

地震動記録を用いた液状化判別手法の再評価

04T0014B 川井 修
指導教員：山崎 文雄

1. 研究の背景と目的

近年、2007年新潟県中越沖地震や2004年新潟県中越地震をはじめとする大地震が発生し、それによって、様々な被害が引き起こされている。とくに、市民生活に重要なライフラインのガス・水道等の埋設管や港湾構造物等は多大な被害を被っているが、これには、液状化現象の影響が考えられる。液状化とは、砂質地盤の間隙水圧が上昇し、噴砂・噴水を生じたり、地盤や構造物に大きな変位を与えたりする現象で、過去の大地震時にもよくみられた。

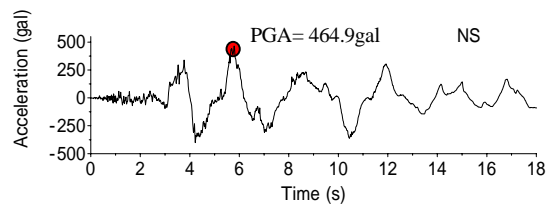
液状化の発生は、地震動波形にも特徴的に現れるため、記録のみからの有無を判定する研究も行われており、Kostadinov and Yamazaki¹⁾や鈴木ら²⁾などが挙げられる。前者は、強震記録の卓越振動数の変化と振幅について解析し、液状化判定手法を提案している。また、後者の手法は、東京ガスの防災システムSUPREMEで使われている新SIセンサーの液状化判定機能として、現在運用されている。

この液状化判定のもととなる強震計は、現在、防災科学技術研究所で全国約1000ヶ所、気象庁で約600ヶ所、自治体でも約2900ヶ所に設置している。また自治体のなかには東京都や横浜市のように独自の観測システムを有しているものもある。このほかにも、JRのユレダスをはじめとする大学、高速道路会社、NTT、ガス会社、建設会社、電力会社なども独自に地震観測を行っている。

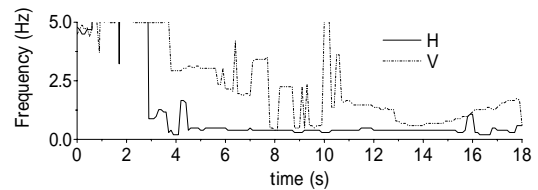
このように、現在では強震計の数が膨大に増え、多くの地震記録が得られる。これらの強震記録を解析し、地震計周辺の液状化発生の有無と比較することにより、液状化判定手法の精度向上につながると考えられる。したがって本研究では、地震動記録のみを用いた液状化判別手法を行うことにした。

2. 液状化の有無による強震記録の違い

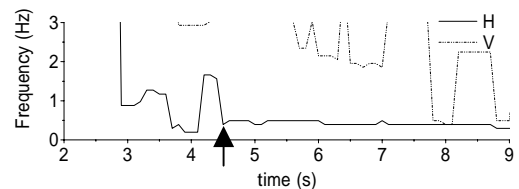
2007年新潟県中越沖地震の際の、液状化した地点(刈羽村役場)での強震記録を図-1(a)に、液状化していない地点(北陸自動車西山IC)での強震記録を図-2(a)に示す。これらはともに大きな加速度を観測しているが周期特性に違いが見られる。図-1(a)は4秒前後で、明らかに周期が大きく伸びているが、図-2(a)の波にはそのような伸びはみられない。この伸びの原因は、液状化が発生し、地盤が軟らかくなったためと考えられる。また、図-2(a)の13秒以降は上下動の周期も伸びており、表面波と推測される。



(a) 加速度波形

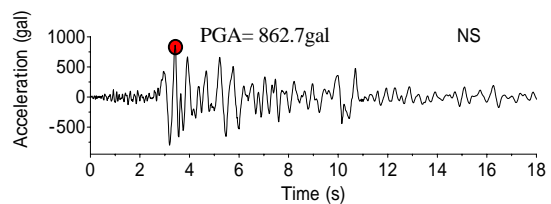


(b) 卓越振動数の時間変化

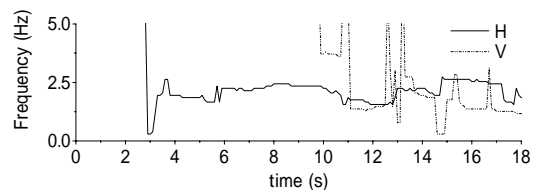


(c) 判別区間の卓越振動数の時間変化

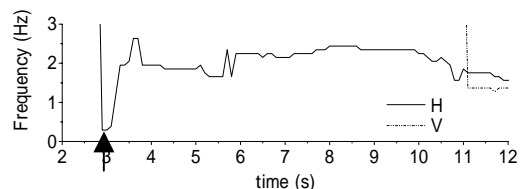
図-1 2007年新潟県中越沖地震の刈羽村役場記録



(a) 加速度波形



(b) 卓越振動数の時間変化



(c) 判別区間の卓越振動数の時間変化

図-2 2007年新潟県中越沖地震の西山IC記録

3. 液状化の判別方法

2で述べた周期の違いを表すために、ランニングスペクトルを計算した。解析方法の参考として、宮島ら³⁾は、得られた強震記録の水平方向成分をある時刻 t を中心とした5秒間におけるフーリエスペク

トルを求め、その最大値を示す振動数を時刻 t における卓越振動数とし、0.5秒毎の時間変化を求めた。しかしこれでは、液状化し周期が伸びる細部がわからず、また、周期が伸びる時に対応する時刻のズレも生じることがわかった。よって本研究では、水平・上下方向成分で、時刻 t までの2.5秒間についてバンド幅0.4HzのParzenウィンドウで平滑化したフーリエスペクトルの最大値を示す振動数を時刻 t の卓越振動数とし、時間変化を0.1秒毎にした。なお、水平方向卓越振動数は以下のように求めた。

$$f_H = \sqrt{f_{EW} f_{NS}} \quad (1)$$

ここで、図-1(b)、図-2(b)に液状化・非液状化波形の卓越振動数の時間変化をそれぞれ示す。

液状化判別手法として、まず、計測震度を第1条件とする。これは、既往の研究では、最大加速度または最大速度が指標として多く用いられており、この2つを乗じたものは計測震度と相関が高いことが翠川ら⁴⁾によって示されているためである。次に、液状化地点の強震記録は、ランニングスペクトルにおいて、水平方向の卓越振動数(図-1,2 実線)の急激な低下がみられるので、その値が0.7Hz以下になり、その時刻から1秒間以上1Hz以下の卓越振動数となることを第2条件とする。ただし、この条件において上下方向の卓越振動数(図-1,2 破線)は1.5Hz以上とする。これは、長周期の表面波の影響を除くためである。(図-1(c)、図-2(c))

ここで、第2条件の0.7Hz以下は図-3をもとに決定した。図-3は、最大加速度の発生時刻以降における水平方向の卓越振動数の最小値(ただし上下方向の卓越振動数は1.5Hz以上)である。Kostadinov and Yamazaki¹⁾が使用した液状化・非液状化記録(黒塗り)に加えて、2007年新潟県中越沖地震など、2000年以降の液状化・非液状化記録(白抜き)についても検討している。これによると、液状化地点すべてを含む範囲が、0.7Hz以下の最小振動数を示している。またこの図から、計測震度の下限を5.0とする。

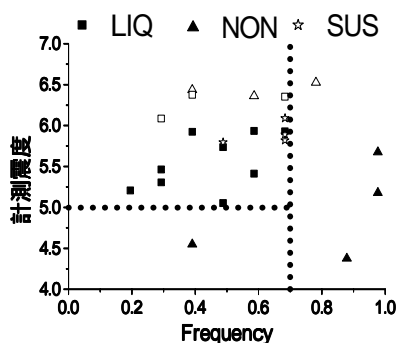


図-3 計測震度と水平最小振動数の関係

4. 判別結果

2000年以降の強震地震の記録では、噴砂・マンホールの浮き上がりなどの液状化痕跡の報告⁵⁾がない場合、非液状化とした。図-4(a)に計測震度と前述の低下した振動数、図-4(b)にこの振動数と継続時間の関係を示す。ちなみに、図-4(a)の1.0Hzの地点は、低下した振動数が1Hzよりも大きい地点である。図中のSUSは、はっきりとした報告ないが、液状化の可能性が高いと思われる地点である。

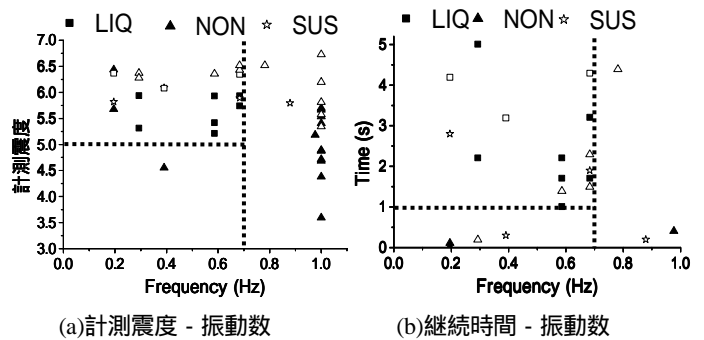


図-4 液状化判定の結果

5. まとめ

本研究では、地震動記録よりランニングスペクトルを求め、上下・水平方向の卓越振動数と計測震度に着目し、液状化発生の判別を行った。

2000年以降の液状化地点の判別はすべて正しいが、非液状化地点では誤って判別しているところがある。これは、様々な報告等によると、各観測点の近くで液状化現象の痕跡がみられており、その地点では地表面に現れていないが、地中内部で液状化している可能性もある。

今後更なる検討を加え精度を高めれば、リアルタイムでの液状化判別が可能になり、それが早期被害把握につながり、さらには地震被害の低減にも役立つことが期待される。

参考文献

- 1) M. Kostadinov, F. Yamazaki: Detection of Soil Liquefaction from Strong Motion Records, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 30, 2, 173-193, 2001.
- 2) 鈴木崇伸, 清水喜久, 中山渉: 液状化地盤における強震記録の特徴について, 第10回日本地震工学シンポジウム, 1223-1228, 1998
- 3) 宮島昌克, 野津智, 北浦勝, 山本真樹: 強震記録を用いた液状化検知法に関する基礎的, 研究土木学会論文集, No.647, pp.405-414, 2000
- 4) 翠川三郎, 藤本一雄, 村松郁栄: 計測震度と旧気象庁震度および地震動強さの指標との関係, 地域安全学会論文集, Vol.1, pp.51-56, 1999
- 5) 若松加寿江, 吉田望, 規矩大義: 2004年新潟県中越地震による液状化現象と液状化発生地点の地形・地盤特性, 土木学会論文集 C, Vol.62, No.2, 263-276 2006.