

巨大地震の P 波初動部の振幅成長の特徴

鉄道総合技術研究所

野田俊太, 山本俊六, 岩田直泰, 是永将宏

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震 ($M_w9.0$) では、気象庁の緊急地震速報は第 1 報の発表から 25 秒後の第 10 報において $M7.7$ 、同 60 秒後の第 12 報において $M7.9$ 、同 80 秒後の第 13 報において $M8.0$ と発表した。このシステムは、震源の位置を即座に決定した後、振幅の値から逐次的に M を推定するため、振幅の最大値出現時刻に最終的な M が決定されることになり、原理的に今回のような巨大地震の最終的な M の推定には時間が必要であったと考えられる。

上記は最大振幅の値のみから M を推定する方法を扱ったケースであるが、一方で Wu and Kanamori(2005) は、P 波初動部分の卓越周波数から M を推定する方法 (τ_c 法) を提案している。また、Umeda(1990)や Iio et al.(1999)は P 波の初期フェーズの継続時間が M に依存することを示し、Iio(2009)は大きなアスペリティを破壊するためには、そこから離れた強度の弱い部分から徐々に破壊が進行する必要があることを指摘している。このように P 波初動の性状と M の関係については未解明な部分が多く、規模の大きな地震かどうかをこれまで以上に早期に判断するためには、最大振幅以外の情報の利用を含めた検討が必要と考えられる。

そこで本研究では、近年蓄積された巨大地震の近地での地震波形記録を基に、P 波初動部分の振幅成長の M 依存性について調べた。

2. データと解析方法

解析に用いた波形は K-NET および KiK-net (地表) の記録で、次の条件を満たすデータを抽出した。太平洋プレートの沈み込み帯で発生したイベントであること、F-net による CMT 解が逆断層型であること、各イベントの震源距離がそれぞれ $150\text{km}\pm 10\%$ 、 $200\text{km}\pm 10\%$ となる各グループについて最低 8 観測点以上の記録で P 波到達時刻の手動読み取りが可能であることである。用いたイベントの分布図とリストをそれぞれ図 1 および表 1 に示す。

各グループのデータについて、上下動成分の絶対値を P 波の手動読み取り時刻で揃えてスタッキングし、それぞれのデータ数で除した。また、数種類のバンドパスフィルターをかけた場合の解析も行なった。

3. 結果

得られた結果を図 2 および図 3 に示す。M6 前後から 7 程度までのイベントについては、P 波到達から少なくとも 2~3 秒間は振幅成長の様子に明瞭な違いは認められない。しかしながら、M8 (2003 年十勝沖地震) および M9 (2011 年東北地方太平洋沖地震) のイベントについては、M6 前後から 7 程度までのそれと比較して P 波到達から 5~6 秒の間、振幅成長が相対的に緩やかな傾向が見られる。また、高周波側からおよそ 1Hz 程度までの帯域では同様の傾向が認められるものの、それより低周波になると違いがほぼ認められなくなる。これらの傾向は、震源距離が $150\pm 10\%$ 、 $200\text{km}\pm 10\%$ の両グループの結果で共通して確認できる。

4. 議論

P 波初動部分の振幅は、破壊の放射特性の違いによる影響を受けている可能性がある。そこで、P 波の放射特性の係数 R_p を計算したところ、M8 および M9 の場合の R_p が、他と比較して有意に小さくなるという傾向は見られなかった。従って、高周波数の帯域における M8 および M9 のイベントの振幅成長の特徴が、放射特性の違いによる影響を受けたものではないと考えられる。

現時点で M8 クラス以上の記録に限られているため、本研究により確認された現象がある地震固有のものか、あるいは M8 クラス以上で一般的に認められるかは判断できない。ただし、これまでの M7 程度以下の地震ではほぼ認められない現象であるため、P 波到達後 5~6 秒までの振幅成長の性状から上記の特徴を持つ M8 以上の大規模地震の発生を判断できる可能性がある。

図 4 は、Iio(2009)により示された断層の強度分布モデルに加筆・修正したものである。断層の強度がフラクタル状に分布しているとすれば、M8~9 クラスの初期破壊における応力降下量が小さく、高周波側で特に振幅成長が緩やかになるということが定性的には説明できる。

このような P 波の振幅成長を利用する際、単独観測点のデータのみからは精度の高い推定は困難である可能性が高く、ロバストな推定のためには、複数観測点のデータから平均的な振幅成長の状況を抽出することが必要と考えられる。

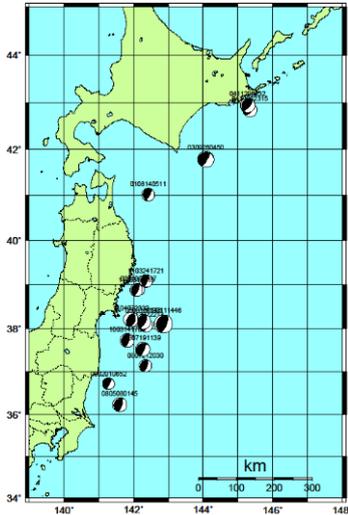
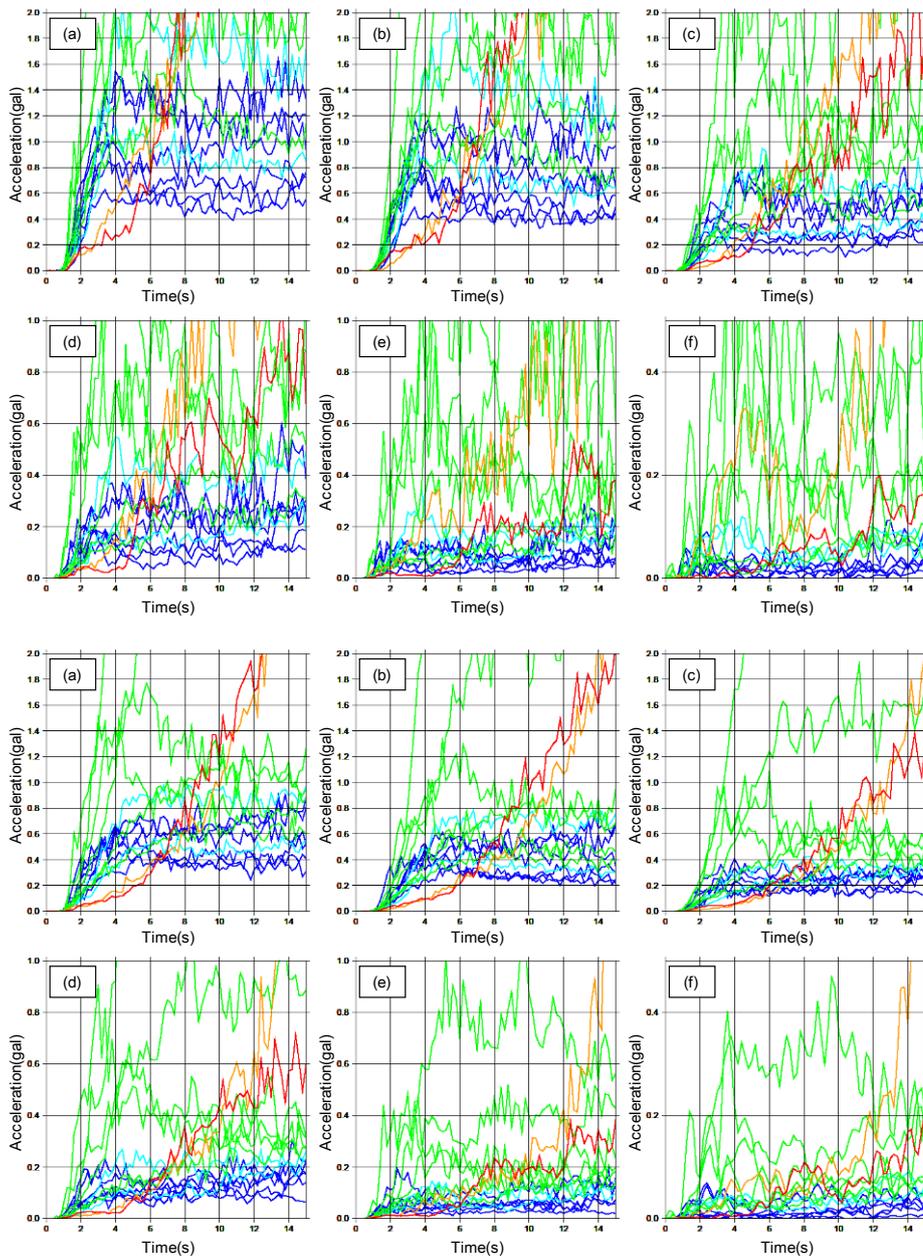


図 1. 用いたイベントの分布図

表 1. 用いたイベントのリスト

地震発生日時	経度(度)	緯度(度)	深さ(km)	M	走向(度)	傾斜(度)	すべり角(度)	P波手動読み取りデータ数	
								震源距離	震源距離
								150km±10%	200km±10%
2001/08/14 05:11	142.42	41.01	43	6.2	174	22	55	15	21
2002/11/03 12:37	142.14	38.89	46	6.1	184	15	74	11	9
2003/09/26 04:50	144.08	41.78	42	8.0	249	15	127	9	22
2004/11/29 03:32	145.28	42.94	48	7.1	211	24	81	11	11
2004/12/06 23:15	145.35	42.85	46	6.9	222	26	90	13	12
2005/08/16 11:46	142.28	38.15	42	7.2	194	22	76	15	29
2005/12/02 22:13	142.35	38.07	40	6.6	205	19	93	19	20
2008/05/08 01:45	141.61	36.23	51	7.0	216	24	107	25	40
2008/07/19 11:39	142.26	37.52	32	6.9	234	20	119	16	20
2008/07/21 20:30	142.34	37.14	27	6.1	208	23	97	10	22
2009/02/01 06:52	141.28	36.72	47	5.8	232	15	116	21	11
2010/03/14 17:08	141.82	37.72	40	6.7	199	21	89	21	31
2011/03/11 14:46	142.86	38.10	24	9.0	200	27	88	8	20
2011/03/24 17:21	142.36	39.08	34	6.1	166	22	52	13	20
2011/03/31 16:15	142.08	38.87	47	6.0	182	21	68	16	12
2011/04/07 23:32	141.92	38.20	66	7.1	211	50	97	16	36



- M5.8-6.2
- M6.3-6.7
- M6.8-7.2
- M8.0
- M9.0

図 2. 震源距離 150km±10%の結果 (P波の到達時刻を0.5秒で揃えている)

- (a): フィルター無し,
- (b): 8-16Hz, (c): 2-4Hz,
- (d): 1-2Hz, (e): 0.5-1Hz,
- (f): 0.25-0.5Hz

結果の特徴をより明瞭にするため、0.2秒のムービングウィンドウ処理を行なっている。

- M5.8-6.2
- M6.3-6.7
- M6.8-7.2
- M8.0
- M9.0

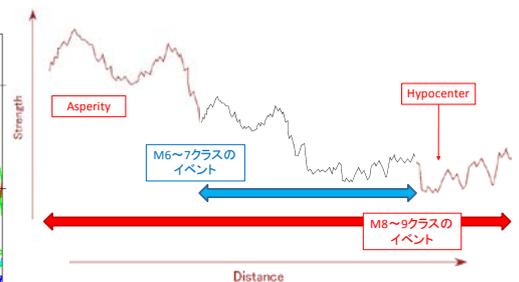


図 4. 断層の強度分布モデル [Iio (2009) に加筆・修正]

図 3. 震源距離 200km±10%の結果 (P波の到達時刻を0.5秒で揃えている)
 (a): フィルター無し, (b): 8-16Hz, (c): 2-4Hz, (d): 1-2Hz, (e): 0.5-1Hz,
 (f): 0.25-0.5Hz

結果の特徴をより明瞭にするため、0.2秒のムービングウィンドウ処理を行なっている。