

2021年2月福島県沖および3月宮城県沖の地震 強震動の特性

大角恒雄*・森川信之*・鈴木比奈子*・藤原広行*

Strong Motion Characteristics Related to the 2021 February Fukushima Offshore Earthquake and the 2021 March Miyagi Offshore Earthquake

Tsuneo OHSUMI, Nobuyuki MORIKAWA, Hinako SUZUKI, and Hiroyuki FUJIWARA

**Multi-Hazard Risk Assessment Research Division,*

National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, Japan

t_ohsumi@bosai.go.jp, morikawa@bosai.go.jp, hinasuzuki@bosai.go.jp, fujiwara@bosai.go.jp

Abstract

The 2021 Fukushima Offshore Earthquake (February 13, 2021, magnitude M7.3) caused slope failures and damaged housings, and in the 2021 Miyagi Offshore Earthquake (March 20, M6.9) occurred. The Fukushima Offshore Earthquake is characterized the intra-slab earthquakes. In this paper, we report the outline of the strong motions observed K-NET / KiK-net systems, which operated by the National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED), and summarize the previous studies on the intra-slab earthquakes in the Tohoku and Hokkaido regions.

Key words: 2021 Fukushima Offshore Earthquake, 2021 Miyagi Offshore Earthquake, Intra-slab, Tohoku and Hokkaido regions

1. はじめに

福島県沖の地震(2021年2月13日, マグニチュード M7.3)において, 松川浦大橋東側の法面にて落石が発生し, 新地町で住宅が被害が発生した。続けて, 宮城県沖の地震(3月20日, M6.9)が発生した。福島県沖の地震では, 沈み込むプレート(スラブ)内の地震活動と推定され, プレート間地震や内陸地震に比べ大きな震度が観測された。1993年釧路沖地震, 1994年北海道東方沖地震, 2001年芸予地震, 2003年宮城県沖地震など大規模な地震がスラブ内でしばしば発生して大きな被害を及ぼすことが言われている。本稿では, 防災科学技術研究所(防災科研)運用の広帯域地震観測網(F-net)^{1,2)}から得られる地震メカニズムを参考に強震観測網(K-NET・KiK-net)^{3,4)}で観測された強震動について概要を報告し, スラブ

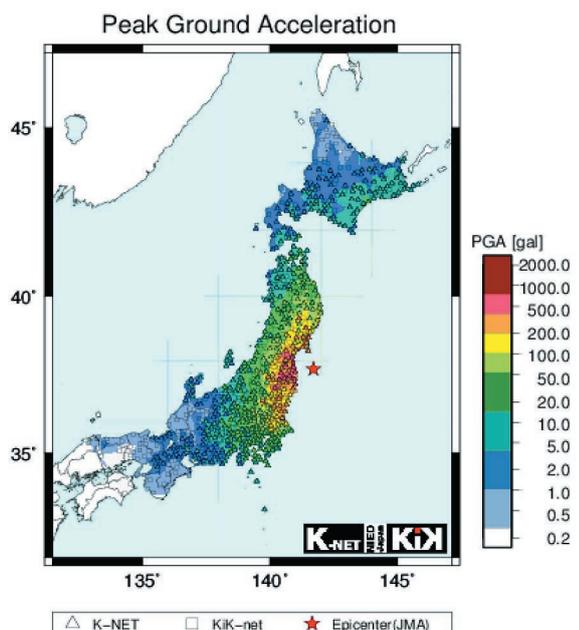
内地震の特異性と被害との関連性を浮かび上がらせ, 過去の地震との比較を通じて今回の地震の特徴概要を明らかにするため, 過去に東北および北海道地方で発生した地震からスラブ内地震の発生機構の特性を先行研究の成果をまとめ, 併せて報告する。

2. 福島県沖の地震と宮城県沖の地震の概要

2.1 観測された福島県沖の地震の概要

2021年2月13日23時08分頃に福島県沖を震源(深さ55 km, M7.3, 気象庁)とする地震が発生し, 宮城県蔵王町, 福島県国見町, 相馬市, 新地町で最大震度6強を観測した(気象庁発表)。この地震のメカニズムは西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で, 2月13~14日の地震活動分布が概ね深部に位置し, 沈み込む太平洋プレート内部(スラブ

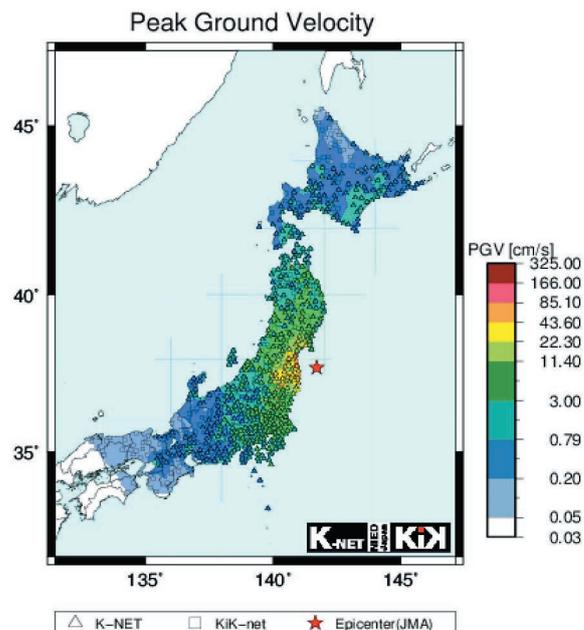
* 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 マルチハザードリスク評価研究部門



2021/02/13-23:08 37.728N 141.698E 55km M7.3

図1 強震観測網(△: K-NET, □: KiK-net)により観測された福島県沖の地震の地表における最大加速度の分布³⁾

Fig. 1 Peak ground acceleration map derived from strong-motion records of K-NET and KiK-net in the Fukushima Offshore Earthquake.



2021/02/13-23:08 37.728N 141.698E 55km M7.3

図2 強震観測網(△: K-NET, □: KiK-net)により観測された福島県沖の地震の地表における最大速度の分布³⁾

Fig. 2 Peak ground velocity map derived from strong-motion records of K-NET and KiK-net in the Fukushima Offshore Earthquake.

内)の地震であった¹⁾。防災科研の強震観測網であるK-NET・KiK-netでは、それぞれ544点、383点、合計927点の強震記録をインターネット上で公開している。これらの観測データから明らかになった強震動分布(最大加速度, 最大速度)を図1, 2に示す。なお, K-NET・KiK-netで記録された最大加速度は福島県との境に近い宮城県の観測点MYGH10(KiK-net山元)で1,432 gal(三成分合成値)が観測された(図3)。図4にKiK-net山元MYGH10(NS: 赤線, EW: 赤破線)とK-NET相馬FKS001(NS: 青線, EW: 青破線)の福島県沖の地震の地表面加速度のスペクトル(h=5%)の土木構造物設計の基準地震動として用いられているJMA神戸(NS: 黒線)との比較を示す。

最大加速度PGAのを記録したKiK-net山元では、短周期成分0.2-0.3秒付近が卓越し、神戸波の特性を上回っている。K-NETの最大を記録した相馬では、0.75秒が卓越し、0.7秒以下の周波数帯では、神戸波の特性を下回っている。1秒以上の長周期帯では、KiK-net山元、K-NET相馬とも、神戸波の特性を下回っている。

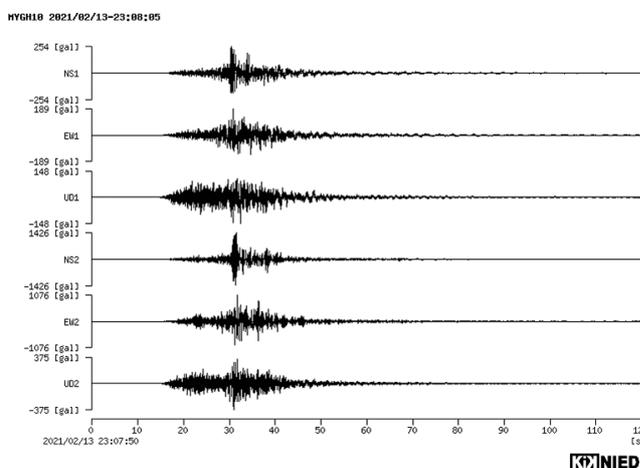


図3 KiK-net山元(MYGH10)の福島県沖の地震の加速度波形³⁾

Fig. 3 Strong-motion accelerograms recorded at KiK-net Yamamoto (MYGH10) in the Fukushima Offshore Earthquake.

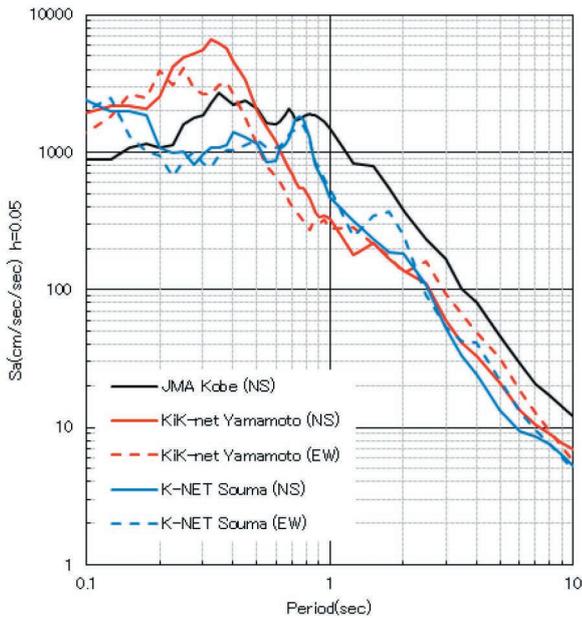


図4 KiK-net 山元 MYGH10 と K-NET 相馬 FKS001 の福島県沖の地震の地表面加速度の応答スペクトル (h=5%) の JMA 神戸 (NS) との比較

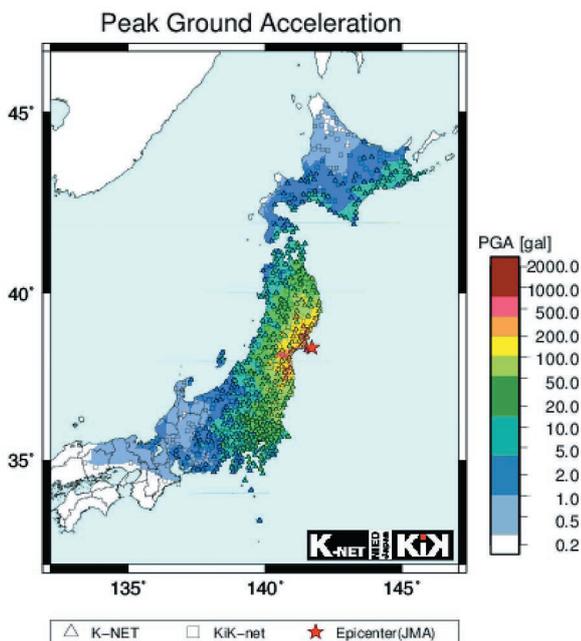
Fig. 4 Comparison of Ground surface accelerograms response spectrum (h=5%) for KiK-net Yamamoto MYGH10 and K-NET Souma FKS001 with JMA Kobe (NS) in the Fukushima Offshore Earthquake.

2.2 観測された宮城県沖の地震の概要

3月20日18時09分頃に宮城県沖を震源(深さ59 km, M6.9, 気象庁)とする地震が発生した。宮城県で最大震度5強を観測した。この地震のメカニズムは西北西-東南東方向に圧力軸を持つ低角逆断層型であること、多数の余震が日本海溝に沈み込む太平洋プレートの上面で発生していることから、太平洋プレートと北米プレートの境界で発生したプレート間地震であった²⁾。この地震により、宮城県仙台市、石巻市、岩沼市、登米市、東松島市、大崎市、蔵王町、松島町、涌谷町、美里町で最大震度5強を観測した(気象庁発表)。

K-NET・KiK-netの観測データから得られた強震動分布(最大加速度, 最大速度)を図5, 6に示す。なお, K-NET・KiK-netで記録された最大加速度はMYGH13 (KiK-net 南三陸)観測点で748 gal (三成分合成値)が観測された(図7)。

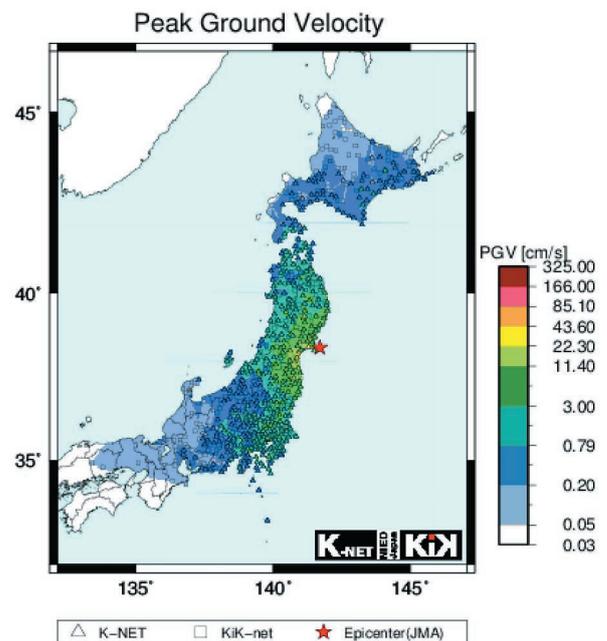
図8にKiK-net 南三陸 MYGH13 (NS 赤線, EW 赤破線)とK-NET 仙台 MYG013 (NS 青線, EW 青破線)の宮城県沖の地震の地表面加速度のスペクトル (h=5%)の気象庁(JMA 神戸 NS: 黒線)との比較を示す。



2021/03/20-18:09 38.4N 141.7E 60.0km M7.2

図5 強震観測網(△: K-NET, □: KiK-net)により観測された宮城県沖の地震の地表における最大加速度の分布⁴⁾

Fig. 5 Peak ground acceleration map derived from strong-motion records of K-NET and KiK-net in the Miyagi Offshore Earthquake.



2021/03/20-18:09 38.4N 141.7E 60.0km M7.2

図6 強震観測網(△: K-NET, □: KiK-net)により観測された地表における宮城県沖の地震の最大速度の分布⁴⁾

Fig. 6 Peak ground velocity map derived from strong-motion records of K-NET and KiK-net in the Miyagi Offshore Earthquake.

PGAの最大を記録したKiK-net南三陸では、短周期成分0.3秒付近が卓越している以外は、K-NET仙台も含め、神戸波の特性を全体的に下回っている。

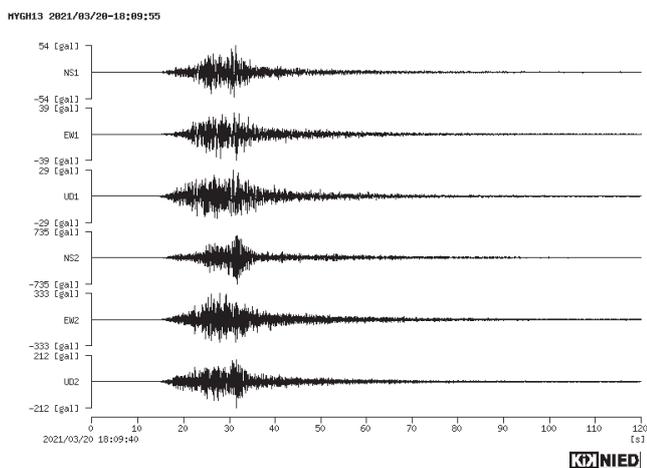


図7 KiK-net南三陸(MYGH10)の宮城県沖の地震の加速度波形⁴⁾
 Fig. 7 Strong-motion accelerograms recorded at KiK-net Minami-sanriku (MTGH13) in the Miyagi Offshore Earthquake.

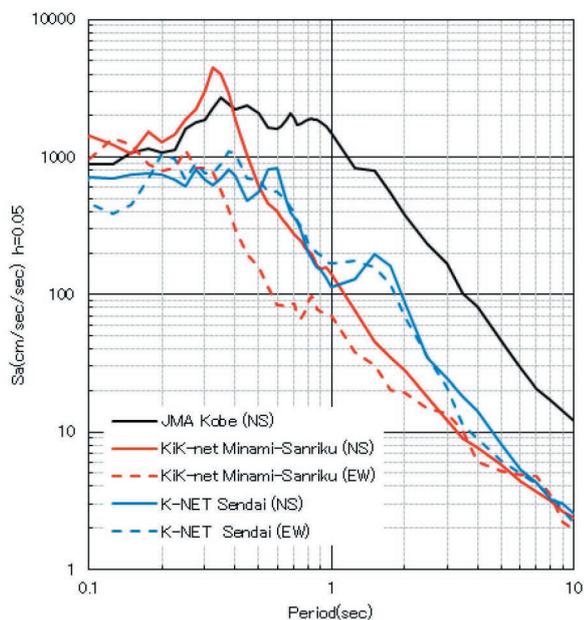


図8 KiK-net南三陸MYGH13とK-NET仙台MYG013の宮城県沖の地震の地表面加速度のスペクトル(h=5%)のJMA神戸(NS)との比較
 Fig. 8 Comparison of Ground surface accelerograms response spectrum (h=5%) for KiK-net Minami-sanriku MYGH13 and K-NET Sendai MYG013 with JMA Kobe (NS) in the Miyagi Offshore Earthquake.

3. 東北および北海道地方で繰り返す地震の概要

3.1 過去に生じたプレート間地震、内陸地殻内地震に対してスラブ内地震の発生要因など基礎的な先行研究の紹介

2021年2月13日の福島県沖の地震(M7.3:図9)⁵⁾に続けて3月20日の宮城県沖の地震(M6.9:図10)⁶⁾と被害地震が東北地方に連続した。海洋プレートが沈み込む領域で起こる地震には、プレート間地震、スラブ内地震、内陸地殻内地震の3つのタイプが存在し、福島県沖の地震はスラブ内地震、宮城県沖の地震はプレート間地震とされている。このような連続する地震は、過去に2003年5月26日の宮城県沖の地震(M7.0)、7月26日の宮城県北部の地震(M6.2)が存在し、2003年の地震では前者はスラブ内地震、後者は内陸地殻内地震に分類される。さらにさかのぼると、1978年2月20日宮城県沖の地震(M6.7)のスラブ内地震が発生し、同年6月12日宮城県沖の地震(M7.4)のプレート間地震が発生している。

スラブ内地震に関する詳細は、以下に紹介する論文に譲るとして、スラブ内地震の発生要因など基礎的な先行研究の紹介をここにまとめる。スラブ内地震もスラブ自体の重量による沈み込みでスラブの曲げ伸ばし応力が生じ、1978年2月20日宮城県沖の地震および2003年5月26日の宮城県沖の地震のようにスラブの上部で発生する圧縮による逆断層型と100km程度のやや深部でスラブ下部では引き伸ばしにより、正断層型が存在する。結果として震源分布は、スラブ上層と下層の2重の面となるのが、スラブ上面の伸縮と下面の圧縮に対応すると応力的要因と考えられる説がある⁷⁾。このスラブ内の地震生成の特徴は、この要因のみならず、スラブ内の玄武岩とかんらん岩の化学的要因が応力的要因に寄与することも言われ、Kita and Ferrand (2018)⁸⁾は、スラブ内のマントル物質の含水化の地域変化がスラブマントル地震の発生機構に水が関係する可能性を室内実験で示し、さらに日本の地震観測結果から、地震の発生機構と水との関わりに関し、スラブ上面地震帯の発生する地震のMの頻度分布を表す指標であるb値について、水を含むことで摩擦抵抗(有効法線力×摩擦抵抗)が低下することによって地震の頻度分布が増加することを理論的に示している。

スラブ内大規模地震の発生予測に向けたスラブ内地震の発生機構の理解は急務であるといえる。また、

スラブ内の含水鉱物の脱水反応により生じた水などの流体は、脱水不安定説に見られるようにスラブ内地震の発生原因として重要であるとともに、マントルウェッジ内の二次対流として陸域下に達し、内陸

地震の発生機構と深く関わること、また、プレート境界地震とスラブ内地震との相互作用が指摘されていることなどからも、スラブ内地震の発生機構の理解は重要な課題とされている⁹⁾。

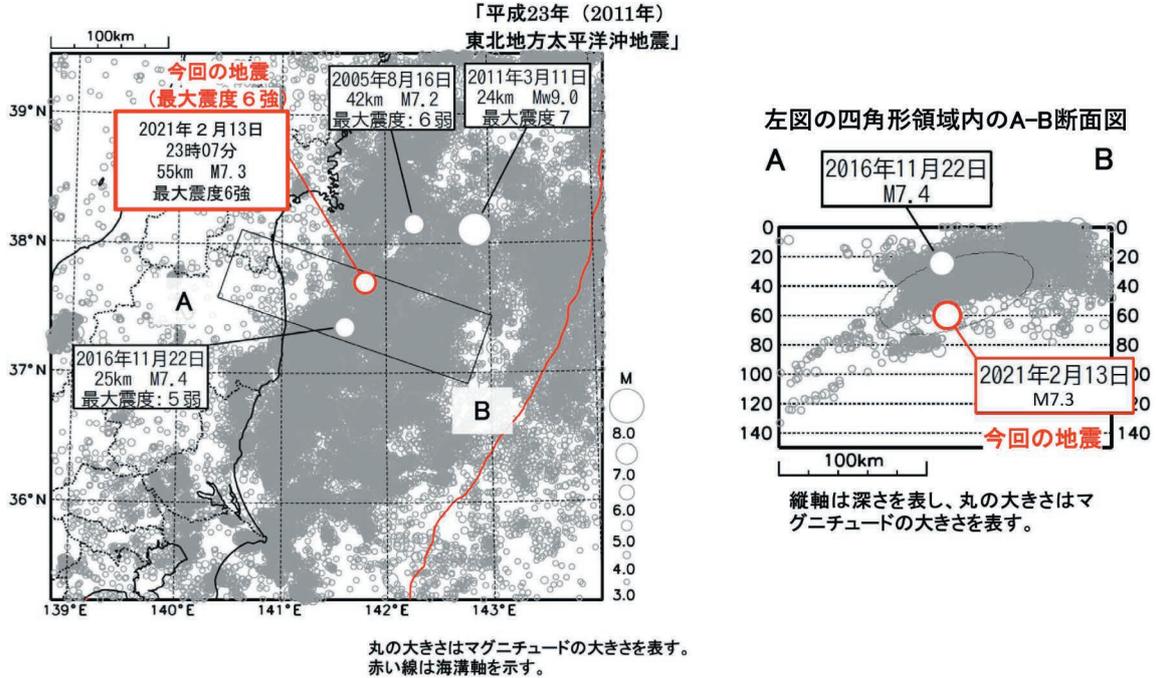


図9 福島県沖の地震 震央分布図⁵⁾
 (1997年10月1日～2021年2月13日23時08分、深さ0～150km、M3.0以上)
 Fig. 9 Epicenter distribution map in the Fukushima Offshore Earthquake.
 (October 1, 1997 to February 13, 2021 23:08, depth 0-150 km, M3.0 or above)

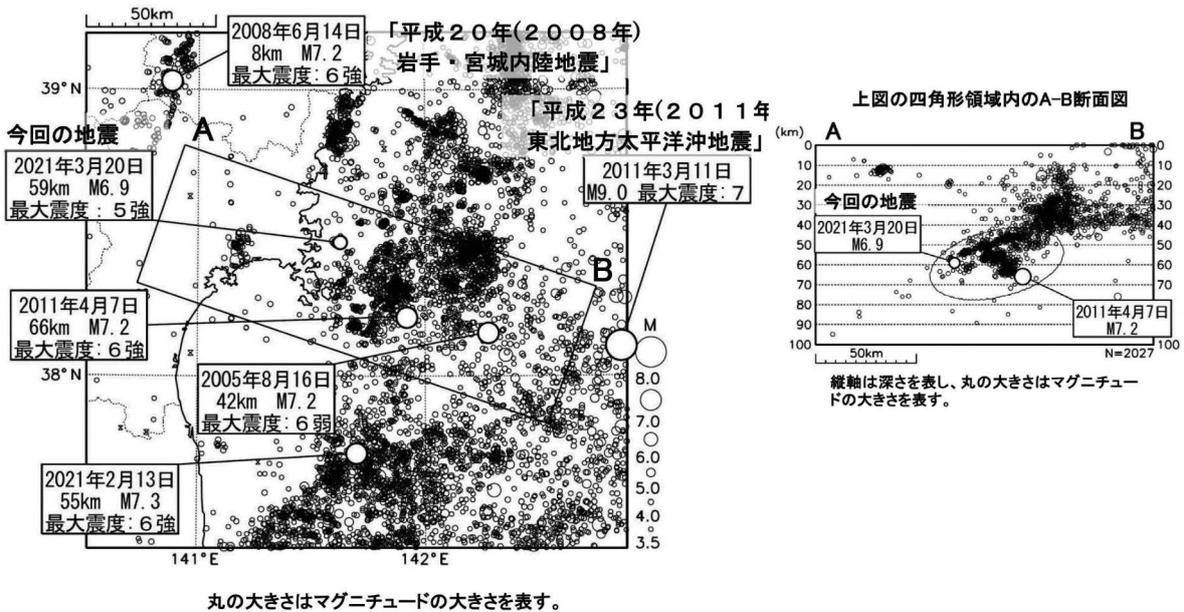


図10 宮城県沖の地震 震央分布図⁶⁾
 (1997年10月1日～2021年3月20日18時10分、深さ0～100km、M3.5以上)
 Fig. 10 Epicenter distribution map in the Miyagi Offshore Earthquake.
 (October 1, 1997 to March 20, 2021 18:10, depth 0-100 km, M3.5 or above)

3.2 東北および北海道地方のスラブ内地震の特徴

スラブ内地震である1993年釧路沖地震と1994年北海道東方沖地震で観測された地表最大加速度(PGA)は、スラブ内地震の震源特性の特徴として、当時の距離減衰式から予測されるよりも大きな値を示している。その要因として、応力降下量が大きく高振動数の地震動が卓越することが以下の理由から挙げられている。

浅野・他(2004)¹⁰⁾では、経験的グリーン関数法による強震動シミュレーションを2003年5月26日宮城県沖の地震の震源のモデル化に適用し、スラブ内地震では、同規模の内陸地殻内地震と比べてアスペリティの面積が小さめになることで、アスペリティでの応力降下量 $\Delta\sigma$ が比較的大きくなることを示している。

さらに、笹谷・他(2006)¹¹⁾は、東北および北海道地方で過去に発生したスラブ内地震の震源特性をまとめている(表1)。短周期レベルはアスペリティの応力降下量 $\Delta\sigma$ と全面積は内陸地殻内地震と同じ傾向で、地震モーメント M_0 とともに増大するスケールリング則を示しているが、その値は内陸地殻内地震

(Somerville, *et al*, 1999)¹²⁾の約1/4である一方、短周期レベルは内陸地殻内地震の約4倍大きくなっているとしている。その結果として、スラブ内地震におけるアスペリティの応力降下量がきわめて大きくなっており、この特徴が、内陸地殻地震およびプレート間地震よりもスラブ内地震で強い強震動の成因の1つであると考えられている。

図11に2地震のK-NET, KiK-net観測点でのPGAと距離減衰特性(司・翠川, 1999)¹³⁾を示す。宮城県沖のプレート間地震に比べ、福島県沖のスラブ内地震におけるPGAがやや大きいことがわかる。

なお、フィリピン海プレートのスラブ内地震は、太平洋プレートの地震と比べて短周期レベルが小さめであるとの指摘もある¹⁴⁾。

スラブ内地震におけるPGA分布が地震の規模の割には広範囲に及ぶ理由として、上述の震源特性に加えて、減衰を表すQ値(図12)¹⁵⁾が大きいスラブの中を伝播することにより、特に高振動数成分が減衰せずに遠くまで伝わることも挙げられる。また、震源が深い場合には、異常震域と呼ばれる現象が見られる場合がある。

表1 東北および北海道地方で過去に発生したスラブ内地震の震源特性(笹谷・他, 2006¹¹⁾に基づく)
Table 1 Fault parameters for intra-slab earthquakes (after Sasatani, *et al*, 2006).

発生日時	地震名	地震モーメント M_0 (Nm)	アスペリティの応力降下量 $\Delta\sigma$ (MPa)	短周期レベルA (Nm/s/s)
1993年1月15日	釧路沖地震	$2.7 - 3.3 \times 10^{20}$ Harvard, Takeo <i>et al.</i> (1993)	109,381,163 82,190,109 Morikawa& Sasatani (2004)	$2.0 - 4.2 \times 10^{20}$ 池田・他 (2002), Morikawa& Sasatani (2004)
1994年10月4日	北海道東方沖地震	$2.6 - 3.0 \times 10^{21}$ Kikuchi & Kanamori (1995), Harvard	82,82,382,300,137 Morikawa& Sasatani (2004)	1.7×10^{21} Morikawa& Sasatani (2004)
1999年5月13日	釧路支庁中南部地震	$2.4 \times 10^{18} - 2.3 \times 10^{19}$ Harvard, 池田・他 (2002)	73,73 笹谷・他 (2006)	2.8×10^{19} 笹谷・他 (2006)
2000年1月28日	北海道東方沖地震	2.0×10^{19} Harvard	261 浅野・他 (2004) 62.4 笹谷・他 (2006)	5.2×10^{19} 笹谷・他 (2006)
2001年12月2日	岩手県内陸南部地震	$5.3 - 5.6 \times 10^{18}$ F.net, Harvard	87,116,116 森川・藤原 (2002)	3.9×10^{19} 森川・藤原(2002)
2003年5月26日	三陸南部地震	$3.5 - 3.9 \times 10^{19}$ F.net, Harvard	105,105,105 浅野・他 (2004)	$1.1 - 1.4 \times 10^{20}$ 佐藤 (2004), 笹谷・他 (2006)

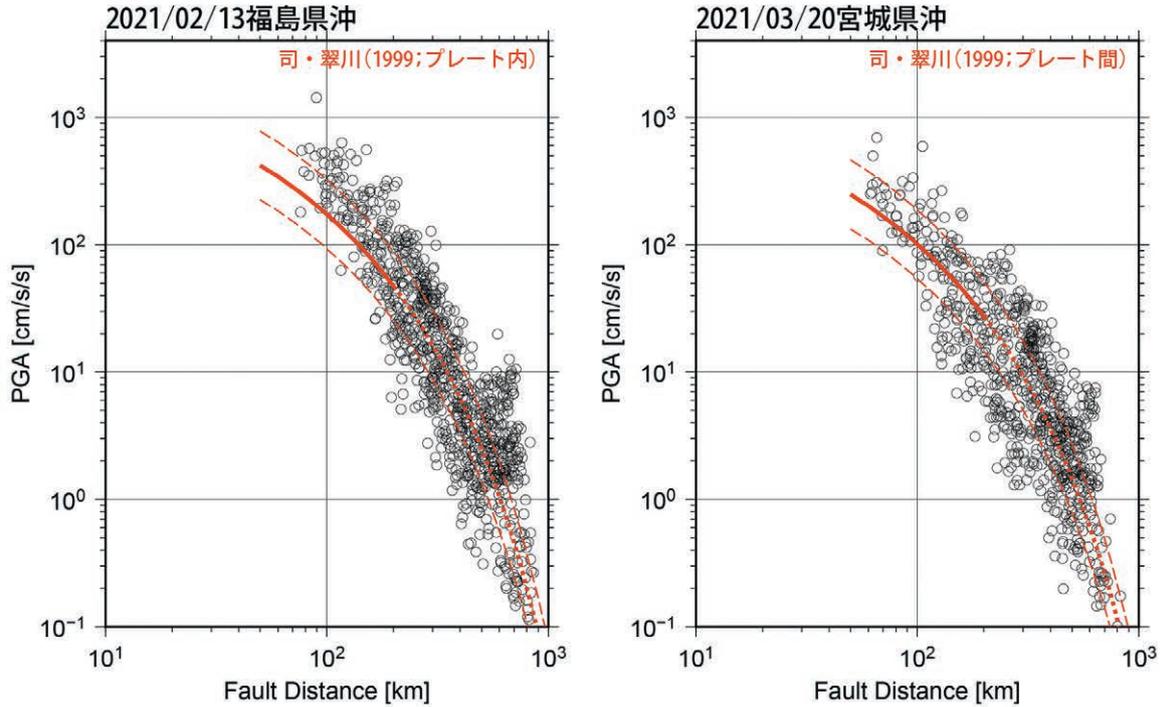
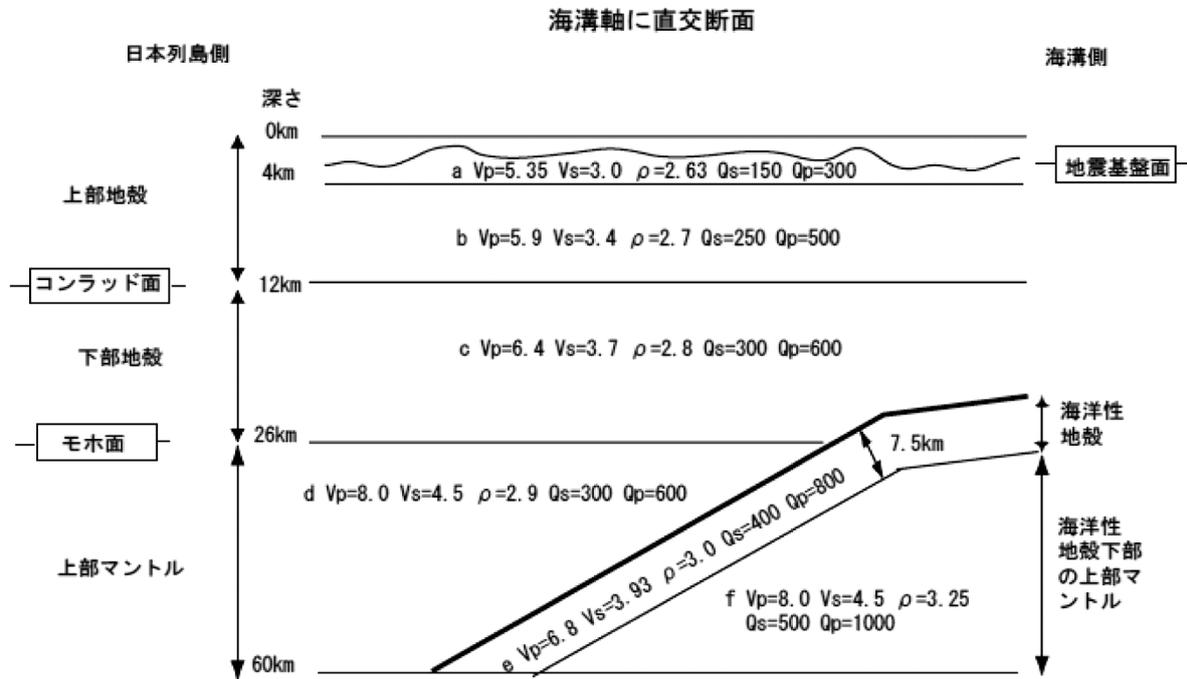


図 11 2021年福島県沖および宮城県沖の地震の加速度最大振幅の距離減衰特性
 実線は司・翠川(1999)¹³⁾の経験式による予測値を、点線はその誤差範囲(±σ)を表す。

Fig. 11 Attenuation relationship relations of Ground surface accelerograms in the 2021 Fukushima Offshore Earthquake and in the 2021 Miyagi Offshore Earthquake.
 The solid line represents the predicted value based on the empirical formula of Shi and Midorikawa (1999), and the dotted line represents the error range (±σ).



理論的評価法を用いる場合の伝播経路のモデル (VsとVpの単位はkm/s、ρの単位はg/cm³)

図 12 上部マントルから地震基盤までの大構造 宮城県沖地震を想定した強震動評価(一部修正版),
 地震調査研究推進本部, H17.12.14¹⁵⁾

Fig. 12 Tectonic image from the upper mantle to the seismic base (after, The Headquarters for Earthquake Research Promotion, 2005).

4. 東北および北海道地方で発生したスラブ内地震の被害状況

4.1 1990年以降のスラブ内地震の被害概要

1990年以降に東北および北海道地方で被害をもたらしたスラブ内地震の規模を表2に、被害状況の概要を表3に示した。1993年から2021年2月の地震まで、8回のスラブ内地震が認められた。発生時期は、1993年から1994年(①～②)、1999年から2003年(③～⑥)、2011年(⑦)、2021年(⑧)であった①、②、⑥、⑧の地震は、100名以上の負傷者や斜面崩壊など、生活インフラに被害が発生した地震であった。⑦2011年4月の地震は東北地方太平洋沖地震の余震である。③1999年釧路支庁中南部、④2000年根室半島南東沖、⑤2001年岩手県内陸南部の地震は震度4程度で、被害の程度は数名の負傷者や建物の一部損壊、棚から物が落下するといった被害であった。以下に、各地震の被害について述べる。被害の典拠は宇佐美ほか(2013)¹⁶⁾、内閣府防災の被害報¹⁷⁾、¹⁸⁾、¹⁹⁾、地震の諸元情報は気象庁震度データベース²⁰⁾に拠る。各地震の震度と震央は図13に示した。なお、③、④、⑤の3つの地震については、被害の規模数が僅少であったため詳細を割愛する。

① 平成5年(1993年)釧路沖地震

1993年1月15日0時6分に発生した地震で、マグニチュード7.5、震源の深さ101km、最大震度は6であった。この地震により、鉄道の不通、液状化、斜面崩壊などが発生し、負傷者967名、死者2名、全壊53棟などの一部損壊は5,000棟以上の被害を出した。人的被害の大半は家庭内での被災であった。2名の死亡原因は天井からの落下物による胸部挫傷とガス漏れによるもの、負傷者の40%がストーブ上のヤカンの中から溢れた熱湯による熱傷、30%が家具の転倒、落下物、ガラス破損による創傷であった。地質調査所(1993)²¹⁾によれば、斜面崩壊は、主に盛土斜面、切土と盛土の接合部で発生しており、造成地地盤の崩壊が建物被害に起因している地域もあった。液状化は、港湾や後背湿地の埋立地で発生し、噴砂、噴水、マンホールの浮上や港湾施設の孕み出しなどが発生した。後背湿地の盛土地盤での液状化が卓越し、湿原堆積物の噴出は見られなかった。最大震度を記録した釧路市内の住家被害は、80%が旧釧路川左岸の台地(海成段丘)に集中していた。住家被害の半数は段急崖に沿って発生しているため、

原因は斜面崩壊によるものであった。残りの半数は最終間氷期の海成段丘面上で発生しており、海成砂と未固結の火災堆積物から構成される台地であった。鉄道被害も築堤または盛土地盤の変動により、発生していた。都市インフラの復旧には1カ月程度で、地震保険の支払い金額は当時、戦後最大の支払い金額と言われた。

② 平成6年(1994年)北海道東方沖地震

1994年10月4日22時22分に発生した地震で、マグニチュード8.2、震源の深さ28km、最大震度は6であった¹⁶⁾。震央は積丹島沖で、津波が発生した。根室での津波の最大波高は1.73m、岩手県宮古市で0.72m、小笠原村父島で0.81mなど太平洋沿岸に津波が到達した。最大遡上高は根室付近で3m程度であった。人的被害は、死者はなく、負傷者436名であった。建物被害は、全壊39棟のほか一部損壊が7,000棟以上、津波により太平洋沿岸の地域で浸水被害が発生し、床上浸水119棟、床下浸水70棟であった。本地震で被害が最も深刻だったのは、北方四島で、死者11名、色丹島や国後島では、津波遡上高が5mを超え、10mを記録した地点もあった。

⑥ 平成15年宮城県沖の地震

2003年5月26日18時24分に発生した地震で、マグニチュード7.1、震源の深さは72km、最大震度は6弱で、岩手県大船渡市や宮城県石巻市、栗駒町(現・栗原市)などの気仙地域を中心に広い範囲で震度5強以上の揺れを観測した¹⁷⁾。2003年南三陸地震とも呼称される²²⁾、²³⁾。内閣府(2004)¹⁷⁾によれば、人的被害は重傷25名、軽傷149名で、受傷原因として家具の転倒、落下物、ガラスの破片によるものが多いとされる²²⁾。建物被害は全壊2棟、半壊21棟、一部破損が2,404棟、エレベータの閉じ込め被害などが発生した。全壊2棟はいずれも大船渡市大船渡町に属しており、木造瓦屋根土壁の伝統的軸組木造住宅とユニット工法の鉄骨系プレハブ住宅の隣接した建物であった²³⁾。秋田県立大学木材高度加工研究所(2004)²³⁾は、この2棟を全壊とした原因は、①振動が増幅されやすい敷地の地形と地盤の条件、②地盤と建物の振動特性の条件が合致し共振現象の発生、③建物の基礎や1978年宮城県沖地震の被害箇所の補修が十分ではないなど、個々の建物の構造的な欠陥が複合したと述べている。

表2 1993年から2021年までに東北および北海道地方で発生したスラブ内地震の諸元情報¹⁶⁾

Table 2 Various information on intra-slab earthquakes that occurred in Tohoku and Hokkaido regions from 1993 to 2021.

番号	地震名称	発生日月	時間	規模 (Mj)	深さ (km)	最大震度	震央	災害事例 DB収録数
①	平成5年(1993年)釧路沖地震	1993年1月15日	0:06	7.5	101	6	42.920N,144.35E	62レコード
②	平成6年(1994年)北海道東方沖地震	1994年10月4日	22:22	8.2	28	6	43.375N,147.67E	51レコード
③	平成11年釧路支庁中南部の地震	1999年5月13日	2:59	6.3	106	4	42.97N,143.87E	5レコード
④	平成12年根室半島南東沖の地震	2000年1月28日	23:21	7.0	59	4	43.01N,146.75E	4レコード
⑤	岩手県内陸南部地震	2001年12月2日	22:01	6.4	122	5弱	39.40N, 141.27E	0レコード
⑥	平成15年宮城県沖の地震	2003年5月26日	18:24	7.1	72	6弱	38.82N, 141.65E	41レコード
⑦	宮城県沖の地震	2011年4月7日	23:32	7.2	66	6強	38.20N, 141.92E	—
⑧	福島県沖の地震	2021年2月13日	23:07	7.3	55	6強	37.73N, 141.70E	—

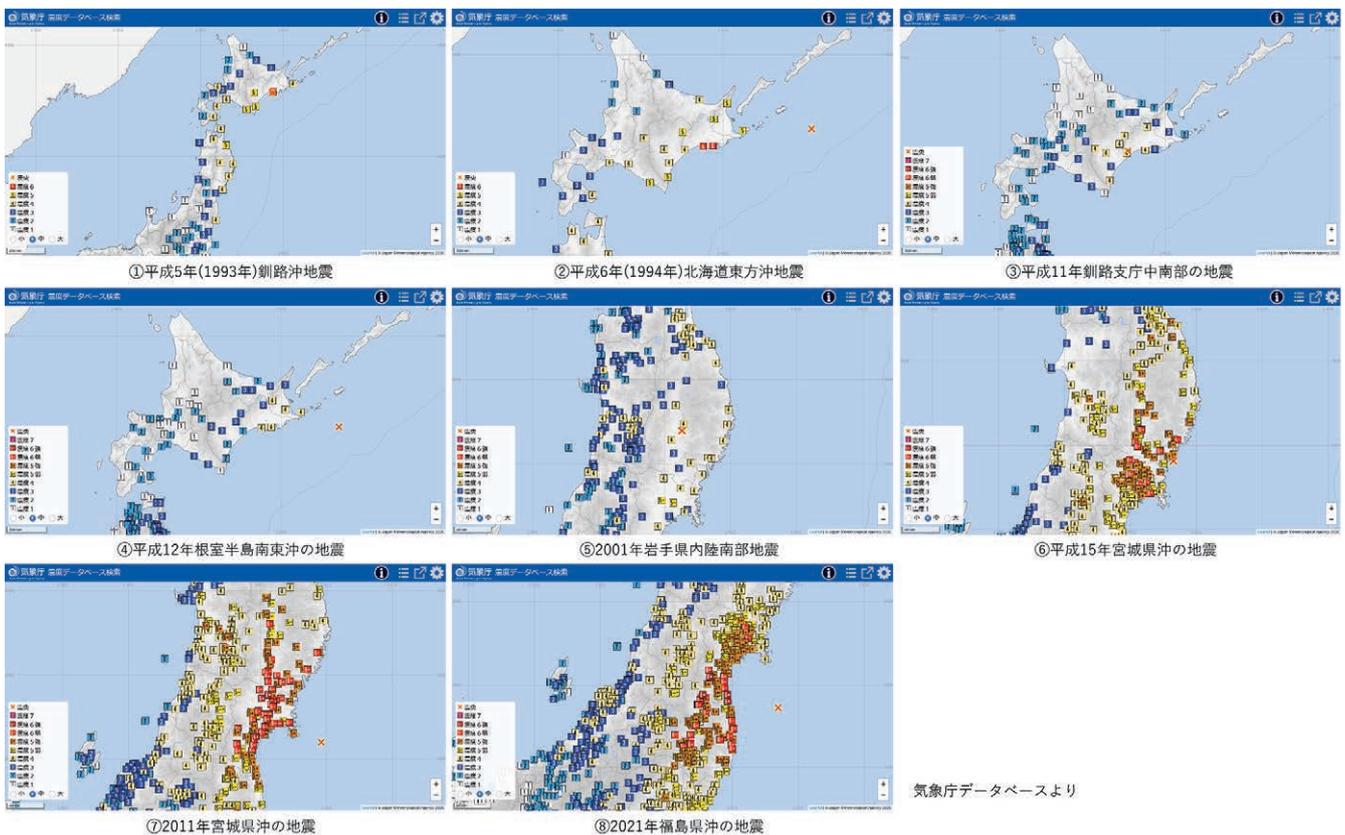


図13 1993年から2021年までに東北および北海道地方で発生したスラブ内地震の震度分布

Fig. 13 Seismic intensity distribution of intra-slab earthquakes in Tohoku and Hokkaido regions from 1993 to 2021.

表3 1993年から2021年までに東北および北海道地方で発生したスラブ内地震の被害状況
 Table 3 Damage caused by intra-slab earthquakes in the Tohoku and Hokkaido regions from 1993 to 2021.

地震名称	①平成5年(1993年) 釧路沖地震	②平成6年(1994年) 北海道東方沖地震	③平成11年釧路支庁 中南部の地震	④平成12年根室半島 南東沖の地震
発生年月日時刻	1993年1月15日0時6分	1994年10月4日22時22分	1999年5月13日2時59分	2000年1月28日23時21分
死者	2			
負傷	重傷	117	31	
	軽傷	850	405	2
住家	全壊	53	39	
	半壊	255	382	
	一部破損	5,313	7,154	1
公共・文教施設	483			
断水	19,765	31,462		
停電	57,200	46,411		
ガス	9,355			
火災	9	1		
道路	1,591	1,762		
河川	184	110		
斜面災害	地すべり16, 崖崩れ14			
その他	鉄道不通4, 液状化等	津波発生, 床上浸水119, 床下浸水70		
出典	宇佐美ほか(2013)	宇佐美ほか(2013)	宇佐美ほか(2013)	宇佐美ほか(2013)
地震名称	⑤岩手県内陸南部の地震	⑥平成15年宮城県沖 の地震	⑦宮城県沖の地震	⑧福島県沖の地震
発生年月日時刻	2001年12月2日22時01分	2003年5月26日18時24分	2011年4月7日23時32分	2021年2月13日23時07分
死者			4	
負傷	重傷		25	12
	軽傷		149	173
住家	全壊		2	21
	半壊		21	32
	一部破損		2,404	3,059
公共・文教施設	1	1,217		1,439
断水		4,792		26,562
停電		35,837		95万
ガス		3,100		なし
火災		4		
道路		31		13
河川		143		
斜面災害		地すべり1, 崖崩れ5		崖崩れ4, 雪崩1
その他	窓ガラス16枚破損小学校あり。大半は柵からものが落下する程度	床下浸水1, エレベーターの閉じ込め5件, 新幹線橋脚破損23本	東日本大震災の損傷建造物へのさらなる被害	新幹線電化柱折損20本, ひび割れ・傾斜約40本等新幹線施設被害940箇所
出典	宇佐美ほか(2013)	宇佐美ほか(2013), 内閣府(2004)	宇佐美ほか(2013), 緊急災害対策本部(2011)	内閣府(2021), 東日本旅客鉄道(2021)

本地震は、家屋の被害が僅少であったものの、埋め立て土壌の斜面崩壊、港湾施設、新幹線橋脚、RC中・低層建物の土木構造体に大きな被害を与えた²⁴⁾。岩手県大船渡市から宮城県東松島市まで、広域で液状化被害が発生し、農林水産被害は農地や林道等で1,274カ所となり、特に鳴瀬町(現・東松島市)では、液状化によって水田内に噴砂丘が形成され、稲が埋没したほか、液状化による地盤の陥没で大豆畑が浸水し、作物が枯れた²⁴⁾。

築館町(現・栗原市)館下では、斜面崩壊が発生した。崩壊地は、標高50m程度、平均傾斜7度程度の畑地造成した丘陵地で、斜面崩壊の規模は、厚さ5m、幅40m、長さ80m(崩壊部)であった。地質は火山灰質で、造成前の地形は沢であった。このような条件であったため、地表は乾燥状態であったものの、保水性の高い状態で、地震動によりせん断抵抗を失い、泥流状に流下した²²⁾。

特徴的な土木構造物被害として、東北新幹線の橋梁と橋脚の被害がある。橋梁6カ所、橋脚23本が破損し、その被災区間は盛岡駅から水沢江刺駅の間の区間に集中した。宮地・木村(2003)²⁴⁾によれば、新幹線橋梁と橋脚の被災箇所は、いずれも旧河道を埋積した厚い軟弱層が分布または地盤の形状が変化する地点であり、地震波の短周期成分と地盤との関連性を見出した。

⑧ 2021年福島県沖の地震

2021年2月13日23時7分に発生した地震で、マグニチュード7.3、震源の深さは55km、最大震度は宮城県蔵王町、福島県相馬市、国見町、新地町で6強だった。宮城県沿岸から内陸部、福島県の浜通りから中通りの間に位置する市町村において広く震度6強から6弱を観測した¹⁹⁾。また震源から比較的遠距離の神奈川でも軽傷被害が出た。重傷12名、軽傷は173名に上る。建物被害は、全半壊被害と比較して一部損壊が3,059棟であった。新幹線では電化柱の折損20本、ひび割れ・傾斜約40本、新幹線施設被害940カ所を生じた²⁵⁾。この影響で、東北新幹線は2月23日まで10日間、一部区間で運転見合わせとなった。宮城県東松島市と福島県いわき市ではがけ崩れが発生し、鳥海山付近では雪崩1件が発生した。また、防災科研の雪氷調査²⁶⁾によれば、猪苗代湖周辺地域で積雪クラック、屋根雪の崩落、斜面の雪の崩落が発生した。

4.2 過去の東北・北海道地方周辺のスラブ内地震の被害の特徴

1990年以降の東北・北海道地方周辺のスラブ内地震の被害の特徴は、建物倒壊は少なく、一部損壊と負傷者の多さが特徴的であった。また、件数は少ないものの、必ずしも急傾斜ではない斜面の崩壊や液状化被害が発生していた。なお、津波が発生した地震の場合は、震害による被害状況は不明である。

⑥平成15年宮城県沖の地震を除いて、地震の発生時刻が22時以降の日没後の就寝時間帯に発生しており、家庭内負傷などの人的被害の一因を示唆している。

過去の事例では、冬季から春季にかけて、災害が発生していた。①、②、⑥、⑧では斜面崩壊が発生しているが、いずれも降水量の多い時期に発生していないため、梅雨期や台風の季節の斜面災害は、従来の被害以上の現象が発生する可能性がある。

過去の災害の中で特に類似の事例は、⑥平成15年宮城県沖の地震であった。M7クラスの地震で、深さ50kmから70km程度、建物倒壊は少なく、一部損壊と負傷者の多さが特徴的で、新幹線の橋脚の破損、液状化、斜面崩壊が発生していた。このようなことから、短周期の地震波によって発生する被害の様相があると考えられる。

5. まとめ

今回の強震動観測結果と先行研究から、以下のことがまとめられる。

- (1) 2月の福島県沖の地震はスラブ内地震、3月の宮城県沖の地震はプレート間地震と推定される。
- (2) スラブ上面地震帯の発生する地震のMの頻度分布を表す指標であるb値について、水を含むことで摩擦抵抗(有効法線力×摩擦抵抗)が低下することによって地震の頻度分布が増加する。
- (3) スラブ内地震の福島県沖の地震の強震動観測波の特性としては、高振動数が卓越している。
- (4) 減衰特性Q値が大きいスラブの中を伝播するので、スラブ内地震は、広い範囲で揺れが観測されることが特徴の1つとして挙げられる。
- (5) 東北および北海道地方で過去に発生したスラブ内地震の短周期レベルとアスペリティの全面積は内陸地殻内地震と同じ傾向で、地震モーメン

- ト M_0 とともに増大し、短周期レベルは内陸地殻内地震の約4倍大きくなっているとしている。
- (6) その結果として、スラブ内地震におけるアスペリティの応力降下量がきわめて大きくなっており、この特徴が、内陸地殻地震およびプレート間地震よりもスラブ内地震で強い強震動の成因の1つであると考えられている。
- (7) スラブ内地震ではQ値が大きいスラブの中を伝播することにより、特に高振動数成分が減衰せずに遠くまで伝わる。また、震源が深い場合には、異常震域と呼ばれる現象が現れる場合がある。
- (8) 1990年以降の東北・北海道地方周辺のスラブ内地震の被害の特徴は、建物倒壊は少なく、一部損壊と負傷者の多さが特徴的であった。また、件数は少ないものの、必ずしも急傾斜ではない斜面の崩壊や液状化被害が発生していた。短周期の地震波によって発生する被害の様相がある。

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会 (2021a) : 2021年2月13日福島県沖の地震の評価(令和3年3月11日公表).
https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2021/20210213_fukushima_2.pdf.
- 2) 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2021b) : 2021年3月20日宮城県沖の地震の評価(令和3年4月9日公表).
https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2021/20210320_miyagi_2.pdf
- 3) 防災科学技術研究所 強震観測網(K-NET, KiK-net) (2021) : 2021年02月13日 福島県沖の地震による強震動.
https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/html20210213230748/main_20210213230748.html
- 4) 防災科学技術研究所 強震観測網(K-NET, KiK-net) (2021) : 2021年03月20日 宮城県沖の地震による強震動.
https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/html20210320180939/main_20210320180939.html
- 5) 気象庁(2021) : 令和3年2月13日23時08分頃の福島県沖の地震について-「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」について(第89報)-, 報道発表資料(令和3年2月14日01時10分:地震火山部).
- 6) 気象庁(2021) : 令和3年3月20日18時09分頃の宮城県沖の地震について-「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」について(第91報)-, 報道発表資料(令和3年3月20日20時20分:地震火山部).
- 7) 例えば 瀬野徹三(2009) : スラブ内地震活動とその発生メカニズム. 地震2, **61**, 357-364.
- 8) Kita, S. and Ferrand, T. P. (2018): Physical mechanisms of oceanic mantle earthquakes: Comparison of natural and experimental events. *Scientific Reports*, **8**(1), Nature Publishing Group.
<https://www.researchgate.net/publication/329042382>
- 9) 文部科学省(2008) : スラブ内地震の発生機構の解明, 平成20年度年次報告.
https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu6/sonota/attach/1287459.htm
- 10) 浅野公之・岩田知孝・入倉孝次郎(2004) : 2003年5月26日に宮城県沖で発生したスラブ内地震の震源モデルと強震動シミュレーション. 地震2, **57**, 171-185.
- 11) 笹谷努・森川信之・前田宜浩(2006) : スラブ内地震の震源特性. 北海道大学地球物理学研究報告, **69**, 123-134.
- 12) Somerville, P., Irikura, K., Graves, R., Sawada, S., Wald, D., Abrahamson, N., Iwasaki, Y., Kagawa, T., Smith, N., and Kowada, A. (1999): Characterizing Crustal Earthquake Slip Models for the Prediction of Strong Ground Motion, *Seism. Res. Lett.*, **70**, 59-80.
- 13) 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, **523**, 63-70.
- 14) 新井健介・壇一男・石井透・花村正樹・藤原広行・森川信之(2015) : 強震動予測のためのスラブ内地震の断層パラメータ設定方法の提案. 日本建築学会構造系論文集, **716**, 1537-1547.
- 15) 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2005) : 宮城県沖地震を想定した強震動評価(一部修正版)について.
https://www.jishin.go.jp/main/kyoshindo/05dec_miyagi/index.htm

- 16) 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, 694 pp.
- 17) 内閣府(2004):平成15年宮城県沖を震源とする地震について.
http://www.bousai.go.jp/updates/pdf/2004_03_12Jishin1000.pdf
- 18) 総務省消防庁(2021):平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)について,緊急災害対策本部とりまとめ報,第161報.
<http://www.bousai.go.jp/2011daishinsai/index.html>
- 19) 内閣府(2021):福島県沖を震源とする地震に係る被害状況等について.
http://www.bousai.go.jp/updates/r3fukushima_eq_0213/pdf/r3fukushima_eq_higai05.pdf
- 20) 気象庁(2021):震度データベース検索.
<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/>
- 21) 地質調査所(1993):1993年釧路沖地震による地盤災害,地震予知連絡会会報 第50巻,23-26.
- 22) (社)地盤工学会,2003年三陸南地震および宮城県北部地震災害調査委員会編(2003):2003年三陸南地震・宮城県北部地震災害調査報告書, 141pp.
- 23) 鈴木有・川鍋亜衣子・澤田圭(2004):三陸南地震(2003年5月26日宮城県沖の地震)による全壊住宅の被害調査報告書,秋田県立大学木材高度加工研究所,130pp.
- 24) 宮地良典・木村克己(2003):2003年5月26日宮城県沖の地震の災害調査報告—新幹線橋脚の被害と地盤特性—,地質ニュース **589**号,6-10.
- 25) 東日本旅客鉄道株式会社(2021):福島県沖地震に伴う東北新幹線の被害と復旧状況等について.
https://www.jreast.co.jp/press/2020/20210226_ho05.pdf
- 26) 上石勲・山下克也(2021):2021年2月14日福島県沖地震による積雪への影響調査(速報).防災科学技術研究所 雪氷防災研究部門,災害調査.
https://www.bosai.go.jp/seppyo/kenkyu_naiyou/seppyouaigai/2021/report_20210214_Aizu.pdf

(2021年6月25日原稿受付,
2021年7月29日改稿受付,
2021年7月29日原稿受理)

要 旨

福島県沖の地震(2021年2月13日, マグニチュード M7.3)が発生し, 連続して, 宮城県沖の地震(3月20日, M6.9)が発生した. 福島県沖の地震では, 沈み込むプレート(スラブ)内の地震活動と推定され, プレート間地震や内陸地震に比べ大きな震度が観測された. 本稿では, 防災科学技術研究所(防災科研)運用の広帯域地震観測網(F-net) から得られる地震メカニズムを参考に強震観測網(K-NET・KiK-net)で観測された強震動について概要を報告し, 過去に東北および北海道地方で発生した地震からスラブ内地震の発生機構の特性を先行研究の成果をまとめ, 併せて報告する.

キーワード : 2021年福島県沖の地震, 2021年宮城県沖の地震, スラブ内地震, 東北・北海道地方