



“지반조사” 강좌를 시작하면서

박 찬 호*3

이번호부터 본 학회 지반조사위원회가 주관하여 “지반조사와 결과의 이용”이라는 제목을 가지고 앞으로 6회에 걸쳐 지상강좌를 연재하고자 합니다.

주지하시는 바와 같이, 각종 구조물의 기초, 흙구조물 자체, 또는 지중구조물의 설계와 시공에 있어 관련된 지반의 성질을 알아내는 일을 지반조사라 하는데, 이와 같은 공사를 계획하거나 설계, 시공할 때는 지반조사로부터 시작되게 됩니다. 이는 모든 구조물은 땅위에 건설되거나 땅속에 건설되게 되는데, 지반조건은 임의로 설정 할 수 있는 것이 아니고 주어진 것이기 때문에 지반에 대한 정보가 없이는 원만한 설계나 시공이 이루어질 수 없기 때문입니다. 따라서, 지반조사가 지반공학에 있어 차지하는 비중은 매우 큽니다.

근래에 와서 우리 나라의 경제가 급속도로 발전하면서 각종 구조물이나 공사의 규모 또한 커지고, 또 지반조건이 어려운 공사여건에서 계획되고 있는 공사가 많아지기 때문에 이에 상응하는 보다 다양하고 정확한 지반정보를 손쉽게 얻을 수 있는 조사방법의

*1 정회원, 대불대학교 건설공학부 토목공학과 교수

*2 정회원, 수원대학교 공과대학 토목공학과 교수

*3 정회원, (주)도화지질 회장

개발과 보급이 절실한 실정입니다.

지반조사 전반에 대한 내용을 강좌로 다루는 것은 내용이 방대하여 제한된 지면으로는 밀도있는 내용을 다루기 어려울 뿐 아니라, 지나치게 장기간의 연재는 강좌의 수준과 내용의 일관성을 유지하기 어려울 것으로 판단되어, 우선 현장조사에 대한 이해를 돕기 위하여 현재 가장 많이 이용되고 있는 원위치시험과 물리탐사를 위주로 한 현장조사를 중심으로 강좌를 구성하였습니다.

원위치시험에 의한 지반조사방법은 조사의 편의성 때문에 현장기술자들이 선호하는 조사방법입니다. 근래에 와서 PMT, DMT 등을 비롯한 새로운 장비의 개발 및 개량, 해석기법 등의 조사기술이 국내에 도입되면서 현장기술자들의 관심이 높아지고 있어, 이에 대한 전문지식의 보급과 조사정보의 교환은 매우 유익한 일이라 생각됩니다.

물리탐사기법은 과거에 탄성파탐사나 전기탐사기법이 지하수탐사, 지층탐사 등의 분야에서 이용되어 왔으나 근래에 와서 GPR, bore hole scanning, geotomography 등 새로운 탐사기법이 개발되어 국내에 도입되면서 보다 다양하고 정밀한 지반정보를 손쉽게 얻을 수 있게 되어, 이를 응용한 조사기법에 대한 관심이 고조되고 있습니다.

본 강좌가 연재되는 중이라도 강좌의 내용이나 방향에 대하여도 조언을 주시면 보완해 나갈 생각입니다. 많은 의견이 있으시기 바랍니다. 본 강좌가 회원 여러분들에게 다소나마 지반조사에 대한 이해와 도

움이 되었으면 하는 바램입니다. 끝으로, 바쁘신 중에도 흔쾌히 강좌 집필을 수락하여 주신 여러분들께 재삼 감사드립니다.

〈 지반조사 강좌 계획(안) 〉

제 목	집 필 자	게재 예정호
1. SPT의 새로운 고찰과 관입 메카니즘	최항길, 박찬호, 채영수	'99. 4
2. CPT, Vane 시험과 결과의 이용	윤길림, 이우진, 백세환	'99. 6
3. PMT, DMT 시험과 결과의 이용	이승래, 이장덕, 최용규	'99. 8
4. 기타 원위추 시험과 결과의 이용	박연준, 유광호, 김재동, 조성민	'99. 10
5. 물리탐사와 결과의 이용(Ⅰ)	신희순, 김진원, 조성호, 장현성	'99. 12
6. 물리탐사와 결과의 이용(Ⅱ)		2000. 2

I. SPT의 새로운 고찰과 관입메카니즘

최 항 길*1, 채 영 수*2, 박 찬 호*3

1. N值 · c · ϕ의 새로운 고찰 및 이용법

1.1 서론

N值 및 c · ϕ는 土質工學에 있어서는 가장 重要한 土質定數이다. 標準貫入試驗値는 지반의 역학적 定數值로서 사용될뿐 아니라 地質學的으로도

흙의 性質을 定量的으로 나타내는 지표로서 사용 되는 등 그 사용 예는 실로 넓다. 실용적인 면에서의 重要성은 물론이지만, 研究테마로서도 많은 사람들에게 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 현실이다. 또한 SPT 試驗은 조작하는 사람에 의하여 엉뚱한 결과가 나올수도 있으며 현장시험 결과의 確認方法이 없고 또한 이용방법이 시험방법에 규정된 限界(範圍)를 초과한 부분까지 사용되는 등의 여러 문제점이 대두되고 있는 실정이다. 이러한 배경으로부터 標準貫入試驗의 실태, 관입 시험 메카니즘과 새로운 利用法에 대하여 외국기준을 기초로 그 현황을 파악하고 향후 국내관련 기준개정에 참고하고자 한다.

1.2 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 대신에 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 Company가 140파운드(63.5kg)의 Hammer와 30inch(약 75cm)의 落下高의 수치를 표준화함으로서, 케이슨구조물의 設計 · 施工이나 파일의 타입 깊이가 決定用에 「Raymond Sampler 타입시험기」가 보급되어 갔다. 그후에 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(표1-1)과 그 과정은 다음과 같다.

표. 1-1 SPT에 관한 세계규격과 국제표준시험법의 비교

비교 항목		ISSMGE	ASTM	BS	JIS	
시험 장치	룻드	15m이내	A룻드 OD 41.2 ID 28.5	AW룻드 OD 41.3 5.7 kg/m當	OD 40.5/42	
		15m이상	剛성이 높은 룻드를 권장	BW룻드 또는 3m 마다 마찰 방지 장치		
	샘플러	외부직경	51mm ±1 mm	50.8 mm	50 mm	51 mm
		내부직경	35mm ±1 mm	34.9 mm	35 mm	35 mm
		전체길이	680 mm	685.8 mm	680 mm	810 mm
		앞날각도	18° 37'	18° 25'	17° 15'	19° 47'
		水板工	4孔	ø 12.7×4 孔	ø 13×4 孔	4 孔
	함마	중량	63.5±0.5 kg	140 Lb / 63.5 kg	65 kg	63.5 kg
		낙하고	76 cm	30 in / 76 cm	76 cm	75 cm
	함마의 낙하방식		· 낙하에너지의 손실을 최소한으로 할 것 · 정밀한 N值가 요구될때는 에너지의 손실을 측정할 것	· 자유낙하를 전제로 특별히 지정되어 있지 않음	· 자유낙하 권장 · 원치의 마찰손실에 주의	· 자유낙하 권장 · 원치의 마찰손실에 주의
대상토질종류		-	모든 토질	사질토	모든 토질	

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 제정
 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
 1967년 : 英國에서 BS1377중에 試驗方法 18로서 규정됨
 1977년 : 제 9회 ICSMFE(동경)에서 유럽 統一 原案 발표

1981년 : 제10회 ICSMFE(스톡홀름)에서 유럽원안 재검토
 1984년 : 제11회 ICSMFE(샌프란시스코), 國際標準試驗 法案 발표
 1989년 : 제12회 ICSMFE(리오데자에르), 國際標準試驗法 최종안 제시
 1991년 : ASTM, BS 개정이 이루어졌는바,
 BS의 주요 개정 내용은 Sampler의 外徑 51.1±1mm, 內徑 35±0.5mm, 全長 680± mm, hammer중량 63.5kg이다.

1.3 표준관입시험의 표준화
 표준관입시험은 표1-1과 같이 나라별, 학회별 또

한 현재 국제학회에 제안된 국제통일규정이 모두 다르게 되어 있다. 이것은 각국이 지금까지 규격화된 기준을 갖고 각각 그 방법으로 흙의 제반정수와 N값의 관계를 실험식 혹은 경험식으로부터 얻은 수치이며 이것을 무리하게 규격화하면 세계적으로 큰 혼란이 일어날 수도 있다. 이에 대한 대책으로서는 N값의 補正方法(타격효율을 고려한 N값의보정)이 제안되어 있어 환산가능 하게 되어 현재에는 N값의 보정, 비교가 정량적으로 할 수 있게 되었으므로 실무자들은 그 내용을 참고하여 N치가 보다 객관적이고 설계에 충실한 토질정수가 되도록 하여야 할 것이다.

1.4 N值와 土質定數

가) 粘性土의 粘着力

시방서에서는 $c = (0.6 \sim 1.0)N$ (t/m^2)의 공식으로 추정한다고 되어 있으나 표준관입시험의 N값과 일축압축강도와의 상관관계는 정도가 높지 않으므로 홍적층의 단단한 점토에서는 삼축압축시험의 결과를, 다른 종류의 점토에서는 일축압축강도로부터 점착력을 구하는 것이 좋다.

나) 砂質土의 剪斷抵抗角

鐵道시방서

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

(σ_v : 지질조사시 해당 위치의 有效上載荷重 (kg/cm^2), 얇은 기초의 경우 最小値는 $0.5kg/cm^2$ 적용)

道路橋 시방서

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

建築 基礎構造 設計基準

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

다) 地반의 變形係數($E_o = kgf/cm^2$)

「鐵道시방서」

$$E_o = 25N$$

「요시나가 提案式」

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

(E_o : 地반의 變形係數, E_b : 보링공내 변형계수)

라) 地층의 平均 剪斷 彈性波 速度($V_s = m/s$)

粘性土層의 경우

$$V_s = 100 N^{\frac{1}{4}} \quad (1 \leq N \leq 25)$$

砂質土層의 경우

$$V_s = 80 N^{\frac{1}{4}} \quad (1 \leq N \leq 50)$$

(V_s : 地층의 平均전단 탄성과 속도,

N : 해당지층의 平均 N值)로 되어 있다.

1.5 基礎의 設計와 N值

가) 支持地盤의 정의

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 가 르킨다.

나) 直接基礎의 설계시 N值의 적용에

支持力 係數는 1.4에 있는 N值와 ϕ 의 상관관계식을 사용

다) 케이슨 基礎의 설계시 N值의 적용에

지지력 산정시 직접기초와 같이 地반의 점착력 c 와 전단저항각 ϕ 로부터 산출

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(m^2)

Q_d = 말뚝 先端의 極限 支持力(t/m^2)

(N值 30이상의 모래 및 모래자갈층일 때 $300t/m^2$)

강좌

U = 말뚝의 周長(m)
 l_i = 周面摩擻力을 고려하는 층의 두께(m)
 f_i = 周面摩擻力을 고려하는 층의 최대 周面摩擻力(t/m²)
 로 되어 있다.

1.6 建築基礎에 있어서 N值의 利用方法과 活用
 건축기초설계시 標準貫入試驗 이외의 土質調査를 하는 것은 드물며, N值가 萬能으로 되어 있는 것이 현실이다.

가) 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 : 地盤의 極限支持力(t/m²)

c : 粘着力(t/m²)

γ_1 : 基礎底面아래 하부지반의 單位體積重量(t/m³)

γ_2 : 基礎底面 상부지반의 單位體積重量(t/m³)

α, β : 기초 形狀에 따라 결정되는 支持力 係數

N_c, N_r, N_q : 地盤의 內部摩擻角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

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

모래지반에서는

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

ii) 經驗值의 이용

砂質土 $q_a = (0.8 \sim 1) N$ (t/m²)

沖積粘土 $q_a = (1 \sim 1.2) N$ (t/m²)

洪積粘土 $q_a = (2 \sim 5) N$ (t/m²)

關東loam $q_a = 3 N$ (t/m²)

2) 地盤의 變形係數 E

표. 1-2 地盤의 變形係數 (t/m²)

地盤의 種類		變形係數
粘土層	飽和粘土	(2.5~10) q _a
	흙	(10~17) q _a
모래층	定規壓密된 모래	14 N
	過壓密된 모래	28 N

3) 말뚝기초

i) 타입말뚝의 경우

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

여기서

L R a : 單말뚝의 장기허용지력

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

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

A_p : 말뚝의 先端面積(m²)

\bar{N}_s : 말뚝주위 地盤에서 砂質土 部分의 평균 N值
 $\bar{N}_s \leq 50$ (t/m²)

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/m²)

L_c : 점토질 지반중에 있는 말뚝길이(m)

ϕ : 말뚝의 周長(m)

ii) 현장말뚝의 경우

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

W : 말뚝 本體의 自重(t)
 단, $\bar{N} \leq 60, \bar{N}_s \leq 25, \bar{q}_u \leq 10$ (t/m²)

iii) 매입말뚝의 경우

$$Ra = - \left\{ 20 \cdot \bar{N} \cdot Ap + \left(\frac{\bar{N}_s \cdot Ls}{5} + \frac{\bar{q}_u \cdot Lc}{2} \right) \phi \right\}$$

단, $\bar{N} \leq 60, \bar{N}_s \leq 25, \bar{q}_u \leq 10$ (t/m²) 로 되어 있다.

2. SPT의 관입메카니즘과 새로운 이용방법

2.1 서론

표준관입시험(이하 SPT로 표기한다)은 공업규격에 "원위치에 있어서 흙의 강도, 다짐정도의 상대치를 알기 위하여 N치를 구하는 관입시험"으로, N치란 KSF 2307에 의하면 "중량 63.5kg의 함마를 75cm자유낙하시켜 표준관입시험용 샘플러를 30cm 관입시키는데 요하는 타격수"라고 정의하고 있다. 이 규정과 거의 같은 시기에 여러 지침이나 표준 등에 N치를 이용한 기초구조물의 설계법이나 시공법 등에 관한 지침이 생겼으며, 토질조사법으로서의 SPT가 급속히 보급되어 발전하였다. 본래는 시료채취를 목적으로 하여 출발한 SPT가, 해를 거듭할수록 급속히 보급 되어 현재에는 지반조사에서 빼놓을 수 없는 시험이 되어 있다. 이 시험이 동적 관입 저항치로부터 정적인 지지력을 판정한다고 하는, 기본적으로 불합리한 일면이 있으면서도 이렇게 급속히 보급된 것은 다른 사운드방법보다 많이 사용되어 지지력이나 변형의 특성치 등과의 공학적인 연결을 위한 비교시험이 많이 이루어진 실적과, 특히 N치를 측정 한 후 그 타입된 샘플러속의 흙의 시료를 직접 육안으로 관찰할 수 있는 점, 한편 그 시료를 이용하여 입도시험 기타 물리적 정수를 알 수 있는 편리함등이 있기 때문일 것이다. 그러나 이와같은 소위 N치 만

능주의의 현상에 대한 비판의 의견도 많이 있다. 이것은 SPT 본래의 목적과는 다르다는 지적외에도 N치의 재현성이나 결과의 차이가 크다는 강한 불신, 또한 감정적인 의견도 있다. 자연지반을 구성하는 흙이나 암석은 토목재료로서 오늘날 많이 사용되고 있는 강재나 콘크리트에 비하여 위치에 따라 또한 같은 위치에서도 심도에 따라 변화하는 극히 복잡한 재료이다. 예를 들면 일반적으로 구조물의 강도와 변형에 관한 재료의 일축강도와 탄성계수(흙의 경우에는 변형계수)의 개략적인 범위와, 이것들의 최대치와 최소치의 비를 비교하여 보면 표 2-1과 같이 된다.

표. 2-1 지반특성

구분	강도 특성		
	일축압축강도 (kg/cm ²)	A (≒최대치/최소치)	
鋼	3,400~15,000	4 ~ 5	
콘크리트	150~700	4 ~ 5	
지반	토사	0.1~10	100
	모래자갈	점착력 (=0.02~0.6) 내부마찰각 (=20~30)	30
	암반	10~100	10

구분	변형 특성		
	탄성계수 (kg/cm ²)	B (≒최대치/최소치)	
鋼	2.0×10 ⁶	1	
콘크리트	1.5×10 ⁶ 5.0×10 ⁶	3 ~ 4	
지반	토사	5~500	100
	모래자갈	300~3,000	10
	암반	500~5,000	10

이 표로부터 알 수 있듯이 자연지반의 강도나 변형의 특성은, 鋼이나 콘크리트 등에 비하여 변형범위가 극히 큰 것을 알 수 있다. 이와같은 배경에서, 광범위하게 시행되는 1차조사나 규모가 그렇게 크지 않는 中小규모 구조물의 설계시공에 필요한 지반 정수들, N치를 이용하여 결정하는 경우가 많다.

2.2 시험법으로서의 SPT의 위상과 N치의 재현성 및 신뢰성

가) 시험법으로서의 SPT의 위상

SPT의 메카니즘은 다음과 같이 생각할 수 있다. 합마를 룯드두부에 (녹킹헤드) 충돌시키는 것에 의하여 룯드에 충격파가 발생한다. 룯드에 발생한 충격파는 룯드내 하측으로 향하여 전파, 샘플러에 전달되어 결국 지반과의 접촉면에 다다른다.

이 파동은 룯드 선단의 지반을 파괴하며 샘플러는 지반에 관입된다. 이때 파동의 일부는 선단지반의 파괴에 사용되며, 남은 부분은 룯드의 선단으로부터 반사되어 룯드의 상방향으로 전파한다. 이 반사의 비율은 룯드와 지반의 다이내믹·스티네스(양자의 동적강도에 의하여 결정되는 량)에 의하여 결정된다. 룯드에 남은 파동은 룯드내를 진동하며 위 현상을 반복하면서 감쇠하며 최종적인 관입이 종료하게 된다. 이 때의 관입량이 SPT의 1타격에 의한 관입량이 된다. 이 조적이 반복됨에 의하여 소위 N치의 계측이 이루어 진다. 한편, SPT의 시험법은 금속재료나 고분자재료의 동적강도·변형특성을 엄밀히 조사하는 시험법으로서 흙진손 봉법이 대개 알려져 있다. 이 방법을 토질 시험법에 적용, 기초실험을 하여 그 고찰결과로부터 보면 SPT는 입력봉만을 사용한 흙진손 봉법의 변형이라고 말할 수 있다. 이와 같은 점으로부터 SPT는 파동론적으로 뒷받침을 갖는 극히 합리적인 하나의 계측수법으로도 볼 수 있다.

나) N치의 재현성과 신뢰성

N치의 재현성과 신뢰성에 관해서는 많은 연구가 이루어져 토론되고 있다. 그러나 얻어진 결론은 반드

시 일치되고 있지 것이 있는 것도 사실이다. 이것은 지반 본래의 불균일한 측정오차, 굴착기술, 시험자의 작업의식 등이 복잡하게 얽혀 있어서 시험의 목적이 달성될 수 없기 때문이라고 볼 수 있다. 이에 대해서는 최근 실시한 실험 연구에서 잘 관리된 시험조작에 의하여 얻어지는 N치는 그 재현성이 극히 좋다는 결론이 얻어지고 있다. 즉, N치에 의한 지반의 강도·변형특성의 평가가 가능하다고 결론짓고 있다.

2.3 N치에 미치는 제반요인

N치와 흙의 성질과의 관련성으로 보아 N치에 영향을 미친다고 생각되는 요인을 명백하게 하여 그것이 N치의 크기에 어떠한 영향을 미치는가 또한 이것들의 상관관계는 어떻게 되는 지에 대하여 정리하여 둘 필요가 있다. N치 혹은 SPT 시험에 미치는 제 요인에 대하여 지금까지의 연구를 정리하여 보면 대체로 다음 4개의 항목으로 분류할 수 있다.

가) 룯드의 지반에 대한 동적관입거동에 의한 요인
정적사운딩법에서의 관입현상과 달리, SPT는 동적관입시험인 이유로 파동현상으로서 여러 가지의 문제를 생기게 하여 정역학적인 현상이 생긴다. 그 때문에 동적인 관입시험을 논하는 경우에 룯드에 의한 지반에서의 동적관입 메카니즘에 대하여 충분한 이해를 필요로 한다. 합마, 가이드봉, 녹킹 헤드, 룯드카플링 등의 영향은 규정되어 있는 제품, 혹은 통상 이용되고 있는 제품이면 큰 영향을 주지 않는 것이 판명되었다. 룯드 단면적의 영향은 룯드 직경의 차이에 따라 발생하는 응력에 시간변화의 차이가 생겨, 룯드선단에서의 지반의 파괴상태가 다른 것이 예측되었다. 따라서 N치도 당연히 다르게 되는데, 이와 지반의 동적파괴에 대한 메카니즘은 아직도 불명한 점이 많이 남아 있고 단순히 응력파형만에 의하여 그 영향의 대소를 논할 수는 없다.

나) SPT실시때의 시험조작에 의한 요인

보링조작, 슬라임제거, 합마의 낙하방식 등의 기술

수준에 관한 것 외에 시험에 응하는 기술자의 마음이 짐도 중요한 요인으로 되어 있다. 낙하방식의 차이에 의한 영향은 마찰효율에 의하여 많이 변동한다. 예비 시험, 본 시험, 후 시험의 문제는 타격관입량곡선 평가 문제로서 중요하며 그 原點에서의 수치설정방법이 N치에 큰 영향을 준다.

다) 지반조건에 관한 요인

지반조건에 관한 요인은 측정심도, 자갈층의 유무, 지하수위, 함수량, 흙의 종류 등이 있는데 여기서는 지반상태마다의 특성치를 검출하는 것이 이 시험방법의 목적이다.

라) 시험의 기록·정리법에 관한 요인

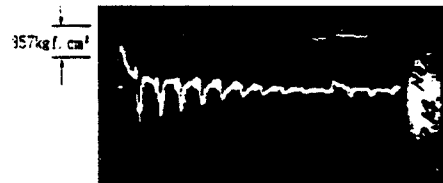
시험의 기록정리법은 n~S곡선의 기록, 합마운동의 측정, n~S곡선의 정량적 평가, 합마의 리바운드에 관한 사항, n~S곡선의 원점에 관한 사항 등이 있다.

2.4 표준관입시험의 관입메카니즘에 관한 파동이론적 고찰

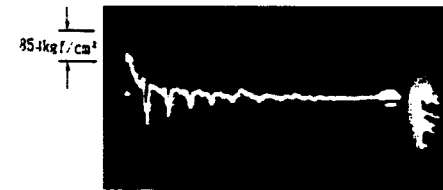
가) 기초이론과 기초실험

SPT의 룯드와 같은 일차원 탄성봉의 종방향충격에 대하여는 옛날 부터 많은 연구가 이루어져 왔다. 그중에 특히 St. Venant의 剛體에 의한 종충격 탄성봉의 해법, De. Juhasz 및 H.C.Fischer의 도식해법, Smith, Hirsch의 말뚝박기에 관한 수치계산법에 의한 해석 및 Hiley의 말뚝타입공식에 의한 해법 등이 있다. 이들의 해법은 특수한 조건일 때만 성립한다던지 일반적이 아닌 것이거나 상당히 복잡한 해법, 혹은 이론적으로 불합리한 것도 있었다. 특히 질점계의 충돌이론에 의하여 유도한 Hiley 등의 말뚝타입공식이나 Smith의 수치계산에 의한 해법 등은 파동이론적으로 불합리한 점이 있다는 것이 지적되고 있다. 현재 개발된 측정기계에 의하여 SPT에 관한 고속현상을 정확히 측정할 수 있는 방법이 확립되어 이론해석의 실험적 검증이 가능하게 되었다. 그

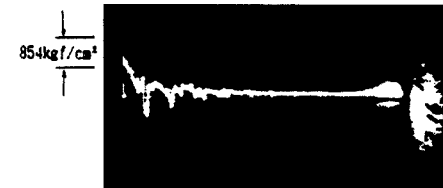
림 2-1은 서로 다른 강도의 지반에서 타격응력의 차이를 나타낸 그림으로서, 선단지반으로 부터 반사파의 차이를 잘 알 수 있다. 룯드두부에서 측정된 응력파의 진동 회수는 N치가 작은 지반일수록 많고, 단단한 지반일수록 적어지는 것을 알 수 있다. 위 결과로부터 룯드선단부에서 측정된 응력파형으로서 선단지반의 영향을 받은 반사파의 중복부분의 응력은, 지반의 강도크기에 의하여 변화하는 것을 알 수 있다.



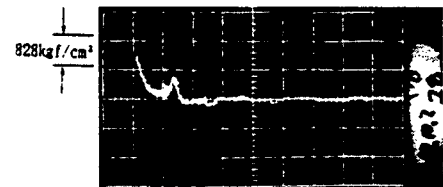
(a) 심도 14 m, 룯드길이 $l = 15.94$ m
실트, 모래, 관입량 $S = 4.5$ cm



(b) 심도 15 m, 룯드길이 $l = 16.94$ m
실트, 모래, 관입량 $S = 2.0$ cm



(c) 심도 17 m, 룯드길이 $l = 18.94$ m
모래자갈, 관입량 $S = 1.1$ cm



(d) 심도 24 m, 룯드길이 $l = 25.94$ m
모래질 톱, 관입량 $S = 0.3$ cm

그림 2-1 관입량의 차이에 따른 룯드 頭部의 응력파형의 변화

강좌

나) 관입모델

그림 2-2에 표시된 동적관입 모델은 룯드 선단이 탄성체로 지지되어 있다는 경계조건을 두고 St.Venant解를 일반화한 것이다. 觀測波形과 대비하여 볼 때 양자는 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다. 이와같이 실험결과를 잘 설명할 수 있는 St.Venant의 일반화 해를 이용하여 SPT에 관한 기본적인 고찰을 하면, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- ① SPT와 같은 동적관입시험에서는 St.Venant의 일반해를 이용함에 의하여, 관련된 메카니즘의 이해가 간단하게 된다.
- ② 룯드선단의 경계조건에 변위에 관한 반사계수 α 를 도입한 St.Venant의 일반해에 의한 관입모델은 종래의 해석보다도, 실제의 관입시험에 있어서 룯드의 거동을 보다 잘 설명할 수 있다.

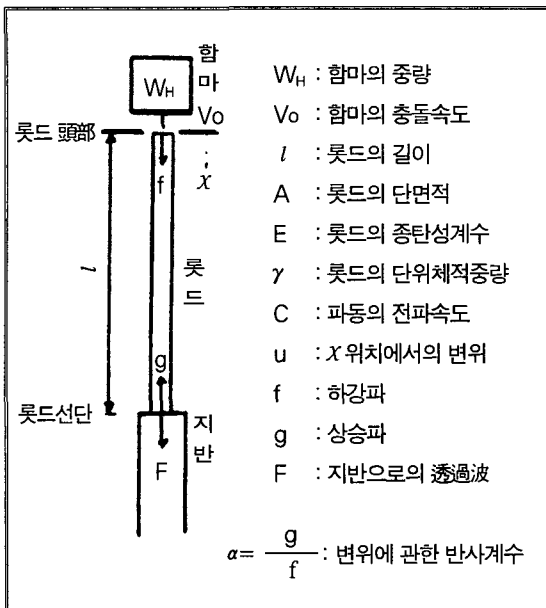


그림 2-2 관입모델 (St. Venent 解의 사용)

- ③ 변위에 관한 반사계수 α 가 正, 0, 負에 의하여 룯드의 지반에 관한 관입의 거동이 상당히 다른

것을 알았다. 즉 $\alpha > 0$ 일때는 일주기 $T = 2l/c$ 에서 함마와 룯드가 분리되어 함마가 룯드를 따라 가듯이 하강운동을 하며, $\alpha = 0$ 일때는 함마와 룯드는 떨어지지 않고 충격이 종료할 때까지 연속적인 충격이 계속되고, $\alpha < 0$ 일때는 일주기 $T = 2l/c$ 이후 반사파에 의하여 함마가 상방향으로 던져지는 듯한 서로 상이한 관입거동을 나타낸다.

- ④ 이 변위에 관한 반사계수 α 는 $-1 \leq \alpha \leq 1$ 의 범위에 있으며 $\alpha = -1$ 일때는 선단이 固定的인 조건이며, $\alpha = 0$ 은 룯드와 같은 동적강도 (dynamic stiffness)가 무한히 계속되는 조건이며, $\alpha = 1$ 은 선단이 자유의 조건이다. 따라서 변위에 관한 α 는 샘플라 선단지반의 모든 조건을 만족하게 된다.
- ⑤ St.Venant의 일반화 해석을 기초로 동적 사운드링법의 관입기구를 고찰하면 그 기구가 파동현상이기 때문에 정역학적인 내용과는 판이하고 특이한 현상을 나타내는 것을 알았다.
- ⑥ 이것은 충격이라고하는 過渡現象에 기인하여 룯드의 길이와 지반의 강도등 여러 조건에 의하여 관입의 거동이 복잡하게 되기 때문이다. 이러한 의미에서, SPT는 문제점이 있는 사운드링 방법이라고 말할 수 있다.
- ⑦ 그러나 그 원리를 바로 이해하고 문제점을 감안하여, 단지 N치만을 활용하는 것이 아니고 1회 타격시의 관입량, 함마의 상승량이나 첫번째의 충돌로부터 두 번째까지의 시간량 등을 이용한다면 그것이 St.Venant의 一般化 해석과 연계되어 사운드링법으로서 SPT는 매우 유익한 시험법이 될 가능성이 있다.

2.5 에너지에 관한 효율

가) 에너지 효율에 관한 두 세가지의 정의

함마가 갖는 위치에너지의 몇%가 실제의 관입에 관여하는가에 대한 효율을 에너지에 관한 효율로 다음과 같이 정의하며 또한 그림 2-3에 표시한다.

$$e_1 = \frac{U_1(\text{함마의 낙하시 가이드봉이나 로프 등의 마찰에 의한 손실을 받은 에너지})}{U_0(\text{함마가 최초로 갖고 있던 위치에너지 } W_{Hh})} \quad (2.1)$$

$$e_2 = \frac{U_2(\text{실제로 룯드에 전달된 에너지})}{U_1(\text{함마의 낙하시 가이드봉이나 로프 등의 마찰에 의한 손실을 받은 에너지})} \quad (2.2)$$

$$e_{12} = \frac{U_2(\text{실제로 룯드에 전달된 에너지})}{U_0(\text{함마가 최초로 갖고 있던 위치에너지 } W_{Hh})} \quad (2.3)$$

$$e_3(l) = \frac{U_3(\text{룰트를 전파하는 동안 손실을 받은 에너지})}{U_2(\text{실제로 룯드에 전달된 에너지})} \quad (2.4)$$

여기서 W_H 는 함마의 중량, h 는 함마의 낙하시 높이이다 즉, 함마가 갖고 있던 위치에너지 $U_0(=W_Hh)$ 는 낙하시의 함마, 가이드봉, 로프 등의 마찰 때문에, 충돌의 직전에는 $U_1(=e_1W_Hh)$ 으로 감소한다. 이때의 충돌속도 v_1 는 $v_1 = \sqrt{2e_1gh}$ 이 된다.

충돌시 에너지는 완전하게는 전파되지 않고 (단 룯드는 충분히 길고, 선단으로부터의 반사파에 의하여 룯드와 함마가 분리하는 것은 고려하지 않는다), 실제로 룯드에 전달되는 것은 $U_2(=e_1 \cdot e_2 W_Hh = e_{12}U_0)$ 가 된다. 이 에너지 U_2 는 룯드를 전파하는 것과 동시에 감쇄하여 최종적으로 관입에 관여하는 하는 것은 $U_3(=e_1 \cdot e_2 \cdot e_3(l) W_H \cdot h = e_{12} \cdot e_3(l)U_0)$ 가 된다.

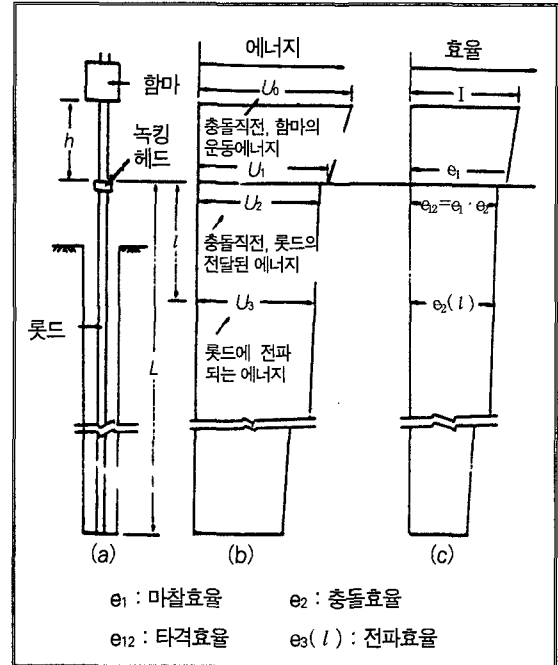


그림 2-3 SPT 試驗時의 에너지 효율

나) 실험결과와 해석과 그 고찰

(a) U_1 에너지와 마찰효율 e_1

실제의 관입시험에 있어서 高度카메라의 해석결과로부터 콘프리를 사용한 낙하방식일 때 $e_1=0.7 \sim 0.9$ (4점), 매우 신중한 낙하방식에 의한 때는 $e_1=0.9 \sim 1.0$ (3열)의 계수를 얻었다. 또한 다계나가는 $e_1=0.8$ 이상이라는 결과를 얻고 있다.

(b) U_2 에너지와 충돌효율 e_2

실제로 룯드에 전달된 에너지 U_2 는 룯드 두부의 게이지로 측정된 응력파형으로부터 구하여지며 충돌 효율 e_2 는 식2-2에서 U_1 과의 비로서 측정된다. 응력파형으로부터 에너지를 산출하는 원리는 응력파형을 圖式적분하여 변형에너지를 구하여, 이것을 2배하여 파동의 전 에너지를 산출하는 것이다. 이것은 단면변화가 없는 일차원 탄성봉내에서는 변형에너지와 운동 에너지는 1:1의 비율이 되는 것을 이용한 것이다. 콘프리를 사용한 경우나 신중한 낙하에 의한 경우 어

느 쪽도 $e_2 = 0.9$ 정도로 된다. 충돌직전에 함마가 갖고 있던 에너지 U_1 은 완전하게 룯드에 전달되지 않고 1~2할은 함마의 횡진동, 충돌시의 열에너지, 소성변형 등으로 변환되는 것으로 생각된다.

(c) 타격효율 $e_{12} = e_1 \cdot e_2$

타격효율은 식(2.3)에 표시되어 있듯이, 실제로 룯드에 전달된 에너지 U_2 와 함마가 최초로 갖고 있던 위치에너지 U_0 와의 비로 나타내며 또한 e_1 과 e_2 를 곱하여도 같은 값이다. (a), (b)의 고찰결과에 의하여 콘푸리를 사용한 경우 $e_{12} = 0.63 \sim 0.72$, 신중한 자유낙하에 의한 경우 $e_{12} = 0.8 \sim 0.9$ 정도로 된다. 즉, 룯드에 에너지의 전달량은 $e_{12}U_0$ 로된다.

(d) U_3 에너지 및 전파효율 e_3

U_3 는 룯드 하부의 게이지로 측정된 응력파형으로부터 구할수 있다. e_3 는 룯드 길이의 함수로 생각되므로 룯드 두부와 하부에 붙인 게이지 사이의 룯드 본수를 바꿈에 의하여 여러 가지의 룯드 길이에 대하여 조사할 수 있다. 룯드의 길이에 관한 N치의 보정법에는 여러 가지 방법이 제안되어 있는 바, 룯드에 전달된 에너지가 룯드에 전파되는 사이에 감쇄상태를 조사하여 룯드 길이에 관한 N치의 보정을 식(2.5)로 할 것을 제안하고 있다.

$$N = N' (l \leq 20m),$$

$$N = (1.06 - 0.003 l) N' (l > 20m)$$

(2.5)

여기서 N는 보정 N치, N' 는 실측 N치, l 은 룯드 길이(m)다. $l = 20m$ 이하에서는, 관입시의 룯드의 거동은 복잡하여 룯드의 길이와 지반의 강도가 민감하게 영향을 미쳐 단순한 보정은 불가능하고, 또한 20m정도까지는 에너지의 감쇄도 적은 량이기 때문에 실용적으로는 N치의 보정은 하지 않는 쪽이 좋다. 이 실험결과는 유럽국제토질 공학회에 제출된 관입시험의 표준규격화안과 유럽안의 SPT에 관한 규격안중 JIS의 내용과 크게 다른 점으로, 깊이 15m 이상의 심도에서 룯드의 좌우 흔들림 방지설비를 설치하든지,

외경 54 mm 이상의 강성을 갖는 룯드를 사용하는 등의 제안으로 이론적, 실험적으로 반박하는 내용이다.

2.6 SPT에 관한 앞으로의 과제

- ① 앞에서 언급한 바와 같이 標準貫入試驗法の 표준화 案이 1989년에 제출되었으며 그후에 1991년에 ASTM과 BS가 연속하여 개정되었다. 「ASTM D-1586-84」의 개정은 機器類의 許容値를 삽입한 부분적인 개정이며, 「BS1377 : Part9」는 Sampler, Hammer의 形狀 重量을 변경하여 1988년의 국제표준 시험법에 맞도록 개정한 것이다. 즉, Sampler는 外徑 $51.1 \pm 1mm$, 內徑을 $35 \pm 0.5mm$, 全長 680mm, 先端 厚 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 미칠 것 인지가 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.
- ② SPT에는 N치의 측정외에 샘플러 내의 채취시료를 직접 관찰 할수 있는 이점은 있지만 한편 그 시료토의 사진관찰과 같은 객관적인 데이터도 조합시키면, N치의 평가는 보다 정확도가 높게 된다.
- ③ SPT의 동적관입 거동이 이론적, 실험적으로 명확히 되었다. 이 SPT의 이론은 소형부터 대형까지의 동적관입시험에도 적용할 수 있는 것이다. 따라서, 이것을 이용하여, 시험의 개선, 측정법등 동적관입시험법의 전반에 걸쳐 계통적으로 연구하여 각각의 적용한계를 명확히 하여 조사목적, 그 정도, 규모 등을 고려한 동적관입시험방법이나 그 선정법 등의 기준 작성에 착수하여야 한다고 생각된다.