

보강토 교대공법



전 진 택
R&D센터 기술연구소 과장
(134720@poscoenc.com)



김 낙 영
한국도로공사 책임연구원
(YNAGKM@ex.co.kr)

1. 개요

보강토 공법(Reinforced Earth)은 성토체 속에 인장력이 큰 스트립형태의 보강재를 일정한 간격으로 매설하여 하나의 새로운 복합구조체를 형성시키는 공법으로 1963년 프랑스의 기술자 Henri Vidal에 의해 그 기본 메카니즘이 밝혀진 이래 유럽, 미국, 영국, 일본을 포함한 전세계 교량 선진 기술국의 도로연구소, 대학, 건설회사등에서 많은 실험이나 연구를 통하여 안전성이 검증되고 이를 바탕으로 그 이용도가 증가하고 있다. 이러한 보강토 공법의 장점으로는 콘크리트 옹벽에 비하여 공사비용이 15%~40% 가량 절감이 되며 시공이 인력등으로 수행이 가능할 정도로 간편하고 단순하여 공사기간은 약 40%~60% 정도 단축이 가능하다는 것이다. 또한 최근 들어 구조물 설계시 많은 관심을 가지고

있는 내진 성능과 부등침하 저항성이 매우 우수하고 콘크리트 옹벽에 비하여 외관상 미적으로 매우 우수한 장점이 있다. 이러한 장점을 바탕으로 미국에서는 1972년 보강토 공법으로 옹벽이 최초로 시공된 이후에, 현재 미국 총 옹벽수요의 50% 이상을 점유할 정도로 그 이용이 급증하고 있다. 우리나라 역시 보강토 공법의 사용성이 매년 2배 이상 증가하고 있고 다양한 형태의 보강토 공법이 적용되고 있다. 이러한 보강토 공법을 이용하여 교량의 교대부에 적용하는 사례가 신진 외국을 중심으로 확산되고 있다. 특히 2002년 이후 미국 펜실베이니아를 중심으로 보강토 교대 공법의 적용사례가 급증하고 있는 추세이다. 이러한 보강토 공법 교대(이하 보강토 교대)는 일반 콘크리트 옹벽 교대에 비하여 공사비 절감 및 공기 단축에 효과적이며 미관이 수려한 장점이 있다.

2. 보강토교대 기본이론

보강토옹벽 이론은 Vidal에 의해서 발전되어 그의 초창기 연구서에 상세히 설명되어 있다. 이 기본거동은 그림1 (a)에 나타난 것처럼 조밀한재료의 경우, 축방향하중 재하로 수평팽창현상이 나타나며, 다일러턴시현상으로 축변형의 1.5배 이상의 수평변형이 발생하게 된다. 또한, 그림1 (b)처럼 비신장성 보강재료가 시료에 배치되어 있다면, 보강재와 뒷채움재의 마찰저항에 의해서 수평변형을 억제하며, 시료는 정지토압하중을 수평하중으로 받게 된다. 그러므로 수직하중이 증가하게 되면 수평저항응력이 증가하게 된다.

보강토 옹벽은 상기의 거동을 응용하여 비신장성 보강재를 수평으로 배치, 압축을 억제하여 토체의 전단강도를 증가시키는 합성 복합체이다.

현재 보강토 옹벽은 교대나 기타 지지구조물로서 적절하게 쓰이고 있으며, 패널, 보강재 및 뒷채움재의 조합으로 기능을 적절히 수행함으로써 교대나 기

타구조물로 사용이 증가하고 있다.

일반적으로 다져진 시료에 수직으로 σ_v 를 적용시키면 횡방향으로 팽창된다. 그러나 보강재를 삽입한 시료는 수직응력에 의하여 발생하는 보강재와 흙과의 마찰력이 횡방향 팽창을 억제한다. 만약 횡방향 팽창이 발생하지 않았다면 이는 정지토압 이론에서와 같이 보강토 내부의 토립자가 보강재와의 마찰력에 의하여 완전 구속되어 마치 지중의 흙이 주변의 흙에 의하여 팽창이 억제된 것과 같다.

따라서 억제된 수평력은 $\sigma_H = K_0 \sigma_v$ (K_0 : 정지토압계수)이다.

$K_0 = 1 - \sin \phi$ 이므로 (ϕ : 흙의 내부마찰각) $\sigma_H = \sigma_v(1 - \sin \phi)$ 이며 수직응력이 커지므로 그림 2에서와 같이 ϕ 로 이루어지는 파괴 포락선에 접하는 일이 없이 항상 안전한 상태에 있게 된다(Swiger, W.F). 이 이론은 실제로 완성된 보강토체를 대상으로 보강재에 작용한 인장응력을 측정된 결과, K_0 값과 거의 같은 값을 갖는다는 것이 Schlosser와 Elias에 의하여 입증되었다.

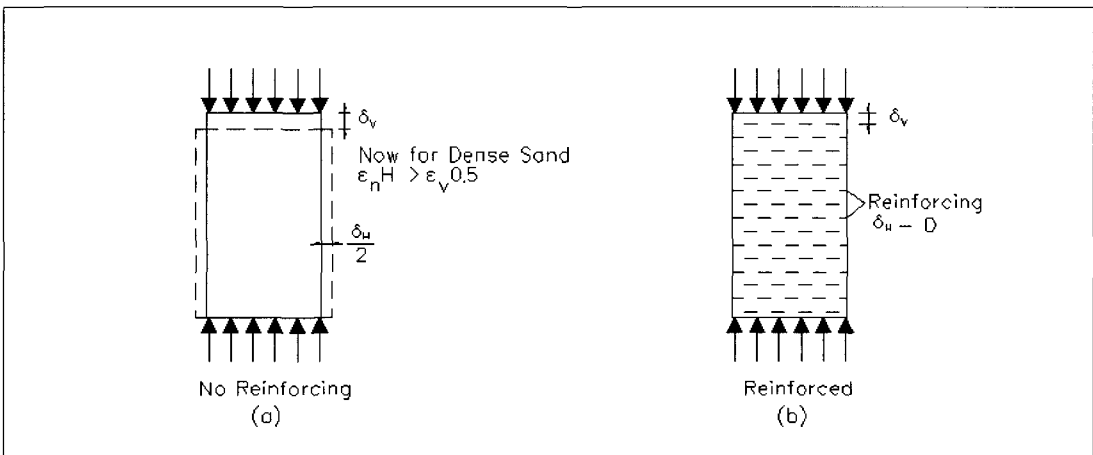


그림 1. 보강토의 기초 메커니즘

보강토 교대공법

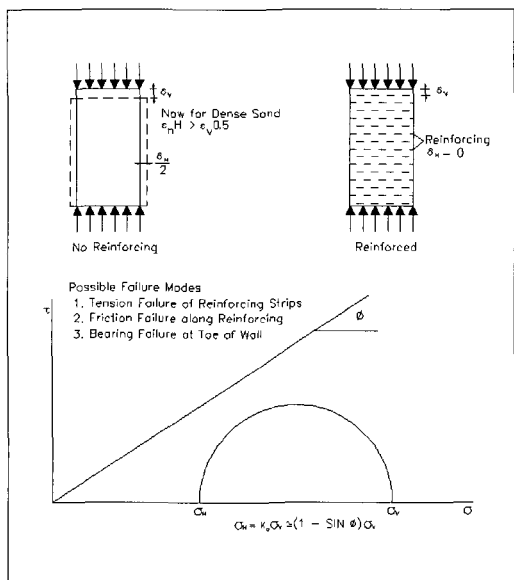


그림 2. 보강토의 구속상태

위에서 제시한 제 이론은 보강토의 성립에 정당성을 부여한 것이다. 이로써 보강토 공법을 이용하여 간단한 Precast Concrete 전면판만으로 옹벽 구조물을 대치함이 가능하게 되었음은 물론 급경사의 성토공, 연약지반에서 Earth Slab를 이용한 성토공 등이 가능하게 되었으며 종래의 흙 구조물이 갖는 결속력(Bonding) 부족의 결함이 해결되었다.

3. 보강토 교대공법의 특징

보강토 교대는 그림3과 같이 순수형(True type)과, 복합형(Mixed type)의 두 가지 타입으로 분류할 수 있다. 말뚝을 시공하지 않는 순수형의 경우 보강토체에 과도한 하중이 집중되는 것을 막기 위하여 교좌받침보의 크기는 3feet 보다 커야하며 지지력은 1.9tf/m^2 보다 작아야 한다. 기초 지지력은 보강토 옹

벽으로 분산되어 상부의 밀도는 촘촘해지게 된다. 혼합형 보강토 교대는 말뚝으로 상부하중을 지지하며, 수평하중으로 발생하는 말뚝의 수평변위를 보강토 옹벽에 전달하는 형식이다. 1982년 FHWA에서 실험에 의하여 다음과 같은 사항을 얻었다.

- 1) 파일의 전면과 패널의 뒷면 사이의 거리는 0.5m의 공간이 유지되어야 한다.
- 2) 부마찰력이 예상되는 경우, 뒷채움에 관입되는 파일주위에 케이싱을 설치하여야 한다.
- 3) 보강재는 파일의 위치를 고려하여 배치되어야 하며 보강재를 절단하여서는 안된다.

파일 앞부분과 패널 끝부분은 0.5m 공간 유지는 파일의 변위를 허용하며 수평응력을 뒷채움재에 전이시키는 것뿐만 아니라, 파일과 패널사이의 뒷채움재를 다질 수 있는 공간을 제공한다. Strip타입의 보강재는 단순히 파일 주위로 엇갈리어 배치할 수 있으나, Wire mat 타입의 방식은 파일 주위의 보강재로 사용시에 특별한 상세가 필요하다. 상기 사항들은 일체형이 아닌 전통적인 교량의 파일 지지시에도 적용된다. 일반 교대의 구조적인 안정성을 확보하는 연직침하량은 2~4 inch, 수평변위는 0.4~0.5% (1~2 inch)이다. 보강토 교대는 비신장성 보강재를 사용하므로 수평변위가 거의 발생하지 않아 구조적인 안정성을 확보할 수 있다.

미국에서 3경간이하의 교량 대부분에서 사용되는 일체형 교량의 교대로 보강토 옹벽 교대가 많이 사용되고 있으며, 말뚝을 사용하는 복합형이 주로 사용되고 있다. 온도에 의해 발생하는 바닥판의 팽창 및 수축으로 인한 수평력은 말뚝이 부담하고 있다. 혼합형 보강토 교대는 연직하중을 말뚝이 지지하는 구조로 뒷채움부의 침하가 예상되는 경우 말뚝에 작

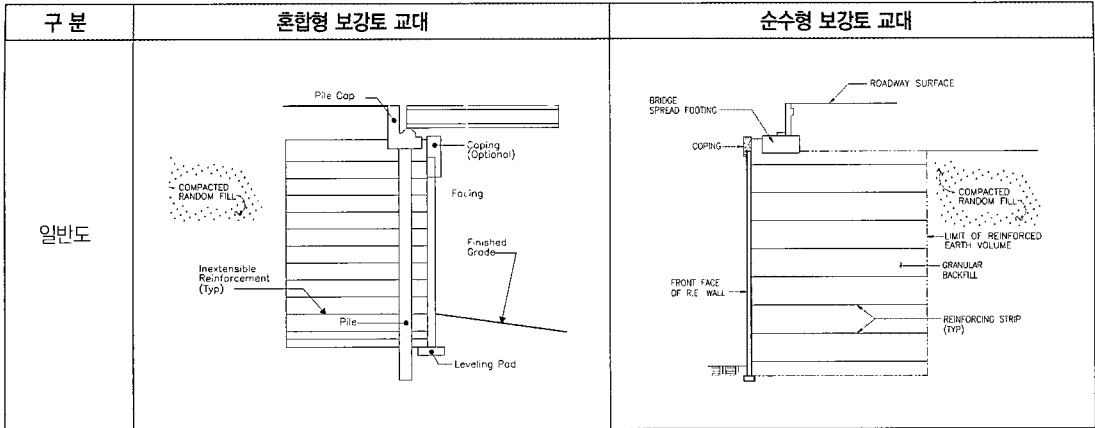


그림 3. 보강토 옹벽 교대의 일반도

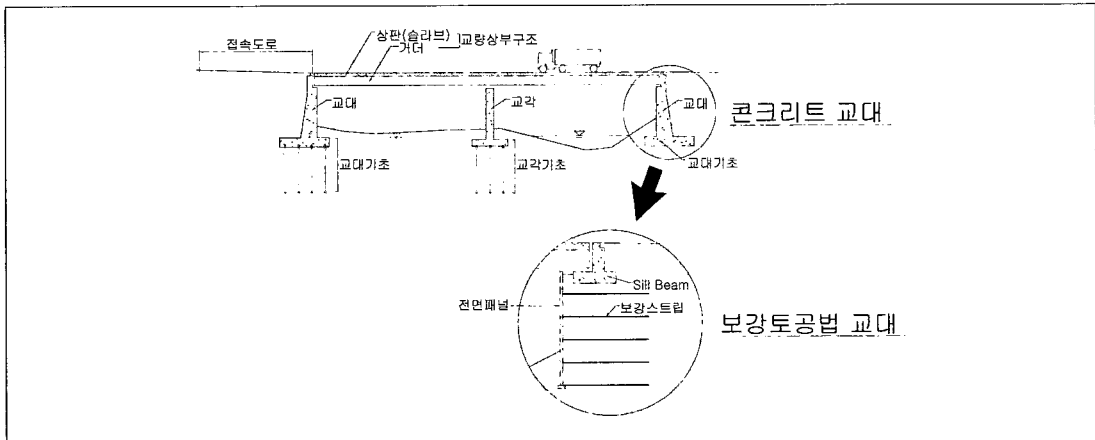


그림 4. 보강토 공법 교대 개념도

용하는 부마찰력을 감소시키기 위하여 말뚝 주변에 Sheath관을 씌우고 내부에 모래를 채우기도 하며, 말뚝 주변의 다짐을 위하여 말뚝과 전면판과 약 0.5m의 거리를 두고 있으며, 말뚝 전후에 보강재가 절단되는 것은 허용되지 않고 있어 mat형 보강재를 사용하는 경우에는 특별한 주의가 요한다. 보강토 교대는 별도의 콘크리트 양생 및 푸팅시공을 위한 대규모의 터파기가 없어 경제적이며, 시공성이 뛰어나고 침하 및 지진에 대한 내구성이 뛰어나다. 또한

뒷채움부의 침하가 콘크리트 교대에 비하여 작게 나타난다.

4. 보강토 교대의 장점

1) 경제성 및 시공성

콘크리트 교대의 기초는 풍화암 위에 직접기초로

시공하거나 풍화암이 깊은 깊이에 있는 경우 말뚝을 시공하여 상부하중을 지지하고 있으며, 푸팅은 강성 기초로서 역할을 하도록 통상 2.0m 이상의 두께를 가지며 뒷채움부의 토압을 모두 저항해야하므로 폭이 넓어지게 되고 개념적으로 비효율적이며 시공을 위해서도 대규모의 터파기, 콘크리트 타설 및 양생이 필요하게 되어 매우 비경제적이고 시공성이 떨어진다. 이에 반하여 보강토 옹벽 교대는 변형에 대한 적응성이 뛰어나며 보강재로 보강된 뒷채움토가 횡방향력에 저항하게 되며 교대의 일부분이 되어 개념적으로도 효율성이 높고 기성의 제품을 이용하여 조립토로 성토하므로써 기존의 콘크리트 교대에 비하여 경제성 및 시공성이 뛰어나다.

2) 유연성

지진에 대하여 콘크리트 옹벽에 비하여 매우 안정적이며, 견고하지 않은 지반에 시공하여 일부 침하가 발생하여도 안정적인 거동을 보이는 유연한 구조물이다. 3Feet 이상의 침하가 발생했을 경우와 1% 이상의 부등침하가 예상되는 경우에만 지반보강이 필요하다. 특히 순수형 보강토 교대는 일반적으로 압축성이 있는 지반에 시공이 많이 된다.

3) 교량 뒷채움부의 처짐이 작음

콘크리트 교대의 경우 뒷채움부의 처짐이 크게 나타나나, 보강토 교대의 경우 뒷채움부의 처짐이 작으며, 특히 순수형 보강토 옹벽의 경우에 뒷채움부의 처짐이 매우 작게 나타난다.

5. 보강토 교대 설계 개념

보강토 옹벽 구조물은 1996 AASHTO 고속도로 교량 시방서의 옹벽 디자인을 준수하여 설계되어야 하며, 외부하중과 구조물 특성을 반영한 증력구조물 시방규정은 1970년 보강토 옹벽에 적용되어 현재까지 사용되고 있다. 이 설계방법은 25년 이상 보강토 옹벽 및 보강토 교대에 적용되고 있다. 교대에 대한 허용침하량은 1996년 AASHTO에서 제안한 것과 같이 교대 사이 및 교각과 교대사이의 회전각으로 정의되는 것이 합리적이라고 판단된다. 허용하는 회전각은 상부구조물이 단순보의 경우 0.005이며, 연속보인 경우 0.004이다. 보강토 옹벽 구조물의 설계도면은 2004 AASHTO LRFD 교량설계시방서에 명시되어 있으나, 외부하중이 작용하며, 저항계수에 대한 연구에 대한 확신이 미흡하여 지금까지 이 도면으로 설계된 교대는 매우 적다. 그러나 향후 하중 저항계수 설계에 의한 설계기법이 확대 적용될 것으로 판단된다. 철재 비신장성 보강재를 사용하는 보강토 교대는 중요구조물이므로 설계수명을 100년으로 가정하여야 하며 외적 안정성 및 내적 안정성검토를 수행하여야 한다. 외적안정성 검토는 저면활동, 전도, 침하 및 전반활동에 대한 검토를 수행하여야 하며 특히 혼합형 보강토 교대의 경우 말뚝의 안정성에 대한 검토를 수행하여야 한다. 교좌 받침에 대하여는 교좌에 작용력 및 배면의 토압에 대하여 교좌받침보의 안정성검토를 수행하여야 한다. 내적 안정성의 경우 보강재의 파단, 인발 및 연결부 안정성에 대한 검토를 수행하여야 한다. 전면판으로 콘크리트 판넬을 이용하는 철재 보강재의 경우 보강재의 허용응력은 식 (1)과 같이 구하며, 도장 또는 재질 보안을 통하여 설계수명 동안 내구성이 확보될 수

있도록 하여야 한다.

$$T_a = 0.55 \frac{F_y A_c}{b} \quad (1)$$

여기서, F_y : 철의 항복응력

A_c : 단면적

b : strip의 순폭

내진설계는 그림 5와 같이 Mononobe-Okabe의 방법에 의해 외적안정성 및 내적안정성에 대한 검토를 수행한다. 외적안정성에 대한 검토를 하는 경우 전면판에서 0.5H깊이의 토괴에 대한 관성력을 고려하고 있으며, 내적안정성에 대하여한 내진검토에서는 전면판에서 0.3H의 깊이에 대하여 그림5 우측의 그림에서와 같은 토괴에 대하여 관성력을 고려한다. 안전율 적용은 상시의 75%를 적용하고 있으며 재료의 강도는 허용강도는 133% 증가시켜 안정성 검토를 한다. 말뚝의 횡방향 거동은 보강토 옹벽으로 인하여 수평인 경우와 경계조건이 다르게 되므로 정확한 거동예측을 위해서는 이를 고려한 해석방법이 정

립되어야 하나 현재 이에 대한 연구부족으로 인하여 설계기준이 미비한 실정이다. 그러나 선진국에서는 보강토 옹벽이 변위에 적응력이 뛰어난 구조물이며, 교량의 기초인 경우 말뚝에 작용되는 횡방향력이 작으므로 실무적으로 보강토 옹벽에 대한 영향을 고려하지 않고 설계하고 있다.

보강토교대의 안정성을 검토하기 위한 설계 순서는 다음과 같다.

1) 보강토체의 외적안정 검토

- 외부 토압 산정
- 활동 및 전도 검토
- 기초 및 사면안정 검토

2) 보강토체의 내적안정 검토

- 내적안정을 위한 주동영역 및 수동영역의 구분 및 교대하중의 영향 검토
- 보강재의 길이 및 갯수 결정

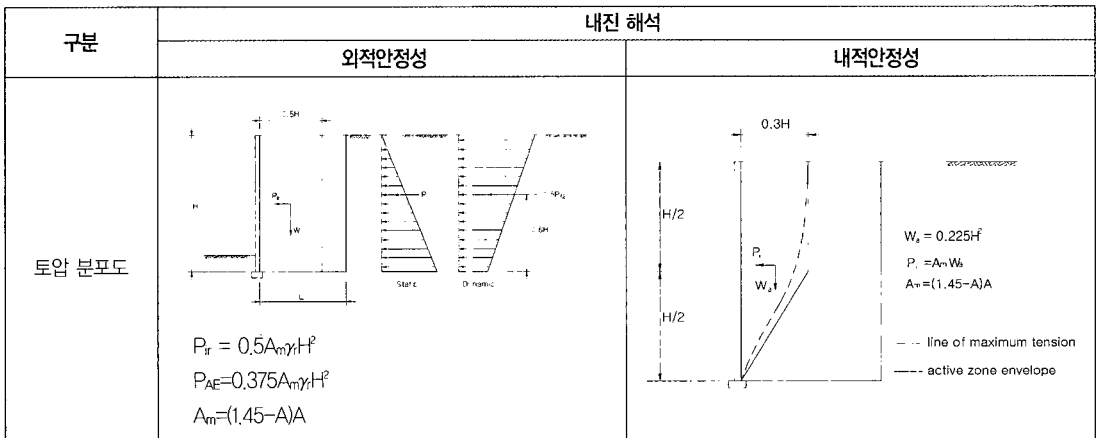


그림 5. 보강토 교대의 내진설계

6. 보강토 교대 시공 방법

말뚝을 시공하는 혼합형 보강토 교대는 전면 및 날개벽이 보강토 옹벽으로 시공되므로 말뚝과 보강재와의 저촉을 피하여 시공되어야 한다. 보강재 배치시 각도 변경은 허용하나 보강재를 중간에 절곡시키거나 말뚝 전후에 절단하고 연결하는 것은 금지되어 있다. 그림6은 보강재와 말뚝이 배치된 평면도를 보여주고 있다. 미국의 경우 교량의 Skew를 통상 30° 까지 허용하고 있으며, 뒷움재의 내부마찰각은

34° 이상 요구하고 있다. 전면판과 말뚝과의 거리는 시공성을 고려하여 50cm 또는 1.5D정도의 이격거리를 두고 있다. 시공순서는 그림7에서와 같이 말뚝을 먼저 시공하고 보강토 옹벽을 교좌 받침 높이까지 시공한 후 교좌받침 시공 및 배면 성토를 한다.

7. 보강토 교대 공법 적용 사례

보강토 교대 사용은 최근에 급속도로 증가되고 있

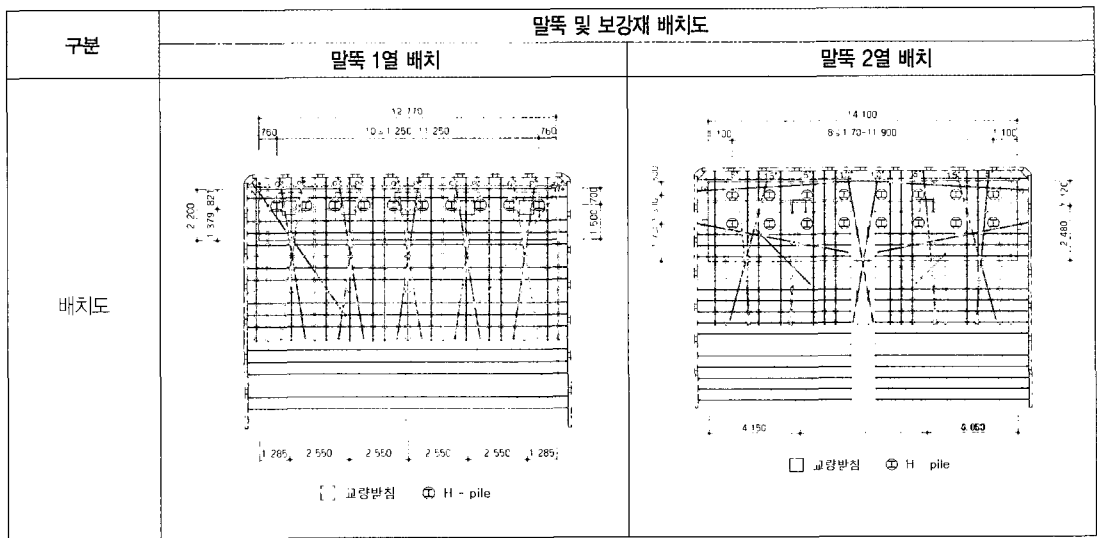


그림 6. 보강토 교대의 말뚝 및 보강재 배치도

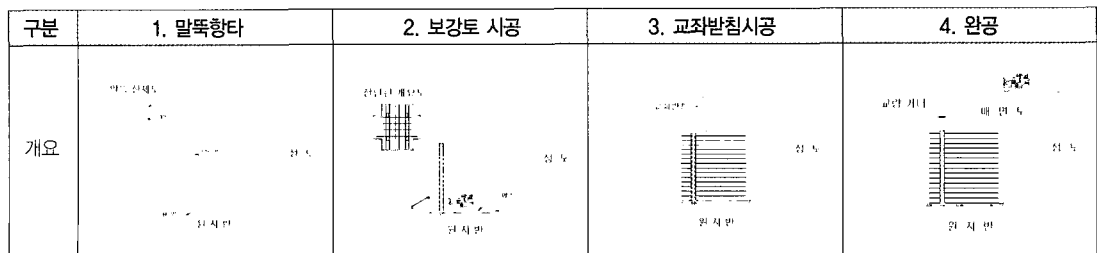


그림 7. 보강토 교대의 시공순서도

으며, 많은 기술자들이 이 구조물이 견고하다는 확신을 가지고 있다. 현재는 연간 약600개의 교대가 시공되고 있으며, 이중 75%는 Mixed형, 25%는 True타입의 건설되고 있다. 보강토 교대가 많이 시공되는 이유는 시공성이 우수하고 내진 성능이 우

수하며 콘크리트 교대보다 경제적이기 때문이다. 특별히 연약지반에 시공되는 경우 말뚝을 시공하지 않는 True타입의 교대가 매우 경제적이고, 콘크리트 교대에 비하여 보강토 옹벽 교대는 뒷채움부의 침하가 매우 작기 때문에 유지관리비를 추가적으로 절약

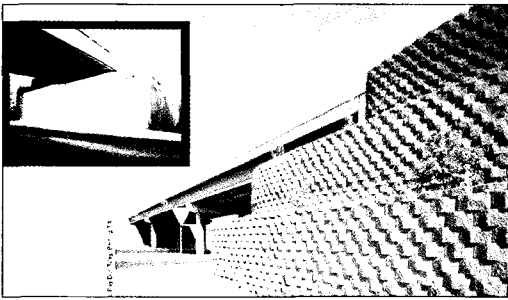


사진 1. 보강토 공법 교대 적용사례 1 (미국 텍사스 주)

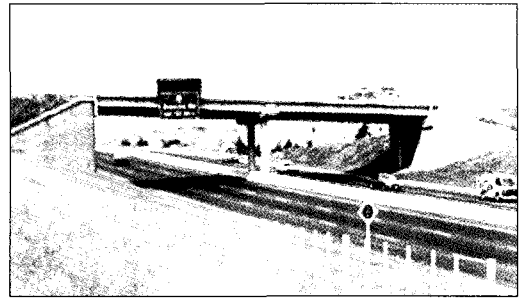


사진 2. 보강토 공법 교대 적용사례 2 (뉴질랜드, McClymont교)

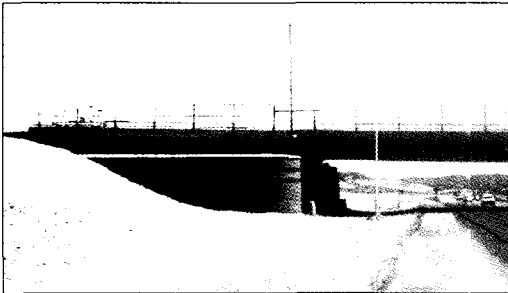


사진 3. 보강토 공법 교대 적용사례 3
(미국 콜로라도 주, Parkway교)

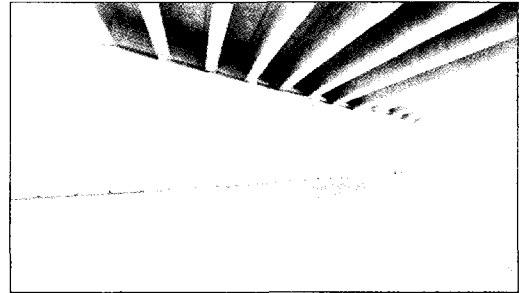


사진 4. 보강토 공법 교대 적용사례 4 (캐나다, 407ER)

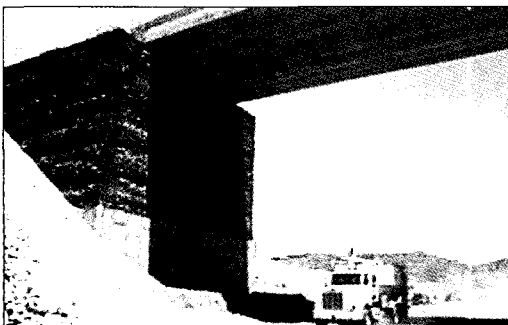
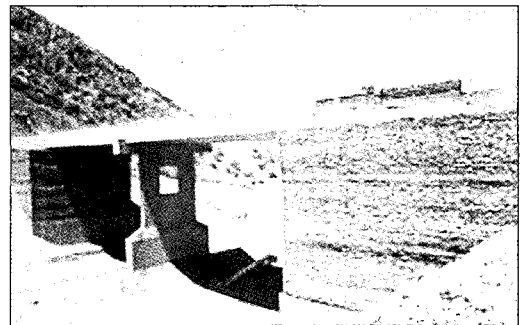


사진 5. 보강토 교대 공법 시공사례, 미국 (H=24m, Span=2@30m)



보강토 교대공법

하게 된다.

사진 1에서 사진 5는 보강토 공법 교대의 적용 사례로서 최근 들어 본 공법의 적용 증가율이 10% 이상 증가하고 있는 추세이다.

적용이 기대된다.

참고문헌

8. 결론

보강토 교대는 선진국에서 일반적으로 적용되는 공법으로 국내에서는 아직 시공된 사례가 없으나, 철재 비신장성 보강재를 이용한 혼합형 보강토 교대의 경우 국내 대부분의 교량에 대하여 적용이 가능하다고 판단된다. 시공시 말뚝과 보강재와의 저축은 보강재의 일부 배치변경 또는 말뚝의 시공위치를 고려한 보강토 옹벽의 설계를 통하여 해결할 수 있는 것을 파악하였다. 시공성 및 경제성이 뛰어나며 뒷채움부 처짐이 작은 보강토 교대 공법은 기존의 콘크리트 교대에 비하여 장점이 많아 앞으로 많은

1. 포스코 건설 기술연구소(2006), “보강토 공법 교대 기술 개발 (중간보고서)”, MD-000-DC313.
2. National Cooperative Highway Research Program(2006), “Design and Construction Guidelines for Geosynthetic-Reinforced Soil Bridge Abutments with a Flexible Facing” NCHRP report 556.
3. Victor Elias, Barry R. Christopher and Ryan R. Berg(2001), “Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines”, National Highway Institute, FHWA-NHI-00-043, pp171~192.

회비 납부 안내

학회 사무국에서는 연중 수시로 학회비를 수납하고 있으나, 회원여러분의 적극적인 협조를 부탁드리며, 문의사항이 있으면 사무국(양윤희 과장)으로 연락하여 주시기 바랍니다.

•은행 무통장(타행) 입금

국민은행 계좌번호 : 534637-95-100979 예금주 : 한국지반공학회

•홈페이지 결제시스템 이용(카드 및 계좌이체)

홈페이지 로그인 → 미납회비 확인 → 결제방법 선택 → 결제

※ 결제진행중 궁금하신 사항은 지반공학회 사무국(02-3474-4428/양윤희)으로 전화주시기 바랍니다.