

국내 지반조건을 고려한 흙막이 벽체에 작용하는 토압

The Lateral Earth Pressure on Braced Cut Walls Considering Subsoil Condition in Korea

채영수 Young-Su, Chae *

문 일 Il, Moon **

* 수원대학교 공과대학 토목공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil Eng., Suwon University

** 동아엔지니어링 토목사업 2부, Civil 2 Dept., Dong-Ah Eng. Company, Seoul

Synopsis : It is well recognized that accurate analysis of lateral earth pressure is very significant factor which determines the design amount of braced cut walls and braced systems. Many researchers, Peck, Terzaghi-Peck and so on, make a study about lateral earth pressure to act on the flexible walls. But these studies trouble accurate to multy layered systems like inland areas in Korea. This study is compared with the field measurement data to estimate the earth pressure distributions in multy layered areas and the empirical earth pressure distributions. The conclusions are as follows : At final excavation depth, the lateral earth pressure which measured by field instrument is smaller than the empirical earth pressure. (About 1.85 ~ 5.32 times) In the case of considering the soft rock layer to the final excavation depth, the measured earth pressure is safe to be compared with empirical earth pressure. The measured earth pressure distributions are like that the upper soil layer is small the middle soil layer is large, the rock mass layer is very small.

1. 서론

도시지 지하 굴착시 자주 사용되는 Open cut 공법은 수평토압의 크기에 따라 흙막이 벽체 및 지지구조의 단면이 결정되므로 수평토압의 정확한 산정이 무엇보다 중요한 요소임은 잘 알고있는 사실이다. 수평토압에 관한 연구는 Coulomb(1776), Poncelet(1840), Rankine(1857), Sokolovski, Dubrova 등 많은 학자들에 의해 연구되어 왔으나 이들 연구의 대부분은 옹벽과 같은 강성벽체에 관한 연구였으며 Soil-Structure 상호작용에 따라 단계별로 토압이 달라지는 연성벽체에는 적용이 곤란하다. 한편 Peck (1943), Terzaghi-Peck(1967)은 Berlin의 Sand 지반에서 Krey가 수집한 계속자료를 근거로하여 연성벽체에 작용하는 경험적인 토압분포도를 제안하게 되었으며 현재 국내에서는 이러한 경험적인 토압분포도를 흙막이공의 설계시 주로 이용하고 있다. 하지만 이는 외국의 지반조건으로 단일지층에 대한 연구였고 우리나라 내륙지방의 지반조건인 매립층, 충적층, 풍화암층, 연암층, 경암층으로 구성된 혼합지층에 직접 적용시키는 것은 무리이다. 특히 암반층이하 굴착시 상기한 외국의 경험토압 이론을 적용할 경우 암반층에 작용하는 토압을 일반 토사층과 동일하게 취급함으로써 과다 설계가 될 수 있다. 본 연구에서는 Vibrating wire type의 Strain gage가 내장된 Load cell로서 토압을 측정하고 국내 설계시 주로 이용하는 Terzaghi-Peck(1967)토압, Peck (1969)토압, Tschbotarioff(1973) 토압, 일본건축학회에서 제시된 토압과 비교하며 암반층 이하에서 측정된 토압과 암반의 공학적인 특성을 상호 비교 연구하고자 한다.

2. 이론적배경

2.1 Braced cut wall에 작용하는 토압

초창기에는 Braced cut wall에 작용하는 토압은 Rankine 또는 Coulomb의 토압이론에 지배를 받을것으로 생각했었지만 Bowles은 Braced cut wall의 경우 흙-구조물 상호작용에 따라 토압은 Rankine 또는 Coulomb의 토압이론과는 달리 시공 단계별로 그림 2.1과 같이 작용한다고 주장했다.

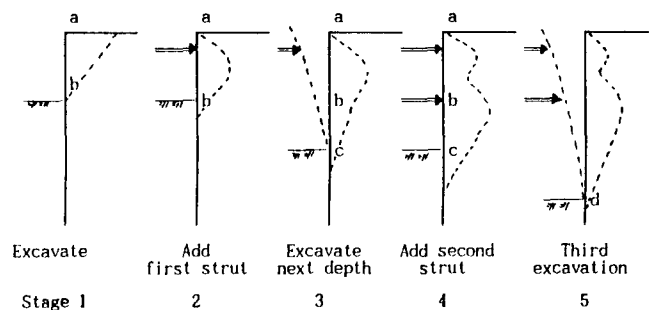


그림 2.1 굴착단계별 토압 분포도

Cantilever 단계인 단계 1에서 벽체는 주동토압을 받게되며 Soil-Structure 상호작용에 따른 벽체 변형량은 F·E·M 해석에의해 구할 수 있다. 단계 2에서 Strut에 Prestress를 주게 되는데 이때 Strut force는 소성명형 상태에 있는 흙에 변형을 일으킬 수 있는 힘 즉 주동토압보다 큰 힘을 주어야 하므로 단계 1에서의 주동토

압보다 큰 토압이 벽체에 작용된다. 단계 2에서 굴착이 계속 진행 되면 측방변형이 b~c 사이에 발생되고 b~c 사이에서 발생한 Soil Creep의 영향만큼 Strut force는 감소하게 될 것이다. 2단 Strut를 설치하면 정상적인 토압분포도는 단계 4와 같이 될 것이며 이후 굴착에 따라 지반손실이 생겨 단계 5에서 보이는 것과 같은 토압 분포도가 된다. 이러한 결과로 보아 Braced cut walls에 작용하는 토압은 순수한 토압에 직접적인 영향을 받기 보다는 Strut에 가해지는 Prestress력에 지배를 받게 될 것이다.

Berlin의 모래지반에서 Krey가 수집한 자료를 가지고 Peck(1943)과 Terzaghi-Peck(1967)은 Braced cut walls에 작용하는 경험적인 토압분포도를 그림 2.2과 같이 제안하였고 지속적인 연구를 통해 Peck(1969)은 토압분포도를 그림 2.3와 같이 수정하여 제안하였으며 Tschbotarioff(1973)은 그림 2.4과 같이 토압분포도를 제안했다. 한편 일본건축학회에서는 그림 2.5와 같이 경험토압분포를 수정하여 사용하고 있다.

Swatec et al(1972)은 굴착 깊이가 깊을 경우 Tschbotarioff 토압 분포도가 Terzaghi-Peck의 토압분포도에 비해 더 정확하다고 주장 하였으며 일반적으로 굴착깊이가 16m를 초과할 경우 Tschbotarioff 토압이 Terzaghi-Peck 토압에 비해 더 정확하다고 하였다.

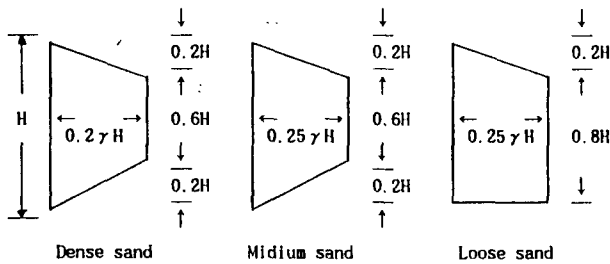


그림 2.2 Terzaghi-Peck의 경험토압 분포도

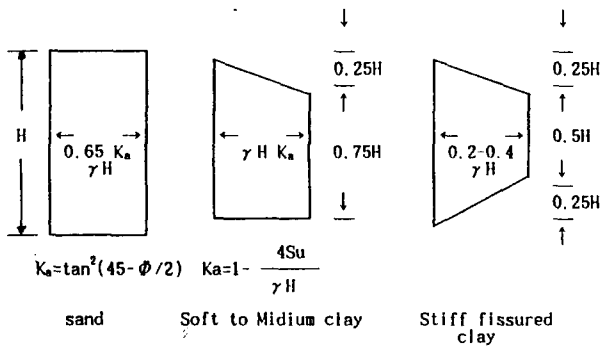


그림 2.3 Peck의 경험토압 분포도

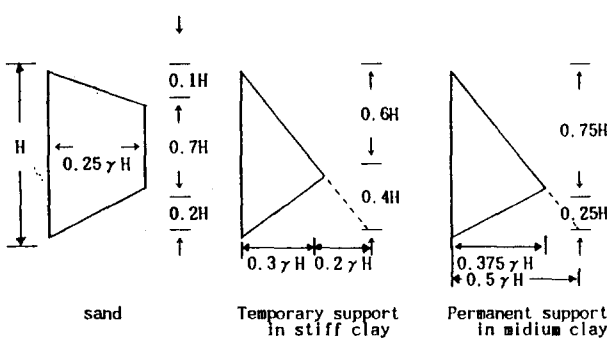


그림 2.4 Tschbotarioff의 경험토압 분포도

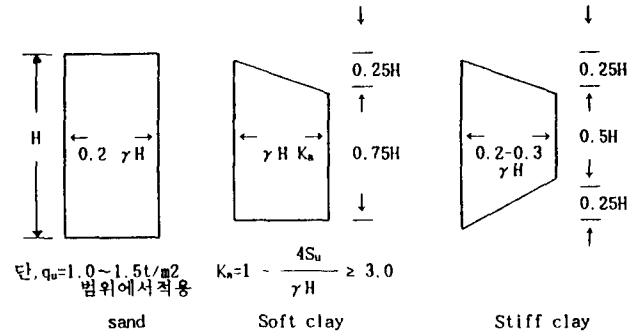


그림 2.5 일본건축학회에서 제시한 경험토압 분포도

2.2 R·M·R 분류법

Terzaghi(1964)는 암반분류에 있어 중요한 사항으로 암반의 불연속면, 절리간격, 암 사이의 협재물(Filling Materials)이 암질을 결정하는데 중요한 Parameter라고 주장하였다. 하지만 Terzaghi의 분류는 암의 물성치(Properties)를 간과하는 경향을 보였는데 실제로 암반의 특성은 암의 Properties에 의해 크게 좌우된다. 예를들면 Chalk(호분)와 Granite(화강암)는 암의 물성치는 크게 다르지만 같은 등급으로 취급될 수 있기 때문이다. 이후 Wickham et al(1972), Bieniawski(1973, 1974, 1975, 1983), Barton et al(1975)에 의해서 암반의 여러 Parameter에 가중치를 적용하여 세분화된 암반분류가 시도 되었는데 이중 RMR 분류방법은 1973년 Bieniawski에 의하여 제시된 방법으로 일축압축강도, RQD %, 절리간격, 절리상태, 지하수의흐름, 절리방향등의 6가지 공학적 Parameter에 부합되는 점수를 각각 더하여 그 합으로서 암반을 정량적으로 분류하는 방식으로 암반을 5개등급으로 분류한다. 본 연구에서는 암의 물성치 및 여러가지 암반특성을 반영할 수 있는 RMR분류방법으로서 암반분류를 하였다.

2.3 계측기의 측정원리

본 연구에서 사용된 LOAD CELL은 진동현형(Vibrating wire type) 변위계가 내장된 것으로 측정원리는 그림 2.6과 같다.

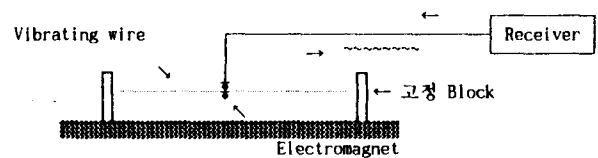


그림 2.6 Vibrating wire type Strain gage의 측정원리

그림 2.6과 같이 두개의 블럭 사이에 장력을 받고있는 wire가 있을 때 외력으로인해 두개의 블럭간 간격의 변화가 생기면 wire에 작용하는 장력이 변하게 되는데 이때 변화된 장력과 wire의 고유 진동수와는 일정한 관계가 성립하게 된다. 그림 2.6에서 wire와

일정한 간격을 유지하고 있는 전기코일에 순간적인 전압펄스를 가하면 코일은 순간적으로 wire를 잡아당겼다가 놓아주게 되는데 이때 wire는 진동을 유발하고 이 진동은 코일에 교류 전압을 발생시킨다. 이 출력전압의 진동수는 진동현의 고유진동수와 동일하므로 적당한 진동수 측정장치로 출력전압의 진동수를 감지함으로써 wire의 장력을 구하게 된다. 철선의 초기 진동수를 f_1 라 하면 f_1 는 식(2.1)와 같이 표현된다.

$$f_1 = K \cdot \sqrt{\epsilon_1} \dots\dots\dots (2.1)$$

양변을 제곱하면 초기 변형을 ϵ_1 는 식(2.2)가 된다.

$$f_1^2 = K^2 \cdot \epsilon_1$$

$$\therefore \epsilon_1 = \frac{1}{K^2} \cdot f_1^2 \dots\dots\dots (2.2)$$

두 블럭간의 변형이 생기면 wire의 진동수도 변화하게 되는데 이때 wire의 진동수를 f_L 이라하면

$$f_L = K \cdot \sqrt{\epsilon_L}$$

양변을 제곱하면

$$f_L^2 = K^2 \cdot \epsilon_L$$

$$\therefore \epsilon_L = \frac{1}{K^2} \cdot f_L^2 \dots\dots\dots (2.3)$$

식(2.3)에서 식(2.2)를 빼면 식(2.4)과 같이되고 따라서 구하고자 하는 $\Delta\epsilon$ 는 식(2.5)과 같다.

$$\epsilon_L - \epsilon_1 = \frac{1}{K^2} \cdot f_L^2 - \frac{1}{K^2} \cdot f_1^2 \dots\dots (2.4)$$

$$\therefore \Delta\epsilon = \frac{1}{K^2} \cdot (f_L^2 - f_1^2) \dots\dots\dots (2.5)$$

여기서, K : wire의 강성

$$K = \frac{1}{2L} \sqrt{(A E / m)}$$

- f_1 : wire의 초기주파수
- f_L : wire의 나중주파수
- L : wire의 길이
- m : 단위길이당 wire의 질량

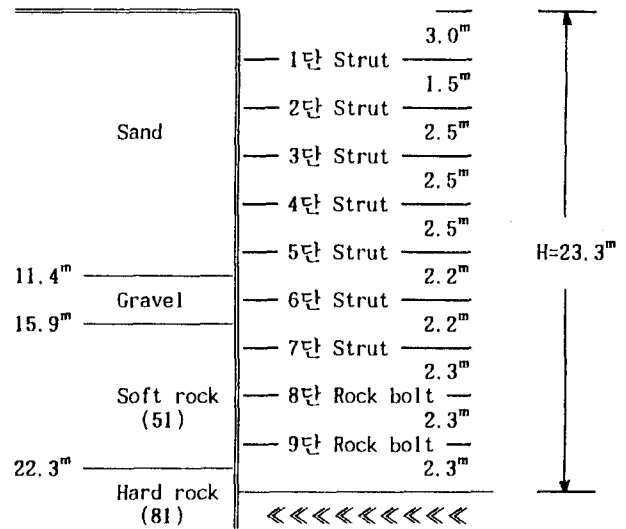
식(2.5)로부터 임의 부재에 변형율을 계산하고 Hook's Law 를 적용하여 부재에 작용된 압력 및 하중을 계산한다.

3. 연구내용 및 고찰

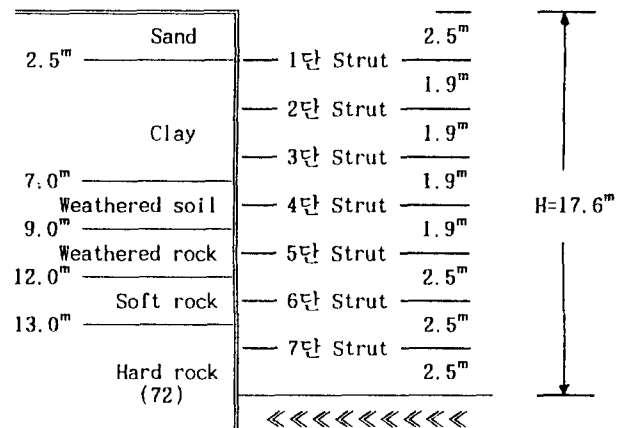
본 연구는 우리나라 내륙지방에서 흔히 볼수있는 매립토층, 충적

층, 풍화암층, 연암층, 경암층으로 구성된 잠실-성남간 지하 굴토공사에서 지반 조건이 상이한 4개단면에 대해 계측을 통해서 얻어진 결과를 이용하여 연구를 수행하였다.

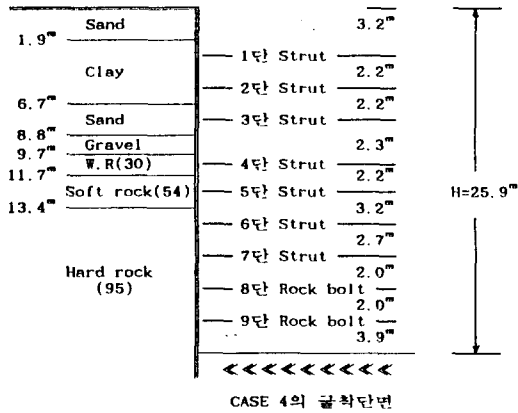
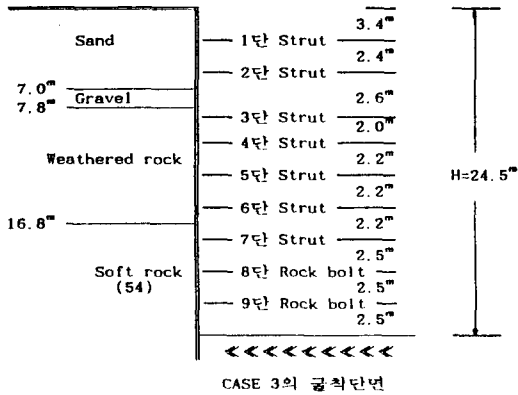
계측기기는 3~6개의 Vibrating wire type의 Strain gage가 내장된 Geokon Model 4900 Load cell을 사용하였다. Geokon Model 4900 Load cell의 계기 사양은 정확도가 0.5%FS, 민감도가 0.01%FS이며 온도 측정범위는 -40° ~ 75° 이고 하중측정 범위는 0.05t ~ 150t 이다. 연구수행은 4개단면에서 Geokon Model 4900 Load cell을 측정하여 얻은 결과와 흙막이 설계시 자주 사용되는 Terzaghi-Peck(1967)토압, Peck(1969)토압, Tschebotarioff(1973) 토압, 일본건축학회에서 제시한 토압을 계측결과와 비교, 연구하는 과정을 수행하였다. 본 연구의 대상단면은 도심지에서 주로 사용되는 Open cut공법으로 4개 단면 모두 엄지뿔과 토류판으로 벽체가 형성되고 있으며 Strut & Wale에 의한 지지방식을 주로하고 하부 암반층에서는 일부 Rock Bolt공법이 적용되고 있다. 그림 3.1는 4개 단면에 대한 굴착단면을 나타낸다.



CASE 1의 굴착단면



CASE 2의 굴착단면



여기서, ()안은 R·M·R 치를 나타냄.

그림 3.1 굴착단면도

표 3.1은 연구대상지역 암반에 대한 RMR 분류결과를 나타내며 분류결과 풍화암층은 R·M·R치가 평균 30으로 나타났고 연암층은 51~54의 범위이며 경암층은 70~95의 범위로 나타났다.

표 3.1 RMR 분류결과

Parameter	Case 1		Case 2	Case 3		Case 4		
	Soft Rock	Hard Rock	Hard Rock	Weathered Rock	Soft Rock	Weathered Rock	Soft Rock	Hard Rock
1. q_c	70 MPa	120 MPa	110 MPa	30 MPa	75 MPa	25 MPa	70 MPa	250 MPa
2. RQD	49 %	80 %	73 %	25 %	63 %	25 %	60 %	90 %
3. Joint Spacing	0.4 m	1.8 m	1.0 m	0.2 m	0.4 m	0.1 m	0.4 m	20 m
4. Condition Of Joint	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Soft joint wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Hard joint wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered wall rock	Gauge < 5 mm Thick Separation < 1-5 mm	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Gauge < 5 mm Thick Separation < 1-5 mm	Separation < 1 mm	No Separation
5. Ground Water	Water under moderate pressure	Moist only	Moist only	125 L/min 이상	70 L/min	125 L/min 이상	80 L/min	Completely dry
Total RMR	51	81	72	30	54	30	54	95

해석지반은 다층지반이므로 경험토압에 적용되는 지반 물성치는 층의두께에 따른 가중치를 고려하여 식(3.1), 식(3.2)와 같이 흙의 평균내부마찰각(ϕ_{avg})과 흙의평균단위중량(γ_{avg})을 산출하였다.

$$\phi_{avg} = \frac{\phi_1 H_1 + \phi_2 H_2 \dots \dots \phi_n H_n}{\sum H} \dots (3.1)$$

$$\gamma_{avg} = \frac{\gamma_1 H_1 + \gamma_2 H_2 \dots \dots \gamma_n H_n}{\sum H} \dots (3.2)$$

여기서, ϕ_i : i층의 흙의 내부마찰각 (°)
 γ_i : i층의 흙의 단위중량 (t/m³)
 H_i : i층의 흙의 두께 (m)

그림 3.2~3.5는 진동현형 Load cell의 측정결과에 의한 토압과 기존 제시된 경험토압을 비교한 토압분포도이다.

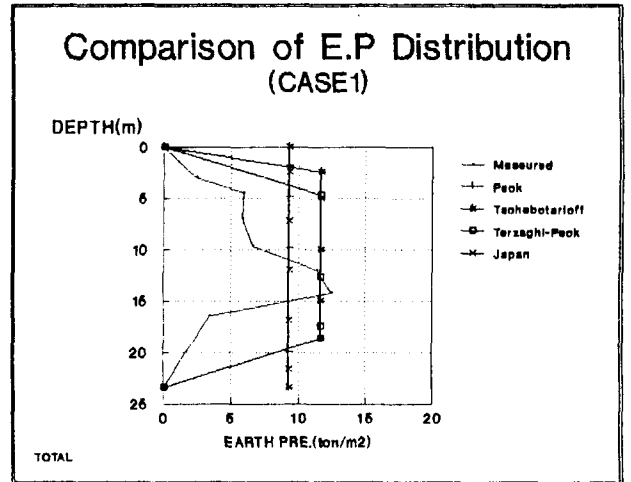


그림 3.2 CASE 1의 토압분포비교도(전체)

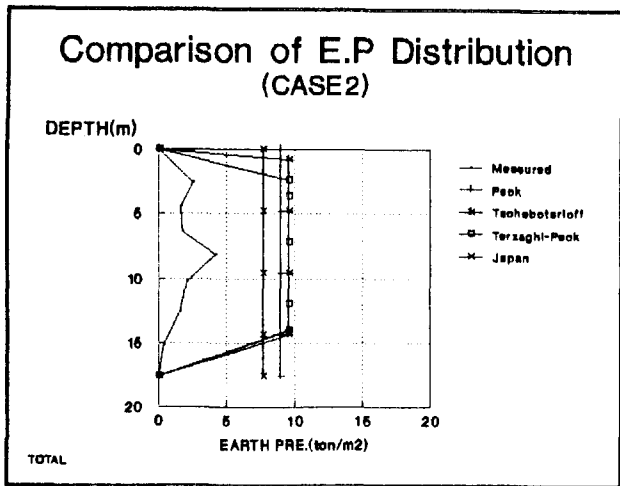


그림 3.3 CASE 2의 토압분포비교도(전체)

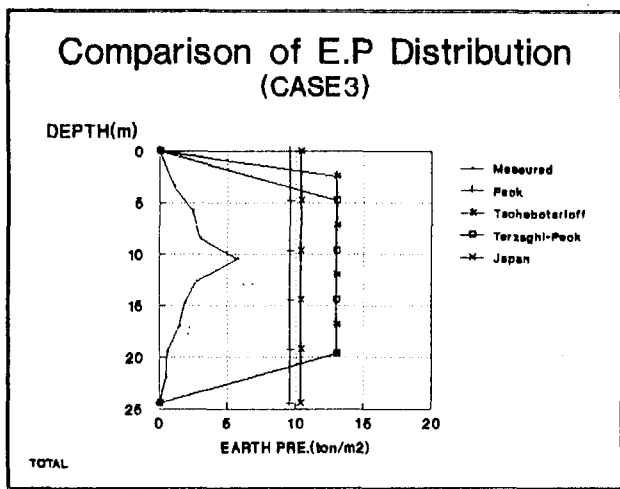


그림 3.4 CASE 3의 토압분포비교도(전체)

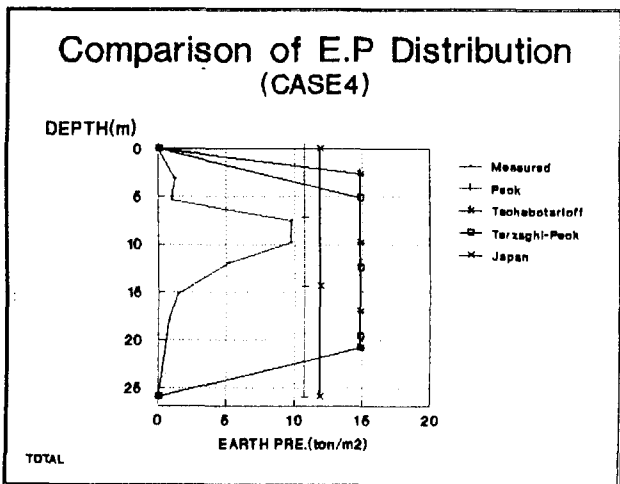


그림 3.5 CASE 4의 토압분포비교도(전체)

CASE 1의 경우 지반조건은 Sand 및 Gravel층이 GL(-) 15.92°, 연암층이 GL(-) 22.32°까지 분포하며 그 이하 경암층을 이루고 있고 최종굴착심도는 GL(-) 23.3°이다. 측정결과는 Gravel층인 GL(-) 14.2°에서 최대 토압이 발생하고 있다.

CASE 2는 Sand, Clay, 풍화토층이 GL(-) 9.0°, 풍화암층이 GL(-) 12.0°, 연암층이 GL(-) 13.0°까지 분포하며 그 이하 경암층을 이루고 있고 최종굴착심도는 GL(-) 17.6°이다. 측정결과는 풍화토층인 GL(-) 8.2°에서 최대 토압이 발생하고 있다.

CASE 3의 경우 Sand 및 Gravel층이 GL(-) 7.8°, 풍화암층이 GL(-) 16.8°까지 분포하며 그 이하 연암층을 이루고 있고 최종굴착심도는 GL(-) 24.5°이다. 측정결과는 풍화암층인 GL(-) 10.4°에서 최대 토압이 발생하고 있다.

CASE 4의 경우 Sand, Clay, Gravel층이 GL(-) 9.68°, 풍화암층이 GL(-) 11.75°, 연암층이 GL(-) 13.4°까지 분포하며 그 이하 경암층을 이루고 있고 최종굴착심도는 GL(-) 25.9°이다. 측정결과는 Sand층인 GL(-) 7.6°에서 최대 토압이 발생하고 있다.

계측토압과 경험토압을 비교한 결과 최대토압은 GL(-) 7.6°~14.2° 깊이의 토사층 및 풍화암층에서 발생되고 있으며 토압분포는 직사각형이 아닌 사다리꼴에 가까운 형태를 보이고 있다.

암반층이하 최종굴착심도까지의 굴착심도를 고려하여 토층별 토압의 크기 및 전체토압의 크기를 비교한 결과는 표 3.2~3.5와 같다.

표 3.2 토층별 토압크기 비교표(CASE 1)

(단위 : ton/m)

흙의종류	심도(m)	계측토압	Peck	Tsch.	T - P	일본건축학회
모래층	0.0~11.4	56.056	106.009	119.238	105.666	106.248
자갈층	11.4~15.9	48.158	42.031	52.658	52.658	42.126
연 암	15.9~22.3	13.639	59.514	57.583	57.583	59.648
경 암	22.3~23.3	0.237	9.113	1.250	1.250	9.134
TOTAL		118.090	216.667	230.729	217.157	217.156

표 3.3 토층별 토압크기 비교표(CASE 2)

(단위 : ton/m)

흙의종류	심도(m)	계측토압	Peck	Tsch.	T - P	일본건축학회
모래층	0.0~2.5	3.181	22.445	15.539	8.514	19.175
점토층	2.5~7.0	9.347	40.401	43.164	41.738	34.515
풍화토	7.0~9.0	7.074	17.956	19.184	19.180	15.340
풍화암	9.0~12.0	6.466	26.934	28.776	28.770	23.010
연 암	12.0~13.0	1.473	8.978	9.592	9.590	7.670
경 암	13.0~17.6	2.169	41.299	27.241	27.236	35.282
TOTAL		29.710	158.013	143.496	135.028	134.992

표 3.4 토층별 토압크기 비교표(CASE 3)

(단위 : ton/m)

흙의종류	심도(m)	계측토압	Peck	Tsch.	T - P	일본건축학회
모래층	0.0~7.0	9.034	66.878	74.988	59.105	72.730
자갈층	7.0~7.8	2.194	7.643	10.388	10.392	8.312
풍화암	7.8~16.8	28.020	85.986	116.865	116.910	93.510
연 암	16.8~24.5	4.749	73.566	68.171	68.198	80.003
TOTAL		43.997	234.073	270.412	254.605	254.555

표 3.5 토층별 토압크기 비교표(CASE 4)

(단위 : ton/m)

흙의종류	심도(m)	계측토압	Peck	Tsch.	T - P	일본건축학회
모래층	0.0~1.9	0.689	20.395	10.350	5.164	22.572
점토층	1.9~6.7	8.261	51.523	80.167	55.794	57.024
모래층	6.7~8.8	18.969	22.541	31.187	31.185	24.948
자갈층	8.8~9.7	8.602	9.446	13.069	13.068	10.454
풍화암	9.7~11.7	16.626	22.219	30.742	30.740	24.592
연 암	11.7~13.4	7.664	17.711	24.504	24.503	19.602
경 암	13.4~25.9	10.815	134.604	147.693	147.683	148.975
TOTAL		71.626	278.439	337.712	308.137	308.167

경험토압중 토압의 크기가 가장 작게 산정된 경우와 계측토압의 크기를 비교해 본 결과 전체토압의 크기는 CASE 1의 경우 54.5%, CASE 2의 경우 22.0%, CASE 3의 경우 18.8%, CASE 4의 경우 25.7%로 계측토압의 크기가 매우 작게 나오고있다.

각 토층별 토압크기는 CASE 1의 경우 SAND층에서 53.1%, GRAVEL층에서 114.6%, 연암층에서 23.7%, 경암층에서 19.0%로 계측토압의 크기는 상부 토사층에서 작게나오고 중간토사층에서 경험토압의 크기와 큰 차이가 없으며 하부 암반층에서는 크기가 감소하는 경

향을 보인다.

CASE 2의 경우 SAND층에서 37.4%, CLAY층에서 27.1%, 풍화토에서 46.1%, 풍화암에서 28.1%, 연암층에서 19.2%, 경암층에서 8.0%로 전체적으로 경험토압에 비해 작게 나오고 있고 특히 경암층의 경우 매우 작게 나오고있다.

CASE 3의 경우 SAND층에서 15.3%, GRAVEL층에서 28.7%, 풍화암층에서 32.6%, 연암층에서 7.0%로 CASE 2와 유사한 경향을 보이며 계측토압의 크기는 상부 토사층에서 작게나오고 중간토사층에서 경험토압의 크기와 큰 차이가 없으며 하부 암반층에서는 크기가 감소하는 경향을 보인다.

CASE 4의 경우 상부 SAND층에서 13.3%, CLAY층에서 16.0%, 하부 SAND층에서 84.2%, GRAVEL층에서 91.1%, 풍화암에서 74.8%, 연암층에서 43.3%, 경암층에서 8.0%로 중간 토사층에서는 경험토압의 크기와 차이가 적고 경암층에서는 토압크기가 큰 차이를 보인다.

결과적으로 암반층을 포함한 혼합지층에 대한 토압의 크기는 경험 토압이 1.85 ~ 5.3배나 크게 나타나며 특히 토사층에서는 차이가 크지 않으나 암반층에서는 큰 차이를 보이는 것을 알수있다. 그림 3.6~3.9는 표 3.2~3.5에 대한 전체토압의 크기를 막대 Graph로 나타낸 것이다.

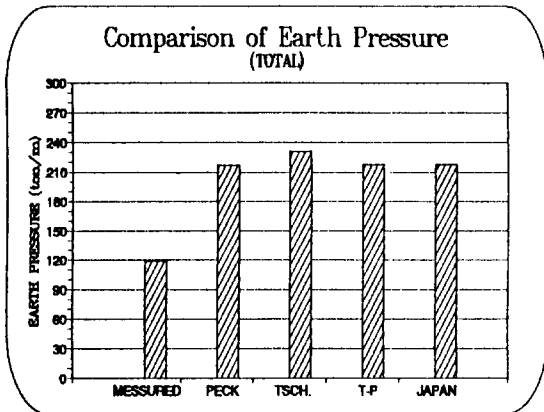


그림 3.6 CASE 1의 막대 Graph(전체)

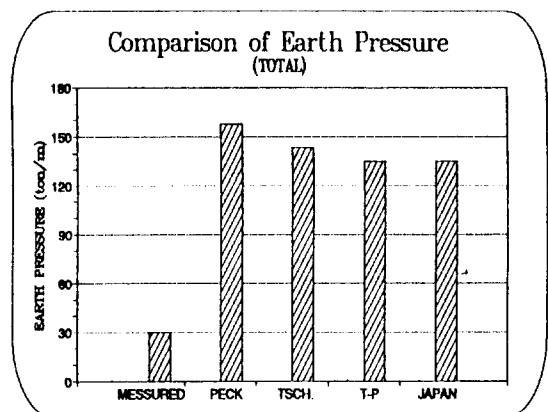


그림 3.7 CASE 2의 막대 Graph(전체)

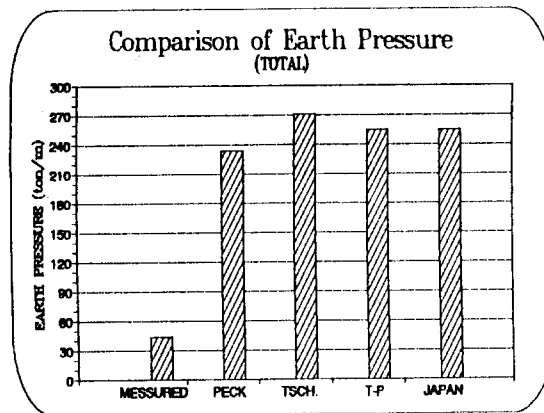


그림 3.8 CASE 3의 막대 Graph(전체)

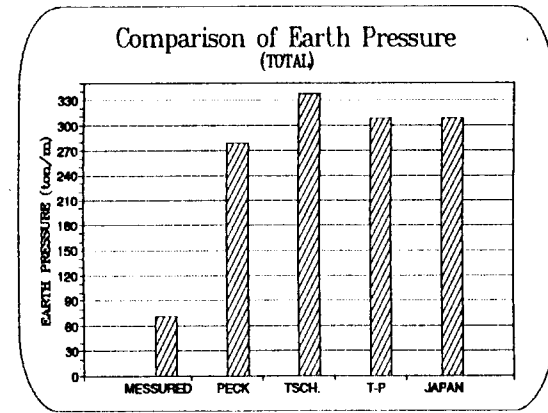


그림 3.9 CASE 4의 막대 Graph(전체)

한편 토사층까지만 굴착면으로 보아 경험토압의 크기를 산정하고 최종 굴착면까지 본 계측토압 크기와 비교한 결과는 표 3.6과 같다.

표 3.6 토사층까지 굴착면으로 본 경우의 토압크기 비교표

(단위 : ton/m)

	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4
Peck	107.635	94.116	115.937	92.226
Tschebotarioff	96.369	57.576	119.952	54.890
Terzaghi-Peck	90.709	56.448	112.896	51.645
일본건축학회	90.585	56.400	112.896	51.700
계측토압	118.090	29.710	43.997	71.626

토사층까지 굴착면으로 본 경우의 토압크기 비교결과 계측토압의 크기는 경험토압의 크기의 39.0% ~ 138.7%로 지반조건에 따라 매우 다양한 결과를 보이며 CASE 4의 경우 계측토압이 경험토압 크기보다 138.7%로 크게 나타 나므로 토사층까지를 굴착면으로 하는

것은 다소 무리가 따른다. 그림 3.10~3.13은 토사층까지 굴착면으로 본 경우의 토압분포도이며 그림 3.14~3.17은 표 3.6을 막대 Graph로 표시한 것이다.

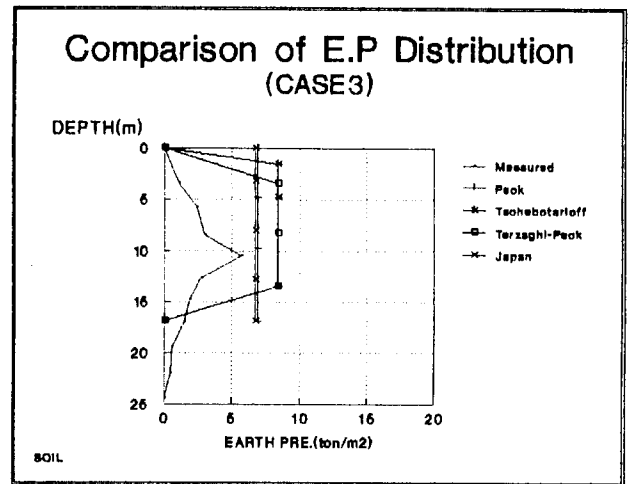


그림 3.12 토사층까지 굴착면으로 본 경우의 토압분포도(CASE 3)

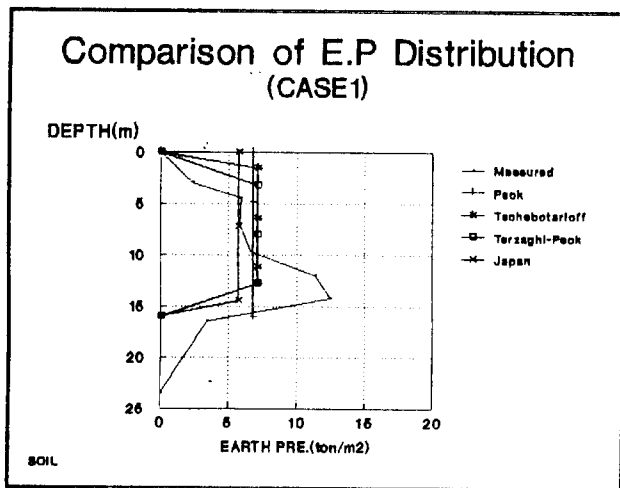


그림 3.10 토사층까지 굴착면으로 본 경우의 토압분포도(CASE 1)

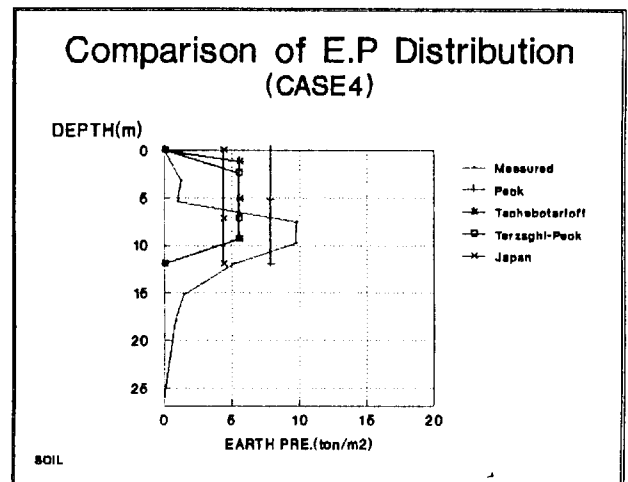


그림 3.13 토사층까지 굴착면으로 본 경우의 토압분포도(CASE 4)

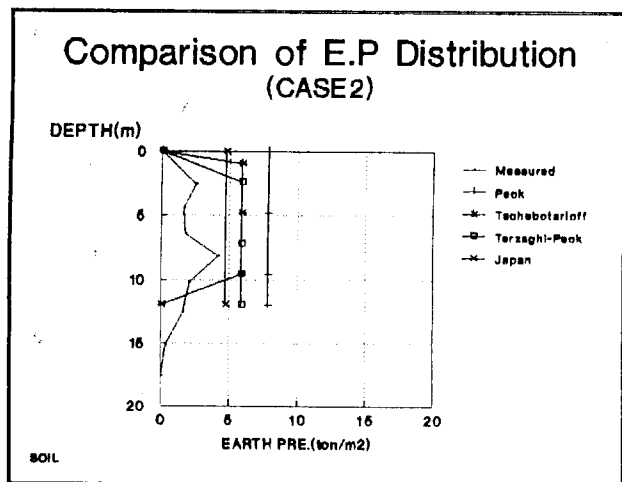


그림 3.11 토사층까지 굴착면으로 본 경우의 토압분포도(CASE 2)

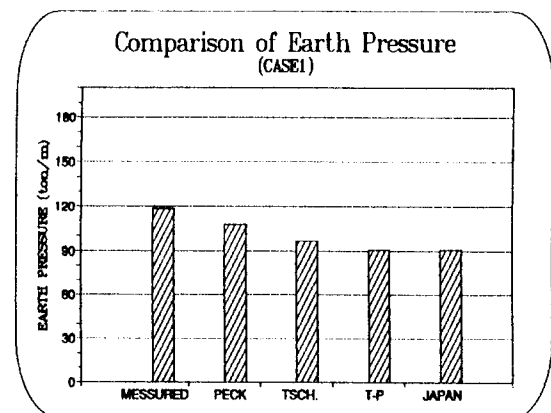


그림 3.14 CASE 1의 막대 Graph(토사층까지 굴착면으로 본 경우)

표 3.7은 연암층까지 굴착면으로 본 경우의 토압크기 비교표이다.

표 3.7 연암층까지 굴착면으로 본 경우의 토압크기 비교표

(단위 : ton/m)

	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4
Peck	201.860	106.119	-	111.850
Tschebotarloff	208.183	71.825	-	74.024
Terzaghi-Peck	195.937	131.820	-	69.669
일본건축학회	195.928	67.600	-	69.667
계측토압	118.090	29.710	43.997	71.626

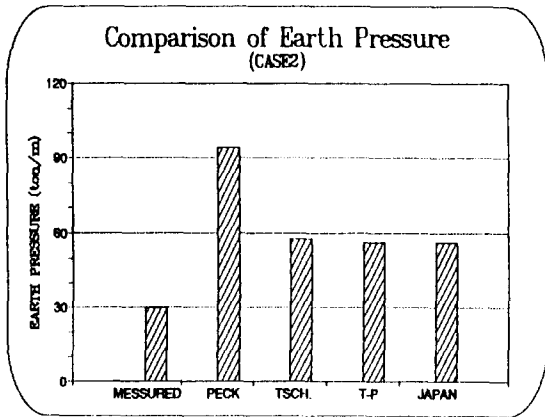


그림 3.15 CASE 2의 막대 Graph(토사층까지 굴착면으로 본 경우)

연암층까지만 굴착면으로 본 경우는 계측토압이 경험토압의 크기에 43.9%~102.8%로 작거나 차이가 없는것으로 나타난다. 그림 3.18~3.20은 연암층까지 굴착면으로 본 경우의 토압분포도이며 그림 3.21~3.23은 표 3.7를 막대 Graph로 표시한 것이다.

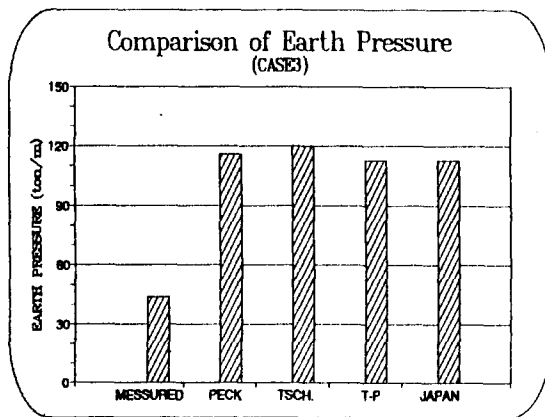


그림 3.16 CASE 3의 막대 Graph(토사층까지 굴착면으로 본 경우)

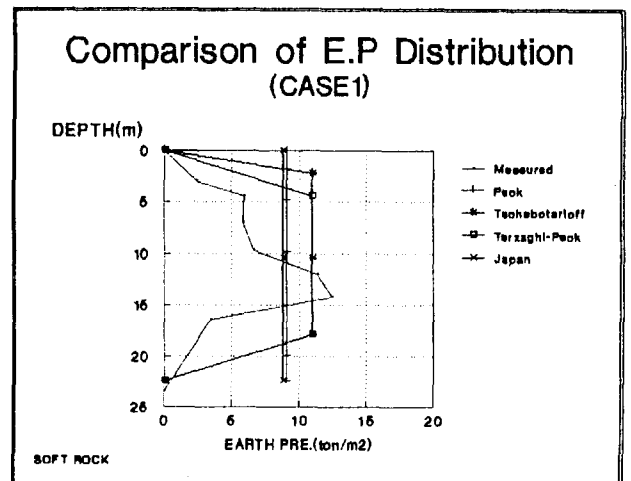


그림 3.18 연암층까지 굴착면으로 본 경우의 토압분포도(CASE 1)

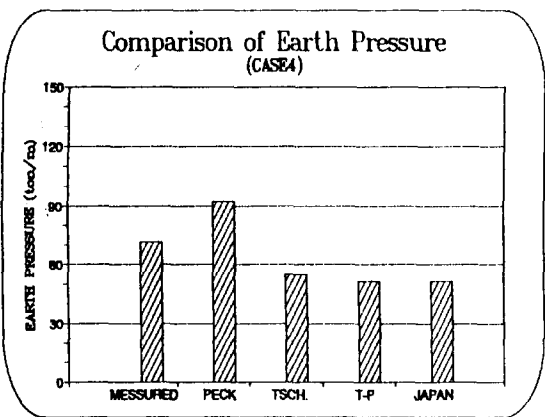


그림 3.17 CASE 4의 막대 Graph(토사층까지 굴착면으로 본 경우)

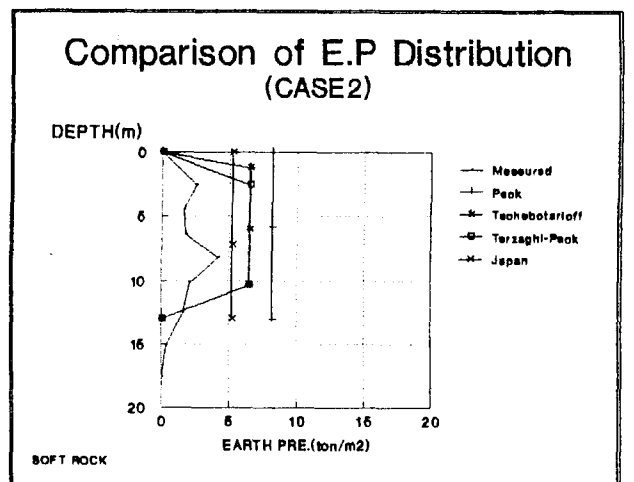


그림 3.19 연암층까지 굴착면으로 본 경우의 토압분포도(CASE 2)

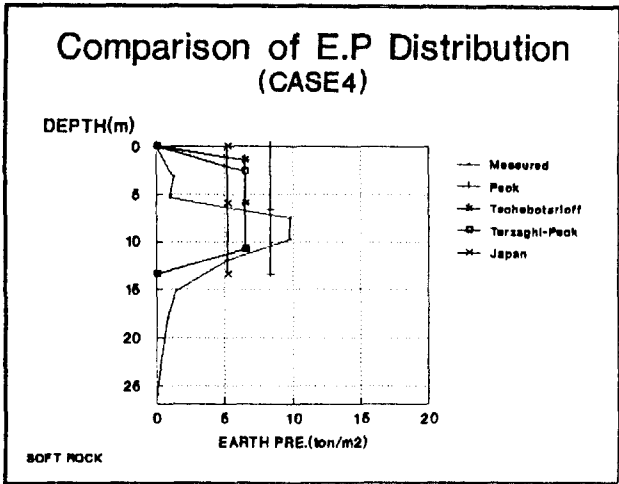


그림 3.20 연암층까지 굴착면으로 본 경우의 토압분포도(CASE 4)

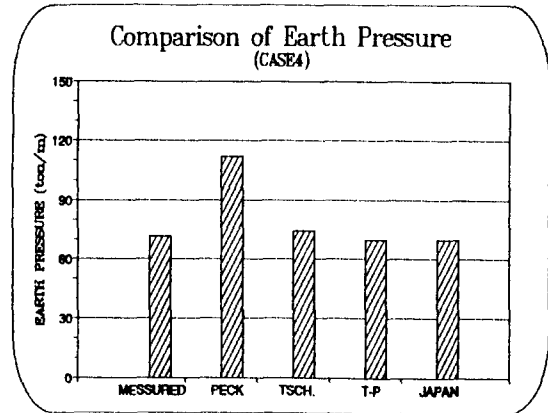


그림 3.23 CASE 4의 막대 Graph(연암층까지 굴착면으로 본 경우)

표 3.8은 암반층에 작용하는 토압이 전체 토압에 차지하는 비율을 나타낸다.

표 3.8 암반층에 작용하는 토압비율 단위 : (%)

	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4
Peck	31.67	31.82	31.43	54.80
Tschebotarloff	25.50	25.67	25.21	50.99
Terzaghi-Peck	27.09	22.83	26.79	55.88
일본건축학회	30.29	31.82	31.43	54.70
계측토압	11.75	12.26	10.79	25.80

경험토압은 22.83% ~ 55.88%의 범위인데 반해 계측토압은 전체 토압의 10.79% ~ 25.8%의 범위로 암반층에 작용하는 토압이 전체 토압에 차지하는 비율은 경험토압이 1.86 ~ 2.91배 크게 나타난다. 이러한 결과로 미루어 경험토압의 경우 암반층에서 상대적으로 토압을 크게 보고 있음을 알 수 있다. 그림 3.24~3.27은 표 3.8를 막대 Graph로 표시한 것이다.

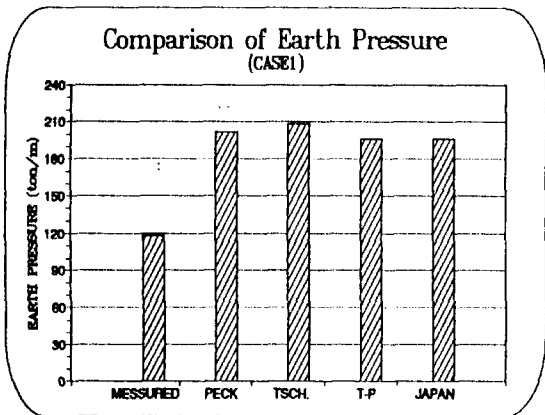


그림 3.21 CASE 1의 막대 Graph(연암층까지 굴착면으로 본 경우)

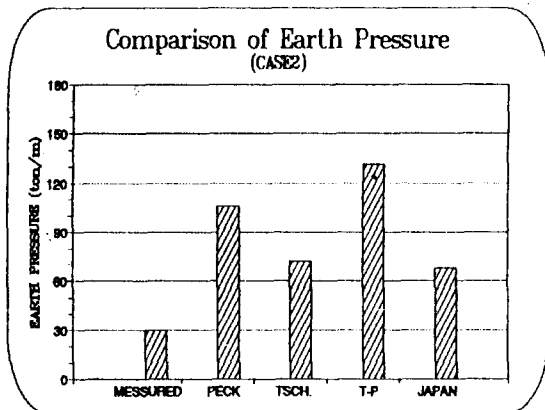


그림 3.22 CASE 2의 막대 Graph(연암층까지 굴착면으로 본 경우)

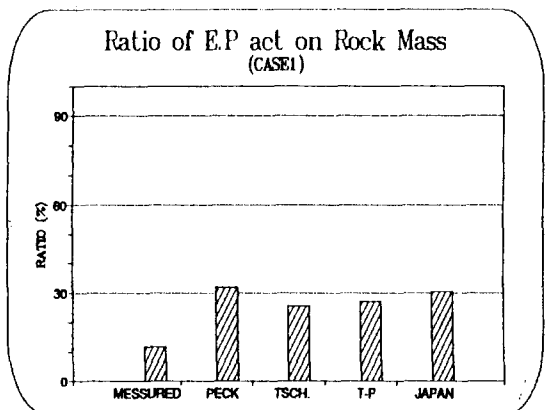


그림 3.24 암반층에 작용하는 토압비율 (CASE 1)

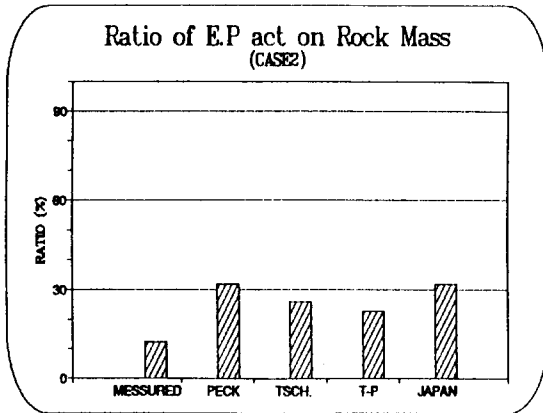


그림 3.25 암반층에 작용하는 토압비율 (CASE 2)

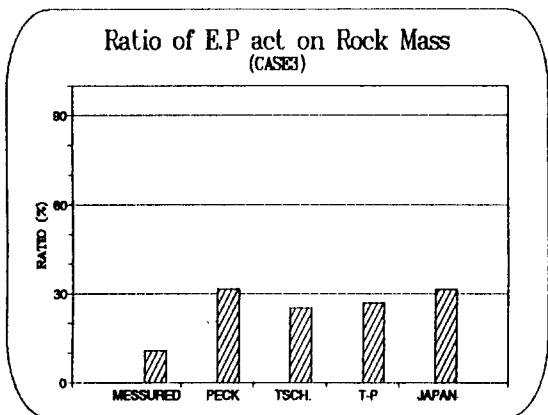


그림 3.26 암반층에 작용하는 토압비율 (CASE 3)

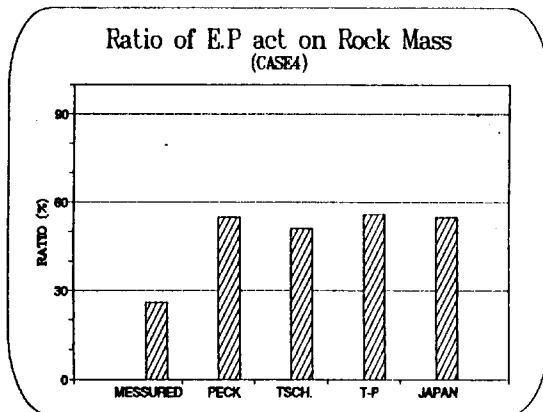


그림 3.27 암반층에 작용하는 토압비율 (CASE 4)

6. 결 론

흙막이 벽체에 작용하는 수평토압에 대해 외국의 경험토압이론과 국내 내륙지방에서 측정된 계측결과를 비교, 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 최종심도에서 흙막이 벽체에 작용하는 전체토압의 크기를 비교한 경우 경험토압이 계측토압의 크기에 비해 1.85배~5.32배로 크게 나타났다.
- (2) 토사층까지를 굴착심도로 본 경우에는 경험토압이 계측토압의

크기에 비해 0.72배~2.56배로 굴착지층에 따라 토압의 크기는 다양하게 나타났다.

(3) 연암층까지를 굴착심도로 본 경우는 경험토압이 계측토압의 크기에 비해 0.97배 ~ 2.28배로 경험토압은 계측결과와 유사하거나 안전측으로 나타남을 알 수 있었다. 따라서 국내지반 조건에서는 암반층이하 굴착시 연암층까지를 굴착심도로 보고 설계하는 것이 합리적이라고 생각되며 지반조건에 따라 토압의 변화가 다양함으로 항상 계측결과와 비교, 검토되어야 하겠다.

(4) 실측된 토압분포 형태는 상부 토사층은 작게, 중간 토사층은 크게, 하부암반층은 매우작게 분포하는 경향을 보였다. 따라서 경험토압 적용시 사각형 토압분포도 보다는 사다리꼴 토압분포도를 적용하는 것이 타당하리라 생각된다.

(5) Swatek et al은 굴착심도가 16m를 초과할경우 Tschebotarioff 토압이론이 더 정확하다고 하였으나 우리나라 내륙지방과 같이 혼합지층일 경우에는 암반층의 점착력및 내부마찰각의 증가로 Terzaghi-Peck토압이론 또는 Peck토압이론보다 정확하지 않은것으로 나타났다.

결론적으로 우리나라 내륙지방과 같은 혼합지층에서는 암반층이하 굴착을 시행할경우 Terzaghi-Peck의 경험토압이론으로 굴착심도를 연암층까지 고려해서 설계하는것이 합리적인 것으로 사료되나 앞으로 더욱 많은 계측자료를 통해 지속적인 연구를 필요로 한다.

참고 문헌

1. 건설기술연구소(1989), "토공작업시 안정성 확보를 위한 현장 계측의 활용에 관한 연구", 건설기술연구소, pp 121-218
2. 채영수(1985), "벽체변위에 따른 토류벽에 작용하는 토압", 고려대학교 대학원 박사학위논문, pp 3-13
3. Bieniawski, Z. T. (ed.)(1976), "Rock Mass Classification in Rock Engineering", Pros. Symp. Exploration for Rock Engineering, A. A. Balkema, Cape Town. 1. pp 97-106
4. Bowles, J. E. (1988), "Foundation Analysis and Design", 4th Ed. McGraw-Hill Book, pp 644-681
5. Dubrova, G. A. (1963), "Interaction of Soil and Structures", Rehnoy, Transport, Moscow, U.S.S.R.
6. Dunicliff, J. (1988), "Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance", John Wiley and Sons, N.Y.
7. Peck, R. B. (1943), "Earth Pressure Measurements in Open Cuts", Trans. ASCE, Vol.108, pp 1008-1058
8. Swatek, E. P., et al. (1972), "Performance of Bracing for Deep Chicago Excavation", 5th PSC, ASCE, Vol. 1, Part 2, pp 1303-1322
9. Terzaghi, K. and R. B. Peck (1967), "Soil Mechanics in Engineering Practice", 2/e, John Wiley and Sons, N.Y., pp 642
10. Tschebotarioff, G. P. (1973), "Foundation Retaining and Earth Structure", 2/e, McGraw-Hill Book Co. N.Y., pp 642