

大間原子力発電所審査資料	
資料番号	OM1-CA151-R00
提出年月日	2021年6月17日

大間原子力発電所

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動について

(海洋プレート内地震)

(補足説明資料)

2021年6月

電源開発株式会社

大間原子力発電所

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動について

(海洋プレート内地震)

(補足説明資料)

2021年6月17日

電源開発株式会社

○ 「第615回審査会合」及び「第646回審査会合」での資料の誤りに関わる対応を踏まえ、本資料にて過去の審査会合資料を引用する際の注記を下記のとおりとする。

・ 右上の注記

再掲：過去の審査会合資料を、そのまま引用する場合

一部修正：過去の審査会合資料の内容を、一部修正する場合

誤りを修正：過去の審査会合資料の誤りを、正しい記載とする場合

・ 左下の注記

修正した誤りの内容を記載（誤りの修正がある場合）

1. 1968年十勝沖地震の最大余震について
2. 2021年2月13日福島県沖の地震について
3. アウターライズ地震の影響検討
4. 統計的グリーン関数法による地震動評価との比較
5. 想定浦河沖スラブ内地震について

1968年十勝沖地震の最大余震について
〔本編資料2.4節の補足説明資料〕

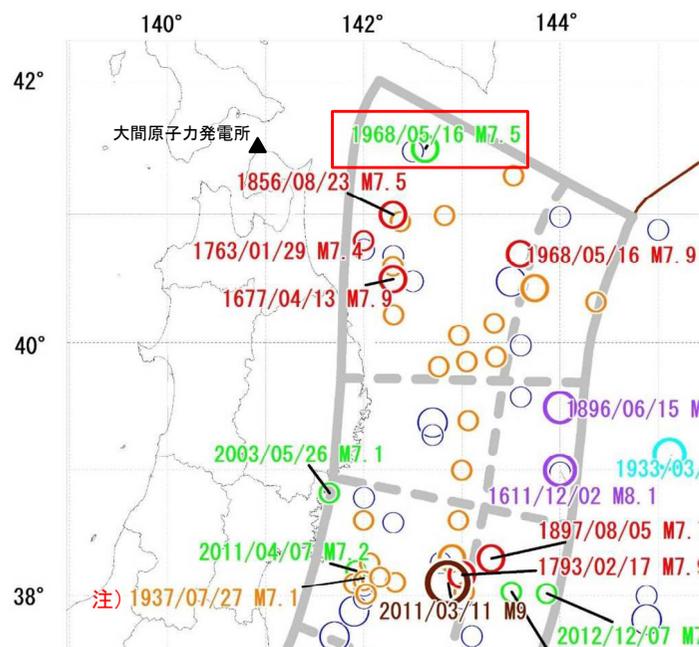
- 地震調査研究推進本部※(2019)で海洋プレート内地震として評価されている1968年十勝沖地震の最大余震について、震源のメカニズムを整理し、敷地への影響を検討する。

※：以下「地震本部」という。

1. 1968年十勝沖地震の最大余震について(2/5)

地震本部(2019)による1968年5月16日の地震の評価

- 1968年5月16日の地震(Mw7.9, M7.5)について、地震本部(2019)では海洋プレート内地震と評価されている。この地震は、1968年十勝沖地震(Mw8.2, M7.9, プレート間地震)の余震と考えられている。
- 地震本部(2019)では、『この地震のメカニズムはKanamori(1971)によると、正断層型の地震であった』と評価されている。



- | | |
|---------------------------|-----------|
| ○ 超巨大地震
(東北地方太平洋沖型) | ○ 9 ~ 9.5 |
| ○ プレート間巨大地震 | ○ 8.5 ~ 9 |
| ○ ひとまわり小さい
プレート間地震 | ○ 8 ~ 8.5 |
| ○ 沈み込んだプレート内の地震 | ○ 7.5 ~ 8 |
| ○ 海溝寄りのプレート間地震
(津波地震等) | ○ 7 ~ 7.5 |
| ○ 海溝軸外側の地震 | |
| ○ その他の地震 | |

地震本部(2019)に加筆

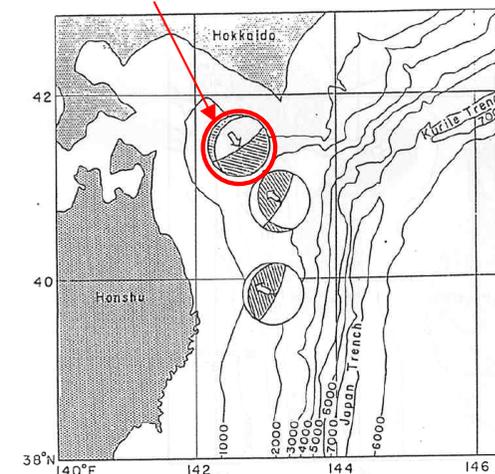
1968年5月16日の地震の震央位置

地震諸元(気象庁)

発震日時	1968年05月16日 19時39分
震央地名	青森県東方沖
地震規模※	Mw7.9 (M7.5)
震央位置	北緯 41° 30.28' 東経 142° 37.60'
震源深さ	8km

※ : Mwは地震本部(2019)による。

1968年5月16日の地震(Mw7.9, M7.5)
(1968年十勝沖地震の最大余震)



Kanamori(1971)に加筆

1968年十勝沖地震及びその余震の発震機構

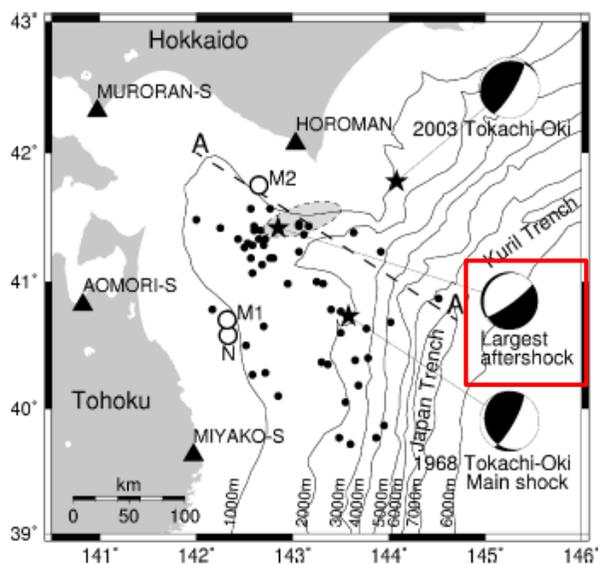
1. 1968年十勝沖地震の最大余震について(3/5)

Izutani(2011)による断層面に関する知見

- Izutani(2011)では、1968年十勝沖地震の最大余震について震源が推定されている。
- 推定された最大余震の断層面は、本震の断層面の約20km下方に平行に位置しており、本震のすべり方向とほぼ反対向きにすべりが生じていると指摘されている。
- 本震と最大余震の位置関係より、2つの断層面の間の太平洋プレートが北西方向(図中「A」の方向)に動いており、その際に生じた断層面のうち深い断層面が最大余震のものであったと考察されている。



- Izutani(2011)では、震源のメカニズムとしてプレートの沈み込みに対して平行な断層面が推定されており、アウターライズ地震による断層の再活動とはタイプが異なると考えられる。



1968年十勝沖地震の最大余震

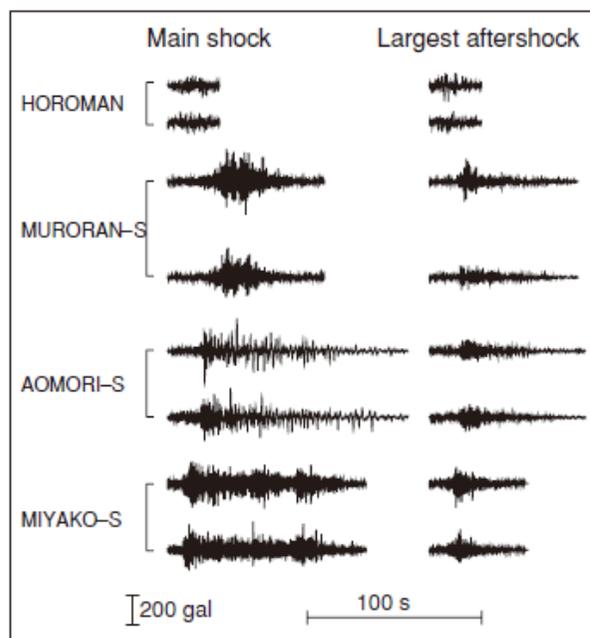


Fig. 2. Horizontal component accelerograms for the main shock and the largest aftershock at the four observation stations.

解析に用いた観測記録

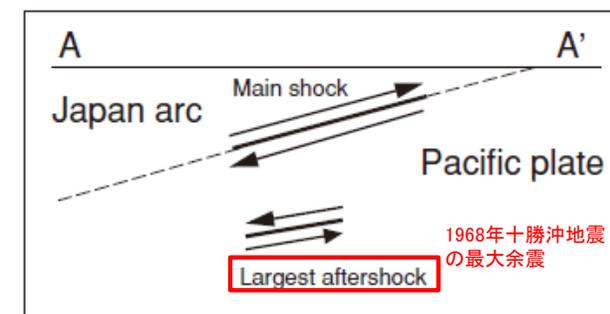


Fig. 5. Schematic illustration of the slip vectors for the main shock and the largest aftershock projected on the vertical section along A-A' in Fig. 1. The thick solid lines and the arrows indicates the fault planes and the slip vectors. The broken line indicates the boundary between the Pacific plate and the Japan arc.

推定した断層面

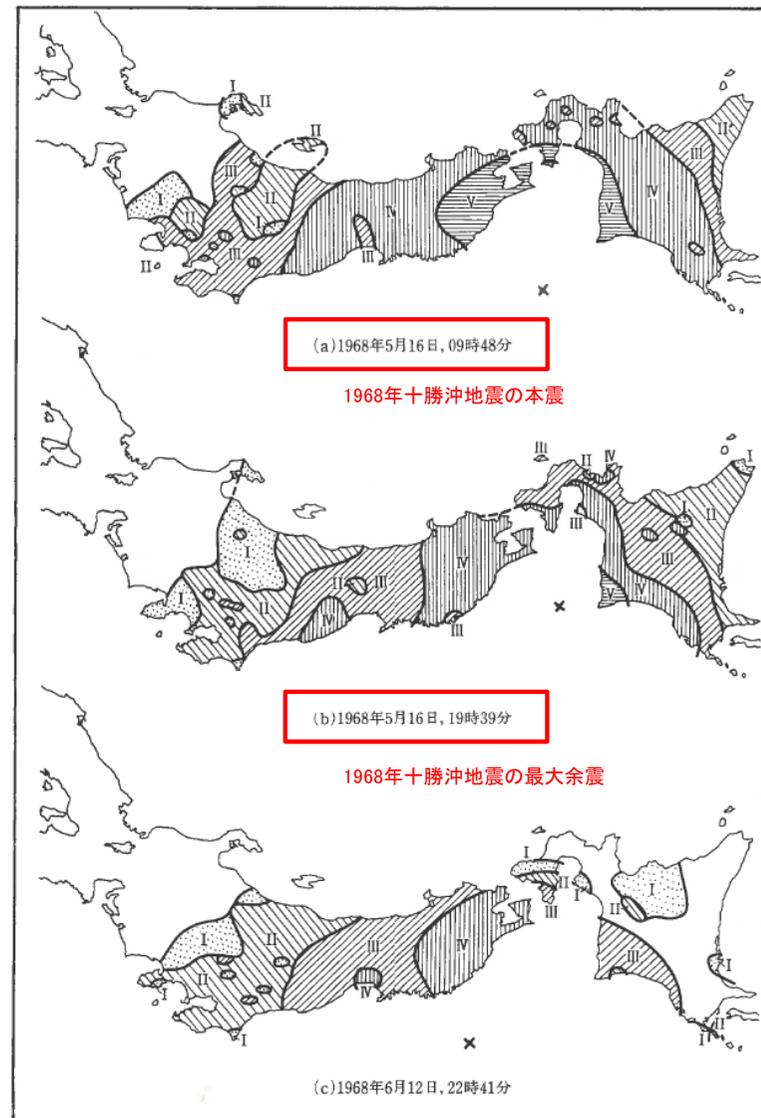
1. 1968年十勝沖地震の最大余震について(4/5)

1968年十勝沖地震の本震との震度分布の比較

- 宇佐美ほか(2013)によると、1968年5月16日の地震(Mw7.9, M7.5)は1968年十勝沖地震(Mw8.2, M7.9, プレート間地震)の最大余震とされている。
- 本震及び最大余震の震度分布図を比較すると、敷地付近では本震は震度Vであるのに対し最大余震は震度IVであり、最大余震は本震と比べて敷地への影響は小さかったことが分かる。



- 1968年5月16日の地震(Mw7.9, M7.5)の敷地付近における震度は、本震を上回るものとはなっていない。敷地付近では震度がIVであったことを踏まえると、敷地への影響は小さいと考えられる。



宇佐美ほか(2013)に加筆

1968年十勝沖地震及び最大余震の震度分布図

1. 1968年十勝沖地震の最大余震について(5/5)

まとめ

- 1968年5月16日の地震(Mw7.9, M7.5)について、地震本部(2019)では海洋プレート内地震と評価されている。この地震は、1968年十勝沖地震(Mw8.2, M7.9, プレート間地震)の余震である。
- Izutani(2011)では、震源のメカニズムとしてプレートの沈み込みに対して平行な断層面が推定されており、アウターライズ地震による断層の再活動とはタイプが異なると考えられる。
- 1968年5月16日の地震(Mw7.9, M7.5)の敷地付近における震度は、本震を上回るものとはなっていない。敷地付近では震度がIVであったことを踏まえると、敷地への影響は小さいと考えられる。

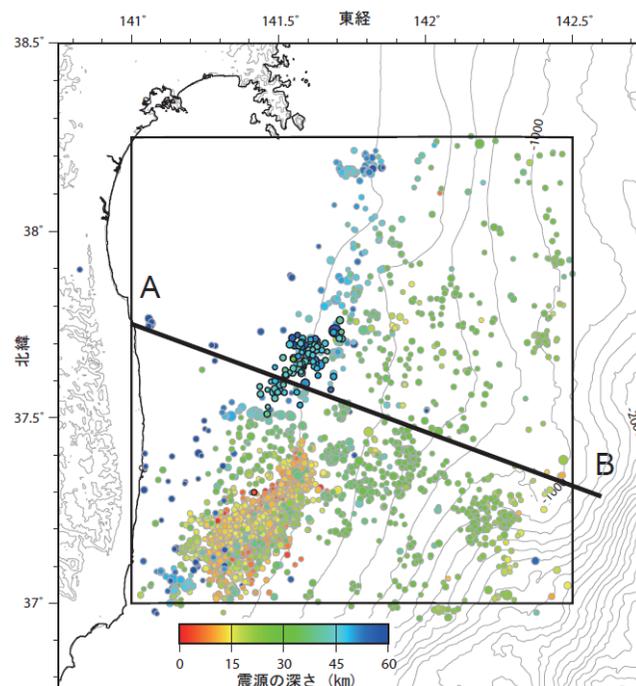
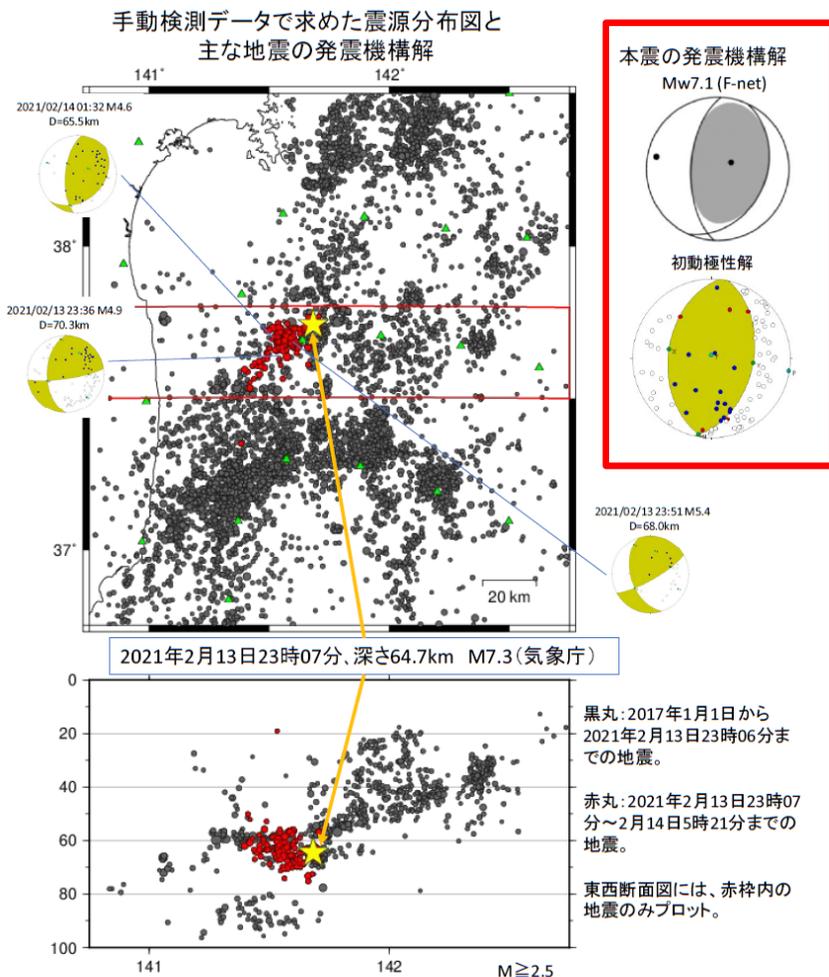
2021年2月13日福島県沖の地震について
〔本編資料2.4節の補足説明資料〕

- 2021年2月13日福島県沖の地震について、概要及び短周期レベルの検討結果を示す。
(2021年5月21日時点での知見に基づく)

2. 2021年2月13日福島県沖の地震について(2/6)

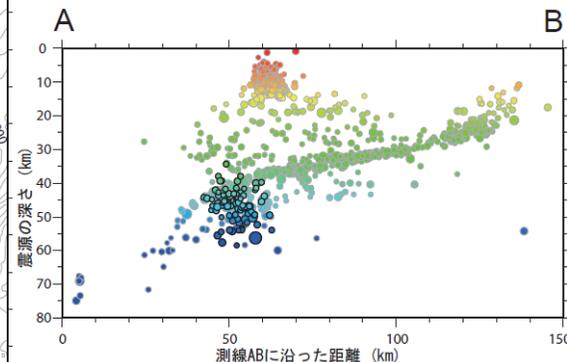
地震の概要(1/3)

- 防災科学技術研究所(2021)では、2021年2月13日福島県沖の地震は、西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、沈み込む太平洋プレート内部の地震とされている。



第1図、観測点補正値を用いた再決定による震源分布。2016年6月1日から2021年2月13日23時までの地震を灰色アウトラインの丸印で、それ以降2月14日6時までの地震を黒色アウトラインの丸印でそれぞれ示す。シンボルの色は地震の深さを表す。防災科研によるルーチン処理震源カタログ(S-net記録使用、手動検測)の中から矩形領域内に位置する地震を解析対象に選んだ。

- 観測点補正値を用いて2021年2月13日の地震を含む約4年間の地震の震源を再決定
- S-netを含む観測点の補正値は、CMT解の深さに震源深さを固定した震源決定時の走時残差より評価 [浅野・他(2018JPGU)]
- 2月13~14日の地震活動域は、面状の震源分布域よりも概ね深部に位置
→主にスラブ内の活動であることを支持



謝辞
本解析には、気象庁、東北大学、東京大学、および地震予知総合研究振興会の記録も使用させていただいた。

防災科学技術研究所資料

観測点補正値による震源再決定

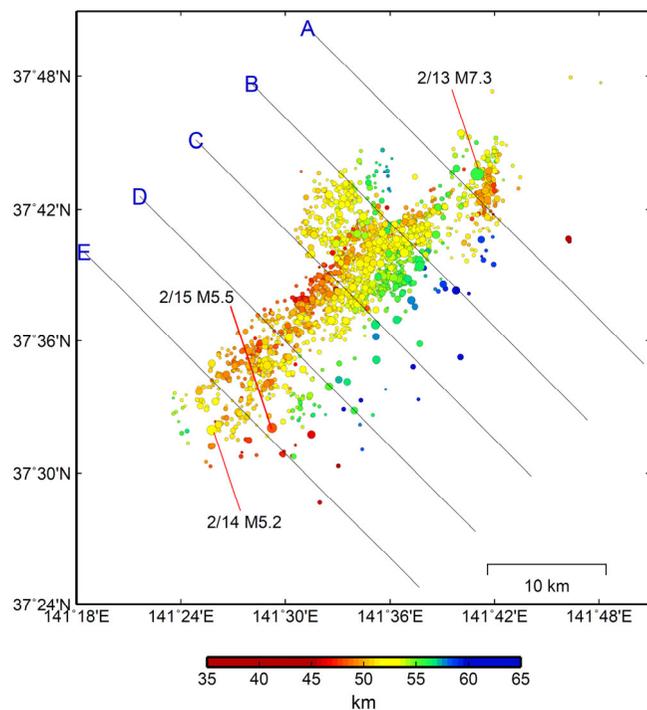
2. 2021年2月13日福島県沖の地震について(3/6)

地震の概要(2/3)

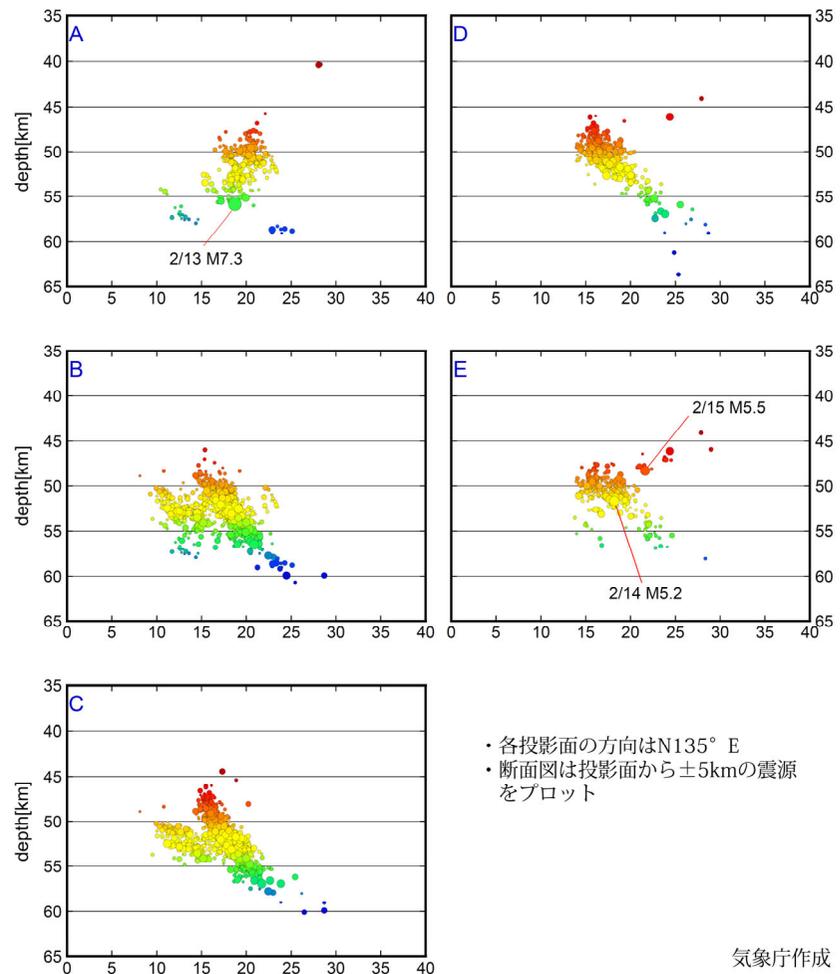
- 地震本部(2021)では、Double-Difference法により再計算された震源分布に基づいて、南東傾斜の逆断層とされている。

解析対象： 37.4~37.9° N 141.3~141.9° E
 2021年2月13日23時07分~2月16日24時00分
 深さ30~70km M \geq 1.5 フラグKkA

Double-Difference法 (Walthausser and Ellsworth, 2000)
 のカタログ (P相S相とも使用) + 波形相関により決定



震央分布



・各投影面の方向はN135° E
 ・断面図は投影面から±5kmの震源をプロット

気象庁作成

断面図

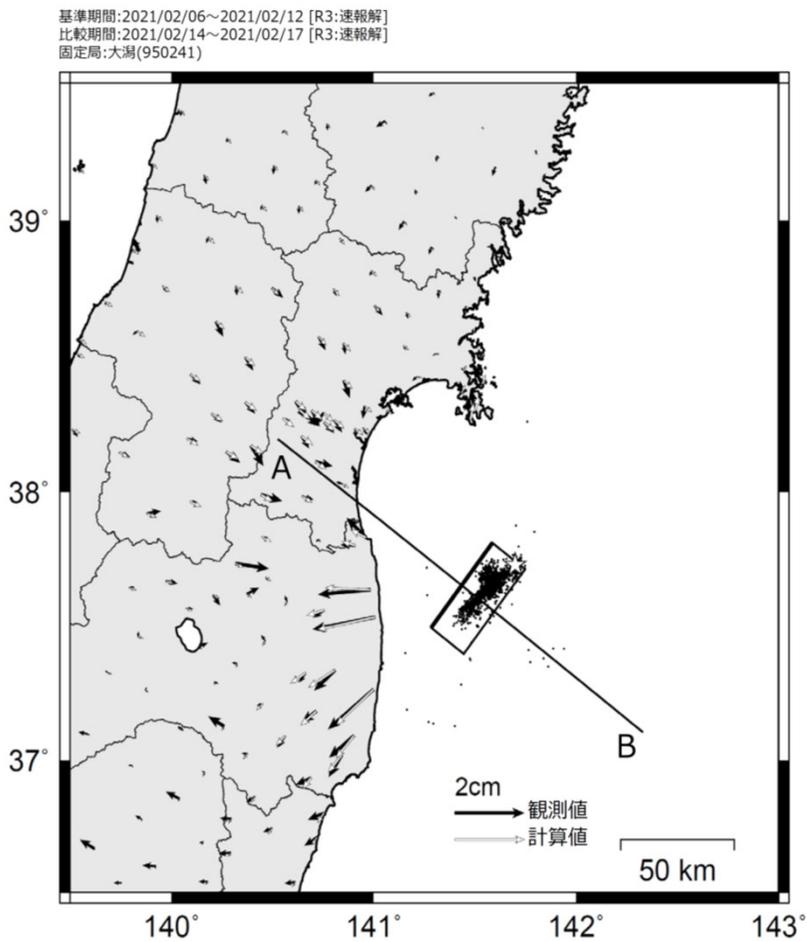
地震本部(2021)

Double-Difference法により再計算された震源分布

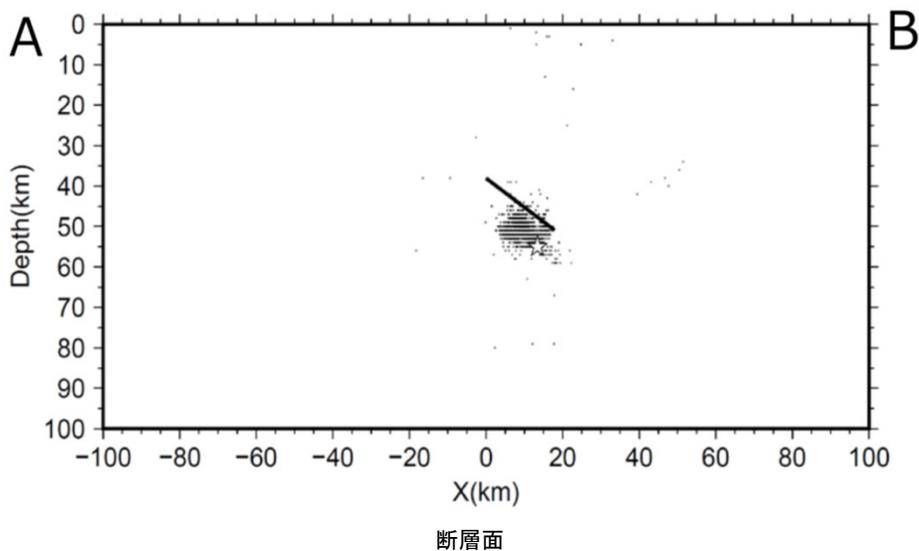
2. 2021年2月13日福島県沖の地震について(4/6)

地震の概要(3/3)

• 地震本部(2021)では、発震機構と地震活動分布、GNSS観測の解析結果から南東傾斜の震源モデル(暫定)を推定している。



南東傾斜の震源モデル



主な断層パラメータ

上端深さ (km)	断層長さ (km)	断層幅 (km)	走向 (°)	傾斜角 (°)	地震規模 Mw
38.1	44.1	22.0	37.0	35.7	7.08

- 断層長さに対する断層幅の比を1/2に固定。
- Mwと断層面積がスケーリング則(強震動予測レシピ)に近づくよう拘束。
- Mwの計算においては、剛性率を75GPaと仮定。

地震本部(2021)

地殻変動に基づき推定された震源モデル(暫定)

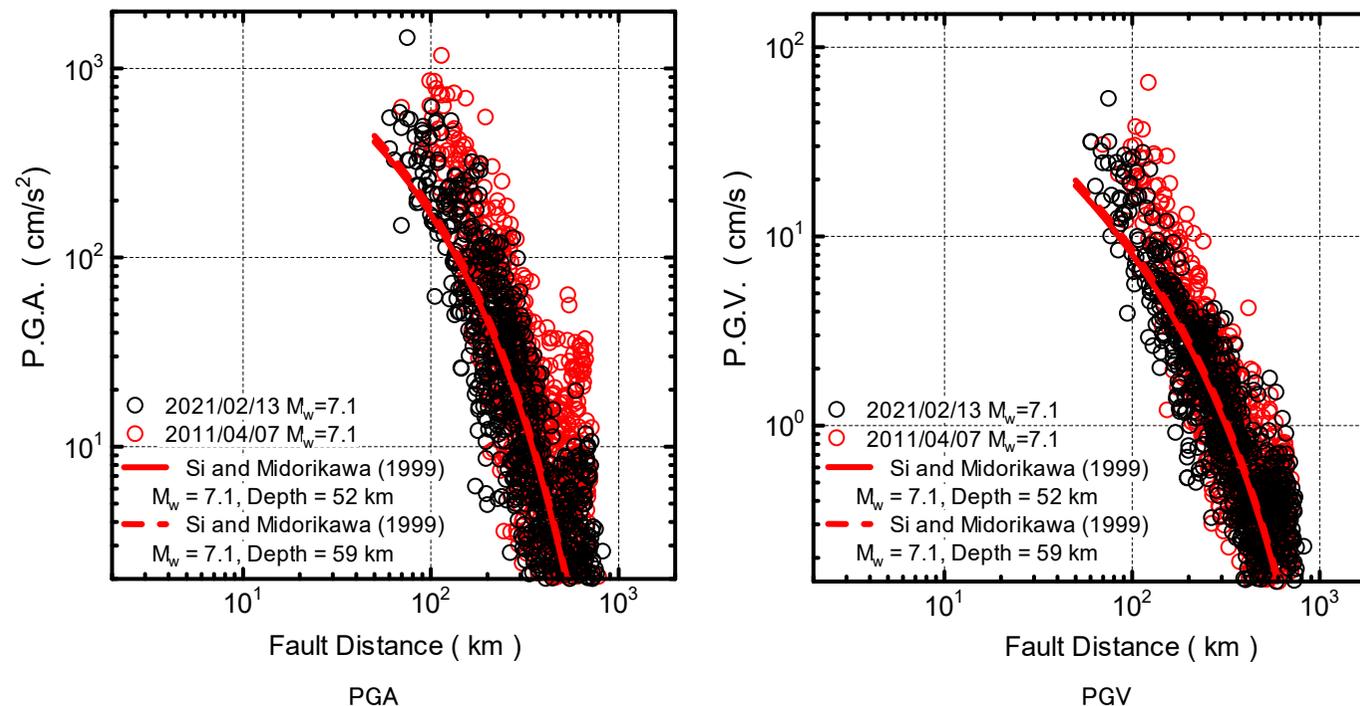
2. 2021年2月13日福島県沖の地震について(5/6)

短周期レベルの検討(1/2)

- 司(2021)では、2021年2月13日福島県沖の地震及び2011年4月7日宮城県沖の地震の地震動最大値(PGA, PGV)について、司・翠川(1999)による予測値との比較が示されている。
- 比較の結果、2021年2月13日福島県沖の地震の方が、2011年4月7日宮城県沖の地震と比べて特に近距離において若干小さいように見受けられる、と評価されている。



- 2021年2月13日福島県沖の地震は、2011年4月7日宮城県沖の地震ほど短周期が卓越しなかった可能性が考えられる。



司(2021)

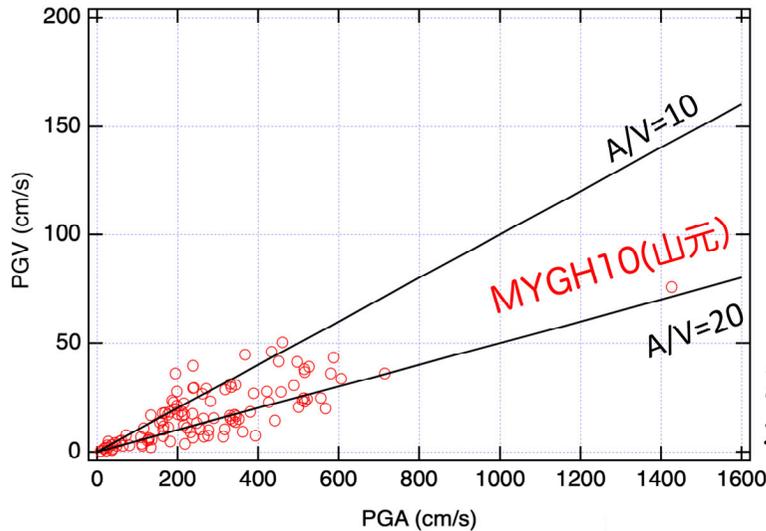
地震動最大値(PGA, PGV)と司・翠川(1999)による予測値の比較
(黒丸:2021年2月13日福島県沖の地震, 赤丸:2011年4月7日宮城県沖の地震)

2. 2021年2月13日福島県沖の地震について(6/6)

短周期レベルの検討(2/2)

- 大野(2021)では、2021年2月13日福島県沖の地震は最大加速度／最大速度比(A/V比)がおおむね10～20の範囲に分布し、短周期が卓越した地震であることが示されている。
- 同様のメカニズムを持つ二重深発地震面の上面で発生した2011年4月7日宮城県沖の地震について併せてA/V比が示されており、2021年2月13日福島県沖の地震に比べて2011年4月7日宮城県沖の地震の方がA/V比が大きいことが示されている。

➡ 2021年2月13日福島県沖の地震は、2011年4月7日宮城県沖の地震ほど短周期が卓越しなかった可能性が考えられる。

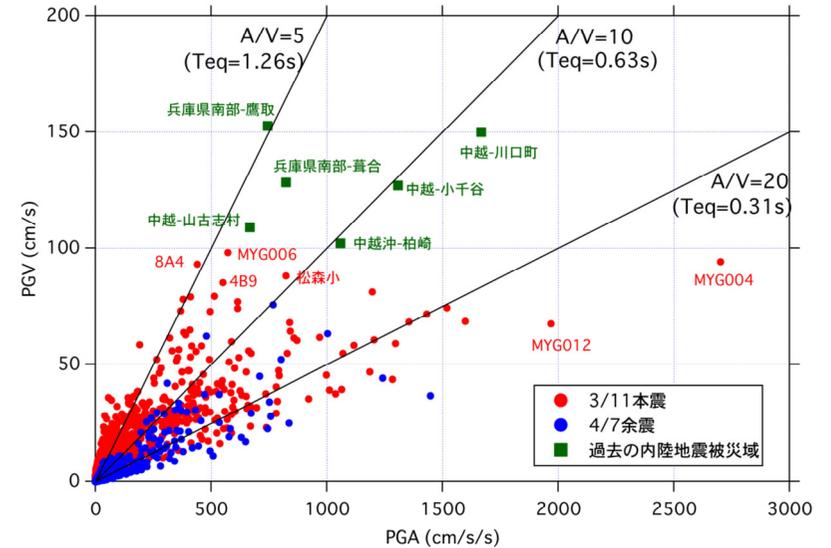


PGV-PGA関係

A/V比が大きい
=短周期卓越

2021年2月13日
福島県沖の地震

2021年2月13日福島県沖の地震のA/V比



2011年4月7日宮城県沖の地震を含む既往地震のA/V比

大野(2021)

2021年2月13日福島県沖の地震のA/V比による検討

アウターライズ地震の影響検討
〔本編資料3.2節の補足説明資料〕

- アウターライズ地震について、敷地への影響を検討する。

3. アウターライズ地震の影響検討(2/2)

アウターライズ地震の敷地への影響検討

- アウターライズ地震について、想定される領域は敷地から約330kmと非常に遠いことから、検討用地震の選定の対象外とした。
- アウターライズ地震の敷地への影響検討として、地震規模を1933年昭和三陸地震(Mw8.5, M8.1)を踏まえMw8.5に設定し、外挿ではあるが片岡ほか(2006)の方法により検討用地震である想定十勝沖スラブ内地震の基本ケースと比較した結果、アウターライズ地震よりも想定十勝沖スラブ内地震の方が敷地への影響が大きいことを確認した。

片岡ほか(2006)による方法※1のパラメータ

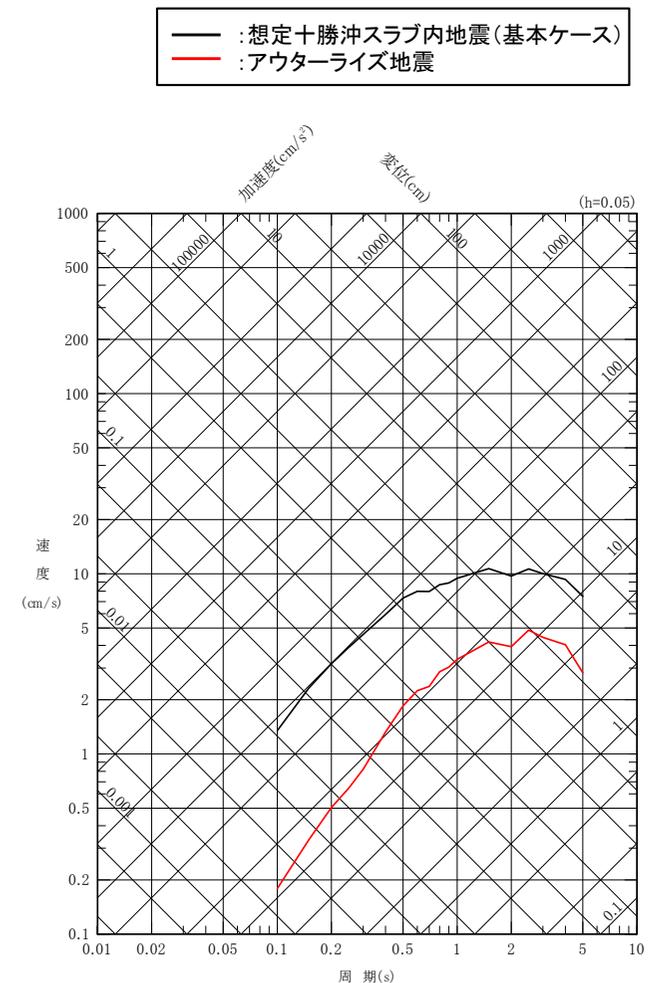
対象ケース	地震規模 Mw	断層最短距離※2 (km)	短周期レベル※3 (N・m/s ²)
想定十勝沖スラブ内地震 (基本ケース)	8.3	199	3.06E+20
アウターライズに想定する 地震	8.5	330	4.07E+20

※1：片岡ほか(2006)は水平2成分の合成値に対する評価式であるため、ここでは $\sqrt{2}$ で除して水平1成分としている。

※2：アウターライズに想定する地震は、敷地から海溝軸までのおよその距離を断層最短距離としている。

※3：短周期レベルは、地震本部(2020)(以下「強震動予測レシピー」という。)に基づき求めた。

アウターライズに想定する地震の M_0 は、 $\log M_0 = 1.5M_w + 9.1$ より算定。



片岡ほか(2006)の方法による比較

統計的グリーン関数法による地震動評価との比較

- 経験的グリーン関数法で地震動評価を実施した想定十勝沖スラブ内地震について、統計的グリーン関数法による地震動評価結果と比較する。



4. 統計的グリーン関数法による地震動評価との比較(2/3)

統計的グリーン関数法による計算条件

- 想定十勝沖スラブ内地震は、経験的グリーン関数法により評価している。ここでは、統計的グリーン関数法により地震動評価を行い、経験的グリーン関数法による地震動評価結果と比較を行った。
- なお、統計的グリーン関数法の計算にあたり、伝播経路のQ値は川瀬・松尾(2004)より $Q = 149f^{0.73}$ とし、 f_{max} は強震動予測レシピより13.5Hzとした。

統計的グリーン関数法に用いる深部地下構造モデル

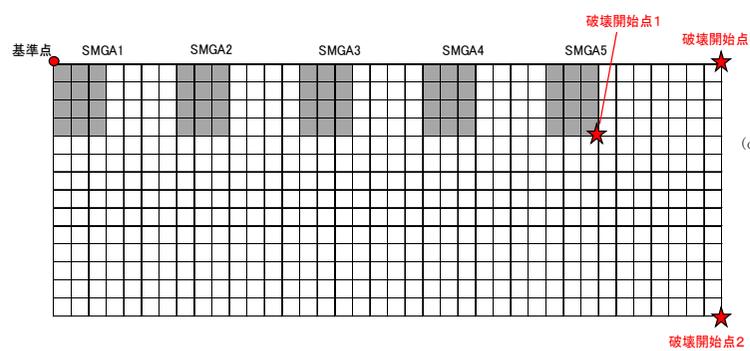
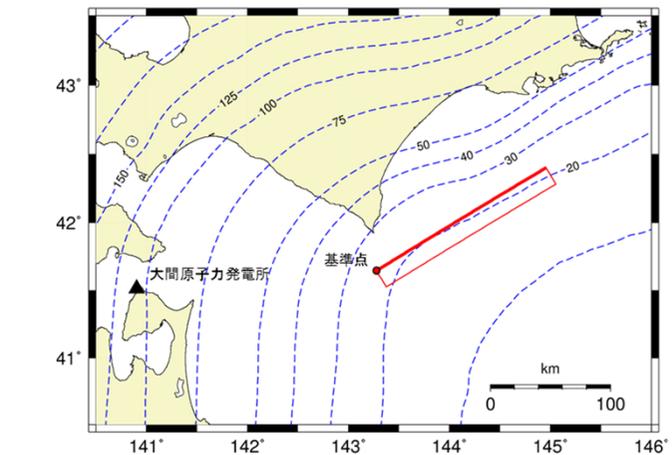
	層No.	下端標高 T.P. (m)	層厚 (m)	ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	Qs	Vp (m/s)	Qp
▼ 基盤の地震動を 評価する位置※	1	-330	100	1.6	860	50	2070	60
	2	-820	490	2.3	1700	80	3500	60
	3	-1770	950	2.5	2200	290	4400	150
▼ 地震基盤	4	-2210	440	2.7	2700		5200	
	5	-	-	2.7	3200	550	5400	210

※：鉛直アレイ地震観測地点において解放基盤表面の地震動を適切に評価できる位置として、T.P.-230m位置を基盤の地震動を評価する位置に設定している。

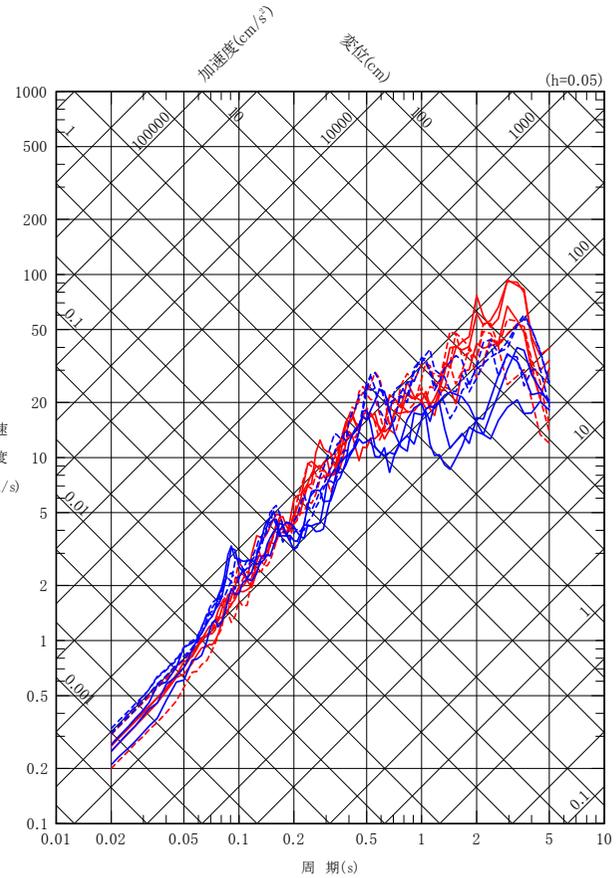
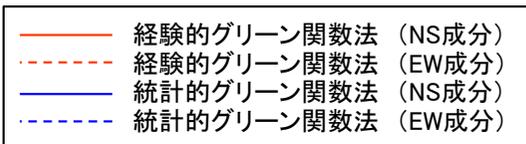
4. 統計的グリーン関数法による地震動評価との比較(3/3)

想定十勝沖スラブ内地震

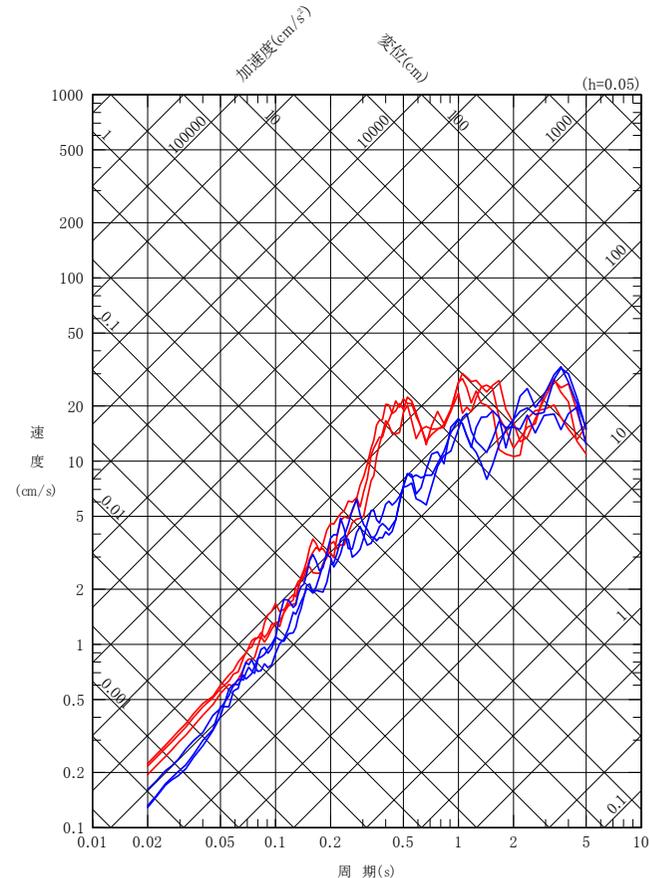
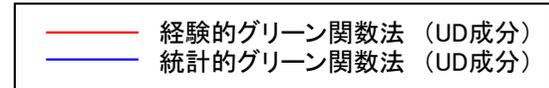
- 想定十勝沖スラブ内地震の基本ケースについて、経験的グリーン関数法及び統計的グリーン関数法による地震動評価結果を比較した。
- 経験的グリーン関数法による結果は、統計的グリーン関数法による結果とおおむね同程度であることを確認した。



想定十勝沖スラブ内地震
基本ケース



水平成分



鉛直成分

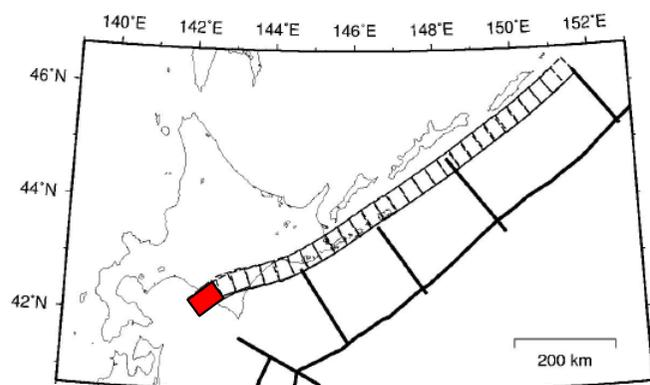
想定浦河沖スラブ内地震について

- 千島弧の二重深発地震面の下面の地震(以下「想定浦河沖スラブ内地震」とする。)について、今回説明では検討用地震として選定していないが、設置変更許可申請(2014年12月)では検討用地震としていたことを踏まえ、断層モデルを用いた手法においても地震動評価を実施し、検討用地震である「敷地下方の想定スラブ内地震」及び「想定十勝沖スラブ内地震」の地震動評価結果と比較する。
- ここでは、本編資料3.3.1項「二重深発地震面の下面の地震」の検討ケースのうち、地震動評価結果が大きくなると考えられる短周期レベルの不確かさケースについて、地震動評価を実施する。

5. 想定浦河沖スラブ内地震について(2/5)

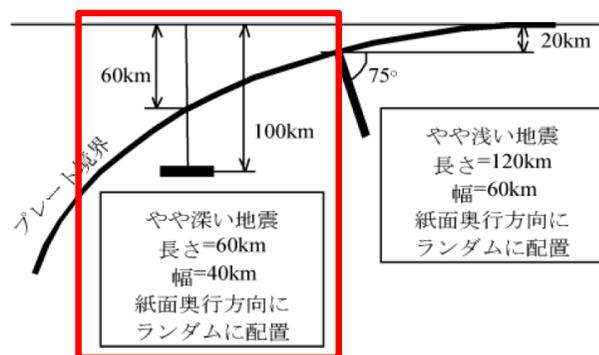
震源モデルの設定

- 千島弧の二重深発地震面の下面の地震である想定浦河沖スラブ内地震の断層位置は保守的に、1993年釧路沖地震と同じ規模のMw7.6の地震が、千島弧西端の敷地に近い位置で発生する場合を考慮する。
- 震源モデルは、地震本部(2009)による断層面の設定の考え方を踏まえ、敷地に近い位置に地震本部(2009)と同じ傾斜角 0° の水平な断層面を設定する。

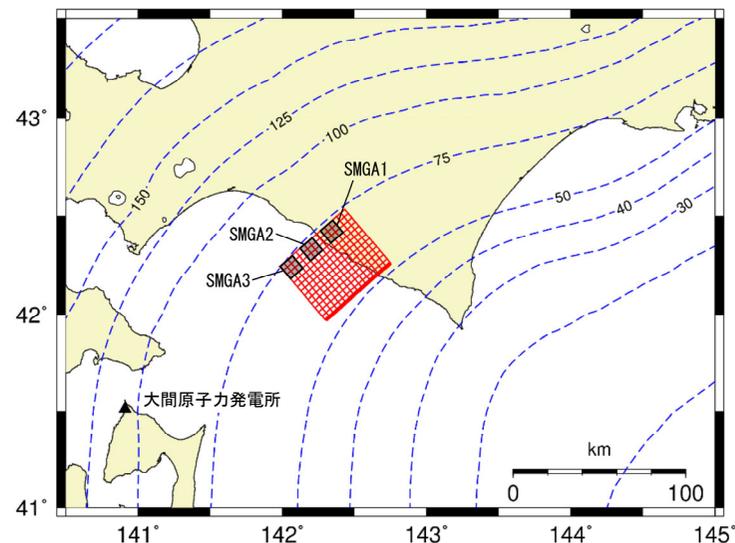


■ : 設定する断層面

地震本部(2009)における「沈み込んだプレート内のやや深い地震」の想定震源



地震本部(2009)に加筆



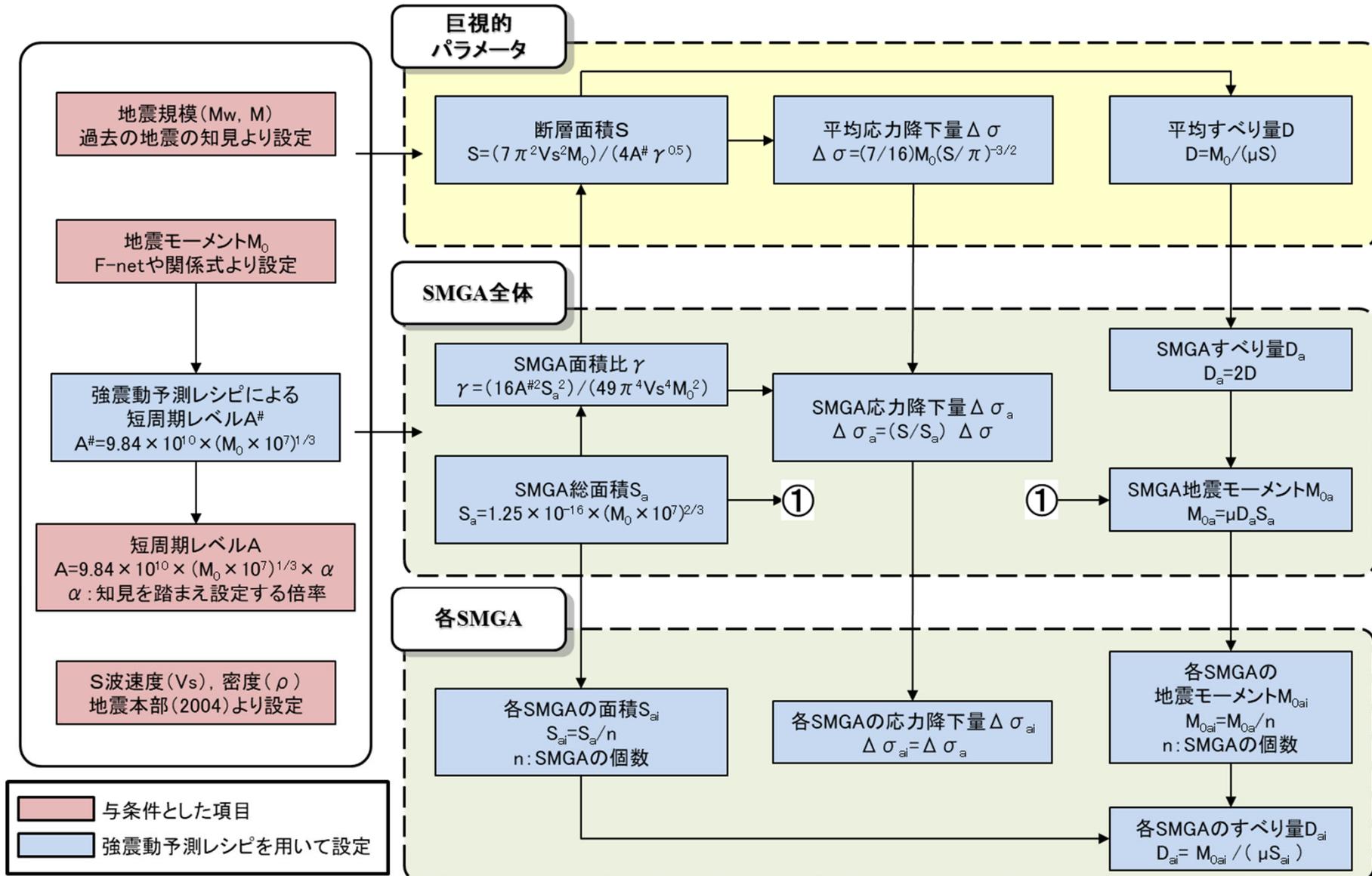
設定した断層面

5. 想定浦河沖スラブ内地震について(3/5)



断層パラメータ設定方法

- 断層パラメータは、強震動予測レシピに基づき設定する。



断層パラメータ設定フロー

5. 想定浦河沖スラブ内地震について(4/5)

断層パラメータ

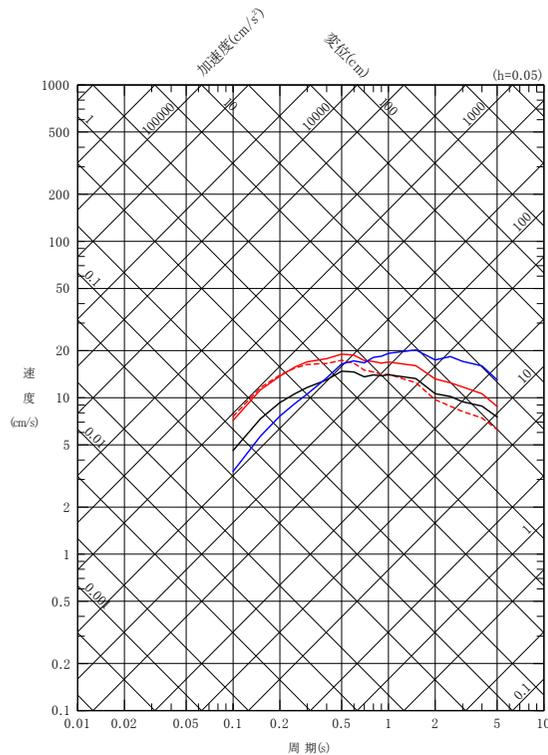
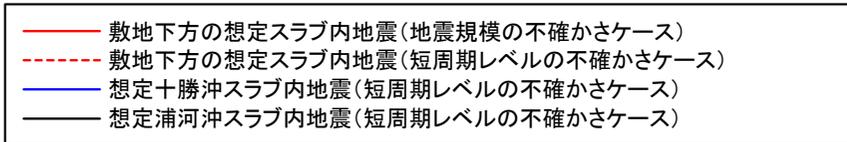
想定浦河沖スラブ内地震 短周期レベルの不確かさケースの断層パラメータ

項目		記号(単位)	短周期レベルの不確かさケース	設定根拠	
巨視的パラメータ	断層全体	走向	$\theta(^{\circ})$	229	海溝軸を踏まえ設定
		傾斜角	$\delta(^{\circ})$	0	地震本部(2009)
		上端深さ	(km)	100	地震本部(2009)
		下端深さ	(km)	100	上端深さ, 断層幅, 傾斜角より設定
		長さ	L(km)	49.2	断層面積より設定
		幅	W(km)	40.0	地震本部(2009)
		断層面積	S(km ²)	1969	$S=(49\pi^4\beta^4M_0^2)/(16A^2S_a)$
		モーメントマグニチュード	Mw	7.6	$Mw=(\log M_0-9.1)/1.5$
		地震モーメント	$M_0(N\cdot m)$	2.7E+20	CMTカタログ(1993年釧路沖地震)
		平均応力降下量	$\Delta\sigma(MPa)$	7.58	$\Delta\sigma=(7/16)M_0/(S/\pi)^{1.5}$
		剛性率	$\mu(N/m^2)$	6.68E+10	$\mu=\rho Vs^2, \rho=3.3g/cm^3$ (地震本部(2004))
		平均すべり量	D(m)	2.1	$D=M_0/(\mu S)$
		S波速度	$V_s(km/s)$	4.5	地震本部(2004)
		破壊伝播速度	$Vr(km/s)$	3.2	$Vr=0.72Vs$
短周期レベル	$A(Nm/s^2)$	2.88E+20	$A=9.84\times 10^{10}\times(M_0\times 10^7)^{1/3}\times\alpha$ ($\alpha=2.1$)		
微視的パラメータ	全 S M G A	面積	$S_a(km^2)$	244	$S_a=1.25\times 10^{-16}\times(M_0\times 10^7)^{2/3}$
		地震モーメント	$M_{0a}(N\cdot m)$	6.7E+19	$M_{0a}=\mu S_a D_a$
		応力降下量	$\Delta\sigma_a(MPa)$	129	$\Delta\sigma_a=(S/S_a)\times\Delta\sigma\times\alpha$ (短周期レベルの不確かさケース $\alpha=2.1$)
		平均すべり量	$D_a(m)$	4.1	$D_a=2\times D$
	各 S M G A	面積	$S_{ai}(km^2)$	81	$S_{ai}=S_a/3$
		地震モーメント	$M_{0ai}(N\cdot m)$	2.2E+19	$M_{0ai}=M_{0a}/3$
		応力降下量	$\Delta\sigma_{ai}(MPa)$	129	$\Delta\sigma_{ai}=\Delta\sigma_a$
		平均すべり量	$D_{ai}(m)$	4.1	$D_{ai}=M_{0ai}/(\mu S_{ai})$
		短周期レベル	$A_{ai}(Nm/s^2)$	1.67E+20	$A_{ai}=4\pi r_{ai}\Delta\sigma_{ai}V_s^2, r_{ai}=(S_{ai}/\pi)^{1/2}$
	背景領域	面積	$S_b(km^2)$	1726	$S_b=S-S_a$
		地震モーメント	$M_{0b}(N\cdot m)$	2.0E+20	$M_{0b}=M_0-M_{0a}$
		実効応力	$\sigma_b(MPa)$	12.5	$\sigma_b=(D_b/W_b)(\pi^{1/2}/D_a)r_a\sum(r_{ai}/r_a)^3\Delta\sigma_{ai}, r_a=(S_a/\pi)^{1/2}$
		平均すべり量	$D_b(m)$	1.8	$D_b=M_{0b}/(\mu S_b)$
	高周波遮断振動数		fmax(Hz)	13.5	地震本部(2020)
Q値			149f ^{0.73}	川瀬・松尾(2004)	

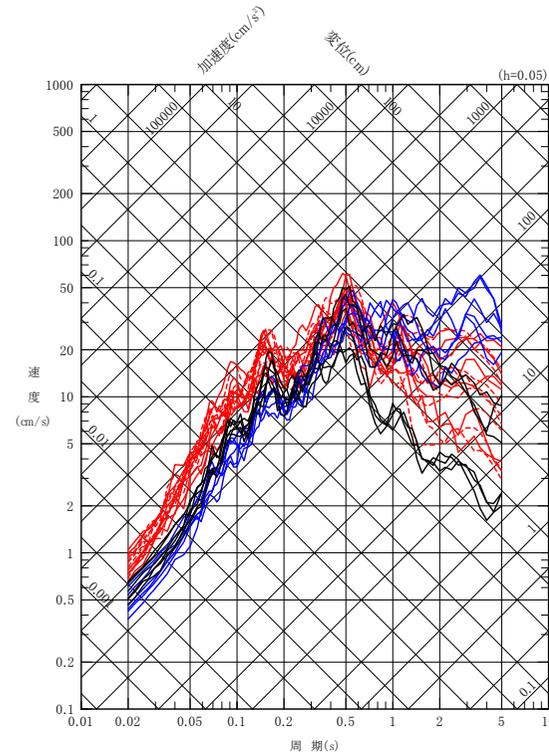
地震動評価結果の比較

- 敷地下方の想定スラブ内地震, 想定十勝沖スラブ内地震, 及び想定浦河沖スラブ内地震について, それぞれ敷地への影響が大きいと考えられるケースについて断層モデルを用いた手法による評価※を実施し, 敷地に与える影響を比較した。
- 想定浦河沖スラブ内地震は, 片岡ほか(2006)の方法による評価と同様に, 敷地下方の想定スラブ内地震及び想定十勝沖スラブ内地震より敷地に与える影響は小さい。

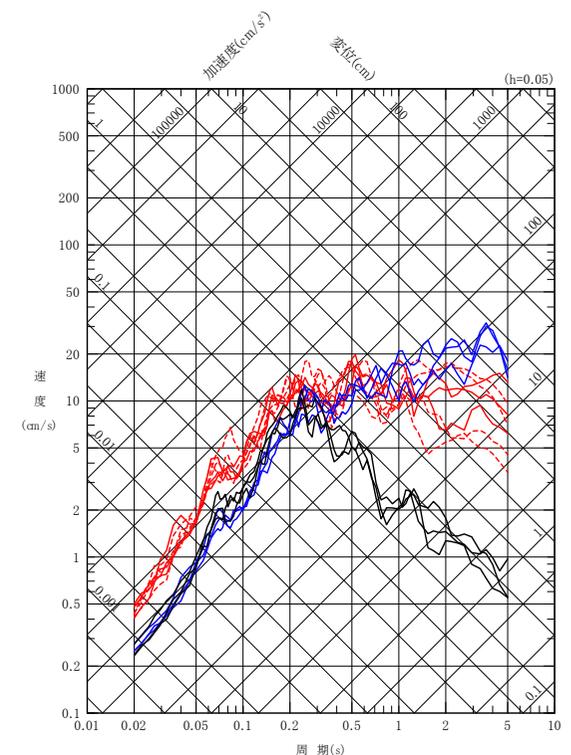
※ : 比較にあたり手法による差異をなくすため, 全て統計的グリーン関数法による地震動評価とした。



片岡ほか(2006)の方法による比較



水平成分



鉛直成分

統計的グリーン関数法による比較

参考文献

- Izutani, Y.(2011): Fault extent of the largest aftershock of the 1968 Tokachi-Oki, Japan, earthquake and an interpretation of the normal faulting focal mechanism, Earth Planets Space 63
- Kanamori, H.(1971): FOCAL MECHANISM OF THE TOKACHI-OKI EARTHQUAKE OF MAY 16, 1968 : CONTORTION OF THE LITHOSPHERE AT A JUNCTION OF TWO TRENCHES, Tectonophysics, 12
- 宇佐美龍夫・石井寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子(2013): 日本被害地震総覧 599-2012, 東京大学出版会
- 大野晋(2021): 2021年2月13日福島県沖の地震(M7.3) 地震動について, 東北大学災害科学国際研究所HP, <https://irides.tohoku.ac.jp/research/prompt_investigation/2021fukushima-eq.html>
- 片岡正次郎・佐藤智美・松本俊輔・日下部毅明(2006): 短周期レベルをパラメータとした地震動強さの距離減衰式, 土木学会論文集A Vol.62 No.4
- 川瀬博・松尾秀典(2004): K-NET, KiK-net, JMA震度計観測網による強震動波形を用いた震源・パス・サイト各特性の分離解析, 日本地震工学会論文集 第4巻 第1号
- 気象庁: <<http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>>
- 司宏俊(2021): 東北地方太平洋プレート内部で発生した3つのMw7クラス地震の地震動最大値距離減衰特性について, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SSS11-14
- 司宏俊・翠川三郎(1999): 断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集 第523号
- 地震調査研究推進本部(2004): 三陸沖北部の地震を想定した強震動評価について, <<https://www.jishin.go.jp/main/kyoshindo/pdf/20040521sanriku.pdf>>
- 地震調査研究推進本部(2009): 全国地震動予測地図 ~地図を見て私の街の揺れを知る~ 技術報告書(2009), <https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/shm_report/shm_report_2009/>
- 地震調査研究推進本部(2019): 日本海溝沿いの地震活動の長期評価, <https://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/japan_trench.pdf>
- 地震調査研究推進本部(2020): 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」), 令和2年(2020年)3月, <https://www.jishin.go.jp/main/chousa/20_yosokuchizu/recipe.pdf>
- 地震調査研究推進本部(2021): 2021年2月13日福島県沖の地震の評価, <https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2021/20210213_fukushima_2.pdf>
- 防災科学技術研究所(2021): 2021年2月13日福島県沖の地震, <<https://www.hinet.bosai.go.jp/topics/off-fukushima210213/>>