

마이크로 파일을 이용한 블록식 보강토옹벽의 보강 및 설계적용 사례 연구

A case study on reinforcement and design application of reinforced earth wall using micro pile

홍기권¹, 한중근², 이광우^{3*}, 박종범⁴

Kikwon Hong¹, Jung-Geun Han², Kwang-Wu Lee^{3*}, Jong-Beom Park⁴

¹Member, Research Professor, School of Civil and Environmental Engineering, Urban Design and Study, Chung-Ang Univ., 84, Heukseok-ro, Dongjak-gu, Seoul, 156-756, Republic of Korea

²Member, Professor, School of Civil and Environmental Engineering, Urban Design and Study, Chung-Ang Univ., 84, Heukseok-ro, Dongjak-gu, Seoul, 156-756, Republic of Korea

³Member, Senior Researcher, Geotechnical & Geo-Space Engineering, Univ. of Science & Technology, 283, Goyangdae-Ro, Ilsanseo-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-712, Republic of Korea

⁴Member, Chief, Shinmyeong Construction Engineering, 961-2 gagok-Dong, Suncheon-Si, 540-080, Republic of Korea

ABSTRACT

This paper describes reinforcement method of reinforced earth wall near the abutment. The excessive displacement of a case affected by reduction of bearing capacity due to macro-environment condition like a coast. That is, the front displacement of reinforced earth wall has been happening continuously due to strength reduction of foundation ground. The micro pile is applied to reinforcement method, in order to secure a bearing capacity and global slope stability of reinforced earth wall. The results of numerical analysis confirmed that reinforcement method based on micro pile can secure a stability of structure, while the reconstruction of reinforced earth wall is impossible by construction and macro-environment condition.

요 지

가 .

가 ,

가

가

Keywords : Reinforced earth wall, Collapse, Micro pile, Front displacement, Bearing capacity

1. 서 론

보강토는 지반 내에 인장력이 우수한 보강재료를 포설

함으로서, 흙입자의 횡방향 변형을 억제시킴과 동시에 지반의 강도를 증가시키는 공법으로서, 교대, 성토, 비탈면, 연약지반 및 옹벽 등의 안정성 개선을 위하여 폭 넓게 사용되고 있다(Lee et al., 2012). 그 중, 뒤채움 흙 내에 포설된 보강재 및 전면벽체가 일체화되어 토압 및 외력에 저항하는 보강토옹벽이 대표적 구조물이라 할 수 있다(Park &

Received 27 Oct. 2014, Revised 12 Dec. 2014, Accepted 17 Dec. 2014

*Corresponding author

Tel: +82-31-910-0232; Fax: +82-31-910-0211

E-mail address: kwangwu@kict.re.kr (K. W. Lee)

Lee, 2012). 이와 같은 보강토옹벽은 경제성 및 수려한 외관 등의 특징을 기반으로 시공사례가 지속적으로 증가하고 있는 반면에, 시공여건은 과거에 비해 열악해지고 있는 경우가 많으며, 시공규모도 대규모화되어 가고 있다(Hong et al., 2013). 그러나 보강토옹벽 구조물의 설계 및 시공에 있어서 경제성 및 시공 편의성에 치중하여 주변 지반 및 환경조건을 간과하거나 적절히 고려하지 못함으로써, 구조물의 파괴가 종종 발생하는 경우도 있다(Han et al., 2005). 또한 구조물의 시공완료 후, 유지관리의 어려움과 시간경과에 따른 구조물의 노후화로 인하여 피해사례가 증가하고 있으며, 이러한 피해의 주요 원인으로서는 기초 지지력 및 강우 등에 기인한 것으로 다수 연구결과를 통해 보고된 바 있다(Choi et al., 2013).

이와 같은 보강토옹벽은 구조물의 변형이 지속적으로 발생하는 경우, 구조물의 특성에 기인하여 재시공 및 변형 원인을 즉시 제거 또는 억제할 수 있는 보강대책 마련이 필요하다. 특히, 구조물 상부에 중요구조물의 시공 중 및 공용중인 경우에는 구조물의 재시공이 불가능한 경우가 대다수이고, 가능한 경우라 하더라도 대규모의 보강공사로 인한 공기 및 공사비 증가를 초래하게 된다(Won et al., 2012). 따라서 보강토옹벽의 재시공 등을 배제할 수 있는 경우에는 대규모 보강에 따른 공기단축 및 공사비 절감효과를 기대할 수 있다(Won et al., 2012). 이에 Kim et al.(2013)과 Won et al.(2012)은 쏘일네일링을 이용한 블록식 보강토옹벽의 보강방안에 대한 연구를 수행한 바 있다.

본 연구에서는 해안에 인접함과 동시에 배면상부에 교대가 시공된 상태의 열악한 시공 및 주변환경 조건에서 기 시공된 보강토옹벽의 지속적인 변형발생 현장사례를 바탕으로 그 원인을 분석하였으며, 수치해석 결과를 이용하여 기존 옹벽의 단면을 유지할 수 있는 보강 및 설계방안으로 마이크로 파일에 대한 적용성을 평가하였다.

2. 보강토옹벽의 과다변형 발생원인

2.1 현장개요

연구대상 구조물은 교대하부에 시공된 보강토옹벽으로, 해수면과 맞닿아 있기 때문에, 일정한 지하수위가 항상 유지되고 있는 상태이다. 또한 옹벽 구조물의 시공이 완료되어, 배면 상부에 12m 흙쌓기 시공이 예정되어 있다. 그러나 해수면에 의한 일정한 지하수위가 조수간만에 의하여

기초지반으로의 유입 및 배출이 지속적으로 발생되어, 과거 시공 중에 구조물의 일부분에서 과도한 전면변위 및 균열 등의 심각한 결함이 발생하였다. 이에 구조물 배면에 DCM 및 기초지반에 CGS를 이용한 보강방안이 적용된 바 있지만, 지속적인 변형으로 인하여 보강토옹벽뿐만 아니라, 옹벽 배면 상부에 시공되어 있는 교대 구조물의 안정성에도 문제가 발생할 수 있기에, 구조물의 변형방지 및 이를 포함하는 전체활동에 대한 안정성까지 확보할 수 있는 방안이 필요한 것으로 판단되었다.

2.2 변형발생 원인 분석

연구대상 보강토옹벽의 변형에 대한 발생원인을 분석하고자, 변형이 심각하게 발생한 보강토옹벽의 곡선부에 대하여, 약 14개월에 걸쳐 진행된 계측결과를 활용하였다(refer to Fig. 1).

경사계를 이용한 보강토옹벽의 각도변화를 계측한 결과, Fig. 2에서 보는 바와 같이, 2012년 여름철 우기시에 전면쪽으로 많은 변형이 발생한 것으로 확인되었으며, 그 이후부터 소량의 경사가 지속적으로 발생하는 것으로 나타났다. 또한 교대와 인접해 있는 위치(경사계 ④)에서 경사도뿐만 아니라 경사도의 증가량이 더욱 크게 나타났다.

Fig. 1에서 나타낸 바와 같이, 보강토옹벽의 전면변위 발생량에 대하여 측량계측을 수행하였으며, 그 결과는 Fig. 3에 나타낸 바와 같고, Point 1~Point 6(또는 Point 4)은 보강토옹벽 하부에서부터 상부까지의 계측지점을 나타낸 것이다. 보강토옹벽의 높이가 약 13m인 계측위치 ③의 경우, Fig. 3(a)에서 보는 바와 같이, 경사계를 이용한 각도변화를 계측한 결과와 유사하게 2012년 여름철 우기

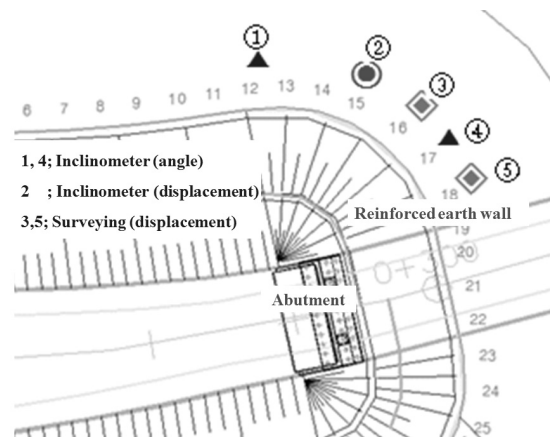
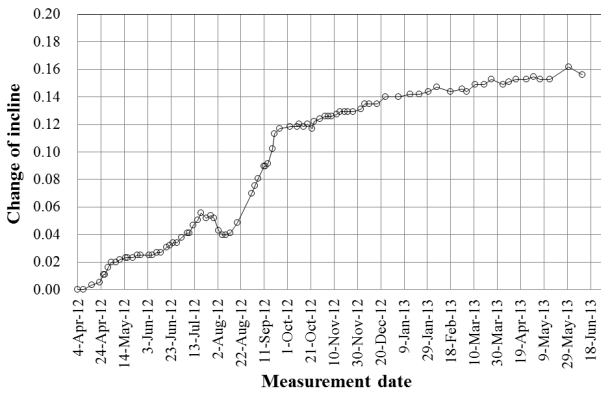
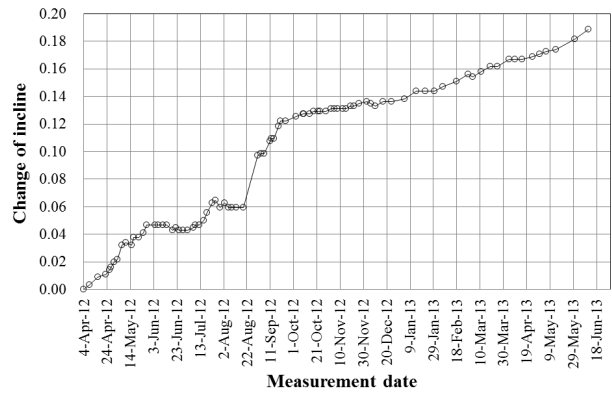


Fig. 1. Measurement position

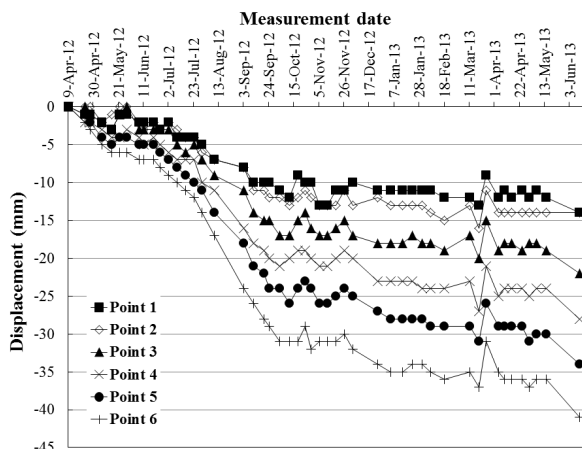


(a) Inclinator ①

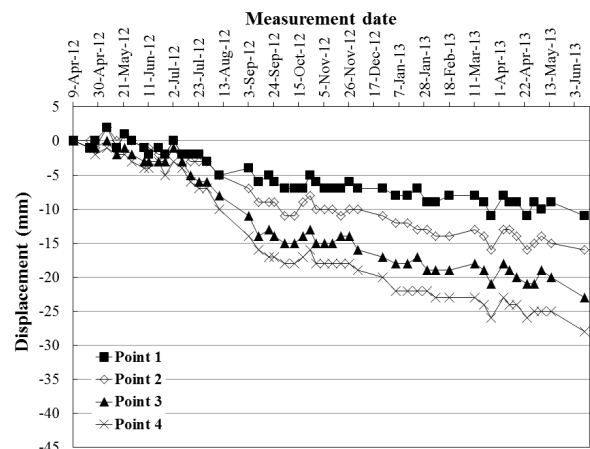


(b) Inclinator ④

Fig. 2. Measurement results of angle on front displacement



(a) position ③



(b) Inclinator ⑤

Fig. 3. Measurement results of front displacement

시에 변위가 급증한 것을 확인할 수 있다. 그 이후, 다소 수렴하는 경향이 나타났지만, 변위량은 지속적으로 증가하는 추세로 확인되었다. 특히, 상부(Point 6)에서의 변위량은 약 40mm 이상이 발생하였으며, 계측 당시 최종 성토를 위한 시공단계가 아닌 점과 우기철인 것을 고려하면 향후 변위가 지속적으로 발생할 수 있을 것으로 판단되었다. 보강토옹벽의 높이가 약 9m인 계측위치 ⑤의 경우(Fig. 3(b))에도 계측위치 ③의 경우와 동일하게 상부(Point 4)에서의 변위가 약 28mm로 가장 크게 발생하였으며, 변위발생 경향도 유사한 것으로 나타났다. 즉, 전면변위 발생량이 “건설공사 보강토 옹벽 설계·시공 및 유지관리 잠정지침(2013년 1월)”에서 나타난 “상단부의 수평 변위량이 H(높이, mm)/200 이하로 유지”해야 하는 기준을 만족할 수 있다 하더라도, 변위가 지속적으로 발생되고 있으며, 그 경향이 다소 불규칙하기 때문에 구조물이 안정화되고 있는 것으로 판단하기에는 무리가 있는 것으로 나타났다. 또

한 본 연구대상 보강토옹벽은 과거 상당한 변위로 인해 전면벽체의 균열이 발생하여 1차적인 보강방안(CGS 및 DCM)이 적용된 이력이 있음에도 불구하고 변위가 나타났다. 이와 같은 지속적인 전면변위 발생은 보강토옹벽을 지지하고 있는 기초지반의 지지력이 아직 충분하지 않은 데 기인한 것으로 판단되었다. 이에 본 연구대상 현장의 지반조사보고서를 분석한 결과, 기초지반에서 세립분 토사가 매우 넓게 분포하고 있는 것으로 파악되어, 이는 보강토옹벽을 지지하기 위한 기초지반으로서 적절하지 못한 것으로 추정되었다. 따라서 본 연구대상 보강토옹벽은 해수면에 의한 일정한 지하수위가 조수간만에 의하여 기초지반으로의 유입 및 배출이 지속적으로 발생되어 지반의 강도를 저하시킴에 따라 구조물의 침하 및 전도형태의 변형이 나타나는 것으로 판단되었다.

따라서 앞서 언급한 바와 같이, 최종 시공단계에서도 지속적인 변위발생의 가능성이 충분하기 때문에, 이를 방지

할 수 있는 대책방안 적용이 필요한 것으로 확인되었다.

3. 보강방안 제안

본 절에서는 현재 지속적인 변형이 발생되고 있는 보강 토옹벽의 구조적 안정성과 추가적인 지반변형을 방지할 수 있는 보강방안에 대하여 제안하였다. 앞서 언급한 바와 같이, 현재 상태에서의 연구대상 보강토옹벽에 대한 지반 변형 및 전체사면안정성 평가를 분석한 결과, 구조물의 기초지반 보강이 선행되어야 한다. 이때 보강방안은 다양한 방법으로서의 적용이 가능하지만, 현장상태를 고려하여 선정해야 한다.

본 연구대상 현장은 해수와 근접해 있기 때문에, 지하수가 일정한 높이로 존재하고 있는 것으로 파악되었다. 또한 기존에 DCM 및 CGS로 보강되었음에도 불구하고, 구조물의 지속적인 변위가 발생하고 있으며, 이는 기초지반의 풍화정도가 높을 뿐만 아니라 일부 지층에 세립질 함유량이 높기 때문에 나타난 결과로 판단되었다. 즉, 보강토옹벽 배면 방향으로 보강된 DCM은 배면지반의 활동력에 저항할 수는 있지만, 보강토옹벽의 기초지반 지지력 증가를 위하여 보강된 CGS는 기초지지력 확보에 큰 영향을 미치지 못한 것으로 판단되었다. 이에 기초지반 보강방안으로 시멘트 그라우팅을 고려하였지만, 연구대상 지반은 해수에 의해 지하수위가 일정한 높이로 존재하고 있을 뿐만 아니라 지반이 느슨한 상태이기 때문에 시멘트의 부착력에 의한 기초지반의 강도 확보를 기대하기가 어려운 것으로 판단되었다. 또한 현장여건상 시멘트 밀크를 주입하기 위해서는 보강토옹벽을 전면 제거 후 재시공하거나 보강토체 상부에서부터 천공해야 하는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 앞서 언급한 내용을 고려하여 구조물을 직접 지지할 수 있는 마이크로 파일을 이용한 지지력 확보 방안을 제안하고자 하며, 이는 구조물지지 뿐만 아니라 구조물 배면의 하중에 의한 활동력까지 저항할 수 있는 보강방안이다. 이에 Fig. 4에서 보는 바와 같이, 네 가지 경우에 대한 수치해석적 연구를 수행한 결과, 제안된 각 보강방안 적용에 따라 마이크로 파일 시공에 의한 보강토옹벽의 수평변위는 거의 발생하지 않는 것으로 나타났으며, 일부의 경우에는 최대 1mm 이하인 것으로 확인되었다. 또한 이와 같은 결과가 후속 시공단계에 미치는 영향이 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 경제성을 우선 고려하여 기존의 설계/시공된 구조물의 단면을 유지할 수 있

는 case 1(Fig. 4(a))의 방안을 선정하여 보강 전후에 대한 안정성 평가를 수행하였다.

4. 마이크로파일 적용에 따른 안정성 평가

연구대상 구조물의 안정성 확보를 위한 보강방안을 마련하기 위하여 보강 전 상태에서 최종시공단계를 가정한 상태와 마이크로 파일로 보강방안이 적용된 상태에서의 지반변형 해석 및 전체사면안정 해석을 수행하였다. 이때, 해석대상은 교대 구조물을 포함할 수 있는 단면으로 선정하였으며, 해석에 적용된 프로그램으로는 지반변형의 경우 MIDAS-GTS, 전체사면안정의 경우에는 교대 말뚝 기초의 영향을 고려할 수 있는 Slopile(ver. 3.0)을 이용하였다. 지하수위는 평상시에 존재하고 있는 조건으로 적용하였으며, 전체사면안정 해석의 경우에만 우기시 조건을 적용하였다. 해석에 적용된 지반강도 정수는 지반조사 결과를 바탕으로 산정하였으며, 그 결과는 Table 1에서 보는 바와 같다.

산정된 지반강도정수 중, CGS의 점착력은 기존의 설계 강도(최초 설계보고서) 대비 약 30% 정도로 산정하였다. 즉, 기초지반 보강을 위하여 적용된 CGS의 시공 후에도 보강토옹벽의 전면변형이 지속적으로 발생되어 CGS의 강도가 감소한 것으로 추정되었으며, 변형발생에 따른 주변지반이 상당히 교란되었을 것으로 판단되었다.

4.1 보강방안 적용 전의 안정성 평가 결과

지반변형에 대한 해석결과, Fig. 5에서 보는 바와 같이, 보강토옹벽의 기초지반에 대하여 보강이 이루어지지 않은 상태에서 최종 시공단계가 진행된 경우, 구조물의 하부지반에 응력이 집중됨과 동시에 전면변위가 최대 1m 이상 발생하는 것으로 확인되었다. 이는 매우 과도한 변형이 발생하는 것으로서 추가적인 보강이 이루어지지 않은 상태에서 최종 시공단계로의 진행은 구조물의 안정성 저하에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 전체사면안정 해석 결과, Fig. 6에 나타난 바와 같이, 건기시에는 기준안전율을 만족($F_s=1.889 > 1.8$, 교대 파일 고려시 조건)하는 것으로 나타났지만, 우기시의 경우에는 기준안전율을 만족하지 못하는 것($F_s=1.217 < 1.3$, 우기시 조건)으로 확인되었다. 이는 현재 교대 전면으로 시공되어 있는 보강토옹벽의 변형이 육안으로는 크지 않지만, 지속적인 강우가 발생하

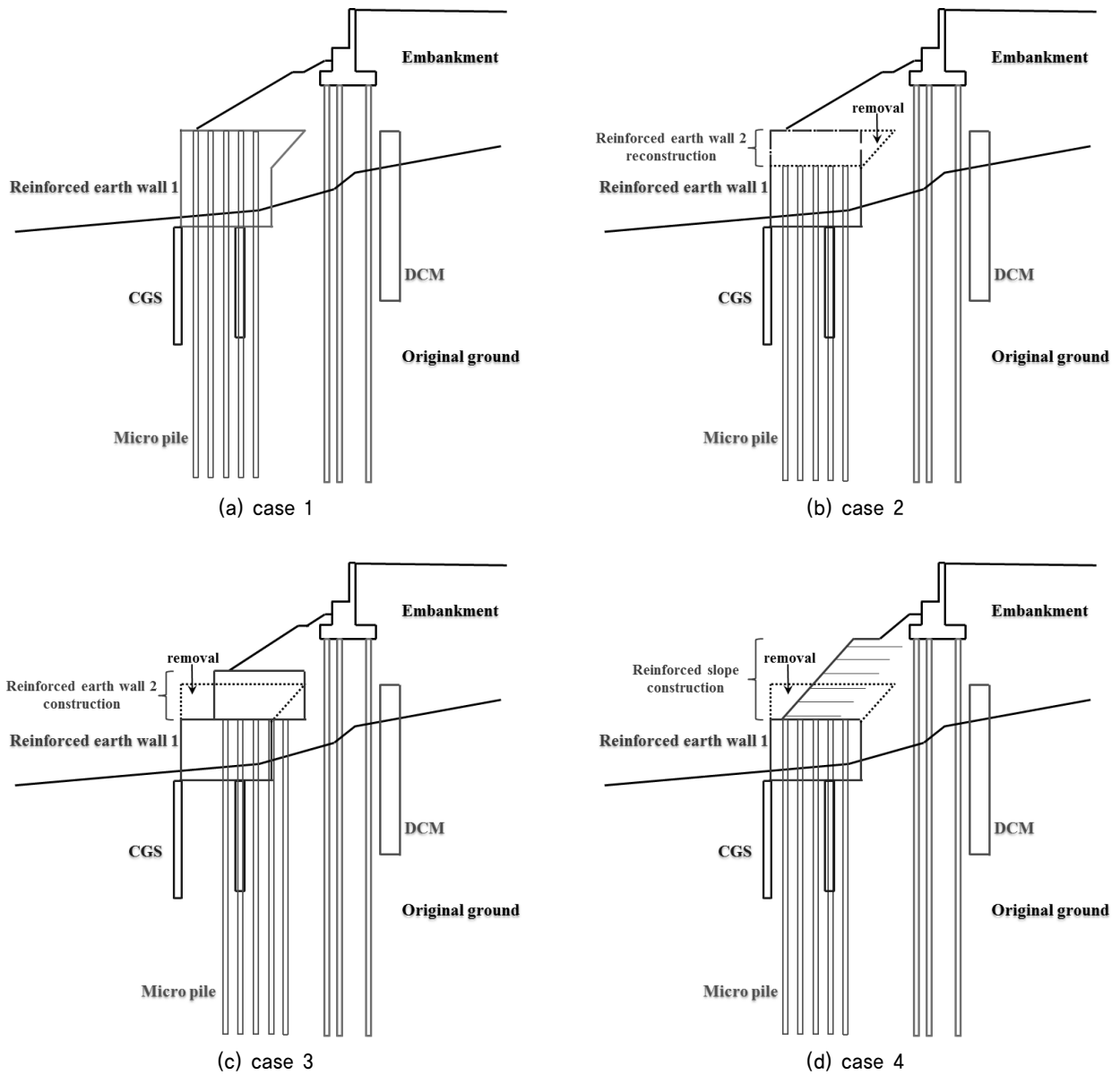
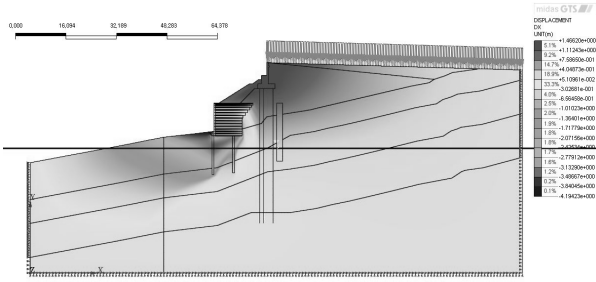


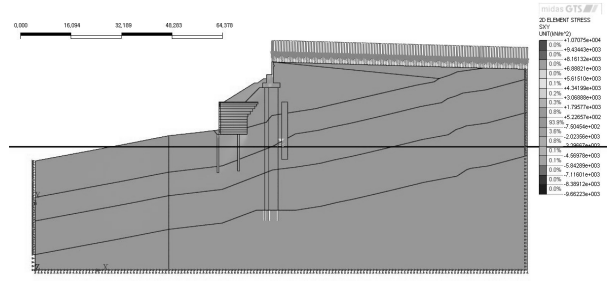
Fig. 4. Suggestion of reinforcement method

Table 1. Soil Properties

Soil layer	N value	Total unit weight of soil (γ_t , kN/m ³)	Cohesion (c, kPa)	Internal friction angle (ϕ , °)	Elasticity modulus (E, kPa)	
Embankment & reinforced earth	—	19	5	30	20000	20000
weathered soil 1	5	17	5	25	1500/12100	12100
weathered soil 2	7	17	15	22	3150/12900	12900
weathered soil 3	35	19	20	30	7000/34300	34300
weathered soil + weathered rock	over 50	19	30	32	75000	75000
weathered rock	—	20	40	33	100000	100000
CGS	—	20	25	25	30000	30000
DCM	—	21	217	30	60000	60000

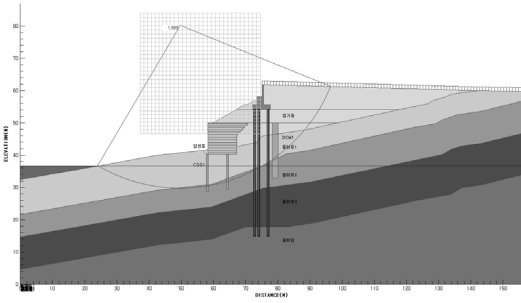


(a) Horizontal displacement

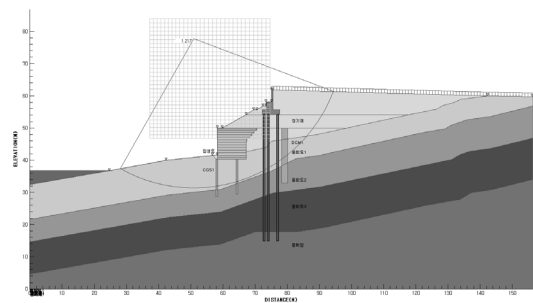


(b) Shear stress

Fig. 5. Numerical analysis of ground before reinforcement application

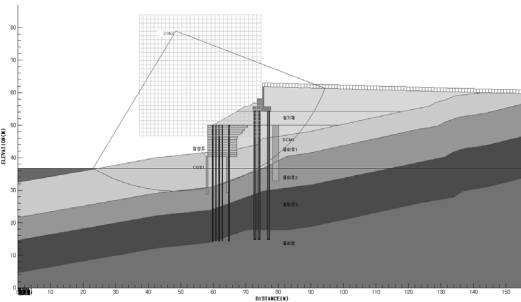


(a) Dry condition

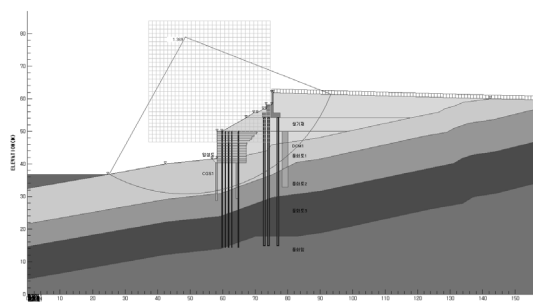


(b) Wet condition

Fig. 6. Global slope stability of structure before reinforcement application



(a) Dry condition



(b) Wet condition

Fig. 7. Global slope stability of structure after reinforcement application of micro pile

는 경우에 전체사면에 대한 안정성이 급격히 저하될 수 있음을 의미하는 결과이다. 즉, 보강토옹벽 구조물의 추가 변형을 방지하기 위한 보강방안 적용이 필요한 것으로 나타났다.

4.2 마이크로 파일 보강에 따른 안정성 평가 결과

마이크로 파일을 이용한 보강토옹벽의 보강은 구조물을 직접 지지할 뿐만 아니라, 구조물 배면에서 작용하는 활동력까지 저항할 수 있으며, 원래의 시공단면을 유지할 수 있는 방안으로 적용하였다. 이 때, 마이크로 파일은 일반적으로 적용되고 있는 직경 직경 150mm(두께 2.9mm)

의 강관 내부에 그라우팅 하는 방법으로 가정하였다. 또한 파일의 시공 열수 및 중심간격은 최소안정성을 확보할 수 있는 방안을 모색하기 위하여, 선행 해석된 결과를 바탕으로 각각 5열 및 1m 및 2m가 복합된 중심간격을 적용하였다. 이에 본 절에서는 앞서 언급한 시공단계를 고려하여 안정성을 평가하였으며, 보강 전의 평가방법과 동일하게 지반변형 및 전체사면안정에 대하여 검토하였다.

먼저, 보강 후 시공단계에 따른 지반변형에 대한 해석결과, 보강토옹벽 저면과 최상단의 변위 차이는 최소 1.0cm에서 최대 2.4cm인 것으로 나타났다. 이는 원설계 단면 그대로 존치되어 있는 보강토옹벽의 높이가 9.6m인 점으로 미루어, 구간에 관계없이 수평 변위량 기준($960\text{cm}/200=4.8\text{cm}$,

건설공사 보강토 옹벽 설계·시공 및 유지관리 잠정지침 (2013년 1월) 적용 시)에 만족하는 것으로 판단되었다. 이에 변형해석 결과를 나타내는 컨투어의 의미가 없기에, 본 절에서는 그림을 생략하였다.

전체사면안정 해석결과, Fig. 7에서 보는 바와 같이 나타낸 바와 같이, 건기시($F_s=2.062 > 1.8$, 교대 파일 고려시 조건) 및 우기시($F_s=1.369 > 1.3$) 모두 기준안전율을 만족하는 것으로 확인되었다. 따라서 구조물의 과다변형에 의해 재시공 또는 보강대책이 필요한 보강토옹벽에 있어서, 시공여건 및 주변 환경조건 등을 고려한 마이크로 파일 보강방안은 지지력 확보뿐만 아니라, 구조물을 포함하는 전체사면안정에 대해서도 충분히 안정성을 확보할 수 있는 것으로 확인되었다.

5. 결론

본 연구에서는 현장사례를 바탕으로 공용을 앞두고 있는 교대에 인접하여 시공된 보강토옹벽의 지속적인 변형 원인 분석결과를 바탕으로 기존 옹벽의 단면을 유지할 수 있는 보강방안으로 마이크로 파일에 대한 적용성 평가를 위한 수치해석을 수행하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 본 연구대상 구조물의 계측결과를 이용한 변형발생 원인분석 결과, 해안에 인접해 있는 구조물의 환경적인 영향에 기인하여 보강토옹벽을 지지하고 있는 기초지반의 지지력이 약화에 따라 과다변형이 발생한 것으로 판단되었다. 또한 보강토옹벽 상부에 추가적인 성토시공이 예정되어 있기 때문에, 구조물을 포함하는 전체사면안정에 대한 문제발생이 가능한 것으로 나타났다. 따라서 이를 방지할 수 있는 추가적인 보강방안 적용이 필요한 것으로 확인되었다.
- (2) 시공여건 상, 보강토옹벽 구조물의 재시공이 어려운 점을 고려함과 동시에, 기초지반의 지지력 및 전체사면에 대한 안정성을 확보하기 위하여 마이크로 파일을 이용한 보강방안을 적용하였다. 이에 마이크로 파일이 적용된 다양한 대책안을 제안하였으며, 경제성을 우선 고려하여 기존의 설계/시공된 구조물의 단면을 유지할 수 있는 방안을 선정하여 보강 전후에 대한 안정성 평가를 수행하였다. 수치해석을 이용한 안정성 평가 결과, 지지력 및 전체사면에 대한 안정성을

충분히 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

- (3) 다만, 마이크로 파일을 이용한 보강방안 적용 시에는 보강재의 손상과 시공에 따른 진동 및 천공으로 인한 응력변형이 보강토옹벽의 안정성에 미치는 영향을 고려하여 적용해야 할 것으로 판단된다.

현재, 본 연구에서 수행한 결과를 바탕으로 사례현장의 보강방안으로서 설계적용이 완료되어, 시공 중에 있으며, 지속적인 계측결과를 바탕으로 추가연구가 진행되고 있다.

References

1. Choi, J. H., Kim, Y. S., Lee, O. H. and Won, M. S. (2013), "A Case Study on the Effects of the Restoration of Collapsed Geosynthetics Reinforced Soil Retaining Wall using Soil Nailing", *2013 Fall Geosynthetics Conference*, Seoul, Korea, pp. 105-108. (in Korean with English summary)
2. Han, J. G., Cho, S. D., Jeong, S. S., Lee, K. W. and Hong, K. K. (2005), "Case Study on Global Slope Failure Case of Segmental Retaining Wall", *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol. 4, No. 2, pp. 47-56. (in Korean with English summary)
3. Hong, K., Han, J. G., Lee, J. Y. and Park, J. S. (2013), "Analysis on Failure Causes and Stability of Reinforced Earth Wall Based on a Field Case", *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol. 12, No. 1, pp. 109-114. (in Korean with English summary)
4. Kim, Y. S., Won, M. S., Choi, J. H. and Choi, Y. H. (2013), "A Case Study on the Restoration of Geosynthetic Reinforced Soil Segmental Retaining Walls damaged by Fire Deterioration", *2013 Spring Geosynthetics Conference*, Daegu, Korea, pp. 41-44. (in Korean with English summary)
5. Lee, K. W., Cho, S. D., Han, J. G. and Hong, K. K. (2012), "Pullout resistance characteristics of strip-type reinforcement based on extensibility", *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol. 11, No. 4, pp. 37-44. (in Korean with English summary)
6. Park, J. K. and Lee, K. W. (2012), "A Study on Practices and Troubles of Reinforced Soil Wall", *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol. 11, No. 1, pp. 65-75. (in Korean with English summary)
7. Won, M. S., Choi, J. H., Choi, J. S. and Kim, Y. S. (2012), "Restoration of Collapsed Geosynthetics Reinforced Segmental Retaining Wall using Unit Soil Nailing encapsulated with corrugated polyethylene tube", *2012 Spring Geosynthetics Conference*, Seoul, Korea, pp. 81-84. (in Korean with English summary)