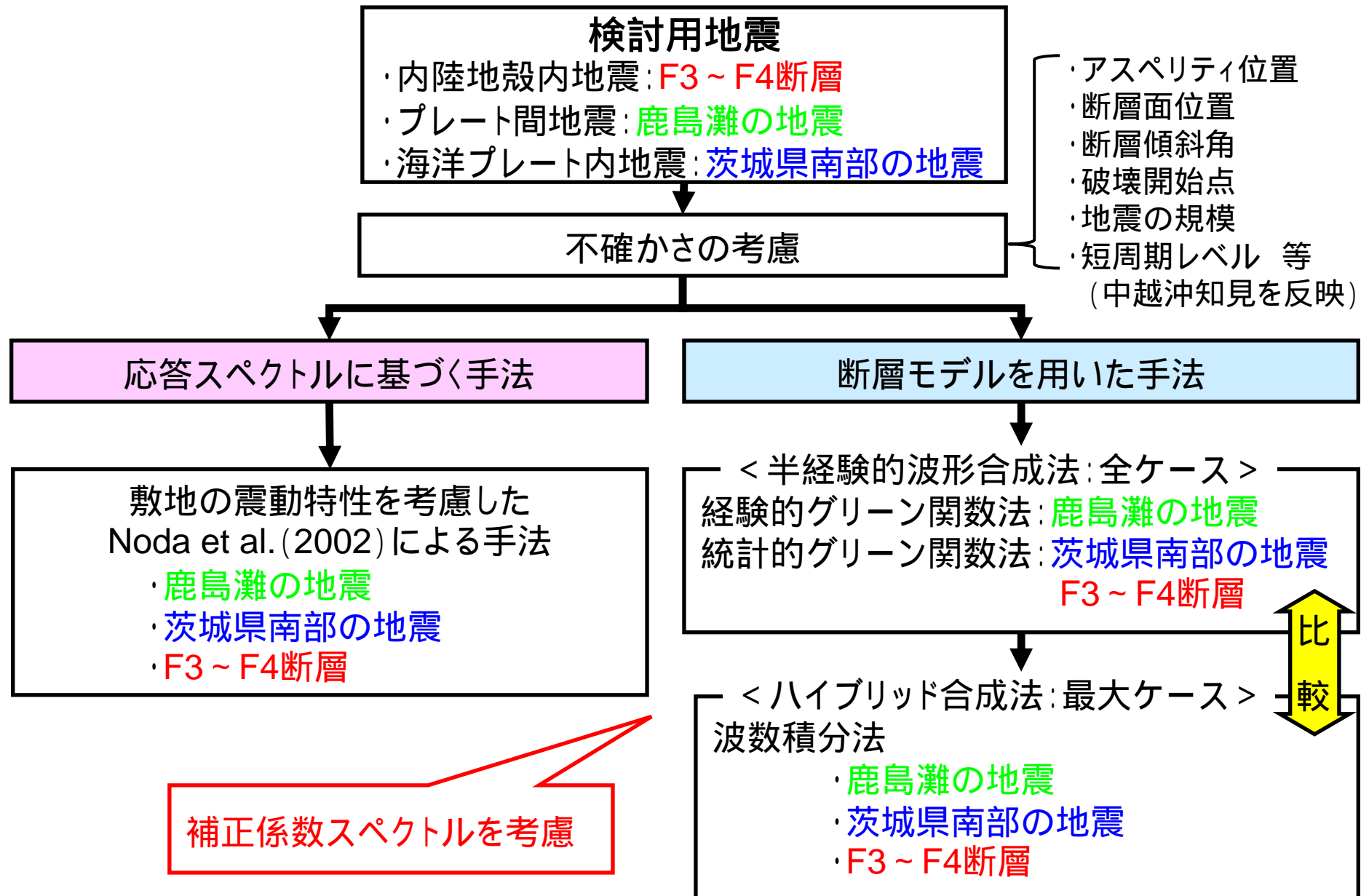
短周期側を経験的あるいは統計的グリーン関数法を用いて評価するとともに、長周期側を理論的な手法(波数積分法)で評価し、両者を適切な周期帯で合成するハイブリッド合成法を採用する。

経験的あるいは統計的グリーン関数法による地震動評価結果と、ハイブリッド合成法による地震動評価結果を比較し、応答スペクトルが大きいものを最終的な地震動評価結果として採用する。

なお、断層モデルを用いた手法による地震動評価については、隣接するサイクル研の評価結果に対し、設定した補正係数スペクトルを掛け合わせることで得た。

これら地震動評価においては、地質調査結果や断層パラメータの不確かさを適切に考慮した解析を行う。

地震動評価手法の選択(2/2)



1) 断層モデルのパラメータ設定

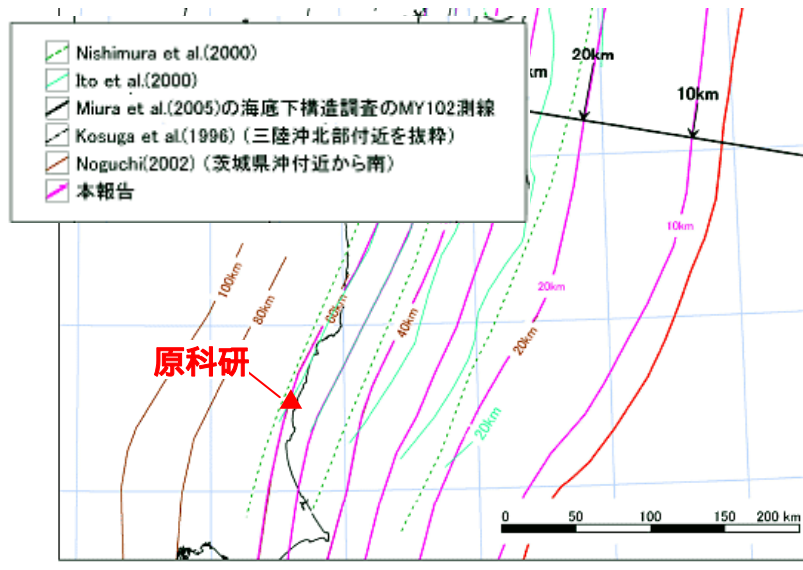
・基本的な設定条件

地震規模

Mj7.3 : 宇津による1896年鹿島灘の地震の規模

断層面の深さ、走向、傾斜

地震調査委員会「三陸沖から房総沖にかけての地震動の長期評価(一部改訂)」(2009)による太平洋プレートの等深度線に基づき設定



断層位置

1896年鹿島灘の地震の震央を断層面の中心とする。

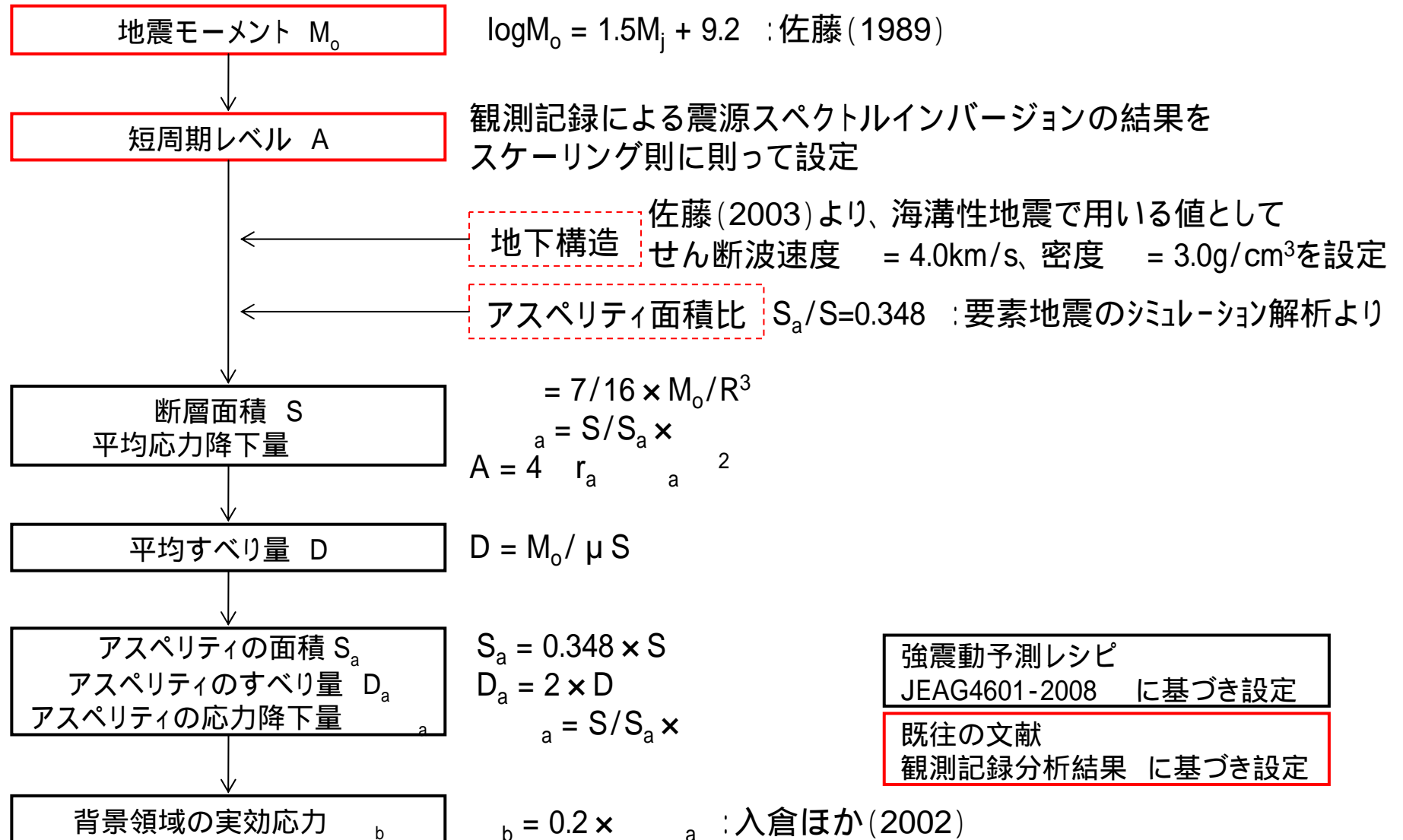
海溝型地震の強震動評価のレシビ

表-2 主要な断層パラメータと3つの関係式

主要な断層パラメータ	M_0 : 地震モーメント S : 断層面積 $\Delta \sigma$: 応力降下量 A : 短周期レベル S_a : アスベリティーの面積 $\Delta \sigma_{asp}$: アスベリティーの応力降下量
断層パラメータの関係式	
(a)無限媒質中の円形クラックの応力降下量 $\Delta \sigma$ (Eshelby, 1957)	$\Delta \sigma = (7\pi/16) \times \mu D/R = (7/16) \times M_0/R^3$ $R = (S/\pi)^{0.5}$ μ : せん断弾性係数 D : 平均すべり量 R : 断層の等価半径
(b)アスベリティーの応力降下量 $\Delta \sigma_{asp}$ (Madariaga, 1979)	$\Delta \sigma_{asp} = (S/S_{asp}) \times \Delta \sigma$
(c)短周期レベル A (Brune, 1970)	$A = 4\pi r_s \Delta \sigma_{asp} \beta^{-2}$ $r_s = (S_a/\pi)^{0.5}$ r_s : アスベリティーの総面積の等価半径 β : せん断波速度

地震動評価 - 鹿島灘の地震 - (2/11)

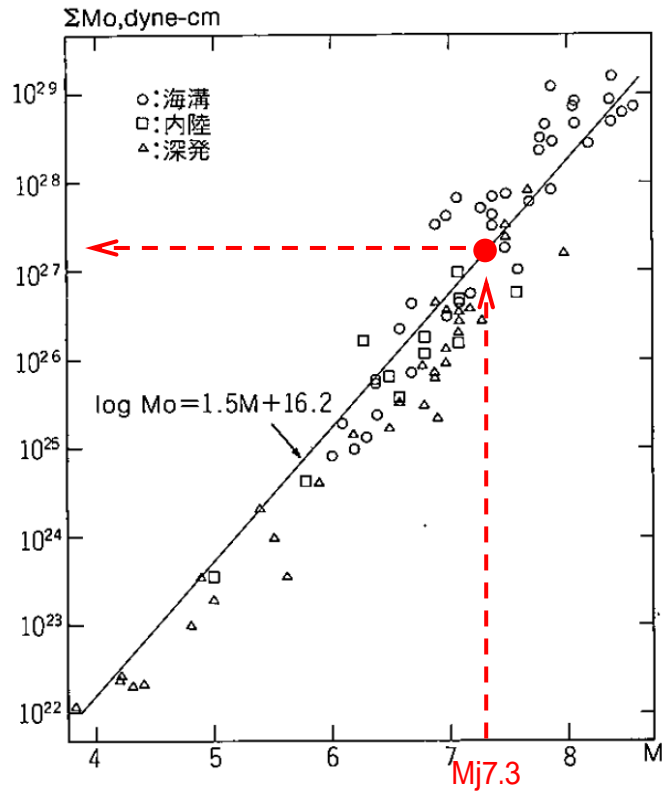
1) 断層モデルのパラメータ設定 (基本設定フロー)



地震動評価 - 鹿島灘の地震 - (3/11)

地震モーメント M_0 の検討

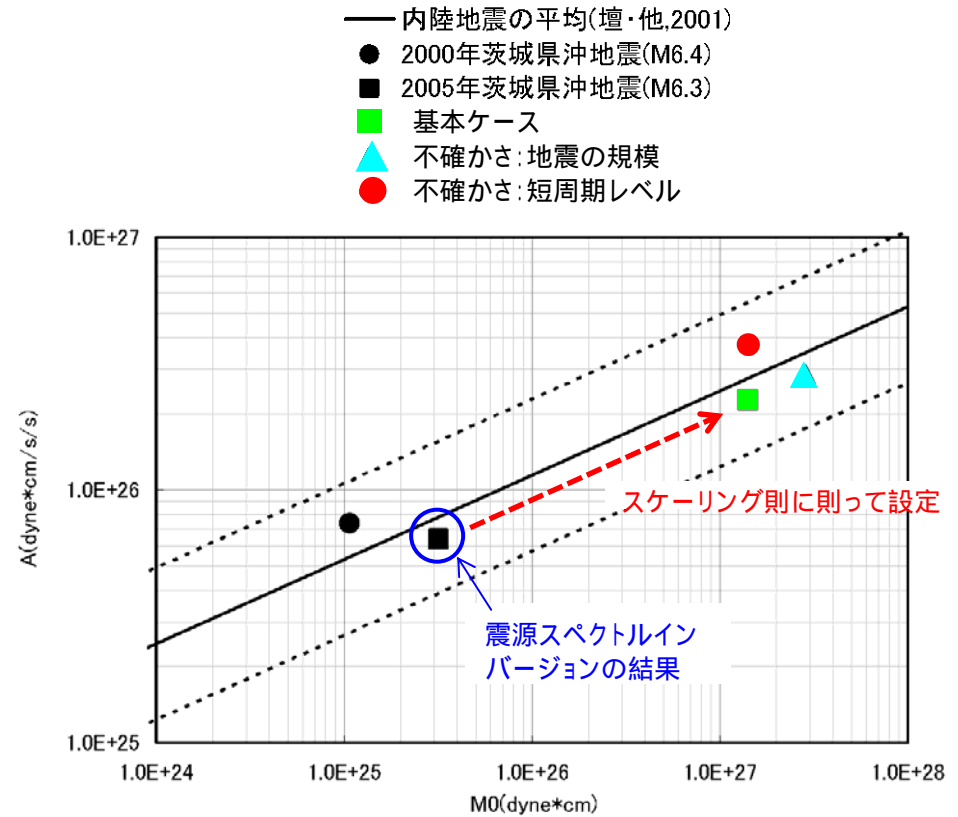
- 佐藤(1989)による地震モーメント M_0 と気象庁マグニチュード M_j の関係により設定



地震モーメント M_0 と気象庁マグニチュード M_j の関係

鹿島灘付近で発生した地震の短周期レベルAの検討

- 2005年10月19日の茨城県沖地震に基づくA- M_0 関係により設定



地震モーメント M_0 と短周期レベルAの関係

地震動評価 - 鹿島灘の地震 - (4/11)

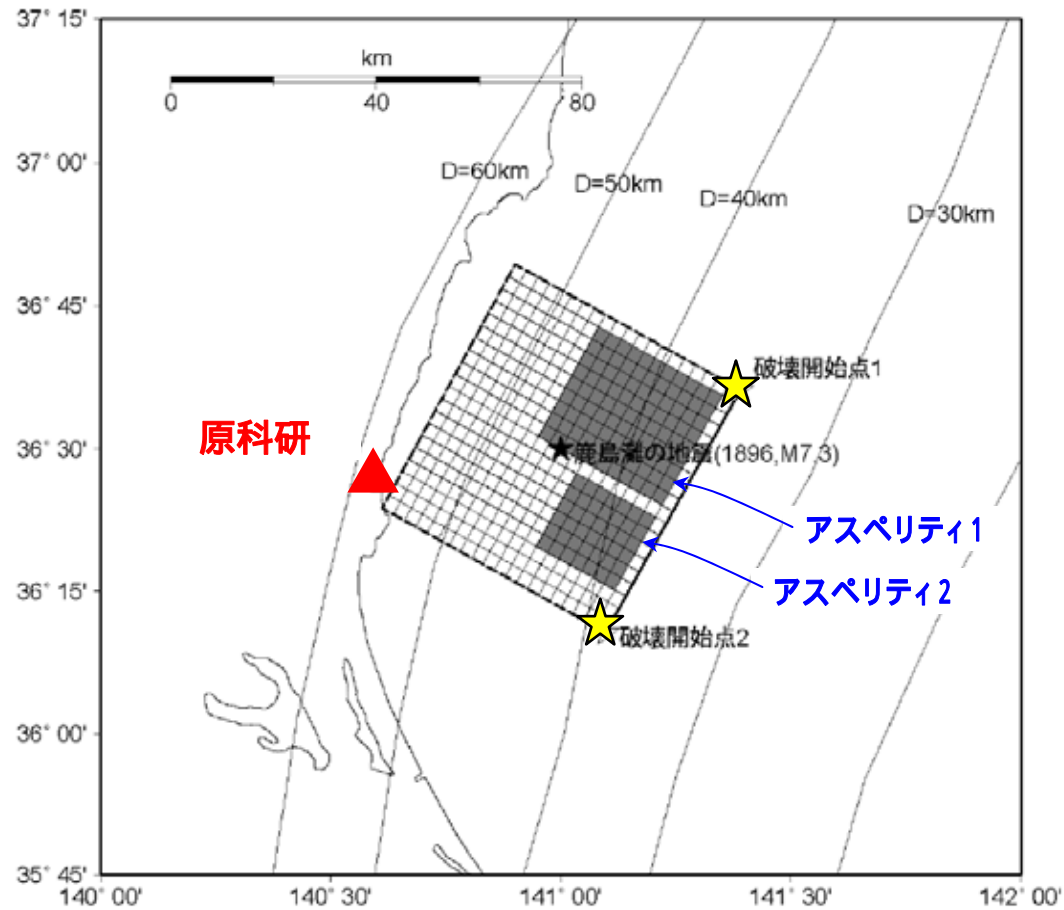
1) 断層モデルのパラメータ設定(基本パラメータ)

項目		設定値	
巨視的断層面	気象庁マグニチュード M_j	7.3	
	モーメントマグニチュード M_w	7.4	
	基準点	北緯(°)	36 36 10
		東経(°)	141 23 28
	断層上端深さ(km)	35.0	
	断層長さ L(km)	54.0	
	断層幅 W(km)	54.0	
	断層面積 S(km ²)	2916	
	走向(NE)	209	
	傾斜角(°)	22	
	破壊伝播形式	同心円状	
	S波速度(km/s)	4.0	
	破壊伝播速度(km/s)	2.88	
	地震モーメント M_0 (N·m)	1.41×10^{20}	
	平均応力降下量 (MPa)	2.19	

項目		設定値
アスペリティ1	面積 S_{a1} (km ²)	722
	応力降下量 a_1 (MPa)	6.27
	平均すべり量 D_{a1} (cm)	223.7
	地震モーメント M_{0a1} (N·m)	7.75×10^{19}
アスペリティ2	面積 S_{a2} (km ²)	306
	応力降下量 a_2 (MPa)	6.27
	平均すべり量 D_{a2} (cm)	158.2
	地震モーメント M_{0a2} (N·m)	2.32×10^{19}
背景領域	面積 S_b (km ²)	1888
	応力降下量 b (MPa)	1.25
	平均すべり量 D_b (cm)	47.0
	地震モーメント M_{0b} (N·m)	4.26×10^{19}

地震動評価 - 鹿島灘の地震 - (5/11)

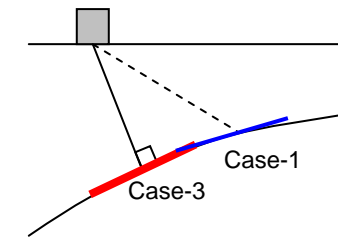
1) 断層モデルのパラメータ設定(基本パラメータ)



地震動評価 - 鹿島灘の地震 - (6/11)不確かさの考慮は大洗研と同様

1) 断層モデルのパラメータ設定(不確かさの考慮)

	基本的な震源要素	不確かさの考慮	
		アスペリティ位置	断層面位置
モデル図			
不確かさの設定について	<ul style="list-style-type: none"> 地震規模は、1896年鹿島灘の地震の規模よりMj7.3と設定 断層位置は、1896年鹿島灘の地震の震央を断層面の中心に設定 アスペリティは、比較的大きいバックスリップが分布するプレート境界面の浅い位置に配置 破壊開始点は、破壊が敷地に向かうよう全てのケースとも断層上端の両端に設定 	<ul style="list-style-type: none"> アスペリティをサイトにより近い位置に移動 	<ul style="list-style-type: none"> 断層面の中心位置を、1896年鹿島灘の震央位置からサイトと太平洋プレートとの最短距離の位置に移動
マグニチュード	7.3	7.3	7.3
等価震源距離[km]	64	57	56



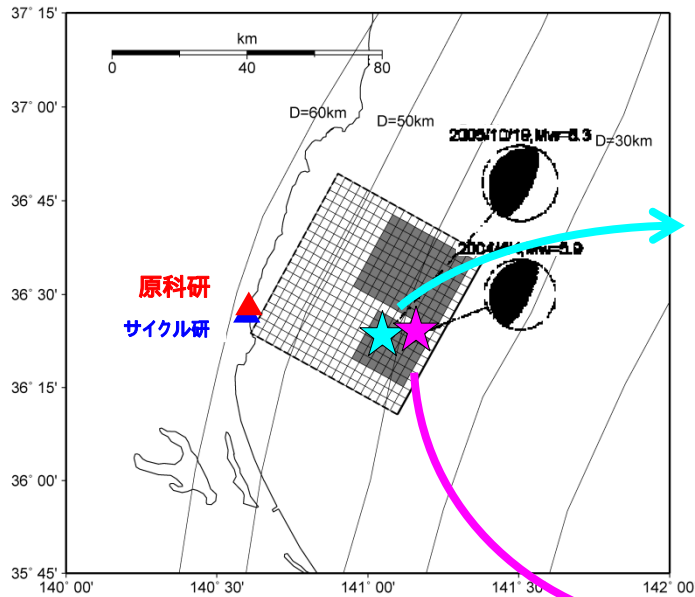
地震動評価 - 鹿島灘の地震 - (7/11)

1) 断層モデルのパラメータ設定(不確かさの考慮)

	不確かさの考慮		要素地震
	地震の規模	短周期レベル	
モデル図			
不確かさの設定について	<p>・茨城県～福島県沖のプレート間地震の最大規模(M7.5、1938年福島県沖の地震)や地震地体構造マップを参考に、地震の規模をM7.5に変更した。</p> <p>・地震規模を変更することにより、地震モーメント、短周期レベル、断層面積、すべり量、アスペリティ面積を変更した。</p>	<p>・の短周期レベルは、鹿島灘付近の地震の平均的なスケールン則に則り設定したが、では最大規模のスケールン則に基づき設定した。</p> <p>・A-Moのスケールン則は応力降下量()一定の条件で成り立っており、短周期レベルを増加させると応力降下量も増加させたことになる。</p>	<p>・断層モデルの解析(経験的グリーン関数法)に用いる要素地震を変更した。(2004年4月4日茨城県東方沖の地震(M5.8))</p> <p>・断層モデルの各パラメータはと同じである。</p>
マグニチュード	7.5	7.3	7.3
等価震源距離[km]	66	61	64

地震動評価 - 鹿島灘の地震 - (8/11)

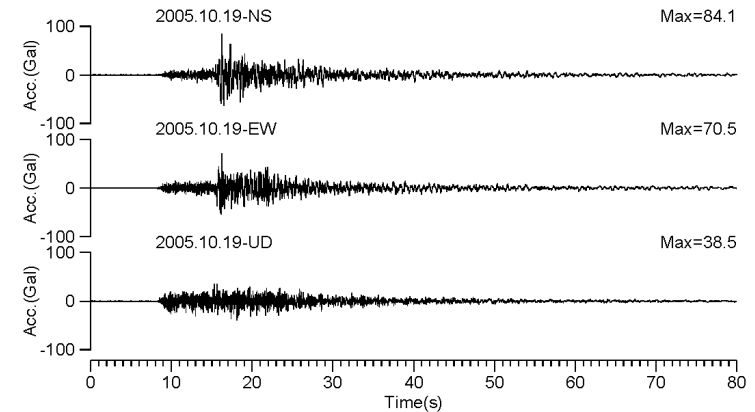
1) 断層モデルのパラメータ設定(要素地震)



サイクル研における観測地震波形

2005年10月19日

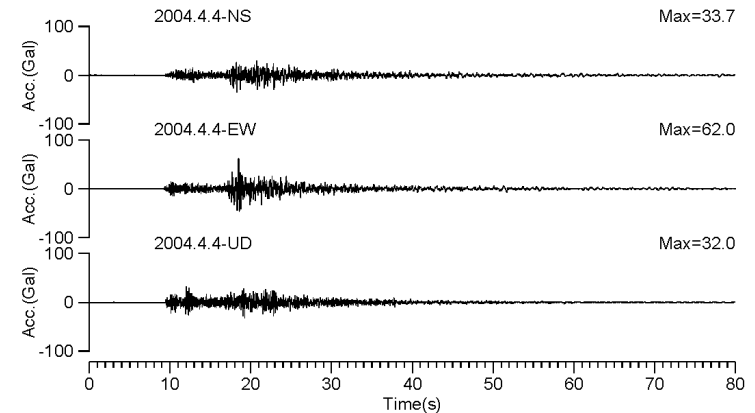
地震規模 Mj6.3
震源深さ 48.3km
地震モーメント $3.18 \times 10^{18} \text{N} \cdot \text{m}$
応力降下量 4.8MPa



要素地震を変えた検討

2004年4月4日

地震規模 Mj5.8
震源深さ 49.0km
地震モーメント $8.38 \times 10^{17} \text{N} \cdot \text{m}$
応力降下量 6.3MPa



要素地震の選定条件

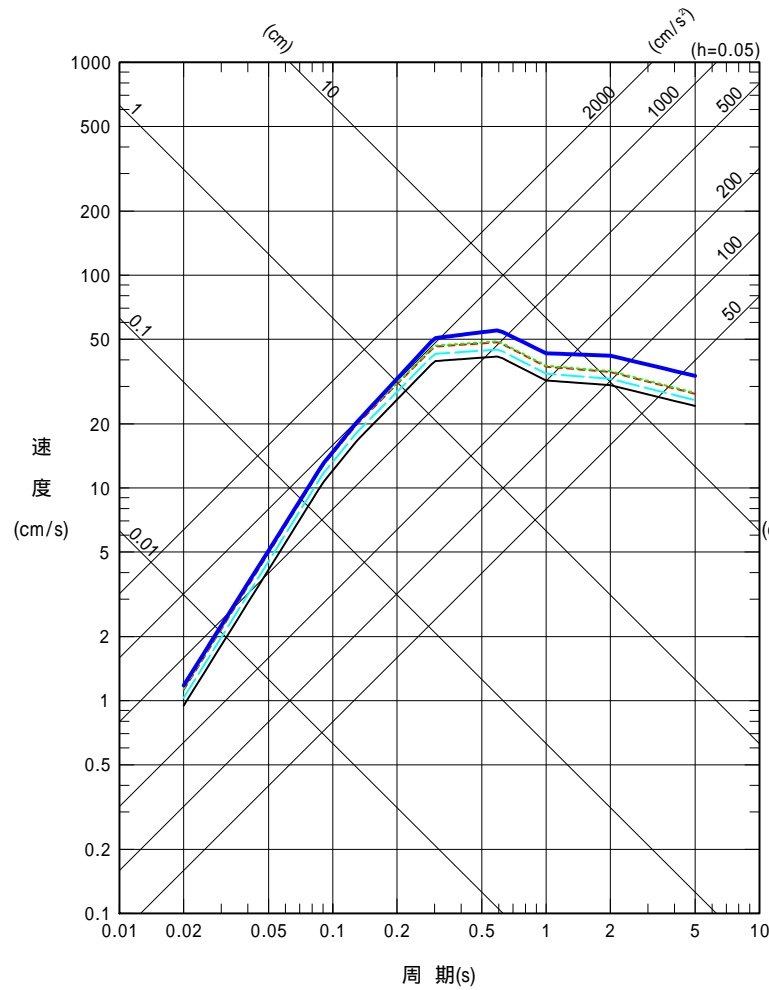
- ・設定した断層モデル内、あるいは断層モデル周辺で発生した地震
- ・設定した断層モデルと同じメカニズムを有する地震
- ・地震の規模がMj5 ~ 6クラスの地震

上記要素地震はGL-100mの観測記録波形から算出した解放基盤のはぎ取り波

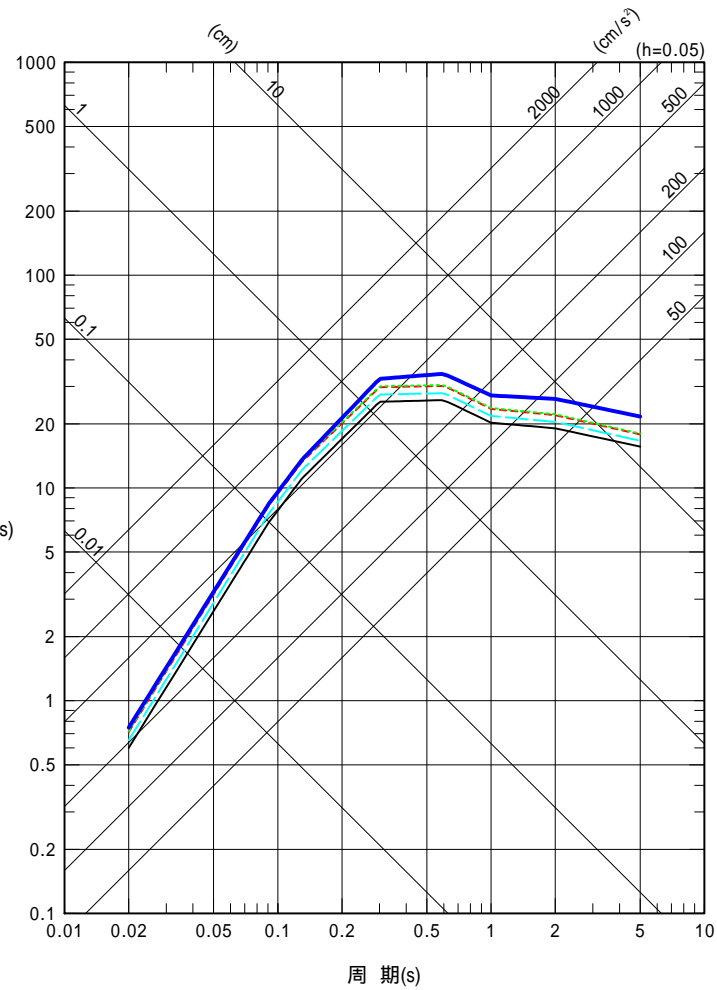
地震動評価 - 鹿島灘の地震 - (9/11)

2) 応答スペクトルに基づく手法(全ケース)

- 基本ケース、要素地震
- - - アスぺリティ位置
- ⋯ 断層面位置
- 地震の規模
- - - 短周期レベル



水平成分

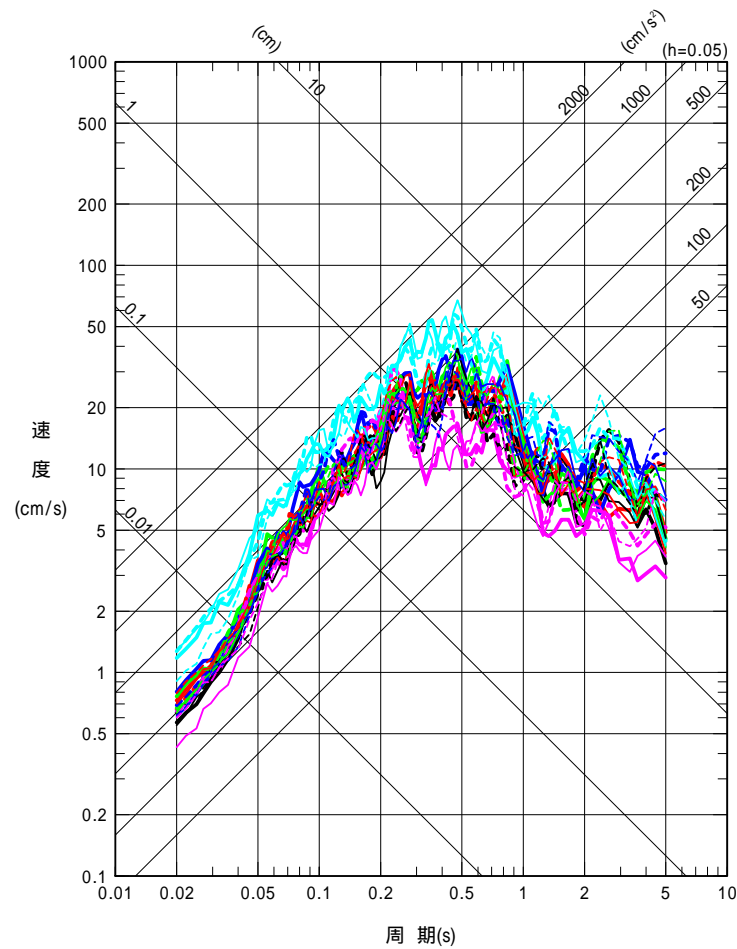


鉛直成分

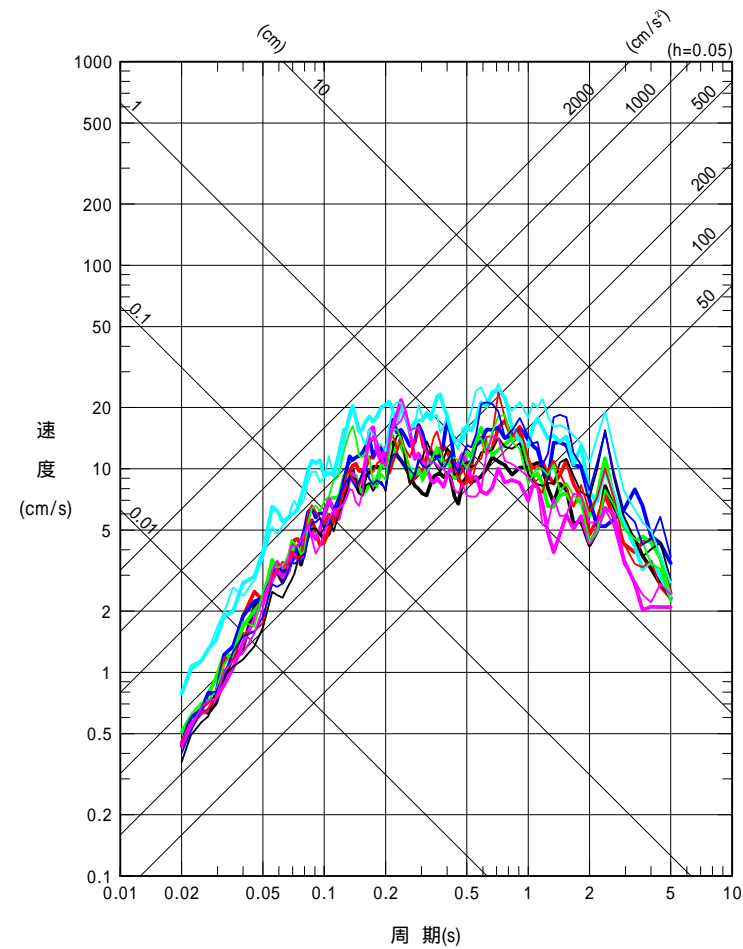
地震動評価 - 鹿島灘の地震 - (10/11)

3) 断層モデルを用いた手法: 経験的グリーン関数法(全ケース)

- | | | | |
|---|----------|----|--------------|
| — | 基本ケース | 太線 | : 破壊開始点1 |
| — | アスペリティ位置 | 細線 | : 破壊開始点2 |
| — | 断層面位置 | 実線 | : NS方向, UD方向 |
| — | 地震の規模 | 破線 | : EW方向 |
| — | 短周期レベル | | |
| — | 要素地震 | | |



水平成分



鉛直成分

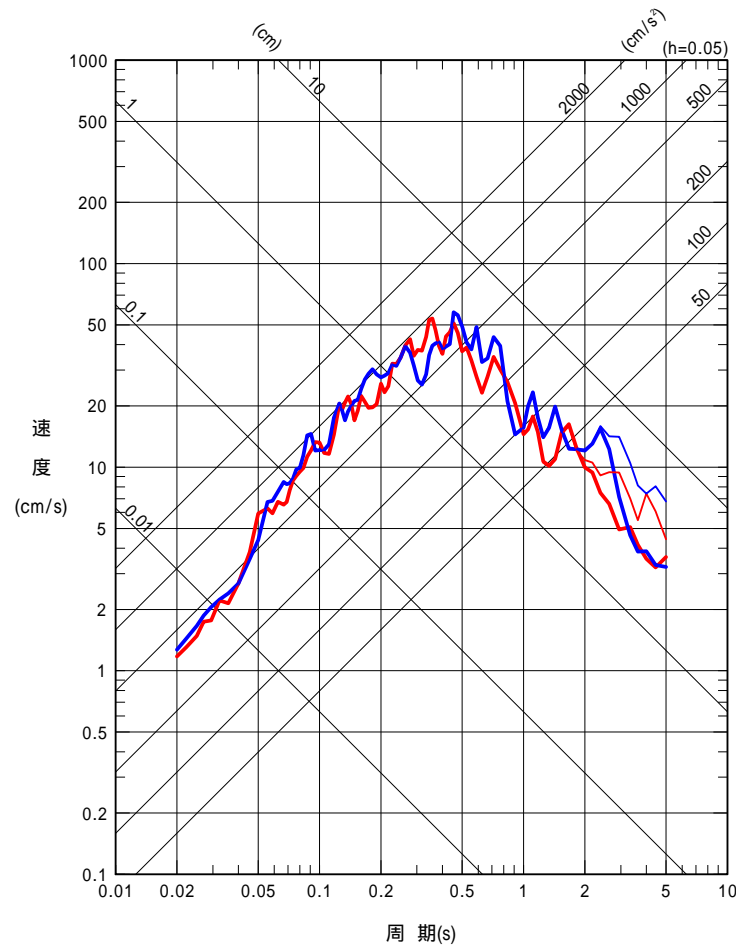
地震動評価 - 鹿島灘の地震 - (11/11)

3) 断層モデルを用いた手法:

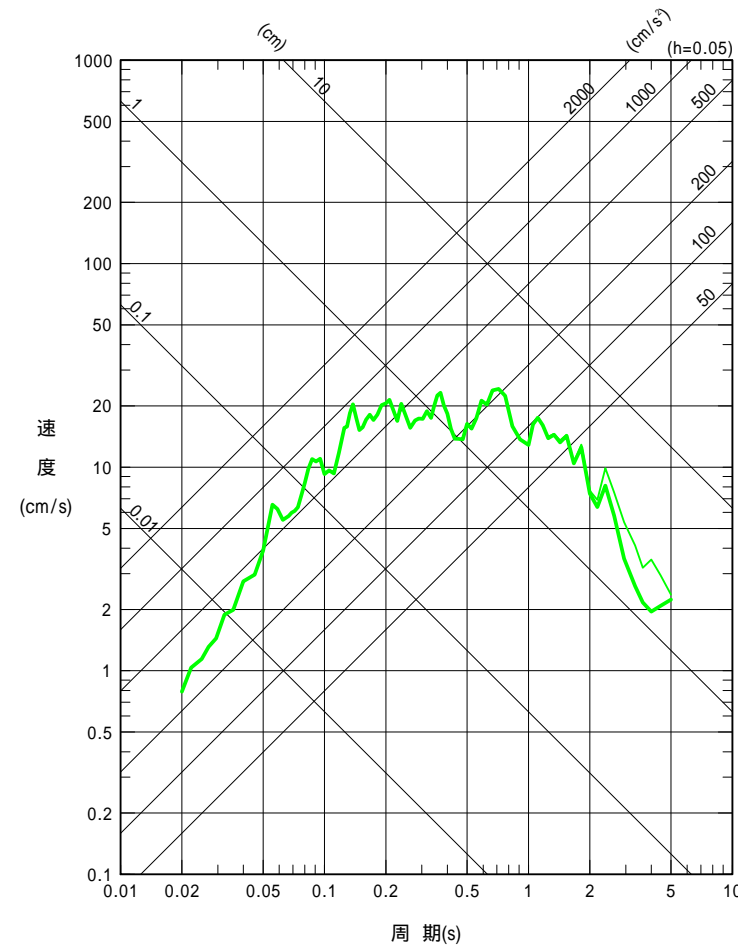
ハイブリッド合成法(短周期レベル、破壊開始点1)

— NS方向
— EW方向
— UD方向

太線 : ハイブリッド合成結果
細線 : 経験的グリーン関数法結果



水平成分



鉛直成分

地震動評価 - 茨城県南部の地震 - (1/9) 茨城県南部の断層モデルは同様

1) 断層モデルのパラメータ設定

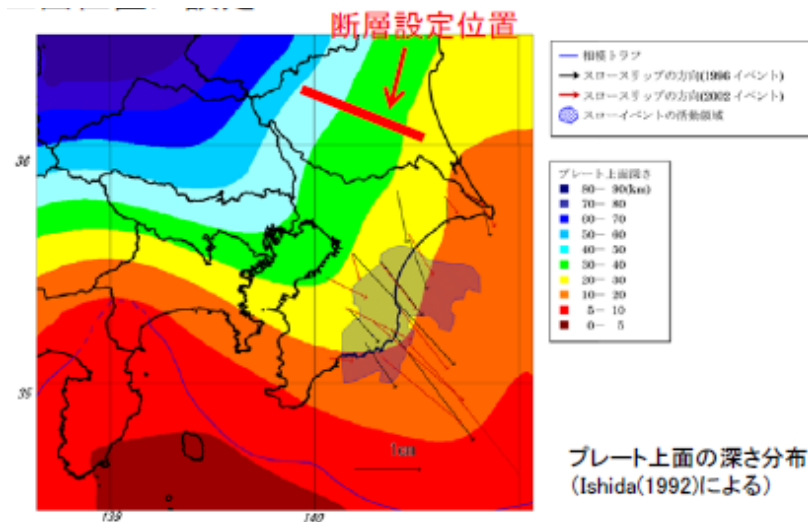
・基本的な設定条件

地震規模

Mj7.3 : 中央防災会議(2004)より

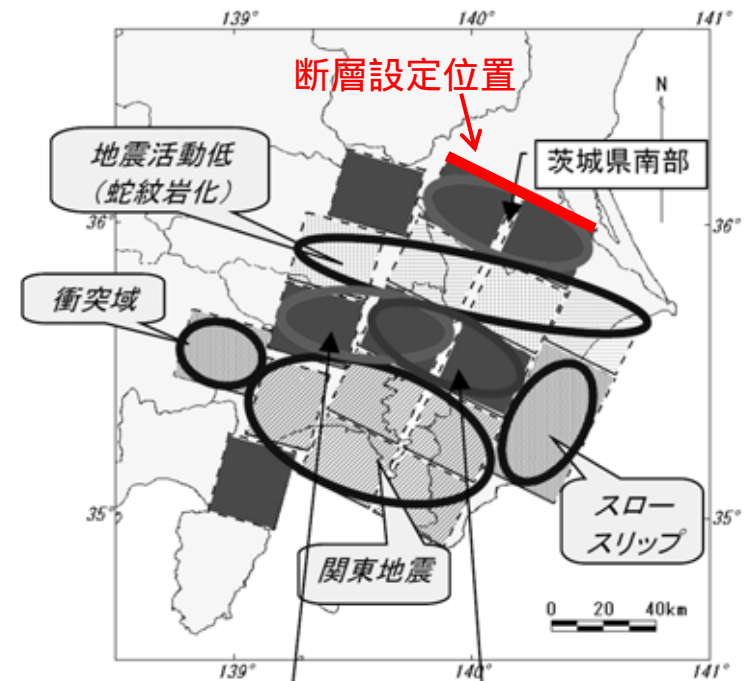
断層面の深さ、アスペリティ位置

中央防災会議(2004)によるフィリピン海プレートの上
上面位置に設定



断層位置、傾斜

断層位置は、中央防災会議(2004)の茨城県南部
プレート境界地震の断層面の北端に設定、
傾斜は鉛直に設定。



地震動評価 - 茨城県南部の地震 - (2/9)

➤ 中央防災会議「東京湾北部直下のプレート内地震」の断層パラメータ

中央防災会議では、首都圏を対象とした「茨城県南部のフィリピン海プレート内地震」の強震動評価を行っていない。
 これは、「茨城県南部のフィリピン海プレート間地震」の方が地震動のレベルが大きいためである。

しかしながら、同じフィリピン海プレートで発生する「東京湾北部直下のプレート内地震」については強震動評価を実施している。

「東京湾北部直下のプレート内地震」の断層モデルを参考に、「茨城県南部の地震」の各パラメータを設定した。

表 4.2.3 東京湾北部直下のプレート内地震の断層パラメータリスト

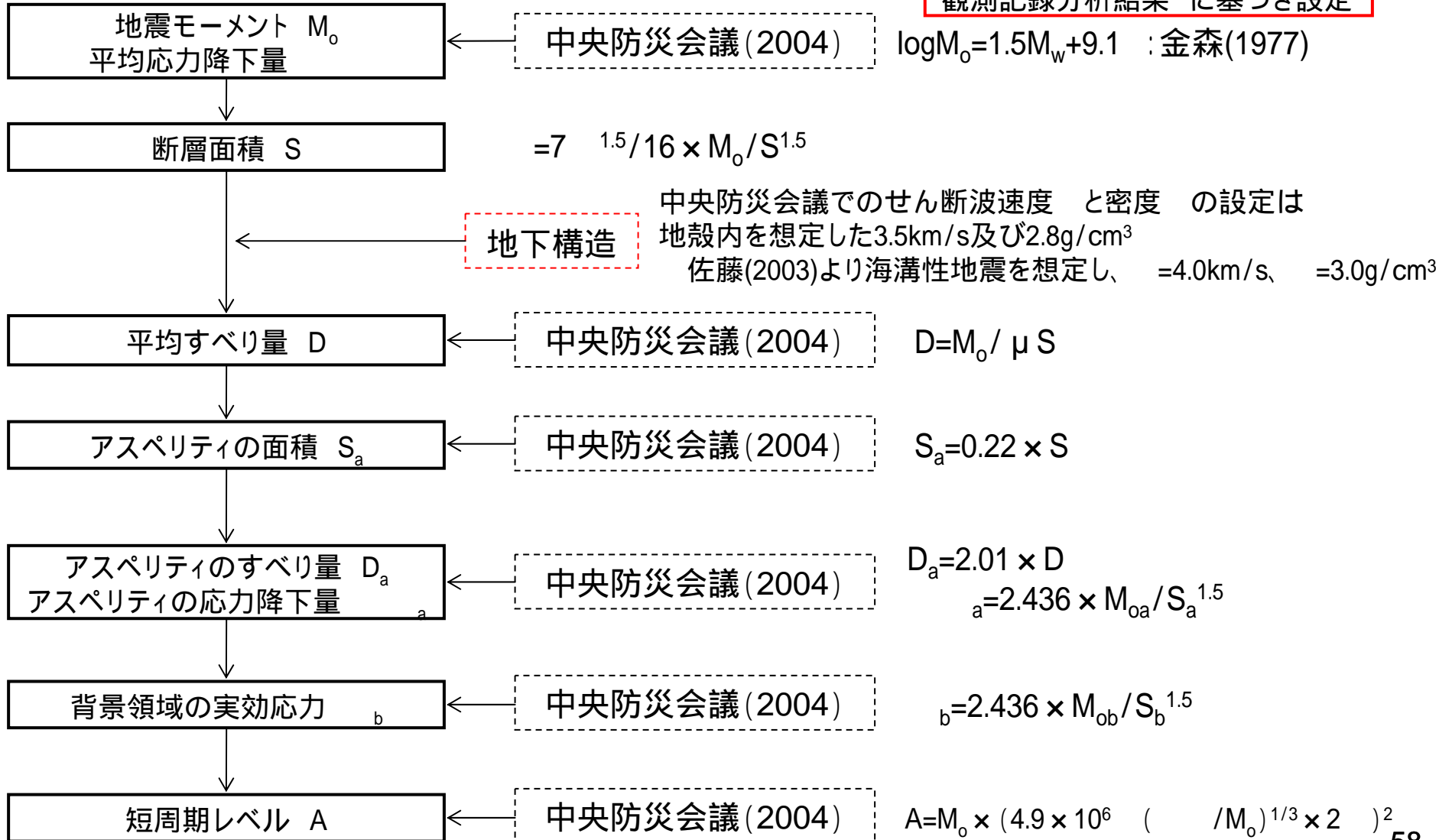
断層帯	プレート内	
緯度(°)	35.546	
経度(°)	140.017	
上端深さd(km)	45	
長さL(km)	54.53	$\log L = 0.5M_{jma} - 1.88$
幅W(km)	26.41	
走向θ	300	
傾斜δ(°)	90	
すべり角λ(°)	-90	
マグニチュードM _{jma}	7.2	$\log M_o = 1.5M_{jma} + 16.2$
地震モーメントM _o (Nm)	1.12E+20	$\log M_o = 1.5M_w + 16.1$ (金森)
モーメントマグニチュードM _w	7.3	
マクロ的に見たパラメータ		
断層面積S(km ²)	1440	$\Delta\sigma = 7\pi^{1.5}/16 \times M_o/S^{1.5}$
S波速度V _s (km/s)	3.5	地殻内の平均的値
平均密度ρ(g/cm ³)	2.8	地殻内の平均的値
剛性率μ(N/m ²)	3.4E+10	$\mu = \rho V_s^2$
平均的な応力パラメータΔσ(MPa)	5	
平均すべり量D(m)	2.27	$M_o = \mu DS$
破壊伝播速度V _r (km/s)	2.5	$V_r = 0.72V_s$
要素断層の大きさ(km)	2.0X2.0	
要素断層の数(アスぺリティ)	77	
要素断層の数(背景領域)	274	
C(km)	2.8	
F _{max} (Hz)	6	兵庫県南部地震の観測記録から推定された値
f _c (Hz)	0.061	$f_c = 4.9 \times 10^6 V_s (\Delta\sigma/M_o)^{1/3}$
短周期レベルA(Nm/s ²)	1.64E+19	$A = M_o \times (4.9 \times 10^6 V_s (\Delta\sigma/M_o)^{1/3} \times 2\pi)^2$
アスぺリティ等内部パラメータ		
アスぺリティの総面積S _a (km ²)	316	$S_a = S \times 0.22$
アスぺリティ内の平均すべり量D _a (m)	4.56	$D_a = D \times 2.01$
アスぺリティでの総モーメントM _{oa} (Nm)	4.95E+19	$M_{oa} = \mu D_a S_a$
要素断層の平均モーメント	6.26E+17	
アスぺリティの総応力パラメータΔσ _a (MPa)	21.5	$\Delta\sigma = 2.436 M_o / S^{1.5}$
f _c (Hz)	0.130	$f_c = 4.9 \times 10^6 V_s (\Delta\sigma_a / M_{oa})^{1/3}$
短周期レベル(Nm/s ²)	3.29E+19	$A = M_{oa} \times (4.9 \times 10^6 V_s (\Delta\sigma_a / M_{oa})^{1/3} \times 2\pi)^2$
背景領域		
面積S _b (km ²)	1124	$S_b = S - S_a$
地震モーメントM _{ob} (Nm)	6.27E+19	$M_{ob} = M_o - M_{oa}$
要素断層の平均モーメント	2.23E+17	
すべり量D _b (m)	1.63	$M_{ob} = \mu D_b S_b$
応力パラメータΔσ _b (MPa)	4.1	$\Delta\sigma = 2.436 M_o / S^{1.5}$
f _c (Hz)	0.069	$f_c = 4.9 \times 10^6 V_s (\Delta\sigma_b / M_{ob})^{1/3}$
短周期レベル(Nm/s ²)	1.17E+19	$A = M_{ob} \times (4.9 \times 10^6 V_s (\Delta\sigma_b / M_{ob})^{1/3} \times 2\pi)^2$

地震動評価 - 茨城県南部の地震 - (3/9)

1) 断層モデルのパラメータ設定(基本設定フロー)

中央防災会議(2004) に基づき設定

既往の文献
観測記録分析結果 に基づき設定



地震動評価 - 茨城県南部の地震 - (4/9)

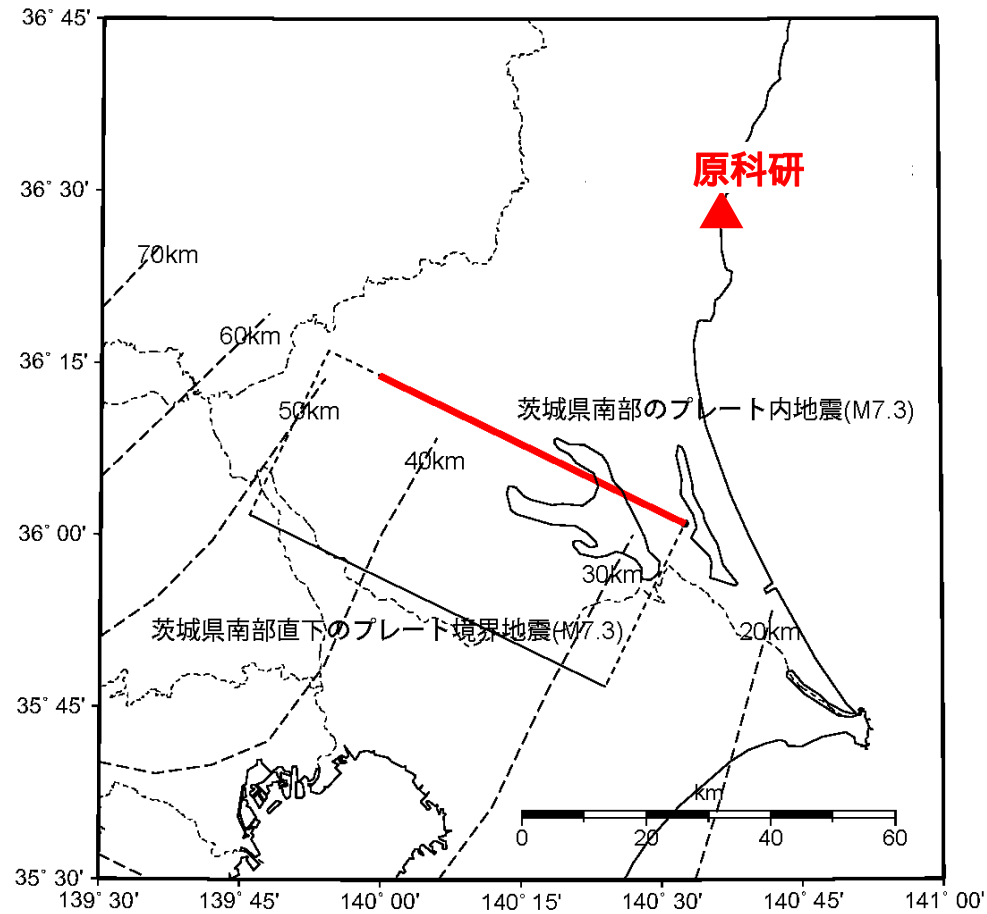
1) 断層モデルのパラメータ設定(基本パラメータ)

項目		設定値	
巨視的断層面	気象庁マグニチュード M_j	7.3	
	モーメントマグニチュード M_w	7.3	
	基準点	北緯(°)	36 01 02
		東経(°)	140 32 33
	断層上端深さ(km)	30.0	
	断層長さ L(km)	54.53	
	断層幅 W(km)	26.41	
	断層面積 S(km ²)	1440.00	
	走向(NE)	296	
	傾斜角(°)	90	
	破壊伝播形式	同心円状	
	S波速度(km/s)	4.0	
	破壊伝播速度(km/s)	2.88	
	地震モーメント M_0 (N·m)	1.12×10^{20}	
	平均応力降下量 (MPa)	5.00	

項目		設定値
アスペリテイ	面積 S_a (km ²)	315.99
	応力降下量 σ_a (MPa)	21.43
	平均すべり量 D_a (cm)	326
	地震モーメント M_{0a} (N·m)	4.95×10^{19}
背景領域	面積 S_b (km ²)	1124.43
	応力降下量 σ_b (MPa)	4.05
	平均すべり量 D_b (cm)	116
	地震モーメント M_{0b} (N·m)	6.26×10^{19}

地震動評価 - 茨城県南部の地震 - (5/9)

1) 断層モデルのパラメータ設定(基本パラメータ)



地震動評価 - 茨城県南部の地震 - (6/9) 不確かさの考慮は大洗研と同様

1) 断層モデルのパラメータ設定 (不確かさの考慮)

	基本的な震源要素	不確かさの考慮 アスペリティ位置
モデル図		
マグニチュード	7.3	7.3
等価震源距離[km]	64	62

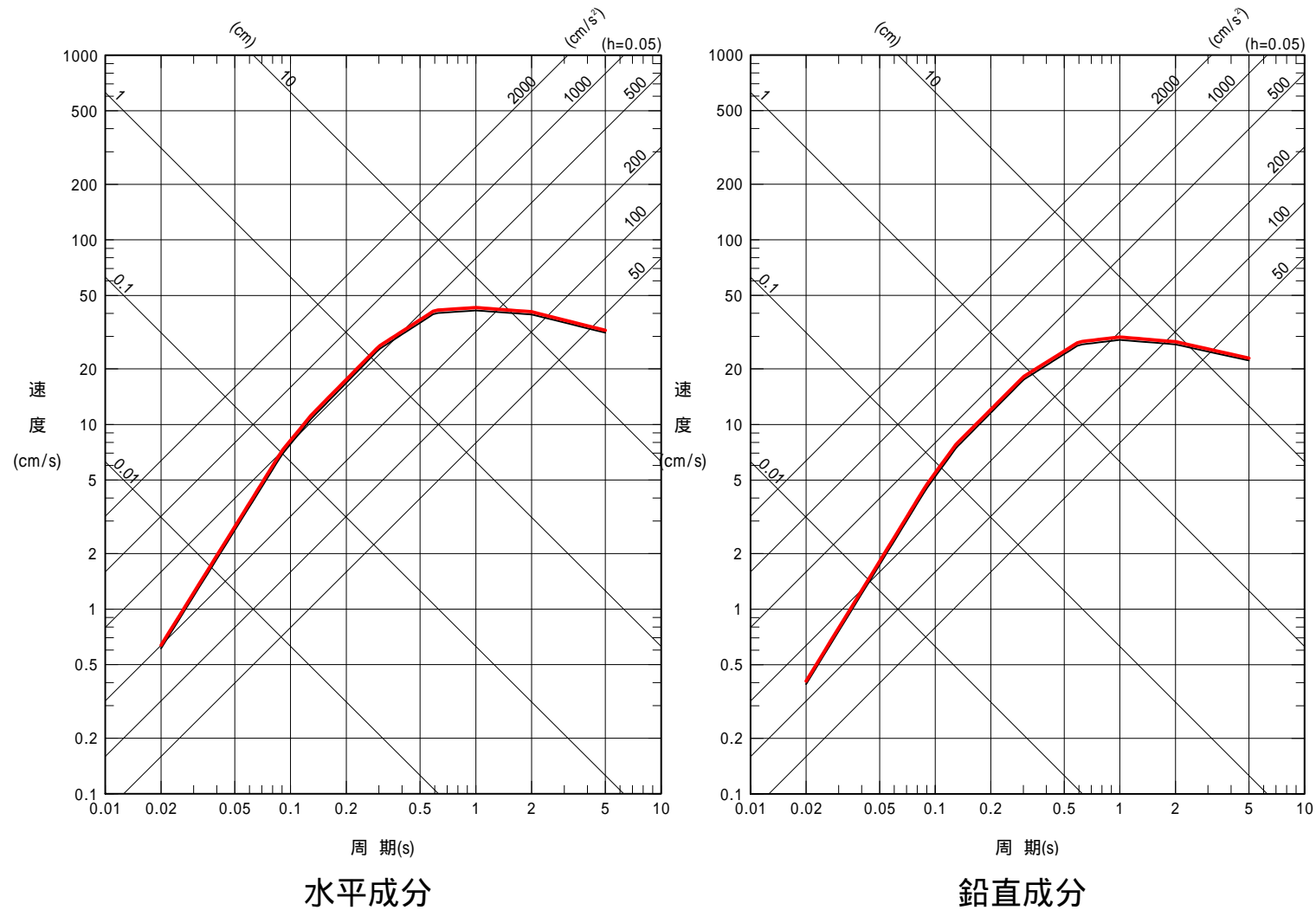
震源の不確かさについて

- ・基本ケースで設定した断層面の位置は、原科研からフィリピン海プレートの最も近い位置である。
- ・基本ケースで設定した地震規模は、茨城県南部で想定される最大規模である。
- ・その他、巨視的パラメータの多くは、中央防災会議で検討し設定されている。

等の理由により、不確かさの考慮についてはアスペリティ位置を変更するケースのみとした。

地震動評価 - 茨城県南部の地震 - (7/9)

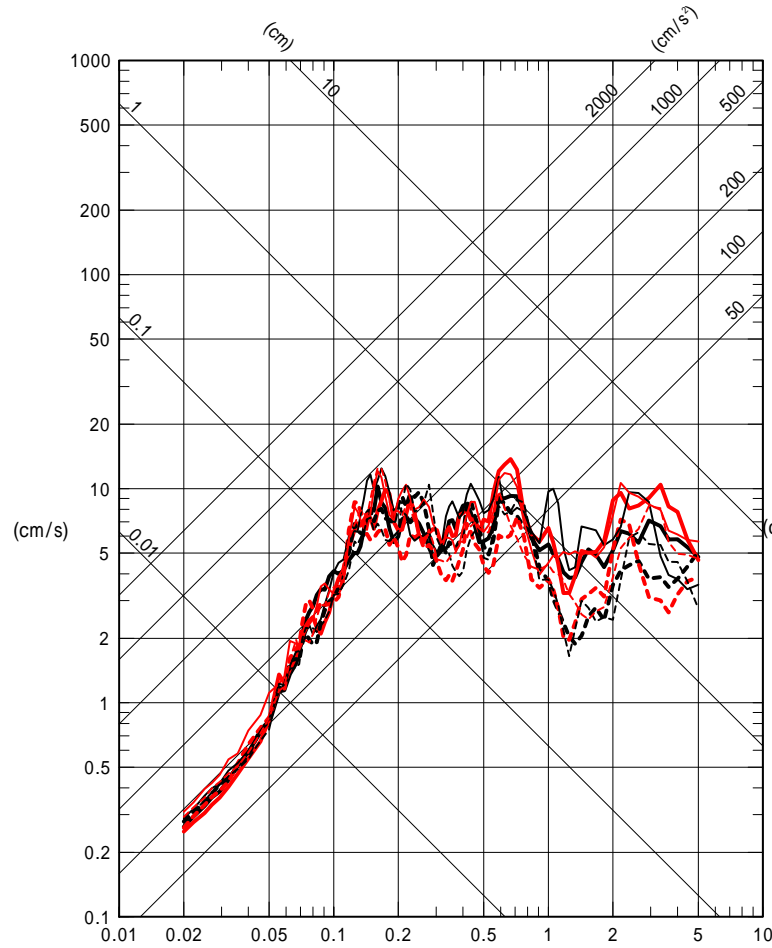
2) 応答スペクトルに基づく手法(全ケース) —— 基本ケース
—— アスペリティ位置



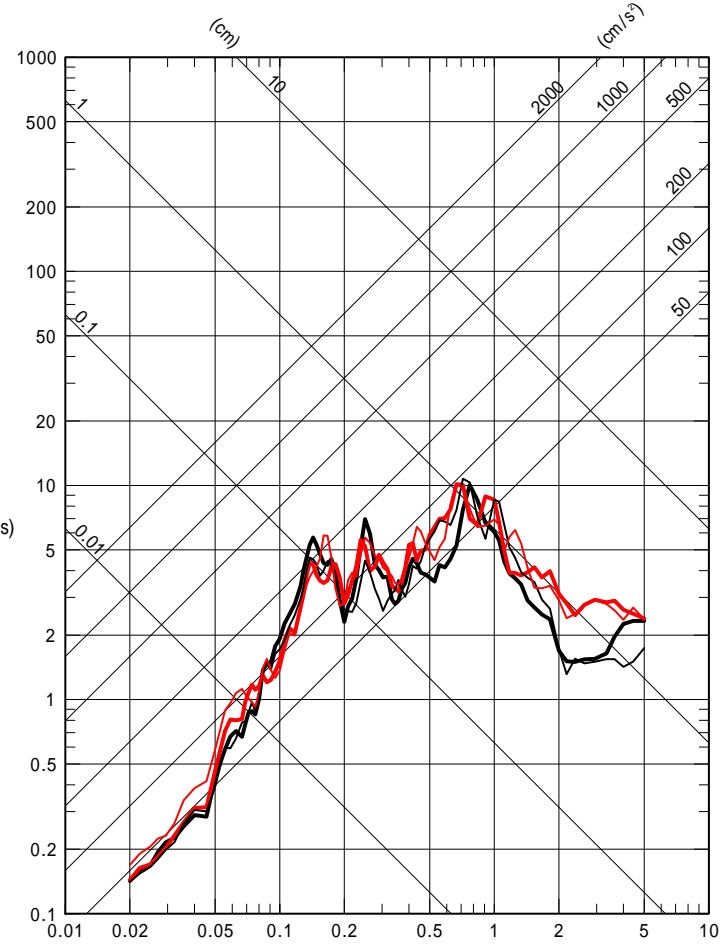
地震動評価 - 茨城県南部の地震 - (8/9)

3) 断層モデルを用いた手法: 統計的グリーン関数法(全ケース)

— 基本ケース
 — アスペリティ位置
 太線 : 破壊開始点1
 細線 : 破壊開始点2
 実線 : NS方向、UD方向
 破線 : EW方向



水平成分



鉛直成分

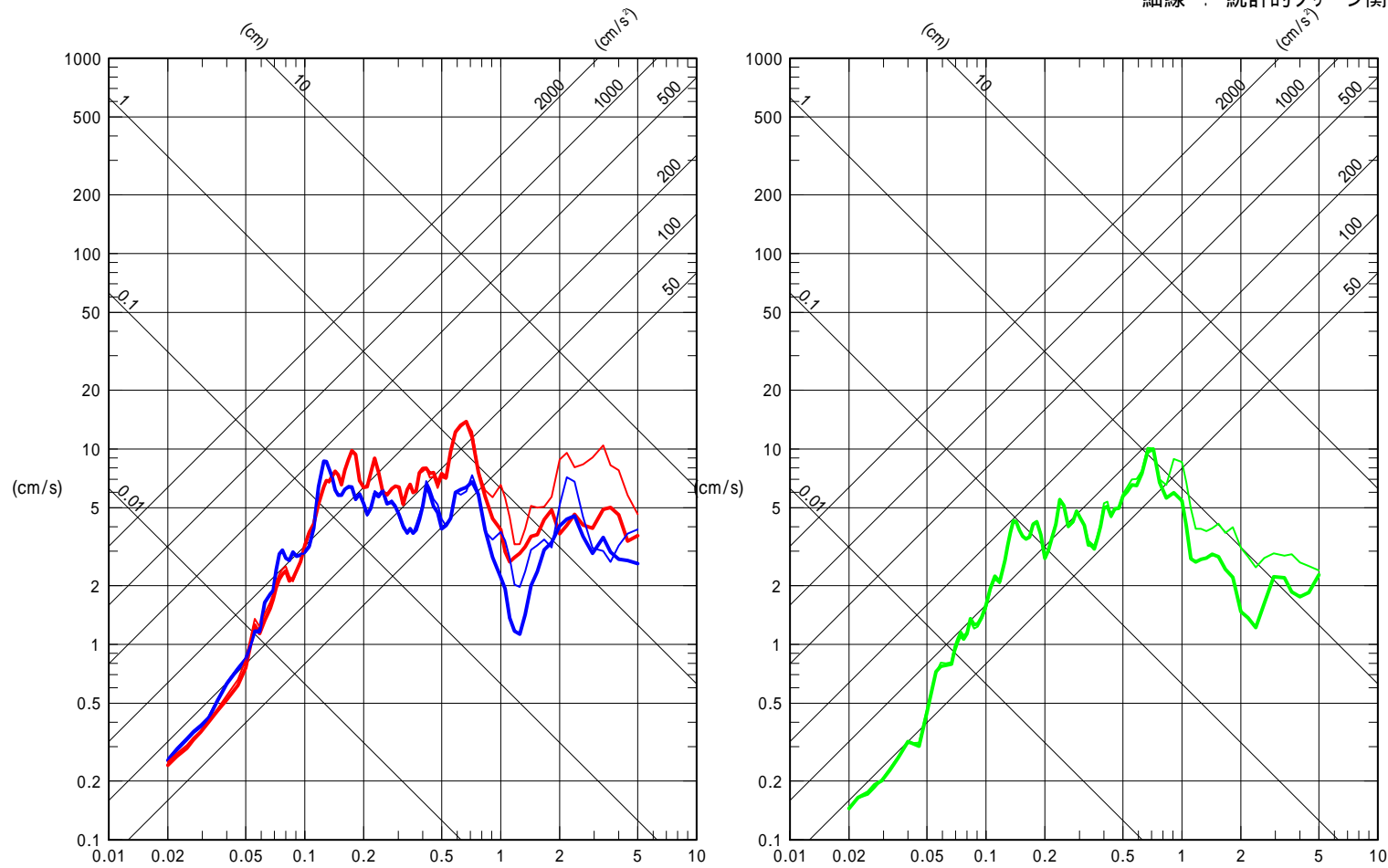
地震動評価 - 茨城県南部の地震 - (9/9)

3) 断層モデルを用いた手法:

ハイブリッド合成法(アスぺリティ位置、破壊開始点1)

— NS方向
— EW方向
— UD方向

太線 : ハイブリッド合成結果
細線 : 統計的グリーン関数法結果

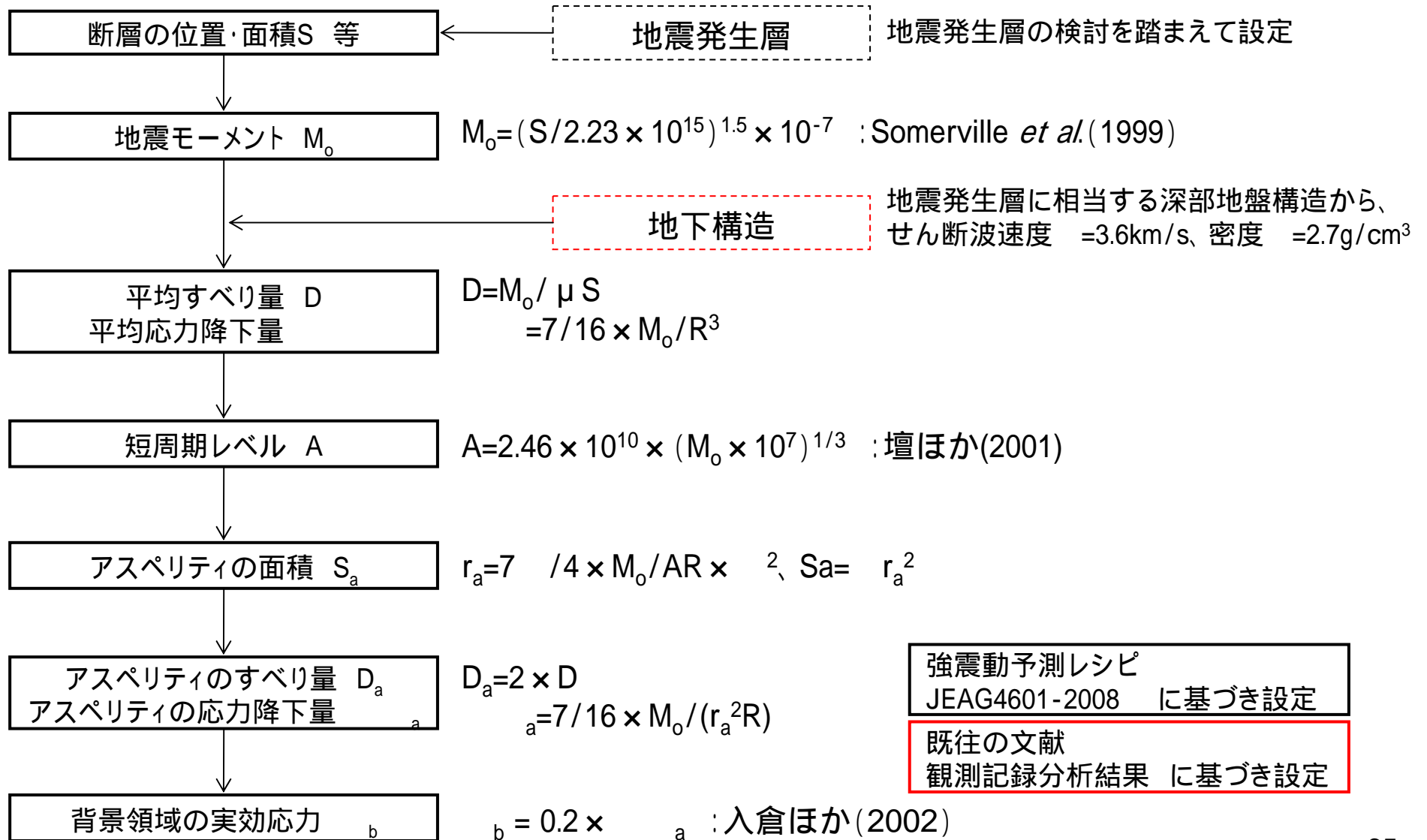


水平成分

鉛直成分

地震動評価 - F3 ~ F4断層 - (1/8) F3 ~ F4断層の断層モデルはほぼ同様

1) 断層モデルのパラメータ設定(基本設定フロー)



地震動評価 - F3 ~ F4断層 - (2/8)

1) 断層モデルのパラメータ設定(基本パラメータ)

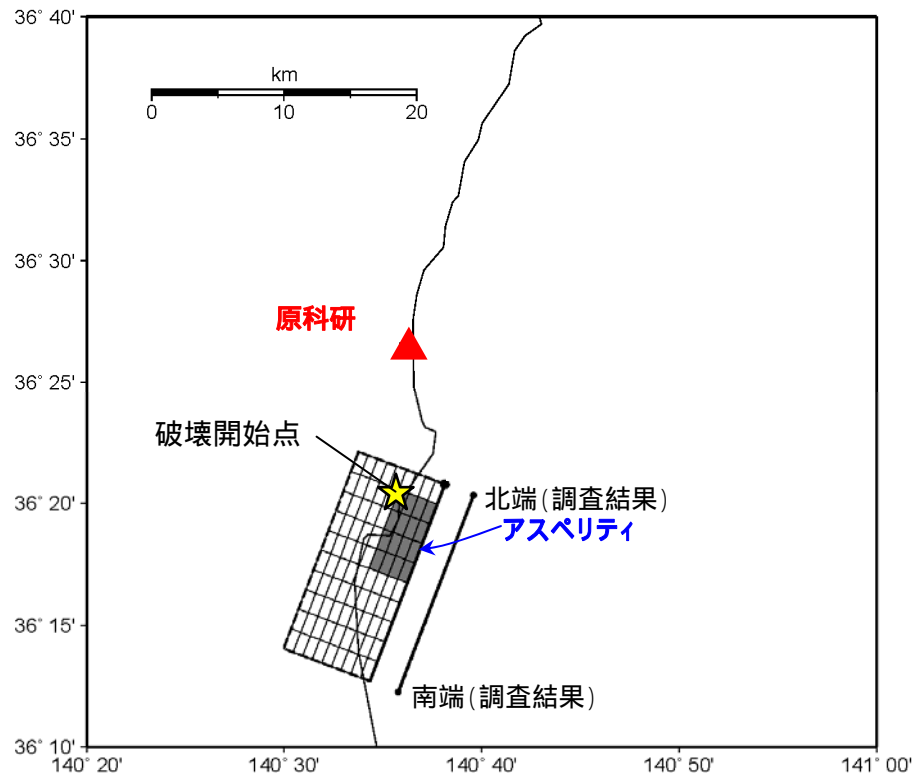
項目		設定値		
巨視的断層面	気象庁マグニチュード M_j	6.8	6.8	
	モーメントマグニチュード M_w	6.3	6.3	
	基準点	北緯(°)	36 20 47	36 20 47
		東経(°)	140 38 08	140 38 08
	断層上端 ~ 下端深さ(km)	4.0 ~ 16.0	5.0 ~ 18.0	
	断層長さ L(km)	16.0	16.0	
	断層幅 W(km)	14.0	15.0	
	断層面積 S(km ²)	224.0	240.0	
	走向(NE)	200.8	200.8	
	傾斜角(°)	60	60	
	破壊伝播形式	同心円状	同心円状	
	S波速度(km/s)	3.6	3.6	
	破壊伝播速度(km/s)	2.59	2.59	
	地震モーメント M_0 (N·m)	3.18×10^{18}	3.53×10^{18}	
	平均応力降下量(MPa)	2.3	2.3	

項目		設定値	
アスペリティ	面積 S_a (km ²)	37.3	40.0
	応力降下量 σ_a (MPa)	13.89	13.89
	平均すべり量 D_a (cm)	81.2	84.1
	地震モーメント M_{0a} (N·m)	1.06×10^{18}	1.18×10^{18}
背景領域	面積 S_b (km ²)	186.7	200.0
	実効応力 σ_b (MPa)	2.78	2.78
	平均すべり量 D_b (cm)	32.5	33.6
	地震モーメント M_{0b} (N·m)	2.12×10^{18}	2.35×10^{18}

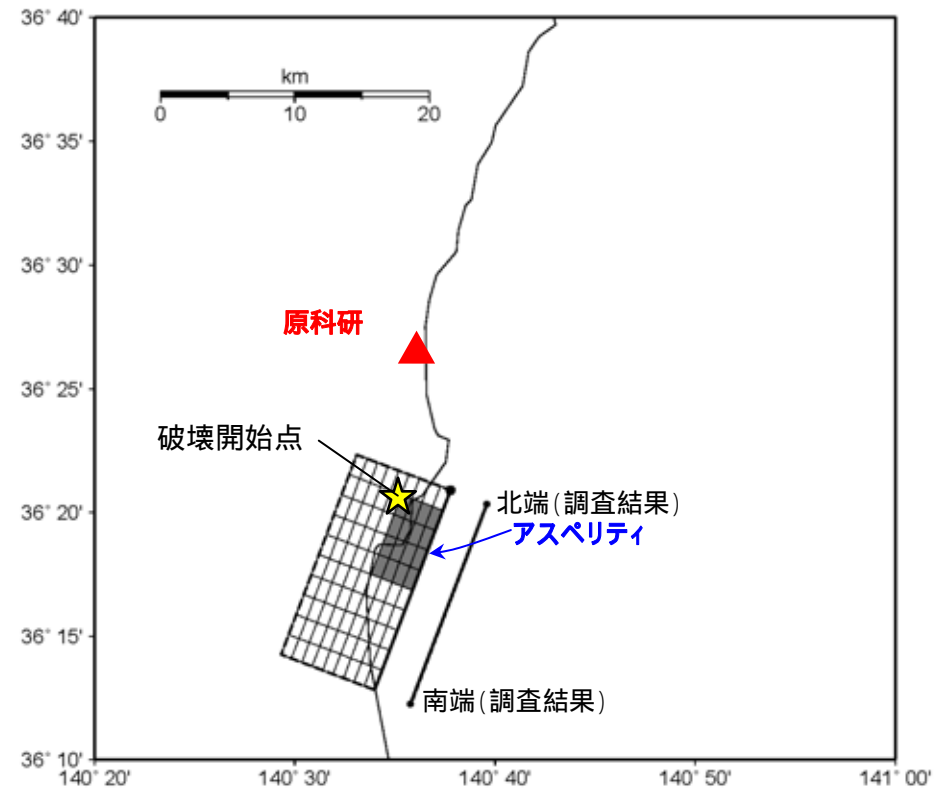
地震発生層の検討に基づき、断層上下端深さについて多角的に検討する。

地震動評価 - F3 ~ F4断層 - (3/8)

1) 断層モデルのパラメータ設定(基本パラメータ)



断層上下端深さ
4 ~ 16km



断層上下端深さ
5 ~ 18km

地震動評価 - F3 ~ F4断層 - (4/8) 不確かさの考慮は大洗研とほぼ同様

1) 断層モデルのパラメータ設定(不確かさ考慮)

	基本的な震源要素	不確かさの考慮		
		破壊開始点	断層傾斜角	短周期レベル
モデル図 図は断層上下端 深さ4~16km				
マグニチュード*	6.8	6.8	6.9	6.8
等価震源距離 [km]	19	19	18	19
	19	19	18	19

上段は断層上下端深さ4~16km、
 下段は断層上下端深さ5~18km

* 松田(1975)に基づき断層長さから評価

地震動評価 - F3 ~ F4断層 - (5/8)

1) 断層モデルのパラメータ設定(不確かさの考慮)

検討用地震として選定したF3 ~ F4断層に関する各パラメータについて、地震動への影響の程度を検討し、敷地に大きな影響を与えると考えられるパラメータに対して不確かさを考慮した。

		断層傾斜角	アスペリティ位置	破壊開始点	短周期レベル	断層上下端深さ	備考
	基本ケース	60° ¹ (西傾斜)	断層北部 ²	アスペリティ中央下端	レシピ平均	4 ~ 16km 及び 5 ~ 18km	
不確かさを考慮	破壊開始点	60° ¹ (西傾斜)	断層北部 ²	アスペリティ南下端	レシピ平均		
	断層傾斜角	45° (西傾斜)	断層北部 ²	アスペリティ中央下端	レシピ平均		
	短周期レベル	60° ¹ (西傾斜)	断層北部 ²	アスペリティ中央下端	1.5倍		中越沖地震知見反映

多角的に検討する。



不確かさを考慮したパラメータ

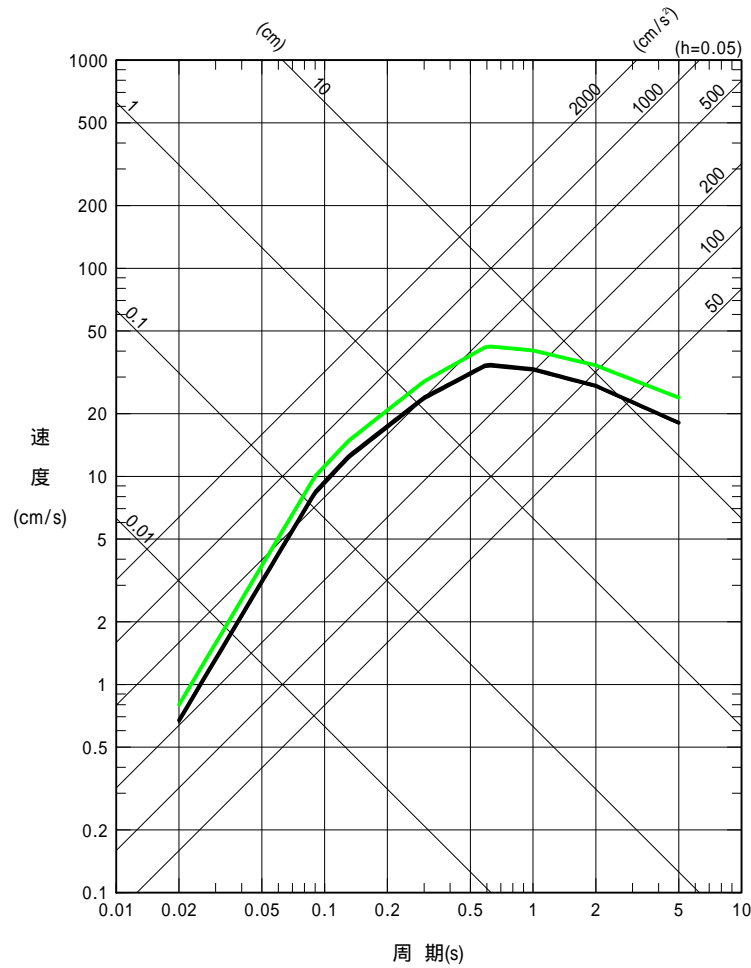
1: 調査結果より高角の断層として設定

2: 後期更新世以降の活動が否定できないF3断層北部に配置

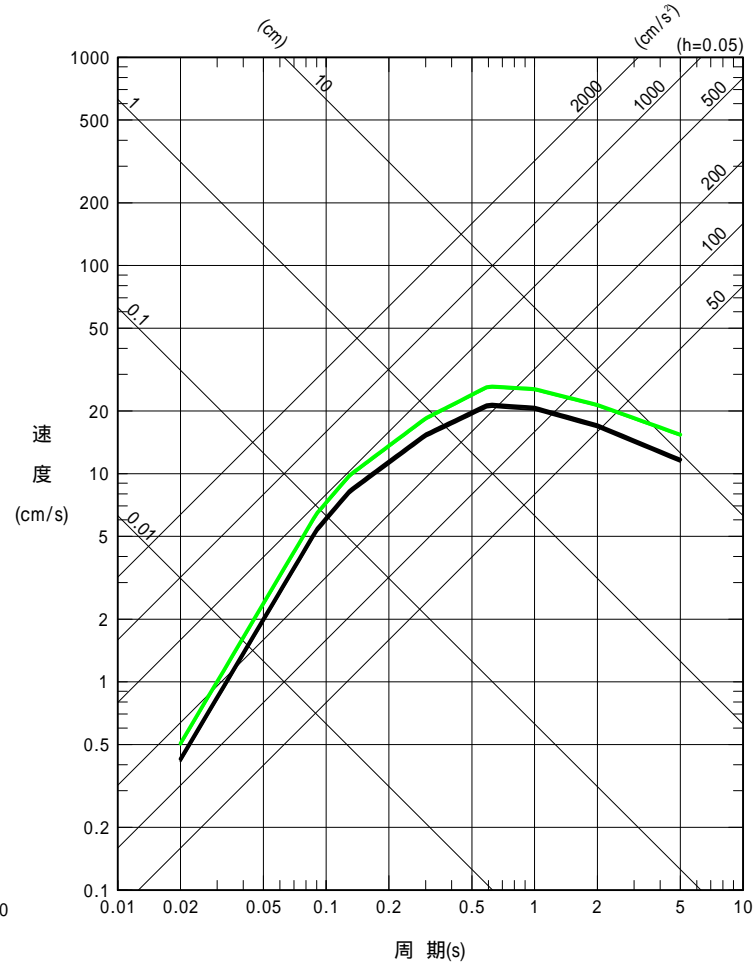
地震動評価 - F3 ~ F4断層 - (6/8)

2) 応答スペクトルに基づく手法(全ケース)

—— 基本ケース、破壊開始点、短周期レベル
—— 断層傾斜角
 太線 : 断層上下端深さ4 ~ 16km
 細線 : " 5 ~ 18km



水平成分

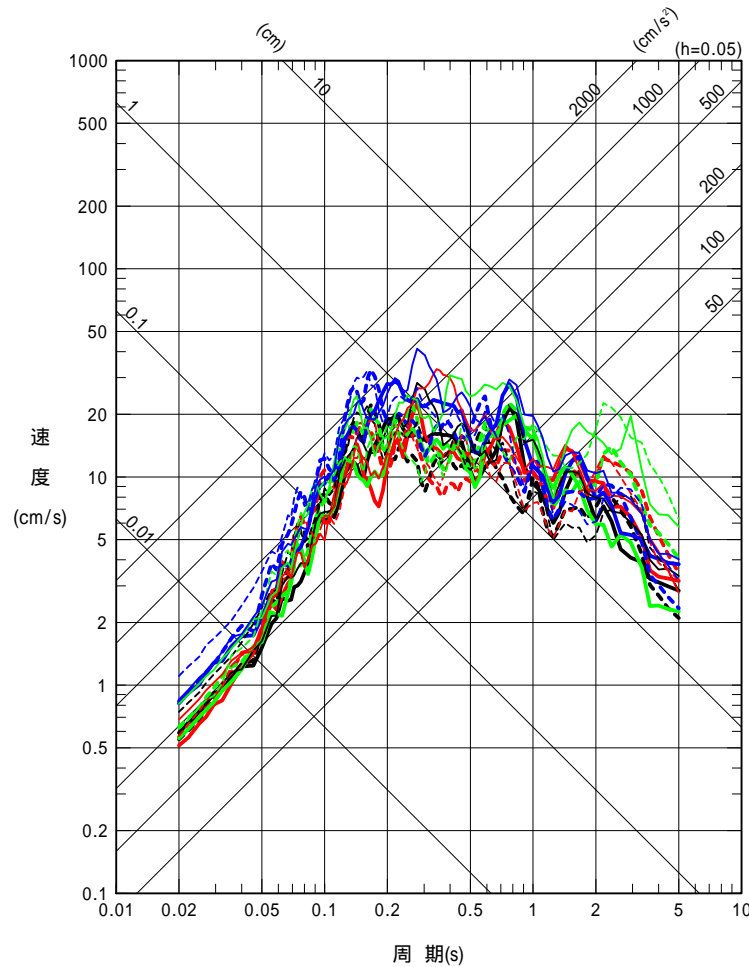


鉛直成分

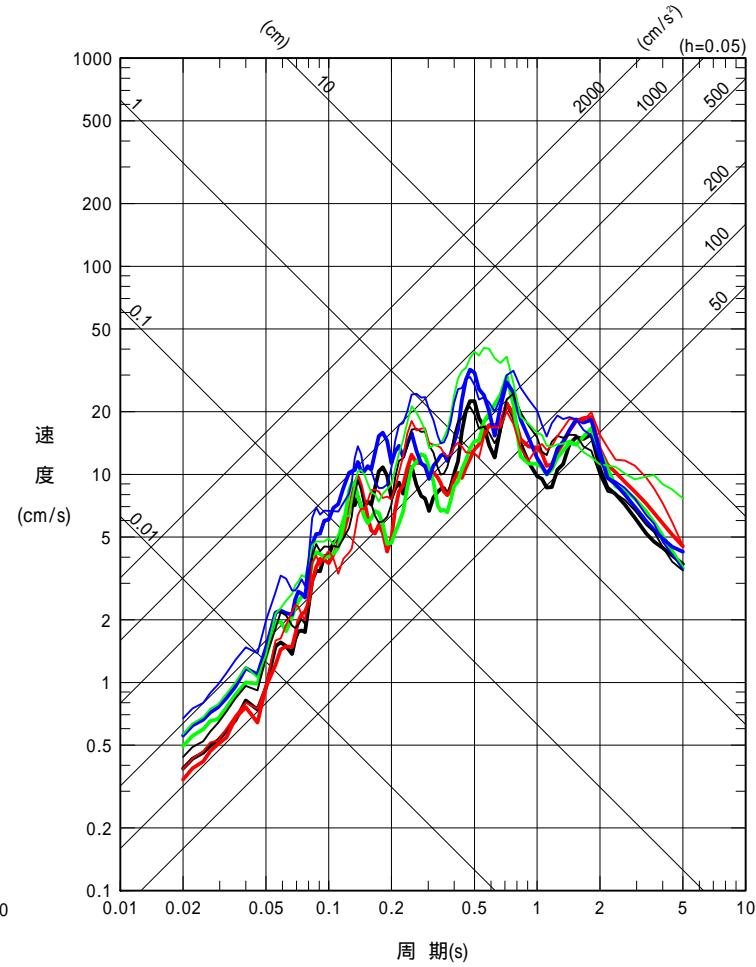
地震動評価 - F3 ~ F4断層 - (7/8)

3) 断層モデルを用いた手法: 統計的グリーン関数法(全ケース)

- 基本ケース
 - 破壊開始点
 - 断層傾斜角
 - 短周期レベル
- 実線 : NS方向、UD方向
 - 破線 : EW方向
 - 太線 : 断層上下端深さ4 ~ 16km
 - 細線 : " 5 ~ 18km



水平成分

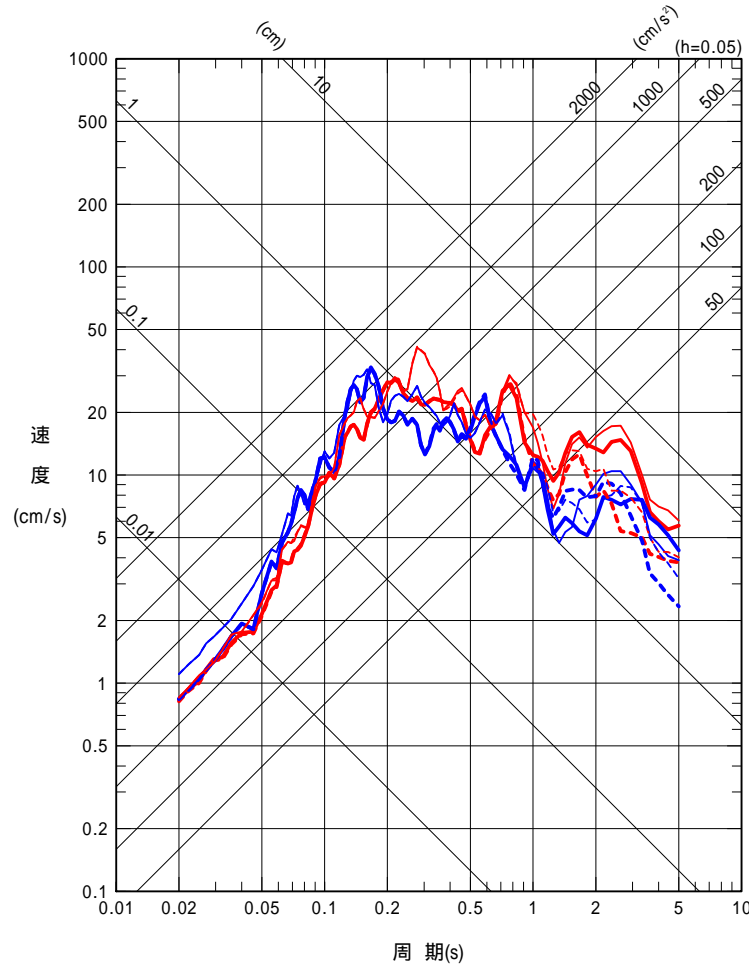


鉛直成分

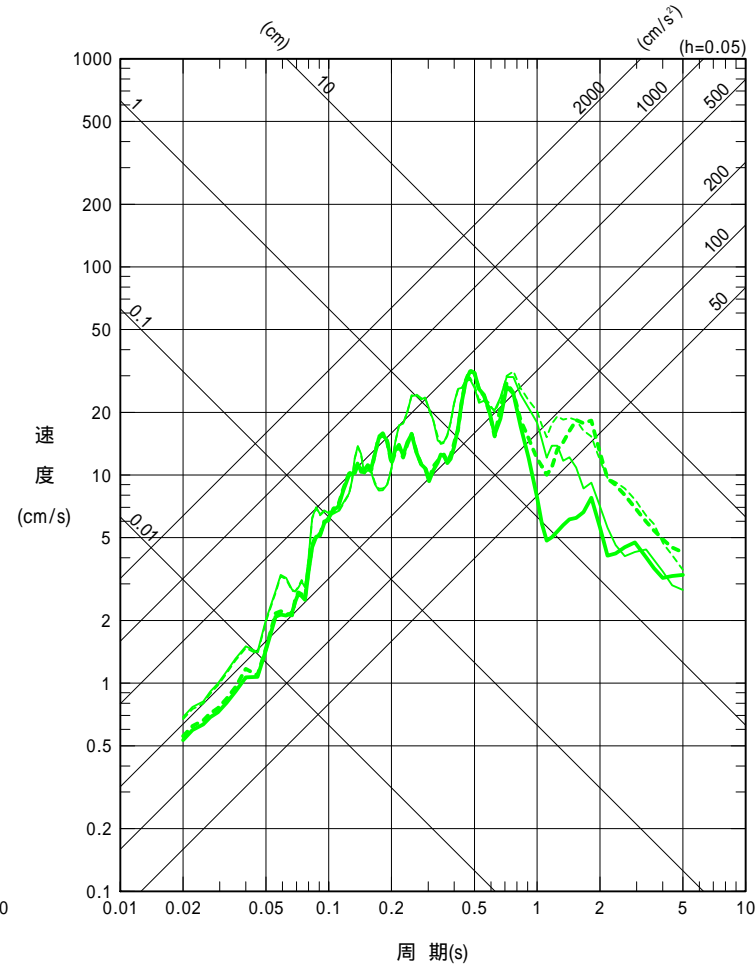
地震動評価 - F3 ~ F4断層 - (8/8)

3) 断層モデルを用いた手法: ハイブリッド合成法(短周期レベル)

- NS方向
- EW方向
- UD方向
- 実線 : ハイブリッド合成結果
- 破線 : 統計的グリーン関数法結果
- 太線 : 断層上下端深さ4 ~ 16km
- 細線 : " 5 ~ 18km



水平成分



鉛直成分