

堆積地盤の非線形性を考慮した加速度応答スペクトルの変換係数

岐阜大学工学部 学生員 ○ 八代和幸 正会員 杉戸真太 古本吉倫

1. はじめに

一般に地震動は、沖・洪積地盤において増幅し、その特性はごく表層の地盤条件に大きく依存することが知られている。最近の地震動予測手法の進歩により、起震断層を想定することにより工学的基盤面での地震動が与えられ、これをもとに堆積地盤面での地震動を評価する設計手法も用いられるようになってきた。このような場合、比較的容易に得られる表層の地盤特性を考慮した変換係数を掛けることにより、基盤レベルでの地震動を地表での地震動に変換する手法^[1]は、いわゆる等価線形化手法を用いて応答解析を行なうよりもはるかに簡単であり、工学基盤面での地震動波形を必要としないことから利便性が高いと考えられる。本研究では、手法^[1](以下これを旧モデルと呼ぶ)の方法に従い、地盤構造が得られているわが国における強震観測点を選定し、種々の入力レベルの地震動による地震応答解析の結果に基づいて、工学的基盤における加速度応答スペクトルから堆積地盤面での加速度応答スペクトルを得るための変換係数を求めることを目的とする。その際の地震応答解析法として、周波数依存型等価線形手法 (FDEL)^[2]を用いた。ここでは、特に従来型等価線形化手法に基づく旧モデルとの相違について考察する。

2. 工学的基盤での非定常地震動シミュレーション

沖・洪積地盤面とその下の基盤面での強震記録は、徐々に蓄積されつつあるとはいえ、大きな地震による記録が少ないのが現状である。そこで、筆者らが提案した工学的基盤面での地震動データに基づく非定常地震動予測モデル (EMPR)^[3]を用いて、工学的基盤面でのシミュレーション地震動を算出する。算出した地震動を種々の地盤特性を有する沖・洪積地盤の基盤への入力とし、周波数依存型等価線形化手法 (FDEL)^[2]により、地表における地震動を算出した。このようにして得られたシミュレーション地震動に基づき、基盤面と地表面での加速度応答スペクトルの変換係数を求める。図 1 に、基盤地震動を算出するマグニチュード M、震源距離 R の組合せを示した。シミュレーションは、M=5.0~8.0、R=10~300 km の範囲で 56 組とし、各組合せごとに初期位相角の組合せを変化させた 7 成分ずつ合計 392 成分のサンプル波を得た。

3. 地盤パラメータ^[4]

地表面下 15~20m 程度の軟弱さを連続量で表す指標 S_n は、以下のよう

$$S_n = 0.264 \int_0^{d_s} \exp \{-0.04N(x)\} \exp(-0.14x) dx - 0.885 \quad (1)$$

ただし、 $N(x)$:深さ $x(m)$ における N 値、 d_s :ボーリング資料の深さである。また、せん断波速度が 400~600m/sec 程度のいわゆる工学的基盤までの深さを $d_p(m)$ とする。ごく表層付近の地盤の状態は S_n で、さらに深部の概略的な特性は d_p でそれぞれ表されることから、この 2 つのパラメータにより異なる周期の地盤震動の特徴を把握できるものと考えられる。表 1 には解析対象とした地盤モデルのパラメータを示した。

4. 周波数依存型等価線形化法による地震応答解析

図 2 には、比較的軟弱な地盤 ($S_n=0.725$) である品川 S 地盤について、シミュレーションにより得られる基盤波形を入力として地震応答解析を行なった結果得られる加速度応答スペクトルの増幅率を旧モデル (SHAKE 相当) と本モデル (FDEL) とで比較した。地表における加速度応答スペクトルを基盤における加速度応答スペクトルで正規化している。SHAKE では周波数に依存しない等価歪みをもとに地盤の減衰定数を評価するため、特に短周期域において、減衰の評価が過大となり、結果としてスペクトル増幅率は過小評価となることがわかる。このことは基盤における地震動入力が多い場合 (図 2 左)、特に顕著である。

表 1. 強震観測地点の地盤パラメータ

地点名	S_n	$d_p(m)$	type
日吉	0.880	31.00	A
藤沢	0.852	35.00	A
南砂	0.758	103.00	A
品川-S	0.725	28.90	A
越中島	0.699	100.00	A
新大田	0.640	39.20	A
青山	0.567	21.50	A
板島橋	0.514	16.50	A
釧路	0.486	27.30	B
与野	0.479	41.00	B
細島-S	0.466	51.00	A
ポートアイランド	0.415	83.00	B
知多	0.359	20.32	A
総合技術研究所	0.256	97.00	A
高砂発電所	0.168	100.00	A
豊田	0.141	20.45	B
寒川	0.128	55.00	B
室蘭-S	0.006	14.50	B
東神戸大橋	-0.046	37.50	A
御前崎	-0.152	6.60	A
小名浜-事-S	-0.232	8.30	A
飛田給	-0.257	17.00	A
出水	-0.391	10.00	B
長篠	-0.417	17.35	B
宮之城	-0.653	11.80	B

type A:応答解析の結果非線形性が現れた地盤、
type B:線形的であった地盤

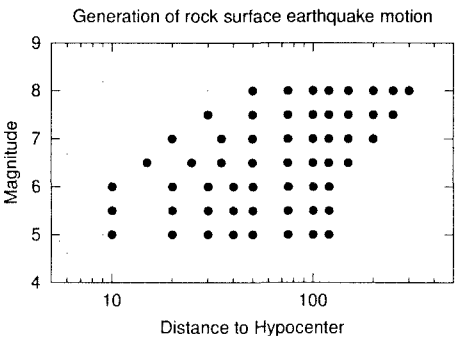


図 1. EMPR による地震動シミュレーションの M と R の分布

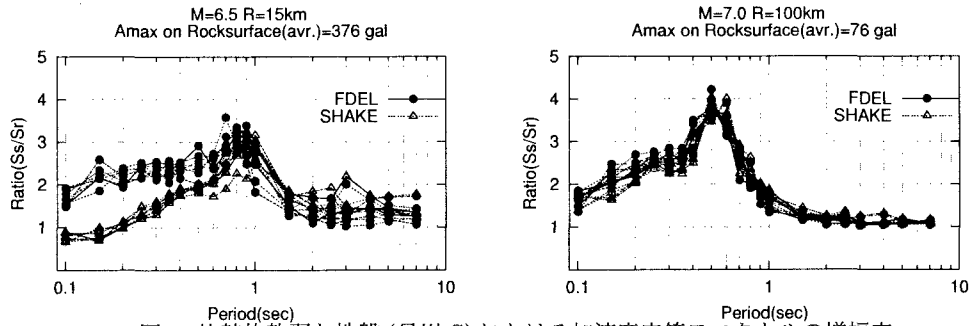


図 2. 比較的軟弱な地盤 (品川-S) における加速度応答スペクトルの増幅率

5. 工学的基盤での加速度応答スペクトルの堆積地盤面への変換

工学的基盤面での地震動強度と堆積地盤面での加速度応答スペクトルの増幅率を変換係数と定義し、堆積地盤での加速度応答スペクトル S_s を工学的基盤での加速度応答スペクトル S_r および変換係数 β により $S_s = \beta \cdot S_r$ の形で推定するモデルを検討する。ただし、 β は地盤パラメータ S_n と基盤でのスペクトル強度 S_r の関数とする。図 3,4 には、シミュレーション波形により求めた加速度応答スペクトルにより、代表的な条件の地盤について、基盤面から地表面への変換係数を求めた例を示す。図 3 は比較的堅固な地盤、図 4 は比較的軟弱な地盤の例である。軟弱な地盤 (図 4) においては、地震動の卓越する中程度の周期域において入力地震動強度に依存した地盤の非線形性が現れる。すなわち、基盤入力地震動のレベルが小さい場合には変換係数 β が大きく、反対に基盤入力地震動のレベルが大きい場合には変換係数 β が小さくなる。図中の実線は、旧モデルにおける回帰式であるが、従来の等価線形化法を用いた旧モデルに比べ、本手法による変換係数は、短周期域においても減少しないことがわかる。一方、堅固な地盤 (図 3) では入力地震動強度による増幅率は全周波数領域において線形的である。

なお、表 1 に地震応答解析の結果非線形性が確認された地盤を type A とし、線形的であった地盤を type B として表示したが、これらが地盤の軟弱さを表す指標 S_n に強く依存している。

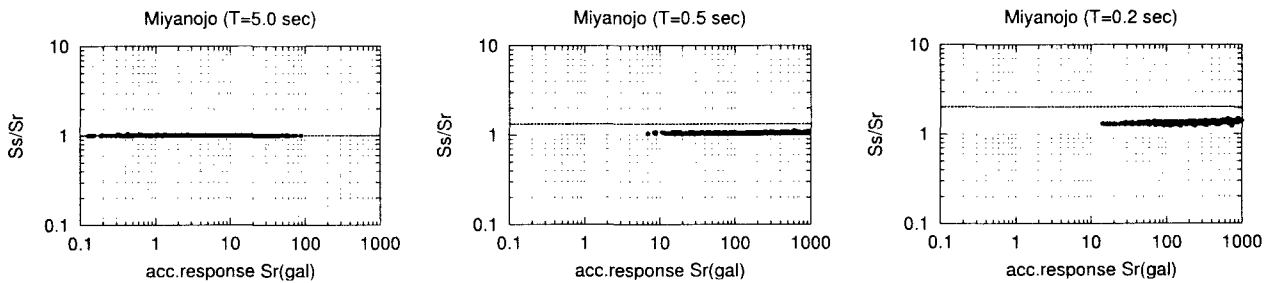


図 3. 比較的堅固な地盤 (宮之城) における変換係数 ($S_n = -0.653$)

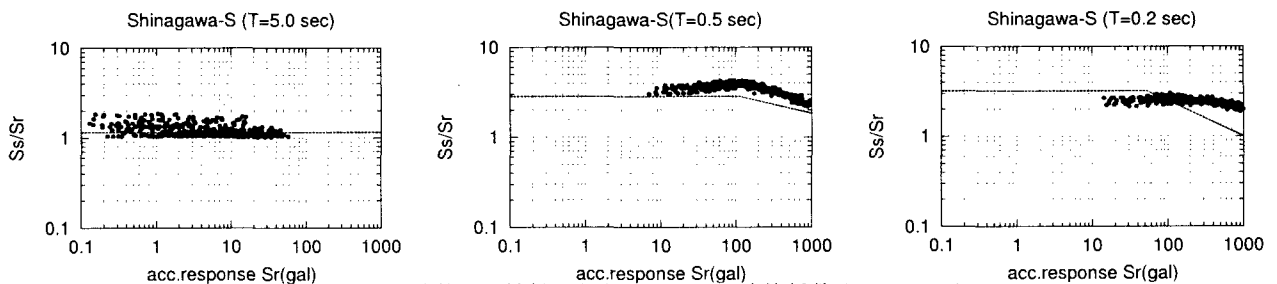


図 4. 比較的軟かい地盤 (品川-S) における変換係数 ($S_n = 0.725$)

6. まとめ

周波数依存型等価線形化法を用いて地震応答解析を行ない、加速度応答スペクトルの変換係数を調べたところ、従来の等価線形化法を用いた旧モデルとで相違が見られた。今後、さらに計算結果を蓄積し、地盤パラメータ S_n について統計処理を行い、与えられた基盤加速度応答スペクトルに対応する、一般の沖・洪積地盤表面での加速度応答スペクトルを、 S_n から推定するモデルとして提案する予定である。

謝辞 本研究で用いた地盤モデルは、運輸省港湾技術研究所、建設省土木研究所、関西電力、東京電力、神戸市開発局、北海道開発局、K-net、阪神高速道路公団ならびに震災予防協会データベースに基づいたものである。記して深謝の意を表する。

参考文献 [1] 杉戸真太, 亀田弘行, 後藤尚男, 廣瀬憲嗣: 工学的基盤と沖・洪積地盤面の地震動の変換係数-表層地盤の非線形特性を考慮した推定モデル- 土木学会構造工学論文集 Vol.32A pp.789-799, 1986. [2] 杉戸真太, 合田尚義, 増田民夫: 周波数依存性を考慮した等価値による地盤の応答解析法に関する一考察, 土木学会論文集, No.493/II-27, pp.49-58, 1994. [3] M.Sugito, Y.Furumoto, T.Sugiyama: Strong Motion Prediction on Rock Surface by Superposed Evolutionary Spectra, 12WCEE, Auckland, New Zealand (CD-ROM) (2000) [4] 杉戸真太, 亀田弘行: 地震動予測における地盤条件の影響について, 土木学会第 38 回年次学術講演会, I-418, 1983.