현장계측에 의한 쏘일네일링 보강벽체의 변형특성에 관한 고찰

A Consideration on Deformation Characteristics of Soil Nailed Retaining-Walls on Field Measurements

윤배식* · 이종문** · 강인규*** · 권영호**** · 김홍택*****

Yoon, Bae-Sic · Lee, Jong-Moon · Kang, In-Kyu

Kwon, Young-Ho · Kim, Hong-Taek

Abstract

The soil nailing was generally using method in practical business, in application of the soil nailing, the analysis was primarily used to Beam-Colum Method, Finite Element Method and Limit Equilibrium Method. Beam-Colum Method and Finite Element Method were able to examine transformation but widely using Limit Equilibrium Method wasn't able to examine transformation and displacement. Therefore, this study was focused on presenting stability in comparison with former study-results about horizontal displacement of the soil nailing retaining-walls satisfing a criterion safety factor of Limit Equilibrium. There were performing comparison field measurements and former study-results in first step.

key words : The soil nailing, a criterion safety factor, Limit Equilibrium Method, former study-results

1. 서론

쏘일네일링공법은 현재 아주 보편적으로 사용되는 공법으로 실무에서 매우 많이 사용되고 있으며, 쏘일네일링공법의 적용시 그 해석에는 탄소성보법, 유한요소법, 한계평형법이 주로 사용되고 있다. 탄소성보법과 유한요소법의 경우에는 변형에 관한 검토가 가능하지만 가장 편리하게 사용되는 한계평형법의 경우에는 변형 및 변위에 관한 검토가 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 한계평형의 기준안전율을 만족하는 범위에서의 쏘일네일링 보강 벽체의 수평변위에 관하여 기존에 제시된 연구결과와 비교하여 그 안정성의 여부를 제시하는데 초점을 두었다. 그 첫 단계로 현장계측자료와 기존에 제시된 연구결과와 비교하는 연구를 수행하였다.

2. 굴착현장 개요

2.1 현장상황 및 지반특성

본 연구에 활용된 사례현장은 도심지(서울 및 수도권지역)에서 쏘일네일링공법으로 시공된 2개의 굴착공사현장(제 1 사례현장)과 (제 2 사례현장)으로, 여러 가지 계측시스템을 활용하여 시공 중에 주기적인 현장계측을

* 비회원 · 홍익대학교 공과대학 토목공학과 석사과정 · E-mail: no1nakasaki@hanmail.net

** 비회원 · (주)itm Corporation 상무 · E-mail: lejm1234@naver.com

*** 정회원 · (주)브니엘컨설턴트 대표이사 · E-mail: kang-ik@vniel.co.kr

**** 비회원 · 한라건설(주) 기술연구소 차장 · E-mail: youngho@halla.com

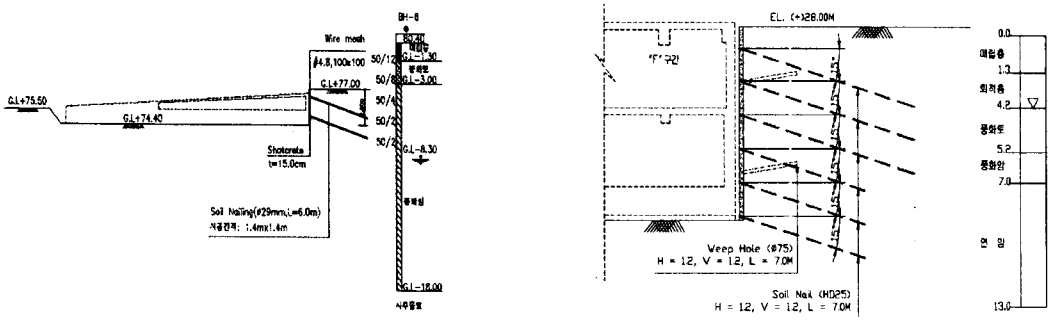
***** 정회원 · 홍익대학교 공과대학 토목공학과 교수 · 공학박사 · E-mail: htaek@hongik.ac.kr

실시하였다. 굴착현장의 주변에는 대규모 아파트단지, 고층빌딩, 인접공사현장, 상가 및 주택지가 밀집되어 있다. 또한, 인접도로 지하에는 지하철이 통과하고 있거나 각종 지하매설물들이 묻혀 있다. 따라서, 지하굴착에 따른 주변지반의 침하, 측방이동, 지지력 손실로 인하여 인접건물이나 지하구조물에 피해를 줄 수 있으므로 근접시공의 문제점이 대두될 수 있는 현장들이다. 굴착깊이는 대략 12~30m정도이고, 굴착면적은 4,500m^2~17,400m^2 정도로 대규모, 대심도 굴착공사에 속한다.

한편, 사례현장의 지반조건은 우리나라 내륙지방의 전형적인 지층구조인 표토층, 풍화대층, 및 기반암층으로 구성된 다층지반이다. 표토층은 매립토와 충적토로 이루어져 있으며 대부분 실트질 모래, 모래질 실트 및 자갈 등이 혼재되어 있다. 풍화대층은 모든 현장에 분포되어 있고 풍화도가 매우 심한 풍화잔류토층과 모암조직이 존재하며 비교적 단단한 풍화암층으로 구분되어 있다.

2.2 흙막이공

그림 1은 사례현장 가운데 제 1사례현장 및 제 2사례현장에 대한 흙막이구조물의 단면을 개략적으로 나타낸 것이며, 사례현장의 흙막이공은 대부분 굴착면에 와이어메쉬를 설치한 후 숏크리트를 15cm 두께로 타설하여 흙막이벽을 형상하였으며 지지구조로는 쏘일네일링 지지방식을 채택하고 있다. 네일은 직경이 10cm~15cm인 그라우팅네일로 HD29 혹은 HD25 이형철근을 삽입한 후 시멘트 밀크를 주입하였다. 네일의 길이는 6m~14m로써 굴착깊이의 0.3H~0.8H 범위내에서 설치되었다. 그리고 네일은 수평으로 0.8m~1.5m, 수직으로 0.7m~1.53m간격으로 설치되어 보강분담면적은 1.4m^2~1.96m^2이다. 그러나, 본 연구의 사례현장에 설치된 네일의 시공조건은 Schlosser & Unterrriner(1991)가 제안한 네일의 시공조건(네일의 길이는 굴착 깊이의 0.8H~1.2H, 네일 1개당 보강분담면적은 2.5m^2~6.0m^2)보다는 다소 작게 설계·시공되어 있다. 네일의 설치각도는 모든 현장에서 15°로 되어 있다.



(a) 제 1 사례현장 (b) 제 2 사례현장

그림 1. 제 1 사례현장과 제 2 사례현장에 대한 쏘일네일 흙막이구조물의 대표단면

3. 쏘일네일링 흙막이벽의 변형에 미치는 영향요인

쏘일네일링 흙막이벽의 수평변위는 굴착깊이, 굴착지반의 지층구성, 네일의 시공조건(네일의 길이, 설치간격, 설치각도), 흙막이벽의 전체안전율 등 여러 요인에 의해 영향을 받으므로 다른 흙막이공법에 비해 흙막이벽의 변형을 관찰하는데 많은 주의가 요구된다. 따라서, 본 절에서는 각 사례현장의 굴착깊이, 굴착지반 내 토사층의 두께, 네일의 시공조건과 흙막이 벽의 수평변위와의 관계를 분석하여 흙막이벽의 변형에 미치는 영향정도를 검토하고자 한다.

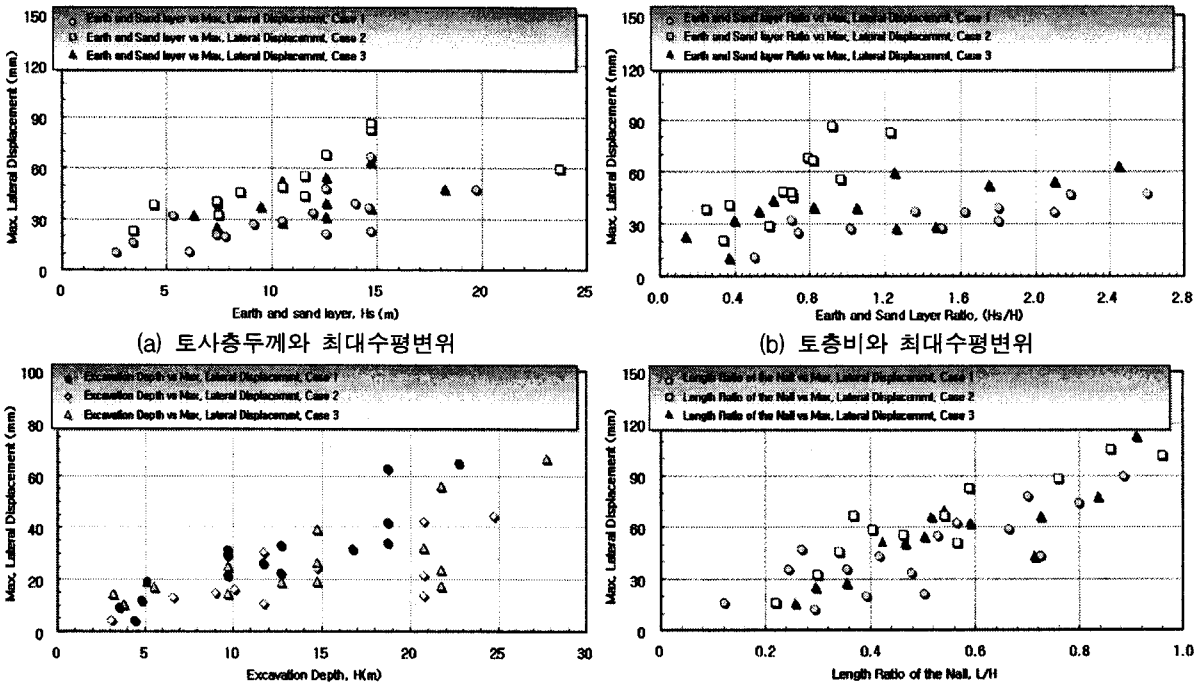
3.1 굴착깊이(H), 토사층의 두께(H_s), 토층비(H_s/H), 네일의 길이 대한 분석

그림 2(c)는 본 연구의 사례현장인 2개 굴착현장의 12개 단면에서 측정된 흙막이벽의 최대수평변위와 굴착깊

이와의 관계를 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 각 현장의 흙막이벽에 발생된 최대수평변위는 굴착깊이가 증가할수록 증가하는 경향을 보이고 있어 균질한 토사지반에서 쏘일네일링 흙막이벽의 최대수평변위는 굴착깊이에 비례하여 증가한다는 Schlosser & Unterrriner(1991)의 연구결과와 일치함을 보이고 있다.

그림 2(a)에서는 굴착지반 내 토사층의 두께만을 고려하여 흙막이벽의 최대수평변위와의 관계를 나타내었다. 그림에서 쏘일네일링 흙막이벽의 수평변위는 굴착지반 내 토사층의 두께가 두꺼울수록 증가하고 있어 흙막이벽의 수평변위와 토사층의 두께(H_s)와의 관계에서도 비례관계를 보이고 있다.

또한, 그림 2(b)은 굴착지반의 토층비(굴착깊이에 대한 토사층의 두께비(H_s/H))와 최대수평변위와의 관계를 나타낸 것이다. 그림을 살펴보면 굴착지반의 토층비가 증가할수록 흙막이벽의 최대수평변위는 증가하는 것으로 나타나고 있다. 따라서 그림 2(a), (b)으로부터 굴착지반내에 암반층이 존재하는 다층지반에서 흙막이벽의 최대수평변위는 토사층의 두께가 차지하는 비율에 영향을 받고 있음을 확인 할 수 있다.



(a) 토사층두께와 최대수평변위 (b) 토층비와 최대수평변위

(c) 굴착깊이와 최대수평변위 (d) 네일길이와 최대수평변위

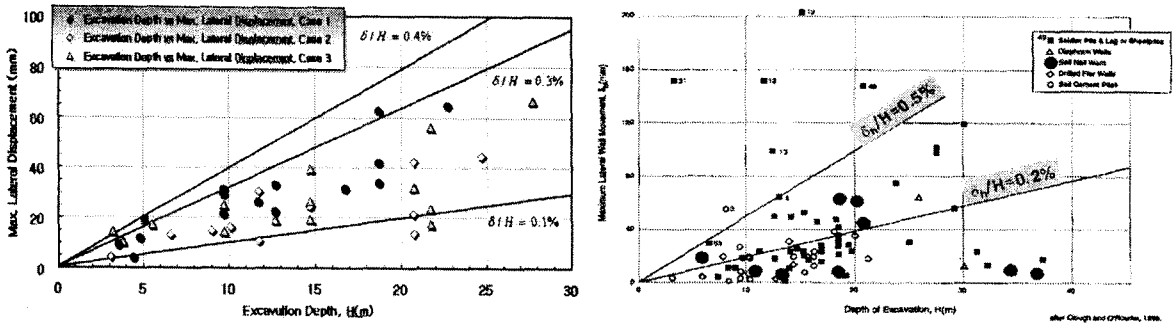
그림 2. 쏘일네일링 흙막이벽에 미치는 영향요인

4. 쏘일네일링 흙막이벽의 안정성 평가

일반적으로 네일벽체의 안정성은 굴착 배면에 설치되는 지중경사계(inclinometer)를 이용하여 변위를 측정하여 판단하게 된다. 경사계는 벽체에서 0.5~1.0m 떨어진 거리에 설치하였다.

그림 3은 다양한 조건하에서 측정된 지반의 최대수평변위를 굴착심도(H)와 관련하여 보여주고 있다. 그림에서 흙막이벽의 수평변위는 굴착깊이에 비례하여 증가하고 있으며, 또한 측정된 수평변위는 굴착이 완료될 때까지 점진적으로 증가하고 있다. 또한, 그림에서 굴착지반 내 토사층의 두께가 비교적 얕고 네일의 설치조건, 굴착공정 등 시공조건이 비교적 양호한 현장에서 측정된 흙막이벽의 수평변위는 대략적으로 굴착깊이의 0.4%이내에 분포하고 있다. 이는 흙막이벽의 수평변위가 평균적으로 굴착깊이의 0.25%라고 제안한 Stocker & Riedinger(1990)의 연구결과와 매우 유사하며, 상대밀도가 중간정도인 모래지반에서 흙막이벽의 수평변위가 굴착깊이의 0.3%이내에서 발생된다고 제안한 Gassler & Gudehus (1981)의 연구결과와는 일치하고 있다.

또한, 흙막이벽의 수평변위가 굴착깊이의 0.5%이내라고 제안한 Clough and O'Rourke (1990)의 연구결과와도 유사하다.



(a) 굴착깊이와 최대수평변위

(b) Clough and O'Rourke (1990)에 의해 제안된 수평변위 범위

그림 3. 쏘일네일링 흙막이벽에 미치는 영향요인

5. 결론 및 제언

본 연구는 현장시험을 통하여 쏘일네일링 보강벽체의 거동특성을 파악하기 위하여 굴착현장에서 측정된 흙막이벽의 수평변위를 토대로 흙막이벽의 변형에 미치는 영향요인을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 쏘일네일링 흙막이벽은 강성벽체인 옹벽과 유사하게 굴착저면을 중심으로 회전하는 변형거동을 보이고 있다.

(2) 쏘일네일링 흙막이벽의 변형에 미치는 영향요인을 분석한 결과, 흙막이벽의 최대수평변위와 굴착깊이와의 관계에서 굴착깊이가 증가할수록 수평변위가 증가하는 경향을 확인하였으며, 굴착지반 내 토사층의 두께가 두꺼울수록 최대수평변위도 증가하고 있음을 확인하였다. 또한, 굴착지반의 토층비가 증가할수록 흙막이벽의 최대수평변위는 증가하는 것으로 나타나고 있다. 따라서 굴착지반내에 암반층이 존재하는 다층지반에서 토사층의 두께가 흙막이벽의 최대수평변위에 크게 영향을 미치고 있다고 사료된다.

(3) 쏘일네일링 흙막이벽의 안정성 평가에서 지반굴착에 의한 쏘일네일링 흙막이벽의 최대수평변위는 일반적으로 국내현장에서 사용되는 수평변위계측관리기준 0.3%H 이내로 측정되어 안정하다고 사료된다.

(4) 본 논문은 앞서 서술했듯 한계평형의 안전율이 제시하는 범위에서의 변형에 관한 안전율을 고찰하고자 하는 목적에서 그 첫 단계로 현장계측자료와 기존의 연구 결과를 비교·대조 하였으며, case study를 통한 그 상관관계에 대한 고찰은 현재 연구 중에 있다.

참고문헌

1. 김명모, 김홍택, 권영호, 박신영 등(1999), "쏘일네일링 공법의 실용화방안 연구", 연구개발사업 최종보고서, R&D/96-0041, 건설교통부.
2. 김홍택, 강인규, 권영호, 조용훈(2002), "전면벽체 강성에 따른 소일네일링 벽체의 거동특성에 관한 실험적 고찰", 봄학술발표회 논문집, 한국지반공학회, pp. 279 ~ 286.
3. 권영호(2002), "전면벽체의 강성이 쏘일네일링 시스템의 안정성에 미치는 영향에 관한 연구", 박사학위논문, 홍익대학교.
4. Gässler, G.(1988), "Soil Nailing Theoretical Basis and Practical Design", International Geotechnical Symposium on Theory and Practice of Earth Reinforcement, Balkema, pp. 283 ~ 288.
5. Schlosser, F., Unterreiner, P., Plumelle, C. and Benoit, J.(1992), "Failure of a Full Scale Experimental Soil Nailed Wall by Reducing the Nail", Earth Reinforcement Practice, Balkema, pp. 531 ~ 535.