

대규모 보강토옹벽 구조물에서의 기초지반 지지력특성 평가

Assesment on the Characteristics of Foundation Bearing Capacity in Reinforced Soil Wall Structure of Large Scale

한 중 근 ^{1*}	Han, Jung-Geun	유 승 경 ²	Yoo, Seung-Kyung
조 삼 덕 ³	Cho, Sam-Deuk	이 광 우 ⁴	Lee, Kyang-Woo
홍 기 권 ⁵	Hong, Ki-Kwon		

ABSTRACT

The reinforced soil retaining wall structures of serious types with environmental are widely expanding more and more in Korea, which divided conventional type's reinforced soil retaining wall on segmental retaining wall. The causes of most crack occurred at block in reinforced soil retaining wall structure caused by the differential settlement of foundation. It is difference of settlement for significant factor that with overall slope stability. In this study, design assessment of foundation bearing capacity related to differential settlement of foundation ground was considered. And, also, through case study, the countermeasure methods and its application were suggested that the bearing capacity of foundation had to stabilize. The foundation ground in charge of bearing capacity should be affected by the resisting force of sliding, because the foundation parts of reinforced soil retaining wall were belongs to potential slope sliding area in overall stabilizing including retaining wall structures. Therefore, the analyzing or the designing of bearing capacity for foundation should be considered control capacity on the overall slope sliding.

요 지

국내에서는 여러 가지 형상 및 친환경적인 보강토옹벽 구조물의 시공은 최근 많이 확대되고 있다. 전체구조물의 안정과 더불어 블록에 발생하는 균열은 대부분 원인으로 기초의 침하에 의한 경우가 많다. 본 연구에서는 기초지반의 부등침하와 관련하여 기초지지력의 설계시 평가법 및 시공시 평가법에 대하여 고찰하였다. 현장에서 실시되고 있는 실제 시공사례를 이용하여 보강토옹벽의 안정을 기초지지력을 만족하지 못하는 경우에 대한 대책방안을 제시하고 그 방안의 활용성을 제시하였다. 보강토옹벽의 기초부분은 전체사면의 잠재적 활동면의 범주내에 있게 되므로 기초지지력을 담당하는 지반은 지반의 활동저항력에 영향을 받게 된다. 따라서, 기초지지력을 부담하는 기초지반은 지지력에 대한 안정을 만족할 뿐 만 아니라 전체사면활동에 저항하는 역지능력에 대하여도 고려되어야 한다.

Key words : Reinforced soil, Overall stabilizing, Foundation, Bearing capacity

1. 서 론

최근 옹벽구조물의 시공시 철근콘크리트옹벽이 보강토

옹벽으로 대체 시공되는 사례가 많아지고 있다. 이는 구조물 시공의 경제성, 시공성 뿐만 아니라 보강토옹벽의 전면 에 시공되는 다양한 녹화 등에 의한 식생이 가능해짐으로

1* 정회원, 중앙대학교 공과대학 건설환경공학과 조교수(Member, Assit. Prof. Dept. of Civil & Environmental Engrg. Chung-Ang Univ., E-mail: jghan@cau.ac.kr)

2 정회원, 명지대학 토목과 조교수(Member, Assit. Prof. Dept. of Civil Engrg., Myoung-ji College)

3 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원(Member, Research Fellow, Geotechnical Dept. Research, KICT)

4 정회원, 한국건설기술연구원 연구원(Member, Researcher, Geotechnical Dept. Research, KICT)

5 정회원, 중앙대학교 대학원 석사과정(Member, Graduate Student., Dept. of Civil Engineering, Chung-Ang Univ)

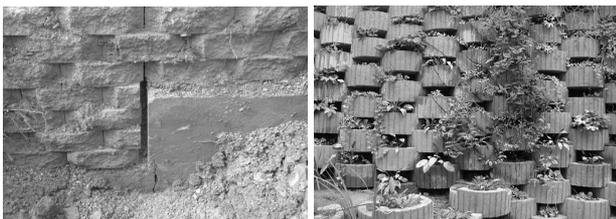
서 보다 친환경적 구조물로서의 요구에 따른 것이라 할 수 있다. 1997년 이후에는 식재 가능한 블록이 개발되어 시공사례가 늘어나고 있으며 보강토옹벽면에 Seed spray(씨뿌리)를 통해 식재가 된 조경용 보강토옹벽의 시공사례도 늘어나고 있는 실정이다. 이들 옹벽은 모두 중력식옹벽시스템이나 블록식보강토옹벽 시스템으로 구분된다. 따라서, 어느경우도 큰 범주 내에서 구조물시스템의 내적안정, 외적안정 및 전체안정을 만족해야만 한다.

블록식보강토옹벽의 안정은 이들 안정조건이외에도 시공전후의 국부안정 조건도 만족하여야만 한다. 다만, 국내에서 시공되는 많은 블록식보강토옹벽의 안정에서 구조물 전체를 포함한 사면안정을 검토하는 경우가 거의 없었으나 최근 많은 붕괴사례가 보고되고 있어 점차 전체사면안정에 대하여도 함께 검토되는 경우가 늘어나고 있다(유충식 등, 2004 a, b 한중근 등, 2005). 그러나, 이러한 전체구조물의 안정과 더불어 그림 1과 같이 블록의 균열과괴는 더욱 많은 부분을 차지하고 있으며 이들의 원인으로서는 블록자체의 강성에도 문제가 있을 수 있으나, 대부분 원인으로 기초의 침하가 그 주원인으로 보고되고 있다(한중근 등, 2004, 2005). 그림에도 불구하고 보강토옹벽이 시공되는 현장에서의 기초지지력을 확인하고자 하는 경우는 다른 기초공사현장이나 건축현장에서 거의 확인조차 되지 못하고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 보강토옹벽 특히, 블록식보강토옹벽의 부등침하를 포함한 침하에 의한 구조물의 안정을 검토하기 위해 현장에서 수행되고 있는 기초지지력의 부족에 의한 사례조사 및 기존 기초지지력의 평가법들을 검토·비교하고 또한, 기초지지력 보강이 전체사면안정에 미치는 영향에 대하여도 검토하여 보았다.

2. 기존 보강토옹벽의 기초지지력 이론

블록식보강토옹벽의 기초안정은 기초침하 및 기초지



(a) 지반 부등침하 사례 (b) 동절기 기초다짐 불량사례

그림 1. 보강토블록 균열사례

지력의 두가지로 평가된다. 먼저, 보강토옹벽의 침하는 침하가능성이 있는 구조물의 기초침하는 사용목적 및 설치지반에 적합한 대책을 권장한다(구조물기초설계기준, 2003). 그러나, 균등침하의 경우 이로 인한 블록의 균열을 발견되지 않으나, 기초침하의 부등침하는 블록의 균열 뿐 아니라 구조물의 안정에 영향을 미치게 된다. 테르알메공법에서 적용하고 있는 허용침하량은 콘크리트 전면판의 경우 옹벽높이에 대해 $\theta < 1.5/100 \times H$ (여기서, θ 는 옹벽의 경사각)가 적용되는 것이 일반적이며 구조물에 대해서는 교량, 고가의 접속부에 있는 보강토옹벽의 경우 10~20cm, 이외의 구조물에 대해서는 15~30cm를 허용침하량으로 하고 있다((社)セメント協會, 1994). 한편, 미국연방도로국(FHWA, 1995)에서는 보강토옹벽의 부등침하에 대한 저항성을 고려하여 부등침하량을 보강토옹벽 길이에 대해 1% 이내가 되도록 하며 이를 기준으로 지반개량여부를 판단토록 제시하고 있다(FHWA, 1995).

블록식보강토옹벽에 대한 기초지지력 해석에서 National Concrete Masonry Association(NCMA, 1997)에서는 그림 2와 같이 잘 다져진 자갈혼합체에 대하여 보강토저면의 압력분포는 사다리꼴 분포(1:2)와 Meyerhof 제안식을 이용하여 검토하도록 하고 있다. 즉, 보강토체 저면에 대해 연속물기초로 가정하여 전면전단파괴를 검토하며 기초지반의 과잉응력과 침하량을 초과하지 않도록 하고 있으며 기초폭 B는 블록폭에 대해 지반반력의 편심효과를 고려하도록 하고 있고 이를 등가지지폭당 작용지지압 Q_a 와의 비로서 식 1과 같다(NCMA, 1997).

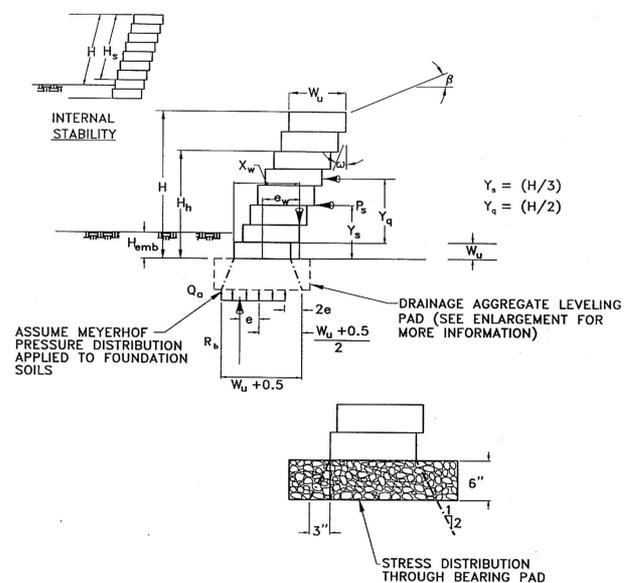


그림 2. 블록식 보강토옹벽 기초 지지력 평가 모식도(NCMA, 1997)

$$FS = Q_{ult} / Q_a \quad (1)$$

$$Q_{ult} = c_f N_c + 0.5 \gamma_f B_f N_\gamma + \gamma_f H_{emb} N_q \quad (2)$$

여기서, N_c, N_γ, N_q 는 Meyerhof의 지지력 계수, $B_f' = B_f - 2e$ 이다.

한편, 미국연방도로국에서는 지지력평가를 위해 전단전반파괴 및 국부전단파괴를 고려하도록 하고 있고 설계안 전율은 2.0~2.5를 추천하고 있다. 또한, 기초지반의 큰 수평이동을 막기 위하여 Hertz et al(1995)는 $\gamma_b H / 3 \leq c_b$ 이 되도록 권장하도록 권장하고 있다. 후자는 연약한 기반층의 압착에 의한 전단파괴 형태를 고려한다. 전자의 경우, 보강토체 상부에 성토사면하중이 작용하면 보강토체 저면에 작용하는 수직응력의 합과 저면중심의 편심거리를 고려하도록 하고 있고, NCMA와 동일하게 Meyerhof의 지지력 산정식을 사용하도록 하고 있다.

3. 현장에서의 기초지지력 평가

3.1 현장에서의 기초지지력평가에서의 문제점

앞절에서와 같이 기초지지력을 평가하기 위해서는 기초판을 다짐에 의해 확보하고 다짐된 지반의 강도에 따라 지지력을 평가하고 있다. 즉, 기초지반의 내부마찰각(ϕ) 및 점착력(c)의 함수로 평가되어진다. 이들 특성은 식 2에서도 알 수 있다. 따라서, 현장에서의 지지력을 보다 엄밀히 적용하기 위해서는 지반강도정수를 파악하는 것이 중요하다. 그러나, 보강토옹벽은 시공현장에서는 부대구조물로서 취급되고 있는 정도이며 이를 위하여 지반물성을 파악하기 위한 물리·역학적 시험이 수행되어야 함에도 불구하고, 표준관입시험에 의한 N 값을 이용하는 정도가 고작이며 뿐 만 아니라, 대부분 현장에서는 보강토옹벽의 지침서(예를들면, NCMA, FHWA 및 BS code 등)에서 제시하고 있는 재료의 문헌적 고찰을 통해 제시·적용되고 있다. 보강토옹벽의 기초판 설치위치는 지표로부터 1m 정도 내외에서 결정되게 되므로 중장기적으로 기초지반을 평가하는 경우 보강토옹벽의 높이가 높아져서 상재하중이 커지게 되면 잘 다져진 기초판도 지반침하에 의한 부등침하가 발생할 수 있게 된다.

3.2 현장에서의 기초지지력 평가 분석

본 절에서는 상기와 같은 현장사례로서 도로 현장의

시공과정을 통해 보강토옹벽 시공현장에서의 기초지지력 확보를 위한 시공현황, 평가방법 등에 대하여 고찰하여 보았다. 먼저, 본 현장은 교량의 교대 주위에 블록식보강토옹벽을 시공한 사례로서 지반조사 미비, 지지력부족, 강우에 의한 주위환경조건의 미고려, 시공순서 및 방법의 혼란 등이 주원인으로 제시된 바 있다(한중근 등 2005). 이러한 현장에서 수행되는 현장에서의 기초지지력 평가를 위해 수행되는 과정은 그림 3과 같이 평판재하시험에 의한 결과를 이용하는 경우가 최선의 방법으로 적용되고 있는 실정이다.

그림 3과 같이 시공된 상황에서 강우조건과 시공상황을 판단하여 보강토옹벽의 붕괴형상은 보강토옹벽을 포함한 전면 사면붕괴로 판단되며, 붕괴의 원인은 집중호우에 의해 침투된 강우에 의한 지하수위상승이 보강토옹벽 기초지반에 침투하여 지속적으로 상존하는 상태에서 교대부 말뚝항타에 의한 급격한 지반지지력의 약화가 주요원인이라 할 수 있다. 또한, 성토구조물을 설치하는 경우 산지로부터 유입되는 지하수를 지반이 그대로 흡수하는 효과가 발생하였으며, 지하수 배제를 위한 지층구성이나 지형조건을 고려한 방법들이 제대로 고려되지 못한데 기인한 것으로 판단되었다.

이상에서와 같이 보강토옹벽 구조물이 대형화되면서 보강토옹벽 기초의 지지력 확보에 대한 요구는 더욱 커졌음에도 불구하고 아직까지 구조물의 일부로서 취급되지 못하는 현실과 함께 기초지반의 물리적, 역학적 특성을 제대로 파악하지 못하고 있고, 또한, 각 시공주체 혹은 설계지침서의 주요기준을 마련하지 못한 상태에서 뒤채움재의



(c)기초치환 후 콘크리트 타설 (d)보강토옹벽 최종시공상태

그림 3. 기초지지력 확인을 위한 시험과정

재료특성을 그대로 사용하거나 간단한 재하시험에 의한 결과만을 사용하고 있는 현실은 최근의 많은 블록식보강 토옹벽 및 여러 가지 보강토옹벽의 균열이나 붕괴의 원인이 되고 있다 할 것이다.

한편, 본 절에서 제시된 사례에서 보는 바와 같이 기초 지지력의 약화는 보강토옹벽 기초 배면 지반의 뒤채움재에 대한 저항지지력의 확보와도 관련하여 대규모 파괴형상인 구조물을 포함한 전체사면활동을 일으키게 된다. 따라서, 보강토옹벽의 기초지지력의 확보는 대규모 보강토옹벽 구조물에서 사면활동에 대한 역지력의 영향도 검토하고 이들의 안정효과도 고려하여야 할 것이다. 이에 대하여는 다음 절에서 본 현장사례를 기초로 검토하였다.

4. 기초지반개량의 지지력상승 및 사면활동억지 효과

보강토옹벽의 기초지지력은 보강토옹벽 자체의 하중과 뒤채움재의 전체하중에 대한 연직응력성분에 대하여 지지 저항력을 나타낸다. 따라서 대부분의 보강토옹벽의 안정은 지지력뿐 아니라 기존 보강토옹벽의 내적안정, 외적안정, 국부안정을 만족하면 구조물의 안정을 확보하게 되지만, 기초지반이 지지력을 만족하도록 시공되더라도 연직 지지력만을 만족하게 되므로 만약 보강토옹벽의 기초층이 전체사면활동의 잠재적 활동면에 존재하게 되는 경우 활동력(수평력)을 받게 되므로 기초층의 전단저항력에 영향을 받게 된다. 기초지지력 향상과 지반활동의 억제에 대해 가장 많은 방법으로 시멘트고화재를 첨가하여 지반을 개량하여 지반강도정수를 향상시키는 방법들이 활용되고 있다. 즉, 표 1과 같이 개량도의 고화재첨가량에 따른 양생일수

별 일축압축강도증가에 따라 적용하게 되면 사질토지반에서의 약액을 이용한 고화작용은 모래의 점착력을 향상시키기 위해 사용하며 사용 후에는 수배~수십배의 강도증가효과가 있음은 잘 알려져 있다. 모래의 밀도에 따른 삼축 시험결과인 내부마찰각의 증분은 거의 없으나, 점착력의 경우 조밀한 모래는 $0.59\text{kg/cm}^2 - 1.18\text{kg/cm}^2$, 느슨한 모래의 경우는 $0.45\text{kg/cm}^2 - 0.64\text{kg/cm}^2$ 정도가 증가하는 것으로 나타났다. 일반적으로 용액형 물유리체를 주입한 모래의 경우 모래질의 점착력은 대략 $0.5\text{kg/cm}^2 - 2\text{kg/cm}^2$ 의 범위를 갖는 것으로 알려져 있다(社)セメント協會, 1994).

따라서, 보강토옹벽 하부 기초지반의 지지력확보와 연약층을 지나는 임계활동 파괴면에서의 활동저항력 증가를 위해 지반개량이 필요하며, 이를 위한 소요지반강도 개량을 위해서는 시멘트그라우트나 시멘트고화재를 이용한 지반강도의 증분값을 고려하여 기초지지력의 사면활동에 대한 영향을 보강토옹벽구간중 미붕괴구간의 최대높이가 되는 부분(그림 4의 C-C구간)에 대하여 지반개량효과에 따른 사면활동을 지하수위 영향을 고려하여 검토하였다. 이때 사용한 해석 소프트웨어는 Slopile ver 3.0으로 해석방법은 수정 Bishop법을 이용하였다.

먼저, 현재 시공상태에서 보강토체를 지나는 활동을 고려하지 않은 경우 지하수위별 사면안정은 표 2와 같이 0.95 이하로 불안정한 상태를 보이고 있으며, 지반개량(기초지지력 향상)효과가 없는 경우 보강토옹벽의 안정을 만족하기 위해서는 그림 5와 같이 압성토를 하여야 하며 이 경우 지하수위상승 효과를 고려하면 압성토 기울기가 1;1.8 이상, 높이는 10m 이상을 만족하여야 하므로 기존의 미붕괴 보강토옹벽 구간이 지중에 놓이게 되어 현실적이지 못한

표 1. 개량도의 일축압축강도시험 예(社)セメント協會, 1994)

종류	고화재첨가량(%)	양생일수(일)	함수비(%)	습윤밀도(g/cm ³)	최대하중변형률(%)	일축압축강도 q_u = (kgf/cm ²)
사질점토	-	-	33.8	1.832	15.0	0.28
개량	5	1	29.9	1.871	1.9	5.93
		4	30.4	1.868	0.6	8.63
		7	30.8	1.863	1.6	8.88
	10	1	29.2	1.931	2.2	9.58
		4	28.1	1.905	1.9	17.5
		7	28.6	1.905	1.8	22.1
	15	1	26.0	1.925	1.9	14.2
		4	26.1	1.942	0.9	29.6
		7	26.3	1.926	1.2	34.8

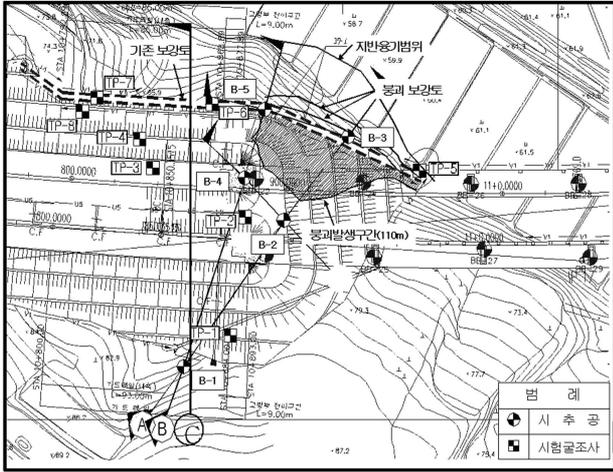


그림 4. 현황 평면도 및 지반조사 위치도

표 2. 현시공상태 및 시공완료후 기초지반 개량을고려하지 않은 보강토옹벽의 전체안정

개량정도 및 개량구간		원지반	압성토 고려시		
사면 안전율	지하 수위 상태		1:1.5	1:1.8	1:2.0
	건기시	0.950	1.302	1.348	1.390
	봉적토층 상부	0.945	1.242	1.296	1.331
	매립토층 상부	0.805	1.153	1.211	1.250

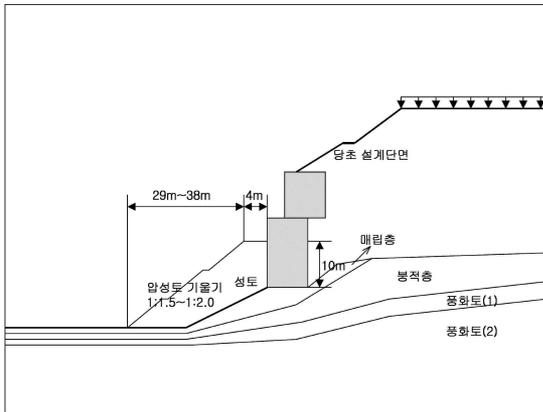


그림 5. 압성토만 고려한 경우

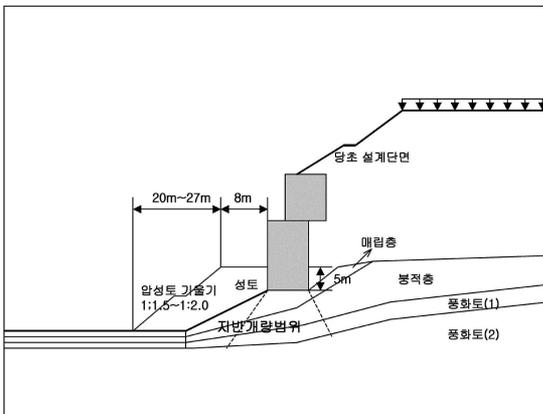


그림 6. 기초지반 개량효과 고려한 경우

표 3. 기초지반개량에 따른 보강토옹벽의 전체안정

기초지반 개량		사면안전율		
개량정도	지하수위	매립토층	봉적토층	풍화토층(1)
$c=3t/m^2$	건기시	1.012	1.103	1.104
	봉적토층 상부	0.987	1.045	1.101
	매립토층 상부	0.854	0.934	0.985
$c=4t/m^2$	건기시	1.027	1.149	1.154
	봉적토층 상부	0.993	1.051	1.123
	매립토층 상부	0.867	0.938	1.005
$c=5t/m^2$	건기시	1.033	1.202	1.206
	봉적토층 상부	0.998	1.062	1.189
	매립토층 상부	0.877	0.942	1.025

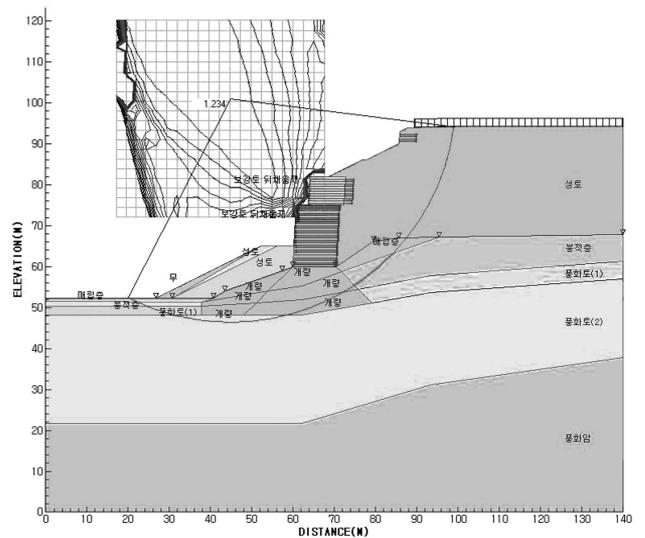


그림 7. 기초지반 및 활동저항력 증가를 고려한 보강토옹벽 전체 사면활동 해석 예

표 4. 최종시공상태에서의 지지력보강후 전체안정

압성토구배		1:1.5	1:1.8	1:2.0	
사면 안전율	지하 수위 상태	건기시	1.351	1.376	1.419
	봉적토층 상부	1.299	1.324	1.361	
	매립토층 상부	1.197	1.221	1.260	

- 주1) : 보강토체내를 지나는 활동은 고려치 않음
- 주2) : 기존 보강토옹벽 배면 사면기울기 1:1.8
- 주3) : 지반개량 시 점착력은 $5t/m^2$ 를 적용

경우가 된다. 또한, 압성토를 고려하지 않고 기초지반의 지지력향상만을 고려한 경우에는 표 3과 같이 해석결과를 얻을 수 있었다. 즉, 표에서 보는 바와 같이 보강토옹벽 구조물의 전체사면활동에 대한 안정은 지지력이 상승함에도 불구하고 안정치 만큼 증가하지 못하며 약간의 상승치

만 보였다. 따라서, 보강토옹벽의 전체 활동에 대한 억지력을 갖는 상태가 되기 위해서는 그림 7과 같이 기초지력 상승효과 및 사면활동억지효과가 있도록 압성토공을 혼합하여 고려하는 것이 합리적일 것으로 사료되므로 이에 대한 해석결과를 요약하면 표 4와 같다.

5. 결 론

본 연구에서는 점차 대형화되어 가는 보강토옹벽 구조물의 시공전후에 발생하는 보강토블록의 균열발생대부분의 원인이 되는 기초지반의 부등침하와 관련하여 기초지력의 설계시 평가법 및 시공시 평가법에 대하여 고찰하였다. 현장에서 실시되고 있는 실제 시공사례를 이용하여 보강토옹벽의 안정을 기초지력을 만족하지 못하는 경우에 대한 대책방안을 제시하고 그 방안의 활용성을 제시하였다.

또한, 보강토옹벽의 기초부분은 옹벽구조물을 포함한 전체사면의 잠재적 활동면의 범주 내에 있게 되므로 기초지력을 담당하는 지반은 지반의 활동저항력에 영향을 받게 된다. 따라서, 국내에서 많이 사용되고 있는 시멘트 고화재의 개량체를 고려하여 지하수위영향을 고려한 상호효과를 검증하였다.

현장사례와 해석을 통해 기초지력을 부담하는 기초지반은 지지력에 대한 안정을 만족할 뿐 만 아니라 전체사면활동에 저항하는 억지능력에 대하여도 고려하여야 함을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 2004년도 서울중소기업청의 지원에 의해 이루어졌으며 이에 감사드리는 바입니다.

참고문헌

1. 구조물 기초설계기준(2003), 한국지반공학회.
2. 유충식, 정혁상, 이성우(2004, a), “보강토옹벽의 사고사례에 관한 연구”, *한국지반공학회 봄 학술발표회*.
3. 유충식, 정혜영, 정혁상(2004, b), “강우로 인한 보강토옹벽의 붕괴사례 연구”, *2004 가을 토목섬유 학술발표회 논문집, 한국토목섬유학회*, pp.51-59.
4. 조삼덕, 주재우, 김성태, 김재영, 장용채, “보강토옹벽의 한계 파괴조건에 대한 실험적 연구”, *2003 가을 토목섬유 학술발표회 논문집, 한국토목섬유학회*, pp.83-90.
5. 토질조사보고서(2004) 라온이엔지.
6. 한중근, 조삼덕, 한승호, 신도순(2004), “블록식 보강토옹벽에 미치는시공조건 영향분석”, *한국환경복원녹화기술학회 추계학술발표회*, 한국환경복원녹화기술학회, pp.81-85.
7. 한중근, 조삼덕, 정상섭, 이광우, 홍기권 (2005), “블록식보강토옹벽의 전면 사면붕괴 사례연구”, *2005년 한국토목섬유학회 춘계학술발표회 논문집*, pp.101-110.
8. Federal Highway Administration. 1996. Mechanical stabilized earth wall and reinforced soil slopes design and construction guideline. FHWA Demonstration Project 82(Elias, V. and Christopher, B.R.).Washington, DC. USA.
9. National Concrete Masonry Association. 1996. Segmental retaining wall design manual., 1st Edition. Virginia. USA.
10. (社)セメント協會(1994), *セメント系固化材による地盤改良マニュアル第2版*, pp.29-48.

(논문접수일 2006. 2. 18, 심사완료일 2006. 3. 15)