

京都大学工学研究科 フェロー 土岐憲三
 京都大学工学研究科 正会員 清野純史
 京都大学工学部 学生員 ○森下昌浩

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、地震動の観測網が各地で大規模に整備されてきたことによって、地震発生直後に地震波形などきめ細かな地震情報を知ることが可能になってきている。地表面観測波形を用いた液状化判定もその一例である^{1),2),3)}。本研究はこうして得られた地震記録のうち、地震動の周期特性、特に水平方向と上下方向の卓越周期の比に着目することで地震発生直後に液状化判定を行い、地震後の緊急対策に役立つ判定法を構築することを目的とする。

2. 非定常スペクトル

地震記録の周期特性を知るために、本研究では、観測点において観測された水平方向と上下方向の加速度記録から各成分の卓越周期の時刻歴をそれぞれ求める。計算手法には日野の発達スペクトルを用い、各周期ごとに最小エントロピースペクトルを求めてそれを非定常スペクトル(図1)の形に表す⁴⁾。この非定常スペクトルから卓越周期の時刻歴を求めることができる。

3. 液状化地盤の周期特性

液状化地盤から得られる地震記録の周期特性として、水平成分において長周期成分が卓越することが以前から知られている。しかし、このような周期特性は液状化の発生が報告されていない地点での地震記録にも多くみられる。これは、観測された地点の地盤が液状化しにくいとされる粘性土から構成されている場合の他に、地震動の途中で表面波による波動が卓越するためと考えられている。液状化地盤では、上下成分にこのような長周期化がみられないか水平成分よりも遅い時刻に長周期成分が卓越することが多いのに対し、非液状化地盤では水平成分と上下成分がほぼ同時に長周期成分が卓越する。本研究では、このような地震動に対する地盤の周期特性を考慮し、以下のような液状化判定の方針を立てた。

観測点において観測された水平方向と上下方向の加速度記録から、卓越周期の時刻歴をそれぞれ求める。計算手法には先に述べた日野の発達スペクトルを用い、求められた非定常スペクトルから卓越周期の時刻歴を求める。周期特性において水平方向成分が上下方向成分と比べてどの程度の変化があるかを知るために、水平方向の卓越周期の時刻歴と上下方向の卓越周期の時刻歴の比を求める。こうすることで2方向の地震波形の卓越周期の経時変化がわかり、その結果からその観測点における地盤の

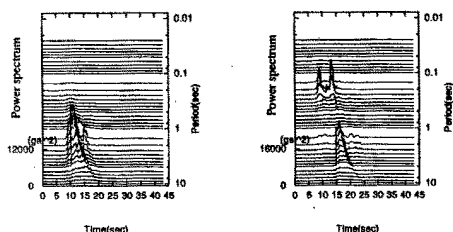
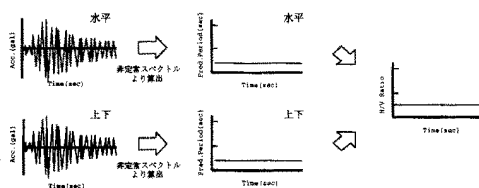
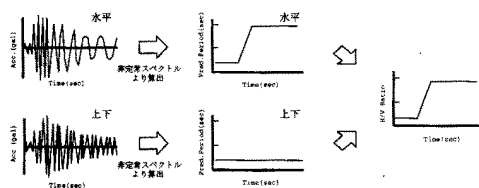


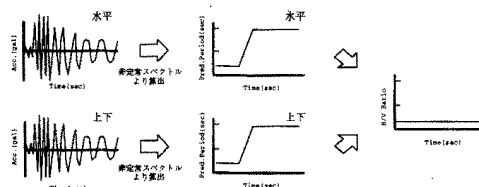
図1: 非定常スペクトル



(a) 非液状化時(表面波なし)



(b) 液状化発生時(表面波なし)



(c) 非液状化時(表面波あり)

図2: 波形処理の模式図

状態を時間を追って推定することができる。液状化発生時にはせん断抵抗が著しく低下するのでせん断波速度に関係する水平方向卓越周期 T_H も長くなる。したがってここでは以下のような水平方向卓越周期 T_H と鉛直方向卓越周期 T_V の比 T_H/T_V の時刻歴をパラメータとして考えた。このことを示したものが次式である。

$$\frac{T_H}{T_V} \propto \frac{T_s}{T_p} \quad (1)$$

$$= \frac{V_p}{V_s} \quad (2)$$

4. 液状化判定

こうして求めた卓越周期比の時刻歴から、地震記録の継続時間のうち卓越周期比が r より大きい値となる時間の総和 $T(r)$ を求め、 r と $T(r)$ の関係から液状化の判定を行なう。表1に示す地震記録に対して r と $T(r)$ の関係を求めたもの(抜粋)を図3,4に示す。これによると、液状化地盤の地震記録から得られたものがそうでないものと比べてゆやかに減少していることがわかる。この結果から、 $T(5) \geq 4, T(3) \geq 8$ を液状化判定の指標とすることで判定が可能であると考えられる。この2式をともに満たすものを液状化が発生した可能性が非常に高い(判定○)とし、1つだけ満たすものを液状化の疑いがある(判定△)とし、ともに満たさないものを液状化の可能性が低い(判定×)として判定を行なった。その結果を表1の左端に示す。この表を見ると、先述した判定基準を用いることによって実際の液状化に関する報告とほぼ一致する判定ができるといえる。

5. まとめ

以上に述べた方法を用いることで、液状化発生時における地表面観測波形の周期特性を考慮した液状化発生の程度を判定するための解析手法を提案できた。また、非正常スペクトルを用いることで、地震動の水平成分の周期特性を上下成分と比較した形で時間を追って表せた。これにより、水平方向の地震波形の周期特性として現れる長周期化の原因が、地盤の液状化によるものか表面波(主として Rayleigh 波を対象)の卓越によるものかを区別できた。また、この手法は地震動の逐次解析を行なうものであるため、地震動が終った時点での迅速な判定が可能であるので、液状化判定のオンライン処理に適しているといえる。

参考文献: 1) 宮島昌克, 野津智, 北浦勝: 強震記録に反映される液状化時地震動特性の定量的検出, 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集, 第1部(B), pp.858-859, 1998. 2) 高田至郎, 尾崎竜三: 地表面観測記録に基づく液状化判定手法の提案(その2), 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集, 第1部(B), pp.860-861, 1998. 3) 中山渉, 清水善久, 鈴木崇伸: 地震波形を用いた液状化判定, 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集, 第1部(B), pp.862-863, 1998. 4) 日野幹男: スペクトル解析, 朝倉書店, 1977.

表1:対象となる地震記録の液状化判定結果

| 判定結果 | 報告 | 観測点 | 地震名 |
|------|----|----------|----------------------------|
| ○ | ○ | ポートアイランド | 1995 兵庫県南部地震 |
| ○ | ○ | 東神戸大橋 | 1995 兵庫県南部地震 |
| ○ | ○ | 青森港 | 1968 十勝沖地震 |
| ○ | ○ | Wildlife | 1987 Superstition Hills 地震 |
| ○ | ○ | 釧路港 | 1993 釧路沖地震 |
| △ | ○ | 函館港 | 1993 北海道南西沖地震 |
| ○ | △ | JR 鷹取駅 | 1995 兵庫県南部地震 |
| △ | △ | 尼崎 | 1995 兵庫県南部地震 |
| × | × | 宮古 | 1978 宮城県沖地震 |
| × | × | 清水三保 | 1978 伊豆大島近海地震 |
| × | × | 堺 | 1995 兵庫県南部地震 |
| × | × | 忠岡 | 1995 兵庫県南部地震 |
| × | × | 神戸本山 | 1995 兵庫県南部地震 |
| × | × | 川内 | 1997 鹿児島県北西部地震 |

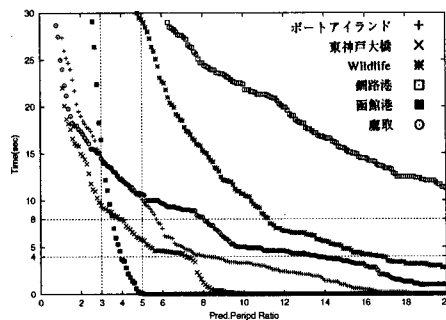


図3: $r - T(r)$ の関係(液状化報告'○', '△')

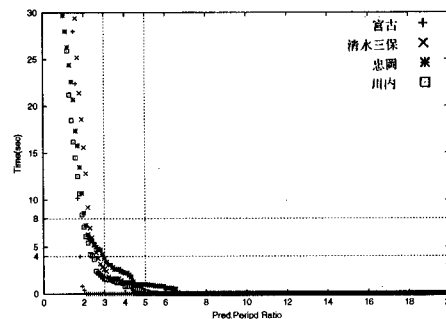


図4: $r - T(r)$ の関係(液状化報告'×')