

EPS베딩재가 지중매설관의 토압에 미치는 영향

Effect of Bedding Conditions on Earth Pressure Distribution of Embedded Pipes

유 남 재*

이 희 광**

박 병 수***

정 길 수****

심 도 식****

Yoo, Nam-Jae

Lee, Hee-Kwang

Park, Byung-Soo

Jeong, Gil-Soo

Sim, Do-Sik

Abstract

In this paper, large scale experimental model tests were performed to investigate the distribution of earth pressure acting on embedded rigid pipes having different bedding conditions. For these tests, very light weighted EPS blocks were installed at top and bottom of the rigid pipe and Jumunjin Standard Sand was used as a ground material. As results of model tests, for the case of no bedding on the pipe, the measured pressure at the bottom of the pipe was 4.96 tf/m^2 whereas they were in the range of $1.87 \sim 4.35 \text{ tf/m}^2$ in the case of EPS beddings being installed at the top and the bottom of the pipe. Therefore, for the case of EPS bedding being installed, the ratio of reduced pressures acting on the pipe, compared with the case of no EPS beddings, were in the rage of 16~62%. As a result of parametric test with changing the locations of EPS bedding, the trend of reducing the stress acting on the pipe was in the order of bottom bedding, top bedding, and top and bottom bedding. Effect of bedding positions on the reduced magnitude of acting pressure on the pipe was more significant in the case of top bedding than in the case of the bottom bedding.

요 지

베딩조건에 따라 강성재질의 지중매설관 주변에 작용하는 토압분포와 크기를 조사하기 위하여 초경량재료인 EPS블록을 매설관의 상부 또는 하부에 여러 가지 조건으로 설치한 다음 주문진 표준사로 복토하여 토압과 침하량을 측정하는 원형의 대형토조시험을 실시하였다. 실험결과 EPS 베딩재를 설치하지 않은 경우 매설관 바닥에서 측정된 토압은 4.96 tf/m^2 으로 나타났으며 베딩재를 설치하는 경우 바닥에서 측정된 토압은 조건에 따라 $1.87 \sim 4.35 \text{ tf/m}^2$ 으로 베딩재를 설치하지 않은 경우에 비하여 12~62% 가량 토압이 경감되는 것으로 나타났다. 베딩재의 위치에 대한 매개변수적인 실험결과 베딩재를 하부-상부-상하부에 설치하는 순으로 경감효과가 크며 EPS 베딩재를 하부보다는 상부에 설치하는 경우 경감효과가 두드러지는 것으로 나타났다.

Keywords : Earth pressure, Bedding condition, EPS, Rigid pipe

핵심 용어 : 토압, 베딩조건, EPS, 강성관

* 정희원, 강원대학교 토목공학과 교수

** 정희원, 청석에너지니어링 과장

*** 정희원, 강원도립대학 건설시스템과 교수

**** 정희원, 강원대학교 토목공학과 연구원

E-mail : bspark@gangwon.ac.kr 011-477-7214

•본 논문에 대한 토의를 2007년 12월 31일까지 학회로 보내 주시면 2008년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

최근 우리나라는 인구증가와 더불어 전 국토의 도시화 현상으로 인하여 도시가스, 상하수도, 가스관 등 각종 매설관의 수요가 증가하고 있으며 최근에는 도시미관을 고려하여 전신주 대신 지중전선로를 사용하는 등 그 사용량이 더욱 증가하고 있다. 이렇게 지중매설관 사용량이 급격하게 증가함에도 불구하고 매설관의 거동이나 토압의 크기를 정확히 산정하지 못하여 설계시 너무 과도하거나 과소하게 설계되어 과도한 시공비용이 지출되거나 지중 매설관의 파손으로 지하수가 오염되고 토양이 오염되는 등의 환경오염과 많은 비용을 들여 정화한 수돗물이 낭비되는 등의 많은 재산이 손실되고 있는 현실이다.

국가적으로도 1970년대 이후부터 도시에 본격적으로 상하수도 시설이 설치되었으며 그 설계연한이 약 25~30년으로 볼 때 2000년 이후 지중매설관의 교체에 따른 비용이 급격히 증가할 것으로 보인다. 그러므로 지중 매설관에 대한 설계와 시공에 있어서 지중 매설관에 미치는 토압분포와 그 크기를 정확하게 산정할 수 있다면 보다 경제적인 설계와 효율적인 시공이 이루어질 수 있을 것이다. 또한, EPS 블록과 같은 초경량 재료를 사용한 신기술을 도입한다면 경제적인 단면 선정이 가능하며 구조물의 안정성 증대는 물론 시공상의 용이성 등 우리에게 많은 이점을 줄 수 있을 것이다.

지중 매설관에 대한 연구는 20세기초 미국의 Iowa 주립 대학의 Marston 교수에 의하여 지중 매설관에 대한 본격적인 연구가 시작되었다. 이후 Spangler에 의해 확장되어 Marston과 Spangler⁽⁹⁾의 설계방법이 가장 폭 넓게 사용되고 있다.

이후 Burns와 Richard⁽⁴⁾는 탄성론에 의한 해석 방법을 시도하였으며 Marston과 Spangler 이론의 불확실한 K_0 함수에 대하여 많은 제안을 하였으며 Janson⁽⁶⁾은 Jaky의 $K_0=1-\sin\phi$ 값을 사용하여 이론을 약식화 하였고 Christensen⁽⁵⁾은 대칭적이거나 비대칭적인 트렌치에 대한 수직하중에 대한 경험식을 제안하였고 Smith⁽¹⁰⁾는 관의 다양한 각도에 모멘트와

토압과 전단에 대한 개선된 식을 제안하였다. 그러나, 이 설계 방법은 각 나라의 설계 기준에 융통성 있게 쓰일 목적으로 수년간 다양한 방법으로 변화되었다. 스웨덴의 시방서⁽⁶⁾는 Marston의 이론을 기초로 원래의 이론을 간소화하여 사용하였으며 이외에도 독일 시방서 ATV A 127⁽³⁾, 덴마크 시방서 DEC⁽²⁾ 등에서 사용되고 있다. 현재 우리나라에서는 일반적으로 널리 쓰이는 Marston 공식에 주동토압계수 ($K_p=(1-\sin\phi)/(1+\sin\phi)$)를 사용하여 설계에 반영하고 있다.

한편, 국내외에서는 EPS블록을 이용한 적용분야가 확장되고 있는 추세에 있으며 김진만 등⁽¹⁾은 EPS블록은 상이한 압축량에 의해 아칭효과가 유발되어 옹벽 배면의 토압형태를 사다리꼴이나 사각형 형태로 전환시킨다고 하였고 Horvath⁽⁷⁾는 옹벽 배면에 EPS 블록이 설치될 경우 배면에 작용하는 수평토압에 의해 EPS블록의 압축으로 옹벽배면의 토압이 감소된다고 하였다.

본 논문에서는 지중 매설관의 경제적 설계 및 시공을 위하여, 초경량 재료인 EPS 블록을 지중매설관의 상부와 하부 등 설치 위치를 달리한 경우에 대한 원형(Prototype) 실험과 수치해석을 통하여 EPS블록의 설치위치가 지중매설관의 토압의 분포에 미치는 영향을 측정 분석하였다.

2. 실험내용

EPS 베딩재의 설치에 따른 지중매설관에 미치는 토압 분포와 크기를 알아보기 위하여 Fig. 1에 나타난 바와 같이 EPS 베딩재를 설치하지 않은 경우와 EPS를 지중매설관의 상부, 하부, 상·하부에 설치한 경우 등 EPS블록의 설치 위치를 4가지로 변경하였고 실험에 사용된 EPS블록의 재질에 따른 영향을 고려하기 위하여 2종류의 EPS를 사용하여 원형실험을 수행하였다.

2.1 지반성형 및 토조의 제원

원형실험에 사용된 토조를 Fig. 2에 나타내었다. 실

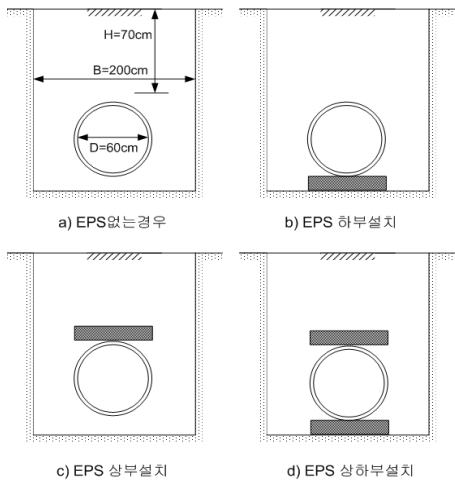


Fig. 1 EPS 설치위치에 따른 실험종류

험에 사용된 토조는 100×50×50cm(길이×폭×높이)의 콘크리트 블록을 제작하여 블록을 조합하므로써 550×150cm 크기의 대형토조를 구성하였으며, 실험은 매설관의 외경과 그에 따른 실제현장에서의 굴착 폭을 고려하여 가상의 굴착 폭 150cm 구간에서 실시하였다. 콘크리트 블록 내부 벽면에는 비닐을 부착한 다음 그리스를 바르고 다시 비닐을 부착하여 2중의 비닐을 설치하여 실험과정 중 콘크리트 블록과 흙 사이에서 발생하는 벽면마찰을 최소화하였다. 또한, 강봉을 이용하여 콘크리트 블록과 블록을 결속하여 블록 사이의 이격과 흔들림을 방지하였다.

지반조성은 강사법을 이용하였으며, 이 때 균일한 지반조성을 위해 토조 상부에 레일을 설치하고 추의 자중과 원치의 견인력을 이용하여 강사장치를 왕복 운전하여 강사를 실시하였다. 한편, 지중매설관의 경우 실무에서는 $D_r=90\%$ 조건으로 설계되고 있으나 강사법에 의해 $D_r=90\%$ 조건의 지반조성이 어려워 $D_r=80\%$ 조건으로 실험을 실시하였으며 이 조건은 예비 실험을 통하여 강사장치의 Slit 간격 2mm, 낙하고 1m이상에서 일정한 다짐도($D_r=80\%$)를 유지할 수 있었다. 한편, 실제 현장에서 매설관 시공시 지반굴착 후 바닥면 조성, 매설관 설치, 다짐복토의 순서로 진행되므로 본 실험에서도 현장 시공과정을 재현하기 위하여 토조 바닥에 표준사를 10cm 조성한 후 매설관을 설

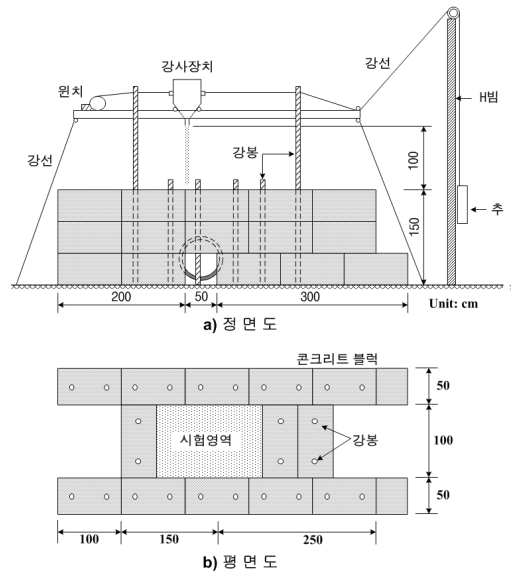


Fig. 2 원형(Prototype) 토조 제원

치하고, 관의 바닥면으로부터 1.5m 높이까지 성토하였으며 10cm 성토시마다 토압과 침하량을 계측하였다.

2.2 흙의 물성

지반구성을 위해 사용된 시료는 공기 건조된 주문진 표준사로 기본물성시험을 실시하고 수치해석에 필요한 파라메타 산정을 위하여 모형지반상태와 동일한 건조상태의 압밀배수(CD)의 삼축압축시험을 실시하였다. 한편, 흙-매설관, 흙-EPS의 마찰각을 구하기 위한 마찰시험은 변형된 직접전단시험을 KS F 2343 규정에 따라 실시하였다. 변형된 직접전단시험은 Fig. 3에 나타난 바와 같이 전단상자 크기에 맞게 EPS 또는 매설관 재질을 시멘트로 만든 후 전단상자 상부에 위치시키고 하부에는 주문진 표준사를 상대밀도에 맞게 조성하였다.



Fig. 3 직접전단시험기를 이용한 마찰시험

Table 1 주문진 표준사의 기본물성

기본물성시험						
입도 분포	USCS	최대건조 단위중량 (gf/cm^3)	최소건조 단위중량 (gf/cm^3)	e_{max}	e_{min}	비중
$D_{10}=0.12$ $C_u=1.19$ $C_g=1.01$	SP	1.682	1.384	0.879	0.546	2.6
삼축압축시험			마찰시험			
점착력 c	ϕ (degree)	흙-매설관 δ (degree)	흙-EPS δ (degree)			
0	42.0	32.9	37.8			

Table 2 수치해석시 모델별 파라메타 입력자료

파라메타		매설관	EPS
탄성모델	탄성계수 (kPa)	3.4E7	1.0E4
	포아송비	0.35	0.12
	단위중량 (KN/m^3)	24.51	0.29
	점착력	-	40
파라메타		흙	
Mohr - Coulomb 모델	c (kgf/cm^2)	0	
	ϕ	43.71	
	K	1181	
	n	0.722	
	R_f	0.95	
	K_{σ}	2383.7	
	P_a	1.033	
	K_b	656	
m	0.889		

시료의 조성이 끝나면 흙-EPS이외의 전단면에는 마찰을 최소화 하기 위하여 그리스를 바른 후 전단시 키므로써 마찰계수를 구하였다. 전술한 기본물성시험 및 역학시험 결과를 Table 1에 나타내었다.

2.3 지중매설관 및 EPS 베딩재의 제원

지중매설관은 두께 5cm, 외경 70cm, 내경 60cm, 길이 100cm 크기의 무근 콘크리트관을 사용하였으며, 베딩재로 사용할 EPS 블록의 경우 시공현장에서 많이 사용되는 제품으로 단위중량에 따라 1호(0.03

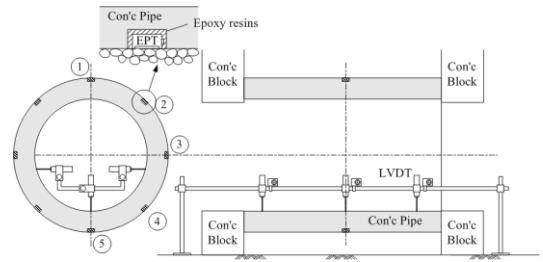


Fig. 4 계측기 설치 방법 및 위치

tf/m^3), 2호($0.025 tf/m^3$), 3호($0.02 tf/m^3$), 4호($0.015 tf/m^3$)로 구분 제작되고 있으나 본 실험에서는 1호와 4호 제품 2가지를 사용하였고, 그 크기는 관의 외경과 길이를 고려하여 폭 70cm, 길이 100cm, 두께 10cm로 하였다.

2.3 토압과 침하계 측정치

Fig. 4는 토압계와 LVDT를 설치한 모습을 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 토압은 관의 중심부에 45° 간격으로 모두 8개소에서 측정하였으며, 이 때 사용된 토압계는 용량 $20 tf/m^2$ 으로 매설관 외벽에 흙을 내어 토압계를 설치한 다음 그 틈을 에폭시 수지로 충진 후 경화시키는 방법을 사용하여 위치를 고정하였다. 또한 지중매설관의 침하량은 관의 길이방향으로 3개 지점에서 각 지점별로 관하부와 좌우 측면에 모두 3개의 변위계(LVDT)를 설치하여 변위를 측정하였다.

3. 수치해석

지중매설관의 토압에 영향을 미치는 매개변수를 찾고 실험결과를 검증하고자 수치해석을 실시하였다. 해석은 유한차분 상용프로그램인 FLAC을 사용하였으며 격자요소는 EPS 베딩재를 매설관의 상·하부에 모두 설치한 경우를 대표적으로 Fig. 5에 나타내었다. 수치해석시 매설관 및 EPS 베딩재는 탄성모델을 사용하였고 매설관에 대한 변수 값은 문헌을 통한 일반적인 무근 콘크리트 값을 사용하였으며 EPS 베딩재의 변수값

은 제조회사의 실험 값을 이용하였다. 또한 지반의 실제 거동은 비선형적 거동을 나타내므로 흙의 응력-변형 거동은 Mohr모델을 사용하였고 관련된 입력자료는 Table 2에 나타내었다.

한편, 흙-매설관, 흙-EPS의 경계면은 마찰시험을 실시하여 각각 32.9°, 37.8°의 값을 사용하였고, 경계면 요소를 이용하여 연직강성(K_v)과 전단강성(K_s)를 3.4E+04값으로 하였다.

4. 결과분석

지중매설관에 EPS 베딩재의 설치 위치를 변화시켜 가며 토압과 침하량을 측정된 실험 결과를 Table 3에 나타내었고 Fig. 6~10에 수치해석과 비교하여 도시하였다. 이때 측면과 어깨부분의 토압은 좌우측에서 측정된 평균값을 사용하였다. 표와 그림에서 볼 수 있듯이 수치해석과 실험에 의한 토압이 비교적 잘 일치하였고 경향성도 유사하게 나타났다. 또한 관 바닥으로부터 1.5m 높이로 성토를 실시한 후의 최종침하량은 베딩재를 설치하지 않은 경우 0.23cm로 나타났으며, EPS를 설치하는 경우 침하량의 크기는 0.24~0.59cm로 상부에 포설되는 주문진표준사에 의해 토압이 증가함에 따라 베딩재의 압축이 발생하는 것으로 나타났다. 그러나 Fig. 7에 도시한 바와 같이 단계별 성토에 따라 침하량은 가장 큰 값이 0.59cm로 매우 작게 나타나 베딩재 설치에 따른 침하량은 비교적 작게 나타났음을 알 수 있다.

지중매설관에 EPS 베딩재를 설치하지 않은 경우의 관 주변의 토압분포는 바닥 부분의 토압이 4.96 tf/m^2 으로 가장 크게 측정되었으며 다른 위치의 0.58~0.79 tf/m^2 로 대체적으로 균등하게 분포하는 것으로 나타나 대부분의 바닥부분에 편중되는 것으로 나타났다. 또한 EPS 베딩재를 하부에 설치하였을 경우 바닥 부분에서 측정된 토압은 4.35~4.44 tf/m^2 로서 베딩재를 설치하지 않은 경우에 비하여 10.5~12.3%가량 토압이 경감하는 것으로 나타났으며, 상부의 경우 0.72~0.74 tf/m^2 로 작게 감소하였고 어깨부분과 측면의 경우 0.47~0.95 tf/m^2 으로 나타났다.

Table 3 실험결과

EPS 설치위치	없음	EPS 1호			EPS 4호			
		하부	상부	상하부	하부	상부	상하부	
최종침하량 (cm)	0.23	0.59	0.24	0.30	0.52	0.25	0.41	
토 압 (tf/m^2)	① 천단	0.79	0.72	1.58	0.80	0.74	1.28	0.94
	② 상부 어깨	0.58	0.60	0.43	0.69	0.47	0.45	0.54
	③ 측면	0.62	0.59	0.38	0.65	0.63	0.50	0.52
	④ 하부 어깨	0.61	0.95	0.43	0.93	0.91	0.53	0.93
	⑤ 바닥	4.96	4.35	2.72	2.39	4.44	2.58	1.87

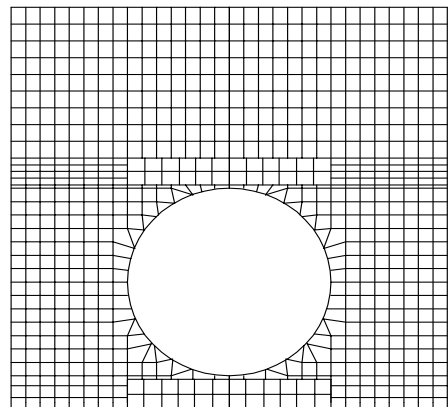


Fig. 5 수치해석에 사용된 유한차분 격자망

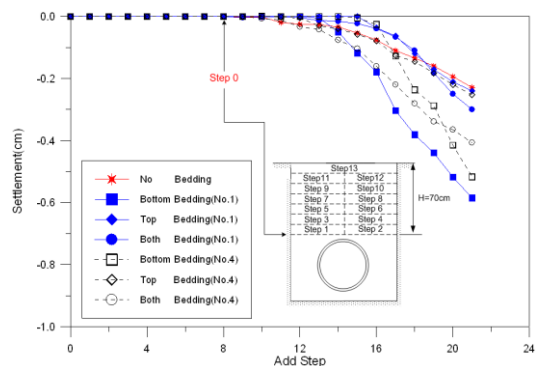


Fig. 6 단계별 성토에 따른 침하곡선

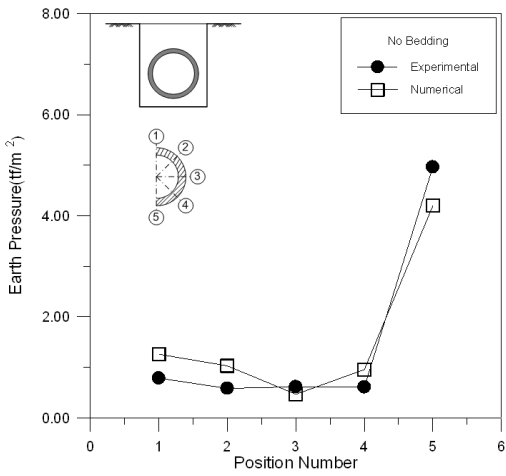


Fig. 7 위치별 토압분포(No Bedding)

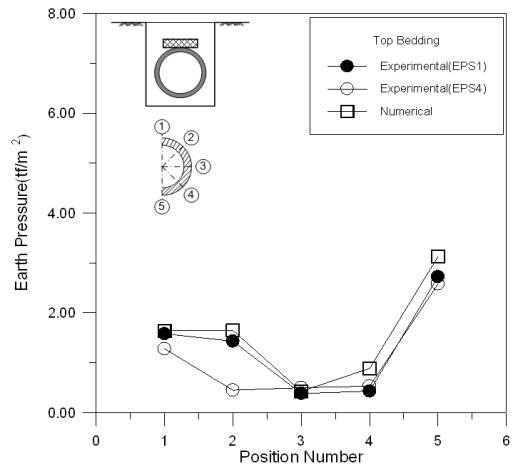


Fig. 9 위치별 토압분포(Top Bedding)

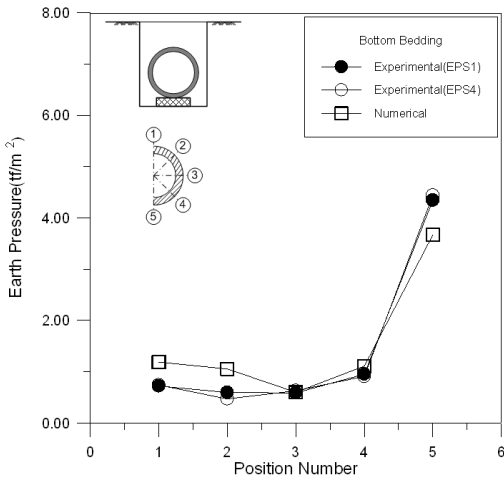


Fig. 8 위치별 토압분포(Bottom Bedding)

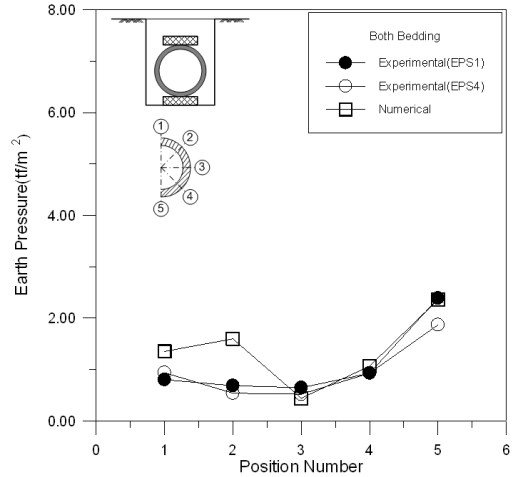


Fig. 10 위치별 토압분포(Both Bedding)

EPS베딩재를 상부에 설치한 경우, 바닥부분에서 측정된 토압은 2.58~2.72 tf/m^2 으로 베딩재를 설치하지 않은 경우에 비하여 45.2~48.0%의 토압이 경감되는 것으로 나타났으며, 상부의 경우 1.28~1.58 tf/m^2 , 어깨와 측면의 경우 0.38~0.53 tf/m^2 으로 나타나 전반적으로 상부에서는 토압이 다소 증가하며 측면과 어깨 그리고 바닥에서는 토압이 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 베딩재를 상부와 하부에 설치한 조건의 경우 바닥에서 측정된 토압은 1.87~2.38 tf/m^2 로 51.8~62.3%의 토압이 감소하였으나 상부에서는

0.80~0.94 tf/m^2 로 토압이 다소 증가하였고, 측면과 어깨부분은 0.54~0.93 tf/m^2 으로 나타났다.

이와 같은 결과로 EPS 베딩재를 설치하는 경우 바닥부분에서의 토압은 설치하지 않은 경우에 비하여 12~62% 가량 토압이 경감되었으나 측면에서는 베딩재 설치조건에 따라 전체적으로 토압변화가 크지 않는 것으로 보아 베딩재의 영향이 없는 것으로 판단된다. 또한 5개의 측정위치에서 측정된 토압의 전체크기를 분석한 결과 Fig. 11에서 보는 바와 같이 베딩재를 하부보다는 상부에 설치하는 경우 관에 작용하는 전체

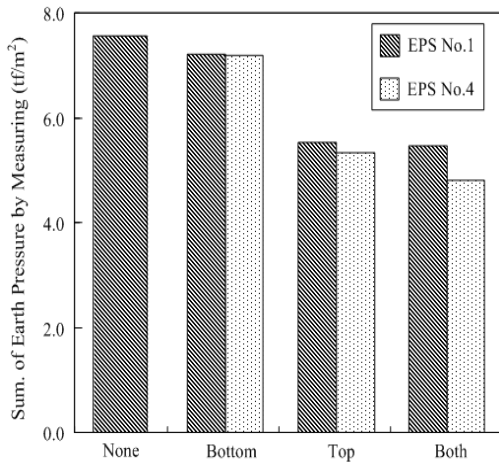


Fig. 11 측정된 토압의 전체 크기

토압의 크기가 경감되는 것으로 나타났다. 따라서 베딩재의 위치에 대한 매개변수적인 실험결과 베딩재를 하부-상부-상하부에 설치하는 순으로 경감효과가 크며 EPS 베딩재를 하부보다는 상부에 설치하는 경우 경감효과가 두드러지는 것으로 나타났다.

4.1 매개변수 고찰

지중 매설관의 토압에 영향을 미치는 요소를 찾기

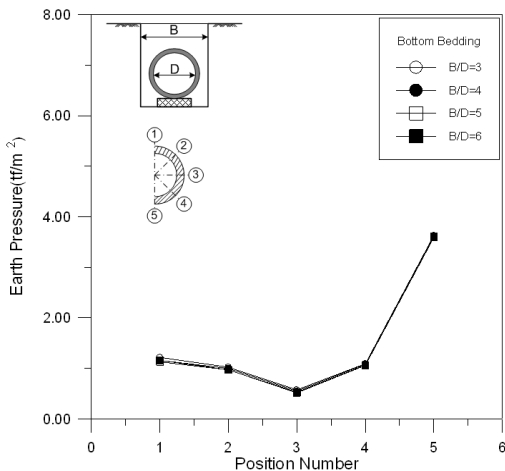


Fig. 12 굴착폭/직경비 (B/D)에 따른 토압분포 (Bottom Bedding)

위하여 EPS와 지반의 탄성계수비 (E_b/E_s), 지반굴착폭과 매설관의 직경비 (B/D), 굴착깊이와 매설관의 직경비 (H/D)를 변화시키는 매개변수적 수치해석을 수행하여 비교하였다.

Fig. 12~14는 지반굴착폭과 매설관의 직경비 (B/D)를 3, 4, 5, 6로 변화시켜 본 결과로서 EPS를 매설관위에 설치한 경우의 1번 지점을 제외한 나머지는 전반적으로 굴착폭의 증가에 따라 매설관에 가해지는 토압이 거의 변화가 없는 것으로 나타났다.

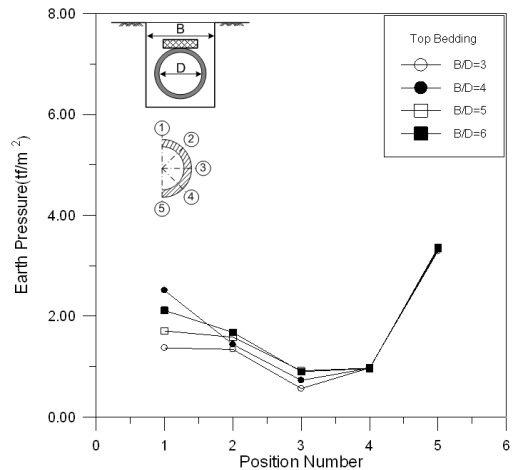


Fig. 13 굴착폭/직경비 (B/D)에 따른 토압분포 (Top Bedding)

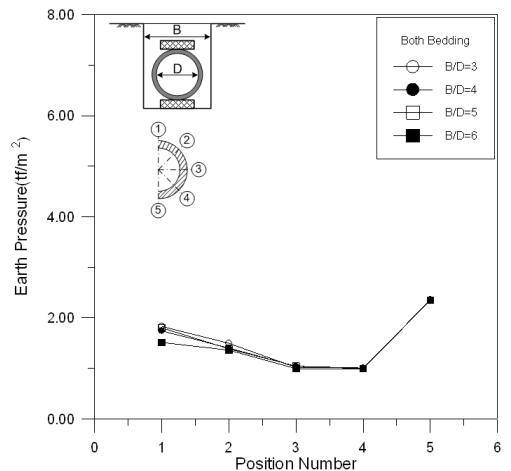


Fig. 14 굴착폭/직경비 (B/D)에 따른 토압분포 (Both Bedding)

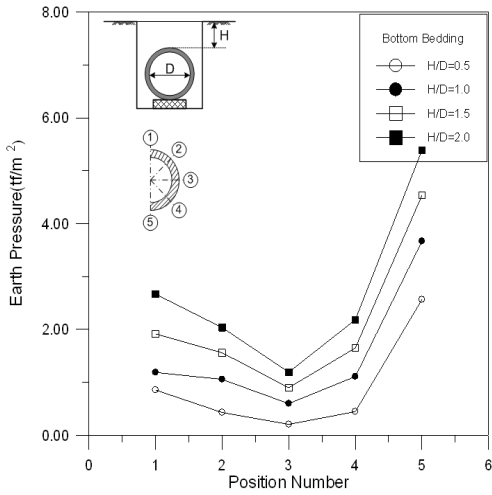


Fig. 15 굴착깊이와 매설관의 직경비 (H/D)에 따른 토압분포(Bottom Bedding)

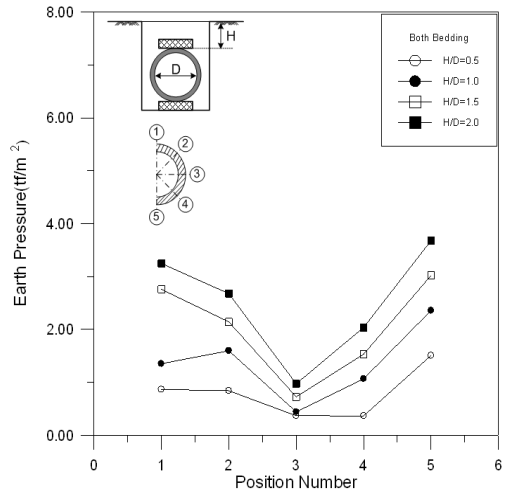


Fig. 17 굴착깊이와 매설관의 직경비 (H/D)에 따른 토압분포(Both Bedding)

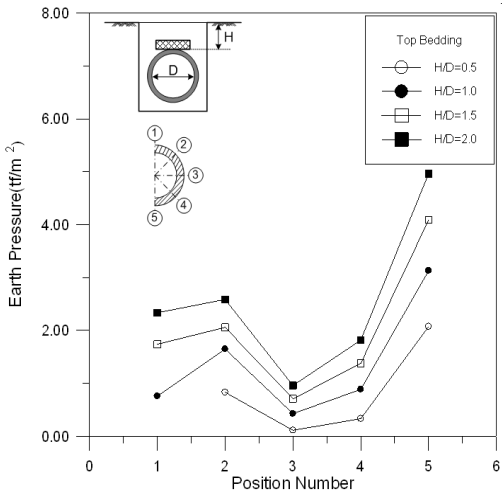


Fig. 16 굴착깊이와 매설관의 직경비 (H/D)에 따른 토압분포(Top Bedding)

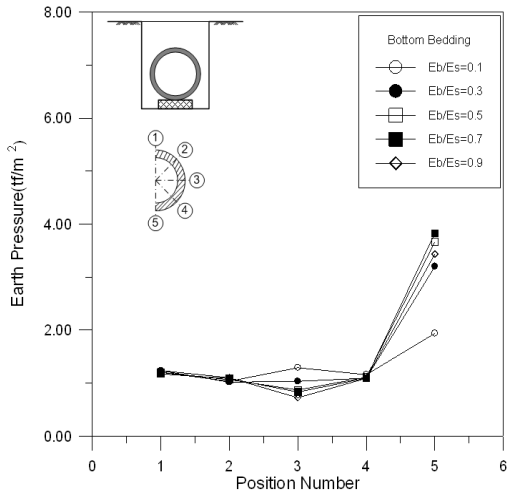


Fig. 18 EPS와 지반의 탄성계수비 (E_b/E_s)에 따른 토압분포(Bottom Bedding)

Fig. 15~17은 관 직경과 굴착깊이의 비(H/D)를 0.5, 1.0, 1.5, 2.0으로 변화 시킨 결과로 그 비가 증가할수록 토압이 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다.

Fig. 18~20은 EPS와 지반의 탄성계수비(E_b/E_s)를 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9로 변화시킨 결과로 EPS를 매설관의 상부에 설치한 경우는 탄성계수비의 변화

에 따라 토압의 변화가 거의 없었으나, EPS를 매설관의 바닥에 설치한 경우와, 상·하부에 설치한 경우는 탄성계수비가 0.9~0.3까지는 큰 감소가 없었으나 0.1에서 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 현장에서 탄성계수비(E_b/E_s)를 0.1이하인 재질을 선택하여 시공시 토압의 큰 감소를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

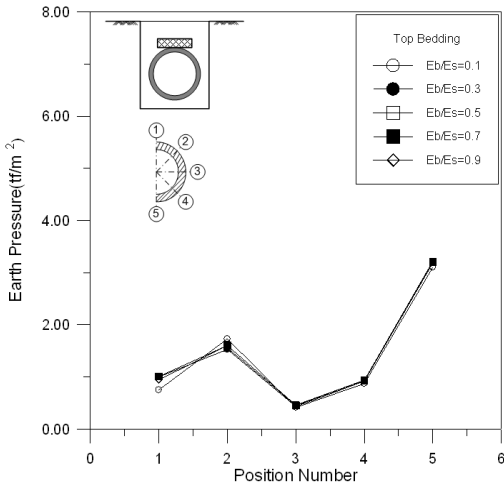


Fig. 19 EPS와 지반의 탄성계수비(E_b/E_s)에 따른 토압분포(Top Bedding)

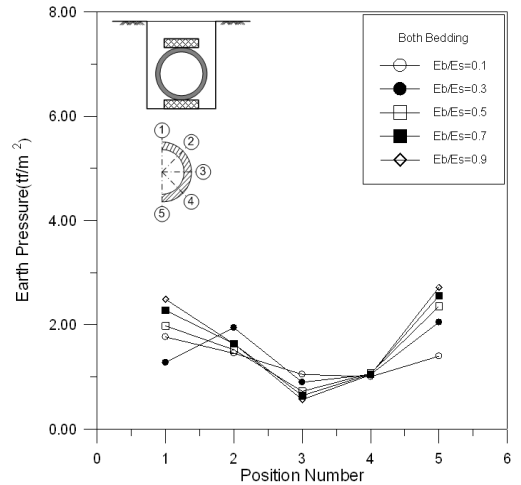


Fig. 20 EPS와 지반의 탄성계수비(E_b/E_s)에 따른 토압분포(Both Bedding)

4. 결론

EPS 베딩재의 설치조건에 따른 지중매설관의 토압 특성을 알아보기 위하여 대형 원형토조시험을 실시하고 매개변수를 변화시킨 수치해석 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 지중매설관의 상부와 하부에 EPS 베딩재를 설치한 경우는 설치하지 않은 경우에 비하여 토압을 가장 크게 받는 관의 하부에서 12~45%의 토압 감소 효과가 있음을 알 수 있었다.
- 2) 베딩재를 하부-상부-상하부에 설치하는 순으로 경감효과가 크며 EPS 베딩재를 하부보다는 상부에 설치하는 경우 토압 경감효과가 두드러지는 것으로 나타났다.
- 3) 지반굴착폭과 매설관의 직경비(B/D)를 변화시킨 수치해석 결과 지반굴착폭/매설관 직경비(B/D)는 토압에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.
- 4) 지중매설관 베딩재로 사용된 EPS와 뒷채움 지반의 탄성계수의 비(E_b/E_s)가 0.9~0.3까지는 토압에 큰 변화가 없었으나 0.1 이하일 때 토압이 급격히 감소하여 가장 큰 효과를 얻는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 김진만, 김호비, 최봉혁, 조삼덕, 주태성, "EPS블록의 압축성을 이용한 콘크리트 옹벽 시스템 연구", 대한토목학회 2001년 학술발표논문집, 2001, pp. 1-4.
2. DEC, "Danish Engineering Association Code of Practice for the Laying of Underground Rigid Pipelines of Concrete", Normstyrelsens Publikationer NP-191-N Copenhagen, 1986.
3. ATV, A 127, "Richtlinie für die Statische Berechnung von Entwässerungskanälen und Leitungen", Rheinischer Land-wirtschafts-Verlag G.m.b.h., Bonn, 1984.
4. Burns, J. Q. and Richard, R. M., "Attenuation of Stresses for Buried Cylinders", Proceedings of the symposium on Soil structure Interaction, AZ, Tucson, 1964.
5. Christensen, N. H., "Rigid Pipes on Symmetrical and Unsymmetrical Trenches", The Danish Geotechnical Institute, Bulletin No. 24, Copenhagen, 1967.
6. Eggwertz, S., "Design of Buried, Reinforced, Concrete Pipes", Svenska Vatten-och Avloppsverksföreningen(VAV) P48, Stockholm, 1986.
7. Horvath, J. S., "The Compressible-Inclusion Function of EPS Geofoam : An Overview", Int.

-
- Symp. on EPS Construction Method, 1996, pp. 72-81.
8. Janson, J. E., "Investigation Regarding Loads on Buried Rigid Pipes", Kungliga Vag-och Vattenbyggnadsstyrelsen, Vatten och avloppsbyrn, 1965, pp. 181.
9. Krizek, R. J., "Structural Analysis and Design of Pipe Culverts", National Cooperative Highway Research Program Report116, HRB, National Academy of Science, Washington D.C, 1971, pp. 29-71.
10. Smith, W. W., "Stresses in Rigid Pipe", ASCE, Transportation Engineering Journal, Vol. 104, No 3, 1978, pp. 387-392.

(접수일자 : 2006년 12월 17일)