

2011年東北地方太平洋沖地震における地震動記録の特性分析

学籍番号 片山 範孝
指導教員：山崎 文雄

1. はじめに

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震(以下、本地震)は日本観測史上最大のマグニチュード(M_w)9.0を記録し、全国の広範囲で継続時間の長い強い揺れが観測された。本地震の被害の特徴として、建物の倒壊被害は比較的少なかったが、液状化被害は多数報告されたことがあげられる。これは、地震動による被害は最大加速度(速度)だけでなく、継続時間の長さも影響していることを示唆している。本研究では、継続時間の観点から本地震の特性を把握し、地震防災対策の一助とすることを目的とする。

2. 過去の地震との比較

本研究では式(1)で定義されるエリアス強度(I_a)の90%に相当する区間である継続時間 t_{90} を用いる。

$$I_a = \frac{\pi}{2g} \int_0^{\infty} [a(t)]^2 dt \quad \dots(1)$$

ただし、(1)式の a は加速度である。また、継続時間 t_{90} は水平2成分の平均と水平2成分の2乗の平均のどちらもほとんど違いは見られないため、本研究では、水平2成分の平均を用いる。図1に、本地震とその余震、および近年日本で観測された主な11地震の継続時間 t_{90} と M_w の関係を示す。また、比較のため Dobry et al.¹⁾の(2)式を示す。

$$\log t_{90} = 0.432M_w - 1.83 \quad \dots(2)$$

一般的に、 M_w が大きくなると継続時間 t_{90} は長くなる傾向がある。図1より、本地震の長い継続時間は M_w との相関より、上手く説明できることがわかる。

3. Directivityの影響に関する考察

まず、図2に各K-NET観測点と断層との最短距離および継続時間の関係を示した。また図2中の線分は、Kempton & Stewart²⁾である。

$$t_{90} = \frac{(\exp(2.79+0.82(M_w-6)))^{-1/3}}{15.68 \cdot 10^6} + 0.15r + 3.00 + 0.0041AVS_{30} \quad \dots(3)$$

ただし、(3)式の r は断層最短距離、 AVS_{30} は地表30mの平均S波速度である。

また、本地震のデータに基づき r で回帰を行い、図2に示した。図2によれば、断層からの距離が長くなるほど、継続時間 t_{90} が長くなっていることが読み取れる。そのため、断層からの距離が近い東北や関東よりも、距離が遠い東海や北海道の方の継続時間 t_{90} が長くなっている。この傾向は(3)式とも良く合っており、また、回帰式とも大きな差は見られないため、既往の研究によりうまく説明できていると言える。ただ、断層最短距離が同じでも、北と南では

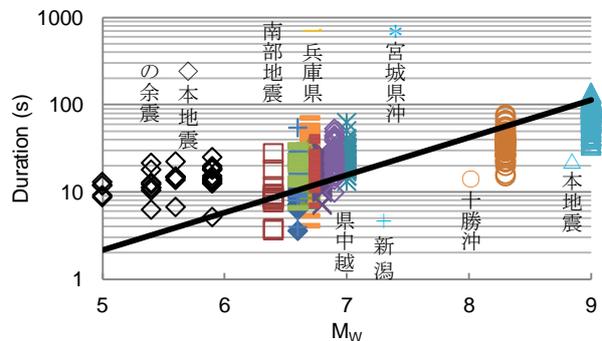


図1 継続時間 t_{90} と M_w の関係

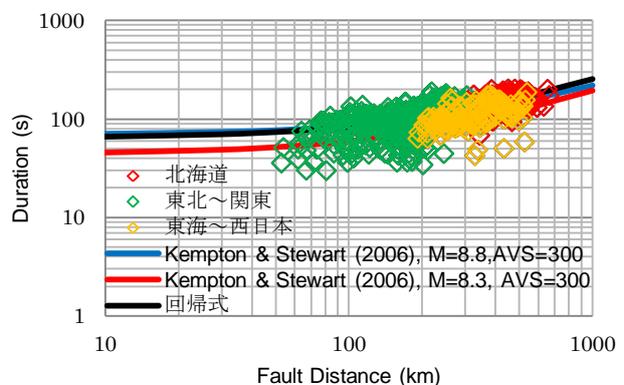


図2 断層最短距離と継続時間の関係

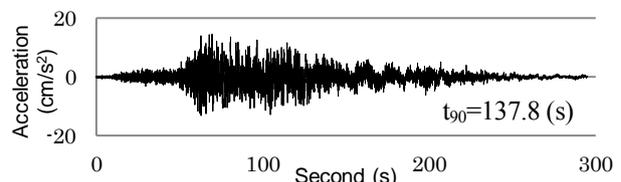


図3 K-NET えりも岬(北海道)の波形(EW成分)

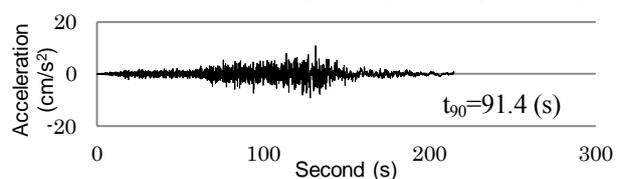


図4 K-NET 佐久間(静岡)の波形(EW成分)

北側の継続時間 t_{90} が長いことが読み取れる。例えば、図3と図4の波形は断層最短距離が同じ2地点であるが、継続時間 t_{90} に大きな差が見られる。これは、震源から地震波が発せられた後、断層の破壊が①宮城県沖から②福島、茨城県沖に向かって生じたことにより、南側の断層の破壊による揺れが遅れて北側に伝わった(Directivityの影響のためと考えられる。しかし、実際に、南北の観測点で比較を行うと、南側の最大加速度は北側と比較して、かなり小さい値を示していることがわかった(図3、図4)。これは、本地震の断層が、①で M_w 8.8、②で M_w 8.3を示して

いるため、断層よりも南側は北側に比べ、伝わったエネルギー自体が小さい³⁾。そのため、継続時間 t_{90} 自体も短くなったと考えられる。また、断層の南北に地域を分け、回帰分析を行ったが有意な差は得られなかった。よって、南北で継続時間 t_{90} に差が出たのは、Directivity の影響というよりも、むしろ、各断層から発せられたエネルギーの大小によるところが大きいのではないかと考えられる。

4. 地盤の影響に関する考察

一般的に地盤条件は継続時間の長短には、あまり関係がないと言われている。これは、地下何キロという地中で発せられた波が、たかだか数十メートルの地盤の状態に大きく影響されないというのが理由であるが、これについて本地震でも検討を行った。図 6 に式 (4) で定義される継続時間 t_{90} の残差と AVS_{20} の関係を示す。

$$\varepsilon_{t_{90}} = \ln t_{90} - (c_0 + c_1 \ln R) \quad \dots(4)$$

ここに、 c_0 , c_1 は両対数軸上で継続時間 t_{90} を断層最短距離で直線近似したパラメータである。図 6 より残差に対する AVS_{20} の影響はほとんど無いことから、本地震においても地盤条件と継続時間 t_{90} の関係はほとんど無いことが示された。

5. 継続時間と計測震度の関係

計測震度は、3 成分の波形をフィルター処理し、ベクトル的に合成した後、その波形の絶対値がある値 a 以上となる時間の合計が 0.3 秒となるような a を求め、その a の対数をとることにより求められる。そのため、継続時間が長くなると、最大加速度(速度)が同じでも、 a の値が大きくなるため計測震度が大きく出ることが考えられる。本地震では、そのために計測震度が大きく出た可能性があり、結果として震度の割には建物被害が少なかったのではないかと考えられる。

そこで、地震波形を単純に 2 個、3 個と連結する、すなわち最大加速度を変化させずに継続時間が長くなると計測震度にどのような影響が出るのか検証する。その結果の一部を、表 1 に示す。表 1 によると、継続時間が長くなることによって、計測震度が大きくなっていることが読み取れる。よって、最大加速度(速度)に変化が無くても、継続時間が長くなることにより、計測震度が大きくなると言える。今後は、地震波の一部を切り取り、それを連結することにより、どのような変化が見られるのかを検証していく必要があると考えられる。

6. まとめ

本研究では、継続時間の観点から本地震の特性を分析した。過去の地震に比べ M_W が大きかったため、継続時間は長かった。また、南北の継続時間の差は、

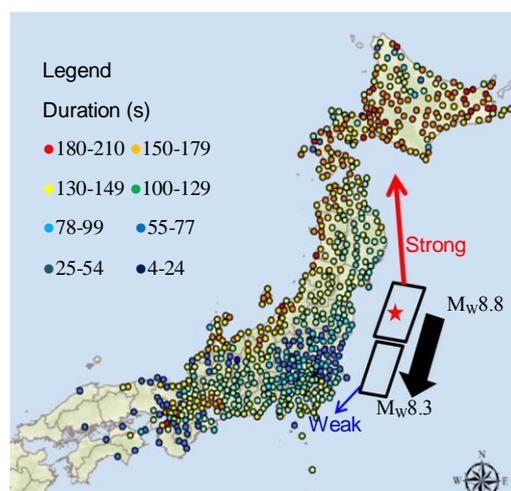


図 5 本地震の断層と観測点の位置関係

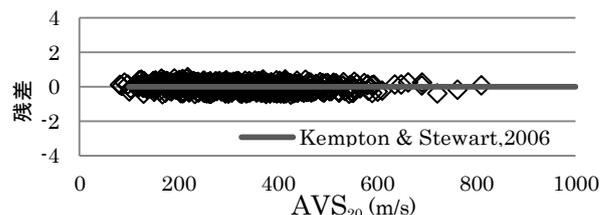


図 6 継続時間 t_{90} の残差と AVS_{20} の関係

表 1 継続時間と計測震度の関係

観測点	継続時間 t_{90} (秒)	計測震度		
		波 1 個	波 2 個	波 3 個
JMA 神戸 (95 年兵庫県南部)	6.7	6.4	6.5	6.6
K-NET 東予 (01 年芸予)	7.0	5.5	5.8	5.9
K-NET 鳥取 (00 年鳥取西部)	26.2	3.9	3.9	4.0
K-NET 築館 (本地震)	82.9	6.6	6.8	6.9

Directivity の影響ではなく、各断層から発せられたエネルギーの大小によるところが大きいとみられる。また、継続時間には地盤の影響はほとんどなかった。また、継続時間が長くなると計測震度が大きくなることが示された。よって、本地震は仮に過去の地震と同じ最大加速度(速度)だったとしても、計測震度が大きく出た可能性がある。

謝辞 防災科学技術研究所、気象庁による強震記録を使用させていただいた。

参考文献

- 1) Dobry, R., Idriss, I. M, and Ng, E(1978) : Duration Characteristics of Horizontal Components of Strong Earthquake Records, Bulletin of Seismological Society of America, Vol. 68, No. 5, pp. 1487-1520.
- 2) Kempton J.J. and Stewart, J.P., 2006 “Prediction Equation for Significant Duration of Earthquake Ground Motions Considering Site and Near-Source Effects”, Earthquake Spectra, Vol.,22, No.4, pp.985-1013
- 3) 東京大学地震研究所ホームページ
http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103_tohoku/