

本問題與解答專欄將定期於本刊登出，所擬問題均選自目前大地工程界於施工中可能遭遇之一些疑難小問題，此類問題雖小，但常造成施工人員之困擾。本欄歡迎讀者提出問題，並歡迎學者專家就解答內容提供意見。有鑑於大地工程牽涉範圍及變化甚多，讀者亦請避免將本欄提供之解答視為唯一方案，以免造成施工或尋求解決方法之錯誤。

黃鎮台 · 周功台

Q66：工程界在進行結構體抗浮地錨之設計和施工時，經常面臨安全係數該如何取捨的難題。一般而言，設計單位往往依據建築技術規則建築構造編基礎構造設計規範（中華民國建築學會，民國77年）第44頁之規定，要求永久性地錨之極限抗拔力必須不小於設計拉力之3倍，臨時性地錨必須不小於2倍。然而若依上述規定執行的話，經常會造成施工上的困擾，最常見的問題是鋼腱的數量必須增加。通常在決定永久性工作地錨之鋼腱數量時，多以鋼腱之最大受力不大於其極限拉力之50%（FIP, 1982和基礎構造設計規範，民國77年）為原則。換言之，依一般習慣設計之地錨的極限拉力頂多是達其設計拉力之2倍（鋼腱強度控制），若欲施拉力至3倍設計拉力時，試驗地錨勢必要增加鋼腱數量，在此同時，為求各鋼腱有足夠的水泥漿裹握厚度，也需增加鑽孔之孔徑（增加錨碇端摩擦力）。如此一來，試驗地錨因鑽孔直徑增加了，故其極限拉力會較工作地錨為大，造成試驗地錨之尺寸和抗

拔力與工作地錨不合的情形，徒增施工單位和設計單位間不必要之爭執。因此，個人希望藉地工技術雜誌之一角，將此地錨安全係數決定上的困擾披露出來，煩請中華民國建築學會說明訂定永久性地錨之安全係數不得小於3，臨時性地錨不得小於2之原因。事實上，若從表一之各國規範中對地錨驗收試驗之最大試驗拉力規定之比較中可看出，所有的地錨在完工後都需通過1.1~1.5倍設計拉力之檢測後才算合格，如此嚴格的品質規定，在營建工程界實不多見，因此是否有必要將地錨錨碇端抗拔力之安全係數定為2或3，實有商榷之必要。

（廖洪鈞教授提出）

表一 各國驗收試驗規範之最大試驗拉力比較

規 範	驗 收 試 驗 之 最 大 試 驗 拉 力	
	永 久 性 地 錨	時 性 地 錨
GCO-HK	$=1.5 \times \text{設計拉力}$	$=1.25 \times \text{設計拉力}$
FIP	$=1.5 \times \text{設計拉力}$	$=1.1 \text{ 或 } 1.25 \times \text{設計拉力}$
JSF (日本)	$\geq 1.2 \times \text{設計拉力}$ (平時) $\geq 1.0 \times \text{設計拉力}$ (地震時)	$\geq 1.1 \times \text{設計拉力}$
DIN	$=1.5 \times \text{設計拉力}$	$=1.2 \times \text{設計拉力}$
土木水利 學會	$=1.5 \times \text{設計拉力}$	$=1.25 \times \text{設計拉力}$

A：為確保地錨的設計及施工品質符合安全要求，因此進行地錨系統設計時，應針對其系統內主要構成組件材料和組件間界面可能發生的破壞現象，就其破壞機制(Failure Mechanism)一一詳加檢核其安全性。此外亦需於工址調查、設計期間或施工前先行辦理現場地錨的抗拔試驗（亦稱證明試驗或基本試驗），並於施工期間辦理適用性試驗及驗收試驗（亦稱確認試驗），以實際驗證地錨系統整體之安全性及適用性。

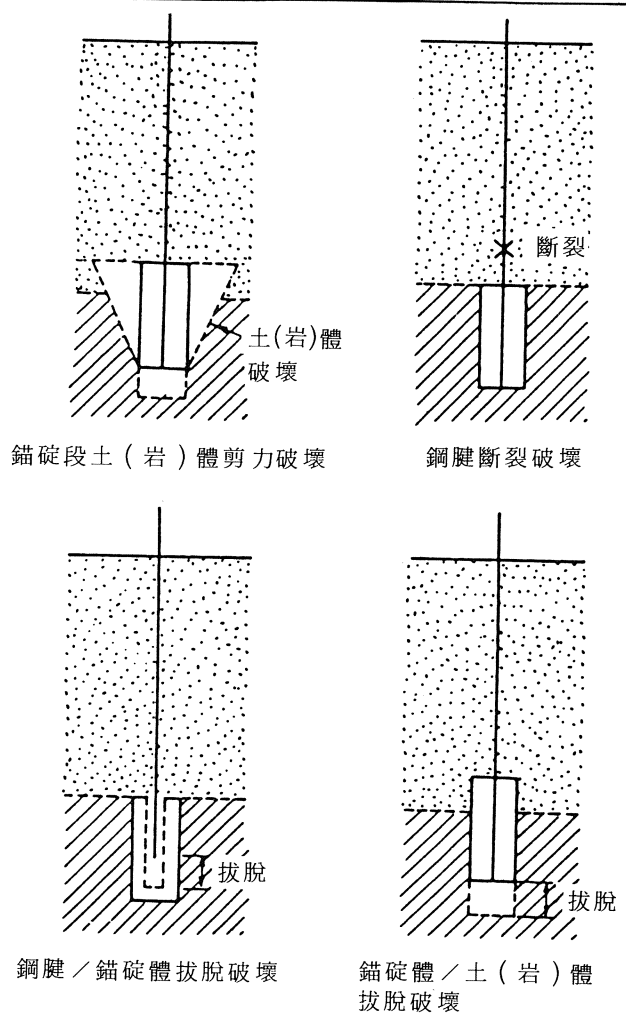
一般地錨系統內所需考慮之破壞部份大致有四：

- (一) 錨碇段地層
- (二) 鋼腱和預力端錨組件
- (三) 地層／錨碇段灌漿體界面
- (四) 鋼腱／錨碇段灌漿體界面

其破壞形式的示意圖概略如圖一所示。

至於對地錨系統內各部份之不同形式破壞所宜採用的安全係數值大小究應各為多少，方可使得各部份獲致之“安全界限”

(Safety Margin)趨於一致，使地錨系統整體的安全性與經濟性得以兼顧，係視對於其各個組成部份之破壞機制特性瞭解掌握的準確程度與其涉及之相關影響因素的不確定性；以及依據地錨系統的使用目的與年限（臨時性或永久性），評估衡量其一旦發生破壞所可能造成之災害，危及公共安全和財物損失程度而定。因此，一般常見的地錨設計規範、標準或建議，對於上述地錨系統內各組成部份設計，所要求的安全係數值大小，有顯著的差異。基本上，若該部份設計所考慮的影響因素之不確定性、變異性及風險性較小時，則其安全係數值必然較低，反之則較高。同時依據理論或經驗推估之設計成果所採安全係數



圖一 地錨之破壞型式示意圖

亦較依完整的全尺度(Full Scale)現場試驗（如抗拔試驗）結果者為大。另外，基於施工完成的地錨品質和實際之抗拉行為，與錨孔之鑽掘、鋼腱之組立及裝設、錨碇段之灌漿材料及灌漿壓力、以及錨碇段之灌漿成效等多項施工作業過程和潛在地層條件變化相關聯，為確切證實各完工後地錨的起碼抗拉能力及承拉變位特性能否符合要求，皆進行驗收試驗予以施加略較設計拉力為大之驗證拉力(Proof Loading)，

以驗收（確認）其品質。該驗證拉力與設計拉力之比值，稱之驗收荷重係數(Proof Load Factor, FL)，其值所代表及隱含之意義與前述的安全係數之意義不盡相同，極易造成混淆。

今以表一所列英國BSI (BS8081, 1989) 建議之地錨設計最小安全係數為例，簡略說明地錨系統內各組成部份所要求的安全係數值之差異。鑑於鋼腱材料強度的可靠度較易掌握及明確檢測，以致要求之安全係數值較地層／錨碇段灌漿體、鋼腱／錨碇段灌漿體等界面之安全係數值為小。同時依工程失敗風險性及危害度考量程度的不同，臨時性地錨之安全係數亦較永久性錨為低。參見表一所列之數值並參考比較其他各國規範、標準之規定，獲悉有關

鋼腱材料容許抗張力（＝極限抗張力／ $F_s$ ）的最小安全係數 $F_s$ 要求，BSI (1989)及其他大部份規範建議臨時性地錨的 $F_s$ 皆介於1.40～1.60，永久性錨的 $F_s$ 則為2.00左右，僅有日本所採之值略低（常時為1.67，地震時為1.33）。至於地層／錨碇段灌漿體界面以及鋼腱／錨碇段灌漿體界面等界面間握裹力的最小安全係數 $F_s$ 要求，則因考量該握裹力具較大之不確定性與變異性，故有較嚴謹且繁複的規定，各國規範、標準所要求或建議之值略有不同。一般而言，其容許抗拔力（荷重）由三種方式決定之，所採用之安全係數值亦有所不同，(一)依理論或經驗推估之極限抗拔力（荷重）求得者。容許抗拔力（荷重）為極限抗拔力（荷重）／安全係數 $F_s$ ，BSI

表一 BSI (1989) 建議地錨設計之最小安全係數

地錨類別	最小安全係數			驗收 (確認) 荷重係數
	鋼腱	地層／錨碇段 灌漿體界面	地層／錨碇段 灌漿體界面	
臨時性地錨，使用年限在六個月以內，且破壞時無嚴重影響亦不危及公共安全者。	1.40	2.0	2.0	1.10
臨時性地錨，使用年限達三年以內者，雖或有嚴重的破壞影響，但會有妥適預警並不危及公共安全者。	1.60	2.5*	2.5*	1.25
所有永久性錨，或臨時性地錨於具高腐蝕風險區域以及其破壞足以造成嚴重影響者。	2.00	3.0+	3.0	1.50

\* 倘有完整的全尺度現場試驗結果，則最小之安全係數可採2.0。  
 + 地層潛變較大時，安全係數宜提高至4.0。  
 註1. 一般錨碇之安全係數是指是其極限荷重與設計荷重之比值。上表所列之最小安全係數指錨碇系統內所有主要組件間界面之安全係數。  
 註2. 地層／錨碇段灌漿體界面之最小安全係數通常介於2.5～4.0，倘有完整的全尺度現場試驗提供足夠的次料則允許降低。  
 註3. 地層／錨碇段灌漿體界面所採的安全係數往往較鋼腱為高，係因其所含之不確定性較大。

(1989)建議 時性地錨的 $F_s=2.0\sim 2.5$ ，永久性地錨的 $F_s=3.0$ ，倘地層可能發生之潛變較大時 $F_s=4.0$ ，與FIP (1982)所建議的安全係數至少為 $2.0\sim 3.0$ 以及地層具潛變之可能性時提高為 $3.5$ 的規定相仿。(一)依現場進行之地錨全尺度抗拔試驗(證明試驗、基本試驗)獲得之極限荷重求得者，BSI (1989)建議 時性地錨的 $F_s=2.0$ 。而日本JSF (1977 1988)建議 $F_s=1.5$ 。永久性地錨之鋼腱/錨碇段灌漿體界面之握裹力安全係數最小亦可降低至 $2.0$ 。但地層/錨碇段灌漿體界面之握裹力安全係數僅可由 $F_s=3.0$ (一般地層) $\sim 4.0$ (具潛變之地層)酌予降低，允許降至多少，並無一明確數值規定。而日本JSF (1977, 1988)建議值為 $F_s=2.5$ 。(二)依現場進行之地錨全尺度抗拔試驗獲得之限制荷重(Limit Load)求得者。限制荷重係考量地錨發生之潛變量限制於某一特定量狀況下之荷重大小，通常皆較極限荷重為小。如何判定限制荷重及由限制荷重決定容許抗拔力(荷重)所採用之安全係數為何，在BSI (1989)、PTI (1985)及日本JSF (1977, 1988)規範內無此項建議。FIP (1982)建議 $F_s=1.1$ ，西德DIN (1976)建議 $F_s=1.5$ ，法國(1986)建議 $F_s=1.5$ ，其安全係數之差異，主要係對限制荷重的判定方式不同所致。

依據以上有關地錨系統安全係數之概略說明，吾人似可對其所表示之意義有一具體概念。至於問題中所言中華民國建築學會建築技術規則建築構造編基礎構造設計規範訂定之 時性地錨安全係數不得小於 $2$ ，永久性地錨不得小於 $3$ ，對地錨品質要求之規定似乎過分嚴格。筆者認為其實不然，此項安全係數規定係針對地錨的錨碇段抗拔(握裹)安全性而言，該安全

係數 $F_s$ 值所指的實質安全要求意義與驗收試驗的驗收荷重係數 $FL$ 值所代表之含意，兩者間有極大之差異，實不應混為一談。按技術規則基礎構造設計規範規定地錨之錨碇段容許抗拔力的決定方式，係與前節所述之第(二)種方式相同，其安全係數雖較日本JSF (1977、1988)所建議之值(臨時性地錨 $F_s=1.5$ ，永久性地錨 $F_s=2.5$ )略微大一些，此恐係考慮該設計規範中並未對地層之潛變影響，予以明確、完整的限制要求之故。另外，由於所訂定的安全係數大小與訂定年代較晚之BSI (1989)規範所規定者幾乎一致，因此，筆者認為技術規則基礎構造設計規範所規定的地錨錨碇段之抗拔安全係數值，應極為合宜。

至於藉由地錨之抗拔試驗(證明試驗)求取錨碇段之極限抗拔力(最大試驗荷重)時，倘試驗地錨之鋼腱尺寸、數量以及錨孔、自由段、錨碇段之直徑、長短與工作地錨完全相同，則試驗拉力荷重欲達設計拉力荷重之 $2\sim 3$ 倍以上，確實已超過鋼腱材料容許試驗荷重( $90\%\sim 95\%$ 之降伏荷重)甚多，對試驗作業安全影響頗大。為解決此一問題，FIP (1982)、PTI (1985)及BSI (1989)皆建議試驗地錨可採增加鋼腱數量、錨孔直徑或縮短錨碇段長度等兩種方式克服之，雖然所獲得之錨碇段極限抗拔力(握裹力)與工作地錨實際具有者有些差別與不合的情形，惟該微許差異量當可涵蓋於安全係數之內。國內採用縮短錨碇段長度而不變更鋼腱數量、錨孔直徑之方式進行地錨的抗拔試驗，已有十餘年之久，迄今尚未遭遇任何問題及困擾。另外，依據筆者的經驗，倘地錨工程正式施工前，未進行抗拔試驗以證明地錨錨碇段之極限抗拔力，可達到設計拉力之

2~3倍以上，同時，設計時依理論或經驗推估地錨之容許抗拔力所採用之參數、方法及安全係數不甚合宜（安全係數偏小）時，僅擬憑藉地錨完工後之驗收試驗，驗證其抗拔能力可達設計拉力之1.1~1.5倍及預力損失量符合要求，即認定其品質合格，則往往會發現已完工之地錨的不合格數量比例偏高，反而造成事後補救改善的困擾。

（ 范景雲\*周功台\*\* ）

FIP (1982) "Recommendations for the Design & Construction of Prestressed Concrete Ground Anchors", *Federation Internationale de la Precontrainte*.

### 參考文獻

- 中華民國建築學會（民國77年）“建築技術規則 建築構造編基礎構造設計規範”。
- 日本土質工學會（1977）“アースアンカーの設計・施工基準”，JSF規格：D1-77.
- 日本土質工學會（1988）“グラウンドアンカー設計・施工基準”，規格：D1-88.
- 日本土質工學會（1990）“グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説”P.148.
- 西德國家標準(1972) "Erdund Felsanker, Verpressanker für Vorübergehende Zwecke im Lockergestein. Bemessung, Ausführung und Prüfung" *DIN 4125, Blatt 1*.
- 西德國家標準(1976) "Erdund Felsanker, Verpressanker für dauernde Verankerungen (Daueranker) im Lockergestein. Bemessung, Ausführung und Prüfung", *DIN 4125, Teil 2*.
- 英國國家標準(1989) "British Standard Code of Practice for Ground Anchorages", *British Standards Institution BS 8081*.
- 法國國家標準(1986) "Recommandations Concernant La Conception, Le Calcul L'Execution Et Le Controle Des Tirants D'Ancre", *3e' Edition, Le Bureau Securitas*.
- 美國PTI (1985) "Recommendations for Prestressed Rock and Soil Anchors", *4th Edition, Post-Tensioning Institute*.

\*中基土壤技術顧問有限公司協理

\*\*中華顧問工程司大地工程部組長