

뒷채움 시공시의 다짐토압 특성

Characteristics of Developed Earth Pressure by Backfill Compaction

노 한 성* Roh, Han-Sung

Abstract

It is important to pay careful attention to the backfill construction for the structural integrity of concrete box culvert. To increase the structural integrity of culvert good compaction by the dynamic compaction roller with big capacity is as effective as good backfill materials. However structural distress of the culvert could be occurred due to the excessive earth pressure by great dynamic compaction load. In this study, two box culverts were constructed with change compaction materials and construction methods. Two type of on-site soils such as subbase and subgrade materials were used as backfill materials. In most case, dynamic compaction rollers with 11 to 12 ton weights were used and vibration frequency were applied from 2000 to 2500 rpm for the great compaction energy. Backfill compactions with good quality soils were carried out to examine the effect of cushions on dynamic lateral soil pressure. Expanded polystyrene (EPS) and rubber of tire were adapted as cushion materials and they are set on the culverts before backfill construction. This paper presents the main results on the characteristics of dynamic earth pressures. Test result indicates that the amounts of increased dynamic pressures are affected with backfill materials, depth of pressure cell, and compaction condition. The earth pressure during compaction can give harmful effect to box culvert because the value of dynamic earth pressure coefficient ($\Delta K_{dyn} = \Delta \sigma_H / \Delta \sigma_V$) during compaction is greater than that of static condition. It was observed that cushion panels of EPS($t=10\text{cm}$) and rubber($t=5\text{cm}$) are effective to mitigate dynamic lateral pressure on the culverts.

요 지

콘크리트 구조물과 토공의 인접부인 구조물 뒷채움의 구조적 연속성을 위해서는 뒷채움 시공이 중요하다. 뒷채움부의 구조적 연속성을 증가시키기 위해서는 양질의 뒷채움재 사용과 대형 진동다짐장비에 의한 정밀다짐이 효과적이다. 그러나 정밀다짐시에 발생하는 과도한 토압에 의해 암거 구조물에 구조적 결함이 발생할 수 있다. 본 연구에서는 다짐재와 다짐방법을 변화시키면서 2개소의 암거를 건설하였다. 뒷채움재로는 선택층재와 노상토재를 사용하였다. 뒷채움 다짐시에 큰 다짐에너지를 얻기 위하여 대부분의 경우 총중량 11~12톤의 다짐롤러를 2000rpm 에서 2400rpm 의 주파수로 적용하였다. 노상토를 사용하여 뒷채움 시공을 하는 경우에는 충격완화재를 설치하여 동적 수평하중에 미치는 영향을 분석하였다. 충격완화재로는 EPS재와 타이어 칩을 사용한 패널들을 사용하였으며, 뒷채움 시공시에 이들 충격완화재를 암거의 외벽체에 부착하였다. 본 논문에서는 콘크리트 암거의 뒷채움 시공시에 발생하는 동적지중 응력 특성을 기술하였다. 계측 결과, 다짐하중에 의한 수직토압과 수평토압의 크기는 다짐재료, 다짐 측정깊이 및 다짐방법에 의존하고 있었다. 뒷채움 다짐시에는 정적토압계수 보다 큰 동적토압계수($\Delta K_{dyn} = \Delta \sigma_H / \Delta \sigma_V$)를 나타내고 있어 동적토압에 의해 암거에 유해한 영향을 줄 수 있다. 충격완화재 EPS($t=10\text{cm}$)와 고무계($t=5\text{cm}$)는 암거 벽체에 작용하는 동적 수평토압을 경감시키는데 효과적인 것을 알았다.

Keywords : Backfill, Compaction, Cushion, Dynamic soil pressure, EPS, On-site soil, Rubber

* 정희원, 한국도로공사 연구개발실 지반연구연구그룹 책임연구원 (Member, Chief Researcher, Highway Research Center, Korea Highway Corporation)

1. 서론

콘크리트 구조물과 토공의 인접부인 구조물 뒷채움부는 콘크리트 구조물과 자체 침하가 발생하는 토공에 의한 부등침하의 발생의 가능성이 크므로 유지관리 측면에서 구조적 일체성을 높이는 것이 중요하다. 구조적인 일체성을 높이기 위해서는 양질의 재료사용과 충분한 다짐이 중요하다. 따라서 기존의 고속도로 시공에서는 콘크리트 암거와 같은 지중구조물의 뒷채움시에 배수성과 강도발현이 양호한 고가의 선택층재(SB-1급)를 사용하여 왔다(노한성외, 2000, 한국도로공사 1994, 1998). 그러나, 고속도로 건설 초기에는 입수가 용이하였던 선택층재의 구입 곤란과 하상재료 사용에 의한 환경보존 측면에서 일률적으로 규정하고 있는 뒷채움부의 선택층재 사용 기준을 개선할 필요성이 대두되고 있다. 한편, 고속도로 포장체내의 노상토 함수량의 연간 변화를 보면 10%내외로 강우, 지형에 의한 함수량 변화량은 1~2%로 정도로 크게 영향을 받지 않고 있어(이석근외, 1992) 지하수의 유입이나 용출에 의한 직접적인 유수의 유입요인이 있는 경우를 제외하고는 실제적으로 뒷채움부에서 배수기능이 필요하지 않다고 판단된다. 따라서, 경제성을 고려하여 뒷채움 재료로 양질의 토사를 대체 사용하는 것을 고려할 수 있으나, 효과적인 적용을 위해서는 선택층 재료 보다 불량한 토사재료의 역학적 특성을 개선할 필요가 있다. 뒷채움 재료의 역학적 성질의 개선에는 시멘트나 석회 등을 이용한 재료 개량이나 정밀다짐에 의한 방법이 고려될 수 있다. 이 중 경제성을 고려하면 시공방법을 개선하는 정밀다짐에 의한 방법이 우수하나, 이 경우 다짐용력이 구조물에 미치는 영향을 평가할 필요가 있다.

다짐에 의한 지중응력은 정지상태의 응력조건에서 다짐과정에 의해 응력상태가 변화하여 수평응력이 잔류하는 것으로 고려할 수 있다. Carder(1977, 1980)는 뒷채움 시공시 발생 토압의 크기는 토질특성과 벽체의 거동에 의존하는 것을 발견하였다. 또한, Duncan(1986, 1992)은 여러 다짐장비에 의한 토압 측정결과와 산정

방식에 의한 결과 비교로 다짐에 의한 벽체에 작용하는 수평토압을 산정하는 방식을 제안하였다. 이상과 같이 기왕의 연구는 설계 및 시공에 직접적으로 필요한 시공 중의 발생토압을 측정 및 산정에 중점을 두고 수행되어 왔다(이상덕, 1998). 따라서 측정결과는 다짐 시공후의 토압과 장기 토압의 변동에 중점을 둔 정적인 토압에 근거한 것이 대부분이다.

본 연구에서는 정밀한 다짐에 의한 역학적 특성 증가를 도모하기 위하여 대형진동장비를 이용하여 강한 다짐을 실시하고, 효과적인 다짐을 위해 구조물부에 근접하여 다지는 것이 필요하다고 고려했다. 그러나, 이와 같은 다짐 시공방법은 과도한 충격하중 발생으로 구조물의 벽체균열 발생등의 위해한 영향을 줄 가능성이 크다(Roh et. al, 2000a, 2000b). 따라서 본 논문에서는 콘크리트 암거에 대한 현장시험시공 측정 결과를 중심으로 뒷채움 다짐시에 발생하는 동적 다짐토압을 중심으로 고찰하였다. 이를 위하여, 현장 다짐시공시의 뒷채움 다짐재료 및 다짐방법에 의한 토압의 발생특성을 분석하였다.

2. 시험시공

2.1 개요

본 논문에서는 현장다짐시 발생 토압을 고찰하기 위하여 통로인 콘크리트 박스 2개소를 선정하였다. 각 시험개소의 개요와 현장 계측목적은 표 1에 나타내었다. 기존 뒷채움 시공방법을 사용하는 선택층 재료 구간의 경우는 충격완화재를 사용하지 않았으며, 대체재료를 사용하는 경우에는 충격완화재 2종(Type A: 고무계, Type B: EPS)을 사용하였다.

시험시공구간의 시공도를 그림 1과 그림 2에 나타내었다. Site A의 경우 암거의 시점측은 선택층재를 사용하고, 종점부측은 노상토급의 토사로 시험시공을 실시하였다. 한편 Site B는 시점부에 횡배수관이 암거에 근접하여 시공되어 있어 횡배수관의 상부까지 잠석치환

표 1. 시험시공지 개요

현장	규격(m)(높이×폭)	연장(m)	피토고(m)	뒷채움 재료	충격완화재	계측목적
Site A	4.5×4.5	64.0	8.7	선택층, 노상토	-, B	뒷채움 재료의 영향
Site B	4.5×4.5	39.1	1.4	노상토	A, B	충격완화재의 영향

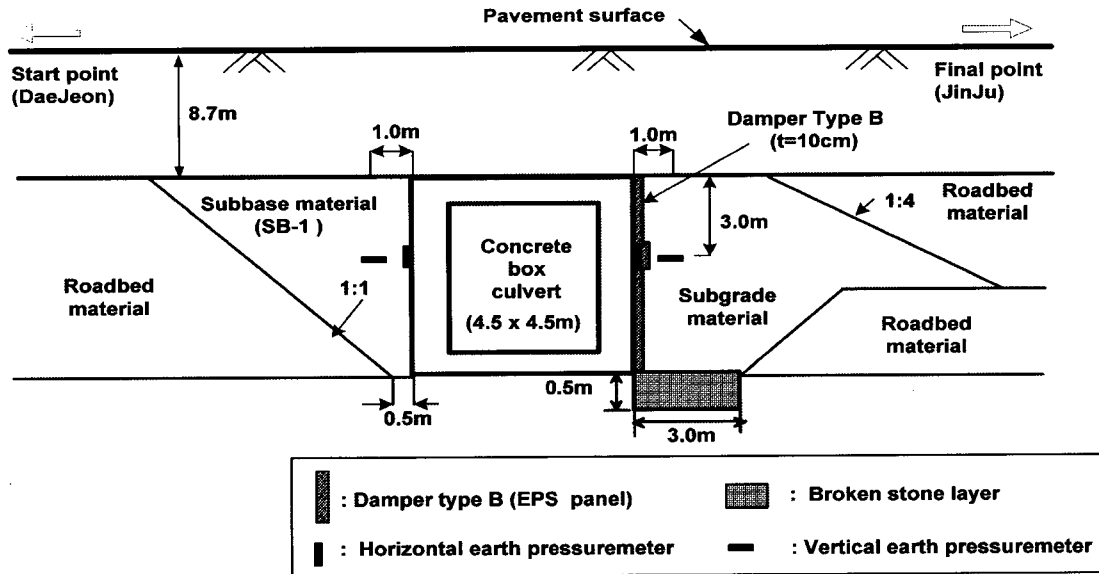


그림 1. Site A 시공도

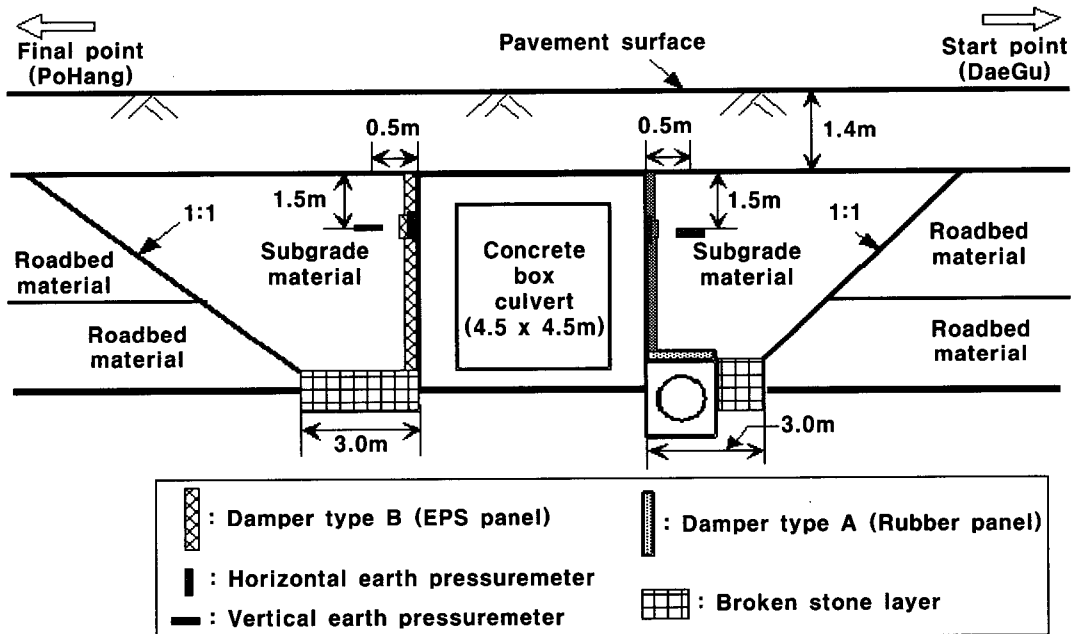


그림 2. Site B 시공도

을 실시하였으며, 종점부는 암거 기초면의 상부에서 원지반 면까지 굴착하여 잡석 치환하였다. Site B의 시점측에는 고무계 충격완화재 A(t=5cm)를, 종점측에는 EPS 충격완화재 B(t=10cm)를 부착하였다. 노상토급 재료를 사용하는 뒷채움 시공의 현장관리기준은 다짐밀도는 최대건조밀도의 95%이상으로 하고, 지지력도(K_{30})는 15kg/cm^2 이상으로 하였다. 뒷채움 시공속도는 1일 평균 양쪽 각각 2단씩 성토되었다.

2.2 사용재료

노상토급의 뒷채움 재료 품질시험결과를 표 2에 나타내었으며, 그림 3에 입도분포를 나타내었다. Site A의 노상토의 토질 분류는 SM에 해당한다. 자연함수비가 D 다짐시의 최적함수비보다 약간 높으며, No.200번체 통과율은 1.4~6% 이내이다. Site B의 뒷채움 토사의 토질 분류는 SC에 해당하며, 최대건조밀도 2.0g/cm^3 , 최적함

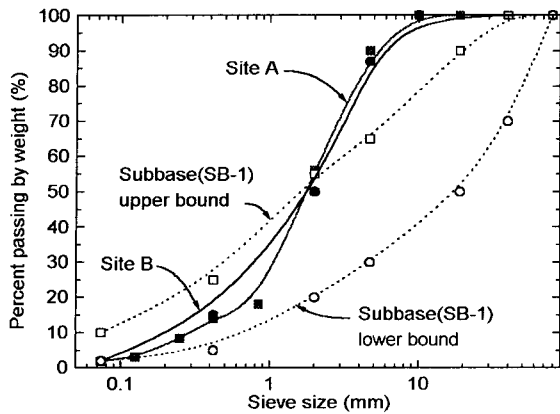


그림 3. 뒷채움재의 입도 분포

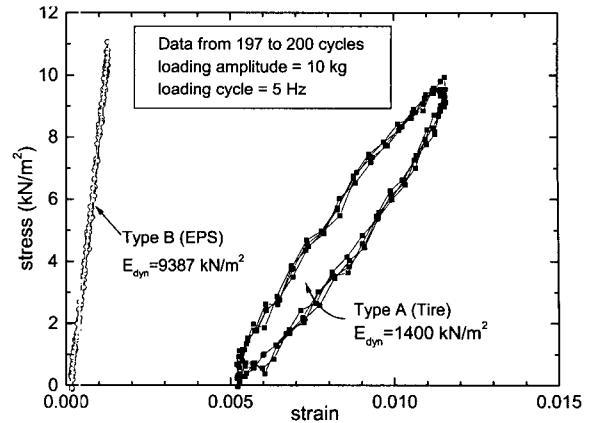


그림 4. 충격완화재의 반복재하시험 결과

표 2. 뒷채움재료 품질시험결과

구분	흙의 분류	자연 함수비(%)	최대건조밀도(t/m ³)	OMC(%)	소성지수	비중	CBR(%)	다짐시험법
Site A	SM	8.3	1.951	7.0	N.P	2.647	6.41	D 방법
Site B	SC	7.8	2.01	9.0	N.P	2.64	-	D 방법

표 3. Type A(고무계) 충격완화재의 재료기준

재질	규격(L×B×t, mm)	중량(kg/개)	바인더	개별칩의 최대치수
고무계칩(페타이어고무)	1,000×1,000×50±20	25±2	폴리우레탄계 접착제	4cm 이상

표 4. Type B(폴리머계) 충격완화재의 재료기준

단위중량(t/m ³)	흡수량(g/100cm ³)	연소성	허용압축응력(탄성변형시, t/m ²)	압축강도(5%변형시, t/m ²)
0.02 이상	1 이하	자기 소화성(3초이내 소화)	5.0 이상	10.0 이상

수비는 9.0%로 자연함수비 7.8%보다 높은 것으로 나타났다.

뒷채움시의 구조물 보호를 위하여 Type A(고무재)와 Type B(EPS재) 2종의 충격완화재를 사용하였다(표 3, 표 4). 충격완화재의 동적성질을 구하기 위해 단면적이 $A_A: 98.51\text{cm}^2$, $A_B: 88.36\text{cm}^2$ 이고, 길이가 $L_A: 19.8\text{cm}$, $L_B: 19.9\text{cm}$ 인 시편에 대하여 시마쯔(Shimazu)사의 재하장치로 반복재하한 결과를 그림 4에 나타내었다. 시험 결과는 재하하중이 10kg 이고 5Hz의 주기를 갖는 반정현 하중을 응력제어 방법으로 20초동안 연속적으로 가한 197~200회 재하에 해당하는 결과이다. 시험결과 본 조건에서의 탄성계수, E_{dyn} 은 충격완화재 Type A가 1400 kN/m²이고 Type B의 경우는 9387 kN/m²로 Type B의 경우가 약 7배 큰 것을 알 수 있으며, Type A의 재료감쇠가 Type B의 재료감쇠 보다 큰 것을 알 수 있었다.

유한요소해석에 의한 충격완화재 재료 물성이 수평토압에 미치는 영향에 관한 분석 결과로부터 동일 뒷채움재를 사용할 경우 충격완화재의 강성이 작을수록 재료 감쇠비가 클수록 다짐시 구조물 벽체에 발생하는 동적 수평토압의 크기가 감소하게 된다(노한성외, 2001).

따라서 실내시험 결과와 현장에서 사용하기 위해서는 충격완화재가 일정 폭을 가지는 것이 필요하므로 사용성과 품질관리 측면을 고려하여 본 연구에서는 충격완화재의 물성에 따라 Type A인 고무재는 5cm, Type B인 EPS재는 10cm를 적용하였다.

3. 현장 계측

각 시험 시공지에 대한 계측기 매설(그림 1, 그림 2)은 다짐에 의해 발생하는 동적 하중을 실시간으로 측정하기 위하여 전기식 동적토압계를 사용하였다. 총중량 11~12 톤 진동 다짐롤러를 사용하여 압거의 반대쪽에서 계측센서가 매설된 방향으로 벽체로부터 0.5m, 1.0m 이격하여 왕복주행하면서 현장계측을 수행하였다(그림 5). 진동롤러는 진동철륜이 선행하는 형태로 2000~2500rpm으로 재하하였다. 현장계측시에는 통상의 진동 다짐장비의 고주파수가 2,400rpm(40Hz)이므로, 다짐시에 유발되는 피크하중을 얻고자 Kyowa의 EDX-1500을 사용하여 고주파수인 50Hz 또는 1000Hz로 데이터를 획득하였다.

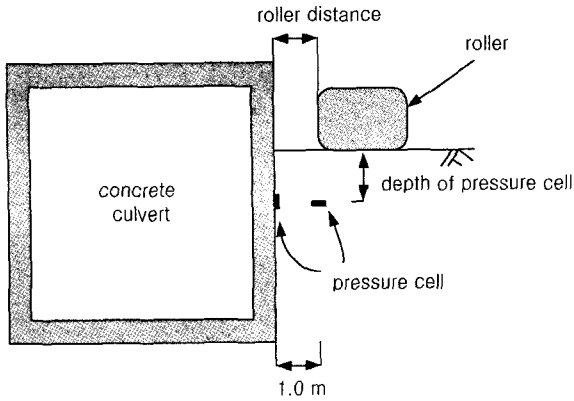


그림 5. 다짐시험 개념도

4. 계측결과

4.1 현장관리시험

그림 6과 그림 7에 노상토급의 재료를 사용하여 뒷채움시의 현장관리시험의 성과인 현장밀도와 평판재하시험(plate bearing test)의 K_{30} 값 및 함수량과의 대표적 상관관계를 나타내었다. 이들 시험성과는 뒷채움 현장관리 기준인 최대건조밀도의 95%선과 소요지지력 15kg/cm^2 의 선상 위에 집중되어 있음을 알 수 있다. 또한, 현장관리시험에 의한 현장밀도-지지력값, 현장밀도-함수량 관계는 특별한 상관관계를 나타내고 있지 않으며, 관리 기준 값에 집중하는 분포를 보이고 있다. 이는 다짐작업 후 실시한 현장관리시험 결과가 소요 다짐도 및 지지력을 확보하면 다짐을 완료하였기 때문이다. 전체적으로 최대건조 밀도가 큰 경우가 지지력의 분포가 크고 보다 큰 지지력을 확보 할 수 있는 경향을 보이고 있으며, 대부분 현장 함수비가 최적함수비보다 낮은 조건에서 실시하였음을 알 수 있다.

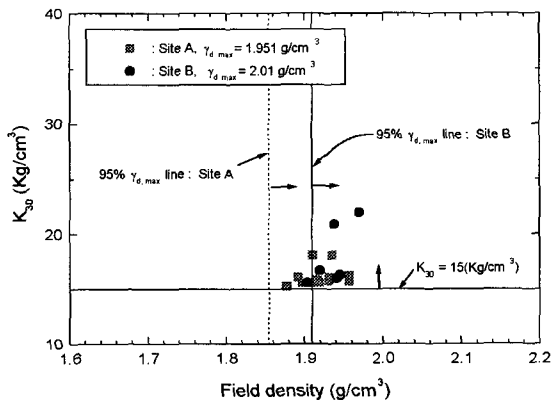


그림 6. 현장밀도-지지력값(K_{30}) 관계(노상토구간)

4.2 동적토압

4.2.1 깊이변화에 따른 다짐토압

12톤 진동 다짐 롤러를 강진인 2400~2500rpm으로 하여 뒷채움 다짐시공시에 발생하는 동적토압을 50Hz로 측정된 대표적 결과를 그림 8에 나타내었다. 뒷채움 재료로 선빅층재(SB-1급)를 사용한 부위의 발생 동적토압(Site A)의 측정 결과로 왼쪽그림 8(a), (b), (c)의 경우는 성토고가 암거 기초면으로부터 3.0m이며, 토압계의 위치가 뒷채움 표면에서 40cm 아래의 위치에 있는 경우이다. 오른쪽 그림 8(d), (e), (f)의 경우는 동일 지점에서 성토고가 3.6m이고 토압계의 위치가 표면아래 100cm 위치할 때의 측정 결과이다.

그림 8(a)와 (d)로부터, 동적 수직토압의 증분은 피토고가 40cm인 그림 8(a)의 A 지역에서 약 230 kN/m^2 의 최대 동적 수직토압이 발생하는 것을 알 수 있다. 또한 뒷채움부의 높이가 증가함에 따라 수직 전달응력도 작아져 피토고 100cm인 그림 8(d)에서 증분 토압은 정적인 증분을 포함하여 150 kN/m^2 정도의 값을 나타내고 있다. 이것으로부터 피토고가 증가함에 따라 다짐에 의해 발생하는 동적하중의 분산효과를 확인할 수 있었다. 이때 증가하는 정적토압의 증분은 $22\sim 27\text{ kN/m}^2$ 의 범위에 있으나, 단위체적 중량을 고려하면 정적인 증가량은 약 $12\sim 13\text{ kN/m}^3$ 의 범위에 있어 약 2배의 값을 나타내고 있다. 이는 동적 다짐에 의한 토압 증가분의 일부가 잔류하고 있는 영향으로 판단된다. 또한 그림 8(b)와 (e)로부터 피토고에 따라 롤러의 진행방향에 의해 증가하는 하중의 형상도 크게 상이하였다. 피토고가 상대적으로 낮은 지역 A는 지역 C에 비하여 폭이 작은 피크형상을

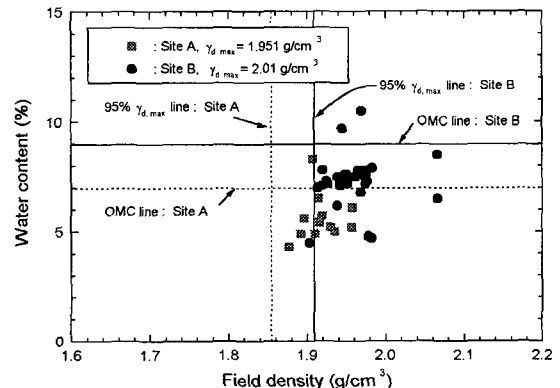


그림 7. 현장밀도-함수량 관계(노상토구간)

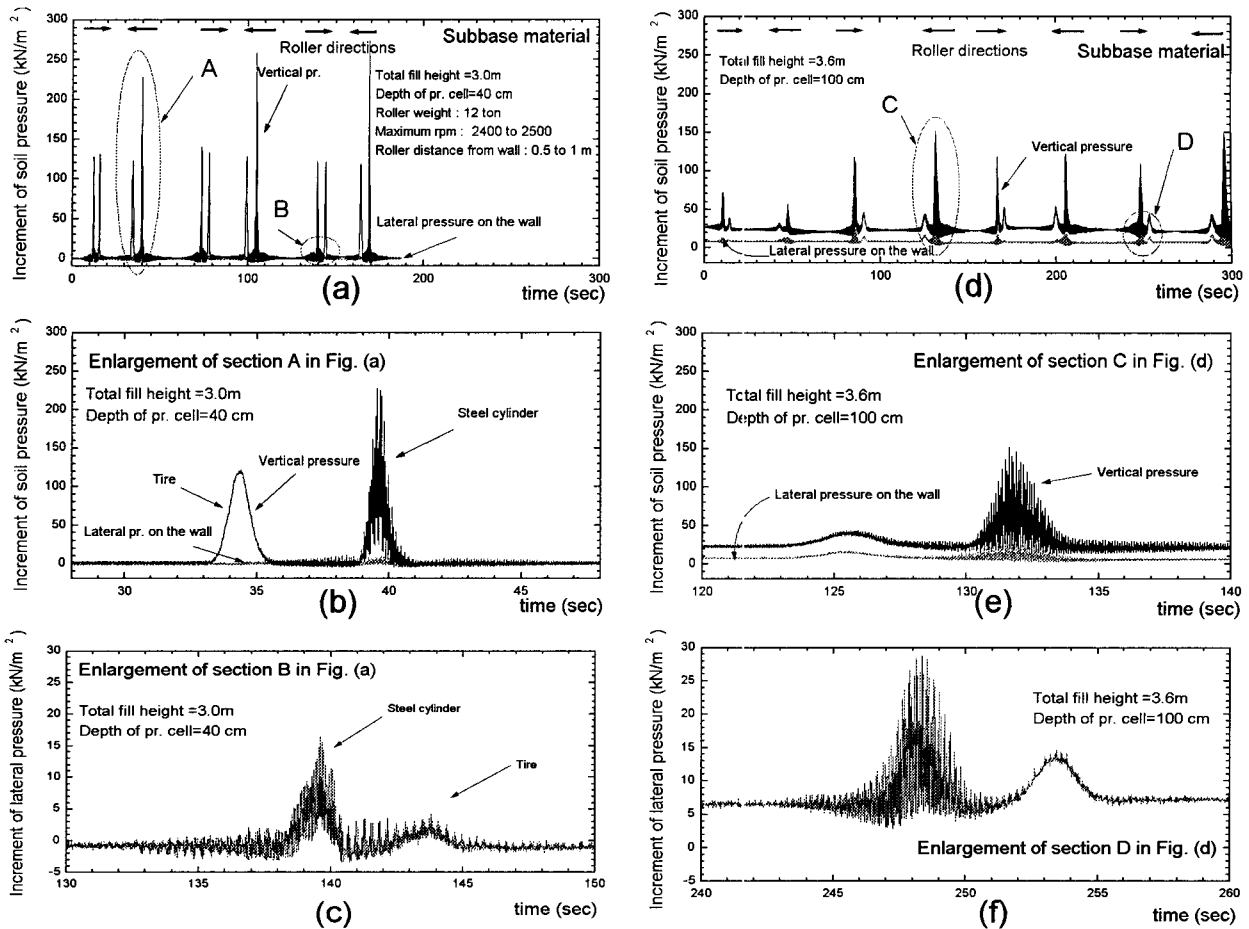


그림 8. 보조기층재의 동적토압 (Site A)

나타내고 있다. 이는 진행하중에 의한 하중벡터의 영향으로 이해할 수 있다. 즉, 이 하중 벡터의 영향은 피토고가 커짐에 의해 비교적 먼 곳까지 동적하중의 영향 범위에 들게 되므로 롤러의 진행에 의한 차이가 작아지게 되는 것을 알 수 있다(지역 C와 D). 이 현상은 각 롤러의 진행 주기가 길어지는 것으로도 확인 할 수 있다.

한편 동적수평토압은 그림 8(c)에서 17 kN/m² 정도 증가하였으나, 피토고가 깊어져도(그림 8(f)) 20 kN/m²의 값을 나타내고 있어 오히려 증가하고 있었다. 이것으로부터 피토고 증가에 따른 동적 수직토압과 동적 수평토압의 변동은 상이한 변화 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이때 뒷채움 증가에 의한 정적 토압계수 ΔK_{st} ($=\Delta \sigma_{h, residual} / \Delta \sigma_{v, residual} = 7 \text{ kN/m}^2 / 22 \text{ kN/m}^2$)는 약 0.3의 값을 나타내고 있었다.

4.2.2 재료특성과 다짐거리에 따른 다짐토압

동일 깊이에서의 다른 성토재료인 선택층재와 노상재료를 사용하여 다짐작업시의 발생 다짐토압을 그림

9에 나타내었다. 이 경우에는 선택층 재료를 사용하고 일반적인 뒷채움공에 의한 방법으로 실시하여 특별한 충격 완화층을 설치하지 않았으며, 대체재료인 노상재료를 사용하는 경우에는 충격완화층으로 Type B의 재료를 10cm 두께로 벽면에 부착하였다.

결과로부터 뒷채움재료와 롤러의 벽면으로부터의 거리에 의해 동적으로 발생하는 동적 수직 및 수평하중의 크기는 크게 영향을 받고 있음을 알 수 있다(그림 9(a), (b), (d), (e)). 즉, 동일조건에서 동적 수직하중의 경우는 노상재료를 사용한 경우가 SB-1재를 사용한 경우 보다 약 1/2의 값을 나타내고 있었다. 한편 동적 수평토압의 경우 노상재료와 충격완화층으로 Type B 10cm를 사용한 경우인 그림 9(f)가 SB-1을 사용하고 충격완화재 Type B를 사용하지 않은 조건인 그림 9(c)의 수평토압 보다 약 1/3인 값인 6kN/m²의 값을 나타내고 있었다.

4.2.3 충격완화재 효과

그림 10과 그림 11은 다짐장비로서 11톤 총중량의 최

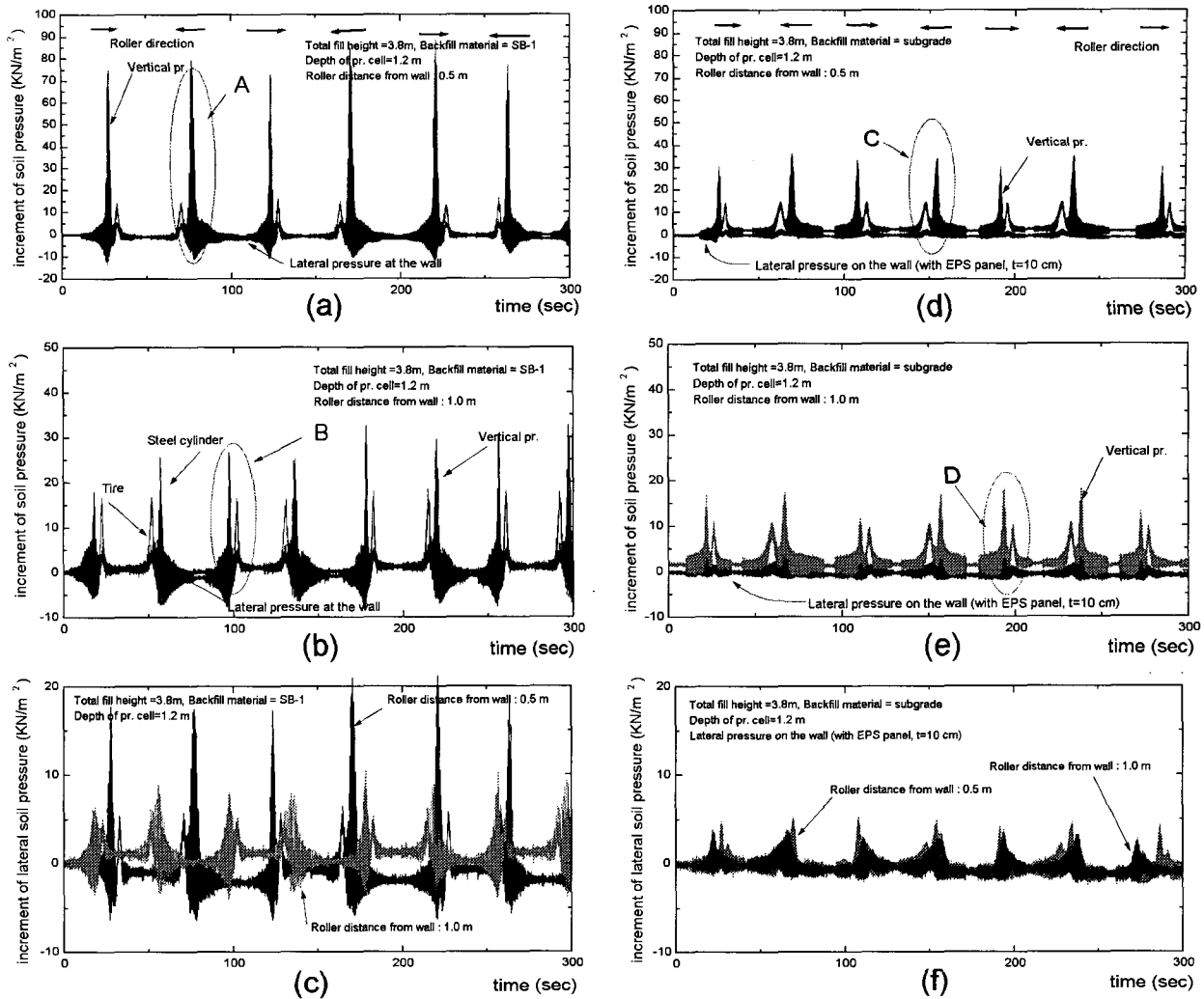


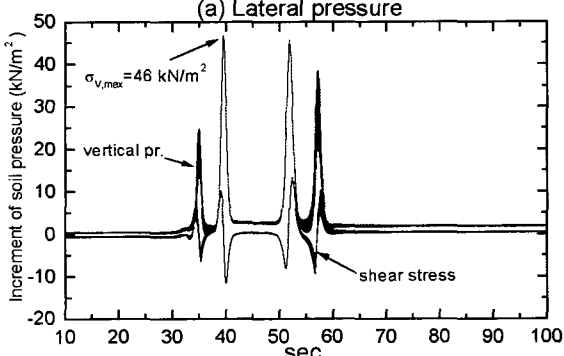
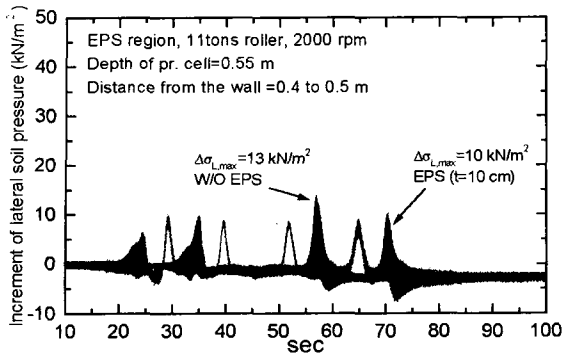
그림 9. 보조기층재와 노상재의 동적토압 (Site A)

대 가진 주파수가 2000rpm 인 장비를 사용하여 충격완화재별 성능 비교 분석을 위하여 실시한 다짐시험 결과이다. 각 계측 결과는 1000Hz의 주기로 데이터를 획득하였다.

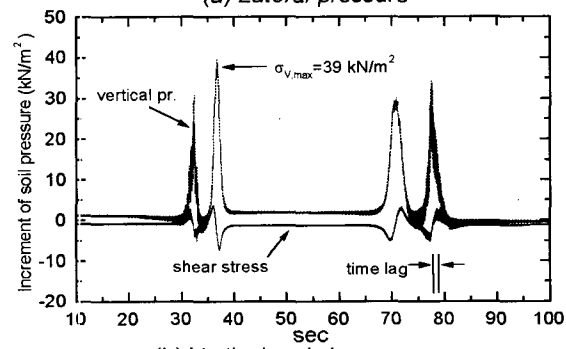
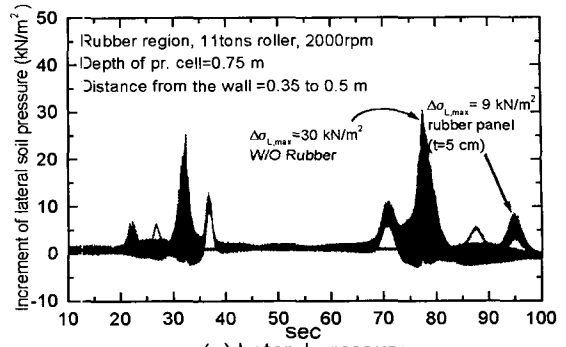
그림 10은 충격완화재 Type B를 10cm 두께로 사용한 경우이다. 토압 측정위치가 깊이 0.55m인 경우의 그림 10(a)로부터 충격완화재 Type B의 효과가 동적 수평토압에 대하여 약 23% ($= (13 - 10) / 13$) 정도의 감소가 있음을 알 수 있다. 또한 충격완화재 설치부와 충격완화재가 설치되지 않은 곳의 피크점이 다르게 나타나는 것은 토압계의 설치위치가 수평적으로 6m 떨어져 있기 때문이다. 따라서 약 50cm/sec ($\approx 600\text{cm} / 11\text{sec}$)의 속도로 다짐롤러가 진행하는 것을 알 수 있다. 충격완화재가 설치되지 않은 곳과 같은 선상에 설치한 수직토압의 경우에는 동일한 지점에서 피크 값은 나타내나 집중하중으

로 정적에 가까운 타이어부위에서 최대 값을 나타내는 것이 특이하다. 그림 11은 충격완화재 Type A가 5cm 두께로 설치한 곳과 설치되지 않은 곳의 수평토압 및 수직토압과 전단발생능력을 나타낸 것이다. 충격완화재가 설치되지 않은 경우의 최대 다짐수직토압은 39kN/m^2 이며 동적 수평토압은 30kN/m^2 으로 거의 $\Delta K_{\text{dyn}} (= \Delta \sigma_h / \Delta \sigma_v)$ 값이 0.78로 정지토압계수의 값에 크게 상회하고 있으며, 이로부터 다짐시 지중응력은 그림 12와 같은 응력경로(점 A → B → C)를 가지고 이동하고 있다고 예상할 수 있다. 여기서 K_0 는 정지토압계수이며, $\overline{K_0}$ 는 벽체 고정조건의 동적토압계수이다. 한편, 충격완화재 Type A의 동적 수평토압 감소효과는 충격완화재가 없는 경우에 비하여 약 70% ($= (30 - 9) / 30$)로 Type B 보다 현저하게 감소됨을 알 수 있다.

그림 10(b)와 그림 11(b)로부터 지중과 벽체에 발생하



(a) Lateral pressure
(b) Vertical and shear pressure
그림 10. 노상재 동적토압(Type B)



(a) Lateral pressure
(b) Vertical and shear pressure
그림 11. 노상재 동적토압(Type A)

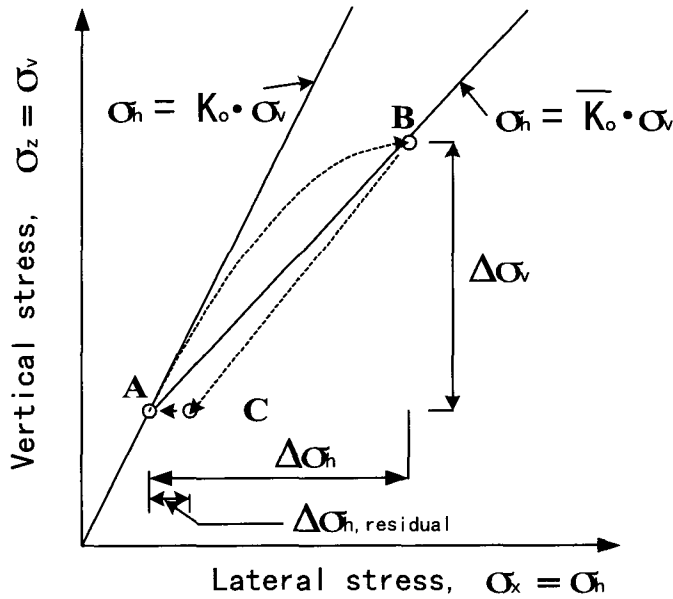


그림 12. 다짐시 지중응력 경로 개념도

는 수직토압과 전단응력은 하중벡터의 영향으로 1초 내 외의 시간지체현상이 발생하고 있으며, 수직토압의 피크 최대값은 진동롤러의 타이어부가 재하하는 때에 발생하고 있으나, 벽체에 발생하는 수평토압의 경우는 철륵에 의한 진동력에서 최대 피크 값이 발생하고 있다. 이것으로부터 구조물에 발생하는 균열 등에 대한 검토

를 위해서는 진동력에 대한 동적특성이 중요하다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

고속도로 건설시 노상토 재료를 뒷채움재료로서 적

용할 경우, 콘크리트 구조물에 대한 균열 등의 구조적 손상을 보호하기 위한 충격완화재 사용에 의한 동적토압에 미치는 영향을 현장계측을 중심으로 분석하였다. 본 연구의 주요결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 현장관리시험으로 현장밀도, 급속함수량, 평판재하 시험을 실시한 결과, 현장밀도는 최대건조다짐밀도의 95~100%사이이고, 지지력 K_{30} 은 15kg/cm^3 이상을 나타내고 있으며, 이 때의 현장 함수량은 최적함수비보다 약 2% 작은 값을 나타내고 있다. 이것으로 시공성이 불량한 뒷채움부 시공시에 충격완화재를 사용함에 의해 충분히 노상토의 관리기준을 확보 할 수 있음을 확인 할 수 있었다.
- (2) 대형 진동다짐 장비(총중량 11~12톤)를 사용하여 강진(2000~2400 rpm)으로 뒷채움 다짐작업을 실시할 경우의 콘크리트 암거 뒷채움부의 발생 동적토압을 계측한 결과, 다짐하중에 의한 동적 수직토압과 수평토압의 크기는 다짐재료, 다짐깊이, 다짐장비의 이격거리 등에 의존하고 있었다.
- (3) 동적 수직토압의 증분은 피토키가 증가함에 따라 수직 전달응력도 작아져 다짐에 의해 발생하는 동적하중의 분산효과를 확인할 수 있었다. 또한 다짐후 증가하는 정적 수직토압의 증분은 단위체적 중량을 고려한 정적인 증가량에 비해 약 2배의 값을 나타내고 있어 동적 다짐에 의한 토압 증가분의 일부가 다짐 후에 잔류하고 있는 영향으로 판단된다.
- (4) 충격완화재 Type A(고무재, $t=5\text{cm}$)와 Type B(EPS재, $t=10\text{cm}$)의 성능 비교를 위한 계측결과 동적수평토압의 경우 Type A는 약 1/3~1/5로 감소하였으며, Type B의 경우는 4/5 정도로 감소하는 효과를 나타내고 있어 Type A의 경우가 구조물에 작용하는 동적 수평토압의 경감효과가 탁월하였다. 이는 두 재료 자체의 경우는 탄성체로 고려 할 수 있으나, 고무재의 경우 고무조각내 간극의 존재로 인한 감쇠특성이 큰 영향으로 판단된다.
- (5) 수평, 수직토압의 피크 발생위치와 전달응력의 피크 사이에 1초 이상의 시간지체가 발생하고 있음을 알 수 있으며, 전달파의 진행속도가 재하하중 벡터의 방향성에 의해 더 빠르게 전달된 것으로 판단된다.

지속적인 장기계측을 시행하여 다짐방법과 상부하중에 의한 암거 구조물에 미치는 영향을 분석할 계획에 있다.

기 호

- ΔK_{dyn} : 동적하중에 의한 증가토압 계수($=\Delta \sigma_h / \Delta \sigma_v$)
- K_{30} : 평판재하시험($\psi=30\text{cm}$)에 의한 지지력도
- E_{dyn} : 동적 재하시험에 의한 탄성계수
- ΔK_{st} : 정적 토압계수로 다짐 후 증가 토압계수
($=\Delta \sigma_{h, residual} / \Delta \sigma_{v, residual}$)
- K_o : 정지토압계수
- $\overline{K_o}$: 벽체 고정조건의 동적토압계수

참 고 문 헌

1. 노한성, 최영철(2000), "지중구조물 뒷채움재료 선정기준 수립", 한국도로공사, pp.119~139.
2. 노한성, 최영철, 이현중, 백중은, 이지영(2001), "수치해석에 의한 충격완화재의 동적토압에 미치는 영향", 대한토목학회 논문집 제21권, 제4-C호, pp.397~407.
3. 이상덕(1998), "토질역학", 도서출판 세론, pp.170~183.
4. 이석근, 노한성, 권기철, 이광호, 김영진(1992), "아스팔트 포장 구조해석연구(II)", 한국도로공사, 연구보고서.
5. 한국도로공사(1994), "고속도로 암거표준도", 한국도로공사, pp. 92~94.
6. 한국도로공사(1998), "고속도로 전문시방서(토목편)", pp. 3-13~3-15, pp.4-14~4-29, pp.9-1~9-9.
7. Carder, D.R., Pocock, R.G. and Murray, R. T.(1977), "Experimental Retaining Wall Facility-Lateral stress measurements with Sand Backfill", Transport and Road Research Laboratory Report No. LR 766, Crowthorne, England.
8. Carder, D.R., Murray, R.T. and Krawczyk, J.V.(1980), "Earth Pressure against an Experimental Retaining Wall Backfilled with Silty Clay", Transport and Road Research Laboratory Report No. LR 946, Crowthorne, England.
9. Duncan, J.M. and Seed, R.B.(1986), "Compaction-Induced Earth Pressure under K_0 -Conditions", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.112, No.1, pp.1~22.
10. Duncan, J.M., Williams, G.W., Sehn, A.L. and Seed, R.B. (1992), "Estimation Earth Pressure Due to Compaction", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.118, No.12, pp.1833~1847.
11. Roh, H.S., Choi, Y.C. and Kim, S.H.(2000a), "Earth Pressure on Culvert During Compaction of Backfill", *GeoEng 2000*, International Society for Rock Mechanics, Melbourne, Australia, No.UW0775, Vol.2.
12. Roh, H.S., Choi, Y.C. and Kim, S.H.(2000b), "The Dynamic Earth Pressure Characteristics of Box Culverts During Compaction of Backfill", *10th REAAA Conference*, Tokyo, Japan, No.060.

(접수일자 2001. 9. 7, 심사완료일 2001. 11. 24)