한계평형해석과 수치해석에 의한 붕괴된 보강토 옹벽 복구 사례에 관한 연구

A Case Study on the Restoration of Collapsed Geosynthetics Reinforced Soil Wall Using Limit Equilibrium and Numerical Analyses

원 명 수¹ Won, Myoung-Soo

김 형 주² Kim, Hyeong-Joo

김 영 신³ Kim, Young-Shin

최 정 호⁴ Choi, Jeong-Ho

Abstract

Geosynthetic reinforced soil (GRS) walls have been increasingly applied recently due to its numerous geotechnical engineering applications. However failure occurs in some cases of constructed GRS walls. These GRS wall failures are mostly due to the unpredictable characteristics of intensive rainfall. Hence, the need for new and innovative ideas for rehabilitation methods has been getting attention. This paper introduces a case study for the design and restoration method of collapsed GRS wall using Limit equilibrium and Numerical Analyses. Restoration method includes: (1) soil nailing without backfill excavation and (2) reconstruction with GRS wall after collapsed backfill excavation. Analyses results show minimal horizontal displacements and shear strain on the reinforced concrete facing for the restoration case with soil nailing. On the other hand, horizontal displacements are developed in the middle of the mortar block facing and shear strains are developed at the bottom facing with spiral curves for the reconstructed GRS wall after collapsed backfill excavation. Therefore, the collapsed GRS wall was restored with the soil nailing without backfill excavation and its construction procedures are discussed in this paper.

요 지

보강토 옹벽의 적용사례가 날로 증가하고, 일반화됨에 따라 그에 따른 피해도 종종 발생하고 있다. 최근 들어 게릴라성 집중강우 등으로 인해 보강토 옹벽이 붕괴되는 사례가 종종 발생되면서 붕괴된 옹벽의 복구방법에 대한 관심이 커지고 있다. 이와 같은 배경 하에 이 논문에서는 (1) 피해상태로 쏘일네일링을 사용하여 복구하는 안과 (2) 붕괴된 보강토 옹벽에 대해 보강토체 제거 후 재시공하는 안에 대해 한계평형해석과 수치해석을 수행하여 안정성과 거동을 분석하여 설계하고 시공한 사례를 소개하였다. 검토결과, 쏘일네일링 복구 옹벽의 경우 보강콘크리트 전면벽체에서 수평변위와 전단변형률 등은 거의 발생하지 않았으나, 재시공 옹벽은 수평변위의 경우 벽체 중앙부에서 발달하고 전단변형률은 옹벽의 저부를 중심으로 나선 형태로 발달하는 것으로 나타났다. 따라서, 피해옹벽은 쏘일네일링으로 복구하였으며, 일련의 시공과정을 소개하였다.

Keywords : Soil nailing, GRS wall, Reinforcement, Geogrid, Failures, Restoration

1 정회원, 군산대학교 토목공학과 조교수 (Member, Assistant Prof., Dept. of Civil Engrg., Kunsan National Univ., Tel: +82-63-469-4753, Fax: +82-63-469-4791, wondain@kunsan.ac.kr, Corresponding author, 교신저자)

2 정회원, 군산대학교 토목공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil Engrg., Kunsan National Univ.)

3 정회원, 군산대학교 토목환경공학부 박사과정 (Member, Ph.D Candidate/P.E., Dept. of Civil and Environmental Engrg., Kunsan National Univ.)

4 비회원, 군산대학교 토목환경공학부 박사과정 (Member, Ph.D Candidate, Dept. of Civil and Environmental Engrg., Kunsan National Univ.)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2014년 5월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

1. 서론

보강토 옹벽이 도입된 지 30여년이 경과함에 따라 노후화된 옹벽의 유지관리 및 피해옹벽 보강 및 복구에 대한 관심이 날로 커지고 있다. 보강토 옹벽의 피해 또는 붕괴는 주로 집중호우에 기인된 것으로 보고되고 있다(Kwon, et al., 2009; 신창건 등, 2004; Yoo and Jung, 2006; Yoo, et al., 2005; Cho, et al., 2006; Chae, et al., 2004; Han, et al., 2005, Hong, et al., 2013). 일반적으로 붕괴된 보강토 옹벽은 보강토체 제거 후 재시공되므로 상부에 중요 구조물이 위치한 경우 보강 및 복구가 어렵고, 복구공사 규모가 커지는 경향이 있다.

Shin, et al.(2004)은 집중강우 시 배수시설 불량으로 붕괴된 보강토 옹벽에 대해서는 보강토체 제거 후 재시공하고, 보강토체 내로 우수가 유입하여 보강토 옹벽 상부의 도로 포장면에 인장균열 및 활동 피해가 발생된 옹벽에 대해서는 H-Pile+띠장+어스앵커+역L형 벽체로 보강하고 역L형 벽체는 마이크로파일로 보강하여 지지하고, 이완된 비탈면은 쏘일네일링을 보강하여 안정성을 확보하도록 계획하였다.

Han et al.(2005)은 집중강우로 인해 보강토 옹벽의 국부 붕괴와 비탈면 활동이 발생된 현장에 대한 보강방안으로 현장여건에 따라 보강토 옹벽 전면에 압성토하는 안과 압성토+마이크로파일 보강 또는 압성토+어스앵커 보강방안을 선택적으로 적용하고, 지표수 및 지하수 유입을 차단하기 위한 측구와 차수벽 등의 설치를 제안하였다.

Yoo and Jung(2006)은 집중강우로 인한 지표수 유입과 보강재와 블록과의 연결강도 부족으로 인해 블록벽체 인접부가 파괴된 보강토 옹벽의 복구방안으로 보조 보강재 수를 당초보다 두 배로 증가시킴과 동시에 주 보강재인 강재 메시 또한 당초에는 블록과 연결되지 않았으나 재 시공시에는 연결하도록 하여 충분한 연결강도를 확보하도록 하고 옹벽전면은 2m 압성토하여 안정성을 확보하도록 한 외국 사례를 소개하였다.

Kim, et al.(2013)과 Won, et al.(2012a, 2012b)은 붕괴된 블록식 보강토 옹벽에 대해 피해상태에서 보강토체를 제거하지 않고 쏘일네일링을 이용하여 복구한 다수의 사례를 소개하였다. Won, et al.(2012)은 쏘일네일링을 이용한 피해 보강토 옹벽 복구방법은 피해 상태로 쏘일네일링을 보강하고 전면에 쏘일네일링과 합벽식으로 보강콘크리트 전면벽체를 구축하므로 보강토체와

보강콘크리트 전면벽체의 일체거동으로 안정성과 경제성이 우수하고 또한 시공이 용이한 것으로 보고하고 있다. 또한, 이 방법은 바텀업(bottom-up) 시공도가 가능한 것으로 보고하고 있다.

이 논문에서는 집중호우로 인해 지오그리드 보강재가 파단되면서 전면블록의 탈락과 함께 뒤채움재의 유실 피해를 동반하여 붕괴된 보강토 옹벽에 대해 피해상태로 쏘일네일링으로 보강 및 복구하는 안과 보강토체 제거 후 보강토 옹벽으로 재시공하는 안에 대해 한계평형해석과 수치해석으로 보강효과를 분석하여 합리적인 복구방안을 선정하고 선정된 안의 시공과정을 소개하고자 한다. 이 연구에서 소개된 피해옹벽 복구방법은 향후 붕괴된 보강토 옹벽 보강 및 복구는 물론 노후화된 옹벽 보강에 유용하게 활용될 것으로 생각된다.

2. 피해 보강토 옹벽 현장현황

피해 보강토 옹벽은 경부고속도로 ○○-○○구간 ○○교에 위치하고, 교대 날개벽으로 사용되고 있으며, 높이는 2.1~6.8m이고 연장은 17.4m이다. Fig. 1에서 Fig.

Fig. 1. Satellite image of the collapsed GRS wall location

Fig. 2. Planar figure of the collapsed GRS wall

Table 1. The dimension and location of the geogrid in the collapsed GRS wall

Height above base of wall	Geogrid		Length to height ratio (L/H)	Remark
	Tensile strength	Length (L)		
6.6 m	90 kN/m	9.15 m	1.34	Wall Height (H) = 6.8 m
6.4 m	90 kN/m	8.89 m	1.30	
5.8 m	90 kN/m	8.19 m	1.20	
5.0 m	90 kN/m	7.27 m	1.07	
4.2 m	90 kN/m	6.31 m	0.93	
3.4 m	90 kN/m	5.32 m	0.78	
2.6 m	90 kN/m	4.81 m	0.70	
2.0 m	90 kN/m	4.81 m	0.70	
1.4 m	90 kN/m	4.81 m	0.70	
1.0 m	90 kN/m	4.81 m	0.70	
0.4 m	90 kN/m	4.81 m	0.70	

Table 2. Geogrid properties

Tensile strength (kN/m)	Tensile strain at failure (%)	Weight (kN/m ²)	Structure	Material
90	13	60	Axial tensile direction	H.D.P.E

Fig. 3. Typical cross sectional view of the collapsed GRS wall

4는 전면 모르타르블록 배면의 지오토크리드 보강재가 파단되어 붕괴된 블록식 보강토 옹벽의 위치와 피해구간 및 대표 횡단면도와 사용된 보강재 그리고 피해상태 등을 나타내고 있다. 피해 보강토 옹벽에 배치된 지오토크리드 보강재의 위치와 제원은 Table 1과 Table 2에 나타난 바와 같다.

Fig. 3에 나타난 바와 같이 보강재로는 인장강도가 90kN/m인 지오토크리드가 사용되었고, 보강재의 포설길이는 4.81~9.15m(=0.7~1.3H), 수직간격은 0.4~0.8m로 설치되었다. 보강토 옹벽의 우측은 경부고속도로와 접하고, 경부고속도로와 접하는 지점에서 옹벽기초부터 상부 비탈면까지의 높이는 9.0m이다. Fig. 4는 옹벽의

(a) Collapsed GRS wall state

(b) Geogrid break states

Fig. 4. Damage states of the collapsed GRS wall

붕괴상태와 지오그리드 보강재의 파단상태를 나타내고 있다. 보강토 옹벽의 피해유형은 지오그리드 보강재의 파단에 따른 전면블록의 탈락과 뒤채움재의 유실형태로 발생하였고, 그 피해 규모는 Fig. 2와 Fig. 4와 5에 나타낸 바와 같이 전면블록의 연장 7m정도 탈락과 이 부분에서의 뒤채움재가 전면블록으로부터 배면으로 약 2m 비탈면 유실이다. 육안관찰 결과 보강토체(지오그리

드+뒤채움재)는 전반적으로 안정된 상태로 조사되었으나, 전면블록 벽체는 지오그리드의 파단에 의한 전면블록의 탈락 및 뒤채움재의 유실로 인해 블록배면에 공동 및 전도가 발생되어 추가로 탈락될 가능성이 크고, 전반적으로 불안정한 것으로 조사되었다.

피해 보강토 옹벽은 준공 후로부터 만 4년이 경과한 시점에 붕괴되었다. 붕괴시점에 내린 누적강우량 204.6mm

(a) Rehabilitation method by soil nailing without backfill excavation

(b) Rehabilitation method by reconstruction of GRS wall with backfill excavation

Fig. 5. Typical cross sectional view of rehabilitation methods

이고, 붕괴당일에 내린 강우량은 47mm이다. 집중강우로 인한 침투수의 유입 및 세립토의 유실과 그에 따른 전단변형 등에 의한 응력집중 및 피로누적 등으로 지오그리드 보강재가 파단되면서 모르타르 전면블록이 탈락되어 옹벽이 붕괴된 것으로 생각된다.

3. 피해 복구방안

전면블록과 지오그리드의 연결부에서 지오그리드가 파단되어 붕괴가 발생한 검토대상 보강토 옹벽은 경부고속도로와 접한 ○○교 교대 날개벽이다. 피해 복구방안으로는 Fig. 5에 나타난 바와 같이 쓰일네일링을 이용하여 피해상태로 복구하는 안과 보강토체 제거 후 재시공 안에 대해 검토하고자 한다. 이 현장의 경우 일반적인 방법으로 보강토체 제거 후 재시공을 계획하게 되면 경부고속도로의 안정성 확보를 위한 가시설이 필요하나 이 연구에서는 가시설은 고려하지 않고 경부고속도로는 안정하고 피해 옹벽 배면굴착 후 보강토 옹벽으로 재시공하는 것으로 가정하였다. 쓰일네일링을 활용한 피해옹벽 복구는 쓰일네일링 보강 → 보강콘크리트 전면벽체 구축 → 유실 부 채석 채움 및 정지작업 순으로 진행된다.

피해상태로 쓰일네일링을 보강하여 복구하는 안과 피해옹벽 보강토체 제거 후 재시공하는 안의 보강효과를 비교, 분석하기 위해 재시공은 피해상태의 보강재로 붕괴 전과 같이 배치하는 것으로 가정하였다. 다만, 피해옹벽 복구 안은 모두 배면 뒤채움재의 유실을 고려하여 옹벽 높이를 당초 6.8m에서 5.8m로 계획하였다. Fig. 5는 붕괴 전과 후 그리고 복구 상태의 옹벽을 나타내고 있다.

4. 보강효과 분석

4.1 한계평형해석에 의한 안정검토

피해 옹벽 복구 안에 대한 보강효과는 한계평형해석

에 의한 원호활동과 수치해석에 의한 거동분석으로 비교하고, 각각에 대한 해석은 범용 프로그램인 Talren과 Midas를 이용하였다. 원호활동 안정검토와 수치해석에 사용된 지반정수는 Table 3과 같다. 해석의 편의를 위해 채석채움재와 기존 성토재(흙) 그리고 뒤채움재는 모두 같고, 지하수위는 전면벽체 기초면 아래에 위치하는 것으로 가정하였다.

피해 옹벽 붕괴의 직접적인 원인 중의 하나가 지오그리드 보강재의 파단이므로 이 연구에서는 조사된 유실면(Fig. 5 참조)을 파괴면으로 가정하고 지오그리드 파단이 옹벽의 안정에 미치는 영향을 검토하였다. Fig. 6은 옹벽 붕괴 전 상태에서 지오그리드 파단 여부에 따른 평면파괴 한계평형해석 결과를 나타내고 있다. 지오그리드 파단 후 안전율은 0.73이나 파단 되지는 않은 경우의 안전율은 4.24로 나타나고 있어 지오그리드 파단이 옹벽 붕괴의 주요원인이고, 지오그리드 보강에 따른 안전율 개선효과는 현저한 것으로 판단된다.

Fig. 7은 Fig. 5에 나타난 피해옹벽 복구 횡단면도에 대한 평상시 원호활동 안정검토 결과이다. 안정검토 결과 쓰일네일링을 활용한 복구 안의 안전율은 1.76, 보강토체 제거 후 재시공 안의 안전율은 1.72로 나타났다. 지진 시의 경우 쓰일네일링을 활용한 복구 안의 안전율은 1.52 그리고 재시공 안의 안전율은 1.49로 모두 기준 안전율(평상시 1.5, 지진시 1.1)을 충족한 안정한 상태로 나타났다. 쓰일네일링을 활용한 보강은 지오그리드 보강토체에 추가로 쓰일네일링이 보강되므로 재시공 안보다 안전율이 크게 나타난 것으로 판단된다.

4.2 수치해석에 의한 거동분석

수치해석은 Fig. 8과 Fig. 9에 나타난 바와 같이 피해 복구 안에 대해 각각의 시공과정을 나타내도록 계획하였다. Fig. 10은 Fig. 8과 Fig. 9에 나타난 바와 같이 모델링 하였을 때 발생된 최대수평변위를 나타내고 있다. 수

Table 3. Soil properties

Parameters	Filling	Foundation	Mortar block	Concrete
Unit weight (kN/m ³)	19	19	20	25
Cohesion (kPa)	0	15	30	200
Friction angle (°)	30	30	35	35
Deformation modulus (kPa)	20,000	25,000	400,000	21,000,000
Poissons ratio	0.33	0.33	0.15	0.15

Soil no	1	2	3
γ	19	19	20
$\Gamma s1$	1	1	1
c	0	15	30
Γc	1	1	1
ϕ	30	30	35
$\Gamma \phi$	1	1	1
qsNail	100	100	700
PI	175	300	1500
Ks.B	5000	5000	45000

Units : kN meters and degrees

Calculation method : Bishop

$\Gamma a-z$	.73
$\Gamma qsRS$	1
ΓsRS	1
$\Gamma s3$	1

(a) GRS wall with breakage of geogrids

Soil no	1	2	3
γ	19	19	20
$\Gamma s1$	1	1	1
c	0	15	30
Γc	1	1	1
ϕ	30	30	35
$\Gamma \phi$	1	1	1
qsNail	100	100	700
PI	175	300	1500
Ks.B	5000	5000	45000

Units : kN meters and degrees

Calculation method : Bishop

$\Gamma a-z$	4.24
$\Gamma qsRS$	1
ΓsRS	1
$\Gamma s3$	1

(b) GRS wall without breakage of geogrids

Fig. 6. Stability results of the GRS wall with and without breakage of geogrids

평면위는 쏘일네일링으로 복구한 경우 주로 옹벽의 상부에서 발달하고, 피해 보강토체 제거 후 재시공한 경우는 옹벽의 중간부에서 발생하고 있다. 이들 옹벽에서의

최대수평변위는 쏘일네일링 보강의 경우 3.17mm이고, 재시공한 경우는 43.86mm로 나타났고, 이는 복구된 옹벽 높이(H=5.8m)의 0.054%와 0.756%에 해당하는 수평

Soil no	1	Imposed 2	Imposed 3	Imposed 4
γ	19	19	25	20
Γ_{s1}	1	1	1	1
c	0	15	200	30
Γ_c	1	1	1	1
ϕ	30	30	35	35
Γ_ϕ	1	1	1	1
qsNail	200	300	2500	2500
PI	1500	1500	5000	5000
Ks.B	5000	25000	100000	100000

Units : kN meters and degrees

Calculation method : Bishop

Only one of the conditions concerning soils 3 and 2 must be met.

(a) Rehabilitation method by soil nailing without backfill excavation

Soil no	1	Imposed 2	Imposed 3
γ	19	19	20
Γ_{s1}	1	1	1
c	0	15	30
Γ_c	1	1	1
ϕ	30	30	35
Γ_ϕ	1	1	1
qsNail	200	300	2500
PI	1500	1500	5000
Ks.B	5000	25000	100000

Units : kN meters and degrees

Calculation method : Bishop

Only one of the conditions concerning soil 2 must be met.

(b) Rehabilitation method by reconstruction of GRS wall with backfill excavation

Fig. 7. Stability results of wall rehabilitation by limit equilibrium analyses

변위이다. 최대수평변위는 보강토 옹벽으로 재시공한 옹벽에서 쏘일네일링 복구 옹벽 보다 13배 이상 크게 나타나고 있다.

쏘일네일링 복구 옹벽의 경우 보강재로 비신장성의 이형철근이 사용되고, 쏘일네일과 일체형 보강콘크리트 강성 전면벽체에 의한 구속효과로 인해 옹벽의 상부에

Fig. 8. Analyses stages of the rehabilitation method using soil nailing without backfill excavation

Fig. 9. Analyses stages of rehabilitation method by GRS wall reconstruction with backfill excavation

서 변형이 발달하고, 재시공한 옹벽의 경우는 보강재로 신장성의 지오그리드가 사용되고 뒤채움재와 보강재 그리고 전면블록이 거의 동시에 시공되는 성토에 따른 누적 변형으로 인해 옹벽의 중간부에서 수평변위가 크게 발달된 것으로 판단된다.

Fig. 10(c)는 무보강토 옹벽에서의 최대수평변위를 나

타내고 있다. 여기서, 무보강토 옹벽은 재시공한 보강토 옹벽에서 지오그리드 보강재를 생략하고, 전면블록을 탄성체로 가정한 경우이다. 무보강토 옹벽의 최대수평변위는 113.76mm이고, 이는 재시공 보강토 옹벽의 43.86mm 보다 2.5배 크므로 지오그리드 보강(포설)에 따른 수평변위 억제효과가 현저함을 알 수 있다.

(a) Rehabilitation method by soil nailing (maximum horizontal displacement 3.17 mm)

(b) GRS wall reconstruction (maximum horizontal displacement 43.86 mm)

(c) Non-reinforcement wall (maximum horizontal displacement 113.76 mm)

Fig. 10. Horizontal displacements of rehabilitation wall by numerical analyses

Fig. 11과 Fig. 12는 피해 복구 옹벽의 시공단계 별 전단변형률을 나타내고 있다. 쏘일네일링으로 복구한 옹벽의 경우는 쏘일네일과 보강콘크리트 전면벽체 보강효

과로 피해상태보다 복구 후 전단변형률이 작게 나타나고 있다. 보강토 옹벽으로 재시공의 경우는 초기 구축단계에 서는 압성토 효과로 감소하나 높이가 증가함에 따라 전단

Fig. 11. Shear strain on the wall rehabilitation by soil nailing without backfill excavation

Fig. 12. Shear strain on the wall rehabilitation by GRS wall with reconstruction backfill excavation

변형률도 증가하여 보강토체 제거 보다 복구 후가 크게 나타나고 있다. 최종단계, 즉 피해 옹벽 복구 후 최대전단 변형률은 쏘일네일링 보강의 경우 0.011이고 재시공의 경우 0.039로 나타나 쏘일네일링으로 보강하여 복구한 옹벽이 재시공한 옹벽보다 3.5배 정도 작게 나타나고 있다.

쏘일네일링으로 복구한 옹벽은 보강콘크리트 전면벽체에서의 전단변형률 발달이 아주 미미하고 쏘일네일과 전면벽체의 구속효과로 안정적인 거동을 나타내고 있다. 이에 비해 재시공 옹벽은 전면블록으로부터 옹벽 높이가 0.4H내에서 옹벽저부를 중심으로 전단변형률이 나선형으로 발달하고 있다.

수평변위와 전단변형률을 분석한 결과 쏘일네일링으로 복구한 옹벽이 재시공한 옹벽보다 안정적인 거동을 나타내고 있다. 이는 기존 보강토체에 쏘일네일링 보강과 일체형 보강콘크리트 강성 전면벽체에 의한 구속효과와 시공방법에 기인된 것으로 판단된다. Fig. 11과 Fig. 12는 이러한 현상을 잘 나타내고 있다. Fig. 11에서 지오그리드 보강토체에 쏘일네일 보강 전후의 최대전단변형률은 0.015로 같고, 일체형 보강콘크리트 강성 전면벽체 구축과 쏘일네일이 연결된 후 최대전단변형률은 지오그리드와 쏘일네일링 보강토체보다 26.6%로 감소한 0.011로 나타났다. 이는 일체형 보강콘크리트 강성 전면벽체의 구속효과에 의한 것으로 생각된다. Fig. 12에 나타난 바와 같이 재시공한 보강토 옹벽의 경우 누적 성토 시공으로 인해 보강토체의 높이가 증가할수록 전단변형률이 커지고 있다.

이에 비해 쏘일네일링에 의한 복구 옹벽의 경우 일체형 보강콘크리트 전면벽체 구축 후 배면 성토량이 미미하여 추가적인 전단변형률이 발생하지 않고 있다. 따라서, 피해 옹벽복구는 피해상태로 쏘일네일링을 보강하고, 보강콘크리트 전면벽체로 마무리하는 것이 재시공 보다 안전하고, 옹벽 배면 미굴착으로 합리적인 것으로 판단된다.

5. 피해옹벽 복구

한계평형해석과 수치해석에 의한 방법으로 피해옹벽 보강 및 복구효과를 분석한 결과 쏘일네일링으로 복구하는 것이 재시공한 것 보다 안전하고, 합리적이므로 쏘일네일링을 사용하여 복구하도록 설계하고 시공하였다. 향후 노후화된 옹벽의 유지관리 및 피해옹벽 보강 및 복구에 활용될 수 있도록 쏘일네일링 보강에 의한 붕괴된 블록식 보강토 옹벽의 복구과정을 Fig. 13에 나타내었다. 단계시공에 의한 방법으로 선 쏘일네일링을 보강하고 후 현장타설 보강콘크리트 전면벽체를 구축한다. Fig. 13(c)에서 이중지압판은 보강토체와 전면벽체의 일체화를 도모하는 역할을 수행한다. 이 현장의 경우 보강된 쏘일네일링의 길이는 4m, 배치간격은 1.2m×1.2m로 총 보강수량은 49공이고, 수평배수공은 길이 1.5m로 총 13공을 배치하였다.

피해옹벽의 복구는 “쏘일네일링 보강 ⇨ 이중지압판 설치 ⇨ 수평배수공 설치 ⇨ 기초구축 ⇨ 철근배근 및 거푸집 설치 ⇨ 현장 타설 보강콘크리트 전면벽체 구축

Fig. 13. Construction stages of the rehabilitation using soil nailing without backfill excavation

⇒ 정지작업”순서로 진행되었다. 옹벽 배면이 유실된 부분은 파형 주름관이 피복된 쏘일네일링 보강 후 현장 타설 보강콘크리트 벽체를 구축하고 배면 공동(유실 부)에 쇄석을 채우는 방식으로 수행되었다. 배면유실 공동부에 그라우트를 피복하고, 쇄석부설로 인한 쏘일네일의 피해를 최소화하고, 내구성을 향상시키기 위해 즉 부식방지를 위해 쏘일네일에 주름관을 피복하여 주름관 내외부에 그라우트를 주입이 가능하도록 하였다.

쏘일네일링을 이용한 피해 보강도 옹벽 복구는 보강토체를 제거하지 않고 피해상태에서 보강하므로 시공성이 좋고, 기존 지오그리드 보강재 보강에 추가로 쏘일네일링과 일체형 보강콘크리트 전면벽체가 보강되므로 타 보강공법보다 안전하고 합리적이므로 향후 노후화된 옹벽의 유지관리 및 피해옹벽 복구에 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

6. 결 론

이 논문에서는 피해 보강도 옹벽의 복구에 쏘일네일링에 의한 보강 안과 피해 보강토체 제거 후 보강도 옹벽으로 재시공하는 안에 대해 한계평형해석과 수치해석을 수행하여 합리적인 안으로 선정하고 선정된 안으로 복구한 사례를 소개하였다. 피해옹벽 복구 안들에 대한 일련의 한계평형해석과 수치해석으로부터 도출한 주요 결론은 다음과 같다.

- (1) 쏘일네일링에 의한 피해옹벽 복구는 지오그리드 보강토체에 쏘일네일과 보강콘크리트 전면벽체가 추가로 보강되므로 보강도 옹벽으로 재시공하는 것보다 한계평형해석에 의한 원호활동 안전율이 크게 나타났다.
- (2) 쏘일네일링에 의한 피해옹벽 복구는 쏘일네일링 보강 후 일체형 보강콘크리트 전면벽체가 구축되므로 전면벽체에서 수평변형은 상부에서 발달하나 미미하고 전단변형률은 거의 발생하지 않는 것으로 나타났다.
- (3) 보강도 옹벽으로 재시공하는 경우 모르타르 전면블록과 지오그리드 보강재 그리고 뒤채움재가 거의 동시에 반복적으로 누적 성토되므로 전면벽체에서 수평변형은 벽체의 중앙부에서 발달하고 전단변형률은 저부에서 나선 형태로 발달하는 것으로 나타났다.
- (4) 전면벽체에서 최대수평변위와 최대전단변형률은 쏘일네일링에 의한 복구는 각각 3.17mm와 0.011이고 재시공에 의한 복구는 각각 43.86mm(옹벽 높이의 0.756%)와 0.039로, 쏘일네일링에 의한 복구가 재시공에 의

- 한 복구보다 안정적인 거동을 하는 것으로 나타났다.
- (5) 이 연구에서 소개한 쏘일네일링에 의한 피해옹벽 복구는 기존 보강토체에 추가적인 보강으로 안전하고, 피해상태로 보강하여 합리적이므로 향후 노후화된 옹벽의 유지관리와 피해옹벽 보강 및 복구에 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

참고문헌 (References)

1. Chae, Young-Su, Kim, Young-Nam, and Cheong, Gyu-Hyang (2004), “Behavior of Planting Reinforced Earth Retaining Wall by a Case of Failure”, Journal of the Korean Geosynthetic Society, Vol.3, No.3, pp.3-8.
2. Cho, Sam-Deok, Lee, Kwang-Wu, Lee, Hoon-Yeon, and Chang, Ki-Soo (2006), “A Case Study on Behavior of High-Raised Soil Wall”, Journal of the Korean Geosynthetic Society, Vol.5, No.4, pp.35-42.
3. Han, Jung-Geun, Cho, Sam-Deok, Jeong, Sang-Seom, Lee, Kwang-Wu, and Kim, Ji-Sun (2005), “Case Study on the Countermeasure Methods and Collapsed Sources of Segmental Retaining Wall Considering Site Conditions”, Journal of the Korean Geosynthetic Society, Vol.4, No.3, pp.35-43.
4. Hong, Ki-Kwon, Han, Jung-Geun, Lee, Jong-Young, and Park, Jai-Seok (2013), “Analysis on Failure Causes and Stability of Reinforced Earth Wall Based on a Field Case”, Journal of the Korean Geosynthetic Society, Vol.12, No.1, pp.109-114.
5. Kwon, Oh-Hyun, Park, Young-Joo, and Seo, Dong-Hyun (2009), “A Study for Design and Construction of Reinforced Retaining Wall against the Climate Change”, Spring Korean Geosynthetic Conference, pp.91-100.
6. Kim, You-Seong, Won, Myoung-Soo, Choi, Jeong-Ho, and Choi, Young-Hun (2013), “A Case Study on the Restoration of Geosynthetic Reinforced Soil Segmental Retaining Walls damaged by Fire Deterioration”, Spring Korean Geosynthetic Conference, pp.41-44.
7. Shin, C.G, Kwon, S. J., Lee, S., and Jang, B.S. (2004), “Case Study of Reinforced Earth Retaining Walls Failures caused by concentrated precipitation”, KSCE Conference, Geotechnical Engineering, pp. 2493-2495. (In Korean) 신창건, 권성주, 이승, 장범수 (2004), “집중호우에 따른 보강토 옹벽 붕괴사례 분석”, 대한토목학회 정기학술대회, 지반, pp.2493-2495.
8. Won, Myoung-Soo, Choi, Jeong-Ho, Kim, Young-Shin, and Kim, Chang-Woo (2012a), “Collapsed Geosynthetic Reinforced Segmental Retaining Wall Restoration using Unit Soil Nailing”, KGS Spring National Conference, pp.283-288.
9. Won, Myoung-Soo, Choi, Yong-Hun, Choi, Jeong-Ho, and Kim, You-Seong (2012b), “Restoration of Collapsed Geosynthetic Reinforced Soil Wall”, Fall Korean Geosynthetic Conference, pp.65-68.
10. Yoo, Chung-Sik, and Jung, Hyuk-Sang (2006), “Investigation on Effect of Rainfall on Performance of Soil-Reinforced Retaining Wall”, Journal of the Korean Geosynthetic Society, Vol.5, No.3, pp.17-24.
11. Yoo, Chung-Sik, Jung, Hye-Young, and Jung, Hyuk-Sang (2005), “A Case Study in a Rainfall induced Failure of Geosynthetic-Reinforced Segmental Retaining Wall”, Journal of the Korean Geosynthetic Society, Vol.4, No.1, pp.17-25.

Received : October 18th, 2013
 Revised : November 10th, 2013
 Accepted : November 14th, 2013