

지진의 수직 진동에 의한 개단 말뚝의 관내토 거동 특성

Soil Plug Behavior of Open-ended Pipe Pile during the Simulated Vertical Earthquake Motion.

최용규¹⁾, Yongkyu Choi, 김명학²⁾, Myung Hak Kim, 이호근³⁾, Ho Geun Lee

¹⁾경성대학교 공과대학 토목공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, KyungSung Univ.

²⁾휴스턴 대학교 토목·환경공학과 박사과정, Ph. D. Candidate, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Univ. of Houton.

³⁾경성대학교 공과대학 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, KyungSung Univ.

SYNOPSIS : To study the dynamic behavior of soil plug due to the simulated vertical excitation scaled as Magnitude 8.0, dynamic test using pressure chamber was performed. During the simulated vertical ground excitation, soil plugging was not degraded and ultimate pile capacity of pipe pile was not degraded. Also, pore pressure under the pile was developed higher than that near pile surface, which means that pore pressure under the pile could have effect in the soil plugging resistance and the resistance of pipe pile.

Key words : Dynamic behavior of soil plugging, Pore pressure, Pile capacity degradation, Vertical motion of earthquake, Calibration Chamber.

1. 서론

지진이 도래했을때 수평 방향 진동과 수직 방향 진동에 의해 말뚝의 거동에 영향을 주게 된다. 특히, 개단 말뚝의 경우에는 관내토 폐색력이라는 특별한 지지력 성분이 있는데 (Choi & O'Neill, 1996 ; Paikowsky et al., 1990), 지진 규모 8.0으로 유사화된 지진이 작용하는 경우 지진의 수평방향 진동에 의해 관내토 폐색력은 타격관입 말뚝과 진동관입 말뚝에서 각각 10~20%, 20~30%정도 감소 되는 것으로 알려져 있으나 (Choi & O'Neill, 1995), 수직 진동이 관내토 폐색 거동에 미치는 영향에 관한 연구는 이루어져 있지 못하며 다만 인장 말뚝의 경우 지지력이 미치는 영향이 거의 없다는 것이 알려져 있을 뿐이다 (O'Neill et al., 1990). 또한, 수중에 설치된 개단 말뚝의 경우 지진의 수직 성분에 의해 유발된 해상파가 수중 지반으로 영향을 미쳐 간극 수압을 크게 유발시켜 관내토 폐색력을 크게 저하시키게 될 것으로 예상되며 이에 대한 연구는 현재 본인에 의해 진행되고 있다.

본 연구에서는 지진의 수직 진동에 의해 개단 말뚝의 지지력 거동과 특히 관내토의 폐색 거동에 미치는 영향을 압력 토조를 이용한 모형실험을 통하여 알아보고자 한다.

2. 실험

2.1 실험 장치

전반적인 실험 장치는 Fig. 1에 나타나 있으며, 압력토조, 모형말뚝, 정하중 재하장치, 진동하중 재하장치, 간극 수압계, LVDT, 그리고 동적변형 측정시스템등으로 구성되어 있다. 그리고, 압력토조, 모형 말뚝등에 관해서는 Choi(1995)에 상세하게 설명되어 있다.

지진기록의 확대 기법에 의하여 지진 규모 8.0으로 유사화된 수직진동의 수직 변위의 시간에 대한 이력은 그림 2에 나타내어져 있으며, 이 진동은 진동하중 재하장치에 의해 발생되어 진다.

2.2 실험 계획

진동 관입된 말뚝보다 타격 관입된 말뚝에서 관내토의 폐색이 훨씬 크게 나타나므로 (Choi & O'Neill, 1996), 본 연구에서는 타격관입 말뚝에 대하여 실험을 수행하였다. 그리고, 수평진동의 경우 지표면에 가까운 깊이에서 지지력에 큰 영향을 미쳤는데, 본 연구에서도 진동에 의한 영향 깊이를 모델링하기 위하여 압력토조에 작용시키는 구속 압력을 변화시켜 주었다. 구체적인 실험 계획은 표. 1에 나타내었다.

Table 1. Test Plan

Test type	V-20	V-35	V-60
Installation method	impact	impact	impact
Confining pressure (kPa)	20	35	60
Static load test before shaking	×	×	×
Simulated vertical shaking	×	×	×
Static load test after shaking	×	×	×

2.3 실험 방법

레이닝 방법에 의해 상대 밀도 50%로 토조내에 모형 지반을 형성하였으며, 증류수로 완전히 포화시킨후 압력토조에 임의의 구속 압력을 가했다. 모형 말뚝을 압력 토조의 중앙에 위치시킨후 49.8N의 해머를 380mm위치에서 낙하시켜 모형 개단 말뚝을 소요의 깊이까지 관입시켰다. 정하중 재하 장치를 압력 토조의 윗뚜껑에 조립한 후 추 무게를 증가시키면서 정재하 모형 말뚝실험을 실시하는데, 이때 각 하중 단계에서는 변형이 정지될 때까지 충분한 시간을 경과시켰다. 극한 하중이 나타날 때까지 정재하시험을 계속한 후 제거시킨 다음, 24.5N의 해머를 300mm위치에서 한 번 타격하여 말뚝의 지지력을 회복시켰다 (Choi, 1995). 정재하 시험에서 결정된 극한 하중을 재하시킨 후 유사화된 지진의 수직 진동을 압력 토조에 작용시켜 진동 시험을 실시한 다음 재하시킨 후 정재하 시험을 수행하여 수직 진동 작용에 의한 극한 지지력의 저감율을 확인하였다.

3. 실험 결과 및 분석

그림 3에는 토조의 구속 압력이 20 kPa인 경우의 하중-침하량 곡선을 나타내었는데, 말뚝의 극한 지지력을 결정하기 위한 정재하 시험, 수직 진동 작용을 위한 하중 재하 및 수직진동 시험, 그리고, 수직 진동후의 정재하 시험에서 측정된 하중-침하량 곡선들이다. 여기서, 수직 진동전과 후의 극한 지지력은 동일한 값을 나타내고 있으며, 수직진동에 의한 침하량도 거의 발생되고 있지 않음을 알 수 있었다.

그림 4에는 수직 진동중 발생한 각 위치에서의 간극 수압의 크기와 말뚝 머리 변위(즉, 침하량)를 상세하게 보여주고 있다. 여기서, 간극 수압계는 말뚝 선단아래, 말뚝 선단부 측면, 말뚝 중간 위치 측면, 지표면부근, 관내토 상부에 설치하였는데, 말뚝 선단 아래에서 발생한 간극 수압은 말뚝 측면부에 발생한 간극 수압보다 훨씬 크게 발생하고 있음을 볼 수 있었는데, 이것은 말뚝 지지력이 감소한다고 가정할 경우 — 실제 측정에서 감소가 거의 나타나지 않았지만 — 말뚝 선단 부근과 관내토 부근에서 유효응력의 감소로 인한 지지력 감소가 클 수 있음을 의미하는 것으로 볼 수 있을 것이다. 그리고, 관내토 상부에서는 간극 수압이 말뚝 선단하부에서와 비슷한 정도로 발생되었는데, 이것은 관내토 상부에 모형지반의 지표면까지 채워져 있는 물이 수직 진동에 의하여 진동함에 따라 유발된 수압의 변화로 볼 수 있어서, 관내토 내부에 유발된 간극 수압으로 보는 것도 곤란하였다. 그리고, 수직 진동중 발생한 말뚝의 침하량은 0.00 mm로 말뚝의 변위는 발생되지 않아 수직 진동중 말뚝 측면에서 간극수압이 작게 발생된 것으로 볼 수 있을 것이다.

그림 5에는 수직 진동중 내관과 외관에서 발생한 축하중의 변화량을 보여주고 있는데, 이것은 관내토 폐색력과 외주면 마찰력에서 조차도 지지력의 감소가 거의 발생되지 않았음을 보여준다.

결론적으로 지진의 수직 진동중 개단말뚝의 지지력 및 관내토 폐색력은 감소되지 않았으며, 간극 수압 발생 양상으로 부터 추론해 볼 때 수직 진동만에 의해 파괴가 발생한다고 가정하면 말뚝 선단 지지력과 관내토 폐색력의 감소에 의해 파괴가 유발될 수 있을 것으로 볼 수 있다.

4. 결론

압력 토조 모형 실험을 수행하였으며, 지진규모 8.0으로 확대된 지진의 수직 진동만을 작용시켜 수직 진동 시험을 수행하였다. 본 연구로 부터 얻은 결론들은 다음과 같다.

- 1) 규모 8.0으로 유사화된 지진의 수직 진동에 의한 관내토 폐색력의 감소는 거의 발생하지 않았으며, 개단 말뚝의 극한 지지력의 저감도 거의 나타나지 않았다.
- 2) 수직진동중 유발된 간극 수압은 말뚝 선단 아래에서 크게 나타났고, 말뚝 측면에서는 작게 나타났는데, 말뚝의 깊이에 따라서도 크게 변화하지 않았다. 따라서, 수직 진동중 개단 말뚝의 지지력 저감이 크게 유발된다고 가정하면, 말뚝 선단 지지력과 관내토 지지력에서의 감소가 대부분을 차지할 것으로 추론할 수 있다.

참고 문헌

1. 최용규 (1995), "소형 압력 토조내에 타입된 말뚝의 인발 거동과 극한 인발 지지력 결정에 관한 연구", *한국 지반 공학회지*, 제 11집 2권, 1995. 6, pp 19~28.
2. 최용규 (1996), "지진 기록의 확대(Scaling)기법과 압력 토조 말뚝 모형 실험에의 적용", *한국 지반 공학회지*, 제12권 제2호, 1996. 6, pp 19~31.
3. Choi, Y. K., and O'Neill, M. W. (1996), "Soil Plugging and Relaxation in Pipe Pile during Simulated Earthquake Motion", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, (accepted to be published)
4. O'Neill, M. W., Vipulanandan, C., and Ochoa, M. (1990), "Response of Tension Piles to Simulated Seismic Motion in Saturated Fine Sand," *Report No. UHCEE 90-09*, Univ. of Houston, 1990.
5. Paikowsky, S. G., and Whiteman, R. V. (1990), "The Effects of Plugging on Performance and Design," *Can. Geotech. J.*, Vol. 27, No. 3, 1990, pp 429~440.

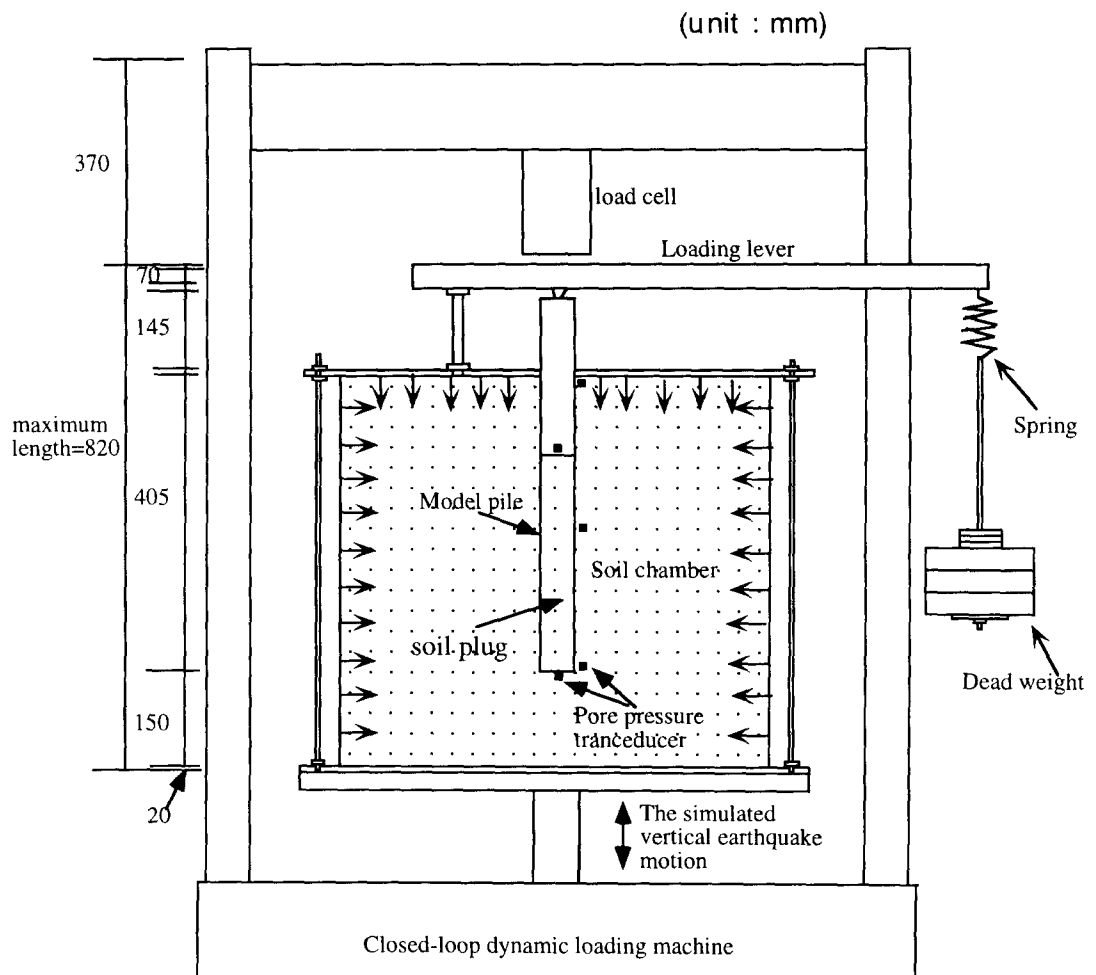


Fig. 1. Pressure chamber test set-up for the simulated vertical earthquake motion test

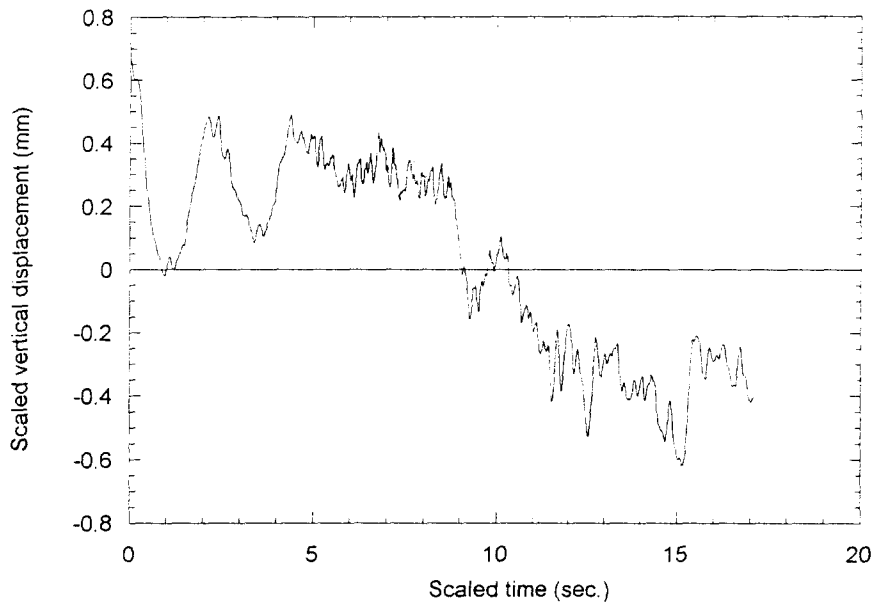


Fig. 2. Scaled vertical displacement - time history for the simulated vertical earthquake motion (M = 8.0)

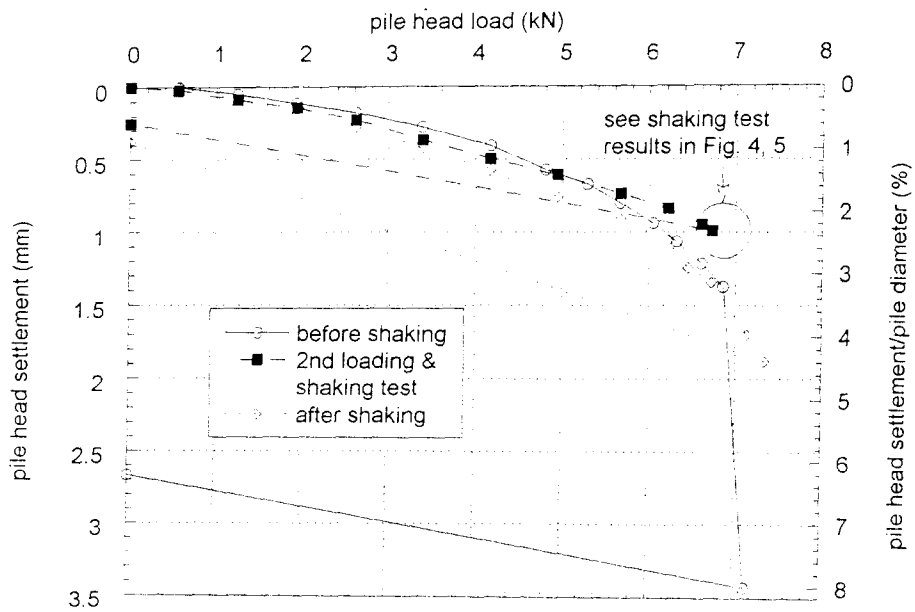


Fig. 3. Pile head load vs. settlement for the simulated vertical shaking (confining pressure = 20 kPa).

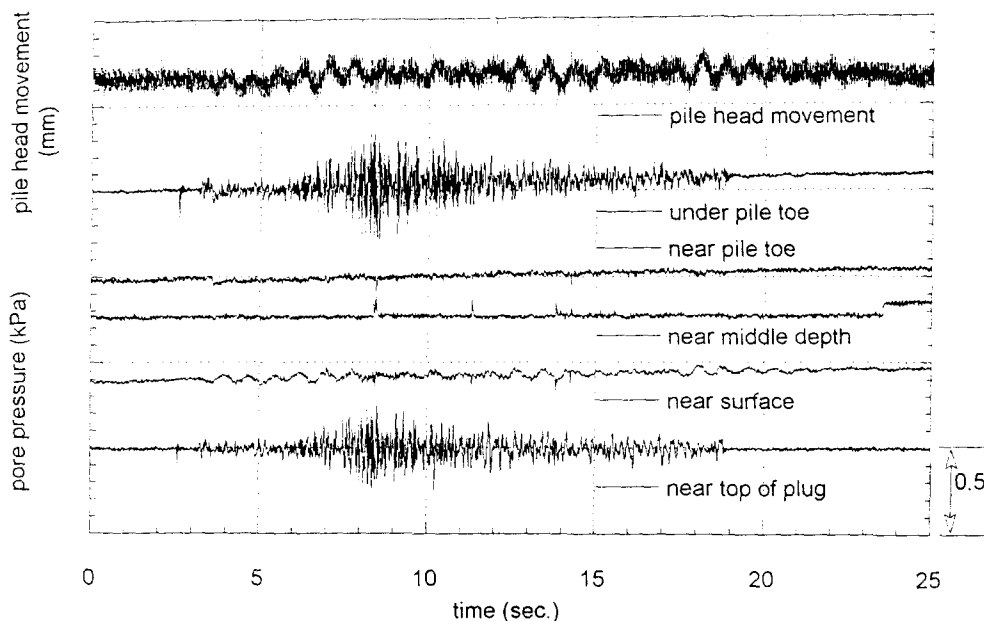


Fig. 4. Pile head movement and pore pressure buildup during the simulated vertical shaking test (confining pressure = 20 kPa)

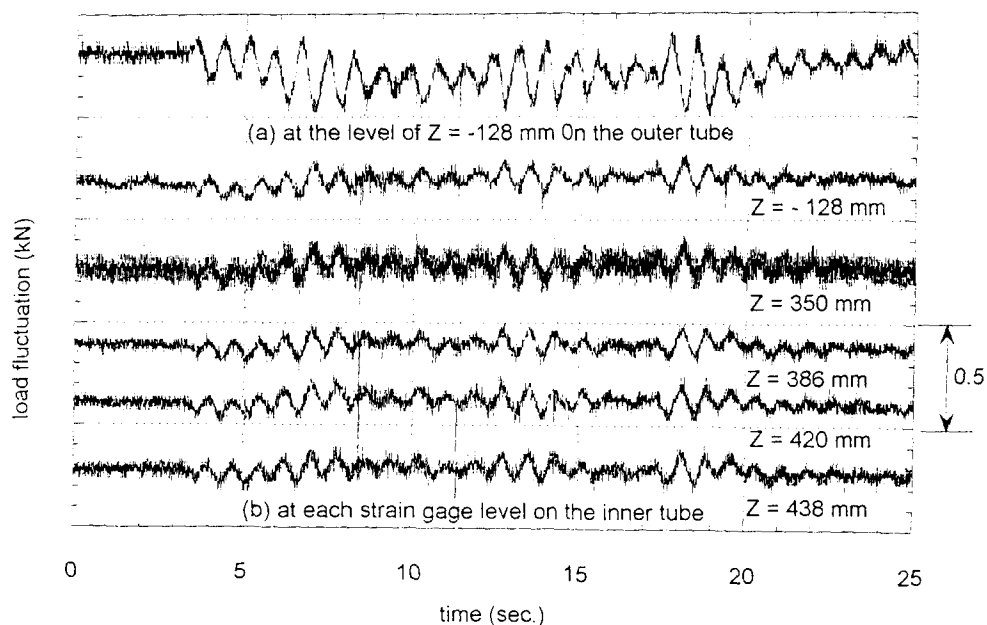


Fig. 5. Axial load fluctuation in the outer and inner tube during simulated vertical shaking test (confining pressure = 20 kPa)