

FEM을 이용한 연암 파쇄대 지반의 흠막이 벽체 거동 분석

Behavior Analysis Using FEM for Earth Retaining Wall of Soft Rock Fracture Zone

장기수¹⁾ 박민철²⁾ 신호희³⁾ 이송^{4)*}
Gi-Soo Jang Min-Chul Park Hyo-Hee Shin Song Lee

Abstract

A soft rock fracture zone is an important element for rock slope or earth retaining, however stability studies of earth retaining wall have been lack. Therefore, this study is analyzed for a behavior of earth retaining wall with condition of fracture zone or no fracture zone and then a numerical analysis (Finite Element Method) was performed considering interaction with field monitoring data between ground and structures. As a result, applied horizontal displacement on retaining wall is correspond between result of numerical analysis and field monitoring data and displacement point stress distribution with fracture zone condition analyzed to be stable side but no fracture zone condition is expressed to be unstable side. The results of this study is purpose for applying safety construction as a top priority at field when designing for future.

Keywords : Fracture zone, Earth retaining wall, Displacement, Finite Element Method

1. 서론

급속한 경제성장과 산업화로 도심지에서는 건물신축과 증축, SOC시설에 대한 투자가 계속적으로 이루어지고 있는 실정이며, 지상공간의 활용이 한계에 달하고 있는 실정이다. 이와 같이 구조물 건설 시 국토면적을 경제적이고 효율적으로 활용하기 위해 지하구조물 신설이 증가하고 있는 추세이다.

그러나 최근에 지하구조물 신축 시 흠막이 벽체 붕괴로 인한 사고가 빈번히 발생하고 있어, 인적 피해 및 물적 피해에 영향을 미치고 있다. 붕괴사고 원인으로 지하수위 변화, 대심도 굴착에 따른 영향, 지반조사 불명확, 공법 선정 미흡, 부실시공 및 계측관리 미흡 등 다양한 원인이 존재할 수 있다.

이러한 붕괴 원인뿐만 아니라 Fig. 1에 나타난 것처럼 지반 공학적으로 분석한 결과 편마암과 편암에서의 붕괴가 가장 많았으며, 붕괴 원인으로서는 연암 파쇄대가 존재하는 부위에서 크게 조사된 것으로 나타났다. 그러나 이러한 조사결과에도 불구하고 기존 연구에서는 연암 파쇄대를 고려한 흠막

이 벽체의 안정성 연구는 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구는 연암 파쇄대에 설치된 조건과 연암 파쇄대 미설치된 조건에 따른 흠막이 벽체의 거동을 비교·분석하기 위하여 C.I.P, 어스앵커와 버팀보로 시공되고 연암 파쇄대가 분포되어 있는 현장을 선정하였다. 굴착공사 시 부터 공

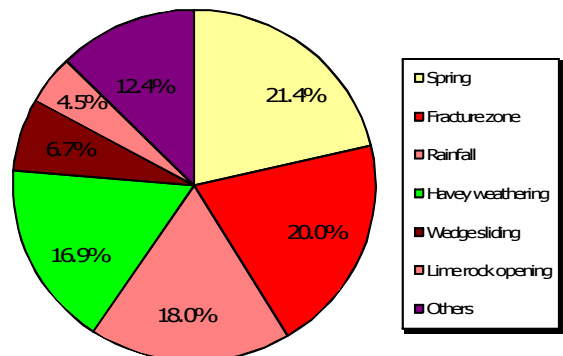


Fig. 1 Classification as A Cause (Case Histories of Tunnel Collapse, 2010)

1) 정희원, 서울시립대학교 토목공학과 박사과정
2) 정희원, 서울시립대학교 토목공학과 박사과정
3) 정희원, 대림대학교 토목환경공학과 겸임교수
4) 종신희원, 서울시립대학교 토목공학과 교수, 교신저자

* Corresponding author : scugeo@uos.ac.kr
• 본 논문에 대한 토의를 2013년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 2013년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

사 완료 시까지의 굴착 단계별로 흙막이 벽체의 거동을 현장의 계측데이터와 유한요소프로그램인 VisualFEA/GEO를 이용하여 수치해석을 수행하였고, 이를 심도별 지층 변위, 흙막이 배면의 침하와 변위 지점 응력경로 등을 비교·분석하였다.

2. 흙막이 벽체 거동에 관한 연구동향

흙막이 벽체에 대한 기존 연구는 굴착메커니즘에 대한 연구가 진행되었으며, 그 이후로는 수치해석과 현장계측을 적용하면서 흙막이 벽체에 대한 안정성 연구를 실시하였다. 먼저 토압분포는 연성벽체에 대한 경험식이 널리 사용되어 왔다 (Terzaghi and Peck, 1967; Tschebotarioff and Klein, 1973). 또한 앵커지지 방식의 가시설 흙막이 벽체에 작용하는 토압에 관한 연구도 진행하였다 (Otta et al., 1982).

흙막이 굴착에 따른 가시설 흙막이 벽체 및 굴착배면의 변형에 대한 대표적인 연구는 계측결과를 바탕으로 한 배면지반의 침하범위를 나타낸 연구를 비롯하여 흙막이 벽체의 최대변위량으로부터 배면지반의 최대 침하량 연구와 다양한 지반조건에 대한 배면지반의 거리별 침하량을 예측한 연구가 있다 (Peck, 1969; Mana and Clough, 1981; Clough and O' Rourke, 1990).

또한 가시설 흙막이 시공에 대한 흙막이 벽체나 주변 지반의 응력해석에 관한 연구도 하였으며, 흙막이 벽체에 관한 지반 및 벽체 변위에 관한 연구도 이루어 졌고, 굴착공사에 의한 흙막이 벽체와 주변지반의 변형을 검토하기 위하여 1960년대 후반부터는 유한요소법을 적용한 연구도 활발히 진행되고 있다 (Clough and Duncan, 1971; Briaud and Kim, 1998).

추가로 진행된 연구로는 흙막이 구조물 설계 및 시공 시 문제점을 통계적으로 분석을 수행했으며, 탄소성법과 유한요소법에 의한 토류벽의 거동 차이를 수치해석으로 분석한 연구도 이루어졌다 (Lee et al., 2002; Jeong et al., 2009). 가시설 흙막이 벽체의 계측결과를 역해석으로 분석도 하였으며, 응력-간극수압을 연계한 흙막이 벽체의 거동에 대하여 연구도 하였다 (Lee et al., 2009; Yoo et al., 2011).

이러한 흙막이 벽체의 관련 연구동향을 조사한 결과에 따르면 흙막이 벽체 배면의 안정성 및 변위, 지하수 영향 평가 등은 많이 이루어 졌지만 연암 파쇄대를 이용한 연구는 아직까지 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 FEM과 현장 계측 결과를 이용하여 불확실성한 암반이 흙막이 벽체에 미치는

영향을 분석하였다.

3. 연구대상구간 및 지층조건

3.1 연구대상구간

본 연구의 대상구간은 00지역 신축 공사 현장으로 Fig. 2에 나타났듯이 배면에 건물이 위치하고 있으며, 우측과 정면에는 2차선 도로가 있어 공사차량 및 일반 차량이 주행중이고, 좌측에도 건물이 위치하고 있어 지하 굴착 시 흙막이 벽체가 불가피한 상황이다. 지하 굴착은 단계별로 발파, 천공, 파쇄, 반출 순으로 굴착을 하고 바닥정리를 실시하였다.

Fig. 3에 나타났듯이 C.I.P 복합벽체에는 범토펙보가 설치되었으며, 어스앵커의 인장력을 가한 상태였다. 굴착 상부에는

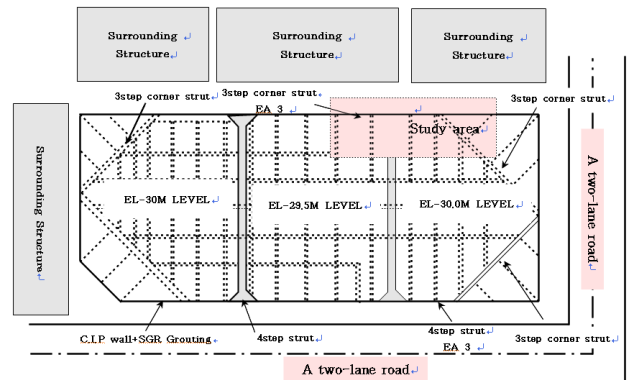


Fig. 2 Cross Section of Research Region

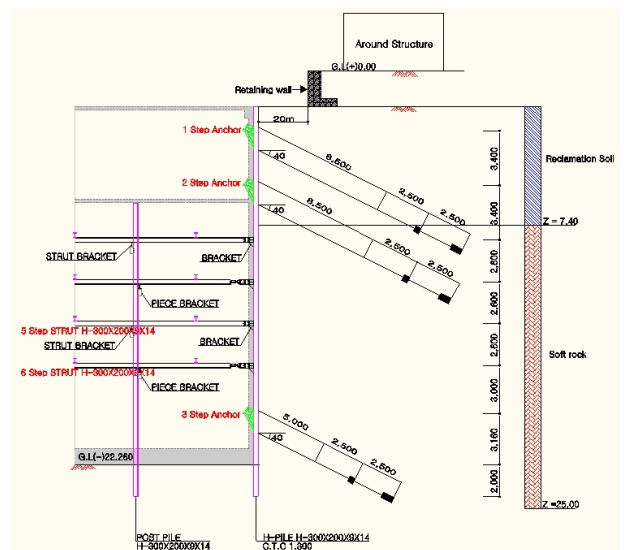


Fig. 3 Cross Section Design

L형 옹벽위에 기존 구조물이 상부하중을 재하하고 있다.

현장 지반조사결과 해석구간의 지층은 매립층, 퇴적층, 풍화토, 풍화암, 연암, 연암 파쇄대, 경암층이 연속적으로 분포하고 있으며, 연암층 내부에 파쇄가 심한 하부연암 층이 있는 것으로 나타났다. 지하수위는 지표면 하부 3.6m 부근에 분포하고 있으며 굴착 시 큰 변화는 없었던 것으로 나타났다.

이러한 조건을 갖춘 현장에서 지반조사, 현장계측데이터와 수치해석 등을 수행하여 연암 파쇄대가 흙막이 벽체에 미치는 영향을 분석하였다.

3.2 지층조건

흙막이 벽체의 거동 분석 시 수치해석에 적용하는 지반정수결정은 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 최적의 지반정수를 결정하기 위하여 실내 및 현장시험, 기존문헌과 시공 사례 등을 비교·분석하여 결정하였다.

Table 1은 지반조사를 통해 채취한 현장시료를 실내에서 물성 및 역학 시험을 하여 얻은 결과로 토질의 종류에 따라 지반정수는 많은 차이가 발생하였다. 특히 연암 파쇄대 부분은 풍화암보다 낮은 지반 정수값을 나타내고 있다. 기존 방법에서는 흔히 사용하고 있는 표준관입시험을 통해 탄성계수나 지반반력계수를 역계산하여 도출하였으나, 본 연구에서는 연암 파쇄대 구간에 공내재하시험을 수행하여 탄성계수 및 지반반력계수를 산정하여 신뢰성을 확보할 수 있었으며, 또한 연암 파쇄대를 정확하게 분석하기 위하여 BIPS도 수행하였다.

4. FEM 해석방법

4.1 해석방법 및 조건

변위해석은 일반적인 경우는 지하수위를 고려하지 않는

전응력 개념의 해석을 수행하였으며, 연암 파쇄대를 고려한 조건과 연암 파쇄대를 고려하지 않은 조건으로 구분하여 수행하였다.

본 연구에서는 어느 시점에서 변위가 일정한 속도로 계속 증가하여 붕괴로 이어진 점을 고려할 때 변위에 대한 해석이 가능하고, 지하수위의 변화가 지반거동에 영향을 미친다는 연구를 기초로 할 때 이것들을 모두 반영할 수 있는 유한요소해석 프로그램인 VisualFEA/GEO를 사용하였다.

VisualFEA/GEO는 유한요소법을 기본 이론으로 하여 2차원 또는 3차원의 연속체를 해석하는 프로그램이며, 단계별 해석, 내진해석, 침투해석, 압밀침하해석, 연동해석 등의 다양한 해석유형을 제공하는 범용 해석프로그램이다.

Fig. 4는 프로그램에서 모델조건과 해석 메쉬를 보인 것이며, 2차원 평면변형 해석으로 재료모델은 탄소성이고 시공단계를 고려한 일반 조건의 해석으로 수행하였다.

또한 현장 조건을 유사하게 모사하여 비교·분석하기 위해서는 실제 현장에서 작용하는 하중 즉 지반자체의 자중하중과 상부 구조물 하중, 작업하중 등을 고려하여 적용하였다. 따라서 본 연구에서는 지반자체의 자중하중은 실험결과를 토대로 적용하였고, 작업하중은 13 kN/m², 건물하중은 19 kN/m²으로 적용하였다.

4.2 설계입력정수

설계 입력 정수는 지반조사결과 자료, 기존 문헌자료와 공내전단시험 등을 종합적으로 분석하여 Table 2와 같이 선정하여 입력하였다. 지반의 측압계수는 토사의 경우는 기존문헌과 실내시험을 통하여 정하였으며, 암반의 측압계수는 K₀=1.0을 적용하였는데 절리방향이 사면 방향과 평행하여 보수적으로 정하였다. 2차원 평면 변형 해석 시 사용하는 탄성계수는 공

Table 1 Testing Results

Division		r _t (kN/m ³)	C (kN/m ²)	φ	E (MPa)	K _h (MN/m ³)
Reclamation soil	TOP N=10	17	0	25	12	15
	Under N=5	18	3	24	7	
Weathering soil		19	15	31	35	38
Weathering rock		20	25	36	70	48
Fracture zone		20	10	25	50	40
Soft rock		23	40	32	250	60
Hard rock		25	110	39	5,500	100

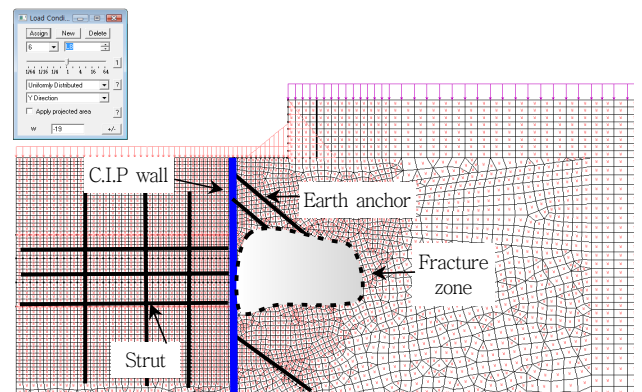


Fig. 4 Model Setting and Analysis Mesh

Table 2 Input Data of Soil Analysis

Division		E (kPa)	ν	c (kN/m ²)	σ_t (MPa)	H'	f_u	\emptyset	K_o	r_t (kN/m ³)	α
reclamation soil	TOP N=10	10000	0.33	1	1	0	1	26	0.56	17	1e-005
	Under N=5	5000	0.33	1	1	0	1	20	0.66	17	1e-005
Weathering soil		30000	0.3	10	5	0	1	33	0.46	18	1e-005
Weathering rock		60000	0.3	20	10	0	1	35	0.43	20	1e-005
Fracture zone		50000	0.3	10	5	0	1	25	1	20	1e-005
Soft rock		200000	0.28	50	25	0	1	36	1	21	1e-005
Hard rock		5000000	0.23	100	50	0	1	40	1	25	1e-005

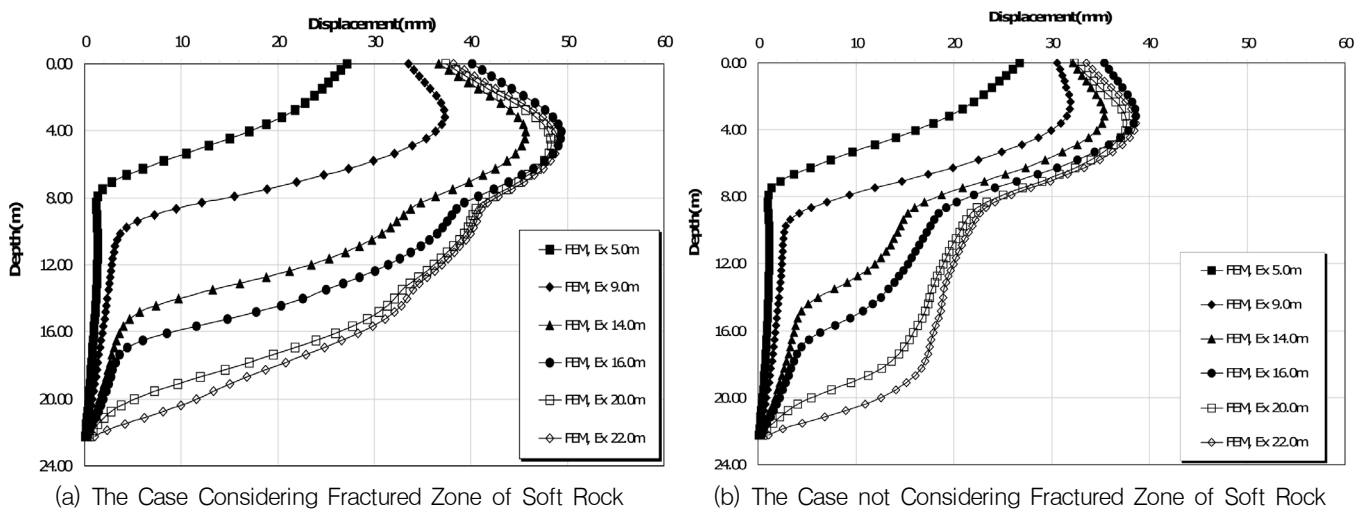


Fig. 5 Displacement Result Analysis with Depth

내재하시험과 기존 문헌을 비교·분석하여 적용하였고, 지반의 조건에 따라서 500~5,000,000으로 토질과 암반의 차이는 무려 10,000배 정도나 되었다.

프아송비, 내부마찰각, 점착력 및 단위중량도 실내 시험결과와 기존 문헌자료를 통해 구현하였으며, 경도지수 (H')는 완전탄성영역으로 가정하여 0으로 적용하였고, 제하중 계수는 1과 열팽창계수 (α) 1e-005으로 본 연구의 해석과 무관하여 지반의 조건에 관계없이 일정한 값을 입력하였다.

5. FEM 해석결과 및 수평변위 비교

5.1 FEM 해석결과

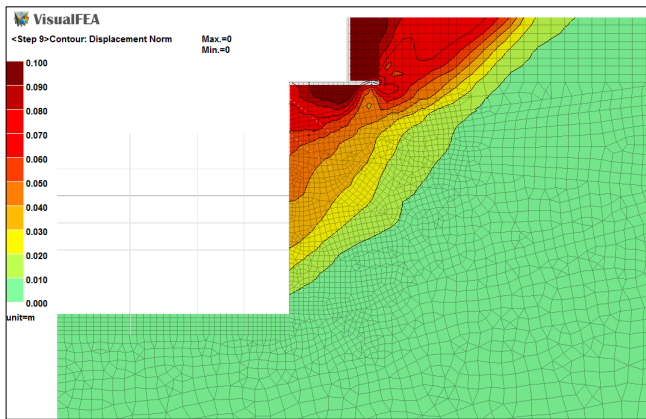
Fig. 5는 심도별 굴착 경계면에서의 수평변위를 나타낸 것이며, 연암 파쇄대를 고려한 조건과 파쇄대를 고려하지 않은 조건을 VisualFEA/GEO 프로그램으로 비교·분석하였다.

단계별 굴착 깊이에 따라 단계별 수평변위변화를 분석한 것이며, 두 조건 모두 굴착 단계가 늘어날수록 비례적으로 변위도 증가하였다.

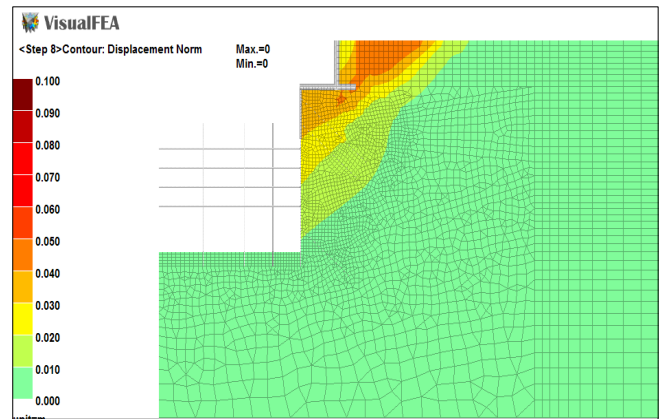
Fig. 5(a)의 파쇄대를 고려한 경우 분석결과, 굴착 깊이 Ex 5.0m~14.0m 이후 수평변위가 급격히 증가하는 경향을 보이고 있으며, 그 이후 굴착단계 Ex 14.0m~22.0m 에서는 거의 유사한 수평변위를 보였다. 연암 파쇄대의 내부적 활동이 집중된 것으로 판단된다.

Fig. 5(b)의 파쇄대를 고려하지 않은 경우는 굴착 깊이 Ex 5.0m 이후 수평변위는 파쇄대를 고려한 경우와 마찬가지로 급격히 증가하는 것으로 나타났으며, 굴착 깊이 Ex 9.0~22.0m까지는 거의 유사하게 발생하는 것으로 나타났다.

파쇄대를 고려한 경우가 미고려한 경우 보다 모든 단계에서 큰 수평변위를 나타냈으며, 이는 흙막이 벽체 배면의 불확실성한 연암 파쇄대 영역 존재와 지반의 여러 가지 복합적인 거동으로 인하여 발생한 결과라고 판단된다. 또한 두 조



(a) Considering Fractured Zone



(b) Not Considering Fractured Zone

Fig. 6 Horizontal Displacement Result by FEM Analysis (Ex=22.0m)

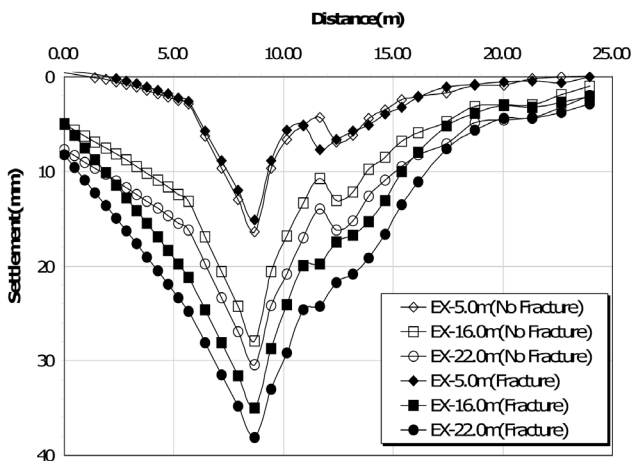


Fig. 7 Settlement Distribution of Ground

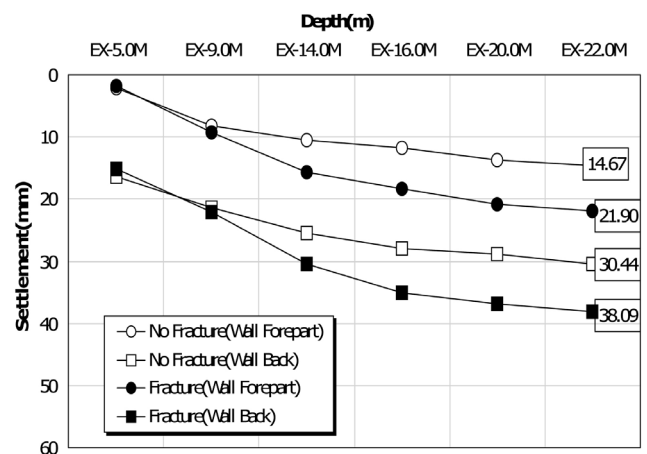


Fig. 8 Settlement Distribution with Construction Steps

건 모두 굴착 깊이 Ex 9.0m~22.0m에서 G.L.(-)3.0m~5.0m 근처에서 최대 수평변위를 나타낸 이유는 아무리 단단한 토사층이더라도 암반파쇄대층 보다는 지반정수가 높지 않기 때문에 수치해석결과 토사층 부분에서 많은 변위를 나타낸 것이다.

Fig. 6은 유한요소해석법을 이용한 VisualFEA/GEO로 해석한 결과 데이터로써 X, Y방향의 변위를 합쳐놓은 것으로 연암 파쇄대를 고려한 조건과 파쇄대를 고려하지 않은 조건으로 분석한 결과이다. Fig. 6을 보면 연암 파쇄대를 고려한 경우가 고려하지 않은 경우 보다 수평변위가 많이 발생한 것으로 나타났으며, 연암 파쇄대의 지반거동을 뚜렷하게 확인할 수 있었다.

옹벽의 하부지점에 대한 굴착경계면에서부터 수평거리 25m까지의 침하결과를 Fig. 7로 나타낸 것이다. 옹벽 기초 부에 부등침하가 큰 것으로 나타나고 있다. 이것은 가설 흙

막이 굴착으로 인한 암반 거동으로 수평 변위가 발생하고 그에 해당하는 부분이 침하로 나타나는 것으로 파쇄대가 있는 조건에서는 최대변위 38.09mm, 파쇄대가 없는 조건은 최대 30.44mm 발생한 것으로 나타나고 있다. 두 조건 모두 흙막이 벽체에서부터 수평거리 대략 8.6m에서 가장 큰 침하량을 보였다.

굴착 단계 Ex 5.0m에서는 파쇄대 존재 여부에 관계없이 비슷한 침하량을 나타냈으며, Ex 16.0m와 Ex 22.0m는 파쇄대 조건이 파쇄대 미고려 시 보다 1.25배 큰 침하량이 발생하였다. 상기에서 분석한 결과와 마찬가지로 파쇄대가 존재하는 것은 흙막이 벽체 거동에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Fig. 8은 해석단계별 옹벽 기초의 침하를 나타낸 것이며, 해석단계에 따라 수렴되는 경향을 보이고 있다. 옹벽 선단부와 후단부를 분석한 결과로써 파쇄대 조건의 옹벽 후단부 굴

착 단계 Ex 14.0m에서 30mm를 초과하기 시작한 것으로 나타났다으며, 파쇄대 미조건인 경우 굴착 단계 Ex 22.0m에서 30mm를 초과하는 것으로 확인되었다.

굴착 단계 Ex 14.0m는 G.L.(-)14.0m 굴착되는 단계로 암반층의 굴착부에서 불확실한 암반층의 거동이 영향을 미친 것으로 판단된다. 옹벽 선단부와 후단부에 관계없이 파쇄대가 존재하는 부분은 큰 침하량을 나타내는 것으로 확인되었다.

빌딩 구조물 손상한계 기준은 독립기초에서는 사질토의 경우 최대침하량을 32mm, 총침하량 51mm로 제안하고 있다 (Skempton et al., 1955). 본 연구에서 파쇄대가 있는 경우 설치된 옹벽의 기초를 기준으로 적용할 경우 이 기준에 미치지 못하는 것으로 나타났다.

5.2 흙막이 벽체의 변위 지점 응력경로 분석

응력경로는 물체내에 발생한 응력상태의 변화과정을 응력공간의 궤적으로 표시한 것이다. 주로 전단과정에서 물체의 응력 상태 변화를 2가지의 응력성분을 두 축으로 취하고 응력평면상의 점을 궤적으로 나타낸 것이다.

본 연구에서는 국내외에서 분석이 미흡하고 일반적인 설계법으로 해석이 불가능한 흙막이 벽체의 변위 지점 응력경로를 분석하여 연구의 신뢰성을 확보할 수 있었다. Fig. 9는 G.L.(-)12.0m에서의 굴착 최종 단계 시 벽체의 최대 수평변위가 발생하는 지점의 굴착에 따른 응력경로를 연암 파쇄대를 고려한 조건과 연암 파쇄대를 고려하지 않은 조건으로 비교·분석 하였다.

Fig. 9(a)는 연암부에서 단층이나 절리 등의 파쇄대를 고려

하지 않은 경우에 대한 해석에서 암반부 (심도 12m)의 파괴포락선과 응력 경로를 표시한 것이다. 굴착으로 인하여 파괴포락선에 근접하고 보강 후 다시 안정 상태임을 알 수 있다.

반면 Fig. 9(b)는 연암 파쇄대를 고려한 경우이며, 파괴점에 이른 다음 계속 파괴영역에 응력점이 존재하고 있는 것으로 판단할 때, 파쇄대를 고려한 경우에는 해석에서 완전한 수렴을 하지 않은 것으로 판단된다.

이는 흙막이 벽체의 안정성 분석 시 연암파쇄대 고려 여부에 따라 벽체의 거동은 전혀 다른 경향을 나타내고 있다. 따라서 설계 및 시공 시 본 연구결과에서 분석한 변위 지점에 따른 응력경로 분석을 통해 흙막이 벽체의 안정성을 확보해야 할 것이다.

5.3 흙막이 벽체에 작용하는 수평변위 비교

흙막이 벽체의 변위에 영향을 미치는 요인은 구조물 하중, 배면의 지층 조건, 지하수 영향, 단계별 굴착 방법, 흙막이 벽체 종류 및 흙막이 벽체지지 종류 등 여러 가지 원인이 있다.

본 연구에서는 여러 가지 원인 중 현재까지 연구가 미흡한 연암 파쇄대 지반이 가시설 흙막이 벽체에 미치는 영향을 분석하기 위한 것이다. 기존의 일반설계법은 편도압이 작용할 경우 비대칭으로 해석되므로 현장 측정결과와 차이점을 나타내고 있다. 이러한 원인을 규명하기 위하여 본 연구에서는 FEM으로 해석을 수행하여 비교·분석 하였다.

Fig. 10은 흙막이 벽체의 수평변위를 현장 측정결과와 FEM으로 수치해석한 결과를 나타내고 있다. 현장 측정결과와 연암 파쇄대를 고려한 조건이 유사한 결과를 나타낸 것

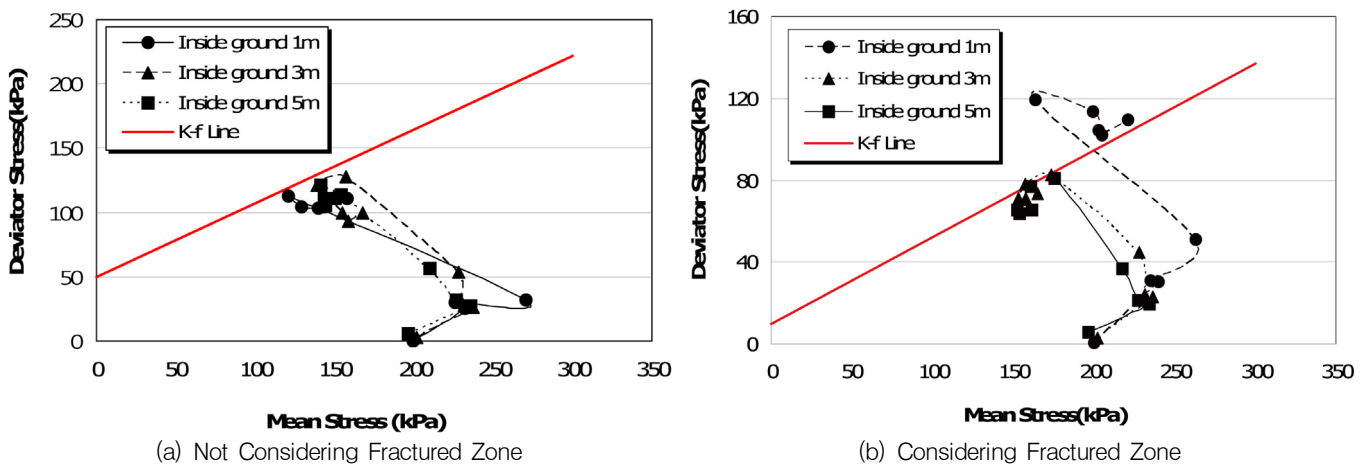


Fig. 9 Stress Path Analysis of Earth Retaining Wall

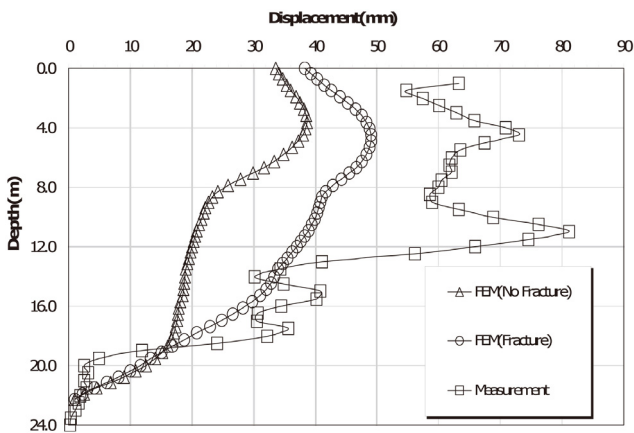


Fig. 10 Comparison of Horizontal Displacement with Analysis Steps

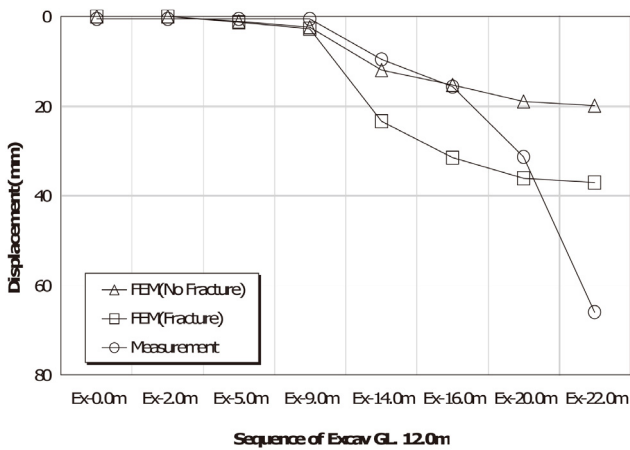


Fig. 11 G.L. 12.0m Comparison of Horizontal Displacement

로 보이지만, 파쇄대를 고려하지 않은 조건은 현장계측 결과와 큰 차이를 나타냈다. 이러한 결과를 볼 때, 연암 파쇄대를 고려해서 설계에 적용해야 할 것이다.

Fig. 10에 나타난 현장 계측결과는 토사층과 연암 파쇄대 지층에서 수평변위가 크게 측정되었으며, 수치해석결과는 토사층 부분에서 높은 수평변위를 나타내 두 조건이 상이하게 도출되었다. 이러한 원인은 지반조사 결과 토사층의 지반정수 값이 연암 파쇄대층의 지반정수 값보다 낮게 도출된 값을 수치해석 시 입력정수에 도입했기 때문이다.

연암 파쇄대층의 수평변위를 구체적으로 분석하기 위하여 지표면에서 12.0m 하부에서 굴착단계별로 침두점을 측정할 현장 계측결과와 FEM 해석을 Fig. 11과 같이 나타냈다.

연암 파쇄대층인 G.L.(-)12.0m에서의 수치해석 결과, 굴착 단계 Ex 5.0m에서부터 수평변위는 점진적으로 증가하다가 연암 파쇄대 부위를 지난 굴착 이후에는 수렴하는 것으로 나

타났지만, 계측결과는 Ex 9.0m 단계에서부터 수평변위가 점점 증가하다가 마지막 굴착단계에서 급격하게 증가하는 것으로 나타나 수치해석 결과와 미세한 차이점을 보였다.

6. 결론

지하시설물의 안전하고 효율적인 시공 관리를 위하여 지반의 변형과 거동, 배면의 침하에 대하여 보다 효과적인 해석이 필요하다. 따라서 본 연구는 연암 파쇄대가 고려된 조건과 파쇄대를 미고려한 조건에 대한 흙막이 벽체의 거동을 비교·분석하기 위하여 현장계측결과와 흙과 구조물의 상호작용을 고려한 수치해석을 수행하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 수평변위 수치해석 결과는 연암 파쇄대를 고려한 조건이 파쇄대를 고려하지 않은 조건보다 많은 차이를 나타냈으며, 계측결과와 비교했을 경우도 연암 파쇄대 고려 조건이 거의 비슷한 경향을 나타냈다. 이러한 결과를 볼 때, 불확실한 연암 파쇄대의 경우 흙과 구조물의 상호작용을 고려한 수치해석 등을 수행하여, 설계 및 시공 시 적용해야 할 것이다.
- (2) 옹벽기초 하단부의 침하분석결과, 파쇄대가 있는 조건에서는 최대변위 38.09mm, 파쇄대가 없는 조건은 최대 30.44mm 발생한 것으로 약 1.25배 차이로 나타났다. 이는 불확실한 연암 파쇄대가 흙막이 벽체거동에 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있다.
- (3) 흙막이벽체의 변위 지점 응력경로를 FEM으로 분석한 결과, 파쇄대를 미고려한 경우 굴착으로 인하여 파괴포락선에 근접하고 보강으로 다시 안정 상태에 있으나, 파쇄대를 고려한 경우는 파괴점에 이른 다음 계속 파괴영역에 응력점이 존재하고 있는 것으로 확인되었다.

References

1. Briaud, J. L. and Kim, N. K., "Beam-column method for tieback walls", J. Geotech. Geoenviron. Engineering, American Society of Civil Engineers, Vol. 124, No. 1, 1998, pp.67-79.
2. Clough, G. W. and Duncan, J. M., "Finite element analyses of retaining wall behavior", J. Geotech. Eng, American Society of Civil Engineers, Vol. 97, No. 12, 1971, pp.1657-1673.
3. Clough, G. W. and O'Rourke, T. D., "Construction induced movements of in-situ walls design and performance of earth retaining structures", Proceeding of a Specialty Conference at Cornell University, ASCE, New York, 1990, pp.439-470.

4. Jeong, S. S. and Kim, Y. H., "Characteristics of collapsed retaining walls using elasto-plastic method and finite element method", Korean Geotechnical Society, Vol. 4, No. 25, 2009, pp.19-29 (in Korean).
5. Korean Tunnelling Association, "Case histories of tunnel", CIR Press, 2010, pp.379-383 (in Korean).
6. Lee, J. H., Lee, J. S., Hwang, E. S., Cho, S. H., "Analysis of monitoring results and back analysis for rigid diaphragm wall supported by ground anchor", Korean Geotechnical Society, Vol. 5, No. 25, 2009, pp.39-46 (in Korean).
7. Lee, s. and Kim, J. H., "The analysis of the important problems on designing and constructing earth retaining structures", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol. 2, No. 6, 2002, pp.167-174 (in Korean).
8. Mana, A. I. and Clough, G. G., "Prediction of movements for braced cuts in clay", Journal of the Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers, Vol. 107, No. 6, 1981, pp.759-777.
9. Otta, L. H., Pantucek, H. and Goughnour, P. R., "Permanent ground anchors, stump design criteria, office of reseracrch and development", Fed. Hwy. Admin., U.S Dept. Transp, Washington, D.C., 1982, pp.25-35.
10. Peck, R. B., "Deep excavations and tunnelling in soft ground", 7th International Conference Soil Mechanics and Foundation Engineering, State of Art, 1969, pp.225-290.
11. Skempton, A. W. and McDonald, D. H., "Allowable settlement of buildings", Proceedings of the Institute of Civil Engineers, London, England, Part 3, Vol. 6, No. 5, 1955, pp.727-768.
12. Terzaghi, K. and Peck, R. B., "Soil mechanics in engineering practice", 2nd Edition, John Wiley and Sons, New York, 1967, pp.394-413.
13. Tschebotarioff, G. P. and Klein, G. K., "Lateral pressures of clayey soil on structures", Specialty Session, 8th International Conference Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 4, No. 5, 1973, pp.227-266.
14. Yoo, C. S. and Choi, G. N., "Urban excavation-induced ground movement in water bearing ground using stress-pore pressure coupled analysis", Korean Geotechnical Society, Vol. 5, No. 27, 2011, pp.17-31 (in Korean).

Received : 03/18/2013
 Revised : 04/18/2013
 Accepted : 04/23/2013

요 지

연암 파쇄대는 암반 사면이나 흙막이 공법에서 중요한 요소 중의 하나이지만, 흙막이 벽체의 안정성 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 연암 파쇄대에 설치된 조건과 연암 파쇄대에 미설치된 조건에 따른 흙막이 벽체의 거동을 비교분석하기 위하여 현장 계측데이터와 흙과 구조물의 상호작용을 고려한 유한요소법으로 수치해석 등을 실시하였다. 그 결과 흙막이 벽체에 작용하는 수평변위는 현장 계측결과와 파쇄대 조건의 수치해석 결과와는 거의 일치하는 것으로 나타났으며, 변위 지점 응력분포는 파쇄대 조건에서는 안정적으로 해석되었지만, 파쇄대 미조건에서는 불안정으로 결과가 도출되었다. 이 연구결과를 추후 설계 시 현장의 안전을 최우선으로 한 시공에 적용하는데 목적이 있다.

핵심 용어 : 파쇄대, 흙막이 벽체, 변위, 유한요소해석법