

EPS공법에 의한 측방유동 저감효과에 관한 해석적 연구 A Relative Study on Safe Factor by Different Analyses of Slope Stability

안준희¹⁾, Joon-Hee An, 장정욱²⁾, Jeong-Wook Jang, 박춘식³⁾, Choon-Sik Park

¹⁾ 국립창원대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student of Civil Engineering, Changwon National Univ.

²⁾ 국립창원대학교 토목공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Changwon National Univ.

³⁾ 국립창원대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Changwon National Univ.

SYNOPSIS : This study analyzed the reductive effect of lateral flow by the section and height of reinforcement of EPS. The conclusions of the study are as follows.

(1) The lateral flow increased as the section of reinforcement decreased. The reinforcement section that satisfied the allowable range of the lateral flow turned out to be approximately 80% of the standard reinforcement section.

(2) As reinforcement height was decreasing, the lateral flow increased. The reinforcement height that satisfied the allowable range of the lateral flow turned out to be approximately 50% of the total lateral height of abutment.

Key words : EPS, Lateral flow, Reinforcement section, Reinforcement height

1. 서 론

국토의 면적이 좁고 삼면이 바다로 둘러싸여 있으며 해안가나 강가를 따라서 연약한 점성토 지반이 널리 분포되어 있어 각종 토목 공사를 위한 양질의 지반이 상당히 부족한 것이 우리의 실정이다. 따라서 최근에는 매우 연약한 점토 지반 위에 구조물의 시공이 빈번히 이루어지고 있으며, 그로인하여 공사 시나 공사 이후에 연약지반이 가지고 있는 위해적인 요소로 인하여 구조물에 여러 가지 피해를 초래할 수 있는 문제점을 내포하고 있다.

또한 최근 우리나라는 급속한 산업의 발달로 증가되는 산업물량을 신속하게 수송하기 위하여 전국 각지에 고속도로와 산업도로의 건설이 활발하게 이루어지고 있다. 이러한 도로공사는 지반조건이 양호한 지역에서 뿐만 아니라 연약점토층이 두텁게 분포되어있는 지역에서도 빈번히 실시되고 있다. 이러한 구조물이 연약지반 상에 시공될 경우에 배면 뒤채움이나 도로의 성토, 굴착시공 등은 하부지반에 편재하중으로 작용하게 되어 지반의 측방유동을 유발시키게 된다. 특히, 연약지반 상에 교대가 설치되는 경우에는 연약지반의 측방유동에 의해 교대기초말뚝에 측방토압이 작용하게 된다. 이로 인하여 교대기초말뚝에 수평변위가 발생되어 교대 및 상부 구조물에 치명적인 악영향을 미치게 되기도 한다. 이러한 경우에는 하부지반에 측방유동이 발생되지 않도록 충분한 압밀과정을 거치고 난 후 교대를 시공해야 하나, 공사기간의 문제나 용지 매입 등 여러 가지 시공현장의 요인으로 압밀이 완료되기 전에 교대를 먼저 축조하는 경우가 있다. 이와 같은 경우에는 교대 뒤채움 성토하중으로 인하여 교대에 측방유동이 발생되지 않도록 적절한 보강공법을 실시하여야 한다.

본 논문에서는 실제 연약지반 상에 구축되는 말뚝기초 형식의 교대를 모델로 측방유동에 대하여 검토하고, 대책공법으로 EPS공법을 선정하여, EPS의 보강구간 및 보강높이에 따른 측방유동 저감효과를 유한요소해석 프로그램인 PLAXIS를 이용하여 해석하고, EPS공법에 의한 경제적이고 합리적인 측방유동

대책 방안을 제시하고자 한다.

2. 연구방법 및 내용

본 논문에서는 함안군에 위치한 실제 교량을 대상으로 하고 있으며, 이 교량은 2000년 노후 위험교량 정밀 안전진단 결과, 교량관리와 차량통행의 위험이 상존하여 재가설 대상 교량으로 판명되었다.

본 논문은 그 교량을 모델로 재가설시 관정법에 의한 측방유동에 대해 검토하여 발생 가능성을 확인한 후 그에 대한 보강구간을 산정하였다. 그리고 보강대책공법인 EPS공법 시공시 산정된 보강구간의 변화에 따라 측방유동 저감효과를 검토하고, 보강높이 변화에 따른 측방유동 저감효과도 같이 검토하였다. 그리고 해석단면 및 해석조건은 아래와 같으며, 교량의 지반 Parameter는 연구 목적을 위해 일부 수정되었다.

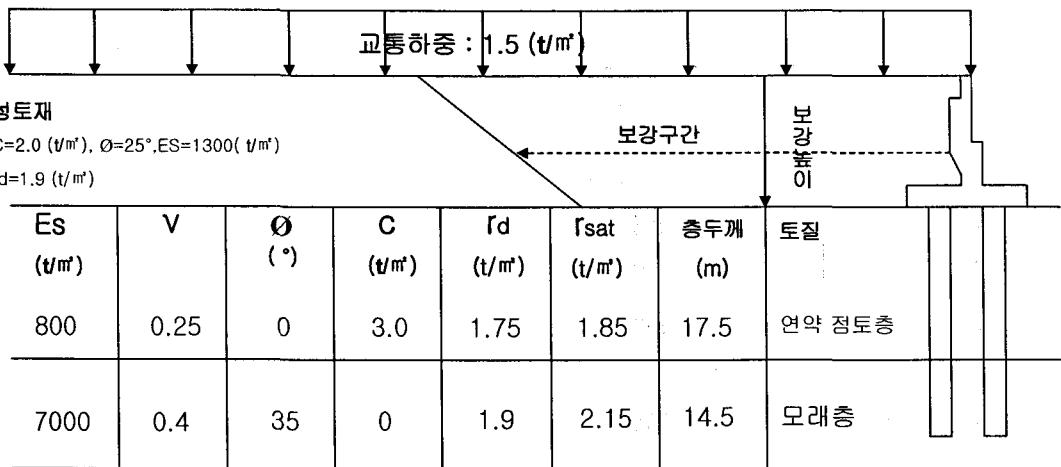


그림 1. 해석 단면

표 1. 해석 조건

해석 조건	보강 구간	0.1×2S	0.2×2S	0.3×2S	0.4×2S	0.5×2S	0.6×2S	0.7×2S	0.8×2S	0.9×2S	2S
	보강 높이	1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m	8m		

* S : 성토사면 선단에서 원호활동해석으로부터 얻어진 활동원까지의 거리(4.1 참조)

3. 교대의 측방유동 검토 결과

본 논문에서는 여러 관정법 및 사면활동법에 의하여 측방유동에 대해 검토하였고, 그 결과를 표 2에 정리하여 나타내었다. 그 결과 안정계수법을 제외한 모든 방법에서 측방유동이 발생된다는 것을 확인하였다.

표 2. 판정법에 의한 측방유동 검토 결과

판정방법	판정수	측방이동 발생조건	판정	비고
Tshebotarioft	4.34	$N_b > 3.0$	N.G	
일본도로공단	1.128×10^{-1}	$F < 4.0$	N.G	
도로교 표준시방서	2.96	$I_L > 1.2$	N.G	
안정계수에 의한 판정법	28.05	$F_R > 3.0$	O.K	
캐나다 및 미국 판정법	A 영역 (B 영역)	A 영역(A~C영역)	N.G	
사면활동법	1.089	$F_S < 1.5$	N.G	

* () : 파일 간격비 고려

그림 2는 유한요소해석결과를 나타내고 있으며, 그 결과 수평변위가 허용수평변위($\delta_H = 10.0\text{mm}$)를 초과하는 것으로 나타나 배면 성토에 의한 측방유동 가능성이 있음을 확인하였다.

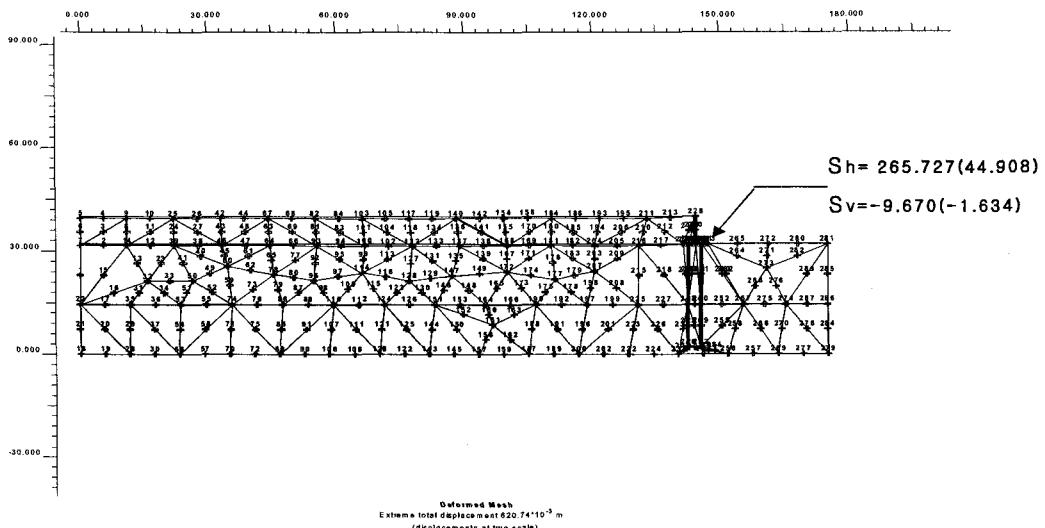


그림 2. 유한요소 해석결과에 의한 교대의 변위

4. EPS공법에 의한 측방유동 저감효과에 관한 해석

해석 대상 교량을 모델로 측방유동에 관한 검토를 수행하였다. 그 결과 계획성토고로 교대를 시공할 경우에는 측방유동 발생 가능성이 있는 것으로 판단되었다. 그러므로 교대의 측방유동에 대한 대책수립이 필요한 것으로 판단되었으며, 본 논문에서는 뒤채움 성토부의 편재하중을 감소시키는 공법인 EPS공법에 의한 측방유동 저감 효과를 검토하였다.

4.1 보강구간의 산정

교대 배면의 본선부에 있어서는 하부 점토지반의 강도증가 및 압밀침하를 도모하기 위하여 성토를 실시한다. 이때 성토에 의해 하부 연약점토층에는 압밀침하 및 측방유동이 발생되며, 이 측방유동이 교대의 기초 Pile에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 성토가 이루어져야 한다.

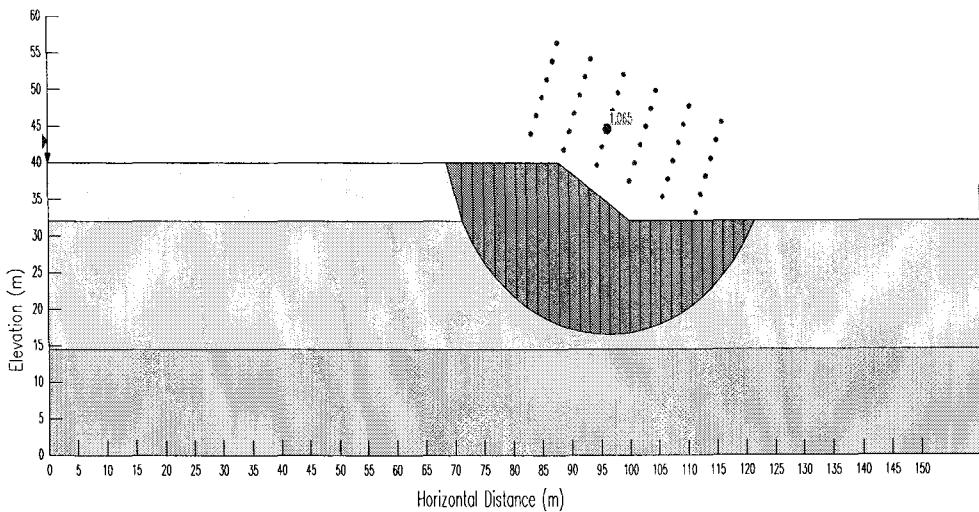


그림 3. 교대의 사면활동 검토

따라서 본 논문에서는 계획 성토고까지 성토를 완료했을 때의 사면활동해석을 실시하여 측방유동에 대한 영향범위를 결정하였다. 그 결과 사면선단에서 활동원 선단부까지 거리의 약 2배되는 거리를 영향범위로 간주하고 보강구간을 산정하였다.

그림 3과 표 3은 그 결과를 나타낸 것이다. 그 결과로부터, 측방유동에 대한 교대의 안정성을 확보하기 위한 성토체와 교대의 이격거리는 약 44.0m인 것으로 나타났으며, 이를 보강구간의 기준으로 설정하였다.

표 3. 보강구간 산정 결과

사면선단에서 활동원까지의 거리 (m)	EPS 시공 구간 (m)	비고
22.0	44.0	

4.2 보강구간 변화에 대한 해석결과

원호활동 해석 결과에서 얻어진 보강구간(44.0m)을 기준으로, 보강구간 변화에 따른 측방유동량을 해석하였다. 그림 4는 보강구간 변화에 대한 교대의 측방유동량의 변화추이를 나타낸 것이다. 이 그림으로부터 보강구간 축소에 따라 측방유동량이 증가함을 알 수 있으며, 측방유동에 대한 허용범위를 만족시키는 보강구간은 원호활동 해석 결과에 근거한 기준 보강구간의 80%까지 임을 알 수 있다.

따라서 본 해석단면의 경우 경제적인 보강구간은 기준보강구간의 80%인 35.2m임을 알 수 있다.

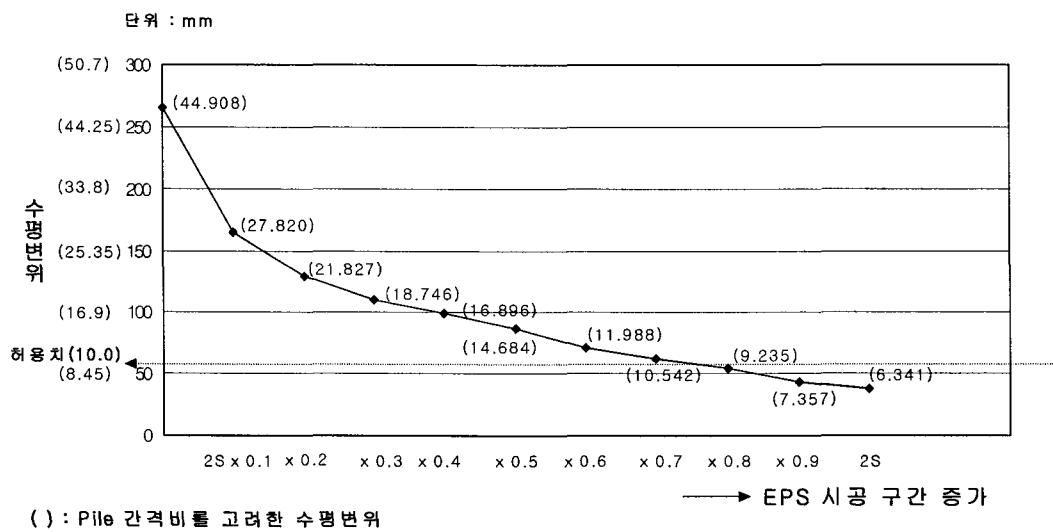


그림 4. 보강구간 변화에 대한 측방유동량의 변화

4.3 보강높이 변화에 대한 측방유동량의 변화

앞 절에서는 보강구간 변화에 대한 측방유동 저감효과를 검토하여 보았다. 해석 결과, 기준보강구간의 80%까지는 보강구간을 축소시킬 수 있음을 확인하였다.

여기서는 보강높이 변화에 대한 측방유동 저감효과에 관하여 검토를 수행하였다.

그림 5.는 보강구간이 기준보강구간인 44m인 경우의 보강높이 변화에 대한 측방유동량 변화 추이를 나타낸 것이다. 이 그림으로부터 보강높이가 줄어듦에 따라 측방유동량이 증가함을 알 수 있다.

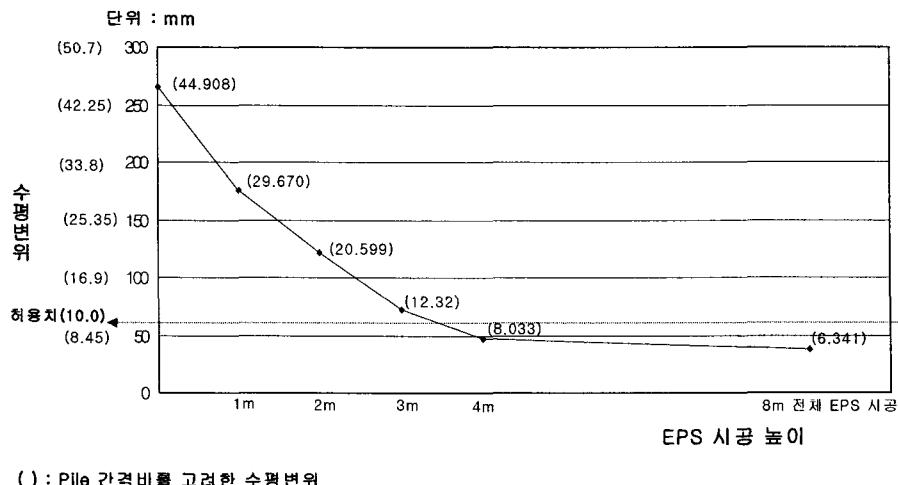


그림 5. 보강높이 변화에 대한 측방유동량의 변화

그리고 성토 높이가 4m이하인 경우에는 측방유동에 대한 허용범위를 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 EPS는 부력에 대하여 불안정하고 고가의 재료이기 때문에 4m 성토 후 나머지 4m를 EPS 시공하는 것이 경제적이고 안정적인 시공이 되어 질 것으로 판단되어진다.

5. 결 론

이상과 같이 본 논문에서는 함안군에 위치한 교량을 대상 모델로 하여 측방유동에 대해 해석·검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 여러 관정법 및 사면활동법으로 측방유동에 대하여 검토한 결과 안정계수법을 제외한 모든 방법에서 측방유동이 발생됨을 확인하였다. 그리고 유한요소해석 결과 수평변위가 허용수평변위(10mm)를 초과하는 것으로 배면 성토에 의한 측방유동 가능성이 있음을 확인하였다. 그러므로 교대의 측방유동에 대한 대책을 강구해야 한다는 결론을 얻었다.
2. 보강구간 축소에 따라 측방유동량이 증가함을 알 수 있었고, 측방유동에 대한 허용범위를 만족시키는 보강구간은 원호활동 해석 결과에 근거한 기준보강구간의 80%인 35.2m임을 알 수 있었다.
3. 보강높이가 줄어듦에 따라 측방유동량이 증가함을 알 수 있었고, 보강높이가 전체 높이의 50% 이상인 경우에는 측방유동에 대한 허용범위를 만족하는 것으로 나타났다.
4. 이상의 결과로 측방유동량이 보강구간과 높이에 의존함을 알 수 있으며, 보다 경제적인 보강대책을 수립하기 위해서는 보강구간과 높이에 따른 측방유동 해석을 실시함이 바람직할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 전성기, “연약지반 설계 실무 편람”, 과학기술.
2. Braza M. Das 저, 신은철 역, 토질역학 제3판, 구미서관.
3. “Softground Improvement In Lowland and Other Environments”, ASCE Press
4. “Soft Clay Engineering”, ELESEVIER