

港灣技術研究所專刊第63號

花蓮港舊東堤堤身灌漿加固修護方法之可行性研究

委 託 單 位：花蓮港務局

計劃主持人：林維明

研究員兼港工材料組組長

協同主持人：饒 正

助理研究員

研 究 人 員：陳桂清、吳信昇、黃永光

柯正龍、陳正義、何木火

徐如娟、林隆貞、顏素雯

時間：中華民國 78 年 7 月 1 日至 79 年 9 月 30 日

目 錄

壹：前言	1
貳：文獻回顧—美國陸軍工兵署應用灌漿加固防波堤 之經驗	4
叁：舊東堤現況調查	85
肆：灌漿固結方法之規劃	94
伍：現場施工	99
陸、結果評估	109
柒：結論與建議	111

壹、前言

花蓮港舊東堤建造時，正處第二次世界大戰期間，各種物資短缺，建港經費屢被刪減；又該防波堤之建造始於民國 21 年，依當時混凝土構造物之建材、工法、施工技術等，估算該堤之壽年約為 50 年，現已超過其使用年限；其東側為浩瀚之太平洋，毫無天然屏障，經年累月受波浪之衝擊、地震之侵襲破壞，每年又需承受數次颱風之巨浪，雖以大形消波塊保護，然而並無法消除大部份之波能，強大的波加上海流之作用，乃造成部份堤防基礎倒塌，堤內級配料被掏空，其護面胸牆龜裂處處可見（照片 1、2），若再受重大外力之作用，恐有斷裂坍塌之慮。照片 3 為基礎被冲刷之現象。

再觀其近年之維修費用（如表一），有逐年上升之趨勢（如圖一）屢次颱風來襲均地嚴重損害，顯見該防波堤已達大修或重建之時機，又該段防波堤係保護內港進出航道之屏障，拆除重建勢必影響該港口之營運及安全，為避免上述之原因，則整修加固應被列為第一優先考慮之方案。該防波堤原設計以混凝土塊疊砌成牆，內填充級配粒料，再以混凝土覆面而成，花蓮港務局累積數十年之經驗和觀察，提出堤內灌入水泥砂漿，使原有級配料固結成一體之構想，但因工程經費龐大，為確實瞭解其構想之可行性，特委託本所辦理本研究，以評估其效果，做為日後設計施工之參考。



照片1. 胸牆嚴重龜裂之現象



照片2. 混凝土表層風化破損之情形

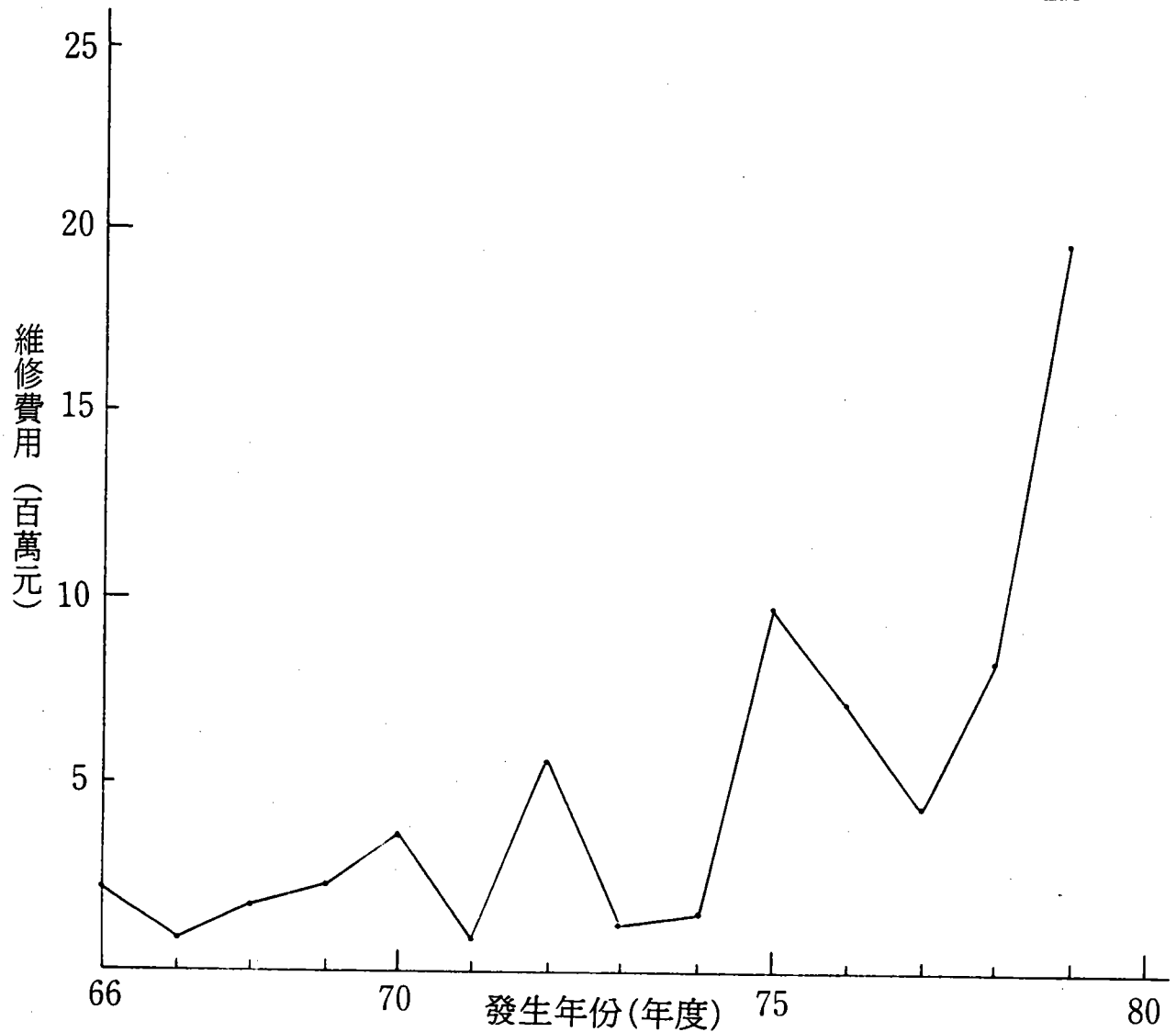


照片3. 堤防基礎被冲刷之現象

表一 歷年維修費用

單位：新台幣千元

年度	維修工程費	年度	維修工程費
66	2,222	73	1,278
67	985	74	1,660
68	1,754	75	9,944
69	2,255	76	7,133
70	3,767	77	4,434
71	906	78	8,258
72	5,902	79	19,650



圖一、歷年維修費用

貳、美國陸軍工兵署應用灌漿加固防波堤之經驗

摘要

美國陸軍工兵署所管轄的海岸拋石堤，容易受到波浪及漂砂之入侵，因而導致增加疏浚之操作及維護費用，延誤航行及損傷到船舶碇泊和海上設施，傳統性的方法為拆除重建防波堤斷面，沿護面層填塞裂縫或增加護面消波塊，而現在決定變更為使用鑽孔及灌漿，使結構體沿中心線自底面至平均高水位形成一垂向遮避物以阻隔波浪及漂砂之侵入。

滲透性結構物如拋石堤使用填充相當大的孔隙加以填封之工作，並非海岸工程師例行考慮之觀念。然而，為填封此巨大的孔隙和穩定在結構物中之砂所需的基本的技術是應用過去在隧道或閘壩的基礎工程中所使用的灌漿填封龜裂及縫隙所曾經發展的技術。美國工兵署於1986年開始使用此技術及推廣應用膠結質類，化學性和瀝青類等材料於海岸結構物以減少波浪入侵及漂砂滲透量。雖然到目前為止，還沒有使用這種方法填封防波堤之特殊手冊出現。美國陸軍工兵署於1984開始執行REMR研究計畫包括修理（Repair）、評估（Evaluation）、維護（Maintenance）及復建（Rehabilitation）等方面之研究工作。研究經費為叁仟伍佰萬美元，研究時間為六年，其目的在評估及發展實用的技術以延長現有結構物之使用年限。其中有一項研究計畫為使用填封孔隙復建拋石式的防波堤，將發展和轉移在此領域下之現有科技知識給負責現場執行此類填封工作之適當人員應用。

填封拋石式防波堤必須站在防阻波浪或漂砂侵入結構體觀點上考慮，而非從可給與結構物之穩定性與強度之需求上去尋求策略。在規劃填封之作業上，必須對於波能和漂砂滲透結構體作定

量分析以確定其經濟效益。

曾檢討及篩選灌漿文獻中，有關海岸拋石堤填封孔隙之資料，吸收填封防波堤孔隙和灌漿之現場經驗。而這些作業經常都是尚未執行即僅為研發資料。灌漿技術和灌漿材料發展都一直在進步中，在海岸工程的應用上包括填封材料位置選定之特別歸類的，且填封料必須為該特殊條件進行特別考慮的設計。

曾經使用於填封海岸結構物孔隙之材料包括膠結質填料（水泥加速凝劑摻料）、化學填料（水泥加矽酸鈉）和瀝青摻料（瀝青摻加水泥和細砂）等。這些材料之特性在本文中將詳細介紹。例如在加州之維修工程計畫地點試拌卜特蘭水泥混凝土製成有點含粗骨材，細砂，黏土和加速劑之標準拌合物，形成一種非常堅硬的混凝土可供孔隙之填封作業。乾淨的水泥與矽酸鈉混合溶液，曾使用在填封防波堤之孔隙上，表現相當有效。雖然剛開始非常稀薄的溶液，其凝結時可加以控制，避免由於受海流之冲刷而發生流失或在形成凝膠狀前受到稀釋。

美國陸軍工兵署最近有一些填封海岸結構孔隙的經驗例如1984年在佛羅里達州Palm Beach港之南堤(1)，1985年在加州，Humboldt海灣之Buhne ponit之突堤(2)，1988年在佛羅里達Port Everglades港之南堤，威斯康辛州之Milwaukee港之北堤(3)等，瀝青混合料曾於1937年在田納西河的Chikamauga project水閘上應用(4)，而於1983在多明尼加共和國曾使用瀝青混凝土穩定一防波堤(5)，1959年在加州Mission海灣之北堤及中堤部份亦曾使用瀝青與砂和水泥混合物填封(5)。這些計畫並沒有現成規範可用，而是工程師們根據現場施工實地研究所得的寶貴經驗。

規劃一防波堤之填封作業必須根據現場條件、混合物之特性和裝備容量等情報考慮。灌漿孔之適當間距可決定所需鑽孔之費用和在每一孔灌漿體積之擴散範圍以及混合物之凝結時間及數量。在海岸拋石堤結構物完成孔洞填封工作之成功關鍵，在於廠商

之能力與經驗。選用勝任的施工監工員亦是非常的重要，因為他具有在填封作業進行中，如果現場條件改變，能修正及指揮工作，具隨時應變及創新之能力。

一、前言

許多港灣碼頭與防波堤或海岸護堤興建後，若海浪的波能對其之作用力不大，則結構物之使用性能良好，然而如今巨型船舶進港裝卸貨物之需求，其吃水深增大，因此航道、防波堤及碼頭之深度亦相對地增大。爲了能與遍及全世界各港灣相競爭，必需提供可靠的水深及減少操作與維護之費用。然而有些海岸結構物具有滲透性使漂砂易於侵入，結構體或波能傳遞造成結構物被冲刷，損壞或航道淤積等現場因而造成港灣之營運及發展嚴重的經濟損失後果，因此美國陸軍工兵署每年要花費五億美元進行航道之維護工作，如果能填補防波堤破損及孔隙，則可節省相當可觀的維護費用。

美國陸軍工兵署水道試驗站 (U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station) 於1986年開始對拋石堤受波浪冲刷而使其結構體產生巨大孔洞研究填補之技術，應用在閘壩基礎工程之壓力灌漿技術密封裂縫及採用膠結性 (Cementitious)，化學性 (Chemical) 及瀝青的 (Asphaltic) 材料以降低波浪之滲透和漂砂之侵入，該單位曾執行一項「使用灌漿與混凝土補修海岸結構之科技現況」之研究計畫，提供負責現場者可行之方法，以下將對其研究結果(6)做扼要介紹。

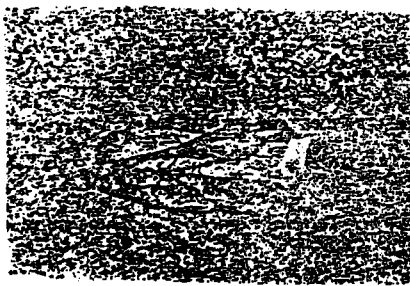
二、補修材料型態及其性質

(一)術語定義

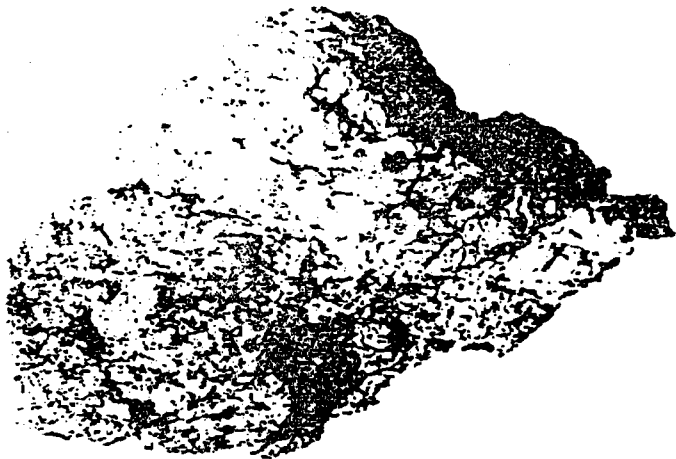
在海岸結構物填封孔洞與灌漿為關係密切之兩項工作。但必須審慎的區別。灌漿 (grout) 為一液體或懸移質在壓力下注入於結構體中之裂縫或骨材顆粒間之空隙，最後所灌注之漿體將在所處理之孔洞中形成的膠體或固體。或者灌漿作業係將使懸移質可在那些孔洞中淤積與充填。

應用於海岸結構物之填封材料 (Sealing product) 除了已知矽酸鈉溶液外，大都不能完全地被稱為水泥漿 (grout)。其黏性不能用一般實驗室的黏度計測定。灌漿材料經常被定義的為一種膠結質或非膠結質材料摻加 (或未摻加) 骨材和充分的水或其他流體拌和製成一種具有流性稠度之混合物。一般要求灌漿材料能流經漏斗中漏出。在大多數海岸工程應用之材料，經常以其坍度而不是以自漏斗之流出之時間描述其性質。模擬漿體流動之技術，不論是在物理模型或分析程序都不能應用於粗骨材混凝土。而這種材料是海岸結構物最常被選用的填封材料。

圖二為一種膠結質灌漿材料係混合水泥，水與摻料拌合稀薄溶液硬化之後之樣品範例。這種混合物具有強大之結構強度。圖三為防波堤孔洞填封物的試體範例。當它自灌漿管擠壓出來，此填封物在硬化期間內仍維持其形狀。圖四為防波堤損壞的孔洞形狀範例。需用填補材料補修。在拋石堤填封這種孔洞之目的為形成一個垂向不透水層，可以阻止漂砂材料及波能入侵破壞。



圖二 膠結質灌漿料樣品



圖三 防波堤孔洞填封物之試體



圖四 防波堤損害的孔洞範例

填封材料 (sealant) 爲一種非常黏性之材料泵進於海岸結構體內部，以達到類似於在其他環境下填充孔洞之目的的一般常用術語。填封料包含灌注材料爲避免受動力作用發生稀釋擴散造成損失而使用厚濁或快乾之材料，及阻止不受控制之重力而特別調製膠結質或瀝青混凝土。此名辭亦包括真正的灌漿材料可能用於拋石堤結構內孔隙中砂質之穩定如矽酸鈉膠體。

而對一項從事海岸工程孔洞補修填封作業而言，發展此方面之技術與使用材料是相當地重要，首先在海岸環境下應用最新之灌漿技術者爲法國工程師charles B'erigny於1802年在法國之Dieppe港使用黏土與石灰拌合之懸移質灌注於污工岸壁。因爲水泥漿 (mortar) 被冲刷掉而必須修理。在1800年代中葉灌注處理在英國工程界出現，W.R.Kinipple在水泥灌漿上之努力相當顯著，在1882年曾在英國Greenock壩填封一滲漏處。1883年在蘇格蘭的Abberdeen，1884年Jersey的St. Helier經過一些試驗工作證實，當時他是一位顧問工程師，負責St. Helier港Hermitage防波堤延長工程，大量地使用水泥灌漿。當時使用砂礫 (Shingle or gravel) 灌漿製成基礎在深達大潮平均高潮位下

60英呎下作業。

灌漿之發展與技術帶動大地工程與結構工程界之進步，其主要目的為使隧道或基礎工作穩定和傳遞強度給與土壤或其他之地質材料稱之為結構灌漿 (Structural grouting)，而在阻止水流的灌漿技術方面之進步與努力亦同樣地極具重要性。在滲漏於一挖掘區或自一蓄水區中滲漏。而在水工結構物中降低滲出量及上揚壓力，其處理方式稱之為防水灌漿 (Waterproof Grouting)。

(二)填封材料之形態

現有填封材料有很多，其基本形態為懸移質、溶液和乳狀液，曾有人嘗試應用其他的分類法，但當摻加各種成份以獲得特殊之性質則區分將變為困難。在本世紀初，水泥基之填封料 (Cement based Sealant) 自矽酸鈉填封料中分開考慮，而從網狀組織排列模式對填封料加以歸類 (例如卜特蘭水泥之連鎖結晶)，表面電荷之中性化 (例如在一種膠質狀黏土 (bentonites) 中和其他可分類可能很有用。在歐洲以黏性歸類化學性填封料，為一種習慣。填封料之黏度與水相近者稱為樹脂 (resins) 而具高度黏性者，則稱之為膠體 (gel)。

填封料呈現懸移形態之範例，如卜特蘭水泥與水拌合和在水中之黏土 (即某些或所有合成材料在水中不溶解)。懸移質可能為常態，例如水泥與黏土之混合物或為靜凝性 (thixotropic) 如膠質狀黏土 (bentonite)。呈現溶液型態之填封料為所有成份都能夠在溶液中溶解，膠結狀溶液 (Colloidal Solution) 係有溶質呈現膠質狀態 (即懸移狀)。化學填封料可能可當作一劑溶液 (one shot solution) 應用 (例如矽酸鈉和一促凝劑 (Coagulant) 或兩劑溶液 (例如連續地灌注矽酸鈉與一電解質)。

。乳狀液 (Emulsion) 為一兩相系統 (two phase system)，

其分散相包含之微量液體（例如瀝青與水）。

在海岸工程實際應用上，很少有使用純卜特蘭水泥填封料，為達到速凝效果，需加摻料，而且可降低受水之稀釋或沖蝕作用。因為混合物之水灰比低，所以稱之為混凝土，較填封料更為適當。以下所討論填封料是以化學性、膠結質及瀝青形態為主。而海岸結構物之填封料歸為兩大類，屬於膠結質（Cementitious）或瀝青者為混凝土，而如矽酸鈉或純灌漿料則稱為膠體（gel）。

（三）填封料之性質

海岸工程之填封料之優良性質，需包括適當的流變特性（rheological characteristics）例如適當的黏性，正確之凝結時間，最少之收縮量，穩定性與耐久性等。以下將就上列各性質詳加討論。

①適當的黏性（appropriate viscosity）

黏性與其他之流變性質不僅對於泵進或灌入於結構體相當重要，而且對於灌進於預期填封的空間也是同樣地具有重要性。

在海岸工程中灌注填封料之效率，依被填封處材料之滲透性，灌注壓力和填封材之黏性等因素而定，如在欲填封的土壤處，則土壤之剪力強度為另一項決定因素。滲透性為量測流體流經固體顆粒間之孔隙能力。在填封材灌入於結構體空間，其流況為層流（雷諾數小於5）之情況下，依達西（Darcy）定律有下列關係：

$$V = k \frac{dh}{ds} \dots\dots\dots (1)$$

式中：V：流速

dh：通過兩斷面之水頭差

ds：兩斷面長度

k：滲透係數

根據Bowen (1975) 試驗結果(7)，發現在雷諾數小於200情況下與達西定律僅有些微之偏差，雷諾數為內力與黏性力之比值，滲透係數為固體形狀與填裝程度 (degree of packing)，粒徑的平方及流體黏性等因素之函數(8)。在雷諾數高 (紊流)，完全飽和環境情況下，其粒徑大於1mm，Darcy定律可改寫如下式：

$$V = k \left(\frac{dh}{ds} \right)^\phi \dots\dots\dots(2)$$

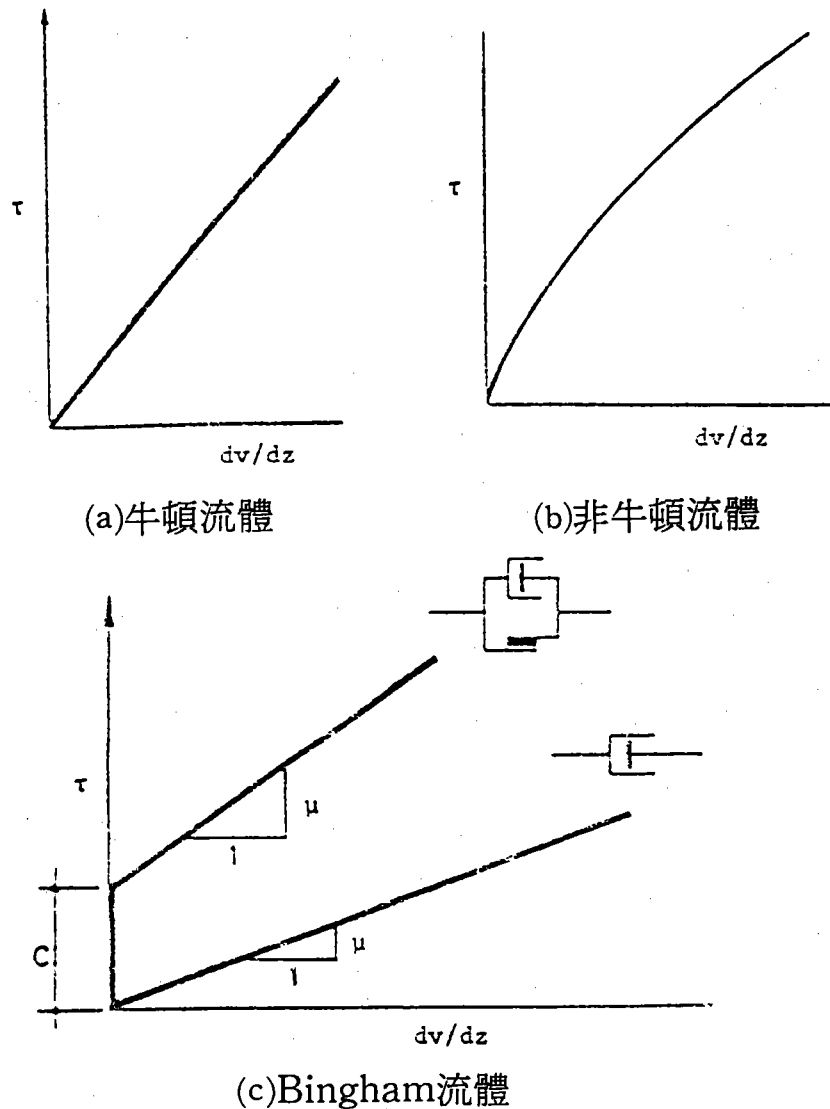
式中， ϕ 為紊流之指數，根據試驗結果約為0.65—1.0(9)，

如圖五(a)所示，在牛頓流體，為理想黏度 (Viscosity) (μ) 可定義為剪力 (τ) 與剪力變形的流速垂向梯度 (dv/dz) 之比值，如圖五(a)中直線之斜率，即：

$$\tau = \mu \left(\frac{dv}{dz} \right)$$

在理想流體下，剪力變形之流速梯度與剪力成線性關係，然而非牛頓流體，例如黏土溶液下則其曲線為向上凹 (upwardly Concave) 如圖五(b)所示，而在剪力作用流體發生運動前，有凝聚力之情形下，則稱之為Bingham流體，其行為如圖五(c)所示，灌漿材料 (grout)，為一非牛頓流況，其黏度將決定於其剪力速率。水與化學灌漿料在凝結前為一種黏性液體，穩定的水泥和膠質狀黏土類之填封料為一種黏塑性液體稱之為Bingham流體，這種流體含有黏性及內聚力之性質。混合物之凝聚力為在流體發生流動前，使用之剪力必須超過的屈伏應力 (圖五(c))。而僅在穩定的混合物才有可能加以分析。根據Lombardi (1985) 之定義(10)，混合物在2小時內有小於5%之沉積物，即在1000毫升圓柱體充滿混合物，而在其頂上之水量少於50毫升。水泥類之填封料可填加少量 (2—4%) 的膠質狀黏土而可大量地降低其沉積率，膠質黏土對於稀薄之填封料特別有效(11)，使填封料混合物穩定之功效為增加其黏性與凝聚力而特別是凝聚力(12)、

Deere(12)曾證明黏度爲一在壓力下填封料流動率之因素，而凝聚力爲一限制填封料行進距離之因素，因此填封料之體積需填補孔洞或裂縫。



圖五 各種不同流變之行爲

灌漿懸移質之顆粒大小爲填封裂縫和粒狀材料間隙之能力與有效性的重要因素。爲瞭解填封能力，需發展評估的經驗公式。可灌漿比 (groutability ratio) 爲處理土壤及岩石層所發展的結果，定義如下式：

$$(GR)_{\text{土壤}} = (D_{15})_{\text{土壤}} / (D_{85})_{\text{灌漿材}} > 25 \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$(GR)_{\text{岩石}} = (D_{\text{max}})_{\text{裂縫}} / (D_{\text{max}})_{\text{灌漿材}} > 3 \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中 D_{15} 及 D_{85} 分別為混合物經篩分析通過的百分率為15及85之粒徑，圖六說明材料粒徑極限值。可以由各種形態之填封料所填封的各種化學填封料灌注於土壤中，其粒徑範圍如圖七所示。當灌注後，灌漿液將擴展成輻射狀，其範圍半徑(r)之大小如下式：

$$r = 0.62 \left(\frac{R \cdot g \cdot t}{n} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (5)$$

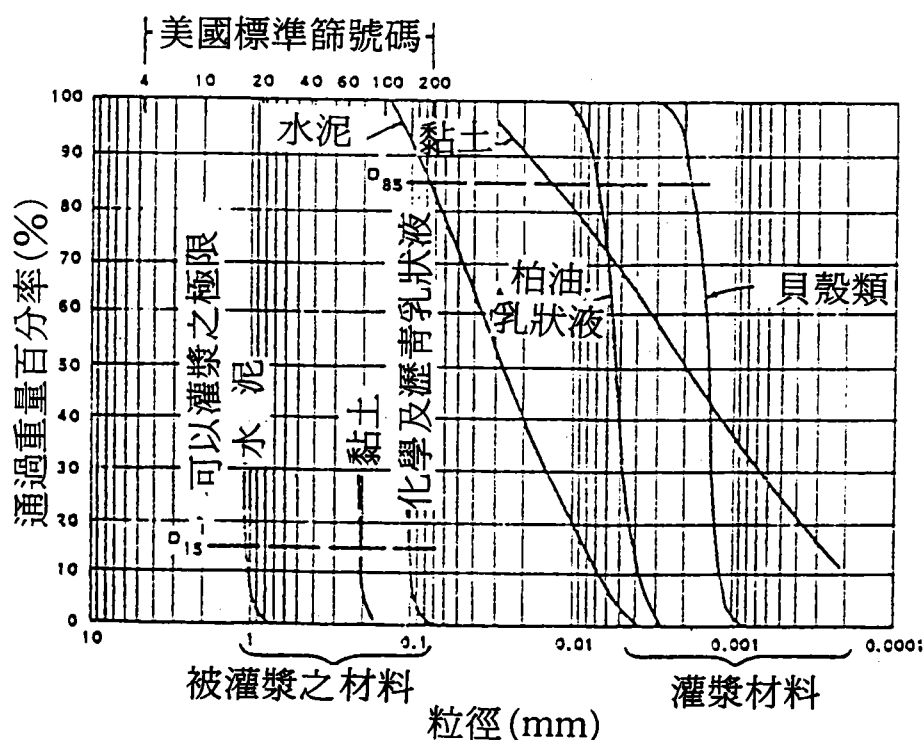
式中R：水之黏度與灌漿液之黏度比值

g：灌漿注入之速率 (rate of grout intake) (gm/sec)

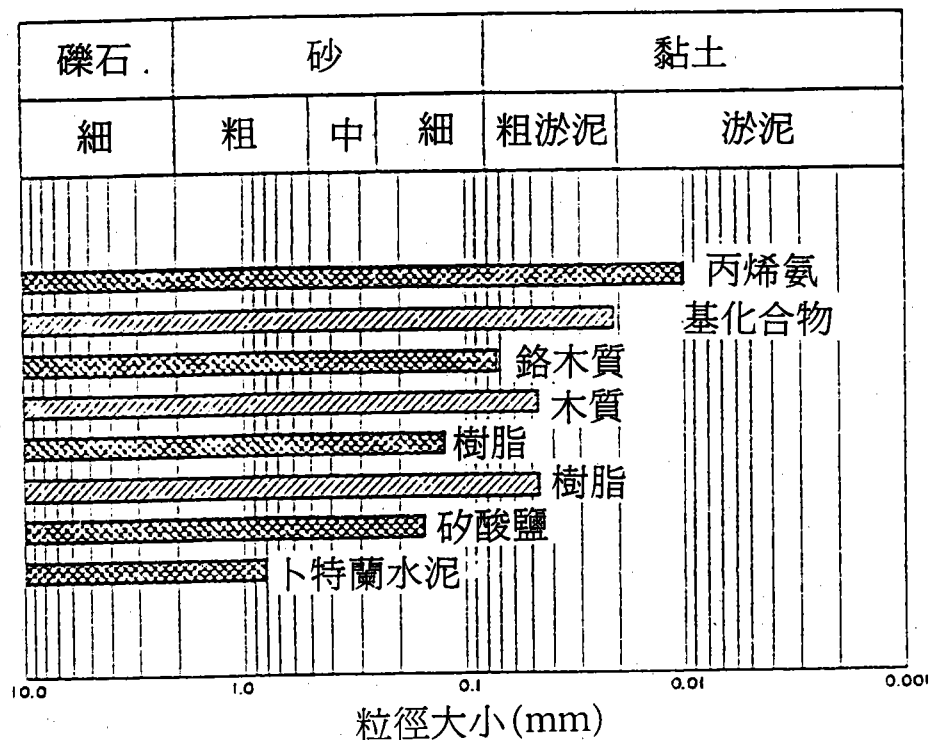
t：凝聚時間 (gel time) 。

n：土壤之孔隙率，即孔隙體積與總體積之比值。

懸移填封料之流變性質很重要，因可決定填料灌進於具有一定的孔隙體積中，至少需要的泵送壓力。靜凝性 (thixotropy) 為某些膠體與黏土之流變性質，可定義為此種膠體和黏土，當受激動時行為如同液體，而當靜止時則成凝結狀。此為填封料在泵



圖六 灌漿材料之粒徑極限值



圖七 化學性填料灌注土壤中之粒徑範圍

送時的一種良好行為，而且當灌注後不受動力負荷之影響。相反地，在某些應用上發現一填封料，可利用其剪力強度發揮抵抗波浪作用力之功效，然而緩慢地變形，有助於沈澱工作。

②正確的凝結時間 (correct setting time)

在海洋環境下施工之凝結時間必須加以控制，Walley曾在水槽中進行填封材料受沖蝕抵抗的試驗，顯示最重要的因素為快速凝結之時間(13)。摻料可控制成凝膠狀所需時間與填封料之凝結時間。必須注意填封料不至於在灌注設備中發生凝結或在孔隙中凝結而發生堵塞，致使無法流向其他孔隙進行填補作業，而導致灌漿之效力不彰之現象。

③最少之收縮量 (Minimum Shrinkage)

在海岸結構物應用上，填封材料在凝結或養護期間之體積改變並不如防水填封工作那麼重要性。為求填封成功，所填封而築成一道防線並不要求完全地不透水。若無法能有效地減少砂或

能量穿過結構體，或對於灌漿材顆粒間之黏著性有所妨礙，則收縮量將是極具重要性。

④穩定性 (Stability)

對一海岸結構物填封計劃之成功而言，填封料抵抗化學狀況之耐久性能是很重要的。它不僅在一些地工應用是為結構之目的而製作成一不透水層。若填封料無法滿足此目的，則總施工費之投資將損失，填封材料必須能抵抗受化學，有機物、陽光和空氣等之作用所產生的惡化現象。

⑤耐久性

並非所有填封材料都預期能耐久。然而填封碼頭和防波堤阻止砂與波能之入侵，則所需材料必須使用壽命長。與輸砂有關，填封料容易受到冲刷或溶解作用而且也不能受乾濕循環作用之影響，在實際工程中，填封材料費用僅佔計劃總價中之20%，另外是機具之動員，拆除、鑽孔、放置填封料及其他費用等，因此填封料之耐久性需在經濟分析和訂定規範時詳加考慮，這是相當重要的。

耐久性試驗為設計決定各種填封材料在實際現場環境長期作用下之性能。美國工兵署曾選擇各種膠結質的和化學的填封料試驗試體置於三個現場評估地點而承受波浪、海流凍融循環和乾濕循環，磨耗、海生物影響、溫度影響和化學反應等之曝露條件以決定這些因素對於材料耐久性之影響性。使用四種不同之膠結質 (cementitious) 和化學性填封料 (chemical sealants) 製作40個試體供非破壞性試驗並製作350個瀝青水泥填封料的試體供作破壞性試驗，這些試體曾放置於三個現場曝露試驗場（緬因州之Treat島，北卡州之Duck及佛羅里達州之邁阿密）以便評估環境因素之影響性。每一填封料試體之物理參數都經過評估，但未受到限制，參數包括抗壓強度，超音波速度，共振頻率，動彈性係數，Marshall穩定性、彈性模數 (resilient modulus) 和間接剪力強度等。這些結構特性在各種不同曝露條件下變化性大

而不能以實驗室之加速時間加以縮尺，因此需定期取樣及評估試體在真正長期曝露時間下受環境因子作用下的結構特性。

(四)填封的概述

以下就膠結質填封料，化學性填封料和瀝青類填封料等三大類，分別概述其相關之特性

1.膠結質填封料 (cementitious sealants)

截至目前為止，膠結質混合物為最常使用於海岸結構物填封孔隙之方法。對於想利用水泥類填封材料者必須瞭解這些懸移質之化學與物理性質，蒐集相關文獻說明如下：

(1)卜特蘭水泥填封料

卜特蘭水泥為最普通的水力水泥，依其具有抗硫酸鹽侵襲，發展早期強度，在水化期間產生水化熱等能力可歸為三大類。波索蘭 (Pozzolan) 為矽酸鹽或矽酸鹽含鋁材料等加入於卜特蘭水泥中與孔隙中及氫氧化鈣作用形成具有膠結性質之混合物。一般是飛灰、矽灰和高爐石粉。而飛灰為燃煤之產物為最常用於填封料之波索蘭材料。飛灰可能使用為一種填充料 (filler) 或當作一摻料以改進其可泵送能力。使用於填封料之最大飛灰量通常約為水泥重的30%。

摻料意指水、細骨材及水泥等以外之添加物於拌合或將拌合時加入而能夠在拌合期間改變混合物的化性與物性；使其在流體或未硬化期間能達到預期之特性。摻料主要為速凝劑、緩凝劑、減水劑、液化劑 (fluidifier) 和膨脹劑 (如鋁粉) 等。

速凝劑可提供填封料提早變為堅硬及凝結，常用者為氯化鈣 (CaCl_2) 其使用量可達水泥重之2%，在某些特殊情況下，使用量可超過2%。建議的施工方法為在拌合水泥中摻有溶解的氯化鈣，然後填加於膠結質混合物中。摻加速凝劑可能加速硫酸鹽侵蝕，鹼性骨材反應等惡化之進行，在高濃度下，其作用如同緩

凝劑，當填封料與鋼筋接觸時，一定不能使用。有些速凝劑含一些可溶解之碳酸鹽、矽酸鹽和三羥三乙胺 (Triethanolamine, $(\text{CH}_2 \cdot \text{OH} \cdot \text{CH}_2)_3\text{N}$)。

緩凝劑係用於避免填封材料在酷熱之天候下迅速凝結，延長灌注時間或澆置時間。如果溫度超過70°F則需用緩凝劑。最常用之緩凝劑之種類有木磺酸鹽 (lignosulfonic acid salts)、碳酸氫氧酸鹽 (hydroxylated carboxylic acid salts) 及其他有機化學物 (organic chemical) 等三大類。

減水劑為維持相同之流動性程度下，減少填封料之用水量提高其強度，水密性及耐久性。且可藉增加其流動性 (fluidity) 而增強膠結質混合物之泵送能力。

有時使用鋁粉 (aluminum powder) 於卜特蘭水泥混凝土中以補償混凝土因凝結所產生之收縮現象，因為混凝土在凝結時因滲出水引起粗骨材沉降致使粗骨材或鋼筋周界留有若干孔隙。使用膨脹劑為與混凝土其他成份作用導致膨脹；其數量與爾後可能產生之乾縮量相當。在灌漿補修，製造無收縮裂縫之混凝土須使用適量之膨脹劑，因此在終凝前加入經過控制之微量鋁粉使其能在適當時間下產生膨脹。膨脹量及速率主要依混合物之溫度、水泥之鹼性含量、水泥形態、細度及顆粒形狀等而定。在實驗室或現場試拌需用現場施工所用之拌合水；在非常厚濃的填封料使用鋁粉為收縮補償劑才有可能，稀薄之填封料則在凝結前會使鋁粉與水泥中之鹼質作用所產生的氫氣泡蒸發掉，同時細度與顆粒之形狀亦會對反應之開始時間及延時造成影響，這些參數必須取最佳值，除外通常將鋁粉與乾水泥先行拌合將使此兩種材料混合容易，而不需將時間分成拌合及使用兩段時間。

流動劑 (Fluidifier) 在膠結質填封料中為抑制提早變硬，保持細粒在懸移狀態。在初凝前可以控制膨脹量及改進可泵送性。主要之成分經常是輸氣劑 (gas-generating additive)，緩凝劑 (retarder) 和分散劑 (dispersing agent)。流動劑材料如

岩石粉 (rock flour) 、輕石粉 (pumicites) 、矽藻土 (diatomites) 和膠質黏土 (bentonites) 等經常需增加拌合水量。

填料 (filler) 或延長耐久性材料 (extender) 等是為經濟理由而且可能特別填封相當大的孔洞，所使用的各種取代膠結質混合物中水泥量的材料。在砂已滲入拋石堤或級配料在大石頭內當作堤心石之情況下則可能不容許使用填料填補孔隙。必須注意使用填料易於增長混合物凝結時間。在混合物中含填料 (filler) 及高水量之情況下，在硬化發生前會產生過量之水而造成收縮及強度之損失，特別是若使用之淤泥和黏土中含有有機物情況下，當使用填料時，則必須考慮使用速凝劑與減水劑。

細礦物填料包括岩石粉、黏土、飛灰、淤泥、矽土、輕石粉與重晶石等。膠質黏土為一種鈉基黏土 (montmorillonite ($\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$))，通常稱之為膠體 (gel)，近年來之使用量增加，由於其可改進混合物之泵送能力及易於使其成份維持在懸移狀態直至硬化為止。亦可降低收縮及避免浮水現象；若作為填料用，則將增加拌合水量而使其強度降低。高嶺土 (kaolin) 為另一種使用於填封料之黏土，可增進泵送、灌注能力及具經濟性但並未顯示具有膠體膨脹性質，Attapulgite為第三種形態之黏土，可使用於海洋環境下，因為它在含高鹽份之條件下之性能表現優越。

Deere與Lombardi(12)曾歸納填加劑 (additives) 對填封稀泥 (sealant slurries) 性質之一些功效如下：

- ①降低水灰比，可增加其黏度與凝聚力，而適當地增加凝聚力較高。
- ②填加膠質黏土可增加黏性與凝聚力，但凝聚力所增加之比例較高。
- ③填加流動劑 (如Interplast, Intracrete或Rheobuild等) 會降低黏度及凝聚力到一最少程度。

④對同一Marsh流值 (Marsh flow value) 而言，摻加流動劑之填封料將較為稠濃性，而其28天抗壓強度將大於膠質黏土，因此膠質黏土僅用於增加凝聚力而限制移動距離（與潤滑劑相反）。

當拌合膠質黏土與水泥及水時，必須注意避免從Sodium bentonite變為Calcium bentonite，在容許與水泥接觸前，需使用膠質黏土完全成為水化物。Deere建議先與水預拌，至少等2小時後再加入於灰泥 (slurry) 中，預拌水約為總拌合水之15%。

一般砂為最普遍的粗糙填封材料，經常篩至適宜之級配。除非使用礦物填料或摻料，否則一般填封填料之砂與水泥之重量比為2:1是實地應用上的限值。所含砂有20%能通過100號篩者，可以在水泥與砂之體積或重量比為1~3情況下，能夠很成功地泵送，在填封料強度不受考慮之處，也有許多使用其他粗糙填料之情形。

拌合水必須不含高濃度之不純物，例如溶解鈉塩或鉀塩，鹼性塩，有機物，無機酸，糖或糖衍生物和淤泥等。在現場所取得之水必須根據美國材料與試驗學會 (ASTM) 規範所定之標準試驗程序進行測試是否含有不純物。通常飲用水可用於填封料之拌合用，如果海水中之含塩量在容許範圍內亦可使用。

填封料之水灰比影響強度、工作性，可泵送能力、黏度、灌注深度，灌漿孔 (grout intake)，凝結時間及泵送壓力等。所有這些因素都影響到填封工作之有效性及經濟性。對其成份當需精確地稱重的情況下為免除稱重配料在現場為方便起見，通常水泥填封料施工是以體積比作為配比設計。

流體填封料之體積，實際上由適當比例之材料製成，即水泥之絕對體積加上填料之絕對體積，相當量之摻料和拌合水體積等。一袋水泥94磅，其絕對體積為 1ft^3 （實際上，比重為3.15之水泥的絕對體積為 0.956ft^3 ）

具高度流動之混合物經常不含砂，僅含水泥，水和微量之修正物 (Modifier)，並未顯著的改變混合物之流況特性常稱為稀泥 (Slurries) 亦為視為自行均勻分散 (Self-leveling)，水平探測 (Level-Seeking)，稀薄水泥 (Thin Cement)，潔淨水泥 (Neat Cement) 或高流動填封料 (Highly Fluid Sealants) 等。

(2)超細水泥填封料 (Ultrafine Cement Sealants)

超細水泥為一種現有的商用填封材料，在海岸工程上具有發展的遠景。此種水泥據稱可穿進細砂具堅固與耐久，凝結時間約為 4—5 小時，這種水泥之粒徑有 50% 小於 $4 \times 10^{-6} \text{m}$ ，與普通卜特蘭水泥，早強水泥和膠質水泥 (Colloidal Cement) 等之粒徑分別為 22, 15 及 10μ 者為小 (14)。

Walley (13) 曾研究在地下水流動情況下，灌注填封料，發現不論其是在懸移或容液形態下，成凝膠狀及凝結時間都較短，此對於在流動水區域下填封料應用之成功是相地重要。他亦在水槽中試驗 35 種不同混凝土抗拒受流水之沖蝕和稀釋作用的能力而得到最如低黏度、高流動性、高泵送能力和易於澆至等之最重要特性，這些都是填封料能夠在流水環境下存留的因素。其研究指出在流水中最有效的填封料為當沉積後迅速發展相當高之黏度或當沉積後已具有此性質。在水槽中承受水流作用一小時後，有兩種灌漿材仍維持原體積之 60% 以上者即 Chemcomp 水泥（一種專利之收縮補償水泥）和 Reg Set 水泥（一種專利相當速凝的水力水泥）。

2.化學性填封料 (Chemical Sealants)

化學密封技術在最近數十年內，由於高度可灌穿性，高強度和準確地控制凝結時間等特別需求而迅速發展出來的，現在有許多化學填封料問市，可分為①凝結性填封料與②聚合填封料等兩大類。現僅有一種化學填封料適合穩定防波堤孔隙中之砂石移動者為矽酸鈉。它是一種凝結性填封料。其他曾被考慮者如

acrylamides, 木質 (lignins) 和樹脂 (resins) 等。站在有毒性 (toxicity) 與經濟之觀點上, 都是不良材料。某些非常奇特的填封料可能很有用, 然而是在特殊用途上, 例如石油類之 TACSS 形態的填封料與水會起反應, 而可當作一觸媒。在流速為一大問題之情況下, 使用少量 (由於昂貴) 可能很有用。以下將概述此方面相關之科技發展及應用情形。

(1) 凝結性填封料 (Precipitated Sealants)

矽酸鈉為最基本之化學材料, 在海岸環境下, 當設計上規定使用砂填充結構物內之孔隙時, 則可能使用此種化學填封料, 在適當之反應物下, 矽酸鈉填封料形成一種膠體, 填充孔隙而且與被填封的材料顆粒結合。在使用上有各種品級之矽酸鈉及反應物。其選擇依所想要填封料的凝膠時間, 強度和耐久性而定。矽酸鈉水泥與砂填封料之填封後之強度與耐久性都由經過一連串的長期耐久性現場試驗加以評估。試驗試體曾放置在三個濱海的現場評估地點, 這些試體承受波浪、海流, 凍融及乾濕循環, 磨損、海生物、溫度及化學反應等環境曝露條件下, 決定海水對矽酸鈉填封物之影響性及程度。當鹼性矽酸溶液與酸或酸中之塩類混合時, 則各種矽酸鈉填封系統將形成膠狀的二氧化矽 (Silica)。若此二氧化矽在矽酸溶液中之濃度大於體積比之1-2%時, 則此膠體 (Colloids) 將形成一乳膠體 (gel)。反應物包括氯氨塩 (chlorine ammonium salt), 重硫酸塩 (bisulfates), 重碳酸塩 (bicarbonates), 二氧化硫 (sulfur dioxide) 和矽化鈉 (sodium silicofluoride) 矽酸鈉亦可與某些金屬 (例如鈣、鎂、鋁、鋅、鉛、鈦和銅等) 類發生反應。矽酸鈉可能與反應物合成為單一溶液灌注或分開以兩溶液處理 (two-solution Process)。

可用於填封的矽酸塩溶液之濃度約為體積之10~70%。而在系統中使用氨基化合物 (amide) 作為反應物。此氨基化合物之濃度為體積1-20%。在一種溶液系統 (one-Solution System)

中，矽酸鹽之濃度低，則將使用填封料之黏度亦隨之降低。

當濃度增加到超過60%時，黏度之增加量可能相當的大，填封料含超過35%之矽酸鹽可抗凍融和乾濕循環之惡化作用，填封料所含矽酸鹽小於30%，則只能使用於填封材料持續與水之接觸或為臨時穩定用之處。

在一種溶液處理過程，因為可對膠結時間加以控制，因此可以作較佳的控制填封料灌注之直徑與完全性，其反應物溶液受水稀釋且澈底地拌合，然後摻加矽酸鈉溶液，通常所使用之反應物包括重碳酸鈉，甲醯胺 (Formamide HCONH_2)，鋁酸鈉，氯化鈣，稀鹽酸和硫酸銅等。在一種溶液處理上有時使用兩種或多種反應物加以合成。經常甲醯胺為引起凝膠作用 (gelation) 的主要反應物，而鋁酸鈉為促進反應之加速劑！在溫度低於100°F時，加速劑之功效則越顯得極具重要性。

而在兩種溶液處理上包含灌注一種溶液含矽酸鈉，然後再另外灌注另一種含反應物之溶液。第二種溶液可經由矽酸鈉溶液所使用的灌注管線輸入或使用另外之灌注管線及灌注孔，而與矽酸鈉溶液灌注同時或隨後輸入。在此系統最常用的反應物為氯化鈣。其他還有氯化鎂，硫酸鋁和成膠狀之氣體如二氧化碳，矽酸與反應物溶液或氣體間之反應作用幾乎是同時發生的。

因為在海岸工程中填封工作都期望能鑽進石頭或混凝土中，而可達到拋石堤之內部，使用兩種溶液系統之缺點為另外需按裝個別之灌注管線，需要額外之鑽孔與費工。因為通常鑽孔並非大到可容納兩條個別之供應管線，因此當灌注第一種溶液後，再經相同孔泵進第二種溶液幾可確定此兩種溶液將無法拌合。其他之缺點包括因反應太快而使填封之半徑受限及化學物無法控制在表面下而使其可能形成半灌漿袋 (Partially grouted Pockets)。不論所處理之方式如何，填封所及之半徑將依泵送率，填封材料的滲透性和化學物之濃度等因素而定。

通常矽酸填封料系統包括矽酸鈉為膠質所形成之材料。而甲

鹽胺 (Formamide) 為反應物，從氯化鈣，鋁酸鈉和重碳酸鹽三者中選用為速凝劑。因為甲鹽胺可能對健康有害，因此可使用二醋酸酯 (Diacetin; $C_3H_5 \cdot (OH) \cdot (C_2H_3O_2)_2$) 替代，使用過量的加速劑，可能會導致不良的凝聚效果或形成局部之凝膠作用 (gelation) 而造成在膠體 (gel) 和凝結時間產生變化，而易於塞住灌漿設備或限制滲透，因而導致不良之填封區。速凝劑經常在摻加其他反應物之前，先溶於水而達到所要求之濃度。接著將此混合物與矽酸鹽溶液拌合，形成液體填封料。使之氯化物或鋁粉的速凝劑所形成之填封料有較含重碳酸鹽之填封料更為耐久之傾向。

矽酸鹽填封料系統已經在填封防波堤孔隙上應用成功，其成份包括水中之矽酸鈉 (17%) 和14%之卜特蘭溶液與水等混合而成。此種填封料之凝結時間約為數分鐘，水泥體積增加，將很顯著地縮短凝結時間。

Malmberg系統為矽酸鈉溶液與一弱酸鹽溶液混合所生成之矽酸鹽膠凝體 (Silicate acid gel)。根據沉澱劑 (Precipitant) 原理，此系統與兩種溶液系統相似，且由於可維持一定鹼性 (PH值)，因此與其他酸類反應系統不同。

使用於此系統之反應物包括酸，鹼和氨鹽之弱酸如亞硫酸，硼酸、碳酸和草酸等。特殊鹽包括重碳酸鈉，四硼酸鈉，重碳酸鈉，草酸氫鉀，酢漿鹽和鋁酸鈉等。在Malmberg系統中矽酸鈉在總填封料的體積中所佔的比率為10~75%。一般工程上約為20~50%範圍。矽酸鹽液體可能用作為稀釋現有溶液或在反應中與水拌合。此系統對於輕金屬如鋁之腐蝕影響性很小，因此使用一般的設備拌合和泵送都可獲得保證。

當操作上係以一快速凝膠時間 (Fast gel time)，則使用一套兩個泵送系統 (two-pump proportioning System) 是很理想的。凝膠時間大於20分鐘則可使用配料拌合。空壓氣泡拌合 (Compressed air bubble mixing) 或猛烈拌合 (Violent

mixing) 會有導入空氣的現象，必須不能使用。因為溶液與二氧化碳間起反應。凝膠時間可由下列原因而加速：

- ①降低矽酸鈉之濃度。
- ②增加酸鹽之濃度。
- ③提高溫度。
- ④材料之酸度受封閉。
- ⑤出現溶解鹽如氧化物、硫酸鹽和磷酸鹽等在材料中被封閉。

(2) 聚合填封料 (polymerized Sealants)。

證了有毒性及經濟性之理由，使用聚合填封料於海岸工程上是很有問題的。特別是在拋石堤孔隙之填封作業上，以下將檢討有關這方面之材料性質：

① 丙烯氨基化合物 (acrylamides)

使用可為廣泛的丙烯氨基化學填封料包括丙烯氨基化合物與甲醇重丙烯氨基化合物 (methylene bisacrylamide) 按比例混合，經由稀釋之水溶液作適當的反應，則產生僵硬的凝膠 (Stiff gel)，可能使用的一些反應物或反應混合物，然而通常使用的是具他二甲氨基苯氰乙烷 (beta-dimethyl amino-propionitrile (DMAPN))，高硫酸銨 (ammonium persulfate (AP)) 及鐵氰化鉀 (Potassium Ferricyanide (KFE)) 等系統。DMAPN為反應的催化劑，鐵氰化鉀為一種抑制劑，使用於控制反應，灌注作業在灌注前，先使用高硫酸銨填加於含有其他化學物之溶液中成為一種合成溶液之處理程序。凝膠時間可適當調配所有的成份而加以控制為數秒鐘或數小時。溶液之黏度接近水之黏度。且溶液保留其低黏度約為其流體狀態之95%。凝膠體 (gel) 在未乾燥情況下為穩定的，但若乾燥時，將則發生失水及乾縮現象。若膠體再乾燥而持續地與水接觸，則將再度緩慢地膨脹恢復至原來的體積，而且展示其原來之物理性質。過度地乾燥將破壞膠體。

經查丙烯氨基填封物，發現可灌入的材料其粒徑有90%大於

0.01mm，且曾使用在有裂縫之岩石內或凹槽寬大於4—6英吋上作為防水密封。當所含丙烯氨濃度大於4%，則膠體為半透明的或堅硬的。它具有不溶解性且在水中可能略為膨脹，此性質依所含丙烯氨基化合物之濃度，其他反應物的形態和濃度和靜水壓力等因素之變化而定。

凍融循環和完整的乾濕循環，將使膠體顆粒握裹破裂：而非由於膠體惡化，最後引起在顆粒材料中膠體之惡化。膠體具抗拒常在地下或海洋環境下發現的黴菌，稀釋酸，鹼類和塩類及氣體等之侵襲能力。

②木質 (lignins)

此種材料為在製造紙時之副產品，當亞硫酸塩與商用鉻塩如重鉻酸鈉合成而形成一種不溶解性膠體。黏性和膠結時間可以控制而使得木質注入如細砂般之材料內。現市面上已有木磺質 (Ligno Sulfonates) 可供應，在一種溶液系統中，反應物在為木質基材料中預拌，這些預備化的木磺素系統之膠結時間易用調整使用水量而變化。可能可使用兩分量系統 (two-Component Systems) 加以密切地控制。反應物分別按配比系統拌合，而總化學填封料是直到灌注前才混合。在膠體形成期間，木質填封料迅速加厚，因此其泵送期約為在代表性應用上完全膠結 (gelation) 所需總時間之1/3，當注入於飽和材料中，木質填封料預期之凝固時間將需較長之時間。

鉻木質 (chrome-lignin) 製程為木質液體與六價的鉻酸塩合成。鉻木質填封料可以使用傳統的水泥填封設備配製與灌注。鉻木質填封料可灌注砂中之孔隙較之使用水泥類或其他懸移質類之填封物所灌注者為小。系統之酸度阻止沉澱劑之形成。

在土壤顆粒間，膠體可能形成一種母體 (Matrix) 而非產生一鍵結 (bond)。填封物在持續的浸泡下為穩定的。然而其強度將隨每一乾濕循環而遞減。

以木質基填封物所使用的各種反應物包括重鉻酸鈉，重鉻酸

甲：氯化鐵、硫酸、硫酸鋁、氯化鋁、高硫酸銨和硫酸銅等。重鉻酸鹽的使用量最為廣泛，而且顯然地，使用上最令人滿意的。酸度影響膠結時間，建議在大量澆置前，為決定木質填封物之合適性需作現場試驗，預催化之木磺酸 (lignosulfonate) 與卜特蘭水泥不能共存，且必須不能用為水泥填封料之摻料。

而金屬鉻為無毒的，但是六價的鉻化合物例如重鉻酸鹽為有毒。因此需特別注意。當吸入時較嚥下更為危險。六價鉻對敏感性之皮膚和鼻子之黏膜而言為一種刺激物，當應用此材料在作業時必須使用口罩和手套。同時在某些條件下，水與一些鉻木質膠 (chromelignin gel) 接觸時，將由膠體中大量地稀釋有毒的六價鉻。而不加選擇的和未在控制的使用鉻木質填封料可能會污染水質而使其不適合飲用。美國公共健康服務處 (The US Public Health Service) 允許在飲用水中所含六價鉻最大值為0.05 ppm。

六價鉻自土壤中稀釋以鉻木質 (chrome-lignin) 穩定係受鉻與木質比值，酸度和養護時間等因素之影響，鉻與木質之比值為1:10。經過七天養護在毒性試驗中，並未產生任何顯著的毒性效果。

(3)樹脂 (resins)

樹脂填封料通常為兩成分系統，係由樹脂型化學溶液 (Solution of resin-forming chemicals) 與一種催化劑或硬化劑合成為一種硬塑性體 (hard plastic) 而使用一溶液程序灌注，使用為填料之主要樹脂為環氧樹脂或多元樹脂，樹脂之黏性通常較其他填封料為高。雖然可配方為低黏著性。在其流動的狀況下，大致能保持其原來之黏度而經過一段凝膠階段才可完全地硬化。在養護期間通常由樹脂放出大量的熱量。自拌合至硬化階段之時間可由變化硬化之反應物，填加或去除填充材料及控制初期溫度等措施而可加以調整。以下介紹環氧樹脂及多元脂樹脂之特性。

①環氧樹脂 (Epoxy resins)

有時加入一種可自由彎曲的穩定劑於環氧樹脂中，可使其增加硬固之填封料更具適應移動之能力，一種填充系統為填加另一種原料通常為一種惰性材料如砂。而一種未填充之系統是指原來系統，不論填充或未填充系統，通常抗張強度都超過4,000psi，延伸量可能高達15%，而彎曲強度通常都超過6,000psi；據報告在填充系統，某些例子有相當高之強度。抗壓強度可高達10,000psi，一般而言，環氧樹脂，具有下列特性：

- (a)可抗拒酸鹽，和有機化學物之能力。
- (b)能養護而無揮發性之副產品，因此未形成氣泡或孔洞。
- (c)具有養護能力而不需應用加熱方式。
- (d)為加熱即硬化之樹脂（一旦硬化，則即使加熱亦不再液化）。
- (e)可接受搖溶劑 (thixotropic agent) 或濃化劑 (thickening agents) 如特殊矽酸 (silicas)、膠質黏土 (bentonite)、雲母 (mica) 和短纖維如石棉 (asbestos) 或玻璃纖維 (glass fiber) 等。
- (f)可用於和各種填料合成，使其硬化和未硬化狀態之性質能達到理想。

填充物 (filler) 可降低放熱量，減少養生收縮量及熱膨脹係數和增加黏性。亦可藉減少樹脂量而降低費用。擴展劑 (extender) 之範例有矽酸鋁、硫酸鋇、碳酸鈣、硫酸鈣和高嶺黏土等。石墨填充料可增加混合物之潤滑功效。由於填加此種材料，對抗拉強度，伸長量和抗壓強度等將會造成不利之影響。

②多元酯樹脂 (polyester resins)

影響養護之因素有樹脂體積，周圍溫度，催化溫度、催化劑之選擇和熱量之消散等。黏度亦可由選擇催化劑而加以控制。有時使用促進劑 (promoters) 以便加速多元酯樹脂之硬化。在硬化期間發生之收縮量可達10%，抗壓、抗張及抗彎強度等都適合

於一般結構之填封，而遠超過填封海岸造構物所需之強度，多元酯樹脂使用於填封破裂岩石之縫隙約需經過15~20分鐘可變為硬膠質，而周界溫度60~80°F約需90分鐘可變硬為固體。濕氣減少樹脂之黏性而防害養護。也有呈現水基樹脂 (water-base resin) 或樹脂型化學物之水溶液 (aqueous solutions of resin-forming chemicals) 之樹脂型態。出現在填封材之特殊化學品或礦物會影響某些商用填封物之凝結時間為大眾所熟知的。例如一種水基樹脂對矽土的表面 (siliceous surface) 有親和力且可達到硬固之凝結，但在鈣質材料中，則並不能適當的凝結，其他化學灌漿料包括利用柴油 (diesel oil) 作為媒介的一種陽離子的有機乳液，樹脂酚甲醛 (resorcinol formaldehyde)；環氧柏油系統，丙烯鈣 (Calcium acrylate) 和苯胺糠醛 (aniline-furfural)，草酸鋁、尿素甲醛和多碳酸的聚合物 (poly-phenolic polymer) 系統等。

3. 瀝青填封料 (Asphaltic Sealants)

柏油 (Bitumen) 為在瀝青混合物 (asphaltic mixtures) 之混合材料，它與骨材或填封料形成一種物理上握裹且具化學惰性。凝結於冷潮濕骨材稱之為冷拌 (Cold mixture) 僅與使用化學填料有關。柏油混合物依柏油與拌合時粗骨材間空隙之相對量而歸類，使用柏油填封料最有經驗者為西歐地區，特別是在荷蘭。

柏油混合物有膠泥柏油 (mastic asphalt) 和滿溢石頭瀝青 (overfilled stone asphalt)，柏油之體積與孔隙體積大約相當。瀝青混凝土為完全填充的混合物，必須在澆置時立即夯實，在填充不足之混合物 (underfilled mixture)，例如貧砂瀝青 (lean sand asphalt)，為由骨材之性質所支配。此種材料透水性高。

熱膠泥柏油被傾倒出來可作為堅實不透水層或當作滲透於孔隙之材料，滲透所能達到的距離與所要填封的孔隙之特徵直徑 (

characteristic dia. of the void) 之四次方成正比，而且為灌注之速度之速度和冷却之速率之函數。灌入深度可控制混合物之粒徑與欲灌入的石頭大小之比值而定。在水中填封情況，Van Garderen與Nulders (15) 曾建議 $(D_{15})_{\text{石頭}} / (D_{85})_{\text{混合物}}$ 比值維持在10~20，其中 D_{15} 及 D_{85} 分別代表材料之粒徑分佈通過百分率為15及85%。而在水位以上者，其比值為5—10，此種比值將可灌注深達兩個石頭之厚度。

在使用瀝青混凝土，需特別注意夯實量，坡度愈陡所需夯實之能量將較小，雖然混合物可獲得之穩定，可能容許一較陡之坡度，而在荷蘭，由於下層土壤之土壤與力學穩定之限制，因此在應用瀝青混凝土之坡度最大值為1~1.7（垂向與水平比）

石頭瀝青 (stone asphalt) 為另一種正確地填充型態 (exactly-filled type) 為在阿姆斯特丹外港Ijmuiden防坡堤施工時發展出來的。一不透水層約6英呎厚敷於水面上結構物，其斜降為1:2，而不需用人工夯實。為避免發生潛變，曾經發展使用兩階段之混合物，首先製作乳香樹脂瀝青 (mastic asphalt)，然後與預乾之岩石重達20~150磅（石頭粒徑為8~17英吋）混合。由於標準裝備處理的骨材之最大粒徑僅及2~2.5英吋，因此須使用特殊之拌合設備。

應用上述之程序為基礎發展底層填充料 (under filled mixture) 稱為定石 (Fixstone)，此種乳香樹脂瀝青為以約60%砂，20%填充料和20%柏油之重量比拌合而成，然後再與碎石或卵石以4:1合成。

貧砂瀝青 (lean sand asphalt) 為一種底層填充料可挖濬之砂與2~6%之柏油拌合而成。顆粒塗上一薄膜，而此易受紫外線或氧化作用破壞。貧砂瀝青經常非人工夯實，孔隙比保留35—40%，所以其透水性與單獨砂的情況下相同。

冷却後，砂柏油在短期負荷下之行爲如同軟砂石般。而在長期負荷下則如同鬆砂般。據報導在海流超過9ft./sec.下，仍具耐

冲刷能力 (16) , 而且在現場至少有30年之化學隱定性。因為柏油為石油之副產品, 對某些動植物而言為一食物來源。因此材料並不能完全具有可抗拒生物作用之能力, 然而材料不受生物活動損傷者仍保留化學穩定, 富級配柏油與砂之混合物, 受到紫外線輻射和氧化作用所發生之惡化程度現在正由美國工程兵團在佛羅里達州邁阿密曝露站之長期耐久性試驗測定。

瀝青 (bitumen) 之流變性模式包括虎克之彈性體串聯 kelvin 之堅韌一黏性體 (firmo—viscous) 之特性原理, 係由 suklje (1969) 修改Burger模式發展出來的(17)。

砂柏油 (Sand asphalt) 則考慮具有黏塑性 (Viscoplastic) 行為而模擬為再加上一Bingham體如圖八所示, 在剪應變大於4%時, 黏塑性量佔優勢。Mulders等學者列如下式:

$$\tau = \tau_i: (\sigma_0, \epsilon) + \eta d\epsilon / dt \dots\dots\dots(6)$$

式中 τ : 剪應力 (lb/ft²)

τ_i : 內部剪阻力 (internal shear resistance) (lb/ft²)

σ_0 : 各向同性之應力 (isotropic stress) (lb/ft²)

ϵ : 總剪力應變

η : 黏性係數 (lb-sec/ft²)

t : 時間 (sec)

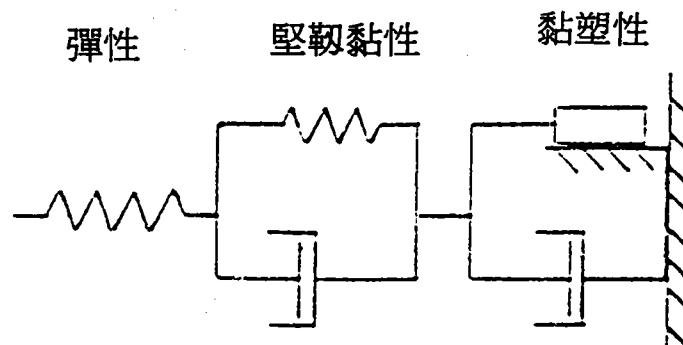
當砂柏油為等方性垂向負荷, 塗裝首先自顆粒間擠出, 在偏向負荷下, 在被擠出前, 顆粒間受柏油之切力作用。因此由於顆粒間接觸而逐漸建立之應力, 其應力應變關係如圖九所示, 在剪力應變約為9~16%時, 則其內應力與砂的內應力相近。

在式(6)中, $d\epsilon/dt$ 一項對於砂柏油之流變性很具重要性, 其與剪應力之關係如圖十所示。內剪力, 破壞限制, 黏性係數及剪力應變因素等可由三軸電池 (triaxial cell) 型式稱為Dutch cell試驗得出。而潛變量 ($\Delta\epsilon$) 則可由下列公式定出:

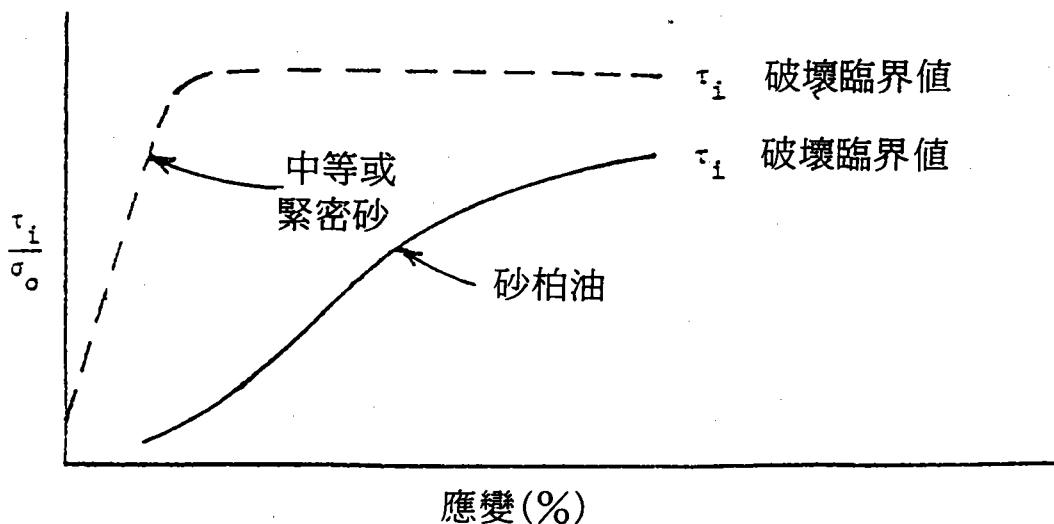
$$\Delta\epsilon = (\tau - \tau_i) \frac{\Delta t}{\eta}$$

使用試驗決定有關參數值，對特定砂柏油之計算可得出，隨時間而變的剪力與應變關係，如圖十一所示。

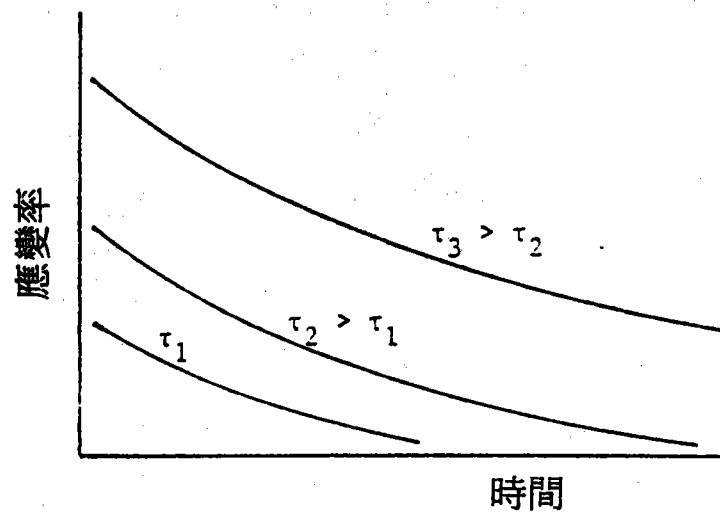
所有被使用之混合物必須在應用前，有與預定計畫條件相同之成功記錄，或必須在試驗室或現場一斷面進行試驗。在試驗評估所試用的材料，確實將會在現場實際應用。如此所得之結果較符合實際需要。



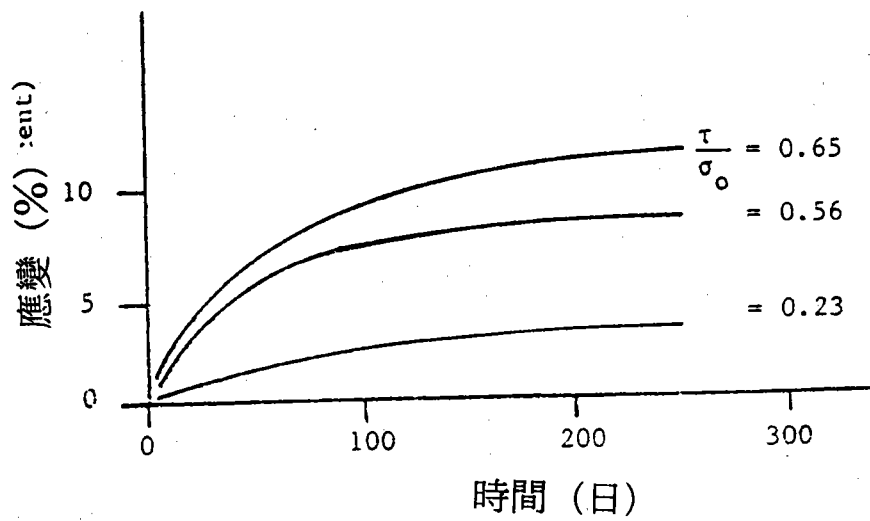
圖八 砂柏油所採用之流變模式



圖九 砂柏油之應力應變關係



圖十 砂柏油之剪力為應變率之函數



圖十一 砂柏油之應力應變關係電腦模擬圖

参考文献

1. US Army Engineer District, Jacksonville. 1984 (Apr.) .
"Palm Beach Harbor, Florida, Repair of South Jetty,
General and Detailed Design Memorandum," Jack-
sonville, FL.
2. US Army Engineer District, San Francisco. 1985 (Jun.) .
"Buhne Point Shoreline Erosion Demonstration Project
" Final Report San Francisco. CA.
3. US Army Engineer District, Detroit 1984 (Oct.) . "Gen-
eral Design Memorandum, Rehabilitation of North
Breakwater and North Pier, Milwaukee Harbor, Wis-
consin," Detroit, MI.
4. US Army Engineer District, Nashville. 1937. "Prelimi-
nary Report, Asphalt Grouting Operations, Chickamauga
Project Lock, Tennessee River," Nashville, TN.
5. Loudon, R. E. 1959 (Nov.) . "Sealing of the Mission
Bay Jetties. San Diego, California," Technical Memo-
randum, US Army Engineer District, Los Angeles, CA.
6. Simpson, D. P. "State of the art procedures for Sealing
Coastal structures with Grouts and Concretes" Techni-
cal Report REMR-Co-8, US Army Engineer waterways
Experiment Station Vicksburg, MS., Feb., 1989, 111P.
7. Bowen, Robert N. C. 1975. Grouting in Engineering Prac-
tice. Wiley, New York.
8. Ippen, A. T., ed. 1966. *Estuary and Coastline
Hydrodynamics*. McGraw-Hill, New York.
9. Tuma, J. J. and Abdel-Hady, M. 1973. *Engineering Soil*

- Mechanics*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
10. Lombardi, G. 1985. "The Role of Cohesion in Cement Grouting of Rock." *Proceedings. 15th International Congress on Large Dams*. Lausanne, Switzerland, PP 235-261.
 11. Deere, D. U. 1982 (Feb) . "Cement-Bentonite Grouting for Dams," *Proceedings. Conference on Grouting in Geotechnical Engineering*. American Society of Civil Engineers, New Orleans, Louisiana, pp 279-300.
 12. Deere, D. U., and Lombardi, G. 1985 (Apr) . "Grout Slurries--Thick or Thin?" *Proceedings. Session on Issues in Dam Grouting*. American Society of Civil Engineers, Denver, Colorado, pp 156-163.
 13. Walley, D. M. 1976 (Jun) . "Investigation of the Resistance of Freshly Injected Grout to Erosion and Dilution by Flowing Water," Miscellaneous Paper C-76-4, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
 14. Clarke, W. J. 1984. "Performance Characteristics of Microfine Cement," *Proceedings, American Society of Civil Engineers Specialty Conference*. Pre-print No. 84-023, Atlanta, Georgia.
 15. van Garderen, A. P. and Mulders, G. L. M. 1983 (Mar.) . "The Use of Bitumen in Coastal Structures," *Proceedings, Coastal Structures*, 1983 Arlington, VA., pp 342-355.
 16. Mulders, G. L., Nieuwenhuis, J. D., Ruygrok, P. A., Calle, E. O., and Petschl, R. O. 1981. "Some Properties

- of Sand-Asphalt in Hydraulic Structures," *Proceedings. 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol 3, Stockholm, Sweden.
- 17.Sulkje, L. 1969. *Rheological Aspects of Soil Mechanics.*, Wiley, London, England.

三、填封技術 (Sealing Techniques)

(一)技術發展歷史回顧

首次使用灌漿材料的記錄是出現在聖經創世紀 11.2-3 的經文中，以磚和瀝青替代砂漿用於建造 Babel 不幸之塔 (the ill-fated Tower) 的報告。灌注程序是 Charles Berigny 先生於 1802 年為修補法國 Dieppe 港的沖洗水閘 (Scouring sluice) 首次發明的。促使填封料和填封技術的研究發展，主要是起因於為致力於增強建築物和水壩底下基礎強度，鑿井和隧道挖掘以及切斷流經壩底的龜裂岩石或土壤之滲流水等。

茲摘錄在發展填封料和填封技術的重大事件回顧，以提供工程師和現場監工在面對海岸環境下如何計劃和執行填封工作的正確看法。

- (1) 1802 年 Berigny 在法國 Dieppe 港灌漿一個堰時發明一個現地灌漿泵浦。其設備包括一個內徑為 8 公分的圓筒狀木質泵浦，而在另一端有一個直徑為 3 cm 的噴嘴。在使用時，泵浦管內充滿粘土，然後插入一個可移動式的木質活塞，由重木槌驅動向下經由噴嘴灌注鑽孔至基礎筏表面的注入壓力則視能自基礎筏處舉起木槌的能力而發展。
- (2) 1837 年 Raynal 發表一篇論文描述他的灌注程序之使用方法以及首次應用在修補損壞的圯工結構物上，他曾對灌漿泵浦做了如下預言“今天有關這個發明的實用性是可確定的，我們不必因時間變化而發生質疑，以後它可能應用的數量將會更多……”。
- (3) 1838 年 Marc Isambard Brunel 在建造 Thames 隧道期間首次使用波特蘭水泥。

- (4) 1869 年 J.H Creadhead 發明以注射器為灌漿注入工具的灌漿盤 (Grout pan)。
- (5) 1876 年 Thomas Hawksley 首次使用水泥灌漿法填封 Tunstall 水庫土壩下，岩盤之裂縫。
- (6) 1882 年 Reumaux 提出他在重力頭下灌注水泥充滿水的裂縫填封的灌注技術於採礦業上。
- (7) 1882-1890 年 C. Colson 曾在 Malta 建造船塢時使用水泥灌漿灌注岩石裂縫。
- (8) 1884 年 W. R. Kinippk 使用水泥灌漿法在 St Helier Jersey 防波堤之延伸工程穩定砂礫型式之基礎，而且確信在海水或冲刷作用下引起逐漸之損壞或損害，使水泥砂漿製作基礎深厚者或灌注裂縫及修補結構之工作為具有可行性。
- (9) 1886 年 Greathead 曾應用壓縮空氣灌漿改善灌漿盤並獲申請專利。
- (10) 1887 年 Jeziorsky 發展一套二注入孔的化學灌漿法，包含灌注矽酸鈉和促凝劑於二個不同之注入孔。
- (11) 1890 年 Camere 先生首度在法國北部塞恩河的 Villez 港直接在一水閘上應用空氣壓力灌水泥漿填封沉箱模式牆 (Forming walls) 間接縫。
- (12) 1893 年在紐約計劃中水泥灌漿首次有系統及大規模地被使用在填封裂縫和增強壩基礎下岩石強度。
- (13) 1894 年首次應用動力操作泵浦於灌注入於直下垂井之施工作業中。
- (14) 1905 年 Portier 觀察使用強力水泥灌漿法注入細砂中會導致水泥在注入點被過濾掉。
- (15) 1908 年 H. P. Hill 以原先使用非常稀薄的水泥漿填封水庫漏水之微細裂縫之觀念，使用於實際切斷漏滲水做為補救措施。對灌漿作業而言這是一個非常有價值的貢獻。薄漿成份先以水與水泥按 20:1 比例混合，繼續灌漿後更改為 10:1 之比例。

- (16) 1909 年 Lamaire and Dumont 申請專利一種單射式 (a single shot) 化學灌漿法，係使用稀釋酸和稀釋矽酸塩預拌之溶液。
- (17) 1919 年 G. W. Christians 發明一經由蒸氣或電熱 (熱線圈 hot wire) 之加熱管注入瀝青漿的方法，在 1919-1920 年田納西州建造 Hales Bar 壩和 1936 年在田納西河建築 Chickamuaga 計劃水閘時使用此方法配合某些措施顯示相當成功的。將標準屋頂用瀝青經由 3in 直徑孔泵入事先排置好利用電阻供熱之尺寸標號或為 00 或 000 之鐵線內，核心在灌漿後被覆被的相同方法實施經驗，瀝青分布為呈不規則狀。
- (18) 1922 年 M. Durnerin 在發表沖積土灌漿法中曾討論砂和水泥應用注入方法灌入細砂中的過濾效應。對於低粘滯性灌漿為何會產生膠狀的沉澱物致無法進行工作給予一最佳的學術理由。
- (19) 1925 年 H. J. Joosten 發明應用低粘滯性灌漿會產生膠狀的沉澱物的現地化學注入灌漿法，其方法曾被連續使用到現在幾乎都沒被變更過。
- 這個方法首先必須用完全可靠的方法處理沖積土層在細砂範圍以下之尺寸，包含一個濃縮的矽酸鈉溶液和一個強電解質塩溶液經由一尖頭的管貫穿其較低端連續注入。
- (20) 1927 年 E. Ischy 發明 manchette 套管，可允許相同鑽孔中不論何種目的或任何時間間隔可將不同性質的漿液注入於地下。此方法首先將水泥等容易灌漿之中間物處理完成後，隨後再處理較細的中間物，大多為具較差粘滯性之漿液這對沖積的灌漿法可說是最重要的一項發明。根據觀察經由工作程序可接受程度，這套工具使得對有系統地控制注入壓力和不同灌漿型式之技術更有效率。這項由分工合作所獲得之有利的技術成果由如 public bodies as Service des Grands Travaux d'Algerie, 法國的電氣及 the laboratories du Batiment et des Travaux Publics 和少數特殊承包商所一起研究獲致的。

以下是Glossop (1961) 觀察在努力推廣封填技術方法認為適合時宜的。

“直到現在，岩石灌漿方法首次被使用似乎是法國Hawksley發明推廣用於採礦工程的直下豎坑，被推廣用在處理堤基礎則在美國開始。1924年曾在法國the Barrage du Chavannon (Haute Dordagne) 被有系統的運用，因為對這個方法使用價值的了解，法國工程師寧可對注入技術之細節專心投入研究，而較不願去苦心鑽研其實用標準。特別是在解釋它在地底下發生的情形。基於泵浦壓力和灌漿接受程序的連續記錄。

在Suclier就曾經使用自記式壓力計可快速就了解這些數值，從地層開始上升就立刻可以立刻得到證據。

這個研究比隨後的美國更具有彈性。和聚在一起研究水泥以外的其他灌漿，更直接地使用處理沖積土方法能獲得成功。

雖然Berigny and Kinipple對灌粗礫石和砂礫之灌漿，最後使用型式採用沖積材料而得到較寬的處理範圍，並使注入方法更為完整。但土木工程似乎仍較喜歡證明其實用性……。”

1900年代早期，水堤建築正大力推展，較大和較高之水堤陸續建造中。深孔灌漿已被使用並導致輕質鑽石鑽頭也被計使用。由於需要增進注入使有較大壓力，和具有適當係數的正位移泵浦處理水泥填封料的必要性，其他泵浦型式亦陸續地被設計使用。

從1900年代中期，化學填封料在推展中使具有可注入性的特殊性質，如可正確控制設置次數，壓力強度，抗滲透性以及其它性質均有相當的進步。

(二)填封方法 (Sealing Methods)

在海岸結構物運用填封的型式中，（包括應用瀝青等），鑽孔是必需且較昂貴的。因為在海岸應用上，通常填封料的配置其外觀都是綫狀的，鑽孔型式多為單綫法 (a single line)，為達

到使用更經濟的目的，大多採用分開間距法（The split spacing method），此方法，主要為鑽掘一系列的主要孔洞，孔洞中心到中心的距離大於最後孔評估的方式，填封料被注入主要孔洞中其灌漿入口（填封料配置之體積）由注入器噴嘴每垂直呎上升量多少次決定之。填封料流失除主要給結構物的旁邊外，還可從鄰近未灌漿孔中被發現到，在以往碼頭防止砂通過的填封間距多用10呎，而發現是個可被接受的主要孔之間距，因為孔距多視計劃狀況而有不同，其測試的工作應在訂立大的合約前開始著手進行。下一系列的孔洞，第二孔等，應和主要孔洞在同中心的相同綫上。但需配置在第一系列的中間。第二的孔洞必須在第三系列孔洞鑽孔和填封前做成填封的決定。在結構之一群填封計劃的孔洞中最後之孔距應在2.5英呎以上。

孔洞填封的次序須視現地情況而定。如果填封料注入孔洞中已經超過或是填封料流失面積非常的明顯，未按原計劃填充則可以考慮減少填封料的設置時間或先增加填充鄰近較低部份的孔，其後再填充第一孔洞之高程等等，在此運作中，現地工程師必須使勞動成本和儲存填封料得到平衡，無論如何，主要目的為在達成封閉孔隙的足夠需要量。

土木或採礦工程應用的填封型式，灌漿之地質不是土壤就是岩石，而應用在海岸工程中，一般情形是必須為穩定的砂和有孔隙之碎石堆，在相同的鑽孔中必須是封閉的。因此處理的方法除土壤外還必須將岩石包括在內。填封料處理的型式已知的有製作簾幕式的障礙物，填充凹洞，土壤填封以及拋石填封等可從海岸工程參考構架中加予描述。

簾幕式障礙物填封法被用以控制堤或其他結構物底部之滲流現象常由數個填封孔洞所組成。用以阻止砂由海岸結構物底下流出。理論上應為二維方向的。垂直障礙物是必需俱備的，和另一單線式填封孔洞配合亦可完成達到此法的目的。可被接受的最小深度和最大間距應予規是，而無論如何，在野外之規定應有足夠

的彈性可增加附加的線式填封料之孔洞，決定在任何位置或可改變孔洞之深度及間距。且最後之深度和間距不應祇單獨考慮前述之因素，但砂在設計狀態之高程底下，應可被要求移動。

凹洞填充法是灌漿基本的標準型式之一（亦即填封已放棄之煤礦坑），內部充滿空氣或水之大而開放式的節理凹洞，可用混凝土成功地予以填封。

貫穿一個單獨填封料孔洞後，凹洞的寬廣程度則無法可以確定但根據實際經驗所得之作法，決定孔隙空間是岩石尺寸的30%對一舊而尚良好堅實的結構物而言）鑽孔時遇到凹洞，應在結構物繼續鑽孔前先將凹洞填封，使用含較粗骨材的混凝土填封凹洞可達到較經濟及有效之結果及想要的注入容積方向。

土壤填封法是第一個發展可用在穩定和減少沉陷量以及阻止水分經由未壓縮粒狀材料移動之方法。材料範圍從砂尺寸大小之質點（Sand-Size particles）到包括有碎石成份之海灘砂等，都是海岸結構物填封時所可能遇到的“土壤”材料型式。將可注入的填封料和本地的材料混合使用可獲取更多之注意。

以適當的填封料和決定混合料的比例，土壤填封料的方法摘述如下：（HQUSACE 1970）

- a.箱式套管：將一個箱式套管鑽孔鑽入或使用噴射法推進等方法使箱式套管之位置到達欲處理的全部深度後，將填封料泵入土壤中後退出，填封料會從箱式套管和土壤接觸面逃脫；為一待解決之問題。

這個方法可用在面積寬廣、深度較淺的化學填封法。

- b.填封料鞘（sheath）：此法為在現地用一有冲刷節點之填封料管填封，使用一特殊而脆的填封料以防止從管外漏出，填封料管在一短距離後即被收回，將易脆之填封料鞘留在管之下方。填封料經由在填封料管底下易脆之填封料袖端點之填封料所產生之壓力泵入土壤中。

- c.有孔箱式套管：此為一種已被推展並獲許專利之土壤填封

法使用一種特殊填封料套管在鑽孔內填封，套管在任何點可自設備較低處爆發一個易爆的推進拋射物而進入套管中後穿孔。

d. Tubes á manchette：此法中，有孔的管被一特殊的袖填封料填封在孔內，孔洞被有短的斷面之橡皮袖所覆蓋，在管之出口端，其作用為單向值。管的有孔斷面被設置在注入位置的反向處，一部雙包裝機用以控制處理位置，泵入填封料之壓力。係由限制包裝機間推越包圍孔洞之小橡皮袖所產生。rupture（破壞）袖填封料後進入土壤中，這套設備用以注入水泥，粘土或化學填封料均相當適宜。在相同的狀況下使用相同橡皮袖小孔，分開旋轉注入這些填封料使其進入土壤中具大孔隙土壤第一次先以較便宜費用之水泥填封料填充，再使用昂貴的化學填封料處理法是較為容許的經濟方法。

e. 拋石填封：未壓密拋石之穩定性可以填封加以改善。拋石填封可以達成在水之上方或下方提供護岸（revetments）加以保護海岸綫之穩定Levee facing和類似的設計。拋石填封之應用通常包括使用重力或泵浦將含砂質水泥填封料配置於存有空隙之拋石。混合物可包含三或四份或更多之砂和一份重量之水泥。如應用於階梯式斜坡，則混合物須具有更大之粘滯性。填封料一般可以填充深度的 $\frac{1}{2}$ 到 $\frac{3}{4}$ 部份之孔隙，可能的話，頂部可用掃帚截去或用適當的方法加以養護。

(三)填封設備 (Sealing Equipment)

(a)鑽機 (Drill rigs)

鑽機的選擇，應考慮場地和鑽孔工作及填封之需要而選定使用鑽機之型式及大小。

鑽頭型式一般噴射之高峰通常使用crawler或輪狀單元可得到最好的結果。孔徑大小必須要能滿足注入填封料的需要及考慮經濟因素，鑽孔的最大直徑應在能夠鑽入的合理範圍之內。

鑽孔基本型式可分為衝鑽式和旋轉式二種。

衝鑽式鑽孔：通常用在堅固岩石的鑽孔上，衝鑽的作用常用空氣或水力驅動錘運作。千斤頂錘、鑿岩機（drifter）和輪貨式鑽機（the wagon drill）為已知最佳型式。

千斤頂錘鑽孔僅適用於淺屬的作業，且由於重量較輕，一般在其頭部加一活塞。鑿岩機型鑽孔設計常用三腳架，爬登桿或其他巨大的附屬設備，輪貨式鑽機由一爬登式鑽頭組成，係由貨車、爬登式輪狀物或爬登式滑材制輪機底盤所支撐。

鑽機正確的組成是由一端可按裝固定或可拆卸之鑽頭，另一端則為柄部之中空鐵桿。

大多數衝鑽式鑽機在正常的動作下具有旋轉和往復運動之能力。

機器在前端柄部按裝可鬆動進入叉柱（chuck）的活塞，活塞形狀為似錘狀的，其衝鑽能力藉由壓縮空氣或水力流體之實際作用而產生。鑽頭在鑽孔時除因錘擊造成輕微之回彈以外隨時都與岩石緊密地接觸。

被切除的或泥濘的材料經過機器和中空鐵桿底下藉由空氣或水的作用從孔口被移動到孔的表面，這些材料即時可浮升到孔的表面上。

旋轉式鑽機：旋轉式鑽機可接受多樣型式的鑽頭和具有使核心恢復原狀的能力，鑽頭連接於一個中空鑽管的旋轉柱前端，旋轉時鑽孔逐漸形成。

鑽管旋轉速度藉由大概在200到3000rpm或更大旋轉速率的發電機所提供，鑽頭的壓力則應用水力或機器造成的，水經加強壓力穿由鑽管沖洗切除鑽孔。

鑽機則可由小而輕重量的機器，鑽孔能力在數百呎深到大的

鑽機鑽孔深可達數哩深等種類變換。

在海岸結構物使用需要常用小的鑽機，其原因為鑽孔深度需要較淺時鑽機易於移動是最重要的。

旋轉式鑽機祇應用在核心可恢復原狀的情形下，通常是在填封完成後，檢查填封是否徹底和其填封的效應。

(b)鑽頭：

旋轉式鑽機鑽頭主要的型式有鑽石鑽頭和堅硬金屬鑽頭。鑽石鑽頭可以是核心式或栓塞式。使用直柱鑽石式鑽頭兼具上二種型式可以切割岩石。

鑽孔時經由鑽桿用水連續清洗或壓縮空氣泵浦以冷卻鑽頭，核心式鑽頭是由一鐵製的中空圓柱體組成，其尾端為一直柱鑽石。鑽頭被按裝在一中空鐵艙 (chamber) 或圓筒之底端上，當其快速轉動時，鑽頭會緊密抓住岩石，使鑽石在岩石上切割成一年輪似的溝槽。位於岩石上的槽溝和圓筒之突出組成核心。

栓塞式鑽頭可以有兩種變換利用。一種是凹式，其頭部在中央有一降低處。另一種為引導 (pilot) 式，有一較主鑽頭直徑小的圓柱體凸出單元。非核心式鑽石鑽頭在基礎填封應用上有較寬大的利用範圍，不論如何，栓塞式鑽頭因為有較大的鑽石費用應用在非常堅硬的基礎或有嚴重破裂的岩石均較核心式鑽頭昂貴。因此栓塞式鑽頭通常祇用於切割和部份被視為核心遭遇須被移動時。

非核心式鑽頭鑽探粉碎的岩石時偶然會發生一個或二個鑽石的損失，並使鑽頭失去切割效用。利用多晶粒鑽石金屬片 (blanks) 已被證明非常有商業利用之效率。其貫入速率，依據已獲得之報告指出，較用碳化鎢和表面設置 (set) 鑽石之鑽頭之二和三倍大，鑽石鑽頭尺寸現已被標準化，一般已知規則依字母分為EW，AW，BW和NW，土木工程應用上，大多數鑽石鑽孔之尺寸多為EW或AW之型式，其尺寸大小為

鑽石鑽頭尺寸

規則代號	大小 (英吋)		大小 (mm)	
	孔	核心	孔	核心
EW	1 — $\frac{31}{64}$	27/32	37.7	21.5
AW	1 — 57/64	1 — $\frac{3}{16}$	48.0	30.1
BW	2 — 23/64	1 — $\frac{21}{32}$	60.0	42.0
NW	2 — 63/64	2 — $\frac{5}{32}$	75.7	54.7

索綫鑽頭：爲另一種型式之鑽頭，但不常用於海岸結構物灌漿鑽孔的用途上，綫索鑽頭主要爲使核心恢復原狀更有效率而發展出來的，可以爲檢查簾幕式填封料之屏障是否連續之需要用。

堅硬金屬鑽頭：爲由刻成V字型刻痕類似鋸齒之堅硬金屬，設置於核心筒狀物中用以代替鑽石鑽頭，在一些軟岩中，應用這種型式的鑽頭鑽孔速率較快，和不容易造成阻塞。

和鑽石鑽頭所須之費用比較低廉，這種鑽頭的鋸齒須常面對碳化鎢合金，或可設置插入，可鉚於孔中切除鑽頭金屬片之堅硬合金，這些堅硬合金亦可用於製造非核心式鑽頭。

滾動岩石式鑽頭通常附屬連接於中空鑽管柱的底部此鑽頭係由有鋸齒狀的輪或錐構成其在岩石上每一部份會隨著鑽管旋轉而轉動或滾動。切除和將孔內之泥濘清洗出來爲藉由循環水或鑽孔用之泥漿經由鑽管和背對鑽管和孔壁間之表面，滾動岩石式鑽頭因爲其可利用的最小尺寸相當接近於NW一鑽石鑽頭之尺寸，所以未能被廣泛應用在填封料之鑽孔上。

拖曳式和魚尾式鑽頭可適用於岩石和土壤上。鑽頭的切割器(cutter)或切割用刀片的邊緣，常用堅硬鐵器或上覆堅硬合金所製成，其切割進行方向爲從旋轉方向彎曲離開。

鑽頭尺寸和其常用的材料，包括如下：

鑽頭型式	主要使用之處	不適用之處
鑽石核心	岩石或混凝土	未壓密土壤
栓塞式	岩石	非常堅硬之岩石 非常軟之岩石、未壓密土壤和 破碎或破裂之岩石
堅硬金屬	軟岩石、硬粘土和 水泥化土壤	堅硬岩石或非壓密之土壤
滾動岩石	岩石	未壓密土壤和非常堅硬岩石
拖曳和魚尾	軟岩石和土壤	堅硬岩石
衝鑽式	岩石和混凝土	未壓密土壤

(c)填封料泵浦

填封料泵浦因為不同的填封料配置和組成及所可利用尺寸不同而有很大的變化。它們的動力可由空氣，汽油，柴油或電力所供應。為保證與結構物連接成為一體的撓性，供應緊密控制泵浦壓力和注入速率可以變更，填封料泵浦必須謹慎小心地選擇。泵浦必須為在填封時能夠達到容易和快速操作要求的型式。及在大多數填封計劃中使不發生或減到最小的洶湧起伏的型式，可以減低或消去在軟管、管綫、鑽孔主幹或填封料孔傳達產生之震動效應。並且節省在全部填封操作時泵浦和其他可利用的部份。填封料泵浦的型式包括有line-type slush pumps, sidepot-type sump pumps, divided fluid-cylinder valvepot-type pumps, progressive cavity pumps 和離心式泵浦等。有關這些泵浦細部資料均包含在EM-1110-2-3506 (HQUSACE 1984) 上。

(d)混凝土泵浦

混凝土泵浦時常用來泵送含砂和不含砂的水泥填封料，這些填封料常為濃度趨近於最小流動度的混合料。

混合物濃度範圍由標準坍度錐試驗應在 4 — 8" 間。混凝土泵浦能容易地管理使骨材最大尺寸為 1" 之直徑，並且能泵送含有鋼纖維的填封料。為由一藏有可往復運動的活塞及底

部為裝滿型式的漏斗等單元所組成。活塞可以穿越 a swaged head coupling 直接傳遞混合物到直徑為 4" 或更大的鐵管內。

泵浦動力通常為卡車或爬登式拖車和汽油所供給。

當不用在填封工作時需要緊密壓力控制，但它們主要為用來填補較大孔穴和用來將混凝土傳遞送入特密管內 (termies)

(e) 填封料混合物

選擇填封料混合機首先要考慮到為機器能夠保證使產生之混合物在被期望的容量和間隔時間內達均勻一致。可應用的填封料拌合機器型式有垂直式拌合桶和水平式拌合鼓，高速火棉膠製拌合器（可用以拌合極細的灌漿水泥）運輸式拌合機，跳躍。荷重式凝土拌合機、噴射混合單元和空氣壓縮槽拌合機，有關這些拌合機之細節可在 E M1110—2—3506 (HQUSACE 1984) 中獲取。

(f) 攪拌器固定槽 (Agitator holding tanks)

為提供大體積和保持連續注入填封料，通常須設立二個拌合器輪流卸出填封料到攪拌器的固定槽中，攪拌器固定槽的容量，最少要有二個，最好能達到三個拌合系統的容量。

攪拌固定槽經常用桶式或水平式拌合器配合在慢速中操作使用。

攪拌器固定槽可設計和其種設有爬登式刀刃划片的垂直紡錘，並允許在桶尾端可以向前傾倒，以便傾卸填封料類似的拌合器。

(g) 填封料索線

對非海岸型式應用 (typical noncoastal applications) 填封料，有二種排置方法，使填封料從泵浦供應注入到鑽孔中。循環系統是由二條索線所組成。一為由填封料泵浦頂部供應填封料，另一條則使其再歸回。

此系統為設計在填封時壓力為中下的情況時應用，故對有爬

登式橡膠之海岸結構物碼頭和防波堤並不適用。

單索式系統較雙索式排置系統較為簡單，對爬登式橡膠海岸結構物而言，它是惟一適當的方法。這個系統由管、軟管（hose）或結合從泵浦卸出到孔頂部環管延伸部份所組成。泵浦的速度可以單獨控制壓力和填封料注入的壓力。軟管線為由強化橡膠或塑膠所製成。

大多數填封料應用的軟管，其內徑範圍在1"到2"間。

(h)活門 (Valves)

填封料索線之活門須俱備能快速打開，容易調整和可耐腐蝕及磨損等條件。並要有在所有位置均能精確地控制壓力的能力，在全開位置時，活門不能指向限制填封料流動。隔板式活門已被證明具有較為高的效率。壓力解除時，活門會被安置於填封料索線內如同一增加物，以防止因為創作時產生之超出壓力，此壓力可能會使索線或其他設備發生破裂。

(i)瀝青填封設備

使用加熱瀝青以填封鋪面裂縫，屋頂覆蓋和其他相類似的應用可得到很好的效果，包商普通都使用可移動的瀝青加熱鍋以完成這許多填封之目的。熱瀝青加熱時，溫度須維持在瀝青的發火點以下。

具球活門（ball valves）可往復運動的泵浦，1"直徑boiler-fed活塞泵浦或齒輪制動泵浦等都曾被用以泵送瀝青穿越1"到2"直徑的黑鋼管。傳統式的水泥填封設備可用於乳化瀝青，含瀝青的結構物對使用瀝青另有不同的概念。膠泥狀的（mastic）瀝青由占有很大比例的植物混合重約20—150的石頭製成。使用時以卡車運送到工地，並以起重機操作吊桶將瀝青澆置於欲填封之處。

(j)化學填封設備：

化學填封料系統在化學工廠混合和配置，其填封設備已有廣汎的發展。傳統性的填封設備亦可以用在許多的進行過程中

，特別是當單獨一批會接合的工作所需要的事物。被嚴密控制的均衡系統經常被推薦以管理二種或更多的成分的已有配方的化學填封料。有關化學填封設備詳細細節可參閱 EM1110—2—3504 (HQUSACE 1973) 文獻。

(k) 套管 (Casing)

填封工作所用之套管多為鐵製或塑膠套管。

套管在鑽孔低下處係防止填封料從鑽孔逃逸或進入岩石而遺漏和防止循環用流體在可滲透區中發生流失。貫穿套管被用來隔離區和填封。

(l) 計量表：

控制填封料含水量使用測水體積的計量表為精確而快速之良策。這些計量表通常刻度為加侖或立方呎，可獲得最接近的讀數為 $1/4$ 加侖或 $1/10$ 立方呎。使用前必須先以精確地校正檢查，如果需要亦須校準刻度。

計量表量測填封料配置數量可由一些簡單的東西組成如有垂直刻度的比例尺或桿計現地拌合器或拌合車 (agitator truck) 亦可以在現地使用已校對過的液體比重計，將其和計算機或條式記錄器相互配合應用。

計量表的設計量測量可以為一桶之量 (barrels) 或立方呎、加侖及指定這些單位部分為量測之單位。

(m) 壓力計

任何型式的填封和壓力試驗中，壓力計實際上是必要的，它們必須非常的可靠。在海岸結構物欲將填封料置於欲定的位置上，可以應用低壓力的操作混凝土泵浦達成目的。在此操作過程中，壓力計並非設備中最重要之部分。但無論如何，壓力計機能損壞和超出壓力對結構物和設備所造成的危害結果是同樣的重要。壓力計應在使用前作精確的測試，在工作進行中，亦須定期檢查。壓力計可移動的部分應加以保護，避免灰塵和砂礫及填封料的直接接觸，如壓力計儲滿甘油的隔板式系統，可提供增加保護的程度。

(四)偵測設備：(Monitoring Equipment)

在海洋結構物中，專門發展用以偵測如水泥化的，化學的和瀝青的填封工程之量測設備，在其他場地並非絕對的需要。無論如何，這不能減少對填封料之移動和凝結追蹤工作的需要性最簡單的追蹤法為從一被填滿的孔洞到鄰的未加處理的孔洞探查填封料的運行情形。從結構物的一側可以觀察混合物洩漏到槽中或海水中的漏出數量。有經驗的觀測者可利用填封設備的壓力計使其成為非常有效率的追蹤設備。

(a)流動錐 (Flow cone)

流動錐量測裝置可在試驗或野外使用，決定填封料混合物的流動能力。其做法為量測從標準錐流出指定體積的填封料所需時間，本試驗用以探知填封料混合物的流動性，ASTM 對本試驗過程和方法記載在混凝土和水泥手冊中 (WES 1949) CRD-C 611的方法中。一般用在填封碼頭或防波堤空隙的混合物需用厚及包含有粗岩石骨材，其在流動錐中無法流動。

(b)水泥漿比例

混合物單位重可使用美國石油學會 (API) 的標準允許加入泥漿比例或用精確校準的單位重量容器加入泥漿平衡而決定其體積範圍為0.25到1.0立方呎。已校準之單位重容器有一組刻度為 1 / 10 磅的比例尺，其能容納的重量至少應有250磅。

(c)坍度錐

很厚的混合物可用量測坍度來決定其濃度。金屬製的角錐台其底部直徑 8"，頂部直徑 4"，垂直高度為 12"，混合物分成相等的三層分別裝入錐體中，每層並用搗桿搗實 25 次後，將錐垂直取出，量取填封料混合物頂部和坍度錐頂之垂距離，即為混合物之坍度，ASTM對坍度試驗的過程和

方法在混凝土和水泥手冊 (WES 1949) CRD—C5的方法中詳述。

(d)空氣含量

決定波特蘭水泥填封料混合物中的空氣含量，有五個基本的方法可以使用(a)密度計gravimetric(b)高壓力(c)測微計micrometric(d)壓力(5)體積計volumetric。ASTM在混凝土和水泥手冊 (WES 1949) 方法分別在CRC—C 7，CRD—C 83，CRD—C 42，CRD—C 41 和CRD—C 8 中描述其測試過程和方法。其中CRD—C 7，CRD—C 41 和CRD—C 8 等方法用在量測剛拌合的填封料混合物的空氣含量。另外CRD—C 8 和CRD—C 42 的方法則用在已硬化的填封料空氣含量之測定，這些方法通常都在實驗室內進行試驗。

(e)測定凝結時間之儀器

波特蘭水泥填封料初凝和終凝時間之測定常用之機器設備已知為Vicat儀，此設備之設計是測量貫入深度（或不能貫入時）與時間，應用一blunt針進入內裝填封料試樣的小杯狀容器，本試驗可在實驗室或野外進行，ASTM對本試驗的測試過程和方法在混凝土和水泥手冊 (WES 1949) CRD—C614的方法中加以詳述

四、灌漿作業監工與檢查作業

現場工程人員之經驗在灌漿工程作業中相當的重要，不論灌漿工程之規劃設計工作是如何好，一件成功的計劃依靠現場工地人員之技術應用和良好的判斷。澆置之技術不全是承包商之品質管制，應和現場監工有直接密切之關係。因此，灌漿工程應由一位有經驗的地質學家、土木工程師、或資深的技術人員負責計劃之執行，而且必需有充足的幕僚人員協助。

灌漿之技術主要包含雖未能直接觀測然而可以達到令人滿意的處理，如堤防內之孔隙大小、形狀、及內部材料之連結情形等。灌漿作業過程有很多變數，依所使用之工地技術及程序經驗而定。這些變數包括鑽孔、洗孔、選用和修正混合比例，改變灌入壓力在灌漿作業中沖洗孔洞和清洗幫浦系統，孔洞之間歇性填灌，決定所需填加灌漿孔之需要性，表面裂縫之處理，並記錄作業期間的鑽孔、灌漿及偵測結果。

設計者必須參與修正合約，其項目可能包括變更灌漿孔之間距或增減灌漿計劃。

(一)鑽孔作業

鑽孔是灌漿作業中一項重要及昂貴之部份，在鑽孔過程中所有有關的資料，監工應記錄及妥善保存。依發生之前後次序登記於野帳簿，而且應包括所有有興趣之資料，這將有助於堤內材料物理性質之判斷及鑽孔所花費之時間。因此必需先準備好表格讓監工在灌漿作業中填入資料，圖十二為鑽孔記錄之樣本。而且在作業中所鑽到之材料的研判和其他參與本計劃地質師、工程師、資料技術人員等所提供的有關注意事項等，亦應包括在鑽孔記錄中，陸軍工兵署大地工程應用電腦委員會，已發展一鑽孔灌漿作業之微電腦套裝軟體，在鑽孔灌漿時需建立之資料檔案如下：

- a.孔號。
- b.鑽孔進度。
- c.鑽孔作業員及檢查員姓名。
- d.洞之大小及傾斜角度。
- e.洞之位置及座標。
- f.使用之鑽頭數量、型式及設備。
- g.鑽孔開始及完成時之高程。
- h.鑽取岩心之位置和損傷情形例如鑽錐受阻塞、鬆軟材料或其他

鑽探記錄

計畫：南石防波堤修護。

工作編號：1236

地點：佛羅里達洲西棕櫚沙灘

衝擊鑽頭之直徑為3.5英吋

孔號：C-102

日期：1985年6月24日星期一

位置：Sta. 55+92.5

高程：+6英呎（孔頂）

方向：垂向

鑽機：Maverick Joy Air
Track

總深：12呎

鑽孔者：Roger Russell先生

深 度	略 圖	材 料 之 種 類	備 註
5'		混凝土	
10'		花崗岩 砂	
15'		花崗岩 砂	
20'			
25'			

圖十二 鑽探記錄表之樣本

。

i.已填滿之洞穴或空洞的位置及特性。

有關鑽孔速度（貫入速度）使用之壓力，和鑽機發動後之情形如動作的顛簸性、順穩、粗糙刺耳或穩定性和限制等都必須在土壤鑽孔野帳簿中註釋。鑽孔者必須特別注意所取回之鑽心試體是否可能因為鑽得太快以致無法獲取令人滿意之樣品，或鑽孔速率過份的慢，而磨耗鬆軟材料。

在鑽探時鑽孔必須在其野帳簿之柱狀圖中描述在鑽孔進行過程中所遭遇的地面以下之情形，因此若監工員校核鑽孔者之野帳簿時，通常他不必再解釋其柱狀圖之情形，而一位優良的監工員必須根據鑽孔者正式報告有關鑽孔作業的行為、鑽孔之困難度和其他所發生的事項等基本資料由柱狀圖決定有關材料之型態與特性等。

若鑽孔是用敲擊、槍彈或其他非鑽心的鑽機之作業下之結果，則所獲取大部份之鑽孔資料必須審查所取之鑽心材料及流體，監工員必須在每一工作更換時交出其記錄。

(二)灌漿作業

當結構體內部充滿非常細粒料時，在灌漿時細粒料必需從洞中洗出。淤泥、粘土必需不阻礙灌漿之注入，否則灌漿管道易被阻塞，鬆洞的清洗法通常插入一小口徑之洗管至洞中且噴出水柱，有時加入空氣以洗出洞內的其他材料。例如使用旋轉鑽洞之情形下，可能需確定在鑽孔作業完成後數分鐘內鑽桿所穿透之鑽孔是否已洗淨，灌漿必須僅能置於無阻礙的孔洞中。

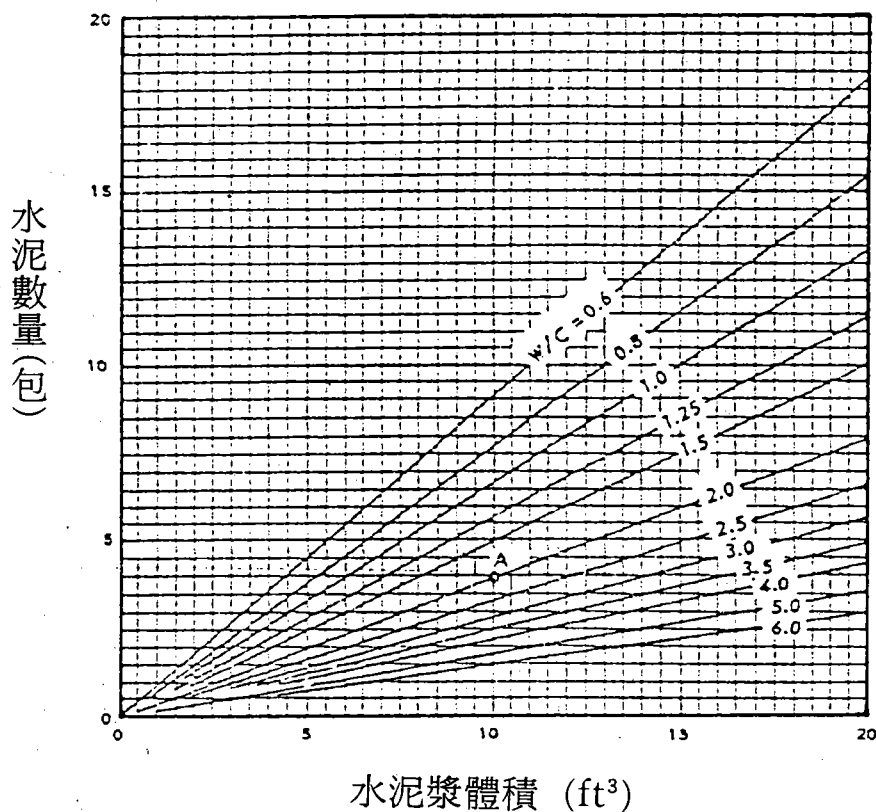
壓洗孔洞包括噴射水，而偶爾在套管中壓入空氣而沖洗作業必須持續有污泥自鄰近洞口或表面裂縫中漏出，注入空氣與水作用將會增加水之擾動和沖蝕之行爲。反覆方向之沖洗可能亦很有用，在灌漿前數分鐘需用反向沖洗將原孔清洗。必須認知過大的

壓力可能對先前澆置之灌漿或灌漿材造成損傷，而在壓力沖洗期間，水壓和空氣壓力必須不能超過容許之灌漿壓力。

在拋石堤及碼頭之孔洞使用壓力沖洗，將增加灌漿材料之需求量，或可能會造成孔洞之崩塌。而企圖在護坡之處沖洗細料，必需小心的執行，經常可由鄰近之孔洞中沖洗所有之細粒料。規範必須說明實際狀況，在大多數情況下，細料沖洗可能持續至孔洞頂上之水無法消散或在水線上之情形時。一旦結構物上斷面之孔洞已準備好，即可開始進行灌漿作業，原設計之配比，在工地施工時可能需作修正以獲得要求的結果，可能需填加流動劑於混合物中以減少其粘度，一般水灰比係以水和水泥之體積比計算，例如可由圖十三決定各種灌漿水泥材料所需之水泥量。

圖十四說明灌漿資料之記錄型式，必須在執行作業時使用，若孔洞接受一小量之起始混合物而未有材料在洞中形成，則需用較黏稠之材料，然而濃度之限制受設備之泵送和操作能力而定，圖十五分別為量測黏稠或稀薄之波特蘭水泥灌漿材之配比用量。首先決定一單位體積之灌漿材料所需之水泥用量，而總灌漿材料之體積係以一包水泥所需之灌漿材料之體積，而一包水泥體積約為一立方英尺。

Deere (1982) 曾證明水泥漿 (slurry) 之密度為檢查與控制水灰比的良好指標，密度在工地可用簡單的方法如使用軟泥天平 (mud balance) 量測水泥漿膠質粘土 (bentonite) 數量有相當大的變化對水泥漿之單位重並沒有顯著的改變。填加大量的膠質粘土需要較高之水量，可使水泥漿具泵送能力和防止凝結，就這點在討論灌漿作業上係假設在空孔情況下，若執行壓力灌漿時某些裝備將與上述所討論的不同，此時可容許作業者可偵測和修正系統中各點的灌注速率和壓力大小。在這種型式之填封作業上，水灰比也列入密切地偵測要項，且可能變化很大。而當壓力與速度改變時，即使單孔洞亦如是，然而在防坡堤上進行壓力灌漿工程並不相同，如果真需要時則可由 EM1110-2-3506 (



例：水灰比2.0之水泥漿10ft³(A點)需4包水泥

說明：水灰比(W/C) = 水之體積(ft³) + 水泥之包數

圖十三 波特蘭水泥漿填封料之水泥含量

灌漿記錄

計畫：南石防波堤修護

地點：佛羅里達州西棕櫚沙灘

孔號：Sta55+92.5

日期：1985年6月27日

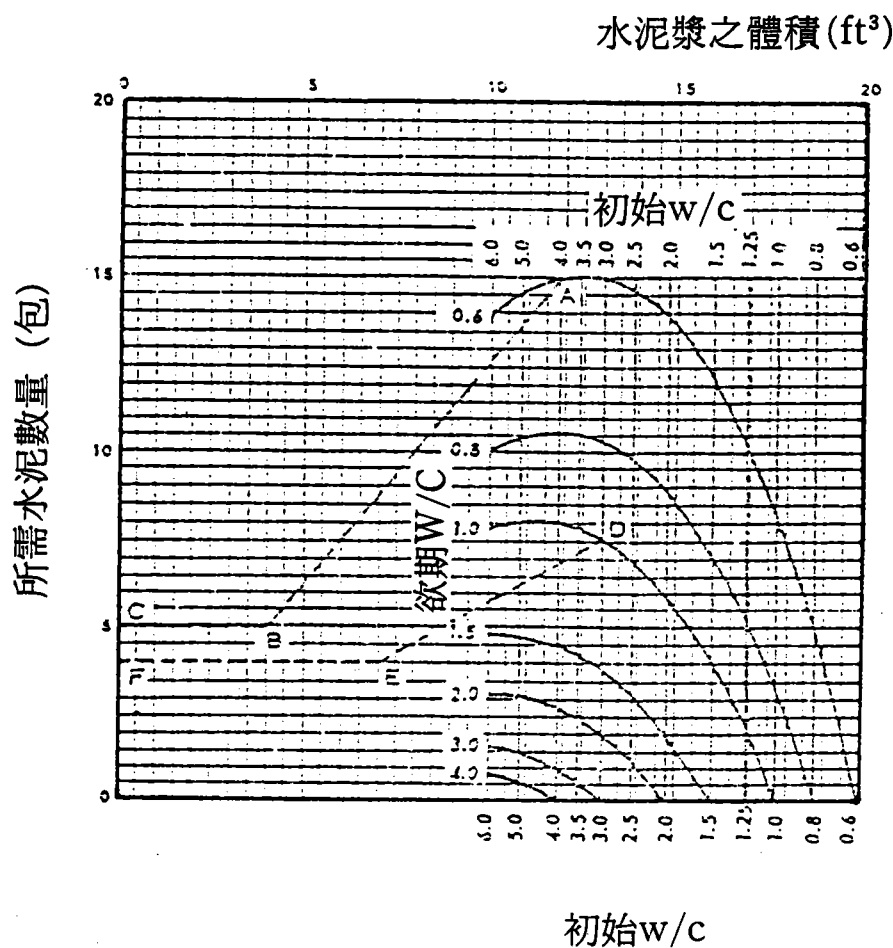
方向：垂向

監工：J.Jones

總深：0-12英尺（自防波堤混凝土面層至底）

深 度 (英尺)	壓力計 (lb/in ²)	矽酸鹽 拌合編號	水泥漿體積 (加侖)	時 間 開始 終止	幫浦時間 (分鐘)	灌漿速率 (加侖/分鐘)
11-12	15	8	40	1028 1032	4	10
10-11	15	8	20	1032 1034	2	10
10-11	5	9	20	1037 1041	4	5
9-10	5	9	40	1041 1045	4	10
8-9	5	9	20	1045 1047	2	10
8-9	5	10	20	1049 1051	2	10
7-8	5	10	40	1051 1055	4	10
6-7	5	10	20	1055 1057	2	10
6-7	5	11	20	1100 1102	2	10
0-6	...	...	...	...	...	...
總計			240			

圖十四 灌漿孔洞記錄表之樣本



例1. 4ft³之水泥漿，其稠度由w/c=4.0變濃為w/c=0.6時，需要5包水泥（如圖中ABC線）。

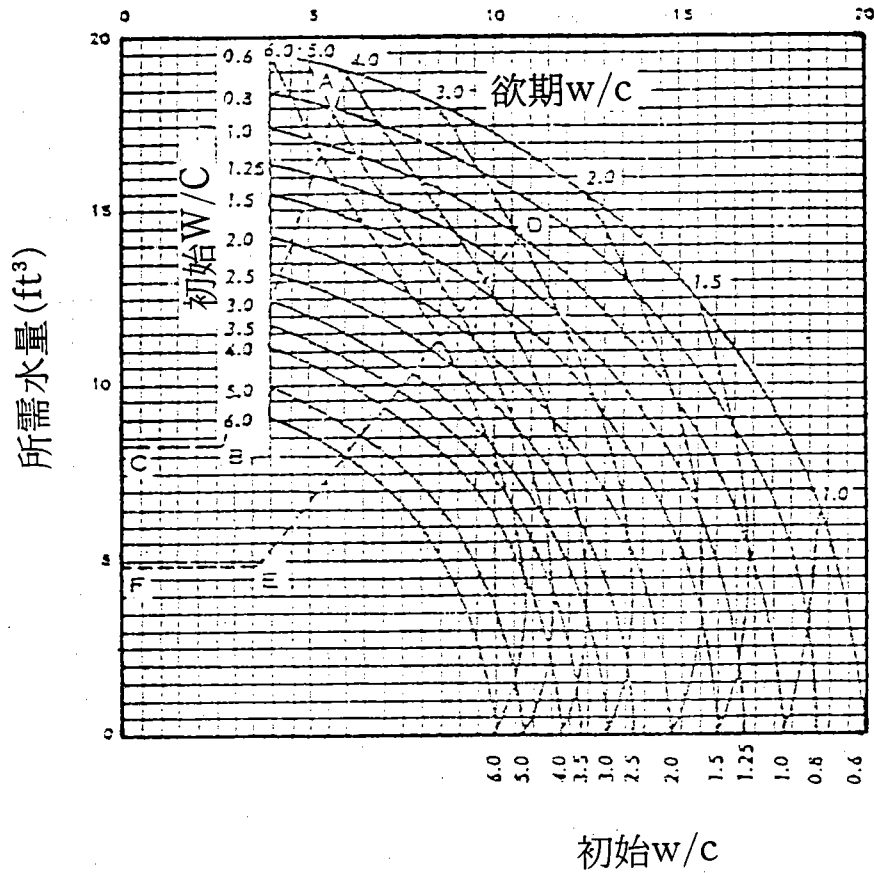
例2. 7ft³之水泥漿，其稠度由w/c=3.0變濃為w/c=1.0時需要4包水泥（如圖中DEF線）。

說明：水灰比(w/c) = 水之體積(ft³) + 水泥包數。

所需添加水泥數量之計算法如例1，由初始水灰比與欲期水灰比之交點(A點)連接左下角之原點(O點)，水泥漿之體積劃垂線交AO線於B點，由左方之座標C點，可知所需水泥包數。

圖十五 黏稠波特蘭水泥填料之計算圖

水泥漿之體積 (ft³)



- 例1. 水泥漿之稠度由 $w/c = 0.6$ 變稀為 $w/c = 4.0$ 時，需加入 8ft^3 之水量（如圖中ABC線）
- 例2. 水泥漿之稠度由 $w/c = 1.0$ 變稀為 $w/c = 3.0$ 時，需加入 9ft^3 之水量（如圖中DEF）

說明：水灰比 (w/c) = 水之體積 (ft³) + 水泥包數

決定所需添加水量如例1，由初始水灰比與欲期水灰比之交點（A點）連接在左下角之原點（O點），由水泥漿之體積劃垂線交AO線於B點，再由左方之座標C點可求得所需之水量。

圖十六 稀薄波特蘭水泥填封之計算圖

HQUSACE1984) 中獲得詳細之壓力填封資料。在開孔之情況下必須設定一最高的灌漿泵送速率，使灌注之填封料能限制行進在合理的極限距離內。而且對工作有良好之控制。大部份防坡堤之孔洞未被砂填滿之填封作業的合理泵送速度約為 $1.5\text{ft}^3/\text{min}$ 規範必須清楚地指示灌注之速率將由監工控制，當填封料不能使用容許之黏稠配比而使之集結，或希望能阻止填封料使之不致於擴散得太遠時，則可能需延遲作業時間，可能延續時間為數分鐘至數小時，每次延滯所灌入之材料數量應控制在滿足所需求之目的上。假使延續之時間很長，而且使用高稠度之材料則在每次延遲前，孔洞和泵送系統都必須沖洗，在延誤期間，承包商亦容許在其他地方上努力工作，而如果延滯為短暫性，而承包商被要求在現場待命，則在合約上應準備延滯時間所需之費用，在單一灌注期間的中間延滯，可能為增加灌漿材圓錐體較快形成所需的時間。

當孔洞完成灌漿工作後，遺留之材料應予廢棄不用，填封料拌合後2小時而未予灌注或已顯示有變硬之跡象時則亦需加以廢棄。

根據合約之規範，分離間隔的填封孔 (Split-spaced sealant holes) 可能為強制性的或可能由於填封料引入 (intake) 之需求，通常分離間隔孔需在一孔洞之兩側灌注，因此所需之填封料之數量將較原工作所設定的極小值為多，倉促塞住的孔洞必須以新孔更換。分離隔間之程序，必須持續至每一新系列的分離間隔之引入物之數量有顯著地減少或直到對特殊計劃引入物，不被考慮為重要之情況。

鑽孔和灌漿不容許同時在一斷面一起作業，在灌注一系列之特定孔已完成且填封材凝結時間已過後，再按需要在斷面上進行下一組孔洞之鑽孔作業。

當天氣相當炎熱之情況下，填封材或填縫材料應避免直接受到太陽照射，溫度最好保持在 90°F 以下，因高溫會加速填封材之

凝固時間，而降低其起作用之時間。

在灌漿期間要經常監視工地，檢查表面裂縫且由其他孔洞收集偵測之資料。應記錄任何滲漏之跡象，例如結構物鄰近水變色。假如滲漏情況嚴重，可能需添加促進劑也許可修正混合物可具防漏功效。縱斷面之概圖必須記下最新的鑽孔、試驗及灌漿作業之資料。必須有現場偵測之資料以評估正進行中之填封計劃及提供未來之參考，在計劃進行期間需持續評估填封之效果，而此評估工作需由工程師與全體施工人員共同努力之結果，若在作業時有問題發生時，需採取迅速之反應解決。在計劃進行中對於需作改變與改善必需保持機動性。

有關Lazarus White先生觀測到由於未作適當的控制，灌漿作業因而造成危險，是值得回憶之事“……當挖出後……僅有少量之灌漿料被發現，沒有人知道灌漿液流到那裏去，所知道的是已經付清灌漿之費用……”

五、濱海結構物修補之規劃與設計

(一)決定結構物修補之需要

在規劃過程之早期，建立明確、定量目標的修補計劃是成功的要素。在一個由碎石砌成的堤防結構物中，懷疑沙的移動之案例中，必須顯示它是結構物的移位，主要是由於砂實際穿過而不是環繞或掩蓋過結構物而造成的。在水中染色液由結構物的一端滲透至另一面時，顯示沉澱物很容易的流穿過結構物。例如，染色液在1分鐘內穿過碎石砌成之防波堤，可假定結構物能很容易地使大量的沉澱物流過。海岸測量在策略上圍繞在疏浚以及氣象的發生，可以顯示出位置、大小，以及沙洲形成之速率，可歸因

於穿透結構物。甚至自然增加的分支河流，顯示海岸沉澱物的移動，主導了一個方向的特色，因為區域水道或沿岸海流有小逆流而由沉澱物在相反方向產生困擾的沙洲是有可能的。地形學上下降區域鄰接結構物的存在，顯示沉澱物是流向結構物的方向。

流通過結構物之物質的數量能形成沙洲，必須在花費清除費用上大於使它移動，疏浚的費用，否則只有……。

在設置的廢棄物範圍，這些廢棄物已接近了它的容量，降低形成沙洲的廢棄物通過結構物，為首要的工作，可以降低應該放置於廢棄場之廢棄物。另一個方法，假設沙洲是由流通過結構物之沉澱物造成的，並不明顯損害導航，在正常的疏浚範圍，有效修補的費用是令人懷疑的。

假如結構物使用年限接近結束，修補的工作可能就不可行了。取而代之，對在修復時，做阻斷沉澱物的設計是較合理的。對已從事損壞結構物的任何修補努力的所獲得之利益，可能對未來規劃修復所需之費用在判斷上會有所損害。

另一影響對修補需求決定之因素是對完成任務之工程可行性。

假如對機動運送鑽孔設備、修補設備，及現地各種補給之供應是過度困難時，這些事實，則在早期規劃過程中就必須注意之。

假如將設備曝露於高度危險，例如，處在低水平結構物而却有高波浪發生時，這些危險造成潛在的費用支出，必須早期注意之。

(二)決定灌入阻礙物內之程度

設計的條件，必須建立阻礙牆以提供保護。修補而降低波浪的傳送，主要依賴於過度的波浪的天候擴展過構造物。用修補來降低沉澱物的流動，並不能適合於對高浪波的設計，但是可以是

目前以及最後輪廓共同相生沙在結構物的一端，而另一端為通道。

假如結構物已經修補只能防止沙的傳送，則存在的沙層必須首先要穩定。在沙的穩定以後，阻礙物必須建造在波浪的最高點，且高過沉澱物目前流動的高度，沙層也應該從底部穩定，充份的阻止沉澱物由上而下穿過結構物。

灌漿可能不得低於結構物底部，除非要穩固地基。假如沙及波浪能量傳送是現場的問題，那麼含有空隙的修補範圍必須超出從穩定沙層的頂端而到平面高水位的範圍。

修補時所築成的阻礙牆長度，必須將沉澱物穿透或波浪傳送之位置給予標劃出來。除此以外，阻礙圍牆必須橫過會變成問題區域的所有位置，由於這些問題區域，在底面任何變化或因碎角產生修補結構物之水力性質的改變。最後平衡海岸線必須不能立於防波堤已修補之側。

(三)初步現場調查

調查現場結構物要修補的主要條件是岩石的大小以及碎石砌成結構物須修補部份的型式。這些特性提供了有關空隙大小，以及空隙與空隙間之流通程度，填沙後空隙的百分率，以及用水或空氣填充後之百分率的資料。水流通過修補範圍的速率、PH值、鹽度以及填充物之水溶液溫度，也可推知分區對結構物灌漿的可行性。

這些因素，可經由試驗性的合約來評估，諸如做一些已選定的孔洞來鑽孔及調查。這些工作可顯示未來鑽孔的容易，諸如了解並不經常可知因為岩石種類以及不規則表面定位在深度，可能出現困難。有關表面高度以及結構物內砂的孔隙度的資料，不只對計算修補材料所需之體積以及決定流動特性的需要，以及修補材料之凝結時間是必須的。在修補之前不論是否指定沖洗孔洞，

在場地之砂能被決定在試驗中的計劃中使用。從鑽孔記錄，估計岩石與岩石之間的空隙大小是可能的，限制於一個方向的量測。數據收集，必須相關連以及其分析是有益的。在這一份文獻中顯示之資料是刻意用來做為修補之參考指針，而不能取代合格工程師、技術人員，以及包商的經驗。

PH值、鹽度、修補材料要灌入的水溫，以及拌合用水之水溫，這些因素是所知會影響修補材料混合物的穩定性以及耐久性。有了這些因素之知識，會導引出一個非常有效的修補材料之現場測試。初步的測試必須也包括材料之可幫浦性、灌漿性，以及混合物之凝結時間。修補材料的現場測試，沒有其它方法可代替在修補工作上之記錄。

(四)修補材料之設計

主要因素影響對填充碎石而砌成之堤防空隙之修補材料之設計，包括

(a)在定澆置期間，利用水來稀釋以及擴散、移動通過結構物之可能性。

(b)修補材料與結構物材料之一致性。

(c)須填充之空隙大小。

(d)使用修補材料之高度。

(e)灌漿質量的不變性。

將上述這些條件聚集一起，這些因素限制了修補混合物在澆置後需具有高度黏著，然而，修補材料之流體在低壓幫浦下能足夠地被移動（比水流過空穴之速率還大之速率流動），具有較快的凝結時間、耐久性及穩定性、經濟性。

因為水泥及添加物有許多不同的性質，試驗室測試時，被建議做測定沉澱物的特性、泥漿密度、Marsh黏度、Vicat針測凝結時間。

Deere也注意到必須遵行特定的步驟在利用Marsh漏斗測定明顯的黏度，不同尺寸的漏斗產生不同的數值，量測特定修補材料之黏度，已被決定使用普通的漏斗來測量。事實上，Marsh錐數值，反應出修補材料流變性質以及錐的邊界粗造度的相關組合。

事實上，修補材料之黏度能很容易從漏斗黏度計測得，假如知道凝結力。Lombardi設計一種簡單方法來測量凝結力，藉由黏度。這種黏度針，包括一片粗造的鋼片、重量、尺寸已知，埋入修補材料內，然後秤重。這樣在鋼片的兩面會生成一層厚度，這是所謂單位重量之凝結力。

修補材料注入穩定砂土時，在低壓下，必須具有穿入沙層內幾英尺之距離之能力。修補材料必須具有一段凝結時間予允許材料之注入，降低擴散之損失，以及在化學環境下的穩定性。

在部份目前之研究調查，將發展設計修補材料之指針，以及建議生產適合海岸使用性質之修補材料。

(五)灌入程序規劃

灌入時，阻擋圍牆之厚度，理論上是較不關切。二維有限薄厚度之阻擋牆，必須像高厚度之阻擋牆一樣的有效力。然而，修補材料的灌入，造成三度空間的封閉空間。最佳的修補孔洞的空間決定於鑽孔的費用支出、修補材料的用量、次表面的條件，以及材料費用，對經濟上修補計劃有決定性。

選擇修補孔洞空間之圖表只用來做為指導用。經驗已經證明，用分開空間之技術是最佳的澆置上的安排。

在防波堤上用修補的有限工地經驗，顯示在初步灌漿的孔洞有10英尺直徑之孔洞在結構物之頂點，排成一直線，有良好的結果可獲得。

在填充第一批的孔洞後，第二批的鑽取孔洞及灌漿，以5英

呎直徑大之孔洞空間，在同一範圍上排成一行。實際上就現地構造物上使用小於2.5英呎之孔洞空間，用來灌漿修補之實例是無法知悉的。

包商必須有能力且快速地評估及修正補充材料混合物之黏度，當它被灌注時。因為空隙間之流通數量，它可能不能權宜地先填滿一個孔洞，然後再抽出灌注另一孔洞。分階段填充鄰近孔洞的方式可達成最大經濟效應。

假如須用砂來填充灌入之地帶（範圍）是乾淨且品質良好，其灌漿性很足夠，則用砂來修補結構物較從孔穴內沖洗砂來填補較好。否則，砂必須沖洗出來，然後用修補材料取代用砂做成的砂混凝土，用來填充較大的空隙，基於經濟考量，必須使用之。通常使用水泥、砂混合物來首先填充較大的空隙，然後使用砂來填滿剩餘的空隙。

在發展評估修補材料所需數量上，還有許多工作需要被執行。在一現地應用上，對修補碎石砌成之防波堤所需之淨數量，非常靠近估計數量值。這件事發生於估計值以理論上之體積（6英呎寬，以設計長度及修補阻擋牆之高度為準），加上百分之三十之因子給空隙。In-place費用應該用來對不同修補材料費用之比較。

這些費用不只包括所有實際修補材料，也包括鑽孔、幫浦、設備、人工及監督的費用。由於缺乏黏度或凝結時間之控制，而產生延誤及材料之損失，也會影響最後的費用。因為這些理由，趨向考慮使用非常昂貴的膠質溶液之修補材料，以及使用較便宜的懸浮固體修補材料並不總是正確的。

(六) 工地施工步驟

施工設計說明書影響工地施工步驟很大。在一些案例中，施工說明特意留給現場修補監工來做決定。在這些例子中，具有工

地監督，且工地監工有充份的修補經驗時是有優點的。Corps強調，修補的步驟，必須由Corps中對修補方法有經驗之督察員來監督執行。然而不利之處是，一些設計的責任已由設計者身上移轉至現場執行修補的監工身上。這些監工必須知道，他現在的決定必須牽涉到設計者之Input。

在其它例子中，施工說明書可提供很清楚且詳細的指標對於修補孔洞之佈置，泥漿之設計、運送等。設計圖及施工說明必須精確地顯示出孔洞的位置、修補材料設計之成份，及每一後續步驟到標準規範，對決定足夠的修補材料的分散及連續性。這些較接近的要求，設計者須要有充份的現場經驗，因為大量的修補程序尤如像藝術，像科學。

一旦，水泥漿混合已在現在開始混合，混合物必須定時的檢查。建議混合物每一小時取樣一次，每一試體做3次試驗，包括(a)水泥漿之溫度(b)用泥平衡測水泥漿之密度(c)Marsh漏斗黏度。線上連線核子密度儀器也可測出密度值及藉由相關係，可顯示W/C比、黏度，及黏結力。這些數值會顯示在品質上，成份比率及混合步驟上需要做調整。

假如黏土使用在修補材料上時，黏土必須事先與15%（重量比）的水混合以及2小時的老化在加入修補水泥漿前。這步驟是需要防止含鈉黏土相變化至含鈣黏土。當使用海水做為混合用水時，黏土為修補材料成份之一時，attapulgate取代bentonite。

整個修補作業中最重要的部份就是保留能對這類工作勝任的包商，他能盡責的知道，在表面下發生的情形及做必要的調整。修補材料的流入到接鄰的孔洞或從結構物的他端流出，必須監視去調整混合物或注入的步驟。

六、對由碎石砌成之濱海結構物修補之 評估及施工說明書

在最近防坡堤修補的努力上，Corps在做普通水壩基礎修補時，對所需鑽孔及灌漿數量之不準確估計之程度上，沒有實際經驗。後者估計之不準確，造成在契約上發生爭議這些爭議主要基於要求不同現地條件。

然而，海岸工程師無法被肯定能防止這些困難，當他們在使用較均勻修補材料下進行修補工作時。

習慣上建議在基礎修補上降低合約上之困難而被利用在濱海結構物修補材料數量上之估計以及合約條文之訂定。1985GWU報告上建議，增加利用Corp之鑽孔及修補能力，特別是對於修補工作，尤其是先前之設計調查。

第二建議是在基本的估計上要執行更詳細的現地調查。第三建議是發展對估計鑽孔及混合物數量有更好之方法，猶其是對混合物之數量。第四建議是注重需要改善之面積，以及契約上之手續。事實上，上述四項建議應該是可混合組成。

(一)測試計劃

1. 鑽探之評估：

鑽探計劃中鑽孔測試之評估是在準備修補混合物數量估計上之基本本工作。

2. 灌入試驗：

在中大型計劃中，在估計修補材料需求量上最可靠的方法是在特定的結構物上做原型尺寸之測試計劃試驗。結構物選擇測試之範圍必須能代表全部計劃的條件，且必須能廣泛地允許對修補計劃有效性做充份的估計。

3. “單位耗量”之估計：

有一種方法經常被使用在對岩石鑽孔及修補計劃準備之詳細評估，叫做“單位耗量”方法。海岸應用採用這種方法時，被修補的範圍要分成水平及直垂地帶，每一地帶，基於岩石之大小及空隙是否被沙填滿或不填砂，要有不同的滲透性。要完成每一範圍及地帶之工作，需經由許多次之分開空間孔洞方式之估計。每一孔洞所需之補材料以每英尺大之孔洞所須 ft^3 量為評估量。

在這種修補方法上必須憑藉個人的修補經驗在不同評估方法上之結果，做一有判斷力（決定性）之比較。

(二)最後簽約

1. 簽訂合約步驟：

由工兵署做假設下的風險情況下，工兵署修補計劃之合約型式及條款，必須首要提昇工作品質，其次是適時的完工。不同方式之付款及誘導工作品質的方法都有現成的。

Albritton, Jackson, and Bangert 查閱過水壩基礎修補情形後，建議要注重做 Service-type 的合約而不是建造水壩的合約。執行施工說明書，雖然具有節省政府費用之潛能。但在一些種類之合約上，看起來並不適合次表面之修補，當操作無法正常地正確地確定。只有確定工作之品質之方法完全了解。放棄使用傳統合約之方法是不鼓勵的，理由是對於不同工地條件或其它相關合約內容不被老闆或法庭所接受。使用較詳細之施工說明似乎較不實際，因為詳細次表面條件之知識是沒有現成之資料可查。修補之監工必須能自由地做工地之決定。

當時間允許時，且牽涉到 State-of-the-art 技術時，兩階段正式之公告可能是有利的。步驟是：(a) 從有眼見包商評估技

術提議，(b)基於價格競爭，在這些提出滿意技術提議中，選擇工程包商。

事先對有能力之工程包商資格化之選擇，可能是較受益的，假如修補材料是另一分開之合約以及假如修補工作是充分複雜時。

基於上述所言，傳統的合約說明書看來對Corp較好。選擇方式包括支付工程包商之費用，支付修補材料之費用，或上述之組合選擇。對一些量測評估付費，Corp可維持對工程包商之方法，包商可肯定獲得之利潤，補償費等明確規定之監督。雖然計劃費用可能無法縮小，包商失去移動孔洞之誘因，致使混合物灌入很慢，或是要求不同工地條件（當修補材料平均需求量，並沒有在合約書上註明時）。

假如修補計劃要與復建或建造一起執行時，修補工作是一般建造合同之一部份，或可以在分開個別的合同下來完成。這兩種方法各有優缺點。在一般合約下執行修補工作降低合約上之困難，可能是由修補工作及其它活動所產生之干擾而引起的。利用再生資源之經濟觀，也被包商了解時，假如人力及設備在沒有修補材料幫送時也能在其它的工作上使用。假如一般（總）包商將修補工作轉包出去，包商代表在契約上又從次包商中移開，則它非常困難去管理及維持操作控制。在個別的合約下完成修補計劃，允許修補專家為主要的包商，但是這可能導引包商與另一修補包商間的干擾。操作的次序，必須先做好規劃，以及包商間有全面的溝通管道。

2. 合約說明：

因為不可遇見的工作條件之風險，隨時修改設計變成是必須的。政府與包商間引起之糾紛必須減少。Corp申訴委員會決定之訊息，似乎立刻可知，不同工地條件（理想化在現地水準下），當超出或不超出與廠商談判一個改變的單位價格及避免費用的要求。

不同工地條件之文字條款是一般做基礎修補包商之要求。爲了緩和問題，Corps在合約上(a)包括文字顯示鑽孔數量之多少以及不可預知需求修補之情形。(b)使用詳細分類項目提供各種不同須求數量（這種方法提供每一項目二種不同的價格）。由於對風險的假設以及因爲引用正常的步驟及適當的記錄他們，是對數量控制的考量，Corps已在合約上已明載要求包商遵行在現地之營造工程人員之現地詳細的建議。在修補之轉合約中可能會引起之困難，就是Corps沒有與他們的修補專家有合約的關係。

Corps通常使用以鑽孔及修補數量之單位價格之肯定、固定價格之合約。那種合約沒有使Corps有興趣，因爲那種形式之合約較適合修補工作在簽約訂價前，已全部定好了。

爲了要緩和由實際上與評量上重大差異而引起之問題，特別是已經被引用之規定差異估計數量及細分項目，這些都是造成問題的來源。主要的要求可以用現場水準友善地來解決，假如正常的使用數量差距及單位價格可談判且一致的，當在計劃求準數量大於115%或小於85%之估計量。

GWU報告中從一份隧道合約中重述三個結論：(a)乙方非常有興趣且有效地進行現場調查，然後做一份完整的報告給競標者。(b)否認合約文件內容在法律上不具效力，誠如在一般的情況下做不公平且不能辦到的事情。(c)合約文件及手續上能提供一些決解方法對於不確定及不知道地質程序或條件在建造之前或已進行中，而不是在建造以後。因爲許多包商的要求由於合約內部份文字內容，因此非常有價值地在GWU報告中建議：(a)去除從灌漿施工說明書上之否認如：“在施工圖上所顯示之計劃及說明只是用來開標用的”鑽孔及灌漿之數量實際上之需要是無法知道的，且將由所遭遇之狀況來主導。(b)包括一份真實的說明如下：在施工圖上所顯示之計劃及說明基於目前所擁有之質料。在建造過程中所遭遇之狀

況如可能需要增加或減少。(c)當灌漿是屬於轉契約時，增加一份真實的說明文件如下：灌漿計劃不能被修正或縮短而當成一個建造之權宜。這是設計的一部份，不能變成次要的時間表之限制。這些建議只是其它合約內容的一部份，包括有關的合約手續，使用材料之能力，以及更詳細的現地調查，以及改善評估的方法，作者所強調的必須全盤考慮而不是分開的。

3. 開標項目：

機動化及不能機動化是組合所有須要現地鑽孔及灌漿設備及移動的一個大項目。對這項的付款並不依據鑽孔數量及修補執行之情形。契約條款可能定為當包商移開設備時先付部份款項，當整個工程完工時，上及設備移離工作場地時，再付餘款。

開標項目必須準備有每種需要鑽孔形式，例如修補孔洞之鑽孔，鑽心取樣之鑽孔，鑽取硬化材料及其它。假如須鑽取多於一種孔洞大小之孔洞時，則每一尺寸之孔洞之各項開標項目都需要開標。規劃及施工說明必須指示清楚位置及要做之工作程度，及必須顯示限制深度及所有孔洞傾斜度。以每呎鑽取孔洞之費用為標準付款之單價，但是較佳的全程付款方式是由Corps做一些鑽孔的監督來衡量。水及空氣對鑽孔及修補或任何輔助操作，並沒有個別分開付款項目。包商應該是在每一項下吸收空氣及水之費用。澆置修補材料之費用必須包括工資使用之設備及必要之補給來混合灌注修補材料進入一孔洞。假如引用階段修補方法，可能也包括清除修補材料在完成修補階段。澆置修補材料之費用，有時候是以灌入之材料體積給付（上每 ft^3 之固體）。不知實際使用之修補材料數量時，估計混合物之數量是必須的。以每小器支付灌注之費用，在許多案子可能更能滿足實際狀況，且它必須包括工資，以及使用之設備費用。

假如必須使用非常精細的混合物與修補材料時，另一付款方式是付全部灌入之體積（包括水）。這可確認包商非常公平的被補償因為長時間需要灌入小量的修補材料。假如混合物之澆置是以單位價格項目計算，那麼必須了解包商有可能受到不公平待遇的劣勢。

分別的開標項目必須提供混合物內之每一成份（除了水）。固體材料通常以 ft^3 或磅為支付單位，液體材料則以 ft^3 或加侖為計算單位。對混合土之澆置，一包水泥被認為含有 1 ft^3 之體積。這項目包括所有的費用之支出，諸如採購、運送、處理以及在現地、儲存各種成份以供隨時取出之費用。

七、現場施工經驗 (Field Experiences)

近年來本工兵團對於防波堤之孔洞堵漏有許多之施工經驗，如1984年，佛州的棕櫚灣港南防波堤之堵漏，1985年加州的Buhne Point之防波堤 (Groin) 堵漏，1988年佛州的大沼澤地港 (Port Everglades) 南防波堤的堵漏，維州的Milwaukee港的南防波堤的重建。1963年，瀝青材料成功的應用於紐州的Ashbury Park，1983年利用瀝青混凝土應用於多明尼加共和國的防波堤工程上。1959年加州的Mission Bay的部份北邊及中段之防波堤上水泥與砂的混合材進行堵漏工程。這些施工經驗分述於下。

(一)、佛州棕櫚灣港，南防波堤的堵漏—

(Palm Beach Harbor, Florida, South Jetty Sealing)

1984年，佛州棕櫚灣港南防波堤主要的問題係堤內之砂流失且流入航道內。自1978年起每年均在南防波堤側的航道上生成砂洲，此砂洲數量很小（僅25,000立方碼），但會嚴重影響吃水深之

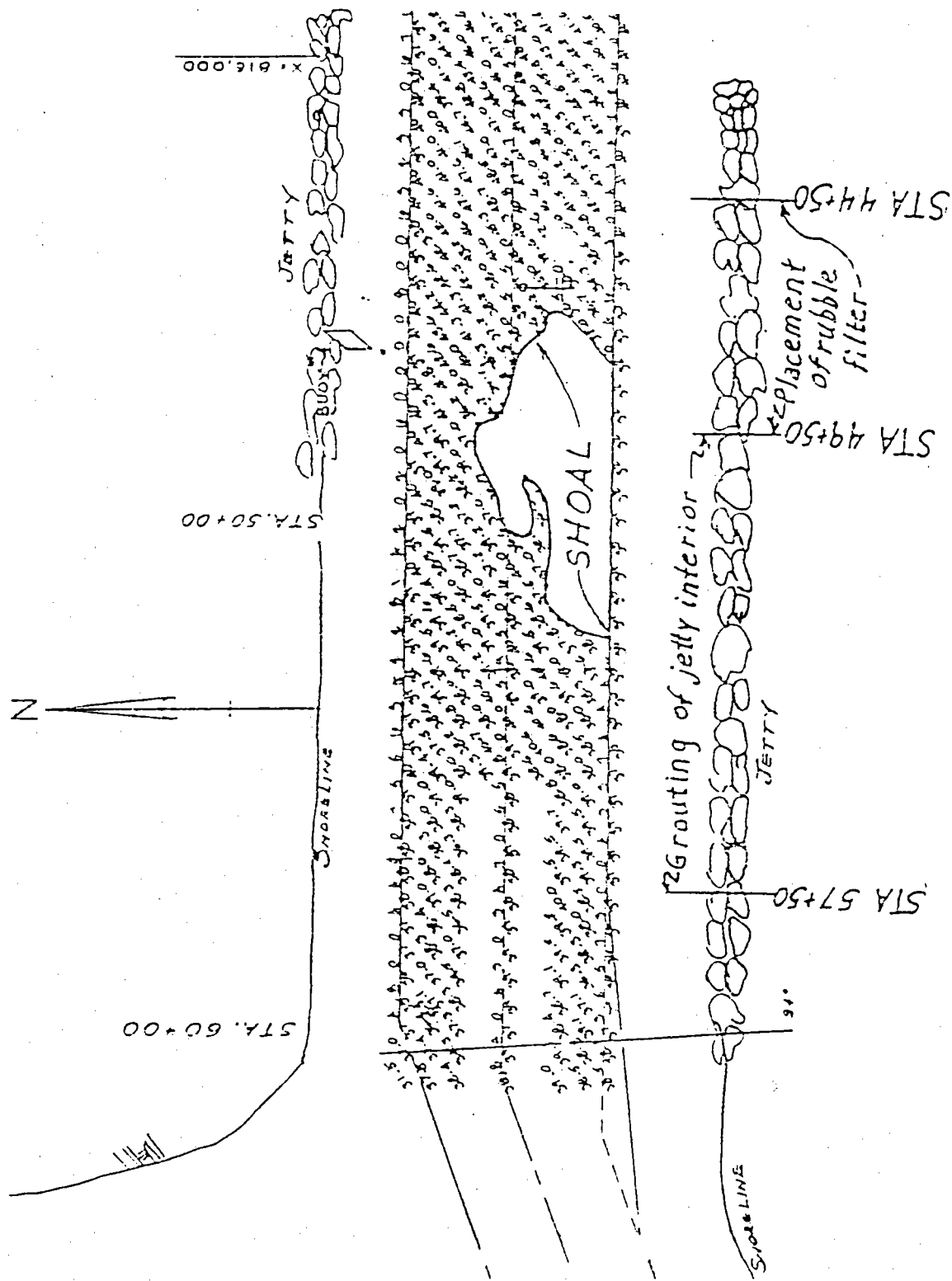
船隻進出該港，平時該航道水深約－30呎（mlw平均位低潮），較實際水深－35呎少5呎，但迫使一些航商使用吃水較淺之船隻，而增加其成本。挖泥的數量很小，但是每年約需挖泥而使單位成本提高。

本工程係從南防波堤的Sta57+50到Sta49+50（如圖十七）作成一道屏障（barrier）以防止砂的移動，先從水深－6呎到－10呎，再作到水面，然後在南防波堤Sta49+50至Sta44+50之靠海側作成一碎石濾層，再以消波塊保護。

原計劃中使用兩種堵漏劑（sealant），將 $\phi 2.5''$ 之套管放入已鑽之孔中（兩孔之間距不超過3呎），將堵漏劑從防波堤之頂部利用前述之套管灌入。第一種堵漏劑是矽酸鈉與鋁酸鈉之混合物。第二種堵漏劑是矽酸鈉、鋁酸鈉、水泥及水之混合物，這些堵漏劑視現地之狀況與砂混合或灌入砂內。施工方法必須在結構體之中央鑽達到設計深度之孔，以放入 $\phi 2.5''$ 之套管，爲了保證能形成一屏障，各孔之距離不得超過3呎，而堵漏劑以下述之方法灌入結構體：

- a. $\phi 1''$ 之管子放入套管內，在灌入矽酸物之前先以砂水之溶液灌入孔洞內，將套管拔起後，將矽酸物之堵漏劑從 $\phi 1''$ 之管子灌入。
- b. 經由套管將堤內之砂以水清洗，如果使用第一種堵漏劑時，一種水砂之混合物將灌入堤內與該堵漏劑混合，到整座堤灌滿後將套管拔出，如果使用第二種堵漏劑，則矽酸物堵漏劑與水泥與水之混合物灌入堤內，當堤灌滿時，套管須再搬移。

防波堤Sta53+50之陸側部份均填滿了砂，可使用方法a，Sta53+50之海側部份可使用方法b。化學堵漏劑所需之數量，係依水深自－10呎到水面，而寬度約6呎之屏障來計算。實際上僅需窄窄的屏障就可防止砂之移動，爲了保證能形成連續性的屏障，在需堵漏之堤上沿中線每隔3呎鑽一孔即可。



圖十七 佛羅里達州棕櫚灣南防波堤之堵漏計畫平面位置圖

在本計劃中，鑽孔之間距改為5呎，防波堤內部之砂會與矽酸鈉、反應劑、加速劑等之混合物產生化學性之堵漏，防波堤內之空隙地帶會被含有水泥、砂、水與氯化鈣混合物之堵漏劑充滿。

依據合約之要求，所有之孔洞均需被水泥砂之堵漏劑填滿。鑽孔完成後，灌漿管放入孔內，直到孔洞之最低處，水泥砂之混合物以深度每一呎之增加量灌漿一次，同時將灌漿管拉起。爲了完成6呎寬的屏障，這所需堵漏劑之數量，每1呎高度約需18立方呎。

等到水泥砂之混合物穩定後，則化學性堵漏之砂會填滿孔洞，以使在鑽孔至防波堤設計之最低處，將灌漿管放至最低點，則按每1呎高度之增加量灌入12立方呎之化學堵漏劑，最後是以水泥砂堵漏劑將鑽孔回填。

在工地，曾試過不同成份之堵漏劑，將18立方呎之混合物灌入3個洞內後，這規範所指定之水泥砂混合物能完全地分散 (dispersed)。黏度 (viscosity) 隨bentonite量增加而增加，2,044立方呎之混合物灌入約百分之十之效果即產生。

由此可見業主對在施工時發現以輪流交換灌漿方法，將可得到最好之堵漏效果，同時亦需注意不要將堵漏劑從內部石頭中擠出，如此會改變防波堤之消波效果。

(二)、—Buhne Point, California, Groin Sealing—

依照Buhne Point海岸線沖蝕計劃之第三階段，建了二個塊石防波堤 (Groin) 一座與海岸連接，另一座係舊的防波堤之延長，每座新建之防波堤均有砂流失之問題，於是發展出混凝土灌漿之設計。

本工程擬鑽 $\phi 4"$ 之孔直到防波堤之底層1呎處，係以Schramm旋轉式及Chicago空氣縮壓式鑽機鑽孔，大約90%之孔係以旋轉式鑽機施工，但是因機械性之問題30%之孔是採用

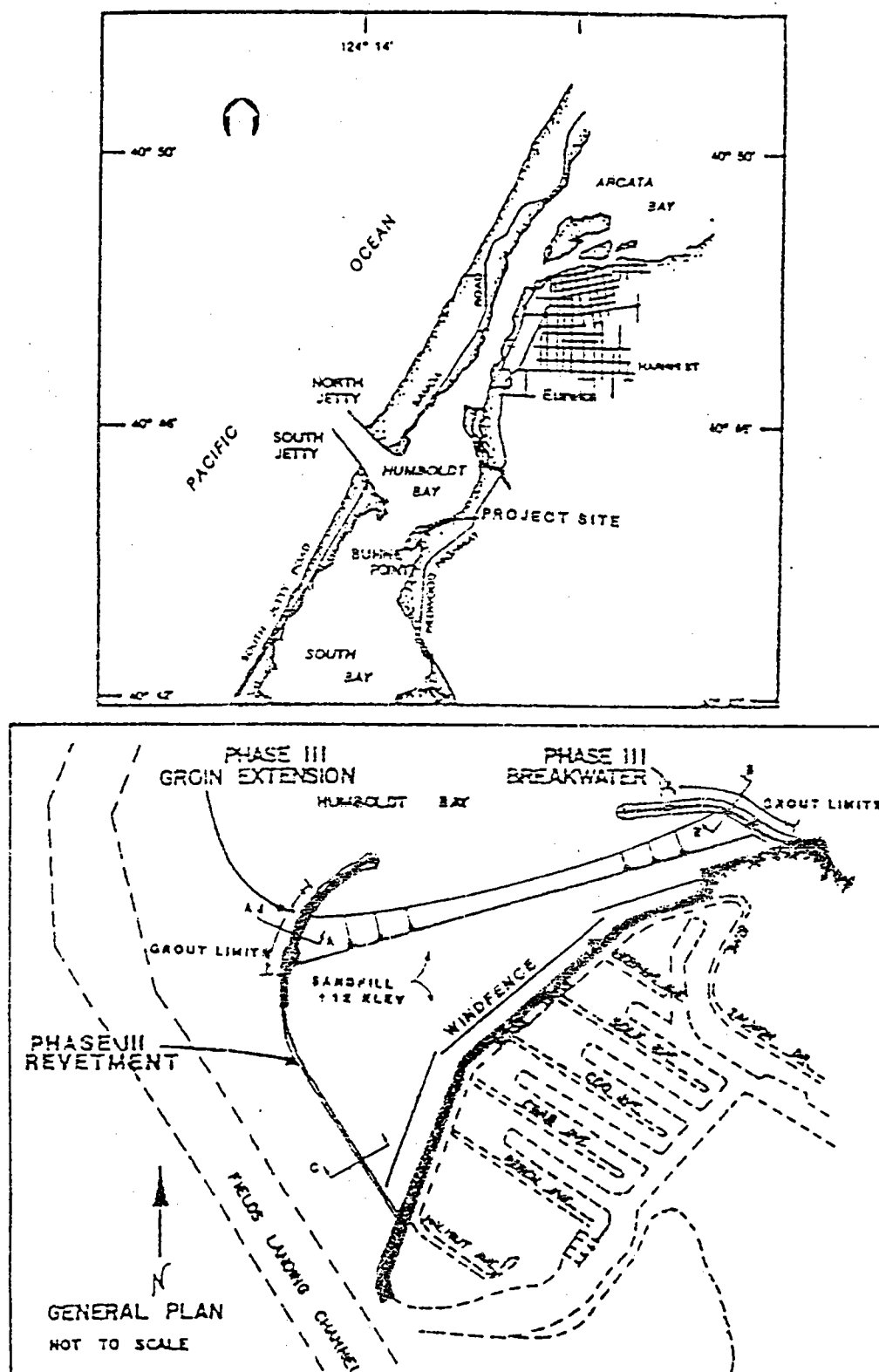
$\phi 6''$ ，空氣壓縮式鑽孔，鑽孔之直徑約為4"，全部共鑽孔6332呎。

所有之孔均鑽在防波堤之中心線上，並分多次施工完成，圖十八示施工之位置，第一階段以每隔10呎鑽一孔，第二階段在前二孔中鑽（即每5呎一孔），第三階段在前述二孔中再鑽一孔，（即每2.5呎一孔），在延伸防波堤上第一階段以每隔5呎鑽一孔。堵漏工程係以雙活塞之泵，並以 $\phi 4''$ 之線連接 $\phi 3''$ 之橡皮管接著外徑3"之特密管（Tremie），混凝土輸送車停在防波堤上接近須灌漿之孔。依據合約這堅硬之管要能保證堵漏劑能完全充滿鑽孔之內路，因為鑽孔深度約14.5呎，當灌漿到接近洞口頂部時，將導管抽出，發現堅硬之管及連接軟管變成很難處理，因此將特密管縮短成約3呎將導管及軟管插入鑽之孔內，將特密管放在約14.5呎深孔之底部，如此則施工良好。

原配比設計之混凝土在現場無法以泵輸送，須加以修正，修正後如下（係一立方碼之配比），灌漿之情形如圖十九

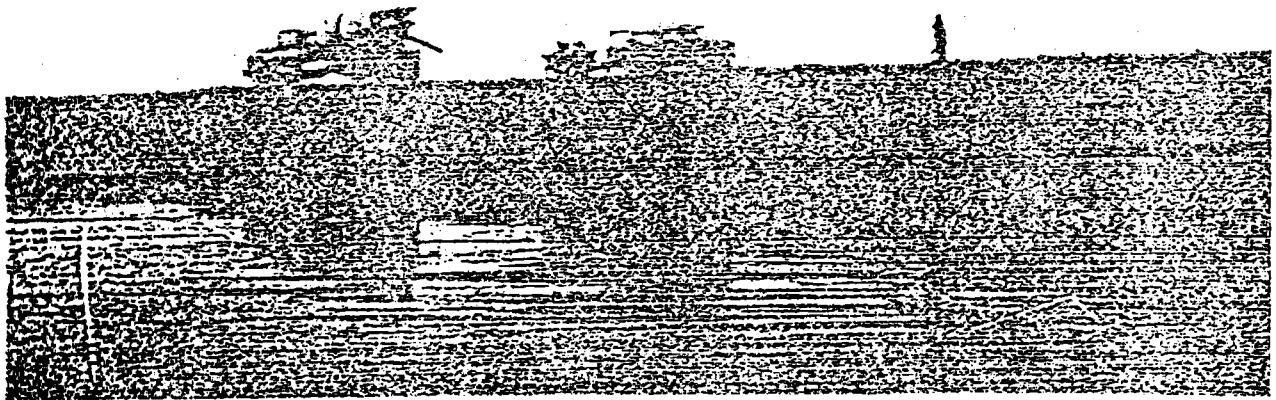
材料	設計值 (1b)	修正值 (1b)
粗骨材	1,000	1,115
細骨材	1,450	1,655
水泥	705	705
土	305	37
水	500	371
氯化鈣	15	15
空氣	—	0.41

修正配比後之混凝土其坍度增加為5"，在防波堤上每隔10呎鑽一孔之情況下，依計算平均每孔約需7立方碼之混凝土量（水深14.5呎），檢查結果顯示須增加灌漿量，在第二組鑽孔時灌漿量每孔約5立方碼。在高潮時及4-ft海浪時檢查顯示，在高程+6呎（mlw）以上有許多漏孔量約1立方碼。結果統計在Sta0+40及Sta7+00之間每隔2.5呎鑽一孔，共計256孔。



圖十八 美國加州Buhne Point, Humboldt

港之防波堤灌漿填封計畫平面位置圖



圖十九 在美國加州Buhne Point, Homboldt港之防波堤執行灌漿填封作業情形

舊的防波堤係以碎石為本體之結構，所有之鑽孔約1呎或7呎深，其間距約5呎。堵漏劑灌入後，在每兩孔中間再鑽一孔，同樣地灌入堵漏劑，在所述之孔中，平均每孔約需1立方碼之堵漏劑。

防波堤延伸部份，鑽孔及灌漿分成二階段，第一階段包括每5呎鑽一孔及灌入堵漏劑，灌漿管每孔約需2立方碼。第二階段則在所述之兩孔間鑽一孔及灌入堵漏劑，灌漿量每孔約需1立方碼，工程完工後，經檢查發現在全長1,200呎之堵漏防波堤中，有25~30處可能有缺失，以上之缺失在平均低潮水位 (mlw) + 5呎之高程以下未被發現，大量砂之流失亦未被發現。

現場人員及工程相關之需求如下：

- a. 有關現場應用之混合劑之行爲需多瞭解。
- b. 觀測孔及灌漿孔之直徑最少需6"。
- c. 連接之防波堤之砂之灌注，須在堵漏完成後才實施，如此使得孔內之back-washing較易。
- d. 考慮使用較硬而能接近到孔洞之材料於防波堤下風處之表面，如此能較易計算堵漏材料之使用數量。

(三)、—佛州大沼澤地港之南防波堤堵漏—

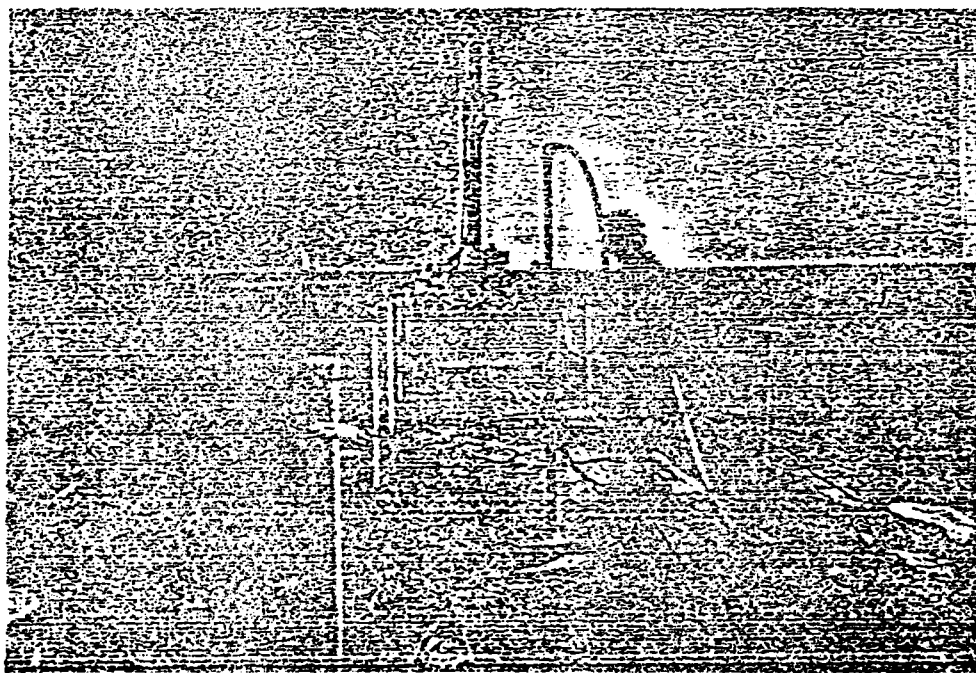
(Port Everglades, Florida, South Jetty Sealing)

大沼澤地港係佛州東南海岸之Broward郡之聯邦航海計劃之一，它位於邁阿密港北方23哩，棕櫚灣港南方48哩，舊的計劃內容含一水深40呎寬500呎之航道，航道之最窄部份在兩碎石外防波堤之間約37呎水深，300呎寬，由佛州及Broward郡提出之維修計劃，包括大沼澤地港南堤之堵漏（利用水泥矽酸鈉之堵漏劑）及南邊沙灘之回填。

1. 問題地帶之概況

該港之南防波堤係一1,000呎長之碎石，底部寬約30呎，頂部寬約11呎(如圖二十)，結構體之上部有一5呎寬之瀝青釣魚通道。此地帶之淨沖積物由輸送量 (sediment transport) 計算，每年約50,000立方碼，而總共之沖積物輸送速度約是淨速之20至40倍，

(1986年Broward郡環境品質控制部)，1977年該堤南部之天然和人工海灘均有高沖蝕速率發生以及該堤南段大量之fillet流失，顯示出該堤有孔洞，使得來自北方的流動之海岸物質穿過防波堤



圖二十 美國佛羅里達州Everglades港南堤填封作業

進入航道。由Broward郡執行之染料研究指出該堤有許多孔洞，主要的是在落潮時，每年至少有5,000立方碼之沖積物穿過該堤。南防波堤南方之1.5哩之海灘之養灘及該堤之岸側700呎之堵漏計劃被認為是有價值的。

2. WES現場觀測 (WES Field monitoring activities)

大沼澤地港南堤堵漏維修之發展提供3WES大規模的觀測堵漏工程之價值性及與WES REMR正進行中之研究計劃之成果相結合。這觀測計劃之目的係以定性及量化的評估，該堤在堵漏前及堵漏後，(通過該堤之沈積物數量及通過之海流速度)，觀測計劃之三個階段規劃如後，(a)現場勘察，(b)堵漏前之觀測，(c)堵漏後之觀測。現場勘察及堵漏前之觀測已經執行，且堵漏前之觀測數據已分析出來，堵漏後之觀測已執行，但目前數據尚未分析出來。

(1)現場勘察 (Reconnaissance survey)

現場勘察之目的係蒐集該南堤之基礎，海流之資料及海灘附近之潛水量測法，以提供以後觀測之最好規劃。特別是蒐集下列資料。(a)結構物孔洞之位置、方向、照片等，以利於日後海流儀、沈積物捕捉箱之安裝，(b)該堤南、北方之海床特性，及照片，(c)漲、落潮時，通過該堤之海流狀況。(d)漲落潮時通過該堤之染料分散狀況之細節及照片。

(2)結構體孔洞 (Structure voids)

1988年6月27日，利用抽排裝置 (Snorkeling Gear) 檢測南堤之南、北方，發現到很大的孔洞一直延伸到堤內，南堤南方之孔洞可安裝海流儀及沈積物捕捉箱作為堵漏前，堵漏後之觀測用。利用水上照相機拍攝所有之孔洞照片。安裝海流儀及沈積物捕捉箱之孔洞需深入堤內，且至少在潮汐地帶需部份深入水中。孔洞之位置約在計劃回填海灘之趾部 (toe) 上部 (crest) 及舊的暴風雨破碎線 (storm breaker line)。

(3)通過結構體之染料分散性 (Dye dispersion through the

structure)

在二次漲潮及一次落潮期間，執行三次染料分散性試驗，裝有石塊之特砂袋中放入的 $\frac{1}{3}$ 杯之螢光黃染料，能使染料在試驗中能連接提供。染料能儘量安放在結構體之中心，且染料之分散性按時繪製成圖，大約2呎高之浪，在向海岸線45度角時會破碎，這試驗確定一部份之染料會通過結構體進入航道。

(4)通過結構體之沈積物輸送 (sediment transport through the structure)

利用簡單之瓶狀懸浮式沈積物蒐集器，長形捕捉鼻及盤式蒐集器進行多次定性及定量之通過結構物體沈積物輸送量測，1988年6月27日在海床、海中、海面上利用8-oz之瓶子在海堤之南方進行懸浮沈積物之蒐集，其結果數量各為2克、1克、0.5克。

三、防波堤之堵漏規劃 (Jetty sealing design)

本工程必須使自Sta0+00至Sta7+00之防波堤中心線生成一堵漏屏障以防止海浪及沈積物之滲透。灌漿孔每隔3呎鑽一孔。空間僅以水泥矽酸鈉溶液堵漏。該防波堤係以花崗岩及石灰石組成建在砂或堅石上，該堤上部10~12呎寬，4" ~12" 厚之碎石底層之瀝青釣魚通道。在sta 0+50之陸側之許多石塊間之孔洞被砂填滿，但海側之通道下值得注意的孔洞，該堤之石塊是不規則之大小及形狀，因此鑽孔至合約深度是很困難的。堤內之砂需與連接之海灘上之砂相同。

在防波堤上及瀝青釣魚通道上之堵漏孔之鑽孔係以標準之鑽孔設備施工，使用之設備要使得鑽孔之速度不得延誤工期，鑽頭之直徑大小需在鑽孔期間能有效的從孔中有效地排水，最小之鑽孔直徑為3.5"，堵漏孔之鑽孔必須儘可能垂直於(a)自Sta0+00至Sta2+00堵漏孔需鑽至-3呎mllw，(約12呎深)，(b)點Sta2+00至Sta3+50，堵漏孔需鑽至-8呎mllw (約13呎深)，(c)自Sta3+50至sta5+50堵漏孔需鑽至-8呎mllw (約14呎深)，(d)自sta5+50至7+00，堵漏孔需鑽至-10呎mllw (約17呎深)。

在瀝青釣魚便道及自然砂高程頂部間之孔洞以水泥矽酸鈉堵漏劑填充，堵漏劑之成份將隨所填孔洞所需強度而變。爲了能使堵漏劑不會在工作中間被海浪沖失，需要業主改變堵漏劑之配比，以加速其凝結時間，但是堵漏劑仍在其流動性能靠自重自灌入點分散填入各孔洞，其配比如下：

a.第一部份：3gal矽酸鈉+4.5gal水。

b.第二部份：0.3立方呎水+5.1立方呎水泥。

水泥矽酸鈉堵漏劑係經由一放在防波堤塊石孔洞底部之管子灌入，在灌入期間管子以按時拉起每一呎之速度灌入，每一呎灌入量約6立方呎之堵漏劑。

由於利用水泥矽酸鈉堵漏劑之快速凝結及流動性質，故連續地拌合及以泵灌入堵漏劑是不可能的，業主需先計算在瀝青層下4呎寬之堵漏地帶所需堵漏劑之數量，接著將計算數量之堵漏劑拌合並灌入鑽孔內，如果無法完全灌滿一按每一呎6立方呎計算之堵漏劑之孔時，則承包商可直接增加數量，若灌漿數量較計算量少時，則過多之堵漏劑可灌住已灌入部份堵漏劑之孔中或防波堤塊石之表面孔洞中。

防波堤塊石間砂填的孔洞在以水泥矽酸鈉堵漏劑使用後，仍須以矽酸鈉化學堵漏劑堵漏。此化學堵漏劑係約40%矽酸鈉與其它反應劑加速劑組成，使得初凝時間約在拌合後30分鐘，化學堵漏劑係以業主設計的灌入系統施工，其施工之灌入速度或壓力不得大於砂之自然滲透率。

在堵漏工程完工後，業主要求鑽孔以觀測堵漏劑工程之有效性，所有之鑽孔均以旋轉式鑽機配以取樣鑽頭執行，爲了儘可能取得不可預測之軟或碎之樣品，業主使用標準之球形打孔機 (ball bearing) 迴轉型 (swivel type) 二或三管之取樣管配以裂內管 (split inner tube) 及標準取樣器 (standard core lifter)。

八、結論

使用凝膠 (gel) 和混凝土填封海岸結構物，顯示可望對計劃獲益良多。填封混合物和灌注方法之技術都在發展階段，主要由於受到採礦隧道及基礎工程和閘壩施工等領域之刺激所致。現需要將這些技術應用於海岸環境下以降低拋石堤之滲透性，其目的在控制必須挖濬之沙灘區和消除波浪穿過結構物之波能。可能美國工程兵團有許多計劃都可由此技術中獲益。

必須努力鑑定使用何種填封料填補於海岸結構物孔隙最為經濟與實用。結構體容許波浪之傳遞最大限量可易於由港灣和錨碇區當地居民財產所有人透過個人之知識及在暴風浪情況觀測波浪之影響性而加以認定。

調查需填封以減少結構物下在受風側的淤泥必須包括證實漂砂穿過結構體而非繞過或越過。除外減少量可以灌注材料於結構體形成一屏障而見效，然而必須調查在海岸應用之效果，染色試驗和螢光砂追蹤漂砂運動之路徑但並非定量工具。進行漂砂量調查可得到漂砂體積及速率數據。由於受海象之影響，因此並無法證實以前可以通過結構物之海床質，現在亦可通過。潮汐和波浪引起之沿岸流可能對漂砂之形成具有影響性，因此在填封前必須定出漂砂能量主要來源並設法加以消滅。

一旦確定需作填封工作，則其規劃工作必須根據現場之條件，混合物特性和裝備能力等資料研析。在海岸拋石防波堤或碼頭之填封工作上，最重要的是能找到一個優良廠商，其次，可能是填封孔之適當的間距，鑽孔間距適當與否可決定鑽孔費用和在每一孔填封料體積之擴散範圍。此間距必然由混合物之可灌注性，凝結時間及費用等而定。

由於海岸工程具有風險性，需適時之完成而有適當的經濟性，所以工作品質之提昇首重合約形態與條款，其他對於此種填封

作業必須考慮服務型態合約，因為僅利用最佳方法可確保工作之最佳品質，然而有時需待竣工後數年才能確定其成效。

不能過份強調有經驗的施工廠商之重要性，而能夠找到優良之監工員亦是相當地重要，現場條件可能隨鑽孔不同而異於是材料之配比，必須跟著迅速地作調整。可能需於最快之時間修正灌注為分段或連續施工，在作業期間，可應用相當地經驗進行評估填封和修正程序以避免浪費及達到連續地灌注填封料作為防止滲透之屏障。

許多海岸工程計劃相當依賴經驗，應用填封技術海岸環境下拋石堤結構物，特別需要研究過去填封工作之資料引證，富有想像力的應用，具有彈性之想法和在每一新建工程和修復工作之確實監工紀錄等資料。在美國佛羅里達州West Palm海灘的海南堤曾使用化學填封料以防漂砂之滲入，而在加州之Buhne point曾應用混凝土填封料，到目前為止，由於時間太短，尚不足以評估這些填封工作之長期效果。在加州之Mission灣曾應用膠結質填料未能持久，係因受強烈冬季暴風反覆沖擊，致使消波塊嚴重位移及造成堤心石和填料受損而未加修復。此種材料在美國柏油混合物於海岸工程作為修復填封料的實例，而根據荷蘭的工程經驗，此種材料在應用具有很好的性質。

有關修理作業中之備料，修理及清潔方面必須注意包括可能的危險和有毒性的化學物，製造商對於職業健康和環境品質之保護的說明和建議，必須審慎的遵循。此種材料之安全性注意事項，可由製造廠商提供。在化學物對職業健康與環境品質之影響性未知之情況下，則必須以可能具有危險及毒性之材料加以處理。

叁、舊東堤現況調查

花蓮港舊東堤自該港東岸背後海岸向南延伸至水深—12m處，總長1330公尺，依檔案資料顯示，堤基坡度靠內陸之前半段、堤端較緩坡，堤末端之後半段比較急陡。靠近內陸堤端前後約150m及堤末端約350m長度之基礎分別築於海灘上陸地與水深6m以下，不受波浪直衝基礎，較為穩固，其餘中段堤基，建在碎波帶，整年受波浪不斷冲刷，原先拋填之護基大石及混凝土方塊早已流失，需要每年分段製拋混凝土方塊加以保護。

由於堤基地盤縱向坡度及水深之變化不一，堤身施工分成五種不同斷面、防波堤之配置圖及各種斷面圖如圖二十一、二十二所示。

依斷面圖顯示，堤頭一段約150m之堤基建於零水位以上之陸地防波堤堤身平時不受波浪之沖擊、颱風之強浪亦因遠離水線，波力對堤身影響不大，該段自始至今未曾受災。又由斷面圖三可看出自樁號 $0^k + 270\text{m}$ 處至990m間，基礎採用預鑄混凝土塊疊砌而成，基礎背後及堤心拋填卵石，因此段正在碎波帶上，堤身受沖擊次數頻繁，根據歷年之統計，本段受災次數較為頻繁，故選擇本段作為研究之現況調查之範圍。

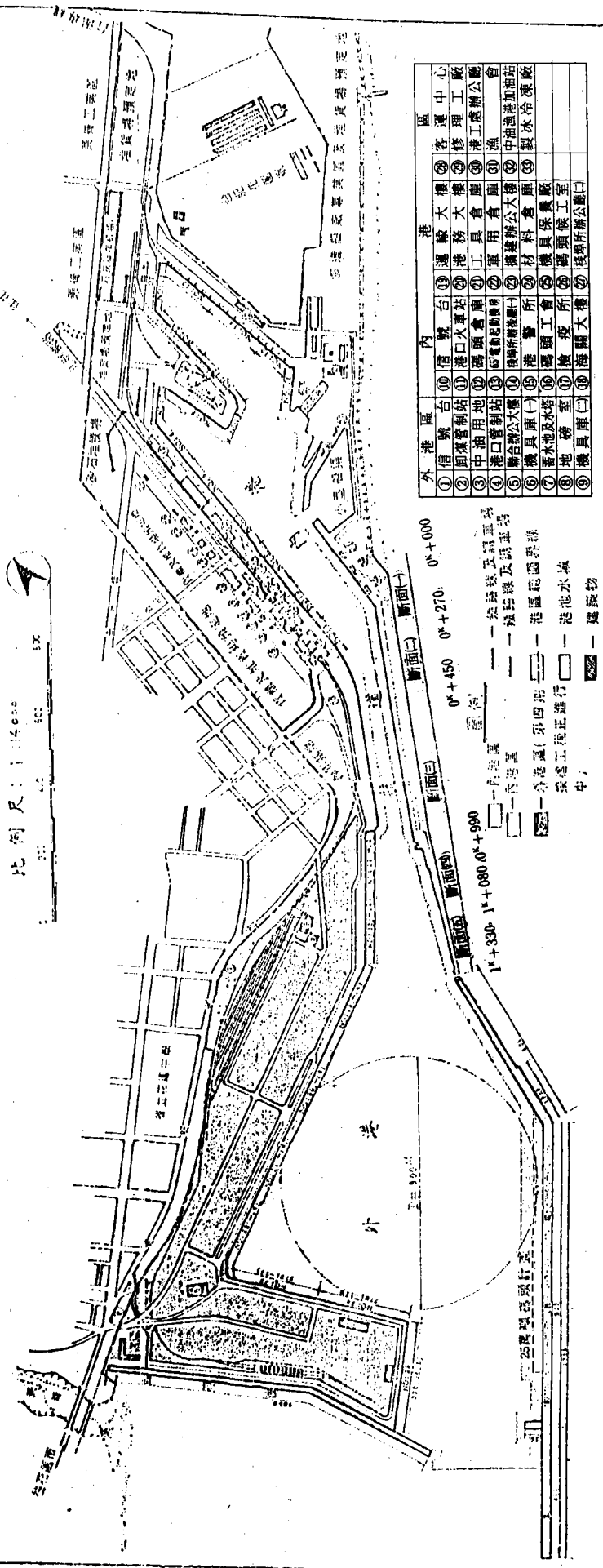
本研究在該堤 $0^k + 270\text{m} \sim 0^k + 990\text{m}$ 間，每隔10m以2" ϕ 之鑽頭鑽孔機，貫穿堤防面之混凝土層，量測其堤身內級配料下陷之深度，鑽孔作業如照片4所示其位置距胸牆海側約0.5公尺，以估算其內部掏空空隙情形，其計算方法概述如下：

圖二十一 花蓮港港區平面圖

比例尺：1:14,000

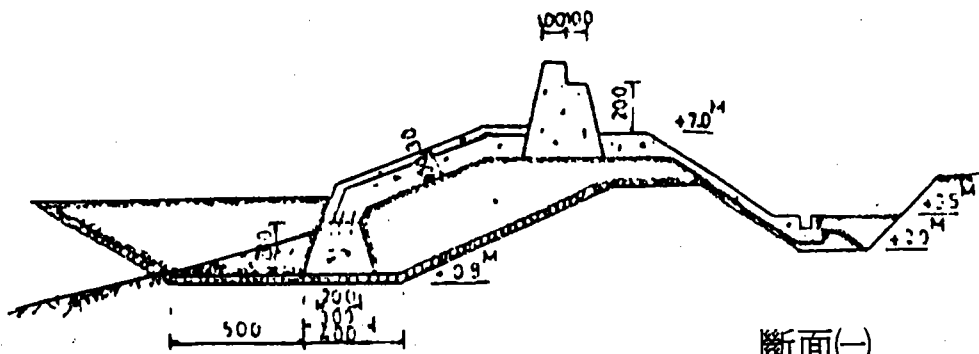


0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000



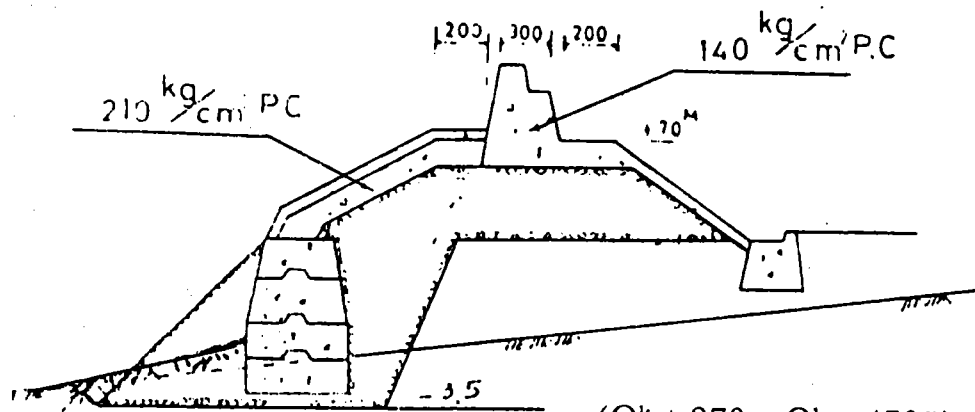
外港區	內港區	港區
① 儲蓄站	⑩ 儲蓄站	① 客運中心
② 儲蓄站	⑪ 港口火車站	② 修理工廠
③ 中油用地	⑫ 碼頭倉庫	③ 港務大樓
④ 港口管制站	⑬ 碼頭倉庫	④ 倉庫
⑤ 聯合辦公大樓	⑭ 碼頭倉庫	⑤ 港務大樓
⑥ 機關大樓	⑮ 碼頭倉庫	⑥ 倉庫
⑦ 港務大樓	⑯ 碼頭倉庫	⑦ 港務大樓
⑧ 地磅室	⑰ 碼頭倉庫	⑧ 倉庫
⑨ 機關大樓	⑱ 碼頭倉庫	⑨ 港務大樓
	⑲ 碼頭倉庫	⑩ 倉庫
		⑪ 港務大樓
		⑫ 倉庫
		⑬ 港務大樓
		⑭ 倉庫
		⑮ 港務大樓
		⑯ 倉庫
		⑰ 港務大樓
		⑱ 倉庫
		⑲ 港務大樓
		⑳ 倉庫
		㉑ 港務大樓
		㉒ 倉庫
		㉓ 港務大樓
		㉔ 倉庫
		㉕ 港務大樓
		㉖ 倉庫
		㉗ 港務大樓
		㉘ 倉庫
		㉙ 港務大樓
		㉚ 倉庫
		㉛ 港務大樓
		㉜ 倉庫
		㉝ 港務大樓
		㉞ 倉庫
		㉟ 港務大樓
		㊱ 倉庫
		㊲ 港務大樓
		㊳ 倉庫
		㊴ 港務大樓
		㊵ 倉庫
		㊶ 港務大樓
		㊷ 倉庫
		㊸ 港務大樓
		㊹ 倉庫
		㊺ 港務大樓
		㊻ 倉庫
		㊼ 港務大樓
		㊽ 倉庫
		㊾ 港務大樓
		㊿ 倉庫

0+000 0+270 0+450 0+630 0+810 0+990
 1+330 1+510 1+690 1+870 2+050 2+230 2+410 2+590 2+770 2+950 3+130 3+310 3+490 3+670 3+850 4+030 4+210 4+390 4+570 4+750 4+930 5+110 5+290 5+470 5+650 5+830 6+010 6+190 6+370 6+550 6+730 6+910 7+090 7+270 7+450 7+630 7+810 7+990 8+170 8+350 8+530 8+710 8+890 9+070 9+250 9+430 9+610 9+790 9+970 10+150 10+330 10+510 10+690 10+870 11+050 11+230 11+410 11+590 11+770 11+950 12+130 12+310 12+490 12+670 12+850 13+030 13+210 13+390 13+570 13+750 13+930 14+110 14+290 14+470 14+650 14+830 15+010 15+190 15+370 15+550 15+730 15+910 16+090 16+270 16+450 16+630 16+810 16+990 17+170 17+350 17+530 17+710 17+890 18+070 18+250 18+430 18+610 18+790 18+970 19+150 19+330 19+510 19+690 19+870 20+050 20+230 20+410 20+590 20+770 20+950 21+130 21+310 21+490 21+670 21+850 22+030 22+210 22+390 22+570 22+750 22+930 23+110 23+290 23+470 23+650 23+830 24+010 24+190 24+370 24+550 24+730 24+910 25+090 25+270 25+450 25+630 25+810 25+990 26+170 26+350 26+530 26+710 26+890 27+070 27+250 27+430 27+610 27+790 27+970 28+150 28+330 28+510 28+690 28+870 29+050 29+230 29+410 29+590 29+770 29+950 30+130 30+310 30+490 30+670 30+850 31+030 31+210 31+390 31+570 31+750 31+930 32+110 32+290 32+470 32+650 32+830 33+010 33+190 33+370 33+550 33+730 33+910 34+090 34+270 34+450 34+630 34+810 34+990 35+170 35+350 35+530 35+710 35+890 36+070 36+250 36+430 36+610 36+790 36+970 37+150 37+330 37+510 37+690 37+870 38+050 38+230 38+410 38+590 38+770 38+950 39+130 39+310 39+490 39+670 39+850 40+030 40+210 40+390 40+570 40+750 40+930 41+110 41+290 41+470 41+650 41+830 42+010 42+190 42+370 42+550 42+730 42+910 43+090 43+270 43+450 43+630 43+810 43+990 44+170 44+350 44+530 44+710 44+890 45+070 45+250 45+430 45+610 45+790 45+970 46+150 46+330 46+510 46+690 46+870 47+050 47+230 47+410 47+590 47+770 47+950 48+130 48+310 48+490 48+670 48+850 49+030 49+210 49+390 49+570 49+750 49+930 50+110 50+290 50+470 50+650 50+830 51+010 51+190 51+370 51+550 51+730 51+910 52+090 52+270 52+450 52+630 52+810 52+990 53+170 53+350 53+530 53+710 53+890 54+070 54+250 54+430 54+610 54+790 54+970 55+150 55+330 55+510 55+690 55+870 56+050 56+230 56+410 56+590 56+770 56+950 57+130 57+310 57+490 57+670 57+850 58+030 58+210 58+390 58+570 58+750 58+930 59+110 59+290 59+470 59+650 59+830 60+010 60+190 60+370 60+550 60+730 60+910 61+090 61+270 61+450 61+630 61+810 61+990 62+170 62+350 62+530 62+710 62+890 63+070 63+250 63+430 63+610 63+790 63+970 64+150 64+330 64+510 64+690 64+870 65+050 65+230 65+410 65+590 65+770 65+950 66+130 66+310 66+490 66+670 66+850 67+030 67+210 67+390 67+570 67+750 67+930 68+110 68+290 68+470 68+650 68+830 69+010 69+190 69+370 69+550 69+730 69+910 70+090 70+270 70+450 70+630 70+810 70+990 71+170 71+350 71+530 71+710 71+890 72+070 72+250 72+430 72+610 72+790 72+970 73+150 73+330 73+510 73+690 73+870 74+050 74+230 74+410 74+590 74+770 74+950 75+130 75+310 75+490 75+670 75+850 76+030 76+210 76+390 76+570 76+750 76+930 77+110 77+290 77+470 77+650 77+830 78+010 78+190 78+370 78+550 78+730 78+910 79+090 79+270 79+450 79+630 79+810 79+990 80+170 80+350 80+530 80+710 80+890 81+070 81+250 81+430 81+610 81+790 81+970 82+150 82+330 82+510 82+690 82+870 83+050 83+230 83+410 83+590 83+770 83+950 84+130 84+310 84+490 84+670 84+850 85+030 85+210 85+390 85+570 85+750 85+930 86+110 86+290 86+470 86+650 86+830 87+010 87+190 87+370 87+550 87+730 87+910 88+090 88+270 88+450 88+630 88+810 88+990 89+170 89+350 89+530 89+710 89+890 90+070 90+250 90+430 90+610 90+790 90+970 91+150 91+330 91+510 91+690 91+870 92+050 92+230 92+410 92+590 92+770 92+950 93+130 93+310 93+490 93+670 93+850 94+030 94+210 94+390 94+570 94+750 94+930 95+110 95+290 95+470 95+650 95+830 96+010 96+190 96+370 96+550 96+730 96+910 97+090 97+270 97+450 97+630 97+810 97+990 98+170 98+350 98+530 98+710 98+890 99+070 99+250 99+430 99+610 99+790 99+970 100+150 100+330 100+510 100+690 100+870 101+050 101+230 101+410 101+590 101+770 101+950 102+130 102+310 102+490 102+670 102+850 103+030 103+210 103+390 103+570 103+750 103+930 104+110 104+290 104+470 104+650 104+830 105+010 105+190 105+370 105+550 105+730 105+910 106+090 106+270 106+450 106+630 106+810 106+990 107+170 107+350 107+530 107+710 107+890 108+070 108+250 108+430 108+610 108+790 108+970 109+150 109+330 109+510 109+690 109+870 110+050 110+230 110+410 110+590 110+770 110+950 111+130 111+310 111+490 111+670 111+850 112+030 112+210 112+390 112+570 112+750 112+930 113+110 113+290 113+470 113+650 113+830 114+010 114+190 114+370 114+550 114+730 114+910 115+090 115+270 115+450 115+630 115+810 115+990 116+170 116+350 116+530 116+710 116+890 117+070 117+250 117+430 117+610 117+790 117+970 118+150 118+330 118+510 118+690 118+870 119+050 119+230 119+410 119+590 119+770 119+950 120+130 120+310 120+490 120+670 120+850 121+030 121+210 121+390 121+570 121+750 121+930 122+110 122+290 122+470 122+650 122+830 123+010 123+190 123+370 123+550 123+730 123+910 124+090 124+270 124+450 124+630 124+810 124+990 125+170 125+350 125+530 125+710 125+890 126+070 126+250 126+430 126+610 126+790 126+970 127+150 127+330 127+510 127+690 127+870 128+050 128+230 128+410 128+590 128+770 128+950 129+130 129+310 129+490 129+670 129+850 130+030 130+210 130+390 130+570 130+750 130+930 131+110 131+290 131+470 131+650 131+830 132+010 132+190 132+370 132+550 132+730 132+910 133+090 133+270 133+450 133+630 133+810 133+990 134+170 134+350 134+530 134+710 134+890 135+070 135+250 135+430 135+610 135+790 135+970 136+150 136+330 136+510 136+690 136+870 137+050 137+230 137+410 137+590 137+770 137+950 138+130 138+310 138+490 138+670 138+850 139+030 139+210 139+390 139+570 139+750 139+930 140+110 140+290 140+470 140+650 140+830 141+010 141+190 141+370 141+550 141+730 141+910 142+090 142+270 142+450 142+630 142+810 142+990 143+170 143+350 143+530 143+710 143+890 144+070 144+250 144+430 144+610 144+790 144+970 145+150 145+330 145+510 145+690 145+870 146+050 146+230 146+410 146+590 146+770 146+950 147+130 147+310 147+490 147+670 147+850 148+030 148+210 148+390 148+570 148+750 148+930 149+110 149+290 149+470 149+650 149+830 150+010 150+190 150+370 150+550 150+730 150+910 151+090 151+270 151+450 151+630 151+810 151+990 152+170 152+350 152+530 152+710 152+890 153+070 153+250 153+430 153+610 153+790 153+970 154+150 154+330 154+510 154+690 154+870 155+050 155+230 155+410 155+590 155+770 155+950 156+130 156+310 156+490 156+670 156+850 157+030 157+210 157+390 157+570 157+750 157+930 158+110 158+290 158+470 158+650 158+830 159+010 159+190 159+370 159+550 159+730 159+910 160+090 160+270 160+450 160+630 160+810 160+990 161+170 161+350 161+530 161+710 161+890 162+070 162+250 162+430 162+610 162+790 162+970 163+150 163+330 163+510 163+690 163+870 164+050 164+230 164+410 164+590 164+770 164+950 165+130 165+310 165+490 165+670 165+850 166+030 166+210 166+390 166+570 166+750 166+930 167+110 167+290 167+470 167+650 167+830 168+010 168+190 168+370 168+550 168+730 168+910 169+090 169+270 169+450 169+630 169+810 169+990 170+170 170+350 170+530 170+710 170+890 171+070 171+250 171+430 171+610 171+790 171+970 172+150 172+330 172+510 172+690 172+870 173+050 173+230 173+410 173+590 173+770 173+950 174+130 174+310 174+490 174+670 174+850 175+030 175+210 175+390 175+570 175+750 175+930 176+110 176+290 176+470 176+650 176+830 177+010 177+190 177+370 177+550 177+730 177+910 178+090 178+270 178+450 178+630 178+810 178+990 179+170 179+350 179+530 179+710 179+890 180+070 180+250 180+430 180+610 180+790 180+970 181+150 181+330 181+510 181+690 181+870 182+050 182+230 182+410 182+590 182+770 182+950 183+130 183+310 183+490 183+670 183+850 184+030 184+210 184+390 184+570 184+750 184+930 185+110 185+290 185+470 185+650 185+830 186+010 186+190 186+370 186+550 186+730 186+910 187+090 187+270 187+450 187+630 187+810 187+990 188+170 188+350 188+530 188+710 188+890 189+070 189+250 189+430 189+610 189+790 189+970 190+150 190+330 190+510 190+690 190+870 191+050 191+230 191+410 191+590 191+770 191+950 192+130 192+310 192+490 192+670 192+850 193+030 193+210 193+390 193+570 193+750 193+930 194+110 194+290 194+470 194+650 194+830 195+010 195+190 195+370 195+550 195+730 195+910 196+090 196+270 196+450 196+630 196+810 196+990 197+170 197+350 197+530 197+710 197+890 198+070 198+250 198+430 198+610 198+790 198+970 199+150 199+330 199+510 199+690 199+870 200+050 200+230 200+410 200+590 200+770 200+950 201+130 201+310 201+490 201+670 201+850 202+030 202+210 202+390 202+570 202+750 202+930 203+110 203+290 203+470 203+650 203+830 204+010 204+190 204+370 204+550 204+730 204+910 205+090 205+270 205+450 205+630 205+810 205+990 206+170 206+350 206+530 206+710 206+890 207+070 207+250 207+430 207+610 207+790 207+970 208+150 208+330 208+510 208+690 208+870 209+050 209+230 209+410 209+590 209+770 209+950 210+130 210+310 210+490 210+670 210+850 211+030 211+210 211+390 211+570 211+750 211+930 212+110 212+290 212+470 212+650 212+830 213+010 213+190 213+370 213+550 213+730 213+910 214+090 214+270 214+450 214+630 214+810 214+990 215+170 215+350 215+530 215+710 215+890 216+070 216+250 216+430 216+610 216+790 216+970 217+150 217+330 217+510 217+690 217+870 218+050 218+230 218+410 218+590 218+770 218+950 219+130 219+310 219+490 219+670 219+850 220+030 220+210 220+390 220+570 220+750 220+930 221+110 221+290 221+470 221+650 221+830 222+010 222+190 222+370 222+550 222+730 222+910 223+090 223+270 223+450 223+630 223+810 223+990 224+170 224+350 224+530 224+710 224+890 225+070 225+250 225+430 225+610 225+790 225+970 226+150 226+330 226+510 226+690 226+870 227+050 227+230 227+410 227+590 227+770 227+950 228+130 228+310 228+490 228+670 228+850 229+030 229+210 229+390 229+570 229+750 229+930 230+110 230+290 230+470 230+650 230+830 231+010 231+190 231+370 231+550 231+730 231+910 232+090 232+270 232+450 232+630 232+810 232+990 233+170 233+350 233+530 233+710 233+890 234+070 234+250 234+430 234+610 234+790 234+970 235+150 235+330 235+510 235+690 235+870 236+050 236+230 236+410 236+590 236+770 236+950 237+130 237+310 237+490 237+670 237+850 238+030 238+210 238+390 238+570 238+750 238+930 239+110 239+290 239+470 239+650 239+830 240+010 240+190 240+370 240+550 240+730 240+910 241+090 241+270 241+450 241+630 241+810 241+990 242+170 242+350 242+530 242+710 242+890 243+070 243+250 243+430 243+610 243+790 243+970 244+150 244+330 244+510 244+690 244+870 245+050 245+230 245+410 245+590 245+770 245+950 246+130 246+310 246+490 246+670 246+850 247+030 247+210 247+390 247+570 247+750 247+930 248+110 248+290 248+470 248+650 248+830 249+010 249+190 249+370 249+550 249+730 249+910 250+090 250+270 250+450 2



斷面(一)

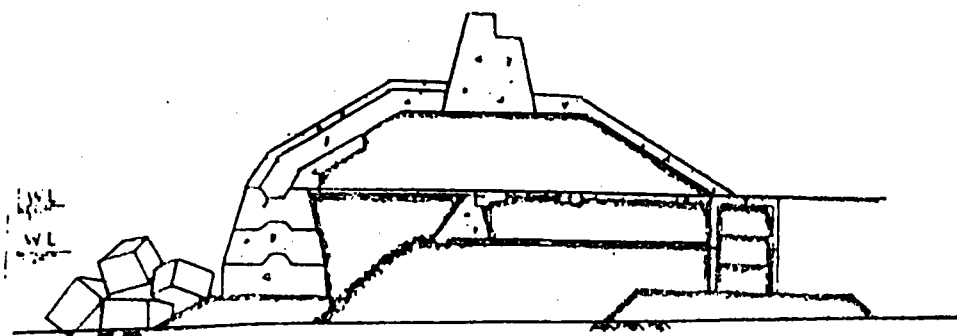
($O^k + O^m \sim O^k + 270^m$)



現在地盤線

($O^k + 270 \sim O^k + 450^m$)

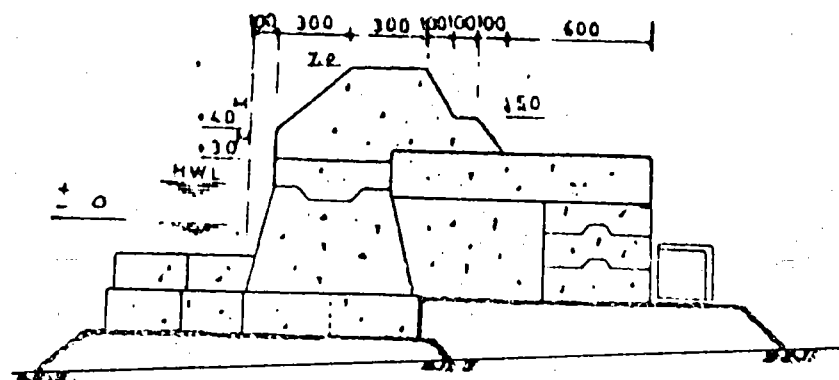
斷面(二)



基礎變化不詳

($O^k + 450^m \sim O^k + 990^m$)

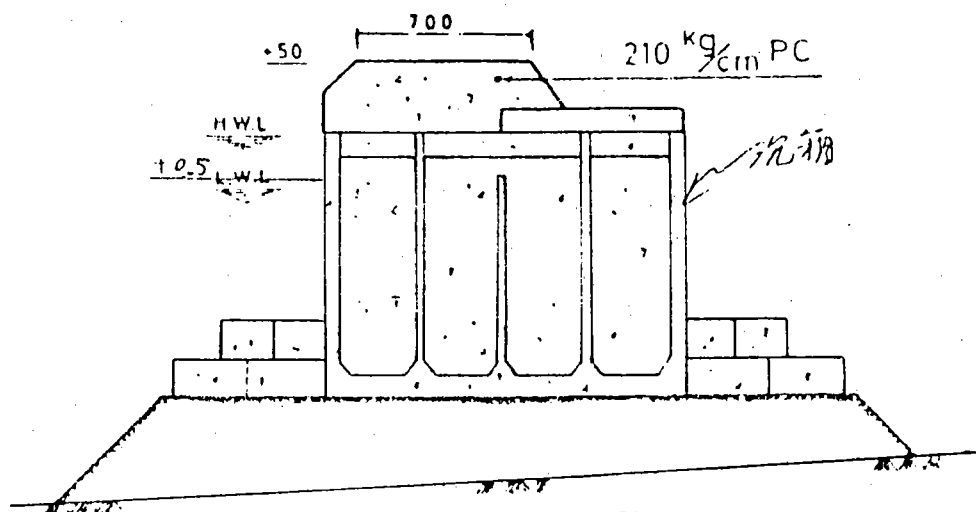
斷面(三)



基礎變化不詳

($O^k + 990^m \sim I^k + 080^m$)

斷面(四)



堤基變化情形不詳

($I^k + 080^m \sim I + 330^m$)

斷面(五)

圖二十二 防波堤斷面圖

如圖二十三所示

A點係胸牆之中間點

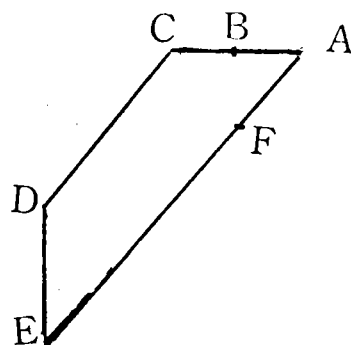
B點係以 $\phi 2''$ 之鑽孔位置

C點係堤身斜坡之起點

D點係堤身斜坡之終點

E點係L.W.L.之處

F點係堤身內級配料下陷之深度



圖二十三 防波堤斷面圖

根據以上之斷面層，其中A、C、D點均為定點，只要知道下陷深度即可知F點而求出ACDEF面積，進而可算出各區間之空隙體積。



照片 4.鑽2" ϕ 孔以瞭解級配流失情形

本研究使用以上之方法，測出 $0^k + 270^m \sim 0^k + 900^m$ 間之下陷深度如表二、縱斷面圖如圖二十四。由圖中顯示在 $0^k + 650^m$ ， $0^k + 700^m$ ， $0^k + 760^m$ ， $0^k + 800^m$ ， $0^k + 850^m$ 附近下陷之深度較高，即空隙較大。由上述之狀況選定 $0^k + 760^m$ 至 $0^k + 770^m$ 為本研究之灌築範圍。

為確實瞭解本段之空隙狀況及上述計算方法之精確性在 $0^k + 765^m$ 處，打設一人孔（如照片5），確實量測其內部級配流失後之空隙量。

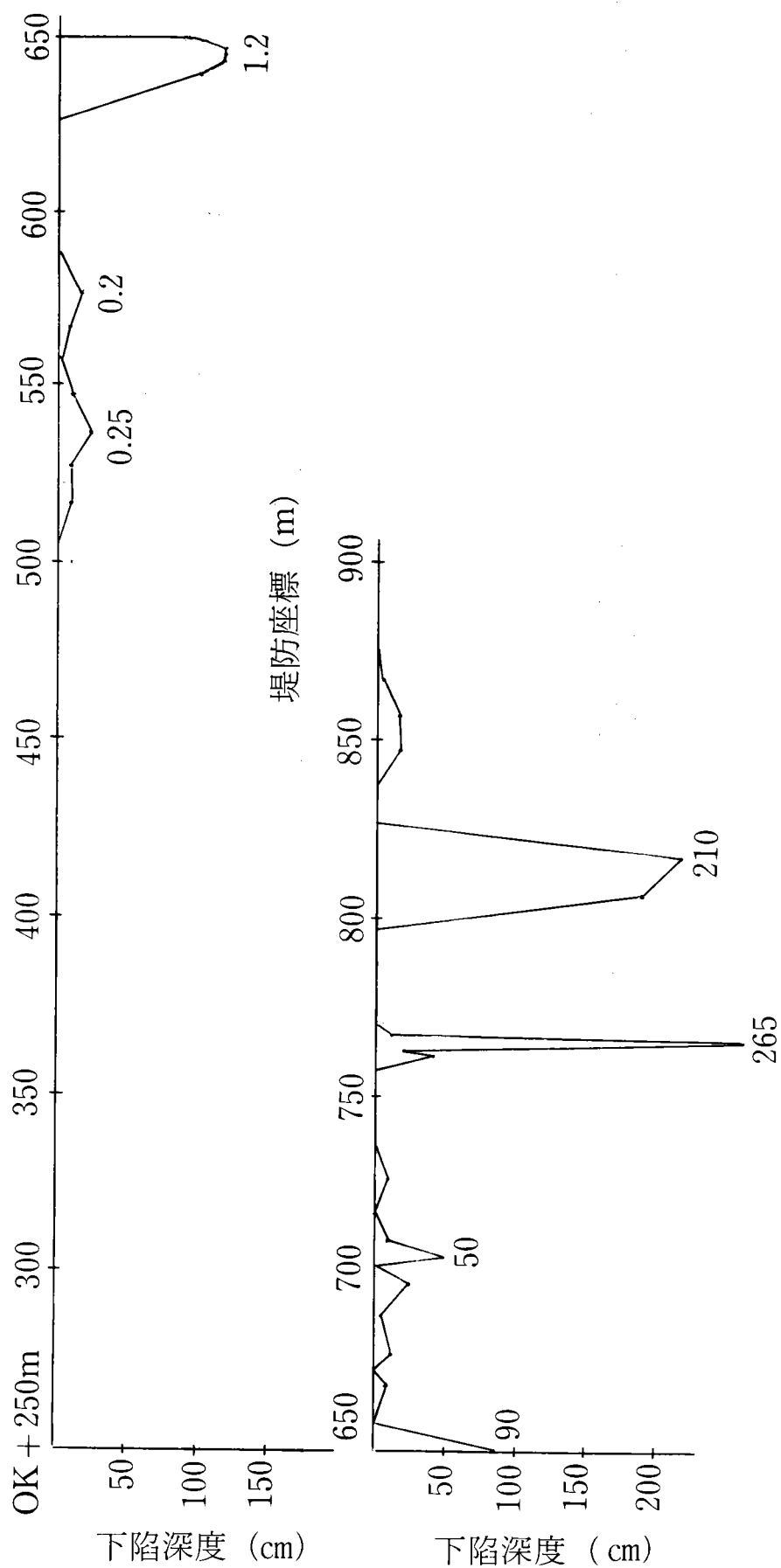
經觀察其內部之卵石（ $2 \sim 5^{\text{cm}} \phi$ ）呈凹扇形散佈、間夾大石塊、破損口附近則大石堆疊、小卵石明顯流失（如照片6、7）掏空區長約 10^m 、寬約 8^m 、高約 1.5^m 、其空隙體積約 120^{m^3} 。

根據本研究之計算方法估算其體積約 133^{m^3} ，誤差為10%。在其他較嚴重之掏空區段之體積、 $0^k + 640^m \sim 0^k + 650^m$ 約 140^{m^3} 、

0^k+700^m至0^k+710^m約136^{m³}、0^k+800^m~0^k+820^m約304^{m³}、另外
0^k+540^m、0^k+580^m、0^k+740^m及0^k+850^m四處、其下陷深度約20^{cm}
左右，亦是應注意維修之區段。

表二、鑽探位置及其下陷深度

鑽探位置	下陷深度 (公尺)	鑽探位置	下陷深度 (公尺)	鑽探位置	下陷深度 (公尺)	鑽探位置	下陷深度 (公尺)
OK+277 ^m	0	OK+487	0	OK+667	0.1	OK+770	0
287	0	497	0	672	0	777	0
297	0	507	0	677	0.15	787	0
307	0	517	0.08	687	0.1	797	0
317	0	527	0.1	697	0.25	807	1.9
327	0	537	0.25	702	0	817	2.1
337	0	547	0.1	704	0.5	827	0
347	0	557	0	707	0.45	837	0
357	0	567	0.08	707A	(0.1)	847	0.2
367	0	577	0.2	709	0.1	857	0.2
377	0	587	0	717	0	867	0.05
387	0	597	0	727	0.1	877	0
397	0	607	0	737	0	887	0
407	0	617	0	747	0	897	0
417	0	627	0	757	0		
427	0	640	1.00	759	0		
437	0	641	1.20	761	0.45		
447	0	643	1.20	763	0.2		
457	0.08	645	1.20	765	2.65		
467	0	647	1.12	765A	2.45		
477	0	657	0	767	0.1		



圖二十四 堤防內級配下陷縱斷面圖



照片 5. 開設之人孔



照片 6. 堤身內級配流失情形



照片 7. 堤身內未流失之級配料

肆、灌漿固結方法之規劃

一、堤防破損口之堵塞

本計劃之灌漿類似預疊工法，原堤防外層混凝土即為模板，故首要之工作為堵塞破損口、防止級配料繼續流失及壓力灌漿時水泥漿之滲出流失，其可行之方法如下：

(一)膨脹性化學藥劑堵塞法

該工法由起泡尿酯原素A、B兩種化學溶液依比例混合後，以氮氣壓送灌入堤內，該混合液遇水於30秒內即發生起泡反應，使體積膨脹至總灌液量之30倍，並產生壓力進行滲透，而堵塞破損口。

本工法之優點為施工迅速、灌入後遇水即起泡膨脹堵塞洞口，適用於小洞口。其缺點為該尿酯反應後之單軸壓縮強度僅10—15kg/cm²，遠低於混凝土之強度，且新舊混凝土無法黏結成一體，遇有大孔洞無法適用。

(二)圓筒型砂漿柱堵塞法

現場勘察發現，破損處以100mm ϕ 之鑽機鑽孔，再以圓筒形袋子填充混凝土，以堵塞裂縫。

本法之優點為較省材料，效果可靠，適用於細長之裂縫。其缺點為大洞口需先以袋裝混凝土補修；部份破損口在水面下，即在天氣良好且海水位低潮時施工，仍有困難故工期無法掌握。

(三)巨積混凝土堵塞法

以大袋子內填充混凝土後，置於方形消波塊間，由海水之沖擊使混凝土與破損口密合後凝固。

本法之優點為施工迅速對大小洞口均適用，由於是重量堆砌可產生側向壓力，壓力灌漿時於其接觸面產生被動壓力，可抵消

灌漿時之壓力。其缺點為耗費大量之混凝土，小洞口亦需大量混凝土，在混凝土凝固前靠自重以維持穩定，且部份可能被海浪沖走。

堤內原級配已充份壓密，其孔隙較一般預疊工法為小，故灌漿時需較大之壓力，亦即需要穩固之防漏及避免原結構於施工中破壞。

本案選擇第三方案為堵漏之方法；如圖二十五所示區域其數量為 $4 \times 6.2 \times \frac{1}{2} \times 10 \times 0.5 \times 1.3 = 81\text{m}^3$ （註：其中乘0.5係方形消波塊所佔之體積，乘1.3係估計三成於完工前海浪之沖失量。）

二、鑽孔及安裝灌漿管

先以鑽孔機鑽過混凝土層、卵石層直至預定深度，再安置灌漿管於級配料中，其可行之工法有以下二種

(一)以重錘將外管擊入配級配料內，使大小石塊往四週擠壓至預定深度後放入灌漿管，再拔出外管。

本法之優點為工法簡單，普通施工機械即可勝任。

其缺點為級配料經數十年之壓密，不易向四週排擠，錘入困難，若遇大石更不易貫穿。

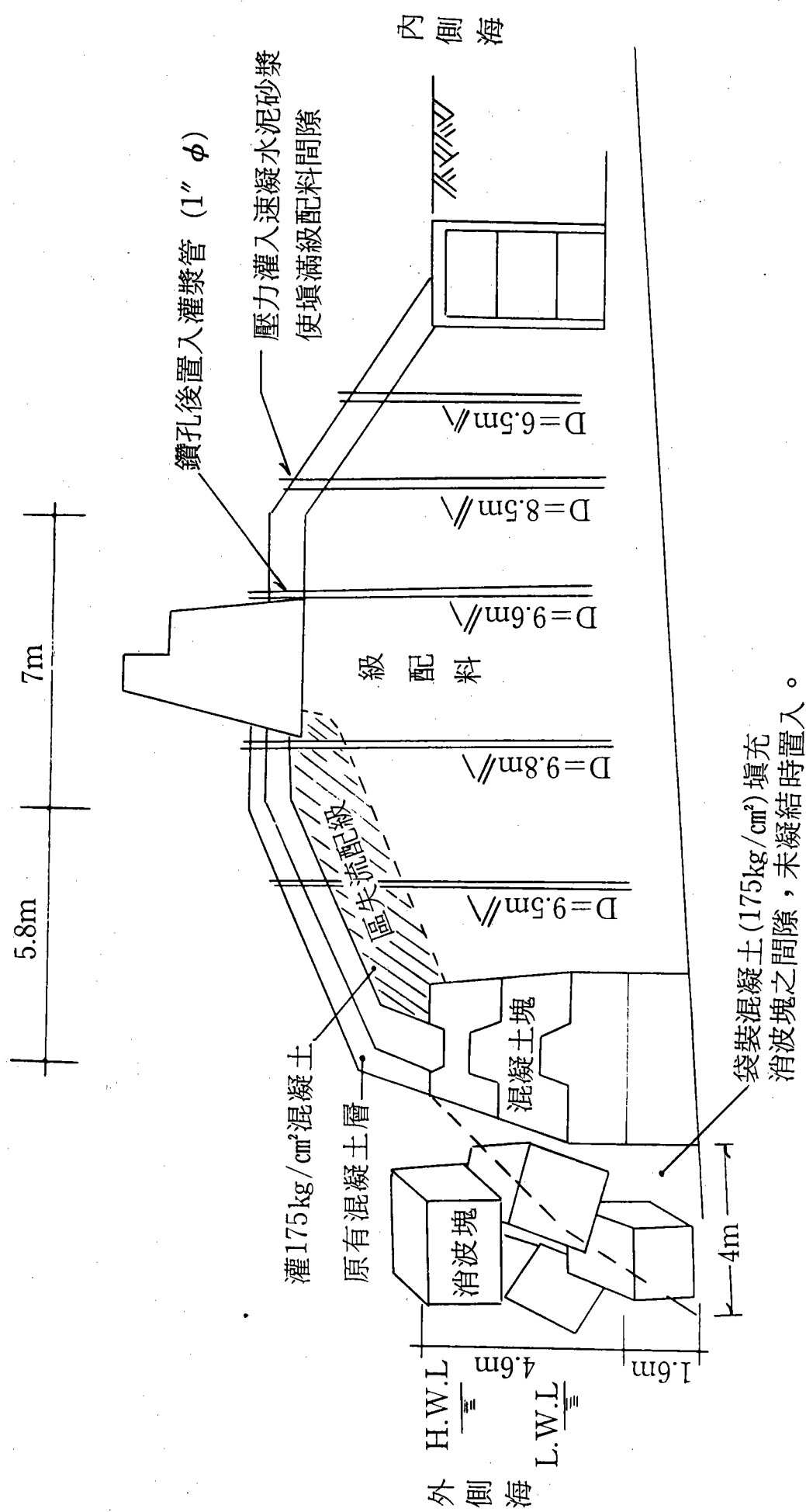
(二)以旋轉鑽頭壓切級配料，取出粒料，錘擊外管至預定深到，拔出外管置入灌漿管。

本法之優點為粒料取出後外管容易貫入。

其缺點為級配料之粒徑與鑽頭一致時鑽頭易為石頭卡著而需拔出鑽桿清除鑽頭，此時孔壁易坍塌。

本案選擇第二方案為鑽孔之方法所鑽深度如圖二十五所示，共需鑽孔深度約：

$$(9.5 + 9.8 + 9.6 + 8.5 + 6.5) \times 4 \doteq 176\text{m}。$$



圖二十五 原有級配區壓力灌漿剖面圖

三、壓力灌漿

以壓力將水泥砂漿經灌漿管灌入級配料之孔隙，其可行之方法如下：

(一)複線灌漿 (Multiple Line)

於灌漿管全段設灌漿口，灌漿時由上至下一起滲出砂漿，至灌入砂漿達預定數量止，形成一大圓柱體，各柱體相重疊形成一體。

本法之優點為可一次灌完，無工作冷縫且工期短，成本低。

其缺點注入砂漿後因重力關係，砂漿可能形成圓錐形散佈，且在堤防內水泥之水化熱不易散去，易產生龜裂。

(二)阻塞灌漿 (Grouting with packer)

僅於灌漿管端部設灌漿口置阻塞器使砂漿向四週擴散，不使昇溢出，底層灌漿後，將灌管往上拔高，俟初凝再作次層之灌漿至頂部。

本法之優點為壓力灌漿時可以較小之壓力達到灌漿之目的。固結體容易控制為圓柱體，又水化熱分次散出，水泥固結後，不易發生龜裂。

其缺點為每層灌漿後需將灌漿管拉昇，將增加成本且工期較長。

(三)分層灌漿 (Stage)

灌漿時分二層灌入，先灌上層俟水泥砂漿凝結後再灌下層，此工法為以上二者之折衷方法兼具兩者之特性，且上層凝結後下層形成一密閉室空間使下層灌漿時更易控制其灌入砂漿之數量及壓力。

本案選擇第三方案為灌漿方法，所需灌漿量係以堤內體積，

扣除級配料已被掏空之體積，再乘空隙率0.1，再加上50%之流失量，即 $(134.9 \times 10 - 156) \times 0.1 \times (1 + 0.5) = 179\text{m}^3$ 。

四、級配料已掏空區域灌入混凝土

於防波堤表面混凝土層鑽掘5" ϕ 之孔洞，以175kg/cm²之預拌混凝土經泵送車貫入空洞至溢滿為止，所需數量為，長乘寬乘高再加預估流失量三成即 $10 \times 8 \times 1.5 \times (1 + 0.3) = 156\text{m}^3$ 。

五、施工觀測

於堤防上選擇一定點，施工中隨時觀察水平面與縱橫斷面之位移，以了解本工法對原結構之影響，並於施工中，作適當之修正。

伍、現場施工

本工程自79年5月23日施工至7月11日止共50日曆天，扣除颱風豪雨等惡劣天候實際作業34工作天，所投入人力計113人/日，使用設備包括鑽探機二組、鑽孔機二組、灌漿機一組、吊車乙輛/日、泵送車乙台/日，其詳細施工過程如后：

一、鑽孔及安裝灌漿管

使用2" ϕ 之鑽石及鎢鋼鑽頭，外加3" ϕ 之保護套管，利用鑽機之自重鑽掘出堤防內之級配料（照片8），未能取出之細粒則錘擊套管使之向外側排擠或粉碎而隨鑽機之冷却水洗去，至預定深度後置入1" ϕ 之灌漿管，其配置如圖二十六，施工時鑽頭常因磨損或石頭卡入鑽頭，致無法一次鑽至預定深度，而需更換或清理鑽頭，鑽桿拔出時，週圍受擾動之級配極易崩坍致部份孔經數次更換鑽頭仍無法達預定深度；各孔實際鑽達深度如表三，各孔號位置如圖二十六所示，斜坡部份需搭工作架使各孔能垂直鑽入，彼此保持等距離關係。

二、袋裝混凝土堵塞防坡堤之破損口

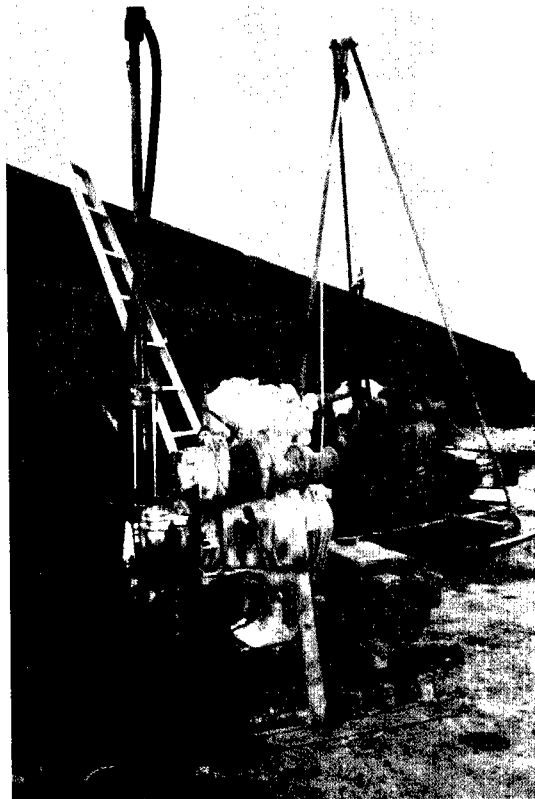
以 1m^3 之袋子內裝約 0.5m^3 之預拌混凝土，於塑性時以吊車，吊至方形消波塊間，藉海浪之推力使與破損口密合，俟其凝固後即堵塞破損口。（照片9）

三、灌入水泥砂漿

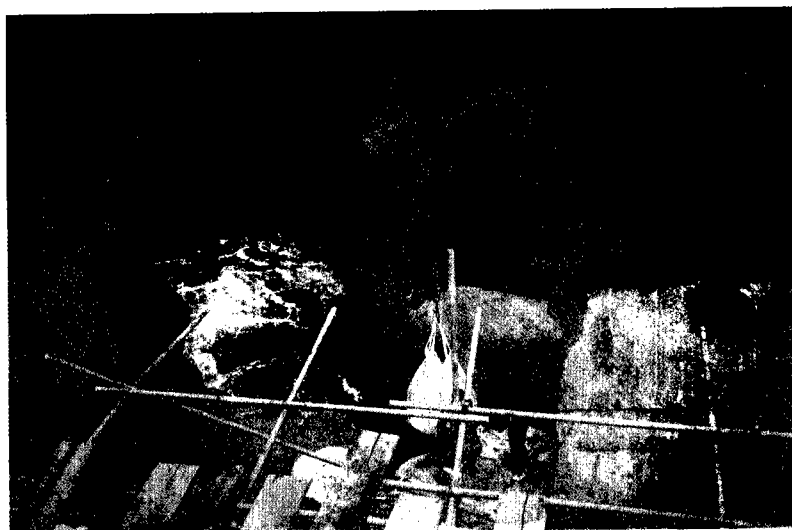
水泥與細砂（FM=1.5~2）均勻攪拌成水灰比（W/C）=1.6之水泥砂漿加入速凝劑其配比（每 m^3 之數量）如下表所示：

水泥(Kg)	細砂(Kg)	水(ℓ)	速凝劑(ℓ)
550	1000	880	4

使初凝時間控制在2小時，泵送機壓力控制在3~5kg/cm²速度約為60 ℓ /min



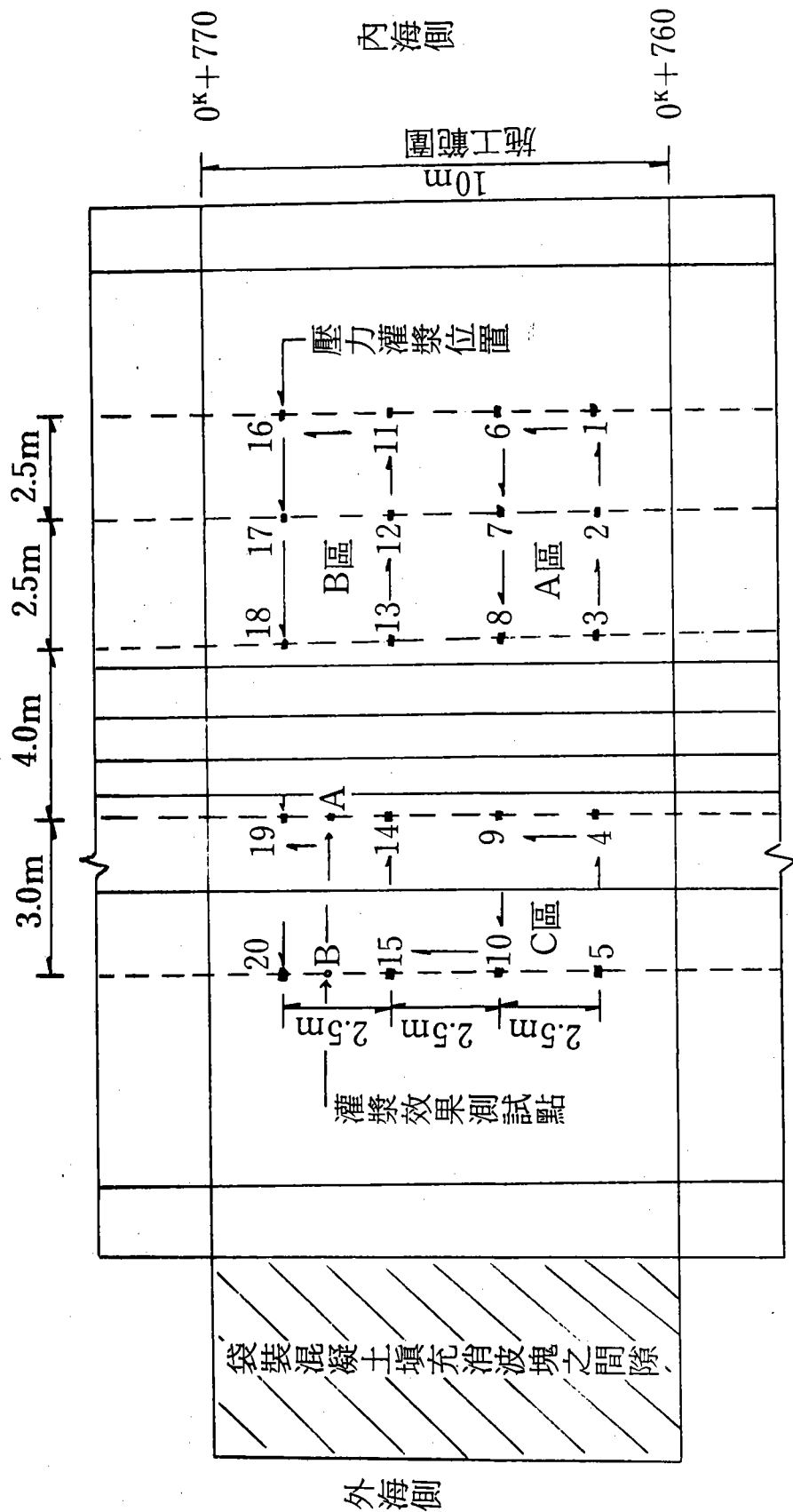
照片8 鑽掘2" ϕ 灌漿孔



照片9 袋裝混凝土堵塞破損口

表三各孔鑽孔深度及灌漿數量比較表

孔號	預定深度(m)	實作深度(m)	預定灌漿數量(m³)	實灌數量(m³)
1	6.5	3.0	6.6	3.0
2	8.5	6.0	8.7	21.0
3	9.6	7.5	9.8	6.0
4	9.8	8.0	10.	7.0
5	9.6	9.6	9.7	7.5
6	6.5	5.2	6.6	6.0
7	8.5	7.5	8.7	14.0
8	9.6	8.0	9.8	8.0
9	9.8	9.8	10.	9.5
10	9.6	9.6	9.6	7.5
11	6.5	5.0	6.6	6.0
12	8.5	7.0	8.7	15.0
13	9.6	7.5	9.8	6.0
14	9.8	9.3	10.	7.0
15	9.6	9.6	9.6	8.5
16	6.5	4.5	6.6	3.5
17	8.5	6.0	8.7	19.0
18	9.6	6.5	9.8	10.0
19	9.8	9.8	10.	7.0
20	9.6	9.6	9.7	7.5
合計	176	149	179.0	179.0



圖二十六 級配區壓力灌漿位置孔號平面圖

灌入砂漿其程序爲以複線(Multiple Line) 灌漿爲平面控制，即將灌漿口佈置成數列之平行線，間距2.5~4公尺，其灌漿順序先內陸側後外海側，自北而南，A區→B區→C區逐列孔依序而灌如圖二十六中之箭頭所示之順序，先灌A區，由3號孔開始，爾後再依次灌注2.1.6.7.8號孔爲止，各孔灌至滿溢爲止，剩餘數量移至他洞使用，儘量使各孔均能灌到溢出爲止，再換區施工，其方法亦同。

灌漿中並注意檢查各孔洞之砂漿是否外溢，若發生外溢時，隨時降低灌入壓力及速度，使砂漿能滯留在孔隙中。灌漿後各孔洞之砂漿若再有發生下陷之現象應即時補充砂漿。

施工時2號孔灌漿、砂漿外溢至太平洋，顯見砂漿水平移動距離甚遠，各孔所形成之混凝土圓柱必可重疊，而垂直移動距離又必大於水平距離使分層灌漿之效果不佳，故原計劃分二層灌漿改爲整孔(Full Depth)灌漿即在灌漿管達最深處後砂漿由灌漿管各高度(間距1.5m)之開孔一起滲出，各孔之最終灌漿量如表三所示。

四、級配料掏空區域填灌混凝土

在於堤防表面混凝土層間距2.5m鑽5" ϕ 孔，再以預拌混凝土經泵送機灌注於掏空區，至飽滿止。其配比(每 m^3 之數量)如下表所示：

水泥(kg)	細骨材(kg)	粗骨材(kg)	水(ℓ)
300	830	1530	180

原預估30%之外漏流失，但袋裝混凝土發揮圍堵之功能，施工時無外漏現象，共灌入 $146m^3$ ，較原計算量 $156m^3$ 減少 $10m^3$ 。

五、成本分析

自OK+760m至OK+770m間總工程費用共2,038,000元，詳如表四，單價分析如表五，自OK+270m至OK+900m共630m扣除已灌漿之10公尺尚餘620m，以每10公尺為單位估算其成本如表六，總工程費用為116,866,000元。

表四 花蓮港舊東堤灌漿工程總工程費

單位：新臺幣元

工 程 項 目	說 明	單位	數量	單 價	複 價	備註
1.袋裝175kg/cm ² 混凝土	每袋0.5m ² 以上	m ³	8100	420000	340,20000	
2.灌175kg/cm ² 混凝土		m ³	14600	162500	237,25000	
3.鑽孔及安裝灌漿管		m ³	14900	2,45000	365,05000	
4.壓灌速凝水泥		m ³	17900	4,32000	773,28000	
5.安全衛生管理費	一至四項	%	100		17,15700	
6.綜合工程保險費	一至四項	%	200		34,31600	
7.利潤管理費	一至五項	%	1000		173,29400	
8.營業稅	一至七項	%	500		97,02700	
總 計					2,037,57400	

表五 單價分析

(一)袋裝175kg/cm²混凝土

單位：新臺幣元

工 程 項 目	說 明	單位	數量	單 價	複 價	備註
1.175kg/cm ² 混凝土		m ³	100	127500	127500	
2.袋子		個	200	95000	190000	
3.打設混凝土工資		m ³	100	85000	85000	
4.零星工料		式	100	17500	17500	
每 m ³ 單 價 計					420000	

(二)灌175kg/cm³混凝土

單位：新臺幣元

工 程 項 目	說 明	單位	數量	單 價	複 價	備註
1.175kg/cm ³ 混凝土		m ³	100	127500	127500	
2.打設混凝土工資		m ³	100	35000	35000	
每 m ³ 單 價 計					1625	

(三)鑽孔及安裝灌漿管

單位：新臺幣元

工 程 項 目	說 明	單位	數量	單 價	複 價	備註
1.鑽孔機折舊		時	300	10000	30000	
2.鑽頭損耗 (NX)		只	040	80000	32000	
3.鑽桿損耗		m	025	20000	5000	
4.導管及導靴損害		m	025	80000	20000	
5.套管損耗		m	025	40000	10000	
6.NX 鑽石鑽頭損耗		只	0025	1000000	25000	
7.技工		工	075	120000	90000	
8.鑽孔動力及抽水費		式	100	12000	12000	
9.零星工料及設備費		式	100	7000	7000	
10.運什費		式	100	4000	4000	
11.安裝灌漿管		m	100	10000	10000	
每 m 單 價 計					245000	

(四)壓灌速凝劑及水泥漿

單位：新臺幣元

工 程 項 目	說 明	單位	數量	單 價	複 價	備註
1.水泥	亞泥洋房牌	包	1100	14000	154000	
2.速凝劑	南星牌	式	100	30000	30000	
3.灌漿用砂	F.M.=1.5 ~2.0	m³	050	40000	20000	
4.機具損耗及折舊		式	100	110000	110000	
5.動力及用水費		式	100	15000	15000	
6.技工		工	075	120000	90000	
7.運什費		式	100	5000	5000	
8.零星工料		式	100		8000	
每 m³ 單 價 計					432000	

表六 防波堤灌漿工法之成本分析

單位：新臺幣元

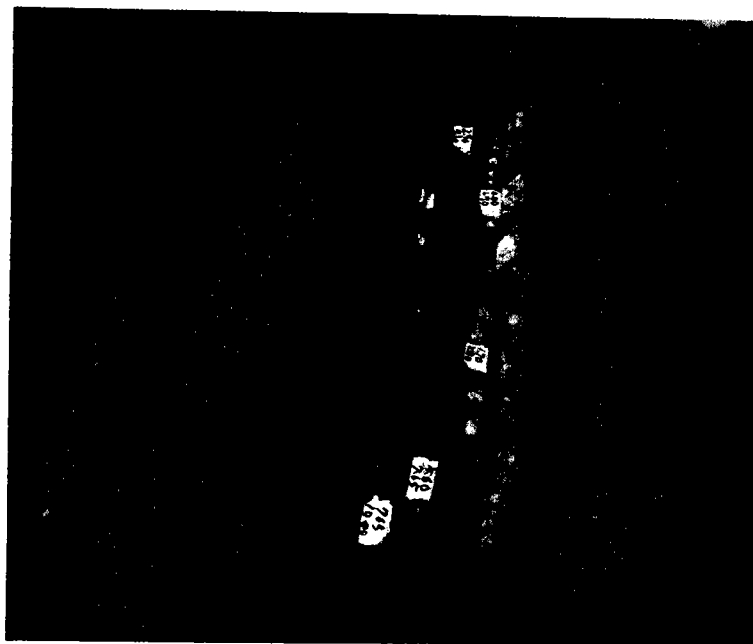
位 置	袋裝175kg/cm ² 混凝土(A)			澆灌175kg/cm ² 混凝土(B)			鑽孔及安裝灌漿管(C)			壓灌水泥砂漿(D)		
	單價	數量	小 計	單價	數量	小 計	單價	數量	小 計	單價	數量	小 計
OK+640 ~OK+650	4,200	81	340,200	1,625	140	227,500	2,450	149	365,050	4,320	181	781,920
OK+700 ~OK+710	4,200	81	340,200	1,625	136	221,000	2,450	149	365,050	4,320	182	786,240
OK+800 ~OK+800	4,200	81	340,200	1,625	147	238,875	2,450	149	35,050	4,320	180	777,600
OK+810 ~OK+820	4,200	81	340,200	1,625	157	255,125	2,450	149	365,050	4,320	179	773,280
其他區段 每 10 公尺	4,200	81	340,200	1,625	0	0	2,450	149	365,050	4,320	202	872,640

安全衛生管理費(E) $E = (A+B+C+D) \times 1\%$	綜合工程保險費(F) $(A+B+C+D) \times 2\%$	利潤及管理費(G) $(A+B+C+D+E) \times 10\%$	營 業 稅 (H) $(A+B+C+D+E+F-G) \times 5\%$	合 計	備 註
17,147	34,293	173,182	96,965	2,036,000	一、合計欄計至仟元。 二、總工程費2036 + 2034 + 2045 + 2059 + (1874 × 58) = 118688 仟元。
17,125	34,250	172,961	96,841	2,034,000	
17,217	34,435	173,894	97,364	2,045,000	
17,337	34,673	175,099	98,038	2,509,000	
15,779	31,558	159,367	89,230	1,874,000	

陸、結果評估

本研究以超音波法及鑽心取樣法作灌漿結果之評估。超音波法無法取得讀數。灌漿地段鑽心取樣二處位置如圖二十六所示，結果如圖二十八之柱狀圖，及照片10、11所示。

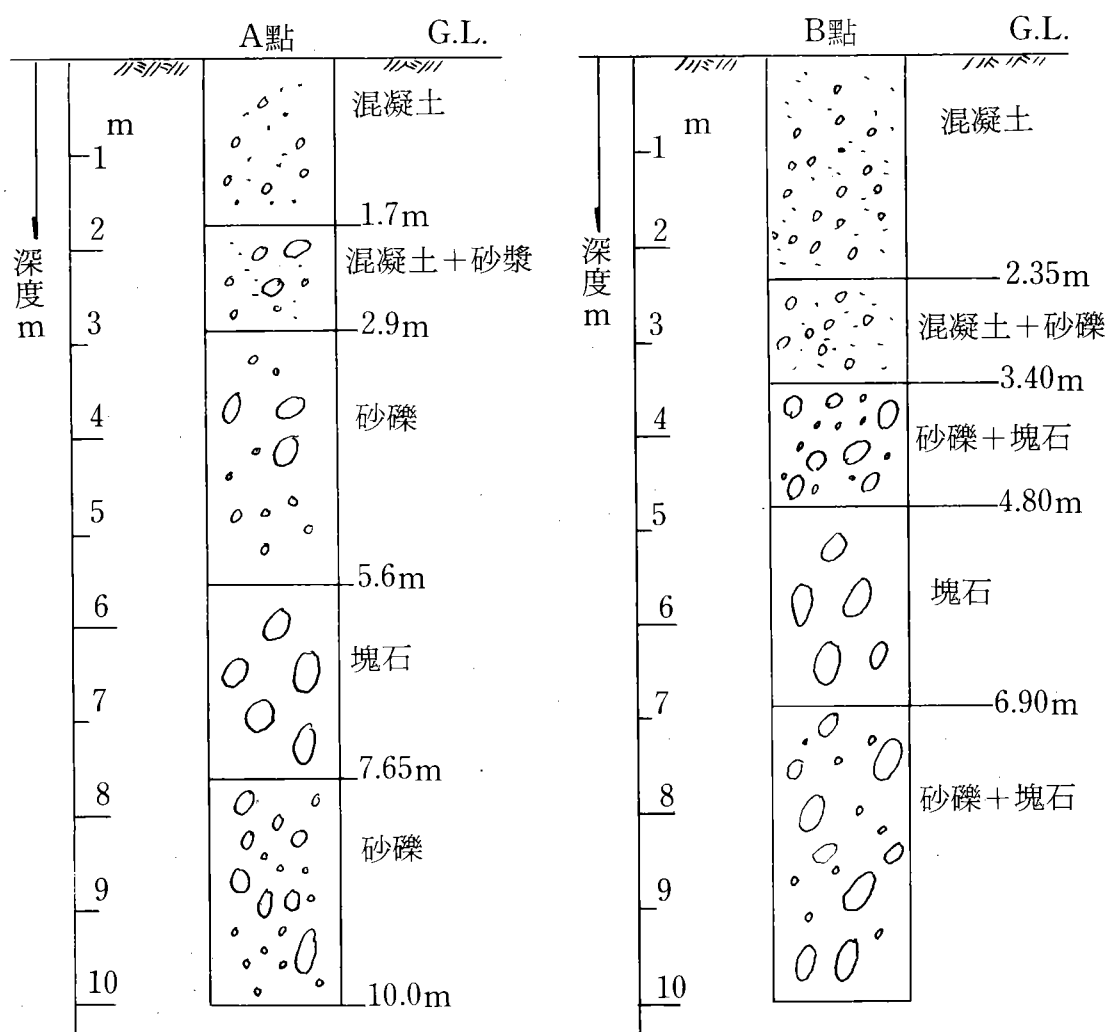
由圖中可發現，砂漿滯留在孔隙之數量不多，取樣點A，在0~-1.7m處為原有混凝土及本次灌入之 $175\text{kg}/\text{cm}^2$ 混凝土，其效果尚稱良好，自-1.7m以下為砂漿固結區，但僅在-1.7m至-2.9m間發現砂漿固結，往下則無砂漿滯留之跡象。取樣點B之結果在-2.35m以上為原有混凝土與新灌入之混凝土，自-2.35m以下，砂漿固結區均無發現有砂漿。由A、B二點可推論，越靠近外海測的砂漿固結之可能性越低，靠近內陸側較可能滯留固結，此一結果顯然受海浪沖擊之影響性甚大，未能完全阻隔海水之入侵，則本灌漿加固工法，無法在外海側使原級配料固結為巨積混凝土塊，顯然無法達到防止海水繼續侵蝕防波堤之功效。



照片10 A點之灌漿效果取樣



照片11 B點之灌漿效果取樣



圖二十八 灌漿效果測試柱狀圖

柒、結論與建議

- 1.舊東堤於民國16年建造，24年完工，使用至今已達55年以上，原設計之堤心係採用級配料，本次鑽探結果發現在 O^k+650^m ， O^k+700^m ， O^k+760^m ， O^k+800^m ，及 O^k+850^m 附近下陷深度較高，即空隙較大，且多處有被掏空和混凝土表面有嚴重龜裂之現象，應儘速修復以保安全。
- 2.本次試用灌漿方式加固修護，結果發現成效不佳。
- 3.由於舊東堤之基礎之水深較淺，為一勞永逸計建議將舊堤加以拆除，另建新堤並增加消波設施，其平面佈置示意圖如圖二十七所示。其費用據中華民國港埠服務社初估約新台幣二億多元，不但可徹底解決舊堤經常受損壞之困擾與心理威脅，而且對貴港目前港池共振現象可能大有改善。
- 4.花港曾在 $O^k+215\sim O^k+360$ ， $O^k+495\sim O^k+520$ 及 $O^k890\sim O^k915$ 三段，以 $175\text{kg}/\text{cm}^3$ 之預拌混凝土澆置修護，發現效果良好，在未建新堤前，建議在嚴重掏空地區可以採用此種方法及併用預疊混凝土施工。

圖二十七 中華民國港埠服務社所提東堤及港區共振改善措施之平面位置示意圖

