

새만금 준설모래의 동적 액상화 거동 특성

Cyclic Liquefaction Behavior Characteristics of Saemangeum Dredged Sand

정진섭·최두헌(원광대)·박승해*(농업기반공사)
Jeong, Jin Seob · Choi, Du Hon · Park, Seung Hae

Abstract

Undrained cyclic triaxial compression tests were performed on Saemangeum dredged sand to evaluate factors affecting liquefaction strength and liquefaction behaviour characteristics. The results of these tests show that cyclic liquefaction can occur not only very loose sand(Relative density is 30%) but also dense sand(Relative density is 70%). To evaluate effect of the over consolidation ratio on the liquefaction strength, a series of undrained cyclic triaxial compression test was performed, and the result of this test showed that the liquefaction of this test showed that the liquefaction strength of Saemangeum dredged sand approximately increased to square root of over consolidation ratio in the range of O.C.R value of 1.0 to 4.0. In the anisotropically consolidated sample tests, the liquefaction strength is increased by increasing the effective consolidation ratio.

I. 서론

일반적으로 액상화 발생가능성에 대한 평가는 포화사질토가 비배수 상태에서 급속한 재하를 받게 되면 과잉간극수압의 발생과 동시에 유효응력이 '0'이 되어 '액상화'가 일어난다는 고전적인 개념과 사질토의 최대전단저항이 반복동하중에 의해 발생하는 반복전단응력보다 작을 때 일어나는 것이며 유효응력이 반드시 '0'은 아니라는 발전적인 개념에서 출발하게 된다. 현재 이러한 액상화에 대한 기본적인 다양한 연구결과 준설모래로 성토된 지반의 액상화 발생가능성에 대한 예측방법으로는 Seed & Idriss(1971)²⁾의 간편법과 Polous(1987)³⁾의 Steady-state 해석법등이 개발되어 사용되고 있다.

본 연구에서는 새만금 준설모래에 대하여 동적하중을 받는 모래지반의 액상화 거동특성을 규명하고자 구속압과 상대밀도를 달리한 비배수 삼축압축시험을 실시하고, 과압밀비와 유효압밀비가 액상화강도에 미치는 영향을 고찰하였다.

II. 본 론

본 연구는 동적액상화 거동특성을 평가하기 위하여 비소성 세립분이 함유된 새만금 준설 모래를 자연 건조시킨 후 일정한 입도를 갖도록 #60체를 통과한 시료를 이용하였으며, 이 시료는 #200체를 통과한 비소성 세립분(Non-plastic Fine) 8%를 함유하고 있다. 새만금 준설모래의 비중은 2.695이고, 최대간극비(e_{max})는 1.237이며 최소간극비(e_{min})는 0.765이다. 공시체의 크기는 대략 직경 50mm, 높이 110mm이나 공시체마다 실제의 직경과 높이를 측정하여 상대밀도를 계산하였다. 시험은 C. K. Chan이 개발한 자동화삼축압축시험기(Automated Triaxial Testing System)로 시험하였으며 공시체의 제작방법은 Dry Tamping Method로 제작하였다. 응력제어 방식의 Sine파 진동하중의 주기는 ASTM(D5311) 규정에 0.1Hz에서 2.0Hz 사이의 값을 권장하여 본 시험에서는 0.1Hz의 재하속도를 채택하였다.

본 연구에서 사용된 매개변수들은 평균유효주응력, $p' = (\sigma_1' + 2\sigma_3')/3$ 과 전단응력, $q = \sigma_1' - \sigma_3'$ 그리고 Stress Ratio = $\sigma_d'/2\sigma_3'$ 이다.

1. 시험방법

가. 시료의 최대·최소 간극비와 비중을 결정한다.

나. 상대밀도를 30%, 50%, 70%로 변화시켜 비배수 삼축압축시험을 실시한다.

다. 구속압을 50kPa, 100kPa, 200kPa로 변화시켜 비배수 삼축압축시험을 실시한다.

라. 상대밀도 30%, 구속압 50kPa의 시료를 과압밀과 비등방압밀시켜 비배수 삼축압축시험을 수행한다.

2. 시험결과 및 고찰

가. 정규압밀 시료 시험

1) 구속압력이 동적 액상화강도에 미치는 영향

그림 2.1, 그림 2.2, 그림 2.3은 구속압이 동적 액상화의 강도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 상대밀도 30%인 시료에 유효구속압력을 50, 100, 200kPa로 점차 증가시켜 Stress Ratio 0.1의 진동하중을 0.1Hz의 재하속도로 재하하여 이때 액상화가 발생하는 시점을 비교한 그림이다. 유효구속압이 증가함에 따라 액상화 시점에 도달하기 위한 진동 하중 재하 횟수가 각각 16, 26, 48회로 증가하였고 액상화에 저항하는 강도는 유효구속압의 증가와 함께 점차 증가함을 알 수 있다.

또한 유효구속압력 100kPa의 시료에 Stress Ratio를 변화시켜 액상화가 발생하는 시점을 비교한 결과 일정한 재하속도로 진동하중을 재하할 경우 Stress Ratio가 증가하면 할수록 액상화에 저항하는 강도는 Stress Ratio가 0.07, 0.08, 0.1, 0.15로 증가할수록 액상화에 저항하는 강도는 137회, 60회, 26회, 2회로 감소함을 알 수 있었다.

그림 2.4는 모래의 구속압, 반복응력의 크기 및 액상화 파괴에 이르는 반복횟수와의 관계를 나타내는 반복강도곡선(Cyclic Strength Curve)을 나타낸 그림이다.

2) 상대밀도가 동적 액상화강도에 미치는 영향

시험은 Stress Ratio 0.1, 구속압 100kPa의 시료에 상대밀도를 각각 30%, 50%,

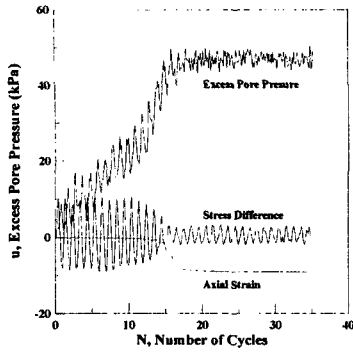


그림 2.1 유효구속압 50kPa(반복횟수 16회)

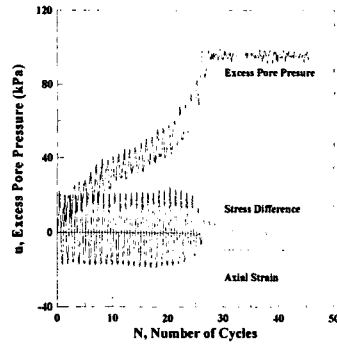


그림 2.2 유효구속압 100kPa(반복횟수 26회)

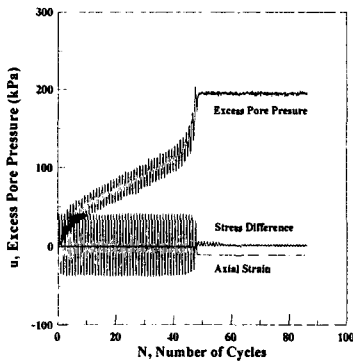


그림 2.3 유효구속압 200kPa(반복횟수 48회)

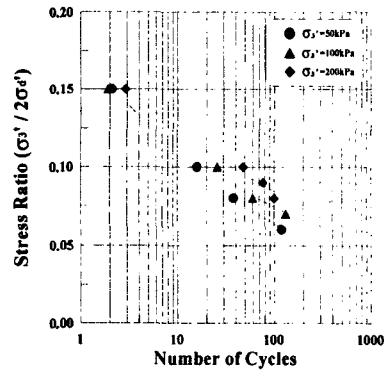


그림 2.4 구속압력에 따른 액상화강도 변화

70%로 증가시켜 수행하였다. 그 결과 상대밀도가 증가할수록 액상화에 필요한 동적하중재하의 반복횟수가 26, 42, 159회로 각각 증가하였고, 액상화과괴에 필요한 반복횟수, N은 밀도가 낮을수록, 그리고 Stress Ratio가 클수록 감소된다. 그림 2.5는 모래의 상대밀도, 반복용력의 크기 및 액상화과괴에 이르는 반복횟수와의 관계를 나타내는 반복강도곡선(Cyclic Strength Curve)을 나타낸 그림이다.

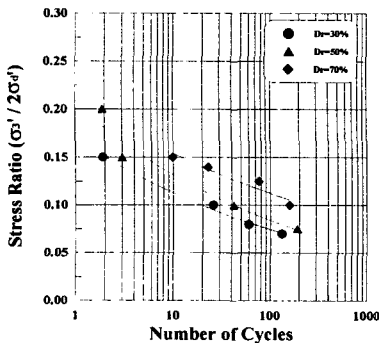


그림 2.5 상대밀도에 따른 액상화강도 변화

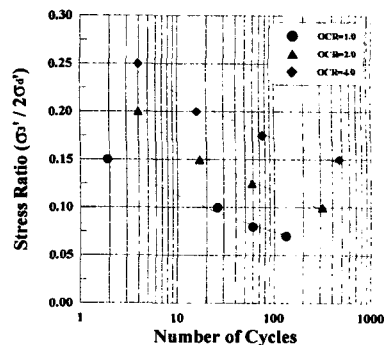


그림 2.6 과압밀비에 따른 액상화강도 변화

나. 과압밀 시료 시험

그림 2.6은 과압밀비가 액상화강도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 상대밀도 30%의 느슨한 새만금 준설모래에 대하여 과압밀비를 1.0, 2.0, 4.0으로 변화시켜 반복횟수 20회때의 액상화강도를 비교한 결과, Stress Ratio가 0.1, 0.15, 0.2로 과압밀비의 평균근에 비례하게 증가하였고, 따라서 새만금 준설모래는 Ishihara등이 제안한 식과 매우 잘 맞는 액상화강도변화 특성을 가지고 있는 것으로 나타났다.

다. 비등방압밀 시료 시험

유효압밀에 따른 액상화강도의 변화를 알아보기 위해 Stress Ratio 0.15, 구속압 100kPa의 시료에 유효압밀비를 1.0, 1.2, 1.5로 각각 증가시킨 결과 하중반복횟수가 2, 5, 12회로 점차 증가하였으나, 유효압밀비 1.2와 1.5의 시험결과는 거의 비슷하였고, 유효압밀비 1.0의 시험결과보다는 액상화에 저항하는 강도가 훨씬 증가함을 보였다. 이로부터 액상화에 저항하는 강도는 유효압밀비와 매우 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

III. 결 론

실트질을 함유한 자연상태의 새만금 준설모래를 사용하여 동적액상화에 관한 강도변화를 고찰하였으며, 구속압력과 상대밀도를 달리한 정규압밀 시험과 과압밀 시험 그리고 비등방압밀 시험을 실시하여 그 관계를 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 동적액상화에 저항하는 강도는 시료에 가해지는 구속압력과 상대밀도가 커지면 커질수록 증가하는 것으로 나타났다.
2. 동적액상화에 저항하는 강도는 Stress Ratio가 증가할수록 감소한다.
3. 과압밀된 시료는 정규압밀된 시료보다 동적액상화에 저항하는 강도가 훨씬 크고, 새만금 준설모래는 '동적액상화에 저항하는 강도는 과압밀비의 제곱근에 비례한다'는 Ishihara등이 제안한 식과 매우 잘 일치하는 관계를 보인다.
4. 유효압밀비가 증가하면 할수록 액상화에 저항하는 강도도 증가하는 관계가 있으며, 비등방압밀시료는 등방압밀시료와는 달리 간극수압이 구속압력까지 증가하지 않으며 변형률도 계속적으로 증가하는 특징이 있다.

IV. 참 고 문 헌

1. Seed, H. B. and Idriss, I. M., "Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential", Journal of Soil Mechanics and Foundation, ASCE, Vol.93, No.SM3, 1971, pp. 1249~1273.
2. Erten, D. and Maher, M. H., "Cyclic Undrained Behavior of Silty Sand", Journal of Soil Dynamic and Earthquake Engineering, Vol.14, 1995, pp. 115~123.
3. 황대진, "실트질을 포함하는 모래질 흙의 액상화강도에 관한 연구", 대한토목학회 논문집, 1993, pp. 243~252.
4. Ishihara, K., Tatsuoka, F., and Yasuda, S., "Undrained Deformation and Liquefaction of Sand Under Cyclic Stresses", Soil and Foundations, Vol. 15, No. 1, Mar. 1975, pp. 29~44.
5. Lade, P. V. and Yamamuro, J. A., "Effects of Nonplastic Fines on Static Liquefaction of Sands", Can. Geotech., J. 34, 1997, pp. 918~928.
6. Lee, K. L. and Seed, H. B., "Cyclic stress condition causing liquefaction of sand", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 93(SM1), 1967, pp. 47~70.