

연약지반의 성토에 따른 과잉간극수압의 거동

Behavior of Excessive Pore Water Pressure with Embankment on Soft Ground

김지훈* · 강예묵 · 이달원 · 임성훈(충남대)

Kim, Ji Hoon · Kang, Yea Mook · Lee, Dal Won · Lim, Seong Hun

Abstract

This study were performed to investigate the behavior of excessive pore water pressure with embankment on soft clay.

The dissipation behavior of excessive pore water pressure in the improved and non-improved area was used to compare and analyze with lateral displacement, and to investigate the applicability of the methods for stability evaluation of soft clay.

The behavior of excess pore water pressure could be used to the fundamental data for stability evaluation, and the evaluation of the stability of embankment was recommended to use the inclination of curve rather than critical line.

I. 서론

연약지반은 대부분 점토(Clay)와 실트(Silt)로 구성되어 있어 지반의 강도가 약하며, 침하와 변형의 크기가 매우 크고 대부분이 물로 포화되어 있다. 또한, 장기적인 압축성으로 인하여 시공중과 시공 완료 후에도 지속적인 문제가 발생되고 있다.

연약지반의 시공시에는 지반의 강도를 증가시키고 압밀을 촉진시키기 위하여 선행압밀공법이 병행된다. 이러한 성토하중에 의해서 과잉간극수압, 압밀에 의한 침하와 전단변형에 의한 측방변위 등이 발생하게 되며 이들의 크기가 어느 한도를 초과하게 되면 지반은 파괴를 일으키게 된다.

성토에 의한 상재하중은 처음에는 간극수가 받게 되고 흙의 투수성이 작은 경우에는 과잉간극수압의 소산속도가 느리기 때문에 계속적인 단계성토에 의해서 간극수압은 점차적으로 증가하게 되고, 측방변위가 발생하기 시작한다.

따라서, 성토하중의 증가가 지반의 강도증가와 균형을 이루도록 성토시공속도를 조절하면서 안전한 시공관리 방법을 강구하여야 한다.

본 연구에서는 연약지반의 성토공사에서 발생하는 과잉간극수압을 현장계측자료를 이용하여 실제 지반 내에서의 거동과 기존의 안정관리방법 등을 비교·분석하여 합리적인 안정관리를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 지반조건

본 연구에서 활용한 현장의 물리적·역학적 특성을 파악하기 위하여 불교란 시료를 채취하여 실내시험을 한 결과는 Table 1과 같고, 지층의 구조 및 조밀한 정도의 상대치(N치)를 구하기 위하여 실시한 표준관입시험 결과는 Fig. 1과 같다.

Table 1. Geotechnical properties at various site.

Site	$W_n(\%)$	e_0	$q_u(\text{kgf/cm}^2)$	$S_u(\text{kgf/cm}^2)$	C_c	C_s	OCR	$C_v(\text{cm}^2/\text{s})$
A	45~70	1.265~1.796	0.22~0.95	0.12~0.47	0.460~0.891	0.05~0.08	0.49~1.70	$1.43 \times 10^{-3} \sim 3.47 \times 10^{-4}$
B	40~70	1.137~1.893	0.12~0.55	0.10~0.27	0.50~0.852	0.05~0.10	0.37~1.47	$1.19 \times 10^{-3} \sim 3.53 \times 10^{-4}$
C	38~70	1.196~1.892	0.15~0.93	0.07~0.37	0.515~0.967	0.05~0.12	0.55~1.72	$1.05 \times 10^{-3} \sim 3.43 \times 10^{-4}$
D	56~70	1.532~1.944	0.05~0.56	0.14~0.36	0.670~0.940	0.11~0.14	0.26~1.39	$1.60 \times 10^{-3} \sim 3.20 \times 10^{-4}$

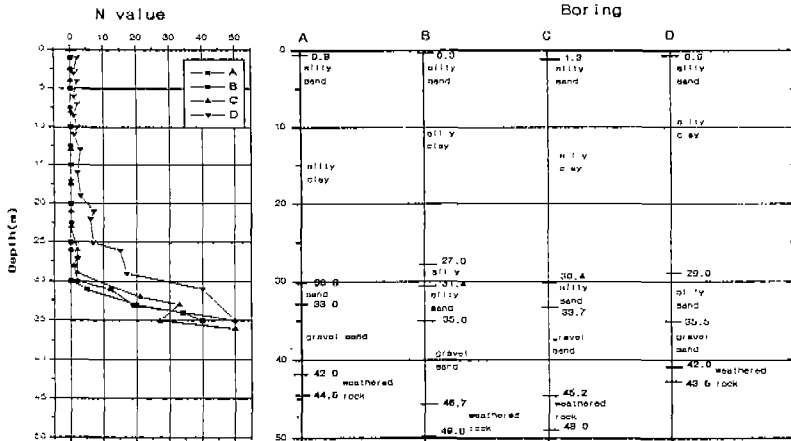


Fig. 1. Results of the standard penetration test.

실내시험 결과 이 지역의 No. 200번체 통과량은 거의 90% 이상으로 세립분 함유량이 매우 높은 점토로 구성되어 있고, 압축지수(C_c)와 액성한계의 관계식은 $C_c = 0.0156W_L - 0.047$ 로 나타났다.

2. 성토시공 및 계측

현장에 적용된 재하성토의 시공기간을 인용하면 다음과 같다.

성토시공속도는 30 ~ 50 cm/day를 성토하고 3~4일 방치기간을 두고 실시하였고, 분석에 사용된 자료는 연약지반을 개량한 지역(A, B, C구간)은 5.0m까지, 개량하지 않은 지역(D구간)은 4.7m까지 성토를 진행하였을 경우 안정성이 위험이 있는 구간을 선정하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 과잉간극수압의 변화

Fig. 2는 성토에 따른 과잉간극수압과 침하량의 변화를 나타낸 것으로서 연약지반을 개량한 지반과 개량하지 않은 지반 모두 성토가 증가함에 따라 과잉간극수압도 함께 증가를 하고 성토종료 후 방치기간에는 점차로 감소하는 경향을 나타냈다.

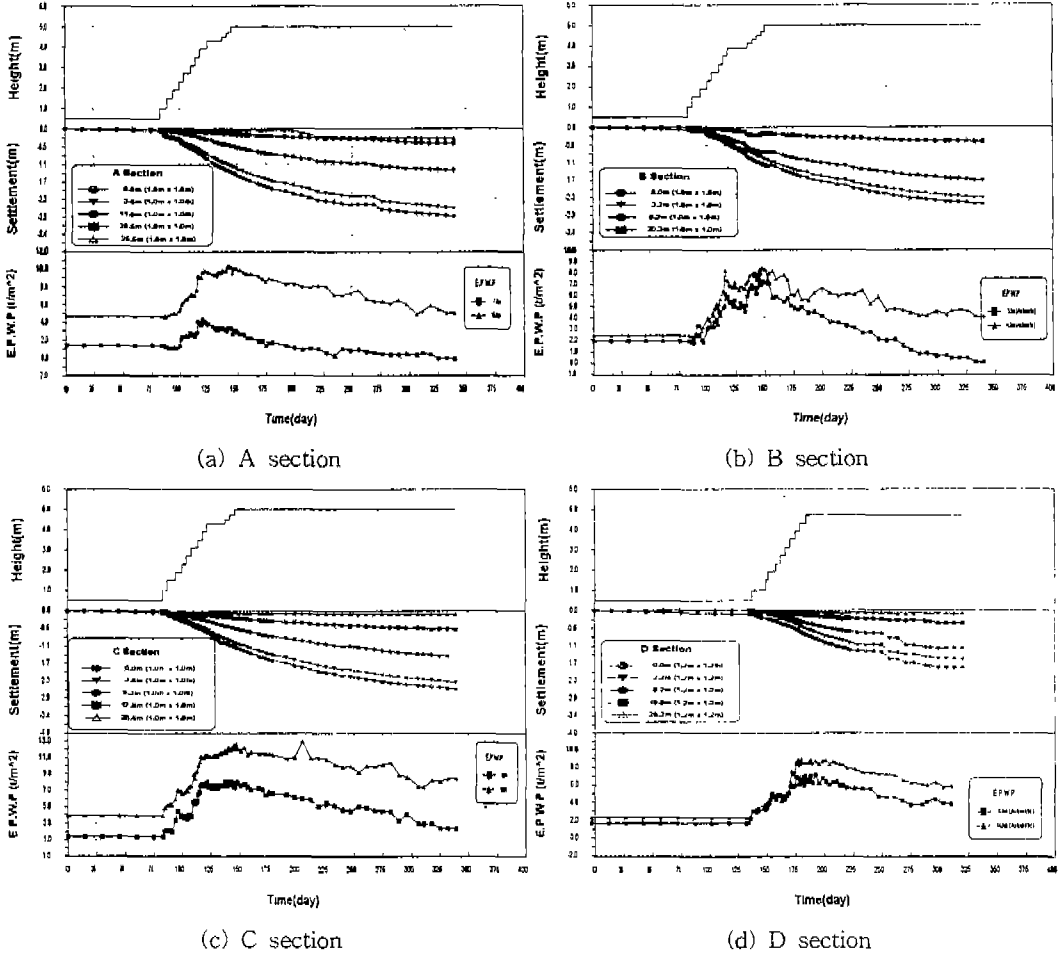


Fig. 2. Variation of settlement and excessive pore water pressure with embankment.

연약지반을 개량한 지역에서 깊이에 따른 과잉간극수압의 분포경향은 성토기간 중에는 큰 차이를 나타내고 있고, 그 증가 경향은 유사하지만 낮은 깊이에서 더 빨리 소산되는 경향을 나타냈다. 이것은 하부 층에서 드래인의 배수저항이 증가하므로 상부 층에 비하여 과잉간극수압의 소산속도가 약간 느린 경향이 있기 때문인 것으로 판단된다. 깊이에 따른 과잉간극수압의 크기와 소산속도를 비교하면 연직 배수공법의 배수성능을 판단하는 자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

연약지반을 개량하지 않은 지역에서 깊이에 따른 과잉간극수압의 분포경향은 성토기간 중에는 깊이에 따라 큰 차이를 나타내지 않고 방치기간이 되고 나서 깊이에 따라서 변화폭이 크게 나타났다. 이는 연약지반의 투수계수가 작고 성토하중에 의하여 생기는 과잉간극수압의 소산속도가 느리기 때문인 것으로 판단된다.

2. 성토높이에 따른 과잉간극수압과 축방변위와의 관계

성토하중을 받는 포화점토에서 과잉간극수압이 실내시험조건에서와 동일하게 1차원 변형만이 발생된다면 간극수압의 증가분도 성토하중의 증가분과 같게 된다. 그러나, 실제지반은 3차원 거동을 하므로 성토재하시 응력변화에 따른 간극수압의 거동은 다르게 나타난다.

Fig. 3은 성토기간중의 축방변위와 과잉간극수압의 변화를 나타낸 것으로 연약지반을 개량한 지역과 개량하지 않은 지역 모두 성토하중이 증가함에 따라 과잉간극수압과 축방변위는 유사한 증가형태를 나타내고 있다. 그림에서 보는바와 같이 A, B, C, D지역 모두 성토개시 후 약 40일 정도에서 과잉간극수압이 증가함에 따라 축방변위도 급격히 증가하기 때문에 과잉간극수압의 증가량을 고려함으로써 연약지반의 안정성을 판단할 수 있을 것으로 생각된다.

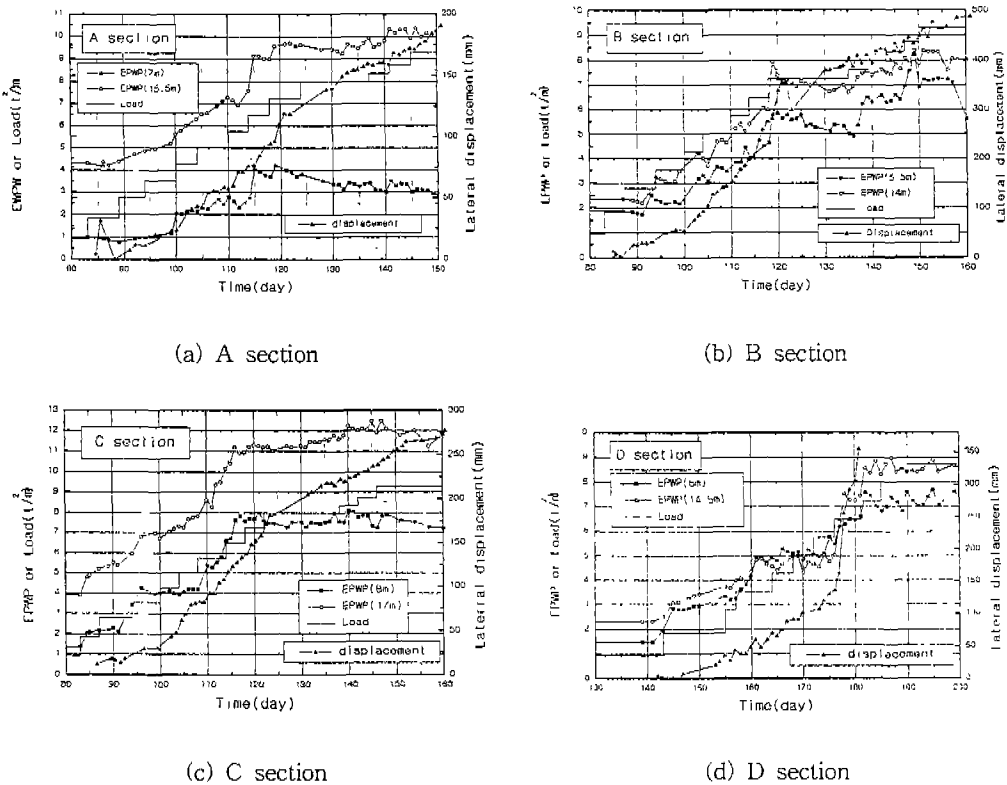
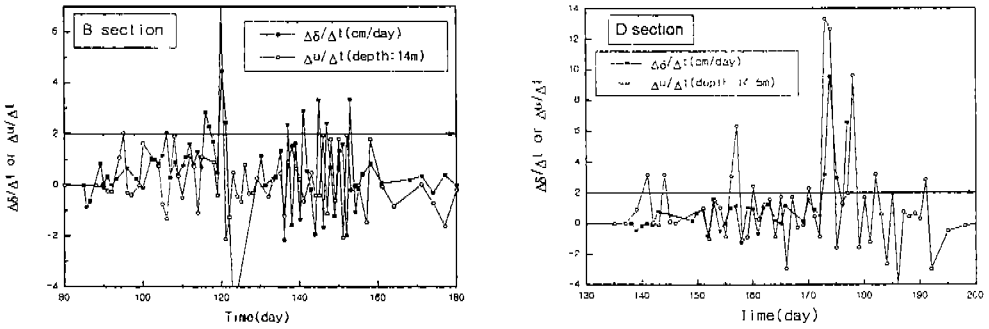


Fig. 3. Variation of lateral displacement and E.P.W.P during the embankment construction.

또한, 현장에서의 재하성토는 단계하중으로 재하되므로 시공 중에 과잉간극수압의 발생과 소산이 동시에 이루어지기 때문에 성토하중에 의한 과잉간극수압의 크기가 이론치보다 작게 나타나고 있다.

Fig. 4는 성토시공 중 불안정한 B지역과 D지역에서의 과잉간극수압의 거동을 Kurihara방법과 비교·분석한 것이다. 연약지반의 안정관리 기준으로 축방변위가 2cm/day를 초과하는 지역에서 과잉간극수압은 급격하게 상승을 하며 불안정한 상태로 나타났다. 따라서 과잉간극수압과 축방변위량은 서로 밀접한 상호관계가 있는 것으로 판단되어 과잉간극수압을 최대한 누적시키

지 않고 성토를 진행시켜야 할 것으로 판단된다.



(a) B section

(b) D section

Fig. 4. Variation of $\Delta\delta/\text{day}$ or $\Delta u/\text{day}$ with time.

과잉간극수압의 발생은 등방응력에 의하여 발생될 뿐만 아니라, 정규압밀점토에서는 전단변형과 함께 증가하는데 성토높이가 한계성토고를 초과하면 과잉간극수압은 급격하게 증가되어 불안정한 상태가 되므로 성토의 시공속도 조절의 판단기준으로 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 침하량과 측방변위를 이용한 안정관리 분석

Fig. 5~7은 침하량과 측방변위를 이용한 기존의 안정관리 방법으로 안정성을 분석한 것이다. Kurihara방법은 각각의 성토단계마다 안정관리의 기준치에 민감하게 반응하므로 위험성을 파악하는데는 효과적이지만 그 변화폭이 커서 방치기간을 설정하는데 어려움이 있는 것으로 판단된다.

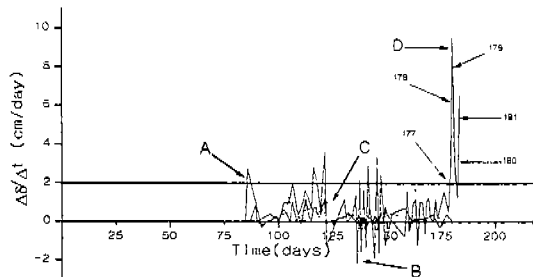


Fig. 5. Kurihara-Ichimoto method

Matuso방법은 파괴기준선을 $Q/Q_f=0.85$ 로 선정하여 안정관리기준을 정하였으나 성토초기에는 침하량이 상대적으로 작아 파괴기준선에 접근하지 않기 때문에 초기에 성토체의 안정을 판단하는데는 약간의 무리가 있다고 판단된다. 또한, 안정관리기준을 초과하여도 성토체는 안전한 것으로 나타나 파괴기준선에 의하여 안정관리를 하는 것보다 곡선의 기울기로 안정관리를 하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

Tominaga방식은 취하량과 수평변위곡선의 기울기로 안정성을 판단하기 때문에 지반의 전체적인 안정성과 선단변형을 예측하는데 효과적이라고 판단된다.

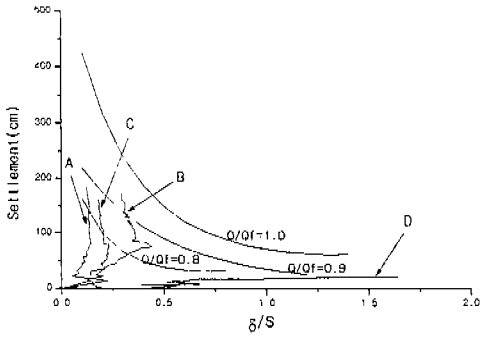


Fig. 6. Matsuo-Kawamura method

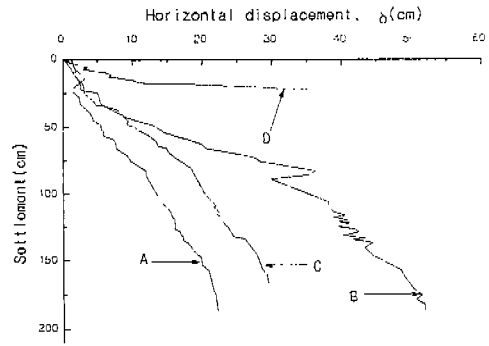


Fig. 7. Tominaga-Hashimoto method

IV. 결론

연약지반 성토공사에서 발생하는 과잉간극수압의 거동에 대하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 연약지반을 개량한 지역에서의 과잉간극수압은 개량하지 않은 지역보다 소산속도의 변화가 크게 나타났고, 심도에 따른 과잉간극수압의 분포경향을 이용하여 연직배수공법의 배수능을 판단하는 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 생각된다.
2. 성토하중의 증가에 따라 과잉간극수압은 발생과 소산이 동시에 이루어지면서 점차로 증가하고, 측방변위량도 급격하게 증가되어 불안정한 상태가 되므로 과잉간극수압의 변화를 안정관리의 판단기준으로 이용할 수 있을 것으로 생각된다.
3. 단계성토에 따른 계측자료를 이용하여 성토체의 안정성을 비교·분석한 결과, 안정관리상 관리기준선으로 안정성을 판단하는 것보다는 곡선의 기울기로 판단하는 것이 합리적이라고 생각한다.

V. 참고문헌

1. 강예북, 이달원, 김지훈, 김태우, 임성훈, 1999. 현장계측에 의한 연약지반 성토의 안정관리 기법, 한국농공학회지, 41(2), pp. 92-103.
2. Høeg, K., Andersland, O. B. and Røfksen, E. N., 1969, Undrained Behaviour of Quick Clay under Load Tests at Åsrum, Géotechnique, 19(1), pp. 101-115.
3. Suzuki, O., 1988, The Lateral Flow of Soil Caused by Banking on Soft Clay Ground, Soils and Foundations, 29(4), pp. 1-18.
4. Murakami, Y., 1979, Excess Pore-Water Pressure and Preconsolidation Effect Developed in Normally Consolidated Clay of Some Age, Soils and Foundation, 19(4), pp. 17-29.