

Top-Down 공법이 적용된 흙막이벽의 역해석을 이용한 거동분석

홍원표¹ · 강철중² · 윤중만^{3*}

¹중앙대학교 사회기반시스템공학부, ²중앙대학교 대학원 토목공학과, ³신안산대학교 건설정보시스템과

The Behavior of Earth Retaining Walls Applied to Top-Down Construction Method Using Back Analysis

Won-Pyo Hong¹, Chul-Joong Kang², and Jung-Mann Yun^{3*}

¹School of Civil and Environmental Engineering, Urban Design and Studies, Chung Ang University

²Graduate Student, Department of Civil Engineering, Chung Ang University

³Department of Construction Information System, Shin Ansan University

본 연구에서는 흙막이벽 설계시 널리 사용되고 있는 SUNEX 프로그램을 이용하여 Top-Down 공법이 적용된 지중연속벽, 주열식 흙막이벽(CIP벽, SCW벽)의 변형거동을 분석하였다. 해석프로그램에 Rankine의 토압(1857), Terzaghi and Peck의 토압(1967), Tschebotarioff의 토압(1973), 홍원표 · 윤중만의 토압(1995a)을 적용하여 흙막이벽의 수평변위를 예측하였다. 프로그램 해석결과, 흙막이벽의 수평변위량은 토압의 종류에 따라 큰 차이를 나타내고 있다. 홍원표 · 윤중만의 토압(1995a)을 적용하여 얻은 흙막이벽의 예측수평변위량이 실측수평변위량과 가장 유사하게 나타났다. 따라서 프로그램 해석시 홍원표 · 윤중만의 경험토압(1995a)을 적용하면, Top-Down 공법이 적용된 흙막이벽의 변형거동을 비교적 정확히 예측할 수 있다.

주요어 : Top-Down 공법, 흙막이벽, 역해석, 토압, 수평변위

Abstract: The behaviors of a diaphragm wall and a contiguous pile wall such as CIP(Case-in-place pile) and SCW(Soil-cement wall), applied to the top-down construction method, were analyzed using the SUNEX program, which is widely used to design earth retaining walls. Four types of earth pressures, as described by Rankine (1857), Terzaghi and Peck (1967), Tchbotarioff (1973), and Hong and Yun (1995a), were applied to the analysis program to predict the lateral displacement of walls. The results show that the displacements of an earth retaining walls vary with the applied earth pressure. The predicted lateral displacement based on Hong & Yun's (1995a) earth pressure is similar to the measured displacement. Therefore, the actual lateral displacement of an earth retaining wall, as applied to top-down construction method, can be accurately predicted by using an analysis program considering Hong and Yun's (1995a) earth pressure.

Key words : Top-Down construction method, Earth retaining wall, Back analysis, Earth pressure, Lateral displacement

서 론

도심지에서 새로운 구조물을 축조하는 경우 부족한 토지공간을 효율적으로 활용하기 위하여 구조물의 전부 혹은 일부가 지하공간에 반드시 설치되고 있다. 주차시설 확보를 위한 지하주차장, 홍수예방을 위한 지하저류시설, 교통체중을 해결하기 위한 지하도로, 그리고 각종

생활편의시설 등의 지하구조물을 지하공간에 마련하기 위해서는 대부분 흙막이벽을 이용한 지하굴착공사가 실시된다.

이와 같이 도심지에서 실시되는 굴착공사는 대부분 기존구조물에 근접하여 실시되고 있다. 근접시공시 엄지말뚝 흙막이벽과 같이 강성이 작고 차수성이 좋지 않은 연성벽체를 이용하여 지하굴착을 하게 되면, 흙막이벽의

*Corresponding author: jmyun@sau.ac.kr

변형이 크게 발생하고, 지하수위가 저하되어 굴착배면지반에 인접한 기존구조물이나 지하매설물에 피해를 유발시키는 경우가 자주 발생하게 된다(백영식 외, 1990; 문태섭 외, 1994). 이러한 문제를 해결하기 위하여 강성이 크고 차수성이 뛰어난 주열식 흙막이벽이나 지중연속벽과 같은 강성벽체가 많이 사용되고 있다.

지하굴착공사에 적용되는 굴착공법은 크게 순타공법과 Top-Down 공법(역타공법)으로 구분된다. 순타공법은 흙막이벽을 지중에 설치한 후 최종굴착깊이까지 굴착을 실시한 후 굴착면에 바닥슬래브를 설치하고 순차적으로 지하구조물을 축조하는 공법을 말하며, Top-Down 공법은 지표면 부근에 1층 슬래브를 시공하여 지하 1층을 굴착한 후 지하 1층 슬래브를 시공하는 순서로 지상에서부터 지하로 내려가면서 구조물 축조하는 공법을 말한다. Top-Down 공법은 주로 흙막이벽을 구조물의 외벽으로 사용할 수 있는 지중연속벽에만 적용할 수 있는 굴착공법이다.

외국에서는 1980년대 후반부터 실내시험 및 현장사예 연구, 수치해석적 방법을 토대로 순타공법이 적용된 지하연속벽에 작용하는 축방토압과 벽체의 변형거동에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다(Bolton and Powrie, 1988; Poh and Wong, 1998; Gourvenec and Powrie, 1999; Thorley and Forth, 2002). 국내에서는 2000년 이후부터 원심모형실험(이처근 등, 2000), 수치해석(김동준 등, 2001) 및 현장계측자료(이철주, 2005)를 활용하여 지하연속벽의 거동에 대한 연구가 진행되어 왔다.

최근에는 순타공법에 비해 공기를 단축시킬 수 있는 Top-Down 공법을 적용한 지하굴착공사가 많이 실시되고 있다. Top-Down 공법이 적용된 흙막이벽으로 지하굴착공사를 실시할 경우, 이들 흙막이벽의 변형거동은 기존의 순타공법을 적용한 경우와는 다른 변형거동을 보일 것이다. 그러나 아직까지 국내에서는 Top-Down

공법이 적용된 흙막이벽에 대한 연구성과가 미비하여 Top-Down 공법이 적용된 흙막이벽을 설계하고자 할 때 기존의 순타공법이 적용된 흙막이벽의 연구결과를 그대로 적용하고 있는 실정이다. 그러나 이들 연구결과를 이용하여 Top-Down 공법이 적용된 흙막이벽을 설계할 경우, 굴착에 따른 흙막이벽의 변형거동은 현장에서 측정된 실측결과와 차이가 있어 Top-Down 공법이 적용된 흙막이벽의 변형거동을 정확하게 예측할 수 없을 것이다.

본 연구에서는 암반층이 포함된 다층지반에서 Top-Down 공법이 적용된 흙막이벽의 변형거동을 정확히 예측하는데 적합한 토압을 고찰하였다. 이를 위해 흙막이벽 설계시 널리 사용되고 있는 흙막이벽 설계프로그램(SUNEX)으로 Top-Down 공법이 적용된 지중연속벽, 주열식 흙막이벽(CIP벽, SCW벽)의 수평변위를 예측하였으며, 이들 예측수평변위와 굴착현장에서 측정된 실측수평변위를 비교 분석하였다. 흙막이벽 설계프로그램에는 Rankine의 토압(1857), Terzaghi and Peck의 토압(1967), Tschobotarioff의 토압(1973) 및 홍원표·윤중만의 토압(1995a)을 적용하였다.

사례현장

현장개요

본 연구에 활용된 사례현장들은 도심지에서 Top-Down 공법으로 지하굴착공사를 실시한 현장이다. Fig. 1은 사례현장의 개략적인 주변상황과 지반조사 위치를 나타낸 것이며, Table 1은 굴착공사 개요와 흙막이벽 시공개요를 나타낸 것이다.

A 현장은 지하 7층, 지상 22층 규모의 건설 현장이다. 굴착면적은 8309.44 m² 이며 최종굴착깊이는 31.65 m 이었다. 흙막이벽은 800 mm 두께의 콘크리트

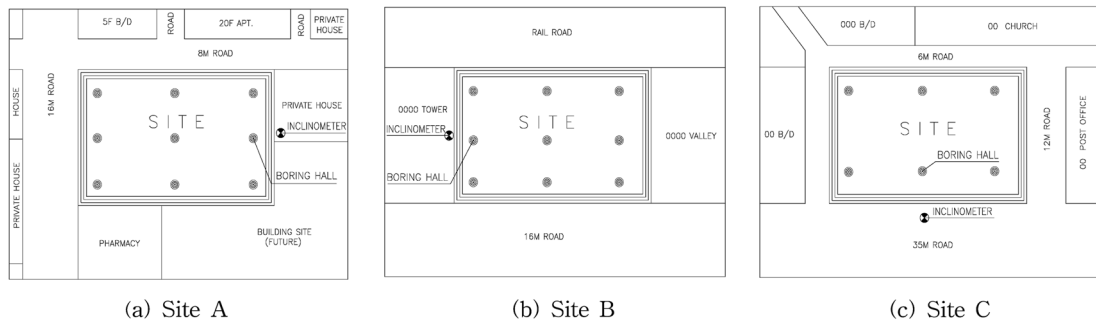


Fig. 1. Site plan & borehole location.

Table 1. Excavation works for the top-down construction method.

| Site | Excavated Area | Excavated Depth | Diaphragm wall | Depth of diaphragm wall |
|------|---|-----------------|--|-------------------------|
| A | 8,309.44 m ² (75.6 × 109.9 m) | GL(-) 31.65 m | Reinforced concrete wall (t = 800 mm) | 33.5 m |
| B | 5,775.33 m ² (63.5 × 90.95 m) | GL(-) 15.30 m | Row of bored piles (diameter = 500 mm and CTC = 500 mm) | 21.0 m |
| C | 12,000 m ² (150 × 80 m) | GL(-) 15.30 m | Row of soil cement columns (diameter = 550 mm and CTC = 450 m) | 21.0 m |

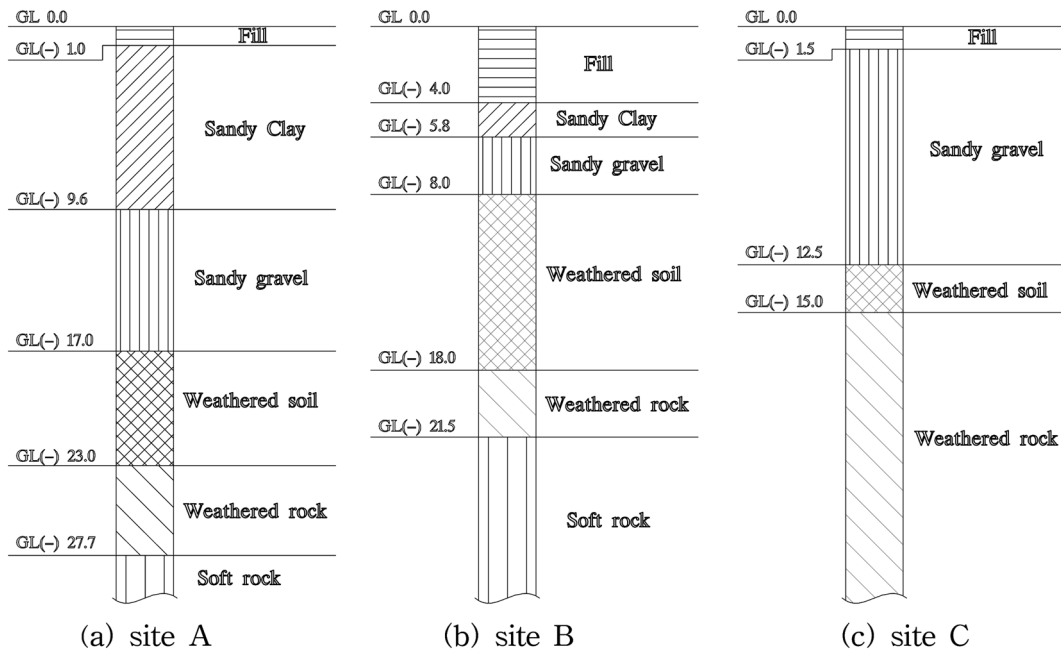


Fig. 2. Typical soil profiles.

벽으로 지중에 시공된 지중연속벽이다. B 현장은 지하 4층, 지상 10층 규모의 건설 현장이다. 굴착면적은 5,775.33 m²이며 최종굴착깊이는 15.30 m이었다. 흙막이벽은 직경이 500 mm인 CIP (Cast-in-place pile)으로 시공된 주열식 흙막이벽이다. 그리고 C 현장은 지하 4층, 지상 15층 규모의 건설 현장이다. 굴착면적은 12,000 m²이며 최종굴착깊이는 15.30 m이다. 흙막이벽은 직경이 550 mm인 SCW (Soil-cement wall)로 시공된 주열식 흙막이벽이다. 지중연속벽의 강성(EI)은 89,600 t·m²/m, CIP 흙막이벽의 강성(EI)은 15,743 t·m²/m, SCW 흙막이벽의 강성(EI)은 4,284 t·m²/m이다.

한편, A 현장의 경우 흙막이벽의 근입깊이는 최종굴착면에서 1.9m로 비교적 얇게 근입되었다. 반면 B 현장과 C 현장의 흙막이벽은 근입깊이는 5.7 m이다.

지반특성

Fig. 2는 A, B 및 C 현장에서 흙막이벽 배면지반에 설치된 지중경사계로부터 가장 인접한 위치의 지층단면도를 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 A, B, C 현장은 우리나라의 내륙지방의 전형적인 지층구조인 매립층, 퇴적층, 풍화토층, 풍화암층, 기반암층으로 구성된 다층지반이다. Table 2~4는 각 현장의 지층별 토질 정수를 나타낸 것이다. 토사층에서 흙의 단위중량은 표준관입시험에서 얻은 N값으로 추정하였으며, 내부마찰각과 점착력은 N값을 이용하여 Dunham의 제안식과 Peck의 제안식으로 추정된 값과 직접전단시험에서 얻은 값을 평균하여 사용하였다. 지반반력계수는 국내 흙막이 설계시 주로 적용되고 있는 후꾸오까식으로 추정하였다. 연암층은 시험자료 및 암질 등으로 토질 정수를 추정함

Table 2. Properties of soils at site A.

| Soils | Depth(m) (GL-) | Unit Weight | | Cohesion c(KN/m ²) | Frictional Angle ϕ (^o) | Modulus of subgrade reaction K _s (KN/m ²) |
|----------------|-------------------|------------------------------------|--|-----------------------------------|---|---|
| | | γ_t (KN/m ³) | γ_{sub} (KN/m ³) | | | |
| Fill | 1.75 | 18 | 9 | 0.0 | 29 ^o | 25,100 |
| Silty Sand | 5.75 | 17 | 8 | 30.0 | 0 ^o | 12,000 |
| Sand | 8.85 | 18 | 9 | 0.0 | 32 ^o | 23,300 |
| Sandy gravel | 15.35 | 19 | 10 | 0.0 | 33 ^o | 27,100 |
| Weathered soil | 18.35 | 19 | 10 | 0.0 | 34 ^o | 32,700 |
| Weathered rock | 28.75 | 20 | 11 | 50.0 | 35 ^o | 40,000 |
| Soft rock | ∞ | 21 | 12 | 70.0 | 38 ^o | 70,000 |

Table 3. Properties of soils at site B.

| Soils | Depth(m) (GL-) | Unit Weight | | Cohesion c (KN/m ²) | Frictional Angle ϕ (^o) | Modulus of subgrade reaction K _s (KN/m ²) |
|----------------|-------------------|------------------------------------|--|------------------------------------|---|---|
| | | γ_t (KN/m ³) | γ_{sub} (KN/m ³) | | | |
| Fill | 4.2 | 17 | 8 | 0.0 | 22 ^o | 15,000 |
| Clay | 5.8 | 16 | 7 | 20.0 | 16 ^o | 20,000 |
| Sandy gravel | 8.3 | 18 | 9 | 0.0 | 30 ^o | 25,000 |
| Weathered soil | 18.0 | 19 | 10 | 0.0 | 32 ^o | 31,000 |
| Weathered rock | ∞ | 20 | 11 | 30.0 | 35 ^o | 45,000 |

Table 4. Properties of soils at site C.

| Soils | Depth(m) (GL-) | Unit Weight | | Cohesion c(KN/m ²) | Frictional Angle ϕ (^o) | Modulus of subgrade reaction K _s (KN/m ²) |
|----------------|-------------------|------------------------------------|--|-----------------------------------|---|---|
| | | γ_t (KN/m ³) | γ_{sub} (KN/m ³) | | | |
| Fill | 2.2 | 17 | 8 | 0.0 | 27 ^o | 16,000 |
| sedimentary 1 | 7.5 | 17 | 8 | 0.0 | 27 ^o | 16,000 |
| sedimentary 2 | 12.7 | 18 | 9 | 0.0 | 33 ^o | 27,500 |
| Weathered soil | 17.4 | 18 | 9 | 15.0 | 35 ^o | 30,000 |
| Weathered rock | ∞ | 19 | 10 | 30.0 | 37 ^o | 40,000 |

기존의 지반정수치를 사용하였다. A 현장의 경우 기반 암층인 연암의 회수율(TCR)은 10~55% 정도이며, RQD는 0~30%로 암질이 매우 불량 내지 불량한 것으로 판정되었다. B 현장의 경우 연암층의 회수율(T.C.R)은 50~90% 정도이며, RQD는 20~73%로 암질이 매우 불량 내지 보통 정도로 나타났다. C 현장은 풍화암 이하 깊이에서는 지반조사를 실시하지 않아 암질을 판단하기 곤란하였다. 한편, 지중경사계에 인접한 지하수위계로 측정된 각 현장의 지하수위는 A 현장은 GL(-) 15.0m 이며, B 현장은 GL(-) 15.4m 이고 C 현장은 GL(-) 3.2m 이다.

흙막이벽의 수평변위

Fig. 3은 A, B 및 C 현장에서 지중경사계로 측정된 최종굴착단계에서의 흙막이벽의 수평변위를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 A, B 현장에 설치된

흙막이벽의 수평변위는 벽체의 중간 부분에서 가장 크게 발생하였으며, 벽체의 상부와 하부에서는 상대적으로 작게 발생하고 있어 활 모양의 변형 형상을 보이고 있다. 그러나 C 현장에 설치된 SCW 흙막이벽은 벽체의 상부 및 중간 부분에서 수평변위가 크게 발생되고 있으며, 벽체 하부에서는 수평변위가 감소하는 사다리꼴 모양의 변형 형상을 보이고 있다. A, B 현장에 설치된 흙막이벽은 벽체의 상부에서 수평변위가 대략 7mm 이하에서 비교적 작게 발생하고 있으나 C 현장에 설치된 흙막이벽은 벽체의 상부에서 수평변위가 약 28mm 정도로 크게 발생하고 있다. 흙막이벽의 변형 형상이나 벽체 두부에서의 수평변위량은 흙막이벽의 종류에 따라 큰 차이를 보이고 있다.

한편, B 현장과 C 현장은 굴착 깊이와 흙막이벽의 근입 깊이가 동일하지만 B 현장에 설치된 CIP 흙막이벽의

최대수평변위는 대략 14 mm 정도 발생하였으나 C 현장에 설치된 SCW 흙막이벽의 최대수평변위는 약 31 mm 정도 발생하고 있다. B 현장의 흙막이벽 수평변위가 C 현장의 흙막이벽 수평변위보다 작게 발생한 것은 CIP 흙막이벽의 강성($EI = 15,743t \cdot m^2/m$)이 SCW 흙막이벽의 강성($EI = 4,284t \cdot m^2/m$) 보다 크기 때문이라 사료된다. 한편, A 현장의 굴착깊이가 B 현장 보다는 깊고, 흙막이벽의 근입깊이는 B 현장 보다는 얇지만 전체 굴착깊이에 대한 흙막이벽의 최대수평변위량은 A 현장의 경우

0.13% 정도 발생한 반면 B 현장의 경우에는 약 0.2% 정도 발생하고 있어 굴착깊이에 비해 수평변위량이 작은 것은 A 현장에 설치된 지중연속벽의 강성($EI = 89,600 t \cdot m^2/m$)이 C 현장에 설치된 SCW 흙막이벽의 강성보다 상당히 크기 때문이라 사료된다.

또한 Fig. 3에서 보는 바와 같이 A, B 현장에서 계획된 흙막이벽의 수평변위량은 홍원표와 윤중만(1995b)이 제안한 흙막이벽 시공관리기준에서 안정구간 관리기준치 내에서 발생하고 있어 굴착공사가 진행되는 동안

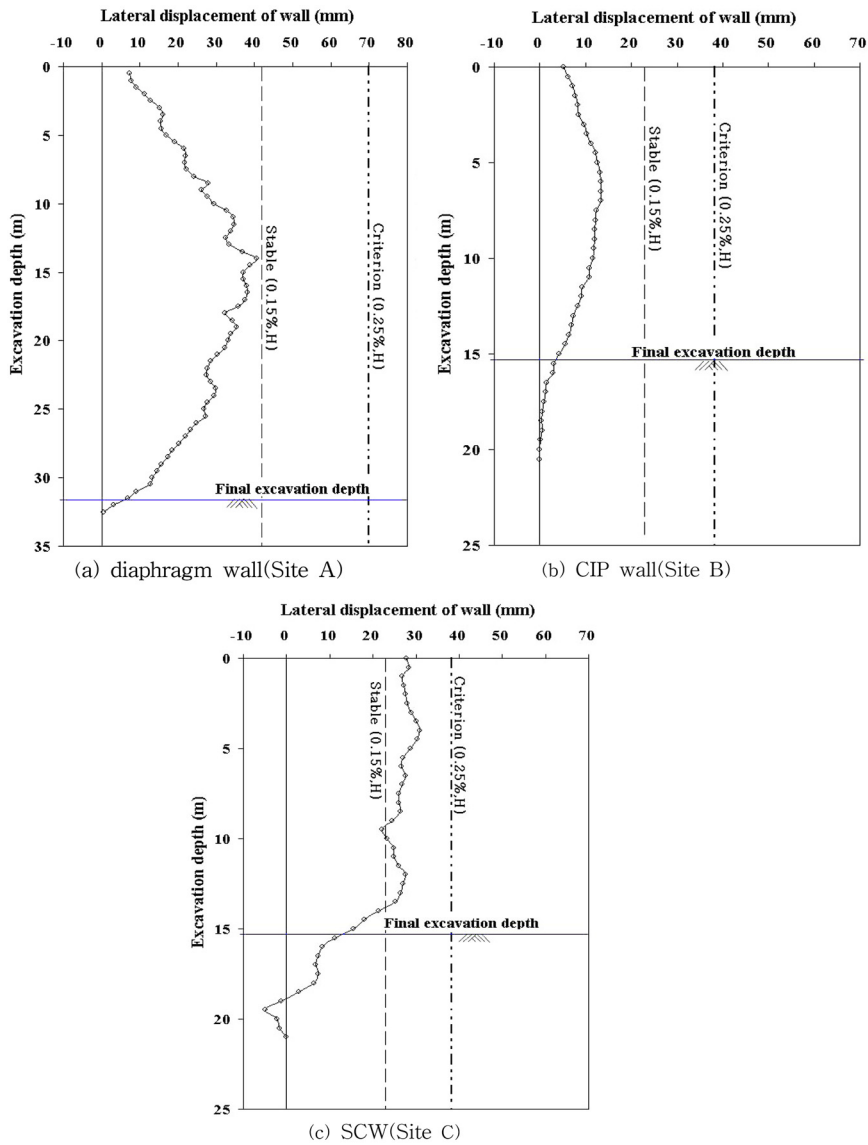


Fig. 3. Lateral displacement of earth retaining walls.

흙막이벽의 안정성이 충분히 확보되었음을 알 수 있다. 그러나 C 현장에 설치된 흙막이벽의 수평변위는 안정 구간과의 관리기준치를 초과하여 발생하고 있어 굴착공사시 흙막이벽의 안전성에 유의하여야 하였음을 알 수 있다.

흙막이벽 설계프로그램 및 적용토압

프로그램 개요

본 연구에 사용된 SUNEX 프로그램은 (주)지오그룹 이엔지에서 개발한 흙막이벽 설계프로그램으로 단계별 지하굴착에 따른 흙막이벽의 변형거동을 해석할 수 있다. 이 프로그램은 탄소성 보-스프링 모델에 근거하여 개발되었으며, 단계별 굴착공정과 지보공에 따른 흙막이벽의 변위, 전단력, 휨모멘트 및 지보공의 축력을 계산할 수 있다. SUNEX 프로그램은 평면적인 해석이 시행되어 유한요소해석은 불가능하다. 따라서 굴착면의 변형과 주변지반 침하해석은 가능하지만 굴착배면지반의 지중변형에 대한 해석은 불가능하여 지중매설물이나 인접 구조물의 변형을 예측하는데 어려움이 있다.

프로그램에 적용된 축방토압 분포

Fig. 4는 실무에서 옹벽과 흙막이벽의 설계에 주로 적용되고 있는 축방토압의 분포를 나타낸 것으로 이들 토압은 이론토압(Fig. 4(a))과 경험토압(Fig. 4(b,c,d))으로 구분된다. 옹벽은 벽체 하단을 중심으로 회전하여 상단의 변형은 크고 하단의 변형은 매우 작게 되므로, 옹벽 설계시 Rankine의 토압이 적용된다. 그러나 흙막이벽의 변형은 옹벽과 달리 각 굴착단계별로 흙막이벽의 변형 형상이 달라지고 굴착깊이에 따라 증가하므로, 흙막이벽에 작용하는 토압분포는 옹벽에서의 직선분포와

는 다르게 된다. 따라서 흙막이벽을 설계할 때는 굴착 현장에서 계측기로 측정된 버팀보나 앵커의 하중으로 산정된 경험토압이 적용된다.

Fig. 4(a)에서 보는 바와 같이 Rankine의 이론토압(1857)은 삼각형 분포로 최종굴착면에서의 최대토압 $P = K_a \gamma H$ 이다. 여기서 K_a 는 주동토압계수이고, γ 는 흙의 단위중량, H 는 최종굴착깊이이다.

Terzaghi and Peck의 토압(1967)은 Fig. 4(b)과 같이 사질토 지반에서 버팀보로 지지된 흙막이 굴착현장에서 버팀보의 하중으로 얻은 경험토압으로 사각형 분포이다. 최대토압 P 의 크기는 $P = 0.65K_a \gamma H$ 로 최종굴착면에서의 Rankine의 토압($K_a \gamma H$) 크기의 65%에 해당된다. Tschebotarioff의 토압(1973)은 Fig. 4(c)에서 보는 바와 같이 사다리꼴 모양의 분포로 사질토 지반에서 버팀보 설계용으로 제안된 경험토압이다. 지표면에서 굴착깊이의 10% 깊이까지는 토압이 선형적으로 증가하고 하부 20% 부분에서는 토압이 선형적으로 감소한다. 최대축방토압 P 의 크기는 최종굴착면에서의 상재하중(γH)의 25%인 $P = 0.25\gamma H$ 이다.

한편, 홍원표·윤중만의 토압(1995a)은 본 연구의 사례현장의 지층구조와 유사한 암반층이 포함된 다층지반에서 앵커로 지지된 흙막이 굴착현장에서 앵커의 하중 및 벽체의 수평변위로 산정된 경험토압이다. 홍원표·윤중만의 토압은 Fig. 4(d)에서 보는 바와 같이 상하부 대칭의 사다리꼴 모양의 분포를 보이고 있다. 본 토압분포는 암반층으로 이루어진 굴착저면에서는 암반층에서의 토압감소율을 고려하여 최종굴착면으로부터 굴착깊이의 30%에 해당되는 굴착깊이부터 선형적으로 감소하는 토압분포를 보이고 있다. 최대축방토압 P 의 크기는 최종굴착면에서의 연직상재압(γH)의 20%인 $P = 0.2\gamma H$ 로 정하여 사용한다.

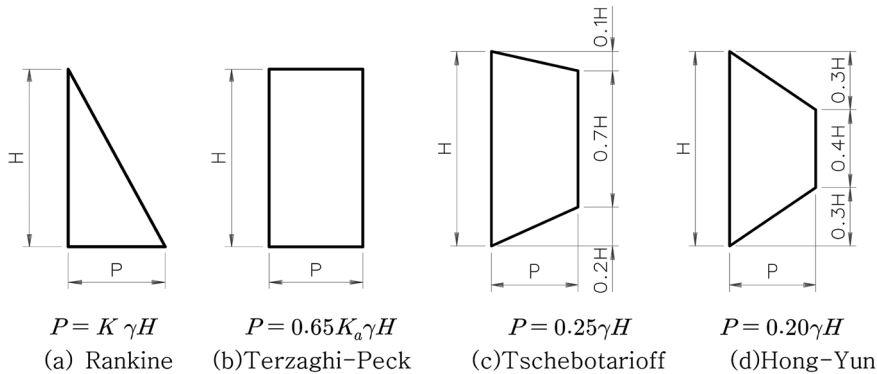


Fig. 4. Distribution of earth pressure.

벽체의 변형거동 비교분석

지중연속벽

Fig. 5는 지중연속벽을 대상으로 흙막이벽 설계프로그램으로 산정된 예측수평변위와 현장에서 지중경사계로 측정된 실측수평변위를 비교하여 나타낸 것이다.

그림에 나타난 바와 같이 지중연속벽의 상부에서는 Terzaghi and Peck의 토압과 Tschebotarioff의 토압을 적용한 경우, 벽체의 수평변위는 예측치가 실측치보다 크게 발생되고 있다. 특히 Tschebotarioff의 토압을 적용한 경우에는 지중연속벽 상부에서의 수평변위가 실측치보다 상당히 크게 발생되고 있다. 지중연속벽 중간부에서는 Rankine의 토압과 Terzaghi and Peck의 토압을 적용할 경우 벽체의 수평변위는 중간부에서 실측치보다 작게 발생되었으나 벽체 하부에서는 수평변위가 실측치보다 크게 예측되었다.

한편, 홍원표·윤중만의 토압을 적용할 경우에는 흙막이벽의 상부에서는 예측수평변위와 실측수평변위가 거의 유사하게 발생하고 있으나 벽체의 하부에서는 예측수평변위가 실측수평변위보다 약간 작게 발생하고 있다. 그러나 전반적으로 수평변위의 변형 형상은 예측치와 실측치가 전반적으로 유사한 경향을 보이고 있으며, 최대수평변위는 예측치와 실측치가 모두 벽체의 중간부에서 발생하고 있다. 그러나 최대수평변위량의 크기는 예측치

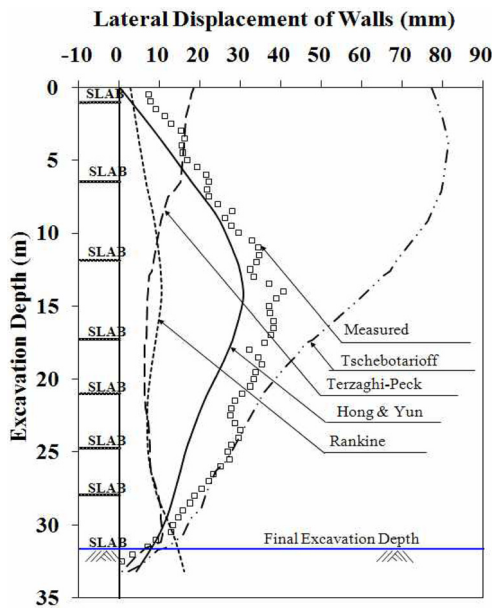


Fig. 5. Comparison of predicted and actual lateral displacement (Diaphragm wall).

가 실측치 보다 약간 작게 발생하고 있다.

주열식 흙막이벽

CIP (Cast-in-place pile)벽

Fig. 6은 CIP 흙막이벽을 대상으로 프로그램에 의해 예측된 수평변위와 현장에서 지중경사계로 측정된 실측수평변위를 비교하여 나타낸 것이다.

그림에 나타난 바와 같이 CIP 벽체 중간부에서는 Rankine의 토압과 Terzaghi and Peck의 토압을 적용하여 산정된 예측수평변위는 실측수평변위보다 약간 작게 발생하고 있으나 CIP 벽체 상, 하부에서는 예측수평변위와 실측수평변위가 거의 유사하게 발생하고 있다. 그러나 Tschebotarioff의 토압을 적용한 경우에는 흙막이벽 전 구간에 걸쳐서 예측수평변위가 실측수평변위보다 상당히 크게 발생하고 있다.

한편, 홍원표·윤중만의 토압을 적용할 경우, 흙막이벽 전체에 걸쳐서 수평변위의 변형 형상은 예측치와 실측치가 매우 잘 일치하는 경향을 보이고 있다. 최대수평변위는 예측치와 실측치가 모두 벽체의 중간부에서 발생하고 있으며 최대수평변위량의 크기도 예측치와 실측치가 거의 같게 발생하고 있다.

SCW (Soil-cement wall)

Fig. 7은 SCW 흙막이벽을 대상으로 프로그램에 의해

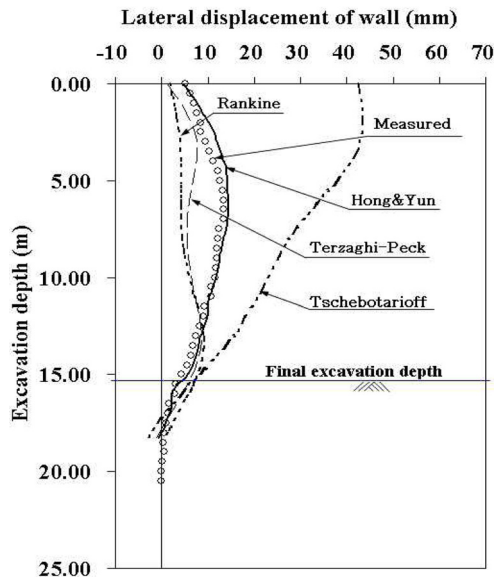


Fig. 6. Comparison of predicted and actual lateral displacement (CIP wall).

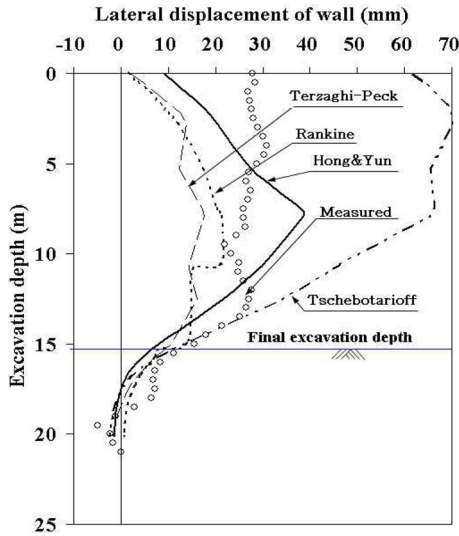


Fig. 7. Comparison of predicted and actual lateral displacement (SCW).

예측된 수평변위와 현장에서 지중경사계로 측정된 실측 수평변위를 비교하여 나타낸 것이다.

그림에 나타난 바와 같이 Rankine의 토압과 Terzaghi and Peck의 토압을 적용할 경우에는 SCW 흙막이벽의 수평변위는 전체적으로 예측치가 실측치보다 작게 발생하고 있으며 최대수평변위량의 크기도 예측치가 실측치보다 작게 발생하고 있다. Tschebotarioff의 토압을 적용한 경우에는 흙막이벽 전 구간에 걸쳐서 예측수평변위가 실측수평변위보다 상당히 크게 발생하고 있어, 지중연속벽과 CIP 흙막이벽과 동일한 경향을 보이고 있다.

한편, 홍원표·윤중만의 토압을 적용할 경우에는 SCW 흙막이벽의 상, 하부에서는 수평변위의 예측치가 실측치보다 작게 발생하고 있으나 벽체 중간부에서는 예측치가 실측치보다 크게 발생하고 있다. 그리고 최대수평변위량의 크기는 예측치가 실측치보다 크게 발생하고 있다. SCW 흙막이벽의 경우에는 홍원표·윤중만의 토압을 적용하여 산정된 흙막이벽의 수평변위의 예측치가 다른 토압들을 적용하여 얻은 예측치보다 실측치에 근접하는 경향을 보이고 있지만 지중연속벽과 CIP 흙막이벽 보다는 예측치와 실측치가 일치하지 않는 경향을 보이고 있다.

고 찰

흙막이벽 설계프로그램을 이용하여 Top-Down 공법이 적용된 흙막이벽의 수평변위를 예측한 결과 프로그

램에 적용되는 토압의 종류에 따라 흙막이벽에 발생하는 수평변위는 상당히 큰 차이를 보이고 있다.

Rankine의 토압, Terzaghi and Peck의 토압, Tschebotarioff의 토압을 적용하여 예측한 수평변위는 흙막이벽의 종류에 따라 차이는 있지만 현장에서 지중경사계로 측정된 수평변위와 큰 차이를 보이고 있다. 대체적으로 Rankine의 토압, Terzaghi and Peck의 토압을 적용한 경우 예측수평변위가 실측수평변위보다 작게 발생한 반면에 Tschebotarioff의 토압을 적용한 경우에는 예측수평변위가 실측수평변위보다 상당히 크게 발생하고 있다. Tschebotarioff의 토압분포가 상부 10% 지점에서부터 크게 작용하고 있으며, 전주동토압의 크기가 다른 토압들 보다 커서 흙막이벽 상부에서 예측된 수평변위가 다른 토압에 비해 실측치보다 상당히 크게 발생한 것으로 사료된다. 그리고 이들 토압으로 예측된 수평변위가 실측된 수평변위와 다른 변형거동을 보이는 것은 Rankine의 토압의 경우, 흙막이벽과 변형거동이 다른 옹벽을 대상으로 흙의 소성평형상태에서 구한 이론토압으로 굴착단계별 흙막이벽의 변형에 따른 토압의 변화가 고려되지 않은 것이 원인이라 사료된다. 또한 Terzaghi and Peck의 토압, Tschebotarioff의 토압은 사질토지반에서 버팀보로 지지된 흙막이 굴착현장에서 버팀보의 하중으로 얻은 경험토압으로 본 사례현장과 같이 암반층이 포함된 다층지반의 토질특성이 고려되지 않은 토압분포이기 때문이라 사료된다.

한편, 홍원표·윤중만의 토압을 적용할 경우 흙막이벽의 종류에 관계없이 흙막이벽의 예측수평변위는 실측수평변위와 비교적 잘 일치하는 경향을 보이고 있다. 특히 비교적 흙막이벽의 강성이 작은 SCW 흙막이벽 보다는 강성이 큰 CIP 흙막이벽과 지중연속벽에서 예측변위량과 실측변위량이 더욱 잘 일치하고 있다. 이와 같이 다른 토압들을 적용한 경우보다 홍원표·윤중만의 토압으로 산정된 예측수평변위가 실측수평변위와 거의 유사한 변형거동 양상을 보이는 것은 홍원표·윤중만의 토압은 본 사례현장과 지층구조가 유사한 암반층이 포함된 다층지반에서 실시된 굴착현장에서 얻은 경험토압으로 암반층에서의 토압감소율을 고려하여 산정된 토압분포이기 때문이라 사료된다.

위에서 고찰한 바와 같이 흙막이벽의 변형거동을 예측하고자 할 때 홍원표·윤중만의 토압을 흙막이벽 설계프로그램에 적용하는 가장 적합하다는 것을 알 수 있었다. Fig. 8은 홍원표·윤중만의 토압의 적용성을 확인하기 위하여 A 현장의 지중연속벽에서 발생한 굴착단

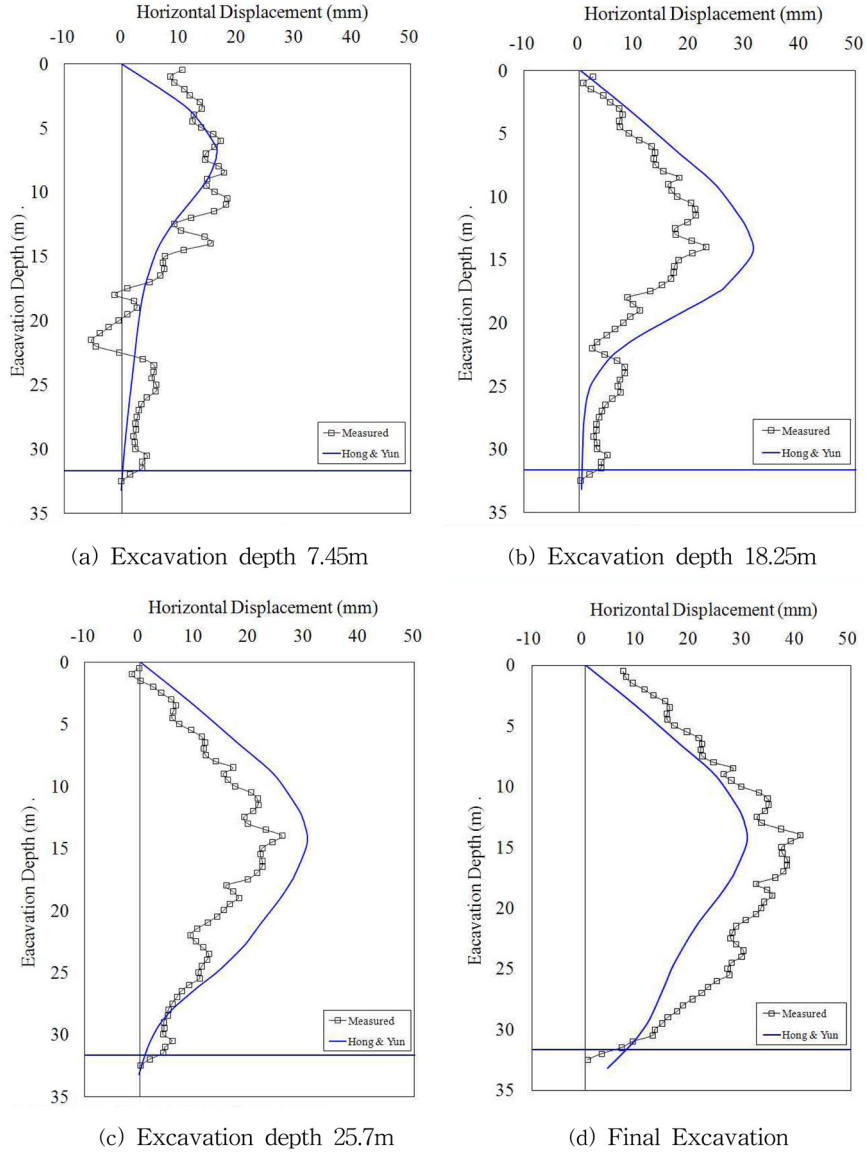


Fig. 8. Lateral displacement of wall by excavation step.

계별로 실측수평변위와 예측수평변위를 비교한 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 각 굴착단계별 실측수평변위와 예측수평변위는 비교적 유사한 변형 형상을 보이고 있으며 최대수평변위의 크기와 발생위치도 유사한 것을 알 수 있다. 따라서 프로그램 해석시 홍원표·윤중만의 경험토압을 적용하면, Top-Down 공법이 적용된 흙막이벽의 변형거동을 비교적 정확히 예측할 수 있는 것으로 확인되었다.

결론

본 연구에서는 암반층이 포함된 다층지반에서 Top-Down 공법이 적용된 흙막이벽의 변형거동을 정확히 예측하는데 적합한 토압에 대하여 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 흙막이벽 설계프로그램을 이용하여 Top-Down 공법이 적용된 흙막이벽의 수평변위를 예측한 결과, 프로

그림에 적용되는 토압의 종류에 따라 흙막이벽에 발생되는 수평변위는 상당히 큰 차이를 보이고 있다.

2) 흙막이벽의 종류에 따라 차이는 있지만 Rankine의 토압, Terzaghi and Peck의 토압, Tschebotarioff의 토압을 적용하여 예측한 수평변위 형상은 현장에서 지중경사계로 측정된 수평변위 형상과 다른 거동을 보이고 있다.

3) 홍원표 · 윤중만의 토압을 적용할 경우, 흙막이벽의 종류에 관계없이 흙막이벽의 예측수평변위는 실측수평변위와 비교적 잘 일치하는 경향을 보이고 있다. 또한 굴착단계별 지중연속벽 수평변위도 홍원표 · 윤중만의 토압을 적용하였을 경우, 실측수평변위와 예측수평변위가 비교적 유사한 변형 형상을 보이고 있으며 최대수평변위의 크기와 발생위치도 유사하게 나타났다.

4) 홍원표 · 윤중만의 토압을 적용하여 예측된 흙막이벽의 수평변위는 예측치가 다른 토압들을 적용하여 얻은 예측치보다 실측치에 근접하는 경향을 보이고 있다. 특히, 흙막이벽의 강성이 작은 SCW 흙막이벽 보다는 강성이 큰 CIP 흙막이벽과 지중연속벽에서 예측수평변위량과 실측수평변위량이 잘 일치하고 있다.

5) 암반층이 포함된 다층지반에서 Rankine의 토압, Terzaghi and Peck의 토압 및 Tschebotarioff의 토압 보다는 암반층에서의 토압감소율이 고려된 홍원표 · 윤중만의 토압을 흙막이벽 설계프로그램에 적용하는 것이 Top-Down 공법이 적용된 흙막이벽의 변형거동을 비교적 정확히 예측할 수 있다.

참고문헌

- 김동준, 이병철, 김동수, 양구승, 2001, 대규모 굴착공사에 따른 지중연속벽체의 변형특성(II), 한국지반공학회 논문집, 17(4), 107-115.
- 문태섭, 홍원표, 최완철, 이광준, 1994, 두원 PLAZA 신축공사로 인한 인접 자생병원 및 독서실의 안전진단 보고서, 대한건축학회, 47-83.
- 백영식, 홍원표, 채영수, 1990, 한국노인복지보건의료센터 신축공사장 배면도로 및 매설관 파손에 대한 검토 연구보고서, 대한토질공학회, 68-96.
- 이치근, 안광국, 허열, 2000, Diaphragm Wall에서 굴착 깊이-시간-변위에 관한 원심모형실험, 한국지반공학회 논문집, 16(5), 179-191.
- 이철주, 2005, 해성점토층에 실시된 지중연속벽 시공에 의한 지반의 변위 분석, 한국지반공학회 논문집, 21(3), 43-54.
- 홍원표, 윤중만, 1995a, 지하굴착시 앵커지지 흙막이벽에 작용하는 측방토압, 한국지반공학회지, 11(1), 63-77.
- 홍원표, 윤중만, 1995b, 지하굴착시 앵커지지 흙막이벽 안정성에 관한 연구, 대한토목학회 논문집, 15(4), 991-1002.

- Bolton, M. D. and Powrie, W., 1988, Behaviour of Diaphragm Walls in Clay Prior to Collaspe, Geotechnique, 38(2), 167-189.
- Gourvenec, S. M. and Powrie, W., 1999, Three-Dimensional Finite-Element Analysis of Diaphragm Wall Installation, Geotechnique, 49(6), 801-823.
- Poh, T. Y. and Wong, I. H., 1998, Effects of construction of diaphragm wall panels on adjacent ground: Field trial, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 124(8) 749-756.
- Rankine, W. M. J., 1857, On Stability on Loose Earth, Philosophic Transactions of Royal Society, London, Part I, 9-27.
- Terzaghi, K. and Peck, R. B., 1967, Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd Edition, John Wiley and Sons, New York, 394-413.
- Thorley, C. B. B. and Forth, R. A., 2002, Settlement due to diaphragm wall construction in reclaimed land in Hong Kong, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 128(6), 473-478.
- Tschebotarioff, G. P., 1973, Foundations, Retaining and Earth Structure, McGraw-Hill, New York, 415-457.

2012년 1월 26일 원고접수

2012년 3월 12일(1차), 2012년 3월 23일(2차) 수정일자

2012년 3월 26일 게재확정

홍원표

중앙대학교 사회기반시스템공학부 건설시스템공학전공

156-756 서울특별시 동작구 흑석동 221번지

Tel: 02-824-0580

Fax: 02-822-8722

E-mail: wphong@cau.ac.kr

강철중

중앙대학교 대학원 토목공학과

156-756 서울특별시 동작구 흑석동 221

Tel: 02-824-0580

Fax: 02-822-8722

E-mail: kcj0989@hanmail.net

윤중만

신안산대학교 건설정보시스템과

425-792 경기도 안산시 단원구 초지동 671

Tel: 031-490-6155

Fax: 031-490-6075

E-mail: jmyun@sau.ac.kr