

女川原子力発電所2号炉 基準地震動の年超過確率の参照について (コメント回答)

平成30年3月23日
東北電力株式会社

審査会合におけるコメント

No.	コメント時期	コメント内容	回答の概要(記載頁)
S168	平成30年1月12日 第538回審査会合	プレート間地震のロジックツリーにおいて、宮城県沖の特定地震と領域震源の発生頻度を1/2とする考え方は重み付けが小さいともみえるので、他の考え方も含め再度、整理して説明すること。	地震本部(2013)の地震活動モデル(1, 2)をロジックツリーに分岐して考慮した(pp.13, 14, 36)。
S169	平成30年1月12日 第538回審査会合	3.11型地震は、基準地震動の策定において断層モデル手法も重視していることから、断層モデル手法の検討について説明すること。	3.11型地震について、距離減衰式による評価と断層モデル手法による評価をロジックツリーにおいて分岐して考慮した(pp.3, 4, 12, 14)。
S170	平成30年1月12日 第538回審査会合	海洋プレート内地震は基準地震動として選定していることから、検討用地震(4.7型地震)が地震ハザードとしてどのように考慮されているのか説明すること。	地震ハザード評価における海洋プレート内地震の震源モデルの考え方を追記した(pp.3, 11)。
S171	平成30年1月12日 第538回審査会合	一様ハザードスペクトルと基準地震動の比較は、応答スペクトル手法及び断層モデル手法の評価手法毎に示すこと。	一様ハザードスペクトルと基準地震動を、応答スペクトル手法及び断層モデル手法の評価手法毎に比較した(pp.26, 27)。

目次

1. 確率論的地震ハザードの評価方針	3
2. 特定震源モデルの設定	4
3. 領域震源モデルの設定	8
4. 地震ハザード評価に用いる地震動評価手法等	12
5. ロジックツリー	13
6. 地震ハザード評価結果	17
7. 年超過確率の参照	24
補足説明資料	30
参考文献	37

1. 確率論的地震ハザードの評価方針

■基本方針

一般社団法人日本原子力学会「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」に基づき、専門家活用水準1として地震ハザード評価を実施し、基準地震動の応答スペクトルがどの程度の年超過確率に相当するかを確認する。

専門家活用水準1:地震ハザードの不確かさへの影響が比較的小さい水準を想定し、TI(Technical Integrator, ロジックツリーの技術的な纏め役)が文献レビュー及び自らの経験に基づきコミュニティ分布(科学的集団が総合的に評価するその時点での不確かさの客観的分布)を評価し、ロジックツリーを作成する。

■震源モデルの設定※

特定震源モデルと領域震源モデルを設定する。モデルの設定に際しては、地震調査研究推進本部の知見及び各種調査結果等を参考にする。

震源		モデルの設定	
特定震源	プレート間地震	・東北地方太平洋沖型地震	神田ほか(2012), 諸井ほか(2013), 地震本部(2013)に基づき設定
		・宮城県沖地震	地震本部(2005), 地震本部(2013)に基づき設定
	活断層による地震	地質調査結果, [新編]日本の活断層, 地震本部(2009), (2013)等に基づき設定	
領域震源	領域区分	地震本部(2013)に基づき設定	
	最大マグニチュード	地震本部(2013)に基づき設定	
	発生頻度	気象庁カタログのデータを用いたG-R式より算定	

※確定論においては、海洋プレート内地震のうち2011年4月7日型地震を検討用地震として評価しているが、ハザード評価においては地震活動性等の特徴を踏まえ、海洋プレート内地震を領域震源として設定する(p.11)。

■地震動伝播モデルの設定

- 東北地方太平洋沖型地震については、Noda et al.(2002)による距離減衰式及び断層モデル手法による評価を分岐として設定する。
- その他の震源については、Noda et al.(2002)による距離減衰式を用いる。
- Noda et al.(2002)による距離減衰式に対しては、観測記録に基づいた補正または、Noda et al.(2002)の手法に基づいた補正を考慮する。

■ロジックツリーの作成

震源モデル及び地震動伝播モデルにおいて、地震ハザード評価に大きな影響を及ぼす認識論的不確かさを選定し、ロジックツリーを作成する。

2. 特定震源モデルの設定(プレート間地震)

■地震本部(2013)を参考に「東北地方太平洋沖型地震」及び「宮城県沖地震」を対象とする。

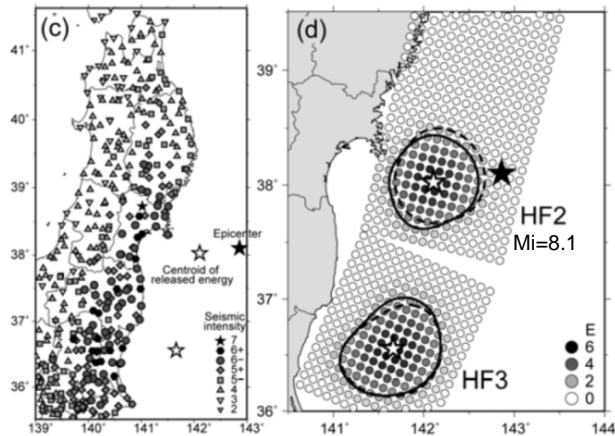
▶東北地方太平洋沖型地震

- ・Noda et al.(2002)による評価に用いる震源モデルは、神田ほか(2012)の東北地方太平洋沖地震の震度インバージョンによる短周期地震波の発生域に基づき設定。
- ・断層モデルによる評価に用いる震源モデルは、諸井ほか(2013)に基づき設定(確定論評価での3.11型地震の基本ケース)。
- ・発生確率モデルは地震本部(2013)に基づく更新過程とし、平均発生間隔を600年に設定。

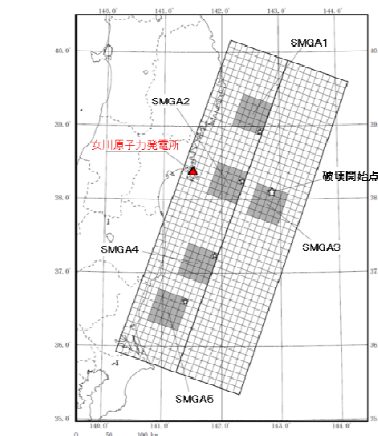
▶宮城県沖地震

- ・震源モデルは、1978年宮城県沖地震(M7.4)の観測記録を踏まえた地震本部(2005)の想定宮城県沖地震の断層モデル(A1断層)に基づき設定。
- ・発生確率モデルは地震本部(2013)に基づくポアソン過程とし、平均発生間隔を38年に設定。

■東北地方太平洋沖型地震

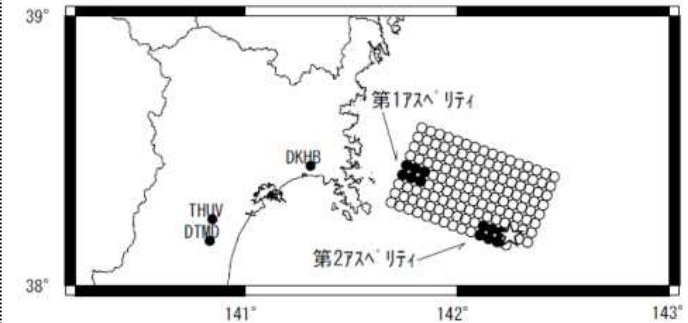


震度インバージョンによる短周期地震波の発生域
[神田ほか(2012)]



諸井ほか(2013)に基づき設定した
確定論評価における3.11型地震の基本ケース

■宮城県沖地震



1978年宮城県沖地震(M7.4)の観測記録を踏まえた想定宮城県沖地震の断層モデル(A1断層)[地震本部(2005)]

検討地震	Noda et al.(2002)		断層モデル手法		平均発生間隔(年) ^{※1}	備考
	M	等価震源距離 Xeq(km)	Mw	断層長さ及び断層幅(km)		
東北地方太平洋沖型地震	8.1	76.3	9.0	500×200	600 ^{※2}	更新過程

※1:地震本部(2013)に基づく ※2:地震本部(2013)に基づき更新過程とし、示されている50年発生確率0%より年発生確率を算出

参考:東北地方太平洋沖型地震に関する時間軸原点の違いによる発生確率の違い

地震	時間軸原点	50年発生確率
東北地方太平洋沖型地震	2011年3月11日	20~30% ^{※3}
	2017年3月11日	ほぼ0% (10 ⁻³⁵) ^{※4}

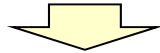
※3:地震本部(2012)に基づく ※4:平均発生間隔600年,最新活動時期は2011年3月11日, $\alpha=0.24$ で算出

検討地震	Noda et al.(2002)		平均発生間隔(年) ^{※5}	備考
	M	等価震源距離 Xeq(km)		
宮城県沖地震	7.4	61.8	38	ポアソン過程

※5:地震本部(2013)に基づく

2. 特定震源モデルの設定(内陸地殻内地震)

■敷地から100km程度以内にある「[新編]日本の活断層」に掲載されている確実度Ⅰ及びⅡの活断層並びに敷地周辺の地質調査結果に基づいて評価した活断層等を対象とする。



➤ 地震規模

- ・地質調査結果及び地震本部(2009)の長期評価における断層長さから松田(1975)により算定することを基本とする。
- ・F-6断層～F-9断層については、確定論の地震動評価と同様に武村(1990)による。
- ・松田式でM6.7に満たない断層については、M6.7として評価する。

➤ 地震の平均活動間隔

- ・各断層の活動度を踏まえ、採用した地震規模に対応する平均活動間隔を算定する。
 - ＜活動度＞
「[新編]日本の活断層」を参照。記載が無いものはC級として評価。
 - ＜平均変位速度＞
活動度に対応する平均変位速度は、松田(1975)を参考に設定する。ただし、地震本部(2009)の長期評価において平均変位速度が示されている場合は、その値を採用。

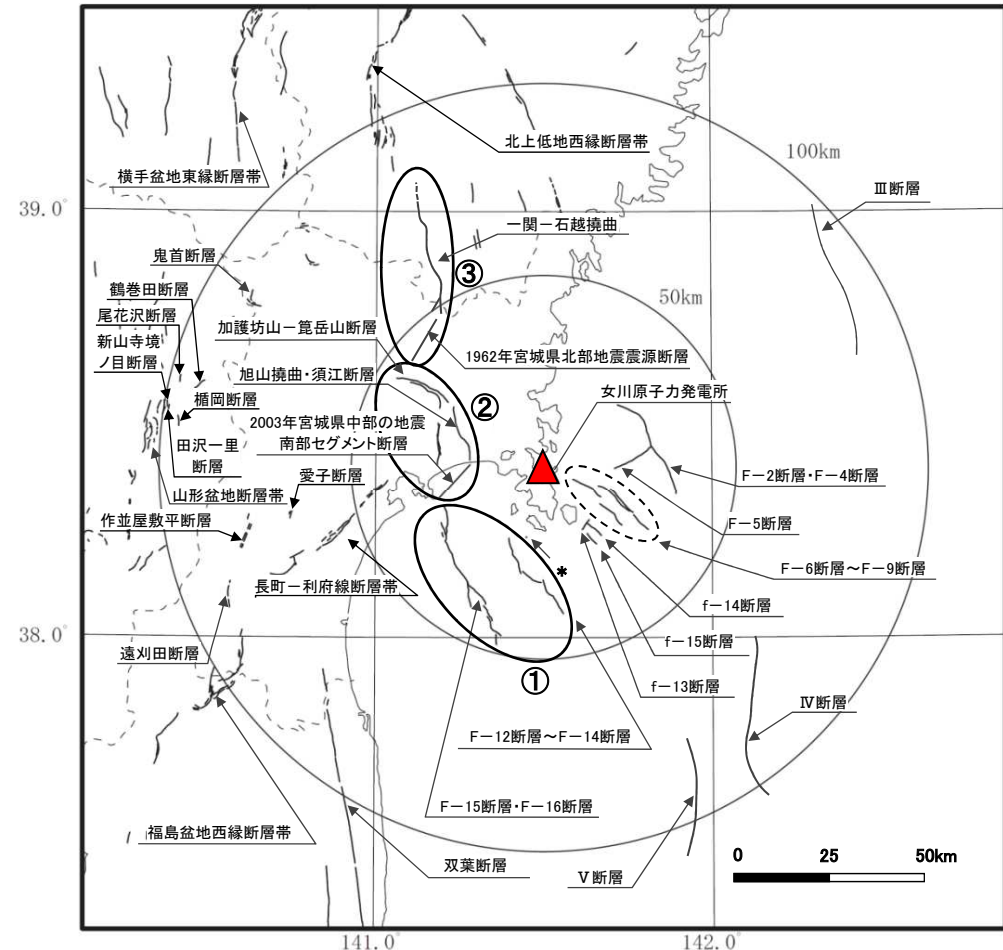
- ・地震本部(2013)の確率論的評価において平均活動間隔(平均ケース)が示されている断層については、その値も参照し、保守的な値を採用。

➤ 発生確率モデル

- ・ポアソン過程を採用する。

➤ 連動の考慮

- ・確定論において連動を考慮している断層群については、地震ハザード評価においても連動を考慮する。



* : 網地島南西沖で1測線のみで認められる断層

①仙台湾の断層群による地震、②石巻平野周辺の断層群による地震、③岩手・宮城県境の断層群による地震

敷地周辺の活断層分布図

2. 特定震源モデルの設定(内陸地殻内地震)

■内陸地殻内地震の特定震源モデルの諸元(単独での活動)

断層名 ■:仙台湾の断層群による地震として連動を考慮 ■:石巻平野周辺の断層群による地震として連動を考慮 ■:岩手・宮城県境の断層群による地震として連動を考慮	断層長さ (km)	M	平均活動間隔				等価震源距離 Xeq(km)	
			採用した地震規模に対応する平均活動間隔			地震本部(2013)		採用値 (年)
			活動度	平均変位速度 (mm/年)	平均活動間隔 (年)	平均活動間隔 (年)		
F-2断層・F-4断層	27.8	7.2	C	0.05	44,165	—	44,000	24
F-5断層	11.2	6.7	C	0.05	20,943	—	20,000	23
F-6断層～F-9断層	23.7	7.2	C	0.05	37,651	—	37,000	19
F-12断層～F-14断層	24.2	7.1	C	0.05	38,446	—	38,000	32
f-13断層	3.3	6.7	C	0.05	20,943	—	20,000	17
f-14断層	5.1	6.7	C	0.05	20,943	—	20,000	23
f-15断層	3.7	6.7	C	0.05	20,943	—	20,000	24
F-15断層・F-16断層	38.7	7.5	C	0.05	61,481	—	61,000	39
網地島南西沖で1測線のみで認められる断層	—	6.7	C	0.05	20,943	—	20,000	27
Ⅲ断層	41	7.5	C	0.05	65,135	—	65,000	86
Ⅳ断層	43	7.6	C	0.05	68,312	—	68,000	82
Ⅴ断層	31	7.3	C	0.05	49,248	—	49,000	91
加護坊山-箕岳山断層	17	6.9	C	0.05	27,007	—	27,000	36
旭山撓曲・須江断層	16	6.8	C	0.05	25,419	—	25,000	28
2003年宮城県中部の地震南部セグメント断層	—	6.7	C	0.05	20,943	—	20,000	28
一関-石越撓曲	30	7.3	C	0.05	47,660	—	47,000	66
1962年宮城県北部地震震源断層	12	6.7	C	0.05	20,943	—	20,000	48
1900年宮城県北部の地震	—	7.0	C	0.05	31,698	—	31,000	51
長町-利府線断層帯	40	7.5	—	0.7	4,539	3,000	3,000	61
北上低地西縁断層帯	62	7.8	—	0.4	12,312	16,000	12,000	113
山形盆地断層帯	60	7.8	—	1	4,766	2,500	2,500	118
福島盆地西縁断層帯	57	7.8	—	0.9	5,031	8,000	5,000	103
双葉断層	40	7.5	—	0.15	21,182	8,000	8,000	82
横手盆地東縁断層帯	56	7.7	—	1	4,448	3,400	3,400	125
鬼首断層	6	6.7	B	0.5	2,094	—	2,000	87
愛子断層	2	6.7	B	0.5	2,094	—	2,000	67
作並屋敷平	9	6.7	C	0.05	20,943	—	20,000	79
遠刈田断層	7	6.7	C	0.05	20,943	—	20,000	88
鶴巻田断層	4	6.7	B	0.5	2,094	—	2,000	92
尾花沢断層	2	6.7	B	0.5	2,094	—	2,000	98
楯岡断層	1.5	6.7	B	0.5	2,094	—	2,000	96
新山寺境ノ目	2	6.7	B	0.5	2,094	—	2,000	99
田沢一里断層	5	6.7	B	0.5	2,094	—	2,000	100

2. 特定震源モデルの設定(内陸地殻内地震)

■内陸地殻内地震の特定震源モデルの諸元(単独と連動での活動)

断層名 (■, ■, ■:連動を考慮した断層)	断層長さ (km)	M	平均活動間隔					等価震源距離 Xeq(km)
			採用した地震規模に対応する平均活動間隔			地震本部(2013)		
			活動度	平均変位速度 (mm/年)	平均活動間隔 (年)	平均活動間隔 (年)	採用値 (年)	
F-2断層・F-4断層	27.8	7.2	C	0.05	44,165	—	44,000	24
F-5断層	11.2	6.7	C	0.05	20,943	—	20,000	23
F-6断層~F-9断層	23.7	7.2	C	0.05	37,651	—	37,000	19
f-13断層	3.3	6.7	C	0.05	20,943	—	20,000	17
f-14断層	5.1	6.7	C	0.05	20,943	—	20,000	23
f-15断層	3.7	6.7	C	0.05	20,943	—	20,000	24
網地島南西沖で1測線のみで認められる断層	—	6.7	C	0.05	20,943	—	20,000	27
Ⅲ断層	41	7.5	C	0.05	65,135	—	65,000	86
Ⅳ断層	43	7.6	C	0.05	68,312	—	68,000	82
Ⅴ断層	31	7.3	C	0.05	49,248	—	49,000	91
1900年宮城県北部の地震	—	7.0	C	0.05	31,698	—	31,000	51
長町-利府線断層帯	40	7.5	—	0.7	4,539	3,000	3,000	61
北上低地西縁断層帯	62	7.8	—	0.4	12,312	16,000	12,000	113
山形盆地断層帯	60	7.8	—	1	4,766	2,500	2,500	118
福島盆地西縁断層帯	57	7.8	—	0.9	5,031	8,000	5,000	103
双葉断層	40	7.5	—	0.15	21,182	8,000	8,000	82
横手盆地東縁断層帯	56	7.7	—	1	4,448	3,400	3,400	125
鬼首断層	6	6.7	B	0.5	2,094	—	2,000	87
愛子断層	2	6.7	B	0.5	2,094	—	2,000	67
作並屋敷平	9	6.7	C	0.05	20,943	—	20,000	79
遠刈田断層	7	6.7	C	0.05	20,943	—	20,000	88
鶴巻田断層	4	6.7	B	0.5	2,094	—	2,000	92
尾花沢断層	2	6.7	B	0.5	2,094	—	2,000	98
楯岡断層	1.5	6.7	B	0.5	2,094	—	2,000	96
新山寺境ノ目	2	6.7	B	0.5	2,094	—	2,000	99
田沢-里断層	5	6.7	B	0.5	2,094	—	2,000	100
仙台湾の断層群による地震	43.1	7.6	C	0.05	68,471	—	68,000	28
石巻平野周辺の断層群による地震	44	7.6	C	0.05	69,901	—	69,000	31
岩手・宮城県境の断層群による地震	43.8	7.6	C	0.05	69,583	—	69,000	58

3. 領域震源モデルの設定

■領域区分の設定

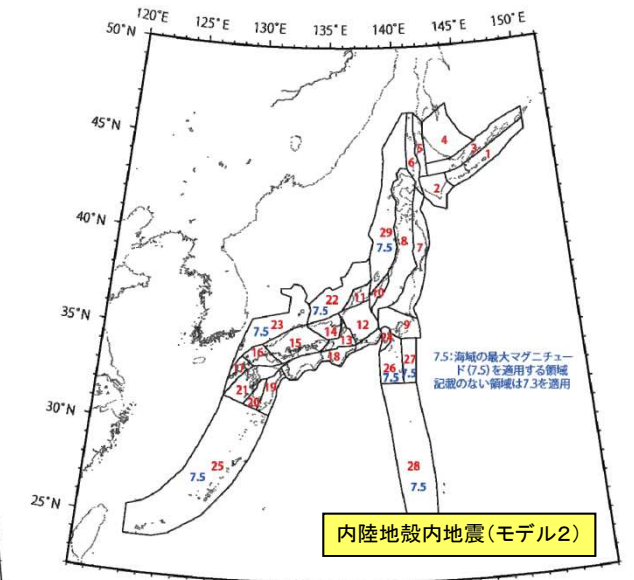
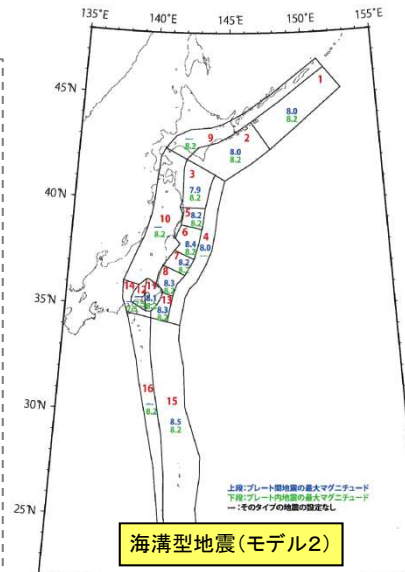
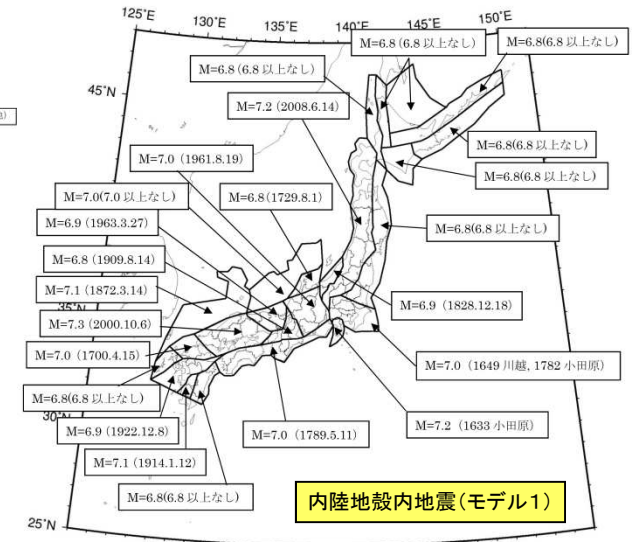
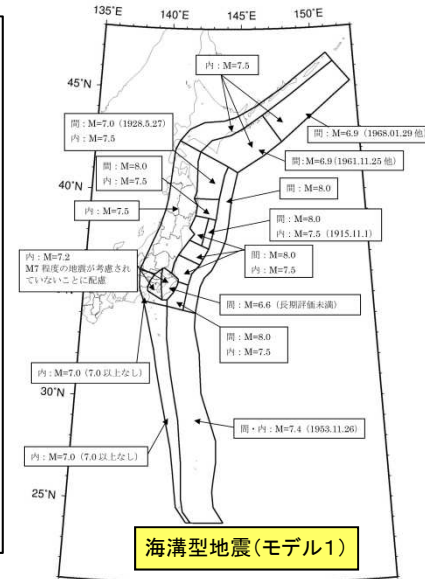
- 地震本部(2013)において考慮されている領域区分を参照。

■最大マグニチュードの設定

- 地震本部(2013)では、各領域における地震の長期評価結果に基づく「モデル1」と、領域震源に考慮する地震規模を大きくした場合の確率論的評価結果に与える影響を確認するための「モデル2」の2つの震源モデルが考慮されている。
- ⇒それぞれのモデルにおける各領域の最大マグニチュードを参照し、ロジックツリーの分岐として考慮する。分岐の重み付けは、過去の地震の発生状況等により設定する。

■地震規模および発生頻度

- 領域毎に気象庁カタログを用いてG-R式を算出し、そのG-R式から地震規模毎の発生頻度を算定する。



「モデル1」および「モデル2」の概要

○モデル1(従来モデル)

- 長期評価の結果を基本とした従来とほぼ同じ地震活動モデル。
- 主要な活断層や海溝型地震の長期評価に基づく地震活動モデルに加えて、震源についての情報が十分に得られておらず長期評価されていない、より小規模な地震を「震源断層をあらかじめ特定しにくい地震」としてモデル化したもの。

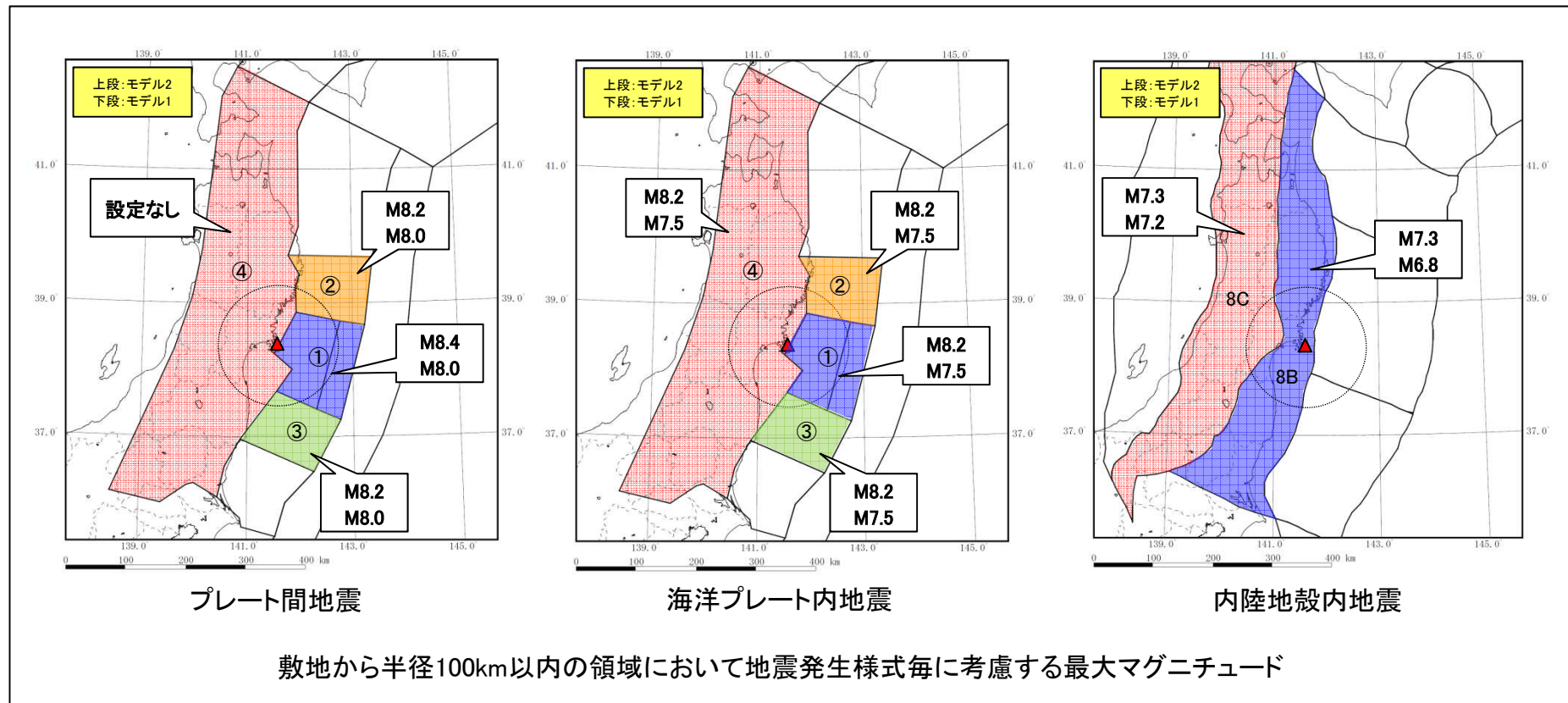
○モデル2(検討モデル)

- 地震活動度の不確実性を大きくとるなどの検討を加えた、検討用の地震活動モデル。
- 地震動ハザード評価の検討に向けて、従来よりも規模の大きな地震まで「震源断層をあらかじめ特定しにくい地震」としてモデル化し、長期評価未了の領域について、地震活動をモデル化する際の不確実性を考慮し、従来考慮していなかった、より規模の大きな地震の発生までを考慮するなどの変更を行ったもの。

地震本部(2013)における各領域における最大地震規模(一部加筆)

3. 領域震源モデルの設定(各領域の最大マグニチュード)

- 敷地から半径100km以内の領域において、地震本部(2013)における「モデル1」及び「モデル2」を参照し、地震発生様式毎に考慮する最大マグニチュードを整理。



- モデル1及びモデル2の最大マグニチュードについて、ロジックツリーの分岐を設定する。

3. 領域震源モデルの設定(各領域の最大マグニチュードの重み付け)

第538回審査会合(H30.1.12)
資料1 p.9 再掲

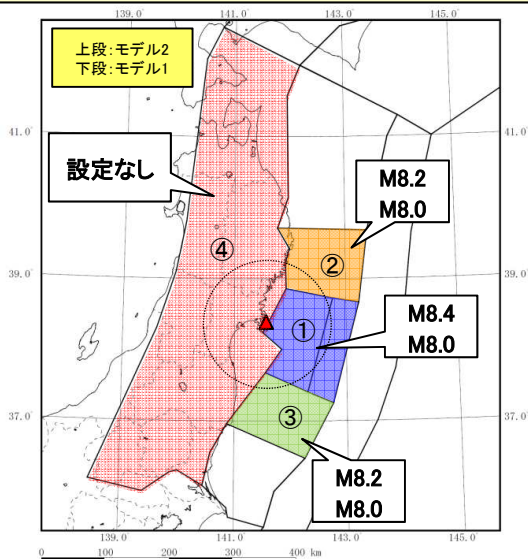
■プレート間地震

【最大マグニチュードの重み付け】

- 地震本部(2013)のモデル1では、東北地方太平洋沖地震後の影響としてM8.0までの余震の発生を考慮している。また、モデル2では各領域面積から最大マグニチュードを設定している。
- 地震本部(2012)に示されている①領域「宮城県沖+三陸沖南部海溝寄り」で過去に発生した地震の規模を参照して、最大マグニチュードの重み付けを設定。
⇒M8を超えるものをモデル2のM8.4、M7クラスをモデル1のM8.0に置き換え、分岐を1/8と7/8に設定。※②領域「三陸沖中部」と③領域「福島県沖」にも準用。

【余効滑りの考慮】

- プレート境界地震の発生後には、本震の発生領域の周囲で余効滑りが起きることが知られており、今回の巨大地震の発生後にも、地殻変動データから太平洋プレートの上面で余効滑りが観測されている。[加藤(2012)]
⇒①領域「宮城県沖+三陸沖南部海溝寄り」において「余効滑り」の分岐を設定する。



領域	最大M	分岐	備考
①宮城県沖+三陸沖南部海溝寄り	8.4	1/8	余震・余効滑りについて1/2の分岐も考慮
	8.0	7/8	
②三陸沖中部	8.2	1/8	①領域の分岐を準用
③福島県沖	8.0	7/8	

敷地から半径100km以内の領域において考慮する最大マグニチュード

発生日月	地震名(通称)	宮城県沖 繰り返し	宮城県沖 繰り返し 以外	三陸沖 南部 海溝寄り 繰り返し	三陸沖 南部 海溝寄り 繰り返し 以外	福島県沖	M
2011/3/11 14:46	東北地方太平洋沖地震	○	○	○	○	○	9.0
869/7/13	貞観地震	○	○	○	○	○	8.3
1897/2/20		○	①				7.4
1933/6/19		○	②				7.1
1936/11/3		○	②				7.4
1937/7/27		○	②				7.1
1978/6/12	1978年 宮城県沖地震	○	③				7.4
2005/8/16		○	④				7.2
1898/4/23			○	⑤			7.2
2003/5/26			○				7.1
2011/4/7			○				7.2
1793/2/17		△	△	○	△	①	7.9※
1897/8/5				○		⑥	7.7
1915/11/1					○	⑦	7.5
2011/3/9					○		7.3
1938/11/5	福島県 東方沖地震					○	7.5
1938/11/5						○	7.3
1938/11/6							○

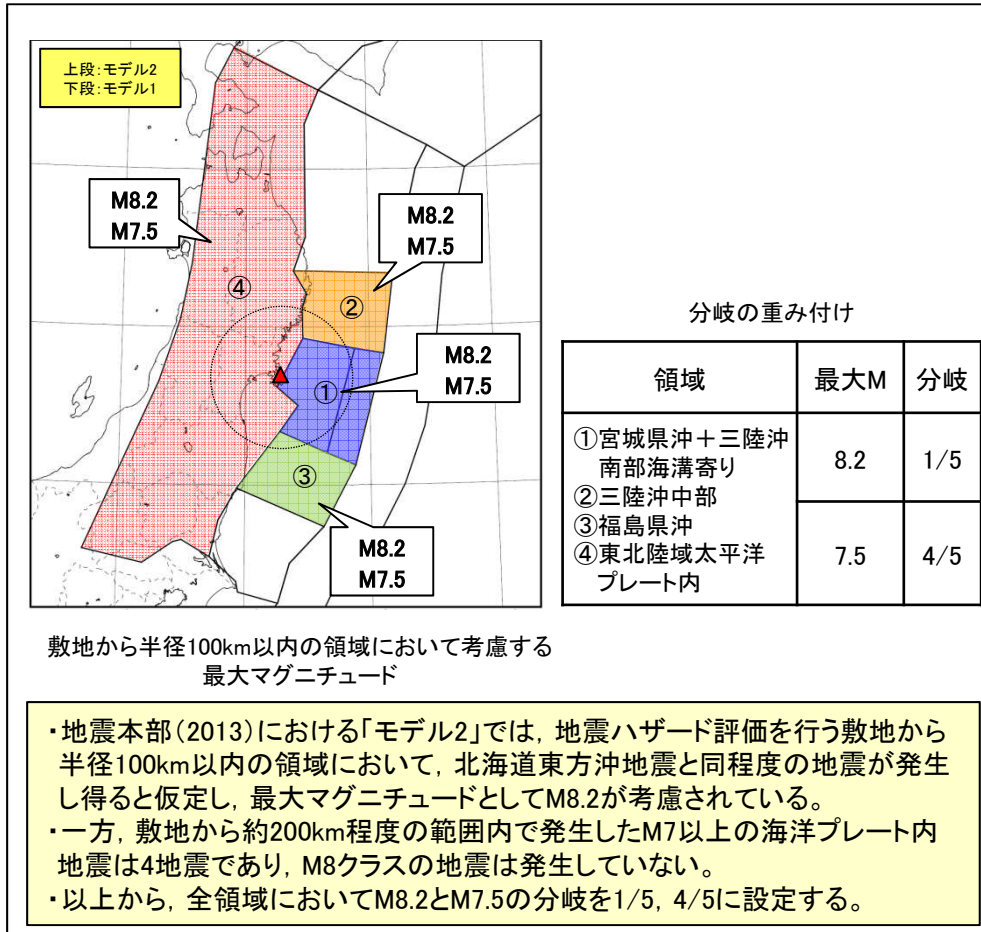
※1793年の地震は三陸沖南部海溝寄りと宮城県沖で連動した可能性があり、連動した場合の地震規模はM8.2程度とされている。

主な地震の発生領域の目安[地震本部(2012)に一部加筆]

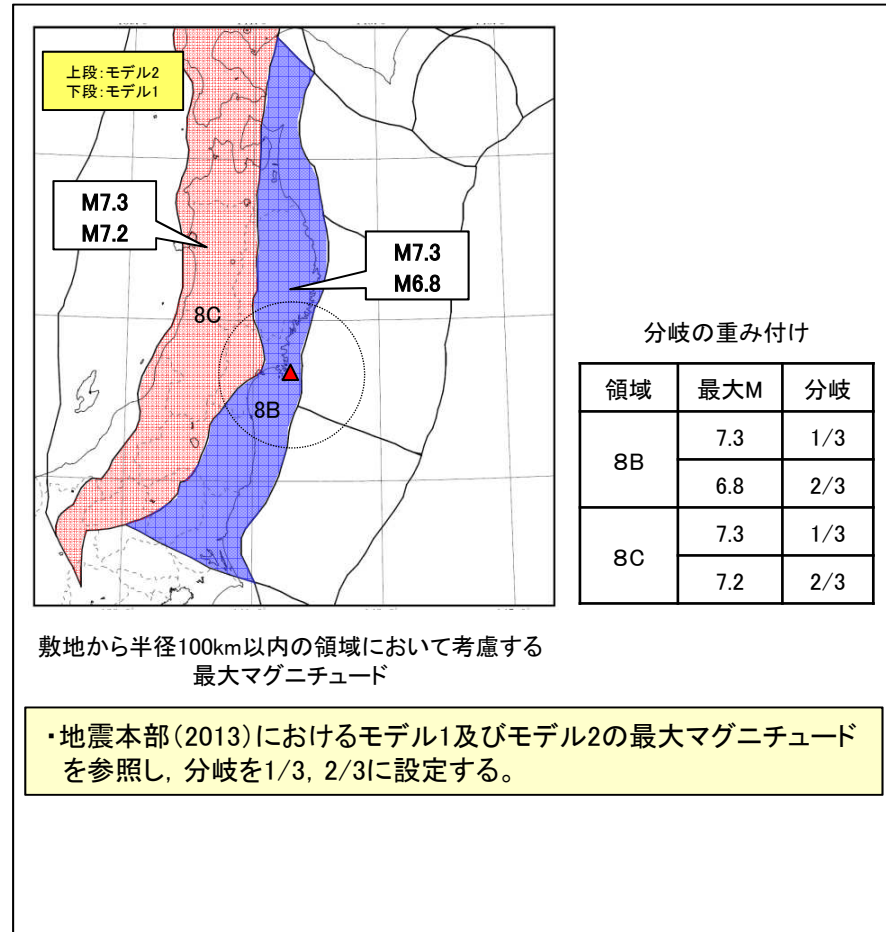
3. 領域震源モデルの設定(各領域の最大マグニチュードの重み付け)

第538回審査会合(H30.1.12)
資料1 p.10 一部修正

■海洋プレート内地震*



■内陸地殻内地震



※日本原子力学会(2015)における領域震源モデルと対象地震との対応付け
海洋プレート内地震について、「将来発生する一つの地震の位置、規模、頻度を特定して取り扱うことが困難であるため、地震活動特性がある程度均質であると考えられる領域内での地震群としての特性を確率モデルで記述する必要がある。」とされている。

女川の確定論評価で検討用地震として評価している2011年4月7日型地震は、ハザード評価においては領域震源に含める。

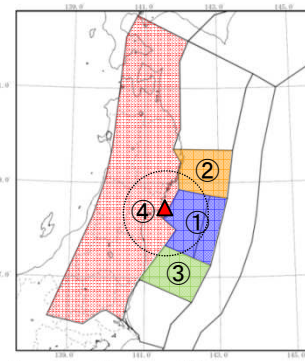
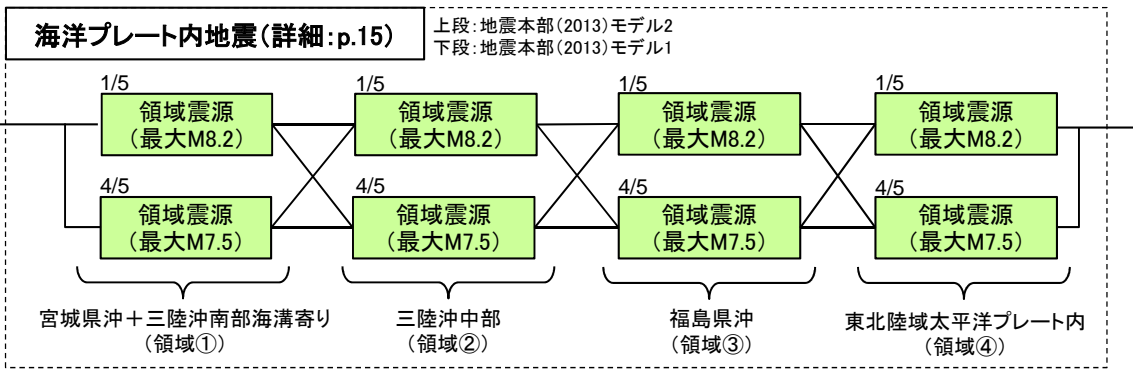
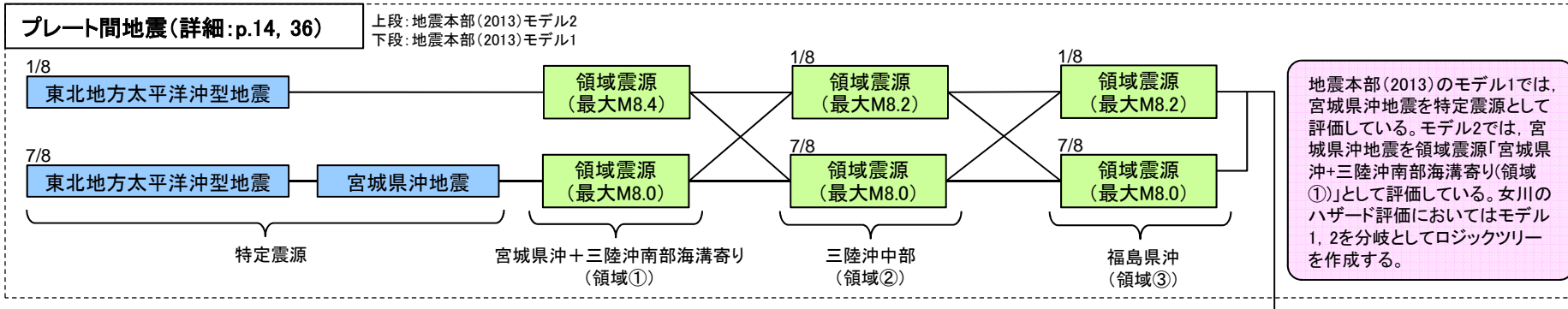
4. 地震ハザード評価に用いる地震動評価手法等

- プレート間地震の特定震源などにおいてNoda et al.(2002)による評価を用いる場合には、宮城県沖の同じ領域で繰り返しM7クラスの地震が発生していること、また、敷地において得られた強震記録に基づいて策定した補正係数を採用していることを踏まえ、ばらつき評価においては、森川ほか(2006)を参照し $\beta = 0.35$ を採用することとし、東北地方太平洋沖型地震の断層モデル手法にも準用する。
- 上記以外の地震に対し、敷地における観測記録による補正係数またはNoda et al.(2002)の補正係数を採用する場合のばらつき評価においては、池浦・野田(2005)を参照し $\beta = 0.40, 0.45$ を採用する。
- Noda et al.(2002)に補正係数を用いない場合は、 $\beta = 0.50$ を採用する。

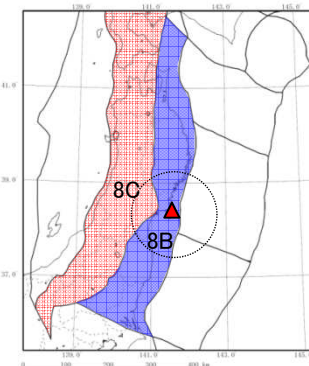
考慮する震源		評価手法	補正係数	ばらつき	ばらつきの打ち切り
特定震源	プレート間地震	宮城県沖地震	Noda et al.(2002) 敷地における観測記録とNoda et al.(2002)の比に短周期レベルを考慮した補正係数	0.35 [森川ほか(2006)]	東北地方太平洋沖型地震を上限として 2σ に設定(p.35)
		東北地方太平洋沖型地震	Noda et al.(2002) 敷地における観測記録とNoda et al.(2002)の比に短周期レベルを考慮した補正係数	0.35 [森川ほか(2006)]	3σ
	断層モデル手法	-			
	活断層による地震	Noda et al.(2002)	Noda et al.(2002)の内陸補正	0.45 [池浦・野田(2005)] 0.40 [池浦・野田(2005)]	3σ
領域震源	プレート間地震	①宮城県沖+三陸沖南部海溝寄り ②三陸沖中部	Noda et al.(2002) 敷地における観測記録とNoda et al.(2002)の比に短周期レベルを考慮した補正係数	0.35 [森川ほか(2006)]	3σ
		③福島県沖	Noda et al.(2002) 敷地における観測記録とNoda et al.(2002)との比に基づく補正係数	0.45 [池浦・野田(2005)] 0.40 [池浦・野田(2005)]	3σ
			補正なし	0.50	
	海洋プレート内地震	Noda et al.(2002)	敷地における観測記録とNoda et al.(2002)との比に基づく補正係数	0.45 [池浦・野田(2005)] 0.40 [池浦・野田(2005)]	3σ
	内陸地殻内地震	Noda et al.(2002)	Noda et al.(2002)の内陸補正	0.45 [池浦・野田(2005)] 0.40 [池浦・野田(2005)]	3σ

5. ロジックツリー[全体概要]

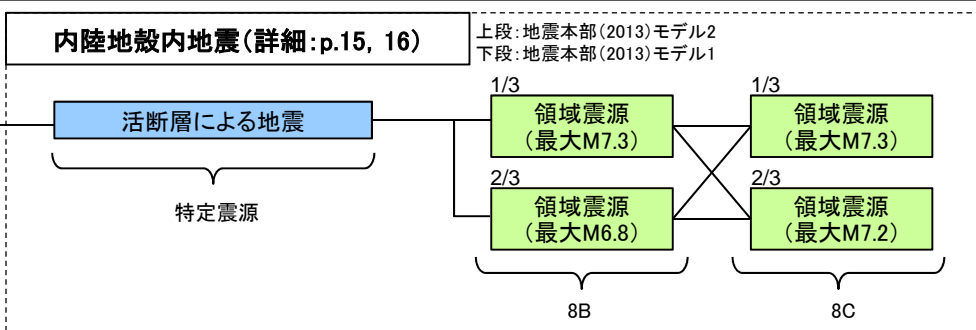
- 地震本部(2013)においては、モデル1, 2に基づく評価がそれぞれなされている。また、日本原子力学会(2015)では、対象とする認識論的不確実さ要因について、判断が分かれる項目、評価方法が複数存在する項目等のうち、影響を及ぼす項目をロジックツリーで考慮することとされている。
- 上記を踏まえ、女川のハザード評価では、モデル1, 2を分岐させたロジックツリーを設定した(地震タイプ毎の詳細ロジックツリーは次頁以降を参照)。



A: 海溝型地震の評価で考慮する領域(領域震源モデル)

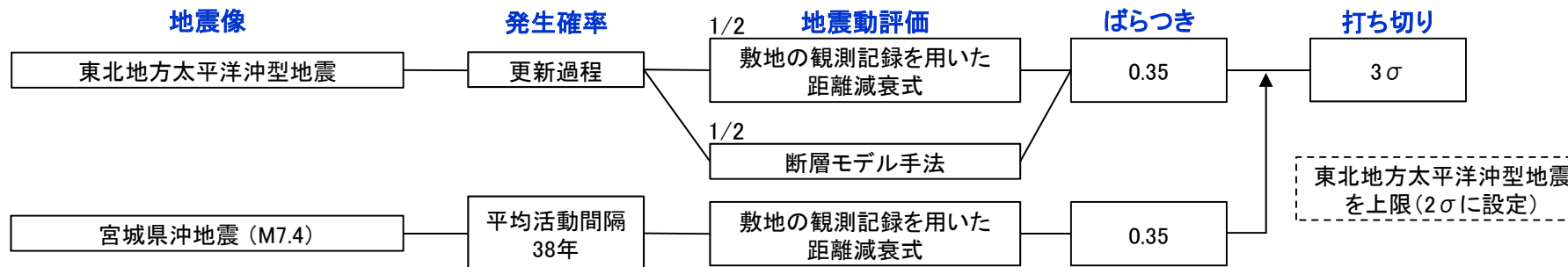


B: 内陸地殻内地震の評価で考慮する領域(領域震源モデル)

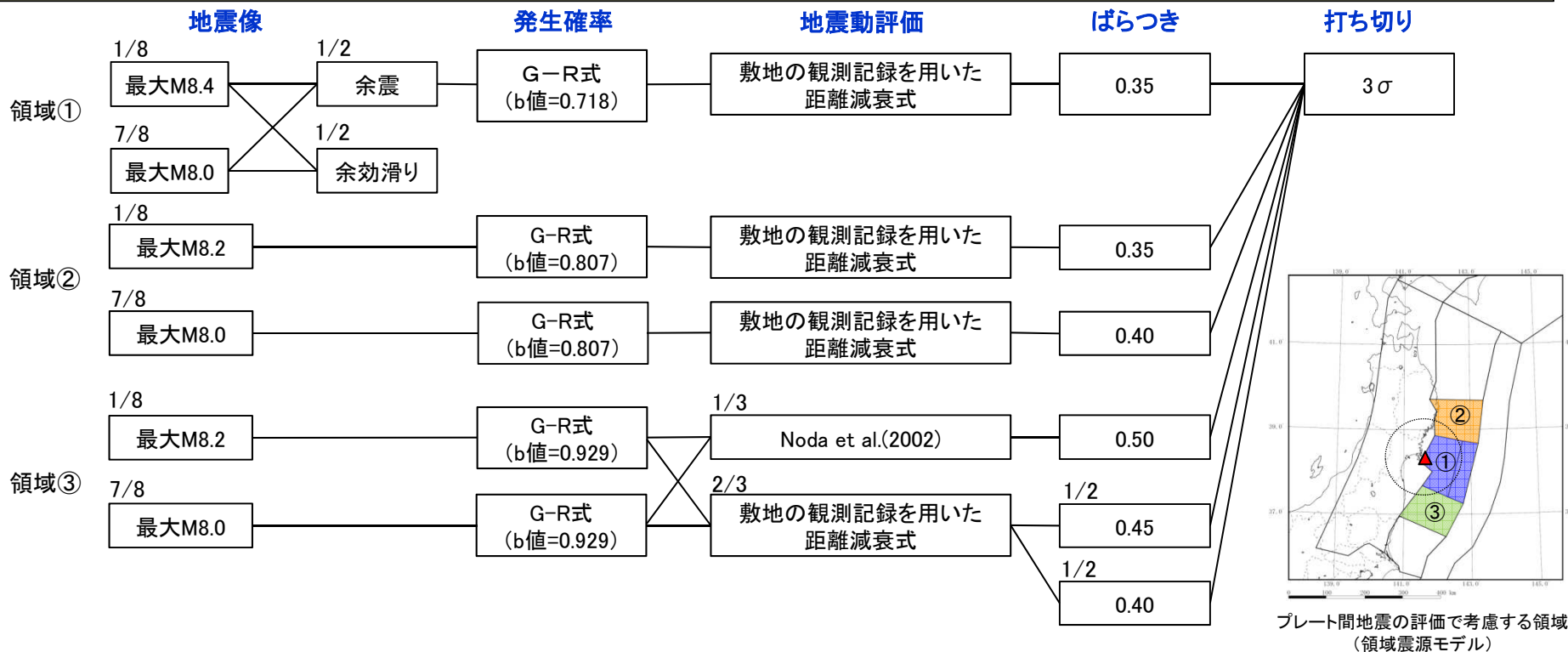


5. ロジックツリー[プレート間地震(特定震源, 領域震源)]

特定震源



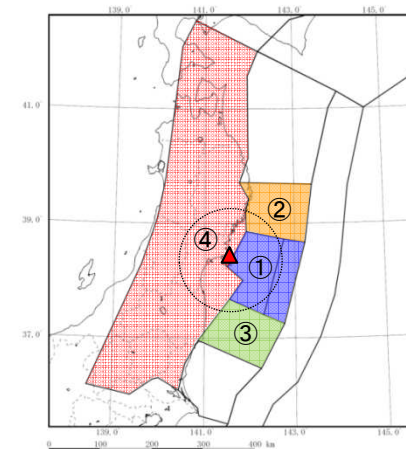
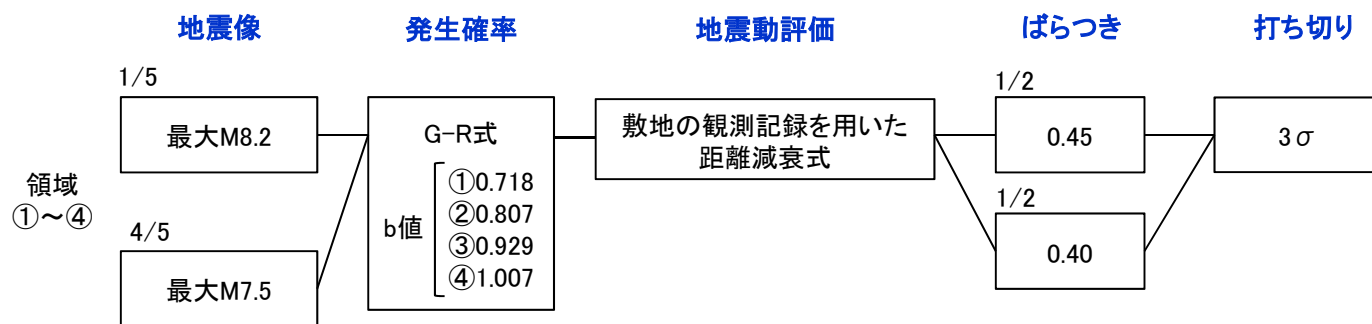
領域震源



5. ロジックツリー[海洋プレート内地震と内陸地殻内地震の領域震源]

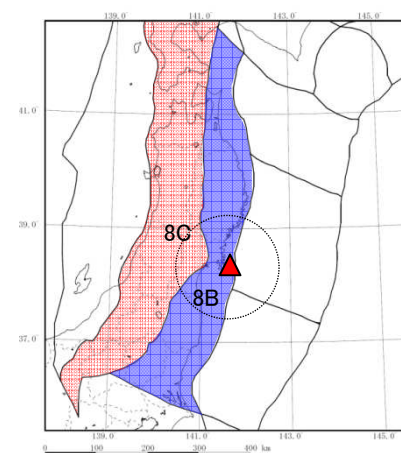
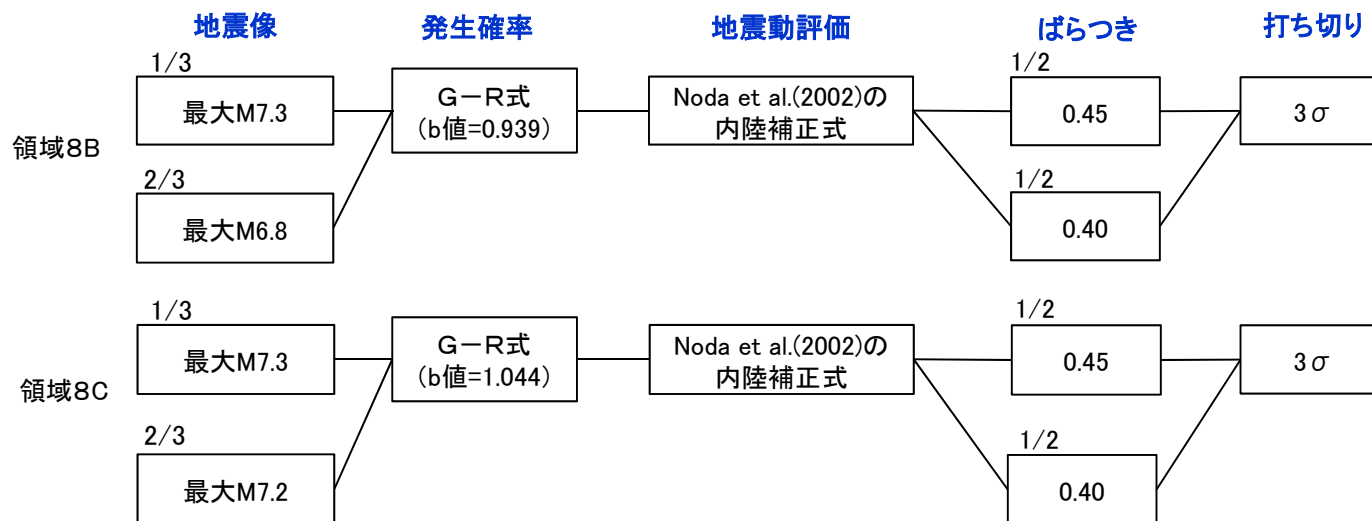
第538回審査会合(H30.1.12)
資料1 p.14 再掲

海洋プレート内地震(領域震源)



海洋プレート内地震の評価で考慮する領域
(領域震源モデル)

内陸地殻内地震(領域震源)



内陸地殻内地震の評価で考慮する領域
(領域震源モデル)

5. ロジックツリー[特定震源(活断層による地震)]

第538回審査会合(H30.1.12)
資料1 p.15 再掲

地震像

単独での活動	W=1/2	単独と連動	W=1/2
F-2断層・F-4断層		F-2断層・F-4断層	
F-5断層		F-5断層	
F-6断層~F-9断層		F-6断層~F-9断層	
F-12断層~F-14断層		f-13断層	
f-13断層		f-14断層	
f-14断層		f-15断層	
f-15断層		網地島南西沖で1測線のみで認められる断層	
F-15断層・F-16断層		Ⅲ断層	
網地島南西沖で1測線のみで認められる断層		Ⅳ断層	
Ⅲ断層		V断層	
Ⅳ断層		1900年宮城県北部の地震	
V断層		長町-利府線断層帯	
加護坊山-箕岳山断層		北上低地西縁断層帯	
旭山撓曲・須江断層		山形盆地断層帯	
2003年宮城県中部の地震南部セグメント断層		福島盆地西縁断層帯	
一関-石越撓曲		双葉断層	
1962年宮城県北部地震震源断層		横手盆地東縁断層帯	
1900年宮城県北部の地震		鬼首断層	
長町-利府線断層帯		愛子断層	
北上低地西縁断層帯		作並屋敷平	
山形盆地断層帯		遠刈田断層	
福島盆地西縁断層帯		鶴巻田断層	
双葉断層		尾花沢断層	
横手盆地東縁断層帯		榎岡断層	
鬼首断層		新山寺境ノ目	
愛子断層		田沢-里断層	
作並屋敷平		仙台湾の断層群による地震	
遠刈田断層		石巻平野周辺の断層群による地震	
鶴巻田断層		岩手・宮城県境の断層群による地震	
尾花沢断層			
榎岡断層			
新山寺境ノ目			
田沢-里断層			

■:仙台湾の断層群による地震として連動を考慮
 ■:石巻平野周辺の断層群による地震として連動を考慮
 ■:岩手・宮城県境の断層群による地震として連動を考慮

発生確率

断層ごとに平均活動
間隔を設定

地震動評価

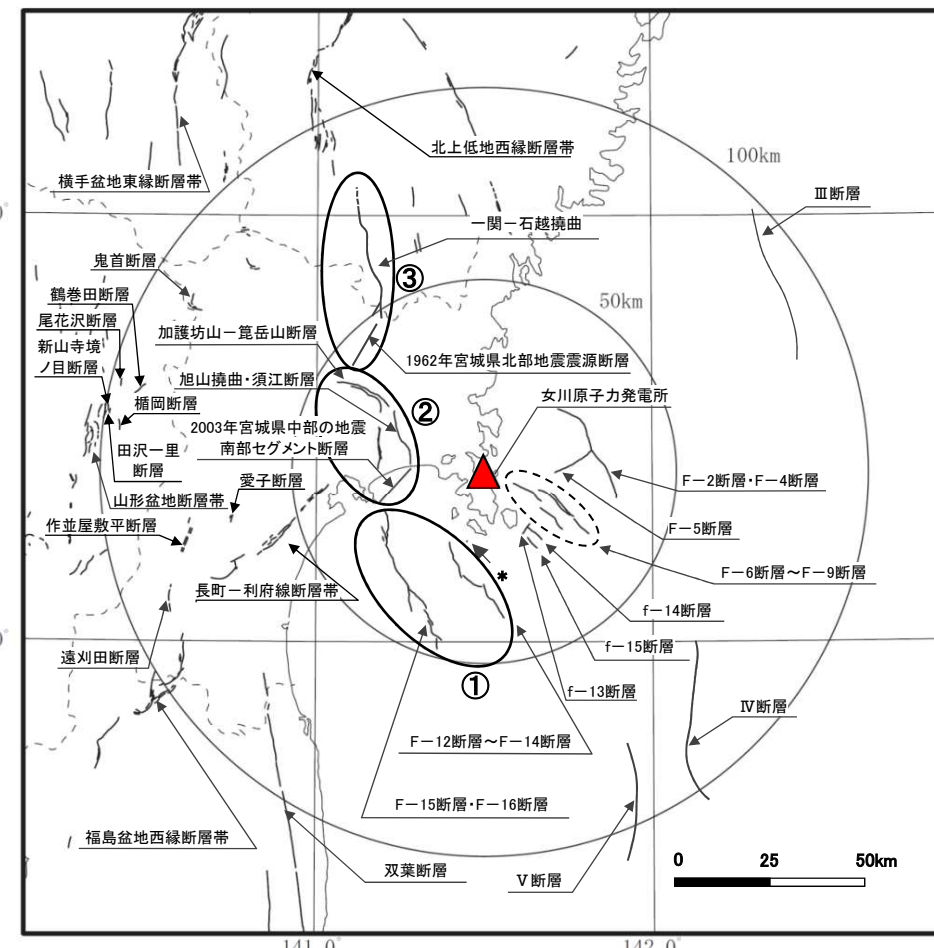
Noda et al.(2002)
の内陸補正式

ばらつき

1/2
0.45
1/2
0.40

打ち切り

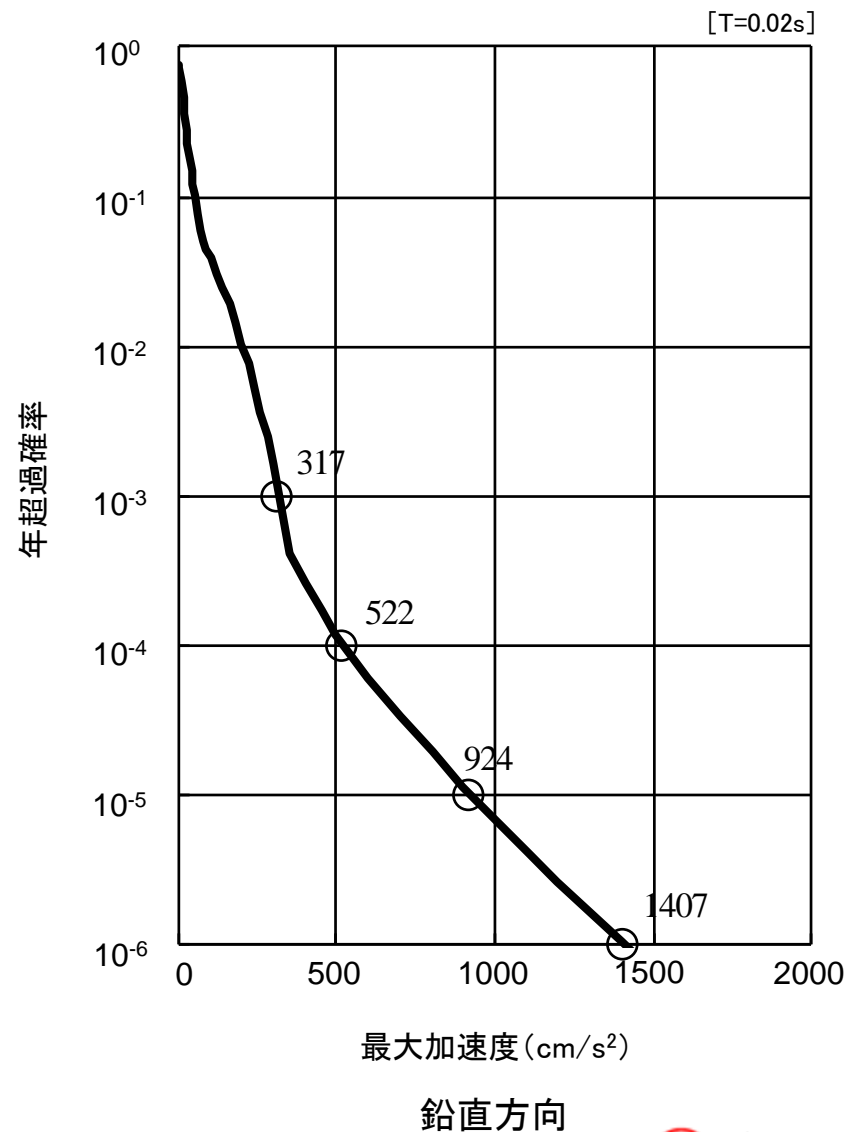
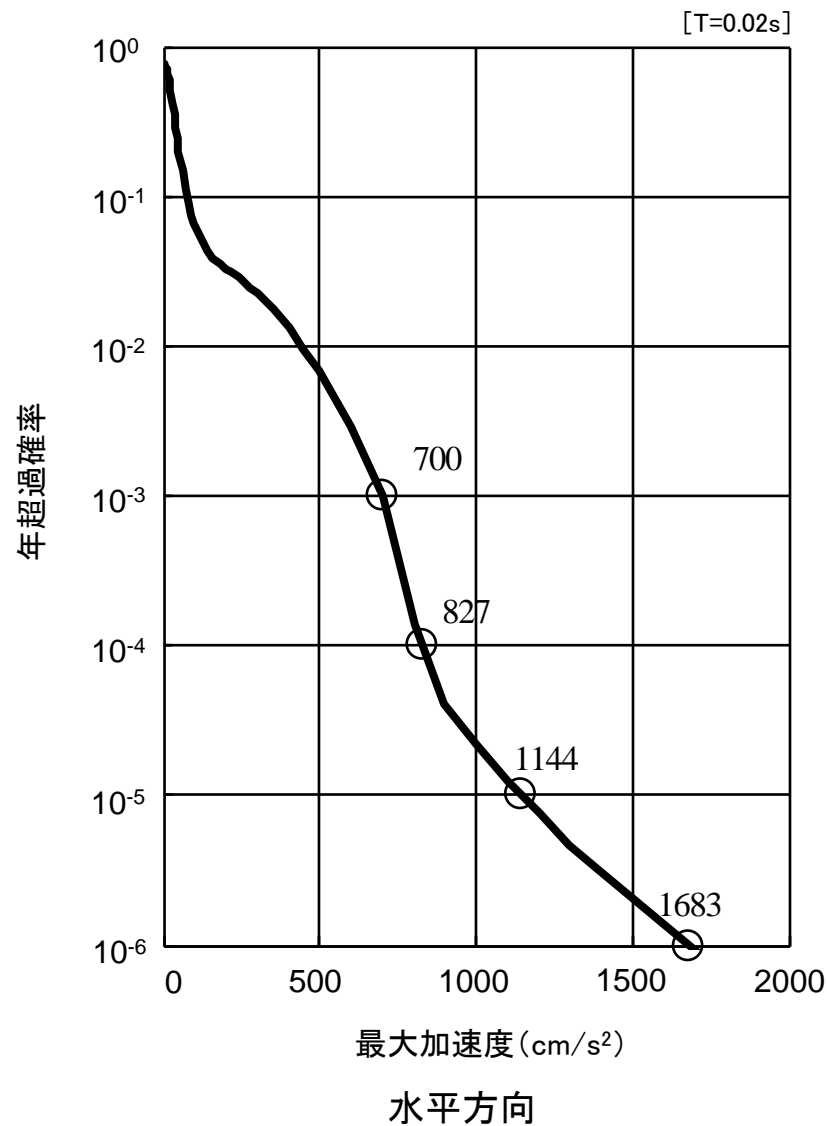
3σ



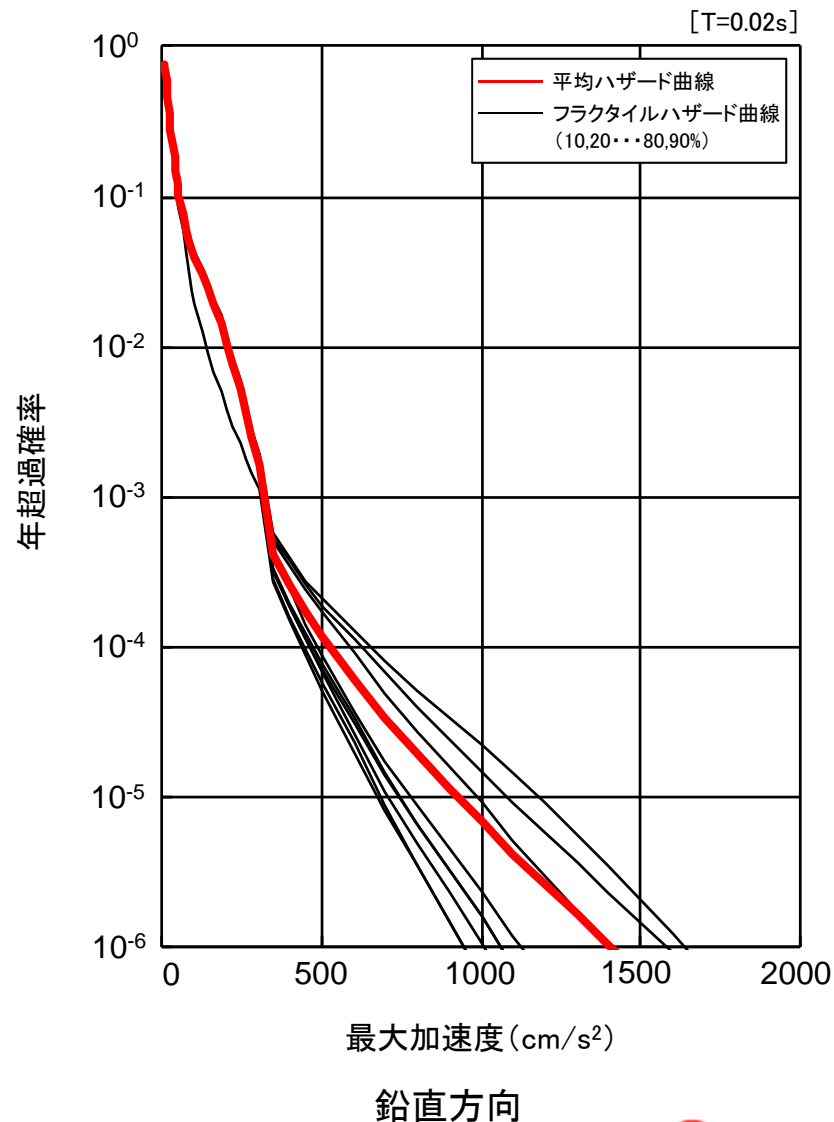
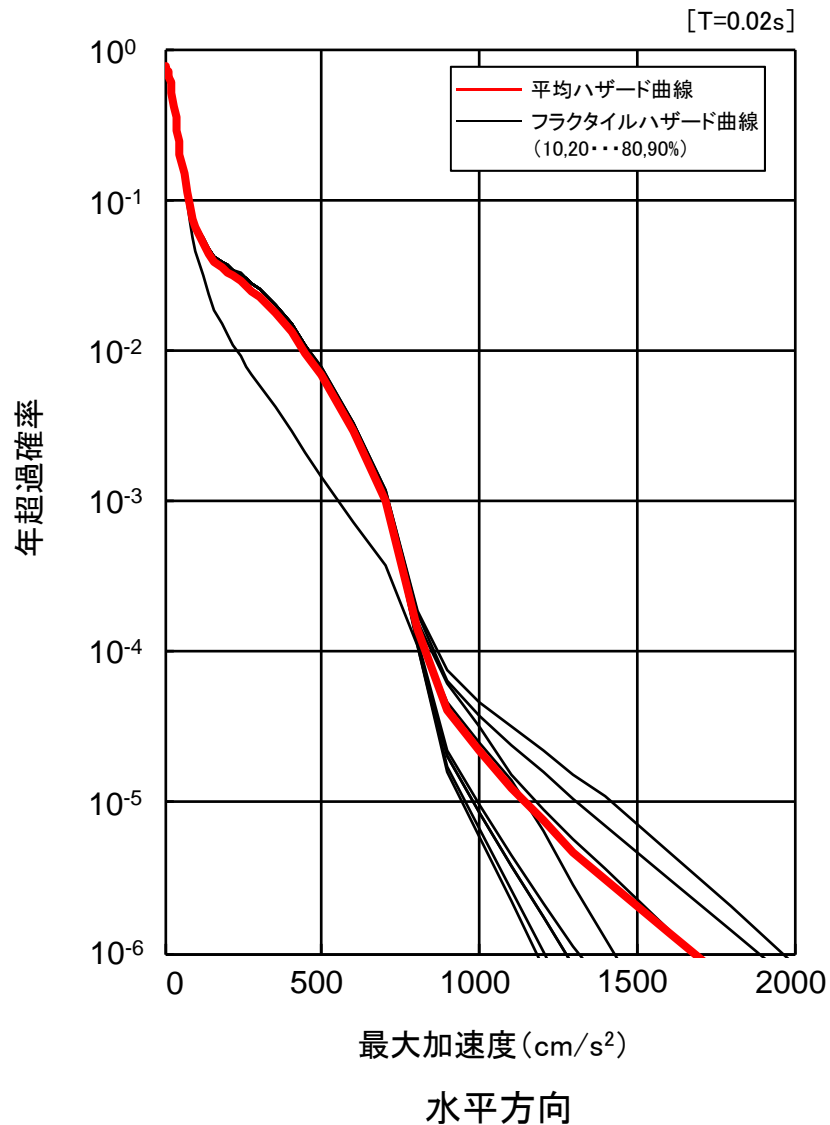
*:網地島南西沖で1測線のみで認められる断層
 ①仙台湾の断層群による地震, ②石巻平野周辺の断層群による地震, ③岩手・宮城県境の断層群による地震

敷地周辺の活断層分布図

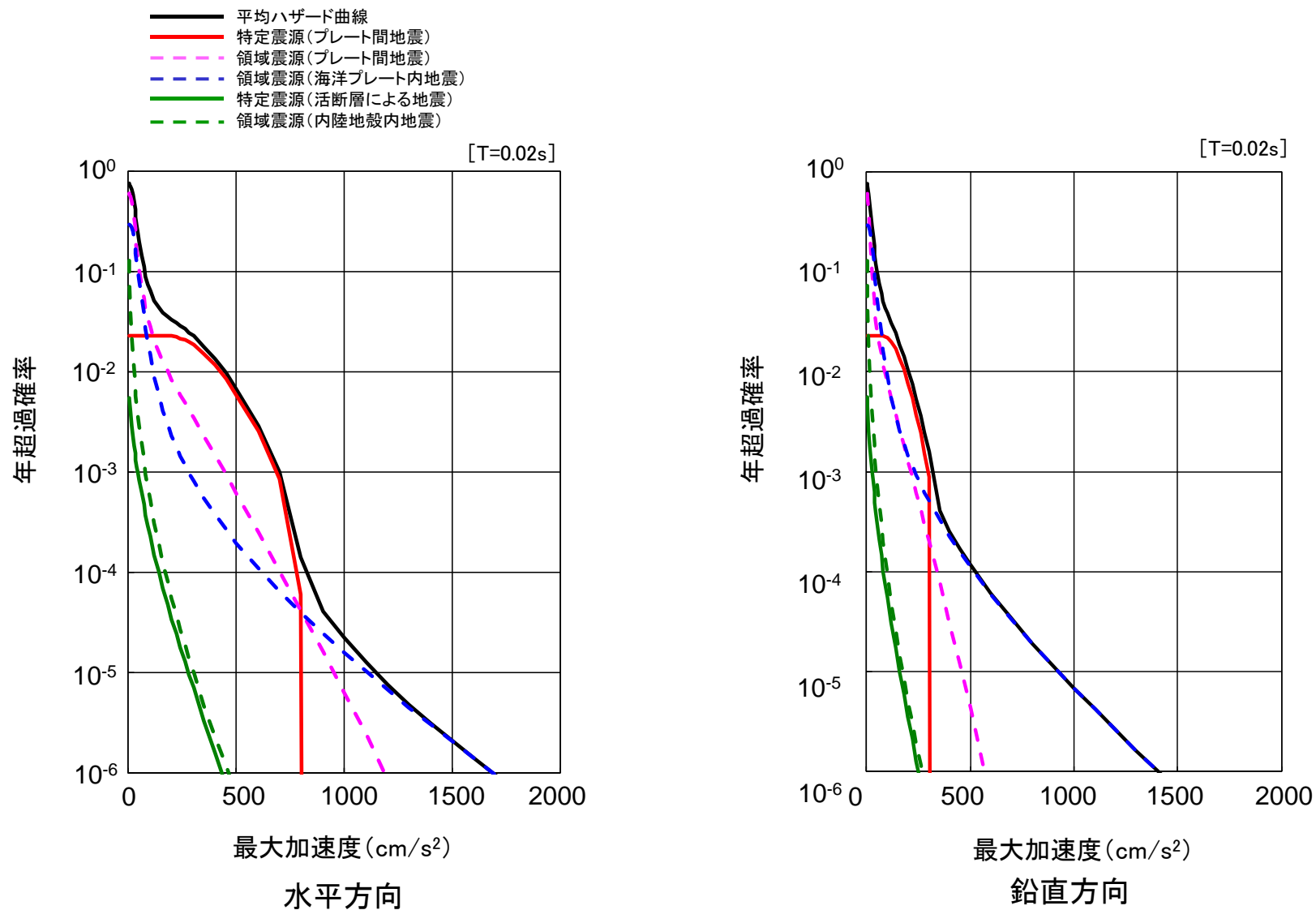
6. 地震ハザード評価結果(1) 平均ハザード曲線



6. 地震ハザード評価結果(2) フラクタイルハザード曲線

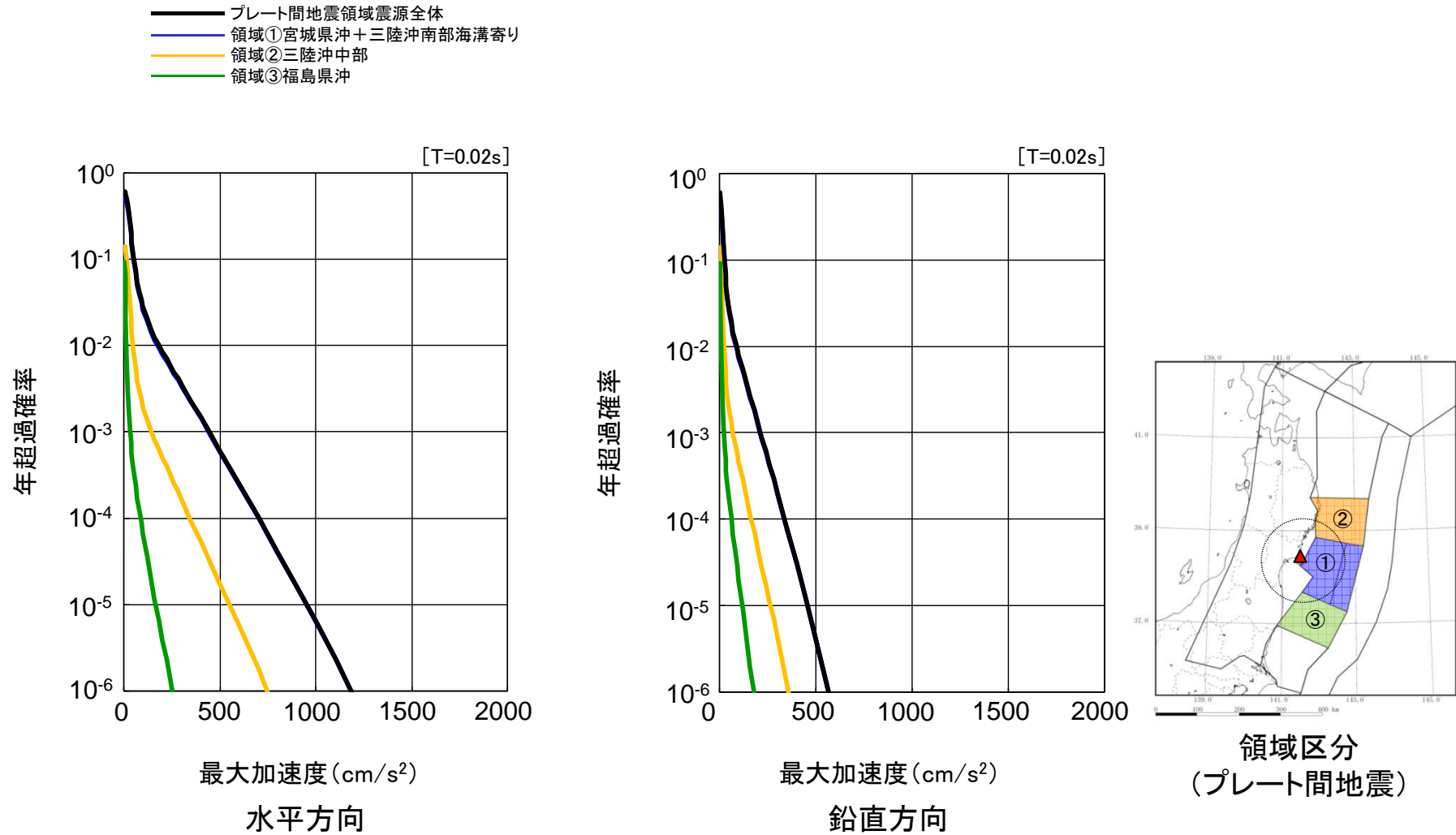


6. 地震ハザード評価結果(3) 震源別ハザード曲線



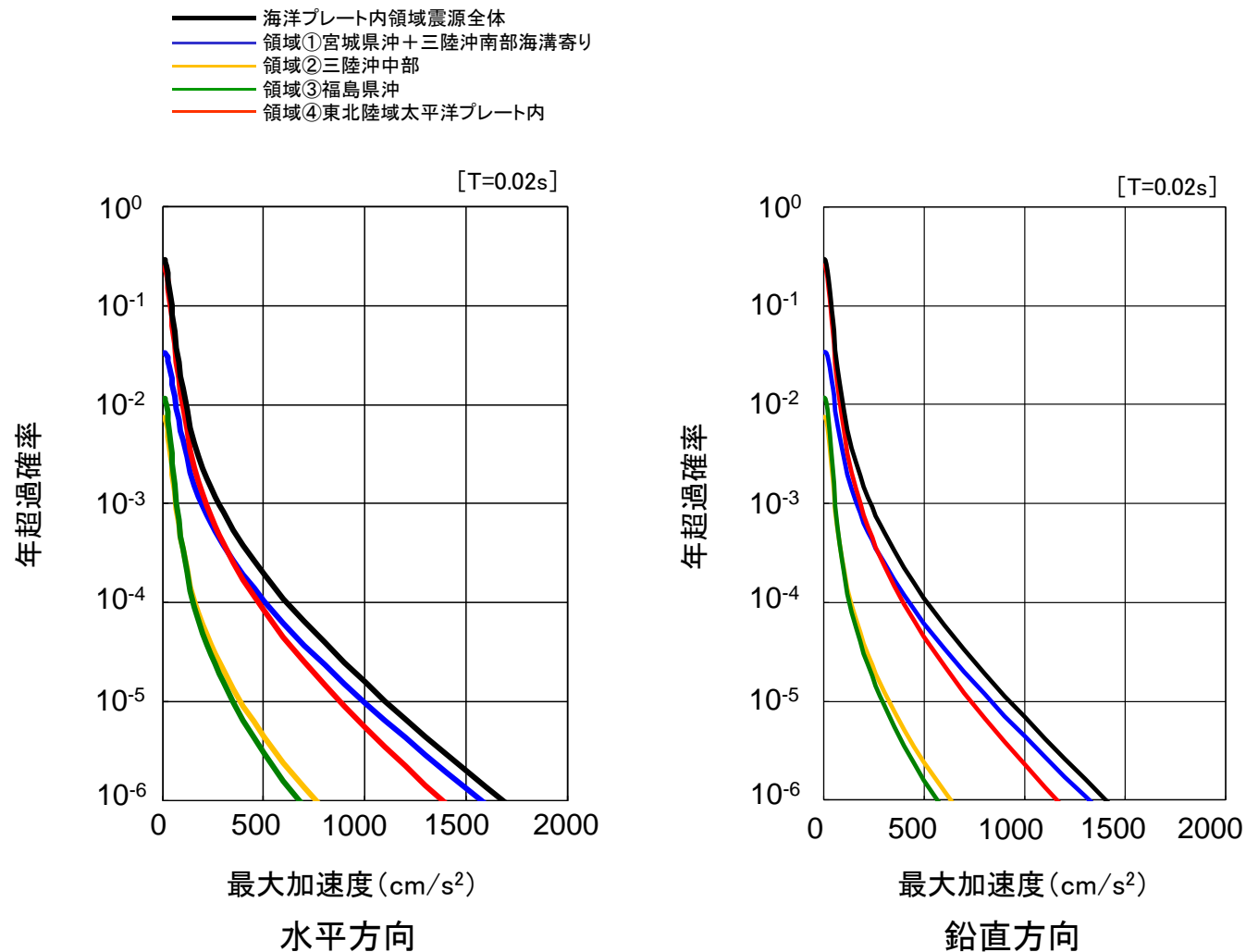
年超過確率 10^{-4} 程度まではプレート間地震の特定震源が支配的であり、年超過確率が 10^{-5} 程度より低い範囲では海洋プレート内地震の領域震源が支配的である。

6. 地震ハザード評価結果(4) 領域別ハザード曲線(プレート間地震)



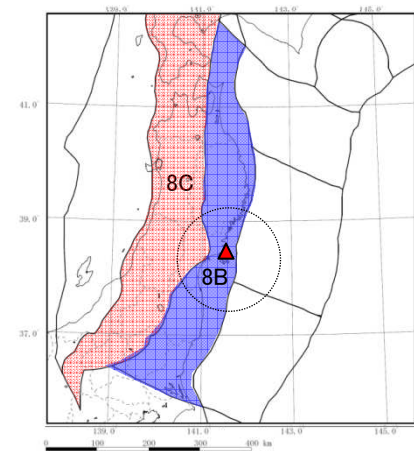
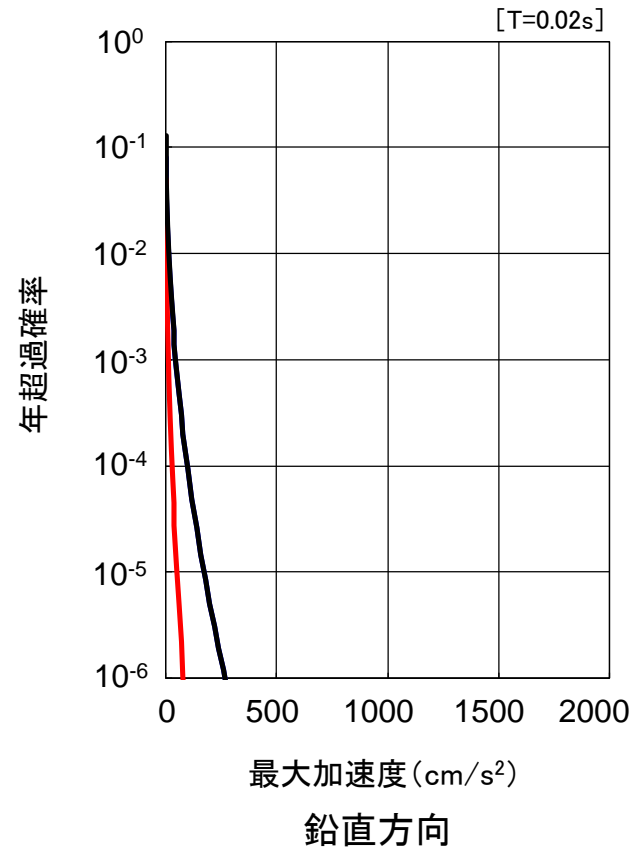
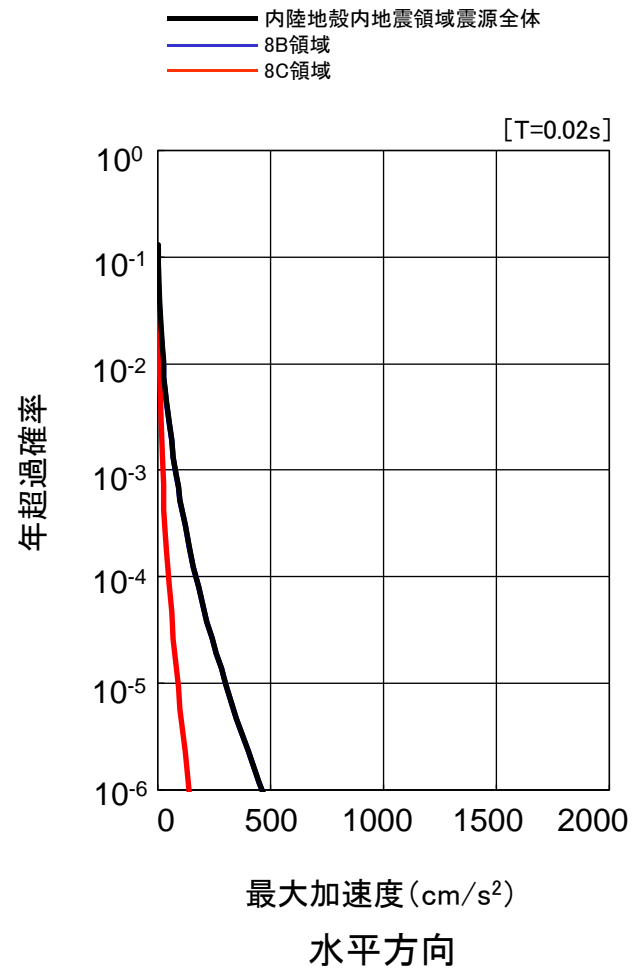
プレート間地震の領域震源については、領域①が支配的である。

6. 地震ハザード評価結果(5) 領域別ハザード曲線(海洋プレート内地震)



震源ごとの寄与の確認において年超過確率が 10^{-5} 程度より低い範囲で支配的である海洋プレート内地震の領域震源については、領域①および領域④が支配的である。

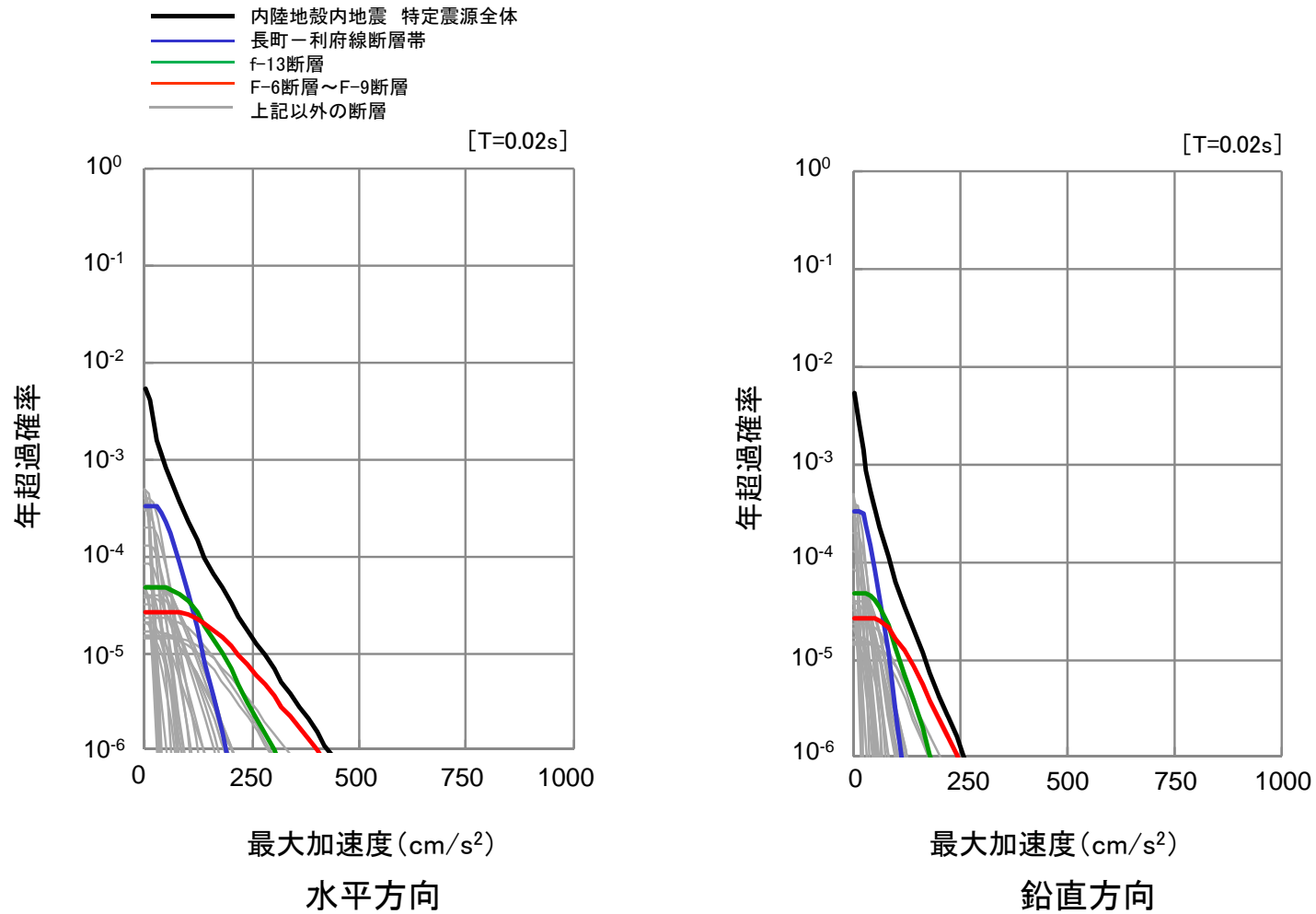
6. 地震ハザード評価結果(6) 領域別ハザード曲線(内陸地殻内地震)



領域区分
(内陸地殻内地震)

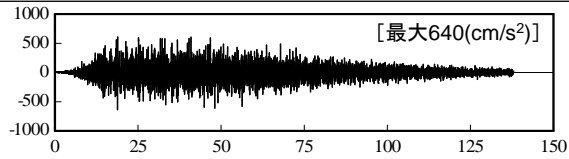
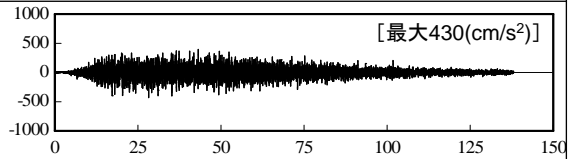
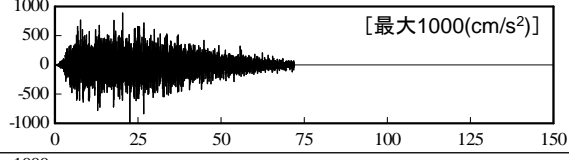
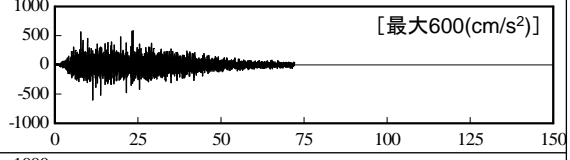
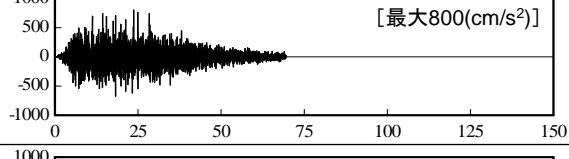
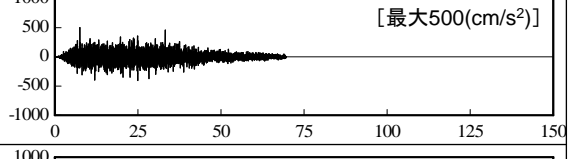
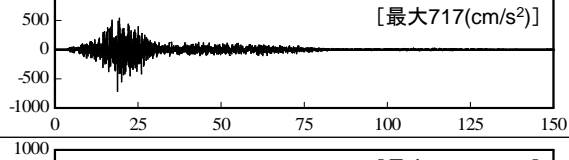
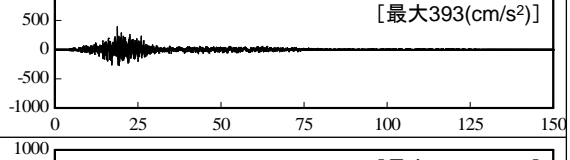
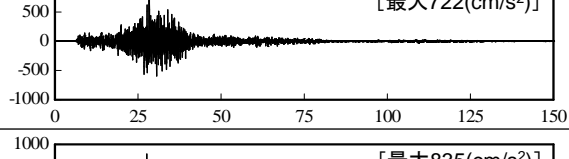
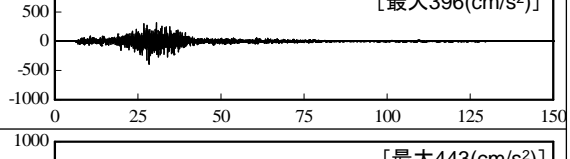
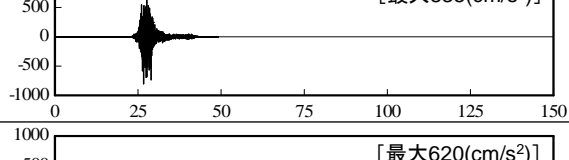
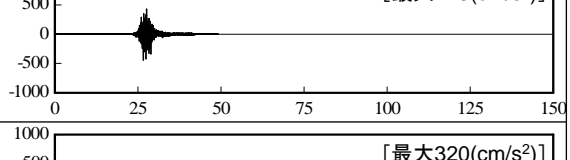
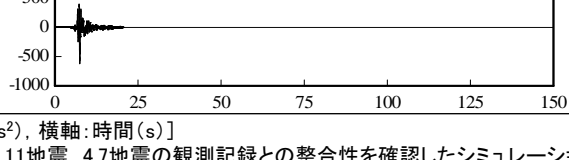
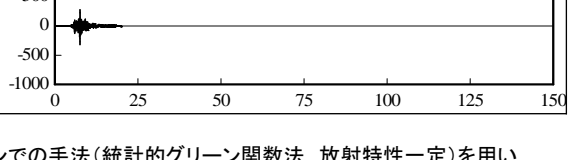
内陸地殻内地震の領域震源については、8B領域が支配的である。

6. 地震ハザード評価結果(7) 震源別ハザード曲線(特定震源 活断層による地震)



内陸地殻内地震の活断層による地震においては、「長町-利府線断層帯」、「f-13断層」および「F-6断層~F-9断層」が支配的である。

7. 年超過確率の参照 基準地震動S_s

基準地震動		水平方向	鉛直方向
S _s -D1	プレート間地震の応答スペクトル手法による基準地震動	 [最大640(cm/s ²)]	 [最大430(cm/s ²)]
S _s -D2	海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の応答スペクトル手法による基準地震動	 [最大1000(cm/s ²)]	 [最大600(cm/s ²)]
S _s -D3	海洋プレート内地震(SMGA地殻内)の応答スペクトル手法による基準地震動	 [最大800(cm/s ²)]	 [最大500(cm/s ²)]
S _s -F1	プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動 [応力降下量(短周期レベル)の不確かさ]	 [最大717(cm/s ²)]	 [最大393(cm/s ²)]
S _s -F2	プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動 [SMGA位置と応力降下量(短周期レベル)の不確かさの重畳]	 [最大722(cm/s ²)]	 [最大396(cm/s ²)]
S _s -F3	海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の断層モデル手法による基準地震動 (SMGAマントル内集約)	 [最大835(cm/s ²)]	 [最大443(cm/s ²)]
S _s -N1	2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)の検討結果に保守性を考慮した地震動	 [最大620(cm/s ²)]	 [最大320(cm/s ²)]

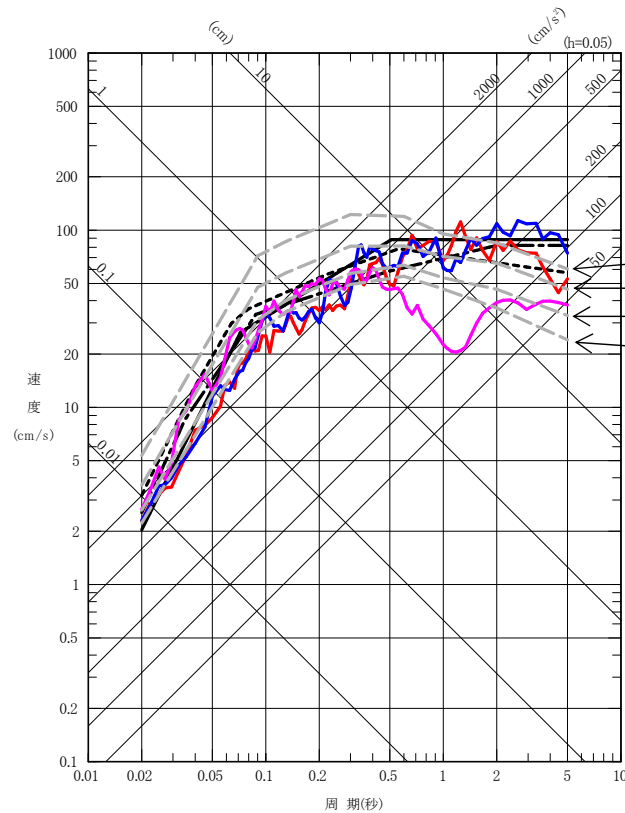
注1: 表中のグラフは各基準地震動の加速度時刻歴波形[縦軸: 加速度(cm/s²), 横軸: 時間(s)]

注2: 断層モデルによる基準地震動のS_s-F1, S_s-F2及びS_s-F3については, 3.11地震, 4.7地震の観測記録との整合性を確認したシミュレーションでの手法(統計的グリーン関数法, 放射特性一定)を用いていることから水平一方向としている。

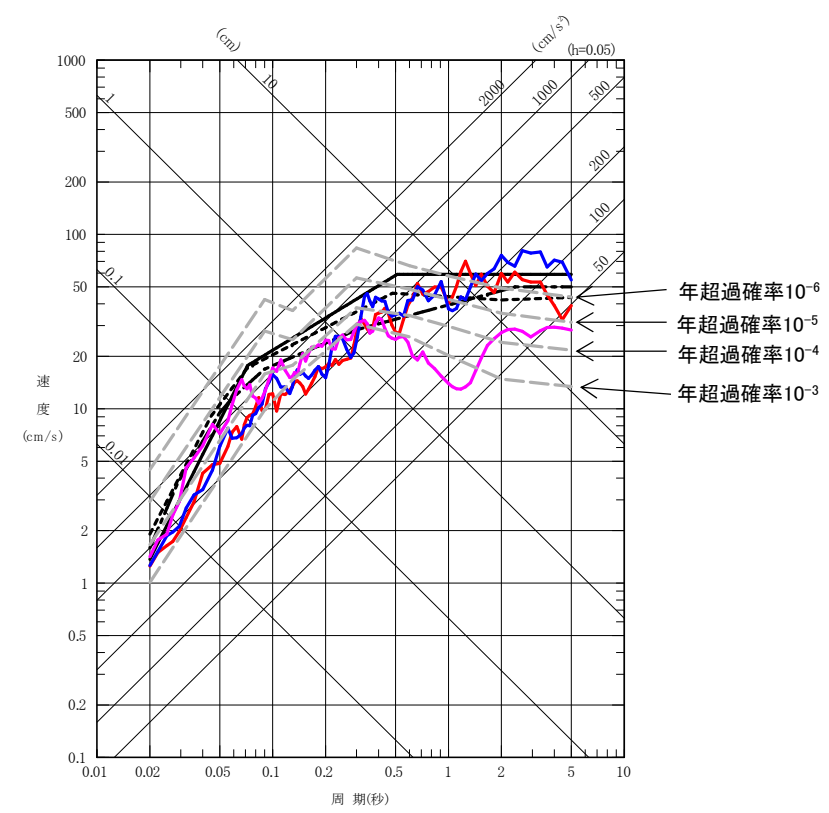
7. 年超過確率の参照 一様ハザードスペクトルと基準地震動S_s(震源を特定する)の比較

■ 基準地震動S_s-D1～D3, S_s-F1～F3の応答スペクトルと一様ハザードスペクトルは下図のとおり。

- 基準地震動S_s-D1 [プレート間地震の応答スペクトル手法による基準地震動]
- - - 基準地震動S_s-D2 [海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の応答スペクトル手法による基準地震動]
- · - 基準地震動S_s-D3 [海洋プレート内地震(SMGA地殻内)の応答スペクトル手法による基準地震動]
- · — 基準地震動S_s-F1 [プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動(応力降下量(短周期レベル)の不確かさ)]
- — — 基準地震動S_s-F2 [プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動(SMGA位置と応力降下量(短周期レベル)の不確かさの重畳)]
- — — 基準地震動S_s-F3 [海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の断層モデル手法による基準地震動(SMGAマントル内集約)]



水平方向

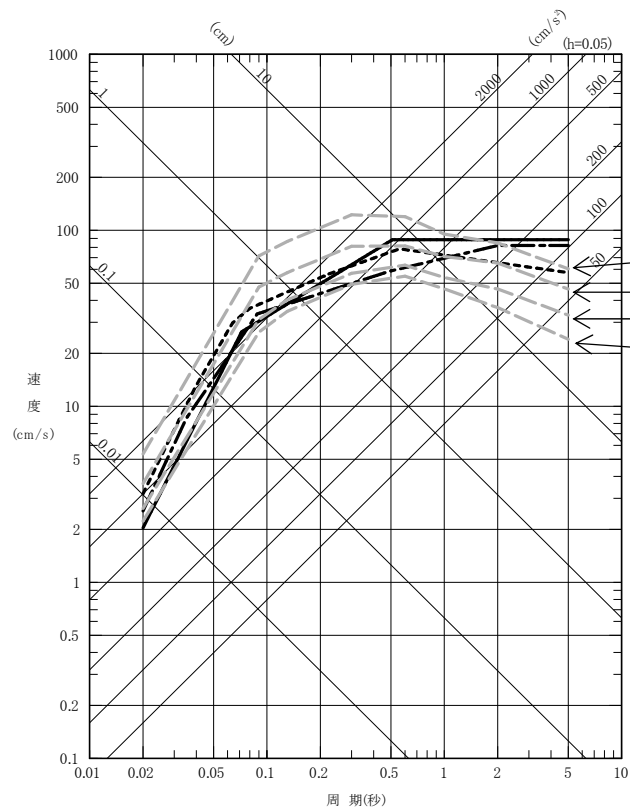


鉛直方向

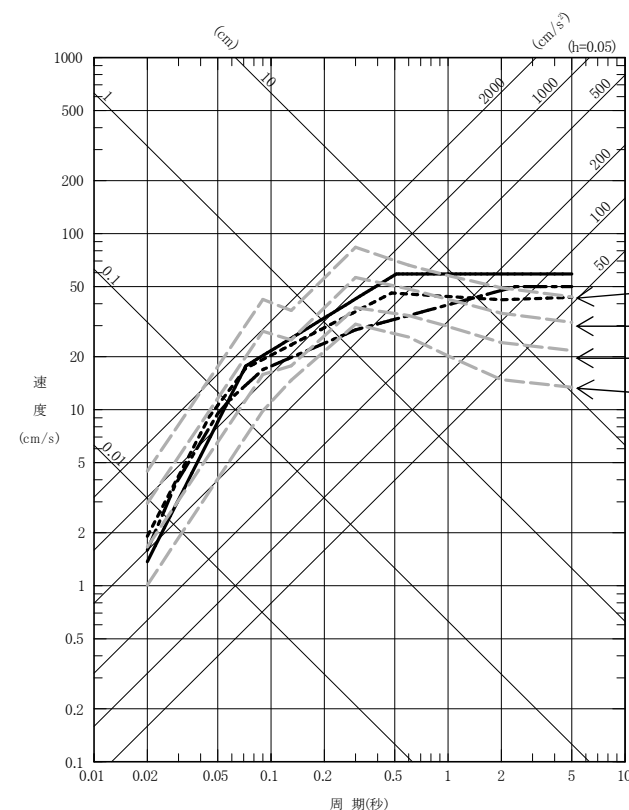
7. 年超過確率の参照 ー 様ハザードスペクトルと基準地震動S_s(応答スペクトル手法)の比較

■ 基準地震動S_s-D1～D3の応答スペクトルと一様ハザードスペクトルを比較する。

- 基準地震動S_s-D1 [プレート間地震の応答スペクトル手法による基準地震動]
- - - 基準地震動S_s-D2 [海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の応答スペクトル手法による基準地震動]
- · - 基準地震動S_s-D3 [海洋プレート内地震(SMGA地殻内)の応答スペクトル手法による基準地震動]



水平方向



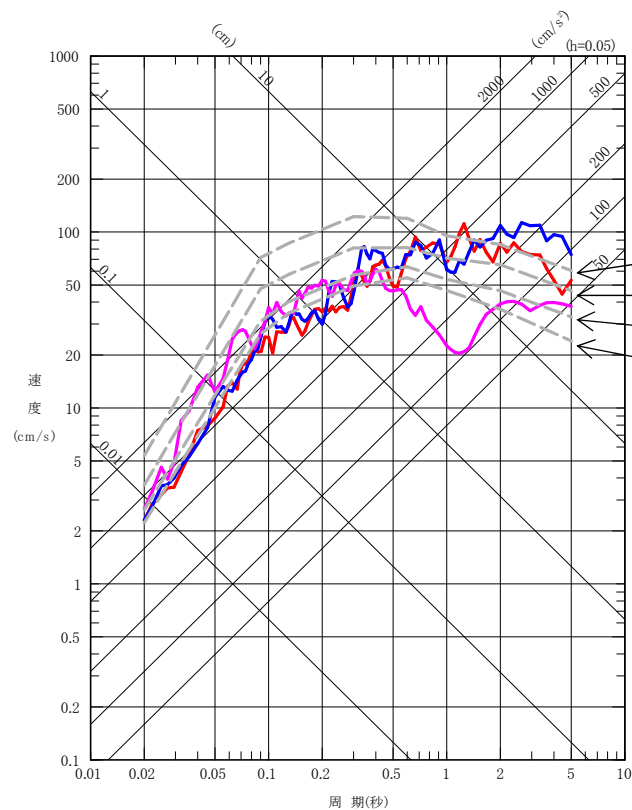
鉛直方向

短周期側で最も大きい基準地震動S_s-D2の応答スペクトルは短周期側で $10^{-4} \sim 10^{-6}$ の一律ハザードスペクトル程度であり、長周期側で最も大きい基準地震動S_s-D1の応答スペクトルは周期1秒より長周期では 10^{-6} の一律ハザードスペクトルを超えている。

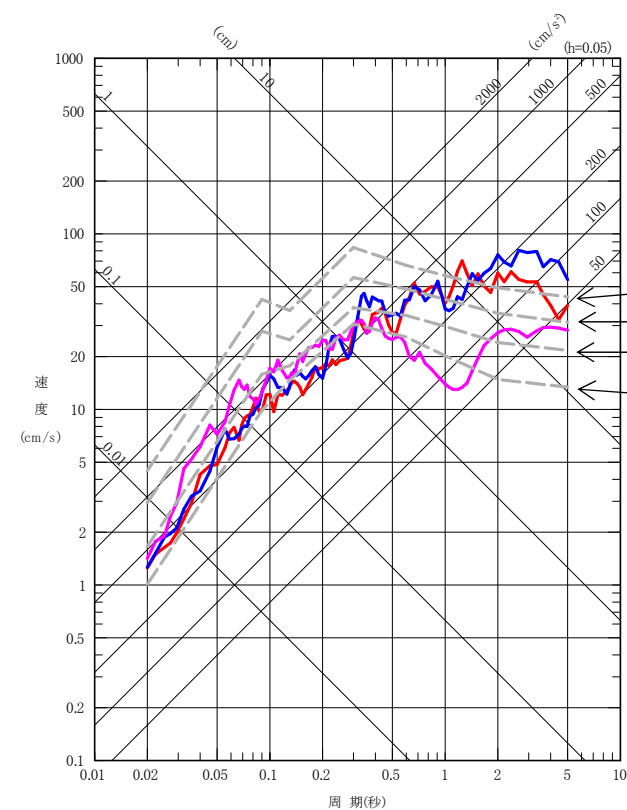
7. 年超過確率の参照 一様ハザードスペクトルと基準地震動S_s(断層モデル手法)の比較

■ 基準地震動S_s-F1～F3の応答スペクトルと一様ハザードスペクトルを比較する。

- 基準地震動S_s-F1 [プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動(応力降下量(短周期レベル)の不確かさ)]
- 基準地震動S_s-F2 [プレート間地震の断層モデル手法による基準地震動(SMGA位置と応力降下量(短周期レベル)の不確かさの重畳)]
- 基準地震動S_s-F3 [海洋プレート内地震(SMGAマントル内)の断層モデル手法による基準地震動(SMGAマントル内集約)]



水平方向

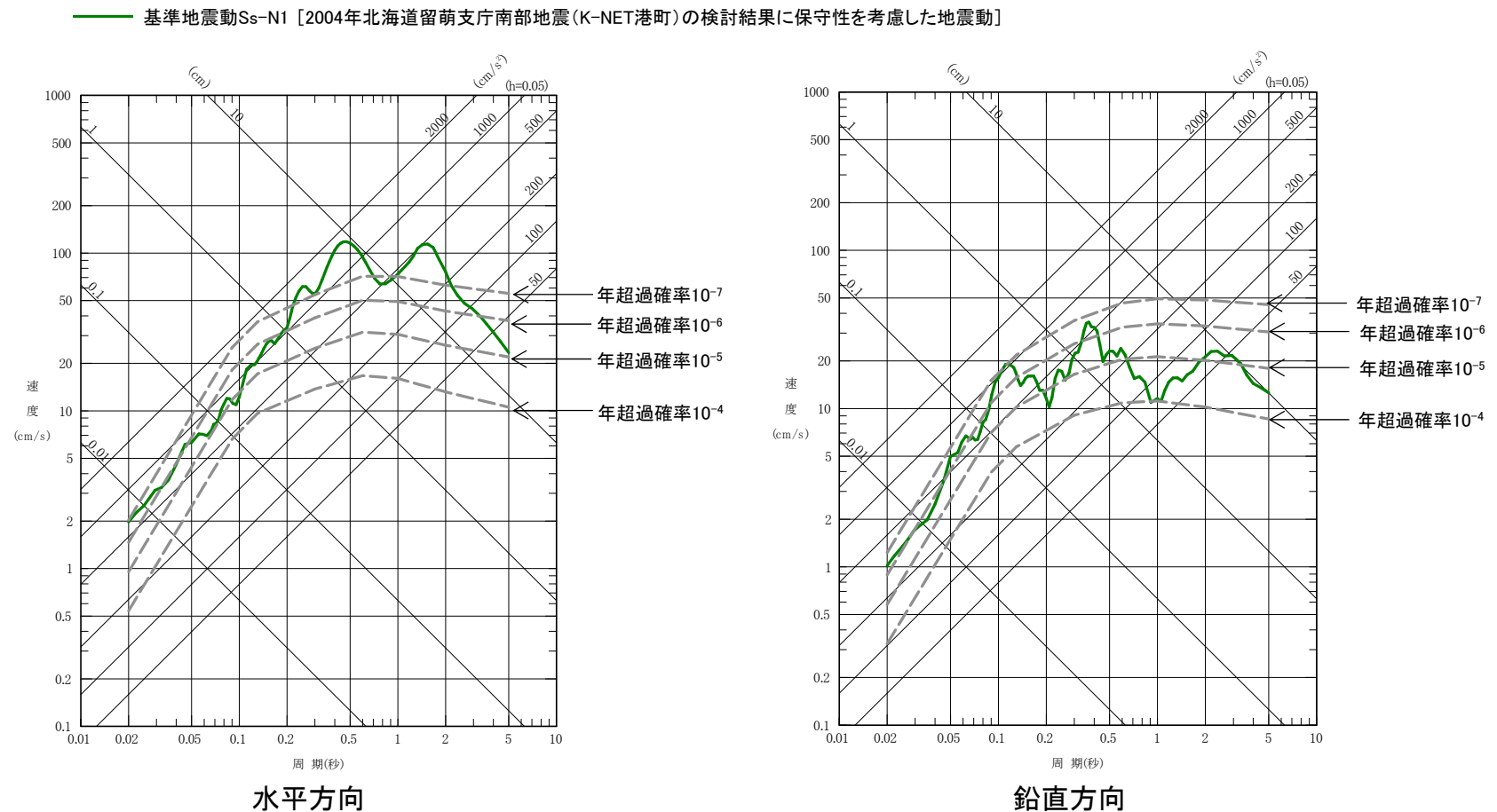


鉛直方向

基準地震動S_s-F1, F2は, 基準地震動S_s-D1を超過する帯域において10⁻⁶の一様ハザードスペクトルを超過している。また, 基準地震動S_s-F3は基準地震動S_s-D2に包絡されており, 短周期側では概ね10⁻⁴の一様ハザードスペクトル程度である。

7. 年超過確率の参照 一様ハザードスペクトルと基準地震動S_s(震源を特定せず)の比較

- 内陸地殻内地震の領域震源モデル(8B, 8C)による一様ハザードスペクトルを、震源を特定せず策定する地震動に基づき策定している基準地震動S_s-N1と合わせて示す。



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の比較によれば、基準地震動S_s-N1の応答スペクトルは、水平方向の周期0.2~2秒付近では 10^{-7} の一様ハザードスペクトルを超え、その他の周期帯では 10^{-5} ~ 10^{-7} の一様ハザードスペクトル程度である。また、鉛直方向では全周期帯で 10^{-4} ~ 10^{-7} の一様ハザードスペクトル程度である。

余白

補足説明資料

補足説明資料:Noda et al.(2002)の評価に用いる補正係数(1)

■プレート間地震: 特定震源(東北地方太平洋沖型地震, 宮城県沖地震), 領域震源(①宮城県沖+三陸沖南部海溝寄り, ②三陸沖中部)

壇ほか(2001)による経験式($A \propto M_0^{1/3}$)を参考に, 観測記録とNoda et al.(2002)の応答スペクトル比を相対的短周期レベル(RSPL: Relative Short Period Level)をパラメータとして表す補正係数を採用した[Hirofumi et al.(2013)]。

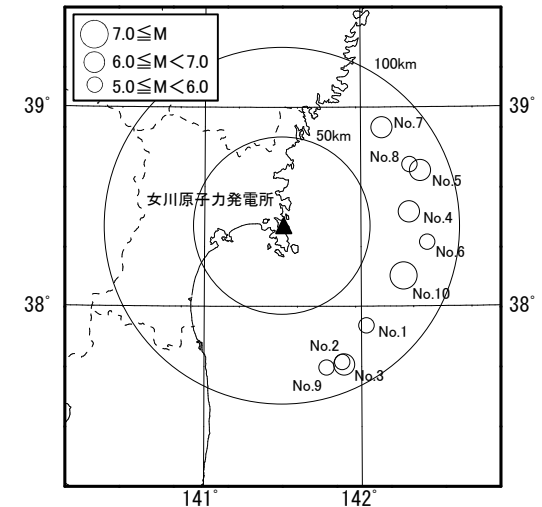
$$RSPL = A/M_0^{1/3}, \quad S(T) = S_T(T) \times R(T)$$

$$\ln R(T) = a(T) \cdot \ln(RSPL) + C(T)$$

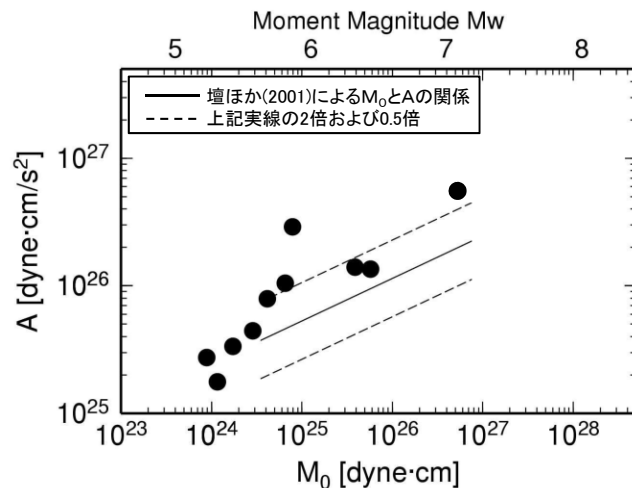
- A : 短周期レベル
 M_0 : 地震モーメント
 $S(T)$: 解放基盤表面の応答スペクトル
 $S_T(T)$: Noda et al.(2002)による地震基盤の応答スペクトル
 $R(T)$: 補正係数
 $a(T)$: 回帰より求めたRSPLに関する係数
 $C_H(T)$: 回帰より求めた水平成分に関する係数
 $C_V(T)$: 回帰より求めた鉛直成分に関する係数

補正係数の策定に用いた地震の諸元

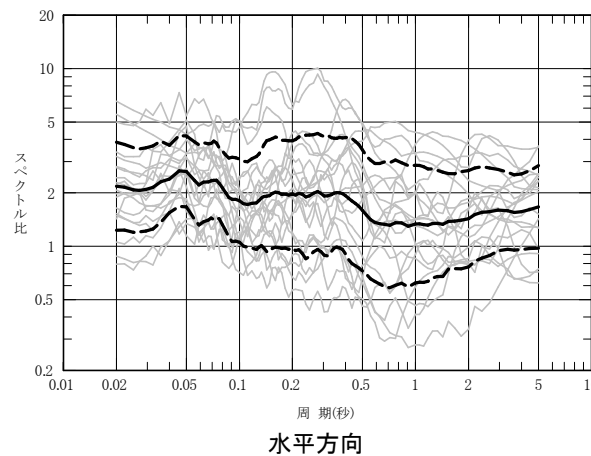
No.	発生日	M	震央距離 (km)	RSPL ($N^{2/3} \cdot m^{2/3} / s^2$)
1	1983年 5月24日	5.8	73	2.80E+17
2	1984年10月27日	5.4	83	1.68E+17
3	1985年 8月12日	6.4	84	3.50E+17
4	1986年 3月 2日	6.0	71	5.61E+17
5	1994年 8月14日	6.0	83	1.46E+18
6	1999年11月15日	5.7	82	3.12E+17
7	2002年11月 3日	6.3	78	4.17E+17
8	2002年12月 5日	5.3	79	2.84E+17
9	2003年 3月 3日	5.9	83	4.90E+17
10	2005年 8月16日	7.2	73	6.40E+17



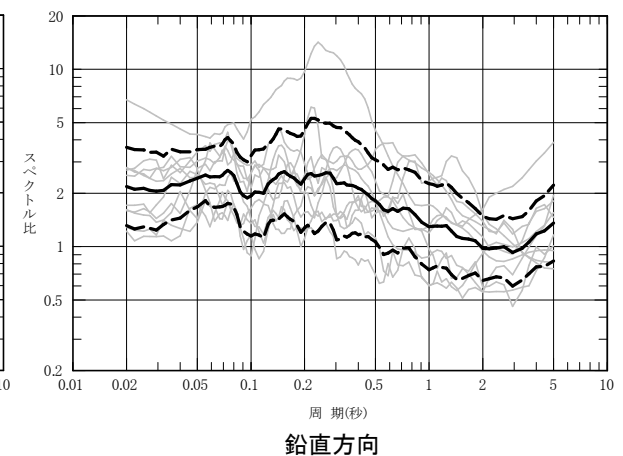
補正係数の策定に用いた地震の震央分布図



補正係数の策定に用いた地震の M_0 -Aの関係



観測記録の応答スペクトルとNoda et al.(2002)に基づく応答スペクトルの比

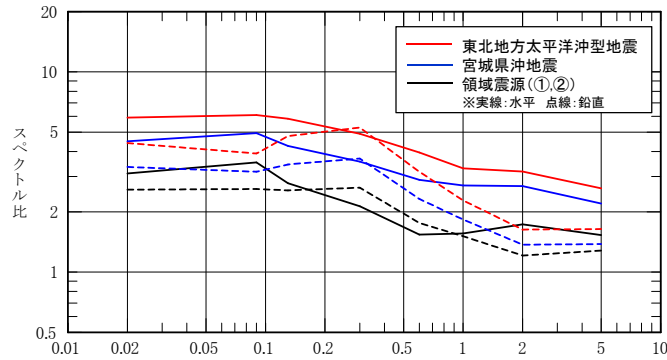


補足説明資料:Noda et al.(2002)の評価に用いる補正係数(2)

第538回審査会合(H30.1.12)
資料1 p.30 再掲

対象地震毎の補正係数の策定

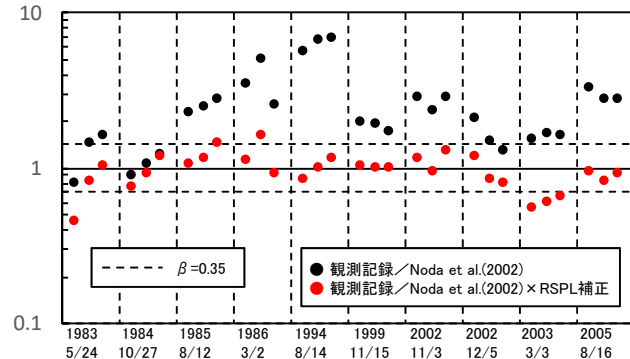
対象地震	採用したRSPL ($N^{2/3} \cdot m^{2/3} / s^2$)	備考
東北地方太平洋沖型地震	8.08E+17	Asano and Iwata(2012)の M_0 , A
宮城県沖地震	5.76E+17	地震本部(2005)の M_0 , A
プレート間地震の領域①, ②	4.16E+17	用いた10地震の平均値



Noda et al.(2002)に用いる補正係数(地震基盤)

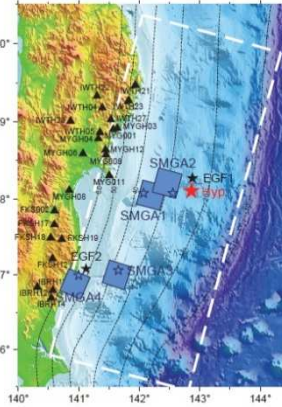
補正前後の比較(最大加速度値)

相対的短周期レベル(RSPL)をパラメータとした補正係数を用いることで、ばらつきが小さくなっていることを確認。



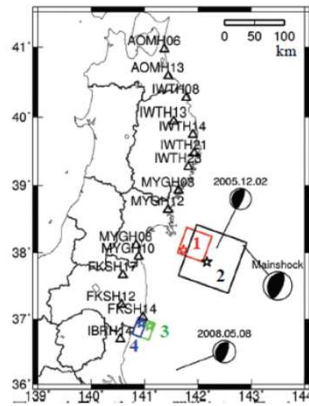
RSPLを用いた補正前後の比較(最大加速度値)
※各地震についてNS,EWおよびUDをプロット

東北地方太平洋沖型地震の評価と3.11地震の観測記録の比較



	L (km)	W (km)	M_0 (Nm)	A ($N \cdot m / s^2$)
SMGA2	36	36	5.33E+20	1.41E+20

Asano and Iwata (2012)



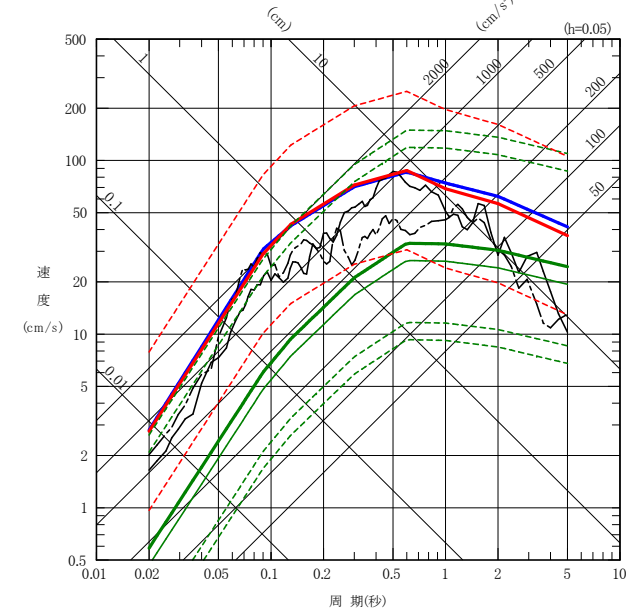
	L (km)	W (km)	M_0 (Nm)	A ($N \cdot m / s^2$)
SMGA2	90	90	7.73E+21	2.64E+20

佐藤(2012)

- RSPLをパラメータとした補正係数を用いた東北地方太平洋沖型地震の評価と3.11地震の観測記録を比較。
- 地震規模は、神田ほか(2012)における3.11地震の第2波群のマグニチュードを参照し、M8.1を採用。
- RSPLは、各種提案されている3.11地震の断層モデルのうち、第二波群に対応するSMGAのRSPLが最大のAsano and Iwata(2012)を参照して設定。
⇒全周期帯で概ね観測記録を上回る結果となった。
- <参考検討>
- 地震規模を、神田ほか(2012)における本震波形記録全体のマグニチュードを参照したM8.3とし、RSPLをSMGAの M_0 が最大の佐藤(2012)に基づき設定した場合の評価を実施。
⇒M8.1とした場合の結果と同程度であった。

— 評価結果*[M8.1.RSPLはAsano and Iwata(2012)のモデルから算出] 点線: ±3σ
— 参考*[M8.3.RSPLは佐藤(2012)のモデルから算出]
— Noda et al.(2002)による評価*[太線:M8.3, 細線:M8.1, 点線: ±3σ]
— 観測記録(NS), - - - - 観測記録(EW)

※ X_{eq} は神田ほか(2012)に基づく76.3kmとして算出



3.11地震の評価結果と観測記録*1との比較(水平)

※1:敷地岩盤上部(O.P.*2=86m)の観測記録について、表層の影響を除去したはざとり波。
※2:O.P.は女川原子力発電所工用基準面(Onagawa Peil)であり、O.P.±0m=T.P.(東京湾平均海面)-0.74m。

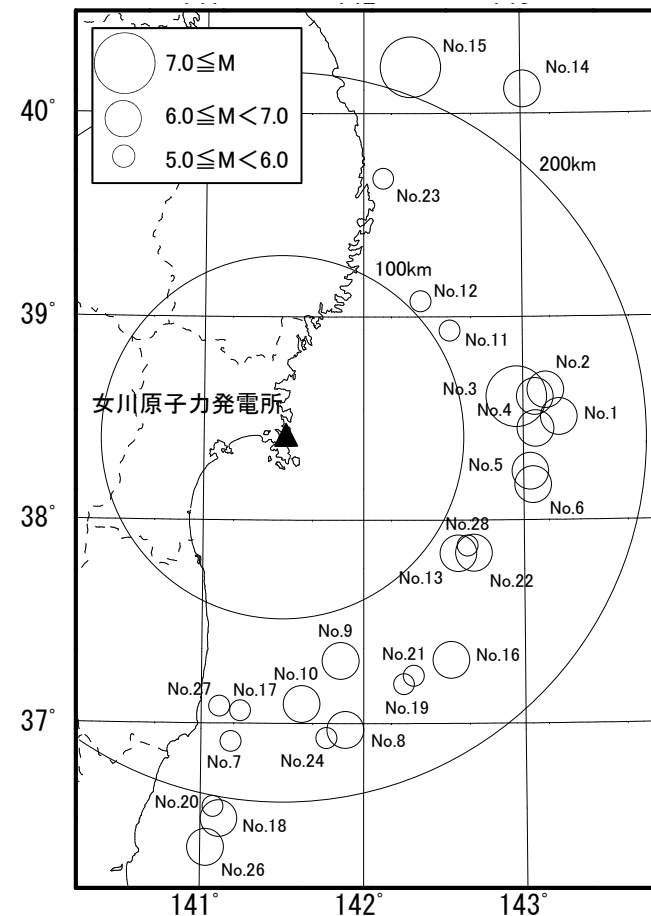
補足説明資料:Noda et al.(2002)の評価に用いる補正係数(3)

■プレート間地震:領域震源(③福島県沖)

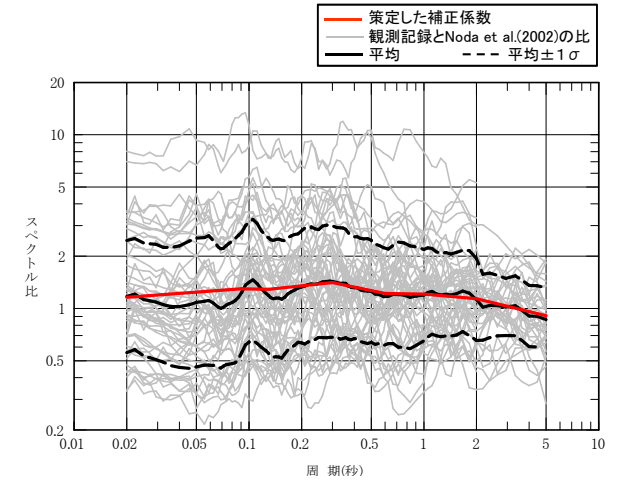
- 敷地で得られた観測記録とNoda et al.(2002)の応答スペクトル比から策定した補正係数を採用する。
- 補正係数の策定に用いる地震は、震央距離が100~200km程度の範囲で発生したM5.5以上のプレート間地震とする。

補正係数の策定に用いた地震の諸元

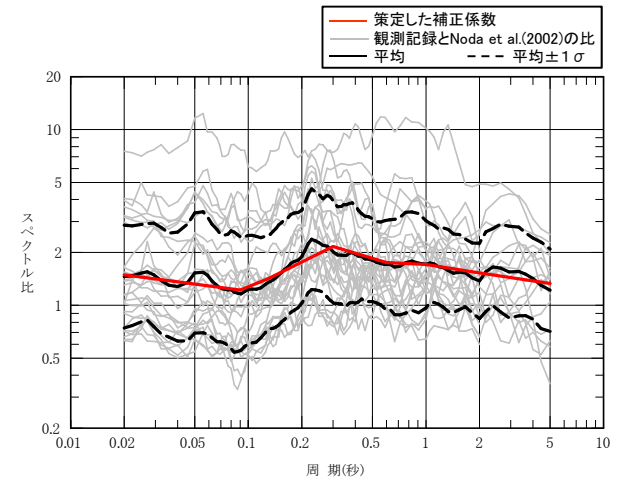
No.	発生日	M	震央距離(km)
1	1981年 1月18日	6.1	151
2	1981年 1月19日	6.1	146
3	1981年 1月19日	7.0	130
4	1981年 1月19日	6.0	140
5	1981年 1月23日	6.6	137
6	1981年 1月23日	6.2	139
7	1983年 7月 2日	5.8	168
8	1987年 2月 6日	6.7	164
9	1987年 4月 7日	6.6	127
10	1987年 4月23日	6.5	146
11	1992年12月28日	5.9	108
12	1993年11月11日	5.5	106
13	1994年 8月16日	6.0	115
14	1994年12月29日	6.5	231
15	1995年 1月 7日	7.2	214
16	1996年 2月17日	6.8	153
17	1997年 5月12日	5.6	151
18	2000年 7月21日	6.4	211
19	2001年 2月25日	5.9	150
20	2002年 2月12日	5.5	205
21	2002年 7月24日	5.7	149
22	2003年10月31日	6.8	122
23	2004年 8月10日	5.8	152
24	2004年 9月 1日	5.6	166
25	2005年 8月24日	6.3	138
26	2005年10月19日	6.3	228
27	2005年10月22日	5.6	151
28	2005年12月 5日	5.5	117



補正係数の策定に用いた地震の震央分布図



水平方向



鉛直方向

観測記録の応答スペクトルとNoda et al.(2002)に基づく
応答スペクトルの比および策定した補正係数(地震基盤)

補足説明資料:Noda et al.(2002)の評価に用いる補正係数(4)

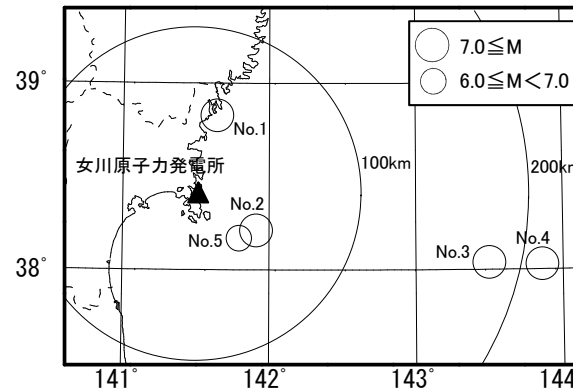
第538回審査会合(H30.1.12)
資料1 p.32 再掲

■プレート内地震:領域震源

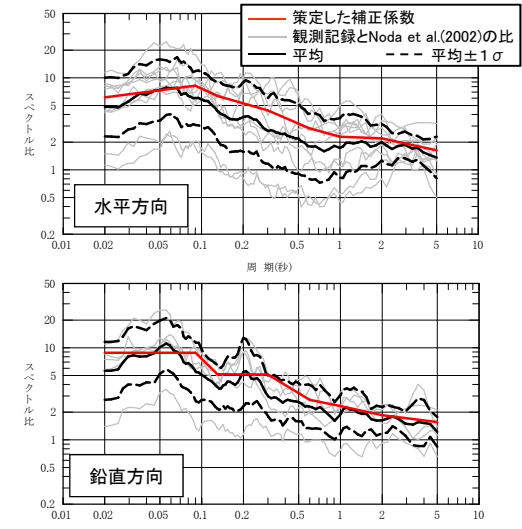
- 敷地で得られた観測記録とNoda et al.(2002)の応答スペクトル比から策定した補正係数を採用する。
- 補正係数の策定には、震央距離が200km程度以内の範囲で発生したM6.0以上のプレート内地震を用いた。

補正係数の策定に用いた地震の諸元

No.	発生日	M	震央距離(km)
1	2003年 5月26日	7.1	48
2	2011年 4月 7日	7.2	43
3	2011年 7月10日	7.3	180
4	2012年12月 7日	7.3	211
5	2013年 8月 4日	6.0	37



補正係数の策定に用いた地震の震央分布図



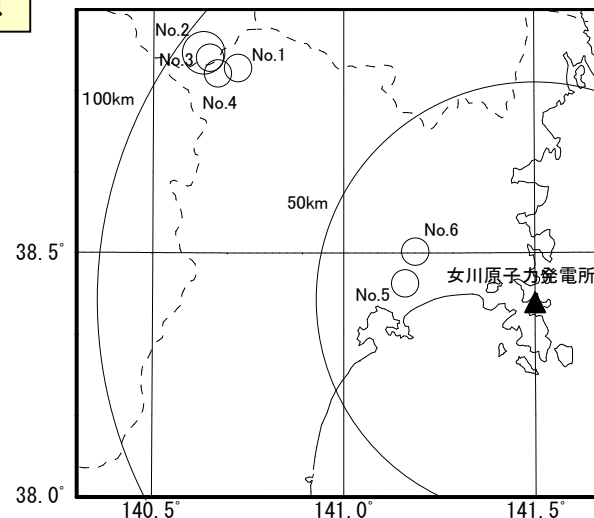
観測記録の応答スペクトルとNoda et al.(2002)に基づく
応答スペクトルの比および策定した補正係数(地震基盤)

■内陸地殻内地震:活断層による地震, 領域震源

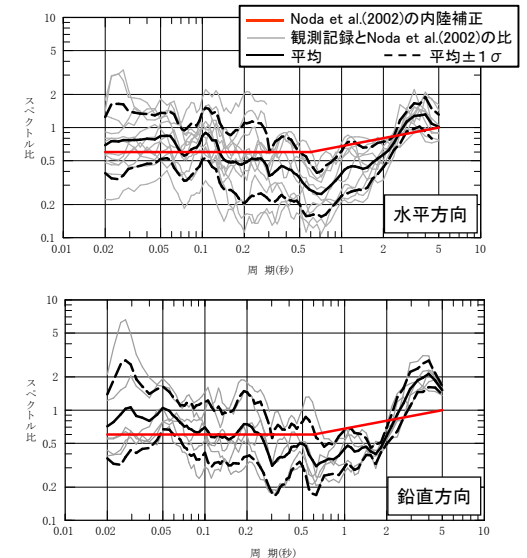
- 敷地で得られた観測記録とNoda et al.(2002)の応答スペクトル比から算定される係数と概ね整合するNoda et al.(2002)の内陸補正を採用。
- 検討には、震央距離が100km程度以内の範囲で発生したM5.0以上の内陸地殻内地震を用いた。

検討に用いた地震の諸元

No.	発生日	M	震央距離(km)
1	1985年3月28日	5.3	85
2	1996年 8月11日	6.0	94
3	1996年 8月11日	5.5	92
4	1996年 8月11日	5.8	88
5	2007年 7月26日	5.6	30
6	2007年 7月26日	5.5	29



検討に用いた地震の震央分布図



観測記録の応答スペクトルとNoda et al.(2002)に基づく
応答スペクトルの比および内陸補正(解放基盤)

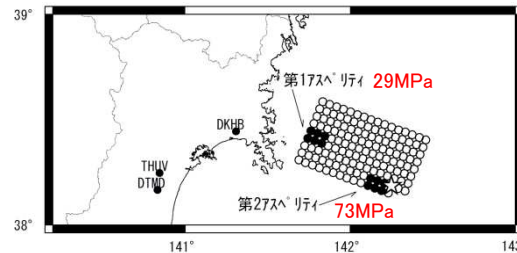
補足説明資料: ばらつきの打ち切りの設定について

■「特定震源 宮城県沖地震」の東北地方太平洋沖型地震との関係を踏まえた打ち切り設定について

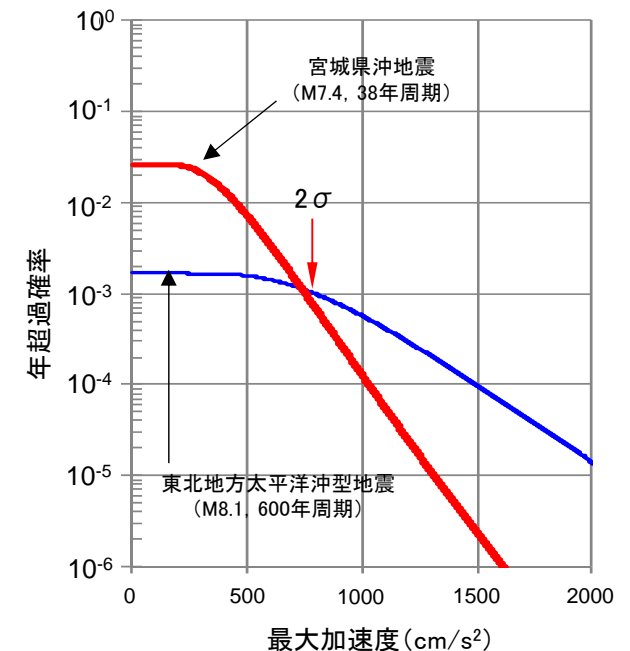
- 特定震源で考慮している宮城県沖地震と東北地方太平洋沖型地震は、基本的には宮城県沖の同じアスペリティによって生じる地震であり、1978年の宮城県沖地震は3.11地震のアスペリティの一部が活動したものと考えられる。
- 「特定震源 宮城県沖地震」の確率評価では、 2σ で約800ガルとなるが、1978年タイプの地震動がこのように大きくなるためには、敷地から宮城県沖のアスペリティまでの距離がほぼ最短であることも考慮すると、以下のいずれかの現象(もしくは組み合わせ)が必要となる。
 - ① アスペリティの面積が変わらなければアスペリティの応力降下量が倍以上になる。
※地震本部(2005)ではA1断層の応力降下量を73MPaに設定 ⇒ 約150MPa
 - ② 応力降下量が変わらない場合、アスペリティ面積が4倍以上になる。
※アスペリティ面積が大きくなると背景領域の面積(断層全体)も大きくなる。

← 東北地方太平洋沖地震に相当

「特定震源 宮城県沖地震」が800ガル相当の地震動を引き起こすには、地震規模が大きく(背景領域およびアスペリティ面積が大きく)なる必要があり、それは実質的には東北地方太平洋沖型地震に地震タイプが移行すると考えられる。



1978年宮城県沖地震(M7.4)の観測記録を踏まえた想定宮城県沖地震の断層モデル(A1断層)
[地震本部(2005)に加筆]



宮城県沖地震の打ち切り概念図
水平方向

「特定震源 宮城県沖地震(M7.4), 38年ポアソン」と、「東北地方太平洋沖型地震(M8.1), 600年ポアソン」の地震動は概ね 2σ ($A_{max}=800$ ガル)付近で交差・逆転する。

「特定震源 宮城県沖地震」の打ち切りを
 2σ に設定

補足説明資料:宮城県沖地震の評価について

【女川原子力発電所のハザード評価における宮城県沖地震の特徴】

- 宮城県沖地震は、過去の地震において同じ領域が繰り返し破壊していることが知られており、震源域が特定できるとされている[地震本部(2012)]。
- 特定地震としての宮城県沖地震は、平均発生間隔が38年と非常に短く、かつ女川から震源位置が近いため、女川ハザード評価の高頻度の領域で支配的となる。また、短周期が卓越するという地域性も反映している結果、加速度ハザード曲線も特徴的な形状を示している。【下図参照】
- 宮城県沖の領域は、算定されるG-R式からも比較的地震活動度が高く、領域震源による影響度も大きい。

【地震本部(2013)における宮城県沖の評価】

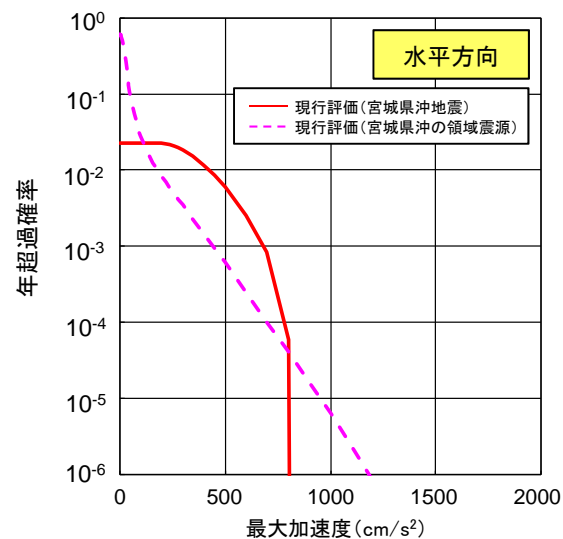
- 地震本部(2013)のモデル1においては、カテゴリ1(特定震源)としての宮城県沖地震に加え、カテゴリ2(領域震源)の地震として、東北地方太平洋沖地震の余震の発生を考慮した最大M8.0が設定されている。
- 地震本部(2013)のモデル2においては、カテゴリ1(特定震源)の宮城県沖地震は、カテゴリ2(領域震源)に統合されており、宮城県沖の領域として最大M8.4が設定されている。

【海溝型地震の地震学的特徴】

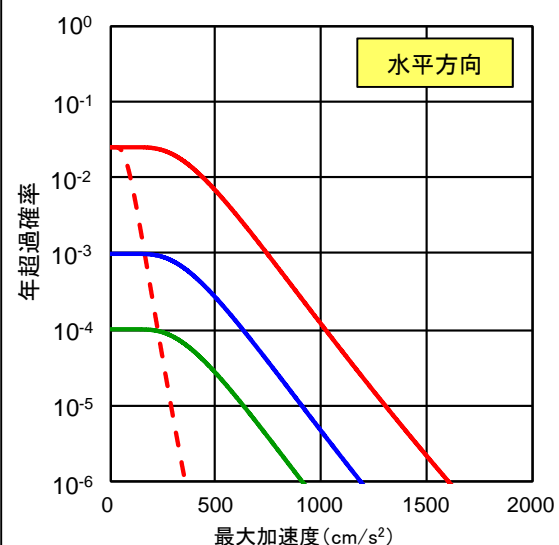
- 「特定震源として考慮している宮城県沖地震によってプレート間の固着域が破壊すること」、「領域震源で設定しているM7クラスの地震によって、特定震源である宮城県沖地震と同じ固着域が破壊すること」を同時に考慮することは、過大評価になると考えられる。

女川ハザード評価における宮城県沖地震の扱いについては、海溝型地震の地震学的特徴も踏まえた「特定震源」と「領域震源」の震源域の重複の評価という課題はあるが、地震本部(2013)のモデル1とモデル2を分岐としてロジックツリーを作成することで評価することとする。

宮城県沖地震(特定地震)と宮城県沖の領域震源の評価の比較



【参考】宮城県沖地震の平均発生間隔、補正係数の感度解析(ポアソン過程, 打ち切り設定せず)



- 現行評価は宮城県沖の特徴を反映したRSPL式による補正を行っているため、Noda et al.(2002)の評価(参考①)に対して高加速度となる。
- 現行評価は38年周期のため、活断層レベルの平均発生間隔の地震(参考②:1,000年周期, 参考③:10,000年周期)と比較して高頻度で高加速度となる。

参考文献

- 1.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
- 2.神田克久, 武村雅之, 広谷浄, 石川和也(2012):震度分布に基づく2011年東北地方太平洋沖地震の短周期地震波発生域, 地震 第2輯, 第65巻
- 3.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):標準的な強震動予測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
- 4.地震調査研究推進本部(2013):今後の地震動ハザード評価に関する検討 ~2013年における検討結果~
- 5.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)
- 6.地震調査研究推進本部(2012):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
- 7.活断層研究会編(1991):[新編]日本の活断層, 東京大学出版会
- 8.Noda,S., K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M.Tohdo and T. 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
- 9.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, 269-284
- 10.地震調査研究推進本部(2009):全国地震動予測地図
- 11.武村雅之(1990):日本およびその周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係, 地震 第2輯, 第43巻
- 12.加藤愛太郎(2012):2011年東北地方太平洋沖地震の特徴について, 地球科学第46巻, 87-98
- 13.森川信之, 神野達夫, 成田章, 藤原広行, 奥村俊彦, 福島美彦(2006):震源域と観測点を特定した地震動強さのばらつき 一観測記録に基く検討一, 第12回日本地震工学シンポジウム
- 14.池浦友則, 野田静男(2005):同一地点における地震動応答スペクトルのばらつき一地震規模と震源距離がそれぞれ等しい強震記録ペアの分析一, 日本地震工学会論文集, 第5巻, 第3号, 12-30
- 15.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手法のための震源モデル化, 日本建築学会構造系論文集, 第545号, 51-62
- 16.Kiyoshi Hirovani, Yoshihiro Ogata, Hiroshi Sawabe, Toru Sasaki(2013):A comparison between seismic hazard and The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Transactions, SMiRT-22,SanFrancisco, California, USA, Aug.18-23, 2013
- 17.Asano, K. and T. Iwata(2012): Source model for strong ground motion generation in the frequency range 0.1-10Hz during the 2011 Tohoku earthquake, Earth Planets Space, Vol. 64(No. 12), pp. 1111-1123
- 18.佐藤智美(2012):経験的グリーン関数法に基づく2011年東北地方太平洋沖地震の震源モデル 一プレート境界地震の短周期レベルに着目して一, 日本建築学会構造系論文集, 675, 695-704