

다층지반 굴착시 토류벽에 작용하는 토압분포

Earth Pressure Distribution on Retention Walls
in the Excavation of Multi-Layered Ground

이 종 규*¹
Lee, Chong-Kyu
전 성 곤*²
Jeon, Seong-Kon

Abstract

In deep excavations for creation of underground spaces, it would be difficult to predict earth pressure, especially multi-layered ground including rock strata.

The earth pressures and displacements on the retention walls are measured by load cell, strain gauge and inclinometer which were installed at struts or anchors at 4 deep excavation sites in Seoul area.

In this paper, the measured earth pressure from the struts or anchors are compared with Peck's empirical values, and the coefficient of the earth pressures for each strata and horizontal wall displacement are investigated.

The coefficient of earth pressure distribution, $\alpha(0.65 \times K_a)$, in the flexible and the rigid walls was about 74% and 88% of Peck's value respectively.

The measured earth pressure distributions for the 4 sites showed about 70%~80% of Peck's empirical values and the average earth pressure coefficients based on the measured data were 0.3 for the filled layer, 0.23 for the weathered rock and 0.19 for the weak rock.

The maximum wall displacements were found to be less 0.2% of excavation depth.

요 지

지하공간을 활용하기 위하여 연직 깊은 굴착을 시행하는 경우 암반층을 포함한 다층토로 구성된 서울지역 지반조건과 같은 경우 설계의 기본이 되는 토압추정에는 많은 문제점이 있다. 본 연구는 암반을 포함하여 다층토로 구성된 서울지역 4개 공사현장에 대하여 지지구조에 부착된 하중계 및 변형계의 계측치로부터 환산한 토압분포와 경험토압분포로 굴착완료후와 굴착단계별로 비교 검토하고, 이를 각 지층별로 구분하여 환산한 평균토압계수를 추정하며, 굴착진행에 따른 벽체 변위거동을 고찰하였다.

연구 결과 토압분포계수 $\alpha(0.65 \times K_a)$ 는 연성벽체인 경우와 비교적 강성이 큰 벽체인 경우

*¹ 정회원, 단국대학교 공과대학 토목공학과 교수

*² 정회원, 단국대학교 대학원 토목공학과 박사과정

peck의 값과 비교할때 각각 약 74%, 약 88% 정도로서 이는 굴착완료후의 peck의 토압분포와 거의 같은 것으로 나타났다. 또한 굴착단계별 계측 환산토압 평균은 peck 경험토압의 약 70~80% 정도로 나타났으며, 지층별 평균토압계수는 매립토층에서 약 0.3, 풍화암층에서 약 0.23, 연암층에서는 약 0.19 정도였다. 한편, 최대변위량은 굴착깊이의 약 0.2% 이하로 나타났다.

1. 서 론

최근 도시 용지면적의 부족현상은 대규모 터널, 지하철, 지하주차장등의 지하공간 이용을 급격히 요구하게 되었고 이로인한 대규모 지하굴착공사시 굴착깊이 증가로 인하여 많은 어려운 문제가 대두되게 되었다.

흙막이 구조물은 일반적으로 지하 구조물을 설치하기 위해 굴착시 주변의 흙이나 물이 굴착 현장내로 유입되지 않도록 설치하는 구조물로서 일시적으로 사용되는 연성벽체인 가설 토류벽등이 주종을 이루고 있으나 최근에는 가시 설을 영구적으로 사용하는 강성벽체를 설치하는 공법이 개발되어 있는 실정이다. 이러한 흙막이 구조물 설계의 가장 중요한 요소는 토류벽체 및 지지구조에 작용하는 횡하중인데, 흙막이 구조물의 설계시에는 지하굴착으로 인하여 흙막이 벽에 작용하게 되는 횡토압을 정확히 산정할 수 있어야 한다.

횡하중으로서 토압을 추정함에 있어 가장 중요한 요소는 토압 계수이다. 일반적으로 토압 계수의 추정은 여러 학자들에 의하여 제안되어 왔으나 주로 강성벽체를 대상으로 한 연구결과들이다. 연성벽체에서의 토압은 강성벽체의 토압계수를 사용하여 적절한 조건으로 수정하여 산정하는 것이지만 이 경우의 거동에 관한 연구는 아직까지 명백한 것은 아니다. 특히 버팀구조의 설치와 선행 긴장력과 관련한 토압분포는 보다 복잡한 거동을 나타낸다. 따라서 토류벽체에 관한 토압분포의 추정은 현장계측치를 정밀하게 측정하여 이로부터 확인하는 방법이 한 지표가 될 수 있다.

한편, 보통의 굴착지층은 단일층으로 이루어

진 것이 아니며, 암반층에서의 토압분포추정의 방법이 토사지반층에서와 동일한지는 명확하지가 않다.

본 연구는 암반을 포함하여 다층토로 구성된 서울지역 4개 공사현장에 대하여 지지 구조에 부착된 하중계 및 변형계의 계측치로 부터 환산한 토압분포와 경험토압분포로 굴착완료후와 굴착단계별로 비교 검토하고, 이를 각 지층별로 구분하여 환산한 평균토압계수를 추정하며, 굴착진행에 따른 벽체 변위거동을 고찰하였다.

2. 문헌고찰

굴착토류벽의 거동을 예측하기 위하여는 벽면에 작용하는 수평력인 토압의 크기와 분포를 먼저 알아야 한다. 흙막이 벽에 작용하는 토압은 지반조건 및 굴착시공조건등에 의해 변화하기 때문에 정확한 계산은 어렵다.

가설토류벽인 연성벽체에 작용하는 토압이론은 옹벽과 같은 강성벽체에 작용하는 토압분포와는 큰 차이점이 있으며 버팀굴착시 항복상태도 다르다. 연성벽체에 작용하는 토압이론도 버팀지지 완료시의 토압분포와 근입깊이 결정, 자립식 널말뚝 단면계산 및 단계별 굴착시 적용되는 토압분포로 나눌 수 있다.

버팀구조의 설치가 완료된 경우, 파괴면을 대수나선형 원호로 가정하여 벽체에 작용하는 토압분포를 Terzaghi⁽¹⁰⁾는 제안하였고, Terzaghi와 Peck⁽¹¹⁾은 버팀대 반력을 계측하여 각각 사질토, 점성토의 지반에 대한 경험적 토압분포를 제안하였으며 그후 더 많은 버팀보 반력을 측정하여 수정된 수평토압도를 제안하였다.

(1)(11) Peck 및 Tschobotarioff⁽¹²⁾ 등은 버팀굴

착에 있어 파괴시의 거동이 응벽(강성벽체)의 경우와 다르다는 점에 착안하여 실측결과를 토대로 설계토압 분포도를 제안하였다.

그러나 경험토압분포는 굴착과 버팀대 설치가 완료될 경우 파괴시 발생하는 벽체의 변위와 토압분포임을 명심하여야 한다.

한편 버팀구조 설치가 완료되기전, 즉 캔틸레버 단계에 적용하는 토압은 명확하지가 않는데 그 이유는 기본적인 상호작용 즉 Soil-Structure Interaction 관계가 불명확하기 때문이다.⁽²⁾

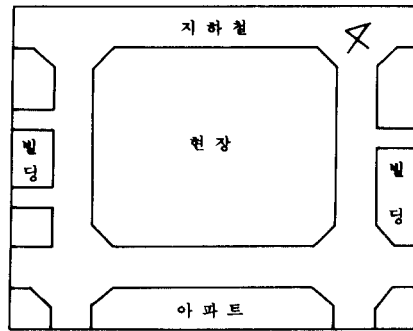
이러한 토압이론들을 정리하면 굴착단계별 검토시에는 고전적 삼각형 토압분포를 적용하

고 굴착 및 버팀구조 설치가 완료될 경우에는 경험토압을 적용하는 것이 현재까지의 일반적인 추세이다.

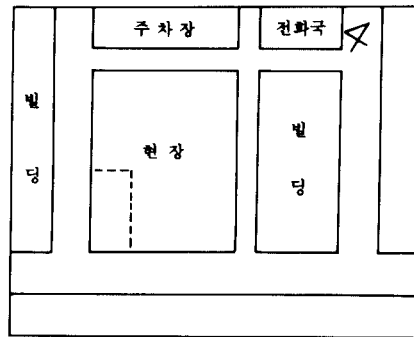
3. 현장 조건

3.1 지반 조건

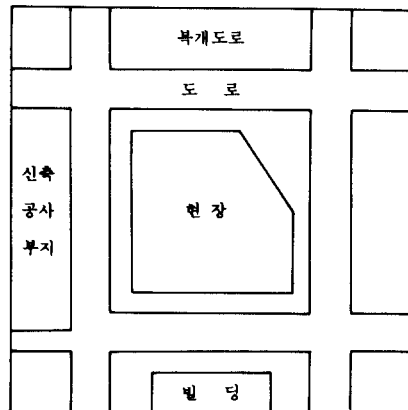
본 연구에서 사용한 현장자료는 그림 3.1와 같이 주변에 아파트, 호텔, 지하철등 근접시공의 위험요소를 내포하고 있는 서울지역에 위치한 지하 GL -17.0~-33.0m의 대심도 굴착 현장에서 현장계측을 통한 실측자료로서 계측



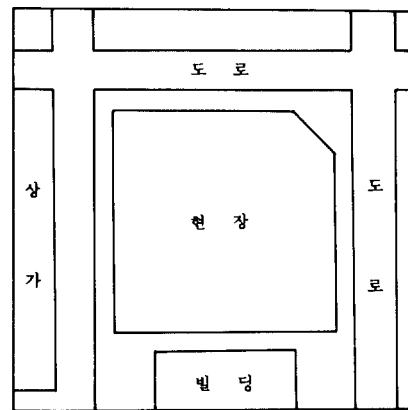
(a) 제 1 현장



(b) 제 2 현장



(c) 제 3 현장



(d) 제 4 현장

그림 3.1 각 현장 주변상황도

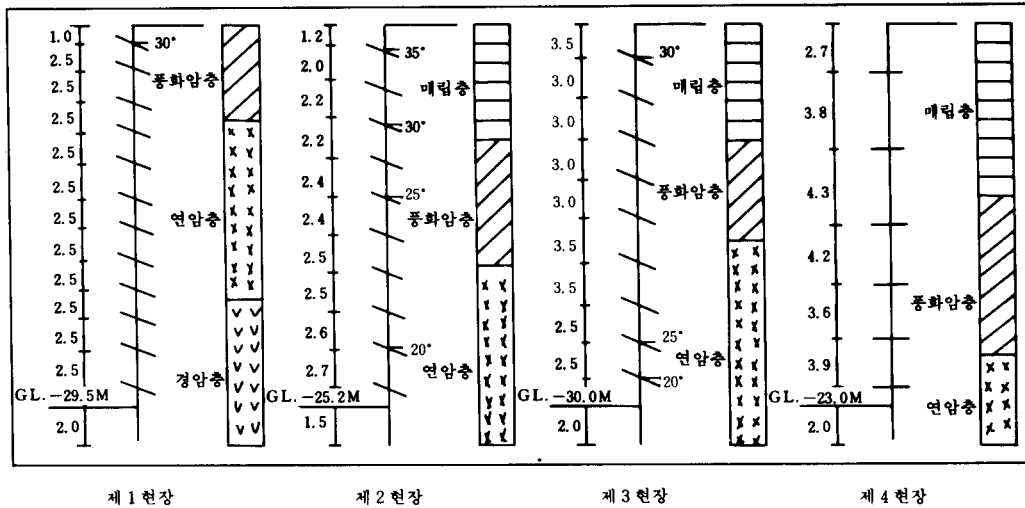


그림 3.2 각 현장 토질 주상도

횃수는 매주 2~3회 정도이며 각 현장의 지층 구성은 그림 3.2의 토질주상도와 같으며, 대부분 매립토, 풍화암, 연암, 경암 등의 순으로 다층토 지반을 형성하고 있다.

3.2 토류벽의 종류와 지지방식

제 1 현장은 C.I.P, 제 2 현장은 H-300×300×9×14의 H형강 말뚝과 토류판을 사용한 연성벽체이고, 제 3 현장은 한단면은 H형강 말뚝으로 된 연성벽체이며 두단면은 제 4 현장과 같이 두께 800mm Diaphragm Wall인 강성벽체이다. 지지방식은 1, 2, 3현장에서는 앵커지 지지방식이고, 4현장은 버팀대지지방식이며, 각 현장의 버팀대 및 앵커의 설치 경사와 간격은 그림 3.2와 같다.

3.3 계측기기의 종류와 설치위치

현장에 설치된 계측기로는 경사계, 하중계, 변형계 및 지하수위계등이다. 각 현장의 계측기 종류 및 설치 갯수는 표 3.1과 같다. 많은 수의 계측기가 설치되었지만 시공상의 부주의와

계측기의 불완전으로 인하여 공사도중 일부가 파손된 것도 있다.

표 3.1 각 현장의 계측기 종류 및 설치갯수

현 장	경사계	수위계	하중계	변형계
제1 현장	13개	3개	40개	60개
제2 현장	3개	2개	16개	12개
제3 현장	4개	2개	18개	
제4 현장	3개	1개		10개
총 계	23개	8개	74개	82개

4. 벽체거동 결과 및 분석

4.1 버팀대지지력에 의한 토압분포 해석방법

현장에서 토압을 계측하는 방법들은 여러가지 제안되어 있다. 그 중 가장 좋은 방법은 현장에 설치한 토압계, 변위계, 하중계, 변형계 등의 계측기를 이용하여 직접 굴착단계별 토압을 측정하는 것이다. 그러나 강성벽체가 아닌

연성벽체에 있어서는 국내 여건상 토압계의 설치치가 용이하지 못하다.

본 연구에서는 버팀대에 설치한 하중계나 변형계를 이용하여 단계별 굴착시 각 지층별로 버팀대가 분담하는 하중을 중점분할법으로 계산하여 토압을 구하였다.

또 지반은 다층토 지반이므로 흙의 단위중량(γ)과 내부마찰각(ϕ)은 층두께를 고려한 평균값을 사용하였다.

4.2 토압분포계수

사질토 지반에 대한 Peck의 경험토압분포중 $\alpha = 0.65 \times K_a$ 를 토압분포계수라 할때 굴착완료 후 앵커 및 버팀대에 부착한 하중계 및 변형계로 측정된 평균 및 최대값으로 구한 α 값과 각 층의 평균 내부마찰각을 이용하여 구한 α 값을 나타내면 그림 4.1과 같다.

그림 4.1에서 볼 때 측정치로 구한 토압분포계수는 제1현장은 0.13 제2현장은 0.15, 제3현장은 0.19, 그리고 제4현장은 0.17로서 평균 내

부마찰각을 이용한 Peck의 토압분포계수에 대하여 각각 73%, 75%, 95%, 80% 였다. 이를 벽체강성별로 비교 검토하면 그림 4.1(a), (b)와 같은 연성벽체인 경우에는 평균 내부마찰각을 이용한 Peck의 토압분포와 비교하면 약 74%이고, (c), (d)와 같이 강성이 큰 경우에는 약 88%로 나타났다.

위의 결과를 분석할때 Peck의 토압분포의 평균 내부마찰각의 추정오차를 고려한다면 연성, 강성벽체를 막론하고 굴착완료후의 토압분포는 다층토인 경우에도 Peck의 토압분포와 거의 같은 것으로 판단되며, 문제점으로는 본 연구대상 지반에서와 같이 암반을 포함하는 다층토지반에 대한 토압분포 추정시 지반조건에 따른 내부마찰각의 추정에 세심한 배려가 필요하다는 것이다.

여기서 토압분포대신 토압분포계수 α 를 사용한 이유는 계수 0.65에 대한 측정치와 추정치의 비교를 위한 것이나, 이 부분의 연구는 차후로 미루고 본 연구에서는 검토하지 않았다.

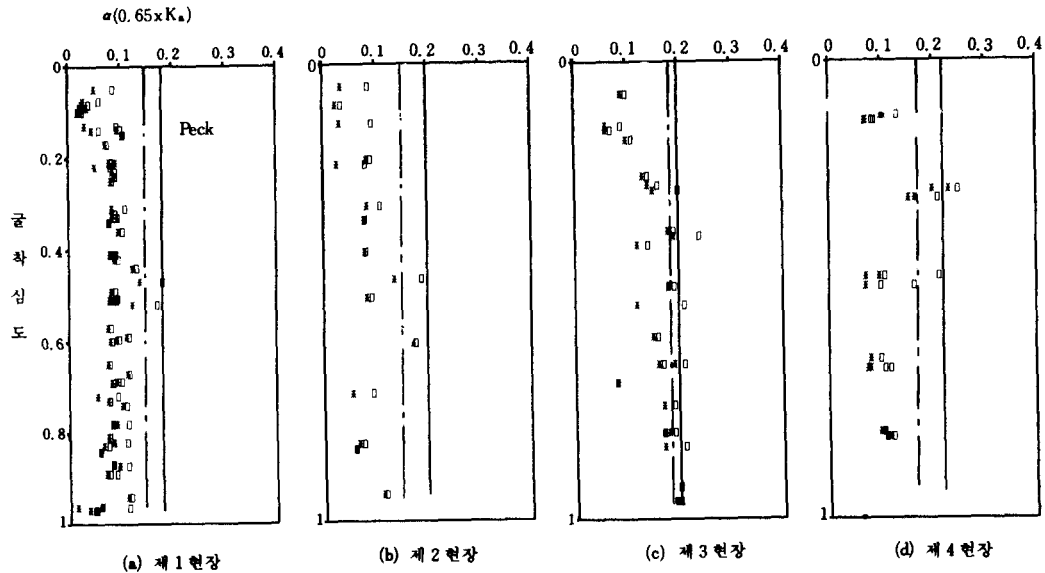


그림 4-1 굴착 단계별 계측 환산토압에 의한 토압분포계수 α

4.3 계측결과에 의한 굴착 단계별 토압분포

그림 4.2는 중점분할법에 의하여 각 현장의 단계별 굴착시 계측된 하중을 토압으로 재분포시킨 계측 환산토압과 Peck의 경험토압, 그리고 Teschebotarioff의 경험토압등을 비교한 것이다. 그림 4.2의 계측 환산토압도중의 실선은 각 굴착단계에서의 하중계 및 변형계로 측정된 값을 평균하여 분포시킨 토압도이며 점선은 그 중 최대 토압분포를 표시한 것이다.

연성벽체이고 앵커지지방식의 경우에 있어 제1현장의 계측 환산토압이 제2현장보다 크게 나타나는 것은 제1현장의 선행긴장력이 제2현장보다 현저히 크기 때문이다.

또한, 그림 4.2(a)의 앵커 2단에서 나타난 바와 같이 앵커의 간격이 작고 선행 긴장력이 클 경우 재분포시 토압이 크게 나타나는 문제점이 있으며, (b)의 7단과 같이 앵커의 Slip이나 두 부 부분의 풀림등으로 인하여 측정응력이 작을 때 토압이 작게 나타나는 문제점등이 있어 하중계 측정치를 토압으로 재산정할때 문제점이 될 것으로 사려된다.

그리고, 제3현장과 제4현장과 같이 강성벽체인 경우에도 계측 환산토압이 차이가 나는 것은 지지방식과 선행긴장력때문이라 판단되고, 제3현장의 계측 환산토압이 다른 현장의 것보다 크게 나타나는 것은 큰 선행긴장력과 분담면적이 작기 때문인 것으로 생각된다.

Peck의 경험토압과 최대 계측 환산토압을 비교하면 제1현장에서는 경험토압의 약 70%인 6.86 ton/m^2 , 제2현장은 약 81%인 5.18 ton/m^2 , 제3현장은 110%인 10.12 ton/m^2 , 제4현장은 97%인 8.83 ton/m^2 으로 나타났다. 여기서 제1현장, 제3현장의 하부에서 재분포토압이 크게 나타나는 것은 작은 분담면적과 수압때문인 것으로 생각된다. 또한, 제4현장의 최대 계측 환산토압이 Peck의 경험토압에 거의 유사하게 나타나고 있지만 평균 계측 환산토압을 보면 차이가 있음을 알 수 있다. 전체적인 경향에 있어서 Peck의 경험토압의 약 70%~

80%정도로 나타났다.

그리고, 첫단 버팀대에서는 아주 작은 토압이 나타나고 있으며 직선적으로 분포하는 Peck 토압과는 상이한 경향이 나타나고 있는 것은 첫단은 항상 캔틸레버 상태이기 때문인 것으로 생각된다. 또한, 버팀대의 수직간격과 수평간격이 클 경우 분담면적이 커지므로 재분포 토압이 작게 나타나는 경향을 알 수 있다.

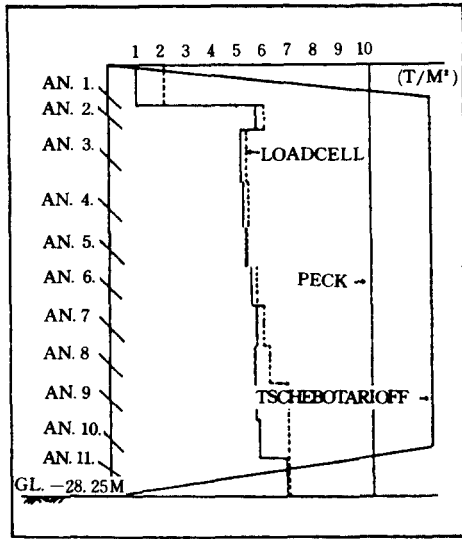
그림 4.2에서 Tschebotarioff의 토압이 가장 크게 나타나고 있으며 Peck 토압보다는 계측 환산토압이 작게 나타나고 있다. 이에 대한 분석은 많은 논의가 요구되는데 이는 4개 현장에서의 지반조건과 지지방법의 차이에서 유추하여야 한다. 왜냐하면 Peck등의 경험토압분포는 전제조건이 균일한 지층이고, 개수식으로서 배면수압이 존재하지 않으며 점착력이 고려되지 않은 경우이고, 버팀대로 지지된 경우에 한하여 버팀대의 실측하중을 재분포시킨 경우인데 비하여 본 연구에서 적용된 현장은 비교적 큰 긴장력을 선행하중으로 작용시킨 앵커지지 방식에 대한 경우이며, 지반조건 또한 균일층이 아니며 더구나 토사층으로 구성된 지반이 아니고 약간의 토사층과 풍화암, 연암 및 경암등으로 구성된 다층토의 경우이다.

또한, 그림 4.2에서 경험토압보다 작게 나타나는 것은 굴착단계별 평균값이기 때문으로 사려되나, 추정 내부마찰각 값의 오차때문인지는 본 연구에서는 밝힐 수가 없었다.

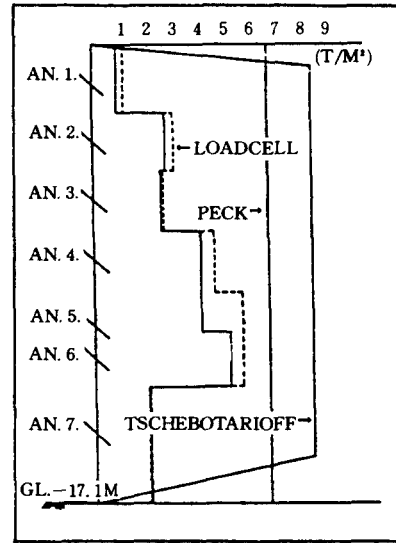
본 연구에 이용된 4개 현장의 경우 양수에 의하여 지하수위가 연암층이하에서 안정되어 있으므로 수압의 영향은 무시하였다.

4.4 지층별 토압계수

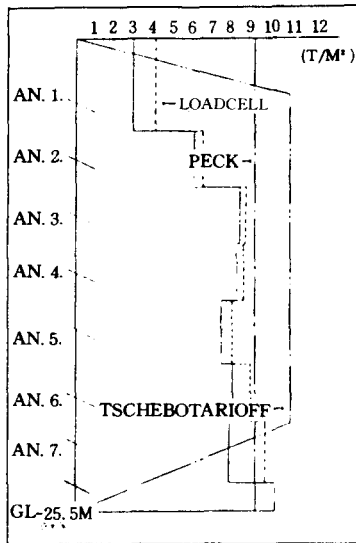
암반층이 존재하는 다층토 지반에서의 토압 분포에 대해서는 특별한 연구가 현재까지 이루어지지 않고 있으며 따라서 Peck이나 Tschebotarioff 등의 경험토압 공식을 이용하여 토압을 산정하려는 경우 다층토 지반을 사질토로



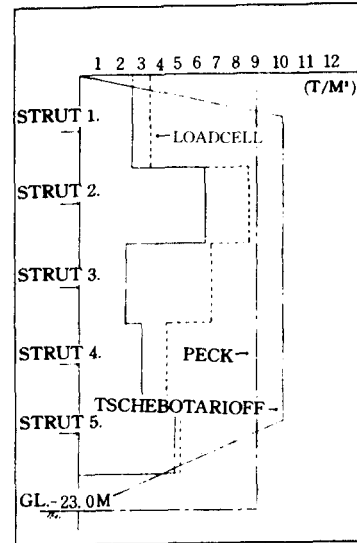
(a) 제 1 현장



(b) 제 2 현장



(c) 제 3 현장



(d) 제 4 현장

그림 4.2 굴착단계별 계측 환산토압과 경험토압의 비교

가정하므로써 암반층에서의 점착력을 무시하게 되고 따라서, 과대한 토압분포가 추정될 수 있다.

이러한 점을 고려한다면 실제 토류벽에 가해

지는 계측치를 이용하여 토압을 산정하는 것이 바람직하지만 여러가지 현장여건상, 지지구조에 설치한 하중계나 변형계에 가해지는 하중을 이용하여 토압을 추정한다는 것은 여러가지 논

의가 전제됨에도 불구하고 하나의 방법으로 사용할 수가 있을 것이다. 위와 같은 이유로 본 연구에서는 하중계나 변형계의 계측치로부터 굴착심도의 증가에 따른 각 지층별 토압계수의 변화를 추정하고 이 결과들을 분석하므로써 다층토 지반에서의 각 지층별 토압계수의 변화 범위를 추정하였다.

4.4.1 매립토층

그림 4.3은 Peck의 경험토압공식중 일반적으로 사질토에 적용되는 $0.65 \times K_a \cdot \gamma \cdot H$ 를 전제조건으로 매립토층의 굴착깊이 변화에 따른 토압계수 분포를 나타낸 것이다. 굴착깊이가 깊어 갈수록 벽체강성과 지지방식에 상관없이 일정한 범위를 유지하면서 감소하는 경향을 알 수 있으며, 굴착단계별과 굴착이 완료될 때까지의 매립토층의 토압계수값을 평균한 결과치는 약 0.3정도로 나타났다.

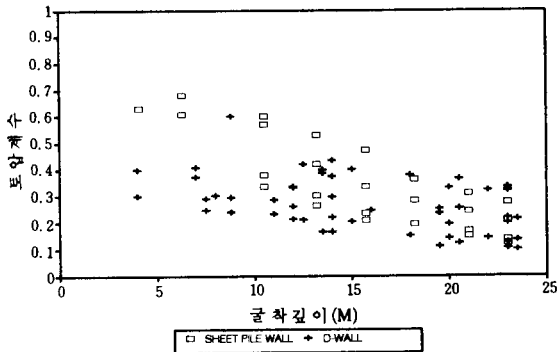


그림 4.3 굴착깊이별 매립토층의 토압계수의 변화

4.4.2 풍화암층

그림 4.4는 풍화암층의 굴착깊이 변화에 따른 토압계수 분포를 나타낸 것이며, 여기에서 Peck 공식은 풍화암층의 점착력을 고려 하지 않은 것이다. 본 연구 대상 지반의 풍화암층은 상단에 매립토층이나 퇴적층을 포함하고 있으며 하단에는 N치가 50을 넘는 곳이 다수인 암

층으로 구성되어 있다.

그림 4.4를 보면 굴착깊이가 얇은 곳에서는 토압계수가 매우 큰 값을 보이고 있는데 이것은 첫단이나 두번째단 굴착시 앵커에 큰 선행 긴장력을 가하므로써 계측치가 커져 계측 토압계수가 크게 나타난 경우이다. 굴착 깊이가 깊어 갈수록 토압계수가 감소하는 현상을 알 수 있으며 굴착단계별과 굴착이 완료될 때까지의 풍화암대의 토압계수값을 평균한 결과치는 약 0.23 정도로 나타났다.

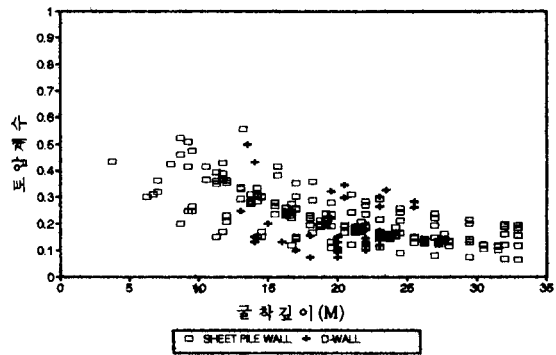


그림 4.4 굴착깊이별 풍화암층의 토압계수의 변화

4.4.3 연암층

그림 4.5는 굴착깊이가 깊어 갈수록 변해가는 연암층의 토압계수의 분포를 나타낸 것으로 이 경우도 Peck의 경험토압공식을 사용하였으며 이때의 Peck 공식 또한, 풍화암층과 같이 점착력을 무시한 것이다.

그림 4.5에서 심도 0m~15m 까지의 값들이 나타나지 않은 것은 연암층의 깊이가 대략 15m 이하이므로 상단의 매립토층과 풍화암층 값을 제외하였기 때문이다.

풍화암층처럼 토압계수값들의 변화가 심하지 않은 것은 0m~10m 사이의 계수값들을 제외한 이유도 있겠지만 그 보다는 암반의 특성상 내부마찰각(ϕ)의 변화가 풍화암층 보다 작은 이유일 것으로 사료된다.

단계별 굴착시와 굴착이 완료될 때까지 연암

층의 평균토압계수 값은 약 0.19 정도로 나타났다.

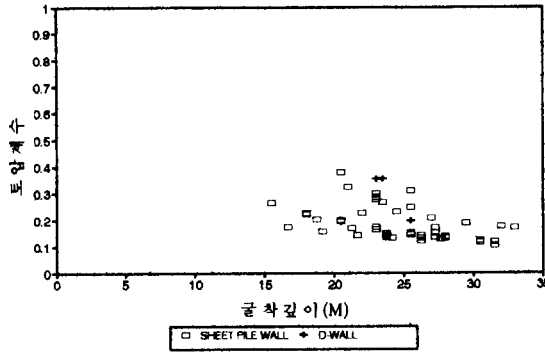


그림 4.5 굴착깊이별 연암층의 토압계수의 변화

4.5 토류벽체의 변위와 최대 변위량

그림 4.6은 각 현장의 여러 단면중 한 단면의 최종굴착 벽체변위를 나타내고 있는 그림이다. 제1, 제3, 제4현장의 최대변위는 각각 심도 GL -8m, -9m, -16m지점에서 27.9mm, 48mm,

17mm로 나타났다.

제2현장은 그림 4.6(b)에 나타난 바와 같이 굴착깊이 18m에서 굴착시 시공상 부주의로 인하여 경사계가 파손되어 변위측정이 어려웠으며, 제1현장은 심도 GL -18m 부근에서의 큰 변화는 계측기의 오류이거나 경사계 관이 손상된 결과라고 생각되며, 제3현장에서 그림(c)와 같이 큰 변위가 발생한 것은 선행긴장력이 약했기 때문인 것으로 생각된다.

4개 현장에서 각 단계별 굴착깊이에 대한 최대변위량을 표시하면 그림 4.7과 같으며, 굴착깊이가 깊어질수록 벽체의 최대 변위량은 점차 증가하고 있으며, 벽체강성과 지지방식 및 선행긴장력에 따라 변위량의 차이는 약간있으나 굴착깊이와 최대변위량의 상관관계에서 최대 변위량은 대체로 굴착깊이의 약 0.2% 이하로 나타났다.

5. 결 론

암반층을 포함하여 다층토로 구성된 서울지역 4개 공사현장에 대하여 지지구조에 부착된

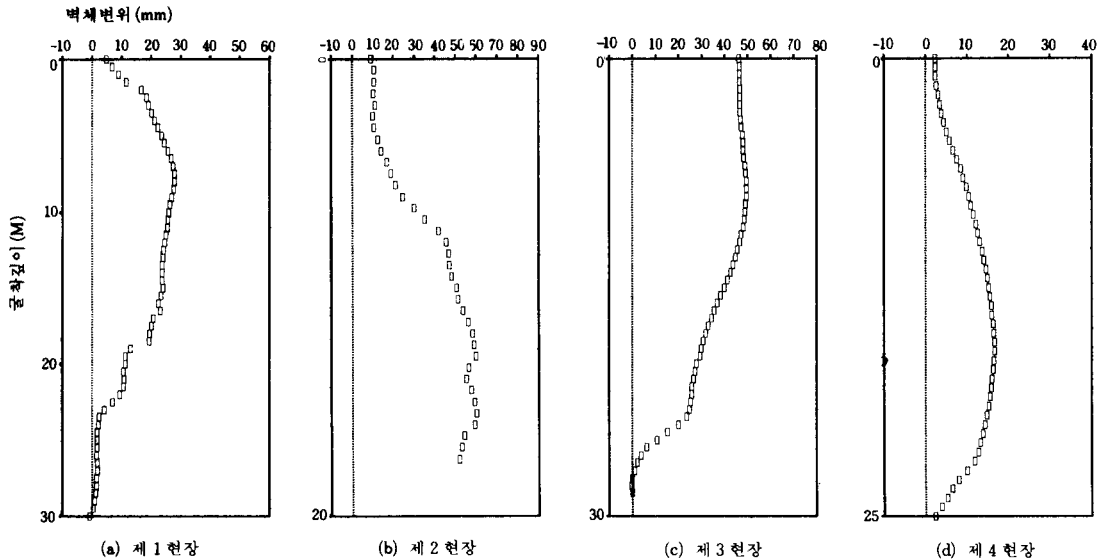


그림 4.6 최종굴착시 벽체변위

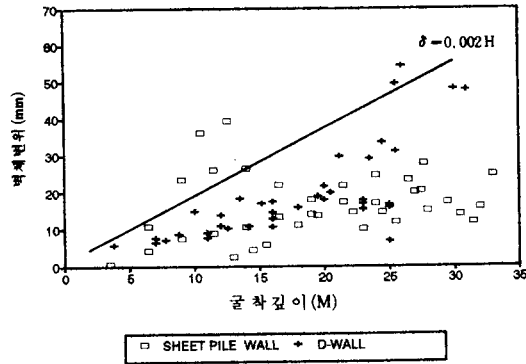


그림 4.7 굴착깊이별 최대변위량

계측기로부터의 계측자료를 환산한 토압분포와 경험토압분포를 비교, 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 본 연구 대상지반에서의 굴착완료후의 계측환산토압에 대한 토압분포계수 $\alpha(0.65 \times Ka)$ 는 추정 평균 내부마찰각을 이용하여 Peck의 값과 비교할 때 연성 벽체인 경우 Peck의 약 74%, 강성벽체인 경우 88% 정도로서 이는 추정 평균 내부 마찰각의 추정 오차를 고려한다면 Peck의 토압분포와 거의 같은 것으로 판단된다.
2. 본 연구 대상지반에서의 굴착단계별 계측 평균 환산토압은 Peck 경험토압의 약 70~80% 정도로 나타났다.
3. 암반을 포함한 다층토 지반에서 굴착깊이를 고려하여 계측치로부터 추정한 각 지층의 토압계수에 대한 평균치는 매립토층에서 약 0.3, 풍화암층에서 약 0.23, 연암층에서는 약 0.19 정도로 나타났다. 그러나 이 결과는 각 지층에 대한 지반 조사결과로부터 추정한 값보다 약간 작은 값으로 나타났다.
4. 굴착깊이가 깊어질수록 벽체의 최대 변위량은 점차 증가하고 있으며, 벽체강성과 지지방식 및 선행긴장력에 따라 변위량의 차이는 약간 있으나 굴착깊이와 최대변위량

의 상관관계에서 최대변위량은 대체로 굴착깊이의 약 0.2% 이하로 나타났다.

참고 문헌

1. Bowles, J.E(1988), "Foundation Analysis and Design", 4th ed., MGH, pp.648-668.
2. Clough, G.W., et. al.(1987), "Movement Control of Excavation Support System by Iterative Design", Foundation Eng., Vol. II., ASCE, Proceeding of Congress.
3. Das, B.M.(1985), "Principles of Foundation Engineering", Books/Cole ENG., DIV., pp. 372-393.
4. Hunt, R. E(1986), "Geotechnical Engineering Analysis and Evaluation", MGH.
5. K.Y.YONG, F.H. LEE. & S. L. LEE.(1989), "Elasto-Plastic Consolidation Anlysis For Struttred Exeavation In Clay", Computers And Geotechnics, Vol. 8, No.4, pp.311-318.
6. Peck, R. B.(1969) "Deep Excavation and Tunneling in Soft Ground", State-of-the-Art Volume 4, Proc., 7th ICSMFE, Mexico.
7. Richard, L. Handy.(1985), "The Arch In Soil Arching", ASCE, Vol, III, No.3
8. Sam, S.C., Lia, O. & Thom, L. Neff. (1990). "Design and performance of Earth Retainiang Structures", Proceeding of a Conference, ASCE, pp.485-509.
9. O'Rourke, T.D. & Cording, E.J.(1974), "The Observed Performance of Deep Subway Excavation", University of Illinois at Urbana-Champaign, September 12.
10. Terzaghi, K.(1943), "Theoretical Soil Mechanics", John Wiley.
11. Terzghi & Peck.(1967). "Soil Mechanics in Engineering Practice", 2nd ed., pp.396-413.
12. Tschebotarioff, G.P.(1973). "Foundations, Retaining and Earth Structures", 2nd. ed., MGH, pp.415-457.
13. 한국지반공학회(1992), "굴착 및 흩막이 공법", 지반공학 시리즈 3.
14. 대우엔지니어링(1988), "굴착 공사를 위한 지구구조물의 설계 및 시공"
15. 이종규(1992), "흩막이 공법과 근접시공", 삼성 ENG., 기술연주소, pp.2-14

(접수일자 1993. 2. 8)