

암반을 포함한 다층토 지반에서의 깊은굴착시 흙막이벽체의 수평변위 및 겘보기토압

Lateral Wall Movements and Apparent Earth Pressures for In-situ Walls during Deep Excavations in Multi-Layered Grounds with Rocks

유충식^{*1} Yoo, Chung-Sik

김연정^{*2} Kim, Youn-Jung

Abstract

This paper presents the measured performance of in-situ walls using the measured data collected from various deep excavation sites in urban area. A variety of in-situ wall systems from 57 sites were considered, including H-pile walls, soil cement walls, cast-in-place pile walls, and diaphragm walls. The examination included lateral wall movements as well as apparent earth pressure distributions. The measured data were thoroughly analyzed to investigate the effects of various components of in-situ wall system, such as types of wall and supporting system, on the lateral wall movement as well as on the apparent earth pressure distribution. The results were then compared with the current design/analysis methods, and information is presented in chart forms to provide tools that can be used for design and analysis. Using the measured data, a semi-empirical equation for predicting deep excavation induced maximum lateral wall movement is suggested.

요 지

본 논문에서는 도심지 깊은 굴착현장에서 수집한 계측자료를 토대로 분석한 흙막이벽체의 거동에 관한 내용을 다루었다. 총 57개 현장에 시공된 H-pile+흙막이판 벽체와 현장타설 주열식 말뚝 벽체, 그리고 지하연속벽체 등 다양한 종류의 흙막이벽체를 고려하였으며, 굴착으로 인한 벽체의 거동 및 겘보기토압을 집중적으로 분석하였다. 수집된 계측자료를 토대로 벽체 및 지지구조의 형식 등 흙막이벽체의 다양한 구성요소가 벽체의 거동 및 겘보기 토압에 미치는 영향을 분석·고찰하였으며, 그 결과를 현재 적용하고 있는 설계/해석법과 비교하는 한편 다양한 차트의 형식으로 제시하였다. 또한 계측자료를 토대로 흙막이벽체의 최대수평변위를 평가하는 경험식을 제안하였다.

Keywords : Deep excavation, In-situ wall, Measured data, Lateral wall movement, Apparent earth pressure

1. 서론

지하굴착공사는 지반굴착에 따른 응력해방으로 인해 주변지반의 움직임을 초래하게되며, 인구 밀집 지역에서 과도한 지반의 움직임은 인접 구조물에 대한 구조적 손상을 야기시킨다. 이는 공사중단, 법적소송 및 보상문제

등 막대한 시간 및 경제적 손실을 가져오게 되며, 따라서 지하굴착문제의 부적절한 설계와 시공은 국가경제에 막대한 영향을 미치게 된다. 국내에서 진행되어 오고 있는 대단위 산업기반시설의 확장 사업을 통해 지하굴착문제의 설계 및 시공에 관한 노-하우가 많이 축적되어 있다고 할 수 있겠으나 굴착공사로 인하여 야기되는 주변지반의

*1 정희원, 성균관대학교 공과대학 토목공학과 부교수

*2 정희원, (주)신성엔지니어링 지반공학과 상무

침하와 인접구조물의 피해사례는 계속되고 있어 도심지 근접시공의 개념에 입각한 설계, 계획, 시공관리 측면에서 지하굴착에 대한 지속적인 연구가 요구되고 있다.

도심지 지하굴착문제의 설계 및 시공 수준의 향상을 위해 요구되는 연구분야는 거시적인 관점에서 볼 때 굴착에 따른 벽체 및 주변지반의 거동 예측에 관한 분야와 설계시 적용하는 겘보기토압에 관한 분야로 구분할 수 있다. 이는 도심지 지하굴착에서는 주변지반의 거동억제가 필수 불가결한 조건이 되는 관계로 흙막이벽체 설계시 벽체 및 주변지반의 거동이 반드시 고려되어야 하기 때문이며, 또한 겘보기토압에 관한 분야는 흙막이벽체 설계시 벽체 및 지지구조계의 설계에 직접적으로 반영되기 때문에 이에 대한 정확한 평가가 이루어져야만 효율적인 흙막이벽체의 설계가 가능하기 때문이다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 도심지 깊은굴착에 관한 체계적인 연구의 일환으로 버팀보지지 또는 앵커지지 흙막이벽체가 적용된 깊은굴착을 대상으로 계측자료 분석을 통해 지하굴착에 따른 흙막이벽체 수평변위 및 겘보기토압 등 전반적인 거동을 고찰하였다.

2. 흙막이벽체의 거동에 관한 연구 동향

2.1 흙막이벽체의 수평변위

지난 수년동안 지하굴착에 따른 벽체 변위 예측에 관한 많은 연구가 수행되어 왔으며, 벽체의 수평변위를 예측하는 다양한 기법들이 제시되었다. 이러한 연구들은 크게 경험적 혹은 해석적 연구로 구분된다. 경험적 연구로는 현장계측자료에 의한 Peck (1969), Goldberg 등 (1976), Clough와 O'Rourke (1990), 그리고 최근의 Ou 등 (1993)의 연구를 들 수 있으며, 이들은 현장계측자료를 토대로 깊은 굴착시 벽체변위 및 주변지반거동 평가 방법을 제시한 바 있다.

한편, 1980년대에 들어와 지반공학분야에서의 수치해석 기법 적용이 증가하면서 유한요소해석에 의한 많은 연구가 수행되었다. 대표적인 연구로는 Mana와 Clough (1981), Wong과 Broms (1989), 그리고 최근에 수행된 Hashash와 Whittle (1996)의 연구를 들 수 있으며, 이들은 유한요소해석을 이용한 매개변수 연구를 수행하여 굴착조건과 지반거동과의 정량적인 관계를 제시한 바 있다.

국내에서는 이에 관련된 연구가 매우 미흡한 실정이며 현장계측자료를 이용하여 수행된 홍원표와 윤중만 (1995) 및 양구승(1996)의 연구 등 단지 몇몇 연구만이 진행된 실정이며 이에 대한 종합적인 연구가 요구되고 있다.

2.2 겘보기토압

지하굴착에 있어 흙막이벽체 및 지지구조의 단면을 설계하는데 있어서는 작용 외력으로 겘보기토압(apparent earth pressure)으로 알려진 경험적 토압분포를 적용하고 있다. 대표적인 겘보기토압으로는 여러 현장에서 측정된 계측자료로부터 제시된 Terzaghi와 Peck (1967), Peck (1969), Tschebotarioff (1973) 등에 의해 제시된 겘보기토압과 선행 재하된 앵커지지 벽체에 있어서 모래지반과 점토지반으로 구분하여 제시한 Goldberg 등 (1976)의 겘보기토압을 들 수 있다.

전술한 겘보기토압 분포는 사질토 혹은 점성토 지반으로 이루어진 단일지층에서 얻어진 계측자료를 토대로 제시되었기 때문에 매립층, 풍화토, 풍화암 등 다층지반으로 구성된 국내지반조건에 직접적으로 적용하는 데는 많은 문제점이 있는 것으로 지적되어 왔다. 따라서 최근 들어 국내에서는 국내 현장에서의 겘보기토압에 대한 다수의 연구가 수행되었다. 이에 대한 대표적인 연구로는 홍원표와 이기준 (1992), 이종규와 전성곤(1993), চে영수와 문일(1994), 홍원표와 윤중만(1995) 등의 연구를 들 수 있다. 대부분의 연구는 현장계측자료를 토대로 국내 지반조건을 고려한 토압분포에 관한 내용으로서 대부분의 연구에서는 지반 및 시공조건에 따른 정량적인 토압분포를 제시하기보다는 전술한 경험적 토압분포의 국내지반에의 적용성을 검토하는데 주안점을 두었으며, 이에 관련된 지속적인 연구의 필요성을 강조하였다.

살펴본 바와 같이 현재까지 지하굴착문제에 대한 많은 연구가 수행되어 왔으나 대부분의 연구에서 제시된 깊은굴착에 따른 벽체 및 주변지반거동 예측기법 및 설계 겘보기토압은 단일지층의 점성토 혹은 모래지반을 대상으로 하였으므로, 암반을 포함하는 다층지반으로 이루어진 국내 지반조건에서 시공되는 깊은굴착 현장에 직접 적용하는 데는 많은 무리가 있다. 따라서 국내 도심지 지반조건을 고려하여 다층지반에서의 깊은굴착에 따른 벽체 및 지반거동 그리고 설계 겘보기토압에 관한 종합적이고 체계적인 연구가 요구되고 있다.

3. 현장계측 자료

본 연구에서는 국내 도심지 흙막이벽체의 거동 및 작용 토압분포 특성을 파악하기 위해 국내 총 57개 현장에서 수집된 벽체 변위 및 지지구조 축력에 대한 계측자료를 분석하였다. 흙막이벽체 거동 분석에 있어서는 217개 단면의 경사

계측자료가, 그리고 겔보기토압 분석에 있어서는 56개단면의 지지구조에 설치된 하중계와 변형율계 측정자료를 사용하였다. 표 1은 분석된 계측자료 현황을 나열하고 있는데 보이는 바와 같이 H-pile+흙막이판 벽체가 주종을 이루고 있으며, 지지구조는 버팀보식과 앵커식이 고르게 분포하고 있다.

한편, 본 연구에 분석된 시공 현장들의 최종 굴착깊이는 8.0~35.0 m 정도로서 굴착대상 지반은 매립층, 퇴적층 및 풍화 잔류토 등의 토사층과 암반층으로 이루어 졌으며, 전체 굴착깊이에 대한 토사층 두께는 평균적으로 약 48%이며 풍화암이 20%, 연·경암이 32% 정도로 토사층과 암반이 약 50% 정도 분포하는 것으로 분석되었다.

4 벽체 수평변위

4.1 벽체의 종류에 따른 벽체 최대 수평변위

그림 1은 217단면의 경사계 자료에서 얻어진 굴착깊이(H)와 벽체의 최대 수평변위($\delta_{h,m}$)의 관계를 보여주고 있다. 보이는 바와 같이 국내 시공현장과 같이 암반을 포함하는 굴착공사에서의 벽체 최대 수평변위는 전반적으로 Goldberg 등 (1976)과 Clough와 O'Rourke (1990)가 제안한 위험기준인 0.5% H 이내에 분포하며 평균적으로 약 0.16% H 를 나타내고 있다. 본 연구에서 얻어진 평균벽체변위 0.16% H 는

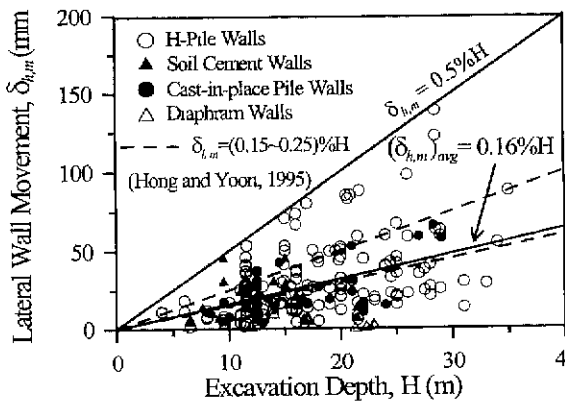


그림 1. 최대 굴착깊이(H)와 최대 수평변위($\delta_{h,m}$)의 관계

Clough와 O'Rourke (1990)가 토사지반 현장에서의 계측결과로 제시한 0.2% H 와 별다른 차이를 보이지 않고 있는데 이는 벽체의 변위가 지반의 강성이나 벽체 구성요소의 강성뿐만 아니라 지하수 조절 방법, 지지구조의 설치 방법, 시공자의 작업수행 수준에 따라 영향을 받기 때문으로 사료된다. 따라서 국내 현장과 같이 암반층을 포함하는 지반의 경우에도 보수적인 측면에서 토사지반과 같은 수준의 변위를 예상하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 한편 이 그림에는 앞서 언급한 홍인표와 윤중만(1995)에 의해 수행된 앵커지지 흙막이벽체 현장을 대상으로 제시한 벽체변위 관계식이 제시되어 있는데 이에 대한 자세한 토론은 4.2절에서 다루도록 한다.

그림 1에 제시된 자료는 다시 흙막이벽체의 종류에 따라 H-pile 벽체와 SCW, CIP 및 Diaphragm(지하연속) 벽체로 대별하여 그림 2에 나타내었다. 그림 2(a)에 보이는 바와 같이 H-pile 벽체의 경우 평균 $\delta_{h,m}$ 는 약 0.18% H 정도로 나타났으며, SCW, CIP 및 Diaphragm 벽체의 경우 그림 2(b)~2(d)에서 관찰할 수 있는 바와 같이 각각 0.16, 0.15, 0.04% H 정도로 나타나고 있어 Diaphragm 벽체, CIP 벽체, 그리고 SCW의 순으로 하향분포하는 경향을 관찰할 수 있어 벽체 종류별 변위 구속효과의 효율성을 추정할 수 있다. 한편, SCW, CIP 및 Diaphragm 벽체와 같은 강성벽체가 H-pile 벽체 보다 변위 억제효과가 큰 이유는 강성의 영향과 아울러서 연속성을 갖는 이들 벽체의 특성상 지하수 유출 및 벽체 배면여굴 방지 에 보다 효율적이기 때문으로 사료된다.

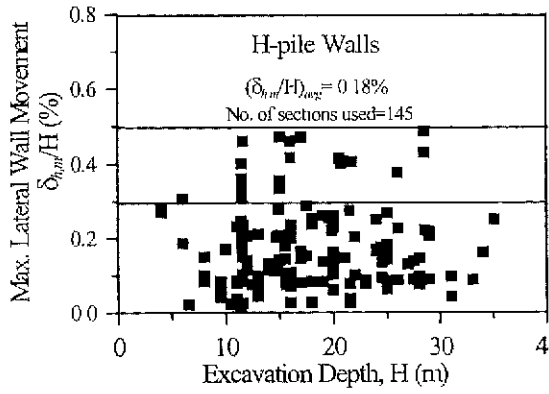
4.2 지지구조에 따른 벽체의 최대 수평변위

그림 3은 흙막이벽체의 지지구조 형식에 따른 $\delta_{h,m}$ 를 나타내고 있다. 보이는 바와 같이 버팀보지지 벽체에 있어서는 $\delta_{h,m}$ 가 0.3% H 를 초과하는 단면이 총 103 단면 중 18단면으로 나타난 반면 앵커지지 벽체에서는 114단면 중 5단면에 불과한 것으로 나타났다. 또한 평균치에서도 버팀보지지 벽체의 경우에는 0.18% H 로 나타난 반면 앵커지지 벽체의 경우에는 이보다 현저히 작은 0.13% H 인 것으로 나타나 앵

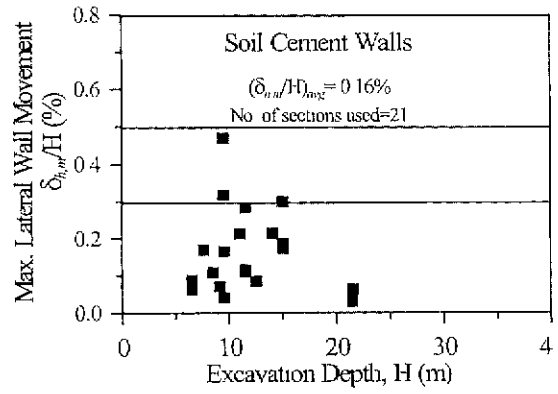
표 1. 계측자료 분석 현황

경사계 자료 (217단면)				겔보기토압 자료 (56단면)	
벽체의 종류		지지구조의 종류			
H-pile+흙막이판	: 145단면	앵커식: 버팀보식:	114단면 103단면	앵커지지 벽체 (load cell)	: 32단면
SCW	: 21단면			버팀보지지 벽체 (strain gage)	: 24단면
CIP	: 30단면				
Diaphragm	: 21단면				

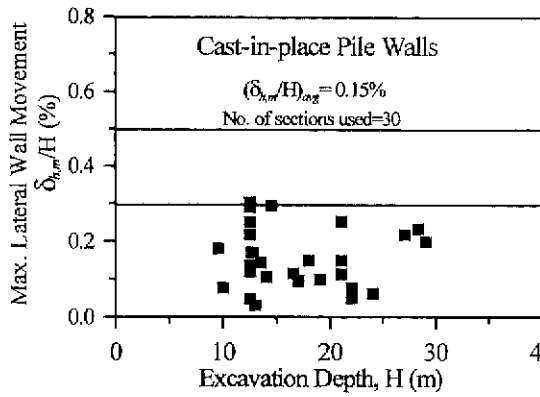
주) SCW : Soil Cement Wall, CIP: Cast-in-place Pile



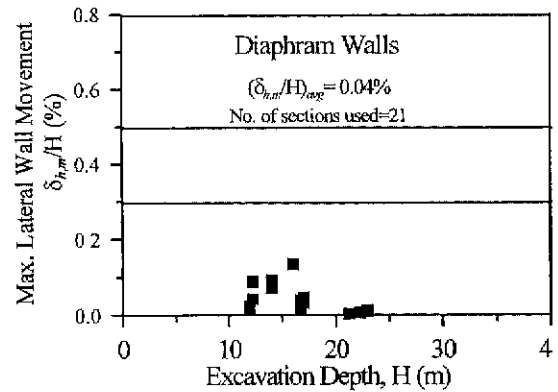
(a) H-pile 벽체



(b) Soil Cement 벽체



(c) Cast-in-place Pile 벽체



(d) Diaphragm 벽체

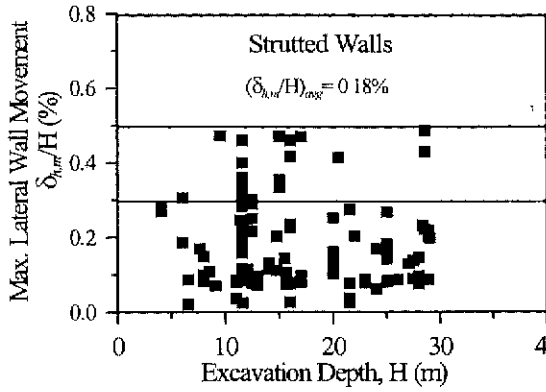
그림 2. 벽체의 종류에 따른 최대 수평변위

커지지 벽체가 벽체의 구속효과가 높은 것을 알 수 있다.

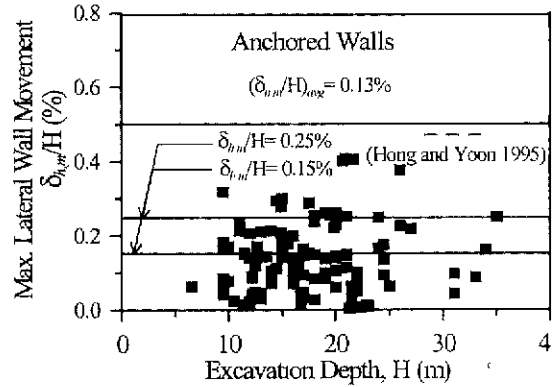
한편 그림 3(b)에는 앞서 언급한 홍원표와 윤중만(1995)이 암반을 포함한 다층토 지반의 앵커지지 흙막이벽체 현장 을 대상으로 수행한 연구에서 제시된 상태가 양호한 현장과 불량한 현장의 벽체변위 상한식이 함께 나타나 있다. 이들 의 연구에서는 SCW 혹은 LW가 시공된 얽지말뚝과 흙막이 판을 사용한 앵커지지식 연성벽체를 대상으로 하였으며 현 장관측 자료로부터 시공상태에 대한 분석을 통해 시공양호 및 불량 등 시공상태에 따른 관계식을 제시하였으나 본 연구 는 얽지말뚝 벽체와 아울러서 CIP 및 Diaphragm 벽체와 같은 강성 벽체를 다루었으며 사용한 계측자료의 제한성으로 인 해 시공상태별 분류가 불가능하였다는 점에서 두 연구결과 의 직접적인 비교는 다소 어렵다고 할 수 있으나 그림 3(b)에 서 관찰할 수 있는 바와 같이 본 연구에서 사용한 대부분의 계측자료가 이들이 제시한 시공상태가 불량한 현장의 상한 식으로 제시하고 있는 $\delta_{h,m}=0.25\%H$ 하부에 위치하는 것으 로 나타났다. 또한, 본 연구에서 사용한 계측자료의 평균치 는 $(\delta_{h,m})_{avg}=0.13\%H$ 으로 나타났는데 이러한 경향은 홍원

표와 윤중만(1995) 제시한 시공상태가 양호한 현장의 상한 식 $\delta_{h,m}=0.15\%H$ 과 유사하게 나타나고 있어 이러한 결과는 두 연구결과가 대동소이한 것으로 나타났다. 따라서 홍원 표와 윤중만(1995)의 연구결과와 그림 3(b)에서 제시된 결 과는 앵커지지식 흙막이벽체의 최대수평변위를 예측하는 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

이러한 경향은 지지구조의 축강성과 과다굴착 등 두 가지 이 유로 설명될 수 있다. 먼저 앵커지지 벽체에 있어서 인장부 재인 앵커 설치 후에는 지지구조와 벽체사이의 공간을 제거 하고 지지구조의 유효강성을 충분히 확보하기 위해 선행진 장을 수행하므로 실제강성은 설계상의 이론적 강성과 유사 하게 나타난다. 그러나 버팀보의 경우 압축부재인 관계로 실제 강성은 선행진장 여부와 벽체와의 연결부 처리방법에 좌우될 뿐만 아니라, 벽체 변위가 어느 정도 발생하기 이전 에는 이론적 강성에 못 미치는 경우가 많이 발생하는데 이는 초기변위 유발의 원인이 되기도 한다. 한편, 벽체 변위 유발 원인으로서는 과다굴착을 꼽을 수 있는데 앵커지지 벽체의 경 우에는 앵커설치를 위한 시공과정의 특성상 과다굴착의 소



(a) 버팀보지지 벽체



(b) 앵커지지 벽체

그림 3. 지지구조의 형식에 따른 벽체 최대 수평변위

지가 적은데 반해 버팀보지지 벽체의 경우 작업공간 확보 등의 이유로 인해 과다굴착 발생 가능성이 매우 높다. 전술한 두가지 원인은 같은 조건에서 앵커지지 벽체 보다는 버팀보지지 벽체에서 다소 큰 변위가 발생하는 주원인으로 분석될 수 있다.

4.3 시스템강성에 따른 최대 수평변위

흙막이벽체의 시스템강성(k_s)은 벽체의 단위길이당 휨강성 (EI)과 지지구조 간격 (h_s), 그리고 물의 단위중량(γ_w)으로 무차원화한 수치($k_s = EI/\gamma_w h_s^4$)로 정의될 수 있다 (Clough와 O'Rourke 1990). 그림 4는 시스템 강성에 따른 벽체의 최대 수평변위 변화 경향을 나타내고 있으며 그림에 보이는 바와 같이 벽체의 최대 수평변위($\delta_{h,max}/H$)는 시스템 강성이 증가함에 따라 쌍곡선의 형태로 감소하는 경향과 함께 시스템 강성이 높을수록 최대 수평변위 발생 범위가 감소하는 경향을 관찰할 수 있다. 이러한 경향은 벽체의 수평변위

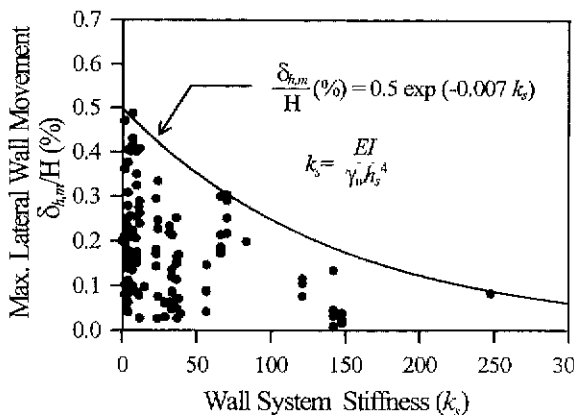


그림 4. 흙막이벽체의 시스템 강성에 따른 $\delta_{h,m}$

위는 시스템 강성뿐만 아니라 시공수준, 벽체배면 여굴존제 여부, 지하수 유입 여부 등에 의해서도 많은 영향을 받는데 지중연속벽체와 같은 벽체의 시스템 강성이 큰 벽체 일수록 벽체배면 여굴 발생 및 지하수 유입 가능성이 감소하는데서 그 원인을 찾을 수 있다.

한편, 그림에 나타나 있는 변위 상한치에 대한 곡선은 아래의 식(1)로 표현할 수 있으며, 이는 설계 벽체의 휨강성 및 지지구조의 간격을 바탕으로 벽체의 최대 수평변위의 상한치를 평가하는데 적용할 수 있다.

$$\frac{\delta_{h,max}}{H} (\%) = 0.5 \exp(-0.007 k_s) \quad (1)$$

5. 겉보기토압

5.1 겉보기토압 분포

흙막이벽체에 작용하는 겉보기토압(σ_h)은 앵커 또는 버팀보에 작용하는 축력(Q)을 분담면적(A)으로 나누어서 계산하는 중점분할법을 이용하여 산정한 후 그 결과를 토대로 각 단면의 최대 겉보기토압($\sigma_{h,m}$)을 산정하는 방법으로 총 56개 단면에 대한 자료를 검토하였다. 여기서 앵커의 축력은 앵커두부에 부착된 하중계를 이용하여 측정하였으며, 버팀보의 경우 부착된 변형률계로부터 측정된 변형율을 환산하여 축력을 계산하였다

그림 5는 굴착고가 약 33m이며 버팀보 및 앵커로 지지된 현장의 겉보기토압 분포 경향을 보여주고 있다. 당현장은 매립층(GL -2m) ⇒ 풍화대(GL -2m~-12m) ⇒ 연암(GL -12m~-25m) ⇒ 경암(GL -25m~)의 지반조건으로 이루어졌으며 지지구조로서 버팀보와 앵커가 적용된 현장으로서

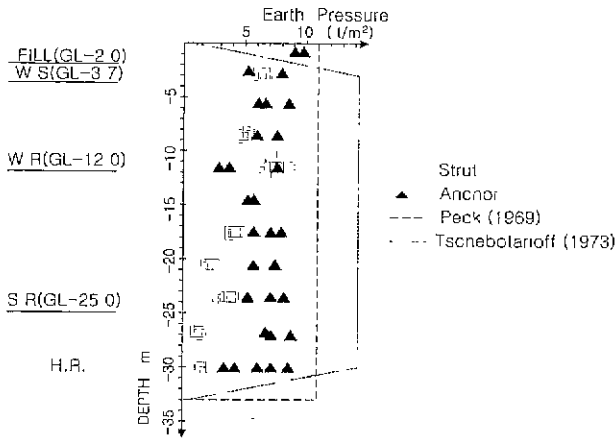


그림 5. 겉보기토압 분포경향

지지구조의 평균간격은 3.0m이다. 이 그림은 버팀보 적용 단면 및 앵커적용 단면의 겉보기 토압을 도시한 것으로서 직접적인 비교는 어려우나 보이는 바와 같이 전반적으로 앵커 지지 벽체의 겉보기 토압이 버팀보지지 벽체의 경우보다 다소 크게 나타나는 경향을 관찰할 수 있다. 한편, 버팀보지지 벽체의 경우 하단부로 갈수록 토압이 감소하며 최대 겉보기 토압은 중상단부에서 발생하는 경향을 보이고 있는 반면 앵커지지 벽체의 경우에는 버팀보지지 벽체의 경우와는 달리 겉보기 토압이 벽체 전반에 걸쳐 거의 일정하게 나타나는 분포양상을 보이고 있다. 이러한 경향은 최대 겉보기 토압 발생 위치의 빈도분포를 나타내고 있는 그림 6에서 보다 자세히 관찰할 수 있으며, 이와 같은 겉보기 토압 분포 양상은 앵커의 선행긴장으로 인한 토압의 재분배에 그 주원인이 있는 것으로 판단된다. 이 그림에는 또한 Peck (1969) 및 Tschebotarioff (1963)의 설계 겉보기 토압이 함께 도시되어 있는데 보이는 바와 같이 전반적으로 측정된 겉보기 토압은 이들 설계 겉보기 토압 보다 다소 작은 것으로 나타났다.

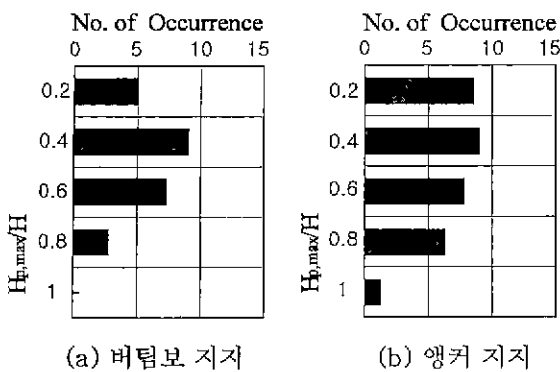


그림 6. 지지구조에 따른 최대 겉보기 토압 분포

5.2 벽체의 종류 및 지지구조에 따른 겉보기 토압

그림 7은 각 현장에서 측정된 최대 겉보기 토압과 Rankine 토압($K_a \gamma H$; 여기서 K_a 는 Rankine 주동토압계수)의 관계를 보여주고 있다. 보이는 바와 같이 최대 겉보기 토압과 Rankine 토압의 비($\sigma_{h,m}/K_a \gamma H$)는 0.24~0.87로서 평균 0.46의 수치를 보이고 있어 Peck 겉보기 토압의 약 75% 정도로 나타났다. 이러한 결과는 암반을 포함하는 국내 현장을 대상으로 수행한 타 연구자(이종규와 전성곤, 1993; 채영수와 문일, 1994; 홍원표와 윤중만, 1995)들의 연구결과와 유사한 것으로 나타났다.

벽체의 종류에 따른 최대 겉보기 토압 변화 경향이 그림 8에 나타나 있다. 분석단면의 수에 있어서 H-pile의 경우 SCW 혹은 CIP 벽체에 비해 월등히 많아 직접적인 비교가 어려우나 대체적으로 SCW 혹은 CIP 벽체와 같이 강성이 높은 벽체의 최대 겉보기 토압비는 $\sigma_{h,m}/K_a \gamma H=0.54$ 정도로서 $\sigma_{h,m}/K_a \gamma H=0.47$ 의 관계를 보이는 H-pile 벽체 보다 최대 겉보기 토압이 크게 나타났는데, 이는 벽체의 강성이 증가할수록 변위 구속효과가 증가하여 토압이 크게 나타나는 데 그 원인이 있는 것으로 판단된다.

그림 9는 지지구조에 따른 최대 겉보기 토압비($\sigma_{h,m}/K_a \gamma H$)를 나타내고 있다. 그림에서 보이는 바와 같이 버팀보지지 벽체의 경우 $\sigma_{h,m}/K_a \gamma H=0.24 \sim 0.71$ (평균 0.43), 앵커지지 벽체의 경우 $\sigma_{h,m}/K_a \gamma H=0.34 \sim 0.87$ (평균 0.54) 정도인 것으로 나타나 버팀보지지 벽체 보다 앵커지지 벽체의 겉보기 토압이 더 크게 나타나는 경향을 보이고 있는데 이러한 경향은 앞서 언급한 바와 같이 선행긴장의 영향으로 판단되며 이러한 경향은 앵커지지 벽체에 대하여 버팀보지지 벽체보다 다소 큰 겉보기 토압을 제안하고 있는 Goldberg 등 (1976)의 연구결과와 타당성을 확인하고 있다. 한편, 이 그림에는 앵커

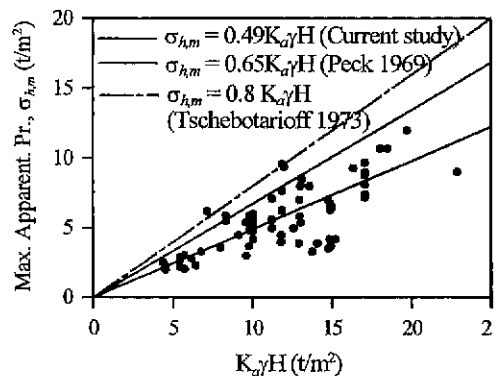
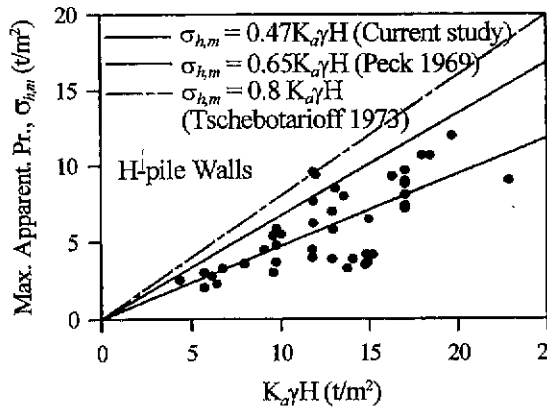
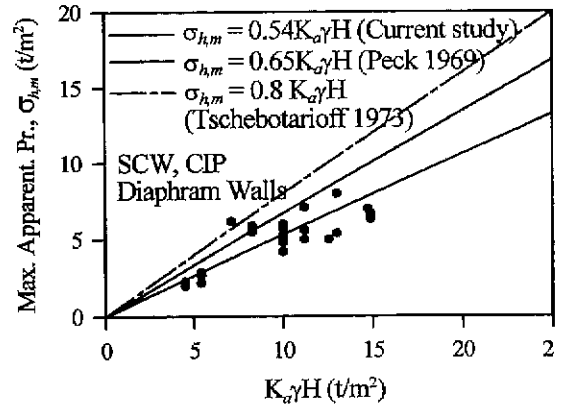


그림 7. 최대 겉보기 토압과 Rankine 토압의 관계

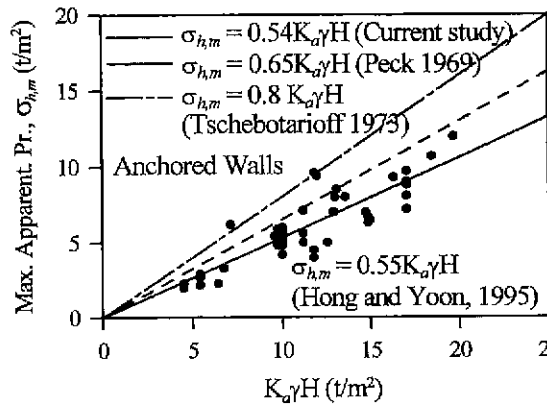


(a) H-pile 벽체

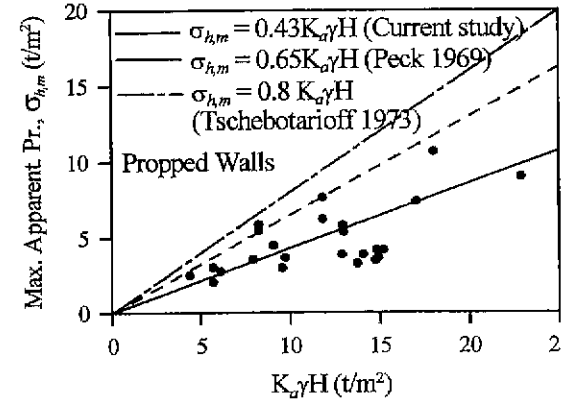


(b) SCW, CIP 및 Diaphragm 벽체

그림 8. 벽체의 종류에 따른 최대 겉보기토압



(b) 앵커지지 벽체



(a) 버팀보지지 벽체

그림 9. 흙막이벽체의 지지구조에 따른 겉보기토압

지식식 흙막이벽체를 대상으로한 홍원표와 윤종만 (1995)의 연구에서 제시한 암반현장의 겉보기토압 관계식($\sigma_{hm}/K_a \gamma H=0.55$)이 제시되어 있는데 보이는 바와 같이 본 연구결과($\sigma_{hm}/K_a \gamma H=0.54$)와 매우 유사한 것으로 나타났다.

7. 결론

본 연구에서는 도심지 깊은굴착에 관한 연구의 일환으로 총 57개 현장에서 수집한 현장측정자료를 토대로 깊은굴착에 따른 흙막이벽체의 수평변위 및 겉보기토압 분포를 종합적으로 고찰하였으며 그결과를 토대로 국내 지반조건을 고려한 깊은굴착시 흙막이벽체 수평변위 평가식을 제시하였다. 본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 계측자료 분석결과 국내 굴착현장의 흙막이벽체 최대 수평변위는 0.5%H 이내로서 평균적으로는 약 0.16%H로 나타났으며, 기존의 국내현장에 대한 연구결과와 대

동소이한 것으로 나타났다. 또한 흙막이벽체의 수평변위에 있어 앵커지지 벽체가 버팀보지지 벽체 보다 변위 억제 효과가 다소 큰 것으로 나타났으며, 전반적으로 벽체의 시스템강성이 증가함에 따라 현저히 감소하는 것으로 나타났다.

(2) 국내 현장에서의 겉보기토압은 평균적으로 $\sigma_{hm}/K_a \gamma H=0.49$ 정도로써 Peck의 설계토압의 약 75%인 것으로 나타났으나, 벽체의 종류 및 지지구조의 종류에 따라 다소의 차이를 보여 전반적으로는 벽체의 종류 및 지지구조의 종류에 따른 겉보기토압 벽체의 변위 억제 효과가 큰 벽체일수록 겉보기토압이 다소 증가하는 것으로 나타나 겉보기토압 산정에 있어서는 이러한 경향을 고려하여야 할 것으로 판단된다.

(3) 앵커지지 벽체의 경우 버팀보지지 벽체보다 겉보기토압이 큰 것으로 나타났으며, 평균적으로는 $\sigma_{hm}/K_a \gamma H=0.54$ 의 수치를 보여 암반현장의 앵커지지 벽체를 대

상으로 수행한 기존의 연구결과($\sigma_{h,m}/K_a \gamma H=0.55$)와 매우 유사하게 나타났다. 이러한 경향은 앵커지지 벽체에 대하여 버팀보지지 벽체 보다 다소 큰 겉보기 토압을 제안하고 있는 Goldberg 등 (1976)의 연구결과와 일치한다.

(4) 본 연구의 결과를 종합해 볼 때 암반을 포함한 다층지반에서 시공되는 흙막이벽체의 변위 및 겉보기 토압은 벽체의 종류 및 지반구조의 종류에 따라 좌우되는 것으로 나타났으며, 전반적으로는 토사지반 보다는 변위 및 겉보기 토압이 감소하는 것으로 나타났으나 흙막이 벽체의 거동이 지반조건 및 시공수준, 지하수조건 등 다양한 인자에 의해 좌우되는 점을 감안할 때 보다 많은 연구자료가 축적되기 전까지는 보수적인 측면에서 기존의 토사지반과 같은 수준으로 적용하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 1996년 한국과학재단의 목적기초 연구비 지원(KOSEF 961-1201-002-2)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 양구승(1996), "도심지 깊은 굴착시 인접지반 거동에 대한 분석", 공학박사 학위논문, 서울대학교
2. 이종규, 전성곤(1993), "다층지반 굴착시 토류벽에 작용하는 토압 분포", 한국지반공학회지, 제 9권, 제 1호, pp. 59~68.
3. 박성재, 정경완(1995), "지하굴토지보공의 계획 및 해석(정보화시공)에 관한 연구", 대한토목학회 논문집, 제 15권, 제 5호, pp. 1381~1396.

4. 홍원표, 윤중만(1995), "지하굴착시 앵커지지 흙막이벽 안정성에 관한 연구", 대한토목학회 논문집, 제15권, 제4호, pp. 991~1002.
5. 홍원표, 윤중만(1995), "지하굴착시 앵커지지 흙막이벽에 작용하는 측방토압", 한국지반공학 회지, Vol. 11, No. 1, pp. 63~77.
6. 홍원표, 이기준(1992), "앵커지지 흙막이벽에 작용하는 측방토압", 한국지반공학회지, Vol. 8, No. 4, pp. 87~95.
7. 채영수, 문일(1994), "국내 지반조건을 고려한 흙막이벽체에 작용하는 토압", 한국지반공학회 '94 가을 학술발표회 논문집, pp. 129~138.
8. Clough, G. W. and O'Rourke, T. D.(1990), "Construction Induced Movements of Insitu Walls", Proceedings of a Conference on Design and Performance of Earth Retaining Structures, Ithaca, NY, pp. 439~470.
9. Hashash, Yousef M.A. and Whittle, Andrew J.(1996), "Ground Movement Prediction for Deep Excavations in Soft Clay", Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 122, No. 6, pp. 474~486.
10. Goldberg, D. T., Jaworski, W. E and Gordon, M. D.(1976), "Lateral Support Systems and Underpinning", Reports No. FHWA-RD-75-128, 129 and 130(vol. I, II, III), FHA, Washington D.C.
11. Mana, A.I (1978), "Finite Element Analyses of Deep Excavation Behavior in Soft Clay", Ph.D Thesis, Stanford University, Pasadena, CA.
12. Mana, A.I. and Clough, G. W.(1981), "Prediction of Movement for Braced Cuts in Clay", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 107, No. GT6, pp. 759~777.
13. Ou, C. Y., Hsieh, P. G. and Chiou D. C.(1993), "Characteristics of Ground Surface Settlement during Excavation", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 30, pp. 758~767.
14. Peck, R.B.(1969), "Deep Excavations and Tunneling in Soft Ground", State-of-the-Art Report, Proceedings of the 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City, State-of-the-Art Volume, pp. 225~290.
15. Tschebotarioff, G.P.(1973), Foundations, Retaining and Earth Structures, 2nd Ed., MGH
16. Wong, K.S. and Broms, B.B.(1989), "Lateral Wall Deflections of Braced Excavations in Clay", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 115, No. 6, pp. 853~870.

(접수일자 1999. 10. 18)