

## 第三章 研究方法

本研究旨在利用實驗室模型承載試驗，探討基礎置於邊坡頂部時，不同退縮距離對淺基礎承載行為之影響，其研究方法如下列四大項依序說明：

1. 試驗規劃
2. 試驗設備
3. 人造膠結不良砂岩的製作和試體的切削
4. 模型淺基礎承載試驗

### 3.1 試驗規劃

試驗前依第二章相關文獻探討結果，對本研究試驗所需之材料、試體製作方式、承載試驗項目及後續分析研究，先行規劃以利試驗進行。

#### 3.1.1 試體材料

本研究旨在探討新竹寶山地區（卓蘭層與頭嵙山層）膠結不良砂岩之承載行為，但因天然岩塊多含有泥、頁岩，岩性之不均質性深切影響其承載行為，使試驗結果比對困難；另天然軟砂岩強度與硬岩相較甚低，且岩塊往往存有節理或微裂隙，在挖掘、取樣、運送及修整試體之過程常會崩解，甚難取得完整及尺寸適合之岩塊進行試驗，故本研究由該地區取回天然軟砂岩塊，經過敲碎、篩選、剔除之程序後，於試驗室中進行重模、壓密、氣乾等過程，製作人造膠結不良砂岩。

#### 3.1.2 試體製作

為使試驗結果利於比對，製作試體之設備、程序及試體之配比、尺寸仍參照劉英助（2002）及廖智偉（2003）之設計進行，由廖智偉（2003）之試驗結果得知，當壓密荷重達 250 噸（ $138.89 \text{ kg/cm}^2$ ），試體已完成主要

壓密階段(圖 3.1)，故本研究試體製作之最高壓密應力定為  $138.89 \text{ kg/cm}^2$ ，壓密天數為六天。

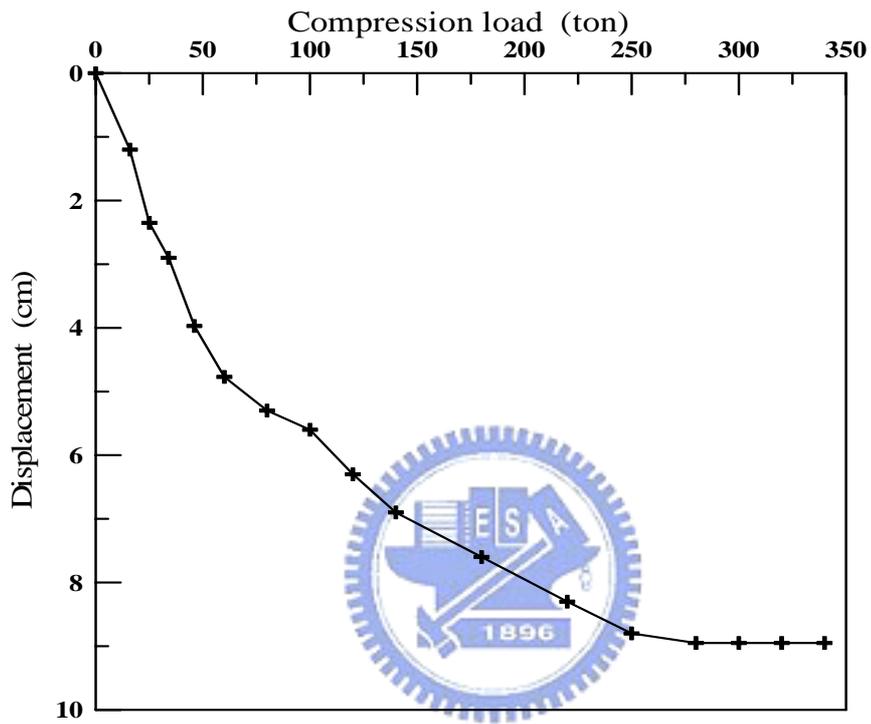


圖 3.1 人造膠結不良砂岩試體壓密曲線

### 3.1.3 淺基礎模型承載試驗

本研究探討重點為當基礎置於膠結不良砂岩邊坡頂部時，不同退縮距離對淺基礎承載行為之影響，故對本研究淺基礎模型承載規劃如下：

#### 1. 試驗邊界條件之控制：

卿建業(1995)、王乙翕(2000)認為極限承載力的發生乃因有一主要張力裂縫生成於基腳下部岩體，進而造成基礎的破壞。惟劉英助(2002)及廖智偉(2003)均曾指出，若側向束制圍束良好，試體底部便無張力裂縫產生，筆者研判張力裂縫可能係試體受加載後向兩側移動所致，故本研究於試體製作及承載試驗進行時側模均不予拆除，以維持良好之側向束制。

#### 2. 邊坡角度之選擇：

Vesic(1975)曾提出當坡角大於 $\phi'/2$ 時，受基礎影響之邊坡便須檢核其邊坡穩定性，依廖智偉(2003)之試驗結果，其氣乾試體之 $\phi$ 約為 $50^\circ$ ，本研究旨在探討膠結不良砂岩淺基礎之承載行為，若坡度選擇過大將使邊坡穩定性影響試驗結果之判斷，坡度選擇過小則較無法彰顯邊坡對承載行為之影響，故選擇小於 $\phi'/2$ 之 $20^\circ$ 作為本研究之試驗坡角。

#### 3. 試驗項目(表 3.1)：

依理論當基礎退縮至邊坡影響外時，承載行為就如同基礎置於水平地表，故本研究計畫先進行基礎置於水平地表之試驗，以瞭解其破壞範圍，接著將試體修成具邊坡形狀，分別進行基礎置於鄰近邊坡(Crest)，基礎距離邊坡 1/2 破壞範圍，基礎置於破壞範圍外之試驗，以瞭解基礎置於不同位置對承載行為之影響。

#### 4. 加載設備及速率：

為使試驗得穩定加載並求得完整之應力應變曲線，本研究採用剛性材料試驗儀並採等應變控制之伺服控制，採用之材料試驗儀為MTS-244.41S，加載速率為0.3mm/min。

表 3.1 本研究規劃試驗項目

項次	邊坡角度	基礎位置	試驗目的
1	0°	試體中央	以水平地表試驗瞭解並預測基礎於邊坡影響範圍外之承載行為及破壞範圍。
2	20°	鄰近邊坡處 (Crest)	瞭解基礎鄰近邊坡時之承載行為。
3	20°	1/2 破壞範圍處 (1.5 倍基礎寬度)	瞭解基礎置於邊坡頂部不同位置對承載行為之影響。
4	20°	影響範圍外 (3 倍基礎寬度)	驗證基礎置於邊坡影響範圍外,承載行為為與置於水平地表相同。

### 3.1.4 模型相似律之檢核

試驗結束後取岩樣求其含水量、單位重及孔隙率等物力性質，另取岩心試樣，進行單壓試驗、三軸試驗等力學試驗，以作為模型相似律之檢核。

### 3.1.5 試驗結果與相關研究之比對

將試驗結果與第二章所提之相關理論研究及試驗結果比對，以探討其差異及適用性。



## 3.2 試驗設備

本研究設備的建立，主要依照劉英助(2002)、廖智偉(2003)所建立之實驗設備。儀器可分為其製作試體設備和承載試驗設備來討論，分別又可包括三大部分：反力系統設備、加載量測設備與模型試驗盒。各設備內容如下：

### 3.2.1 製作試體設備

#### 1. 反力系統

反力系統由反力座與反力樑構成(圖 3.2)，反力樑最高可提供 400 噸之反力。反力座四角各以四支高拉力螺桿並各施予 50 噸預力，使與本結構試驗室之反力地板固定以提供反力，其上承接反力樑，其中提供 400 噸之油壓千斤頂固定於反力樑之中間。

#### 2. 加載量測設備

本動力系統包括一個可提供推力 400 噸千斤頂，以兩條油管連接一台配合加壓之油壓機。油壓機與千斤頂各有進油與出油口，可進行往覆加減載重，試驗進行實時可控制油壓機提供穩定之加載力量。其油壓機與油壓千斤頂之規格敘述如下：

##### (1)5HP 電動油壓泵

提供千斤頂壓力來源，製作人造軟岩試體，如圖 3.3 所示

型號: Simplex PEM6047

馬力: 5HP 220V 3相 60HZ

工作壓力: 700 kg/cm<sup>2</sup>

吐出量: 2000 psi / 650cu. in

10000 psi / 175cu. in

3P/4W 雙動手控控制閥，具真空吸力裝置，輔助千斤頂快速回縮

油箱容量：10 加侖

## (2)400 噸雙動型實心式油壓千斤頂

採用 400 噸(U.S.制單位)雙動型實心式油壓千斤頂(圖 3.4)。其規格如下:

型號: RDA 4006

能力: 推力: 400 TON      拉力: 145 TON

本體高度: 458 mm

行徑: 155 mm

外缸徑: 365 mm

內缸徑: 270 mm

軸徑: 215 mm

## (3)量測系統與資料擷取系統:

用於測量製作試體時的壓力及對試體造成之沈陷量，其中包括:

- (a)量測壓密應力之 400 噸荷重計(Load cell)，型號為 LC1C-400，量測精度為 100kg。
- (b)觀察試體沈陷量之 LVDT 一支，型號為 LRT-S-200B，可量測最大伸長量 15cm，量測精度為 0.2 mm。



## 3. 模型試驗盒

本試驗箱四周為四片鋼版及底部鋼承底版所構成之模具。用以製作人造軟岩試體與進行承載試驗之用。內部尺寸為長 600mm，寬 300mm，高 650mm 之長方體，如圖 3.5 所示。

試驗箱下部設有導水板及導水孔，以利試體製作時之排水；另外，上部有一加壓蓋板，同樣設有導水孔，使能上下雙向排水。於加壓蓋板與動力系統之間則架有一球形座，以修正偏心所造成的影響。

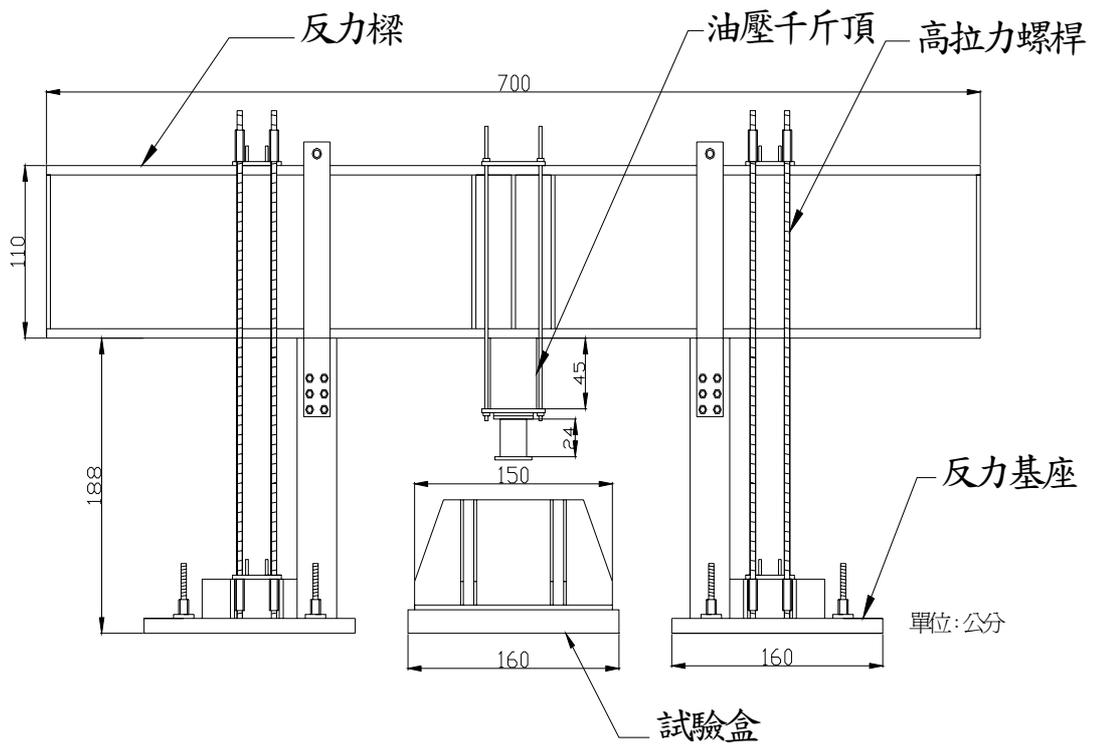


圖 3.2 製作試體設備示意圖



圖 3.3 5HP 電動油壓泵



圖 3.4 400 噸雙動型實心式油壓千斤頂



圖 3.5 試驗盒完整組立狀

## 3.2.2 模型承載試驗設備

### 1. 反力系統

以交通大學土木結構實驗室內 MTS-244.41S 作為加載之設備，其反力座固定在結構實驗室地板上，是由四根 H400×400×13×21 的型鋼點焊組合口字型組合斷面，空心部分為 80 公分見方。(圖 3.6)

### 2. 加載量測設備

MTS-244.41S (圖 3.7)，可提供應力及應變控制之模式進行試驗，最大壓力為 500kN，最大衝程為 406.4mm。

量測系統與資料擷取系統用於測量試驗時之應力及應變，其中包括：

- (a)量測應力之荷重計(Load cell)，型號為 KYOWA LC-50TE，量測精度為 1kg。
- (b)觀察試體沈陷量之 LVDT 兩支，型號為 GEFran-PA1F100S，可量測最大伸長量 5cm，量測精度為 0.01 mm。

### 3. 模型試驗盒

其設備與製作試體之模具大致相同，在試驗時模具長側面設有觀察窗(圖 3.8)，能見範圍為 250mm×400mm，其材料為三片厚度 19mm 之平板強化玻璃，用以觀察試體表面裂縫形成的先後次序。

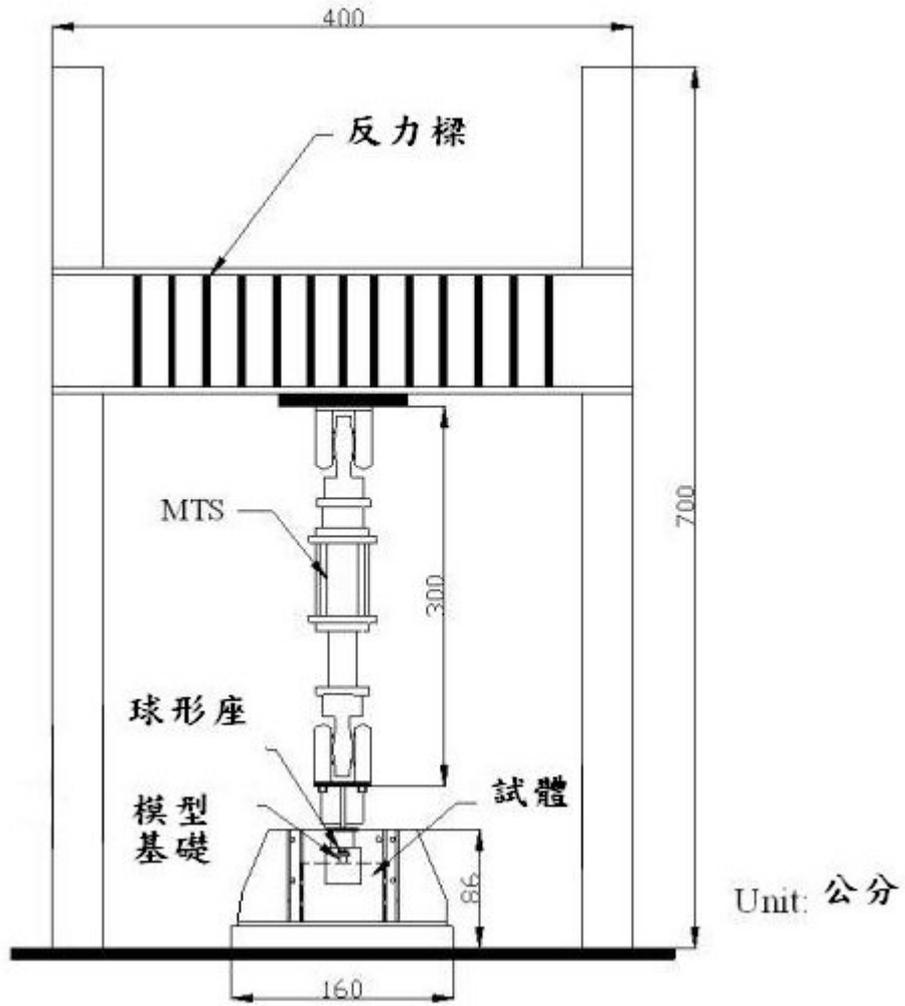


圖 3.6 基礎承載試驗設備示意圖



圖 3.7 土木結構試驗室之 MTS-244.41S



圖 3.8 觀察窗

### 3.3 人造膠結不良砂岩試體製作

為了製作出合乎模擬的人造軟岩，依模擬對象以及實驗的目的，採取適當的材料與製作流程，以提供研究所需要之試體。本研究以新竹縣寶山第二水庫之軟弱砂岩為主要模擬目標，參考並修正劉英助(2002)所建議之製作人造軟岩之方法，摘述如下：

#### 3.3.1 人造膠結不良砂岩材料的組成

本研究之模擬目標地層(卓蘭層及頭嵙山層)內之軟弱砂岩有別於其他地層，陳賀瑞(1997)曾指出此類砂岩由細料(粉土及黏土顆粒)膠結(或填充)，主要含量為中至細砂，且石英經顯微分析常可見風化產物及微裂縫，因此，人造軟砂岩不宜與大部分文獻上採用之乾淨石英砂、水泥、高嶺土或石膏等依不同配比加以製作。基於上述原因，本研究使用目標地層的岩屑粒料來當作基本的模擬材料。試體組成材料有岩碎屑岩料、膠結材、水，分別敘述如下：

##### 1. 砂岩碎屑岩料

人造軟岩的最基本也是最主要的模擬材料即為天然的軟岩本身，天然軟岩岩樣取自新竹縣寶山第二水庫工址之邊坡岩塊，岩樣取回後先行氣乾，可以避免之後於研磨的過程之中，由於潮濕的部分形成塊狀凝結物，再將其敲碎、研磨以成岩屑狀，取通過 30 號篩之粒料為主要製作原料，進一步再以 200 號篩為區分粗細粒料之工具，(本研究定義之粗細粒料，以 200 號篩之 0.075mm 粒徑大小作為分界，大於此粒徑為粗粒料，反之則為細粒料)，以濕篩的方式取得細粒料，依鍾峻偉(2001)所建議，人造軟岩製作時的細粒料含量乃根據天然岩樣的粒徑分佈狀況所決定，將粗細粒料以 1:1 為其拌合比例。

## 2. 膠結材

鍾峻偉(2001)以 200 號篩濕篩後的含細粒料水溶液作為一個膠結材的替代物，本研究採取其所建議之方式，亦使用濕篩後的含細粒料水溶液，不另外增添加膠結材。

## 3. 水

決定了製作軟岩的基本材料以及粗細粒料的配比之後，拌合時所需的水的含量，則是另一個重點。一般而言，進行拌合時水的配比將會明顯大於最後所需要的含水量；若拌合時水的含量過少，不易均勻拌合而有結塊體產生，增加人造軟岩的不穩定性，且因為材料與模具之間的摩擦力影響，將會使得不均質的特性更加顯著；反之，若是拌合時水的含量過多，將會增加製作軟岩時所需要的排水時間，同時也容易使試體組成材料中細粒料部分流動至某些應力集中處；過多的水將會使得拌合物如同泥漿一般，於製作過程中增加控制的困難度。

鍾峻偉(2001)經過一連串的試誤，建議按照比例秤取粗料重量與細粒料水溶液調配(粗細粒料約 1:1)，細粒料水溶液水的重量約佔總粒料重的 26%，其拌和工作度最佳，且成稠狀拌合物，有助於灌模工作的進行。

### 3.3.2 人造膠結不良砂岩製作流程

由廖智偉(2003)製作方法的建議，經過小範圍調整改進一些步驟與程序，訂出本研究所使用之人造軟砂岩試體製作流程。以下說明軟岩製作方法及每個步驟程序：

#### 1. 儀器與架設

本研究於製作人造軟岩試體時主要所使用的壓密設備為油壓千斤頂、電動油壓泵、反力樑及其支撐架、荷重計、資料擷取系統及模具，如之前 3.2.1 節所述。

## 2. 製作方法與流程

將整個人造軟岩試體製作過程分述如下，並參閱流程圖。(圖 3.9)

### (1)取得岩樣

使用新竹縣寶山鄉寶山第二水庫工址之邊坡岩塊。

### (2)岩樣處理

破碎岩塊進一步敲碎成最大粒徑約 3cm 之岩屑料，並進行氣乾。

### (3)研磨岩屑

以榔頭敲碎、研磨氣乾後之岩屑，取通過 30 號篩之粒料作為主要原料。

### (4)粒徑分析

以供比對粗細粒料比例，粗料與細料的粒徑分佈必須進一步做篩分析與比重計分析。

### (5)粗細粒料分離

為了節省濕篩的時間以及控制水的用量，先將粒料以 200 號篩乾篩，停留於 200 號篩上之粒料再以濕篩過 200 號篩作篩洗的動作，為了滿足洗淨度上的要求，倒入一定的水量後，以手均勻掏洗，直到掏洗後的水清澈為止。篩洗出的細粒料水溶液以容器承接收集，靜置沈澱，舀出多餘水分後可減少水的含量。粗粒料則置入烘箱 24 小時。

### (6)檢核決定拌和比

經由本程序所得到粒徑分佈與粗細粒料分離的結果極為相近，檢核的目的是為了確保若程序上有疏失，可馬上檢核出來。拌和比則可控制細粒料的含量，仍決定以接近天然軟岩之細料比例 50%，為拌和細粒料的比例。

### (7)依比例拌和

按照比例秤取粗料重量與細粒料水溶液調配，細粒料水溶液水的重量約佔總粒料重的 26%。

### (8)組裝模具

模具設計為長 600mm，寬 300mm，高 650mm 之長方體，以四片鋼製模板組立而成，模具內側以鋪保鮮膜（PVDC memberane）以減低側壁摩擦力。

#### (9)灌模

拌和好之粒料填入模具中，上下各放置不織布（PPGS-3010）與濾紙（ADVANTEC-No.2）充當透水材料防止細粒料流失。

#### (10)壓密

目標壓密荷重為 250 噸（ $138.89 \text{ kg/cm}^2$ ），壓密時間 6 天，為達目標荷重，分階加載，並在 1 天內加載到目標荷重，如表 3.2 所示，試體上架壓密狀況如圖 3.10、3.11 所示。

#### (11)拆模氣乾

達到目標荷重與壓密時間的試體，卸載後拆除兩片長邊側模，短邊側模不拆除。試體放置陰涼處氣乾，而氣乾時間控制在 3 週左右，如圖 3.12 所示。

#### (12)修整試體、試體完成



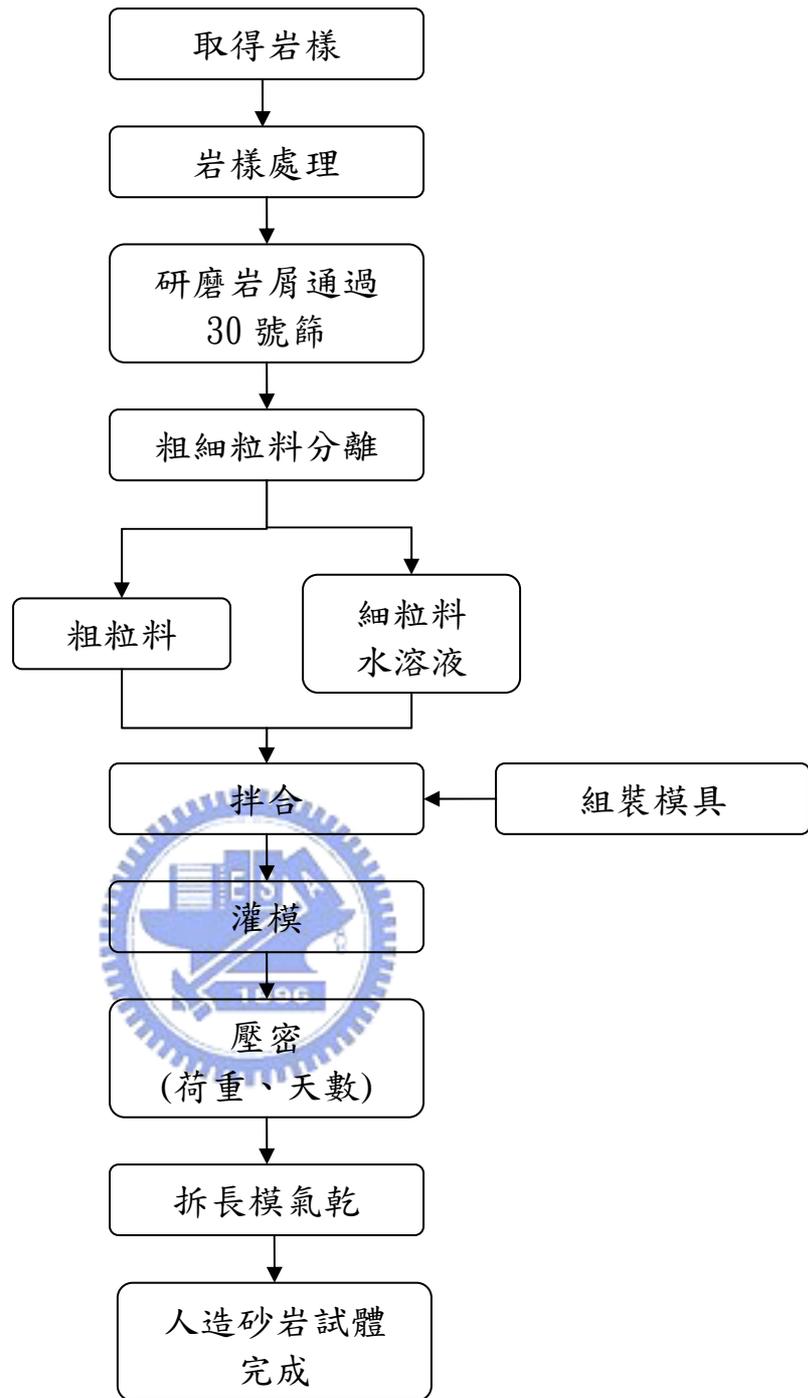


圖 3.9 人造膠結不良砂岩試體製作流程

表 3.2 分階加載的目標荷重和對應的時間

加載階數	目標荷重(ton)	壓密應力(kg/cm <sup>2</sup> )	加載間隔時間	備註
1	10	5.56	-	第一天
2	16	8.89	1hr	第一天
3	25	13.89	1hr	第一天
4	34	18.89	1hr	第一天
5	46	25.56	1hr	第一天
6	60	33.33	1hr	第一天
7	80	44.44	1hr	第一天
8	100	55.56	1hr	第一天
9	120	66.67	1hr	第一天
10	140	77.78	1hr	第一天
11	180	100.00	1hr	第一天
12	220	122.22	1hr	第一天
13	250	138.89	1hr	第一天
14	250	138.89	2hr	第一天
15	250	138.89	8hr	第二天
16	250	138.89	8hr	第二天
17	250	138.89	8hr	第三天
18	250	138.89	8hr	第三天
19	250	138.89	12hr	第三天
20	250	138.89	24hr	第四天
21	250	138.89	24hr	第五天
22	250	138.89	24hr	第六天

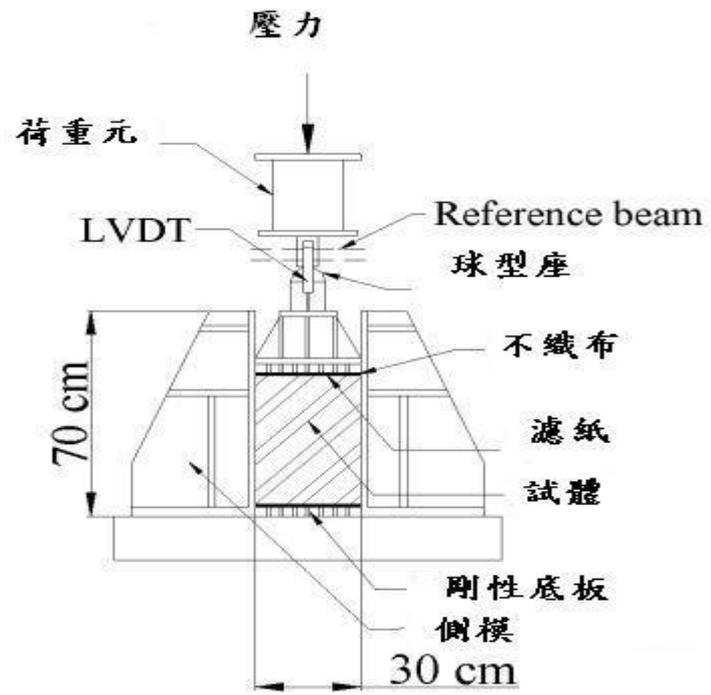


圖 3.10 壓密試驗儀器示意圖



圖 3.11 人造膠結不良砂岩壓密情形



圖 3.12 人造膠結不良砂岩試體拆長邊模氣乾情形



### 3.4 模型淺基礎承載試驗

本研究承在試驗主要為是模擬平面應變狀況之下長條形淺基礎模型承載行為，基礎以一剛性鋼塊作為長條形模型基腳，氣乾完成試體繪上網格，將鋼模與試體接觸面，以塗佈潤滑油並包覆保鮮膜減低摩擦，待鋼模組立並與試體束制好以模擬平面應變狀態後。以 MTS-244.41S 採應變控制加載荷重，荷重透過剛性基腳施加於人造試體上，由觀察窗觀察試驗過程，並由量測系統與資料擷取系統記讀承載壓力與沉陷量，以得到承載沉陷曲線及觀察破壞行為。

#### 3.4.1 試驗儀器之架設

本模型基礎承載試驗所用之試驗儀器為 MTS-244.41S 之動態壓力機 (actuation)，規格同 3.2 節所述。

模型淺基礎以長條型鋼條(50 mm × 300mm × 100mm)作為基腳，材料性質為 S45C 中碳鋼，其 E 值為 210GPa，可視為一剛性基礎，施作承載實驗時在模型基腳上鎖上一球型座以防止荷重傳遞偏心。圖 3.13 為將剛性基礎鎖上球型座後置於試體上之照片。

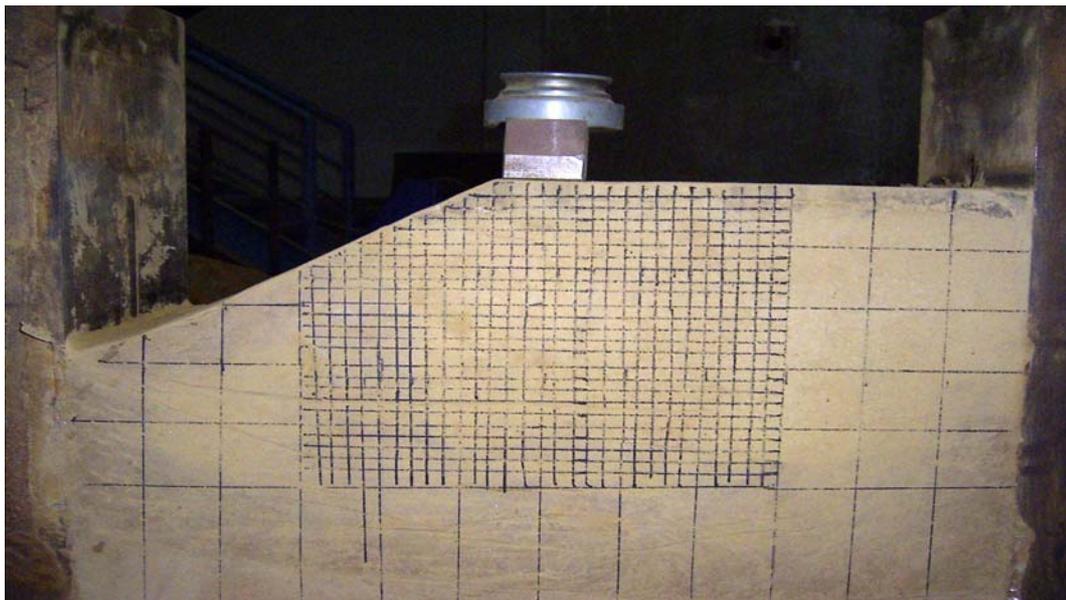


圖 3.13 剛性基礎鎖上球型座後置於人造膠結不良砂岩試體

組裝完試驗盒後將監測儀器兩支 LVDT 置於基礎的兩側，並為了確保 LVDT 本身不會因實驗過程有所移動，放置於獨立於系統外之參考樑上，其所測得之平均值作為基礎沈陷量之參考，LVDT 量測位置示意圖如圖 3.14 所示，整體量測系統如圖 3.15、圖 3.16 所示

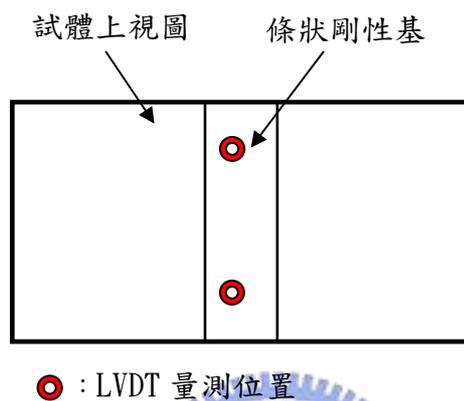


圖 3.14 LVDT 量測位置示意圖





圖 3.15 LVDT 量測系統之整體照

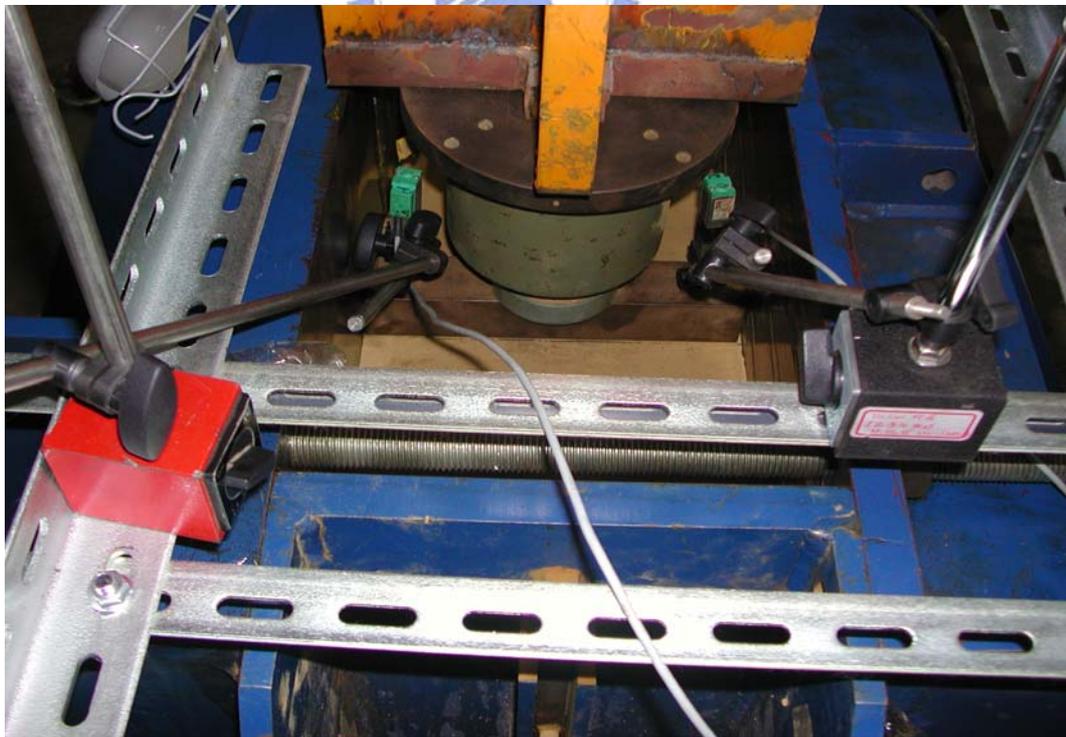


圖 3.16 LVDT 量測系統之位置近照

### 3.4.2 試驗方法與流程

由於軟岩製作過程中，須將長邊鋼模拆模氣乾試體，另試體表面及基礎位置須平整，所以必須修整試體，但須謹慎以避免因修整過多影響組模後之密和度，試體修整完成組模後，以四根螺桿將試體與模具緊密結合，以達到模擬平面應變之狀態。主要的承載試驗流程說明如下，並參閱圖 3.17 之流程圖。

#### 1. 人造膠結不良砂岩試體之切削修整：

試體氣乾 3 週以後，開始進行邊坡試體人工切削修整，依邊坡角度計算並標記切削範圍後，先以砂輪機大概磨切試體邊坡，再以刮尺刮平至所標記之邊坡位置，最後以磨平機修整試體表面，以利於之後繪製網格的施作。

#### 2. 繪製網格：

於試體兩側繪製網格，如圖 3.18 所示，以基礎中央兩側各 15 cm 之範圍以 1cm×1cm 為一單位繪製方格，其他位置以 5cm×5cm 為單位繪製方格，以便觀察基礎於承載試驗過程中，觀察網格變形的情形，以做定性上的描述。

#### 3. 模具組立：

將兩片長邊側模重新組立，並以四根螺桿上下夾緊以求束制良好。因本承載試驗為模擬平面應變狀況，試驗箱兩側壁為應為無摩擦阻抗，但試體與試驗盒鋼側壁為兩種不同材料互相接觸，必定存在於摩擦效應問題，所以在長邊側模塗潤滑油和以保鮮膜裹覆，用以減低試體和鋼壁間的摩擦力，如圖 3.19 所示。

#### 4. 監測儀器及條形基礎模型架設：

將所需的已校正過之量測儀器，包含 5cm LVDT 兩支，架於基礎上，量其前後的沉陷，另由 MTS-244.41S 上之荷重計，測量承載壓力。

## 5. 計時及攝影儀器架設：

於觀察窗旁安放計時碼表，並於觀察窗前架設數位相機，試驗開始後，以 30 秒之間隔拍攝試驗破壞過程，由照片中計時碼表之顯示之時間，對應 MTS-244.41S 紀錄之時間與載重，可瞭解載重與破壞發展間之關係。

## 6. 承載試驗施作：

試驗盒置於 MTS-244.41S 下方，以 0.3mm/min 之定應變速度將剛性基礎向下壓，當承載力明顯下降即試體破壞，承載試驗立即停止。

## 7. 拆模觀察：

試驗完成後將試體四周鋼模拆除，先以數位相機拍攝破壞範圍及型式，再由試體最上部裂縫開始，逐一向下將裂縫上與試體分離之岩塊小心剝除，觀察並拍攝其破壞深度、範圍及破裂面形狀。

## 8. 取樣及試驗：

為檢核模型相似律，試驗完成後自試體取樣，進行各種物性試驗及力學試驗：



### (1) 物性試驗：

採集試體上、中、下表面及內部岩樣（圖 3.20），測其含水量、比重、密度、孔隙率等基本物性試驗。

### (2) 力學試驗：

清除試體上部塑性變性及裂縫發展之區域後（圖 3.21），於試體下部完整區之部位，以泡沫鑽心取樣進行單軸試驗、三軸試驗及巴西試驗等力學試驗。

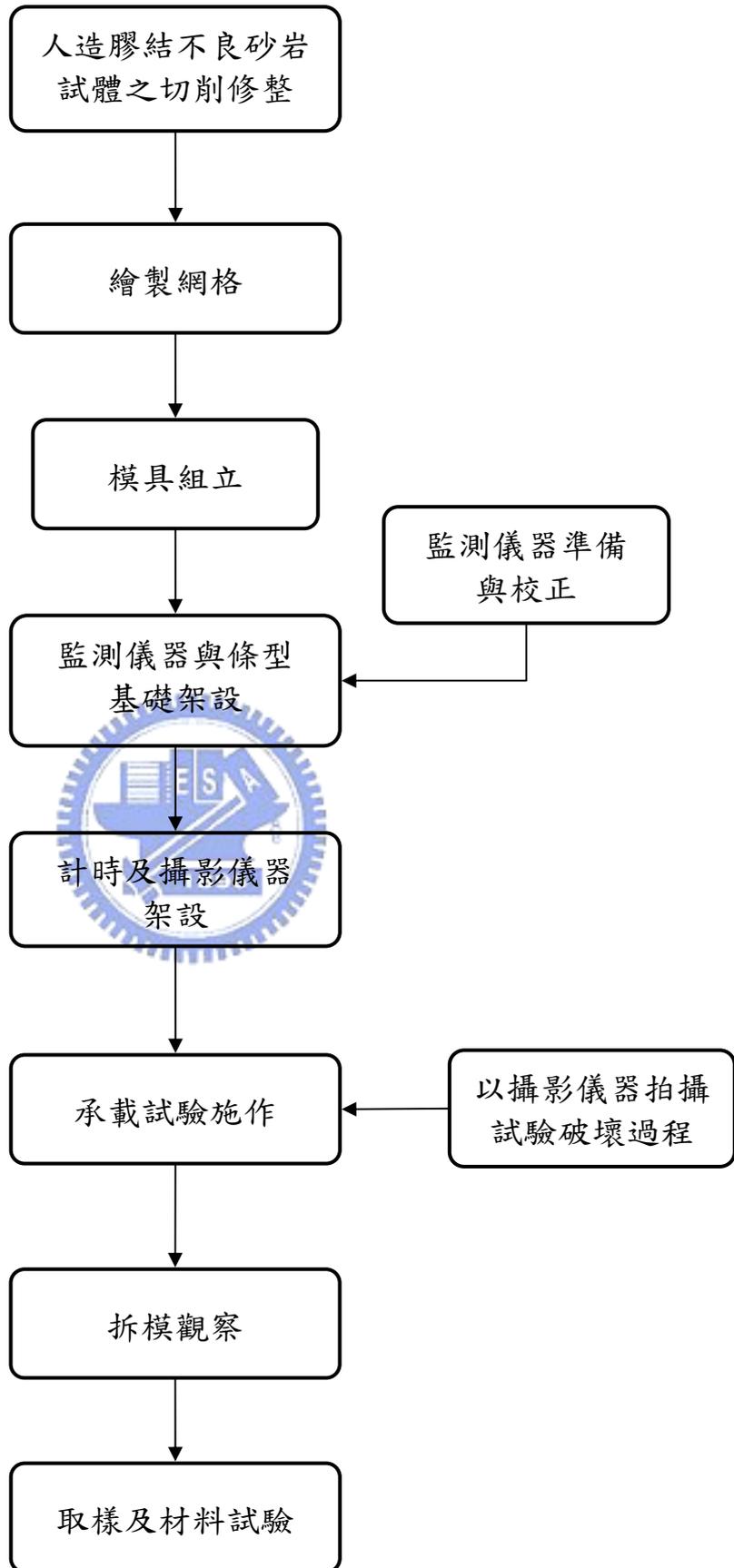


圖 3.17 淺基礎承載試驗流程示意圖

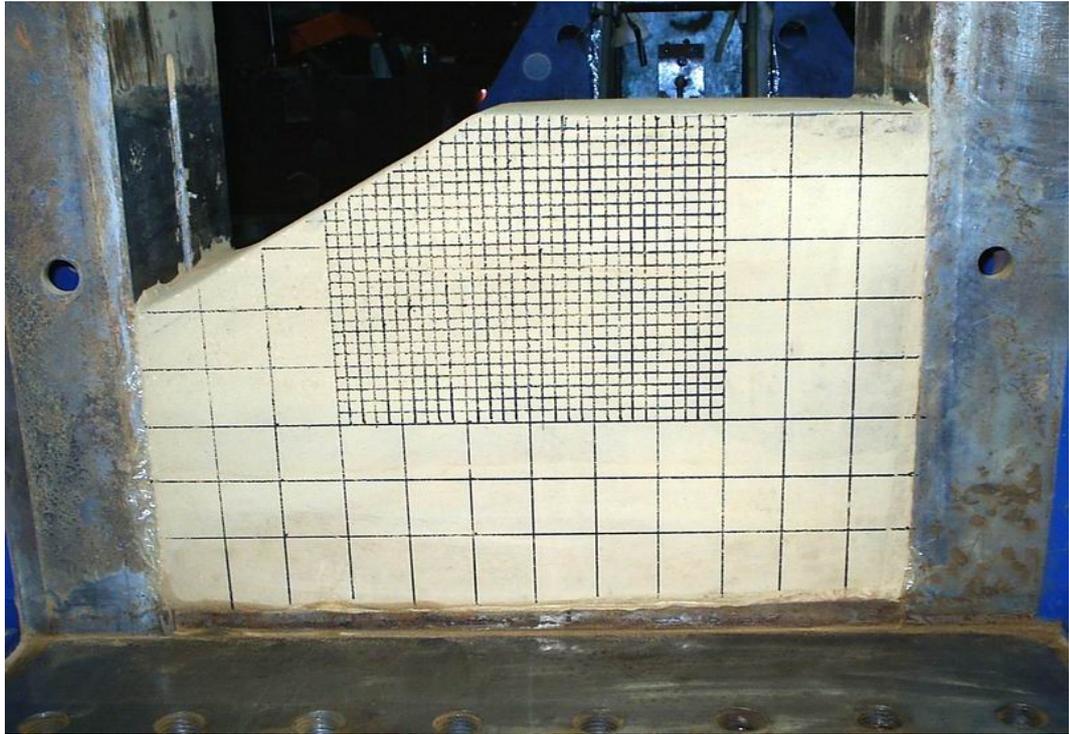


圖 3.18 網格繪製示意圖

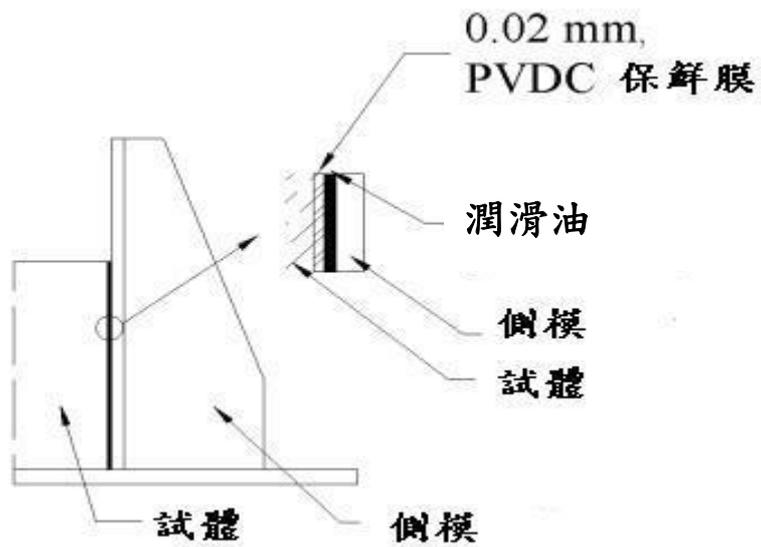


圖 3.19 側壁和試體間減低摩擦力方法之示意圖

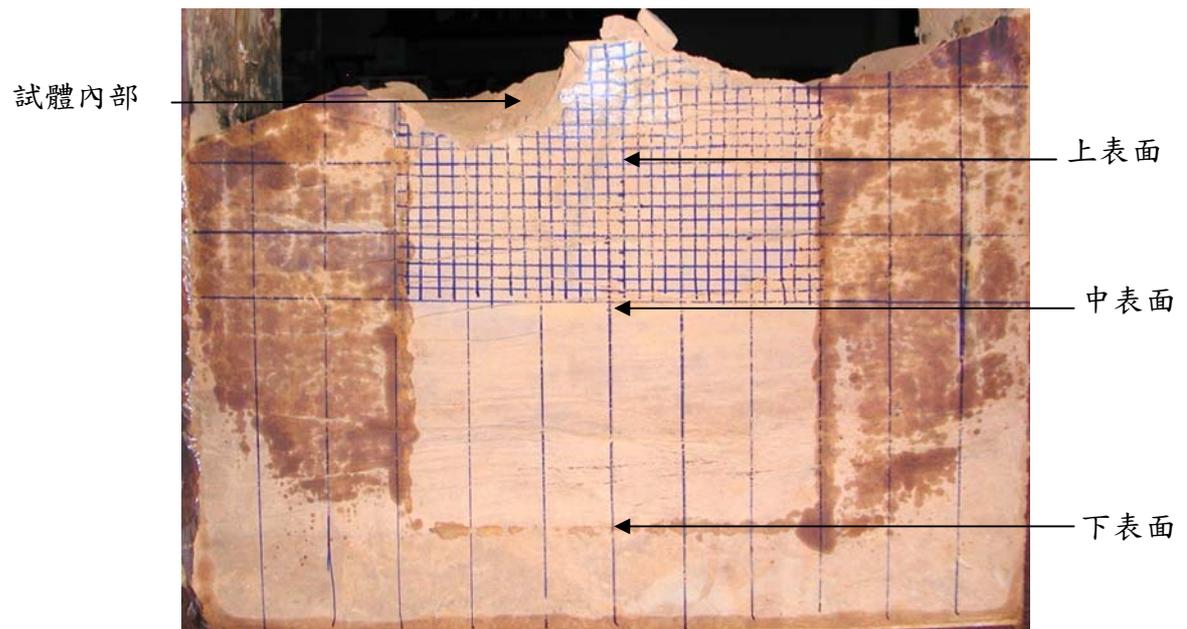
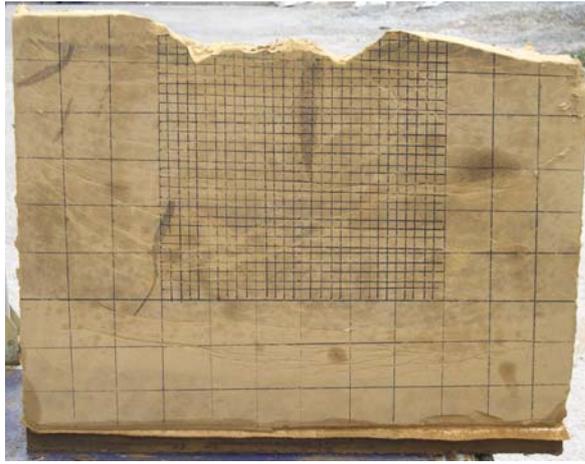
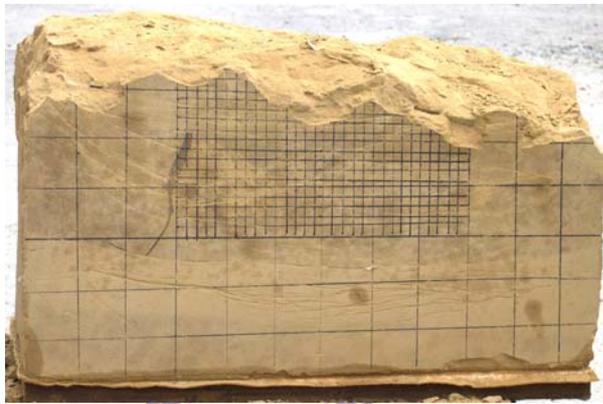


圖 3.20 物性試驗取樣位置

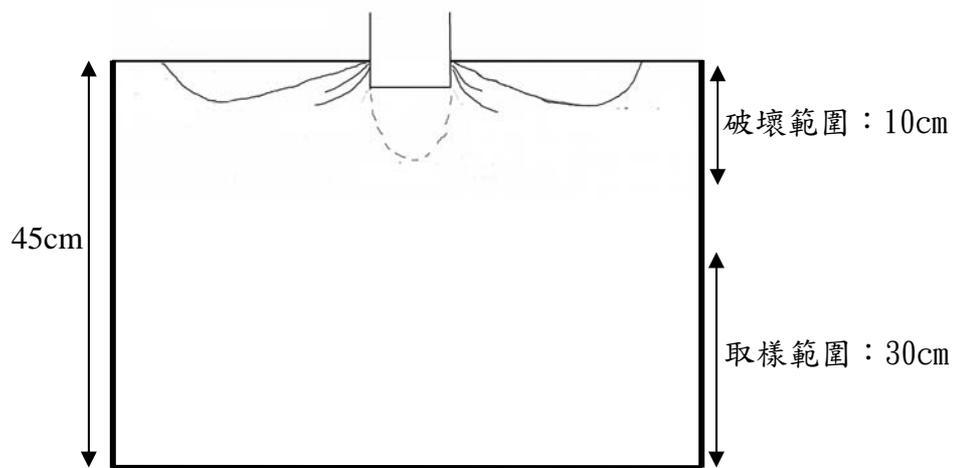




(a) 試體原貌



(b) 清除破壞範圍後試體



(c) 取樣範圍示意圖

圖 3.21 岩心取樣範圍