

제6장 교대 측방이동 방지 대책

6.1 기본원리

교대의 측방이동에 영향을 미치는 요인으로 2.2절에서 8가지를 열거한 바 있다. 따라서 교대이동을 방지할 수 있는 대책공법은 이들 영향요인을 개선시키는 것이 기본적인 접근방법이 될 것이다. 현재 여러가지 방법이 제안 사용되고 있으나 이들을 체계적으로 정리하여 보고자 한다.

우선 측방이동이 발생하는 교대가 설치되어 있는 지반을 위치별로 구분하면 ①뒤채움성토부 ②연약지반부 ③교대부 ④기초부와 같은 4부분으로 분류할 수 있다.(홍:수동말뚝,1994)

2.2절에서 열거한 영향요인은 결국 이 4부분 속에 관련된 요인이라 할 수 있다. 즉 뒤채움 성토부에는 편재하중에 관련되는 성토고와 성토재료의 단위중량이 고려될 수 있고 연약지반부에는 연약지반의 두께와 전단강도가 고려될 수 있다. 또한 교대부에는 교대의 형식과 치수가 고려될 수 있고 기초부에는 기초의 형식과 강성이 고려될 수 있다. 따라서 이들 부분으로 구분하면서 대책공법을 정리하여 보면 다음과 같다.(2,3,20,55,63)

6.1.1 재하하중의 경감

교대의 측방이동은 뒤채움성토를 실시할 경우 성토하중이 연약지반상에 편재하중으로 작용하기 때문에 발생하는 현상이다. 따라서 교대측방이동을 감소 혹은 방지시키려면 이 편재하중이 적게 되도록 줄이거나 혹은 이 편재하중이 연약지반에 직접 전달되지 않게 대책을 강구하여야 할 것이다. 편재하중 $P(= \gamma h)$ 는 성토고 h 와 성토재료의 단위중량 γ 에 의하여 발생하는 하중이므로 편재하중을 줄이려면 성토고를 줄이거나 성토중량을 경량화 하여야 한다.

이 공법은 표 6.1에 정리되어 있는 바와 같다.

성토고를 줄이는 방법으로는 교대전면과 배면의 지표면 차이가 적게 되도록 하여 교대에 배면토압경감은 물론 편재하중경감효과를 얻도록 한다. 이들 공법에는 성토부에 소형교대설치공법, AC공법 및 압성토공법을 들 수 있다.

표 6.1 대책공법

대 상 부 분	개 량 원 리	대 책 공 법
뒤 채움 성 토 부	편 재 하 중 경 감	연속 Culvert Box 공법 파 이 프 매 설 B O X 매 설 E P S 공 법 슬 래 그 성 토 공 법
	배 면 토 압 경 감	소 형 교 대 A C 공 법 압 성 토
연 약 지 반 부	압밀 촉진에 의한 지반강도 증대	프 리 로 딩 샌 드 콤 팩 셴 파 일
	화학 반응에 의한 지반강도의 증대	생 석 회 말 뚝 주 입 공 법
	치환에 의한 지반개량	치 환 공 법
교 대 부	교 대 형 식	벽 식 교 대 지 양 소 형 교 대 A C 공 법
	교 대 치 수	교 축 방 향 길 이 증 대
기 초 부	기 초 형 식	케 이 슨 기 초 지 양
	기 초 강 성 증 대	성 토 지 지 말 뚝 버 팀 슬 래 브

한편 성토중량을 경감시키는 방법으로는 ①성토부 공간조성, ②성토재료의 경량화 및 ③성토중량의 지지층 전달의 3가지 방법을 생각할 수 있다.

먼저 성토부에 공간을 마련하는 방법으로는 연속 Culvert Box, 파이프 및 Box를 뒤채움성토부에 매설하여 전체적으로 중량을 감소시키려는 방법이다.

두번째로 성토재료를 경량화 시키는 방법으로는 발포스티로폴(EPS)나 슬래그를 사용하여 배면뒤채움성토를 실시하는 방법을 들 수 있다. 세번째로 성토 중량을 지지층에 직접 전달시키는 방법으로는 성토지지말뚝공법(버팀말뚝공법이라고도 함)이 있다.

6.1.2 연약지반부 개량

연약지반상의 교대이동에 관련된 사항으로는 연약지반의 전단강도와 연약층의 두께를 들 수 있을 것이다. 따라서 교대이동을 감소시키거나 방지시키려면 이들 영향요인을 개선시켜야 할 것이다.

우선 연약지반의 전단강도는 압밀을 촉진시켜 지반을 개량하므로써 전단강도를 증대시킬 수 있다. 따라서 연약지반의 개량공법 중 압밀촉진공법을 대책공법으로 생각할 수 있다.

이 압밀촉진공법으로는 preloading공법, 샌드드레인공법, 샌드콤팩션파일공법 등을 들 수 있다. 샌드드레인공법과 샌드콤팩션파일공법 적용 시에는 프리로딩으로 압밀을 촉진시키는 것이 효과적이다.

앞에서 설명한 압밀촉진의 물리적 방법 이외 약액주입에 의한 화학적 반응으로 지반을 고결시키는 화학적 방법으로도 연약지반의 전단강도를 개량시킬 수 있다. 이 방법으로는 생석회 말뚝공법을 들 수 있다.

한편 연약층의 두께에 대하여는 연약층의 전부 혹은 일부를 양질의 토사로 치환하므로써 연약층의 두께를 감소시킬 수 있다. 이와 같은 치환공법은 연약층의 두께가 얇은 경우일수록 효과적이다. 연약층의 두께가 깊어지면 효과를 얻기가 어렵다.

6.1.3. 교대 형식에 의한 대책

교대의 측방이동이 발생된 사례의 조사에 의하면 교대의 이동은 교대의 형식과 치수에 따라 영향을 많이 받고 있는 것으로 나타났다. 현재 사용되고 있는 교대의 형식으로는 AC식교대, 소형식교대, 中空式교대, Box식교대 및 벽식교대(역 T 식, 중력식등을 칭함)가 조사대상이었으나 벽식교대에서 교대이동이 압도적으로 많이 발생되었다. 따라서 교대형식의 선택에서 벽식교대는 되도록 지양하는 것이 바람직하다. 반면에 교대이동이 비교적 적게 발생한 교대형식은 성토지반에의 소형교대를 설치한 경우와 AC형식교대의 경우로 밝혀졌다. 따라서 이러한 형태로 교대형식을 선택하는 것이 바람직하다.

한편 교대치수에 관하여는 교축방향의 길이가 길수록 교대가 측방이동하기 어려운 것으로 나타났다. 따라서 이 결과를 교대설계시에 고려하여 활용할 수 있을 것이다.

6.1.4 기초 저항력의 증가

교대의 기초에 대하여도 교대이동의 발생에 영향을 미치는 요인으로 기초형식과 기초강성을 들 수 있을 것이다. 먼저 기초형식에 대하여는 교대이동사례 조사로부터 케이슨기초의 경우 교대이동이 용이하게 발생되었음을 알 수 있었다. 따라서 금후 연약지반상의 교대기초선택에 있어서는 케이슨기초형식을 지양하는 것이 바람직하다.

한편 기초강성에 대하여는 말뚝의 수가 많을 수록 교대이동량이 적게 발생하는 경향이 있었다. 이는 말뚝이 지반의 측방유동에 어느정도 저항한 결과라고 할 수 있다.

결국 말뚝은 지반의 측방유동에 의하여 측방토압을 받으면서도 이 토압에 저항하는 기능을 가지고 있다고 생각된다. 따라서 이러한 기능을 더욱 적극적으로 활용하기 위하여는 성토지반말뚝을 사용하는 것이 바람직하다.

성토지지말뚝은 앞에서 설명한 바와 같이 성토 아래 원지반에 말뚝을 설치하여 슬래브나 캡으로 말뚝을 씌워 성토하중을 직접 지지지반에 전달하도록 하였다.

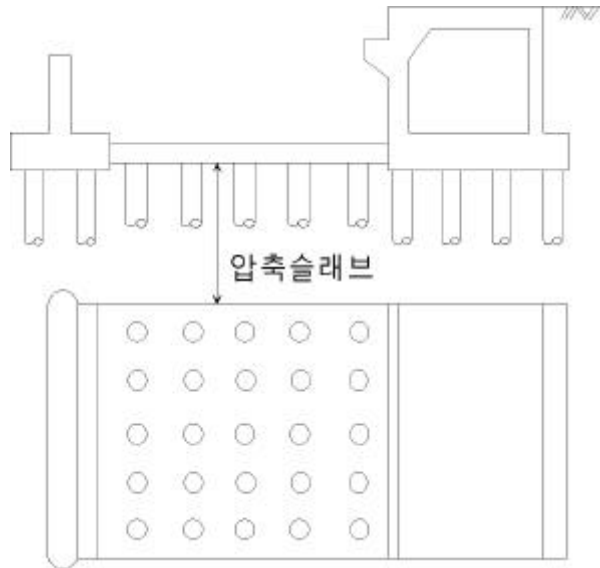


그림 6.1 버팀슬래브 공법

그러나 이들 성토지지말뚝은 이 기능이외에 지반의 측방유동에 저항할 수 있는 기능도 가지고 있다고 할 수 있다. 따라서 교대가 설치되어 있는 지반의 사면안정검토에 이들 성토지지말뚝을 사면안정에 기여하는 말뚝으로 간주하여 계산할 수 있다.

한편 그림 6.1은 교대이동을 효과적으로 억제하기 위하여 사용되는 기초형식중의 하나이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 교대와 교각사이에 버팀슬래브를 말뚝기초위에 설치하여 일체가 되게 하므로써 교대 배면토압에 저항하도록 하는 공법이다. 이 공법에서는 슬래브의 강성으로 지지하도록 하였으나 슬래브 기초말뚝의 측방유동방지 기능도 상당히 높을 것이다. 이 기능은 성토지지말뚝경우와 동일한 것으로 교대가 설치된 사면의 사면안정에 기여하므로써 교대이동에 효과적으로 대처하게 하고 있다.

6.2 대책공법 시공 사례

6.2.1 EPS 성토공법

1) 개요

EPS는 경량성, 자립성, 시공성 등이 우수하며 연약지반상의 교대 뒷채움 뿐만 아니라 연약지반상의 성토, 옹벽, 자립벽 또는 매설관 기초 등의 각종 구조물에의 적용이 가능하다.

그러나, 시공시 대형건설기계가 필요치 않으므로 건설기계의 지지력 확보가 곤란한 경우나 근접시공을 필요로 하는 경우, 소음, 진동 등의 주변 환경의 배려가 필요한 경우 등에도 적용성이 우수하며 급속시공이 필요한 경우나 가설도로 등의 적용시 시공과 복구 등이 간단하므로 이에 따른 공기 단축효과도 얻을 수 있다.

국내에서 연약지반상 교대의 뒷채움 성토재료로 사용된 실적으로는 현재까지 100,000m³ 정도로 점차 사용실적이 증가추세에 있으며 다른 분야에도 응용되어 그 사용성이 계속 연구되고 있다.

본 시험 계측지역에서는 EPS 성토높이는 4.8m(EPS 단수 8단)로하고, 중간에 레벨링 콘크리트를 사용하였으며, 상부2단은 단위 중량 0.03 t/m³을 사용하였다. EPS 밑면의 길이는 9.0m이고 상부 길이는 19.67m로 하였다. 따라서, 본 절에서는 EPS시공현장에 대한 계측결과를 분석하여, 앞으로의 설계·시공시에 참고자료가 되도록 그 사용성을 검증하려 한다.

2) 시공 현황

본 시험 계측지역에서는 연약지반 심도가 10m 이하이나 지지 기반층인 풍화암까지는 30m 이상으로 연약층과 지지기반층 사이에는 사질토와 풍화

토가 존재한다.

원 설계는 샌드드레인으로 연약지반 처리를 하고 교대를 시공하는 것으로 되어 있었으나 고성토로 인한 측방이동의 위험이 있어 Pile Slab공법을 검토하게 되었다.

그러나, A₁, A₂ 교대를 동시에 Pile 시공시 기술상의 문제로 A₁교대는 EPS 성토공법을 채택 시공하였다. 그 시공 개요도는 그림 6.2와 같다.

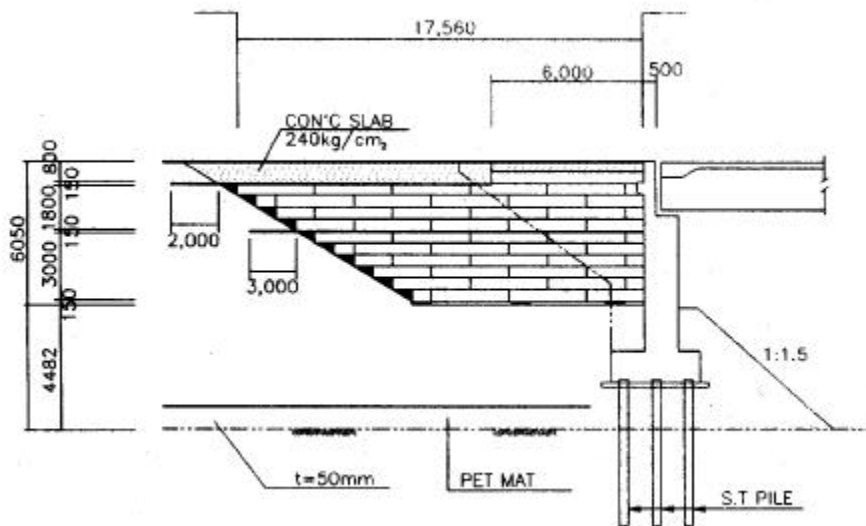


그림6.2 EPS성토공법 시공 개요도

시공현황을 살펴보면 기초바닥면 E.L 4.862m, 교대상부면 E.L 13.862m으로 교대의 높이는 9.0m이며, EPS시공단수 8단(4.8m)으로 하고, 기초면에서 4.2m까지 성토한 후(압밀침하 완료) 중간에 레벨링 콘크리트를 포설하고 EPS를 성토하였다.

3) 계측결과 분석 및 고찰

측방유동을 일으키는 성토하중의 범위는 연약지반 깊이의 1.5배 정도인 것으로 알려져 있으며 이를 근거하여 EPS 저면의 길이가 결정된다.

EPS 설치지반의 거동을 살펴보기 위하여 수평토압계와 수직토압계를

설치하여 계측결과 수평토압은 시간이 경과함에 따라 EPS의 자립성에 부응하는 토압 경감효과가 있으며, 수직토압은 포장층 시공시 급격한 응력 증가를 보인 후 시간경과에 따라 서서히 감소하는 형태를 보여주며 상부 하중을 효과적으로 분산시키는 효과를 가져왔다고 보고되고 있다. ^(5,10,12)

또한 층별 침하계 계측결과, 대부분의 침하는 10mm미만의 탄성침하로서 압밀에 의한 침하는 전혀 발생되지 않은 것으로 관측되었으나 이는 토사성토를 전혀 하지 않은 상태의 현장이거나, 성토 시공하더라도 충분한 압밀을 시켜 잔류침하량이 없는 상태일 것이다. 연약지반에서 일정한 높이의 토사성토후 EPS를 시공하는 경우에는 압밀침하에 각별한 주의가 필요하다.

표 6.2 EPS성토층의 시간경과에 따른 침하현황

교량명	준공후 시간 경과 일수				비 고
	24일	37일	75일	135일	
NB1	1.3cm	1.7cm	2.0cm	2.5cm	
NB2	0.0cm	0.4cm	0.6cm	1.0cm	
NH1	1.9cm	2.8cm	2.9cm	3.6cm	
NH2	0.4cm	0.8cm	1.0cm	1.7cm	
NS1	0.2cm	3.1cm	6.0cm	9.1cm	
NS2	1.1cm	2.2cm	5.9cm	9.3cm	
NK1	0.8cm	-	3.2cm	9.9cm	
YJ1	0.6cm	1.7cm	3.1cm	7.3cm	
YJ2	-	-	1.5cm	4.9cm	

표 6.2는 EPS 성토층의 시간경과에 따른 침하현황을 나타낸 것으로 침하량이 10cm정도까지 보인 결과는 토사성토에 의한 압밀침하가 계속 진행된 결과로 볼 수 있으며, 특히 점성이 많은 연약점성토의 경우 크리프침하 등 2차압밀침하에 대한 연구가 필요하고, 급속성토를 지양하고 단계성토에 의한 프리로딩공법으로 압밀침하관리를 철저히 하여 EPS 성토를 시

공해야 한다.

본 연구는 교대 측방이동에 관한 연구로 교대의 측방변위를 측정하고자 경사계를 설치(96.6.20)하여 심도별 경사변화를 측정 분석하여 그림 6.3과 같이 나타내었다. 경사계측결과, 말뚝의 중간부위에서 최대 변위량은 24mm정도이며 증가율은 점차 둔화되어 교대는 안정되고 교대 변위는 발생되지 않았다. EPS 초기침하, EPS에 의해 교대에 작용하는 수평토압 등에 대한 계측결과를 참고하여 비교해볼 때 편재성토하중을 경감시키는 공법이 측방이동을 억제하는 효과가 있음을 알 수 있다.

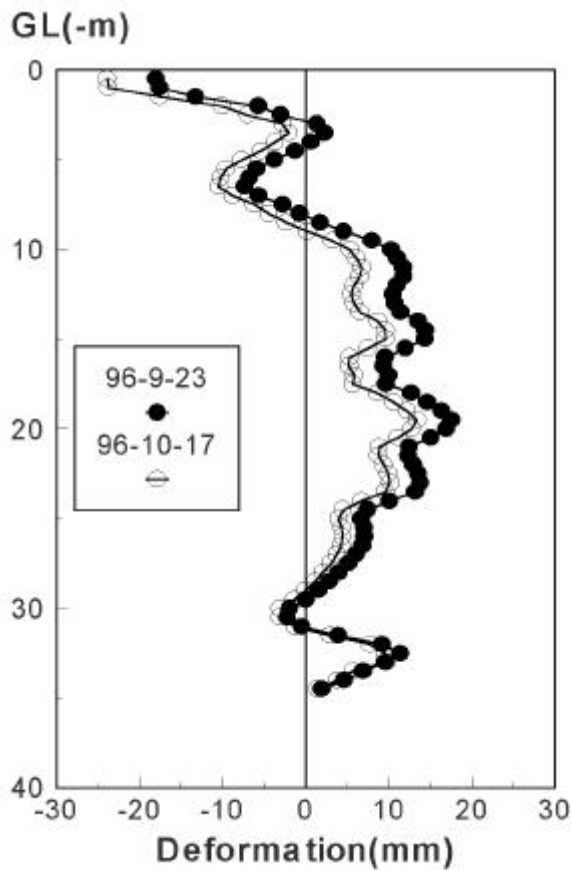


그림 6.3 EPS 시공현장의 경사계 계측결과

6.2.2 지반개량 SIG공법

1) 개요

SIG공법의 원리는 공기와 물의 힘으로 지반을 굴삭하여 그것을 지표에 배출함에 따라 지중에 인위적인 공동을 만들고 그곳에 고화재를 충전하는 치환공법이므로 그라우팅이라는 이름이 붙어 있으나 지반 내에 Head 이외에는 압력이 없으므로 지금까지의 약액주입공법 또는 기존 강제 교반공법의 가장 큰 문제점의 하나인 수압파쇄현상 또는 지반응기현상 즉 주변의 구조물이나 매설물을 떠올리거나 파손시키는 등의 문제점을 배제한 개선된 공법이다.

약액주입과 같이 토립자의 공극을 매우는 것이 아니고 원칙적으로 토립자나 물을 지표로 배제함으로써 발생하는 공동 내에 고화재를 충전하는 공법이므로 원지반과는 전혀 다른 성질의 고결체가 형성되는 것이다.

본 공법의 특징으로는 최대 $800\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 고압분류수를 지중에 분사하여 인접지반을 파쇄하고 액상화시킴으로써 지반의 전단강도를 국부적으로 상실시켜 토립자와 시멘트의 교반효과를 높이며 이로 인해 지반보강효과가 크고 개량범위가 일정한 특징을 가지고 있다.

2) 시공현황

측방유동 대책공법의 하나인 SIG공법으로 3차례에 걸친 시험시공현황은 표 6.3과 같으며, 그 시공 배치도는 그림 6.4와 같다. 또한, 본 교대의 측방유동 대책으로 SIG공에 대하여 3차에 걸쳐 시험시공을 실시한 결과는 다음과 같다.

가) 1,2차 시험시공

이중관 방식에 의한 1차시험시 NO.34외 6개 SIG개량체 형성도중 교대의 밀림현상이 나타나 시험시공이 중단되었고 2차시험시공시에는 NO.20

의 SIG개량체의 형성도중 교대변위가 발생하였다. 이러한 시험시공결과로 인한 교대변위 발생의 원인을 분석, 조사한 결과 주입시 그라우트 주입압의 과다, 부직포로 인한 매상주입의 영향, 교대로부터의 최소 이격거리 확보, 기능공의 숙련미숙등 여러 가지 그 원인이 있다.

표 6.3 시험시공 현황

구 분	1차시험시공	2차시험시공	3차시험시공	비 고
위 치	교대배면 6공	교대전면 2공	배면 3공	
사 용 관	2중관	3중관	3중관	
공 기 압	10kg/cm ²	10kg/cm ²	0 10kg/cm ²	
주 입 압	400kg/cm ²	100kg/cm ²	120kg/cm ²	
인 발 속 도	0.19 0.25kg/분	0.19 0.25kg/분	0.19 0.25kg/분	
배합비(Cememt)	920kg	920kg	920kg	
배 합 비(물)	700kg	700kg	700kg	
천공심도(m)	24.8 26.5	24.8 26.5	24.8 26.5	
발생변위량(cm)	2.5cm	0.6cm	-	

나) 3차 시험시공

1,2차시험시공시에도 교대변위가 발생됨에 따라 그 원인을 분석하고 시공여건을 검토, 개선하여 교대 전면에 2개열을 시공하고 교대 배면에는 5개열을 배치 계획하였고 고화재의 주입압은 시방기준대로 120kg/cm²로 하 되, 교대배면 및 전면 제1열의 공기압을 기존 10kg/cm²에서 무압 및 5kg/cm²으로 변경 시공하였다.

다) 설계단면의 사면안정 해석결과

사면안정 해석결과 SIG공법을 적용하지 않을 때 최소안전율은 0.849이 었으나 설계시공단면 배면5열, 전면2열의 SIG공법 적용시 해석단면의 최

소안전율은 1.318이었다

이는 본 연구에서 밝힌 최소사면안전율 1.4에는 미치지 못하며 유한요소 해석결과 수평이동량은 3.9cm로 계산되었지만 계측결과를 분석하여 교대의 안정성을 평가할 수 있을 것이다.

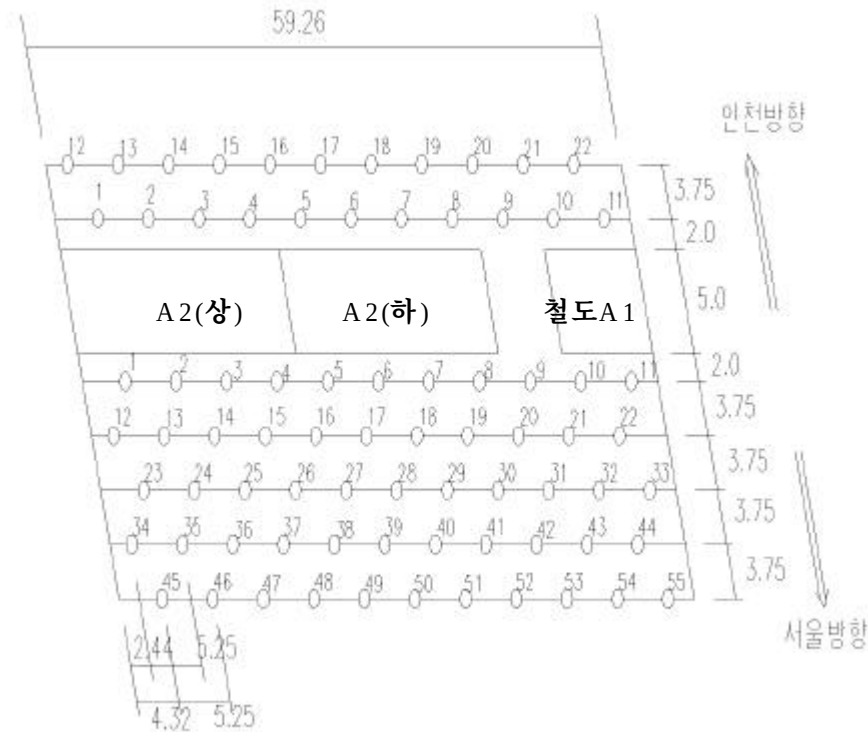


그림6.4 SIG개량체의 시공배치도

3) 계측결과 분석

본 교대의 뒷채움 성토시 주동토압으로 인한 말뚝두부의 변위각을 계측하기 위해 교대의 좌우 측에 Tiltmeter를 설치(96.9.10)하여 3개월간에 걸쳐 측정하였다. 계측결과를 요약 정리하면 표 6.4와 같으며 교대의 변위는 1.86

$\times 10^{-6}(R)$ 에 해당되는 교대상단의 수평변위는 3.52mm인 것으로 산정된다.

교대-Slab간 수평변위 계측결과(96.8.13일 설치)는 표 6.5와 같으며 뒤채움 토사의 주동토압으로 인한 교대변위는 차량진행 방향으로 최종 성토시 9mm정도 발생되었다. 교대의 측방이동 여부를 관찰하기 위해 교대 앞부분의 강관말뚝에 경사계 Casing을 암반까지 천공한 후 근입시켜 하부를 고정하였다.(96.9.9일 설치) 성토완료 6개월이 지난 현재 경사변위는 그림6.5와 같이 최대 10mm로 나타났으며 교대는 안정되어 가는 것으로 판단된다.

표 6.4 Tiltmeter 변위 계측결과

구 분	x 축(차량진행방향)		성토고(m)	비 고
	계측변위각(R)	수평변위(mm)		
좌 측	1.11×10^{-8} 8.28×10^{-7}	0.021 1.56	1.8 5.40	성토고 5.4m에서 계측기파손
우 측	6.22×10^{-9} 1.86×10^{-6}	0.012 3.52	1.80 7.0	최종성토고7.0m

표 6.5 교대와 SLAB간 수평변위 계측결과

경과 일수	성토고(m)	A 측 변위량(mm)	B 측 변위량(mm)	비 고
5일	1.8	1	1	
8일	2.4	2	2	
10일	3.0	2	2	
14일	3.6	3	4	
22일	4.2	4	5	
23일	4.4	4	5	
25일	4.6	5	5	
26일	4.8	5	5	
29일	5.4	5	6	
41일	5.4	5	6	
55일	6.4	5	7	
56일	7.0	6	8	최종성토고
106일	7.0	7	9	

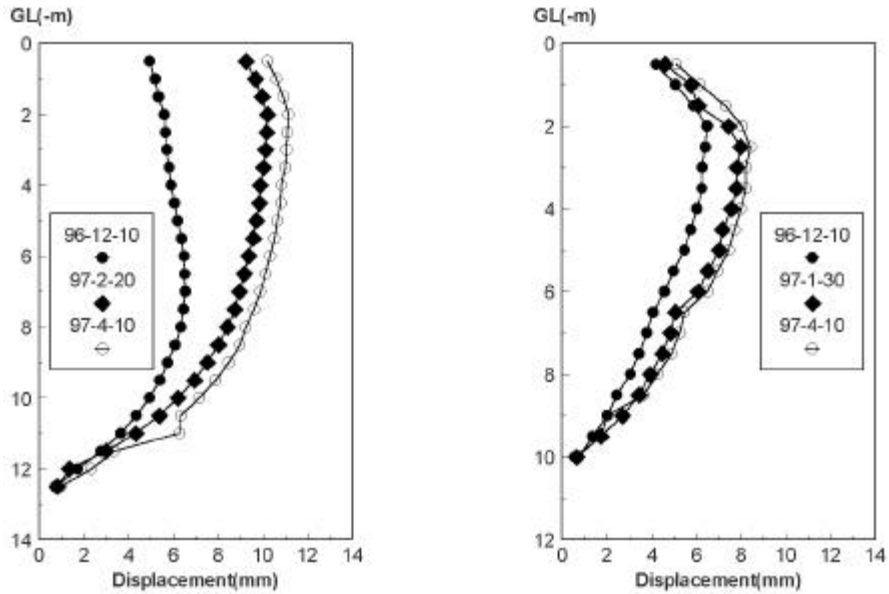


그림 6.5 SIG 시공현장의 경사계 계측결과

6.2.3 PILE SLAB 공법

1) 개요

연약지반상에 말뚝으로 지지되는 교대배면에 되채움 성토시 연약지반의 상부에 Pile slab를 시공하여 성토하중을 지지시키는 공법으로 연약지반의 침하량을 감소시키고 측방유동을 방지하여 교대의 안정을 도모하는 공법이다. 장점으로는 연약지반의 전단변형억제, 교대배면의 침하저지 및 단차방지, 저성토의 교통하중에 의한 지반진동 대책에 유효, 종단방향의 활동방지 등을 들 수 있고, 단점으로는 공사비가 비싸고 사용실적이 적어 아직 그 효과가 확실치 않다.

본 시험계측지역에서는 8열로 20개의 PHC말뚝을 시공하였다. 슬래브 상판의 크기는 폭 36.76m 이고, 길이는 14.0m 이다. PHC말뚝의 제원은 직경 500mm, 두께 80mm, 길이는 10.5 14.5m 이다. 본 시공의 개요도는 그림 6.6과 같다.

2) 시공현황 및 고찰

본 ○○지역 교대는 연약지반 심도는 깊지 않으나 고성토지역으로 측방 이동의 위험이 교대시공후에 측방유동성을 검토하여 Pile Slab공법을 시공하게 되었다. Pile Slab 시공시 PHC 말뚝의 향타 후 말뚝의 체적에 의해 교대의 변위가 1 2cm정도 발생하였으며 이는 말뚝의 향타시 발생할 수 있는 지반의 체적변형과 시공순서에 대한 충분한 검토가 이루어지지 않았기 때문이다.

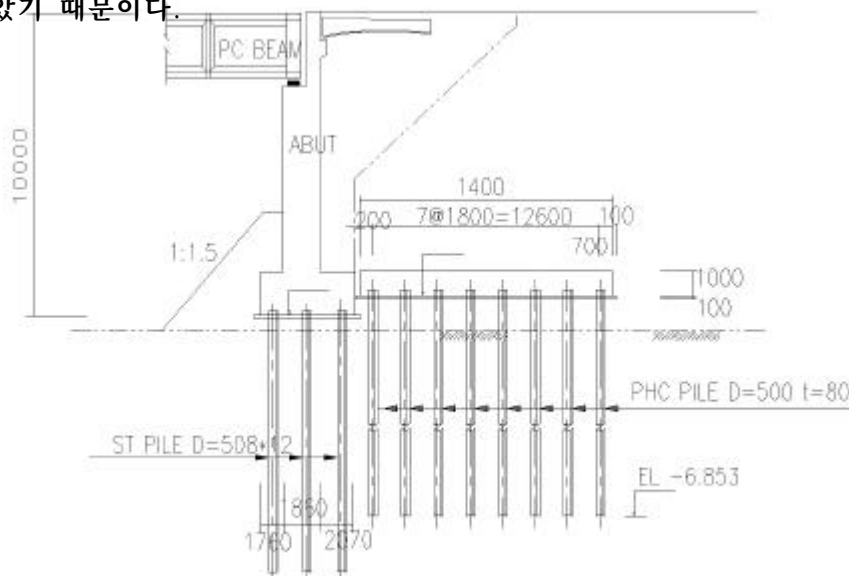


그림 6.6 PILE SLAB공법 시공개요도

이와 같은 현상은 표 4.1의 Y16 교대의 Pile Slab에서도 교대시공후 강관 말뚝 향타로 인해 교대의 변위가 1 2cm정도 발생하게 되었다.

이러한 사례들을 고려해 볼 때 Pile Slab공법 적용 시에는 사전에 측방

유동 가능성을 충분히 검토하여 교대 시공 전에 교대의 기초부분과 함께 말뚝시공이 이루어지도록 설계단계에 반영되어야 한다.

본 지역의 교대에서는 Pile Slab의 측방유동에 대한 저항을 계측하기 위해서 Pile Slab의 양 단부에 계측기를 부착한 강관파일을 향타하여 실제로 말뚝기초가 받는 토압과 Pile Slab의 측방유동압의 감소정도를 계측하기 위한 토압계와 스트레인 게이지를 부착하였다.

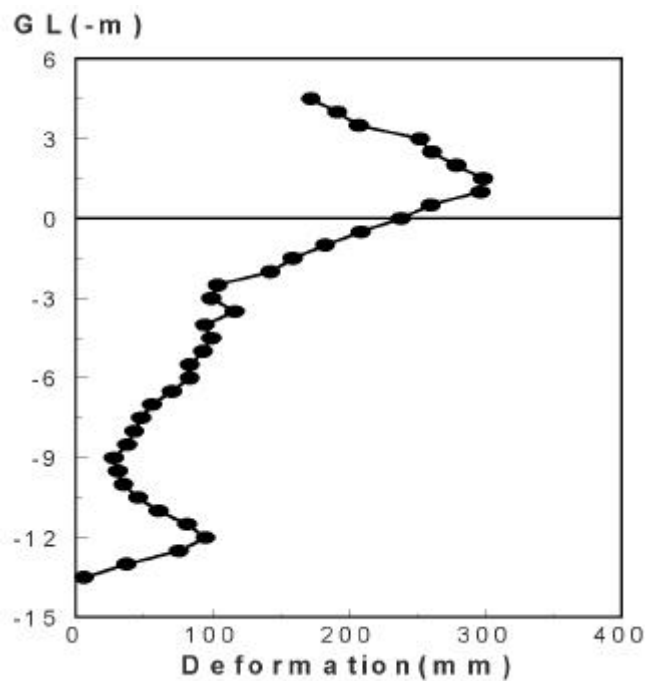


그림 6.7 Pile slab 시공현장의 경사계 계측결과

구조물의 하부기초에 작용하는 측방유동압을 계측하여 그 동안 여러 문헌에서 고찰된 사례들과 비교하고, Pile Slab의 측방유동압의 감쇄정도를 실측하여 Pile Slab공법의 측방유동 대책공법으로서의 사용성을 검정하고

자 하였으나 계측도중 계측기의 손망실, 시험착오등으로 인하여 계측결과 이용을 기대할 수 없었다.(계측기설치후 136일 경과에 대한 계측 결과)

수평토압계는 과도한 압축응력으로 토압계의 트랜스듀서가 망가져 사용 불가능하게 되었으며 경사계는 계측결과 그림과 같이 6.7과 같이 말뚝의 수평변위량이 심도 8.0m에서 30cm 정도로 나타났으나, 교대의 변위는 발생되지 않아 계측 DATA에 대한 신뢰성이 문제되고 계측오차일 가능성도 있다.

따라서 Pile Slab공법에 대한 검증은 보다 충실한 계측계획을 세워 철저한 분석을 통하여 재검증되어야 할 것이다.

6.2.4 샌드콤팩션 파일공법

1) 개요

샌드콤팩션 파일공법은 큰 지름을 가진 다짐모래말뚝을 지중에 조성하여 지반을 개량하는 공법으로 시공은 바이브로 햄머로 케이싱 파일을 지중에 관입하고 케이싱을 통하여 모래를 공급하여 지반개량 파일을 형성하는 것이다.

다짐과 보강효과 뿐만 아니라 압밀배수효과를 병용한 것으로 사질토, 점성토, 유기질토등 거의 모든 토질에 적용된다. 이 공법의 시공심도는 육상에서는 35m, 해상에서는 수면아래 50 ~ 60m이다.

바이브로 햄머를 사용하기 때문에 진동, 소음 및 인접 구조물의 변위등 주변영향이 염려되기 때문에 주변상황을 조사하여 위와 같은 문제가 발생하지 않는가를 고려하고 그 대책도 세워야 한다.

S.C.P에 의한 지반 전단강도 증진은 개량범위에 따라 공사비의 차이가 있지만 비교적 시공이 용이하고 교대 부근 지반에 국한된 범위의 지반 강도 증진효과를 기대하는 측면에서 적절한 공법으로 판단된다.

2) 시공현황 및 고찰

연직 배수재 Pack Drain을 타입하여 압밀축진효과와 지반강도 증진을 위해 Preloading공법(계획고 8.0m, 적재고 10.0m)을 계획하여 검토결과, 단계성토 공기 및 소요압밀도(90%) 도달시간의 과다로 인해 시공 소요시간이 예정공기를 초과하여 추가 보강공법 도입이 불가피하였다.

따라서 점성토 지반의 전단강도 개선 및 지지력 향상을 위한 샌드컴팩션파일을 도입 적용하였다. S.C.P에 의해 보강된 지반의 전단저항력은 점성토 지반의 전단강도와 샌드컴팩션파일에 집중되는 응력에 의한 전단강도로 결정되므로 S.C.P시공범위를 교대전면 8.0m, 교대배면 30.0m로 하고 간격은 2.0x2.0로 타입하여 Preloading 하였다.

사면안정 검토결과 최소 사면안전율이 1.24로 원호활동 및 교대측방유동에 불안전하였으며 교대 전면에 그림 6.8과 같은 Berm을 두어 압성토 공법을 취함으로써 사면안전율 1.35를 얻을 수 있었다.

이 안전율은 본 연구에서 밝힌 측방유동 판단 안전율 1.4에는 미치지 못하지만 단계성토 시공에 따른 전단강도 증대효과를 고려해 볼 때 측방이동에 안전한 것으로 판단되었다.

따라서 최종적으로 채택 시공된 공법은 Preloading + S.C.P + 압성토를 조합한 것으로 예정공기내 시공, 측방유동 방지효과, 공사비 절감효과 등을 기대할 수 있었다.

교대 기초처리 시공순서는 접지압 및 P·P Mat, Sand Mat 시공 → S.C.P 시공, P·E Mat 시공 → 단계성토 실시(H-Pre 완료), 압밀축진 → 소요 압밀도(90%) 확인 → 기초 터파기 → 말뚝 및 기초시공 → 교대시공 → 압성토 및 배면 성토시공, 그 이후 범위는 본선 토공 구간과 동일한 Pack Drain을 시공하여 자연압밀후·전단강도 증진을 기대토록 시공하였다.

그리고 프리로딩과 압밀축진공법은 공기 확보에 어려움이 없으면 교대 주변부 지반의 전단강도 개량공법으로 효과적이다.

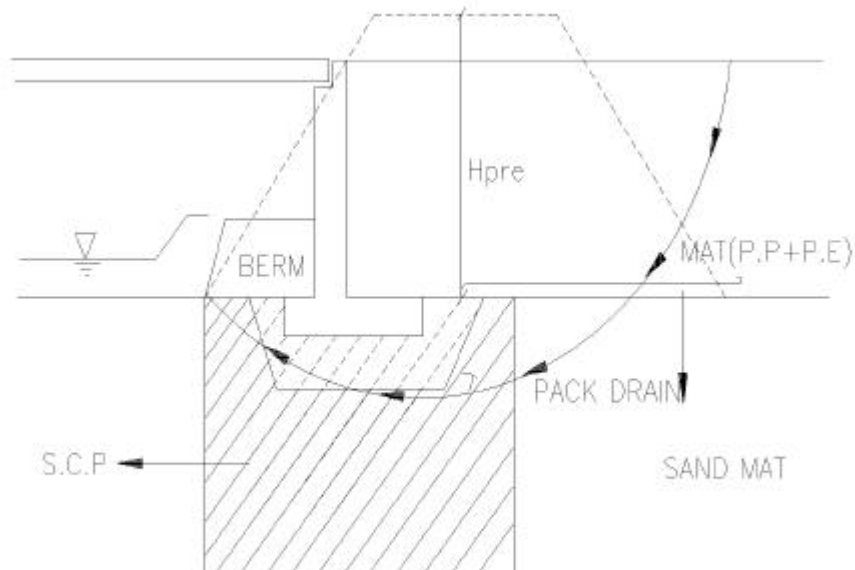


그림 6.8 샌드컴팩션파일+프리로딩공법+압성토공법 시공단면도

3) 계측결과 분석 및 고찰

연약지반상의 교대측방이동 대책공법중의 하나인 샌드컴팩션 파일공법을 시공하여 측방이동 유무와 교대의 안정성을 분석하기 위해 교대기초 설치시 강관 내부에 암반까지 보링한 후 경사계를 매설하여 계측을 수행하고 있다.(96.08.7일 설치)

본 교대는 그림 6.8과 같이 과재하중을 적재하여 프리로딩시켜 간극수압계의 계측결과 일정한 수준의 간극수압이 계속적으로 계측되어 압밀이 거의 종료된 것으로 평가되었기 때문에 과재성토하중 제거시켜 교대 구조물을 완성하였다. 구조물완성후 6개월이 지난 현재 교대 배면을 제외한 전 구역은 성토 완료하였으나 교대배면은 2.6m의 성토고를 보이고 있다.

교대배면은 추가 성토에 따라 압밀은 진행될 것이며 현재까지 경사계 계측결과는 그림 6.9와 같으며 수평변위는 7mm정도 나타나고 있으나 성토고의 증가에 따라 정확한 계측결과를 조사, 분석하여 교대의 측방이동관계와 안정성을 평가해야할 것이다.

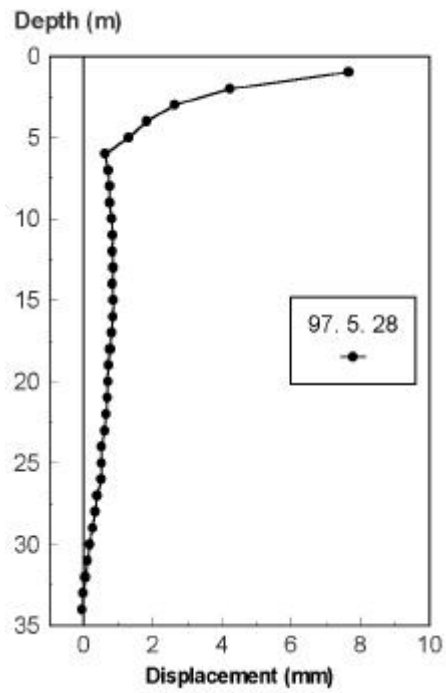


그림 6.9 샌드컴팩션파일 시공현장의 경사계 계측결과