

시공환경을 고려한 블록식 보강토옹벽의 붕괴요인 분석 및 대책방안 사례연구

Case Study on the Countermeasure Methods and Collapsed Sources of Segmental Retaining Wall Considering Site Conditions

*1 한중근 Han, Jung-Geun

*2 조삼덕 Cho, Sam-Deok

*3 정상섭 Jeong, Sang-Seom

*4 이광우 Lee, Kwang-Wo

*5 김지선 Kim, Ji-Sun

Abstract

The geosynthetic reinforced segmental retaining walls(SRW) are improved that the disadvantage of existed retaining wall and the workability in field. Recently, the segmental retaining wall is replacing the existed wall because it is quickly advanced to using by the block in-situ. The use, therefore, is increasing. But, the trends of the large scaled construction was developed that the problems likely to crack and collapse, those are caused of careless in design and construction of SRW not considering about various surrounding conditions.

In this study, the cause analysis on destructed SRW was carried out that based on the datum of measured displacement of walls, rainfall features and ground sounding conditions. Also, the analysis of the global slope stability was carried out on collapsed section and non-collapsed section using critical equilibrium method. For the rational stability and analysis of slope including SRW structure, the site conditions including situations of topography, ground and histories of construction and collapse etc should be considered. The rational countermeasure methods for non-collapsed and collapsed areas may be sustained as much as possible current state.

요 지

토목섬유를 이용한 보강토 옹벽은 기존의 콘크리트 옹벽에 단점을 보완함과 동시에 시공성 역시 탁월하여 사용이 증가되고 있다. 그러나 옹벽 대규모화에 따른 설계 및 시공상의 부주의로 인해 전면에 변위가 발생하고 전체적인 옹벽의 균열 및 붕괴가 발생한다. 본 연구는 이러한 토목섬유 보강토 옹벽의 전면활동과괴가 발생한 고속국도 현장지역사례의 붕괴원인을 지반 조사와 변위계측, 강우계측 등을 통하여 분석하고 강우 시 발생된 침출수의 영향을 검토하기 위해 건기시와 우기시로 구분하여, 붕괴 구간과 미붕괴 구간의 안정성을 평가 분석하였다. 블록식 보강토옹벽의 보다 합리적인 안정 및 해석을 위해서는 주위 지반 및 지형을 고려한 시공환경을 적극적으로 고려하여야 하며, 붕괴전 구역의 보강대책은 기존시공상태 및 붕괴된 상태를 가능한 유지할수 있도록 하는 방안이 합리적으로 고려되었다.

Keywords : Segmental retaining wall, Global slope stability, Site condition, Countermeasure methods

*1 중앙대학교 공과대학 건설환경공학과 조교수 (Assistant Professor, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Chung-Ang Univ)

*2 한국건설기술연구원 지반연구부 수석연구원 (Research Fellow, Geotechnical Eng. Research Dept., KICT)

*3 연세대학교 공과대학 토목공학과 교수 (Professor, Dept. of Civil Engineering, Yonsei Univ)

*4 한국건설기술연구원 지반연구부 연구원 (Researcher, Geotechnical Eng. Research Dept., KICT)

*5 중앙대학교 공과대학 토목공학과 석사과정 (Graduate Student., Dept. of Civil Engineering, Chung-Ang Univ)

1. 서론

블록식 보강토 옹벽은 최근 옹벽, 도로 및 교대 등의 여러 구조물에 다양하게 적용되면서 이들 공법의 개발은 눈에 띄게 향상되었다. 이는 구조적으로 유연한 특성을 지니고 있어 기초지반이 불안정하거나 지진활동이 발생하는 지역에서 적용성이 뛰어난 것으로 알려져 있으며, 기존의 옹벽에 비해 시공성과 경제성에 있어서 기존 콘크리트 옹벽보다 이로운 점이 많다.

우리나라에서의 보강토 옹벽의 시공사례들은 기존의 콘크리트 옹벽의 단점을 상당히 보완된것을 보여주고 있지만 최근까지도 옹벽이 설치되는 지반의 물리·역학적 특성 및 지반안정에 영향을 미치는 각종환경조건을 적절히 고려하지 못하여, 빈번히 기초지반 침하 및 블록으로 구성된 전면판의 균열이 발생할 뿐 아니라 보강토 옹벽을 포함한 전면사면붕괴가 발생하는 사례가 증가하고 있다. 본 연구에서는 보강토 옹벽을 포함한 전면사면붕괴의 현장사례를 통해 그 붕괴원인을 시공환경 요건에 따라 조사 분석하여 보고 합리적인 대책 방안에 대해 고찰해 보고자 한다.

2. 전면사면붕괴이력 및 현장상황

2.1 현장 및 지반조사 현황

본 연구대상지역은 고속국도 ○○지역으로서 교

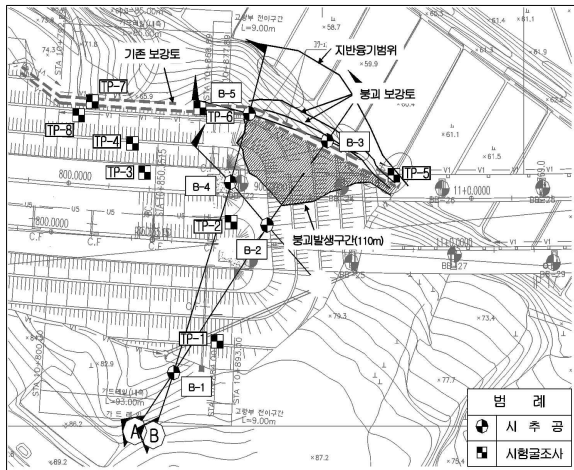


그림 1. 현황 평면도 및 지반조사 위치도

대부 시공구간에 블록식 보강토옹벽이 시공된 곳으로 우측은 비교적 완만한 지형의 산지에 속하는 구간이고 좌측으로는 농경지가 분포하고 있다(그림 1참조).

보강토 옹벽 및 교대기초 말뚝 시공부분으로 구분되며 2단 옹벽으로 설계 시공되었고 1단, 2단 보강토 옹벽높이는 각각 15m, 7m이며 대표 단면의 지반구성은 그림 2에서 보는바와 같다. 한편 연구대상의 시공현황은 그림 3에서 보는바와 같이 2004년 3월~5월 1단 완료 후, 동년 6~8월 2단 시공 완료하였다. 옹벽시공 완료 후 배면 6m 성토 후 교대 기초말뚝 하향방향에 대한 항타 완료되었으며 상향방향 항타 중 9월 19일부터 총 34분의 말뚝중 20분 항타시 보강토옹벽을 포함한 전반활동과파가 발생하였다.

붕괴후 지반조사결과 본 현장은 도로성토구간의 상부로부터 표토층, 매립층, 붕적층, 풍화암층 순으

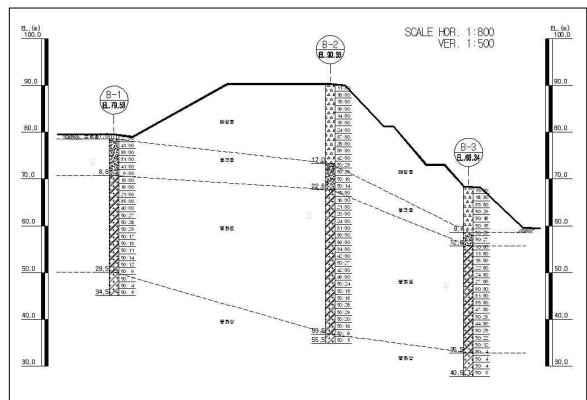


그림 2. A-A 단면

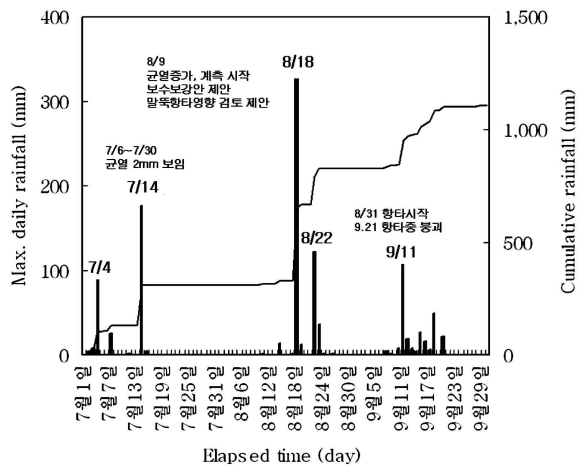


그림 3. 강우량과 시공일지

로 구성되어 있으며, 전체적으로 황갈색 또는 암갈색을 띠고 있으며, 1m 두께의 표토층은 암갈색 점토질 실트층으로 구성되어 있다. 본 현장의 물리·역학적 특성을 조사하기 위해 SPT, USCS 및 현장투수시험, 직접전단시험, 공내전단시험을 수행하였고, 또한 본 현장은 우기 및 태풍 등의 집중강우가 예상되는 지역으로 강우시 영향을 고려해 투수시험을 수행하였다. 이들 결과를 바탕으로 기존의 문헌과 경험식 등을 접목시켜 표 1과 같이 안정해석을 위한 지반 물성치를 결정하였다.

3. 블록식 보강토옹벽의 붕괴전 변형 및 원인조사

보강토옹벽의 균열 발생지점과 이 지점의 기초지반 현황을 파악하기 위해 2차 균열발생이후 부분적인 지반굴착을 통한 육안조사를 수행하였으며 그 결과는 그림 4에서 보는바와 같다. 조사결과 층파기 후 설치한 기초부분에서 균열 및 부등침하가 발생한 것으로 관측되었고, 기초부분이 다소 기울어진 현상도 관측되었다. 또한 10+860~10+920의 보강토옹벽전

표 1. 해석에 적용된 최종 지반물성

지층	N치	$\gamma(t/m^3)$	$c(t/m^2)$	$\phi(deg)$	$E(t/m^2)$	ν
전면판	-	2.4	-	45.0	$2.58 \times E6$	0.25
보강토	-	1.9	2	35.0	$1.4 \times E4$	0.3
성토층	14	1.9	0.45	35.0	$3.92 \times E3$	0.3
매립층	14	2.0	0.12	30.0	$3.92 \times E3$	0.35
붕적층	21	1.9	0.15	33.2	$5.88 \times E3$	0.4
풍화토층 (1)	21	1.9	1.50	26.3	$8.4 \times E3$	0.3
풍화토층 (2)	50	1.9	1.50	32	$1.4 \times E4$	0.2
풍화암	50	2.2	0.2	38	$3.0 \times E4$	0.2

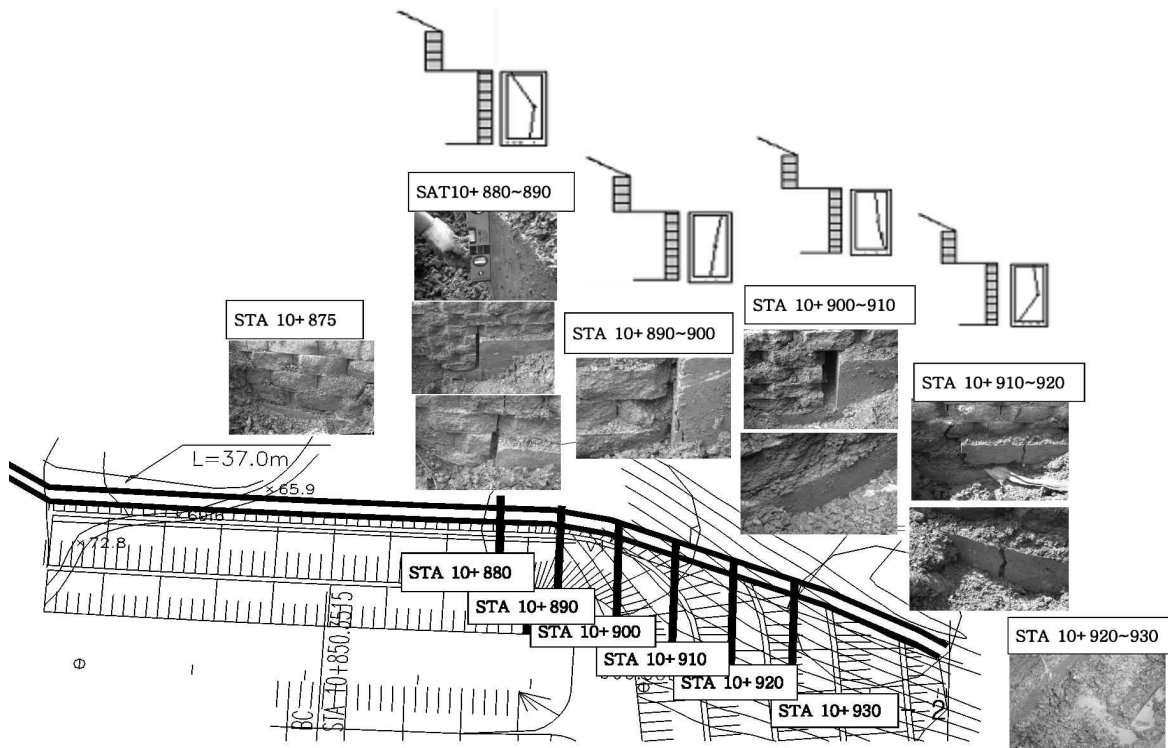


그림 4. 보강토옹벽 붕괴직전의 지반 및 옹벽 변위발생 현황

면의 발생 변위를 비교하여 광과측량에 의한 옹벽면의 변위량을 측정한 결과 보강토옹벽 붕괴 부근에서는 하부 옹벽이 전체적으로 움직이고 있는것이 관찰되었고, 이러한 거동은 구조물의 전체 사면의 변위진행과정을 파악하는 기초자료가 될 수 있으며 이러한 계측방법에 의해 보강토옹벽과 같이 옹벽의 전면이 개별적 거동이 파악가능하다. 8월 31일 교대기초말뚝이 시공되기 시작한 이후에도 보강토옹벽의 전면 방향 변위의 선형적 증가가 붕괴시기까지 계속되었다. 한편, 미붕괴 구간의 경우는 교대기초말뚝 시공 시점인 8월 31일까지 특별한 이상이 없다가 말뚝향타와 함께 변위가 배면쪽으로 다소 발생하는 것으로 계측되었다.

붕괴된 구간의 보강토옹벽의 경우 8월 9일 이후 발생된 균열발생원인은 그림 1의 지형도 및 그림 2의 지층구성 상태를 비교한 결과 집중호우시 산지로부터 유입되는 유입수의 자연배수 경로가 형성되어 있었으며, 이는 지반내에서도 마찬가지로 발달되어 있을 것으로 예상된다. 또한 도로성토 하단부가 붕적층과 만나고 있어 지하수 유입의 원인을 제공한 것으로 판단된다. 지하수 침투로가 형성될 것으로 예측된 부분의 지반에서는 물이 유출되어 나오는 현상이 관측되어 기초지반이 이미 포화상태에 이른 것으로 판단되었다. 즉, 그림 2에서 보는바와 같이 상당한 두께의 붕적층이 도로성토 선단 하부에 위치하고 있어 산지로부터 유입되는 많은 양의 지표수들이 당시 배수시설이 불비한 상태에서 이 지층을 따라 상당히 유입되었을 것으로 판단되며 연약한 기초 지반상태의 원인이 되었을 것으로 판단되었다.

4. 보강토옹벽의 안정해석 및 보강대책방안

4.1 시공단계에서의 강우조건을 고려한 기존 설계단면에 대한 안정 해석

본 연구에서는 시공단계 강우조건을 고려한 보강토 옹벽을 포함한 사면의 안정성 및 거동특성을 파악하기 위하여 그림 1의 A-A 단면 및 B-B 단면에 대해 사면안정해석(Slope/W 4.0 및 Slopile 3.0)을 수행하

였다. 또한 미 붕괴구역의 보강토 단면은 B-B 단면에 인접해 있어 동일한 단면을 채택하였으며 강우시 지하수의 상승조건을 고려하여 사면안전을 변화양상을 검토하였다.

강우로 인한 침출수의 영향을 안정해석시 고려하기 위해 설계단면을 우기시와 건기시로 구분하고 붕적층 중간, 붕적층 상부, 매립층 상부까지 점진적으로 상승하는 것으로 가정하여 지하수위의 영향을 고찰해 보았다. 해석결과는 표 2와 같고 예상과괴 단면은 그림 5, 6과 같으며 실제 붕괴단면과 유사 하였다. A-A 단면의 경우 건기 시는 충분한 안정성을 확보하나, 우기 시에는 지하수위가 상승하여 매립토층 상단에 위치할 때 사면활동에 가장 취약한 것으로 나타난다. 또한 이때의 안전율은 1.22로 계산되었다. 그러나 이 경우 최소 기준안전율 1.0 이상을 만족하므로 충분히 안정한 것으로 판단된다. 반면 B-B 단면의 경우 A-A 단면과 달리 건기시 부터 안전율이 미약하여, 지하수위가 매립토 상부까지 상승하였을 때 사면활동 저항에 가장 취약한 것으로 나타났다. 이때 안

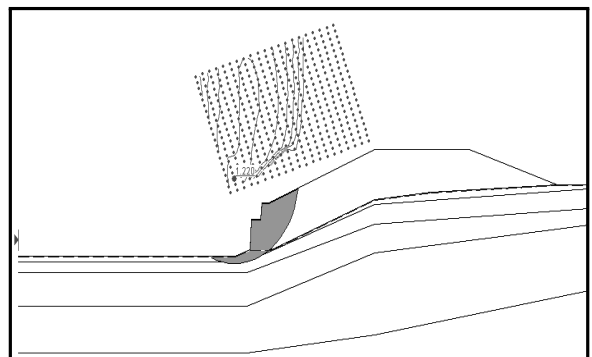


그림 5. 우기시 A-A사면 파괴형상(Min. $F_s = 1.22$)

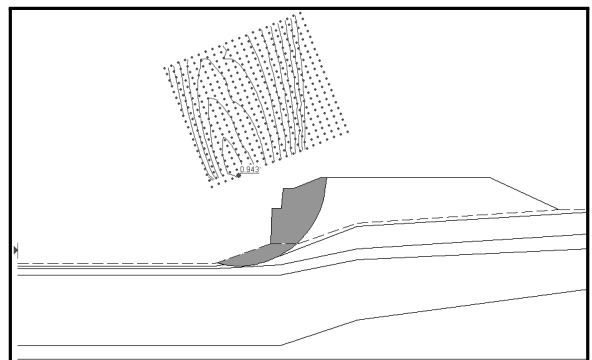


그림 6. 우기시 B-B사면 파괴형상(Min. $F_s = 0.94$)

표 2. 강우시 지하수의 상승을 고려한 한계평형 해석결과

단 면		한계평형해석			
		Bishop	Spencer		
A-A 단 면	우 기	건기	1.345	1.333	
		붕적토층 중간	1.345	1.333	
		붕적토층 상부	하단 전면판 시공	-	-
			상단 전면판 시공	1.345	1.333
		매립토층 상부	1.220	1.220	
B-B 단 면	우 기	건기	1.223	1.218	
		붕적토층 중간	1.135	1.134	
		붕적토층 상부	하단 전면판 시공 (1/2)	-	-
			하단 전면판 시공 (2/2)	-	-
			상단 전면판 시공	1.061	1.061
		매립토층 상부	0.937	0.943	

전율은 0.937이며 기준안전율 1.0을 만족하지 못하므로 최소한의 안정성을 확보하지 못한 것으로 판단된다.

따라서 지하수위의 상승정도가 전체사면의 안정성에 결정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 옹벽이 붕괴될 당시의 지하수위를 정확히 추정하는 것은 어려우나 8월 20일 전후로 하여 100mm/day 정도의 강우가 수차례 있었던 점으로 미루어 지하수위가 붕

적층 상부로 부터 매립토층사이에 걸쳐 있었던 것으로 추정되며 그 결과 보강토 옹벽이 최소한 가까스로 안정을 유지하고 있었던 것으로 판단된다.

4.2 붕괴구간의 임시 사면대책 및 안정해석

현재 붕괴된 구간은 사면의 활동으로 일부분의 전면판과 보강토부분을 절취하여 사면의 경사를 완만하게 그림 7 과 같이 임시복구한 상태이다. 현재 임시복구된 A-A, B-B 단면에 대하여 각각 지하수위(건기, 우기)에 따라 상용 프로그램 Slope/W 4.0 및 Slopile 3.0로서 해석 수행하여 사면의 안정성을 검토하였으며, 향후 임시복구된 사면에 10m 성토 계획이 있으므로 이에 대한 안정성 검토도 수행하였다. 안정성 검토시 “구조물 기초설계기준(2003)”에 따라 건기시 1.3, 우기시 1.2를 기준안전율로 하였다.

A-A 단면이 건기, 우기시 지하수위에 따른 기준 안전율을 만족하였지만, 향후 10m 성토시(시공완료 단면) 기준안전율을 다소 만족하지 못하기 때문에 향후 최종 10m 성토시 기준안전율을 만족하도록 현재 임시복구 A-A 단면의 하단부로부터 추가성토를 1:1.5의 기울기로 작업의 편의상 압성토 높이를 임시복구높이 기준으로 하며 1.5m 소단을 두도록 보강방안을 제시하여 해석을 수행해 본 결과(그림 8 참조) 허

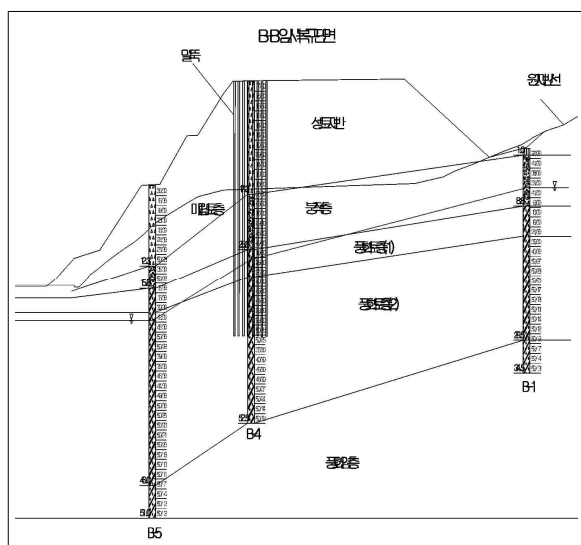


그림 7. 검토된 임시 복구 A-A 단면

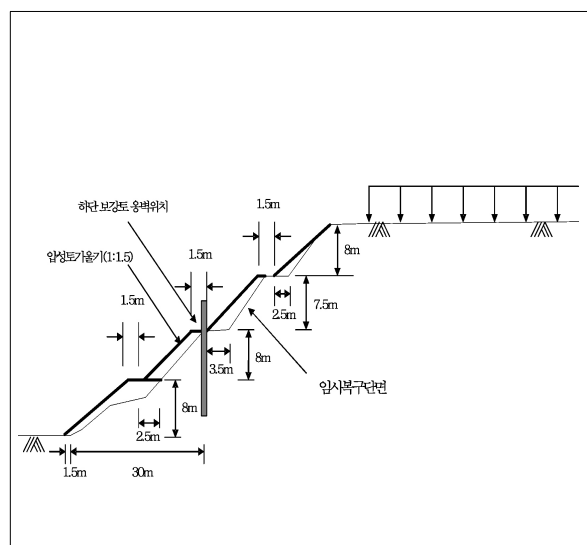


그림 8. 압성토 공법단면

표 3. 지하수위에 따른 최소안전율

단 면			한계평형해석		
			Bishop	Spencer	
A-A 단 면	임시 복구	건 기	1.587	1.578	
		우 기	붕적토층 중간	1.587	1.578
			붕적토층 상부	1.494	1.495
	10m 추가 성토	기	매립토층 상부	1.363	1.363
			건 기	1.450	1.439
			붕적토층 중간	1.431	1.425
B-B 단 면	임시 복구	우 기	붕적토층 상부	1.347	1.344
			매립토층 상부	1.245	1.244
		건 기	1.352	1.344	
	10m 추가 성토	우 기	붕적토층 중간	1.352	1.344
			붕적토층 상부	1.352	1.344
			매립토층 상부	1.210	1.205
10m 추가 성토	기	건 기	1.279	1.272	
		붕적토층 중간	1.279	1.272	
		붕적토층 상부	1.279	1.272	
10m 추가 성토	기	매립토층 상부	1.156	1.152	

용 안전율을 만족하는 것으로 나타났다(표 3 참조). 또한 압성토로 인한 지하수위의 상승 가능성이 존재함으로 추가적인 배수공법의 보완이 필요하다고 판단되었다.

B-B 임시복구단면의 경우 건기, 우기시의 안전율은 모두 기준안전율을 만족하나, 10m 성토단계에서는 건기와 지하수위가 매립토층 상부에 위치할 경우의 우기시 기준안전율을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 사면활동을 억제할 있는 억제공법 및 억지공법중 억지말뚝 역할과 주변지반에 그라우팅으로 지반을 보강할 수 있는 고압충진 Micro Pile 공 및 Earth Anchor 지지공과 압성토 보강공을 그림 9, 10과 같이 채택하였으며 그 결과 건기, 우기시의 안전율은 표 4, 표 5와 같이 모든 시공단계에서 기준안전율을 만족하고 적용 가능하였다. 단, 압성토로 인한 지하수위의 상승 가능성은 해석에서 고려하지 않았다.

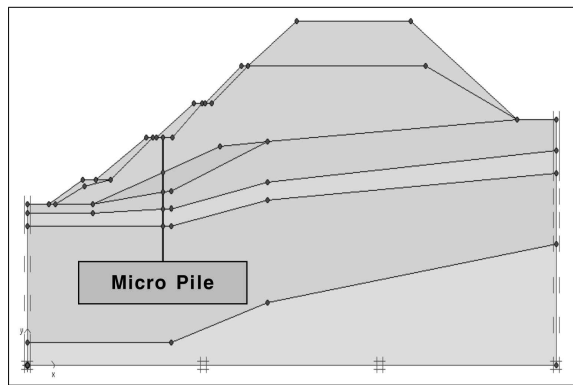


그림 9. Micro Pile 공법 해석단면

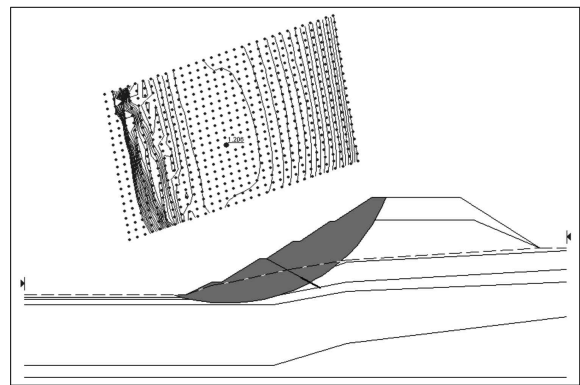


그림 10. 압성토 및 앵커 공법 해석 단면

표 4. 압성토 및 앵커 보강공법으로 해석한 안전율

건/우기시 지층상태		공법	한계평형해석		공법	한계평형해석	
			Bishop	Spencer		Bishop	Spencer
우 기	건기	압성토	1.382	1.372	압성토 + 앵커	1.462	1.451
	붕적토층		1.382	1.372		1.462	1.451
	매립토층상부(원지반)		1.259	1.253		1.321	1.305
	압성토 상부		1.101	1.099		1.232	1.211
우 기	건기	압성토 + 최종성토 10m	1.340	1.330	압성토 + 앵커 + 최종성토 10m	1.391	1.378
	붕적토층		1.340	1.330		1.391	1.378
	매립토층상부(원지반)		1.223	1.215		1.260	1.242
	압성토 상부		1.102	1.100		1.222	1.206

표 5. Micro Pile 보강해석시 안전율

Construction Stage	건기	우기
initial State	1.458	1.245
(하단 압성토 시공)	1.462	1.290
(하단 압성토 시공)	1.489	1.327
(Micro Pile 시공)	1.495	1.309
(3단 압성토 시공)	1.589	1.305
(4단 압성토 시공)	1.567	1.314
(상부 10m 성토)	1.303	1.213

4.3 미봉괴 구간의 사면안정해석 결과

미봉괴 구간은 현장에서 가장 성토 높이가 높은 구간으로 후속 시공을 위한 추가 성토시 사면활동이 예상된다. 따라서 현재 상태와 시공완료시에 대한 사면 안정해석을 상용 프로그램 적용한 Slopile 3.0(Bishop 방법)을 사용하여 검토하였고 각 지층의 물성은 앞서 제시한 표 2와 같다.

봉괴구간이 강우로 인한 침출수의 영향을 받았으므로 미봉괴 구간역시 강우로 유입된 침출수의 영향을 고려하기 위해 건기시와 우기시로 분리하여 나누어 수행하였는데 건기시의 지하수위는 풍화토층 중

간에 위치하는 것으로 가정하였고, 우기시에는 지하수위가 봉적층 상부 및 매립토층 상부(원지반)까지 상승하는 것으로 가정하였다. 사면안정해석 결과 현재상태에서 건기시는 풍화토층 중간에서 안전율이 0.988이고 우기시에는 봉적토층 상부 0.961, 매립토층 상부 0.820로서 사면안정율이 건기시 및 우기시 모두 1.0 이하인 것으로 나타나 겨우 안정한 상태를 유지하고 있는 것으로 보인다. 추가 성토시에는 사면 안전율이 건기시 풍화토층 중간에서의 안전율이 0.966이고, 우기시 봉적토층 상부일때 0.950 매립토층 상부일때 0.819로서 현재 상태 일때 보다 더 안전율이 감소하므로 활동과 발생이 심각하게 우려된다.

기존 설계안을 최대한 반영하기 위하여, 추가 보강토옹벽 없이 기존 보강토옹벽 상부의 성토부를 유지하는 상태에서 압성토 및 지반개량을 통해 사면안정율 증가를 도모하는 보강대책안 압성토와 지반개량만을 적용 검토하였다. 그림 13에서는 보강대책안에서 고려한 지반개량 범위 및 보강토옹벽 전면의 압성토 범위를 보여 주며 사면안정율 해석결과는 표 6과 같다. 보강토 배면 상부 성토사면을 원안 설계대

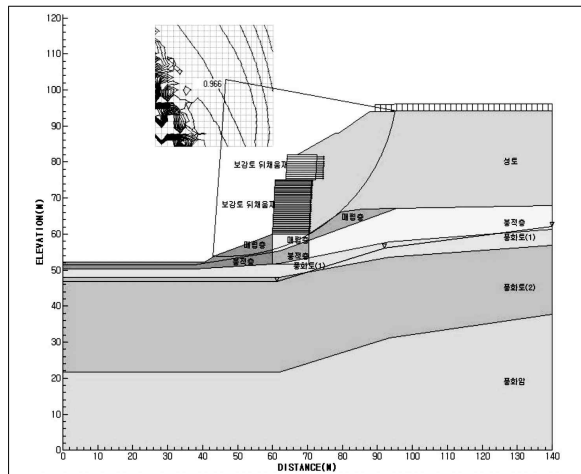


그림 11. 미봉괴 구간 건기시 현재 시공 상태

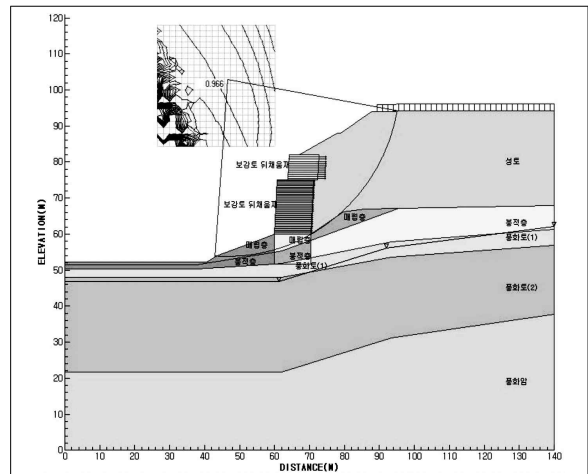


그림 12. 미봉괴 구간 우기시 최종시공 상태

표 6. 미봉괴구간 압성토 보강시 사면안정율

압성토구배		1:1.5	1:1.8	1:2.0	
사면안정율	지하수위 상태	건기시	1.351	1.376	1.419
		봉적토층 상부	1.299	1.324	1.361
		매립토층 상부	1.197	1.221	1.260

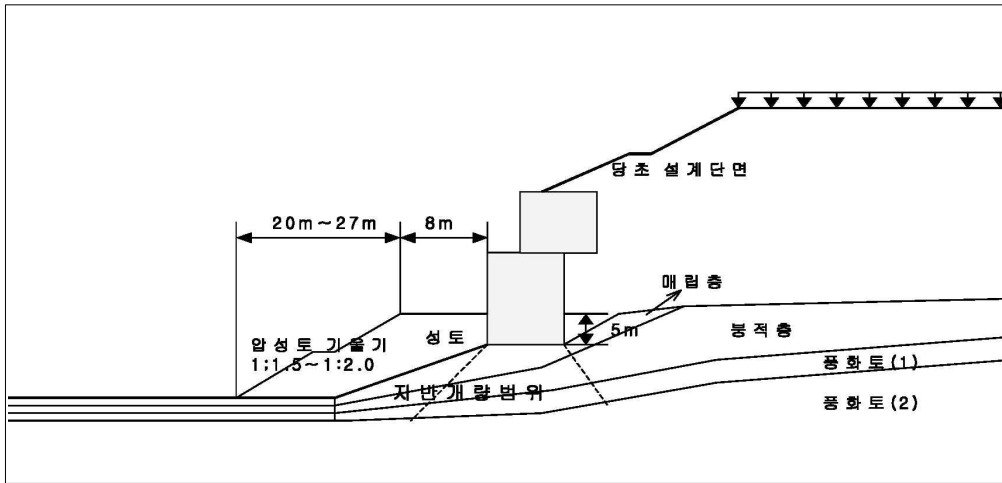


그림 13. 미붕괴 구역의 보강단면

로 유지시키기 위해서 다양한 압성토체 크기를 고려하고 지하수위 상승을 고려한 사면안정해석 결과, 그림 13에 나타낸 바와 같이 압성토 사면의 높이 5m, 상부 폭 8m 그리고 기울기 1:8로 할 경우에 소요안전율을 만족하는 것으로 나타났다. 이러한 방법은 보강토옹벽의 추가시공이 필요치 않은 장점이 있으나 압성토체의 크기가 커짐으로써 용지보상 등의 측면에 있어서는 다소 불리할 것으로 판단되지만 최대한 현장조건을 고려한 방안이라 판단된다.

6. 결론

고속국도○○구간 교대부에 2단 보강토옹벽이 설치되는 건설공사중 배면사면 시공 환경을 고려한 붕괴원인과 잔류보강토옹벽의 전체사면안정성을 검토해 보았다. 보강토옹벽의 붕괴는 복합적으로 작용하여 발생한 것으로 판단되고 안정성검토를 종합하여 다음과 같은 결론을 내렸다.

1. 우기시 보강토옹벽 벽면 균열진전방향이 활동방향과 동일한 방향으로 경사면에 성토배면 계곡부의 원지반으로부터 하부 기초지반내로의 우수 침투가 발생하여 기초지지력이 약화되었다. 이는 원지반의 기초지지력 감소로 부등침하가 발생의 원인이 되었고 보강토로 시공된 일부 구간에서 사면 활동에 대한 저항력이 약화되었으며, 유입된 침출

수의 유출구가 확보되지 않은 상태에서 산지의 경사를 타고 흡수되어 전체적인 지반지지력의 약화를 가져왔을 뿐 아니라 이러한 상태에서 항타에 의한 지반진동의 영향으로 붕괴를 가속화한 것으로 추정된다.

2. 붕괴된 구간은 붕괴 단면과 시공환경으로 비추어 건기시와 우기시의 구분하여 안정성을평가하고 붕괴된 단면을 그대로 이용하여 보강하는 압성토 공법, Micro Pile공법 및 압성토 앵커공법등이 적합할 것으로 판단된다.
3. 미붕괴 구간은 향후 붕괴의 소지가 있으므로 원지반의 재검토가 필요하며, 환경 친화적인 기존 보강토옹벽의 단면을 이용하여 지반개량 및 압성토 공법을 이용한 보강방안등이 적절할 것으로 판단된다.
4. 지하수의 침투와 침출수의 배출차단이 보강토옹벽 사면의 전면과괴를 야기한 주원인으로 판단되므로 집중호우시 산지 및 도로로 부터 유입될 수 있는 지표수 배수를 위한 지표수량을 반영한 지하수차단과 침출수 배출을 위한 보강방안이 요구된다.

참고문헌

1. 구조물 기초설계기준(2003), 한국지반공학회.
2. 유충식, 김주석(2002), “계단식 보강토옹벽의 거동 특성”, 한국지반공학회논문집, 한국지반공학회, Vol.2, No.4, pp.7~19.

3. 유충식, 정혁상, 이성우(2004), “보강토옹벽의 사고사례에 관한 연구”, 한국지반공학회 봄 학술발표회.
4. 유충식, 정혜영, 정혁상(2004), “강우로 인한 보강토옹벽의 붕괴사례 연구”, 2004 가을 토목섬유 학술발표회 논문집, 한국토목섬유학회, pp.51 ~ 59.
5. 조삼덕, 주재우, 김성태, 김재영, 장용채, “보강토옹벽의 한계파괴조건에 대한 실험적 연구”, 2003 가을 토목섬유 학술발표회 논문집, 한국토목섬유학회, pp.83 ~ 90
6. 토질조사보고서(2004) 라온이엔지.
7. 한중근, 조삼덕, 정상섭, 이광우, 홍기권(2005), “블록식 보강토옹벽의 전면 사면붕괴 사례연구”, 2005 토목섬유학회 논문집.
8. 한중근, 조삼덕, 한승호, 신도순(2004), “블록식 보강토옹벽에 미치는시공조건의 영향분석”, 한국환경복원녹화기술학회 추계학술발표회, 한국환경복원녹화기술학회, pp. 81 ~ 85.
9. 한중근, 홍원표, 송영석, 장두호(2003), “강우시 억지말뚝으로 보강된 대규모 절개사면의 침투거동”, 대한토목학회 학술발표회, 대한토목학회, pp.3367 ~ 3372.
10. Federal Highway Administration. 1996. Mechanical stabilized earth wall and reinforced soil slopes design and construction guideline. FHWA Demonstration Project 82(Elias, V. and Cristopher, B.R.).Washington, DC. USA.
11. National Concrete Masonry Association. 1996. Seg-mental retaining wall design manua., 1st Edition. Virginia. USA.