

2011 年東北地方太平洋沖地震における地震動の継続時間に関する考察

東京大学大学院工学系研究科 学生会員 ○片山範孝
 千葉大学大学院工学研究科 正会員 山崎文雄
 千葉大学大学院工学研究科 正会員 岸田忠大

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、建物の震動被害は比較的少なかったが、液状化被害が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や最大速度だけでなく、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、今後の地震防災対策の一助とすることを目的とする。

2. 定義による本地震の継続時間の比較

継続時間の定義については、加速度のエネルギーの 5% から 95% までの(エネルギーの 90% が集中する)区間を継続時間とする Significant Duration(以下、 D_s)¹⁾ と加速度が最初に 50 ガルに達した時点から、最後に 50 ガルに達した時点までの時間 Bracketed Duration(以下、 D_B)²⁾ 等が提唱されている。そこで、この 2 つの定義を本地震にあてはめて比較を行う。まず、図 1 の波形に D_s をあてはめた場合は 84.9 秒、 D_B の場合は 150.9 秒となっている。波形を見てみると、 D_s の方が、 D_B に比べ、継続時間が短くなっており、 D_B の方が、継続時間をよく表現しているように見える。しかし、 D_B の場合は、震源から離れ、地震動の加速度が 50 ガルに達しない地点では継続時間を表現できなくなるという問題点がある。そこで、本研究では、震源から離れても表現可能な D_s を使って考察を進めていく。なお、水平 2 成分の D_s の平均値も、2 成分の二乗和の D_s の値も大きな差は見られないため、本研究では水平 2 成分の D_s の平均値を用いることにする。

3. 地域間の継続時間の比較

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、Kempton & Stewart³⁾ による(1)式との比較を行った。

$$D_s = \frac{\left(\frac{\exp(2.79+0.82(M_w-6))}{10^{1.5M_w+16.05}} \right)^{-1/3}}{15.68 \times 10^6} + 0.15r + 3.00 + 0.0041AVS_{30} \cdots (1)$$

ただし、 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 で回帰を行った結果も図 2 に示す。これより、断層からの距離が長くなるほど、 D_s 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 D_s が長くなっている。この傾向は(1)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、北と南では北側の D_s 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、 D_s に大きな差が見られる。そのため、実際に、南北の観測点で比較を行うことにした。する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(例えば、図 3、図 4)。これは、①震源から破壊が始まり、その後、②宮城県沖の破壊を生じさせた断層

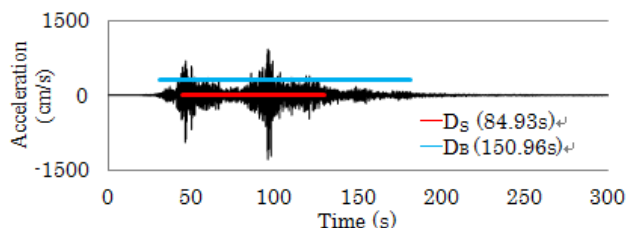


図 1 K-NET 築館(宮城)の加速度波形(EW 成分)

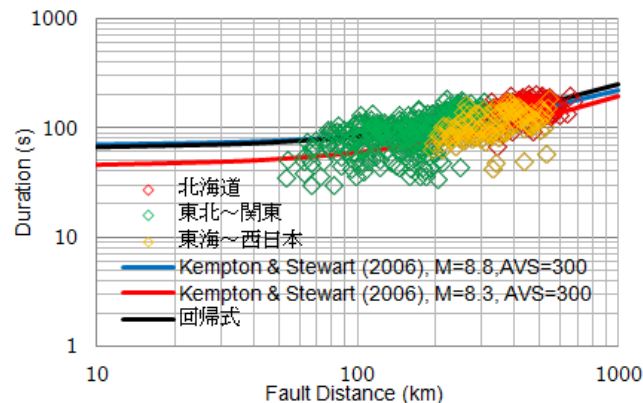


図 2 断層最短距離と継続時間の関係

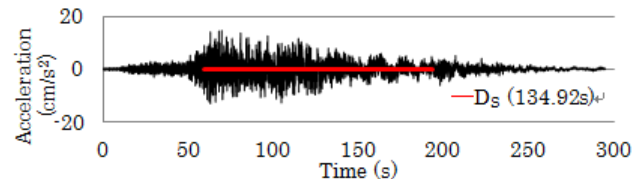


図 3 K-NET えりも岬(北海道)の波形(EW 成分)

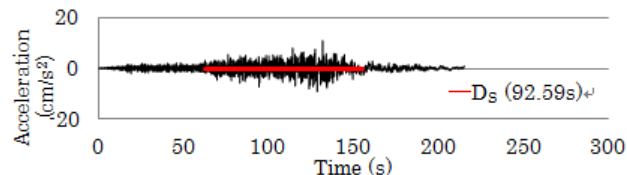


図 4 K-NET 佐久間(静岡)の波形(EW 成分)

の M_w が 8.8 で、③福島、茨城県沖の破壊を生じさせた断層の M_w が 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かったと考えられるからである。また、図 5 に、東北から関東にかけての加速度波形(東西動)と D_s との比較を示す。図によれば茨城県や、千葉県では、①、②からの発せられた地震波が D_s に含まれておらず、この図からもエネルギーの小さい③から生じた地震波しか反映されていないことが読み取れる。

一方、 D_s の南北での差は、①から地震波が発せられた後、断層の破壊が②から③に向かって生じたことにより、③の断層の破壊による揺れが遅れて北側に伝わったため(Directivity の影響)と考えることもできる。そこで、Directivity の影響についての検討も行った。しかし、断層の南北に地域を分け、回帰分析を行っても、特に有意な差は得られなかった。よって、南北で D_s に差が出たのは、Directivity の影響ではなく、各断層か

キーワード 2011 年東北地方太平洋沖地震、継続時間、計測震度

連絡先 東京都文京区本郷 7-3-1 〒113-0033 Tel: 03-5841-2603 Fax: 03-5841-2603

ら発せられたエネルギーの大小に起因するものであると考えられる。

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(Ds)の長短には、あまり関係がないと言われている。これは、地下何十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(2)で定義されるDsの残差とAVS20の関係を示す。

$$\epsilon_{t90} = \ln t_{90} - (c_0 + c_1 \ln R) \quad \cdots (2)$$

ただし、c0, c1は両対数軸上でDs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AVS20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Ds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倒壊被害が少なかったものではないかとも考えられる。

そこで、地震波形を単純に2個、3個と連結し、最大加速度(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。表1にその結果の一部を示す。表より、継続時間が長くなると、計測震度が大きくな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と、計測震度が大きくなると言える。ただし、計測震度は無限に大きくなるわけではなく、震度増加は飽和する。これは、aの値がその地震動の最大加速度以上は大きくならないことから説明できる。また、震度の増え方は地震波形により違いがある(例えば、図7、図8)ため、それについては、今後検証していく必要がある。

6. まとめ

本研究では、継続時間の観点から本地震の特性分析を行った。DsとDBを比較すると、DBの方が、震源から近い地点ではよく継続時間を表しているが、震源から距離が離れると継続時間を表せなくなるという問題点があった。そのため、本研究では、震源から離れた地点でも継続時間を表現できるDsを用いて考察を行った。断層からの距離が長くなると継続時間(Ds)が長くなっており、これは既往の研究とも良く合っている。南北でDsに差が出たのは、各断層から発せられたエネルギーの大小に起因すると考えられる。また、最大加速度(速度)に変化が無くても、継続時間が長くなると、計測震度が大きくなることがわかった。

謝辞 防災科学技術研究所、気象庁の強震記録を使用させていただいた。参考文献

1) Trifunac, M.D. and Brady, A.G.(1975) "A study of the duration of strong earthquake ground motion," Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 61, No. 3, pp. 917-927.
2) Bolt, B.A. (1969) "Duration of strong motion," Proceedings of the 4th world conference on earthquake engineering, Santiago Chile, pp. 1304-1315.
3) Kempton, J.J. and Stewart, J.P.(2006) "Prediction equations for significant duration of earthquake ground motions considering site and near-source effects", Earthquake Spectra, vol. 22, No.4, pp.985-1593.
4) 東京大学地震研究所 HP「地震動分布から直接見る震源断層の破壊過程 (野口・古村, 2011)」
http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103_tohoku/#gmsource/, 2011
5) 筑波大学、境有紀 HP「被害調査速報 (強震観測点周りの状況) - 2011年東北地方太平洋沖地震」 <http://www.kz.tsukuba.ac.jp/~sakai/113d.htm>

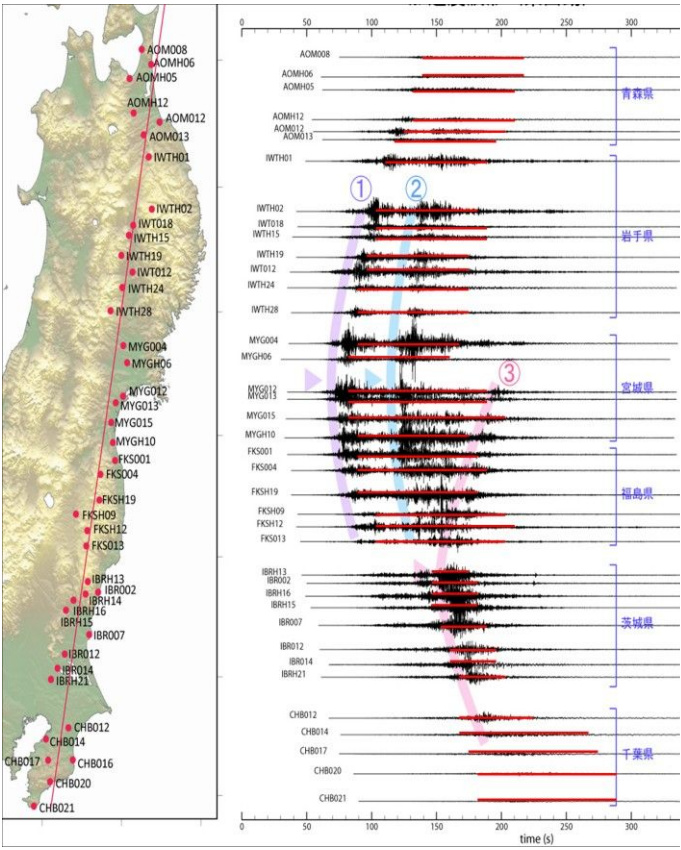


図5 東北から関東地方にかけての加速度波形(EW成分)とDs (地震波形と破壊過程(野口・古村)⁴⁾に加筆)

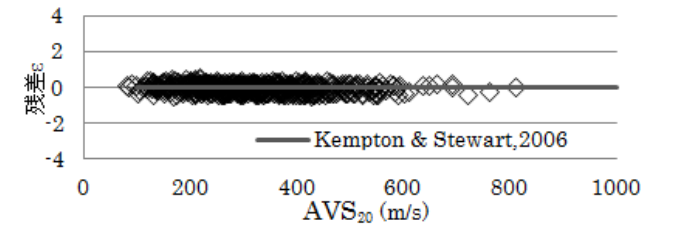


図6 継続時間 Ds の残差と AVS20 の関係

表1 継続時間と計測震度の関係

観測点	Ds (s)	計測震度		
		波1個	波2個	波3個
JMA 神戸	6.70	6.4	6.5	6.6
K-NET 東予	6.96	5.5	5.8	5.9
K-NET 鳥取	26.20	3.9	3.9	4.0
K-NET 築館	82.90	6.6	6.8	6.9

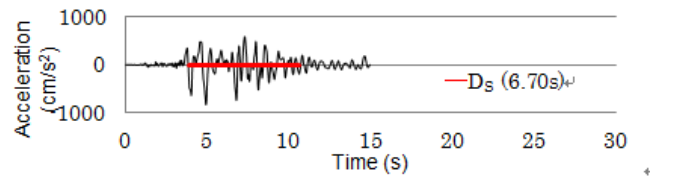


図7 JMA 神戸(95年兵庫県南部地震)の加速度波形(EW成分)

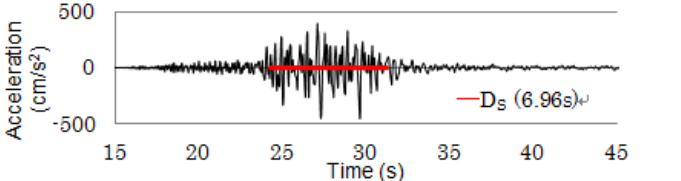


図8 K-NET 東予(01年芸予地震)の加速度波形(EW成分)