

東北工業大学 正員 ○神山 眞
々 正員 松川忠司

1 はじめに

最大加速度などの地震動パラメータのアテニュエーション式(距離減衰式)については多くの研究者により種々の式が提案されてきた。これらの式の多くは主要な説明変数として地震マグニチュードと距離パラメータを用いている。このうち、距離パラメータに関しては日本の研究者の多くが震源距離、震央距離などの点震源を想定した距離を用いている。これに対して、米国等の諸外国では地震断層からの距離が採用される例が多い。この違いは、日本では点震源と仮定できる比較的遠方による海洋性の地震によるデータが多いこと、小地震の断層パラメータが知られていないためなどの理由に由来すると考えられる。震源距離などの距離パラメータは容易に知られることから、これを説明変数とする式は実務での利便性に優れている一方、最近の1995年兵庫県南部地震のような直下型地震での震源近傍のアテニュエーション特性を必ずしも良好に説明できないという限界がある。従って、このような簡単な距離パラメータを用いたアテニュエーション式を震源近傍の観測点に適用するためには、何らかの工夫が必要と考えられる。本文は、震源距離(r)、震央距離(Δ)などの距離パラメータを用いたアテニュエーション式が観測点と地震断層との最短距離(R)の距離パラメータのアテニュエーション式に簡単に変換できることを Kamiyama et al.¹⁾ のアテニュエーションモデルを例にとり述べたものである。

2 距離パラメータの変換の考え方

Kamiyama et al.¹⁾ は一般に多用される簡単な距離パラメータの震源距離を用いて、これに地震断層理論の知見を結びつけ、最大加速度、最大速度、最大変位に関する半経験的アテニュエーションモデルを提案している。このモデルは震源距離方向に円形の地震断層面(中心が震源)が存在し、かつこの断層面上で最大地動は一定値を示すものと仮定している。Kamiyama et al.¹⁾ はこのモデルを日本で得られた357個の水平成分の強震記録(82地震、33観測点)に適用して次のようなアテニュエーション式を求めている。

$$\begin{aligned}
 a_{\max}(i, M, r) &= 518.9 \times AMP_i(a) & a_{\max}(i, M, r) &= 547.6 \times 10^{0.358M} \times r^{-1.64} \times AMP_i(a) \\
 \text{for } (r \leq 10^{0.014+0.218M}) & (1) & \text{for } (r > 10^{0.014+0.218M}) & (2) \\
 v_{\max}(i, M, r) &= 2.879 \times 10^{0.153M} \times AMP_i(v) & v_{\max}(i, M, r) &= 3.036 \times 10^{0.511M} \times r^{-1.64} \times AMP_i(v) \\
 \text{for } (r \leq 10^{0.014+0.218M}) & (3) & \text{for } (r > 10^{0.014+0.218M}) & (4) \\
 d_{\max}(i, M, r) &= 0.189 \times 10^{0.236M} \times AMP_i(d) & d_{\max}(i, M, r) &= 0.200 \times 10^{0.594M} \times r^{-1.64} \times AMP_i(d) \\
 \text{for } (r \leq 10^{0.014+0.218M}) & (5) & \text{for } (r > 10^{0.014+0.218M}) & (6)
 \end{aligned}$$

ここに、 $a_{\max}$ 、 $v_{\max}$ 、 $d_{\max}$ はそれぞれ最大加速度(gal)、最大速度(cm/sec)、最大変位(cm)、 M =JMAマグニチュード、 r =震源距離(km)、 i =観測点識別番号、 AMP =観測点による増幅率。

式(1)~(6)の妥当性はロプリータ地震などの諸外国での最近の地震動観測データに基づき示されているが、ここではこのモデルの仮定と解析に用いているデータとの関係から式の適用範囲について改めて議論を試みる。図1はこのモデルで仮定している円形断層と観測点との関係を模式的に断面図として示したものである。図1に示すように、このモデルは観測点と震源を結ぶ方向が断層面と一致することを仮定している。この仮定は地震断層が低角のdip angleを有し、かつ観測点が断層から一定程度離れていれば(例えば、図1の点線で示される程度)、成立すると考えられる。逆に、dip angleの大きい地震断層や震源距離の小さい観測点ではこの仮定は成立しないことになる。従って、このモデルはこのような基本仮定にマッチするデータに適用される必要がある。一方、Kamiyama et al.¹⁾ が解析に用いた357個の強震記録は大半が日本近辺の海洋型地震による震源距離の比較的大きい条件によるものである。ところが、日本近辺の海洋型地震は低角逆断層の特性をもつものが多いことが知られている。この知見を考慮すれば、Kamiyama et al.¹⁾ の用いたデータはその基本仮定を定性的に満足していると考えられる。しかし、以上のような仮定を用いているので、式(1)~(6)の厳密な意味での適用は仮定にマッチする観測点データに限られることになる。そこで、任意の観測点条件に適用可能なように観測点と地震断層面との最短距離を導入する。いま、最大地動パラメータは観測点と断層面との成す見込み角には関係なく、観測点と断層面との最短距離のみによってその距離減衰が支配されると仮定する。このような付加的な仮定を設けると、式(1)~(6)の震源距離 r を断層の特性長を考慮して観測点と断層面との最短距離 R で置き換えれば、このように置換された式は任意の観測点のデータに適用できることになる。この場合の震源距離 r は最短距離 R で次のように置換さ

れる。

$$r = R + 10^{0.014 + 0.218M} \quad (7)$$

結局、観測点と断層面との最短距離Rを用いた任意の地震条件に適用可能なアテニュエーション式は次のように与えられる。

$$a_{\max}(i, M, R) = 547.6 \times 10^{0.358M} \times (R + 10^{0.014 + 0.218M}) \times AMP_i(a) \quad (8)$$

$$v_{\max}(i, M, R) = 3.036 \times 10^{0.511M} \times (R + 10^{0.014 + 0.218M}) \times AMP_i(v) \quad (9)$$

$$d_{\max}(i, M, R) = 0.200 \times 10^{0.594M} \times (R + 10^{0.014 + 0.218M}) \times AMP_i(d) \quad (10)$$

3 観測点と断層面との最短距離を用いたアテニュエーション式の適用

図2～4は式(8)～(10)の最短距離による最大加速度、最大速度、最大変位のアテニュエーションを代表的な地震マグニチュードについてプロットしたものである。これらは $AMP_i(a, v, d)=1$ として基盤の値として示している。このような最短距離によるアテニュエーションとして最大加速度についてはFukushima and Tanaka²⁾と安中ら³⁾の研究がある。彼らのアテニュエーション式はいずれも複雑な2段階回帰分析で導かれているが、これらの結果と本研究による式(8)の $AMP_i(a)=1$ によるアテニュエーションの比較を地震マグニチュードM=7の場合について示したのが図5である。本研究、安中らの値は基盤での最大加速度、Fukushima and Tanakaの値は平均地盤の最大加速度としてプロットしてあるが、この違いを考慮すると三者はほぼ同様な結果を与えていることがわかる。一方、図6～8は本研究の妥当性を実地震のデータとの比較から示したものである。ここでは、震源近傍のデータを多く与えた1994年ノースリッジ地震での実測結果との比較を示している。なお、本研究のアテニュエーション式による最大地動算定では $AMP_i(a, v, d)=1$ とした基盤(rock)の値とKamiyama et al.による観測点地盤による平均的な増幅率を考慮した地盤(Soil)での値の両方が示されている。図6～8によれば、本研究の算定は比較的良好に実測データを説明することがわかる。(参考文献) 1) Kamiyama et al.: 土木学会論文集No.483, p. 29～39 (1994) 2) Fukushima and Tanaka: BSSA, Vol.80, p.757～783 (1990) 3) 安中ほか: 15回地震工学研究発表会講演概要, p.129～132 (1987)

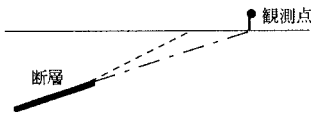


図1 断層と観測点の模式図

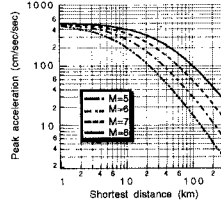


図2 最大加速度の距離減衰

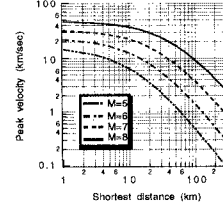


図3 最大速度の距離減衰

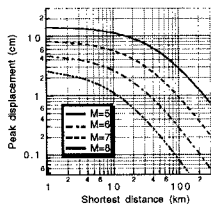


図4 最大変位の距離減衰

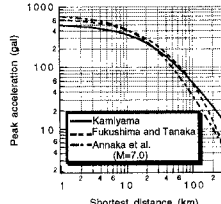


図5 最大加速度の距離減衰の比較

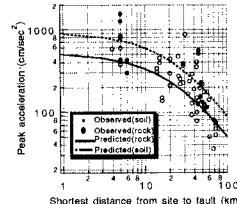


図6 ノースリッジ地震の実測結果との比較 (最大加速度)

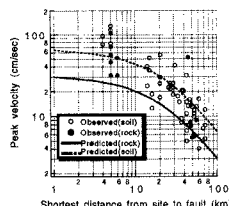


図7 ノースリッジ地震の実測結果との比較 (最大速度)

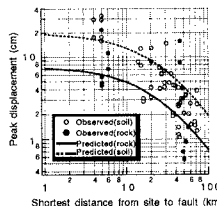


図8 ノースリッジ地震の実測結果との比較 (最大変位)