

1. はじめに

統計的グリーン関数法(釜江他, 1991)により強震動評価を行う場合, 対象地点近傍の地下構造の影響(サイト特性)を評価結果に反映させることが重要である. サイト特性としては地震動の振幅への影響と位相への影響の双方が重要であるが, このうち位相への影響を評価するための方法として古和田他(1998)は中小地震記録の群遅延時間を利用する方法を提案している. ここではこの方法を適用して 2001 年 4 月 3 日静岡県中部の地震(M5.1)による清水港の揺れを計算し, 観測波と比較することにより当該手法の適用性を検討してみた.

2. 古和田他(1998)の方法

一般に地震動の振幅は震源特性・伝播経路特性・サイト特性の積で与えられる. これを式で表現すると次式となる.

$$|A_o(f)| = |A_s(f)| |A_p(f)| |A_G(f)| \quad (1)$$

一方, 地震動の群遅延時間は震源特性・伝播経路特性・サイト特性の和で与えられる(澤田他, 1998).

$$t_{grO}(f) = t_{grS}(f) + t_{grP}(f) + t_{grG}(f) \quad (2)$$

式(2)より, 群遅延時間の平均と分散も, 震源特性・伝播経路特性・サイト特性の和で与えられる(澤田他, 1998).

$$\mu_{t_{grO}}(f) = \mu_{t_{grS}}(f) + \mu_{t_{grP}}(f) + \mu_{t_{grG}}(f) \quad (3)$$

$$\sigma_{t_{grO}}^2(f) = \sigma_{t_{grS}}^2(f) + \sigma_{t_{grP}}^2(f) + \sigma_{t_{grG}}^2(f) \quad (4)$$

群遅延時間の平均値 $\mu_{t_{gr}}(f)$ は周波数 f 前後の成分の平均的な到来時刻を意味し, 群遅延時間の標準偏差 $\sigma_{t_{gr}}(f)$ は周波数 f 前後の成分の到来時刻のばらつき(つまり震動継続時間)を意味する. いま, 規模と震源距離の十分に小さな地震が対象サイトで観測されているものとする. この場合, まず震源特性について議論をすると, 震源断層の破壊継続時間はごく短いので, 破壊時刻を時間軸の原点とすれば, 震源特性を表す式(3)(4)の右辺第一項はともに 0 となる. 次に伝播経路特性については, 震源距離が十分に小さい場合には散乱の影響は小さいので, 式(3)の右辺第二項においては, 震源からサイト直下の岩盤まで地震波が伝播するのに要する時間だけが重要となり, また, 散乱の影響による地震動継続時間の延伸効果を意味する式(4)の右辺第二項は, 地下構造の影響による地震動継続時間の延伸効果を意味する右辺第三項と比較して無視しうる程度となる. このように考えると, 規模と震源距離の十分に小さな地震が対象サイトで観測されている場合, その記録の群遅延時間は, 時間軸上での平行移動の分を除けば, ほぼ式(2)の右辺第三項すなわちサイト特性を表現していると考えることができる.

統計的グリーン関数法により地震動の合成を行う場合には, 先ず, 想定地震による地震基盤での波形を算定する. この地震基盤での地震動は, 式(1)(2)右辺の第一項と第二項までを評価したものであると考えることができる. これにサイト特性を加味して地表での地震動を求める. 具体的には, 地震基盤での地震動をいったんフーリエ変換し, 振幅を $|A_G(f)|$ 倍し, さらに, 上記の条件を満足する記録を周波数領域で振幅 1 に調整して乗じ, フーリエ逆変換する. 以上が古和田他(1998)により提案されている方法である.

以上の方法で地震動を評価する場合, あらかじめ経験的サイト増幅特性 $|A_G(f)|$ を評価しておく必要がある. 経験的サイト増幅特性を求めるにあたって主に二つの考え方がある. 一つは観測された地震動から何らかの方法で「S 波部分」を抜き出し, その増幅特性を求める考え方である(例えば岩田・入倉, 1986). もう一つは, S 波だけでなく表面波も解析対象として, 波形後半まで含めたフーリエスペクトルの増幅特性を求める考え方である(例えば鶴来他, 1997; 野津他, 2003a). いずれの立場をとるかは目的にもよるが, S 波のみならず表面波の寄与も考慮して強震動予測を行う場合には後者の立場をとる必要がある. 特に, 古和田他(1998)の方法を用いることを前提に考えると, 現地で取得された中小地震記録の群遅延時間には S 波の寄与と表面波の寄与が渾然一体となっていることから, 振幅についても両者の寄与を考慮することが必要となる.

3. 2001 年 4 月 3 日静岡県中部の地震(M5.1)への適用

上記の手法を適用して 2001 年 4 月 3 日静岡県中部の地震(M5.1)による清水港の強震観測地点「清水日の出-U」(北緯 35.00°, 東経 138.48°)における揺れを計算し, 観測波と比較することにより当該手法の適用性を検討した. この地震は 4 月 3 日 23:57 に北緯 35.00°, 東経 138.11°, 深さ 33.2km において発生した. この地震の震源モデルは森川他(2002)により提案されている. それによると走向 341°, 傾斜 36°, 地震モーメント 8.2×10^{16} Nm, アスぺリティ長さ 1.8km, アスぺリティ幅 1.8km, アスぺリティの応力降下量 34MPa, ライズタイム 0.15s となっている. この震源モデルを用いて, まず, 地震基盤における地震動を統計的グリーン関数法により評価した. その際, アスぺリティの

分割数は 5×5 とした。またラディエーション係数 $RADI$ は 0.63, 地震動のエネルギーが水平方向の二成分に分散する効果を示す係数 $PRTITN$ は 0.71 とした。経験的サイト増幅特性 $|A_G(f)|$ としては, スペクトルインバージョンにより求められた値 (野津他, 2003b) を用いた (図-1)。この増幅特性は表面波の影響も含むように求められたものである。サイト周辺の地下構造の位相への影響を評価するためには, 2001年6月1日の地震 (北緯 34.97° , 138.12° , 深さ 32.0km, M4.8, 震源距離 46km) の記録を用いることとした。

4. 結果と考察

合成波を観測波と比較して図-2に示す。ここでは速度波形同士を比較しているが, 後続位相を含む観測波の特徴が一定の精度で再現されることがわかる。他の手法, 例えばハイブリッドグリーン関数法による場合, この程度の一致を見ることは, 地下構造情報の豊富な一部の地域を除けば, 非常に困難であると考えられる。図-2に示された波形のどの部分が S 波でありどの部分が表面波であるかを知ることは必ずしも容易ではない。しかし, 本手法による場合にはそのような知識を前提としないで済むことになる。

図-2の結果をさらに検討すると, S 波第一波の振幅については, NS 成分が過大評価, EW 成分が過小評価となっていることがわかる。これは, S 波第一波に対しては震源のメカニズムの影響が表れやすいためであると考えられる。この点について補正をする場合, 後続波への副作用を避ける必要があり, そのための工夫は今後の課題である。

今後, より多くの地震に対して本手法の適用性を吟味したいと考えている。

参考文献

- 岩田知孝・入倉孝次郎 (1986), 地震 2, 39, pp.579-593.
- 釜江克宏・入倉孝次郎・福知保長 (1991), 日本建築学会構造系論文報告集, 第 430 号, pp.1-9.
- 古和田明・田居優・入倉孝次郎 (1998), 日本建築学会構造系論文集, 第 514 号, pp.97-104.
- 澤田純男・盛川仁・土岐憲三・横山圭樹 (1998), 第 10 回日本地震工学シンポジウム, pp.915-920.
- 鶴来雅人・田居優・入倉孝次郎, 古和田明 (1997), 地震 2, 50, pp.215-227.
- 野津厚, 佐藤陽子, 菅野高弘 (2003a) 港湾技術研究所報告, 第 42 巻, 第 2 号, pp.251-283.
- 野津厚・山田雅行・藤井敦 (2003b), 地球惑星科学関連学会 2003 年合同大会予稿集 (CD-ROM).
- 森川信之・笹谷努・藤原広行 (2002), 日本地震工学シンポジウム (CD-ROM).

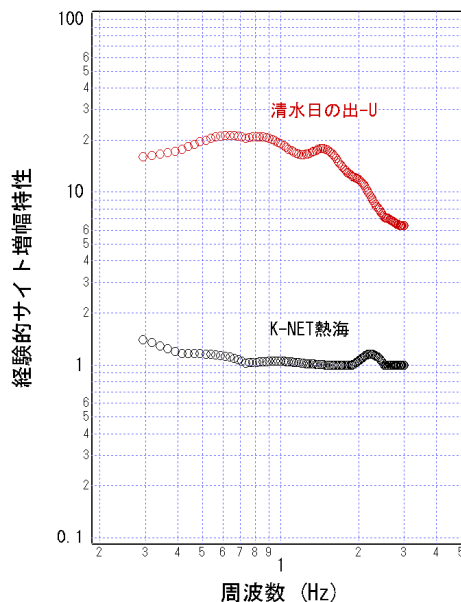


図-1 経験的サイト増幅特性

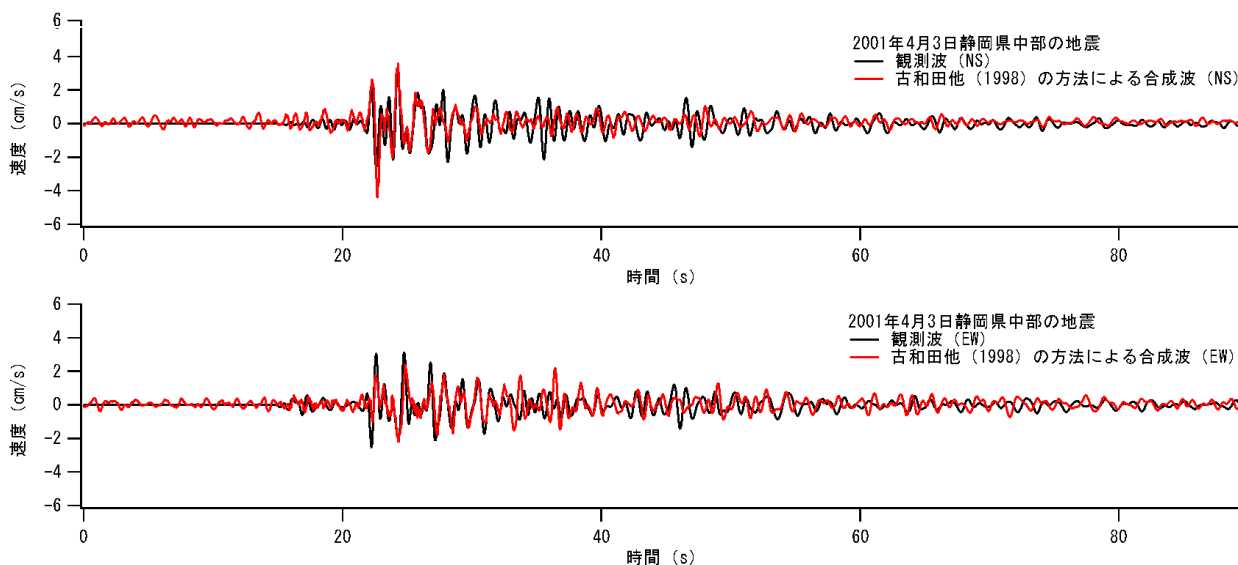


図-2 古和田他 (1998) の方法による合成結果と観測波との比較