

(財) 電力中央研究所 (正) 当麻純一 (正) 大友敬三

1. まえがき

軟質地盤や地中構造物の耐震性を評価するに当っては、加速度や速度などの応答量よりも、非線形域における地盤歪の大きさやその繰返し回数などが問題となる場合が多い。しかしながら、地盤の動的歪を直接測定することは困難であり、動土質試験で得られる応力-歪関係の強震時における再現性については、ほとんど検討がなされていない。著者らは、小型のせん断歪計 (外観寸法25×25×25mm)を用いて、振動台上の大型砂層内の動的せん断歪の測定を試みたので、その原理と適用例を中心に報告する。

2. 実験方法

高さ1.5m、直径3.0mの円筒形せん断土槽内に岐阜砂(最大粒径0.84mm)を詰めて、模型の水平砂層を作成した。砂層内には、加速度計、せん断歪計を埋設した。振動台により、正弦波および地震波を入力した。

図-1は、実験に用いたせん断歪計の測定原理を示したものである。上・底面に作用する一対のせん断応力 τ に感応して、計器がせん断型の変形をする。上・底面間を結ぶ高弾性材料(エリンバー)の曲げ歪をIC化歪ゲージで測定することにより、あらかじめ較正されたせん断歪を得ることができる。このとき、歪の出力が直応力 σ に影響されないことが要件であり、これは確認している。計器のみかけのせん断剛性が砂のせん断剛性よりも大きいと、砂の変形を拘束してしまうので、砂のせん断歪を正しく検出することができない。したがって、砂の剛性の歪依存性を考慮し、振動実験で対象としたい歪レベルに適合するよう計器の仕様を決定する必要がある。今回は、使用する砂の動特性データ(図-2)を参考に、せん断歪 10^{-3} レベルに適合する計器のせん断剛性として30 (kgf/cm²)を採用した。

3. 正弦波入力による計測結果

せん断歪の測定精度を確認するために、気乾状態の砂層の正弦波加振を行い、砂層の定常応答を調べた。図-3は、入力20~300 (Gal)の各段階で砂層を共振させた場合の、地盤(G L-22.5cm)の最大せん断歪(0-P)を示したものである。図中、○印はせん断歪計の値、●印はせん断歪計の上方と下方とにセットした一対の加速度計の値から換算した平均的なせん断歪である。両者の間には若干の大きさの差がみられるものの、比較的良い対応を示し、入力レベルの増大に

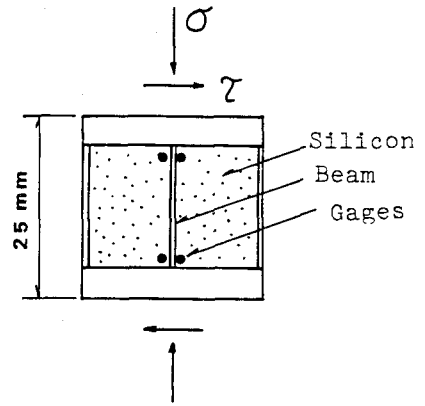


Fig.1 Shear Strain Gauge

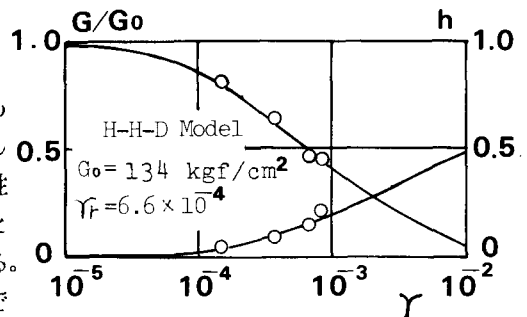
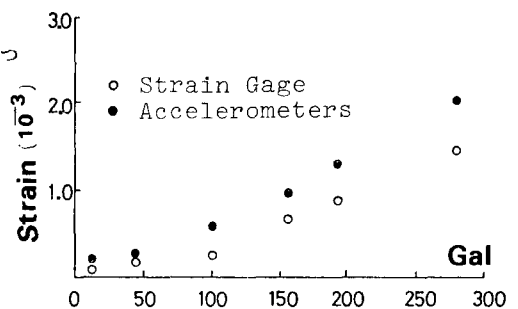
Fig.2 $G/G_0 \sim \gamma$, $h \sim \gamma$ 

Fig.3 Max. Strain vs. Input Acc.

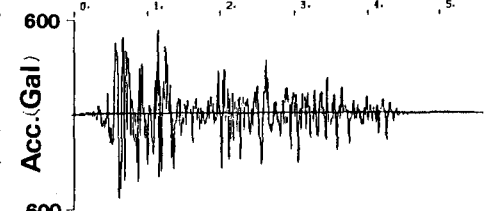


Fig.4 Base Motion

伴うせん断歪の非線形的な増大がよくわかる。原点への収束傾向はせん断歪計の値の方が良い。

4. 地震波入力による計測結果

含水比10%で締固めた砂層の地震波加振を行い、せん断歪の計測とその数値シミュレーションを行った。図-4は、入力した加速度波形の一例で、EL CENTRO NS'40記録の最大値(0-P)を530(Gal)に拡大、時間軸を1/5に縮小したものである。図-5は、この入力に対する地盤(GL-105cm)のせん断歪の波形であり、主要動部を拡大して示してある。実線がせん断歪計による計測値であり、破線が数値シミュレーションの結果である。数値シミュレーションには、一次元波動理論による砂層の等価線形解析(プログラム"SHAKE")を採用している。解析に用いた非線形カーブは、図2に示した修正Hardin-Drnevichモデルである。せん断歪は 10^{-3} レベルで、計測値と解析値との対応が良いことは注目すべきであろう。なお、比較のため初期物性を用いた線形解析を行った。図-6はその結果であり、実測値および等価線形解析値と比べて振幅が小さく、線形解析では適切な歪を算定できないことが明瞭である。

5. ひずみ計測の応用例

砂層上に重量構造物を想定した鋼製ブロック(寸法30×30×30cm)を設置して、正弦波加振を行った。図-7は、ブロックのスウェー・ロッキング固有振動が励起された振動数(23.8Hz)におけるブロック直下の地盤のせん断歪分布を示したものである。ブロックの振動の影響で、ブロック近傍ほど歪が大きいことが知れる。このように、構造物近傍の局所的な地盤歪の計測も可能である。

もうひとつの計測例は、砂層を水で飽和させた場合の地震波加振結果である。入力波は図-4の波の最大値を153(Gal)としたものである。図-8は、地盤(GL-55cm)の間隙水圧波形であり、水圧の蓄積がみられる。図-9は、その位置での地盤のせん断歪波形である。図-8と比較すると、間隙水圧の上昇過程で大きなせん断歪が発生していることがわかる。また、残留歪が生ずることもわかる。

6. まとめ

小型のせん断歪計を用いることにより、振動台上の砂層の動的せん断歪を測定し、ほぼ満足な精度で結果を得ることができた。さらに、せん断歪 10^{-3} レベルの計測結果を検証データとして、等価線形解析の妥当性を検討した。最後に、歪計測の応用例を示した。実地盤における利用も原理的には可能であり、実験を計画中である。

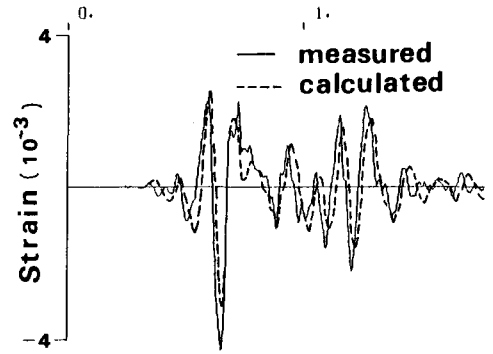


Fig.5 Measured and Calculated Strain

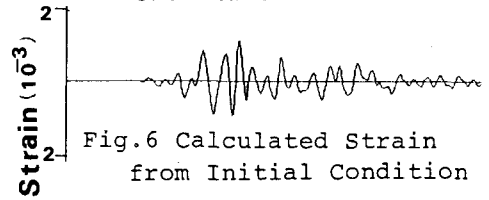


Fig.6 Calculated Strain from Initial Condition

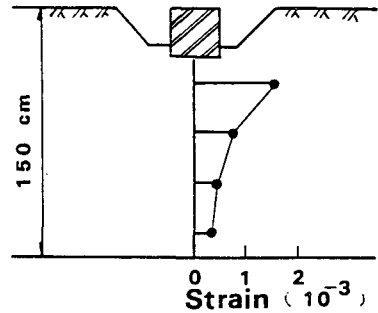


Fig.7 Max. Strain beneath the Block

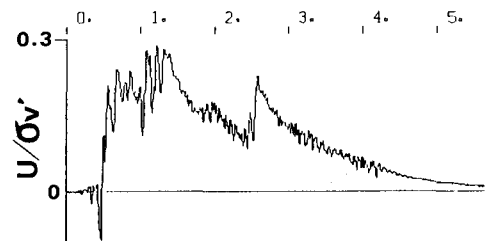


Fig.8 Pore Water Pressure

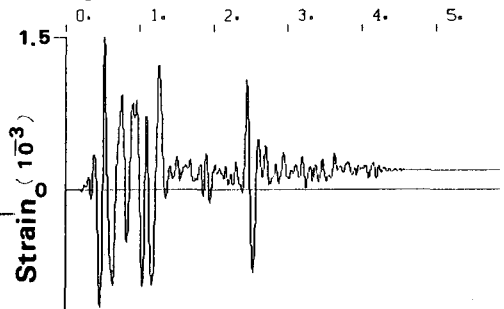


Fig.9 Measured Strain during Liquefaction