

수치해석을 통한 교대 뒤택움부의 침하 개선 방안 연구

Study for minimizing the settlement of abutment-backfill-system by numerical analysis

김정섭¹⁾, 김성환²⁾, 한진태³⁾, 김명모⁴⁾

Kim, Jeong Seop · Kim, Seong Hwan · Han, Jin Tae · Kim, Myoung Mo

1. 서 론

교량의 교대와 도로의 성토부를 연결하는 역할을 하는 교대 뒤택움부는 침하가 거의 발생하지 않는 교대와 장기침하가 발생하는 성토부 사이에 존재하므로 부등침하가 발생할 가능성이 높다. 이러한 교대 뒤택움부의 부등침하는 교량 접속슬래브의 단차를 유발시켜 유지관리에 필요한 시간과 비용을 증가시킬 뿐만 아니라, 운전자와 유지관리 작업자의 위험도 증가, 도로 쾌적성의 저하, 자동차 손상 등의 문제를 발생시킨다. 시공적인 관점에서 보면, 현재 교대 뒤택움부는 공간이 협소하여 대형 다짐장비의 접근이 어렵고, 다짐 시 진동에 의한 구조물 손상이 유발될 가능성이 높아 충분한 다짐이 어렵다. 뿐만 아니라, 기초지반의 침하, 침식에 의한 뒤택움재의 손실, 부적당한 시공방법, 계절에 따른 온도변화, 과도한 차량하중 등의 여러 요인들이 복합적으로 작용하고 있어 고속도로 공사 시에 취약 공정으로 분류되고 있다. 또한 교대 뒤택움재로 주로 사용되고 있는 보조기층급 재료인 SB-1은 일반 성토 구간과 뒤택움부의 이질 재료 시공으로 인해 공사 효율성의 감소, 고가의 뒤택움 재료 비용의 소요, 공급의 어려움 등의 문제점을 가지고 있다.

본 연구에서는 교대 뒷면 형상의 직선화, SB-1을 대체하는 뒤택움 재료로 양질토 또는 암버럭 적용, 강성 보강층 설치를 통해 위 문제점을 개선하고자 한다. 수치 해석을 통해서 교대 뒤택움부 침하의 거동을 파악하고 개선된 모델의 성능을 분석하였다.

2. 교대 뒤택움부의 침하 원인

교대 뒤택움부의 침하를 일으키는 요인은 (1) 계절에 따른 온도 변화 (2) 침식에 의한 성토재의 손실 (3) 부적당한 시공방법 (이음 불량, 배수 및 다짐 불량, 부적당한 성토재 사용) (4) 기초지반의 침하 (5) 과도한 차량하중 등으로 나눌 수 있다. 이러한 요인들은 복합적으로 상호작용하며 형성된다. 또한, 교량의 횡방향 변위 및 성토부의 침하는 교대 뒤택움부의 부등침하를 일으키는 중요한 요인으로 작용한다(Schaefer and Koch 1992; Wahls 1990). 일체식 교대 교량의 경우, 상부구조와 교대가 함께 움직이기 때문에 계절에 따른 온도변화의 영향으로 교대의 횡방향 변위가 발생하여 뒤택움부의 간극이 형성된다. 이러한 원인으로 인해 사계절이 뚜렷한 지역에서는 조인트 교량이 주로 사용되고 있다. 온도 변화 영향과 더불어 성토부의 침하는 뒤택움부 침하 형성의 주요한 요소이며(Wahls 1990), 성토부 침하는 기초 지반의 침하, 뒤택움재의 다짐 불량, 배수 불량, 침식으로 인한 채움재 소실에 의해 발생한다.

3. 수치해석

-
- 1) 서울대학교 건설환경공학부 지반연구실 석사과정 · E-mail: js0911@hotmail.com
 - 2) 정회원 · 서울대학교 건설환경공학부 지반연구실 박사과정 · E-mail: shwan@hotmail.com
 - 3) 정회원 · 서울대학교 건설환경공학부 박사 후 연구원 · 공학박사 · E-mail: jimmy76@snu.ac.kr
 - 4) 정회원 · 서울대학교 건설환경공학부 정교수 · 공학박사 · E-mail: geotech@snu.ac.kr

수치해석은 실내모형실험 결과와의 비교를 통해 검증한 후, 현행 시공되는 교대와 동일한 크기의 단면에 대한 교대 뒤택음부의 거동을 분석하기 위하여 수행되었으며, 유한차분 해석프로그램인 FLAC 2D 4.0을 사용하였다.

3.1 해석단면과 해석조건

해석대상은 교대, 뒤택음부, 성토부이며, 해석단면은 그림 1과 같다. 교대의 높이는 7m이며, 단면의 길이는 20m이다. 모든 CASE에 대해 정해석을 실시했으며, 사용된 물성은 표 1과 같다. SB-1은 3가지 물성에 대하여 해석하였다. 하중은 도로교 설계기준에 따라 집중하중은 접속슬래브의 중앙에서 DB-24하중의 최대 후륜하중인 9.6 tonf을 작용시켰으며, 등분포하중은 DL-24하중인 1.27 tonf/m를 작용시켰다. 해석은 하중, 뒤택음재료, 교대 단면형상의 단순화, 강성보강층의 위치와 길이, 다짐도에 따라 표 2와 같이 총 21개의 CASE를 수행하였다.

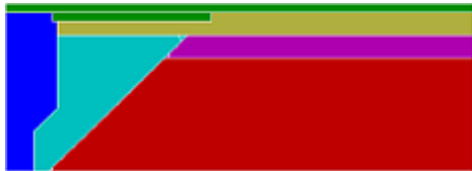


그림 1. 수치해석에 사용된 해석단면

표 1. 수치해석에 사용된 입력값

구분	다짐도	단위중량	변형계수	프와송비	
뒤택음부	SB-1(1)	95%	2.09	44MPa	0.3
	SB-1(2)	95%	2.09	65MPa	0.3
	SB-1(3)	95%	2.09	86MPa	0.3
	양질토(SM)	95%	1.99	30MPa	0.3
	암버력(GP)	95%	2.19	100MPa	0.3
성토부	노상	95%	1.99	30MPa	0.3
	노체	90%	1.89	22.8MPa	0.3

표 2. 해석 CASE별 조건

CASE	하중	뒤택음재료	단면형상	뒤택음부 다짐도	CASE	하중	뒤택음재료	단면형상	뒤택음부 다짐도	강성보강층
1	등분포	SB-1(1)	원형	95%	12	등분포	양질토	원형	90%	-
2	등분포	SB-1(2)	원형	95%	13	등분포	SB-1(2)	단순화	95%	-
3	등분포	SB-1(3)	원형	95%	14	집중	SB-1(2)	단순화	95%	
4	등분포	양질토	원형	95%	15	집중	SB-1(2)	원형	95%	길이6m, 깊이3m
5	등분포	암버력	원형	95%	16	집중	SB-1(2)	원형	95%	길이6m, 깊이4m
6	집중	SB-1(1)	원형	95%	17	집중	SB-1(2)	원형	95%	길이6m, 깊이5m
7	집중	SB-1(2)	원형	95%	18	집중	SB-1(2)	원형	95%	길이2m, 깊이3m
8	집중	SB-1(3)	원형	95%	19	집중	SB-1(2)	원형	95%	길이4m, 깊이3m
9	집중	양질토	원형	95%	20	집중	SB-1(2)	원형	95%	길이8m, 깊이3m
10	집중	암버력	원형	95%	21	집중	SB-1(2)	원형	95%	길이8m, 깊이4m
11	등분포	양질토	원형	100%						

3.2 수치해석에 대한 검증

실내모형실험의 조건과 동일하게 하여 수치 해석을 수행하였으며, 실내모형실험의 결과와 비교하여 수치 해석 모델을 검증하였다(김성환 외 2007). 뒤택음재료에 따른 최대 침하량의 변화를 관측한 결과, 실내모형실험과 수치해석 결과 모두 암버력의 침하량이 가장 작게 나타났다. 양질토의 경우 실내모형실험에서는 SB-1에 비해 7.8 % 감소한 반면 수치해석에서는 평균 0.6 % 증가하였다. 수치해석 결과가 실내모형실험 결과와 동일한 경향성을 나타내므로, 실제 교대에 대한 적용이 가능하다고 판단된다.

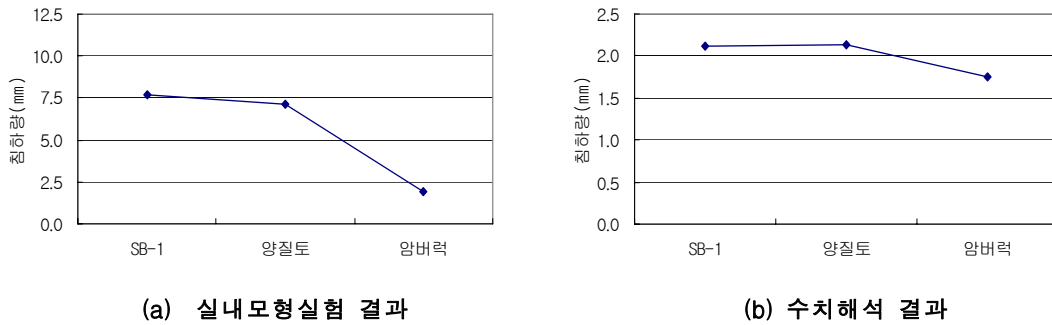


그림 2. 실험모형실험과 수치해석 결과 비교

3.3 해석결과

그림 3은 각 CASE별 최대 침하량을 나타낸 것이다.

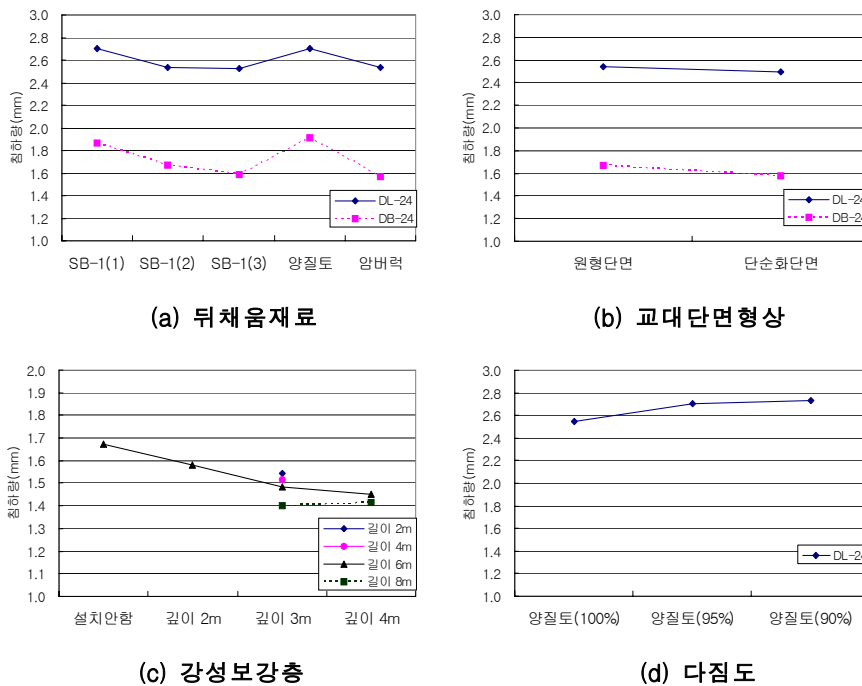


그림 3. 각 CASE별 최대침하량

(1) 뒤채움재료

그림 3-(a)와 같이 집중하중 작용 시 등분포 하중을 작용한 경우 보다 최대 침하량이 평균 33.9% 감소하였다. 또한 뒤채움재에 따른 침하량은 양질토(SM)의 경우, SB-1을 사용한 경우 보다 최대 침하량이 4.4% 증가한 반면 암반력(GP)의 경우 최대침하량이 2.2% 감소하였다. 양질토의 경우 암반력과 SB-1 보다 변형계수가 크기 때문에 상대적인 침하량이 크게 나타난 것으로 판단된다. 실제 양질토의 뒤채움시 시공 초기 1년 정도의 침하량이 SB-1 뒤채움에 비해 크게 나타나고 있으나 침하량이 수렴되는 경향을 보이며 시공 공정상 차량공용 1년 이전에 뒤채움이 완료되므로 암반력과 함께 양질토를 교대 뒤채움에 적용하는 것 역시 가능할 것으로 판단된다.

(2) 교대단면형상

그림 3-(b)처럼 교대 뒷면을 직선화하여 단순화한 경우 교대 뒷면에 요철이 있는 경우보다 침하량이 평균 2.5 % 감소하였다. 교대의 단면이 단순화된 경우, 성토부에 비해 상대적으로 변형계수가 큰 뒤채움부의 단면이 커지게 되어 침하량이 감소한 것으로 보인다. 교대 뒷면을 직선화함으로써 실제 현장에서는 다짐과 시공성의 향상을 기대할 수 있으므로 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

(3) 강성보강층

그림 3-(c)와 같이 강성보강층을 설치할 경우, 강성보강층의 길이는 6m~8m, 깊이는 3~4m가 가장 적당한 것으로 나타났다. 이 경우 침하량을 최대 16.2% 감소시키는 효과를 나타냈다. 그러므로 강성보강층을 설치함으로써 교대 뒤채움부의 부등침하를 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

(4) 다짐도

그림 3-(d)는 다짐도가 감소할수록 최대침하량은 증가하는 경향을 보여준다. 다짐도 100%의 최대침하량에 비하여, 다짐도 95%일 때에는 6.0% 증가하였으며 다짐도가 90%로 감소하면 7.1% 증가하였다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 교통 하중에 의한 교대 뒤채움부 침하 문제를 개선하기 위해 수치해석을 수행하였다. 교대의 형상, 뒤채움 재료의 종류, 다짐도, 강성 보강층의 설치 여부 등에 따른 교대 뒤채움부의 침하 양상을 분석하여 다음의 결과를 얻었다.

1. 교대 뒤채움 재료인 SB-1을 양질토(SM)와 암버럭(GP)으로 대체해서 수치해석을 수행한 결과, 양질토의 경우 평균 4.4% 증가한 반면 암버럭의 경우 평균 2.2% 감소하였다. 또한 교대 단면을 단순화한 경우 최대 침하량이 평균 2.5% 감소하였다.
2. 강성보강층을 설치한 경우 침하량을 최대 16.2% 감소시키는 효과를 나타냈다. 또한 강성보강층의 길이는 6m~8m, 깊이는 3~4m가 가장 적당한 것으로 나타났다. 또한 다짐도가 감소할수록 최대침하량은 증가하는 경향이 나타났다.
3. 위의 결과로부터 뒤채움재를 암버럭과 양질토로 변경하고 강성보강층을 설치하는 뒤채움 시공이 구조적 안정성 및 침하 측면에서 사용가능하다고 판단된다. 또한 교대 단면을 단순화함으로써 다짐과 시공성의 향상을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국도로공사 및 서울대학교 SIR BK21 (안전하고 지속가능한 사회기반건설)사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김태수, 최영철, 김대일, 김명환, 최훈석 (2005), 교대 뒤채움부 재질개선 및 교대설계단면 최적화 연구, 한국도로공사 도로교통기술원
2. 김성환, 김성섭, 최영철, 한진태, 고영현, 김명모 (2007), 실내모형실험을 통한 교대 뒤채움부의 침하 개선 방안 연구, 한국지반공학회
3. Schaefer, V. R. and J. C. Koch (November 1992), "Void Development under Bridge Approaches," Report No. SD90-03, South Dakota Department of Transportation, Pierre, p. 147.
4. Wahls, H. E. (July 1990), "NCHRP Synthesis of Highway Practice 159: Design and Construction of Bridge Approaches," Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.