

Evaluations for source parameters and site amplifications based on generalized inversion technique

*Kenichi Nakano¹, Hiroshi Kawase²

1. HAZAMA ANDO CORPORATION, 2. Kyoto university

2019年6月18日22時22分に、山形県沖において、 M_{JMA} 6.7の地震が発生した。このイベントの震源深さは約14kmとされている。本地震については、同地震の余震域を震源とする被害地震はほとんど知られておらず、不明な点が多い。本震においては、震央周辺の気象庁、K-NET、KiK-netで大振幅記録が観測された。震央近傍で震度6弱が計測された鶴岡市温海川観測点47241 (CA9) の応答スペクトルと過去に発生した大地震の応答スペクトルのそれを比較すると、今回の地震では約2Hzが卓越しており、主要構造体に被害が生じるような周期帯にはエネルギーを有していないことが確認できる。しかし、震央周辺地域では、瓦屋根やブロック塀などの非構造材の被害が報告されており (e.g. 三辻, 2019; 高橋, 2019)、2018年大阪府北部の地震と同様の被害傾向であると考えられる。

上記の観測記録や被害の状況だけからは、地震動の生成メカニズムを明らかにすることはできない。そこで、地震動の生成メカニズムを把握することを目的に、スペクトルインバージョン (以下、GIT) によって震源とサイト特性を推定することを試みる。まず、2019年山形県沖の地震における本震と余震を対象として、K-NET及びKiK-netで公開された地震波形を、気象庁のWebページから気象庁が設置した震度計で記録された波形をそれぞれ収集し、Nakano and Kawase (2019)のデータセットにそれらを追加した上で、GITを実施した。表1に、本研究で追加したイベントについて示す (No.7-No.11)。比較用に国内で発生したいくつかの地殻内地震のイベントを併記している (No.1-No.6)。また、詳細は後述するが、本研究で評価したコーナー振動数、応力降下量、短周期レベルについても示している。

具体的な解析条件はNakano et al. (2015)もしくはNakano and Kawase (2019)を参照されたいが、ここでは M_{JMA} 4.5以上、震源距離200km以下、震源深さ60km以浅、最小加速度は 0.2 cm/s^2 、最大加速度は 200 cm/s^2 を満足する地震および波形を用いた。ただし、 M_{JMA} 4.0前後のイベントも含めている点に注意されたい。表1のNo.7とNo.11の地震モーメントはF-net (<http://www.fnet.bosai.go.jp>) を参照したが、No.8からNo.10のイベントでは、武村 (1990) を用いて M_{JMA} から M_0 を概算的に推定した。震源情報については、気象庁の一元化処理リスト (<https://hinetwww11.bosai.go.jp/auth/JMA/>) を参照した。

図1に応力降下量の比較を示す。今回の本震の応力降下量は、過去のイベントのそれと調和的であるが、同様の地震規模と震源深さに対してやや高めめのグループに属していることがわかる。一方余震の応力降下量については過去の地震に比べ低めとなっているが、これについては、余震記録は地震規模が小さいため、長周期ノイズの含まれた記録が混入している可能性が考えられる。その結果、仮定した地震モーメントは過大評価となり、コーナー振動数 f_c が過小評価されている可能性がある。周波数範囲を限定し、地震モーメントを経験値ではなく観測値で決めれば、平均的な値に再評価される可能性がある。図2に短周期レベルの比較を示す。ここでは、Nakano and Kawase (2019)で評価した回帰式 (全体に対するものとMw6以上に対するもの) も併せて示す。これをみれば明らかのように、今回の地震の本震の短周期レベルは、Nakano and Kawase (2019)のどちらの回帰式による推定値より大きいことがわかる。

図3に、Nakano and Kawase (2019)で評価したS波サイト特性と全波サイト特性を示す。図中の黒色の実線はGITで直接評価したS波サイト特性、灰色の実線は、仲野ら (2019) の手順で、個々のイベント毎に評価した全継続時間のサイト特性、赤色の実線は灰色の実線の平均値、すなわち全波サイト特性を、赤色の点線はその平均値 $\pm\sigma$ (標準偏差) を示している。この図を見れば明らかであるが、山形県酒田市のサイト (YMT001およびSAK) では、S波サイト特性に比べて、全波サイト特性の振幅が2Hz以下の低振動数域で大き

く、NIGH02（朝日）より南の新潟県の平野部（具体的には NIGH02、NIG007、52E、NIGH03、NIGH04、NIG008、90C）においても同様の傾向がみられる。これらの地点では0.2-0.4Hz付近に卓越振動数がみられ、それは各地点が存在する堆積盆地の卓越振動数と考えられる。一方、震央に近いYMT004、NIG006、47241（CA9）の3つのサイトでは、S波サイト特性に対する全波サイト特性の増幅は比較的小さく、CA9では約1Hz～8Hzにかけて振幅が大きくなっているが、他の2地点では数Hz以上に明瞭なピークを有していることが確認できる。

以上のことから、今回の地震では震源近傍観測点のサイト特性が高振動数域にピークがある盆地外部のものであったため、最大加速度は大きく気象庁震度も大きかったが、構造体の被害に直結する周期1秒前後のやや短周期レベルは小さかったため、被害は最小限に留まったものと推察される。

表1 イベントリスト

No.	Date	Hypocenter location			M_{BMA}	M_0 (N ² m)	f_c (Hz)	f_{max} (Hz)	Stress drop (MPa)	Short-period level A (N ² m/s ²)
		Lat.	Lon.	Depth (km)						
1	199501170546	34.598	135.035	16	7.3	2.43E+19	0.111	10.7	6.152	1.18E+19
2	200410231756	37.29	138.87	13	6.8	7.53E+18	0.123	14.9	2.594	4.50E+18
3	200412141456	44.074	141.703	9	6.1	4.44E+17	0.339	7.8	3.202	2.01E+18
4	200707161013	37.557	138.61	17	6.8	9.30E+18	0.118	12.2	2.829	5.11E+18
5	201806180758	34.844	135.622	13	6.1	2.32E+17	0.483	15.1	4.839	2.14E+18
6	201809060308	42.691	142.007	37	6.7	1.00E+19	0.172	18.0	9.420	1.17E+19
7	201906182222	38.608	139.479	14	6.7	4.11E+18	0.189	15.5	5.137	5.80E+18
8	201906182237	38.621	139.448	12	3.8	7.94E+14	1.303	50.0	0.325	5.32E+16
9	201906182241	38.586	139.409	12	4.1	2.24E+15	0.847	50.0	0.252	6.34E+16
10	201906190057	38.561	139.395	12	4.2	3.16E+15	0.986	22.5	0.561	1.21E+17
11	201906210533	38.607	139.453	13	4.0	5.46E+14	2.551	23.9	1.678	1.40E+17

- ★ 2019 Yamagata offshore EQ. (Main-shock)
- ✕ 1995 Hyogoken-nanbu EQ. (Main-shock)
- ▼ 2004 Niigata-ken Chuetsu EQ. (Main-shock)
- 2019 Yamagata offshore EQ. (After-shocks)
- ✕ 2018 Nourthern Osaka EQ. (Main-shock)
- ▼ 2007 Niigataken Chuetsu-oki EQ. (Main-shock)
- ▲ 2004 Southern Rumoi EQ. (Main-shock)
- ◆ 2018 Hokkaido Iburi-tobu EQ. (Main-shock)
- Other crustal earthquakes

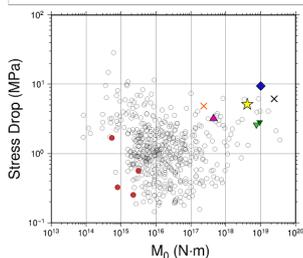


図1 応力降下量の比較

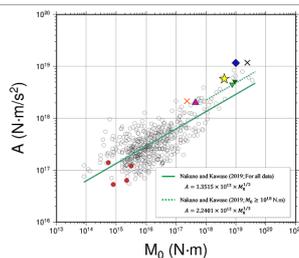


図2 短周期レベルの比較

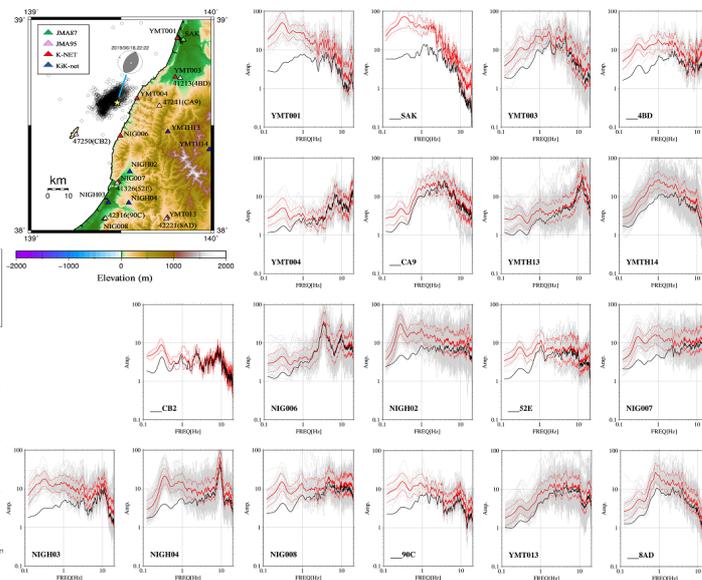


図3 サイト特性の比較