5. 옹벽





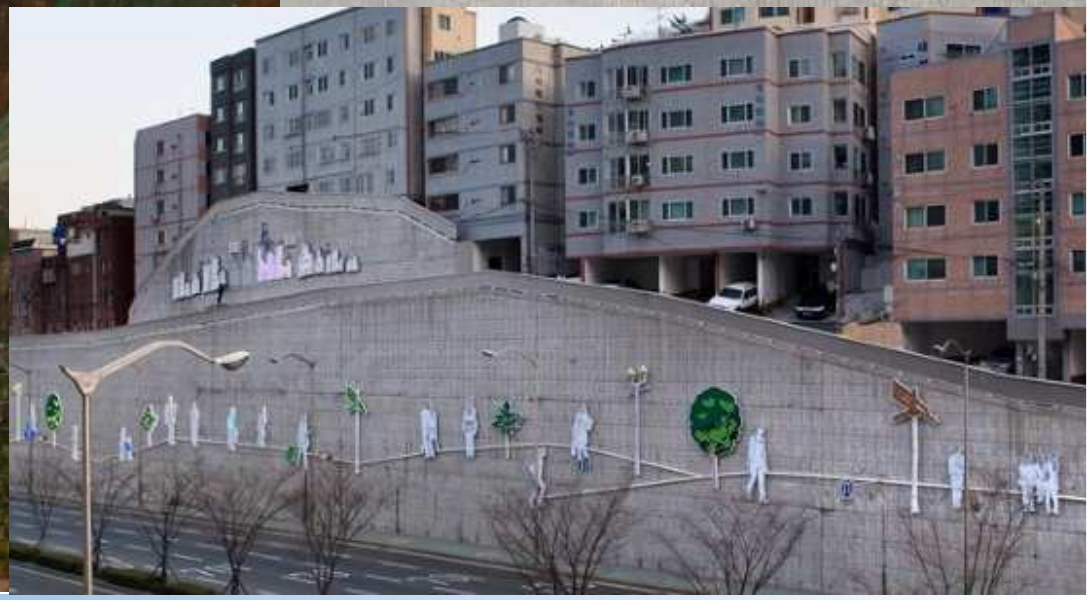

공사중
통행에 불편을 드려
대단히 죄송합니다



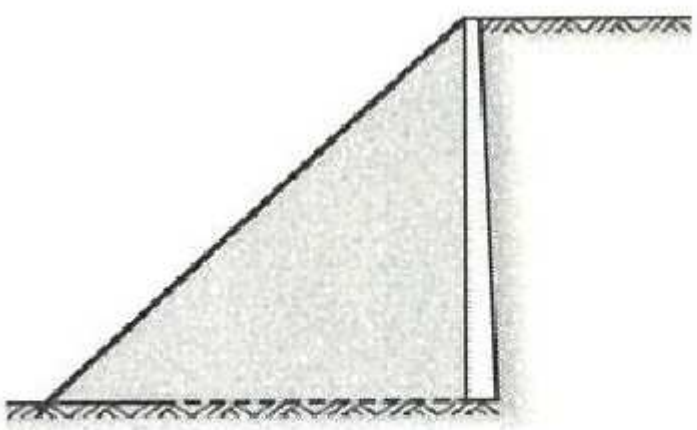




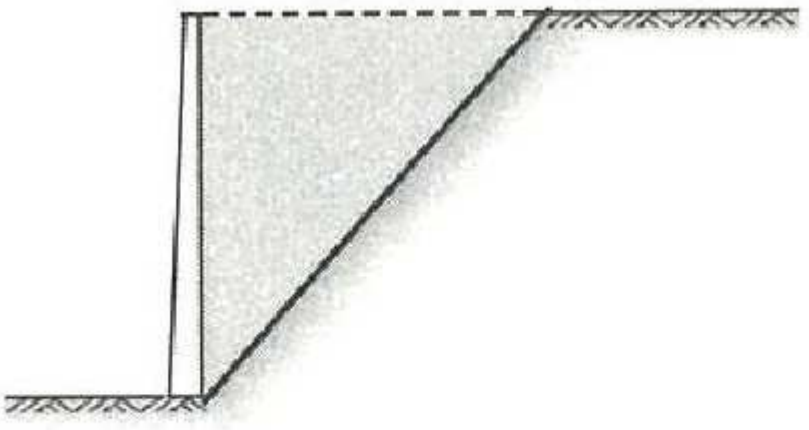




- 옹벽은 횡토압에 저항하여 흙이 무너지지 않도록 설치하는 벽체이다.
- 경사면을 옹벽으로 대체하면 가용토지가 증가하므로 토지 이용을 극대화 할 수 있음.
- 자연사면의 붕괴를 방지하기 위해 사용하기도 함.



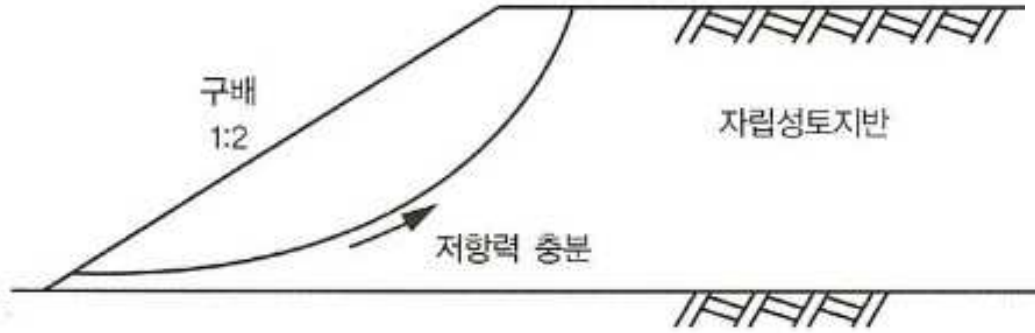
(a) 절토

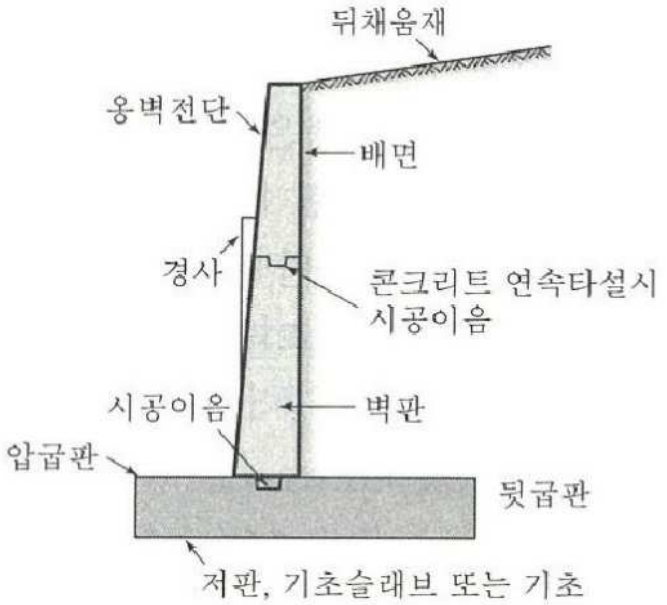


(b) 성토

5.1 개괄

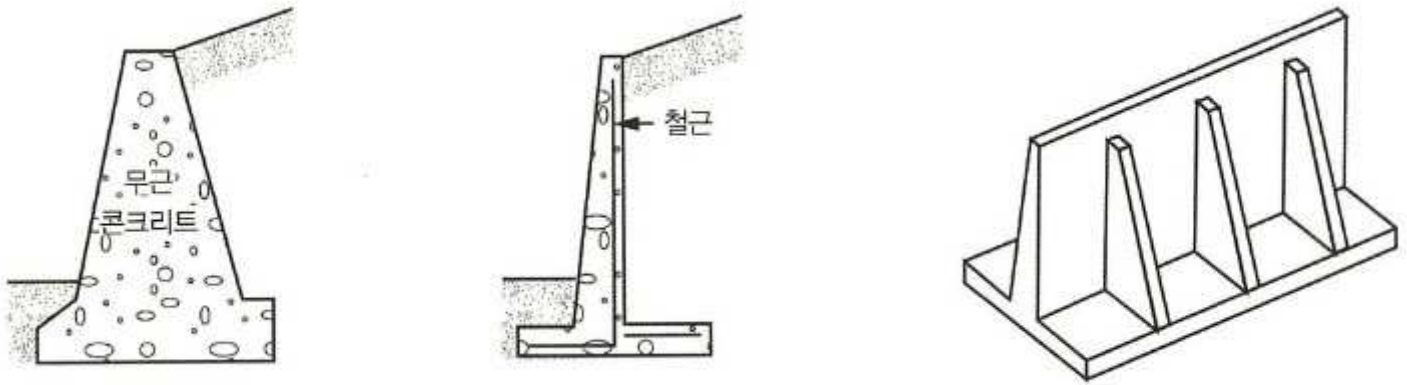
- 흙구조물에서 가장 경제적인 성토구조물은 자연사면을 유지하는 것.
- 그러기 위해서는 일반적으로 다음그림과 같이 1:2 정도의 사면경사를 유지해야 함(전단강도, 수압 유무 등에 따라 다름).
- 그러나 부지 확보 등의 어려움이 있는 경우 옹벽을 설치하여 뒤채움 토사에 의한 토압을 견디어 줌.





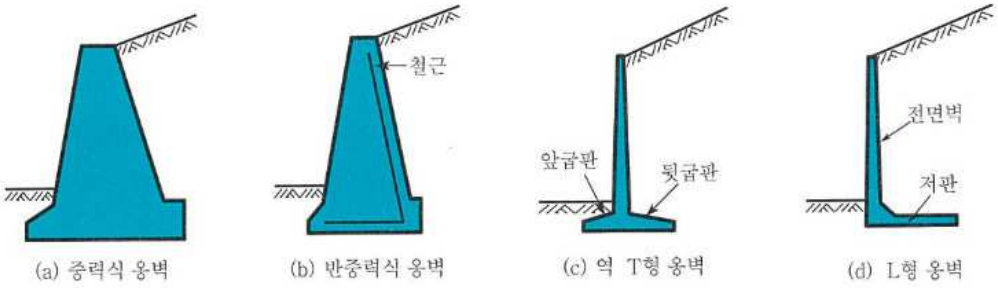
1. 옹벽의 종류

- 중력식 옹벽: 그림에서 보여주는 바와 같이 무근콘크리트(또는 석축)로 축조하는 구조물로서 옹벽 자체의 무게로써 안정을 유지한다. 주로 5m 이하의 높이에서 사용된다. 이때 소량의 철근을 배근하여 벽체 단면의 크기를 줄일 수도 있으며, 이를 반중력식 옹벽이라고도 한다.
- 캔틸레버식 옹벽: 연직 벽체(stem)와 바닥판(base slab)으로 이루어진 철근콘크리트 구조로 이루어진 옹벽이다. 옹벽의 높이가 8m이하에서 사용된다. 바닥판 중에서 앞굽이 없는 캔틸레버식 옹벽인 L형 옹벽도 있다.
- 부벽식 옹벽: 일정한 수평간격으로 벽체와 바닥판 뒷굽을 연결시켜 주는 부벽(counterfort)을 설치한 옹벽이다. 8m 이상의 옹벽에 사용하며, 부벽의 설치목적은 전단력과 휨모멘트를 감소하기 위한 것이다.

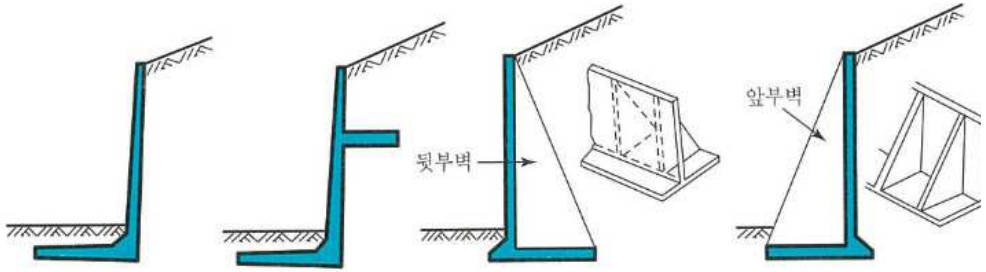


(a) 중력식 옹벽 (b) 캔틸레버식 옹벽 (c) 부벽식 옹벽

옹벽의 형태

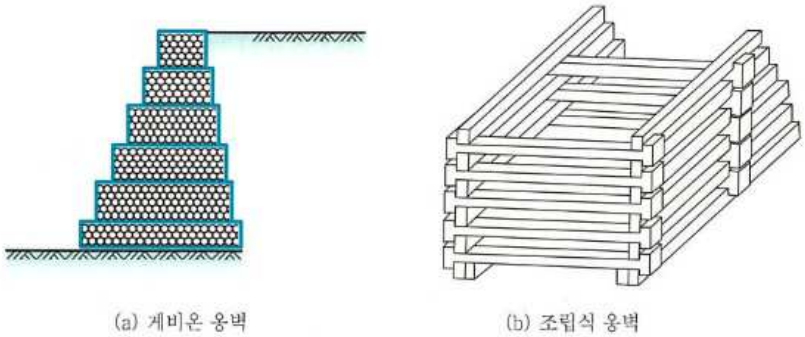


(a) 중력식 옹벽 (b) 반중력식 옹벽 (c) 역 T형 옹벽 (d) L형 옹벽

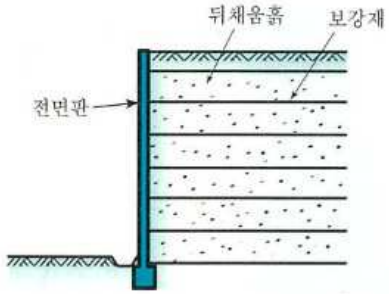


(e) 역 L형 옹벽 (f) 선반식 옹벽 (g) 뒷부벽식 옹벽 (h) 앞부벽식 옹벽

일반 옹벽의 형태



(a) 게비온 옹벽 (b) 조립식 옹벽



(c) 보강토 옹벽

특수 옹벽의 형태

2. 옹벽 설계의 근간

① 첫 번째 단계로는 옹벽에 작용되는 횡토압에 대하여 옹벽구조물 전체에 대한 안정성을 검토하여야 한다. 안정성 검토에는 전도(overturing), 활동(sliding), 지지력(bearing capacity) 파괴에 대한 검토가 있어야 한다. 안정성 검토를 위한 토압은 (하중계수를 곱하지 않은) 실제 작용되는 토압을 이용한다.

② 두 번째 단계는 부재 설계이다. 이는 철근콘크리트 구조의 부재 설계와 동일하다. 이때 적용되는 하중은 당연히 하중계수를 곱한 하중이어야 한다. 부재 설계는 철근콘크리트 공학 교재를 참고하기 바람.

3. 토압이론 적용

① 토압에는 Rankine 토압과 Coulomb 토압이 있는 바, 옹벽의 안정성 검토에는 Rankine토압을, 부재 설계에는 Coulomb의 토압을 이용하면 편하하다.

② 안정성 검토를 위한 토압의 개략도는 그림 (a), (b)와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 뒷굽위에 있는 흙의 무게는 안정성을 증진시키는데 도움을 주므로 옹벽의 일부로 가정한다. 토압은 그림 (a), (b)에서와 같이 바닥판 뒷굽을 통과하는 연직면에 Rankine 토압이 작용되는 것으로 간주한다.

③ 그림(c)는 coulomb 토압을 보여주고 있는데, 벽체와 뒷채움 흙 사이의 벽면마찰각을 고려하는 바 토압이 옹벽에 직접 작용되는 것으로 본다.

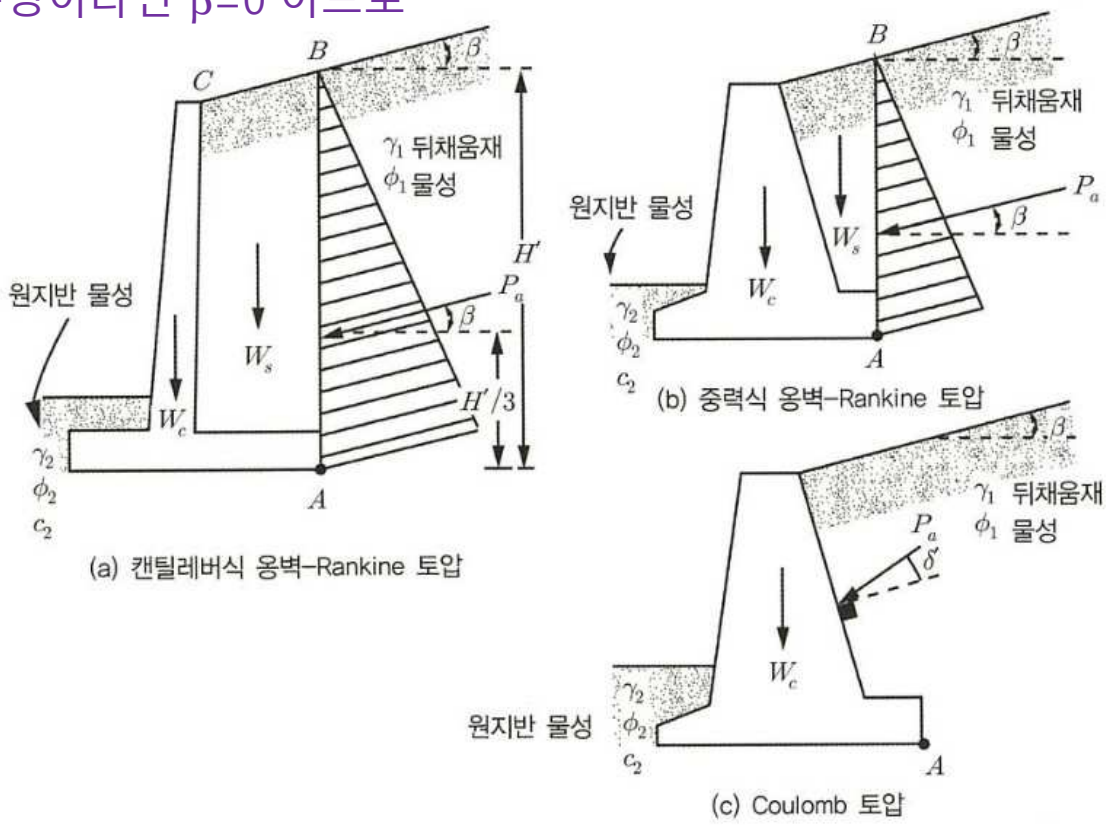
$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma_1 H'^2 \cos\beta$$

$$K_a = \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi_1}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi_1}}$$

만일 뒤채움 지반이 경사지지 않고 수평이라면 β=0°이므로

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma_1 H^2$$

$$K_a = \tan^2\left(45° - \frac{\phi_1}{2}\right)$$



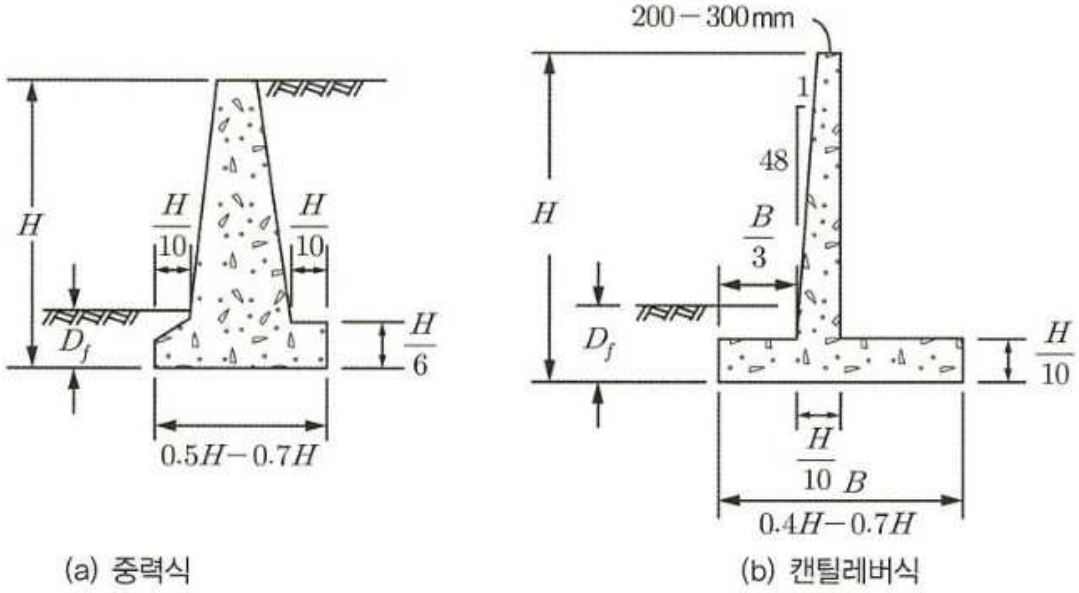
옹벽 설계용 횡방향 토압의 적용

4. 옹벽의 단면

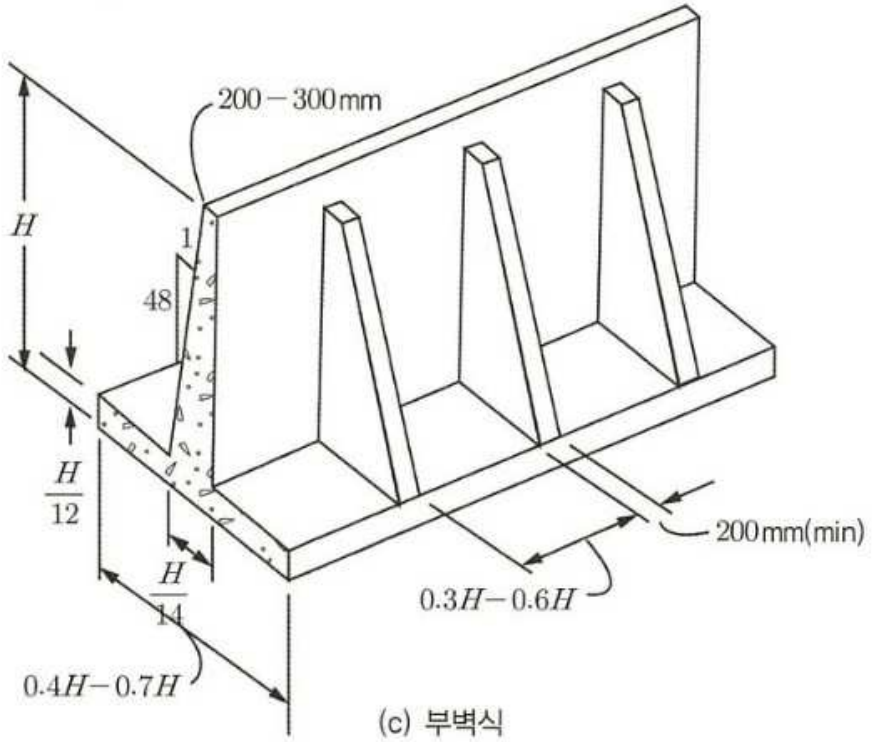
① 벽체 상단부의 폭은 200~300mm로 되어 있으나 콘크리트 타설을 보다 용이하게 하기 위하여 300mm 로 하는 것이 좋다.

② 옹벽은 D_f만큼 근입시켜야 하는 바, 근입깊이는 동결심도보다 깊어야 한다.

③ 옹벽 저판은(특히, 캔틸레버 식 옹벽의 경우) 합력의 작용점이 저판의 중심 B/3 안에 오도록(kiddle third) 압굽을 정한다. 합력의 작용점이 중심 B/3 밖에 위치하게 되면 저판 하부에 인장력이 작용하게 되어 안정성에 영향을 끼친다.



(a) 중력식 (b) 캔틸레버식



(c) 부벽식

일반적인 옹벽의 치수단면

5.2 옹벽의 안정성 검토

1. 개괄

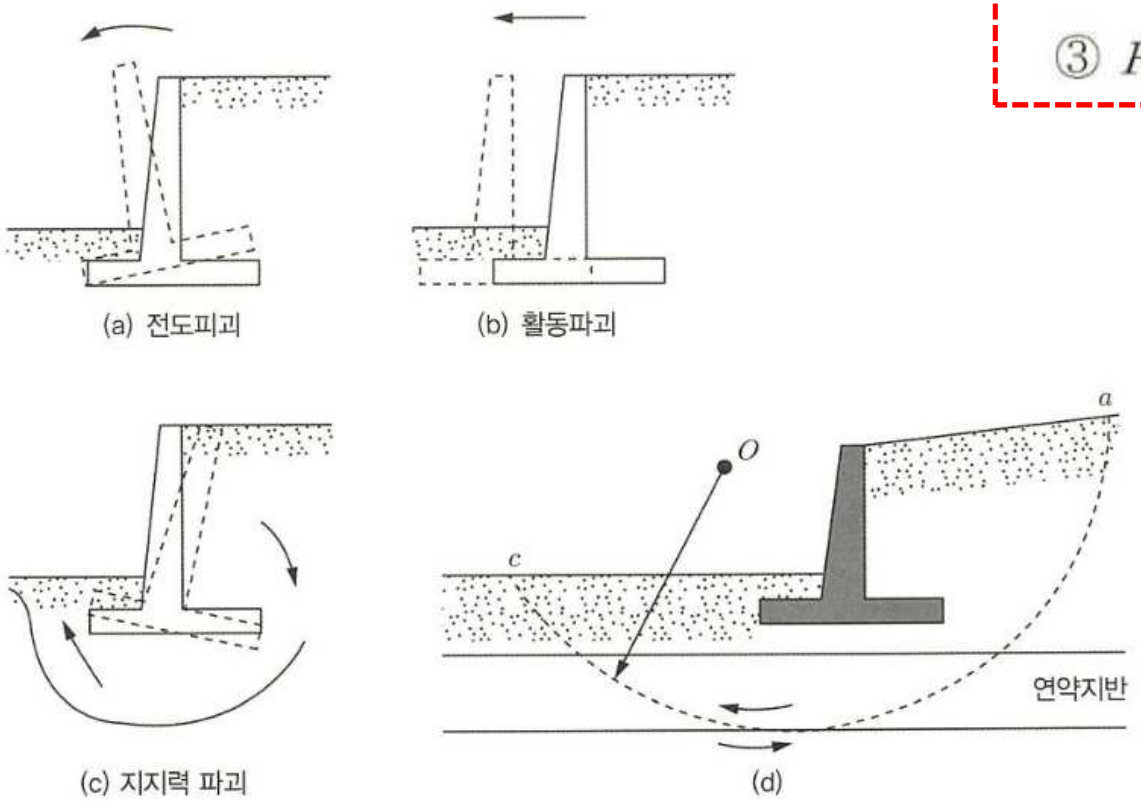
① 압굽을 중심으로 회전하는 전도파괴(overturning).
② 기초저면이 밀려나는 활동파괴(sliding).
③ 기초지반의 지지력 파괴(bearing capacity failure).
④ 심층부를 포함하는 사면파괴.
⑤ 과잉침하.

옹벽 안정성에 대한 안전율

① $F_{s(overturning)} \approx 2.0$

② $F_{s(sliding)} \approx 1.5 \sim 2.0$

③ $F_{s(bearing)} \approx 3.0$



옹벽의 파괴 유형

2. 전도파괴에 대한 안정성 검토

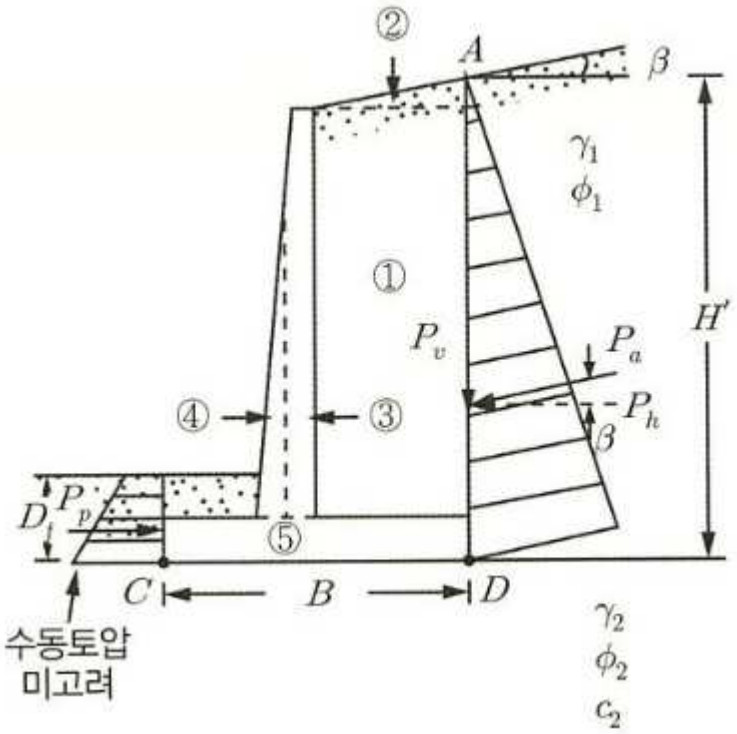
$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma_2 D_f^2 + 2c_2 \sqrt{K_p} D_f$$

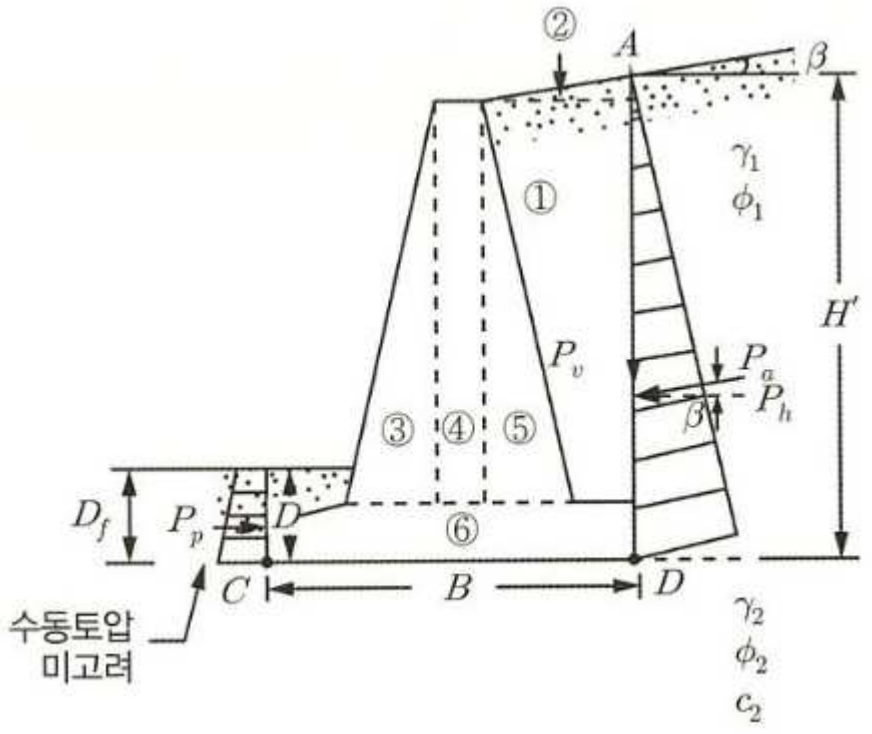
K_p = 수동토압계수

$$= \tan^2\left(45° + \frac{\phi_2}{2}\right)$$ 무시

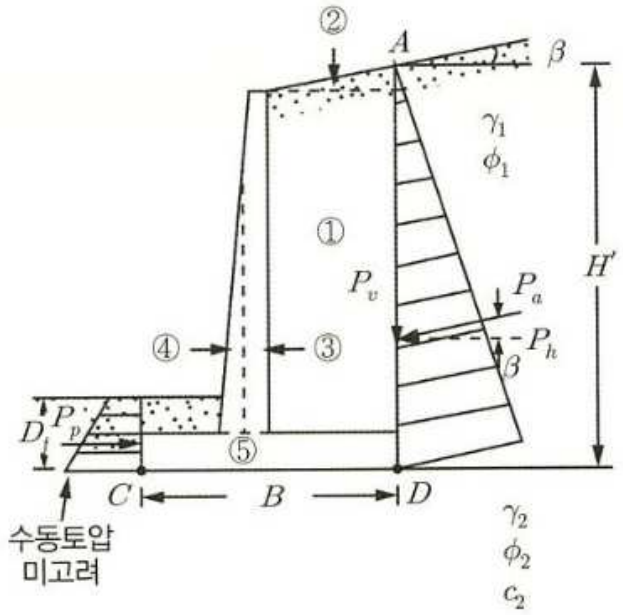
$$F_{s(overturning)} = \frac{\sum M_R}{\sum M_D}$$

$$\sum M_D = P_h \cdot \left(\frac{H'}{3}\right)$$





옹벽전도 검토 개요



단면(1)	면적(2)	옹벽의 단위길이당 무게(3)	C점으로부터 모멘트 팔 길이(4)	C점에 대한 모멘트(5)
1	A_1	$W_1=\gamma_1\times A_1$	l_1	M_1
2	A_2	$W_2=\gamma_1\times A_2$	l_2	M_2
3	A_3	$W_3=\gamma_c\times A_3$	l_3	M_3
4	A_4	$W_4=\gamma_c\times A_4$	l_4	M_4
5	A_5	$W_5=\gamma_c\times A_5$	l_5	M_5
6	A_6	$W_6=\gamma_c\times A_8$	l_6	M_6
토압의 연직 성분		P_v	B	M_v
합계		$\sum V$		$\sum M_R$

*주) γ_1 =뒤채움재의 단위중량
γ_c =콘크리트의 단위중량

3. 활동파괴에 대한 안정성 검토

$$F_{s(sliding)} = \frac{\sum F_R}{\sum F_D} = \frac{c_a B + \sum V \tan\delta + P_p}{P_a \cos\beta}$$

$$\sum F_R = \tau_f \cdot B + P_p = (c_a + \sigma_v \tan\delta) \cdot B + P_p = c_a + \sum V \tan\delta + P_p$$

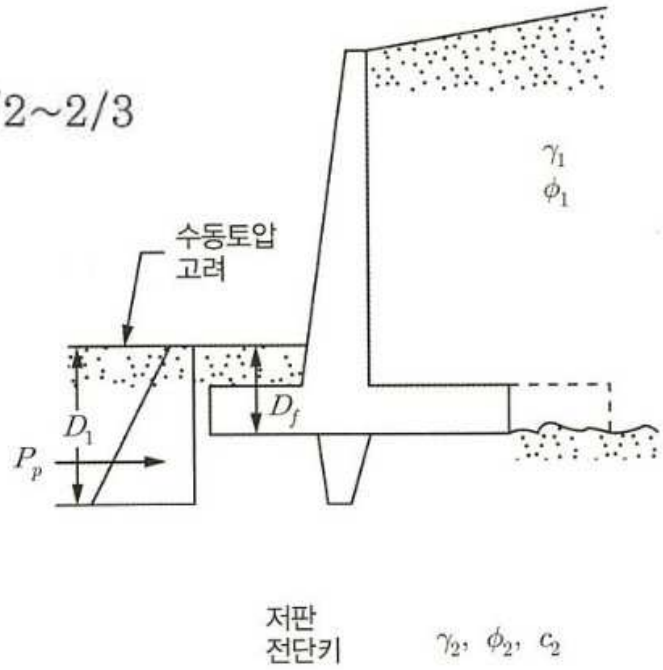
c_a, δ = 저판과 저면지반 사이의 부착력과 벽면마찰각

부착력과 벽면마찰각은 점착력과 흙의 내부 마찰각의 1/2~2/3

$\sum V$ = 연직방향 무게의 합

$$\sum F_D = P_a \cos\alpha$$

$$P_p = \frac{1}{2}\gamma_2 K_p D_1^2 + 2c_2 D_1 \sqrt{K_p}$$

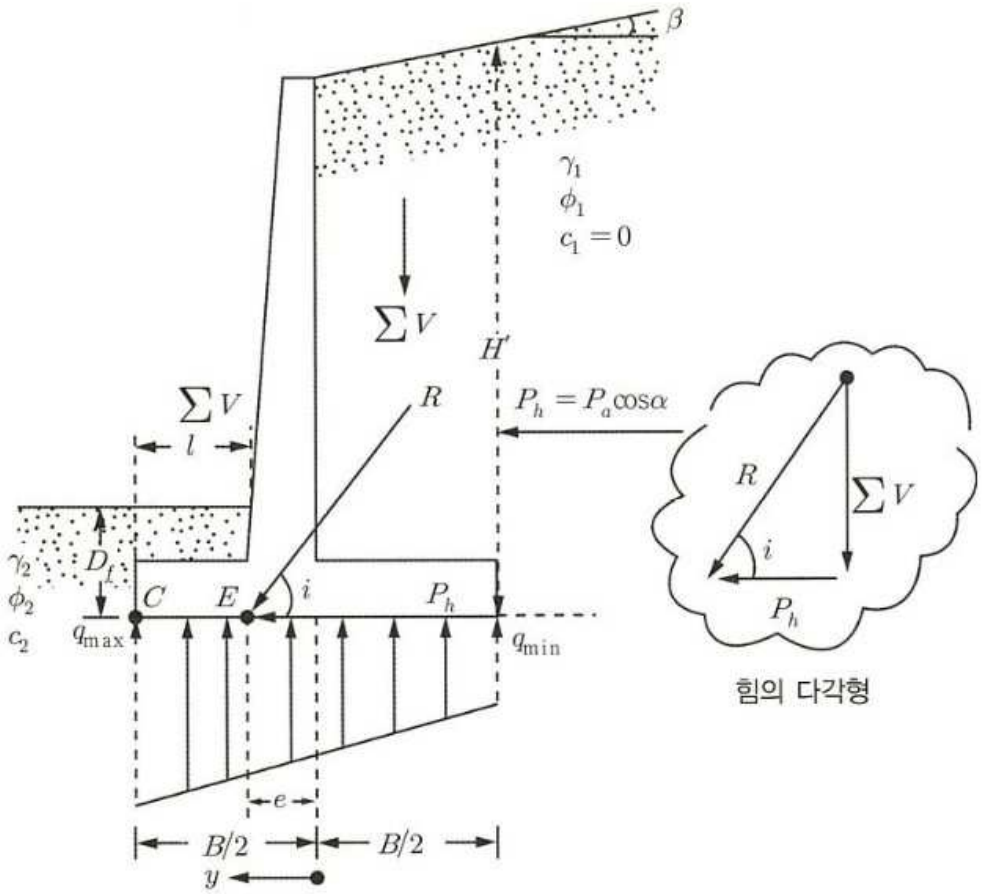


(c) 전단키를 설치하는 경우

옹벽의 활동파괴 검토 개요

4. 지지력 파괴에 대한 검토

- 옹벽의 자중과 옹벽에 작용하는 수평토압의 합력이 옹벽저판에 작용되는 하중이다.
- 먼저 저판에 작용되는 지압을 구해야 한다. 또한 저판 하부지반에서의 극한지지력을 구하고 이를 안전율로 나누어 허용지지력을 구한다.



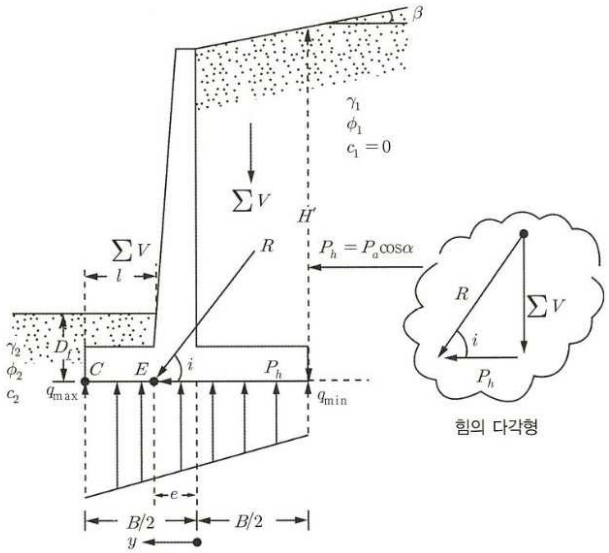
지지력 파괴에 대한 검토

1) 옹벽 저판 하부에서의 지압

C점에서의 모멘트를 구해보면,

$$\sum M_R - \sum M_D = \sum V \cdot l$$

$$l = \frac{\sum M_R - \sum M_D}{\sum V} = \frac{\sum M_R - P_h \cdot \left(\frac{H'}{3}\right)}{\sum V}$$



$$e = \frac{B}{2} - l$$

- E는 B/6보다 작아야 한다. 만일 B/6보다 크다면 저판의 압굽 또는 뒷굽의 길이를 조정하여 B/6보다 작도록 단면을 재조정하여야 함.

$$q = \frac{\sum V}{A} \pm \frac{\sum V \cdot e}{I} \cdot y$$

- 저판 아래의 압력분포는 재료역학의 원리를 이용하여

$$q = \frac{V}{A} + \frac{M'}{I} y$$

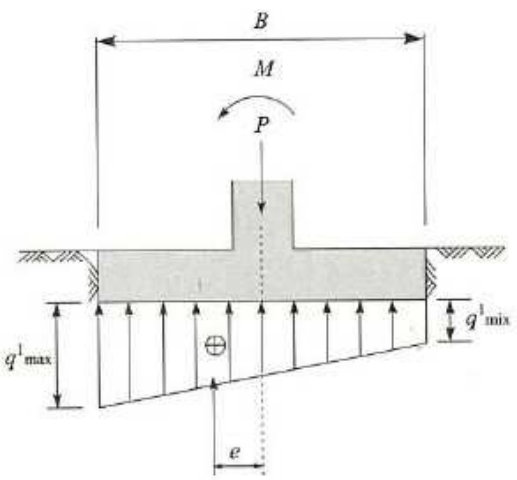
여기서, $M' = Ve$

I= 저판의 단위길이당 관성 모멘트 $= \frac{1}{12}(1)(B^3)$

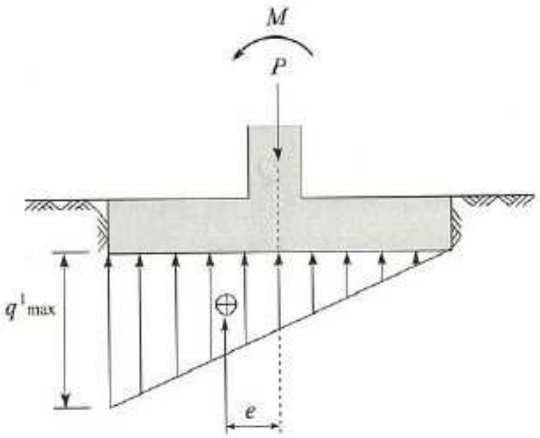
$y = \pm \frac{B}{2}$를 대입하면 지압의 최대값, 최소값

$$\left(\frac{q_{max}}{q_{min}}\right) = \frac{\sum V}{B}\left(1 \pm \frac{6e}{B}\right)$$

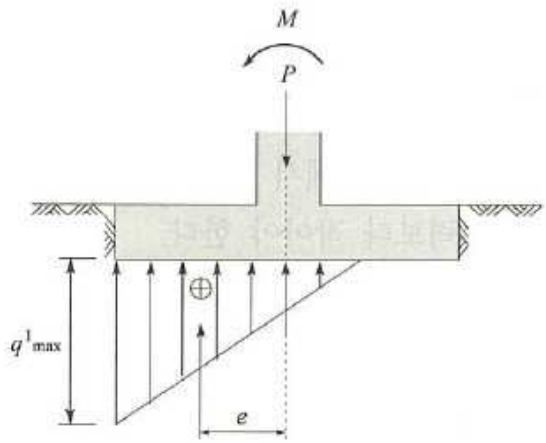
기초 지반의 압력



(a) $e < B/6$



(b) $e = B/6$



(c) $e > B/6$

다양한 조건의 편심이 작용할 경우의 기초 바닥 압력의 분포 및 합력

$$q_{max} = \frac{Q}{BL} + \frac{6M}{B^2L} = \frac{Q}{BL}\left(1 + \frac{6e}{B}\right)$$

$$q_{min} = \frac{Q}{BL} - \frac{6M}{B^2L} = \frac{Q}{BL}\left(1 - \frac{6e}{B}\right)$$

최대압력지점: 1/3B

B/6<e<B/2 의 경우

$$q_{max} = \frac{4Q}{3L(B-2e)}$$

2) 옹벽 저판 하부지반의 극한지지력

$$q_{net} = c_2 N_c F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2}\gamma_2 B' N_\gamma F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

$$N_q = \tan^2\left(45° + \frac{\phi_2}{2}\right)\exp(\pi\tan\phi_2)$$

$$N_c = (N_q - 1)\cot\phi_2$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\phi_2 \quad \text{(Vesic 제안식)}$$

$$q = \gamma_2 D_f$$

$$B' = B - 2e$$

$$\begin{cases} F_{cd} = 1 + 0.4\dfrac{D_f}{B} \ (B'\text{이 아니라 } B\text{를 사용}); & D_f \le B\text{인 경우} \\ F_{cd} = 1 + 0.4\tan^{-1}\left(\dfrac{D_f}{B}\right) \ (B'\text{이 아니라 } B\text{를 사용}); & D_f > B\text{인 경우} \end{cases}$$

$$\begin{cases} F_{qd} = 1 + 2\tan\phi_2(1-\sin\phi_2)^2\dfrac{D_f}{B} \ (B'\text{이 아니라 } B\text{를 사용}); & D_f \le B\text{인 경우} \\ F_{qd} = 1 + 2\tan\phi_2(1-\sin\phi_2)^2\tan^{-1}\left(\dfrac{D_f}{B}\right) \ (B'\text{이 아니라 } B\text{를 사용}); & D_f > B\text{인 경우} \end{cases}$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{i°}{90°}\right)^2$$

$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{i°}{\phi_2°}\right)^2$$

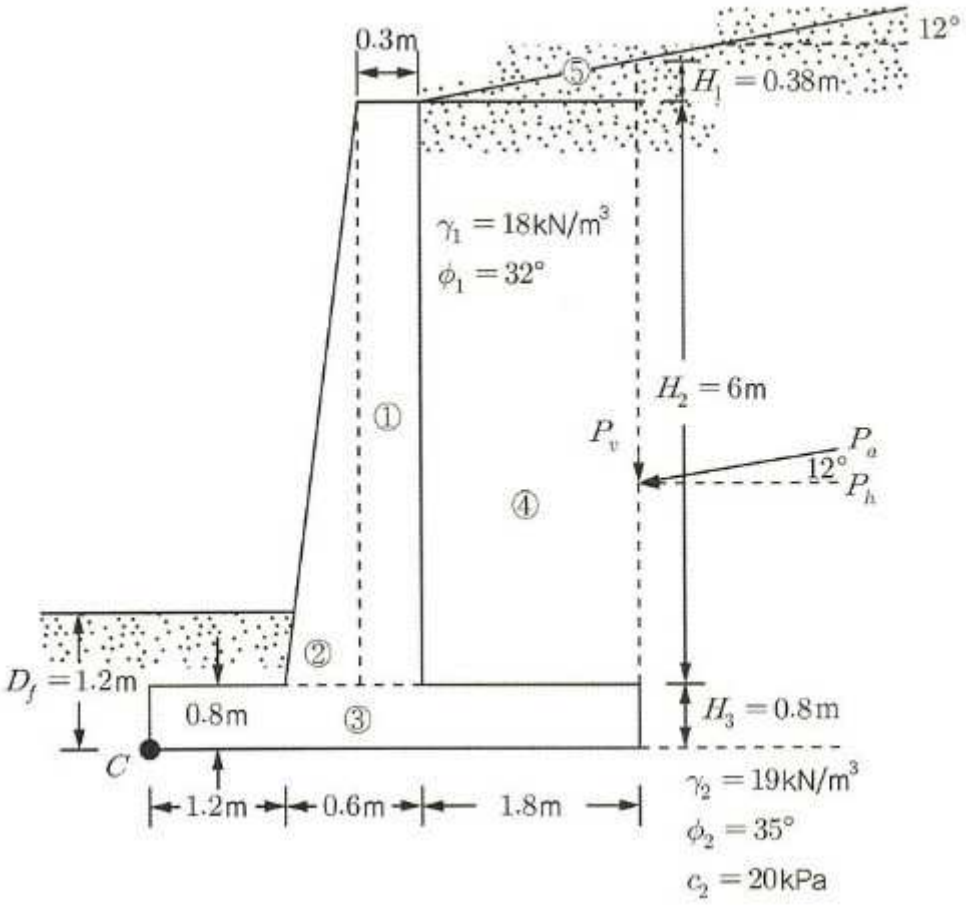
$$i° = \tan^{-1}\left(\frac{P_a\cos\beta}{\sum V}\right)$$

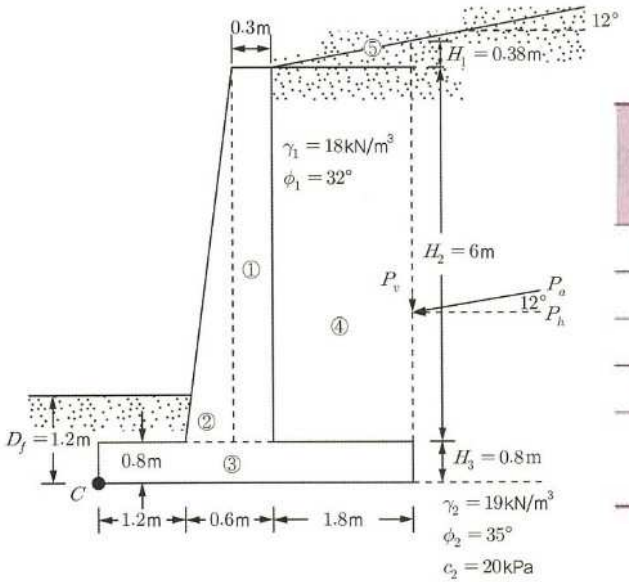
- 편심하중을 받는 기초이므로 유효폭 B′=B-2e를 고려.
- 옹벽은 대상기초에 해당되므로 형상계수 1을 고려.

3) 지지력 안정성 검토

$$F_{s(bearing)} = \frac{q_{ult}}{q_{\max}}$$

다음의 캔틸레버식 옹벽에 대하여 안정성을 검토하라(전도, 활동, 지지력 파괴에 대한 안전율을 구하라).





콘크리트 단위 중량= 26kN/m^3

단면	옹벽의 단위길이당 무게 (kN/m)	C점으로부터의 모멘트 팔 길이 (m)	C점에 대한 모멘트 (kN·m/m)
1	(0.3)(6)(26)=46.80	1.65	77.22
2	(0.5)(0.3)(6)(26)=23.40	1.40	32.76
3	(3.6)(0.8)(26)=74.88	1.80	134.78
4+5	(6.38+6)(0.5)(1.8)(18)=200.56	1.8+0.9=2.70(근사값)	541.51
	$P_v = 31.64$ $\sum V = 345.64$	3.6	113.90 $\sum M_R = 786.27$

$$H' = H_1 + H_2 + H_3 = 0.38 + 6 + 0.8 = 7.18\text{m}$$

벽체의 단위길이당 Rankine의 주동토압 $= P_a = \frac{1}{2}\gamma_1 H'^2 K_a \cos\beta$

$\phi_1 = 32°$이고 $\beta = 12°$일 때,

$$K_a = \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}} = \frac{\cos 12° - \sqrt{\cos^2 12° - \cos^2 32°}}{\cos 12° + \sqrt{\cos^2 12° - \cos^2 32°}} = 0.335$$

$$P_a = \frac{1}{2}(18)(7.18)^2(0.335)(\cos 12°) = 152.03\text{kN/m}$$

$$P_v = P_a \sin 12° = 152.18(\sin 12°) = 31.61\text{kN/m}$$

$$P_h = P_a \cos 12° = 152.18(\cos 12°) = 148.71\text{kN/m}$$

(1) 전도에 대한 안전율

$$M_D = P_h\left(\frac{H'}{3}\right) = 148.81\left(\frac{7.18}{3}\right) = 355.91\text{kN·m/m}$$

$$F_{s(overturning)} = \frac{\sum M_R}{M_D} = \frac{786.27}{355.91} = 2.21 > 2 \text{ (OK)}$$

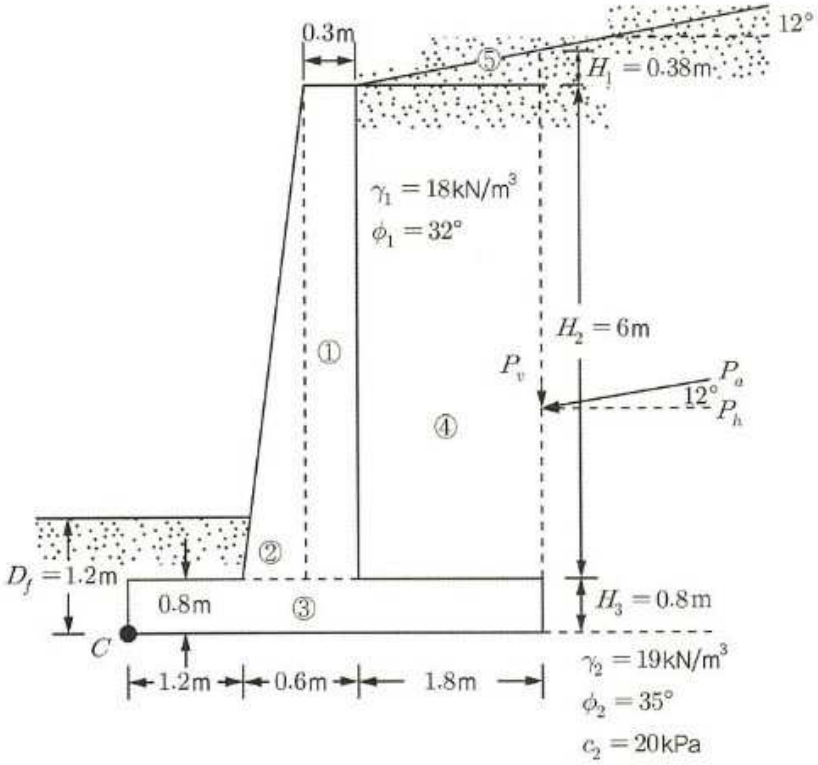
(2) 활동에 대한 안전율

$$F_{s(sliding)} = \frac{c_a B + \sum V \cdot \tan\delta + P_p \nearrow 0}{P_a \cos\beta}$$

$$F_{s(sliding)} = \frac{\left(\frac{2}{3}\right) \cdot 20 \cdot (3.6) + (345.64) \cdot \tan\left(\frac{2}{3} \cdot 35\right) + 0}{152.03 \cdot 3(\cos 12^\circ)}$$

$$= 1.33$$

$$= 1.33 < 1.5\} \text{(NG)}$$



(3) 지지력에 대한 안전율

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_R - P_h\left(\frac{H'}{3}\right)}{\sum V} = \frac{3.6}{2} - \frac{786.27 - 148.71\left(\frac{7.18}{3}\right)}{345.64} = 0.56\,\text{m}$$

(편심 e는 $B/6$보다 작아야 한다. $0.56 < 0.6$: OK)

$$q_{max} = \frac{\sum V}{B}\left(1 + \frac{6e}{B}\right) = \frac{345.64}{3.6}\left(1 + \frac{6 \cdot 0.56}{3.6}\right) = 185.6\,\text{kN/m}^2$$

$$q_{ult} = c_2 N_c F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2}\gamma_2 B' N_r F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

$$N_q = \tan^2\left(45° + \frac{\phi_2}{2}\right)\exp(\pi\tan\phi_2) = \tan^2\left(45° + \frac{35°}{2}\right)e^{\pi\tan 35°} = 33.30$$

$$N_c = (N_q - 1)\cot\phi_2 = (33.30 - 1)\cot 35° = 46.12$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\phi_2 = 2(33.30 + 1)\tan 35° = 48.03$$

$$q = \gamma_2 D_f = (19)(1.2) = 22.80$$

$$B' = B - 2e = 3.6 - (2)(0.56) = 2.48$$

$$F_{cd} = 1 + 0.4\frac{D_f}{B} = 1 + 0.4\frac{1.2}{3.6} = 1.13$$

$$F_{qd} = 1 + 2\tan\phi_2(1 - \sin\phi_2)^2\frac{D_f}{B} = 1 + (2)(\tan 35°)(1 - \sin 35°)^2\frac{1.2}{3.6} = 1.08$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

$$i = \tan^{-1}\left(\frac{P_a\cos\beta}{\sum V}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{152.03 \cdot \cos 12°}{345.64}\right) = 23.30°$$

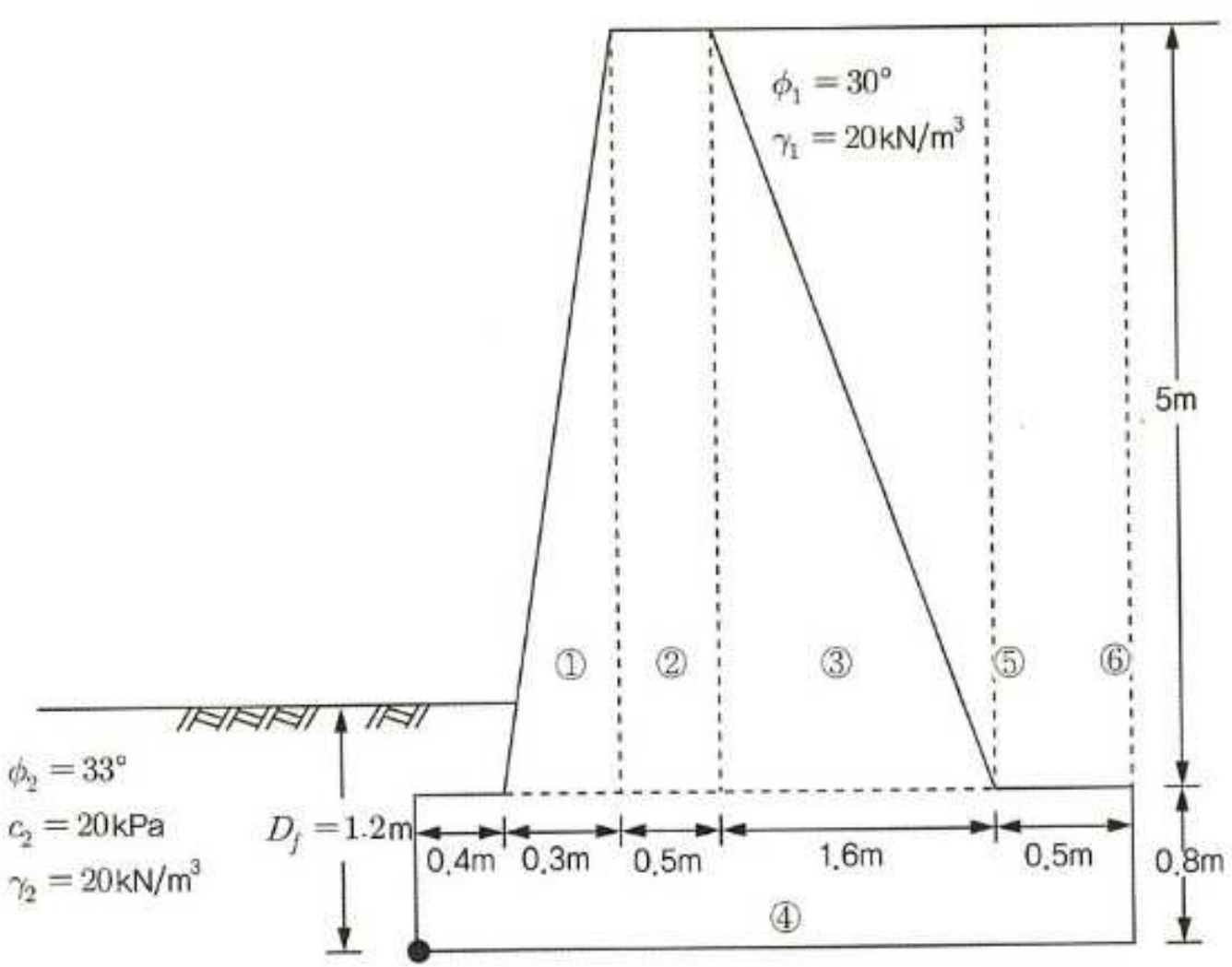
$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{i}{90}\right)^2 = \left(1 - \frac{23.30}{90}\right)^2 = 0.55$$

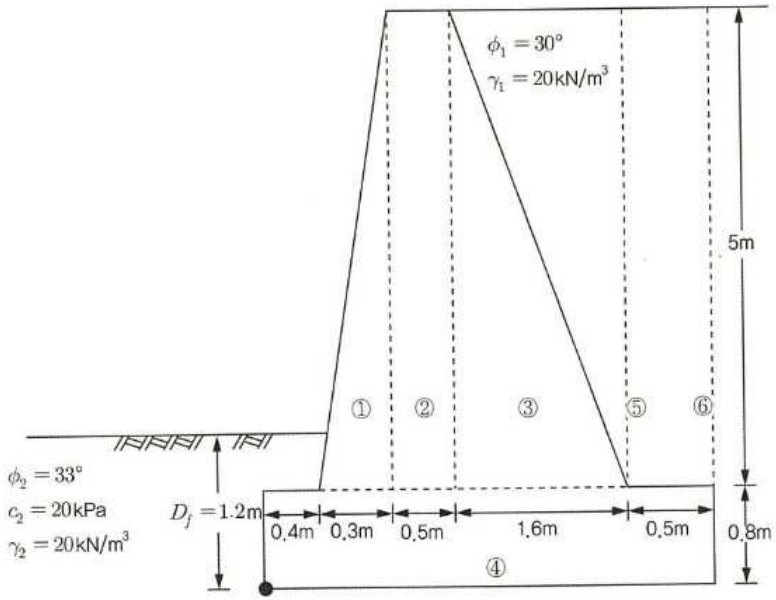
$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{i}{\phi'_2}\right)^2 = \left(1 - \frac{23.30}{35}\right)^2 = 0.11$$

$$q_{ult} = (20)(46.12)(1.13)(0.55) + (22.8)(33.30)(1.08)(0.55) + \frac{1}{2}(19)(2.48)(48.03)(1)(0.11) = 1148.7\,\text{kN/m}^2$$

$$F_{s(bearing)} = \frac{q_{ult}}{q_{\max}} = \frac{1148.4}{185.6} = 6.19 > 3 \text{ (OK)}$$

다음의 중력식 옹벽에 대하여 안정성을 검토하라(전도, 활동, 지지력 파괴에 대한 안전율을 구하라).





(1) 전도에 대한 안전율

$$M_D = P_h\left(\frac{H'}{3}\right) = 112.13\left(\frac{5.8}{3}\right) = 216.78\,\text{kN·m/m}$$

$$F_{s(overturning)} = \frac{\sum M_R}{M_D} = \frac{700.73}{216.78} = 3.23 > 2 \ \text{(OK)}$$

$H' = 5 + 0.8 = 5.8\,\text{m}$

벽체의 단위길이당 Rankine의 주동토압 $= P_a = \frac{1}{2}\gamma_1 H'^2 K_a \cos\beta$

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{30}{2}\right) = \frac{1}{3}$$

$$P_a = P_h = \frac{1}{2}(20)(5.8)^2\left(\frac{1}{3}\right)(\cos 0°) = 112.13\,\text{kN/m}$$

$P_v = 0$

단면	옹벽의 단위길이당 무게 (kN/m)	C점으로부터의 모멘트 팔 길이 (m)	C점에 대한 모멘트 (kN·m/m)
1	(0.5)(0.3)(5)(26)=19.50	0.60	11.70
2	(0.5)(5)(26)=65	0.95	61.75
3	(0.5)(1.6)(5)(26)=104	1.73	179.92
4	(3.3)(0.8)(26)=68.64	1.65	113.26
5	(0.5)(1.6)(5)(20)=80	2.27	181.60
6	(0.5)(5)(20)=50	3.05	152.50
	$\sum V = 387.14$		$\sum M_R = 700.73$

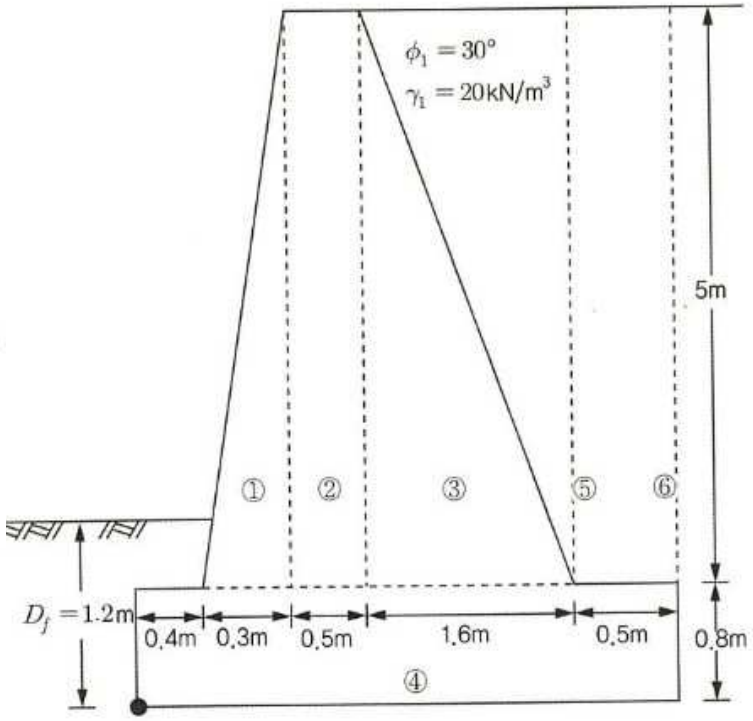
(2) 활동에 대한 안전율

$$F_{s(sliding)} = \frac{c_a B + \sum V \cdot \tan\delta + P_p \nearrow 0}{P_a \cos\beta}$$

$$F_{s(sliding)} = \frac{\left(\frac{2}{3}\right) \cdot 20 \cdot (3.3) + (387.14) \cdot \tan\left(\frac{2}{3} \cdot 33\right) + 0}{112.13}$$

$$= 1.78$$

$$= 1.78 > 1.5 \quad \text{(OK)}$$



(3) 지지력에 대한 안전율

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_R - P_h\left(\frac{H'}{3}\right)}{\sum V} = \frac{3.3}{2} - \frac{700.73 - 112.13\left(\frac{5.8}{3}\right)}{387.14} = 0.40\,\text{m}$$

(편심 e는 $B/6$보다 작아야 한다. $0.4 < 0.55$: OK)

$$q_{max} = \frac{\sum V}{B}\left(1 + \frac{6e}{B}\right) = \frac{387.14}{3.3}\left(1 + \frac{6 \cdot 0.4}{3.3}\right) = 202.6\,\text{kN/m}^2$$

$$q_{ult} = c_2 N_c F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2}\gamma_2 B' N_r F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

$$N_q = \tan^2\left(45^\circ + \frac{\phi_2}{2}\right)\exp(\pi\tan\phi_2) = \tan^2\left(45^\circ + \frac{33}{2}^\circ\right)e^{\pi\tan 33^\circ} = 26.09$$

$$N_c = (N_q - 1)\cot\phi_2 = (26.09 - 1)\cot 33^\circ = 38.64$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\phi_2 = 2(26.09 + 1)\tan 33^\circ = 35.18$$

$$q = \gamma_2 D_f = (20)(1.2) = 24$$

$$B' = B - 2e = 3.3 - (2)(0.4) = 2.5$$

$$F_{cd} = 1 + 0.4\frac{D_f}{B} = 1 + 0.4\frac{1.2}{3.3} = 1.15$$

$$F_{qd} = 1 + 2\tan\phi_2(1 - \sin\phi_2)^2\frac{D_f}{B} = 1 + (2)(\tan 33^\circ)(1 - \sin 33^\circ)^2\frac{1.2}{3.3} = 1.1$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

$$i = \tan^{-1}\left(\frac{P_a\cos\beta}{\sum V}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{112.13}{387.14}\right) = 16.15^\circ$$

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{i}{90}\right)^2 = \left(1 - \frac{16.15}{90}\right)^2 = 0.67$$

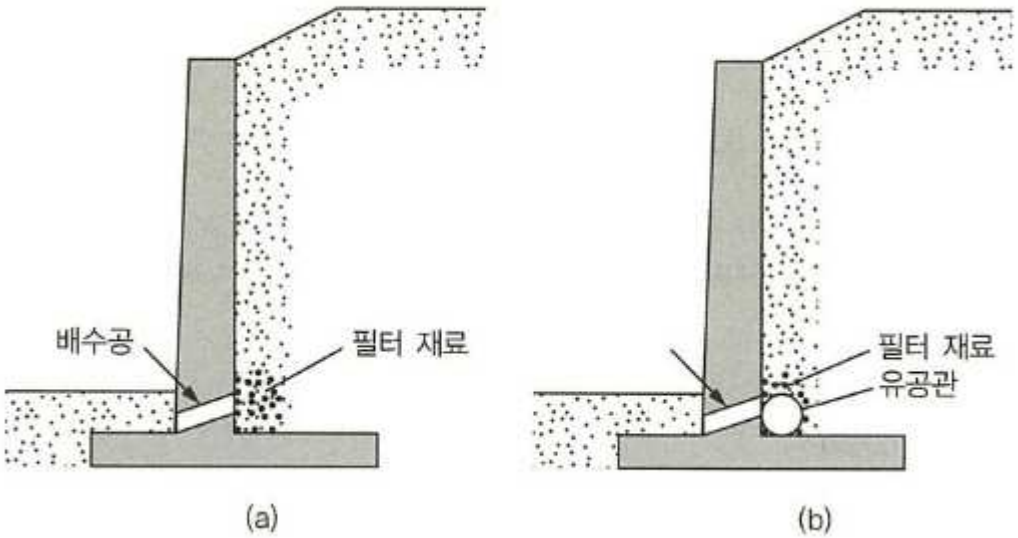
$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{i}{\phi'_2}\right)^2 = \left(1 - \frac{16.15}{33}\right)^2 = 0.26$$

$$q_{ult} = (20)(38.64)(1.15)(0.67) + (24)(26.09)(1.1)(0.67) + \frac{1}{2}(20)(2.5)(35.18)(1)(0.26)$$

$$= 1285.6\,\text{kN/m}^2$$

$$F_{s(bearing)} = \frac{q_{ult}}{q_{\max}} = \frac{1285.6}{202.6} = 6.34 > 3 \text{ (OK)}$$

- 옹벽의 거동에서 가장 중요한 것이 뒤채움부에서 어떤 경우에도 배수가 원활히 되도록 하는 것이 중요.
- 강우 시에도 지하수가 정수압으로 형성되지 않도록 하는 것이 중요.
- 최악의 경우 지하수가 차오르는 경우가 있다고 하더라도 가능한 한 연직방향으로 침투가 일어나서 수압을 최대한 경감시키는 것이 필수적.



옹벽 뒤채움부의 배수시설(예)