

周波数依存性を考慮した等価ひずみによる F E M 地盤震動解析法

岐阜大学 ○古本吉倫 杉戸真太 八嶋 厚 平山 卓 本田 隆

1. はじめに 盛土や構造物基礎の地震による被害は地盤の震動と深く関わっているため、精度の高い地盤震動解析法の研究と開発に対する要望がある。これまで1次元の地盤の応答解析を行う解析プログラムとして、重複反射理論を用いた SHAKE¹⁾がよく用いられてきたが、筆者ら²⁾は、周波数依存性を考慮した等価ひずみを導入することにより等価線形化手法の改良を行い、地震動レベルが大きく軟弱地盤の場合でも、特に高周波数領域において減衰を適正に評価する方法を提案している(以下同手法をFDELと呼ぶ)。

さて、高盛土斜面のような不整形性を有する地盤は、地震波が反射や屈折を繰り返すために地震時の挙動が複雑になるため、2次元の地盤応答解析を行うことが必要である。この分野の解析によく用いられるプログラムとして2次元FEMプログラム FLUSH³⁾が有名であるが、従来の等価線形化手法を用いているため、地盤の減衰と剛性の評価に際し SHAKE と同様の問題点が生じると考えられる。そこで本研究では、FDEL と同様の手法を用いて従来の等価線形化手法を改良し、FLUSHの改良を行う。さらに、地震観測システムが設置されている地盤形状が不整形な高盛土斜面を対象として、それぞれの解析プログラムを用いて応答解析を行い、実記録との比較をすることによって、それらの適用性を論じる。

2. 周波数依存型の等価ひずみ SHAKE や FLUSH など従来の等価線形化手法では、等価ひずみをひずみ波形の最大値から求めるため、最大せん断ひずみより定まるせん断剛性 G 、減衰定数 h を周波数に依存することなく一律としている。しかし、地震動の振幅レベルは周波数成分によって大きく異なるため、次式のように周波数依存型の等価ひずみを考え、改良型 FLUSH における等価線形化手法に適用する。

$$\gamma_f(\omega) = 0.65 \cdot \gamma_{max} \cdot \frac{F_\gamma(\omega)}{F_{\gamma_{max}}}$$

ここに、 $\gamma_f(\omega)$:周波数依存性を考慮した等価ひずみ、 γ_{max} :ひずみの時刻歴の最大値、 $F_\gamma(\omega)$:ひずみ波形のフーリエスペクトル、 $F_{\gamma_{max}}$: $F_\gamma(\omega)$ の最大値である。

3. 層状堆積地盤における応答解析手法の検証 修正を行った FLUSH、従来の手法(SHAKE,FDEL,FLUSH)での解析結果および観測値の最大加速度の比較を図1に示す。ここでは、兵庫県南部地震において神戸ポートアイランドにおけるGL-83m地点で得られた記録を入力波として解析を行った結果を示している。SHAKE と FLUSH に比べ FDEL と修正FLUSHの結果は、より観測値に近く、周波数依存型等価ひずみの有効性を示している。地表での観測記録が計算結果より小さくなっているが、地下10m付近の軟弱層が液状化したためと考えられる。

4. 盛土地盤におけるアレー観測 1次元解析において、改良 FLUSH によるFEM地盤応答解析が有効であることがわかったので、2次元解析への適用を試みる。今回解析の対象とする高盛土斜面は、清水建設㈱が地震観測システムを配置している宮城県名取市郊外の宅地造成地である。この地点は盛土が沢に造成されたものであり、盛土厚は斜面に沿って厚くなり、盛土厚は平坦部で 40m 程度である。その形状および観測点の配

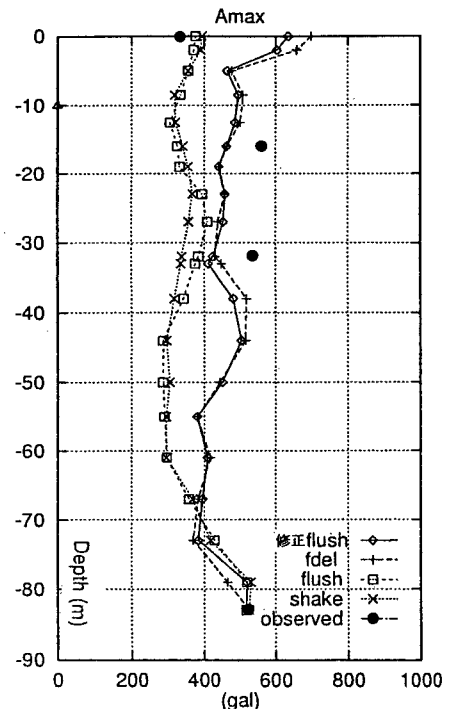


図-1 神戸ポートアイランドでの最大加速度の比較
(兵庫県南部地震、comp.=N000E)

置を図2に示す⁴⁾。地盤条件としては地盤調査のためにボーリング調査や弾性波探査がすでに実施されており、その結果から地盤物性値が得られている。観測点は13点あり、すべて加速度計で3方向(水平2成分、上下1成分)の記録がなされるようになっていいる。地震の観測記録としては様々な地震の時のものが得られているが、その中でも表1に示す最大加速度の大きい地震記録を解析の対象として用いるものとする(表1)。

4. 観測記録の解析 ここでは1993年1月15日に発生した地震記録を対象とする。No.3地点(地表)とNo.5地点(GL-35m)における観測記録によると、両観測点とも地震動主要動に明瞭な方向性があることから、地震動の主軸方向成分について、No.5地点からNo.3地点への伝達関数を計算した(図3)。また、同図には、FDELとSHAKEによる伝達関数の計算結果も付記した。なお、No.5地点には、地震計設置時の方向設定誤差と思われる位相差があり、修正を施した後解析を行った。図3によると、地震波の入力レベルが小さいため(最大4.3gal)、FDELとSHAKEによる差異はほとんど見られなかった。また、実記録と計算の比較では、第1次モードについてはほぼ一致するものの、2次以降のモードにずれが見られる。地盤の不整形性を考慮する必要があると思われる。

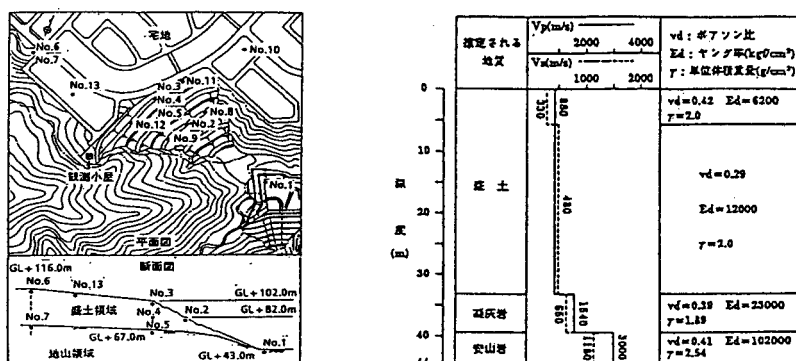


図2 観測点の位置と地盤物性値(竹脇⁴⁾より転記)

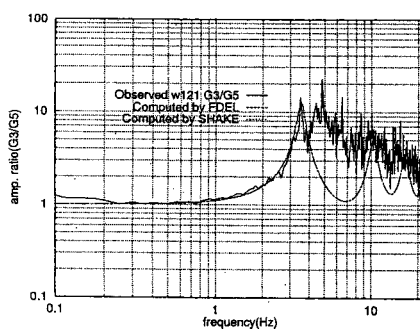


図3 伝達関数の比較(実線:観測記録、破線:計算)

表1 地震諸元

EQ No.	TIME	LOCAT.	COMP.	Amax
121	15.Jan.93	101	E-W	4.784
121	15.Jan.93	201	N-S	-4.778
121	15.Jan.93	402	E-W	-11.874
121	15.Jan.93	502	N-S	-15.106
121	15.Jan.93	703	E-W	-19.005
121	15.Jan.93	803	N-S	12.828
121	15.Jan.93	1004	E-W	-7.580
121	15.Jan.93	1104	N-S	7.875
121	15.Jan.93	1305	E-W	4.500
121	15.Jan.93	1405	N-S	-3.877
121	15.Jan.93	2208	E-W	-11.577
121	15.Jan.93	2308	N-S	11.522
121	15.Jan.93	2508	E-W	8.840
121	15.Jan.93	2608	N-S	6.812
121	15.Jan.93	31G11	E-W	-15.517
121	15.Jan.93	32G11	N-S	14.553
121	15.Jan.93	34G12	E-W	-14.245
121	15.Jan.93	35G12	N-S	12.682

Amax: 加速度最大値(g=0)

今後はこれらの観測記録のデータを使用し、2次元FEM地盤応答解析プログラムを用いて解析を行い、地盤の不整形性の影響による地盤応答解析結果の違いなどについて考察を行う予定である。

また、本研究に使用した地震記録は、清水建設(株)基礎研究室竹脇尚信主査、東北大学工学部柳沢栄司教授から提供していただきました。ここに記して深謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) P.B.Schnabel, J.Lysmer and H.B.Seed: SHAKE a computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites, EERC, 72-12, 1972.
- 2) 杉戸真太、合田義尚、増田民夫: 周波数特性を考慮した等価ひずみによる地盤の地震応答解析法に関する一考察、土木学会論文集、No.493/III-27, pp.49-58, 1994.6.
- 3) J.Lysmer, T.Udaka, C.-F.Tsai and H.B.Seed: FLUSH a computer program for approximate 3-D analysis of soil-structure interaction problems, EERC, 75-30, 1975.
- 4) 竹脇尚信、近藤司、吉村隆、田蔵隆、清水勝美、柳沢栄司: 高土質土面における地震観測、土木学会第43回年次学術講演会、昭和63年