

近年の東日本太平洋側の地震群における長周期帯域応答レベルの統計的検討

茨城大学 正会員 ○井上 涼介

茨城大学 学生員 甲斐 紳也

1. 目的と概要

長周期帯域（以下 5～13s）における弱減衰の擬似速度応答スペクトル（以下、PSV(h=0.5%))を回帰式により簡便に精度良く推定する方法を確立するため、近年の東日本に起きた 32 地震 ($M \geq 6$) の、KiK-net 地下での 6055 記録（表-1、図-1）を用いて、回帰分析により「基準式」（工藤ら、2008）と K-net 苫小牧観測点などの「揺れやすさ（基準式からの偏差）」を求め、規模として M_j （気象庁；決定周期 3 秒程度）と M_w （F-net による；同数十秒程度）のどちらが良いか、震源深さの影響、伝播経路による基準式や揺れやすさの差、などを検討した。

2. 地震動データベースと基準式として用いる回帰モデル

表-1、図-1 の地震を発生地域別に区分し、Intra-plate 地震（≒深い地震）を適当に海溝または内陸の地震として、発生域のいくつかの組み合わせ（内陸 or 海溝、座間(1990～)の発生地域別）について解析した。回帰モデルは、まず基礎的な検討のため規模、距離や震源深さなどの範囲によらずに一つの式で表せるものとし、以下の 9 モデルについて各回帰係数や AIC、残差分散などを計算した。方法は Boore ら (1993) の一段階最尤法によった。

モデル1 : $\log_{10} Y = aM + d \log_{10} X + c$ (Y: スペクトル振幅 (水平 2 成分の自乗和平方根), X: 震源距離(km))

モデル2 : $\log_{10} Y = aM - 0.5 \log_{10} \Delta + b\Delta + c$ (Δ : 震央距離(km), 幾何減衰の係数を表面波の-0.5 に固定)

モデル3 : $\log_{10} Y = aM - \log_{10} X + bX + c$ (〃 実体波の-1 に固定)

モデル4 : $\log_{10} Y = aM + bX + c + d \log_{10} X$, モデル5 : $\log_{10} Y = aM + b\Delta + c + d \log_{10} \Delta$

モデル6 : $\log_{10} Y = aM + bX + c + d \log_{10} X + eH$ (震源深さ H(km) の影響を H の 1 次式として考慮)

モデル7 : $\log_{10} Y = aM + b\Delta + c + d \log_{10} \Delta + eH$ (〃)

モデル8 : $\log_{10} Y = aM + bX + c + d \log_{10} (X + p \cdot 10^{qM}) + eH$ (「飽和距離」も考慮、ここで p, q は翠川ら

モデル9 : $\log_{10} Y = aM + b\Delta + c + d \log_{10} (\Delta + p \cdot 10^{qM}) + eH$ 2004 の値 (表-2) に固定)

3. 解析結果

- ① 規模として M_j を用いた場合が全周期、全回帰モデルについて M_w を用いたときより AIC、残差分散が小さくなった。これは M_j が $H < \text{約 } 20\text{km}$ で坪井公式に合うように、それ以深では M_w (Harvard 大) に合うように決められていることから定性的にも頷ける（震源が浅いと表面波が励起され易く、同じ M_0 でも $M_j > M_w$ ）。
- ② 図-2 のように、Love 波励起関数 I_L (Kudo, 1989) の振幅レベルは震源深さに敏感であるが、観測 PSV を見ると、東北・北海道沖の 20 地震（以下、解析 1）では H への依存性が明瞭でなく、浅い地震と深い地震を含む東北日本 20 地震（以下、解析 2）での周期 10s（表-2）の「モデル 7」（AIC 最小のモデル）でも $e = -0.0015$ （H が 100km 深くなると振幅が約 3 割減）程度である。関連して「解析 2」で基準式と観測値を重ね書きすると、「モデル 7」でもごく浅い地震では基準式が観測値の平均レベルを下回る（危険側）ので注意が要る。
- ③ 各地域別の基準式は、（伝播経路の平均的な差により）地域別に少し変わる（図-3）。
- ④ 媒質の非弾性減衰（係数 b）、幾何減衰（係数 d）の間にはトレードオフの関係があるが、「解析 2」で $d = -0.5$ （モデル 2）だと $b = -0.001$ 程度、「解析 1」で $d = -1.0$ （モデル 3）だと $b = -0.0006$ 程度である。
- ⑤ K-苫小牧、KiK-新篠津、KiK-聖籠などは複数の地震に対しても特に揺れやすい。詳しく見ると、例えば東北・北海道沖の地震群に対する K-苫小牧の地震別揺れやすさは（図-4）、2003 年十勝沖本震（表-1 の No.9）と同じ約 7～8 秒に同程度のピークを与える地震は経路を絞っても少ない（同表の No.15 のみ）。

今後、対象地域を全国に広げ、他機関の強震観測網の記録も使ってより詳細な解析を行ってゆく。

謝辞 本解析にあたり K-net, KiK-net の記録 (NIED) を、図-1 の作成に当たり、鎌田先生のソフト (KenMap) と国土地理院の地図を使用させて頂いた。多数の記録を処理する際に Boore 先生のサブルーチン (knet2smc. for) を参考にさせて頂き、表-1 の No. 23～32 の地震の震源要素は気象庁の sftp からの情報を使わせて頂いた。

キーワード 長周期地震動 強震観測網 距離減衰式 擬似速度応答スペクトル 基準式 揺れやすさ

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 茨城大学都市システム工学科 TEL 0294-38-5167

表-1 解析に使用した地震記録

No.	震央地名	発生日月	緯度dd.mm	経度ddd.mm	M _j	M _s (F-net)	深さ(km)	地震タイプ	記録数		解析1	解析2	
									K-net	KIK-net			
1	根室半島南東沖	2001/4/27	43.02	145.53	5.9	6.0	80.00	Intra	126	178	1	1	
2	青森県東方沖	2001/8/14	40.60	142.26	6.4	6.4	37.69	Inter	196	215	1	1	
3	岩手県内陸	2001/12/2	39.24	141.16	6.4	6.5	121.50	Intra	214	234	1	1	
4	根室半島南東沖	2002/8/25	43.05	146.07	6.0	6.1	44.44	Inter	57	99	1	1	
5	青森県東方沖	2002/10/14	41.09	142.17	6.1	6.0	52.71	Inter	155	178	1	1	
6	宮城県沖	2002/11/3	38.54	142.08	6.3	6.4	45.81	Inter	157	185	1	1	
7	宮城県沖	2003/5/26	38.49	141.39	7.1	7.0	72.03	Intra	316	313	1	1	
8	宮城県北部	2003/7/26	38.24	141.10	6.4	6.1	11.87	Crustal	172	180	1	1	
9	十勝沖	2003/9/26	41.47	144.05	8.0	7.9	45.07	Inter	268	214	1	1	
10	十勝沖	2003/9/26	41.43	143.41	7.1	7.3	21.41	Inter	246	217	1	1	
11	釧路沖	2003/9/29	42.22	144.33	6.5	6.4	42.50	Inter	119	168	1	1	
12	釧路沖	2003/10/8	42.34	144.40	6.4	6.6	51.43	Inter	81	143	1	1	
13	福島県沖	2003/10/31	37.50	142.42	6.8	6.7	33.35	Inter	128	225	1	1	
14	釧路沖	2004/11/11	42.05	144.29	6.3	6.1	38.64	Inter	91	126	1	1	
15	釧路沖	2004/11/29	42.57	145.17	7.1	7.0	48.17	Inter	195	199	1	1	
16	釧路沖	2004/12/6	42.51	145.21	6.9	6.7	45.84	Inter	192	195	1	1	
17	釧路沖	2005/1/18	42.53	145.00	6.4	6.2	49.76	Inter	139	179	1	1	
18	宮城県沖	2005/8/16	38.09	142.17	7.2	7.1	42.04	Inter	321	303	1	1	
19	宮城県沖	2005/8/24	38.27	143.05	6.3	5.9	14.00	Inter	76	129	1	1	
20	宮城県沖	2005/8/31	38.25	143.29	6.3	6.0	22.00	Inter	58	112	1	1	
21	宮城県沖	2005/12/2	38.04	142.21	6.6	6.5	40.28	Inter	165	198	1	1	
22	宮城県沖	2005/12/17	38.27	142.11	6.1	6.0	39.91	Inter	171	161	1	1	
23	十勝沖	2007/2/17	41.44	143.43	6.2	6.0	40.06	Inter	139	141	1	1	
24	福島県沖	2007/11/26	37.18	141.45	6.0	5.9	44.13	Inter	142	177	1	1	
25	岩手県内陸	2008/6/14	39.02	140.53	7.2	6.9	7.77	Crustal	280	256	1	1	
26	福島県沖	2008/7/19	37.31	142.16	6.9	6.9	31.55	Inter	183	268	1	1	
27	福島県沖	2008/7/21	37.08	142.20	6.1	5.8	27.38	Inter	149	204	1	1	
28	岩手県北部	2008/7/24	39.44	141.38	6.8	6.8	108.08	Intra	361	294	1	1	
29	十勝沖	2008/9/11	41.47	144.09	7.1	6.8	30.86	Inter	212	189	1	1	
30	宮城県沖*	2008/12/4	38.32	143.13	6.1	5.8	24.07	Inter	76	112	1	1	
31	福島県沖*	2008/12/20	36.32	142.42	6.6	6.4	0.00	Inter	80	170	1	1	
32	福島県沖*	2008/12/21	36.36	142.28	6.2	5.9	0.00	Intra	58	119	1	1	
* 気象庁による暫定解(2009/3/29現在)									合計	5383	6055	20	20

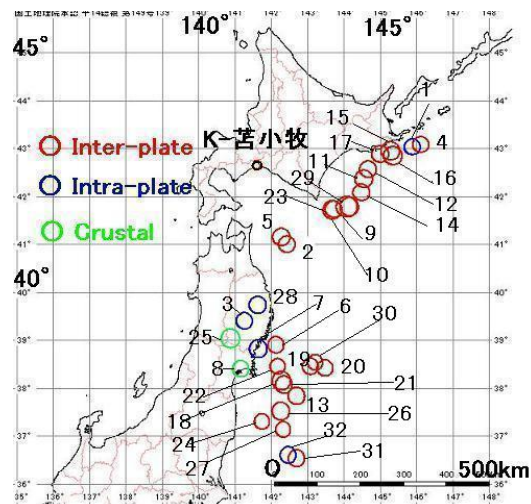


図-1 解析に使用した地震の震央

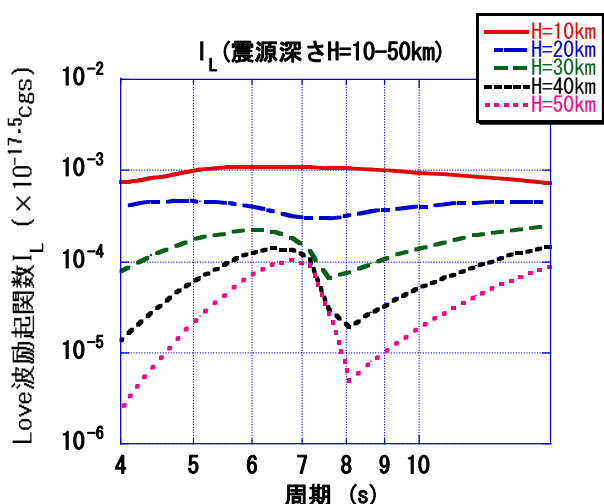


図-2 東北太平洋側の平均的 S 波構造（菊地ら, 2001）に対する震源深さ別 Love 波励起関数 I_L (L_0 と L_1 の自乗和平方根; Kudo, 1989)

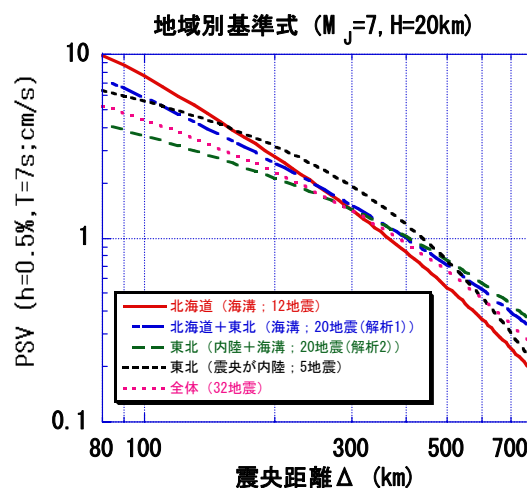


図-3 地域別距離減衰曲線（回帰モデル7；周期7s）

表-2 東北日本の地震（解析2）に対する各モデルの各回帰係数 ($M=M_j$, $T=10s$)

	規模: M_j	非弾性減衰	定数項	幾何減衰	震源深さ	飽和距離項の係数	AIC	残差分散
	a	b	c	d	e	p	q	
モデル1	1.1508	-	-5.1859	-1.1791	-	-	-267.83	0.07532
モデル2	1.1698	-0.000959	-6.6842	-0.5	-	-	-524.32	0.07068
モデル3	1.1649	-0.00036	-5.6024	-1	-	-	-364.93	0.07353
モデル4	1.1826	-0.001146	-6.8859	-0.42276	-	-	-472.32	0.07156
モデル5	1.1762	-0.001187	-7.0355	-0.34386	-	-	-536.21	0.07044
モデル6	1.192	-0.001146	-6.9094	-0.42285	-0.00096	-	-471.17	0.07057
モデル7	1.1907	-0.001186	-7.0703	-0.34481	-0.00149	-	-536.32	0.06851
モデル8	1.2041	-0.001096	-6.8369	-0.48653	-0.00097	0.006	0.5	0.07064
モデル9	1.2011	-0.001121	-6.9742	-0.41617	-0.00151	0.006	0.5	0.06853

固定値
AIC最小

参考文献

- [1] Kudo, K(1989), Proc. 4th Intern. Symp. Analysis of Seismicity and Seismic Risk.
- [2] 座間(2000), 消防研究所報告, 第89号.
- [3] 工藤ほか (2008), 日本建築学会学術講演梗概集 (CD版).

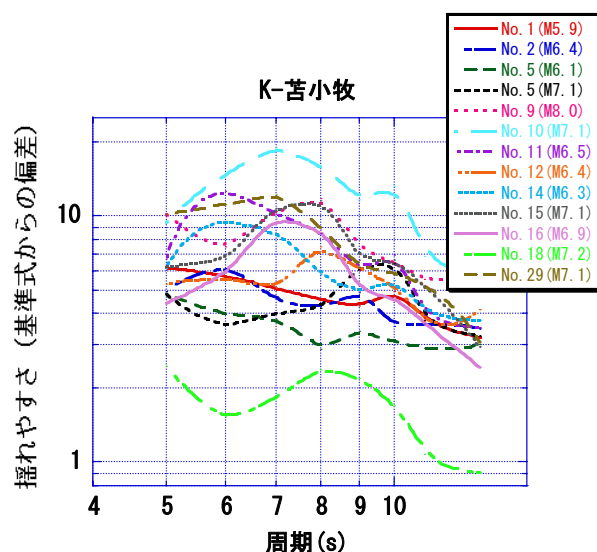


図-4 K-苫小牧の地震別「揺れやすさ」（東北・北海道沖地震（解析1）における基準式からの偏差）