



優質、效率、團隊

香港「土釘設計與施工說明手冊」導讀

RTDT
技術研究發展小組
Research And Technology Development Team
Technology · Innovation · Development

水土保持局技術研究發展小組

吳軒蘋

2017/12/05



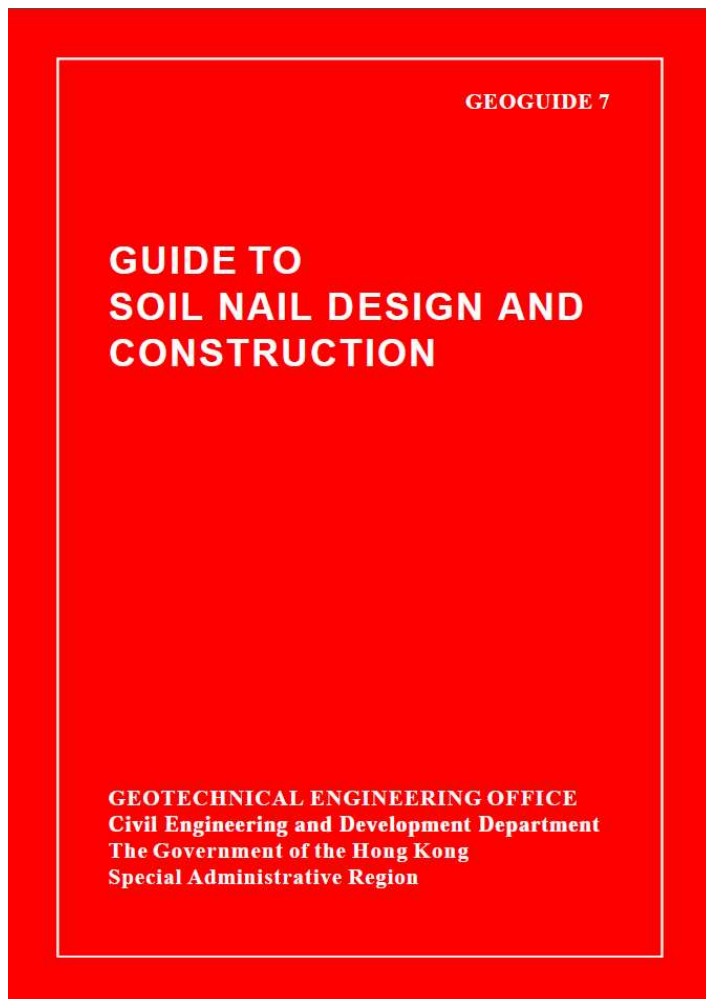
導讀文獻介紹

介紹

土釘系統設計考量

安全係數選定

小結



■ 土木工程拓展署 - 土釘設計與施工說明手冊

Chapter 1~3 土釘的介紹、應用與原理

Chapter 4 現場調查與測試

Chapter 5 土釘系統的設計

Chapter 6~7 土釘的施工與監測



土釘系統的基本機制

介紹

土釘系統設計考量

安全係數選定

小結

● 土釘之原理：

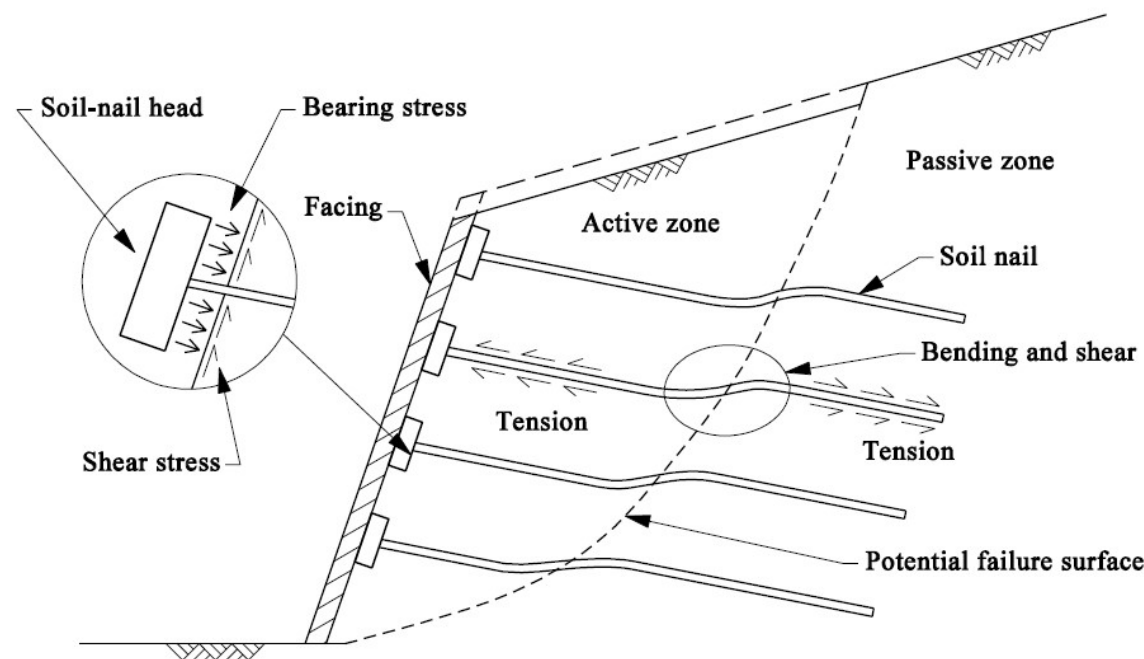
1. 邊坡滑動時，土釘周圍產生摩擦阻抗與自身的抗張能力
2. 上下兩側土體的相對剪切位移，被動土壓力發揮成剪力與彎矩以抵抗主動區的位移

● 土釘技術之優點：

1. 適用狹窄工地
2. 易克服施工中的場地限制
3. 節省施工時間與成本
4. 土釘為韌性材料，可提供失效前的預警

● 土釘技術之限制：

1. 受公用設施、地下結構與障礙物等限制
2. 土地邊界問題
3. 地下水位高
4. 不設預力
5. 不適用於深層崩塌、陡峭地形、高侵蝕性地區





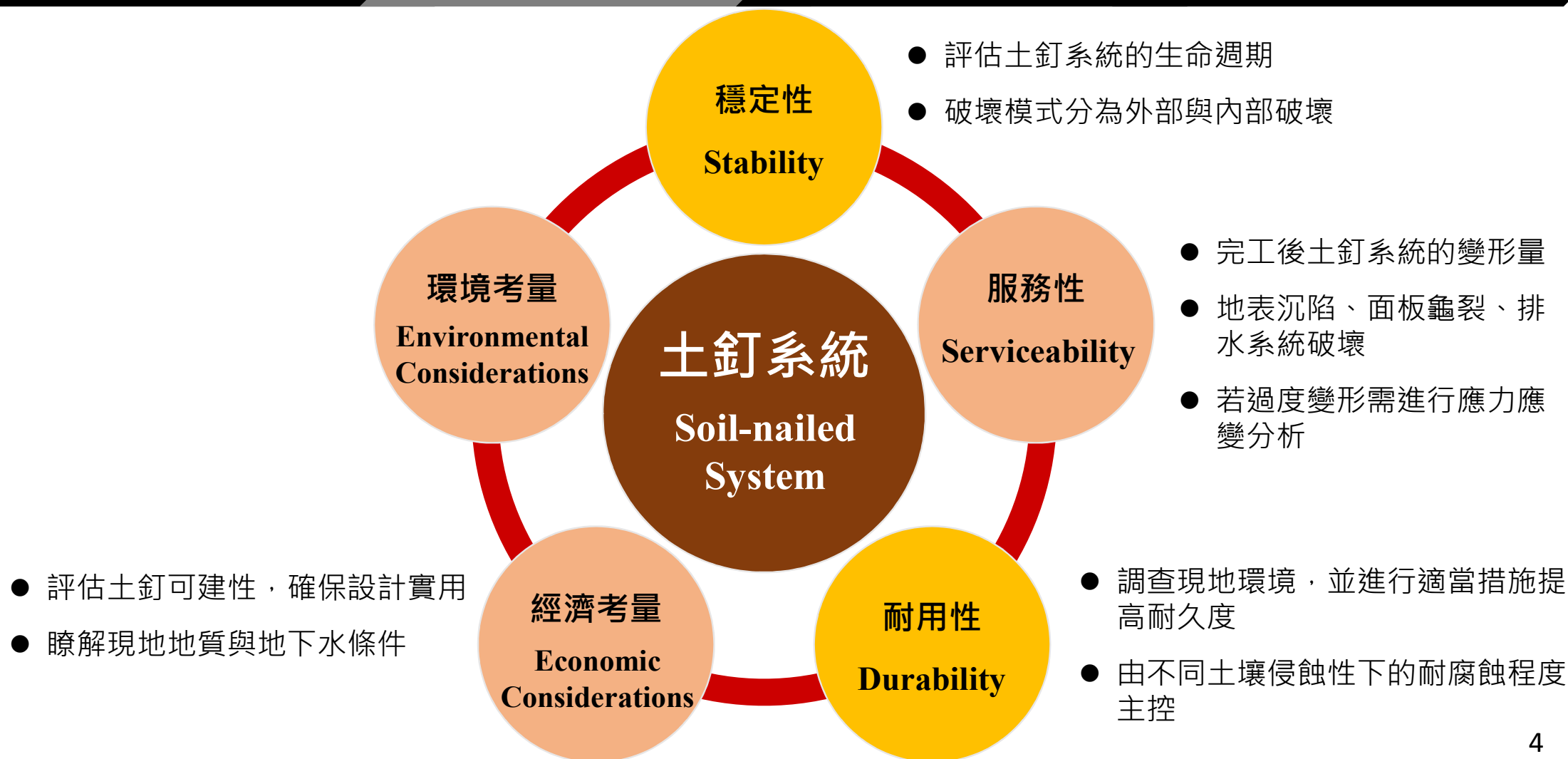
五大設計考量

介紹

土釘系統設計考量

安全係數檢核

小結





五大設計考量 - 穩定性 (1/3)

介紹

土釘系統設計考量

安全係數檢核

小結

破壞型式

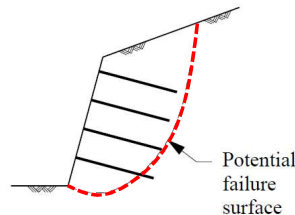
屬於整體性的滑動破壞

屬於土釘的結構性破壞

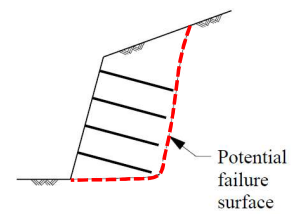
外部破壞型式
(External failure)

內部破壞型式
(Internal failure)

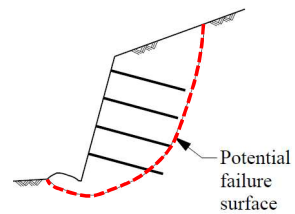
全面性破壞
(Overall stability failure)



滑動破壞
(Sliding failure)



承载力破壞
(Bearing failure)



主動區
(Active zone)

被動區
(Passive zone)

- 1) 土釘頭滲水、坡面土壤崩解
- 2) 土釘頭承载力不足
- 3) 土釘因張力、剪力或彎曲導致破壞
- 4) 土釘頭或面板連接處貫穿剪力破壞
- 5) 坡面與土釘頭之間的沖蝕、侵蝕與局部滑動破壞

- 1) 錨碇段拉拔破壞



五大設計考量 - 穩定性 (2/3)

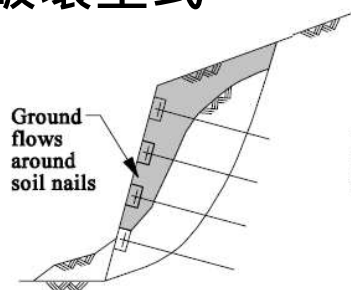
介紹

土釘系統設計考量

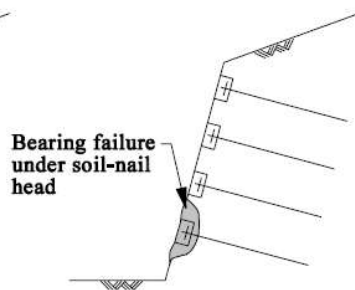
安全係數檢核

小結

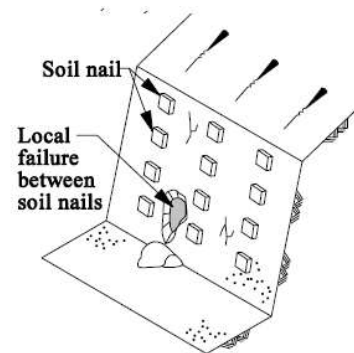
■ 內部破壞型式



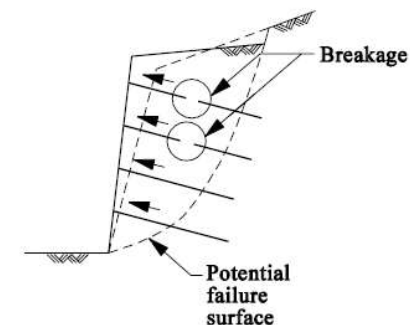
土釘頭滲水
坡面土壤崩解



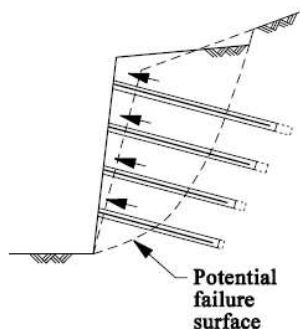
承载力破壞



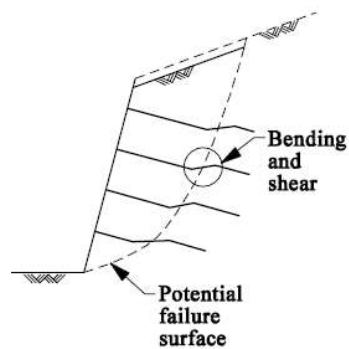
局部破壞



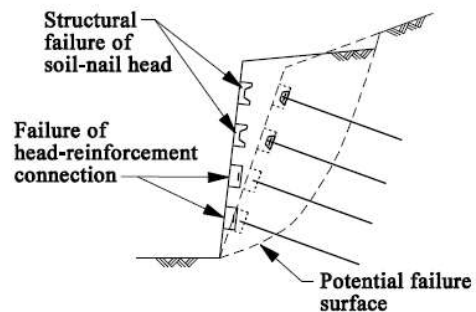
土釘張力破壞



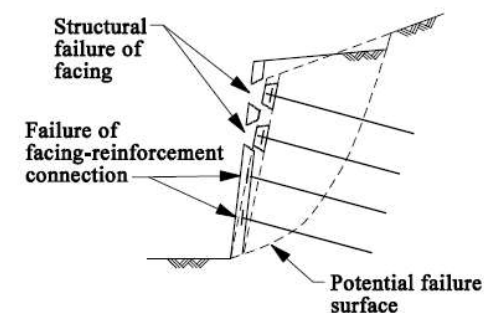
拉拔破壞



彎曲破壞



土釘頭脫落



面板連接處破壞



五大設計考量 - 穩定性 (3/3)

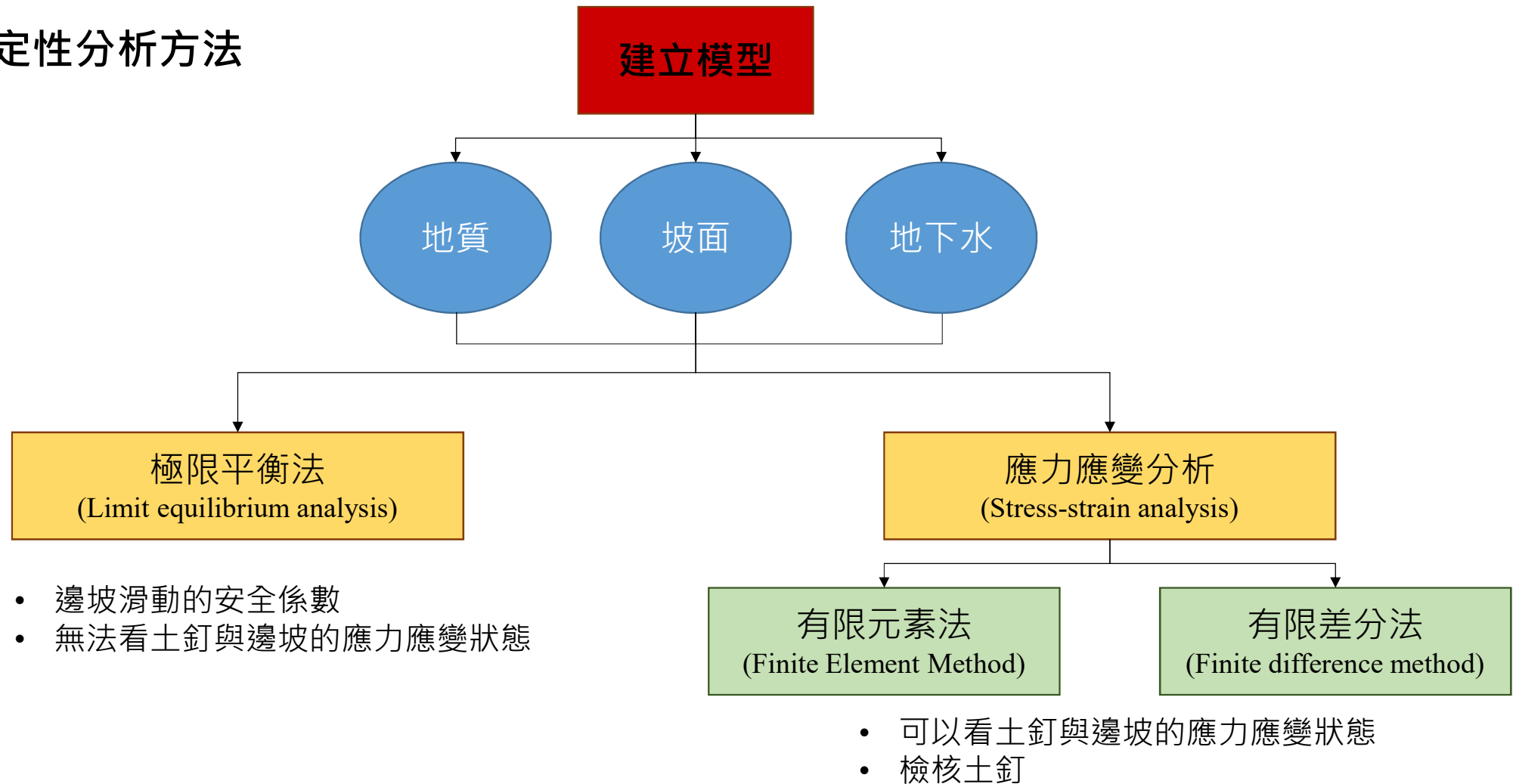
介紹

土釘系統設計考量

安全係數檢核

小結

■ 穩定性分析方法





五大設計考量 - 耐用性 (1/4)

介紹

土釘系統設計考量

安全係數檢核

小結

■ 現地環境對土釘之侵蝕分類(Soil aggressivity)

根據現地歷史建設的發展、附近電、煤氣與鐵路等等設施分成三種侵蝕性分類

● 對土釘具侵蝕性之土壤：

- 歷史建設的發展，如村落房屋的污水排放影響、化糞池的污水處理系統、工業設施（加油站或化工廠）、畜牧設施（動物農場或屠宰場）或耕地等
- 附近有輸水設施，可能發生滲流現象，如鹹水、淡水或下水道
- 現場鄰近變電所、電氣化軌道系統或路面電車

● 對土釘非侵蝕性之土壤：

- 未受到污染物排放或洩漏的地區，如天然坡地的坡頂處
- 無滲流與高地下水位的地區

● 對土釘具有潛在侵蝕性之土壤：

- 可能有受到公路、垃圾掩埋場、污水處理廠、工廠、輸水設施等排放或洩漏的地區
- 該地持續發生不明原因的滲流、高地下水位之情形



五大設計考量 - 耐用性 (2/4)

介紹

土釘系統設計考量

安全係數檢核

小結

■ 土壤侵蝕性評估方法

根據室內試驗與現場調查的結果評估土壤侵蝕性，採用 Eyre&Lewis (1987) 開發的評分系統

土壤侵蝕分類	總分
非侵蝕 (Non-aggressive)	≥ 0
輕度侵蝕 (Mildly-aggressive)	-1 至 -4
侵蝕 (Aggressive)	-5 至 -10
高度侵蝕 (Highly-aggressive)	≤ -11



※若 pH<4 或 pH>10，則不管其他項目，直接分類為”侵蝕”

Property	Measured Value	Mark	Test Method
Soil Composition	Fraction passing 63 μ m sieve ≤ 10 %, and PI of fraction passing 425 μ m sieve < 2 , and Organic content < 1.0 %	2	Geospec 3 Test Methods 6.1, 8.1, 8.2, 8.5, 8.6 and 9.1 (GEO, 2001)
	10 % $<$ Fraction passing 63 μ m sieve ≤ 75 %, and Fraction passing 2 μ m sieve ≤ 10 %, and PI of fraction passing 425 μ m sieve < 6 , and Organic content < 1.0 %	0	
	Any grading, and PI of fraction passing 425 μ m sieve < 15 , and Organic content < 1.0 %	-2	
	Any grading, and PI of fraction passing 425 μ m sieve ≥ 15 and Organic content < 1.0 %	-4	
Resistivity (ohm-cm)	Any grading, and Organic content ≥ 1.0 %	-4	BS 1377: Part 3: 1990, Test 10.4 (BSI, 1990)
	$\geq 10,000$	0	
	$< 10,000$ but $\geq 3,000$	-1	
	$< 3,000$ but $\geq 1,000$	-2	
Moisture Content	$< 1,000$ but ≥ 100	-3	Geospec 3 Test Method 5.2 (GEO, 2001)
	< 100	-4	
Groundwater Level	$\leq 20\%$	0	-
	$> 20\%$	-1	
	Above groundwater level and no periodic flow or seepage	1	
pH	Local zones with periodic flow or seepage	-1	-
	At groundwater level or in zones with constant flow or seepage	-4	
	6 \leq pH ≤ 9	0	
Soluble Sulphate (ppm) (See Note 2)	5 \leq pH < 6	-1	Geospec 3 Test Method 9.5 (GEO, 2001)
	4 \leq pH < 5 or 10 \geq pH > 9	-2	
	pH < 4 or pH > 10	-4 (See Note 1)	
Made Ground (See Note 3)	≤ 200	0	Geospec 3 Test Method 9.3 (GEO, 2001)
	> 200 but ≤ 500	-1	
	> 500 but $\leq 1,000$	-2	
Chloride Ion (ppm)	$> 1,000$	-3	-
	None Exist	0	
	> 100 but ≤ 300	-1	
Chloride Ion (ppm)	> 300 but ≤ 500	-2	Geospec 3 Test Method 9.4 (GEO, 2001)
	> 500	-4	

Notes: (1) If pH value is less than 4 or greater than 10, the soil should be classified as aggressive regardless of the results of other test items.
(2) Water soluble sulphate as SO₄.
(3) "Made ground" refers to man-made ground associated with high corrosion rate such as non-engineering fill with rubbish and organic matters.



五大設計考量 - 耐用性 (3/4)

介紹

土釘系統設計考量

安全係數檢核

小結

■ 防蝕保護措施 - 瞬時荷載 (Transient load)

根據土壤侵蝕分類的結果，可將防蝕保護措施分成三級

設計壽命	土壤侵蝕分類			
	高度侵蝕 (Highly-aggressive)	侵蝕 (Aggressive)	輕度侵蝕 (Mildly-aggressive)	非侵蝕 (Non-aggressive)
120年	一級		二級	
2年	三級			

※NOTE：

1. 未進行土壤侵蝕性評估但具有潛在侵蝕性土壤之場所，應採用設計壽命超過 2 年的一級防蝕保護措施。
2. 設計壽命為 2 年的土釘，不必進行土壤侵蝕性評估。

分級說明：

- 一級：土釘表面熱鍍鋅最小厚度 610 g/m^2 ，並加裝塑料波紋套管
- 二級：土釘表面熱鍍鋅最小厚度 610 g/m^2 ，並加大鋼筋半徑 2 mm
- 三級：土釘表面熱鍍鋅最小厚度 610 g/m^2



五大設計考量 - 耐用性 (4/4)

介紹

土釘系統設計考量

安全係數檢核

小結

■ 防蝕保護措施 - 持續性荷載 (Sustained load)

持續性荷載的土釘與地表變形息息相關，需考慮潛變(Creep)，因此應進行應力應變分析與潛變試驗

設計壽命	土壤侵蝕分類			
	高度侵蝕 (Highly-aggressive)	侵蝕 (Aggressive)	輕度侵蝕 (Mildly-aggressive)	非侵蝕 (Non-aggressive)
120年	一級			二級
2年	三級			

※NOTE：

1. 未進行土壤侵蝕性評估但具有潛在侵蝕性土壤之場所，應採用設計壽命超過2年的一級防蝕保護措施。
2. 設計壽命為2年的土釘，不必進行土壤侵蝕性評估。

分級說明：

一級：土釘表面熱鍍鋅最小厚度 610 g/m^2 ，並加裝塑料波紋套管

二級：土釘表面熱鍍鋅最小厚度 610 g/m^2 ，並加大鋼筋半徑 2 mm

三級：土釘表面熱鍍鋅最小厚度 610 g/m^2



土釘系統設計之安全係數 (1/4)

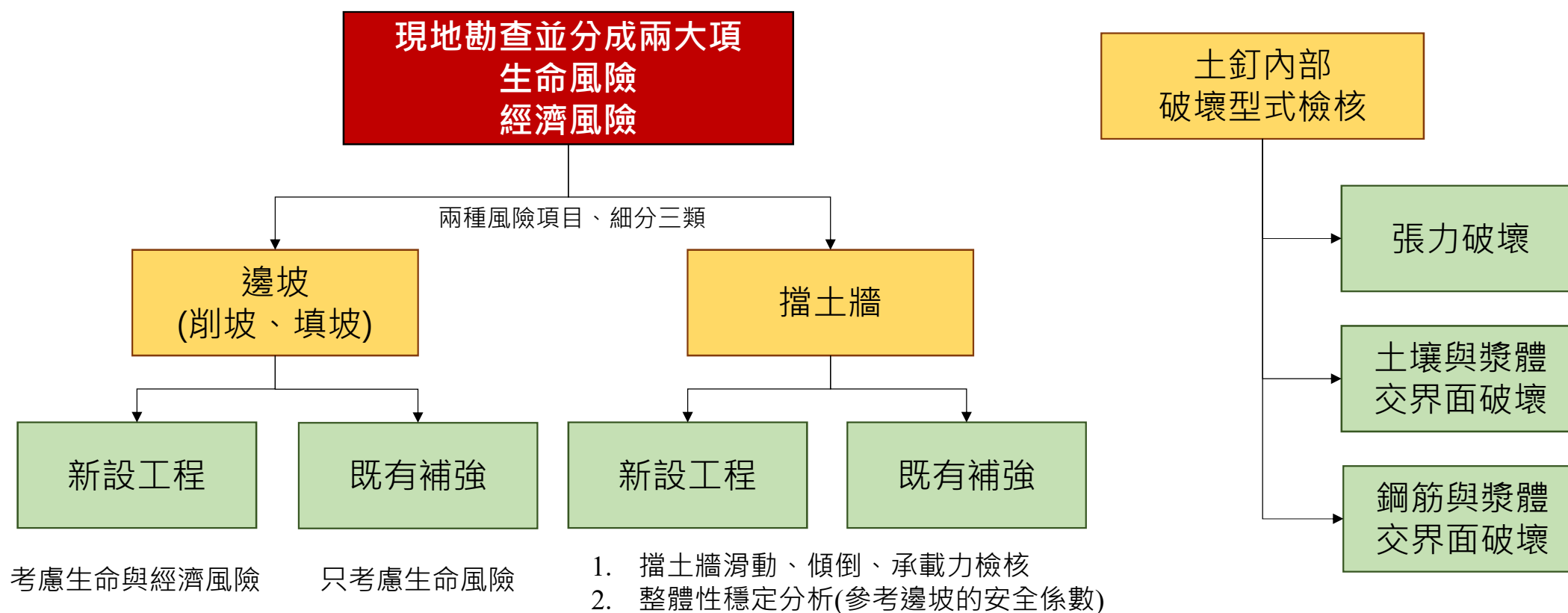
介紹

土釘系統設計考量

安全係數檢核

小結

■ 安全係數選定流程



土釘系統設計之安全係數 (2/4)

介紹

土釘系統設計考量

安全係數檢核

小結

■ 先進行風險分類，後決定整體性穩定分析之安全係數

香港GCO(Geotechnical Control Office)將“[生命風險](#)”與“[經濟風險](#)”納入考量，再將分析對象分為[邊坡](#)與[擋土牆](#)，又細分[新設工程](#)與[既有工程補強](#)

案例	生命風險 (Consequence-to-life)		
	分類一	分類二	分類三
影響居住建築之破壞情況 (如民宅、學校、企業大樓、工業大樓、公車站、地鐵月台等)	V		
儲藏危險物品建築之破壞情況	V		
空地和娛樂場所破壞情況之(如休憩區、遊樂場、停車場等)		V	
交通繁忙區之破壞情況		V	
公共等候區之破壞情況(如公車站、加油站等)		V	
郊區之破壞情況			V
非交通繁忙區之破壞情況			V
儲藏非危險物品建築之破壞情況			V

案例	經濟風險 (Economic Consequence)		
	分類A	分類B	分類C
影響建築之破壞情況	V		
影響基本服務並造成長期損失之破壞情況	V		
農村或城市道路之破壞情況	V		
影響基本服務並造成短期損失之破壞情況		V	
影響農村(A)主要分岔路		V	
影響露天停車場之破壞情況			V
影響農村(B)支線道路、分岔路			V
影響國家公園之破壞情況			V



土釘系統設計之安全係數 (3/4)

介紹

土釘系統設計考量

安全係數檢核

小結

決定安全係數

香港 GCO (Geotechnical Control Office) 將 “生命風險” 與 “經濟風險” 納入考量，再將分析對象分為 邊坡 與 擋土牆，又細分 新設工程 與 既有工程補強

1. 因應**10年降雨重現期距**，建議**新設的邊坡工程**破壞之最小安全係數

生命風險 經濟風險	分類一	分類二	分類三
分類A	1.4	1.4	1.4
分類B	1.4	1.2	1.2
分類C	1.4	1.2	>1.0

2. 因應**10年降雨重現期距**，建議**既有的邊坡工程**破壞之最小安全係數

生命風險	分類一	分類二	分類三
最小安全係數	1.2	1.1	>1.0

3. 因應**10年降雨重現期距**，建議**擋土牆工程**破壞之最小安全係數，分為新設與既有補強

破壞型態	新設擋土牆	既有擋土牆補強
滑動 (Sliding)	1.5	1.25
傾倒 (Overturning)	2.0	1.5
承载力 (Bearing capacity)	3.0	保持3.0不變，若擋土牆趾部為斜坡則以斜坡整體穩定性分析加以檢核。
全面穩定性 (Overall stability)	參考表1	參考表2



土釘系統設計之安全係數 (4/4)

介紹

土釘系統設計考量

安全係數檢核

小結

■ 土釘內部破壞型式之檢核

針對土釘之容許應力進行檢核，此部分與邊坡破壞無關係

內部破壞型式	最小安全係數
張力破壞 (Tensile failure of soil-nail reinforcement)	$F_T = 1.5$
土壤與漿體交界面之拉拔破壞 (Pullout failure at soil-grout interface)	$F_T = 1.5^a$ $F_T = 2.0^b$
土釘與漿體交界面之拉拔破壞 (Pullout failure at grout-reinforcement interface)	$F_{GR} = 2.0$

a：於風化花崗岩、火山岩中的瞬時荷載土釘
 b：非風化花崗岩、火山岩中的瞬時荷載與持續性荷載土釘

The allowable tensile capacity, T_T , of a soil nail is given by:

$$T_T = \frac{f_y A'}{F_T} \dots\dots\dots(5.1)$$

where f_y = characteristic yield strength of the soil-nail reinforcement
 A' = effective cross-sectional area of the soil-nail reinforcement
 F_T = factor of safety against tensile failure of soil-nail reinforcement

The allowable pullout resistance provided by the soil-grout bond length in the passive zone, T_{SG} , can be determined using the effective stress method:

$$T_{SG} = \frac{c' P_c L + 2D \sigma'_v \mu^* L}{F_{SG}} \dots\dots\dots(5.2)$$

where c' = effective cohesion of the soil
 P_c = outer perimeter of the cement grout sleeve
 L = bond length of the soil-nail reinforcement in the passive zone
 D = outer diameter of the cement grout sleeve
 σ'_v = vertical effective stress in the soil calculated at mid-depth of the soil-nail reinforcement in the passive zone, with a maximum value of 300 kPa
 μ^* = coefficient of apparent friction of soil (μ^* may be taken to be equal to $\tan \phi'$, where ϕ' is the angle of shearing resistance of the soil under effective stress condition)
 F_{SG} = factor of safety against pullout failure at soil-grout interface

The allowable pullout resistance provided by the grout-reinforcement bond length in the passive zone, T_{GR} , is given by:

$$T_{GR} = \frac{\beta \sqrt{f_{cu}} P_r L}{F_{GR}} \dots\dots\dots(5.3)$$

where β = coefficient of friction at the grout-reinforcement interface, which depends on the bar type characteristic in accordance with BS 8110 (BSI, 1997), e.g., 0.5 for high yield deformed steel bars
 f_{cu} = characteristic strength of cement grout
 P_r = effective perimeter of the soil-nail reinforcement
 L = bond length of the soil-nail reinforcement in the passive zone
 F_{GR} = factor of safety against pullout failure at grout-reinforcement interface



土釘系統設計之安全係數 (4/4)

介紹

土釘系統設計考量

安全係數檢核

小結

■ 土釘內部破壞型式之檢核

針對土釘之容許應力進行檢核，此部分與邊坡破壞無關係

內部破壞型式	最小安全係數
張力破壞 (Tensile failure of soil-nail reinforcement)	$F_T = 1.5$
土壤與漿體交界面之拉拔破壞 (Pullout failure at soil-grout interface)	$F_T = 1.5^a$ $F_T = 2.0^b$
土釘與漿體交界面之拉拔破壞 (Pullout failure at grout-reinforcement interface)	$F_{GR} = 2.0$

a：於風化花崗岩、火山岩中的瞬時荷載土釘

b：非風化花崗岩、火山岩中的瞬時荷載與持續性荷載土釘

The allowable tensile capacity, T_T , of a soil nail is given by:

$$T_T = \frac{f_y A'}{F_T} \quad \dots\dots\dots(5.1)$$

where f_y = characteristic yield strength of the soil-nail reinforcement
 A' = effective cross-sectional area of the soil-nail reinforcement
 F_T = factor of safety against tensile failure of soil-nail reinforcement

The allowable pullout resistance provided by the soil-grout bond length in the passive zone, T_{SG} , can be determined using the effective stress method:

$$T_{SG} = \frac{c' P_c L + 2D \sigma'_v \mu^* L}{F_{SG}} \quad \dots\dots\dots(5.2)$$

where c' = effective cohesion of the soil
 P_c = outer perimeter of the cement grout sleeve
 L = bond length of the soil-nail reinforcement in the passive zone
 D = outer diameter of the cement grout sleeve
 σ'_v = vertical effective stress in the soil calculated at mid-depth of the soil-nail reinforcement in the passive zone, with a maximum value of 300 kPa
 μ^* = coefficient of apparent friction of soil (μ^* may be taken to be equal to $\tan \phi'$, where ϕ' is the angle of shearing resistance of the soil under effective stress condition)
 F_{SG} = factor of safety against pullout failure at soil-grout interface

The allowable pullout resistance provided by the grout-reinforcement bond length in the passive zone, T_{GR} , is given by:

$$T_{GR} = \frac{\beta \sqrt{f_{cu}} P_r L}{F_{GR}} \quad \dots\dots\dots(5.3)$$

where β = coefficient of friction at the grout-reinforcement interface, which depends on the bar type characteristic in accordance with BS 8110 (BSI, 1997), e.g., 0.5 for high yield deformed steel bars
 f_{cu} = characteristic strength of cement grout
 P_r = effective perimeter of the soil-nail reinforcement
 L = bond length of the soil-nail reinforcement in the passive zone
 F_{GR} = factor of safety against pullout failure at grout-reinforcement interface



小結

介紹

土釘系統設計考量

安全係數檢核

小結

1. 「土釘設計與施工說明手冊」涵蓋介紹、應用、土釘系統設計、土釘系統施工、監測與維護...等章節，本次只針對土釘介紹與設計進行較詳細的報告。
2. 設計土釘系統時，應考慮其穩定性、服務性、耐用性、經濟考量與環境考量五大要素。
3. 土釘的破壞型式分成外部破壞與內部破壞，外部破壞屬於整體性的滑動破壞，內部破壞屬於土釘的結構性破壞。
4. 進行耐用性評估時，首先依現地歷史建設的發展、附近電、煤氣與鐵路等等設施分成三種侵蝕性分類，再根據室內試驗與現場調查的結果，採用 Eyre&Lewis (1987) 開發的評分系統得出土壤侵蝕分類結果（四種侵蝕土壤分類），之後選用防蝕保護措施（分成三等級）。
5. 香港 GCO (Geotechnical Control Office) 將“生命風險”與“經濟風險”納入考量，再將分析對象分為邊坡與擋土牆，又細分新設工程與既有工程補強。
6. 除了檢核整體穩定性的安全係數之外，還需針對內部破壞型式（土釘的容許應力...等）進行檢核。



優質、效率、團隊

RTDT

技術研究發展小組

Research And Technology Development Team

Technology · Innovation · Development

*Thanks for
Your Attention*