

地 錨 之 設 計 與 施 工
DESIGN AND CONSTRUCTION OF
EARTH ANCHORS

歐 晉 德
C.D. OU

本文原載於台灣建築徵信革新號
第廿四期，六十六年二月

Reprinted from

Taiwan Architecture Information Semimonthly

No. 24, Feb. 1977

ABSTRACT

This paper presents the current design methods and construction practice of ground anchors. Reference is made to the suitability of using ground anchors in the Taipei subsoil conditions. The need for proof test and monitoring system is emphasized.

地錨之設計與施工

歐晉德

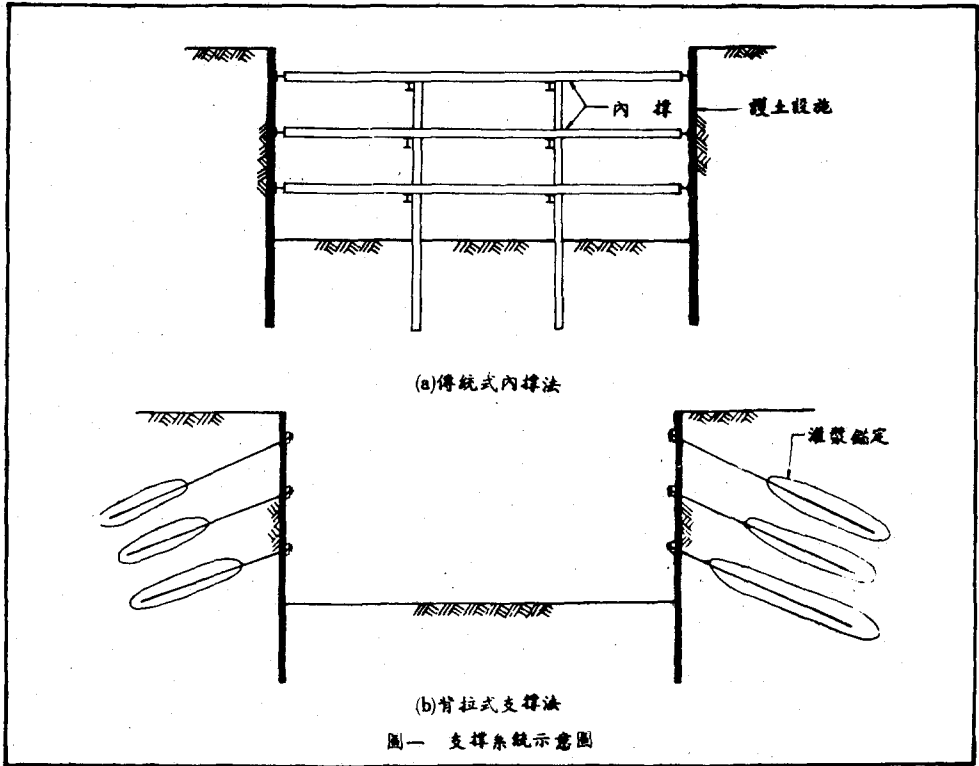
一、前言

預力地錨 (prestressed earth anchor) 在土木工程上的運用大概有近四十年的歷史，其應用範圍包含了：

- 1 邊坡穩定設施
- 2 港灣岸壁結構之斜支系統
- 3 乾船塢底部之上舉力抵抗
- 4 樁載重試驗之錨定裝置
- 5 深開挖護土設施之支撐
- 6 建築基礎抵抗上舉力之錨定等等。

近年來由於人類活動日漸趨向都市，都市中形成寸土寸金現象，土地之利用無不求其極致，在都市中建築皆求往高空或往地下發展，高樓建築為求基礎之穩固、經濟，常採深入地中之浮式基礎設計 (Floating Foundation)，因此建築施工常遭遇開挖工程甚深的難題，深開挖工程安全保護措施所採用之支撐系統，除傳統式內部支撐外 (Internal Bracing) (如圖 1 - a)，尚有利用此種地錨者即所謂之背拉系統 (Tie-Back)，前者於開挖面內部利用木樑或鋼樑支撐，以抵擋由護土設施傳來之土壓力，內部支撐之優點在開挖面積及深度皆小時裝設迅速，成本較低，其缺點為開挖面積甚大時，因橫樑過長易生挫屈 (Buckling) 以及變形 (Deflection)，造成危險，開挖深度

過深時，需多層支撐，則裝設費時困難，同時對開挖工程之挖土、出土形成干擾，延長施工時間，增高了施工的成本，也同時降低了施工安全性，在目前世界各地大規模深開挖工程皆傾向於採用後者背拉法支撐系統 (圖 1 - b)，背拉法乃利用鑽機鑽孔，穿過護土設施，並進入護土設施後側土壤中，再置入拉力鋼線灌漿，產生土中錨定 (Earth Anchor) 作用，利用此錨定力拉住護土設施，產生支撐效果，此法可使整個開挖面完全開放，挖土出土極為便利，使開挖工作迅速進展，縮短工期，相對的提高安全性，其缺點在至於施工材料如鋼線等不似內部支撐之鋼樑可重覆使用，因而成本較前者為高，但若就總工程費而言，在開挖面積及深度超過某一限度時，反而要較前者為低，背拉法在台灣原有許多工程曾先後採用，唯因少數工程設計及施工不當發生問題後，造成目前許多工程不敢採用，主管當局不敢核准等現象，殊為可惜，在國外已有工程採用背拉法施工，開挖深度達地下 33 公尺者，目前台灣工程界對此法裹足不前，豈非因噎廢食，其實背拉法之設計若能對設計原理及土壤性質有詳盡的了解，對裝設工程有良好的管制，其效果絕不亞於內撐法，在許多種情形下甚至較內撐法更有效，因此本文乃希望針對深開挖工程地錨系統之設計及施工應注意事項作概略的介紹，期能使工程界獲得了解，打破心理障礙，慎於採用，則亦是一件值得慶幸的事。



二、背拉地錨型式

地錨用於建築施工開挖之安全措施歷史甚短，目前為國外工程界所採用者主要有兩種型式：

1. 灌漿摩擦錨定 (Grouted Tie-Back)

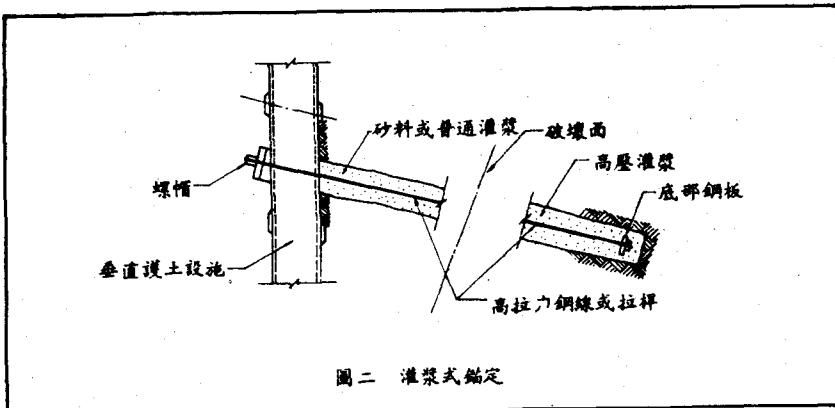
其型式如圖 2，主要利用灌漿後混凝土與土

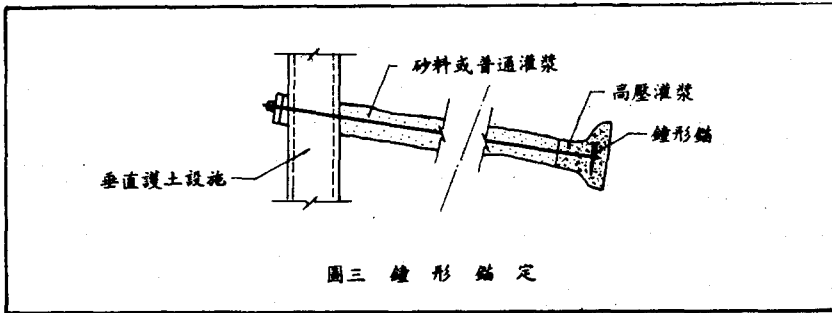
壤間之摩擦力產生錨定效果。

2 鐘形錨定 (Belled Tie-Back)

如圖 3 所示，錨定端點擴大成鐘形，因此除摩擦效果外，尚可因端點之鐘形設施產生大量被動土壓力而生錨定效果。

在土木工程應用中，設計地錨必需注意下列幾





點：

1. 地錨上作用力量之大小

設計者對將作用於地錨之力需有正確的估計，此側向力包括土壓力，地表超負荷重、水壓、施工車輛荷重、或地震力等等。

2. 地錨之持久性

任何工程設計對安全係數之選擇均需特別考慮其使用年限，地錨之設計亦然，安全係數之選擇視地錨本身利用時間之長短及工程之重要性而異，屬永久性者與臨時使用者應分別考慮。

3. 土壤情況

地錨產生阻力的大小與所處之土壤情況有最密切的關係，土壤空隙的大小甚至影響到地錨灌漿的可能性，與地錨設計之成敗息息相關。

4. 施工條件

任何完善的設計若無嚴密的施工配合，絕無法保證工程的成功，特別是地錨本身、鑽孔的方法、灌漿的壓力、試錨的標準，在在都影響到地錨的效果。

對以上四項重點有直接影響之各因素進一步研討如後。

三、開挖之側向壓力

作用於擋土牆上之側向土壓大小受牆高度及剛

性 (rigidity)、土壤性質、水壓及超荷重等因素之控制，土壤性質中與錨定擋土牆關係最密切者為土壤之單位重 (r)、土壤之浸水單位重 (r') (Submerged Unit Weight)，除此之外，計算土壓最需知道的就是土壤的強度性質，土壤的強度性質通常由

$$S = C + \sigma \tan \phi \dots\dots\dots(1)$$

來表示，上式中

S = 土壤之抗剪強度

C = 土壤之凝聚力 (Cohesion)

ϕ = 土壤之內摩擦角 (Internal Friction Angle)

σ = 土壤內部之正應力

C 、 ϕ 之選擇與施工期土壤所處的狀態有關，一般而言，對粘性土，排水性不良者，設計應採用不排水剪力強度 S_u ，即

$$S_u = C_u + \sigma \tan \phi_u \dots\dots\dots(2)$$

C_u 及 ϕ_u 分別表示不排水狀態之土壤凝聚力及內摩擦角值。

目前台北市區地表最上層之粘土層，其單位重大約為 1.8 至 $2.0 T/m^3$ ， C 值約在 $0.2 kg/cm^2$ 左右，此粘土層下方之砂土層單位重約在 1.9 至 $2.0 T/m^3$ 之間，根據統計，台北盆地礫石層以上之土壤性質大概數值如表一

層次	土層	統一土壤分類	N值	厚度(M)	含水量(%)	密度 $r(T/m^3)$	Ckg/cm ²	ϕ
一	地表粘土層	CL-ML ML	2-9	2-6	26-36	1.8-2.0	0.4± 0.5±	-
二	沈泥質細砂層	SM	6-20	4-16	22-30	1.9-2.0	-	30°±
三	沈泥質粘土層	CL-ML	4-12	6-29	28-36	1.8-2.0	0.4±	-
四	砂土層	SM	10-30	2-8	18-28	1.9-2.1	-	32±
五	粘土層	CL-ML	5-20	0-19	20-28	1.9-2.1	-	-
六	沈泥質砂土層	SM	30-45	0-14	18-24	2.0-2.1	-	-

表一 台北土層性質簡表

側向土壓力對臨時性之擋土結構物而言，除了混漿土地下連續壁，多半是考慮主動壓力，主動壓力之計算通常根據 Rankine 或 Coulomb 土壓理論推導之，土體中任意深度 Z 處之主動土壓力 P_a 可由下式推求之

$$P_a = K_a \gamma Z - 2C\sqrt{K_a} \dots\dots(3)$$

式中 K_a 即為主動土壓係數，視土壤之 ϕ 角而異，表二所列為主動土壓係數之參考值。

表二 土壤之主動土壓係數值

ϕ	30°	35°	40°
K_a	0.33	0.27	0.22

四、安全係數之選擇

安全係數之大小取決於工程持續時間之長短，施工技术之優劣，土壤資料正確性之高低等等，如後二者均極可信賴，則設計之安全係數可採用下者

安全性
臨時支撐用 1.6 ~ 2
永久性

(1)砂礫質土壤或岩盤錨定 1.6 ~ 2

(2)粘土中錨定 3

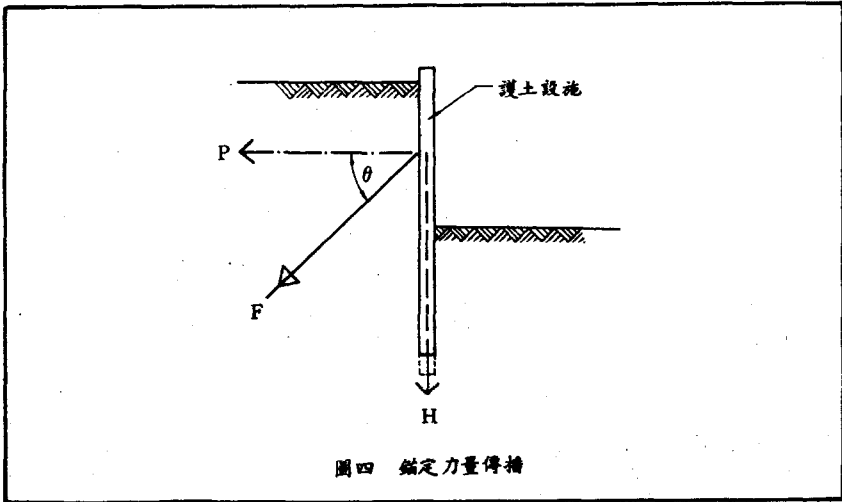
除以上之安全係數外，在計算有效之錨定作用長度

上，需取另一安全之考慮，此點將在設計中詳述。根據經驗在粗砂或礫石層中之錨定，每支允許荷重量不宜超過 70 噸，細砂層不宜超過 35 噸，安全係數大致均在 1.5 至 2.5 範圍內，粘土層中之允許錨定力通常較低，因表面之附着力 (Adhesion) 不易發生，如有擴孔裝置則宜用錐形錨定，不論如何，即使凝聚力甚高，設計也幾乎無超過 75 噸者。

五、分析與設計

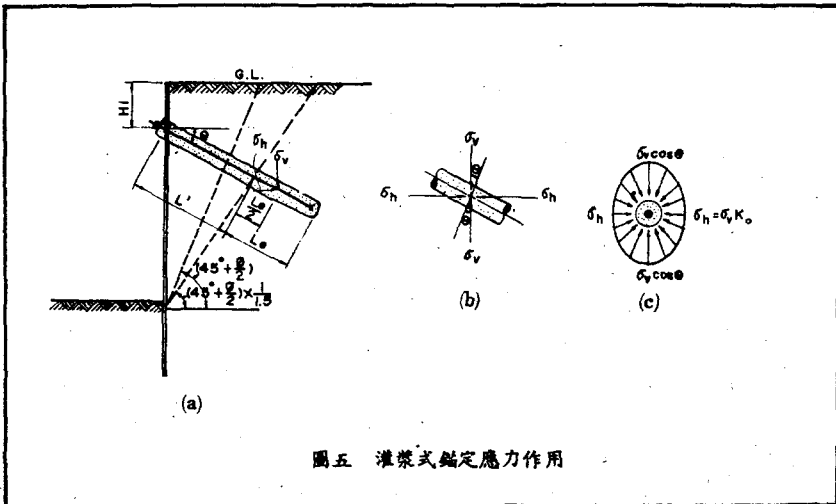
背拉錨定係利用鋼索 (Cable)、拉桿 (Tie-Rod) 或鋼絞線 (Strand) 等將護土設施拉住，傳力至土壤內部，將作用於護土設施之水平向側壓力，經由鋼索或拉桿轉換或沿拉桿軸向之張力而至地錨上 (如圖 4 所示)，需特別注意者即此張力自然產生一個使護土設施向下移動的拉力，可使護土設施產生垂直之沉陷，此垂直拉力之大小隨拉桿傾角之加大而增加，故而錨定之傾角亦不宜過大，理論上以愈近水平愈佳，也愈能發揮其效果，但通常拉桿至水平時，常引起施工上的困難，灌漿不易，且“無效長度”增加，浪費材料，所以通常傾斜 15° 至 45° 間，最好不小於 15°，視土壤情況而定，一般土質情況下，地錨傾斜角約在 30° 左右為理想。

破壞角之假設一般採 Rankine 理論，即主動土壓之破壞角與水平成 $45^\circ + \phi/2$ ，而設計上為安



全起見採用之破壞角為 $(45^\circ + \phi/2) \times 1/1.5$ 為標準，假設灌漿之有效範圍在此角度以下（見圖 5），在此破壞角與開挖角夾角間之拉桿長度視為無

效，即所謂“無效長度”；此段於施工時以低壓灌漿或填塞細料為之。今就 (a) 灌漿式錨定及 (b) 鐘形錨定之設計分別敘述



(a) 灌漿式錨定

灌漿摩擦式錨定係數根據土壤與錨定之表面摩擦而設計(如圖5c),取一斷面視之,作用於錨定表面之壓力分佈成橢圓形,最大為 $\sigma_v \cos \theta$,最小為 $\sigma_v \cdot \sigma_v$,為錨定有效長度上各點之有效垂直應力, θ 為錨定與水平方向之交角, σ_h 則為水平應力,若靜土壓係數K。為已知,則

$$\sigma_h = K \cdot \sigma_v, \sigma_v \text{ 可由圖5a得知其值為}$$

$$\sigma_v = [H_1 + (L' + \frac{L_0}{2}) \sin \theta] \cdot r \dots\dots(4)$$

上式中 L' = 拉桿之無效長度

L_0 = 拉桿之有效長度

H_1 = 錨定銜接點至護土設施頂點距離

r = 土壤之單位重

則在 $C - \phi$ 土壤中,錨定邊緣每單位面積之摩擦阻力 S 為

$$S = C + \sigma_v \cdot \tan \delta \dots\dots(5)$$

上式中 C = 土壤之凝聚力

σ_v = 作用於地錨周圍上之平均正壓力

$$= \frac{1}{2} \sigma_v (\cos \theta + K_0)$$

δ = 地錨與土壤間之摩擦角, Terzaghi 建議用

$$\delta = \frac{1}{2} \phi \sim \frac{3}{4} \phi, \text{一般採用 } \frac{2}{3} \phi$$

因此當灌漿孔之直徑 d 為已知時,則每根錨定可發生之極限摩擦力 F 為

$$F = \pi ds \times Le \dots\dots(6)$$

設計要求此摩擦力之水平分力必須大於作用於護土設施之側向力 P , 即

$$F \geq (F.S.) \times P / \cos \theta \dots\dots(7)$$

$F.S.$ 為設計採用之安全係數。

由上列諸式綜合可得到設計所需之錨定拉桿長度 L 為

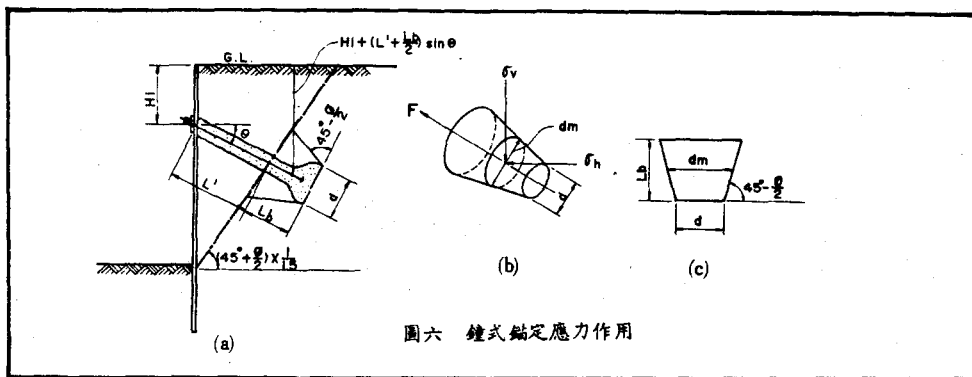
$$L = L' + \frac{P \times F.S.}{\pi d \cos \theta [C + \frac{1}{2} \sigma_v (\cos \theta + K_0) \tan \delta]} \dots\dots(8)$$

按目前之施工通常在有效長度 Le 內均採用壓力灌漿,而在砂土中, C 值通常不計。

(b) 鐘式錨定設計

鐘式錨定如圖6a 所示,利用鐘形背面所生之被動土壓力以及部分摩擦力來承受由拉桿傳來之拉力,被動土壓力 F_p (參見圖6b及6c) 約等於

$$F_p = P_p \times \frac{\pi}{4} dm^2$$



圖六 鐘式錨定應力作用

$$\text{即 } F_p = \frac{\pi}{4} \sigma_v (\sin \theta + K_p \cos \theta) \left[d + L_e \tan \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \right]^2 \quad \dots\dots\dots (8)$$

上式中 d 表鐘式錨定底部之直徑， K_p 為土壤之被動土壓係數 d_m 為鐘形土塊之平均直徑。摩擦力部份通常略而不計。

初步設計時，上數式中對土壤所取之土壓係數可參考表三

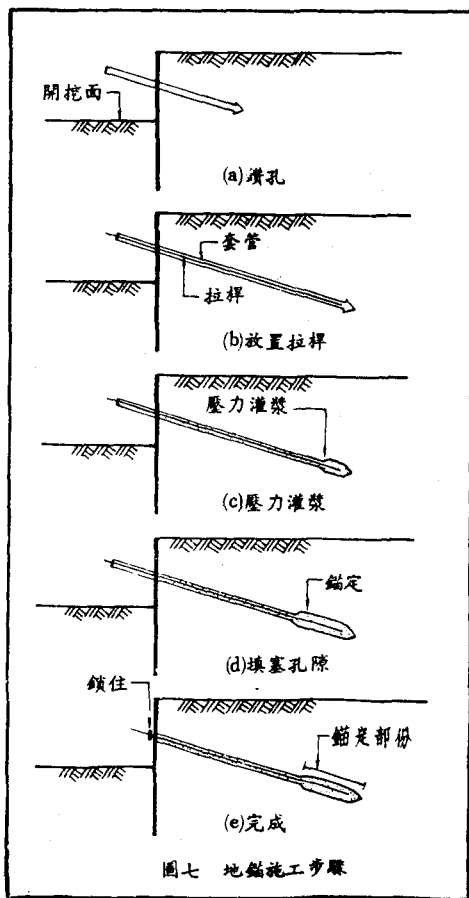
表三 土壓係數

土壤類別	砂質土壤	粘質土壤
被動土壓	3~14	1~2
靜止土壓	0.4~0.6	0.4~0.8

六、錨定之施工

當全部或部份之版樁打入開挖區邊緣後，即可開始準備進行地錨之安裝工作，通常開挖之工作進行至預定安裝地錨位置下方約 50 公分時，即開始按設計角度進行地錨之鑽孔（如圖 7a），第一層地錨大都裝置於開挖面頂往下約 1.5 公尺深處，不宜過低，以避免版樁過份彎曲，鑽孔可以利用螺旋鑽或衝擊式鑽孔，鑽孔時如遇地下水或軟弱土層時，可採用套管或灌以皂土（Bentonite）保護，鑽孔完成後，置入鋼索或拉桿，第三步即行壓力灌漿，灌漿需利用灌漿管而自地錨之末端開始，壓力約為 7 kg/cm^2 ，使混凝土充分滲入土壤中形成一堅固整體，灌漿之同時，將套管逐步拔出，如採用皂土時，應確保從底部加壓灌漿將皂土擠出，以免在接觸面隔離混凝土與土壤之結合而減低摩擦力，當有效長度之錨定全部灌完時，將套管完全拔出，無效長度內之孔隙以低壓灌漿或細料填滿，灌漿完成至少七天後待混凝土發生應有的強度後，方可於鋼索上施加壓力，並繫鎖於擋土設施上。若欲提前施工速度，可於混凝土中增添速凝劑，縮短凝固時間，灌漿時應特別注意，避免發生錨定不連續現象，根據經驗，灌漿管不宜小於 5mm，以免阻塞，採用螺旋鑽機鑽孔時，通常採用直徑 6" 至 12"（15~30 cm）者為最適宜。

鐘形錨定施工需採用特殊之擴孔設備，將底部擴大至設計所需之鐘形大小，再行壓力灌漿，有時亦可於末端置入鐵板代替錨定。



圖七 地錨施工步驟

七、試驗與觀測

背拉式地錨之設計公式並非一定可靠，而且牽涉土壤性質變化甚大，施工之水準亦不一定符合設計要求，因此有賴於完成後之試驗，以及開挖工程進行中之觀測，以檢驗地錨之強度是否合乎設計安全標準或經濟要求，絕對避免一味相信設計者，過份保守之設計等於浪費，不安全的設計更可造成嚴重後果。

檢查錨定強度之方法即進行拉力試驗，一般拉力測驗於灌漿後七天實施，目前歐美各國使用之試驗方法很多，並無已定之規範可循，最簡單之一種為證明實驗（Proof Test），每一被拉地錨上皆可實施，即作用百分之一百二十之設計荷重於地錨上，並紀錄其位移量，施力最大不超過設計拉力之 1.33 倍，若發生大量位移即表示負荷已達極限。

其它之拉力試驗亦有施力達設計荷重之 200% 者，一般試驗均連續觀測 24 小時位移，通常對臨時性錨定，試驗用荷重建議採設計荷重之 1.2 倍，永久性地錨則採 1.3 倍。

八、觀 測

對於地錨而言，因土壤變化影響甚大，設計理論又非十分完善，為確保安全，有賴施工中隨時的觀測，觀測擋土設施之位移、沉陷、地錨本身應力變化等，以能及早發現任何不正常現象，而及時補救，使整個工程在高度安全狀況下進行完成，如此，縱使施工或設計不盡完美，但在精細觀測下，絕不致發生結構物破壞情形。

通常觀測項目大致包括：

- (1) 開挖面周圍之側位移
- (2) 護土設施之沉陷量
- (3) 版樁之應力變化
- (4) 錨定承受應力之變化
- (5) 鄰近建築物之位移或不均勻沉陷量

對臨時工程而言，若設計相當保守，施工可靠，常僅觀測護土設施之位移即已足夠，但若發現地錨工程常失敗時，則必須增加對地錨及版樁承受應力變化之觀測項目，特別在深開挖的情形，需採用許多層地錨裝置時，對上層地錨的試驗及觀測常可使下層地錨的設計更為經濟。對重要的工程更應有完善的觀測系統，以確保安全。

九、結 論

地錨之設計經濟、安全與否，首先受土壤資料之正確性控制，設計者應取得正確，完善的土壤資料及土壤強度性質，對施工鄰近地點之建築物情況亦應有所了解，而後根據所有資料計算各階段之土壓變化，以選擇錨定之設計荷重量，設計完成後按前述步驟仔細施工，並作適當之拉力試驗與施工之觀測，以確保整個工程之安全。

背拉法地錨最適用於深且大面積之開挖工程，於經濟性、安全性上均可得甚良好之效果，太淺或窄的開挖採用背拉地錨則無法發揮其功能。

地錨亦較不適用於太軟弱之粘土層，因錨定效果主要賴於水泥灌漿與土粒之膠結力而生，而粘土中孔隙甚小，水泥漿難以灌入，僅靠粘土與錨定間

之表面凝聚力支持，效果較難發揮。

固然目前建築施工採用地錨，尚有一問題即地錨本身需深入其它鄰近建築物之地下，是否構成對地權之侵犯，或施工亦需徵得鄰近地主之同意，是需待研究的問題，但不可否認者，即傳統之內部支撐對目前逐漸遭遇的深開挖工程造成許多施工的不便，且在開挖面積增加，跨距過大時，一方面增高費用，另方面增加危險性，背拉式地錨正是解決此施工難題的最佳辦法，如何使之得以推廣，應是我國工程界人士需共同努力的工作之一。