

블럭식 보강토 옹벽의 거동

Behavior of Soil Reinforced Segmental Retaining Walls

유 충 식¹⁾, Chungsik Yoo, 이 광 문²⁾, Kwang-Moon Lee 신 현 강²⁾, Hyun-Kang Shin

¹⁾성균관대학교 토목공학과 부교수, Assoc. Prof., Dept. of Civil Engrg., Sungkyunkwan University

²⁾성균관대학교 토목공학과 석사과정, Grad. Student, Dept. of Civil Engrg., Sungkyunkwan University

SYNOPSIS : This paper presents the results of a parametric study on the behavior of geosynthetics reinforced segmental walls resting on non-yielding foundations using the nonlinear finite element analysis. In the finite element analysis, the step by step construction sequence and the components of the wall such as backfill, block, reinforcement, block/backfill and soil/reinforcement interfaces were carefully modeled. The results of analysis indicate that the horizontal wall displacement decreases with increasing the reinforcement stiffness at a decreasing rate, and that there exists a critical reinforcement stiffness for a given condition beyond which reinforcement stiffness does not much influence the wall displacement. The horizontal stress at the back of the reinforced soil block appears to fairly agree with Rankine or Coulomb active pressure. It is also revealed that the calculated maximum vertical stress at the base of the reinforced soil block agrees well with that based on the Meyerhof distribution, and that the reinforcement and the connection forces are considerably smaller than what might be expected based on the current design assumptions. The implications of the findings from this study to current design approaches were discussed in detail.

KEYWORDS : Geosynthetics, Soil reinforced wall, Segmental retaining wall, Finite element analysis

1. 서론

고대 중국 및 바빌론 시대에서부터 시작된 보강토 옹벽 개념은 1960년대 초 프랑스 공학자인 Herry Vidal에 의해 근대식 보강토 옹벽의 형태로 구체화된 이래 다양한 형태로 발전되어왔다. 보강토 옹벽의 일종인 블럭식 보강토 옹벽은 1990년대 초 국내에 소개된 이래로 기존의 중력식 혹은 캔틸레버식 옹벽에 비해 우수한 시공성 및 경제성을 토대로 사용물량이 꾸준히 증가하는 추세이며, 구조적으로 유연하다는 특성을 지니고 있어 기초지반이 불량하거나 지진 활동 지역에서 적용성이 뛰어난 것으로 알려져 있다.

블럭식 보강토 옹벽의 설계/해석에서는 한계평형해석에 근거하여 대상 옹벽의 내적안정성(internal stability), 외적안정성(external stability), 그리고 국부적 안정성(local stability) 확보 여부를 검토하여 보강조건을 결정한다. 일반적으로 보강토 옹벽 구조물의 거동은 각 구성요소의 역학적 특성에 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있어 각 구성요소의 역학적 특성이 옹벽의 거동에 미치는 영향을 정확히 이해하고 이를 설계/해석과정에 반영하여야 하나 현재 적용하고 있는 설계/해석법에서는 한계평형해석기법의 특성상 이러한 사항이 반영되고 있지 않다.

최근에 들어서서 모형실험, 현장계측, 수치해석을 통해 보강토 구조물의 거동 메카니즘을 정성·정량적으로 고찰하고 그 결과를 설계/해석에 반영하고자 하는 많은 연구가 진행되어 오고 있다. 특히 유

한요소해석 기법은 시공과정의 모사가 용이하고 벽체의 변위 및 보강토의 응력-변형을 상태, 그리고 보강재의 유발인장력 등 보강토 응벽의 총체적인 거동 분석이 가능하다는 장점이 있어 보강토 응벽에 관련된 연구에 활발히 적용되고 있다. 특히, Bathurst 등(1992), Ho와 Rowe(1994), Kapurapu와 Bathurst(1995) 등, Rowe와 Ho (1997) 등 다수의 연구자는 유한요소해석을 이용하여 흙/보강재 상호작용 측면에서 보강토 응벽을 구성하는 각 구성요소의 상호작용 및 역학적 특성이 응벽의 거동에 미치는 영향을 고찰하고 그 결과를 토대로 정성·정량적인 결과를 제시한 바 있다. 그러나 아직 까지 보강토 응벽을 구성하는 각 구성요소의 역학적 특성이 보강토 응벽의 거동에 미치는 영향에 대한 정확한 이해가 부족한 실정이며, 따라서 이에 관련된 종합적이고 체계적인 연구가 요구된다.

이러한 측면에서 본 연구에서는 유한요소해석을 이용하여 견고한 지반위에 시공되는 블럭식 보강토 응벽의 거동 메카니즘 및 보강재의 강성에 따른 거동 특성을 분석 고찰하고 그 결과를 토대로 현재 적용되는 설계 기준의 타당성을 검토하였다.

2. 블럭식 보강토 응벽의 설계/해석

2.1 파괴유형

앞서 언급한 바와 같이 보강토 응벽의 설계/해석법은 한계평형해석법에 근거하므로 파괴유형에 대한 정확한 설정이 매우 중요하다. 블럭식 보강토 응벽의 파괴 유형은 응벽의 구조적 특성상 그림 1에 제시된 바와 같이 내·외적 및 국부적 파괴 유형, 그리고 전체적 파괴 유형으로 구분할 수 있다.

외적 안정성은 블럭벽체, 보강재, 그리고 뒤채움흙으로 형성되는 보강토체의 중력식 구조체로서 작용 여부에 좌우되며, 외적 안정성이 확보되지 않을 경우 저부활동(그림 1a), 전도(그림 1b), 그리고 지지력(그림 1c) 파괴가 발생한다. 또한, 내적 안정성은 보강재와 뒤채움흙이 일체의 구조로 적절히 작용할 경우 확보되며, 내적 불안정은 보강재의 인장파단(그림 1d) 및 인발파괴(그림 1e), 내부활동파괴(그림 1f)로 이어질 수 있다.

한편, 블럭식 보강토 응벽은 개별 블럭으로 벽체가 형성되므로 벽체의 국부적 안정성이 중요한 검토 사항으로 간주되며, 연결부 파괴(그림 1g), 배부름(그림 1h), 그리고 상부전도(그림 1i)와 같은 파괴유형을 토대로 국부적 안정성을 검토한다. 아울러서 보강토체와 기존 지반의 전체적인 움직임에 의한 파괴유형을 전체적 안정성 파괴(그림 1j)라고 하며, 이러한 파괴 유형은 연약한 기초지반, 지하수위 상승, 과도한 외부하중의 작용 등에 기인한다.

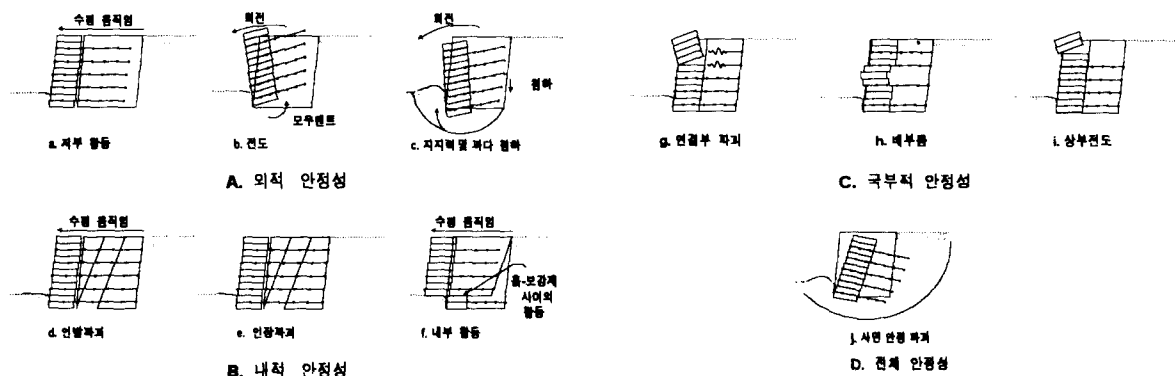


그림 1. 블럭식 보강토 응벽의 파괴 유형

2.2 설계/해석법

보강토 응벽 공법이 개발된 이래로 많은 설계법이 제시되었으며, 이를 토대로 영국의 BS 8006, 미국 FHWA 설계지침 및 AASHTO 도로교 시방서, 그리고 북미 콘크리트 석조협회 (NCMA) 설계기준등

많은 기관에서 나름대로의 설계기준을 제시하고 있다. 전술한 설계기준중 BS 8006, FHWA, AASHTO 설계기준은 보강토 옹벽의 일반적인 설계기준으로서 개별블럭으로 형성되는 블럭 벽체의 국부적 안정성을 고려하지 않고 있으며, NCMA 설계기준만이 블럭벽체의 국부적 안정성을 고려하여 보강조건을 설정하도록 되어 있다.

한편, 보강토 옹벽의 설계법은 내적 안정성 검토 방법에 따라 Tie-back wedge 법과 Coherent Gravity 법으로 구분되며, 일반적으로 토목섬유(geosynthetics)와 같은 신장성 보강재에는 Tie-back wedge 법이 적용되며, 강격자(steel grid)와 같은 비신장성 보강재에는 Coherent Gravity 법이 적용된다.

3. 매개변수 연구

본 연구에서는 블럭식 보강토 옹벽의 거동 메카니즘을 분석하고 포설되는 보강재의 강성에 따른 거동 특성을 고찰하기 위해 유한요소해석 기법을 이용하여 블럭식 보강토 옹벽에 대한 매개변수 연구를 수행하였다.

3.1 대상 옹벽

본 연구에서는 매우 견고한 지반에 시공되는 높이 6 m의 블럭식 보강토 옹벽을 고려하였다. 옹벽의 블럭벽체는 높이(H_w) 0.2 m의 블럭으로 형성되며, 배수성이 우수한 양질의 사질토가 뒤채움층으로 사용되고 길이 $L/H=0.6$ 의 단일종류의 보강재가 등간격 ($S_b=0.6$ m)으로 포설되는 것으로 가정하였다. 그림 2는 본 연구에서 고려한 옹벽의 개요도를 보여주고 있으며, 그림에서 제시된 바와 같이 다양한 보강재의 강성(J)을 고려하였다($J=EA$; E =탄성계수, A =단면적).

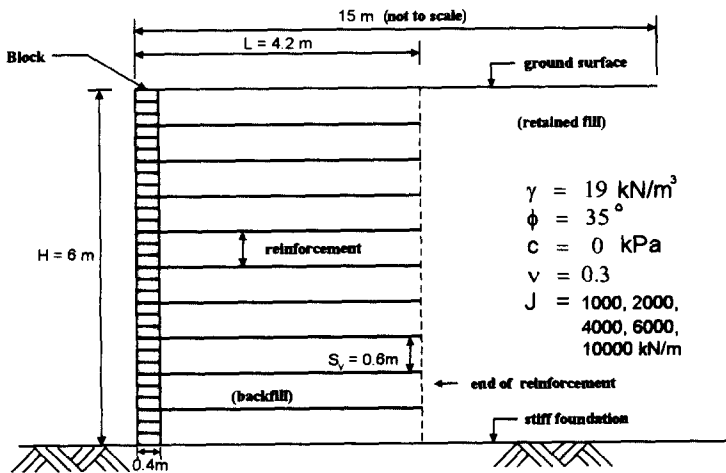


그림 2. 해석 대상 옹벽의 개요도

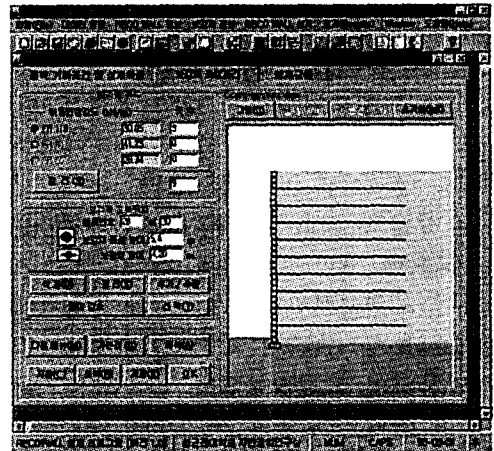


그림 3. RECOwall 프로그램

한편, 표 1은 해석 대상 옹벽이 30 kN/m의 허용인장강도를 보유하는 보강재가 적용될 경우에 있어서 NCMA 설계기준을 토대로 수행한 내·외적 안정성 검토 결과를 보여 주고 있다. 본 검토는 성균관대학교 지반연구실에서 개발한 블럭식 보강토 옹벽 설계/해석 자동화 프로그램인 RECOwall을 이용하여 수행하였다. RECOwall은 그림 3에서 보이는 바와 같이 GUI 기능을 극대화하여 Window 환경에서 수행되는 설계/해석 자동화 프로그램으로서 지오그리드 및 강격자 등 다양한 보강재를 적용할 수 있도록 작성되었다.

표 1. 옹벽의 내·외적 안정성 검토 결과

외적안정성 검토 결과			
활동 (FS_{sl})	전도 (FS_{ot})	지지력 (FS_{bc})	
4.79	7.18	178.98	
내적안정성 검토 결과			
층번호	높이(m)	인장파단 (FS_{to})	인발파괴 (FS_{po})
9	5.4	17.41	5.56
8	4.8	9.79	9.26
7	4.2	6.53	12.26
6	3.6	4.90	15.27
5	3.0	3.92	18.27
4	2.4	3.26	21.27
3	1.8	2.80	24.36
2	1.2	2.45	27.36
1	0.6	1.41	19.69

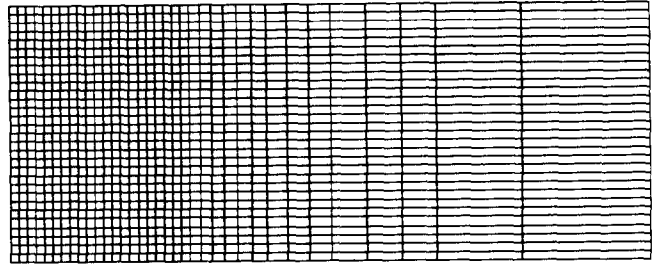


그림 4. 해석에 적용된 유한요소망

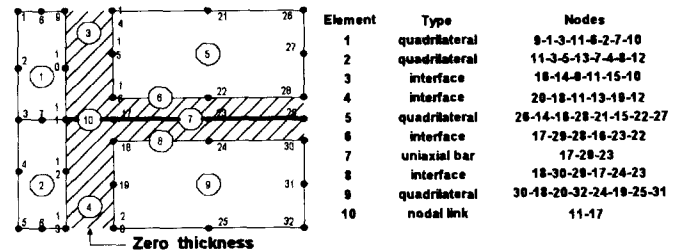


그림 5. 뒤채움흙/벽체/보강재 모델링 상세도

3.2 유한요소해석

본 연구에서는 네덜란드 TNO Building & Construction Research 社와 Delft Technical University 가 공동 개발한 범용 비선형 유한요소해석 프로그램인 DIANA(DIANA 1996)를 이용하였다. 그림 4는 해석에 적용된 유한요소망을 보여주고 있는데 보이는 바와 같이 해석대상 영역의 이산화 과정에서의 오차를 극소화하기 위해 약 4200개의 절점과 1700개의 요소로 구성된 매우 조밀한 유한요소망을 사용하였다. 해석 모델링에서는 대상 옹벽이 매우 견고한 지반에 시공되는 경우를 고려하였으므로 기초지반은 모델링에 포함시키지 않았으며, 블럭 전면에서 수평방향으로 벽체 높이(H)의 약 3배에 해당되는 영역을 뒤채움 영역으로 모델링하였다. 한편, 경계면의 설정에 있어서 벽체 전면부를 제외한 수직 경계면에서는 x 방향 변위를 구속하였으며, 수평 경계면에서는 x와 y 방향 변위를 구속하였다.

해석에 있어서 블럭과 뒤채움흙은 8절점 평면요소를 이용하여, 그리고 보강재는 3절점 봉요소를 이용하여 모델링하였다. 한편, 블럭/뒤채움흙, 보강재/뒤채움흙, 뒤채움흙/기초지반 사이의 상호면 거동은 Goodman 등(1968)의 상호면요소를 이용하여 모델링하였으며, 블럭/보강재 연결부는 2절점 스프링 요소를 이용하여 모델링하였다. 그림 5는 본 연구에서 채택한 뒤채움흙/벽체/보강재의 모델링 상세도를 보여주고 있다. 재료의 모델링에 있어서 뒤채움흙 및 각 구성요소의 접촉면은 Mohr-Coulomb 파괴규칙과 적합유동법칙(associated flow rule)을 따른 탄소성 재료로, 보강재와 블럭은 탄성재료로 간주하였다. 한편, 블럭식 보강도 옹벽의 단계별 시공과정은 DIANA에서 제공하는 Phased 해석 기능을 이용하여 모델링하였다. 표 2는 해석에 적용된 각 구성요소의 역학적 특성을 나타내고 있다.

표 2. 해석에 적용된 각 구성 요소의 역학적 특성

구분	탄성계수 (kPa)	단위중량 (kN/m ³)	점착력 (kPa)	내부마찰각 (degree)	포아송비	구분	연직강성 (kPa/m)	전단강성 (kPa/m)
뒤채움흙	3.0×10^4	18	0	35	0.3	상호면 1	5×10^7	1×10^3
블럭	5.0×10^6	19	0	N/A	0.3	상호면 2	5×10^7	1×10^4
보강재	2.0×10^6	0.1	N/A	N/A	0.25	상호면 3	5×10^7	1×10^5

주) 상호면 1: 블럭/뒤채움흙 접촉면; 상호면 2: 보강재/뒤채움흙 접촉면; 상호면 3: 기초지반/뒤채움흙 접촉면

4. 결과 분석 및 고찰

4.1 보강토체의 역학적 거동

그림 6은 강성이 다른 보강재가 적용된 경우에 있어서의 보강토 및 배면토의 최대 전단변형을 $[(\epsilon_1 - \epsilon_3)_{max}]$ 분포를 등고선 형식으로 비교하고 있다. 이 그림에서 보이는 바와 같이 $J=1000$ kN/m의 보강재가 적용된 경우(그림 6a)에 있어서는 보강토체 내부에 전단변형이 크게 발생하는 경향을 관찰할 수 있으나 강성이 큰 $J=10000$ kN/m의 보강재가 적용된 그림 6b를 살펴보면 보강토체 내부의 전단변형이 현저히 감소하는 경향을 관찰할 수 있다. 이러한 경향은 강성이 큰 보강재를 포설할 경우 뒤채움 흙/보강재 상호작용으로 인해 뒤채움흙이 부담하여야 할 응력의 일부를 보강재가 흡수하는 정도가 증가하여 강성 블럭으로 작용하기 때문으로 판단된다.

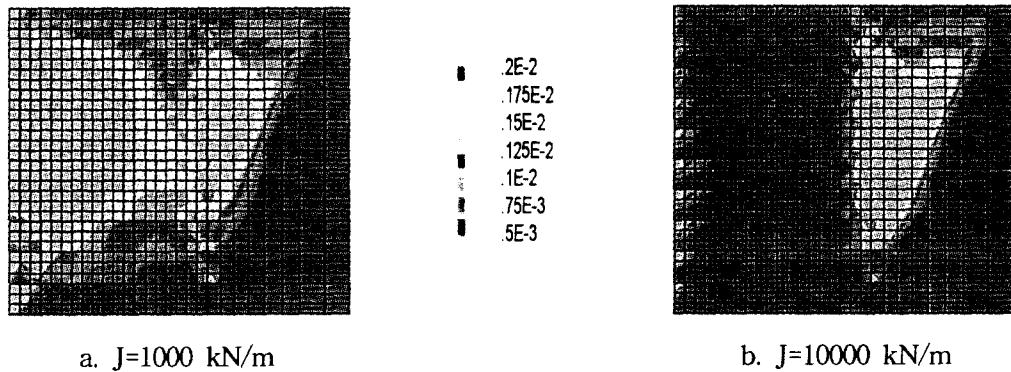


그림 6. 보강토 및 배면토 최대 전단변형을 분포

4.2 벽체 변위

보강재의 강성에 따른 벽체 수평변위 발생 경향이 다양한 보강재 강성(J)에 대해 그림 7에 제시되어 있다. 벽체 수평변위에 대한 일반적인 경향을 살펴보면 벽체 최대 수평변위($\delta_{h,max}$)는 보이는 바와 같이 벽체 상단부에서 약 $1/3H$ 아래 지점에서 발생하며, J 가 증가함에 따라 벽체의 수평변위는 전반적으로 감소하는 경향을 나타내고 있다.

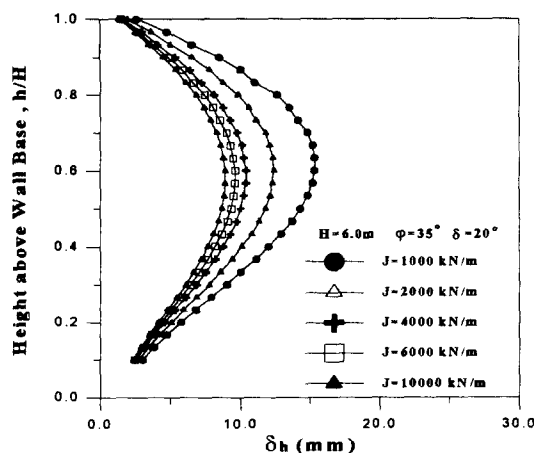


그림 7. 벽체 수평변위 발생 경향

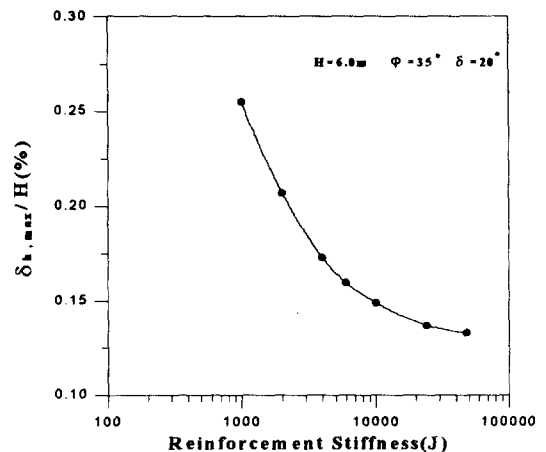


그림 8. 최대 수평변위비 변화 경향

그림 8은 보강재의 강성에 따른 최대 수평변위비($\delta_{h,max}/H$) 변화 경향을 보여주고 있는데 보이는 바와 같이 보강재의 강성이 증가함에 따라 $\delta_{h,max}/H$ 가 현저히 감소하는 일반적인 경향이 잘 나타나 있다. 한편, $J=10000$ kN/m 이상에서는 강성의 증가에 따른 변위 감소율이 급격히 둔화되는 경향을 보이고 있는데, 이는 주어진 설계조건에 대해 보강재의 임계 강성(critical stiffness)이 존재한다는 것을 의미한다. 따라서 블럭식 보강토 옹벽의 벽체 변위를 억제하기 위해서는 주어진 설계조건에서 보강재의 임계강성을 결정하는 것이 매우 중요하며, 아울러서 경제성 분석을 통해 보강재의 강성 및 포설층수, 그리고 간격 등을 종합적으로 고려해야 할 것으로 판단된다. 한편, 그림 8은 본 연구에서 수행한 해석조건과 유사한 조건을 갖는 블럭식 보강토 옹벽 설계시 최대 벽체 변위량을 추정하는데 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

4.3 배면 토압 및 저면 연직응력 분포

블럭식 보강토 옹벽의 설계시에는 블럭벽체 및 뒤채움흙, 보강재로 구성되는 보강토체가 중력 복합체로서 안정하게 거동하는지의 여부를 저부활동, 전도, 지지력에 대한 외적안정성 검토를 통해 평가한다. 이때 보강토체 배면 수평토압 및 저면 연직응력은 외적안정성 검토시 사용되는 매우 중요한 항목이므로 이에 대한 정확한 평가가 요구된다. 따라서 본 연구에서는 보강토체 배면 수평토압 및 저면 연직응력 분포를 고찰하고 현재 설계법에서 제시하고 있는 평가방법의 타당성을 검토하였다.

그림 9는 다양한 보강재가 적용된 경우에 있어서 보강토체 배면에 작용하는 수평응력(σ_h) 분포경향을 보여주고 있다. 보이는 바와 같이 배면 수평토압은 정지토압에 가까운 수평응력을 보이는 벽체 하단부를 제외하고는 Rankine 또는 Coulomb 수평토압과 거의 일치하는 경향을 나타내고 있으며, 한편, 포설된 보강재의 강성에 따라 별다른 차이를 보이지 않고 있다. 벽체 하단부 배면에서 큰 수평토압이 발생하는 이유는 벽체 앞부리의 수평방향 변위에 대한 저항(toe resistance)에 기인하는 것으로 판단되며, 이러한 경향은 Kapurapu와 Bathurst (1995)과 Ho와 Rowe (1996)의 연구결과와 잘 일치하고 있다. 이러한 경향을 종합해 볼 때 배면 수평토압 계산시 Rankine 및 Coulomb 토압의 적용을 제안하는 대부분의 현 설계기준은 타당한 것으로 판단된다.

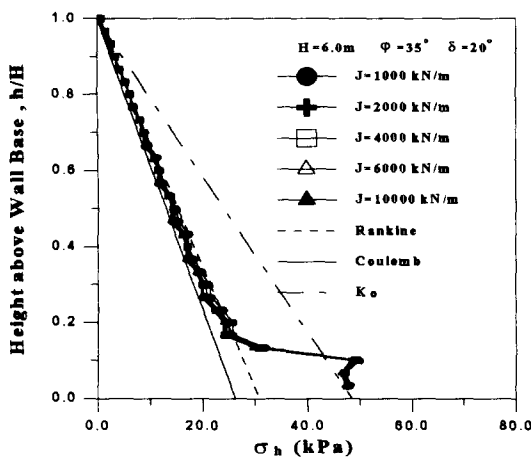


그림 9. 수평응력(σ_h) 분포경향

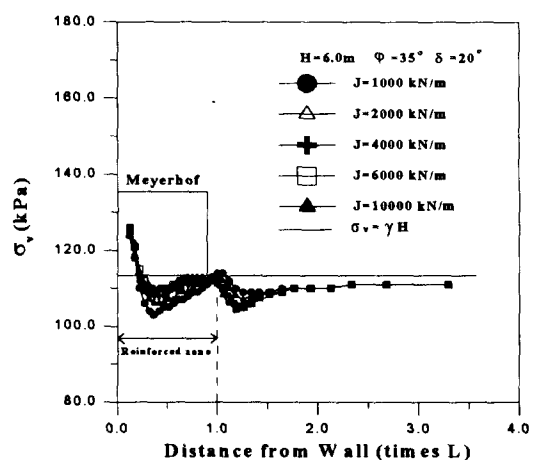


그림 10. 보강토체 저면 연직응력 분포

현재 적용되고 있는 설계기준에서는 지지력에 대한 안정성 검토시 Meyerhof의 균등 응력 분포 이론을 토대로 보강토체 저면 연직응력(σ_v)을 계산한다. 그림 10은 보강토체 저면 연직응력 분포를 Meyerhof 이론으로 계산된 결과와 함께 도시하고 있는데 보이는 바와 같이 벽체 인접부에서 자중에 의한 응력($\sigma_v = \gamma H$)을 현저히 초과하는 큰 연직응력이 발행하는 경향을 관찰할 수 있으며, 벽체로부터 멀

어지면서 급격히 감소한 후 γH 에 수렴하는 분포 경향을 보이고 있다. 벽체 인접부에서 큰 연직응력이 발생하는 경향은 보강토체 배면에 작용하는 배면 수평토압(lateral thrust)에 기인하는 것으로 판단된다. 또한 일반적인 분포 경향은 Meherhof 균등 응력 분포 이론과는 다소 상이하나 해석으로부터 얻어진 최대값은 거의 일치하는 것으로 나타났다. 한편, 포설된 보강재의 강성에 따른 연직응력의 변화는 그다지 크지 않은 경향을 보이고 있는데, 이러한 경향은 Rowe와 Ho(1997)에 의해 수행된 패널식 보강토 옹벽에 대한 연구 결과와 유사한 것으로 나타났다.

4.4 보강재 유발인장력 및 연결력

보강토 옹벽의 설계시 보강재 유발인장력(T) 및 블럭/보강재 연결력(T_0)은 설계결과를 좌우하는 매우 중요한 항목으로서 이에 대한 정확한 평가가 요구된다. 기존의 현장계측 또는 수치 모델링에 의한 연구 결과에 의하면 Rankine 혹은 Coulomb 토압을 적용하여 유발인장력을 계산하는 현 설계기준은 매우 보수적인 결과를 초래하는 것으로 알려져 있다.

그림 11은 다양한 보강재의 강성에 대해 각 보강재의 최대 유발인장력(T_{max})을 깊이에 따라 도시하고 있다. 일반적인 경향을 관찰하면, 보이는 바와 같이 해석에서 얻어진 T_{max} 는 벽체 상부를 제외하고는 전 영역에 걸쳐 Rankine 또는 Coulomb 토압에 의한 이론적 T_{max} 에 훨씬 못미치는 것으로 나타났다. 특히 벽체 하단부에서 큰 차이를 보이고 있는데 이러한 경향은 앞서 언급한 바와 같이 벽체의 앞부리에서의 저항에 그 원인이 있는 것으로 판단된다. 한편, 보강재의 강성이 증가함에 따라 유발인장력이 증가하고 벽체 중·하단부에서 최대값이 발생하는 경향을 보이고 있다. 보강재의 강성이 증가함에 따라 유발인장력이 증가하는 경향은 앞서 언급한 바와 같이 보강재의 강성이 증가함에 따라 보강토체의 강성이 증가되고 따라서 응력 재분배 현상에 의해 보강토 옹벽의 다른 구성요소로부터 더 많은 하중을 전달 받기 때문으로 판단된다.

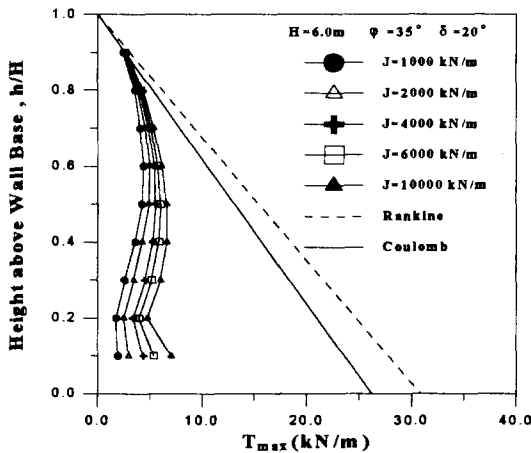


그림 11. 보강재의 최대 유발인장력(T_{max})

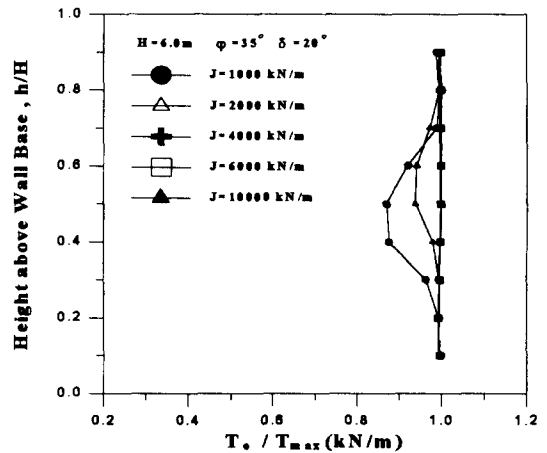


그림 12. T_0/T_{max} 분포경향

각 보강재에서의 블럭/보강재 연결력과 최대 유발인장력 비(T_0/T_{max})가 그림 12에 나타나 있다. 보이는 바와 같이 T_0/T_{max} 는 벽체의 전 영역에 걸쳐 $T_0/T_{max}=0.9\sim 1.0$ 의 값을 보이고 있으며, 이러한 경향은 Christopher 등(1989)이 제시한 $T_0/T_{max}=0.8\sim 1.0$ 의 연구결과와 잘 일치하고 있다. 이러한 경향을 종합할 때 블럭/보강재 연결력은 최대 유발인장력과 같은 것으로 간주하는 현재 보강토 옹벽의 설계기준은 타당한 것으로 사료된다.

5. 결론

본 연구에서는 유한요소해석기법을 이용하여 블록식 보강토 옹벽의 거동에 관한 매개변수 연구를 수행하였다. 해석 결과를 토대로 보강재의 강성에 따른 보강토체 옹벽-변형을 거동, 벽체 변위, 배면토압 및 저면 연직응력 분포, 그리고 보강재 유발인장력 및 연결력 변화경향 등 보강재의 강성이 보강토 옹벽의 전반적인 거동에 미치는 영향을 고찰하였다. 본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 포설된 보강재의 강성이 증가함에 따라 뒤채움흙과 보강재로 형성되는 보강토체 내부의 전단변형이 감소하여 복합 중력체로서의 작용 정도가 증가한다.
- (2) 벽체 최대 수평변위($\delta_{h,max}$)는 벽체 상단부에서 약 1/3H 아래 지점에서 발생하며, 보강재의 강성이 증가할수록 감소하나 임계강성 이상에서는 감소율이 현저히 둔화되는 경향을 나타낸다.
- (3) 보강토체 배면 수평토압은 벽체 하단부를 제외하고는 Rankine 또는 Coulomb 토압과 잘 일치하며, 포설된 보강재의 강성은 분포 경향에 큰 영향을 미치지 않는다.
- (4) 보강토체 저면 최대 연직응력은 벽체 인접부에서 발생하며 현 설계기준에서 적용되는 Meyerhof 분포 이론으로 계산된 결과와 잘 일치한다.
- (5) 보강재의 유발인장력은 현 설계기준에서 적용하는 Rankine 또는 Coulomb 이론으로 계산된 결과 보다 현저히 작은 값을 나타내며, 따라서 현 설계기준은 다소 보수적인 것으로 판단된다.
- (6) 임의의 보강재에서의 블록/보강재 연결력은 최대 유발인장력과 거의 같은 것으로 나타나 블록/보강재 연결력은 최대 유발인장력과 같은 것으로 간주하는 현 설계 기준은 타당한 것으로 판단된다.

* 참고문헌

- (1) Bathurst, R. J., Case study of a monitored propped panel wall, Proc. 5th Int. Symp. on Geosynthetic-Reinforced Soil Retaining Walls, Balkema, Rotterdam, Brookfield, 159~166, 1992.
- (2) Bathurst, R. J. and Simac, M. R., Geosynthetic reinforced segmental retaining wall structures in North America Proc. 5th Int. Conf. On Geotextiles, Geomembranes and Related Products, Singapore, 24p. 1994.
- (3) DIANA Users Manual, Release 6.1, TNO Building and Construction Research, Netherlands, 1996.
- (4) Goodman, R. E., Taylor R. L., and Brekke, T. L., A model for the mechanics of jointed rock, Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering, ASCE, Vol. 94, No. SM3, 637~657, 1968.
- (5) Ho, S. K. and Rowe, R. K., Effect of Wall Geometry on the Behavior of Reinforced Soil Walls, Geotextiles and Geomembranes, Vol. 14, No. 10. 521~542, 1996.
- (6) Kapurapu, R., and Bathurst, R. J., Behavior of Geosynthetic Reinforced Soil Retaining Walls Using the Finite Element Analysis, Computers and Geotechnics, Vol. 17, 179~299, 1995.
- (7) Rowe, R. K. and Ho, S. K., Continuous Panel Reinforced Soil Walls on Rigid Foundations, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 123, No. 10, 912~920, 1997.