

第 n 層破壞面與水平面呈 ζ_n 角，可依下式計算

$$\cot(\zeta_n - \beta) = \mp \tan(\phi_n \pm \delta \pm \varphi \mp \beta) + \sec(\phi_n \pm \delta \pm \varphi \mp \beta) \sqrt{\frac{\cos(\varphi + \delta) \sin(\phi_n \pm \delta)}{\cos(\varphi - \beta) \sin(\phi_n \mp \beta)}}$$

p_{n1} 、 p_{n2} ：作用於第 n 層壁面上端及下端的土壓強度 (kN/m^2)

w ：地表面上單位面積所受上載重 (kN/m^2)

ϕ_n ：第 n 層的內部摩擦角 ($^\circ$)

γ_i ：第 i 層土單位體積重量 (kN/m^3)

h_i ：第 i 層土垂直方向厚度 (m)

K_n ：第 n 層土壓係數

φ ：壁面與垂直面間角度 ($^\circ$)

β ：地表面與水平面間角度 ($^\circ$)

δ ：壁面摩擦角 ($^\circ$)

ζ_n ：第 n 層破壞面與水平面間角度 ($^\circ$)

2011 埃及尼羅河之旅

式中， \pm, \mp ，當為主動土壓時取上方，被動土壓時取下方。土壓作用方向為與水平呈 $(\varphi + \delta)$ 角度，各層都一樣。

② 土壓合力及作用位置

第 n 層地層內的土壓分佈為由上端 p_{n1} ，下端 p_{n2} 以直線連成的梯形分佈。土壓合力 P_n 、水平分力 P_{nH} 、垂直分力 P_{nV} 可依下式計算

$$P_n = \frac{p_{n1} + p_{n2}}{2} \frac{h_n}{\cos \varphi}$$

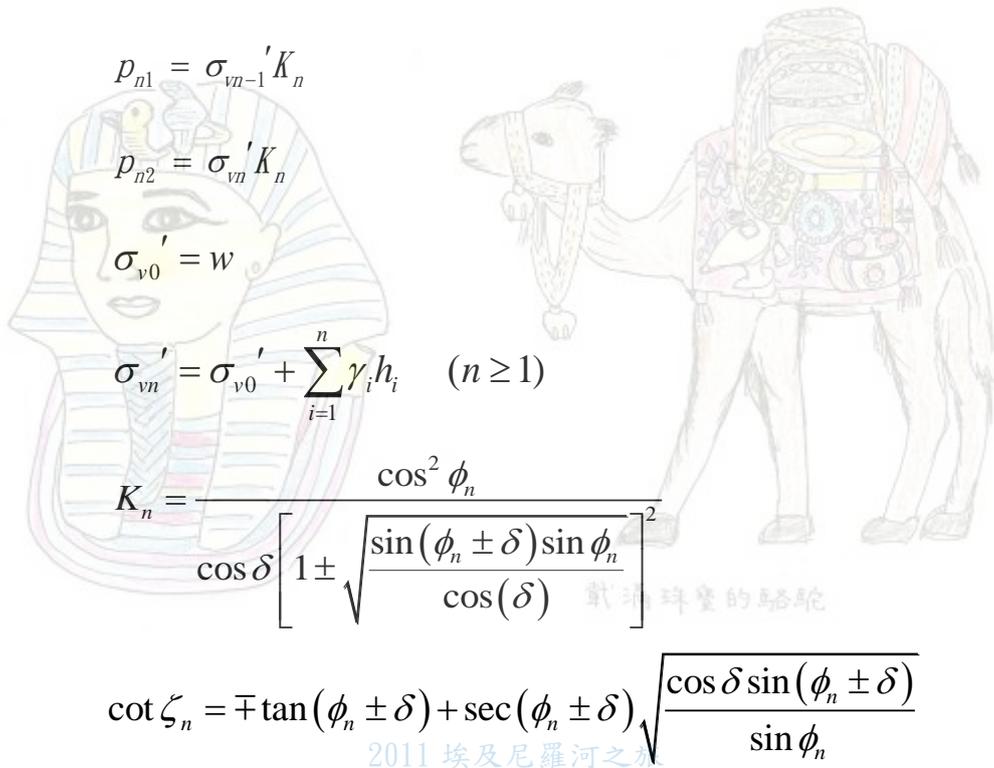
$$P_{nH} = P_n \cos(\varphi + \delta)$$

$$P_{nV} = P_n \sin(\varphi + \delta)$$

第 n 層下端至土壓合力 P_n 作用點的垂直距離為

$$H_n = \frac{2p_{n1} + p_{n2}}{3(p_{n1} + p_{n2})} h_n$$

③ 當地表面為水平、壁面為垂直時



$$p_{n1} = \sigma'_{vn-1} K_n$$

$$p_{n2} = \sigma'_{vn} K_n$$

$$\sigma'_{v0} = w$$

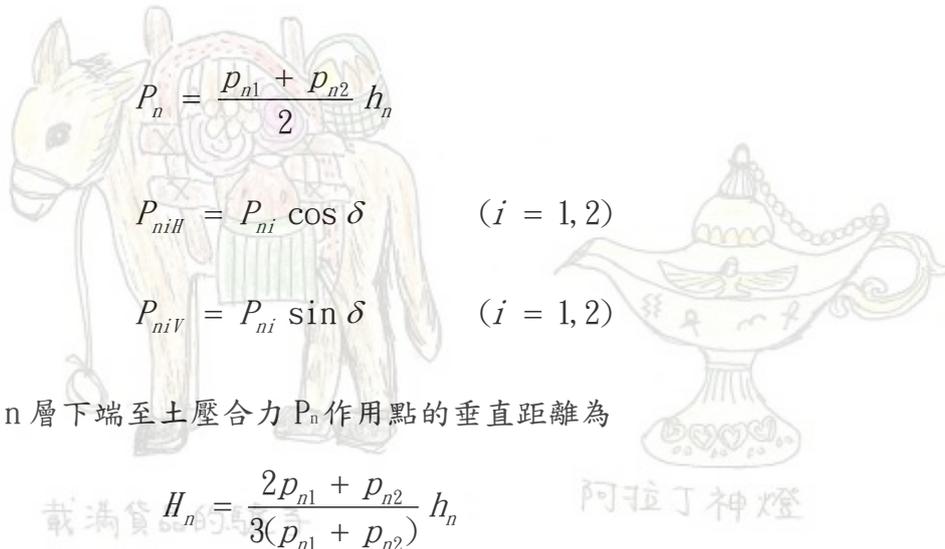
$$\sigma'_{vn} = \sigma'_{v0} + \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i \quad (n \geq 1)$$

$$K_n = \frac{\cos^2 \phi_n}{\cos \delta \left[1 \pm \sqrt{\frac{\sin(\phi_n \pm \delta) \sin \phi_n}{\cos(\delta)}} \right]^2}$$

$$\cot \zeta_n = \mp \tan(\phi_n \pm \delta) + \sec(\phi_n \pm \delta) \sqrt{\frac{\cos \delta \sin(\phi_n \pm \delta)}{\sin \phi_n}}$$

2011 埃及尼羅河之旅

第 n 層地層內的土壓分佈為由上端 p_{n1} ，下端 p_{n2} 以直線連成的梯形分佈。土壓合力 P_n 、水平分力 P_{nH} 、垂直分力 P_{nV} 可依下式計算



$$P_n = \frac{p_{n1} + p_{n2}}{2} h_n$$

$$P_{niH} = P_{ni} \cos \delta \quad (i = 1, 2)$$

$$P_{niV} = P_{ni} \sin \delta \quad (i = 1, 2)$$

第 n 層下端至土壓合力 P_n 作用點的垂直距離為

$$H_n = \frac{2p_{n1} + p_{n2}}{3(p_{n1} + p_{n2})} h_n$$

阿拉丁神燈

④ 決定土壤係數、單位體積重量及壁面摩擦角

Ⓐ 土壤內部摩擦角

利用土壤試驗結果或由標準貫穿試驗的 N 值及有效土覆蓋壓依下式計算

$$\phi = 25 + 3.2 \sqrt{\frac{100N}{70 + p_w}}$$

ϕ : 設計用砂質土的內部摩擦角($^{\circ}$)

N : 標準貫穿試驗的 N 值

p_w : 測定標準貫穿試驗的 N 值的有效土覆蓋壓(kN/m^2)

② 土壤單位體積重量

殘留水位以上用下式所示濕潤單位體積重量

$$\gamma_t = \frac{\rho_s + \frac{S_r}{100} e \rho_w}{1 + e} g = \frac{1 + \frac{\omega}{100} e}{1 + e} \rho_s g$$

殘留水位以下用下列水中單位體積重量

2011 埃及尼羅河之旅

$$\gamma' = \frac{\rho_s - \rho_w}{1 + e} g$$

ρ_w : 水密度(t/m^3)

g : 重力加速度(m/s^2)

土壤單位體積重量標準值在殘留水位以上是 18kN/m^3 ，殘留水位以下為 10kN/m^3 。

③ 壁面摩擦角

壁面摩擦角通常取 $\pm 15^{\circ}$

(2) 砂質土地震時土壓

載滿貨品的驢子

阿拉丁神燈

① 作用於第 n 層上端及下端壁面的地震時土壓，如同平時土壓，但第 n 層地層的土壓係數及破壞面與水平所呈角度如下列所示。

$$K_n = \frac{\cos^2(\phi_n \mp \varphi - \theta)}{\cos \theta \cos^2 \varphi \cos(\delta + \varphi \pm \theta) \left[1 \pm \sqrt{\frac{\sin(\phi_n \pm \delta) \sin(\phi_n \mp \beta - \theta)}{\cos(\delta + \varphi \pm \theta) \cos(\varphi - \beta)}} \right]^2}$$

$$\cot(\zeta_n - \beta) = \mp \tan(\phi_n \pm \delta \pm \varphi \mp \beta) + \sec(\phi_n \pm \delta \pm \varphi \mp \beta) \sqrt{\frac{\cos(\varphi + \delta \pm \theta) \sin(\phi_n \pm \delta)}{\cos(\varphi - \delta) \sin(\phi_n \mp \beta - \theta)}}$$

θ 是地震合成角，可依下列計算

$$\begin{aligned} \text{水面上地盤：} & \theta = \tan^{-1} k \\ \text{水面下地盤：} & \theta = \tan^{-1} k' \end{aligned} \quad (^\circ)$$

k 是空氣中震度， k' 是水中比(apparent)震度，可依下式計算。

$$k' = \frac{\gamma'_{t100} + 1}{\gamma'} = \frac{\gamma'_{t100}}{\gamma'_{t100} - 1} k$$

γ'_{t100} 表示 100%飽和的土單位體積重量。

對背填土，由於並非全部在水下，無法以上式計算。如下圖，對土塊的滑動面 A 及 B 可知其土壓差，其增分可視為以斜線部份表示上載重的 Δabc 土塊的土壓。地震力作用於上載重(忽略 Δabc 重量)，故比震度可以下式計算。

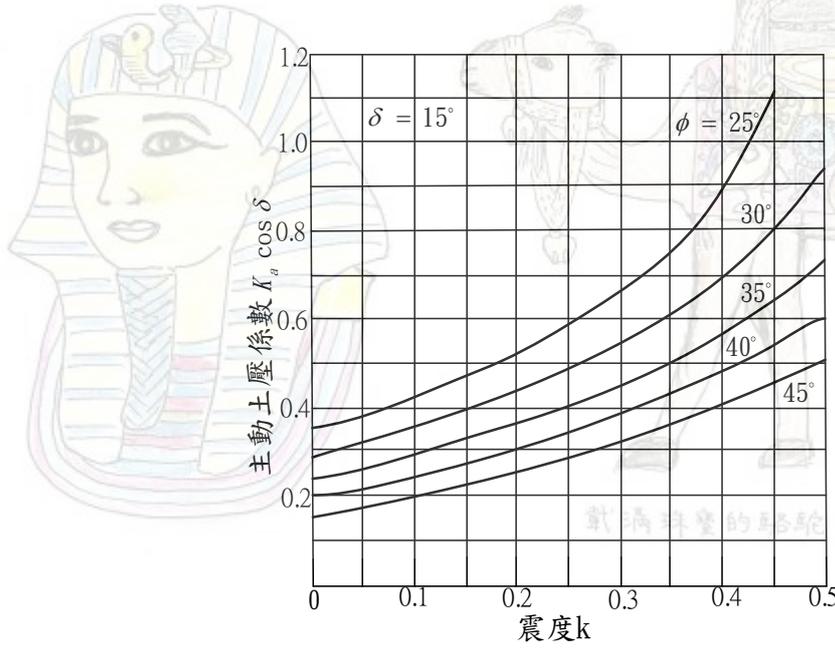
$$k' = \frac{(\sum \gamma h) + \gamma_w h_w + w}{(\sum \gamma h) + w} k$$

② 土壓合力及作用位置

地震時，第 n 層地層土壓合力 P_n 、水平分力 P_{nh} 、垂直分力 P_{nv} ，及作用位置，如同平時(1)所示。

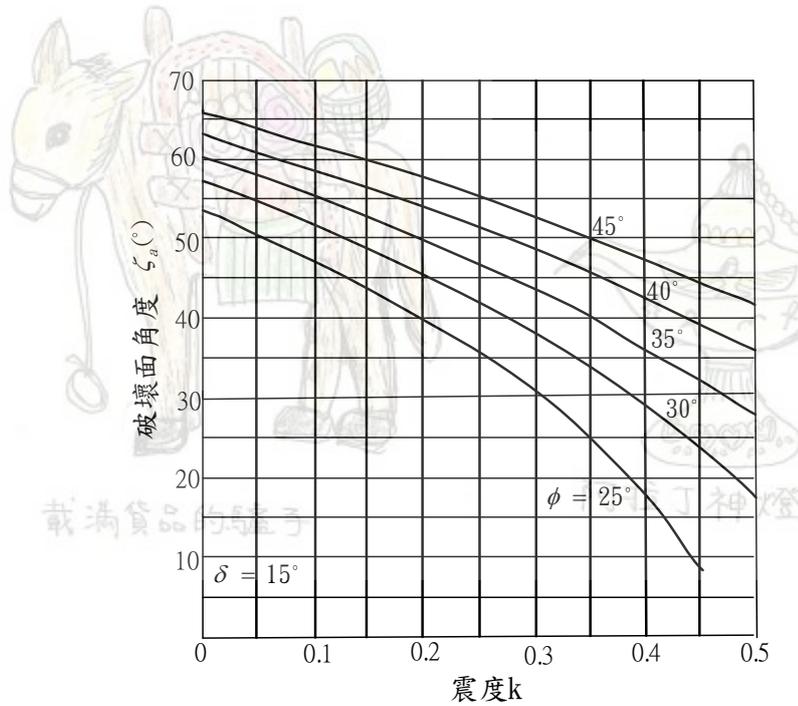
③ 土壓係數、破壞面傾斜角

下圖表示 $\beta=0$ ， $\varphi=0$ ， $\delta=15^\circ$ 時，對不同砂質土內部摩擦角 ϕ ，主動土壓係數與震度的關係。



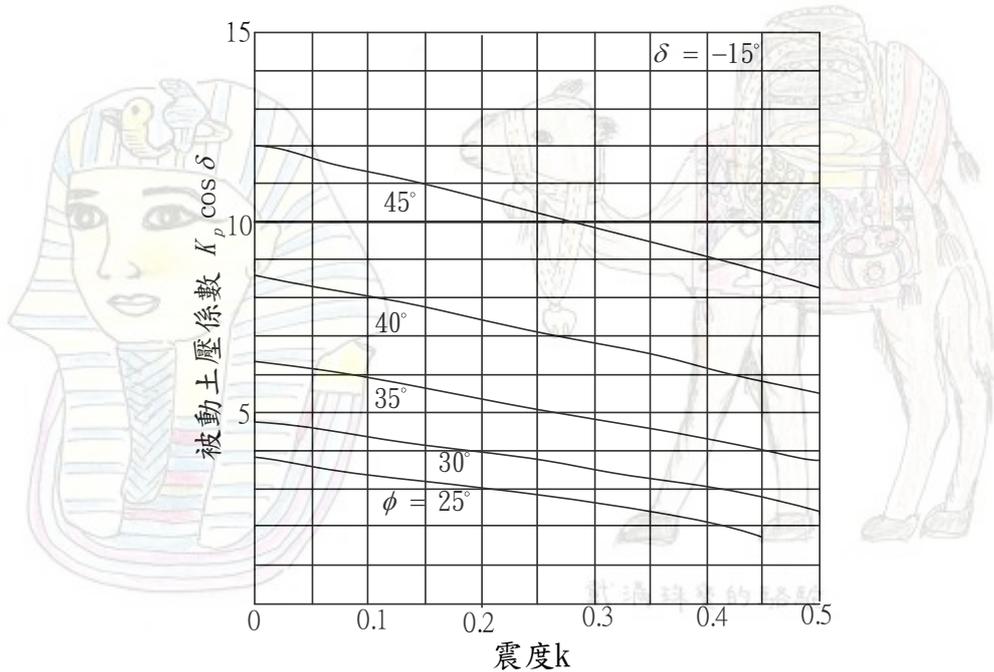
主動土壓係數與震度的關係 ($\beta=0$ ， $\varphi=0$ ， $\delta=15^\circ$)

下圖表示 $\beta=0$ ， $\varphi=0$ ， $\delta=15^\circ$ 時，對不同砂質土內部摩擦角 ϕ ，破壞面角度與震度的關係。



破壞面角度與震度關係 ($\beta=0$ ， $\varphi=0$ ， $\delta=15^\circ$)

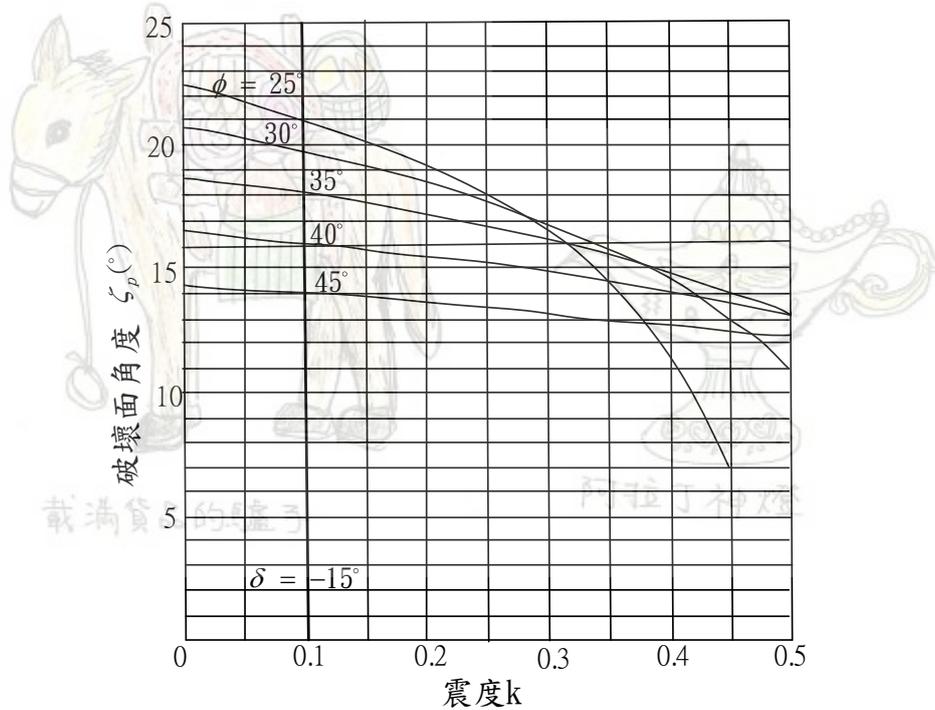
下圖表示 $\beta=0$ ， $\varphi=0$ ， $\delta=-15^\circ$ 時，對不同砂質土內部摩擦角 ϕ ，被動土壓係數與震度的關係。



被動土壓係數與震度的關係 ($\beta=0$ ， $\varphi=0$ ， $\delta=-15^\circ$)

2011 埃及尼羅河之旅

下圖表示 $\beta=0$ ， $\varphi=0$ ， $\delta=-15^\circ$ 時，對不同砂質土內部摩擦角 ϕ ，破壞面角度與震度的關係。



破壞面角度與震度關係 ($\beta=0$ ， $\varphi=0$ ， $\delta=-15^\circ$)

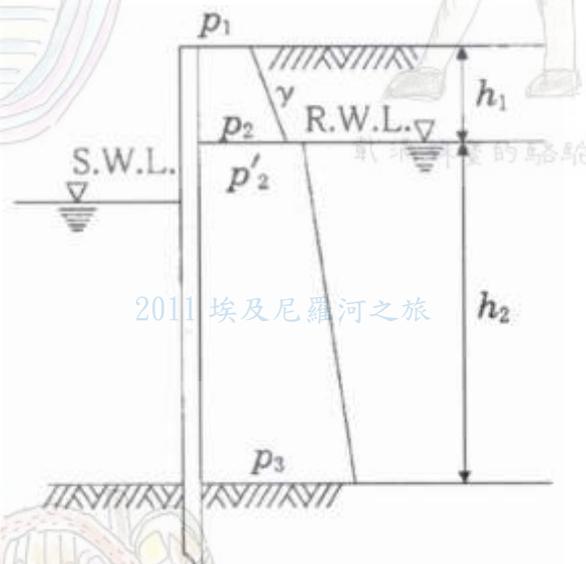
④ 土壓分佈

各土層邊界面在殘留水位以上時，利用空氣中震度 k ，在殘留水位以下時，利用比震度 k' 推算土壓分佈。殘留水位如下圖所示時，依下列方法推估土壓分佈。

- ① 利用空氣中的震度 k 、計算地表面土壓強度 p_1 、殘留水位面土壓強度 p_2
- ② 利用比震度 k' 、計算殘留水位面土壓強度 p'_2 、壁體底面土壓強度 p_3
- ③ 直線連結 p_1 、 p_2 、直線連結 p'_2 、 p_3 得土壓分佈。

⑤ 壁面摩

壁面摩擦通常取 $\pm 15^\circ$ 。



(3) 黏土平時土壓

① 主動土壓

作用於結構物壁面平時主動土壓 p_a ，可以下 2 式計算，取對結構物危險值作為土壓分佈。

$$p_a = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i + w - 2c_u$$

$$\left. \begin{aligned} p_a &= K \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i \\ K &= 0.5 \end{aligned} \right\}$$



阿拉丁神燈

c_u : 黏性土非排水剪力強度(kN/m³)

若依第 1 式計算得到負值時，視為 0。

② 被動土壓

作用於結構物壁面平時主動土壓 p_p ，依下式計算

$$p_p = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i + \omega + 2c_u$$

③ 垂直壁面且位移小時

壁面被拘束，位移小時可依下式所示靜止土壓計算

$$p_a = K \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i \left\{ \begin{array}{l} K = 0.5 \end{array} \right. \quad \text{2011 埃及尼羅河之旅}$$

④ 壁面摩擦

忽略土與壁面間黏著力。

⑤ 土壤單位體積重量

土壤單位體積重量依土壤試驗決定，殘留水位以上用下式所示濕潤單位體積重量

$$\gamma_t = \frac{\rho_s + \frac{S_r}{100} e \rho_w}{1 + e} g = \frac{1 + \frac{\omega}{100} e}{1 + e} \rho_s g$$

殘留水位以下用下列水中單位體積重量

$$\gamma' = \frac{\rho_s - \rho_w}{1 + e} g$$

ρ_w : 水密度(t/m³)

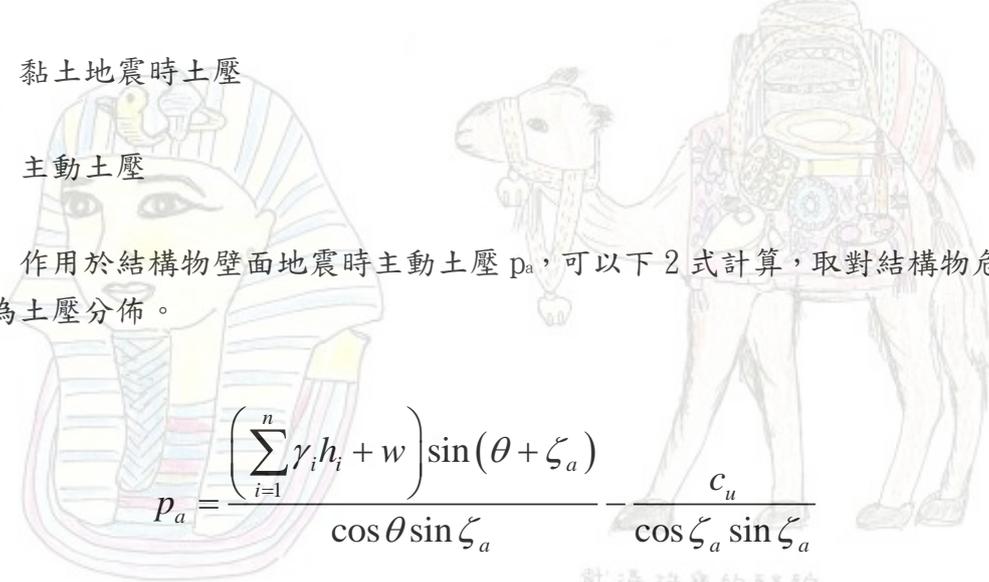
g : 重力加速度(m/s^2)

土壤單位體積重量標準值在殘留水位以上是 $18kN/m^3$ ，殘留水位以下 $10kN/m^3$ 。

(4) 黏土地震時土壓

① 主動土壓

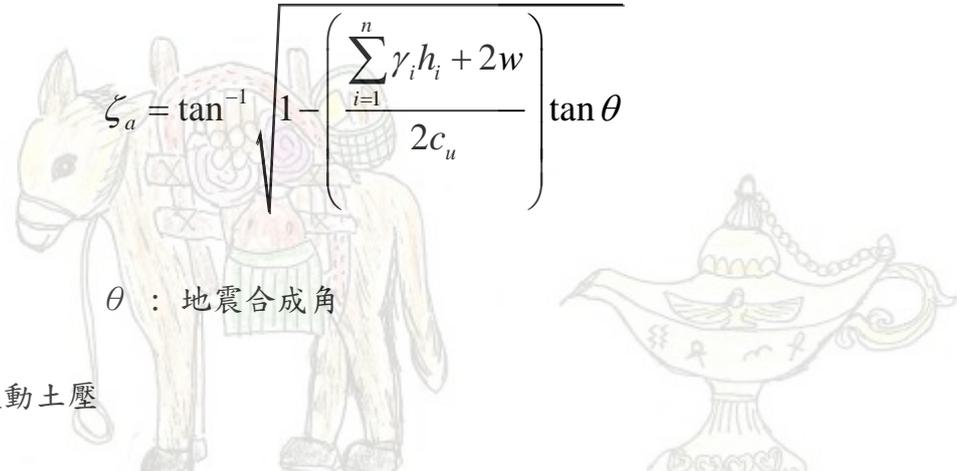
作用於結構物壁面地震時主動土壓 p_a ，可以下 2 式計算，取對結構物危險值作為土壓分佈。


$$p_a = \frac{\left(\sum_{i=1}^n \gamma_i h_i + w \right) \sin(\theta + \zeta_a)}{\cos \theta \sin \zeta_a} - \frac{c_u}{\cos \zeta_a \sin \zeta_a}$$

戴滿珠寶的駱駝

$$p_a = K_c \left(\sum_{i=1}^n \gamma_i h_i + w \right)$$
$$K_c = 0.5$$

2011 埃及尼羅河之旅


$$\zeta_a = \tan^{-1} \left[1 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n \gamma_i h_i + 2w \right)}{2c_u} \right] \tan \theta$$

θ : 地震合成角

② 被動土壓

作用於結構物壁面的地震時被動土壓 p_p ，如同平時，依下式計算

載滿貨品的驢子

阿拉丁神燈

$$p_p = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i + w + 2c_u$$

③ 海底下地震時土壓

海底面以視震度 k' 計算土壓，海底面 10 公尺以下視震度為 0，但海底面 10 公尺的土壓小於海底面的土壓時，取海底面的土壓值。

(5) 回填土減少土壓

將回填土從壁體底面內側端上地表面，以緩於 45° 的三角形回填時，可視壁體背後全部為回填土。

(6) 比震度

比震度可依下式計算

$$k' = \frac{2(\sum \gamma_{ti} h_i + \sum \gamma_{satj} h_j + w) + \gamma_{sat} h}{2[\sum \gamma_{ti} h_i + \sum (\gamma_{satj} h_j - \gamma_w) h_j + w] + (\gamma_{sat} - \gamma_w) h} k$$

γ_{ti} : 殘留水位以上第 i 層土壤單位體積重量 (kN/m^3)

h_i : 殘留水位以上第 i 層土壤厚度 (m)

γ_{satj} : 殘留水位以下第 j 層土壤飽和單位體積重量 (kN/m^3)

h_j : 殘留水位以下第 j 層土壤厚度 (m)

w : 地表面單位面積載重 (kN/m^2)

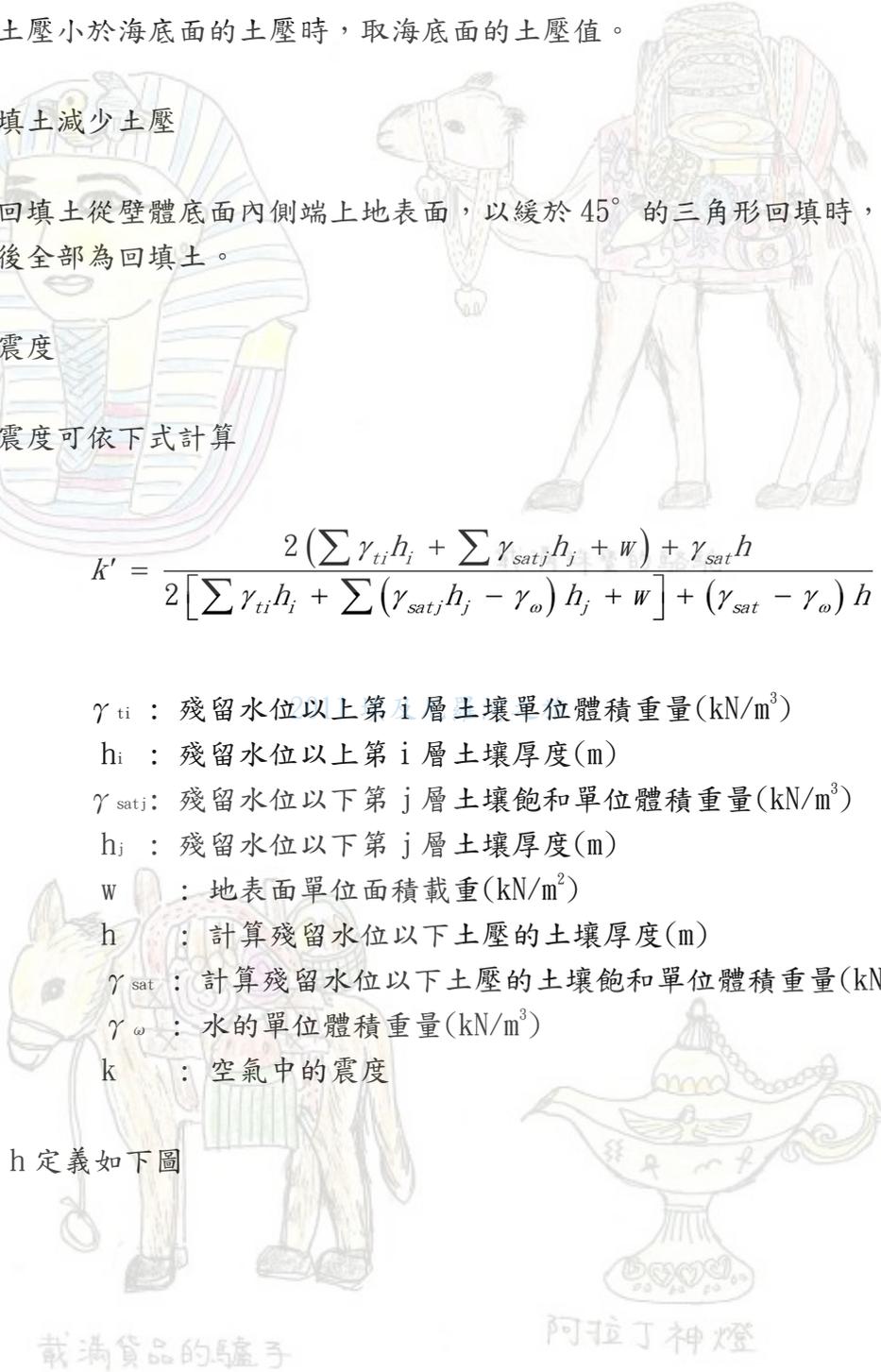
h : 計算殘留水位以下土壓的土壤厚度 (m)

γ_{sat} : 計算殘留水位以下土壓的土壤飽和單位體積重量 (kN/m^3)

γ_w : 水的單位體積重量 (kN/m^3)

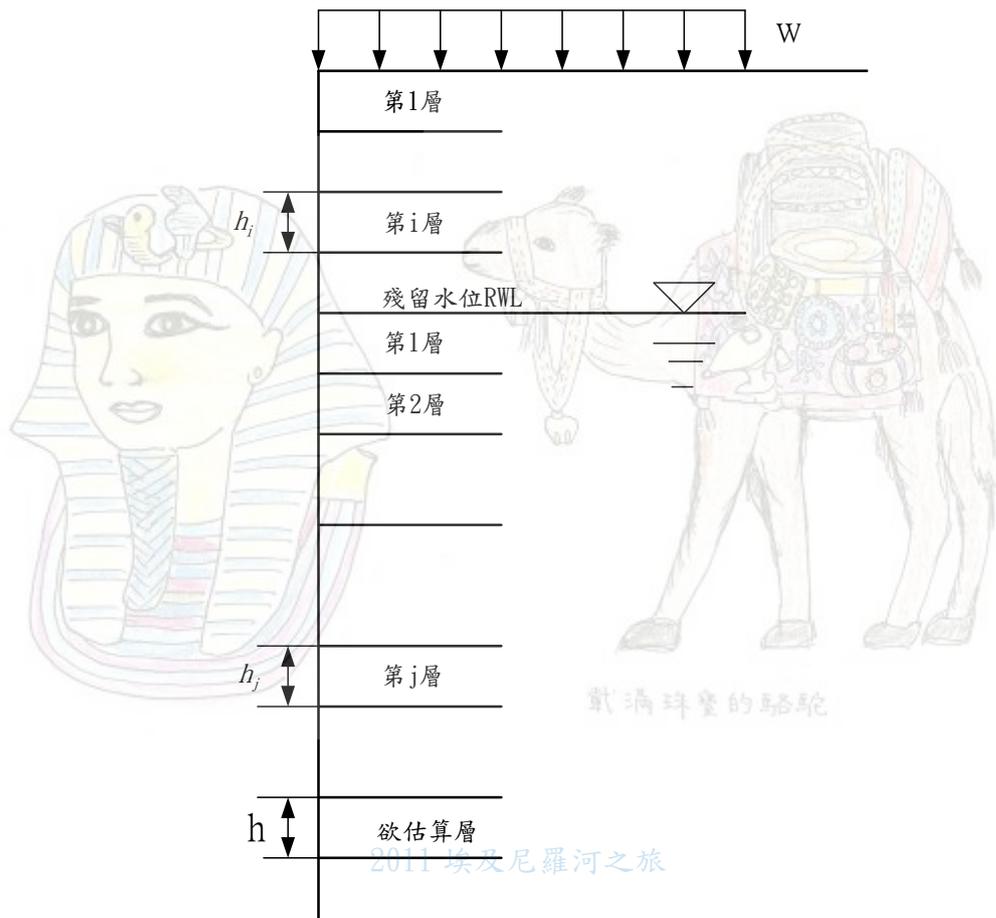
k : 空氣中的震度

h_i 、 h_j 、 h 定義如下圖



載滿貨品的驢子

阿拉丁神燈



計算比震度時的地盤模式

(7) 殘留水壓

殘留水壓可依下式計算

① $y < h_w$

$$\left. \begin{aligned} p_w &= \gamma_w y \\ P_w &= p_w y / 2 \end{aligned} \right\}$$

② $y \geq h_w$ 載滿貨品的驢子

$$\left. \begin{aligned} p_w &= \gamma_w h_w \\ P_w &= p_w h_w / 2 + p_w (y - h_w) \end{aligned} \right\}$$

p_w : 殘留水壓 (kN/m^2)



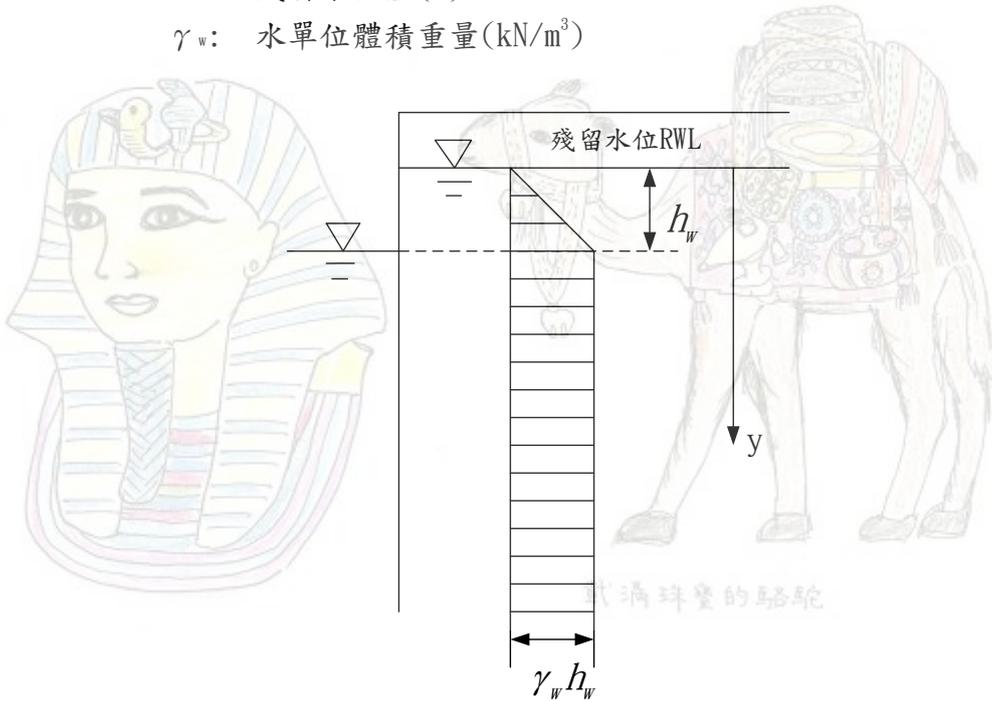
阿拉丁神燈

P_w : 作用於壁體殘留水壓合力(kN/m)

y : 從殘留水位算起深度(m)

h_w : 殘留水位差(m)

γ_w : 水單位體積重量(kN/m³)



2011 殘留水壓可之旅

殘留水位差可由下式計算

$$h_w = \alpha(HWL - LWL)$$

HWL : 平均朔望高潮位(m)

LWL : 平均朔望低潮位(m)

α : 視壁體排水狀態及壁體背後地盤特性的係數，通常如下表

結構物	排水良好結構物 (如重力式)	排水不良結構物 (如板樁式)
塊石、砂岩	1/3	2/3
砂	1/3	2/3
黏土	2.3	1