

### III-A 37 オンライン実験手法による液状化した砂地盤の側方流動解析

武蔵工業大学大学院 学生員 竹内 佳代  
 武蔵工業大学工学部 正会員 片田 敏行  
 武蔵工業大学工学部 正会員 末政 直晃  
 五洋建設 正会員 須藤 雅典

#### 1. はじめに

傾斜した砂地盤が液状化すると、しばしば側方流動と呼ばれる地盤の永久変形が生じる。側方流動が生じると、地盤が大きく変位するため、地中に埋設されているライフライン施設や構造物の基礎が破壊され、多大な被害を及ぼす。そのため、この現象のメカニズム解明とその対策が、地震工学上の重要な課題である。そこで、液状化した砂地盤の加振時流動特性を調べるためオンライン地震応答解析を行った。一般に応答解析法では、要素試験により得られた結果を元に定式化された復元力関数モデルを用いる。側方流動でも、要素試験結果を用いた流動解析結果を模型実験である遠心実験結果などと照らし合わせるによりそのメカニズムが考察されている。これに対してオンライン地震応答解析とは、載荷実験データを取り込みながら振動系の応答計算を行う方法<sup>1)</sup>である。それゆえ、液状化時における複雑な砂の挙動を考慮して表層地盤の正確な応答特性が得られると考えられる。

#### 2. オンライン地震応答解析

##### (1) 実験条件及び方法

要素試験機としては、中空ねじり試験機を使用し、試料砂は豊浦標準砂を用いた。また、大歪領域の砂の挙動を再現するために、実験機のアクチュエータ部分に、従来のラックピニオン方式にかわりタイミングベルト方式を用いた。なお、液状化層は1層と想定し、1自由度系でモデル化した。また、傾斜した地盤を想定するため、供試体に偏差応力を与えた。供試体は漏斗を用いて空中落下法により中密詰め中空供試体(高さ10cm, 外径10cm, 内径6cm)を作成し、二酸化炭素を約20分間注入して空気と置き換え、その後、供試体下方より脱気水を通水した。実験手順としては、非排水状態で応力制御法により加振し、供試体が液状化した後一旦停止し、偏差応力を加え

オンライン地震応答解析に移行する2段階方式を採用した。実験条件を表-1に記す。また、実験に用いた入力加速度波を図-1に示す。

表-1 実験条件

オンライン実験条件		供試体条件	
入力波	秋田(NS) <sup>*)</sup>	試料砂	豊浦標準砂
最大入力加速度	0.05g	有効応力	1.0kgf/cm <sup>2</sup>
時間刻み	0.02sec	B値	0.95
継続時間	30sec	相対密度	56%
減衰定数	0.1	単位体積重量	1.63gf/cm <sup>3</sup>
固有振動数	2.0Hz	—	—
想定地盤深さ	6m	—	—

\*1 日本海中部地震(1983.5.26;M=7.7)における秋田港湾で記録された地震波加速度記録のN-S成分<sup>2)</sup>

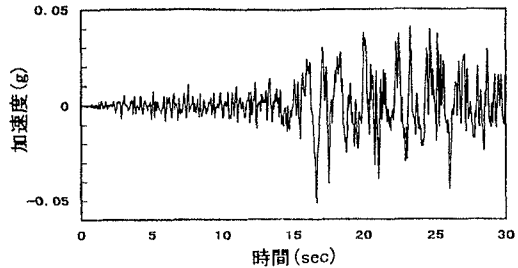


図-1 入力加速度波

##### (2) 実験結果

図-2に応答加速度、図-3に供試体せん断歪を示す。応答加速度において、図中プラス方向に急激な加速度の変化を生じた。以後これを spike と呼ぶ。次に、供試体せん断歪において、加振直後に急激なせん断歪の増加を示し、その後一定値に収束している。

#### 3. 遠心模型実験

次に、実地盤全体の流動状態を捉えるために、模型地盤に遠心重力場を与えて実地盤を再現し、その流動状態を調べた。

##### (1) 実験条件及び方法

一般に用いられている試料容器では液状化時の砂の動的挙動が再現しにくい。そこで、アルミ製のリングを10段重ねにし、加振時に模型地盤がせん断出

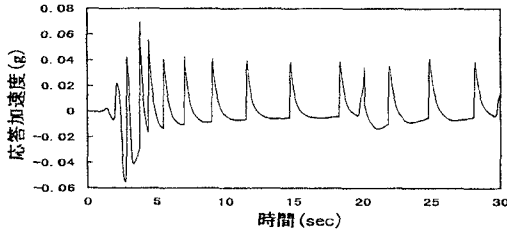


図-2 応答加速度(オンライン地震応答解析)

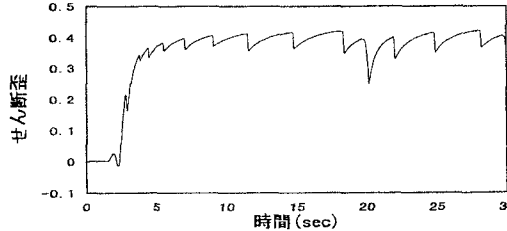


図-3 供試体のせん断歪(オンライン地震応答解析)

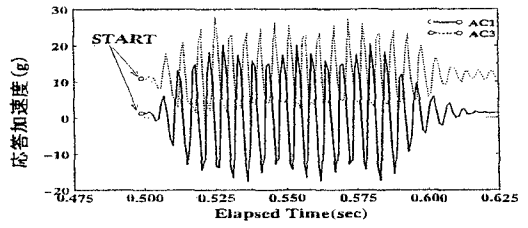


図-5 応答加速度(遠心模型実験)

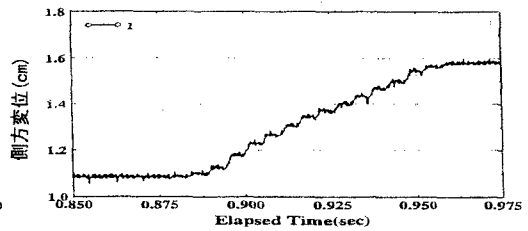


図-6 側方変位(遠心模型実験)

来る模型土槽を作成した。この土槽は、試料容器の中に設置する模型土槽で、底盤の組み替えにより傾斜地盤を再現することが出来る。

試料砂としてはオンライン地震応答解析と同様豊浦標準砂を使用した。傾斜角は、 $0^\circ$ 、 $5^\circ$ 、 $10^\circ$ に設定し、漏斗を用いて空中落下法により中密詰め<sub>2</sub>の模型地盤(高さ15.81cm、幅28.0cm、奥行き9.8cm、想定地盤7.5m)を作成した。その後、二酸化炭素を約1時間注入し、脱気水を供試体下方より通水した。作成した模型地盤に遠心加速度を加え、50g場に達した時点で加振実験を行った。入力波としては、実地盤において最大加速度が約0.3gになるような正弦波を入力した。加速度計、間隙水圧計などのセンサー配置図を図-4に示す。

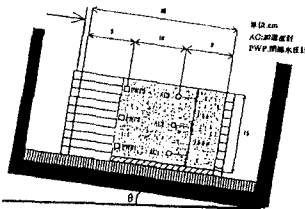


図-4 センサー配置図

(2) 実験結果

図-5に傾斜角 $5^\circ$ の場合の応答加速度波、図-6に傾斜角 $10^\circ$ の場合の側方変位を示す。応答加速度において、模型地盤の深層部にあるセンサーAC1では、加速度は両側にほぼ同様に生じているが、表層部に傾斜角 $10^\circ$ の場合の側方変位を示す。応答加速度において、模型地盤の深層部にあるセンサーAC1では、

加速度は両側にほぼ同様に生じているが、表層部にあるAC2では、プラス側に急激に加速度の増加する現象 spikeが生じてるのが見られる。この傾向は水平地盤で行った結果には見らずこれは Dobry らの結果<sup>3)</sup>と一致している。つぎに、側方変位に関して、加振されるとともに変位が増加しているのがわかる。

4. おわりに

以上の結果を見ると、今回行ったオンライン応答載荷解析の結果は、応答加速度において、急激な加速度の増加、即ち spikeが見られ、この点において、遠心模型実験や、Dobry らの結果と良い一致が得られた。また、地盤の流動も見られた。

遠心模型実験、オンライン地震応答解析、それぞれ、想定地盤条件が異なるため定量的には比較しにくい、定性的にはよく対応している。

謝辞：遠心模型実験結果を行うにあたり、多大な協力をしてくれた佐藤恭孝君に感謝します。

参考文献：

- 1) 小室智昭、片田敏行：“中空ねじりせん断試験機を用いたオンライン地震応答載荷装置の開発”第24回土質工学研究発表会、1989
- 2) 倉田栄一他：“昭和58年日本海中部地震の港湾地域における強震観測、港湾技研資料”、1983
- 3) K. Arulanandan & R. F. Scott: "Verification of Numerical Procedures for the Analysis of Soil Liquefaction problems". Pro. of VNPASLP, Vol. 1.1, Davis, California, USA, 1970, Oct. 1993
- 4) 須藤雅典：“砂地盤の側方流動のメカニズムとその流動特性、武蔵工業大学修士論文、1996.3