

耐震性 (시멘트改良 補強土) 橋臺의 實用化*1

번역자 : 양 태 선 *2

1. 시작하며

교대와 성토의 접속부에는 지진시에 성토의 흔들림으로 인한 침하에 의해 주행안전상의 문제가 발생하기 쉽다. 또, 평상시도 성토의 압축침하에 의해 노반면에 단차가 발생하거나 노상의 강도 급변에 따른 궤도보수의 증가와 승차감의 악화등이 발생하기 쉽다. 따라서, 철도에서는, 양질의 성토재료인 입도쇄석을 사용하여 충분히 다짐하는 “어프로치 블럭공”을 적용하는 것으로 이러한 문제에 대처해 왔다 (그림 1). 그러나 북해도 남서충 지진과 효고현 남부지진의 경험에서 이 대책은 상시와 중소규모의 지진에는 유효하지만 L2 지진동을 대상으로 하는 경우에는 부적당한 대책공이라는 사실이 판명 되었다. 특히, 최근 정비된 신간선에는 흉노반에도 슬라브케도를 사용하는 경우가 많아 근본적으로 내진성을 향상한 교대 대책공의 개발이 요구되고 있다.

그래서, 대지진시의 교대배면부의 문제를 해소하는 방법으로서 『내진성(시멘트개량보강토) 교대』를

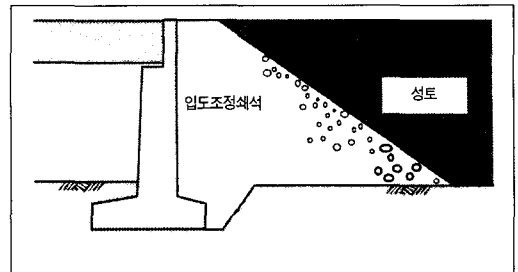


그림 1. 어프로치 블럭공

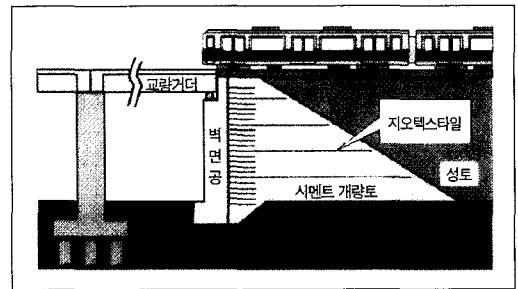


그림 2. 내진성 교대의 개요

개발하였다. 본 교대의 개발은 철도종합연구소와 철도운수기구가 공동으로 1996년부터 세심하고 보다 장기간에 걸쳐 실시한 연구성과이며, 그 개요에 대해서는 토목기술 2002년 2월호에서도 소개되었다.

이번회는 개발한 신형 교대를, 실제로 큐슈 신간선에서 건설하고 철도에서의 표준교대로서 실용화라는 목표를 달성하였으므로 그 개요에 대해 소개한다.

*1 원저자 및 출처 : 舘山勝(財) 鐵道總合技術研究所 構造物技術研究部 基礎土構造研究室) 외 2인 일본토목기술 Vol. 59, No.11, 2004. 11

*2 김포대학 환경토목과 교수(sj98@kimpo.ac.kr)

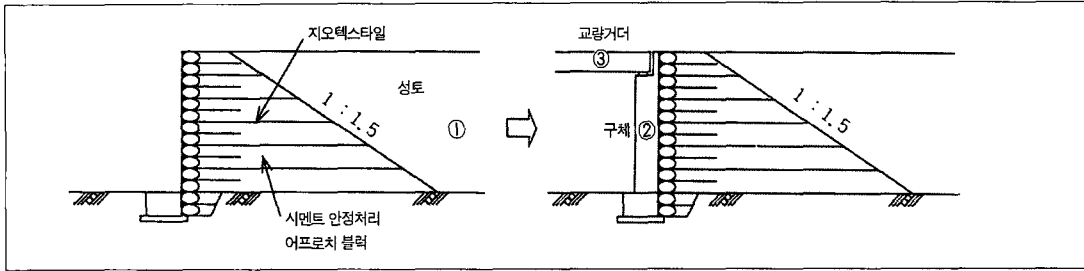


그림 3. 내진성(시멘트 개량보강토) 교대의 시공 순서

2. 내진성 교대의 개요

그림 2에 내진성(시멘트개량보강토) 교대의 개요를 그림 3에 시공순서를 나타내었다. 본 교대는 시멘트 안정 처리를 실시한 입도조정쇄석을 성토체로 해서 보강토공법에 의해 어프로치블럭부 및 성토부를 시공한다(수순 ①). 그후, 지반의 변형을 구속한 후 구체 콘크리트를 배면부와 밀착성을 높이기 위해 표면형틀을 사용하지 않고 타설하고(수순 ②), 마지막에 거더를 설치하는(수순 ③) 것으로 구축한다.

또, 이러한 결과에 따르면 불규칙파 1,400gal의 가진에 대해서도 거의 변형되는 것은 거의 없고(교대산류 수평변위는 1~3mm 정도), 같은 조건에서 실시한 무대책 교대(680gal에서 파괴)와 비교하면 내진성은 매우 높다는 사실이 확인되었다.

3. 내진성 교대의 특징

표 1에 종래 RC교대와 금속 개발한 시멘트 개량보강토 교대의 저항 메커니즘을 나타내었다. 종래 교대는 지진시 거더등의 관성력과 배면성토에서 발생하는 지진시 토압등에 대해서 교대자중과 기초의 지반반력으로 저항하는 이른바 『항토압구조물』이었다.

이에 대해 제안하는 교대는 배면의 어프로치 블럭부를 시멘트 개량 보강토 구조로 하여 자립성을 높이고 지오텍스타일을 끼워 교대구체와 연결하는 구조이다. 이에 따라 지진시 토압을 교대에 작용시키지 않을뿐만 아니라 역으로 시멘트개량 보강토체가 교대구체를 지지하는 구조적인 특징이 있다. 즉, 교대배면토를 적으로 하지않고, 아군으로서 효과적으로 이용함에 따라 구체단면과 기초처리를 합리화 할

표 1. 신형교대와 종래교대의 저항메카니즘 비교

구분	신형(소일시멘트 보강토) 교대	종래(역T형식) 교대
개략 구조		
특징	지진시, 지오텍스타일을 끼워서 교대구체를 배면의 시멘트 개량체가 지지하는 구조이고 기초의 선단으로 응력집중이 작다.	지진시, 배면토에서의 지진시 토압을 교대구체가 지지하는 구조이며 기초의 선단에 응력집중이 크다

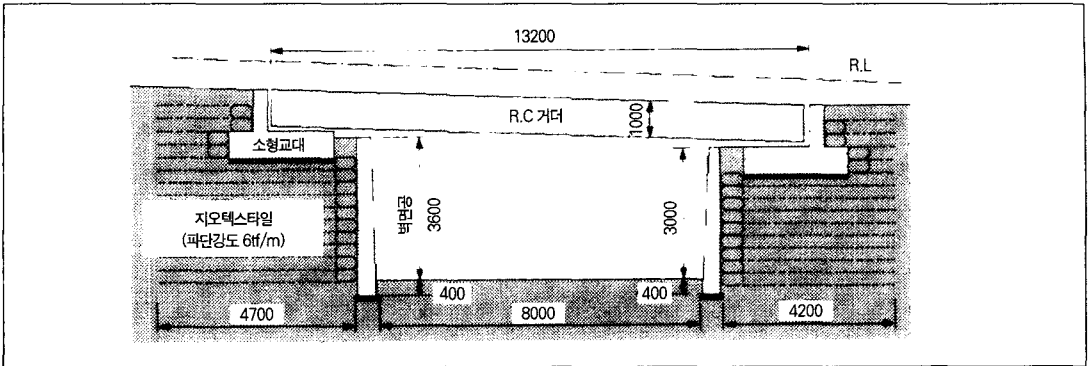


그림 4. 보강토 소교대의 적용예(서무지대선)

수 있는 구조상의 특징이 있다.

지금까지도, 보강토공법에 의해 교대를 구축하는 시도가 있었다. 예를들어 필자 등은 시멘트를 개량하지 않은 보강성토 위에 교대를 설치하는 『보강토 소교대』를 개발하고, 이미 철도교대로서 여러 곳에 건설되어 있다(그림 4). 그러나, 이 방법은 대지진이나 장대교량을 지지하는 경우 소교대의 안정과 변형등에 문제가 나타나기 때문에 거더길이가 15m정도 이상인경우로 한정한다. 이에 대해 개발한 『시멘트개량보강토교대』는, 지오텍스타일로 보강한 시멘트개량토와 교대구체를 연결한 구조이며 소교대를 사용하지 않고 거더를 구체에 직접 놓는 소교대의 안정성에 대한 문제는 없다. 또한 배면토를 시멘트개량보강토로 하여 그에따른 성토의 흔들림으로 인한 침하가 나타나지 않고, 지진시에 일시적으로 시멘트보강토가 손상한 경우에도 보강재에 의해 일체성을 유지하는 것이 가능하다. 이 때문에 장대교량과 대지진시에 대한 적용성이 향상된다.

그밖에 교대구체를 지오텍스타일 보강재로 여러 층에 지지하기 때문에 발생 단면력이 작아지고 종래 교대에 비해서 구체와 아칭이 차이가 크지 않다. 또 종래 RC교대는 교대시공후에 배면성토를 구축하기 때문에 연약 지반에는 측방유동의 영향에 대한 문제

등이 있었지만 신형교대는 배면 성토부를 먼저 시공해서 성토와 지반의 침하와 변형이 충분히 수습된 후에 교대구체의 콘크리트를 타설하는 순서로 구축되므로 그러한 문제도 발생하지 않는다. 게다가 시공면에서도 철도에 일반적으로 사용되는 보강성토(RRR)공법의 연장상에 구축하는 것이 가능하므로 새로운 교대임에도 불구하고 구조형식과 시공이 철도실무자가 받아들이기 쉽다는 것 등이 특징이 된다.

4. 내진성 교대의 설계

신형교대의 시공성, 내진성을 실증하는 것을 목적으로 구수 신간선 대오전 부근에서 실교대의 시공 및 수평재하시험이 계획되었다. 시공에 앞서 설계법을 제안해서 당 현장에 대한 실제 설계가 실시되었다.

철도에서 RC교대의 설계는 한계상태설계법을 근거로 한 내진설계가 되어지고 있다. 신형교대 설계에 있어서도 같은 방법에 의한 내진설계법을 제안하였다.

그림 5에 본 교대의 내진설계 모델을 나타내었다. 본 구조는 배면 시멘트개량 어프로치블럭과 교대가 보강재(지오텍스타일)스프링에 의해 연결된 복합구조체이다. 설계에 있어서, 교대 구체부와 시멘트 개

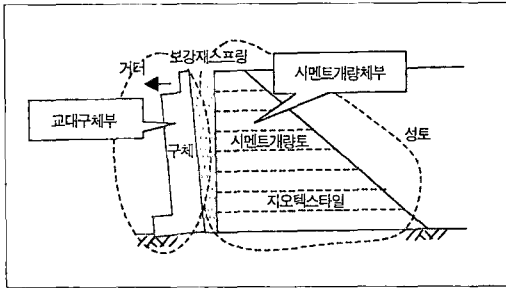


그림 5. 설계모델의 설명도

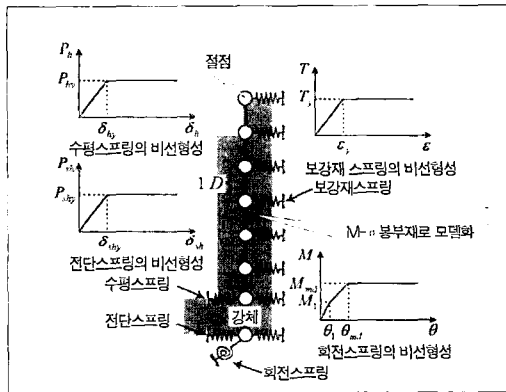


그림 6. 고대구체부의 설계 모델

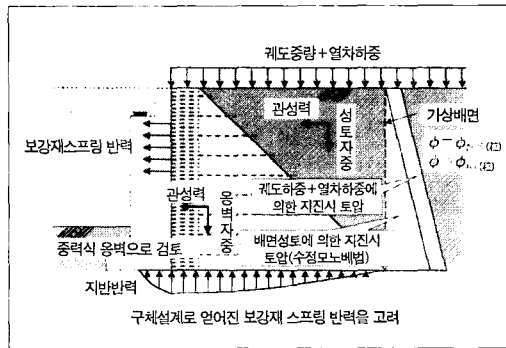


그림 7. 시멘트 개량부에 대한 지진시 적용

트 개량체의 안정성을 얻는 것을 전제로 하여 지진 시 토압은 작용시키지 않는 것으로 하였다. 그림 6에 표시한 것처럼 구체를 봉부재, 기초지반은 회전스프링 및 수평스프링, 보강재는 수평스프링으로 모델화하고 구체의 비선형성은 $M-\phi$ 모델, 보강재 스프링 및 기초지반 스프링은 bi-linear, tri-linear 모델로 하였다. 이 모델에 대해 실시하는 정적비선형 (Push-over) 해석은 얻어진 하중관계에서 에너지 법칙에 의해 응답치를 산정하고 부재의 파괴모드와 기초의 소성율을 내진표준에 근거하여 조사하는 것으로 하였다.

시멘트 개량부 설계에 작용하는 것으로는 그림 7의 고대구체부의 Push-over 해석에 의해 구해진 보강재 스프링반력, 시멘트 개량체 및 배면성토의 자중 및 지진관성력, 상재하중, 배면성토의 지진시 주동토압을 고려하는 것으로 하였다. 이런 외력에 대해서 그림 8과 같이 고결한 시멘트 개량체부를 중력식용벽으로 가정하고 L1지진동에 대해서는 발생(인장, 압축, 전단) 단면력이 설계내력 이내에 또 블록체 전체가 안전하다는 것을 L2지진동에 대해서는 뉴마크법에 의해 활동변형량을 산출해서 허용변형량 이내 있는 것을 조사하는 것으로 하였다.

그림 9에 당 현장에서의 신행식과 종래형식의 교대 설계단면 비교형식을 나타내었다. 그림에서 보강재(지오텍스타일) 설치분의 비용은 증가하지만 기초와 구체단면이 대폭 감소하기 때문에 종래형식에 비해서 약 20%의 공사비가 절감되며 변형성도 대폭 개선된다는 사실이 판명되었다.

량체부로 나누어 모델화하여 각각에 대하여 설계하는 것으로 하였다.

교대 구체부의 설계에 있어서 거더 및 교대구체의 자중과 관성력을 외력으로 하였다. 단, 별도로 시멘

5. 내진성 교대의 현장시공

현장시공은 그림 3의 순서로 실시되었다. 최초로

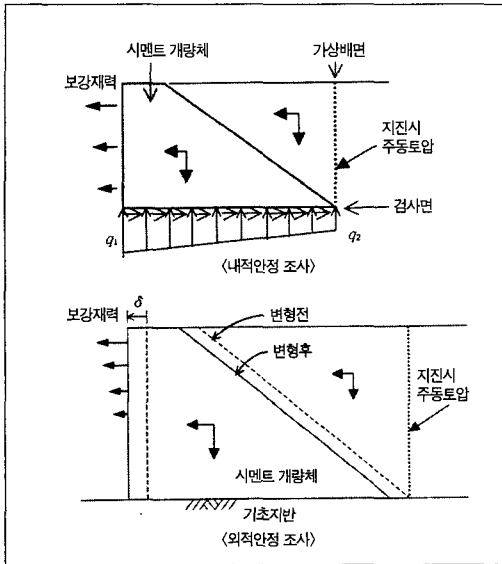


그림 8. 시멘트 개량부의 설계 모델

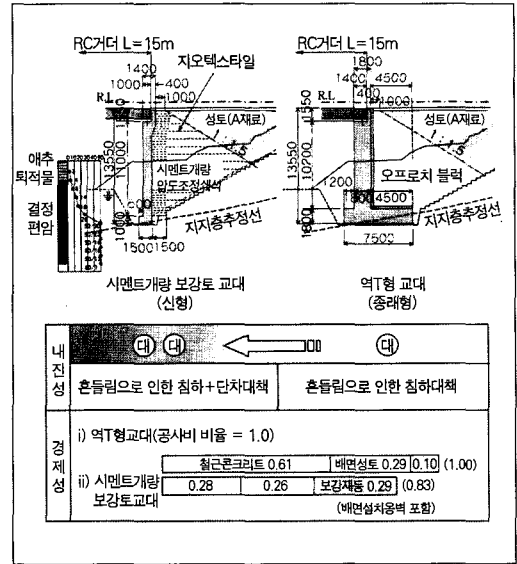


그림 9. 기존 교대와 단면, 경제성 비교

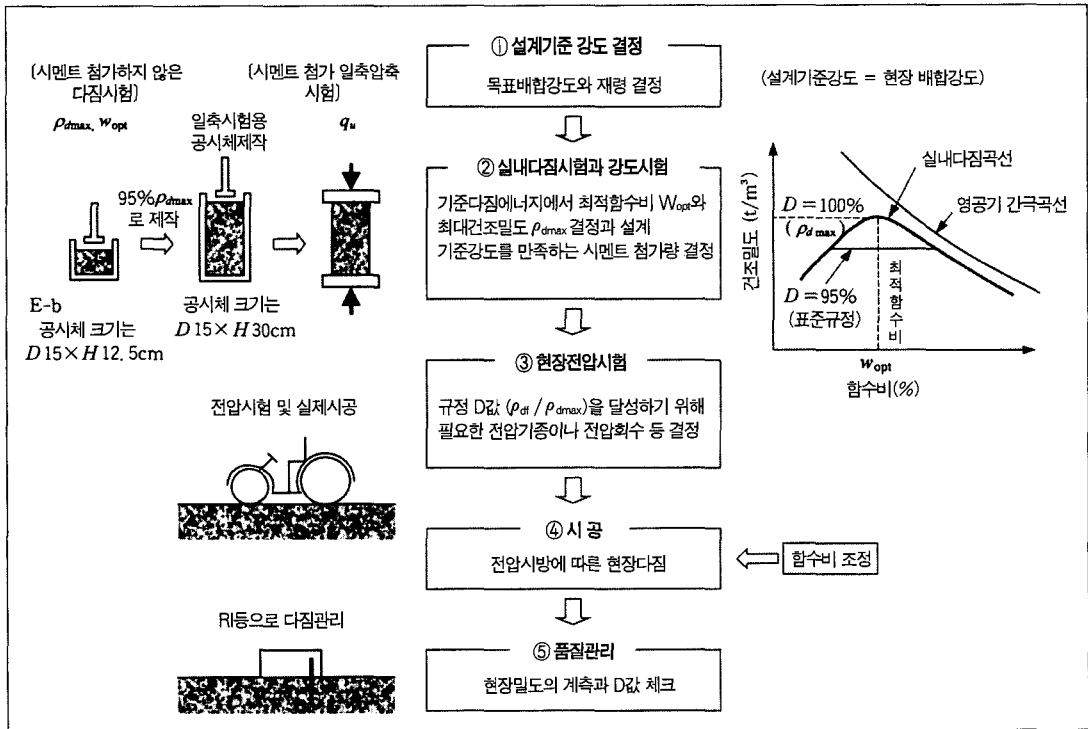


그림 10. 시멘트 개량 사력질토의 현장다짐관리 흐름도

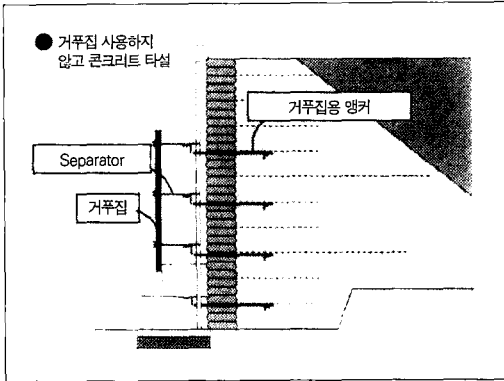


그림 11. 교대구체와 배면의 정착

시멘트 안정처리한 입도조정쇄석을 사용해서 보강 토공법으로 어프로치 블럭부를 구축한다. 이 어프로치 블럭부는 지진시에 저항부재로서 기대하고 있기 때문에 설계기준강도를 $q_{uzs}=2,000\text{kN/m}^2$ 로 하여 입도조정쇄석에 대한 시멘트배합량을 정하고 마무리 두께 15cm에서 잘 다짐하여 시공하였다.

시공관리상의 과제로서 실내에서의 다짐시험법과 일축압축시험법의 공시체 형상이 다를 때의 치수효과 문제, 최대입경과 공시체 형상의 관계가 밀도와 강도에 미치는 영향의 문제 등을 검토하여 그림 10의 현장다짐관리흐름을 제안하여 시공관리를 하였다. 또, 교대구체와 배면의 어프로치블럭부와 연결이 충분히 실시되므로 그림 11과 같이 거푸집 반력용 앵커를 배치해서 형틀을 사용하지 않고 콘크리트를 타설함에 따라서 일체화를 도모하였다.

본 교대는 2002년 11월 하순부터 약 2개월 시공되었다.

6. 맺음말

본 교대에 대한 설계·시공법은 철도운수기구에

있어서 『시멘트 개량보강토 교대 설계·시공지침 (2004. 3)』에 정리되었으며 앞으로 정비 신간선에서의 표준교대로서 적용될 예정이다. 2004년도 말을 예정으로 개정이 진행되고 있는 『철도 구조물등 설계표준(토구조물)』의 채택도 예정되어있으므로 JR등의 철도사업자에게도 적용될 것으로 생각된다.

본 교대는 대지진동에 대한 내진능력이 비약적으로 향상하였고 게다가 경제성면에서도 유리해졌기 때문에 공사비 및 적용에 우수한 합리적인 구조라 할 수 있다. 차후 도로분야에서의 채택도 기대해 본다.

참고문헌

1. 鐵道總合技術研究所:鐵道構造物等 設計標準. 同解説 土構造物, 丸善, 1992.10
2. 鐵道總合技術研究所: 兵庫縣 南部地震鐵道被災調査報告書, 鐵道總研報告, 特別第4号, pp89-90, 1996.4
3. 渡辺健治, 館山勝, 清木一三, 米澤豊司:セメント改良アプローチブロックを有する耐震性橋臺に關する模型振動實驗, 鐵道總研報告, Vol.16, No. 3, 2002. 3
4. Watanabe K., Tatayama M., Yonezawa T., Aoki H., Tatsuoka F. & Koseki J.: Shaking table tests on a new type bridge abutment with geogrid reinforced cement treated backfill, Proc. of the 7th International Conference on Geosynthetics, Vol. 1, pp119-122, 2002. 9
5. Aoki H., Watanabe K., Tatayama M., Yonezawa T.: Shaking table tests on Earthquake Resistant Abutment, Proc. of the 12th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and

- Geotechnical Engineering, Singapore, 2003
6. 館山勝, 清木一三, 米澤豊司:セメント改良補強土橋臺の開発, 土木技術, 第57巻2号, pp52-61, 2002. 2
 7. 清木一三, 米澤豊司, 渡辺修, 館山勝: シ"オテキスタイルを用いた改良補強土橋臺の現地載荷試験結果, 第18回 シ"オンセテイツクスシンポジ"ウム, 2003. 12
 8. 館山勝, 村田修:補強盛土(RRR)工法の橋臺部の適用, 鐵道總研究報告, Vol. 7, No. 12, 1993. 12
 9. 龍岡文夫, 館山勝: シ"オテキスタイル補強土擁壁, 基礎工, 1995.11
 10. 鐵道總合技術研究所: 鐵道構造物等 設計標準. 同解説 耐震設計, 丸善, 1999. 10
 11. 館山勝, 清木一三, 米澤豊司, 藤田昌弘, 渡辺健治: 耐震性に優れたセメント改良補強土橋臺の開発, 鐵道總研究報告, Vol. 18, No. 4, 2004. 4
 12. Itasca Consulting Group :FLAC. FAst Lagrangian Analysis of Continua, User's Manual,1997
 13. 鐵道建設運輸施設整備支援機構: セメント改良補強土橋臺設計. 施工指針, 2004. 3