콘 관입저항치를 이용한 수직배수재 타설심도 결정에 관한 연구

A Study on the Determination of Construction Depth of Vertical Drain by Cone Resistance

장 서 용* 김 종 렬** 신 윤 섭*** 마 봉 덕****

Jang, Seo-Yong Kim, Jong-Ryeol Shin, Yun-Sup Ma, Bong-Duk

Abstract

Recently, piezocone penetration test is frequently used in order to estimate the characteristics of soft ground with standard penetration test, generally used in the past. In this study, the correlation of standard penetration test, piezocone penetration test and driving resistance of vertical drain is analyzed in order to increase the confidence for determination of soft ground depth. As the results of each zone, the relation between standard penetration test and piezocone penetration test shows qc=(1.09~1.63)N at the soft ground, determined by 5/30 N value which is decided for soft ground criteria. And qc=(1.21~1.98)N was shown at the point of compressible layer, evaluated by the preconsolidation pressure. And driving resistance of vertical drain is 65~70kgf/㎠ which is equal to 10kgf/㎠ of cone penetration resistance.

요 지

최근 피조콘시험은 과거 일반적으로 사용되었던 표준관입시험과 함께 연약지반의 특성을 평가하기 위해 빈번히 사용되고 있다. 본 연구에서는 하부지반의 지층상태를 파악하고 설계를 위한 연약지반 심도 결정 및 시공시 수직배수재 타설심도 결정시 그 신뢰도를 향상시키기 위해서 표준관입시험결과, 선행압밀하중, 수직배수재 타설시 관입에너지와 피조콘시험을 통한 콘 관입저항치와의 관계를 분석하였다. 대상 지역별로 일정한 표준관입저항치를 기준으로 평균 연약지반심도를 결정하여, 동일한 심도에서 피조콘관입저항치를 값을 분석한 결과 q_c=(1.09~1.63)N, 선행압밀하중을 고려한 결과 q_c=(1.21~1.98)N의 관계를 나타내었다. 또한 수직배수재 타설시 관입에너지와 피조콘시험을 통한 콘 관입저항치(qc)와의 관계를 분석한 결과 평균적으로 피조콘 관입저항치 10kgf/㎠의 경우 수직배수재 타설 시 관입저항치는 약 65~70.0kgf/㎠ 의 값을 나타내었다.

Keywords : Surface protector, Water repellent, Chloride ion penetration, Neutralization

핵심 용어 : 표면 보호재, 발수, 염소이온 침투, 중성화

* 전남대학교 토목공학과 박사 수료

** 전남대학교 토목공학과 부교수

*** 유신코퍼레이션 지반공학부 차장

**** 전남대학교 토목공학과 박사 수료

E-mail : syjang@moiza.chonnam.ac.kr 062-530-1651

• 본 논문에 대한 토의를 2006년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 2007년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

산업발전에 따른 국토의 확장, 농경지 확보 및 국가기간시설물의 설치 시 제한된 국토를 효율적으로 활용하기 위해서 최근 서해안을 중심으로 연약지반에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 연약지반의 거동특성은 흙 입자 성분 및 연약지반 심도에 따라 달라지므로, 합리적이고 경제적인 연약지반 개량 설계를 위해서는 흙 입자에 대한 분석과 연약지반 심도 결정 및 배수재 타설심도 결정이 매우 중요하다.

일반적으로 배수재 타설심도를 결정할 때에는 기존에 조사된 문헌이나 자료를 바탕으로 기준이 되는 표준관입저항치나 콘관입저항치를 결정하고, 이를 바탕으로 배수재 타설심도를 결정하게 된다.

연구동향을 살펴보면, Schmertmann[7], Douglas & Olsen[4], Senneset & Janbu[8]는 연약지반에서 콘관입시험에 대한 지침을 제시하여 콘관입저항치와 주면마찰력값을 이용하여 지층을 분류하는 방안을 제안하였다. Davidson & Boghrat[3], Lutenegger & Kabir[6]는 Dilatometer 시험장비와 콘관입시험기와 비교를 통하여 시험장비에 작용하는 유압과 지반 변형량 관계를 파악하여 지층을 분류 및 지반의 강도특성을 파악하는 연구를 수행하였다. 본 연구를 수행한 OO 현장은 상부가 연약점토층으로 이루어져 있으며 하부는 사질토층 및 견고한 하성점토층의 지층조건을 나타내고 있다. 본 현장과 관련하여 연약지반의 지층상태를 파악하고 설계를 위한 배수재 타설심도 결정시 그 신뢰도를 향상시키기 위해서 표준관입시험결과, 선행압밀하중, 수직배수재 타설시 관입에너지와 피조콘 시험을 통한 콘 관입저항치와의 관계를 분석하였다. 이러한 분석결과를 바탕으로 현장에서 콘 관입시험을 수행하여 연약지반 특성 및 두께를 산정할 때 효과적으로 활용할 수 있는 방안을 제안하고자 한다.

Table 1 연약지반 판정기준(일본 토목공법연구회)

구분	연약층 두께(m)	N치	q_c (kgf/㎠)	q_u (kgf/㎠)
이탄질 및 점성질 지반	D ≤10	4 이하	8 이하	0.6 이하
	D ≥10	6 이하	12 이하	1.0 이하
사질토		10 이하	40 이하	-

2. 기본이론

2.1 연약지반 기준

일반적으로 연약지반이란 연약토로 이루어진 지반을 말하며, 연약토는 강도가 약하고 압축되기 쉬운 흙을 말한다. 연약지반 결정 시 중요한 것은 연약한 정도에 대한 문제인데 이것은 연약지반에 가해지는 하중에 의해 결정된다고 할 수 있다. 즉, 지반의 연약성에 대한 평가는 연약지반에 축조되는 구조물의 규모라든지 하중강도에 따라 변화하기 때문에 상대적인 의미로 해석 및 평가하는 것이 바람직하다.

일반적으로 연약지반은 점토나 실트와 같은 미세한 입자가 많고 부드러운 흙, 간극이 큰 유기질토, peat 및 느슨한 모래 등으로 구성된 토층이며, 이러한 토층은 두께가 두꺼울수록, 지하수위가 높을수록, 상부에 퇴적된 토층의 두께가 얇아 적은 토피압을 받을수록 공학적으로 문제가 많이 발생하게 된다.

연약지반을 구성하는 흙은 매우 다양하며, 토층이나 토질에 따라 정량적으로 구분하기는 어려우나 연약지반을 개략적으로 구분하면 Table 1, 2와 같다.

Table 2 토질특성에 따른 연약지반 판단 기준
(한국도로공사, 구조물설계기준)

토층 및 토질 구분			토질 정수			
			Wn (%)	e_*	q_u (kgf/㎠)	N치
고유기질토	Peat	섬유질 고압축토	300 이상	7.5 이상	<0.4	<1
	흑니	분해가 진척된 유기질토	300-200	7.5-5.0		
점성토	유기질토	소성도 A선 이하의 유기질토	200-100	5.0-2.5	<1.0	<4
	화산회질 점토	소성도 A선이상, 화산회질 2차 퇴적점성토				
	Silt	소성도 A선이하 Dilatancy대	100-50	2.5-1.25		
	Clay	소성도 A선위 Dilatancy대				
사질토	SM, SC	#200번체 통과량 15-50%	50-30	1.25-0.8	≒ 0	<10
	SP-SC SW-SW	#200번체 통과량 15%이하	<30	<80		

2.2 피조콘 관입시험

최근 지반조사 시 많이 시행되고 있는 현장시험방법 중 하나인 피조콘 관입시험은 결과의 정확성, 시험의 신속성과 경제성에 있어 매우 우수한 방법으로 인정받고 있다. 피조콘 관입시험은 흙을 육안으로 관찰할 수 없다는 단점을 가지고 있음에도 불구하고 원추관입저항력(q_c), 슬리브의 마찰저항력(f_s), 콘이 관입될 때 발생하는 간극수압(u)을 측정할 수 있으므로 연약지반 조사 시 많이 활용되고 있다.

피조콘 관입시험을 통해서 연약지반의 비배수 전단강도특성 및 지반의 배수특성을 파악할 수 있으며, 또한 지층의 연속적인 조사를 통하여 지층변화에 따른 지층분류를 비교적 정확하게 수행할 수 있다.

피조콘 관입시험은 단면적 10cm², 선단각 60°인 콘을 사용하여 관입속도는 2cm/sec ± 0.5cm/sec를 유지하여 시험하여야 한다. 시험 시 중요한 사항은 콘의 포화상태를 유지하면서 시험을 수행하여야 하며 정확한 Calibration 단계를 거쳐 측정값의 오차를 최소화하여야 한다.

피조콘 관입시험시 포화단계 및 Calibration 단계는 Table 3과 같다.

Table 3 피조콘 관입시험시 포화 및 Calibration 단계

Piezocone의 포화 단계
① 일반적으로 필터(filter) 부분은 대형 수조에서 5~24시간 정도 방치하여 포화시킨다.
② 다공 필터를 대형 진공로 속에 소형 초음파기를 설치하여 30~50℃의 글리세린 속에 담근다.
③ 사운딩이 끝날 때마다 다시 포화시킨다.
④ 점성토층의 사운딩 시험 후에는 교체를 원칙으로 한다.
Calibration 단계
① Load cell 장치로 Dead weight와 Pressure를 조정한다.
② Pressure chamber로 간극수압을 조정한다.
③ 콘을 1m 깊이의 지중에 약 30분간 관입하여 지중의 온도와 같아졌을 때 시험을 시행하거나, 지중의 온도와 같은 온도의 물 속에서 15~30분간 담근 후 시행한다.

2.3 표준관입저항치와 콘관입저항치 관계

현장 Sounding 시험인 표준관입시험과 피조콘시험 결과를 비교하여 상호간의 관계를 평가하고자 하는 연구는 Table 4와 같이 Meyerhof(1956), Lunne 및 Robertson 등[5]에 의해 오랜 기간동안 수행되어왔다. 또한 Campanella & Robertson[2]는 입도분포(D_{50})에 따른 피조콘관입저항치와 표준관입저항치의 관계를 Fig. 1과 같이 분석하였다.

Table 4 표준관입저항(N)과 콘관입저항치(qc) 관계

제안자	관계식
Meyerhof (1956)	$q_c = (2.5 \sim 5.5)N \approx 4N$
Lunne et al (1997)	$q_c = (1.0 \sim 9.0)N$
Robertson & Campanella (1998)	$q_c = (1.0 \sim 8.0)N$

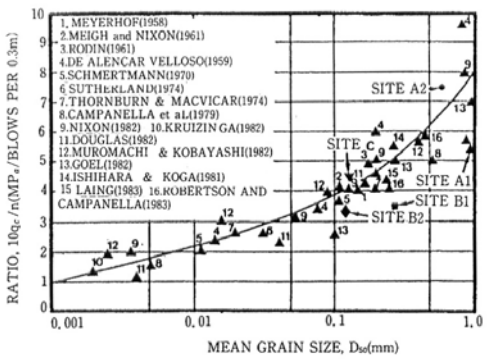


Fig. 1 피조콘관입저항치와 표준관입시험관계도

표준관입저항과 피조콘관입저항과의 관계는 재료의 특성에 따라 다양한 결과를 나타내고 있으며, 지역 및 현장여건에 따라 상이하게 나타나므로 일률적인 기준을 적용하기에는 무리가 있다. 따라서 본 연구에서는 조사된 자료를 바탕으로 현장여건에 맞는 N치-q_c관계를 파악하여 배수재 타설심도 결정 시 기준이 될 수 있는 피조콘 관입저항치 기준을 결정하고자 한다.

2.4 수직배수재 타설시 관입저항치

연약지반에 수직배수재를 타설시 현장에서 주로 문

제가 되는 것은 어느 심도까지 수직 배수재를 타설할 것인가에 대한 결정이다. 주로 현장 감리원이 현장을 관리하면서 배수재의 타설심도를 결정하지만 광활한 현장에서는 일일이 감리원들이 참여하여 배수재 타설 심도를 관리하는데는 현실적으로 어려움이 있다.

따라서 수직배수재 타설시 멘드렐 선단 관입저항에 따른 전류값(A) 또는 발생하는 유압(kgf/㎠)을 자동적으로 기록한다면 보다 효과적으로 현장관리를 할 수 있다. 또한 수직배수재 시험시공을 수행하여 발생하는 유압과 콘 관입저항치와의 비교를 통하여 배수재 타설심도를 보다 정확하게 추정할 수 있다.

3. 배수재 타설심도 결정 방법

3.1 N치 및 콘관입저항치 이용

N치와 q_c값을 이용하는 방법은 표준관입저항치를 기준으로 산정한 연약지반 평균 심도와 동일한 심도에서 피조콘관입저항치의 평균 값을 비교하여 상호관계를 분석하는 방법이다. 이러한 평가하는 방법은 지역에 따라 기준이 되는 동일 심도에서 각각의 저항치를 비교하므로 연속성 있게 조사한 콘관입저항치 자료를 활용하여 비교적 정확한 결과를 산출할 수 있다.

① 표준관입저항치를 이용하여 적정 기준에 따라 연약지반 분포를 파악하고 지역에 따라 평균 배수재 타설심도를 결정한다.
② 연약지반에서 표준관입저항치와 피조콘관입저항치와의 관계를 파악하기 위하여 심도에 따른 피조콘관입저항치 분포를 연속적으로 파악한다.
③ 표준관입저항치를 기준으로 산정한 연약지반 평균 심도와 동일한 심도에서 피조콘관입저항치의 평균 값을 산정한다.
④ 이러한 결과를 바탕으로 표준관입저항치와 피조콘관입저항치와의 관계를 산정한다.

3.2 선행압밀하중 이용

선행압밀하중을 이용하여 배수재 타설심도를 결정하는 방법은 연약지반에 선행압밀하중 이상의 하중이 재하되면 지반이 정규압밀거동을 나타내며 압밀침하가 발생하는 것을 이용한 방법이다.

압밀이 발생하는 위치를 파악하여 표준관입저항치와 피조콘관입저항치를 비교하였다. 이러한 방법으로 표준관입저항치와 피조콘관입저항치와의 관계를 평가하는 방법은 심도에 따라 연속적인 분석은 어렵지만, 작용하는 하중에 따른 연약지반의 심도를 결정하고, 직접 설계에 적용한 불교란시료를 이용하여 각각의 저항치 관계를 비교한다는 장점이 있다.

① 시추조사 시 채취한 불교란 시료의 위치를 파악하고 심도별로 정리·분석한다.
② 연약지반에서 채취한 불교란시료의 표준압밀시험을 통하여 선행압밀하중(P_c')을 산정한다.
③ 동일한 위치에서 장래 계획된 설계하중에 의한 예상증가하중(ΔP)을 계산하여 선행압밀하중과 비교한다.
④ 예상증가하중이 선행압밀하중 보다 작으면 압축은 재압축지수(C_r) 기울기에 따른 거동이 예측되므로 이를 연약층으로 평가할 수 없다.
⑤ 예상증가하중이 선행압밀하중 보다 큰 경우 압축은 압축지수(C_c)에 영향을 받게되므로 이를 연약층으로 간주할 수 있으며, 이 위치에서의 표준관입저항치와 콘관입저항치를 비교하여 배수재 타설심도 결정시 기준을 설정한다.

3.3 수직배수재 타입시 관입저항치 이용

수직배수재 타설시 연약층 강도에 따라 배수재 장비에 관입저항이 발생하는 것을 이용한 방법이다. 수직배수재 타설시 멘드렐 선단 관입저항에 따른 유압(kgf/㎠)을 자동적으로 기록하여 콘 관입저항치와의 비교를 통하여 배수재 타설심도를 보다 정확하게 추정할 수 있다.

① 먼저, 콘 관입시험을 수행하여 연약지층의 특성을 파악한다.
② 콘 관입시험을 수행한 위치에서 반경 1.0m 이내 지역에서 수직배수재를 타설한다.
③ 수직배수재 타설시 관입속도를 일정하게 유지하면서 멘드렐 선단 관입저항치에 따라 발생하는 유압을 측정한다.

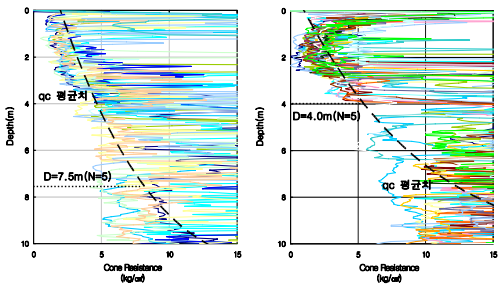
④측정한 유압치와 콘 관입저항치와의 비교를 통하여 연약지반에 수직배수재 타입시 발생하는 관입저항치를 현장관리 기준으로 활용하며, 배수재 타설심도결정시 기준으로 이용한다.

4. 평가 결과

4.1 N치 및 콘관입저항치 이용 결과

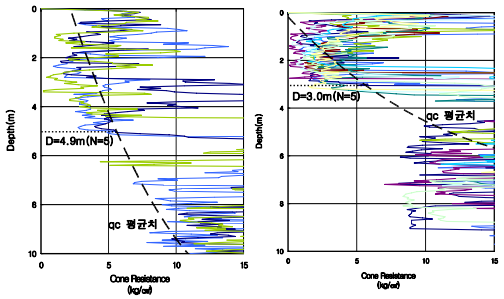
평가 지역별 표준관입저항치(N=5)를 기준으로 배수재 타설심도를 결정하였고, 동일한 심도에서 피조콘 관입저항치의 평균값을 산정하였다. 평가 지역별 배수재 타설심도를 기준으로 표준관입저항치에 따른 피조콘 관입저항치 값을 분석한 결과는 다음과 같다.

평가 결과 A-공구와 B-공구의 N치 5까지의 평균심도는 각각 7.5m, 4.0m로 나타났으며 이 심도에서 피조콘 관입저항치(qc)는 각각 평균 8.14kgf/㎠, 5.45kgf/㎠를 나타내었다.



(a) A-공구 (b) B-공구

Fig. 2 심도에 따른 N치와 q_c 관계(A, B공구)



(a) C-공구 (b) D-공구

Fig. 3 심도에 따른 N치와 q_c 관계(C, D공구)

Table 5 대상지역 평가 결과

위 치	연약층평균 심도 (m)	N치	q_c (kgf/cm^2)	q_c/N
A-공구	7.5	5	8.14	1.63
B-공구	4.0	5	5.45	1.09
C-공구	4.9	5	5.51	1.10
D-공구	3.0	5	5.55	1.11
분 석	▸배수재 타설심도에 따른 N치와 q_c와의 관계 ⇒ $q_c = (1.09 \sim 1.63)N$			

평가 결과 C-공구와 D-공구의 N치 5까지의 평균심도는 각각 4.9m, 3.0m로 나타났으며 이 심도에서 피조콘 관입저항치는 각각 평균 5.51kgf/㎠, 5.55 kgf/㎠를 나타내었다. 이 결과를 정리하면 Table 5와 같다.

A~D공구는 상부 연약점토층(0.0~7.5m), 상부 사질토층(3.0~15.0m), 하부 굳은 점성토층(12.0~25.0m)로 구성되며 상부 연약점토층은 1.0~2.5tf/㎡의 비배수 전단강도를 나타낸다.

4.2 선행압밀하중 이용 결과

지반에 선행압밀하중 이상의 하중이 작용할 때 지반은 과도한 압축이 발생하여 정규압밀토 거동을 나타내므로 평가 지역에 따라 시추위치별로 선행압밀하중과 예상증가하중을 비교하여 정규압밀토 거동을 나타낼 수 있는 위치를 선별하였다.

선행압밀하중은 하중에 따른 간극비 곡선을 통해 산정할 수 있으며, 예상증가하중은 노체 및 노상의 매립, 포장체 시공, 공용 하중 등에 의해서 결정되며 다음과 같이 표시할 수 있다.

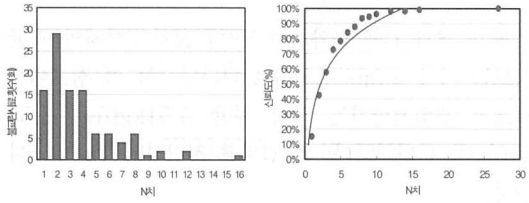
예상증가하중(ΔP)=매립하중(ΔP1)+포장체(ΔP2)
+윤하중(ΔP3)+기타

평가지역별 선행압밀하중과 예상증가하중의 값의 범위는 Table 6과 같이 나타낼 수 있다.

일부 지점을 제외하고는 예상증가하중(ΔP)이 선행압밀하중(Pc′)에 비해 크게 산정되었으며, 이를 기준으로 정규압밀토 거동이 예상되는 지점의 표준관입저항치 분포를 나타내면 Fig. 4와 같다.

Table 6 선행압밀하중 및 예상증가하중

위 치	선행압밀하중 (Pc′, tf/㎡)	OCR 범위	예상증가하중 평균(ΔP,tf/㎡)		
			a-지역	b-지역	c-지역
A-공구	4.6~12.8	0.9~1.5	15.65	11.07	11.02
B-공구	3.3~22.2	0.7~2.1	15.91	10.83	12.87
C-공구	3.0~10.3	0.6~1.2	17.86	-	14.12
D-공구	2.7~16.1	0.6~1.6	12.89		

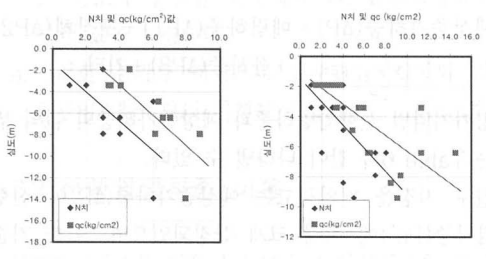


(a) 표준관입저항치 (b) N치 누적분포

Fig. 4 표준관입저항치 분포

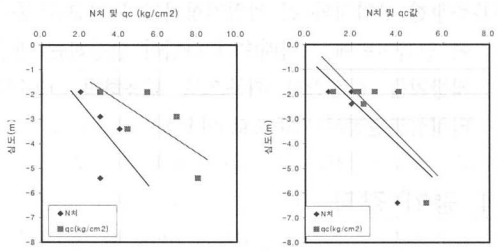
일반적으로 지반 설계정수는 현장시험결과 및 지반에서 불교란 시료를 채취하여 실내시험을 수행하여 결정하게 된다. 실제 OO 현장 부지조성공사 설계시 반영된 연약지반의 표준관입저항치의 범위는 1~10정도(5이하 지점이 전체의 70%)이며, 반영된 표준관입저항치의 기준으로 피조콘 관입저항치와의 관계를 분석하여 배수재 타설심도 결정시 기준을 마련할 수 있다. 그러나 표준관입저항치와 피조콘관입저항치를 기준으로 설정한 배수재 타설심도 기준은 설계 후 시공시 계측관리를 통하여 검증되어야 할 것이라 판단된다.

예상증가하중이 선행압밀하중보다 크게 산정되어 정규압밀토 거동이 예상되는 지점의 표준관입저항치와 피조콘관입저항치를 비교하면 Fig. 5, Fig. 6과 같다.



(a) A-공구 (b) B-공구

Fig. 5 N치와 q_c 관계



(a) C-공구 (b) D-공구

Fig. 6 N치와 q_c 관계

평가 결과 A-공구와 B-공구의 N치 평균은 각각 3.40, 3.22로 나타났으며, 이 심도에서 피조콘 관입저항치(q_c)는 5.81kgf/㎠, 5.27kgf/㎠을 나타내었다.

또한 C-공구와 D-공구의 평균 N치는 각각 2.80, 2.43이며, 이 심도에서 피조콘 관입저항치는 각각 5.55kgf/㎠, 2.94kgf/㎠을 나타내었다. 이러한 결과를 정리하면 Table 7과 같다.

Table 7 대상지역 평가 결과

위 치	N치 평균	q_c(kgf/cm^2) 평균	q_c / N
A-공구	3.40	5.81	1.71
B-공구	3.22	5.27	1.64
C-공구	2.80	5.55	1.98
D-공구	2.43	2.94	1.21
분 석	▶배수재 타설심도에 따른 N와 q_c와의 관계 $\Rightarrow q_c = (1.21 \sim 1.98)N$		

4.3 수직배수재 관입저항치 이용 결과

시험시공 부지내 A, B, C, D 공구별로 각각 피조콘 관입저항치와 수직배수재 타설시 관입에너지 분포를 조사하였으며, 시험은 각각 공구별로 3회를 수행하였다. 그 결과는 각각 A공구는 Table 8 (Fig. 7(a)), B공구는 Table 9 (Fig. 7(b)), C공구는 Table 10 (Fig. 8(a)), D공구는 Table 11 (Fig. 8(b))와 같다.

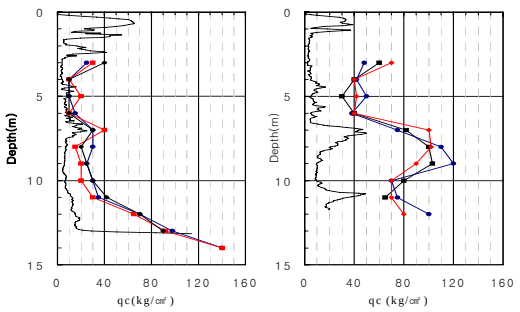
A-공구의 경우 Fig. 7 (a)에서와 같이 7.0m 지점에서 피조콘 관입저항치가 10kgf/㎠이상으로 증가하다 다시 감소하는 현상을 나타내며, 수직배수재 타입시 에너지 분포도 이와 유사한 결과를 나타내고 있다.

Table 8 수직배수재 타설시 관입에너지 분포(A-공구)

A-1(1)		A-1(2)		A-1(3)	
심도 (m)	에너지 (kgf/㎠)	심도 (m)	에너지 (kgf/㎠)	심도 (m)	에너지 (kgf/㎠)
4	10	4	10	4	10
6	15	6	10	6	10
8	30	8	15	8	20
10	30	10	20	10	30
12	71	12	65	12	70
14	140	14	140	14	-

Table 9 수직배수재 타설시 관입에너지 분포(B-공구)

B-1(1)		B-1(2)		B-1(3)	
심도 (m)	에너지 (kgf/㎠)	심도 (m)	에너지 (kgf/㎠)	심도 (m)	에너지 (kgf/㎠)
4	40	4	42	4	40
6	40	6	38	6	40
8	100	8	110	8	102
10	80	10	70	10	70
12	-	12	100	12	80



(a) A-공구 (b) B-공구

Fig. 7 콘관입저항과 배수재 관입저항치 관계

피조콘 시험결과 연약지층 분포가 12m 이하인 것을 알 수 있으며, 이때 수직배수재 관입에너지는 65~70kgf/㎠ 정도의 분포를 나타내었다.

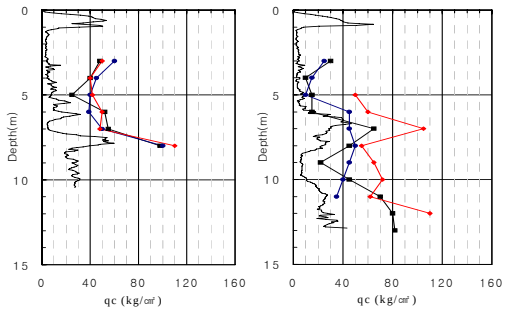
B-공구에서 시험시공 결과, Fig. 7 (b)와 같이 7.0m 지점에서 피조콘 관입저항치가 10kgf/㎠이상으로 증가하는 것을 알 수 있으며, 피조콘 시험결과 연약지층의 분포가 7.0m 이하인 것을 알 수 있으며, 이때의 수직배수재 관입 에너지는 40.0~86.0kgf/㎠ 정도의 분포를 나타내고 있다.

Table 10 수직배수재 타설시 관입에너지 분포(C-공구)

C-1(1)		C-1(2)		C-1(3)	
심도 (m)	에너지 (kgf/㎠)	심도 (m)	에너지 (kgf/㎠)	심도 (m)	에너지 (kgf/㎠)
4	40	4	45	4	40
6	52	6	39	6	50
8	98	8	100	8	110

Table 11 수직배수재 타설시 관입에너지 분포(D-공구)

D-1(1)		D-1(2)		D-1(3)	
심도 (m)	에너지 (kgf/㎠)	심도 (m)	에너지 (kgf/㎠)	심도 (m)	에너지 (kgf/㎠)
4	10	4	15	4	-
6	15	6	45	6	60
8	45	8	50	8	55
10	45	10	40	10	72
12	80	12	-	12	110



(a) C-공구 (b) D-공구

Fig. 8 콘관입저항과 배수재 관입저항치 관계

C-공구는 피조콘 시험결과 Fig. 8 (a)에서 보듯이 연약지층의 분포가 7.5m 이하인 것을 알 수 있으며, 이때의 수직배수재 관입 에너지는 51~102kgf/㎠(평균 76kgf/㎠)정도의 분포를 나타내고 있다.

D-공구의 경우 수직배수재 타입시 에너지 분포도는 Fig. 8 (b)와 같이 다소 분산되는 결과를 나타내고 있으며 연약지층의 분포가 6.0m 이하일때 수직배수재 관입 에너지는 40.0~72.0kgf/㎠(평균 56.0kgf/㎠) 정도의 분포를 나타내고 있다. 분석 결과 현장 여건에 따라 다소 차이가 발생하였으나, Table 12에서 보는 바와 같이 평균적으로 피조콘 관입저항치 10kgf/㎠의 경우 수직배수재 타설 시 관입저항치는 약 65.0~70.0kgf/㎠ 의 값을 나타내었다.

Table 12 대상지역 평가 결과

위 치	q_c (kgf/cm^2)	관입저항치 (kgf/cm^2)	평균
A-공구	10.0	65~70	65.0~70.0
B-공구	10.0	40~86	
C-공구	10.0	51~102	
D-공구	10.0	40~72	

5. 결 론

본 연구에서는 OO 현장 부지조성공사 지반조사와 관련하여 하부지반의 지층상태를 파악하고 설계를 위한 배수재 타설심도 결정시 그 신뢰도를 향상시키기 위해서 표준관입시험, 선행압밀하중, 수직배수재 타설시 관입에너지와 콘 관입저항치와의 관계를 분석하였으며, 도출된 결론은 다음과 같다.

1) 배수재 타설심도를 결정하는 과정에서 N치와 q_c값의 관계는 현장 여건에 따라 상이할 수 있으므로, 평균 연약지반심도와 선행압밀하중을 기준으로 현장 조건에 적합한 표준관입저항치와 피조콘관입저항치의 관계 산정이 필요하다.
2) 평가 대상 지역별로 일정한 표준관입저항치를 기준으로 평균 연약지반심도를 결정하여, 동일한 심도에서 피조콘관입저항치를 분석한 결과 q_c=(1.09~1.63)N의 관계를 나타내었다.
3) 선행압밀하중 이상의 하중이 작용하여 정규압밀토거동이 예상되는 지점의 표준관입저항치와 피조콘 관입저항치 관계를 분석한 결과 q_c=(1.21~1.98)N의 관계를 나타내었다.
4) 수직배수재 타설시 관입에너지와 피조콘시험을 통한 콘 관입저항치와의 관계를 분석한 결과 평균적으로 피조콘 관입저항치 10kgf/㎠의 경우 수직배수재 타입 시 관입저항치는 약 65.0~70.0kgf/㎠의 값을 나타내었다.
5) 피조콘 관입저항치와 표준관입저항치 관계를 바탕으로 연약층 심도를 결정할 수 있으며, 수직배수재 타설시 관입저항치를 이용하여 현장에서 연약층 심도까지 수직배수재를 효과적으로 타설, 관리할 수 있을 것이라 판단된다.

본 연구에서는 콘 관입저항치를 이용하여 수직배수재 타설시 압밀침하가 발생하는 적정 연약지반 심도를 결정하였으며, 향후 지표침하판 및 층별침하판 등 계측결과 분석을 통하여 수직배수재 타설심도에 적정성 여부를 추가로 연구할 필요가 있다.

참고문헌

1. 한국지반공학회, “지반조사 결과의 해석 및 이용”, 1994, pp 61~72.
2. Campanella, R. G., Robertson, P. K., "Current Status of the Piezocone Testing", 1st International Conference on Penetration Testing, Disney World, 1998, pp.112~121.
3. Davidson, J. L. & Boghrat, A., "Displacement and strains around probes in sand", ASCE Special Conference on Geotechnical Practice in Offshore Engineering, Austin, Texas, 1983, pp.181~203.
4. Douglas, B. J. & Olsen, R. S., "Soil Classification using electric cone penetrometer. Cone penetration testing and experience", Proceeding of the ASCE National Convention, St. Louis, ASCE, 1981, pp.209~227.
5. Lunne, T., Robertson, P. K., & Powell, J. J., "Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice", Blackie Academic & Professional. 1997, pp.98~145.
6. Lutenegger, A. J. & Kabir, M., "Dilatometer C-reading to help determine stratigraphy", Proceedings of the 1st International Symposium on Penetration Testing, ISOPT-1, Orlando, Florida, Vol. 1, 1988, pp.549~554.
7. Schmertmann, J. H., "Guidelines for cone penetration test, performance and design", US Federal Highway Administration, Washington, DC, Report, FHWA- TS-78-209, 1978, pp.145~190.
8. Senneset, K., & Janbu, N., "Shear Strength Parameters obtained from Static CPT", Strength Testing of Marine Sediments(STP 883), R. C. Chaney and K. R. Demars, ed, ASTM, Philadelphia, 1985, pp.41~54.

(접수일자 : 2006년 4월 21일)