

Ⅲ - A 103 液状化を考慮した地震応答解析の実測記録への適用

建設省土木研究所 正員 田村敬一
 " " 本田利器

1. はじめに

地盤の液状化の発生前後では地盤の動的変形特性が大きく変化するため、液状化発生前と発生後の両者について1つの特性値をもって地盤の特性を代表することは困難である。そこで、著者らは、液状化発生前後のそれぞれの地盤の動的変形特性を用いて地震応答解析を行い、結果を重ね合わせる手法を提案したが、本文は、この手法を同一地点において液状化の発生を伴った地震及び伴わなかった地震により得られた強震記録に適用した結果を報告するものである。

2. 解析手法

解析に用いた手法は、液状化の発生時刻を推定し、まず、地震応答解析の入力地震動を液状化発生前後の2区間に分離した上で、各々の区間に対して液状化発生前及び発生後の地盤の動的変形特性を用いて全応力解析を行い、次に、液状化発生前後の2区間に対して算出された応答波形を重ね合わせるものである¹⁾。ここで、解析プログラムとしては“SHAKE”²⁾を用い、土の非線形性については等価線形化手法により考慮した。また、液状化の発生時刻の推定には累積損傷度の概念を適用した。すなわち、液状化発生前の地盤の動的変形特性を用いた通常の全応力解析によりせん断応力の時刻歴を求める。また、別途、液状化強度曲線を算定し、せん断応力の各パルスが液状化に寄与する程度の累積から液状化発生時刻を推定するものである。

3. 解析対象記録

解析に用いた強震記録は、1987年11月23日及び24日に米国カリフォルニア州インペリアルバレーで得られたものである³⁾。同地点では地表面及び地表面下7.5mの2箇所に加速度計が設置されているほか、4深度に間隙水圧計が設置されている。11月23日の地震（以下、地震-1という。）は、マグニチュードM 5.8、地表面最大加速度は126galであり、液状化は発生しなかった。一方、11月24日の地震（以下、地震-2という。）はM 6.1、地表面最大加速度は201galであり、加速度計及び間隙水圧計の記録より液状化が発生したものと考えられる。当該地点の地盤構成は、図-1のように報告されている³⁾。

4. 解析結果

本研究では、まず、液状化が発生しなかった地震-1に対して地震応答解析を行い、土質定数及び地盤の動的変形特性曲線（非液状化時）を設定し、次に、その結果をもとに、液状化が発生した地震-2に対して提案手法と実測記録との整合性を検証した。なお、いずれの地震についても、地震応答解析では地表面下7.5mで観測された強震記録を入力地震動として、地表面加速度を算出した。

地震-1 本地震に対しては、既往の文献に報告されている地盤構成及び動的変形特性曲線を基本として、それらを修正した上で地震応答解析を行い、実測記録に最も適合する地盤物性を設定した。実測記録との適合性の判定は、主として、応答解析結果及び実測記録から算出した入力地震動（地表面下7.5m）と地表面加速度間の伝達関数を比較することにより行った。最終的に設定した地盤構成を図-1中に示す。

地震-2 上述のように設定した地盤物性をを用いて本地震に対する地震応答

● 加速度計

深度 (m)	土質	単位体積重量 (tf/m ³)	せん断波速度 (m/s)
1.2	シルト	1.60	99 (92)
	シルト	1.94	99 (92)
3.5	砂質シルト	1.97	116 (137)
	シルト質砂	1.97	116 (137)
7.5	粘土	2.0	130 (154)

()内は本研究で設定した値
 図-1 地盤モデル³⁾

キーワード：液状化、地震応答解析、全応力解析

連絡先：〒305 つくば市旭1、TEL 0298-64-4963、FAX 0298-64-0598

解析を行い、せん断応力の時刻歴を算出し、液状化発生時刻を推定した結果、地表面下1.2mから6.8mの土層において、南北成分については13.6秒付近、東西成分については18.0秒付近において液状化が発生したものと推定された。この結果は、図-3に示す地表面における実測加速度記録の短周期成分が欠落し始める時刻と整合する。また、過剰間隙水圧が上昇を開始する時刻とも概ね調和的である³⁾。

液状化が発生したと考えられる土層に適用した動的変形曲線を図-2に示す。ここで、液状化発生前と記した曲線は、地震-1に対する応答解析より設定したものである。液状化発生後の剛性の低下率については、せん断ひずみ $\gamma \leq 0.03\%$ の領域では発生前と同一、 $\gamma \geq 0.1\%$ では最終的に0.05まで緩やかに減少させた。また、減衰定数については、 $\gamma \geq 0.01\%$ の領域で一律60%とした。液状化発生後の動的変形曲線は、種々の試算結果により設定したものであるが、剛性の低下率については最小値を0.05程度、減衰定数については50~60%程度とすることにより実測記録との適合性がよくなる傾向が認められた。

図-3に解析結果と実測記録の比較を示す。図中には、液状化発生前の動的変形曲線を用いた通常の解析結果も合わせて示している。通常の解析では、液状化発生前については実測記録と概ね対応しているものの、発生後については振幅が過大になるとともに、長周期成分を再現していないことがわかる。それに対して、提案手法は液状化発生後の個々のピークの再現性には課題が残るものの、液状化発生前後のいずれについても実測記録と概ね整合している。

5. まとめ

液状化発生前後のそれぞれに対して全応力解析による地震応答解析を行い、結果を重ね合わせる手法の実測記録への適用性が確認された。この手法をさらに一般化するために、今後、液状化発生後の地盤の動的変形特性の評価手法の検討が必要であると考えられる。

【参考文献】1) 田村他：液状化を考慮した簡易な地震応答解析、土木学会第52回年次学術講演会、1996

2) Schnabel et al.: SHAKE, EERC Report No. 72-12, 1972

3) 福武他：3次元液状化解析による実測記録のシミュレーション、第27回土質工学研究発表会、1992

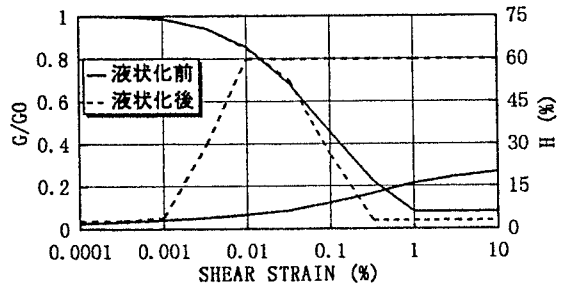
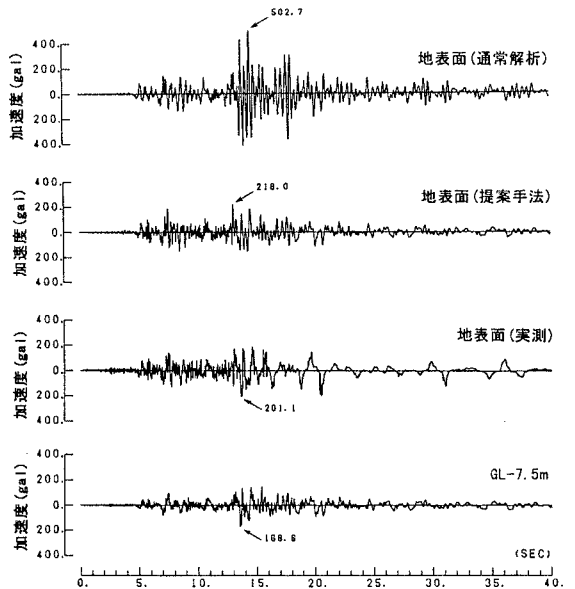
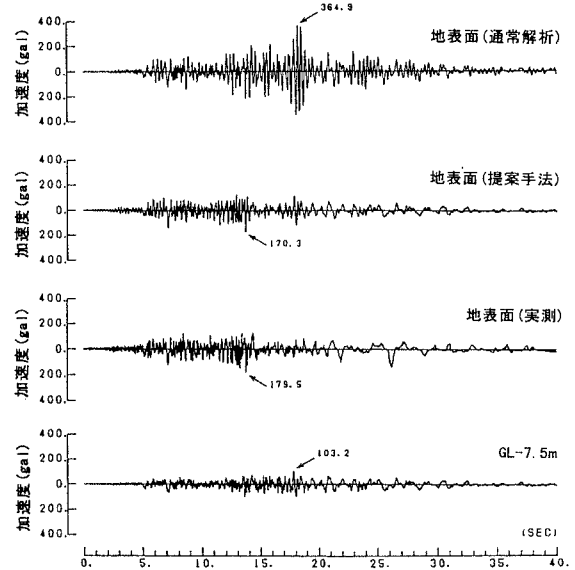


図-2 動的変形曲線の例



(a) 南北成分



(b) 東西成分

図-3 解析結果と実測記録の比較 (地震-2)