

JSP공법의 시공 사례

An Example of JSP Method



글 / 具本忠
(Koo, Bon Chung)
농어업토목기술사,
농어촌연구원 수리시험장장.
E-mail : bckhu@karico.co.kr

JSP(Jumbo Super Pile) method is a foundation treatment of mixing in depth, one of the soft ground improvement methods through which settlement and deformation of ground foundation is prevented.

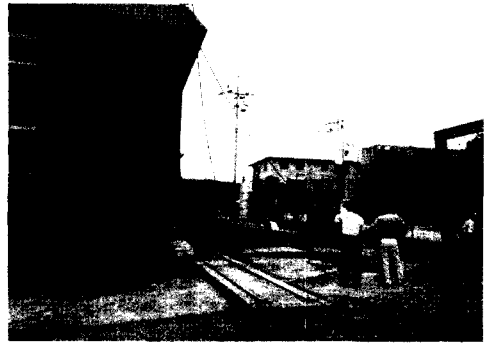
An example of this method which is applied for the foundation design of a new drainage pumping station is introduced, and another applied example for an existing pumping station which is built on soft foundation is also introduced.

1. 개요

그라우팅(grouting)은 저수지나 댐의 기초보강 및 지수, 구조물의 지반강화 및 차수 등을 목적으로 기초지반에 시멘트, 점토 등 그라우트재를 주입 고결시키는 공법으로 JSP, SCW, LW, SGR, SOIL NAILING 공법 등 다양한 공법이 있다. 특히 기설 배수장의 기초지반 보강 및 신설 초동양 배수장 기초보강 공법에 사용한 JSP(Jumbo Super Pile) 공법은 연약지반의 기초지반을 개량 및 보강하여 침하 및 기초지반의 파괴를 예방하기 위한 심층혼합처리공법으로 기초지반을 찬공함과 동시에 200 ~ 700kg/cm²의 초고압 펌프 분사방법을 사용하여 적극적으로 지반을 파쇄함과 동시에 시멘트 풀(cement milk)을 토사와 강제로 혼합 교반함으로써 연약지반을 치환 또는 혼합 충전하여 구조물 기초를 소일 시멘트(soil cement)의 원주형 고결체를 형성하는 방법이다.

사용 펌프의 노즐(nozzle)은 직경 2.3~3.0mm 정도이며 노즐 분사시의 유속은 30.0m/sec 정도이다.

배수장의 경우는 다음해 영농과 지원되는 정부 예산관계상 기존건물을 철거하고 신(개)축할 수



〈사진 1〉 JSP 주입장면

있는 시간적 여유가 없는 경우가 없는데다 지반개량을 위해서 기술적으로는 신(개)축하는 방법 이외에는 대안이 없어, JSP공법으로 건물 주변의 기초를 보강하는 방법인 본 JSP공법을 채택하기로 결정하였다. 건물의 침하정도 및 위험성을 고려하여 공 간격을 배치하여 배수장 건물 주위는 경질암반이 나타나는 깊이(25.0 ~ 27.0m)까지 14공을 설치하였고, 토출 암거부는 깊이 5m까지 8공을 설치하여 소일 시멘트를 경화재와 함께 혼합한 재료를 고압분사 주입하여 직경 D0.8m ~ D3.0m의 원주형 고결체를 형성시켜 배수장 건물 기초 슬래브와 암반지반을 직접 지지 연결하는 파일 역할을 하도록 기초지반을 개량함으로써 지반의 압밀 및



〈사진 2〉 배수장 JSP 주입모습

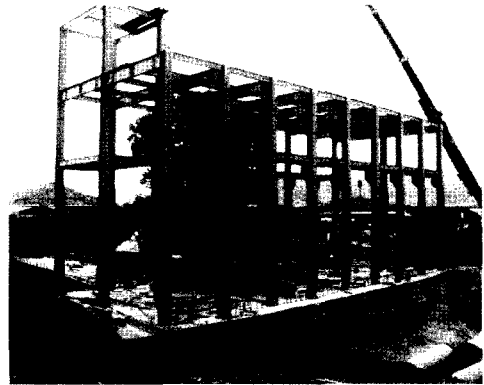
잔류침하를 정지 또는 감소시킬 수 있었다.

한편 초동양배수장은 1938년도에 설치된 디젤 엔진이 장착 양배수장으로 잦은 고장과 관리와 운전엔 많은 어려움을 겪는 가운데 2002년 8월의 태풍 루사로 인해 일부 파손되어 수해복구사업으로 재건축 및 펌프교체, 전동화하는 지구로 설계, 인가 및 시공회사 선정 등의 행정절차에 많은 시일이 소요되어 공사기간의 절대부족 및 예산부족으로 강관파일을 타설하는 파일공법으로는 2003년도 우기 전에 사업준공이 불가능하여 기초지반처리는 JSP공법을 채택하고, 건물의 골조는 강판넬 구조로 설계·시공함으로써 예산절감 및 조기준공에 기여할 수 있었다. 초동양배수장의 기초처리는 터파기나 파일을 타설하지 않고 그라우팅 천공기를 이용하여 경질암반까지 토사층을 보오링함과 동시에 천공기 고압노즐을 통한 시멘트 혼합 경화재를 고압으로 분사 주입하고 연약한 지반을 흡출



〈사진 3〉 배수장 기초공사

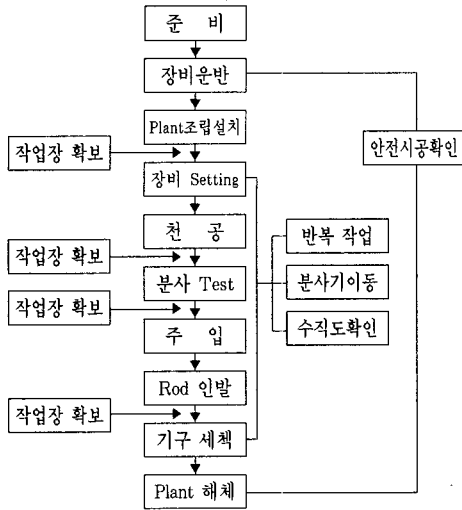
한 슬라임을 배출하여 지반을 개량한 후 적정 깊이로 터파기를 실시하고 그 위에 기초 슬래브 콘크리트를 타설한 후 건물골조를 시공하는 방법을 채택하였다.



〈사진 4〉 배수장 골조 공사

2. JSP공법의 원리

JSP공법의 원리는 운동에너지에 의한 천공기 노즐 압력, 분사류의 맥동부하, 물썰기 효과, 물덩어리의 충격력, 공동화현상 등의 메커니즘이 단독 또는 복합적인 작용에 의하여 천공기 노즐의 분사류가 토괴와 고속·고압으로 충돌하여 토립자를 파쇄하여 흩트리는 동시에 노즐분사류가 상부로 차오르는 압력에 의해 토립자를 절삭, 파괴하고 고압펌프에 의한 고압분사방법에 의해 공기압을 부과함으로써 고압분사의 에너지를 현저하게 증가시켜 분사거리를 대폭 확대하는 작용과 동시에 적절한 토사를 부유 상승시켜 슬라임을 지표로 상승시키는 작용을 하게 함으로써 고압주입으로 인한 주위 지반의 변이를 방지하는 역할을 하는 원리를 이용한 그라우팅공법이다. JSP공법의 시공 흐름도는 〈그림 1〉과 같다.



(그림1) 시공 흐름도

3. JSP공법의 특징 및 적용 범위

JSP공법에 사용되는 천공기 노즐의 분사류는 방향성이 우수하여 필요한 영역 이외로의 확산이 적고 일반 그라우팅공법으로 주입이 곤란한 세립 토층에도 시공이 가능하다는 특징이 있다. 그리고 JSP공법은 기초지반에 인위적으로 간극을 만들어 시멘트 혼합경화재로 구성된 시멘트 풀(cement milk)을 충전하기 때문에 약액주입공법처럼 주변의 지반을 손상시키는 우려가 매우 적은 것이 특징이다. JSP공법의 적용이 가능한 지층은 암반을 제외한 전 지층에 적용되나 유기질층이나 지하수의 유동이 심한 지층에는 적용이 어렵다.

4. 시공방법

장비는 천공기를 정위치에 정치시킨 후 반드시 수평기, 수직기나 경사각도기를 이용하여 천공기 타워가 설계요건을 충족할 수 있도록 정치시킨다. 장비의 정치(setting)가 완료되면 천공작업을 실

시한다. 주변에 위치한 구조물이 있을 경우에는 분사 작업시 슬라임의 배토가 불량하여 구조물의 변형을 초래할 수도 있으므로 슬라임의 배출이 용이하도록 충분한 여굴이 형성될 수 있도록 천공작업을 실시한다.

주입 시멘트 혼합 경화재의 분사압이 $200\text{kg}/\text{cm}^2$ 일 경우 1방향 분사방법의 사용노즐은 직경 2.3 ~ 3.0mm 정도이며, 사용 펌프의 종류는 Y.B.M, Koken으로 룯트의 1step 인발길이는 2.5cm(1.0m당 40step으로 구성)이며 1step 분사 시간은 설계량 $451\text{kg}/\text{m}$ 는 13.5초(sec), 설계량 $401\text{kg}/\text{m}$ 는 12.0초(sec)이며 토출량은 $60 \pm 5 \text{ l}/\text{min}$ 이고, 펌프의 회전수는 1,400 ~ 1,500회/min이다.

2방향 분사방법의 경우는 노즐의 직경 및 사용 펌프는 동일하며, 1step 분사시간은 설계량 $451\text{kg}/\text{m}$ 는 11.0초(sec), 설계량 $401\text{kg}/\text{m}$ 는 9.0초(sec)이며, 토출량은 $81 \pm 7 \text{ l}/\text{min}$ 이고, 펌프의 회전수는 1,600회/min이다.

JSP의 시공순서는 장비설치, 천공, 노즐 분사 개시, JSP 원주체 조성, JSP원주체 조성완료, 슬라임 반출, 주변정리 및 장비 철거 등의 순서로 진행된다. 슬라임의 처리는 환경관련법상 특수 화학 폐기물로 처리하여야 하며 환경관청에 등록된 유자격 처리업자에게 분리 발주하여 특수환경처리장에서 처리토록 해야 한다.

JSP공법의 시공시 유의사항은 시멘트 혼합 경화재 분사시 공기와 슬라임의 배출상태, 1 step의 인발길이, 수직도, 천공수의 누수정도, 천공시 타워의 흔들림, 천공시간, 지층상태, 기타 사항을 확인한다. 특히 슬라임이나 Air의 배출상태는 시공 정도 및 품질과 밀접한 관계가 있으므로 세밀하게 관찰한다. 슬라임(slime)이나 Air의 배출이 없는 경우는 지반의 공극이 매우 심하거나 지하수의 유

출입 또는 인공 설치물(정화조, 하수관 등)로 슬라임이 배출될 가능성이 높으므로 반드시 확인을 해야 한다.

JSP시공관리면을 살펴보면 JSP천공위치의 확인은 사전에 지표에 표시한 표식으로 확인하고 수직정도는 수준계, 측량기 추 등의 방법으로 확인하며 천공심도는 룯드의 길이를 확인하면서 천공시 나타나는 코아의 토성변화를 관찰 기록한다. 주입 시멘트 혼합 경화재의 배합비는 1,000 l의 시멘트 혼합 경화재에 시멘트 760kg, 물 760kg의 중량을 배합비 1 : 1 비율로 만들어지며 자동믹서 플랜트의 경우는 중량비에 의한 배합 수치를 자동인식계기로 확인이 가능하나, 수동믹서의 경우에는 별도의 표식작업을 선행하여 확인이 가능하도록 해야 한다. 지층내의 주입확인용 분사기에 별도의 타이머가 부착되어 자동으로 인발속도를 조작할 수 있으나 인발길이 및 시간은 별도로 확

인해야 한다. 룯드의 step 인발길이는 cm단위로 확인이 가능하며 시간은 초단위로 가능하다. 시멘트 혼합 경화재 주입량의 확인은 펌프의 토출량, 토출압력 및 주입시간으로 확인하고 주입압은 고압펌프와 분사기 상단에 부착된 압력계로 확인한다. 표준 분사조건의 확인은 소요 회전속도, 분사조건 확인, 슬라임 배출상황으로 확인하고 JSP원주체 조성중 슬라임 배출상황, 지반의 이상유무 관찰, 안전관리 등 면밀한 주변관찰을 실시한다.

설계조건의 부합 여부는 지반내의 주입량에 따라 룯드의 인발속도, 주입시간이 다르므로 이를 확인하고 토류벽 및 차수벽 시공시에는 중첩(Over Lap)시공으로 완벽한 차수 및 토류벽이 시공될 수 있도록 해야 한다.

(원고 접수일 2003. 8. 25)

