

エネルギー法による神戸ポートアイランドの液状化予測と有効応力解析の比較

大成建設(株)正会員 五十嵐 俊一

大成建設(株)正会員 アルベルト デルガド

地盤の液状化予測を精度良く行うことは、沿岸地域に施設を建設し維持管理する上で重要である。現在、液状化判定は、おもに、地盤の液状化抵抗値と地盤に地震時に発生すると予測されるせん断力の比を用いて行われている。通常、20回の正弦的な繰返しせん断力を載荷した時に土の供試体が液状化する応力比が地盤の液状化抵抗値とされている。これは、新潟地震以来の標準的な地震動の繰返し回数である。しかし、1995年兵庫県南部地震や1994年北海道東方沖地震の地盤振動の継続時間、繰返し回数、せん断力振幅は、これまでの標準から離れている。このような地震で、通常の液状化判定を行うと、地盤の液状化危険度を過大評価したり過小評価する可能性が高い。現時点で、もっとも現象に忠実な液状化解析法としては、塑性論に基づいて地盤の物性を有効応力によってモデル化し、有限要素法解析を行う有効応力解析がある。しかし、これは非線型系の数値計算を伴う。

地震動と地盤のエネルギーを用いて液状化予測を行う方法は以上の様な点を考慮して、土の動的性質を忠実に簡便に取り入れる方法として考案されたものである^{1)・2)}。今回は、この方法を神戸のポートアイランドの液状化事例に適用し、有効応力解析の結果と比較する。解析法の詳細は文献1)、2)等に述べられている。この方法の特徴は、間隙水圧の発生量が、液状化強度曲線、せん断波速度、密度、初期間隙水圧、側圧係数、間隙水の圧縮係数から一意的に決まる物性値を用いて、陽な形で計算できる点である。

対象にしたのは、神戸市が強震観測鉛直アレーを設置したポートアイランド上の地点である。液状化強度曲線と地盤条件は、ストレスデンシティーモデルによる有効応力解析³⁾と同じものを用いた。表1の ϕ (土の動的内部摩擦角)と η (エネルギー吸収率)で、地盤の液状化抵抗を表す。これらは液状化強度曲線から回帰分析によって決まる。従来は、繰返し回数20回に対応する液状化強度曲線上の点を液状化強度としていたが、今回の地震の様な場合には、2、3回の繰返しに対する強度が問題になるので、現実には合わなくなる。地震動は、GL-79mで観測された加速度(図1)からSHAKEによる応答計算で求めた。エネルギー法では、土の内部減衰は、動的摩擦角を用いて計算されるので、SHAKEでは、5%の減衰のみを考慮した線型計算を行った。図4と図5にGL-2.5mと-10mの過剰間隙水圧比を比較して示す。エネルギー法は、有効応力解析より若干急速な上昇を示すが、両者は近い。有効応力解析では、間隙水圧の減少が計算されているが、前半は砂のダイレータンスによるもので、後半は透水による消散である。エネルギー法では、非排水状態の間隙水圧の上昇量の平均値を計算しているため、ダイレータンスは、間接的に考慮されている。

この事例では、エネルギー法は間隙水圧の上昇量の予測に関して有効応力解析に近い値を与えることが解った。現象に対する忠実さから、有効応力解析とF値法の間中に位置する実用的な方法であるといえる。

参考文献

- 1) Shunichi Igarashi: Energy-based Factor of Safety against Liquefaction, Proc. JSCE, No 455, I-21, October, 1992.
- 2) 五十嵐、盛口、志田、地震動のエネルギーを用いた液状化解析、第29回土質工学研究発表会、平成6年6月
- 3) Cubrinovski, M., Igarashi, S., Ishihara, K.: An Effective Stress Analysis of the Liquefaction at Kobe Port Island, Proc. JSCE 30th Annual convention, 1995.

表1神戸市ポートアイランドの地盤条件

depth (m)	soil class	Shear wave veloc. Km/s	dynamic friction angle (degree)	energy absorpt. ratio (%)
0 ~ 5.0	fill	0.170	17.2	3.3
5.0 ~ 12.0	fill	0.210	17.2	5.0
12.0 ~ 19.0	fill	0.210	17.2	5.0
19.0 ~ 27.0	All. Clay	0.180	-	-
27.0 ~ 28.0	All. Clay	0.245	-	-
28.0 ~ 33.0	All. Clay	0.245	-	-
33.0 ~ 50.0	All. Gravel	0.305	-	-
50.0 ~ 61.0	Dil. Gravel	0.350	-	-
61.0 ~ 79.0	Dil. Gravel	0.303	-	-
79.0 ~	Dil. Gravel	0.320	-	-

density $\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$ is used.

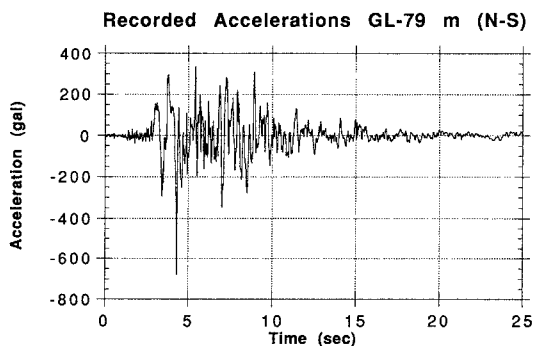


図1 神戸市ポートアイランドの-79mの加速度観測値

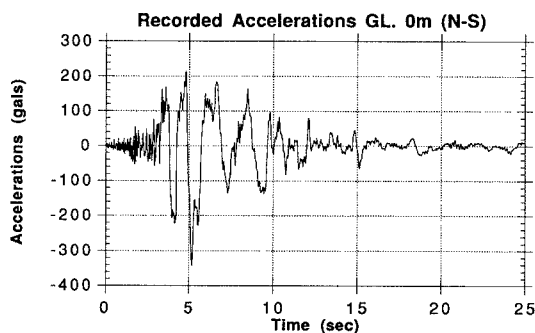


図2 神戸市ポートアイランドの地表面の加速度観測値

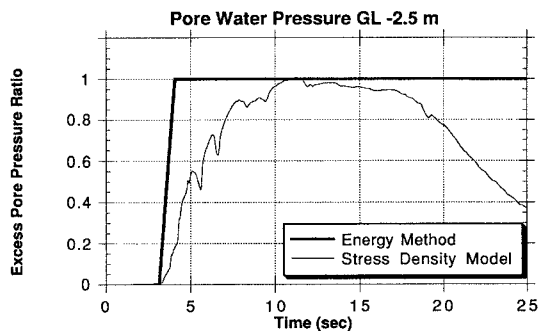


図4 過剰間隙水圧の推定値（地表面下2.5m）

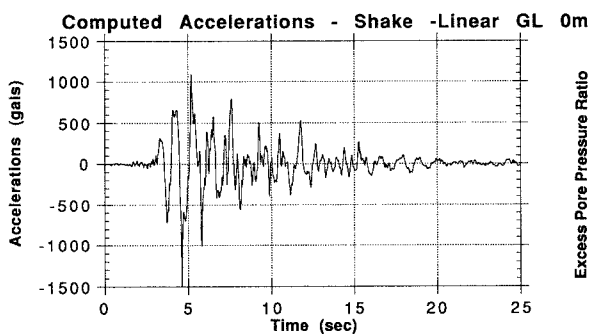


図3 SHAKEによる線型計算でもとめた地表面の加速度

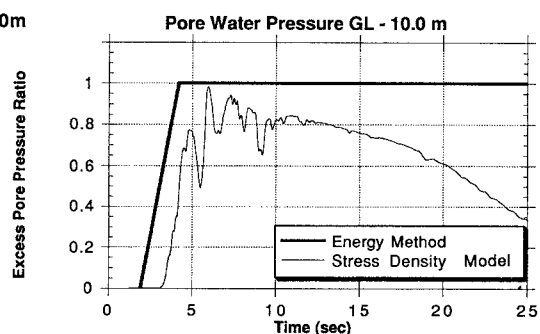


図5 過剰間隙水圧の推定値（地表面下10m）