

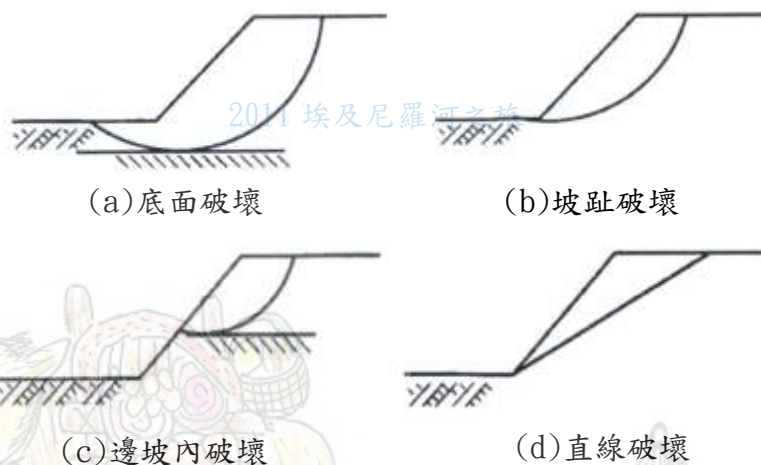
邊坡穩定

1) 概說

砂質土地盤或黏性土地盤在下述情形下，在土中產生滑動，可能導致邊坡破壞，應以下述方法推算邊坡穩定。

- ① 長邊坡
- ② 陡坡度邊坡
- ③ 擋土牆等形成很大高低差
- ④ 邊坡上設置重結構物
- ⑤ 軟弱地盤設置重結構物

通常滑動面可如下圖分類成下列 4 種



滑動面形狀有直線，對數螺旋及圓弧等組合而成，實用上大多採用圓弧或直線滑動面。預測滑動面會通過軟弱地層時，有時會假定滑動面形狀，此時滑動面形狀必須為能使土壤圓滑滑動形狀，不可假定土壤作不自然曲線或折線運動。

砂質土地盤的斜面滑動比較接近直線滑動，砂質邊坡呈極限平衡狀態的傾斜角稱為安息角，安息角與對應於邊坡砂空隙比的內部摩擦角相等。未飽和砂因砂中水表面張力會產生黏著抵抗，使其安息角大於乾燥砂或飽和砂。

黏性土地盤的滑動面比較接近圓弧，經常會發生比較深層滑動的底部滑動。

邊坡穩定解析時一般以 2 維問題進行，對延長很長邊坡實際上會形成 3 維曲面，但是以 2 維問題解析可得安全側結果。檢討有限長載重時可視為圓柱形

滑動面的側面。

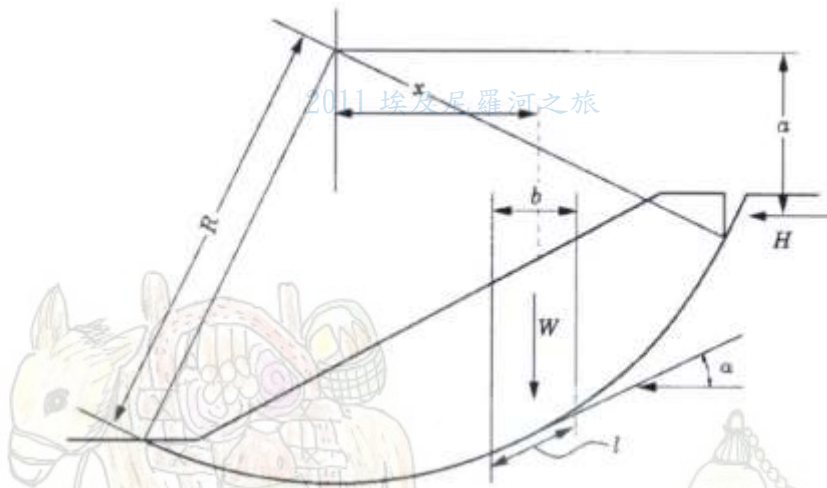
發生滑動重要原因為土自重，載重及水壓等，其他有地震，波力等返覆載重。抵抗滑動的力則有土壤的剪抵抗，壓載重等。

土壤安定性問題，對剪斷強度的時間變化，可分成正常壓密狀態載重及挖掘等除載等 2 種狀況，前者為短期安定問題，後者為長期安定問題。邊坡穩定問題的安全率為土壤剪斷強度與形成滑動面的剪應力比，其值隨滑動面而異，對某特定條件，假定數個滑動面求其安全率，取值最小者為該邊坡滑動安全率，通常以 1.3 以上。

2) 穩定計算

圓弧滑動法採用的分割法，是將滑動圓內的土塊分割成數個垂直面，計算各分割片底面的剪應力及土壤抵抗應力，總和全部分割片的應力求其安全率。作用於各分割片的力，通常採用修正 Fellenius 法或 Bishop 法

① 修正 Fellenius 法



修正 Fellenius 法如上圖，假定作用於各分割片垂直面的合力方向平行於分割片底邊，亦稱為簡便法或 Tschebotarioff 法，其安全率 F_s 可由下式計算

$$F_s = \frac{R \sum (cl + w' \cos \alpha \tan \phi)}{\sum Wx + \sum Ha}$$
$$= \frac{\sum (cb + w' \cos^2 \alpha \tan \phi) \sec \alpha}{\sum W \sin \alpha + \frac{1}{R} \sum Ha}$$

R：滑動圓半徑(m)

c：黏性土地盤的非排水剪應力強度，砂質土地盤的砂質土地盤比黏著力(kN/m²)

ϕ ：黏性土地盤為0，砂質土地盤時為砂質土地盤的土內部摩擦角(°)

l：分割片的底邊長(m)

W'：單位縱深分割片有效重量(kN/m)

W：單位縱深分割片有效重量(kN/m)

α ：滑動面與水平面間夾角(°)

x：分割片重心與滑動圓心的水平距離(m)

H：作用於滑動圓內土塊的水平外力(水壓，波壓，地震力等)(kN/m)

a：外力H對滑動圓心的力臂(m)

② Bishop 法

Bishop 氏考量平行於分割片垂直面的剪應力及垂直的水平力，實際計算時假定垂直方向的剪應力呈平衡狀態，稱為簡易 Bishop 法，其安全率可由下式計算

$$F_s = \frac{1}{\sum W \sin \alpha + \frac{1}{R} \sum Ha} \sum \frac{(cb + W' \tan \phi) \sec \alpha}{1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi}{F_s}}$$

對 $\phi = 0$ 的黏性土地盤，依修正 Fellenius 法或 Bishop 法可取得相同的安全率，對圓弧通過砂質土地盤時會得到不同結果。

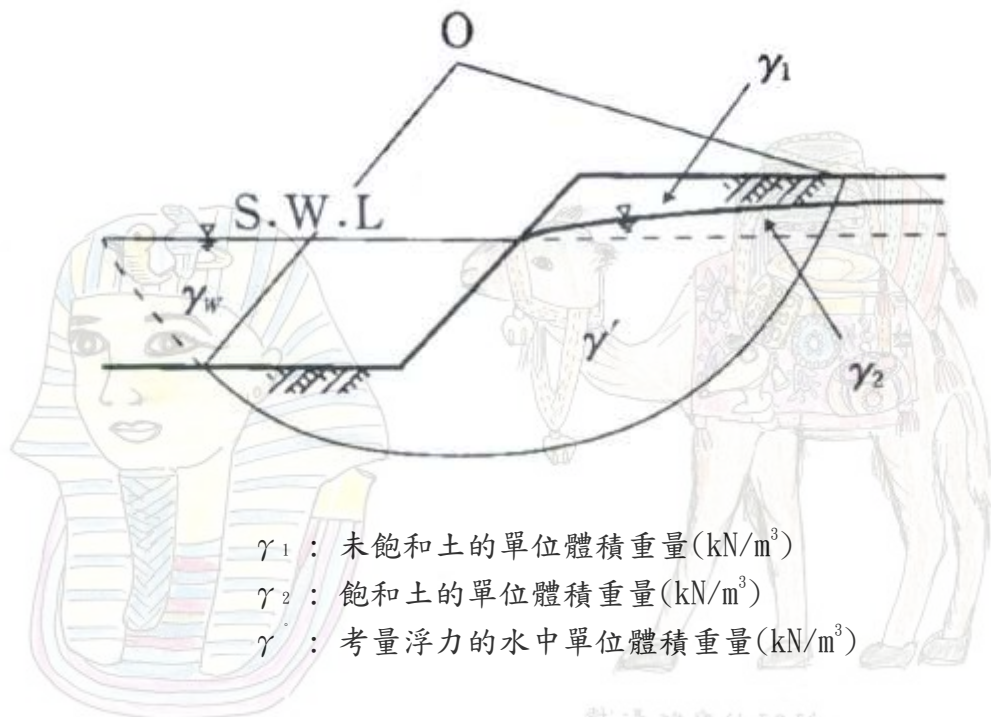
通常使用修正 Fellenius 法解析圓弧滑動為多，對砂質土地盤可得較安全的安全率，但對基礎地盤全部為砂質土層或上層為厚砂層下層為黏土層構成的地盤，修正 Fellenius 法有可能求得較小的安全率。

對偏心傾斜載重加載時，通常採用簡易 Bishop 法，但對幾近水平的砂質土地盤，載重垂直作用時，可能得到過大的安全率。

3) 注意事項

① 單位體積重量

計算分割片的有效重量 W 時，土壤的單位體積重量如下圖



② 側面抵抗

進行圓弧滑動安定計算，忽略側面抵抗會得到較安全結果，所以通常不予考量。但是對防波堤堤頭在急深處欲考量法線方向的滑動破壞，載重範圍有限宜以 3 維問題檢討時，可側面抵抗考量。

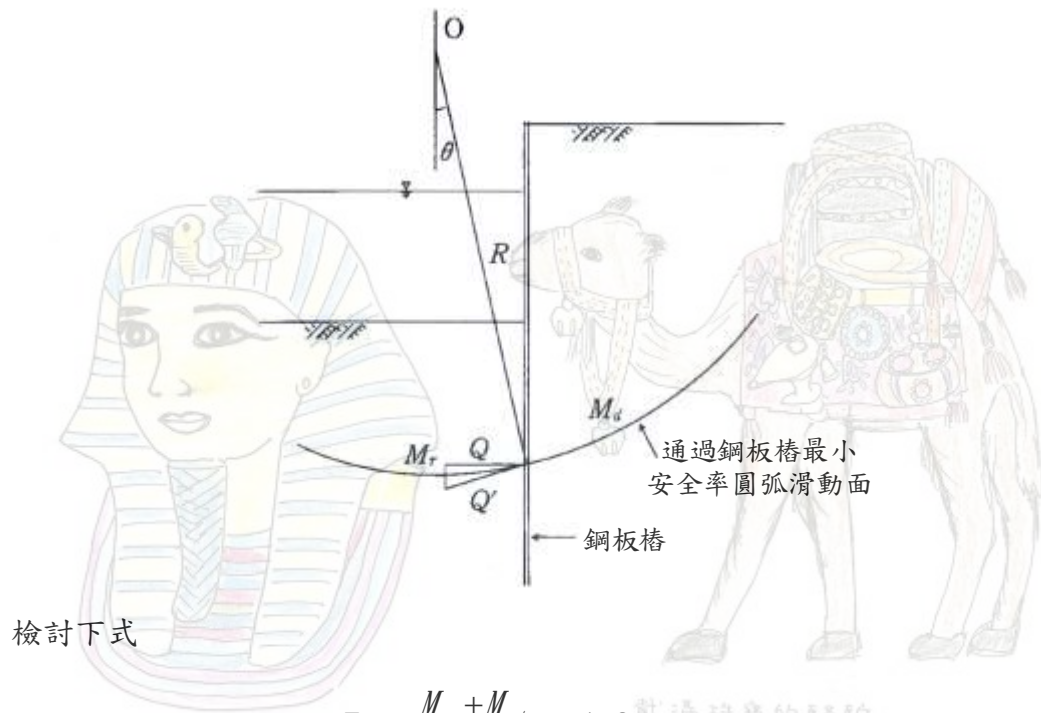
③ 壓密引起強度增加

原地盤含有黏土層，可期望隨壓密的進行地盤強度會增加時，可在設計時將其納入考量，即考量壓密引起黏性土的非排水剪應力度增加。但是應注意在施工途中，壓密強度尚未充分增加時，應檢討邊坡的安定。

④ 板樁存在

設計鋼板樁碼頭的圓弧滑動時，假定滑動面會被板樁切斷，只針對板樁下端以深處檢討。實際上若板樁貫入長中間圓弧滑動力矩非常大時，板樁可能發生很大變形。對此狀況或施工途中，為防止圓弧滑動為目的打設板樁時，必須進行下列 2 種板樁斷面的剪斷抵抗檢討。

- i. 檢討鋼板樁橫切圓弧滑動面(下圖)以下的被動土壓引起的抵抗。



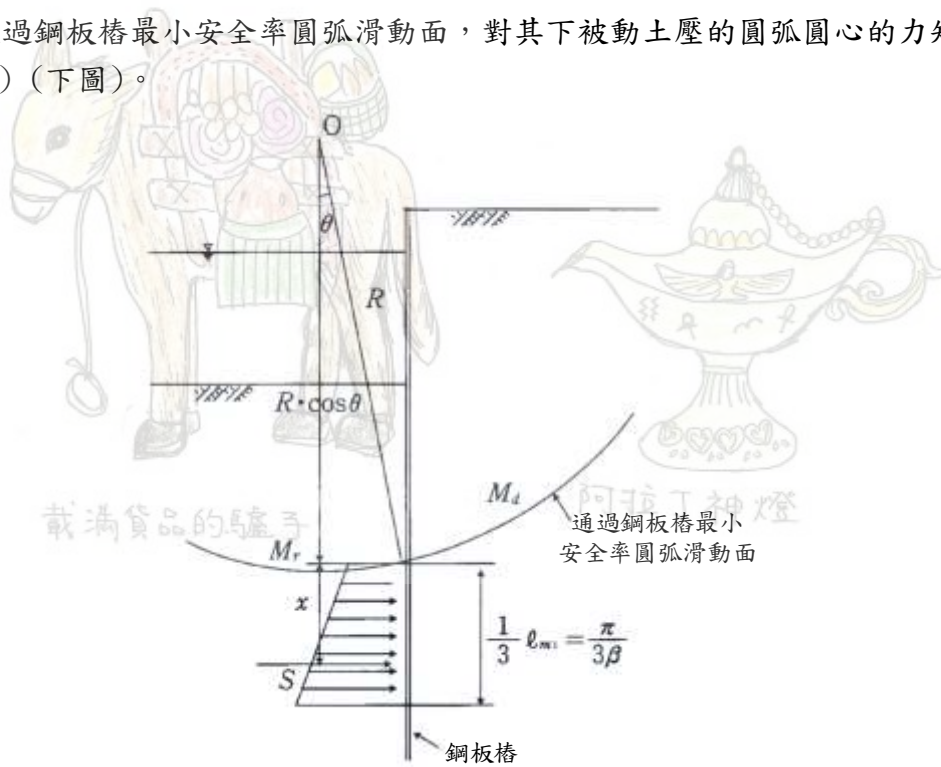
$$F_s = \frac{M_r + M_{rt}}{M_d} \geq 1.3$$

F_s : 圓弧滑動安全率

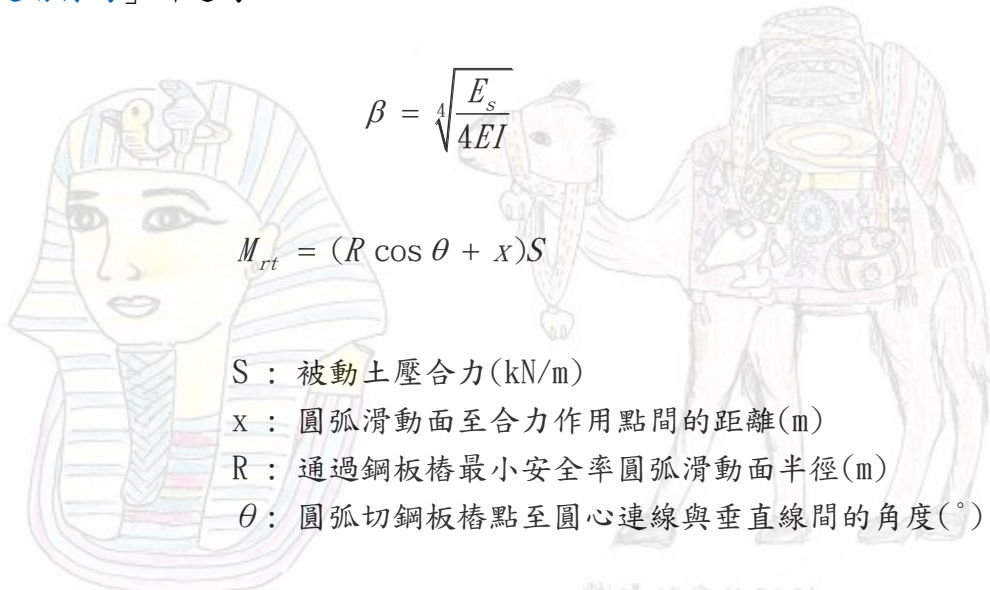
M_d : 起動力矩(kNm/m)

M_r : 抵抗力矩(kNm/m)

M_{rt} 為通過鋼板樁最小安全率圓弧滑動面，對其下被動土壓的圓弧圓心的力矩(kNm/m) (下圖)。



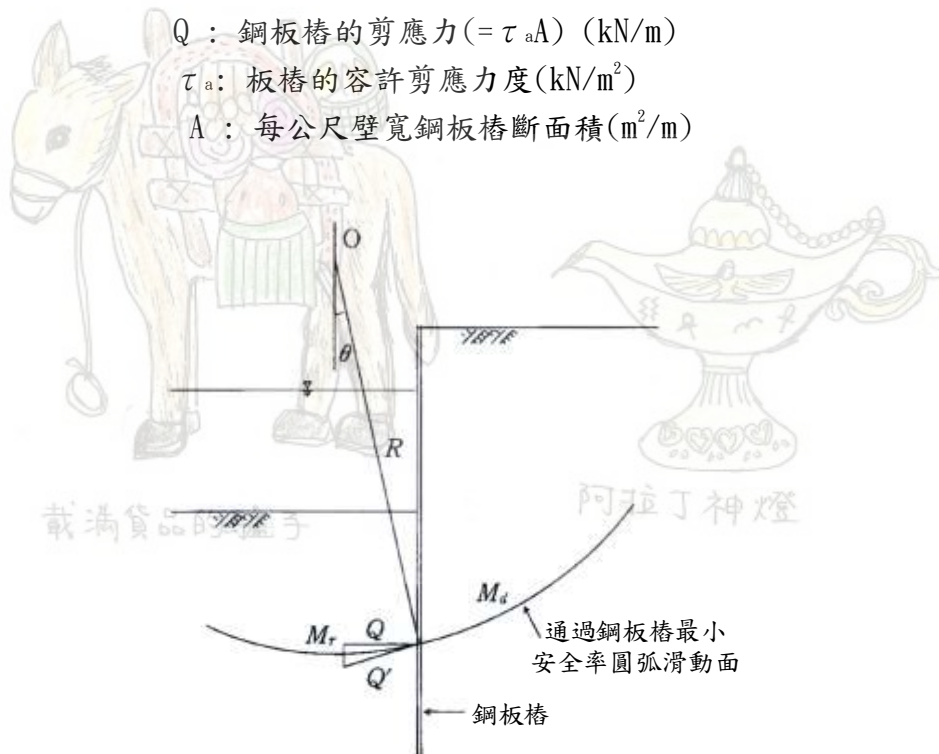
被動土壓作用範圍為 $\ell_{m1} / 3 = \pi / (3\beta)$ ， β 如「作用於樁軸垂直方向的力引起樁運動行為」所述為



ii. 檢討鋼板樁的剪耐力(下圖)

$$F_s = \frac{M_r + Q'R}{M_d} \geq 1.3$$

$$Q' = Q / \cos \theta$$



⑤ 地震時

地震時因地震力作用，邊坡會比平時更處於危險狀態，應作下列檢討。

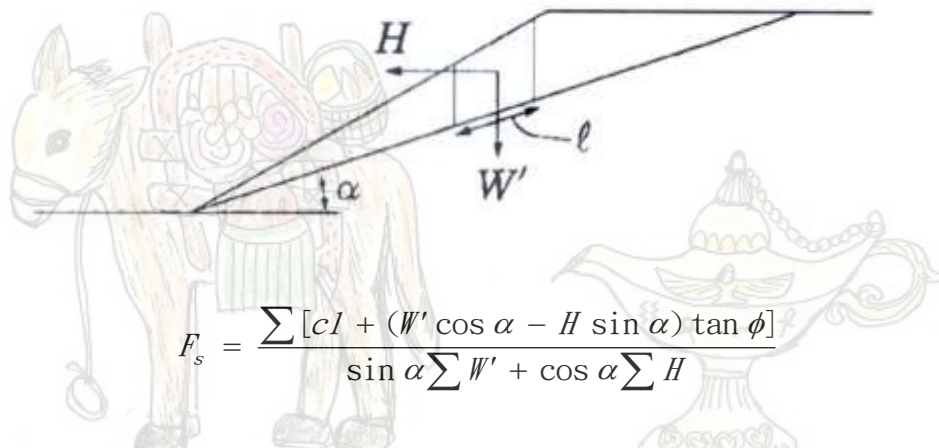
- ① 通常對黏性土地盤不作地震時的圓弧滑動檢討。但是對耐震強化碼頭或大設計震度設施宜檢討，計算圓弧滑動時應將慣性力考量在內，安全率採用 1.0 以上。
- ② 砂，砂礫邊坡，地震時可能發生直線滑動破壞，對耐震強化碼頭或大設計震度設施，應針對設計震度的直線滑動面進行檢討。
- ③ 進行地震時的穩定計算，水平力採用地震動引起的慣性力，慣性力採用各分割片全重量與設計水平震度的積。
- ④ 地震可能導致地盤液化，邊坡失去其穩定，宜考量因液化引起過剩空隙水壓的解析，即將分割片的有效重量 W 以 $(W - \Delta u \cdot b)$ 取代進行解析， Δu 表示地震動引起過剩空隙水壓， b 為分割片寬度。

4) 圓弧滑動以外的滑動

① 直線滑動

2011 埃及尼羅河之旅

直線滑動時(如下圖)的安全率可以下式計算

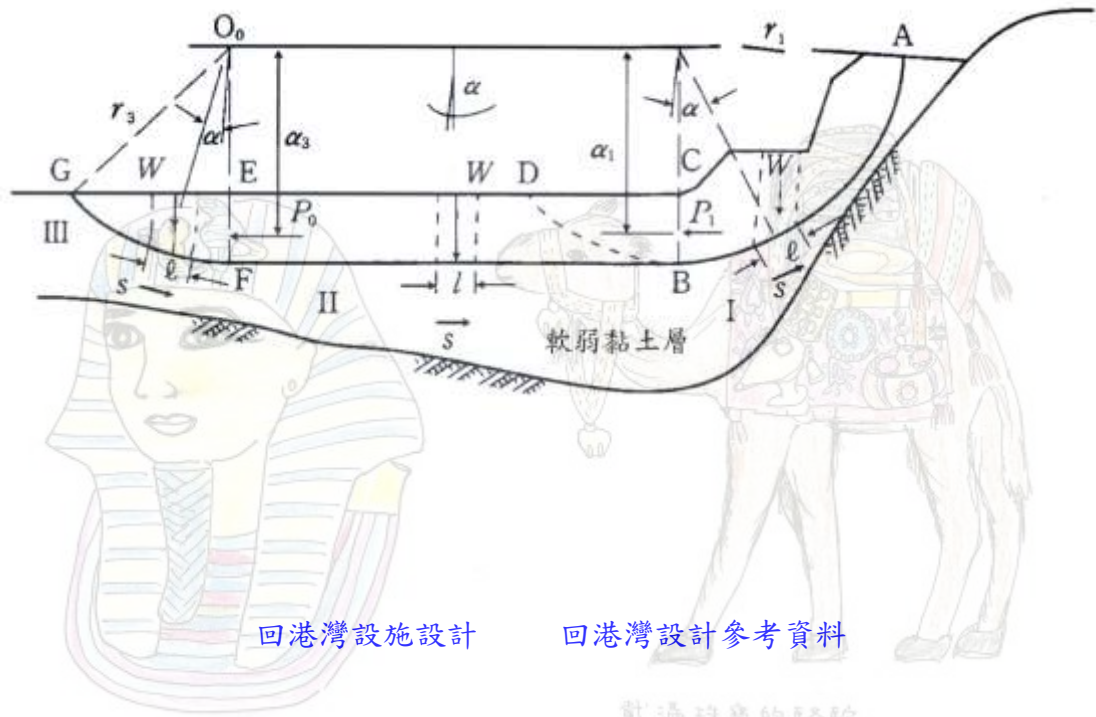


$$F_s = \frac{\sum [cl + (W' \cos \alpha - H \sin \alpha) \tan \phi]}{\sin \alpha \sum W' + \cos \alpha \sum H}$$

滑動破壞的安全率，平時為 1.2 以上，地震時為 1.0 以上。

② 複合滑動

利用單一圓弧滑動或直線滑動解析無法滿足地盤，可假定由複數個滑動面構成而進行穩定計算。土層中含有軟弱層時，滑動面不會只有單一圓弧滑動面或直線滑動面，通常會如下圖，沿軟弱層擴散，目前尚未適當解析法。



載滿珠寶的駱駝

2011 埃及尼羅河之旅



載滿貨品的驢子



阿拉丁神燈