

-토론-

콘관입시험기(CPT)를 이용한 비배수 전단강도

(주)도화지질 대표이사 백세환

1. 콘관입저항으로부터 점성토의 비배수 강도를 추정하는 방법은 다음과 같이 구분할 수 있다.

(1) 이론적 방법

- 1) 일반 지지력 이론
- 2) 공동확장이론 (cavity expansion theory)
- 3) 공동확장이론에 근거한 에너지보존법칙
- 4) 선형 또는 비선형 응력-변형을 관계를 이용한 해석 방법
- 5) 변형경로 이론 (strain path theory)

위의 어떠한 방법을 사용하더라도 콘관입저항과 비배수전단강도 사이의 관계는 다음과 같은 결과를 나타내게 된다.

$$q_c = N_c \cdot s_u + \sigma_o$$

여기서 N_c 는 이론적인 콘계수(cone factor)이며 q_c 는 콘의 선단저항력, s_u 는 점성토의 비배수 강도, σ_o 는 원위치 전응력 (in-situ total stress)이다. σ_o 는 해석방법에 따라 전수직응력(σ_{vo}), 전수평응력(σ_{ho}), 평균주응력($\sigma_{mean} = (\sigma_{vo} + 2\sigma_{ho})/3$) 등이 사용된다. 최근의 연구 결과에 따르면 실내모형시험으로부터 구한 콘계수와 이론적인 지지력 계수와의 비교는 (표 1)과 같다. (P. U. Kurup 등 1994)

(2) 경험적인 방법

- 1) 전체 선단저항치 (total cone resistance)를 이용하는 법

$$s_u = \frac{(q_c - \sigma_{vo})}{N_k}, \quad s_u = \frac{(q_t - \sigma_{vo})}{N_{kt}}$$

q_c 는 측정된 선단저항치, q_t 는 q_c 를 선단면적비와 간극수압에 따라 보정한 값이며 ($q_t = q_c + u_2(1 - a)$), u_2 = 선단부 바로 뒤에서 측정한 간극수압, a = 면적비) N_k ,

N_k 는 각각의 경우의 콘계수 (cone factor)이다. N_k 는 정규압밀된 해성점성토(marine deposit)의 경우 대체로 11에서 19 사이에 분포하며 평균적으로 15정도의 값을 갖는 것으로 알려져 있다. (Lunne and Kleven, 1981)

2) 유효 선단저항치 (effective cone resistance)를 이용하는 법

$$s_u = \frac{q_e}{N_{ke}} = \frac{(q_t - u_2)}{N_{ke}}$$

q_e 는 유효선단저항치이며 이 경우의 콘 계수 N_{ke} 는 9 ± 3 의 값을 갖는 것으로 알려져 있다. (Senneset 등, 1982) 유효 선단저항치, q_e 가 매우 작은 값을 갖게 되는 경우 오차가 생길 여지가 크므로 이 방법은 매우 연약한 점성토에서는 적용하지 않는 것이 좋다.

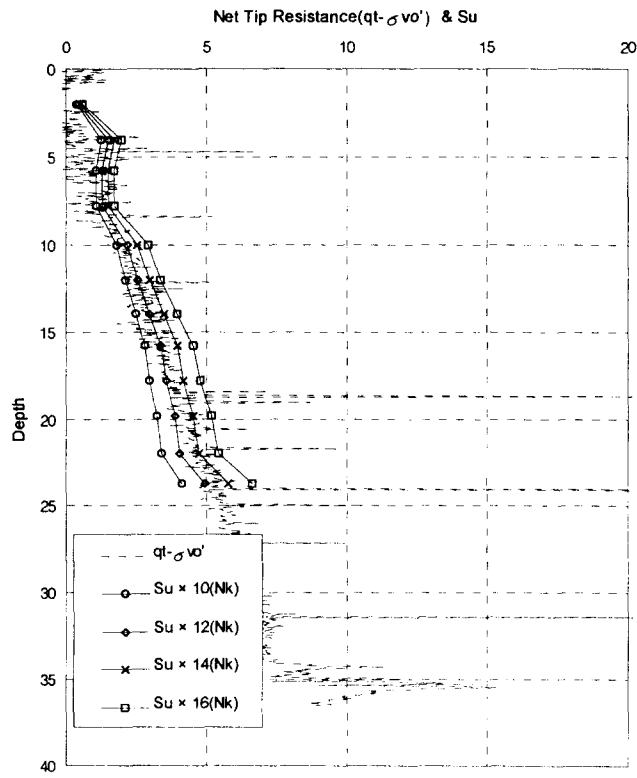
3) 과잉간극수압을 이용하는 방법

$$s_u = \frac{\Delta u}{N_{\Delta u}} \quad (\Delta u = u_2 - u_0)$$

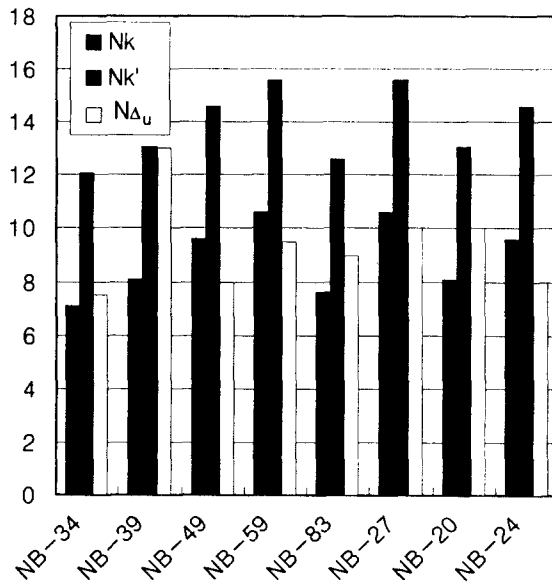
공동확장이론에 근거한 $N_{\Delta u}$ 의 이론 해는 2~20사이에 분포한다. La Rochelle 등(1988)은 세 종류의 Canadian Clay에 대해서 현장배인시험으로부터 측정된 비배수 전단강도와 콘관입시험 측정치를 비교한 결과 $N_{\Delta u}$ 는 7~9정도의 값을 갖는다고 하였다.

2. (그림 1)은 최근 국내 현장에서 수행된 콘관입시험 결과이다. 이 그림에서 보듯이 N_k 값은 12~14에 분포하고 있다. 이 때 N_k 값은 유효수직응력(σ_{vo}')에 대한 값이며 전응력에 대해서는 7~9 정도의 값을 갖는다. 이 값은 N_k 가 평균 15정도의 값을 갖는다는 기존의 연구 결과와 큰 차이를 보여주고 있다.
3. (그림 3)은 현장배인시험으로부터 추정된 비배수 전단강도로부터 전술한 각 방법의 콘 계수를 추정한 결과이다. $N_{\Delta u}$ 의 값은 8~10에 분포하며 기존의 연구결과와 비교적 일치하고 있으나 N_k , N_k' 는 다소 낮은 값을 보여주고 있다.
4. 매우 연약한 점성토의 비배수 강도를 콘관입시험 결과로부터 추정하고자 할 때 콘의 선단저항치보다는 과잉간극수압을 이용하는 것이 바람직하며 이 때 간극수압필터의 위치를 확인하고 선단부가 포화상태로 유지되도록 유의하여야 한다.

(그림 1) Net Tip Resistance & Su Relationship



(그림 2) 콘 계수 (cone factor)의 분포



(표 1) 실내모형시험으로부터 구한 콘계수(cone factor, N_M)와 이론적인 지지력 계수, N_c 의 비교

specimen number	Test	$N_M = \frac{q_t - \sigma_{vo}}{S_u}$	Bearing Capacity Models: Terzaghi (1943) Meyerhof (1951-61) $\sigma_o = \sigma_{vo}$	Cavity Expansion Models (Vesic 1972, 1977)			Steady-penetration approach Baligh (1975)	Strain-Path Method Baligh (1985) and Housby and Teh (1988)
				Spherical $\sigma_o = \sigma_{vo}$	Cylindrical $\sigma_o = \sigma_{ho}$	Spherical $\sigma_o = \sigma_{act}$		
1	PCPT1	16	7-10	8.8	6.6	11.4	17.6	13.3
1	PCPT2	16	7-10	8.8	6.6	11.4	17.6	13.3
1	QCPT1	14	7-10	8.8	6.6	11.4	17.6	13.3
2	PCPT3	13	7-10	7.5	5.6	10.0	16.6	10.8
2	PCPT4	13	7-10	7.5	5.6	10.0	16.6	10.8
3	PCPT5	15	7-10	8.0	6.0	10.6	17.0	11.7
3	PCPT6	16	7-10	8.0	6.0	10.6	17.0	11.7
3	QCPT3	14	7-10	8.0	6.0	10.6	17.0	11.7
4	PCPT7	7	7-10	9.8	7.3	12.4	19.3	14.7
4	PCPT8	7	7-10	9.8	7.3	12.4	19.3	14.7
4	QCPT3	6	7-10	9.8	7.3	12.4	19.3	14.7

$$N_M = \frac{q_t - \sigma_{vo}}{S_u}$$

참고 문헌

1. P. U. Kurup, G. Z. Voyiadjis and M. T. Tumay (1994), Calibration Chamber Studies of Piezocone Test in Cohesive Soils, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 120, No. 1., pp.81~107.
2. T. Lunne, P.K. Robertson and J.J.M. Powell(1997), Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice, Blakie Academic & Professional.