

일본의 EPS 토목공법 설계 및 시공법

阿 部 正 *

DESIGN AND CONSTRUCTION MANUAL FOR DESIGNERS AND CONSTRUCTORS OF EPS EMBANKMENTS

MASASHI ABE

1. 서론

1985년 6월에 오슬로에서 PLASTIC FOAM IN EMBANKMENTS 국제회의가 개최되어 일본에서는 三木五三郎(동경대 명예교수, 현 EDO 회장)선생과 福住隆二氏(초대 EDO사무국장, 현 건설기획컨설턴트 회장)의 2명이 참석했다. 본회의의 개최를 통해서 북구라파를 중심으로 네덜란드, 프랑스, 캐나다 등의 여러국가에서 기술이전이 되었다. 일본 내에서는 당사를 중심으로 1985년에 기술도입이 되어 노르웨이 국립도로연구소(NRRL)와의 기술협력체결로 발포스치로폴 토목공법 개발기구(약칭. EDO)가 1986년 7월에 창립이 되었다.

EDO의 목적은 선진국인 노르웨이가 축적한 기술 노하우를 습득하고 원점에서 그것을 일본의 기술로 하여 확립하고 연약지반에 국한하지 않고 폭넓게 토목공법을 응용하여 확장 보급하는 것이다. 조직으로는 학식과 경험을 겸비한 회장 및 고문과 36개 종합건설사, 담당전문공사 9개사, 또한 토목기술에 협력하는 8개 원료사가 이에 결속하여 총 53개사가 참가하였다. 본 내용에 있어서 EPS공법의 개요의 설명과 아울러 구체적인 시공사례를 소개하고자 한다.

* 일본 CPC (Construction Project Consultants) 기술개발실 실장

年	100	200	300	400	(件)	平均施工量 (㎡)
	5		10	15 (万㎡)		
1985						250
1986						220
1987						403
1988						463
1989						907
1990						804
1991						632
1992						500
1993						425
施工件数 : 合計 1,100件 施工件数 — 施工量 : 合計 63万㎡ 施工量 63万㎡						

그림1. EPS공법의 시공현황

2. 공법개요

EDO창립이래 약 8년간의 시공실적은 1,000여건을 상회하며 사용량에 있어서도 약 60만 입방미터에 달한다. 이에 원조격인 노르웨이를 상회함에 이르렀다. (그림1 참조) EPS공법은 대형발포스티로폼블럭(2m X 1m X 0.5m)을 성토재료 및 뒷채움재료로서 도로 및 철도, 혹은 토지조성등의 토목공사에 적용한 공법으로 재료의 초경량성, 내압축성, 내수성 및 불력을 겹쳐서 쌓을 경우 자립성등의 특징을 유효하게 이용하는 공법이다. 구체적인 공법으로서는 그림2에 표시된 연약지반상에서의 하중경감 공법으로서의 이용, 그림3에 표시된 확장성토 및 교대 배면등의 토압저감 공법으로서의 용도등이 있다.

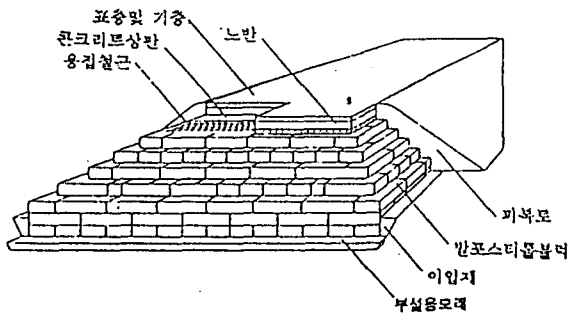


그림 2. 하중경감 공법으로서의 이용

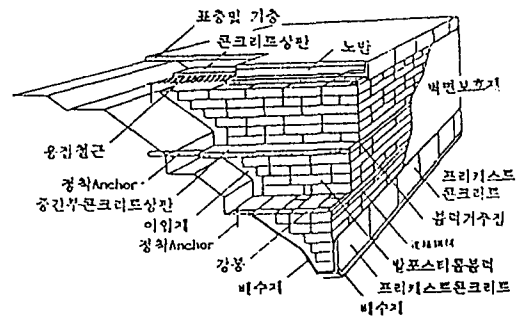


그림 3. 토압저감 공법으로서의 이용

여기에서 본공법의 특징을 정리하면 아래와 같다.

2. 1 초경량성

EPS의 단위체적중량은 12~30 Kgf/m³로서 토사및 콘크리트의 약1/100이다. 따라서 연약지반및 산사태지역에서 성토재로서 적용할 경우에는 성토하중을 대폭 줄일수 있다. 또한 침하및 滑動등의 문제를 해결할 수가 있다. 현재 경량성토공법으로서 이용될 수 있는 재료는 표1에 나타난 것처럼 각종재료및 방법이 있지만 EPS는 이들중 가장 경량인 재료이다.

2. 2 내압축성

EPS의 허용압축강도(압축변형 1%정도)는 EPS의 단위체적중량에 비례하여 2 ~ 14 tf/m² 을 나타내므로 각종의 용도에 대응한 사용법이 가능하다. 또한 겹쳐쌓는 EPS의 윗단에 콘크리트 보강판 또는 철판등을 설치함으로써 이러한 효과를 충분히 발휘할 수 있다. (표2 참조)

2. 3 자립성

블록을 겹쳐쌓은 축조물은 상재하중이 작용해도 자립하기 때문에 측면은 대규모의 측면토압을 견디기 위한 구조물을 필요로 하지않고 간단한 벽체처리로서 가능하다. 예를들면 확장성토등에서 기존의 경사면에 EPS성토를 시공하게되면 경사면이 안정화되며 뒷면으로부터 토압을 고려하지 않으므로 직립벽을 구축할 수 있다.

공법	사 용 재 료	단위체적중량 (tf/㎡)	특 징		
경량재이용 연약지반방 벽방법	자연재	경량토사(화산재등) 스라브 석탄재 소각재	1.2 - 1.5 1.2 - 1.35 1.2 - 1.3 정도 1.0 정도	천연의 재료를 이용할 수 있다. 입상재이고 취급이 용이하다. 자연성을 지니고 있다.	
	인공소재	발포스티로폼	0.02 - 0.04	초경량 성토재이고 시공이 용이하다.	
		기포물탈	0.3 정도이상	기포제의 양에 의해 자중을 조절할 수 있고 유동성이다.	
		고분자재료	中空상태의 것	초경량이고 배수기능을 갖고 있다.	
		경량폐기물	0.1 - 0.18	폐기물을 유용하게 이용할 수 있다.	
	현지발생토압 하중을 회피하는 방	혼합처리	현지발생토/경량재 스치로폴비드, 기포재 석탄재등 /고화재 시멘트, 석탄등	1.0 전후	현지발생 토사를 이용할 수 있다. 혼합할 경량재의 조절로 자중조절이 가능하다. 고화재를 넣는것에 의해 강도를 증대시킬 수가 있다
		유동화	현지발생토/고화재 시멘트/고화재, 석탄등 경량재, 스티로폴비드	0.5 정도이상	현지발생토사를 이용할 수 있다. 현지의 고함수점성토의 이용이 가능하다. 유동성이 있고 고화재의 작용에 의한다.
중공물 구 조에 의 방 법	성 토	쿨게이트 파이프 복스칼 파이프(BOX) 다연속 파이프	1.0 전후 1.0 전후	견고한 구조물로 할 수 있다. 구조물 자체의 침하및 변형을 극히 적게 할 수가 있다.	

표 1. 경량성토공법의 종류와 특징

항 목	단 위	계 조 법						비 고
		비 이 드 발 포 법					압출법	
종 별		D -30	D -25	D -20	D -16	D -12	DX -29	
단위체적중량	Kgf/m ³	30	25	20	16	12	29	
허용압축응력	tf/m ²	9.0	7.0	5.0	3.5	2.0	14.0	압축탄성한계
품질관리시의 압축응력	tf/m ²	18.0 이상	14.0 이상	10.0 이상	7.0 이상	4.0 이상	28.0 이상	5% 변형시

표 2. EPS의 압축특성

2. 4 시공성

본공법의 시공에 있어서는 특수한 건설기계의 필요성이 없고 인력으로서의 시공이 가능하다. 또한 블록은 현지에서 가공,절단이 쉽기 때문에 현지조건에 알맞게 대응이 가능하다. 구체적인 적용사례는 표3에 제시되어있다

용 도	모 형 도	경량성	자립성	시공성	적용 의 장점	주요 적용 분야
성 토		◎		○	침하의 저감 미끄럼에 대한 안전확보 유지관리비용 절감	도로, 철도 활주로 조성지, 택지, 매립지 공원
		◎		○	유입에 의한 침하억제 부동침하의 방지 주변공간과의 조화	차선확장, 용지확보 제방배면성토
		○	◎	○	미끄럼에 대한 안전확보 구조물의 간이화 용지의 유효이용	차선확장, 용지확장 지하구조물(공원, 골프장, 주차장 등)
구조물 배면성토		○	◎	○	구조물배면의 토압저감 구속부의 처감 단차의 방지	교대배면, 구조물배 면, 반지하 구조물
		○	◎	◎	침하의 저감 기초대책의 경감 용지의 절약	교대취부성토 입체교차부성토
		○	◎	○	구조물배면토압의 저감 구조물안전율의 향상	옹벽, 호안등의 토 압 구조물배면
기 초		○		○	침하의 저감 최하의 일체화	매설관, 수로기초 저층구조물의 기초, 간이구조물
구조물보호		○	○	○	구조물의 하중저감 부동침하, 국부침하방지	지하매설물의 확보 지중구조물의 확보
아이치공사		○		◎	구조물의 하중저감 토압대처 유동간 확보	아이치교, 대규모 교각등의 아이치, 中空部충진
플랫폼확장		○	○	◎	급속시공 구조물에서의 하중 저감	플랫폼확장, 높이, 지상용 확충
가설 복구		○		◎	급속시공, 급속철거 시공 간 확보	가설도로대 가설무대 수해복구 성토,

표 3 EPS공법의 적용분야

3. 설계

EPS공법은 연약지반및 산사태지역에서의 하중경감공법, 혹은 구조물 배면의 뒷채움 재료로의 토압저감공법등에 적용한 경우, 종래의 설계법과 성토 혹은 옹벽, 교대의 설계법은 다른것이 아니고 기본적으로 전자는 성토의 침하, 안정검토, 후자는 토압구조물의 활동, 전도, 지지력 및 전체안정의 검사를 시행하는 것이다.

3. 1 하중경감공법

본공법을 연약지반상이나 산사태지역에서 하중경감공법으로서 적용할 경우, 기본적으로 고려하는 사항은 현지반에서 증가응력을 발생시키지 않는다든지 하중증가를 적극적으로 억제시킬수 있다는 것이다. 본공법에 의한 성토는 유해한 침하 및 수위에 의한 부력 상승문제만이 아니고 전체로서의 안정이 확보될 수있도록 설계해야 한다는 것이다.

3. 2 토압저감공법

EPS를 교대 배면 및 옹벽부의 뒷채움 재로서, 토압저감공법에 적용할 경우의 기본적인 고려사항은 배면에서의 토압을 발생시키지 않는 형상을 고려해서 EPS의 설치범위를 설계하는 것이다. 이 경우 구조물 배면에 작용하는 측압은 EPS 상부에 작용하는 총 재하중의 0. 1배로 하고있다. 측압의 분포형상에 대해서는 EPS가 경량이고 자중에 의한 증가분이 미소점등으로 인해 등분포로서 취급하고 있다.

4. 시공법

EPS공법의 시공은 통상 그림 4에 나타난 시공순서에 따라서 수행된다. 본공법의 시공 중점사항과 타 공법에 비해 특히 유의해야할 점은 아래와 같다.

4. 1 반입, 양생, 소운반

양생에 있어서는 양생공간의 확보및 경량상태에서의 바람에 의한 비산방지 대책을 충히 강구할 필요가 있다. 또한 EPS현장 반입은 통상 4TON차 (약 40m³적재)에 의해 운반된다.

4. 2 배수공

본 공법에서는 시공중 혹은 완성이후에 배수 대책에는 신중할 필요가 있다. 또한 본 공법에 대한 문제점이 배수대책을 갖추지 않는 것에 원인이 있으므로 설계시나 시공시에 각종 대책을 강구할 필요가 있다.

4. 3 EPS 설치공

EPS설치는 각각의 블럭을 각층마다 인력으로 시공한다. 설치에 있어서는 전체 시공 정밀도를 좌우하는 제1단의 시공에 가장 주의하여야한다. 또한 EPS설치는 할부도(배분도)에 의해서 행해야 한다. 할부도를 잘 이해해서 시공하는 것이 바람직하다.

4. 4 콘크리트 바닥판 공사

EPS의 상부및 설치높이에 따라서 중간부위 2~3m 마다 콘크리트바닥판을 설치하는데, 그 목적은 상재하중을 EPS부위에 균등하게 분산시키며, 유해물질의 침투방지층 역할과, 설치시 발생하는 단차등을 수정해서 개개의 블럭을 일정 높이마다 일체화시키기 위한 것이다.

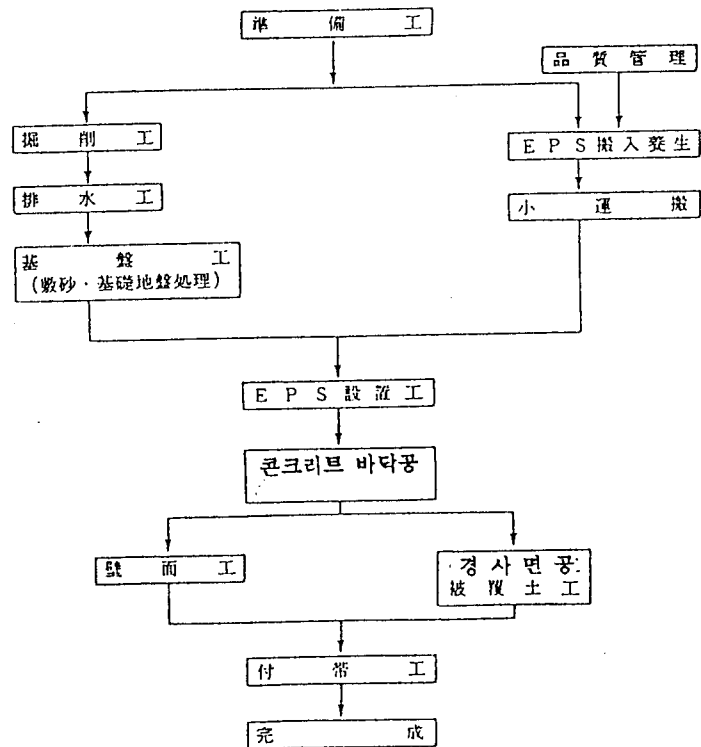


그림 4 작업공정 흐름도

5. 시공 실시예

EPS 공법은 연약지반상에서의 성토의 침하, 안정대책으로서 도로 및 공원등에서 많은 실적을 쌓아왔지만 이외에도 본 공법이 갖는 경량성, 자립성, 에너지절약의 특성을 발생시켜 급경사지에서 도로확장 및 산사태지역에서의 성토등에 유효하게 이용되고 있으며 급년들어 시공사례가 증가하고 있다.

5.1 연약지반상의 공원성토

연약지반상에 공원을 조성할때도 경관 및 이용자의 쾌적성을 고려하여, 작은동산을 꾸며 녹화식목을 계획할 수 있다. 이때 주변으로의 영향을 줄이기 위해 성토하중을 경감시키는 본 공법이 이용되고있다. 여기에 소개하는 예는 건축공사에 수반되는 조경공사이다. 당 공사구역은 거의 전역이 수십m의 깊이의 연약층으로 구성되어 있으며 이곳에 건물에 인접해서, 기록이 있는 다양한 공원조성을 계획하였다. 이때 편재하중이 건물에 미치는 측방유동이 우려되었다. 그런데, 건물주변의 조경형상개선과 동태관측 결과를 토대로 각종 대책공법이 비교된 결과, 효과, 工期의 면에서 우수한 EPS공법이 채택되었다.

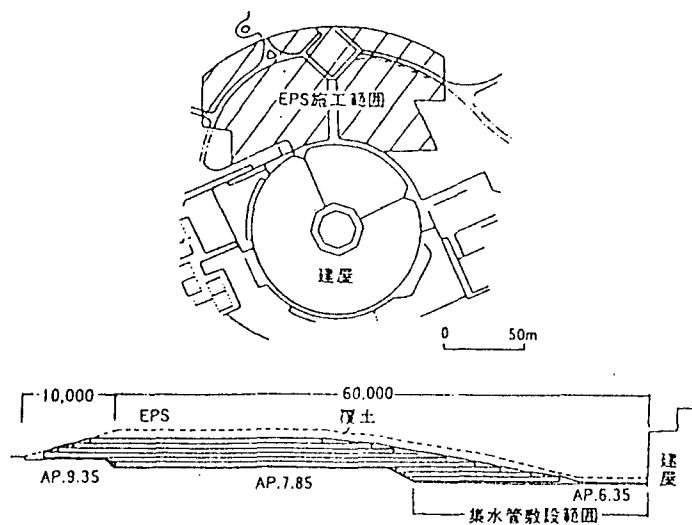


그림 5 EPS의 시공범위와 단면도

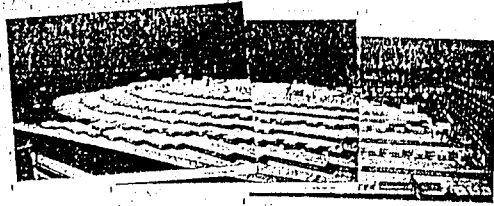


사진 1 EPS 시공상황



사진 2. 복토후의 식목

이 대책공법의 기본적인 사항은 검사시의 성토하중을 이 이상 증가시키지 않는다는 것이다. 그러나 공원내의 일부라고 말할수 있는, 건물주변에 식수할 필요성에 있어 최종 마무리면 상부에 약 1미터의 새로운 객토를 하였다. 이때 하중 증가부분에 대해서 굴착을 행하고 하중의 균형을 도모한 EPS두께가 설계되었다. 시공상황 사진및 완성후의 식목상황을 사진 1과 2에 나타내었고 EPS의 시공부위및 단면을 그림5에 나타내었다.

5. 2 급경사지 확장성토에 대한 적용의 예

급경사지에서의 확장성토의 설계, 시공상의 유의점으로는

- 1) 점성토및 붕적토 등의 퇴적층이 불안정하다.
- 2) 급경사지형에서는 성토법면이 길게되고 필요용지 폭이 크게된다.
- 3) 대형건설기계의 사용이 곤란한 경우가 많고 대형기자재의 반입에 제한이 있다.
- 4) 옹벽등의 토류구조물의 시공에서는 기초굴착시 지반안정대책이 필요하다.
- 5) 자연환경의 보호및 경관에 대해서 배려가 필요하다.

EPS공법은 이러한 모든 조건에 대하여

- 1) 초경량 성토에 의한 큰 지반 지지력을 필요로 하지 않는다.
- 2) EPS블럭 상호의 자립성을 이용하고 직립성토로 할 수가 있고, 지형에 맞는 시공이 가능하다.

- 3) 현 지형을 변형시키지 않고 최소한의 토공으로 EPS설치가 가능하다.
- 4) 간편한 방호벽 구조물로 직립면의 시공이 가능한 특징을 갖고 있고 각종지반 혹은 지형의 상황에 대응이 가능하다.

여기서 산악현도 사면부에 구축된 석적옹벽 (폭 30m, 높이 10m)에 변상이 발생, 도로체의 안정확보를 유지할 수 없었던 현장의 대책사례를 소개한다. 石積擁壁은 1 : 0.1의 기울기로 기울어 졌으나滑動의 가능성은 보이지 않았는데 주된 원인으로서는 세월이 지남에 따라 배면토사(세립분)가 빠져나갔기 때문으로 고려되어진다. 대책공법으로는 철망이 포함되어 있는 콘크리트 경사쇄공과 앵커공법을 변상옹벽전체에 실시하고 사면의 안정을 도모했었다. 그이후 당지구에서 ROOT변경(선형개량)이 검토되어지고 계곡쪽으로 약 6미터의 확장성토로서 대응할 수 있는 각종공법이 비교 검토되었다. 공법비교시 이하의 전제조건에 대응할 수 있는 공법을 채택할 필요성이 있다.

- 1) 현 도로 편도차선을, 생활도로로 늘 통행할 수 있도록 확보한다.
- 2) 공사공정을 단축할 수 있도록 힘을 쓰며 현상회복을 조속히 실행한다.
- 3) 현장의 입지조건에서 대형건설기계의 사용은 불가능하다.

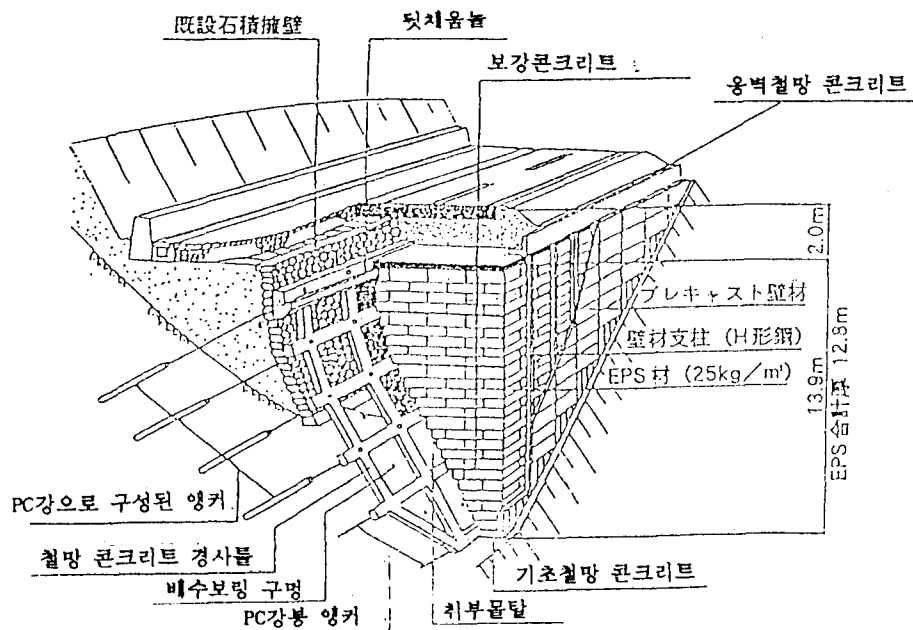


그림 6 EPS옹벽 개요도

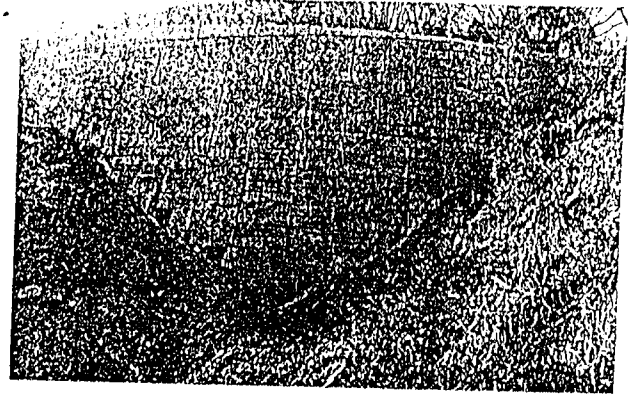
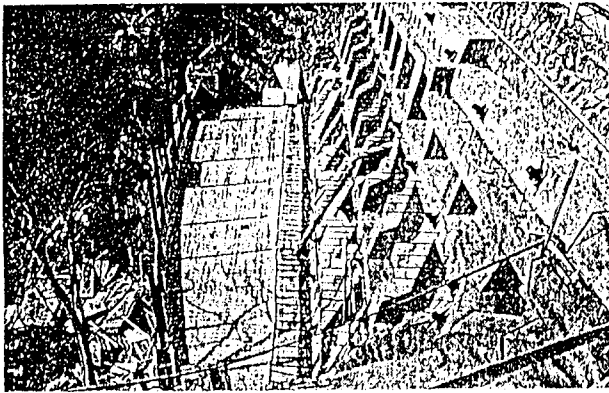


사진 3. EPS 하단설치 상황

사진 4. 완성 및 콘크리트판넬에 의한 벽면보호공

표4는 상기전제조건에 대응할 수 있는 각종의 옹벽공법을 비교한것이다. 시공성, 경제성, 안정성등 종합적으로 평가한 결과 EPS공법이 채택되었다. (그림6, 사진 3, 4 참조)

	EPS工法	逆T擁壁・深礎杭	テールアルメ工法	多数アンカー工法	井桁擁壁	逆Y型擁壁
模 式 図						
工 法 比 較 (評 価)	기존석축 및 사면 윤 법면에 앵커로 보강한 안정사면에 EPS로 시공. 경제성 , 시공성과 최적의 유리한 공법	토류공, 深礎工, 옹벽과 공정이 많고 공간이 길어 장기간 소요. 경제비교에는 불리.	슬립길이가 길고 굴삭운 해야하며 대규모 토류공이 필요. 시공시 진행 도로를 확보할수 없음	고정앵커 병행이 의한 공법으로 공기가 길게된다. 동 형상의 시공시 도로확보가 곤란.	급경사지에 접속시 키기 때문에 20m이 상의 높이가 필요하 다. 타공법에 비해 용지를 필요로 하고 공기도 가장 길다.	5단 이상의 다단으로 쌓게되고 급경사지 에서 접속시키는 이유로 뒷채움재의 정성을 들여야 하는 공법이다.

표 4. 직립벽 확장성토의 공법비교

5. 3 산사태 지역에 대한 적용에

경사면에 산사태가 발생했을 경우, 그대책으로서 가장 확실한 대책은 배토공법을 들 수 있지만 산사태지역에 어떤 건축물이 있는 경우 배토공에 의한 대책이 불가능하게 되는일이 많다. 한편 산사태지역에 대한 성토에서는 필요 역지력이 요구되어지기 때문에 당초부터 대규모적인 역지공을 검토함이 타당하게 보여진다. 산사태지역에서 본공법을 적용하는 경우, EPS의 단위체적중량이 흙의 1/100 (비중 0.02)으로 필요 역지력은 적게 되고 배토굴삭후 EPS성토를 수행함에 의해 증가응력을 제로화하는 사항도 가능하다.

그림7에 산사태지형의 EPS성토의 시공검토절차를 나타내었다. 기본적인 생각은 EPS 성토하중 (포장, EPS, 기초재, 피복토등)과 동등이상의 토사를 굴삭해서 EPS성토를 설치하는 것이다. 이것에 의해 미끄럼에 대한 안정성은 EPS성토 전과 같은정도로 되고 목표안전율을 확보하기 때문에 배수공등의 역제공및 강관등의 역지공을 병행하는셈이 된다.

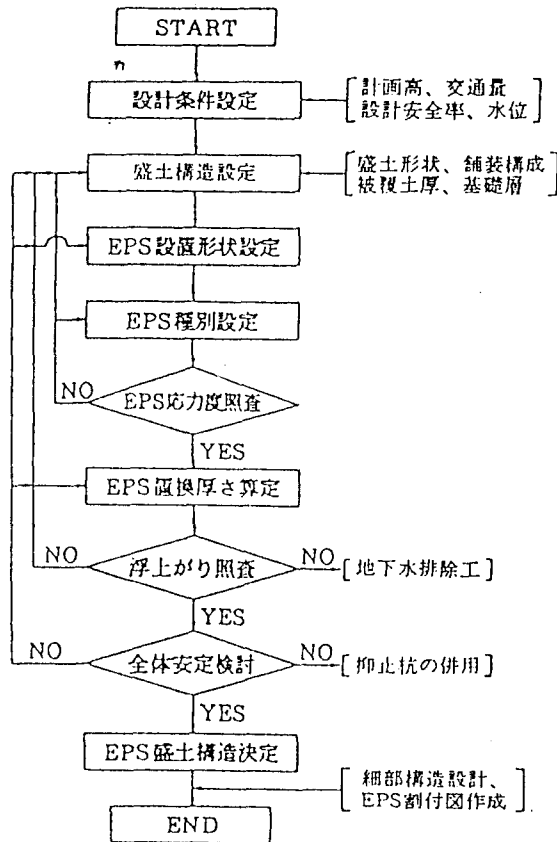


그림 7. 산사태 지역에서의 EPS 성토절차

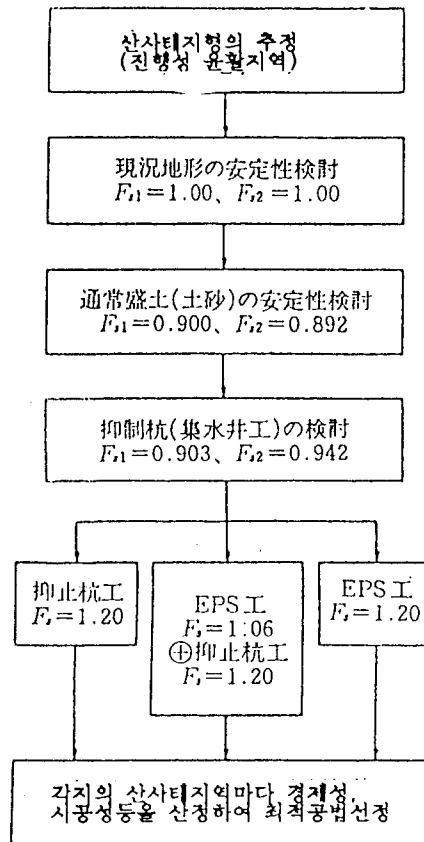


그림 8. 대책공 검토의 순서

여기에서는 산사태 지형에서의 명승지로서 알려져 있는 千牧Ⅲ의 중앙부를 횡단하는 국도개량공사에 이용되어진 사례를 소개한다. 당 지구의 산사태는 비교적 얇아서 (층 두께 약 8m) 후퇴진행성 산사태이다. 그림8에 당지구의 산사태 대책공 검토절차를 나타냈고 그림9에 시공단면도를 나타냈다. 당 지구의 설계상의 기본적인 생각을 아래에 정리하면

- 1) 대책공으로서 억지공, EPS공 및 병행공을 검토하고 있지만 단일공정으로 시행치 않고 경제성, 시공성등을 검토하여 최적의 공정이 되도록 검토한다.
- 2) 集水井설치에 의한 산사태지형의 물빠기대책을 포함하여 그림9에 표시한 EPS성토 주변의 배수대책(지하배수공, 배수용 지오텍스타일, 침투방지공과 투수층의 구성등을 철저히 하는것.
- 3) 명승지이기 때문에 콘크리트 구조물을 배제하고 경관을 고려하여 경사면에 깎토를 하고 잔디로 도포하는것이 특징이다. (사진5 와 6)

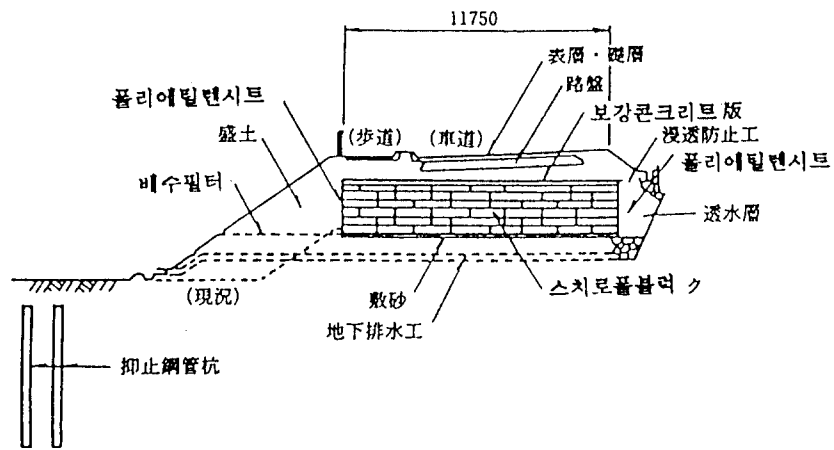


그림 9. 시공단면도

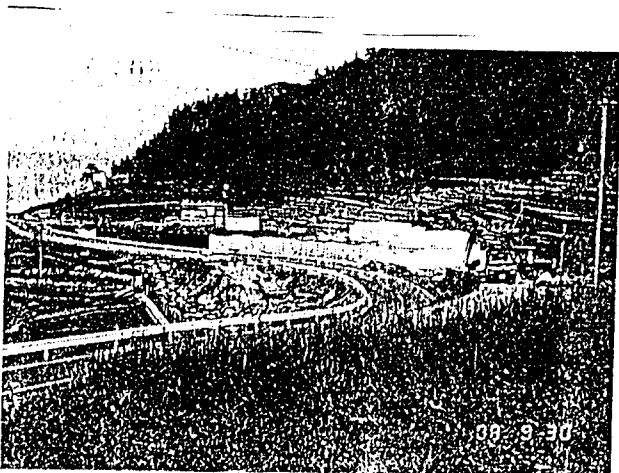


사진 5. 시공상황

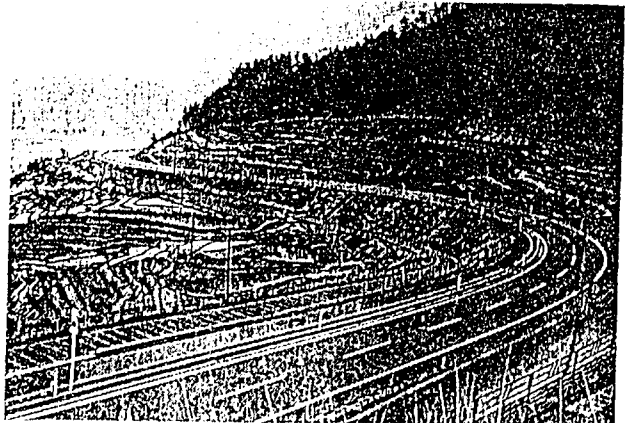


사진 6. 완성상황

1993년 2월 7일 당지점 으로부터 북동 40킬로미터 지점의 能登半島の 중앙부를 진 원으로 하는 강도 6.6 의 지진이 발생하여 EPS성토구조물에서의 붕괴등 피해가 우려되었으나 결과로는 피해가 전혀 없었다고 보고되어 있다.

6. 맺음말

EPS공법의 설계 시공에 수반되는 많은 기술적 문제 및 그 평가에 많은 노력과 지혜가 모아지고 있으며 그 집대성으로서 1992년에 발포스치로폴을 이용한 경량성토, 시공매뉴얼이 건설성토목연구소에 의해서 정리되었고 1993년에는 EPS공법이란 제목으로 책자가 발간되었다. EDO에서는 금후에도 EPS블럭내의 응력분산, 반복하중시험, EPS 인공지반 녹화기술검토, 재이용 검토 등의 기술적인 문제를 해결하고 신기술로서 한층 발전할 수 있도록 노력하며, 각종 테마로 연구할 예정이다.

■ 참고문헌

1. 건설성토목연구소 : 발포스치로폴을 이용한 경량성토의 설계시공 매뉴얼, 토목연구소자료, 제3089호, 1992.
2. 발포스치로폴토목공법개발기구 : EPS공법, 이공도서, 1993.
3. 國田雄人 : 발포스치로폴 성토의 시공예, -石川縣輪島土工회, 기초공, Vol.18, N012, pp 88~90, 1990.
4. 발포스치로폴토목공법개발기구 : 제1회합동기술부회자료, 1993