

「わかさ」ちゃんと「ママ」のひとこと談議

# 耐専スペクトルのここがヘン!?



もの知り娘「わかさ」ちゃんがママの疑問に答えます。今回は、原発の耐震設計で使われる「耐専スペクトル」という聞き慣れないけど、電力会社とお役人が大変困っているお話です。

(ママ) わかさちゃん、教えて！ちょうど1年前に新潟県沖で起きた地震で、近くの原子力発電所が大きな地震動を受けたわよねえ。そのときの揺れの大きさは、これまで経験的に予想されるものより約6倍も大きかったって、本当？

(わかさ) それって、新潟県中越沖地震で柏崎刈羽原発が受けた地震動の「応答スペクトル」の大きさが「耐専スペクトル」の約6倍だったって話のことね。

(ママ) なに？その「応答スペクトル」とか、「耐専スペクトル」とかって？

(わかさ) 「応答スペクトル」っていうのは、地震による揺れの大きさがどのくらいかっていうのを表すものよ。ブランコに座って、足をバタバタ激しく蹴っても、なかなか揺れないでしょう。だけど、ブランコの揺れに合わせて足を前後に動かすと大きく揺れるじゃない。ブランコはゆらゆらと揺れるから、その周期に合わせて足を動かすと大きく揺れるの。地震による

揺れも、それと同じよ。

どんなものにも、固有周期というものがあるって、ガタガタ揺れる普通の家は固有周期が1~2秒だけど、ゆらゆらと揺れる高層ビルやエレベータなどは固有周期が10秒にもなるの。原発では固有周期がもっと小さくて、大事な原子炉建屋や配管・機器などでは0.02~0.4秒程度なの。だから、ビビリ振動に弱いよ。応答スペクトルは「機器の固有周期ごとどの程度揺れるのか」を表すものなの。

たとえば、図1の一番上のギザギザの波線がそれ。柏崎刈羽原発で実際に観測された地震波に基づいて「解放基盤表面」と呼ばれる地下地層の位置で再現された地震動に対する応答スペクトルよ。横軸が固有周期(秒)で、縦軸が応答速度(cm/s)、揺れの大きさを揺れの最大速度で表したもののなの。この図の一番下の山形の曲線が「耐専スペクトル」よ。これと比べて一番上の波線が6倍も大きかったの。これまでの経験からすると、一番下の応答スペクトルになるはずだったのに、これを6倍も上回っちゃった

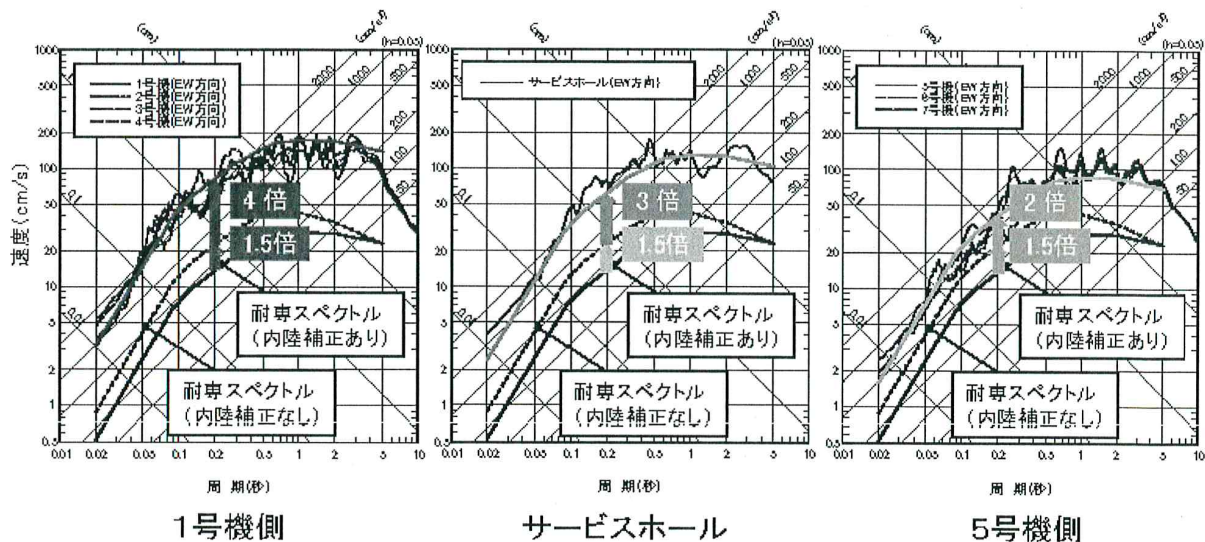


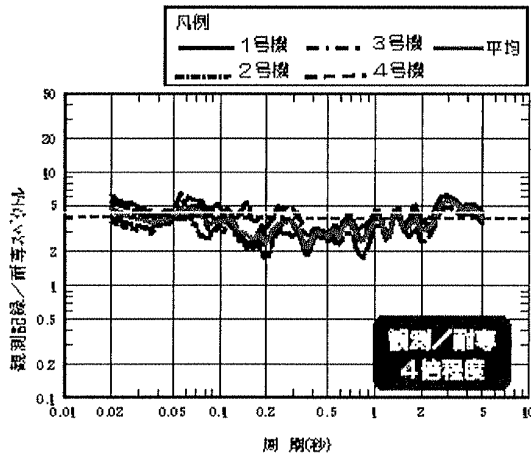
図1. 柏崎刈羽原発敷地内解放基盤表面での地震波(はぎとり波)の応答スペクトルと耐専スペクトルの比較  
 (上部のギザギザの波線が新潟県中越沖地震によるはぎとり波の応答スペクトル、一番下の山形の曲線が解放基盤表面位置の耐専スペクトル(M6.8, Xeq=15km, 内陸補正有)で、内陸補正なしの耐専スペクトルがそのすぐ上の破線、一番上の山形の曲線が一番下の曲線を6倍(左図)、4.5倍(中図)、3倍(右図)に引き上げたもの)

耐専スペクトルとの比率（解放基盤表面における推定波／耐専スペクトル〈内陸補正なし〉）

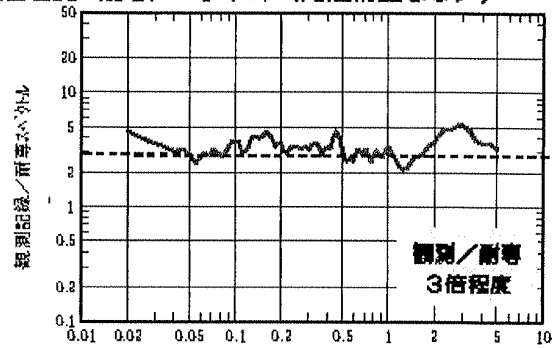
〈EW方向〉

それぞれの地点で耐専スペクトル（補正なし）との比率が1を上回る

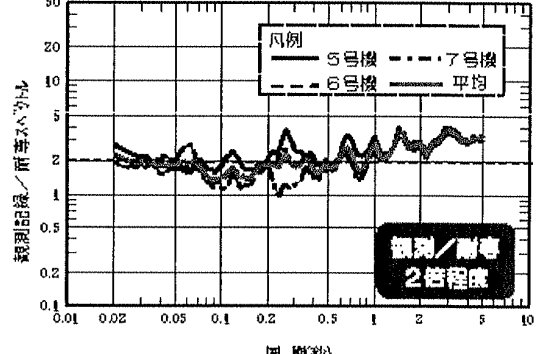
1～4号機と5～7号機において耐専スペクトルとの比率に違いがある



1号機～4号機（EW方向）



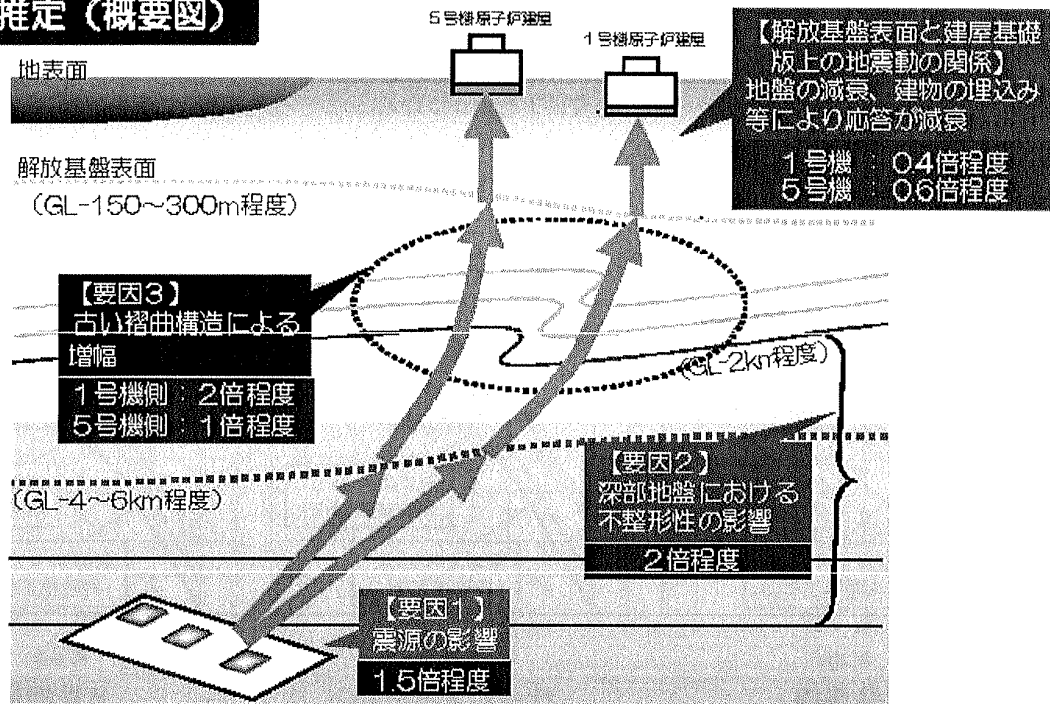
サービスホール（EW方向）



5号機～7号機（EW方向）

図2. 図1のはぎとり波の応答スペクトルと耐専スペクトル（内陸補正なし）の比（柏崎刈羽1～4号では0.02～0.1秒の短周期側で耐専スペクトルより4倍も大きい）

要因の推定（概要図）



※倍数は、耐専スペクトル\*1との比率

\*1 耐専スペクトル：Noda et al.(2002)に基づく応答スペクトル手法

図3. はぎとり波の応答スペクトルが耐専スペクトルの6倍になった理由の東京電力による説明

のよ。それで、みんなが大騒ぎしてるの。みんなとい  
っても、「耐専スペクトル」が正しいと言ってきた電力  
会社やお役人だけだね。

(ママ) それじゃあ、去年の新潟県中越沖地震って、  
普通に起きる地震より6倍も大きな規模だったんだ！

(わかさ)それが違うんだな。実際に起きたのは気象  
庁マグニチュードでM6.8、阪神・淡路大震災をもた  
らしたM7.3の地震よりかなり小さい、どこでも起きて  
も不思議じゃない、ごく普通の地震だったんだよ。

(ママ) じゃあ、なぜ、6倍も大きな揺れになったの？

(わかさ)もともと、耐専スペクトルには、上は1.6倍、  
下は0.6(=1/1.6)倍のバラツキがあるの。だから、この  
程度のずれがあっても「バラツキの範囲内」ってこと  
になるんだけど、6倍となると、そうなった理由を説明  
しないとイケないわよね。東京電力のおじさんたち  
の話では、6倍という数字のうち約1.5倍が「震源の性  
質」の違いで、残りの約4倍を「地震動が伝わる時の  
増幅」のせいだとしているよね。

「震源の性質」の違いというのは、地下で地震を起  
こした「震源断層の性質の違い」のことよ。左右から  
強く押されていると震源断層を挟んで大きな力が歪  
みとなって貯まるの。それも、震源断層の中でどこで  
も同じということじゃなくて、非常に大きな歪みが貯ま  
っているところと、ほとんど歪みが貯まっていないと  
ころが混在しているの。ちょうど、2枚の板の間にチュ  
ーインガムを張りつけて、2枚の板をずれ動かそうと  
したときのように。地震が起きると、この震源断層が  
ずれ動くんだけど、そのときに、チューインガムのあ  
るところ、つまり、歪みがたくさん貯まっているところ  
で大きくずれ動くの。そのときに強い地震波ができる  
のよ。新潟県中越沖地震では、この貯まった歪みが  
普通より大きくて、勢いよくずれ動いたもんだから、  
普通より1.5倍も強い地震波ができたらしいよ。

(ママ) やっぱ、震源断層が普通とは違ったんだ。

(わかさ)だけど、これまで「普通」と考えられていたも  
のが普通じゃなくて、今回の新潟県中越沖地震が  
「日本では普通の地震」なのかもしれないよ。だっ

て、その直前に起きた能登半島地震だって同程度  
に強い地震波ができていたし、最近の岩手・宮城内  
陸地震では短周期の地震波が新潟県中越沖地震  
よりもっと強かったそうよ。M7クラスの地震が次々と  
観測されるようになったのは、1995年の阪神・淡路  
大震災を契機に地震計がたくさん設置された後だ  
から、やっと「日本で起こる普通の地震」の姿が見え  
てきたと考えるのが正しいと思うよ。

(ママ) そうか、これまでの考えが古かったんだ。「常  
識」を見直さないといけないね。

(わかさ)話を元へ戻すけど、この震源断層の違いを  
取り去った残りが、「地震動が伝わる時の増幅効  
果」だと見られていて、図2のように、1～4号の解放  
基盤表面で約4倍、5～7号では約2倍、サービスホ  
ールでは約3倍にもなるの。そのしくみは図3のよう  
に考えられているわ。柏崎刈羽原発の地下の堆積層  
は「地震基盤」と呼ばれる堅い岩盤の上に5kmもあつ  
て、耐専スペクトルが作られた場所の1.2kmと比べると5倍も分厚いの。そのため、地震波が解放基盤表  
面に到達するまでに増幅したり、干渉しあったりする  
時間や距離が十分あったというわけ。しかも、堆積  
層が水平じゃなくて、震源から原発の敷地に向かっ  
て地層が持ち上がっていて、分厚いところから薄くな  
っていたため、地震波が原発の敷地周辺に集まるよ  
うに曲がって伝わったらしいの。さらに、図3のよう  
に、深さ2kmより浅いところで、堆積層が曲がりくね  
った褶曲構造になっていて、地震波が1～4号の敷地  
に集まるレンズのような構造になっていたらしいの。

(ママ) もっともらしい話だけど。それって、後からムリ  
ヤリ考えたこじつけじゃないの？

(わかさ)よく知らないけど、「地震が起きる前はそん  
なこと、誰も考えてなかった」ことだけは確かよ。だっ  
て、こんなに地震波が増幅するようなところに原発は  
建てちゃいけないでしょう。

(ママ) 原発の安全審査って、いい加減ね。

(わかさ)だって、安全審査をするお役人が「自分た  
ちではできない」って、サジを投げながら、「そのどこ

が悪い」って居直っているんだから。聞いた話では、「我々は専門委員会という場において、法律に定められた手続きで審査をした、過去において。それらに対する疑問点を、すべてにおいて、いろいろ承って、我々が答えるだけの人的キャパシティを、原子力安全委員会も原子力安全・保安院も持ってはおりません。」(原子力安全委員会事務局、2006年2月10日宮城県沖地震と女川原発耐震設計に関する市民との交渉で。原子力安全・保安院も同席し反論せず。)って答えたそうよ。

(ママ) 原発耐震設計の安全審査の新しい指針が2年前にできて、今、古い原発がこれに合っているかどうか調べる「バックチェック」っていう審査をしているんでしょう。大丈夫かしら。

(わかさ) かなり手こずっているようね。それもそのはずよ。新しい指針では、地震による影響を調べる方法として2つ定めていて、そのうちの一つがこの耐専スペクトルによる方法なの。だけど、実際より6分の1も過小評価していて、地震が起きないとどうなるかわからないようでは使い物になるかどうか問題ね。

もう一つの断層モデルによる方法も日本の地震にそのまま使うと地震動が過小に評価されるという結果が中央防災会議で具体的に示されていて、地震調査研究推進本部も最近になって断層モデルの評価法を修正したりして、うまくいってないの。新潟県中越沖地震の震源断層も、関連した活断層があることは知られていたようだけど、あそこに震源断層があって、あの規模で、あのような形で地震が起きるとは誰も事前に予測できなかったのよ。だから、断層モデルで評価すると言っても事前には評価できなかったし、今の時点で、もし、新潟中越沖地震が起きていないと仮定して断層モデルで評価するとしたら、耐専スペクトルによる評価と同じように大幅な過小評価になるはずね。だけど、バックチェックで審査にあたっている「専門家」の誰ひとりとして、それを指摘する人がいないのよ。素人でもわかることなのにね。

(ママ) それじゃあ、さあ、原発の下に褶曲構造がなければいいんじゃないの？

(わかさ) そんなに単純じゃないみたいよ。東京電力

とは別に地震を解析している原子力安全基盤機構によると、地震波の増幅効果は、5kmもの分厚い堆積層で約1.5倍、堆積層の厚さの変化で約1.5倍、2km以浅の地層の褶曲構造で約1.5倍(東京電力によると約2倍)とされているわ。だから、褶曲構造はもちろんだけど、解放基盤表面の下の地震基盤までの地下構造がどうなっているのかをきっちり調べる必要があるそうね。だけど、これまでは、解放基盤表面より下のことは全く気にかけていなかったし、十数キロ地下の震源断層から解放基盤表面までの地下構造を調べるのは大変なことね。しかも、それによる地震波の増幅効果を調べないといけないから、きっちりやるとすれば時間がかかりそうね。

(ママ) そんなこと、とつくの昔にやっているとってた。原子力安全委員会や原子力安全・保安院は、それを調べるよう電力会社に指示したんでしょう。

(わかさ) それがまだなの。今、どのように指示するかを検討中なんですって。

(ママ) エーッ！自力で審査する力がないばかりか、地下構造の調査・検討を指示する力もないの！そんな悠長なことで、本当に大丈夫？

(わかさ) どうだか。

(ママ) だったら、耐震安全性が確認されるまで、原発を全部止めて、じっくり調べてほしいわね。

(わかさ) 耐専スペクトルの問題は地下構造だけじゃないのよ。

(ママ) わかった！さっきの「普通の地震と思われていたものが実は普通じゃなくて小さすぎた」ってことに関係があるんじゃないの。

(わかさ) 実はそうなの。それは「耐専スペクトル」がどのように作られたのかをひも解くと、わかってくるの。だって名前が変じゃない？

(ママ) そう言われてみれば、そうね。その前は開発者の大崎順彦さんの名字をとって「大崎スペクトル」だったわね。「耐震スペクトル」でもないし、「耐専」っ

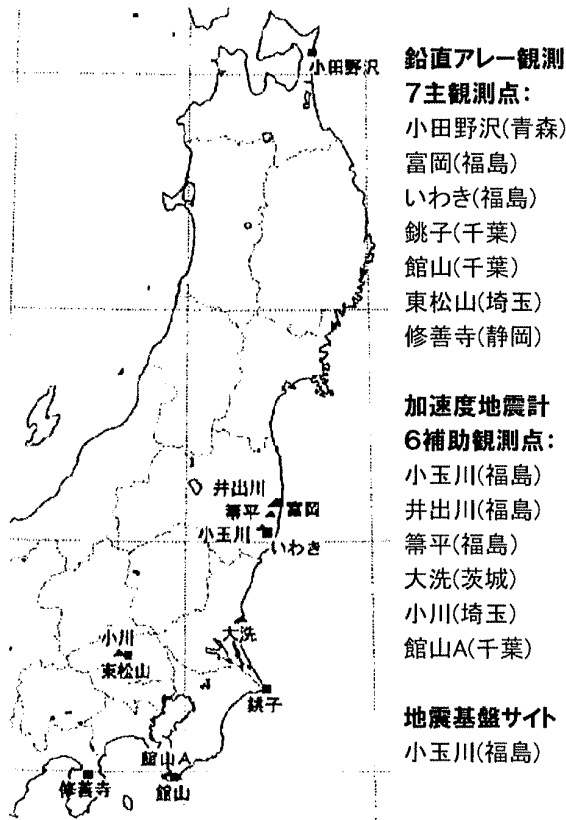


図4. 耐専スペクトルの地震観測点

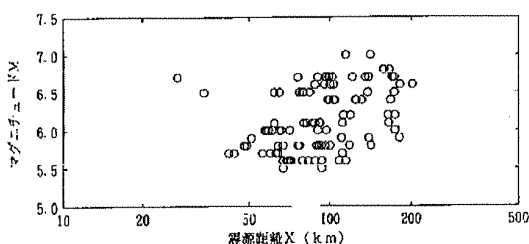
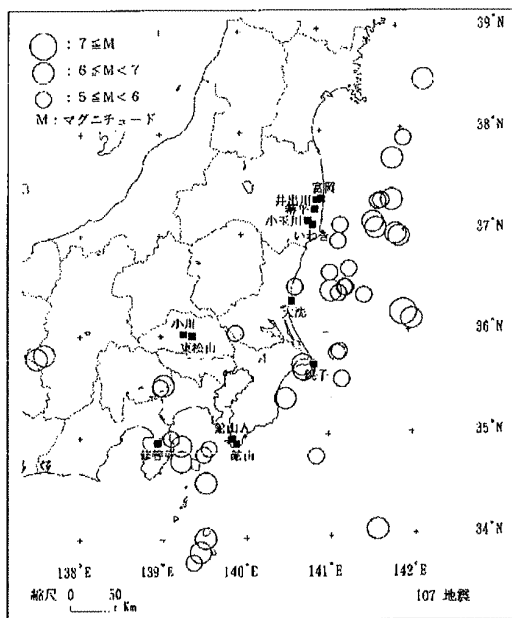


図5. 耐専スペクトルの元になった地震データ

て辞書にも載っていないし...

(わかさ) 実ほね、日本電気協会という電力会社や電気機器メーカーの作った団体があって、その中に「原子力発電耐震設計専門部会」という部会があるの。そこの「地震・地震動ワーキンググループ」が、青森と関東地方で1977年から20年間に収集された地震観測記録を使って、大崎スペクトルに代わる経験式を作ったというわけ。1998年の国内シンポジウムで初めてそのスペクトルが発表されたんだけど、耐専部会で審議されたスペクトルだから「耐専スペクトル」って呼んだらしいの。

図4がその地震観測記録をとった13箇所の観測点よ。このうち主な観測点は7つで、深さ数百m～980m(富岡)までの井戸を掘って何カ所かに地震計を据え付けて地震波を一斉に観測する「鉛直アレー観測」というのをやってるの。補助観測点のうちの小玉川を地震基盤サイトに選び、ここを基準に耐専スペクトルを作ったようよ。だから、観測点も限られているの。それに、なぜか知らないけど、表1のように青森の小田野沢の記録は使われてないから、福島を中心に、茨城、千葉、埼玉、静岡の12の観測点でとられた107の地震観測記録(水平成分214(東西107、南北107)と上下成分107)、観測点当たり2～19地震、平均9地震の観測記録にすぎないのよ。

表1. 観測点と観測記録の水平成分214波の内訳

地点	観測位置	S波速度	波数	データ補正
富岡	GL-100m	0.70km/s	30	はぎとり
いわき	GL-21m	1.18km/s	38	はぎとり
東松山	GL-58m	0.75km/s	18	はぎとり
銚子	GL-18m	1.4km/s	32	はぎとり
館山	GL-43m	0.6km/s	12	無
修善寺	GL-36m	0.70km/s	30	はぎとり
井出川	GL	2.00km/s	6	無(被り厚2.0m)
箒平	GL	2.70km/s	4	無(被り厚6.9m)
小玉川	GL-10m	2.20km/s	20	地盤特性補正
大洗	GL-14m	1.00km/s	16	無
小川	GL-10m	2.1km/s	6	無
館山A	GL	0.5km/s	10	無(被り厚1.5m)

注: 小田野沢(青森)の観測記録は使われていない。「はぎとり」とは、観測位置から上の地層をはぎとったと仮定した場合に観測される地震波に補正すること。

(原子力安全基盤機構「岩盤における設計用地震動評価手法(耐専スペクトル)について」、耐PT4-6-4号、2007.8.24)

(ママ) へえーっ、20年でそれだけしかとれないの。

(わかさ) それだけじゃないの。地震の数は全部で44あるんだけど、このうち32個(81記録、水平成分162波)がプレート境界地震で、内陸地殻内地震は残り12個にすぎないのよ。図5のように、内陸地殻内地震は伊豆半島付近の地震が半分ぐらいを占めていて、プレート境界地震の大半は福島県沖なの。地震の発生場所にずいぶん偏りがあるし、スラブ内地震の観測記録に至っては、ひとつもないの。

(ママ) へえーっ、そんなに数が少なくて、地域が偏っていて、どうして全国どこでも使えるような「耐専スペクトル」が作れるの？

(わかさ) 地震の数が少ないため、内陸地殻内地震もプレート境界地震も全部まぜこぜにして「耐専スペクトル」を作ったっていうわけ。図6のようにプレート境界と内陸地殻内地震では地震がおこる場所も震源断層の性質も大きく違うから、本当は一緒にしてはいけないのよ。たとえば、震源断層から出る短周期地震動の強さは、内陸地殻内地震を1とすると、プレート境界地震(福島・宮城県沖)で2倍程度、スラブ内地震(宮城県沖)で4~6倍だと言われているの。沈み込んだプレートによるプレート境界地震やスラブ内地震では40km以上の地下深くで起きることが多いから地震波が弱くなると思われがちだけど、プレート内や下部地殻の堅い岩盤をすばやく伝わってくるから、あまり弱くならないのよ。だから、違う性

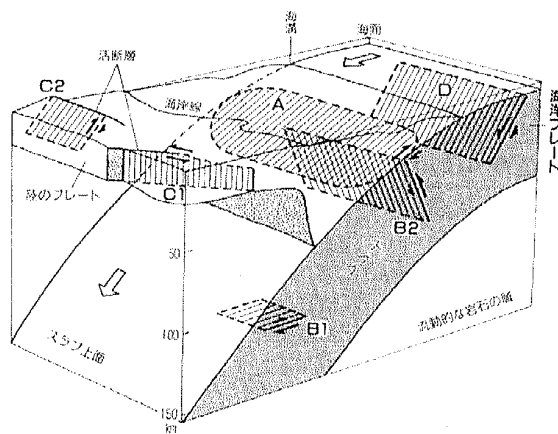


図6. 内陸地殻内地震(C)、プレート境界地震(A)、スラブ内地震(B)(石橋克彦「阪神・淡路大震災の教訓」、岩波ブックレットNo.420、p.13)

質の地震を味噌も糞も一緒にして、あっ、ちょっと下品だったよね、一緒に解析すると本当はダメなの。だけど、観測記録のある地震の数が少ないから、「科学的」とは言えないやり方をしたんだと思うわ。

(ママ) それじゃあ、使い物にならないじゃない。

(わかさ) そこで、耐専スペクトルの適用可能性をチェックして、「内陸補正」という魔法の玉手箱を持ち出すのよ。地震観測記録の少なさと地域の偏りをカバーするために、国内外の地震観測記録を集めて、耐専スペクトルに合うかどうかを確かめたわけ。それ

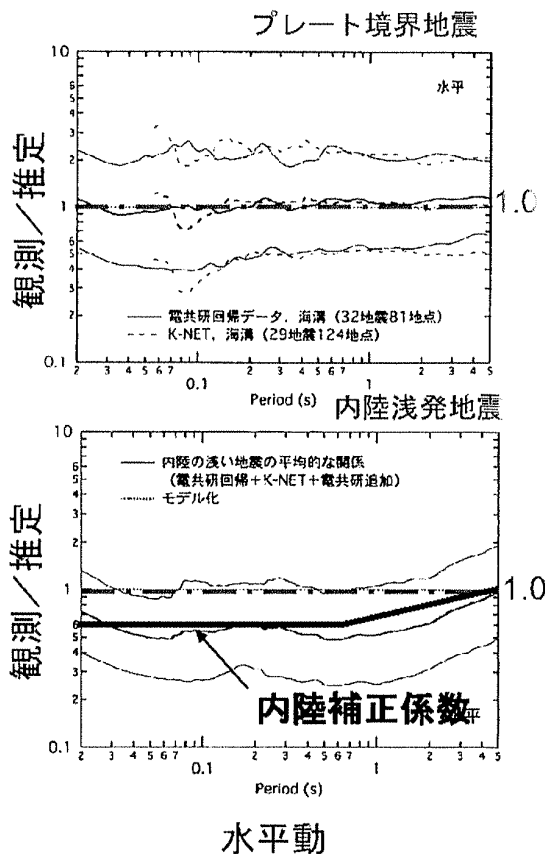
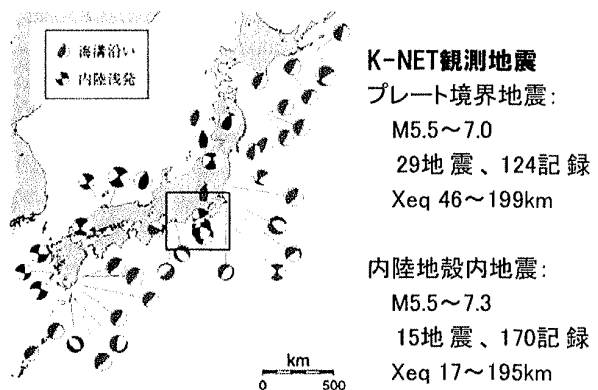
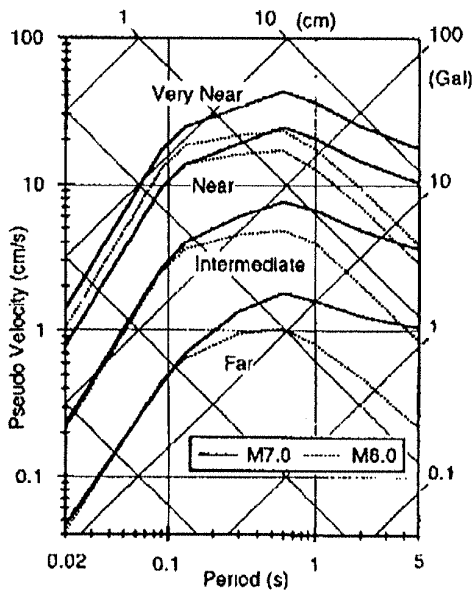
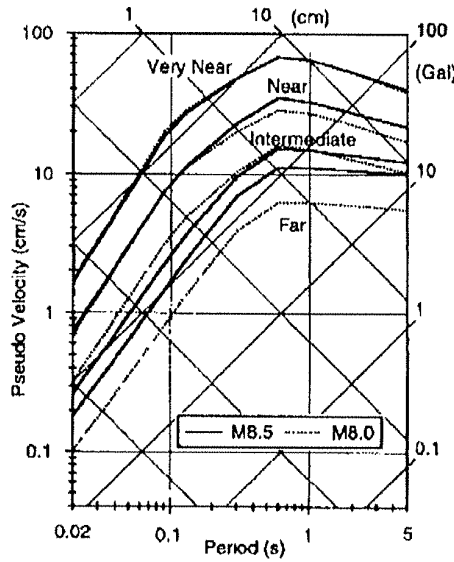


図7. 耐専スペクトルの適用可能性と内陸補正係数

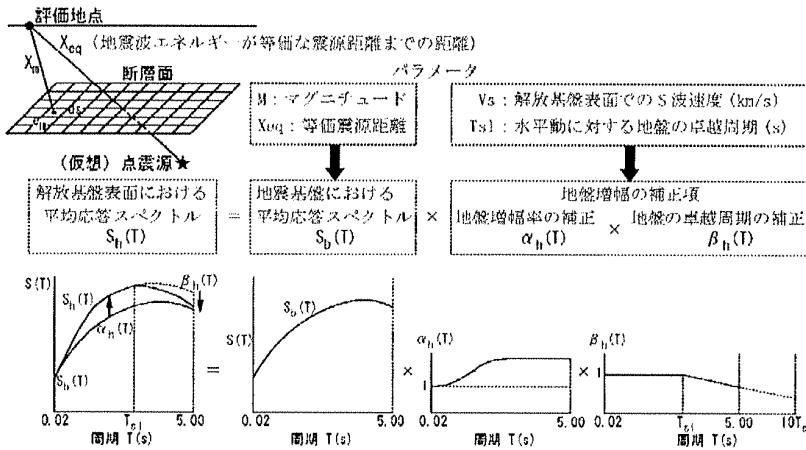
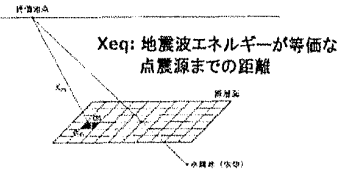
# 「耐専スペクトル」とは、こんなもの



左図のように、気象庁マグニチュードでM6、M7、M8、M8.5に分けて、等価震源距離 $X_{eq}$ で極近距離(Very Near)、近距離(Near)、中距離(Intermediate)、遠距離(Far)を定め、それぞれに対して応答スペクトルが定められています。応答スペクトルの各グラフの主な点は「コントロールポイント」と呼ばれ、下表のA~Hで与えられ、その座標は周期Period (s)と疑似応答速度 Pseudo Velocity (cm/s) で表されます。下表では周期 $T_A \sim T_H$ が0.02~5.00秒に固定され、各周期に対する疑似応答速度 $pS$ (cm/s)の値が表の中に示されています。

M	$X_{eq}$ (km)	コントロールポイントの座標 $pS$ , (cm/s)								
		A	B	C	D	E	F	G	H	
		TA(s)	TB(s)	TC(s)	TD(s)	TE(s)	TF(s)	TG(s)	TH(s)	
極近距離	8.5	40	1.62	18.44	27.32	47.87	68.05	64.66	53.52	40.06
	8	25	1.69	20.05	28.96	48.22	67.80	65.25	52.51	38.35
	7	12	1.40	17.20	24.84	33.86	43.42	36.42	25.15	17.85
	6	6	1.04	12.82	18.51	21.84	23.17	17.41	9.64	3.88
近距離	8.5	80	0.73	7.36	11.43	22.92	34.79	32.58	27.60	21.96
	8	50	0.67	7.45	11.17	20.05	28.65	27.06	22.70	17.19
	7	20	0.78	9.44	13.64	19.10	24.83	20.69	14.46	10.37
	6	8	0.77	9.45	13.65	16.23	17.18	12.73	7.16	2.89
中距離	8.5	160	0.26	2.22	3.67	9.45	15.17	14.83	13.64	12.26
	8	100	0.32	3.08	4.86	10.27	16.04	14.96	12.73	10.37
	7	50	0.23	2.65	4.01	6.02	7.64	6.68	4.87	3.64
	6	25	0.21	2.49	3.60	4.54	4.84	3.98	2.07	0.86
遠距離	8.5	200	0.18	1.44	2.43	6.87	11.17	11.17	10.67	10.04
	8	200	0.10	0.80	1.35	3.82	6.21	6.21	5.93	5.58
	7	125	0.046	0.43	0.70	1.34	1.81	1.59	1.26	1.05
	6	78	0.041	0.45	0.65	0.95	1.03	0.80	0.49	0.22

等価震源距離は右図のように震源断層を格子状に切り、各格子から地震観測点までの距離を地震波エネルギーの大ききで加重平均したものです。



左図が耐専スペクトル策定の考え方です。地震観測点の地震基盤から解放基盤表面までの地震波の増幅率を $\alpha$ と $\beta$ で補正しています。

こうして策定されたのが左上図と上表のスペクトルです。

プレート境界地震はそのままですが、内陸地殻内地震の場合には、これを0.6倍する「内陸補正」が加わります。

事前の地震観測データがあれば、サイト補正係数を求め、それを掛けることになります。

が図7よ。これ以外にM5.4～M8.1の37記録(等価震源距離 $X_{eq}=14\sim 218\text{km}$ 、前ページの解説参照)を使って耐専スペクトルの適用範囲をムリヤリM8.5まで広げたんだけど、その話はまた後でね。

まず、プレート境界地震については、防災研究所のK-NET国内観測記録から29地震、124記録を使って耐専スペクトルがプレート境界地震に合うかどうかを確かめたの。そうすると、図7の上の図のように倍半分のバラツキはあるけど、平均的には合うことが確かめられたの。それが2002年までの話。ところが、2005年に宮城県沖プレート境界地震が起きると、衝撃が走ったのね。図8のように、宮城県沖地震の女川原発の敷地解放基盤表面での地震波(はぎとり波)の応答スペクトルが破線の耐専スペクトルを5倍ほど超えてしまったの。びっくりして宮城県沖の中小のプレート境界地震について調べてみると、図9のように、30kmより深いところで起きるプレート境界地震では軒並み耐専スペクトルを2～7倍も超えていたのよ。結局、プレート境界地震に対しても、宮城県沖では地域の特殊性があって、そのままでは適用できない、補正係数が必要だということになったの。そうすると、プレート境界地震に対してさえ、倍半分のバラツキを考えると、耐専スペクトルは福島県沖周辺の30kmより浅いプレート境界地震に対してしか使えないということになっちゃったのよね。だから、東海、東南海、南海などのプレート境界地震に対しては、そこで実際に地震が起らないと、耐専スペクトルが使えるかどうかもわからないということなのよね。

それじゃあ、内陸地殻内地震はどうかというと、K-NETから170記録を使って同じようにチェックした結果が、図7の下の方よ。原発の重要機器の固有周期は0.02～0.4秒だから、この周期帯での応答スペクトルが重要よ。この周期帯では0.6倍になっているわね。つまり、耐専スペクトルは実際の内陸地殻内地震の応答スペクトルを1.7倍(=1/0.6)も過大評価していると評価されたの。そこで、内陸補正係数を耐専スペクトルにかけて内陸地殻内地震を過大評価しないようにしようということになったのね。ところが、新潟県中越沖地震が起きると、図1のように耐専スペクトル(内陸補正有)を6倍も上回ってしまった

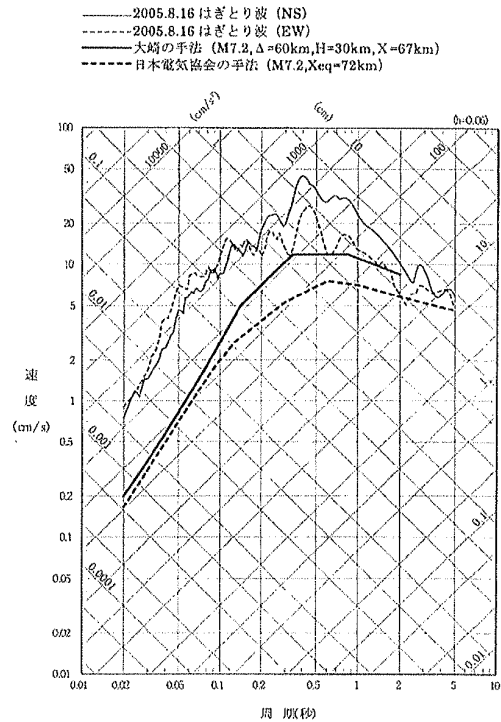


図8. 宮城県沖プレート境界地震と耐専スペクトル  
(日本電気協会の手法が耐専スペクトル)

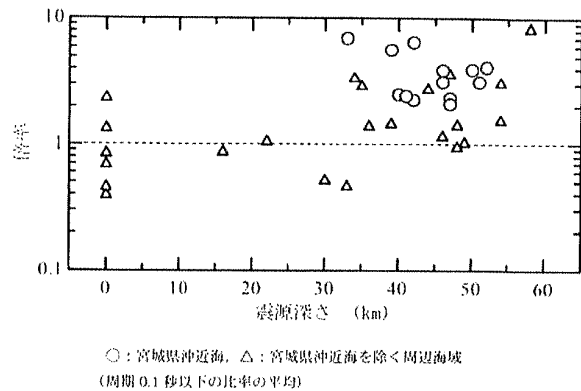
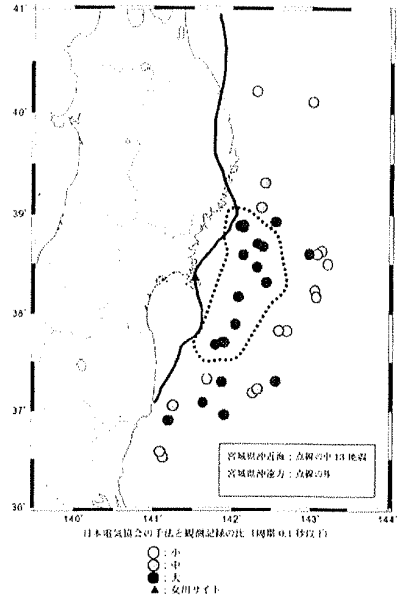


図9. 宮城県沖とその周辺で起きたプレート境界地震に対する耐専スペクトルの比

(右図: プレート境界地震の震央  
上図: 周期0.1秒以下の解放基盤表面はぎとり波の応答スペクトルと耐専スペクトルの比)





の。結局、内陸地殻内地震についても、過大評価どころか、過小評価していたことになっちゃったの。

当然のことだけど、これは新潟県中越沖地震だけの特徴じゃないのよね。そのM5.8の最大余震に加えて、M6.9の能登半島地震やその付近のM6.6の海域(東側)の地震でも、図10のように、原発にとって大事な0.4秒以下の周期で、耐専スペクトルより2倍ないし5倍になっているの。図10のNo.1とNo.2とで2~3倍の差があるから、これは柏崎刈羽原発の敷地地下構造による増幅だけでは説明できないわね。能登半島地震では短周期地震動が強かったから、こうなったんでしょね。結果として見えてきたことは、耐専スペクトルでは180kmほど離れた地震の短周期地震

動を大幅に過小評価しているっていうことよ。逆に、陸域(西側)の地震だと、M5.8~M6.1の新潟県中越地震の4余震とその周辺で起きたM5.6の地震では、図11のように耐専スペクトルの0.5~0.6倍になり、耐専スペクトルの内陸補正係数0.6と整合しているように見えるわね。だけど、どうしてこの中に同じ2004年10月23日の新潟中越地震の本震M6.8や最大余震M6.5が入っていないのか不思議ね。ごく最近の岩手・宮城内陸地震では新潟県中越沖地震よりもっと大きな短周期地震動が地下岩盤で観測されているから、これを解放基盤表面のはぎとり波に換算して応答スペクトルを求めれば、短周期側で耐専スペクトルを図10以上に大きく超えるかもしれないわね。だ

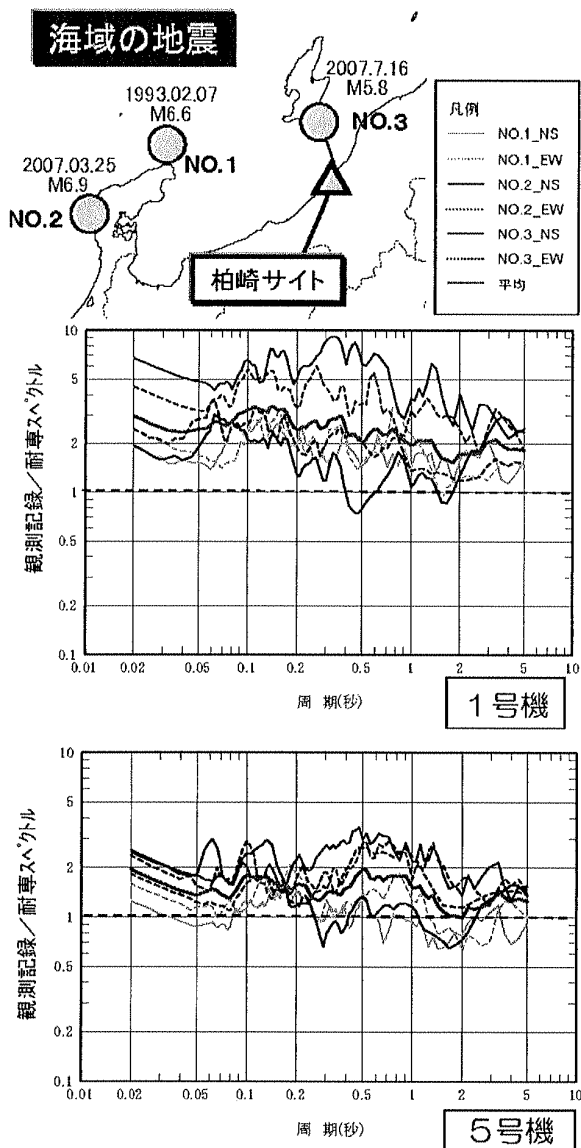


図10. 海域側地震による柏崎刈羽原発での観測記録

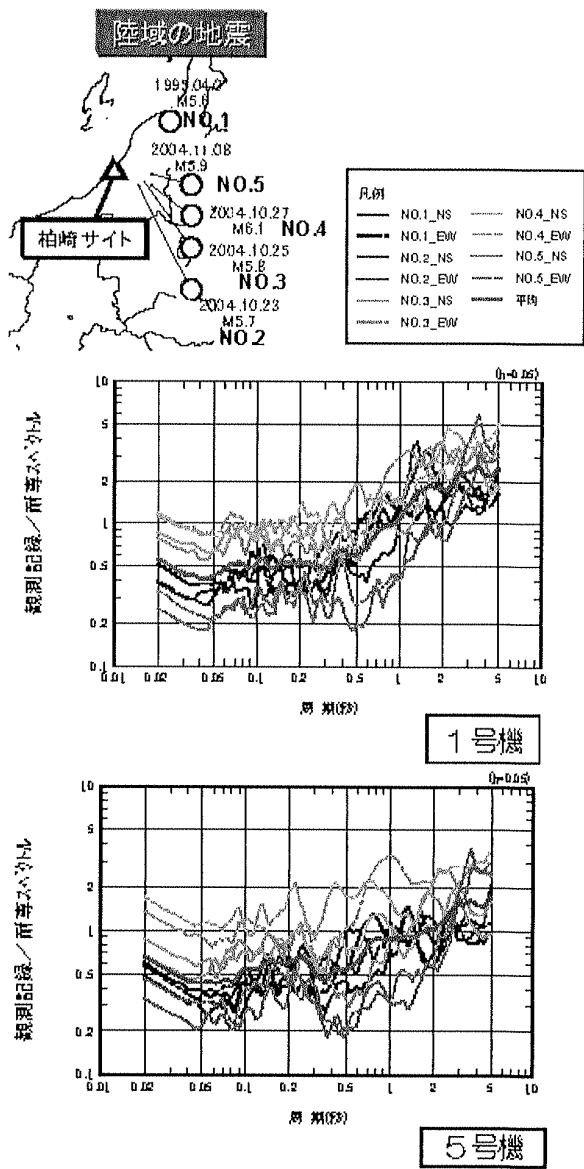


図11. 陸域側地震による柏崎刈羽原発での観測記録

から、陸側は耐専スペクトルに合うと言ったって、都合の良いデータだけを使っている可能性があるのよ。

(ママ) ヘーっ、そうなんだ。海域の地震より陸域の地震のほうが個数が多いから、慎重に選んでいるんだとばかり思った。

(わかさ) とくに、注意しなくちゃいけないのは、地震の規模がM6.8未満とそれ以上とでは性質が大きく違うということよ。というのは、地震動のもう一つの評価法の「断層モデル」では、この区別がはっきりしていて、M6.8未満では震源断層はほぼ正方形になるけど、M6.8以上では深さ方向の断層幅が飽和して横に長くなり、より強い短周期地震動が複数箇所で生み出され、これらが複雑に干渉し合うことになるの。だから、地震動を過小評価しないためには、絶対にM6.8以上の地震観測記録が不可欠なのよ。

だけど、耐専スペクトルを求めるための図5の地震観測記録をみると、最大がM7.0だけど、100km以上

離れたプレート境界地震で、内陸地殻内地震の記録は全部M7未満なの。M6.7とM6.5の地震が26kmと34kmの位置で観測されている程度で、あとは60km以上離れたM6.8未満の地震にすぎないの。この地震観測記録のデータ不足を補うために使われた国内外の地震観測記録も、図12のように、ごく限られているわ。等価震源距離(12ページの解説参照)で20km未満のものは、M5.7(14km)、M6.7(19km)、M7.1(17km)の3つだけ。防災研のK-NETのデータも追加されたけど、内陸地殻内地震はM5.5~7.3の15地震(170記録、等価震源距離  $X_{eq} = 17 \sim 195$ km)のうち、20km未満はM5.5(15km)とM5.7(20km)の2つだけ。だから、耐専スペクトルは、断層幅が飽和していないか、飽和した程度の震源断層に対する地震動評価に留まっていると言えるのよ。

(ママ) ということは、耐専スペクトルって、まだまだデータ不足の未完成なものだってこと？

(わかさ) その通りよ。とくに、耐専スペクトルはM8.0

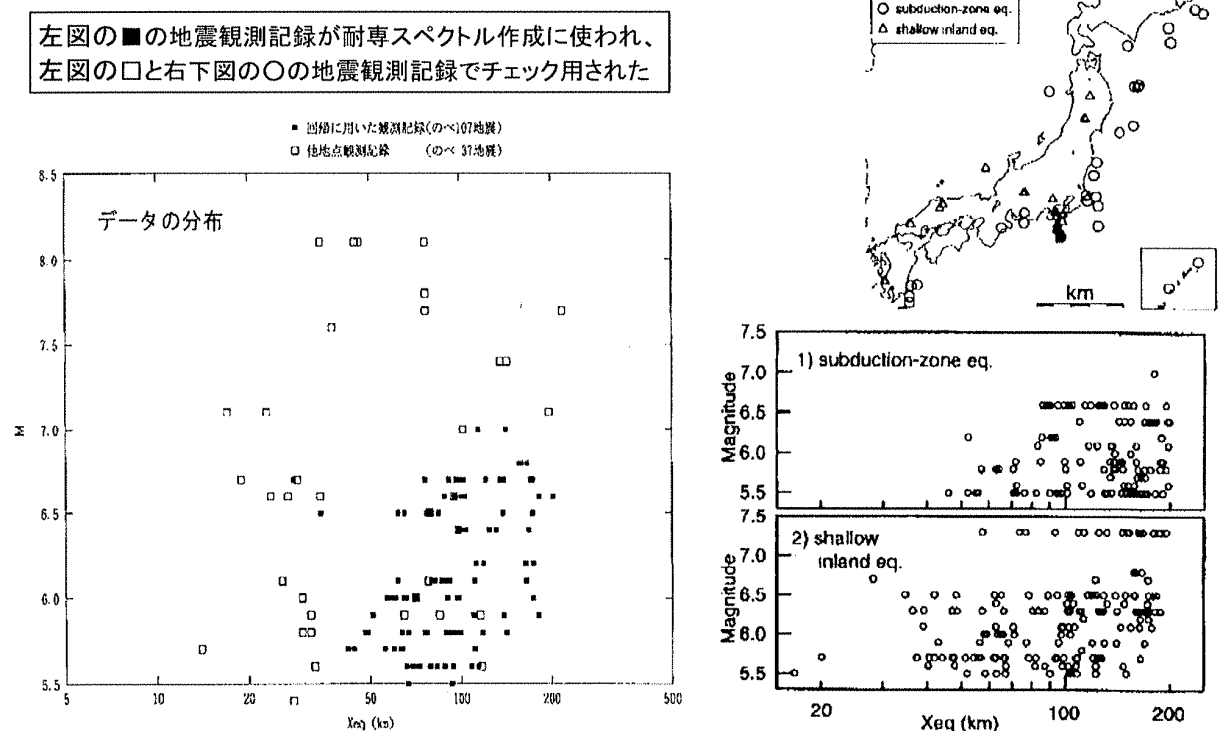
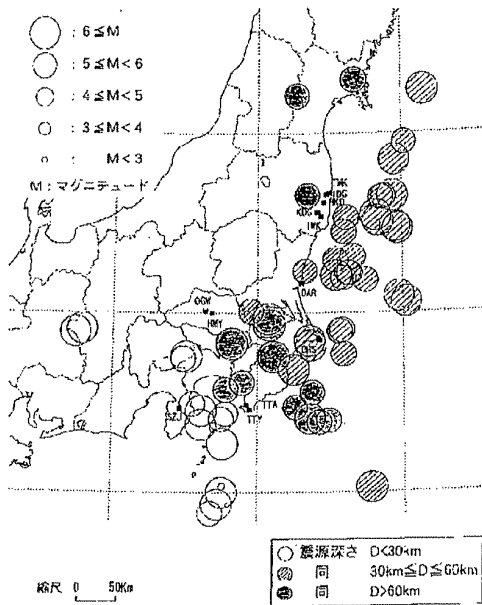
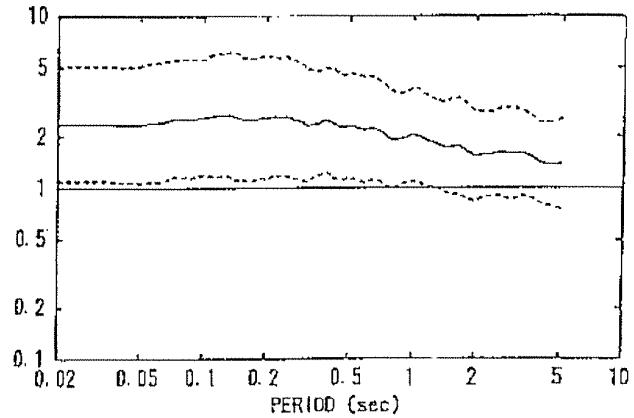


図12. 耐専スペクトルを作成するための元データとその適用可能性をチェックするために使われた地震観測記録(左図:耐専スペクトルを作るために用いた元の国内データ(44地震、107観測記録、■)とその適用可能性をチェックするための国内外のデータ(37観測記録、□)、右図:耐専スペクトルの適用可能性をチェックするために追加されたK-NETの国内データ(図7で用いられた44地震、294観測記録、右上・右下図の「subduction-zone eq.」がプレート境界地震(29地震、124観測記録)で、「shallow inland eq.」が内陸地殻内地震(15地震、170観測記録)を表す)



残差の平均と±1σ



(c) 深さ D>60km のやや深発地震 (108 成分)

図13. 60km以深のやや深発スラブ内地震に対する耐専スペクトルの補正係数(左図はスラブ内地震の発生場所、右図は耐専スペクトルで対象外としている深さ60km以深のスラブ内地震(左図●)の応答スペクトルに対する耐専スペクトルの比)

とM8.5の応答スペクトルを決めているけど、M7.0までのデータに合うように応答スペクトルを決めた後、データの無い適用範囲外へ、それを外挿しているにすぎないのよ。 M8.0については海外の1985年チリ地震や1985年メキシコ地震に合うかどうかをチェックしているけど、日本ではまだM8.0クラスの地震が起きてないから、日本の地震に合うかどうかは、新潟中越沖地震のように、起きてみないとわからないの。M7.0までの応答スペクトルが変わればM8.0以上についても変わらざるを得ないから、大変なことよ。

(ママ) だけど、ここ数年間で立て続けに起きた地震の観測記録を補充して耐専スペクトルを作り直さないと意味がないじゃない。なぜ、そうしないの？

(わかさ) そうすると、耐専スペクトルが大きくなりすぎて都合が悪いんじゃないの。

(ママ) 誰かさんの都合じゃなくて、国民の都合を最優先させるべきよ。

(わかさ) 私もそう思うわ。最後に、スラブ内地震について一言付け加えるとね、耐専スペクトルではスラブ内地震の観測記録がないからスラブ内地震に対する耐専スペクトルは今はないの。だけど、耐専スペクトルにスラブ内地震用の補正係数を求めることはできるから、60kmより深いスラブ内で起きた地震

の観測記録から解放基盤表面ではぎとり波の応答スペクトルを求め、耐専スペクトルとの比を求めたのが図13よ。スラブ内ではやはり、平均で2倍も大きく、倍半分のバラツキがあることもわかるわよね。だから、スラブ内地震については、このような補正係数を地域ごとに求めて掛け合わせることで耐専スペクトルを求めようとしているの。結局のところ、突き詰めていくと、今の耐専スペクトルでは将来の地震動を適切に予測することはできなくて、地震観測記録で補正するしかないのね。もし、地震観測記録がないと、耐専スペクトルで、地震動が適切に評価されているのか、また、どれだけ過小評価されている可能性があるのか、全くわからないと言えるの。もし、このまま、今の耐専スペクトルを使うと、「小さな地震に対する応答スペクトルの評価を大きな地震に適用するため、地震動を過小評価することになる」ことだけは確かなようね。

(ママ) とんでもないことだわ。原子力安全委員会や原子力安全・保安院のお役人さんはこのことを知ってるの？ 専門委員会で誰か、この問題点を指摘してくれる人はいないの？

(わかさ) 中には、「地震観測記録が特定の地域に偏っている」とか、「近距離のデータがないから近距離では適用できない」なんて言う人もいるけど・・・

