

高接建築基礎之選擇  
FOUNDATION SELECTION FOR  
HIGH-RISE BUILDINGS

歐 晉 德

CHIN-DER OU, Vice President

Moh and Associates, Inc.

Taipei

原載於台灣營建中心高接建築研討會論文專集，

72年9月19-20日

*Reprinted from*

*Proceedings, Seminar on Tall Buildings,*

*Taipei, 19-20 Sept. 1983*

*Taiwan Construction Technology*

*Research Center*

## ABSTRACT

The paper discusses types and selection of foundation type for tall buildings.

## 高樓建築基礎之選擇

### 前言

高樓建築物基礎設計應特別考慮其特殊高度、強度、環境及施工等因素。高樓建築之特點在於：

1. 荷重集中——高樓經由樑柱傳達相當大之集中荷重至基礎面上。
2. 載重不均勻——為了美觀及實用，在高樓四週常圍繞一些五至六層的低層建築，因此低層建築之荷重量與高樓形成強烈之對比。

因此，基礎設計與一般低層建築不同，必需考慮下列因素：

1. 基礎土層之安全支撐能力——除保證在高度荷重時，建築物不至傾覆外，必須考慮地震時也不會發生局部超壓破壞。
2. 不均勻沉陷量影響——建築物各部份基礎面接觸壓力差異甚大，因此在設計時，需考慮差異荷重而可能發生之不均勻沉陷量。而就高樓建築而言，基礎形態常受沉陷因素所控制。
3. 工期及管理——為了爭取時間，高樓的主體部份需早期開始，而環樓之低層構造可稍後開工以配合全部工期。因此基礎工程的設計應配合工期並考慮各時期的施工安全，以最理想之基礎設計來爭取施工時效。

因此高樓基礎設計需有充分的地質分析資料，諸如土壤支承特性、沉陷量、可能之差異沉陷、對地震、風力所產生之側壓影響、施工期間基礎面之應力變化、基礎形式對施工之影響等，均應有完

善的分析，以達理想設計。本文就高樓基礎設計之選擇基本考慮因素作一介紹。

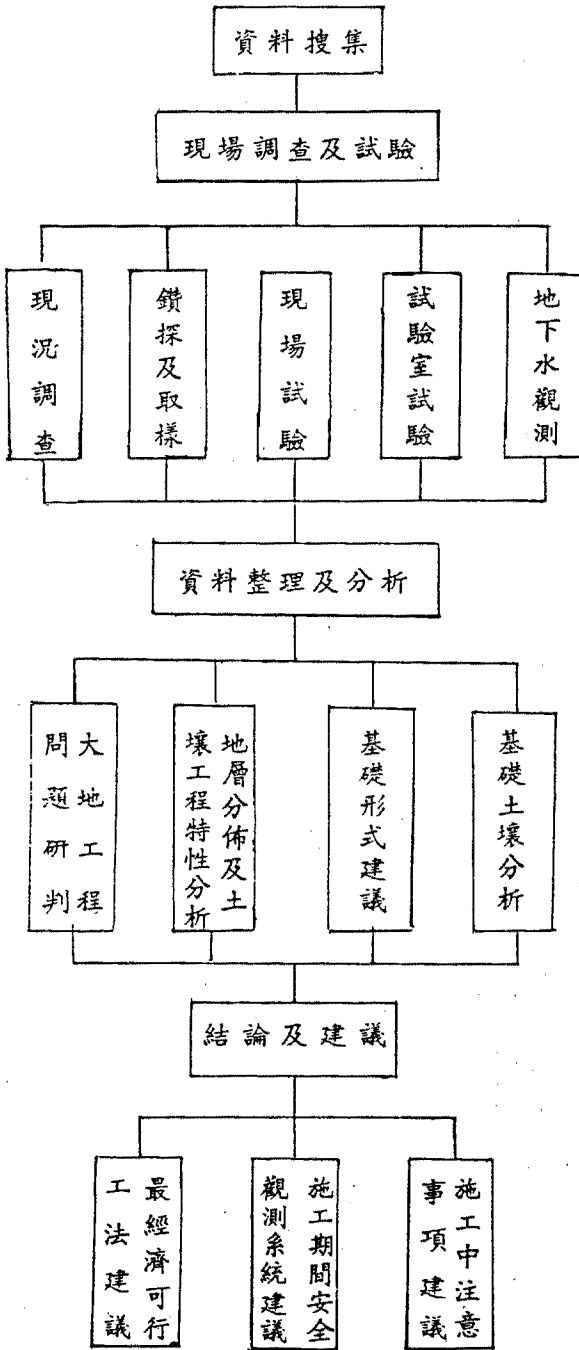


圖 1 高樓基礎土壤調查及分析程序

## 二 基礎設計與分析

高樓建築基礎設計之步驟一如其他基礎工程問題，一般大致如圖 1 所示，可分成調查、分析設計以至施工建議三大階段，在調查階段無論自任何角度觀察，有兩項要目均屬必須，即

- (1) 在工程區及高樓荷重影響範圍內，地盤的分佈狀況包含分佈面積、深度及各層次的厚度等。
- (2) 各土層的組成及其工程性質。

自然界中土層的分佈通常相當複雜，近年來固然土壤力學的理论與實際應用均有相當的進步，但是若調查工作進行有所疏忽，則不論理論如何完美，均無法達致精確的預測，因此自整體觀點言之，在進行調查工作時，其具體計劃可分成初步調查以及細步調查兩階段，其主要目的分別為：

- (1) 初步調查——根據高樓建築配置之需求進行初步調查，利用現場鑽探、取樣及試驗室試驗等獲取工程區之基礎土壤資料，部份現場試驗如標準貫入試驗、圓錐貫入試驗、孔內側壓試驗等等可能亦均配合使用，調查應特別注意高樓特殊荷重之影響深度。
- (2) 細部調查——根據初步調查獲得工程區土層之大致性質，於細部設計進行當中，應就高樓建築荷重配置情況對高樓載重區進行更詳細的補充調查，以求進一步確實資料，必要時常需連續取樣，以確實掌握土層性質，如決定採用深基礎，對深基礎之施工方法之影響因素應特別調查，如側壓樁之抵抗能力、場鑄樁坍孔之可能性、墩基挖掘機具之適用性等均應特別安排。

調查結果宜根據適當的統計學及力學觀念予以簡化、歸納、判

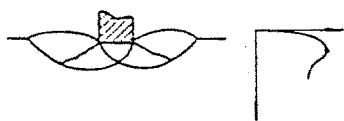
別以取得設計參數，統計在土木工程上的應用是近十幾年的事，其目的在將試驗、調查結果予以系統化整理，以配合工程目的尋求調查結果之明顯意義，預測工程變化，並在合理的安全係數下保障工程安全與品質，對大地工程而言，由於試驗結果之分佈變化極大，如不經適當分析，常顯得無明顯相關意義，使統計更具重要性，大地工程師在決定設計參數時，更應特別指出

- (1)地層上可能的軟弱地帶。
- (2)可利用此參數的範圍。
- (3)預測工程發生變化時，對設計參數之影響。

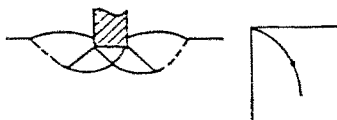
當然，仍應時時注意者，有力的統計關係式，有時並不一定完全代表原因與結果的直接關係，在工程上仍需配合實務經驗加以綜合判別。

於進行基礎設計選擇階段，首要考慮因素在根據結構物之配置及基礎土層狀況決定基礎土層之安全支承力，於基礎工程中常係以工作應力作為設計之標準，即比較極限破壞荷重與工作應力之比例為安全係數，所謂極限破壞力在土壤力學中之定義，由於土壤之破壞形態而異，如圖2所示為(a)全面破壞(b)局部破壞及(c)貫入破壞，大致在高度集中荷重下土層可產生較明顯之貫穿破壞，對全面及貫穿之情況，較易判定其破壞應力，而局部破壞則需依靠沉陷量標準判別屈服應力作為設計標準。

如前言中提及，基礎設計之另一控制因素在於沉陷量，高樓建築中常由於結構體配置上產生巨大荷重分佈之差異，或則由於地震或風力影響，產生短期性之超壓現象，均導致大量差異沉陷之發生



(a) 全面破壞



(b) 局部破壞



(c) 貫入破壞

圖 2 基礎支持破壞形式

，因此分析上應特別注意基礎土層之平面分佈變化及厚度之差異，局部軟弱層之存在亦不應忽略，此等基礎支承力及沉陷量等問題在各基礎工程參考書籍中均有詳述，不再贅言。

### 三、高樓建築基礎形式

於地層條件良好情況，傳統之單柱基腳大致上亦可考慮用以支持高層建築，但通常因高樓建築之高度荷重，除非位於極堅實岩層，單柱基腳常無法應用，因此就一般良好地層情況而言，雖然高樓建築仍以基腳為經濟，但大部份情況下，常因設計上無法滿足沉陷量的要求，而需設法減少基礎面接觸壓力，或加深基腳深度，常使使用基腳反而不經濟，則必需考慮其他形式之基礎。

#### 3.1 筏式基礎

高樓建築常採用筏式基礎為其基礎形式。圖3列舉常用之筏基形式，筏基之設計主要在將建築物荷重分佈至較廣大的基礎面上，以避免全面或局部性之破壞，於基礎土壤強度較好之情況下，如圖3(c)及(d)所示，將基礎版按雙向樑版設計較為經濟，筏基如採用剛性設計，將經樑柱傳達至基礎面之荷重硬性均勻分佈至基礎面時，常使得基礎版厚加大，並需大量之鋼筋以傳達彎矩，提高工程費用，如樓高40層以上高層建築，底板厚度可達2.0公尺以上。

近年來之筏基設計大致朝向柔性設計發展，視筏基為座落於彈性體上之柔性構體，受力後因應變形而重新分配應力，利用彈性基礎上橫樑觀念 ( Beam on Elastic Foundation ) 設計時，需求取筏基在柔性狀況下之即時與壓密沉陷量，目的在分別了解短期與長期沉陷對結構體之影響，而以此預測即時沉陷量發生狀況下之不排水彈性性質 ( Undrained Elastic Properties ) 亦即推求設計筏基需要之地盤反力係數 (

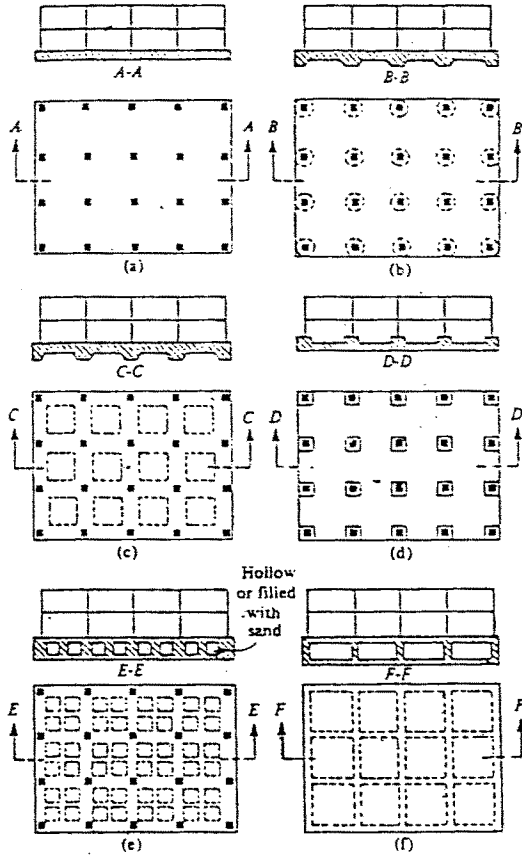


圖 3 筏 基 形 式

Subgrade Reaction Coefficient )。所謂地盤反力係數係導源於 Winkler ( 見 Terzaghi, 1955 ) 建議之觀念，將地盤視為一系列之彈性體，而其變形與所受壓力成正比，即

$$\delta = \frac{q}{k_s}$$

上式中， $\delta$  代表沉陷量， $q$  代表應力值，係數  $k_s$  即所謂地盤反力係數，如果對一寬度為  $b$  之地樑而言，其每單位長度傳達之力量為  $p$  時，則上式之關係為

$$\delta = \frac{p}{b \cdot k_s} = \frac{p}{k}$$

$k$  亦為設計常使用之地盤反力係數，惟需注意者為單位不同於前者，推求地盤反力係數時，大致均以即時沉陷為依據，主因在壓密沉陷常較均勻，且可因混凝土之潛變而減低其影響，有關地盤反力係數之定義，Terzaghi 於其 1955 年提出之論文中已有詳述，讀者可參考該文以明瞭大概，但就高樓建築而言，由於沉陷變形的尺度不大相同，Winkler 建議形式難與事實符合，許多學者均建議加以修改，如 Vesic ( 1961 ) 即建議變更為

$$k = 0.65 \frac{\sqrt[12]{E_s b^4}}{E_B I} \cdot \frac{E_s}{1 - \nu^2}$$

上式中  $E_s$  及  $E_B$  分別代表土壤與地樑之彈性模數， $I$  為地樑斷面之慣性力距， $\nu$  為土壤之波松比，應用時可以壓密不排水三軸試驗結果所得之彈性模數並假設波松比為 0.5 求取地盤反力係

數。

### 3.2 深基礎

高樓建築由於其高度集中與較大均佈荷重因素，並且在風力、地震力作用下，翻到力距 (Overturning Moment) 極高，均可導致大量沉陷，多數地質情況下需採用深基礎以將荷重傳達至深層支承力較佳之地層中，高樓建築之深基礎有基樁 (Pile Foundation) 及墩基 (Pier or Caisson) 兩類別，而樁基礎之形式甚多，基本上如圖 4 及圖 5 可分成打擊式及鑽掘式基樁，打擊式基樁一般採用預鑄混凝土樁、預力混凝土樁、H 型鋼樁或底端開口之鋼管樁為多，後二者屬於低位移形基樁 (Low-displacement Pile)，在裝設過程中對四週土壤之擠壓變形量較小，在都市內使用時，可能發生之地表隆起或對已打設基樁之隆起影響程度較低。

鑽掘式基樁 (Bored Pile) 為在現場直接鑽孔再灌鑄混凝土，大口徑高單位荷重之場鑄挖掘樁之施工成本較打擊樁低，目前施工多採用螺旋鑽掘式 (Auger Type) 或反循環鑽掘式 (Reverse Circulation Pile)，國內則普遍採用反循環式，口徑自六十公分至二一〇公分不等，部分基樁底端並利用擴孔機擴大至樁身二至三倍大之直徑，以增加支承力，此類基樁之施工問題在於如何保護孔壁使其不致崩坍，以及控制混凝土品質以符合設計需求，選擇基樁基本上必須考慮

- (1) 地層的構造與強度性質
- (2) 力量之傳遞形式

## 打擊式基樁

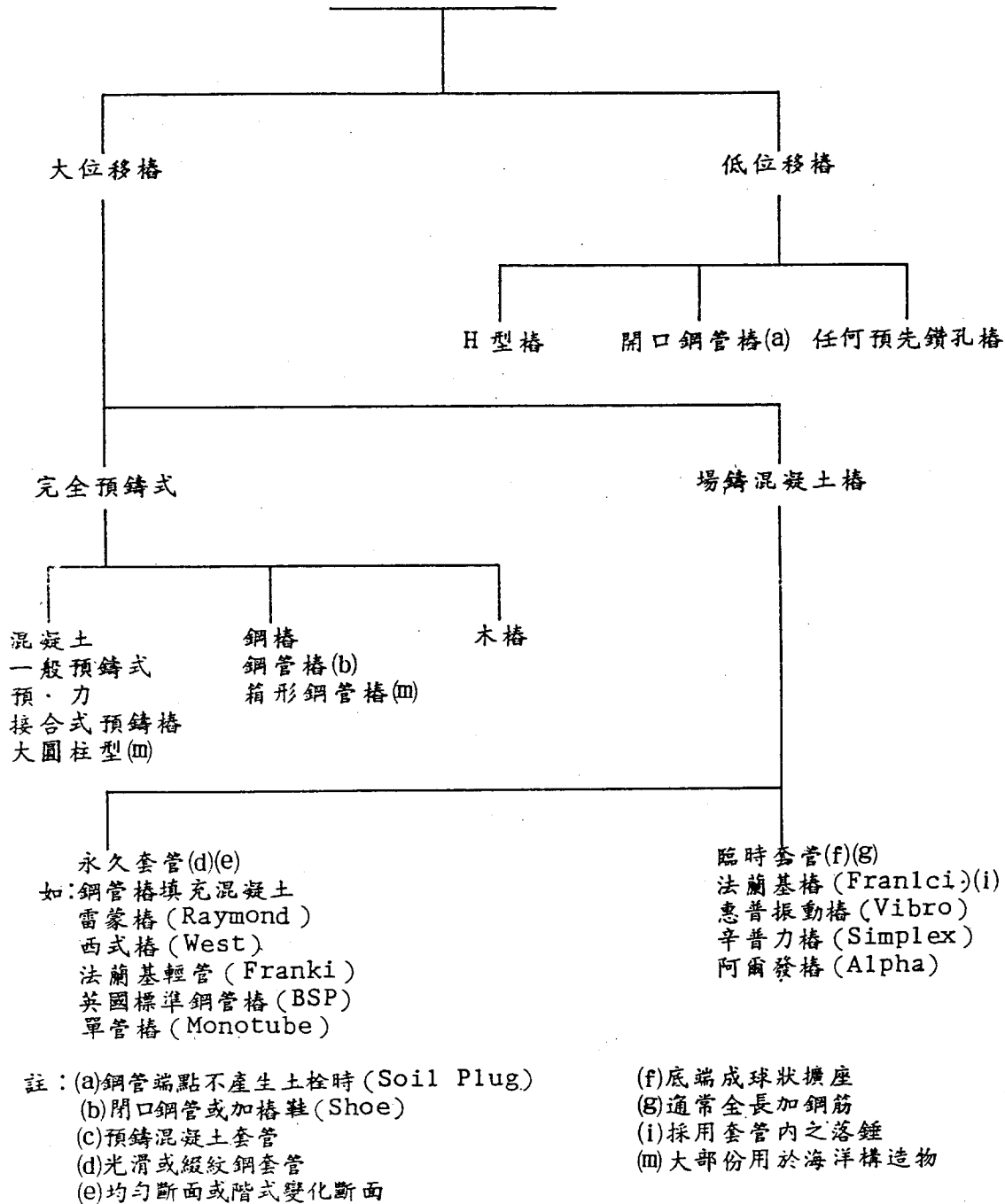


圖 4 打 擊 式 基 樁

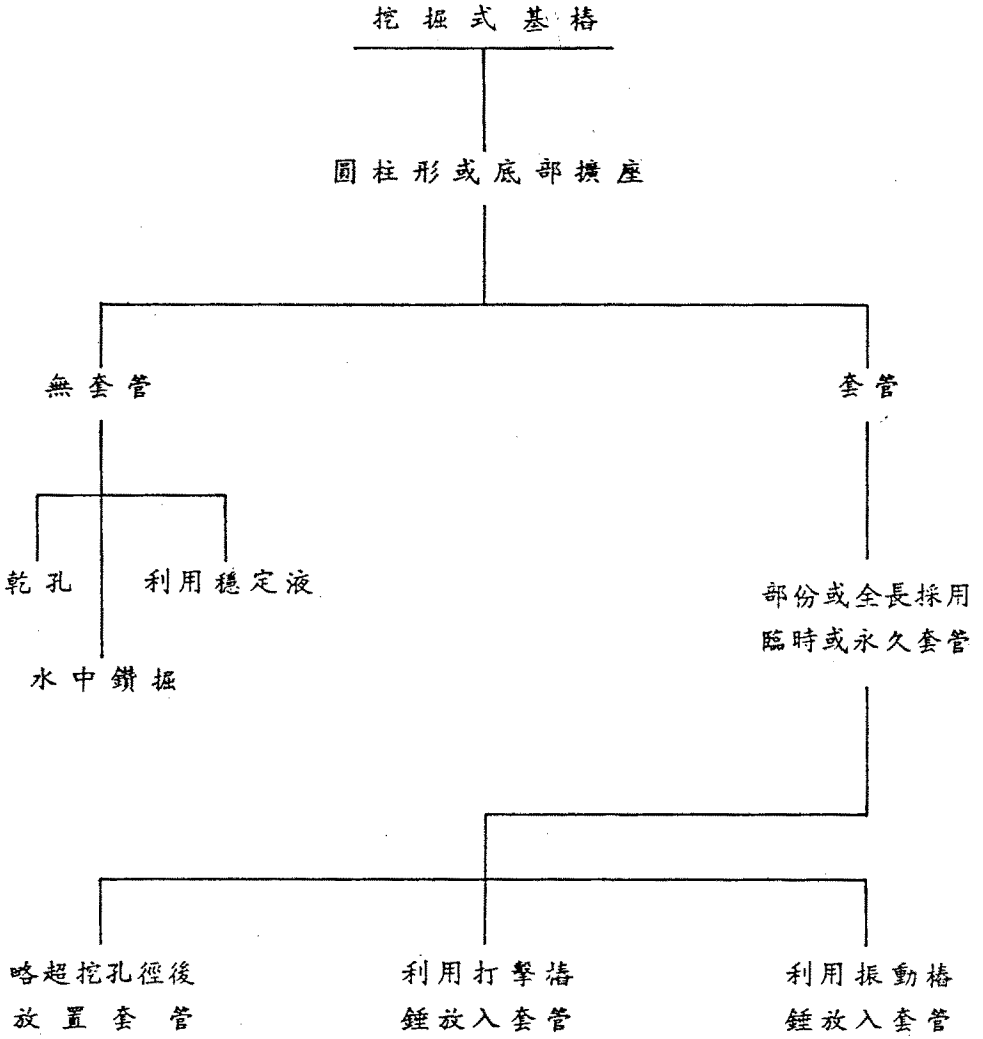


圖 5 挖 掘 式 基 樁

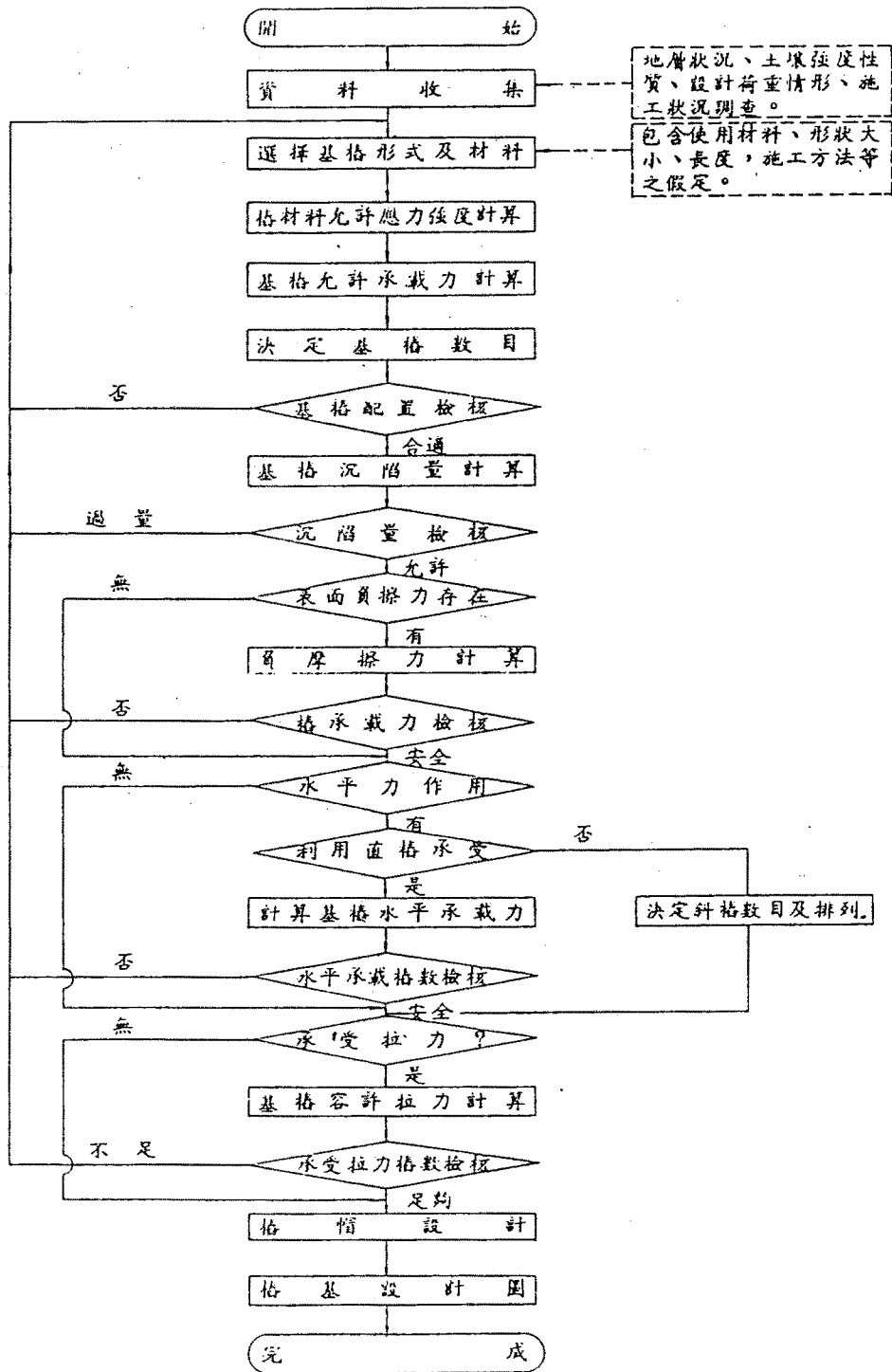
### (3) 地層之有效負荷能力及承載層位置

此外應評估合適之基樁長度以及基樁本身材料之容許應力值，圖 6 表示基樁設計之流程圖，在選擇時尚需就高樓建築情況以涵蓋下列諸項的影響，如

- (1) 地下層的影響——高樓常有數層地下室，使用基樁時，可能對地下室開挖之支撐、挖土作業產生干擾，增加工程費用。
- (2) 工程地點空間的限制及對鄰近結構影響——高樓常座落於都市內之侷促空間內，四週建築林立，基樁施工可能因震動導致鄰近結構之破壞或安寧，因而有時必需改採用無噪音之打樁設備，或改採用鑽掘樁。

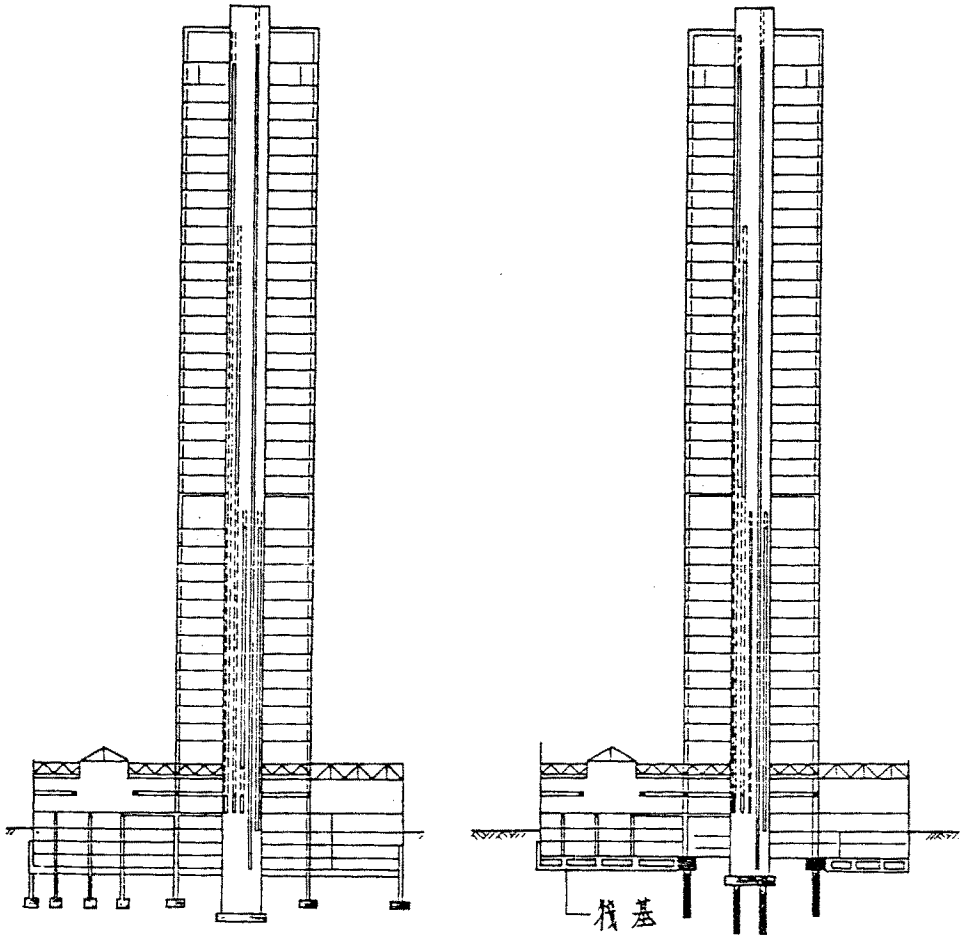
直徑大於二五〇公分以上之大口徑墩基，亦可用作高樓之基礎，亞州區域以香港地區使用最多，在較佳之岩盤中，其支持力高達二〇〇〇噸以上，若地下水位低，則施工成本也低，國內尚未應用此法，事實上若工程之支持層在三十公尺左右時，可考慮其可行性，如圖 7 表示高樓建築(a)使用基腳及筏基或(b)使用墩基及淺筏基之比較，在高樓部份，原設計之深筏基在施工上較費時，同時，基於開挖安全之考慮，如採(b)案墩基不但節省工期，而且經費亦較節省。

採用深基礎時，除支承力及沉陷量外，有時還需考慮負摩擦力及側向力的負荷問題，在軟弱地層中，由於施工或長期抽取地下水或地表之超加荷重影響，會導致樁周緣地層產生壓密沉陷，因此地盤對基樁發生相對之位移，產生負摩擦力，使基樁負擔額外重量，這在嚴重地盤下陷地區如東京、曼谷等地均



地層狀況、土壤強度性質、設計荷重情形、施工狀況調查。  
包含使用材料、形狀大小、長度，施工方法等之假定。

圖 6 樁基礎設計流程圖



(a) 深筏基及連續基脚

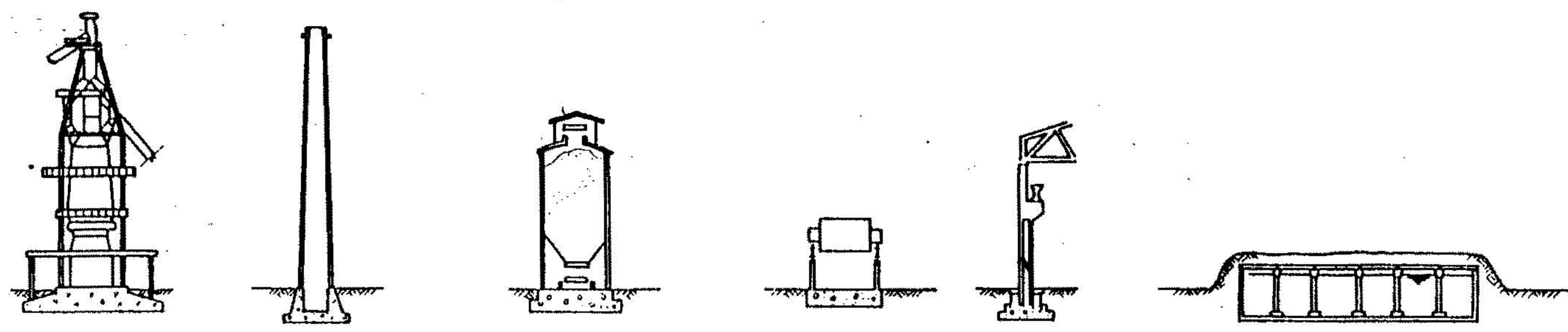
(b) 淺筏基及墩基

圖 7 高樓基礎形式比較

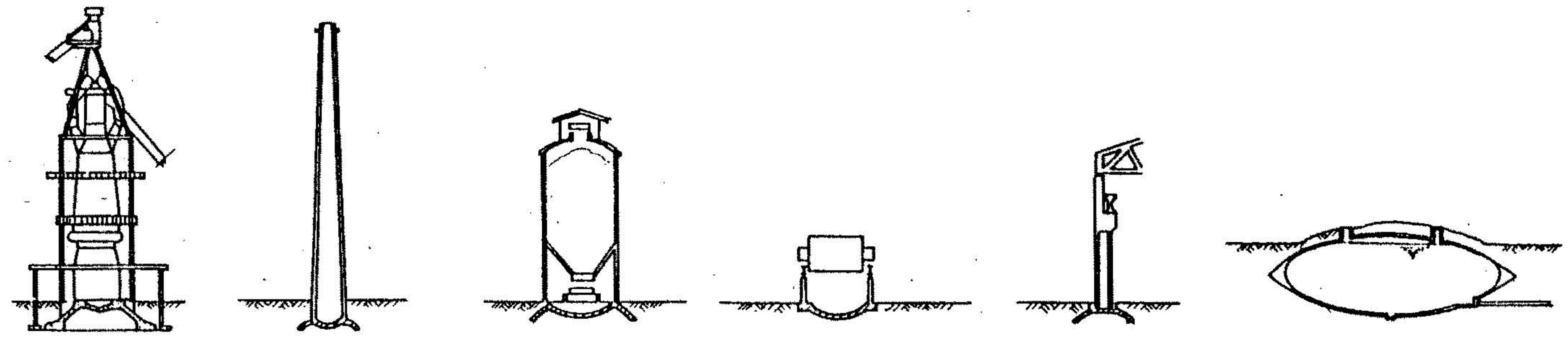
有明顯證據，其它謀如上舉力、群樁作用等因素，或多或少均影響基樁選擇，在設計上應涵括其影響。

### 3.3 薄殼基礎

基礎設計在傳統上均採用實體鋼筋混凝土版塊，主要在利用其抗彎及抗剪性質，將柱體荷重傳佈至較大之基礎面上，此類基礎當遭遇較高之集中荷重或較弱地層時，為達成抗彎或抗剪之要求，需將基腳擴展至相當程度，而基腳體因受剪及受彎之故，本身大部份之材料強度均無法充分發揮，而薄殼基礎(Shell Foundation)採用之觀念與傳統基礎迥異，如圖8所表示各類型建築採用之薄殼基礎形式，使基腳之結構承受薄殼內力，使混凝土及鋼筋材料直接承受壓力及拉力，但承受較小彎距，因此材料強度可以得到較充分之發揮，從而節省材料，此類基腳在東歐、蘇俄及美國都曾被使用以承受高荷重之建築物，薄殼基礎之形態甚多，包含正圓錐形、倒圓錐形、雙曲拋物面形，甚至連續折板殼形式等均曾被應用，如圖9所示之鋼筋混凝土雙曲拋物線形薄殼基腳在土壤支承力僅每平方公尺6.25噸的情況下，支承100噸柱重之鋼筋配量及斷面，可以見之薄殼基礎使用之混凝土版僅15公分，非常節省，事實上在一般情況，已應用之薄殼基腳尺寸即使達4公尺見方，版厚亦均在15公分以內，薄殼基礎之理論仍在逐步發展階段，其作用於土壤之應力分佈關係，及相對應力之反力作用等仍在研究過程，國立台灣大學土木工程研究所亦曾經就薄殼基礎之應力分佈作研究(許威毅，1979)可以做為參考，薄殼基礎由於其可大量節省材料之特性，甚值得研究推廣採用為建築之基礎。



傳統式基礎



高爐

烟囪

穀倉

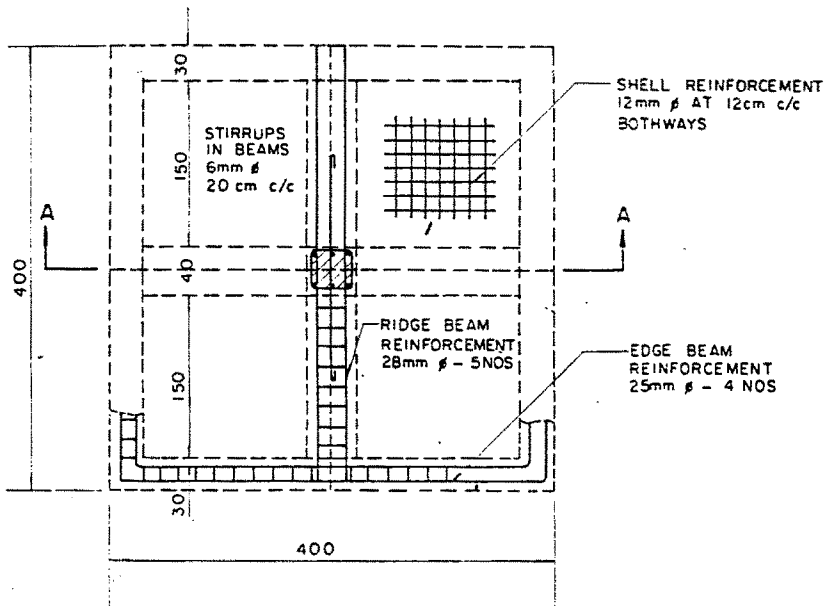
設備

廠房

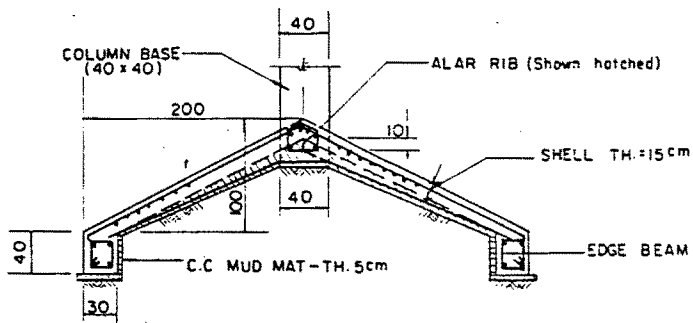
油庫或水池

薄殼基礎

圖 8 薄殼基礎與傳統式基礎比較



(a) 平面



(b) 断面 A-A

圖 9 薄殼基脚設計詳圖 (單位: cm)

(after Kurian, 1973)

#### 四 結 語

高樓建築基礎之選擇，必需根據地質狀況、建築配置並綜合工程地點之施工條件綜合而決定，其間除理論上之考慮外，甚多變化因素仍應賴經驗由設計者決定之。本文僅介紹一般原則，國內工程正朝向高樓建築發展，如何集合工程界之智慧，以達成經濟、快速、安全而又有效之目的，值得學術界與工程實際執行者合作深思的問題。

參 考 資 料

- KURIAN, P., (1973), "Ultimate Strength Design of Hyperbolic Paraboloidal Shell Footings", Bulletin of the Int. Assn. for Shell and Spatial Structures, No. 51, pp. 71-77.
- TERZAGHI, K., (1955), "Evaluation of Coefficients of Subgrade Reaction", Geotechnique, Vol. 5, pp. 297-326.
- VESIC, A., (1961), "Beams on Elastic Subgrade and the Winkler's Hypothesis", Proc., 5th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Paris, Vol. I, pp. 845-850.
- 許威毅 (1979), "圓錐薄殼式基礎在粘土和砂土行為之研究", 台灣大學土木工程研究所碩士論文。