

III - 5

ニューラルネットワークを用いた地震動の非線形増幅特性の評価手法

日本大学工学部 正 中村 晋

1. はじめに

表層地盤の地震動増幅の評価手法には、モード解析や地震応答解析などの数値解析による方法と地盤や地震動の条件に基づき簡易的に評価する手法の2つに大別される。地震被害想定、また地震直後の地震被害の即時推定を行うためには、多点での地震動特性の推定を即時的、且つ所定の精度を有して実施することが必要となる。このことから、地震後の即時被害推定には、後者の簡易手法を地震動の増幅特性の評価手法として選択することが現実的となる。ここで、地盤の非線形挙動は入力地震の特性と地盤の構造と周波数応答特性との相対関係に依存することから、両者の相対関係を表すパラメータを選定し、それに基づき適切なモデル化を行う必要がある。

ここでは、地震動の最大振幅の増幅率を簡易に推定するモデルを構築するため、まず既往の簡易推定手法¹⁾²⁾³⁾の精度を明らかにする。次に、入力地震動の振幅レベル、周波数特性、さらに地盤の構造をパラメータとした推定モデルの構築をニューラルネットワークを用いて試みる。各手法により推定された結果の精度評価、さらにニューラルネットワークの教師データとして用いる地震動の増幅率は周波数領域での非線形解析法を用いた地震応答解析により得られた値を用いる。その解析には、3つの異なる周波数特性を有する強震記録を入力地震動を用いた。

2. 従来の簡易推定手法とその精度

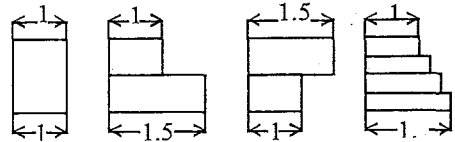
従来の増幅率の簡易推定手法のうち、地震応答解析に基づく石井¹⁾、濱田²⁾、末富³⁾らによるモデルを比較の対象とする。まず、石井の手法は式(1)に示す様に、基盤面最大加速度 $A_{max,r}$ の関数として地表面最大加速度 $A_{max,s}$ を推定しようとするものである。ここで、 a 、 b は内陸直下型とプレート境界型のような震源位置および周期をパラメーターとする回帰係数である。

$$A_{max,s} = a \times A_{max,r}^b \quad (1)$$

次に、濱田の手法は、式(2)に示す様に増幅率 α が、基盤面最大加速度 X と地盤に応じた係数 a, b の関数としてあらわされている。 a, b は地盤に依存するパラメーターであるが、ここでは濱田によりしめされた値1.821, 1.071を用いる。

$$\alpha = a \times b^x \quad (2)$$

以上の、2つのモデルは、周波数領域での地震応答解析法(SHAKE)により得られた対象地盤の地震動の増幅率が評価対象となっている。末富による手法は、式(3)



1)Type.1 2)Type.2-1 3)Type.2-2 4) Type.3
図-1 地盤構造モデル

に示す様に増幅率 λ_{acc} は、入力最大加速度 acc_I 、弱地震時の増幅率 α_{ACC} 、および3つのパラメータ acc_{L1} 、 acc_{L2} および地表面最大加速度の上限 acc_L により関数表現されている。ここで、3つのパラメータは地盤、例えば地盤の固有周期の関数となっている。

$$\left. \begin{aligned} \lambda_{acc} &= \alpha_{acc} (acc_I \leq acc_{L1}) \\ \lambda_{acc} &= \alpha_{acc} + \left(\frac{acc_L}{acc_{L2}} - \alpha_{acc} \right) \frac{(acc_I - acc_{L1})}{(acc_{L2} - acc_{L1})} \\ &\quad (acc_{L1} \leq acc_I \leq acc_{L2}) \\ \lambda_{acc} &= \frac{acc_L}{acc_I} (acc_{L2} \leq acc_I) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

このモデルは時間領域での非線形解析法により得られた増幅率が評価対象となっている。

ここで示した3つの手法の精度評価には、図-1に示す4つ地盤モデルを対象として、1955年兵庫県南部地震により葺合で観測された記録(fuki波)、1993年釧路沖地震の際、厚岸で観測された記録(kushiro)および1998年岩手県内陸北部地震の際、長山で観測された記録の3つ記録について、加速度震幅を調整し入力することにより得られた増幅率を用いた。その一例として、Type1地盤にfuki波を入力することにより得られた入力加速度レベルに応じた最大加速度の増幅率と地盤の固有周期との関係を示す。

地震応答解析より得られた最大加速度の増幅率と3つの簡易推定式より得られた増幅率の比較を以下に示す。まず、各手法より得られた推定値と解析値の比の対数(以後、誤差と呼ぶ)の頻度分布を図-2に示す。石井の手法は他の手法に比べ、誤差およびその幅ともに大きなあたっている。推定値は、2倍以上大きな値として評価している。次に、Type1地盤に着目し、地盤の固有周期毎の推定誤差の手法毎に図-4, 5, 6に示す。石井の手法は地盤の固有周期が0.6秒より長くなるにつれ、過大評価の傾向が顕著となり、濱田、末富の手法は地盤の固有周期が0.6秒より長くなるにつれ、推定値が小さく評価され、誤差の幅も大きくなるのが分かる。

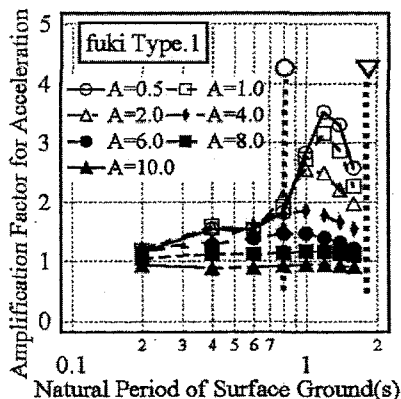


図-2 解析により得られた増幅率と地盤の固有周期の関係(Type1)

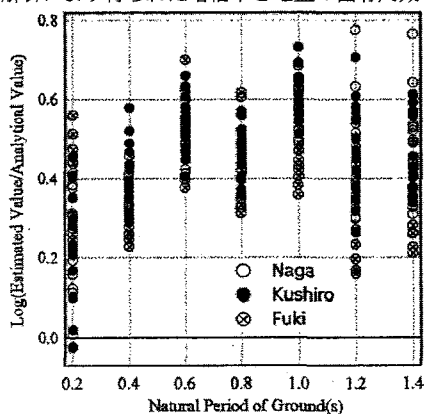


図-4 石井の手法による誤差と地盤の固有周期(Type1)

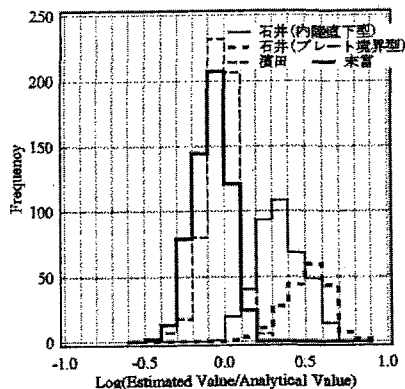


図-3 手法に応じた誤差の頻度分布

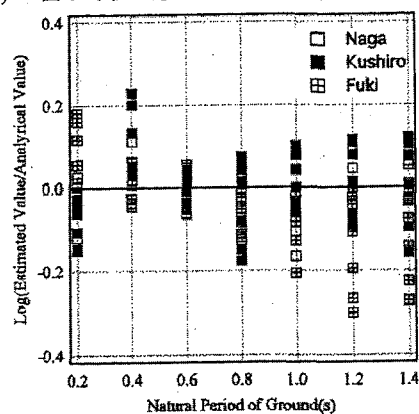


図-5 濱田の手法による誤差と地盤の固有周期(Type1)

3. ニューラルネットワークによるモデルの構築

ここでは、階層型ニューラルネットワークを用い、増幅率の評価を行う。入力因子には、入力地震動の特性を表す振幅レベル、周波数特性を規定する2つの周期、さらに地盤特性を表すせん断波速度構造タイプ、地盤の固有周期の5つのパラメータを用いる⁴⁾。中間因子の階層及び数については、AICに基づき決定する。なお、ニューラルネットワークモデルを用いた結果については研究発表で明らかにする。

参考文献

- 1) 石井晃, 石田寛, 大保直人, 永田茂, 塩崎信久, 震源情報と地盤の非線形増幅特性を考慮した観測点間の地震動推定手法, 第25回地震工学研究発表会講演論文集, pp.85-88, 1999
- 2) 濱田慎, 杉田秀樹, 金子正洋, 地震時特性値分布の即時予測手法に関する研究, 第24回地震工学研究発表会講演論文集, pp.193-196, 1997
- 3) 末富岩雄, 強震時における地動分布特性の即時推定に関

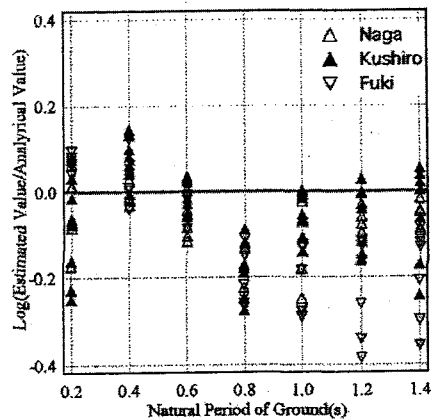


図-6 末富の手法による誤差と地盤の固有周期(Type1)

する研究, 京都大学博士論文, pp.120-180, 2000

- 4) 中村晋, 地震動指標の非線形増幅に及ぼす地盤特性と地震動特性の影響に関する一考察, 構造工学論文集 Vol.50A, 2004