

EPS

A Case Study on the Application of EPS Construction Method Considering Abutment Displacement in Soft Ground

1) Hee-June Kang, 2) Ill-Rog Oh, 3) Young-Su Chae

1) () Enc, Civil Engineer,

2) () , Civil Engineer, R&D Dept of Sambu Construction CO., Ltd.

3) , Professor, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Suwon

SYNOPSIS : Application of structural load on soft ground can cause lateral movement as well as ground break due to pressing and shearing of ground. Especially, abutment supported by pile foundation, can make pile deformed due to lateral movement of ground in order to have harmful effect on structure. According to the result of this study, it is required to consider disturbance of weak soil layer when using lateral movement countermeasure method by EPS construction method as a result of performing study on safety review and EPS construction method with respect to this based on site where lateral movement occurs due to backside soil filling load at bridge abutment installed on weak ground, and it is required to sufficiently consider soil reduction during design of EPS construction method due to lateral movement deformation of soft clay layer by losing ground horizontal resistance force due to plasticity of ground around pile as well as combination part damage with pile head and expansion foundation.

Key word : Lateral movement, Abutment Displacement, EPS construction method

1. 서론

우리나라에서는 연약지반이 서·남해안에 주로 실트 및 점성토층으로 분포하고 있고 유기질토인 peat층이 광범위하게 분포하고 있다. 또한 이들 지방을 중심으로 한 건설공사가 활발히 진행되면서 측방유동과 관련된 교대말뚝기초나 토류벽의 변형문제가 많이 발생되고 있다. 각종교량의 교대 및 옹벽 공사에 있어서 배면의 성토는 불가피하며, 이는 교대 및 옹벽을 중심으로 편토압이 작용하는 경우가 된다. 그러나 기초지반이 연약한 경우 지반은 전단변형과 압밀변형으로 하부지반의 수평이동 즉 흙의 측방유동 현상이 발생하며 교대 아래에 설치된 말뚝에 수평토압을 유발케 한다. 만일 유발된 측방토압이 설계한계를 넘어서게 되면 말뚝과 함께 교대는 측방방향으로 이동하여 파괴를 일으키게 된다. 특히 성토체 인근에 말뚝이 설치되는 경우에는 측방변형이 말뚝에 휩모멘트를 유발하여 결과적으로 교대의 이동을 초래하게 되며 기초의 구조적인 파괴까지 발생시킨다. 따라서 측방유동이 성토체 기초의 안정 및 구조물의 안정에 중요한 인자라는 것을 토대로 한다. 본 논문에서는 교대측방유동 현상이 발생한 현장을 중심으로하여 측방유동이 발생한 현장에 EPS(expanded poly styrene)교대 뒷채움 재료 사용시 교량의 향후 안정성을 확보하기 위한 대책방안을 수립하고 폭넓게 적용시키는데 본 연구의 목적이 있다.

2. 현장의 개요

표 1에서 보는바와 같이 연약지반상에 축조되는 단경간 steel box girder 교량의 교대가 교대 뒷채움 성토로 인한 편재하중으로 인해 지반의 측방유동(lateral plastic flow)과 교대 수평변위를 발생시켰다. 교대하부기초는 그림 4.1과 같이 지름 406mm의 강관말뚝기초로 총 66본(3열 22행)이 타입되었다. 교량 구조물 축조후 후속공정인 교대 뒷채움성토를 실시하던 중 측방유동이 최대로 일어난 곳이 약 10cm까지 발생함에 따라 경량 성토공법의 일종인 EPS(expanded polystyrene)공법을 시행하여 보강공사를 실시·완료하였으나 4개월 뒤에 A2 교대 가동단 교좌의 shoe가 약 6cm정도 재이동하였다. 그림 1은 현장의 중·평면도이다.

2.1 교량 구조물의 조건

표 1. 교량 구조물의 조건

교량 형식	1-span steel box girder교 L = 45m, B = 26.5m
교대 형식	역 T형 H = 8.5m
기초 형식	steel pipe $\phi 406\text{mm}$, t = 12mm, L = 14.5m(A1), 15.5m(A2)

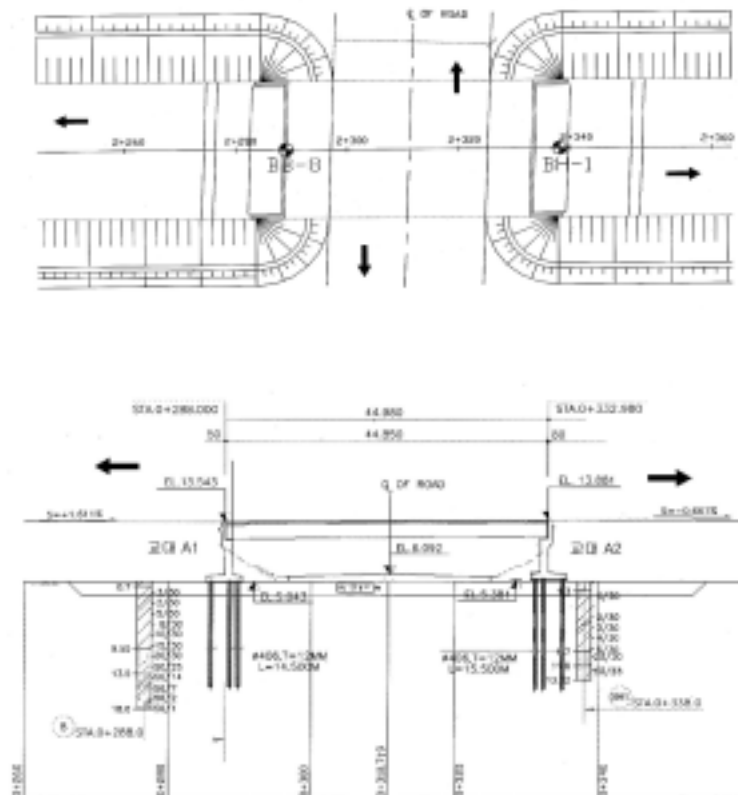


그림 1. 현장의 중·평면도

2.1.1 지형 및 지질

(1) 각 지질의 토질특성

본 지역은 대부분 해발 100m 이하의 저구릉성 들과 평야로 이루어져 있으며 거의 모든 지역은 개간되어 농경지로 이용되고 있다. 본 지역의 토질특성 및 지층단면을 파악하기 위하여 교량 교대부근에서 시추조사를 실시하였다. 지반조사결과 본 지역은 지표면으로부터 매립층, 실트질 점토층, 모래층, 모래자갈층으로 구성되어 있다.

(가) 매립층

본 층은 매립되어 형성된 지층으로 G.L.0.0m~G.L.(-0.7~1.3)m에 위치하고 점토 및 모래를 함유하고 있으며 지반의 N값은 7/30으로 느슨한 상태로 구성되어 있다.

(나) 실트질 점토층

본 층의 상부는 실트를 약간 함유한 상태로 하부로 갈수록 실트함량이 증가하고 있고 습윤상태이다. 본 층의 두께는 8.4~8.8m로 N값이 2/30~5/30의 연약한 점토층이며 하부층은 비교적 단단한 점토층으로 구성되어 있다.

(다) 모래층

본 층은 G.L.-(9.5~9.7)m~G.L.-(11.8~13.0)m에 위치하고 있고 습윤상태로 거의 균등한 모래로 구성되어 있다.

(라) 모래자갈층

본 층은 G.L.-(11.8~13.0)m~G.L.-18.0m에 위치하고 잔자갈~큰자갈 크기의 입도분포를 보이고 있다.

(2) 시험결과

현장지반에서 불교란시료를 채취할 수 없는 초연약 점토층이어서 현장배인전단시험에 의해 비배수 전단강도 값을 구하고, 또한 현장에서 채취한 시료로 실내시험을 실시한 결과가 표 2이다.

표 2. 토질시험결과

구 분	실트질 점토층
단위중량 γ_t (tf/m^3)	1.7
연약층 두께 (m)	8.4
함수비(%)	40.80
비중	2.70
소성지수(%)	23.6
압축지수 C_c	0.33
No.200 통과량(%)	97.5
액성한계(%)	44.50
U.S.C.S.	CL

2.1.2 현장현황

연약지반상에 축조된 역T형 교대가 교대부 뒷채움으로 인한 편재하중의 작용으로 인하여 교대의 수평변위가 약 10cm 발생하였고 표 3은 현장계측에 의한 교대실측 변위량을 나타낸다.

표 3. 현장계측에 의한 교대실측 변위량

구 분	교대 측방이동량	
	교대 상단	교대 하단
A2 교대	4.6~6.7cm	10~10.4cm

2.2 수치해석에 따른 측방유동의 해석

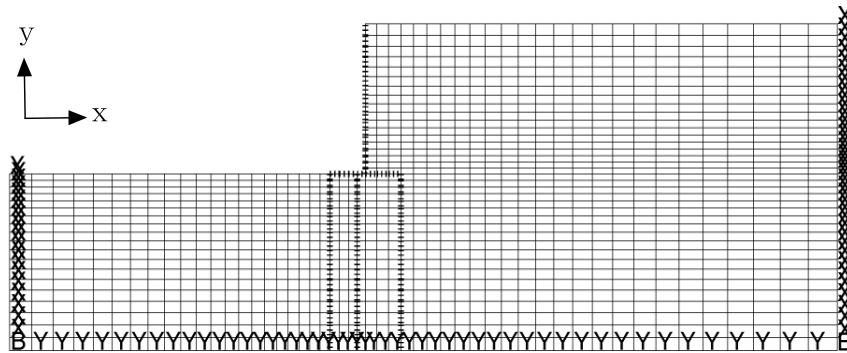


그림 2. 해석영역의 단면형상

그림 2는 해석영역의 단면형상을 나타내고 표 4는 수치해석에 사용된 지반관련계수를 나타낸다.

표 4. 수치해석에 사용된 지반관련계수

구 분	단위중량 (kgf/m^3)	접착력 (Pa)	내부마찰각	탄성계수 (Pa)	포아송비
토사층	2500	0	25	$2.0e7$	0.33
점토층	1700	$6.5e4$	0	$3.0e6$	0.45

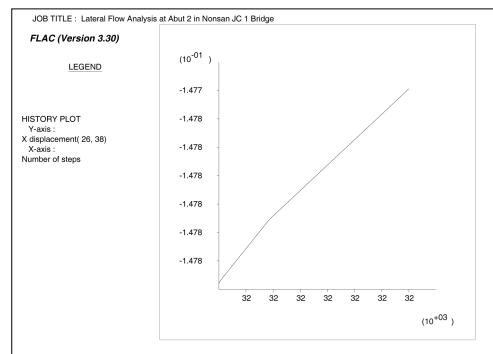
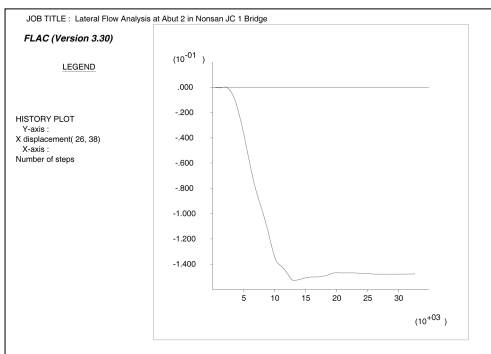


그림 3. EPS 보강전 교대상단의 변위량

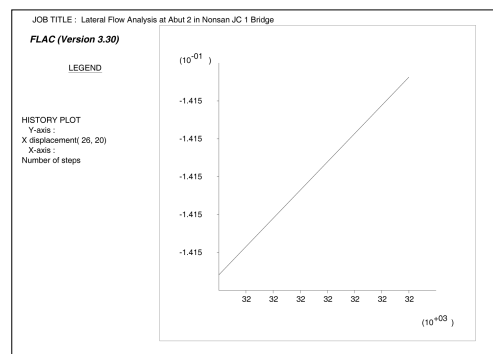
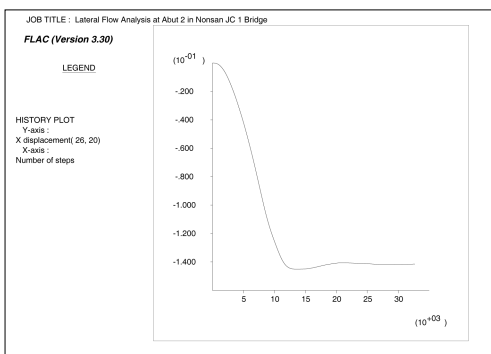


그림 4. EPS 보강전 교대하단의 변위량

그림 3.에서 보는 바와 같이 EPS 보강전 교대상단의 변위량은 14.78cm이고 그림 4.에서 보는 바와 같이 EPS 보강전 교대하단의 변위량은 14.15cm이므로 교대 뒷채움에 있어서 배면토압을 경감시키고 측방유동을 저감시키는 EPS를 통한 교대뒷채움을 실시하였다.

2.3 EPS(Expanded Poly Styrene)공법의 적용

현장적용성을 검토하고 연약지반 성토시 성토하중으로 인하여 구조물의 측방변형억제대책으로 효과적이며 일반토사에 비해 단위중량이 0.035 tf/m^3 으로 일반토사의 1/50~1/100로써 편재하중을 상당히 경감시킬 수 있는 EPS 성토공법을 적용하였고 이에 따른 변위형상을 검토하였다. 표 5는 수치해석에 사용된 EPS의 지반관련계수를 나타낸다.

표 5. 수치해석에 사용된 EPS의 지반관련계수

구 분	단위중량 (kgf/m^3)	점착력 (Pa)	내부마찰각 ($^\circ$)
EPS	35	0	25

표 6. EPS의 원설계

구 분	EPS 공법	
	높이(m)	길이(m)
원 설계	3.8	18.94

표 6과 같은 규모크기의 EPS 설치시 수치해석한 결과를 보여주는 것이 그림 5와 그림 6이다.

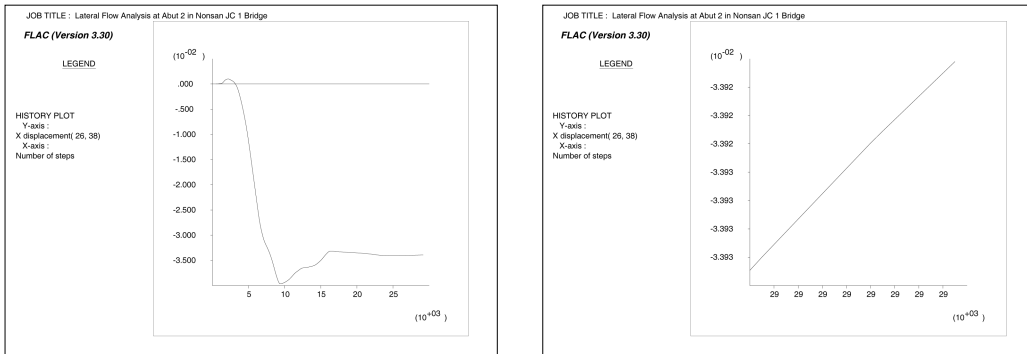


그림 5. EPS의 원설계시 교대상단 변위량

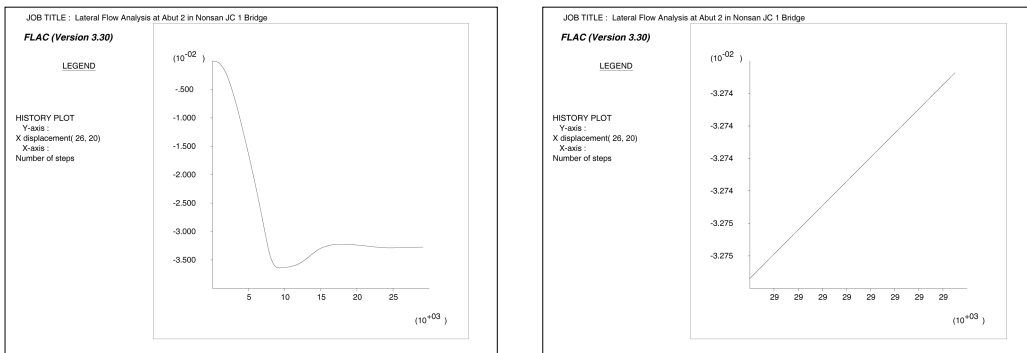


그림 6. EPS의 원설계시 교대하단 변위량

EPS 원설계시 수치해석을 통하여 허용변위량이 그림 5에서 보는 바와 같이 교대상단의 경우 변위량이 33.9mm이고 그림 6에서 보는 바와 같이 교대하단의 경우 변위량이 32.7mm이다. 한편, 연약지반상에 축조된 역T형 교대의 허용변위량 기준은 교량설계기준(한국도로공사 2001)을 기준으로 하여 교대의 허용변위를 책정하였다. 본 현장의 교량은 그림 1과 같이 45m이므로 표 7에 근거하여 신축량 100m미만의 교대의 신축장을 근거로 하여 교대의 허용변위량을 책정하였고 식 (1)은 이에 따른 교대의 허용변위량을 책정한 식이다.

표 7. 신축장 100m미만의 교량의 신축량

구 분	강 교		PSC교	RC교
	상로교	하로, 강상판교		
온 도 변 화	(-20~+40℃)	(-20~+50℃)	(-15~+35℃)	(-15~+35℃)
	-10~+40℃	-10~+50℃	-5~+35℃	-5~+35℃
신	(0.6×1.2 l)	(0.7×1.2 l)	(0.5 l)	(0.5 l)
	0.5×1.2 l	0.6×1.2 l	0.4 l	0.4 l
	-	-	0.1 l	0.1 l
축	-	-	0.2 l	-
	(0.72 l)	(0.84 l)	(0.8 l)	(0.6 l)
	소 계 0.6 l	0.72 l	0.7 l	0.5 l
량	(0.14 l +10)	(0.17 l +10)	(0.16 l +10)	(0.12 l +10)
	0.12 l	0.14 l +10	0.14 l +10	0.10 l +10
	(0.86 l +10)	(1.01 l +10)	(0.96 l +10)	(0.72 l +10)
합	0.72 l +10	0.86 l +10	0.84 l +10	0.60 l +10

$$\Delta l = 0.72l + 10 \quad (1)$$

여기서, Δl : 교대의 허용변위량(mm)
 l : 신축하는 거더의 길이(m)

식 (1)을 근거로 할때 본 현장의 교대 허용변위량은 42.4mm이다. 따라서 본 현장의 교대변위량은 허용변위량의 범위내에 들어갔고 그래서 원설계대로 표 6과 같은 규모의 EPS시공을 실시하였고 계측 관리를 하였다. (표 8)교대상단과 교대하단의 추가변위는 없었으나 표 8에서 보는 바와 같이 교대의 가동슈(shoe)가 약 6cm가량 이동하는 것을 발견하게 되었다.

표 8. A2교대의 원설계 후 이동량

구 분	교대허용변위량	계측결과 슈(shoe)의 이동량
A2 교대	4.24cm	6cm

이에 따라 본 현장은 원설계를 변경하여 EPS의 성토를 표 9와 같이 높이를 7.7m로 하고 길이를 20m로 규모를 확대해서 EPS를 성토하는 것으로 재설계를 하였다. 이에 대한 교대상단과 교대하단의 변위량에 대한 수치해석 결과는 각각 그림 7과 그림 8이다.

표 9. EPS의 재설계

구 분	EPS 공법	
	높이(m)	길이(m)
재설계	7.7	20.0

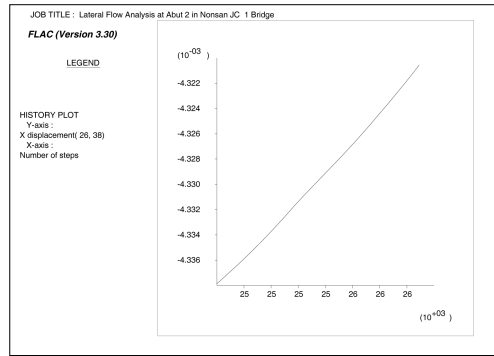
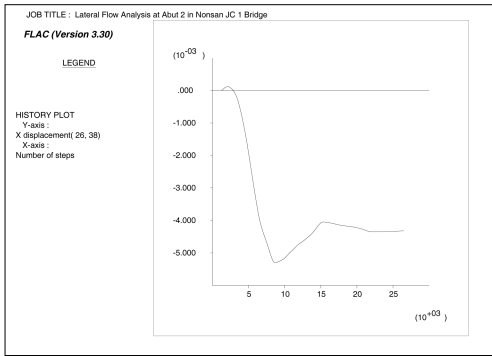


그림 7. EPS의 재설계시 교대상단의 변위량

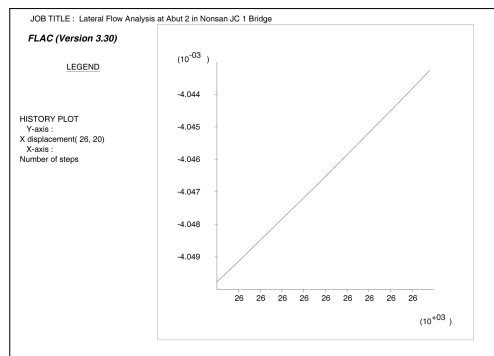
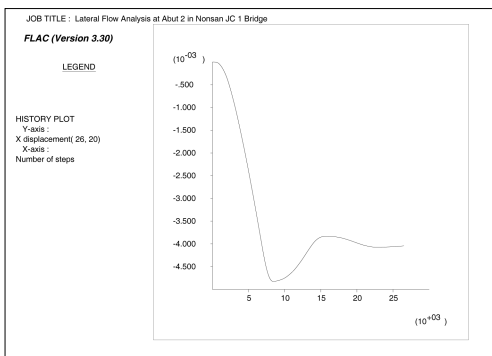


그림 8. EPS의 재설계시 교대하단의 변위량

그림 7과 그림 8에서 보는 바와 같이 수치해석상 교대상단의 변위가 4.3mm이고 교대하단의 변위가 4.0mm로 나타남에 따라 교대변위가 극히 작았고 현장계측 또한 교대상단과 교대하단의 변위가 거의 없었다.

2.4 현장결과의 분석

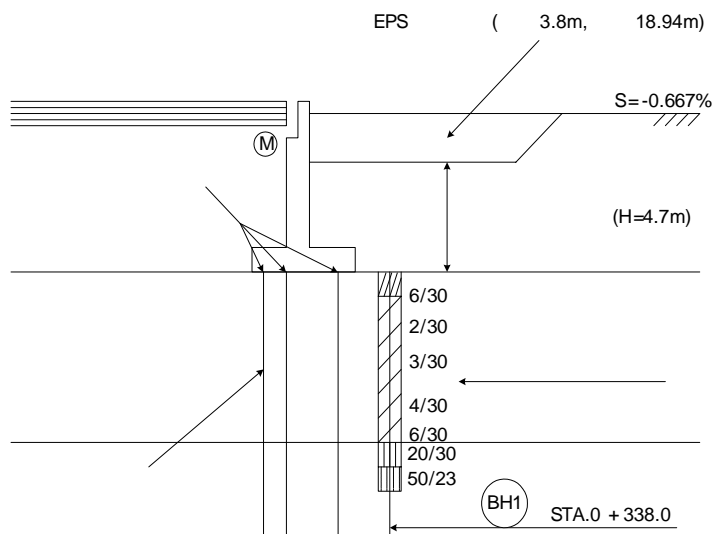


그림 9. 원설계에 따른 현장의 피해 상황분석

표 6에서 보는 바와 같이 EPS의 규모를 원 EPS 성토규모인 높이 3.8m, 길이 18.94m로 설치하여 시공한 결과 설계상 교대변위가 허용범위 이내로 계산되어 큰 문제가 없을 것으로 예상했으나 시공후에 측방변위가 크게 발생하였다. 원설계가 실패한 원인을 보면 그림 4.16에서 보는 바와 같이 시공상의 여러차례 걸친 말뚝의 횡변형으로 극심하게 교란된 미압밀 점토지반은 EPS 하부의 토사층(H=4.7m)의 하중으로 인하여 하부 점토층에서 말뚝의 수평변형을 증가시켜 교대측방이동을 일으킨 원인으로 간주할 수 있다. 또한, 원설계대로 시공 후에 A1교대의 하단에서 10cm이상의 수평변위를 수반한 변형은 말뚝머리 결합부의 설계치 이상의 과대한 모멘트가 발생되어 결합부가 파손되었을 가능성이 큰 것으로 추정할 수 있다.

3. 결론

연약지반상에 축조되는 역T형 교대가 교대부 뒷채움으로 인한 편재하중의 작용으로 지반의 측방소성유동(lateral plastic flow)과 교대수평변위가 발생함으로 인하여 EPS(expanded poly styrene)공법을 수행하여 보강공사를 실시·완료한 현장을 대상으로 측방유동에 대한 원인에 대해 검토하고 분석한 결과, EPS공법에 의한 측방유동대책공법의 적용시 연약점토층이 측방유동으로 교란되어 있는 것을 감안하여 말뚝머리의 확대기초와의 결합부파손, 말뚝주변지반의 소성화에 의한 지반수평저항력 상실, 연약점토층의 변형에 의한 강도저하를 EPS공법의 설계시 충분히 고려해야 하고 측방유동을 일으킨 지반의 상태에서 여러 차례에 걸친 말뚝의 횡변형으로 극심하게 교란된 미압밀 점토지반은 EPS하부 성토용 흙의 하중으로 인하여 하부 점토층에서 말뚝의 수평변형을 증가시켜 교대측방이동을 일으킨 원인으로 판단할 수 있다.

4. 참고문헌

1. 장용채. (1995). “연약지반상 교대변위 대책공법으로서 EPS토목공법의 적용성에 관한 연구”, EPS토목공법 국제학술세미나 논문집 1995. 10, 한국건설기술연구원
2. 정삼섭, 서정주, 장범수. (2000). “측방유동을 받는 교대말뚝기초에 대한 거동분석”, 한국지반공학회 ‘2000년도 가을 학술발표회 논문집, 한국지반공학회, pp.25-32
3. 한국도로공사. (2003). “도로설계요령, 교량편.” 제3권
4. 홍원표, 송영석, 윤중만, 이승주. (2000). “연약지반상 교대측방이동에 대한 사례연구”. 2000년도 대한토목학회 학술발표회 논문집(Ⅱ), pp.239-242
5. 홍원표, 송영석, 신도순, 손규만. (2001). “측방유동 연약지반상 교대의 안정성.” 한국지반공학회 논문집 제17권 4호 pp.199-208
6. Goh, A. T., C., Teh, C. I., & Wong, K.S. (1997). "Analysis of Pile Subjected to Embankment Induced Lateral Soil Movements.", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Setember, 123(9), Setember,, pp791-801
7. Holmgerg, S. (1978), "Bridge Approaches on Soft Clay Supported by Embankment Piles", Geotechnical Engineering, Vol.10, pp.77-89
8. Poulos, H. G., "Difficulties in Prediction of Horizontal Deformations of Foundations", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol.98(SM8), (1972). pp.843-848