

民生工程之擋土牆及 PC道路設計與施工實務 教育訓練

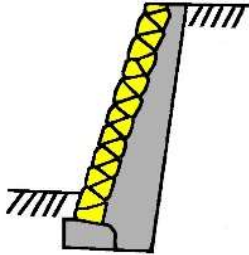
吳惠聰
技師

大綱



- ◎ 常用擋土牆構造型式及其特色
- ◎ 擋土牆之載重
- ◎ 土壓力
- ◎ 擋土牆破壞型態
- ◎ 擋土牆分析流程
- ◎ 擋土牆穩定性分析
- ◎ 擋土牆各部位主筋位置
- ◎ 擋土牆斷面之彎矩及剪力計算
- ◎ 擋土牆基礎土壤反力
- ◎ 擋土牆排水
- ◎ 擋土牆施工縫及伸縮縫
- ◎ 擋土牆牆背回填
- ◎ 擋土牆設計及施工注意事項
- ◎ 混凝土路面設計及施工實務

常用擋土牆構造型式及其特色(一)

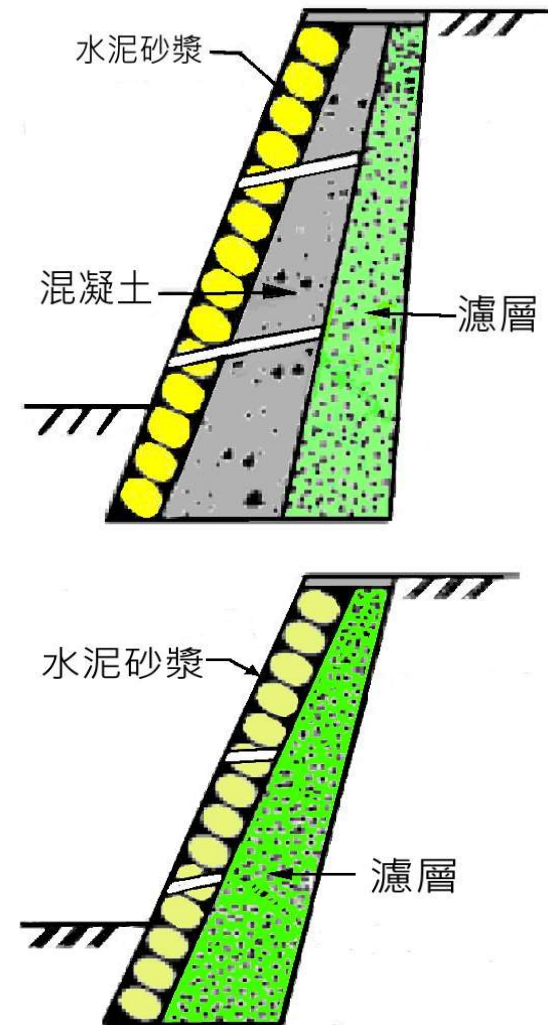
類型	形狀	適用高度	選用上之留意點	經濟性
砌石駁坎 (含三明治式)		<ul style="list-style-type: none"> ●乾砌：3m以下 ●漿砌： 無裏填混凝土者 5m以下 有裏填混凝土者 7m以下 	<ul style="list-style-type: none"> ●坡面之保護 ●承受土壓力較少時 (背面坡面土質良好且穩定時) 	所有型式中最經濟



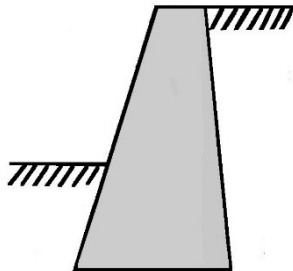
常用擋土牆構造型式及其特色(一)

(一) 砌石駁坎(含三明治式)

- 就地取用塊(卵)石，不使用模板。
- 施工容易，造價低廉。
- 垂直牆面無法施工，使用之斜面坡面多為1:0.3~0.4。
- 構造簡單牆身單薄，若施工時嵌合欠當並碰上基礎軟弱，牆面易鼓漲變形龜裂，甚或坍塌。
- 基礎地盤軟弱時坡面含水易坍塌，需另加基礎設計。
- 僅限於塊(卵)石易取得之地點。



常用擋土牆構造型式及其特色(二)

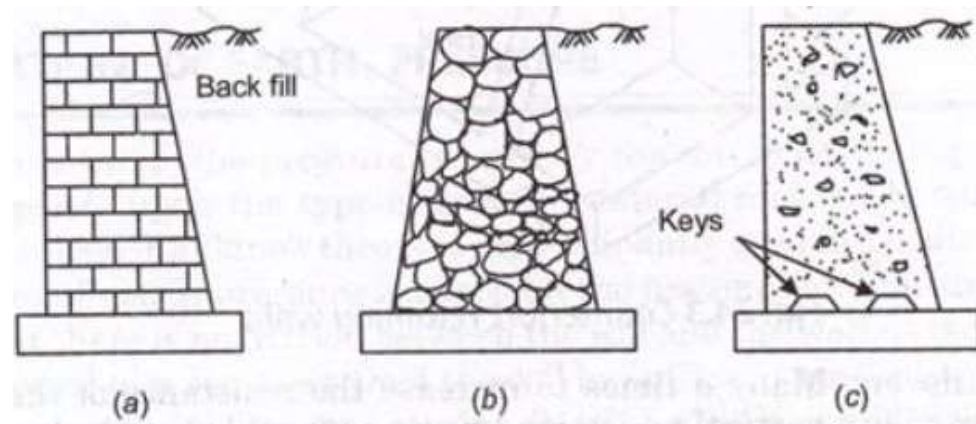
類型	形狀	適用高度	選用上之留意點	經濟性
重力式擋土牆		●5m以下	●基礎地盤良好時 (基礎底面 承载力較大)	高度低時 較經濟



常用擋土牆構造型式及其特色(二)

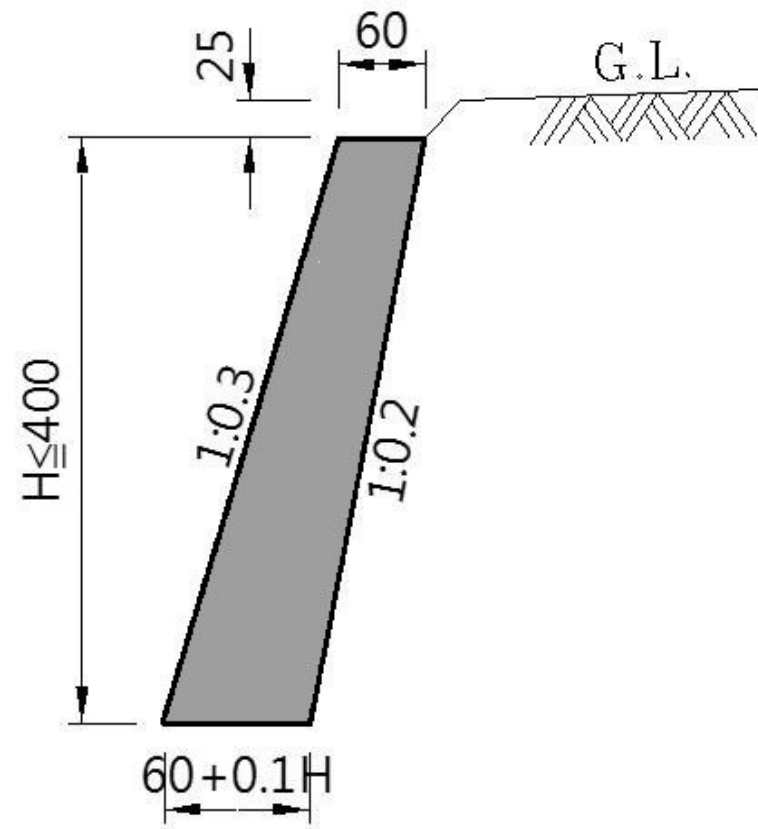
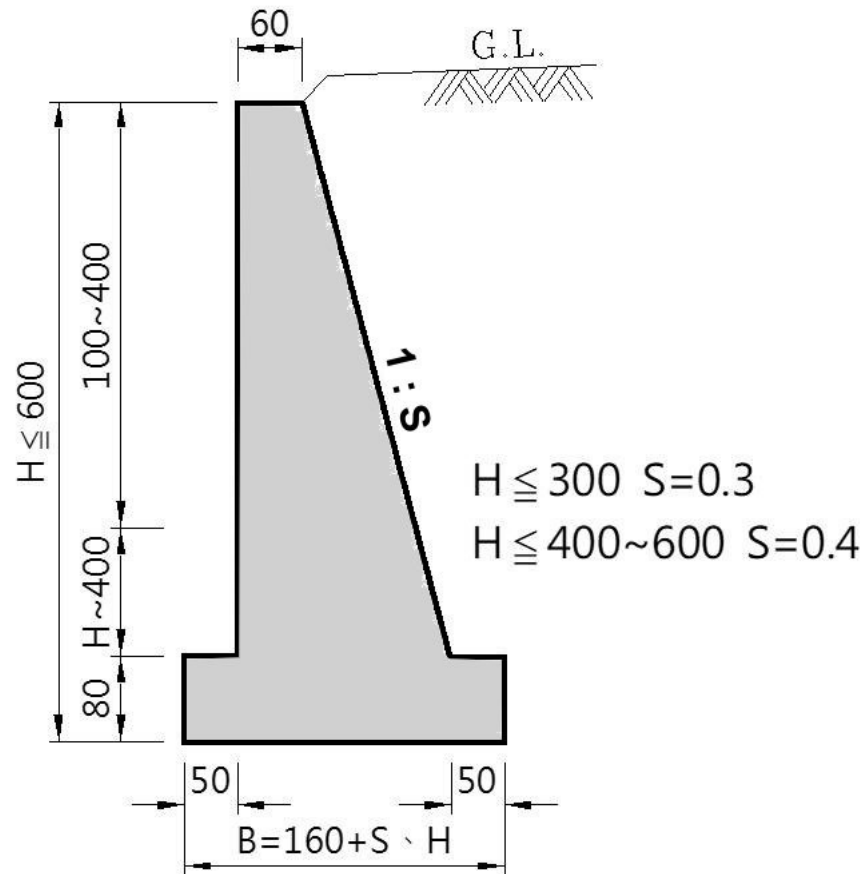
(二)重力式擋土牆

- 依賴牆身自重來抵抗側壓力。
- 牆體體積較大，大多為純混凝土結構。
- 高度5公尺以下基礎地盤良好之地點較適合，基礎軟弱之地點並不適用。
- 牆之安全計算以牆體斷面不產生拉力為原則。
- 牆體材料可採用塊石或塊石混凝土、預鑄混凝土塊。



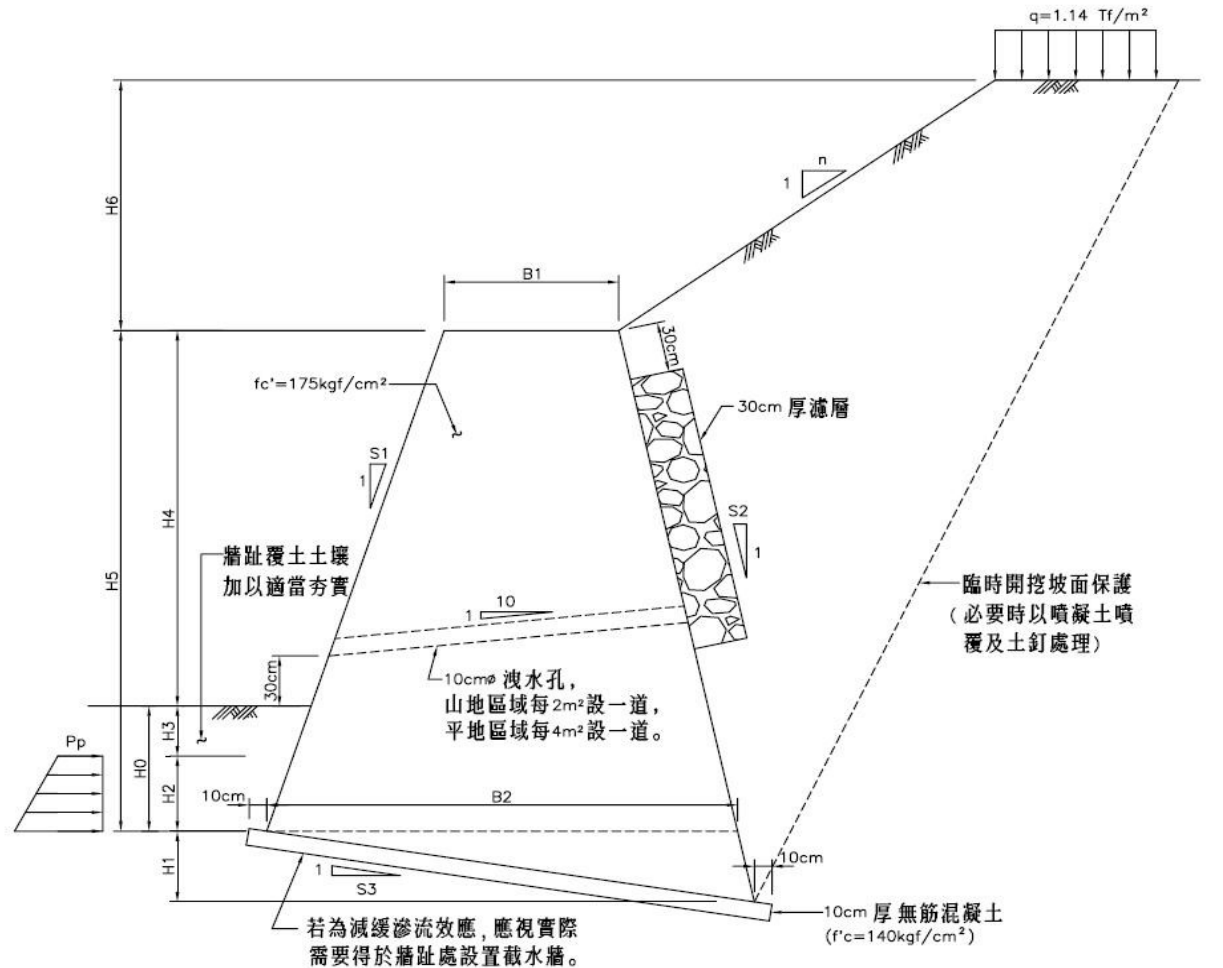
常用擋土牆構造型式及其特色(二)

(二)重力式擋土牆 (參考圖)

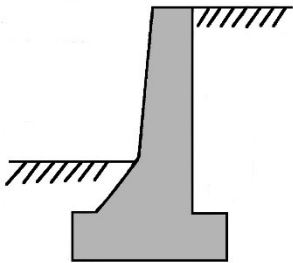


常用擋土牆構造型式及其特色(二)

(二)重力式擋土牆 (公路總局標準圖R-001)



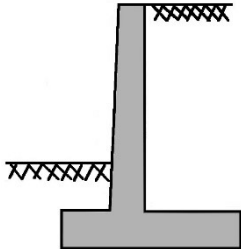
常用擋土牆構造型式及其特色(三)

類型	形狀	適用高度	選用上之留意點	經濟性
半重力式擋土牆		●8m以下	●採用樁基礎 費用較高	高度超過6m 時甚不經濟

(三)半重力式擋土牆

- 介於混凝土重力式擋土牆與鋼筋混凝土擋土牆之中間型式。
- 由自重抵抗水平力，由於牆身較重力擋土牆為薄，因此需於牆內側配置適量鋼筋以抵抗拉力。

常用擋土牆構造型式及其特色(四)

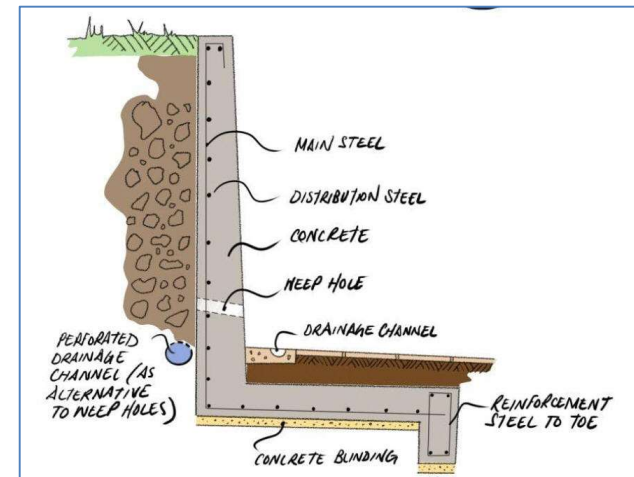
類型	形狀	適用高度	選用上之留意點	經濟性
懸臂式 RC擋土牆		●高度12m以下	●較佳的基礎地盤，有時亦用於不良基礎地盤(基礎反力較小)	比較經濟，惟若使用於軟弱地盤需配合基樁時，費用較貴



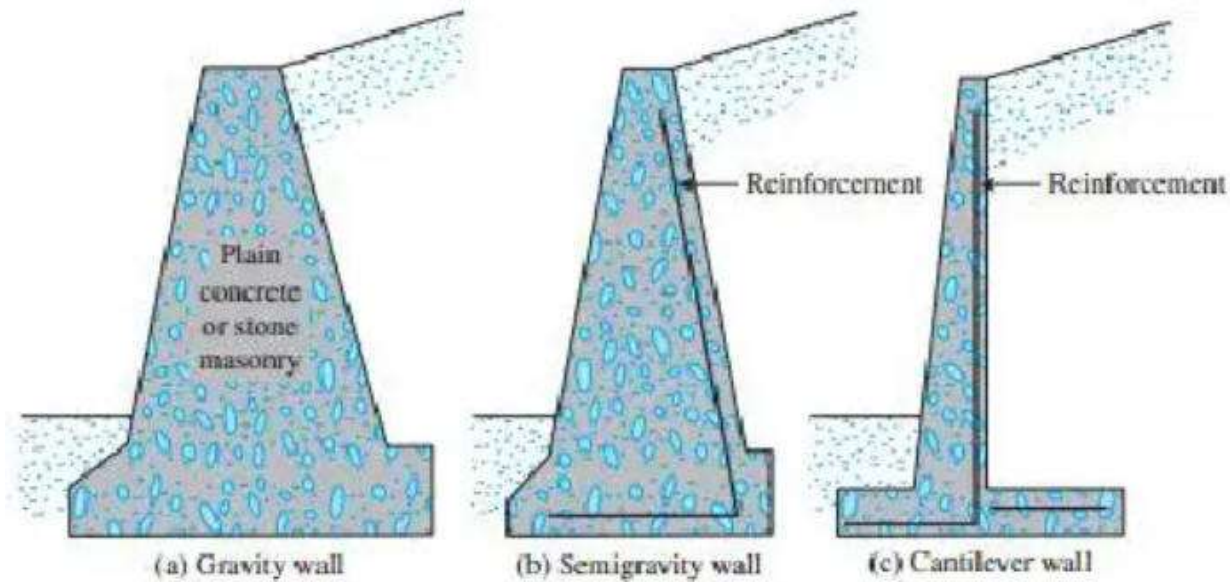
常用擋土牆構造型式及其特色(四)

(四)懸臂式擋土牆

- 主要為鋼筋混凝土牆。
- 由牆身自重加上基腳底版含背填之土壤重量以抵抗水平力。
- 牆身斷面較小，故使用混凝土量較少，但鋼筋使用量較大。
- 牆之型式有倒T型、L型、及倒L型等，一般以倒T型較多。
- 適用於各種地盤土質情況，土質軟弱時亦可加設基樁、使用甚為普遍。



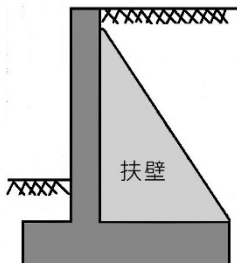
常用擋土牆構造型式比較



牆高及填土材料一樣之條件下

- 重力式擋土牆斷面尺寸最大，可免配置鋼筋。
- 懸臂式擋土牆鋼筋使用量較大，斷面尺寸最小。
- 半重力式擋土牆之斷面尺寸及鋼筋量則在重力式與懸臂式之間。

常用擋土牆構造型式及其特色(五)

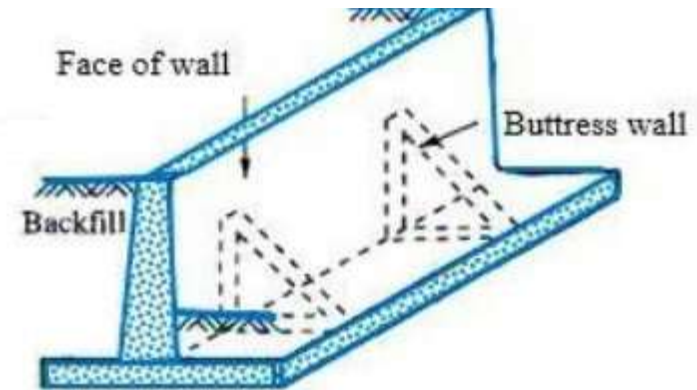
類型	形狀	適用高度	選用上之留意點	經濟性
扶壁式 RC擋土牆		<ul style="list-style-type: none"> ●高度6m以上 	<ul style="list-style-type: none"> ●適合基礎不良地盤(基礎反力較小) ●施工性較難 	經費受制於興建高度及基礎地盤情形



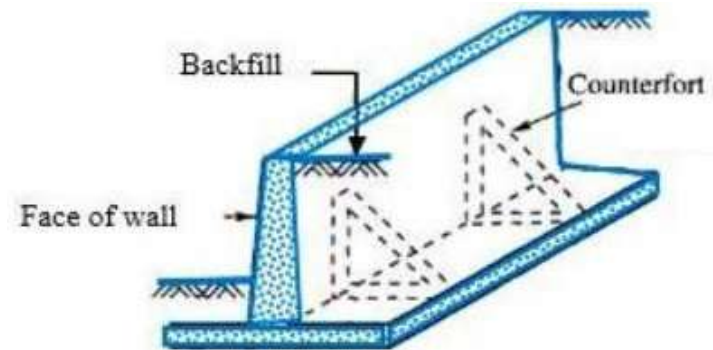
常用擋土牆構造型式及其特色(五)

(五)扶壁式擋土牆

- 由豎壁、扶壁、及基礎版組成。
- 直壁加設間距約2.5m~3.5m。
- 扶壁的目的為減少作用於前壁及底版的斷面應力，牆高越高所需牆體之混凝土較懸臂式擋土牆為少。
- 構造較複雜，施工及背填土之壓實較困難，牆背排水設施亦須特別注意。
- 扶壁有前撐型(內扶式)及後撐型(外撐式)。



前撐型 (Buttress Wall)



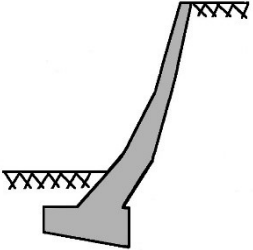
後撐型 (Counterfort Wall)

常用擋土牆構造型式及其特色(五)

(五)扶壁式擋土牆



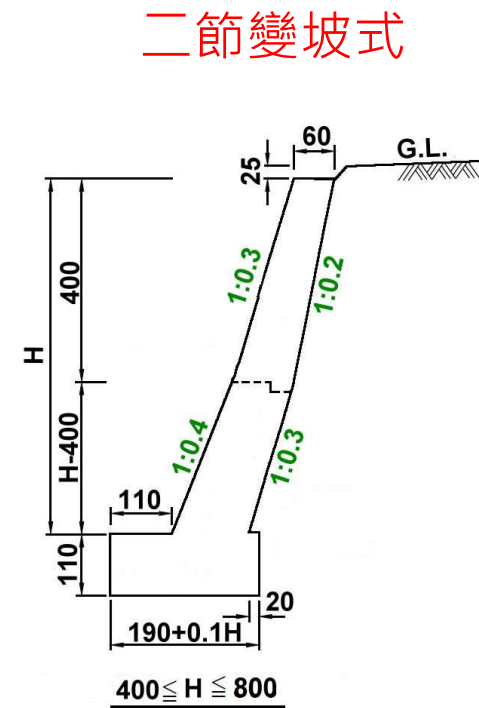
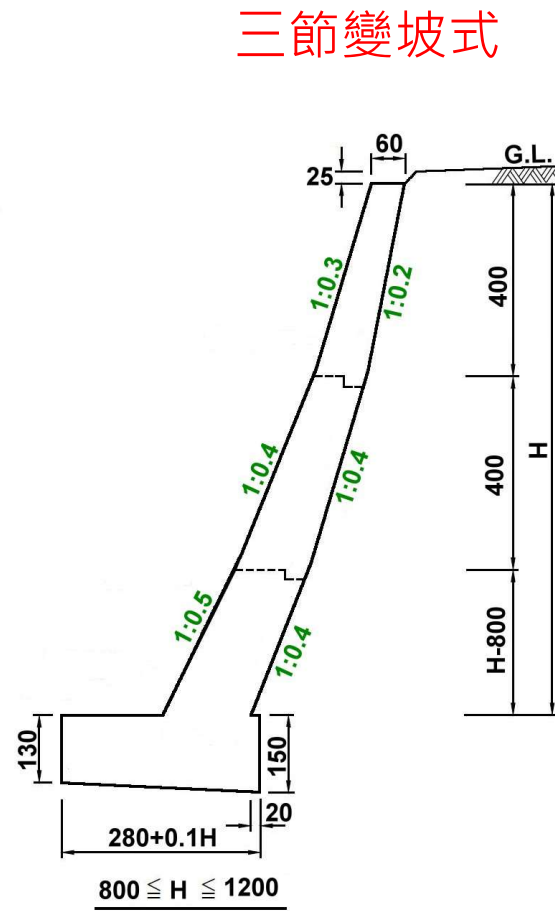
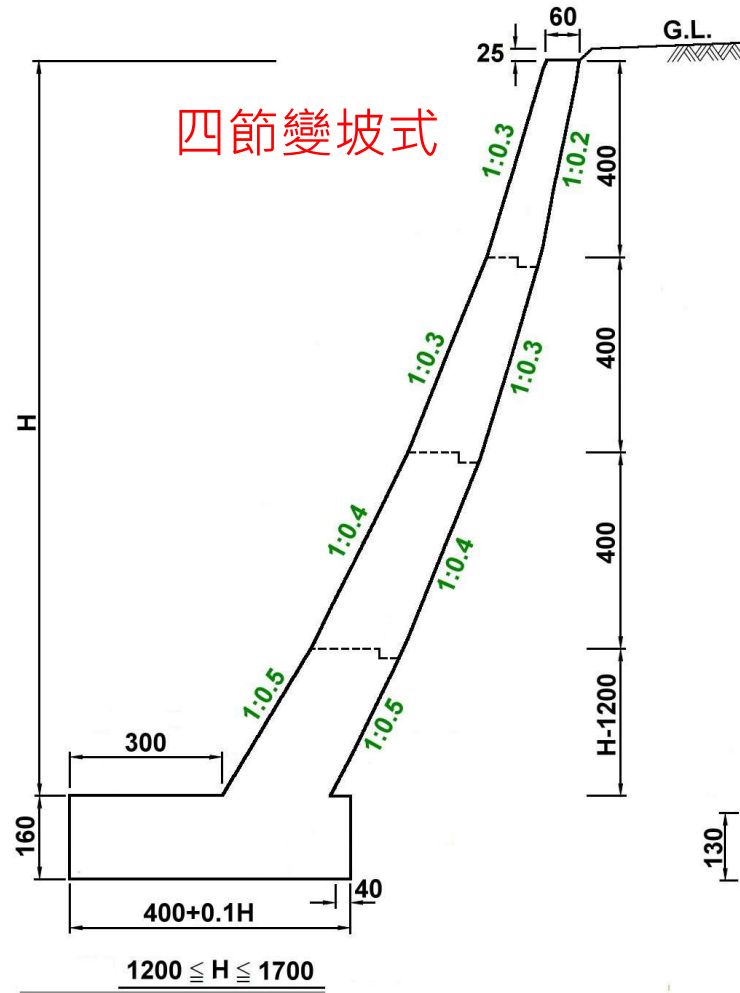
常用擋土牆構造型式及其特色(六)

類型	形狀	適用高度	選用上之留意點	經濟性
傾斜式 半重力式 擋土牆		<ul style="list-style-type: none"> ●高度10m以下較常使用，最高有達15m之案例 	<ul style="list-style-type: none"> ●適合山間道路之拓寬 ●基礎地盤堅硬之處較適宜 	經濟性尚佳

(六)傾斜式半重力式擋土牆(倚壁式、變坡式)

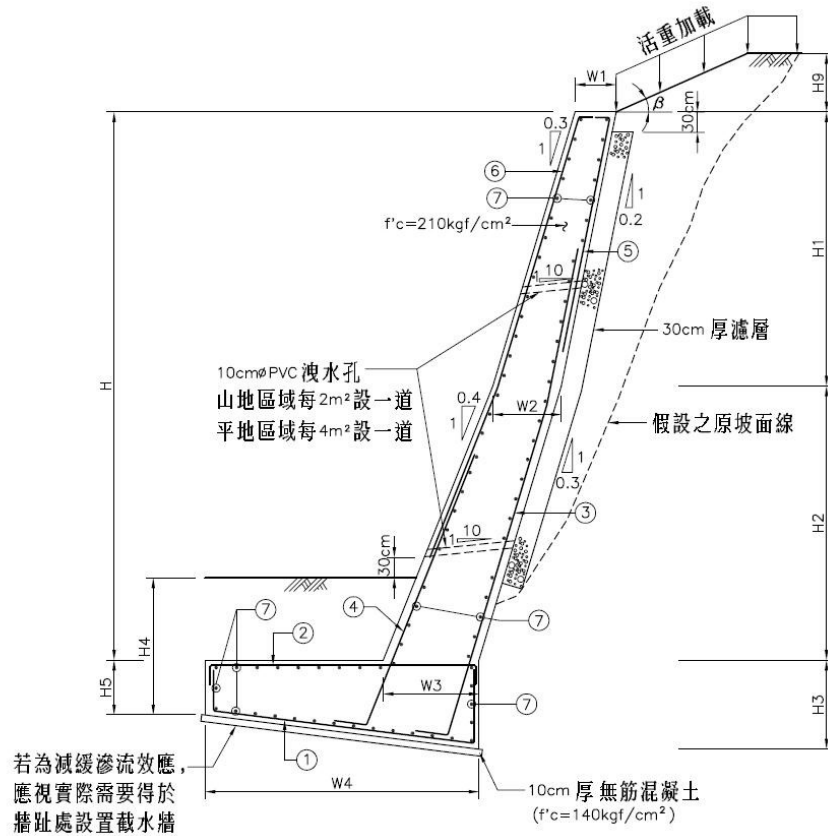
- 牆身傾斜，可以減少牆後之土壓力，在山區拓寬道路施工時，為了維持交通且以經濟性考量時，經常為選用之對象。
- 對於基礎地盤之下陷及作用於牆身之之壓力增大時(如水壓力)，擋土牆易發生變形及滑移，故基礎地盤須選用於堅硬之岩盤上。
- 一般採用頂寬40cm~60cm，牆體斜度為1:0.3~1:0.6，高度約5~15公尺。

常用擋土牆構造型式及其特色(六)

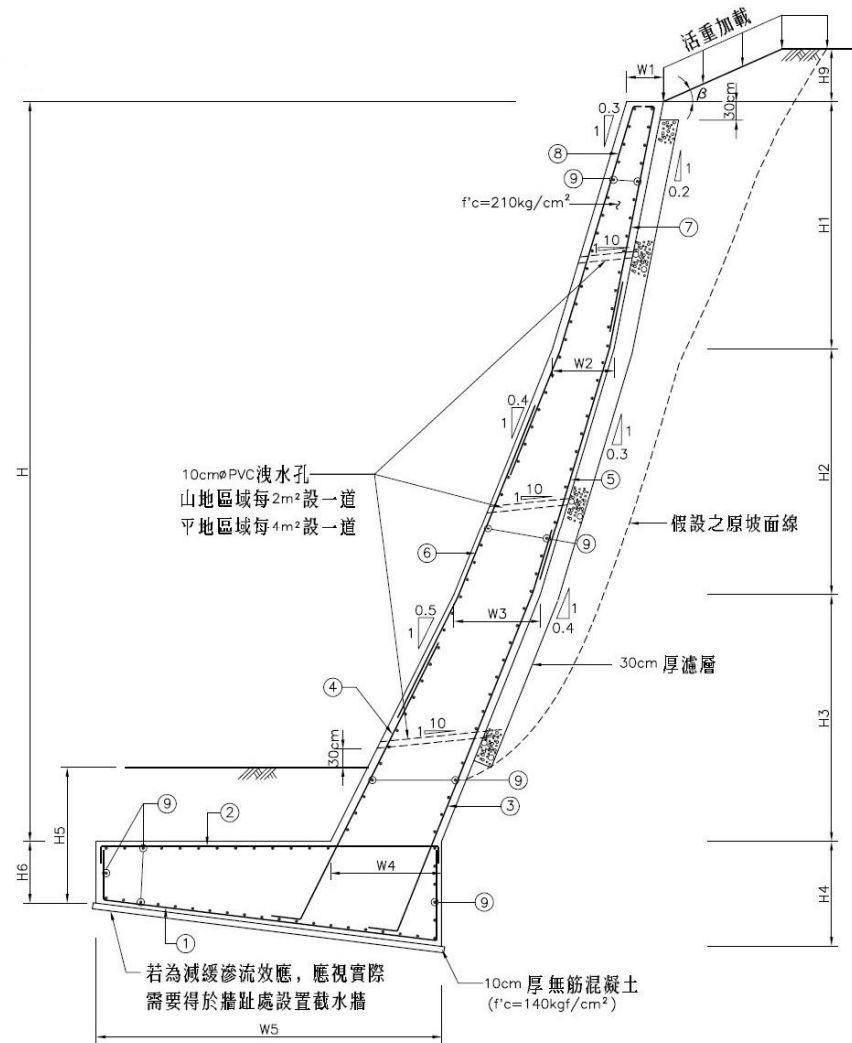


常用擋土牆構造型式及其特色(六)

變坡式擋土牆斷面及配筋參考 公路總局標準圖R-006、R-007

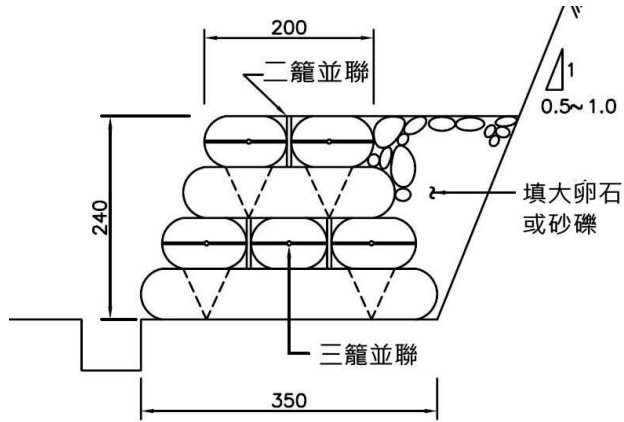


二節變坡式

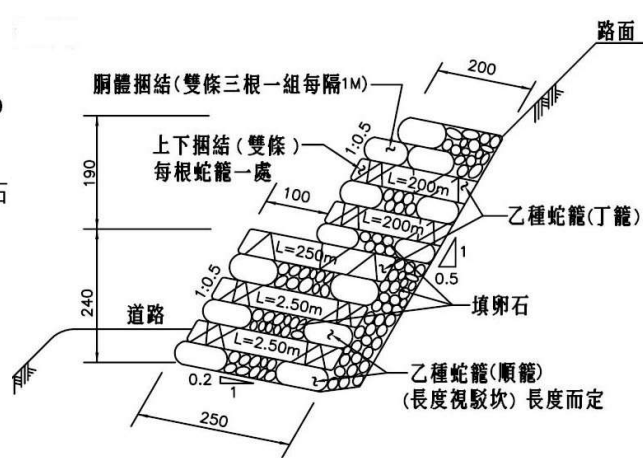


三節變坡式

柔性擋土牆(蛇籠、箱籠)

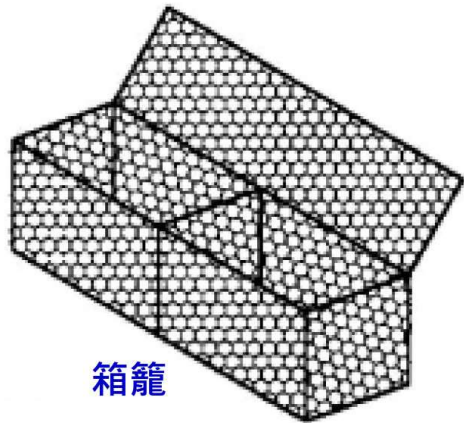


蛇籠護坡斷面圖

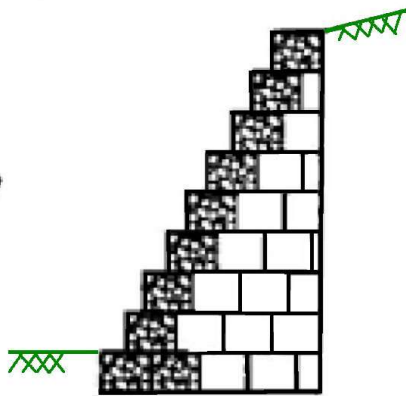


蛇籠駁坎斷面圖

公路總局標準圖
D-044



箱籠

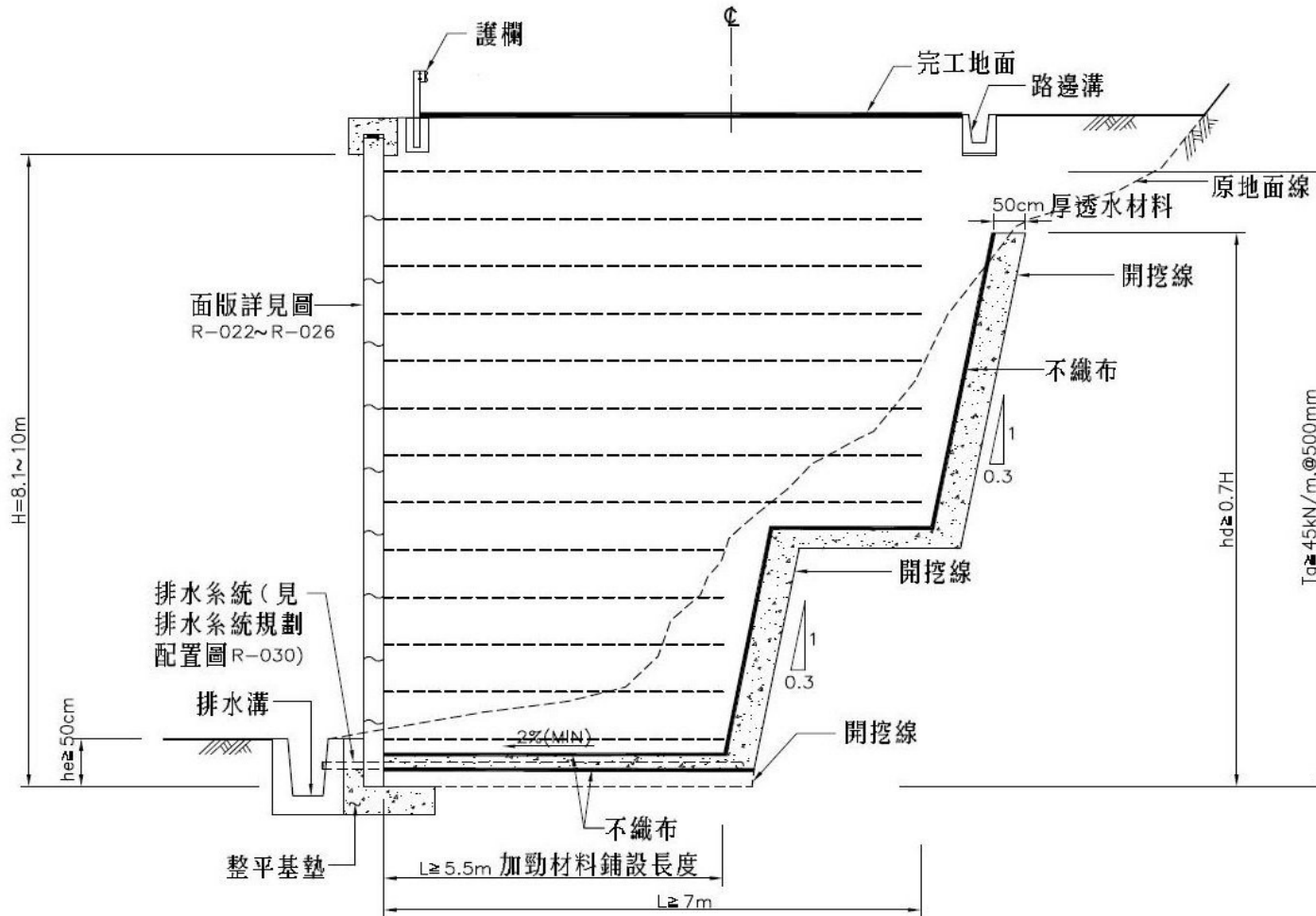


梯階式箱籠擋土牆



柔性擋土牆(剛性面版加勁擋土牆)

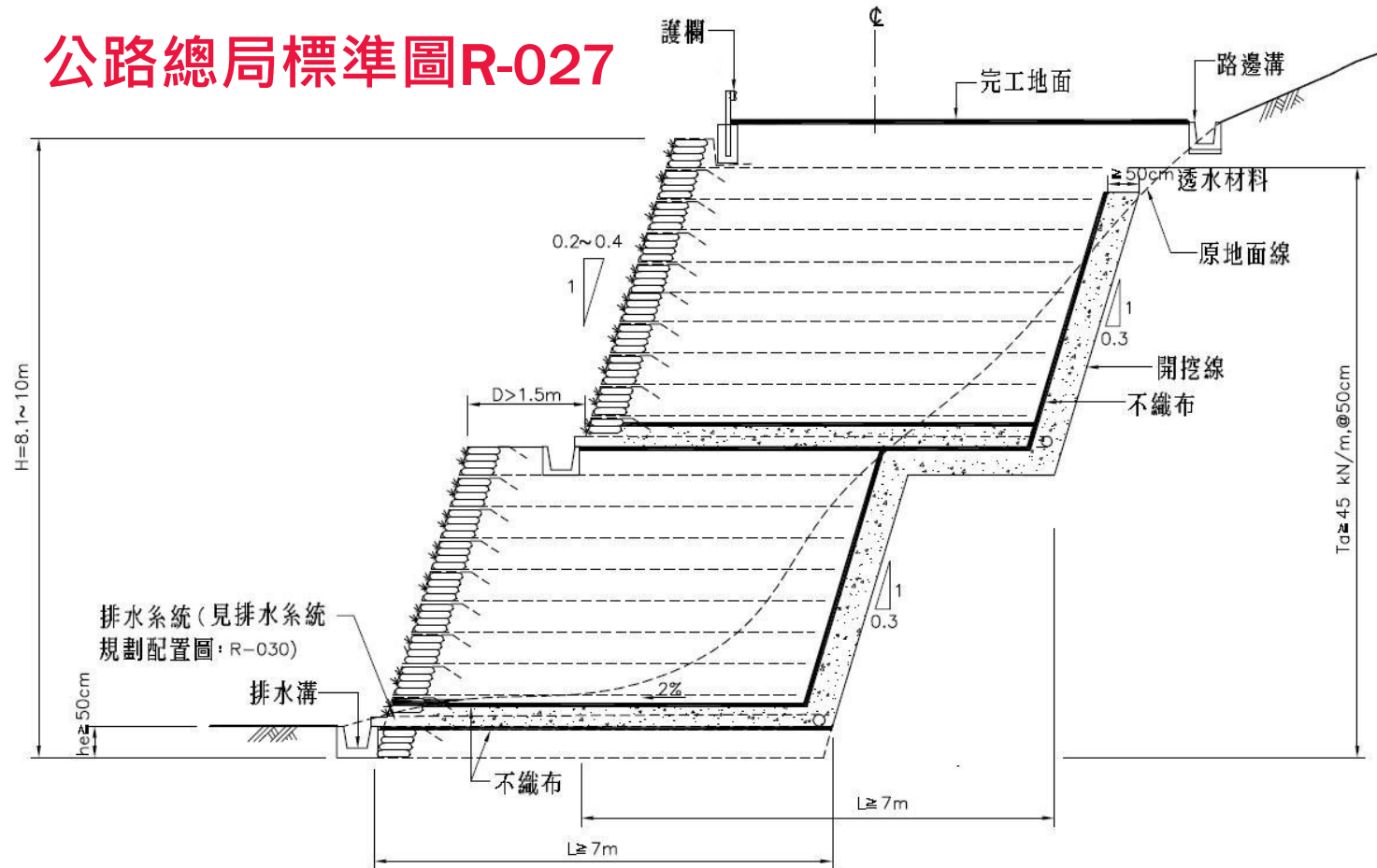
公路總局標準圖R-021



(四) H=8.1~10m 刚性(含疊塊磚與箱籠面版)面版配置示意圖

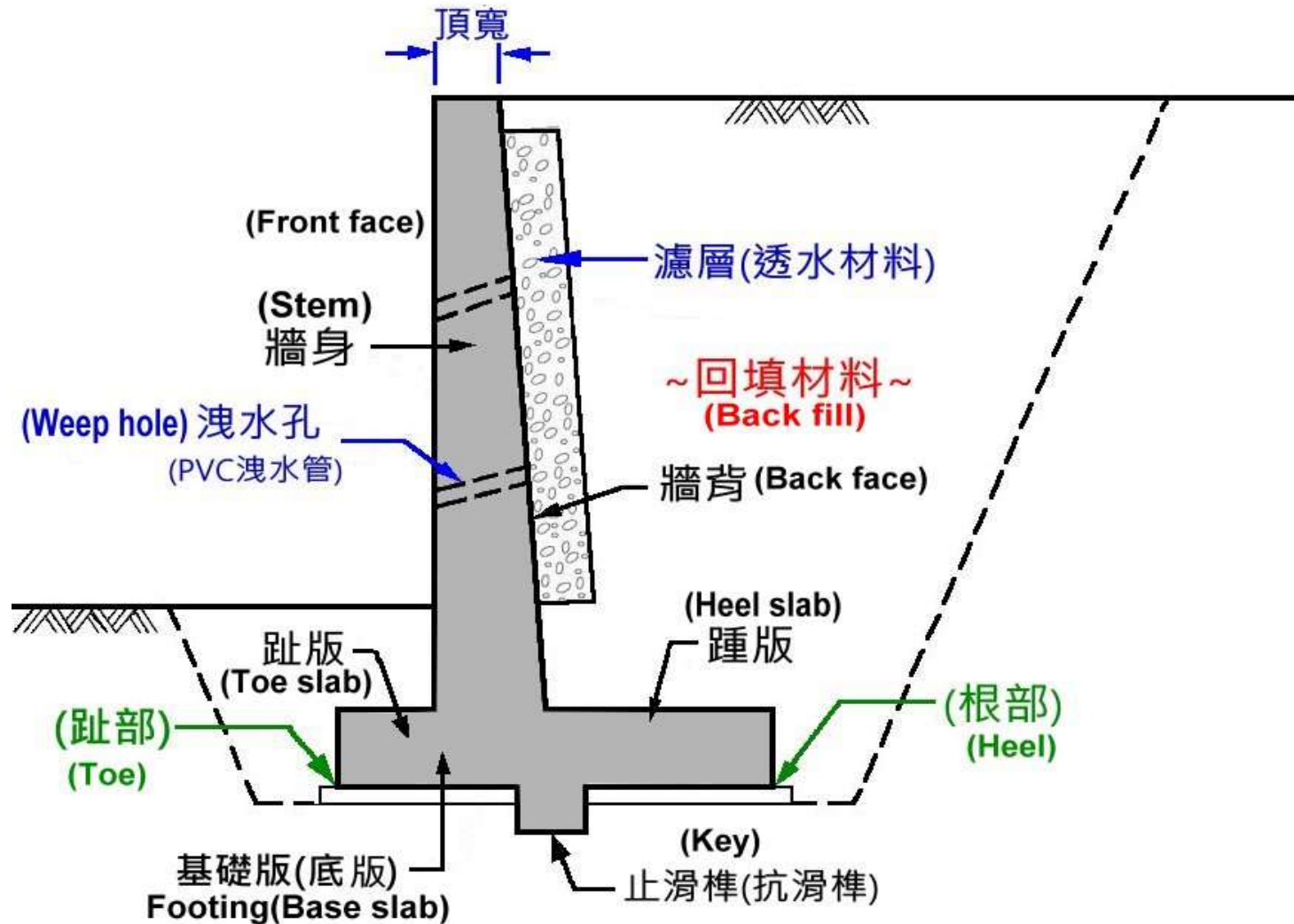
柔性擋土牆(柔性面版加勁擋土牆)

公路總局標準圖R-027



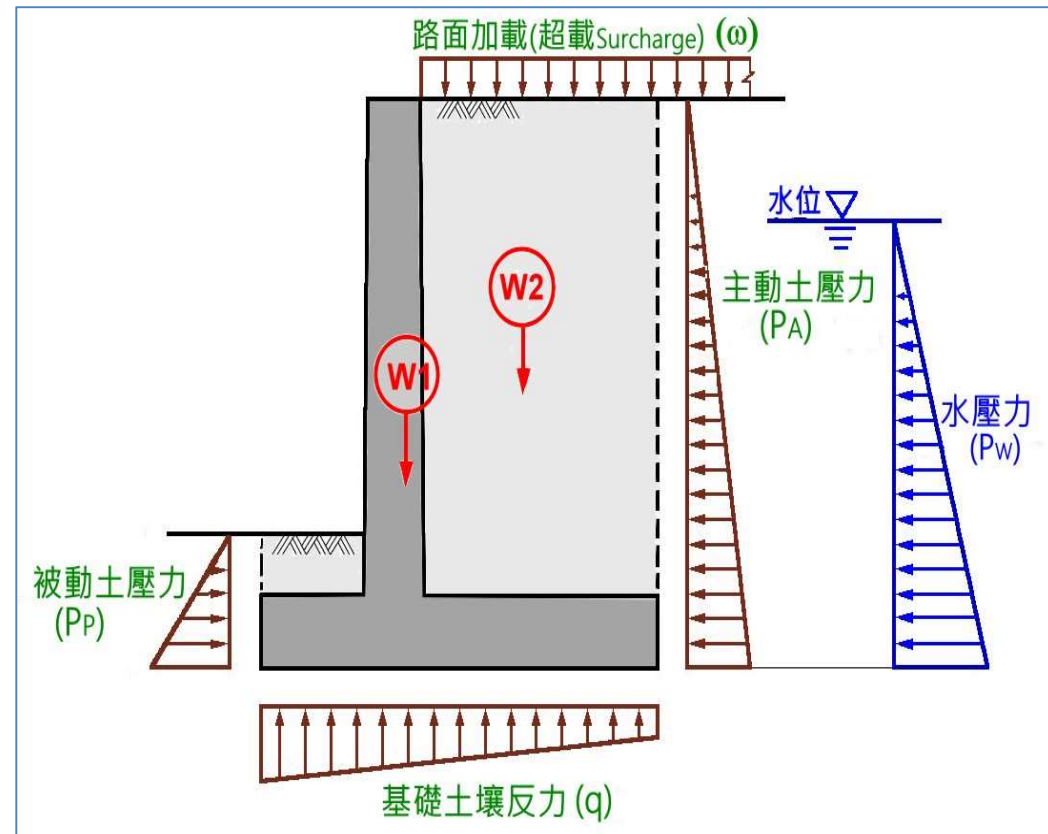
(四) $H=10\text{m}$ 柔性面版配置示意圖

擋土牆各部位名稱

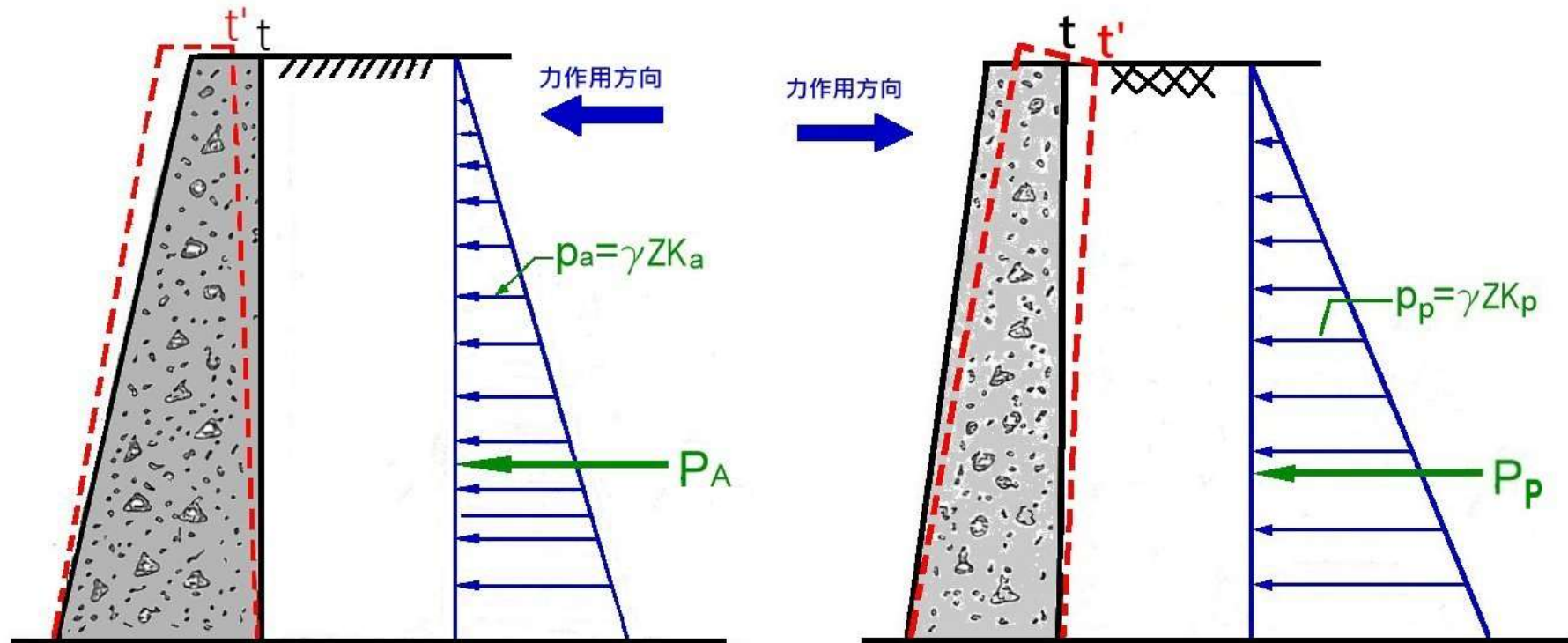


擋土牆之載重

- ① 結構體自重($W1$)
牆身、基礎底版
- ② 回填材料重($W2$)
背填土
- ③ 路面加載(超載)(ω)
車輛、建築物等
- ④ 土壓力(P_A 、 P_P 、 P_E)
主動土壓力、被動土壓力
平時、地震時
- ⑤ 水壓力(P_w)
- ⑥ 基礎土壤反力(q)
- ⑦ 地震力(E)



擋土牆土壓力



主動土壓力

被動土壓力

郎金(Rankine)土壓力係數

ϕ : 土壤內摩擦角

i : 牆後土壤所成之水平角

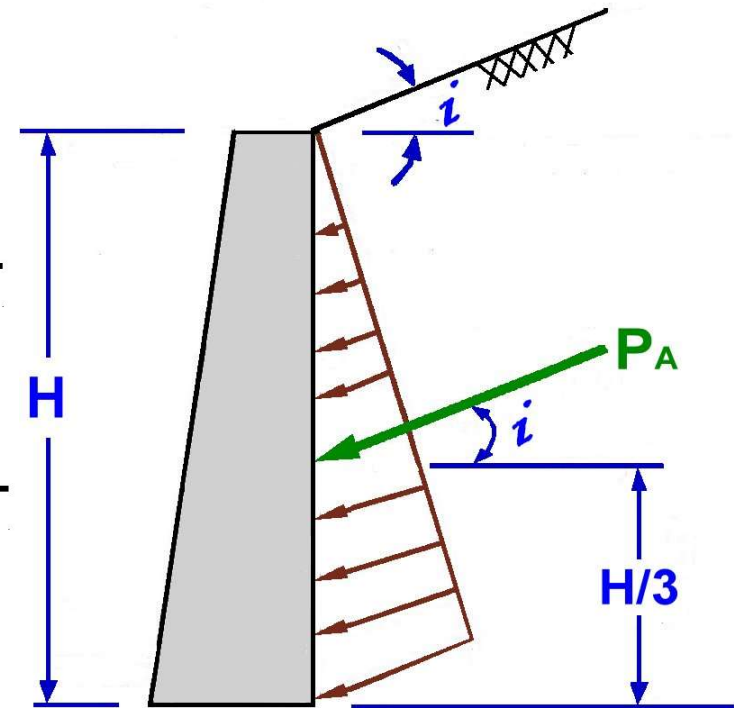
$$K_a = \cos i \frac{\cos i - \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \phi}}{\cos i + \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \phi}}$$

$$K_p = \cos i \frac{\cos i + \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \phi}}{\cos i - \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \phi}}$$

$i = 0^\circ$ 時

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \phi/2)$$

$$K_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2)$$



ϕ 角越大，主動土壓力越小，被動土壓力越大。

$\phi = 0^\circ$ 時， $K_a = K_p = 1.0$

土壤內摩擦角及土壤單位重參考

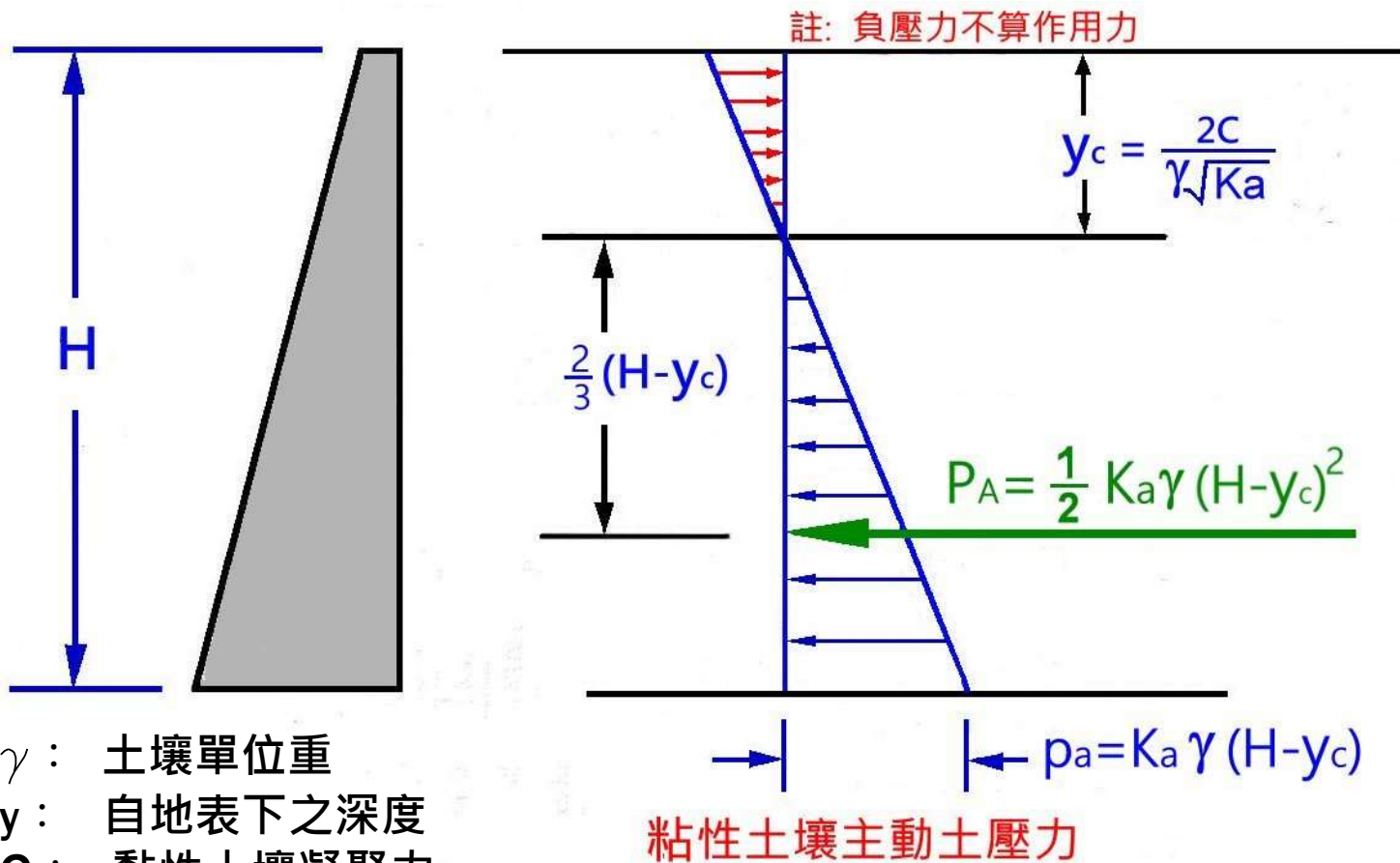
公路總局標準圖R-001

各種土質之內摩擦角 ϕ_0 及單位重量

土質種類	狀態	ϕ_0 值(°)	單位重量(Tf/m ³)
礫石、開山石、 砂、天然混合料	緊密者	35~45	1.6~1.9
	尚為緊密者	30~40	1.6~2.0
砂質土	緊密者	35~40	1.7~2.0
	尚為緊密者	30~35	1.6~1.9
普通土	固結者	25~35	1.7~1.9
	尚為固結者	20~30	1.6~1.8
黏性土	堅硬者	20~30	1.6~1.9
	尚為堅硬者	10~20	1.5~1.8

一般砂質土壤 $\phi = 30^\circ$ ， 一般碎石料 $\phi = 33.7^\circ$

黏性土壤土壓力



γ : 土壤單位重

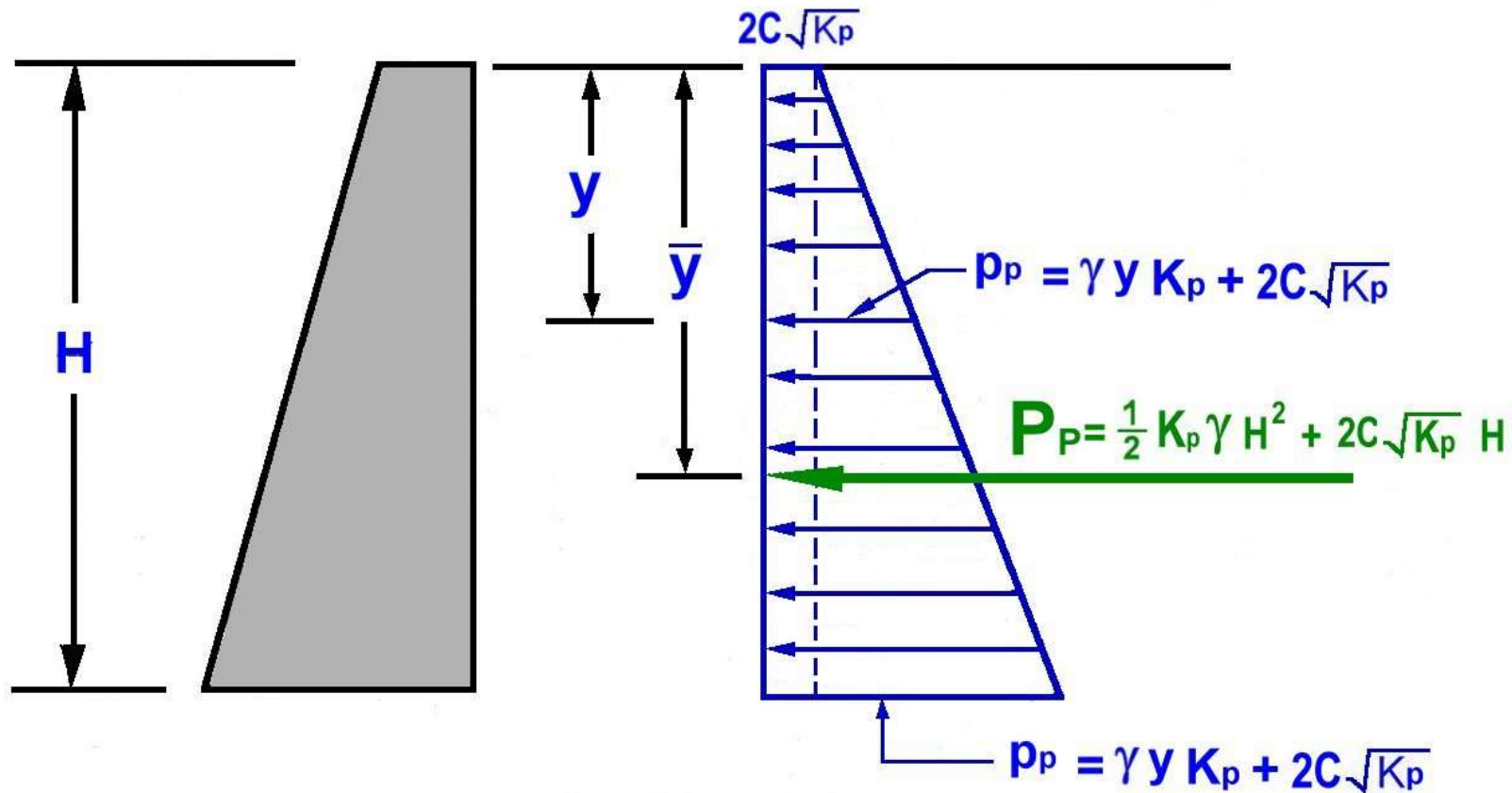
y : 自地表下之深度

C : 黏性土壤凝聚力

K_a : 主動土壓力係數

p_a : 自地表下 y 深度之土壤壓應力 $p_a = \gamma \cdot y K_a - 2C \sqrt{K_a}$

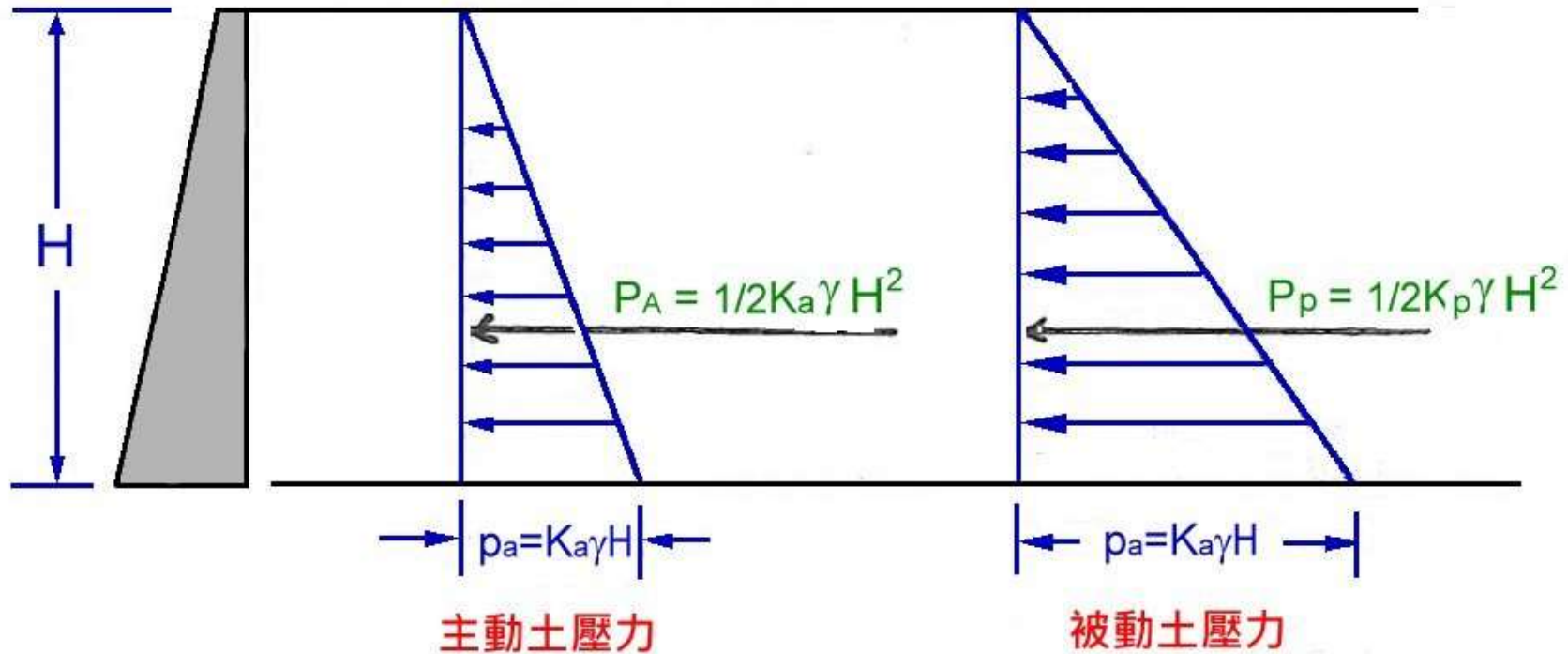
黏性土壤被動土壓力



黏性土壤被動土壓力

自地表下 y 深度之土壤壓應力 $p_p = \gamma \cdot y K_p + 2C \sqrt{K_p}$

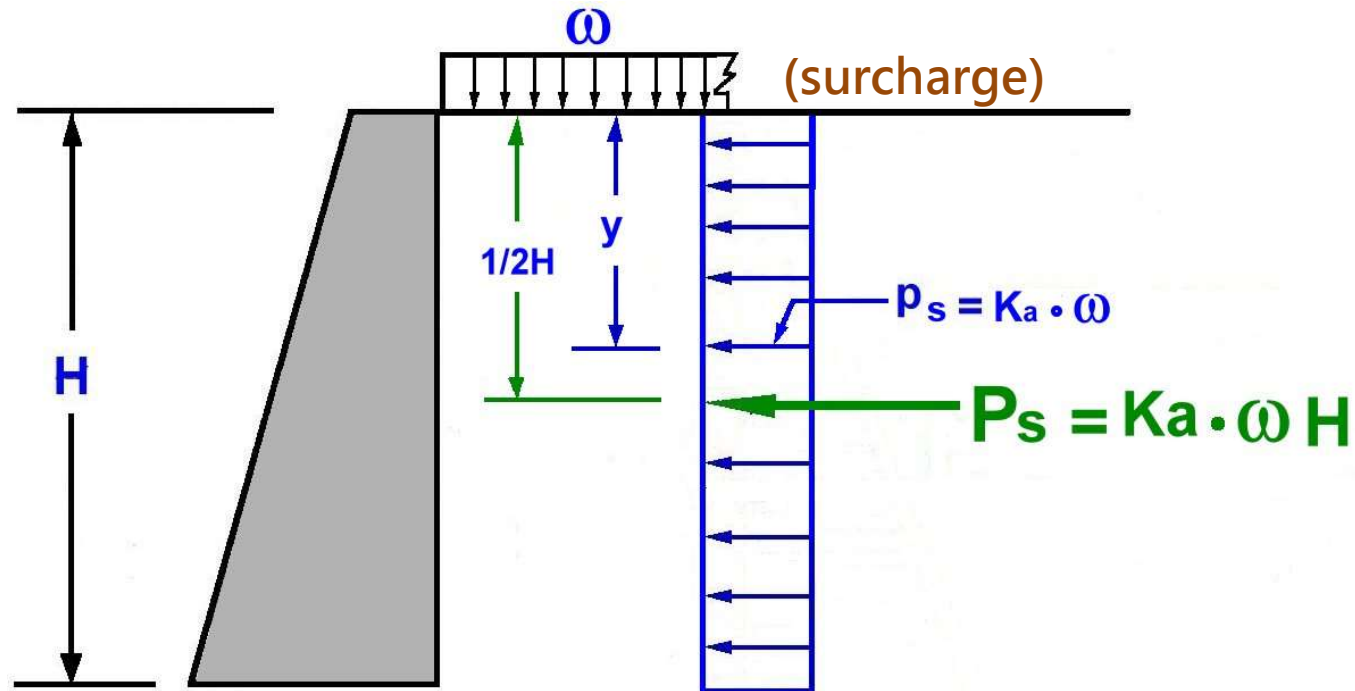
砂質土壤土壓力



主動土壓力

被動土壓力

超載之土壓力



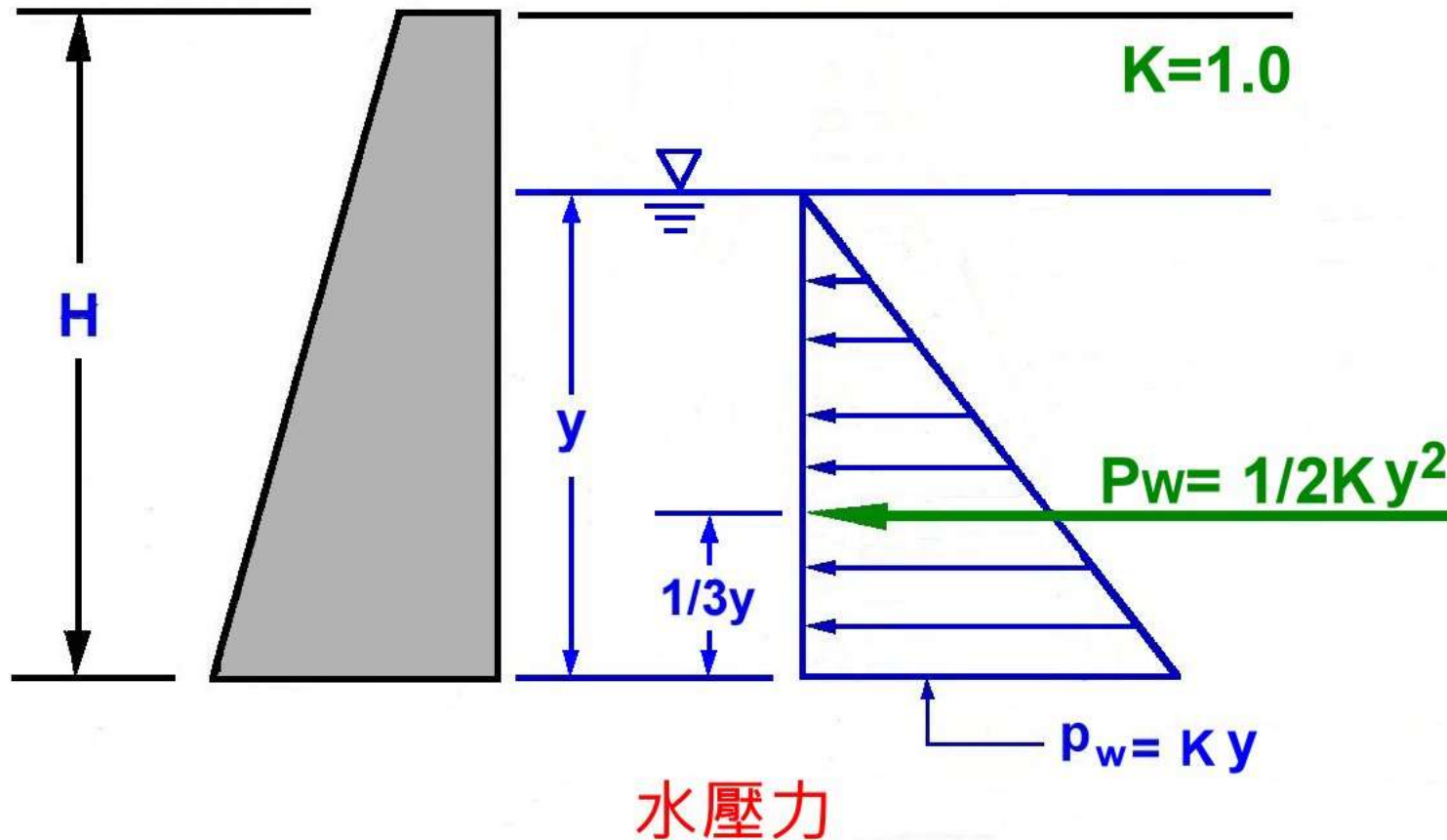
路面加載側壓力

K_a ：主動土壓力係數

P_s ：有超載作用時之土壓力合力

路面車輛之超載可假設為60cm高之填土

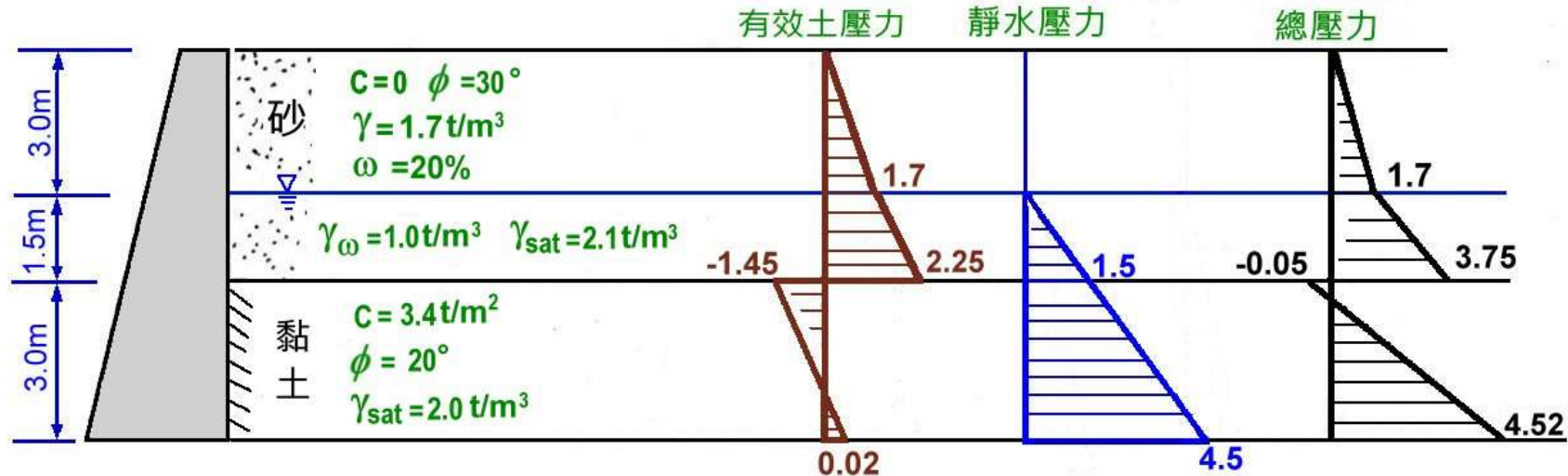
水壓力



K : 水壓側壓力係數 = 1.0

P_w = 水壓力合力

擋土牆土壓力計算例



- ① 求地表面下3m處之主動土壓力

$$\gamma = 1.7 \text{ t/m}^3$$

$$K_a = \tan^2(45^\circ - 30^\circ/2) = 0.33$$

$$p_a = 0.33 \times 1.7 \times 3.0 = 1.7 \text{ t/m}^2$$

- ② 地表面下4.5m處之主動土壓力

$$\gamma_{sat} = 2.1 \text{ t/m}^3$$

$$q = \gamma \cdot y = 1.7 \times 3.0 + (2.1 - 1.0) \times 1.5 = 6.75 \text{ t/m}^2$$

$$K_a = \tan^2(45^\circ - 30^\circ/2) = 0.33$$

$$p_a = 0.33 \times 6.75 = 2.25 \text{ t/m}^2$$

- ③ 地表面下4.5m處黏土之主動土壓力

$$q = 6.75 \text{ t/m}^2$$

$$K_a = \tan^2(45^\circ - 20^\circ/2) = 0.49$$

$$p_a = 0.49 \times 6.75 - 2 \times 3.4 \times 0.7 = -1.45 \text{ t/m}^2$$

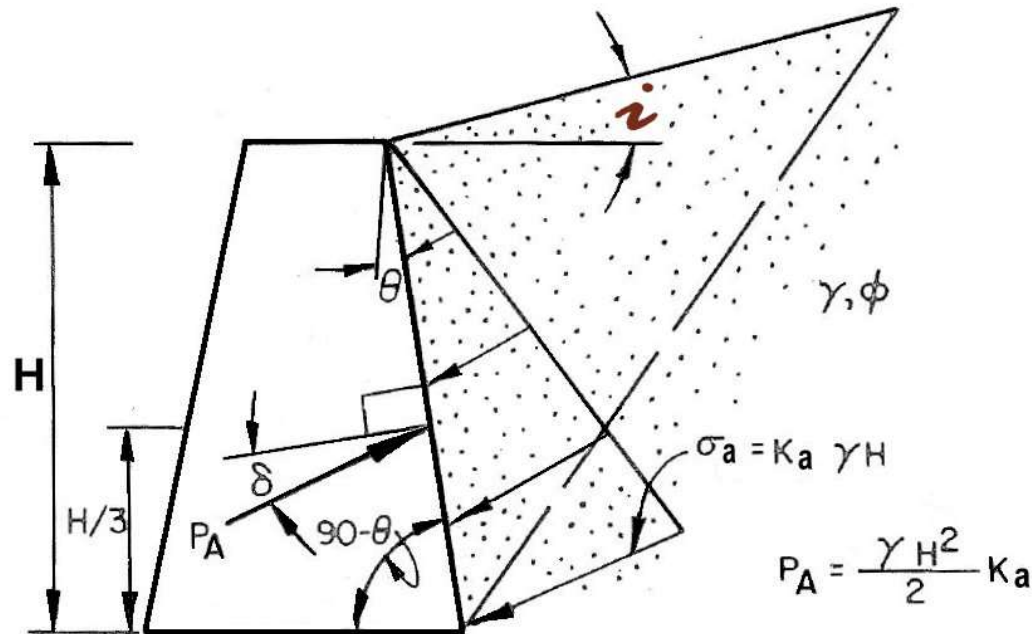
- ④ 地表面下7.5m處黏土之主動土壓力

$$q = 6.75 + (2.0 - 1) \times 3.0 = 9.75 \text{ t/m}^2$$

$$K_a = \tan^2(45^\circ - 20^\circ/2) = 0.49$$

$$p_a = 0.49 \times 9.75 - 2 \times 3.4 \times 0.7 = 0.02 \text{ t/m}^2$$

庫倫(Coulomb)土壓力係數



i : 牆背土壤所成之水平角

θ : 牆背線與垂直線之交角

δ : 混凝土牆面與土壤間之摩擦角

ϕ : 牆背土壤內摩擦角

γ : 牆背土壤單位重

K_a : 主動土壓力係數

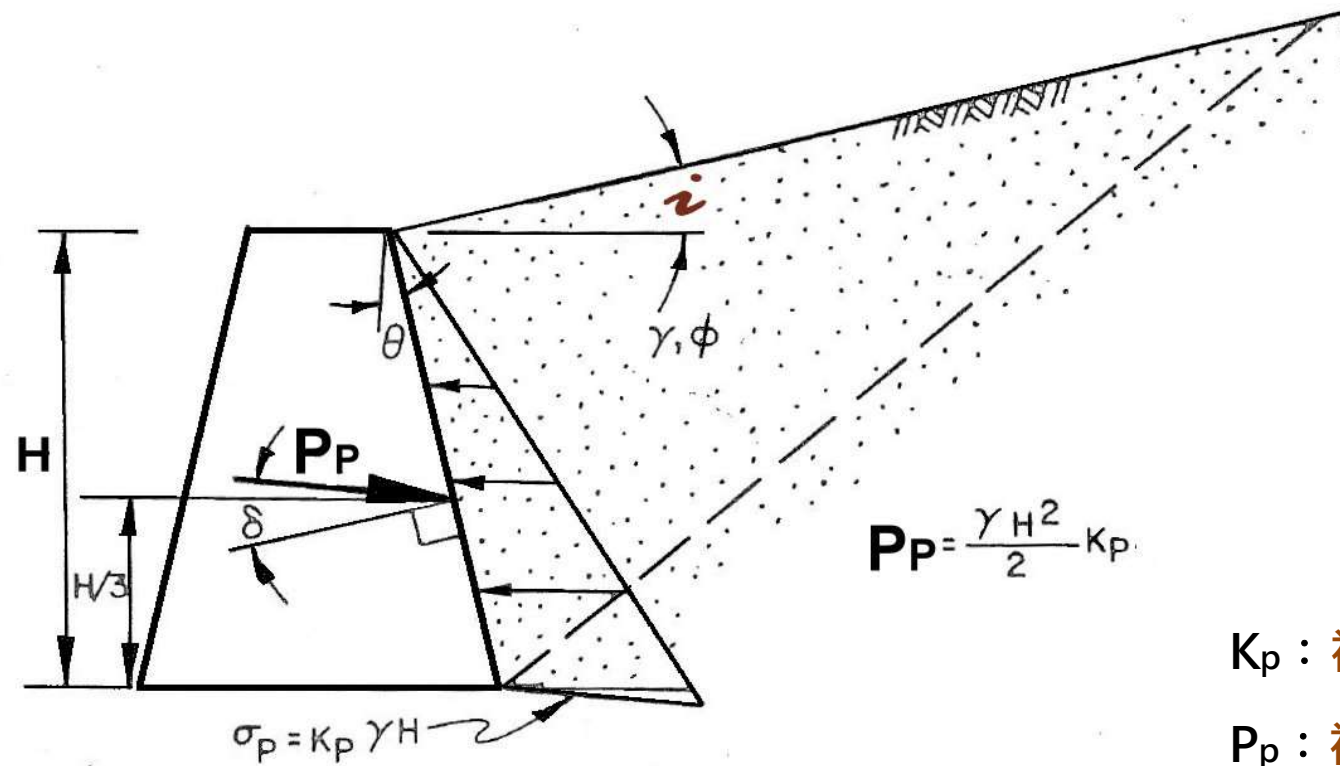
P_A : 主動土壓力

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2 \theta \cos(\theta + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - i)}{\cos(\theta + \delta) \cos(\theta - i)}} \right]^2}$$

$$P_A = \frac{\gamma H^2}{2} K_a$$

若 $i = 0$ 、 $\theta = 0$ 、 $\delta = 0$ 時，則庫倫土壓力與朗金土壓力一致。

庫倫(Coulomb)土壓力係數



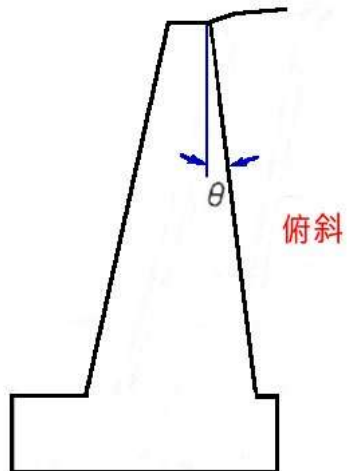
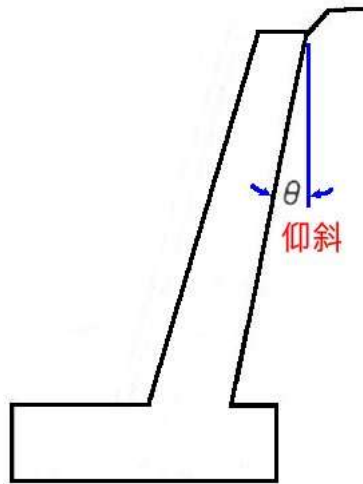
$$P_p = \frac{\gamma H^2}{2} K_p$$

K_p : 被動土壓力係數

P_p : 被動土壓力

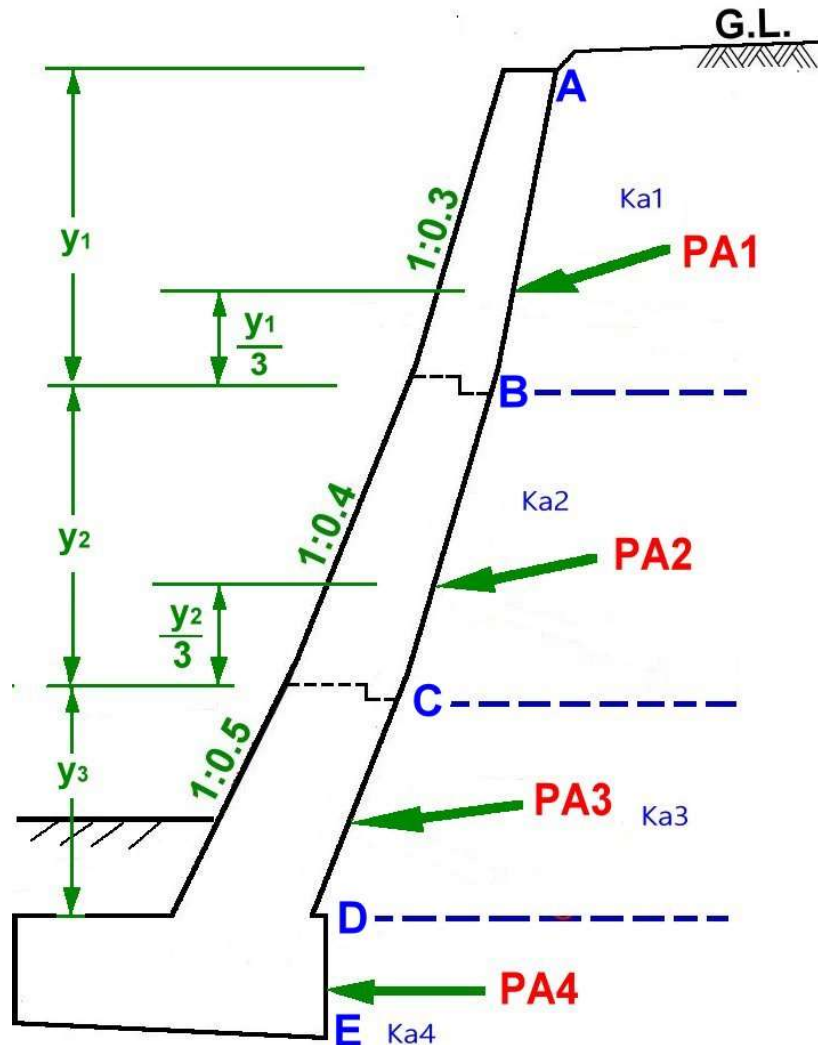
$$K_p = \frac{\cos^2(\theta + \phi)}{\cos^2 \theta \cos(\theta - \delta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi + i)}{\cos(\theta - \delta) \cos(\theta - i)}} \right]^2}$$

庫倫(Coulomb)土壓力



- 牆背型式：仰斜(θ 為負)、垂直($\theta = 0$)、俯斜(θ 為正)。
- 牆背所受的土壓力，在牆高和牆後填料等條件相同時，仰斜牆背所受的土壓力為最小，俯斜牆背較大；因此仰斜式的牆身斷面較經濟。
- 仰斜牆背的坡度愈緩，所受的土壓力愈小，但施工愈困難。
- 俯斜牆背所受的土壓力較大，相對而言，俯斜牆背的斷面比仰斜式要大。但當地面橫坡較陡時，俯斜式擋土牆可採用陡直的牆面，從而減小牆高。
- 俯斜牆背的坡度緩些固然對施工有利，但所受的土壓力亦隨之增加，致使斷面增大，因此牆背坡度不宜過緩。
- 牆體仰斜時，土壓力之計算使用庫倫公式較合宜。

變坡式擋土牆土壓力計算



- 採用庫倫土壓力公式計算。
- 每段牆身之傾斜角度不同，分別計算每段之主動土壓力係數。
- 分別計算每段之土壓力。
 - PA1 : A、B間之土壓力
 - PA2 : B、C間之土壓力
 - PA3 : C、D間之土壓力
 - PA4 : D、E間之土壓力
- 各段之土壓力可化為水平分力及垂直分力進行後續分析。

庫倫(Coulomb)土壓力係數(地震時)

$$K_{ae} = \frac{\cos^2(\phi - \theta_0 - \theta)}{\cos \theta_0 \cos^2 \theta \cos(\delta + \theta + \theta_0) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \theta_0 - i)}{\cos(\delta + \theta + \theta_0) \cos(i - \theta)}} \right]^2}$$

$$K_{pe} = \frac{\cos^2(\phi - \theta_0 + \theta)}{\cos \theta_0 \cos^2 \theta \cos(\delta - \theta + \theta_0) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi - \delta) \sin(\phi - \theta_0 + i)}{\cos(\delta - \theta + \theta_0) \cos(i - \theta)}} \right]^2}$$

θ_0 : 地震合成角 = $\tan^{-1} [K_h / (1 - K_v)]$

K_h : 水平地震力係數

K_v : 垂直地震力係數

庫倫(Coulomb)土壓力係數(摩擦角)

δ ：混凝土牆面與土壤間之摩擦角

考慮牆面與土壤間之摩擦角，土壓力會較 $\delta=0$ 時為小， δ 值與牆面之光滑度有關，拆模後之混凝土牆面通常相當平滑，故其 δ 值應小於 ϕ 角(土壤內摩擦角)，一般約為 $1/2 \sim 3/4 \phi$ ，若無試驗資料時，可採用 $\delta=2/3 \phi$ 。

背填土壤摩擦角 ϕ_1
原狀土壤摩擦角 ϕ_0
混凝土牆面與土壤間之常時摩擦角 $\delta = \frac{2\phi_1}{3}$ (主動土壓)
混凝土牆面與土壤間之地震時摩擦角 $\delta = \frac{\phi_1}{3}$ (主動土壓)
混凝土牆面與土壤間之常時摩擦角 $\delta = \frac{\phi_1}{3}$ (被動土壓)
混凝土牆面與土壤間之地震時摩擦角 δ (被動土壓)

[參考資料：公路總局標準圖R-005](#)

地震力計算

● 參考公路橋梁耐震設計規範等級Ⅱ地震力(設計地震力)

$$V_{II} = \frac{I}{1.2\alpha_y} \left(\frac{S_{a,II}}{F_{u,II}} \right)_m W$$

V_{II} : 等級Ⅱ地震下之水平設計地震力 = $K_h \cdot W$

I : 用途係數

$S_{a,II}$: 等級Ⅱ地震水平譜加速度係數

$F_{u,II}$: 等級Ⅱ地震結構系統地震力折減係數

α_y : 起始降伏地震力放大倍數

W : 結構體或土體靜重

一般計算結果設計水平地震力約為 $V=1.2\sim 1.6W$,
視所在地區位置及距活動斷層之遠近而異。

第一類活動斷層



(1) 第一類活動斷層

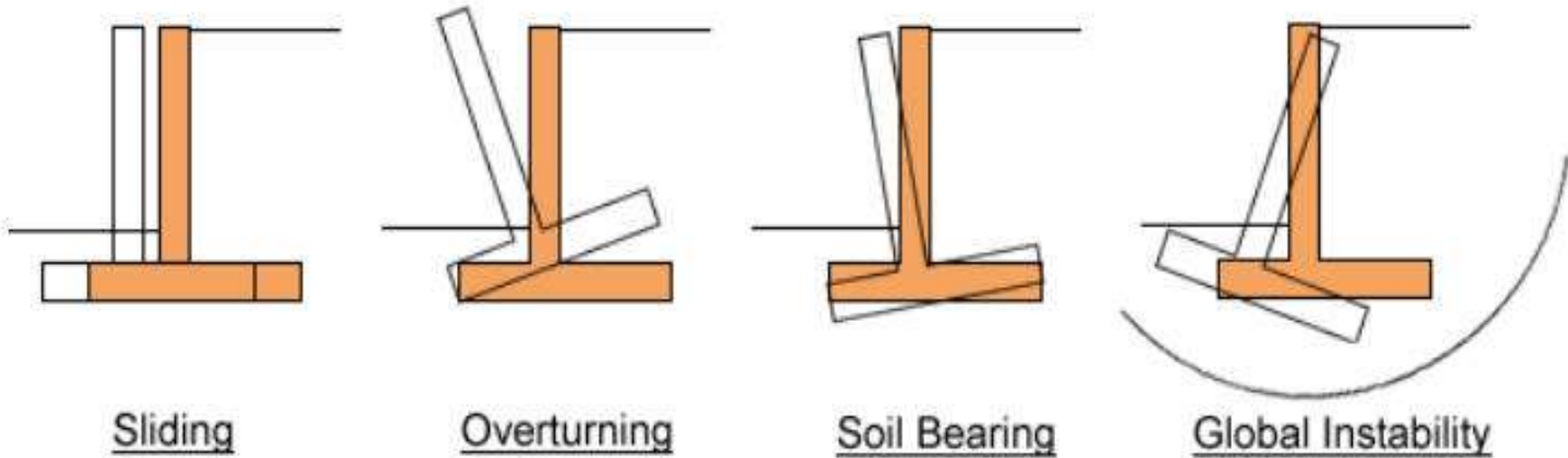
旗山斷層

車瓜林斷層

(2) 影響區域

杉林區、內門區、
旗山區、美濃區、
田寮區、燕巢區、
大樹區、岡山區、
橋頭區、大社區、
仁武區、鳥松區、
左營區、南梓區、
三民區。

擋土牆破壞型態

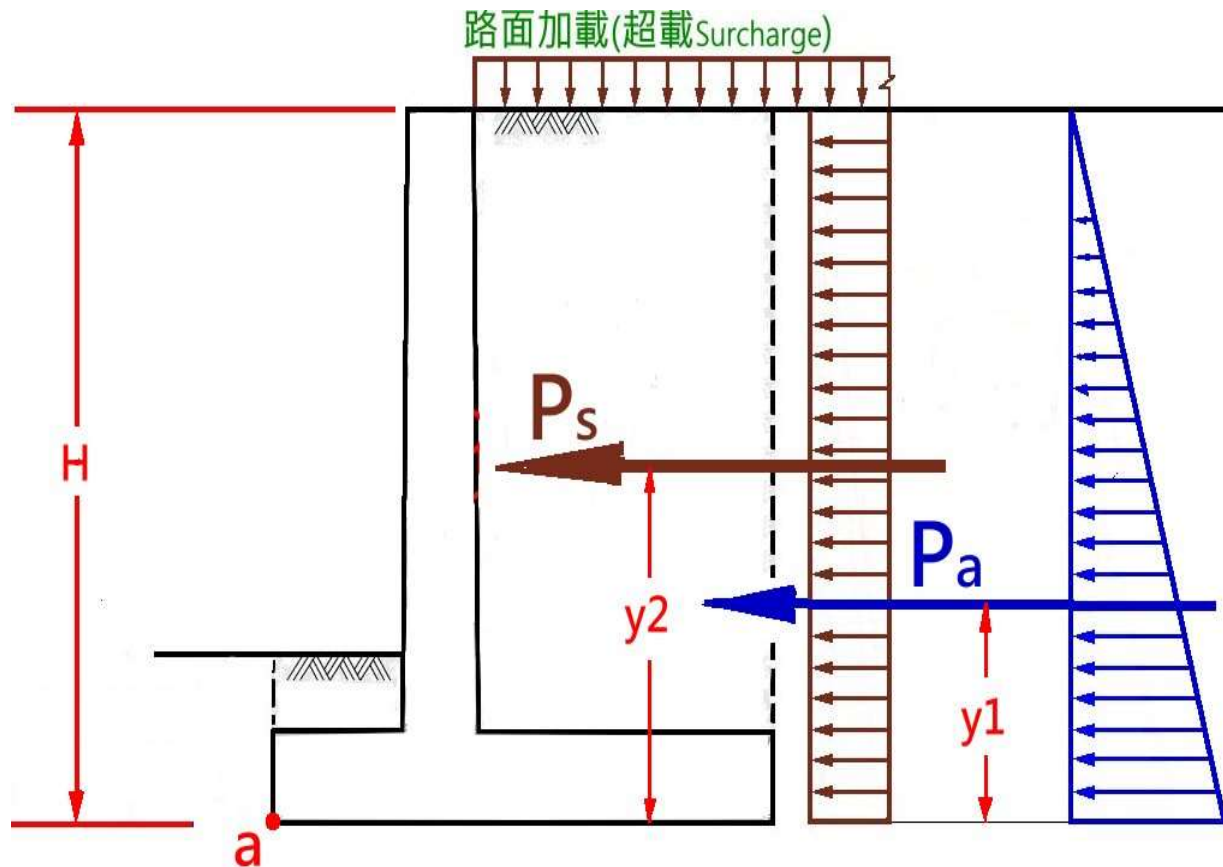


- (1) 傾倒破壞。
- (2) 滑動破壞。
- (3) 基礎土壤承载力不足破壞。
- (4) 邊坡整體滑動破壞。

擋土牆之分析流程

- (1) 擋土牆型式及斷面尺寸決定
- (2) 擋土牆穩定分析
 - 傾倒(Overturning)檢討
 - 滑動(Sliding)檢討
- (3) 擋土牆牆身(Stem)斷面應力計算
 - 鋼筋應力計算
 - 混凝土壓應力及剪應力計算
- (4) 基礎底合力作用點計算
- (5) 基礎土壤反力計算及基礎土壤承載力檢核
 - (樁基礎時：基樁反力計算)
- (6) 踵版及趾版斷面應力計算

擋土牆穩定分析(傾倒檢核)



M_o : 傾覆力矩
(Overturning Moment)

P_a : 主動土壓力

P_s : 超載側壓力

H : 擋土牆總高

a點 : 底版趾端

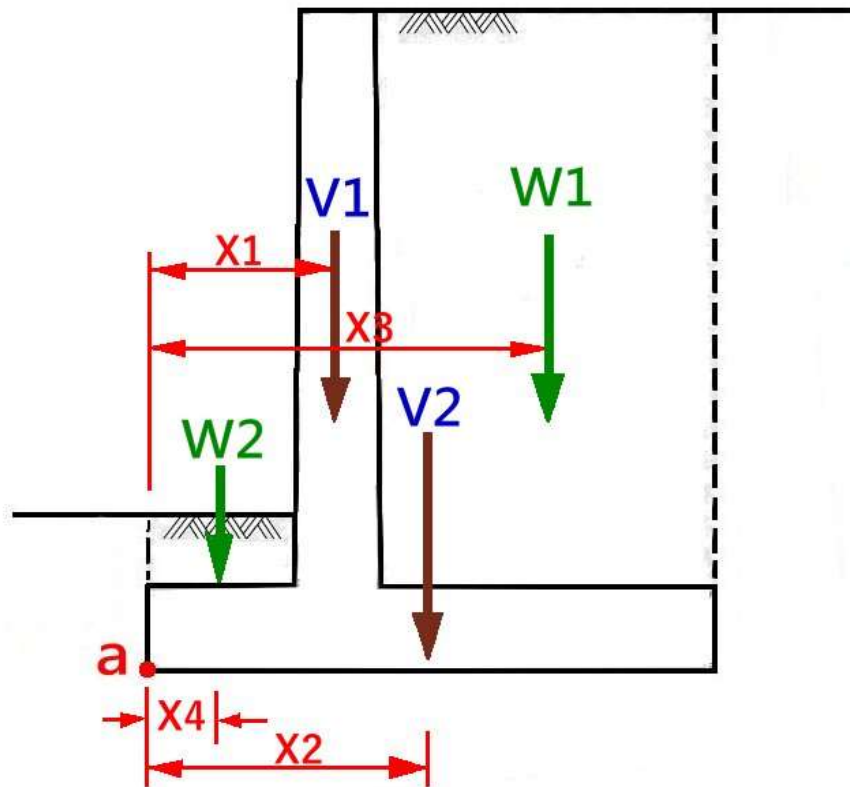
$y_1 = H/3$

$y_2 = H/2$

● 傾覆力矩

$$M_o = P_a \times y_1 + P_s \times y_2$$

擋土牆穩定分析(傾倒檢核)



Mr : 抵抗力矩(Resisting Moment)

V1 : 牆身軀體靜重(自重)

V2 : 基礎底版自重(自重)

W1 : 牆背填土重量

W2 : 趾版上填土重量

X1 : 牆身軀體重心至趾端之距離

X2 : 基礎底版重心至趾端之距離

X3 : 牆背填土重心至趾端之距離

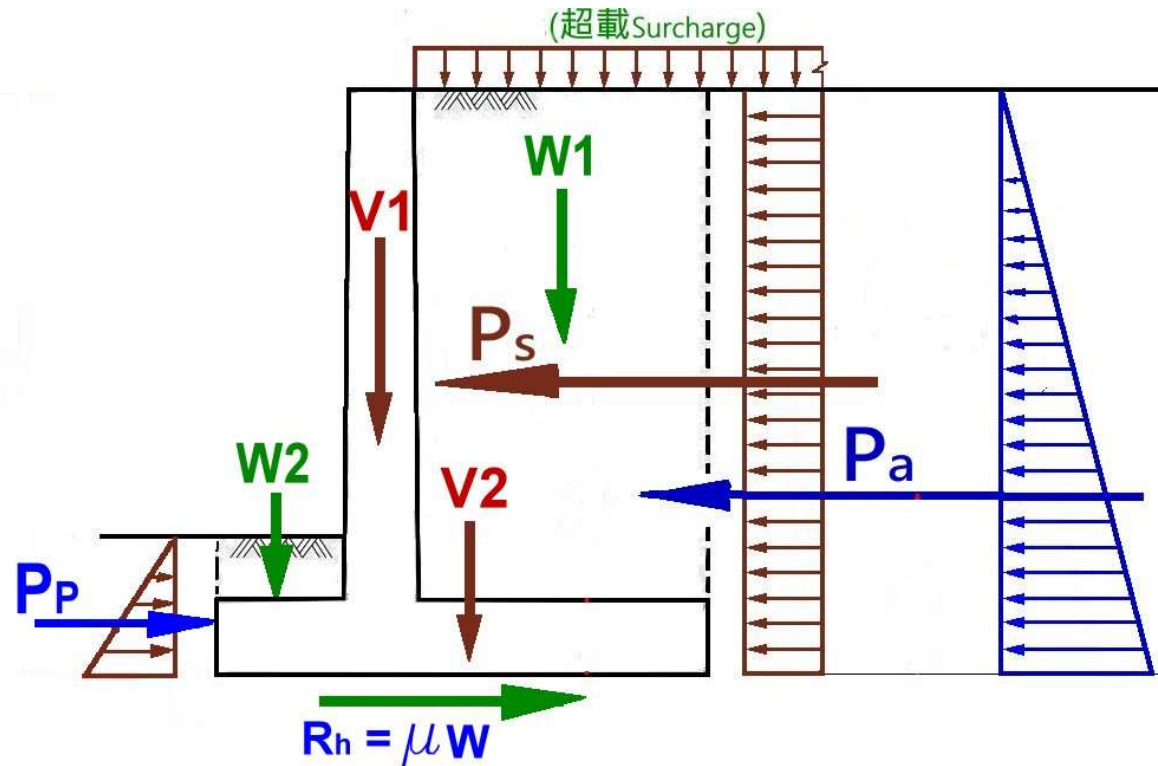
X4 : 趾版上填土重心至趾端之距離

a點 : 底版趾端

● 抵抗力矩 $Mr = \underline{V1 \cdot X1} + \underline{V2 \cdot X2} + \underline{W1 \cdot X3} + \underline{W2 \cdot X4}$

● 傾倒安全係數 $F.S. = Mr / Mo$

擋土牆穩定分析(滑動檢討)



P_a : 主動土壓力

P_s : 超載土壓力

P_p : 被動土壓力

$W1, W2$: 填土重量

$V1, V2$: 結構體重量

W : $V1+V2+W1+W2$

μ : 基礎土壤與混凝土
底版間之摩擦係數

R_h : 摩擦抵抗力

(1) 水平推力(主動土壓力之水平分力和) $P = P_s + P_a$

(2) 滑動抵抗力 $R = R_h + P_p$

防止滑動之安全係數 $F.S. = R / P$

擋土牆穩定分析(滑動檢討)

μ : 基礎土壤與混凝土底版間之摩擦係數

砂性土壤 : $\mu = \tan(2/3 \phi_0)$

黏性土壤 : $\mu = 2/3 C$

$R_h = W \tan \mu + (2/3 C) B$

ϕ_0 : 原地土壤內摩擦角

C : 原地土壤視凝聚力

B : 基礎底版總寬

W : 基礎上方結構體及填土總重

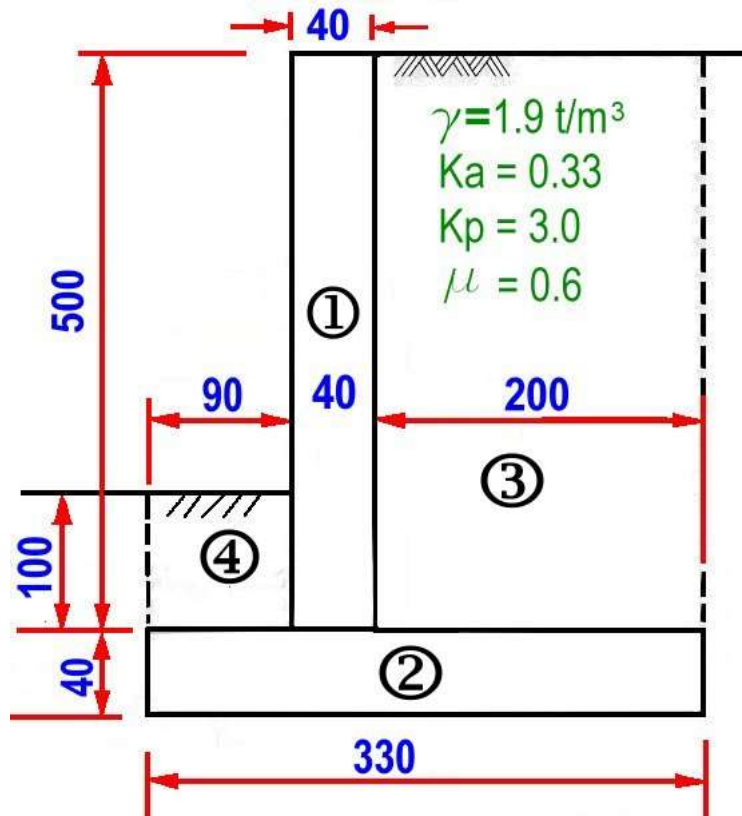
擋土牆穩定分析之安全係數

	常時	地震時
抗滑安全係數	1.5	1.2
傾倒安全係數	2.0	1.5

各種土壤之摩擦係數

不含粉土之粗砂	0.55
含有粉土之粗砂	0.45
粉土	0.35
表面粗糙之岩石	0.60

擋土牆穩定分析(計算例)



抵抗力矩計算表

斷面	W (t)	Xi (m)	Mi (t-m)	
1	$0.4 \times 5.0 \times 2.4 =$	4.80	1.10	5.28
2	$0.4 \times 3.3 \times 2.4 =$	3.17	1.65	5.23
3	$2.0 \times 5.0 \times 1.9 =$	19.00	2.30	43.70
4	$1.0 \times 0.9 \times 1.9 =$	1.71	0.45	0.77
超載	$0.6 \times 1.9 \times 2.0 =$	2.28	2.30	5.24
合計		30.96		60.22

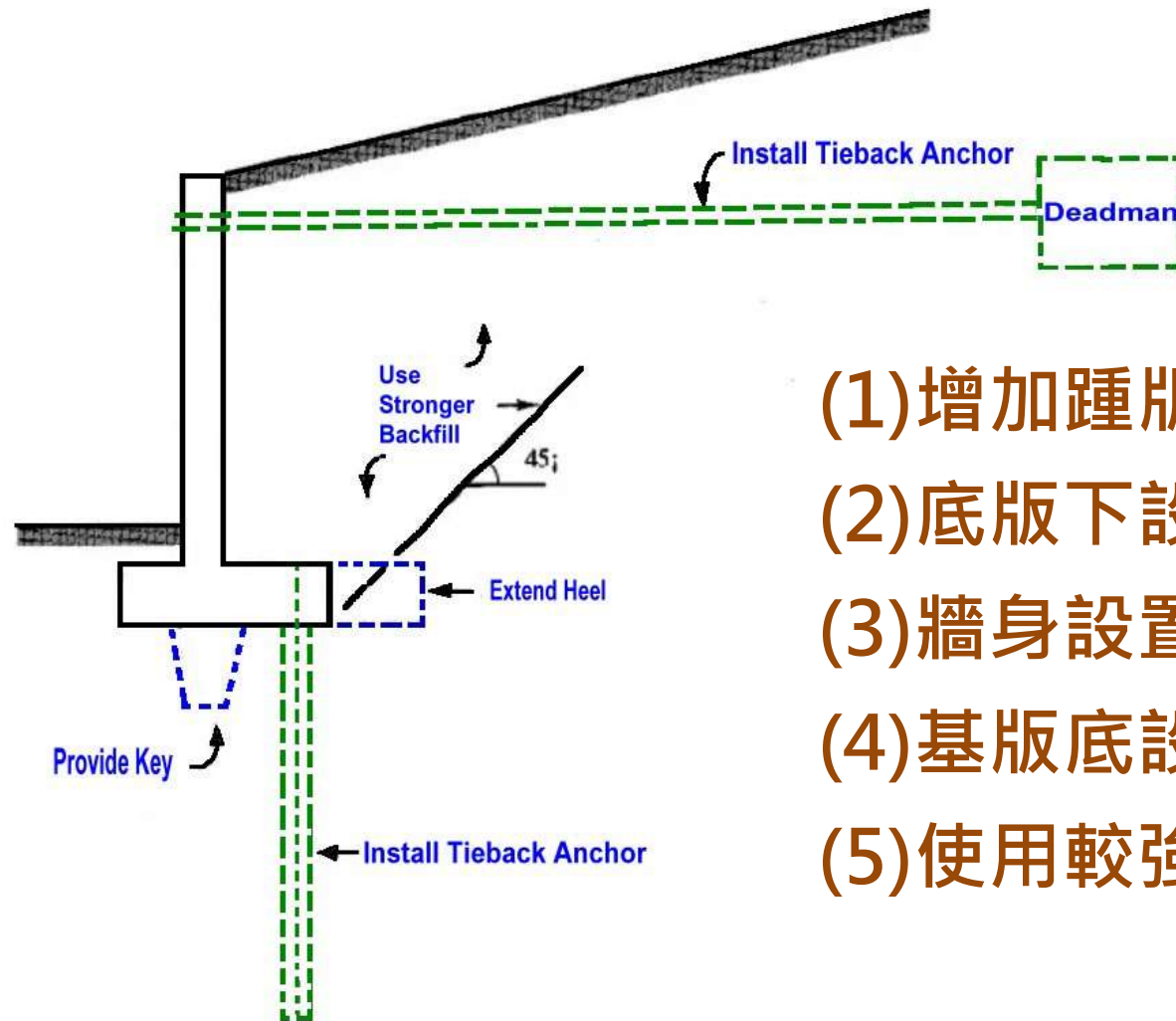
傾倒力矩計算表

	土壓力 (t)	Yi (m)	Mi (t-m)	
Pa	$0.5 \times 1.9 \times 5.4 \times 5.4 \times 0.33 =$	9.14	1.80	16.45
Ps	$0.6 \times 1.9 \times 5.4 \times 0.33 =$	2.03	2.70	5.48
合計		11.17		21.94

防止傾倒之安全係數 $F.S. = 60.22 / 21.94 = 2.74 > 2.0$ O.K.

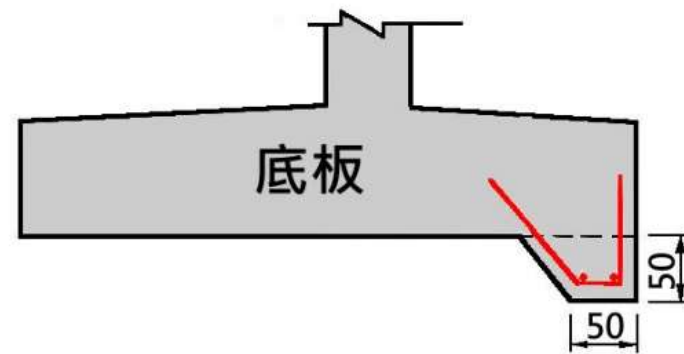
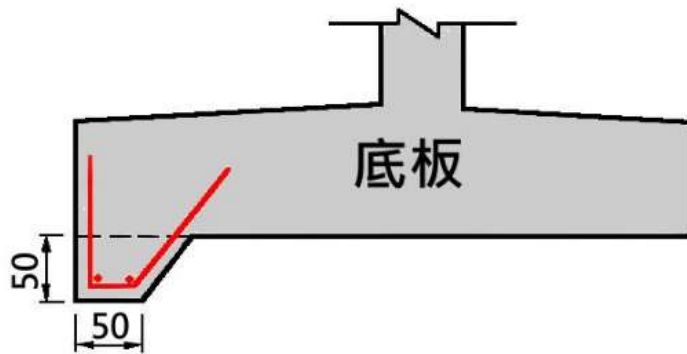
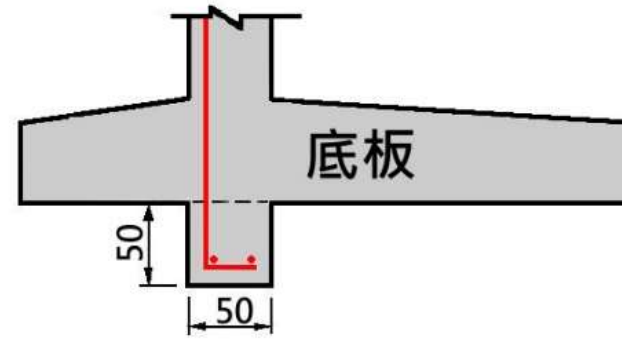
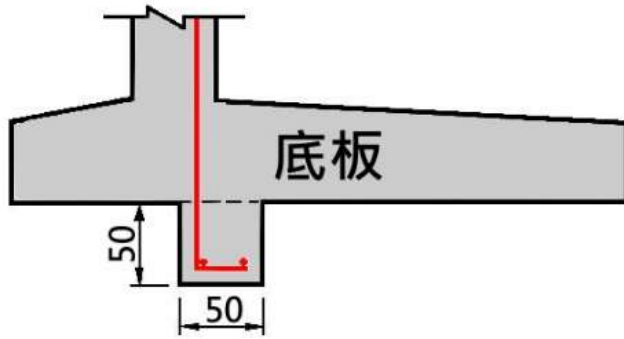
防止滑動之安全係數 $F.S. = (30.96 \times 0.6) / 11.17 = 1.66 > 1.5$ O.K. μ

擋土牆穩定性之改善策略

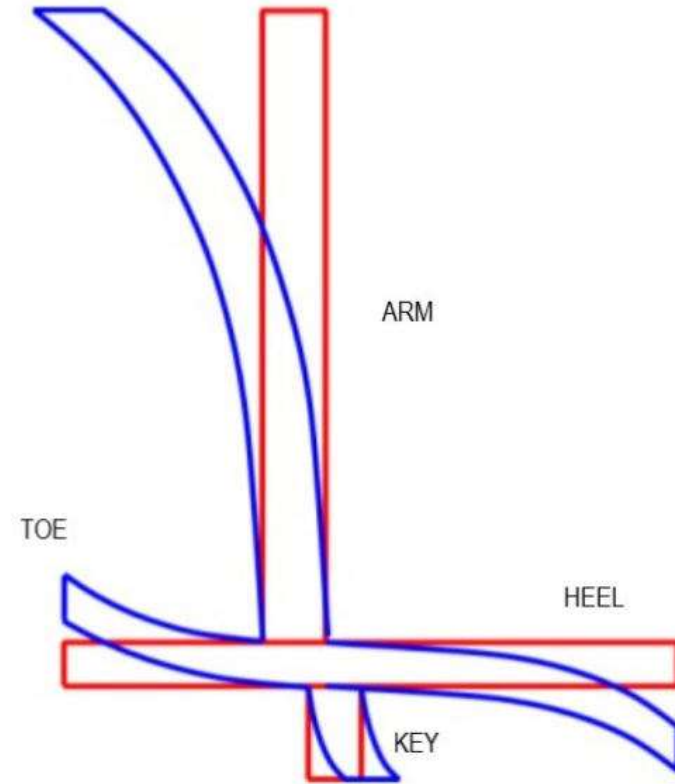
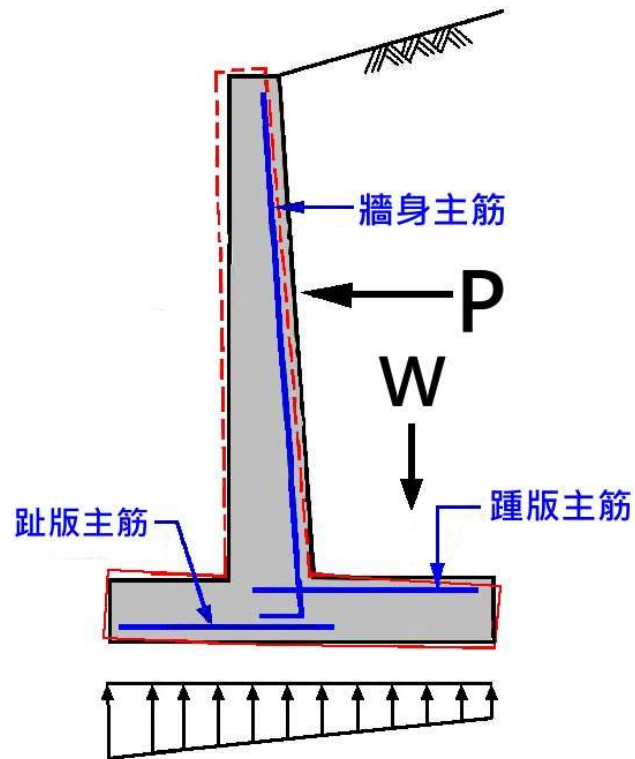


- (1) 增加踵版長度
- (2) 底版下設置剪力樁
- (3) 牆身設置背拉錨碇
- (4) 基版底設置夏拉錨碇
- (5) 使用較強之回填材料

擋土牆抗滑剪力樁

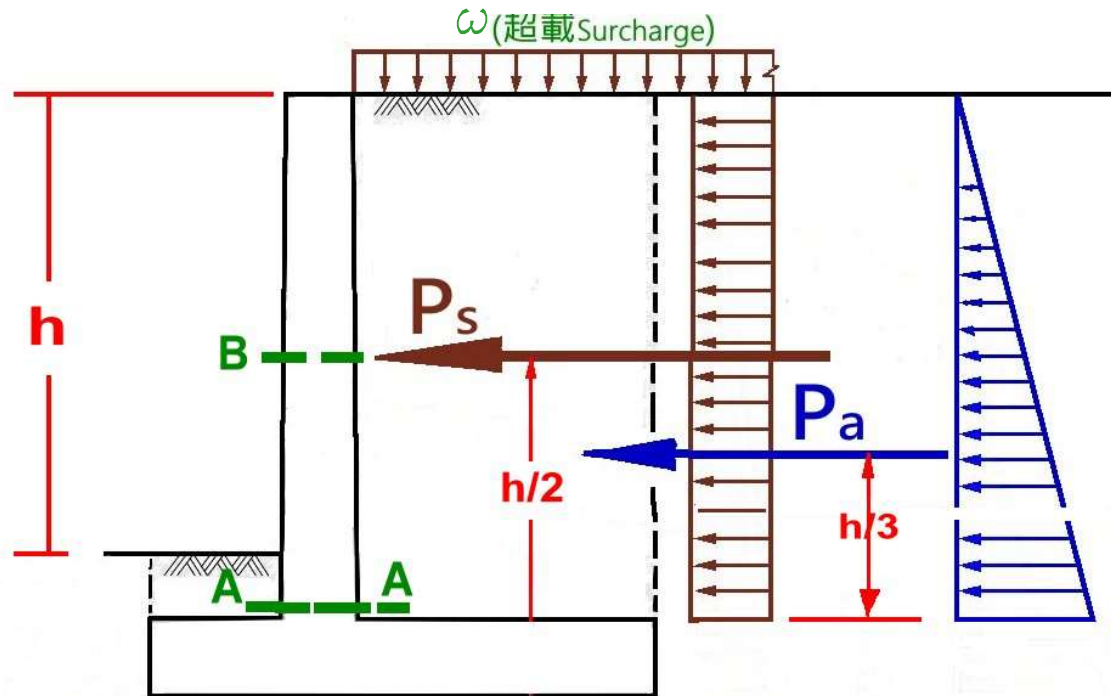


擋土牆鋼筋主筋位置



- (1) 假設混凝土無法承受張力，因此鋼筋應配置在拉力側。
- (2) 壓力側由混凝土承受，理論上不需鋼筋，惟為防止混凝土收縮裂縫，應配置溫度鋼筋(temperature and shrinkage reinforcement)。

擋土牆牆身斷面之彎矩及剪力計算



A斷面(牆身底部)

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

$$P_s = \omega H K_a$$

例：

$$h = 5.0\text{m}$$

$$\gamma = 1.9 \text{ t/m}^3$$

$$\omega = 0.6 \times 1.9 = 1.14 \text{ t/m}^2$$

$$K_a = 0.33$$

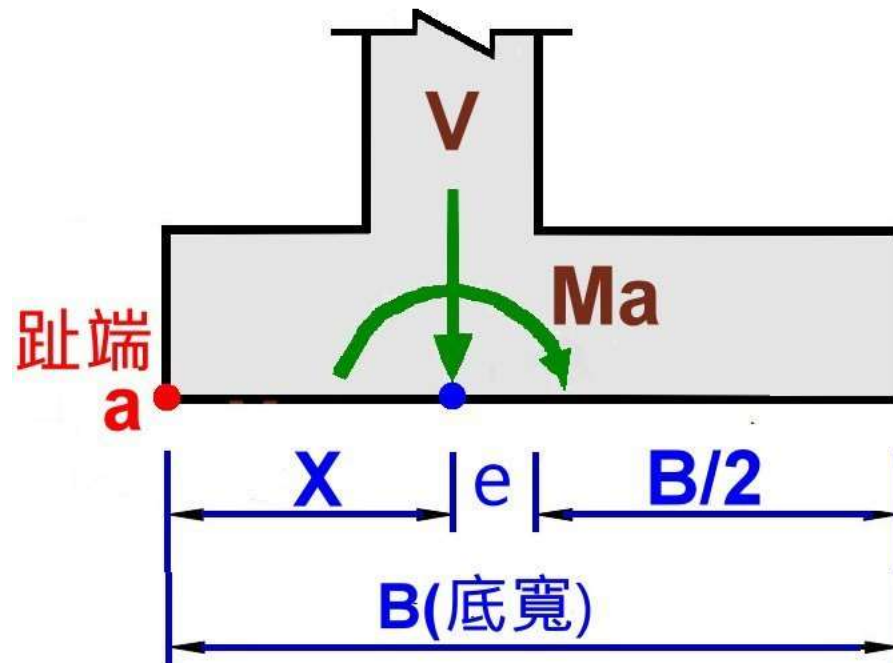
$$P_a = 0.5 \times 1.9 \times 5.0^2 \times 0.33 = 7.84 \text{ t/m}^2$$

$$P_s = 1.14 \times 5.0 \times 0.33 = 1.88 \text{ t/m}^2$$

$$(1) A \text{斷面處之彎矩 } M_A = P_a \times h/3 + P_s \times h/2 = 7.84 \times 5.0/3 = 13.07 \text{ t-m}$$

$$(2) A \text{斷面處之剪力 } V_A = P_a + P_s = 7.84 + 1.88 = 9.72 \text{ tf}$$

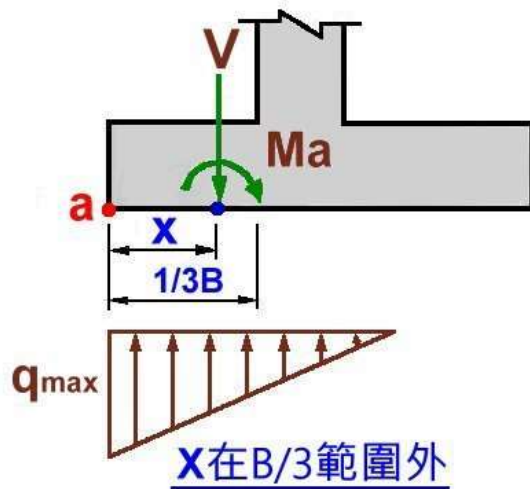
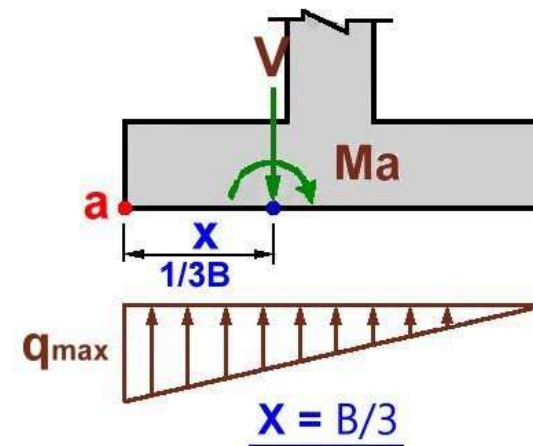
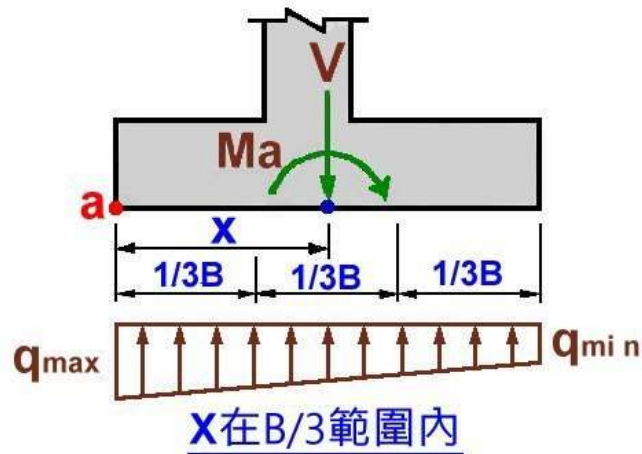
擋土牆合力作用點計算



- B : 基礎底版總寬
- V : 垂直力 (重量)
- Ma : 對趾端 a 點之彎矩
- X : 合力作用點
 $= Ma / V$
- e : 偏心距
 $= B / 2 - X$

(1) 結構體自重

基礎土壤反力



(一) X 在底板寬 $B/3$ 範圍內

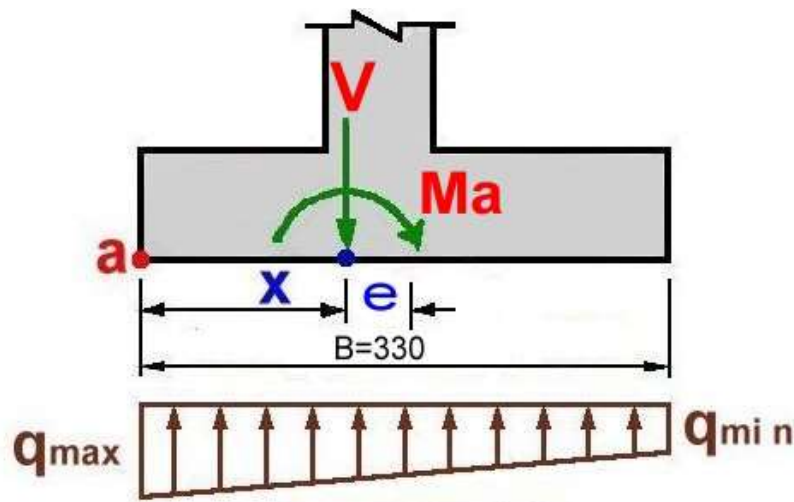
$$q_{\max} = \frac{V}{B} + (1 + 6 \cdot e/B)$$

$$q_{\min} = \frac{V}{B} + (1 - 6 \cdot e/B)$$

(二) X 在底板寬 $B/3$ 範圍外

$$q_{\max} = 2V/3X$$

基礎土壤反力計算例



X在底版寬B/3範圍內

$$q_{\max} = \frac{V}{B} + (1 + 6 \cdot e/B)$$

$$q_{\min} = \frac{V}{B} + (1 - 6 \cdot e/B)$$

基礎總寬 = 3.3m

抵抗傾倒力矩 = 60.22 t-m

傾倒力矩 = 21.94 t-m

作用於基礎底之彎矩 = 60.22 - 21.94

$$Ma = 38.28 \text{ t-m}$$

作用於基礎底之垂直力 $V = 30.96 \text{ t}$

合力作用點 $X = Ma / V$

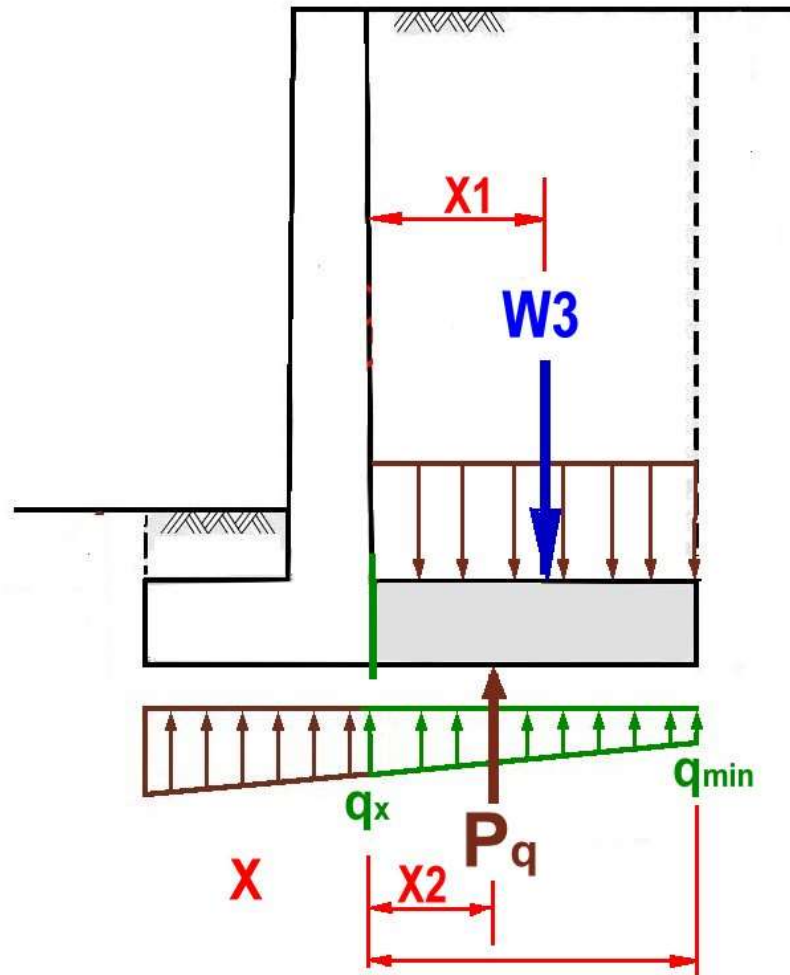
$$= 38.28 / 30.96 = 1.236 \text{ m}$$

偏心距 $e = B/2 - X = 3.3/2 - 1.236 = 0.414 \text{ m}$

$$q_{\max} = (30.96 / 3.3) \times (1 + 6 \times 0.414 / 3.3) \\ = 16.44 \text{ t/m}^2$$

$$q_{\min} = (30.96 / 3.3) \times (1 - 6 \times 0.414 / 3.3) \\ = 2.32 \text{ t/m}^2$$

踵版設計彎矩及設計剪力計算



$W3$: 趾版上填土重量
+ 趾版自重(懸臂部分)
+ 超載

Pq : 趾版底下土壤反力(合力)

X : 踵版長度

$X1$: 作用力 $W3$ 至C-C斷面處之距離

$X2$: 作用力 Pq 至C-C斷面處之距離

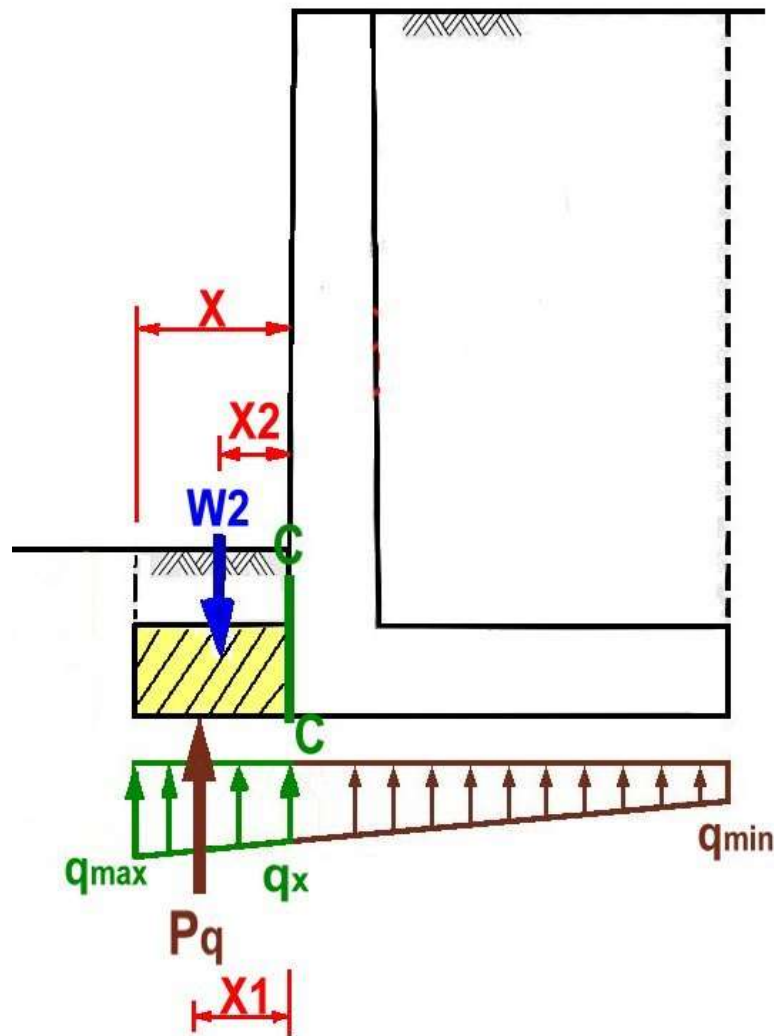
C-C斷面

$$Pq = (q_{min} + q_x) / 2 \cdot X$$

$$\text{彎矩} M_c = W3 \cdot X1 - Pq \cdot X2$$

$$\text{剪力} V_c = W3 - Pq$$

趾版設計彎矩及設計剪力計算



W2 : 趾版上填土重量

+ 趾版自重(懸臂部分)

Pq : 趾版底下土壤反力(合力)

X : 趾版長度

X1 : 作用力Pq至C-C斷面處之距離

X2 : 作用力W2至C-C斷面處之距離

C-C斷面

$$Pq = (q_{\max} + q_x) / 2 \cdot X$$

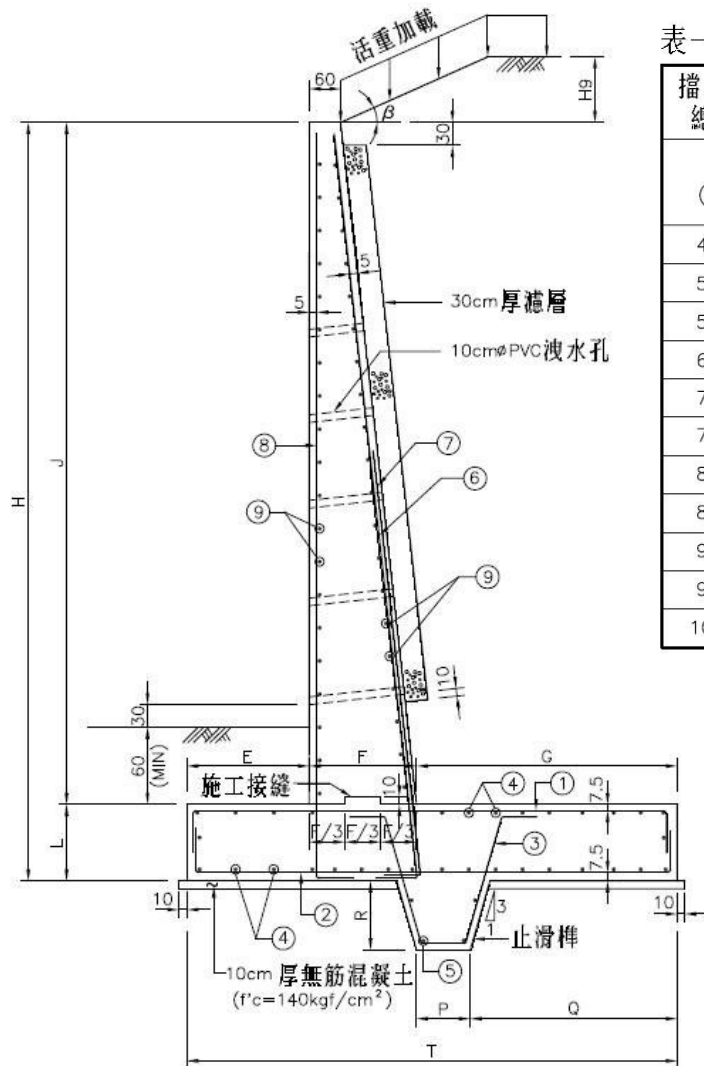
$$\text{彎矩} M_c = Pq \cdot X1 - W2 \cdot X2$$

$$\text{剪力} V_c = Pq - W2$$

基礎土壤容許承載力

地基種類	岩石種類 鬆實狀態	容許承載力(Tf/m ²)	
		常時	地震時
堅岩盤	花崗岩 石英等火成岩	250	500
軟岩盤	砂岩 黏板岩等水成岩	125	250
	軟砂岩 頁岩 土丹等	80	150
礫石層	堅實者	50	75
	不甚堅實者	40	60
砂	緊密者	40	60
	不甚緊密者	30	45
砂質土	緊密者	30	50
	不甚緊密者	20	30
黏性土	堅硬者	20	40
	尚為堅硬者	10	20
粉砂黏土	緊密者	10	20
	尚為緊密者	5	10

懸臂式擋土牆參考圖(公路總局標準圖R-008)

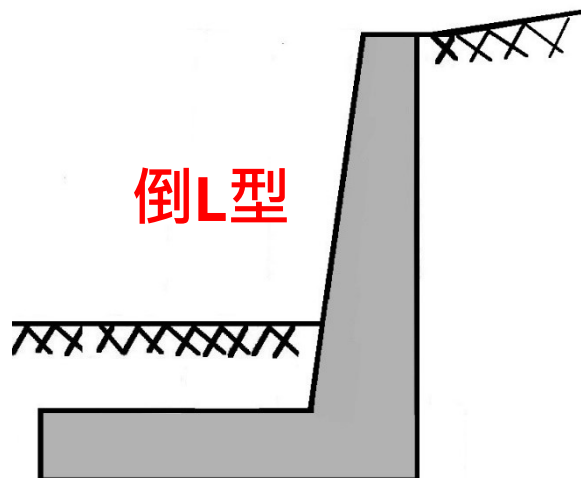
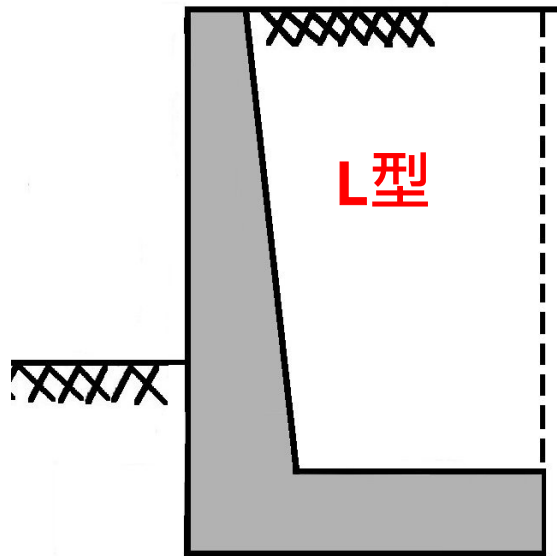


表一·擋土牆各部尺寸

擋土牆 總高	擋土牆 牆身高	底板厚度	覆土坡高	底板寬度				止滑樁	
				趾版寬度 E (cm)	牆身底寬 F (cm)	踵版寬度 G (cm)	底板總寬 T (cm)	尺寸 R,P (cm)	位置 Q (cm)
4.70	4.0	70	0	60	65	175	300	40	120
5.25	4.5	75	0	65	70	190	325	40	150
5.85	5.0	85	0	65	75	210	350	40	150
6.45	5.5	95	0	75	85	240	400	50	200
7.05	6.0	105	0	75	90	285	450	50	200
7.60	6.5	110	0	85	100	315	500	60	250
8.15	7.0	115	0	85	105	360	550	60	250
8.70	7.5	120	0	95	115	390	600	60	350
9.25	8.0	125	0	95	120	435	650	60	350
9.95	8.5	145	0	105	130	515	750	70	350
10.50	9.0	150	0	105	135	560	800	70	350

- 牆身拉力側主筋應依不同高度分析其應力，據以配置鋼筋量，牆高較大時至少分為2個斷面或3個斷面(如左圖編號⑥、⑦號鋼筋)。

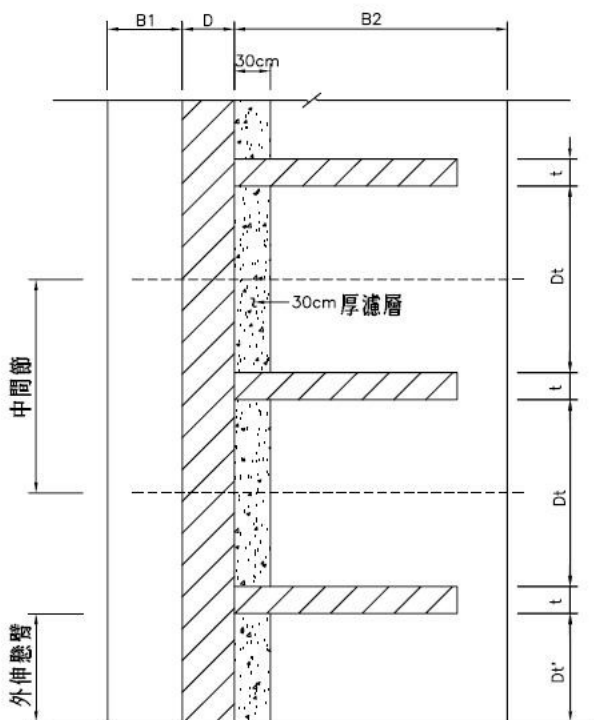
L型擋土牆



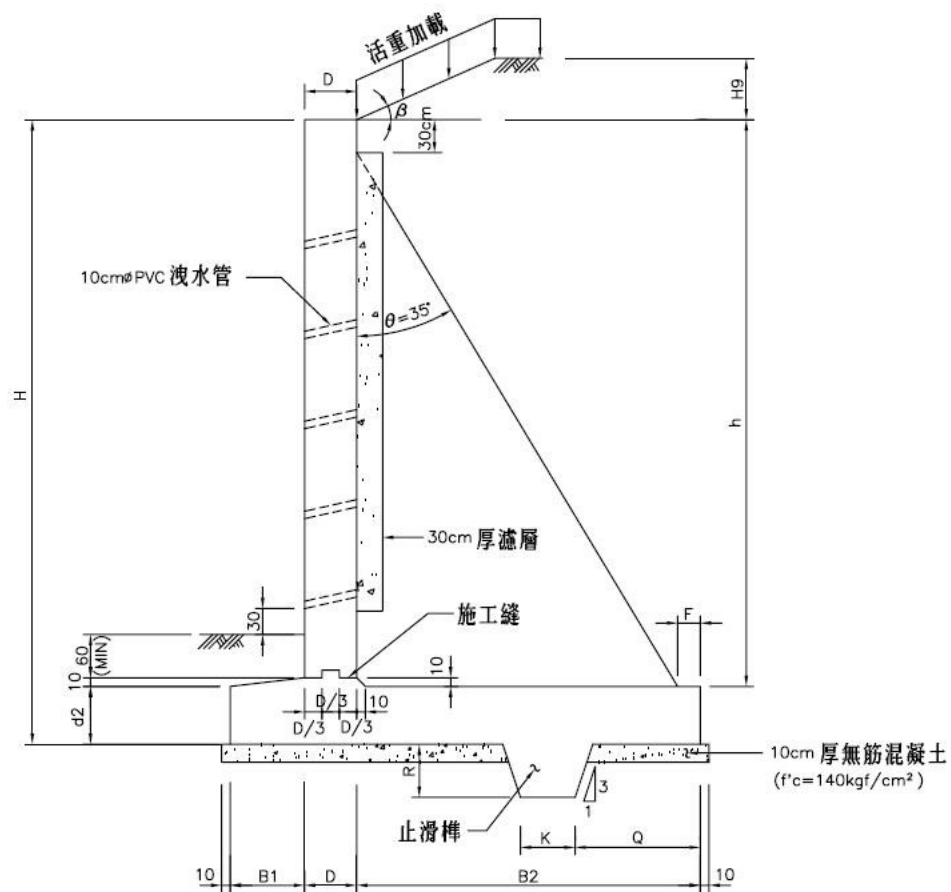
- L型擋土牆係擋土牆接近用地境界，無法設趾版時採用。
- 倒L型擋土牆係背牆有結構物，無法設置踵版時採用。
- 倒L型擋土牆無法利用背填土求擋土牆之穩定，因此須考慮較深之入土及較大之底版長度及厚度。
- 倒L型擋土牆比L型擋土牆較不經濟。
- L型擋土牆趾端基底土壤承受之壓應力較大，應注意基底土壤之承載力是否O.K。

扶壁式擋土牆

■ 平面及斷面參考(公路總局標準圖R-009)

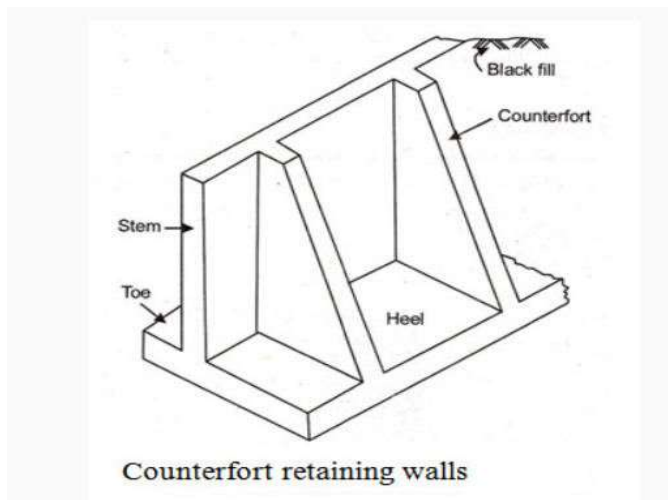


平面圖



斷面圖

扶壁式擋土牆



● 部位名稱

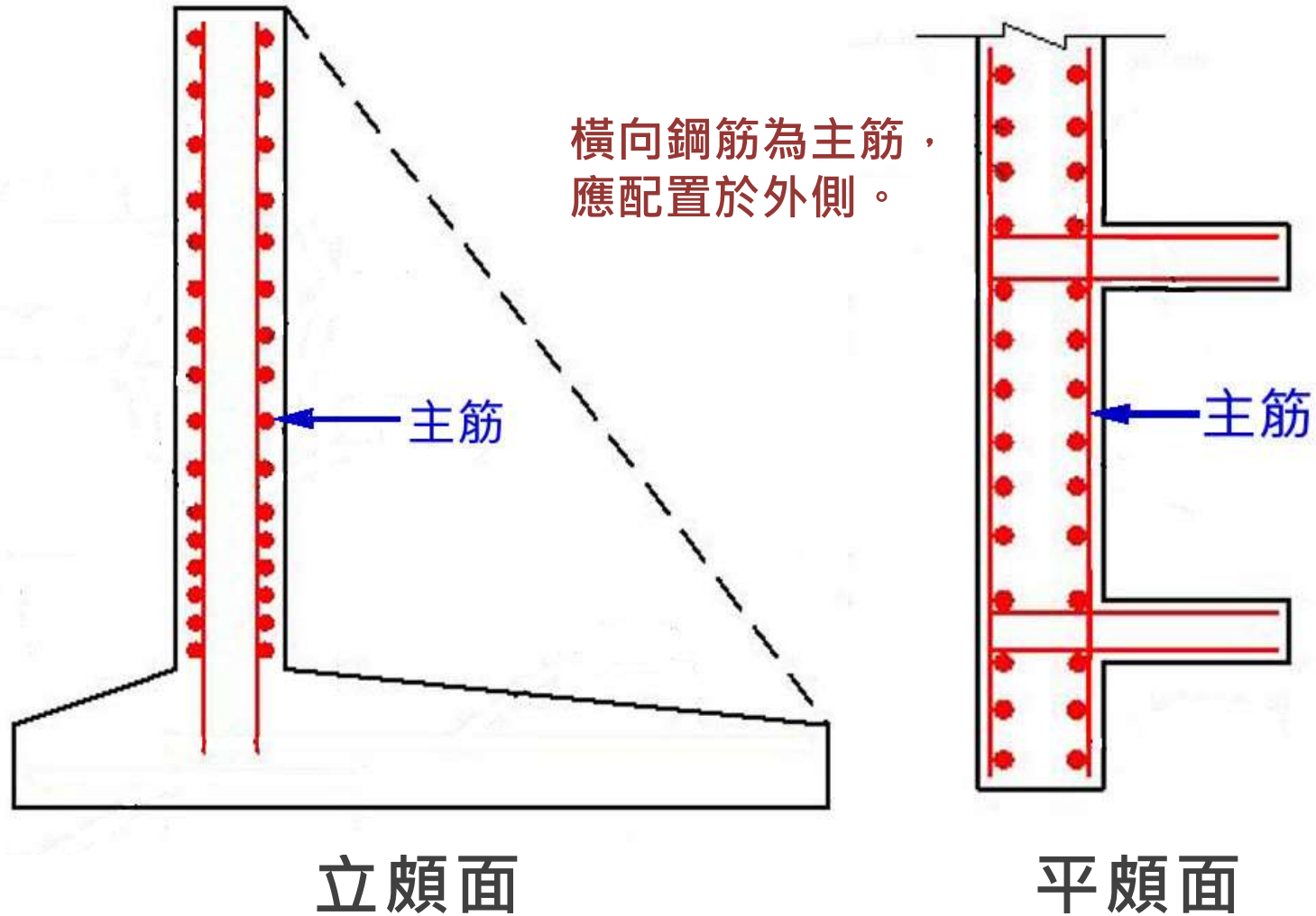
內跨、端跨(懸臂跨)

趾版、底版

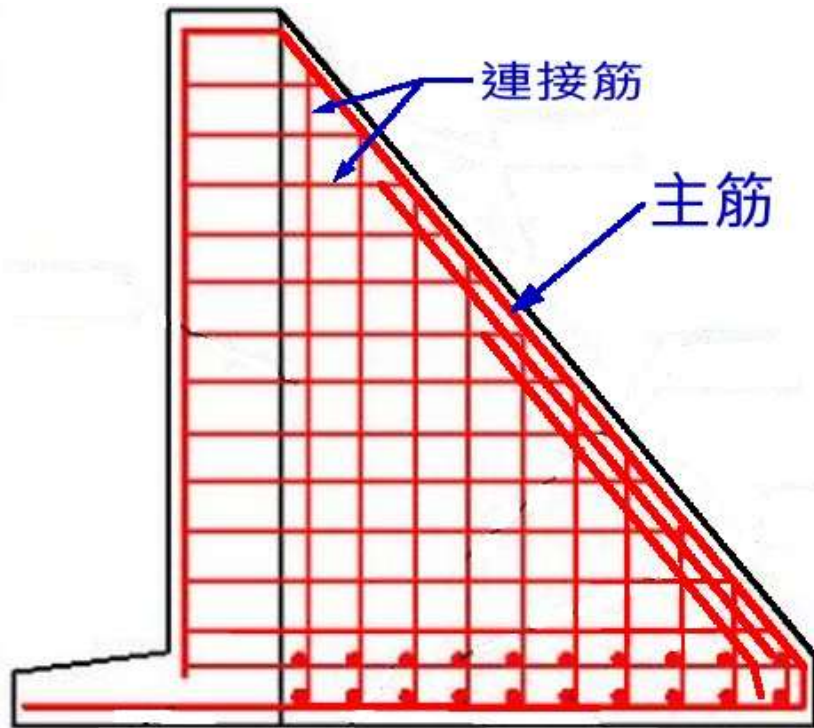
垂直壁、扶壁

- 趾版：趾版為懸臂版，斷面應力計算同懸臂式擋土牆。
- 底版：為有三邊支承支版構件，亦可視為連續梁計算。
- 垂直壁：視為連續梁計算斷面應力。
正彎矩 = $1/12 w \ell^2$ ，負彎矩 = $1/10 w \ell^2$ 。
剪力 = $1/2 w \ell$ 。
- 扶壁：以T行梁計算配置主筋

扶壁式擋土牆(垂直壁鋼筋配置)

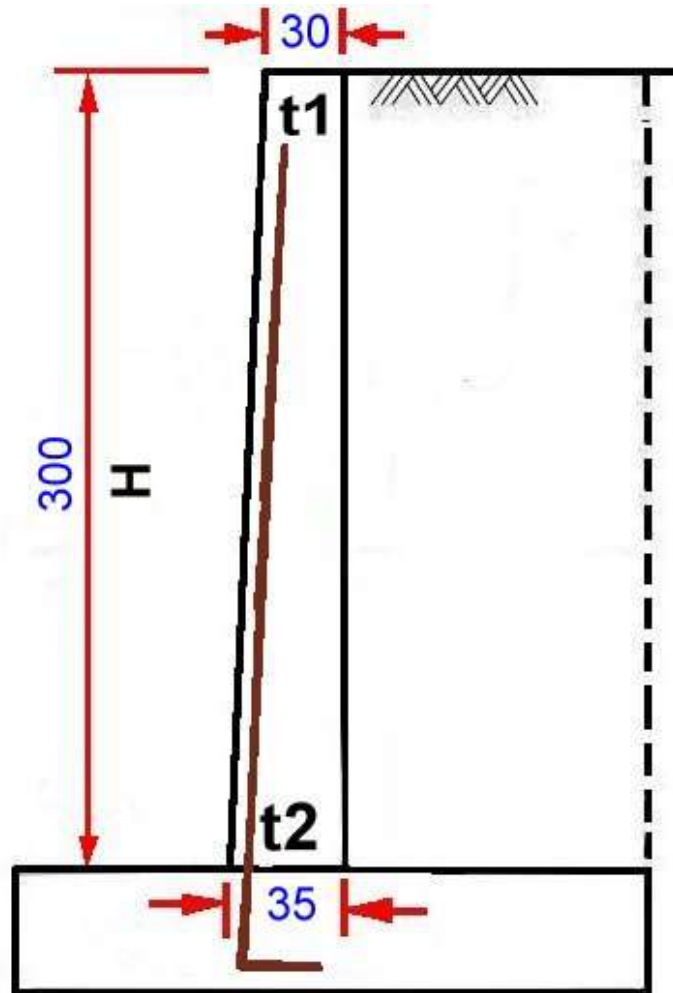


扶壁式擋土牆(扶壁鋼筋配置)



- 抗拉斜主筋在扶壁外側。
- 壁版主筋為水平連接筋，配置於外側，鋼筋量可由下端往上端遞減。
- 水平及垂直連接筋，將面牆及底板作有效之錨碇，此等連接筋應儘可能錨碇於靠近面牆之外面及底板之底面。

擋土牆溫度鋼筋配置



- 混凝土之壓力側理論上不需要配置鋼筋，惟為防止因混凝土收縮產生裂縫，應配置溫度鋼筋。
- 最少溫度鋼筋量為斷面面積之0.002。
- 公路橋梁設計規範
對未配置鋼筋之暴露面處，應配置縱、橫向鋼筋總面積至少各為 $2.7\text{cm}^2/\text{m}$ ，以抵抗因溫度變化或乾縮所產生之裂縫。

○ 計算例

斷面尺寸 $t_1=30\text{cm}$ ， $t_2=35\text{cm}$ ， $H=300\text{cm}$ 。

$$\begin{aligned}\text{溫度鋼筋量} &= (30+35)/2 \times 300 \times 0.002 \\ &= 19.5 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

使用#4鋼筋， $A_s = 1.267\text{cm}^2$

$$\text{需要鋼筋支數} = 19.5/1.267 = 15.39$$

$$\text{鋼筋間距} = 300/16 = 18.75\text{cm}$$

Use #4@18cm

擋土牆排水

- 工程會施工綱要規範第02830章(V4.0)

所有擋土牆應設置洩水孔，其形式大小位置除設計圖另有規定者外，需用內徑**10cm**塑膠管為之，洩水孔之位置約以**1.5m**之間隔上下交錯整齊排列，至少每**2m²**設**1**支，其最小坡度採用**1：10**，洩水孔之進口處應堆放透水材料，透水材料至少**30cm**厚。

- 水土保持技術規範第121條(112.05.04修訂)

非透水性之擋土牆，應設直徑五公分以上之排水孔，**每二平方公尺至少一孔**，並應有防止阻塞之設施。在滲透水量多或地下水位高之地區，則應增加排水孔及在牆後設置特別排水設施。

- 公路總局標準圖

10cm ϕ 洩水孔，山地區域每**2m²**設一道，平地區域每**4m²**設一道。

擋土牆排水(PVC洩水管)



- PVC洩水管若管厚過薄，容易受擠壓變形，建議設計時應規定最小管厚(3.1mm以上)。
- 建議洩水管管徑(內徑)使用10cm(4"φ)。
- 設計圖應標示洩水坡度1:10以上。

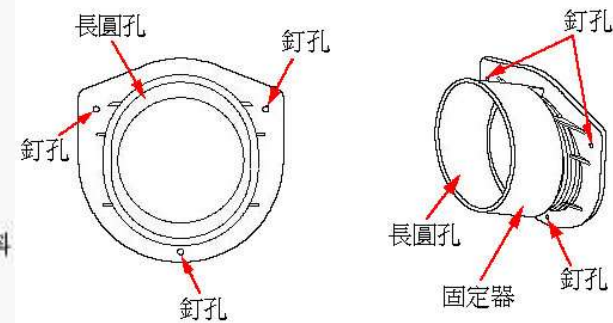
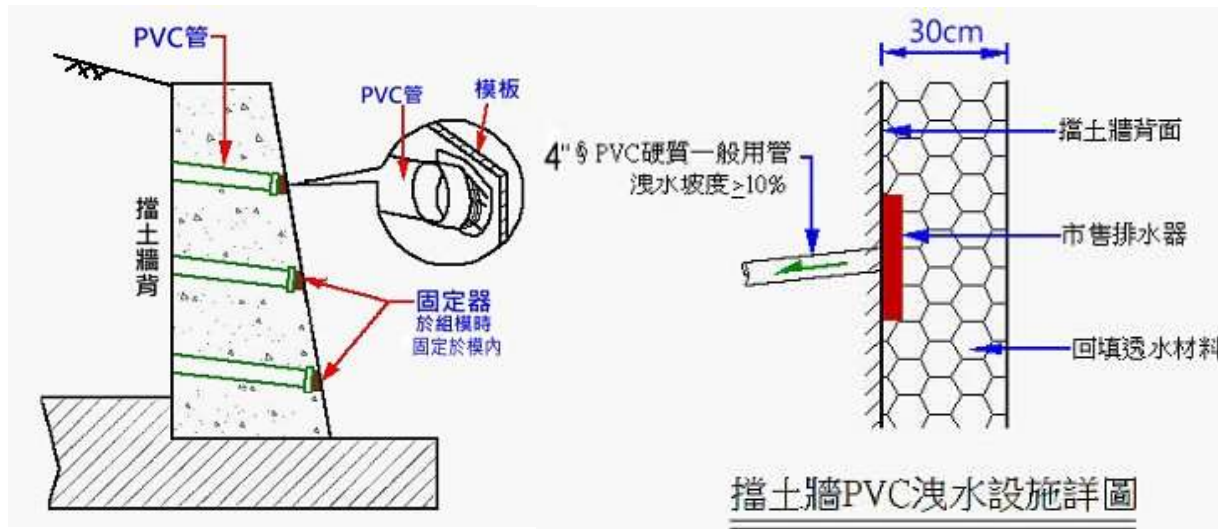
一般硬質管參考(CNS 1298)



最小管厚	2" (5cm)	3" (7.5cm)	4" (10cm)
A管(薄管)	1.8mm	2.7mm	3.1mm
B管(厚管)	4.1mm	5.1mm	6.6mm

擋土牆排水(PVC洩水管)

- 施工時PVC洩水管應依設計圖說位置固定於模板內，模板有斜度時，PVC管之裁切經常無法與模板密合，混凝土澆置時易讓混凝土流入管內。
- 建議設計時考慮編列PVC洩水管固定器費用，固定器可調整PVC洩水管斜度，PVC管不易脫落，且模板拆除後外觀整齊美觀。



洩水管固定器示意

擋土牆排水(PVC洩水管)

● 洩水管固定器應用實例



擋土牆排水(透水材料)

●工程會施工綱要規範第02319章(V5.0)選擇性回填材料

透水材料應為潔淨、堅硬耐磨之砂、礫石、碎石、卵石或再生粒料，不得含有機物、黏土塊等之有害物質。

●透水材料及配規定

於設計圖說或特訂條款應指定透水材料之類型，否則即按下列第1類型供應。

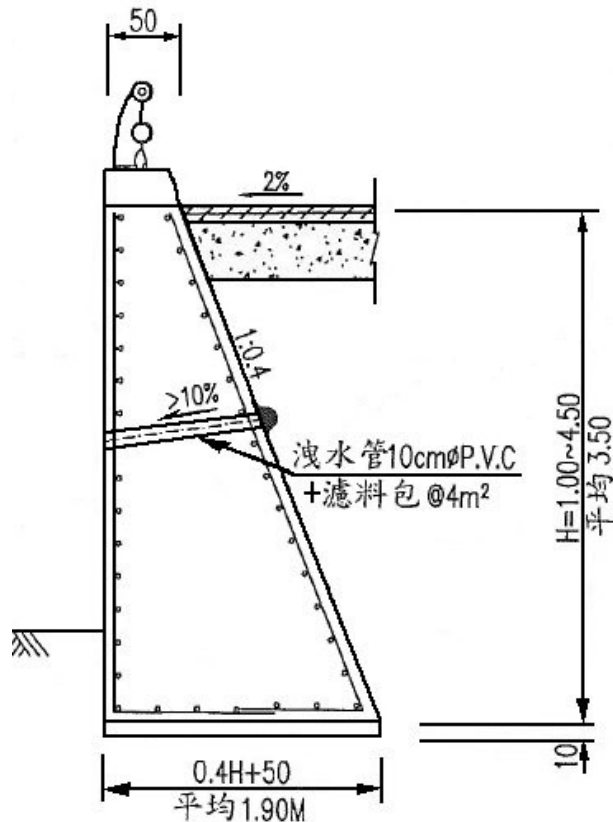
通過百分率 (%)			
篩號	類型1	類型2	類型3
2" (50.0mm)	100	-	-
1 1/2" (37.5mm)	95 ~ 100	100	-
3/4" (19.0mm)	50 ~ 100	90 ~ 100	100
1/2" (12.5mm)	-	40 ~ 100	95 ~ 100
3/8" (9.5mm)	15 ~ 55	25 ~ 40	70 ~ 100
No.4 (4.75mm)	0 ~ 25	18 ~ 33	0 ~ 55
No 8 (2.36mm)	0 ~ 5	5 ~ 15	0 ~ 10
No.200 (0.075mm)	0 ~ 3	0 ~ 3	0 ~ 3

擋土牆排水(透水材料)

- 回填30cm厚之透水材料施工上有其難度，因此在設計及施工上可採用用礫石包堆疊的方式，以尼龍網袋內裝透水材料，可以配合牆背土壤回填整齊堆疊，施工容易且透水效果極佳。



擋土牆排水(透水材料)



- 常見設計缺失：
 - 牆背無透水層
 - PVC管未規定管厚
 - PVC洩水管設置密度不足
 - 牆背土壤回填之滾壓夯實未有明確規定
- 透水濾料包為常用之設計手法，惟濾料包有一定之重量，往往會有下垂現象，固定不易，且在回填土壤及滾壓過程中，往往會使濾料包脫落，效果不佳。
- 可配合集排水器使用

擋土牆施工縫及伸縮縫

- **工程會施工綱要規範第02830章(V4.0)**

混凝土砌牆面及混凝土擋土牆等，每隔10m應設一道垂直縮縫兼施工縫，每隔20m應設一道伸縮縫，其寬度至少為1.5cm構造及填縫材料等應依照設計圖之規定設置。

- **水土保持技術規範第121條(112.05.04修訂)**

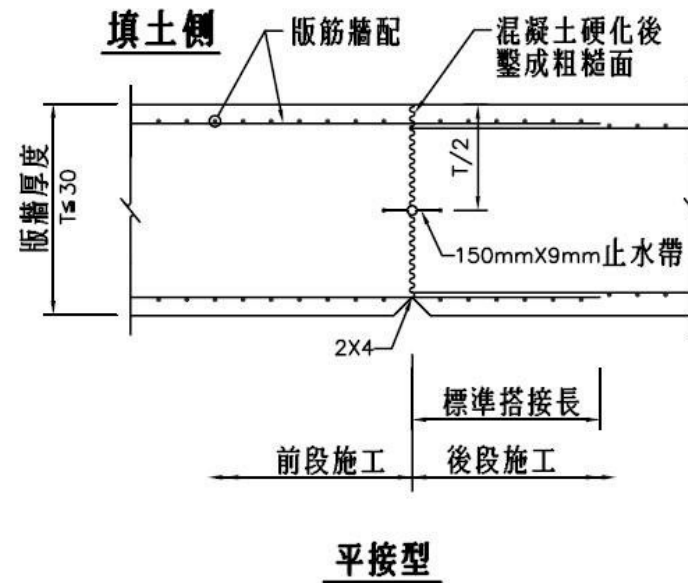
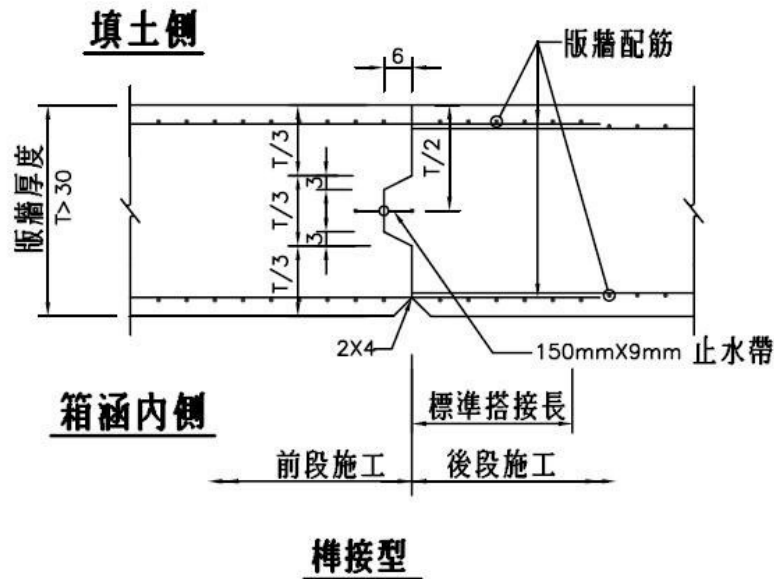
擋土牆長度每二十公尺至四十公尺應加設伸縮縫一處。

- **公路橋梁設計規範、及公路總局標準圖**

不論重力式或鋼筋混凝土擋土牆，至少每隔9m應設置一道收縮縫，每隔27m應設置一道伸縮縫。

擋土牆施工縫(收縫)

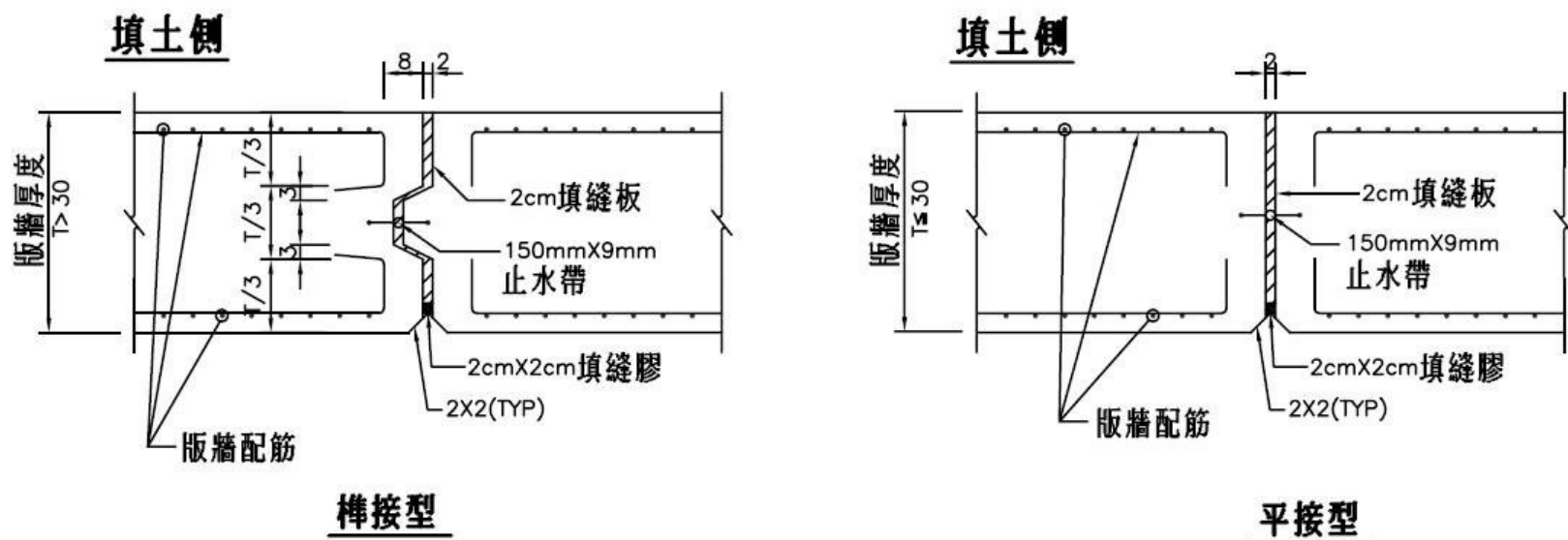
● 公路總局標準土D-001



版及牆施工縫參考詳圖

擋土牆伸縮縫

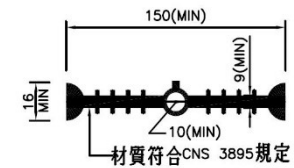
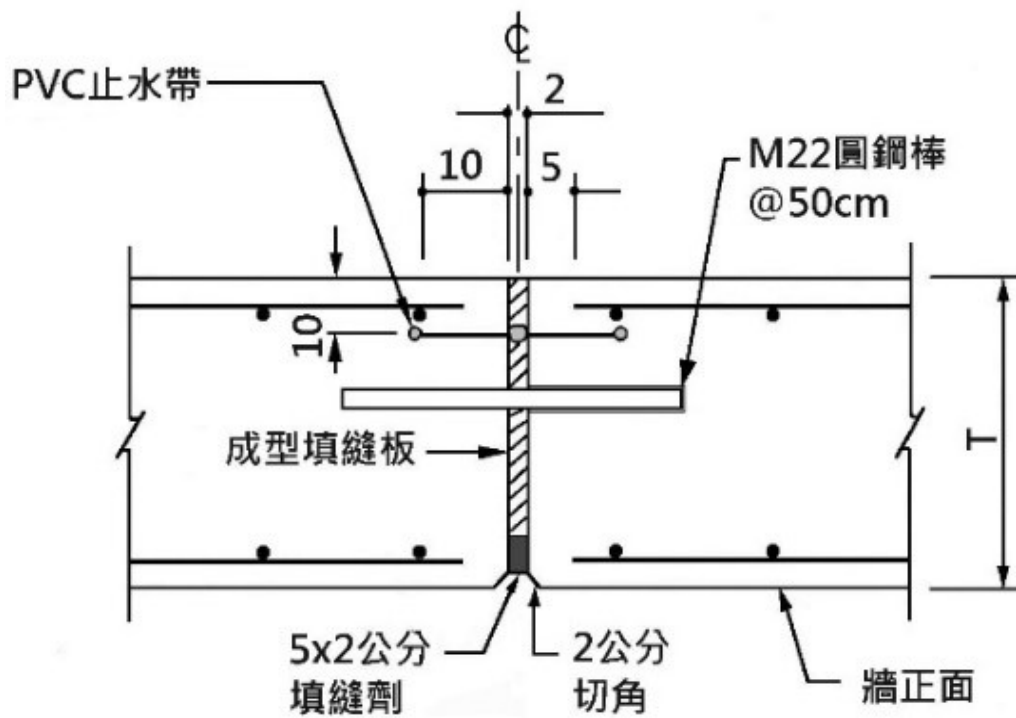
● 公路總局標準圖D-001



版及牆伸縮縫參考詳圖

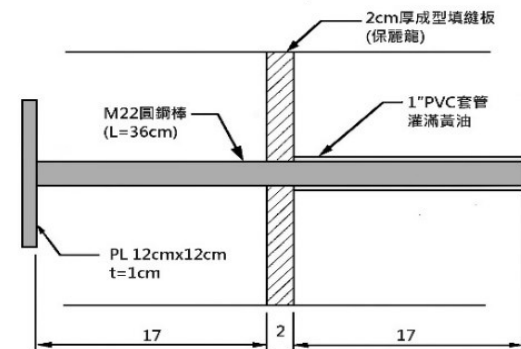
擋土牆伸縮縫(平接型)

● 平接型伸縮縫參考圖



150mmX9mm PVC 止水帶圖

NTS(單位: mm)



剪力鋼棒詳圖

擋土牆(牆背土壤回填)

工程會施工綱要規範第02317章構造物(V4.0)

- 不得含有污泥、樹根、草皮、腐植土、其他有害物質及不適用材料，應不含有任何最大粒徑在10cm以上之礫石或石塊。
- 瀝青混凝土挖(刨)除料及鈦鐵礦氯化爐渣軋製而成之級配料，其品質應符合「內政部營建事業再生利用之再生資源項目及規範」、「經濟部再生利用之再生資源項目及規範」之規定。
- 混凝土構造物周圍，至少應在澆置混凝土7日後，並經工程司同意後方可回填。
- 橋台、橋墩、擋土牆、箱涵、翼牆及端牆等周圍之回填，兩邊需同時進行，並使其高度大致相等。
- 填方及路堤區域內構造物回填，使用機械夯實時，每層實方厚度不得大於15cm，若構造物周圍之空間足夠小型壓路機施工時(不得使用高性能之振動壓路機施工)，則其每層壓實方厚度經工程司同意後可酌予增至20cm，每層壓實度，須符合以CNS 11777或CNS 11777-1試驗求所得最大乾密度之[95%][90%]以上。

擋土牆(牆背土壤回填)

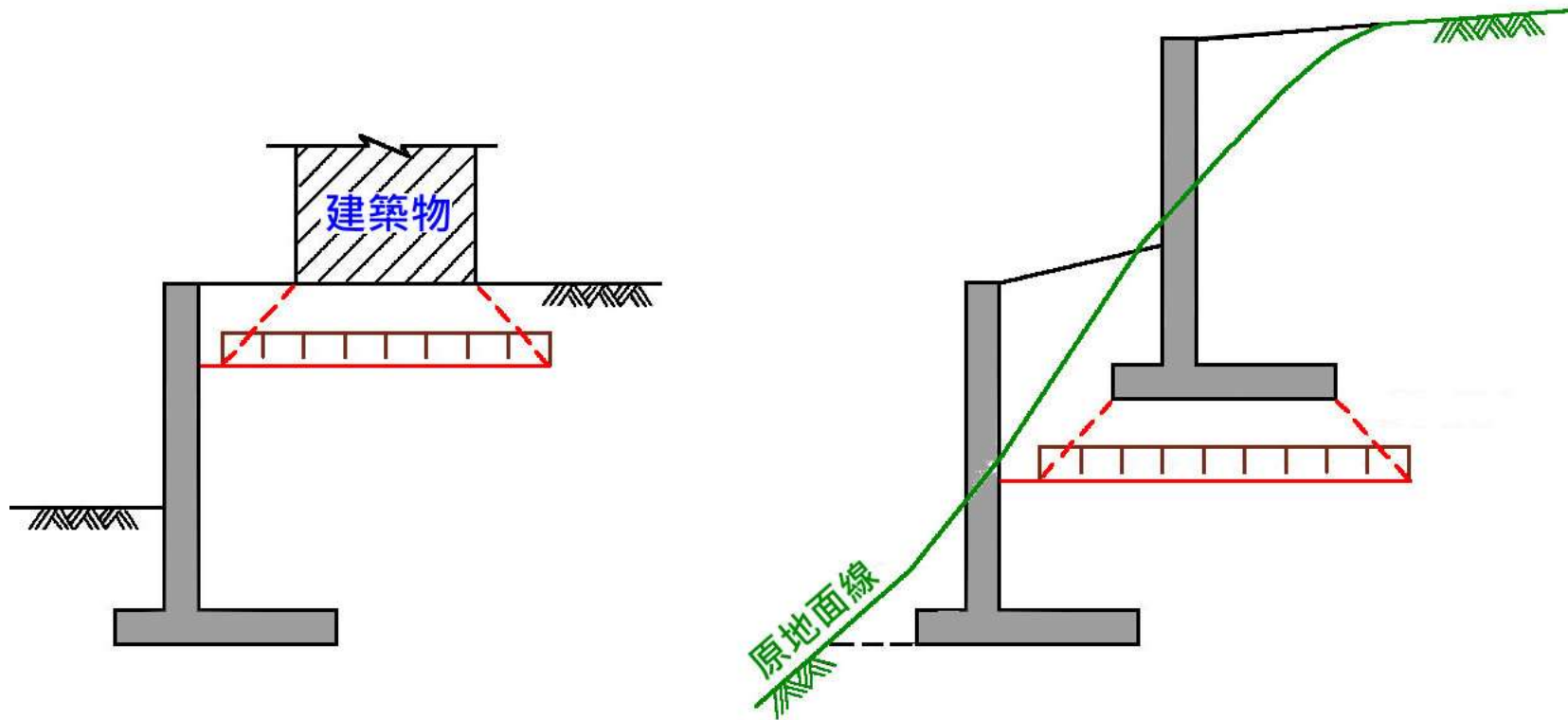


施工案例



擋土牆設計注意事項

- 擋土牆有分階段設置或擋土牆後方有建築物時，應考慮其構造載重傳遞給下方擋土牆之側壓力。



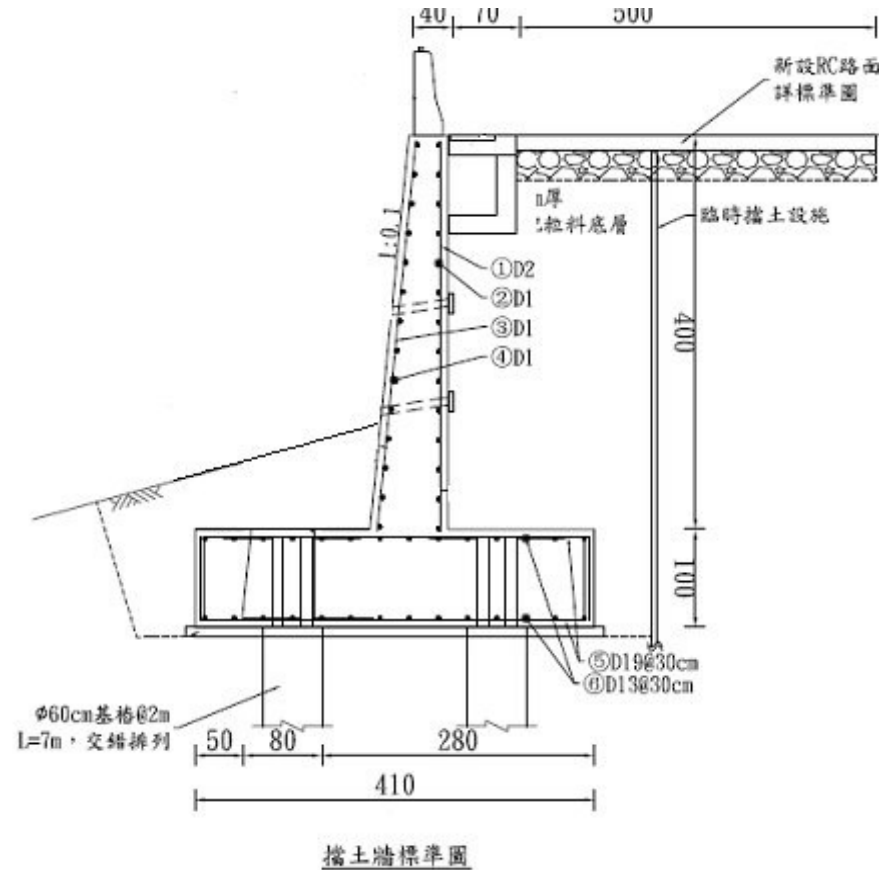
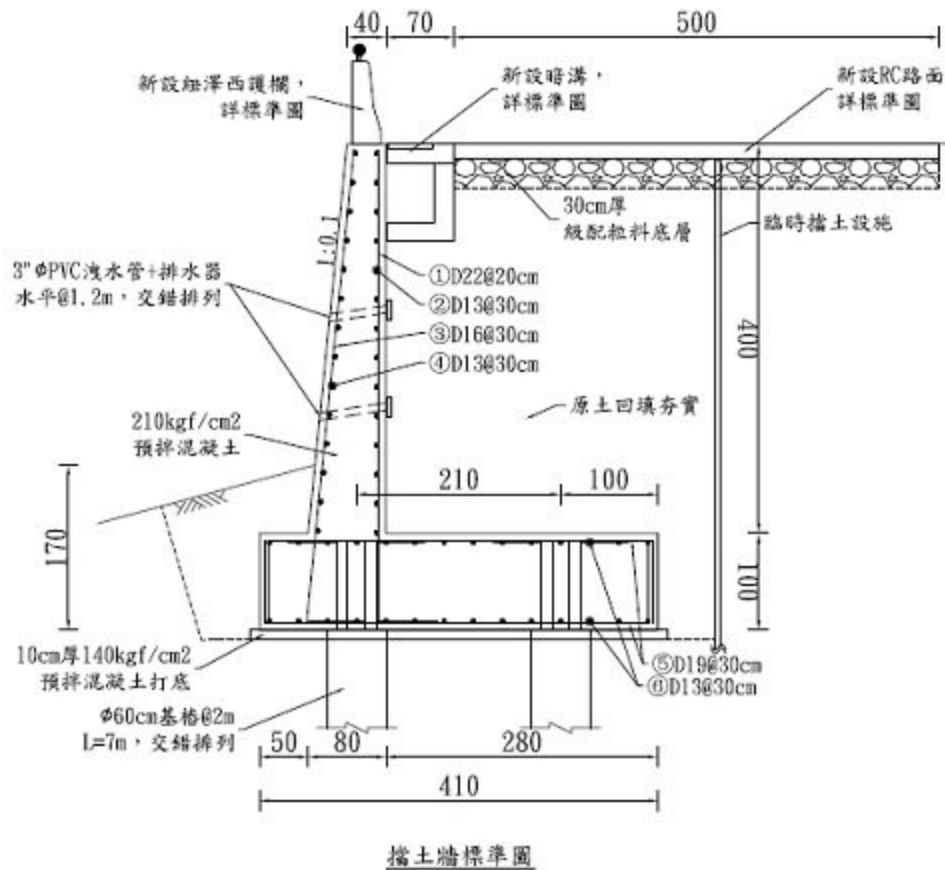
擋土牆設計注意事項(基樁配置)

- 擋土牆設置基樁時，應避免集中，應盡量拉開配置，方有較佳之效果



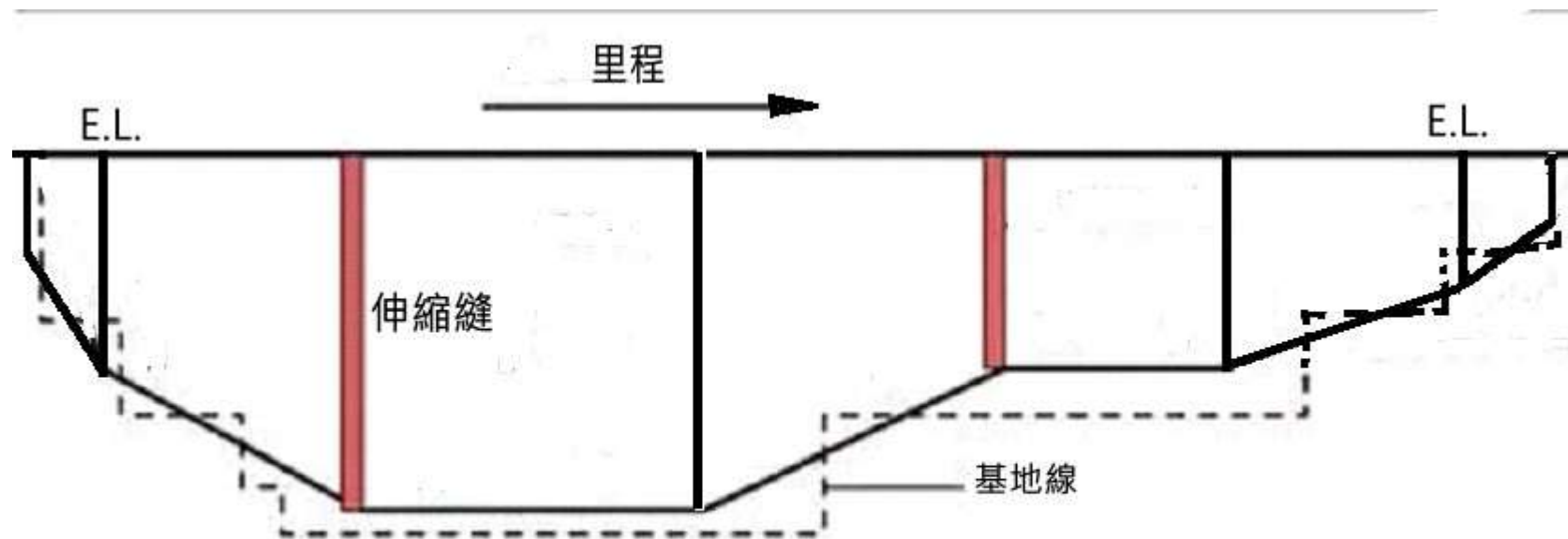
擋土牆設計注意事項(踵版長度比較)

- 有設基樁時減小踵版長度，增加趾版之長度，分析結果基樁所承受之承載力會減少很多。



擋土牆設計注意事項(展開圖)

- 擋土牆高度變化大且有不同型式之擋土牆時，應繪製擋土展開圖，標示擋土牆里程、牆頂及牆底高程、擋等土牆型式、伸縮縫位置等。



擋土牆展開示意圖

擋土牆設計注意事項(其他)

- 擋土牆基礎之開挖應視土質種況及邊坡穩定情形，必要時編列**臨時擋土設施**費用(鋼板樁、鋼軌樁擋土板等)，勿高估土壤之自立性
- 擋土牆之施工高度超過2公尺以上時，應編列**施工架**費用(營造安全衛生設施規則、營造安全衛生設施標準)。
- 新設擋土牆(或護坡)與既有擋土牆(或護坡)間應能銜接平順，牆面坡度不一致時應設計**坡度漸變段**。
- 新設擋土牆端部無結構物時，應設計側邊翼牆防止土壤流失。
- 設計時應調查既有排水流向，避免因施工後排水流向改變，導致鄰近區段發生沖蝕災害。
- 擋土牆牆身有排水管路(RCP或箱涵)穿越時，管路下游出口處應設計適當之**消能及防沖蝕**設施，牆身之開孔應設計補強筋。

擋土牆施工應注意事項(一)

- 擋土牆之放樣應確實(位置及基礎面高程應正確)，以避免完成後之牆高與設計圖說差異太大。
- 擋土牆開挖至設計圖說位置，若有地盤軟弱之情形時，應通知設計單位會勘，避免將來完工後結構體之沉陷。
- 擋土牆施工時之施工便道之位置應謹慎評估選擇，避免嚴重破壞原有地貌，影響其穩定性。
- 擋土牆施工開後之裸露坡面應予，避免遭受雨水沖刷流失。
- 擋土牆基礎應避免超挖後再回填，會影響基礎土壤承载力。施工時擋土牆端部應避免超挖，以免形成弱面易遭雨水沖蝕，若無法避免時，該缺口應以適當材料填補。
- 鋼筋在工廠裁切，其長度誤差應控制在 $\pm 25\text{mm}$ 內。

擋土牆施工注意事項(二)

- 部位鋼筋綁應注意保護層厚度及鋼筋間距正確性，保護層之誤差應控制在 $\pm 6\text{mm}$ 內，綁紮間距應控制在 $\pm 12\text{mm}$ 。
- 模板組立應能確保施工完成後擋土牆之線型平順，太過老舊之模板應予汰換，組模時模板間密合，期間隙應部大於 3mm ，避免漏漿。擋土牆模板組立應有側向支撐。
- 拆模後之模板應徹底清理表面殘留之混凝土渣，再度使用前應塗模板油。
- 模板組立完成後應檢視預埋構件(如PVC洩水管)是否依正確位置固定，應再檢視鋼筋是否有偏移，是否有穩固固定，鋼筋保護層厚度是否正確。
- 牆身有仰斜情形時，拆模時應評估擋土牆之穩定性，避免拆模時結構體傾倒，造成施工人員之傷害。

擋土牆施工注意事項(三)

- 擋土牆混凝土澆置施工時，工程師或工地主任應在現場督導，並隨時注意鋼筋是否移位。
- 擋土牆分層施工時，上層模板組立前應先下層混凝土表面及鋼筋殘留之**混凝土渣**清理乾淨。上層模板之組立應延續下層之斜度，以確保予設計圖說相符。
- 混凝土澆置完成後應檢視混凝土完成面，是否有蜂窩、裂縫、冷縫，發現有缺失時應依施工規範規定步驟修復。
- 混凝土完成面殘留之鐵線應予剪除。另應再檢視洩水管有無變形、移位(洩水坡度不足)、阻塞或混凝土漿殘留等。
- 應確認牆背透水材料之施工方式。牆背回填土滾壓施工時應維持適當含水量。

擋土牆施工注意事項(三)

- 擋土牆混凝土澆置施工時，工程師或工地主任應在現場督導，並隨時注意鋼筋是否移位。
- 擋土牆分層施工時，上層模板組立前應先下層混凝土表面及鋼筋殘留之**混凝土渣**清理乾淨。上層模板之組立應延續下層之斜度，以確保予設計圖說相符。
- 混凝土澆置完成後應檢視混凝土完成面，是否有蜂窩、裂縫、冷縫，發現有缺失時應依施工規範規定步驟修復。
- 混凝土完成面殘留之鐵線應予剪除。另應再檢視洩水管有無變形、移位(洩水坡度不足)、阻塞或混凝土漿殘留等。
- 應確認牆背透水材料之施工方式。牆背回填土滾壓施工時應維持適當含水量。

混凝土路面設計實務

應用範圍

- 農路設計規範
 - 山坡上之四級農路
 - 道路縱波大於百分之十
 - 路面排水欠佳
 - 路基軟弱陰濕
- 市區
 - 巷道
 - 停車廠

混凝土路面(厚度及混凝土強度)

● 農路設計規範

- (1) 水泥混凝土路面設計厚度，為**15公分**以上，並加鋪鋼筋或鋼線網。
- (2) 水泥混凝土路面之混凝土28天圓柱式體之抗壓強度混不得低於 350kgf/cm^2 。另因應高山偏遠地區運輸困難，得使用 280kgf/cm^2 之水泥混凝土。水泥混凝土路面設計厚度達**18公分**（含）以上，得使用 210kgf/cm^2 之水泥混凝土。

● 市區道路附屬設施設計規範

- (1) 厚度依AASHTO設計法(一般使用**10~15cm**)。
- (2) 混凝土28天抗彎強度不得低於 45kgf/cm^2
(一般使用抗壓強度 210kgf/cm^2)

混凝土路面(鋼筋量)

● 農路設計規範

- (1) 有筋水泥混凝土鋼筋用量為**3.0至4.0kg / m²**，間距不得大於三十五公分。
- (2) 得採用鋼線網設計，但鋼線直徑不得小於六公厘，間距不得大於十五公分。



混凝土路面(銲接鋼線網規格)

● CNS 6919 G3132 (Welded steel wire fabrics)

降伏強度：400N/mm² (4080kgf/cm²)以上

抗拉強度：490N/mm² (5000kgf/cm²)以上

銲接點剪斷強度：150N/mm² (1530kgf/cm²)以上

伸長率：8%以上



● 常用規格

線徑：6mm

網格：7.5cm x 7.5cm

10cm x 10cm

15cm x 15cm

20cm x 20cm

混凝土路面(接縫)

● 混凝土鋪面接縫型式

縮縫：其佈設目的為解除混凝土路面因溫度、濕度與摩擦力等所產生之張應力，並控制裂縫位置而設計者

施工縫：為利於施工而佈設者通常以車道寬或施工機具之施工條件而定

伸縫：考量路面長期性伸脹與壓應力而設計者，以避免路面之挫曲破壞

● 農路設計規範

路面**伸縮縫**其間隔不得大於八公尺。

● 市區道路附屬

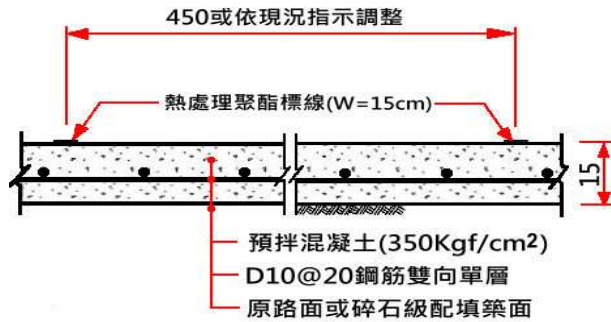
縮縫間距不得大於版厚之**24**倍版厚。

伸縫設置於鄰接結構物、路面形式變更或道路交叉處。

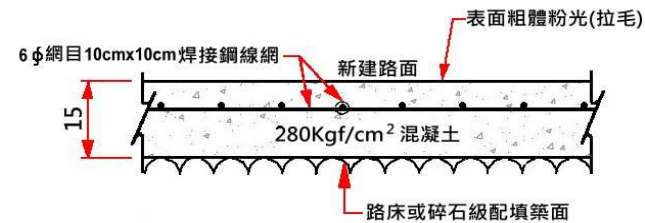
縱向施工縫設置於車道邊緣，以避免路面之不平順及荷重傳遞問題，**橫向施工縫**則以配合每日施工結果而佈設。

混凝土路面(設計斷面參考)

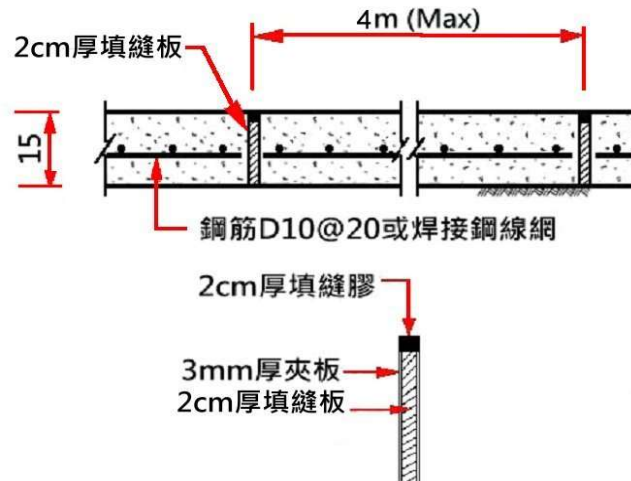
Type A(配置鋼筋)



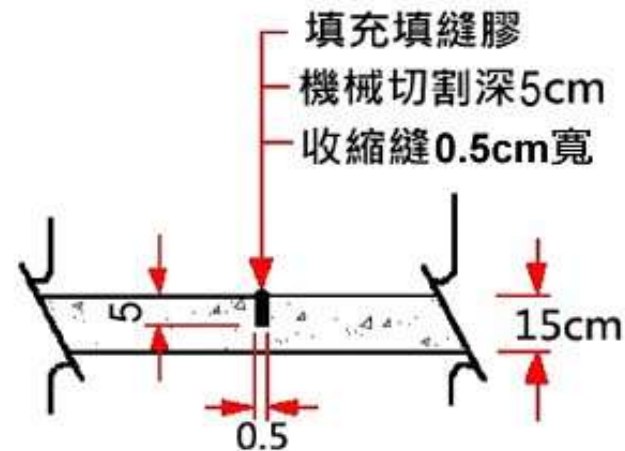
Type B(配置鐸接鋼線網)



伸縮縫



收縮縫



混凝土路面(常見裂縫)



混凝土路面(常見裂縫)



混凝土路面(常見裂縫)



混凝土路面(常見裂縫)

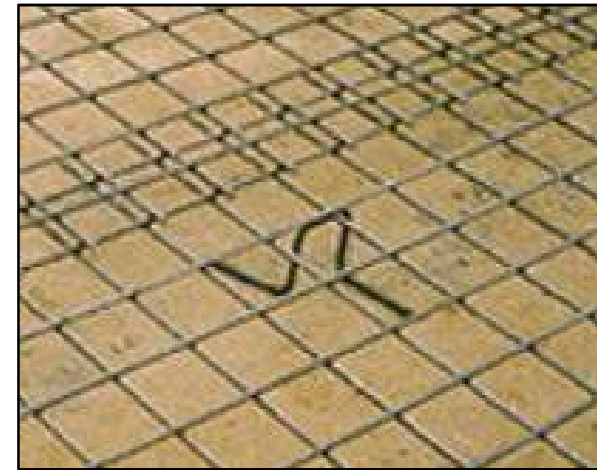


混凝土路面施工要領(路基整修及模板)

- 安裝鋪面模板前，級配粒料基層或底層路基面之形狀、坡度及斷面應依照契約設計圖予以整修。
- 模板應牢固地固定於路基面上，其固定間距不得大於**150cm**。
- 模板組立與支撐應使完成後之鋪面邊緣與契約圖說所示線型及坡度，許可差應控制在**3mm**內。
- 模板應待混凝土完全硬化，足以防止已完成之鋪面邊緣受損時才可拆除，在任何情況下混凝土澆置後**12**小時內不得拆模。
- 模板在使用前應徹底清除乾淨，並塗抹經核之模板油。

混凝土路面施工要領(焊接鋼線網)

- 銲接鋼線網，應按施工圖所示位置，正確妥善安置並固定，使在澆置混凝土時無位移情事。
- 支持銲接鋼線網避免與模板面接觸之墊塊，須採用預製之1：1水泥砂漿塊或其他適用之代用品，採用金屬品之墊座亦可。
- 銲接鋼線網疊部分之搭接，竹節銲接鋼線網之搭接長度不得少於**20cm**，光面銲接鋼線網搭接長度不得少於**1個網格之寬度**或**5cm**，亦不得少於**15cm**。
- 重疊接頭處，須緊連捆紮使與鄰接之網片連成一均勻之平面。邊緣及末端應緊密固定。



混凝土路面施工要領(整體粉光)

- 混凝土澆置與搗實整平之後，立即使用動力修面機械進行整體粉光。
- 機械粉光無法施工的地方可使用手工修平。
- 隨打粉光(手工)之效果較差，設計時應編列機械整體粉光之費用。
- 一搬而言，鋪面外側邊緣應使修編工具磨成半徑12mm之弧角。
- 表面掃毛(拉毛)處理。
- 混凝土鋪面養護。

混凝土路面施工要領(收縮縫)

- 收縮縫之鋸縫應整齊、清潔、平直。
- 收縮縫之寬度及深度依設計圖說。縫寬一般約**0.5cm**，深度約**1/4~1/3版厚**。
- 鋸縫應於混凝土澆置後**8至24小時內**施作。
- 鋸縫完成後，應用水或空氣噴射或兩者兼具徹底清除鋸縫內之任何有害物質並予乾燥。
- 乾燥後之鋸縫應以填縫劑依照製造廠之使用說明予以填滿。
- 縱向縫可由相鄰版塊間之施工縫或鋸縫形成。

混凝土路面(施工)



混凝土路面(完工案例)



混凝土路面(完工案例)





簡報結束
敬請指教