

현장계측과 수치해석에 의한 흙막이구조물의 거동 비교분석

A Study on Behavior of the Earth Retaining Structure by Field Measurement and Numerical Analysis

Jongtae Woo^{a,*}

^a Dept. of Construction and Environmental Design, Kyungbuk University, Jinjeob-eup, Namyangju, Republic of Korea

ABSTRACT

In this study, it is compared various coefficients of subgrade reaction for application of numerical analysis based on measured data by using various theories and empirical formula. The ratio of the maximum and minimum value is 6.80 at the top of wall but it is 1.06 at the maximum displacement point depends on change of calculated coefficient of subgrade reaction. The data of displacement were generally similar considering an increment of a coefficient of subgrade reaction. And the results of comparison of the displacement at the maximum displacement point by numerical analysis and measured data show similar displacement shape.

KEYWORDS

field measurement
numerical analysis
empirical formula
maximum
displacement

본 연구는 경사계에 의한 지중수평변위 계측값을 중심으로 수치해석에 적용하기 위한 지반 반력계수를 다양한 이론 및 경험식으로 산출하여 비교하였다. 산정된 지반반력계수의 변화에 따라 벽체 최상단에서는 벽체변위의 최소값과 최대값의 차이가 6.80배로 크게 났으나, 최대 변위점에서는 차이는 거의 없는 1.06배로 나타나 지반반력계수의 증분에 비해 변위의 차이는 작으며 전체적으로 비슷한 값을 나타내었다. 또한 최대변위 발생점에서의 변위를 수치해석한 결과와 계측치로 비교한 결과 변위형상은 비슷하게 나타났다.

현장계측
수치해석
경험식
최대변위

© 2017 Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 82-31-570-9895. Fax. 82-31-570-9898.
Email. jtwoo@kbu.ac.kr

ARTICLE HISTORY

Received Jan. 17, 2017
Revised Feb. 3, 2017
Accepted Apr. 25, 2017

1. 서론

최근 우리나라는 급속한 경제발전으로 인한 도시화와 지하 공간개발로 인하여 대규모의 굴착 건설공사가 진행되고 있다. 이러한 대규모 굴착 건설공사는 사고 발생시 큰 피해를 유발하게 되므로 보다 안전측의 설계를 하거나 건설 신기술 및 신공법을 도입하여 시공하는 사례가 많아지고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 정보화 시공인 예측관리 기법이 도입되었으며 이 방법은 설계, 시공을 계획하고 시공이 진행되는 동안 구조물의 설계자료와 거동 예측자료를 현장계측자료와 비교 검토함으로써 안전상태를 판단하여 위험가능성이 발생할 경우에는 신속하고 적절한 보강대책을 강구할 수 있도록 정량적인 수치자료를 제공하여 공사 안전관리에 도움을 주고 있다(Kim et al., 2016).

흙막이벽체는 지하 구조물 축조를 위한 일시적인 토류시설로서 역할을 하는 것으로서 설계시 지반굴착에 따른 토압 및 수압에 안전하게 저항해야 하며, 굴착주변 지반의 변위도 안전하게 관리되어야 한다(Woo et al., 2016).

일반적으로 개착공법은 흙막이 벽체로서 강재엄지말뚝과 목재 등을 사용하는 연성벽체로서 지지구조로는 강제 버팀보와 하부 암반구간에는 어스앵커 또는 록볼트 등을 사용하고 있다. 이러한 연성벽체의 경우, 굴착진행에 따른 토압변화는 지지방식과 선행 하중의 크기 여부에 따라 옹벽과 같은 강성벽체의 거동과는 상당히 다를 것이다(Woo et al., 2015).

일반적으로 토목구조물의 설계는 많은 가정을 포함한 이상화된 모델에 의하여 설계되므로 시공시 예기치 못한 과도한 토압이 작용하면 흙막이 벽체뿐만 아니라 인접 건물 등에 큰 영향을 미치기 때문에 현장계측을 실시하고 그 결과를 피드백하여 설계 및 시공에 반영하는 노력이 필요하다(Woo et al., 2017).

흙막이 구조물 설계시 일반적으로 탄소성모델에 의한 수치해석기법으로 굴착단계에 따라 해석을 하여 굴착진행 중의 벽체 거동과 토압분포 등을 예측하고 있으며, 굴착완료 상태에서는 기존의 경험토압을 사용하여 벽체의 안정여부를 판단하고 있다.

본 연구는 경사계에 의한 지중수평변위 예측값을 중심으로 29m 깊이로 굴착이 수행된 흙막이구조물의 현장계측 자료를 분석하였고, 수치해석에 적용하기 위한 지반반력계수를 다양한 이론 및 경험식으로 산출하여 비교하였다. 또한 계산된 지반 반력계수를 탄소성법의 범용프로그램에 입력시켜 구한 벽체변위와 예측치를 굴착완료시와 최대변위 발생점으로 구분하여 비교 분석을 실시함으로써 흙막이 벽체 설계 및 시공에 이용할 수 있는 정량적인 자료를 제시하고자 한다.

2. 현장계측 수행 및 결과 분석

2.1 현장계측 수행

본 연구대상 지역은 Fig. 1 및 Fig. 2와 같이 서울 강남구의 동부간선도로에서 지하철0호선과 00선이 교차되는 지역으로 00정거장 환승층 및 00선정거장으로 시공된 지점이며, 굴착폭은 31m, 굴착깊이는 29m로 흙막이구조물은 강재엄지말뚝과 토류벽을 사용한 흙막이 지지구조로써 토사층인 지표부터 18m하부에는 6단의 버팀보를 설치하였으며, 암반층인 하부 18m에서 29m에는 5단의 어스앵커를 설치하면서 굴착이 수행되었다.

굴착에 따른 지반의 거동을 파악하기 위한 계측항목으로 지중수평변위, 지하수위, 버팀보 축력에 대한 계측을 실시하였으며(John Dunicliff, 1988), 대표단면 계측지점인 41K125지점에 지중수평변위계 2개소, 지하수위계 2개소, 버팀보축력계 1단에서 5단까지에 5개소를 설치하여 약 1년 6개월 동안 현장계측을 수행하였다(SMGOSC, 1993).

시추조사 결과 토사층은 실트질 모래로 구성되어 있으며, 지표면 아래 3.8m까지 분포하고 표준관입시험에 의한 N치는 3회/30cm~4회/30cm로 매우 느슨한 편이다. 풍화토층의 두께는 6.1m로서 모래섞인 자갈층으로 표준관입시험에 의한 N치는 23회/30cm~35회/30cm로서 중간정도의 조밀한 상태일도 분포이다. 풍화암층은 암이 부식된 상태로 원형코아는 형성되지 않고 두께는 약 1.0m이며 표준관입시험에 의한 N치는 50회/18cm~50회/1cm의 대단히 조밀한 상태이다. 연암층은 암반이 풍화작용을 받아 균열 및 절리가 발달하였으며, 풍화대가 협제한 편이다(SMGOSC, 1993).

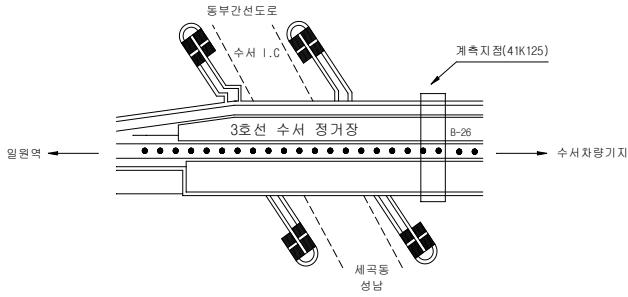


Fig. 1. Plan view of measurement point

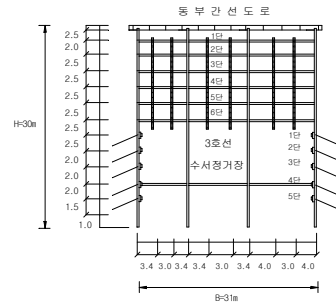


Fig. 2. Cross-sectional view of measurement point

2.2 현장계측 결과 분석

1) 지중수평변위

경사계에 의해 지중수평변위 계측 결과 Fig. 3과 같이 굴착을 완료한 후 지표면아래 10.5m지점에서 굴착전면으로 112.12mm의 최대변위가 발생하였으며, 지표면에서의 수평변위는 굴착전면으로 34.46mm의 변위가 발생하였다.

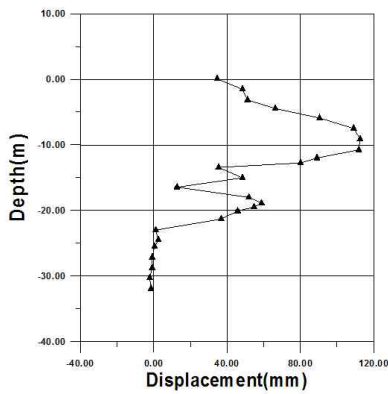


Fig. 3. Underground horizontal displacement

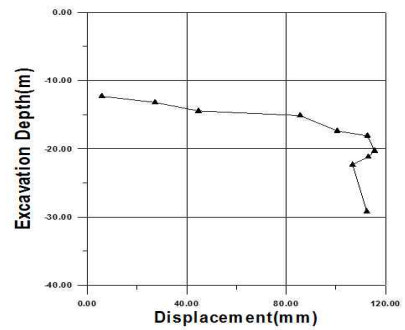


Fig. 4. Displacement at the maximum displacement point according to excavation

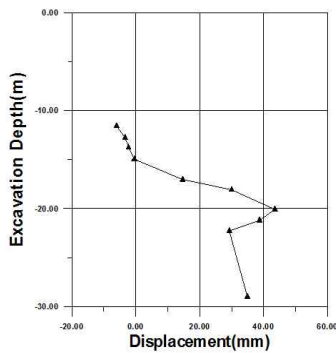


Fig. 5. Displacement at the surface according to excavation

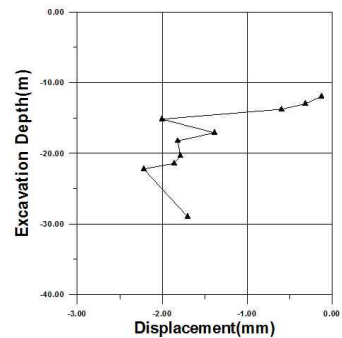


Fig.6. Displacement of excavating the bottom according to excavation

그리고 지표면아래 16.5m에서 22m까지는 연암층에도 불구하고 약60mm의 변위가 발생하였는데 이것은 지보재 설치지연 및 지하수위의 감소에 의한 과다변위로 판단된다.

지반굴착의 진행에 따라 벽체의 최대 변위 발생점에서의 굴착에 따른 변위는 Fig. 4 지표면에서의 굴착에 따른 변위는 Fig. 5, 굴착 바닥면에서의 굴착에 따른 변위는 Fig. 6과 같다.

Fig. 4와 Fig. 6에서와 같이 지중수평변위는 15~20m전후를 굴착할 때 가장 많은 수평변위가 발생하였는데 그 이유는 Fig. 7에서와 같이 15~20m굴착시 급격한 지하수위 저하로 인한 유효응력의 증가로 인하여 지반의 각 지점에서 탄성변위를 유발 시킨 것으로 판단된다.

2) 지하수위

지하수위계를 설치하여 지하수위를 측정할 결과 초기 측정수위가 최고수위이며, 굴착에 따라 지하수위가 저하되어 굴착 완료 후에는 지표면아래 21.1m에서 수위변동이 거의 없었다.

강우량이 적어 계절적인 지하수의 영향특성은 뚜렷하게 나타나지 않으며, 굴착에 따른 지하수위 변동은 Fig. 7에서와 같이 15~20m 굴착시 갑작스런 변화가 있었는데, 이곳의 토층은 풍화암이 15~16m이고 그 아래는 연암층이며 갑작스런 지하수의 유출은 굴착에 따라 암반의 절리가 대기 중에 노출되어 절리를 따라 지하수가 유출되었기 때문인 것으로 판단된다. 굴착깊이에 따른 버팀보의 축력변화는 Fig. 8과 같다.

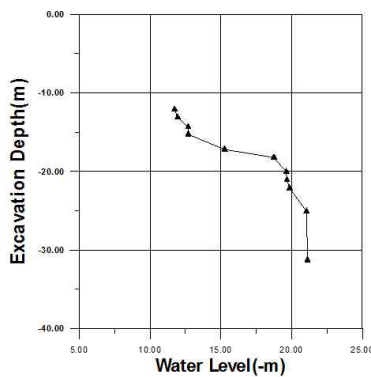


Fig. 7. Change of groundwater level according to excavation

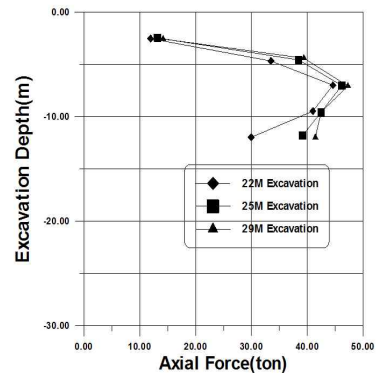


Fig. 8. The axial force change of strut according to depth of excavation

3. 수치해석 및 분석

3.1 지반반력계수 산정

기초에 작용하는 하중에 대한 지반침하의 비를 지반반력계수(Coefficient of subgrade reaction)라 하며, N치에 의한 지반반력계수와 점착력과 내부마찰각에 의한 지반반력계수로 구분하여 산정하였다.

1) N치에 의한 지반반력계수 산정

수평지반반력계수를 산정하는 방법은 일반적으로 표준관입시험에서 구한 N치에 의해서 지반반력계수를 구할 수 있으며, 표준관입시험값은 현장표준관입치를 Peck, Hanson & Thornburn에 의해 제안된 경험식에 의해 환산하여 사용하였다 (G.Rantucci., 1989).

$$N' = CNNF = 0.77NF \cdot \log(20/0.1030\sigma') \quad (\sigma' > 2.44 \text{ tonf/m}^2 \text{인 경우}) \quad (1)$$

여기서, N' 는 수정 표준관입치, N_F 는 현장 표준관입치, CN 은 보정계수로 정의한다. 식 (1)에 의해 환산된 표준관입치는 Table 1과 같다.

Table 1. Modify standard penetration value

Division	Measured standard penetration value	Modified standard penetration value
Soil	5	6
Decomposed soil	27	25

N 치에 의한 지반반력계수 산정은 후쿠오카 제안, 테르자기 제안, 요코야마 제안, 일본토질공학회 제안을 이용하여 산정하고 그 결과를 비교하였다.

(1) 후쿠오카 제안

후쿠오카는 점성토, 사질토, 사력암층에 보링을 실시하여 N 치와 K_h 의 관계를 대수 그래프로 나타내었고, 실측에 의한 데이터를 정리하여 95% 신뢰도의 값을 대표값으로 하여 아래의 식으로 표현하였다.

$$K_h = 0.691N^{0.406} \text{ (kgf/cm}^3\text{)} \quad (2)$$

여기서, K_h 는 수평지반반력계수, N 는 수정 표준관입치로 정의한다.

단위의 통일을 위해 $1.0\text{kgf/cm}^3 = 1,000\text{tonf/m}^3$, $1.0\text{tonf/m}^3 = 10\text{KN/m}^3$ 적용하였다.

수정 표준관입치로 수평지반반력계수를 계산한 결과 토사는 N 값이 6일 때 $15,000\text{KN/m}^3$, 풍화토는 N 값이 25일 때 $25,000\text{KN/m}^3$ 로 계산되었다.

(2) 테르자기 제안

테르자기는 지반반력계수와 표준관입치의 관계를 점토와 사질토로 구분하여 Fig. 9와 Fig. 10에 나타내었고, 두 그림을 비교해 보면 같은 N 값일 때 점토에서의 수평지반반력계수가 사질토인 경우보다 10배 이상 큰 값을 나타내었다.

수정 N 값인 토사 6인 경우 Fig. 10에서 수평지반반력계수는 0.23kgf/cm^3 인 $2,300\text{KN/m}^3$ 로 산출되었다.

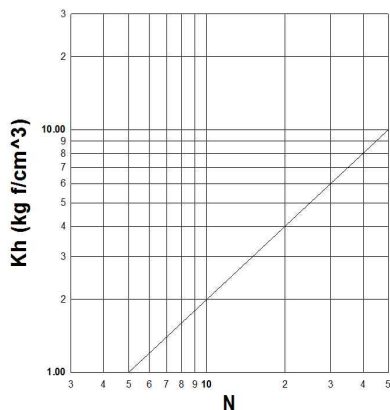


Fig. 9. K_h of Terzaghi(clay)

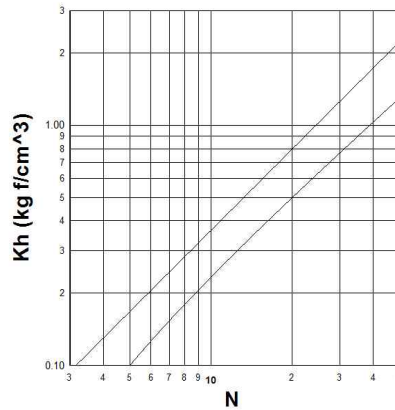


Fig. 10. K_h of Terzaghi(sandy soil)

(3) 요코야마 제안

이 값은 말뚝의 횡저항 시험에서 역산한 수치이며, 점성토와 사질토로 나누어 시험결과를 정리하면 Fig. 11과 같다. 이때 정지토압계수가 0.80~0.85범위에 있는 점성토와 정지토압계수가 $1 - \sin\phi$ 인 사질토로 나누어 수평지반반력계수 추정식을 Table 2에 나타내었다.

수정 N값인 토사 6인 경우 Fig. 11에서 수평지반반력계수는 2,500KN/m³로 산출되었다.

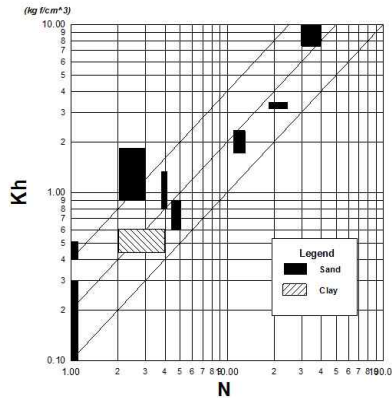


Fig. 11. Relationship of N values and K_h by Yokoyama

수정 N값으로 수평지반반력계수를 Table 2에 의해 계산한 결과 토사는 N값이 6일때 3,750KN/m³, 풍화토는 N값이 25일때 15,620KN/m³로 계산되었다.

Table 2. Relationships of N values and K_h By Yokoyama

Division	Earth pressure at rest	Horizontal subgrade reaction modulus
clay	Earth pressure at rest to 0.8 to 0.85	$K_h = C$ K_h : horizontal subgrade reaction modulus(kgf/cm ³) C : soil cohesion(kgf/cm ²)
sandy soil	sum of earth pressure at rest($K_0=1-\sin\phi$) and water pressure	$K_h = N/16$ K_h : horizontal subgrade reaction modulus(kgf/cm ³) N : N value in Front of the excavation face

(4) 일본토질공학회 제안

일본토질공학회에서 토류벽 해석시 Table 3의 지반반력계수가 쓰이고 있다.

Table 3. N values and coefficient of subgrade reaction in sandy soil and clay

sandy soil		clay	
N value	K value(kgf/cm ³)	N value	K value(kgf/cm ³)
$N \leq 10$	0.1~0.5	$N \leq 2$	0.1~0.5
$10 < N \leq 20$	0.5~1.5	$2 < N \leq 5$	0.5~1.0
$20 < N \leq 30$	1.5~2.5	$5 < N \leq 10$	1.0~2.0
$30 < N \leq 40$	2.5~3.0	$10 < N \leq 15$	2.0~3.0
$40 < N \leq 50$	3.0~3.5	$15 < N \leq 30$	3.0~4.0
$50 < N \leq 100$	3.5~5.0	$30 < N \leq 50$	4.0~5.0

수정 N값으로 수평지반반력계수를 Table 4에 의해 산출한 결과 토사는 N값이 6일 때 0.3kgf/cm²이므로 3,000KN/m³, 풍화토는 N값이 25일 때 2.0kgf/cm²이므로 20,000KN/m³로 산출되었다.

2) 점착력과 내부마찰각에 의한 지반반력계수 산정

통상적인 토질실험에서 구해지는 점착력과 내부마찰각을 이용하여 경험적으로 지반반력계수를 구할 수 있으며, 지반의 내부마찰각이 0일 때의 수평지반반력계수는 식(3)과 같다.

$$K_h = 500 [1 + C/4] \text{ (tonf/m}^3\text{)} \quad (3)$$

여기서, K_h 는 수평지반반력계수, C 는 점착력(tonf/m²)

토질실험에서 토사의 점착력은 18.4tonf/m², 풍화토의 점착력은 29.6tonf/m²로 위의 식으로 계산한 결과 수평지반반력계수는 토사가 28,000KN/m³, 풍화토가 42,000KN/m³로 계산되어 점착력과 내부마찰각에 의해 구해지는 수평지반반력계수가 표준관입시험치에 의해 구해지는 수평지반반력계수보다 상당히 큰 값을 나타내었다.

3) 지반반력계수 비교

수정 표준관입치인 N 치를 후쿠오카, 테르자기, 요코야마, 일본토질공학회에서 제안한 값과 점착력과 내부마찰각에 의하여 수평지반반력계수를 산정한 결과는 Table 4와 같다.

토사층을 기준으로 테르자기에 의해 산정된 지반반력계수가 가장 작으며, 점착력과 내부마찰각에 의해 산정된 값이 가장 크게 나타났다(Lee et al., 2008). 또한, 풍화암과 연암은 표준관입시험에 의한 N 치를 구하는 것이 불가능하므로 지반반력계수를 C, ϕ 에 의해 구한 80,000KN/m³과 120,000KN/m³을 입력하여 수치해석을 실시하였다.

Table 4. Coefficient of subgrade reaction(K_h) calculation

Division	Coefficient of subgrade reaction(KN/m ³)					
layer	modified N	Fukuoka	Terzaghi	Yokoyama	Japanese Society of Soil Mechanics	Estimated to C, ϕ
clay	6	15,000	2,300	3,750	3,000	28,000
sandy soil	25	25,000	20,000	15,620	20,000	42,000

3.2 수치해석 순서

흙막이구조물의 수치해석은 탄소성보법을 이용하여 단계별 굴착 해석이 가능한 범용프로그램인 SUNEX를 사용하였다. 본 프로그램은 지반을 탄소성 거동을 하는 스프링으로 가정하고, 벽체의 횡방향 지지를 위해 지반반력계수를 사용하여 단계별 굴착과 지보공에 따른 흙막이벽의 변위, 전단력, 휨모멘트 및 지보공의 축방향력을 계산한다.

Table 4와 같이 각각의 산정식에 의해 산정된 지반반력계수로 해석을 수행하였으며, 해석 대상지점의 토류구조물은 Fig. 2와 같이 엄지말뚝과 토류관으로 되어 있으며, 최상단은 1단의 I빔이 설치되었고, 그 아래로 6개단의 버팀보가 설치되었으며, 암반부에는 1단의 횡대와 5개단의 앵커가 설치되었다.

해석은 굴착과 함께 버팀보 및 어스앵커 설치를 총 13단계로 나누어 해석하였으며, 각 해석단계는 다음과 같다.

1단계 : 복공판 하부의 I빔 설치를 위해 4.0m까지 굴착, 2단계 : I빔 설치 후 6.5m까지 굴착, 3단계 : 1단 버팀보 설치 후 8.5m까지 굴착, 4단계 : 2단 버팀보 설치 후 11.0m까지 굴착, 5단계 : 3단 버팀보 설치 후 13.5m까지 굴착, 6단계 : 4단 버팀보 설치 후 16.0m까지 굴착, 7단계 : 5단 버팀보 설치 후 18.5m까지 굴착, 8단계 : 6단 버팀보 설치 후 22.0m까지 굴착, 9단계 : 1단 앵커 설치 후 25.0m까지 굴착, 10단계 : 2단 앵커 설치 후 27.0m까지 굴착, 11단계 : 3단 앵커 설치 후 28.0m까지 굴착, 12단계 : 4단 앵커 설치하고, 횡대를 댄 후 최종굴착 심도 29.0m까지 굴착, 13단계 : 5단 앵커 설치 순으로 해석이 진행되었다.

3.3 수치해석 결과

각각의 산정식에 의해 산정된 지반반력계수로 해석을 수행한 결과는 Fig. 12 및 Table 5와 같으며, 벽체 변위 해석결과 벽체 최상단에서 굴착 전면쪽으로 5.09~34.82mm의 변위를 나타내었으며, 최대변위는 지표면 아래 10.5m에서 113.92~120.56mm의 값을 나타냈다.

변위는 테르자기에 의해 제안된 지반반력계수에 의한 수치해석 결과가 가장 크게 나왔으며, C 및 ϕ 로 추정된 변위가 가장 작게 나왔다. 각각 산정된 지반반력계수의 변화에 따라서 벽체 최상단에서는 벽체변위의 최소값과 최대값의 차이가 6.80배로 크게 났으나 최대 변위점에서는 최소값과 최대값의 차이는 거의 없는 1.06배로 나타나 지반반력계수의 증분에 비해 변위의 차이는 작으며 전체적으로 비슷한 값을 나타내었다.

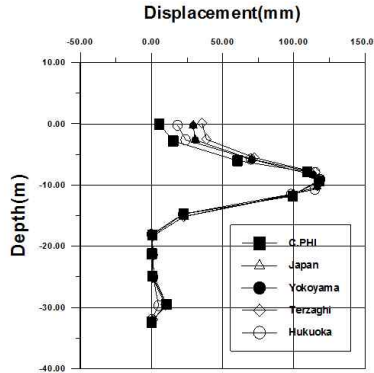


Fig. 12. Displacement of walls by numerical analysis

Table 5. Result of wall displacement analysis

Theory	Displacement (mm)			
	Walls Top displacement	Size ratio	Maximum displacement	Size ratio
Hukuohkka	17.43	3.40	114.87	1.01
Terzaghi	34.82	6.80	120.56	1.06
Yokoyama	27.00	5.30	118.06	1.04
Japan Soil Engineering	28.68	5.60	116.85	1.03
Estimation(c, ϕ)	5.09	1.00	113.92	1.00
measurement	34.46	6.77	112.12	0.99

4. 계측치와 수치해석치의 비교분석

4.1 최대 지중수평변위 비교

각각의 산정식에 의해 산정된 지반반력계수로 해석을 수행한 결과 Fig. 13과 같이 최대 지중수평변위는 지표면 아래 10.5m에서 113.92~120.56mm로 계측치 112.12mm와 비슷한 값들을 나타내었다.

벽체 최상단과 최대변위점에서 계측된 값이 각각 34.46mm와 112.12mm로 일본토질공학회식으로 산정한 지반반력계수로 해석한 결과 28.68mm와 116.85mm가 가장 근사치를 나타내었다.

벽체 최상단에서는 버팀보를 고정시키기 위하여 책으로 선행하중을 가하지 않았으나, 그 이하 버팀보에서는 일부 선행하중을 가하였으며, 선행하중이 적용되지 않은 곳에서는 지반반력계수의 변화에 따라 민감한 변위차를 보였으나 선행하중이 가해진 곳에서는 지반반력계수가 변하더라도 변위차가 적으며 이는 초기하중이 지반의 변위를 억제하는 것으로 판단된다.

지표면아래 18~25m에서 해석치는 거의 변위가 발생하지 않으나 계측치는 약 60mm정도 굴착전면으로 수평변위가 발생하였다. 이것은 15~20m 굴착시 6.85m의 급격한 지하수위의 저하로 인한 유효응력의 증가로 인하여 변위가 발생한 것으로 판단된다. 지표면아래 25m부터 수치해석결과는 굴착전면으로 변위가 발생하였으나 계측결과는 굴착배면쪽으로 변위가 발생한 것으로 나타났으며, 각각의 산정식에 의한 수치해석결과와 계측결과의 비교는 Fig. 13과 같다.

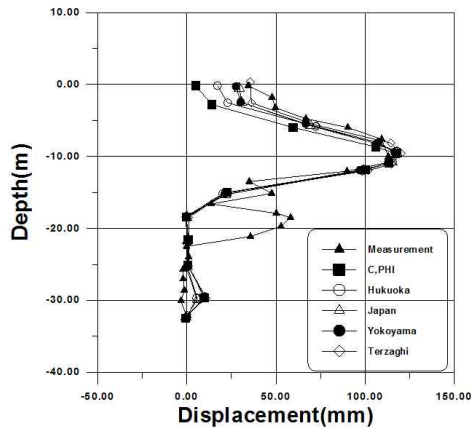


Fig. 13. Displacement comparison of the measurement results and the numerical result (at the completed excavation)

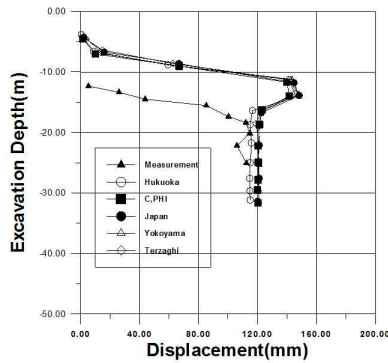


Fig. 14. Ground horizontal displacement comparison of the measurement results and the numerical results at the maximum displacement point

4.2 최대 변위 발생점에서의 변위 비교

각각의 산정식에 의해 산정된 지반반력계수로 최대변위 발생점에서의 굴착에 따른 수치해석결과와 계측결과 비교는 Fig. 14와 같으며 계측과 수치해석의 변위형상은 비슷하게 나타났다.

수치해석에서는 초기변위가 4.5m 굴착시부터 시작되어 계속적인 변위가 발생되었으나 계측에서는 12m굴착 이전 까지는 거의 변위가 발생하지 않다가 12m굴착 이후부터 지속적으로 변위가 발생하기 시작하여 차이를 보였다.

5. 결 론

본 연구는 경사계에 의한 지중수평변위 계측값을 중심으로 30m 심도로 굴착이 수행된 흙막이구조물의 현장계측 자료를 분석하였고, 수치해석에 적용하기 위한 지반반력계수를 다양한 이론 및 경험식으로 산출하여 비교하였다. 또한 계산된 지반반력계수를 탄소성법의 범용프로그램에 입력시켜 구한 벽체변위와 계측치를 굴착완료시와 최대변위 발생점으로 구분하여 비교 분석을 실시한 결과는 다음과 같다.

1) 경사계에 의한 지중수평변위 계측 결과 굴착을 완료한 후 지표면아래 10.5m지점에서 굴착전면으로 112.12 mm의 최대변위가 발생하였으며, 지표면에서의 수평변위는 굴착전면으로 34.46mm의 변위가 발생하였다. 또한 굴착 깊이가 15~20m정도에서 가장 많은 수평변위가 발생하였는데 그 이유는 급격한 지하수의 저하로 인한 유효응력의 증가로 지반의 각 지점에서 탄성변위를 유발시킨 것으로 판단된다.

2) 수정 표준관입치인 N치를 후쿠오카, 테르자기, 요코야마, 일본토질공학회에서 제안한 값과 점착력과 내부마찰각에 의하여 산정한 결과는 토사층을 기준으로 테르자기에 의해 산정된 지반반력계수가 가장 작으며, 점착력과 내부마찰각에 의해 산정된 값이 가장 크게 나타났다.

3) 수치해석결과 지중수평변위는 테르자기에 의해 제안된 지반반력계수에 의한 수치해석 결과가 가장 크게 나왔으며, c 및 ϕ 로 추정된 변위가 가장 작게 나왔다. 각각 산정된 지반반력계수의 변화에 따라서 벽체 최상단에서는 벽체변위의 최소값과 최대값의 차이가 6.80배로 크게 낮으나, 최대 변위점에서는 최소값과 최대값의 차이는 거의 없는 1.06배로 나타나 지반반력계수의 증분에 비해 변위의 차이는 작은 것으로 나타났다.

4) Table 4에서 산정된 지반반력계수로 수치해석을 수행한 결과 최대 지중수평변위는 지표면 아래 10.5m에서 113.92~120.56mm로 계측치 112.12mm와 비슷한 값들을 나타내었고, 벽체 최상단과 최대변위점에서 계측된 값이 각각 34.46mm와 112.12mm로 일본토질공학회식으로 산정한 지반반력계수로 해석한 결과 28.68mm와 116.85mm가 가장 근사치를 나타내었다.

5) Table 4에서 산정된 지반반력계수로 최대변위 발생점에서의 변위를 수치해석한 결과와 계측치로 비교한 결과 수치해석에서는 초기변위가 4.5m 굴착시부터 시작되어 지속적인 변위가 발생되었으나, 계측에서는 12m굴착 이전까지는 거의 변위가 발생하지 않다가 12m굴착 이후부터 지속적으로 변위가 발생하기 시작하여 차이를 보였다.

References

- G. Rantucci. (1989), Computer and Physical Modelling in Geotechnical Engineering, Balkema
- John Dunncliff. (1988). Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance, Wiley.
- Kim, J.K., Park, H.G., Nam, J.W. (2016). "Proposal of the Modified Management Criteria Value in Earth Retaining Structure using Measured Data." Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol.20, No.1, pp.95-103
- Lee, S, Kim, S.K. (2008), "A study of deformation analysis about earth retaining wall", Journal of Korean Geotechnical Society, Vol. 24, No. 2, pp. 27-36.
- P. B.Attewell, R. K.Taylor. (1984), Ground Movements and Their Effects on Structures, Surrey University Press,
- SMGOSC(Seoul Metropolitan Government Office of Subway Construction). (1993),"Subway Line 3 extension 3-7 construction supervision synthesis report.
- SMGOSC(Seoul Metropolitan Government Office of Subway Construction). (1993),"General report on extension of subway line 3 construction supervision"
- Woo, J.T., Kwon, S.H. (2015), Basic Practice of Construction Measurement, Circom, pp.75-83.
- Woo, J.T., Lee, R.C. (2016), Construction Measurement Application Practice, Circom, pp.289-293.
- Woo, J.T., Lee, R.C. (2017), Construction Measurement Theory and Practice-Underground construction facilities, Circom, pp.125-126.