

## 지지방식에 따른 흙막이벽의 변형거동과 안정성

남정만·윤중만\*·이용두

제주대학교 해양토목공학과, \*안산공과대학 토목공학과

### Deformation Behavior and Stability of Earth Retention Walls by Difference of Supporting Systems

Jung-Man Nam, Jung-Mann Yun\* and Yong-Doo Lee

\*Department of Civil Eng., Ansan College of Technology, Ansan-Si, 425-701, Korea

Department of Ocean Civil Engineering, Cheju National University, Jeju-Do, 690-756, Korea

An extensive instrumentation systems are designed on twenty-one anchored excavation sites and twelve braced excavation sites to observe the deformation behavior of the earth retention walls. The excavation sites are divided two cases by construction conditions: one is a stable construction site and the other is an unstable construction site. In this excavation sites, the anchor, strut load and the horizontal displacement of walls were measured from load cell and inclinometer. The different behavior of anchored and braced walls are precisely investigated on the basis of field measurements. And an empirical construction criterion is established to judge and ensure the stability of earth retention wall by the relationship between the earth pressure and the horizontal displacement of wall measured from both stable and unstable construction sites.

**Key words** : retention walls, construction, excavation, horizontal displacement, field measurements, earth pressure.

### 서론

도심지에서 지하공간을 보다 효율적으로 활용하기 위하여 대형건축물이나 지하철 등의 건설시 깊은 굴착공사가 실시되는 경향이 급증하고 있다. 지반을 연속적으로 굴착하기 위하여 굴착면에 주로 업지말뚝을 이용한 가설흙막이벽이 설치된다. 그러나 굴착이 진행되면서 가설흙막이벽은 측방토압을 받아 변형이 진행되고 이로 인하여 굴착현장에 인접한 지반은 상당한 영향을 받게 된다.

지반을 깊게 굴착하는 경우에는 시공중에 흙막이벽 및 주변지반에 큰 변형이 발생하여 굴착공사 및 인접

구조물의 안정성에 상당한 문제를 초래하는 경우가 종종 있다 (홍원표 등 (1992), 문태섭 등 (1994)). 이러한 건설재해의 예방과 굴착공사의 안전시공을 위해서, 현장계측을 실시하여 흙막이벽의 변형거동이나 이상 유무를 조기에 파악하고 계측결과를 실제에 반영하고자 하는 연구가 1970년대부터 진행되어 계측관리에 대한 활용방안이 제시되어 오고 있다 (Golder et al. (1970); Lambe et al.(1970); 富士·深田 (1985)).

최근 우리나라에서도 현장계측에 대한 중요성이 인식되어 대부분의 굴착현장에서 계측을 실시하고 있다. 그리고 이들 현장계측결과로부터 얻는 정보를 역 해석하여 흙막이벽에 작용하는 토압을 산정하거나 흙

막이벽 및 주변지반의 변형특성을 굴착현장에 반영하여 시공관리를 실시하고자 하는 연구가 진행되고 있다 (이종규·전성곤 (1993); 위동인 (1992)).

따라서 본 연구에서도 31개의 굴착현장에서 측정된 현장계측결과를 토대로 실제 굴착현장에 적용할 수 있는 경험식을 마련하고자 한다. 먼저, 앵커 및 버팀보로 지지된 흠막이벽의 변형거동에 미치는 영향 정도를 조사하고 그 차이점을 분석한다. 그리고 이들 굴착현장을 시공상태가 양호한 현장과 불량한 현장으로 구분하여, 흠막이벽에 작용하는 측방토압과 수평변위, 굴착깊이와 수평변위와의 관계를 분석한다. 마지막으로, 이들 분석결과를 토대로 굴착공사의 안정성을 판단할 수 있는 흠막이벽의 허용변위량을 제시하여, 굴착시공도중 안전사고가 발생할 위험가능성이 있는 현장에 대해서는 신속히 대처할 수 있는 시공관리기준을 설정하고자 한다.

### 계측현장

#### 현장개요

본 연구에 활용된 계측현장은 도심지 (서울 및 수도

권지역)에서 실시된 31개의 굴착공사현장으로 여러가지 계측시스템을 활용하여 시공중에 주기적인 현장 계측을 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 있어 근접시공의 문제점이 대두될 수 있는 현장들이다.

이들 굴착현장들은 지지방식에 따라 앵커지지 흠막이현장 (21개 현장)과 버팀보지지 흠막이현장 (12개 현장)으로 구분된다. 또한, 시공상태에 따라 굴착시공이 양호한 현장과 불량한 현장으로 구분하여 정리하였다. 여기서, 양호한 현장과 불량한 현장의 구분은 공사 진행중 주변지반 및 인접구조물에 영향을 미친 정도, 앵커의 정착상태, 띠장의 설치상태, 버팀보 설치시기 등을 토대로 하였다. 즉, 앵커 및 버팀보의 시공상태가 불량한 경우와 과다굴착에 의해 벽체의 수평변위가 크게 발생하여 인접건물이나 공공시설물에 인장균열이나 손상을 끼친 경우에는 굴착시공상태가 불량한 현장으로 분류하였다.

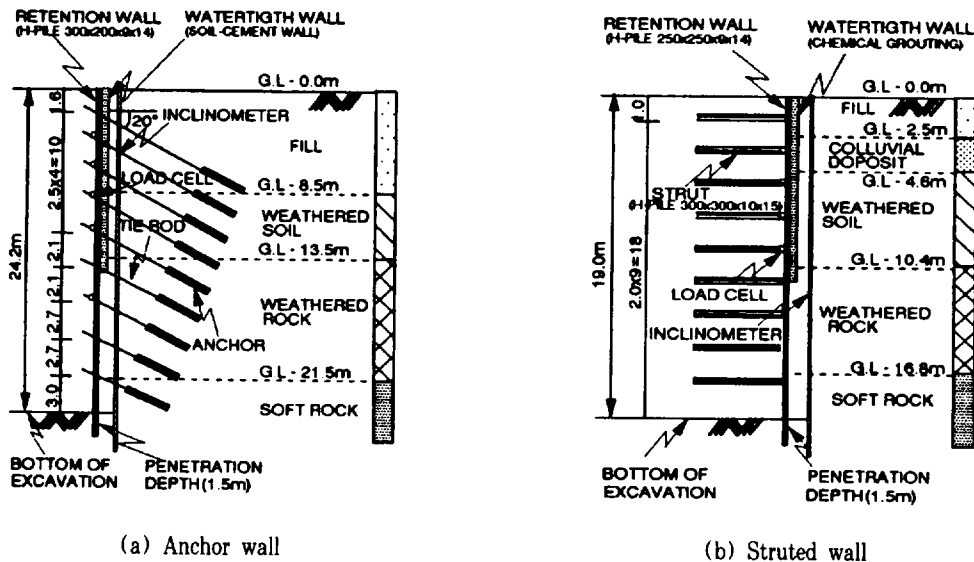


Fig. 1. Earth retention walls and soil profile.

## 흙막이구조물

사해현장의 흙막이구조물은 대부분 얽지말뚝과 흙막이판을 사용한 연성벽체이며, 지지구조로는 앵커 혹은 버팀보 지지방식을 채택하고 있다. Fig. 1은 대표적인 사해현장의 흙막이구조물 단면도를 개략적으로 나타낸 것이다.

얽지말뚝은 주로 250×250×9×14 혹은 300×200×9×14의 단면을 가진 H-말뚝으로 구성되어 있다. 얽지말뚝은 대략 1.5 m~2.0 m 간격으로 설치되었으며 최종굴착면보다 1.5 m에서 2.5 m정도 더 관입시켰다. 그리고 굴착이 진행됨에 따라 80~100 mm두께의 흙막이판 (나무널판)을 H-말뚝의 프렌지 전면에 설치하였으며 흙막이판과 원지반 사이의 공간은 점성이 없는 양질의 토사로 되메움을 실시하였다. 앵커의 설치간격은 연직으로 1.5 m~3.3 m, 수평으로 1.2 m~2.0 m이며, 설치각도는 20~40°로 되어 있다. 각 앵커구멍은  $\phi$  12.7 mm인 여러개의 PC 강선을 삽입한 직 후 시멘트 밀크를 주입하여 그라우팅을 실시하였다. 버팀보는 주로 300×300×10×15인 H-말뚝을 사용하였으며 연직으로 1.0 m~3.1 m, 수평으로 2.0 m~5.0 m 간격으로 설치되었다.

한편, 흙막이벽 배면에는 굴착으로 인한 지하수위의 하강을 억제하기 위하여 L/W 그라우팅 및 S.C.W 을 시공하였으며, 지반보강을 목적으로 얽지말뚝 사이에 C.I.P를 시공한 현장도 있다.

## 지반특성

굴착현장의 지반조건은 대부분 Fig. 1에 나타난 바와 같이 우리나라 내륙지방의 전형적인 지층구조인 표토층, 풍화대층, 기반암층으로 구성되어 있다. 표토층은 대부분 실트질 모래, 모래질 실트, 자갈 등이 혼재되어 있는 매립토와 퇴적으로 이루어져 있다. 풍화대층은 모든 현장에 분포되어 있으며 풍화도가 매우 심한 풍화잔류토층과 모암조각이 존재하며 비교적 단단한 풍화암층으로 구분되어 있다. 이 표토층 및 풍화대층은 사질토의 성분이 많은 관계로 단순화를 위하여 내부마찰각만 가지는 토층으로 취급하기로 한다. 풍화대 하부에는 기반암인 연암 및 경암으로 구

분되는 암층이 분포하고 있으며 균열과 절리가 발달되어 있다.

## 계측결과

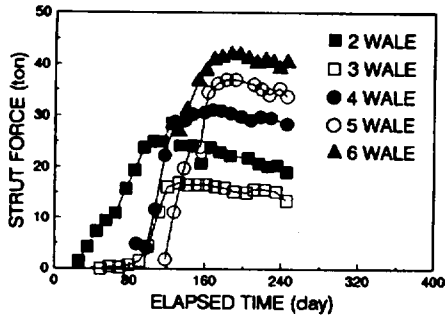
굴착현장 가운데 대표적인 현장에 대하여 앵커 및 버팀보에 설치된 하중계로부터 측정된 지보재 (앵커 혹은 버팀보) 축력과 흙막이벽 배면지반에 설치된 경사계로부터 측정된 벽체의 수평변위에 대한 계측결과를 정리하면 다음과 같다.

### 지보재 축력

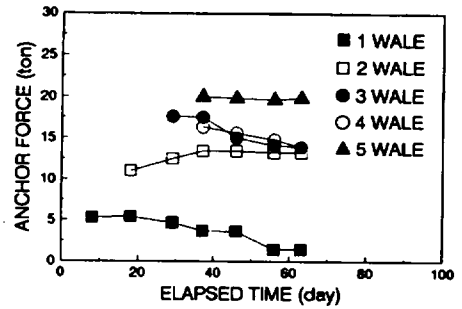
Fig. 2와 Fig. 3은 하중계로부터 측정된 앵커 및 버팀보의 축력을 굴착시공상태에 따라 대표적인 굴착현장의 단면에 대하여 굴착단계별로 도시한 결과이다. 우측상단의 표식과 숫자는 하중계가 설치된 띠장의 번호를 나타낸 것이다.

Fig. 2(a)에 나타난 바와 같이 굴착시공이 양호한 앵커지지방식의 현장에서 측정된 앵커축력은 대부분 20~45 ton의 범위내에 분포하고 있다. 이는 설계하중의 65%~85%에 해당되는 값이다. 대부분의 현장에서 측정된 앵커축력도 Fig. 2(a)와 비슷한 경향을 보이고 있다. 즉, 굴착이 진행되는 동안 각단의 앵커축력은 일정한 값을 유지하거나 약간 감소 혹은 증가하고 있다. 반면, Fig. 2(b)에 나타난 바와 같이 굴착시공이 불량한 현장의 앵커축력은 20 ton이하의 범위내에 분포하고 있다. 이것은 설계 앵커축력의 20~50%에 해당되는 값으로 흙막이벽을 지지하는데 문제가 있었던 현장임을 알 수 있다. 그 밖의 현장에서도 비슷한 경향을 보이고 있으며 앵커축력이 거의 없는 상태이거나 5 ton이하의 값을 나타내고 있는 경우도 있다. 이와 같이 앵커축력이 작게 발휘되는 것은 앵커의 정착상태가 불량하여 선행인장력이 부족하였거나, 앵커두부의 썩기설치상태의 불량으로 선행인장력의 손실이 발생하였기 때문이라 판단된다.

한편, Fig. 3(a)에 나타난 바와 같이 굴착시공이 양호한 버팀보지지방식의 현장에서 측정된 버팀보축력은 굴착이 진행되는 동안 굴착깊이에 비례하여 비

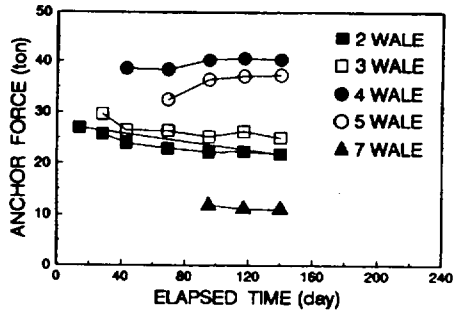


(a) Stable site

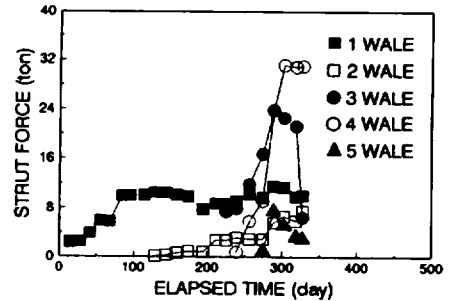


(b) Unstable site

Fig. 2. Performance of anchor loads.



(a) Stable site



(b) Unstable site

Fig. 3. Performance of strut loads.

선형적으로 증가하며 굴착이 거의 완료될 때 최대값에 도달한 후, 일정하게 유지되거나 약간 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 Fig. 2(a)에 나타난 굴착시공이 양호한 앵커지지방식의 흠막이 굴착현장에서 측정된 굴착완료시의 앵커축력의 변화와 비슷함을 알 수 있다. 반면, 굴착시공이 불량한 현장에서 측정된 버팀보축력도 굴착이 진행됨에 따라 증가하나 매우 불규칙한 경향을 보이고 있다. 즉, 일부 버팀보축력은 급격하게 증가하는데 반해서 인접한 상단 혹은 하단 버팀보의 축력은 거의 발휘되지 않거나 10 ton 이하의 축력을 나타내고 있다. 이와 같이 버팀보의 축력이 작게 발휘되는 것은 버팀보가 띠장에 완전히 밀착되지 않아 버팀보의 지지효과가 충분히 발휘되지 않았기 때문이다. 그리고 버팀보의 축력이 갑자기 증가하는 경우는 굴착이 과도하게 진행되어 버팀보의 설치시기가 지연되었기 때문이다.

특히, Fig. 2와 Fig. 3에 나타난 바와 같이 흠막이벽의 지지방식 즉, 선형하중 유무에 따라 굴착이 진행되는 동안 앵커축력과 버팀보축력의 변화는 상당한 차이를 보이고 있다. 선형하중이 도입된 앵커의 축력은 굴착초기부터 굴착이 완료될 때까지 일정한 값을 유지하거나 약간 감소 혹은 증가하는 경향을 보이고 있다. 그러나 선형하중이 도입되지 않은 버팀보의 축력은 굴착초기부터 굴착이 완료될때까지는 증가하다가 그 이후에 일정하게 유지되거나 약간 감소하는 경향을 보이고 있다.

#### 흠막이벽의 수평변위

Fig. 4와 Fig. 5는 굴착단계별 흠막이벽에 발생한 수평변위를 측정된 결과이다. 그림의 횡축에는 벽체의 수평변위량을, 종축에는 굴착깊이를 나타내었다.

지지방식에 따른 흙막이벽의 변형거동과 안정성

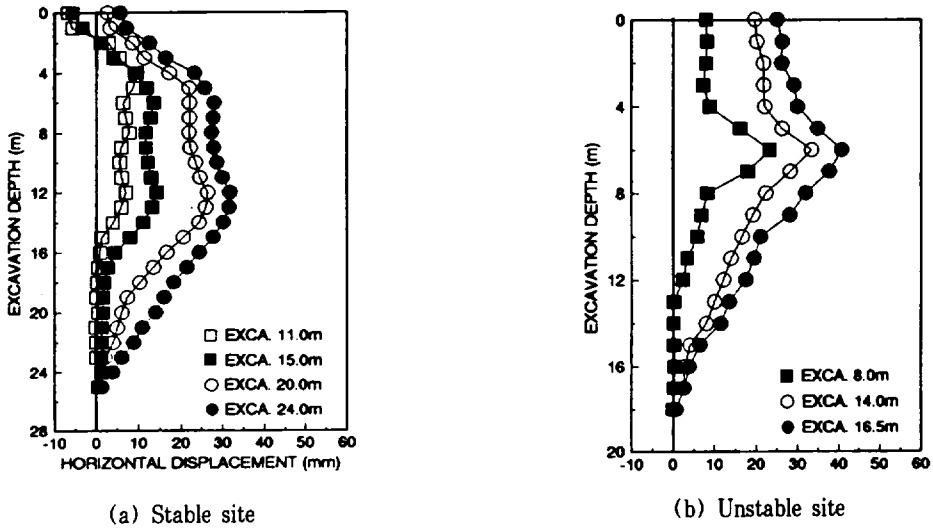


Fig. 4. Horizontal displacements of anchored wall.

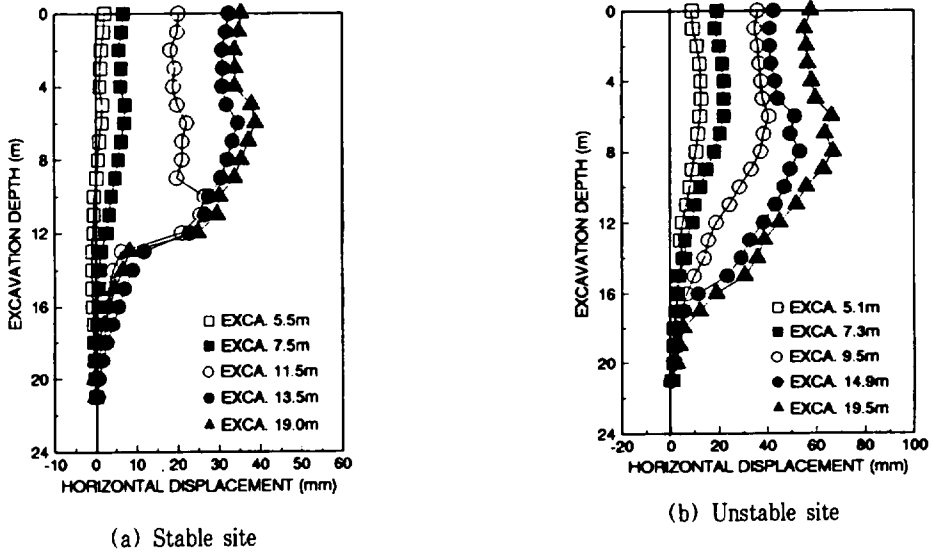


Fig. 5. Horizontal displacements of strut wall.

좌측하단의 표식과 숫자는 각 단계별 굴착깊이를 표시하였다.

Fig. 4와 Fig. 5에 나타난 바와 같이 흙막이벽의 수평변위는 지지방식에 관계없이 굴착깊이가 깊어질수록 점진적으로 증가하고 있으며 최대변위는 지표면으로부터 흙막이벽의 1/3~1/2지점에서 발생하는 것

으로 나타났다. 그러나 흙막이벽의 변형형상은 지지방식 따라 상당한 차이가 있다. 즉, 버팀보로 지지된 흙막이벽은 굴착이 진행됨에 따라 흙막이벽 상부에서 변위가 크게 발생하는 반면, 앵커로 지지된 흙막이벽은 두부의 변위는 상당히 억제되어 변위의 증가량이 크지 않지만 흙막이벽 중앙부에서 변위량이 크게 증

가하는 경향을 보이고 있다. 이는 지보재에 도입된 선행하중의 유무에 의한 영향으로 판단된다.

한편, 그림에서 굴착시공조건이 양호한 현장의 경우 철저한 시공관리를 실시하여 각 굴착단계에서 흙막이벽의 수평변위 증가량은 급격한 증가추세를 보이지 않고 있으며 최종굴착단계까지 증가량은 미세하게 나타나고 있다. 대부분 현장에서 흙막이벽의 최대수평변위량은 20~30 mm 범위내에서 굴착깊이에 비해 비교적 작게 발생하고 있다. 그러나 굴착시공조건이 불량한 현장의 벽체의 수평변위는 양호한 현장에 비해서 굴착깊이가 비교적 얇은데도 불구하고 40~70 mm 범위에 분포하고 있어 양호한 현장보다 크게 발생하고 있다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이 벽체의 지지구조인 앵커나 버팀보의 시공상태가 불량하거나 과도한 굴착으로 인하여 벽체의 수평변위가 크게 증가하게 되어 벽체가 불안정한 상태에 있음을 의미한다.

## 분석 및 고찰

굴착에 따른 흙막이벽 및 주변지반의 안정성은 벽체의 강성, 버팀기구, 선행인장력 (Prestress), 과다굴착, 시공과정 등에 크게 영향을 받는다. 굴착공사의 안전을 위한 계측관리로 경사계와 하중계가 주로 이용되고 있으며 현장계측을 통해서 굴착공사의 안정성에 관련된 흙막이벽에 작용하는 토압과 벽체의 변형에 대한 정보를 얻을 수 있다.

### 측방토압과 수평변위와의 관계

흙막이벽에 작용하는 측방토압은 지보재 (앵커 혹은 버팀보)의 축력을 역해석하여 산정한 것이므로 실제토압이라기 보다는 겉보기토압이라고 말할 수 있다. 겉보기측방토압은 지보재의 축력을 중점분할법에 의한 하중분담원리에 근거로 하여 구하였다 (Flaate, 1966). 그리고 겉보기측방토압 산정시, 다층지반의 전단강도는 단지 내부마찰각만으로 표현되는 사질토지반으로 단순화 시켰다. 단순화시킨 지반의 내부마찰각과 단위체적중량은 각 층의 두께를 고려하여 계산된 평균치로 결정하였다.

Fig. 6은 앵커 혹은 버팀보의 축력에 의해 산정된 측방토압과 벽체의 수평변위와의 관계를 지지방식에 따라 구분하여 나타낸 것이다. Fig. 6에 나타난 바와 같이 지지방식에 관계없이 시공상태가 양호한 현장의 측방토압은 불량한 현장의 토압보다 크게 나타나고 있다. 그러나, 시공상태가 불량한 현장의 흙막이벽 수평변위는 상당히 증가하고 있는 반면, 양호한 현장의 수평변위는 상대적으로 작게 발생하고 있다.

한편, Fig. 7은 토압비와 상대적인 수평변위량과의 관계를 도시한 것이다. 토압비는 각 굴착현장에서 앵커 혹은 버팀보축력에 의해 산정된 측방토압 (P)을 연직상재압 ( $\sigma_v = \gamma H$ )으로 무차원화시킨 것이며, 상대적인 수평변위량은 벽체의 수평변위 ( $\delta$ )를 굴착깊이 (H)로 무차원화시켜 나타낸 것이다.

Fig. 7(a)에서 앵커지지 방식으로 실시된 굴착현장에서부터 얻은 계측자료는 굴착이 진행되는 동안 시공조건에 따라 양호한 현장과 불량한 현장이 확실하게 구분되고 있음을 알 수 있다. 시공상태가 양호한 대부분의 현장에서는 흙막이벽의 수평변위는 측방토압의 크기에 관계없이 굴착깊이의 0.15%내에서 발생하는 것으로 나타났다. 반면, 시공상태가 불량한 대부분의 현장에서는 수평변위의 크기에 관계없이 최종굴착깊이에서 연직상재압의 20%내에 분포하는 것으로 나타났다.

버팀보로 지지된 흙막이 굴착현장에서는 Fig. 7(b)에 나타난 바와 같이 시공상태가 양호한 대부분의 현장에서는 흙막이벽의 수평변위가 측방토압의 크기에 관계없이 굴착깊이의 0.25%내에서 발생하는 것으로 나타났다. 반면, 시공상태가 불량한 대부분의 현장에서는 수평변위의 크기에 관계없이 연직상재압의 15%내에 분포하는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 흙막이벽에 토압이 작게 작용하는데 수평변위가 크게 발생하는것은 굴착공사가 불량하게 될 가능성이 크다는 것을 의미한다. 그리고, Fig. 7에 나타난 바와 같이 측방토압은 버팀보지지 흙막이벽보다 앵커지지 흙막이벽에서 크게 작용하고 있지만 벽체의 수평변위는 작게 발생하고 있다. 이는 앵커지지방식이 버팀보지지방식보다 흙막이벽의 지지효과가 양호하여 벽체의 변형이 억제된 만큼 토압이 크게 작용한 것으로 판단된다.

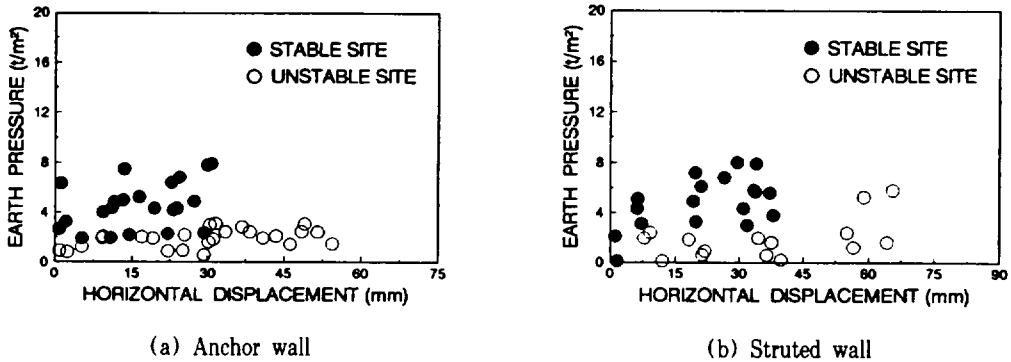


Fig. 6. Relationship between horizontal displacement and apparent earth pressure.

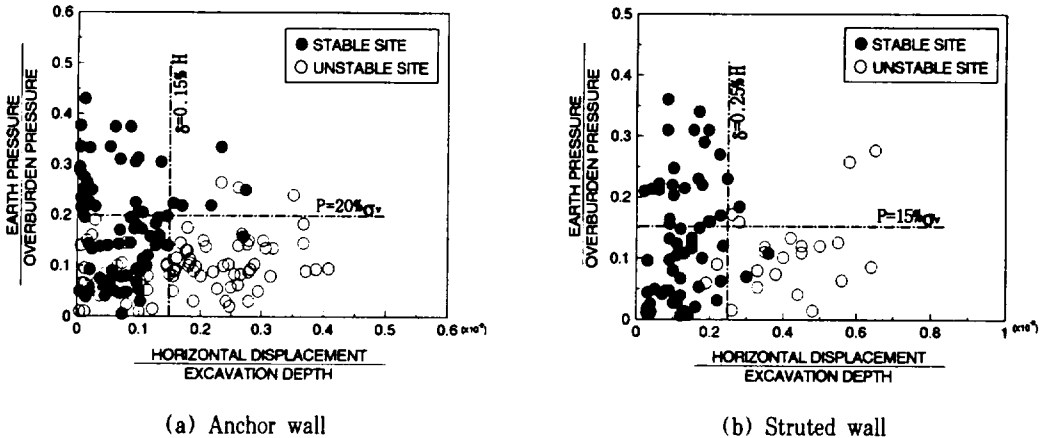


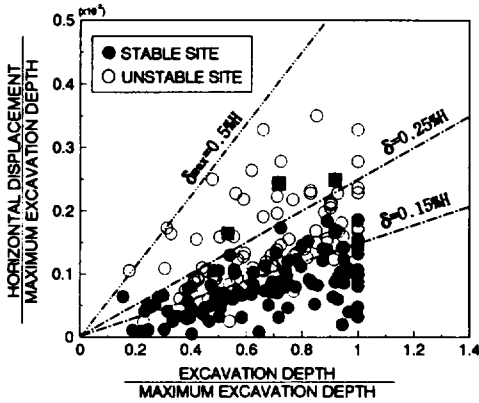
Fig. 7. Variation of earth pressure ratio with the relative horizontal displacement.

굴착깊이와 수평변위와의 관계

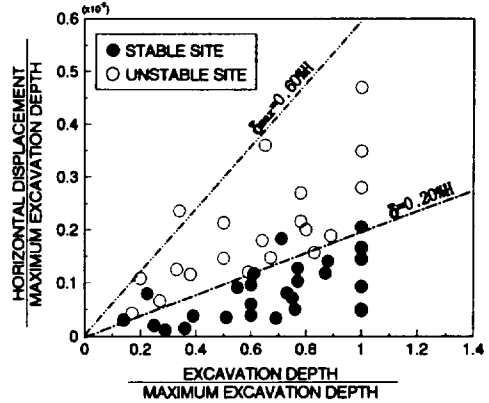
Fig. 8은 굴착깊이와 흙막이벽 수평변위와의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 흙막이벽 수평변위는 Fig. 7에서 나타난 상대적인 변위량과 같은 것이다. 굴착깊이 (H)는 각 굴착현장의 최대굴착깊이 ( $H_{max}$ )로 나누어 무차원화시켜 나타내었다.

Fig. 8에 나타난 바와 같이 굴착시공상태가 양호한 현장에서 측정된 벽체의 수평변위량과 불량한 현장에서 측정된 것과는 확실하게 구분되고 있다. Fig. 8(a)의 앵커로 지지된 흙막이 굴착현장의 경우, 굴착시공상태가 양호한 현장에서 측정된 벽체의 수평변위량은 식  $\delta=0.15\%H$ 에 의해 표현된 선보다 하부에

분포하고 있다. 반면, 시공상태가 불량한 현장에서 측정된 벽체의 수평변위량은 식  $\delta=0.25\%H$ 에 의해 표현된 선보다 상부에 분포하고 있다. 특히, 그림에서 ■로 표시된 것은 흙막이벽이 붕괴되거나 심한 손상이 발생한 굴착현장으로 식  $\delta=0.25\%H$ 에 의해 표현된 선보다 상부에 분포하고 있다. 여기서,  $\delta$ 는 흙막이벽의 수평변위량이고 H는 단계별 굴착깊이이다. Fig. 8(a)의 굴착깊이와 흙막이벽의 수평변위와의 관계로부터 앵커지지 방식으로 이루어진 굴착공사에서 흙막이벽 및 주변지반의 안정성을 판단하는 기준을 제시할 수 있다. 즉 경사계로부터 측정된 흙막이벽의 수평변위량이 굴착깊이의 0.15%보다 작으면 흙막이벽과 굴착배면지반은 안정된 상태에 있다. 벽체의 수



(a) Anchor wall



(b) Strutted wall

Fig. 8. Variation of horizontal displacement ratio with the relative excavation depth.

평변위가 굴착깊이의 0.15%보다 크게 발생하면 굴착 공사를 주의깊게 관찰해야만 하며, 필요하다면 흠막이구조물을 보강해야만 한다. 더욱이 벽체의 수평변위가 굴착깊이의 0.25%보다 크게 발생하면 적절한 보완조치가 취하여질 때까지 즉시 공사를 중지해야만 한다.

굴착시공 상태에 따라 굴착깊이와 흠막이벽 수평변위와의 관계가 명확히 구분되는 것을 보여주고 있다. 즉, 굴착시공상태가 불량한 현장에서 측정된 벽체의 수평변위량은 대부분 굴착깊이의 0.20%보다 크게 발생하고 있는 반면, 굴착시공상태가 양호한 현장에서 측정된 벽체의 수평변위량은 굴착깊이의 0.20%보다 작게 발생하고 있다.

한편, Fig. 8에서 앵커지지 흠막이벽에서 발생하는 최대수평변위량은 Clough (1990)가 제안한 굴착깊이의 0.5%와 거의 일치하는 것으로 나타났다. 그러나 버팀보지지 흠막이벽에서 발생하는 최대수평변위량은 굴착깊이의 0.6%에 해당되는 것으로 나타나고 있어, 버팀보지지 흠막이벽의 최대수평변위량은 앵커지지 흠막이벽보다는 약간 크게 발생하고 있다.

단, 본 연구에서 설정된 각각의 지지방식에 따른 흠막이벽의 시공관리기준치는 압반층이 포함된 다층지반에서 실시된 도심지 굴착현장에서만 적용하는 것을 권장한다.

## 결론

가설흠막이벽을 이용한 깊은 굴착공사시 지지방식의 따른 흠막이벽의 변형거동의 차이점을 분석하고 흠막이벽과 굴착배면지반의 안정성을 판단할 수 있는 시공관리기준을 설정하기 위하여 굴착현장으로부터 얻은 측정결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 굴착시공중 앵커축력과 버팀보축력의 시간적 변화는 상당한 차이가 있다. 굴착이 완료될 때 까지 선행하중이 도입된 앵커의 축력은 일정한 값을 유지하거나 약간 감소 혹은 증가하는 반면, 선행하중이 도입되지 않은 버팀보의 축력은 비선형적으로 증가한다.

(2) 지지방식에 따라 흠막이벽의 변형거동은 다르게 나타나고 있다. 버팀보로 지지된 흠막이벽은 굴착이 진행됨에 따라 흠막이벽 상부의 변위가 크게 발생하는 반면 앵커로 지지된 흠막이벽은 두부의 변위는 상당히 억제되어 변위의 증가량이 크지 않다.

(3) 흠막이벽을 지지하고 있는 지보재의 축력은 흠막이벽의 변형에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며 버팀보지지 흠막이벽의 최대수평변위량은 앵커지지 흠막이벽보다는 약간 크게 발생하고 있다.

(4) 앵커지지방식이 버팀보지지방식보다 흠막이벽



의 지지효과가 양호하여 벽체의 변형이 억제된 만큼 토압이 크게 작용한다. 그리고 흙막이벽에 토압이 작게 작용하고 수평변위가 크게 발생하면 굴착공사가 불량하게 될 가능성이 크다.

(5) 흙막이벽의 수평변위와 굴착깊이와의 관계로부터 흙막이벽의 안정성을 판단할수 있는 시공관리기준 마련하였다. 앵커지지방식의 경우 흙막이벽의 수평변위량이 굴착깊이의 0.15%보다 작으면 흙막이벽은 안정된 상태에 있다. 그러나 0.25%보다 크게 발생하면 흙막이벽은 불안정한 상태이며 붕괴의 가능성이 높다. 버팀보지지방식의 경우에는 흙막이벽의 수평변위량이 굴착깊이의 0.20%보다 작으면 흙막이벽은 안정된 상태이다.

### 참고문헌

문태섭 · 홍원표 · 최완철 · 이광준. 1994. 두원 PLAZA 신축공사로 인한 인접자생위원 및 독서실의 안전 진단 보고서. 대한건축학회.  
 위동인. 1992. 앵커지지 흙막이벽의 거동에 관한 연구. 중앙대학교, 건설대학원, 석사학위논문.  
 이종규 · 전성근. 1993. 다층지반 굴착시 토류벽에 작

용하는 토압분포. 한국지반공학회지, 9: 59-68.  
 홍원표 · 임수빈 · 김홍택. 1992. 일산전철 장항정차장 구간의 굴토공사에 따른 안전성 검토연구. 대한토목학회.  
 Clough, G.W. and T.D. O'Rourke. 1990. Construction induced Movements of insitu Walls, Design and Performance of Earth Retaining Structures. Geotechnical Special Publication, No. 25. ASCE, pp. 439-470.  
 Flaate, K.S. 1966. Stresses and Movements in Connection with Braced Cuts in Sand and Clay. PhD thesis, Univ. of Illinois.  
 Golder, H.Q., J.P. Gould, T.W. Lambe, G.P. Tschebotarioff and S.D. Wilson. 1970. Predicted Performance of Braced Excavation. Jour. of SMFD., ASCE, Vol. 96, No. SM3, Proc., Paper. 7292, pp. 801-815.  
 Lambe, T.W., L.A. Wolfskill and H. Wong. 1970. Measured Performance of Braced Excavation. ASCE, Proc., Vol. 6, No. SM3, pp. 817-836.  
 富土, 深田. 1985. 現場計測による山止め工事の施工管理 自動計測處理システムの適用, No. 232, pp. 45-48.