

# 고압분사주입공법에 의한 지반개량사례연구( I )

— 구조물 기초지반의 지지력증대효과 —

Case Studies on Ground Improvement by High Pressure Jet - Grouting( I )  
— Effect in the Improvement of Bearing Capacity for Foundation Ground —

윤 중 만\*1

Yun, Jung - Mann

홍 원 표\*2

Hong, Won - Pyo

유 승 경\*3

You, Seung - Kyong

---

## Abstract

When structures are constructed in ground with poor bearing capacity, deformation of ground may induce foundation settlements and cracks of structures. Recently, high pressure jet grouting is widely used to improve the engineering properties of such foundation. Sometimes, the grouting columns are built in the ground by jet grouting method. They are used as in-situ piles to increase the bearing capacity of existing foundation.

In this paper, as for the grouting columns built in ground by high pressure jet grouting with double tube rod, the effects on reinforcement and bearing capacity of ground are investigated. A series of laboratory tests has been performed on the specimens sampled from the grouting columns and a pile load test has been performed on a grouting column. The test results show that high pressure jet grouting has a sufficient effect on reinforcement of ground and restraint of settlement of structure.

## 요 지

지지력이 부족한 지반에 구조물을 축조할 경우 기초지반의 변형으로 인하여 구조물에 침하나 균열이 발생하게 된다. 이러한 기초지반을 보강하기 위하여 최근에는 고압분사주입공법으로 지중에 지반개량체를 조성하여 기초보강말뚝으로 사용하고 있다.

본 논문은 2중관 고압분사주입공법에 의해 기초지반에 시공된 지반개량체에 대하여 실내시험 및 현장말뚝재하시험을 실시하여 지반보강효과 및 지지력을 검토하였다. 시험결과 지반개량체는

---

\*1 정희원, 중앙대학교 대학원 토목공학과 박사과정

\*2 정희원, 중앙대학교 공과대학 토목공학과 교수

\*3 정희원, 중앙대학교 대학원 토목공학과 석사과정

원지반의 특성에 따라 약간의 차이는 있으나 충분한 지반보강효과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 현장타설말뚝으로서 충분한 지지력을 유지하고 있어 구조물의 침하를 억제하는데 효과가 있는 것으로 나타났다.

**Keywords :** Jet Grouting, Soil improvement, Bored pile, Foundation, Bearing capacity

## 1. 서론

공학적 성질이 불량한 연약한 점성토지반이나 투수성이 양호한 사질토 지반에 토목구조물을 축조할 경우 지하수위저하, 기초지반의 침하 및 축방유동현상 등의 발생으로 인하여 구조물에 여러가지 피해가 발생하게 된다. 최근 이러한 문제를 해결하기 위하여 고압분사주입공법이 보조공법으로 널리 이용되고 있다 (Kauschinger and Welsh, 1989).

고압분사주입공법은 사면붕괴의 방지(沈在九 외 2인, 1988), 기존구조물의 언더피닝(Burke et al, 1989), 교대의 기초보강(Parry et al, 1992), 터널전면의 자립 및 차수(Kauschinger et al, 1992)등에 적용되고 있다. 최근에는 본 공법에 의해 지중에 조성된 지반개량체를 현장타설 콘크리트말뚝(沈在九, 1981b)으로 사용하고자 하는 시도도 있었으며 현장타설콘크리트말뚝과 자주 비교되고 있다. 그러나 본 공법에 의하여 지중에 조성된 지반개량체가 말뚝으로서의 지지력 및 지반보강효과를 충분히 발휘하고 있는지의 여부를 명확하게 규명한 자료가 미비한 상태이다. 따라서 현재 본공법을 적용할 경우 시공경험만이 유일한 참고가 되고 있는 실정에 있다.

여기에, 본 연구의 목적은 고압분사주입공법에 의하여 지중에 설치된 지반개량체기둥의 지지력 및 지반보강효과를 면밀히 규명하는데 있다. 이러한 목적달성을 위해 구조물의 기초지반보강 대책공법으로 실시한 2중관 고압분사주입공법의 시공자료를 분석하였다. 본 연구에서는 두가지 방법으로 고압분사주입공법의

지반개량효과를 조사하였다. 한가지 방법은 지중에 조성된 지반개량체로부터 코어를 채취하여 일축압축강도시험, 간접인장강도시험(점하중재하시험, 압열시험), 탄성파속도시험등의 실내시험을 실시하여 지반보강효과를 검토하는 방법이며 다른 한 방법은 지반개량체의 지지력을 검토하기 위하여 시험시공한 개량체에 말뚝재하시험을 실시한 방법이다.

## 2. 고압분사주입공법

고압분사주입공법은 지반개량공법의 하나로써 고화재 혹은 분출수를 고압으로 일정한 방향으로 분출시키므로써 이 분류체가 가진 운동에너지에 의해 지반을 세굴 파괴하는 동시에 세굴된 원지반의 토립자와 고화재를 혼합교반하거나 치환하여 지중에 원주상의 지반개량체를 조성하는 것이다.

고압분사주입공법은 분사메카니즘, 사용기계, 분사압력, 시공방법에 따라 단관, 2중관, 3중관 분사주입공법의 세가지로 분류되고 있다. 즉, 단관 분사주입공법(C.C.P: Chemical Churning Pile)은 단관 로드(rod)를 사용해서 경화재를 분사시켜 지반을 절삭하고 로드를 회전 상승시킴으로써 개량체를 조성하는 방법이며(關根, 1991), 2중관 분사주입공법(J.S.P: Jumbo Special Pattern)은 2중관 로드를 사용해서 경화재와 공기를 분사시켜 지반을 절삭하고 로드를 회전 상승시킴으로써 개량체를 조성하는 방법이다(沈在九, 1981a). 마지막으로 3중관 분사주입공법(R.J.P: Rodin Jet Pile, S.I.G: Super Injection Grouting)은 3중관 로드

를 사용해서 물과 공기를 분사시켜 지반을 절삭하고 로드를 회전 상승시키면서 하단부터 경화재를 충전시키므로써 개량체를 조성하는 방법이다(건설산업연구소, 1993, 坂田, 1991).

한편, 본 연구의 대상현장에 적용된 2중관 분사주입공법의 지반개량 원리를 개략적으로 나타내면 그림 1과 같다.

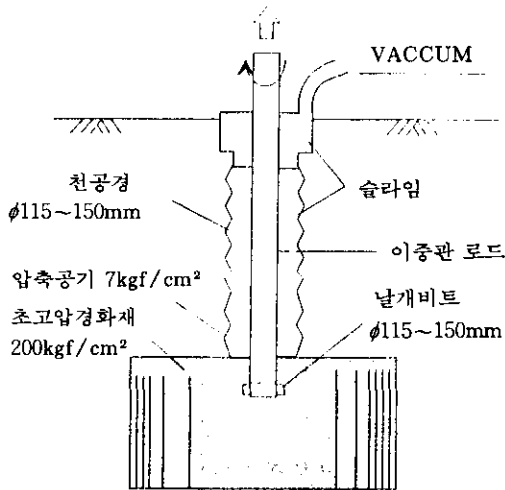


그림 1. 2중관 분사주입공법의 지반개량원리

### 3. 현장시험

#### 3.1 현장 개요

본 연구의 대상현장은 2중관 분사주입공법으로 지중에 지반개량체를 조성하여 구조물 기초지반을 보강한 현장이다. 먼저 제1현장은 아파트 신축공사시 기초지반에 시공된 PC말뚝이 충분한 지지력을 발휘하지 못한 현장이다. 이 현장의 아파트 기초지반에 발생된 부등침하로 인하여 아파트구조물에 균열과 변형이 발생되었으며 기초지반보강을 위하여 고압분사주입공법으로 지반개량체를 풍화암속 1.0m깊이까지 시공하였다. 제2현장은 지하철건설을 위한 지하굴착현장에서 지하 Box구조물의 기초지반을 보강하기 위해 고압분사주입공법을 시공한

현장이다. 2중관 분사주입공법의 시공제원은 표 1과 같다.

표 1. 시공제원 모델에서 매개변수 값

분사방식		2중관 분사방식
분사압력 (kg / cm <sup>2</sup> )	고화재	200
	공 기	7
노즐직경(mm)		2.5~3.0
분류채		초고압고화재+공기
천공방법		2중관 로드
지반개량체 조성방법		교반혼합

#### 3.2 지반 특성

지반조사결과 제1현장과 제2현장의 지층 구조는 상당한 차이가 있는 것으로 나타났다. 즉 제1현장은 기반암의 풍화작용으로 인하여 풍화잔적토층이 두껍게 분포되어 있는 반면, 제2현장은 하천의 유수에 의한 토사의 운반, 퇴적작용으로 퇴적토층이 두껍게 분포되어 있다.

각 현장의 지반조건 및 표준관입시험 결과는 그림 2와 같다. 제1현장은 지표면으로부터 매립층, 풍화대, 연암층의 순으로 분포되어 있다. 매립층은 실트질점토, 소량의 자갈, 생활폐기물이 혼재되어 있으며 상대밀도는 느슨한 상태를 유지하고 있다. 하부매립토층에는 점토질실트층이 매우 치밀한 상태를 나타내고 있다. 풍화대층은 주로 모래질실트로 구성되어 있고 상부 풍화토층과 하부 풍화토층으로 구분된다. 상부 풍화토층의 상대밀도는 보통 내지 조밀한 상태를 나타내고 있다. 풍화암층은 모암의 조직이 존재하나 완전히 풍화된 상태로 매우 조밀한 상태의 상대밀도를 나타내고 있다. 풍화암층 아래는 기반암인 연암층이 있다.

한편, 제2현장은 매립층, 층적토층, 풍화대, 연암층의 순으로 분포되어 있다. 매립토층은 주로 모래질 실트로 구성되어 있으며 모래, 자

갈, 점토 혹은 전석이 섞여 있기도 하다. 본 층은 공사이전에 경작지였던 관계로 대체로 습윤 상태로 존재한다. 상부 층적토층인 실트질 모래층은 실트와 세립질의 균질한 모래로 구성된 퇴적층이며 하부로 내려갈수록 점차 실트 함유량이 적어지는 특징이 있다. 상대밀도는 매우

느슨 내지 느슨한 상태이다. 하부 층적토층인 모래 자갈층은 실트, 세립의 모래, 자갈이 혼재되어 있으며 본 층은 상류의 범람원의 퇴적물로 모가 낫거나 원상의 자갈 및 호박돌이 함유되어 있고 상대밀도는 조밀 내지 매우 조밀한 상태이다.

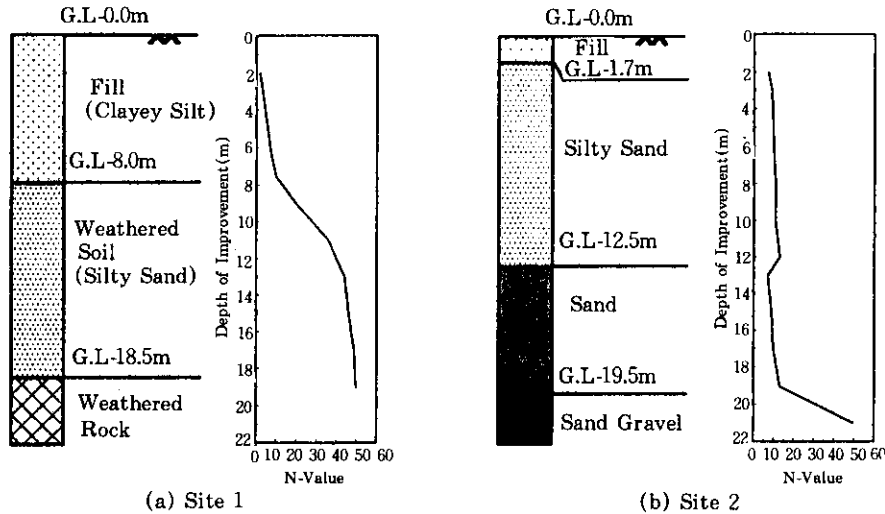


그림 2. 토질 주상도

### 3.3 고압분사주입시공

구조물 기초지반을 보강하기 위하여, 제1, 2현장에 적용된 2중관 고압분사주입공법에 의하여 시멘트 풀(cement paste)을 200kg/cm<sup>2</sup>의 고압으로 지중에 분사시켜 지반의 조직을 파괴하고, 원지반의 토립자와 시멘트 풀을 교반혼합시켜 원주상의 개량체를 조성하여 지반을 개량하였다. 지반개량체의 시공은 2중관 로드를 이용하여 계획심도까지 천공을 실시하고 천공하단부터 경화재를 고압으로 분사하여 지반개량체를 조성하면서 2.5cm씩 로드를 회전 상승시켜 계획된 주입상한선까지 개량체를 조성하였다. 제1현장에 조성된 지반개량체의 개량심도는 G.L.-5.5~G.L.-19.5m 정도이며 두부 직경은 지표면에서는 700mm로 형성되었다. 제2현장에 조성된 지반개량체의 개량심도

는 G.L.-0.5m~G.L.-13.5m 정도이며 개량체 직경은 지표면에서 800mm 정도로 형성되었다.

### 3.4 시료채취 및 실내시험

구조물의 기초지반을 보강하기 위해 2중관 분사주입공법으로 시공한 각 현장의 지반개량체에 대한 지지력 및 강도 특성을 측정하기 위하여 개량체 중심부에서 코어(직경 5cm)를 채취하였다. 제1현장에서는 4개의 시추공을 선정하였고 제2현장에서는 12개의 시추공을 선정하여 공시체를 채취하였다.

각 현장의 지반개량체에서 채취한 시료를 가지고 지반개량체의 지반보강효과를 확인하기 위하여 일축압축강도시험, 간접인장강도시험(압열시험, 점하중재하시험), 탄성파속도시험을 실시하였다. 또한, 일축압축강도시험시 공

시체의 축방향 변형률과 횡방향 변형률을 측정하여 지반개량체의 포아손비를 산정하였다.

일축압축강도시험에 사용된 공시체는 직경 5cm, 높이 10cm 정도의 크기로 제작하였으며 간접인장강도시험(압열시험 및 점하중재하시험)에 사용된 공시체는 직경 5cm, 높이 5~6cm의 크기로 제작하였다.

### 3.5 말뚝재하시험

고압분사주입공법에 의해 지중에 조성된 지반개량체가 구조물 기초보강말뚝으로써 지지력을 충분히 발휘할 수 있는가를 검토하기 위하여 제1현장에 시공된 지반개량체에 대하여 말뚝재하시험을 실시하였다. 즉, 제1현장에 시험 시공된 개량체에 앵커반력말뚝 방법으로 하중을 재하하였으며 가압장치는 내부직경이 160mm이고 최대 700kg/cm<sup>2</sup>(140ton)용량의 유압잭을 사용하였다. 재하하중은 유압잭의 유압계이와 용량이 140ton인 바이브레이션 와이어(vibration wire)방식의 하중계(load cell)를 병용하여 측정하였다. 지반개량체의 침하량을 측정하기 위하여 2개의 다이얼 게이지(dial gauge)를 시험시공된 지반개량체의 좌우에 각각 1개씩 부착하였다. 사용된 다이얼 게이지의 최소측정눈금은 1/100mm이며 최대 50mm까지 측정이 가능하다.

본 연직재하시험의 최대시험하중은 설계 하중의 3배인 120ton까지로 하였으며 시험방법은 ASTM D 1143-81의 규정에 제시된 완속재하시험과 반복재하시험을 병행하여 실시하였다. 하중재하는 매단계마다 최대시험하중의 15%씩 재하하중을 증가시키며 시험을 실시하였다. 이들 하중을 재하하는 도중 단계에서 하중을 감하하여 순침하량을 측정하였으며 하중재하 방식은 다단계(multi cycle)방식으로 실시하였다.

지반개량체의 침하량은 매단계마다 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60분 및 120분 간격으로 최대 120분까지 측정하는 것을 기본으로 하였으나 침하량이 0.025mm/h 미만인 경우에는 그 시간까지

만 측정하였다.

## 4. 지반개량체의 특성

### 4.1 기초지반 개량결과

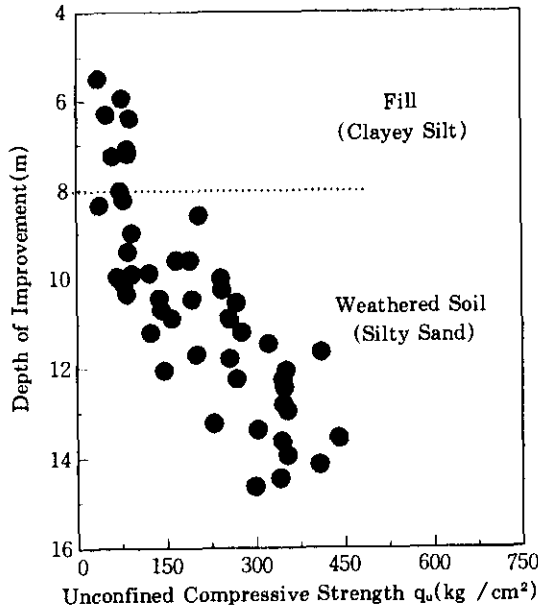
표 2는 기초지반을 보강하기 위해 2중관 분사주입공법으로 지중에 조성된 지반개량체에 대한 실내시험을 실시하여 얻은 역학적 특성을 지층별로 구분하여 정리한 것이다. 표에서 동일한 분사압력일지라도 지층의 구성성분에 따라 지반개량체의 강도는 상당한 차이를 보이고 있다. 특히, 풍화토층에 조성된 지반개량체의 강도는 점토질 실트층이나 실트질 모래층에 조성된 지반개량체의 압축강도보다 3배이상 크게 나타나고 있다. 이는 각 지층의 원지반 강도(N값)의 차이로 인한 것으로 판단된다. 한편 풍화토층에 조성된 지반개량체의 인장강도는 시험방법에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다. 즉 점하중재하시험에 의한 인장강도보다 압열시험에 의한 인장강도가 2배정도 크게 나타나고 있다.

그림 3은 개량심도에 따른 지반개량체의 압축강도 분포를 나타낸 것으로, 그림 3(a)에서 제1현장의 지반개량체의 강도는 개량심도가 깊어질수록 일축압축강도가 증가하는 형태로 나타나고 있다. 이와 같이 원지반의 심도가 깊어질수록 강도가 증대하는 것은 지반개량체가 원지반과 교반혼합하여 형성되는 관계로 원지반의 강도가 지반개량체의 강도에 영향을 미치기 때문으로 생각된다. 한편, 지표면 근처에서는 지반개량체의 강도가 작게 나타나고 있는데 이는 아파트 기초가 G.L-5.5m에 형성되어 있어 지반개량체 조성시 분사압력에 의해 기초부 균열이 발생할 우려가 있어 아파트 기초에 근접한 부분에서는 분사압력을 감소시키면서 주입상한선까지 시공하였기 때문으로 판단된다. G.L-12.0~G.L-14.0m 위치에 형성된 지반개량체의 강도(400kg/cm<sup>2</sup>)가 일부 크게 나타난 것은 이 위치에서 채취된 코어상태(코어회수율 90%이상)로 미루어 볼때 원지반과의 교

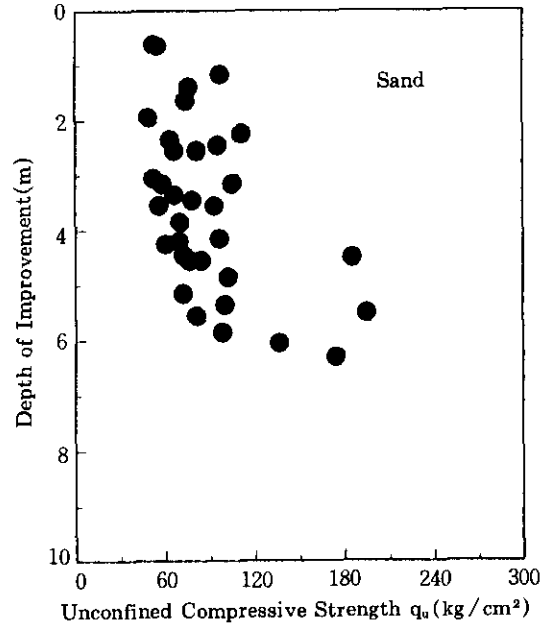
반혼합상태가 상당히 양호하여 지반개량체의 밀도가 크기 때문이라 판단된다. 즉, 이 위치에서 채취된 지반개량체의 탄성파속도는 3.8~4.0 km/s로 다른 위치에서 채취된 것보다 상당히 크게 나타났다.

반면 그림 3(b)에서 제2현장의 경우는 지반개량체의 강도는 개량깊이에 관계없이 거의 일

정하게 분포하고 있다. 이는 그림 2(b)에 나타난 바와 같이 지반개량체가 조성된 원지반의 강도(N값)가 개량깊이에 관계없이 거의 일정하며, 지반개량체의 시공이 완료될 때까지 분사압력도 일정하게 유지하였기 때문이라 판단된다.



(a) Site 1



(b) Site 2

그림 3. 개량심도별 일축압축강도 분포

한편 개량심도에 따른 지반개량체의 직경을 측정된 결과 제1현장의 경우는 지표면에서는 700mm로 측정되었으나 G.L.-5.0m에서 600mm로 측정되어 지표면에 형성된 지반개량체의 직경보다 100mm정도 작게 측정되었다. 그

림 4는 제2현장에 시공된 지반개량체의 개량심도에 따른 단면과 형상을 나타낸 것으로서 지반개량체의 형상을 확인하기 위하여 지반개량체의 두부로 부터 G.L.-2.2~-3.0m정도 깊이 까지 굴착하여 개량체의 단면 및 형상을 확인

표 2. 지반개량체의 특성

구 분	제1현장				제2현장		
	점토질실트층		풍화토층		실트질모래층		
	범위	평균	범위	평균	범위	평균	
일축압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )	36~91	70.9	85~410	245.3	49~195	86.6	
인장강도(kg/cm <sup>2</sup> )	점하중강도	3.0~14.1	6.3	7.8~19.3	12.84	-	-
	압열강도	2.6~11.6	5.8	10.4~43.1	25.76	-	-
탄성파속도(km/s)	1.48~2.1	2.23	2.37~3.84	3.25	-	-	

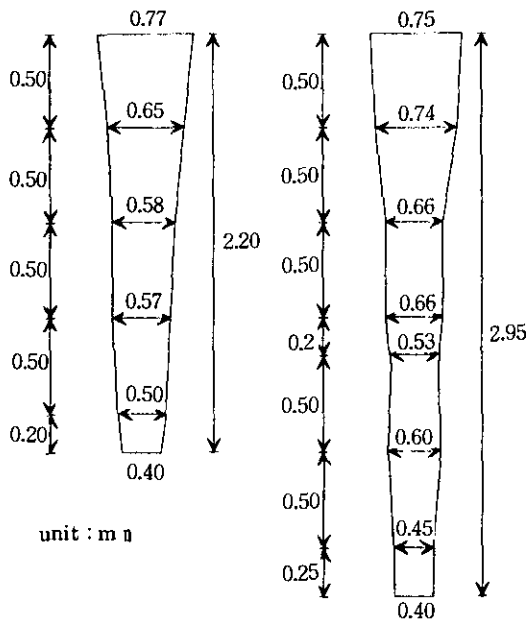


그림 4. 지반개량체 형상

한 결과인데 개량심도가 깊어짐에 따라 지반개량체의 직경은 감소하며 단면의 형상도 불규칙하게 나타났다. 따라서, 지반개량체의 구근직경을 지표면에서만 측정하여 판단하는 것은 불합리할 것으로 생각된다.

#### 4.2 개량지반의 강도특성

그림 5는 제1현장에서 시공된 지반개량체의 일축압축강도( $q_u$ )와 원지반의 N값과의 관계를 나타낸 것으로 일축압축강도는 N값이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보이고 있으며, 일축압축강도와 N값과의 관계는  $q_u = 50 \times e^{0.04N}$ 로 나타났다.

그림 6은 제1현장의 2중관 분사주입공법으로 조성된 지반개량체의 일축압축강도와 인장강도(압열강도와 점하중강도)와의 관계를 나

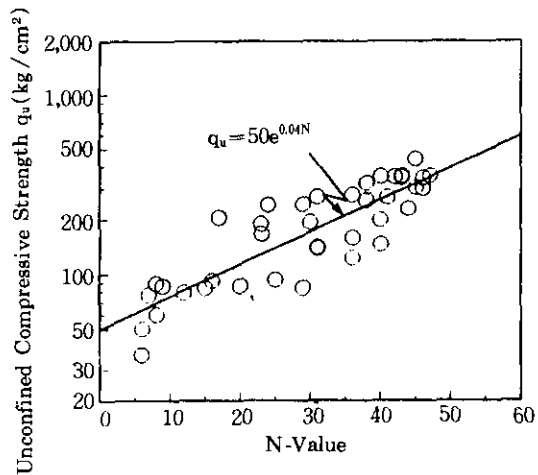
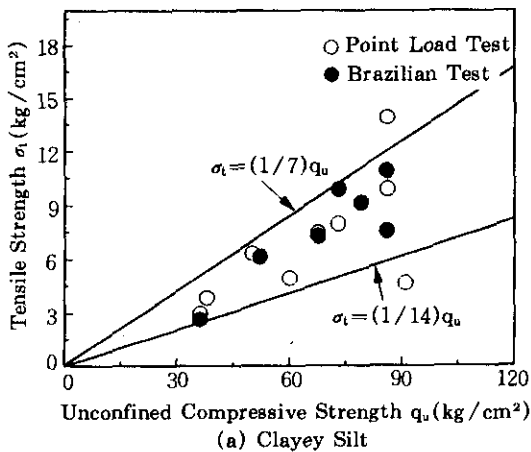
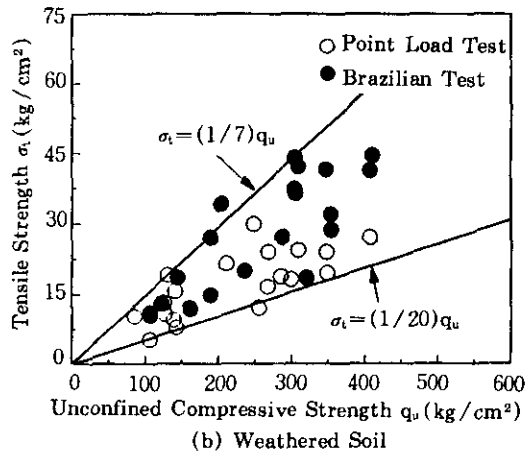


그림 5. 일축압축강도와 N값과의 관계



(a) Clayey Silt



(b) Weathered Soil

그림 6. 일축압축강도와 인장강도의 관계

타낸 것이다. 점토질 실트층(매립토층)에 조성된 지반개량체의 인장강도는 일축압축강도의 1/14~1/7 사이의 범위에 분포하고 있으며, 풍화토층에 조성된 지반개량체의 인장강도는 압축강도의 1/20~1/7 사이의 범위에 분포하고 있다. 따라서 고압분사주입공법에 의해 지중에 조성된 지반개량체의 인장강도도 원지반의 강도에 따라 차이가 있음을 알 수 있다. 한편, 보통콘크리트의 경우, 인장강도는 일축압축강도의 1/13~1/19 정도이며 경량콘크리트는 1/15~1/9정도이므로 지반개량체의 강도비(인장강도/압축강도)는 대체적으로 콘크리트와 비슷한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

한편, 그림 7은 지반개량체의 일축압축강도와 탄성파속도와와의 관계를 나타낸 것으로, 일축압축강도는 탄성파속도가 3.0km/s가 될때까지는 서서히 증가하고 있지만 그 이상의 속도에서는 급격히 증가하고 있다. 이것은 점토와 화강암질 풍화토에 있어서 井上와 谷口(1976)에 의해 발표된 밀도와 탄성파속도의 관계와 매우 유사한 경향을 보이고 있다. 따라서 지반개량체의 강도는 밀도에 크게 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

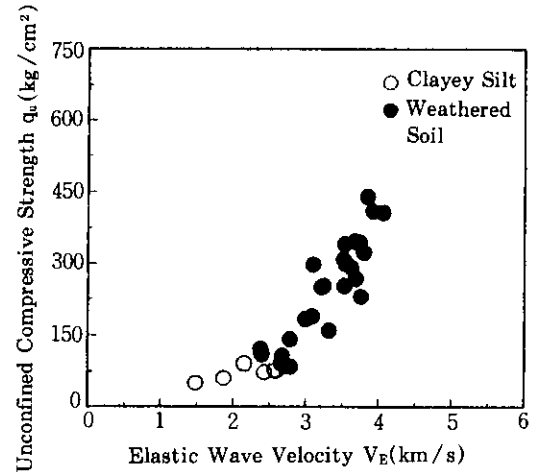
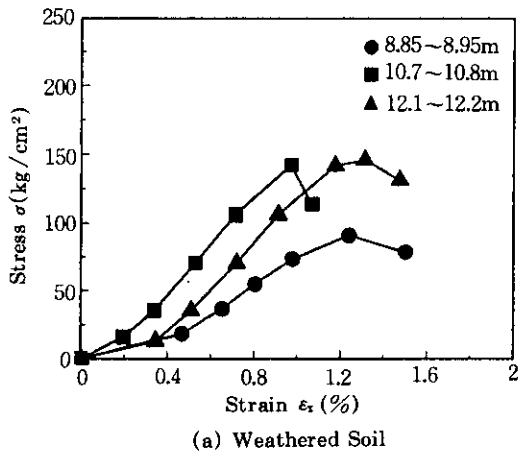


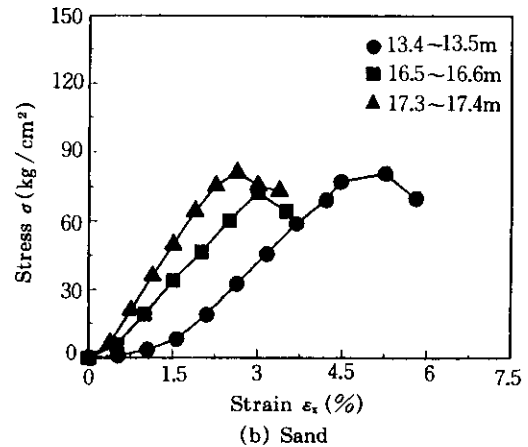
그림 7. 일축압축강도와 탄성파속도의 관계

### 4.3 개량지반의 변형특성

2중관 고압분사주입공법에 의해 지중에 조성된 지반개량체 시료의 응력-변형률 곡선을 나타내면 그림 8과 같으며 지반개량체의 초기 변형단계에서는 응력이 변형률에 비하여 완만하게 발현되고 있다. 이는 초기변형단계에서 편심에 대한 영향과 부분적으로 지반개량체내의 고결작용(cementation) 효과에 의한 영향



(a) Weathered Soil



(b) Sand

그림 8. 응력-변형률 곡선



이라고 생각된다. 한편, 파괴하중 부근에서 변형률 경화현상(strain hardening)이 발생되고 있다. 이는 파괴하중에 도달하게 되면 재료의 변형특성은 조밀한 모래에서 나타나는 다이레이턴시(dilatancy) 현상이 약간 발생하고 있기 때문으로 생각된다. 또한 재료가 파괴강도에 도달한 후 하중은 급격히 감소하지 않고 상당한 잔류 변형을 일으키는 것으로도 나타나고 있다. 이는 2중관 분사주입공법은 원지반과 교반혼합하여 지반개량체를 조성하기 때문에 고결토(cemented soil)의 거동특성을 상당히 보유하고 있는 것으로 판단된다. 한편, 지반개량체의 응력-변형률곡선으로부터 구한 지반개량체의 탄성계수는 풍화토층에서는 10300~22500kg/cm<sup>2</sup>

cm<sup>2</sup>의 범위에, 모래층에서는 1500~5000kg/cm<sup>2</sup>의 범위에 분포하는 것으로 나타났다.

그림 9는 고압분사주입공법에 의해 지중에 조성된 지반개량체의 응력-변형률 곡선으로부터 구한 지반개량체의 탄성계수( $E_{50}$ )와 일축압축강도와의 관계를 나타낸 결과이다. 지반개량체의 탄성계수와 일축압축강도와의 관계는 풍화토층에서  $E_{50} = (1200 \sim 1800) \sqrt{q_u}$ , 모래층에서는  $E_{50} = (200 \sim 700) \sqrt{q_u}$ 로 나타나고 있다. 한편, 콘크리트의 경우, 탄성계수와 일축압축강도와의 관계는  $E_c = 15000 \sqrt{\sigma_{ck}}$  (변동군의 2인, 1989)이므로 지반개량체의 변형계수는 콘크리트보다 작음을 알 수 있다.

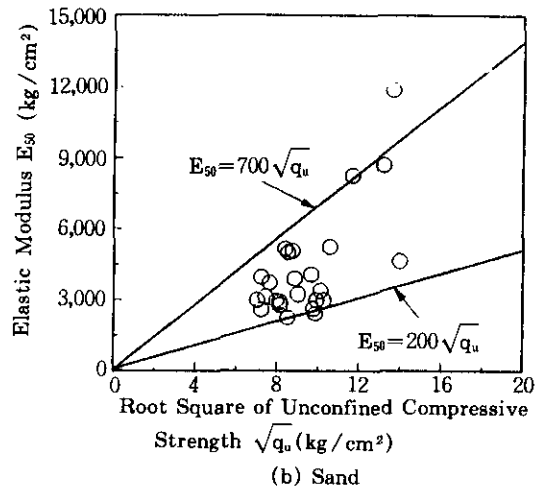
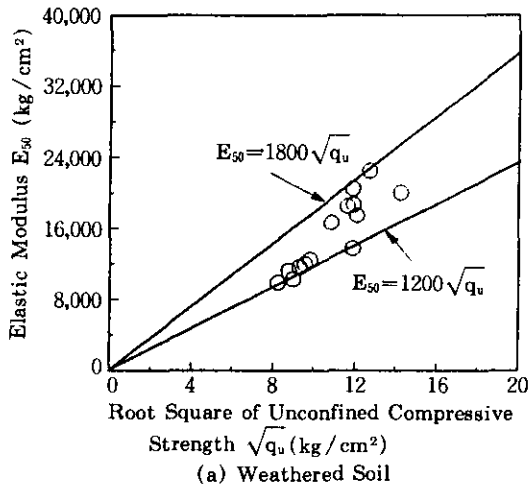


그림 9. 일축압축강도와 탄성계수의 관계

한편, 그림 10은 지반개량체의 일축압축강도 시험시 시료의 종, 횡방향에 스트레인 게이지(strain gauge)를 부착하여 측정된 시료의 종방향변형률과 횡방향변형률의 관계를 나타낸 것으로, 그림 10(a)에서 풍화토층에 조성된 지반개량체의 포아손비는 0.12~0.27범위로서 평균 0.19정도 이며 그림 10(b)에서 모래층에 조

성된 지반개량체의 포아손비는 0.11~0.30범위에 분포하고 있으며 평균 0.20정도로 지반개량체의 포아손비는 지층의 구성성분에 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 이는 콘크리트의 포아손비 0.15~0.20(평균 0.17)보다는 분포 범위가 넓으며 평균 포아손비도 콘크리트 보다는 크게 나타나고 있다(변동군의 2인, 1989).

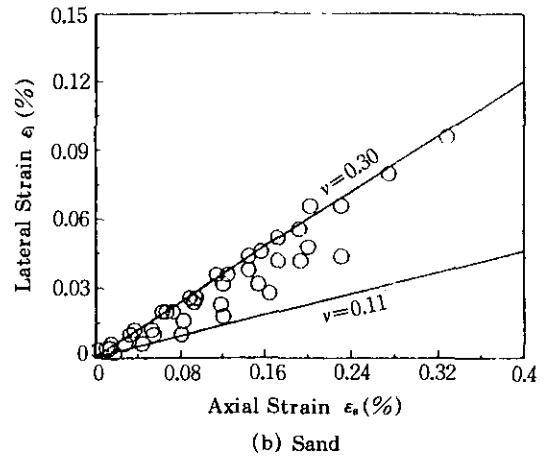
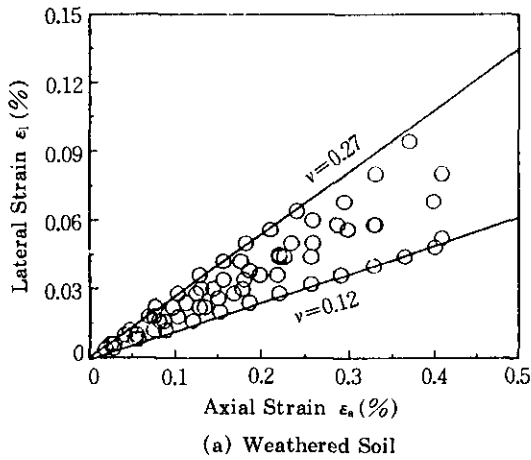


그림 10. 개량체의 포아손비

## 5. 기초지반의 지지력증대효과

### 5.1 말뚝재하시험 결과

지반개량체에 대하여 말뚝재하시험시 재하 하중이 최대시험하중인 120ton에 도달하였을때 「지반파괴」가 발생하기전에 「말뚝파괴」가 먼저 발생하였다. 이것은 지반과 말뚝사이의 마

찰강도보다 말뚝재료의 강도가 작은 경우에 발생한다. 따라서 이때의 하중을 극한하중이라고 볼 수 있다. 또한, 하중-시간-침하량 분석법에 의한 지반개량체의 항복하중을 산정하였다. 즉, S-log(t) 분석법, ds/d(log t)-P법, log P-log S법 및 P-log S법을 이용하여 지반개량체의 항복하중을 판정하면 그림 11과 같으며,

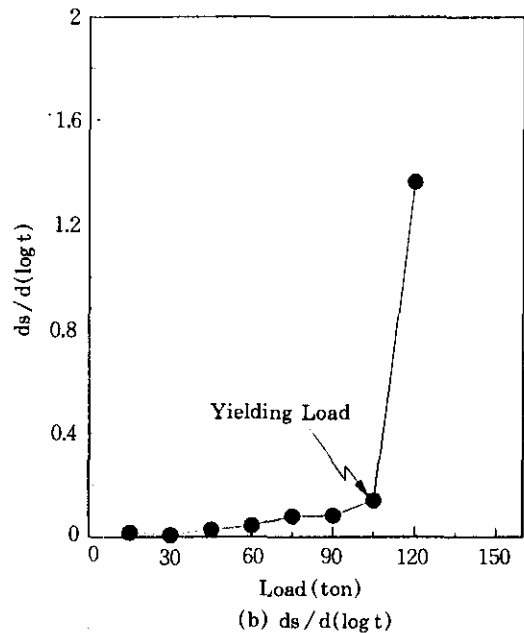
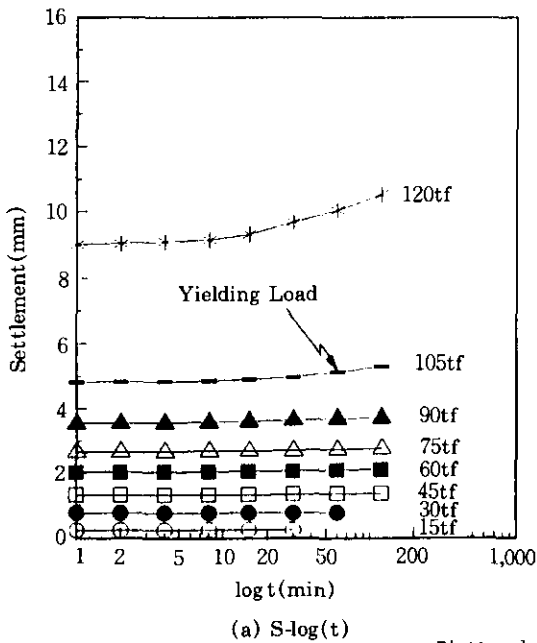


그림 11 지반개량체의 항복하중

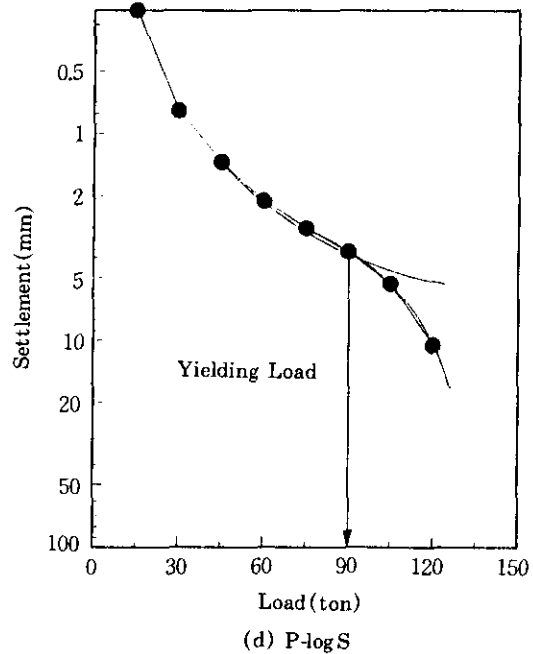
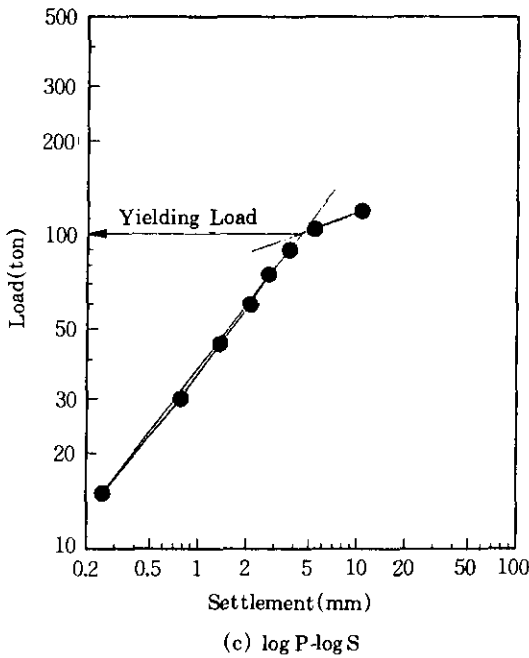


그림 11 지반개량체의 항복하중(계속)

지반개량체의 항복하중은  $S-\log(t)$  분석법에 의하면 105ton,  $ds/d(\log t)-P$ 법에 의하면 105ton/,  $\log P-\log S$ 법에 의하면 100ton,  $P-\log S$ 법에 의하면 90ton으로 나타났다.

### 5.2 지반보강효과

2중관 고압분사주입공법을 이용하여 지중에 조성된 지반개량체로부터 코어를 채취하여 얻은 지반개량체의 평균압축강도는 표 2와 같이 제1현장의 경우 점토질실트층에서는  $70.9\text{kg}/\text{cm}^2$ , 풍화토층에서는  $245.3\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 나타났으며 제2현장의 경우, 실트질모래층에서  $86.6\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 나타났다. 이들 평균압축강도를 토대로 하여 지반개량체의 허용지지력을 산정하면 실트질 모래층에서는 59ton, 풍화토층에서는 77ton, 실트질모래층에서는 61ton으로 나타났다. 여기서, 허용압축응력은 일축압축강도의  $1/4(\sigma_w=0.25q_w)$ 을 사용하였으며 지반개량체의 직경은 그림 4에 나타난 바와 같이 개량심도가 깊어질수록 감소하므로 평균직경을 적용

하였다.

한편, 지반개량체의 말뚝재하시험으로 부터 얻은 지반개량체의 극한하중은 120ton, 항복하중은 90~105ton 사이에 분포하고 있다. 말뚝에 대한 허용지지력은 통상적으로 극한 하중의  $1/3$ , 항복하중의  $1/2$ 로 결정하고 있으므로 지반개량체의 허용지지력의 40ton~52.5ton 사이에 분포하고 있다. 따라서 지반개량체에 대하여 실시한 일축압축시험 및 말뚝재하시험에서 얻은 지반개량체의 허용압축응력 및 허용지지력은 본 사례현장의 지반개량체 설계허용하중이 40ton임을 감안할 때 기초보강말뚝으로서 충분한 지반보강효과가 있음을 알 수 있다.

한편, 그림 12는 2중관 고압분사주입공법을 이용하여 지반보강을 실시하기전과 보강후에 구조물의 침하량을 나타낸 것으로 아파트 정면측의 침하량은 개량전보다 개량후가 3cm정도 침하가 더 진행되었다. 그러나 이 이후 침하는 더이상 발생되지 않고 안정되었다. 반면에 배면측은 침하가 더 이상 진행되지 않고 있으며

개량전과 거의 비슷하게 나타나고 있다. 따라서 고압분사주입공법에 의해 지중에 시공된 지반개량체는 현장타설콘크리트 말뚝으로서의

기능을 충분히 발휘하여 기초지반보강 및 구조물의 침하억지효과가 있음을 알 수 있다.

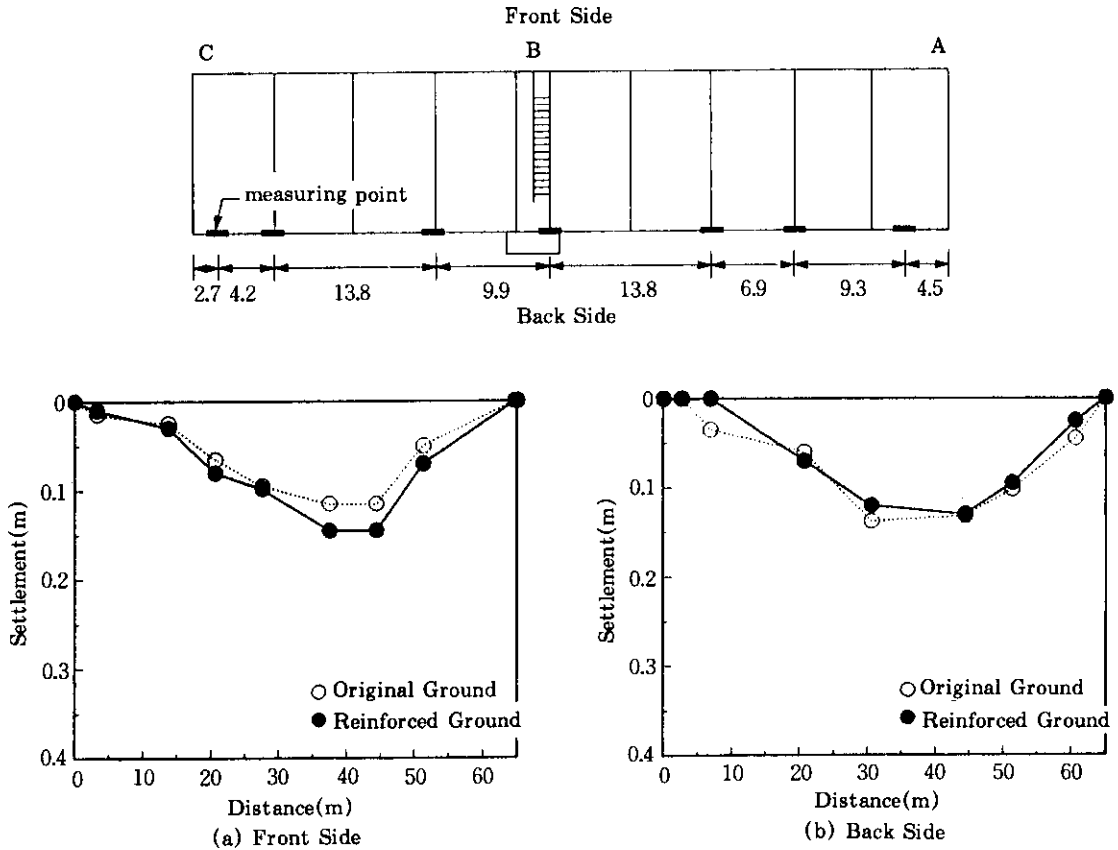


그림 12. 지반보강전·후의 침하량

## 6. 결론

구조물 기초지반을 보강하기 위하여 2중관 고압분사주입공법에 의해 지중에 조성된 지반개량체의 지반보강 효과 및 지지력을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 개량된 구조물 기초지반의 강도는 원지반의 강도(N값) 및 밀도에 상당한 영향을 받고 있으며 동일한 분사메커니즘으로 시공되어도 지층의 구성성분, 원지반의 굵기에 따라 강도의 차이가 있다.

2) 개량된 구조물 기초지반의 강도특성은 콘크리트와 비슷한 경향을 보이고 있으나 변형특성은 콘크리트와는 약간 차이가 있다. 즉, 지반개량체의 포아손비와 탄성계수로 미루어 볼때 콘크리트보다는 동일응력에 대한 변형량이 크다.

3) 지반개량체의 초기변형에는 고결작용의 영향이 포함되어 있으며 지반개량체의 파괴시 변형은 조밀한 모래와 비슷한 거동특성을 가진다. 이는 지반개량체가 원지반과 교반혼합 될때 모래성분이 상당히

포함되었기 때문이다.

- 4) 지반개량체는 말뚝으로서의 충분한 지지력을 발휘할 수 있으며 구조물의 침하역 지효과도 충분하다.

## 참 고 문 헌

1. 건설산업연구소(1993), "SIG공 공사비 산정에 관한 연구보고서"
2. 변동관, 신현묵, 문제길(1989), "철근콘크리트", 동명사, pp.8~19.
3. 沈在九(1981a), "고압분사주입공법(JSP)", 한국농공학회지, 제2권, 제3호, pp.48~51.
4. 沈在九(1981b), "고압분사주입공법에 의한 UNDER PINNING 공사 보고", 대한토목학회지, 제29권, 제2호, pp.18~25.
5. 沈在九, 金寬浩, 朴晶玉(1988), "고씨~사평간 수해복구공사 공사보고서", 대한토질공학회, 제4권, 제1호 pp.67~76.
6. Burke, J. K. et al.(1989), "Jet Grouting for Underpinning and Excavation Support", Proc. ASCE Foundation Engineering Congress, Evanston, IL, pp.291~300.
7. Kauschinger, J.L., Perry, E. B. and Hankour, R.(1992), "Jet Grout, State-of-the Practice", Grouting, Improvement Soil and Geosynthetics Edited by Roy H. Borden, Robert D. Holtz and Ian Juran, ASCE, Volume 1, pp. 169~180.
8. Kauschinger, J. L. and Welsh, J. P.(1989), "Jet Grouting for urban Construction", BSCES Geotechnical Group Seminar, Design, Construction, and Performance of Deep Excavations in Urban Areas, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge
9. Parry D. R. et al(1992), "Stabilization of Pier Foundation Using Jet Grouting Techniques", Grouting, Improvement Soil and Geosynthetics Edited by R. H. Borden, R. D. Holtz and I. Juran, ASCE, Volume 1, pp.186~168.
10. 井上啓司, 谷口敬一郎(1976), "彈性波を利用した土層の密度探査法", 土と基礎 土質工學會誌, Vol. 24, No. 3, pp.27~31.
11. 關根 建(1991), "CCP工法の最近の施工例", 基礎工, Vol. 19, No. 6, pp. 74~79.
12. 坂田 正彦(1991), "RJT工法の最近の施工例", 基礎工, Vol. 19, No. 3, pp. 80~85.

(접수일자 1995. 10. 23)