

### III-A 75 1995年兵庫県南部地震における神戸ポートアイランド 沖積粘土層の変形挙動の再現

東北大学工学部 学生員 山口 晶  
東北大学工学部 正会員 風間基樹  
東北大学工学部 正会員 柳澤栄司

#### 1. はじめに

1995年1月17日兵庫県南部地震が発生した。この地震において、埋立て人工島である神戸ポートアイランド（神戸PI）では、大規模な液状化が発生した。また、この地震において神戸PIでは神戸市開発局により鉛直アレーによる強震データが取得された。神戸PIにおける地震動を検討する上ではまき土層の液状化を含む動的挙動と同時に、その下層に位置する沖積粘土層及び洪積層の変形挙動を知ることも重要である。本研究では沖積粘土層に着目し、NGI型単純せん断試験機を用いて神戸PI沖積粘土層の兵庫県南部地震の際の動的変形挙動の再現を試みたのでここに報告する。

#### 2. 実験方法

図-1は神戸PIの地盤構成を示している。ここで対象とする地盤は、第2番目と第3番目の地震計にはさまれた沖積粘土層である。試料は六甲アイランドでシンウォールサンプリングによりGL-23m～-26.80m地点から採取された沖積粘土の不攪乱試料である。この試料の層は神戸PIの沖積粘土層と続いているものであり、その成因はほぼ等しいと考えられる。試料の物理特性は表-1に示した。試料の圧密降伏応力は $0.6\text{kg/cm}^2$ であり、圧密が十分進んでいない粘土である。そこで、試験の際には圧密容器を用いて所定の応力で等方圧密を行った。単純せん断試験機に入力した波形は、文献1)2)に従って鉛直アレー観測記録から求めた-20m地点の本震の応力時刻歴である。この応力時刻歴は実験ケースにより実際の载荷速度(real), その2倍及び1/10とし、実際の応力比で入力した。実験ケースの一覧表を表-2に示す。神戸PIの-20m地点の鉛直応力は各層の単位体積重量から $2.5\text{kg/cm}^2$ と決定した。供試体の寸法は直径7cm、高さ3cmである。

表-1 試料の物理特性

|        |                       |
|--------|-----------------------|
| 単位体積重量 | $1.482\text{kg/cm}^2$ |
| 含水比    | 95.35%                |
| 飽和度    | 100.5%                |
| 先行圧密荷重 | $0.6\text{kg/cm}^2$   |

地層構成（単位体積重量）

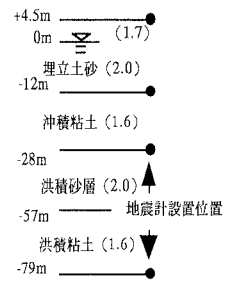


表-2 実験ケース一覧表

|       | 排水条件 | 载荷速度 | 鉛直応力                |
|-------|------|------|---------------------|
| case1 | 非排水  | real | $2.5\text{kg/cm}^2$ |
| case2 | 排水   | real | $2.5\text{kg/cm}^2$ |
| case3 | 排水   | 2倍   | $2.5\text{kg/cm}^2$ |
| case4 | 非排水  | 1/10 | $2.5\text{kg/cm}^2$ |
| case5 | 非排水  | 2倍   | $2.5\text{kg/cm}^2$ |

図-1 地層構造図

#### 3. 実験結果および考察

図-2は鉛直アレーから求めた動的変形挙動と実験case1の結果を比較したものである。応力レベルの小さい部分ではひずみの大きさはよく一致するのに対して、最大せん断応力時とそれに準ずる大きい応力レベルにおけるひずみは単純せん断試験の方が3～4倍大きいことがわかる。間隙水圧の上昇は初期有効応力との比にして5%を越えず、大きくない。（ただし、繰り返しせん断後3時間して測定したところ20%となっていた。）同図右側の応力-ひずみ曲線を見ると単純せん断試験の剛性は鉛直アレーデータから求めた剛性より小さいことがわかる。次に単純せん断試験の応力-ひずみループの時間変化を示したのが図-3である。5秒付近から剛性は半分位に低下している。また、図-4は一波毎の各ループからせん断剛性を計算したものである。剛性はループを長方形で囲み、頂点から頂点へ引いた線の傾きと定義した。時間は各ループの時間の中間をとった。剛性の変化のパターンは非常によい類似性が見られる。以上のことから、沖積粘土層も地震時に剛性が半分程度になるような非線形挙動をしたといえる。図-5は全てのケースにおけるひずみ振幅と剛性の関係を示したものである。剛性は、顕著なひずみ依存性を示している。また、データのばらつきは、排水条件、载荷速度、せん断応力履歴の影響があるためと考えられる。次に、ひずみ速度と剛性の関係を示したのが図-6である。図中の番号は図-3における各ループの順番を表す。また、同図は剛性のひずみレベル依存性を考慮し、同一のひずみレベルに補正して示した。図から、ひずみ速度が大きくなると剛性が大きくなることがわかる。なお、せん断試験による残留ひずみは0.3%となった。この値を沖積粘土層全体の水平変位に換算すると4.8cmとなる。

#### 4. 結論

本研究では、NGI型単純せん断試験機を用いて1995年兵庫県南部地震における神戸ポートアイランドの沖積粘土層の変形挙動の再現を試みた。最大ひずみに関しては両者に大きな違いが認められたが、剛性の変化パターンは良い再現性が得られた。また、剛性はひずみレベルやひずみ速度に影響を受けることもわかった。

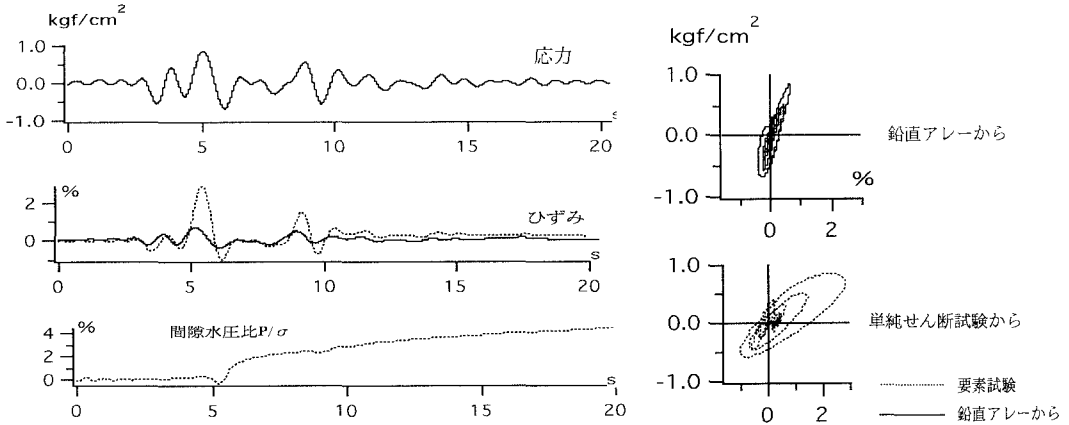


図-2 単純せん断試験と鉛直アレーによる推定値の比較

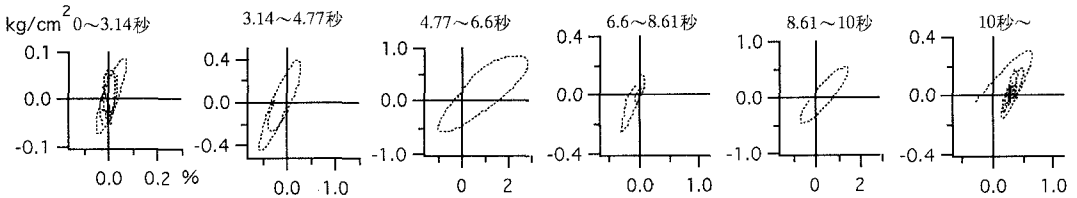


図-3 単純せん断試験からの応力-ひずみ関係

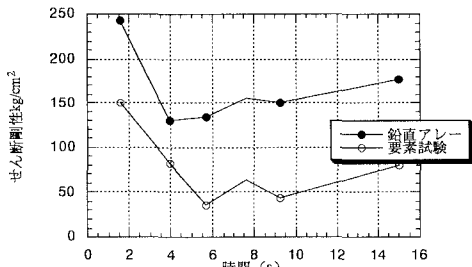


図-4 せん断剛性の経時変化の比較

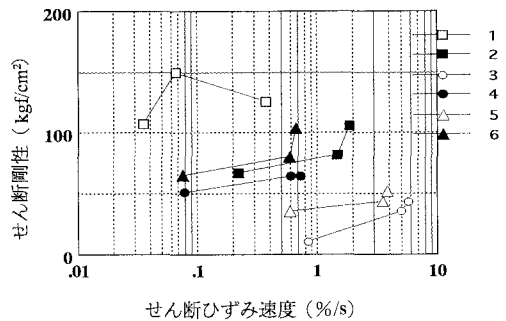


図-6 せん断剛性に及ぼすひずみ速度の影響（非排水条件）

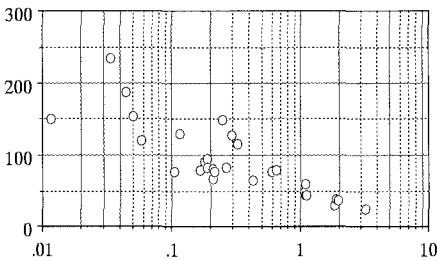


図-5 せん断剛性のひずみ依存性

#### 参考文献

- 1) 風間基樹・豊田浩志・東畑郁生・柳沢栄司；遠心振動実験から求めた地盤の動的変形特性と増幅特性，土木学会論文集Ⅲ部門 1996.3.
- 2) 風間基樹・柳沢栄司；アレー観測記録から推定した神戸ポートアイランドの地盤の応力-ひずみ関係，第23回地震工学研究発表会，pp.185-188 1995.
- 3) 土質工学会 土質試験の方法と解説