

콘크리트 암거에서의 뒷채움 다짐에 의한 동적토압

Dynamic Earth Pressure of Concrete Culverts During Compaction of Backfill

노한성¹⁾, Han-Sung Roh, 최영철¹⁾, Young-Chul Choi, 김성환²⁾, Sung-Hwan Kim

¹⁾ 한국도로공사 도로연구소 책임연구원, Chief Researcher, HRC, Korea Highway Corporation.

²⁾ 한국도로공사 도로연구소 전문연구실 부실장, Research Director, HRC, Korea Highway Corporation.

SYNOPSIS : It is important to pay careful attention to construction backfill for the structural integrity of concrete box culvert. The stability of the surrounding soil is important to the structural performance of most culverts. Good compaction by the dynamic compaction roller with big capacity is as effective as good backfill materials to increase the structural integrity of culvert. However structural distress of the culvert could be occur due to the excessive earth pressure by dynamic compaction load. In this study, 16 box culverts were constructed with various compaction materials and construction methods. Three types of on-site soils such as subbase, subgrade and roadbed materials were used as backfill materials in the test program. Compaction methods were adapted based on the site conditions. In most cases, dynamic compaction rollers with 10 to 16 ton weights were used and vibration speed were applied from 2400 to 2500 rpm for the great compaction energy. Some backfill compactions with good quality soils were carried out to examine the effect of EPS(Expanded Polystyrene) panels with changes of compaction thickness. This paper presents the main results of the research conducted to access the engineering performance of the backfill materials. The characteristics of earth pressures are discussed. It is observed that subgrade and roadbed materials are needed more careful compaction than subbase materials. It is shown that EPS panels are effective to mitigate dynamic lateral earth pressure on the culverts. It is also obtained that the dynamic pressure depends on the soil properties. In addition, the coefficient of dynamic earth pressure ($K_{dyn} = \Delta P_H / \Delta P_V$) during compaction is discussed.

Keywords : Backfill, Compaction, Dynamic earth pressure, EPS panel.

1. 서론

우리나라 고속도로 구간의 지중구조물인 콘크리트 암거는 일반적으로 구조적으로 안정하여 교량과 같은 타 구조물에 비하여 그다지 관심의 대상이 되지 않고 있다. 그러나 콘크리트 구조물과 기반재료로 인접하여 시공되는 뒷채움부는 구조적인 불연속성으로 인하여 도로건설시 구조적인 취약부위가 되고 있다. 콘크리트 암거에 대한 구조적 안정성을 높이기 위해서는 뒷채움부에 대한 시공을 적절하게 실시해야 한다. 특히 뒷채움부의 안정성은 암거의 구조적인 기능에 큰 영향을 미치게 되며, 불량한 재료를 사용하거나 다짐이 부적절할 경우에는 암거의 부등침하의 발생등 많은 문제를 유발하게 된다. 따라서 한국도로공사에서는 이와같은 구조적 취약부에 대한 관리를 위하여 양질의 고가 재료인 보조기층재(SB-1급)를 규정하여 사용하고 있다.

암거 뒷채움부의 안정성을 높이기 위해서는 양질의 재료를 사용하고 다짐에너지를 크게 적용해야 다짐이 효과적이다. 그러나 건설초기에 용이하게 입수 할 수 있었던 입상재료(SB-1)의 공급곤란으로 공사비 상승의 요인이 되고 있어 안정성 측면에서 재정립 할 필요가 있으며, 대형장비를 사용하여 큰 다짐에너지를 뒷채움 다짐시공에 적용 할

경우에 과도한 다짐 발생압에 의해 콘크리트 암거의 구조적 손상이 우려된다.

본 연구에서는 적절한 암거의 뒷채움 재료 선택 및 시공지침을 제안하기 위하여 고속도로 건설 현장을 중심으로 20개소의 암거를 시험시공 대상으로 선정하여 16개소의 시공을 완료하였다. 본 보고서에서는 기 시행된 현장시험시공 중에서 얻은 뒷채움 재료의 공학적 거동의 주요 결과인 다짐시의 동적도압과 침하에 대한 계측결과를 중심으로 고찰하고자 한다.

2. 시험시공

시험시공은 국내의 건설 현장의 조건을 반영 할 수 있도록 고속도로 건설현장을 중심으로 지역적, 암거의 기능, 시공조건, 피토고등으로 구분하였다(그림 1). 표 1에 기시공한 구간의 시공방법과 사용재료를 표시하였다. 시공방법의 I, II, III, IV는 각각 저면폭 3.0m 확보(역대형), 저면폭 3.0m 확보(정대형), 노체부와 뒷채움 부위의 동시 성토시공 및 기존 뒷채움방법(저면폭 0.5m 확보, 역대형)을 말한다. 또한 시공재료 A, B, C 는 노상토급, 노체토급 및 보조기층재료를 의미한다.

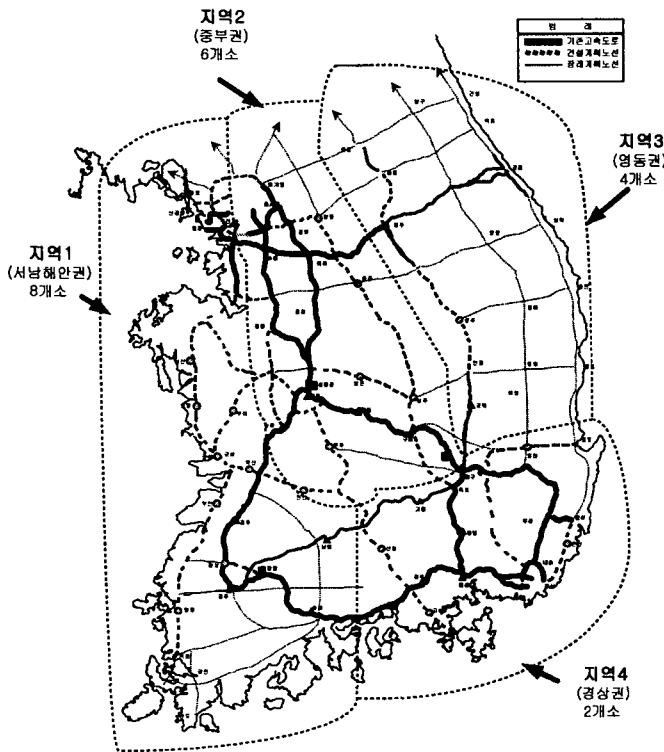


그림 1. 시험시공 구간의 지역 분류

표 1. 시험시공구간의 시공방법과 재료

이름	위치	규격(m) (높이×폭)	시공 방법		사용 재료	
			시점	종점	시점	종점
Cb-1	3K+265	4.5×4.5	I	I	A	A
Cb-1	6K+390	3.0×3.0	IV	IV	C	C
Cb-2	11K+590	3.5×3.5	I	I	A	A
Sh1-2	2K+537	4.0×4.0	I	I	A	A
Sh1-2	12K+764	4.0×4.0	I	IV	A	C
Sh1-4	9K+174	4.5×4.5	I	I	A	A
Sh2-19	7K+700	4.5×4.5	I	I	A	A
Sh2-19	7K+720	3.0×2.0	I	I	A	A
Sh2-22	9K+307	4.5×4.5	III	I	A	A
Sh2-22	9K+527	4.5×4.5	I	I	A	A
Kg-4	1K+610	2.5×2.0	I	IV	B	C
Kg-4(S)	2K+442	4.0×4.0	I	I	B	B
Ca1-18	5K+700	4.5×4.5	III	IV	A	C
Ca1-19	9K+355	4.5×4.5	I	IV	A	C
Tj-9(S)	4K+076	4.5×4.5	IV	III	C	A
Yd-15	3K+790	4.5×4.5	II	IV	A	C
계	16개소					

시행된 구간에서의 다짐방법은 현장 조건에 적절한 조합을 채택하였으며, 현장다짐은 10~16톤 진동 다짐 로라를 사용하여 2400~2500rpm의 고진동수를 적용하였다. 진동 다짐시 암거의 벽체에 부착한 EPS (Expanded Polystyrene) 판의 완충효과를 분석하기 위하여 시험시공의 일부 구간에서 EPS 판의 두께를 5cm

표 2. 보조기층재의 입도분포

재료명	체 통과량 (%)						
	80mm	40mm	19mm	No.4	No.10	No.40	No.200
SB-1	100	70~100	50~90	30~65	20~55	5~25	2~10

및 10 cm로 변화시켜 적용하였다.

표 1에 현재 고속도로 시방서에 규정되어 있는 SB-1의 입경 분포를 표시하였으며, 그림 2에 대표적 구간의 사용토질의 입경분포를 나타내었다.

본 보고서에서는 시공위치 Kg-4(S)와 Tj-9(S)의 토압 측정결과를 중심으로 고찰하고자 한다. 이 구간의 시공도를 그림 3과 4에 나타내었다. Kg-4(S)구간은 V.W 방식의 정적 토압계를 사용하였으며, Tj-9(S)구간에서는 진동현식(Vibrating Wire) 방식과 동적 토압의 계측이 가능한 전기식을 사용하여 계측을 실시하였다.

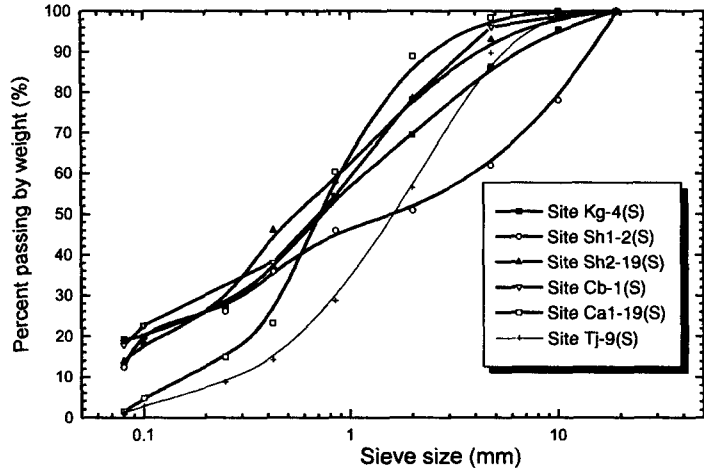


그림 2. 사용 토질의 입경분포 곡선

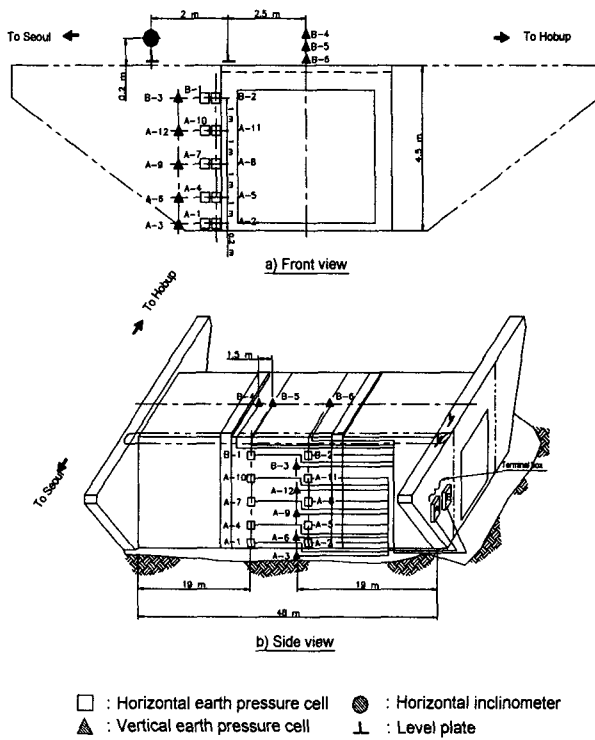


그림 3. Kg-4(S) 구간의 시공도

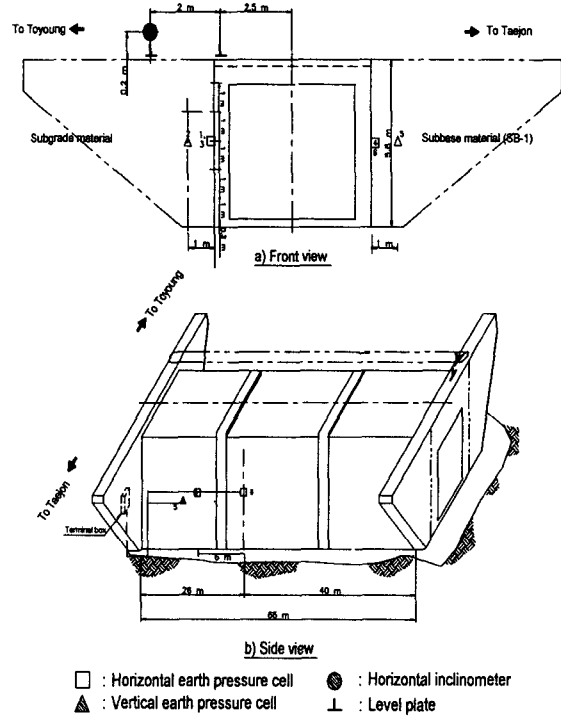


그림 4. Tj-9(S) 구간의 시공도

3. 계측결과

3.1 정적토압

Kg-4(S) 구간에 진동현식 방식으로 측정한 정적토압의 계측 결과를 그림 5에서 그림 8에 나타내었다. 각 토압은 각 층의 다짐이 끝난 후 측정하였다. 그림 5에서는 각 수직 토압계에 대한 결과로부터 토압의 전체 분포는 삼각형으로 고려할 수 있다. 또한 뒷채움이 진행됨에 따라 다짐에 의한 토압계수는 수동상태의 값으로부터 주동상태의 값으로 전이되고 있다(그림 8). 상층으로 진행될 수록 수평토압의 증분의 감소로 대응하는 토압계수는 감소하는 경향을

나타내어 뒷채움이 완료 될 경우에 토압계수는 0.2~0.55의 값을 나타내고 있다. 본 시공구간에 대한 시간에 따른 토압의 변화를 고찰하기 위하여 장기 계측을 실시할 계획에 있다.

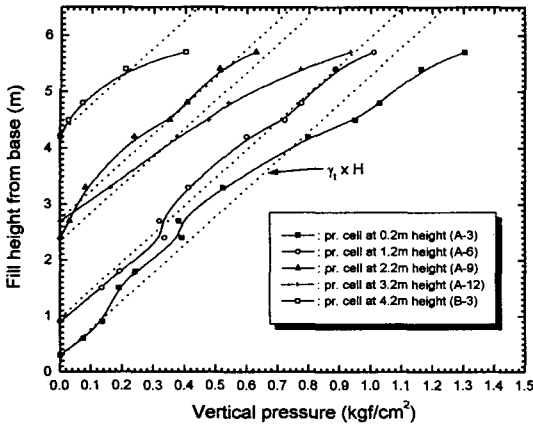


그림 5. 수직토압 : Kg-4(S)

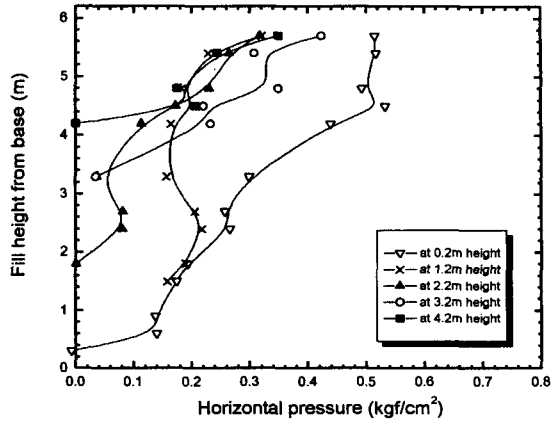


그림 6. 수평토압 : Kg-4(S)

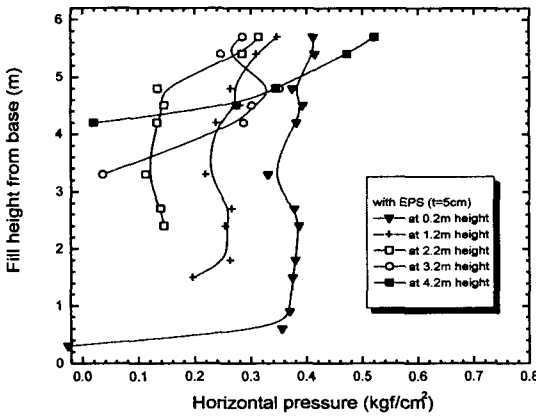


그림 7. 수평토압 (EPS=5cm)

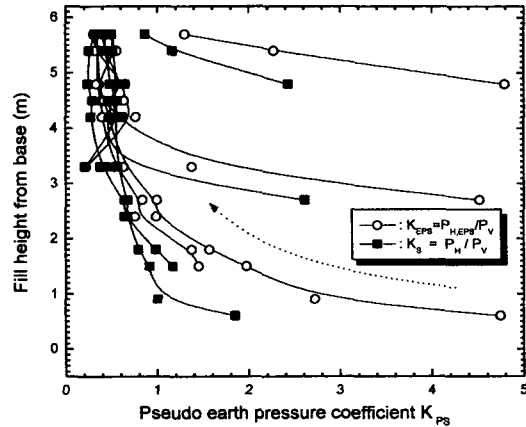


그림 8. 토압계수 : Kg-4(S)

3.2 동적토압

동적 토압을 전기식 토압계와 EDX-1500A 장비를 사용하여 50Hz의 주기로 뒷채움 시공시에 계측하였다. 뒷채움 다짐은 12톤 중량의 진동 다짐로라를 사용하여 2400~2500rpm의 주기로 암거 벽면으로부터 50cm에서 100cm의 간격을 두고 다짐하였다. Tj-9(S) 구간의 SB-1 재료를 사용한 부위의 측정결과를 그림 9에 나타내었다. 그림9의 a)에서 c)는 다짐시 40cm 깊이의 토압을 기준으로 다짐에 의한 동적토압의 증가를 측정 한 결과이며, d)에서 f)는 100cm 깊이일 때의 정적 및 동적토압 증가량이다. 그림 9로부터 수직토압은 깊이가 증가 함에 따라 감소하는 경향을 뚜렷하게 나타내고 있다(A영역과 C영역). 낮은 깊이에 있는 토압의 경우 로라의 진행방향에 의해 동적토압의 형상이 크게 영향을 받으나(A영역과 B영역), 깊이가 증가함에 따라 그 차이는 감소하는 경향을 나타내고 있다(C영역과 D영역). 다짐작업에 의한 증가 동적 수평토압의 최대 값은 40cm의 깊이에서 0.8 tonf/m² 을 나타내고 있으며, 100cm의 경우에 1.1 tonf/m² 를 나타내고 있다(그림 (c)와 (d)). A 와 C 영역에서의 동적토압의 증분에 대한 계수(ΔK_{dyn})을 그림 10에 나타내었다. 수직 점선은 동적토압의 증분이 최대인 점을 표시하고 있다. ΔK_{dyn} 의 값은 수평토압과 수직 토압의 측정거리가 1.0m 이므로 이에대한 위상차가 포함되어 있으나, 근사적으로 대칭의 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 이들 그림으로부터 ΔK_{dyn} 은 0.044(A 영역의 최대 수직토압 발생부)에서 0.19(C 영역의 최대 수직토압 발생부)의 값을 나타내고 있으며, 동적토압의 발생주기는 깊이가 깊어짐에 따라 증가함을 알 수 있다.

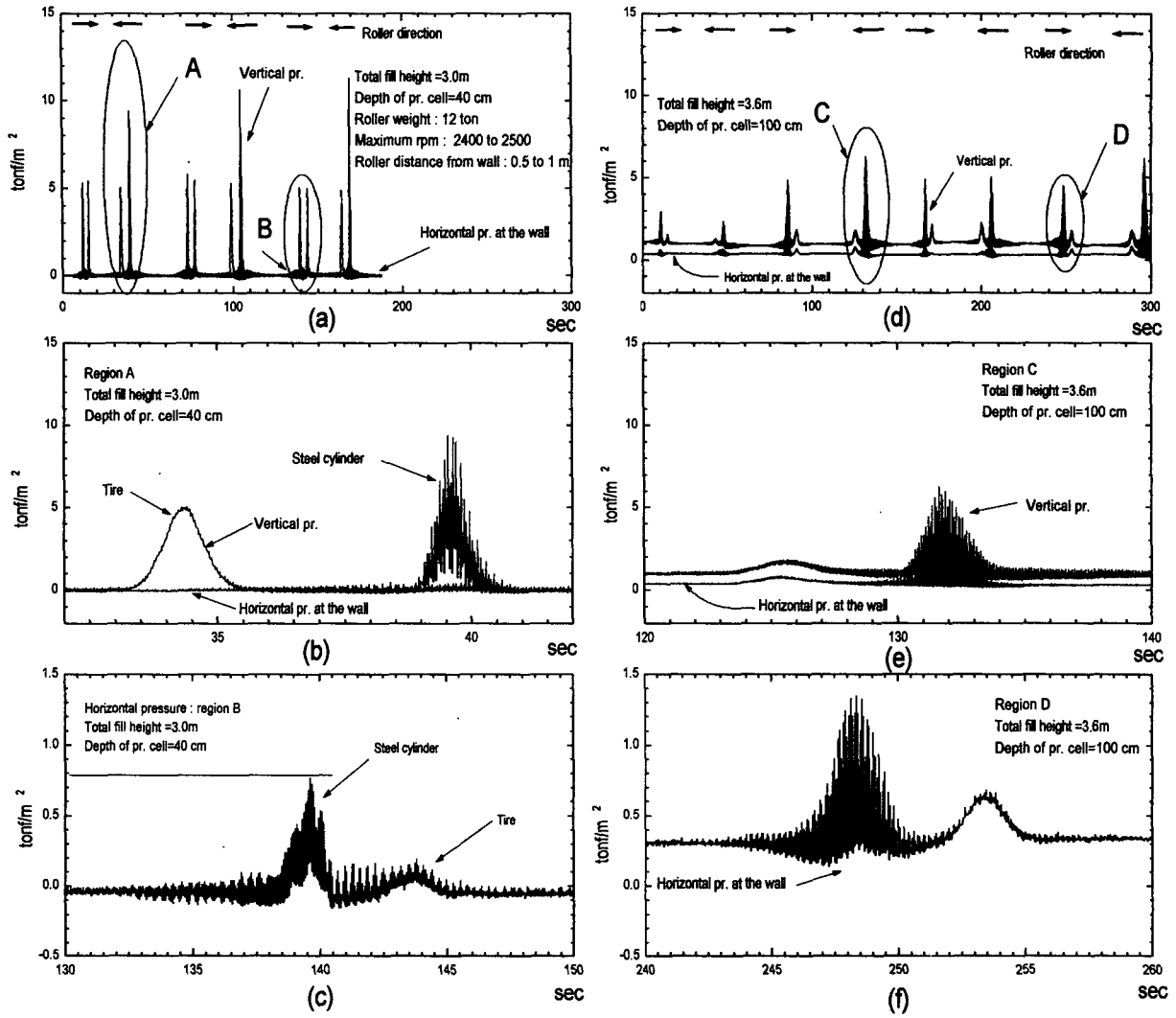


그림 9. Tj-9 에서의 SB-1재료 사용 부위의 발생 동적토포압

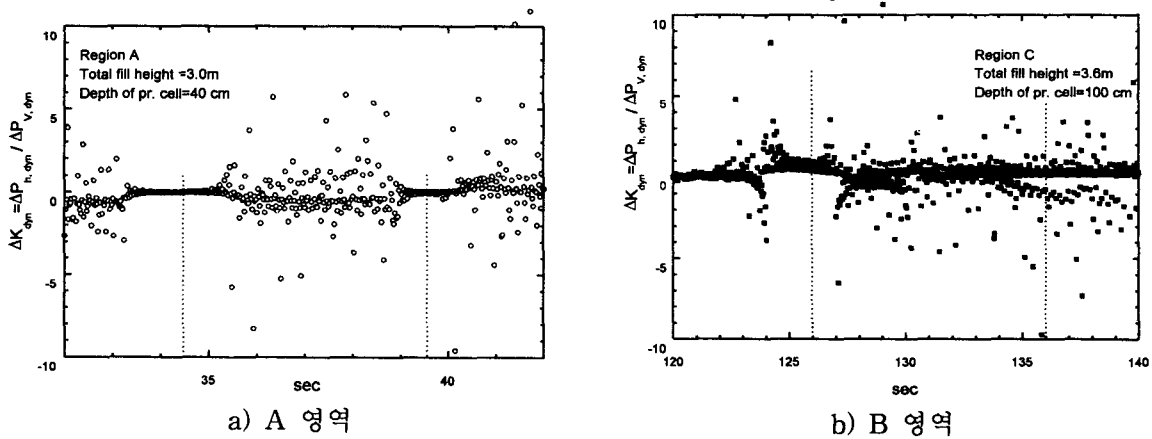


그림 10 Tj-9 에서의 동적토포압 증분에 대한 계수 (ΔK_{dyn})

그림 11에 Tj-9구간에서의 SB-1 및 노상재를 사용한 부위의 뒷채움 성토가 3.8m인 때 진동다짐로라를 콘크리트 압거 벽면으로부터 50cm와 100cm의 위치에서 다짐작업을 실시하는 경우의 발생하는 동적수직 및 동적수평 토포압을 나타내었다. 그림 (a)에서 (c)는 SB-1재 사용부위에 대한 결과이며, (d)에서 (f)는 노상재를 뒷채움 재료로 사용하고

벽면에 EPS 완충재를 10cm 설치한 부위이다. 이들 그림으로부터 동적 수직토압은 사용재료에 따라 영향을 받으며, ΔK_{dyn} 은 0.25 및 0.33(A, B 영역의 최대 수직토압 발생부)에서 0.15 및 0.24(C, D 영역의 최대 수직토압 발생부)의 값을 나타내어 EPS 완충재는 발생 동적수평토압을 경감하는 효과가 있음을 알 수 있다.

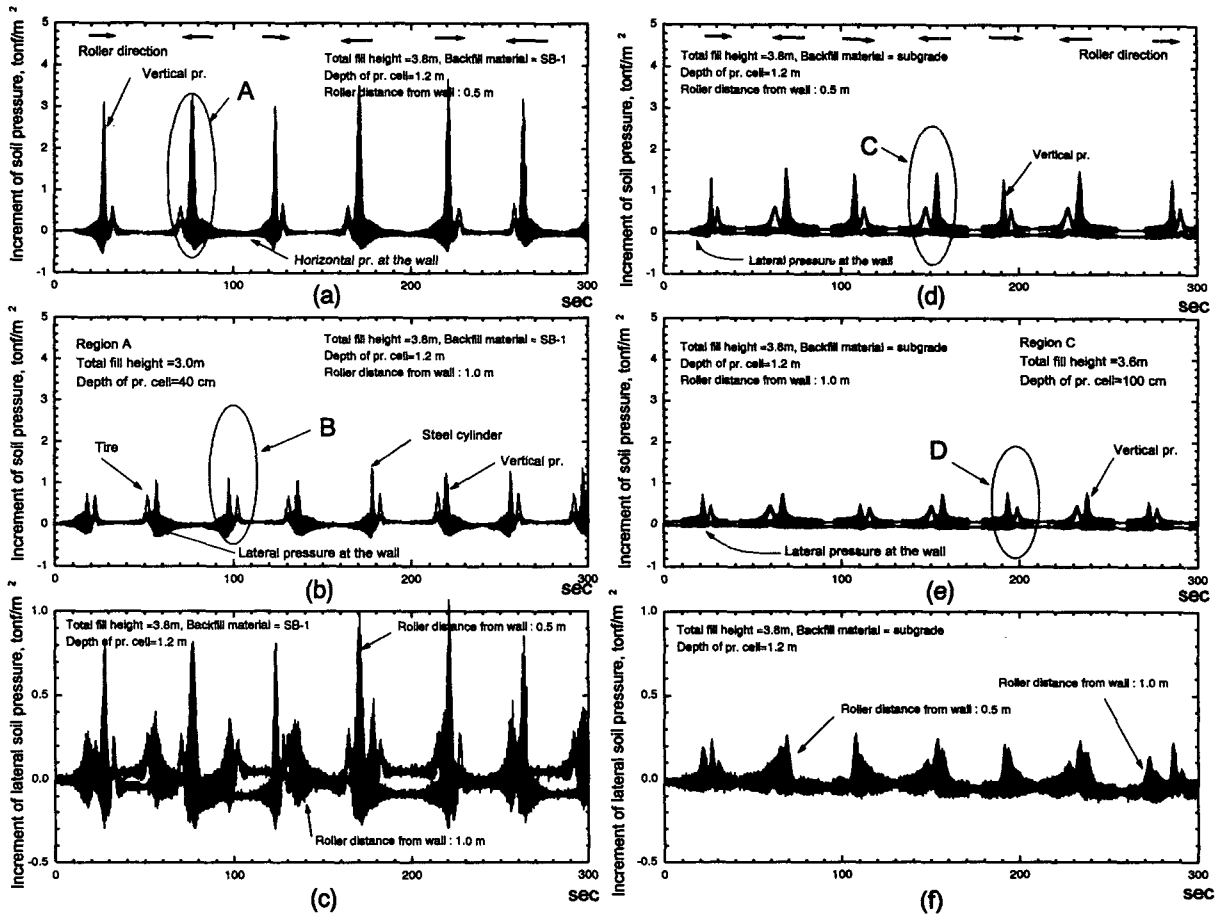


그림 11. Tj-9구간에서의 SB-1 및 노상재 사용구간의 동적토압

4. 결론

본 보고서에서는 뒷채움 재료의 선정에 관한 콘크리트 암거에 대한 현장 시험시공 개요와 함께 주요 토압계측 결과를 소개하였다. 뒷채움 재료를 양질의 보조기층재 보다 노상등의 저급재료를 사용 할 경우에 보다 정밀한 다짐 작업이 요구된다. 측정 결과로부터 1) 뒷채움 시공시에 발생하는 토압은 사용재료와 측정위치에 따라 영향을 받으며, 2) 토압계수 K는 뒷채움 시공공정에 영향을 받으며, 3) 효과적인 다짐을 위해 대형 진동다짐로라를 사용하여 강한 진동을 가하는 경우 암거의 구조적인 손상이 우려되나, EPS 재료를 10cm 두께로 벽면에 설치한 경우에 다짐시 발생하는 깊이 1.2m에서의 동적토압계수, ΔK_{dyn} 은 0.15와 0.24로 동적 토압의 경감에 효과적임을 확인 할 수 있었다.

참고문헌

1. 盧翰成(1999), 「粘性土의補強工法に關する基礎的研究」, 東京大學博士學位論文, pp. 10-1~10-237.
2. 노한성, 최영철, 팽우선(1999), 「지중구조물 뒷채움재료 선정기준 수립(I)」, 연구보고서, 한국도로공사, pp.119~155.
3. 殿内正人の(1998), 「구조물 뒷채움부의 소형중추낙하 다짐공법에 의한 다짐시험」, 일본지반공학회, 제 33회 학술발표회, pp. 2061~2062.