

(46) オンライン実験方法による軟弱粘土地盤の非線形地震動の実験的解析

武蔵工業大学 正会員 〇片田敏行  
 (株)森本組 石原正志  
 大栄組 鈴木孝典

1. まぎ

都市の拡大と過密化に伴い、海岸を埋立て工場用地や住宅用地として供用されるようになってきた。このような軟弱な埋立て地にも数多くの土木構造物が存在する。また、これまで人が住宅地や工場用地として、あまり利用しにくかった沖積平野の低湿な軟弱地盤にも土木構造物が建設されるようになってきている。さらに、東京湾湾岸道路のように海成粘土中にも土木構造物がつくられるようになった。これらの土木構造物の耐震性を検討するには、これを支持している軟弱地盤の地震時の挙動を明らかにする必要がある。軟弱地盤では強震時には、その軟弱さゆえにかなり大きな変形を伴う非線形振動をすることが予想される。言いかえり、大きなひずみレベルで非線形振動をする。

著者の一人である片田は土質用振動三軸試験機より得られる復元力を用いて、地盤の非線形振動解析を行うオンライン・リアルタイム実験方法を開発、提案している。<sup>1)</sup> この実験方法を用いて、物性が急激に変化する飽和砂層地盤の液状化過程における非線形応答特性(加速度応答, 速度応答, 変位応答)と非線形復元力特性を解析している。

本研究は大きなひずみレベルでの地盤の非線形振動解析に対する土質オンライン・リアルタイム実験方法の有効性を検討するとともに、この方法を用いて軟弱粘土地盤の非線形応答特性と非線形復元力特性を明らかにする第1段階として軟弱なカオリン粘土と含水比の高い(したがって、軟弱な)関東ロームの動的性質を解析することを目的とする。

2. 試料土及び供試体

実験には市販のカオリン粘土と関東ローム(茨城産)を用いた。その物理的性質を表-1に示す。カオリン粘土については、気乾状態の試料に所定量の水を加えて、よく練り混ぜて含水比が $w=77\%$ 程度となるように調整した。このカオリン粘土を用いて振動三軸試験用供試体を作製した。

また、採取した関東ロームは自然乾燥により気乾状態にした後、2000μmの篩を通過させてから加水して含水比77%程度に調整した。この関東ロームを用いて供試体を作製した。カオリン粘土、関東ロームとも含水比77%程度と液性限界とはほぼ等しいが、あるいはそれ以上とかなり軟弱である。供試体の寸法は直径5cmで高さは10cmである。加振時の側圧は1.5kgf/cm<sup>2</sup>で、かつ非排水状態で加振させた。

3. 実験方法及び実験装置

振動三軸試験機を用いた土質オンライン実験では表層地盤を1自由度系でモデル化する。ランダム波あるいは正弦波に対する、この1自由度系の応答を計算器で求めるわけである。このとき、必要となる復元力は振動三軸試験機よりリアルタイムで取り入れる。オンライン実験方法のブロック図を図-1に示す。なお、オンライン実験に用いる振動三軸試験機は何ら特別なものではなく、市販(誠研舎製)のものである。これに、デジタル素子より成る演算回路を接続して、実験装置を構成している。

表-1 試料土の物理的性質

	カオリン粘土	関東ローム
液性限界 $w_L$	72.1 %	77.4 %
塑性限界 $w_p$	33.0 %	52.2 %
比重 $G_s$	2.65	2.89

表-2. モデル地盤の物性値

固有振動数 $f_0$	2 Hz
S波伝播速度 $V_s$	50 m/s
減衰定数 $\beta$	0.02

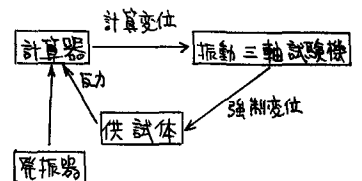


図-1 土質オンライン・リアルタイム実験方法のブロック図

#### 4. 実験結果及び考察

想定したモデル地盤の物性値を表-2に示す。この値を用いて応答解析を行った。

##### 4-1 地盤の非線形応答特性

カオリン粘土に関してはランダム波(10 Hz以上の高周波成分をカットしたホワイト・ノイズ)、関東ロームに関しては正弦波(3 Hz)を入力として得られた応答波形(加速度応答、速度応答、変位応答)を図-2と図-3にそれぞれ示す。今回の解析では振動三軸試験の供試体は非排水状態で加振しているので間隙水圧の変化はわからなかった。しかし、反力の変化を見るかぎり、加振により軟弱な供試体がさらに軟化するという現象は見られなかった。いずれにしても、大きなひずみを示す反力の小さい軟弱な土の場合でも、入力波の継続中、オンライン実験装置により応答解析が可能であることがわかる。

##### 4-2 地盤の非線形復元力特性

図-4、図-5は図-2と図-3に示した解析結果より得られた反力-変位曲線である。変位としては供試体の軸変位を測定するために設置してある変位計の変位記録を用いる。得られた復元力曲線を見ると、加振直後には線形振動をするが、すぐに一定の大きさのループを描きながら定常振動をするようになる。

#### 5. あとがき

本研究は超軟弱地盤の非線形地震応答特性を土質振動三軸試験機とデジタル演算回路を組合せたオンライン実験方法により明らかにする第1段階として、高含水比の軟弱な関東ロームとカオリン粘土の動的性質を解析した。その結果、それぞれの非線形応答特性と非線形復元力特性が明らかにできた。このことから、オンライン実験方法が地震時に大きなひずみを示すと思われる超軟弱地盤の動的挙動の解析にも有効であることが推察された。

**謝辞** 本研究で用いた振動三軸試験機は学校法人五島育英会の特別研究設備助成金により購入しました。デジタル演算回路の製作に当っては(株)誠研舎の技術的な助言と援助を受付けております。記して深謝を表す次第です。また、本学土木工学科土質・基礎研究室の神山教授、成山講師、目黒技士には日頃より数々の有益な助言と便宜を賜わり深謝します。東大地震研究所伯野元彦教授にはオンライン実験装置について種々の助言と便宜をいただき感謝する次第です。

研究の一部には文部省科学研究費(昭和57年度奨励研究(A)・研究代表者 片田敏行)の助成を受けています。記して謝意を表する次第です。

参考文献 (1)片田・伯野: オンライン実験による液状化地盤の非線形振動解析, 土木学会論文報告集, No. 318, pp. 21~28, 1982. 2. (2)片田・他: オンライン実験方法により得られる正弦波入力に対する砂の非線形復元力特性, 土質工学会「地盤と基礎の地震災害」に関するシンポジウム, 1983. 5.

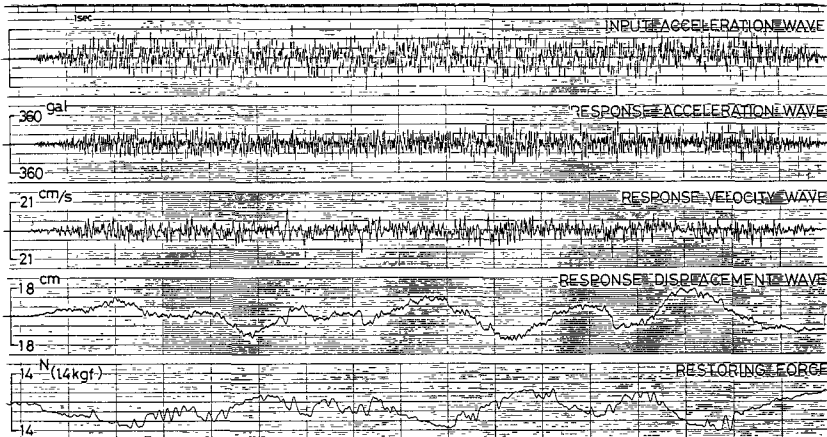


図-2 オンライン実験結果( $\omega = 79.6\%$ ) —カオリン粘土

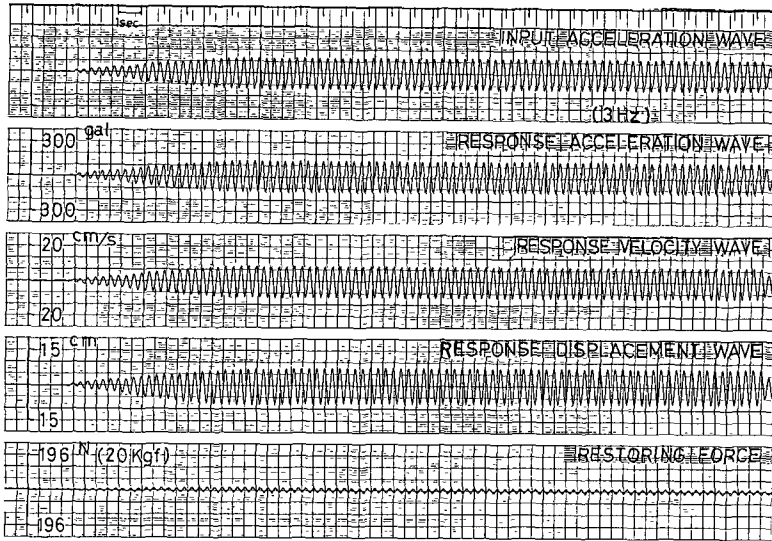


図-3 オンライン実験結果( $\omega=78.2\%$ )—関東ローム

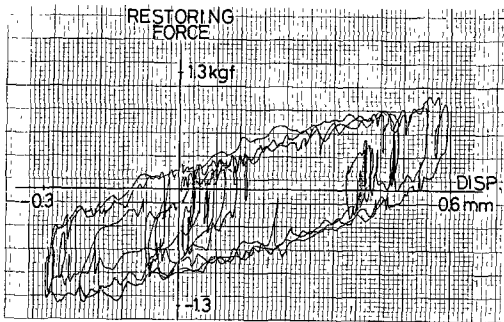


図-4 反力-変位曲線(カオリン粘土)

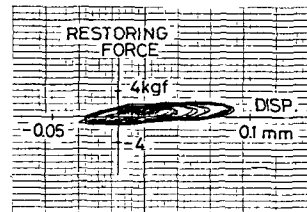


図-5(a) 反力-変位曲線(関東ローム)

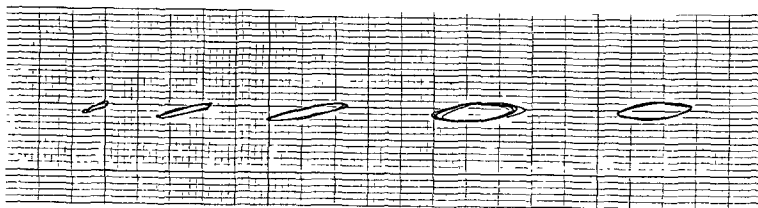


図-5(b) 反力-変位曲線の変化図(関東ローム)