



「地下水觀測網整體計畫」及「地層下陷防治執行方案」
八十八下半年及八十九年度執行成果發表研討會

成果報告集



主辦單位：經濟部水資源局

協辦單位：經濟部水利處、經濟部中央地質調查所、內政部營建署
農委會漁業署、農委會林業處

執行單位：淡江大學水資源管理與政策研究中心
成功大學地層下陷防治服務團

中華民國九十年十一月

地下水觀測井之回填濾料規範建立

蘇苗彬 陳正炎 陳育志 洪耀明

國立中興大學土木工程學系

摘要

「台灣地區地下水觀測網整體計畫」中，回填濾料的選定多依循抽水井的規定，以提供最佳出水量為考量，造成在洗井作業時，部份濾砂會被洗出，易形成空洞及井內沉砂，不利觀測井之保護。為求理論依據與建立更明確的標準規範，本研究透過現地實施與分析作業，改進現行使用的規定，從而建立適用於台灣地區的回填濾料規範。

回填濾料的選擇最主要應考慮不致造成地層材料中的細顆粒流失，有效防止細顆粒通過回填濾料流入觀測井中，方能有效保護地層及維持觀測井的功能。讓地下水質採樣的懸浮固體量(TSS)減至最低，正確反應出地下水質，同時也可以有效維持觀測井的功能。回填濾料為達到保護地層及維持觀測井的功能，應以現地土壤的粒徑分佈曲線來求得濾料適用 D_{15} 之最大與最小值，再依規定求取其級配曲線，則可以達其功能。本研究參照美國的土壤保育局的規範作成建議，對濾料及進水管的開縫得到合理的選定方法。並採取 Sherard 1989 年所建議的無沖蝕濾料試驗，可以準確的判定所選定濾料的適用性，其設備與試驗步驟不會太複雜，當對依上述方法所訂出的濾料規格有所疑慮時，可以此試驗加以驗證。

目前站網計畫中，地下水觀測井回填濾料施放的方式，可考慮以特密管取代現行由上方倒入的方式，或者增加井中水流協助濾料的安定，濾料施放如得以較準確的控制其位置，封層效果會較好，則一孔多點觀測井可以達成。

一、計畫概述

1.1 研究主旨

水利處於執行「台灣地區地下水觀測網整體計畫」的第二期計畫中，有鑑於在過去計畫實施中，對於觀測井的回填濾料，雖然已有適當的作業規定與一定的程序，但是為求增加理論依據與建立更明確的標準規範，亟欲在本期計畫執行的同時，透過現地實施與研究作業，改進現行使用的規定，從而建立適用於台灣地區的回填濾料規範，致有本計畫的進行。

觀測井之回填濾料為鑽孔中設置井管後的回填材料，作為地層材料與井管之中間介質，其特性不僅影響水流通的能力，亦關係著對現地地層材料保護的功能。若設置不當，保護功能無法發揮，地層材料可能產生流失而流入觀測井中，不但影響觀測水位的準確性，亦會增加觀測井維護的負擔。

過去對觀測井回填濾料的選定，多依循抽水井的規定，以提供最佳出水量為考量，在施以洗井作業同時，部份濾砂會被洗出，易造成空洞及井內沉砂，不利於觀測井之保護，故針對觀測井回填濾料規範的建立，應有其必要。

1.2 問題之性質與背景

地下水的觀測井，需得維持地層與井內的流通順暢，才能正確的反應地下水壓力及水質，故有回填濾料及井管的設置。回填濾料一般而言需得考慮，1.防止管湧(piping)發生的功能：管湧為水流動時將周圍土砂帶走的土壤內部沖蝕現象；設置適當的濾料，保護現地地層材料，期能安全的讓水通過觀測井的井壁開孔，不致產生土砂流失現象。其粒徑分佈與工程特性需妥善設計，方能發揮其功效。2.水流通速度的考慮：地層內水壓力的變化，需透過水流經濾層再反應到觀測井中，若濾層的滲透能力不佳，或易生流失阻塞現象，則可能造成水位變化反應太慢，甚或無法反應，無法發揮觀測井之功能。上述兩項的考慮，應從回填材料的選定著手，在掌握現地材料特性及觀測井進水開孔尺寸後，尋求最適當的回填濾料搭配，以發揮其功能。

Hazen (1911)於本世紀初即從事濾料研究，結果發現濾料之設計，可以濾層的有效粒徑(effective grain size) D_{10} ，作為主要評估參數。Terzaghi (1922)基於濾層及受保護材料，必須有適當的粒徑分佈，而提出一些濾料的基本要求。這些要求經美國陸軍工程兵團(U.S.Army Corps of Engineering)及美國墾務局(U.S.Bureau of Reclamation)依試驗結果，作成修正，提供了各種規範的基礎。

廣泛使用的 Terzaghi (1922)設計準則 $D_{15}/d_{85} \leq 4$ 的安全係數約為 2。Sherard 等(1984b)認為，濾料允許開口尺寸與 D_{15} 關係最密切，且實際停留土壤顆粒的開孔尺寸約為 $D_{15}/9$ 。Kenny (1985)則發現，濾料允許孔隙等於 $D_5/4$ 和 $D_{15}/5$ ，該發現建立了濾料允許孔隙與 D_5 、 D_{15} 間的關係。

種種的規範均以大梯度的滲流為基礎規劃試驗，所得是否適合地下水觀測井的需要，是否符合本地之地質材料特性，則有賴於實際的測試，並規劃適當的採樣與試驗評估，來建立合宜的工作規範。

1.3 研究方法與過程

- 1.國內外重要相關規範之蒐集與評比：蒐集相關濾料設計之規範與地層材料的排水特性試驗結果，包括國內外及相關工程單位過去執行的成果。
- 2.地層材料採樣試驗：配合水文地質調查年度的鑽探，擇具代表性的土層採樣進行相關的試驗。以此為基礎，將來再逐步擴充涵蓋台灣地區各種地質材料。
- 3.回填濾料來源調查及採樣試驗：尋找可資利用之回填濾料，進行調查及採樣工作，並執行其排水特性的試驗，以擬定出各種濾料適用的範圍。
- 4.含水層材料與回填濾料之配合設計：對各觀測井之設置，進行最佳回填濾料的配合設計。
- 5.回填濾料試驗方法：針對配合設計的結果，應進行室內試驗的驗證。
- 6.回填濾料之規範建立：進行現行回填濾料規定的適用性檢討，並由相關規範及實施之成果，綜合作成適用本地之回填濾料的規範及其填放方法，包括標準的配合設計方法、試驗裝置與過程與及安裝完成之觀測井功能的檢討，並經由期中與期末的討論，做成最終之規範。

1.4 預期效果

- 1.適用本土使用之回填濾料規範之建立。
- 2.落實地下水觀測井的保護。
- 3.提供相關之排水與觀測井規範。
- 4.適當的濾料試驗方法。

二、既有規範與方法之比較

2.1 前言

水井工程廣泛的使用水井濾屏(well screen)及回填濾料(filter packs)，以建構有效率、大孔徑、

大出水量的水井，來提供灌溉、區域及工業用水。至於地下水觀測井(monitored well)由於使用目的不同，故對濾屏及回填濾料也有不同的要求。不論一般水井或地下水觀測井，其設置回填濾料的應有基本原則為：1. 回填濾料乃設計用以圍繞水井濾屏，以建立可滲透的包絡物，亦即良好的過濾層。2. 根據可被阻擋的最細地層材料顆粒尺寸，來建立回填濾料的等級。

一般用來區隔濾屏與地層材料的水井回填濾料，容易降低抽出率並形成水垢，而使地層之泥砂傳輸至井中。而地下水觀測井必須使進入井中之地層泥砂量最小，並降低高污染物之阻塞，即提供足夠的滲透率使其流入井中而不阻絕於外。但目前地下水觀測井之設置，一般仍沿用地下水水井的經驗來設計，對於回填濾料，雖然已有適當的作業規定與一定的程序，但未有更明確的標準規範。

回填濾料的選擇需依其保護對象中地層之最小粒徑來考慮。對於觀測井而言，其需要考慮的項目與一般抽水井不進相同，另外需考慮其均勻性、有效粒徑、粒徑分佈、圓度等才能施放時發揮其功效。由於濾料要維持不能進入進水孔的單一尺寸之孔徑，故應考慮其均勻性，通常以均勻係數 C_u 來表示($C_u = D_{60}/D_{10}$)，對於回填濾料而言，均勻係數愈低愈好。顆粒的表面形狀如圓度與弧度等會影響其在水中沉降的速度，不同形狀的材料，可能造成分離的現象，進而影響濾料的功能。片狀的顆粒，在回填入井中及拔套管時比較容易發生架橋的現象，應避免使用。

2.2 地下水觀測井一般設計要求

典型的地下水觀測井設置圖如圖 1 所示，其設計準則係參照 ASTM STP1053 “Ground Water and Vadose Zone Monitoring”及 Designation: D5092-90 “Standard Procedure for Design and Installation of Ground Water Monitoring Well in Aquifers” 之內容編定的。一般地下水觀測井的規範，多著重在地下水質真正的反應，考慮的要點較為繁雜，以下分項作成說明。

2.2.1 水井濾屏(well screen)設計要求

水井濾屏之正確孔目尺寸由回填濾料之粒徑分佈決定，而其粒徑分佈又由鄰近土壤含水層之粒徑分佈所決定。需要考慮的基本因素包括濾屏材料之長度與化合阻力、框徑、孔目形式及大小，最大開口面積及長度等，分述如下：

1. 材料型式

一般而言，水井濾屏需符合 ASTM 之標準，其材質可為 PVC(Polyvinyl Chloride)、不銹鋼(Stainless steel)、加玻璃纖維補強之環氧樹脂(epoxy with fiberglass reinforcement)、氟化碳樹脂(fluorocarbon resins)等。選擇時需特別注意材料結構長度，容易操作，及長時間放置於水中不良環境時，材料不產生化學變化及不影響地下水樣本之化學特性。

2. 水井尺寸

地下水觀測井孔徑一般較以抽水為目的的水井小，如果不需要高抽水量，使用小孔徑的水井，由於材料、鑽探費較省，因此造價較低。

3. 孔目形式和尺寸

地下水觀測井孔目形式分為二種，一種是沿固定垂直距離開水平孔目的管子，另一種是具有連續孔目的濾屏，其材料採用金屬圈圍繞焊接在垂直桿上，兩種形式比較如圖 2 所示。由圖可知後者具有較大開口面積，其開口面積佔全面積之百分率在小孔徑的井一般大於 10%且小於 52%。研究指出當開口面積百分率大於 10%時，抽水效率就不受濾屏之影響。

2.2.2 井管(Rising)

井管材料必須不影響抽出之水體樣本，其連結長度與厚度必須足以承受按裝與開井時應力，一般可採PVC、不銹鋼、玻璃纖維或氟化物(fluoropolymer material)所組成。其直徑視不同用途而定，大部份至少要5cm以配合取樣設施。

2.2.3 回填濾料設計要求

可以阻擋周圍之最細的泥砂是回填濾料設計之基本原則，設計時必須了解回填濾料之性均勻係數(Uniformity Coefficient)、有效尺寸(Effective Size)、峰度(Kurtosis)、偏度(Skewness)、圓度(Roundness)、球度(Sphericity)及礦物種類(Mineralogy)，上述參數均會影響水體在濾料間的傳輸速度，以下分別討論之。

1. 均勻係數、有效尺寸、峰度及偏度

由於濾屏之孔目開口面積固定，因此濾料顆粒大小最好也固定。理想的濾料其均勻係數為1，但實際上不易達到，同時若濾料粒徑分佈曲線之尾端亦為均勻性，這可以用峰度 F_k 表示如下：

$$F_k = (D_{95} - D_5) / 2.44(D_{75} - D_{25})$$

當顆粒為常態分佈時， $F_k = 1$ 。一般而言，石油或天然氣公司用於鑿井及觀測井之回填濾料，其 F_k 介於 1.1 至 1.9 之間，而 F_k 小於 1.7 且大部分是常態峰度(mesokurtic)或有點低峰度(platykurtic)或尖峰度(leptokurtic)，如圖 3 所示。

偏度 F_s 是用來量測粒徑與常態分佈比較下之不對稱程度。

$$F_s = (D_{16} + D_{84} - 2D_{50}) / (D_{84} - D_{16})$$

其形式有對稱、正偏或負偏，如圖 4 所示。一般由於地下水沖洗與篩分析過程，粒徑分佈曲線可能是對稱或負偏度(即粗粒化現象)，使粗顆粒之含量大於細顆粒。而良好偏度的回填濾料一般包含較高含量百分率之細砂。

上述描寫顆粒尺寸分配的特性對於回填濾料選擇是重要的。舉例來說，圍繞在水井濾屏周圍的靜止流體中，顆粒之終端速度受到流體和顆粒密度、流體黏滯性及顆粒之直徑、形狀及表面糙度所影響，假設除了顆粒尺寸改變，其餘參數均固定，則石英組成的砂粒沈降速度約為其直徑的平方根，例如直徑 4mm 之粗砂沈降速度為直徑 1mm 砂粒的 2 倍，假定回填濾料的性均勻係數(uniformity coefficient)為 2.5，則最粗顆粒約為最細顆粒的四倍大，已知 4mm 直徑的顆粒在乾淨的蒸餾水中沈降速度為 0.2 m/s，而 1mm 直徑的泥砂顆粒沈降速度為 0.1 m/s，因此將使得濾料之顆粒將快速的產生分離現象，如圖 5 所示。因此，均勻係數愈低，回填濾料愈不易因沈降速度不同而產生顆粒分離現象。

假如回填濾料圍繞水井高度達數米，如圖 6 所示，則濾料顆粒將依尺寸分離，最細顆粒在頂部，而最粗顆粒在底部，使鄰近細顆粒土壤由地下水觀測井之底部通過，並留置於孔目(slots)附近。而觀測井頂部之濾料大部分可能會經由孔目流入觀測井中。例如 D_{10} 被用來設計可通過觀測井孔目，經由濾料分離會有 10% 粒徑小於 D_{10} 之細顆粒泥砂集中於觀測井頂部，並在抽水時，觀測井頂部 10% 之回填濾料就不斷流入井中。

解決上述問題的辦法是使回填濾料的均一性增加，對細顆粒而言，若將可通過濾屏之回填濾料百分率由 10% 降至 1%，則問題就可以不考慮，而均一性增加，使最粗顆粒之粒徑變小，也可以降低粗顆粒分離沈降於底部之比率。

2. 圓度和球度(Roundness and Sphericity)

若顆粒之圓度及球度不良時，則於水中沈降時會產生翻轉與擺動的現象，使沈降速率降低，當顆粒愈細時，粗顆粒與細顆粒之沈降速率差異愈大，進而產生分離現象，如圖 7 所示。

濾料顆粒之圓度愈小，即愈片狀之顆粒會增加砂(架)橋(Sand Bridge)的內能，所謂砂(架)橋是指鑽井時於套管(temporary casing)與固定管(permanent casing)的摩擦鍵。砂橋愈大，套管愈不易拔出而增加施工之難度，砂橋易發生在管間空隙小於 5 公分或加砂速度太快時。

常用來定義顆粒圓度的方法是利用照片圖鑑目視比較所得之冪尺度(Power scale)，其範圍隨非常銳角定義為 1，至相當圓為 6 而分布。砂橋之內能以次銳角(冪尺度 3 至 4)為臨界值，也就是說圓度 2 至 3 的顆粒會比 3 至 5 的顆粒砂橋內能大的多。一般以抽水為目的的水井，由於其固定管材質為鋼製，套管分離時，固定管不致變形，但若地下水觀測井之材質為 PVC 等軟管時，拔管時施力過大容易損壞井管。

至於球度(sphericity)，一般採用相同體積圓球之投影面積除以顆粒最大投影面積來比較，若顆粒為球形則其值為 1。假設球度為 0.6，因為增加的面積會反抗球體向下運動，導致顆粒向下速度約為同體積球體的 0.6 倍。由於近似球體的顆粒較能降低砂橋的內能，若有較大的球度，則可以避免像片狀或長形的顆粒，也就可以避免砂橋現象產生，並減少顆粒分離現象。

3. 礦物組成

為避免回填濾料因溶解及吸附作用而損失，濾料最好 95% 以上由石英(quartz)組成，其餘少於 5% 為矽砂(siliceous sediments)，例如長石(feldspar)或氧化物所組成，硫酸鹽(sulfate)及石灰(calcareous sediment)含量最好少於 0.5%，特別是周遭環境容易產生溶解與吸附作用時。而酸性物質之含量必須少於 0.2%。

雖然一般觀測井回填濾料顆粒大小需視現地狀況而定，但有時鑽掘工作和按裝工作必須同時進行，使回填濾料必須在土壤樣本收集前就購買並運送至現場，此時可根據孔目尺寸決定回填濾料大小如表 1 所示。

2.2.4 副濾料(secondary filter)需求

設置副濾料之主要目的是預防膠質黏土形成之泥漿(slurry of bentonite)或其他從外面進入的物質封住濾屏。設計副濾料需考慮三個主要介面，包括 1. 底面，或稱與主濾料之介面；2. 頂面，為與泥漿之接觸面，及 3. 外部介面，如圖 8 所示。副濾料底面之設計時，為避免副濾料侵入下層主濾料，副濾料最粗的部分(D_{90})必須大於主濾料之平均孔隙直徑。也就是說，主濾料中最細的部分大致等於副濾料 D_{90} 之大小。當主濾料均勻係數 $C_u < 2.5$ ，峰度 $F_k < 1.5$ ，則主濾料之 D_{10} 約等於副濾料之 D_{90} ，如此便可預防副濾料之泥砂流入主濾料中。

而在副濾料與泥漿之介面上，濾料顆粒愈細愈好，以防止膠質黏土或白堊質泥漿不致侵入副濾料中，甚至更進一步滲入主濾料。雖然顆粒愈細愈好，但需注意不致於被流體黏滯性或微小紊流所影響，最小顆粒大約為美國標準篩編號 230 之大小。假如此時流體黏滯性於經過副濾料時明顯的較清水中大時，則最細顆粒改為標準篩編號 140(0.104mm)，以加速穩定副濾料及避免泥漿入侵。至於粒徑分佈可以是對稱或正、負的偏度(skewness)，正偏度代表細顆粒含量較多，較能防止泥漿入侵。而相對於主濾料非常均勻的顆粒，副濾料之均勻係數 C_u 介於 2.5 至 10，此現象容易造成顆粒隨粒徑大小之分離現象，並增加防堵泥漿進入回填濾料之功能。若是地下水位位於主濾料間，代表因沈降速度不同而產生按顆粒大小由上而下排列之分離作用並不會產生，因此細顆粒將填滿粗顆粒間之孔隙，而造成低滲透率現象，如圖 9 所示，而且容易造成副濾料中之細顆粒侵入主濾料中，因此最好將副濾料由粗而細回填，以造成類似靜水中分離的效果。副濾料之深度由主濾料頂部往上算起至少 0.305m 深。

於建井過程中，濾料中若有達 10% 之砂被抽走了，將增加完成觀測井之時間與困難度，因此建議回填

濾料經由觀測井之流失量小於 1%。對於主回填濾料材質的特殊要求包括 1. 均勻係數 最好等於 1；2. 峰度為低峰度(platykurtic)，以配合均勻孔目之水井濾屏；3. 回填濾料之圓度(roundness)介於 3 到 6 之間；4. 球度(sphericity)介於 0.6 到 1 之間。副濾料之粒徑分佈主要視周圍地層粒徑分佈而定，必須不均勻，最好正偏度，最粗粒徑部分約等於 D_{90} ，且有少於 2% 重的砂能通過編號 200 之篩網，礦物組成最好與主回填濾料相同，圓度與球度一般較主回填濾料低。

2.4 回填濾料規範整理

Hazen(1911)於本世紀初即從事濾料研究，結果發現濾料之設計，可以濾層的有效粒徑(effective grain size) D_{10} ，作為主要評估參數。Terzaghi(1922)基於濾層及受保護材料，必須有適當的粒徑分佈，而提出一些濾料的基本要求。這些要求經美國陸軍工程兵團(U.S. Army Corps of Engineering)及美國墾務局(U.S. Bureau of Reclamation)依試驗結果，作成修正，提供了各種規範的基礎。

濾料設計的基本原理，就是讓基礎土壤細顆粒停留在濾料開口表面。因此，濾料開口尺寸 O_F 必須小於基礎土壤之代表粒徑(indicative particle size) d_i ($O_F < d_i$)。

Taylor(1948)指出，如果三個完美球體的直徑大於小球直徑 6.5 倍，則小球將通過三球所圍成的孔隙。換句話說，三個球體的直徑，必須小於或等於小球直徑的 6.5 倍，始能防止小球移動(見圖 2)。但是，對一般非均勻濾料而言，無法直接以濾料直徑來表示開口大小；只能以某一具有代表性的粒徑 D_1 來表示開口大小。因此，一般規範大都以 D_1 及 d_1 作為濾料研究的主要參數。並以容許停留比(allowable retention ratio) R_R 作為評估濾料試驗成功與失敗的指標($R_R > D_1/d_1$)。

Terzaghi(1922)以 D_{15} 、 d_{85} 為參數，並採用 $R_R=4$ ，來詮釋他的濾料試驗結果。Karpof(1955)建議採用平均粒徑 D_{50} 及 d_{50} 作為評估參數。Wittman(1979)以 D_{50} 、 d_{50} 為參數，並選用 $R_R=37$ 作為評估土壤內部沖蝕的指標。

廣泛使用的 Terzaghi(1922)設計準則 $D_{15}/d_{85} \leq 4$ 的安全係數約為 2。Sherard 等(1984b)認為，濾料允許開口尺寸與 D_{15} 關係最密切，且實際停留土壤顆粒的開口尺寸約為 $D_{15}/9$ 。Kenny(1985)則發現，濾料允許孔隙等於 $D_3/4$ 和 $D_{15}/5$ ，該發現建立了濾料允許孔隙與 D_3 、 D_{15} 間的關係，以下分別說明其規範：

回填濾料之規範最早由 Bertran(1940)以 Terzaghi 和 Casagrande 學說為基礎，在哈佛大學工程研究所，做有關濾料之極限理論實驗，得到以下結論：

$$D_{15}(\text{濾料})/D_{85}(\text{土壤}) < 4 \sim 5 < D_{15}(\text{濾料})/D_{15}(\text{土壤})$$

說明： D_{15} (濾料)為濾料做顆粒分析，通過重量百分比為 15% 時之粒徑。 D_{15} (土壤)為土壤做顆粒分析，通過重量百分比為 15% 時之粒徑。 D_{85} (土壤)為土壤做顆粒分析，通過重量百分比為 85% 時之粒徑。

另外 U.S. Army Corps of engineers(1955) and the U.S. Army et al.(1971)提出以下之規範：

$$D_{15}(\text{濾料})/D_{85}(\text{土壤}) \leq 5$$

$$D_{15}(\text{濾料})/D_{85}(\text{土壤}) \geq 25$$

說明：1. D_{15} (濾料)及 D_{85} (土壤)與式(3.1)同， D_{50} (濾料)和 D_{50} (土壤)分別為濾料、土壤顆粒分析重量百分比為 50% 時濾料、土壤之粒徑。2. 不含砂、沈泥之中～高塑性粘土不適用以上二式。3. 濾料須為優良級配料。4. 濾料之均勻係數(coefficient of uniformity)需要，以確保濾料不被阻塞。5. 使用壓碎石子時， $D_{15}(\text{濾料})/D_{85}(\text{土壤}) < 5$ 。6. 當土壤中含較多量礫石時，濾料分析時只考慮顆粒小於 1" (2.54cm) 之材料。

在美國墾務局(U.S.Bureau of Reclamation)的規範中，則定為：

顆粒均勻之過濾材料 $5 < R_{50} < 10$

次圓形(subrounded)級配濾料 $2 < R_{50} < 58$, $2 < R_{15} < 40$

角形(angular)級配濾料 $3.6 \sim 9 < R_{50} < 30$, $6 < R_{15} < 18$

說明：

$$1. R_{50} = \frac{D_{50}(\text{濾料}), \text{通過濾料顆粒分析50\%之粒徑}}{d_{50}(\text{土壤}), \text{通過土壤顆粒分析50\%之粒徑}} \quad R_{15} = \frac{D_{15}(\text{濾料}), \text{通過濾料顆粒分析15\%之粒徑}}{d_{15}(\text{土壤}), \text{通過土壤顆粒分析15\%之粒徑}}$$

2. 當礫石等粗粒料含量超過 10%，且小於#200(0.075mm)含量超過 10%時，以上三個限制式只考慮可通過#4(4.75mm)的部份。3. 濾料中小於#200(0.075mm)之細粒料不能多於 5%且不能有顆粒粒徑大於 3"(7.62cm)者。4. 本分析方法，不適用於具離散性的粘土質土壤(dispersive clay soil)。

不同的規範其適用性應經由後續的試驗與現場實施結果的調查，來評定適合本土較合宜的規範。經由檢討，以下之規範適用於現行的問題。

依美國的土壤保育局(SCS)對濾料的要求，從 1980~1985 年進行一系列的試驗而訂出以下的規範：

1. 濾料使用在填築土石結構物、建築物及其他水工構造如堤、井體等，它有兩個主要的功能：(1)保護現地土壤，阻止產生開孔或裂縫，以避免顆粒經開孔流失。濾料主要考慮其粒徑分佈，令土壤無法通過，土壤顆粒被阻擋在濾料的介面，則開孔或裂縫不會因內部沖蝕繼續擴大。(2)攔截土壤孔隙中滲流的水，避免在出口處形成流失管湧的現象。當地下水滲流的壓力及水力梯度過大，在流出土體時會將土壤顆粒帶走形成了管湧的發生。

2. 濾料的設計粒徑分佈：以下步驟建議可用來做為適當濾料的粒徑分佈設計方法

- (1)首先決定現地土壤的粒徑分佈曲線，儘量使用可取得的最多的土壤樣品，採用規範所規定最小的 D_{15} 。
- (2)如果土壤含大於#4篩的材料，亦即大於4.75mm的顆粒。則依下面步驟修正：(a)以100除以通過#4篩的百分比得一修正係數；(b)將#4篩以下各篩號停留比乘以上項的修正係數；(c)用上項修正過的百分比繪製新的粒徑分佈曲線；(d)用上項修正過的曲線決定通過#200篩(0.075mm)的比例。
- (3)由表2中依通過#200篩的比例查出基礎土壤所屬的分類
- (4)由表3決定通濾料允許最大 D_{15} ，(注意 D_{15} 不一定要小於0.20mm)。
- (5)由表3決定了濾料粒徑的最大最小值，應儘量選擇粒徑分佈均勻的優良級配曲線，以減少分離及相關效應，曲線應平滑不可有跳躍的情形，顯示缺乏某些特別的粒徑顆粒，表4為避免分離，建議採用的極限值。
- (6)濾料在接近開縫管時，其 d_{85} 應不小於開孔的直徑或縫的寬度，當特殊情況逆向流(由開孔流向土壤)可能發生時，開孔大小應大於濾料之 d_{15} 。

2.5 鑽鑿井的方法

地下水抽水井的鑽鑿方法主要可分旋鑽式(rotary drilling)及沖擊式(cable tool)兩大系統，地下水觀測井亦大致相同。

旋鑽式的鑿井裝置主要由：1.鑽頭(drill bit)，2.施旋轉的裝置，3.控制壓力的裝置，4.移除碎屑的構造，四個部份組成。以旋轉的方式，向下鑽孔並藉液體的壓力穩定地盤。而沖擊式則以吊掛物落下打擊井底，

再以吊筒吊出碎屑的方式排碴。以下分別說明：

2.5.1 直接液壓旋轉式

以液壓產生旋轉的裝置，下井以鑽頭旋轉達鑽鑿的功能，其優點有：1.可以維持及鑽到所需要的深度，適用於許多不同情況的地層、裸孔。2.鑽入速度相當快。3.可以鑽較小孔，可作採樣及地物井測，可當作試鑽孔。4.可以維持裸孔供裝設井管、回填濾料等。5.在深井(超過 1000 ft)時，尤其是軟弱非固結沖積地層中，構築經費較省。6.可在較小的試鑽孔後鑽較大的鑽孔維持其線性垂直度。7.可供設裝各種井管、進水管等。其缺點為：1.鑽台設備較為複雜。2.初始設備資本門較大。3.鑽頭損失較大，尤其碰到堅硬的地層。4.泥漿的設計與控制需要較嚴格，對後續井測、完工、洗井影響大。5.噪音較大，在都會區造成困擾。6.每日經常費用較高。7.用水量較大。8.機具搬運費用高。9.對地下有空洞如喀斯特(karst)地形花費較高。

2.5.2 反循環旋鑽(Reverse Circulation Rotary)

改進直接液壓鑽鑿的排屑方法，而以氣壓由管輸入，由其連桿中央出屑的方式。反循環旋鑽有以下優點：1.較便宜的機具，與直接液壓旋轉式比較，有相同工作能力。2.在軟弱、非固結沖積地層鑽鑿大孔較經濟。3.採樣上較液壓旋轉式為精確。4.對鑽液(泥漿)粘滯度要求較低。5.可採用隔離空壓機，噪音較低。6.相對搬運費用較低。7.循環系統較省錢。8.鑽頭損失較小。9.較低的後續洗井費用，如使用水做鑽液，不加添加劑。但也有以下缺點：1.當深度超過 800~1000ft，效率急遽變差。2.用水較多，在高透水層可能達 1000gpm。3.無法適用大礫石層、固結岩層、喀斯特地形，當通過較厚的粘土及頁岩層，需鑽液添加劑。4.當使用水為鑽液時，SP 及電阻井測可能不準。5.較難維持井的垂直度。6.18"以下的鑽孔無法施作，因底部會形成高速水產生沖蝕效應。7.當地層上方靜水壓力低於 15ft 時，無法施作。

2.5.3 沖擊法(Cable tool)

在世界各地，沖擊法已經有很多年的使用記錄(超過 4000 年)，尤其適用在某些地質條件如堅硬地層或吃水很厲害的地方要鑿大口徑的井時。其鑽探進度(進尺)較慢，通常在沖積地層每日進尺為數米，但很適合在都會區作水質觀測井，如以下的優點中所述。其優點：1.機具成本較低。2.每日經常性開銷，包括燃料、人員等費用較低。3.用水量較低。4.搬運費較低。5.使用套管，不用泥漿穩定地層。6.水井設計上較為簡單，維護也較容易。7.地質與水質採樣較可靠。8.較易封閉不要連通的地層。9.較不易發生地層交互污染。10.在偏遠地區較易操作，設備與儀器皆較易。11.在會吃水，無法回水的地層較易操作。其可能有的缺點：1.除了在淺井的情況，無法鑽鑿裸孔來作礫石圈的回填。2.可能較不經濟，所需井壁較厚，較大的井徑。3.太深則鑽鑿效率較低。4.在鬆軟、細顆粒組成的沖積扇，貫入速度偏低。

2.5.4 其他各種輔助方法

1.下井錘鑽(Down-hole hammer Drill)：可以施放入井中的錘式鑽頭。2.雙管反循環旋鑽(Dual-tube Reverse Circulation Rotary System) 3.旋轉式貫入套管(Top-Drive Rotary Using Drill-through Casing driver)：

2.5.5 各種鑽井的方法適用性的比較

以下依參考文獻(8)的說明，將鑽井方法適用性整理成表 5 以供參考。

三、地下水觀測井之建置

3.1 現行建置作業步驟之檢討

1.鑽鑿井孔工作

現行井孔之鑽鑿工作係採用衝擊式鑽鑿，如有兼作地質鑽探，亦是以衝擊式採樣，所採得之土樣屬於擾動之土樣，頂出土樣後又將其剖半收存於岩心箱，因此無法以採得之土樣進行如滲透、現地密度等試驗。又因使用泥漿作為防止井壁崩塌之介質，使得鑽鑿完成後需以強力洗井之方式，將井中及滲入地層之泥漿洗出。此外泥漿之設計與控制若未嚴格執行，則維持井壁之效果有限，易導致於鑽鑿過程中崩孔卡鑽，或於下管時崩孔，容易造成困擾。

2. 井圈處理工作

- (1) 井圈濾料之填充：現行濾料之填充均以人工、小型鏟土機或輸送帶於井口直接投入井中，使於泥漿中自由沉降，除造成濾料顆粒分離外亦無法控制濾料之填充密度，難以確保濾料之功能。
- (2) 井圈分層封隔：為達成地下水分層觀測之目的，不同水層之間需以皂土封隔。現行封隔皂土之填充亦是以人工、小型鏟土機或輸送帶將皂土塊於井口直接投入井中，使於泥漿中自由沉降，因此皂土塊於泥漿中之融合情形無法掌握，皂土與井壁間亦可能有泥漿膜存在，封隔之效果難免打折扣，導致需設計以較厚之封隔層來確保封隔效果，使得同一口水井無法建置更多的觀測井，增加建井之經費。
- (3) 填充黏土漿部分：現行黏土漿之填充亦是以人工、小型鏟土機或輸送帶將黏土塊於井口直接投入井中，使於泥漿中自由沉降，因黏土塊之間未經夯實故其密度之控制頗值探討。

3. 擴水洗井工作

擴水洗井係利用吊筒振盪器，放入已填充濾料、封隔層及黏土漿之井內反覆振盪，藉水力激動幫助井圈濾料沉陷密實，並沖洗孔壁泥膜，然後抽吊井內泥水，再安裝沉水式抽水機將井內泥水抽除至出水水色澄清為止。但因濾料填充時並未夯實且已封隔於井中，在擴水洗井時，濾料壓密後將先產生空洞，進而造成地層土壤進入濾料，影響濾料效能。同時強力洗井時亦會擾動井壁附近之地層，改變觀測井附近原地層之透水性。

4. 試水工作

試水工作係以高能量抽水設備於擴水洗井完成後進行試抽直至井水水色澄清，但因使用高能量抽水設備，故將使井圈附近之細顆粒被抽走，雖然提高了井圈附近之透水性，但卻改變了原始地下水文特性，因此採用高能量抽水設備試水之方式亦值討論。

5. 抽水試驗

目前每口觀測井完成後，均需進行完工試水，包括分級、定量及回昇試水，以測定井效率、導水係數、透水係數、單位洩降出水量及安全出水量等以作為驗收之依據，顯然此為參考生產井之作法。觀測井建置完成後，在透水性觀點上，只要其透水性能維持與含水層之透水性相近，則即是建置成功之觀測井。至於含水層之儲水係數、導水係數、透水係數等水文參數，均可以替代性試驗如微量試水等試驗方法求得，其井效率、單位洩降出水量及安全出水量等參數，應由另外建置之抽水試驗井試驗求得。

經以上對觀測井建置部分流程之探討後，可知目前之方法仍有改善之空間，如鑿井方式，濾料、皂土等之填充方式，觀測井完成後之檢驗方法等。

3.2 現行濾料規範之檢討

濾料設計之良窳，攸關地下水觀測站井之成敗，以下以台南站為例，探討目前站井設置時所採用之濾料規範與美國SCS規範之差異。

3.2.1 台南站之地層概況

為瞭解台南站之地層概況，遂將台南站井建置時每隔一米所採得之土樣，經挑選出砂質土後，攜回實驗室進行篩分析試驗。土樣攜回試驗室後，先放入烘箱內烘乾24小時後，移入乾燥櫃內冷卻至室溫後，再進行篩分析試驗。篩分析試驗所使用之篩號為#4、#10、#20、#40、#60、#100及#200號篩，圖11為部分試驗結果。

3.2.2 台南站濾料之設計

為探討現行濾料規範，特以台南站土樣之篩分析結果為例，依據美國SCS濾料規範及現行規範，先對土樣分類後，再針對含水層分別設計濾料，所得之結果發現現行之規範所設計得之濾料，其顆粒尺寸均較依據美國SCS規範所設計而得之濾料顆粒尺寸為大，其原因可能是為提高之井效率抽水井，但卻無法有效防止土壤中之細顆粒進入觀測井中，因此現行濾料規範應有檢討之必要。

3.2.2 現行濾料規範設計成果檢討

為了解現行規範之適用性，特以89年度「蘭陽平原及嘉南平原地下水水質試驗分析研究」報告中之數據為例，其中總懸浮固體量(TSS)之檢出值高於8ppm(一般標準)的測站，在蘭陽平原有五結(1,3,4)、龍德(2,4)、中興(3,4)利澤(1,2)、自強(1)、頭城(1)及大隱(1,2)，佔89年度蘭陽平原總井數之68.4%，其中利澤(2)之檢測值(303.7)更高於台灣省灌溉用水之標準值(100)。

至於嘉南平原地區則有南科(1-4)、台南(1-4)、五甲(1,2)、白河(1-3)、依仁(1)、仁德(1,3)、省躬(1,2)、鹽埕(1-3)、彌陀(1)、五林(2,3)、成功(1,2)、一甲(1)、竹滬(1-3)、岡山(1)、興達(2)、永華(1)、阿蓮(1)及永安(1-4)，佔89年度嘉南平原總井數之79.2%，其中台南(1,2)之檢測值(329.7,176.3)、五甲(1)之檢測值(137.0)、白河(1)之檢測值(164.3)、依仁(1)之檢測值(195.0)、仁德(1,3)之檢測值(167.5,110.8)、省躬(2)之檢測值(164.3)及竹滬(3)之檢測值(771.3)均高於台灣省灌溉用水之標準值。

由此可看出採用現行規範，在蘭陽平原及嘉南平原所建置之地下水觀測井，以TSS之檢測值來看，其成效明顯不彰，因此現行規範確實不適用於全台灣地區。

四、綜合討論

4.1 回填濾料規範

4.1.1 回填濾料之規範建立

回填濾料之規範，初步檢討可以 2.3 節最後美國土壤保育局的規範為基礎，再增加對濾料的均勻性、球形等的考量，以適合觀測井特別的需求，唯此項規範若牽涉過份細節的項目，則在實際材料的選定會受到可用來源及實驗不易的限制，易流於形式，完整的規範透過室內試驗模擬來驗證。

以下步驟建議可用來做適當濾料的粒徑分佈設計方法：

1. 首先決定現地土壤的粒徑分佈曲線，儘量使用可取得的最多的土壤樣品，採用規範所規定最小的 D_{15} 。
2. 如果土壤含大於#4篩的材料，亦即大於4.75mm的顆粒。(1)以100除以通過#4篩的百分比得一修正係數；(2)將#4篩以下各篩號停留比乘以上項的修正係數；(3)用上項修正過的百分比繪製新的粒徑分佈曲線；(4)用上項修正過的曲線決定通過#200篩(0.075mm)的比例。
3. 由表2中依通過#200篩的比例查出基礎土壤所屬的分類。

- 4.由表3決定通濾料允許最大 D_{15} ，(注意 D_{15} 不一定要小於0.20mm)。
- 5.由表3決定了濾料粒徑的最大最小值，應儘量選擇粒徑分佈均勻的優良級配曲線，以減少分離及相關效應，曲線應平滑不可有跳躍的情形，顯示缺乏某些特別的粒徑顆粒，表4為避免分離，建議採用的極限值。
- 6.濾料在接近開縫管時，其 d_{85} 應不小於開孔的直徑或縫的寬度，當特殊情況逆向流(由開孔流向土壤)可能發生時，開孔大小應大於濾料之 d_{15} 。

4.1.2 比較與檢討

以下就上述建議之規範與現行採用之規定作成表 6，其中並加註其篩號，以作比較與檢討。由表 6 中可見：

- 1.現行規定以含水層 d_{50} 作為濾料選定的主要決定參數，與許多規範以 d_{15} 不同，較傾向於以排水能力來考量，而非以防止地層材料的內部沖蝕為考量。 d_{50} 代表以重量來計算的話，有50%的顆粒較此為小，亦即有一半的材料可能穿透濾層而流失。
- 2.濾料粒徑限制於很小的範圍，最大與最小材料粒徑只有兩倍，表示顆粒徑均一，非優良級配，濾料回填後的孔隙率較大，雖便於透水，但不利於過濾功能的架構，違背了大部份濾料優良級配的要求。
- 3.由目前規定濾料粒徑分佈之範圍，計算而得 R_{50} 之數值，其濾料顆粒通過重量50%的粒徑比土壤顆粒通過重量50%的粒徑的比值，約在4~5之間，低於美國墾務局之規範。
- 4.濾料粒徑與濾水管縫寬的關係，與表4相比可見濾屏開口應以材料 D_{10} 的 $\frac{1}{2}$ 到1倍為較適合，現行的規定中，濾料最小粒徑約為縫寬的兩倍左右，濾料的顆粒太大，有利於排水，減少濾料的流通水頭損失，或可說成濾水管縫寬太小，消耗材料。

4.2 回填濾料施工方法

由目前地下水觀測站井建置的流程看來，現場施工受限於目前施工機具，濾料回填無法由井底向上回填為較主要之限制，於此結合前述現行建置作業步驟之探討，作以下的說明。

回填濾料(礫石圈)的方法，大致有以下幾類：

- 1.直接倒入：對淺井或中深度(<300米)的井適用，應結合一止水器及循環系統，倒入的速度應慢，但連續的倒入井的周圍，與回水反向來避免礫石的分離。設置斗狀供應器可能達每小時倒入10噸的速率。在反循環的鑽井系統可以令礫石落下與水流同向，但部份削屑可能與礫石混合，如圖12，通常直接倒入可以去除部份鑽液(泥漿)形成的阻塞。
- 2.側彎管輸送：當在小口徑、深井或底部擴孔的井，可以採特殊的側彎管輸送來回填礫石，如圖13所示，特殊的側彎管系統，由中央鑽桿抽入水及礫石的混合物到接近底部的側彎管流向側面外圍的孔隙回填。
- 3.特密管輸送：在有循環系統中，大部份的井並不容易發生回填料分離的現象，只有在採用細顆粒的濾料時，但是在有套管或井管可能造成架橋現象時就需要使用特密管，如圖14。特密管通常需用加壓幫浦輸送，輸送能力達150~200gpm，特密管輸送的速度與直接倒入相差不多，但因需機具安裝所以多耗費很多時間。

上述三種方法皆可採用直接或反向循環系統，通常直接循環會較好。另外需考慮鑽孔中鑽液的調整，在置放濾料前，需加水將泥漿的濃度調整到重量至多 1.1 g/cm^3 ，粘滯度至多30 sec(API Marsh funnel test)，含砂量至多1%(體積比)。

4.3 回填濾料試驗方法

1. 「無沖蝕濾料試驗」採用高壓力水頭(2.6 kg/cm^2)，做為試驗壓力，主要基下列二項理由：

(1)提供適當的安全係數：實際上產生集中滲流的壓力水頭，可能遠小於本試驗所採用之 2.6 kg/cm^2 。因此，在實際低流速之集中滲流作用下，土壤顆粒可能被切割成片，帶至濾料表面，迅速地將濾料表面封住。如果，採用高壓力水頭，則土壤顆粒將被沖蝕成最小顆粒狀，不再成片聚集。所以，若下游濾料稍設計不當，即產生細顆粒流失。因此，採用高壓力水頭試驗，可以說是對濾料封住集中滲流能力的保守評估，提供適當的安全係數。

(2)縮短試驗時間：採用高壓力水頭試驗，除增加沖蝕能力外，並提高由土壤顆粒填滿土樣與濾料接觸面孔隙，所組成過濾機構之水力梯度(約達500~2000)，增加滲流能力。因此，濾料試驗成敗，可在短時間內判定。

2.本試驗因採用高水壓力作為試驗壓力，因此，試驗結果，短時間即可依排出水色澤及流量初步判定。一般而言，成功的濾料試驗約在 $t=2\sim5 \text{ min}$ ，流量即趨於平衡。至於失敗的濾料試驗，往往在 $t=2\sim5 \text{ min}$ 就發現產生明顯的內部沖蝕，排出水色澤因此突然變濁。而後，排出水色澤有逐漸轉清的趨勢，約在 $t=5\sim10 \text{ min}$ ，排水量可趨於平衡，排出水色澤轉清。又本試驗係以流量達於穩定平衡為試驗結束時間，因此，為確定流量確實達到平衡，且易於比較，乃選用10min及15min，分別為成功及失敗濾料試驗之試驗時間。

3.「無沖蝕濾料試驗」基本上屬於較保守之試驗。因為除了採高壓力水頭外；由試驗結果顯示，即使失敗之濾料試驗，最後仍能使排水量趨於平衡，排出水色澤逐漸轉清。可見，該失敗之濾料，仍具有相當程度之過濾效果。儘管如此，本試驗仍具有：(1)試驗簡單；(2)濾料設計成敗判斷明確；(3)試驗結果具可重複性，不失為優秀之濾料試驗方法。

五、結論與建議

5.1 結論

觀測井之回填濾料為鑽孔中設置井管後的回填材料，用作為地層材料與井管之中間介質，其特性不僅影響水流通的能力，業關係著對現地地層材料保護的功能。若設置不當，保護功能沒有發揮，地層材料可能產生流失而流入觀測井中，不但影響觀測水位的準確性，亦會增加觀測井維護的負擔。

過去對觀測井回填濾料的選定，多依循抽水井的規定，以提供最佳出水量為考量，在施以洗井作業同時，部份濾砂會被洗出，易造成空洞及井內沉砂，不利於觀測井之保護，故針對觀測井回填濾料規範的建立，應有其必要。本研究以既有規範併同現行實施方法加以檢討，選定適當的規範，並經實驗驗證其可行性，可提供後續工作回填選擇之依據。整體研究之結論，以下分項描述：

1.為掌握地下水量變化所建立的地下水站網，其地下水觀測井應以觀測地下水位或水壓力變化為主，但應能同時反應其地下水水質。回填濾料的選擇應考慮不致造成地層材料中的細顆粒流失，本報告所提出之規範可以有效防止細顆粒通過回填濾料流入觀測井中，能有效保護地層及維持觀測井的功能，也可以讓地下水質採樣的懸浮固體量減至最低，正確反應出地下水水質，同時也可以有效維持觀測井的功能。

2. 回填濾料為達到保護地層及維持觀測井的功能，應以現地土壤的粒徑分佈曲線來求得濾料適用之最大與最小之 D_{15} ，再依規定求取其級配曲線，則可以達其功能。本研究依美國的土壤保育局的規範作成建議，對濾料及進水管的開縫得到合理的選定方法。
3. 目前站網計畫中，地下水觀測井的鑽孔多採衝擊式實施，在部份地層材料適合的地點可能可以考慮旋鑽的方法，可以縮短所需的工期，回填濾料施放的方式可以考慮用特密管取代現行由上方倒入的方式，或者增加井中水流協助濾料的安定，濾料施放如得以較準確的控制其位置，封層效果會較好，則一孔多點觀測井有可能達成。
4. 在濾料試驗中採用Sherard 1989年所建議的無沖蝕濾料試驗，可以準確的判定所選定濾料的適用性，確定土壤內部沖蝕是否會發生，其設備與試驗步驟不會太複雜。建議可以當做標準的方法推廣使用，當對依上述方法所訂出的濾料規格有所疑慮時，可以此試驗加以驗證。

5.2 建議事項

1. 本研究結論所提出之過濾料選定方法，經試驗驗證具體可行，建議相關單位於後續地下水觀測井建立的過程中，可以採用新的規範與試驗方法，並檢討其實施成果。
2. 對過去已完成之觀測井，可以藉由井的檢查及水質採樣測定其懸浮固體量(TSS)來評定觀測井中濾料的功能及是否有維護的需求。站網計畫所完成的觀測井需長期維持其功能，持續的檢查有其必要性。
3. 站網計畫中對監測井的建立成效，一直以洗井後的井效率為驗收的基準，應可考慮檢討改進，以試水及水質採樣測定懸浮量的觀點進行，對後續維護工作的評定，亦可以此觀點進行。
4. 對鑽井的機具及方法，應持續引進較新型進步的機械，或許可以加速站網計畫建井之速度及品質較佳的監測系統。

表1 不同濾屏孔目尺寸回填濾料特性建議表

濾屏開口尺寸 mm(in.)	孔目 編號	砂濾網名稱	1%通過尺寸 (D ₁),mm	有效粒徑 D ₁₀ ,mm	30%通過尺寸 (D ₃₀),mm	均一係數 範圍	圓形率 (冪尺寸)
0.125(0.005)	5	100	0.09~0.12	0.14~0.17	0.17~0.21	1.3~2.0	2~5
0.25(0.010)	10	20~40	0.25~0.35	0.4~0.5	0.5~0.6	1.1~1.6	3~5
0.50(0.020)	20	10~20	0.7~0.9	1.0~1.2	1.2~1.5	1.1~1.6	3~6
0.75(0.030)	30	10~20	0.7~0.9	1.0~1.2	1.2~1.5	1.1~1.6	3~6
1.0(0.040)	40	8~12	1.2~1.4	1.6~1.8	1.7~2.0	1.1~1.6	4~6
1.5(0.060)	60	6~9	1.5~1.8	2.3~2.8	2.5~3.0	1.1~1.7	4~6
2.0(0.080)	80	4~8	2.0~2.4	2.4~3.0	2.6~3.1	1.1~1.7	4~6

表2 基礎土壤的分類

分類	通過#200篩的比例
1	>85
2	40~85
3	15~39
4	<15

表4 D₁₀及D₉₀的建議值

最小D ₁₀ (mm)	最大D ₉₀ (mm)
<0.5	20
0.5~1.0	25
1.0~2.0	30
2.0~5.0	40
5.0~10	50
10~50	60

表3 濾料的規範方法

基礎土壤分類	基礎土壤的概況 ^{#1}	濾料規範 ^{#2}
1	細粉土及粘土	$D_{15} \leq 9 \times d_{85}$ ^{#3}
2	砂、粉土、粘土及粉土質砂、粘土質砂等	$D_{15} \leq 0.7\text{mm}$
3	粉土質砂、粘土質砂、礫質土	$D_{15} \leq \frac{40-A}{40-15} \times (4 \times d_{85} \text{ 或 } 0.7\text{mm}) + 0.7\text{mm}$ ^{#4}
4	砂、礫石	$D_{15} \leq 4 \times d_{85}$ ^{#6}

註：1.本表依(2)步驟調整，通過#4以下材料為100%。2.濾料最大顆粒徑為75mm，通過#200號篩比例為最多5%，其PI(塑性指數，PL-LL)需為零。PI使用通過#40篩依ASTM-D-4318規範試驗。為保證足夠的滲透性D₁₅應大於或等於4×d₁₅，且不小於0.1mm。3.當9×d₈₅小於0.2mm，採用0.2mm。4.當A=調整後的粒徑分佈中，通過#200篩的百分比。5.當4×d₈₅小於0.7mm，採用0.7mm。6.本類土壤之d₈₅使用未調整前之粒徑分佈。

表5 鑽井方法適用性比較表

	螺旋鑽 (auger)	旋鑽泥水加壓 (Mud Rotary)	氣壓旋鑽(air Rotary)	沖擊式 (Cable tool)	雙壁式反循環 (Dual-Wall Reverse Circulation)
機動性與大小	佳	差	可	好	可
噪音	佳	可	差	好	很差
灰塵、泥水	佳	差	差	可	差
用水量	佳	差	可	可	好
廢棄物 (水及泥)	好	差	可	好	可
公共安全	好	差	差	可	差
岩盤的鑽鑿	差	好	好	好	差
礫石層鑽鑿	差	可	差	好	好
地下水位下鑽鑿	好	好	可	好	可
深井鑽鑿 (50公尺以上)	差	好	好	好	可

*最後應特別考慮在礫石層及砂地層中深井鑽鑿的適用性。

表6 現行濾料選定之規定

含水層 d ₅₀ 粒徑(mm)	濾料粒徑(mm)	分級	相當篩號(約略)	R ₅₀ (約略)	濾水管縫寬(mm)	濾水管縫寬(英吋)
細砂 0.125~0.25	0.58~1.16	D	#30~#16	3.5~7	0.25	0.005"
中砂 0.25~0.5	1.16~2.33	C	#16~#8	3.4~6.8	0.5	0.01"
粗砂 0.5~1.0	2.33~4.00	B	#8~#4	3.2~6.4	1.0	0.02"
極粗砂 1.0~2.0	4.00~8.00	A	#4~#3	3~6	1.5	0.03"
礫石 >2.0	4.00~8.00	A	#4~#3	<3	2.0	0.04"

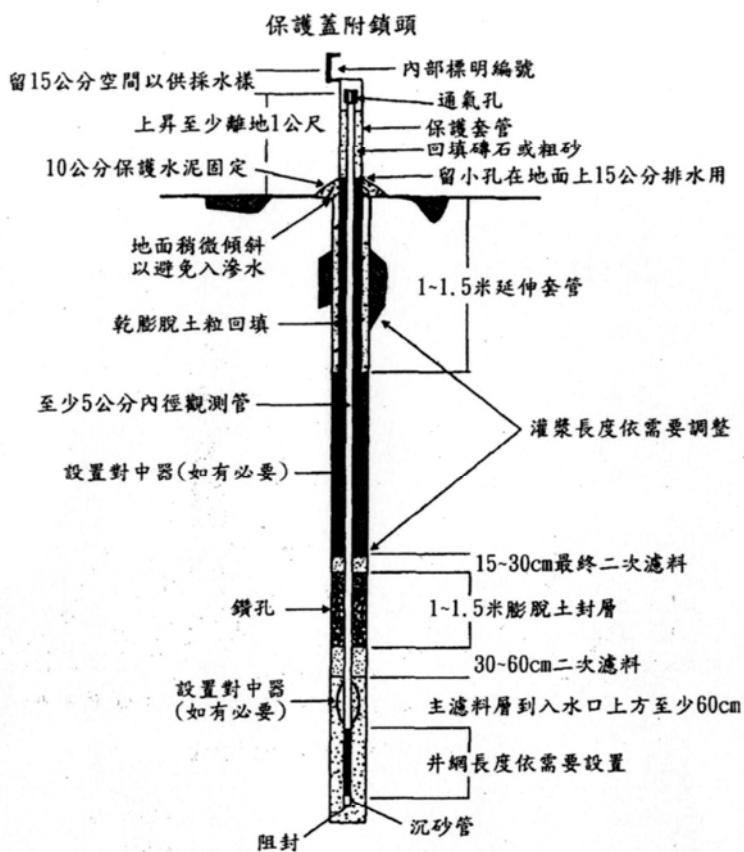


圖 1 地下水觀測井設置圖

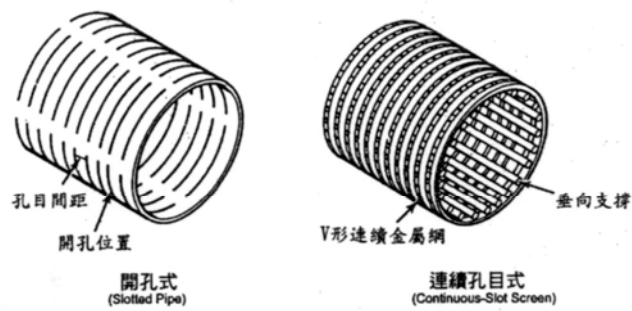


圖 2 地下水觀測井濾屏之兩種基本形式

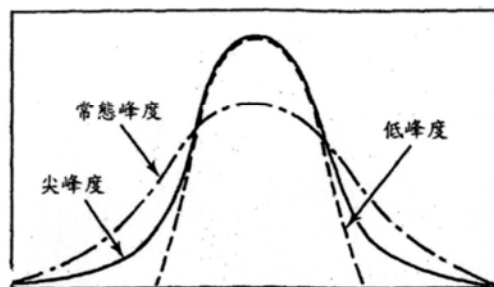


圖 3 各種峰度形式

(摘自 Schalla, R. and Walters, W. H., "Rationale for the Design of Monitoring Well Screens and Filter

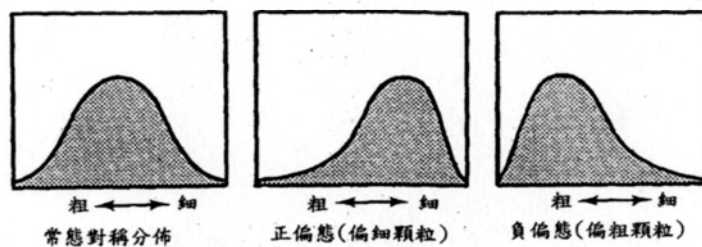


圖 4 各種粒徑偏度示意圖

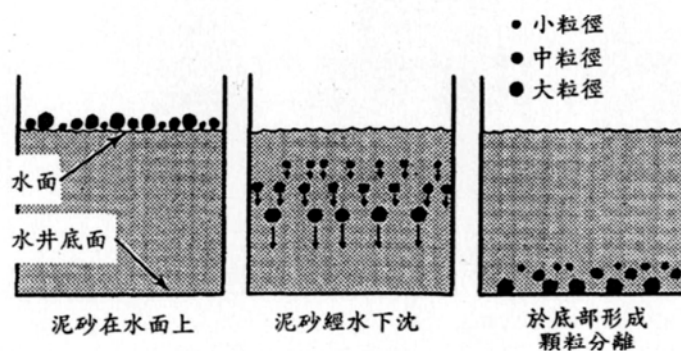


圖 5 依相對沈降速度及尺寸產生之粒徑分離

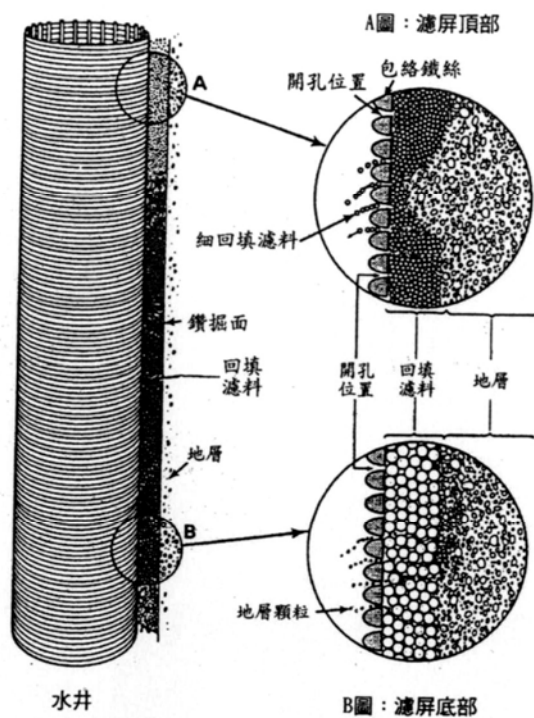


圖 6 不均勻回填濾料粒徑分離所產生之衝擊

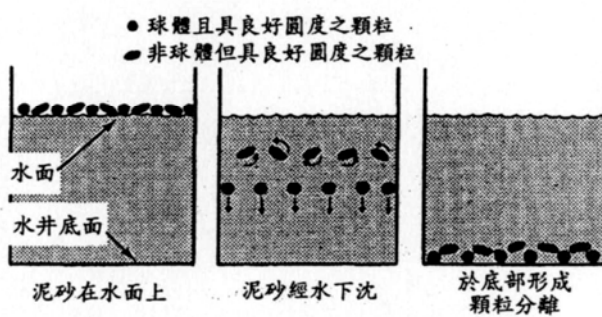


圖 7 球形和非球形粒徑之相對沈降速度

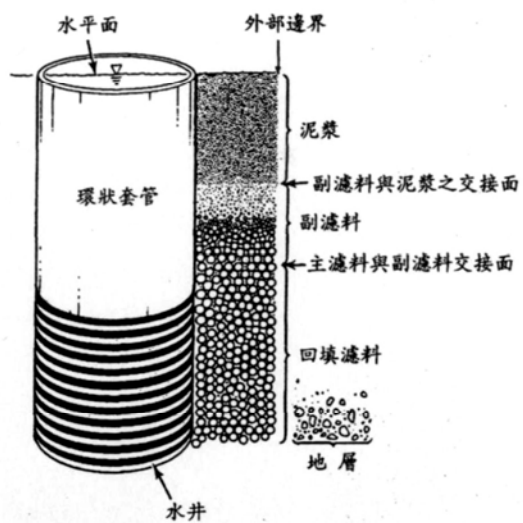


圖 8 副濾料經過地下水洗後之粒徑分布

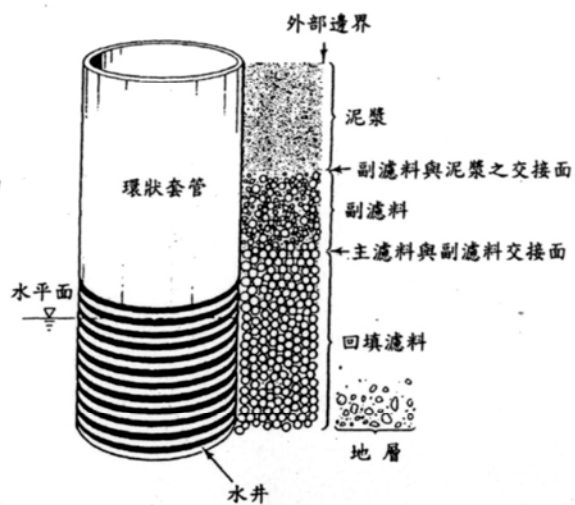
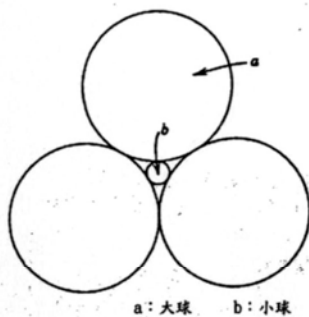


圖 9 副濾料高於地下水水面之粒徑分布



大球直徑 D_a 必須大於或等於小球直徑 D_b 的 6.5 倍，小球始能穿越三個大球所圍成的孔隙。

圖 10 過濾機制圖(Taylor 1948)

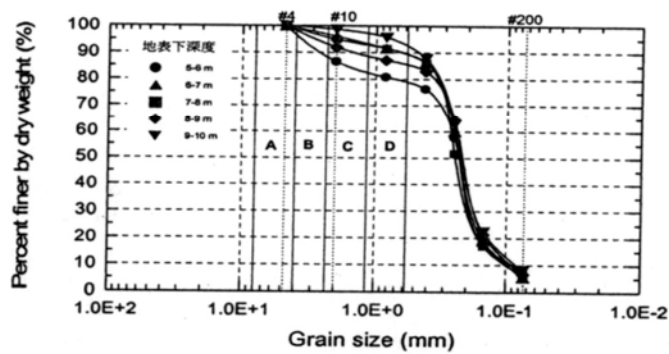


圖 11 台南站地層篩分析曲線圖

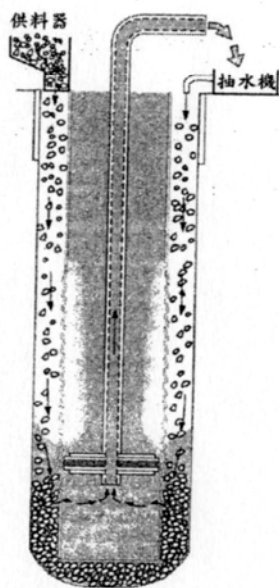


圖 12 直接倒入礫石，採用反向循環的示意圖

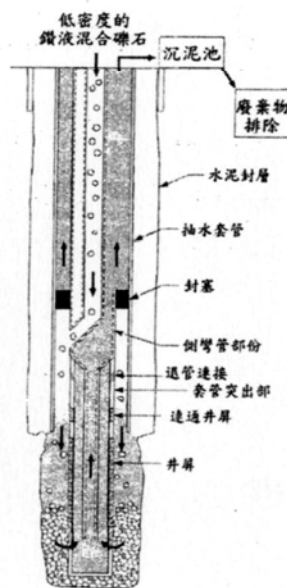


圖 13 採用側彎管置入礫石料

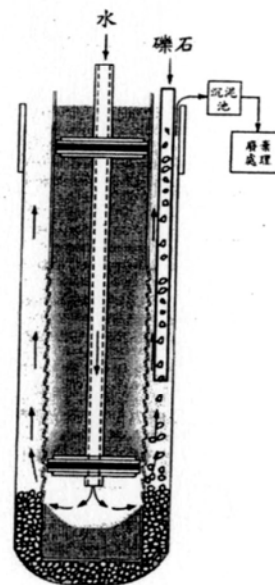


圖 14 利用特密管及循環系統作礫石置放

參考文獻

1. 水利處，地下水站網計畫相關報告(歷年)。
2. 張文亮，1999，水井診斷、維護、管理與永續經營，地景公司，台北。
3. 蘇苗彬、張雲竹，1992，"泥岩之濾料選定方法"，興大工程學報，Vol. 3。
4. 蘇苗彬等，1996，"泥岩及紅土之內部沖蝕防止"，中華水土保持學報，Vol. 27。
5. 蘇苗彬、施進村，1997，"粉質砂土管湧問題研究"，中華水土保持學報，Vol.28。
6. ASTM, 1992, Standards on Groundwater and Vadose zone Investigations, U.S..
7. Cedergren, 1989, Seepage, Drainage, and Flow nets, Wiley, U.S..
8. Lehr, 1988, Design and construction of water wells, National Water Well Association.
9. Nielsen and Johnson, 1990, Groundwater and Vadose Zone Monitoring, ASTM, STP1053.
10. Reddi and Bonala, 1998, Filtration and Drainage in Geotechnical/ Geoenvironmental Engineering, ASCE, Geo-Institute GSP No.78.
11. Roscoe Moss Company, 1990, Handbook of Groundwater Development, Wiley, U.S..
12. Soil Conservation Service, 1986, Guide for determining the gradation of sand and Gravel Filters, Water Resources Publication, U.S..
13. Soil Conservation Service, 1984, Permeability of Selected clean Sands and Gravels, Water Resources Publication, U.S..
14. Vukovic and Pusic, 1992, Soil stability and Deformation Due to Seepage, Water Resources Publications, U.S..
15. Vukovic and Soro, 1992, Determination of Hydraulic Conductivity of porous Media from Grain-size Composition, Water Resources Publications; U.S..