

繰返しせん断方向が飽和砂の有効応力に及ぼす影響

山口大学工学部 正会員 松田 博
山口大学大学院 学生会員 ○山本 智一
日本道路公団 正会員 櫻谷 慶治

1. はじめに 地震による直接の地盤の被害として最も知られているものの一つに地盤の沈下問題がある。この問題に関しては従来より三軸試験や単純せん断試験を用いた研究がなされてきた。しかしこうした研究の多くが地震動を一方方向の振動として扱って実験を行っており、せん断方向の影響については十分に考慮されていない。図-1 は 1995 年の兵庫県南部地震の際に神戸市のポートアイランドで実測された加速度履歴をもとに得たひずみ履歴曲線であるが、実際の地震による地盤内のひずみは多方向に生じるものであり、地震後の地盤の特性を知る上では地震動の方向性の影響を明らかにする必要があるといえる。そこで本研究においてはこの点に着目し、多方向単純せん断試験機を用いて砂層の有効応力減少について、地震動の方向性の影響を検討したので報告する。

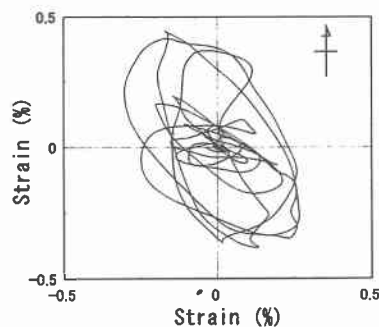


図-1 兵庫県南部地震でのひずみ履歴

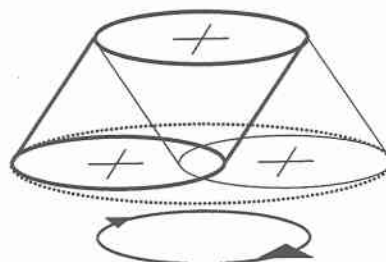


図-2 Gyratory shear test 時の供試体の挙動

2. 試験装置および試料 用いた装置は多軸単純せん断試験機である。この装置は水平面上の直角 2 方向からの载荷が可能であり、供試体下部において任意のせん断履歴を与えることが可能である。今回载荷が可能な直角 2 方向をそれぞれ X 方向、Y 方向と定義した。

また試料としては豊浦標準砂を用いた。密度および最大、最小間隙比はそれぞれ $\rho_s = 2.626 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ 、 $e_{\max} = 1.003$ 、 $e_{\min} = 0.642$ である。

3. 試験方法 相対密度を約 70% に調整した飽和試料を作成し圧密圧力 49kPa で予圧密した後、定体積条件のもとサイン波を用いた繰返しせん断試験を行なった。繰返しせん断後は圧密圧力 49kPa で再圧密を行ない沈下量を測定した。また、繰返しせん断試験はせん断方向の違いによる影響を明確にするために以下に示す 4 つの载荷方法を用いた。

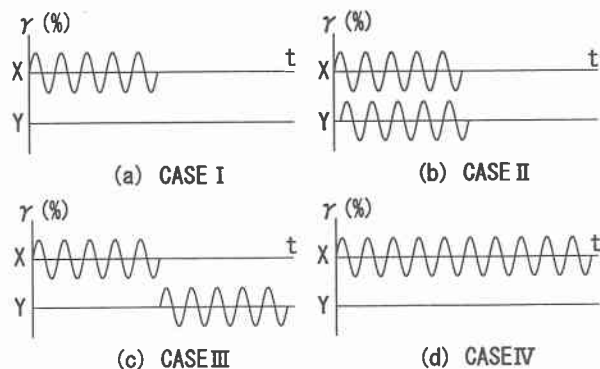


図-3 せん断方法

CASE I ; X 方向から所定の回数(n)のサイン波のせん断ひずみを負荷(Uni-)。

CASE II ; X、Y 両方向から位相差($\theta = 90^\circ$)を与えて、所定の回数(n)のサイン波せん断ひずみを負荷(Gyratory shear)。

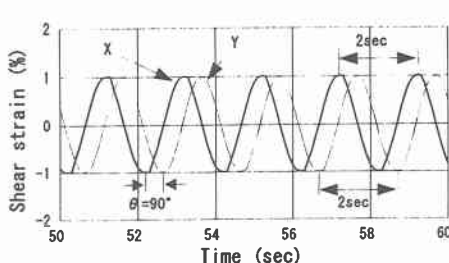


図-4 せん断ひずみ-時間関係

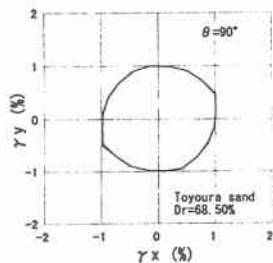


図-5 せん断ひずみ履歴

CASE III ; X 方向から所定の回数(n)のサイン波形のせん断ひずみの負荷を行った後 Y 方向からも同回数のサ

イン波形せん断ひずみを負荷(Y after X)。

CASEIV ; X 方向から n の 2 倍($n'=2 \times n$)の回数のサイン波形せん断ひずみを負荷。

繰返し回数 n は 5 回あるいは 100 回とした。また用いたサイン波の周期は 2 秒であり、ひずみ振幅は 0.1% ~ 1.0% の間で変化させた。図-2 は Gyratory shear test における供試体の挙動を、図-3 はせん断パターンを、図-4、5 には Gyratory shear の記録波形をそれぞれ示した。また、ひずみ振幅の定義としては CASE I、IV における一方向載荷の場合では、片振幅の大きさを供試体高さで除した値を γ とし、CASE II、III での多方向載荷の場合にはせん断面上において原点から最も遠い点までの距離を供試体高さで除した値を γ' とした。

4. 試験結果 図-6(a)(b)に繰返し回数 $n=5$ 、100 とした時の繰返しせん断中における鉛直有効応力の経時変化を示した。同図よりせん断回数の増加とともに有効応力が減少していることがわかる。その減少量がひずみ振幅の大きさに大きく依存していること、また同振幅で比較した場合、1 方向せん断より Gyratory shear の方が有効応力減少量が大きいといえる。この有効応力減少量をひずみ振幅 γ との関係で整理したものが図-7(a)(b)である。 $n=5$ の場合には γ が小さい場合に限りせん断方法の違いが明瞭に現れている。すなわち、ほぼ等しい振幅で比較すると CASE I の場合が最も有効応力減少量は小さく、次に CASE IV、そして CASE II と III が最も大きくなっている。また CASE II と III についてはほぼ等しい有効応力減少が生じているといえる。また、 γ が大きい場合、 $n=100$ の場合には、繰返しせん断中に鉛直有効応力は 0 となるため $\Delta \sigma_v' / \sigma_{v0}'$ の値はせん断方法に関わらず 1 となり、せん断方向の影響は見られない。

5. 結論 多方向繰返しせん断を行うことにより、①繰返しせん断中に生じる有効応力減少量は、繰返しせん断方向の影響を受けること、②ひずみ振幅 γ が大きい場合、繰返し回数 n が大きい場合は、 $\Delta \sigma_v' / \sigma_{v0}'$ の値はせん断方法に関わらず 1 となり、せん断方向の影響は見られないことが明らかになった。

参考文献 1) Nagase, H. and Ishihara, K. "Liquefaction-induced compaction and settlement of sand during earthquakes", SOILS AND FOUNDATIONS, Vol.28, No.1, 65-76, 1988. ; 2) Robert Pyke, H. Bolton Seed, and Clarence K. Chan, "Settlement of sands under multidirectional shaking", JOURNAL OF THE GEOTECHNICAL ENGINEERING DIVISION, Vol.101, No. GT4, 379-398, 1975.

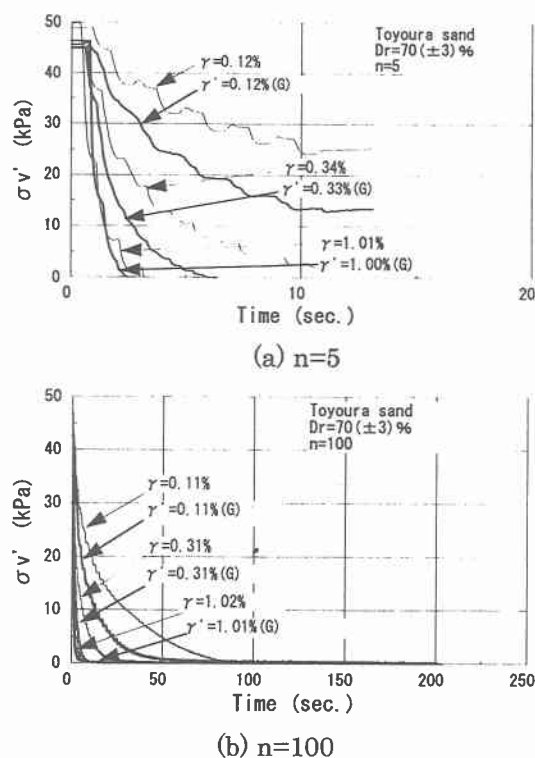


図-6 繰返しせん断によって生じる有効応力減少

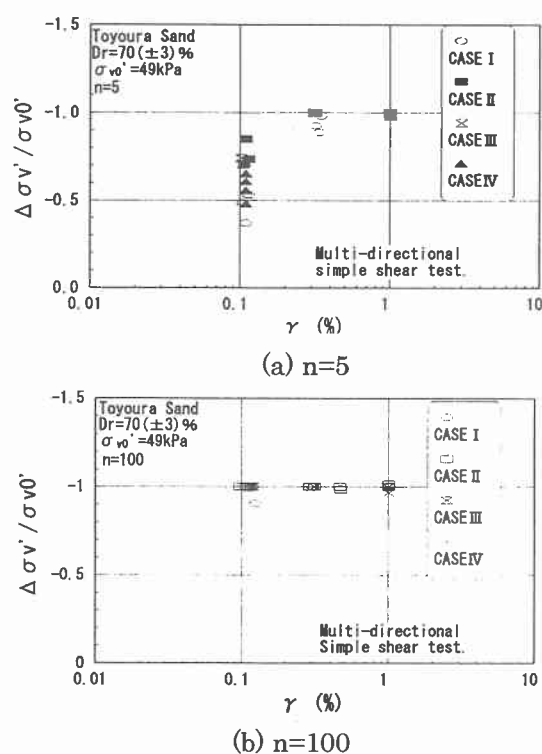


図-7 $\Delta \sigma_v' / \sigma_{v0}'$ と γ の関係