

N值 · c · φ의 새로운 고찰 및 이용법

(New Consideration & Application Methods of N value · c · φ)

서울시지하철건설본부 崔 允 吉
수 원 대 학 교 蔡 瑛 秀
대 원 토 질 주식회사 崔 容 基
서울시지하철건설본부 金 滿 鎬

1. 序論

N值 및 c · φ는 土質工學에 있어서는 가장 重要한 土質定數이다. 標準貫入試驗은 地盤의 역학적 定數值로서 사용될뿐 아니라 地質學的으로도 흙의 性質을 定量的으로 나타내는 지표로서 사용되는 등 그 사용 예는 실로 넓다. 실용적인 면에서의 중요성은 물론이지만, 研究의 테마로서도 많은 사람들에 의하여 오래전부터 다루어지고 있으나 아직 未解決의 많은 問題를 남긴채로, 실제의 計劃, 設計, 施工 現場에서 폭넓게 사용되고 있는 것이 事實이다. 또한 SPT 試驗은 조작하는 사람에 의하여 결과가 바뀔 수도 있으며, 현장시험결과의 確認方法이 없고, 이용방법이 시험방법에 규정된 限界(範圍)를 초과한 부분까지 사용되는 등의 여러 문제점이 대두되고 있는 실정이다. 이러한 배경으로부터 음회부터 약 10회에 걸쳐 標準貫入試驗의 실태, 관입시험 메카니즘과 새로운 利用法, N值의 解析과 적용, N值에 의한 地盤評價, c · φ의 해석과 의미, 粘性土에서의 c · φ, 모래질토에서의 c · φ, 자갈층 · 암반재에서의 c · φ, 마사토에서의 c · φ, 堆積層에서의 c · φ 등에 대하여 考察하며, 최종적으로 Karl Terzaghi · Peck의 SPT 제안부터 전세계의 관련 基準과 標準規格, 國內基準 등을 檢討하여 국내에서의 N值 · c · φ의 理論 定立과 실제 現場에서 適用方法의 基準을 제시하고자 한다.

2. 標準貫入試驗(SPT)의 歷史

지반 관입시험은 1920년대 중반에 Gow社가 그때까지 일반적으로 사용되어진 「워시보링」에 의한 地質調査 대신 임의의 심도에서 보링공 바닥에 「튜브 Sampler」를 넣어 시료를 채취함과 동시에, 이 「튜브 Sampler」를 넣기 위하여 필요한 타입회수를 測定하여, 지질주상도에 기록함에 의하여 시작되었다고 알려지고 있다. 그후 Raymond Concrete Pile Company社가 140파운드(63.5kg)의 Hammer)와 30inch(약 75cm)의 落下高를 표준화하여, 케이슨의 設計 · 施工이나 파일의 타입 길이 決定用에 「Raymond Sampler 타입시험기」가 보급되어 갔다. 1948년에 Karl Terzaghi · Peck의 土質力學(Soil Mechanics in Engineering)에서 Raymond Sampler 타입시험기에 의한 試驗法을 標準貫入試驗(Standard Penetration Test, SPT)이라는 명칭으로 처음 발표되었다. 세계 각국에서의 표준관입시험의 規格化 過程은 다음과 같다.

- 1951년 : 日本에서 최초로 標準貫入試驗 導入
 1953년부터 : 日本에서 土質과 N值 연구가 본격적으로 시작
 1957년 : 유럽 貫入試驗 소위원회(ES) 발족
 1958년 : 美國에서 ASTM · D1586 假規格이 제안됨
 1960년 : 캐나다에서 CSA(캐나다규격) A119.1이 標準規格으로서 제정됨
 1961년 : 日本에서 JIS · A1219가 制定
 1964년 : 美國에서 ASTM · D1586 假規格이 개정됨
 1967년 : 美國에서 ASTM · D1586 標準規格이 개정됨
 : 英國에서 BS1377중에 試驗方法 18로서 규정됨
 1977년 : 제 9회 ICSMFE(동경)에서 유럽 統一 原案이 발표
 1981년 : 제10회 ICSMFE(스톡홀름)에서 유럽원안을 국제적으로 재검토
 1984년 : 제11회 ICSMFE(샌프란시스코), 國際標準試驗 法案 발표
 1989년 : 제12회 ICSMFE(리오데자네이루), 國際標準試驗法 최종안 제시
 1991년 : ASTM, BS 개정이 이루어졌는바,
 BS 주요 개정 내용은 Sampler와 外徑 $51.1 \pm \text{mm}$, 內徑 $35 \pm 0.5 \text{ mm}$,
 全長 $680 \pm \text{mm}$, 先端두께 1.6 mm, hammer중량 63.5 kg이다.

3. N值와 土質定數

가) 粘性土의 粘着力

日本 道路示方書 : $c = (0.6 \sim 1.0)N \text{ (t/m}^2\text{)}$

나) 砂質土의 剪斷抵抗角

日本 國鐵

$$\phi = 1.85 \left(\frac{N}{\sigma_v + 0.7} \right)^{0.6} + 26$$

日本에서의 地震時 上限

$$\phi = 0.5 N + 24$$

日本 國鐵舊 設計標準

$$\phi = 0.3 N + 27$$

日本 道路橋 示方書

$$\phi = \sqrt{15N} + 15$$

日本 建築 基礎構造 設計基準

$$\phi = \sqrt{20N} + 15$$

(σ_v : 지질조사시 해당 위치의 有效上載荷重(kg/cm²), 알은 기초의 경우
 最小値는 0.5kg/cm² 적용)

다) 지반의 變形係數
「요시나카 提案式」

$$E_o = 4 \times E_b = 28N$$

日本「鐵道標準」

$$E_o = 25N$$

(E_o : 지반의 變形係數, E_b : 보링공내 변형계수)

라) 지층의 平均 剪斷 彈性波 速度
粘性土層의 경우

$$V_s = 100 N^{1/3} \quad (1 \leq N \leq 25)$$

砂質土層의 경우

$$V_s = 80 N^{1/3} \quad (1 \leq N \leq 50)$$

(V_s : 지층의 평균전단 탄성파 속도, N : 해당지층의 평균 N 值)

4. 液狀化의 判定 略

5. 基礎의 設計와 N 值

가) 支持地盤의 선정

支持層이란 기초로부터의 荷重을 安全하게 지지할 수 있는 良質의 地盤을 말한다. 岩盤이나 대략 N 值 30 이상의 모래자갈층·모래지반, 대략 N 值 20이상의 粘性土層으로 충분히 두터운 층을 가진 地盤을 가르킨다.

나) 直接基礎의 설계와 N 值의 이용

支持力 係數는 「 $\sqrt{3}$ N 值와 土質定數」의 式을 직접적으로 사용

다) 케이슨 基礎의 設計와 N 值의 이용

鉛直方向과 水平方向의 地盤反力係數 및 剪斷應力 정수도 變形係數式으로부터 推定

라) 말뚝기초의 설계와 N 值의 이용

$$R_u = A Q_d + U \sum l_i \cdot f_i$$

- R_u = 地盤에 의하여 정하는 말뚝의 極限 支持力(t)
- A = 말뚝의 先端面積(m²)
- Q_d = 말뚝 先端의 極限 支持力度(t/m²)
- U = 말뚝의 周長(m)
- l_i = 周面摩擦力을 고려하는 층의 두께(m)
- f_i = 周面摩擦力을 고려하는 층의 최대 周面摩擦力(t/m²)

6. 建築基礎에 있어서 N值의 利用方法과 活用

건축기초설계의 現場에서는 標準貫入試驗 이외의 土質調査를 하는 것은 드물며, N值가 萬能으로 되어 있는 듯하다. 日本 建設省 營繕部の 「構造設計指針」에서는 標準貫入試驗을 보링과 병행하여, 모든 설계시공시 시험보링 개념으로 정착되었다.

가) 液狀化 判定에서의 N值 이용

나) 液狀化 判定의 순서

- ① 地반내의 각층에 발생하는 等價的인 반복 剪斷應力比를 算定한다.
- ② 標準貫入試驗의 함마에 의한 타격 方法의 차이에 의하여, N值를 수정한다.
- ③ 보정 N值 N_a 를 계산한다.
- ④ 剪斷變形 진폭 5%의 規準曲線을 사용하여 補正 N值인 N_a 에 대응하는 飽和層의 液狀化 抵抗比를 구한다.
- ⑤ ①에서 구한 반복 剪斷應力比와 ④에서 구한 液狀化 저항비의 비를 안전율 F_l 로 정의한다.
- ⑥ 상기 안전율 F_l 의 깊이 방향의 분포를 그려서, F_l 이 1.0 이하의 토층이 액상화의 가능성이 있는가를 판단한다.

다) 基礎의 設計와 N值의 이용

1) 直接基礎의 設計와 N值의 이용

i) 土質試驗 結果의 이용

$$Q_d = \alpha \cdot c \cdot N_c + \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_r + \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q$$

Q_d : 地반의 極限支持力度(t/m^2)

c : 粘着力(t/m^2)

γ_1 : 基礎底面下 하부지반의 單位體積重量(t/m^3)

γ_2 : 基礎底面 상부지반의 單位體積重量(t/m^3)

α, β : 기초 形狀에 따라 결정되는 支持力 係數

N_c, N_r, N_q : 地반의 內部摩擦角에 의하여 결정되는 支持力 係數

D_f : 基礎의 근입깊이(m)

B : 기초의 幅(m)

윗 식의 적용에 있어,

粘性土에서는

$$c = \frac{Q_u}{2}, \quad \phi = 0 \text{ 을 사용}$$

모래지반에서는

$$c = 0, \quad \phi = \sqrt{(20N)} + 15$$

ii) 經驗值의 이용

砂質土 $Q_a = (0.8 \sim 1) N (t/m^2)$

沖積粘土 $Q_a = (1 \sim 1.2) N (t/m^2)$

洪積粘土 $q_a = (2 \sim 5) N (t/m^2)$

關東loam $q_a = 3 N (t/m^2)$

2) 지반의 變形係數 E

표1. 지반의 變形係數 (t/m^2)

地盤의 種類		變形係數
粘土層	飽和粘土	$(2.5 \sim 10)q_a$
	關東loam	$(10 \sim 17)q_a$
모래층	定規壓密된 모래	14N
	過壓密된 모래	28N

3) 말뚝기초

i) 타입말뚝의 경우

$$lRa = \frac{1}{3} \left\{ 30 \cdot \bar{N} \cdot A_p + \left(\frac{\bar{N}_s \cdot L_s}{5} + \frac{\bar{Q}_u \cdot L_c}{2} \right) \phi \right\}$$

여기서

lRa : 單말뚝의 장기허용지지력

\bar{N} : 말뚝 先端보다 하방향으로 1D (D는 말뚝지름), 上方 4D 사이의 평균 N值

$$\bar{N} \leq 60$$

A_p : 말뚝의 先端面積(m^2)

\bar{N}_s : 말뚝주위 地盤에서 砂質土 部分의 평균 N值

$$\bar{N}_s \leq 50 (tf/m^2)$$

L_s : 砂質土 地盤에 차지하고 있는 부분의 말뚝길이

\bar{Q}_u : 말뚝주위 地盤中 粘土質 部分의 平均一軸壓軸強度

$$\bar{Q}_u \leq 20 (t/m^2)$$

L_c : 점토질 지반중에 있는 말뚝길이(m)

ϕ : 말뚝의 周長(m)

ii) 현장말뚝의 경우

$$lRa = \frac{1}{3} \left\{ 15 \cdot \bar{N} \cdot A_p + \left(\frac{\bar{N}_s \cdot L_s}{5} + \frac{\bar{Q}_u \cdot L_c}{2} \right) \phi \right\} - W$$

W : 말뚝 本體의 自重(t)

$$\text{단, } \bar{N} \leq 60, \quad \bar{N}_s \leq 25, \quad \bar{Q}_u \leq 10 (t/m^2)$$

iii) 매입말뚝의 경우

$$Ra = - \left\{ 20 \cdot \bar{N} \cdot Ap + \left(\frac{\bar{N}_s \cdot L_s}{5} + \frac{\bar{Q}_u \cdot L_c}{2} \right) \phi \right\}$$

$$\text{단, } \bar{N} \leq 60, \quad \bar{N}_s \leq 25, \quad \bar{Q}_u \leq 10 \text{ (t/m')}$$

7. 結論

앞에서 언급한 바와 같이 標準貫入試驗法의 표준화 案이 1989년에 제출되었다. 그 후, 1991년에 ASTM과 BS가 연속하여 개정되었다. 「ASTM D-1586-84」의 개정은 機器類의 許容値를 삽입한 부분적인 개정이나, 「BS1377 ; Part9」는 Sampler, Hammer의 形狀 重量을 변경하여 1988년의 국제표준 시험법에 맞도록 개정하고 있다. 즉, Sampler는 外徑 51.1±1mm, 內徑을 35±0.5mm, 全長 680mm, 先端날 두께 1.6mm, hammer중량 63.5kg으로 바뀌어 標準試驗法과 근사하게 되어 있다. 이 개정이 앞으로 세계 각국의 표준관입시험의 規格統一에 어떠한 영향을 미칠것인지가 매우 주목된다. 한편, 地盤構造物 設計法에서 사용하는 土質定數도 점점 합리성이 요구되어 統計的인 처리를 한후에 구조물의 설계법과의 적합성이 검증될 필요가 있다고 생각된다. 이러한 의미에서도 標準貫入試驗을 충분히 이해하고, 바르게 利用되는 것이 要望된다.