

Torsional Shear Tests on Sand With Effective Stress State Lying Near Failure Conditions

破壊に近い有効応力状態での砂のねじりせん断試験

氏名 **Goran Arangelovski**
 ゴラン アランゲロフスキー

護岸や石油タンクなどの重要構造物が、地震時に大きく変形、沈下する事例が報告されている。これらの構造物の基礎地盤は、緩く飽和していることが多く、液状化が変形、沈下の原因だと考えられる。ところが、兵庫県南部地震で護岸が大きく水平変位した箇所において、背面地盤、基礎地盤ともに、液状化の痕跡が見られなかった。また、護岸模型の振動台加振実験(Ghalandarzadeh, 1997)では、背後地盤の有効応力がゼロになることは確認されなかった。これらの観察結果から、大変形は、液状化のためでなく、地盤の破壊条件に近い有効応力がかかったことによることが考えられる。地震により、せん断荷重が繰り返してかかることで、変形が累積したと考えられる。

構造物の地震時の安定性は、必ずしも安全率、つまり耐力と実際にかかる力の比率で評価できるものではない。重要なのは、地震による永久変位の大きさである。これらの構造物では、変形が許容される程度に収まれば、安全率が1以下であっても構わない。この許容変位量は、構造物全体の安定性、使用性、修復にかかる時間を考慮して定めるべきである。

砂の非排水条件での挙動は、初期せん断応力がゼロの状態からの载荷についてはよく調べられているが、多くの構造物では、常時から初期せん断応力がかかっていて、さらに地震による繰返しせん断が加わることが多い。この点に配慮した検討が必要である。

本研究では、豊浦砂の中空供試体で、ねじりせん断試験を行った。試験では、初期せん断力、繰返し振幅、供試体の相対密度を様々に変えながら、軸圧縮力、ねじりせん断力ともに繰返し変動させた。

初期せん断として、供試体高さ一定の非排水条件で1%ねじった後に、非排水繰返し軸圧縮荷重を行った。この繰返しの間、ねじりせん断力を一定に保ち、内セルの体積を一定に保ったところ、供試体は、軸圧縮応力が減少すると、応力比が大

きくなり、せん断ひずみが大きく進んだ。総せん断ひずみ量と繰返し回数の関係は、対数目盛り上で直線的になった。

次に、相対密度40%の供試体で、初期の有効拘束圧98kPaと196kPaを用いて、排水条件で所定の初期せん断応力まで単調載荷した後に、非排水条件で単調にねじりせん断をかけた。その結果、塑性流れ時のせん断応力は、初期せん断応力が大きくなるほど、急激に大きくなった。また、塑性流れ後のせん断ひずみ量は、初期せん断応力が大きいときには非常に小さくなった。

次に、載荷速度の影響を調べた。載荷は、ひずみせん断応力を周期1200秒の応力制御で与えるのを標準としたが、ここでは、低速(0.000475%/sec)および高速(0.157%/sec)のひずみ速度一定の載荷も行った。せん断応力とせん断ひずみの関係からは、載荷速度による差は見られなかった。低速のひずみ速度一定の載荷では、第1サイクル目で小さな差があったが、応力経路に対する載荷速度の影響もほとんどなかった。

これまでの実験結果から、繰返し回数と各1サイクルでのせん断ひずみの増加量をまとめると、対数目盛り上で直線的な関係が見られた。ねじりせん断ひずみの増加分は、各サイクルの載荷時のひずみと除荷時のひずみに分けられるが、載荷時のひずみに関しては、トータルのひずみと同じ傾向が見られたのに対して、除荷時のひずみは、各サイクルでほぼ一定値であった。また、第1サイクルでの挙動は、他のサイクルと異なる傾向があるが、第1サイクルと第2サイクルのせん断ひずみ増加量には、密度や繰返し応力の振幅によらない一意な相関があった。

また、拘束圧が高い場合、繰返し応力の振幅が大きい場合、供試体が緩い場合ほど、ねじりせん断ひずみの増加量も大きくなった。各サイクルでの載荷時と除荷時のひずみ量の関係については、供試体の相対密度と繰返し応力の振幅の大きさの影響を受けていた。

また、軸ひずみの増加量と繰返し載荷回数との関係も、対数目盛り上で直線的な関係になった。

上記の、ねじりせん断ひずみと他のパラメータとの相関関係は、初期せん断応力下での砂の非排水挙動を予測するのに有用である。これらの実験結果から、せん断ひずみの累積を予測することが可能である。