

배후철도부지 진동쇄석다짐말뚝(VCCP) 개량지반의 거동 Behavior of Soft Ground Reinforced by Vibro Crushed-Stone Compacted Pile In Railroad Site

박오성* 심성현** 한상재*** 조국환****
Park O Sung Shim Seong Hyen Han Sang Jae Cho Kook Hwan

ABSTRACT

Vibro crushed-stone compacted pile (VCCP) method is one of a ground improvement technique by a vibro compaction in vertical direction with crushed stone to build up stone pile foundation in other to ensure stability of soft ground. In spite of its long applied history in geotechnical engineering division, most of studies have not been based on the reliable In-situ condition but on the laboratory tests including model tests. These model tests can express standard and ideal behavior but exceptional status that can be occur in the ground cannot be considered efficiently. This study performed the the series of trial construction to investigate the effect of VCCP method on the improvement of soft ground expecially in railroad construction site.

1. 서론

쇄석말뚝공법은 1835년에 프랑스의 기술자인 Moreau 등에 의해 고유기질 지반 상부에 시공되는 무기 고에 대한 기초지반 개량공법으로 최초 적용된 이후 1930년대에 들어서 조립토의 다짐을 위한 진동다짐 공법의 개발과 함께 널리 적용되어 오고 있다. 특히 진동쇄석다짐말뚝공법(Vibrated Crushed-stone Compacted Pile method: 이후 VCCP 공법)은 연직방향의 진동다짐에 의해 지중에 직경 0.6~2.0m의 쇄석말뚝을 형성하여 구조물의 안정을 확보하는 공법으로, 쇄석말뚝에 의한 지반지지력 증대와 압밀축진 및 침하저감효과를 동시에 기대할 수 있는 공법이다. VCCP 공법은 주로 일본에서 다양한 시공사례를 가지고 있으며 국내에서도 다수의 시공사례가 존재하기는 하나 개량지반의 역학적 거동특성을 파악하기 위한 신뢰할만한 데이터는 쉽게 찾기 힘들다. 국내외 다양한 연구자들에 의해 입상말뚝 계열의 지반개량공법에 의한 연구가 진행되고 있지만 대부분 이상적인 실내 모형시험에 근거하고 있어 실제 지반에서의 거동을 정확히 파악하기에는 어려움이 있다고 사료된다. 따라서 본 연구에서는 철도배후부지 개량 대상지반에 대한 일련의 VCCP 시험시공을 실시하고 다양한 계측기로부터 측정된 결과를 이용하여 VCCP 개량지반의 거동특성을 제시하고자 한다.

2. 시험시공 개요

본 시험시공 현장은 부산 ○○지역 철도시공 배후부지로서, 과업노선에 분포하는 연약층은 오래전 해수에 의해 퇴적된 점성토층으로 구간에 따라 최대 17.3m의 분포심도를 보이며, 점성토층은 매우 연약 또는 연약한 상태로서 표준관입시험에 의한 N값은 0~2/30으로 측정되었고, ○○정거장구간은 일부구간의 경우 비탈면 절토부에 위치하고 일부구간은 전답토로 이루어진 연약지반에 위치하고 있다. 시험시공

* 삼성건설 토목사업본부 부장
** 삼성건설 토목기술팀 차장
*** 한양대학교 토목환경공학과 연구조교수
**** 서울산업대학교 교수

은 총 5개 구간에 대해 실시되었으나 본 연구에서는 이중 [1구역]과 [2구역]에 대한 두 가지의 경우를 바탕으로 계측된 결과를 제시하고자 한다. 그림 1과 그림 2에는 각 구역별 시험시공 단면을 제시하였다. 거동특성 파악을 위한 계측기는 응력계(2~70kg/cm²) 4개소 12개, 간극수압계 6개소 18개 (2~70kg/cm²), 경사계(±5°) 4개소, 지하수위계(50~100m) 4개소, 침하판 10개소를 설치하였으며, 계측기의 매설위치는 그림 3에 표시하였다. 각 구역은 다시 SJ 구간과 SP 구간으로 구분되어 총 4개의 구간에 대한 계측결과를 분석하였다.

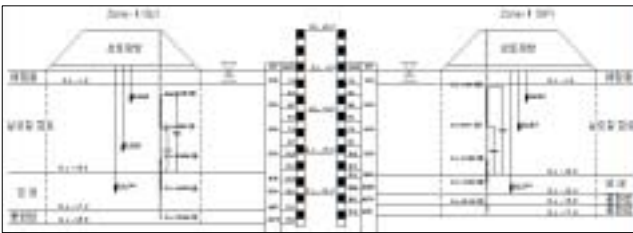


그림 1 [1구역] 시험시공 단면도

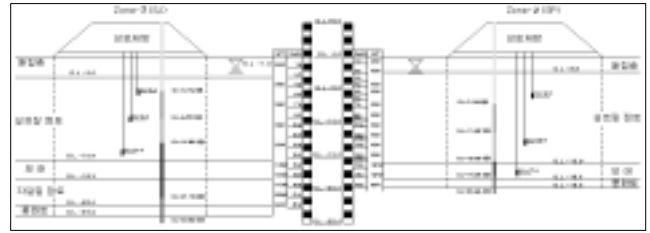


그림 2 [2구역] 시험시공 단면도

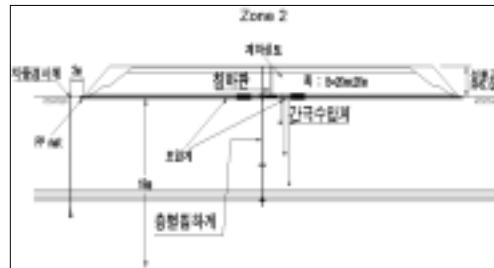


그림 3 계측기 배치위치

3. 시험시공 결과 분석

그림 4에는 침하판 계측결과에 의한 침하량 변화를 도시하였다. 표 1에는 실측결과를 바탕으로 앞으로의 침하를 예측한 결과를 제시하였다. Asaoka, Hyperbolic 방법에 의한 최종침하량은 [1구역]에서 35.4~38.7cm, [2구역]에서 37.0~54.2cm로 도출되었다. 실제 계측침하량의 경우, 각 구역에서 치환율과 경과시간에 따라 [1구역]에서 37.5~43.4cm, [2구역]에서 37.8~56.0cm로 나타났다. 최초 산정된 토질조사 결과로부터의 C_v 값은 $6.9 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{day}$ 이고, 실측결과를 바탕으로 역산한 C_v 값은 치환율에 따라 [1구역]에서 $2.2 \sim 2.26 \text{cm}^2/\text{day}$, [2구역]에서 $1.93 \sim 2.46 \text{cm}^2/\text{day}$ 로 나타나 실제 현장조건에서 더욱 빠른 속도의 압밀이 진행된 것으로 나타났다.

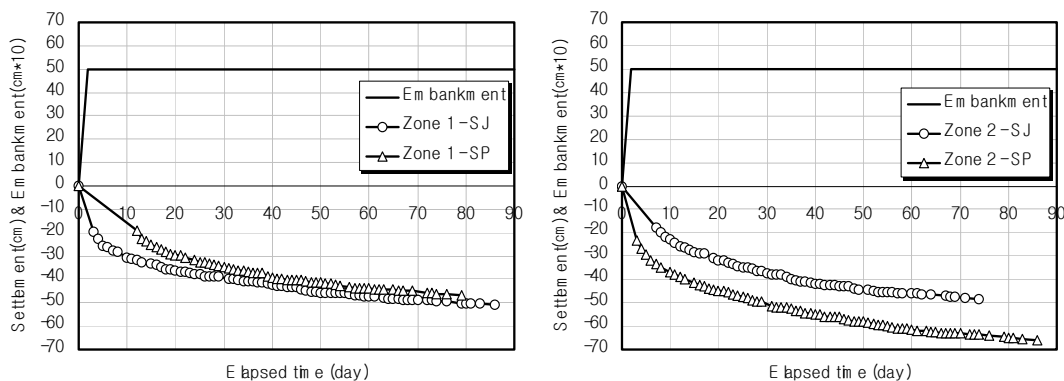


그림 4 복합지반의 침하

그림 5에는 층별침하계 측정결과로부터 산정한 각 토층별 최종 침하량 분포를 제시하였다. 본 시험시공에서 지지층까지 타설된 VCCP 복합지반의 침하는 대부분 모래층 상단까지만 발생한 것을 알 수 있다. 이는 성토재하로 인한 재하중의 응력이 대부분 복합지반 상단부에 집중하여 작용하였음을 의미하며 복합지반 설계파라미터인 응력분담비(n)가 표층부에서 가장 클 것으로 추정할 수 있다. 또한, VCCP를 둘러싼 주변지반의 강성이 큰 경우 침하량이 감소할 것으로 예측할 수 있다.

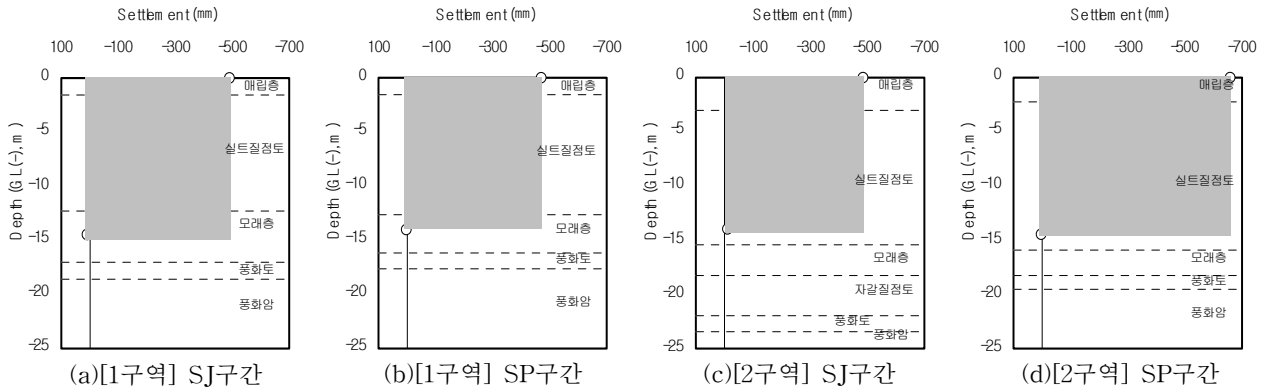


그림 5 토층별 침하량 분포

표 1 예측침하량으로부터 산정한 압밀도와 압밀계수의 비교

구분	치환율(%)	[1구역]	치환율(%)	[2구역]
1차압밀침하량 (cm)	16.2 27.2	35.4 38.7	16.2 27.2	54.2 37.0
Settlement achieved (cm)	16.2 27.2	37.5 U=106% 43.4 U=112%	16.2 27.2	56.0 U=103% 37.8 U=102%
Cv (m ² /day)	16.2 27.2	2.26 2.23	16.2 27.2	1.93 2.46
Cr (m ² /day)	16.2 27.2	3.3E-2 1.13E-2	16.2 27.2	1.82E-2 1.90E-2

그림 6에는 경사계 측정결과로부터 정리한 위치별 체재 끝단에서의 지반 횡변위를 도시한 것이다. 위치별로 다소 차이는 있으나 최대 횡변위가 발생한 심도는 [1구역] SJ구간에서 3~3.5m, [2구역] SP구간에서 3.5m, [2구역] SJ구간에서 0.5m, [2구역] SP구간에서 4.5~5m인 것으로 조사되었으며, 모두 연약한 점토층에서 발생하였고 하부로 갈수록 횡변위량이 감소함을 확인하였다. 침하량에 대한 횡변위량의 비는 최대 13.2%에 해당하였으나, 전체적으로 평균 10%를 넘지 않는 것으로 조사되었다.

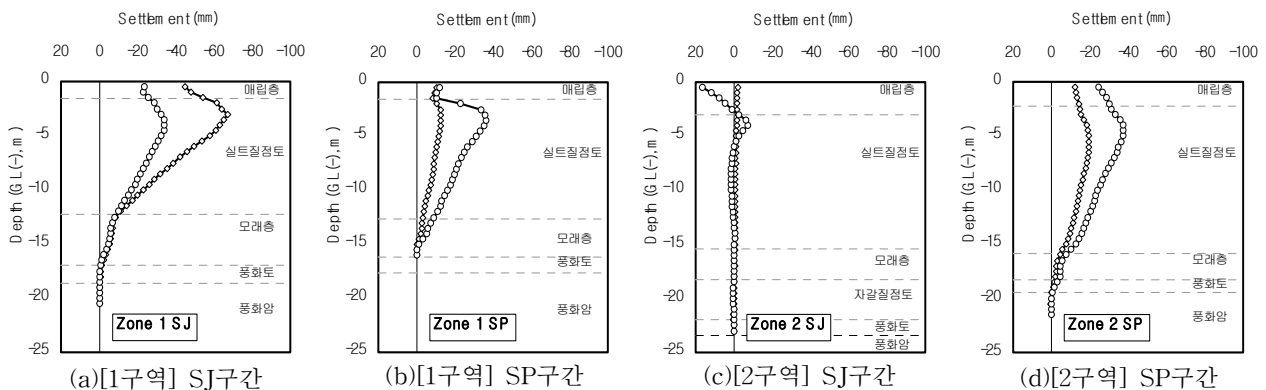


그림 6 복합지반의 횡변위

또한, 최대 횡변위가 발생하는 깊이는 모래층후를 기준으로 상부로부터 0.22, 점토층후를 기준으로 0.28로 제시되어 대략 연약층 1/3 이내의 깊이에서 최대 횡변위가 발생하는 것으로 조사되었다. 그림 7은 시간에 따른 횡변위 변화를 도시한 것으로 대부분의 횡변위는 성토재하가 진행되는 동안 발생하였으며 제체성토가 완료된 이후의 횡변위량은 매우 미미한 것으로 나타났다. 이는 재하 이후 압밀침하가 지속적으로 발생하는 그림 1과 비교하면 흥미 있는 결과라 할 수 있다.

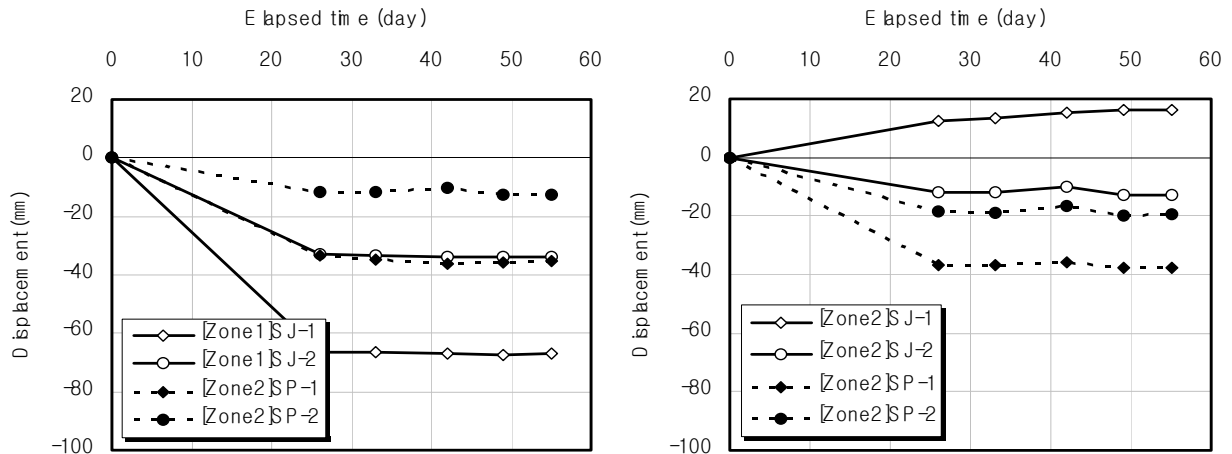


그림 7 시간에 따른 횡변위 변화

4. 요약 및 결론

본 논문에서는 철도 배후부지 연약지반 개량을 위한 진동쇄석다짐말뚝(VCCP) 공법의 적용성 검토를 위한 시험시공을 실시하고 계측결과의 일부를 제시하였다. 최초 설계시 실내시험 결과로부터 산정한 압밀계수에 비해 VCCP 공법 적용지반의 침하량을 바탕으로 역산한 압밀계수가 매우 크게 산정되어 VCCP 개량지반의 과잉간극수압 소산 효과는 우수한 것으로 평가되었다. 침하와 횡변위는 모두 연약층에서 크게 발생하였고 최대 횡변위량은 총침하량의 1/10 이내이며, 최대 횡변위가 발생한 심도는 연약층후의 1/3 이내임을 알 수 있었다. 또한, 대부분의 횡변위는 성토재하 중에 발생하였으며 재하가 종료된 이후 압밀침하가 지속적으로 발생함에도 불구하고 횡변위 증가량은 거의 없는 것으로 나타났다.

참고문헌

- 신현영 (2005) “저치환율 SCP 복합지반의 거동 해석”, 중앙대학교 대학원, 박사학위논문
- Aboshi, H., Ichimoto, E., Enoki, M. and harada, K. (1979), The Composer-A Method to Improve Characteristics of Soft Clays by Inclusion of Large Diameter Sand Columns, Proceedings of International Conference on Soil Reinforcement : Reinforced Earth and Other Techniques, Vol. I, pp.211~216
- Barksdale, R.D. and Bachus, R.C. (1981), Site Improvement Using Stone Columns, FHWA Contract No. DTFH61-80-c, Georgia Institute of Technology
- Van Impe, W.F., De Cock, F.D. and Maertens, J. (1997), Vibro-compaction and Stone Columns, Geound Improvement, Vol.1, No.3, pp.148~157