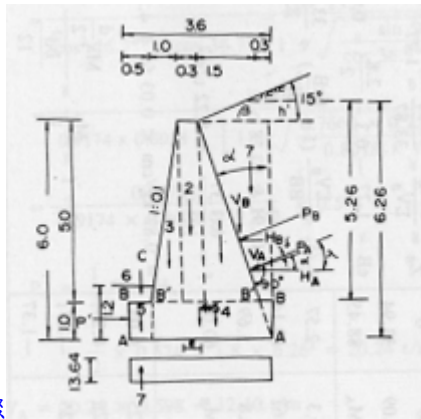


3.1 重力式擋土牆設計



1. 設計步驟

(1) 假設斷面：

$$a = \frac{1}{2}t \sim t$$

$$b = \frac{1}{12}H \geq 30\text{cm}$$

$$t = \frac{1}{6} \sim \frac{1}{8}H$$

$$B = \frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}H$$

(2) 計算擋土牆自重、重心位置、力臂及力矩。

一般土壤重量：回填土重： 1.8t/m^3

基礎土重： 1.9t/m^3

混凝土重： $2.3\sim 2.4\text{ t/m}^3$ ，一般採用 2.35 t/m^3

(3) 計算土壓力及加載荷重之大小、力臂及力矩。

(4) 檢討合力是否滿足擋土牆之安定條件。

檢討結果如為不安定或不經濟者，則需修正擋土牆斷面尺寸，重新檢討至滿足安定條件及經濟斷面為止。

2. 設計例

設計一重力式擋土牆，高度為 6 公尺，牆後地面為 15° 向上傾斜。

[已知] 回填土重： 1.8t/m^3 ，摩擦角 30°

基礎土重： 1.9t/m^3 ，摩擦角 35° ，容許承载力： 25 t/m^2

混凝土重： 2.35 t/m^3 ，基礎土壤與混凝土間摩擦角 35° ，

混凝土強度 $f'_c = 140\text{kg/m}^2$

其中， $\tan \alpha = \frac{1.8}{6.0} = 0.3$

$$\alpha = 16.7^\circ$$

所以， $\lambda = \alpha + \delta$

$$\beta = 15^\circ$$

假設混凝土與土壤間摩擦角

$$\delta = \frac{2}{3}\phi = 20^\circ$$

所以， $\lambda = 20 + 16.7 = 36.7^\circ$

$$\sin \lambda = 0.598$$

$$\cos \lambda = 0.802$$

$$h' = \sin 15^\circ = 0.26$$

(2) 擋土牆自重、土壓及其他外力計算如下表

項目	1	2	3	4	5	6	7
	斷面	載重	計算式	單位重	力	力臂	力矩
1	A- A	1	$1/2 \times 1.5 \times 5 = 3.75$	2.35	8.81	1.3	11.46
2	及	2	$0.3 \times 5 = 1.5$	2.35	3.525	1.95	6.87
3	B- B	3	$1/2 \times 1 \times 5 = 2.5$	2.35	5.875	2.43	14.28
4		Σ	7.75		18.21		32.63
5	A-A	4+5	$1 \times 3.6 = 3.6$	2.35	8.46	1.8	15.23
6		6	$0.2 \times 0.5 = 0.1$	1.8	0.18	3.35	0.6
7		7	$6.26 \times 1.8 / 2 = 5.6$	1.8	10.14	0.6	6.08(NE)
8		V_A	18.6×0.598		11.12	0.60	6.67
9		H_A	18.6×0.802		$\leftarrow 14.92$	2.00	29.83
10		Σ	11.35(1~5)	ΣV_A	37.97	ΣM_A	84.96
11	B-B	V_B	12.92×0.598		7.72	0.8	6.18
12		H_B	12.92×0.802		$\leftarrow 10.36$	1.67	17.27
		7	$5.26 \times 1.5 / 2 = 3.95$	1.8	7.11	0.8	5.69(NE)
13		Σ		ΣV_B	25.93	ΣM_B	56.07
14	C-C	5	$1 \times 0.5 = 0.5$	2.35	1.17	0.25	0.29
15		6	$0.2 \times 0.5 = 0.1$	1.8	0.18	0.25	0.04
16		7	0.5×13.64		6.82	0.25	-1.71(NE)
17		Σ		ΣV_C	-7.23	ΣM_C	-1.85

庫倫土壓係數

$$\begin{aligned}
C_a &= \frac{\cos^2(\phi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\delta + \alpha) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\cos(\delta + \alpha) \cos(\beta - \alpha)}} \right]^2} \\
&= \frac{\cos^2(30 - 16.7)}{\cos^2 16.7 \cdot \cos(20 + 16.7) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(30 + 20) \sin(30 - 15)}{\cos(20 + 16.7) \cos(15 - 16.7)}} \right]^2} \\
&= \frac{\cos^2 13.3}{\cos^2 16.7 \cdot \cos 36.7 \left[1 + \sqrt{\frac{\sin 50 \cdot \sin 15}{\cos 36.7 \cdot \cos(-1.7)}} \right]^2} \\
&= \frac{0.9471}{0.9174 \cdot 0.8018 \cdot 2.242} = 0.574
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_A &= \frac{1}{2} C_a \gamma_s H_A^2 \\
&= \frac{1}{2} \times 0.574 \times 1.8 \times 6^2 = 18.60 t / m
\end{aligned}$$

$$V_A = 18.60 \times 0.598 = 11.12 t / m$$

$$H_A = 18.60 \times 0.802 = 14.92 t / m$$

$$\begin{aligned}
P_B &= \frac{1}{2} C_a \gamma_s H_B^2 \\
&= \frac{1}{2} \times 0.574 \times 1.8 \times 5^2 = 12.92 t / m
\end{aligned}$$

$$V_B = 12.92 \times 0.598 = 7.72 t / m$$

$$H_B = 12.92 \times 0.802 = 10.36 t / m$$

(3) 検討

① A-A 断面

a. 滑動安全因数

$$\begin{aligned}
F_s &= \frac{\sum V_A \tan \phi + p'}{\sum H_A} \\
\because P' &= \frac{1}{2} \gamma_s h^2 \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \\
&= \frac{1}{2} \times 1.9 \times 1.2^2 \times \frac{1 + \sin 35}{1 - \sin 35} \\
&= \frac{1}{2} \times 1.9 \times 1.44 \times \frac{1 + 0.5736}{1 - 0.5736} = 5.05 t / m \\
\therefore F_s &= \frac{37.97 \cdot \tan 35 + 5.05}{14.92} = 2.12 > 1.5 \rightarrow OK
\end{aligned}$$

若 P' 不計

$$\text{則 } F_s = \frac{37.97 \cdot \tan 35}{14.92} = 1.78 > 1.5 \rightarrow OK$$

b. 傾倒安全因數及基礎壓力

$$Z_A = \frac{\sum M_A}{\sum V_A} = \frac{84.96}{37.97} = 2.24$$

$$e_A = 2.24 - \frac{3.6}{2} = 0.44 < \frac{3.6}{6} = 0.60 \rightarrow OK$$

$$\delta_1 / \delta_2 = \frac{\sum V_A}{AA} \left(1 \pm \frac{6e_A}{AA} \right) = \frac{49.09}{3.6} \left(1 \pm \frac{6 \cdot 0.0}{3.6} \right)$$

$$\therefore \delta_1 = 18.24 < 25$$

$$\delta_2 = 2.86 < 25$$

② B-B 斷面

$$Z_B = \frac{\sum M_B}{\sum V_B} = \frac{56.07}{25.93} = 2.16$$

$$e_B = 2.16 - 0.3 - \frac{2.8}{2} = 0.46 < \frac{2.8}{4} = 0.70 \rightarrow OK$$

$$\delta_1 / \delta_2 = \frac{\sum V_B}{BB} \left(1 \pm \frac{6e_B}{BB} \right) = \frac{33.87}{2.8} \left(1 \pm \frac{6 \cdot 0.07}{2.8} \right)$$

$$\therefore \delta_1 = 18.43 > 0$$

$$\delta_2 = 0.09 > 0$$

③ C-C 斷面

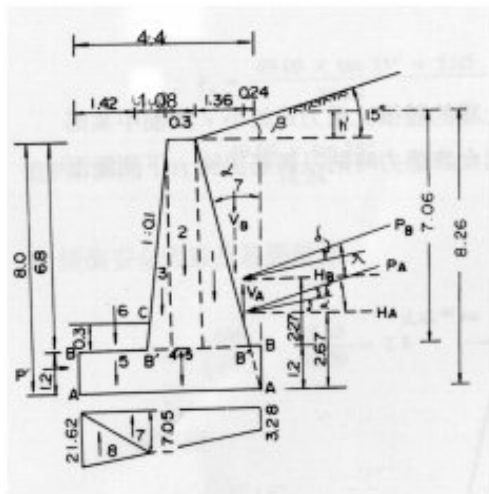
$$f = \frac{My}{I} = \frac{M \frac{d}{2}}{\frac{bd^3}{12}} = \frac{6M}{bd^2}$$

$$f = \frac{6M_c}{bd^2}$$

$$= \frac{6 \cdot 1.85}{1 \cdot 1.0^2} = 1.11 \text{ t/m}^2$$

$$= 1.11 \text{ kg/cm}^2 < 0.03 f_c = 0.03 \cdot 140 \cong 4.2 \rightarrow OK$$

3.2 半重力式擋土牆設計



1 設計步驟

(1) 假設斷面：

$$a \cong \frac{1}{3} B$$

$$b = \frac{1}{12} H \geq 30\text{cm}$$

$$t = \frac{1}{6} \sim \frac{1}{8} H$$

$$B = \frac{1}{2} \sim \frac{2}{3} H$$

(2) 計算擋土牆自重、重心位置、力臂及力矩。

一般土壤重量：回填土重： 1.8t/m^3

基礎土重： 1.9t/m^3

混凝土重： $2.3\sim 2.4\text{ t/m}^3$ ，一般採用 2.35 t/m^3

(3) 計算土壓力及加載荷重之大小、力臂及力矩。

(4) 檢討合力是否滿足擋土牆之安定條件。

檢討結果如為不安定或不經濟者，則需修正擋土牆斷面尺寸，重新檢討至滿足安定條件及經濟斷面為止。

3. 設計例

設計一半重力式擋土牆，高度為 8 公尺，牆後地面為 15° 向上傾斜。

[已知] 回填土重： 1.8t/m^3 ，摩擦角 30°

基礎土重： 1.9t/m^3 ，摩擦角 35° ，容許承载力： 25 t/m^2

混凝土重： 2.35 t/m^3 ，基礎土壤與混凝土間摩擦角 35° ，

混凝土強度 $f'_c = 140\text{kg/cm}^2$

鋼筋允許應力 $f_s = 1400 \text{ kg/cm}^2$

其中， $\tan \alpha = \frac{1.6}{8.0} = 0.2$

$$\alpha = 11.3^\circ$$

所以， $\lambda = \alpha + \delta$

$$\beta = 15^\circ$$

假設混凝土與土壤間摩擦角

$$\delta = \frac{2}{3} \phi = 20^\circ$$

所以， $\lambda = 11.3 + 20 = 31.3^\circ$

$$\sin \lambda = 0.5195$$

$$\cos \lambda = 0.8545$$

$$h' = \sin 15^\circ = 0.26$$

(2) 擋土牆自重、土壓及其他外力計算如下表

項目	1	2	3	4	5	6	7
	斷面	載重	計算式	單位重	力	力臂	力矩
1	A-A	1	$1/2 * 6.8 * 1.36 = 4.62$	2.35	10.86	1.15	12.46
2	及	2	$0.3 * 6.8 = 2.04$	2.35	4.79	1.75	8.39
3	B-B	3	$1/2 * 6.8 * 1.08 = 3.67$	2.35	8.63	2.26	19.50
4		Σ	10.33		24.29		40.35
5	A-A	4+5	$1.2 * 4.4 = 5.28$	2.35	12.41	2.20	27.3
6		6	$1.42 * 0.3 = 0.43$	1.8	0.77	3.69	2.84
7		7	$8.26 * 1.6 / 2 = 6.61$	1.8	11.89	0.53	6.3(NE)
8		V_A	$28.64 * 0.5195$		14.88	0.53	7.94
9		H_A	$28.64 * 0.8545$		$\leftarrow 24.47$	2.67	65.24
10		Σ	15.61(1~5)	ΣV_A	52.35	ΣM_A	143.66
11	B-B	V_B	$20.69 * 0.5195$		10.75	0.69	7.45
12		H_B	$20.69 * 0.8545$		$\leftarrow 17.68$	2.27	40.07
		7	$1/2 * 7.06 * 1.36 = 4.8$	1.8	8.64	0.69	5.96(NE)
13		Σ		ΣV_B	35.04	ΣM_B	87.87
14	C-C	5	$1.42 * 1.2 = 1.7$	2.35	4.00	0.71	2.84
15		6	$1.42 * 0.3 = 0.43$	1.8	0.77	0.71	0.54
16		7	$15.03 * 1.42 / 2$		-10.67	0.47	-5.05
17		8	$20.73 * 1.42 / 2$		-14.72	0.95	-13.93
18		Σ		ΣV_C	-20.62	ΣM_C	-15.60

庫倫土壓係數

$$\begin{aligned}
C_a &= \frac{\cos^2(\phi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\delta + \alpha) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\cos(\delta + \alpha) \cos(\beta - \alpha)}} \right]^2} \\
&= \frac{\cos^2(30 - 11.3)}{\cos^2 11.3 \cdot \cos(20 + 11.3) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(30 + 20) \sin(30 - 15)}{\cos(20 + 11.3) \cos(15 - 11.3)}} \right]^2} \\
&= \frac{\cos^2 18.7}{\cos^2 11.3 \cdot \cos 31.3 \left[1 + \sqrt{\frac{\sin 50 \cdot \sin 15}{\cos 31.3 \cdot \cos 3.7}} \right]^2} \\
&= \frac{0.8972}{0.9806 \cdot 0.8545 \cdot 2.197} = 0.497
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_A &= \frac{1}{2} C_a \gamma_s H_A^2 \\
&= \frac{1}{2} \times 0.497 \times 1.8 \times 8^2 = 28.64 t / m
\end{aligned}$$

$$V_A = 28.64 \times 0.5195 = 14.88 t / m$$

$$H_A = 28.64 \times 0.8545 = 24.47 t / m$$

$$\begin{aligned}
P_B &= \frac{1}{2} C_a \gamma_s H_B^2 \\
&= \frac{1}{2} \times 0.497 \times 1.8 \times 6.8^2 = 20.69 t / m
\end{aligned}$$

$$V_B = 20.69 \times 0.5195 = 10.75 t / m$$

$$H_B = 20.69 \times 0.8545 = 17.68 t / m$$

(3) 検討

① A-A 断面

a. 滑動安全因数

$$\begin{aligned}
F_s &= \frac{\sum V_A \tan \phi + p'}{\sum H_A} \\
\because P' &= \frac{1}{2} \gamma_s h^2 \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \\
&= \frac{1}{2} \times 1.9 \times 1.5^2 \times \frac{1 + \sin 35}{1 - \sin 35} \\
&= \frac{1}{2} \times 1.9 \times 2.25 \times \frac{1 + 0.5736}{1 - 0.5736} = 7.89 t / m \\
\therefore F_s &= \frac{52.35 \cdot \tan 35 + 7.89}{24.47} = 1.82 > 1.5 \rightarrow OK
\end{aligned}$$

若 P' 不計

$$\text{則 } F_s = \frac{52.35 \cdot \tan 35}{24.47} = 1.50 > 1.5 \rightarrow OK$$

b. 傾倒安全因數及基礎壓力

$$Z_A = \frac{\sum M_A}{\sum V_A} = \frac{143.66}{52.35} = 2.74$$

$$e_A = 2.74 - 2.2 = 0.54 < \frac{4.4}{6} = 0.73 \rightarrow OK$$

$$c. \delta_1 / \delta_2 = \frac{\sum V_A}{AA} (1 \pm \frac{6e_A}{AA}) = \frac{52.35}{4.4} (1 \pm \frac{6 \cdot 0.54}{4.4})$$

$$\therefore \delta_1 = 20.73 < 25$$

$$\delta_2 = 3.06 < 25$$

②B-B 斷面

$$Z_B = \frac{\sum M_B}{\sum V_B} = \frac{87.87}{35.04} = 2.51$$

$$e_B = 2.51 - 1.61 = 0.9 > \frac{2.74}{4} = 0.685$$

合力作用點超出四分點，故需以鋼筋補強，所需鋼筋量

$$\therefore d = 2.74 - 0.1 = 2.64$$

$$A_s = \frac{M_{HB}}{f_s j d} = \frac{40.07}{1.4 \times 0.87 \times 2.64} = 12.46 \text{ cm}^2$$

其中，保護層厚度為 0.1m

因此，使用 3 根 #8 鋼筋 @30cm $A_s = 15.20 \text{ cm}^2$

③C-C 斷面

$$f = \frac{6M_c}{bd^2}$$

$$= \frac{6 \cdot 15.6}{1.1 \cdot 1.2^2} = 65.0 \text{ t/m}^2$$

$$= 6.5 \text{ kg/cm}^2 > 0.03 f_c = 0.03 \cdot 140 \cong 4.2$$

故需以鋼筋補強，所需鋼筋量

$$A_s = \frac{M_c}{f_s j d} = \frac{15.6}{1.4 \times 0.87 \times 1.1} = 11.64 \text{ cm}^2$$

$$\Sigma O = \frac{V}{u j d} = \frac{20.62}{140.0 \times 0.87 \times 1.1} = 0.154 \text{ m} = 15.4 \text{ cm}$$

$$(u = 0.1 f_c' = 14.0 \text{ kg/cm}^2 = 140 \text{ t/m}^2)$$

因此，使用 3 根 #8 鋼筋 @30cm $A_s = 15.20 \text{ cm}^2 (3 \cdot 5.067)$

$$\Sigma O = 23.94 \text{ cm } (3 \times 7.98) > 15.4 \text{ cm} \quad \text{OK}$$