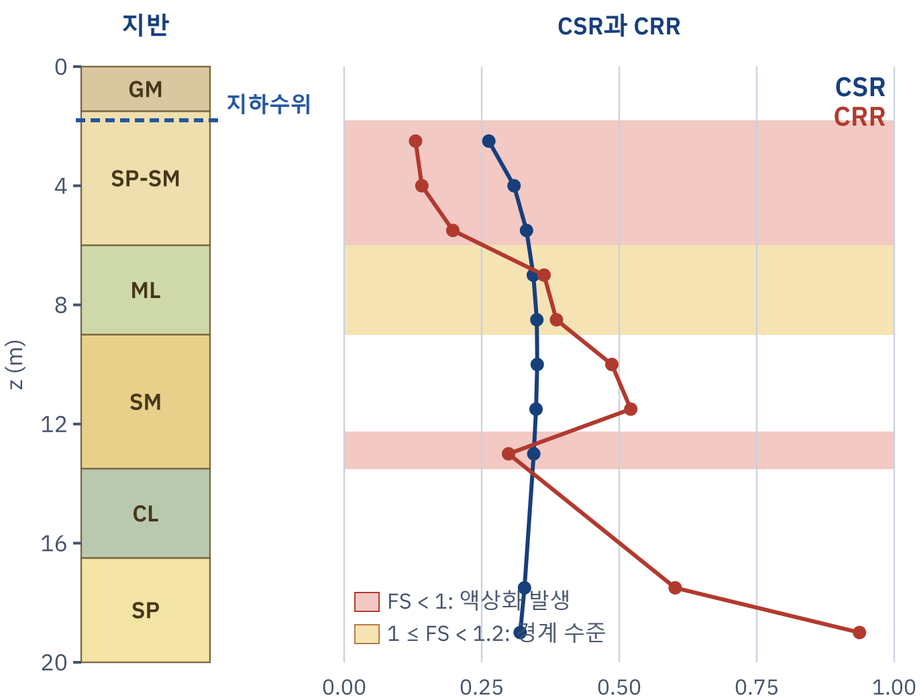
지반공학 강의 자료 · 액상화

SPT를 이용한 액상화 유발 평가

강의: SPT에 의한 액상화 발생 평가(Idriss–Boulanger); 시추공 하나와 시험 지점 하나를 처음부터 끝까지 손계산으로 풀고, 나머지 지점은 표로 다룬다.

보정 | CSR · CRR | MSF · Kσ | FS 및 구간 | 손계산 가능



개요

이 강의에서 다루는 내용

액상화의 **응력 기반** 평가: 지진 하중에 의한 요구 전단응력비 **CSR**과 지반의 저항 **CRR**을 비교하며, **FS = CRR / CSR**로 산정한다

SPT 원 N치 N_{30}에서 $\mathbf{(N_1)_{60cs}}$에 이르는 보정: 에너지, 로드 길이, 상재압 및 세립분

CSR(r_d, σ_v/σ'_v), CRR 곡선, **규모 조정** MSF 및 **상재압력 계수** K_σ

어떤 시험이 **선별로 제외**되어 계산에 포함되지 않는지; 구간과 액상화 지층 두께를 어떻게 구하는지 파악하기

한 시추공의 **시험점 하나는 처음부터 끝까지 손계산**으로, 나머지는 같은 단계로 표에서

강의 흐름

각 주제는 **세 단계**로 다룬다:

1 · **이론**: 공식과 그 근거

2 · **문제**: 조건과 구하는 값

3 · **풀이**: 단계별 수치 계산

예제: 시추공 BH-1(지하수위 1.80 m; 0–1.5 m 매립토, 1.5–6 m 느슨한 모래 …); a_{max} = 0.35 g, M = 7.5, 해머 에너지비 60%, $FS_{required}$ = 1.20.

어떤 시험을 평가하는가?

이론

시험은 **지하수위 아래**에 있고, z_{max} 깊이(기본값 20 m)보다 깊지 않으며, **모래처럼 거동하는** 지반에 있는 경우에만 평가한다

소성지수 $PI \geq PI_{lim}$(기본값 7)인 지반은 **점토와 유사한 거동**으로 분류하며, PI가 주어지지 않은 경우 CL, CH, OL, OH 또는 PT 기호가 이를 나타낸다

점토질 지반은 반복하중을 받으면 **연화**될 수 있으나 여기서 쓰는 의미의 액상화는 일어나지 않는다: 반복 연화 검토로 넘긴다

평가되지 않은 시험은 **사유와 함께** 모든 표에 남는다. 액상화의 결과(침하, 측방 유동, 지지력 상실)는 이 버전의 범위에 포함되지 않는다

전응력, 간극수압 및 유효 수직응력

이론

지하수위 위에는 γ를, 그 아래에는 **γ_{sat}**를 적용하여 지층별로 합산한다. 간극수압은 지하수위부터 아래로 **정수압 분포**이다(z_w는 시추공의 지하수위 깊이)

유효응력 σ'_v는 CSR과 상재압력 보정 모두에 사용된다

$$\sigma_v = \sum \gamma_i \, h_i \qquad u = \gamma_w \, (z - z_w) \qquad \sigma'_v = \sigma_v - u$$

유효응력은 지하수위 아래의 시험에 대해서만 계산한다: 지하수위 위에서는 u = 0이며 해당 시험은 제외된다.

N_{30}에서 N_{60}으로

이론

측정된 타격 횟수 N_{30}(마지막 30 cm)은 **에너지 60%**인 표준 로드 기준으로 환산한다: C_E = ER/60 (해머), C_B (시추공 직경), C_S (시료관)

C_R은 로드 길이에 따라 달라진다: 로드 길이 = z + 지표면 위의 길이(여기서는 1.5 m)

$$N_{60} = N_{30} \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_S \cdot C_R$$

로드 길이 (m)	< 3	3 – 4	4 – 6	6 – 10	≥ 10
C_R	0.75	0.80	0.85	0.95	1.00

$N_{60} \rightarrow (N_1)_{60} \rightarrow (N_1)_{60cs}$

이론

C_N은 측정값을 1 atm(P_a = 101.3 kPa) 유효응력 기준으로 보정한다. 지수 m이 결과 자체에 의존하므로 **반복 계산**으로 구한다; $C_N \le 1.7$

세립분은 모래와 유사한 저항을 증가시킨다: FC(백분율, 측정된 경우 해당 시험의 값, 없으면 지층의 값)를 이용하여 깨끗한 모래의 등가값으로 환산한다

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^m \le 1.7 \qquad m = 0.784 - 0.0768\sqrt{(N_1)_{60cs}} \qquad (N_1)_{60} = C_N N_{60}$$

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp\left[1.63 + \frac{9.7}{FC + 0.01} - \left(\frac{15.7}{FC + 0.01}\right)^2\right] \qquad (N_1)_{60cs} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60}$$

FC (%)	0	5	10	15	20	25	30	35	50
$\Delta(N_1)_{60}$	0.00	0.00	1.15	3.26	4.48	5.07	5.36	5.51	5.61

지진 하중에 의한 요구: CSR 및 r_d

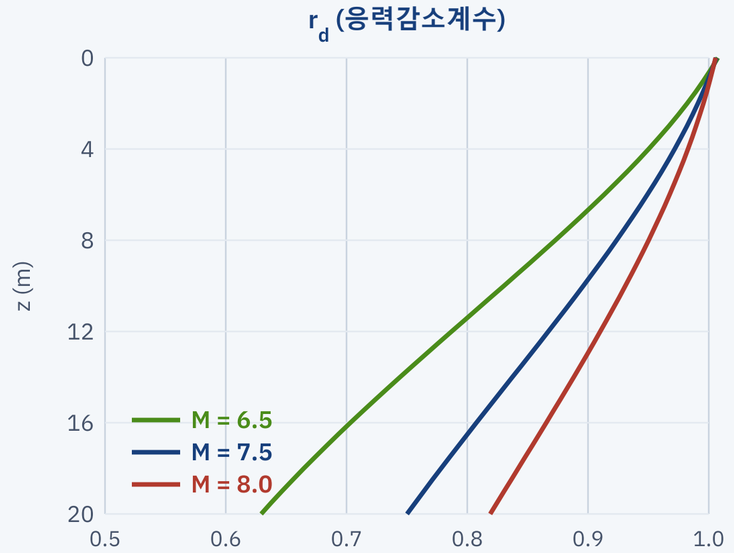
이론

CSR은 지진이 지반에 가하는 반복 전단응력과 유효응력의 비이며, 0.65는 평균 응력을, σ_v/σ'_v는 깊이의 영향을 나타낸다

r_d(응력감소계수)는 깊이와 규모에 따라 감소하며, 지표에서 1이다

$$CSR = 0.65\,\frac{\sigma_v}{\sigma'_v}\,a_{max}\,r_d \qquad r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z)M]$$

$$\alpha = -1.012 - 1.126\sin\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right) \qquad \beta = 0.106 + 0.118\sin\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)$$



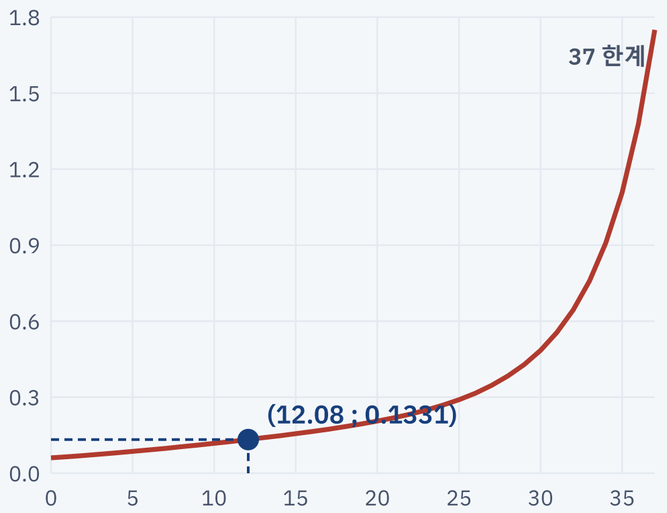
지반의 저항: CRR 곡선

이론

$CRR_{M=7.5;\ \sigma'=1}$은 $(N_1)_{60cs}$에만 의존한다(Idriss–Boulanger 곡선); M = 7.5와 σ'_v = 1 atm에서 적용된다

곡선은 $(N_1)_{60cs}$ = 37까지 사용하며, 이보다 조밀한 시험은 이 한계에서 평가하고 경고를 표시한다

$$CRR_{7.5,1} = \exp\left[\frac{n}{14.1} + \left(\frac{n}{126}\right)^2 - \left(\frac{n}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{n}{25.4}\right)^4 - 2.8\right] \qquad n = (N_1)_{60cs}$$



MSF와 K_σ

이론

MSF 규모 조정: CRR은 M = 7.5에 대한 값이며, 다른 규모에서는 반복 횟수의 차이를 반영한다. M < 7.5이면 MSF > 1

K_σ 상재압 계수: CRR은 1 atm에 대한 값이며, σ'_v가 커질수록 저항비는 감소한다. $K_\sigma \le 1.1$

$$MSF = 1 + (MSF_{max} - 1)\left(8.64\, e^{-M/4} - 1.325\right) \qquad MSF_{max} = 1.09 + \left(\frac{(N_1)_{60cs}}{31.5}\right)^2 \le 2.2$$

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln\frac{\sigma'_v}{P_a} \le 1.1 \qquad C_\sigma = \frac{1}{18.9 - 2.55\sqrt{(N_1)_{60cs}}} \le 0.3$$

FS = CRR / CSR; 영역과 두께

이론

CRR = $CRR_{7.5;1}$ · MSF · K_σ; **FS = CRR / CSR**. FS < 1: **액상화 유발**; 1 ≤ FS < $FS_{required}$ (1.20): **경계 상태**; 요구값은 프로젝트 시방서에서 가져온 입력값이다

평가된 각 시험은 자신의 지층을 대표한다: 위쪽 시험과 아래쪽 시험의 **중간 지점**까지이며, 지층 경계와 지하수위에서 구간이 끝난다

인접한 구간이 같은 결과를 주면 하나의 **구역**으로 합쳐지며, 한 시추공의 **액상화되는 두께**는 FS < 1인 구역들의 합이다

$$CRR = CRR_{7.5,1} \cdot MSF \cdot K_\sigma \qquad FS = \frac{CRR}{CSR}$$

문제

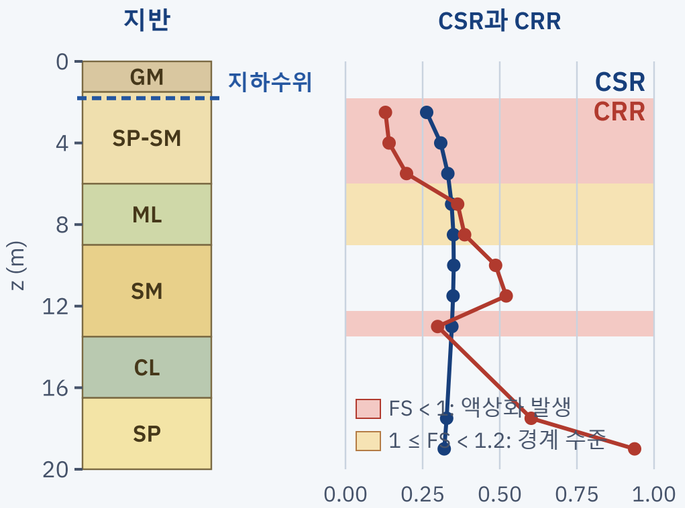
예제

조건

시추공 BH-1	**지하수위** $z_w = 1.80$ **m; 0–1.5 m 매립토(GM):** $\gamma = 18.5$**; 1.5–6 m 느슨한 모래(SP-SM):** $\gamma = 18.0$**,** $\gamma_{sat} = 19.5$ **kN/m³, FC = 8 %**
시험	$z = 4.0$ **m에서** $N_{30} = 10$ **(지하수위 아래)**
지진과 장비	$a_{max} = 0.35g$**,** $M = 7.5$**; ER = 60% (**$C_E = C_B = C_S = 1$**), 로드 길이 =** $z + 1.5$ **m;** $FS_{req} = 1.20$

구하는 값

응력, **N_{60}**, **$(N_1)_{60cs}$** (반복 계산으로), **CSR**, **CRR** 및 **FS**.



풀이 (1/5)

풀이

1 수직 전응력 (지층별; 지하수위 1.80 m)

$$\sigma_v = 18.5(1.5) + 18.0(1.80 - 1.5) + 19.5(4.0 - 1.80) = 27.75 + 5.40 + 42.90 = \mathbf{76.05}\ \text{kPa}$$

2 간극수압과 유효응력

$$u = \gamma_w (z - z_w) = 9.81(4.0 - 1.80) = \mathbf{21.58}\ \text{kPa}$$

$$\sigma'_v = \sigma_v - u = 76.05 - 21.58 = \mathbf{54.47}\ \text{kPa}$$

시험 지점은 지하수위 **2.20 m** 아래이다: σ_v = 76.05, u = 21.58, **σ'_v = 54.47 kPa**. 이 지점은 시추공에서 FS가 최소인 지점이다(문제 제시 페이지의 그림).

풀이 (2/5)

풀이

3 로드 길이 보정과 N_{60}

$$L = z + 1.5 = 5.5\ \text{m} \Rightarrow C_R = 0.85 \qquad N_{60} = 10(1)(1)(1)(0.85) = \mathbf{8.50}$$

4 세립분 증가

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp[1.63 + 9.7/8.01 - (15.7/8.01)^2] = \exp[-1.0008] = \mathbf{0.3676}$$

5 상재압 보정: C_N이 $(N_1)_{60cs}$에 의존하므로 반복 계산이 필요하다 (σ'_v = 54.47 kPa)

반복 계산	n (입력값)	m	C_N	$(N_1)_{60} = C_N N_{60}$	$(N_1)_{60cs} = + \Delta$
1	8.5000	0.5601	1.4158	12.0339	12.4015
2	12.4015	0.5135	1.3754	11.6912	12.0587
3	12.0587	0.5173	1.3786	11.7185	12.0861
…	…	…	…	…	…
8	12.0840	0.5170	1.3784	11.7165	12.0840

8회 반복 계산으로 수렴한다: **C_N = 1.3784**, $(N_1)_{60}$ = 11.716, **$(N_1)_{60cs}$ = 12.08**.

풀이 (3/5)

풀이

6 응력감소계수 r_d (z = 4.0 m, M = 7.5)

$$\alpha = -1.012 - 1.126 \sin\left(\frac{4}{11.73} + 5.133\right) = -0.1971$$

$$\beta = 0.106 + 0.118 \sin\left(\frac{4}{11.28} + 5.142\right) = 0.0225$$

$$r_d = \exp[\alpha + \beta M] = \exp[-0.1971 + 0.0225(7.5)] = \mathbf{0.9718}$$

7 반복응력비

$$CSR = 0.65 \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} a_{max} r_d = 0.65 \left(\frac{76.05}{54.47}\right)(0.35)(0.9718) = \mathbf{0.3087}$$

지진은 이 깊이에서 유효응력의 **30.9**%에 해당하는 반복 전단응력을 가한다(CSR = 0.3087).

풀이 (4/5)

풀이

8 M = 7.5 및 σ′ = 1 atm에 대한 기준 저항 ($(N_1)_{60cs}$ = 12.08)

$$CRR_{7.5,1} = \exp\left[\frac{12.08}{14.1} + \left(\frac{12.08}{126}\right)^2 - \left(\frac{12.08}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{12.08}{25.4}\right)^4 - 2.8\right]$$

$$CRR_{7.5,1} = \exp[-2.0168] = \mathbf{0.1331}$$

9 지진 규모와 상재압력 계수

$$MSF_{max} = 1.09 + (12.08/31.5)^2 = 1.2372$$

$$MSF = 1 + (1.2372 - 1)(8.64\,e^{-7.5/4} - 1.325) = \mathbf{1.0000}$$

$$C_\sigma = 1/(18.9 - 2.55\sqrt{12.08}) = 0.0996 \qquad K_\sigma = 1 - 0.0996\ln(54.47/101.325) = \mathbf{1.0619}$$

$CRR_{7.5;1}$ = **0.1331**; MSF = **1.0000**; K_σ = **1.0619**: 이 세 수의 곱으로 CRR을 구한다(다음 슬라이드).

풀이 (5/5)

풀이

10 저항과 안전율

$$CRR = CRR_{7.5,1} \cdot MSF \cdot K_\sigma = 0.1331(1.0000)(1.0619) = \mathbf{0.1413}$$

$$FS = \frac{CRR}{CSR} = \frac{0.1413}{0.3087} = \mathbf{0.458}$$

FS = 0.458 < 1: 이 시험에서 액상화가 **유발된다**. 이 시험은 3.25 – 4.75 m 구간을 대표한다 (위쪽 시험의 2.5 m 및 아래쪽 시험의 5.5 m와의 중간점). 동일한 10단계가 모든 시험에서 반복된다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

예제

조건

시추공 BH-1	**SPT 13개:** $z = 1.0$ **–** 19.0 **m; 지하수위** 1.80 **m;** $z_{max} = 20$ **m;** $PI_{lim} = 7$
지층	**GM (0–1.5), SP-SM (1.5–6), ML** $PI = 5$ **(6–9), SM (9–13.5), CL** $PI = 18$ **(13.5–16.5), SP (16.5–20)**

구하는 값

각 시험에 대한 **평가함 / 평가하지 않음** 판정과 그 근거.

풀이

풀이

z (m)	N_{30}	지반	PI	지하수위?	점토질인가?	판정
1.0	9	GM	–	**위쪽**	–	**평가 제외**: 지하수위 상부
2.5	7	SP-SM	–	아래	아니요	평가된다
4.0	10	SP-SM	–	아래	아니요	평가된다
5.5	16	SP-SM	–	아래	아니요	평가된다
7.0	21	ML	5	아래	아니요	평가된다
8.5	22	ML	5	아래	아니요	평가된다
10.0	27	SM	–	아래	아니요	평가된다
11.5	29	SM	–	아래	아니요	평가된다
13.0	25	SM	–	아래	아니요	평가된다
14.5	13	CL	18	아래	예	**평가하지 않음**: 점토질 (PI ≥ 7)
16.0	15	CL	18	아래	예	**평가하지 않음**: 점토질 (PI ≥ 7)
17.5	40	SP	–	아래	아니요	평가된다
19.0	44	SP	–	아래	아니요	평가된다

13개 시험 중 **3개가 제외된다**: 1.0 m(지하수위 위)와 14.5 m 및 16.0 m(CL, PI = 18 ≥ 7). ML 지층(PI = 5 < 7)은 점토질로 보지 않으며, 7.0 m와 8.5 m 시험은 **평가된다**(FC = 62 %). 제외된 시험도 표에는 그대로 나타난다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

예제

조건

시추	**예제 1의 BH-1과 매개변수; 10단계는 모든 시험에서 동일**
구역 규칙	**각 시험은 자신의 지층 안에서 인접한 시험과의 중간 지점까지 적용되며, 지층 경계와 지하수위에서 멈춘다**

구하는 값

모든 시험의 표; **액상화 구간**, **액상화 층 두께** 및 최소 FS.

풀이 (1/2)

풀이

z (m)	N_{30}	지반	FC %	σ_v	σ'_v	N_{60}	C_N	$(N_1)_{60cs}$	CSR	CRR	FS	상태
1.0	9	GM	20	–	–	6.75	1.700	15.95	–	–	–	*지하수위 위*
2.5	7	SP-SM	8	46.8	39.9	5.95	1.652	10.19	0.263	0.130	0.493	액상화 발생
4.0	**10**	**SP-SM**	**8**	**76.1**	**54.5**	**8.50**	**1.378**	**12.08**	**0.309**	**0.141**	**0.458**	**액상화 발생**
5.5	16	SP-SM	8	105.3	69.0	15.20	1.191	18.46	0.332	0.198	0.596	액상화 발생
7.0	21	ML	62	134.1	83.0	19.95	1.079	27.13	0.344	0.363	1.056	한계 상태
8.5	22	ML	62	162.6	96.8	22.00	1.017	27.98	0.350	0.386	1.102	한계 상태
10.0	27	SM	18	191.9	111.4	27.00	0.966	30.18	0.351	0.487	1.386	안전
11.5	29	SM	18	221.6	126.4	29.00	0.924	30.89	0.349	0.521	1.494	안전
13.0	25	SM	18	251.2	141.4	25.00	0.878	26.03	0.345	0.299	0.867	액상화 발생
14.5	13	CL	88	–	–	13.00	0.816	16.12	–	–	–	*점토질 (PI ≥ 7)*
16.0	15	CL	88	–	–	15.00	0.788	17.34	–	–	–	*점토질 (PI ≥ 7)*
17.5	40	SP	4	338.7	184.6	40.00	0.812	32.50	0.328	0.602	1.835	안전
19.0	44	SP	4	369.4	200.7	44.00	0.799	35.15	0.320	0.937	2.928	안전

최소 FS = 0.458 (z = 4.0 m). 액상화 구간: **1.80 – 6.00 m** 및 **12.25 – 13.50 m**; 경계 상태: 6.00 – 9.00 m. 액상화 두께 = 5.45 m. 4.0 m 행은 손으로 푼 예제 1이다.

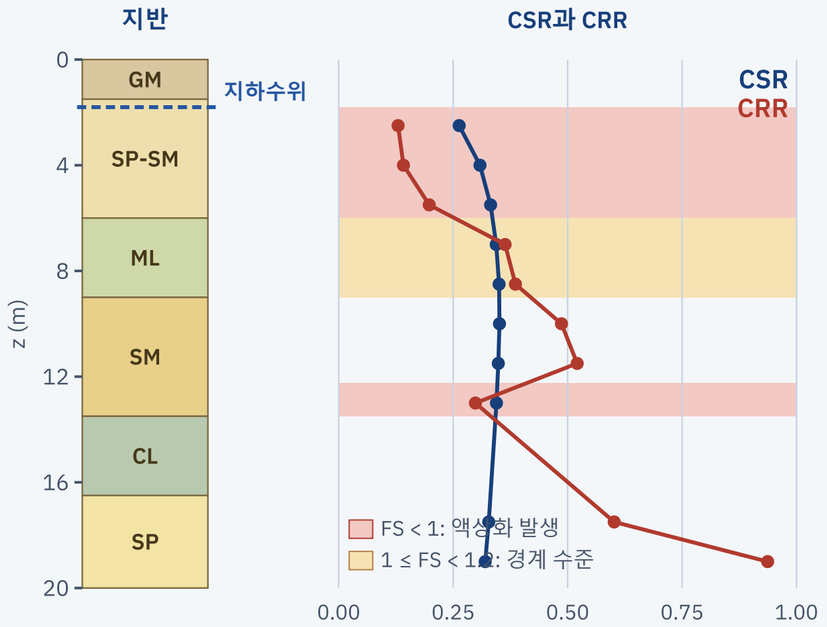
풀이 (2/2)

풀이

1 각 시험은 자신의 구간을 대표하며, 결과가 같은 인접 구간은 하나로 합쳐진다

구역	범위 (m)	두께 (m)	시험	FS 범위
액상화 층 1	1.80 – 6.00	4.20	2.5; 4.0; 5.5 m	0.458 – 0.596
한계 상태	6.00 – 9.00	3.00	7.0; 8.5 m	1,056 – 1,102
액상화 층 2	12.25 – 13.50	1.25	13.0 m	0.867
액상화 합계		**5.45**		

예제: 4.0 m 시험은 3.25 – 4.75 m 구간을 대표하고, 2.5 m 시험은 1.80 – 3.25 m 구간(지하수위에서 끝남), 5.5 m 시험은 4.75 – 6.00 m 구간(지층 경계에서 끝남)을 포함한다. 합계는 **4.20 m**이다. 시추공의 액상화 층 두께는 5.45 m이다.



GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

예제

조건

기준 경우	**BH-1:** $a_{max} = 0.35g$, $M = 7.5$, **지하수위** 1.80 **m, ER = 60%**
변수	**한 번에 하나만:** $a_{max} = 0.25g$ **/** $0.45g$**;** $M =$ 6.5 **/** 8.0**; 지하수위** 3.0 **m /** 1.0 **m; ER 45% / 80%**

구하는 값

BH-1의 **최소 FS**와 **액상화 층 두께**; 4.0 m 시험에서 MSF의 손계산 검토.

풀이 (1/2)

풀이

상태	변화	최소 FS	z (m)	액상화 두께 (m)	한계 시 (m)
저면	a_{max} 0.35g; M 7.5; 지하수위 1.8; ER 60	**0.458**	4.0	5.45	3.00
a_{max} 감소	0.25g	**0.641**	4.0	4.20	0.00
a_{max} 증가	0.45g	**0.356**	4.0	8.45	3.25
규모 감소	M 6.5	**0.510**	4.0	4.20	0.00
규모 증가	M 8.0	**0.436**	4.0	8.45	3.25
지하수위 하강	3.0 m	**0.517**	4.0	4.00	3.00
지하수위 상승	1.0 m	**0.412**	2.5	5.75	3.00
에너지 감소	ER %45 (C_E 0.75)	**0.388**	4.0	15.20	0.00
에너지 증가	ER %80 (C_E 1.33)	**0.560**	4.0	4.20	0.00

a_{max}는 가장 영향이 큰 입력값이다: 0.25g에서 액상화 두께는 4.20 m, 0.45g에서 8.45 m이다. **해머 에너지**의 영향은 예상 외로 크다: ER 45%에서 N_{60}이 작아지고 액상화 두께는 15.20 m로 증가한다. 따라서 측정된 에너지비를 **아는 것**이 중요하다.

풀이 (2/2)

풀이

1 M = 6.5와 M = 8.0에 대한 규모조정계수 ($(N_1)_{60cs}$ = 12.08)

$$MSF_{6.5} = 1 + (1.2372 - 1)(8.64\,e^{-6.5/4} - 1.325) = \mathbf{1.0892}$$

$$MSF_{8.0} = 1 + (1.2372 - 1)(8.64\,e^{-8.0/4} - 1.325) = \mathbf{0.9631}$$

2 동일 시험 (4.0 m)의 FS

M	r_d	CSR	MSF	CRR	FS
6.5	0.9502	0.3018	1.0892	0.1539	**0.510**
7.5	0.9718	0.3087	1.0000	0.1413	**0.458**
8.0	0.9828	0.3122	0.9631	0.1361	**0.436**

규모가 작으면 반복 횟수가 적다는 뜻이다. MSF가 커지고 FS는 0.458 → **0.510**이 된다. M = 8.0에서는 FS가 0.436이다. r_d와 MSF는 모두 규모에 의존하며, 두 값은 같은 방향으로 작용한다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

예제

조건

시추공	**BH-1 (지하수위 1.80 m), BH-2 (2.40 m), BH-3 (3.10 m); 동일한 매개변수**
단면	**BH-1 $x = 0$, BH-2 $x = 32$, BH-3 $x = 70$ m**

구하는 값

각 시추공의 **최소 FS**, **액상화** 및 **한계 상태** 층의 두께; 프로젝트 요약.

풀이

풀이

시추	지하수위 (m)	시험	제외	최소 FS	z (m)	액상화 구간 (m)	두께 (m)	한계 시 (m)
BH-1	1.80	13	3	**0.458**	4.0	1.80–6.00; 12.25–13.50	5.45	3.00
BH-2	2.40	13	3	**0.697**	3.0	2.40–5.25	2.85	3.50
BH-3	3.10	13	6	**0.841**	6.0	5.00–8.25	3.25	1.75

세 개의 시추공 모두에서 액상화가 유발된다. 최소 FS = 0.458 (BH-1, 4.0 m)이며, 가장 두꺼운 액상화 지층은 BH-1에 있다(5.45 m). 39개 시험 중 27개를 평가하였고 12개는 제외하였다 (지하수위 위쪽이거나 점토질).

단면선이 있으면 색 띠가 시추공 사이에서 선형 보간되며, 회색 영역은 평가하지 않는 지반이다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

요약

핵심 정리

FS = CRR / CSR; CSR = 0.65 (σ_v/σ'_v) a_{max} r_d; CRR = $CRR_{7.5;1} \cdot MSF \cdot K_\sigma$

N_{60} = N_{30} C_E C_B C_S C_R; **$(N_1)_{60cs}$** = C_N N_{60} + Δ(FC), C_N은 반복 계산으로 구한다

예제 (BH-1, 4.0 m): σ'_v 54.47 kPa; N_{60} 8.50; C_N 1.378; $(N_1)_{60cs}$ 12.08; CSR 0.3087; CRR 0.1413 (MSF 1.000, K_σ 1.062) → **FS 0.458**

선별: 지하수위 위쪽, z_{max} 아래쪽 및 점토질(PI ≥ 7) 시험은 계산에 포함하지 않는다; **구간**: 각 시험은 이웃한 시험과의 중간점까지로 간주한다

민감도: a_{max}와 측정된 해머 에너지가 결과를 가장 크게 바꾸는 입력이며, 액상화의 결과는 별도의 계산이다

참고문헌

Boulanger, R.W., Idriss, I.M. (2014). CPT and SPT based liquefaction triggering procedures. Report UCD/CGM-14/01, University of California, Davis.

Idriss, I.M., Boulanger, R.W. (2008). Soil liquefaction during earthquakes. EERI, MNO-12.

Boulanger, R.W., Idriss, I.M. (2006). Liquefaction susceptibility criteria for silts and clays. J. Geotech. Geoenviron. Eng., 132(11).

Youd, T.L. et al. (2001). Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops. J. Geotech. Geoenviron. Eng., 127(10).

Seed, H.B., Idriss, I.M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. J. Soil Mech. Found. Div., 97(SM9).

참고

수치 예제는 모두 모듈 자체의 계산 엔진으로 산출하였으며, 모듈도 같은 값을 준다. 모듈의 초기 프로젝트는 이 3개 시추공이다 (a_{max} = 0.35g, M = 7.5).

온라인 지반공학 계산

이론에서 실무로

시추공, SPT 결과, 지하수위와 지진 매개변수를 GeoTerva에 입력하면 모듈이 시험별 보정값, CSR, CRR, FS, 구간, 액상화 층 두께와 색상 띠로 구분한 단면, 단계별 풀이와 보고서를 함께 제공한다.

모듈 열기 →

이론 페이지 →

스마트폰으로 열기

체험 모듈은 가입 없이 이용할 수 있습니다.

강의에서 사용하려면: info@geoterva.com