

深 開 挖 工 程 觀 測 系 統

INSTRUMENTATIONS FOR DEEP EXCAVATION

宋 騰 烽

亞新工程顧問股份有限公司結構部副理

T.F. SONG

Manager, Civil & Structural Engineering Department

Moh and Associates, Inc.

Taipei

本文為七十二年台灣大學與營建中心
合辦之深開挖與土壤改良講習會專題講演
原載於講習會講義上冊

Reprinted from
*Proceedings, Seminar on Deep Excavation
and Soil Improvement, Taipei, 20-24 June, 1983*
National Taiwan University
Taiwan Construction Technology
Research Center

ABSTRACT

This paper presents a brief description on the principles and use of instrumentations for deep excavation monitoring.

深開挖工程觀測系統

宋 騰 烽

亞新工程顧問公司土木結構部副理

前 言

一個重要的工程計劃，不僅動用了可觀的資源而且關係到環境的安全與人民生活品質的變化。一般而言，國內建築業者目前對於高樓建築規劃設計階段所需的先期地質調查分析的重要性已經普遍認定，但是對於施工階段開挖後的地質調查及安裝觀測儀器進行分析與評定工作的必要性尚難予以肯定。其結果往往是由於調查分析資料不足以成過份保守的設計，不但耗費工料而在施工時可能遭遇困難須作變更設計甚而造成工程事故的糾紛；或是調查單位進行不必要的詳細調查，徒然浪費錢財，甚至使收集到的資料未能合用或未必夠用，造成雙重的浪費。所以，深開挖工程在施工期間欠缺現場觀測資料收集以資分析判別工程安全的情況下，工程設計趨於保守就很平常況且保守設計的結果也未必安全。因此，為達到合乎安全與經濟的原則，深開挖工程設計觀測系統監測施工安全確實是有必要的。

以下謹就設立觀測系統的原因、施工觀測項目及儀器系統的選擇要點提出，以為有關從業人員的參考。

一、設立觀測系統的原因

每一件工程設計圖說完成尚未進入施工階段前可看成是細部設計

與分析告一段落，但在基礎工程部份只不過是完成了一個預測工作。譬如基礎工程中的基樁完成設計後，須經過基樁本身的製作施工與進行樁載重試驗，將試樁結果分析才能判定基樁的承載能力真正有多少。深開挖工程牽涉範圍相當廣泛，除了必須瞭解工程現場的土壤性能外，在擋土設施的選擇必須作有系統而深入的研究，其間就處理地質資料取得的方法與分析理論的應用互相配合的問題，經驗與判斷成為工程的設計或預測極為重要的一環。深開挖工程的設計及預測較一般土木工程更為困難，在施工期間需要逐步求證以求得合宜而經濟的設計。概括而論，設立施工觀測系統的原因可歸納為下列幾點來說：

1. 理論未臻成熟：開挖時期擋土設施主動土壓力與被動土壓力均在變化，目前設計甚多建議多屬半經驗式，因地區不同有所修改，而我國現行技術規則亦見修改之議。
2. 地層土質並不一致：地層本身形成時變化不一，設計調查時難以完全掌握土壤工程性質，若是基地面積愈大地質變化情況常愈複雜，且難以一致。
3. 周圍環境安全考慮：業者對土地有限空間充分利用的需求，建築物相鄰空地極少。工程現址擋土設施本身與安全支撐系統設計安全係數的選擇較低，有賴施工階段再作更週詳的控制。
4. 施工情況不易事先掌握：有關基地因深開挖所發生的隆起、側位移及沉陷量等，設計階段只能先假設情況作成預測，但諸如天候不良的影響往往降低土層原有的強度很多，對開挖安全極易造成威脅。
5. 經濟的理由：深開挖工程需要施工觀測系統亦是設計時經濟性的理由。如設計時因地質上需要，常考慮基地內外同時抽水，並可節省

擋土設施與支撐系統施工費用，但長期抽水對沉陷與環境的安全觀測是設計階段不可缺少的計劃要點。

三 施工觀測系統及儀器

近幾年來，由於建築物向超高樓方面發展，基礎所需要的放置深度愈來愈深，地下三層或四層基礎已很普遍。多幢超高樓建築的地下室興建六層，樁帽深度達地面下20公尺。此類型開挖工程是不允許有任何缺失的，任何地方發生超壓現象勢必牽一髮而動全身。目前國內各重要工程，施工觀測系統事實上已被認同並在設計時納入各該案例中。一般而言，施工觀測系統應包括以下各項目：

1. 周圍地表沉陷，
2. 鄰近建築物的位移與傾斜度，
3. 地下水位與水壓變化，
4. 擋土設施的位移與受力情形，
5. 土壓力變化及支撐系統的荷重變化，
6. 隆起量變化，
7. 建築物本身的沉陷變化。

深開挖工程本身擋土護土設施的安全是施工成功的最重要關鍵，擋土設施的位移與受力情形則成為觀測系統中必須具備的要項。此項觀測可在擋土設施內安裝傾度儀，以瞭解其側位移與變形，擋土設施本身受力情形則可裝設土壓計與鋼筋計。而就施工抽水而言，極易引起沉陷問題，應設置沉陷控制觀測點，對周圍環境及鄰近建築進行直接觀測。至於內撐系統的荷重情形，可於鋼支撐兩側裝設支撐應變計量測支撐受力及偏心程度，此類應變計利用振動式應變觀測器最為適

宜。關於粘土層或沈泥土層開挖面底部的隆起問題，須安裝隆起桿利用精密水準測量觀測，但此項儀器極易受挖土機械操作影響被擠歪斜，維護工作須特別留意。此外，晚近國內對於面積較大而開挖較深的基礎，為提高施工安全度常採用逆打工法（UP-DOWN METHOD）施工，對建築物支柱一部份的鋼支柱沉陷及樁帽變形等均應設置沉陷觀測點控制其變化。上述各項觀測儀器構造、埋（裝）設方法與施工觀測頻率，請參考文後附錄。

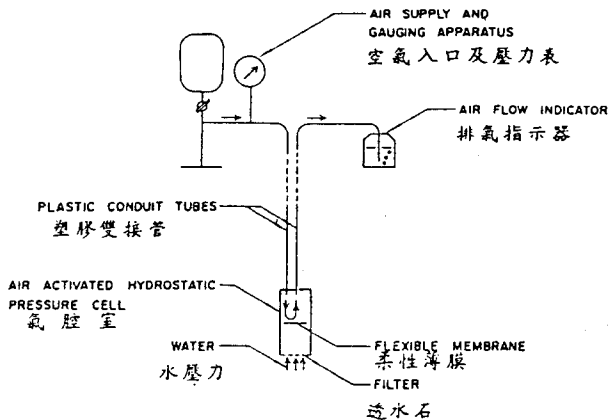
三儀器基本型式與系統精度

觀測系統儀器一般常用者有隆起桿、水壓計、傾度儀、土壓計、鋼筋計、沉陷計及應力／應變計等。其基本型式概略可分成水壓式、壓氣式、振動式、電阻式與電位差動式等幾種。水壓式儀器因構造簡單，應用水壓自然平衡原理，反應較慢精度較低，開口型水壓計是典型儀器。

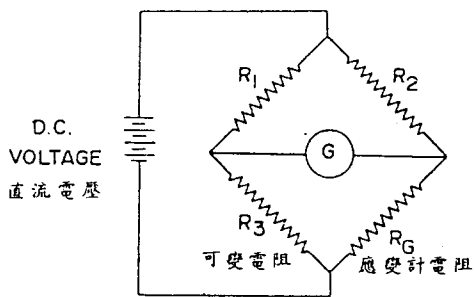
壓氣式儀器屬封閉型，反應快精度較高，其構造係利用壓入氣體的壓力與氣腔室外壓力平衡原理，藉氣腔室內一片柔性薄膜傳遞此平衡壓力，再由壓力計量表得知測點水壓實際壓力，其構造示意圖如圖(1)所示。

振動式應變觀測器的操作原理是利用鋼絲弦張力變化與弦受振動時自然頻率變化關係，則應變 $\delta\varepsilon$ 與初始頻率 f_0 及觀測頻率 f 可以下式表示：

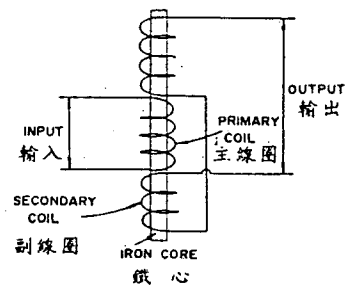
$$\delta\varepsilon = K \cdot (f^2 - f_0^2)$$



圖(1) 壓氣式水壓計構造示意圖



圖(2) 電阻式應變計電路示意圖



圖(3) 電位差動器電路示意圖

式中 K 為常數與構件物理性質以及振動弦長、比重、楊氏係數等有關。

電阻式應變計以惠斯敦電橋原理作為最普遍的量測裝置，當電路平衡時應變計電阻的改變可以惠斯敦電橋各電阻間的線性比例表示之，其電路示意圖如圖(2)。

電位差動式轉送器是利用一鐵心在主副線圈內移動，電位發生變化的原理。由於其輸出電位與鐵心位移成線性關係，因此這種裝置稱為線性電位差動器（英文簡稱 LVDT），其電路示意圖如圖(3)所示。

儀器的精度是和儀器本體及量測設備系統有密切關係。壓氣式系統的精度若依量測系統的流量計而言約為其全尺度（Full Scale）的 1%。電子式系統的精度則因所需使用的能量而異，能量較小的精度較高，儀器本體的非線性度約在全尺度的 1% 至 2% 左右。振動式系統的精度以儀器本體來說製造廠商均訂在 ±5% 以內，系統精度則在 4% 至 5% 間。關於系統精度的相互比較，米勒（Miller）教授曾經將振動式應變計和電阻式應變計利用鋼材圓柱在試驗室做鋼材的物理性質實驗，試驗結果顯示此兩系統應變計的平均誤差相同，對鋼材的物理性質誤差在 0.3% 至 1.0% 以內，其中 GEONOR 振動式應變計的結果恰和鋼材楊氏係數數值相等。然而，有關此類精度比較涉及試驗的獨立性及技術問題，所發表的技術報告相當有限，目前尚難有肯定的結論。

觀測系統使用儀器的選擇，除了應該考慮所需要的精度外，須兼顧儀器本體的可靠性，耐用性及防水性。而且，施工時要能容易安裝，較困難的安裝方法應避免使用，否則安裝的準確度不易控制，極可

能失去裝設的原意和目的。因此，儀器系統的選擇通常以可靠性較高並且能夠重覆地使用較合乎實用需要也具備經濟價值。

四 結 論

- 1 設立完善的施工觀測系統是深開挖工程成功的首要條件，如就其目的而言規劃的原則可歸納為
 - (1) 保證工程基地的施工安全，
 - (2) 能確實掌握施工情況的變化，
 - (3) 防止造成鄰近建築物的損壞，
 - (4) 避免發生公共危害，
 - (5) 提供具體資料彌補調查資料的不足。
- 2 觀測儀器系統的選擇應以可靠性高同時可以多次重覆使用者最符合經濟原則。各種型式儀器系統精度比較尚有待進一步研究是值得國內工程界或研究機構繼續探討的問題。
- 3 按最近統計資料顯示，台北市十二層以上建築工程費佔建築總工程費的40%以上，深信今後所佔比重將必更多牽涉到的技術問題必更為廣泛。為期深開挖工程管理方面達到完善而且是零災害的目標，謹藉此籲請政府當局早日完成專業技師簽證制度，規定有關深開挖工程應建立施工觀測系統並交由具經驗的專業技師或顧問公司辦理，以配合施工安全實際上的需要。

五 誌 謝

本文撰寫承蒙亞新工程顧問公司歐晉德博士的協助及莫若礪博士的鼓勵方能順利完成，特此致謝。

參 考 文 獻

1. 歐晉德 (1977), 深開挖工程之設計與施工, 土壤與基礎研討會論文專集, 中國工程師學會、中國土木水利工程學會, 台北市, pp. 127-150.
2. HANNA, T.H. (1973), Foundation Instrumentation, 1st Ed., Trans Tech Publications, Ohio.
3. MILLER, W.M. (1977), "Comparative Performance of Vibrating Wire Strain Gages with Bonded Resistance Electric Gages", Test Report, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Washington, Seattle.
4. N.G.I. (1965), "Measurements at a Strutted Excavation", the New Headquarters Building of the Norwegian Telecom. Administration, Technical Report No. 4, Norwegian Geotechnical Institute, Oslo.
5. MOH, Z.C. and SONG, T.F. (1980), "Instrumentation for Deep Excavation Monitoring - A Case Report", Proc. Sixth Southeast Asian Conference on Soil Engineering, Taipei, Vol. 2, pp. 337-353.

附 錄

深開挖工程施工觀測系統
埋(裝)設儀器及觀測計劃施工說明書

亞新工程顧問股份有限公司編製

中華民國七十二年六月

隆起觀測

一觀測目的：

在開挖工程中，因土壤之解壓作用將造成基地土層之隆起；定期觀測開挖面土壤隆起量可以研判基地土層穩定之程度，而使開挖工作控制在安全範圍內進行。

二儀器構造：

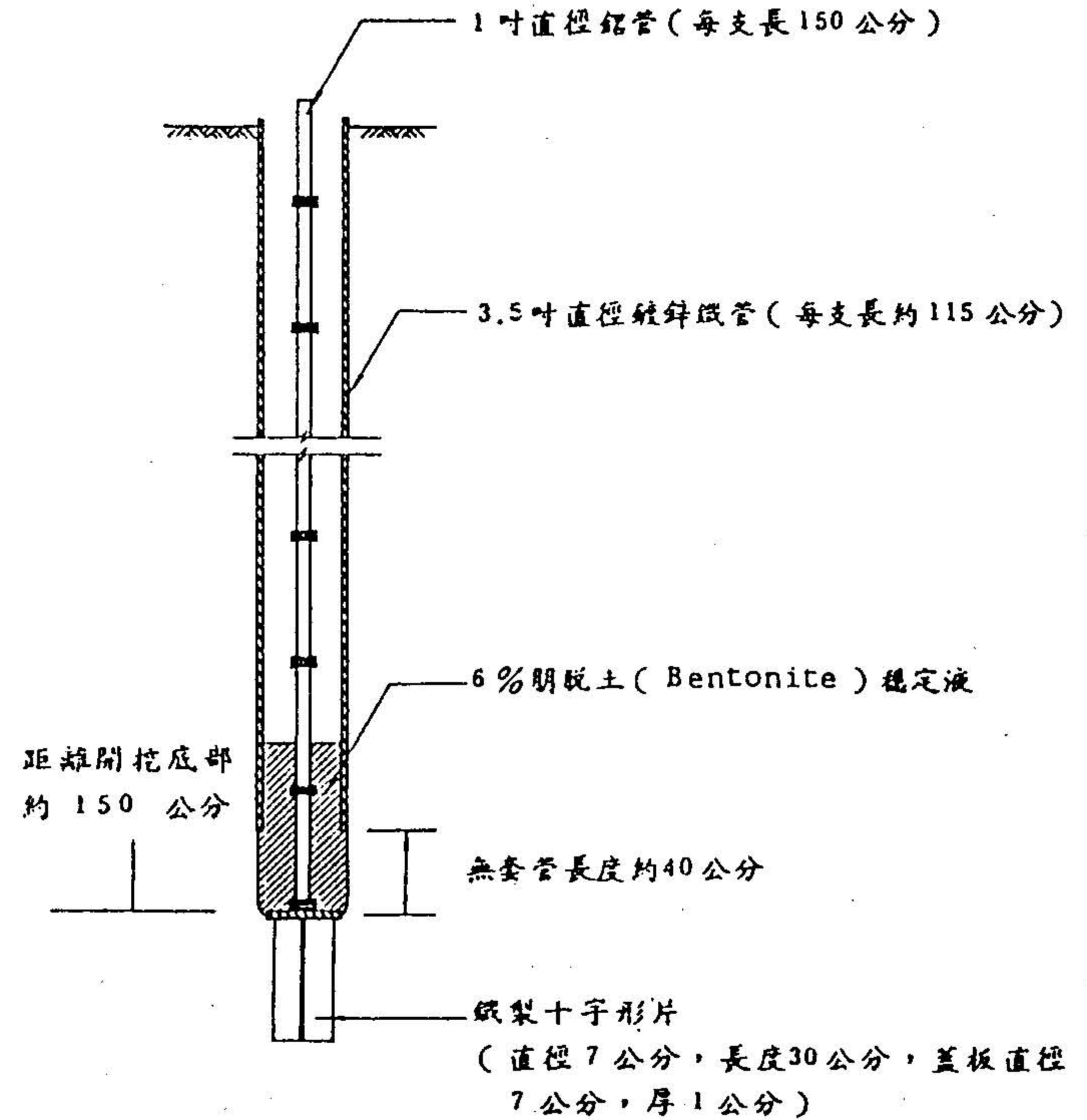
隆起桿之構件包括：1 十字形鐵片 2 鋁管 3 保護套管，詳如圖一。

三隆起桿之埋設：

- 1 以鑽機將保護套管鑽至預定埋設深度，通常距開挖底部約 150 公分。
- 2 於鑽孔中灌入約 1 公尺深之 6% 朋脫土穩定液。
- 3 插入事先接好之十字形鐵片與鋁管至預定深度，即告完成。

四隆起觀測儀器及觀測頻率：

- 1 觀測使用儀器：水準儀、箱尺、鋼捲尺及其他附件。
- 2 觀測頻率：平時每二天一次，必要時每天一次或每天二次。



儀器規格：MAA 國產品

圖一 隆起桿裝設示意圖

一、觀測目的

本項觀測之目的在了解不同深度、不同土層、土壤孔隙水壓力、地下水位在開挖工程進行時之分佈情況以及變化之情形，並可藉以分析土層之穩定度，對開挖工程施工方法、步驟之選擇、以及工期之掌握，具有相當重要的參考價值。

二、儀器構造

1 壓氣式水壓計：構件包括水壓計本體、雙接管、快速釋放接頭，詳如圖二。

2 水壓式水壓計：構件包括水壓計本體、PVC直管，詳如圖三。

三、水壓計之埋設

1 利用鑽機鑽一垂直之孔直至地面下預定埋設深度以下約1公尺為止。

2 於孔底先填10公分之砂，再填40公分之朋脫土球；搗實後填入約1公尺之砂。

3 將壓氣式水壓計本體接雙接管（如為水壓式水壓計則接PVC管），插入至1公尺厚之砂層中央，再將砂層頂部填二層30公分厚之朋脫土，搗實後即告完成。

四、水壓計之觀測儀器及觀測頻率

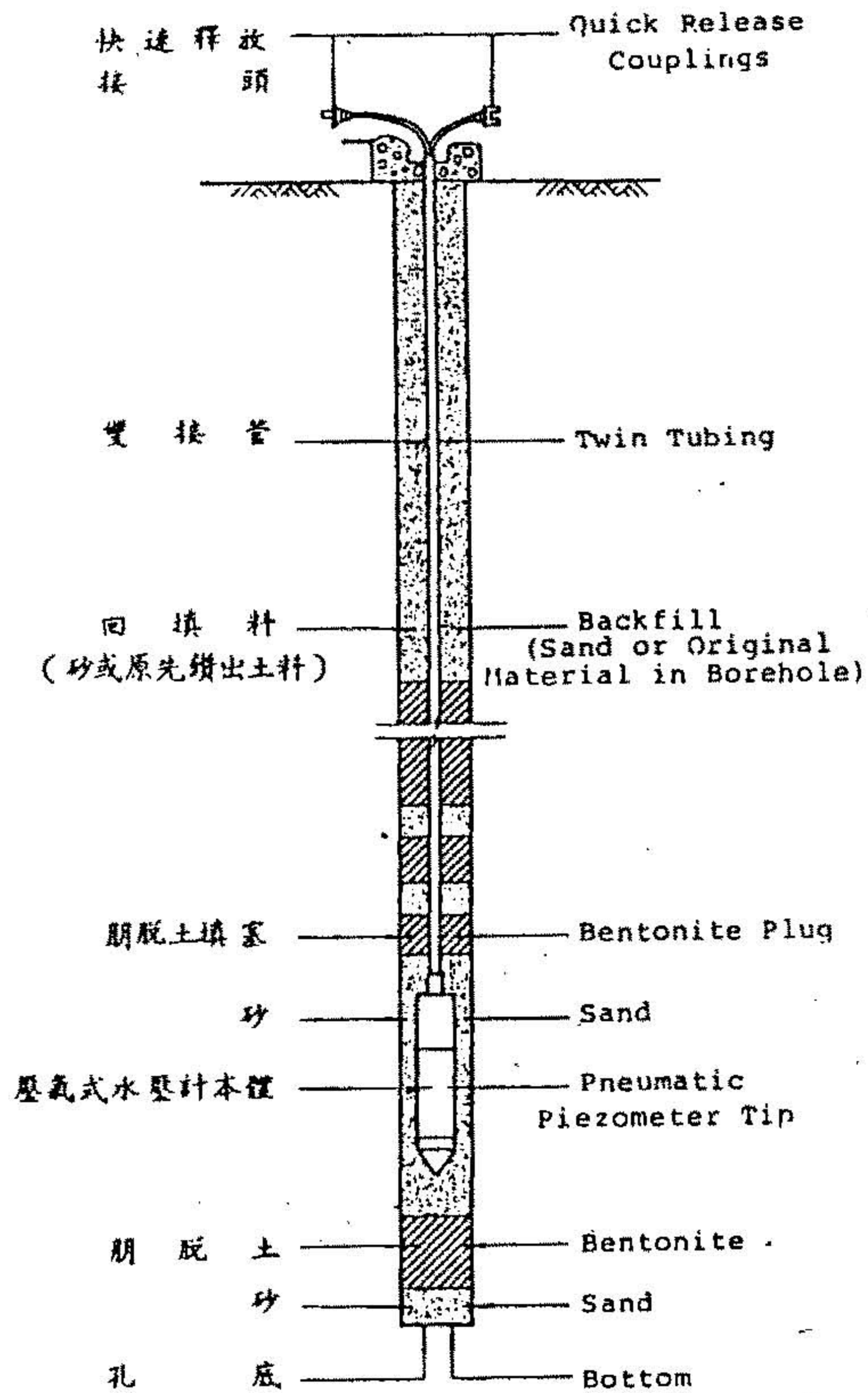
1 測讀儀器

(1) 壓氣式水壓計觀測時將雙接管上之快速釋放接頭接至手提式壓力測定儀，將空氣充入雙接管內，使管內之氣壓與水壓計外之

水壓保持平衡後，由測定儀上顯示出氣壓之大小即等於水壓力之大小。

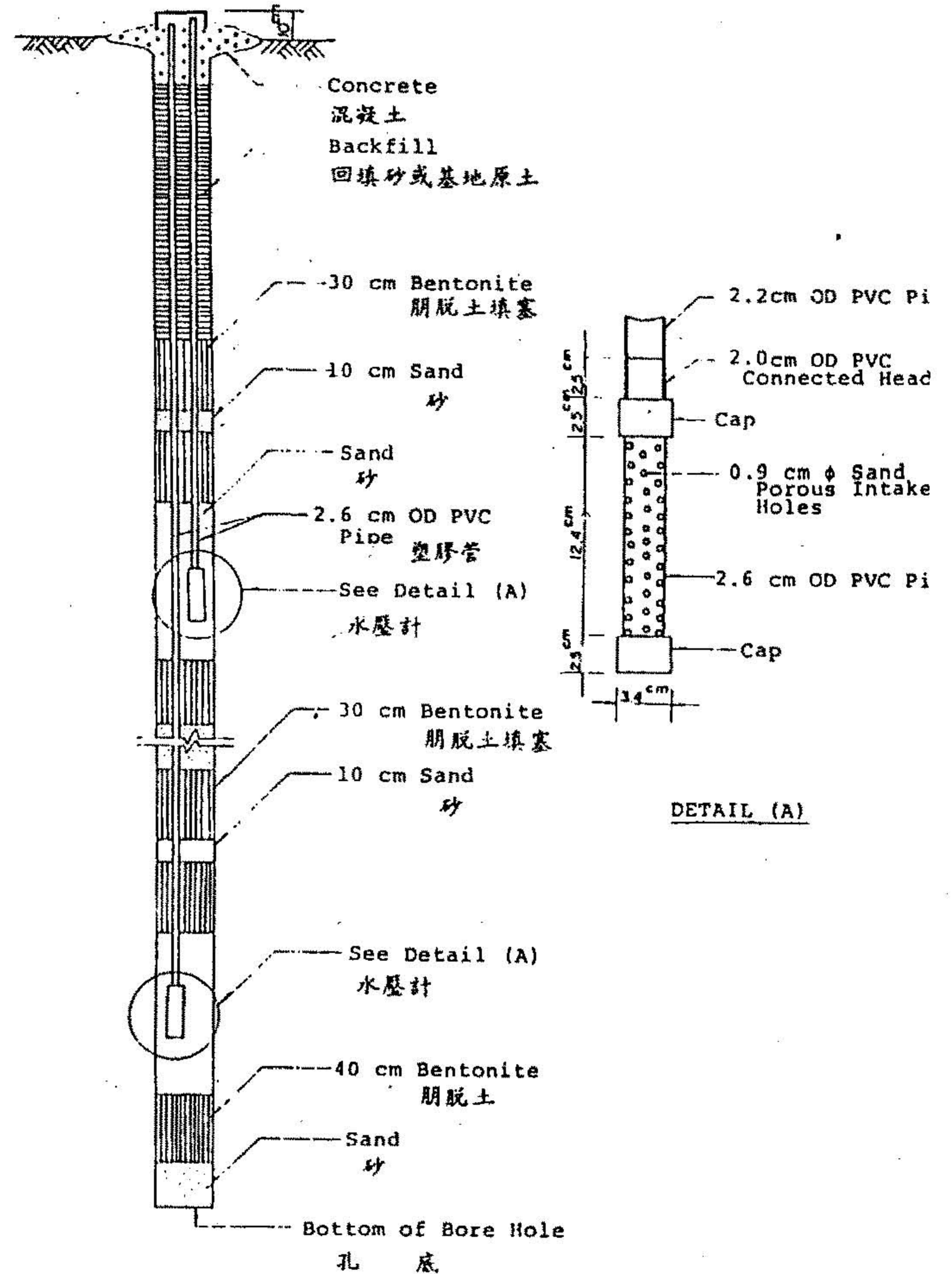
(2) 水壓式水壓計：利用具刻度之電線、三用電表或水位指示儀測出PVC管內水柱之高度，可直接換算成水頭或水壓力。

2 觀測頻率：基地不抽水時視土質情形每二至五天一次，基地抽水時每天一次。



圖二 壓氣式水壓計裝置圖

注：每一鑽孔內埋設水壓計兩支



圖三 水壓式水壓計裝置圖

儀器規格：MAA 國產品

一、觀測目的：

- 1 利用裝設於擋土結構內或緊鄰擋土結構外側之傾度儀量測擋土結構傾斜及變形扭曲之程度，以研判擋土結構之安全度。
- 2 安裝於擋土結構外側之傾度儀，埋設深度深入堅硬土層，利用傾度儀可以量測出基礎土層側向移動量，以判定基礎土層之穩定程度。

二、儀器構造：

傾度儀構件包括：1 雙向固定軌道之塑膠觀測管，2 觀測管接頭，3 保護頂蓋及底蓋。詳如圖四及圖五。

三、傾度儀之裝設

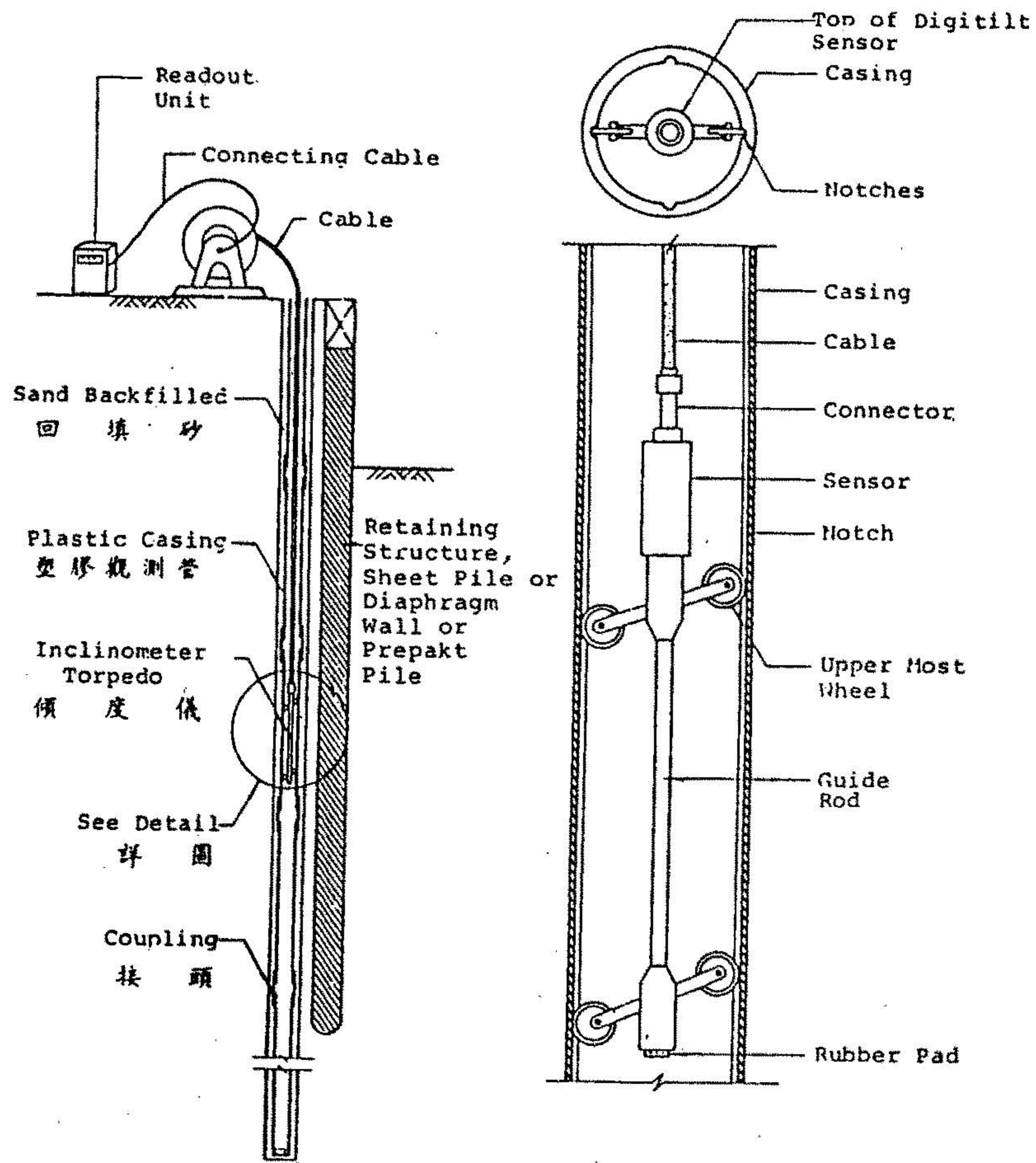
- 1 擋土結構內傾度儀：在擋土結構或連續壁鋼筋籠製造時，將觀測管接妥封上頂蓋及底蓋固定在鋼筋籠內。施工時與鋼筋籠一齊吊放入鑽挖完成之鑽孔或連續壁溝槽（Slurry Trench）內，在混凝土灌漿前，觀測管內以清水灌滿。
- 2 擋土結構體外側傾度儀：在緊鄰擋土結構外側利用鑽機鑽一10公分直徑之孔直至堅硬土層（通常是礫石層或岩盤）至少進入10公分為止。將接妥之觀測管封上底蓋後以人工放入孔底，再於觀測管四週填砂或灌漿以資固定。

四、觀測儀器及觀測頻率：

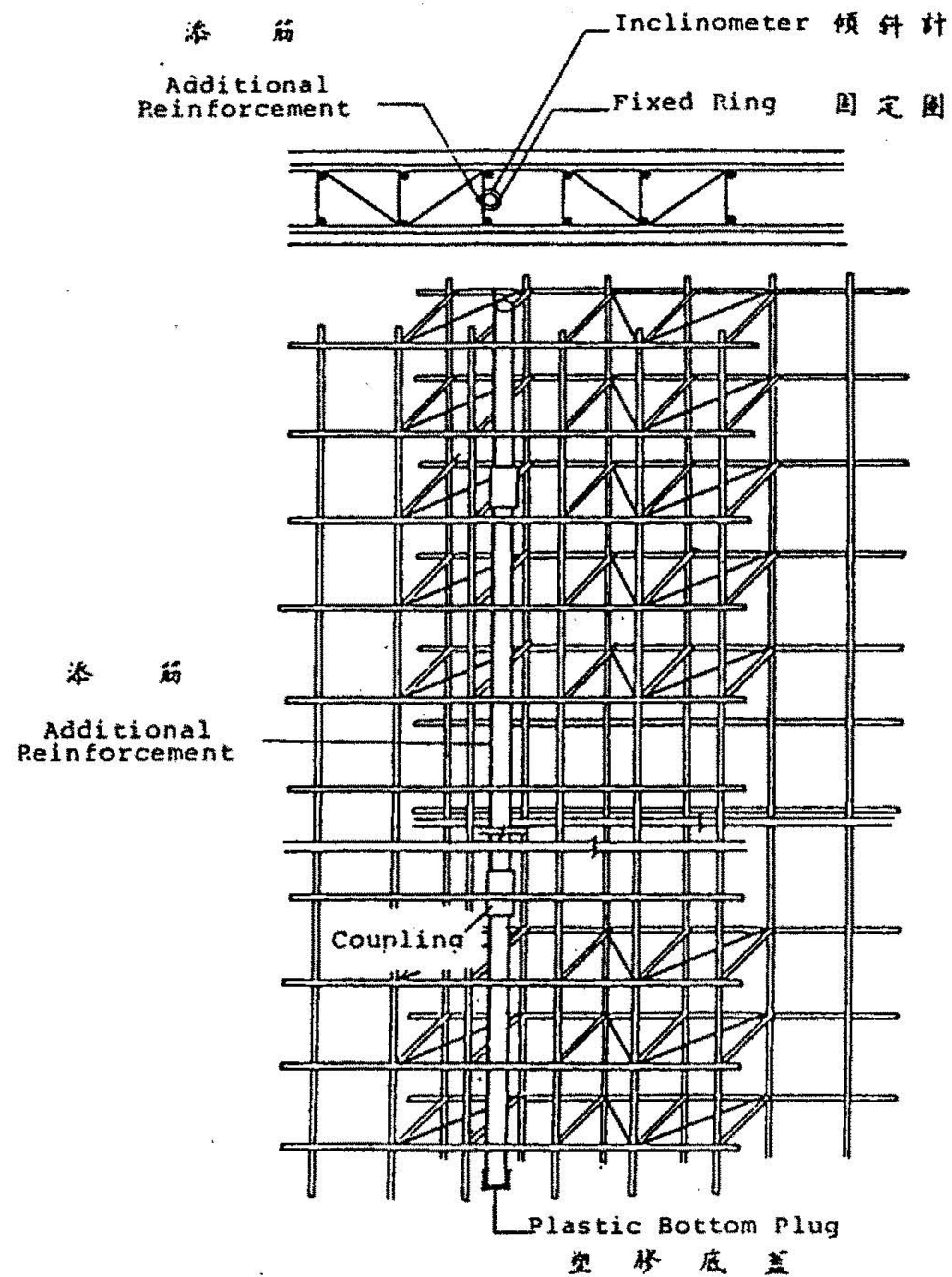
- 1 觀測儀器：(一)雙軸感應儀，(二)電纜線，(三)電纜線轉盤，(四)傾斜度數值顯示儀等。

觀測時將雙軸感應儀以電纜線與數值顯示器相連接，雙軸感應儀緩緩放入傾度儀觀測管中至管底，停留三至五分鐘，把雙軸感應儀按50公分（或2呎）為一單位，提升至管口，逐一將數值顯示儀數字記錄之。則可算出觀測管之傾斜度及移動量。

- 2 觀測頻率：每逢基地每一階段挖土前後，水平支撐施加預壓前後及拆除前後（如為地錨系統則在施預力前後）。觀測頻率平均每星期一次或二次，必要時每天一次。



圖四 擋土結構外側傾度儀觀測管裝置示意圖



Inclinometer Installation in Diaphragm Wall

圖五 壁柱內的傾度儀裝置圖

土壓力觀測

一、觀測目的

地下室開挖期間，擋土結構所承受之主動與被動土壓力與設計所假設者常有出入。裝設土壓計可以測知擋土結構體所承受之總土壓力與有效土壓力，以作為在地下室施工過程中分析擋土結構安全度之重要資料。

二、儀器構造

土壓計之構件包括土壓計本體、反力板、油壓千斤頂、加壓板、電纜延長線及油壓管等，詳如圖六。

三、土壓計之安裝

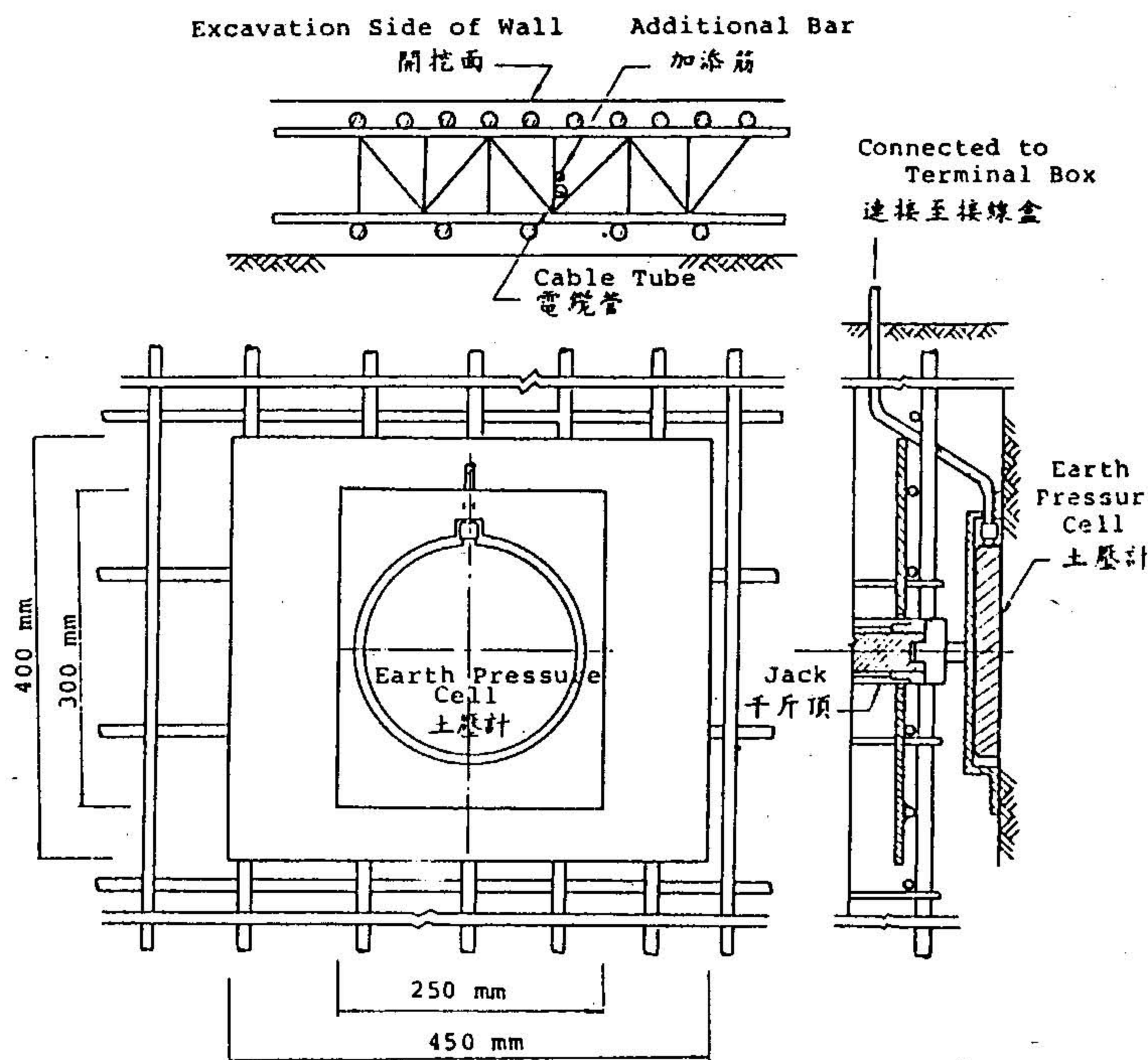
- 1 製作一鋼筋籠之墊高枱架，枱高為 1.5 公尺。安裝土壓計之鋼筋籠完成後，將鋼筋籠吊放在枱架上，以便安裝土壓計。
- 2 將千斤頂反力板以電焊固定在主鋼筋外側，再將油壓千斤頂以螺絲固定於反力板上。
- 3 在油壓千斤頂另一端分別裝上土壓計及土壓計加壓板，並將電纜延長線及油壓管隨主筋之方向延伸至鋼筋籠頂端外，並妥為固定。
- 4 鋼筋籠安放入連續壁導溝後，應在澆灌混凝土之前，將油壓管接上油壓手動泵加壓，使油壓千斤頂向外伸長至土壓計與土壁接觸為止。
- 5 待混凝土澆灌完成，接上測讀器測定裝設完成之讀數，並拆除手動泵，安裝工作便算完成。

四、觀測儀器及觀測頻率

- 1 觀測儀器：選讀開關箱及測讀器等。

2 觀測頻率

- (a) 安裝階段於鋼筋籠吊入導溝前後，千斤頂手動泵加壓以及混凝土澆灌前後各觀測一次。
- (b) 地下室開挖階段平時每週二次，必要時每天一次。



圖六 連續壁內土壓計裝置示意圖

鋼筋應力觀測

一、觀測目的

量測連續壁或擋土結構主鋼筋之應力，以明瞭擋土結構之安全度。

二、儀器構造

鋼筋計構件包括鋼筋計本體及電纜線，詳如圖七。

三、儀器之裝設

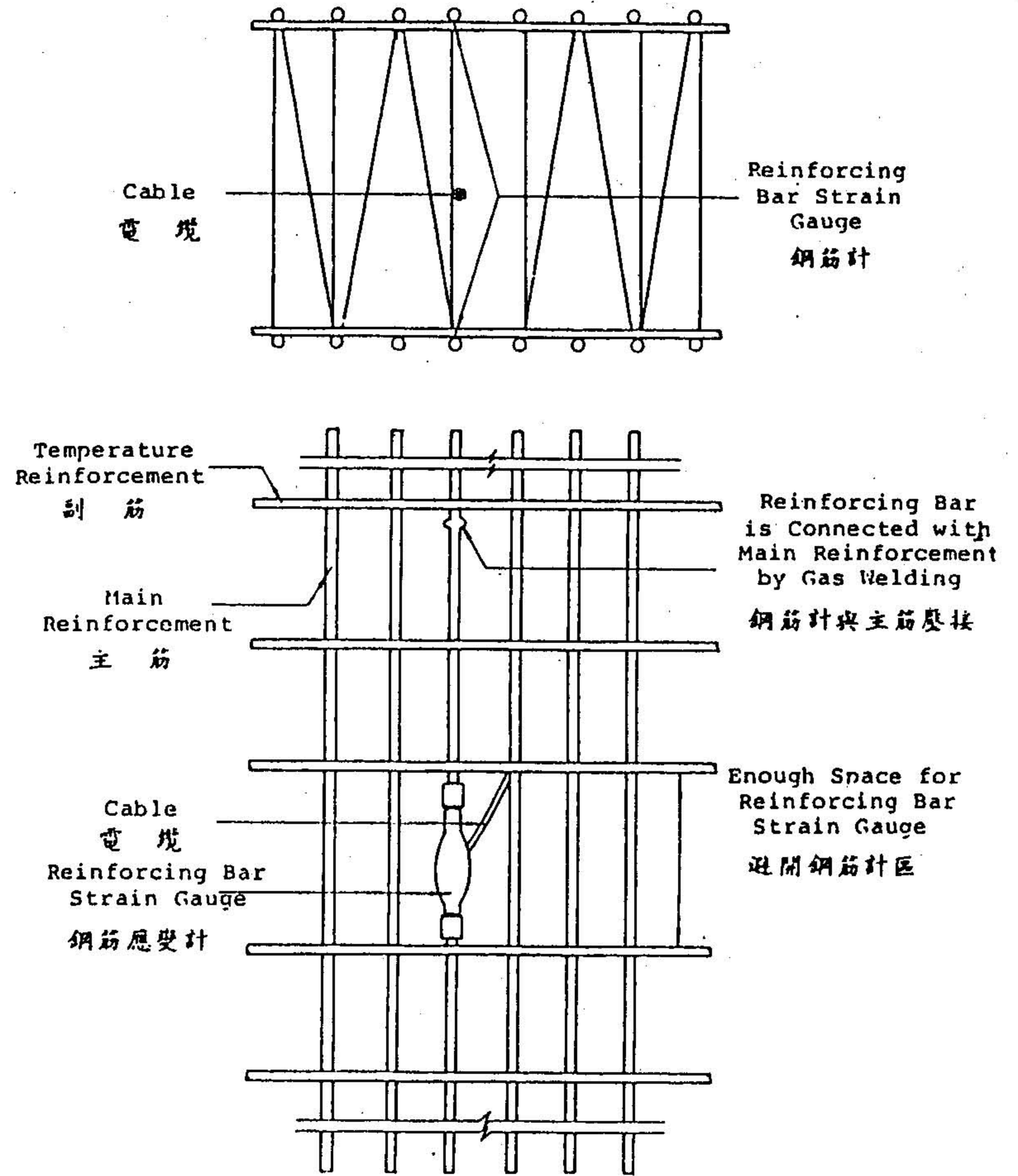
- 1 在製造鋼筋籠時，將鋼筋計連接鋼筋以瓦斯壓接於主筋上，使應變計本體之位置於預定裝設深度處。
- 2 將電纜線拉出鋼筋籠外並固定妥善，於擋土結構灌漿後測出初始值，裝設工作即告完成。

四、觀測儀器及觀測頻率

1 量測儀器：應力／應變指示儀

鋼筋計隨著基礎工程開挖時擋土結構體變形而產生應變，鋼筋計本體之電阻發生變化，由應力／應變指示儀可明瞭鋼筋應力變化作成記錄，並換算成實際應力。

2 觀測頻率：平時每天一次，必要時每天二次。



Reinforcing Bar Strain Gauge Installation

沉 陷 量 觀 測

一、觀測目的

本項觀測包括基地周圍沉陷及筏基沉陷觀測，前者之目的在觀察基地四周因開挖土壤變位及抽水所造成之沉陷影響，後者在觀察建築結構物構築增加之荷重而引起筏基沉陷之狀況。

二、觀測釘構造

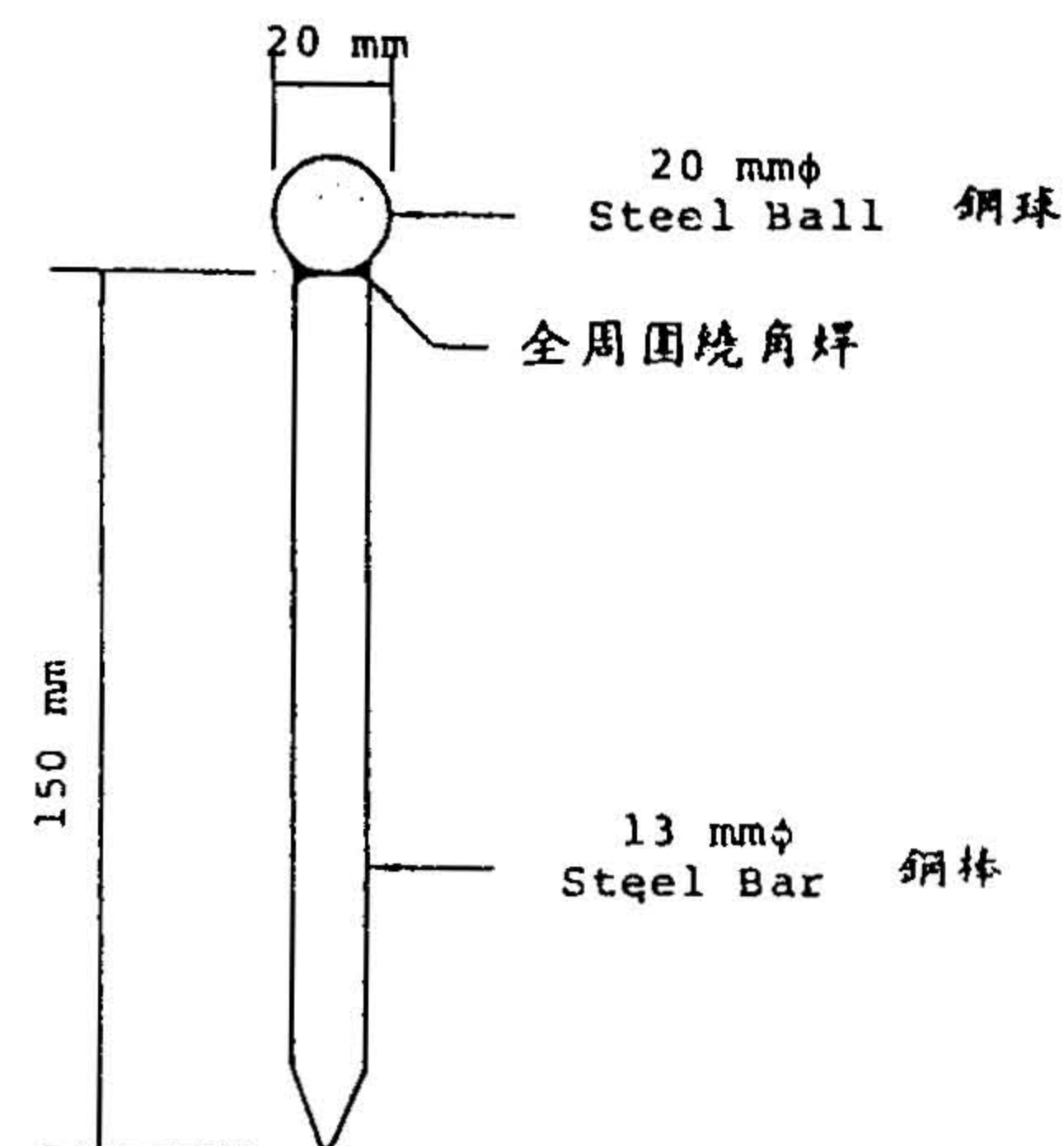
直徑 13 mm 底部削尖之鋼棒，在頂部焊一直徑 20 mm 之鋼球而成，詳如圖八。

三、觀測釘埋設

- 1 周圍沉陷：將觀測釘平均分佈釘入沉陷影響範圍區域內，或主要控制安全之建築結構物及道路四周。
- 2 筏基沉陷：於筏基澆灌混凝土之同時，平分插入筏基未凝固之混凝土表面。

四、觀測使用儀器及觀測頻率

- 1 觀測使用儀器：以精密水準儀作水準測量。
- 2 觀測頻率：周圍沉陷平均每週一次。筏基沉陷於每次混凝土澆築前後觀測一次，平時每十天一次。



儀器規格：國產品

圖八 觀測釘構造詳圖

支撐應力觀測

一、觀測目的

本項觀測的目的在隨時能測知支撐系統荷重及應力分佈的情況，俾可分析支撐系統穩定及安全的程度，以控制施工安全。

二、儀器構造

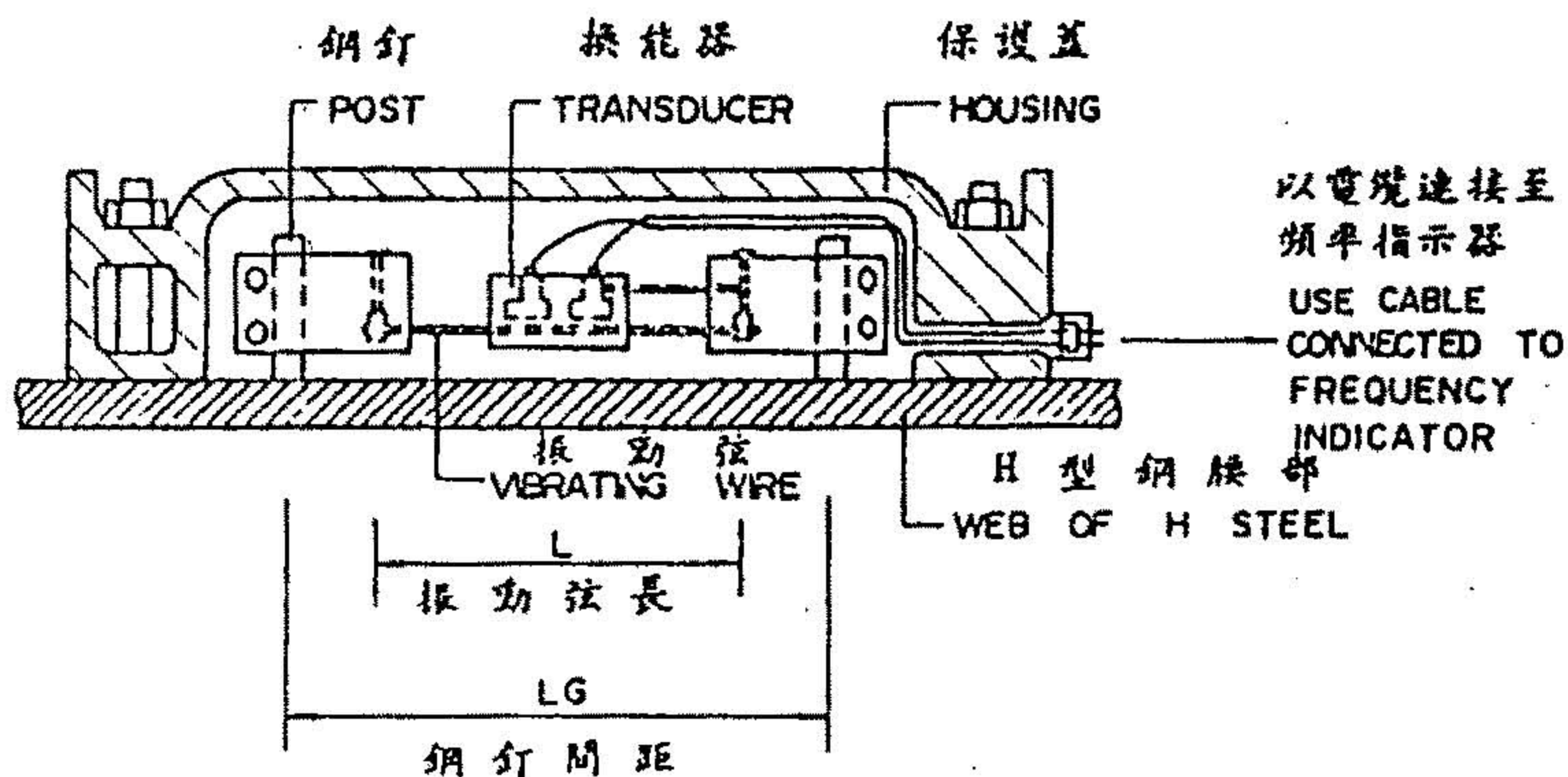
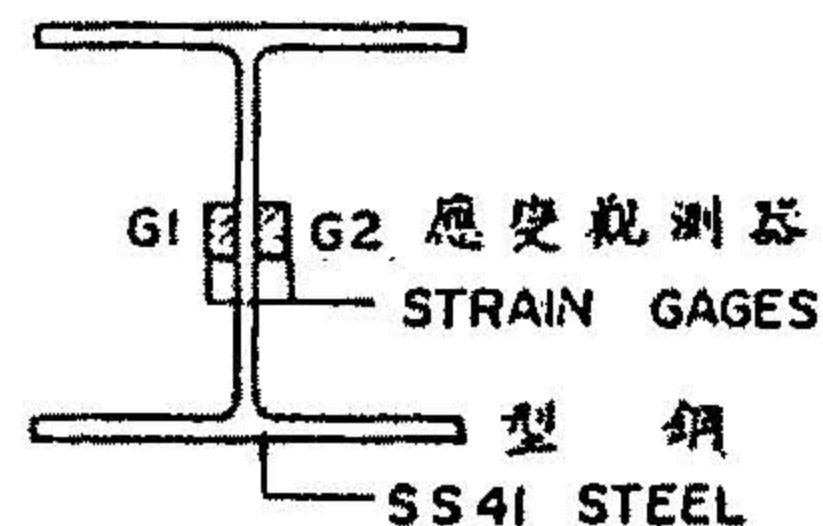
振動弦應變計本體、保護蓋、固定鋼釘、絕緣電線，其構造圖如圖九。

三、振動式應變計之裝設

- 1 將預定裝設應變計梁腹表面的鐵銹或油漆磨光。
- 2 在H型鋼梁腹中央水平軸上，對稱於垂直軸的兩側各電焊熔接4支鋼釘。
- 3 將應變計本體固定在一對內側鋼釘上，並利用頻率指示器調整適當初始頻率。
- 4 將保護蓋固定在梁腹一對外側鋼釘上。
- 5 按上述相同方法在梁腹另一側裝設另一組應變計，裝設即告完成。

四、觀測儀器及觀測頻率

- 1 觀測儀器：支撐系統H型鋼承受荷重時，將產生應變，附着於H型鋼腹側之應變計本體內之振動弦的頻率亦隨著發生變化，利用頻率指示儀可以換算出型鋼應力之大小。
- 2 觀測頻率：每天觀測一次。



圖九 振動式應變觀測器裝設示意圖