

# 海岸土層下陷行爲與預測之研究

## 期中報告

|       |     |
|-------|-----|
| 計劃主持人 | 李豐博 |
| 協同主持人 | 謝明志 |
| 研究人員  | 賴聖耀 |
|       | 蘇吉立 |
|       | 陳志芳 |
| 技術員   | 陳義松 |
|       | 李春榮 |
|       | 張阿平 |
|       | 張惠華 |

# 目 錄

## 一、前言

## 二、相關理論與研究方法

### 2-1 理論分析法

#### 2-1-1 有效應力增量分佈之研究

##### (1) 地表荷載引致之有效應力增量分佈

##### (2) 超抽地下水引致之有效應力增量分佈

#### 2-1-2 土層下陷行為與壓縮特性之研究

#### 2-1-3 壓密理論應用之研究

### 2-2 統計經驗法

#### 2-2-1 下陷與時間之關係

#### 2-2-2 下陷與地下水壓變化量之關係

#### 2-2-3 下陷與抽水量之關係

#### 2-2-4 下陷與含水層厚度之關係

#### 2-2-5 下陷與粘土含量之關係

## 三、研究規劃與試驗

### 3-1 研究規劃概況

### 3-2 室內Rowe cell 壓密試驗

### 3-3 現地水壓錐貫入試驗與消散試驗

## 四、研究結果與討論

### 4-1 地下水位與地盤下陷觀測結果分析

### 4-2 現地水壓錐試驗結果分析

### 4-3 Rowe cell 壓密試驗結果分析

### 4-4 傳統壓密試驗結果分析

## 五、結論與今後研究工作

## 六、參考文獻

## 七、附錄

### 附錄1 水壓錐消散試驗資料

### 附錄2 Rowe cell 壓密試驗資料

### 附錄3 傳統式壓密試驗資料

# 一、前言

台灣之土層下陷問題，可追溯至民國三十九年發生於台北盆地之地層下陷，引起工程界之注意，隨後因著社會經濟之發展，各都會區深基礎之開挖、地下隧道開挖等引起土層之下陷與移動。近年來更由於地下水大量之開發引致之地盤下陷問題，在台灣各地區已是一種普遍現象。而在沿海地區，亦由於社會經濟快速發展及土地資源之廣泛利用，不但魚塬大量開發抽取超額之地下水導致愈演愈烈之地盤下陷，而且有許多工業區及重大工程設施正在進行規劃與興建，一旦發生地盤下陷，對工程品質與安全將產生不少威脅，因此對沿海地區土壤之地盤下陷行為特性之研究，乃為相當重要課題。

地盤下陷的主要原因是土壤受到壓力，使土壤內之孔隙水逐漸排出，體積發生變化導致土壤壓密現象，由於壓密作用，地層表面將有沉陷變形產生。因此一般探討地盤下陷問題，常在現地進行沉陷觀測及在室內進行壓密試驗。一般室內壓密試驗可包括：單向度壓密試驗、三軸壓縮之壓密試驗及多功能之Rowe氏壓密試驗。傳統上對地盤下陷之評估，大都採用單向度壓密試驗之結果，以Terzaghi之單向度壓密理論進行分析，但實際上之地盤下陷問題應屬於三維排水，因此傳統之壓密試驗祇能模擬垂直方向排水之壓密現象，較不能反應現場土層狀況。而三軸壓縮之壓密試驗，雖可於試樣周圍置濾紙，使其達全面排水之效果，惟其變形屬於均向之全面收縮，與現場亦有極大之差異。Rowe氏壓密試驗，採用液壓式荷重系統施加荷重，以減少人為操作與震動之影響，在排水方式上可模擬垂直、水平或全面之排水，亦能分別以自由應變(Free Strain)或自由應力(Free Stress)邊界條件之考慮，使得試驗狀況更能符合模擬現場土層，同時在試驗過程亦可兼測孔隙水壓消散情形，使試驗能控制於主要壓縮階段，減少次要壓縮之影響，讓壓密試驗更能符合壓密理論。

室內壓密試驗雖可適當的模擬現場之土層壓縮現象，唯因需要經過鑽探取得不擾動土樣之過程，使得試驗增加一些不易控制之誤差，而且壓密試驗

亦須較長之試驗時間，因之發展一種簡便可靠之現地量測土層壓縮特性之設備，為工程與學術界所殷切盼望。荷式錐貫入試驗(CPTU)為一種發展迅速之現地試驗，其電子式水壓錐(Piezocone)除了可於貫入過程中量測土層之動態水壓之外，並可於預定之土層深度，停止貫入試驗，進行類似壓密之動態孔隙水壓消散試驗，不但能減少鑽探取樣過程產生之誤差，而且能於現地真實之狀況下直接試驗，增加試驗資料之可靠性；因此本研究除了以Rowe氏壓密試驗，建立各種不同排水方式，在不同邊界條件下，其土層壓縮特性之相關性外，並以電子式水壓錐於現地進行消散試驗，直接推求土層之壓縮特性，提供海岸工程規劃設計之參考。

## 二、相關理論與研究方法

一般土層下陷之原因，非常複雜，如大地應力作用所引致地殼之升降，地震作用引致砂性土壤之沉陷，地表建築荷重及過量抽取地下水引致之地盤下陷等，而依據世界各地研究觀察結果，大部分之海岸土層下陷，皆因過量開發地下水資源而產生。近年來地下水大量開發，引致地盤下陷問題，在台灣各地區已是一種普遍現象，而在沿海地區，亦由於魚塭大量開發抽取超額之地下水，導致愈演愈烈之地盤下陷，其中以屏東地區累積最大下陷量 2.5 公尺為最嚴重，雲林、嘉義地區累積最大下陷量約 1~1.5 公尺次之，其他如高雄永安地區、彰化濱海工業等亦都有下陷問題，整個西海岸地區幾乎均有地盤下陷現象。為防止海岸土層下陷問題之發生，對於海岸土層下陷行為與預測之研究是非常重要的，一般研究之方法，可分為二種，即(1) 理論分析法，(2) 統計經驗法，茲分述如下：

### 2-1 理論分析法

一般而言，地表建築物荷重或超抽地下水造成之地盤下陷，大都因土層受到外力而產生壓縮所致，所以欲對地盤下陷進行分析之前，首需對整體土層所受到有效應力增量之分佈情形，及整體土層之下陷行為與各分層土壤壓縮特性進行瞭解，然後再應用壓密理論進行沉陷分析，如圖 2-1 所示。

#### 2-1-1 有效應力增量分佈之研究

在壓密理論中，地盤下陷的主要原因是土壤受到壓力，使土壤內之孔隙水逐漸排出，體積發生變化導致土壤壓密現象，由於壓密作用，地層表面將有沉陷變形產生；所謂之土壤受到壓力，是指土壤在土層中受到比原來存在土層中有效應力更大之應力，即有效應力增量，亦即在有效應力增量存在

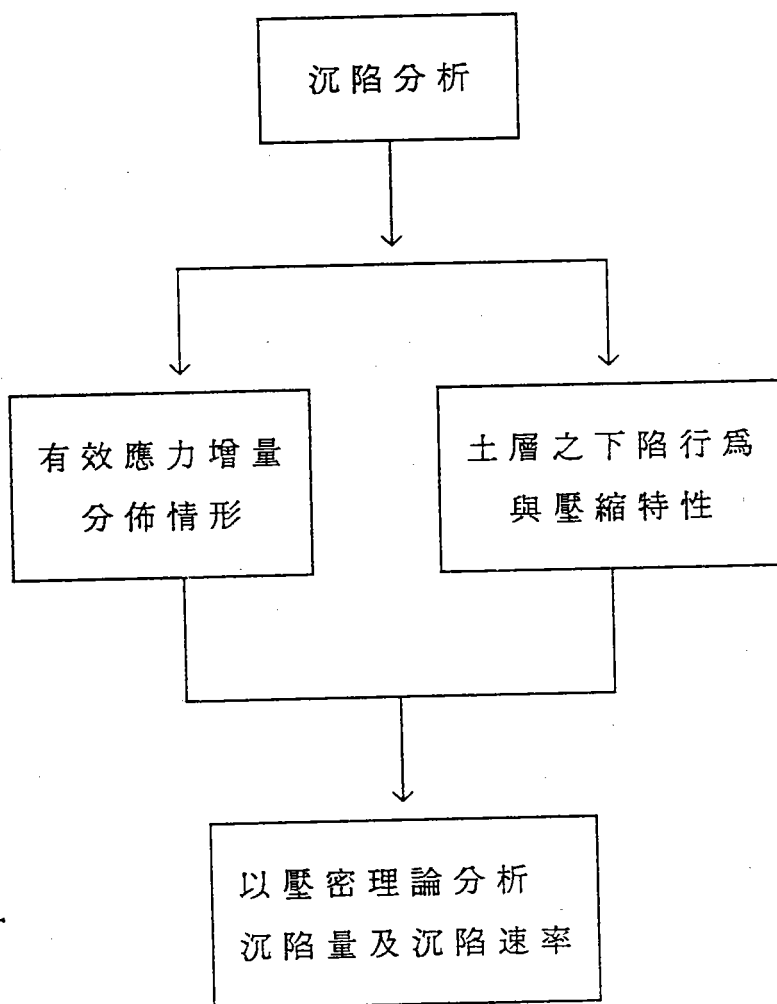


圖 2-1 沉陷分析之流程圖

之土層才有土壤壓密或壓縮現象，因此對土層內有效應力增量分佈之研判極為重要。茲就地表建築物荷重、超抽地下水，其所引致有效應力增量之分佈範圍及分佈情形，分述如下：

### (1) 地表建築物荷重引致之有效應力增量分佈

地表建築物荷重影響沉陷之範圍，一般考慮至應力增量( $\Delta\sigma$ )等於 0.1 倍原有效應力( $\sigma'_{vo}$ )，即 $\Delta\sigma=0.1\sigma'_{vo}$ ；而荷重區域隨深度變化之應力分佈，最簡單的方法為使用 2:1法(2:1 method)，此法乃依據經驗假設荷重作用面隨深度而呈對稱增加，因為逐漸增加的面積上作用垂直力皆相同，故單位應力增量隨深度增加而減少，如圖2-2 所示。建築物寬度B，長度為L 的矩形基礎，在基礎上作用的應力 $\sigma_o$ ，則在基礎下深度Z 時，擴大面積應為 $(B+Z)(L+Z)$ ，則基礎下深度Z 時對應之應力增量為：

$$\Delta\sigma_z = \frac{\sigma_o BL}{(B+Z)(L+Z)}$$

如圖2-2 所示，此種應力分佈僅在淺處，且應力分佈亦僅在荷重影響之局部區域，因此其產生之沉陷為淺層沉陷、局部沉陷，而且因屬局部區域，以致會產生差異沉陷。

### (2) 超抽地下水引致之有效應力增量分佈

超抽地下水引致地盤下陷，一般可分為二類，一為自由水位下降引致之淺層沉陷，另一為受壓水位下降引致之深層沉陷。若由於自由水層受到過量抽水，引致自由水位下降，其有效應力增量僅分佈於最淺層自由水層及其下之難透水層(aquitard)或粘土層，而其他之受壓水層(aquifer) 及粘土層則無有效應力增量產生，其分佈情形如圖2-3 所示，由於在有效應力增量存在

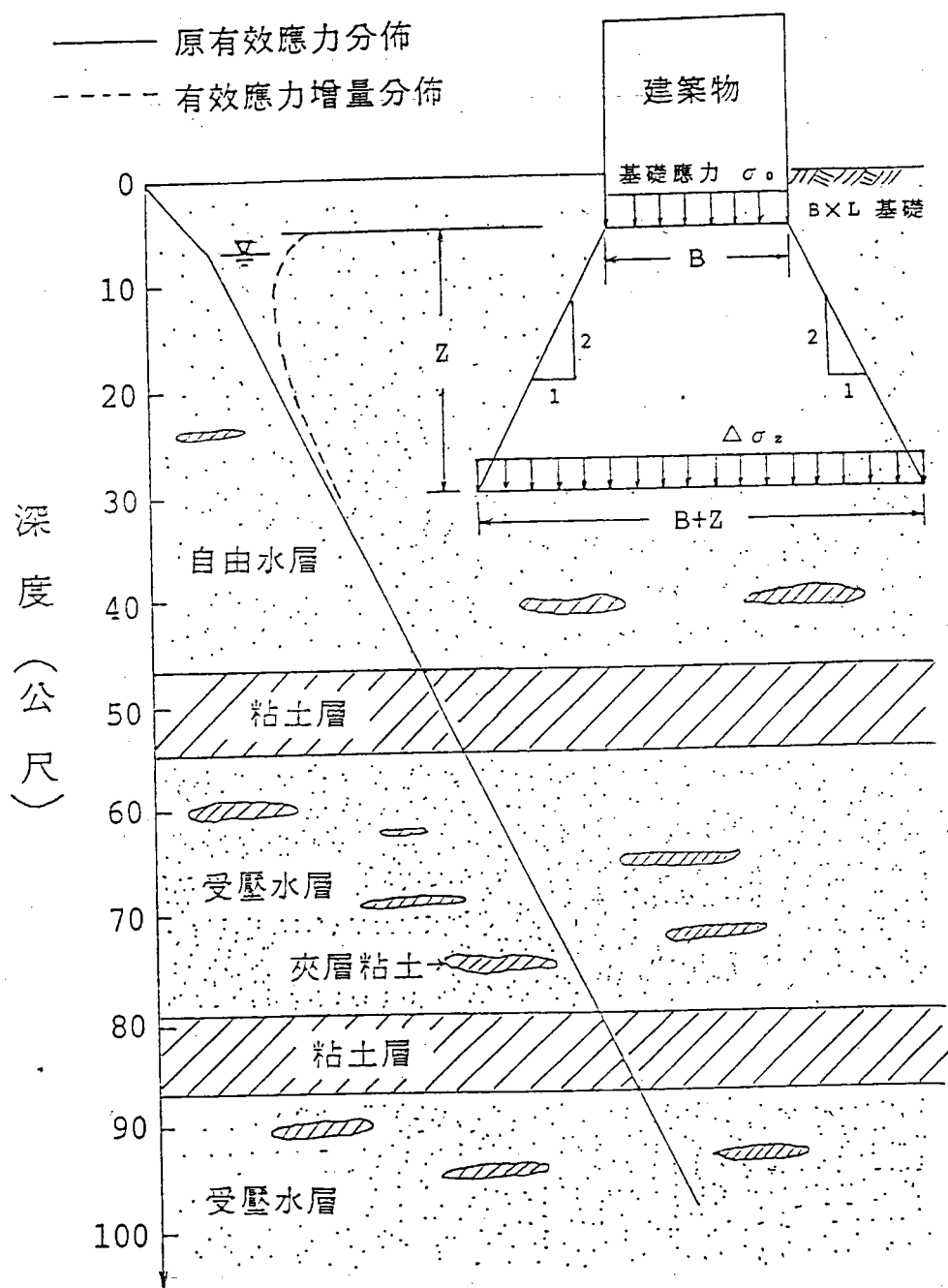


圖2-2 地表建築物荷重引致之有效應力增量分佈

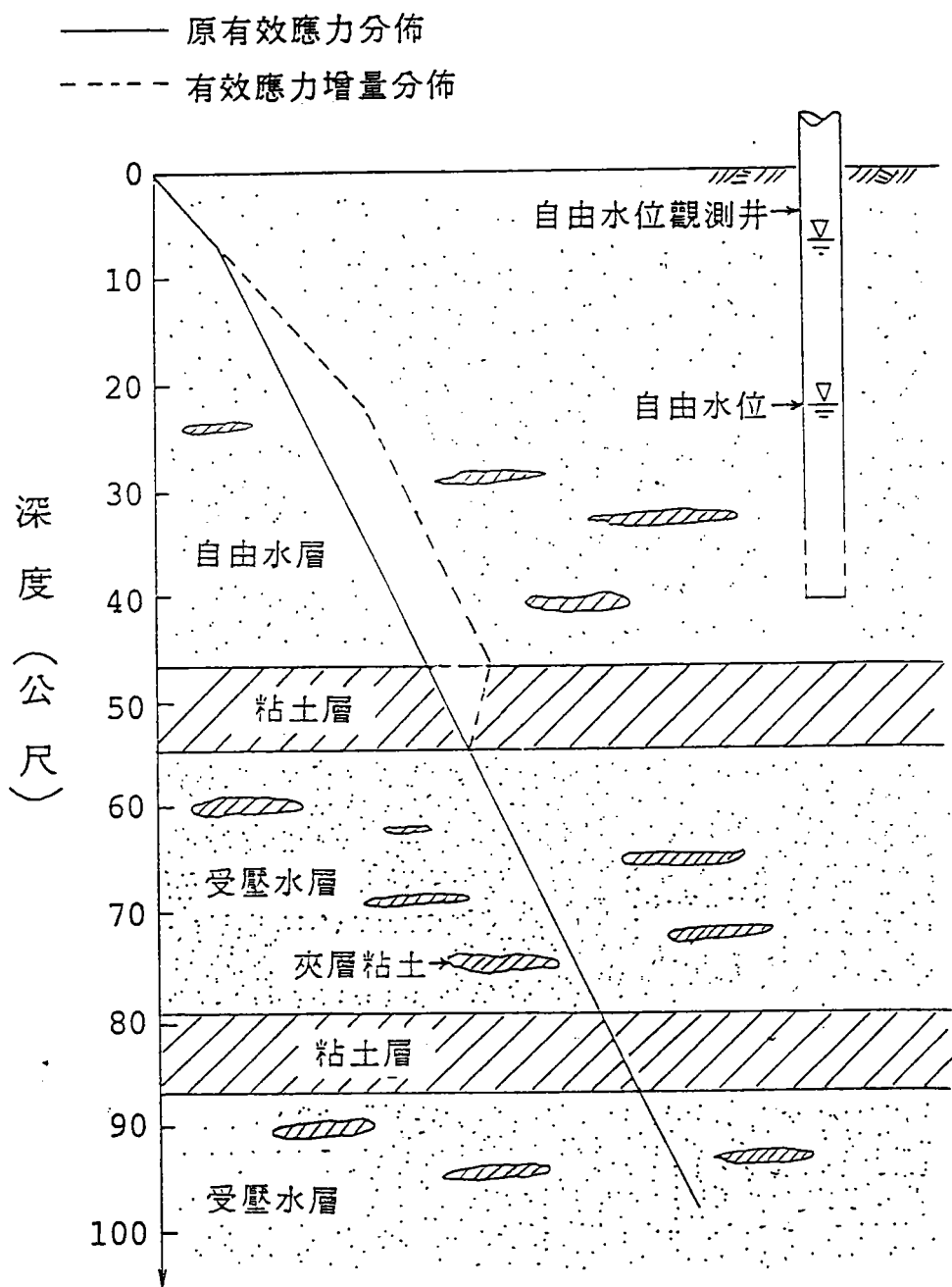


圖2-3 自由水位下降引致之有效應力增量分佈

之土層，才有土壤之壓密或壓縮現象，因此超抽自由水層產生之沉陷屬於淺層沉陷。若由於受壓水層受到過量抽水，而致受壓水位下降，其有效應力增量如圖2-4 所示，除分佈於該超抽受壓水層外，並分佈於其上下之難透水層或粘土層，而最淺層之自由水層及其他之受壓水層與粘土層則無有效應力增量產生，由於超抽受壓水層引致之有效應力增量產生於土層深處，土壤之壓密或壓縮亦發生於深處，因此此種沉陷屬於深層沉陷。

## 2-1-2 土層下陷行為與壓縮特性之研究

### (1) 土層下陷行為

超抽地下水引致之沉陷，不論是超抽自由水層或受壓水層，由於其影響之區域範圍均很廣大，因此其沉陷特性屬於區域沉陷，亦由於屬於均勻沉陷，且是無聲無息的情況下進行著沉陷，一般均不易察覺，往往等到發生海水倒灌、排水情況惡化等災害時，才察覺到地盤下陷。

大部分海岸土層下陷皆因過量抽取受壓含水層中地下水而產生之沉陷，此種沉陷不但其影響達於土層深處，更由於其沉陷主因，是土層深處之受壓含水層及其上下之難透水層或粘土層，受壓縮而產生地盤下陷，故稱為深層沉陷(deep subsidence)，此種沉陷行為，相當於一水力起重機(hydraulic jack)將荷重舉高後突然壓力減少時之情形，此時荷重即漸漸下降。在發生區域沉陷時，主要因受壓含水層中水壓因過度抽取地下水而下降，受壓含水層及其上下各一層粘土層受到壓縮，此稱為受壓縮土層，而此受壓縮土層至地面間之土層並未受到壓縮，只是整體隨受壓縮土層之壓縮而向下移動產生地盤下陷，故地面之沉陷與受壓含水層中水壓之減少量成正比。當地下水繼續超抽時所發生之沉陷，在地下水文學裡稱為活性沉陷(Active subsidence)。當過量抽水已遏止，地下水壓已趨穩定後，地面之沉陷，並不立即停止，而仍將持續一段時間，惟其沉陷速率隨時間而漸趨緩和，最後始停止，此期間所發生之沉陷，在地下水文學裡稱為「稽延沉陷」(Lag subsidence)或「殘餘沉陷」(Residual subsidence)，通常在活性沉陷後，殘餘沉陷仍將

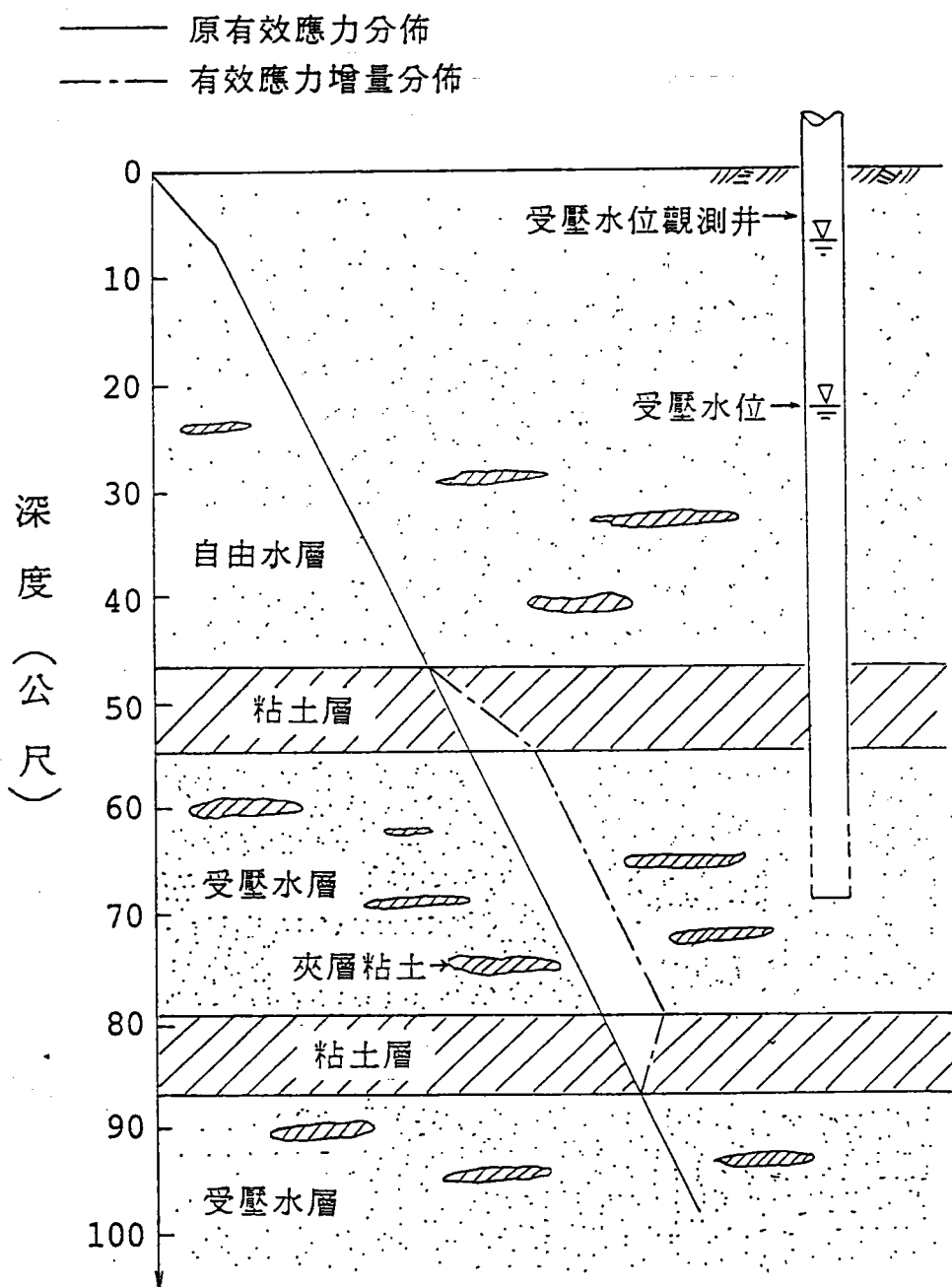


圖2-4 受壓水位下降引致之有效應力增量分佈

繼續數十年，而後沉陷方可認為全部停止。

在整個壓縮之土層中，受壓含水層中之砂土層為立即壓縮，即在超抽受壓含水層之地下水位下降時，立即壓縮，此為活性沉陷之主要部分。

受壓含水層中亦含有部分之夾層粘土(interbeds)，由於含水層之水流是互通的，因此夾層粘土為全面排水之壓密沉陷，其壓密速率很快，夾層粘土之厚度，雖然很薄，但受壓含水層中有多層夾層粘土，累積之總壓密沉陷量亦很可觀，此夾層粘土之沉陷影響部分之活性沉陷量及大部分初期之稽延沉陷。

受壓含水層上下之難透水粘土層，雖為高壓縮性之土壤且為總沉陷量之主要來源，但在受壓含水層過量超抽地下水之情形時，屬於單向排水至受壓含水層之壓密沉陷，壓密速率極慢，對活性沉陷影響極微，為稽延沉陷之主要來源。

## (2) 土壤之壓縮特性

如上所述，超抽受壓含水層中地下水所產生之地盤下陷，此種沉陷之主要來源為受壓土層及其上下粘土層之壓縮，而受壓土層大部分為砂土層及少部分之薄層粘土；由於砂土層之壓縮是立即的(immediate)，即是一種應力——應變的現象與時間無關，此種沉陷實際上不為彈性，但通常以彈性理論估算之，因此必須對其彈性係數( $E$ )加以研究，或者以壓密試驗建立砂土之臨界孔隙比( $e_c$ )與有效應力( $\sigma'_{vo}$ )之相關曲線，如圖2-5所示。

而受壓含水層中之夾層粘土是全面排水之壓密現象，不但須要對其與總壓縮量有關之土壤壓縮指數( $C_c$ )，體積壓縮係數( $m_v$ )等特性參數加以瞭解，對其與壓密速率有關之壓密係數，如垂直排水之壓密係數( $C_v$ )、水平排水之壓密係數( $C_h$ )及全面排水之壓密係數等均須加以探討。

至於受壓含水層上下之難透水粘土層，在受壓含水層因超抽地下水致壓力水位下降時，常被誤會為雙向排水之壓密現象，但由於最上層之自由水層及其他未超抽之受壓含水層並未因壓力水位下降而下降，因此實際上此二層

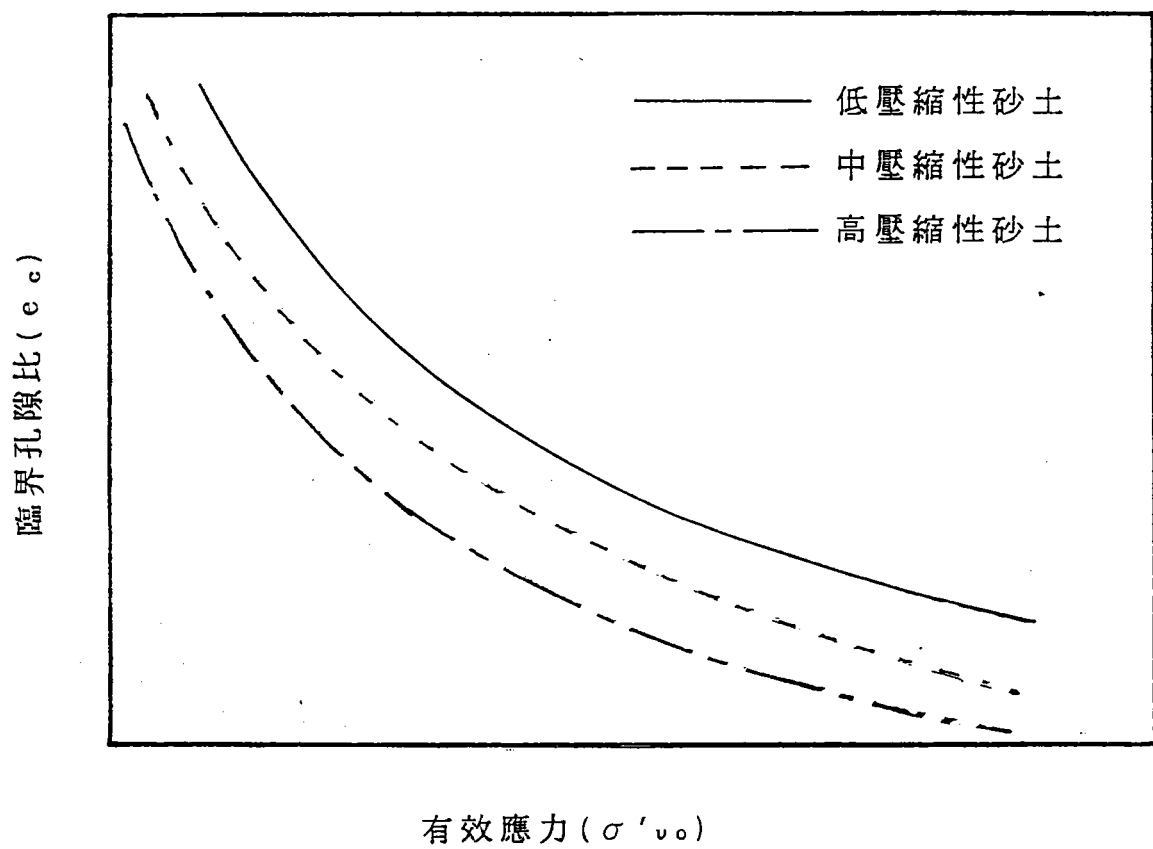


圖2-5 砂土之臨界孔隙比與有效應力相關性之示意圖

難透水之粘土層，皆為單向排水至超抽含水層之壓密現象，此點可由圖2-4之有效應力增量分佈得到說明，因此此二層難透水之粘土層，須對其單向排水之垂直壓密係數( $C_v$ )及壓縮指數( $C_c$ )、體積壓縮係數 $m_v$ 等加以研究。

若地盤下陷是由於自由水層超抽地下水而引起者，則其沉陷主要來源，為自由水層中砂土之立即壓縮，及自由水層中夾層粘土全面排水之壓密，與自由水層下一層難透水粘土層之單向、向上排水壓密現象。

由以上之分析，可知超抽地下水引致之沉陷問題，有單向、雙向排水及三維之全面排水等壓密現象，傳統上僅模擬垂直方向之壓密試驗，較不能反應實際土層狀況，因此本研究採用多功能Rowe cell 之壓密試驗進行土壤壓縮特性之研究，此種壓密試驗可模擬垂直、水平及全面排水，亦能分別以自由應變自由應力邊界條件之考慮，使得試驗更能符合實際狀況，本研究亦於現地進行水壓錐消散試驗，直接快速的推求與沉陷速率相關之水平壓密係數 $C_h$ 值。

## 2-2 統計經驗法

本文之統計經驗法，主要是針對超抽地下水所引致地盤下陷之預測方法，茲分五種方法說明如下：

### 2-2-1 下陷與時間之關係

此法假設下陷量為一時間函數，而不考慮下陷原因，乃根據原始資料所形成之自然曲線加以判斷；常用之函數有一次函數、二次函數、對數函數及指數函數等，假設 $S$ 為下陷量， $X$ 為時間， $a, b, c$ 為常數，

(1) 一次函數  $S=aX+b$

(2) 二次函數  $S=aX^2+bX+c$

(3) 對數函數  $\log S = \log a + b \log X$

(4) 指數函數  $S = aX^b$

此法最爲簡單，但因未考慮土壤壓縮特性，最不準確。

### 2-2-2 下陷與地下水位之關係

此法係假設下陷速率與地下水位變化成正比，Wadachi(1940) 提出其關係式如下所示：

$$\frac{ds}{dt} = K(P_0 - P)$$

其中， $\frac{ds}{dt}$  爲下陷速率， $P_0$  爲參考水位， $P$  是地下水位， $K$  爲常數。之後 Yamoguchi(1969) 根據上式理論，修改爲下式：

$$\frac{ds}{dt} = KS\left\{(P_0 - P)t - \frac{dp}{dt}\right\} \exp\{-K(P_0 - P)t\}$$

### 2-2-3 下陷與抽水量之關係

Yamamoto(1984)由Niigata 天然氣之抽取中觀察指出，地盤下陷與流體抽取量有相當之關係，其關係式如下：

$$S = aQ + b \quad \text{或} \quad S = a\sqrt{Q} + b$$

式中， $Q$  爲流體抽出量而  $a$ 、 $b$  爲常數。

### 2-2-4 下陷與含水層厚度之關係

此法是假設下陷量除以水頭降 ( $S/\Delta P$ ) 與有效應力變化量除以受壓含水層厚度 ( $\Delta \sigma'_{vo}/E_p$ ) 成正比關係。

#### 2-2-5 下陷與粘土含量之關係

Gabrysch(1969)提出下陷量與水頭降之比值( $S/\Delta P$ ) 與受壓含水層粘土含量百分比成正比關係。

# 三、研究規劃與試驗

## 3-1 研究規劃概況

本研究主要探討台灣西海岸土層之下陷行為與壓縮特性，並希望配合地下水位及地層下陷之現地觀測資料，進一步做沉陷之預測分析。由於本省早期之地層下陷及地下水位觀測資料甚為匱乏，觀測點零星分佈，而且地層下陷觀測偏重於地盤整體下陷量，觀測方式大都採用水準檢測，至於地下水位之觀測亦僅為淺層觀測，對於超抽地下水引致地盤下陷之研究助益有限。最近幾年工研院能資所、水利局、成功大學土木系等單位，已導入"分層觀測"之觀念，分別於雲林宜梧、彰化王功、雲林台西、高雄永安等地，設立分層之地層下陷及地下水位觀測站。限於時間與經費，本研究選擇土壤層次較為鮮明，利於研究比較之雲林宜梧、高雄永安兩地做為研究對象。在該兩觀測站附近，分別進行鑽探取原狀土樣以供進行各種壓密試驗外，並同時辦理電子式水壓錐之貫入試驗(CPTU)及消散試驗，以貫入試驗之摩擦比( $R_f$ )及動態孔隙水壓比( $B_q$ )，判別土層之分佈狀況，並探討水壓錐消散試驗CPT- $t_{90}$ ，CPT- $t_{90}$ 值與土壤壓縮特性之關係。

如前所述，吾人可知超抽地下水引致之沉陷問題，有單向排水、雙向排水及三維之全面排水等壓密現象，傳統上僅模擬垂直方向之壓密試驗，較不能反應實際土層之排水狀況，因此本研究除了進行傳統之壓密試驗外，並以多功能Rowe cell 液壓式壓密試驗，及現地水壓錐消散試驗，分別測定各種排水狀況之壓縮特性，其中傳統之壓密試驗乃依據ASTM標準規範進行，以求得土層單向度之壓縮特性參數，如壓密係數 $C_v$ 值、壓縮指數 $C_c$ 值及體積壓縮係數 $m_v$ 值。有關Rowe cell 壓密試驗及水壓錐消散試驗概況於本章後節分述之。

## 3-2 試驗室Rowe cell 壓密試驗

### 3-2-1 概述

Rowe氏於1966年設計發展液壓式壓密儀( Hydraulic consolidation cell )，通稱為Rowe cell，除了利用液壓式荷重系統(Hydraulic loading system)施加荷重，改進了傳統壓密儀之槓桿系統施加荷重易受人為操作與震動影響之缺點，同時試驗時可改變邊界條件及排水方式，並可於試體施加反水壓及壓密期間量測孔隙水壓變化等功能，其示意圖如圖3-1所示，其與傳統壓密儀相比較，具有下列特點：

1. 可以改變邊界條件，即荷重能施加於土樣表面之柔性透水板形成自由應變(Free strain)沉陷，或施加於一剛性透水板形成等應變(Equal strain)沉陷。
2. 可以控制排水方式，以進行垂直排水、水平排水之壓密試驗或透水試驗。
3. 土樣可施加一反水壓(Back pressure)，以維持試驗期間試體之飽和，其類似三軸壓縮試驗。
4. 可容易辨別初始壓縮(Initial compression)，並於壓密期間量測孔隙水壓消散情形，進而辨別主要壓密階段及次要壓密階段。

如上所述Rowe cell 壓密儀可改變邊界條件及排水方式進行各種壓密試驗，如圖3-2所示，其主要試驗有下列四大類共八種型式：

1. 單向垂直排水：於頂端表面垂直排水，底部量測孔隙水壓，其中施加荷重於柔性透水板之自由應變(Free strain)型式，如圖3-2(a)所示，施加荷重於剛性透水板之等應變(Equal strain)型式，如圖3-2(b)所示，而圖3-2(a)為最通用之試驗類型。

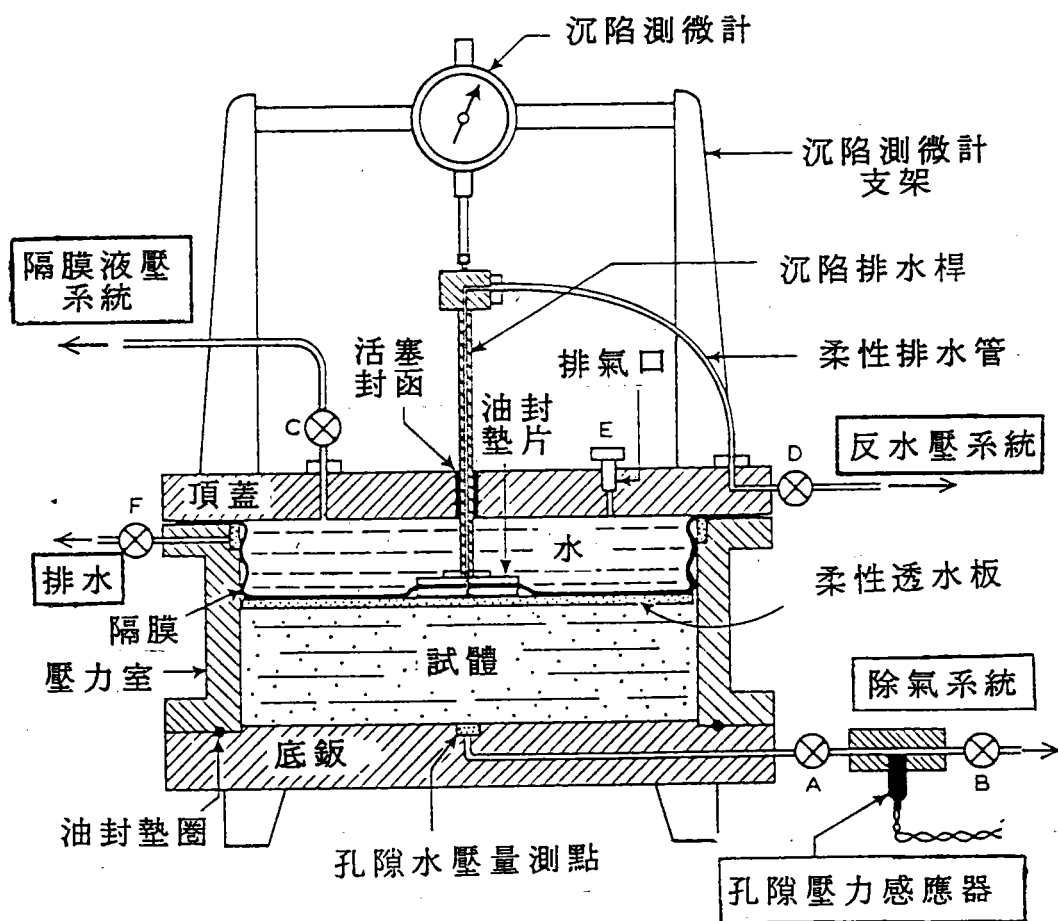


圖3-1 Rowe cell 壓密儀示意圖

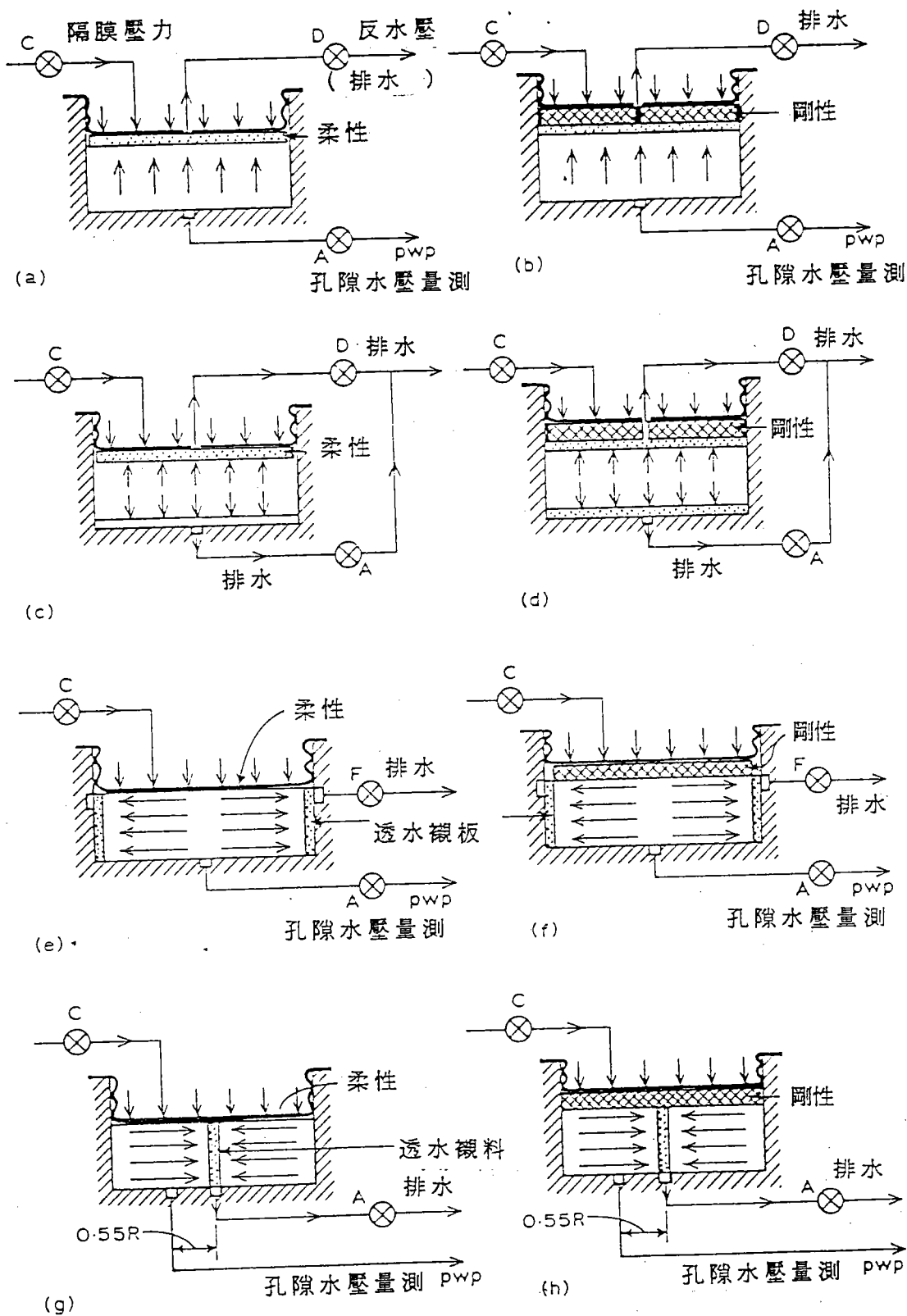


圖 3-2 不同邊界條件及排水方式之 Rowe cell 壓密試驗

2. 雙向垂直排水：同時於頂端、底部進行垂直排水，但不量測孔隙水壓，其中自由應變型式如圖3-2(c)所示，等應變型式如圖3-2(d)所示。
3. 向外徑向排水(Radial drainage)：通過外緣襯一層柔性透水板，作為徑向水平向外排水，而在試體底部中心量測孔隙水壓，其中自由應變型式如圖3-2(e)所示，等應變型式如圖3-2(f)所示。
4. 向內徑向排水：於中心襯一透水柱體，作為徑向水平向內排水，而在距離中心 $0.55R$  或某種特定位置量測孔隙水壓，其中自由應變型式如圖3-2(g)所示，等應變型式如圖3-2(h)所示。

利用Rowe氏液壓式壓密儀也可進行滲透試驗，於土樣上下施加不同反水壓，造成垂直排水情況可求得垂直滲透係數。若在土樣中心與周圍施加不同反水壓，造成徑向排水，可求得水平滲透係數。

綜合以上所述Rowe氏液壓式壓密儀所具有之多項特點，對土壤在不同荷重與排水條件下之壓密及透水特性，提供了進一步了解，並可較真實的反應與模擬現場土層狀況，進而提高了預估土層沉陷量及沉陷速率之正確性。

### 3-2-2 試驗使用設備

本研究使用之Rowe cell 壓密儀設備，係結合英國ELE 公司所製之壓密室Rowe cell，挪威Genor 公司所發展之油壓式衡壓系統 ( Oil constant pressure system)及美國Metra Byte公司出品之DASER-A 類比數位轉換界面，與美國Laboratory Technologies Corporation 公司發展之NB(Note Book ) 資料擷取系統，其結合示意圖如圖3-3 所示，主要設備包括：

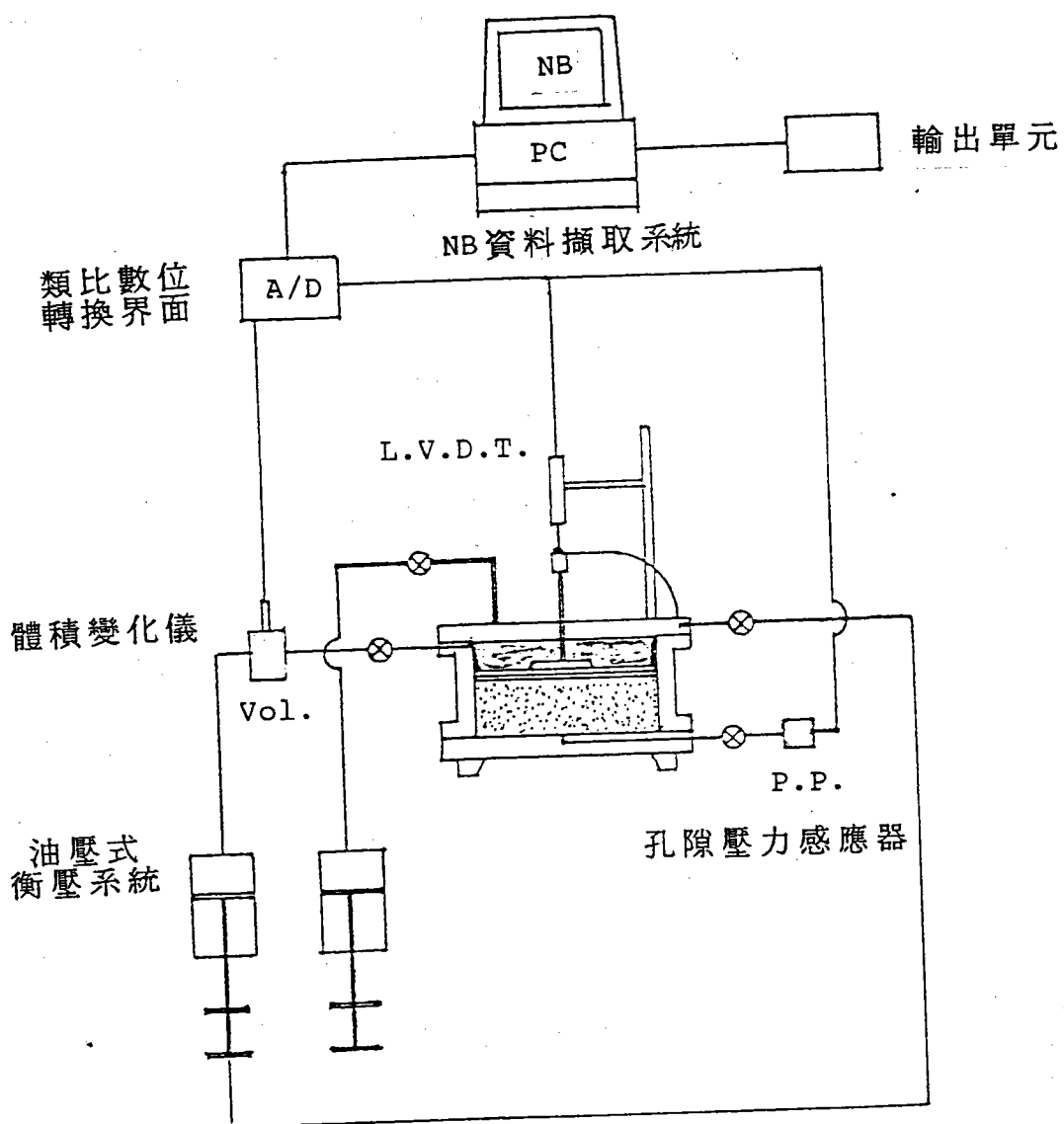


圖3-3 Rowe cell 壓密試驗系統

- 1.壓密室：用以安裝土壤試體，施加圍壓，試體上下依試驗類型，可放置透水石或不透水板，試體上方放置之透水石亦依試驗型式放置剛性或柔性，而上透水石之上方有柔性隔膜，用以施加液壓荷重。
- 2.油壓式衡壓系統：提供液壓式荷重與反水壓於試體，其比空壓系統最大之優點，於試體壓密體積發生變化，它能自動補償體積，而仍保持衡壓。
- 3.類比數位轉換界面：將感應器(transducer)感應到的物理量轉換為電壓值，再將電壓值轉換成電腦能處理的數位符號。DASHR-A 有8 個Channel 可輸入訊號。
- 4.NB資料擷取系統：可依據試驗所須擷取之資料筆數選定使用之Channel 數，每個Channel 可設定擷取數量(Buffer size),擷取階段數( Number of stages) 及每階段之擷取頻率(Sampling rate, Hz)、 每階段擷取之時間(Stage duration, sec)等功能，本系統可同時量測8 筆資料。
- 5.LVDT(Linear variable differential transformer)：用以測定試體壓密前後之高度變化。
- 6.壓力感應器(Pressure transducer)：用以量測反水壓或試體內孔隙水壓。
- 7.體積變化儀(Volume change apparatus)：用以量測試體壓密前後之體積變化。

### 3-2-3 試驗步驟

#### 1.試體之安裝與飽和

- (1) 自薄管頂出土樣並修裁之，成為直徑為7.3cm，高約2.8cm之試體。
- (2) 將試體輕置於Rowe cell 壓密室底鈑之透水石或僅於圓心預留一小孔供量測水壓之不透水板上，然後依試驗類型需要於試體上選放柔性透水板或不透水板，剛性透水石或不透水板，上覆含有隔膜以便施加液壓之蓋鈑，再予栓緊固定。
- (3) 打開C 閥及E 排氣口，從C 閥緩緩通入水使隔膜內充滿水，然後關閉C 閥及E 排氣口( 見圖3-1 )。
- (4) 自試體底部緩緩通入除氣水直至上排水線不再出現氣泡，然後同時等量逐次增加室壓與反水壓，使試體在 $2\text{kg}/\text{cm}^2$  之反水壓下飽和。
- (5) 檢核試體之飽和度當孔隙水壓參數B 值高於0.95以上，則視試體已飽和。

## 2. 加壓階段(Loading stage)

將排水閥關閉，施加液壓之C 閥亦暫時關閉，於油壓式衡壓系統上加至所需之壓力，然後打開施加液壓之C 閥，而排水閥仍然關閉，記錄此時孔隙水壓之激發現象及LVDT之沉陷變化，此時為土壤之初始壓縮( Initial compression) 沉陷，等到孔隙水壓及LVDT之讀數穩定後再進行壓密試驗。

## 3. 壓密試驗階段(Consolidation stage)

- (1) 打開排水閥( 若為垂直排水則打開D 閥，若為水平排水則打開F 閥 )，同時記錄LVDT之沉陷變化，孔隙水壓消散現象，及連通於反水壓之體積變化。

(2) 當孔隙水壓消散至反水壓之讀數時即表示主要壓密( Primary consolidation) 現象完成，通常孔隙水壓消散至95%之壓密度，即滿足實際主要壓密之需求。

(3) 假如需要進一步需求次要壓縮(Secondary compression) 係數，壓密階段將被連續至孔隙水壓消散達到100%之後，同時繼續記錄沉陷變化及體積變化。

#### 4. 進一步施加荷重增量

在停止壓密階段時，同時關閉排水閥及施加液壓之C 閥，在衡壓系統施加荷重增量，然後如第2 階所述，打開C 閥，量測孔隙水壓激發現象及沉陷變化，直至讀數穩定後再進行壓密階段。其中之荷重增量通常等於上一階段之有效壓力。

#### 5. 解壓階段(Unloading stage)

待最大需要壓力壓密階段完成後，依一序列進行解壓，而解壓步驟與上述加壓步驟皆相似。

### 3-2-4 試驗結果之計算方法

#### 1. 繪製壓密曲線圖

當Rowe cell 壓密試驗完成後，由記錄的資料，每個階段繪製下列之相關圖：

(1) 沉陷( $\Delta H$ ) $\sim$ 對數時間( $\log(t)$ )

(2) 沉陷( $\Delta H$ ) $\sim$ 平方根時間( $\sqrt{t}$ )

- (3) 體積變化( $\Delta V$ ) $\sim$ 對數時間( $\log(t)$ )
- (4) 體積變化( $\Delta V$ ) $\sim$ 平方根時間( $\sqrt{t}$ )
- (5) 孔隙水壓消散百分比( $U\%$ ) $\sim$ 對數時間( $\log(t)$ )
- (6) 亦可繪製沉陷或體積變化與其他時間函數之關係

即 $\Delta H$  或 $\Delta V \sim F(t)$

## 2. 以曲線適位法推求 $t_{50}$ , $t_{90}$

若由沉陷或體積變化之壓密曲線圖，利用曲線適位法 (Curve fitting)，推求主要壓密 (Primary consolidation) 50%或90%壓密度之壓密時間 $t_{50}$ ,  $t_{90}$ ，其推求之方式與傳統壓密曲線推求方式類似，只是不同邊界條件、不同排水方式之 Rowe cell 壓密曲線，其曲線斜率因子 (Curve slope factor) 有所不同，如表3-1 第7 列所示。

然而有一推求 $t_{50}$ ,  $t_{90}$ 之更好方法，即由孔隙水壓消散曲線直接推求，由於孔隙水壓消散百分比( $U\%$ ) 皆相當明確，直接由消散百分比50%，90%，相對之時間即可推求 $t_{50}$ ,  $t_{90}$ ，不須經過曲線適位之步驟。

## 3. 計算壓密係數 $C_v$ 、 $C_{v0}$ 、 $C_{v1}$

不同排水方式之壓密試驗，可推求得不同之壓密係數，如垂直排水方式可推求得垂直之壓密係數 $C_v$ 值，徑向向外排水可推求得徑向向外之壓密係數 $C_{v0}$ 值，徑向向內排水可推求得徑向向內之壓密係數 $C_{v1}$  值；其計算方式皆類似，如表3-1 第9 列所示，唯其理論時間因子(Theoretical time factor)，隨著壓密類型及壓密百分比而有所不同，如表3-1 第5 列所示。

表3-1 Rowe Cell 壓密試驗 —— 曲線適位資料

| 試驗項目                                                                                                                                                          | 排水方式 | 邊界條件     | 壓密位置 | 理論時間因子 $T_{so}$        | 時間因子 $T_{90}$ | 時間函數        | 曲線斜率因子 | 壓密曲線資料                               | 壓密係數 $\text{mm}^2/\text{min}$    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----------|------|------------------------|---------------|-------------|--------|--------------------------------------|----------------------------------|
| (a)                                                                                                                                                           | 垂直單向 | 自由應變與等應變 | 平均中心 | 0.197<br>( $T_v$ )     | 0.848         | $t^{0.5}$   | 1.15   | $\Delta V$ or $\Delta H^*$<br>p.w.p. | $C_v = \frac{T_v H^2}{4t}$       |
| (c)                                                                                                                                                           | 垂直雙向 | 自由應變與等應變 | 平均   | 0.197<br>( $T_v$ )     | 0.848         | $t^{0.5}$   | 1.15   | $\Delta V$ or $\Delta H^*$           | $C_v = \frac{T_v H^2}{4t}$       |
| (e)                                                                                                                                                           | 徑向向外 | 自由應變     | 平均中心 | 0.0632<br>( $T_{ro}$ ) | 0.335         | $t^{0.465}$ | 1.22   | $\Delta V$<br>p.w.p.                 | $C_{ro} = \frac{T_{ro} D^2}{4t}$ |
| (f)                                                                                                                                                           | 徑向向外 | 等應變      | 平均中心 | 0.0866<br>( $T_{ro}$ ) | 0.288         | $t^{0.5}$   | 1.17   | $\Delta V$ or $\Delta H$<br>p.w.p.   | $C_{ro} = \frac{T_{ro} D^2}{4t}$ |
| (g)                                                                                                                                                           | 徑向向外 | 自由應變     | 平均   | 0.771<br>( $T_{ri}$ )  | 2.631         | $t^{0.5}$   | 1.17   | $\Delta V$<br>p.w.p.                 | $C_{ri} = \frac{T_{ri} D^2}{4t}$ |
| (h)                                                                                                                                                           | 徑向向外 | 等應變      | 平均   | 0.781<br>( $T_{ri}$ )  | 2.595         | $t^{0.5}$   | 1.17   | $\Delta V$ or $\Delta H$<br>p.w.p.   | $C_{ri} = \frac{T_{ri} D^2}{4t}$ |
| <p>t:時間(min)      <math>T_v, T_{ro}, T_{ri}</math>:理論時間因子</p> <p>H:試體高度(mm)      <math>\Delta H^*</math>:等應變適用</p> <p>D:試體直徑(mm)      徑向向外排水孔直徑/試體直徑=1/20</p> |      |          |      |                        |               |             |        |                                      |                                  |

### 3-3 現地水壓錐貫入試驗與消散試驗

#### 3-3-1 概述

目前世界上應用最廣的現地試驗有兩種：一為世界各地廣泛採用的標準貫入試驗(簡稱SPT)，一為歐洲地區發展推廣的圓錐貫入試驗(簡稱CPT)，台灣迄今現地試驗仍以SPT為主，但該試驗因受人為及設備影響，誤差極大，且無法研判變化複雜的土層；而對於土層沉陷之評估，土層變化精確之研判，極為重要，因此儀器操作便捷，殊少人為誤差，且能迅速精確求得連續土層資料之CPT試驗，即為良好研究土層沉陷之現地試驗，尤其現在的CPT試驗，常具備了量測孔隙水壓的能力(即所謂CPTU試驗)，更可幫助我們精確求得許多實驗室裡很難求得之土壤參數。本所對於CPT、CPTU貫入試驗，研判土壤分類及推估砂性土壤工程性質之研究，已有很多具體之研究成果(5,6)，本研究承繼本所多年之研究經驗，進一步以CPTU消散試驗，探討凝聚性土壤之壓縮特性，祈盼對海岸土層下陷之研究有進一步之貢獻。

#### 3-3-2 試驗使用設備

本研究所使用之水壓錐貫入試驗儀為荷蘭A.p.v.d.berg公司所出品，其主要設備包括下列數項：

- 1.水壓錐(piezocone)
- 2.資料擷取系統(data acquisition system)
- 3.油壓千斤頂系統(hydraulic jacking system)
- 4.自動夾具(automatic clamp)

## 5.螺旋地錨(screw ground anchor)

### 3-3-3 試驗步驟

#### 1.設置反力地錨

#### 2.透水石之飽和

#### 3.換錐頭及灌水

#### 4.貫入試驗

以上各項步驟，詳見參考文獻。

#### 5.消散試驗

於預定進行消散試驗之深度，停止貫入試驗，此時錐頭周圍引致之動態孔隙水壓開始消散，最後使孔隙水壓達到靜水壓，整個消散過程，除了於資料擷取系統選定擷取頻率擷取消散資料外，並於繪圖儀上直接繪製消散曲線圖，以便於現地直接觀測孔隙水壓消散情形，俟孔隙水壓曲線斜率平緩時，即孔隙水壓消散至靜水壓( $U_0$ )時，便可停止本深度之消散試驗，繼續貫入至另一預定深度，再進行消散試驗。

### 3-3-4 試驗結果之計算方法

#### 1.繪製消散曲線圖

當CPTU消散試驗完成後，由記錄的資料，首先繪製動態孔隙水壓( $U$ )與時間函數( $F(t)$ )之關係曲線圖，再由關係曲線圖研判最大動態孔隙水壓 ( $U_{\max}$ )，及靜水壓( $U_0$ )，進而繪製動態孔隙水壓消散百分比( $U\%$ )與時間函數

(F(t))之關係曲線圖，其中F(t)為 $t$ 、 $\log(t)$ 、 $\sqrt{t}$ 等。

## 2. 推求 $t_{50}$ , $t_{90}$

若靜水壓已知，則孔隙水壓消散百分比(U%) 相當明確，由消散百分比與時間函數之關係曲線圖，即可直接推求  $t_{50}$ ,  $t_{90}$ 。若靜水壓( $U_0$ )未知，則須利用孔隙水壓(U) 與時間函數(F(t))之關係曲線圖，以類似壓密試驗之曲線適位法推求  $t_{50}$ ,  $t_{90}$ ，唯曲線適位法所須之曲線斜率因子，目前尚無文獻可供參考，有待研究。

## 3. 計算壓密係數 $C_h$

由於CPTU消散試驗之排水路徑為水平徑向方式，因此可求得水平之壓密係數 $C_h$ 值，其推求方法有下列兩種：

### (1) 時間因子法

壓密係數 $C_h$ 與時間因子(Time factor) 的關係如下：

$$C_h = T_h D^2 / 4t \quad \dots\dots\dots (3-1)$$

式中， $t$ :時間(min)

$D$ :水壓錐頭直徑(mm)

$T_h$ :時間因子(Time factor)

時間因子 $T_h$ 值，目前較常用的有Torstensson(1975) 及Baligh(1986)所建議之兩種方法，Torstensson 法是根據一維孔穴擴張理論加以估算，Baligh法是以二維之應變路徑理論加以推導，兩種方法因考慮因素不同，推導理論不一樣，其推導得之 $T_h$ 值有很大差異，本研究擬以試驗結果之統計方法加以探討。

## (2) 推薦曲線法

由理論或實驗建立各種 $C_h$ 值推薦之消散曲線，如果現地量測到之記錄和其中一條推薦曲線重合，則那條曲線所對應之 $C_h$ 值就是我們所認為最佳之估計值。

## 4. 壓密係數之修正

因為水壓錐貫入土中時，孔隙水壓增加，有效壓力減小，所以上述求到的 $C_h$ 值是在過壓密階段的水平壓密係數， $C_h(OC)$ ，因此在正常壓密階段之水平壓密係數 $C_h(NC)$ 值須以下式加以修正：

$$C_h(NC) = \frac{RR}{CR} C_h(OC) \quad \dots\dots\dots(3-2)$$

式中，CR：為原始壓縮比(Virgin compression ratio)

RR：為再壓縮比(Recompression ratio)

而正常壓密階段之垂直壓密係數 $C_v(NC)$ 亦可以由下列公式求到：

$$C_v(NC) = \frac{K_v}{K_h} C_h(NC) \quad \dots\dots\dots(3-3)$$

式中， $K_v$ 為垂直向透水係數。

$K_h$ 為水平向透水係數。

## 四、研究結果與討論

### 4-1 地下水位與地盤下陷觀測結果之分析

本研究以宜梧地區之觀測資料進行分析，根據水利局之觀測資料(2)，宜梧地區，自70年5月至79年10月共有7次水準點檢測資料，而地下水位自71年9月至78年2月期間，每個月皆有觀測資料。然後80年元月起工研院能資所，在宜梧國中有分層之地下水位及分層沉陷之觀測。茲將上述觀測資料繪製成圖4-1。

由圖4-1 得知76年11月至77年5月，其地下水位下降達26.4公尺，而地盤下陷並未發生，然而78年4月至79年10月之間，地下水位未下降反而回升，但地盤下陷量卻高達40.14公分，有些學者之見解，認為此種現象為地下水位洩降與地盤下陷間之延遲行為，但本研究認為是因地下水位之資料不全所造成之問題，茲分兩點說明如下：

- (1) 以往抽水之影響：76年11月至77年5月有地下水位下降達26.4公尺而地盤並未下陷，因此可判斷在76年11月之前，地下水位曾經下降大於或等於26.4公尺，而由圖4-1之研判，在70年4月至71年9月之間，宜梧地區雖未有水位觀測資料，但地盤自70年4月累積至74年12月卻有41.38公分之下陷量，而且由宜梧附近如金湖、塭底等地區之地下水位觀測資料，如圖4-2、4-3所示，可發現在69年至72年期間地下水位變化極大，因此可推斷宜梧地區在70年4月至71年9月期間有極大之地下水位下降。因此此期間地盤有極大之下陷量，而76年11月至77年5月地下水位雖再有26.4公尺之下降，其地盤沒有繼續變化。
- (2) 深層抽水之影響：由於以往之地下水位觀測皆為淺層自由水位變化之觀測資料，而最近幾年由於淺層之地下水漸受海水入侵之污染，魚塭養殖漸往深層之受壓水層抽取地下水，致使深層地下水位下降極大，而淺層

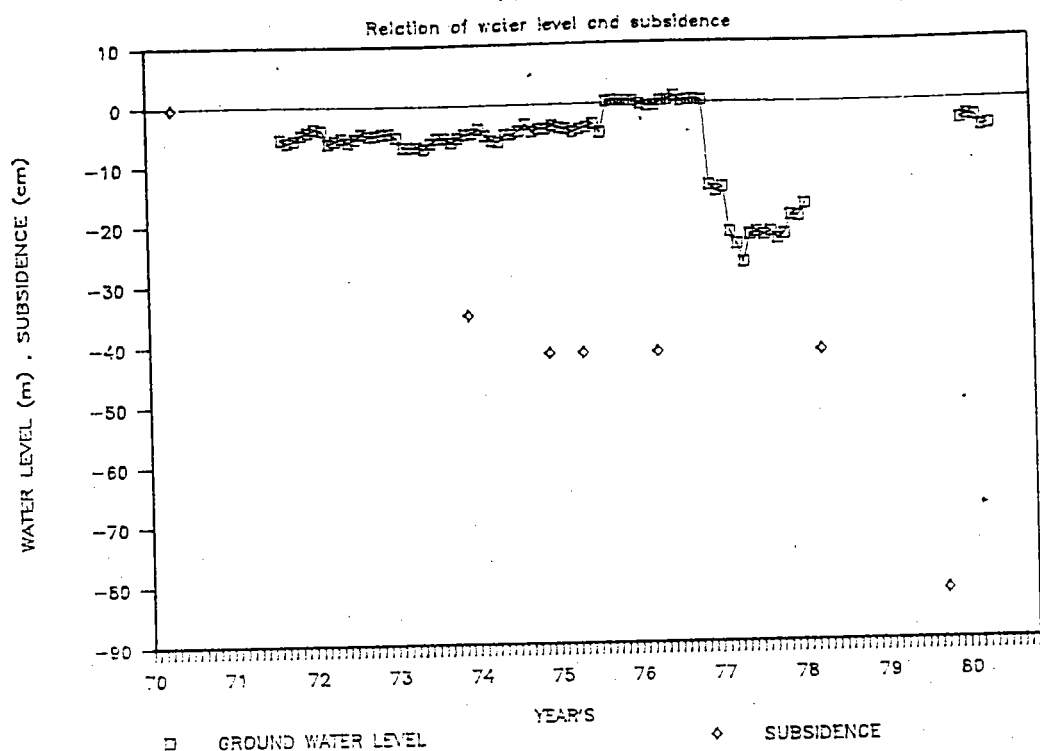


圖4-1 宜梧地區地下水位與地盤下陷觀測資料

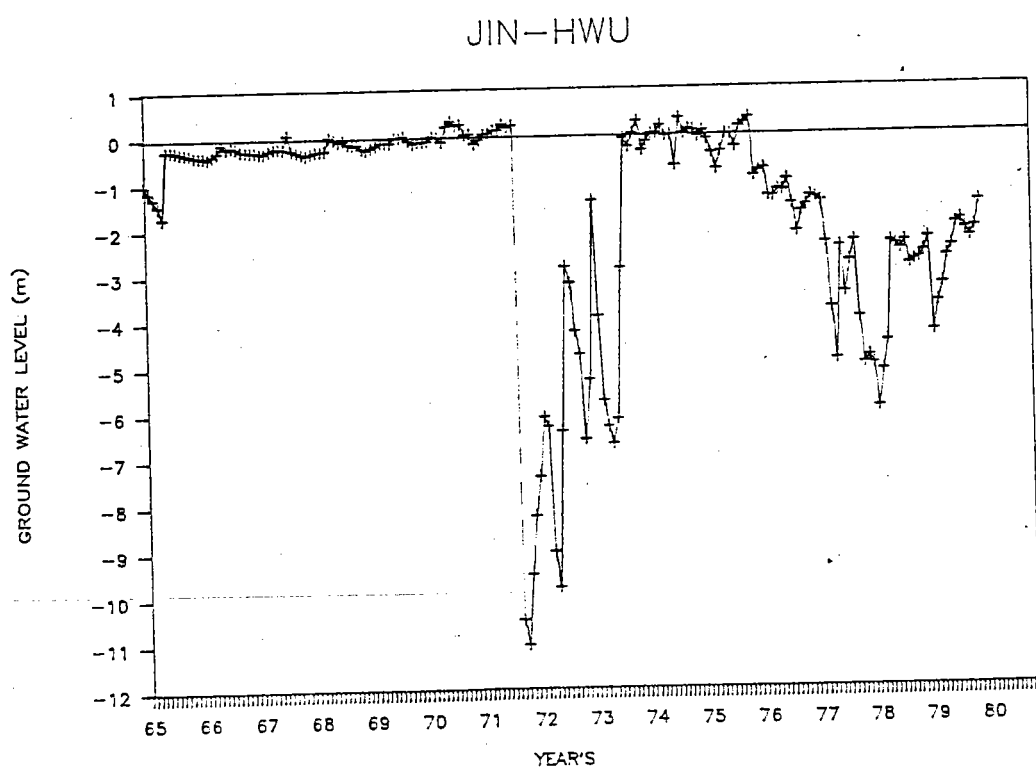


圖4-2 金湖地區地下水位觀測資料

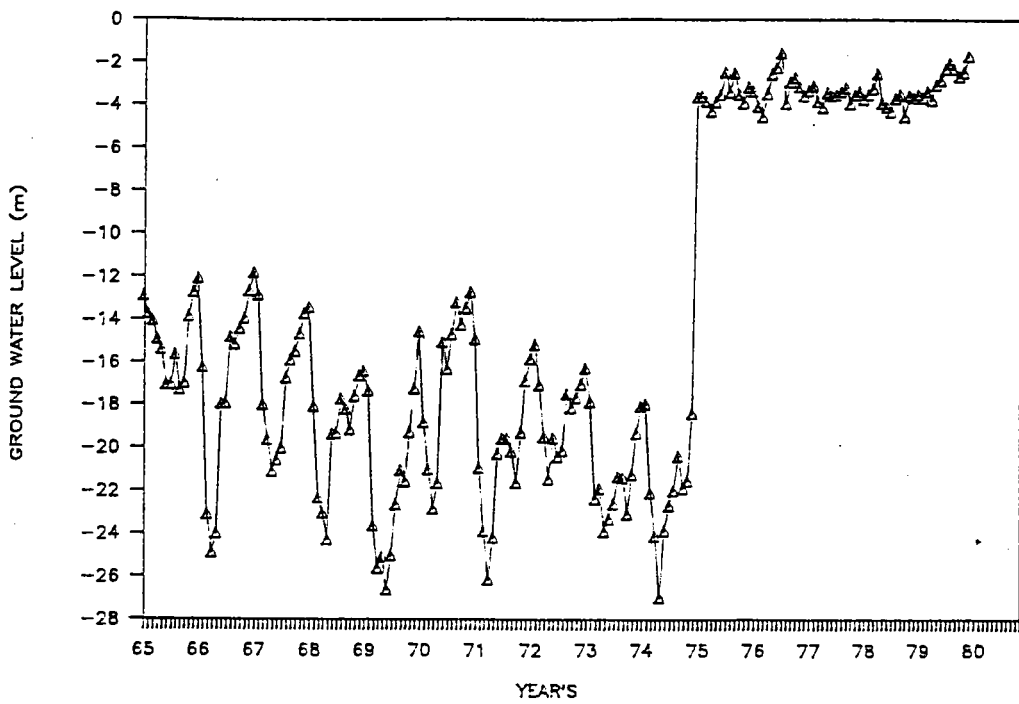


圖4-3 塭底地區地下水位觀測資料

地下水位(公尺)

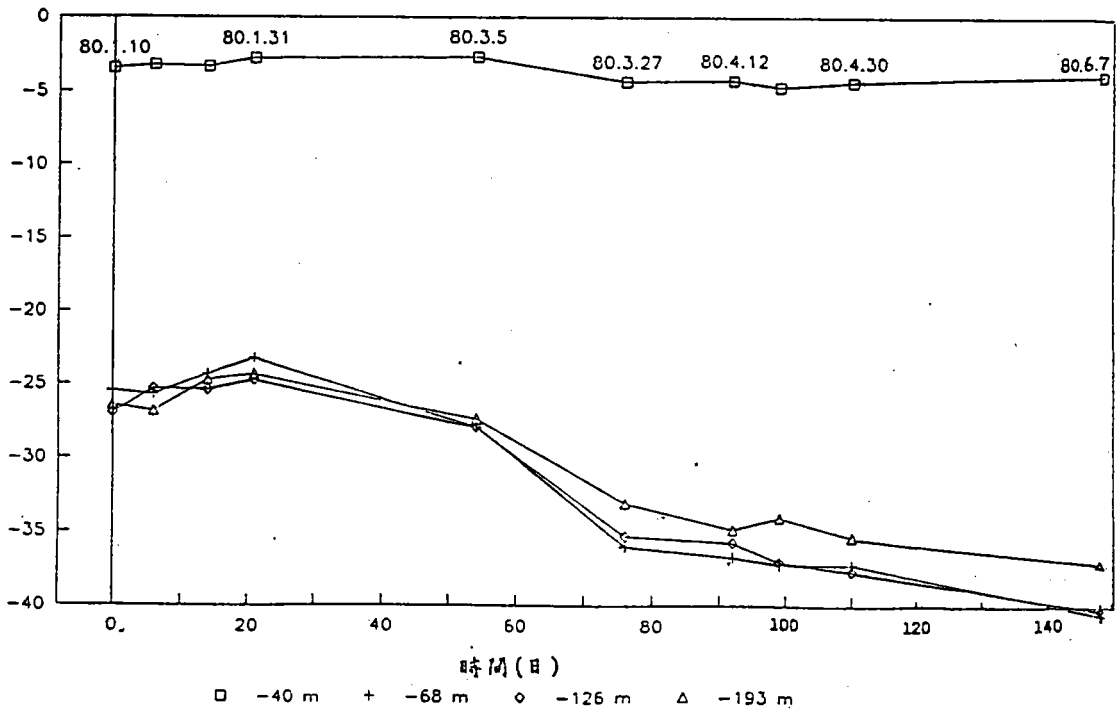


圖4-4 宜梧國中分層觀測井水位變化情形

之自由水位漸漸回升，然後保持穩定之水位，此項可由圖4-4 之分層水位觀測資料得到證明，因此可推斷78年 4月至79年10月期間，淺層之自由水位雖然回升，深層之受壓水位因大量抽水而有極大之下降，致使地盤約有40公分之下陷。

茲將上述兩項說明之地下水位與地盤下陷間之關係補充如圖4-5 所示，若以保守估計70年 4月至71年 9月期間淺層地下水位僅下降26.4公尺，而其地盤下陷累積至74年12月共41.38 公分，因此可推估宜梧地區淺層自由水位每下降1 公尺，其地盤約下陷1.57公分，若以分層地下水位資料推估78年 4月至79年10月間，其深層地下水位約下降25公尺，而由水準觀測資料得知其地盤下陷共40.14 公分，因此可推估宜梧地區深層受壓水位每下降1 公尺，其地盤約下陷1.61公分。

#### 4-2 現地水壓錐消散試驗結果分析

##### 4-2-1 地層研判

本研究共在兩個地區進行鑽探取樣與試驗，地點一在雲林縣口湖梧南村之宜梧國中，鑽孔深度達55公尺，水壓錐貫入試驗深度達53公尺，另一地點為高雄永安鄉之B<sub>2</sub>孔，深度達50公尺，水壓錐貫入試驗達36公尺，兩研究地點之相關位置分別如圖4-6、4-7所示，而水壓錐貫入試驗之結果亦分別如圖4-8、4-9所示。由本所多年之研究經驗，若修正之錐端阻抗 $q_t$ 值愈大且摩擦比 $R_f$ 值及動態孔隙水壓比 $B_q$ 值愈小，則該土壤愈趨砂性，反之，若 $q_t$ 值愈小且 $R_f$ 值及 $B_q$ 值愈大，則該土壤愈趨粘性。本研究針對兩研究地點之土層分佈，進行詳細研析，其土層分佈之柱狀圖亦繪於圖4-8、4-9。

##### 4-2-2 消散曲線分佈

本研究除了以CPTU進行貫入試驗外，並於粘土層之處進行CPTU消散試驗

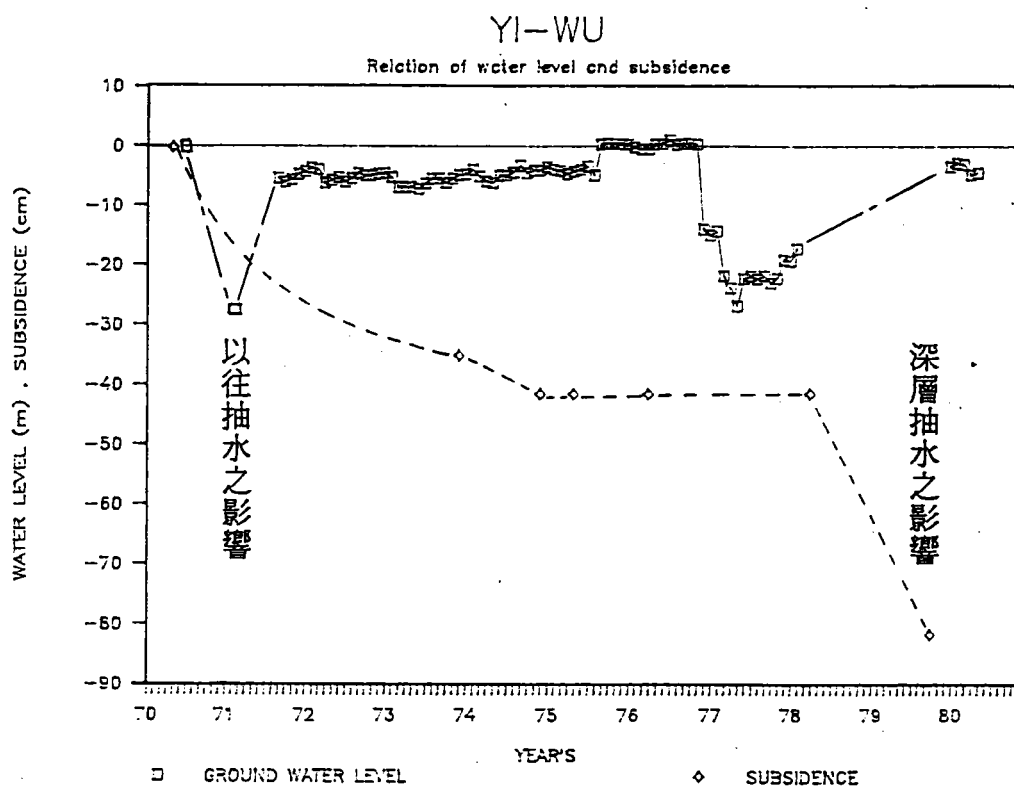


圖 4-5 宜梧地區地下水位與地盤下陷關係圖

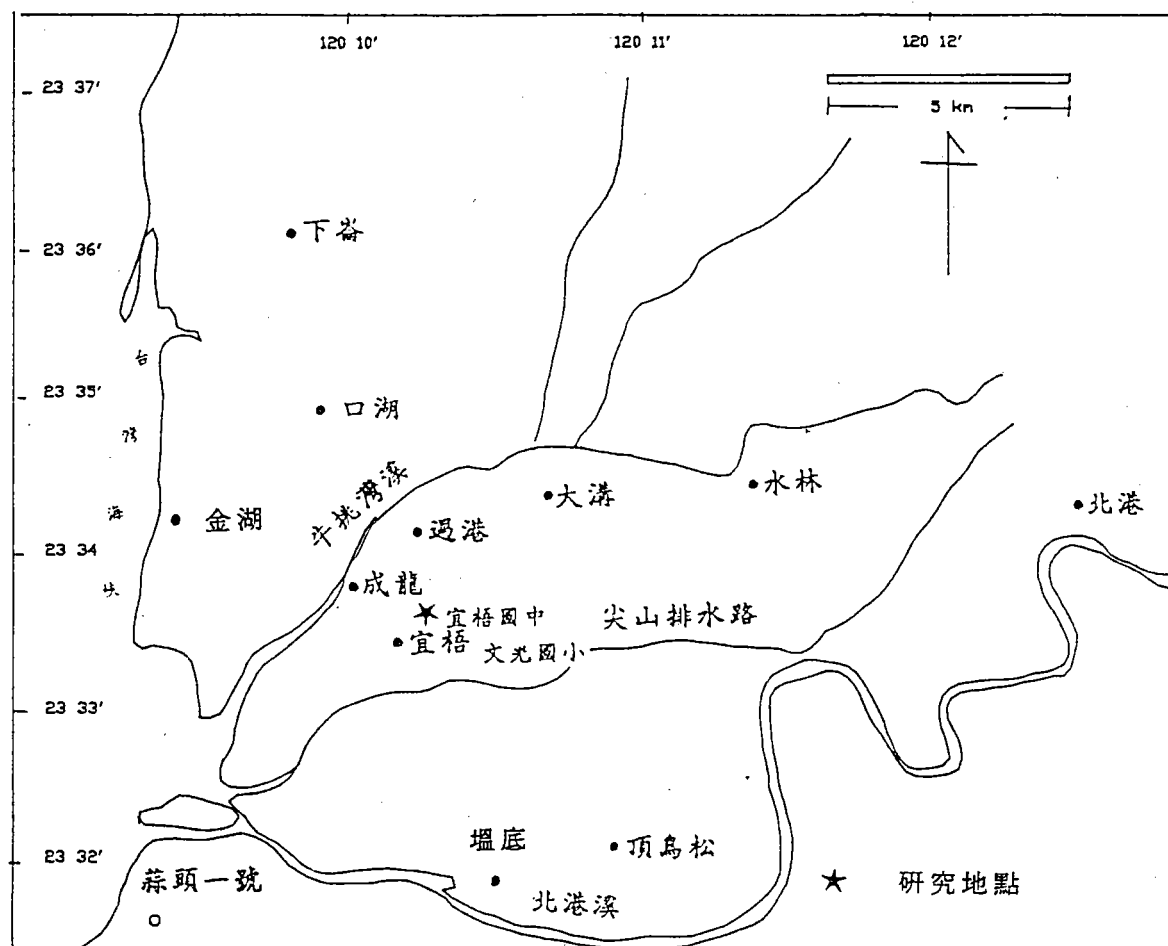


圖 4-6: 宜梧國中之相關位置

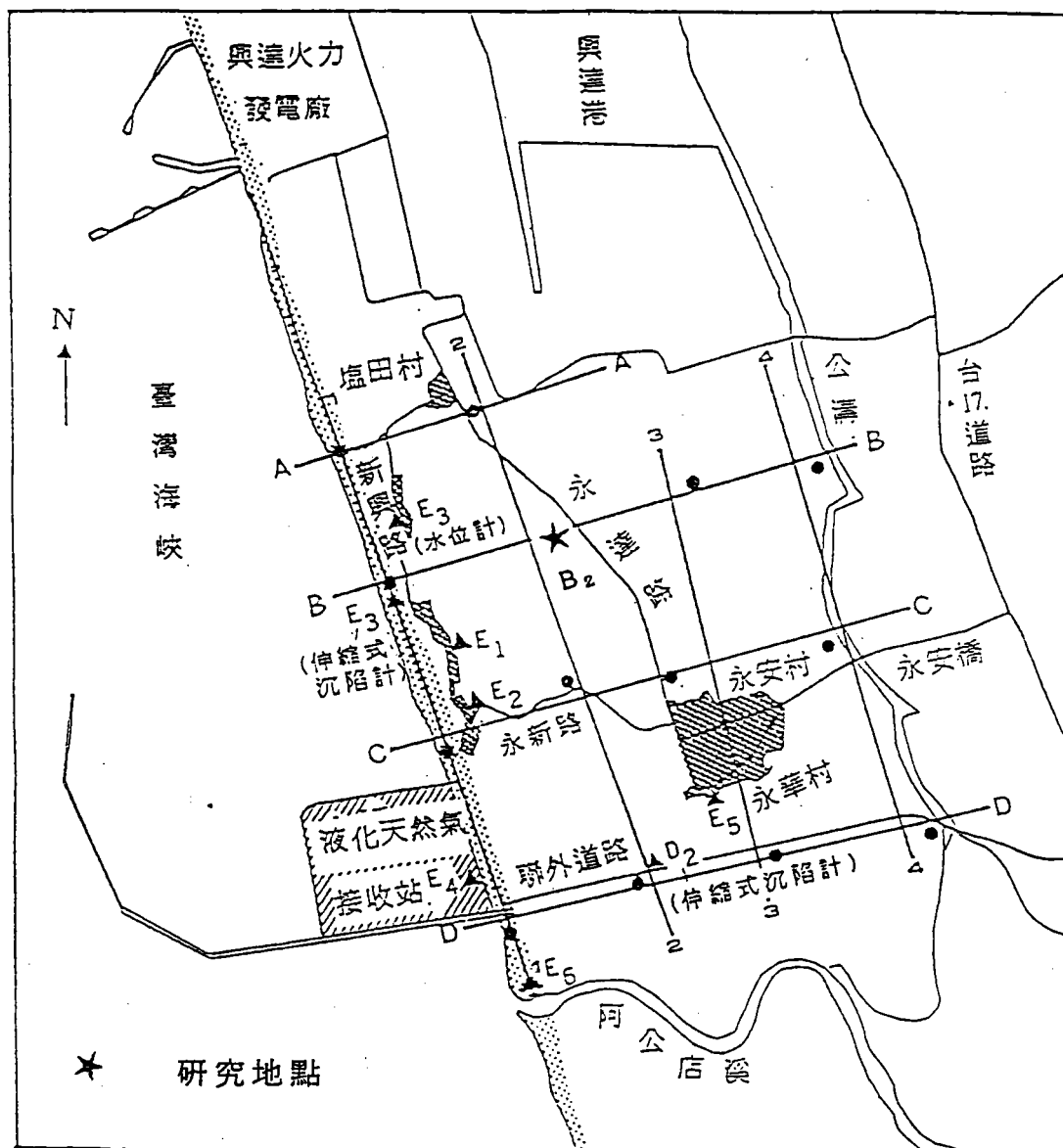


圖4-7 永安B<sub>2</sub>孔之相關位置

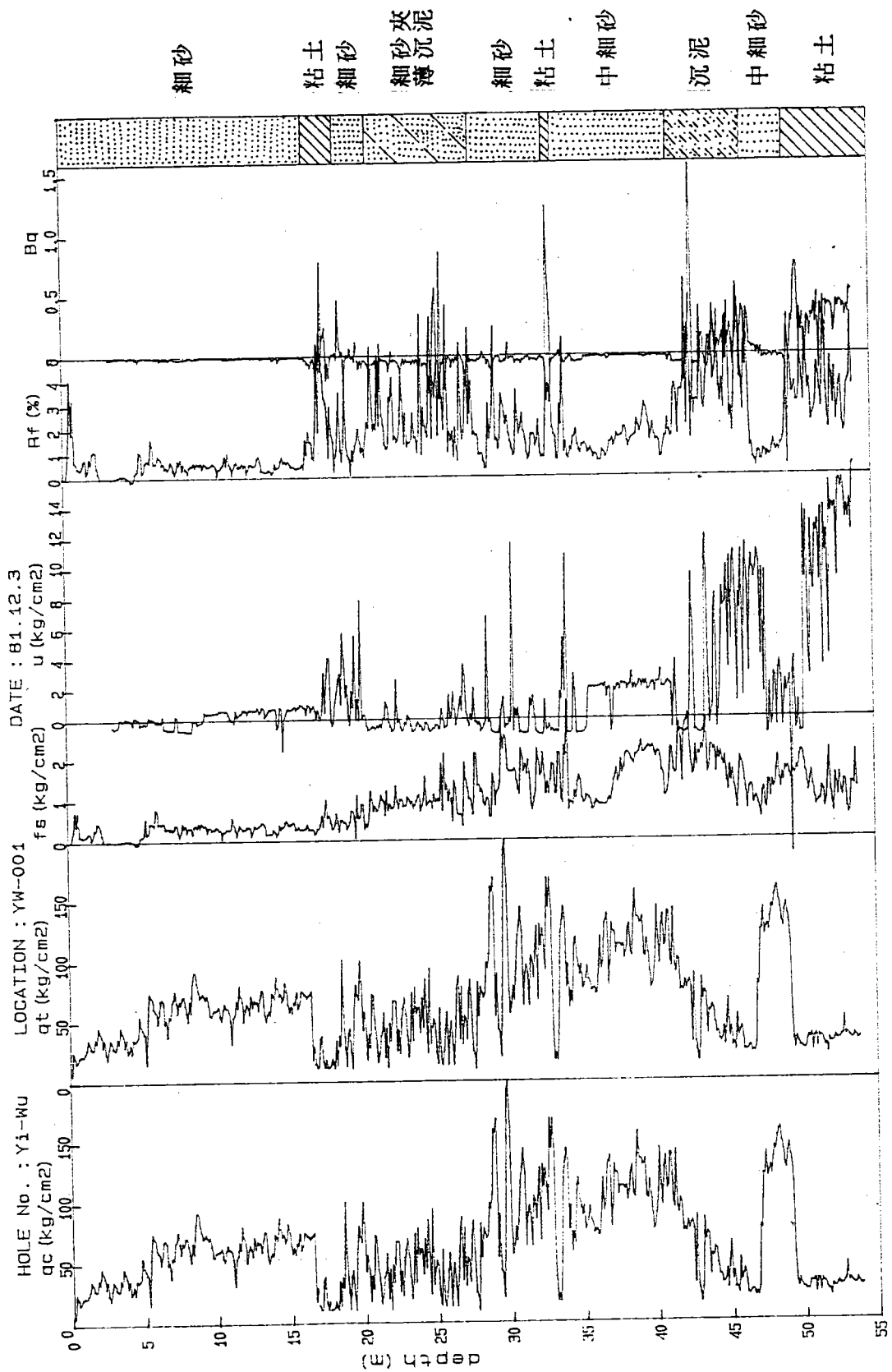


圖 4-8 宜梧國中水壓錐貫入試驗結果及土層分佈

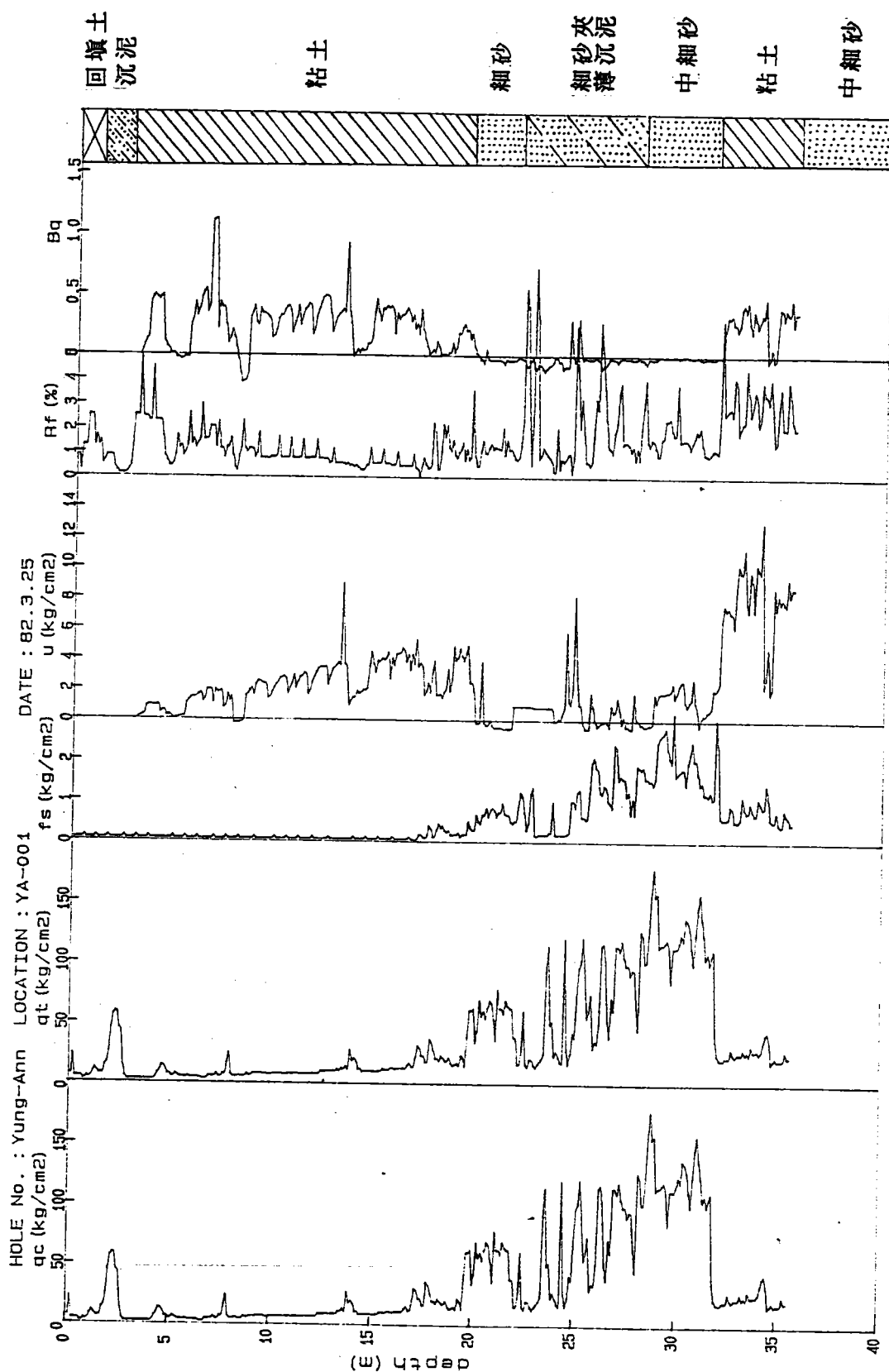


圖 4-9 永安 B<sub>2</sub> 孔水壓錐貫入試驗結果及土層分佈

，雲林宜梧國中共進行32組，高雄永安B<sub>2</sub>孔共進行20組，其試驗結果，如附錄1 所示。

#### 4-2-3 靜水壓力分佈

由於欲知消散試驗之消散百分比( $u\%$ )，必先清楚土層各深度之靜態孔隙水壓  $u_0$  之分佈，若土層為單純之自由水層，其靜態水壓為水單位重  $r_w$  與深度  $h$  之乘積，即  $r_w h$ ，為深度之線性函數，但整個地層包含自由水層，難透水之粘土層，受壓水層，薄層粘土與砂土之互層等，因此土層內之靜水壓  $u_0$  之分佈已非單純之線性分佈，本研究除了於某些深度之粘土層，進行長時間(約 3~10小時)之水壓錐消散試驗，使其消散達到靜水壓，亦於多處易於短時間(約10~30分鐘)達到靜水壓之砂土層進行消散試驗，以便對土層整體之靜水壓分佈更清楚之了解。

#### 4-2-4 曲線斜率因子

於粘土層進行消散試驗，若欲使孔隙水壓消散至靜水壓，常須費相當時間，約需3~10 小時，因此於現地進行消散試驗，常僅消散超過50%以上即停止試驗，約需0.5~1小時，然而消散試驗若未達到靜水壓，或靜水壓未知，則無法直接由消散百分比( $u\%$ )直接推求  $t_{50}$ ， $t_{90}$  等參數，僅能以曲線適位法去推求，故對曲線斜率因子之研究，極為重要。本研究由於土層之靜水壓力分佈皆已清楚，各土層消散試驗之消散百分比皆相當明確，因此可以反推求各消散百分比之曲線斜率因子(Curve slope factor)。

所謂「曲線斜率因子」如圖4-10所示，在繪製水壓消散值對應平方根時間之關係圖上，通常消散曲線圖開頭部分之數據可繪出一條直線來，此線交於時間零處可得  $R_0$ ，一般  $R_0$  比初始消散值稍微高些，由  $R_0$  做第二條直線通過某消散百分比之消散點，其橫座標為第一條直線的  $X$  倍，此  $X$  值即為該消散百分比之曲線斜率因子(Curve slope factor)，簡稱CSF。

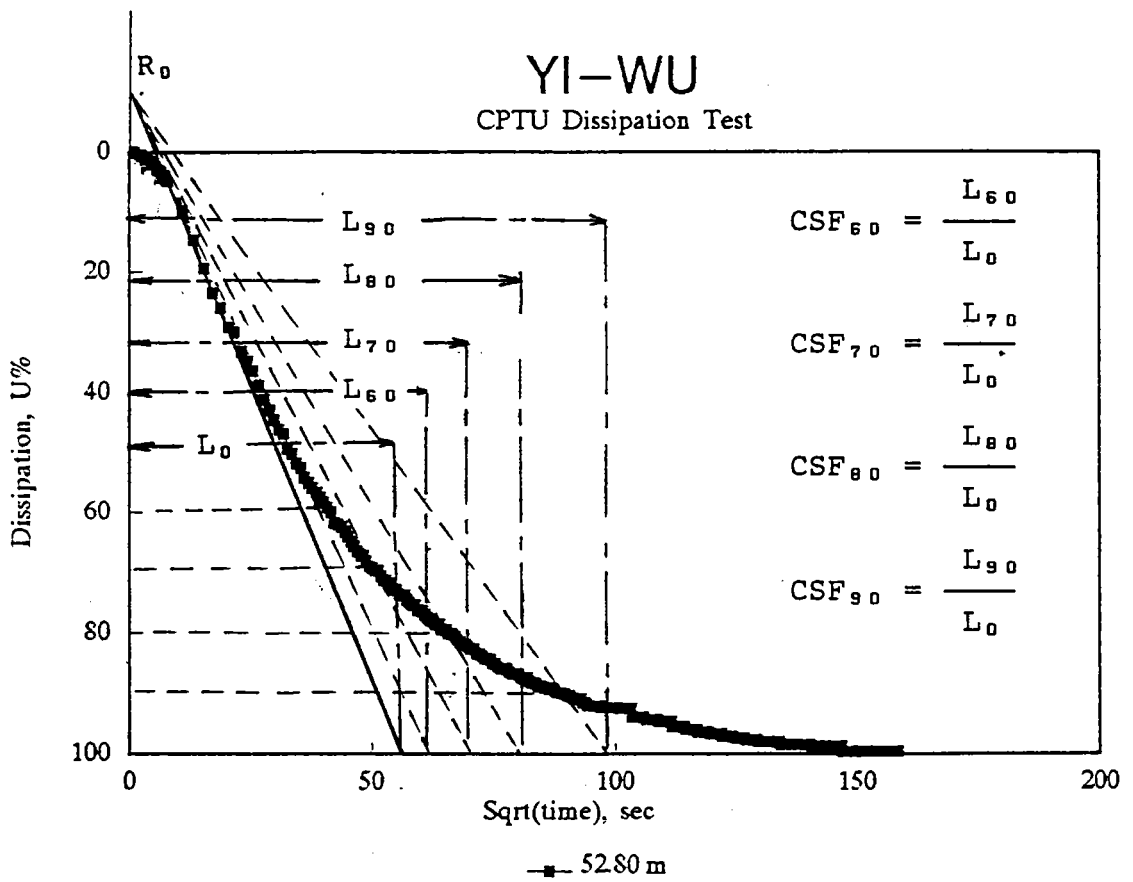


圖4-10 曲線斜率因子示意圖

本研究由宜梧國中及永安B<sub>z</sub>孔共進行52組消散資料中，經篩選已完成90%以上消散試驗者共41組，由此41組消散試驗分別求得消散60%、70%、80%、90%之曲線斜率因子，其與摩擦比R<sub>f</sub>值、孔隙水壓參數B<sub>q</sub>值之關係如圖(4-11)～(4-18)所示，經迴歸分析可得其相關經驗式如下所述：

(a) 曲線斜率因子CSF 與摩擦比R<sub>f</sub>之關係如式(4-1)～(4-4)所示：

$$CSF_{60} = 1.0203 + 0.010291R_f \dots\dots\dots(4-1)$$

$$\text{其相關係數} R = 0.47647$$

$$CSF_{70} = 1.0495 + 0.025524R_f \dots\dots\dots(4-2)$$

$$\text{其相關係數} R = 0.54651$$

$$CSF_{80} = 1.102 + 0.046439R_f \dots\dots\dots(4-3)$$

$$\text{其相關係數} R = 0.6227$$

$$CSF_{90} = 1.2186 + 0.08477R_f \dots\dots\dots(4-4)$$

$$\text{其相關係數} R = 0.70465$$

上述中，CSF<sub>60</sub>、CSF<sub>70</sub>、CSF<sub>80</sub>、CSF<sub>90</sub>分別為消散60%、70%、80%、90%之曲線斜率因子，而摩擦比R<sub>f</sub>值為摩擦阻抗f<sub>s</sub>與錐端阻抗q<sub>c</sub>之比值百分比，即R<sub>f</sub> = f<sub>s</sub>/q<sub>c</sub> \* 100%。

(b) 曲線斜率因子CSF 與孔隙水壓參數B<sub>q</sub>值之關係如式(4-5)～(4-8)所示：

$$CSF_{60} = 1.0266 + 0.028842B_q \dots\dots\dots(4-5)$$

$$\text{其相關係數} R = 0.36702$$

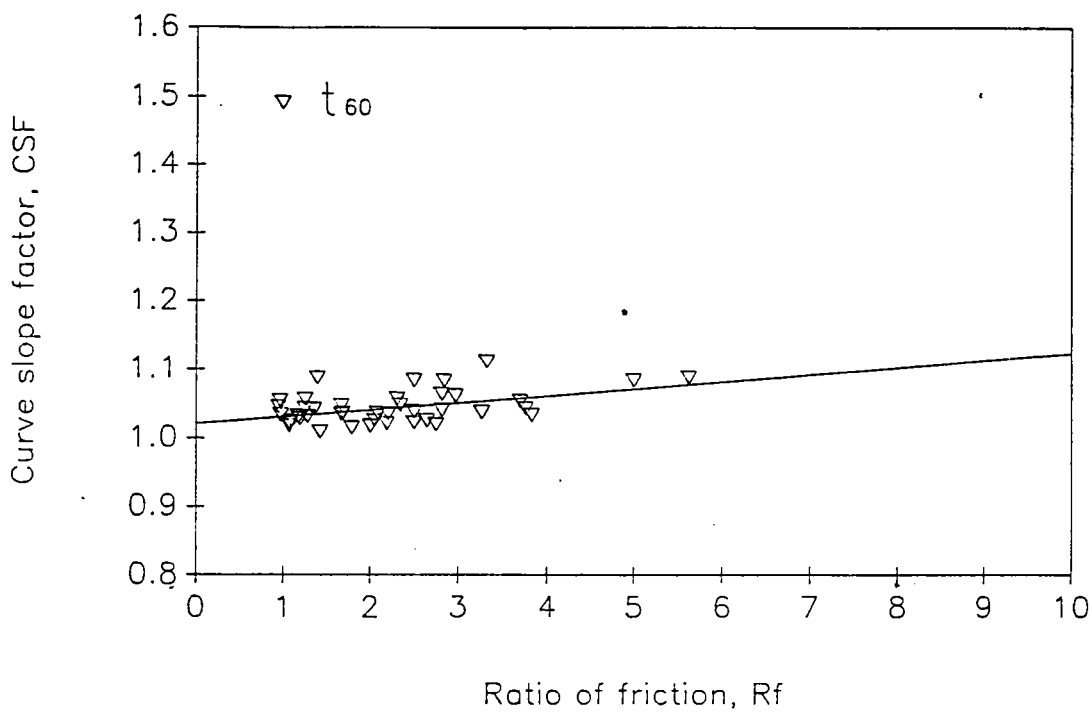


圖4-11  $t_{60}$  曲線斜率因子與摩擦比  $R_f$  之相關性

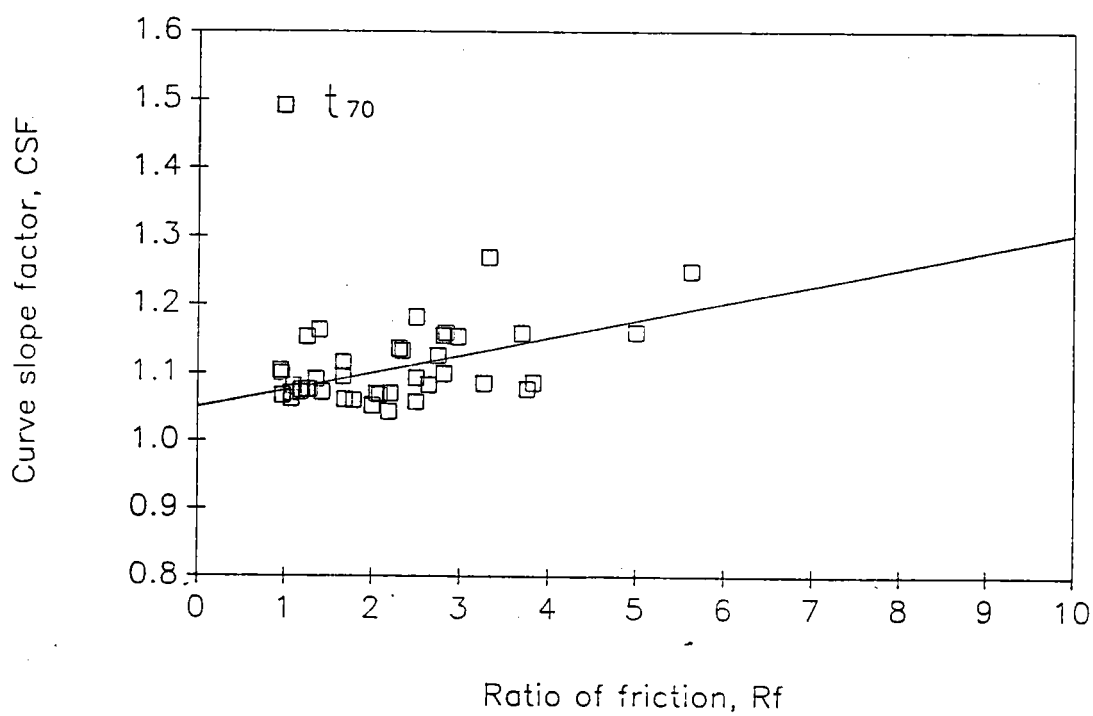


圖4-12  $t_{70}$  曲線斜率因子與摩擦比  $R_f$  之相關性

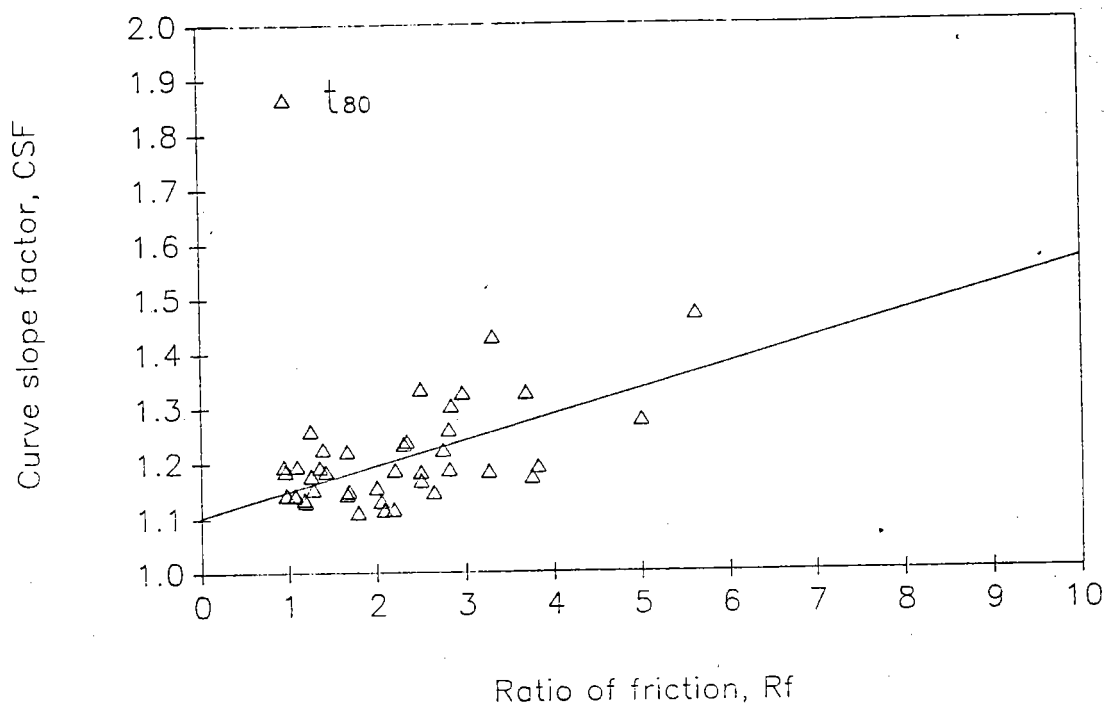


圖4-13  $t_{80}$  曲線斜率因子與摩擦比  $R_f$  之相關性

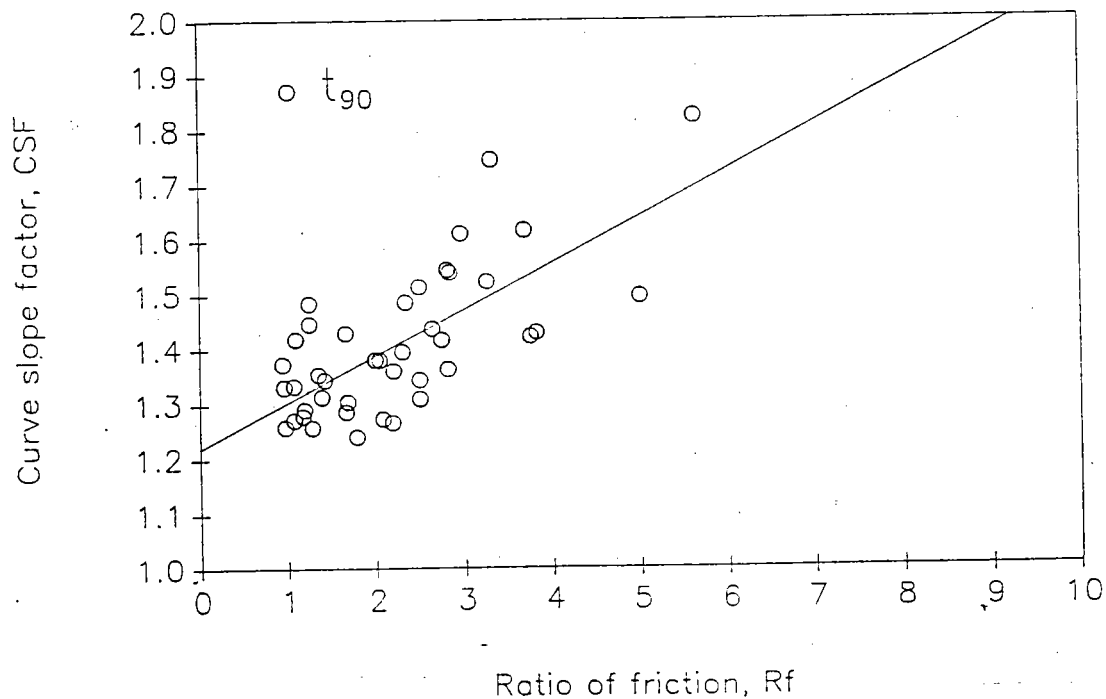


圖4-14  $t_{90}$  曲線斜率因子與摩擦比  $R_f$  之相關性

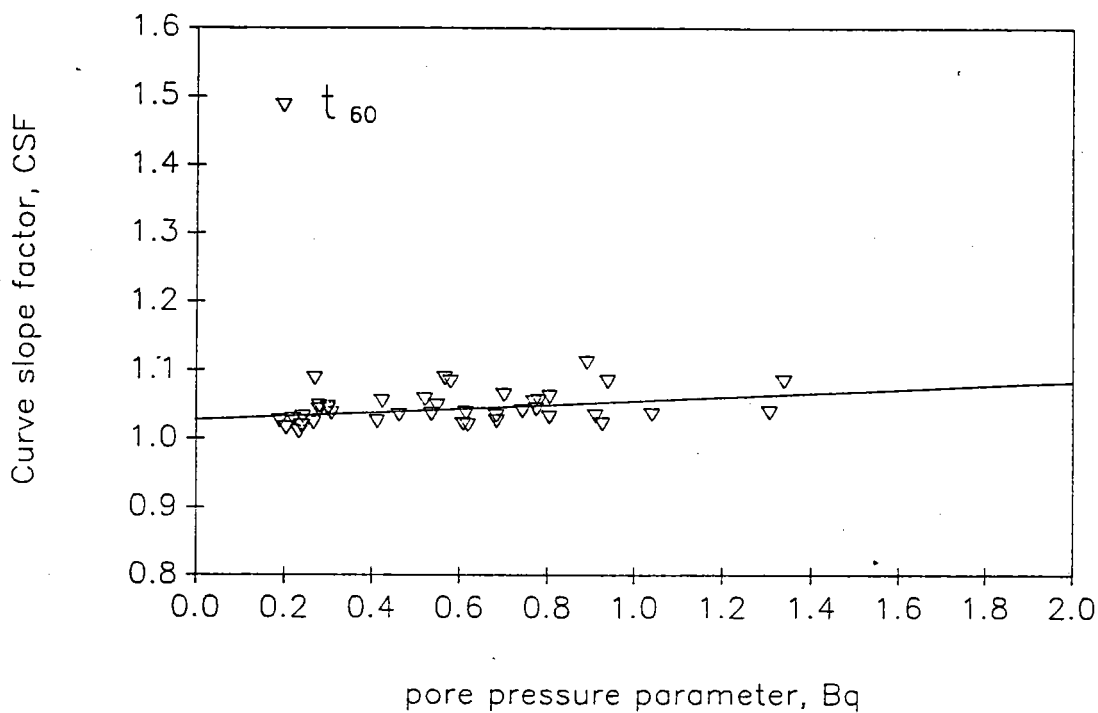


圖4-15  $t_{60}$  曲線斜率因子與孔隙水壓參數  $B_q$  之相關性

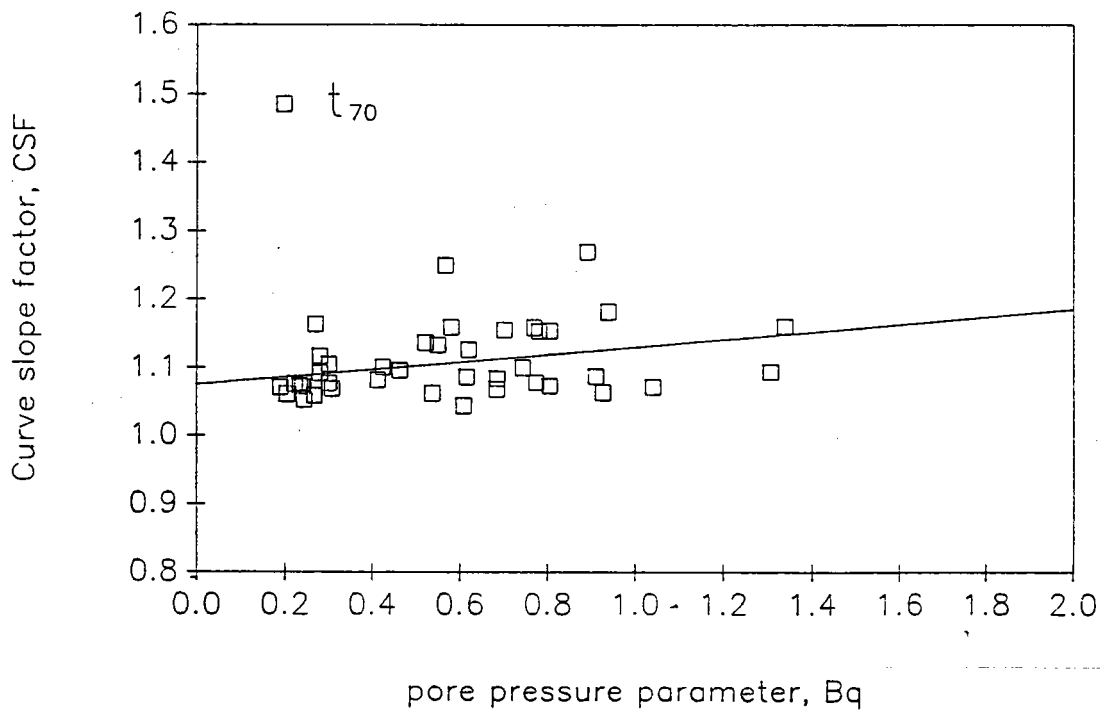


圖4-16  $t_{70}$  曲線斜率因子與孔隙水壓參數  $B_q$  之相關性

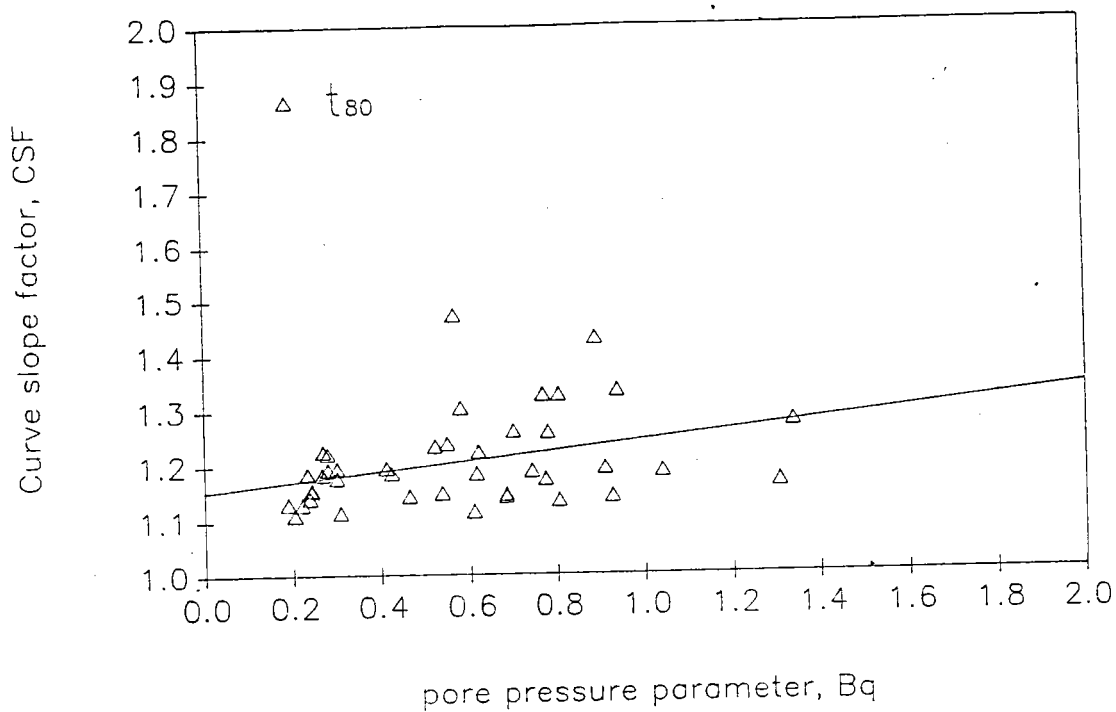


圖4-17  $t_{80}$  曲線斜率因子與孔隙水壓參數  $B_q$  之相關性

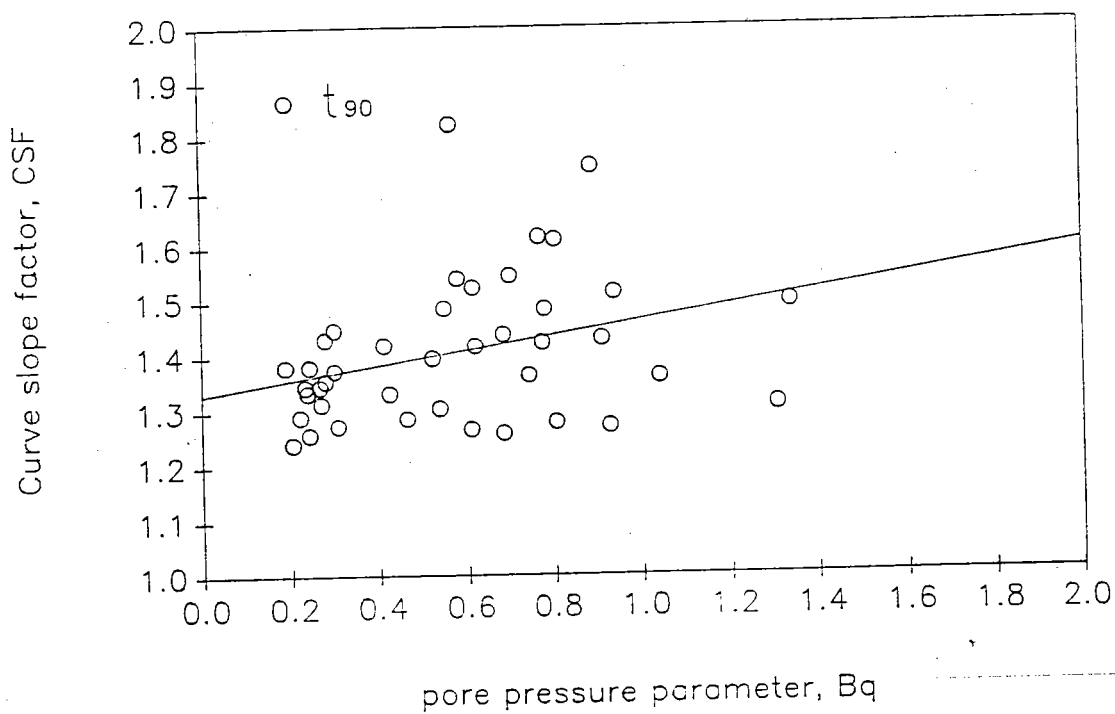


圖4-18  $t_{90}$  曲線斜率因子與孔隙水壓參數  $B_q$  之相關性

$$CSF_{70} = 1.0744 + 0.055583B_q \dots\dots\dots(4-6)$$

其相關係數  $R = 0.32709$

$$CSF_{80} = 1.1521 + 0.092628B_q \dots\dots\dots(4-7)$$

其相關係數  $R = 0.34137$

$$CSF_{90} = 1.3297 + 0.13495B_q \dots\dots\dots(4-8)$$

其相關係數  $R = 0.30831$

上式之  $B_q = (U - U_0) / (q_t - \sigma_{v0})$ ，其中  $U$  為超孔隙水壓， $U_0$  為靜水壓力， $q_t$  為修正後之錐端阻抗， $\sigma_{v0}$  為總覆土壓力。

#### 4-3 Rowe cell 壓密試驗

本研究之 Rowe cell 壓密試驗，分別以 1、2、4、8、12 kg/cm<sup>2</sup> 等 5 個階段進行加壓試驗及 6、1 kg/cm<sup>2</sup> 等 2 個階段進行解壓試驗。而每階段皆以孔隙水壓判斷，分別進行初始壓縮及主要壓密二種試驗。未進一步再進行次要壓縮試驗。由於試驗仍在進行中，僅將宜梧園中之部分試驗結果，陳列於附錄 2，俟試驗資料較為齊全之後再進行分析討論。

#### 4-4 傳統壓密試驗

本研究之傳統式壓密試驗分別以 0.125、0.25、0.5、1、2、4、8、16、32 kg/cm<sup>2</sup> 等 9 個階段進行加壓試驗，每階段加壓 24 小時，以 8、2、0.5、0.125 kg/cm<sup>2</sup> 等 4 個階段進行解壓試驗，每階段解壓 4 小時，已完成之部分壓密試驗如附錄 3 所示。

## 五、結論與今後研究工作

本研究主要利用Rowe氏所發展之三維壓密試驗系統，針對台灣西部海岸土層，評估在不同排水方式、不同邊界條件下，土層壓縮特性與孔隙水壓消散之相關性，並結合現地荷式錐消散試驗(CPTU)，以期深入探討海岸土層下陷行為機制，建立合適的土層下陷問題預測模式，提供海岸結構物預估沉陷量之依據。

本研究分兩年進行，第一年主要在於建立Rowe氏三維壓密試驗系統進行各式壓密試驗，蒐集與分析海岸土層下陷與地下水位觀測資料並進行現地荷式錐消散試驗與分析，第二年可根據第一年之試驗研究成果進一步進行下列研究工作：

- (1) 比較與分析國內外土層壓密沉陷理論。
- (2) 考慮Rowe壓密試驗之特性，結合擴散及壓密理論，發展出預測土層下陷之預測模式。
- (3) 建立現地CPTU試驗結果與Rowe氏壓密試驗結果之相關性，並發展由CPTU消散試驗結果分析土層下陷之模式。

## 六、參考文獻

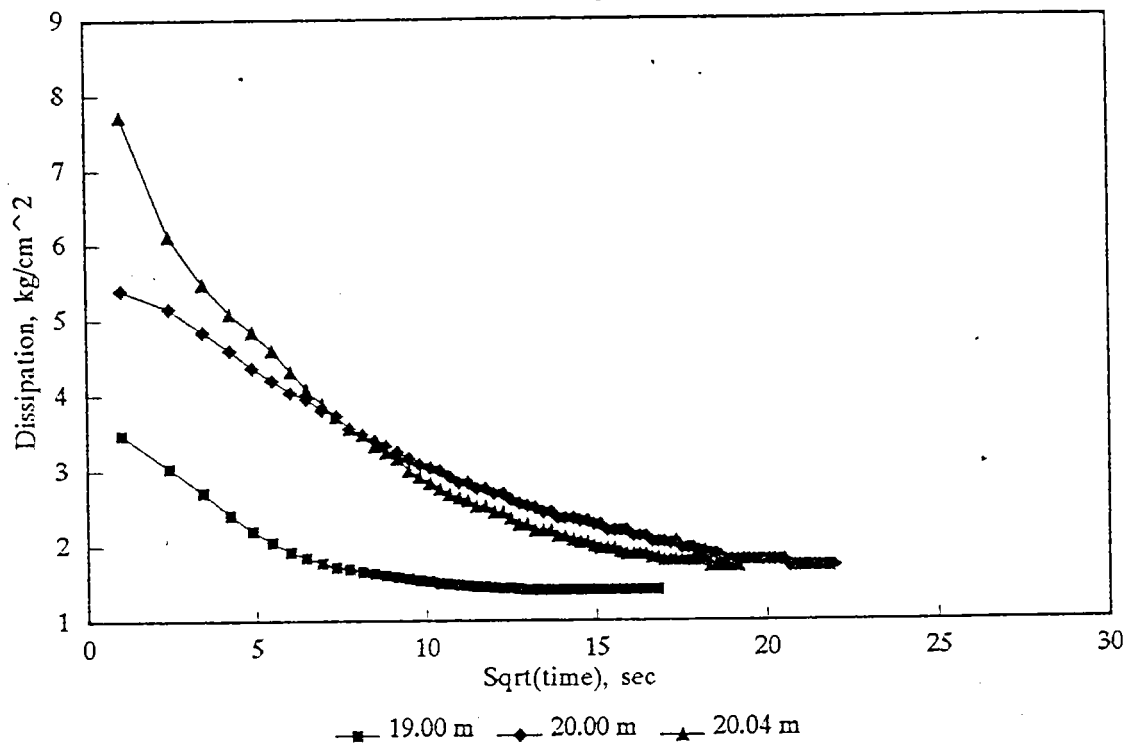
1. 工研院能資所(1991)，「地盤下陷行為與水質鹽化的調查及地陷防治效應之研究」行政院環保署八十年度科技研究發展專案，計劃編號：EPA-80-E3G1-09-02。
2. 水利局(1989)，「雲林地區地盤下陷檢測報告」。
3. 成功大學土木系(1990)，「高雄縣永安鄉沿海地區地質調查及地盤變動第二期觀測工作第一階段報告書」中國石油公司委託計劃。
4. 李似椿(1989)，「地下水」中國土木水利工程學會。
5. 省交通處港灣技術研究所(1984)「荷式錐貫入試驗於基礎工程之應用研究」。
6. 陳圭璋，謝明志(1990)，「以電子式兼測水壓貫入錐試驗結果分析土壤工程性質之研究」NSC 78-0410-E124-01。
7. Baligh M. M. & Levadoux, J. N. (1980) "Pore pressure dissipation after cone penetration" Research report R80-11, CE, MIT.
8. Baligh M. M. & Levadoux, J. N. (1986) "Consolidation after Undrained Piezocone Penetration. II: Interpretation," Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 112(G17), July, pp.727-745.
9. Biot, M. A. (1941), "General theory of three-dimensional consolidation", J. of applied physics 12(2).
10. Gabrysch, R. K., (1969), "Land Surface Subsidence" in the Houston-Galveston Region, Texas, in Tison, L. J., ed., Land Subsidence, Vol. 1, Internat. Assoc. Sci. Hydrology, Pub. 88. pp.43-54.
11. German Figueroa, Soki Yamamoto, and Working group (1984) "Technique for Prediction of Subsidence", Guidebook to studies of land subsidence due to groundwater withdrawal, pp.89-116. Unesco.
12. Head, K. H. (1985), "Manual of Soil Laboratory Testing" Vol.3, chapter 24. pp.1129~1190.

13. Leake, S. A. & Prudic, D.E. (1988), "Documentation of a computer program to simulate aquifer-system compaction using the modular finite-difference ground-water flow model" , U. S. Geological Survey, Report No. 88 Tucson, Arizona.
14. Levadoux, J. N., Baligh, M.M. (1986) "Consolidation after Undrained Piezocone Penetration I: Prediction , Journal of the Gechnical Engineering Division, ASCE, Vol.112, No.7 pp.707~726.
15. Rowe, P. W. and Braden, L. (1966), "A new consolidation cell", Geotechnique Vol.16, No.2 pp.162~170.
16. Singh, G. and Hattab, T. N. (1979), "A laboratory method of efficiency of sand drain in relation to methods of installation and spacing" , Geotechnique 29:4.
17. Terzaghi, K. (1943) "Theoretucal soil mechanics" , John Wileg & Sons New York .
18. Torstensson, B. A. (1975). "Pore Pressure Sounding Instrument," Proceedings, ASCE Specialty Conference on In Situ Measurement of Soil Properties, Raleigh, N. C., Vol.2, pp.48-54.
19. Wadachi, K. (1940) "Ground sinking in west Osaka" (second rept.) Rept. Disaster prevention Pesearch Institute, No.3 .
20. Yamaguchi, R. (1969) "Water level change in the deep well of the University of Tokyo", Bull Earthquake Research Institute, No.47

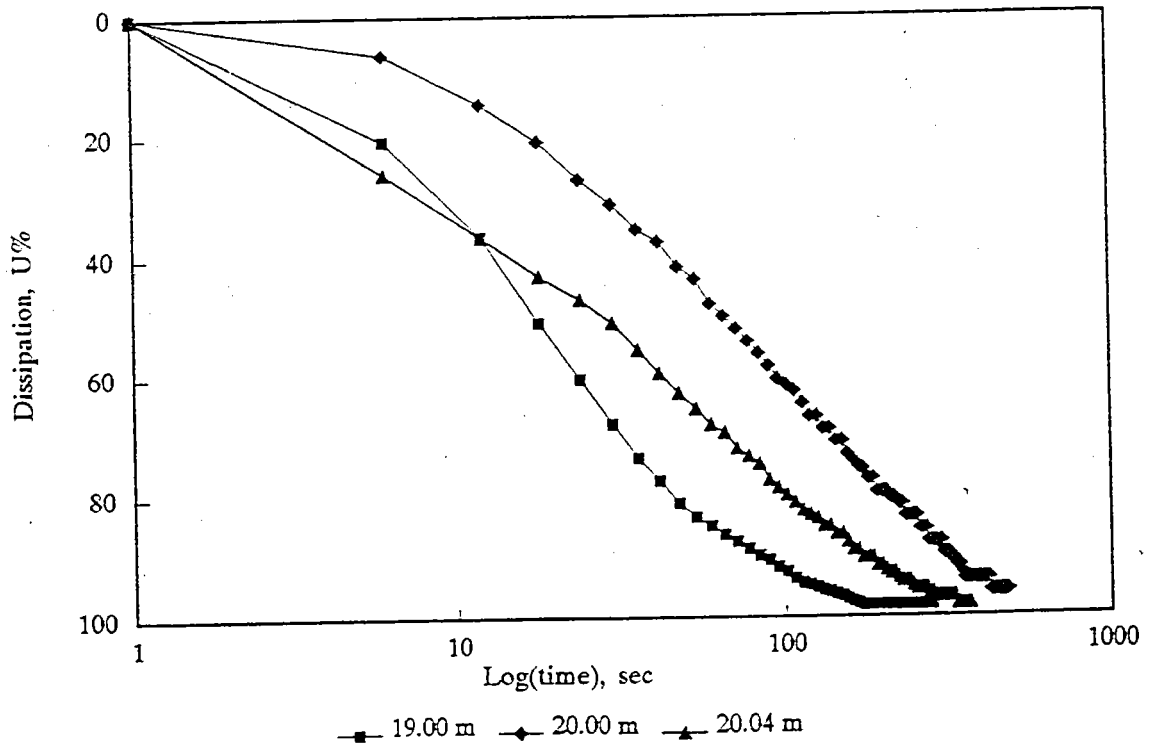
## 七、附錄

### 附錄1：水壓錐消散試驗資料

# YI-WU CPTU Dissipation Test

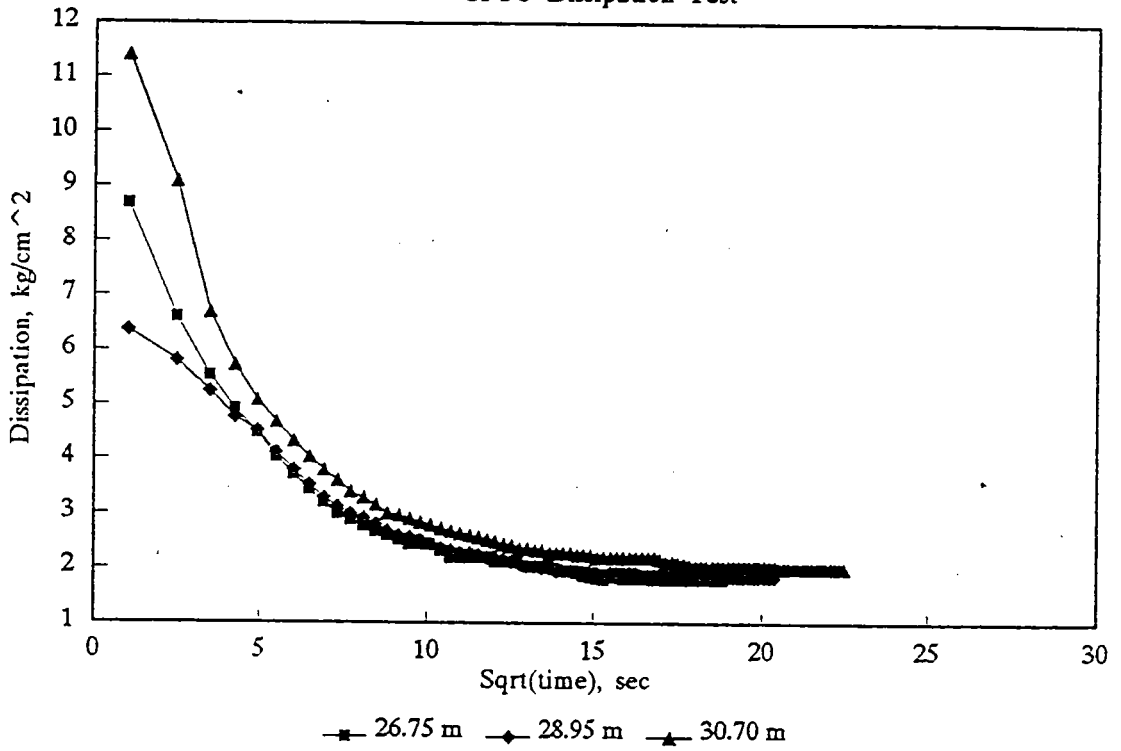


# YI-WU CPTU Dissipation Test



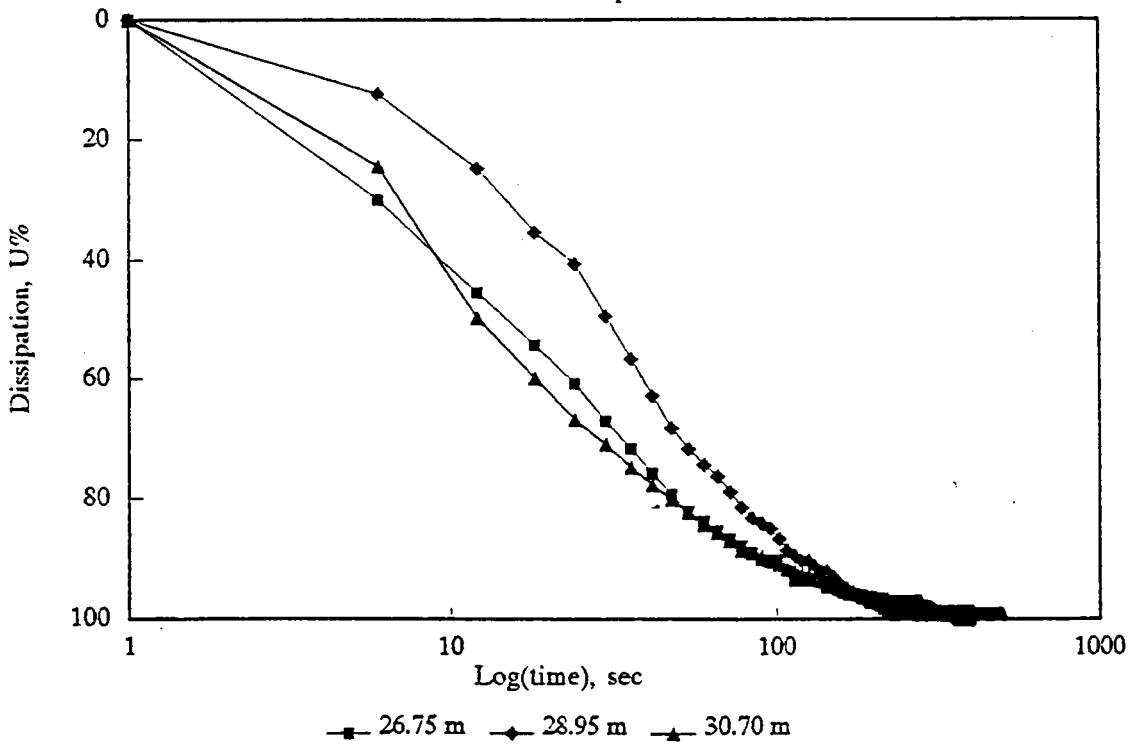
# YI-WU

## CPTU Dissipation Test



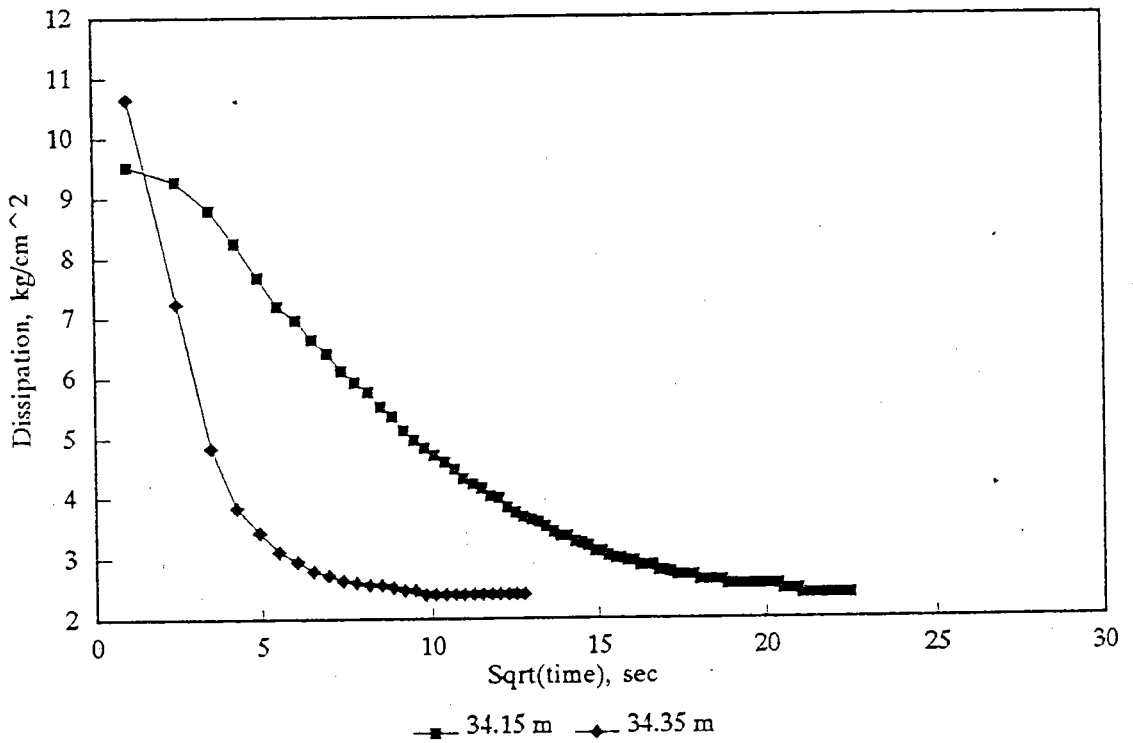
# YI-WU

## CPTU Dissipation Test



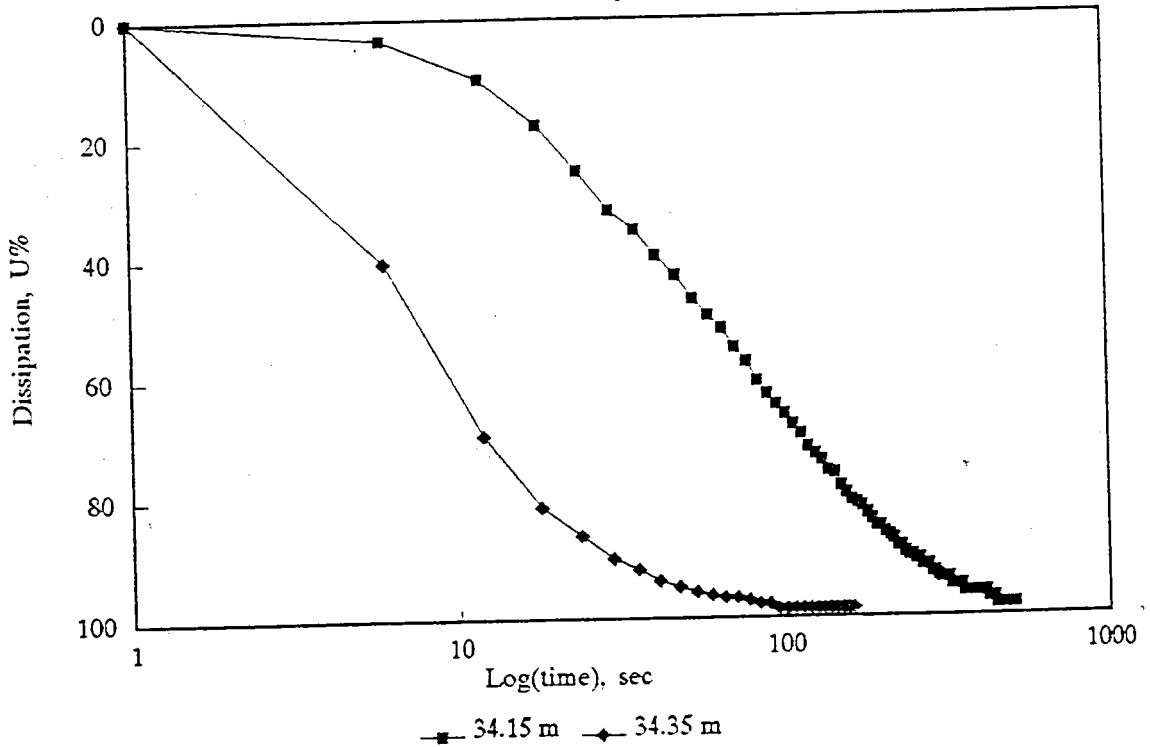
# YI-WU

## CPTU Dissipation Test



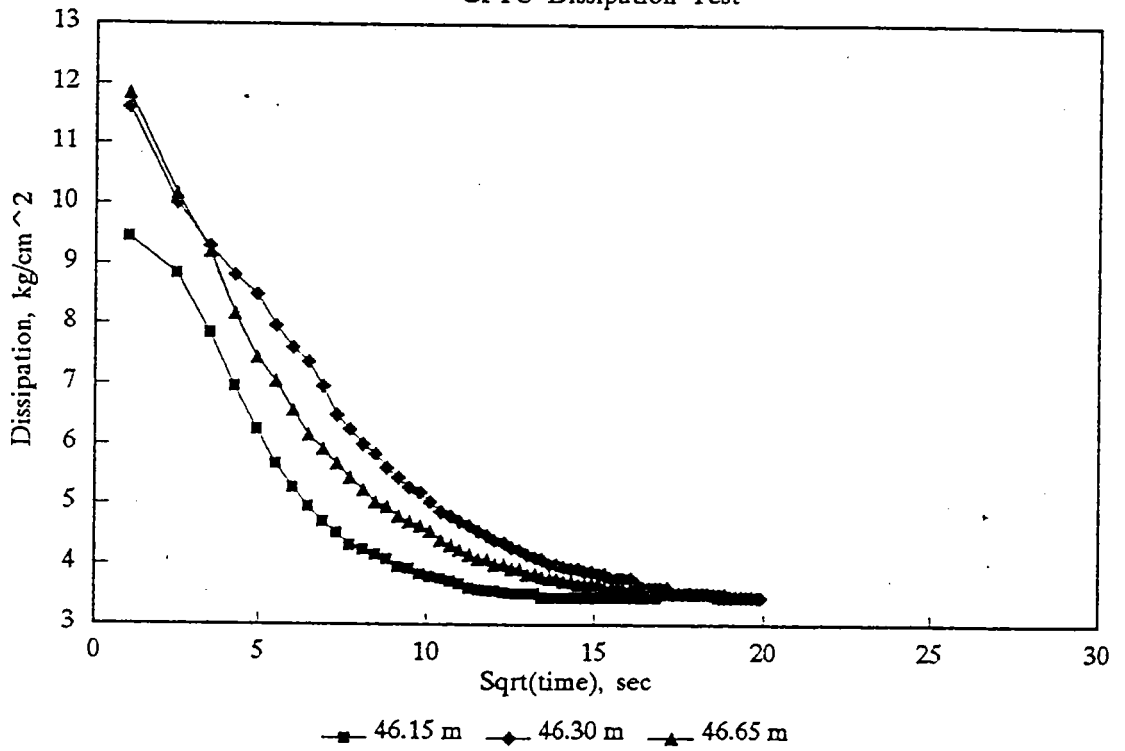
# YI-WU

## CPTU Dissipation Test



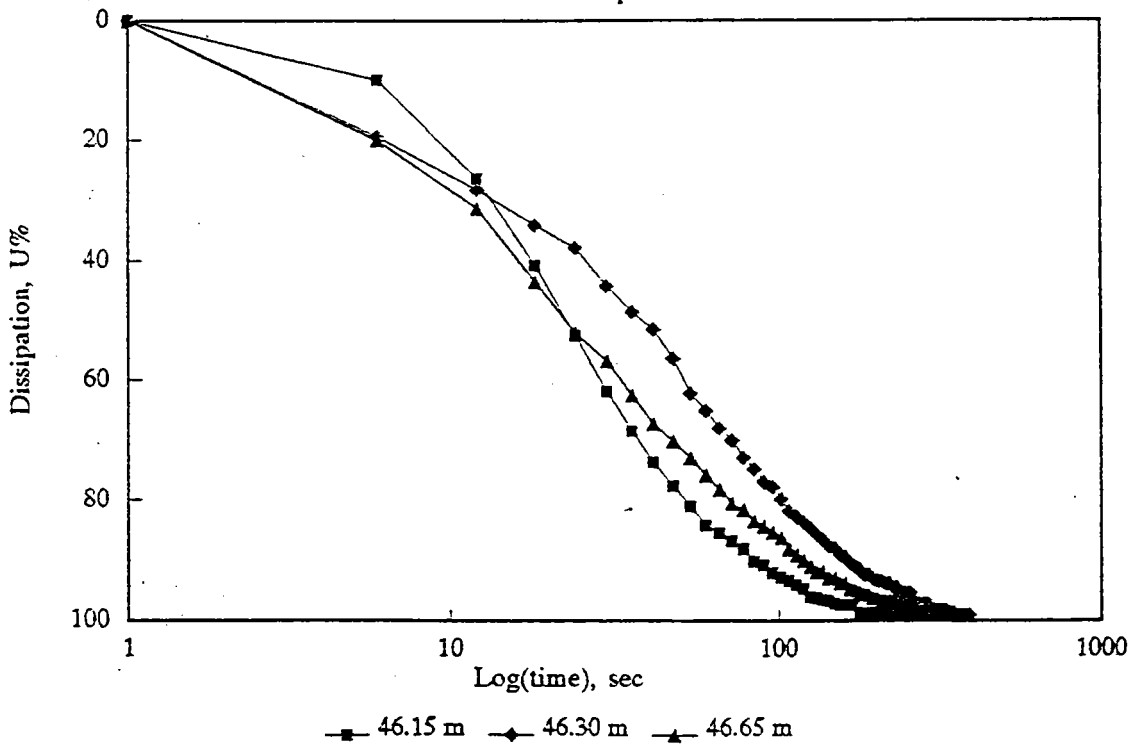
# YI-WU

## CPTU Dissipation Test



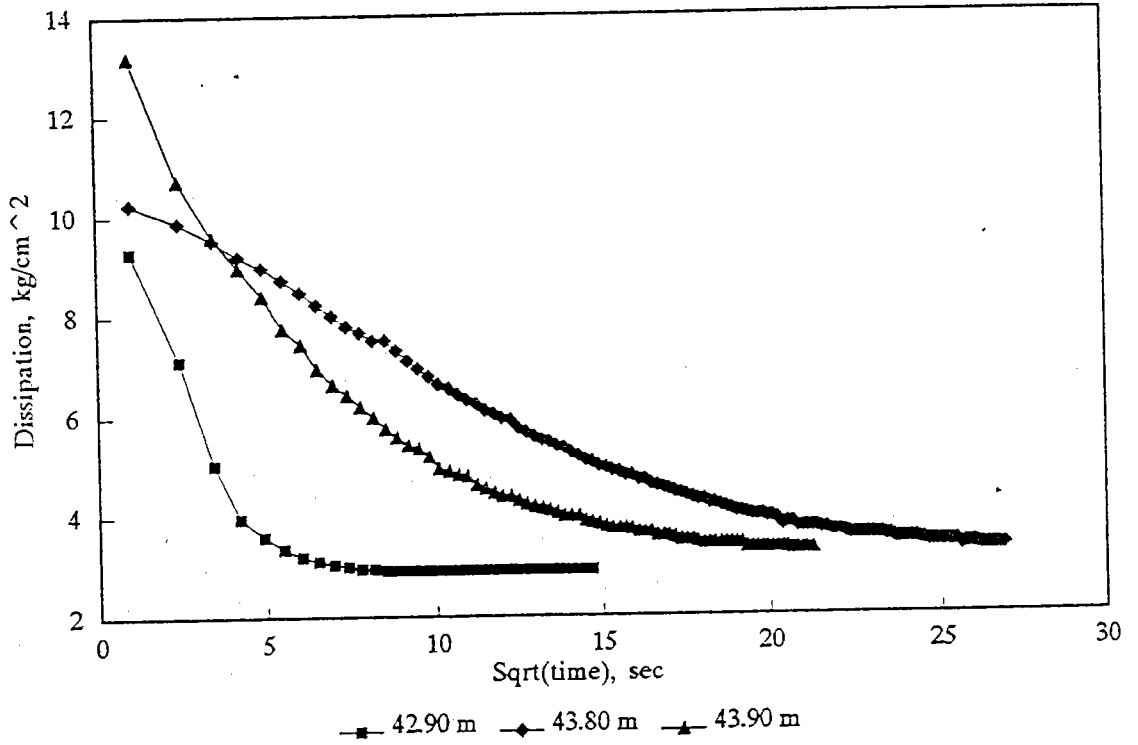
# YI-WU

## CPTU Dissipation Test



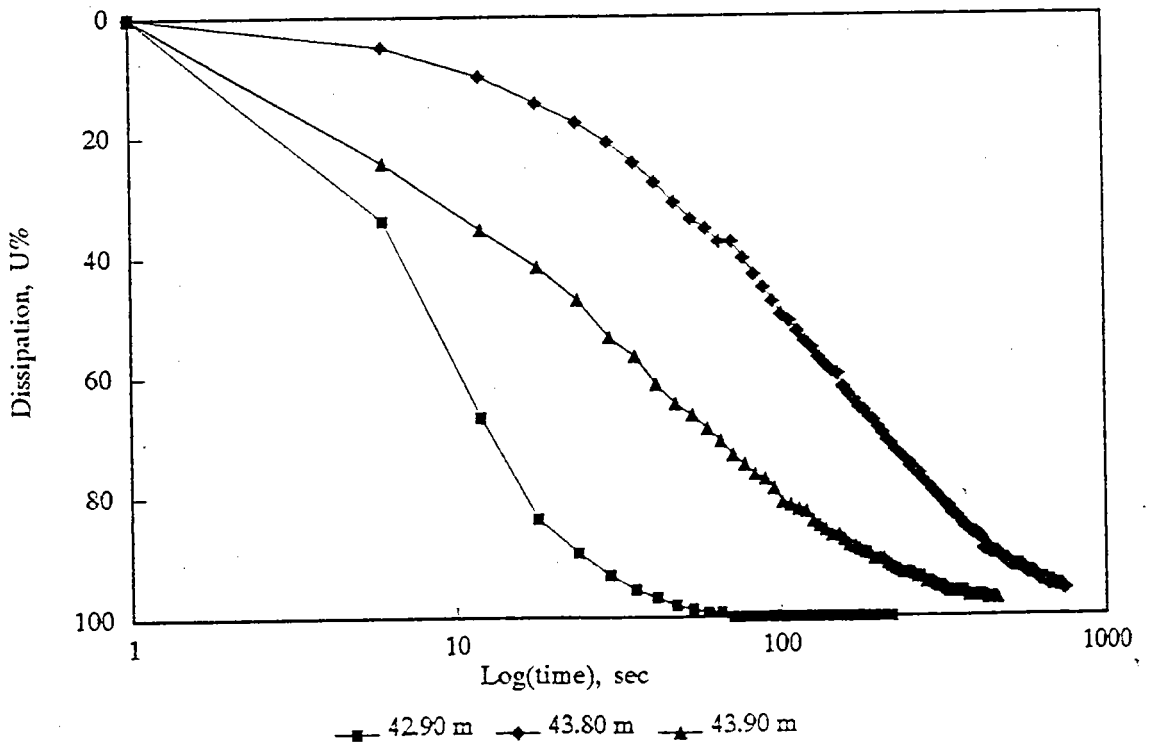
# YI-WU

## CPTU Dissipation Test



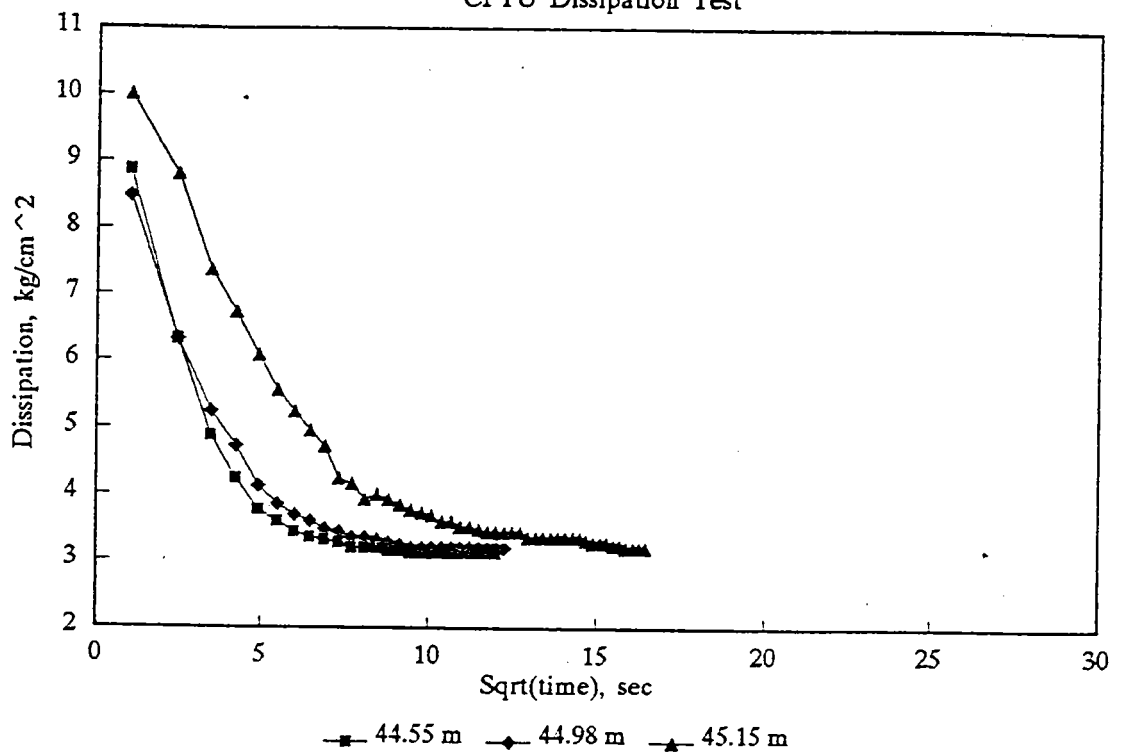
# YI-WU

## CPTU Dissipation Test



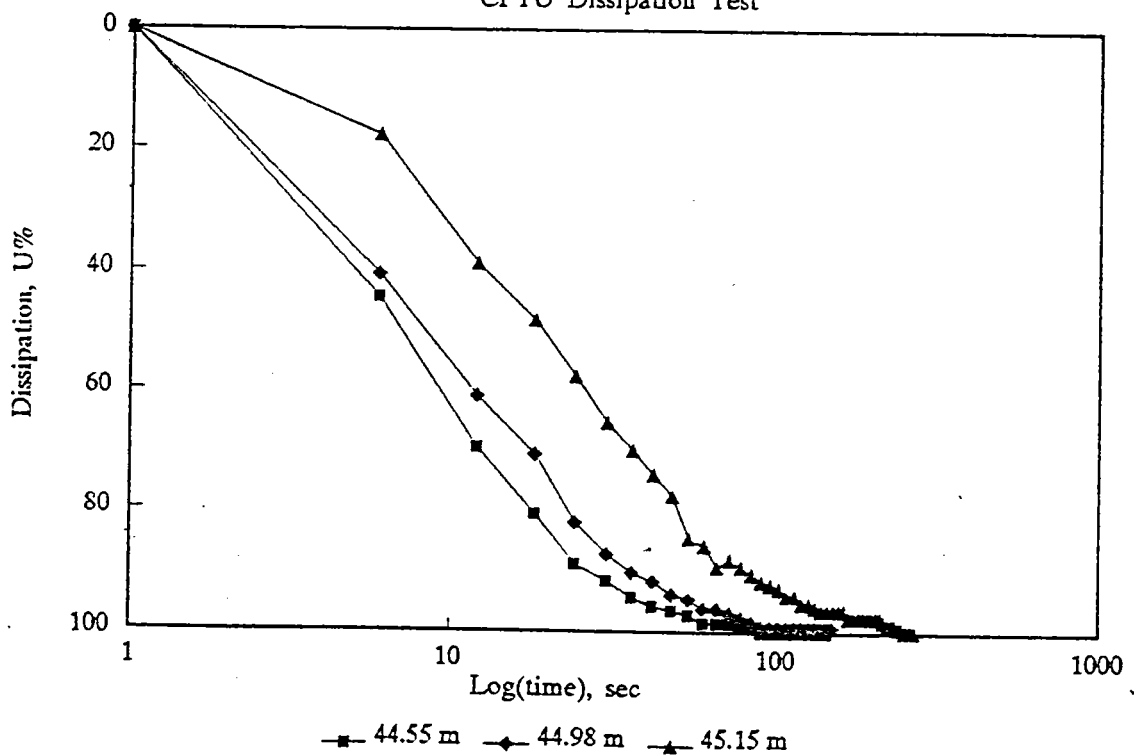
# YI-WU

## CPTU Dissipation Test



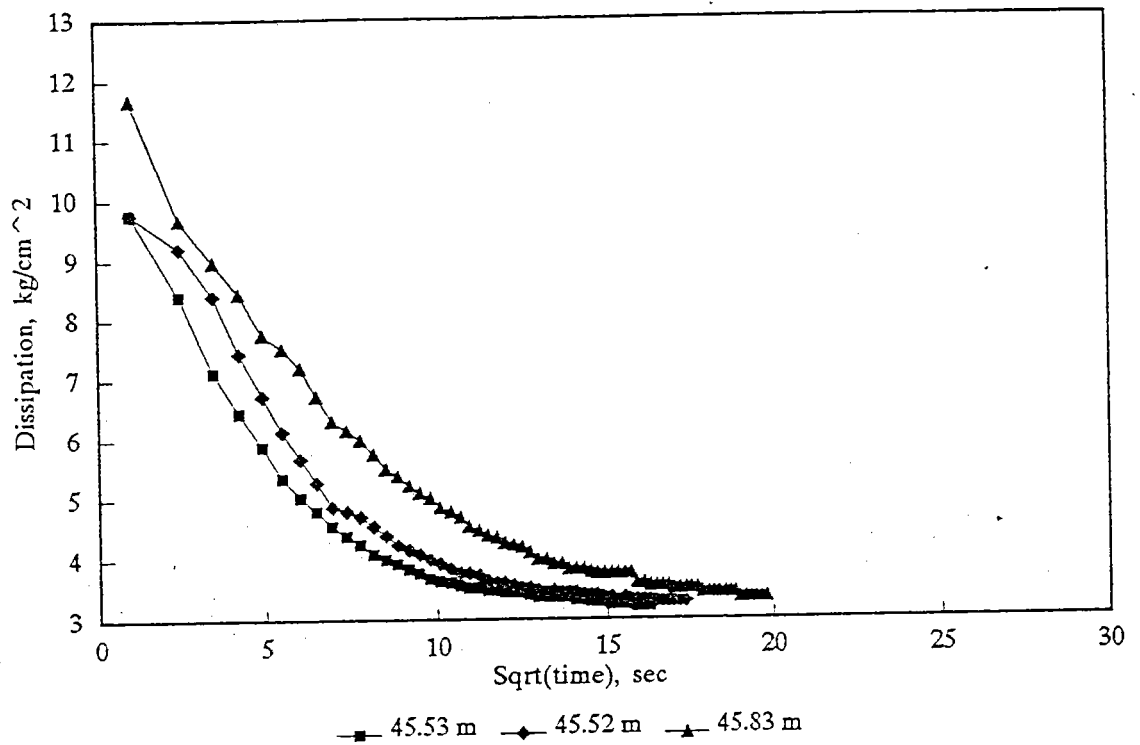
# YI-WU

## CPTU Dissipation Test



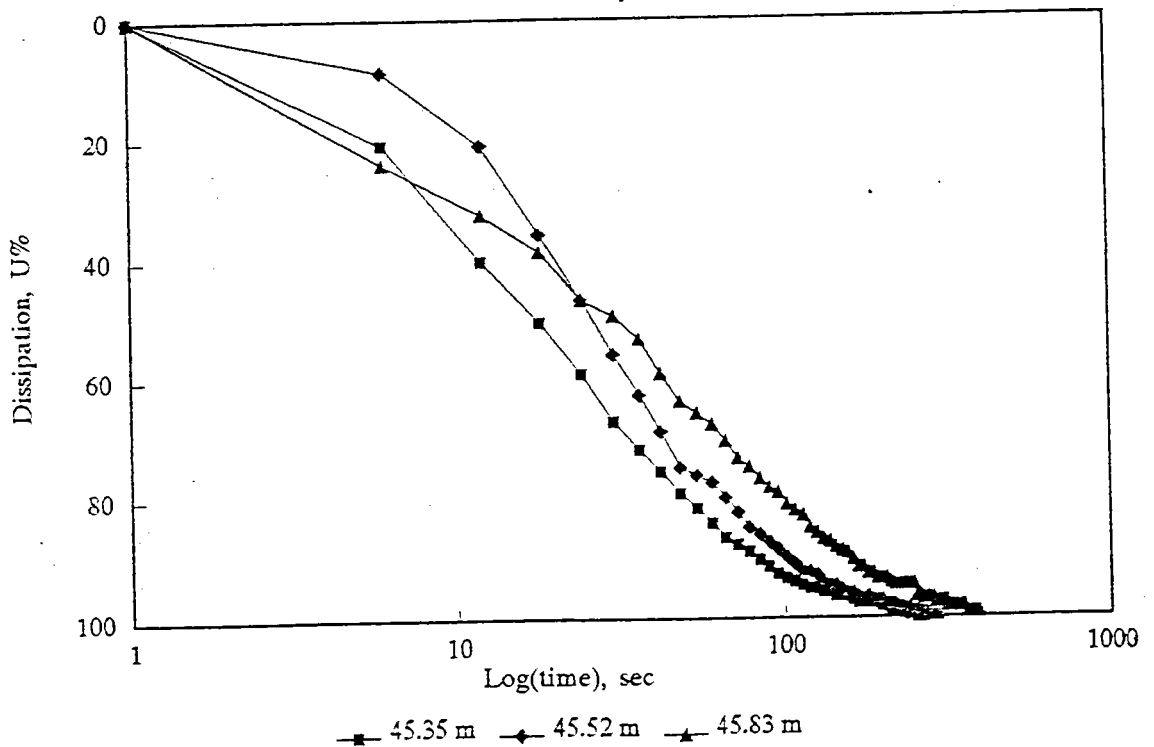
# YI-WU

## CPTU Dissipation Test



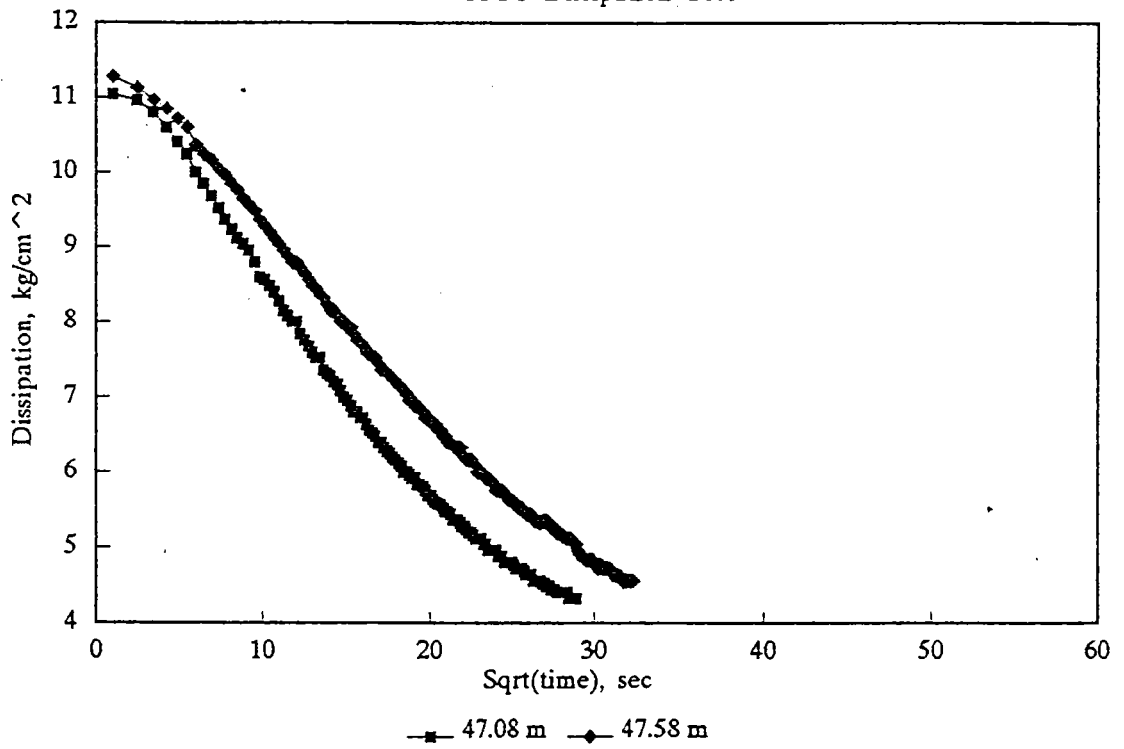
# YI-WU

## CPTU Dissipation Test



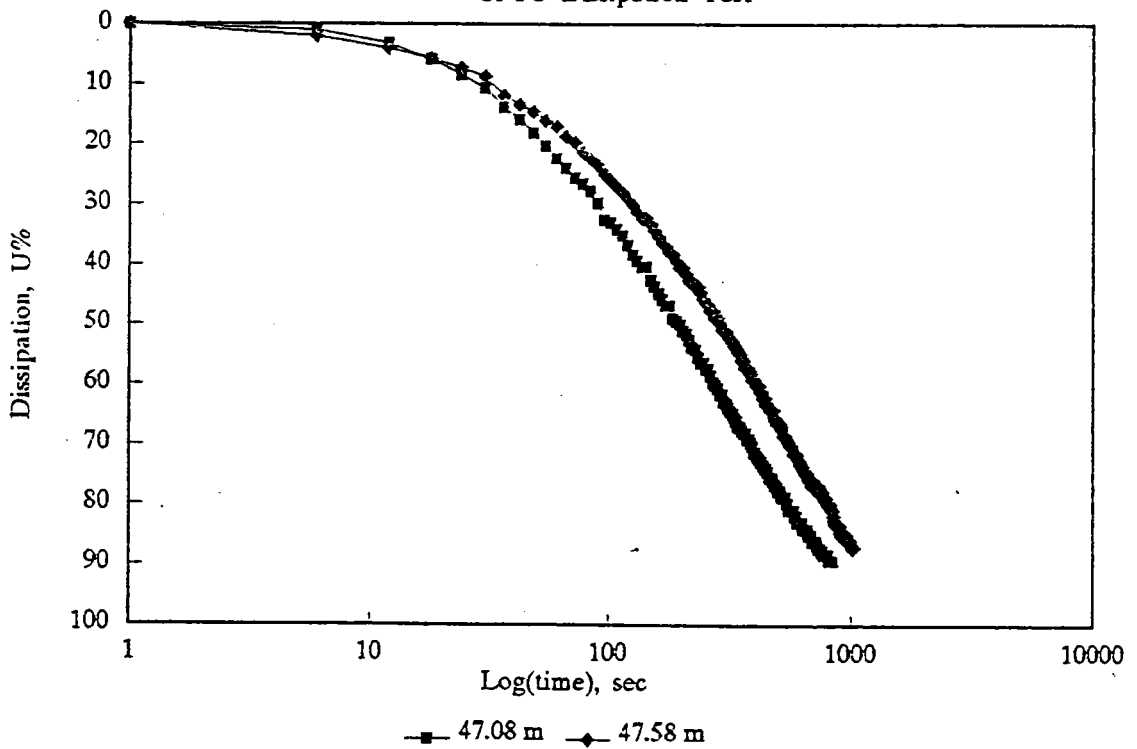
# YI-WU

## CPTU Dissipation Test

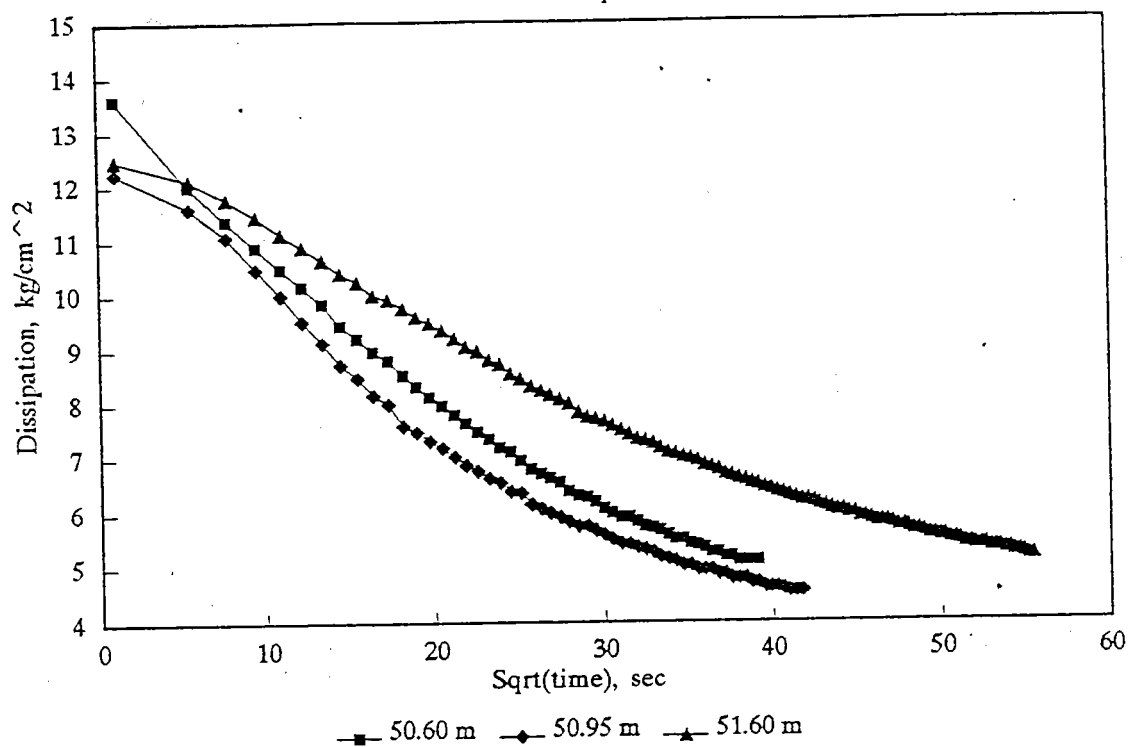


# YI-WU

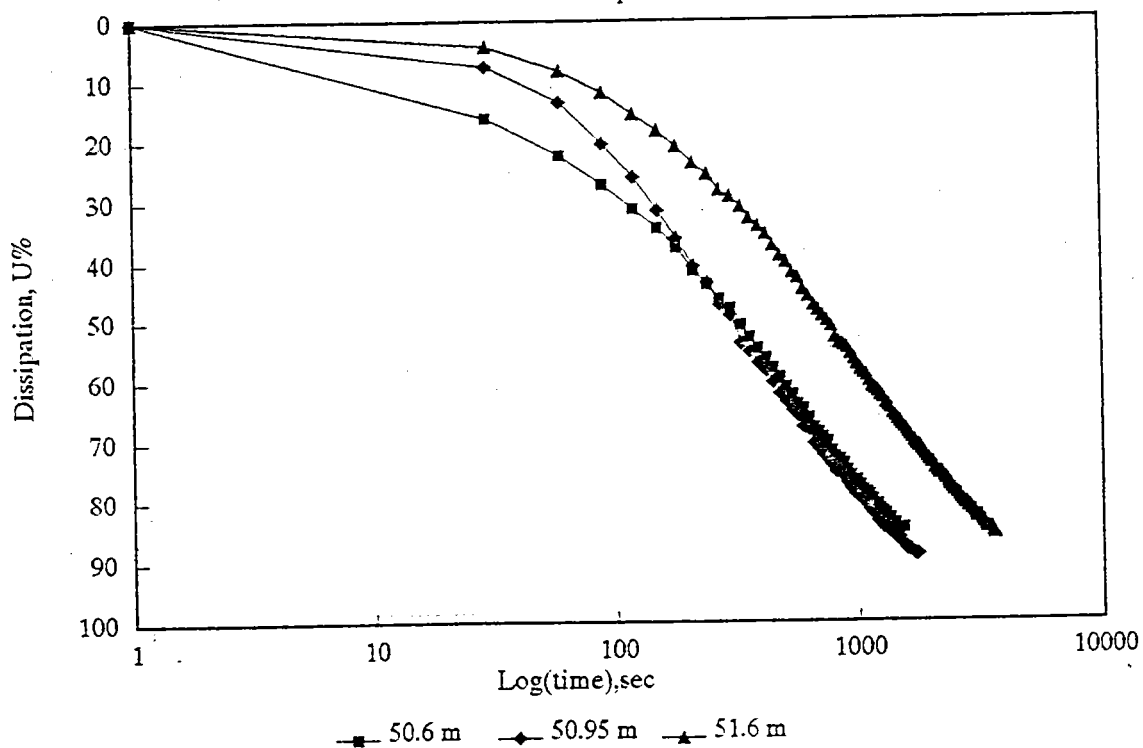
## CPTU Dissipation Test



# YI-WU CPTU Dissipation Test

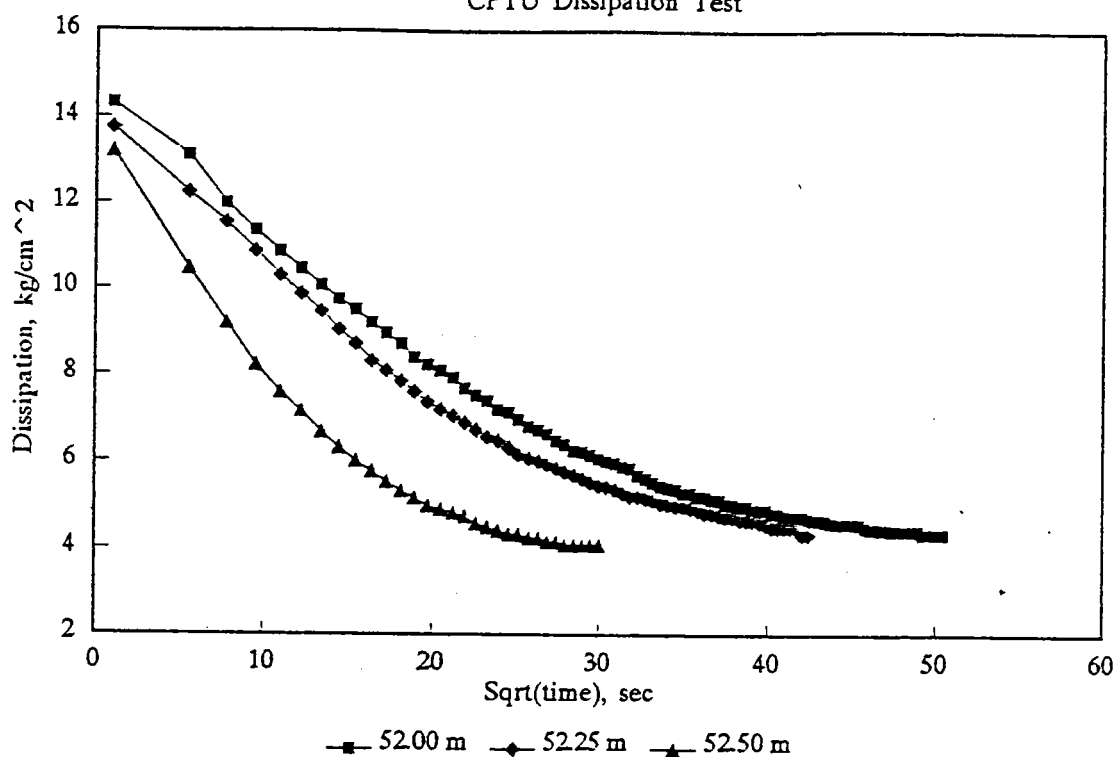


## YI-WU CPTU Dissipation Test



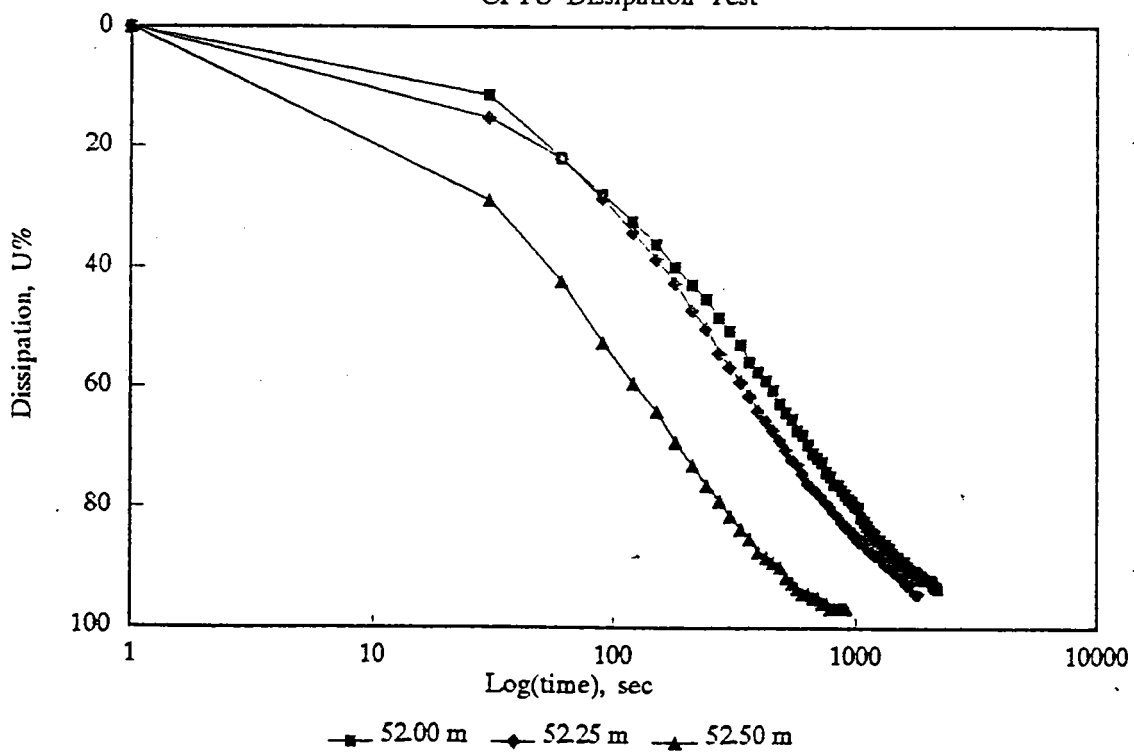
# YI-WU

## CPTU Dissipation Test



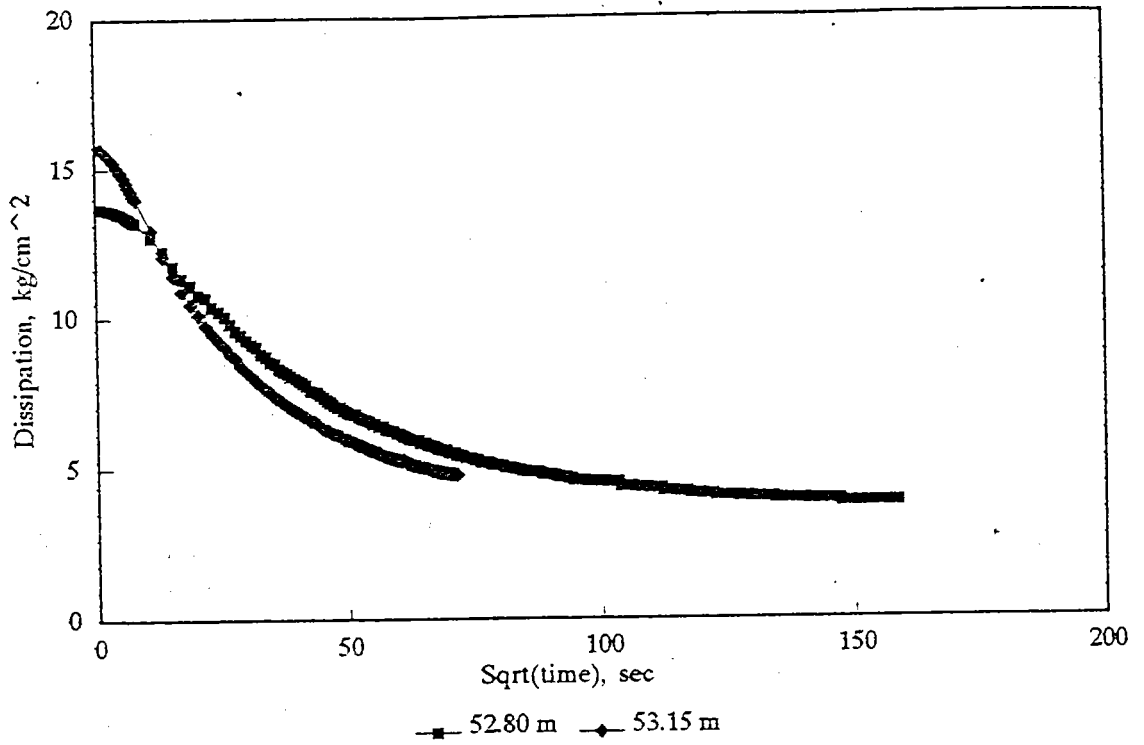
# YI-WU

## CPTU Dissipation Test



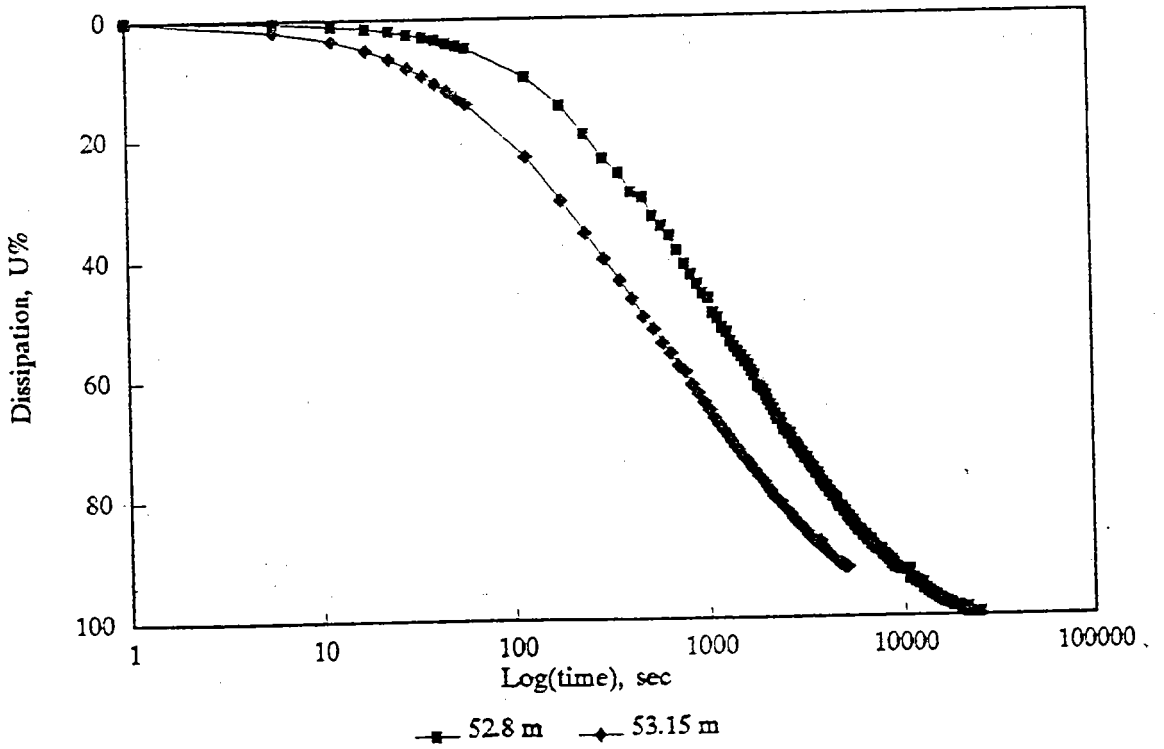
# YI-WU

CPTU Dissipation Test



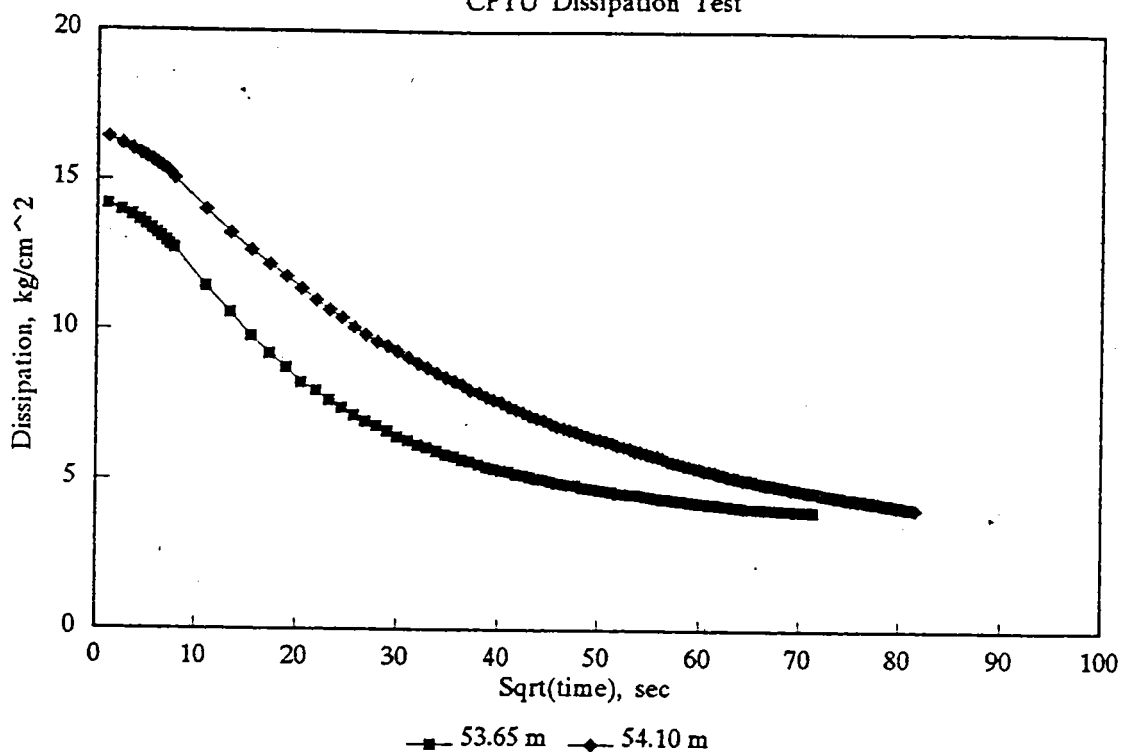
# YI-WU

CPTU Dissipation Test



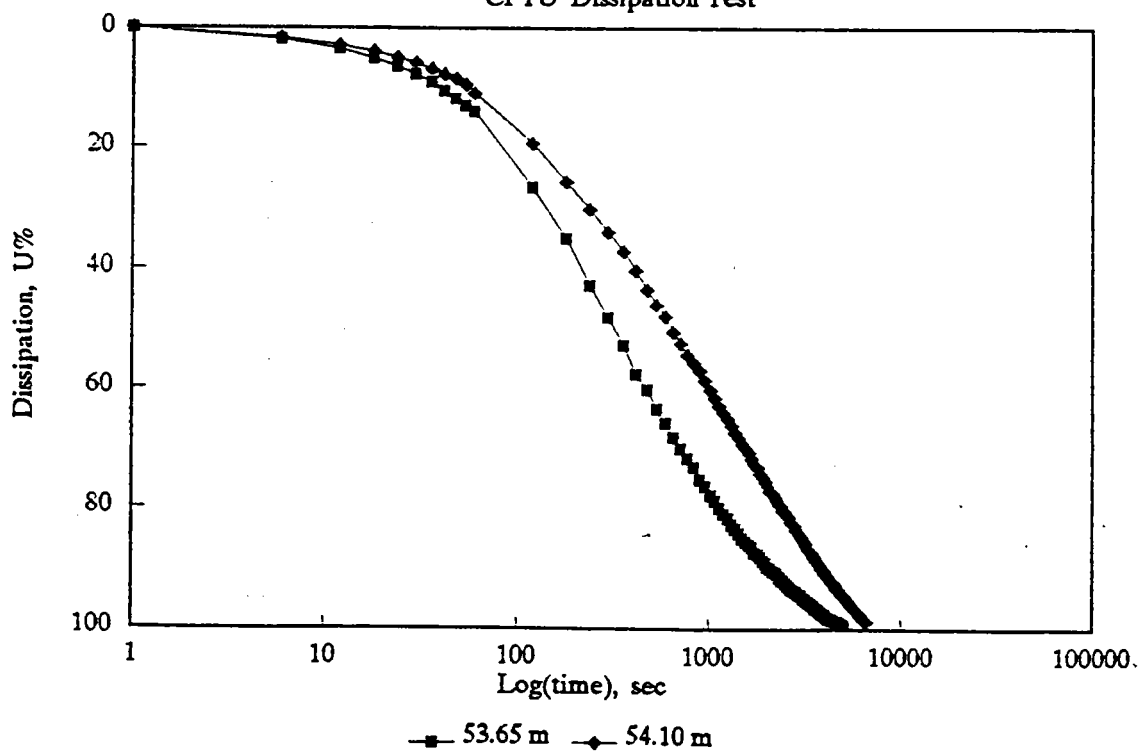
# YI-WU

## CPTU Dissipation Test



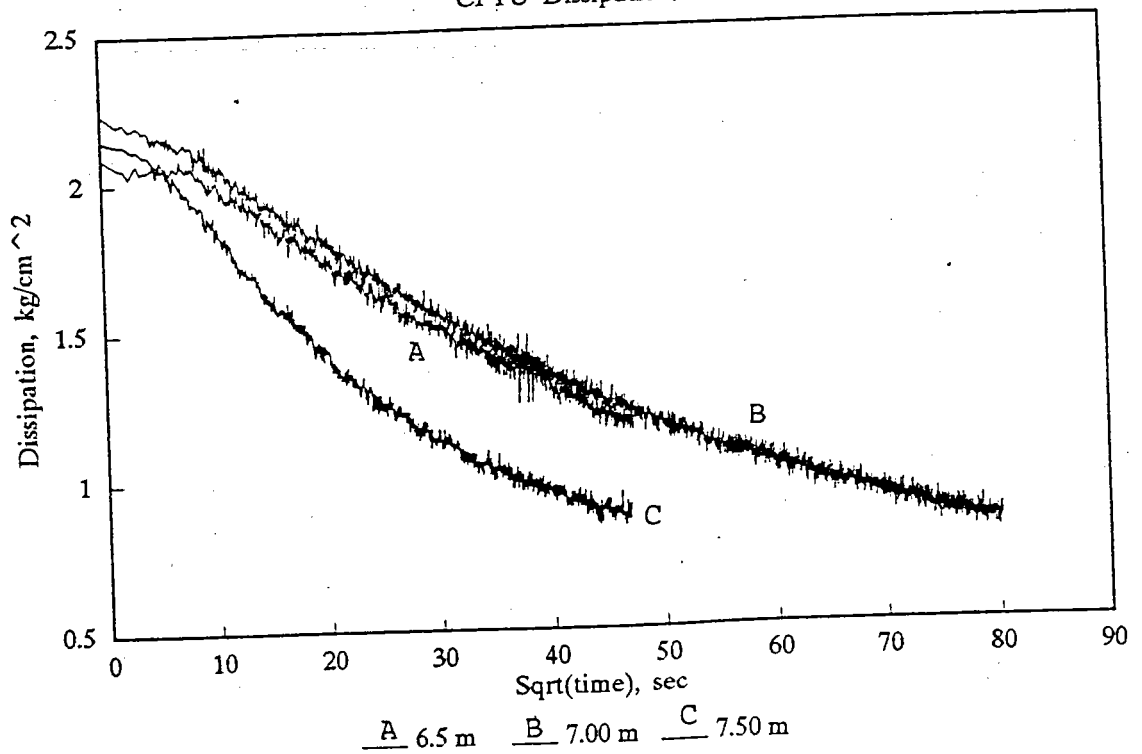
# YI-WU

## CPTU Dissipation Test



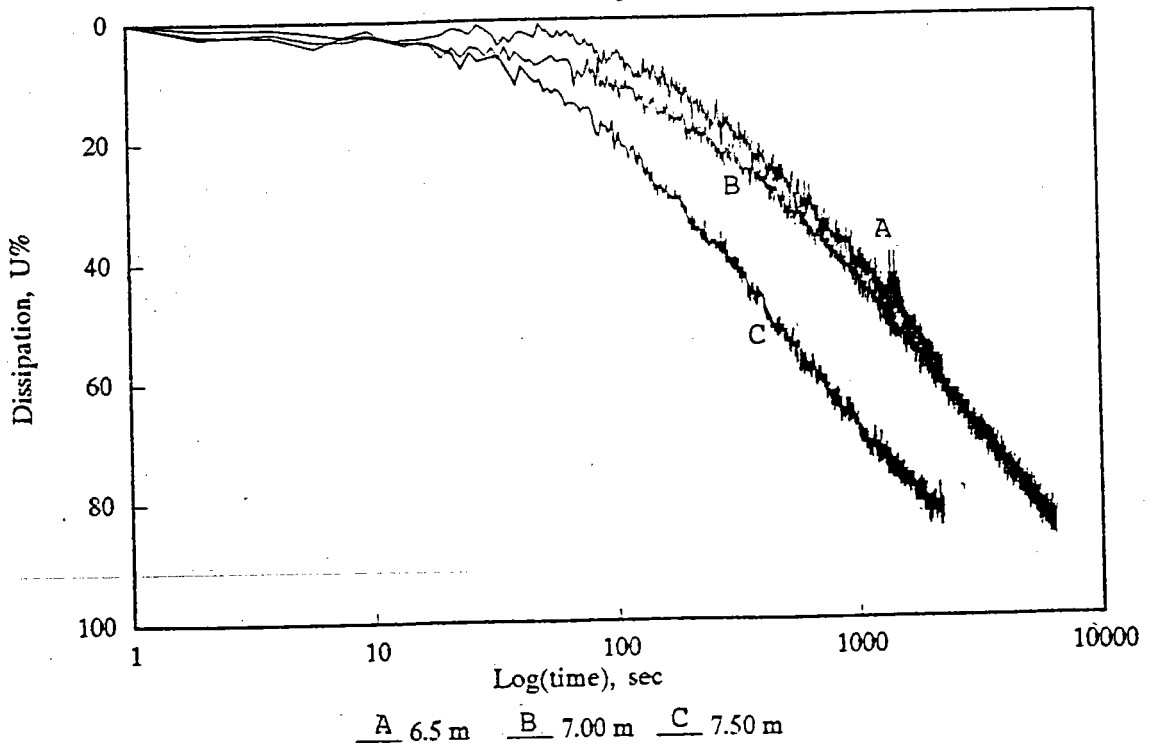
# YUNG-AN

CPTU Dissipation Test



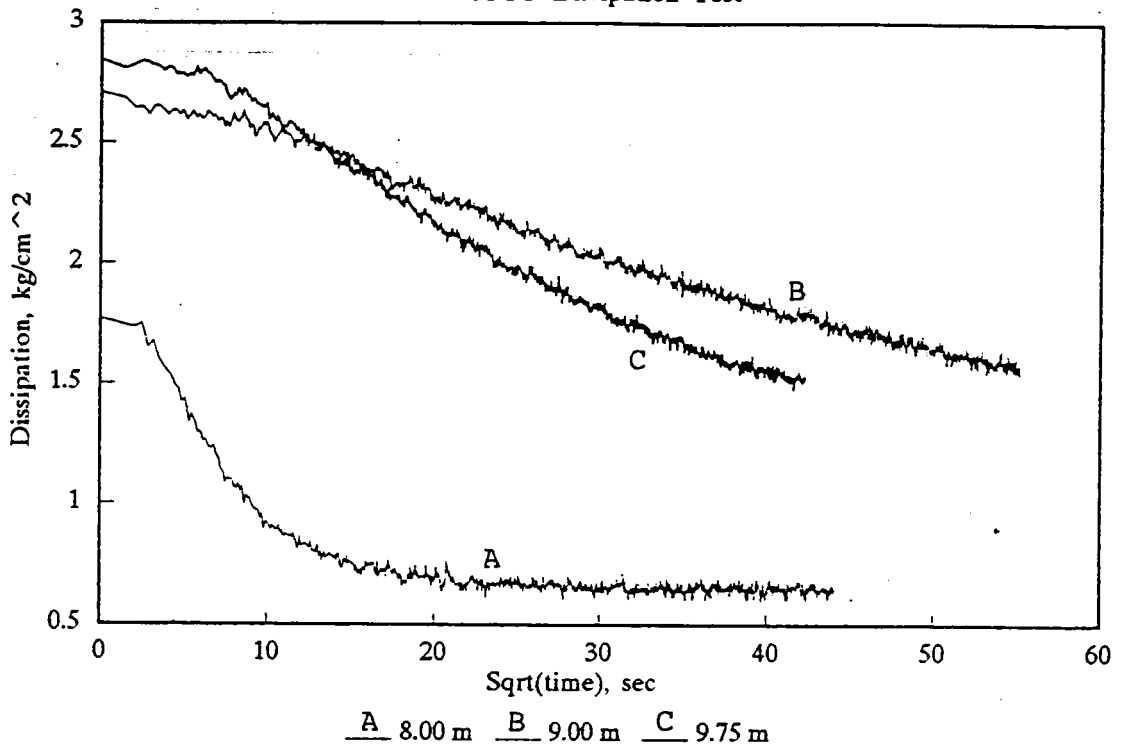
# YUNG-AN

CPTU Dissipation Test



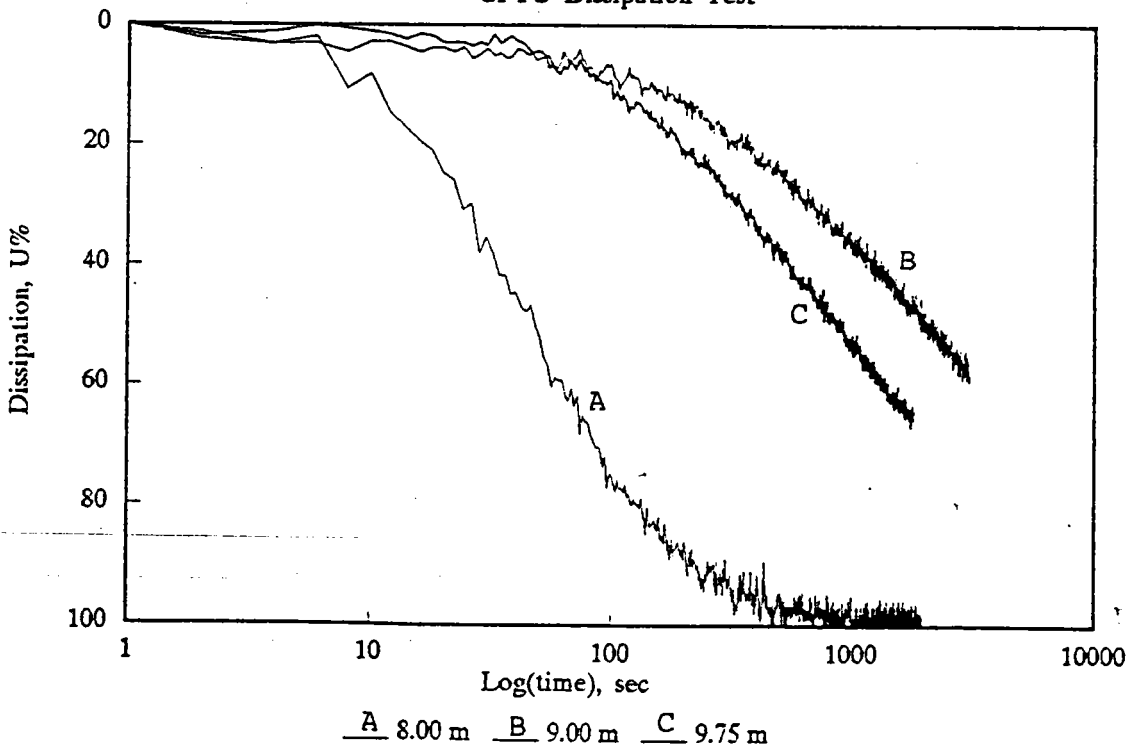
# YUNG-AN

CPTU Dissipation Test



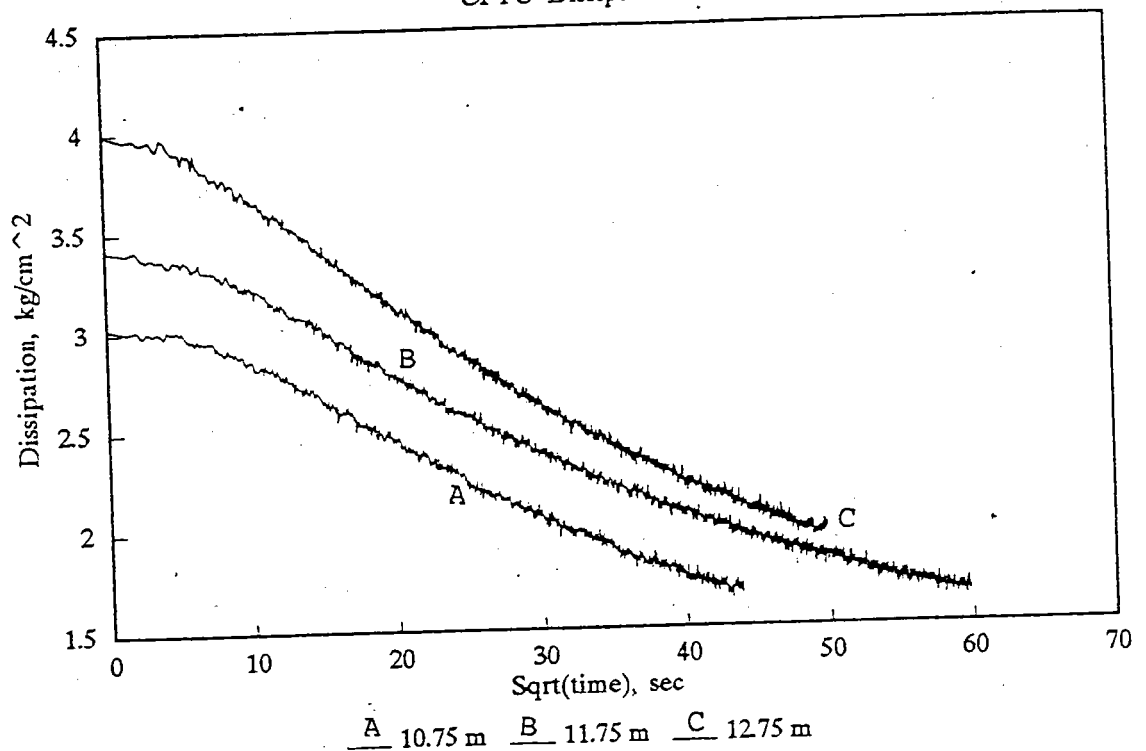
# YUNG-AN

CPTU Dissipation Test



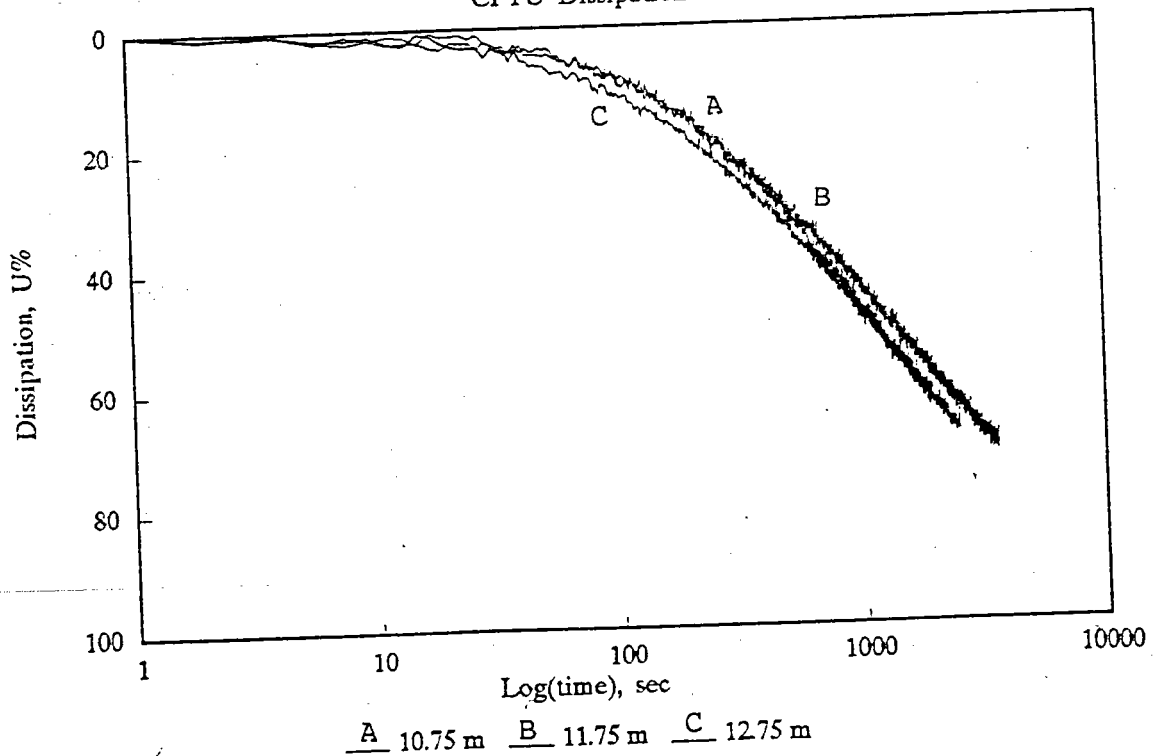
# YUNG-AN

CPTU Dissipation Test



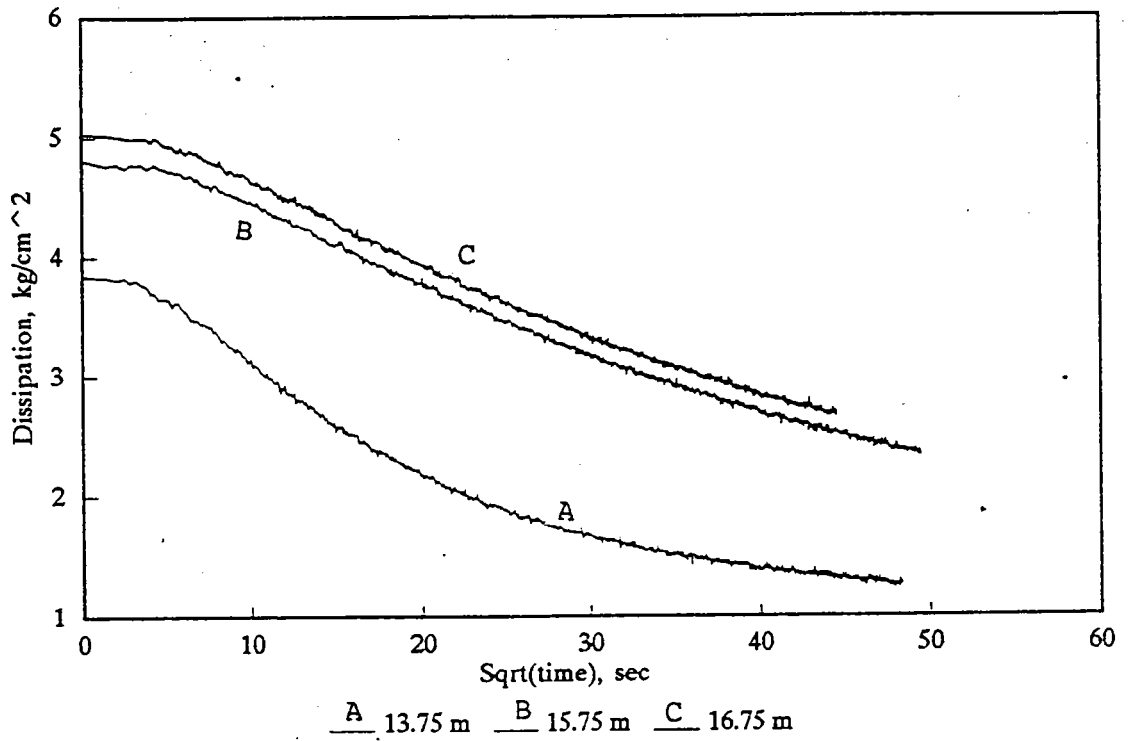
# YUNG-AN

CPTU Dissipation Test



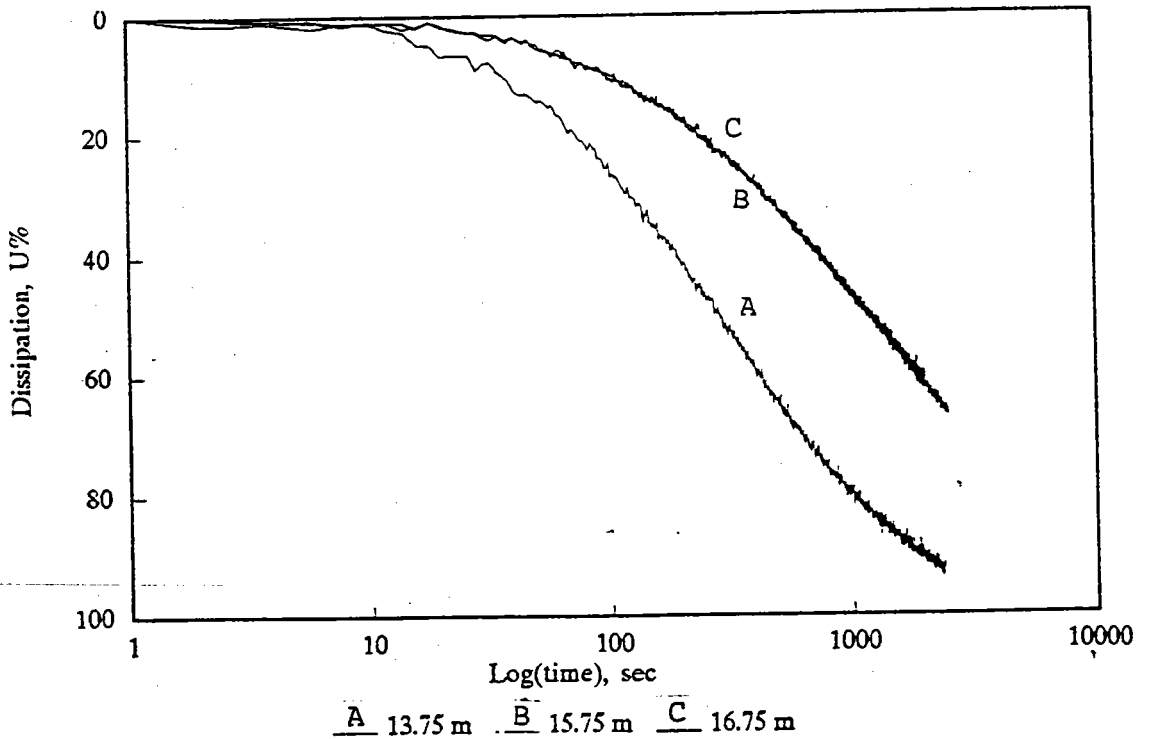
# YUNG-AN

CPTU Dissipation Test



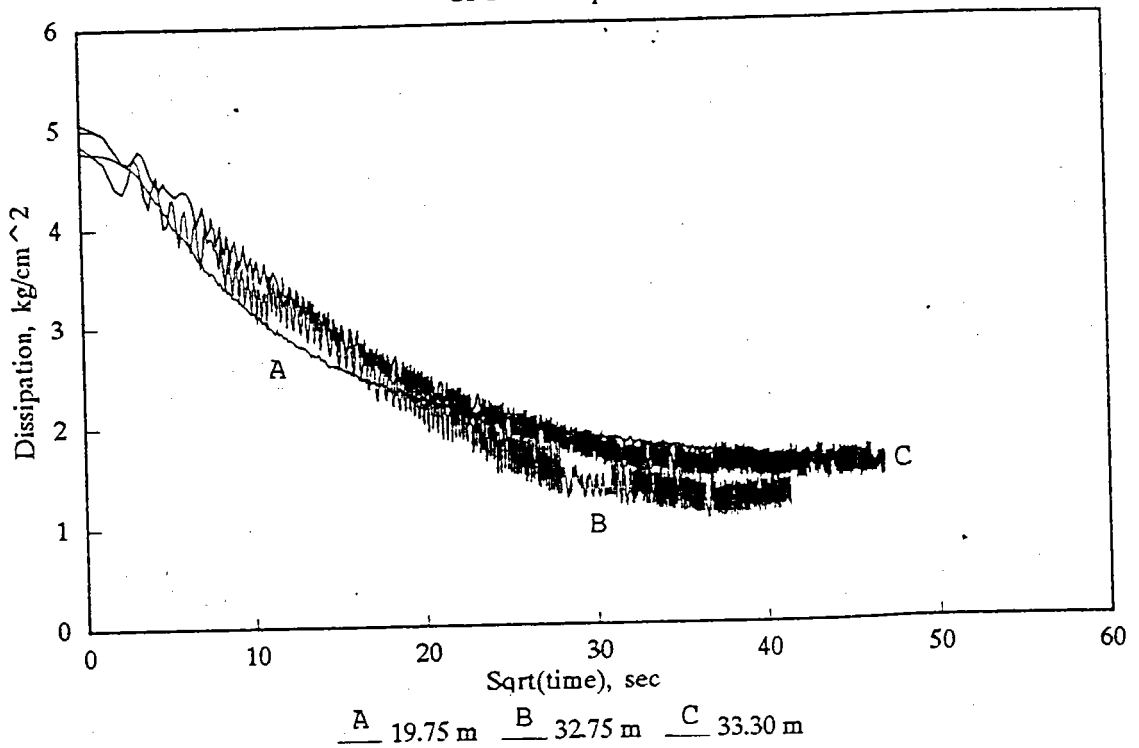
# YUNG-AN

CPTU Dissipation Test



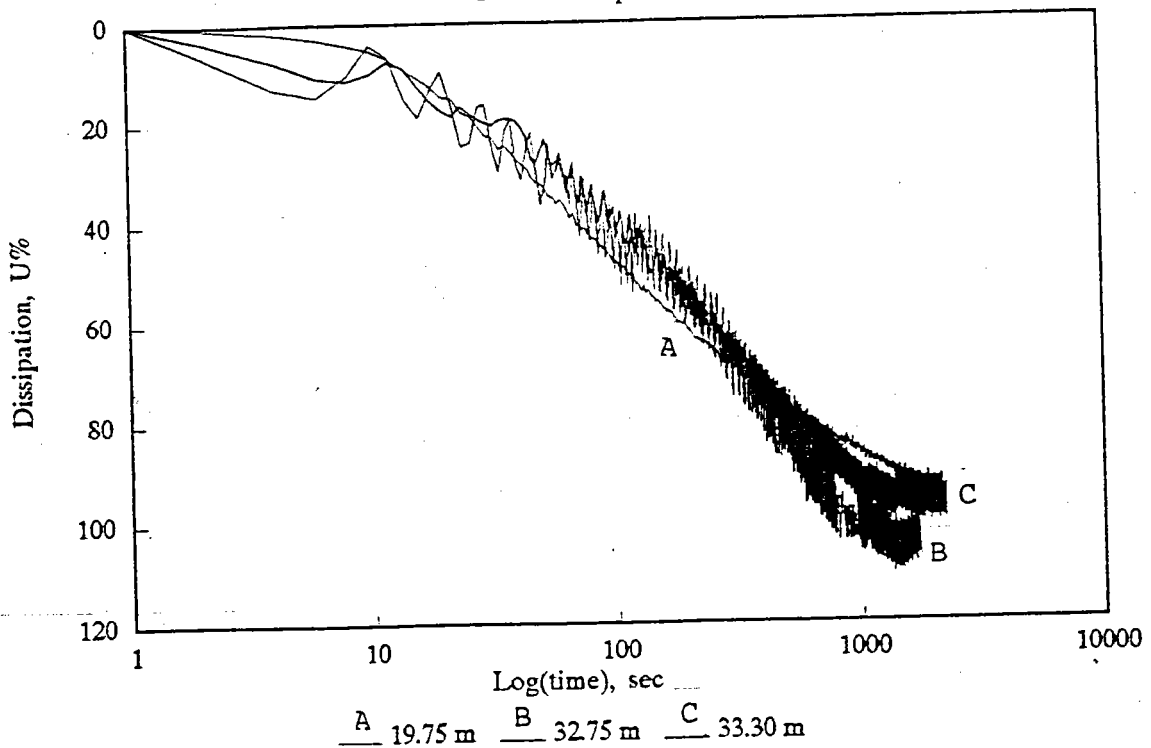
# YUNG-AN

CPTU Dissipation Test



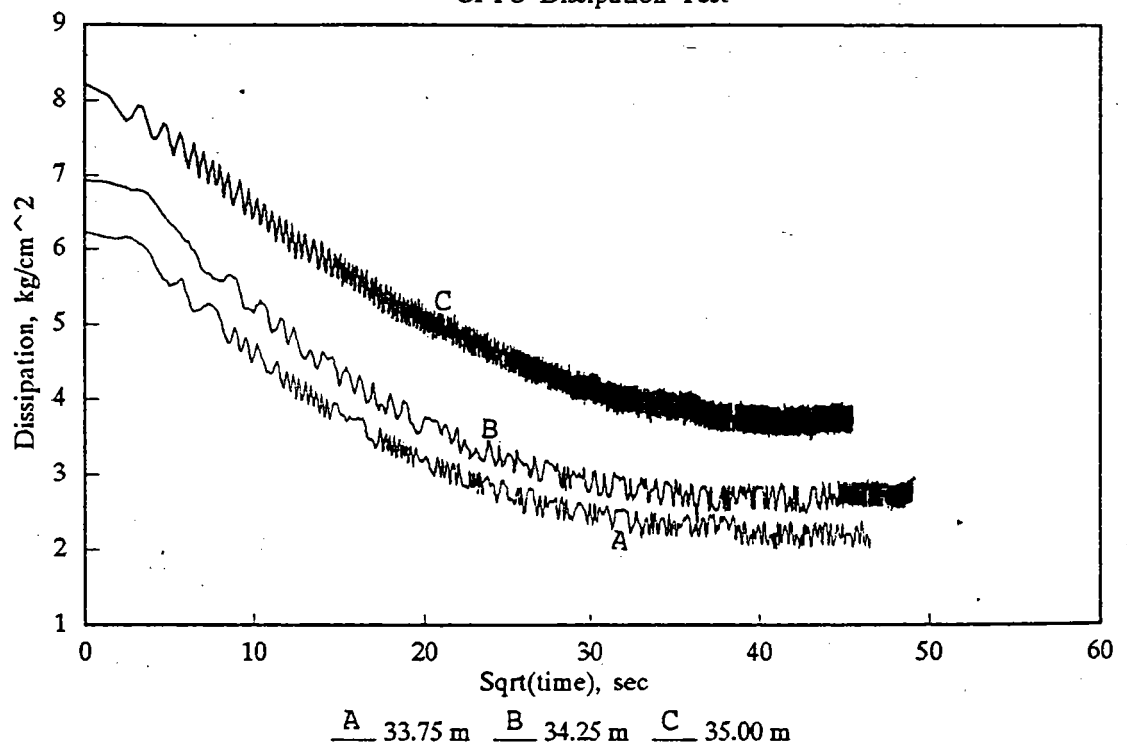
# YUNG-AN

CPTU Dissipation Test



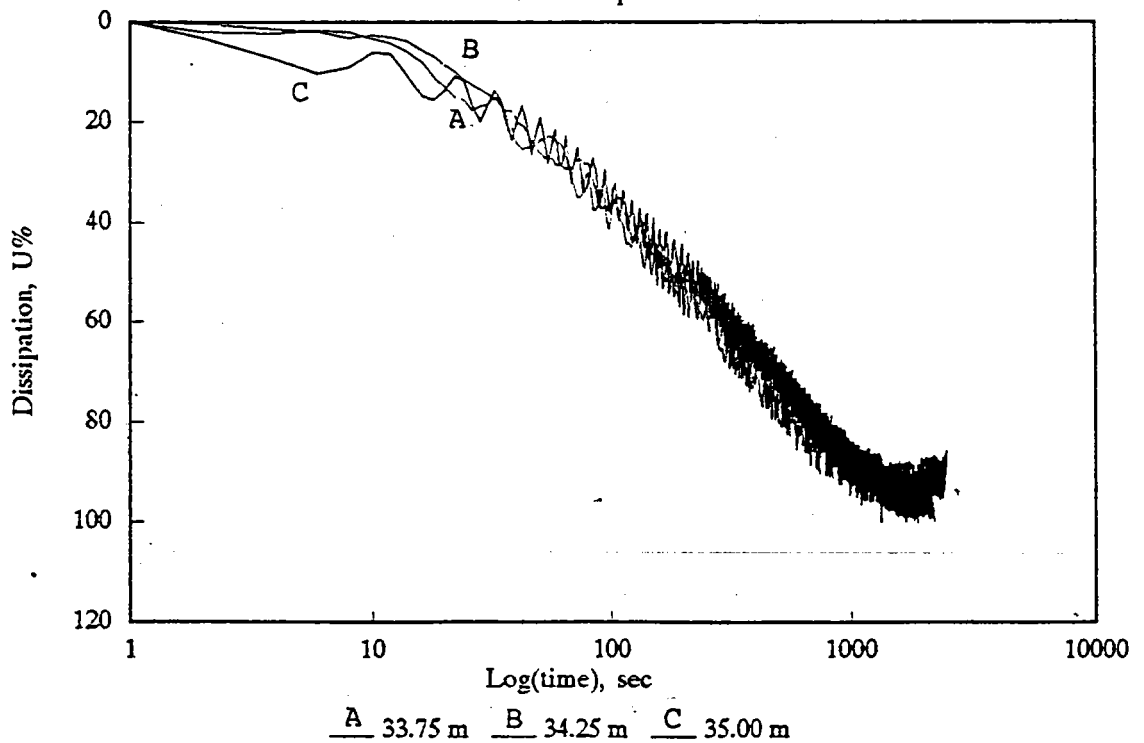
# YUNG-AN

CPTU Dissipation Test



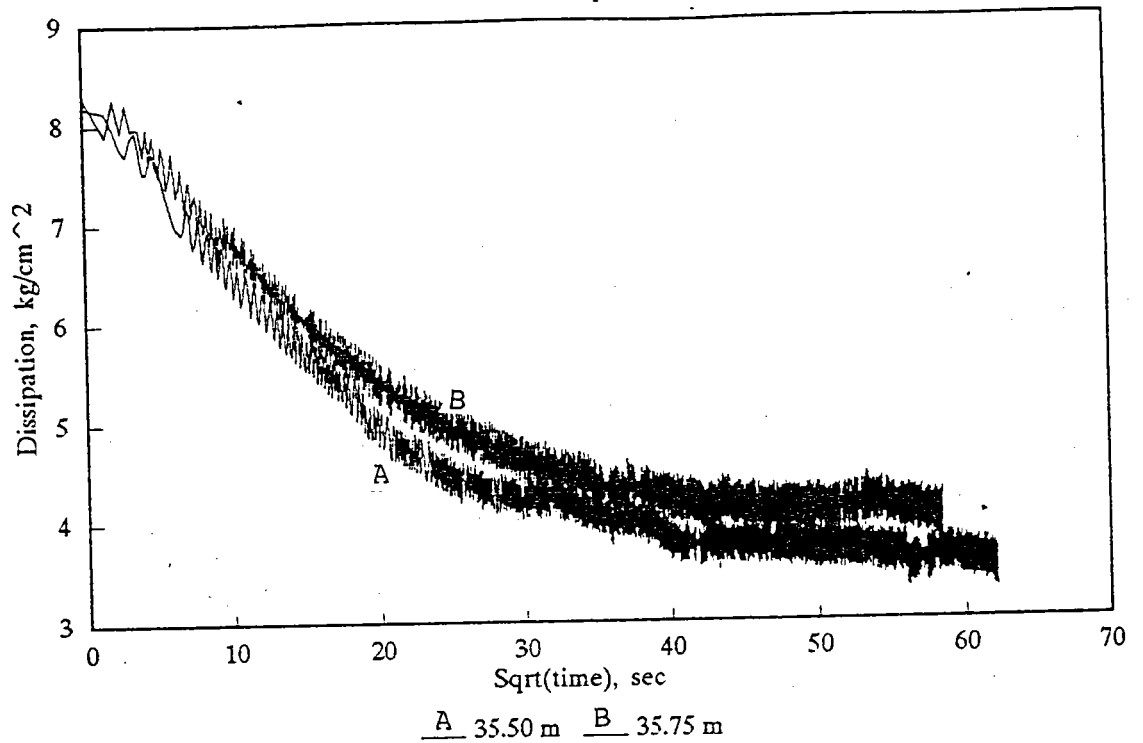
# YUNG-AN

CPTU Dissipation Test



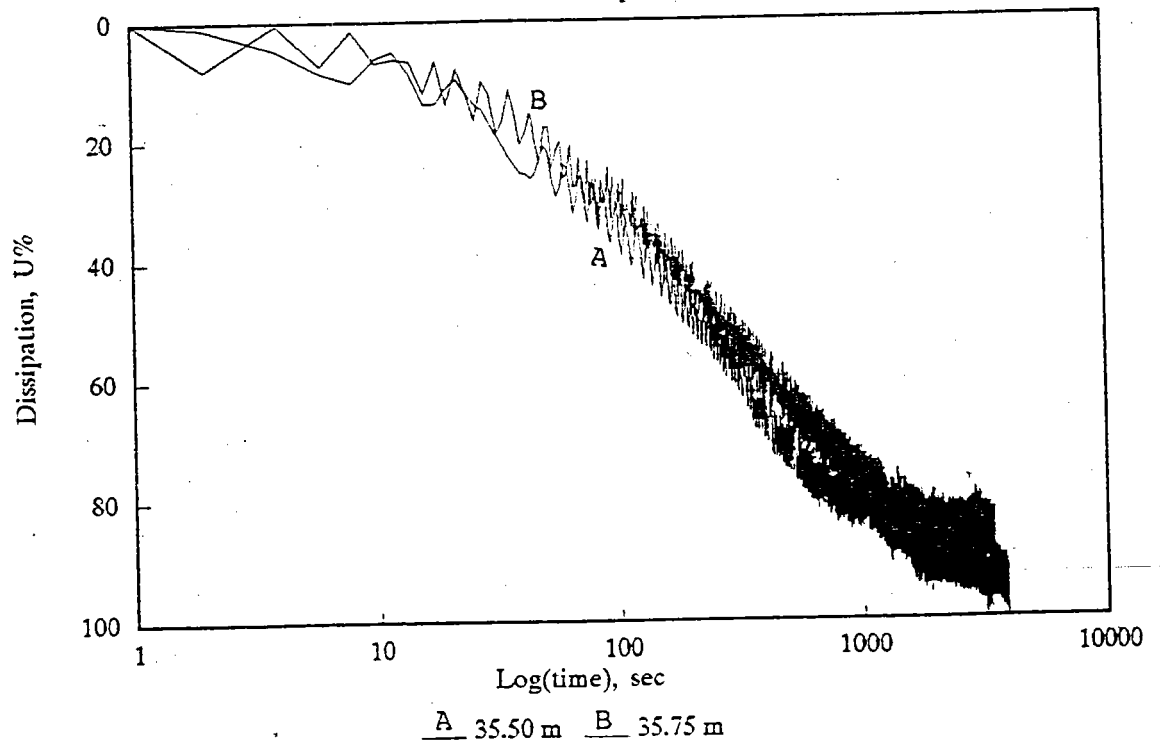
# YUNG-AN

CPTU Dissipation Test



# YUNG-AN

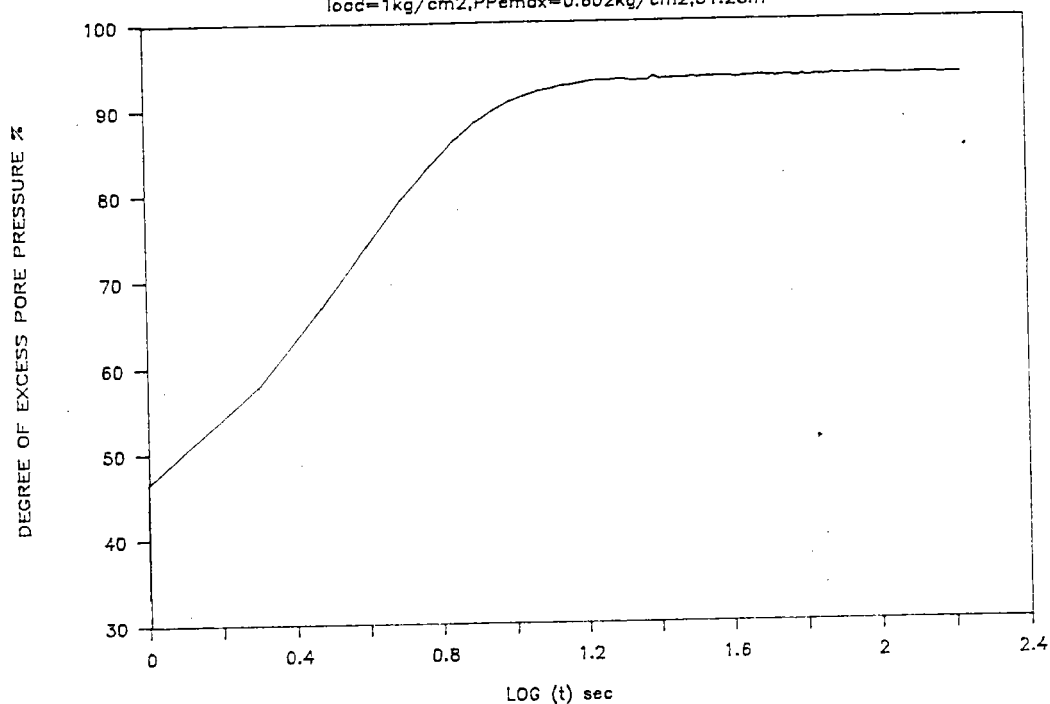
CPTU Dissipation Test



## 附錄2：Rowe cell 壓密試驗資料

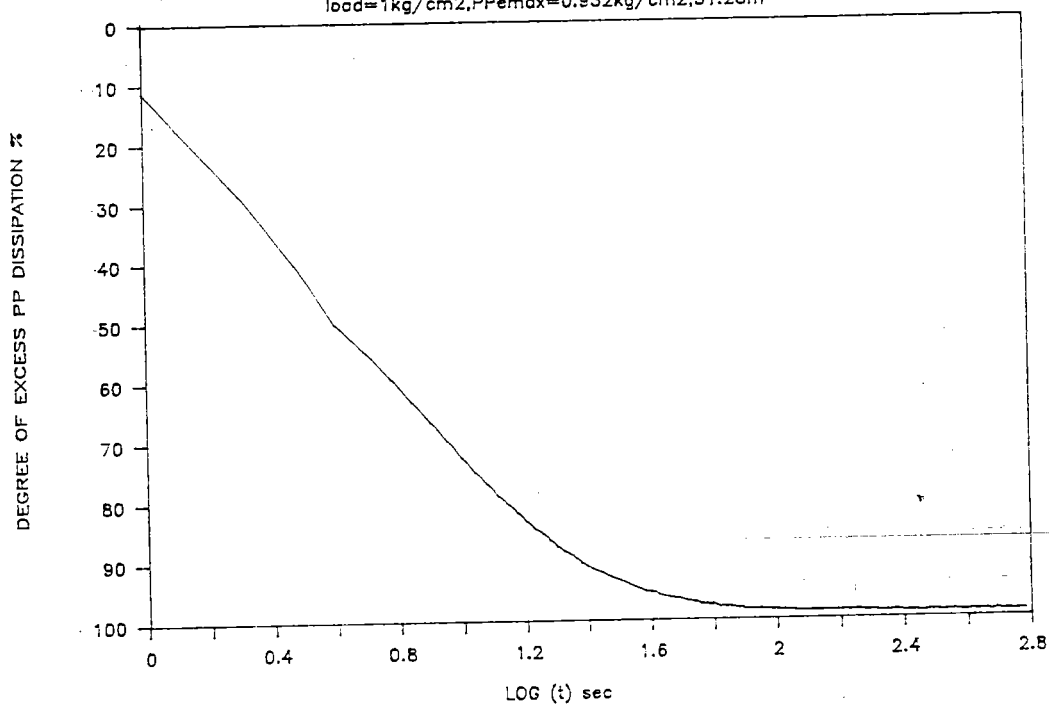
# YI-WU,T-9,EGUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=1kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=0.602kg/cm<sup>2</sup>,51.25m



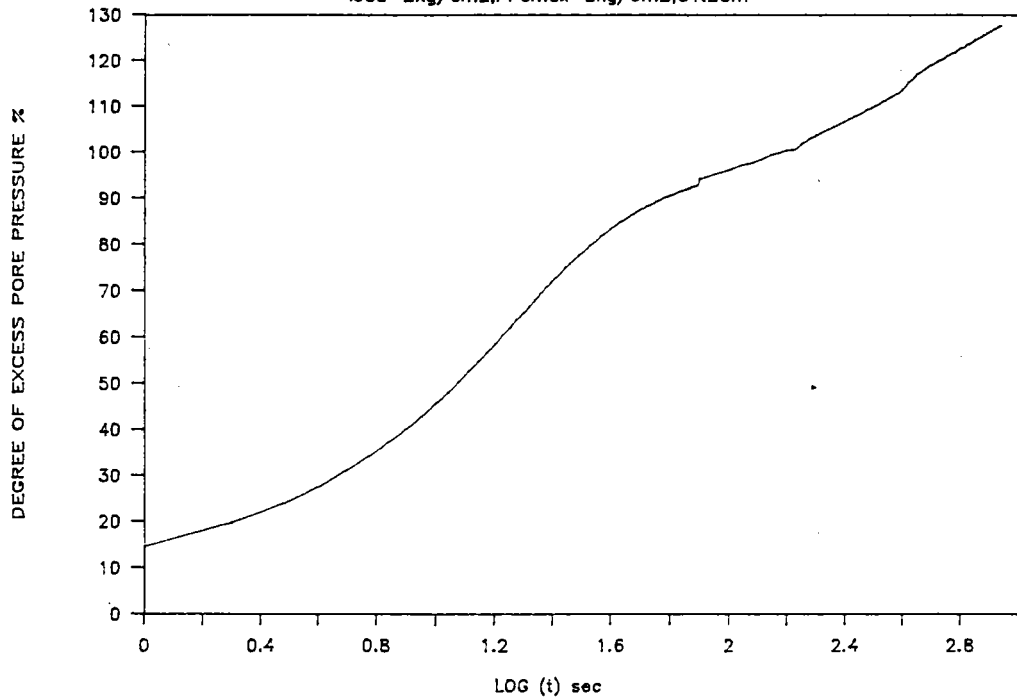
# YI-WU,T-9,EGUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=1kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=0.932kg/cm<sup>2</sup>,51.25m



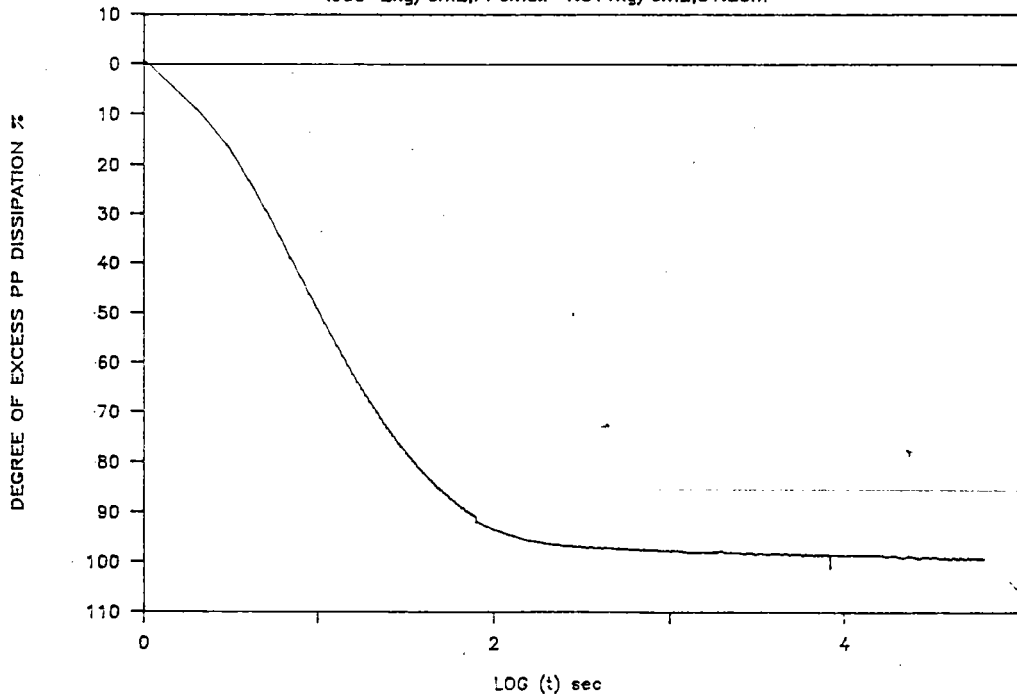
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=2kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=2kg/cm<sup>2</sup>,51.25m



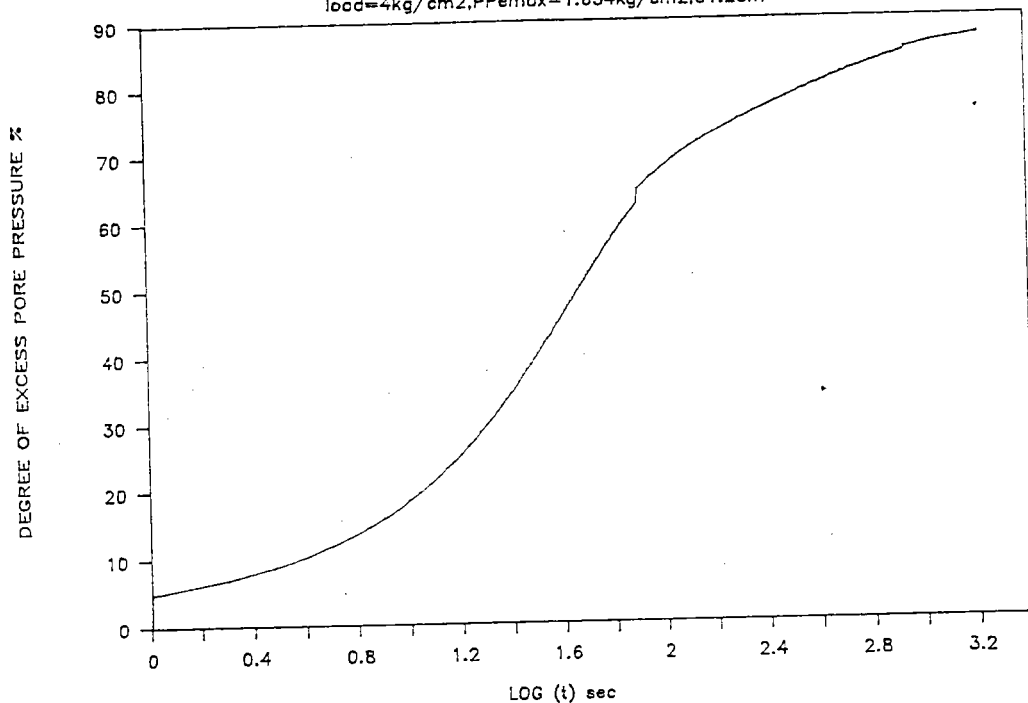
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=2kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=1.311kg/cm<sup>2</sup>,51.25m



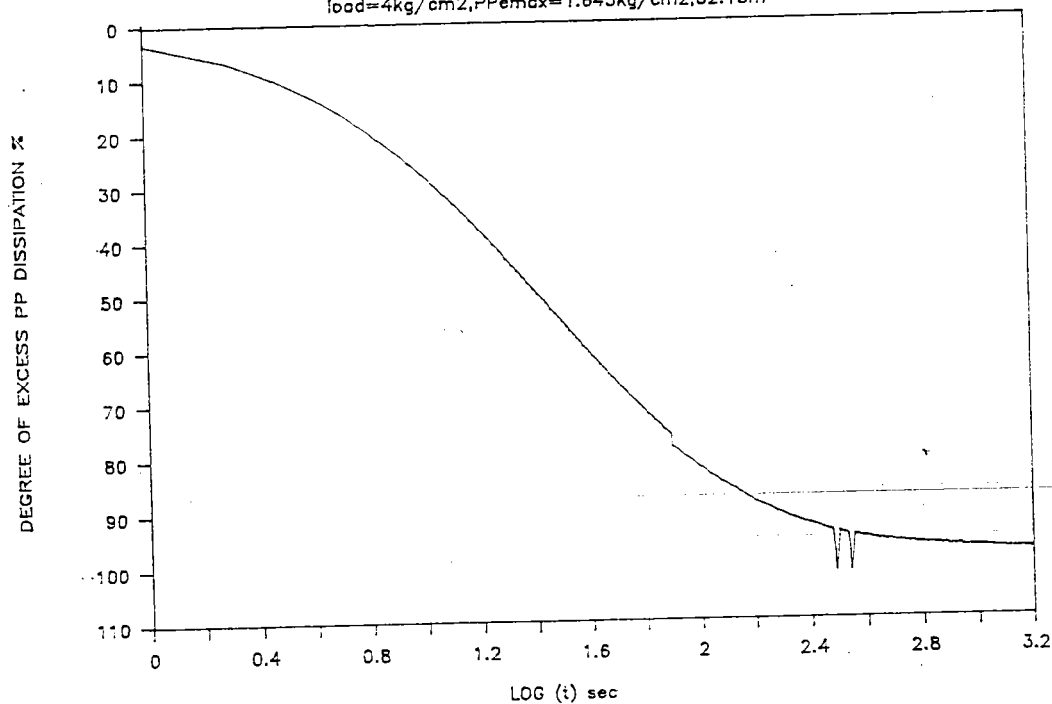
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=4kg/cm2,PPemax=1.634kg/cm2,51.25m



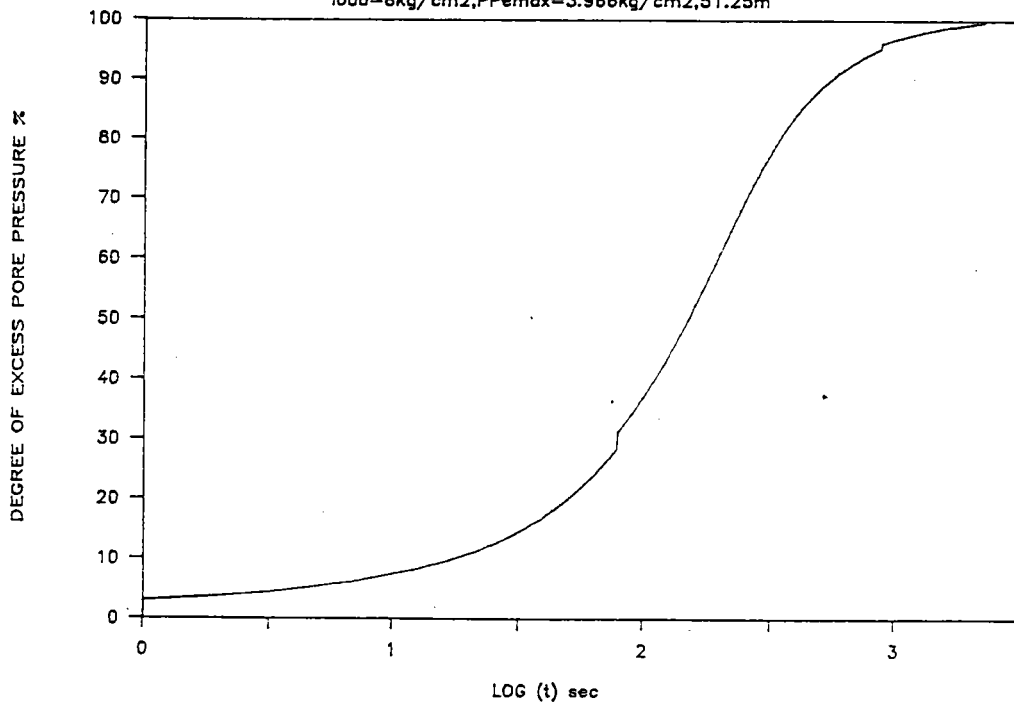
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=4kg/cm2,PPemax=1.645kg/cm2,52.15m



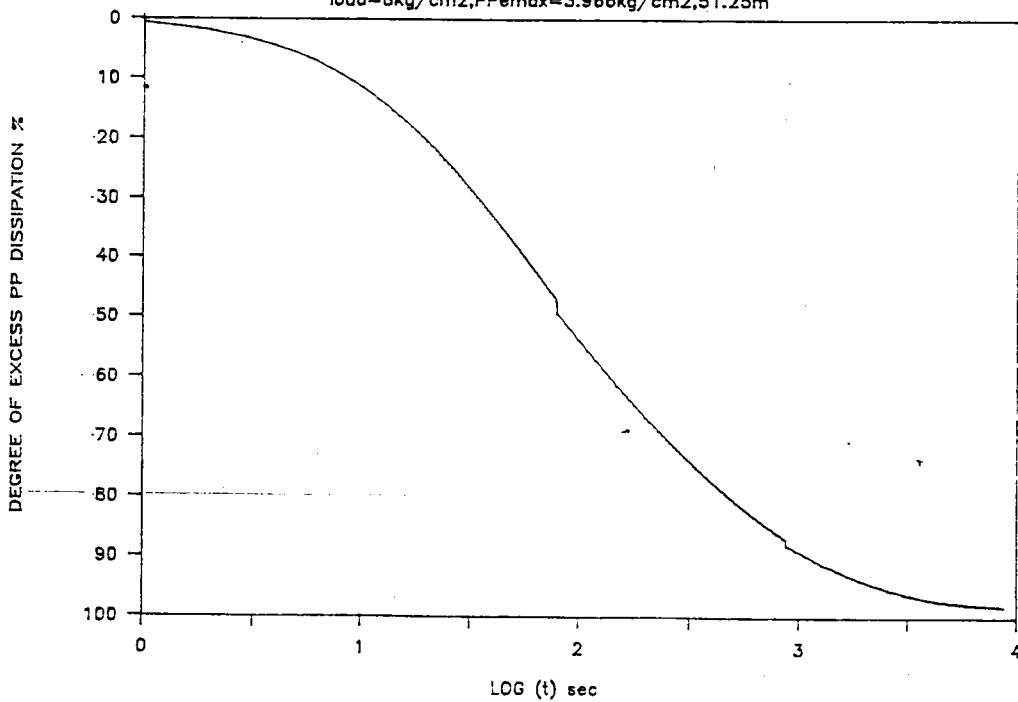
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,HOREZONTAL OUT

load=8kg/cm2,PPemax=3.966kg/cm2,51.25m



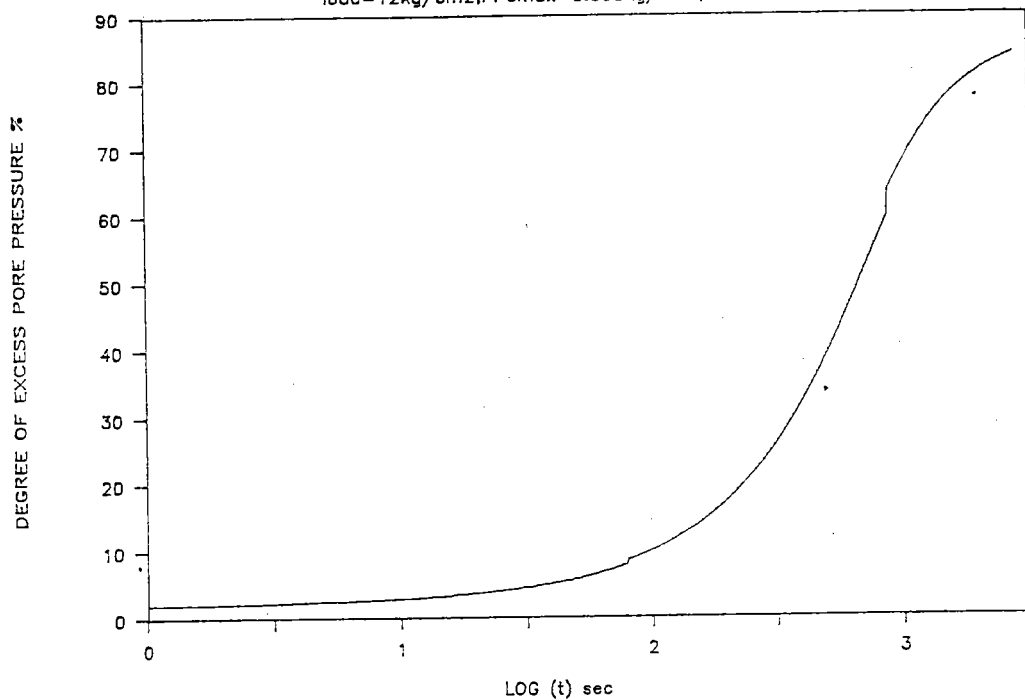
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=8kg/cm2,PPemax=3.966kg/cm2,51.25m



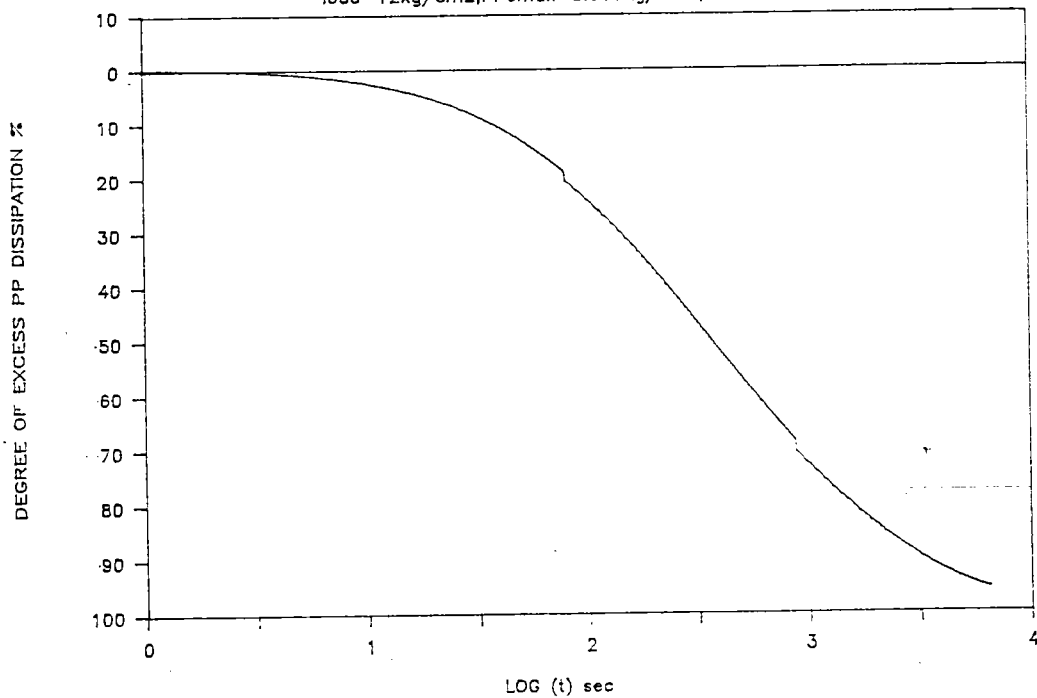
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,HOREZONTAL OUT

load=12kg/cm2,PPemax=3.365kg/cm2,51.25m



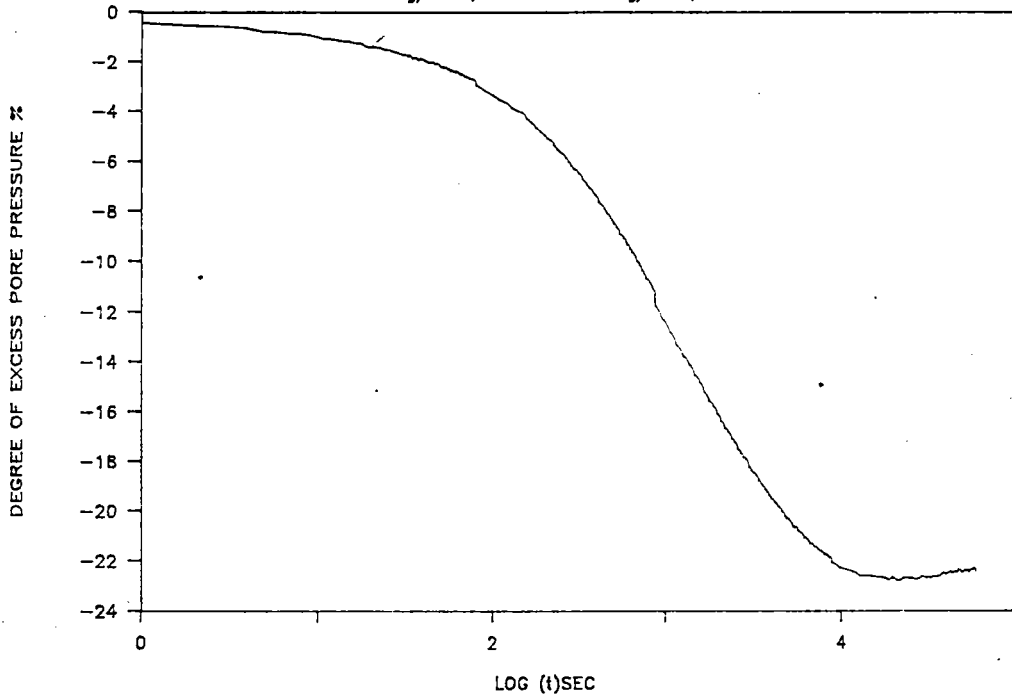
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,HOREZONTAL OUT

load=12kg/cm2,PPemax=3.363kg/cm2,51.25m



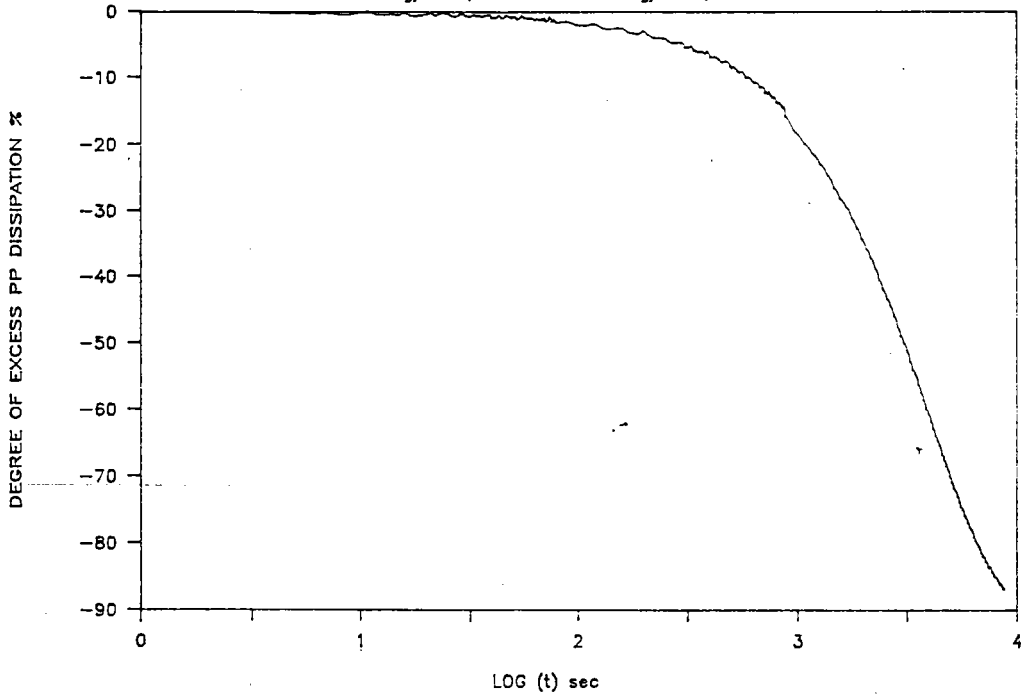
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=6'kg/cm2,PPemax=1.367kg/cm2,51.25m



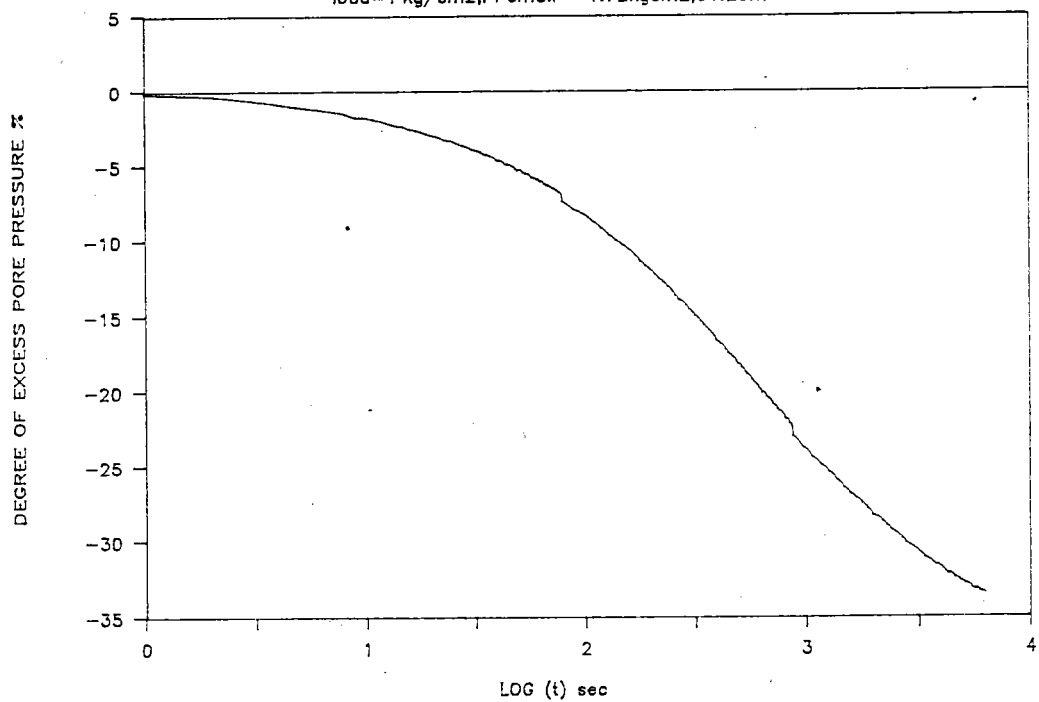
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,HOREZONTAL OUT

load=6'kg/cm2,PPemax=-1.333kg/cm2,51.2m



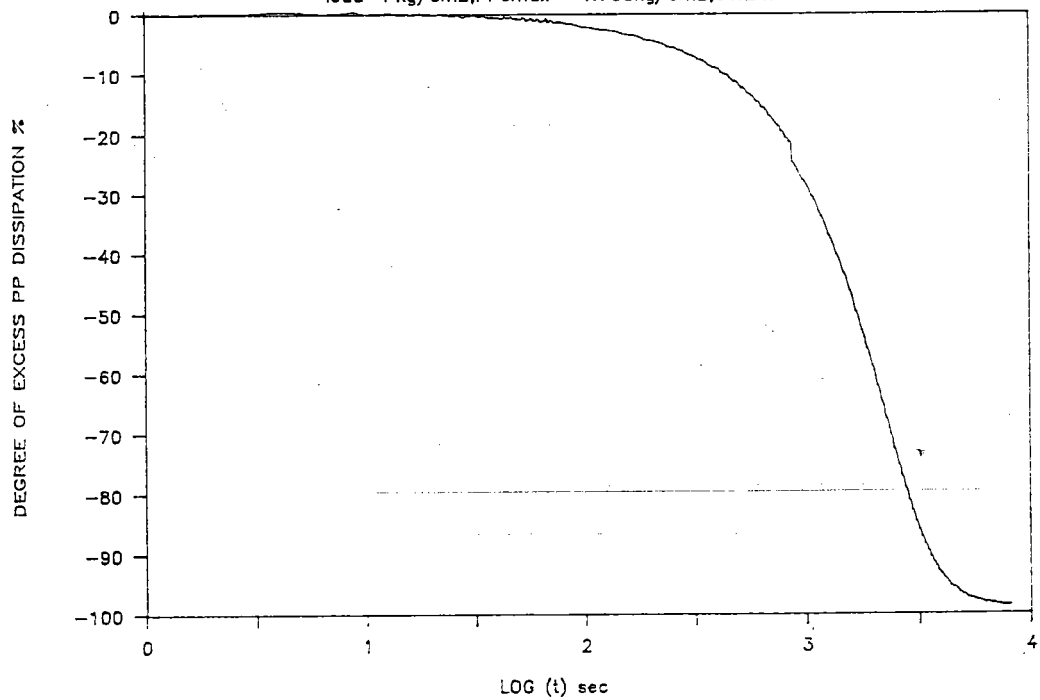
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,HOREZONTAL OUT

load=1'kg/cm2,PPemax=-1.72kgcm2,51.25m



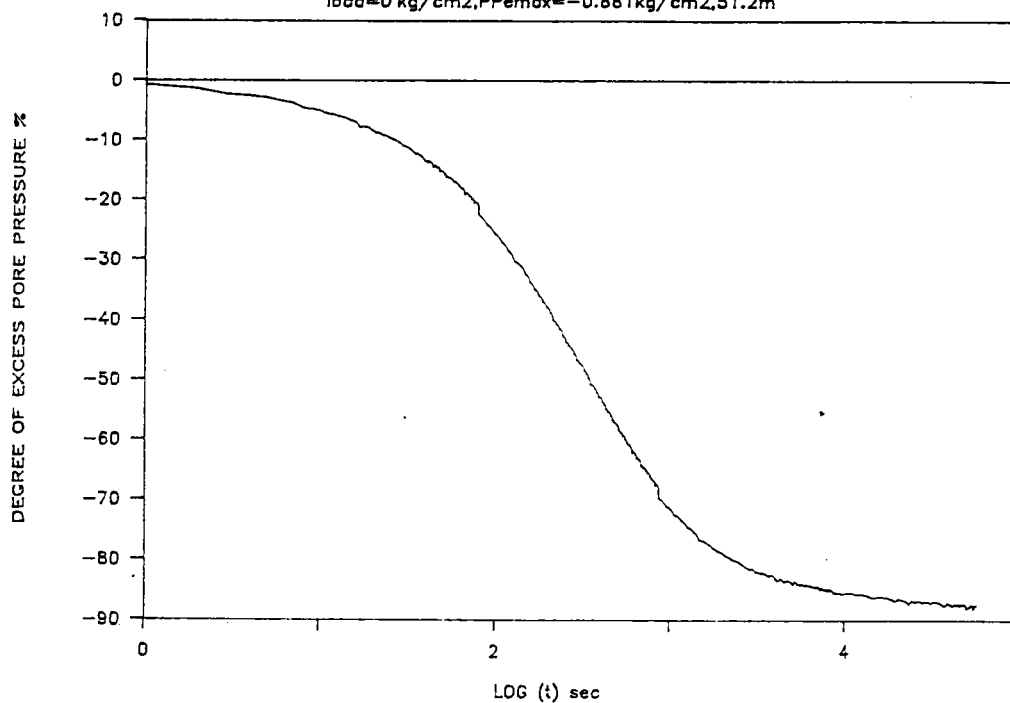
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,HOREZONTAL OUT

load=1'kg/cm2,PPemax=-1.738kg/cm2,51.2m



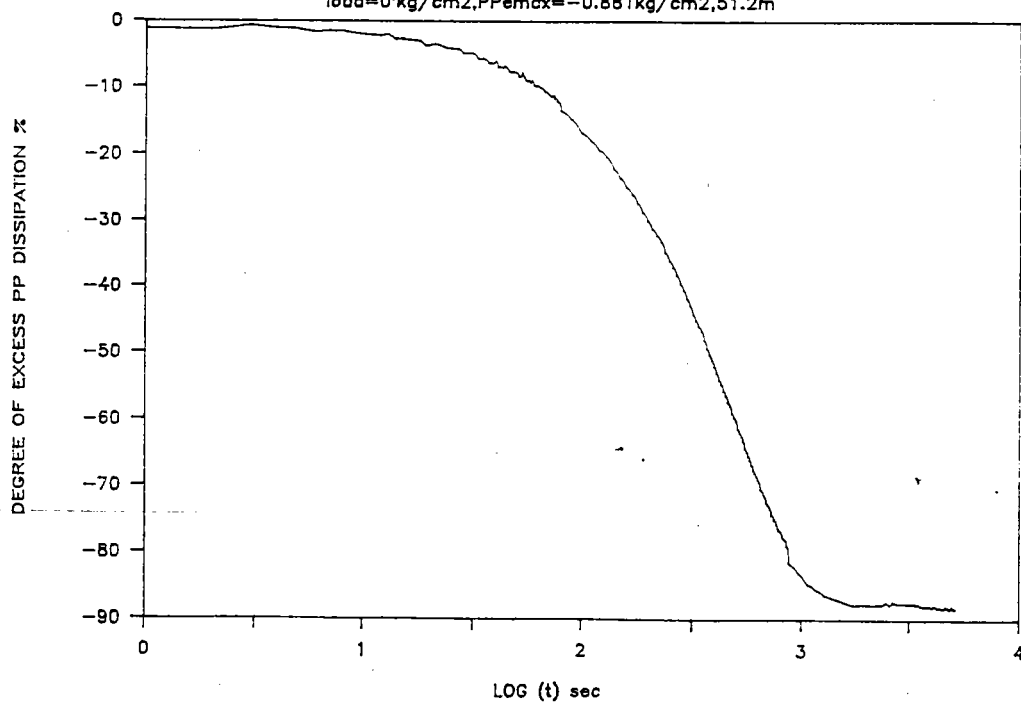
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,HOREZONTAL OUT

load=0'kg/cm2,PPemax=-0.881kg/cm2,51.2m



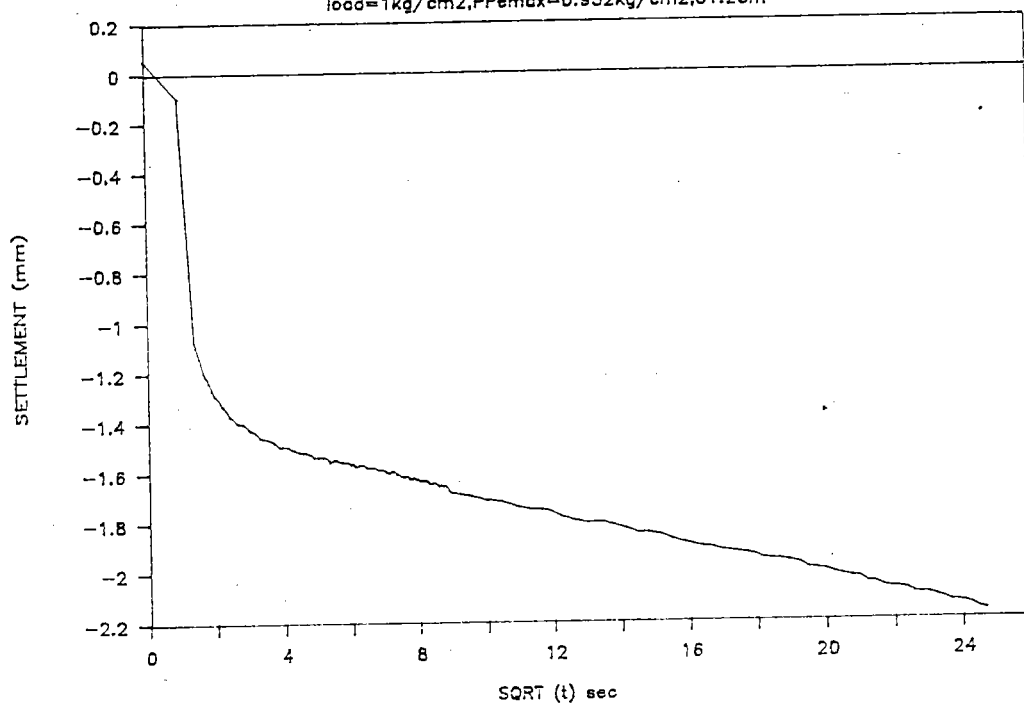
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=0'kg/cm2,PPemax=-0.881kg/cm2,51.2m



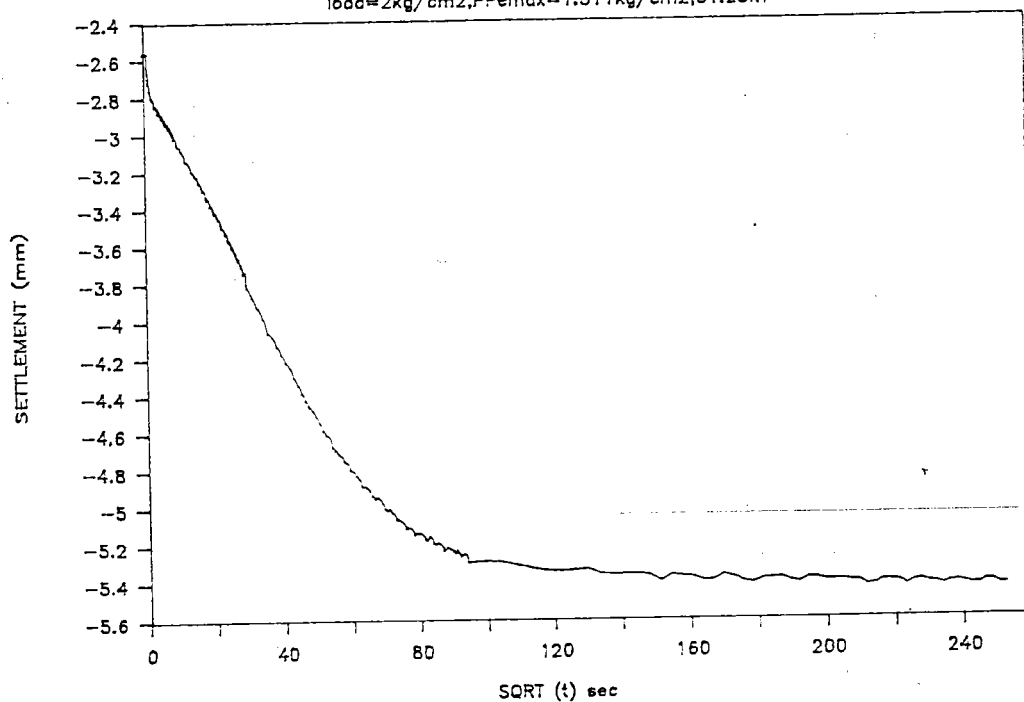
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=1kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=0.932kg/cm<sup>2</sup>,51.25m



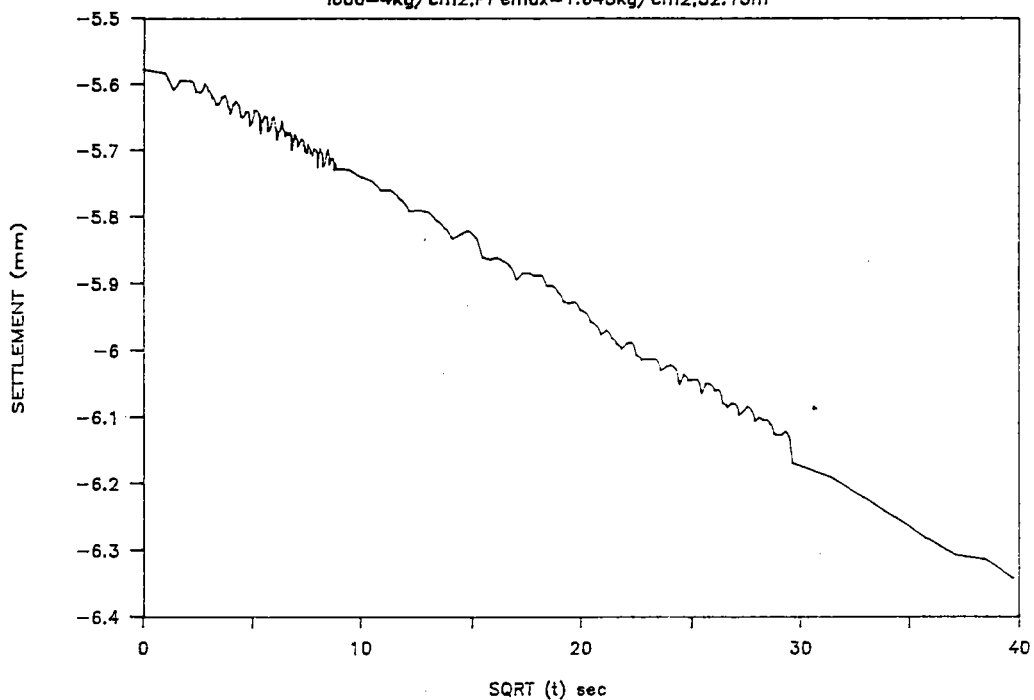
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=2kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=1.311kg/cm<sup>2</sup>,51.25m



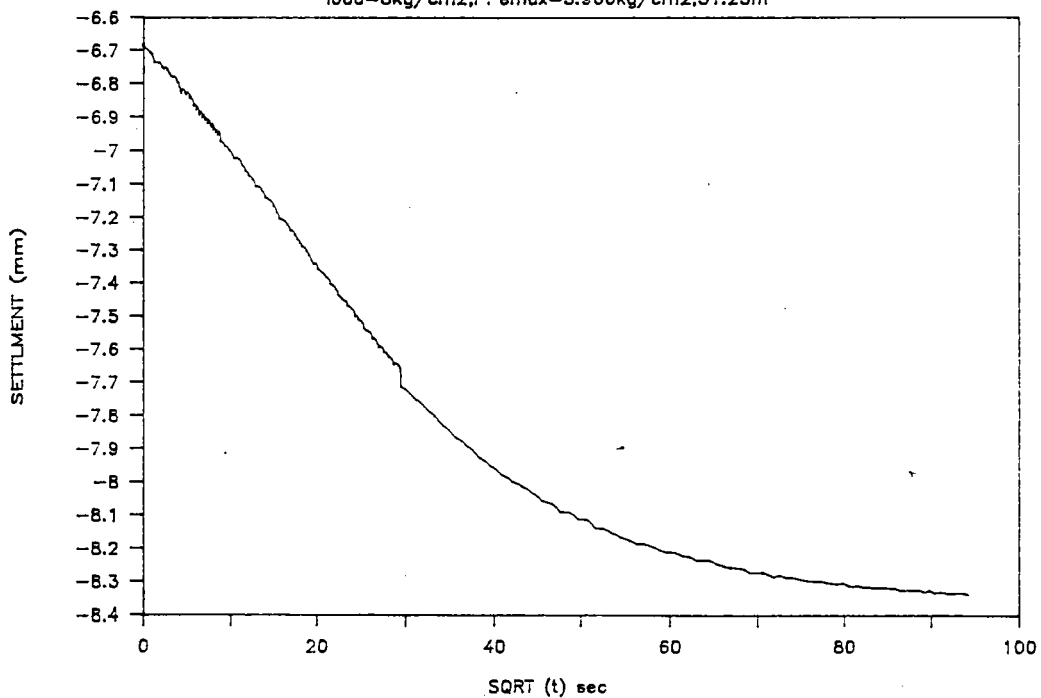
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=4kg/cm2,PPemax=1.645kg/cm2,52.15m



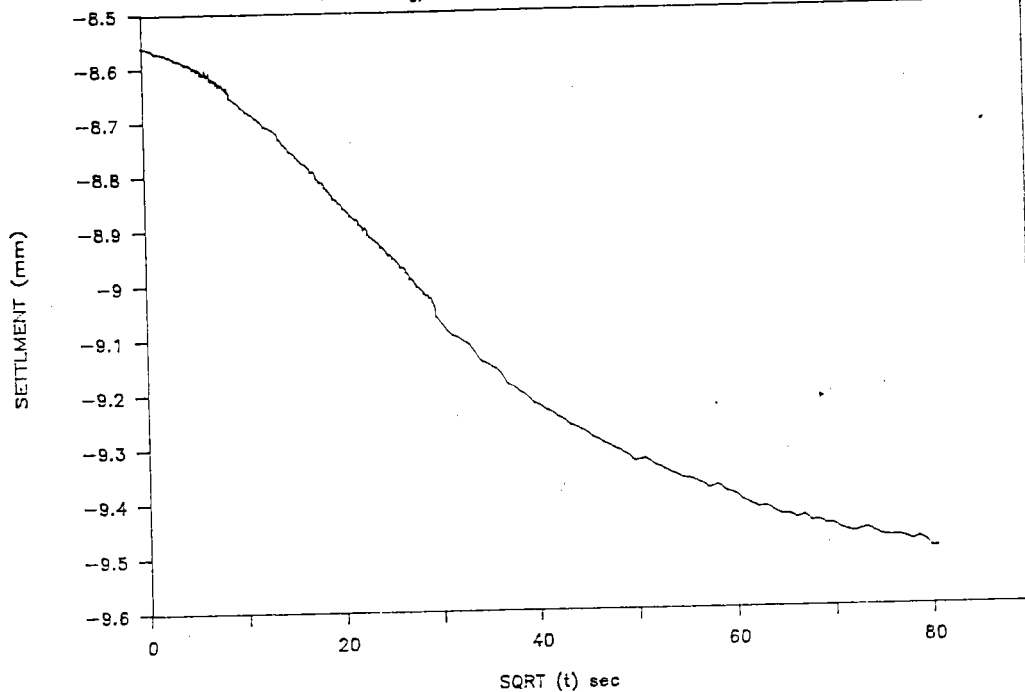
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,HOREZONTAL OUT

load=8kg/cm2,PPemax=3.966kg/cm2,51.25m



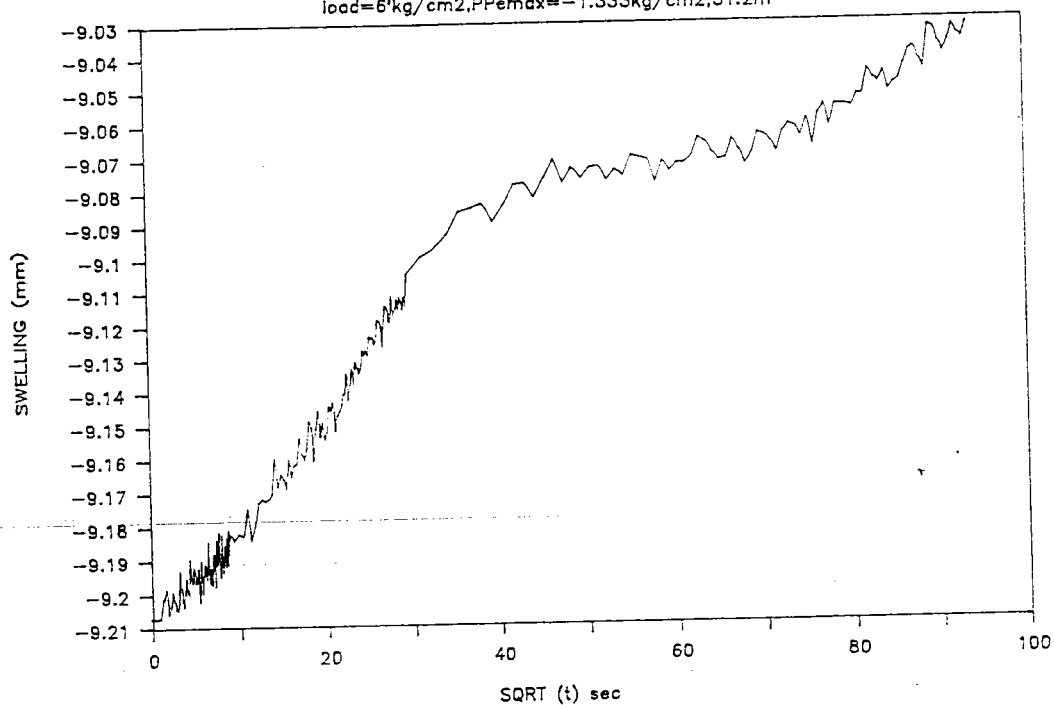
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,HOREZONTAL OUT

load=12kg/cm2,PPemax=3.363kg/cm2,51.25m



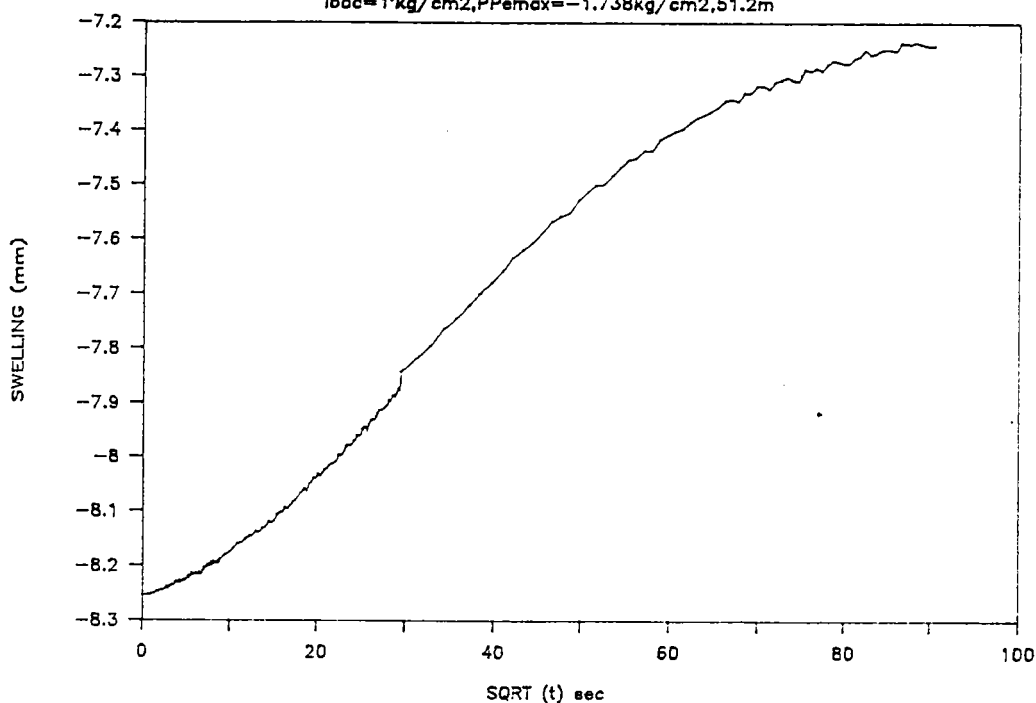
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,HOREZONTAL OUT

load=6'kg/cm2,PPemax=-1.333kg/cm2,51.2m



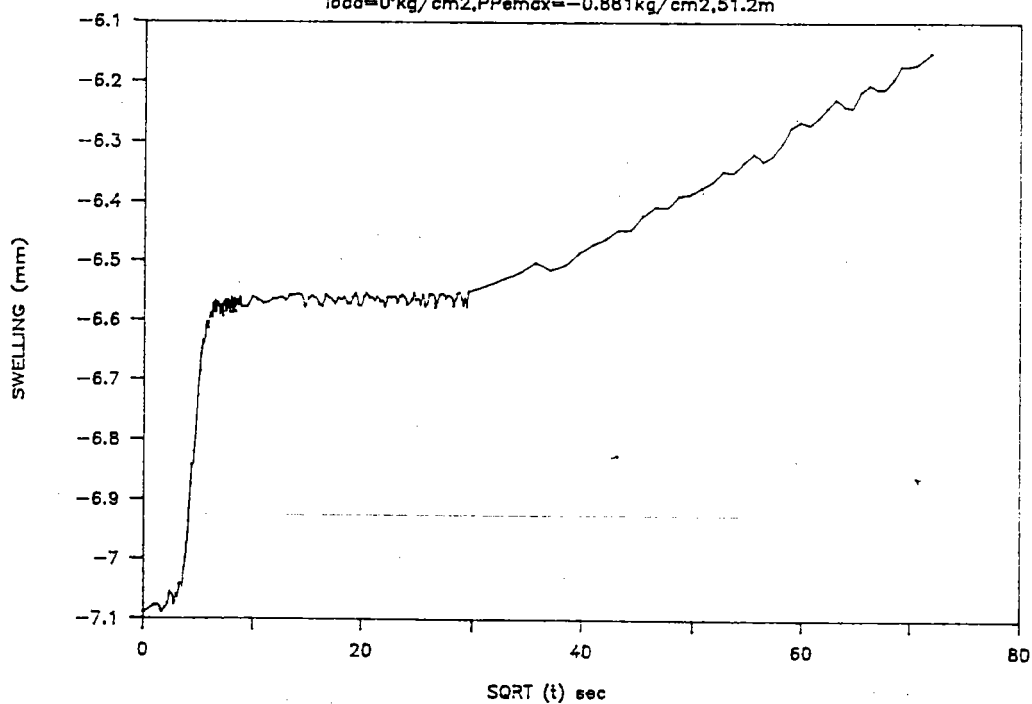
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,HOREZONTAL OUT

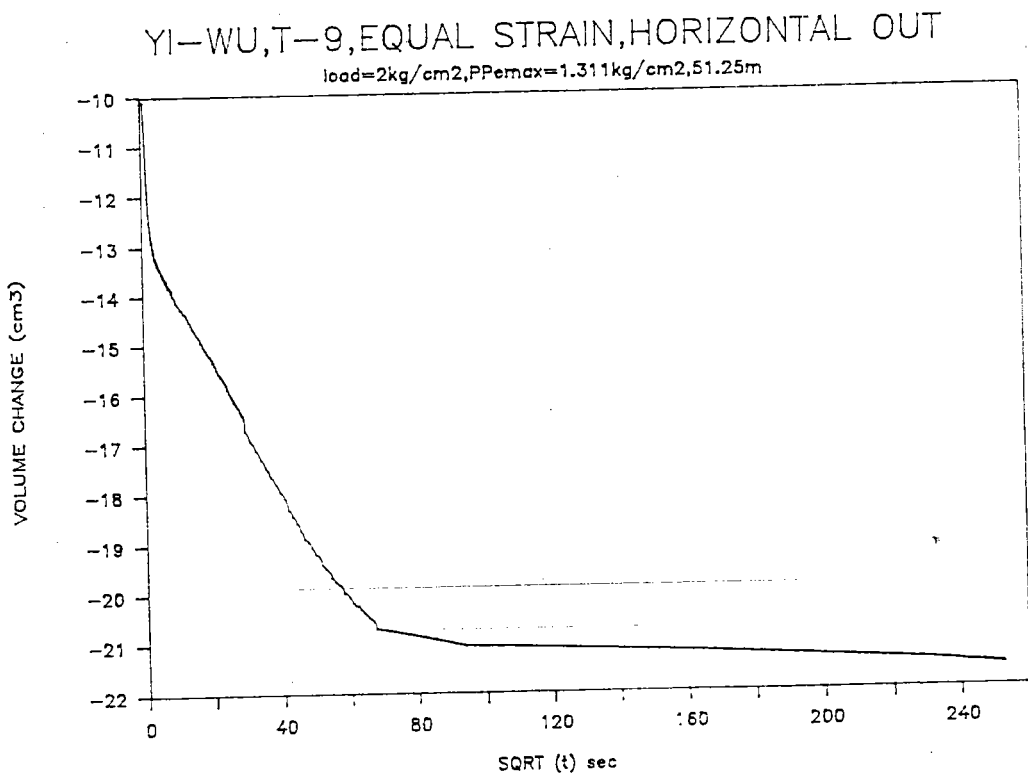
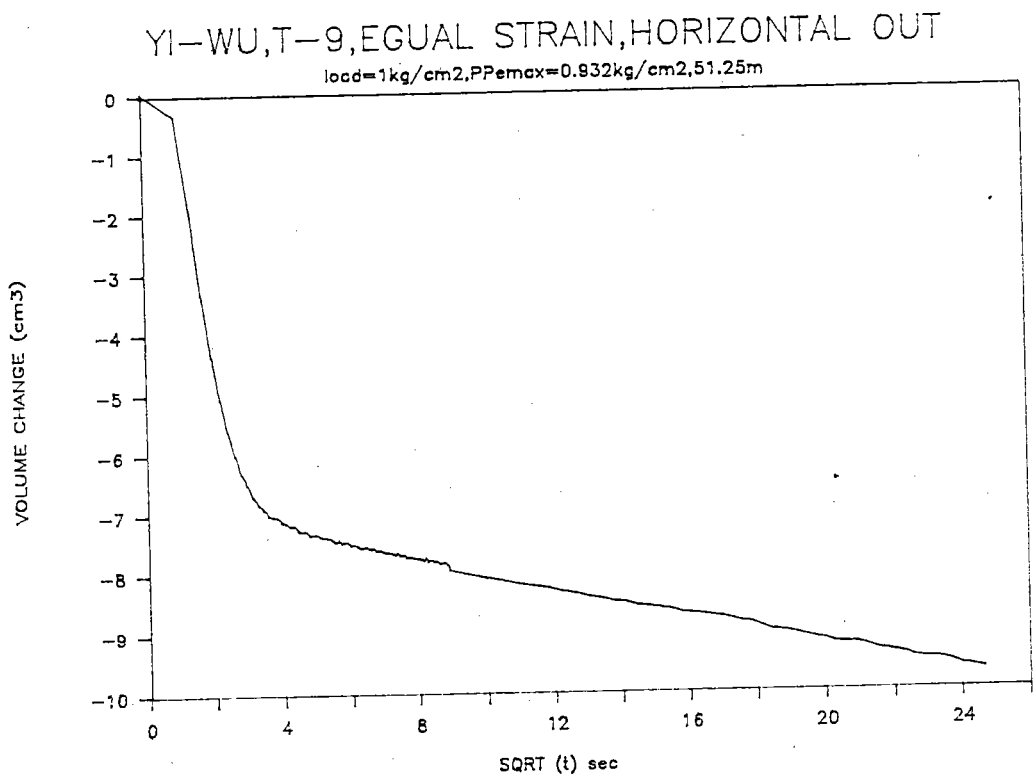
load=1'kg/cm2,PPemax=-1.738kg/cm2,51.2m



# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

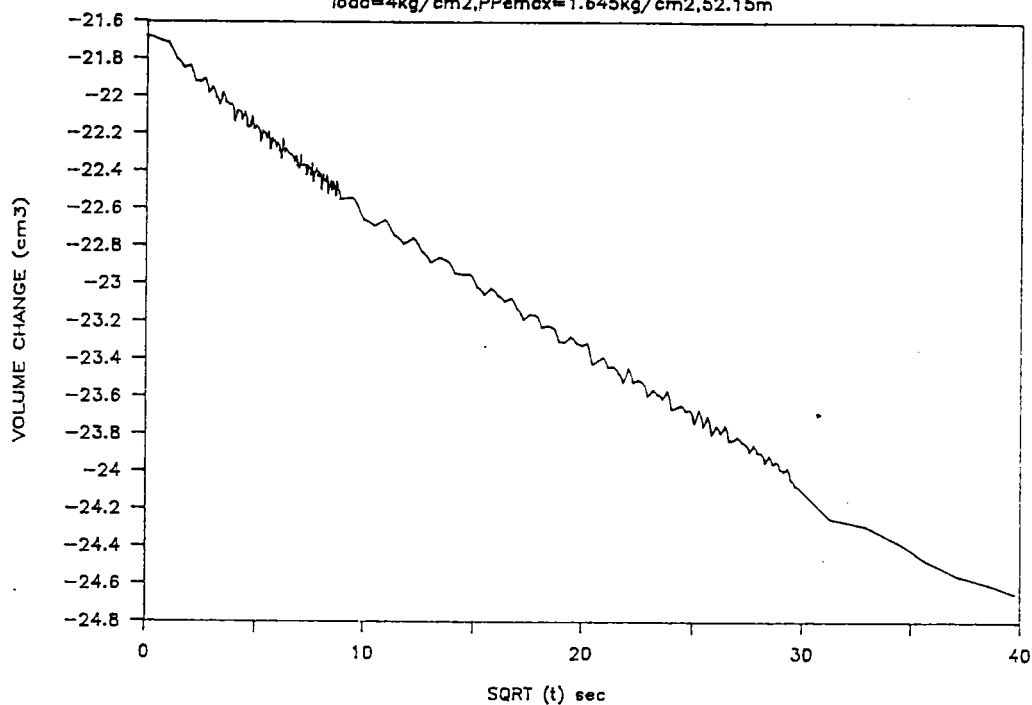
load=0'kg/cm2,PPemax=-0.881kg/cm2,51.2m





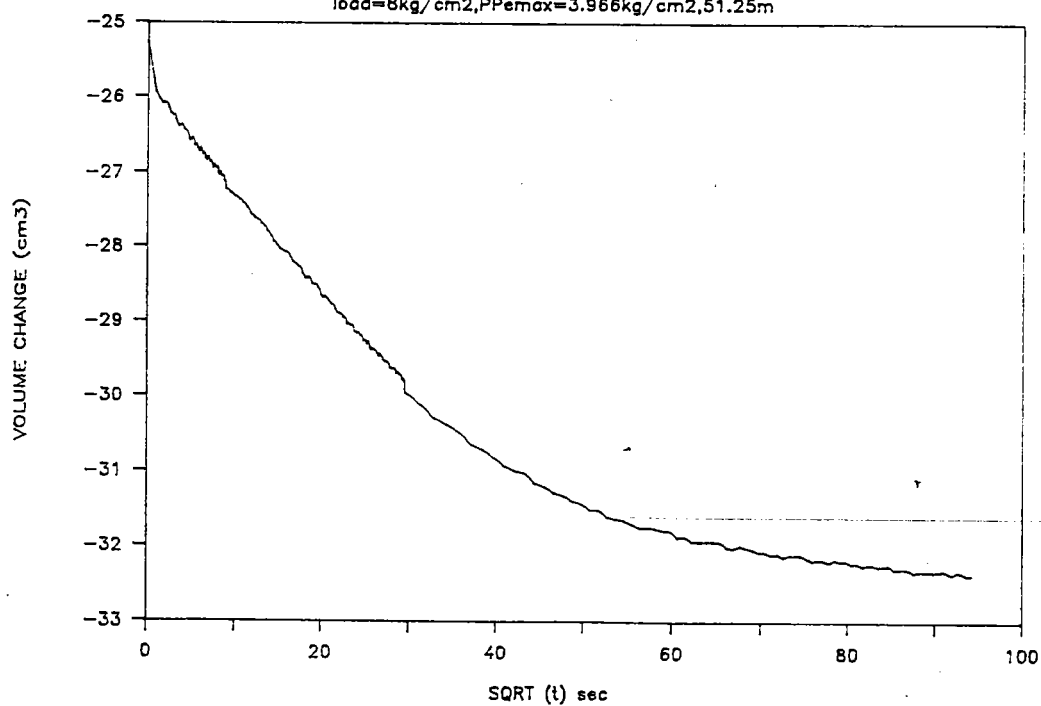
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=4kg/cm2,PPemax=1.645kg/cm2,52.15m



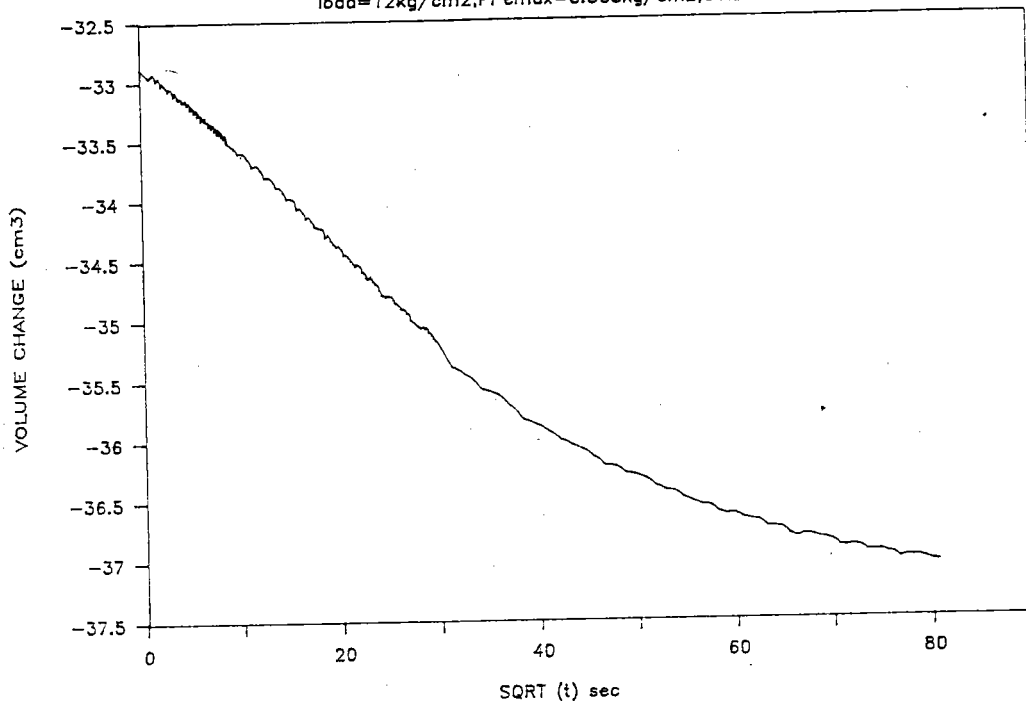
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,HOREZONTAL OUT

load=8kg/cm2,PPemax=3.966kg/cm2,51.25m



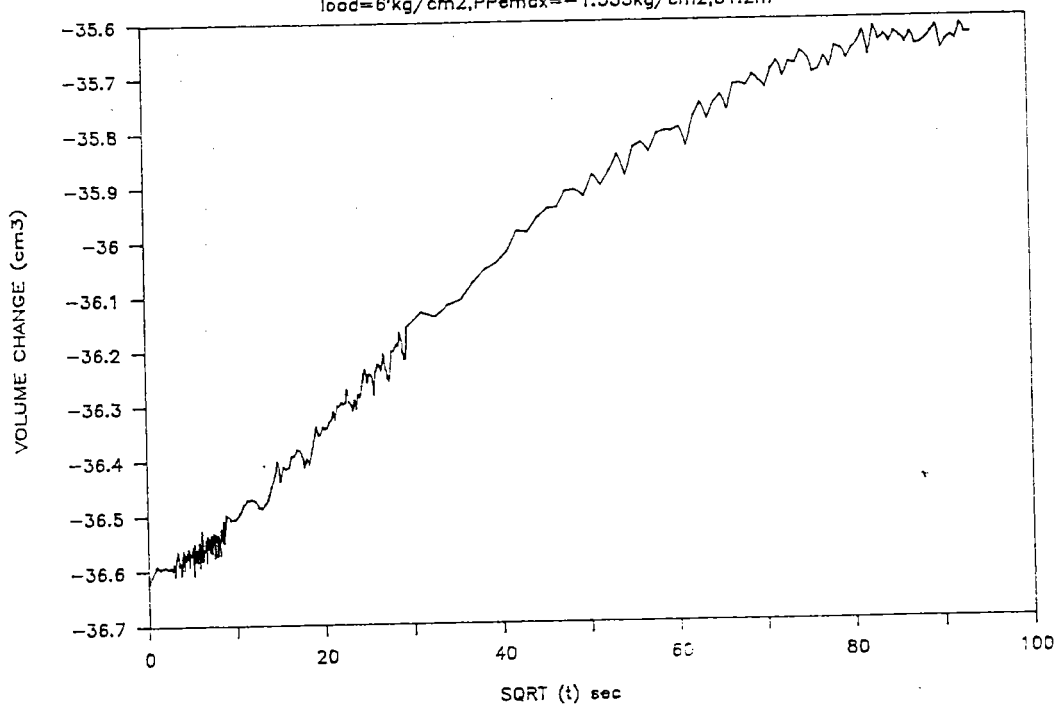
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,HOREZONTAL OUT

load=12kg/cm2,PPemax=3.363kg/cm2,51.25m



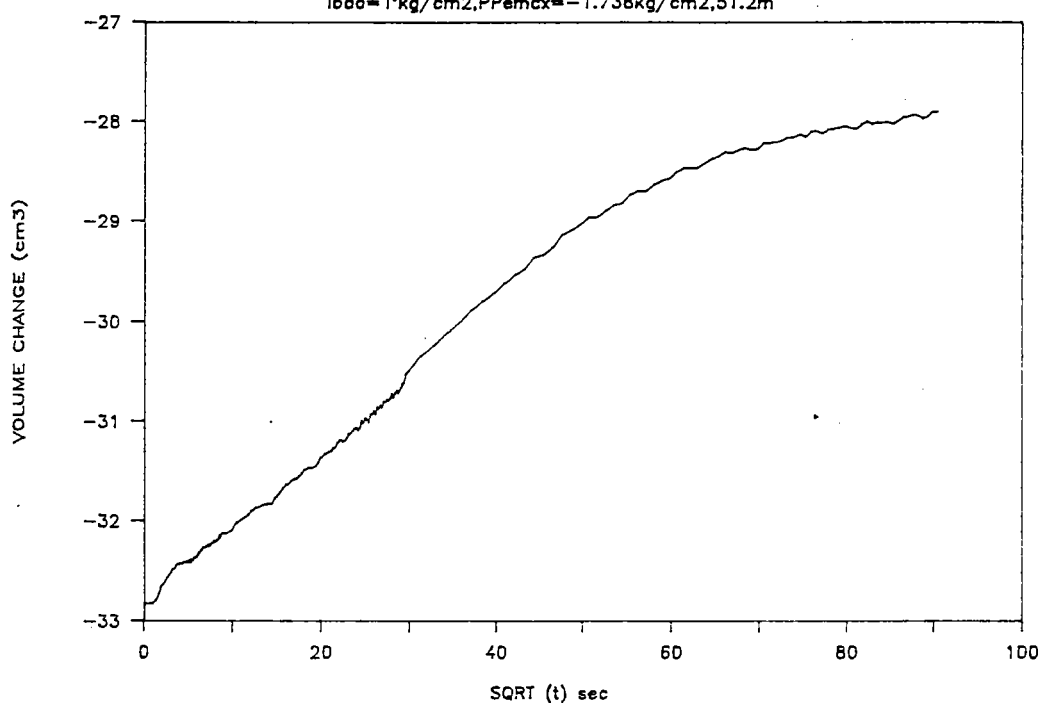
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,HOREZONTAL OUT

load=6'kg/cm2,PPemax=-1.333kg/cm2,51.2m



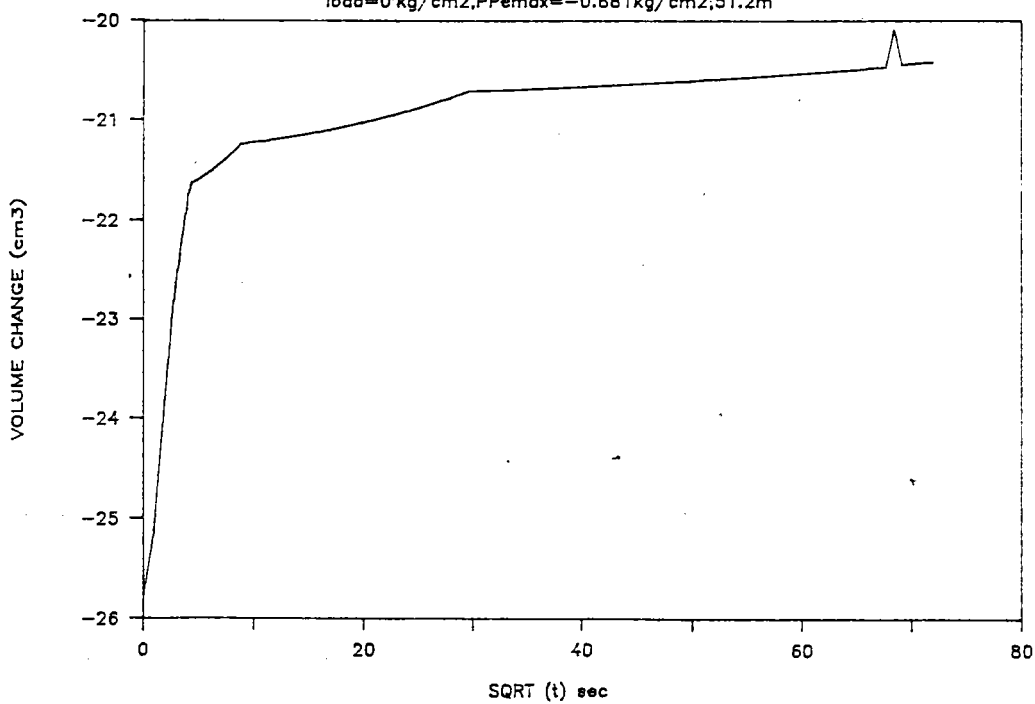
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,HOREZONTAL OUT

load=1'kg/cm2,PPemcx=-1.738kg/cm2,51.2m



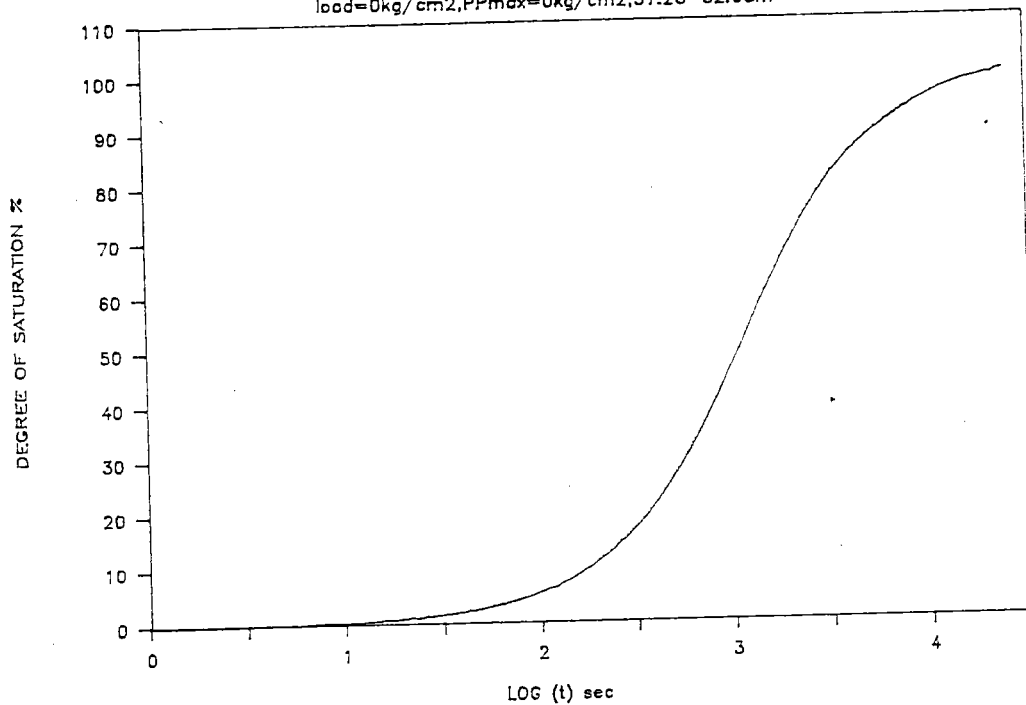
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=0'kg/cm2,PPemax=-0.881kg/cm2,51.2m



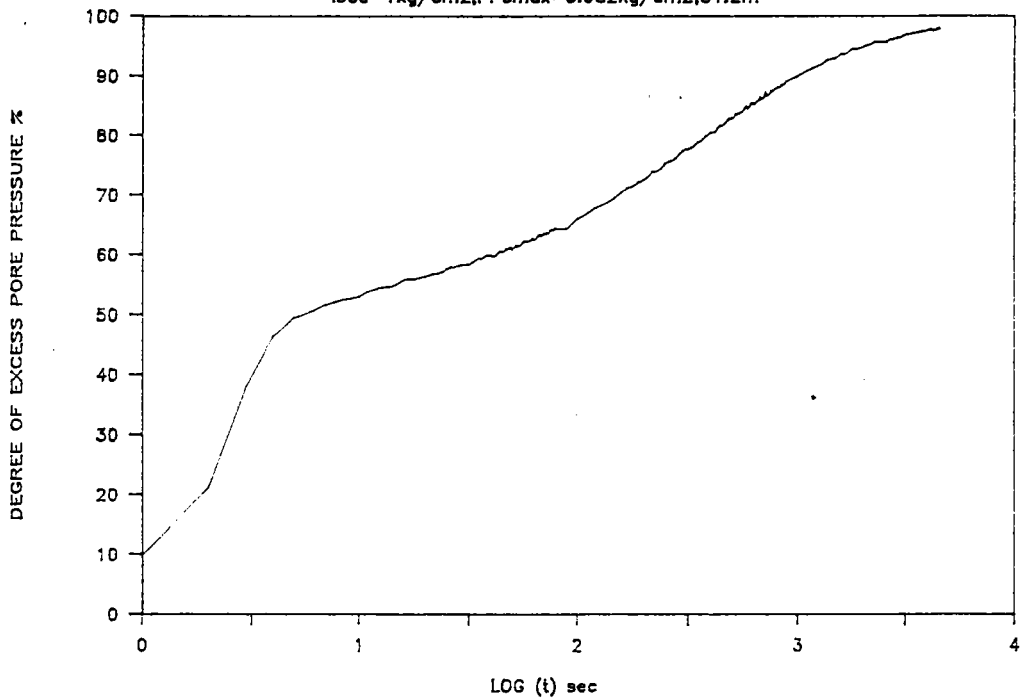
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAN,VERTICAL 1-WAY

load=0kg/cm<sup>2</sup>,PPmax=0kg/cm<sup>2</sup>,51.25-52.05m



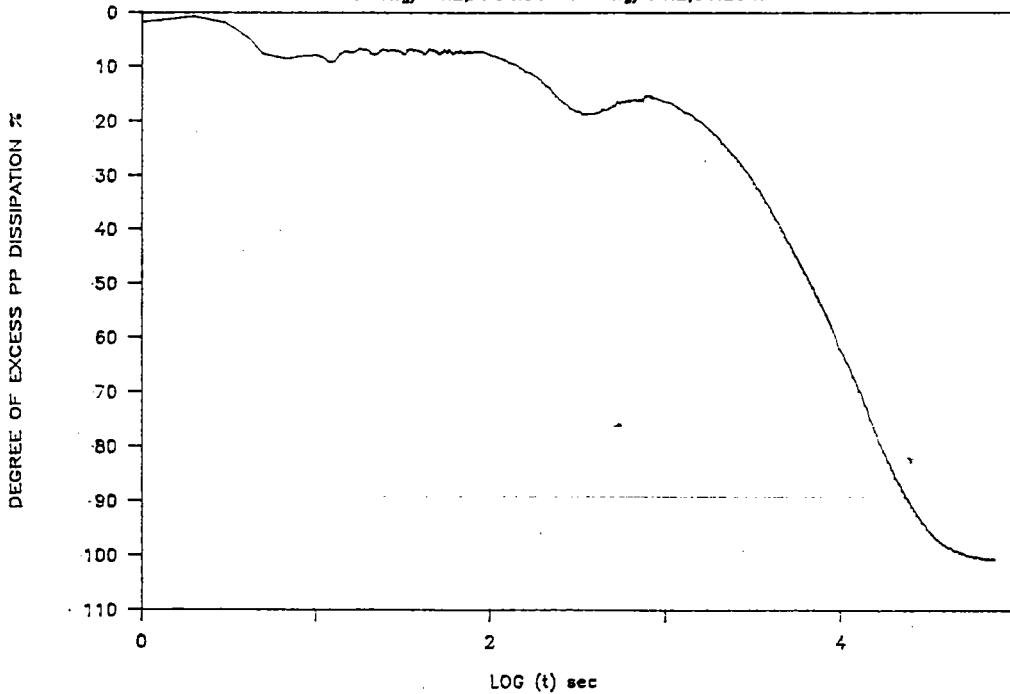
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAN,VERTICAL 1-WAY

load=1kg/cm2,PPemax=0.982kg/cm2,51.2m



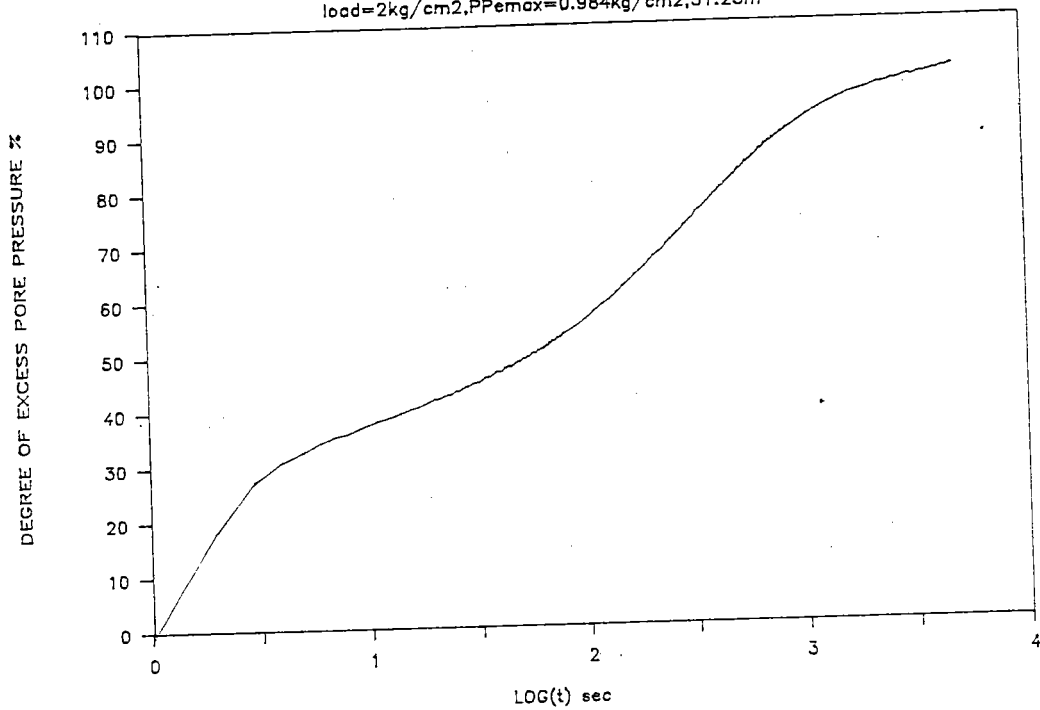
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=1kg/cm2,PPemax=0.986kg/cm2,51.25m



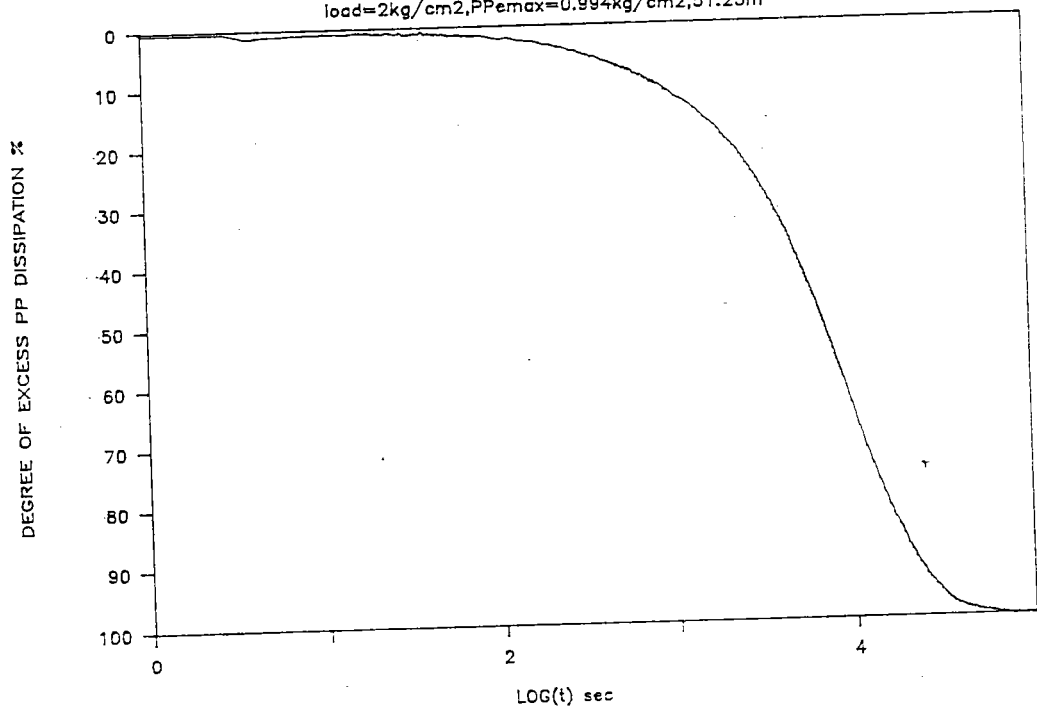
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=2kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=0.984kg/cm<sup>2</sup>,51.25m



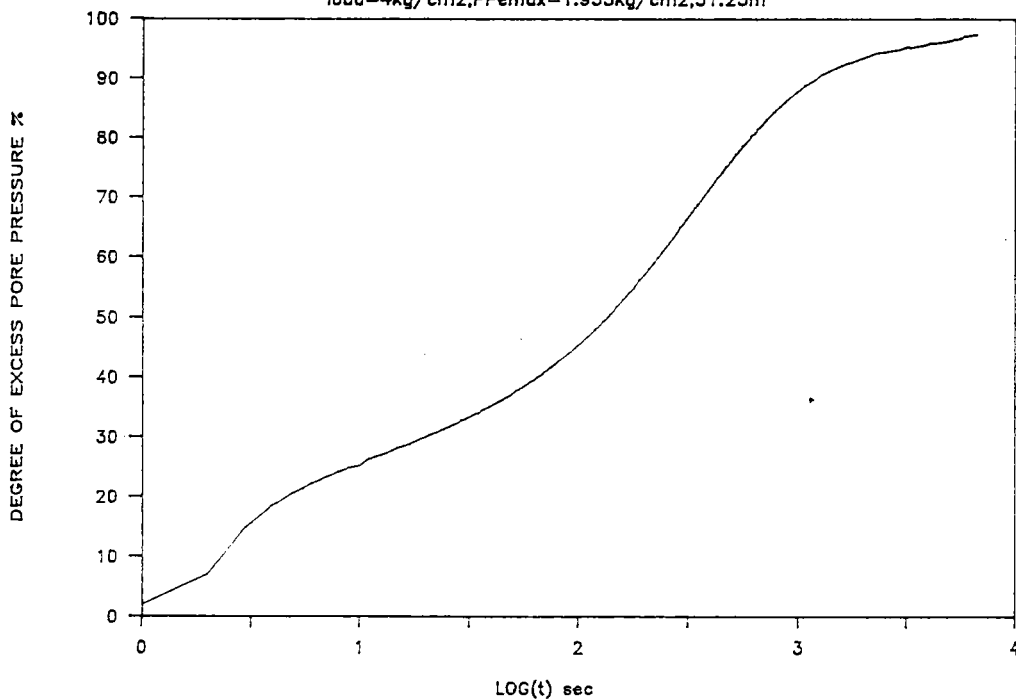
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=2kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=0.994kg/cm<sup>2</sup>,51.25m



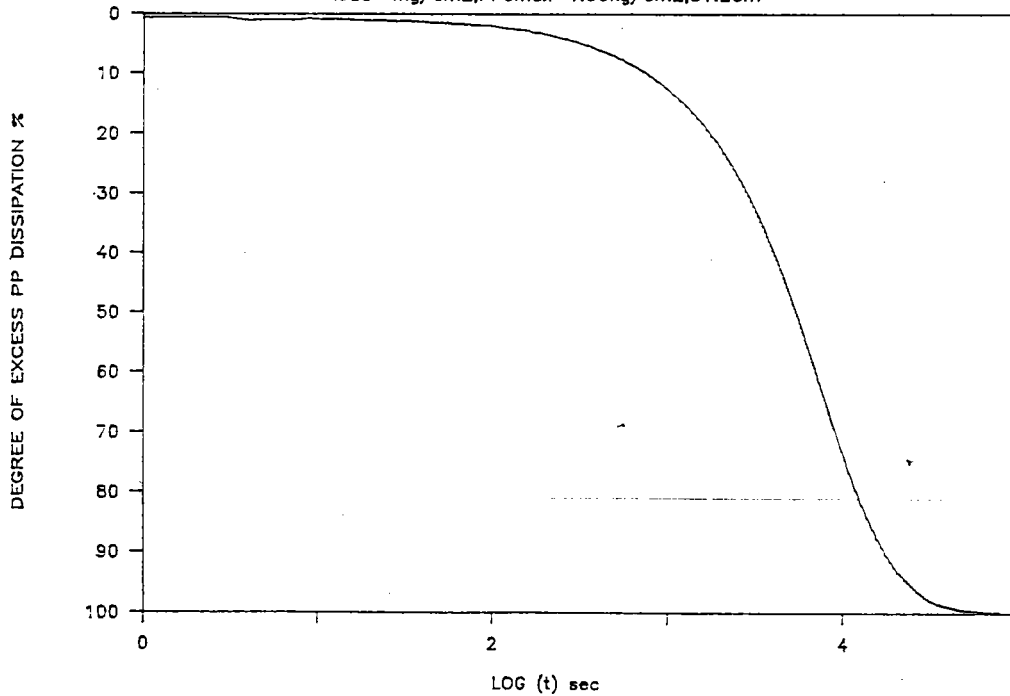
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=4kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=1.955kg/cm<sup>2</sup>,51.25m



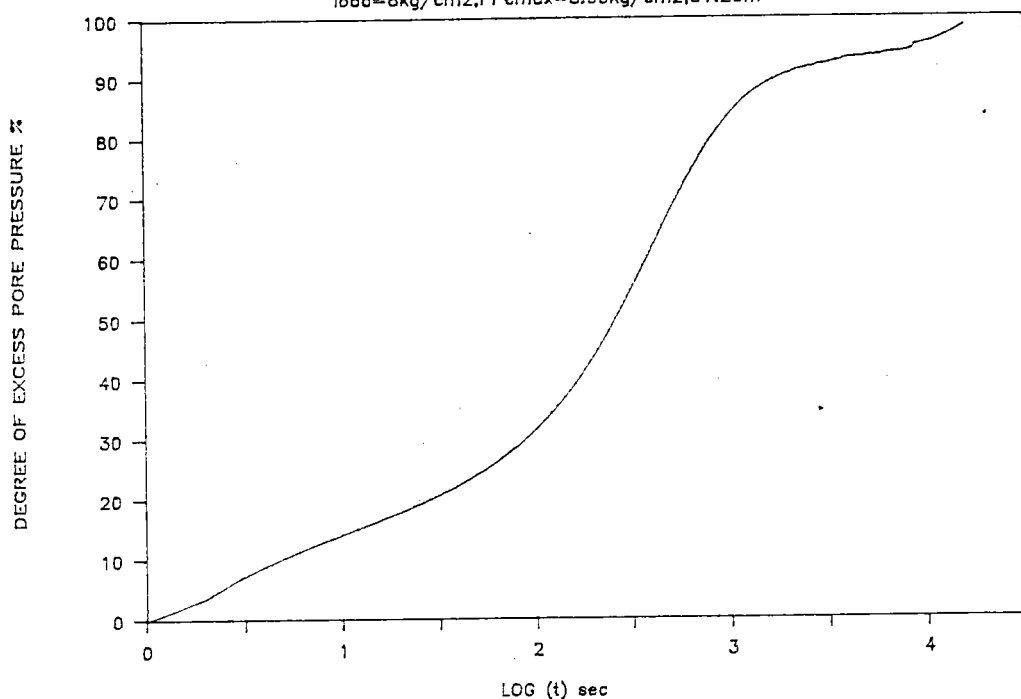
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=4kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=1.96kg/cm<sup>2</sup>,51.25m



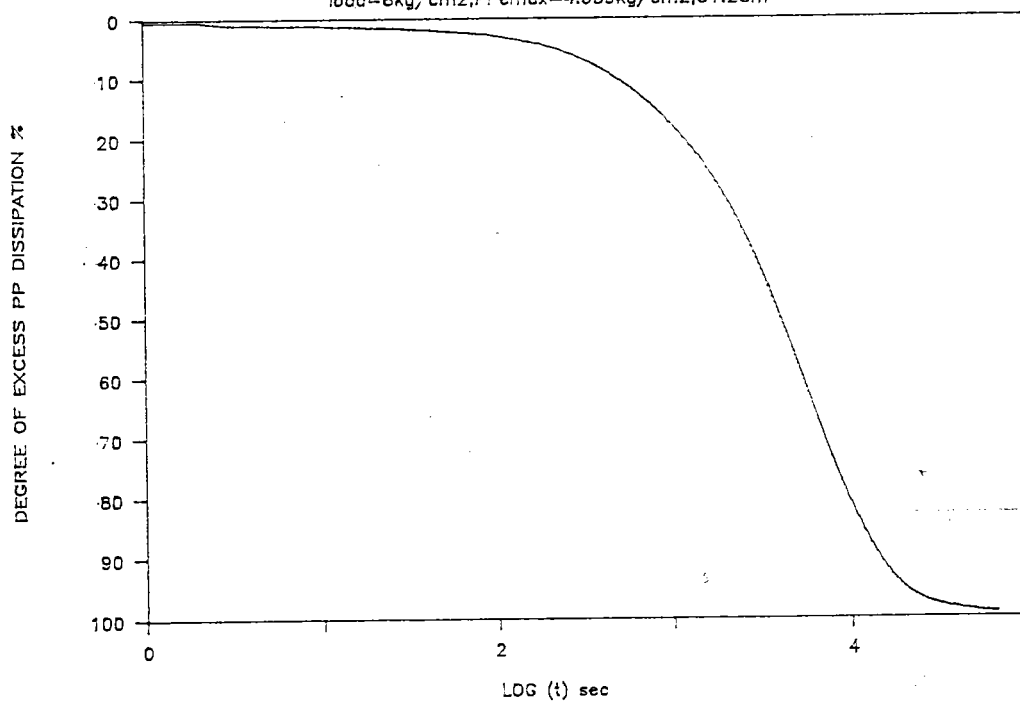
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=8kg/cm<sup>2</sup>,PPem<sub>max</sub>=3.99kg/cm<sup>2</sup>,51.25m



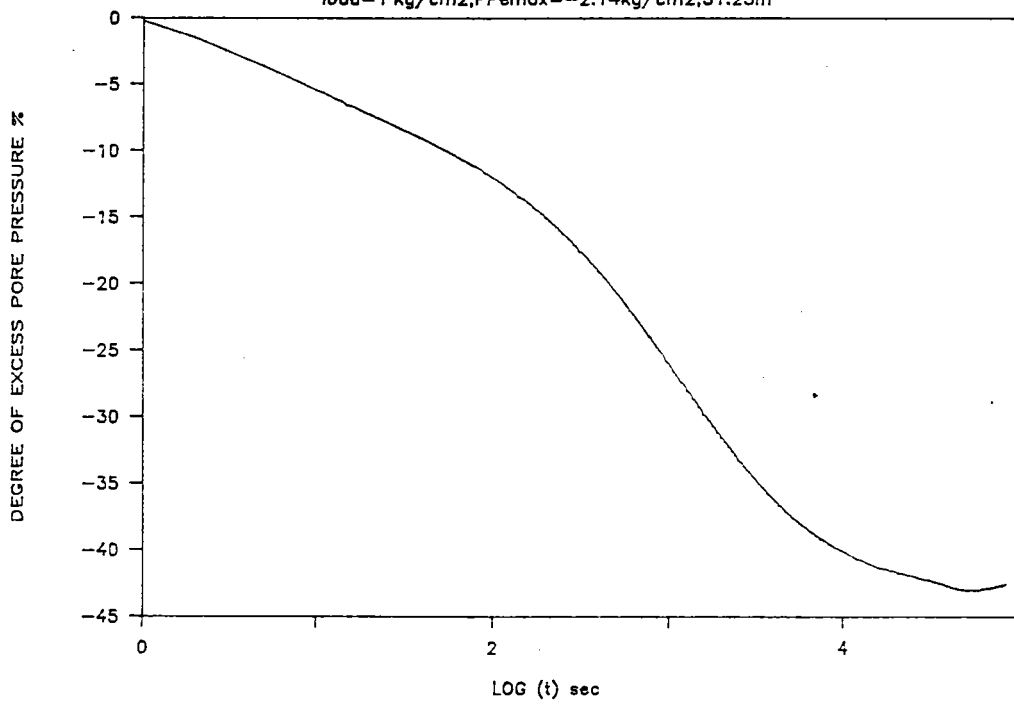
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=8kg/cm<sup>2</sup>,PPem<sub>max</sub>=4.059kg/cm<sup>2</sup>,51.25m



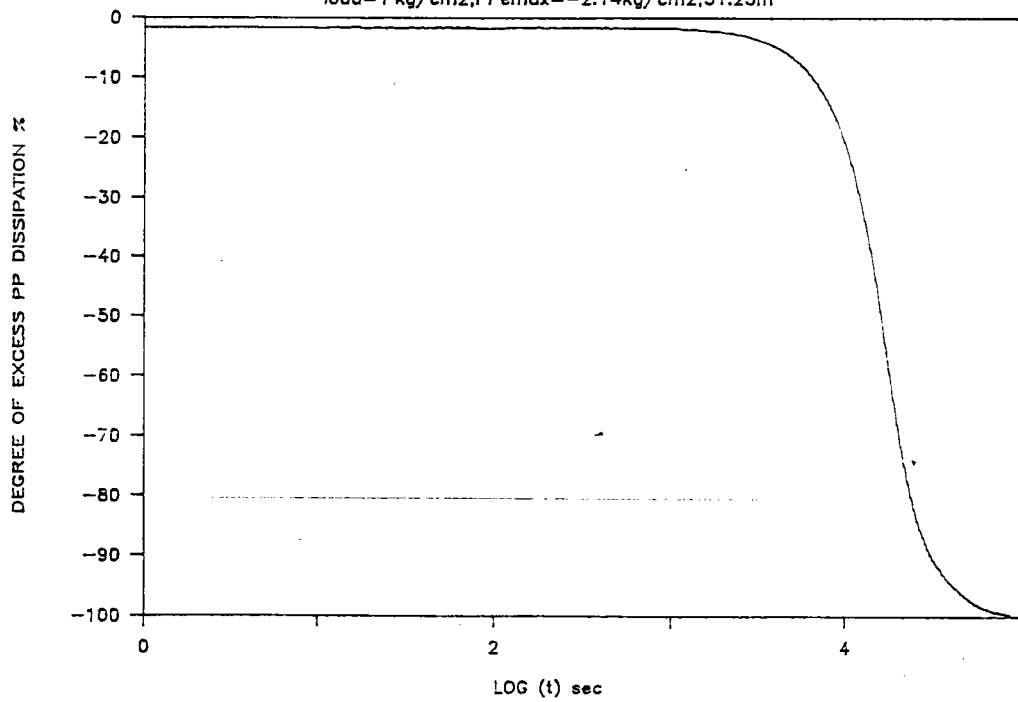
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=1'kg/cm2,PPemax=-2.14kg/cm2,51.25m



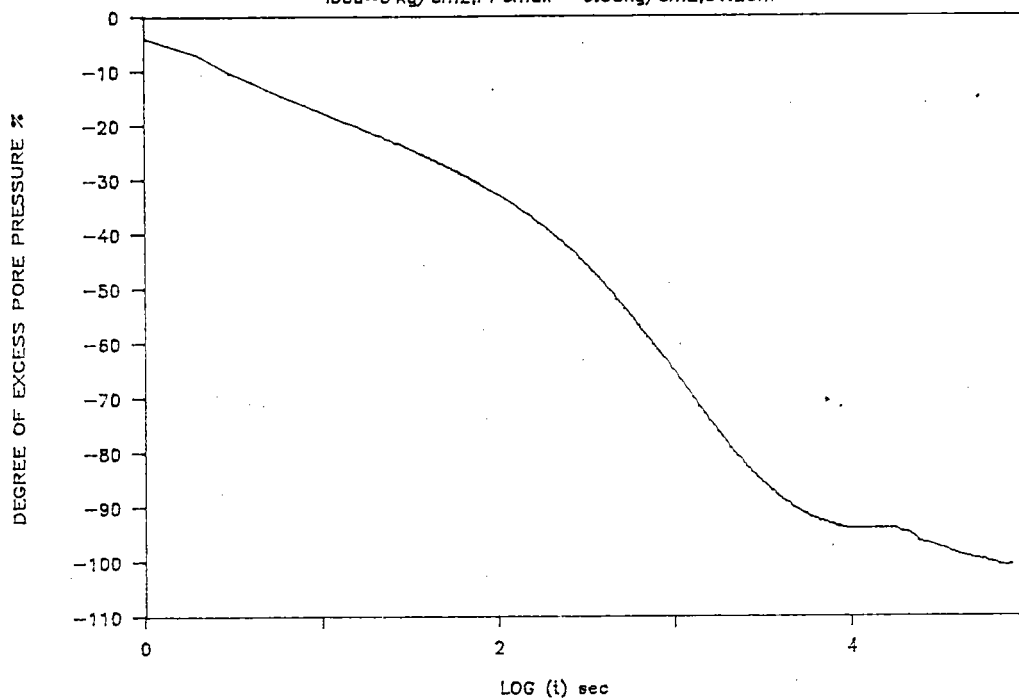
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=1'kg/cm2,PPemax=-2.14kg/cm2,51.25m



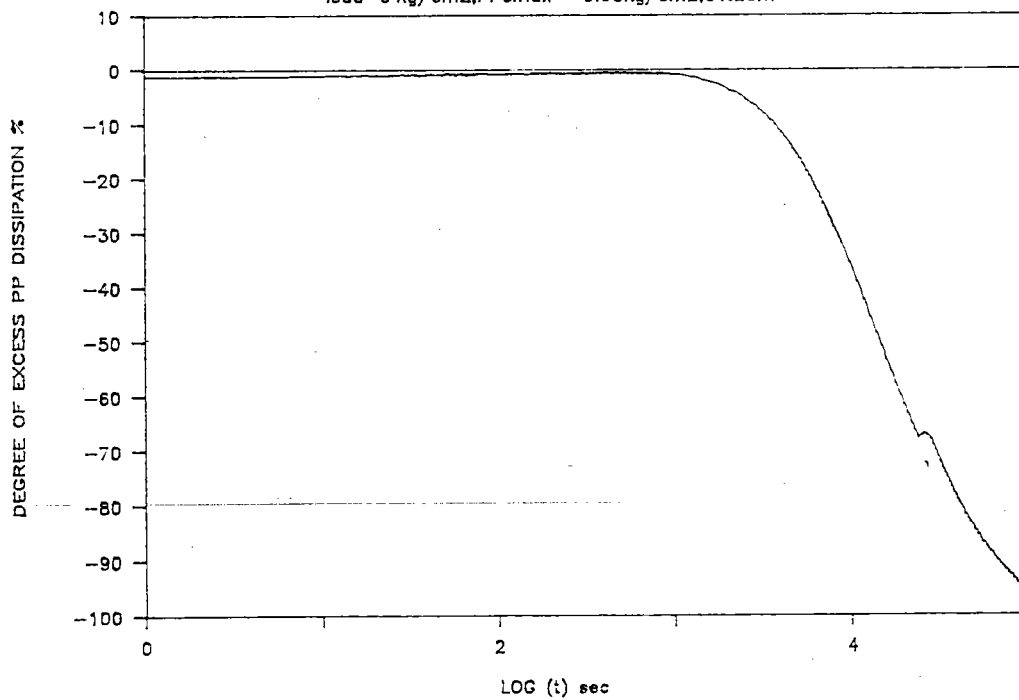
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=0'kg/cm2,PPemax=-0.95kg/cm2,51.25m



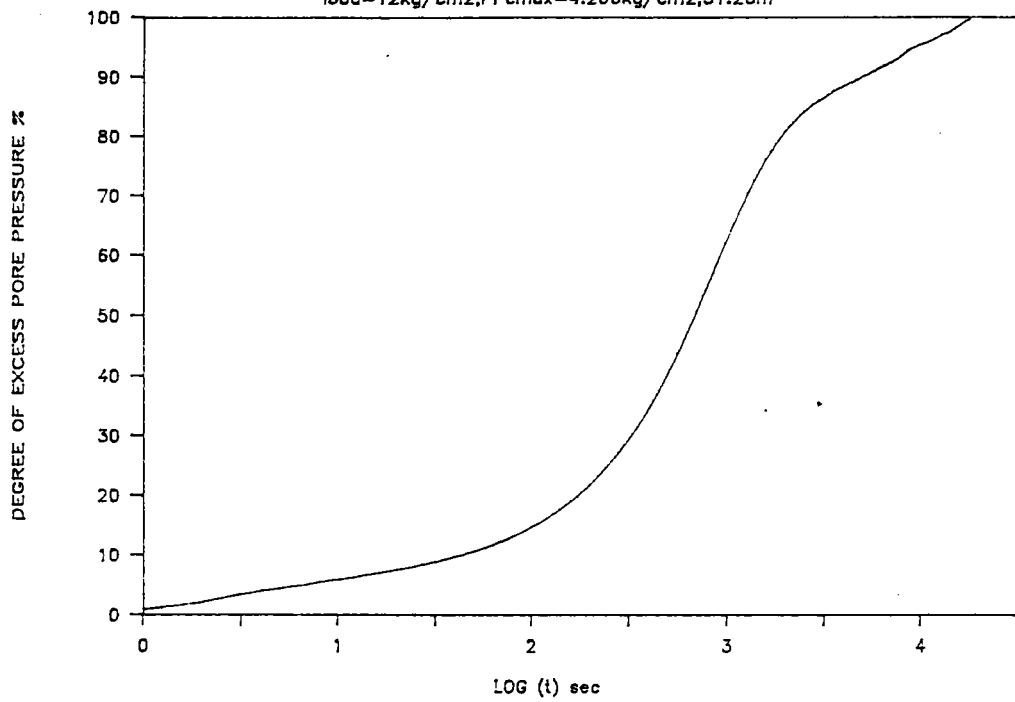
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=0'kg/cm2,PPemax=-0.95kg/cm2,51.25m



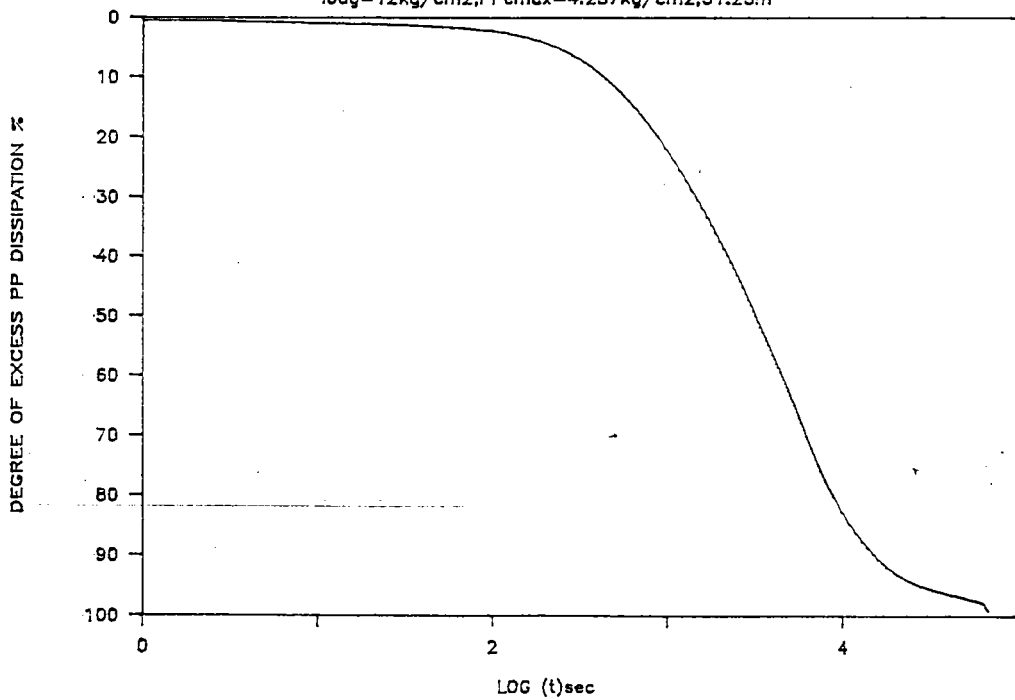
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=12kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=4.206kg/cm<sup>2</sup>,51.25m



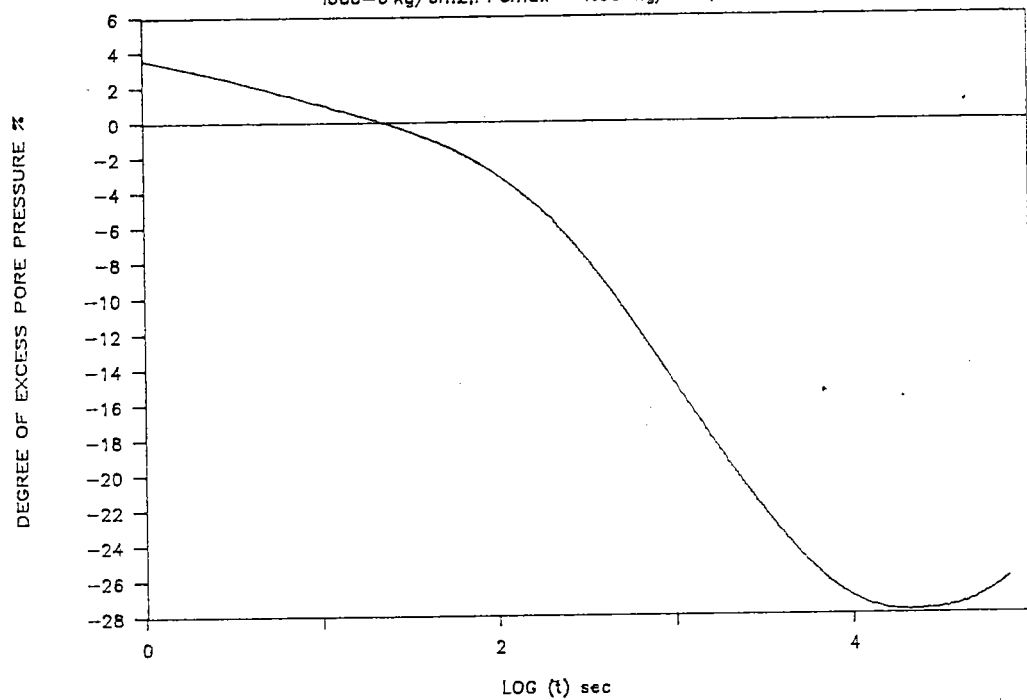
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=12kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=4.237kg/cm<sup>2</sup>,51.25m



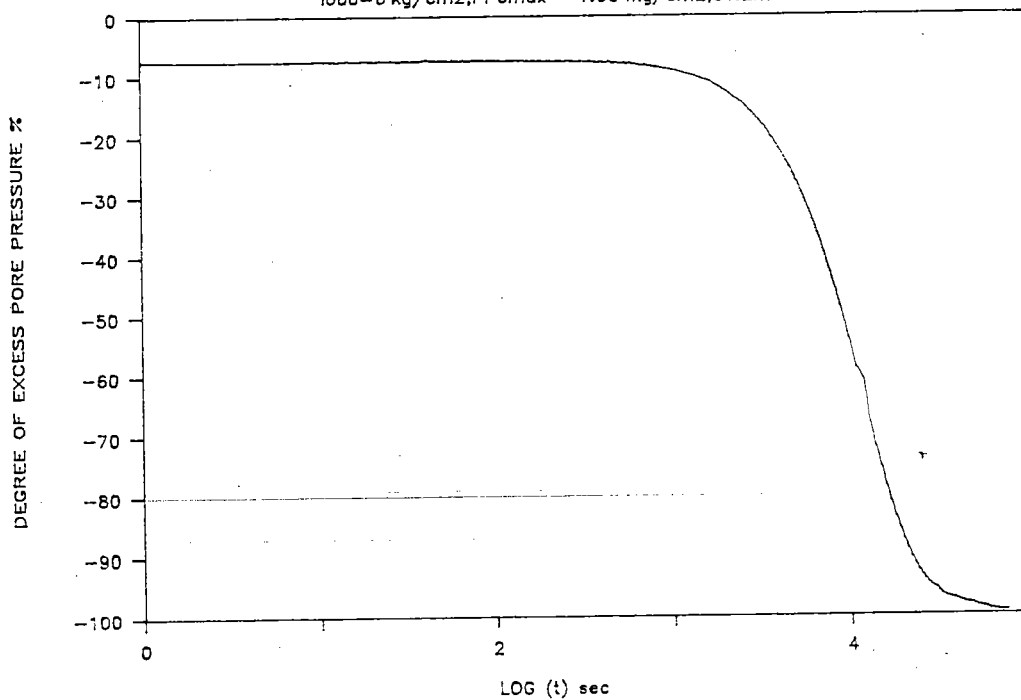
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=6'kg/cm2,PPemax=-1.664kg/cm2,51.2m



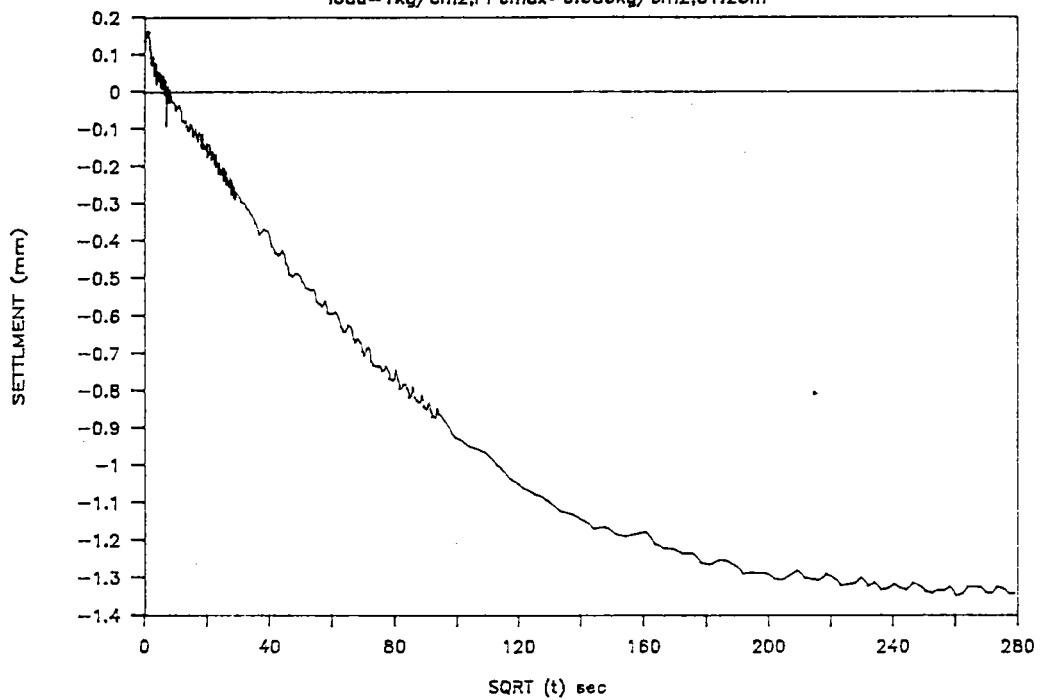
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=6'kg/cm2,PPemax=-1.664kg/cm2,51.2m



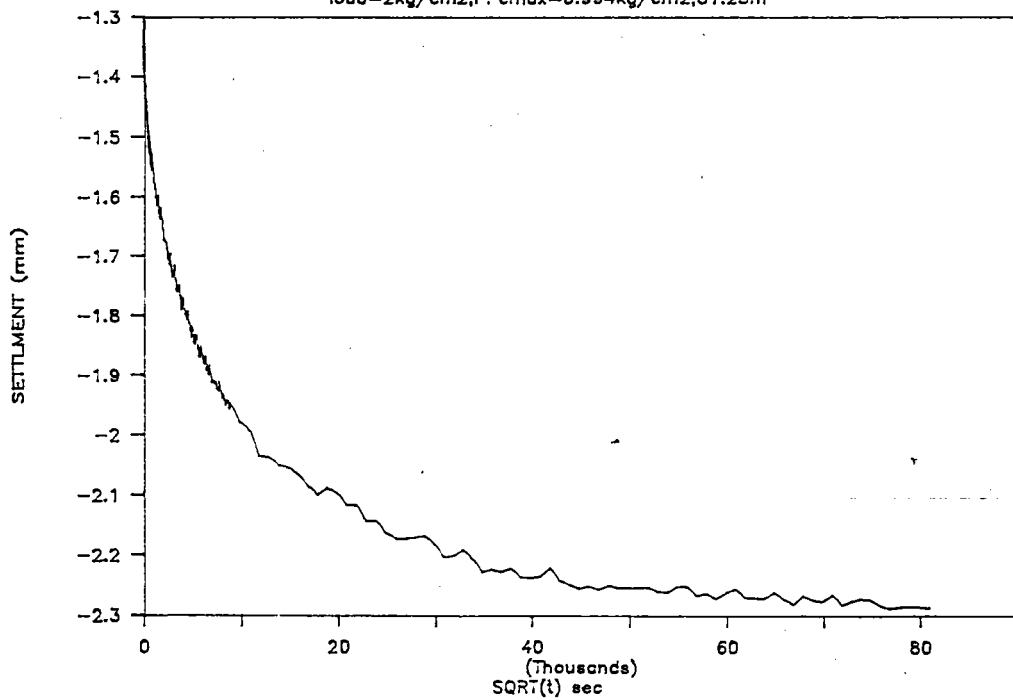
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=1kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=0.986kg/cm<sup>2</sup>,51.25m



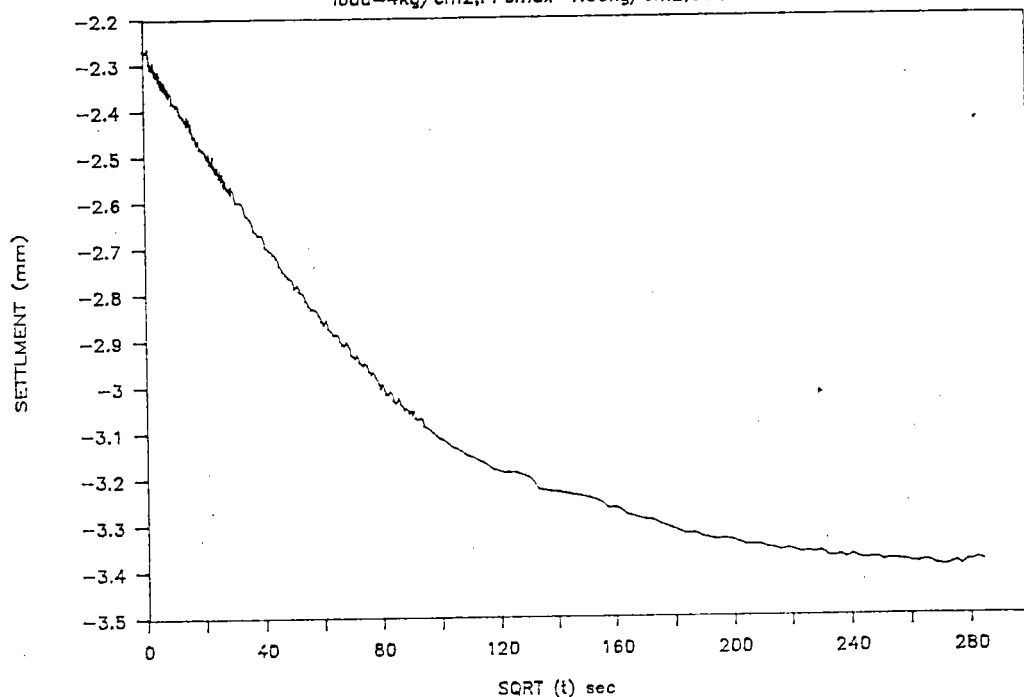
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=2kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=0.994kg/cm<sup>2</sup>,51.25m



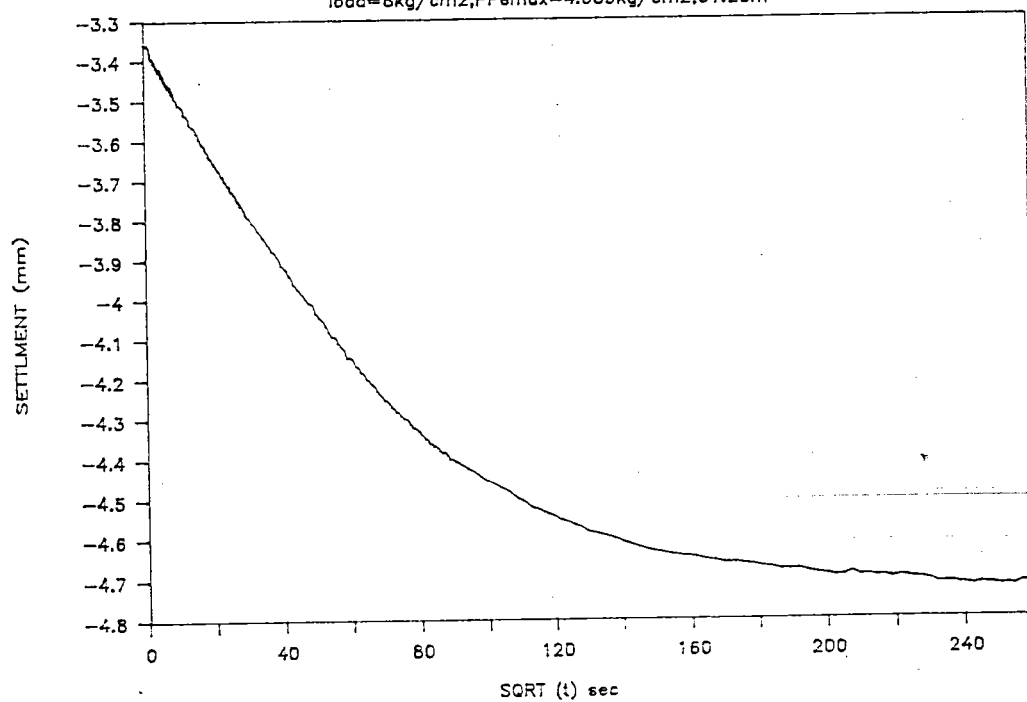
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=4kg/cm2,PPemax=1.96kg/cm2,51.25m



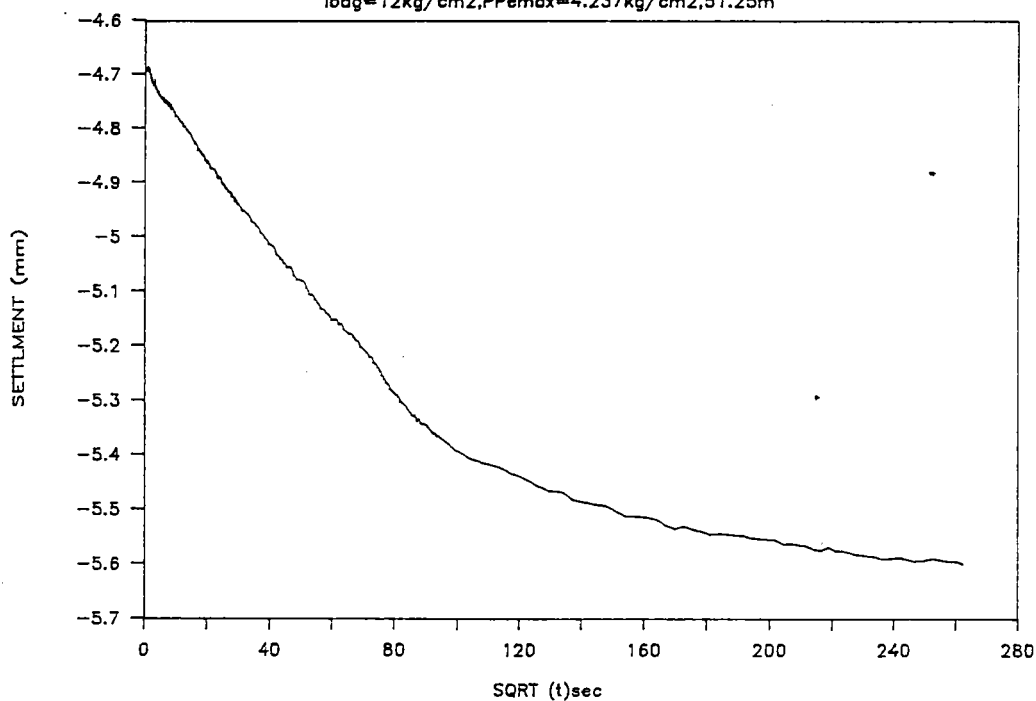
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=8kg/cm2,PPemax=4.059kg/cm2,51.25m



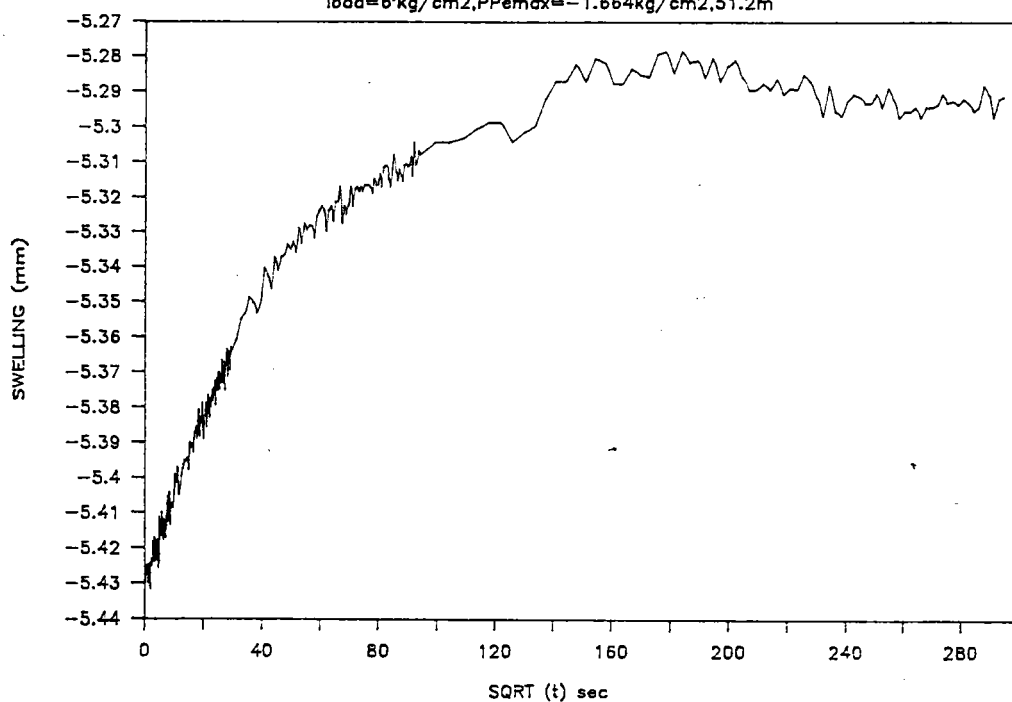
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=12kg/cm2,PPemax=4.237kg/cm2,51.25m



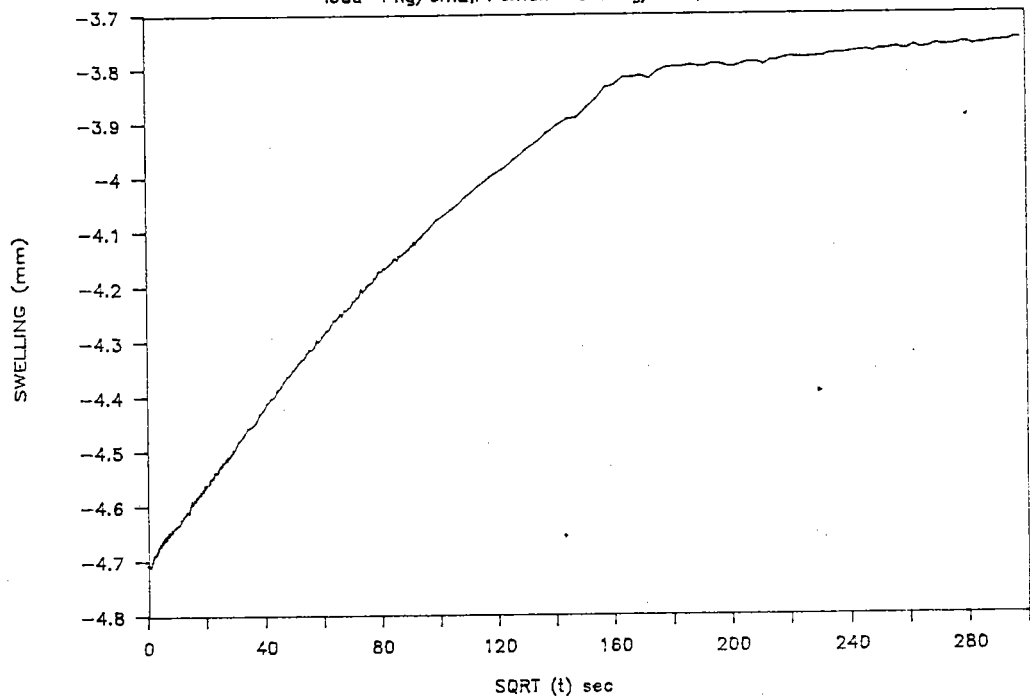
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=6'kg/cm2,PPemax=-1.664kg/cm2,51.2m



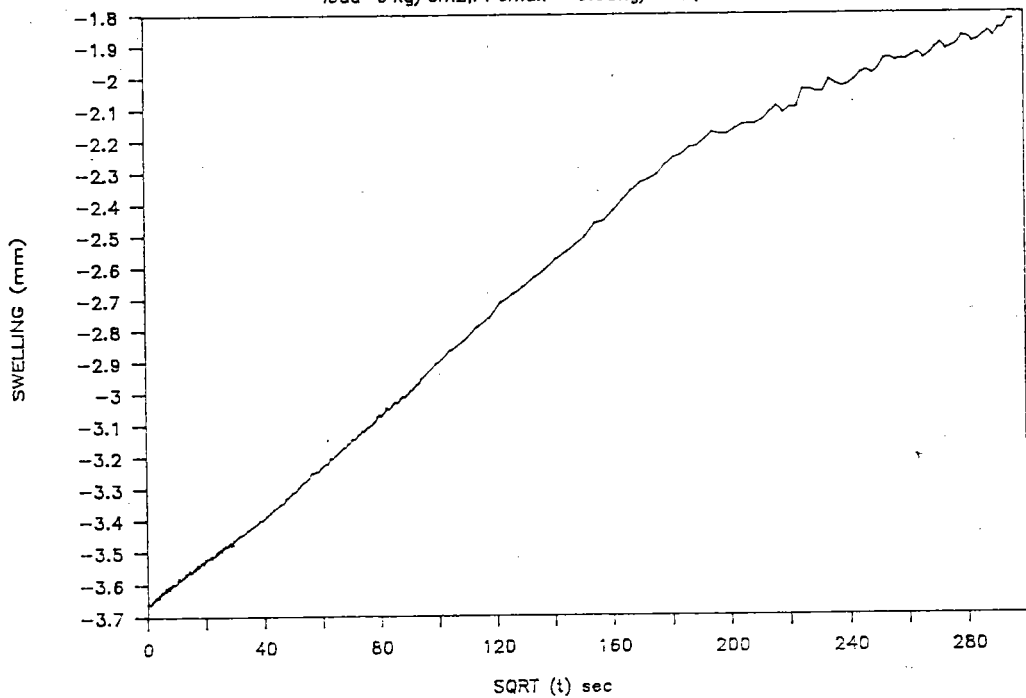
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=1'kg/cm2,PPemcx=-2.14kg/cm2,51.25m



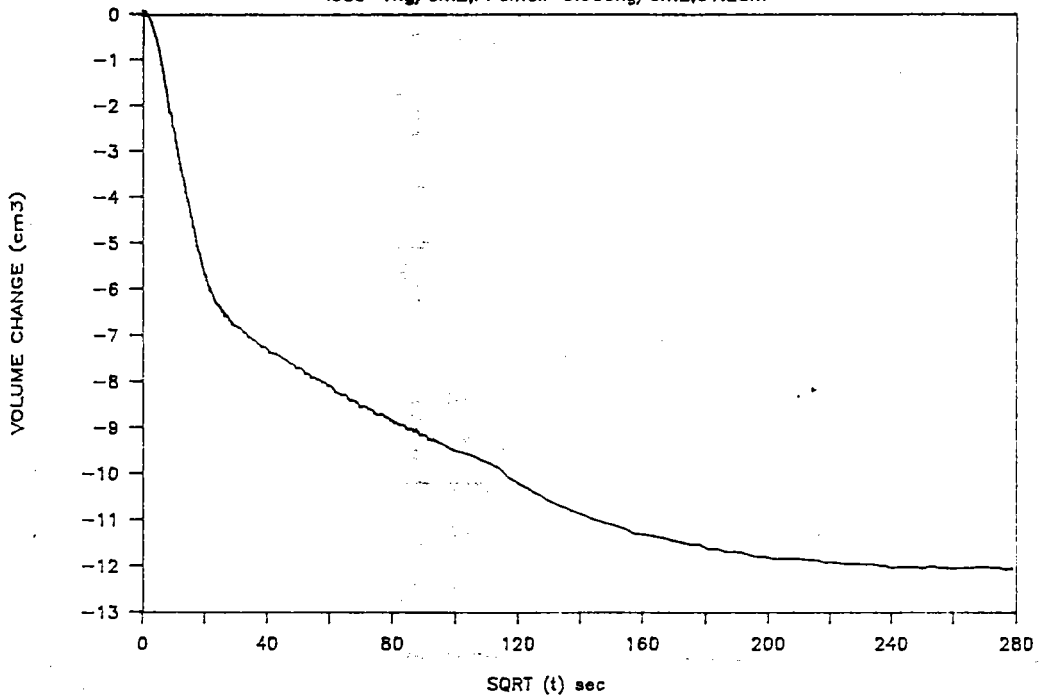
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=0'kg/cm2,PPemcx=-0.95kg/cm2,51.25m



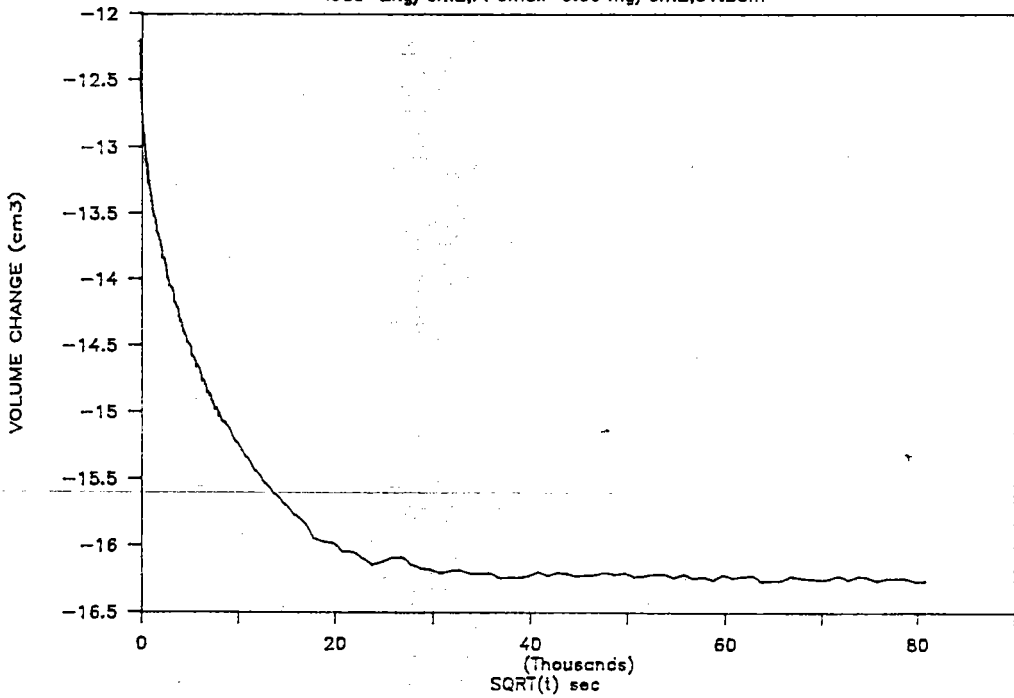
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=1kg/cm2,PPemax=0.986kg/cm2,51.25m



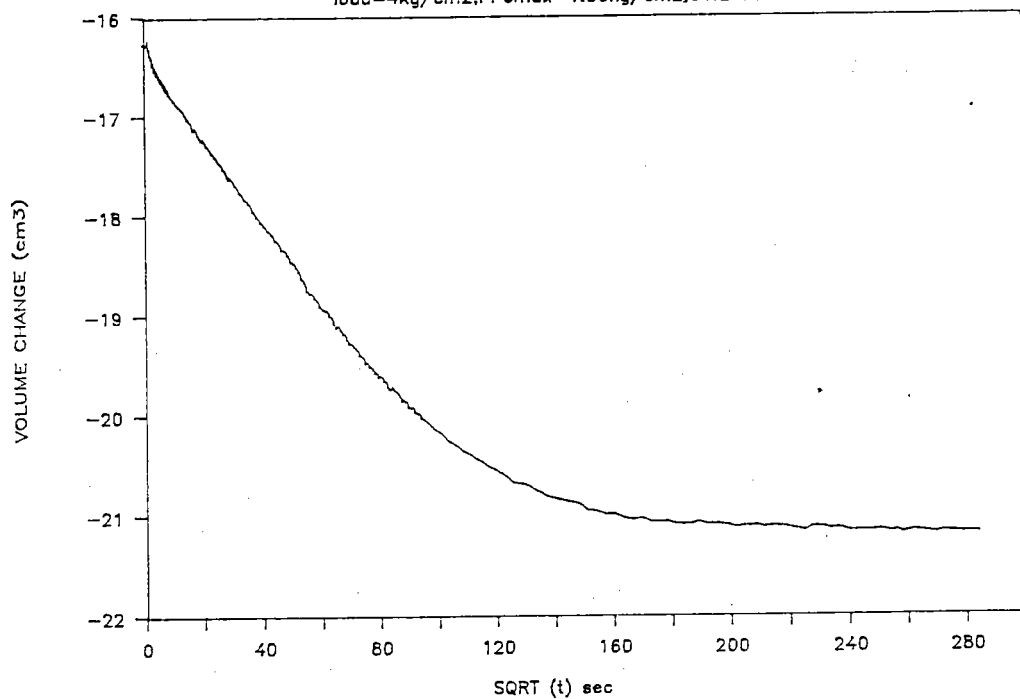
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=2kg/cm2,PPemax=0.994kg/cm2,51.25m



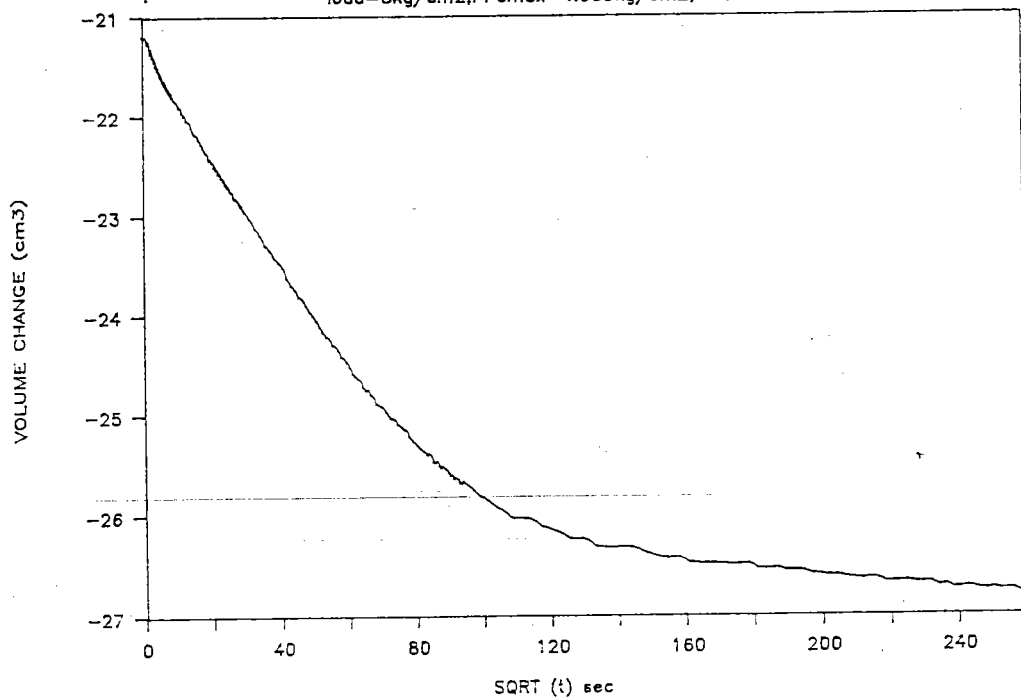
# YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=4kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=1.96kg/cm<sup>2</sup>,51.25m



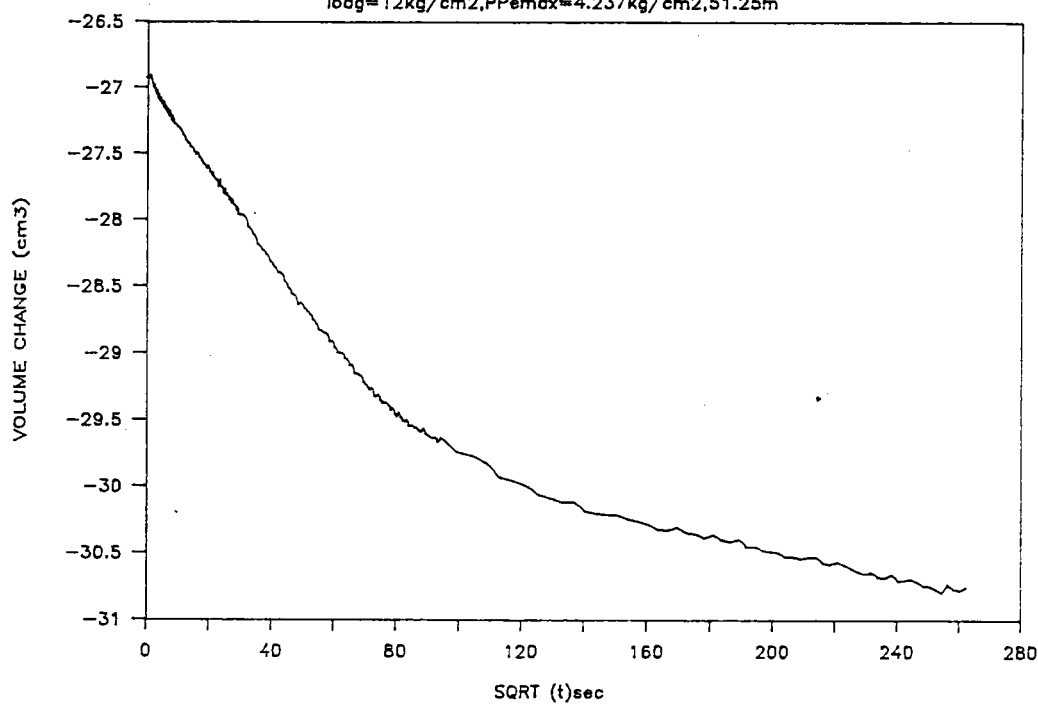
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=8kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=4.059kg/cm<sup>2</sup>,51.25m



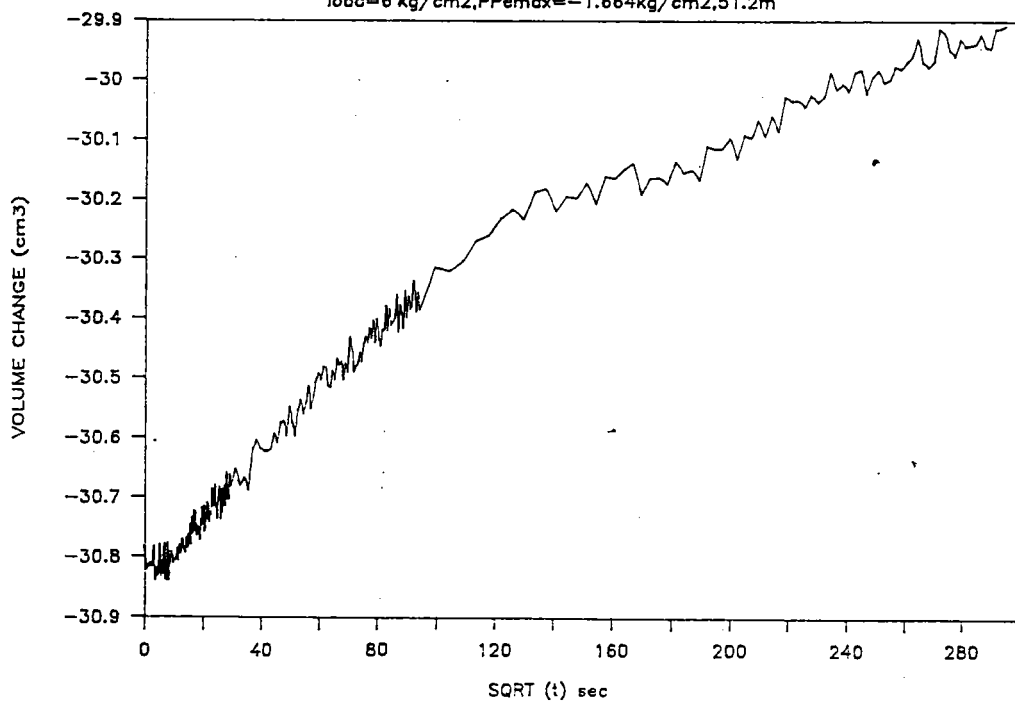
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=12kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=4.237kg/cm<sup>2</sup>,51.25m



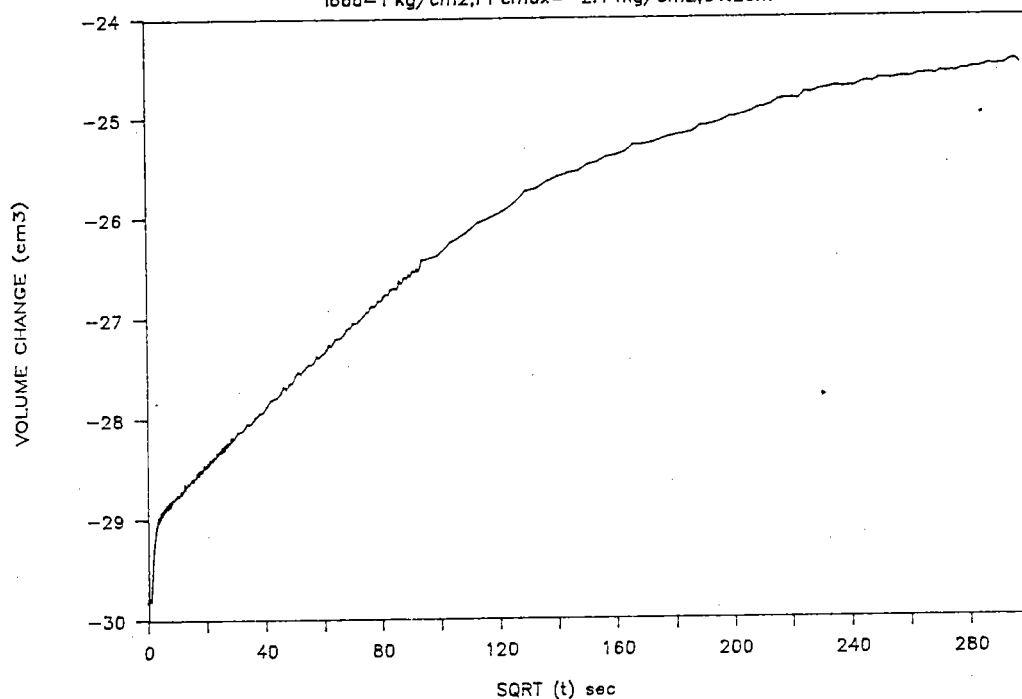
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=6kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=-1.664kg/cm<sup>2</sup>,51.2m



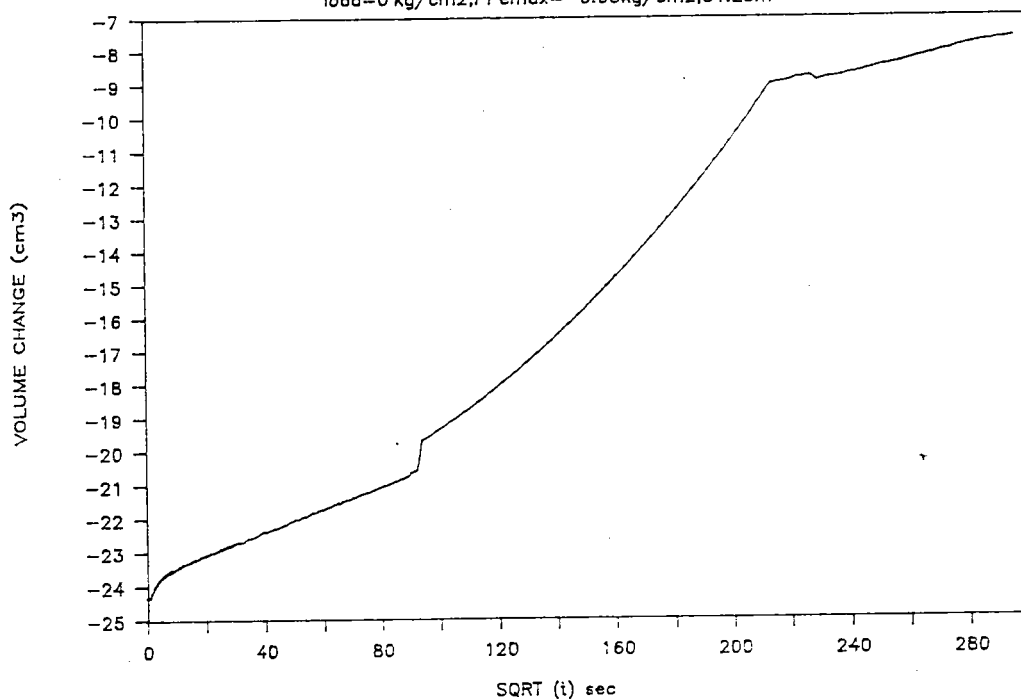
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=1'kg/cm2,PPemax=-2.14kg/cm2,51.25m



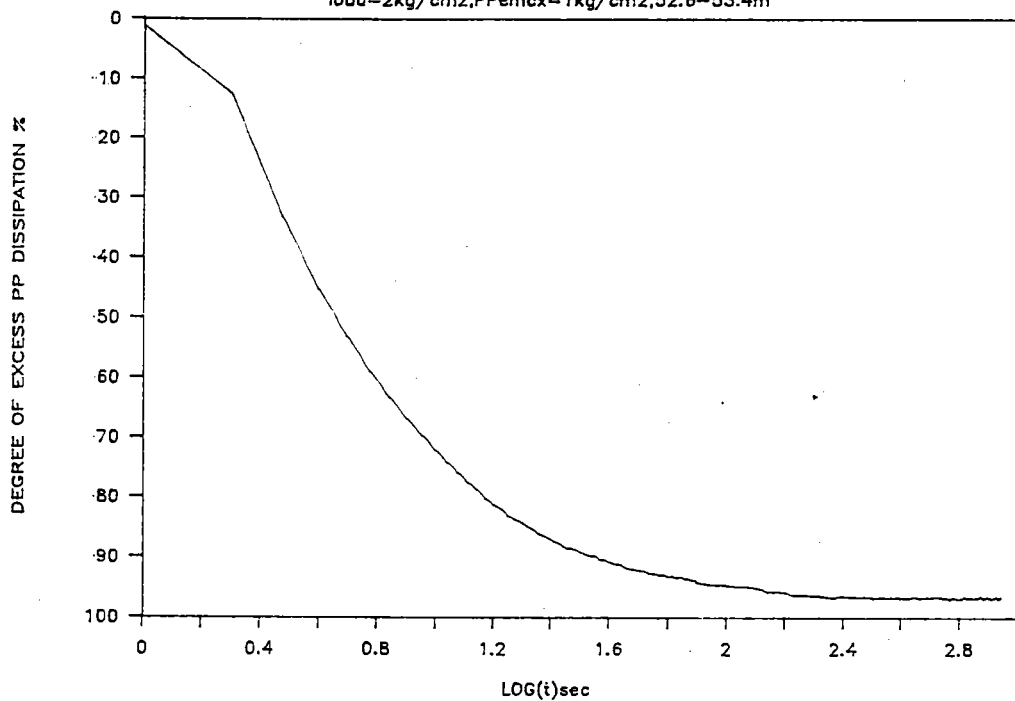
# YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=0'kg/cm2,PPemax=-0.95kg/cm2,51.25m



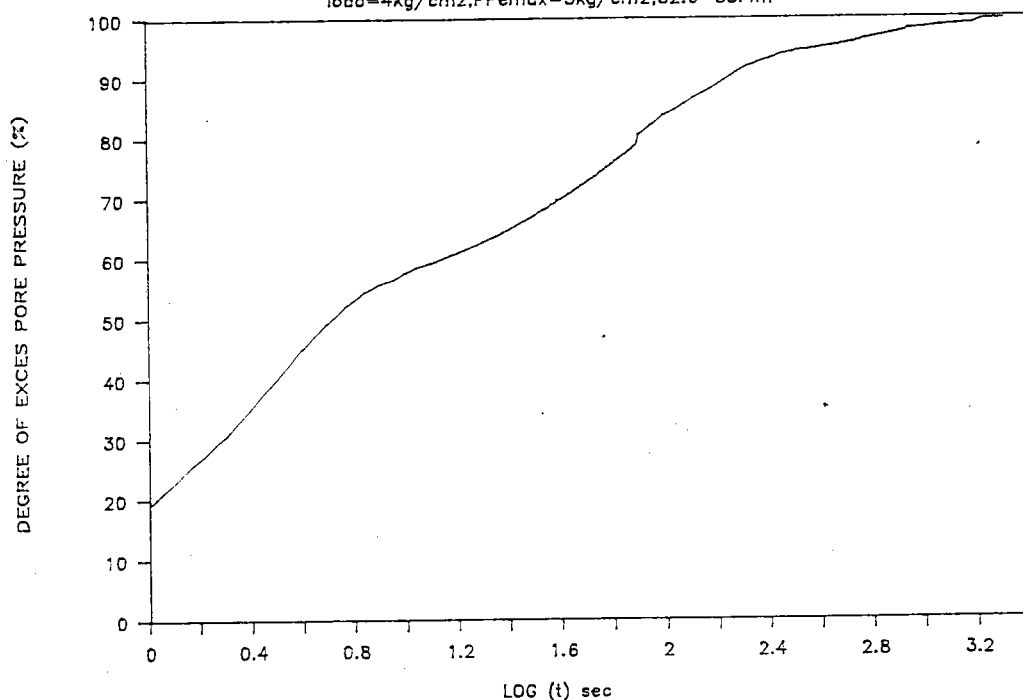
# YI-WU,T11-2,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=2kg/cm<sup>2</sup>,PPemcx=1kg/cm<sup>2</sup>,52.6~53.4m



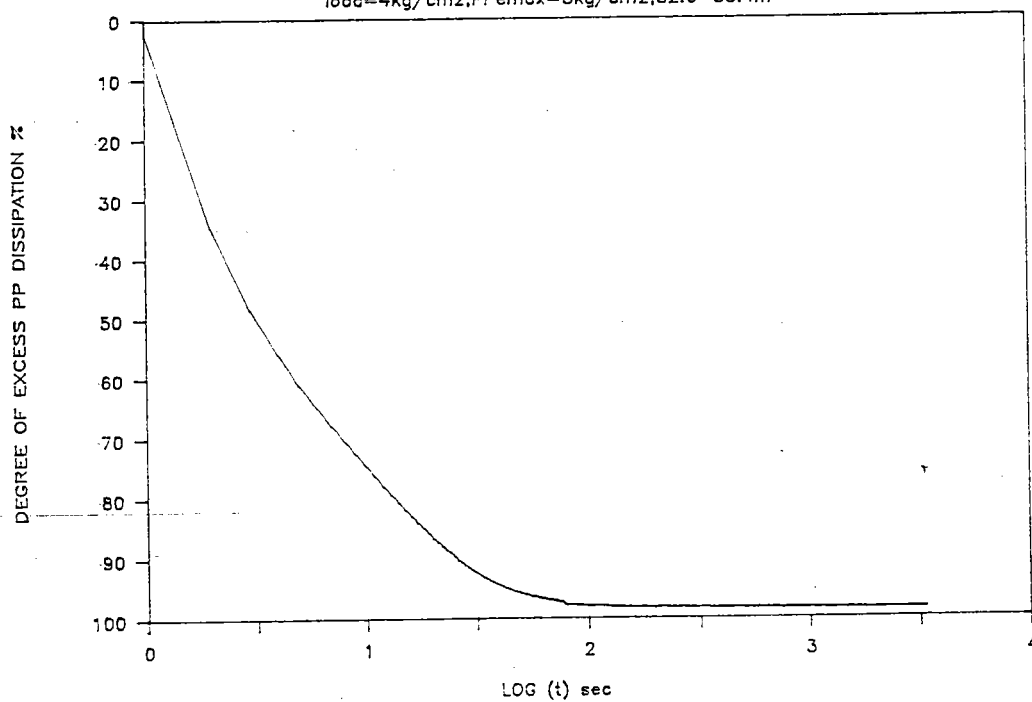
# YI-WU,T11-2,EQUAL STRAN,VERTICAL 1-WAY

load=4kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=3kg/cm<sup>2</sup>,52.6-53.4m



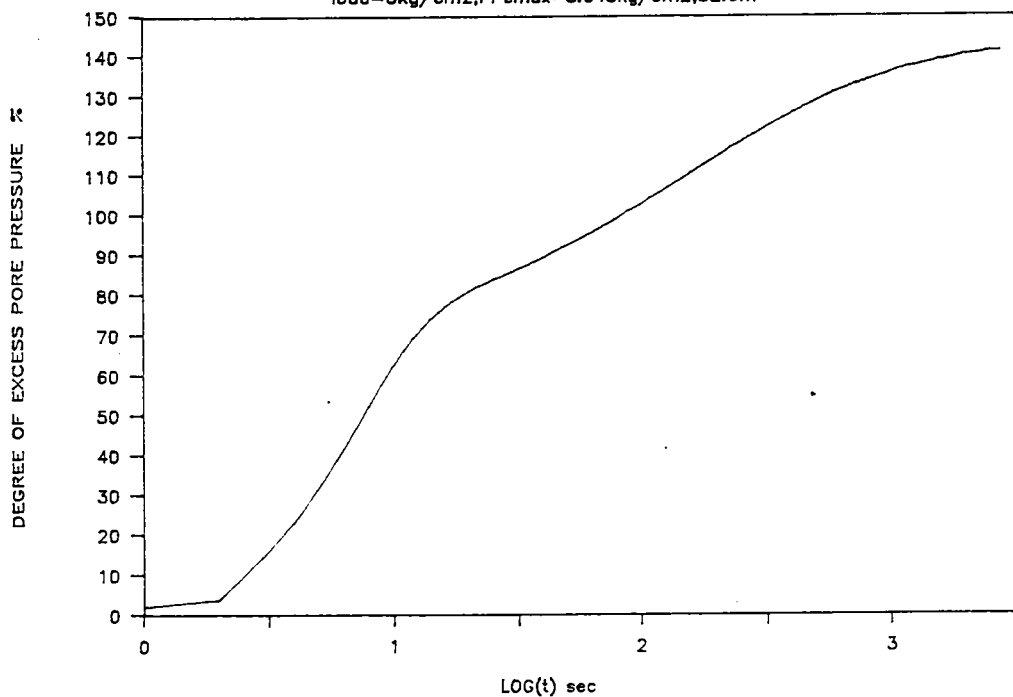
# YI-WU,T11-2,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=4kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=3kg/cm<sup>2</sup>,52.6-53.4m



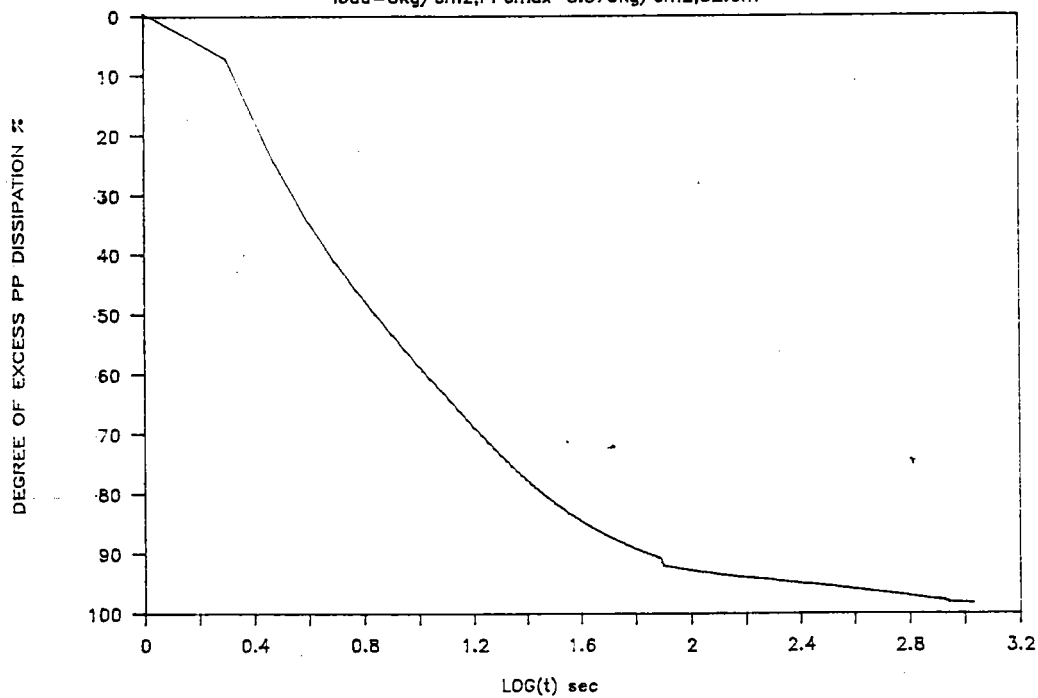
# YI-WU,T11-2,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=8kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=5.643kg/cm<sup>2</sup>,52.6m



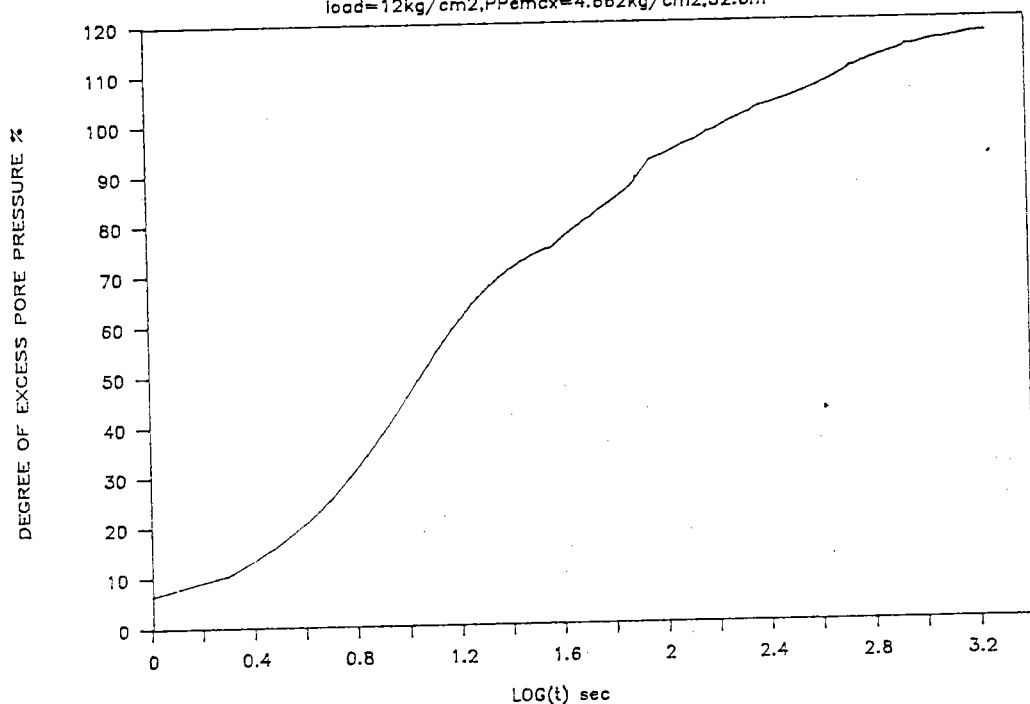
# YI-WU,T11-2,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=8kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=5.575kg/cm<sup>2</sup>,52.6m



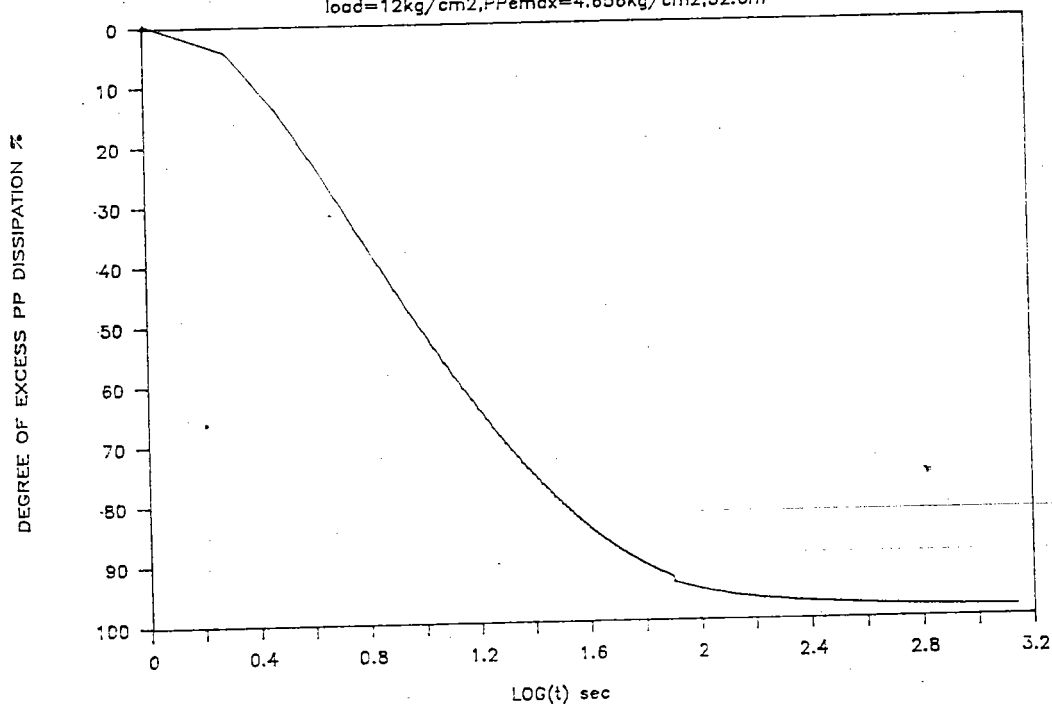
# YI-WU, T11-2, EQUAL STRAIN, VERTICAL 1-WAY

load = 12 kg/cm<sup>2</sup>, PP<sub>emcx</sub> = 4.662 kg/cm<sup>2</sup>, 52.6m



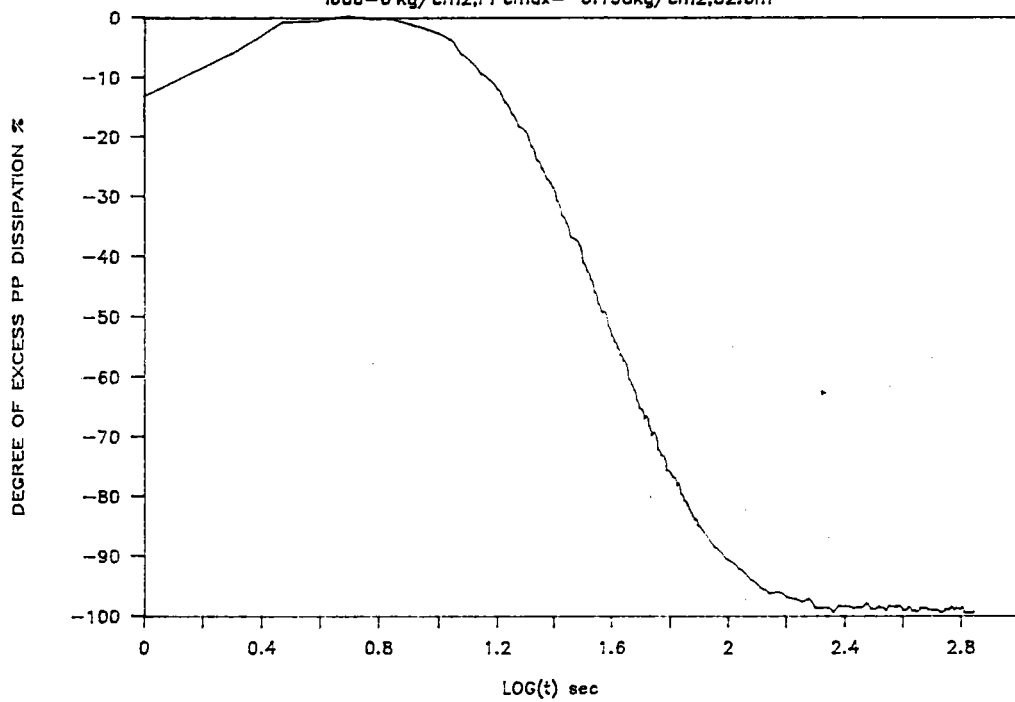
# YI-WU, T11-2, EQUAL STRAIN, VERTICAL 1-WAY

load = 12 kg/cm<sup>2</sup>, PP<sub>emax</sub> = 4.656 kg/cm<sup>2</sup>, 52.6m



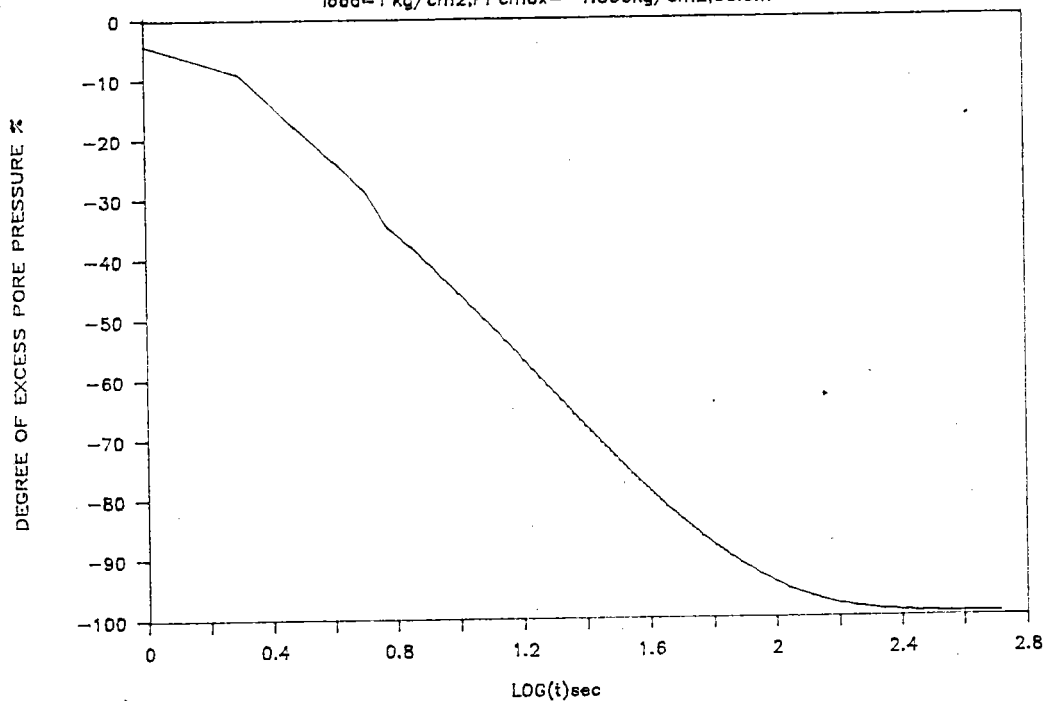
# YI-WU,T11-2,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=6'kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=-0.198kg/cm<sup>2</sup>,52.6m



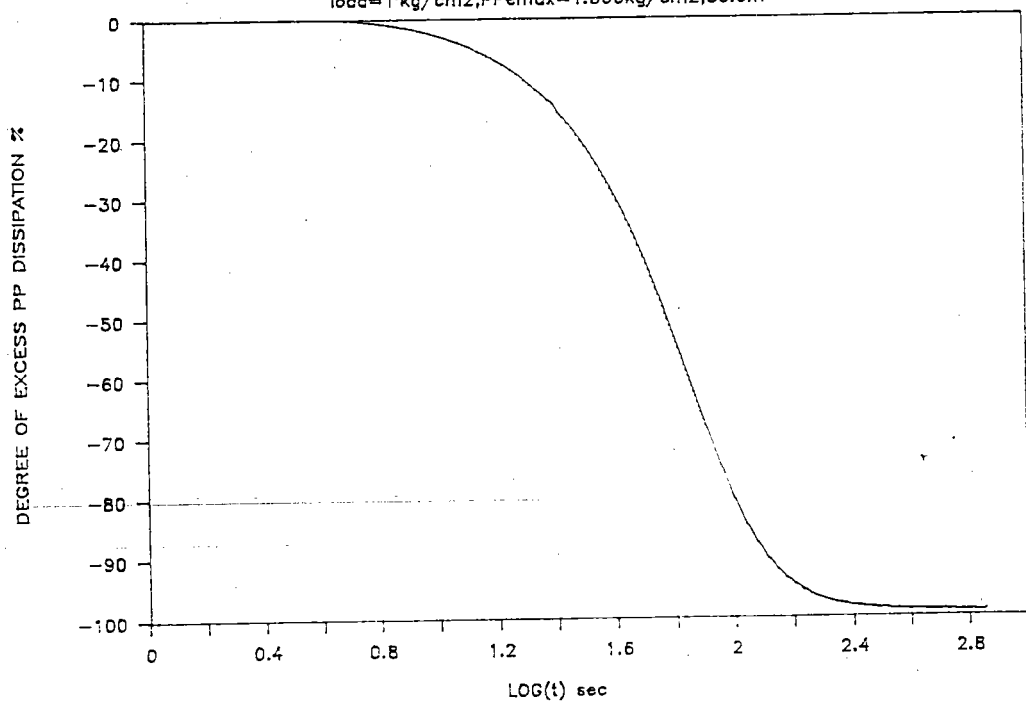
# YI-WU,T11-2,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=1'kg/cm2,PPemax=-1.566kg/cm2,53.6m



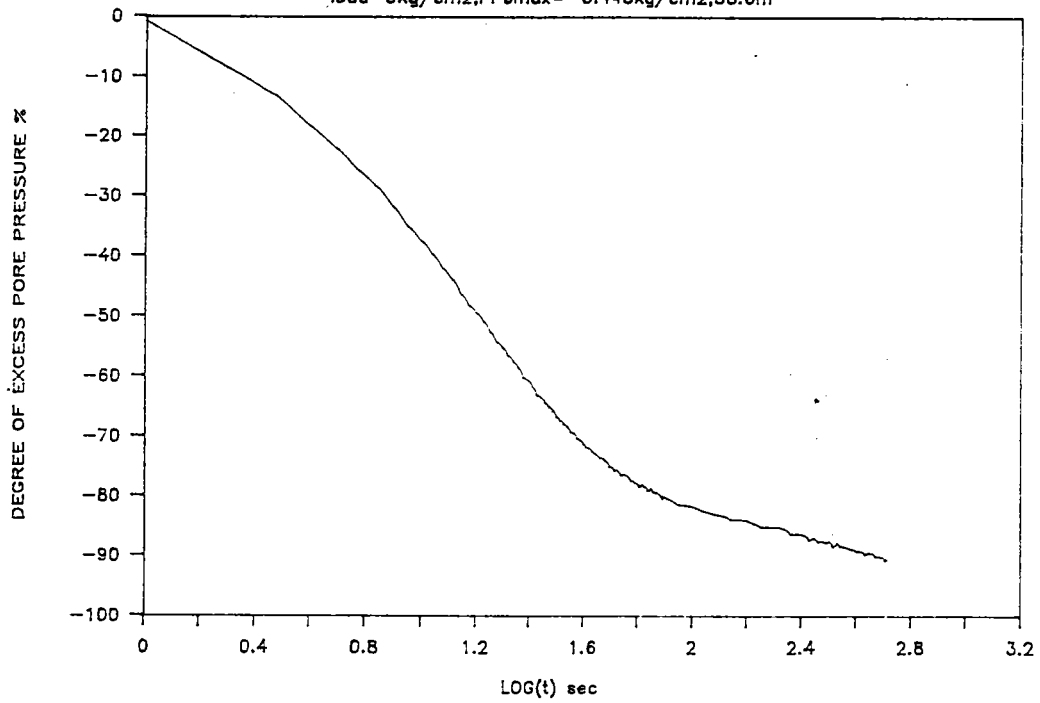
# YI-WU,T11-2,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=1'kg/cm2,PPemax=1.566kg/cm2,53.6m



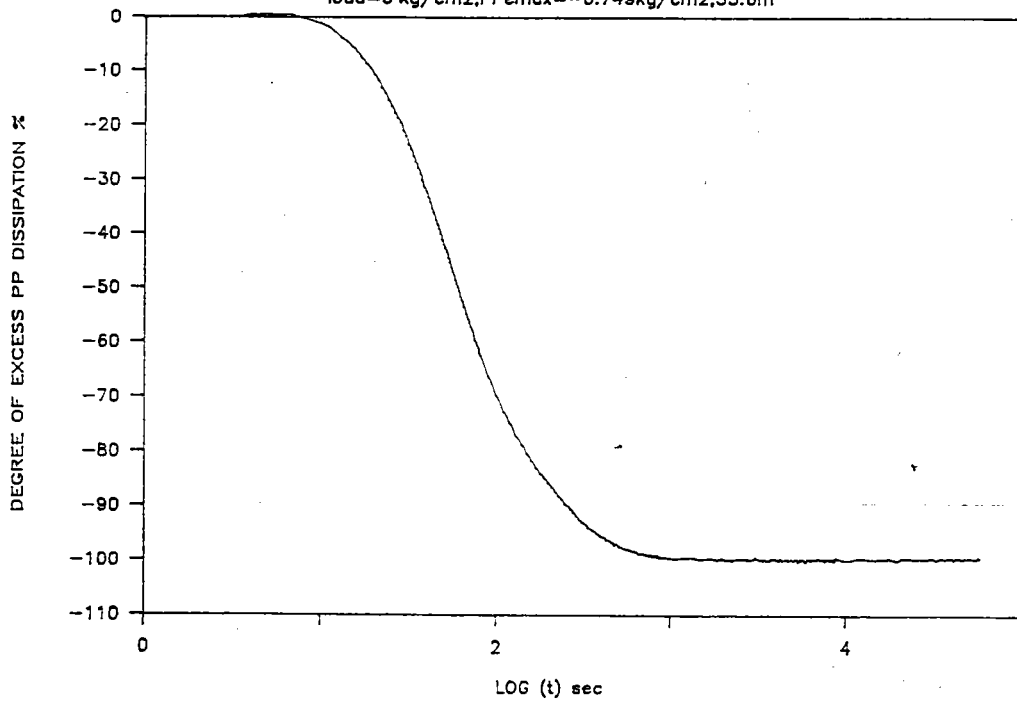
# YI-WU, EQUALL STRAIN, VERTICAL 1-WAY

load=0'kg/cm2, PPemax=-0.445kg/cm2, 53.6m



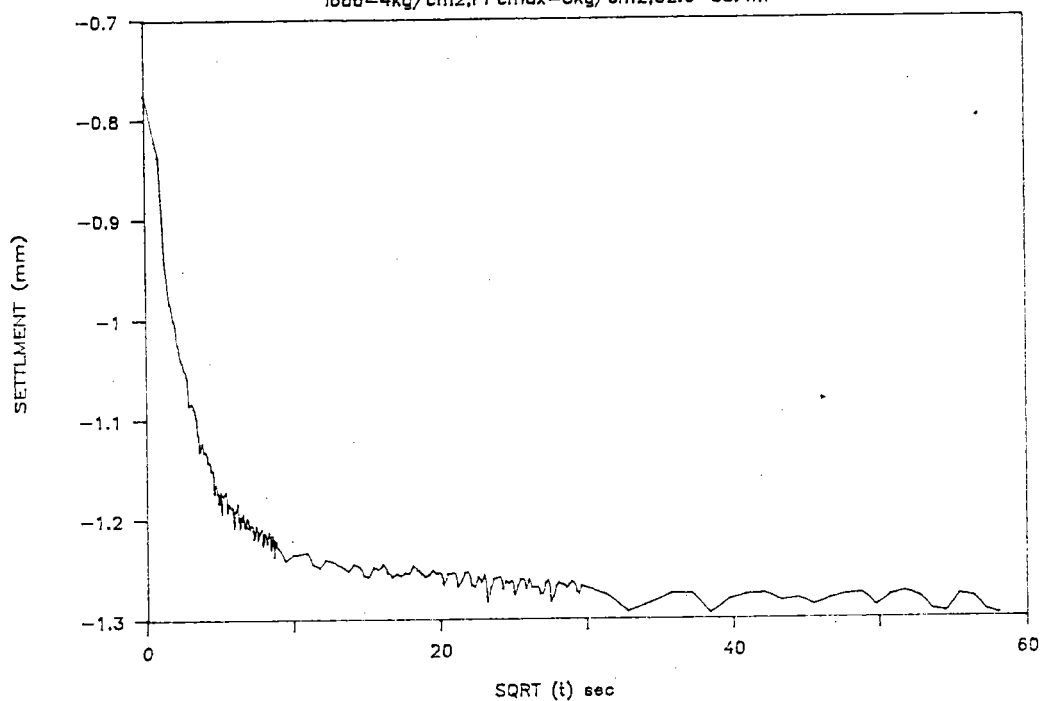
# YI-WU, EQUAL STRAIN, VERTICAL 1-WAY

load=0'kg/cm2, PPemax=-0.749kg/cm2, 53.6m



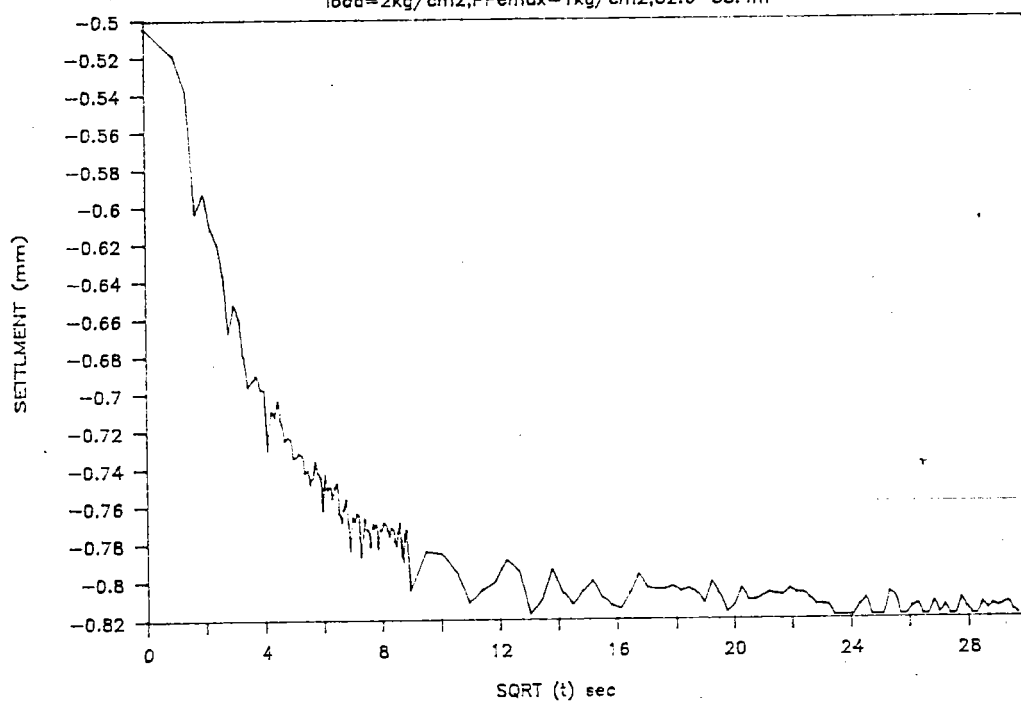
# YI-WU,T11-2,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=4kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=3kg/cm<sup>2</sup>,52.6-53.4m



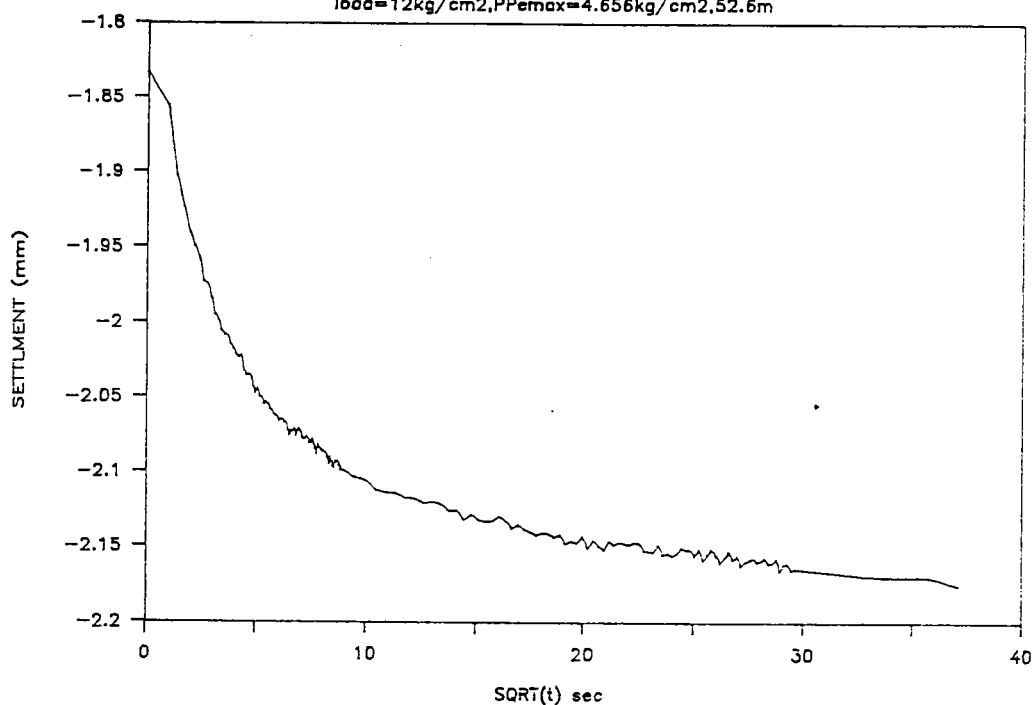
# YI-WU,T11-2,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=2kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=1kg/cm<sup>2</sup>,52.6-53.4m



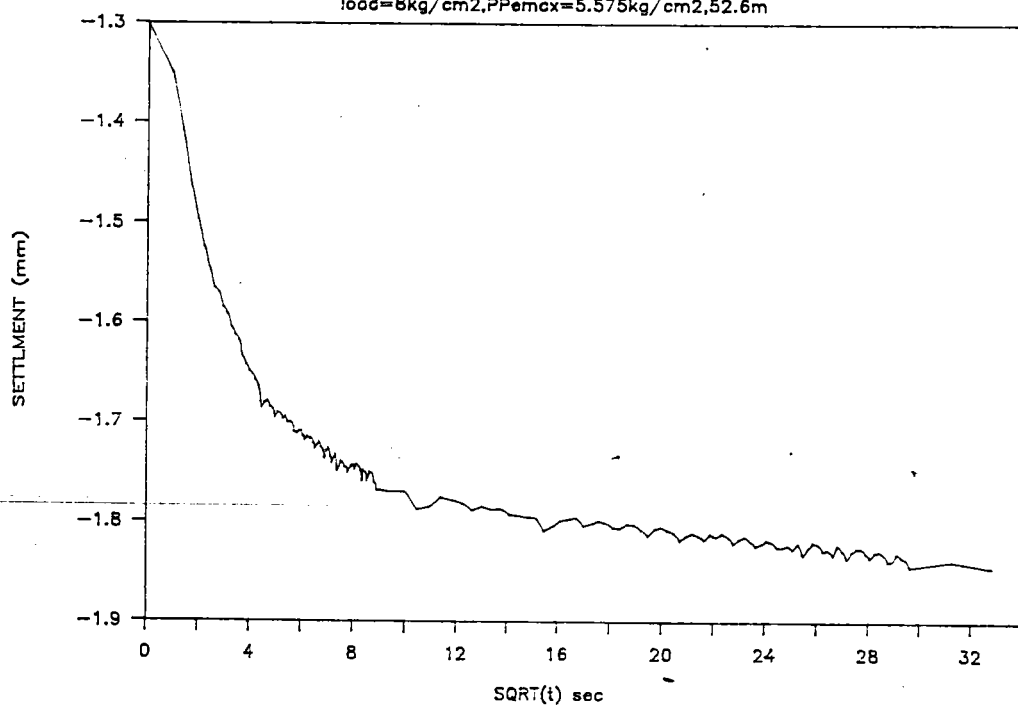
# YI-WU,T11-2,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=12kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=4.656kg/cm<sup>2</sup>,52.6m



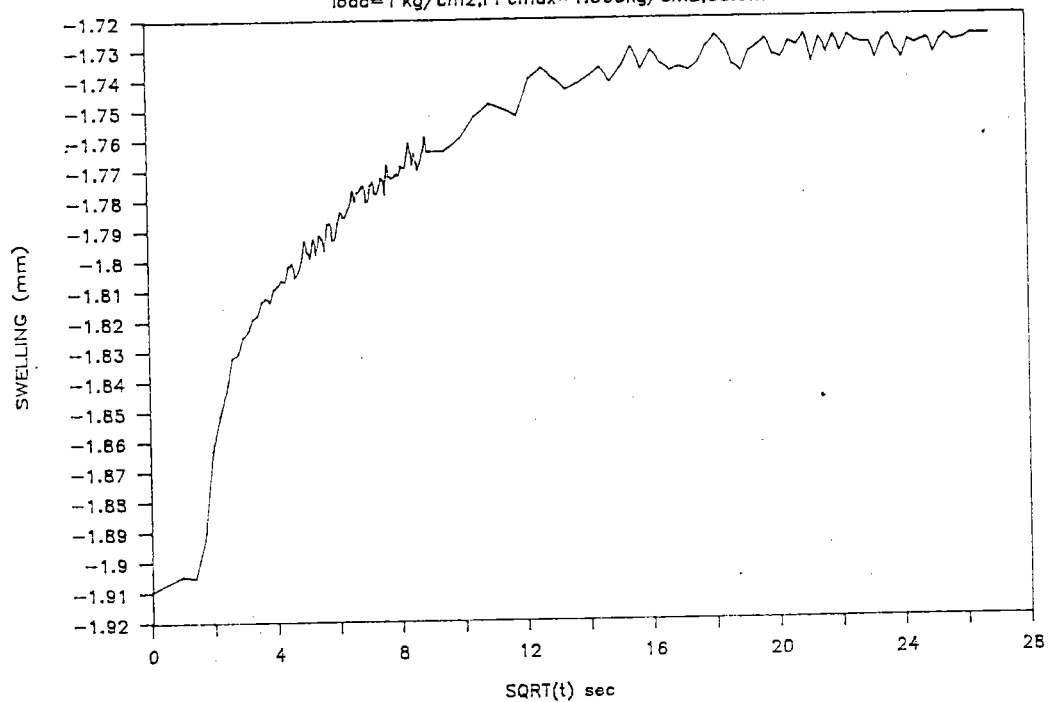
# YI-WU,T11-2,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=6kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=5.575kg/cm<sup>2</sup>,52.6m



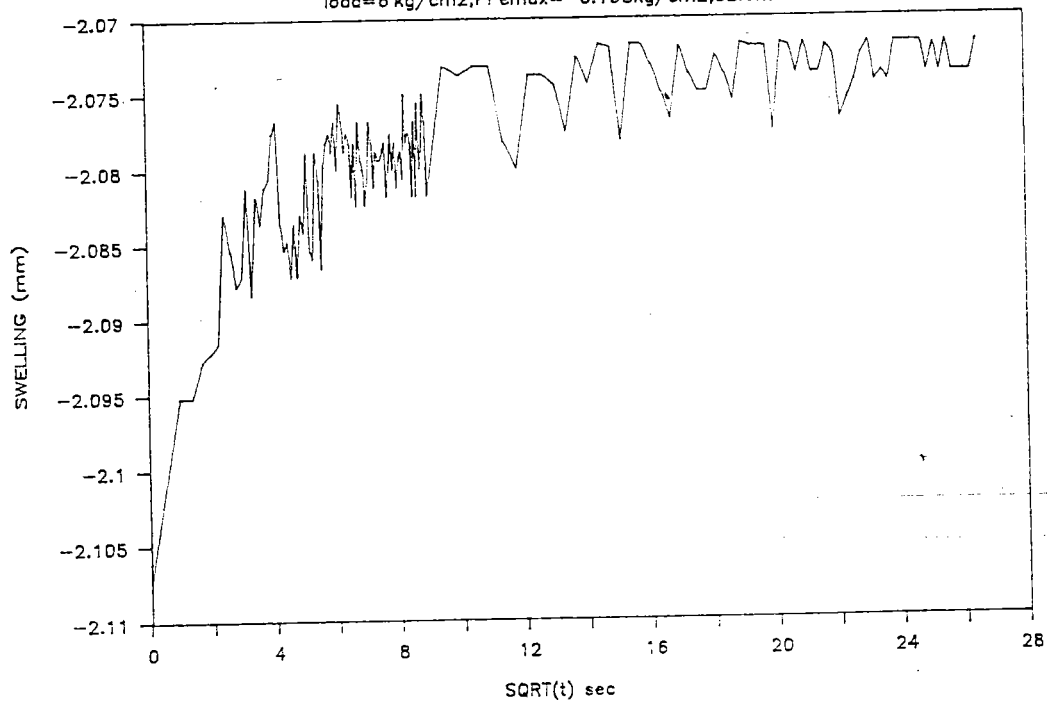
# YI-WU,T11-2,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=1'kg/cm2,PPemax=1.566kg/cm2,53.6m



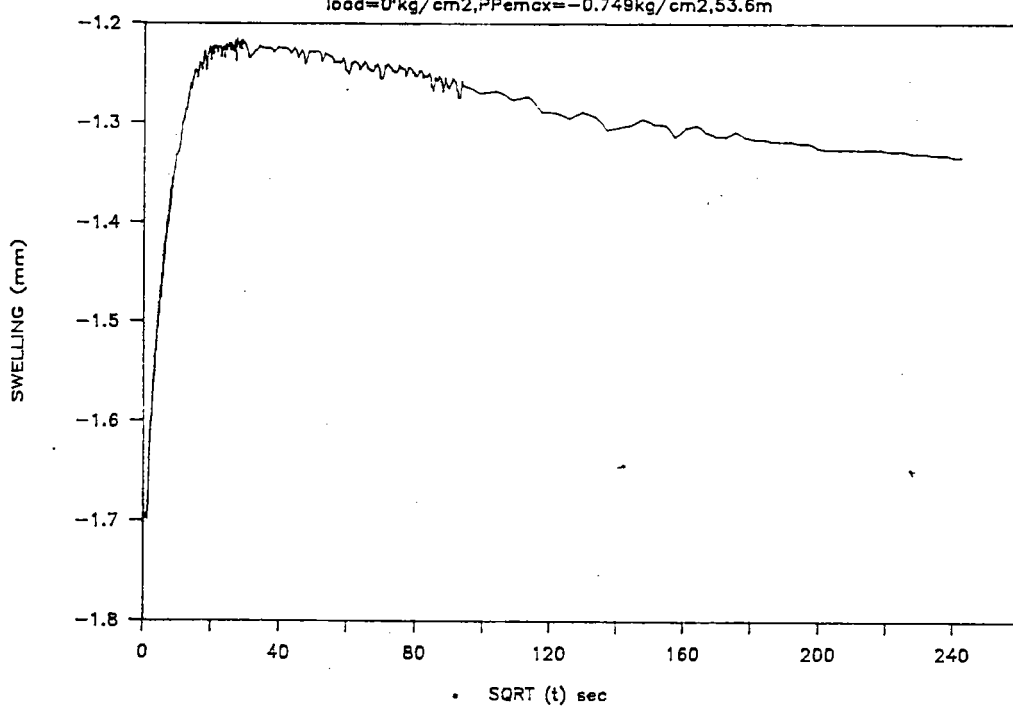
# YI-WU,T11-2,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=6'kg/cm2,PPemax=-0.198kg/cm2,52.6m



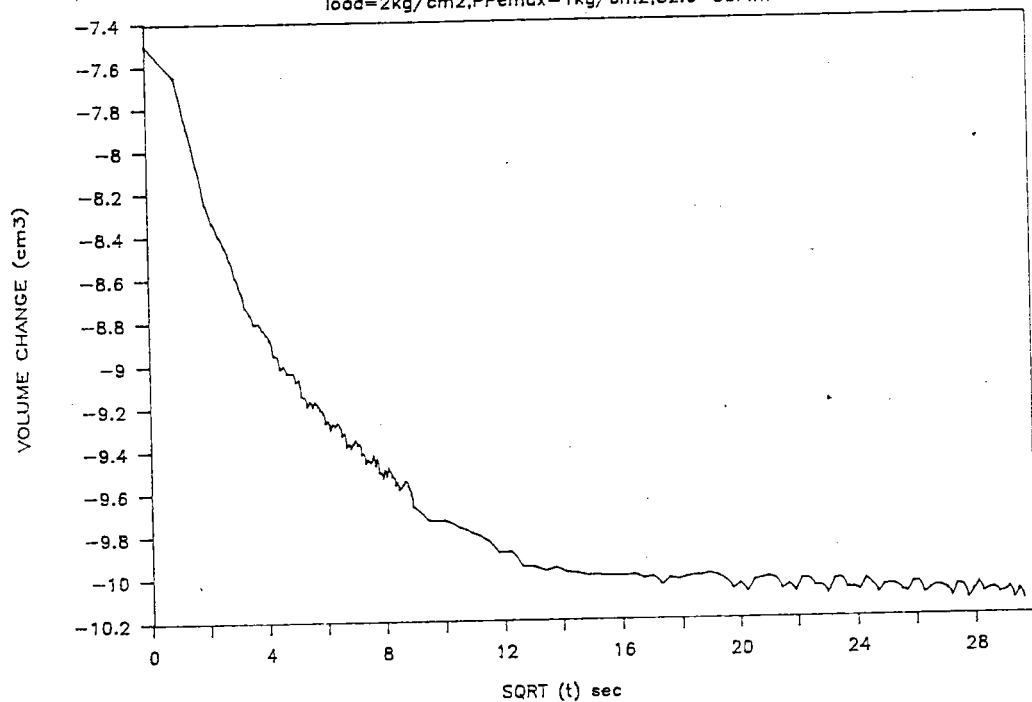
# YI-WU, EQUAL STRAIN, VERTICAL 1-WAY

load=0'kg/cm<sup>2</sup>, P<sub>P</sub>max=-0.749kg/cm<sup>2</sup>, 53.6m



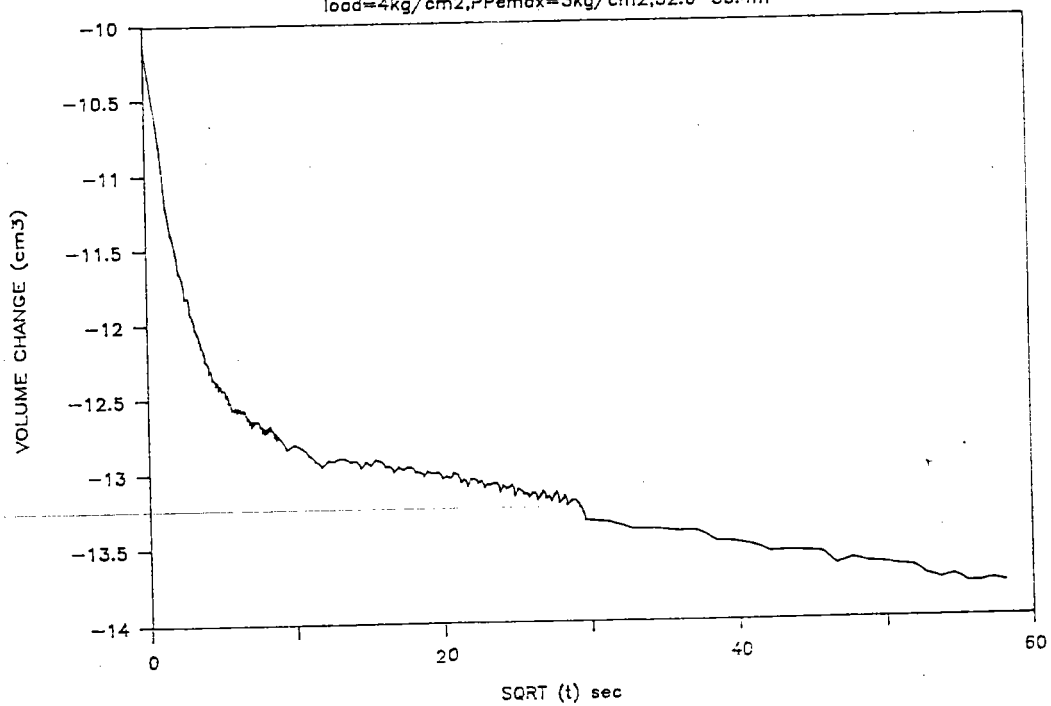
# YI-WU,T11-2,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=2kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=1kg/cm<sup>2</sup>,52.6-53.4m



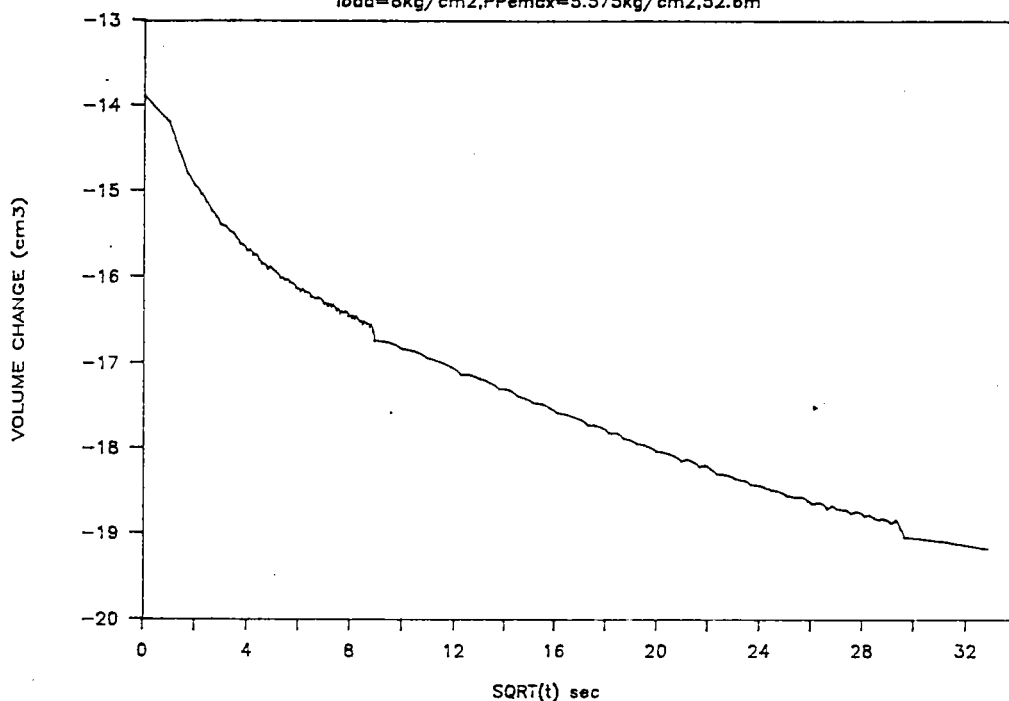
# YI-WU,T11-2,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=4kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=3kg/cm<sup>2</sup>,52.6-53.4m



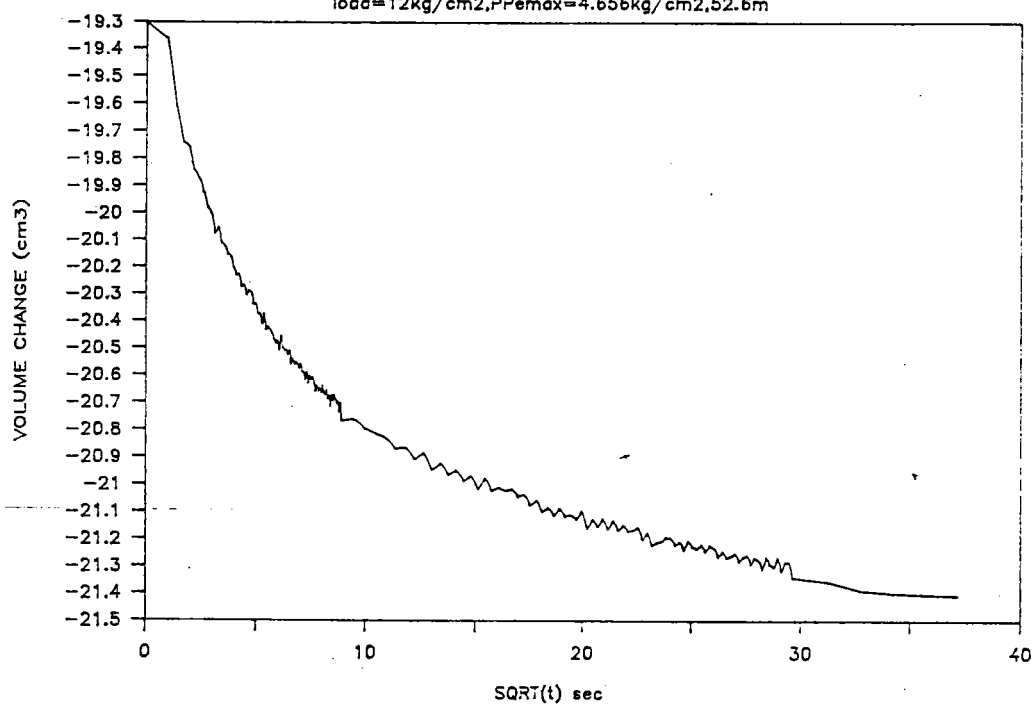
# YI-WU,T11-2,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=8kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=5.575kg/cm<sup>2</sup>,52.6m



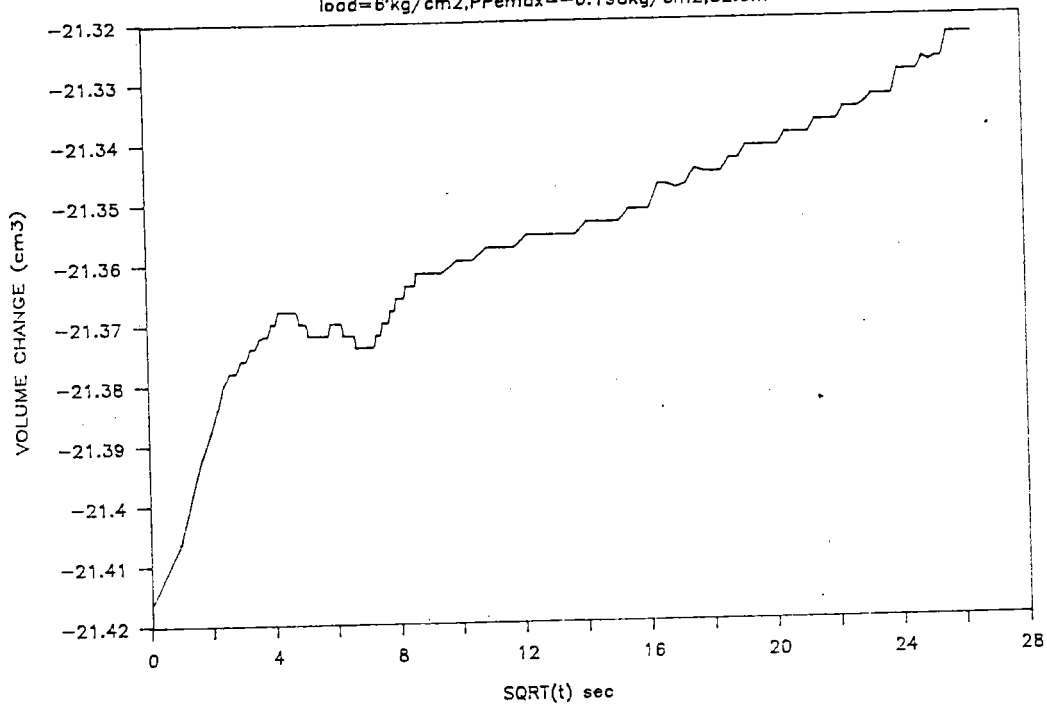
# YI-WU,T11-2,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=12kg/cm<sup>2</sup>,PPemax=4.656kg/cm<sup>2</sup>,52.6m



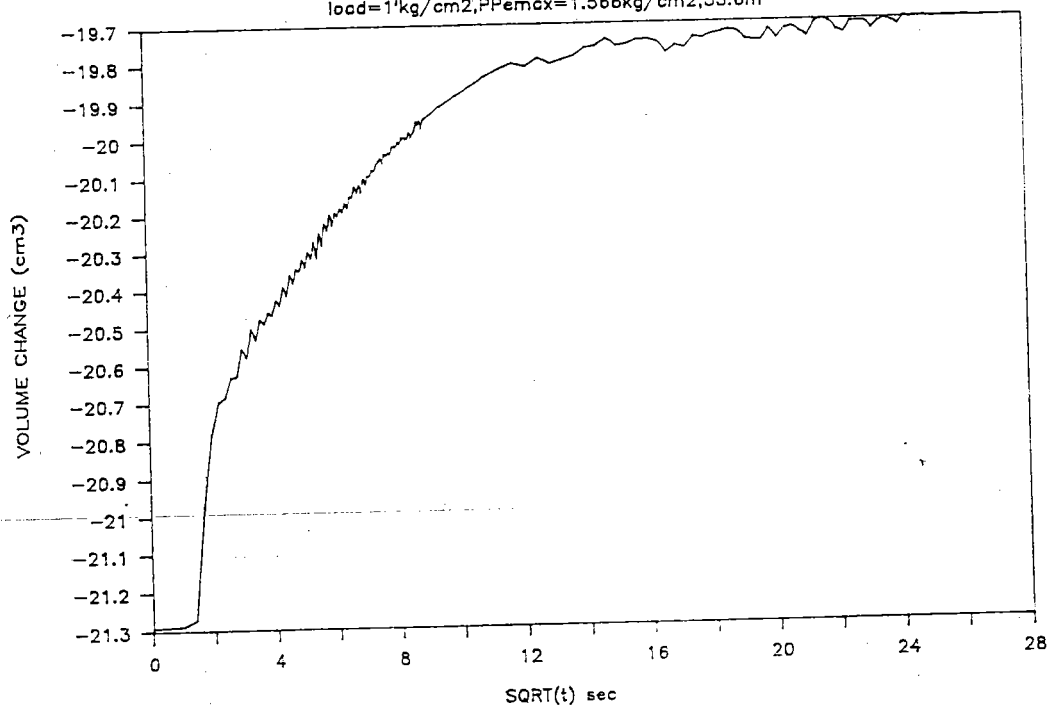
# YI-WU,T11-2,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=6'kg/cm2,PPemax=-0.198kg/cm2,52.6m



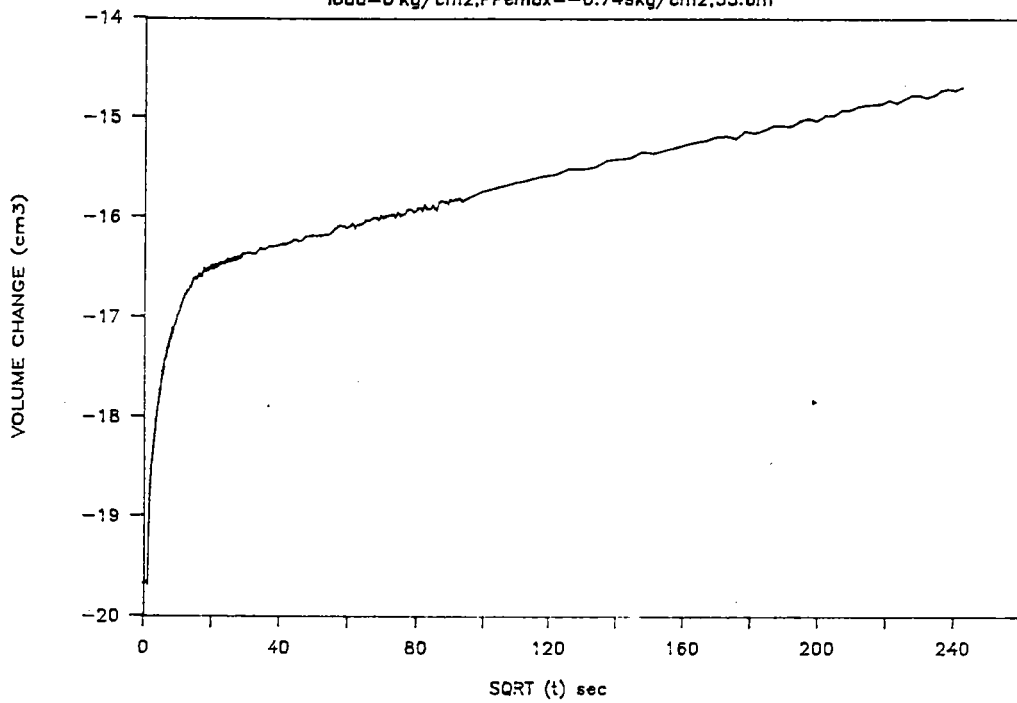
# YI-WU,T11-2,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=1'kg/cm2,PPemax=1.566kg/cm2,53.6m



# YI-WU, EQUAL STRAIN, VERTICAL 1-WAY

load=0'kg/cm<sup>2</sup>, PPemax=-0.749kg/cm<sup>2</sup>, 53.6m



## 附錄3：傳統式壓密試驗資料

# OEDOMETER CONSOLIDATION TEST

26/06/81

Job ref. YI-WU  
Operator LAY  
Sample diameter 63.5mm

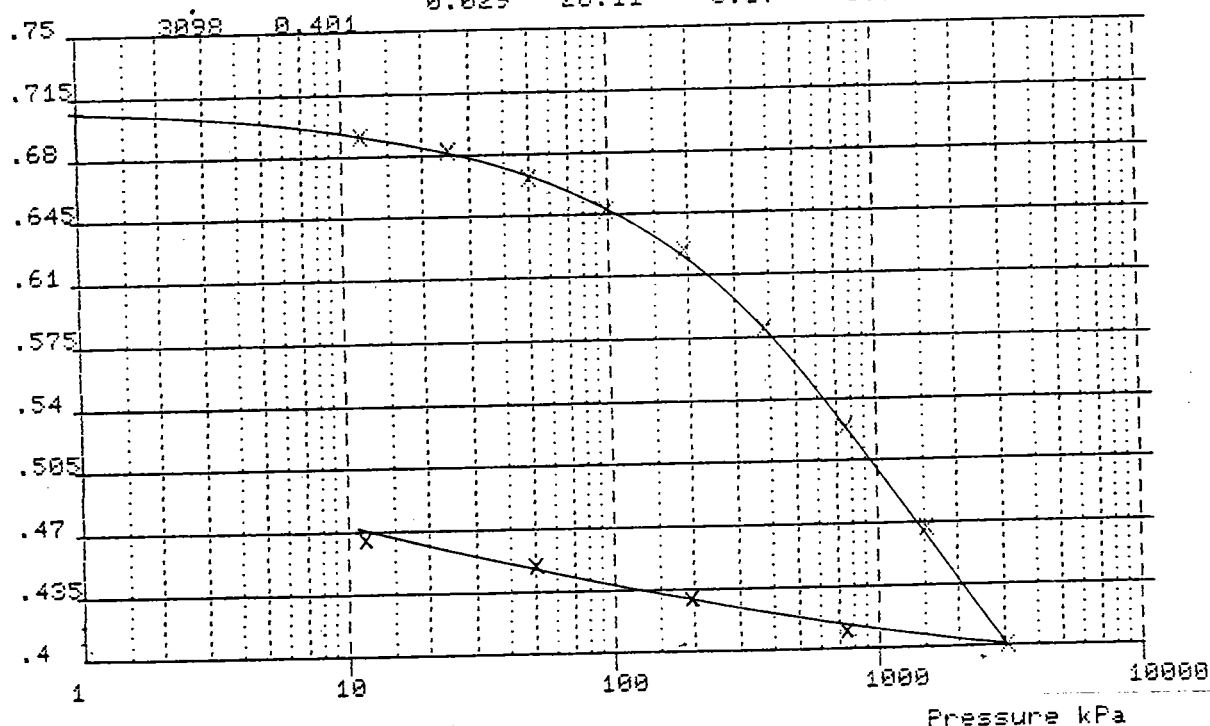
Sample No. T-5  
Start date 15/06/81  
Sample height 20 mm

Initial density 2.012 Mg/m<sup>3</sup> m/c 27.25 %

SG. of solids 2.723

Degree of saturation 102.8 %

| Pressure<br>kPa | Voids<br>Ratio | MV<br>m <sup>3</sup> /MN | CV<br>m <sup>3</sup> /Year | Compression ratios |         |           |
|-----------------|----------------|--------------------------|----------------------------|--------------------|---------|-----------|
|                 |                |                          |                            | Initial            | Primary | Secondary |
| 0               | 0.709          | 0.828                    | 14.75                      | 0.27               | 0.62    | 0.11      |
| 12              | 0.692          | 0.409                    | 23.31                      | 0.46               | 0.37    | 0.17      |
| 25              | 0.683          | 0.356                    | 13.89                      | 0.18               | 0.64    | 0.18      |
| 50              | 0.668          | 0.232                    | 21.65                      | 0.22               | 0.57    | 0.21      |
| 99              | 0.649          | 0.146                    | 19.69                      | 0.28               | 0.51    | 0.21      |
| 194             | 0.626          | 0.140                    | 25.31                      | 0.18               | 0.49    | 0.33      |
| 387             | 0.582          | 0.093                    | 35.33                      | 0.27               | 0.45    | 0.28      |
| 774             | 0.525          | 0.048                    | 28.73                      | 0.33               | 0.43    | 0.24      |
| 1549            | 0.468          | 0.029                    | 28.11                      | 0.37               | 0.37    | 0.26      |



Signed.....

Date.....

# OEDOMETER CONSOLIDATION TEST

26/06/81

Job ref. YI-WU  
Operator LAY  
Sample diameter 63.5mm  
Swelling pressure 2 kPa

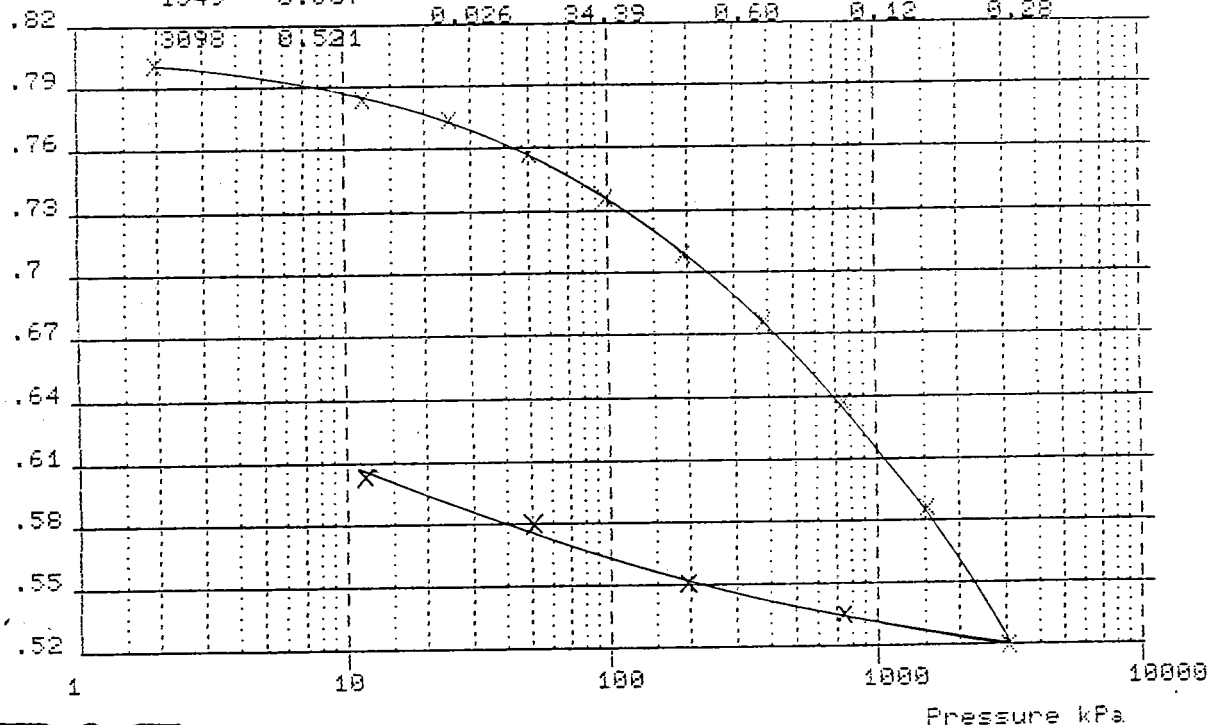
Sample No. I-6  
Start date 15/06/81  
Sample height 28 mm

Initial density 1.966 Mg/m<sup>3</sup> m/c 31.55 %

SG. of solids 2.728

Degree of saturation 104.3 %

| Pressure<br>kPa | Voids<br>Ratio<br>e | MV<br>m <sup>3</sup> /MN | CV<br>m <sup>3</sup> /Year | Compression ratios |         |           |
|-----------------|---------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------|---------|-----------|
|                 |                     |                          |                            | Initial            | Primary | Secondary |
| 2               | 0.802               | 0.943                    | 29.87                      | 0.49               | 0.37    | 0.14      |
| 12              | 0.785               | 0.474                    | 10.78                      | 0.43               | 0.51    | 0.06      |
| 25              | 0.774               | 0.368                    | 36.18                      | 0.50               | 0.26    | 0.24      |
| 50              | 0.758               | 0.243                    | 35.77                      | 0.52               | 0.23    | 0.25      |
| 99              | 0.737               | 0.163                    | 38.65                      | 0.57               | 0.17    | 0.26      |
| 194             | 0.718               | 0.099                    | 40.34                      | 0.63               | 0.09    | 0.28      |
| 387             | 0.677               | 0.068                    | 38.59                      | 0.59               | 0.13    | 0.28      |
| 774             | 0.638               | 0.040                    | 41.22                      | 0.58               | 0.13    | 0.29      |
| 1549            | 0.587               | 0.026                    | 34.39                      | 0.60               | 0.12    | 0.28      |



Signed.....

Date.....

# OEDOMETER CONSOLIDATION TEST

19/02/81

Job ref. ROW-T-10-4  
Operator SU.GE.DE  
Sample diameter 63.5mm

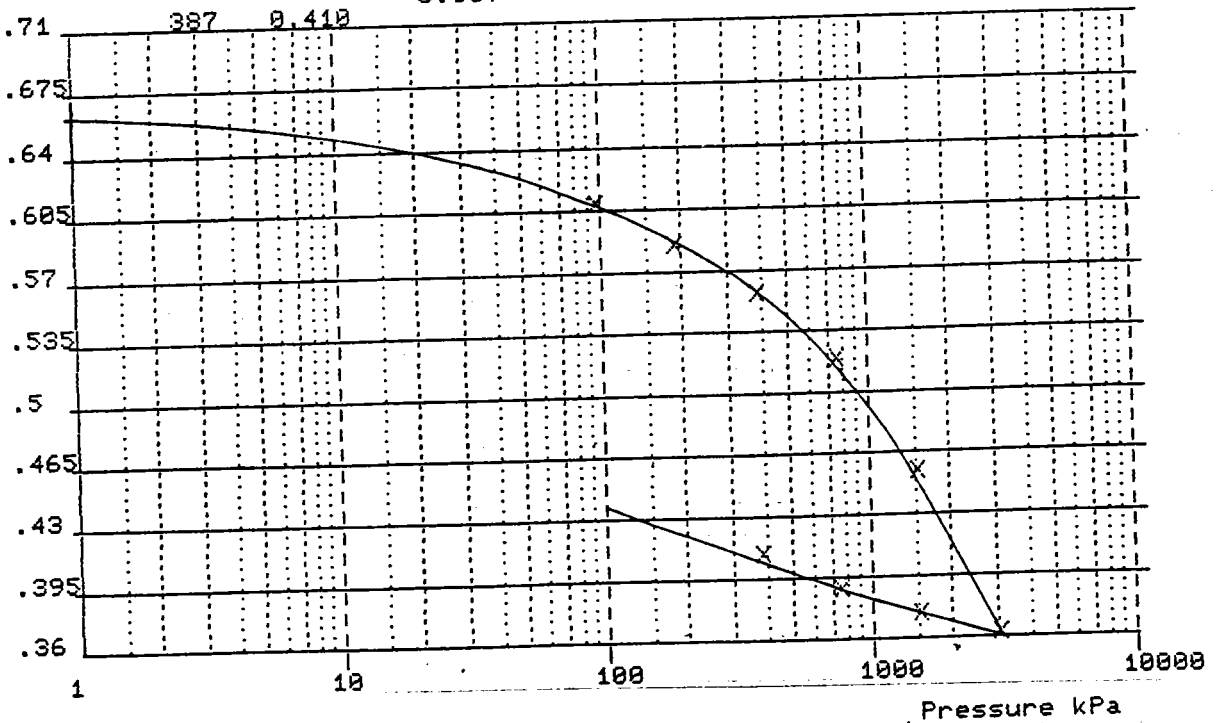
Sample No. T-10-4  
Start date 11/02/81  
Sample height 20.3 mm

Initial density 2.035 Mg/m<sup>3</sup> m/c 24.93 %

SG. of solids 2.71

Degree of saturation 101.9 %

| Pressure<br>kPa | Voids<br>Ratio<br>e | MV<br>m <sup>3</sup> /MN | CV<br>m <sup>3</sup> /Year | Compression ratios |         |           |
|-----------------|---------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------|---------|-----------|
|                 |                     |                          |                            | Initial            | Primary | Secondary |
| 0               | 0.663               | 0.340                    | 5.61                       | 0.25               | 0.74    | 0.01      |
| 97              | 0.608               | 0.148                    | 8.36                       | 0.10               | 0.75    | 0.15      |
| 193             | 0.585               | 0.091                    | 10.54                      | 0.13               | 0.77    | 0.10      |
| 387             | 0.557               | 0.063                    | 11.67                      | 0.13               | 0.74    | 0.13      |
| 774             | 0.519               | 0.053                    | 9.26                       | 0.08               | 0.74    | 0.18      |
| 1549            | 0.456               | 0.040                    | 7.61                       | 0.05               | 0.75    | 0.20      |
| 3098            | 0.364               | 0.005                    | 0.00                       | 0.00               | 0.00    | 1.00      |
| 1549            | 0.375               | 0.014                    | 0.00                       | 0.00               | 0.00    | 1.00      |
| 774             | 0.390               | 0.037                    | 0.00                       | 0.00               | 0.00    | 1.00      |
| 387             | 0.410               |                          |                            |                    |         |           |



Signed.....

Date.....