

海岸土層下陷行為與預測之研究

計劃主持人：李豐博

協同主持人：謝明志、賴聖耀

研究人員：蘇吉立、陳志芳

助理人員：陳義松、李春榮

張阿平、張惠華

台灣省政府交通處港灣技術研究所

台中 梧棲

中華民國八十二年六月

目 錄

一、前言	1
二、相關理論研究	3
2-1 有效應力增量分佈之研究	3
2-1-1 地表建築物荷重引致之有效應力增量分佈	3
2-1-2 填土荷重引致之有效應力增量分佈	5
2-1-3 超抽地下水引致之有效應力增量分佈	5
2-2 地層下陷行為之探討	8
2-2-1 地表建築物荷重及填土荷重之下陷行為	8
2-2-2 超抽地下水之下陷行為	8
2-3 地層下陷分析方法	12
2-3-1 理論分析法	12
2-3-2 統計經驗法	14
三、研究規劃與試驗	17
3-1 研究規劃概況	17
3-2 室內Rowe cell 壓密試驗	17
3-2-1 概述	17
3-2-2 試驗使用設備	23
3-2-3 試驗步驟	25
3-2-4 試驗結果之計算方法	26
3-3 現地水壓錐貫入試驗與消散試驗	30
3-3-1 概述	30
3-3-2 試驗使用設備	30
3-3-3 試驗步驟	30
3-3-4 試驗結果之計算方法	32

四、研究結果與討論	39
4-1 現地水壓錐試驗結果分析	39
4-1-1 地層研判	39
4-1-2 消散曲線分佈	39
4-1-3 靜水壓力分佈	44
4-1-4 曲線斜率因數之研究	44
4-1-5 水平壓密係數	51
4-2 Rowe cell 壓密試驗結果分析	51
4-2-1 壓密曲線分佈與壓密係數	51
4-2-2 壓密係數與壓力之關係	51
4-2-3 水平壓密係數與垂直壓密係數之關係	61
4-3 傳統壓密試驗結果分析	68
4-4 地下水位與地層下陷觀測結果分析	71
五、結論與建議	78
六、參考文獻	80
七、附錄	84
附錄 A 土壤之粒徑分佈資料	
附錄 B 水壓錐消散試驗資料	
附錄 C Rowe cell 壓密試驗資料	
附錄 D 傳統式壓密試驗資料	

摘 要

台灣沿海地區地層下陷問題以超抽地下水引致區域性之地層下陷最爲嚴重，超抽地下水引致之地層下陷，一般可分爲超抽自由水層引致之淺層沉陷及超抽受壓水層引致之深層沉陷兩類。本研究深入闡釋各種原因引致之地層下陷行爲，並探討地下水位變化與地層下陷之關係。

壓密係數在地層下陷分析中，爲一重要參數，本研究利用Rowe氏液壓式壓密試驗系統，針對台灣西部海岸土層，評估在不同排水方式、不同邊界條件下之土層壓縮特性，及不同方向壓縮特性之相關性，並結合現地水壓錐消散試驗及傳統壓密試驗，相互比較試驗結果。

由本研究試驗分析發現，利用水壓錐消散曲線之斜率因數，可在較短之試驗時間內推求得土層壓密係數，由Rowe cell 試驗結果得知，無層次性粘土之水平壓密係數與垂直壓密係數有相當高之相關性；不同之邊界條件得到不同之垂直壓密係數，剛性(等應變)單向排水之Rowe cell 試驗值與傳統壓密試驗值相當，但柔性(自由應變)單向排水之Rowe cell 試驗值約爲傳統壓密試驗值之2.8 倍。另由本研究分析雲林宜梧地區之地層下陷行爲，顯示在約民國78年前爲超抽自由水層引致之淺層沉陷，而78年之後下陷主要原因爲超抽受壓水層之深層沉陷，提供水資源開發利用與管制之參考。

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移動與下陷。近年來由於地下水大量之開發引致之地層下陷問題，在台灣各地區已是一種普遍現象，特別在沿海地區，由於社會經濟快速發展及土地資源之廣泛利用，不但養殖業者大量開發抽取超額之地下水導致愈演愈烈之地層下陷，而且有許多工業區及重大工程設施正在進行規劃與興建，一旦發生地層下陷，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層下陷行為特性之研究，乃為相當重要課題。

地層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。因此一般探討地層下陷問題，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。傳統上對地層下陷之評估，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，但實際上之地層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，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、相關理論研究

一般地層下陷之原因，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、填土荷重及過量抽取地下水引致之地層下陷等。依據世界各地研究觀察結果，大部分之地層下陷，皆因過量開發地下水資源而產生，台灣西南海岸地區之地層下陷亦然，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、彰化濱海地區等亦都有下陷問題，整個西海岸地區幾乎均有地層下陷現象。

一般而言，無論是地表建築物荷重或超抽地下水造成之地層下陷，大都因土層受到外力而產生壓縮所致，所以欲對地層下陷進行分析之前，首需對整體土層所受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 有效應力增量分佈之研究

從土壤力學中壓密理論的觀點來看，地層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，亦即有效應力增量存在之土層才有土壤壓密或壓縮現象，而有效應力所指為地層中土壤顆粒之間(即架構)所承受的應力，與孔隙水壓力共同組成地層中的總應力，一般認為只有有效應力的部份才會影響地層的架構，其改變為造成地層下陷的主因，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、填土荷重與超抽地下水，其所引致有效應力增量之分佈範圍及分佈情形，分述如下：

2-1-1 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

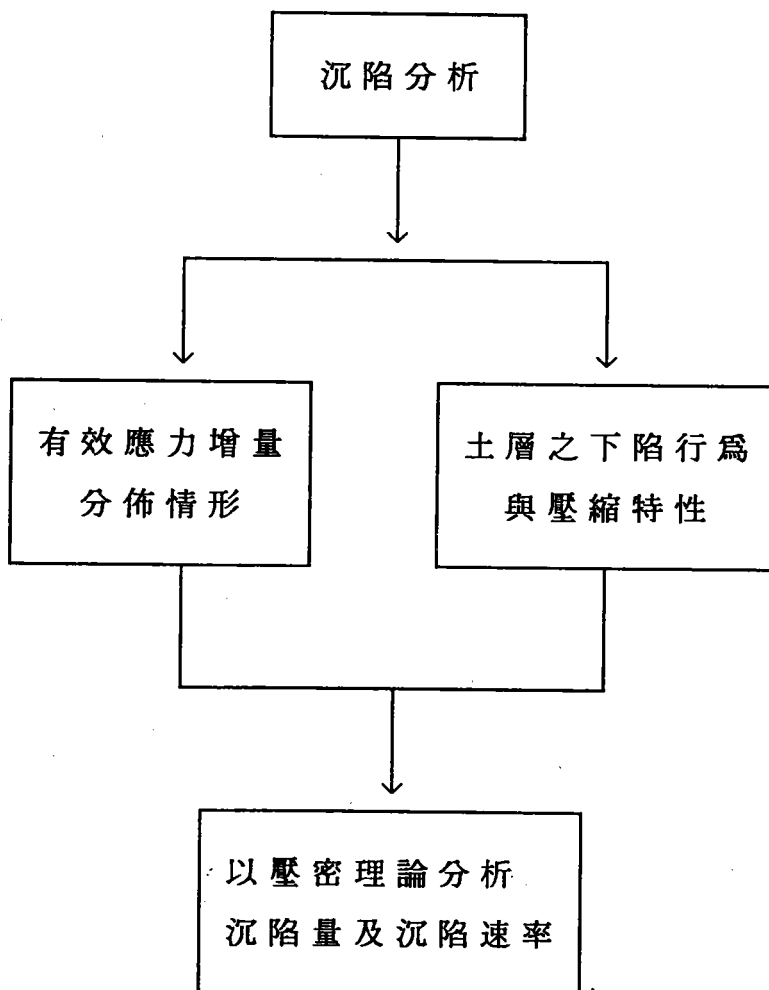


圖 2-1 沉陷分析之流程圖

0.1倍原有效應力 (σ'_{v0})，即 $\Delta\sigma = 0.1\sigma'_{v0}$ ；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，建築物寬度為B長度為L的矩形基礎，在基礎上作用的應力 σ_0 ，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：

$$\Delta\sigma_z = \frac{\sigma_0 BL}{(B+Z)(L+Z)}$$

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。

2-1-2 填土荷重引致之有效應力增量分佈

台灣西海岸海埔新生地之面積達數萬公頃，近年來由於社會經濟快速發展及土地資源之廣泛利用，有許多工業區及重大工程設施正在規劃與興建。這些重大工程基地，多由抽砂填造而成，例如已完成興建之台中火力發電廠場址，其抽砂填土厚度有4公尺多；高雄永安液化天然氣專用接收站之抽砂填土厚度高達10餘公尺；另外規劃興建中之高雄大林埔南星計劃，其填土厚度亦達8公尺以上。這些工程之填土面積皆有數十至數百公頃，由於填土造地皆為大區域性，土層受到填方影響在每一深度所產生之有效應力增量大致相同，其分佈情形如圖2-3所示。此種有效應力增量達到土層甚深之處，一般沉陷分析考慮，仍以應力增量等於0.1倍原有效應力（即 $\Delta\sigma = 0.1\sigma'_{v0}$ ）為限。

2-1-3 超抽地下水引致之有效應力增量分佈

超抽地下水引致地層下陷，一般可分為二類，一為自由水位下降引

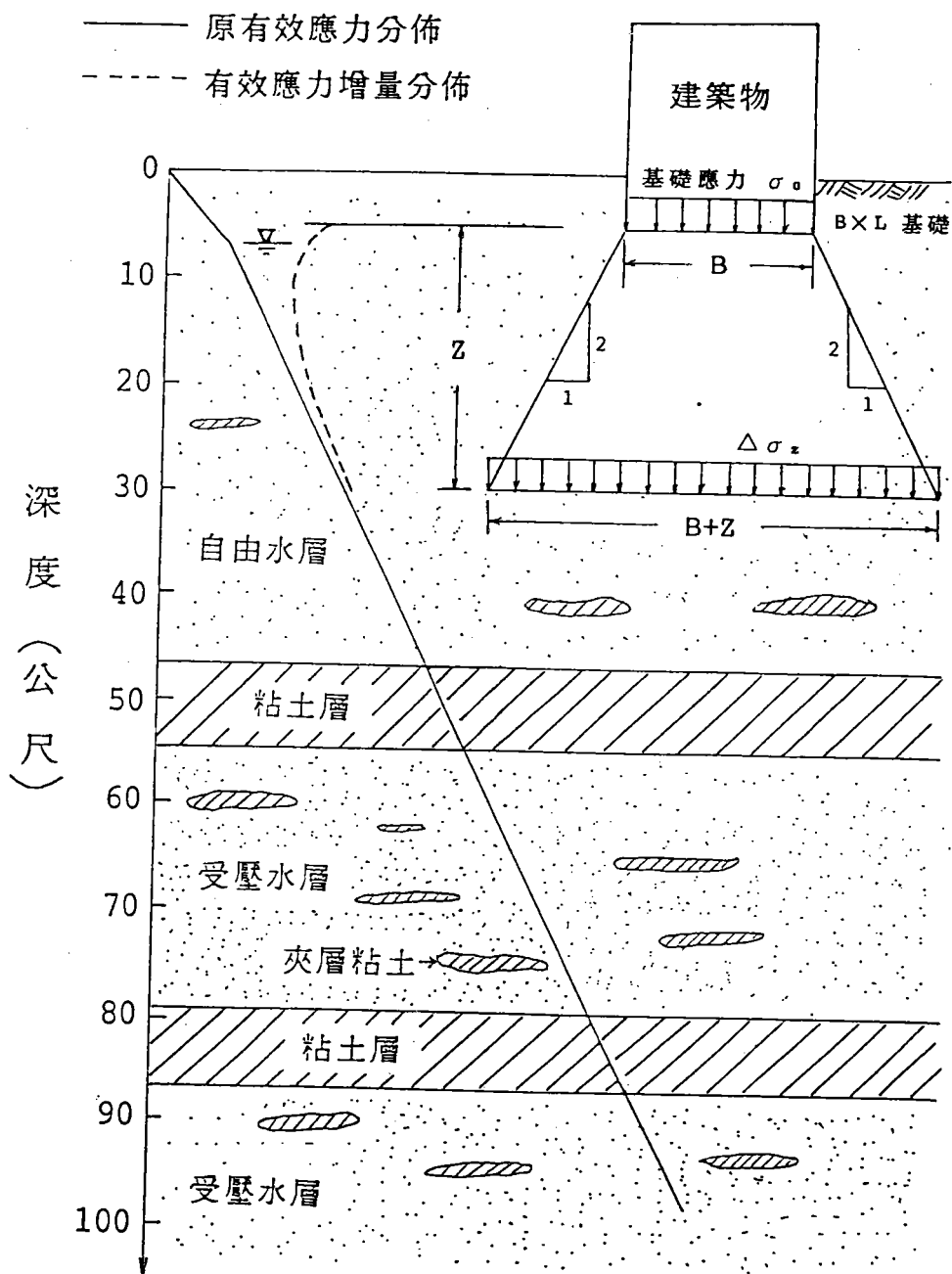


圖2-2 地表建築物荷重引致之有效應力增量分佈

—— 原有效應力分佈
 - - - - 有效應力增量分佈

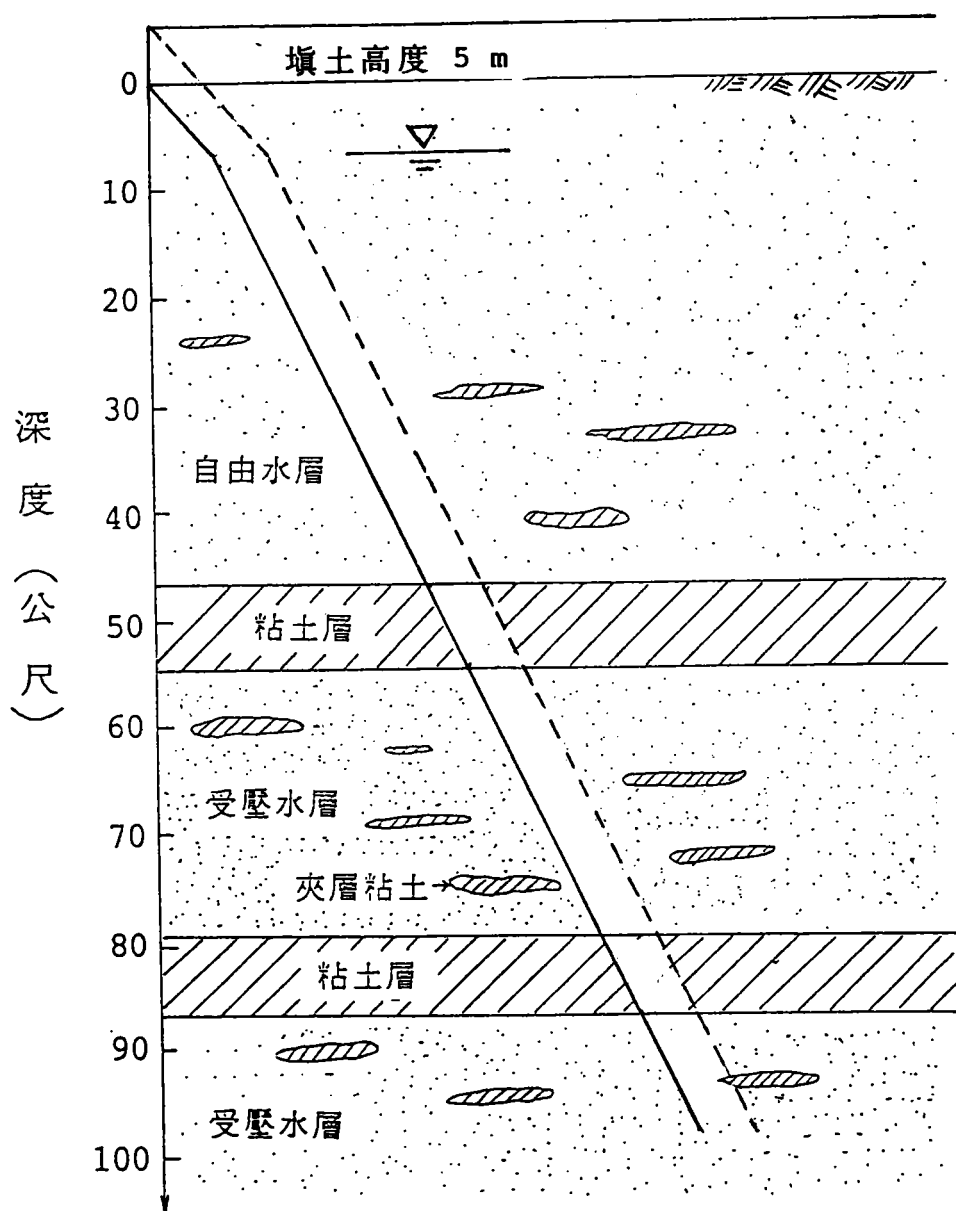


圖2-3 填土荷重引致之有效應力增量分佈

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2-4所示。由於在有效應力增量存在之土層，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2-5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。

2-2 地層下陷行為之探討

2-2-1 地表建築物荷重及填土荷重之下陷行為

在壓密理論中，單位土層厚度之沉陷量為應力增量與原有效應力比（即 $\Delta \sigma / \sigma'_{v0}$ ）之函數，由於原有效應力（ σ'_{v0} ）為土層 Z 之一次式導式函數，地表建築物荷重引致有效應力增量為土層深度 Z 之二次式導式函數，而填土荷重引致之有效應力增量為一常數，即為填土厚度與填土單位重之乘積，與土層深度無關；因此地表建築物荷重引致之有效應力增量比，為土深度 Z 之三次式導式函數，即 $\Delta \sigma / \sigma'_{v0} = f(\frac{1}{Z^3})$ ，而填土荷重引致之應力增量比為土層深度 Z 之一次式導式函數，即 $\Delta \sigma / \sigma'_{v0} = f(\frac{1}{Z})$ ，故地表建築物荷重與填土荷重對地層下陷行為之影響，皆於淺層影響較大，且隨著土層深度而遞減，而其中地表建築物荷重對沉陷之影響，隨土層深度之遞減率更為顯著。

2-2-2 超抽地下水之下陷行為

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

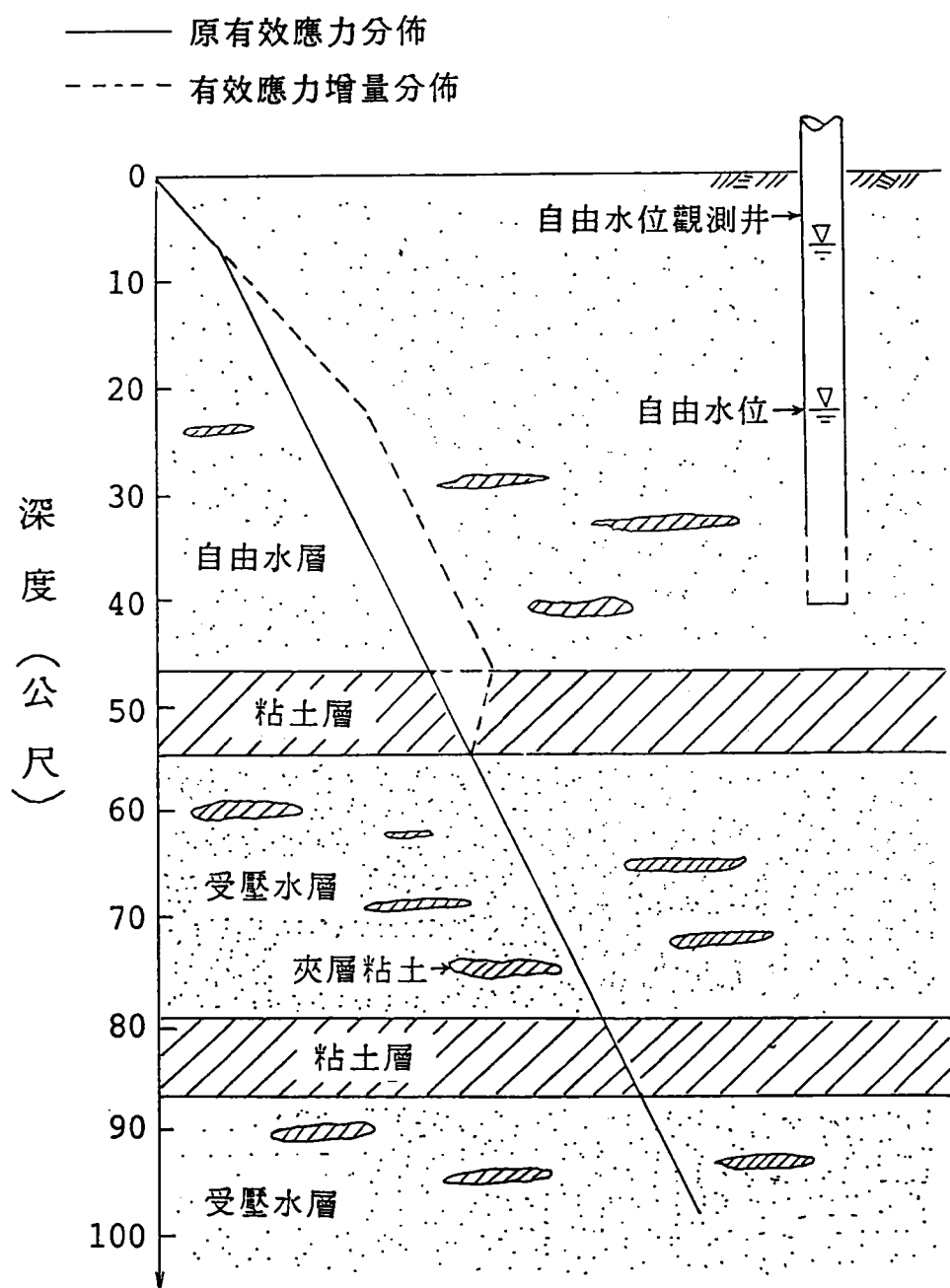


圖2-4 自由水位下降引致之有效應力增量分佈

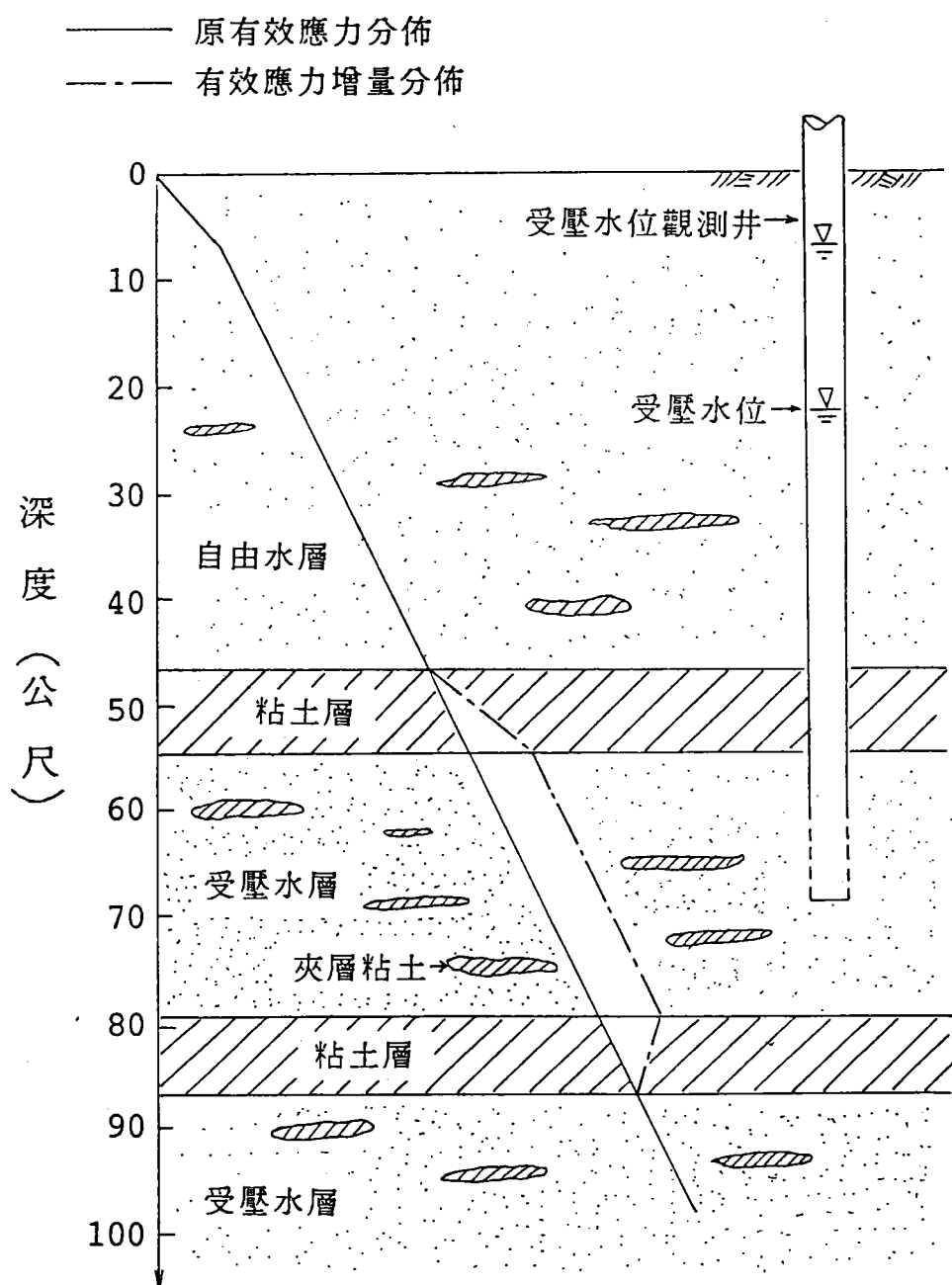


圖2-5 受壓水位下降引致之有效應力增量分佈

生海水倒灌、排水情況惡化等災害時，才察覺到地層下陷。

大部份海岸地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，受壓縮而產生地層下陷，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）將荷重舉高後突然水壓力減少時之情形，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之粘土層受到壓縮，此稱為受壓縮土層，而此受壓土層至地表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層下陷，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，因此夾層粘土產生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時，產生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。

若地層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。

由上述之說明可知，地表建築物荷重、填土荷重、超抽自由水層與超抽受壓水層等引致地層之下陷，其各具有不同之沉陷特性及下陷行為，茲簡列如表2-1比較之。

2-3 地層下陷分析方法

地層下陷分析方法，一般可分為二種，即：(1)理論分析法(2)統計經驗法，茲分述如下：

2-3-1 理論分析法

因地下水位下降造成之地層下陷，其下陷量大小與土壤種類有關。砂質土層的沈陷速度較快但沈陷量較小；而粘性土層之壓縮則較具延滯性且沈陷量也較大。

本文以Terzaghi(1943)之單向壓密理論分析地層下陷問題。該理論係利用飽和土壤內孔隙水在穩定層流情況下之連續條件，及有效應力原理和土壤本身之應力－應變關係推得計算式。其基本之假設為(1)土壤是飽和狀態，(2)土壤顆粒與水有不同壓縮度，(3)孔隙水流符合達西定律 (Darcy law)，(4)土壤之壓縮性與滲透性在受壓過程中保持不變。正常壓密土層終極沈陷量之計算如式2-1，

$$S_u = \frac{C_c}{1 + e_0} \cdot H \cdot \log\left(\frac{P'_{o0} + \Delta \sigma'}{P'_{o0}}\right) \text{ --- (2-1)}$$

式中， S_u = 終極沈陷量

e_0 = 初始孔隙比

H = 土層厚度

表2-1 不同下陷原因引致地層下陷之行爲與特性比較

引致下陷原因	沉陷特性	下 陷 行 爲
地表建築物荷重	淺層沉陷 局部沉陷 差異沉陷	隨土層深度迅速遞減 $\varepsilon \propto f(1/Z^3)$
填土荷重	深層沉陷 區域沉陷 均勻沉陷	隨土層深度緩慢遞減 $\varepsilon \propto f(1/Z)$
超抽自由水層	淺層沉陷 區域沉陷 均勻沉陷	隨土層深度迅速遞減 $\varepsilon \propto f(1/Z)$
超抽受壓水層	深層沉陷 區域沉陷 均勻沉陷	受壓水層及其上下粘土層壓縮外，上部整體土層僅向下移動相當於水力起重機解壓

C_c = 壓縮指數

P'_0 = 初始壓密應力

$\Delta \sigma'$ = 有效應力增加量

終極沉陷求得之後，利用以下壓密方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \text{-----} (2-2)$$

式中， u = 孔隙水壓

C_v = 壓密係數

計算未來時間 t 時之沈陷量 (St)，如下式

$$St = Su(1 - \sum_{m=0}^{m=\infty} (\frac{2}{M^2}) \text{EXP}(-M^2 Tv)) \text{-----} (2-3)$$

$$\text{式中，} M = (\pi / 2)(2m + 1) \text{-----} (2-4)$$

m = 任意整數

$$Tv = \frac{C_v \cdot t}{H^2} \text{-----} (2-5)$$

H = 排水路徑長

2-3-2 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層下陷之分析方法，茲分五種方法說明如下：

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：

$$(a) \text{ 一次函數 } S = aX + b \text{-----} (2-6)$$

$$(b) \text{ 二次函數 } S = aX^2 + bX + c \text{-----} (2-7)$$

$$(c) \text{對數函數 } \log S = \log a + b \log X \text{-----} (2-8)$$

$$(d) \text{指數函數 } S = aX^b \text{-----} (2-9)$$

此法最爲簡單，但因未考慮土壤壓縮特性，最不準確。

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：

$$\frac{ds}{dt} = K(P_o - P) \text{-----} (2-10)$$

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

$$\frac{ds}{dt} = KS\left\{(P_o - P)t - \frac{dp}{dt}\right\} \exp\{-K(P_o - P)t\} \text{-----} (2-11)$$

式中， $\frac{ds}{dt}$ 爲下陷速率， S 爲最後下陷量， P_o 則爲起始水位， P 仍爲地下水位， t 爲時間， K 爲常數。

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，地層下陷與流體抽取量有相當之關係，其關係式如下：

$$S = aQ + b \text{-----} (2-12)$$

$$\text{或 } S = a\sqrt{Q} + b \text{-----} (2-13)$$

式中， Q 爲流體抽出量， a 、 b 爲常數。

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 ($\Delta \sigma'_{v0} / H_p$) 成正比關係。

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層整體下陷量，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層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，兩研究地點之相關位置分別如圖3-1及圖3-2所示。在該兩觀測研究地點，除分別進行鑽探採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_{50} ，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

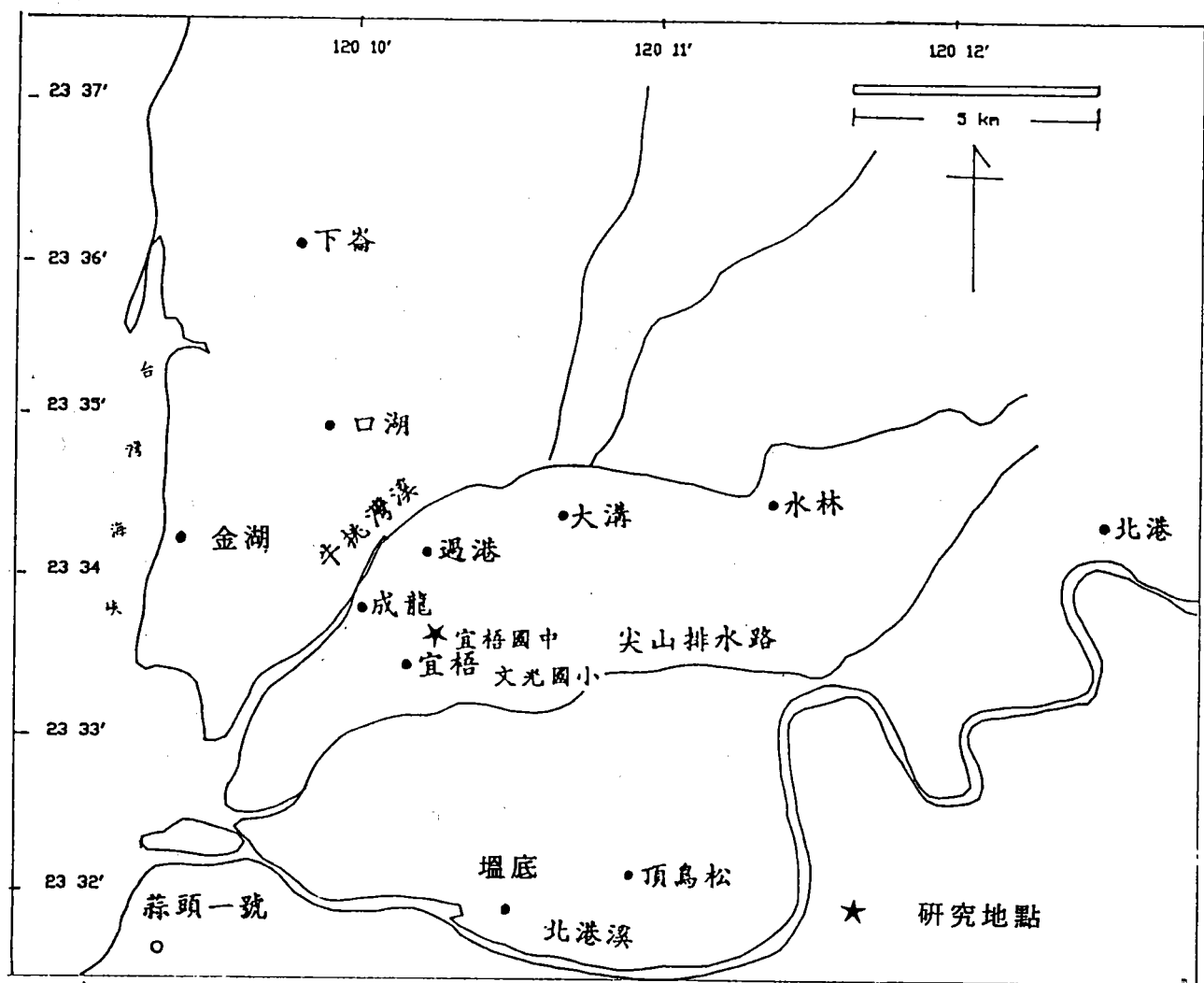


圖3-1 研究地點(宜梧國中)之相關位置

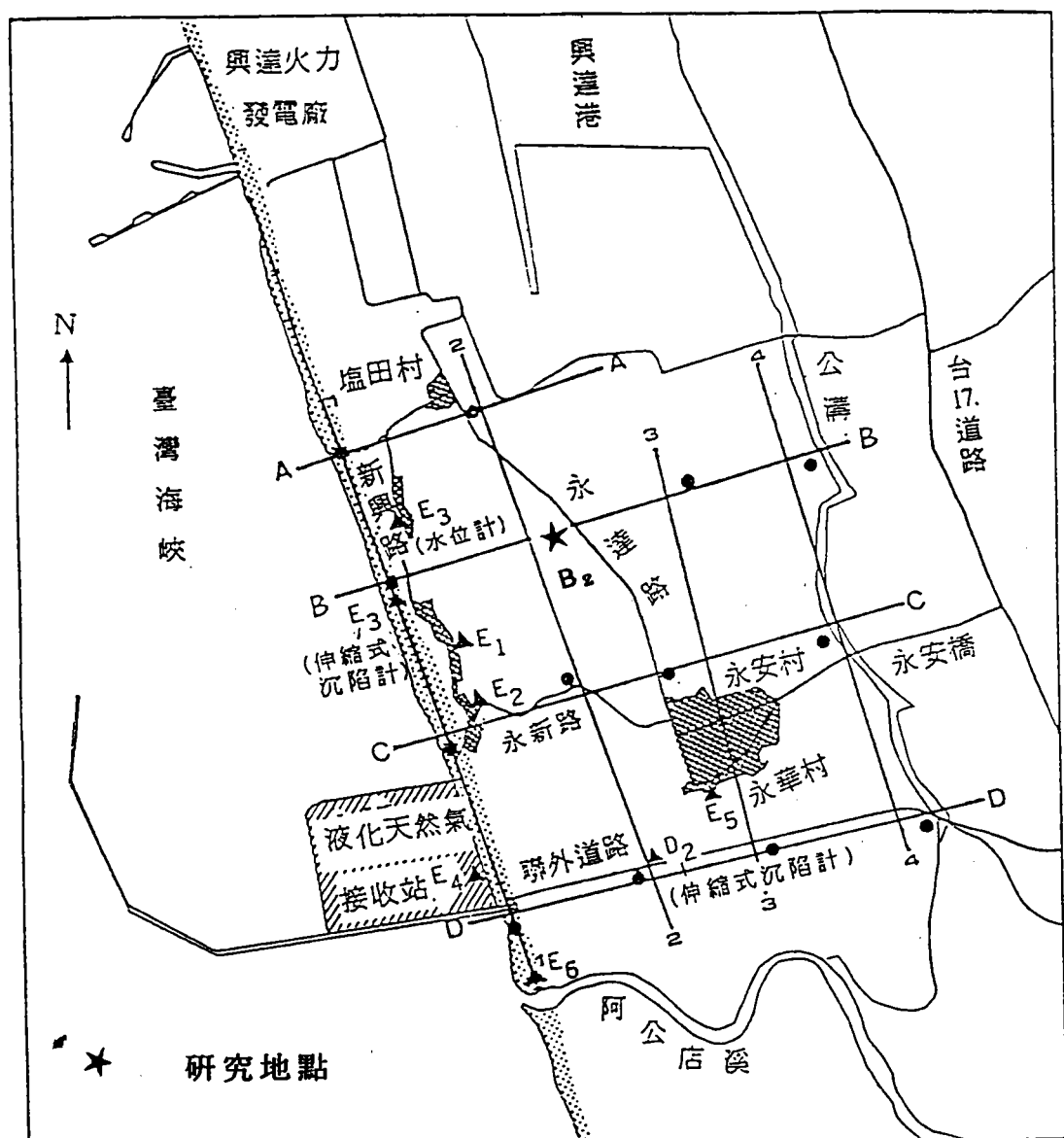


圖3-2 研究地點(永安B₂孔)之相關位置

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3-3 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3-4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性板之自由應變(Free strain)型式，如圖3-4(a)所示，施加荷重於剛性透水板之等應變 (Equal strain) 型式，如圖3-4(b)所示，而圖3-4(a)為最通用之試驗類型。
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3-4(c)所示，等應變型式如圖3-4(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3-4(e)所示，等應變型式如圖3-4(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

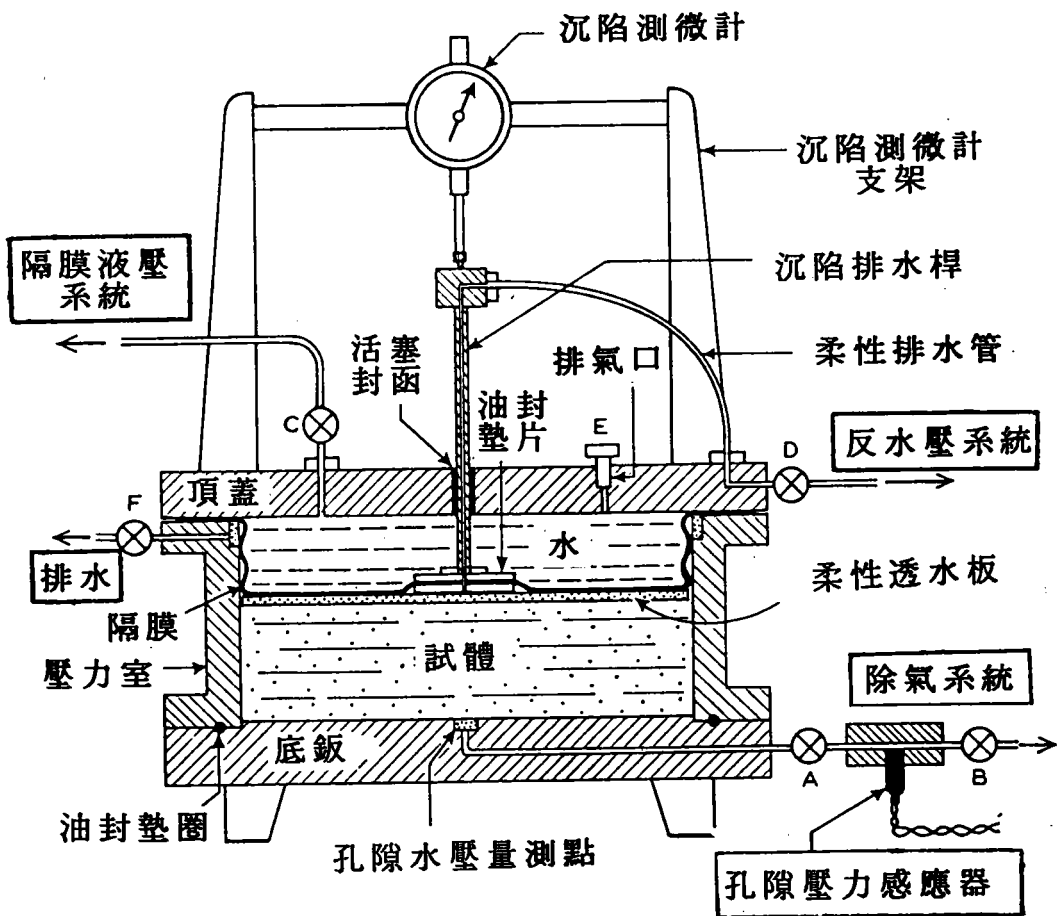


圖3-3 Rowe cell 壓密儀示意圖

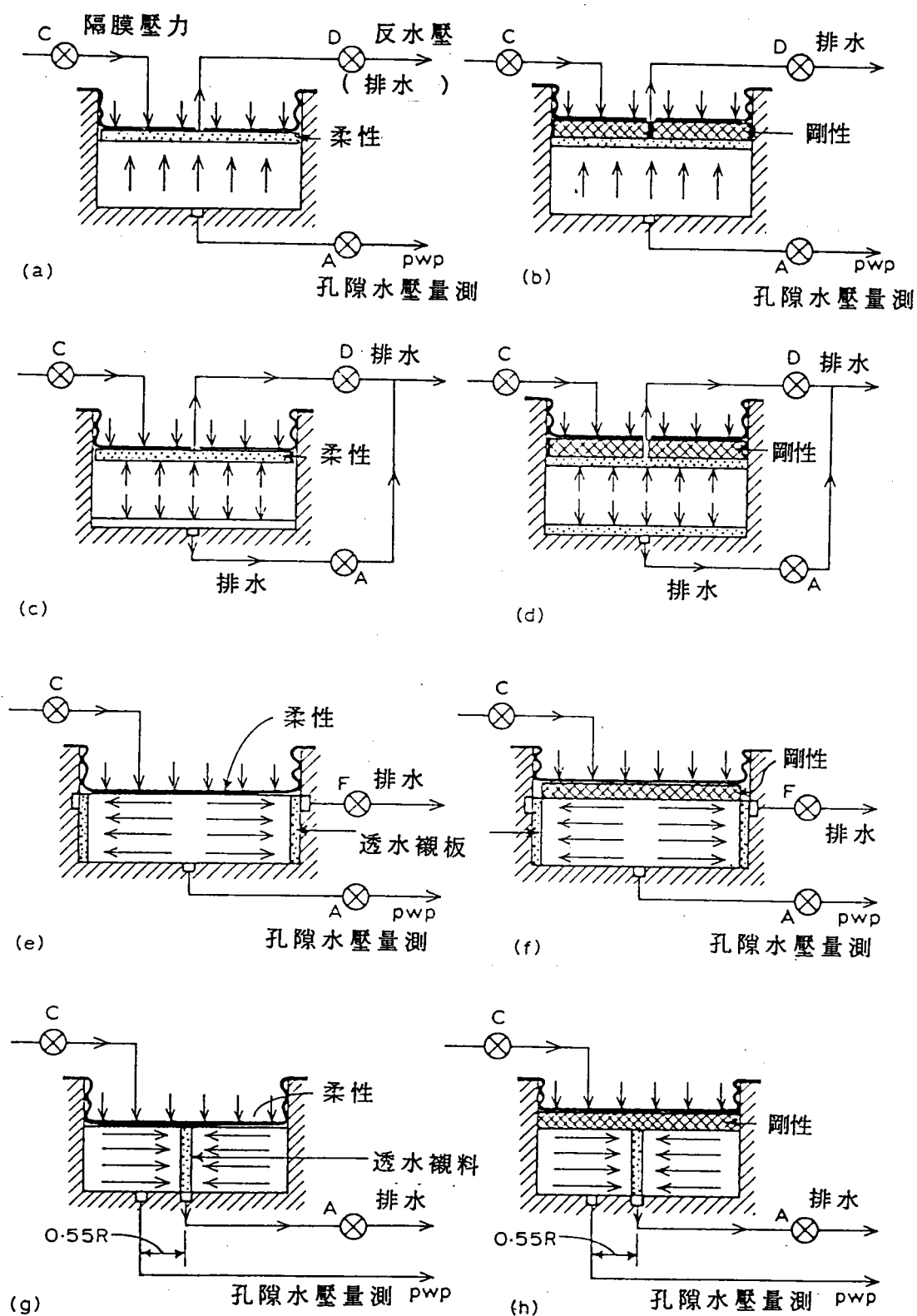


圖3-4 不同邊界條件及排水方式之 Rowe cell 壓密試驗

圖3-4(g)所示，等應變型式如圖3-4(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DASHR-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3-5 所示，主要設備包括：

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：可依據試驗所需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

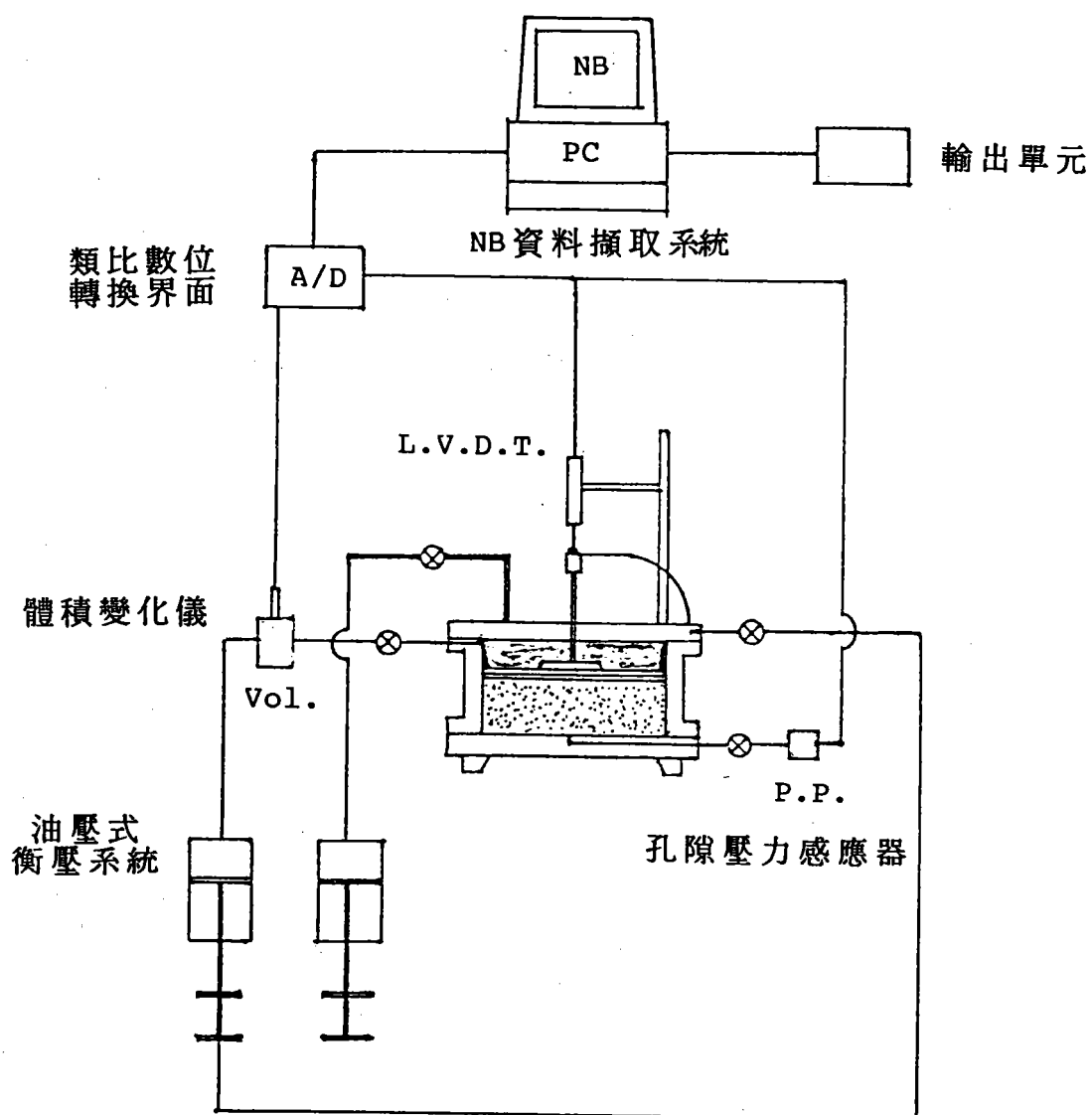


圖3-5 Rowe cell 壓密試驗系統

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 3-3）。

(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)假如需要進一步求得次要壓縮(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階段所述，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(ΔH) $\sim$ 對數時間($\log(t)$)

(2)沉陷(ΔH) $\sim$ 平方根時間($\sqrt{t}$)

(3)體積變化(ΔV) $\sim$ 對數時間($\log(t)$)

(4)體積變化(ΔV) $\sim$ 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)亦可製沉陷或體積變化與其他時間函數之關係即 ΔH 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，其曲線斜率因數 (Curve slope factor) 有所不同，如表3-1第7列所示。

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_{ro} 、 C_{ri}

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_{ro} 值，徑向向內排水可推求得徑向向內之壓密係數 C_{ri} 值；其計算方式皆類似，如表3-1第9列所示，唯其理論時間因數 (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。

4. 釋例說明

圖3-6為取自宜梧地區深度51.25公尺之粘土層土樣，進行水平向外排水等應變型式之Rowe cell壓密試驗之水壓消散圖，由該圖可得 $\log t_{50} = 1.942$ sec，因此 $t_{50} = 87.5$ sec，而土樣直徑 $D = 7.2$ cm，由表3-1查得 $T_{50} = 0.173$ ，因此水平排水之壓密係數 C_{ro} 值為：

$$C_{ro} = \frac{T_{50} \times D^2}{4t} = \frac{0.173 \times 7.2^2}{4 \times 87.5} = 0.0256 \text{ cm}^2/\text{sec}$$

表 3-1 Rowe cell 壓密試驗之曲線適位資料

試驗 項目	排水 方式	邊界 條件	壓密 位置	理論時間因數 T50 T90		時間 函數	曲線斜率 因素	壓密曲線 資料	壓密係數
(a)	垂直 單向	自由應變 與 等應變	平均	0.197	0.848	$t^{0.5}$	1.15	Δ or ΔH^*	$C_v = \frac{T_v H^2}{t}$
(b)			中心	0.379	1.031			p.w.p.	
(c)	垂直 雙向	自由應變 與 等應變	平均	0.197	0.848	$t^{0.5}$	1.15	Δ or ΔH^*	$C_v = \frac{T_v H^2}{4t}$
(d)				(T _v)					
(e)	徑向 向外	自由應變 等應變	平均	0.0632	0.335	$t^{0.465}$	1.22	ΔV	$C_{ro} = \frac{T_{ro} D^2}{4t}$
			中心	0.200	0.479			p.w.p.	
(f)			平均	0.0866	0.288	$t^{0.5}$	1.17	ΔV or ΔH	
			中心	0.173	0.374			p.w.p.	
(g)	徑向 向內	自由應變 等應變	平均	0.771	2.631	$t^{0.465}$	1.17	ΔV	$C_{ri} = \frac{T_{ri} D^2}{4t}$
			r=0.55R	0.765	2.625			p.w.p.	
(h)			平均	0.781	2.595	$t^{0.5}$	1.17	ΔV or ΔH	
			r=0.55R	0.778	2.592			p.w.p.	

t : 時間

T_v, T_{ro}, T_{ri} : 理論時間因數

H : 試體高度

ΔH^* : 等應變適用

D : 試體直徑

徑向向內排水孔直徑/試體直徑 = 1/20

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

load=8kg/cm², PP_{emax}=3.966kg/cm², 51.25m

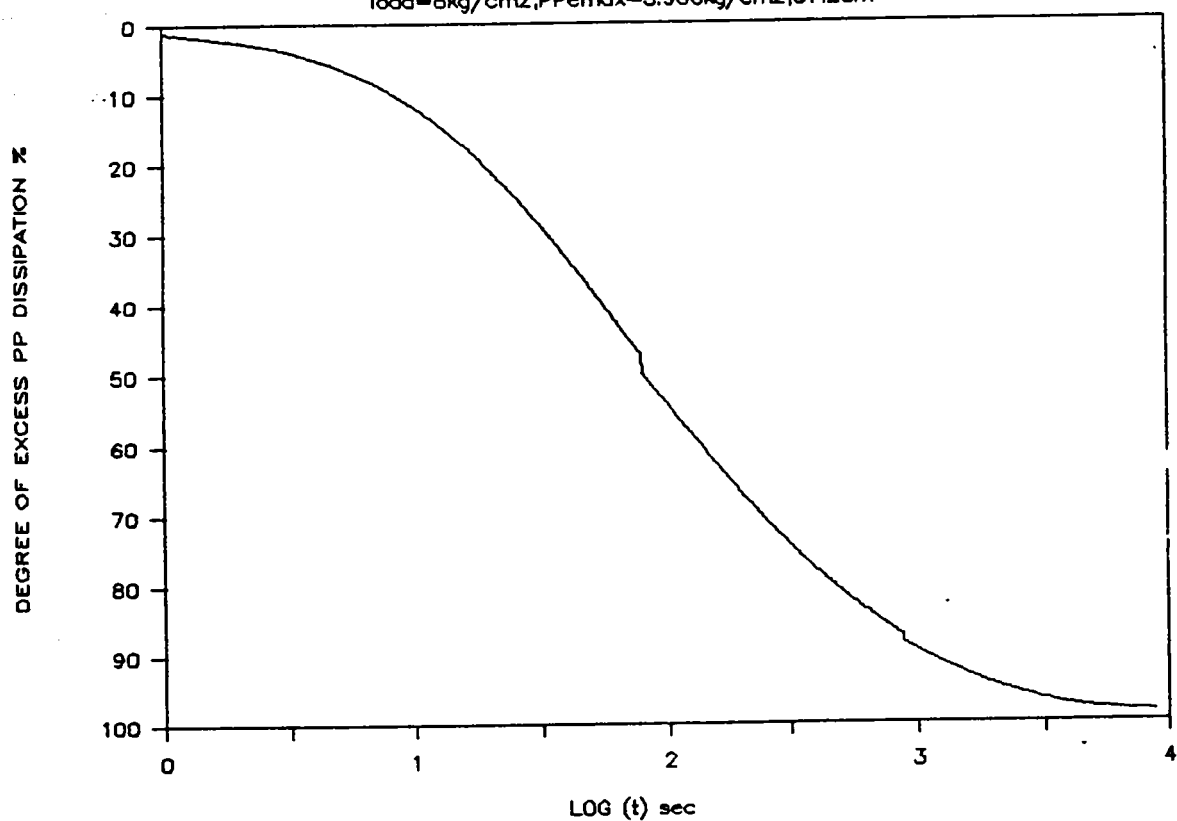


圖3-6 宜梧粘土層 Rowe cell 壓密試驗之水壓消散圖

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，CPT 試驗儀器操作便捷，殊少人為誤差，且能迅速精確求得連續土層資料，尤其現在的CPT試驗，更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，確為良好研究土層沉陷之現地試驗。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，提供對海岸土層下陷之研究需要。

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(piezcone)
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)

水壓錐詳閱如圖3-7所示，其他設備詳參考文獻(5)。

3-3-3 試驗步驟

1. 設置反力地錨

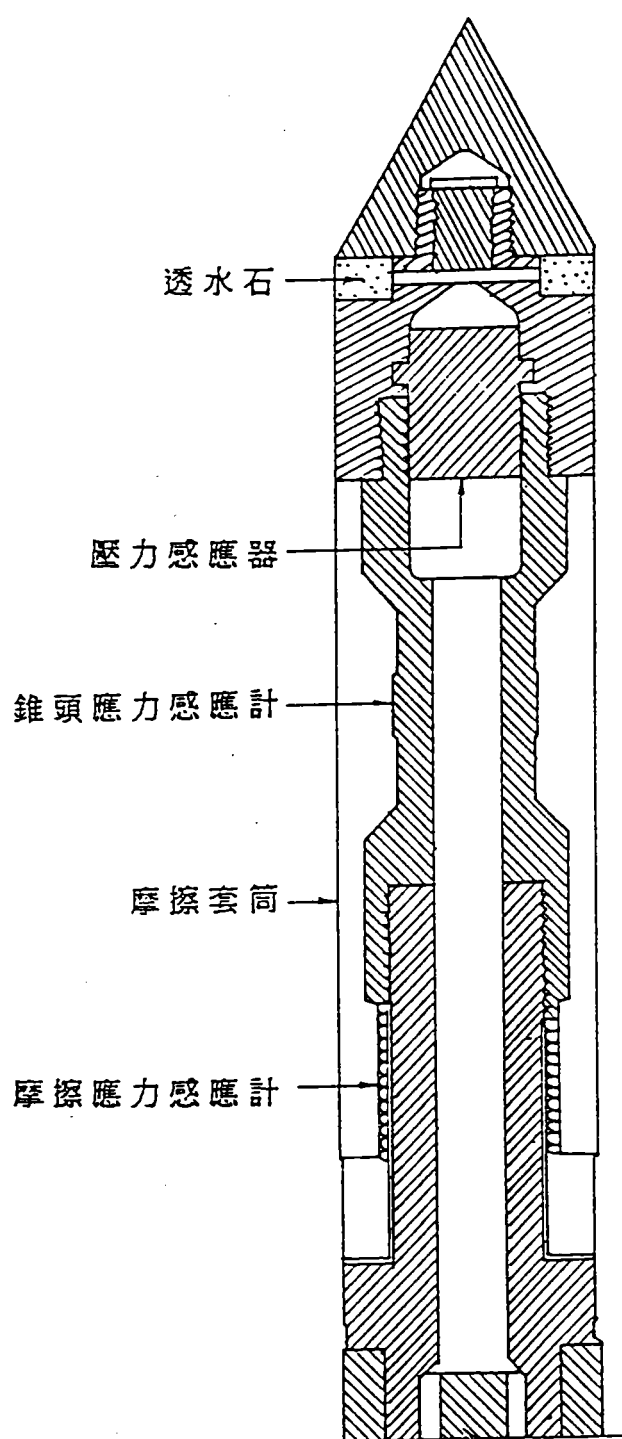


圖3-7 水壓錐頭結構示意圖

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)。

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 、 $\text{Log}(t)$ 、 $\text{SQRT}(t)$ 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} ，唯曲線適位法所需之曲線斜率因數，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)時間因數法

壓密係數 C_h 與時間因數(Time factor)的關係如下：

$$C_h = T_h D^2 / 4t \text{ --- (3-1)}$$

式中， t = 時間

D = 水壓錐頭直徑

T_h = 時間因數

時間因數 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 值之推薦消散曲線，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，所以上述求得的 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：

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

式中，CR=原始壓縮比(Virgin compression ratio)

RR=再壓縮比(Recompression ratio)

對於正常壓密階段之垂直壓密係數 $C_v(NC)$ 亦可由下列公式求得：

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

式中， K_v =垂直向透水係數

K_h =水平向透水係數

因此，正常壓密之 $C_v(NC)$ 值如下所示：

$$C_v(NC) = \frac{RR}{CR} \frac{K_v}{K_h} C_h(\text{piezocone}) \text{--- (3-4)}$$

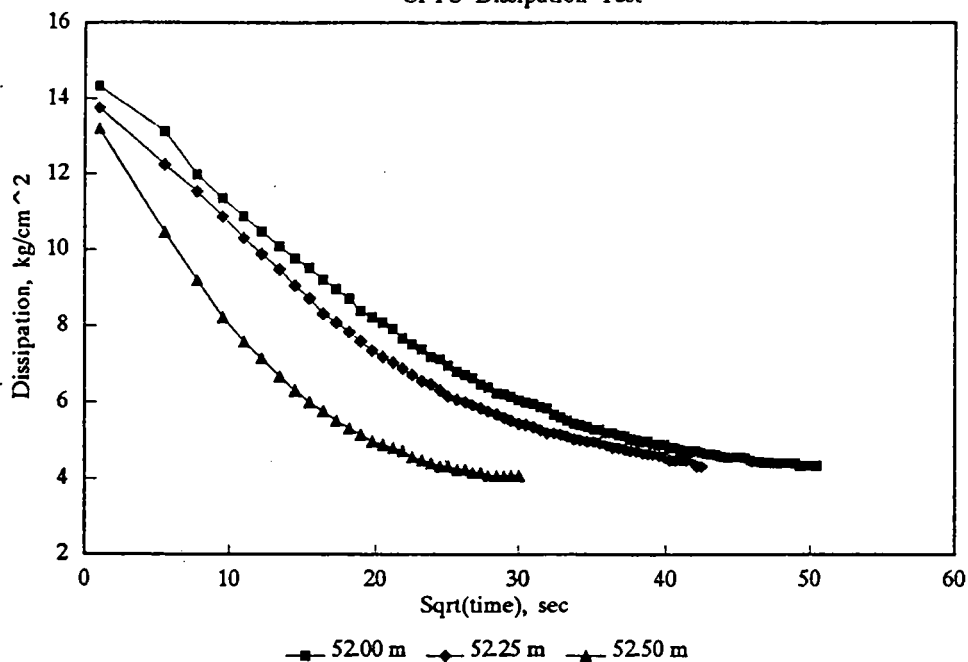
上式中以 $C_h(\text{piezocone})$ 取代 $C_h(OC)$ 。

5. 釋例說明

由水壓錐貫入試驗及現地採樣之結果，得知宜梧地區在深度49公尺至54公尺之間有一堅硬之黏土層。深度52.25公尺水壓錐消散試驗之修正結果，如圖3-8所示，取消散20%，40%，50%，60%，80%之時間，進行壓密係數分析，其中時間因數如表3-2所示(取錐尖角 60° ，透水石位置在錐頭基座之情況)。

YI-WU

CPTU Dissipation Test



YI-WU

CPTU Dissipation Test

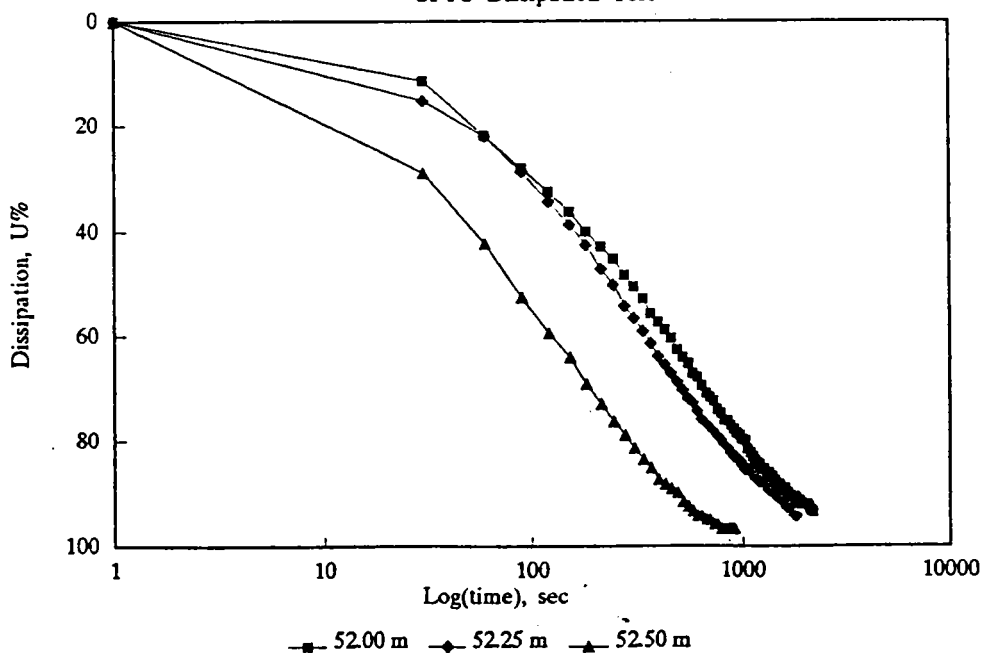


圖3-8 宜梧粘土層水壓錐消散試驗曲線圖
~35~

表3-2 黏土層時間因數的預測值(波士頓藍粘土層)

錐尖角	透水石位置	壓 密 度 %				
		20	40	50	60	80
60°	錐 尖	0.44	19	37	6.5	27
60°	錐 頭 基 座	0.69	3.0	5.6	10	39
60°	錐 桿	7.3	22	33	47	114
18°	錐 尖	0.064	0.50	1.4	3.6	24
18°	錐 尖 斜 面	0.52	2.6	4.7	8.2	34
18°	錐 頭 基 座	1.8	6.2	10	17	53
18°	錐 桿	5.9	16	25	37	86

以Baligh之方法推算，得水壓錐水平壓密係數如下(見式3-1，其中 $D = 3.57\text{cm}$)：

$$\text{消散20\%時，} C_h(\text{piezocone}) = (0.69)(3.57)^2 / (4)(51) = 0.043 \text{ (cm}^2/\text{sec)}$$

$$\text{消散40\%時，} C_h(\text{piezocone}) = (3.0)(3.57)^2 / (4)(180) = 0.053 \text{ (cm}^2/\text{sec)}$$

$$\text{消散50\%時，} C_h(\text{piezocone}) = (5.6)(3.57)^2 / (4)(299) = 0.060 \text{ (cm}^2/\text{sec)}$$

$$\text{消散60\%時，} C_h(\text{piezocone}) = (10)(3.57)^2 / (4)(447) = 0.071 \text{ (cm}^2/\text{sec)}$$

$$\text{消散80\%時，} C_h(\text{piezocone}) = (39)(3.57)^2 / (4)(1075) = 0.115 \text{ (cm}^2/\text{sec)}$$

再以式(3-4)計算正常壓密狀態下的垂直壓密係數 $C_v(\text{NC})$ 如下：

由圖3-9 室內壓密試驗結果，得知：

OEDOMETER CONSOLIDATION TEST

19/02/81

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

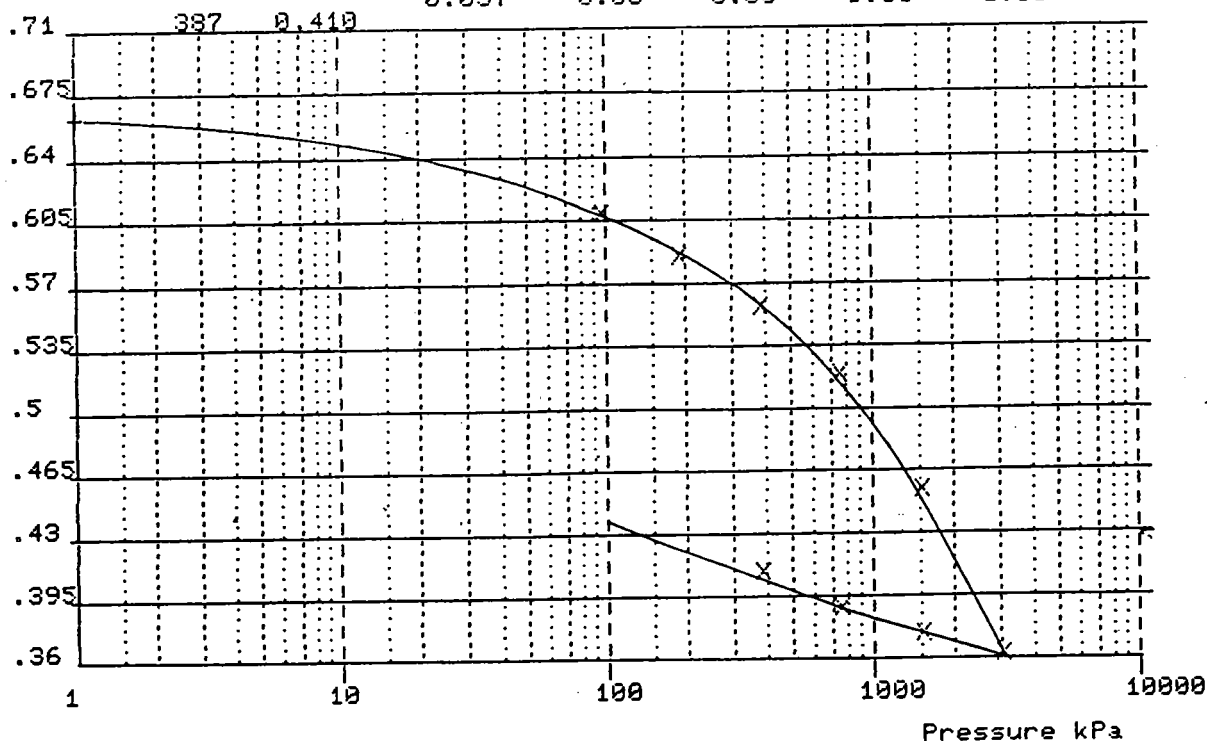
Sample No. T-10-4
Start date 11/02/81
Sample height 20.3 mm

Initial density 2.035 Mg/m³ m/c 24.93 %

SG. of solids 2.71

Degree of saturation 101.9 %

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



Signed.....

Date.....

圖3-9 宜梧粘土層傳統式壓密試驗結果

$$\begin{aligned}\text{再壓之壓縮指數 } C_{rc} &= -(0.364 - 0.410) / \log(3098/387) \\ &= 0.046 / 0.90 = 0.051\end{aligned}$$

$$\text{再壓之壓縮比 } RR = C_{rc} / (1 + e_0) = 0.051 / (1 + 0.663) = 0.0306$$

$$\text{原始壓縮指數 } C_c = 0.3056$$

$$\text{原始壓縮比 } CR = C_c / (1 + e_0) = 0.3056 / (1 + 0.663) = 0.184$$

且此黏土層僅輕微分層，可取 $K_h/K_v = 3$ (Baligh, 1986)，故 $C_v(NC)$ 可由式(3-4)計算如下：

$$\begin{aligned}\text{消散20\%時, } C_v(NC) &= (0.0306 / 0.184)(1/3)0.043 = 0.0024 \\ &(\text{cm}^2/\text{sec})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{消散40\%時, } C_v(NC) &= (0.0306 / 0.184)(1/3)0.053 = 0.0029 \\ &(\text{cm}^2/\text{sec})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{消散50\%時, } C_v(NC) &= (0.0306 / 0.184)(1/3)0.060 = 0.0033 \\ &(\text{cm}^2/\text{sec})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{消散60\%時, } C_v(NC) &= (0.0306 / 0.184)(1/3)0.071 = 0.0039 \\ &(\text{cm}^2/\text{sec})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{消散80\%時, } C_v(NC) &= (0.0306 / 0.184)(1/3)0.115 = 0.0064 \\ &(\text{cm}^2/\text{sec})\end{aligned}$$

而依據室內壓密試驗結果(圖3-9)，該深度應力下之 C_v 值為 $11.67 \text{ m}^2/\text{year} \doteq 0.0067 \text{ cm}^2/\text{sec}$ ，因此CPTU消散試驗推估結果與壓密試驗結果相近。

四、研究結果與討論

4-1 現地水壓錐消散試驗結果分析

4-1-1 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(圖3-1)，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B₂孔(圖3-2)，深度達50公尺，水壓錐貫入試驗達36公尺，兩研究地點之水壓錐貫入試驗之結果分別如圖4-1、4-2所示。水壓錐貫入土層時，可得任意深度土層之錐端阻抗 q_c 、摩擦阻抗 f_s 以及動態孔隙水壓 u 等值，從而可求得土層之摩擦比 R_f 及動態孔隙水壓比 B_q 等值，其為研判土層分類之重要參數，其中摩擦比 R_f 值及動態孔隙水壓比 B_q 值分別以下式表示：

$$R_f = \frac{f_s}{q_c} \times 100\%$$

$$B_q = \frac{u - u_0}{q_t - \sigma_{v0}}$$

式中， u_0 = 靜水壓， q_t = 修正後之錐端阻抗， σ_{v0} = 總覆土壓力。

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分別繪於圖4-1、4-2，兩研究地點土壤之物理特性分別列如表4-1、4-2所示，土壤之粒徑分佈如附錄A所示。

4-1-2 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

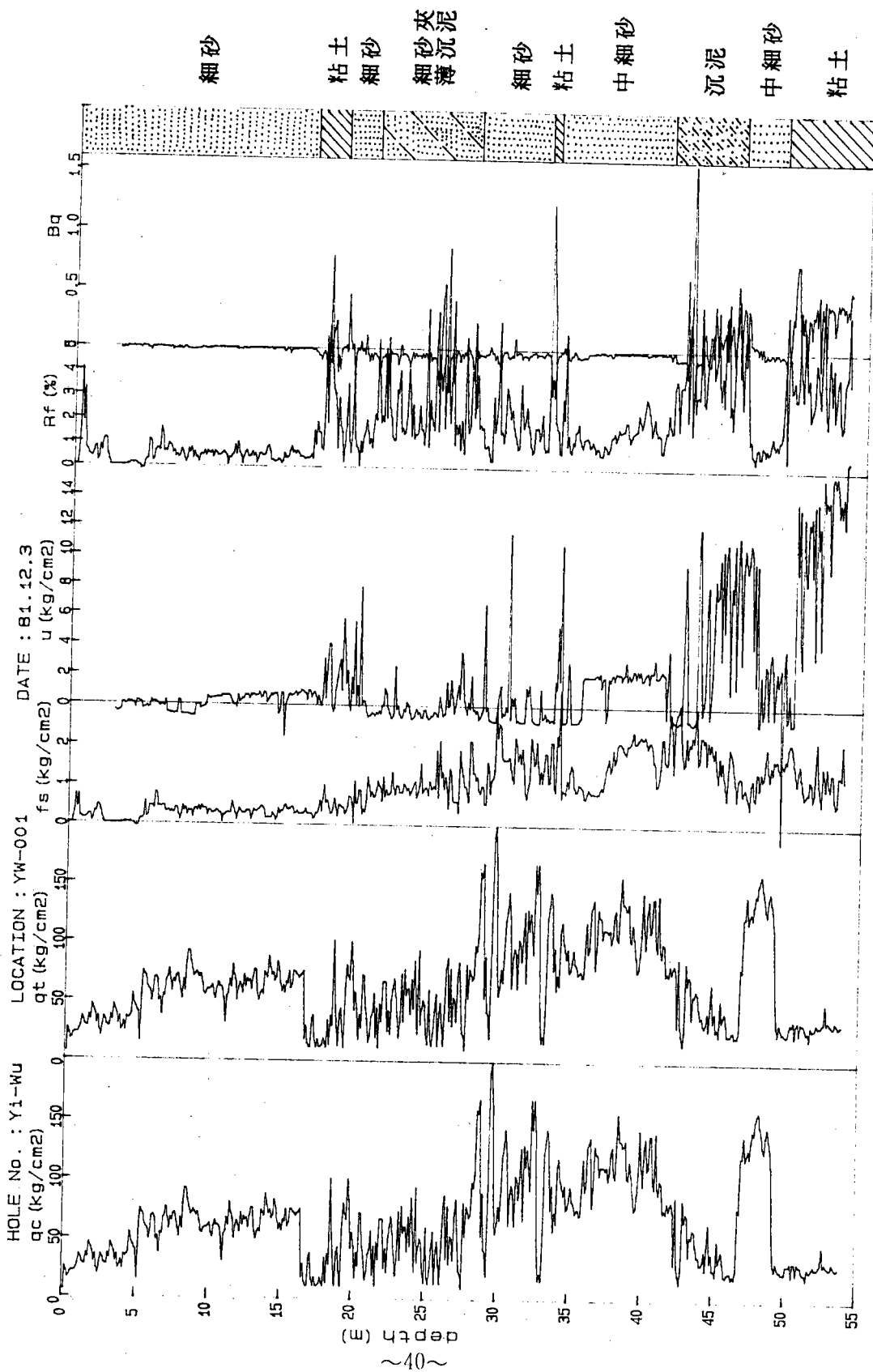


圖4-1 宜梧地區水壓錐貫入試驗結果及土層分佈

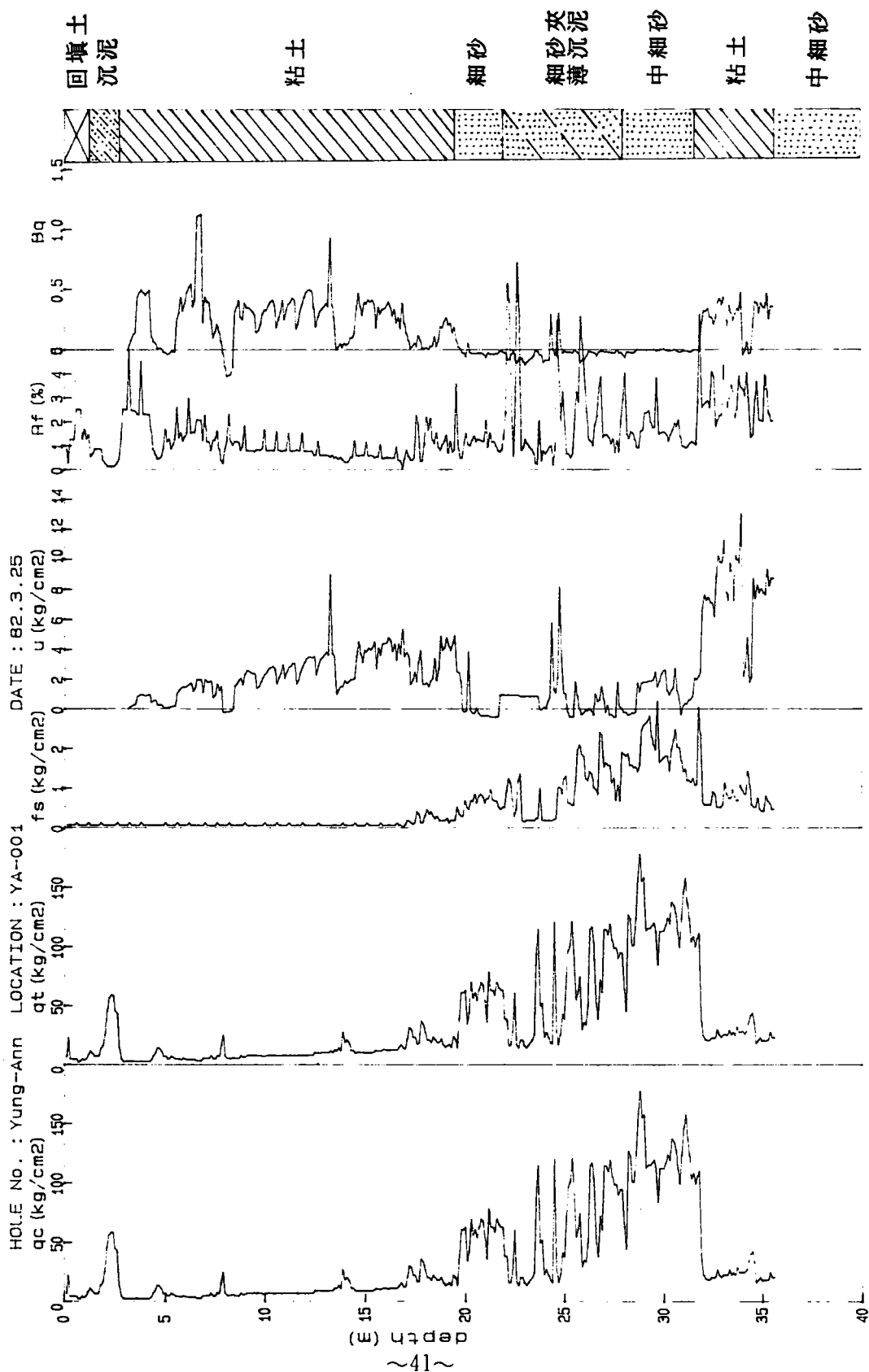


圖 4-2 永安地區水壓錐貫入試驗結果及土層分佈

表 4-1 宜梧地區土壤之物理特性

試體 編號	深 度 (m)	濕單位重 (γ_t)	乾單位重 (γ_d)	含水量 (w%)	比 重 (Gs)	液 限 (L.L)	塑 限 (P.L)	塑性指數 (P.I)	粒 徑 分 佈 (%)			統 一 分 類
									砂	沉 泥	粘 土	
T-1	18.50~19.20	1.905	1.426	33.6	2.730	—	—	—	0	50.0	50.0	CL
T-2	19.70~20.55	1.934	1.471	31.5	2.728	—	—	—	42.0	49.0	9.0	SM-ML
T-3	26.50~27.30	2.040	1.557	31.0	2.730	—	—	—	30.0	57.8	12.2	SM-ML
T-4	28.40~29.25	1.945	1.584	22.8	2.700	24.2	19.8	4.4	25.5	42.5	17.0	CL-ML
T-5	33.90~34.30	2.012	1.581	27.3	2.725	34.2	20.5	13.7	0	69.0	31.0	CL
T-6	44.60~45.65	2.147	1.677	28.0	2.723	34.1	24.0	9.4	0	74.0	26.0	ML
T-7	46.00~46.40	2.044	1.672	22.2	2.680	—	—	—	57.7	62.3	10.0	SM-ML
T-8	50.40~51.25	1.738	1.218	42.7	2.725	42.4	21.1	21.3	0	57.2	42.8	CL
T-9	51.25~52.05	1.886	1.399	34.8	2.680	50.0	19.3	30.7	0	32.2	67.8	CH
T-10	52.05~52.60	1.932	1.558	24.0	2.725	56.0	28.0	28.0	7.2	57.8	35.0	CH
T-11	52.60~53.40	1.964	1.522	29.0	2.740	39.0	27.0	12.0	0	64.4	35.6	ML
T-12	53.40~53.50	1.837	1.309	40.3	2.743	45.0	20.5	24.5	0	57.7	42.3	CL

表 4-2 永安地區土壤之物理特性

試體 編號	深 度 (m)	濕單位重 (r_t)	乾單位重 (r_d)	含水量 (w%)	比 重 (Gs)	液 限 (L.L.)	塑 限 (P.L.)	塑性指數 (P.I.)	粒 徑 分 佈 (%)			統 一 分 類
									砂	沉 泥	粘 土	
T-2	6.30~6.40	1.858	1.318	40.9	2.729	36.2	20.3	15.9	0	81.6	18.4	CL
T-3	7.30~7.40	1.976	1.534	28.8	2.730	40.4	21.6	18.8	20.0	63.8	16.2	CL
T-4	8.50~8.60	1.894	1.326	42.8	2.734	42.8	21.3	21.5	0	64.4	35.6	CL
T-5	9.40~9.50	1.715	1.094	56.7	2.717	54.7	22.5	32.3	0	58.3	41.7	CH
T-6	10.40~10.50	1.863	1.366	36.3	2.782	43.4	19.2	24.2	0	52.7	47.3	CL
T-7	11.40~11.45	1.904	1.386	37.3	2.782	37.0	22.6	14.5	0	77.2	22.8	CL
T-8	12.45~12.50	1.882	1.373	37.1	2.782	33.7	17.1	16.6	0	56.6	43.4	CL
T-9	13.45~13.50	1.981	1.516	30.7	2.730	28.0	16.0	12.0	0	56.6	43.4	CL
T-10	15.40~15.50	1.990	1.581	25.9	2.729	25.0	14.4	10.6	10.0	65	25	CL
T-11	16.40~16.50	1.947	1.464	23.0	2.730	27.5	16.2	11.3	0	75	25	CL
T-12	19.40~19.50	1.945	1.495	30.1	2.784	36.0	20.2	15.8	0	68	32	CL

試驗，雲林宜梧地區共進行32組，高雄永安地區共進行20組，前節之圖3-8為代表性之消散試驗曲線之一，全部試驗結果，如附錄B所示。

4-1-3 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，但整個地層包括自由水層、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外，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。

4-1-4 曲線斜率因數之研究

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 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，故對曲線斜率因數(Curve slope factor)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數。

所謂「曲線斜率因數」如圖4-3 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數(Curve slope factor)，簡稱CSF。

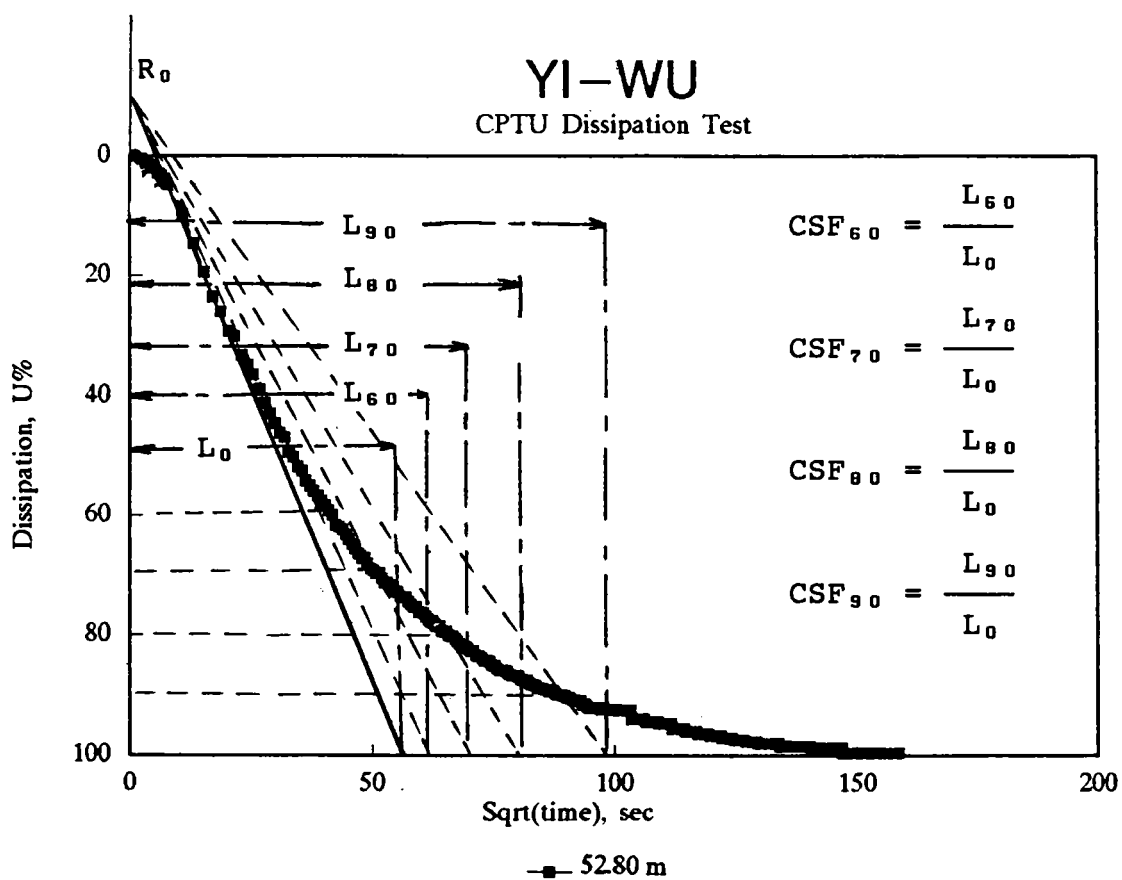


圖4-3 曲線斜率因數示意圖

本研究由宜梧地區及永安地區共進行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%之曲線斜率因數，其與摩擦比 R_f 值及孔隙水壓參數 B_q 值之關係分別如圖4-4~4-7及圖4-8~4-11所示，經迴歸分析可得其相關經驗式如下：

(a) 曲線斜率因數CSF 與摩擦比 R_f 之關係

$$CSF_{60} = 1.0203 + 0.01029R_f \dots\dots\dots (4-1)$$

$$\text{其相關係數 } R = 0.4764$$

$$CSF_{70} = 1.0495 + 0.02552R_f \dots\dots\dots (4-2)$$

$$\text{其相關係數 } R = 0.5465$$

$$CSF_{80} = 1.1020 + 0.04644R_f \dots\dots\dots (4-3)$$

$$\text{其相關係數 } R = 0.6227$$

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

$$\text{其相關係數 } R = 0.7046$$

上式中， CSF_{60} 、 CSF_{70} 、 CSF_{80} 、 CSF_{90} 分別為消散60%、70%、80%、90%之曲線斜率因數。

(b) 曲線斜率因數CSF 與孔隙水壓參數 B_q 值之關係

$$CSF_{60} = 1.0266 + 0.02884B_q \dots\dots\dots (4-5)$$

$$\text{其相關係數 } R = 0.3670$$

$$CSF_{70} = 1.0744 + 0.05558B_q \dots\dots\dots (4-6)$$

$$\text{其相關係數 } R = 0.3270$$

$$CSF_{80} = 1.1521 + 0.09262B_q \dots\dots\dots (4-7)$$

$$\text{其相關係數 } R = 0.3413$$

$$CSF_{90} = 1.3297 + 0.1349B_q \dots\dots\dots (4-8)$$

$$\text{其相關係數 } R = 0.3083$$

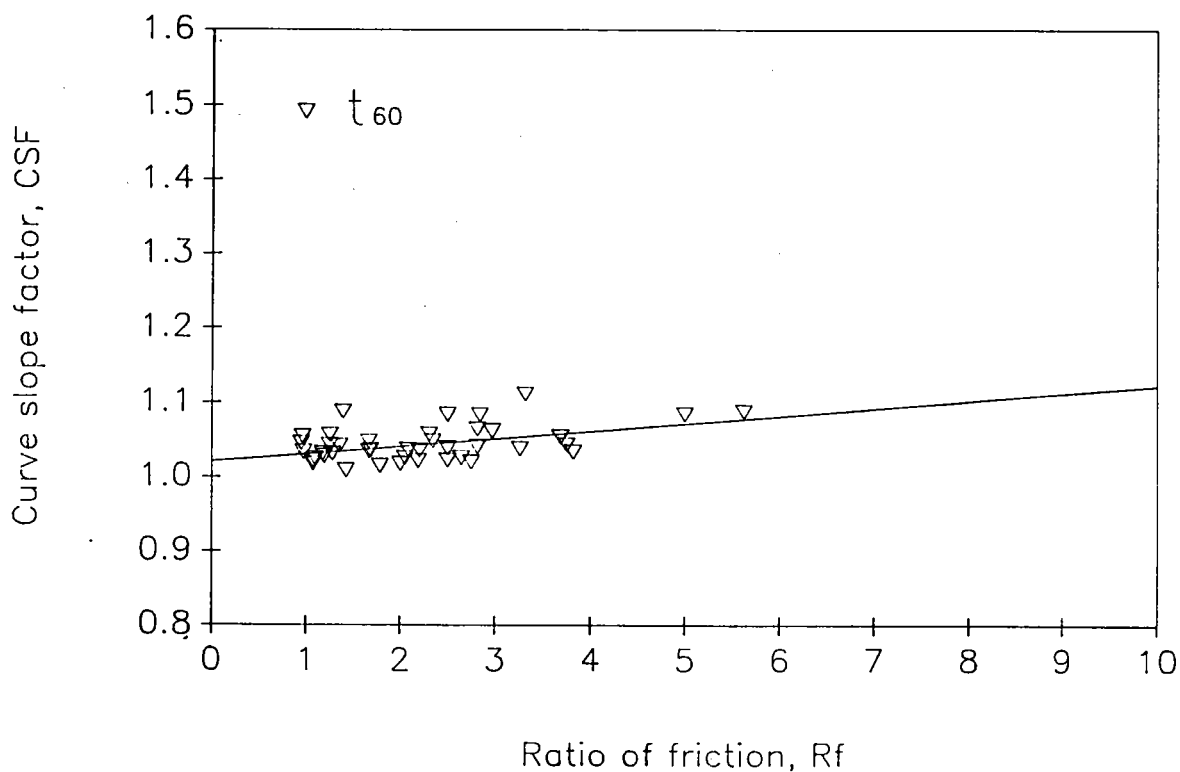


圖4-4 t_{60} 曲線斜率因數與摩擦比 R_f 之相關性

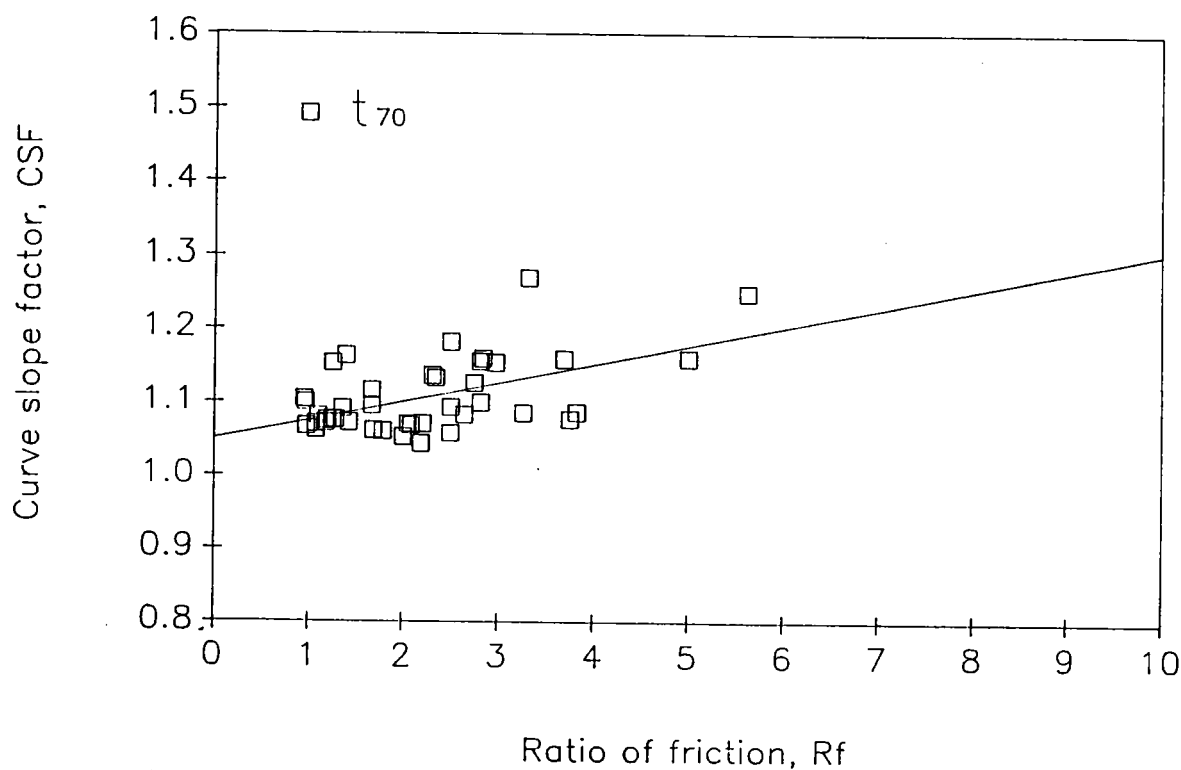


圖4-5 t_{70} 曲線斜率因數與摩擦比 R_f 之相關性

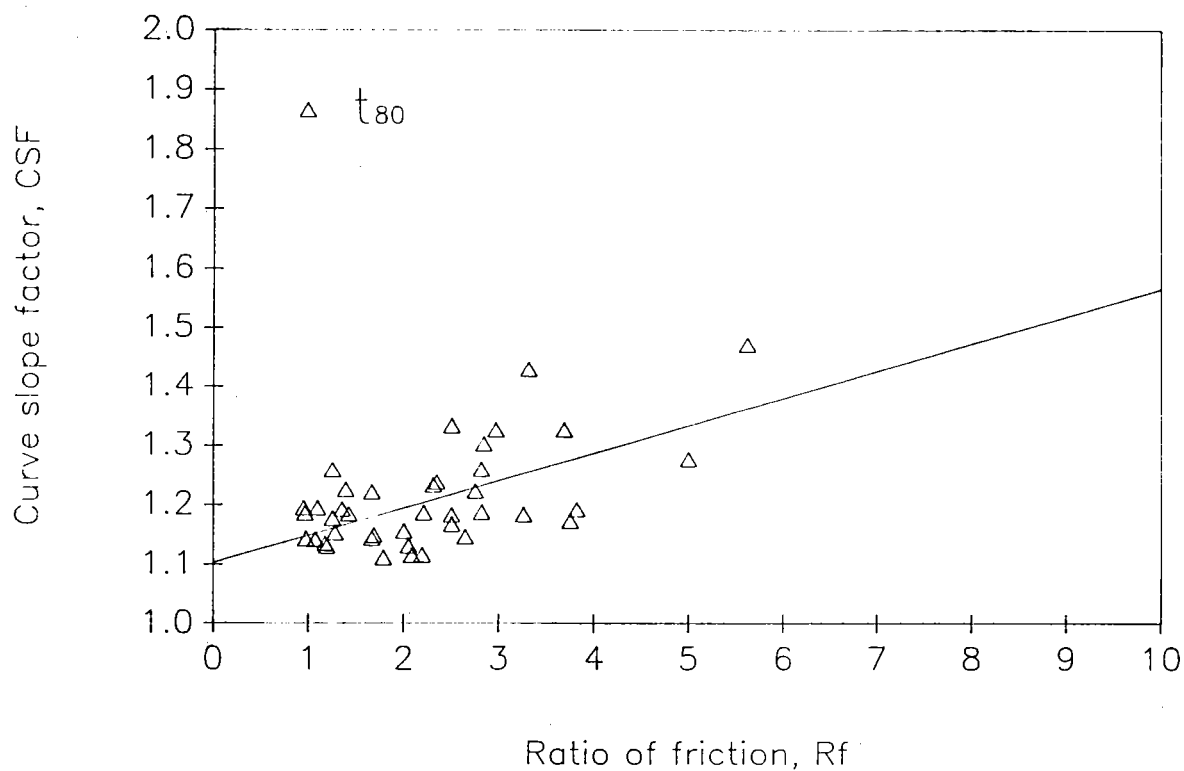


圖4-6 t_{80} 曲線斜率因數與摩擦比 R_f 之相關性

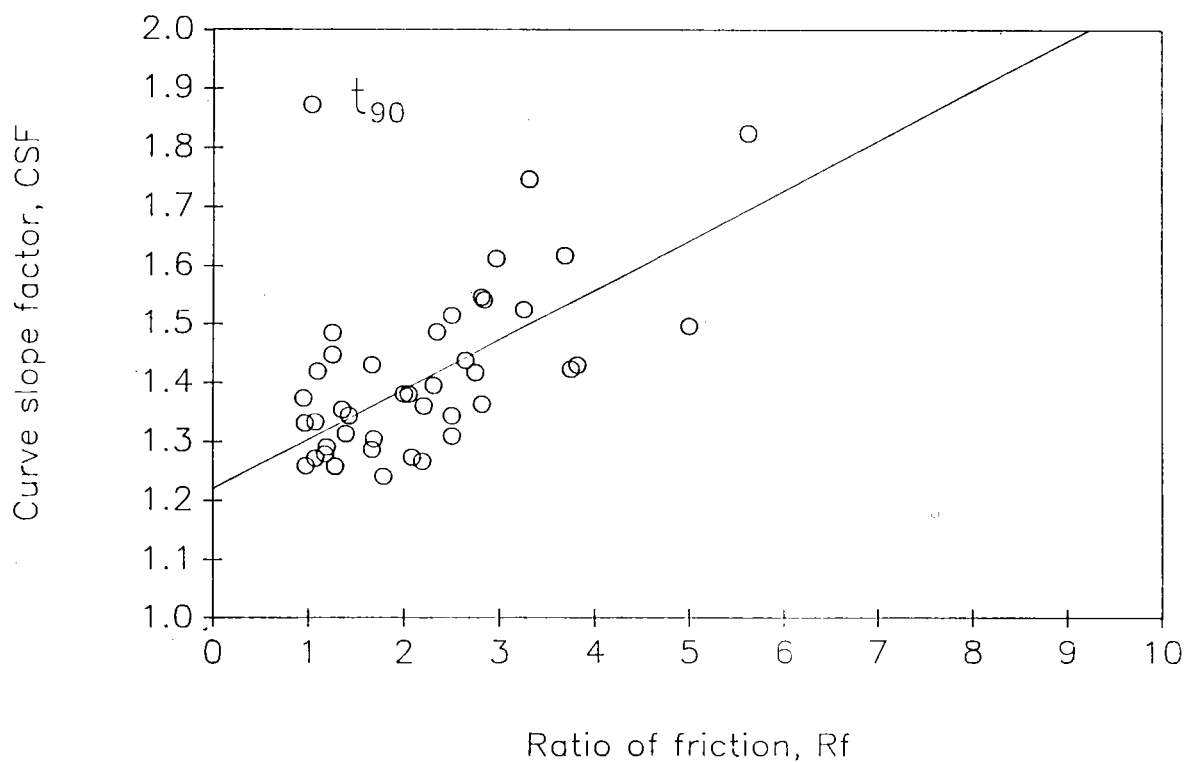


圖4-7 t_{90} 曲線斜率因數與摩擦比 R_f 之相關性

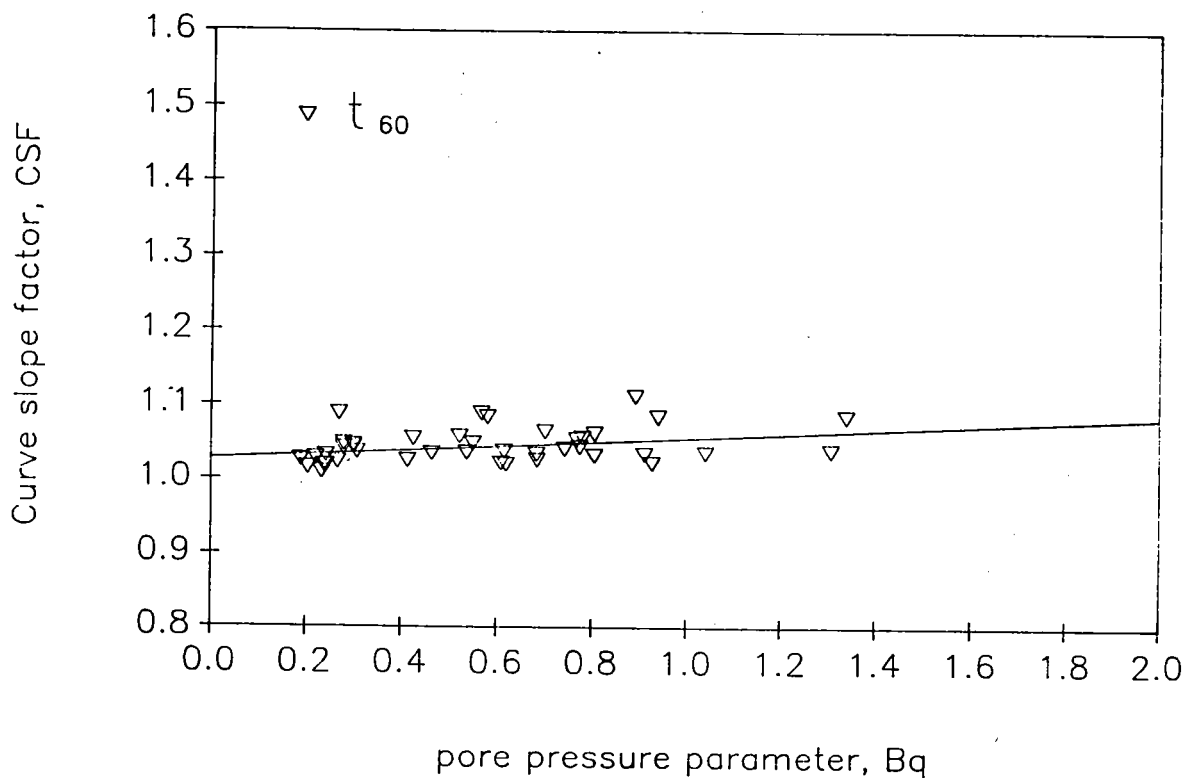


圖4-8 t_{60} 曲線斜率因數與孔隙水壓參數 B_q 之相關性

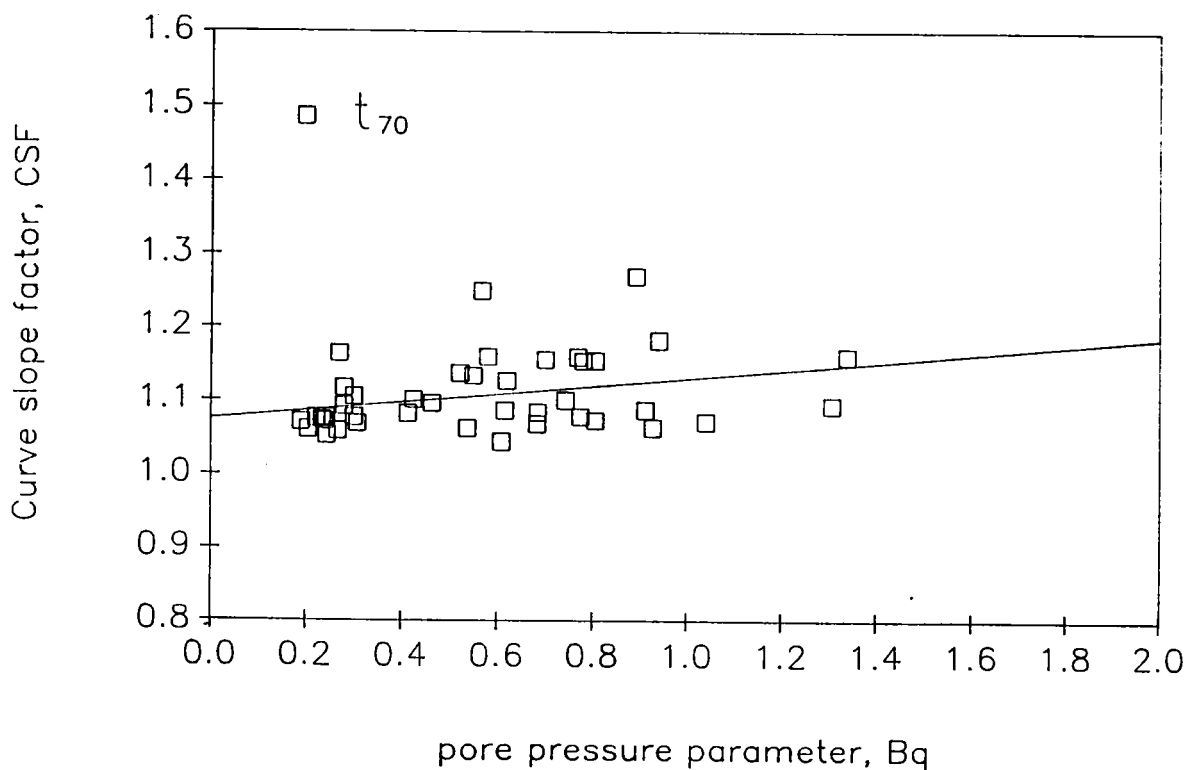


圖4-9 t_{70} 曲線斜率因數與孔隙水壓參數 B_q 之相關性

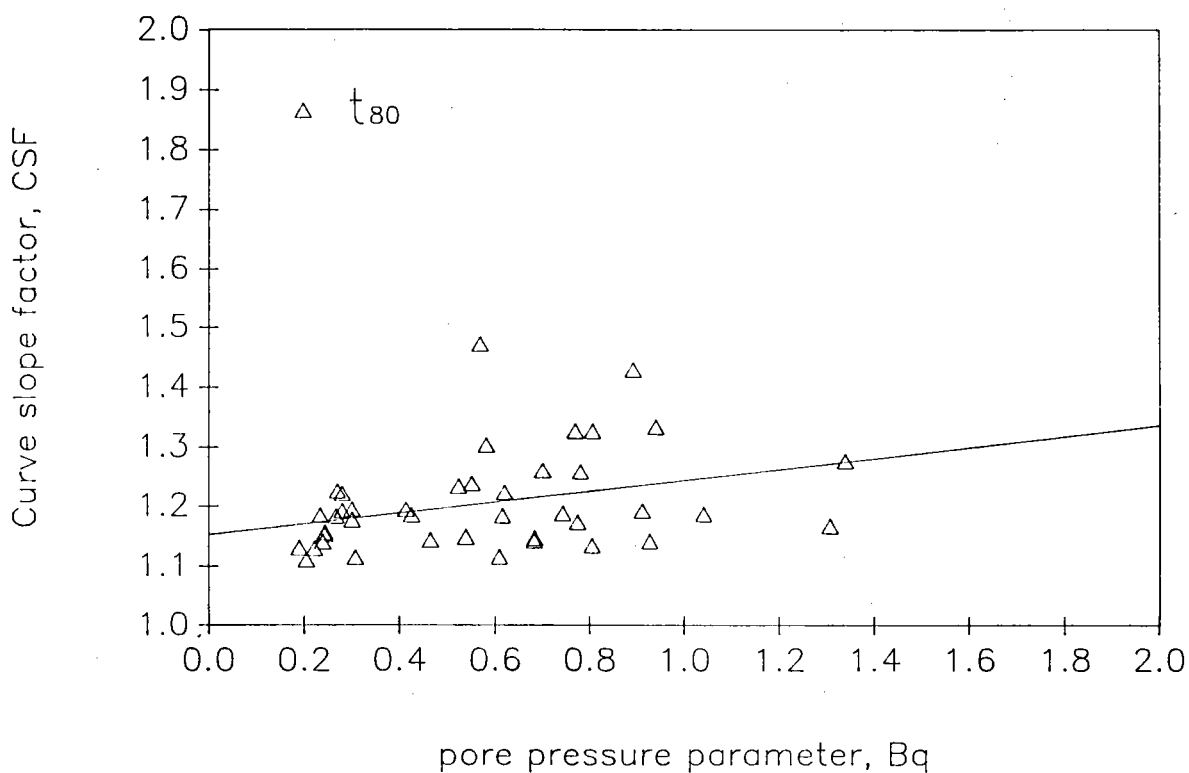


圖4-10 t_{80} 曲線斜率因數與孔隙水壓參數 B_q 之相關性

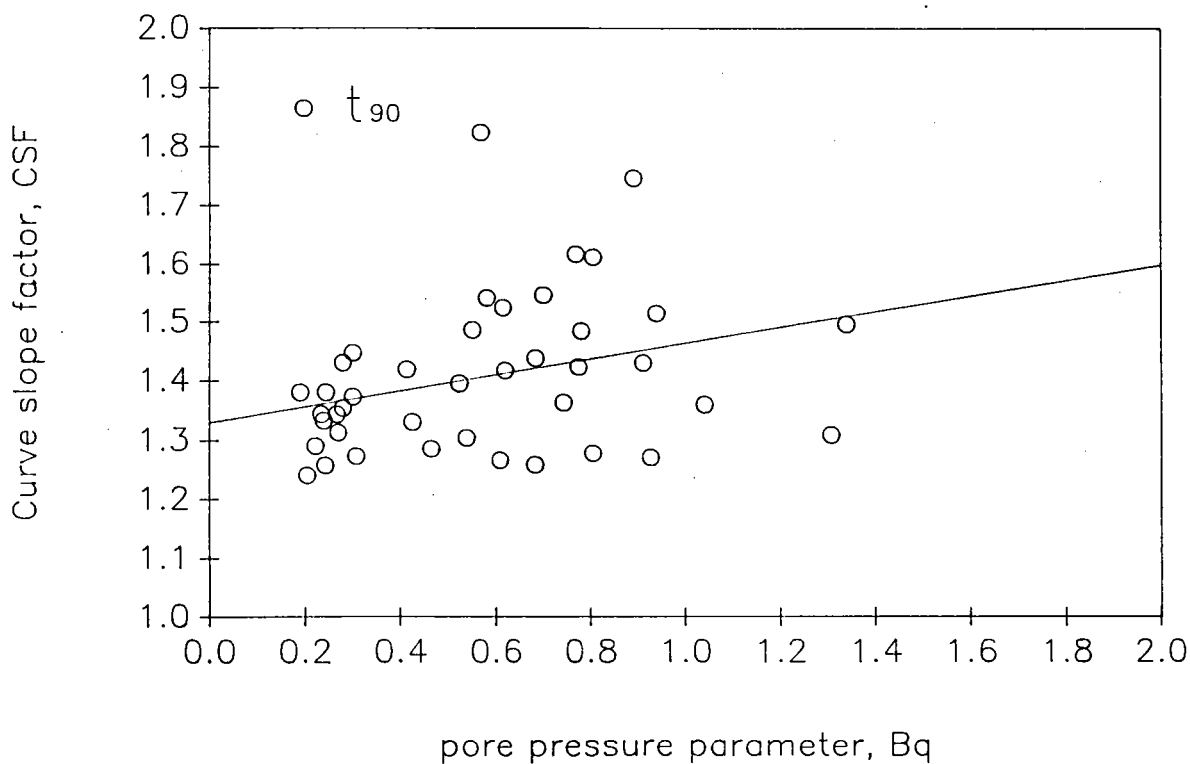


圖4-11 t_{90} 曲線斜率因數與孔隙水壓參數 B_q 之相關性

4-1-5 水平壓密係數

圖4-12及圖4-13為宜梧地區與永安地區水壓錐消散試驗所推得之水平壓密係數 C_h (piezocone)隨深度分佈圖，該係數係利用Baligh & Levadoux(1986)所建議之方法，取消散50%之數據所推算之結果。此方法所推得之水平壓密係數值，理論上為過壓密狀態下之 $C_h(OC)$ ，需再乘上RR/CR之比值(RR為再壓縮比，CR為原始壓縮比)，才是正常壓密下之 $C_h(NC)$ 值(見式3-4)。

4-2 Rowe cell 壓密試驗結果分析

4-2-1 壓密曲線分佈與壓密係數

本研究之Rowe cell壓密試驗，分別以1、2、4、8、12kg/cm²等5個階段進行加壓試驗及6、1kg/cm²等2個階段進行解壓試驗。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，未進一步進行次要壓縮試驗。其中雲林宜梧地區所取土樣進行剛性(Rigid)、即等應變之垂直單向壓密試驗(R_v)共6組，剛性之水平向外徑向排水壓密試驗(RH)共7組；而高雄永安地區所取土樣進柔性(Flexible)、即自由應變之垂直單向壓密試驗(F_v)共5組，柔性之水平向外徑向排水壓密試驗(FH)共11組。其試驗結果分別繪製水壓消散百分比($U\%$)～對數時間($\text{Log}t$)、沉陷(ΔH)～平方根時間($\sqrt{t}$)及體積變化(ΔV)～平方根時間($\sqrt{t}$)等關係圖。

本研究之垂直壓密係數 C_v 值及水平壓密係數 C_h 值，皆以Rowe cell壓密試驗之孔隙水壓消散曲線圖(附錄C-1)推求而得，即直接由消散曲線取得消散50%、90%之相對應時間 t_{50} 、 t_{90} ，然後以表3-1第9列之計算式計算壓密係數 C_{v50} 、 C_{v90} 及 C_{h50} 、 C_{h90} ，宜梧地區之壓密係數列如表4-3，永安地區之壓密係數列如表4-4。

4-2-2 壓密係數與壓力之關係

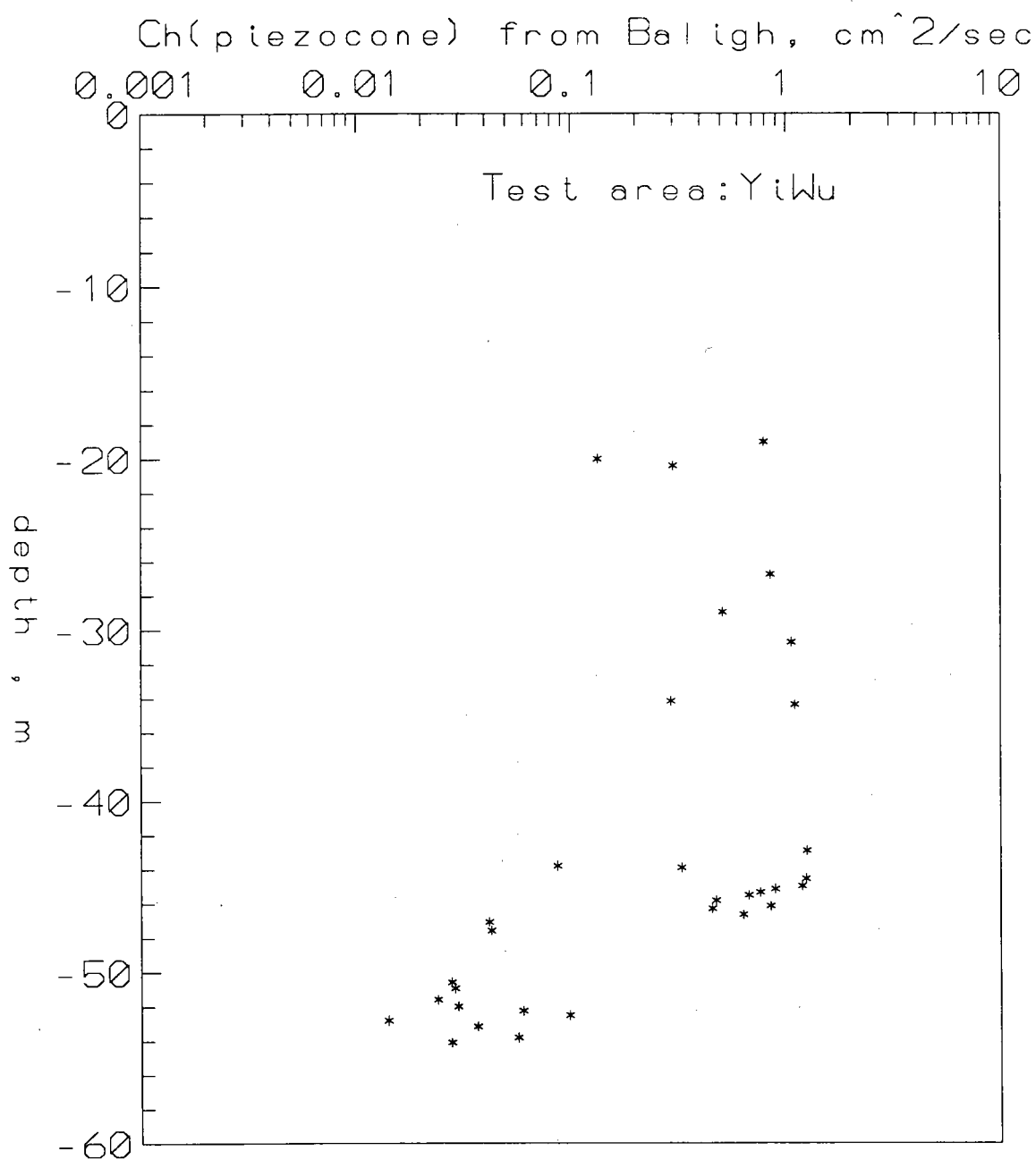


圖4-12 宜梧地區水壓錐消散試驗之水平壓密係數隨深度分佈圖

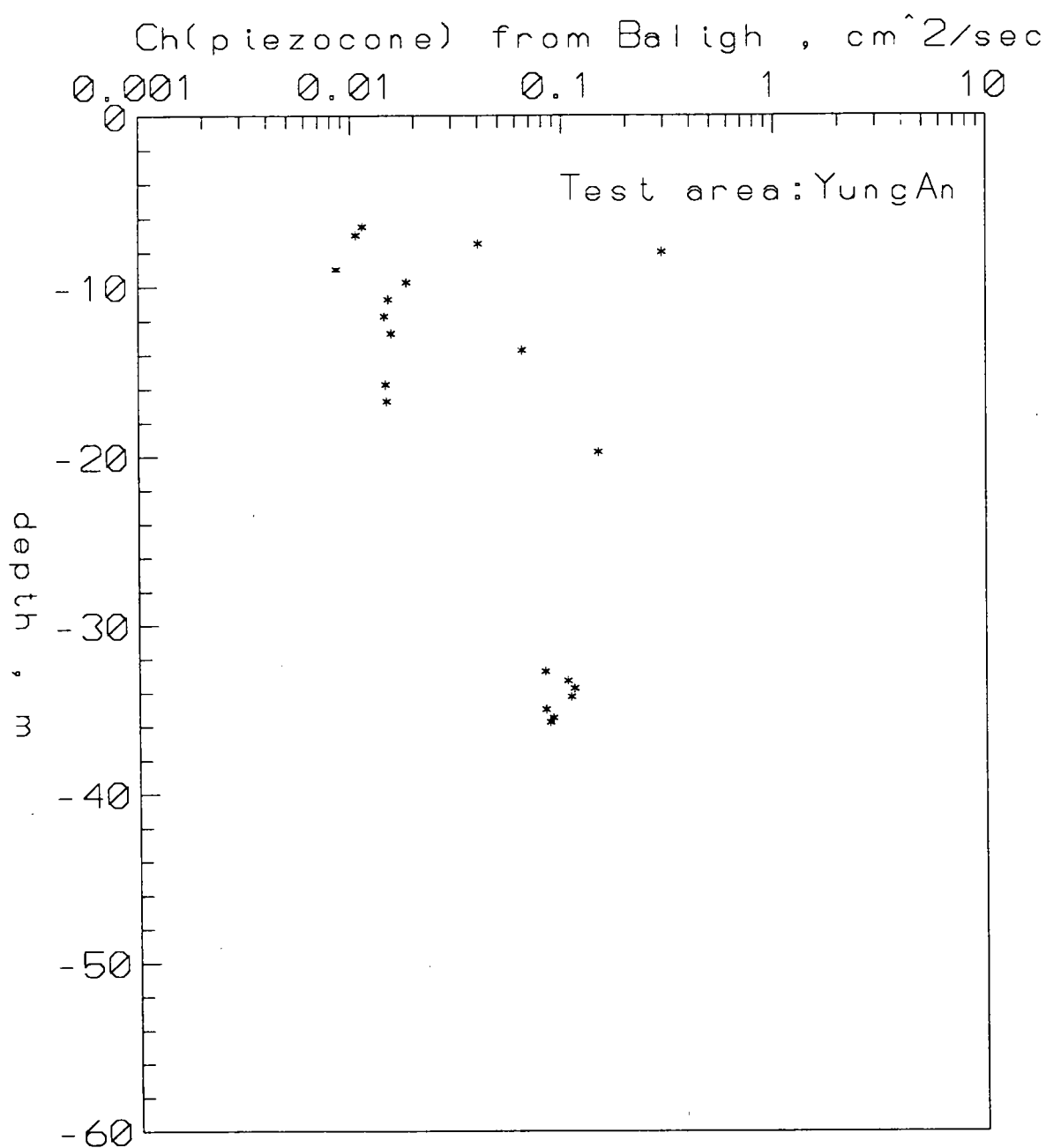


圖4-13 永安地區水壓錐消散試驗之水平壓密係數隨深度分佈圖

表4-3 (a) 雲林宜梧地區 Rowe cell 壓密試驗結果

試體 編號	深度 (m)	壓密壓力 (kg/cm ²)	垂直單向壓密試驗 (剛性)					水平向外壓密試驗 (剛性)				
			t ₅₀ (sec)	t ₉₀ (sec)	C _{v50} (10 ⁻³ cm ² /sec)	C _{v90} (10 ⁻³ cm ² /sec)	t ₅₀ (sec)	t ₉₀ (sec)	C _{h50} (10 ⁻³ cm ² /sec)	C _{h90} (10 ⁻³ cm ² /sec)		
T-5	33.9	0	—	—	—	—	4.57	13.18	504.00	378.00		
		1	—	—	—	—	3.16	12.30	720.00	405.00		
		2	—	—	—	—	7.94	39.81	290.00	125.00		
	34.1	4	—	—	—	—	14.13	120.23	160.00	41.00		
		8	—	—	—	—	39.81	302.00	57.90	165.00		
		12	—	—	—	—	—	—	—	—		
T-6	44.8	0	61	240	48.71	33.68	2.63	12.02	876.00	415.00		
		1	23.5	164	126.40	49.29	5.01	16.60	460.00	300.00		
		2	28.5	8255	104.30	0.98	7.59	47.86	304.00	104.00		
	45.0	4	14.5	404	204.90	20.01	17.78	165.96	130.00	30.00		
		8	36	5255	82.50	1.54	60.26	398.11	38.00	12.50		
		12	—	—	—	—	—	—	—	—		
T-8	50.4	0	1145	11255	2.54	0.72	5.25	66.07	439.00	75.00		
		1	1255	19255	2.22	0.42	28.18	416.87	82.00	12.00		
		2	2255	—	1.19	—	53.70	302.00	43.00	16.50		
	50.6	4	1840	—	1.41	—	97.72	1318.26	24.00	3.80		
		8	3090	—	0.81	—	316.23	2630.27	7.30	1.90		
		12	—	—	—	—	—	—	—	—		

表4-3 (b) 雲林宜梧地區 Rowe cell 壓密試驗結果

試體 編號	深度 (m)	壓密壓力 (kg/cm ²)	垂直單向壓密試驗 (剛性)			水平向外壓密試驗 (剛性)				
			t ₅₀ (sec)	t ₉₀ (sec)	C _{v50} (10 ⁻³ cm ² /sec)	C _{v90} (10 ⁻³ cm ² /sec)	t ₅₀ (sec)	t ₉₀ (sec)	C _{h50} (10 ⁻³ cm ² /sec)	C _{h90} (10 ⁻³ cm ² /sec)
T-9	51.25	0	6309.57	24547.09	0.47	0.33	3.98	23.44	579.00	212.60
		1								
		2	7079.46	21397.62	0.42	0.38	10.00	70.79	123.00	70.40
	51.45	4	5623.41	17378.01	0.53	0.47	26.61	188.36	87.00	26.50
		8	4073.80	13803.84	0.73	0.59	87.10	1096.48	26.50	4.50
		12	3162.28	14125.38	0.94	0.57	371.54	3162.28	6.20	1.60
T-10	52.05	0								
		1	7.5	255.27	396.00	32.00	27.48	75.51	81.60	64.20
		2	16.98	225.00	175.00	36.00	5.58	28.97	402.00	167.00
	52.25	4	645.65	3176.87	4.60	2.55	8.00	42.46	280.00	114.00
		8	690.24	3758.37	4.31	2.15	11.78	56.75	190.00	85.00
		12	635.33	4385.31	4.68	1.84	25.00	214.29	90.00	23.60
T-11	52.60	0								
		1	4.57	35.48	650.00	228.00	2.51	15.85	918.00	314.00
		2	3.16	67.61	940.00	120.00	2.55	35.48	904.00	140.00
	52.80	4	6.76	90.79	440.00	114.00	3.55	50.12	649.00	99.40
		8	9.55	58.88	310.00	137.00	4.47	100.00	516.00	49.80
		12								

表 4-3 (c) 雲林宜梧地區 Rowe cell 壓密試驗結果

試體 編號	深度 (m)	壓密壓力 (kg/cm ²)	垂直單向壓密試驗 (剛性)					水平向外壓密試驗 (剛性)				
			t ₅₀ (sec)	t ₉₀ (sec)	C _{v50} (10 ⁻³ cm ² /sec)	C _{v90} (10 ⁻³ cm ² /sec)	t ₅₀ (sec)	t ₉₀ (sec)	C _{h50} (10 ⁻³ cm ² /sec)	C _{h90} (10 ⁻³ cm ² /sec)		
T-12	53.4	0	2213.09	5997.91	1.34	1.350	9.55	26.92	241.00	18.50		
		1	1071.52	4753.35	2.77	1.700	—	—	—	—		
		2	685.49	3258.37	4.34	2.480	2.69	398.11	857.00	12.50		
		4	619.44	3475.36	4.80	2.325	6.61	446.68	349.00	11.20		
		8	515.23	3491.40	5.77	2.315	14.79	524.81	156.00	9.50		
		12										

表 4-4 (a) 高雄永安地區 Rowe cell 壓密試驗結果

試體 編號	深度 (m)	壓密壓力 (kg/cm ²)	垂直單向壓密試驗 (柔性)				水平向外壓密試驗 (柔性)			
			t ₅₀ (sec)	t ₉₀ (sec)	C _{v50} (10 ⁻³ cm ² /sec)	C _{v90} (10 ⁻³ cm ² /sec)	t ₅₀ (sec)	t ₉₀ (sec)	C _{h50} (10 ⁻³ cm ² /sec)	C _{h90} (10 ⁻³ cm ² /sec)
T-2	6.3	0	1275	—	2.330	—	725	3255	3.675	1.961
		1	1275	5280	2.330	1.531	685	3755	3.890	1.699
		2	1300	4755	2.290	1.699	535	1785	4.980	3.575
	6.5	4	965	3755	3.080	2.153	505	1650	5.280	3.867
		8	725	7255	3.830	1.900	345	1305	7.723	4.890
		12								
T-3	7.3	0	305	1150	9.742	7.029	70	150	38.100	42.500
		1	380	1655	7.819	4.884	4	65	666.000	98.200
		2	283	1505	10.500	5.371	5	95	533.000	67.200
	7.5	4	148	1038	20.077	7.787	5	165	533.000	38.700
		8	193	1135	15.396	7.122	15	195	178.000	32.700
		12								
T-4	8.4	0	1195	4255	2.490	1.900	155	495	17.200	12.900
		1	835	7755	3.560	1.042	85	585	31.300	10.900
		2	975	5255	3.050	1.538	115	615	23.200	10.400
	8.6	4	795	3255	3.740	2.483	95	535	28.000	11.900
		8	535	2765	5.550	2.923	55	365	48.400	17.500
		12								

表 4-4 (b) 高雄永安地區 Rowe cell 壓密試驗結果

試體 編號	深度 (m)	壓密壓力 (kg/cm ²)	垂直單向壓密試驗 (柔性)					水平向外壓密試驗 (柔性)				
			t ₅₀ (sec)	t ₉₀ (sec)	C _{v50} (10 ⁻³ cm ² /sec)	C _{v90} (10 ⁻³ cm ² /sec)	t ₅₀ (sec)	t ₉₀ (sec)	C _{h50} (10 ⁻³ cm ² /sec)	C _{h90} (10 ⁻³ cm ² /sec)		
T-5	9.4	0	3355	14255	0.886	0.567	7	85	381.000	75.100		
		1										
		2	2465	8755	1.210	0.923	3	46	888.000	139.000		
	9.6	4	1875	7755	1.580	1.042	3	40	888.000	160.000		
		8	1810	7005	1.640	1.154	4.5	70	592.000	91.000		
		12	—	—	—	—	8	105	333.000	61.000		
T-6	10.4	0										
		1					825	5255	3.230	1.214		
		2					1185	4505	2.249	1.417		
	10.6	4					825	3255	3.230	1.961		
		8					795	2555	3.352	2.498		
		12					705	1575	3.780	4.052		
T-7	11.4	0										
		1	3655	10450	0.813	0.773	1095	6255	2.433	1.020		
		2	2975	9005	0.898	0.898	1575	6005	1.692	1.063		
	11.6	4	2110	10250	1.410	0.789	1255	5005	2.123	1.275		
		8	—	—	—	—	1040	4505	2.562	1.417		
		12	—	—	—	—	1085	5400	2.456	1.182		

表 4-4 (c) 高雄永安地區 Rowe cell 壓密試驗結果

試體 編號	深度 (m)	壓密壓力 (kg/cm ²)	垂直單向壓密試驗 (柔性)					水平向外壓密試驗 (柔性)				
			t ₅₀ (sec)	t ₉₀ (sec)	C _{v50} (10 ⁻³ cm ² /sec)	C _{v90} (10 ⁻³ cm ² /sec)	t ₅₀ (sec)	t ₉₀ (sec)	C _{h50} (10 ⁻³ cm ² /sec)	C _{h90} (10 ⁻³ cm ² /sec)		
T-8	12.45	0					2115	9255	1.260	0.690		
		1					2610	10255	1.021	0.622		
		2					2050	8755	1.300	0.729		
	12.65	4					1560	7755	1.708	0.823		
		8					1305	7755	2.040	0.823		
		12										
T-9	13.45	0					415	1755	6.420	3.636		
		1					555	2055	4.801	3.105		
		2					425	1685	6.269	3.787		
	13.65	4					335	1395	7.954	4.575		
		8					265	1455	10.050	4.386		
		12										
T-10	15.40	0					545	2920	4.889	2.185		
		1					775	2655	3.438	2.404		
		2					715	2450	3.727	2.605		
	15.60	4					555	2255	4.801	2.830		
		8					545	2605	4.889	2.450		
		12										

表 4-4 (d) 高雄永安地區 Rowe cell 壓密試驗結果

試體 編號	深度 (m)	壓密壓力 (kg/cm ²)	垂直單向壓密試驗 (柔性)			水平向外壓密試驗 (柔性)				
			t ₅₀ (sec)	t ₉₀ (sec)	C _{v50} (10 ⁻³ cm ² /sec)	C _{v90} (10 ⁻³ cm ² /sec)	t ₅₀ (sec)	t ₉₀ (sec)	C _{h50} (10 ⁻³ cm ² /sec)	C _{h90} (10 ⁻³ cm ² /sec)
T-11	16.40	0					925	4755	2.881	1.342
		1					1215	3755	2.193	1.699
		2					1095	3755	2.433	1.699
	16.60	4					865	3255	3.080	1.761
		8					715	3505	3.727	1.821
		12								
T-12	19.40	0					7.20	12.2	370.000	532.000
		1					1.06	3.6	2500.000	1773.000
		2					1.22	10.0	2000.000	638.000
	19.60	4					2.50	65.0	1066.000	98.000
		8					6.10	85.0	437.000	75.000
		12								
		0								
		1								
		2								
		4								
		8								
		12								

將表4-3、表4-4之垂直壓密係數 C_v 值及水平壓密係數 C_h 值繪於y軸，加壓荷重壓力 p 值繪於對數座標之x軸，以探討 $C_v \sim \log P$ 及 $C_h \sim \log P$ 之定性關係，其中 $C_v \sim \log P$ 關係圖繪於圖4-14～圖4-16， $C_h \sim \log P$ 之關係圖繪於圖4-17～圖4-19。

由圖4-14～圖4-16顯示，大部分土壤之 C_v 值隨著壓力 P 增加而略有增大。而 C_h 與壓力 P 之關係，由圖4-17顯示，宜梧地區之 C_h 值，除了在小壓力階段外(小於 $1\text{kg}/\text{cm}^2$)，皆隨壓力 P 增大而減小；永安地區T-3、T-4、T-5、T-12等土壤之 C_h 值與壓力 P 之關係如圖4-18所示，其特性與宜梧地區相似；但其餘大部分土壤之 C_h 值卻隨壓力 P 增大而增大，與宜梧地區特性相反，如圖4-19所示。

現象說明：由圖4-2永安B₂孔附近水壓錐貫入試驗之 B_q 值判斷，在深度7.5m～9.5m(T-3、-4、-5)、17.5m～20m(T-12)之粘土層含沉泥量較高，屬於較具層次性之沉積土壤，其他深度之粘土層較為均質，無明顯層次性，而宜梧地層之粘土層亦屬於具有層次性之海岸沉積土壤。粘土層具層次性者，其垂直壓密係數 C_v 值與無明顯層次性者比較高出不多，如圖4-15、4-16所示，但其水平壓密係數 C_h 值則高出數十倍之多如圖4-18、4-19所示，有層次性土壤之水平壓密係數 C_h 值較高，會隨壓力增大而減小；對於較無層次性之沉積土壤，其水平壓密係數 C_h 值較低，但 C_h 值反隨壓力增大而增大。

4-2-3 水平壓密係數與垂直壓密係數之關係

本文以消散50%計算而得之 C_h 、 C_v ，探討水平壓密係數與垂直壓密係數之相關性。經統計之相關性分析，以 $C_h \sim \log(C_v)$ 之相關性最高因此就宜梧地區粘土、永安地區有層次性粘土及無層次性粘土之 $C_h \sim \log C_v$ 關係，分別繪於圖4-20～圖4-22，經迴歸分析得其相關經驗式如下(式中 C_h 、 C_v 之單位皆以 cm^2/sec 表示)：

(1)宜梧地區(圖4-20)

(a) 壓力 $1\text{--}2\text{kg}/\text{cm}^2$

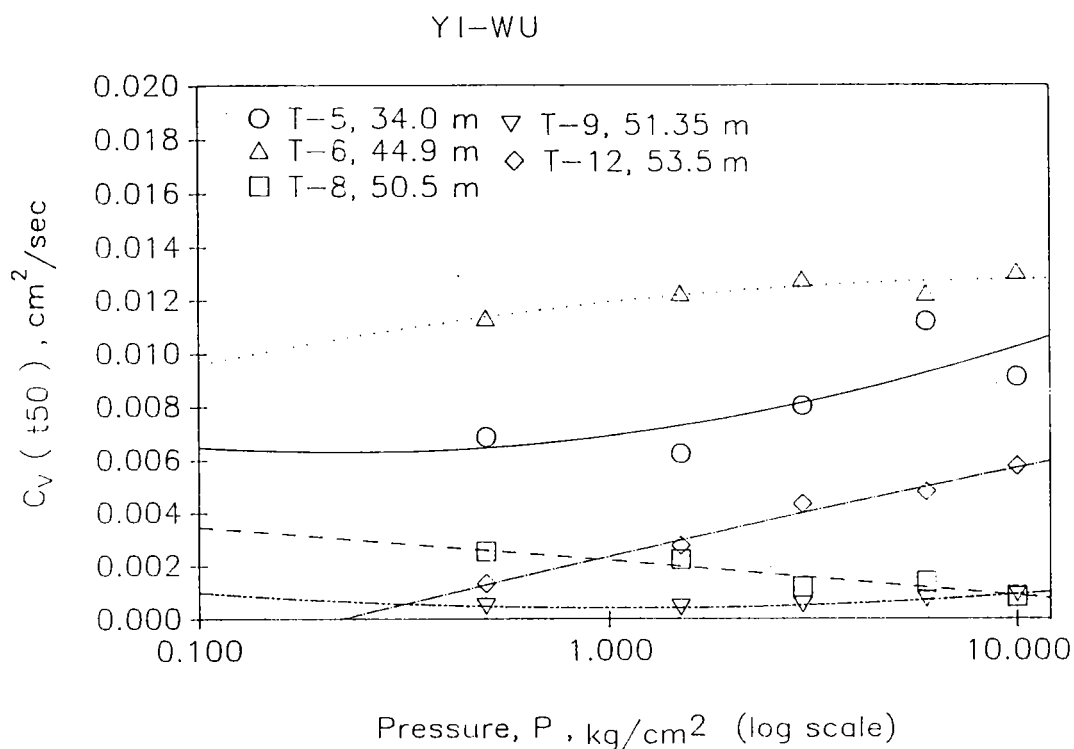


圖4-14 宜梧地區垂直壓密係數與加壓荷重之關係

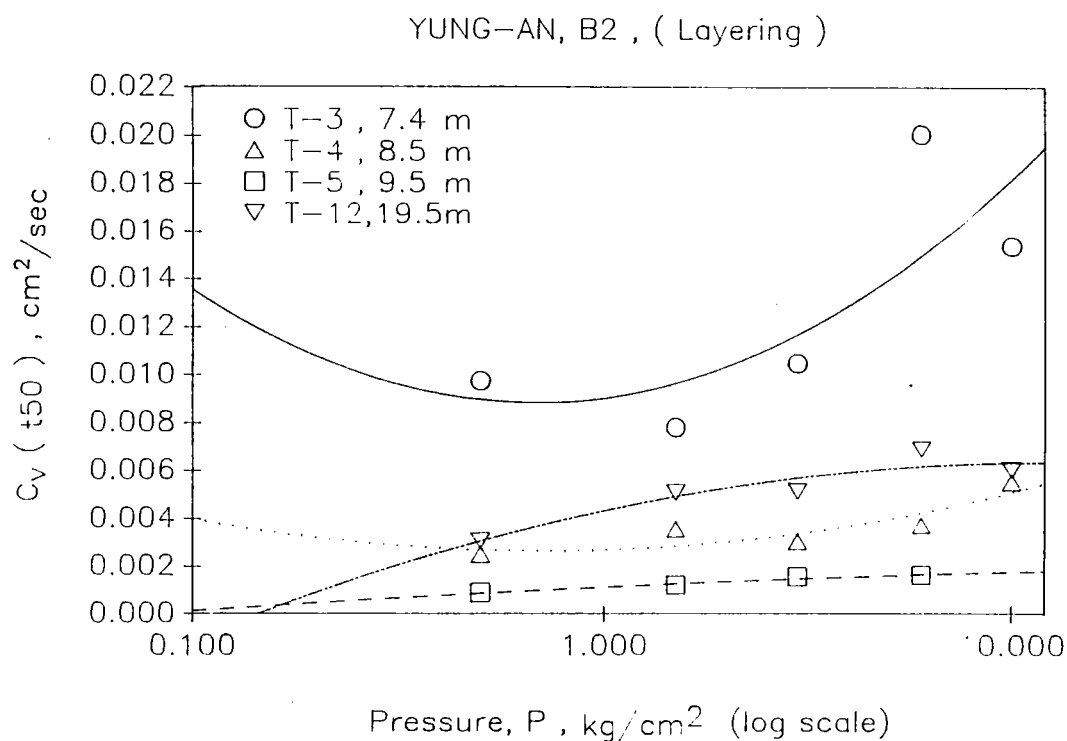


圖4-15 永安地區有層次性粘土層垂直壓密係數與加壓荷重之關係

YUNG-AN, B2 (No evidence of layering)

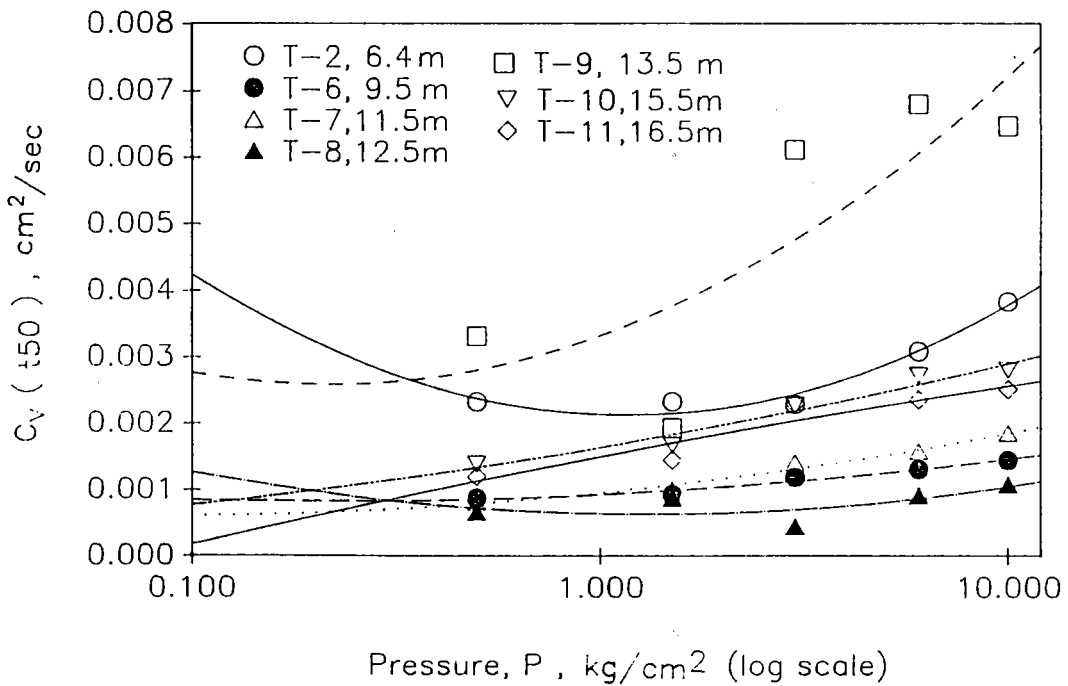


圖4-16 永安地區無層次性粘土層垂直壓密係數與加壓荷重之關係

YI-WU

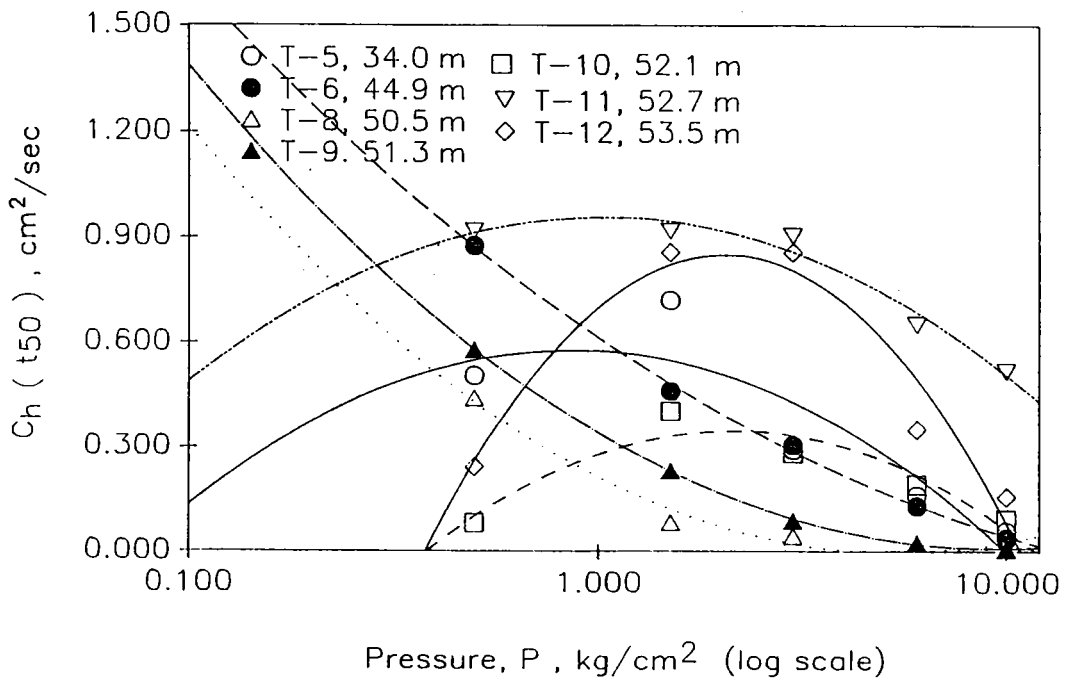


圖4-17 宜梧地區水平壓密係數與加壓荷重之關係

YUNG-AN, B2 (Layering)

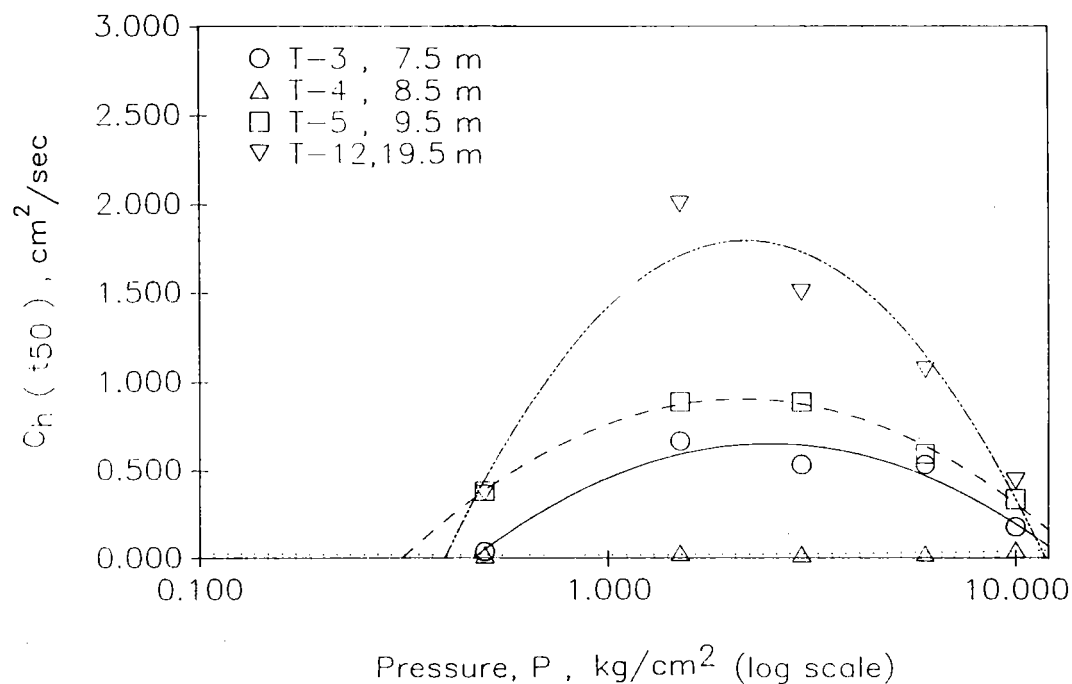


圖4-18 永安地區有層次性粘土層水平壓密係數與加壓荷重之關係

YUNG-AN, B2 (No evidence of layering)

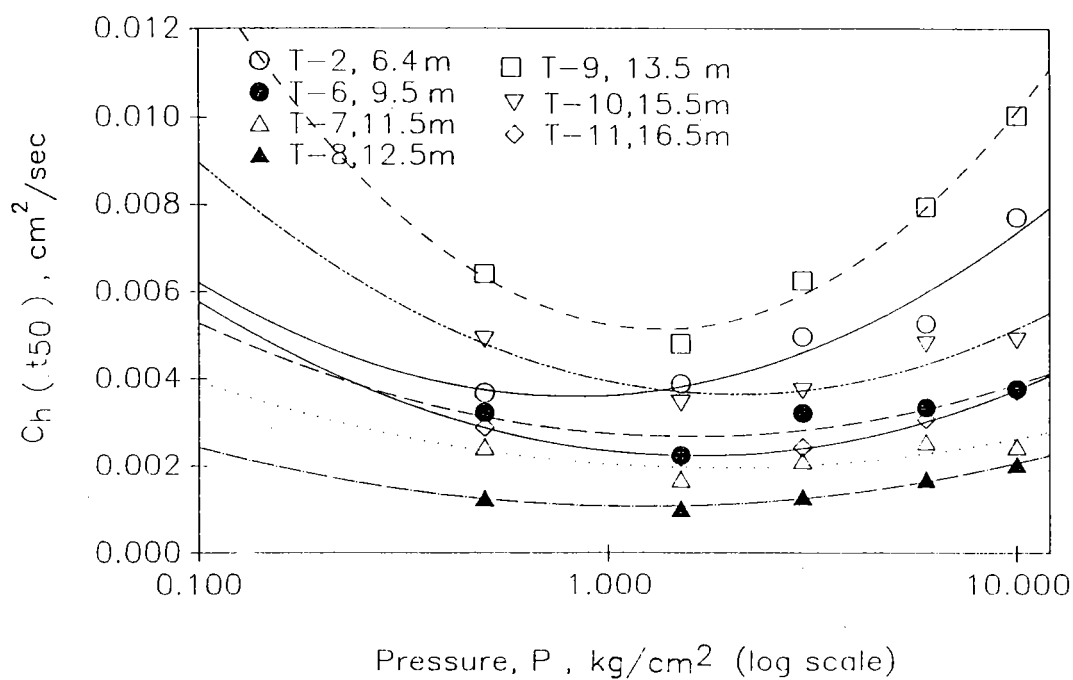


圖4-19 永安地區無層次性粘土層水平壓密係數與加壓荷重之關係

$$C_h = 0.2392 \log C_v + 0.9763 \dots\dots\dots(4-9)$$

其相關係數 $R = 0.8276$

(b) 壓力 $2-4\text{kg/cm}^2$

$$C_h = 0.2447 \log C_v + 0.9159 \dots\dots\dots(4-10)$$

其相關係數 $R = 0.7338$

(c) 壓力 $4-8\text{kg/cm}^2$

$$C_h = 0.2164 \log C_v + 0.6787 \dots\dots\dots(4-11)$$

其相關係數 $R = 0.8863$

(d) 壓力 $8-12\text{kg/cm}^2$

$$C_h = 0.1856 \log C_v + 0.5254 \dots\dots\dots(4-12)$$

其相關係數 $R = 0.8884$

②永安地區有層次粘土(圖4-21)

其相關性甚低，不宜進行迴歸分析。

③永安地區無明顯層次性粘土(圖4-22)

(a) 壓力 $0-1\text{kg/cm}^2$

$$C_h = 0.005705 \log C_v + 0.02002 \dots\dots\dots(4-13)$$

其相關係數 $R = 0.8595$

(b) 壓力 $1-2\text{kg/cm}^2$

$$C_h = 0.007007 \log C_v + 0.002283 \dots\dots\dots(4-14)$$

其相關係數 $R = 0.8808$

(c) 壓力 $2-4\text{kg/cm}^2$

$$C_h = 0.004209 \log C_v + 0.01502 \dots\dots\dots(4-15)$$

其相關係數 $R = 0.8508$

(d) 壓力 $4-8\text{kg/cm}^2$

YI-WU, (varied clays)

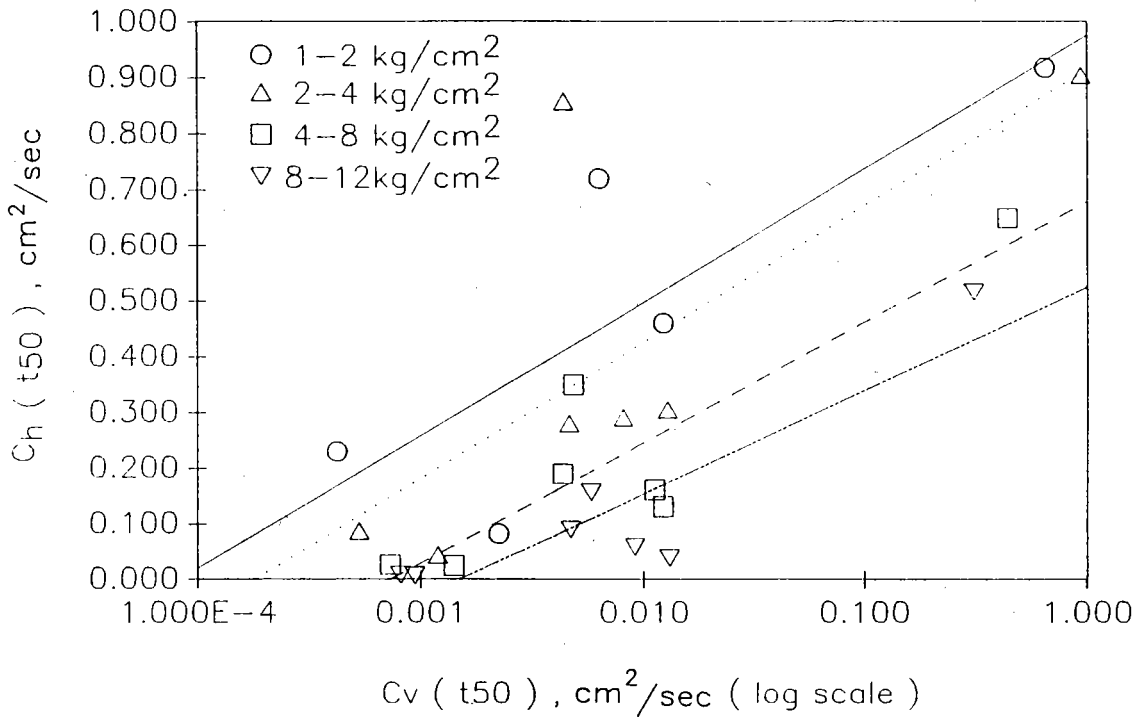


圖4-20 宜梧地區垂直壓密係數與水平壓密係數之關係

YUNG-AN, B2 (Layering)

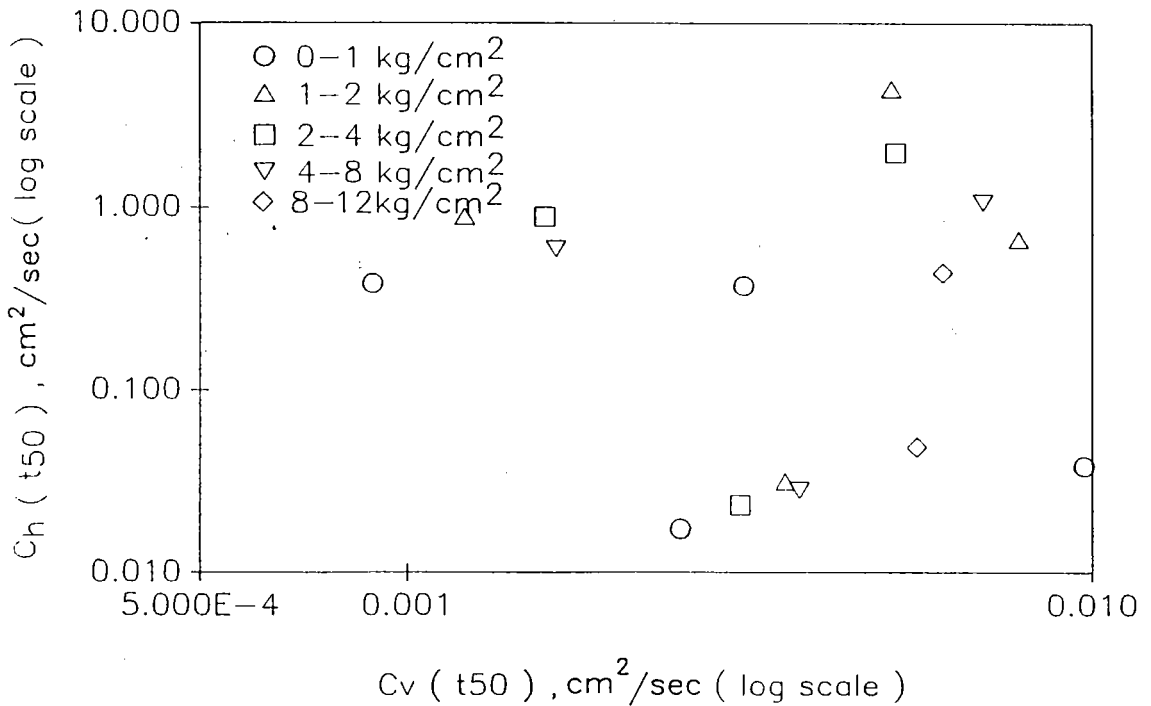


圖4-21 永安地區有層次性粘土層垂直壓密係數與水平壓密係數之關係

YUNG-AN, B2 (No evidence of layering)

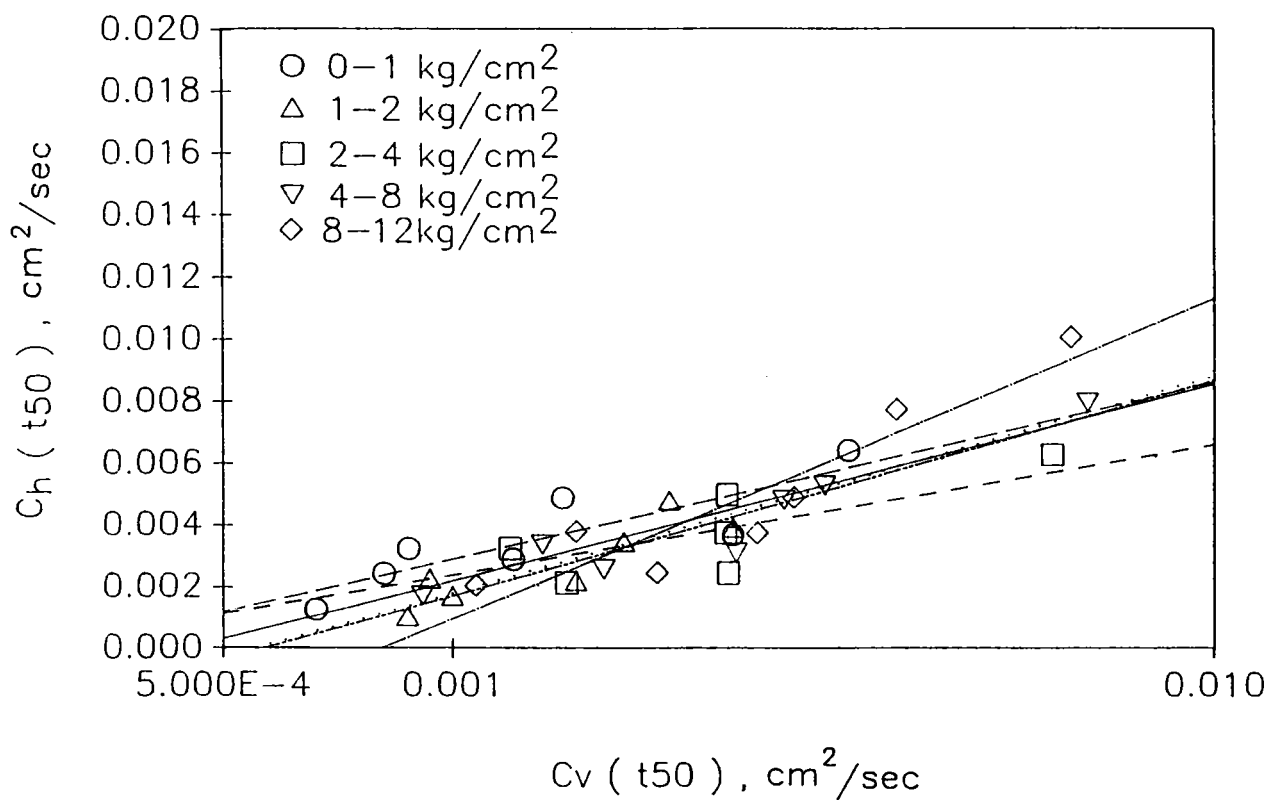


圖4-22 永安地區無層次性粘土層垂直壓密係數與水平壓密係數之關係

$$C_h = 0.006957 \log C_v + 0.02259 \dots\dots\dots(4-16)$$

其相關係數 $R = 0.9464$

(e) 壓力8-12kg/cm²

$$C_h = 0.01033 \log C_v + 0.03197 \dots\dots\dots(4-17)$$

其相關係數 $R = 0.9299$

若將永安地區無層次性粘土之各個壓力階段之資料，綜合分析，可得式(4-18)之相關經驗式。

$$C_h = 0.006349 \log C_v + 0.02125 \dots\dots\dots(4-18)$$

其相關係數 $R = 0.8592$

4-3 傳統壓密試驗

本研究之傳統式壓密試驗分別以0.125、0.5、1、2、4、8、16、32kg/cm²等9個階段進行加壓試驗，每階段加壓24小時，以8、2、0.5、0.125kg/cm²等4個階段進行解壓試驗，每階段解壓4小時。其中宜梧地區所取土樣共進行11組，永安地區土樣亦進行11組，其試驗結果如附錄D所示。茲將其壓密係數(O_{cv})分別與剛性(等應變)垂直單向排水、柔性(自由應變)垂直單向排水之Rowe cell壓密試驗比較，其關係分別如圖4-23及圖4-24所示，經迴歸分析得其相關式如下：

(1)傳統壓密試驗與剛性垂直單向排水Rowe cell 壓密試驗之關係
(圖4-23)

(a) R_{cv50} 與 O_{cv} 之關係

$$R_{cv50} = 1.4364 O_{cv} \dots\dots\dots(4-19)$$

其相關係數 $R = 0.7512$

(b) R_{cv90} 與 O_{cv} 之關係

$$R_{cv90} = 0.6984 O_{cv} \dots\dots\dots(4-20)$$

其相關係數 $R = 0.7565$

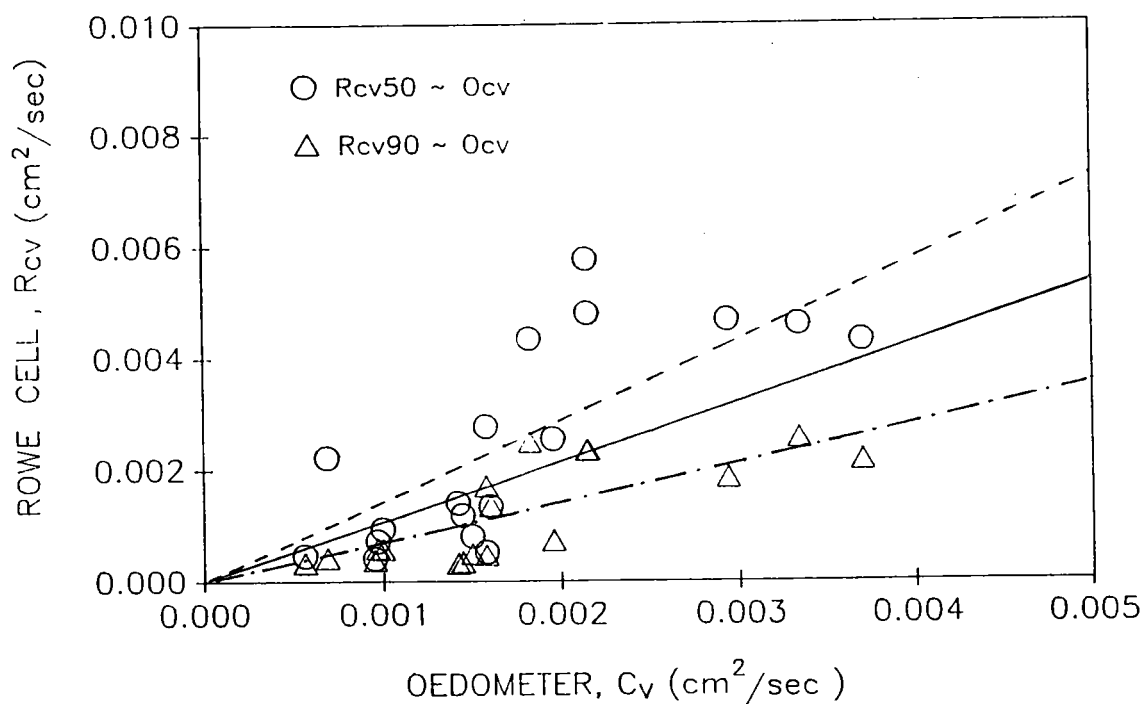


圖4-23 傳統壓密試驗 C_v 值與剛性Rowe cell 壓密試驗 R_{cv} 值之關係

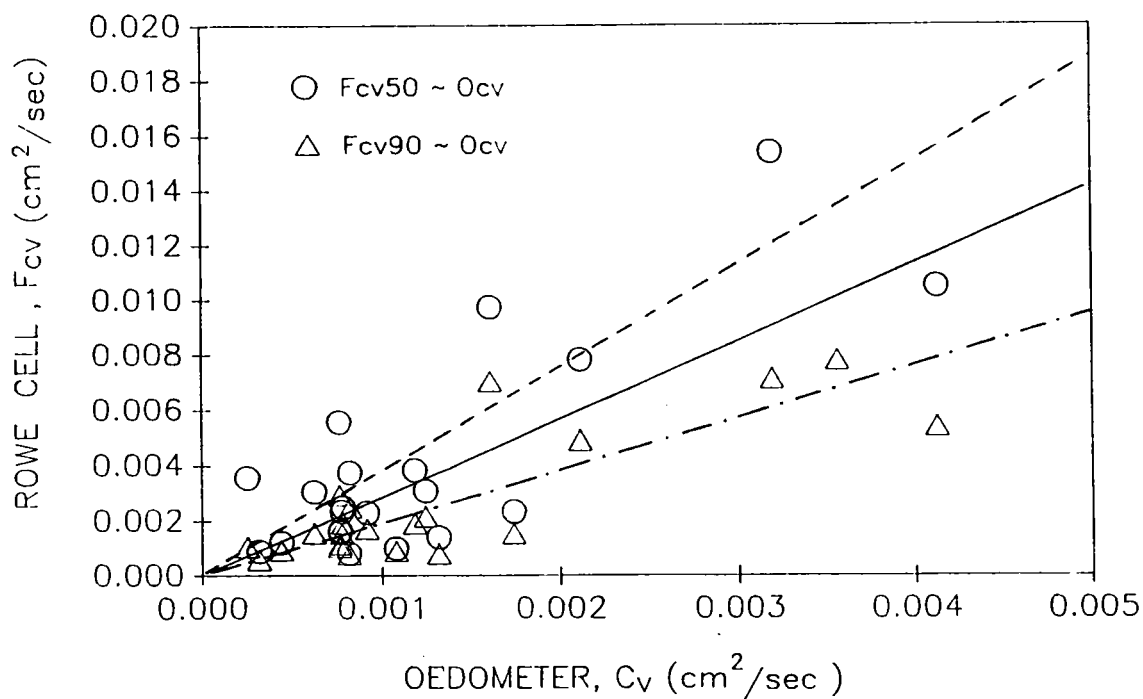


圖4-24 傳統壓密試驗 C_v 值與柔性Rowe cell 壓密試驗 F_{cv} 值之關係

(c) 綜合 R_{cv50} 、 R_{cv90} 之資料建立 R_{cv} 值與 O_{cv} 值之關係，如式 (4-21) 所示：

$$R_{cv} = 1.0674 O_{cv} \dots\dots\dots (4-21)$$

其相關係數 $R = 0.6483$

上式中， O_{cv} = 傳統壓密試驗之垂直壓密係數 C_v 值

R_{cv50} ， R_{cv90} = 剛性垂直單向排水 Rowe cell 壓密試驗，水壓消散 50% 與 90% 分別推求得之壓密係數

R_{cv} = 剛性垂直單向排水 Rowe cell 試驗之垂直壓密係數

(2) 傳統壓密試驗與柔性垂直單向排水 Rowe cell 壓密試驗之關係 (圖 4-24)

(a) F_{cv50} 與 O_{cv} 之關係

$$F_{cv50} = 3.7525 O_{cv} \dots\dots\dots (4-22)$$

其相關係數 $R = 0.8344$

(b) F_{cv90} 與 O_{cv} 之關係

$$F_{cv90} = 1.8881 O_{cv} \dots\dots\dots (4-23)$$

其相關係數 $R = 0.8133$

(c) 綜合 F_{cv50} 、 F_{cv90} 之資料建立 F_{cv} 值與 O_{cv} 值之關係，

$$F_{cv} = 2.8203 O_{cv} \dots\dots\dots (4-24)$$

其相關係數 $R = 0.7477$

上式中，

F_{cv50} ， F_{cv90} = 柔性垂直單向排水 Rowe cell 壓密試驗，水壓消散 50% 與 90% 分別推求得之壓密係數

F_{cv} = 柔性垂直單向排水 Rowe cell 試驗之壓密係數

由式(4-21)、式(4-24)之綜合分析顯示：傳統壓密試驗之 C_v 值與剛性Rowe cell試驗之 R_{cv} 值相當，但與柔性Rowe cell 試驗之 F_{cv} 值有甚大差異，大約 $F_{cv}=2.82 C_{cv}$ 。

4-4 地下水位與地層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，自民國70年5月至79年10月共7次水準點檢測資料，而地下水位自民國71年9月至78年2月期間，每個月皆有觀測資料。然後民國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4-25。

由圖4-25得知民國76年11月至77年5月，其地下水位下降達26.4公尺，而地層下陷並未發生，然而民國78年4月至79年10月之間，地下水未下降反而回升，但地層下陷量卻高達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層下陷間之延遲行為，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：

民國76年11月至77年5月有地下水位下降達26.4公尺而地層並未下陷，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4-25之研判，在民國70年4月至71年9月之間，宜梧地區雖未有水位觀測資料，但地層自民國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4-26、4-27所示，可發現在民國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民國70年4月至71年9月期間極大之地下水位下降。因此此期間地層有極大之下陷量，而民國76年11月至77年5月地下水位雖再有26.4公尺之下降，其地層沒有繼續變化。

(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，而淺層之自由水位漸漸回升，然後保持穩定之水位，此項可由圖4-28之分層水位觀測資料得到證明，因此可推斷民國78年4月至79年10月期間，淺層之自由水位雖然回升，深層之受壓水位卻因大量抽水而有極大之下降，致使地層約有40公分之下陷。由筆者與雲林地區養殖戶訪談之信息中，亦獲知約民國78年左右，雲林地區養殖面積急速擴大，淺層抽水已不敷使用，而且淺層自由水層已有鹽化污染現象，因此大量抽取深層之受壓水層。

茲將上述兩項說明之地下水位與地層下陷間之關係補充如圖4-29所示，若以保守估計民國70年4月至71年9月期間淺層地下水位僅下降26.4公尺，而其地層下陷累積至民國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，其地層約下陷1.57公分，若以分層地下水位資料推估民國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層下陷共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，其地層約下陷1.61公分。

由上述之論證分析可知，僅有淺層之自由水位觀測及地表之水準測量等資料，在進行地下水水變化與地層之下陷關係之研究方面，已不敷理想，因此分層觀測之觀念因應而生，茲將工研院能資所在宜梧國中進行之分層地下水位與分層之地層下陷觀測結果，提供讀者參考，如圖4-30、4-31、4-32所示。

由現地調查及圖4-30之地層柱狀圖可知，宜梧地區主要抽水層為地表下90~140公尺間，由圖4-30之分層地下水位資料顯示，淺層40公尺深度之地下水位已趨穩定，而深層68、126、193公尺深度之地下水位仍然甚低，且隨著枯水期、豐水期而變化，而由圖4-32之分層地層下陷資料顯示，個別層發生較大下陷量者為地表下117公尺附近。

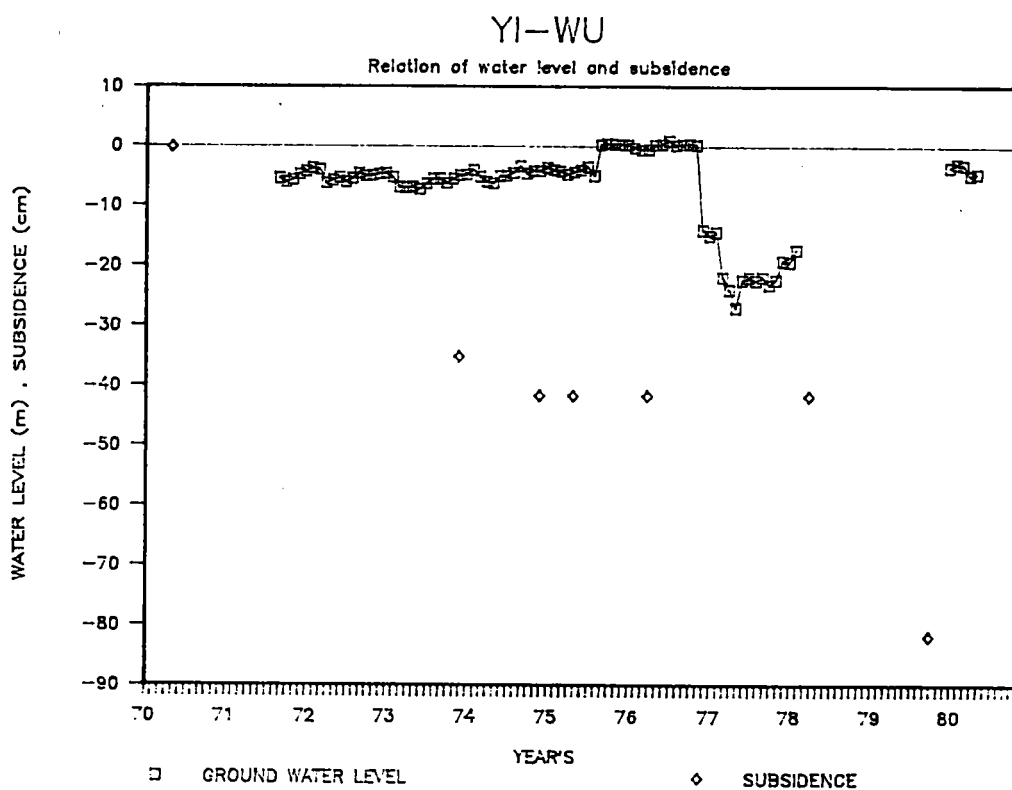


圖4-25 宜梧地區地下水位與地盤下陷觀測資料

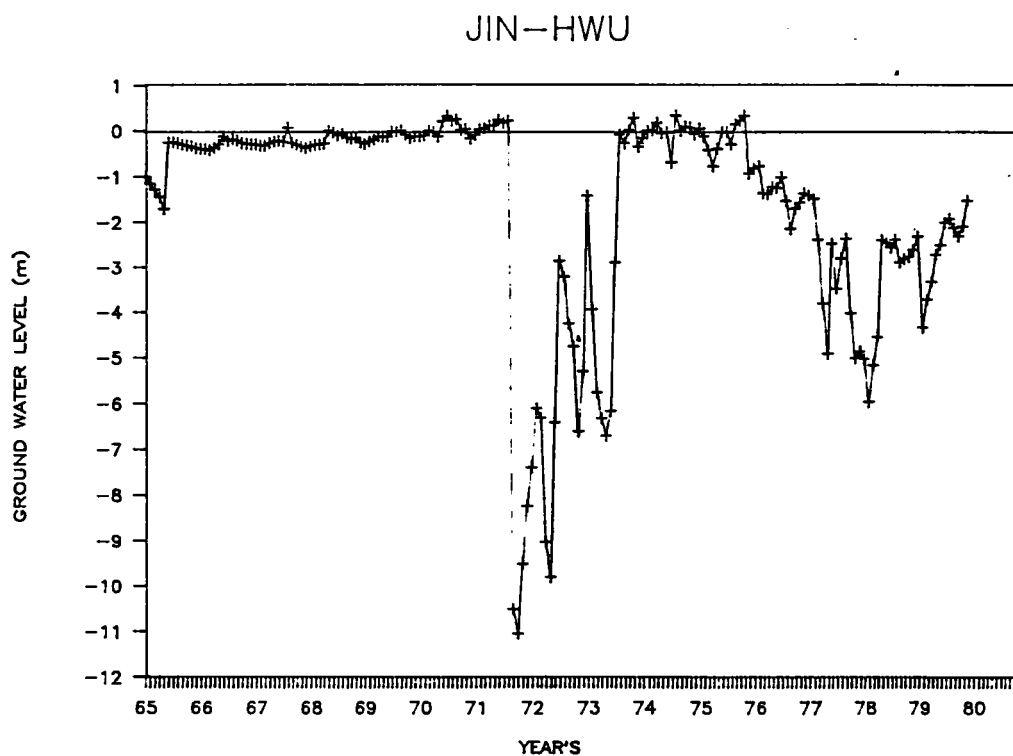


圖4-26 金湖地區地下水位觀測資料

WEN-TI

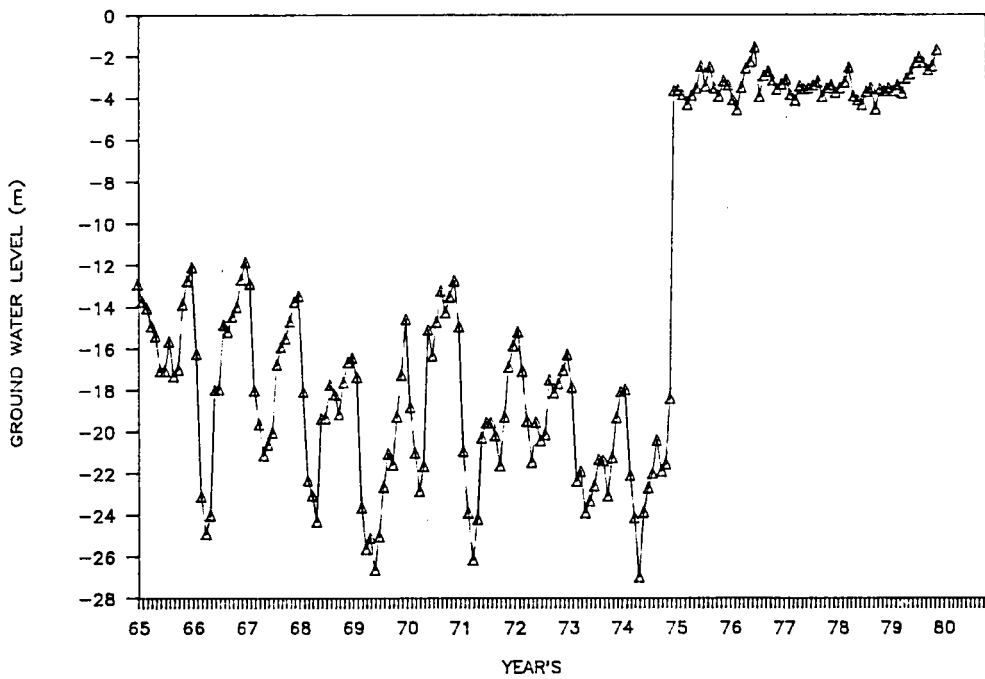


圖4-27 塭底地區地下水位觀測資料

地下水位(公尺)

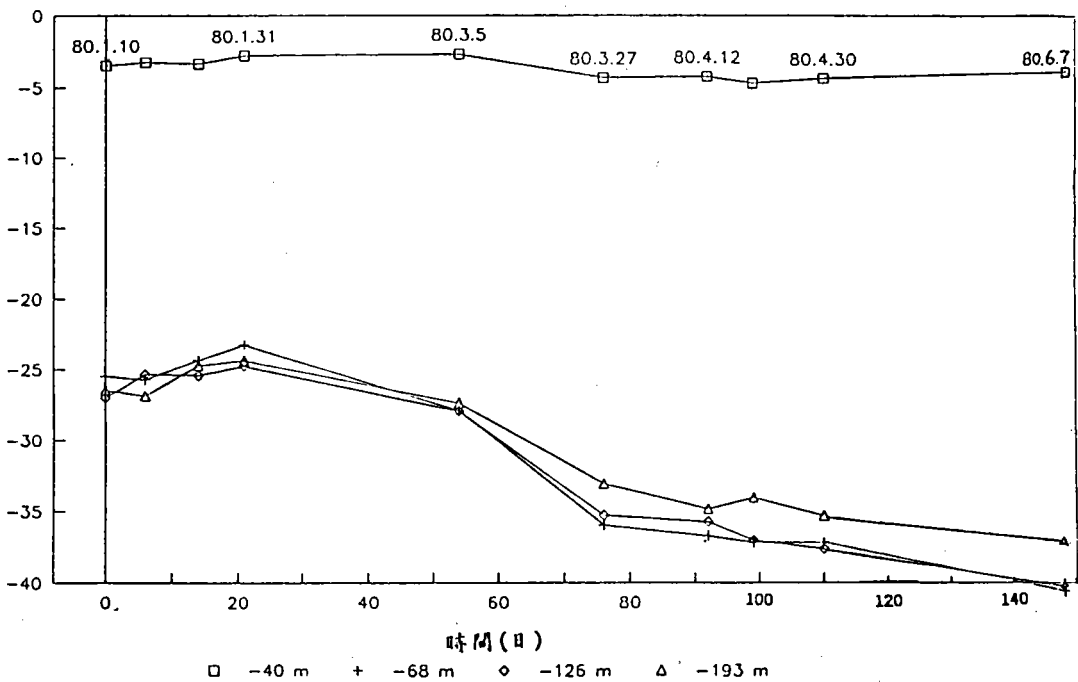


圖4-28 宜梧國中分層觀測井水位變化情形

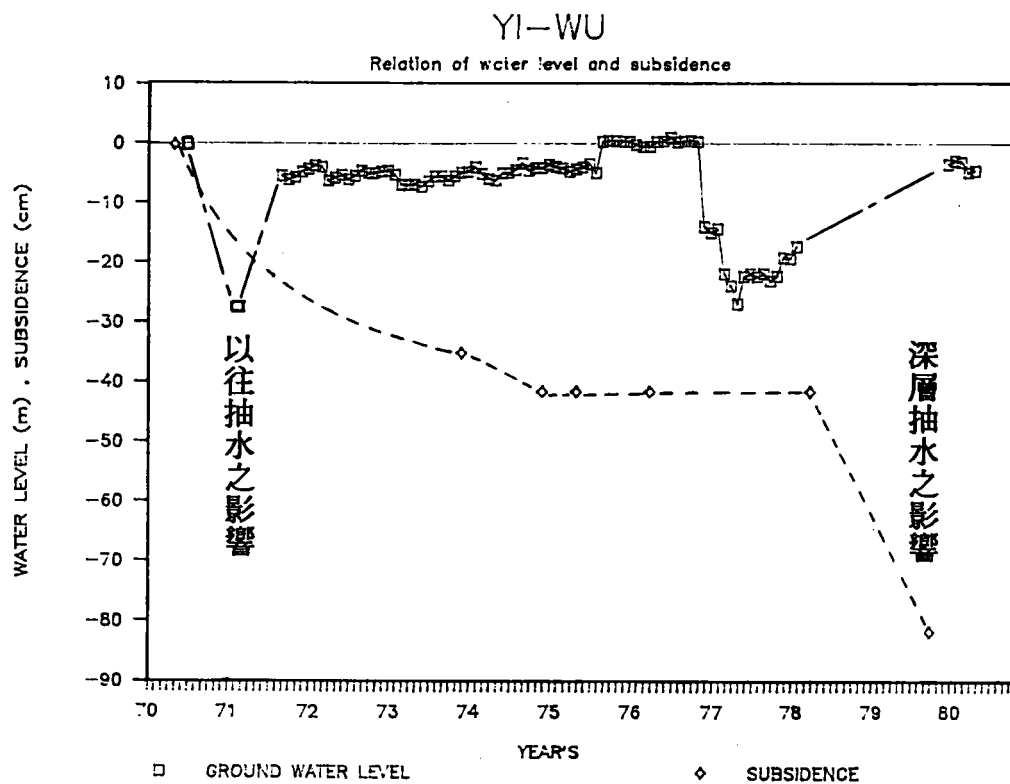


圖4-29 宜梧地區地下水位與地盤下陷關係圖

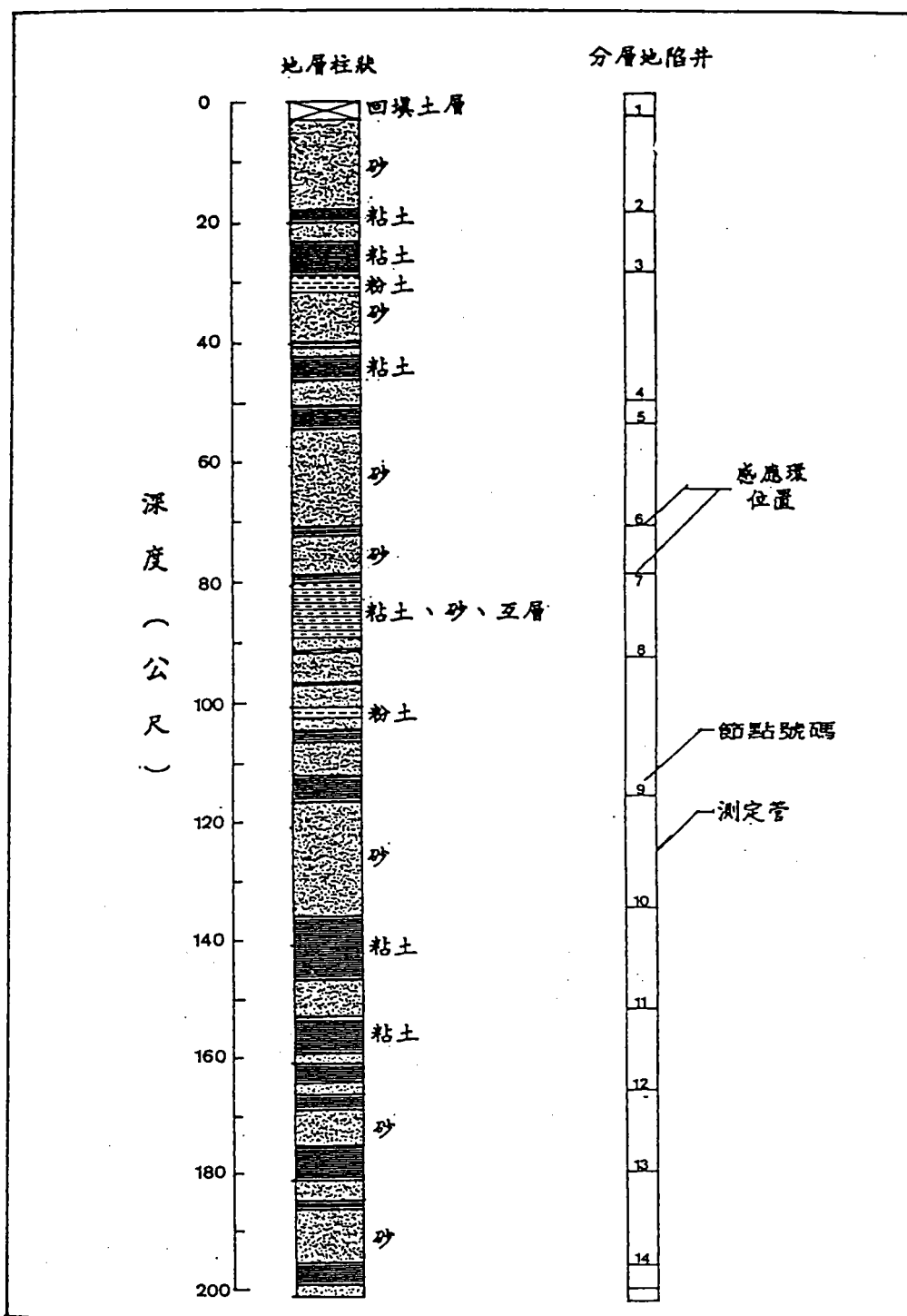


圖4-30 宜梧國中分層地陷之量測感應環分佈示意圖
(工研院能資所提供)

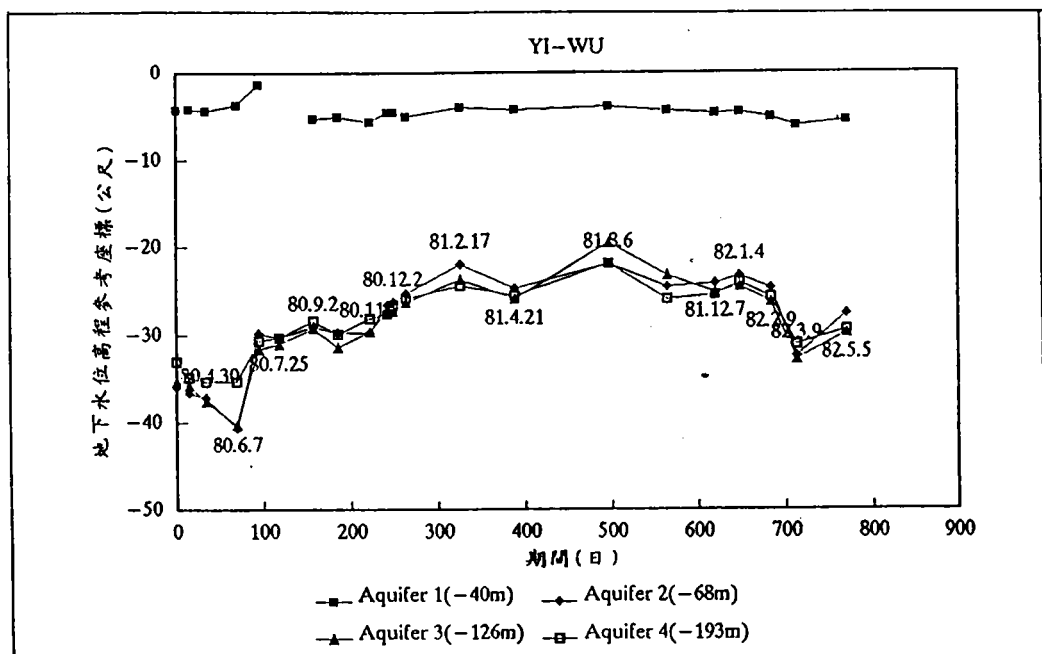


圖4-31 宜梧國中分層地下水位與時間之關係圖
(工研院能資所提供)

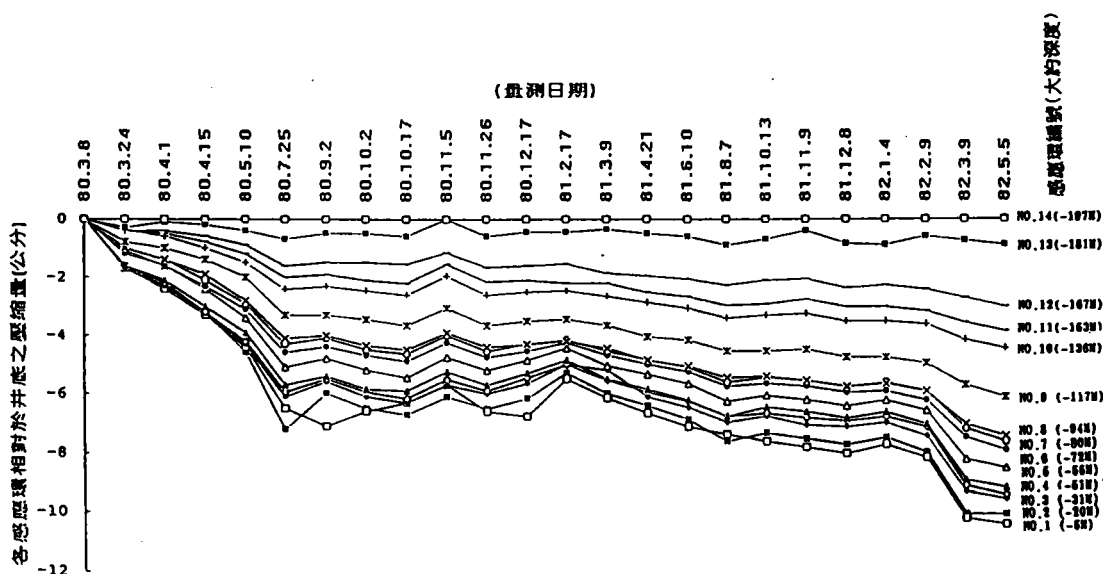


圖4-32 宜梧國中華民國80.3.8~82.5.5.各沉陷環相對於
最深感應環(約197公尺)之累積壓縮變化圖
(工研院能資所提供)

五、結論與建議

(1)由地層下陷行為之探討可知，評估地層下陷之前，應將區域的含水層、不透水層、夾層等特性與分野，作完整之調查。

(2)由水壓錐消散試驗推估土層沉陷特性之研究可知：在粘土層進行消散試驗，欲完成100%之消散費時甚長(約3~10小時)，根據消散曲線之分佈特性，利用消散曲線斜率因數CSF，即可在消散未達到100%時，求出 $t_{50} \sim t_{90}$ 等時間參數，縮短消散試驗時間至0.5~1小時。本研究進行宜梧、永安兩地區之消散試驗，求得消散60%、70%、80%、90%之曲線斜率因數與摩擦比 R_f 值之關係如下：

$$CSF_{60} = 1.0203 + 0.01029 R_f$$

$$CSF_{70} = 1.0495 + 0.02552 R_f$$

$$CSF_{80} = 1.1020 + 0.04644 R_f$$

$$CSF_{90} = 1.2186 + 0.08477 R_f$$

另求得曲線斜率因數與孔隙水壓參數 B_q 值之關係如下：

$$CSF_{60} = 1.0266 + 0.02884 B_q$$

$$CSF_{70} = 1.0744 + 0.05558 B_q$$

$$CSF_{80} = 1.1521 + 0.09263 B_q$$

$$CSF_{90} = 1.3297 + 0.1349 B_q$$

(3)由Rowe cell試驗推求水平壓密係數 C_h 值之研究可知：具層次性之土壤，其 C_h 值隨壓力增大而減小；無層次性之土壤，其 C_h 值隨壓力增大而增大。

(4)由水平壓密係數 C_h 值與垂直壓密係數 C_v 值相關性之探討得知：永安地區無層次性粘土之各個壓力綜合分析，其相關性甚高，其相關經驗式如下：

$$C_h = 0.006349 \log C_v + 0.02125$$

而宜梧沉積性粘土有層次性，其各個壓力之相關式如下：

$$\text{壓力 } 1-2 \text{ kg/cm}^2 \quad C_h = 0.2392 \log C_v + 0.9763$$

$$\text{壓力 } 2-4 \text{ kg/cm}^2 \quad C_h = 0.2447 \log C_v + 0.9159$$

$$\text{壓力 } 4-8 \text{ kg/cm}^2 \quad C_h = 0.2164 \log C_v + 0.6787$$

$$\text{壓力 } 8-12 \text{ kg/cm}^2 \quad C_h = 0.1856 \log C_v + 0.5254$$

(5)由傳統壓密試驗與Rowe cell 壓密試驗比較得知：傳統壓密試驗之垂直壓密係數 C_v 值與剛性(等應變)單向排水之Rowe cell 壓密試驗之垂直壓密係數 R_{cv} 值相當；而柔性(自由應變)單向排水之Rowe cell 壓密試驗之垂直壓密係數 F_{cv} 值約為傳統壓密試驗 C_v 值之2.82 倍。

(6)由宜梧地區之地下水資料與地層下陷檢測資料之探討可知：約民國78年之前，地層下陷造成之主要原因，為超抽淺層自由水層，而78年之後之下陷原因，除了78年以前超抽自由水層之稽延沉陷之外，主要為超抽深層之受壓水層所致；而淺層自由水位每下降1公尺，其地層約下陷1.57公分，深層受壓水層水位每下降1公尺，其地層約下陷1.61公分。

(7)由於海岸地區水資源較缺乏，為因應陸續規劃與興建之許多工業區及重大工程建設，應廣設深層地下水壓觀測網，以做為地下水資源開發與管制之依據，並應增設分層地下陷之監測系統，以期能對深層地層下陷機制與行為更深入之瞭解。

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. 林炳森(1989)「地盤下陷之數值模擬分析」地盤下陷研討會論文集,PP.257-276。
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. 謝明志、賴聖耀(1992)「以水壓錐消散試驗推估土層沉陷特性之研究」國科會計劃,NSC 80-410-E124-04。
7. 蘇苗彬(1991)「台灣西南沿岸之地盤下陷機制探討」中興大學土木工程研究所。
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.42-54.
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.

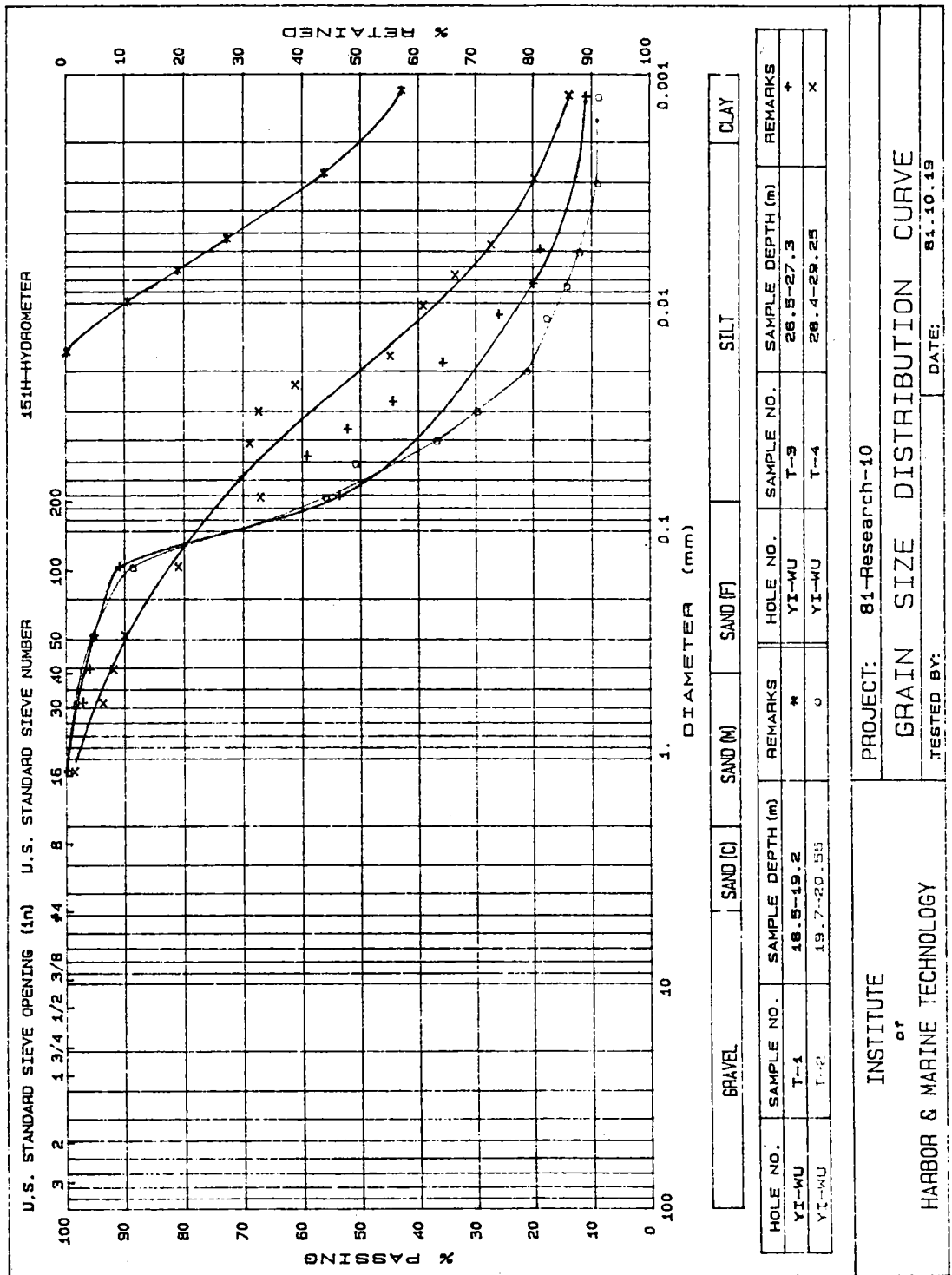
12. Head, K. H.(1985), "Manual of Soil Laboratory Testing"Vol.3, chapter 24. pp.1129~1190.
13. Leake, S.A. & Prudic, D.E.(1988), "Documentation of a computer program to simulate aquifer-system compaction using the modular finite-difference ground-water flow model", U.S. Geological Survey, Report No.88 Tucson, Arizona.
14. Levadoux, J. N., Baligh, M.M.(1986)"Consolidation after Undrained Piezocone Penetration I: Prediction, Journal of the Geotechnical 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)"Theoretical soil mechanics", John Wiley & 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 Research 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

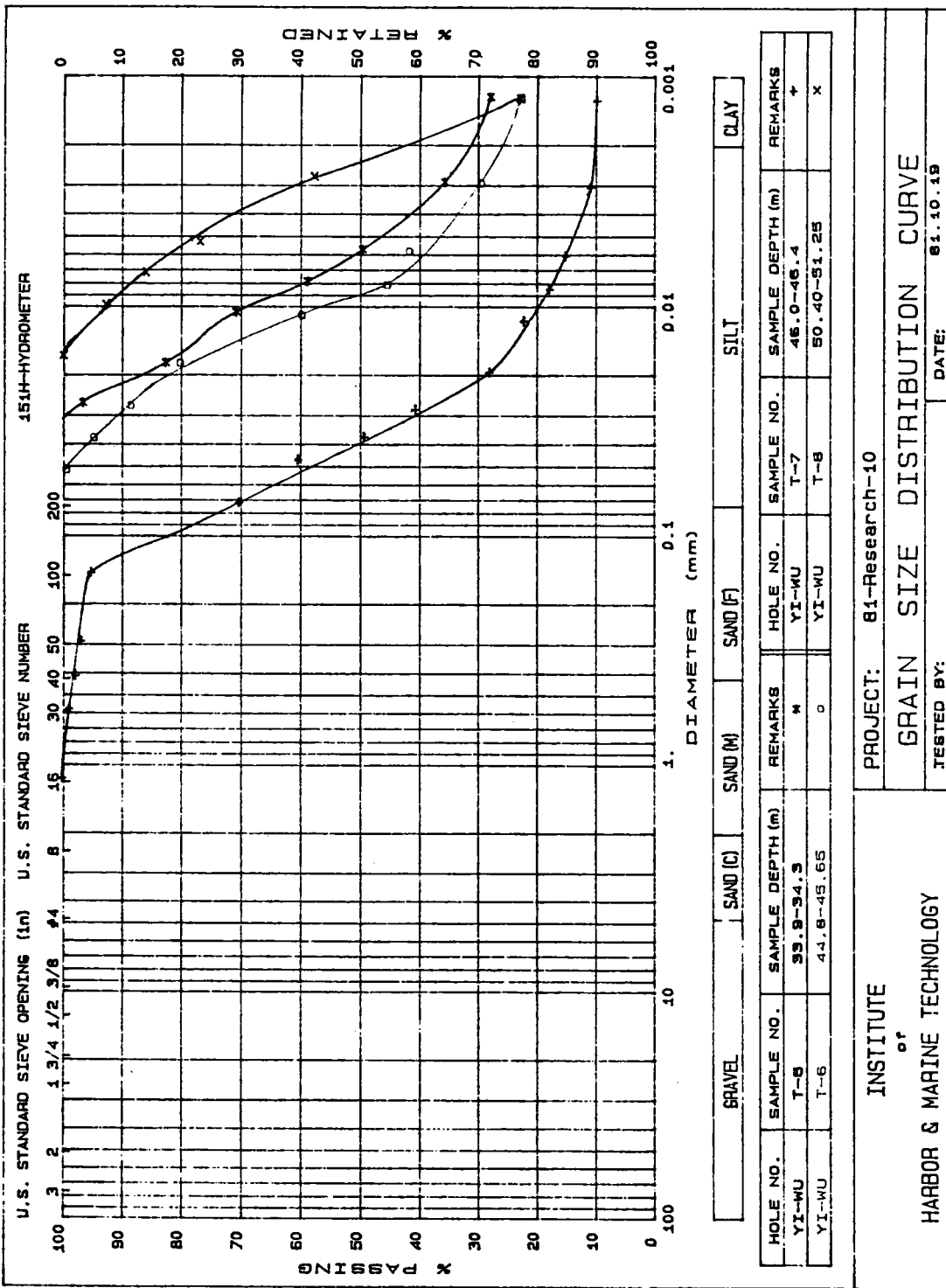
誌 謝

本研究計畫執行期間，承中興大學土木研究所林炳森教授、蘇苗彬教授及成功大學土木研究所李德河教授提供寶貴意見，水利局、工研院能資所提供地下水位及地層下陷觀測資料，謹此一併誌謝。

七、附 錄

附錄 A：土壤之粒徑分佈資料





HOLE NO.	SAMPLE NO.	SAMPLE DEPTH (m)	REMARKS	HOLE NO.	SAMPLE NO.	SAMPLE DEPTH (m)	REMARKS
YI-WU	T-6	33.9-34.3	*	YI-WU	T-7	46.0-46.4	*
YI-WU	T-8	44.8-45.65	o	YI-WU	T-8	50.40-51.25	x

INSTITUTE

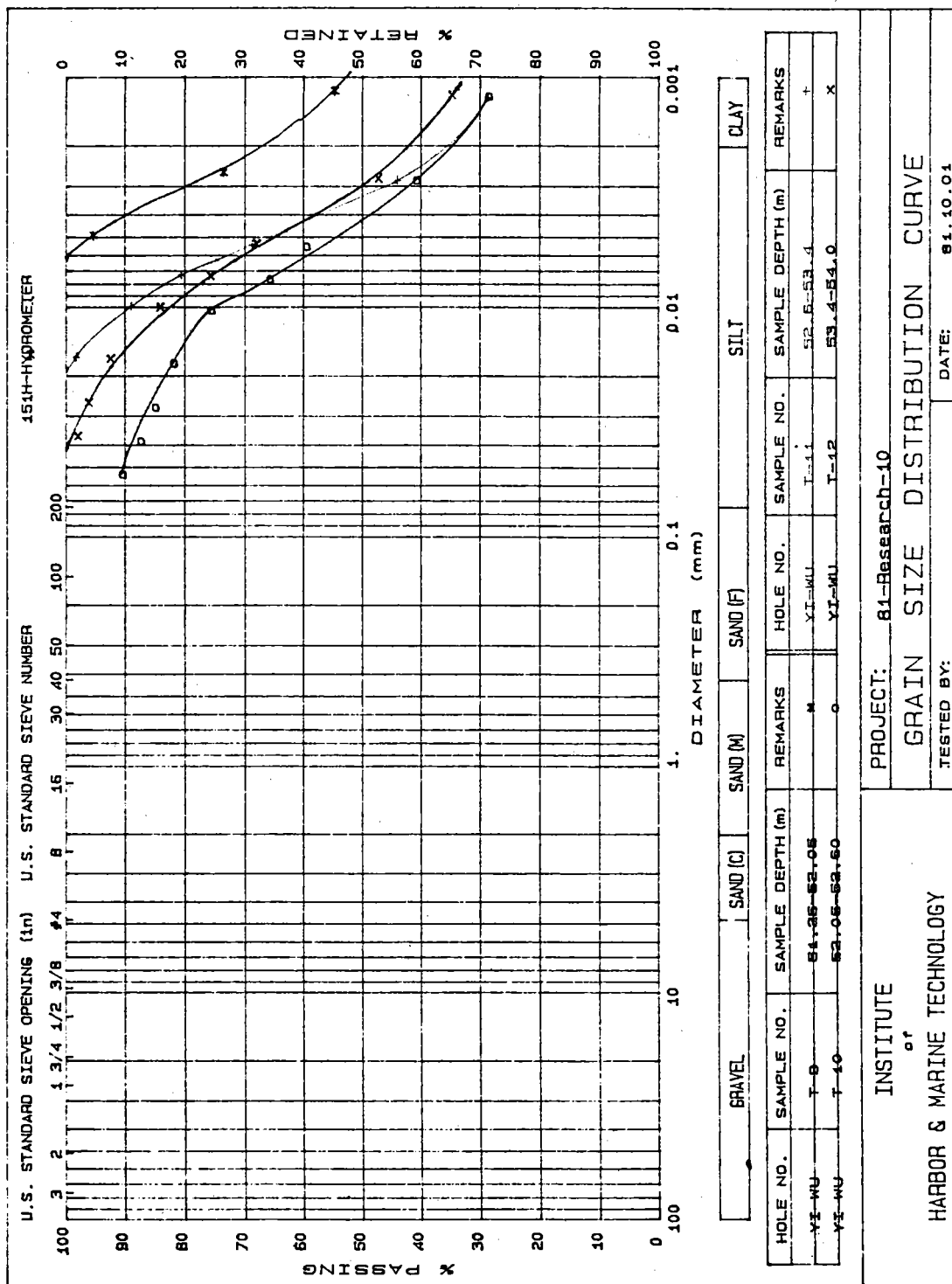
or

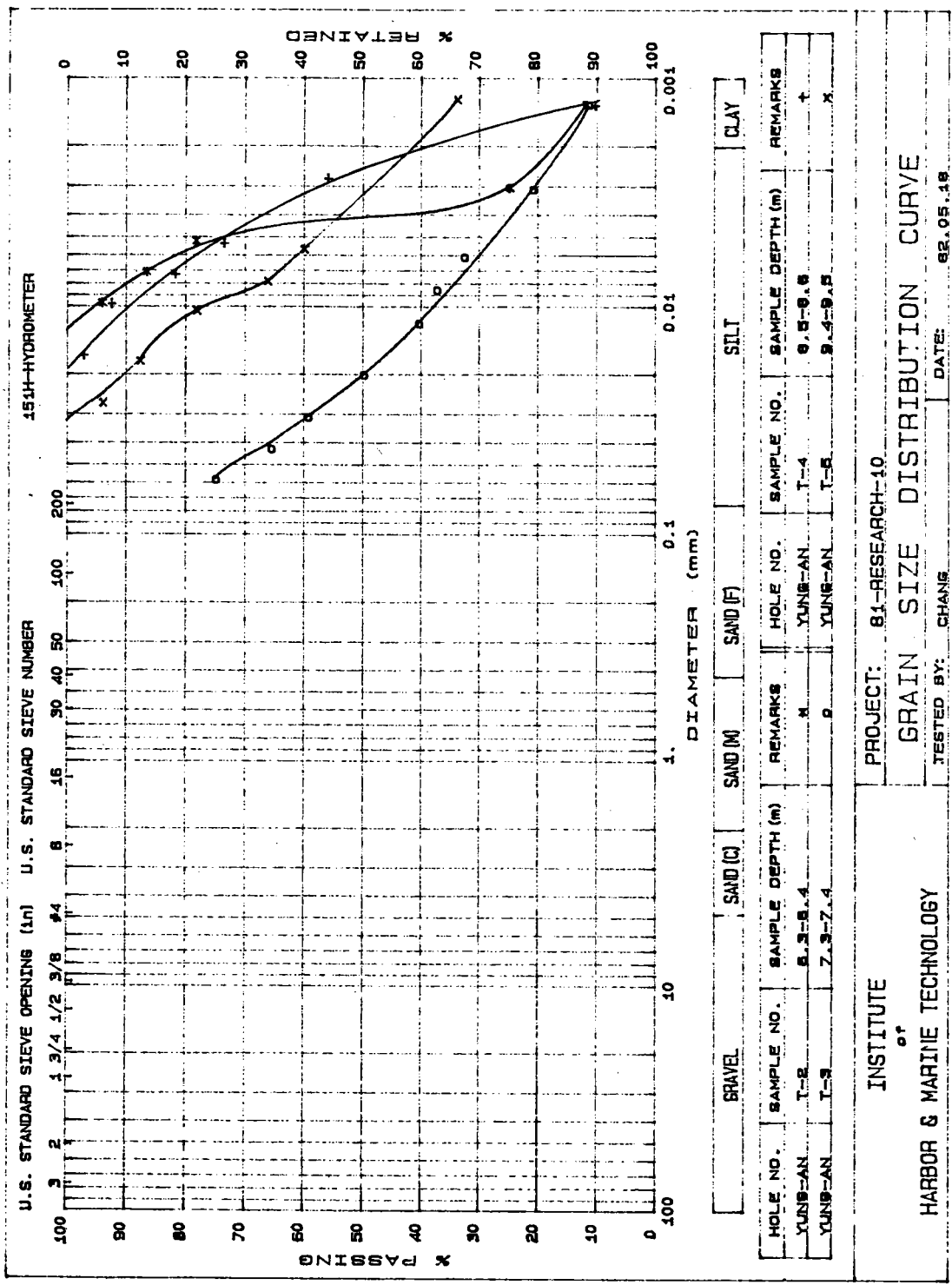
HARBOR & MARINE TECHNOLOGY

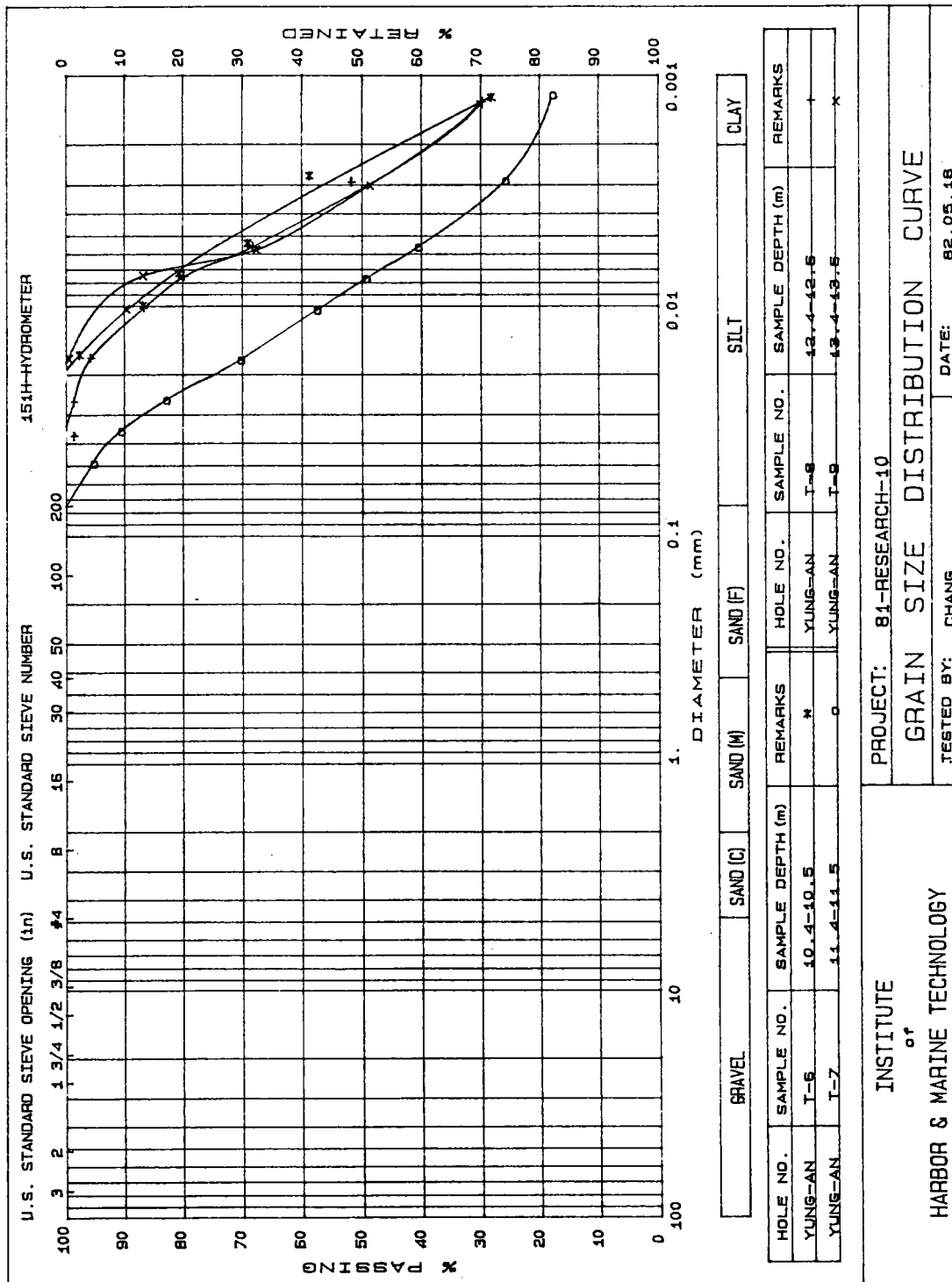
PROJECT: 81-Research-10

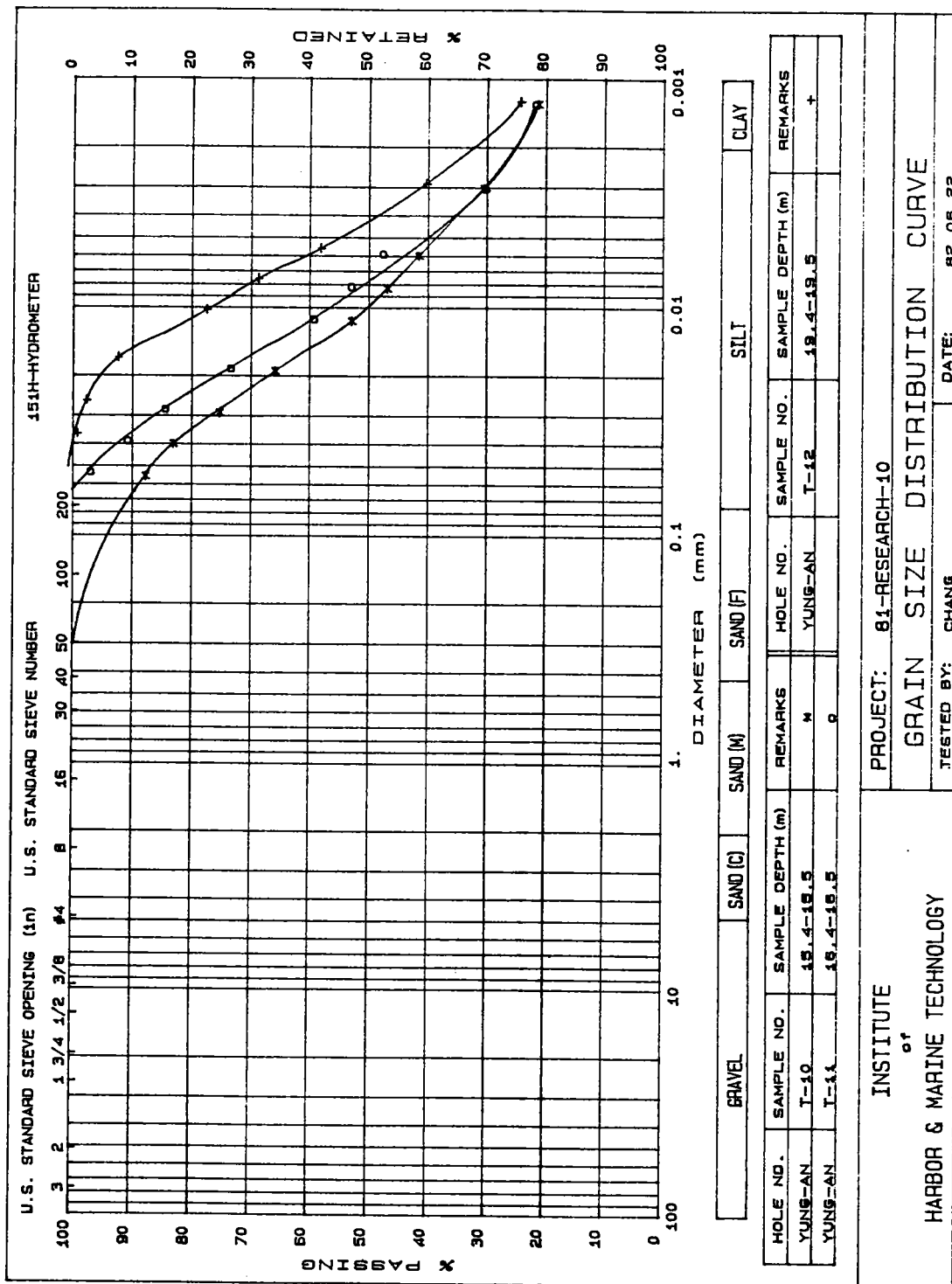
GRAIN SIZE DISTRIBUTION CURVE

TESTED BY: DATE: 81.10.19





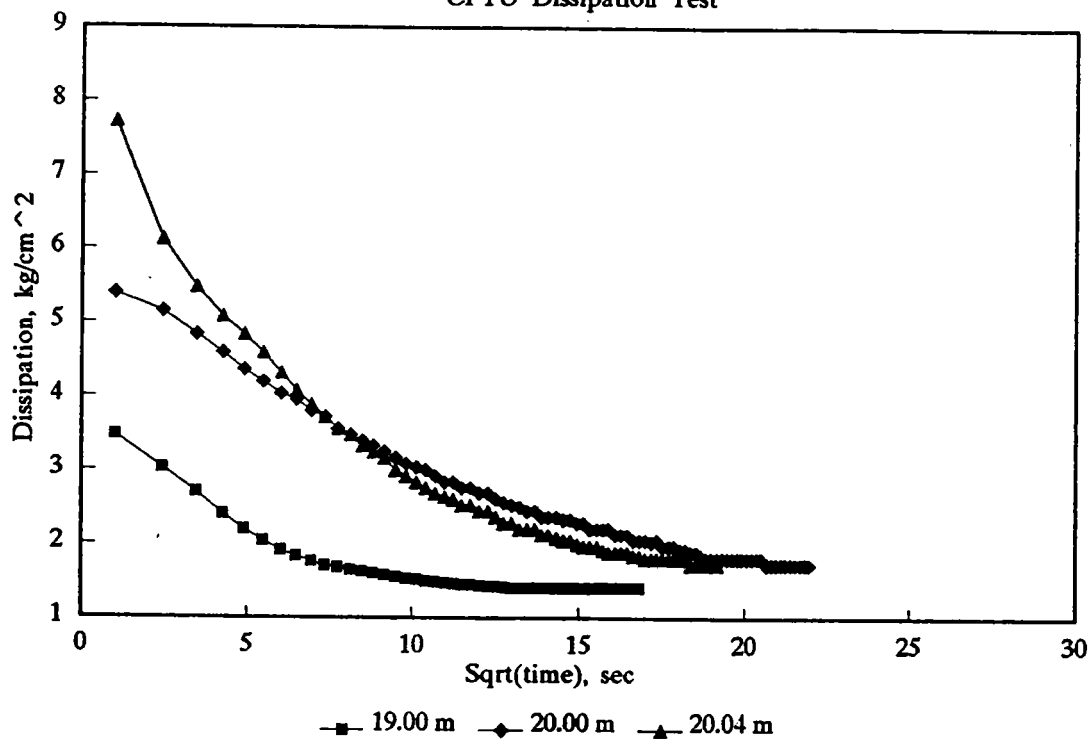




附錄 B：水壓錐消散試驗資料

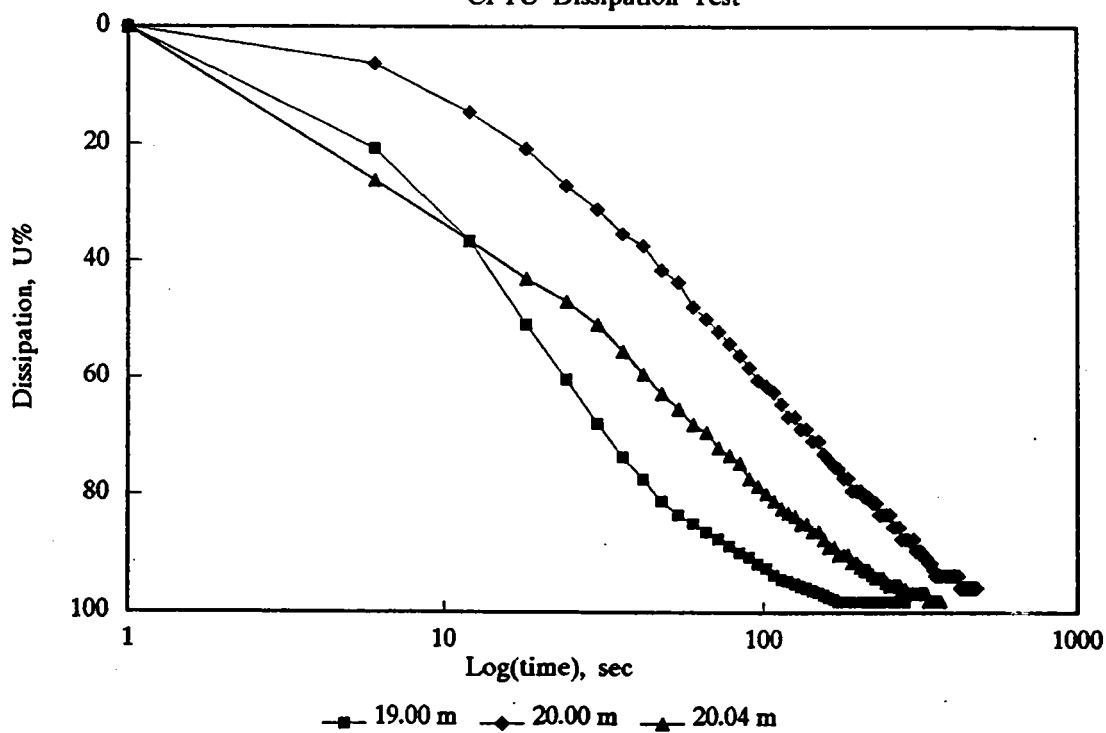
YI-WU

CPTU Dissipation Test



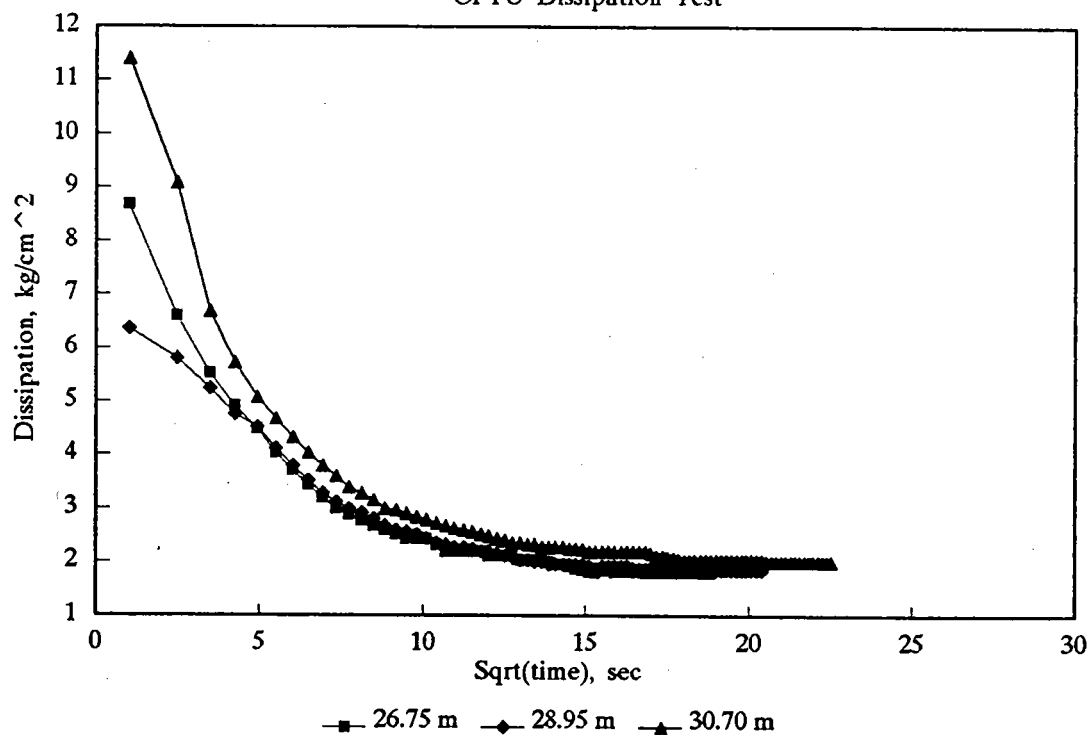
YI-WU

CPTU Dissipation Test



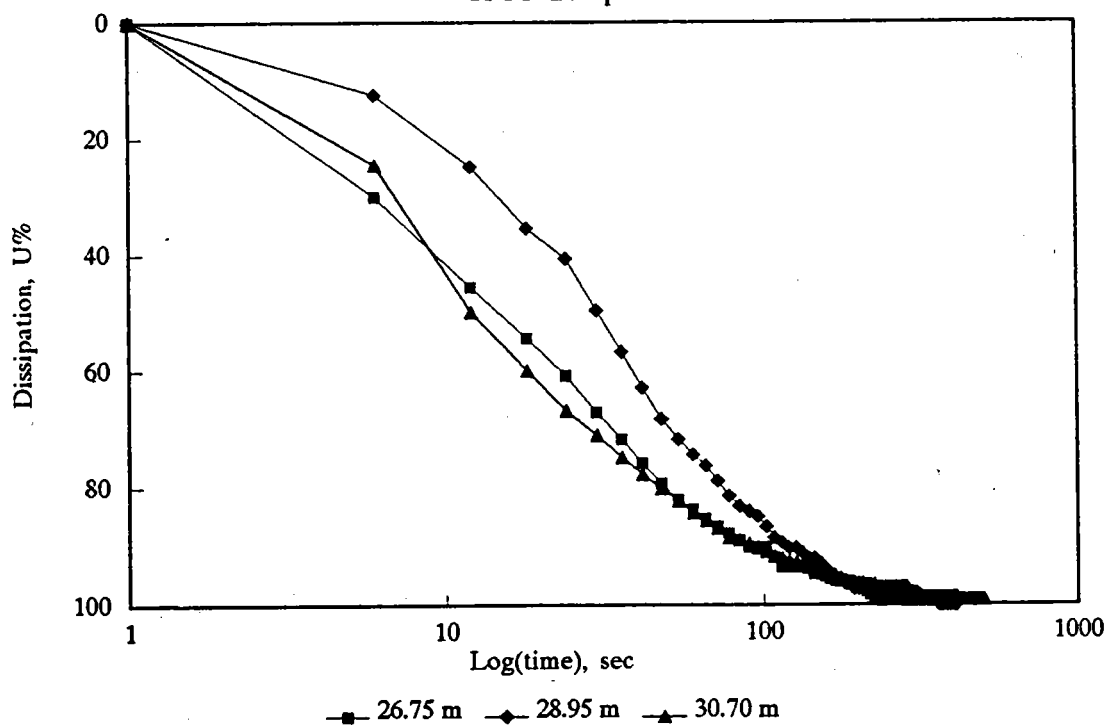
YI-WU

CPTU Dissipation Test



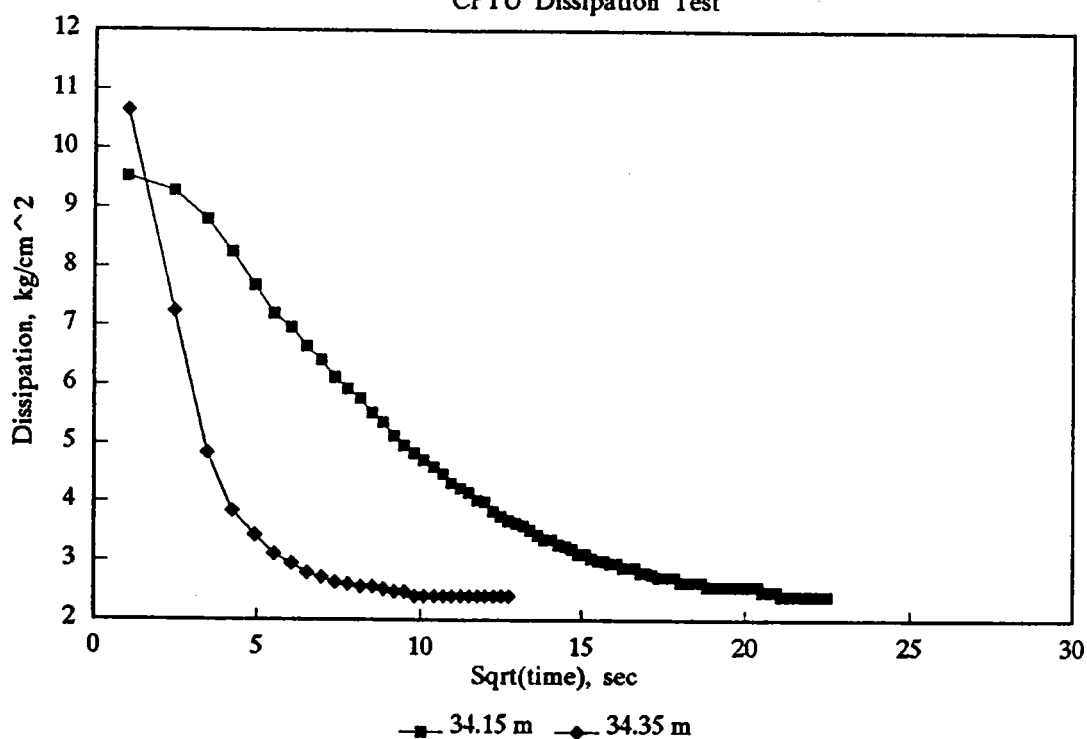
YI-WU

CPTU Dissipation Test



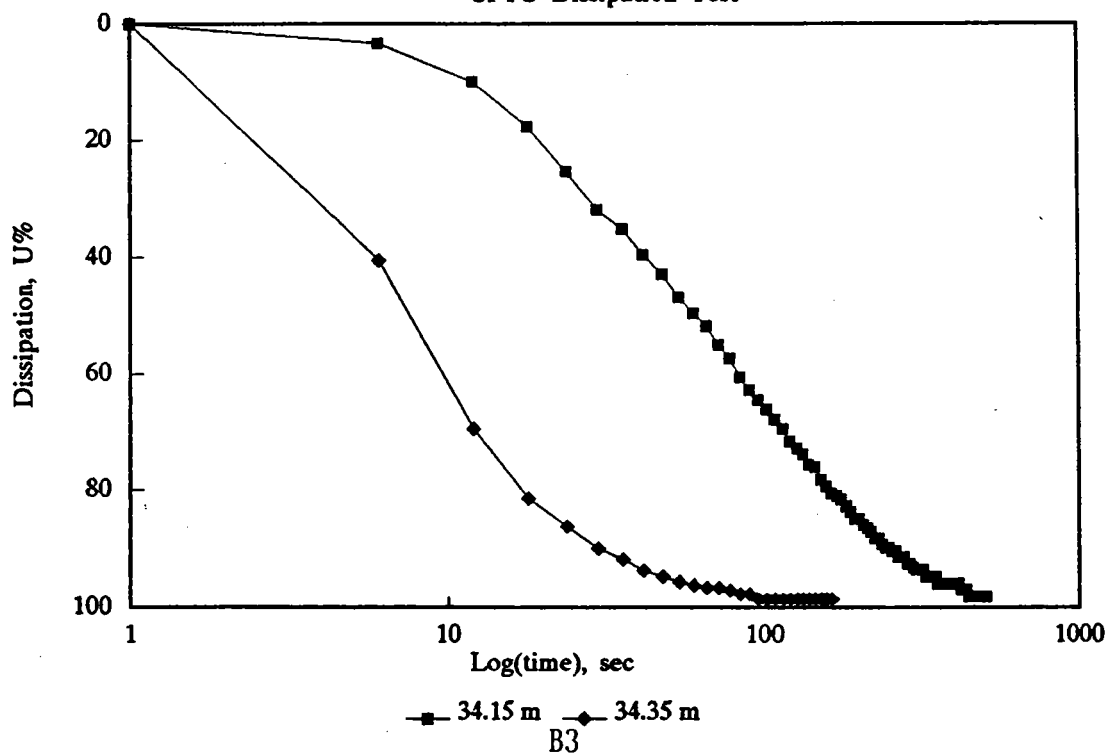
YI-WU

CPTU Dissipation Test



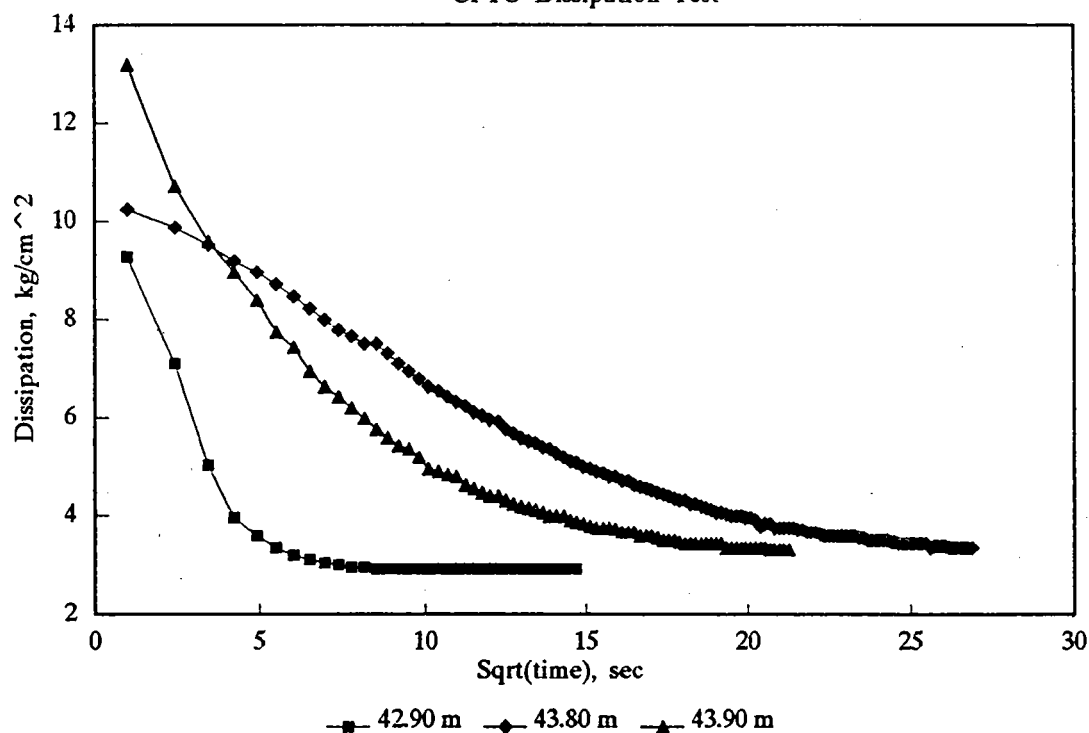
YI-WU

CPTU Dissipation Test



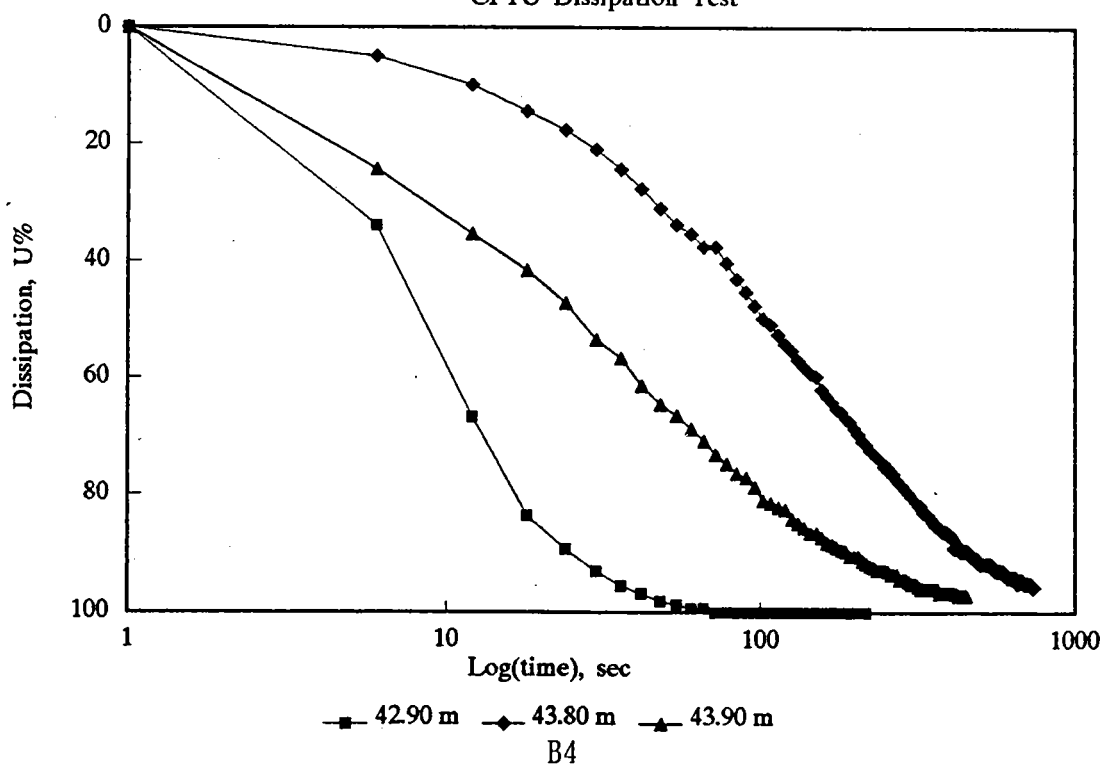
YI-WU

CPTU Dissipation Test



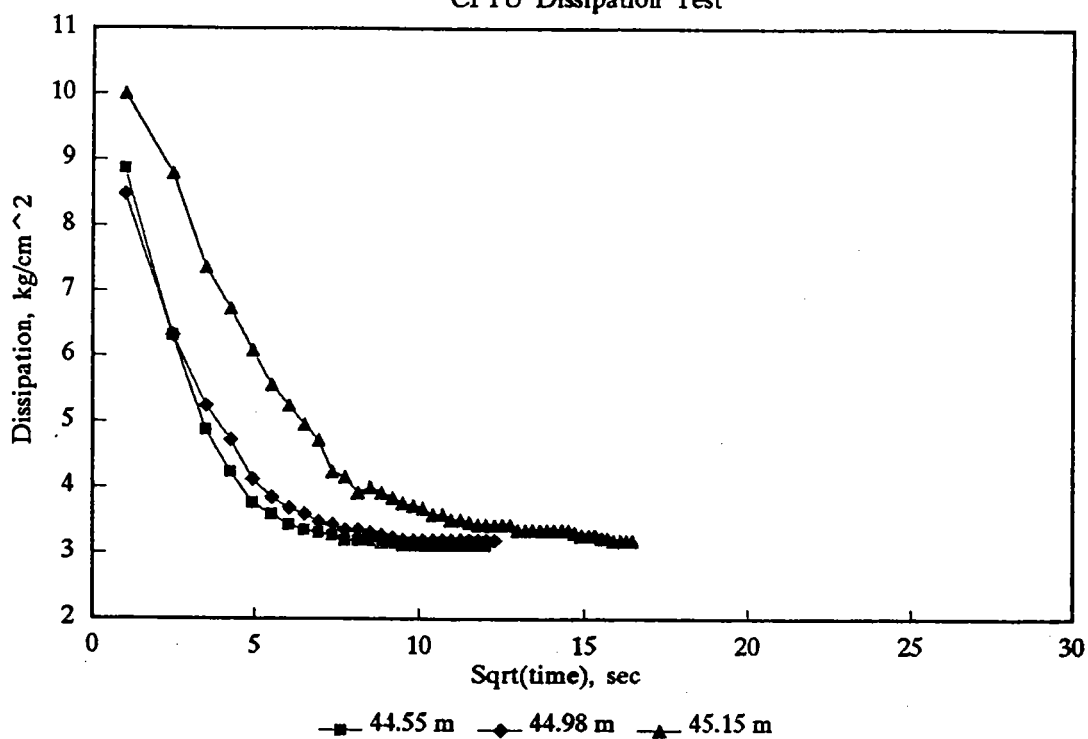
YI-WU

CPTU Dissipation Test



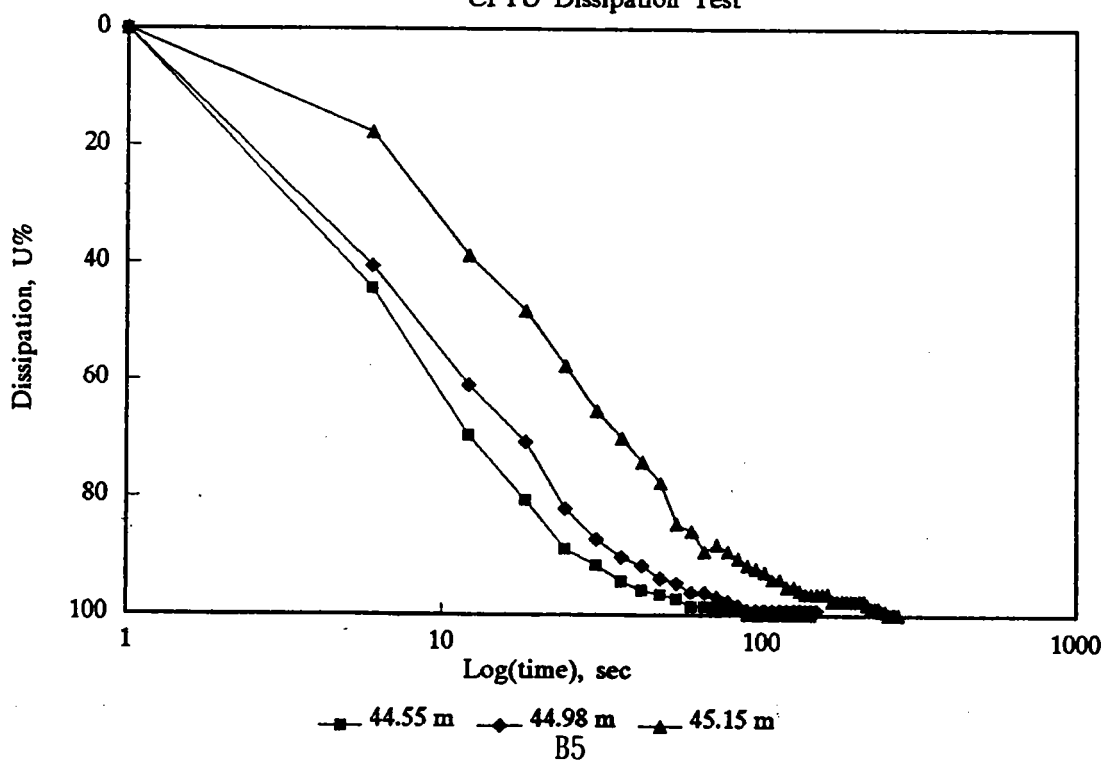
YI-WU

CPTU Dissipation Test



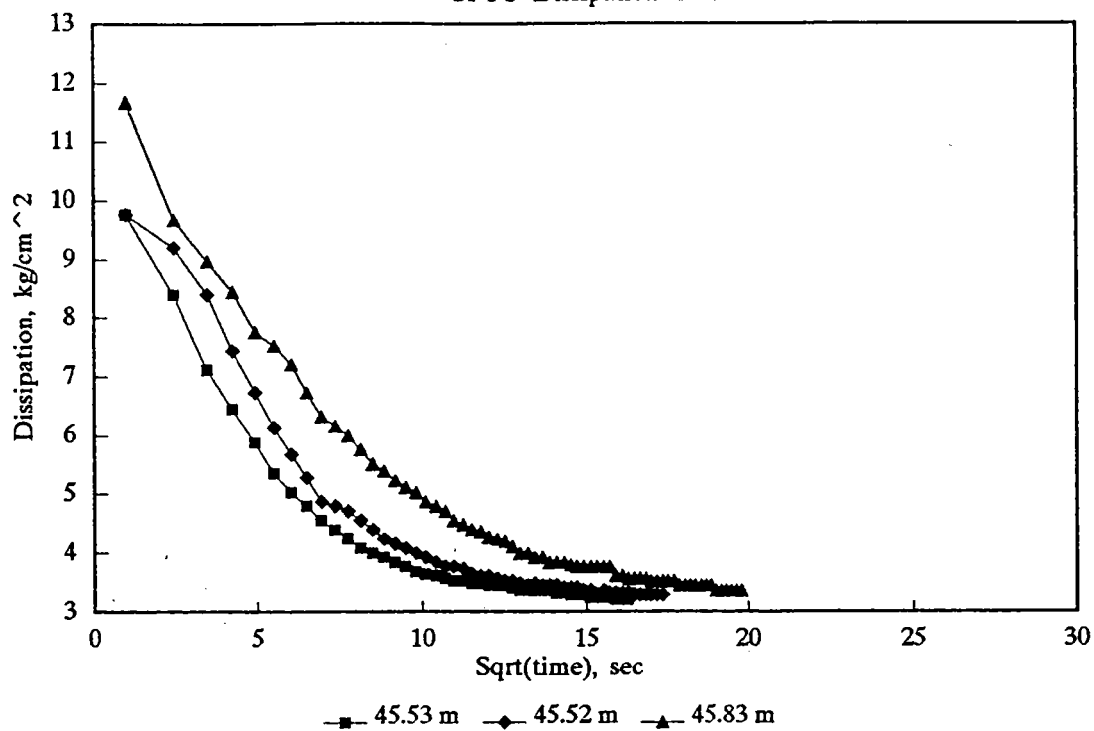
YI-WU

CPTU Dissipation Test



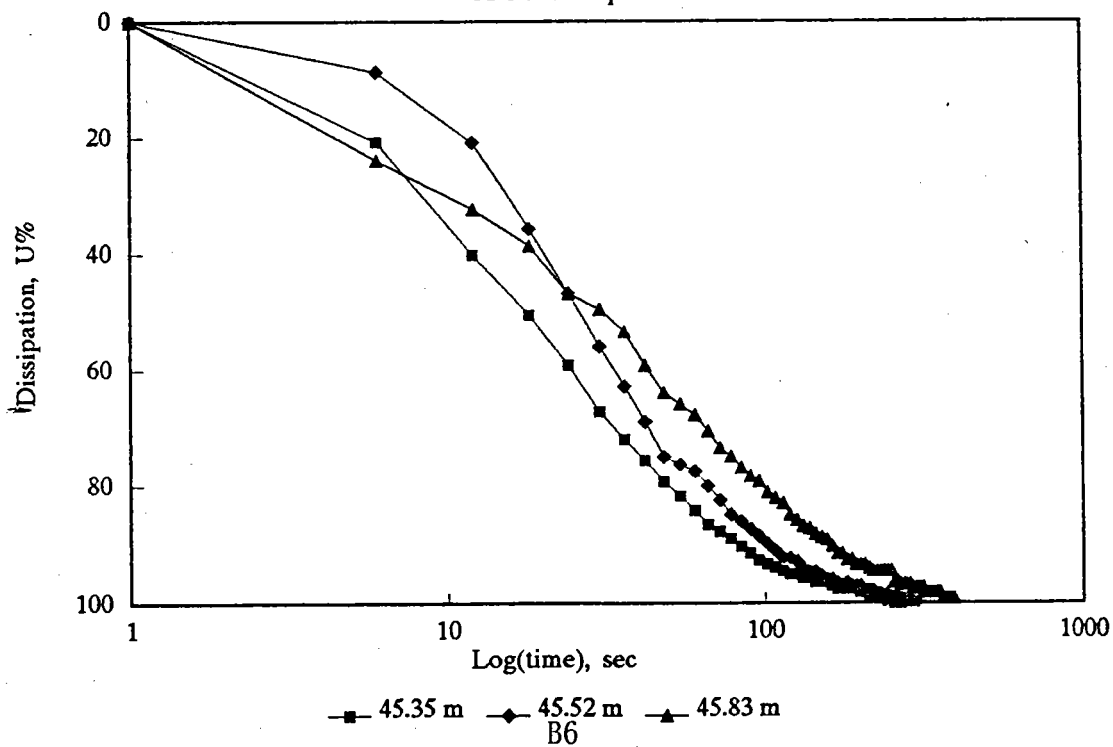
YI-WU

CPTU Dissipation Test



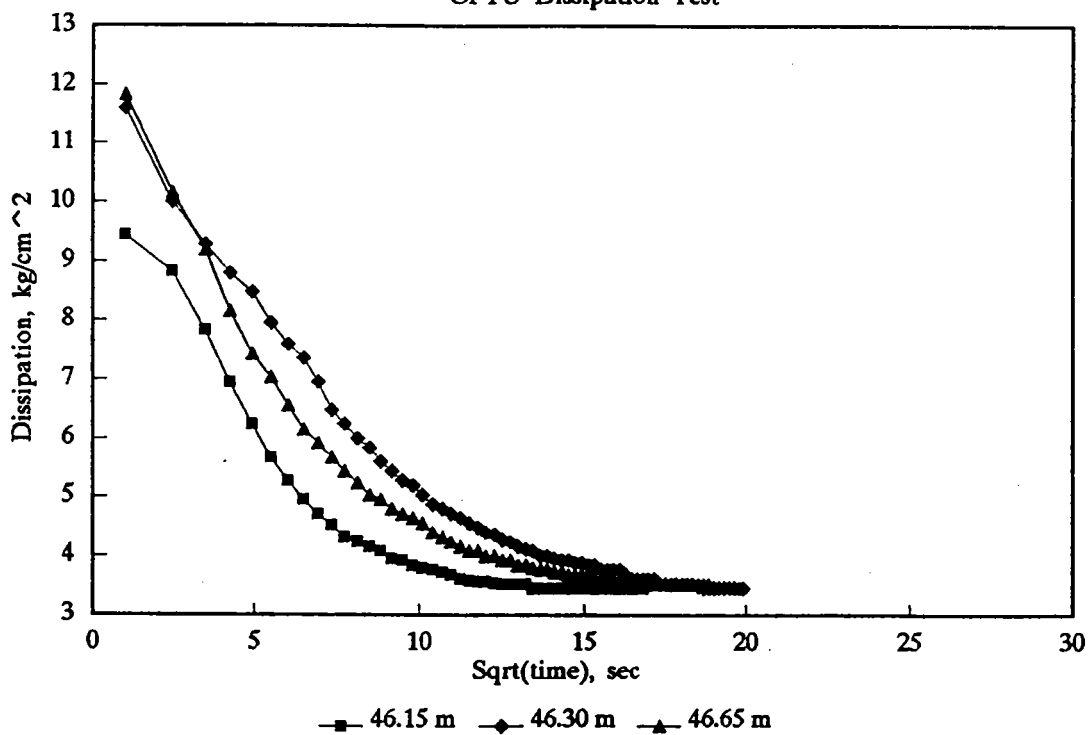
YI-WU

CPTU Dissipation Test



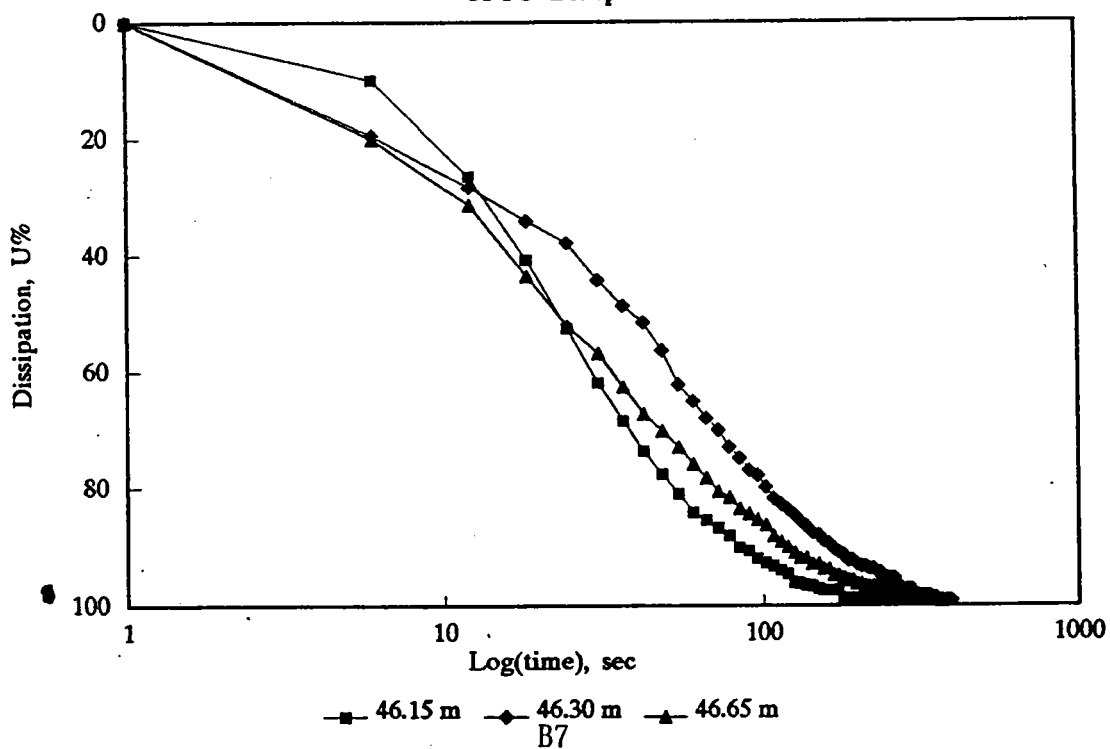
YI-WU

CPTU Dissipation Test



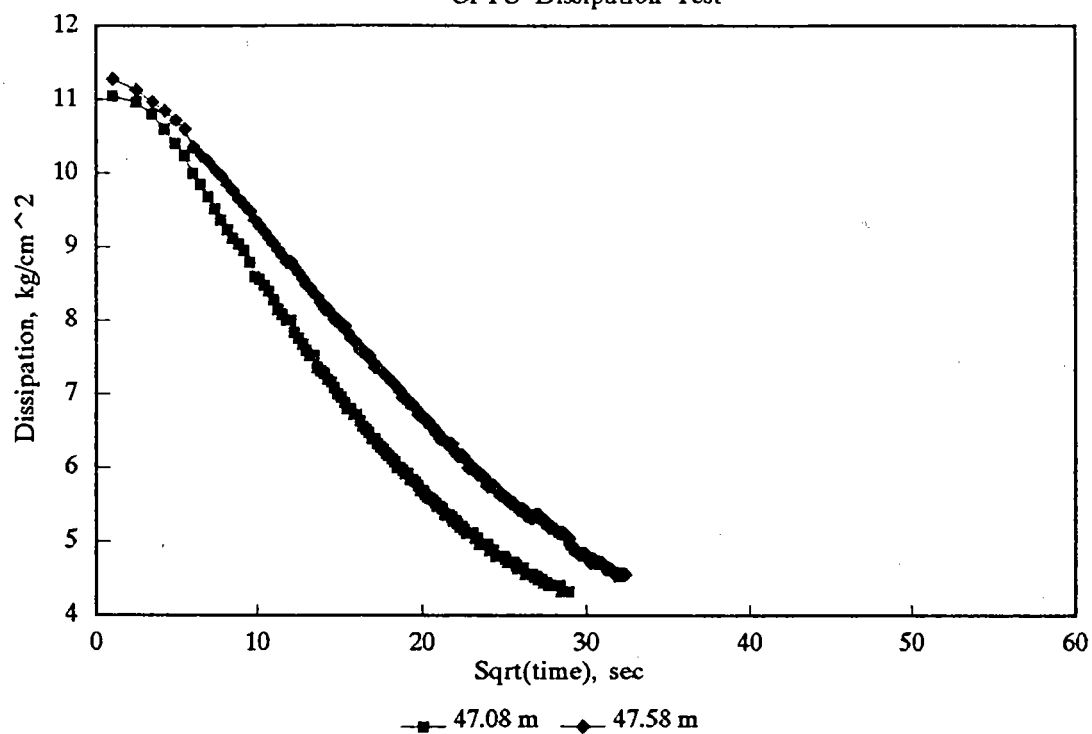
YI-WU

CPTU Dissipation Test



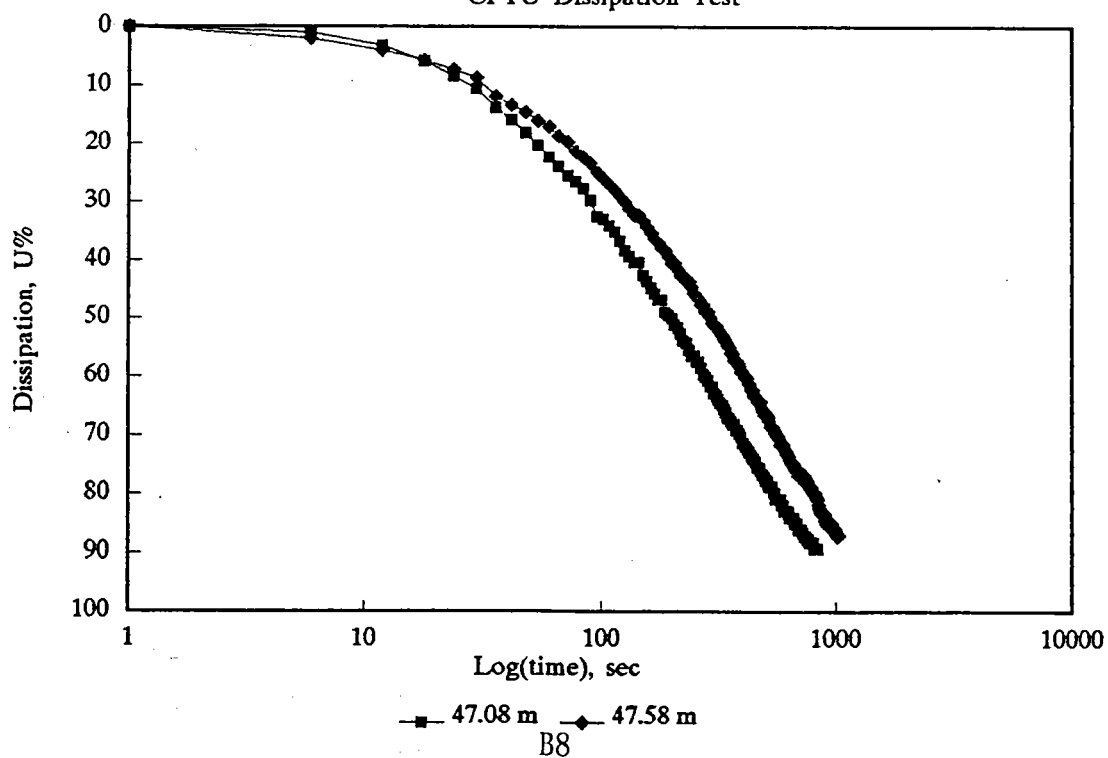
YI-WU

CPTU Dissipation Test



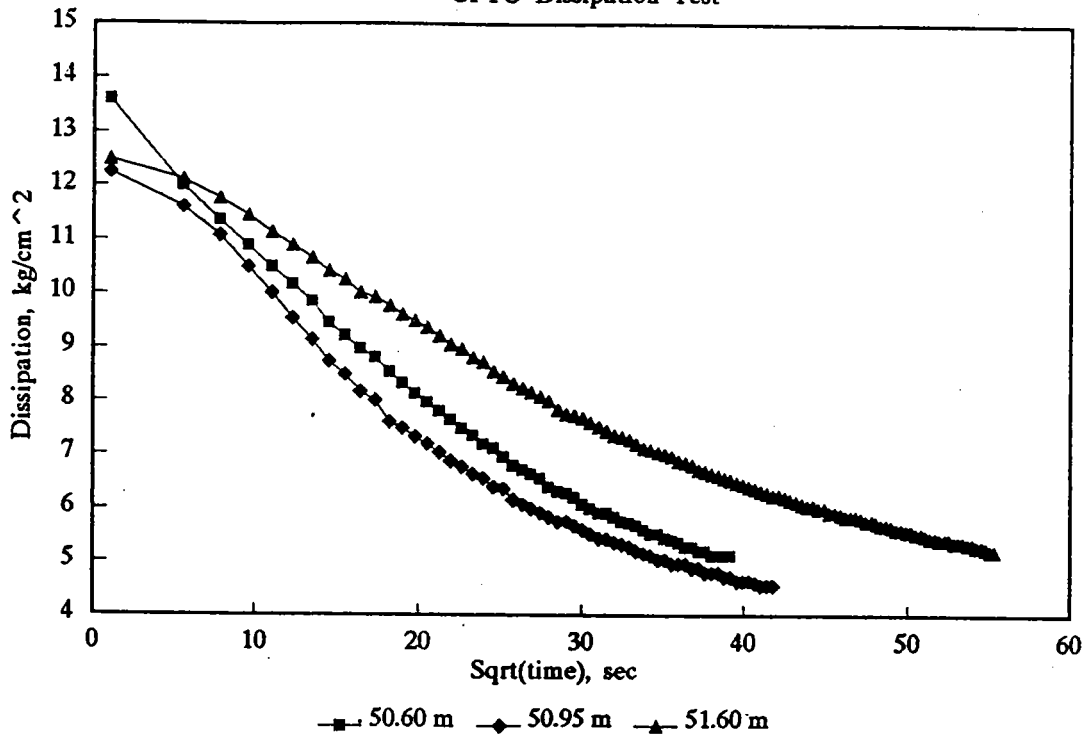
YI-WU

CPTU Dissipation Test



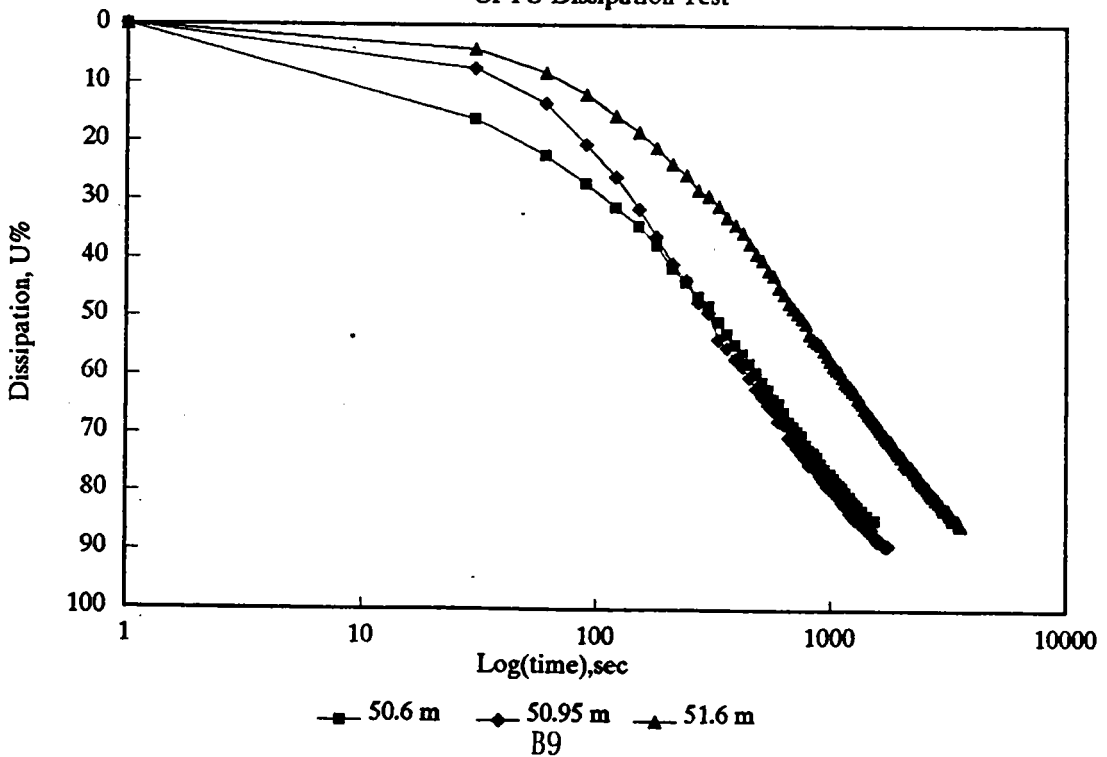
YI-WU

CPTU Dissipation Test



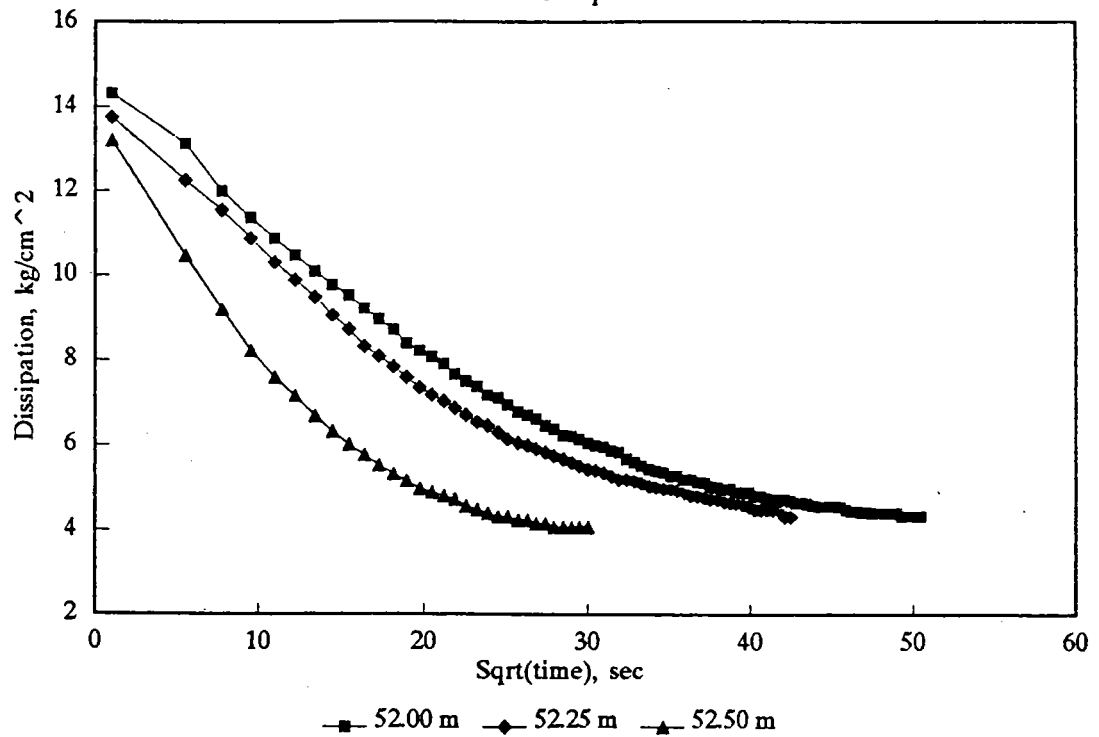
YI-WU

CPTU Dissipation Test



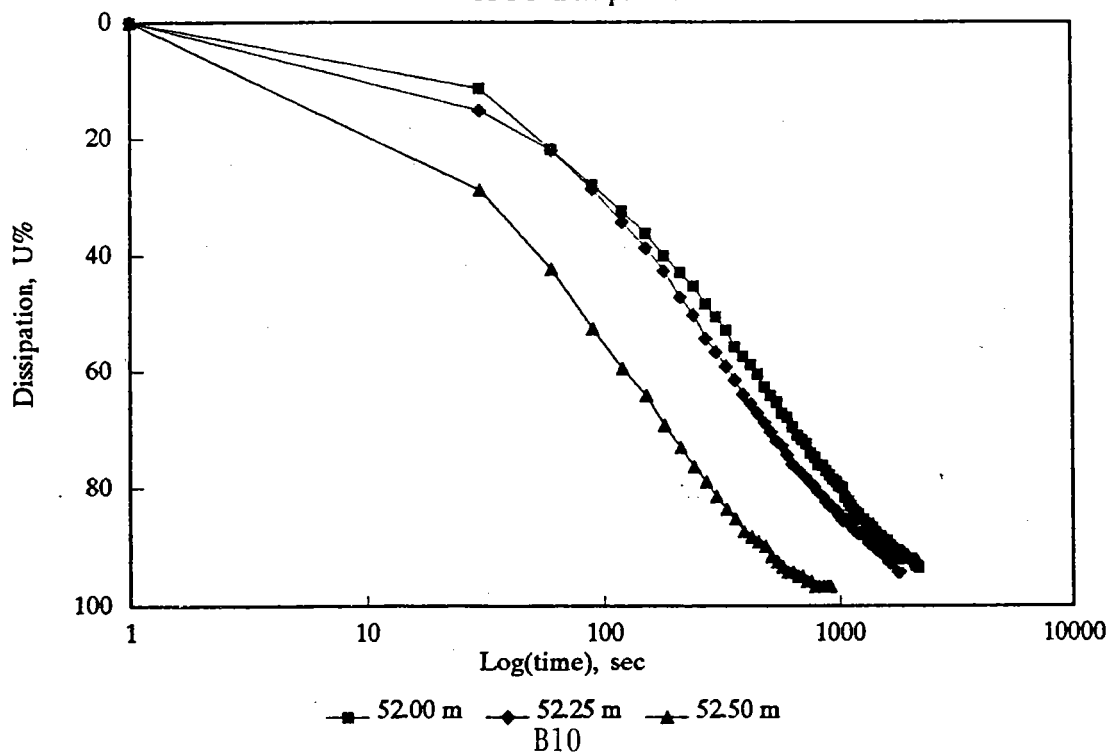
YI-WU

CPTU Dissipation Test



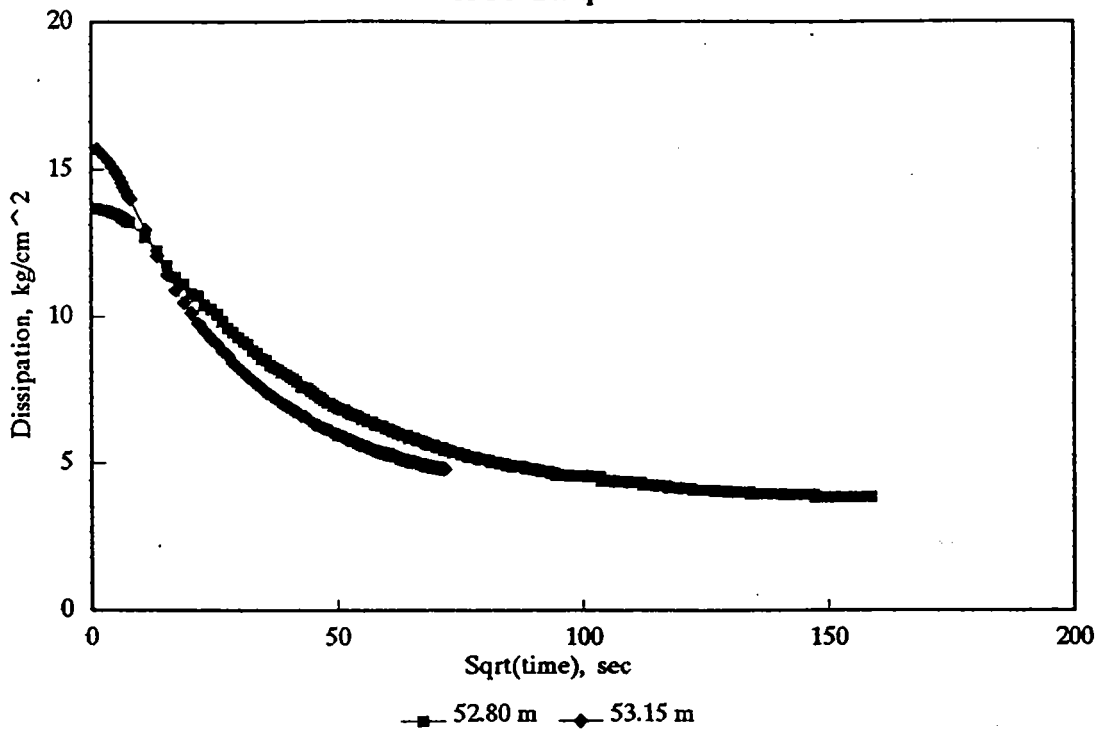
YI-WU

CPTU Dissipation Test



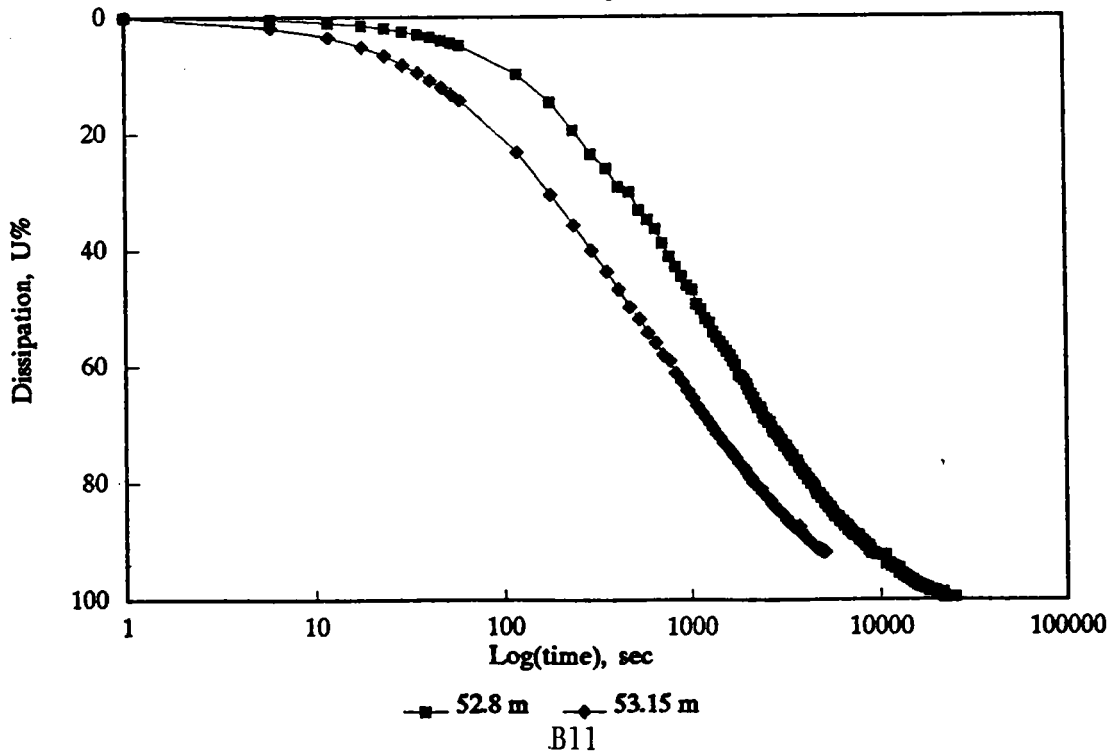
YI-WU

CPTU Dissipation Test



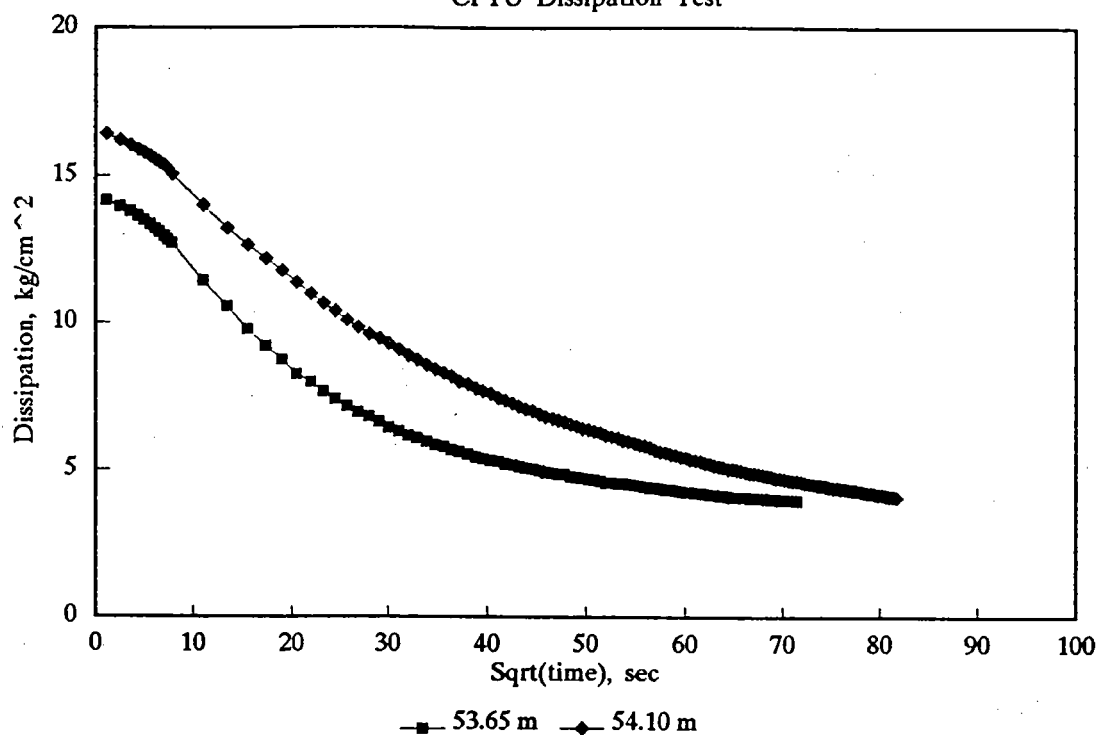
YI-WU

CPTU Dissipation Test



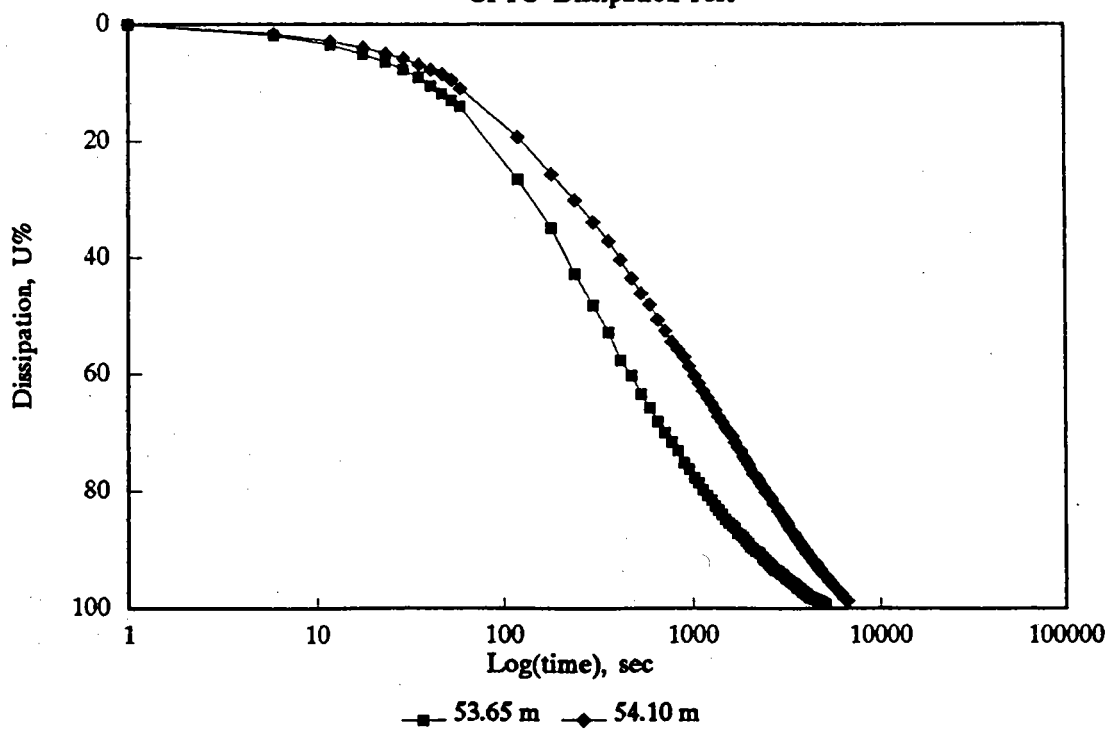
YI-WU

CPTU Dissipation Test



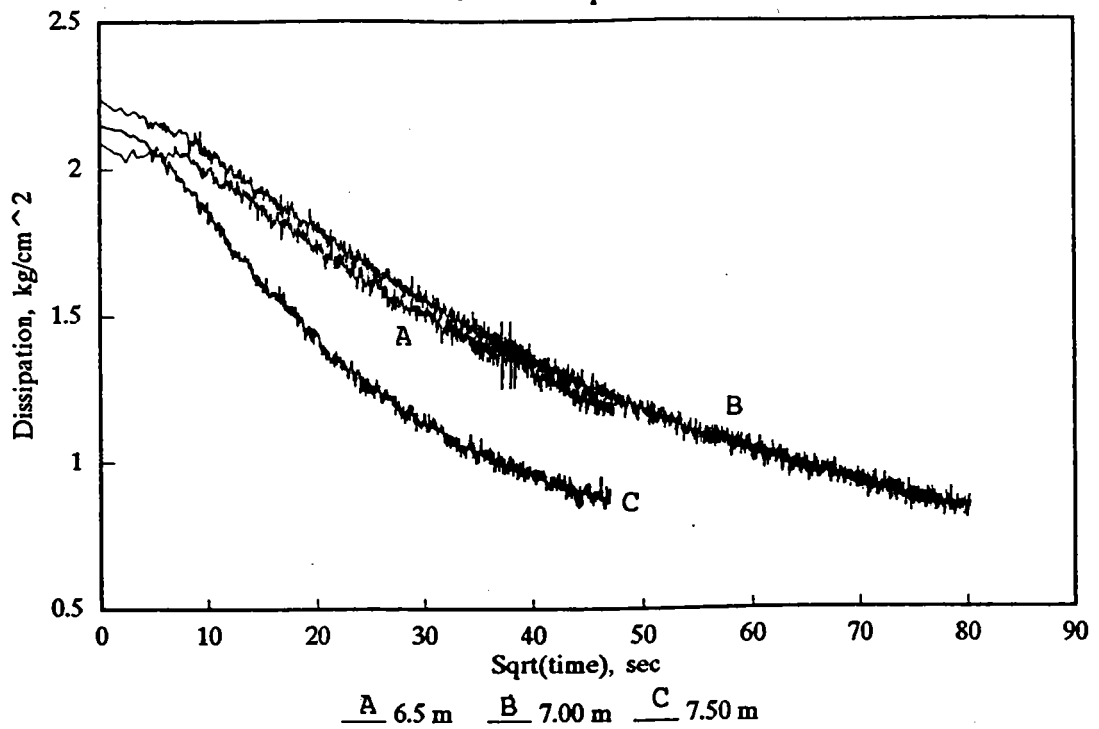
YI-WU

CPTU Dissipation Test



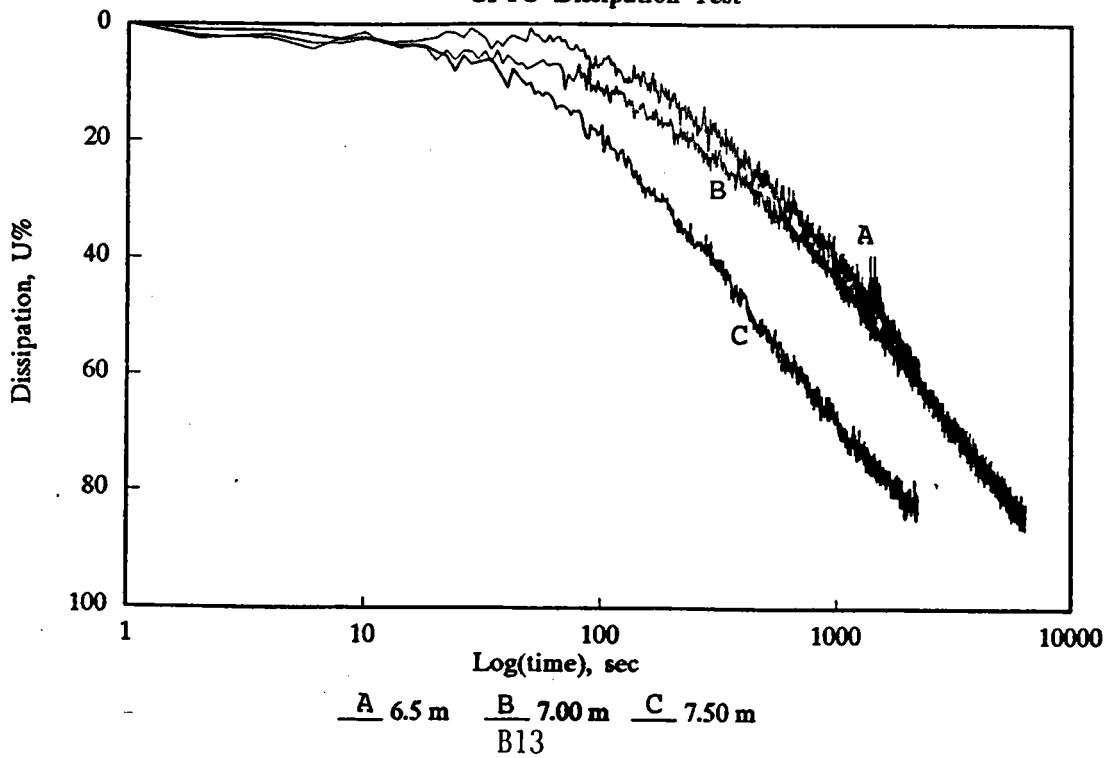
YUNG-AN

CPTU Dissipation Test



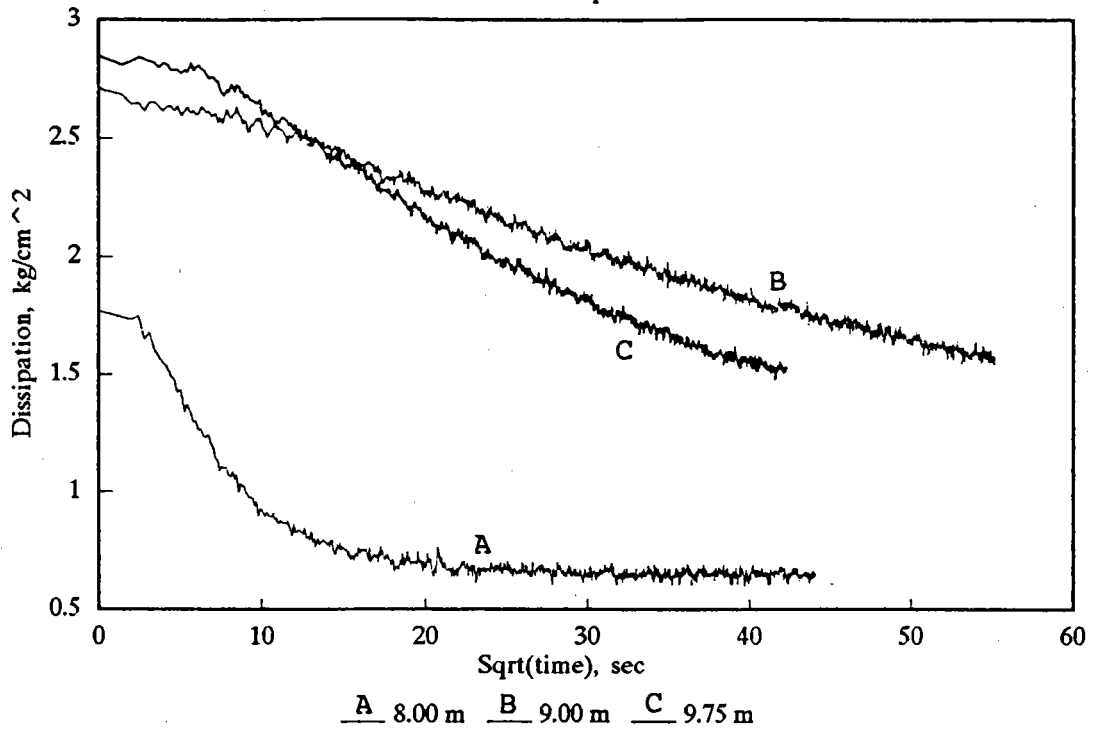
YUNG-AN

CPTU Dissipation Test



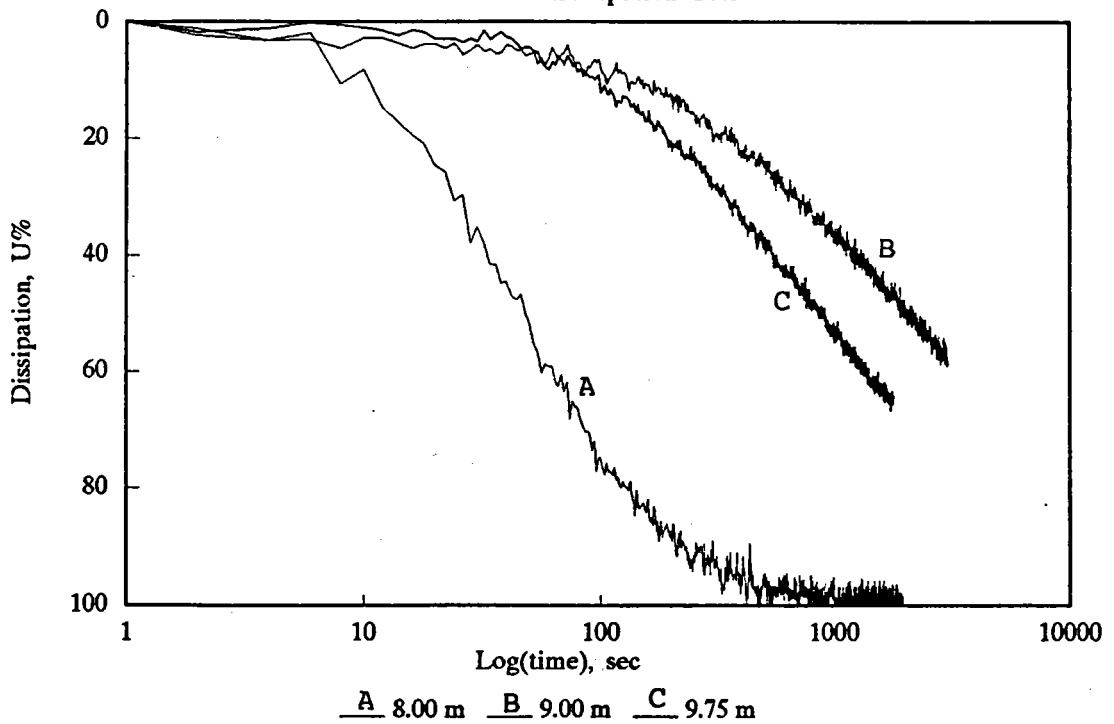
YUNG-AN

CPTU Dissipation Test



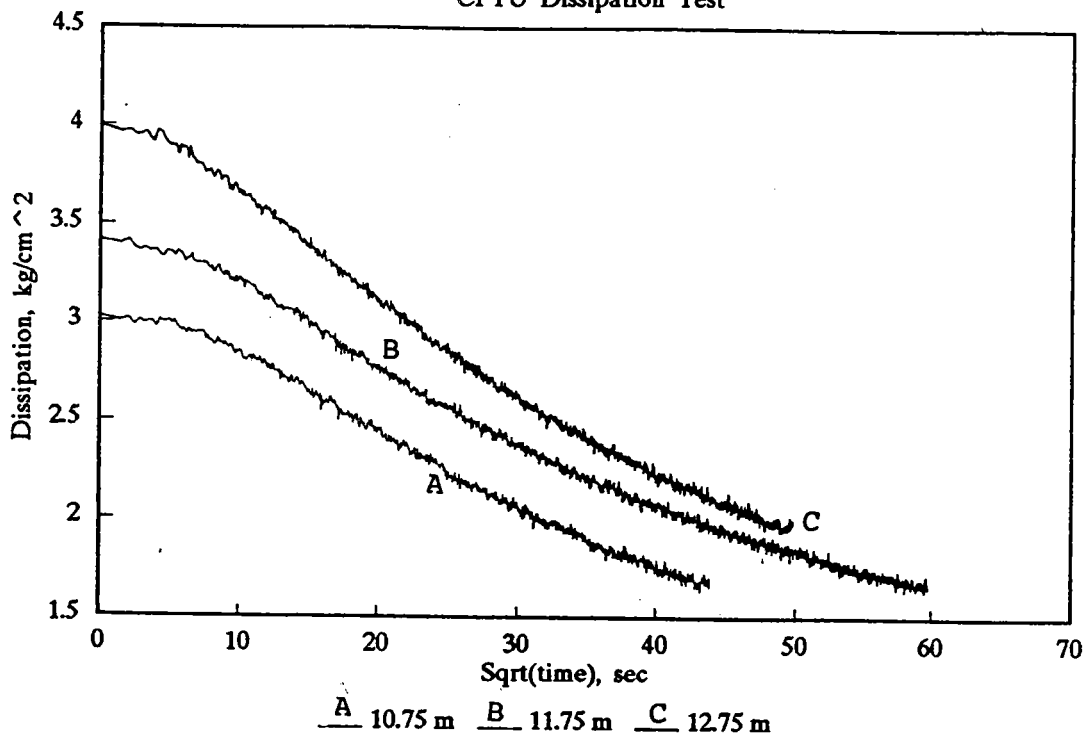
YUNG-AN

CPTU Dissipation Test



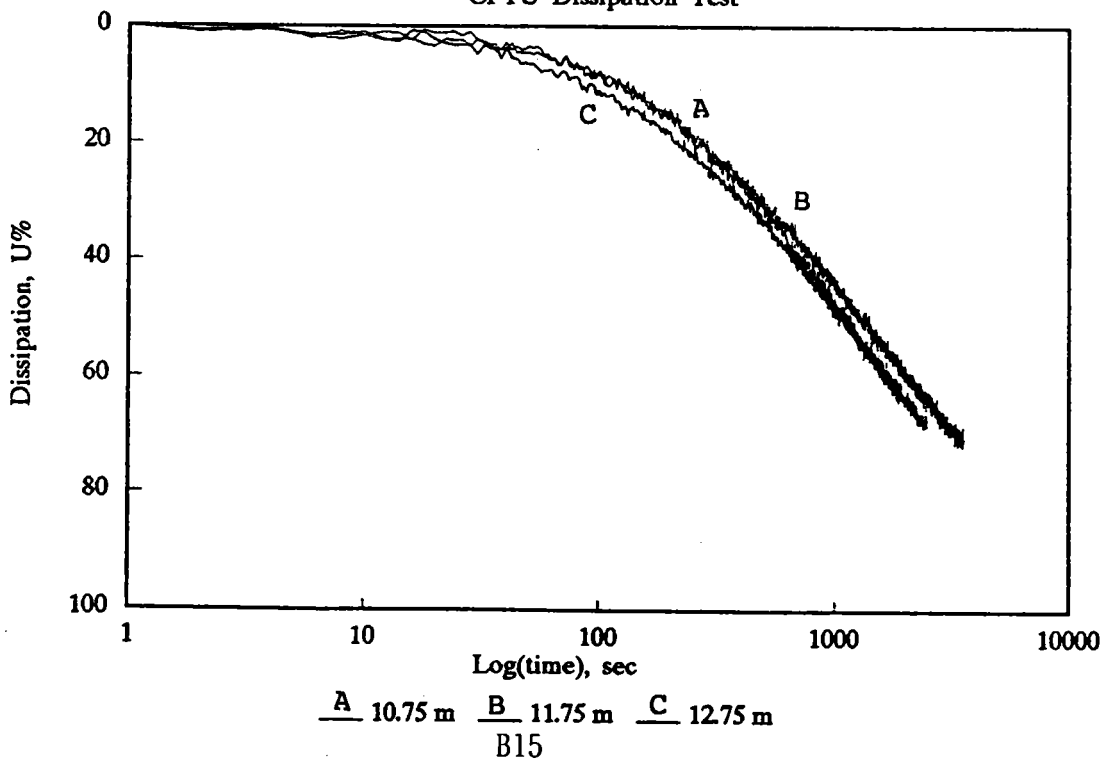
YUNG-AN

CPTU Dissipation Test



YUNG-AN

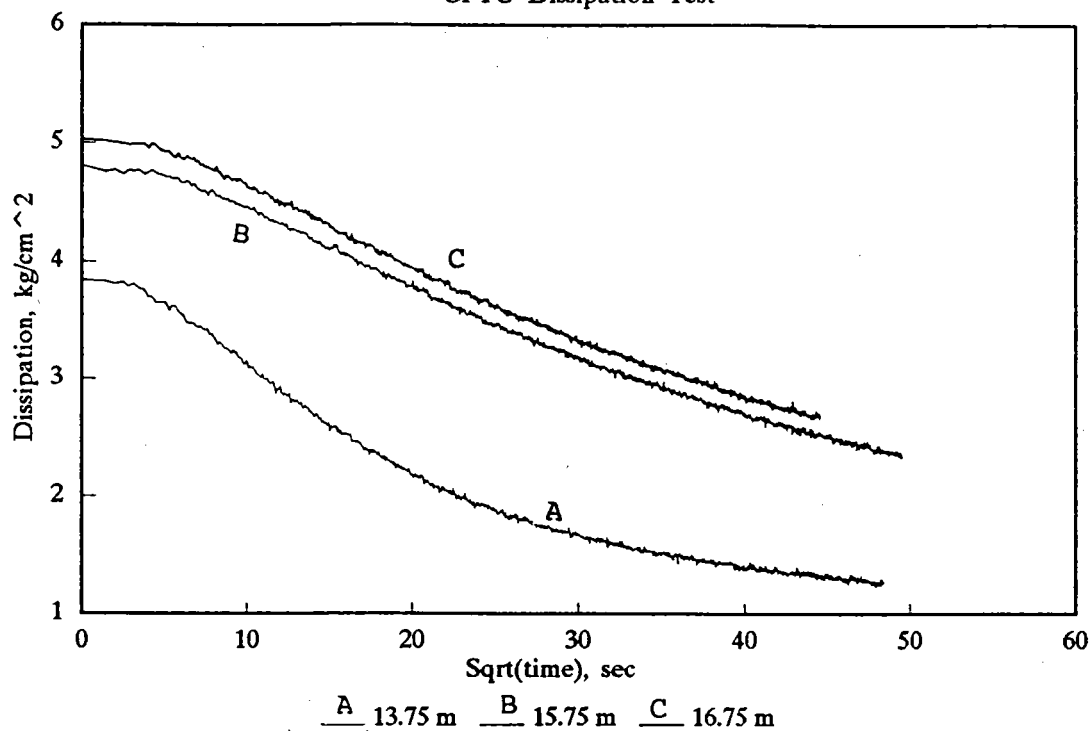
CPTU Dissipation Test



B15

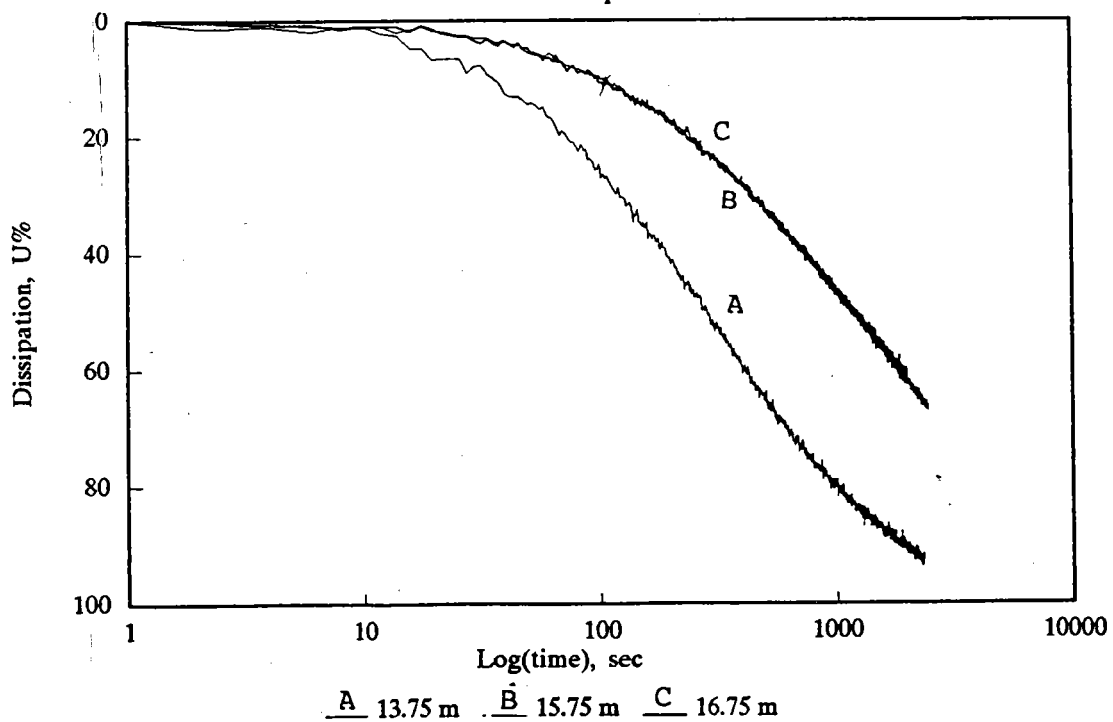
YUNG-AN

CPTU Dissipation Test



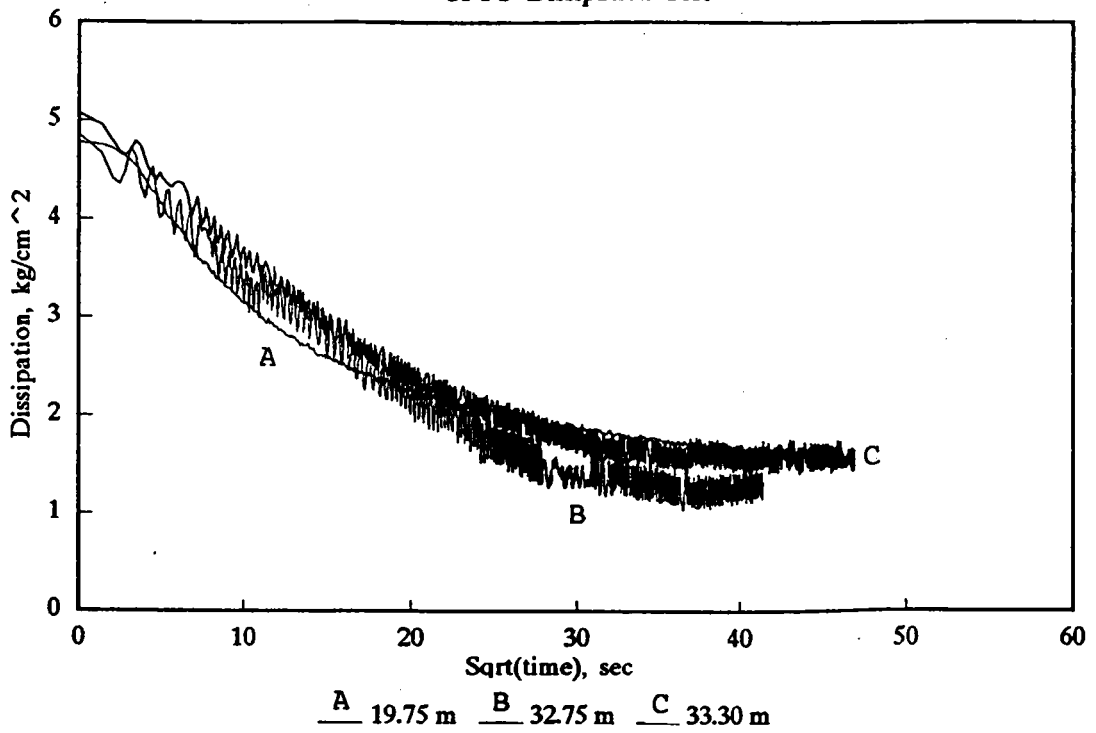
YUNG-AN

CPTU Dissipation Test



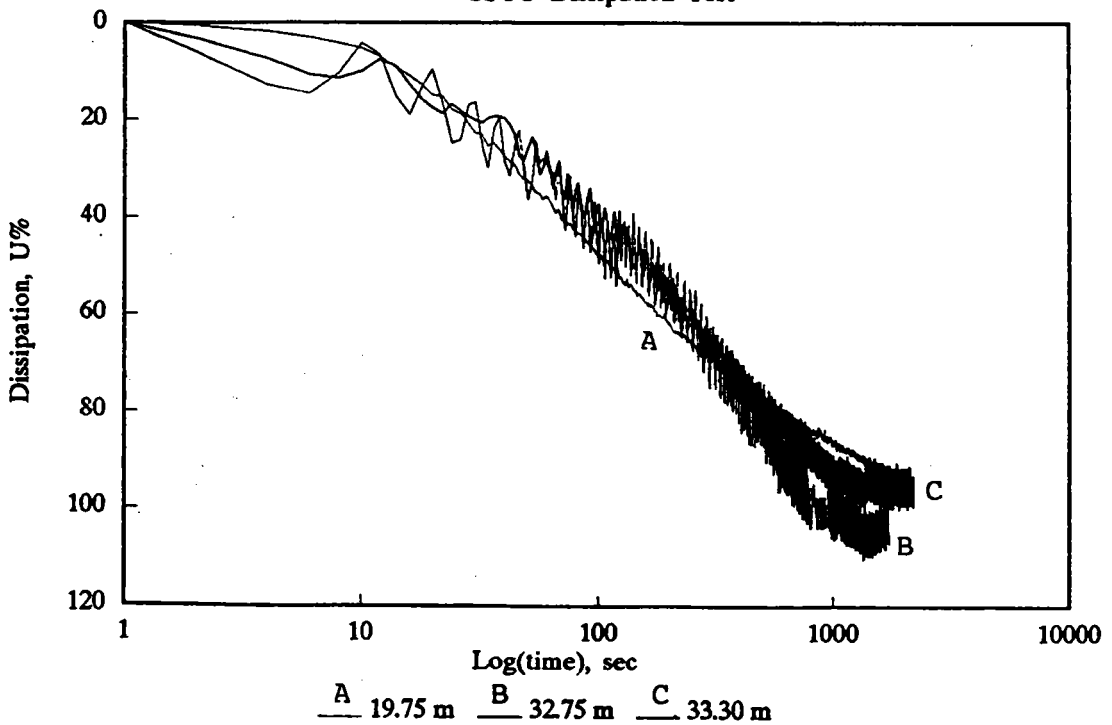
YUNG-AN

CPTU Dissipation Test



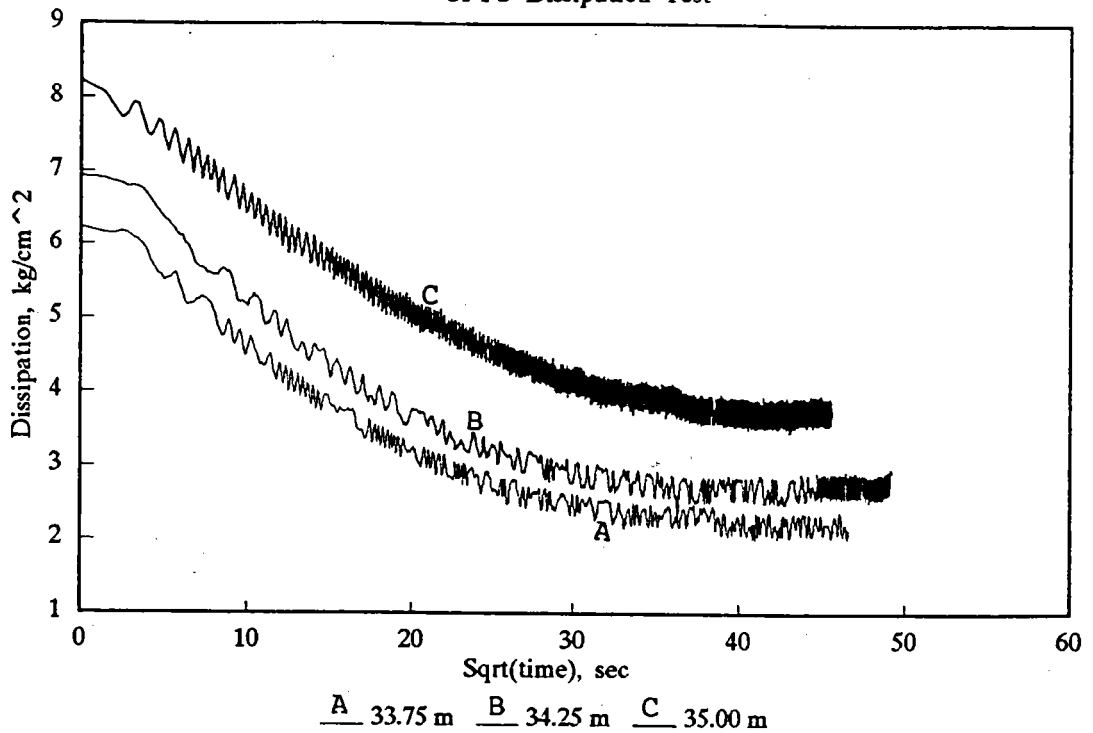
YUNG-AN

CPTU Dissipation Test



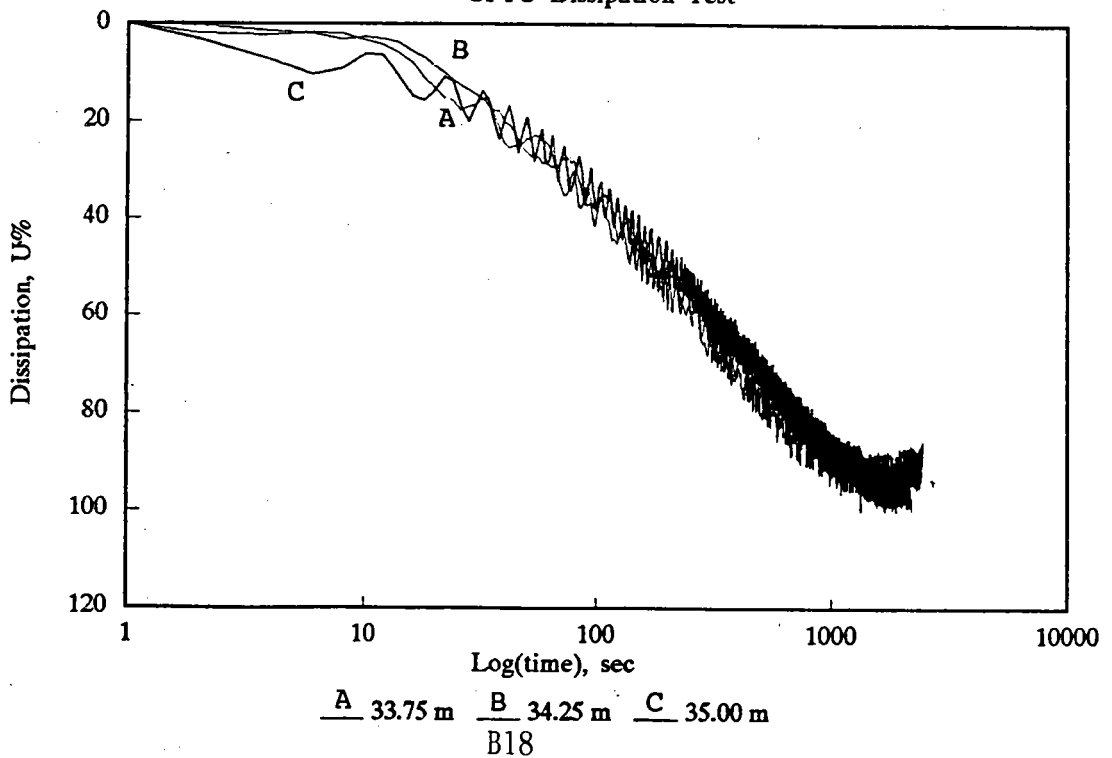
YUNG-AN

CPTU Dissipation Test



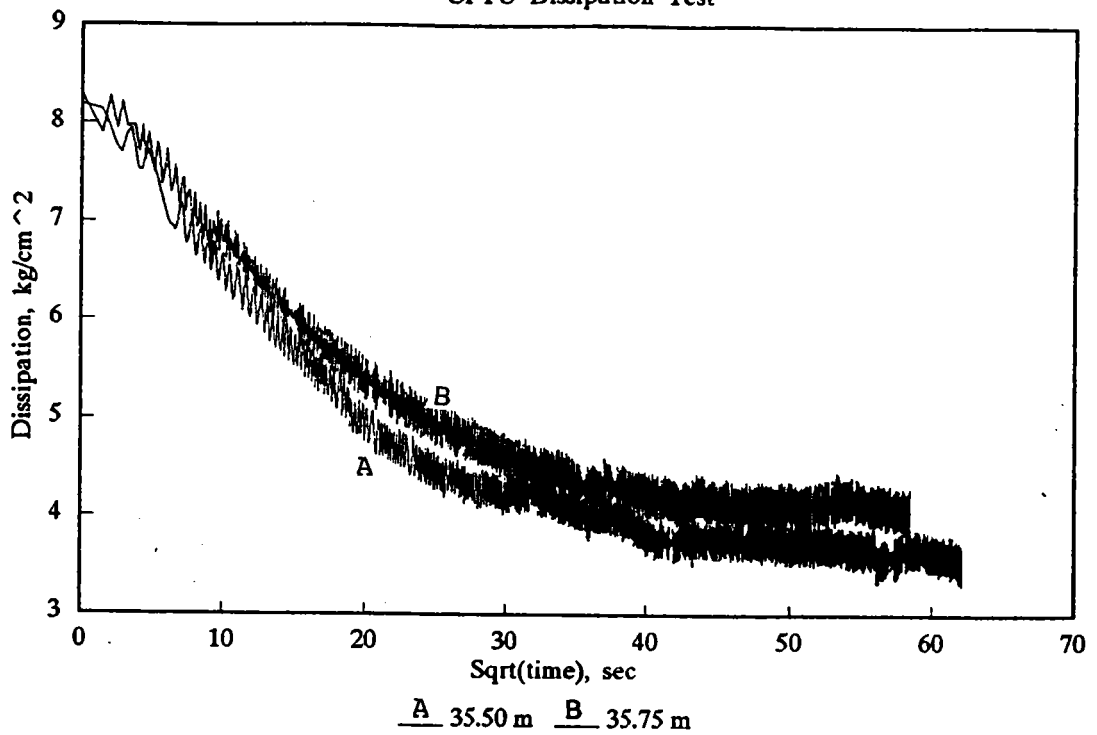
YUNG-AN

CPTU Dissipation Test



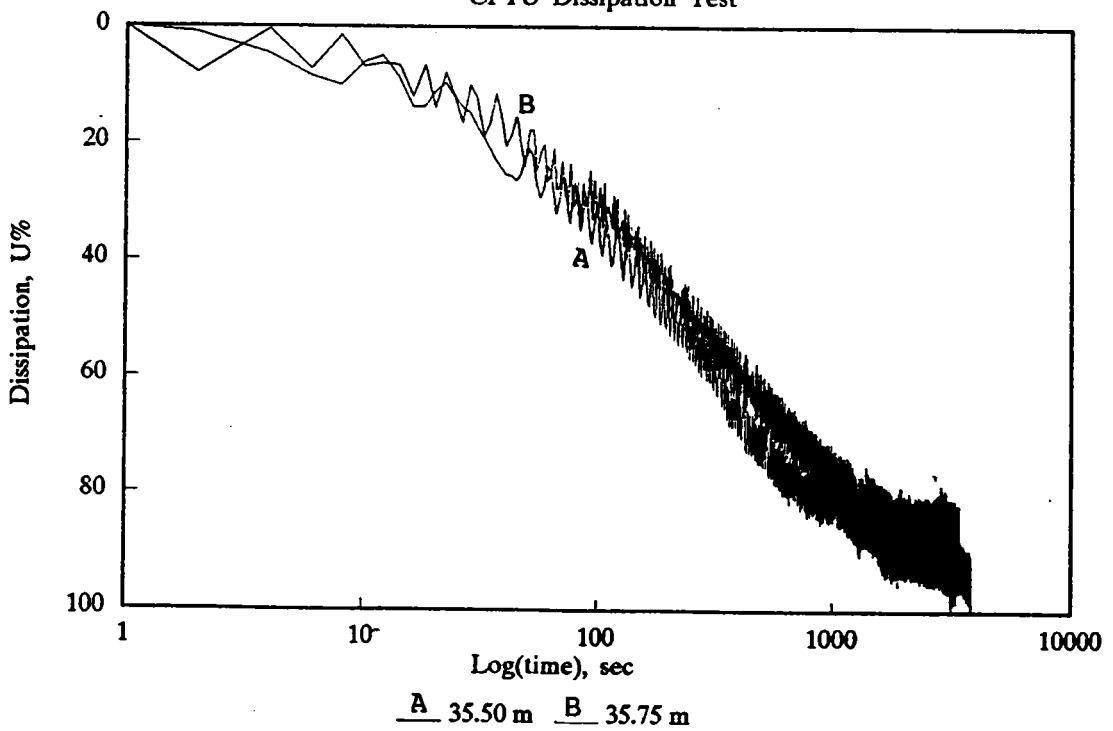
YUNG-AN

CPTU Dissipation Test



YUNG-AN

CPTU Dissipation Test

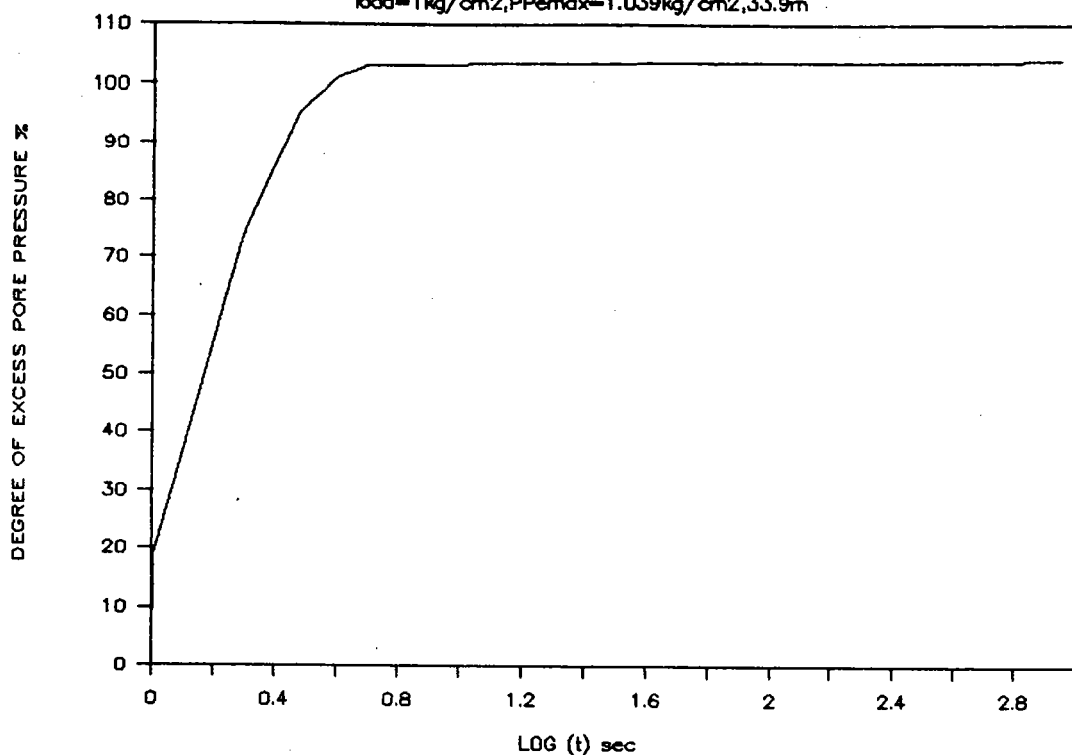


附錄 C : Rowe cell 壓密試驗資料

C - 1 水壓消散百分比($U\%$)~對數時間($\text{Log}t$)

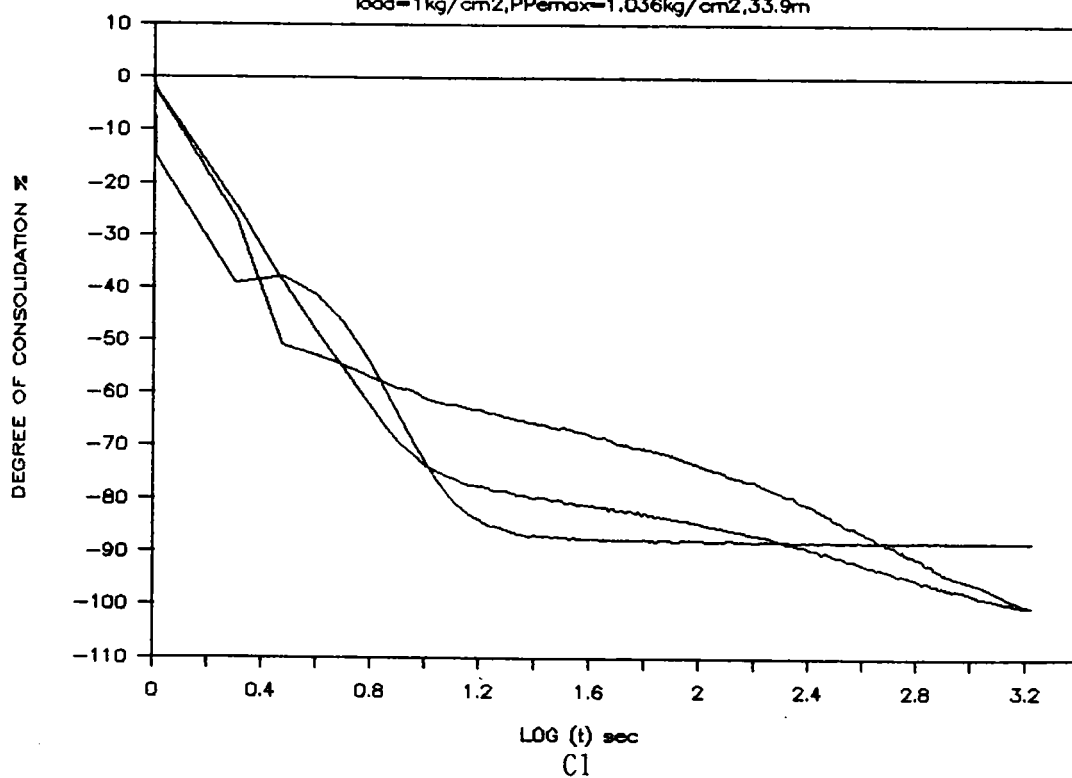
YI-WU,T-5,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=1kg/cm2,PPemax=1.039kg/cm2,33.9m



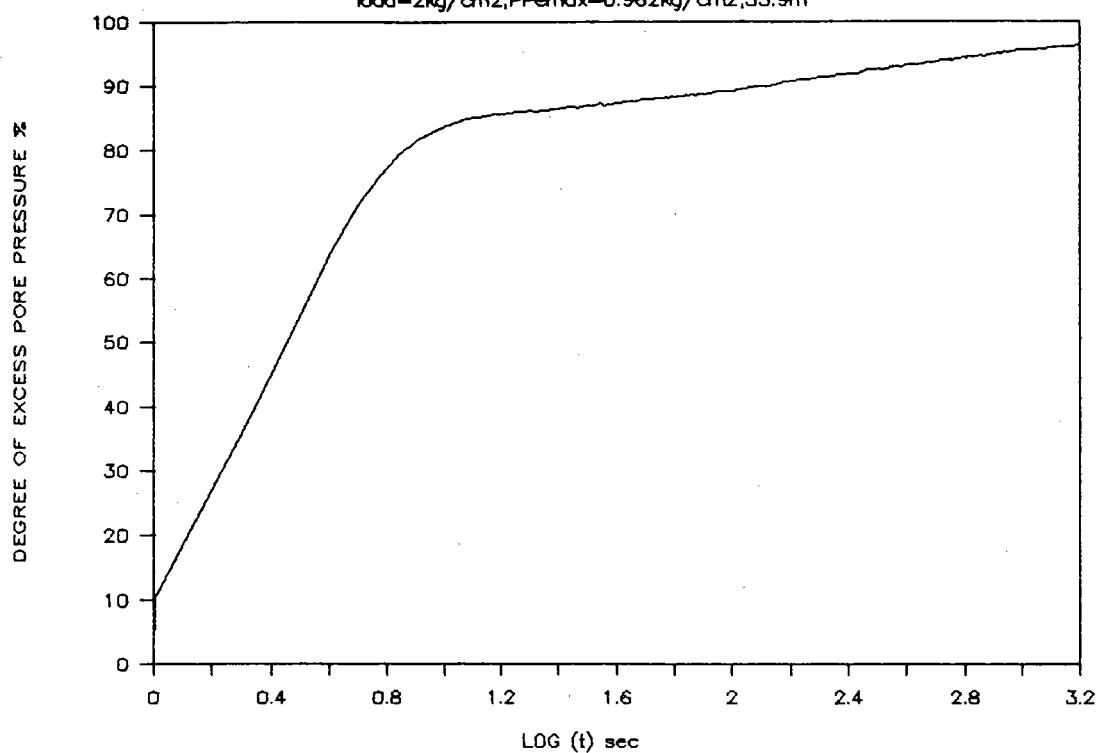
YI-WU,T-5,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL UOT

load=1kg/cm2,PPemax=1.036kg/cm2,33.9m



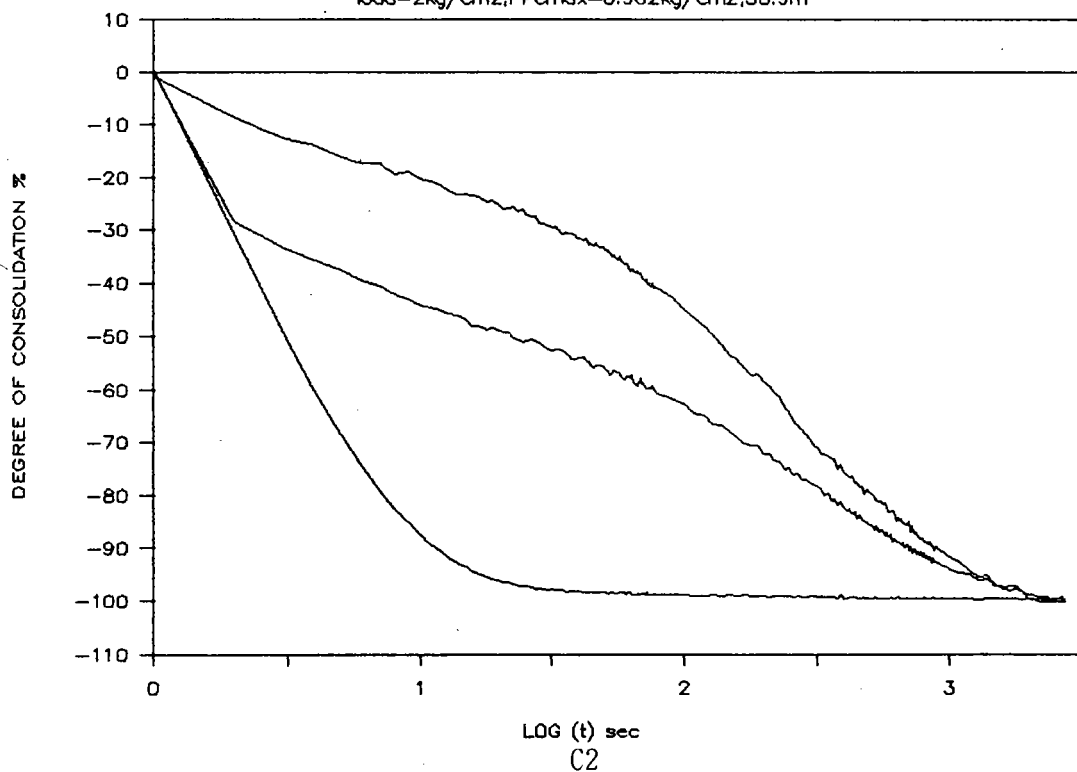
YI-WU,T-5,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=2kg/cm²,PPemax=0.962kg/cm²,33.9m



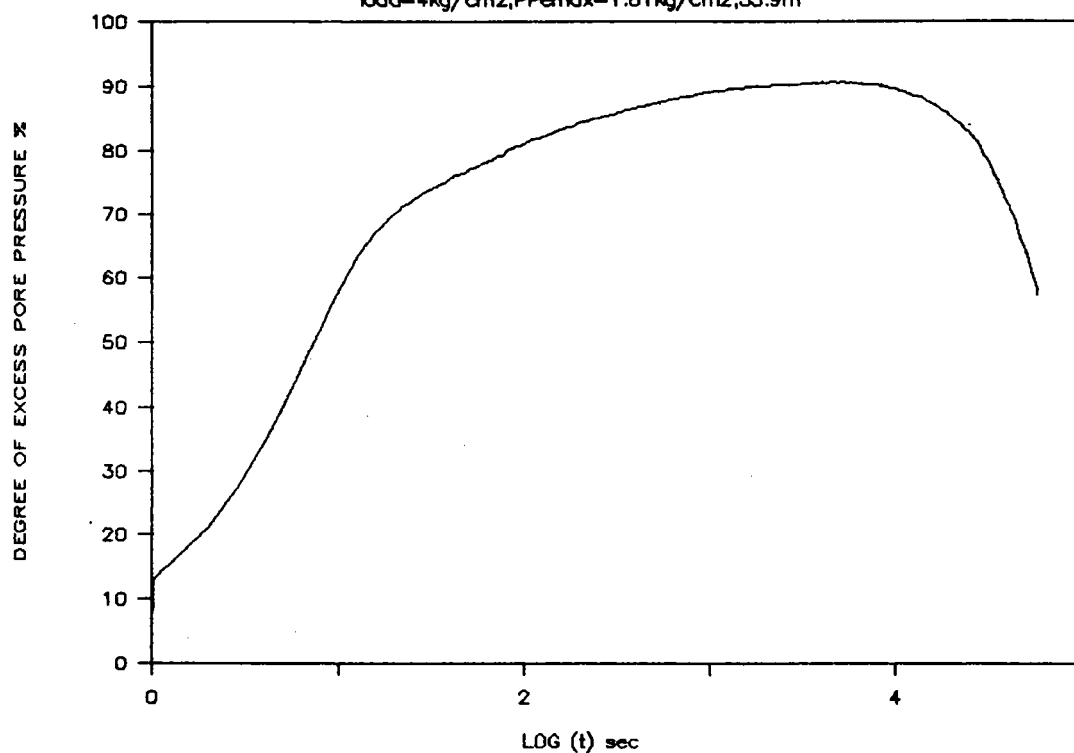
YI-WU,T-5,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=2kg/cm²,PPemax=0.962kg/cm²,33.9m



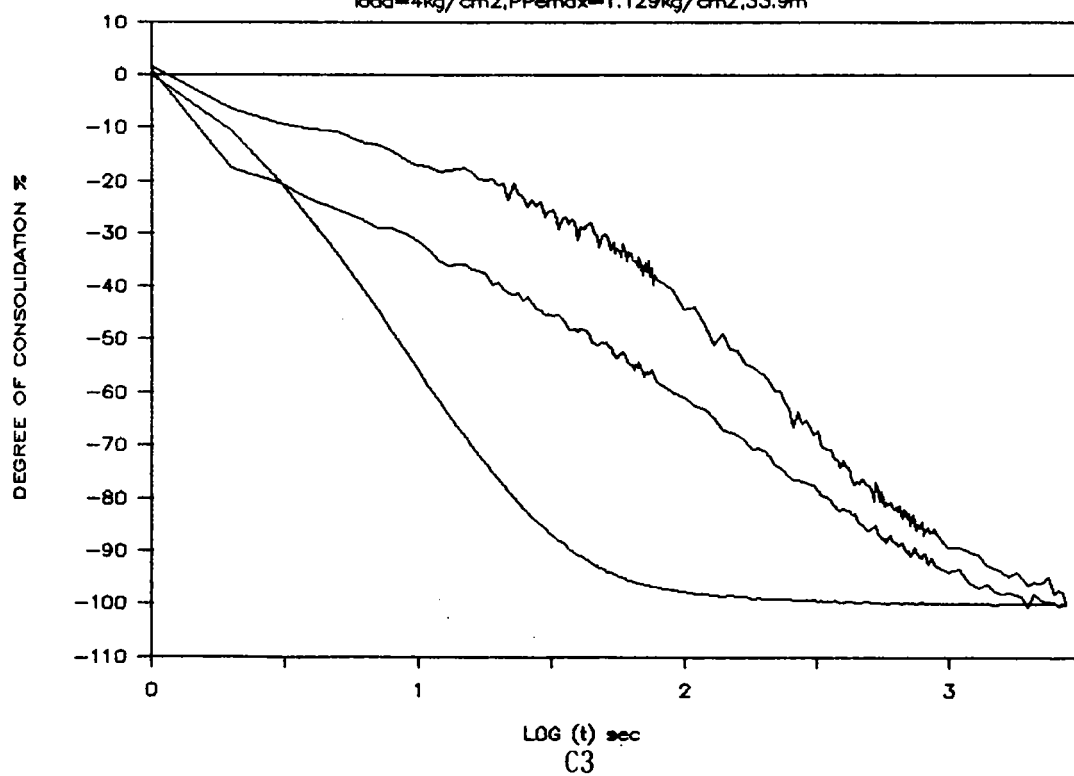
YI-WU,T-05,EQUAL STRAIN,HORIZOINTAL OUT

load=4kg/cm2,PPemax=1.81kg/cm2,33.9m



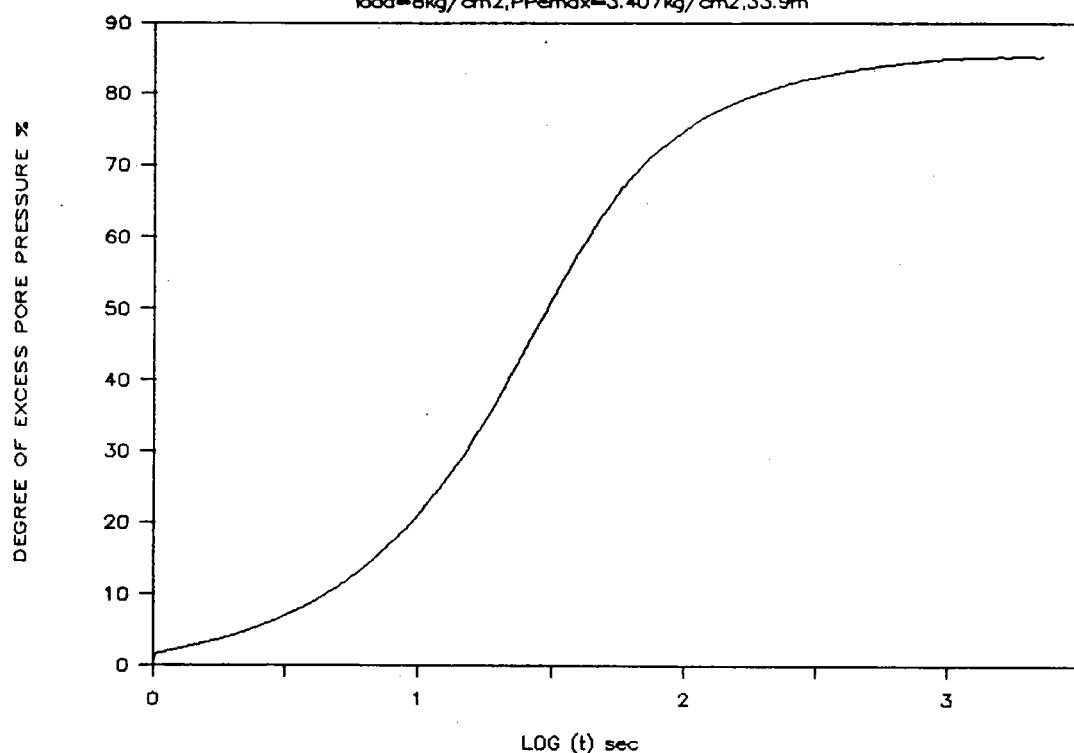
YI-WU,T-05,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=4kg/cm2,PPemax=1.129kg/cm2,33.9m



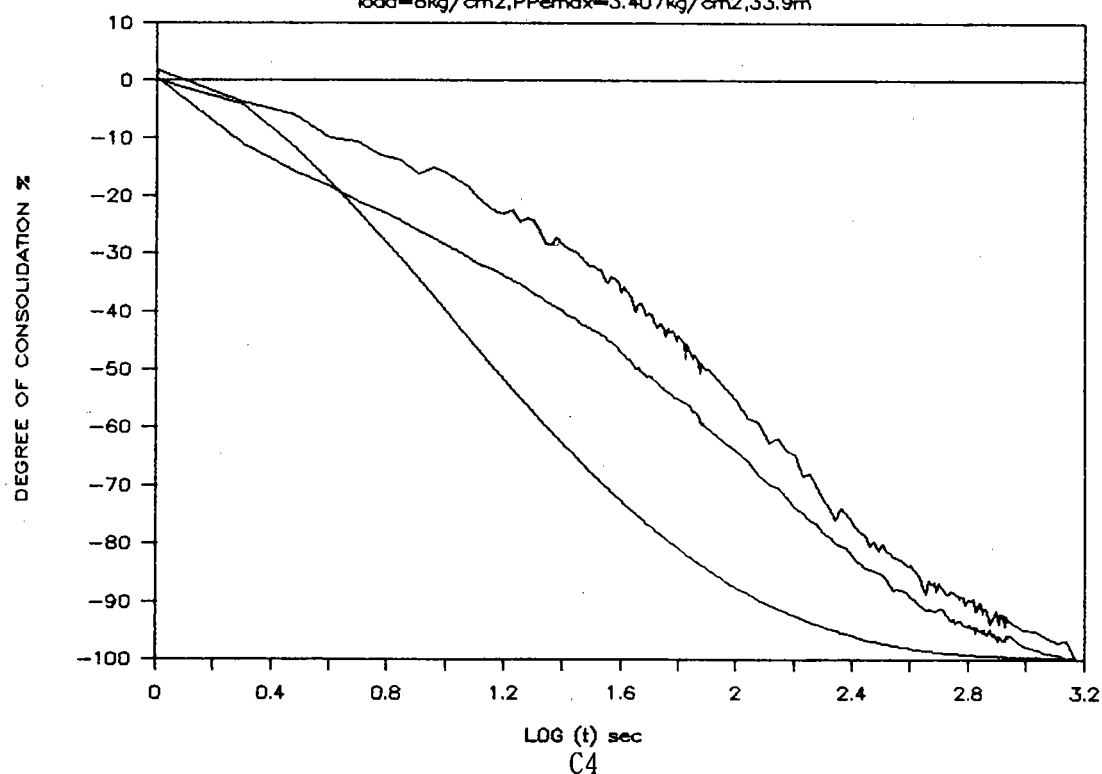
YI-WU,T-05,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=8kg/cm2,PPemax=3.407kg/cm2,33.9m



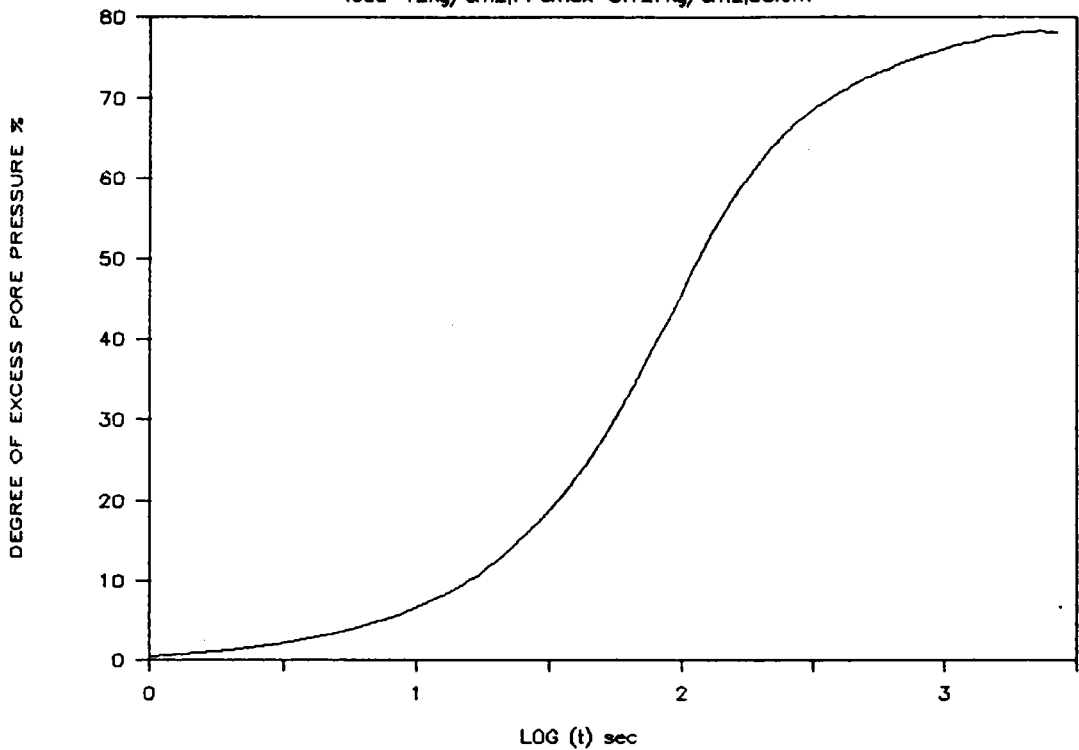
YI-WU,T-05,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=8kg/cm2,PPemax=3.407kg/cm2,33.9m



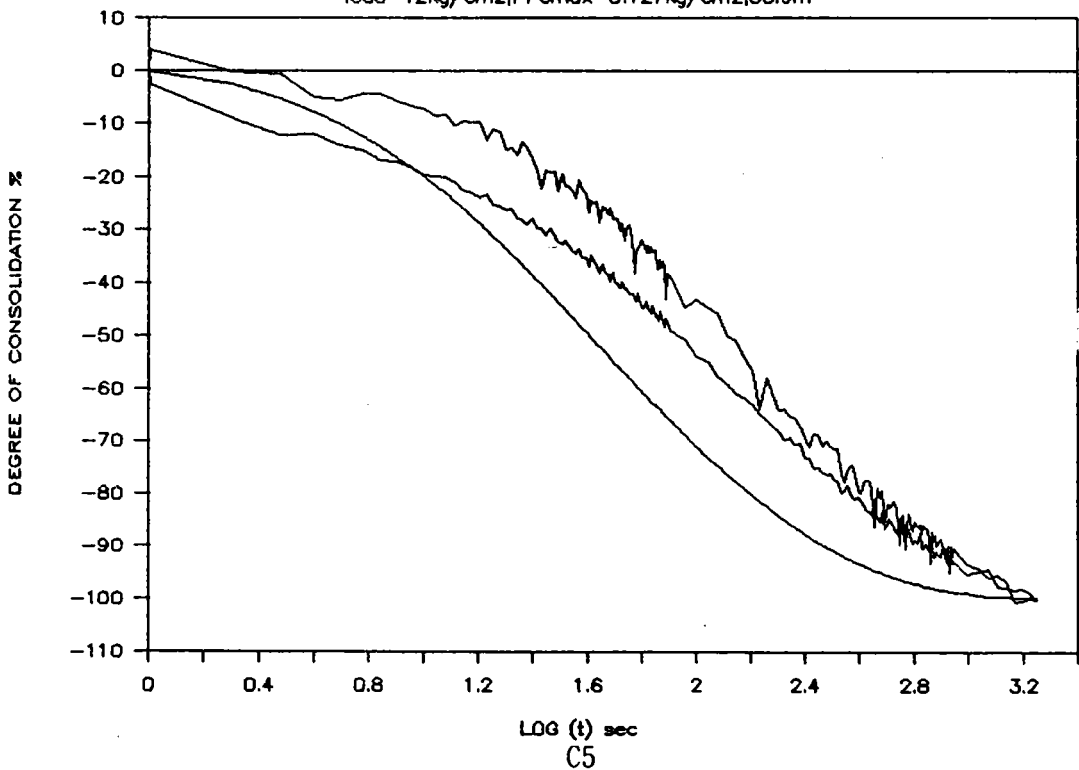
YI-WU,T-05,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=12kg/cm²,PPemax=3.127kg/cm²,33.9m



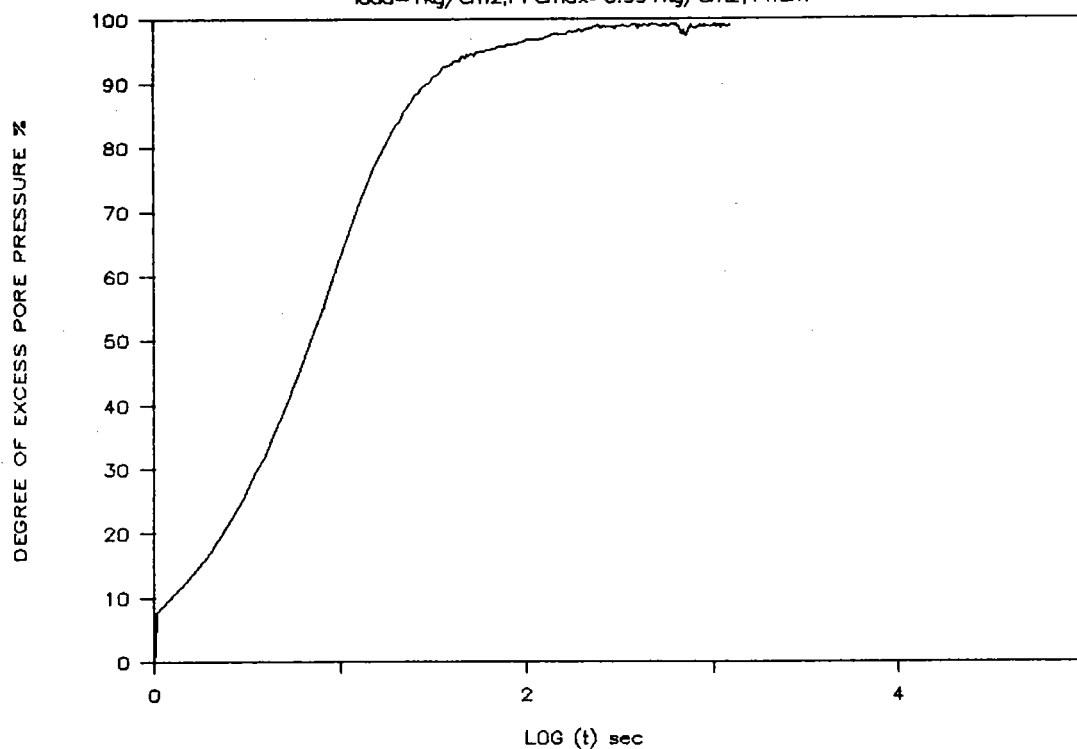
YI-WU,T-05,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=12kg/cm²,PPemax=3.127kg/cm²,33.9m



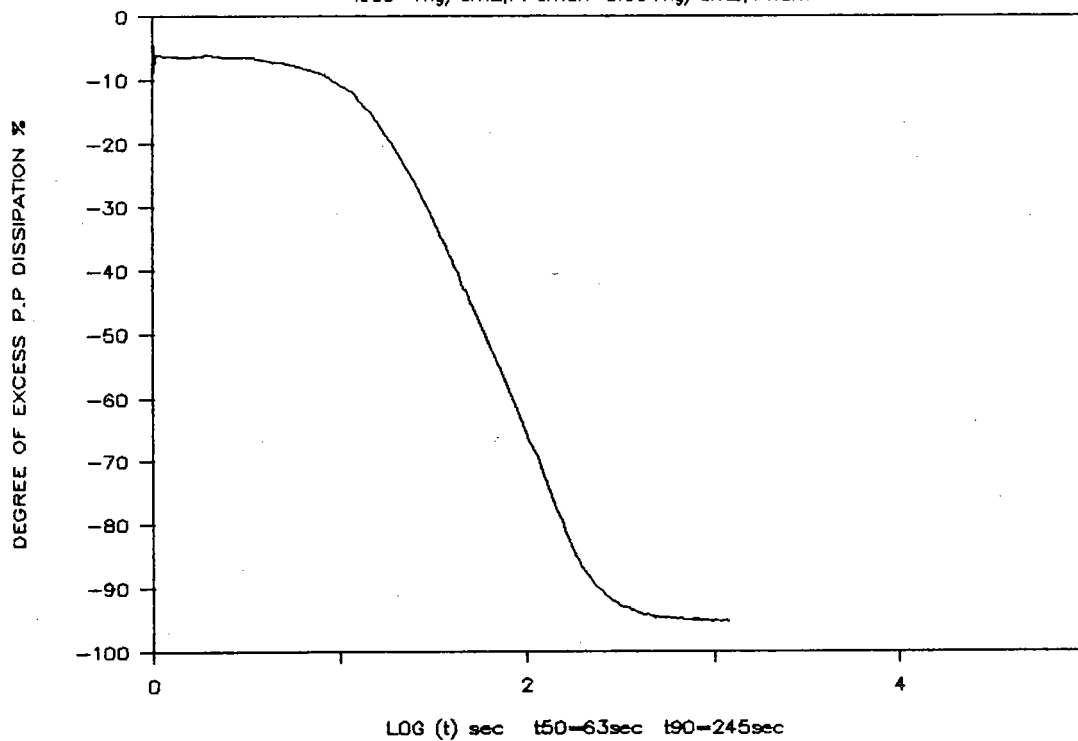
YI-WU, T-6, R.V, 1-WAY

load=1 kg/cm², PP_{emax}=0.991 kg/cm², 44.8m



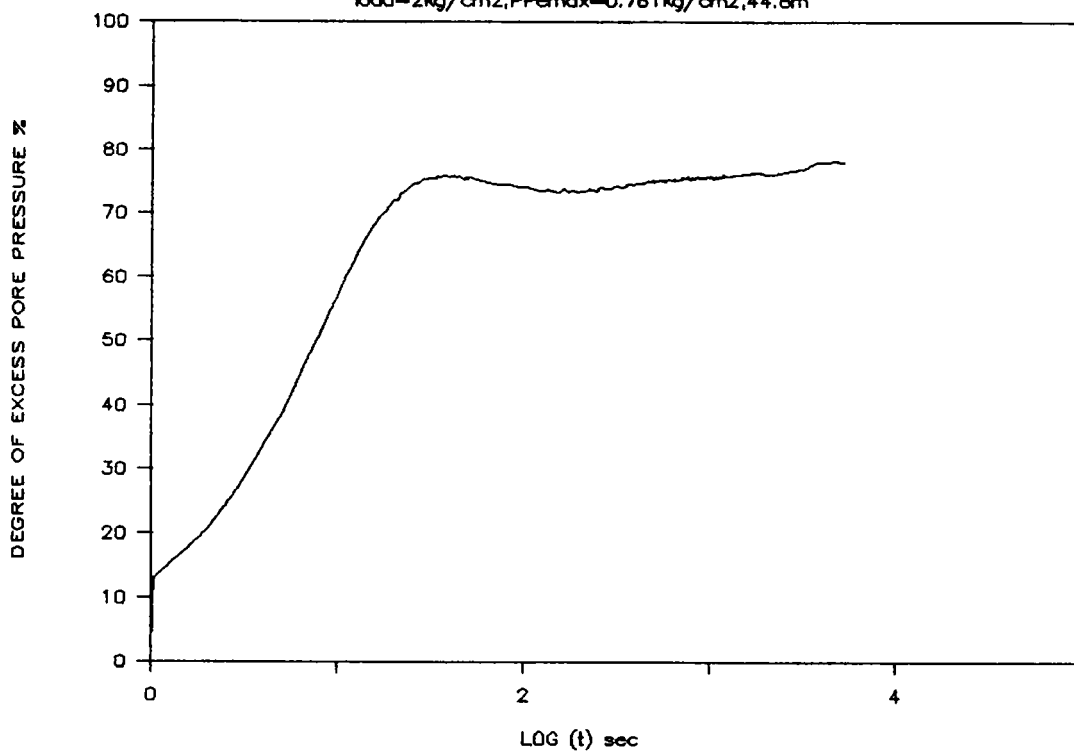
YI-WU, T-6, R.V, 1-WAY, C_v=282.118 mm²/min

load=1 kg/cm², PP_{emax}=0.991 kg/cm², 44.8m



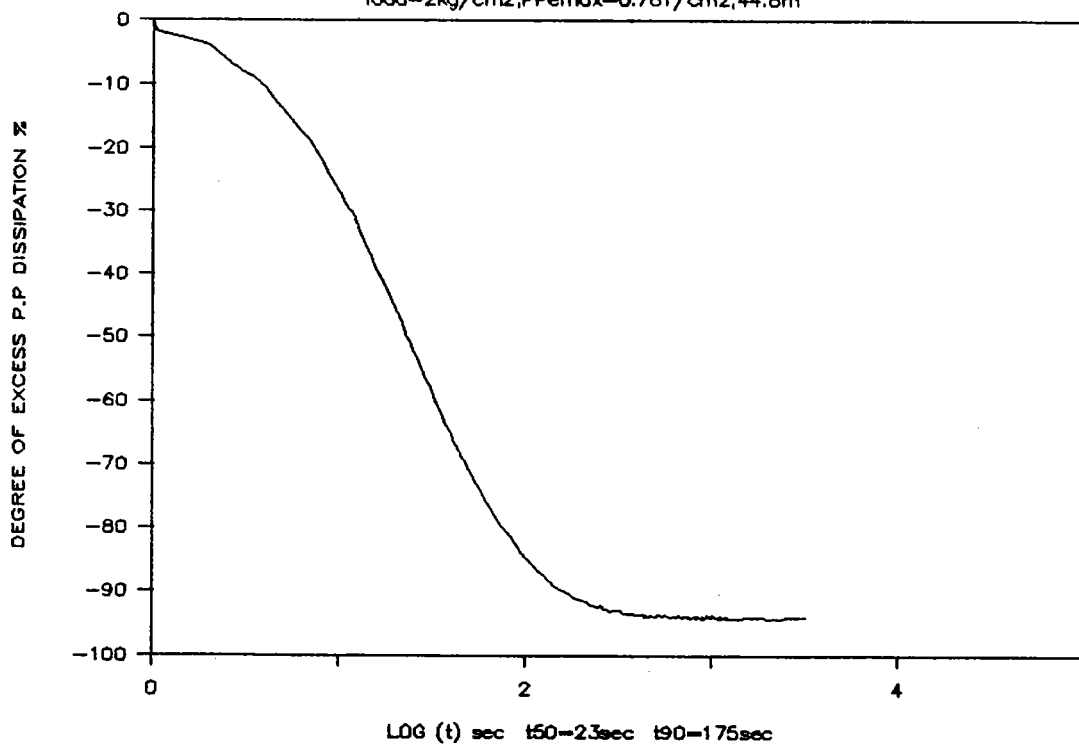
YI-WU, T-6, R.V, 1-WAY

load=2kg/cm², PP_{emax}=0.781 kg/cm², 44.8m



YI-WU, T-6, R.V, 1-WAY, C_v=769.114mm²/min

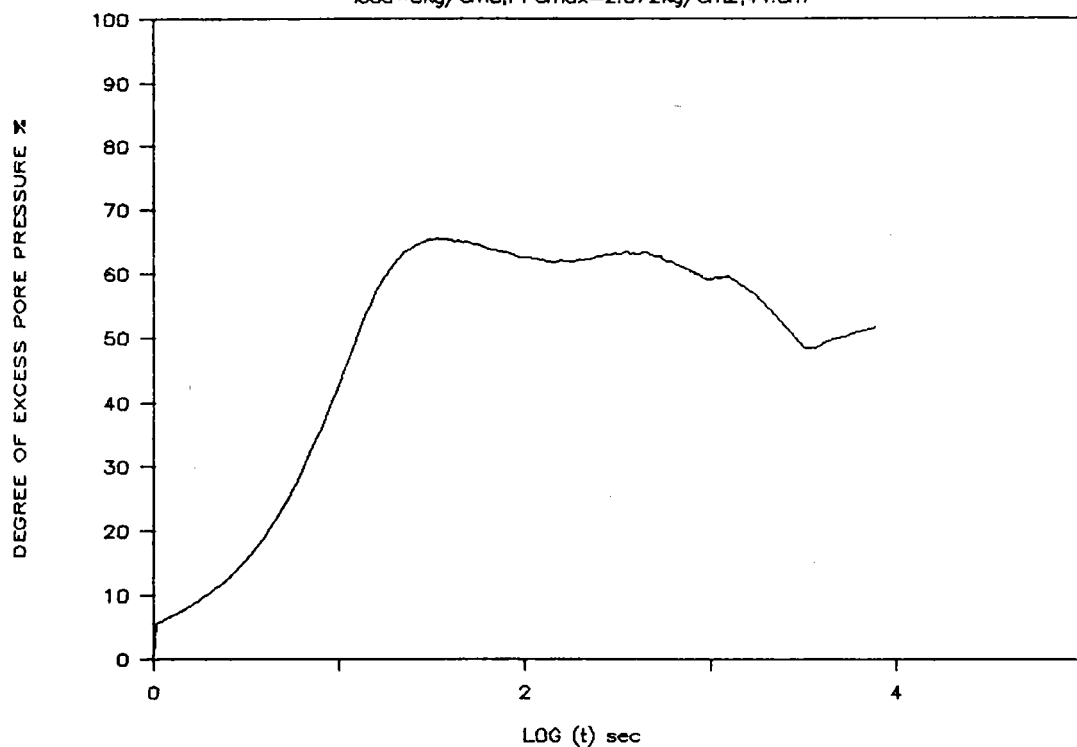
load=2kg/cm², PP_{emax}=0.781 kg/cm², 44.8m



t₅₀=23sec t₉₀=175sec

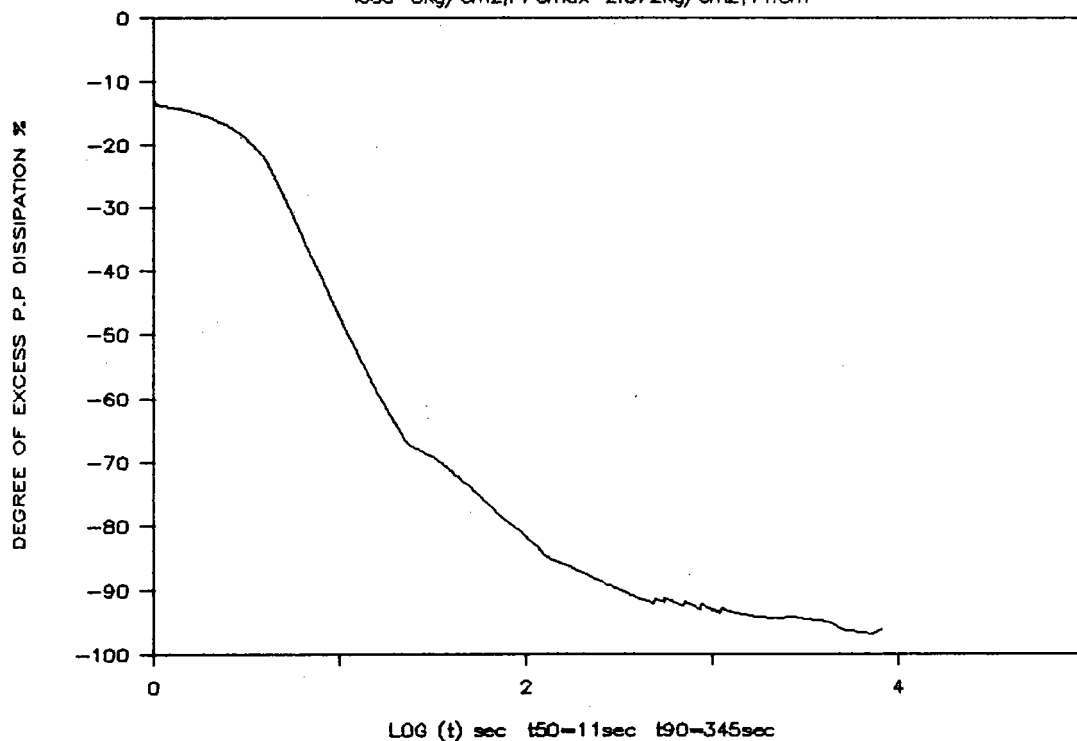
YI-WU, T-6, R.V, 1-WAY

load=8kg/cm³, PPemax=2.072kg/cm², 44.8m



YI-WU, T-6, R.V, 1-WAY, Cv=1560.988mm²/min

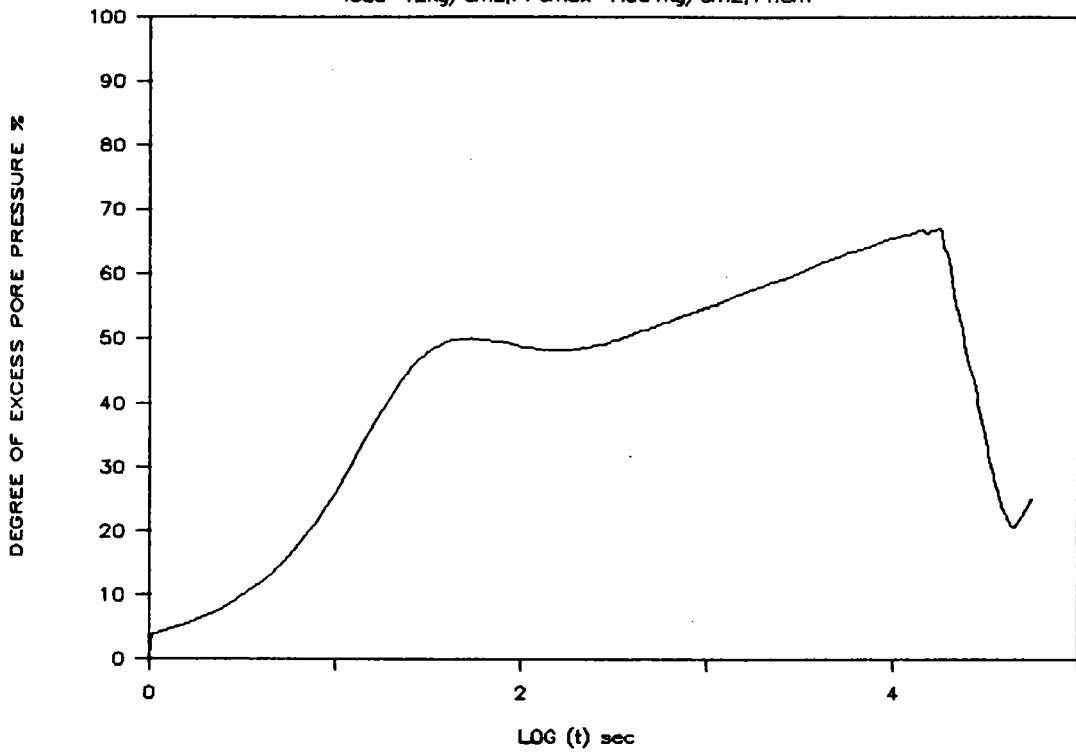
load=8kg/cm², PPemax=2.072kg/cm², 44.8m



LOG (t) sec t50=11sec t90=345sec

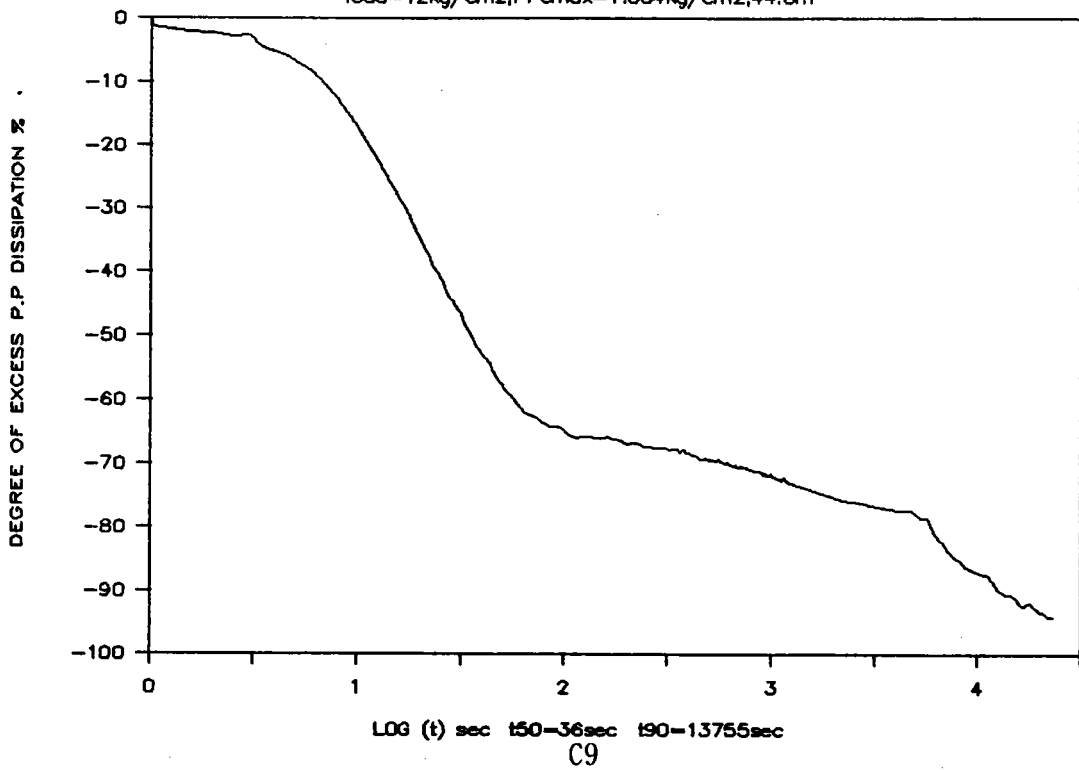
YI-WU, T-6, R.V, 1-WAY

load=12kg/cm², PPemax=1.004kg/cm², 44.8m



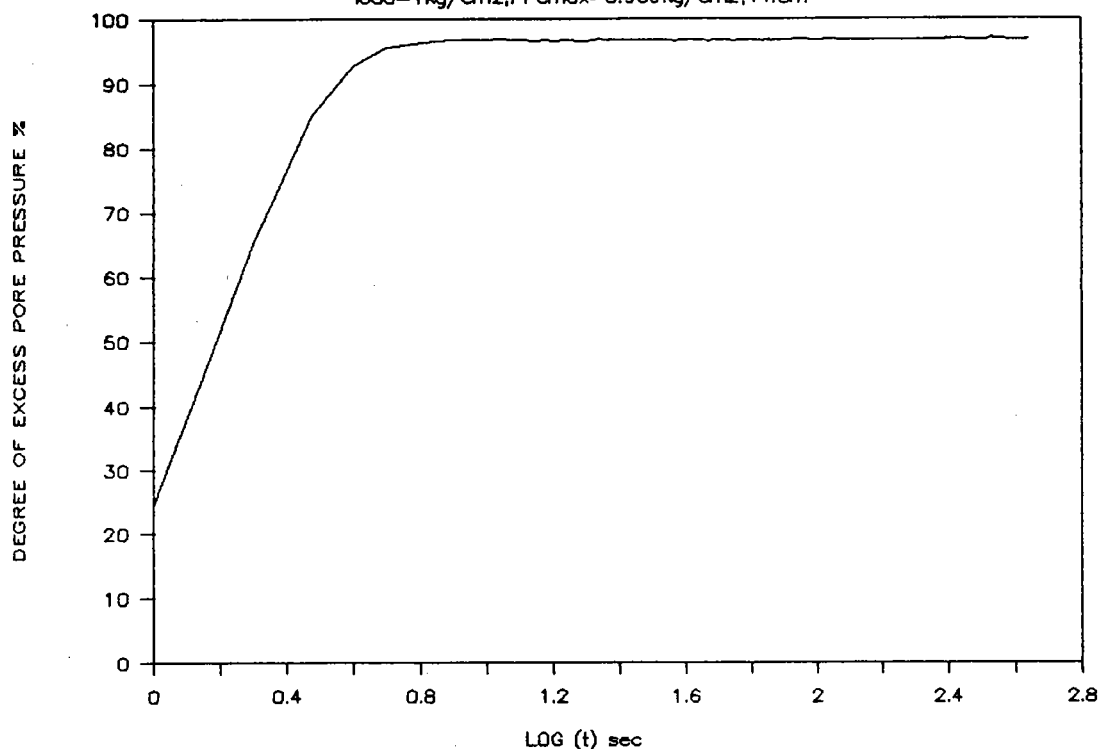
YI-WU, T-6, R.V, 1-WAY, Cv=469.706mm²/min

load=12kg/cm², PPemax=1.004kg/cm², 44.8m



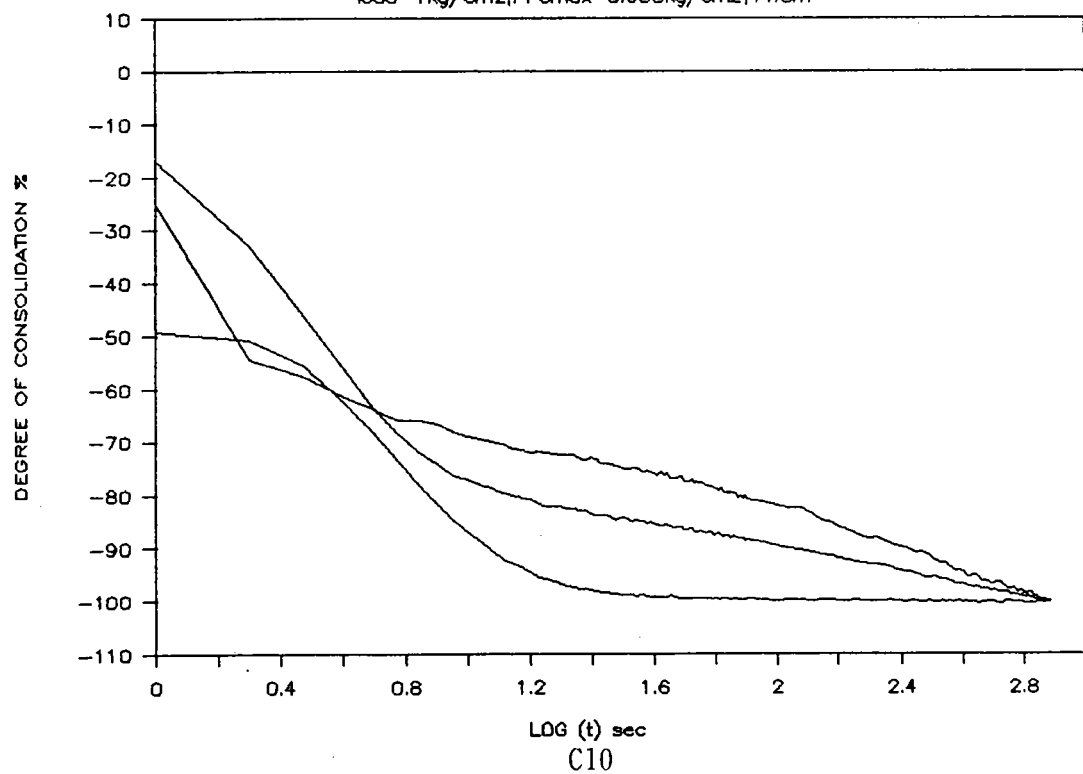
YI-WU,T-06,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=1 kg/cm², PP_{emax}=0.969 kg/cm², 44.8m



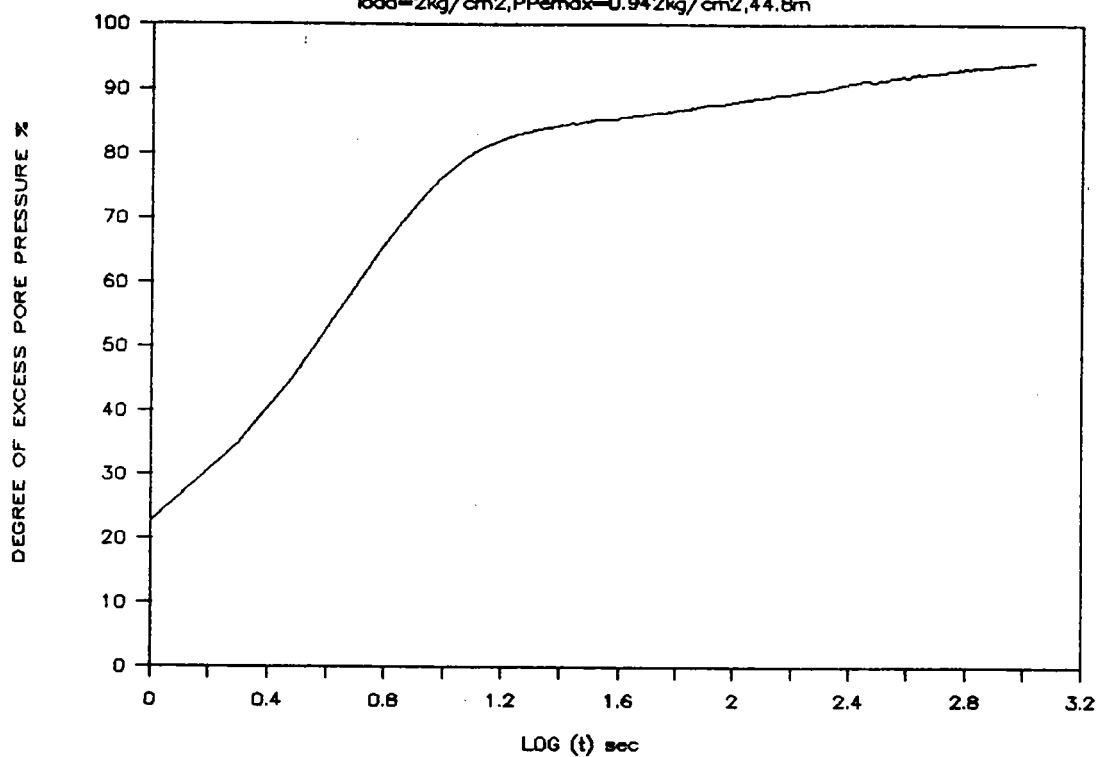
YI-WU,T-06,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=1 kg/cm², PP_{emax}=0.985 kg/cm², 44.8m



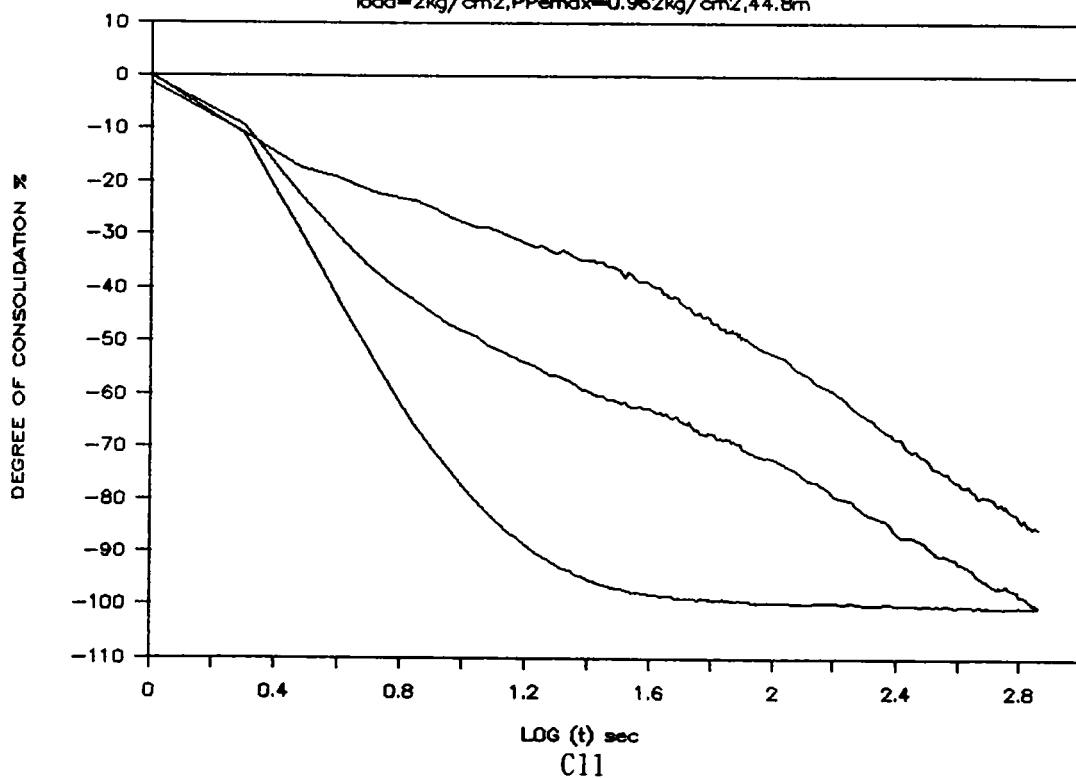
YI-WU,T-06,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=2kg/cm²,PPemax=0.942kg/cm²,44.8m



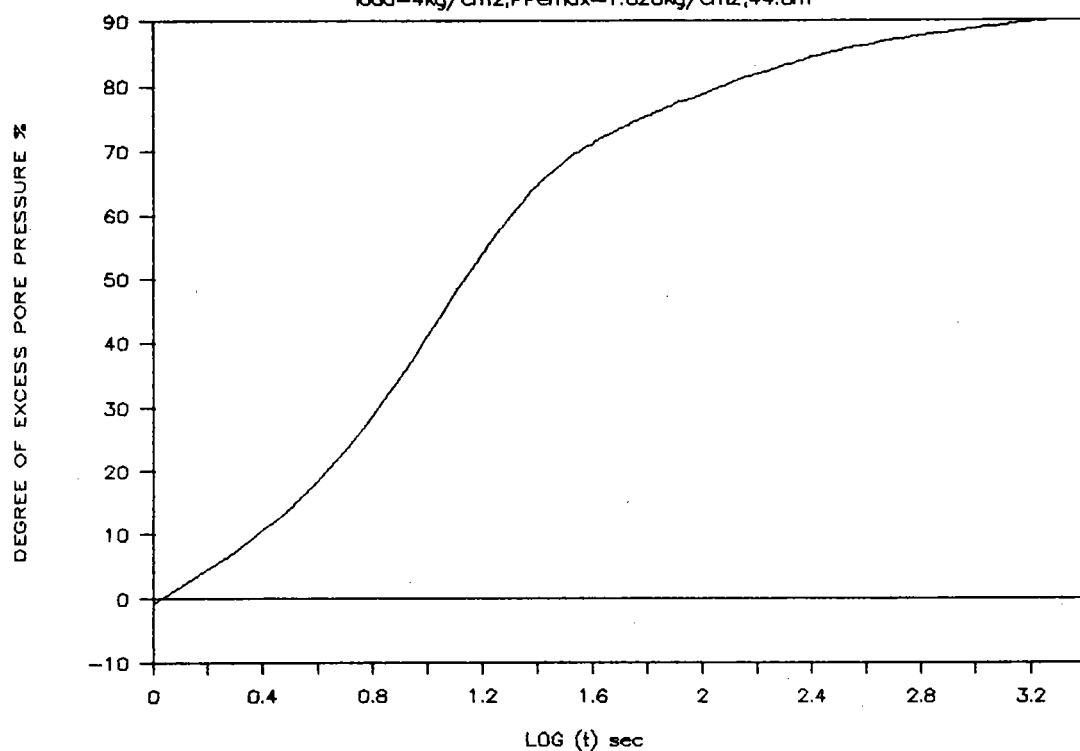
YI-WU,T-06,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=2kg/cm²,PPemax=0.962kg/cm²,44.8m



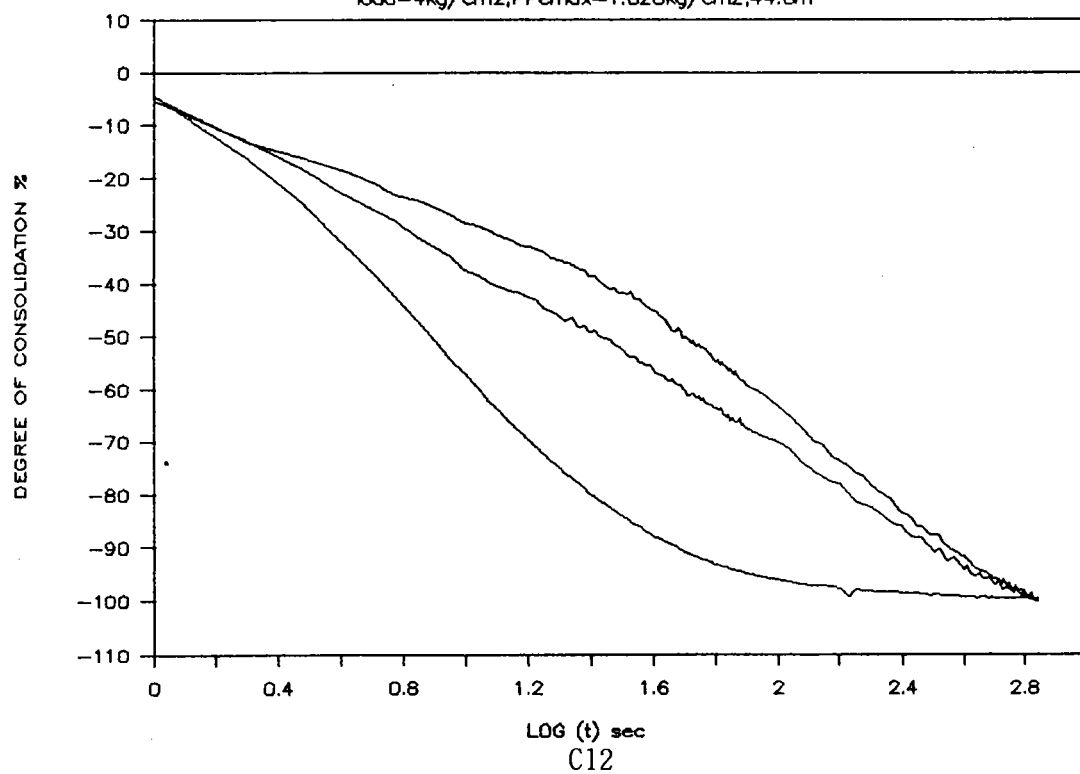
YI-WU,T-06,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=4kg/cm²,PPemax=1.828kg/cm²,44.8m



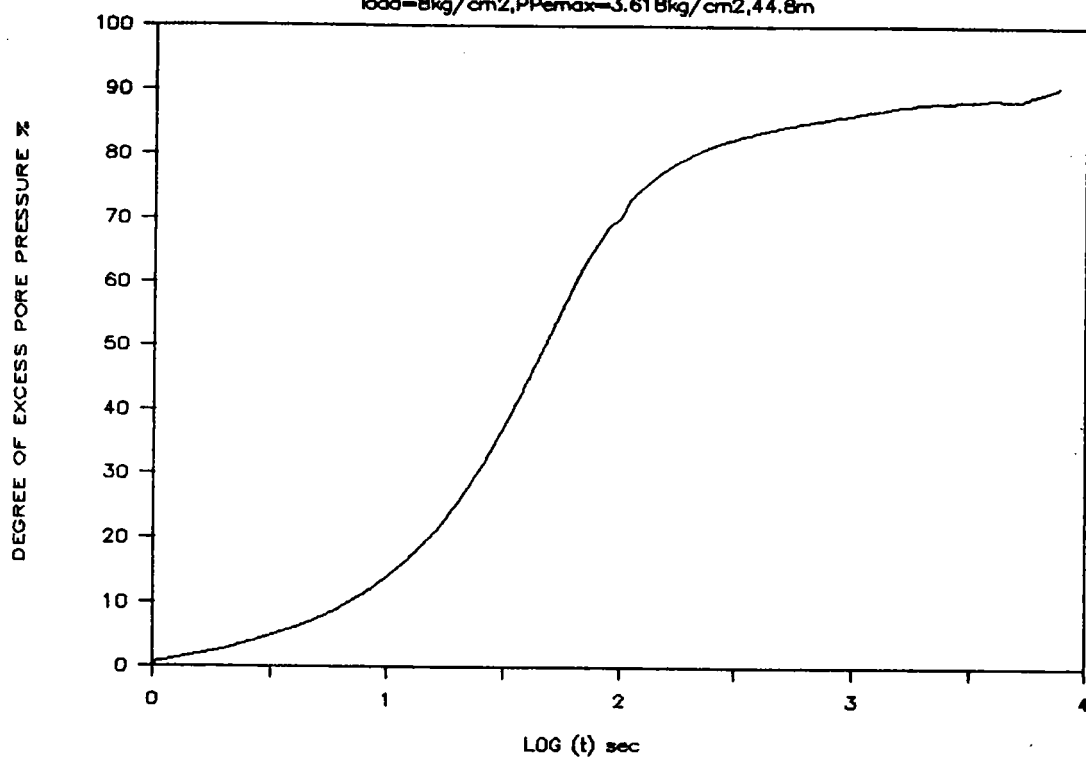
YI-WU,T-06,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=4kg/cm²,PPemax=1.828kg/cm²,44.8m



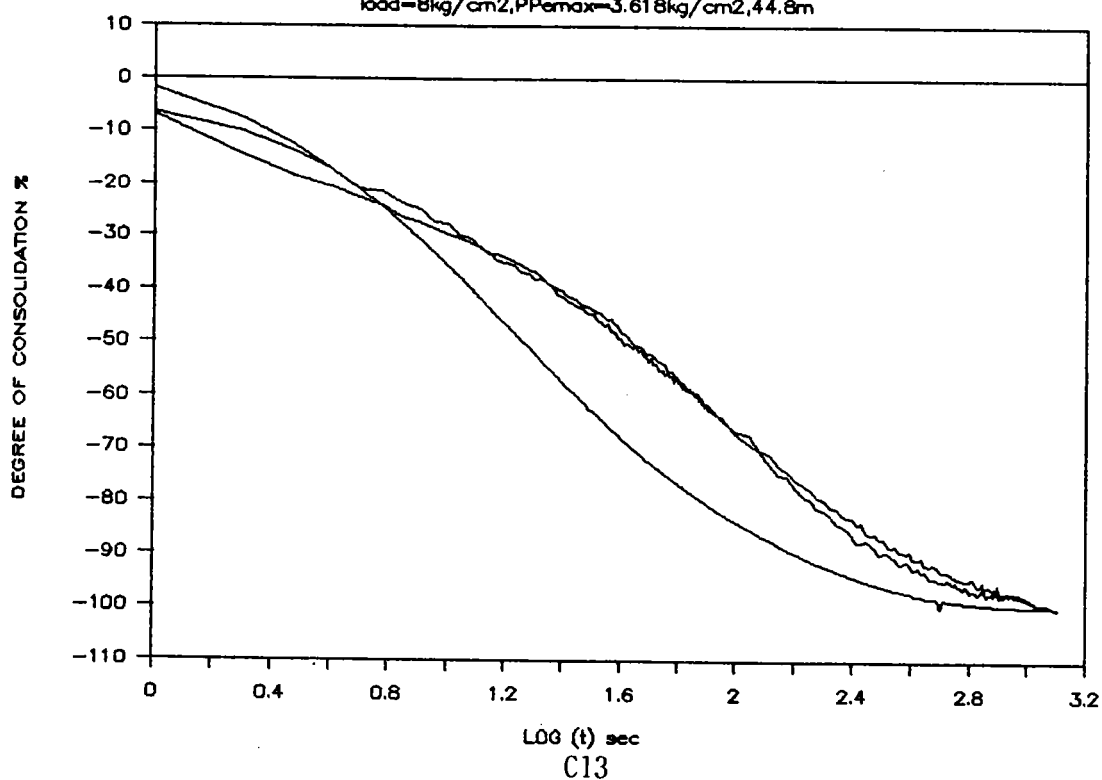
YI-WU,T-06,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=8kg/cm²,PPemax=3.618kg/cm²,44.8m



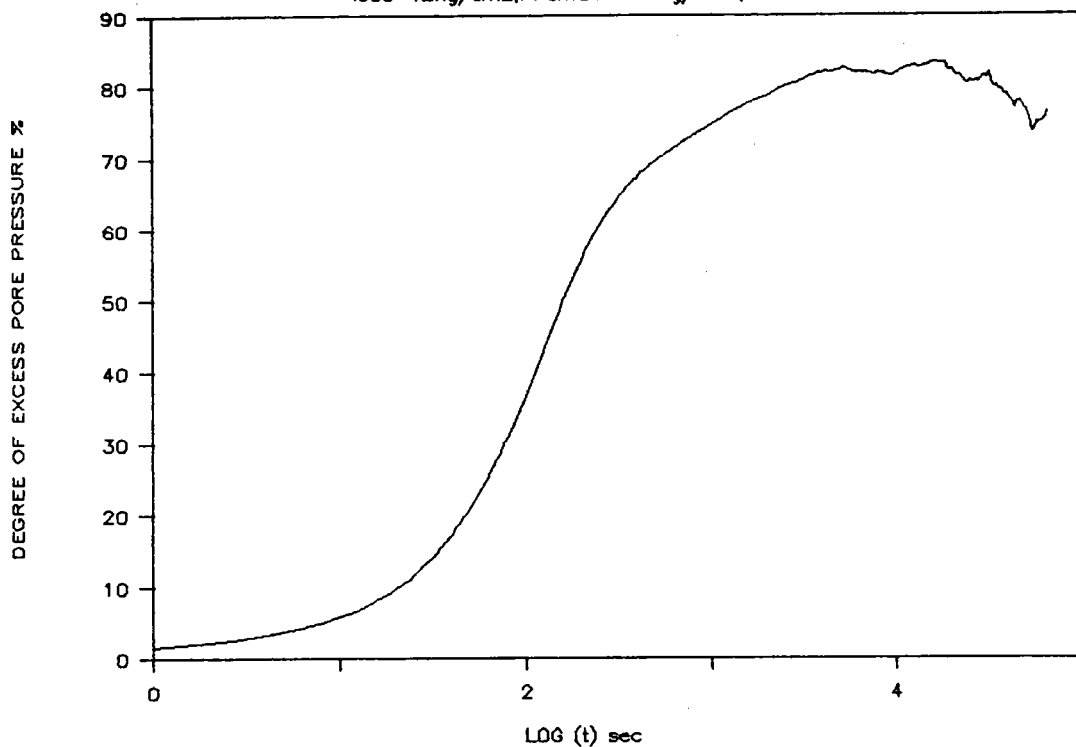
YI-WU,T-06,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=8kg/cm²,PPemax=3.618kg/cm²,44.8m



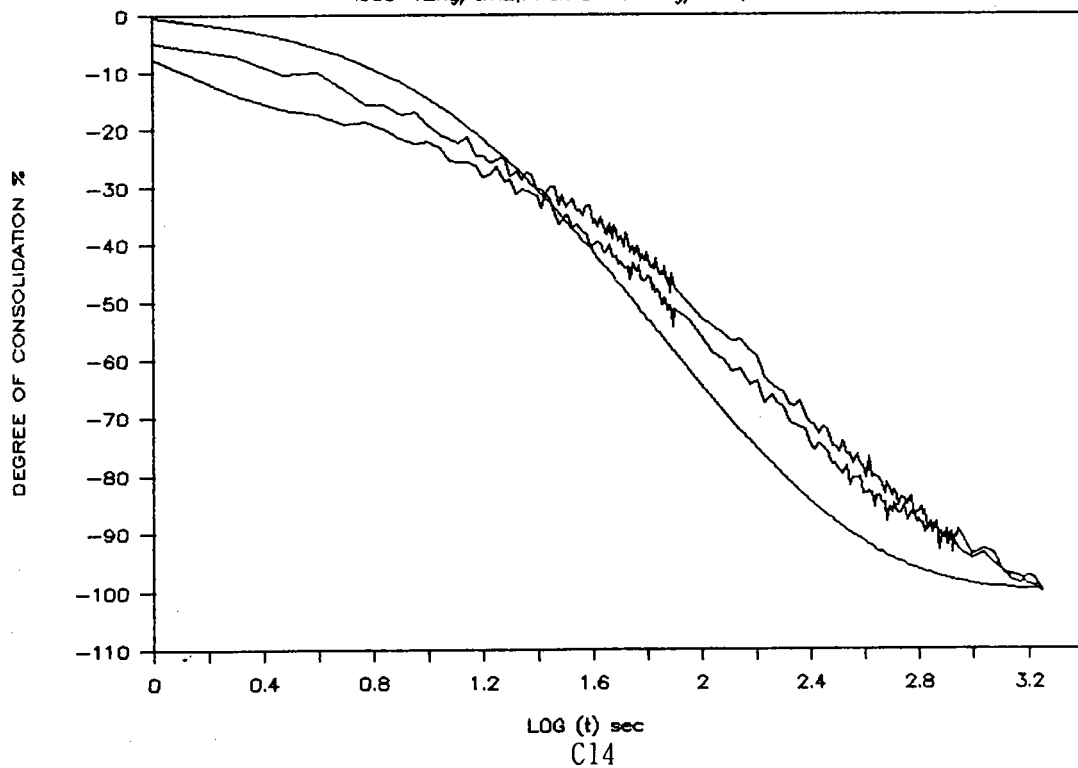
YI-WU,T-06,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=12kg/cm²,PP_{emax}=3.05kg/cm²,44.8m



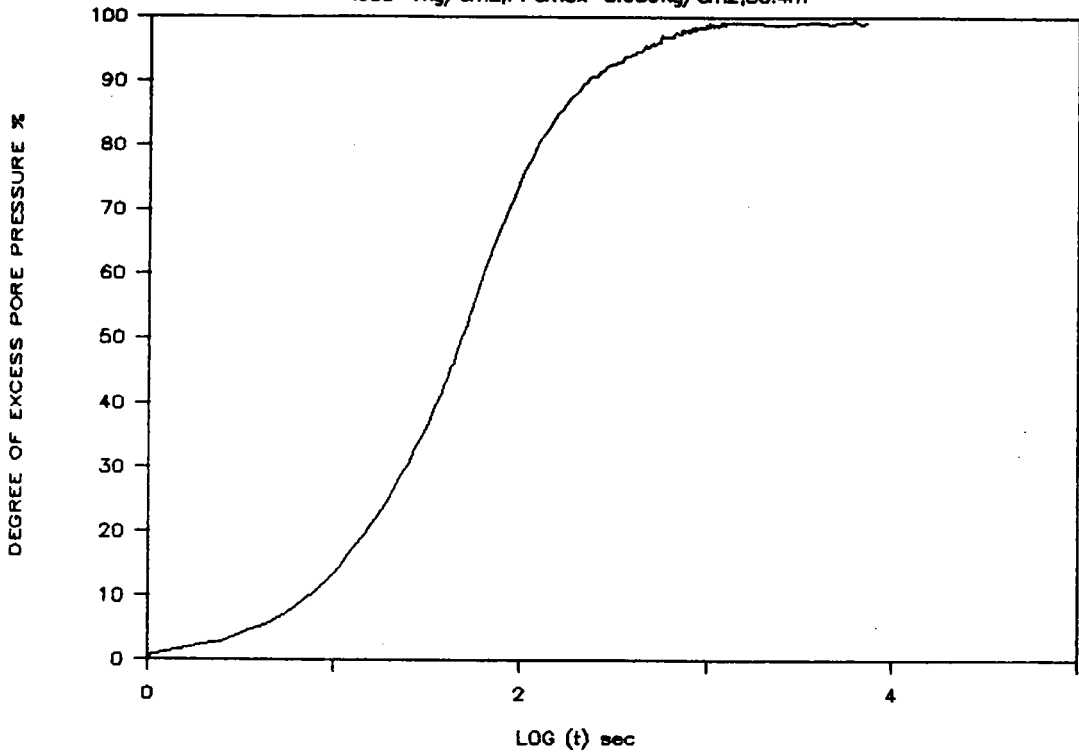
YI-WU,T-06,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=12kg/cm²,PP_{emax}=3.05kg/cm²,44.8m



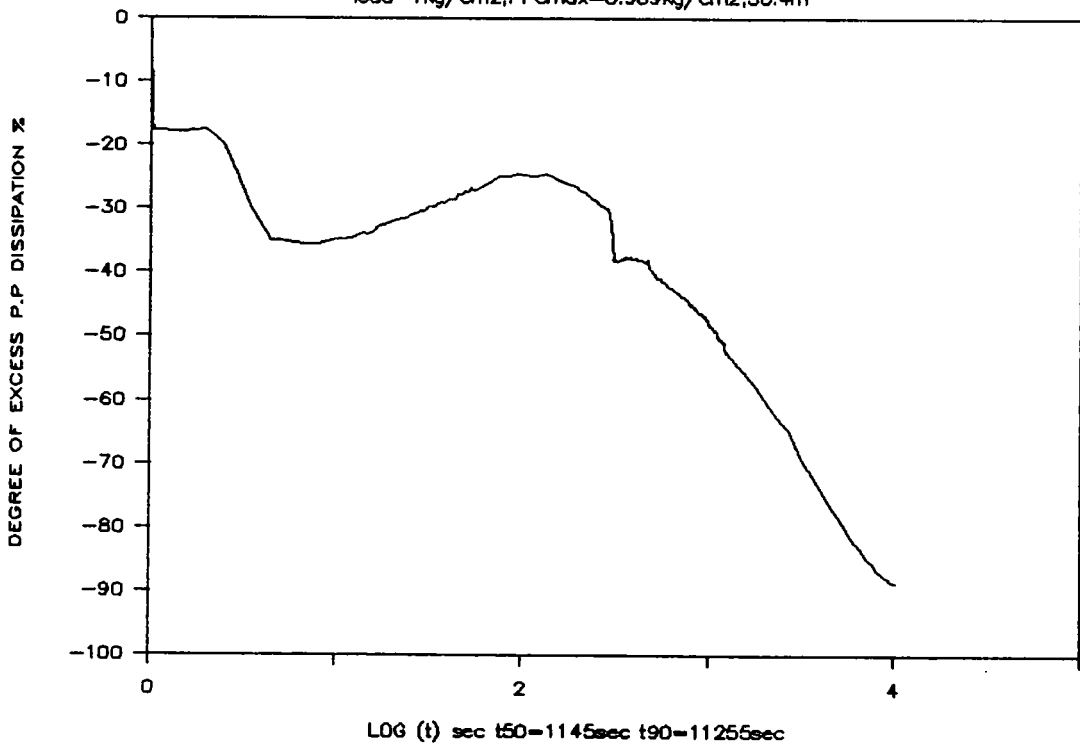
YI-WU, T-8, R.V, ONE-WAY

load=1 kg/cm², PP_{emax}=0.989 kg/cm², 50.4m



YI-WU, T-8, R.V, ONE-WAY, C_v=15.235 mm²/min

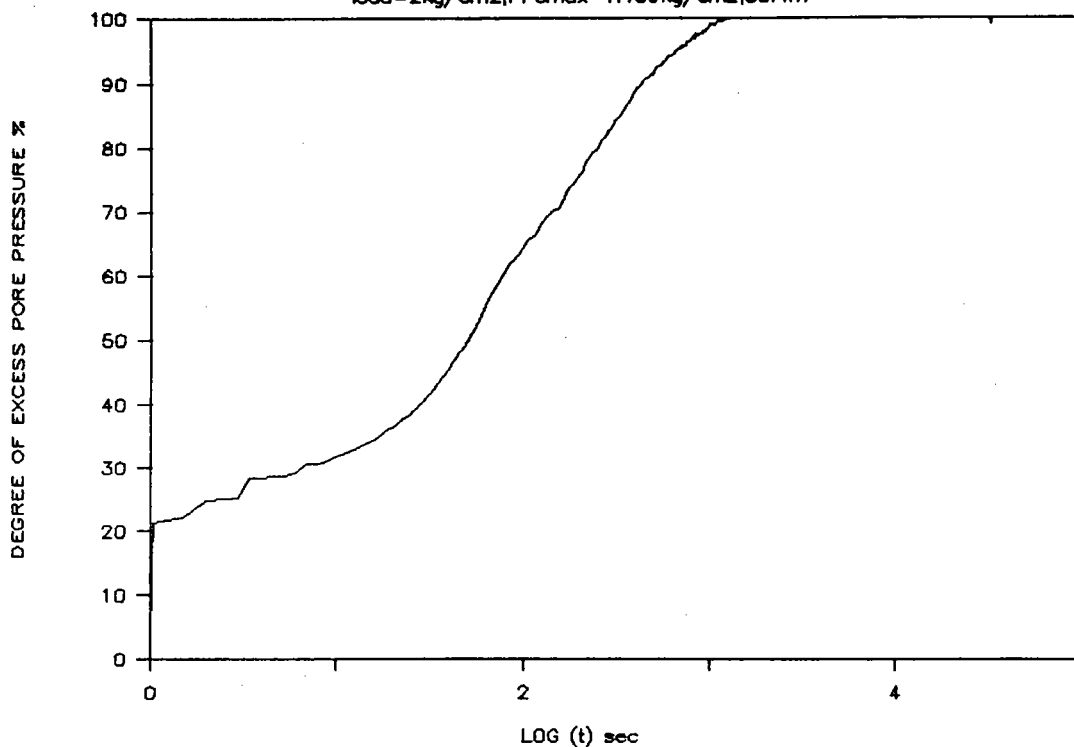
load=1 kg/cm², PP_{emax}=0.989 kg/cm², 50.4m



LOG (t) sec t₅₀=1145sec t₉₀=11255sec

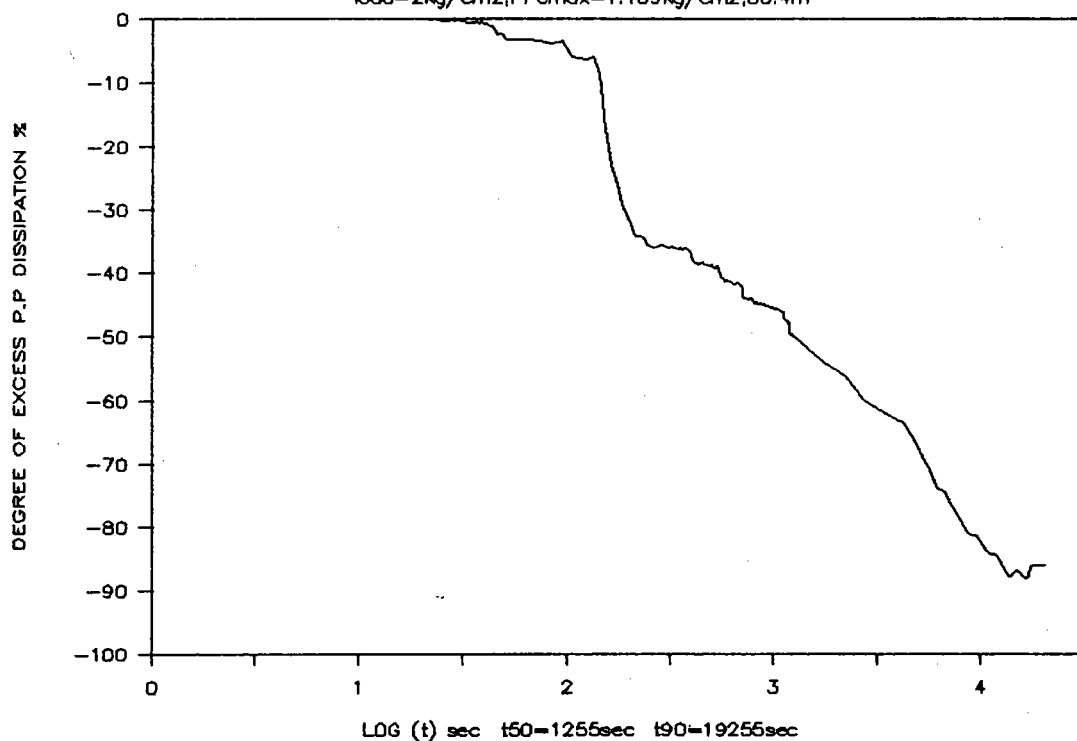
YI-WU, T-8, R.V, ONE-WAY

load=2kg/cm², PP_{emax}=1.109kg/cm², 50.4m



YI-WU, T-8, R.V, ONE-WAY, C_v=13.331mm²/min

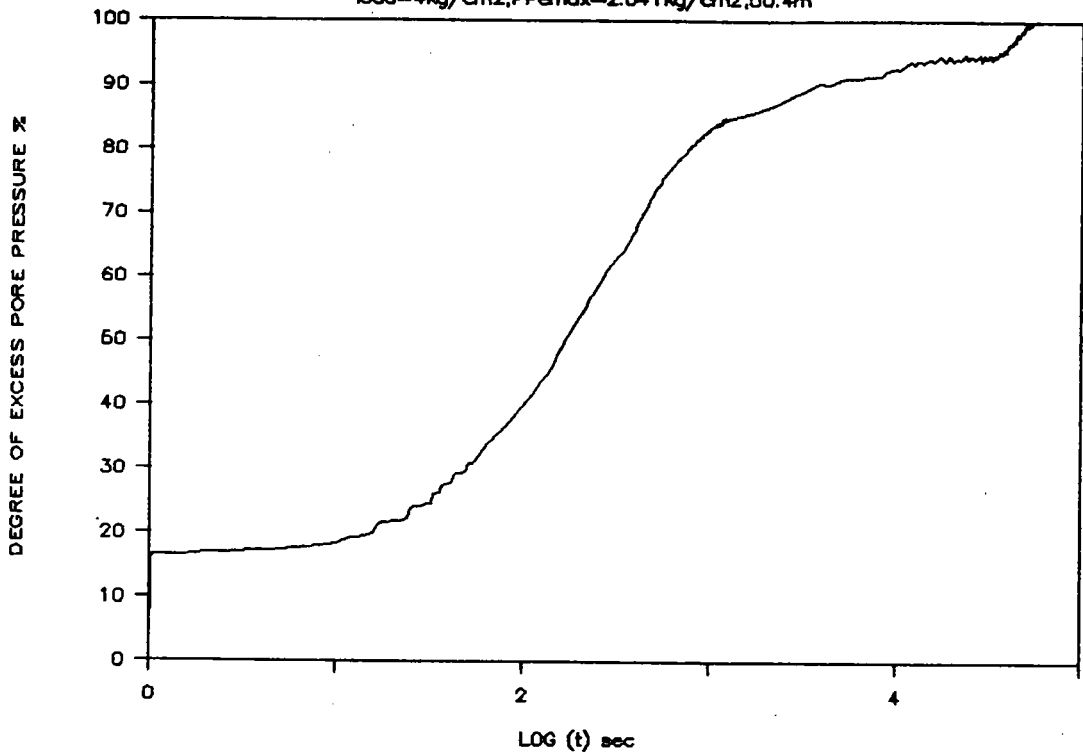
load=2kg/cm², PP_{emax}=1.109kg/cm², 50.4m



t₅₀=1255sec t₉₀=19255sec

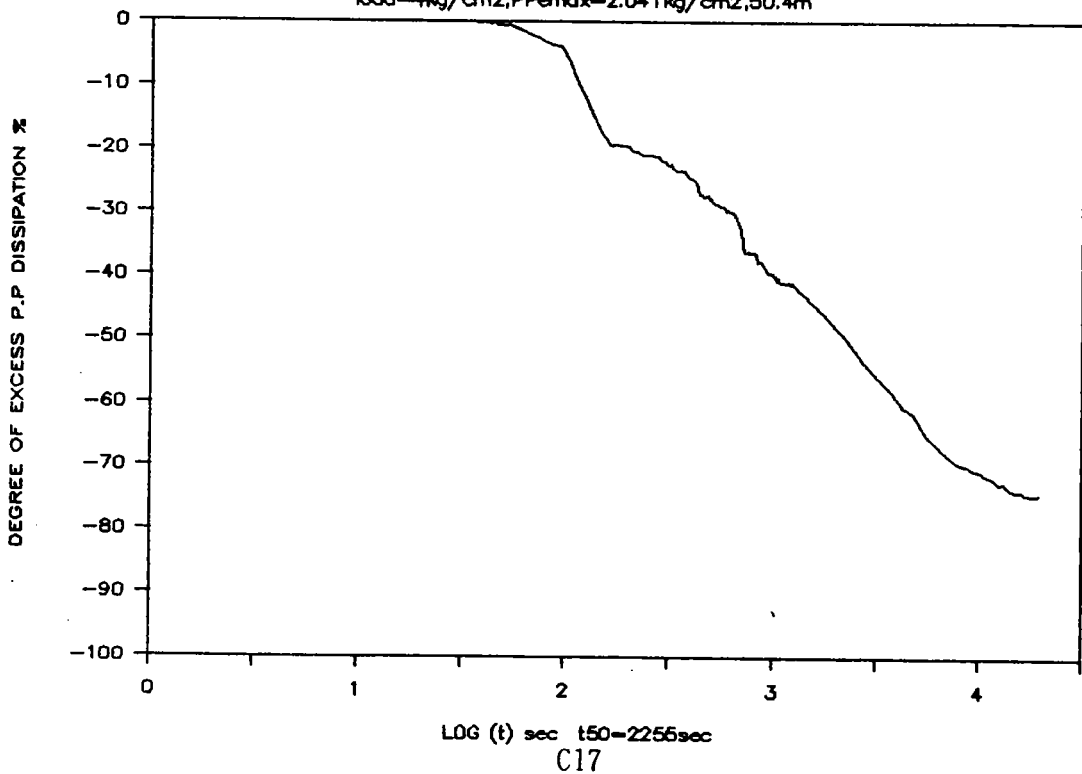
YI-WU, T-8, R.V, ONE-WAY

load=4kg/cm², PPemax=2.041 kg/cm², 50.4m



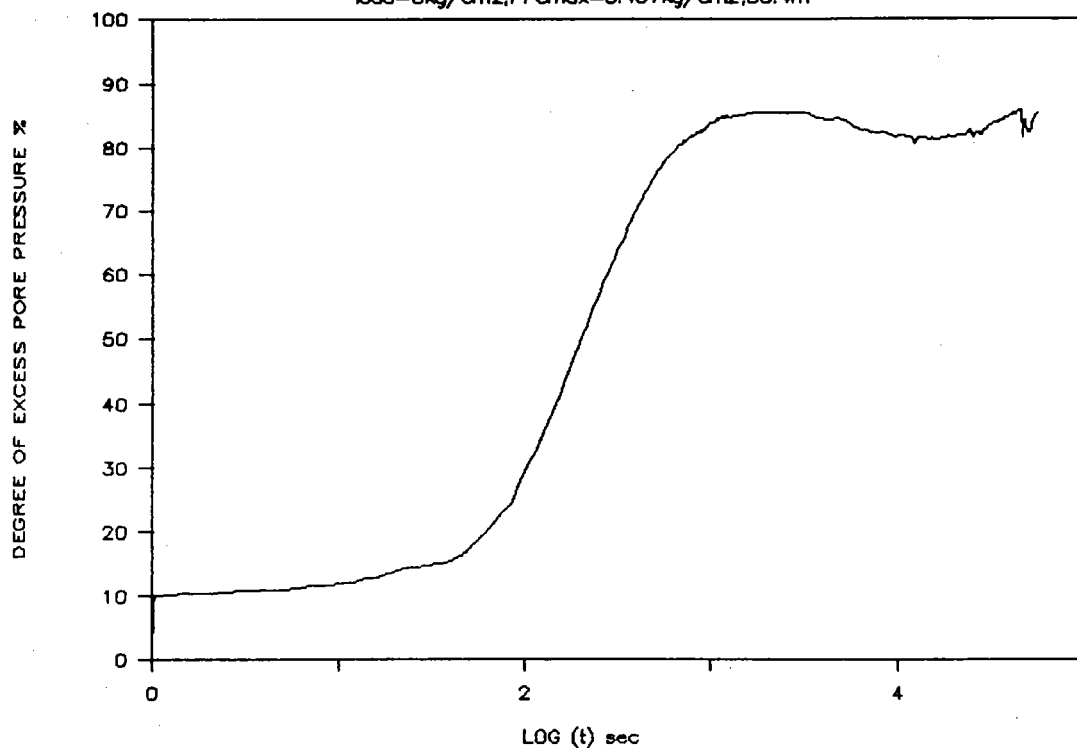
YI-WU, T-8, R.V, ONE-WAY, $C_v = 7.141 \text{ mm}^2/\text{min}$

load=4kg/cm², PPemax=2.041 kg/cm², 50.4m



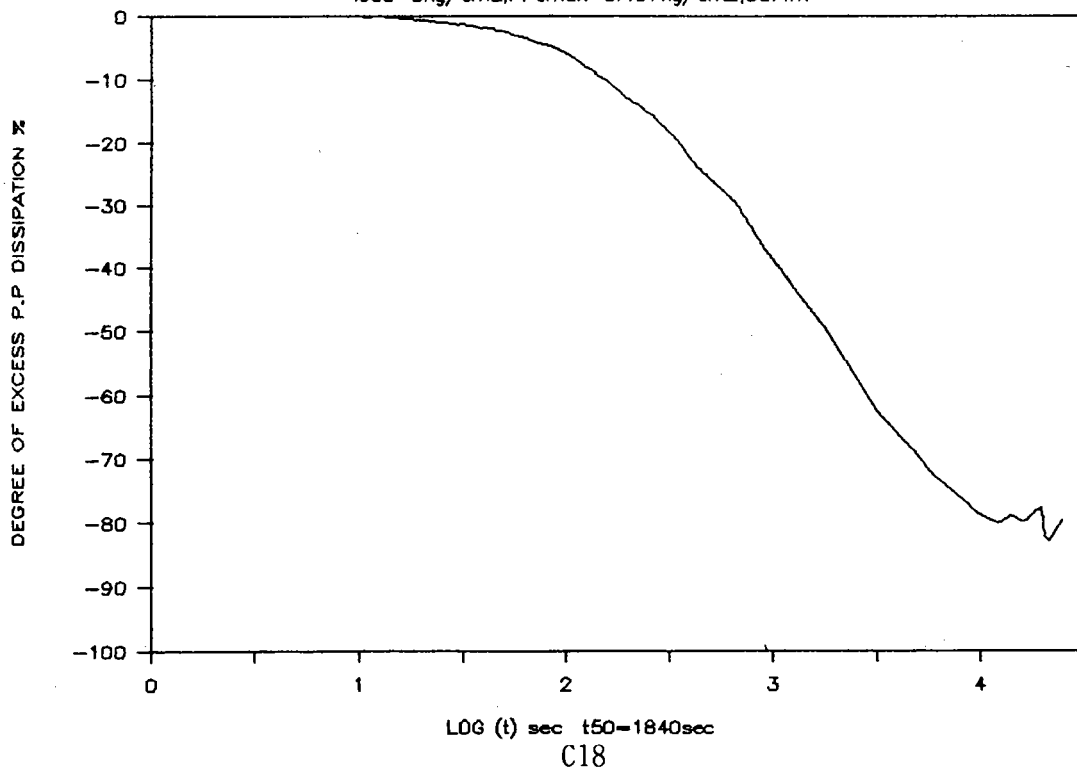
YI-WU, T-8, R.V, ONE-WAY

load=8kg/cm², PP_{emax}=3.407kg/cm², 50.4m



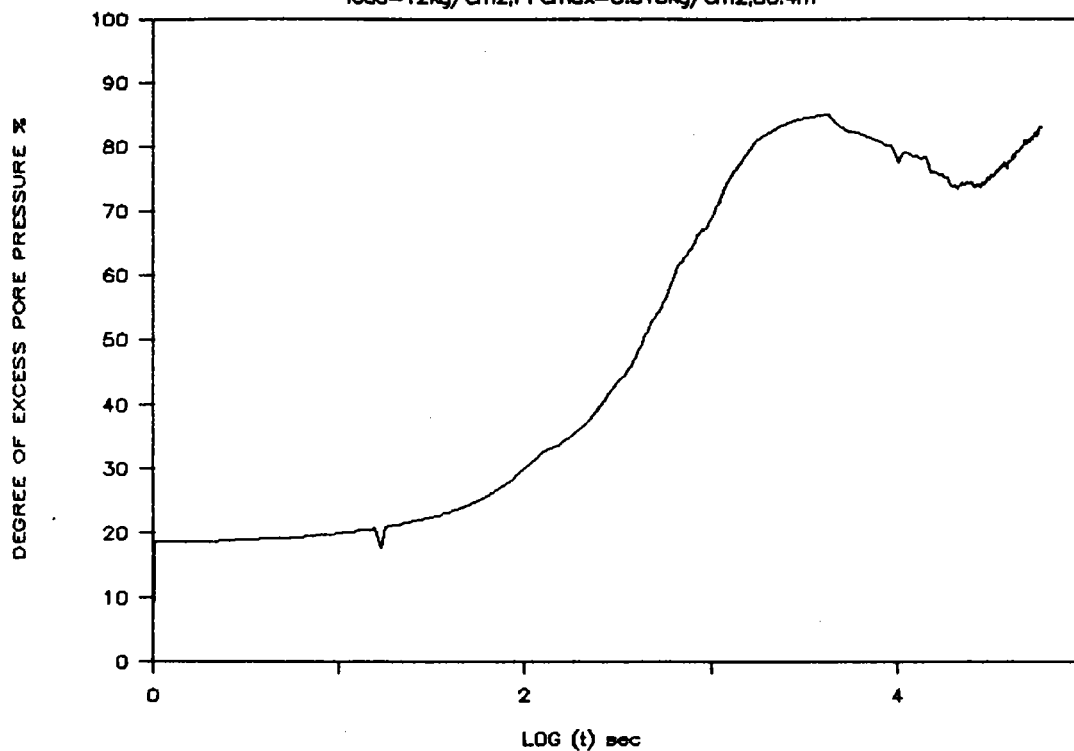
YI-WU, T-8, R.V, ONE-WAY, C_v=8.427mm²/min

load=8kg/cm², PP_{emax}=3.407kg/cm², 50.4m



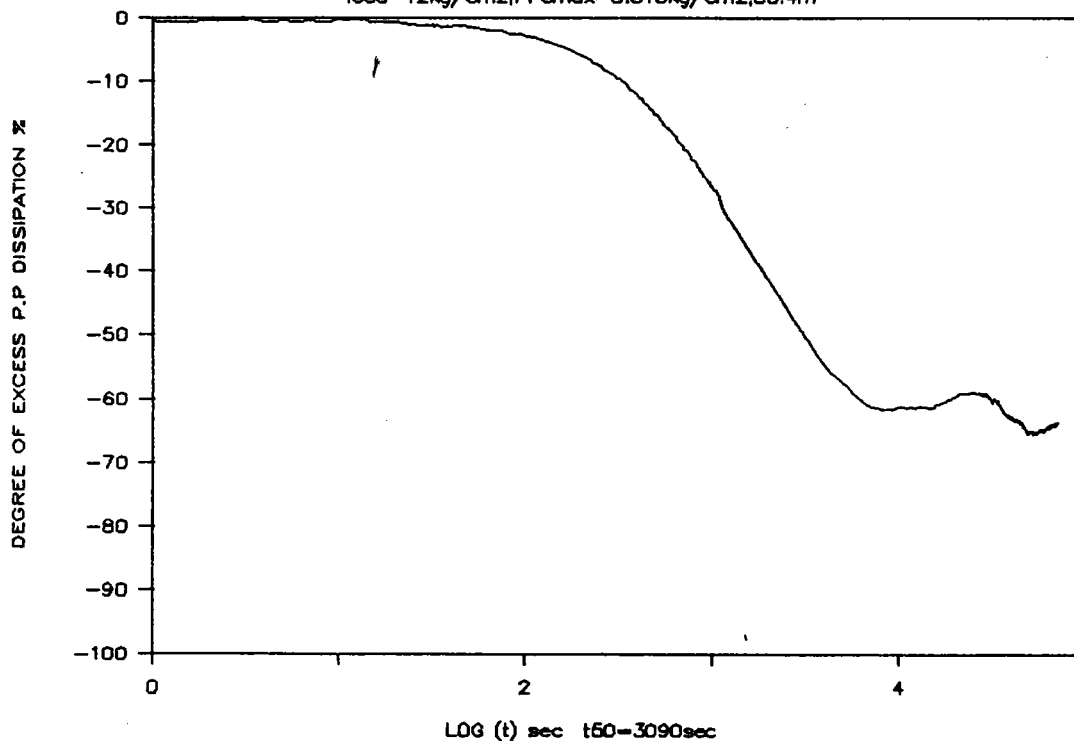
YI-WU, T-8, R.V, ONE-WAY

load=12kg/cm², PP_{emax}=3.313kg/cm², 50.4m



YI-WU, T-8, R.V, ONE-WAY, C_v=4.869mm²/min

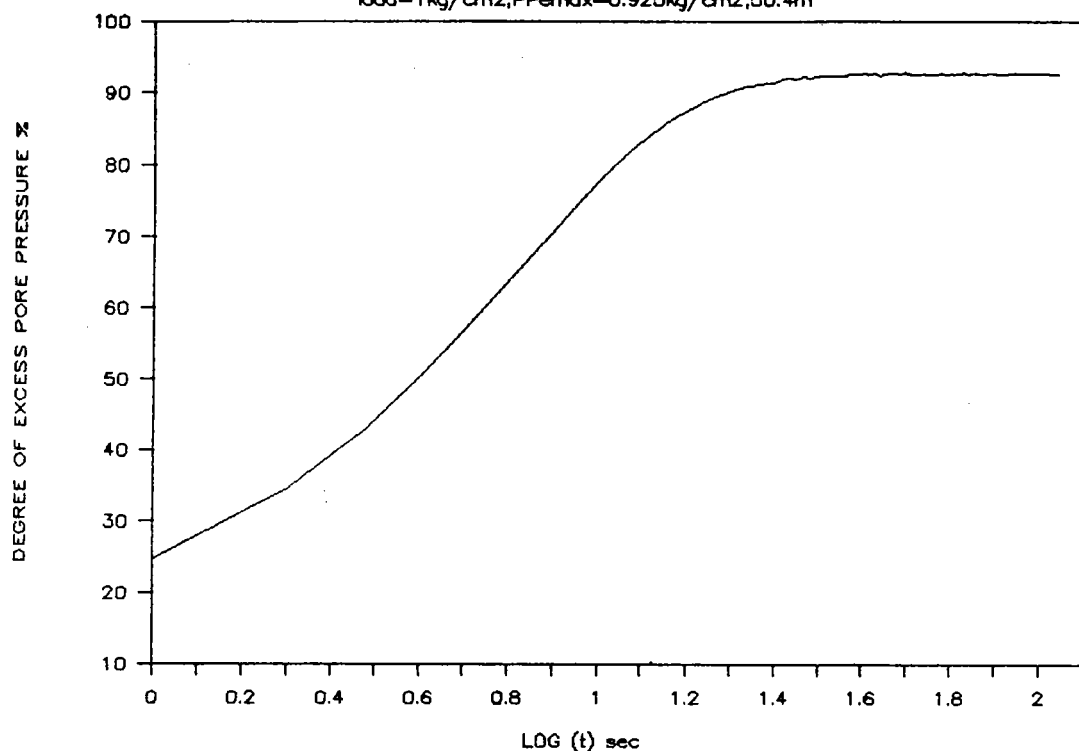
load=12kg/cm², PP_{emax}=3.313kg/cm², 50.4m



t₅₀=3090sec

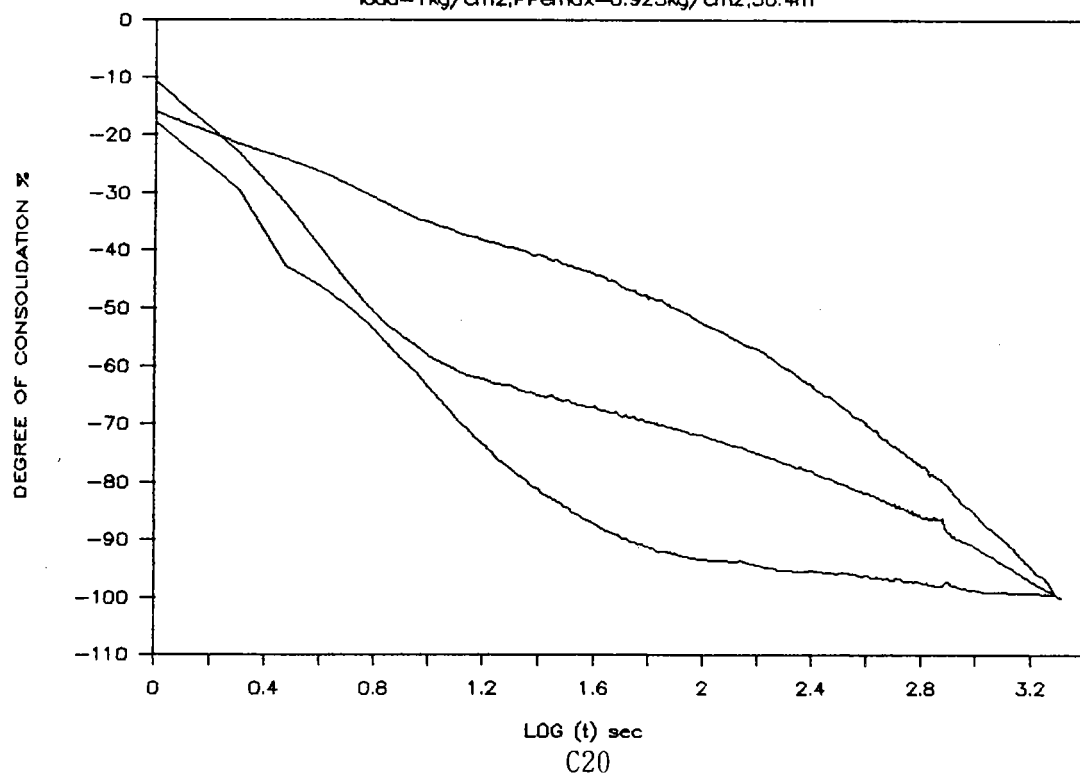
YI-WU,T-08,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=1kg/cm²,PP_{emax}=0.925kg/cm²,50.4m



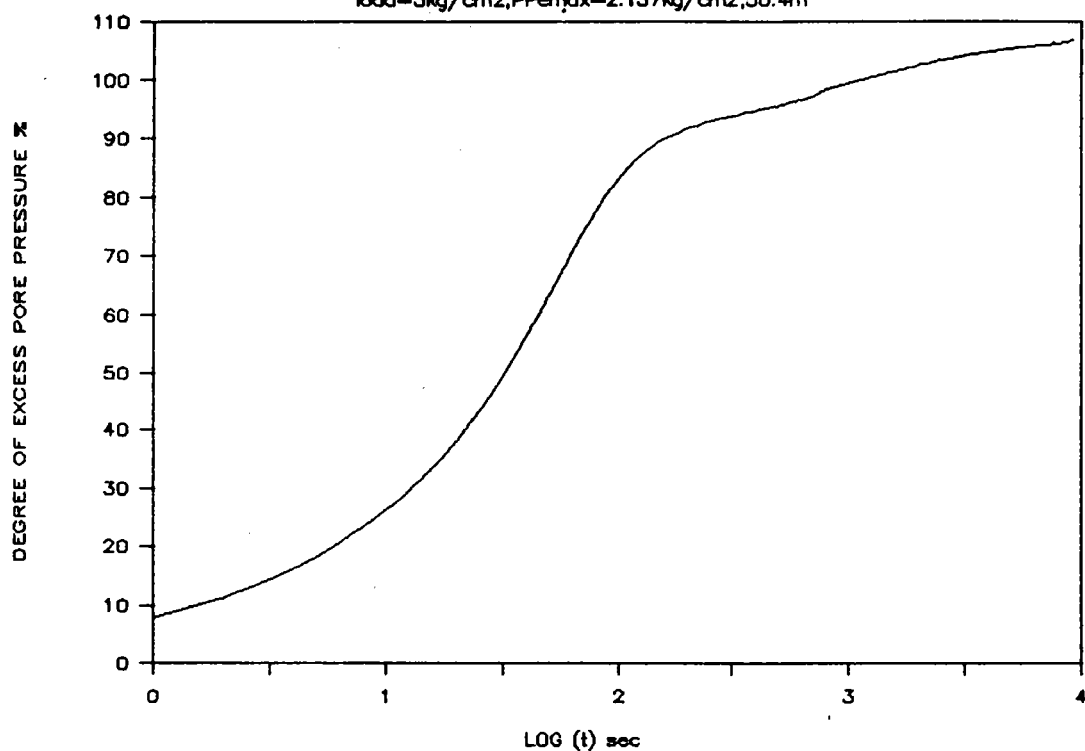
YI-WU,T-08,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=1kg/cm²,PP_{emax}=0.925kg/cm²,50.4m



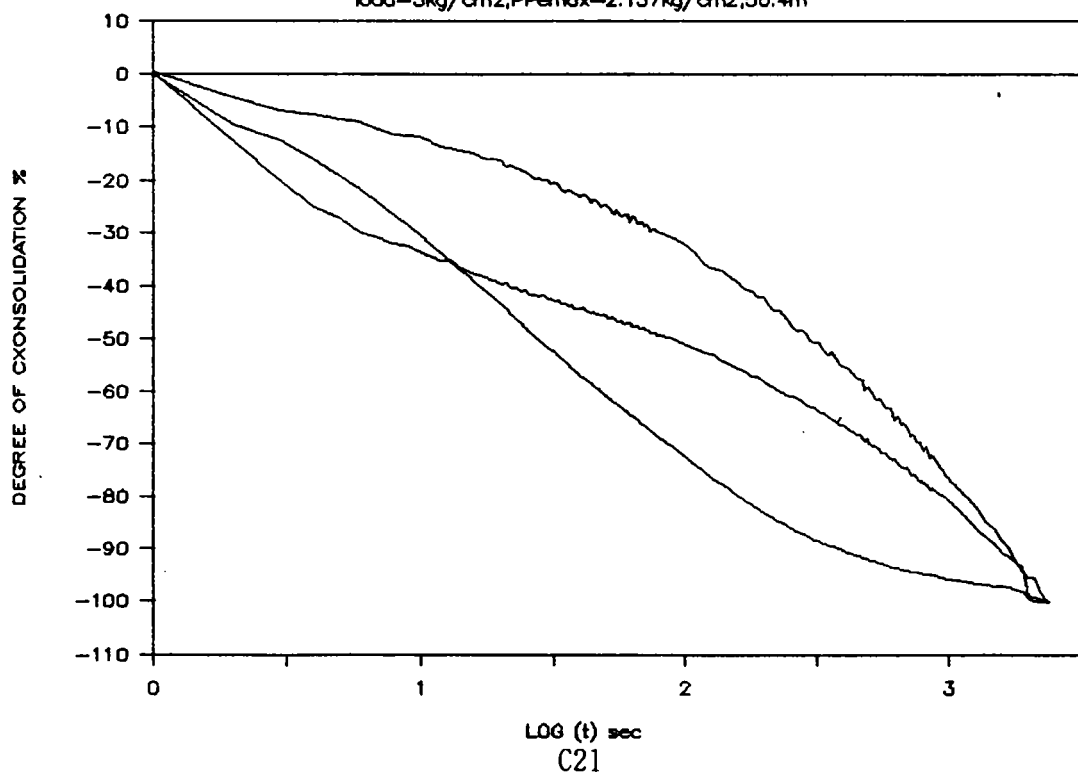
YI-WU,T-08,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=3kg/cm²,PPemax=2.137kg/cm²,50.4m



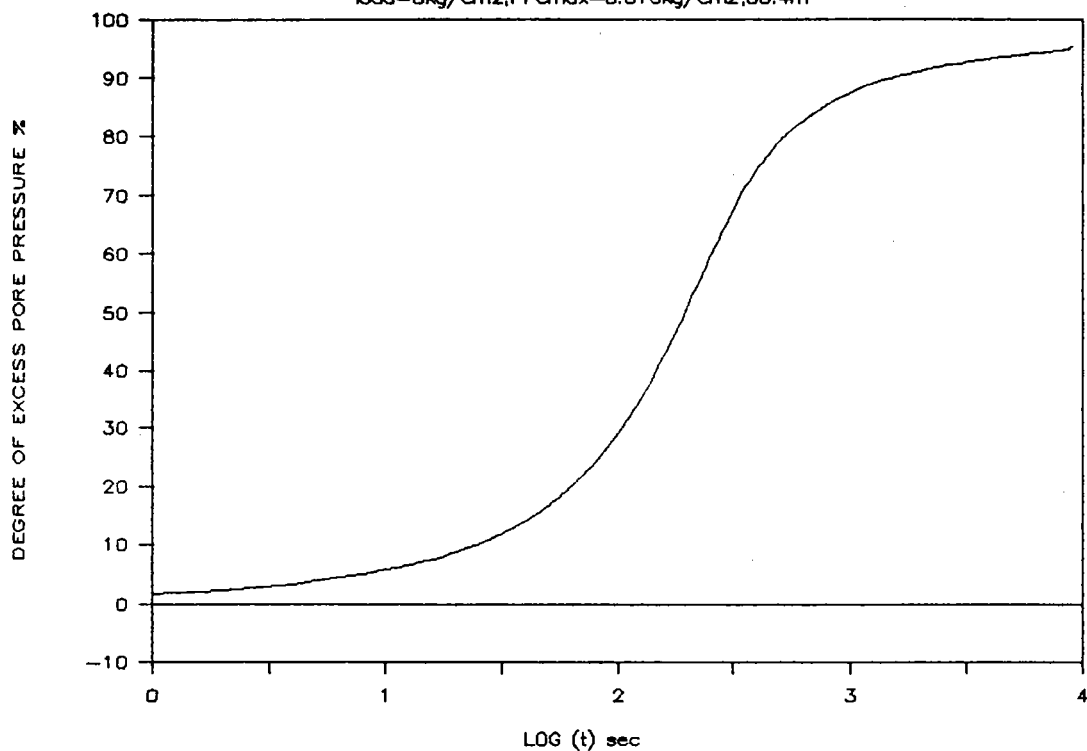
YI-WU,T-08,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL ALL OUT

load=3kg/cm²,PPemax=2.137kg/cm²,50.4m



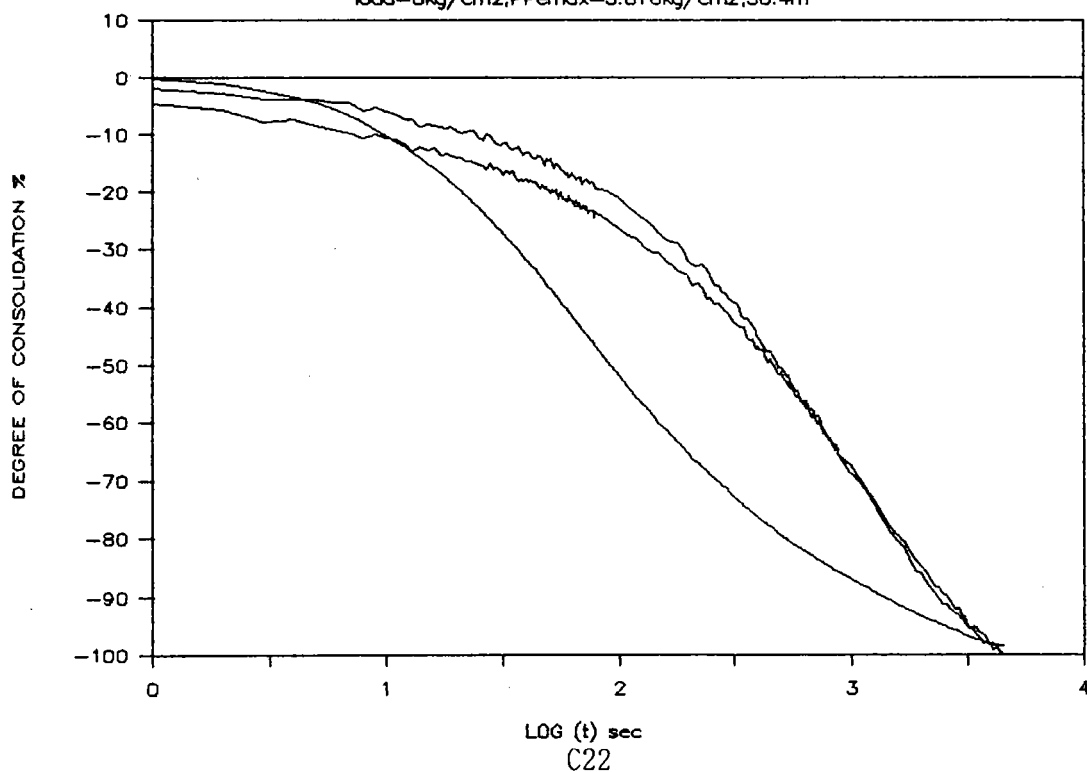
YI-WU,T-08,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=8kg/cm2,PPemax=3.816kg/cm2,50.4m



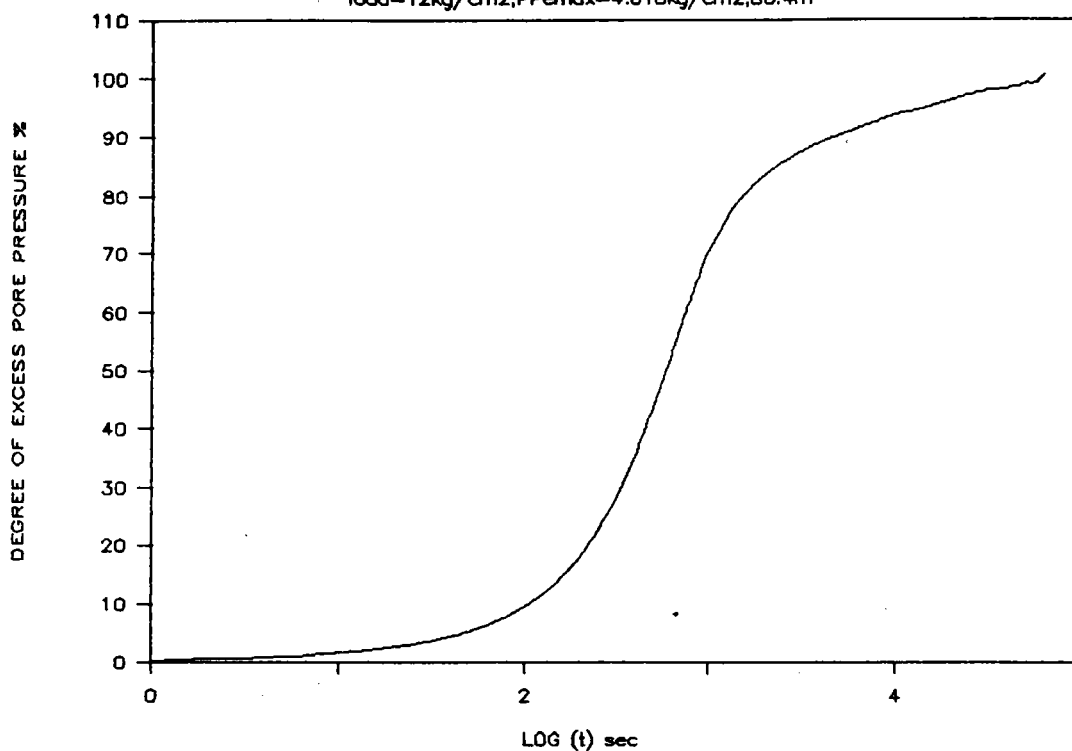
YI-WU,T-08,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=8kg/cm2,PPemax=3.816kg/cm2,50.4m



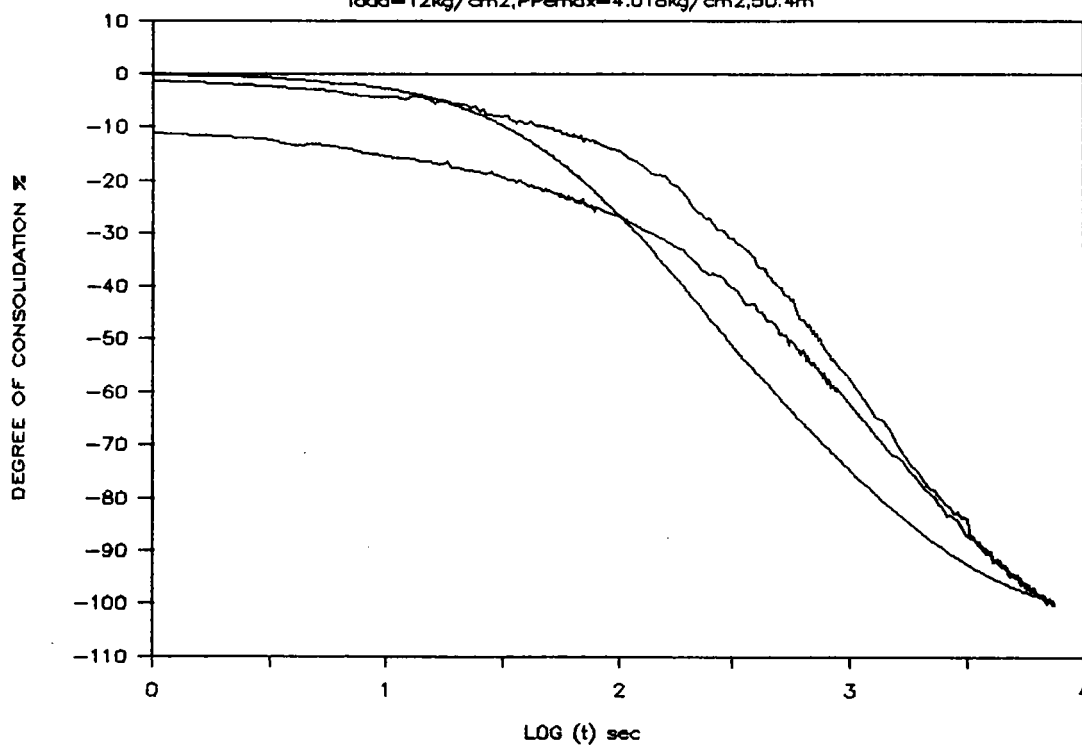
YI-WU,T-08,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=12kg/cm²,PPemax=4.018kg/cm²,50.4m



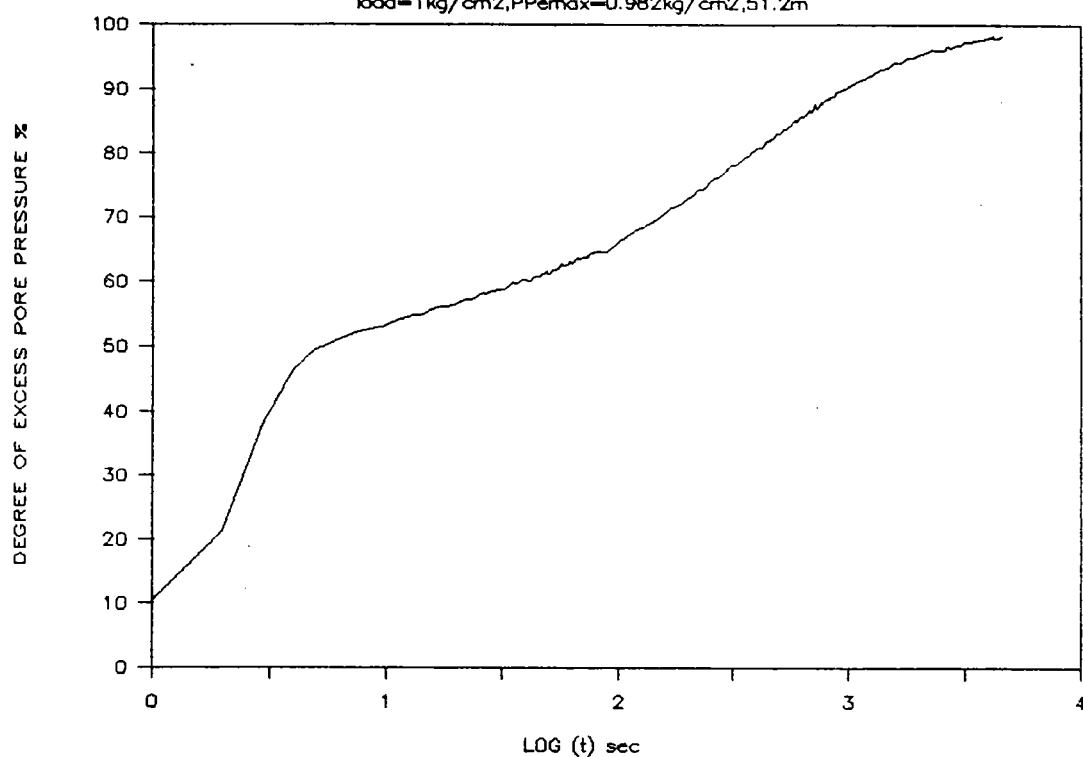
YI-WU,T-08,EQUAL STRAIN,HOREZONTAL OUT

load=12kg/cm²,PPemax=4.018kg/cm²,50.4m



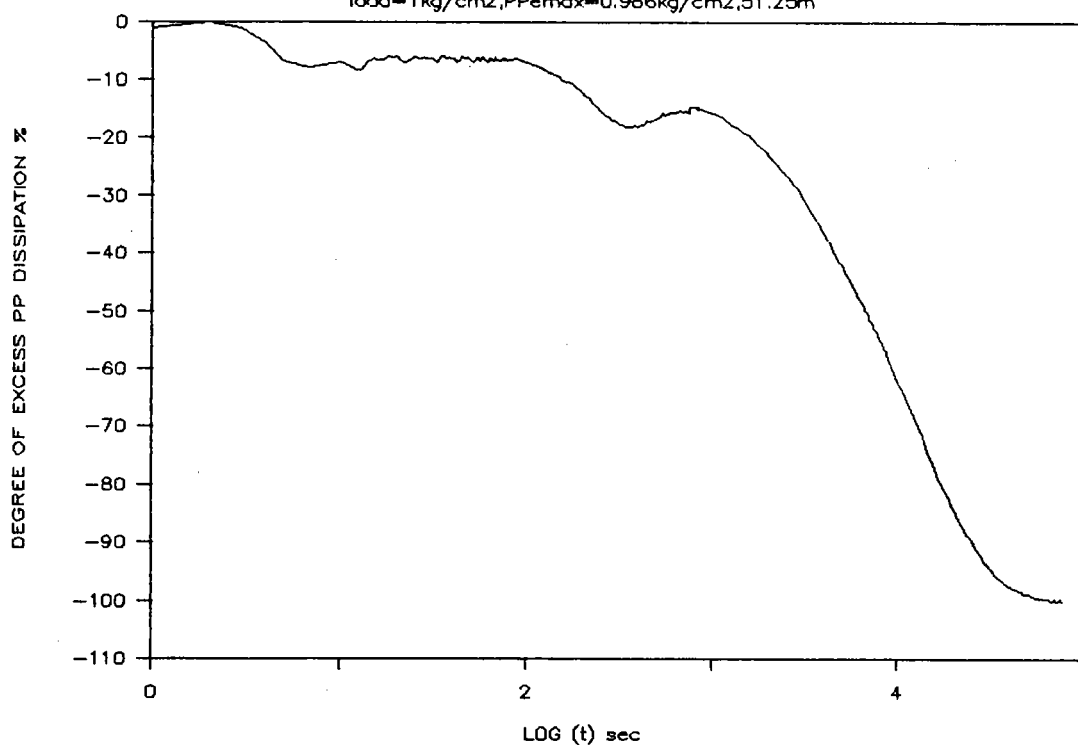
YI-WU,T-9,EQUAL STRAN,VERTICAL 1-WAY

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



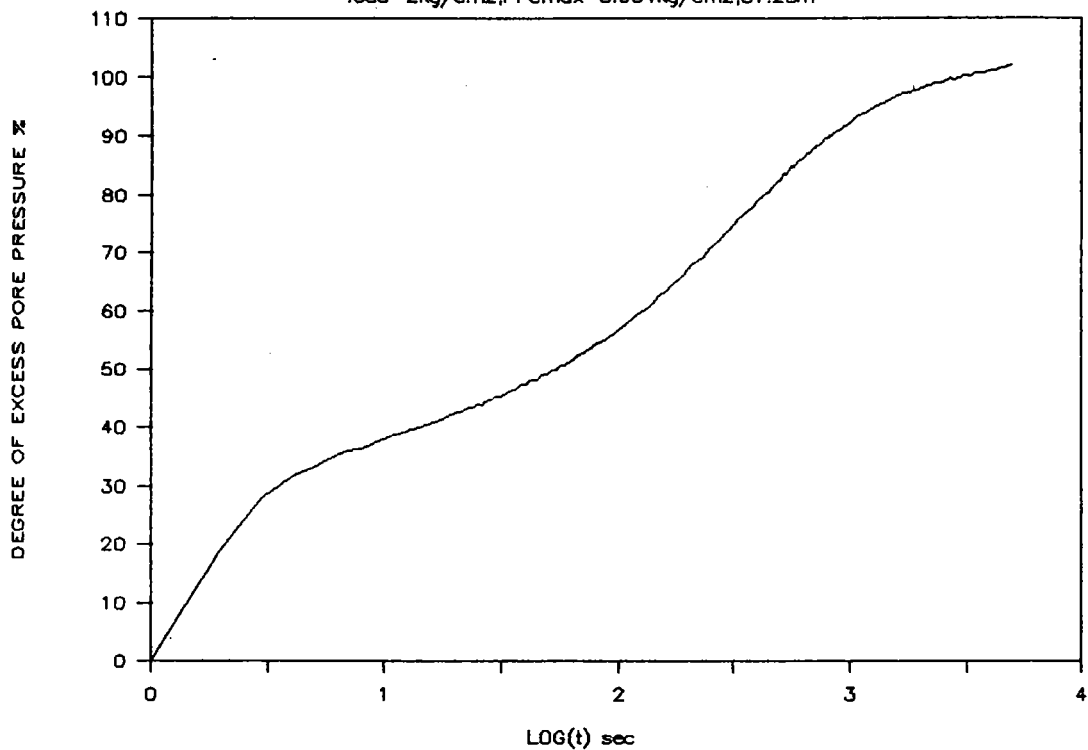
YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

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



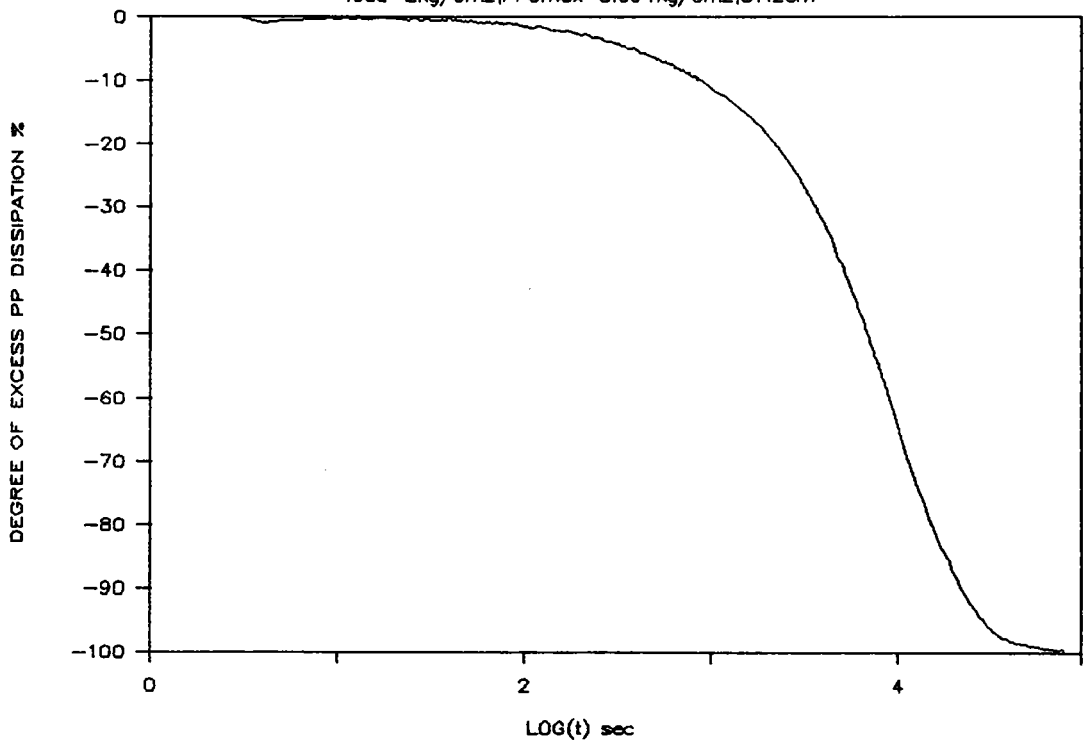
YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=2kg/cm2,PPemax=0.984kg/cm2,51.25m



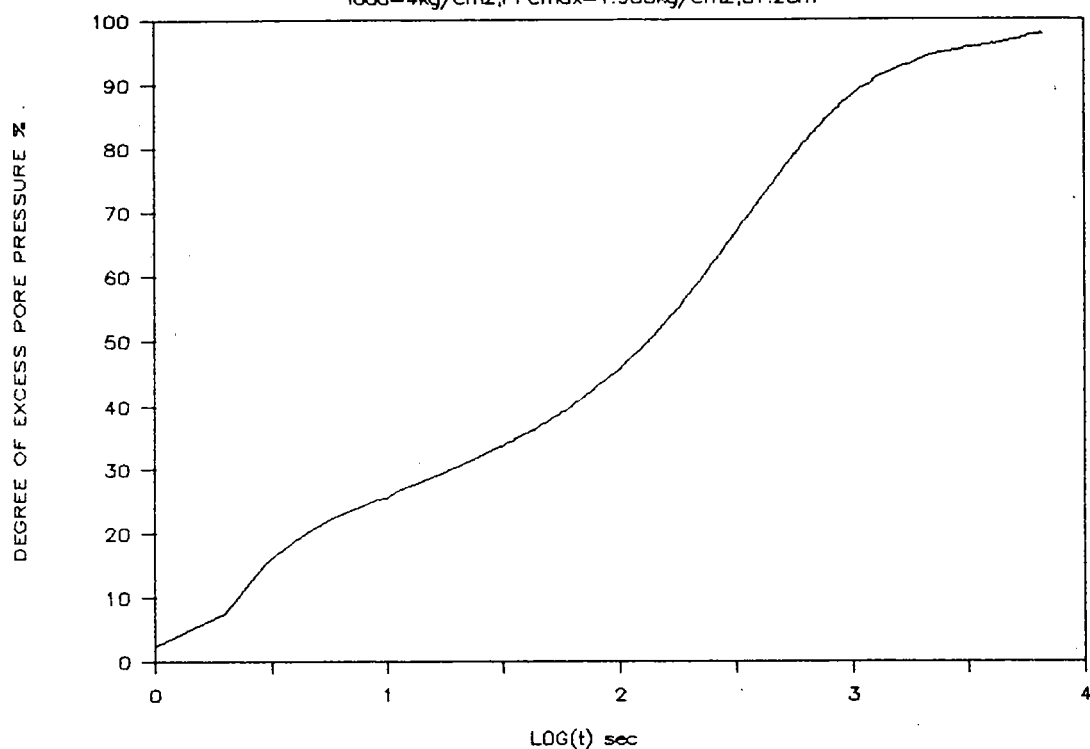
YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

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



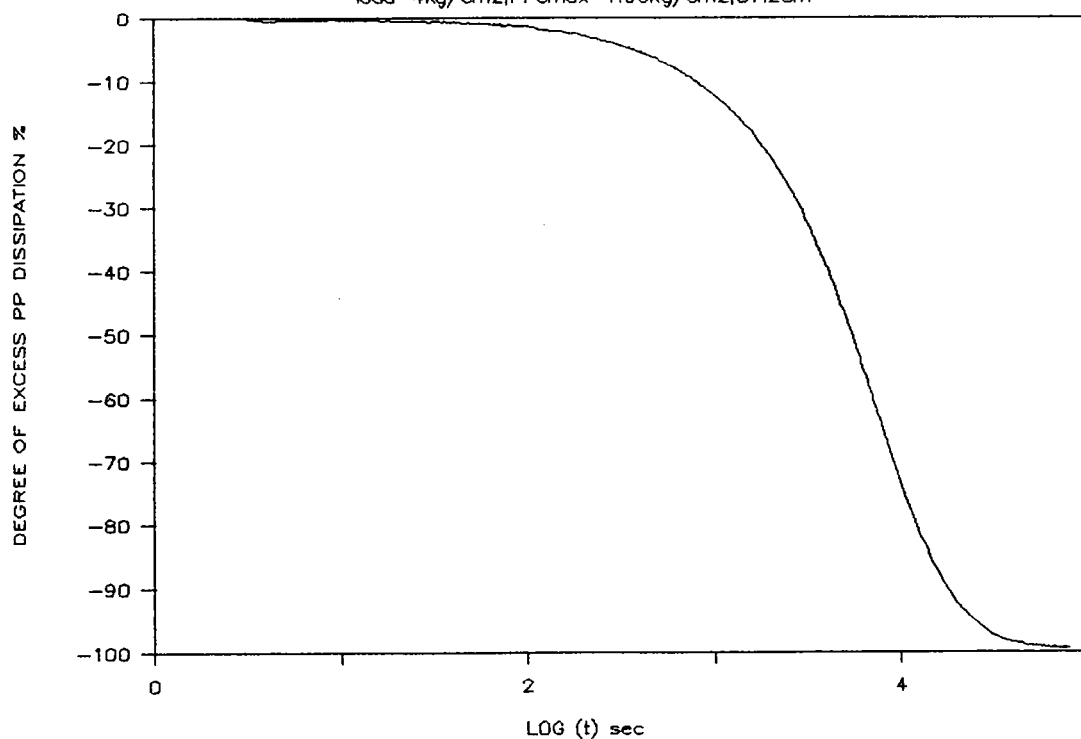
YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=4kg/cm²,PPemax=1.955kg/cm²,51.25m



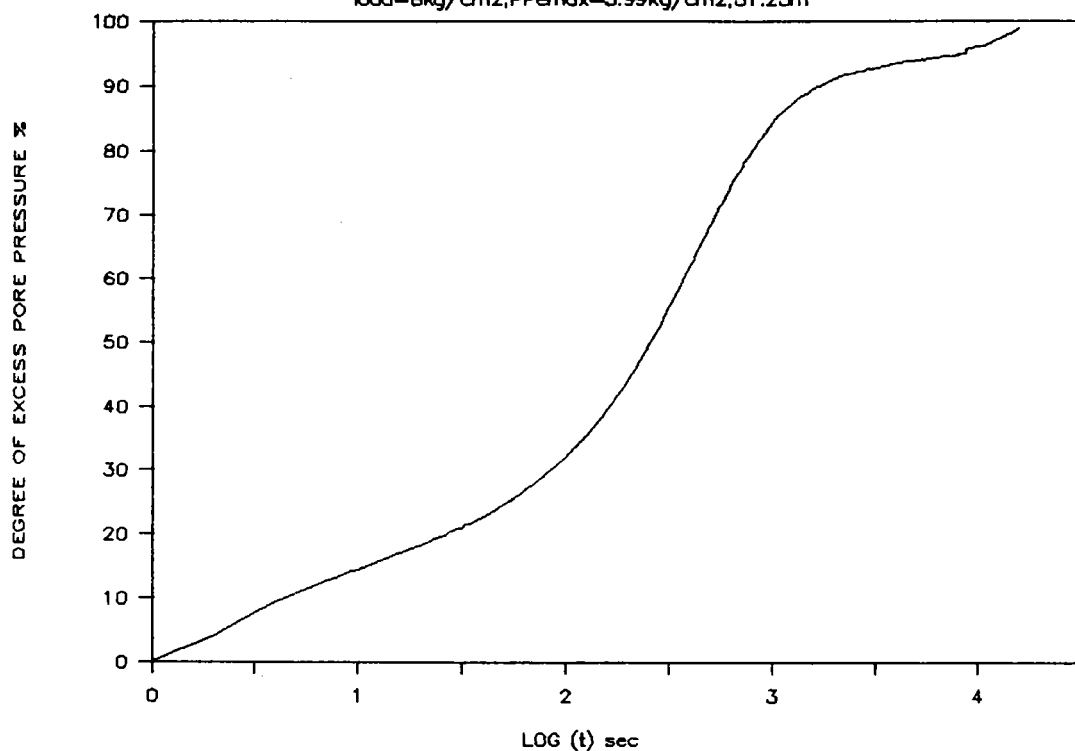
YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=4kg/cm²,PPemax=1.96kg/cm²,51.25m



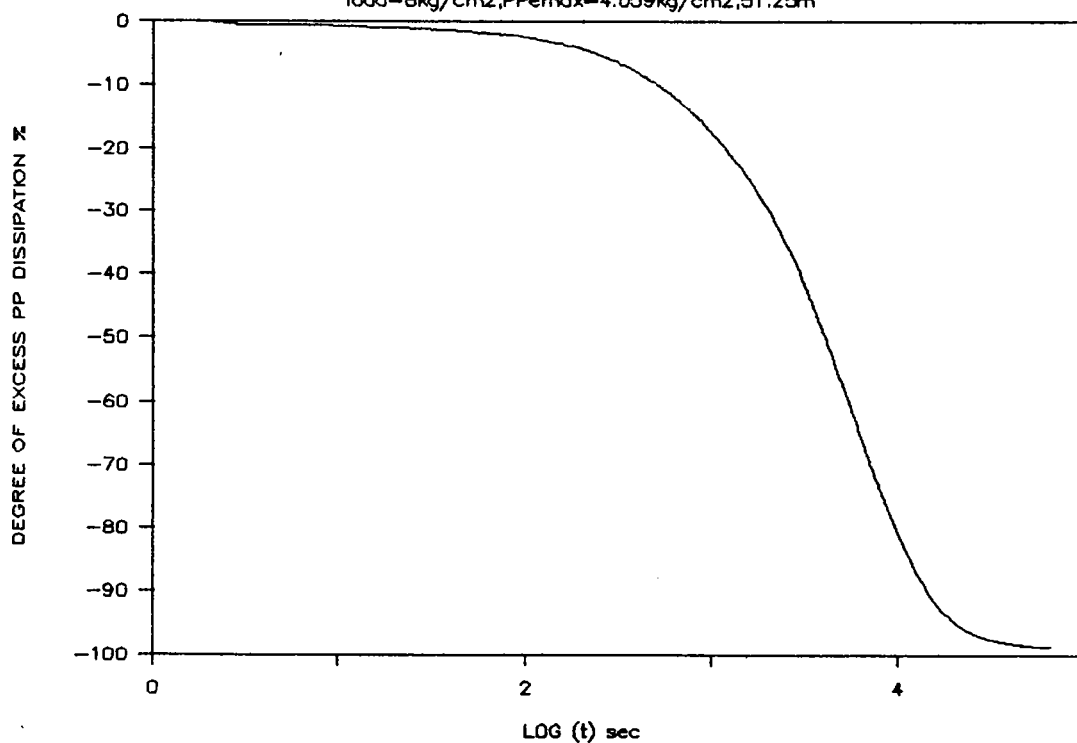
YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=8kg/cm²,PPemax=3.99kg/cm²,51.25m



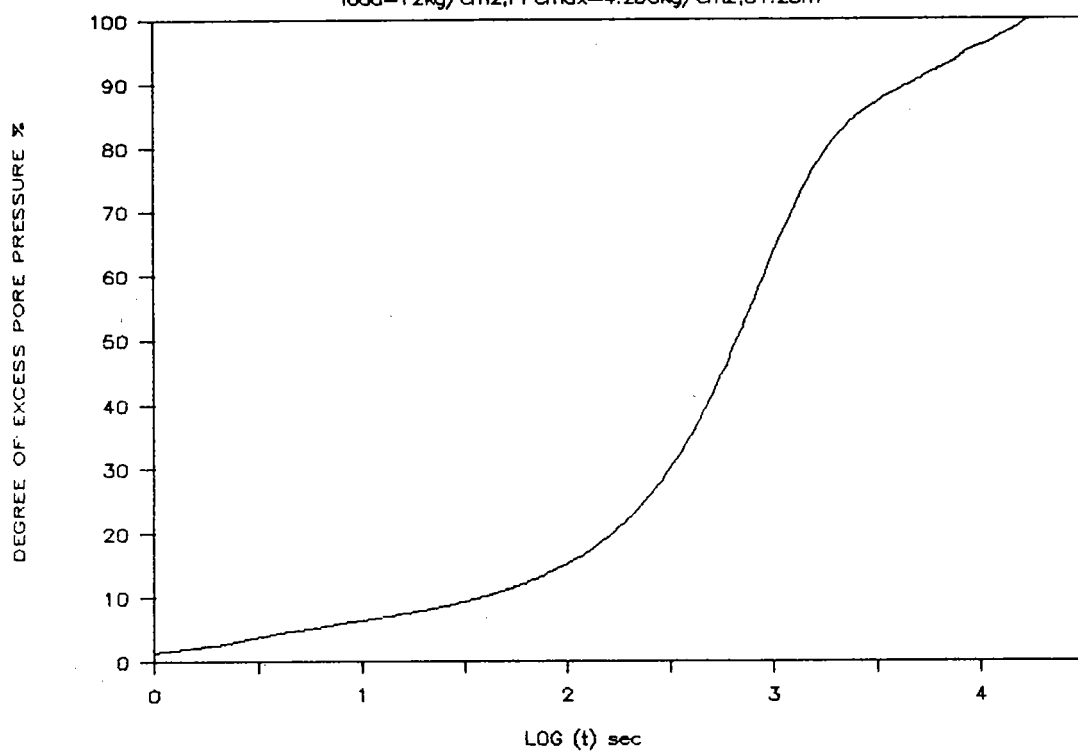
YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

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



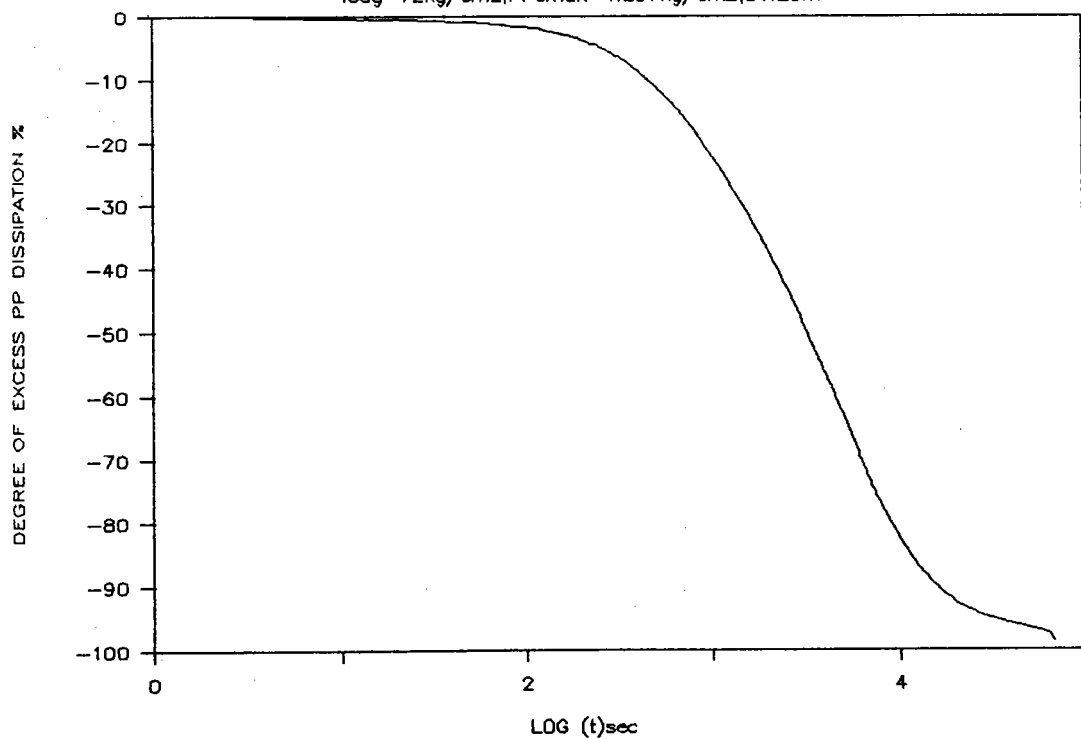
YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

load=12kg/cm²,PPemax=4.206kg/cm²,51.25m



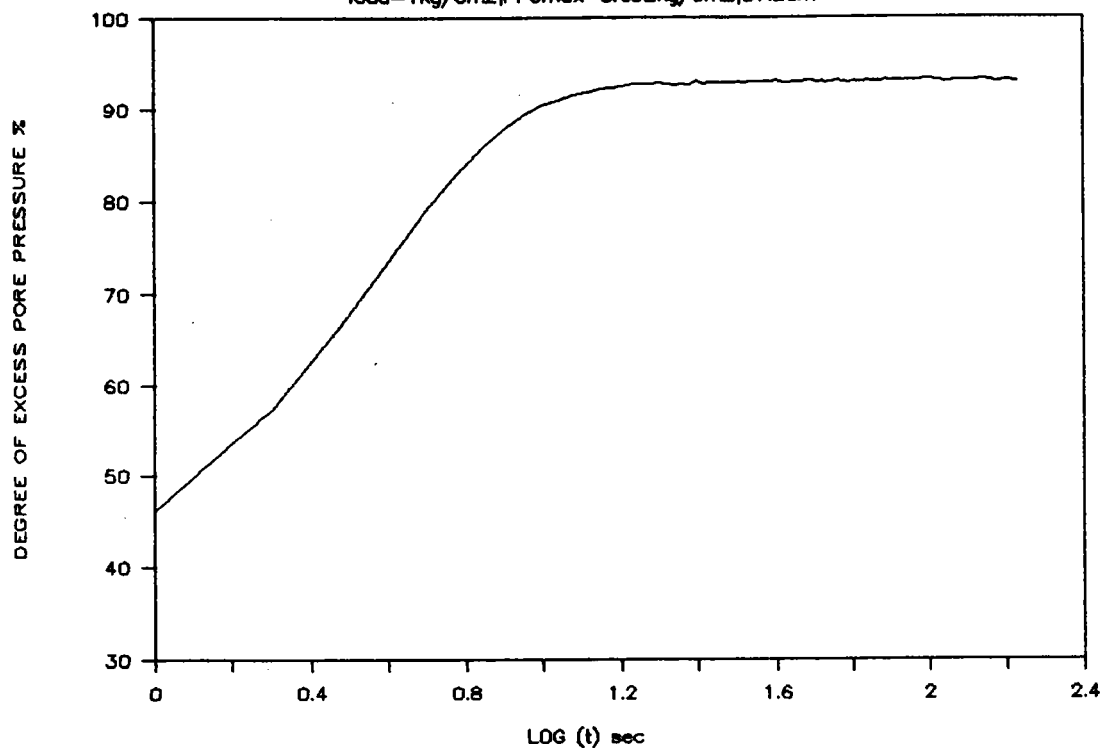
YI-WU,T-09,EQUAL STRAIN,VERTICAL 1-WAY

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



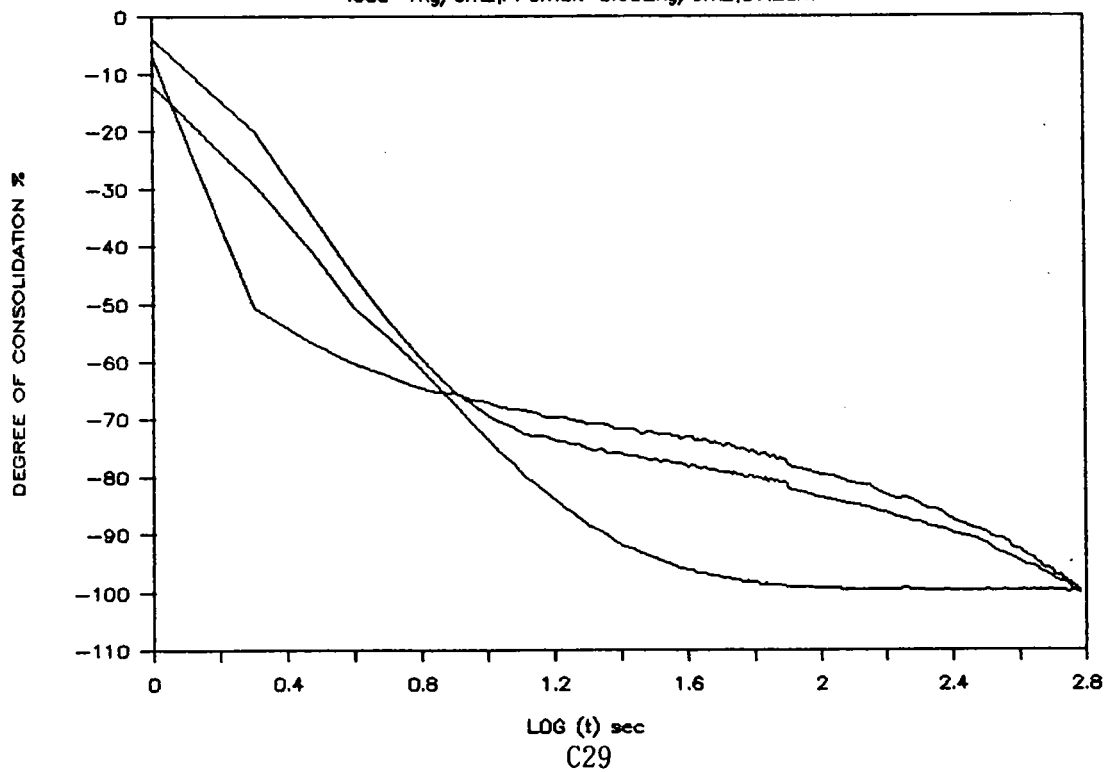
YI-WU,T-9,EGUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=1kg/cm²,PP_{emax}=0.602kg/cm²,51.25m



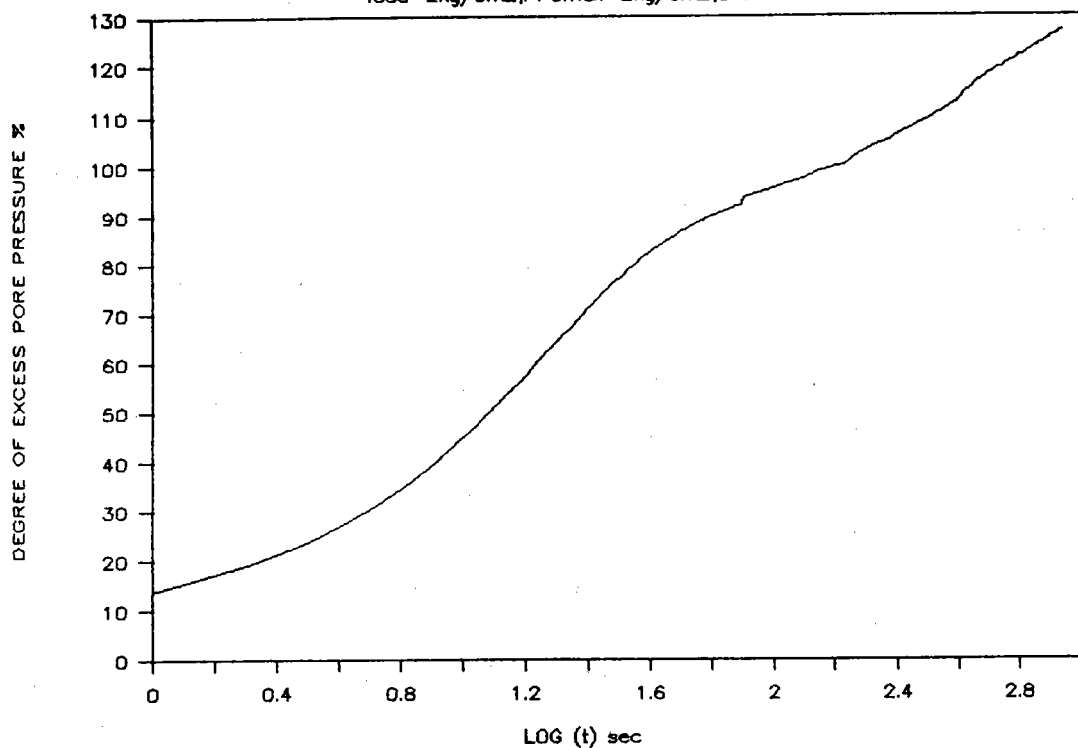
YI-WU,T-9,EGUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=1kg/cm²,PP_{emax}=0.932kg/cm²,51.25m



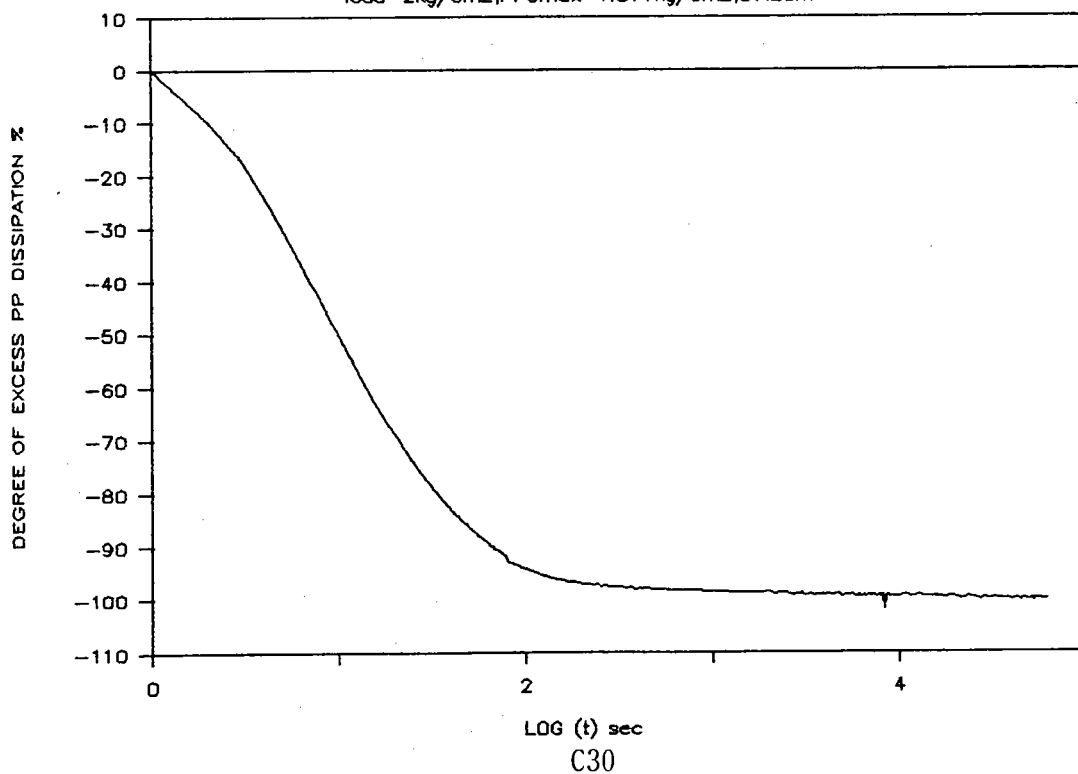
YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=2kg/cm²,PPemax=2kg/cm²,51.25m



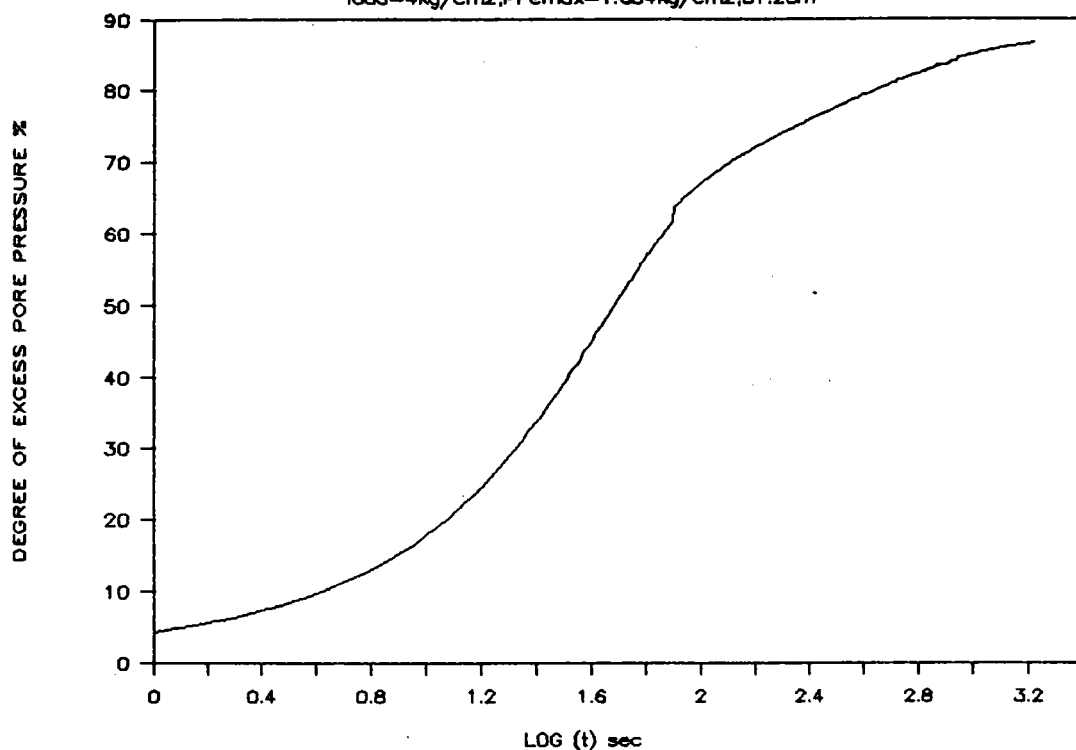
YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=2kg/cm²,PPemax=1.311kg/cm²,51.25m



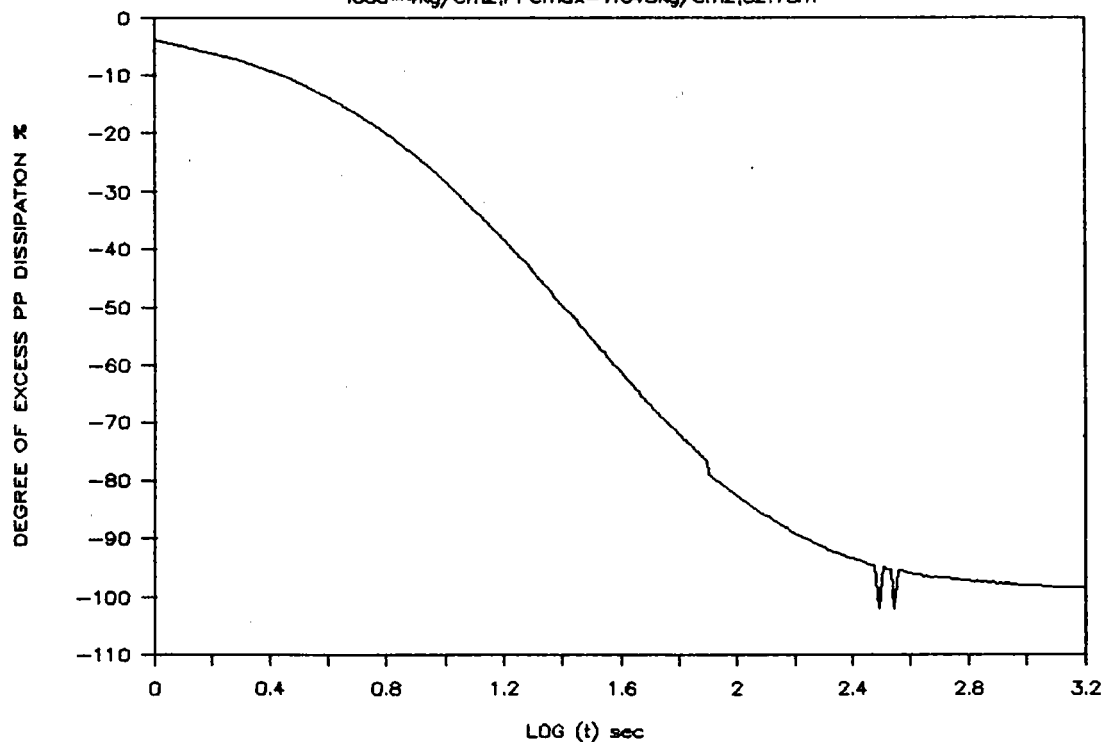
YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

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



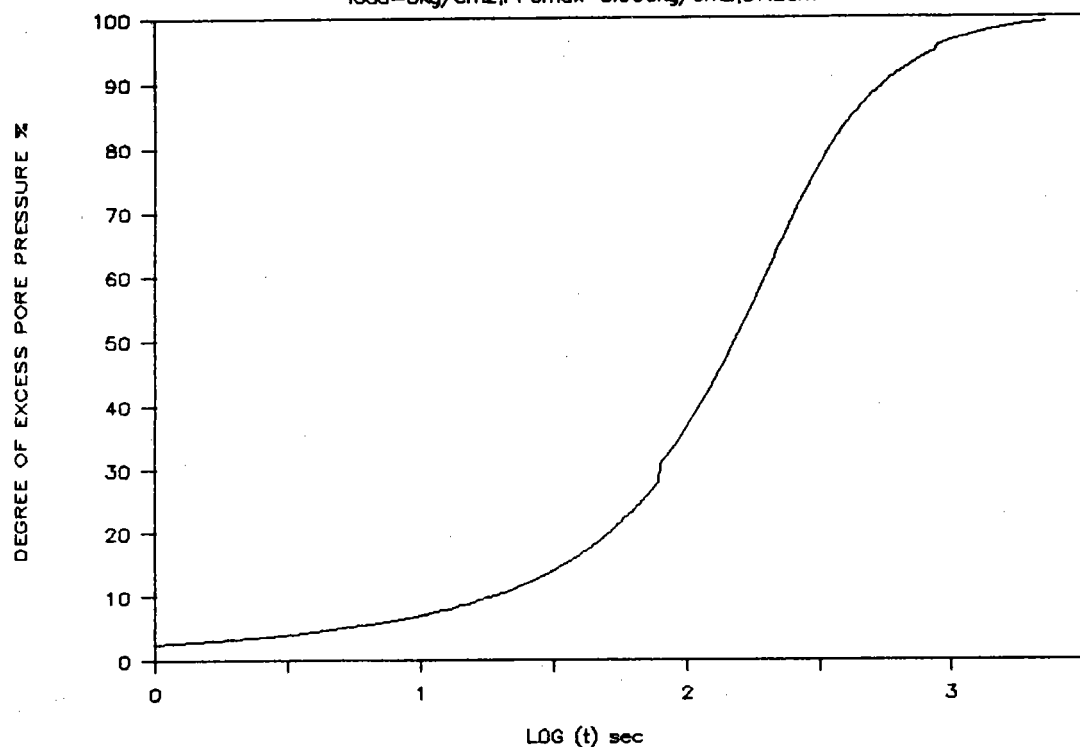
YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

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



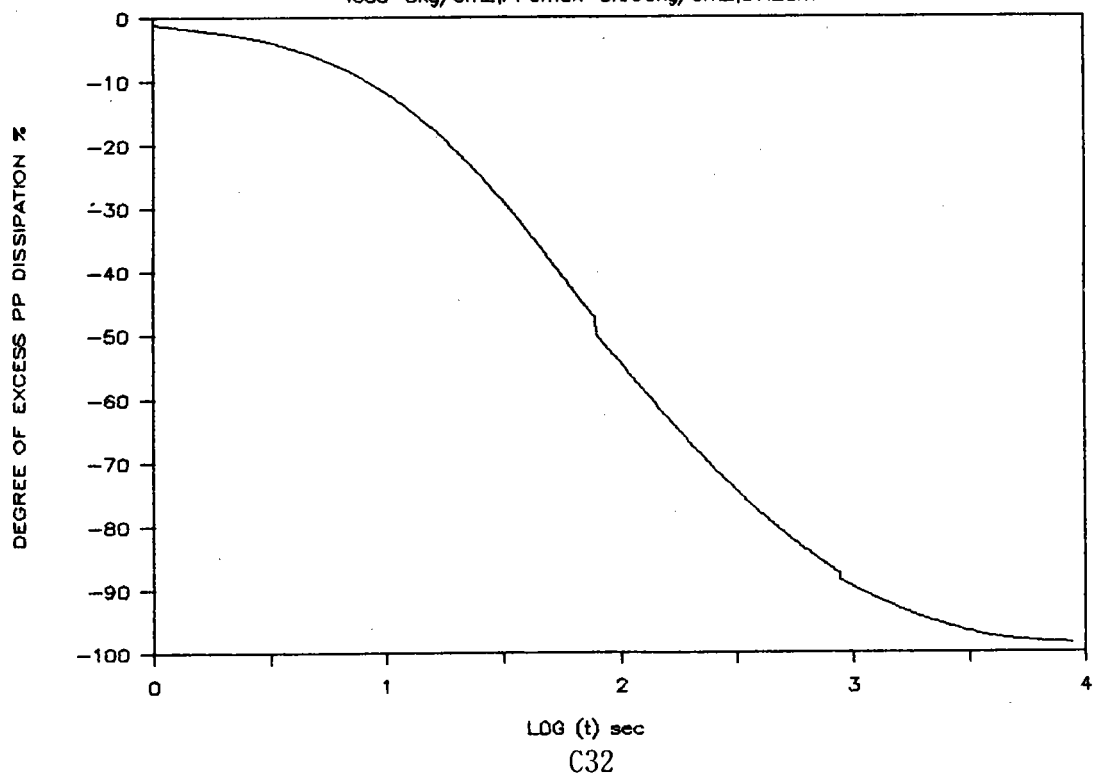
YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,HOREZONTAL OUT

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



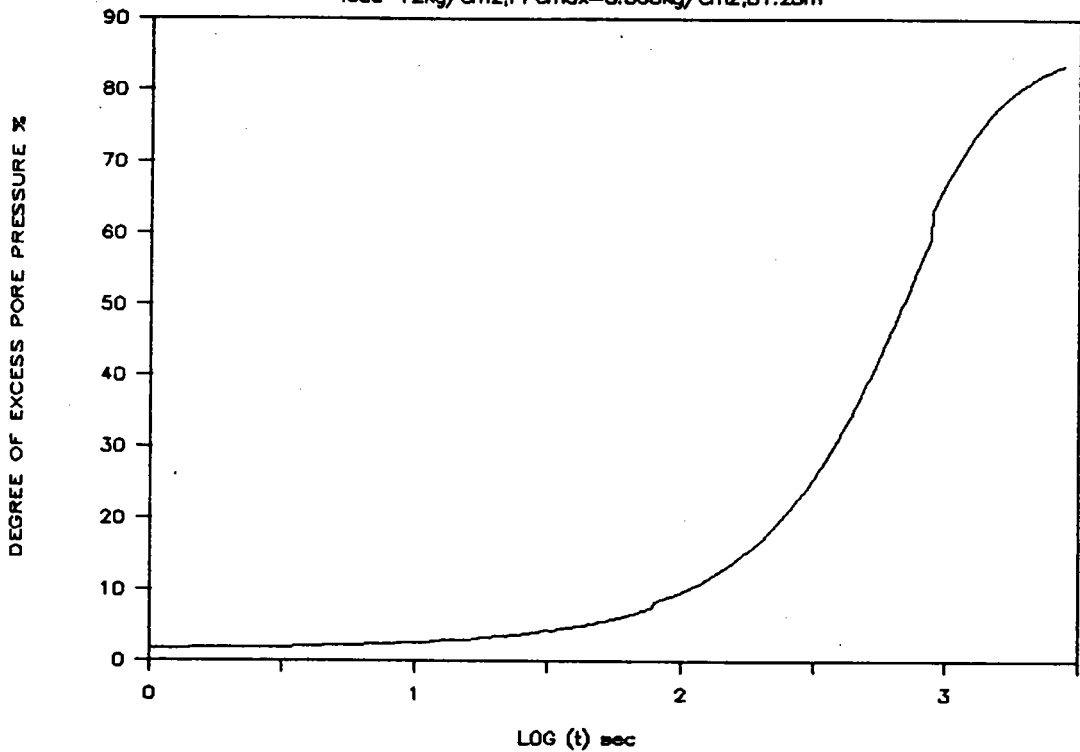
YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,HOREZONTAL OUT

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



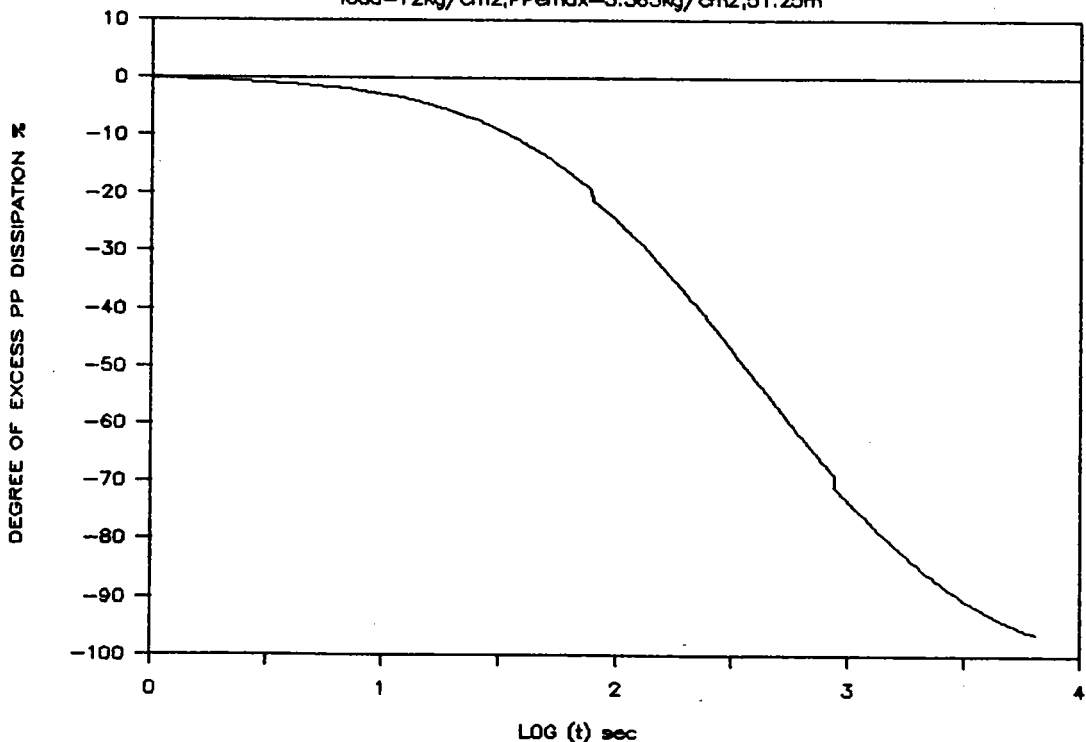
YI-WU,T-9,EQUAL STRAIN,HOREZONTAL OUT

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



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

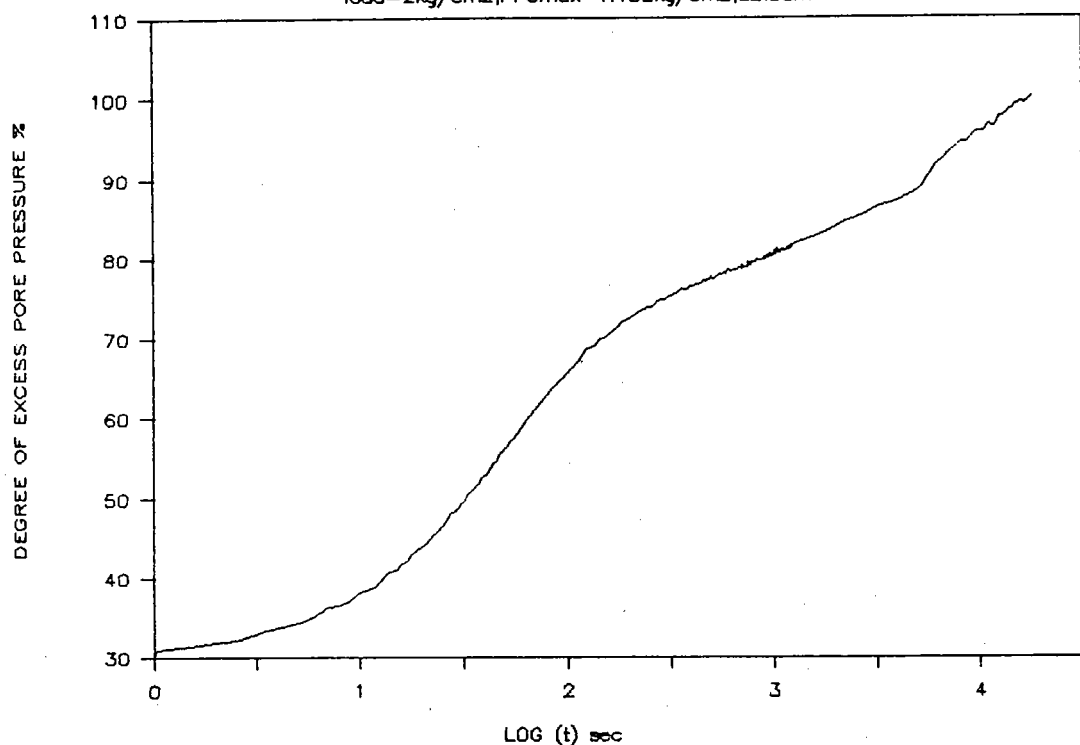
load=12kg/cm2,PPemax=3.363kg/cm2,51.25m



LOG (t) sec

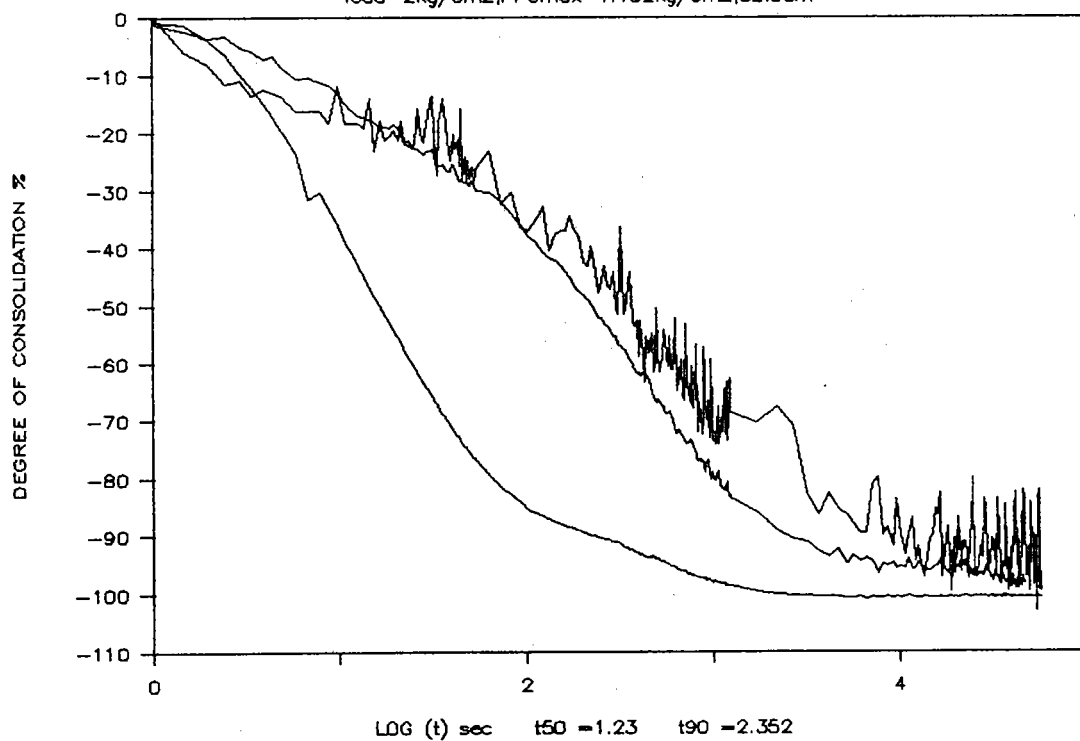
YI-WU,T-10,EQUAL STRAIN,VERTICAL SINGLE

load=2kg/cm2,PPemax=1.152kg/cm2,52.05m



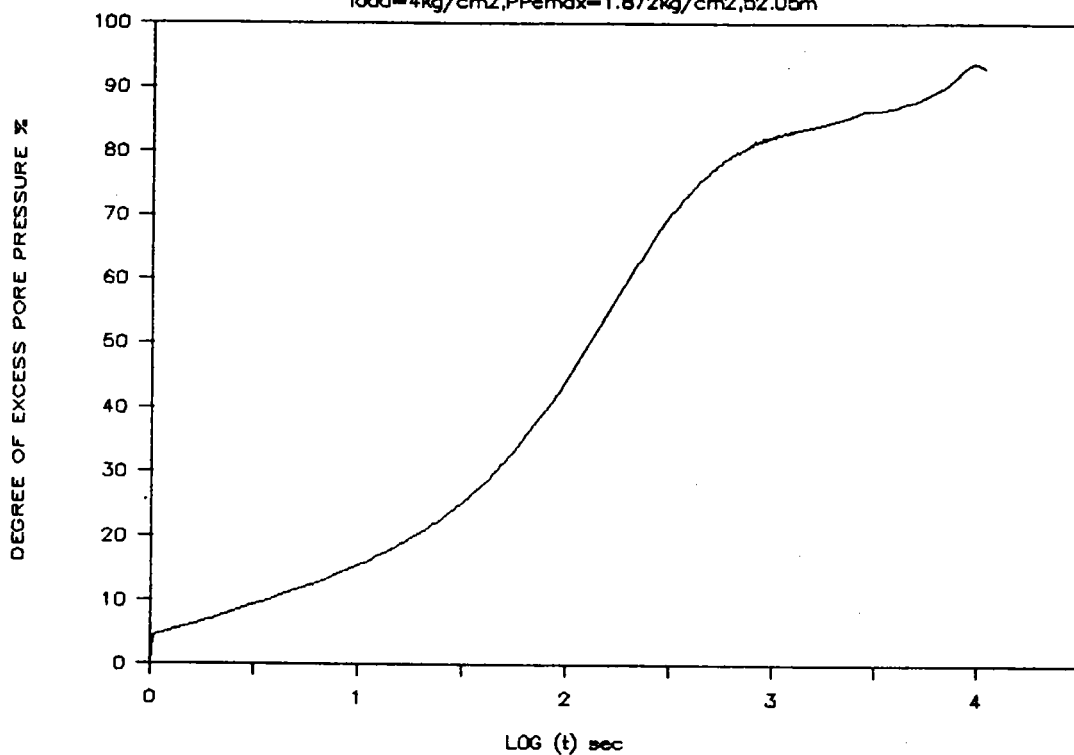
YI-WU,T-10,EQUAL STRAIN,VERTICAL SINGLE

load=2kg/cm2,PPemax=1.152kg/cm2,52.05m



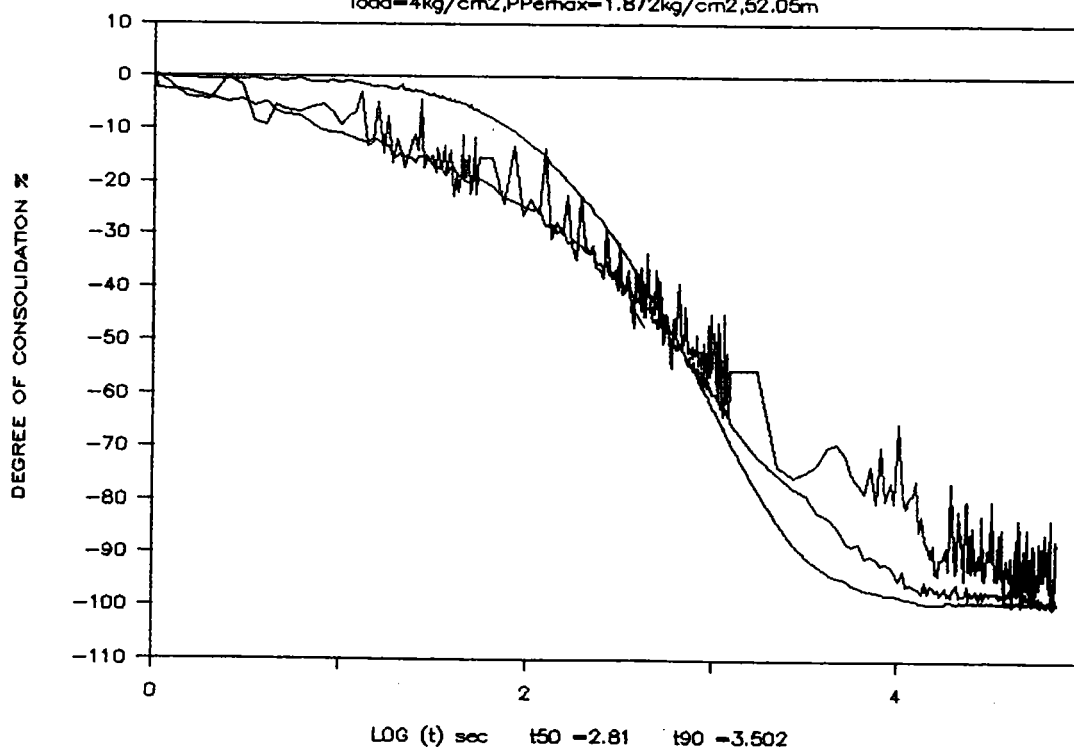
YI-WU,T-10,EQUAL STRAIN,VERTICAL SINGLE

load=4kg/cm²,PPemax=1.872kg/cm²,52.05m



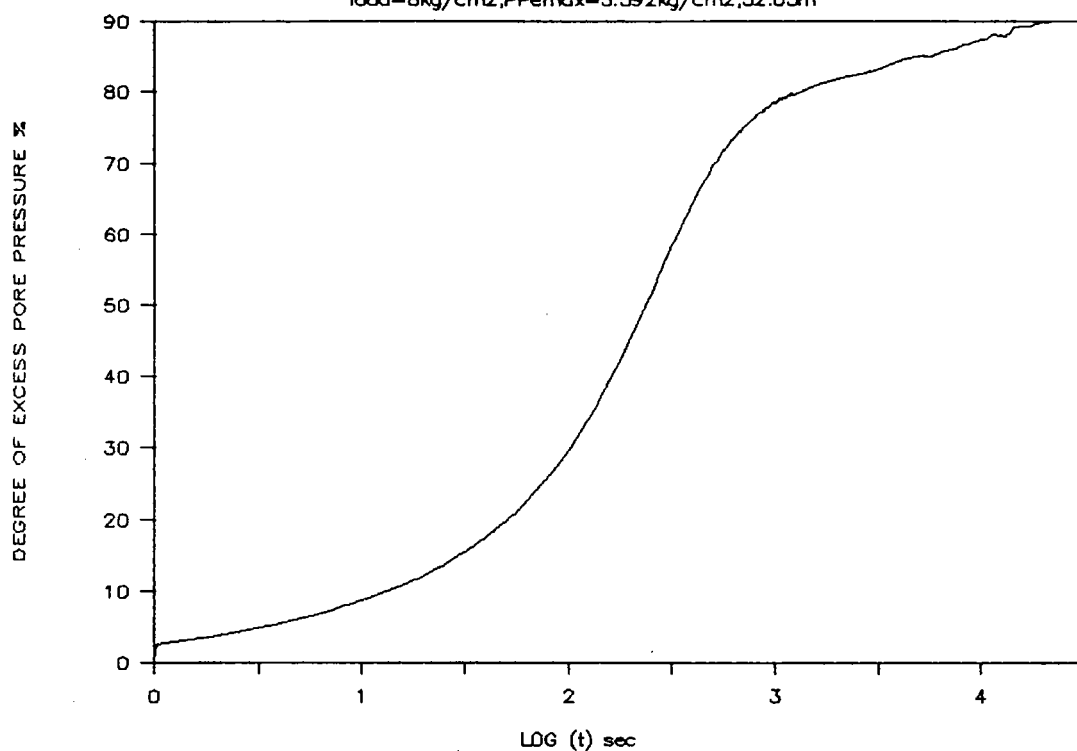
YI-WU,T-10,EQUAL STRAIN,VERTICAL SINGLE

load=4kg/cm²,PPemax=1.872kg/cm²,52.05m



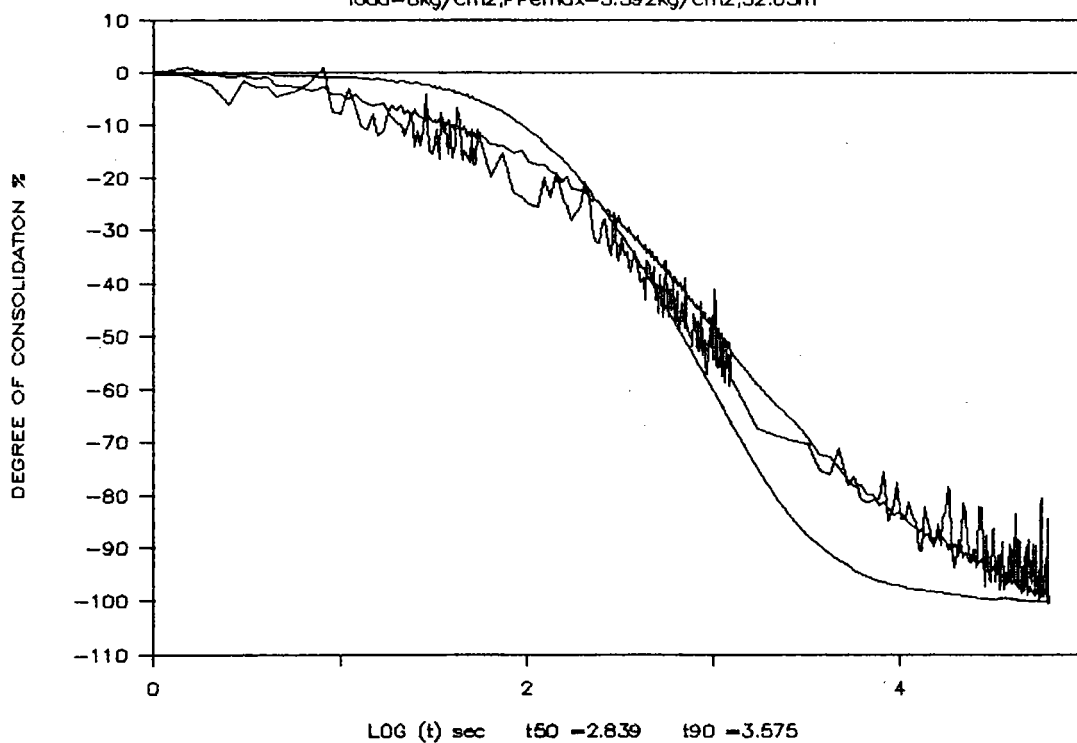
YI-WU,T-10,EQUAL STRAIN,VERTICAL SINGLE

load=8kg/cm2,PPemax=3.592kg/cm2,52.05m



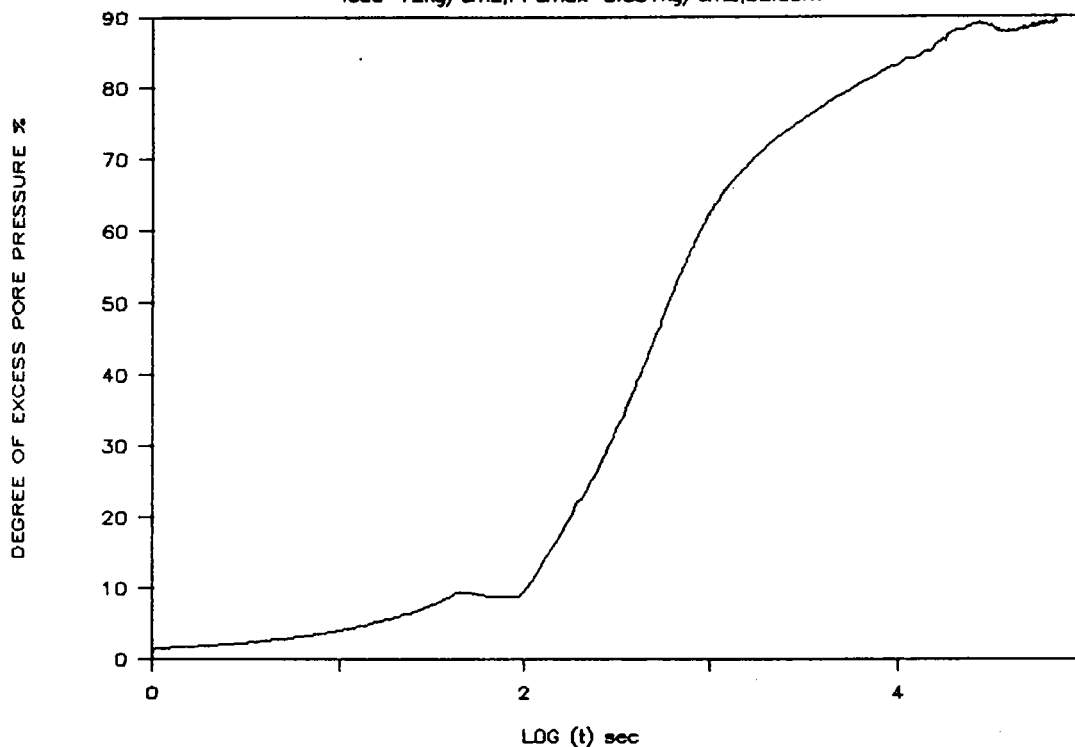
YI-WU,T-10,EQUAL STRAIN,VERTICAL SINGLE

load=8kg/cm2,PPemax=3.592kg/cm2,52.05m



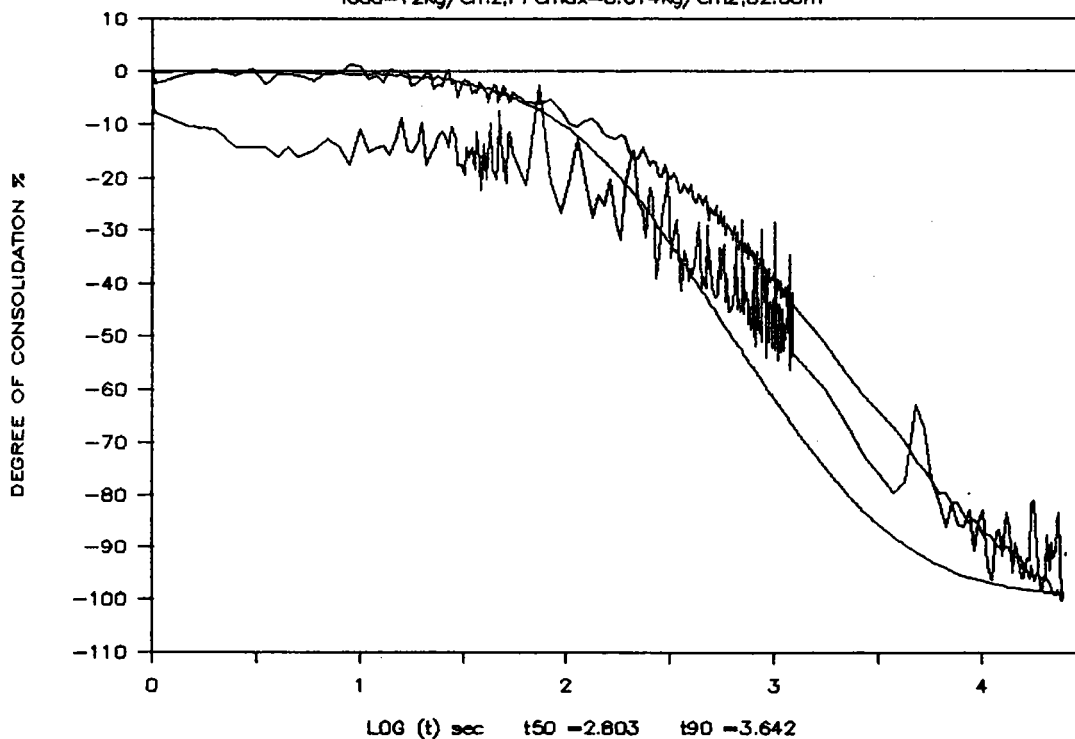
YI-WU,T-10,EQUAL STRAIN,VERTICAL SINGLE

load=12kg/cm²,PP_{emax}=3.581kg/cm²,52.05m



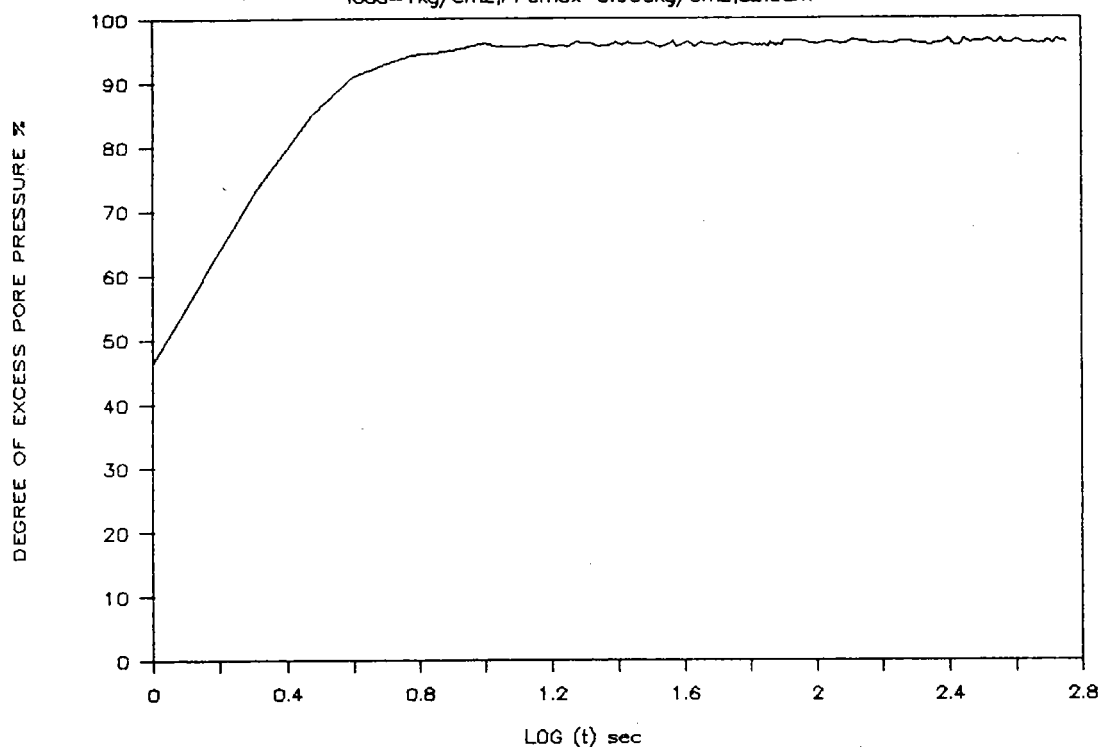
YI-WU,T-10,EQUAL STRAIN,VERTICAL SINGLE

load=12kg/cm²,PP_{emax}=3.614kg/cm²,52.05m



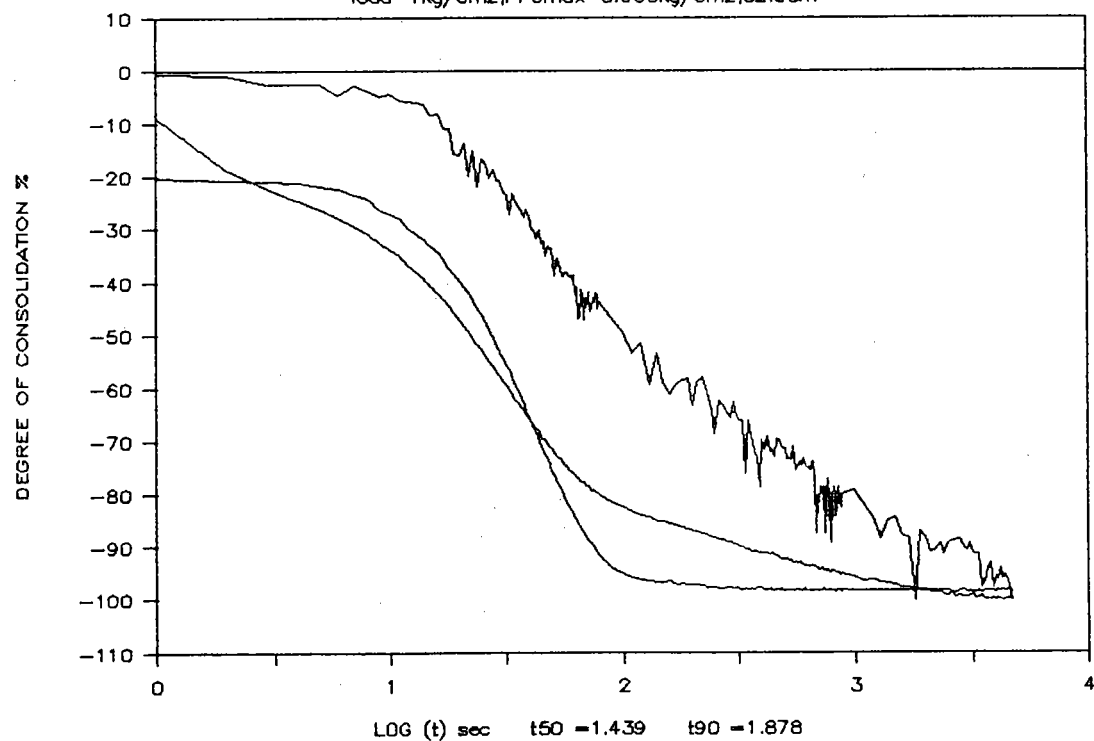
YI-WU,T-10,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=1kg/cm2,PPemax=0.966kg/cm2,52.05m



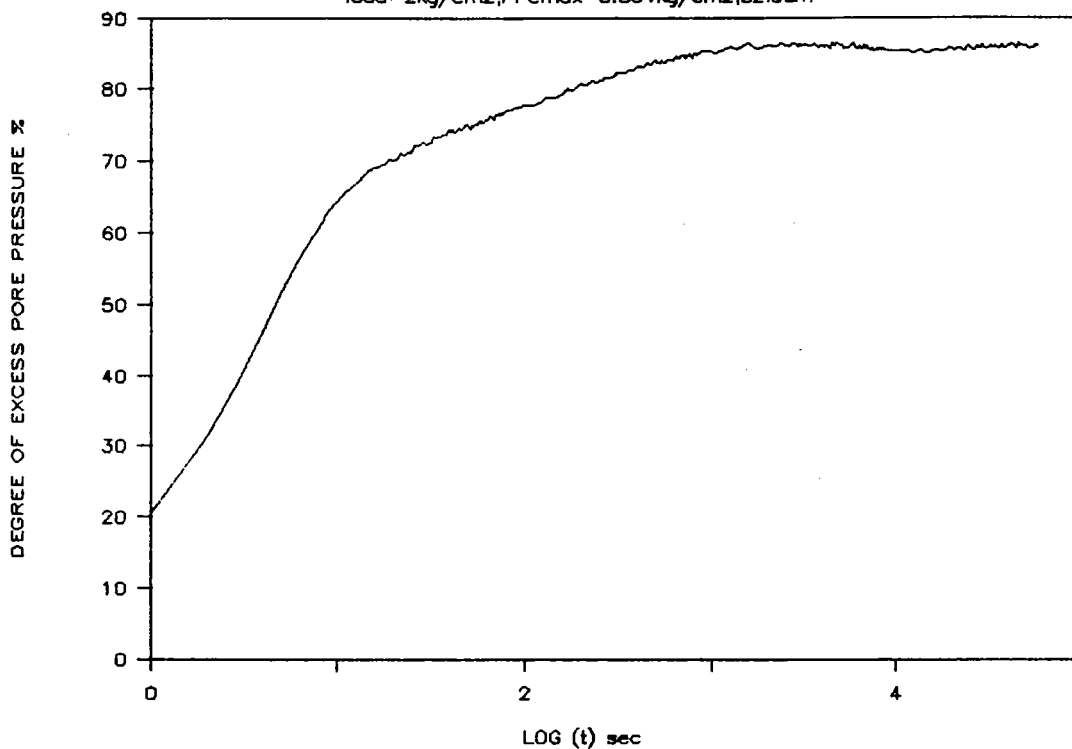
YI-WU,T-10,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=1kg/cm2,PPemax=0.966kg/cm2,52.05m



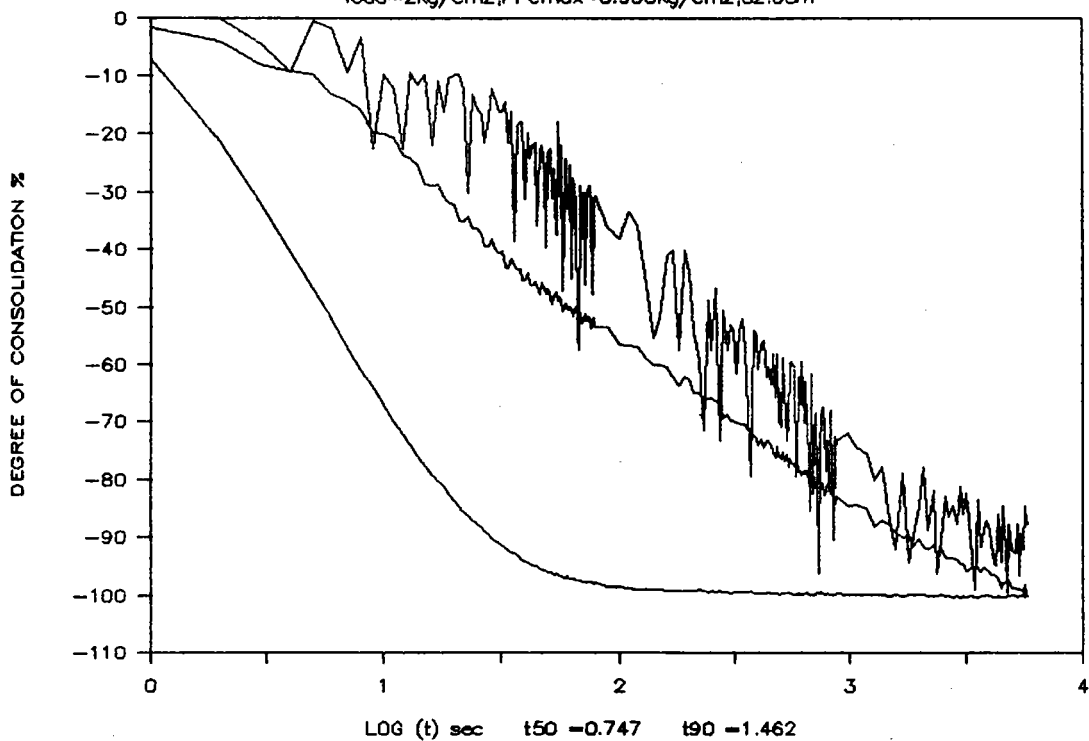
YI-WU,T-10,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=2kg/cm²,PPemax=0.864kg/cm²,52.05m



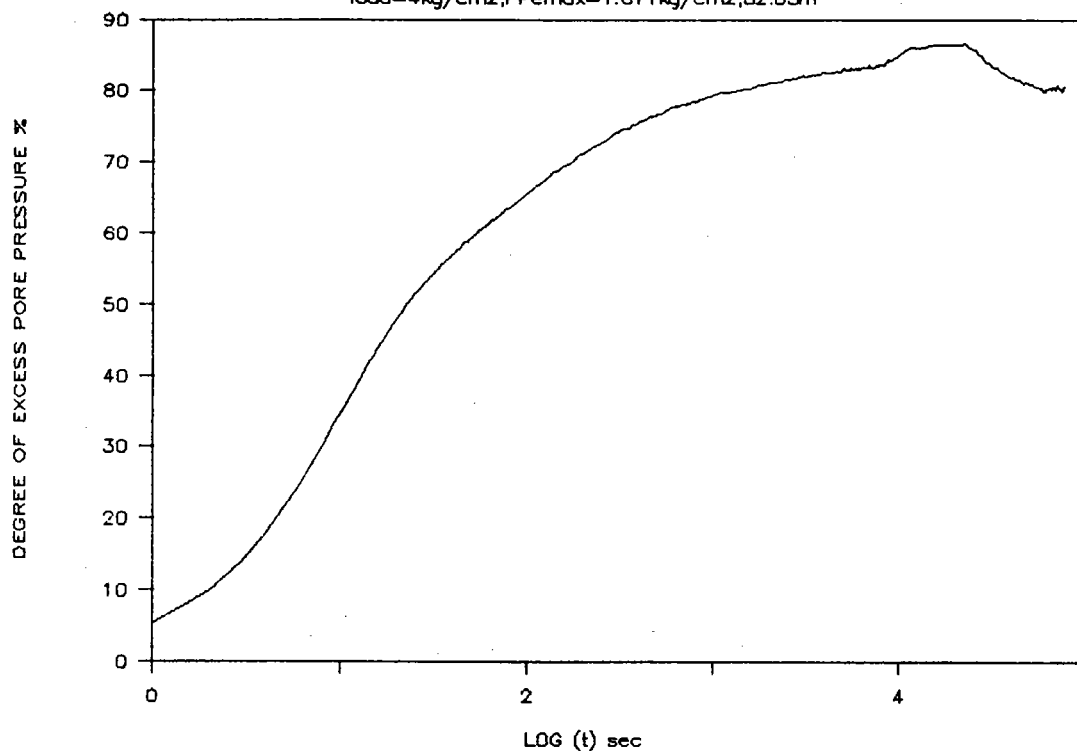
YI-WU,T-10,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=2kg/cm²,PPemax=0.905kg/cm²,52.05m



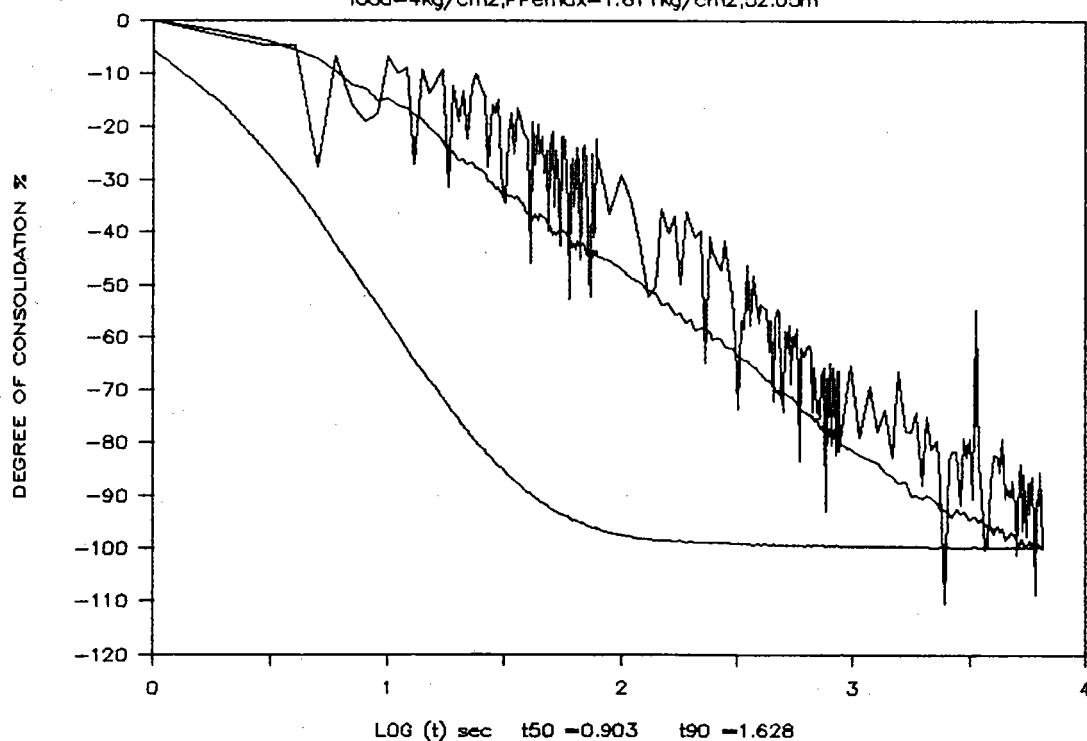
YI-WU,T-10,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=4kg/cm²,PPemax=1.611kg/cm²,52.05m



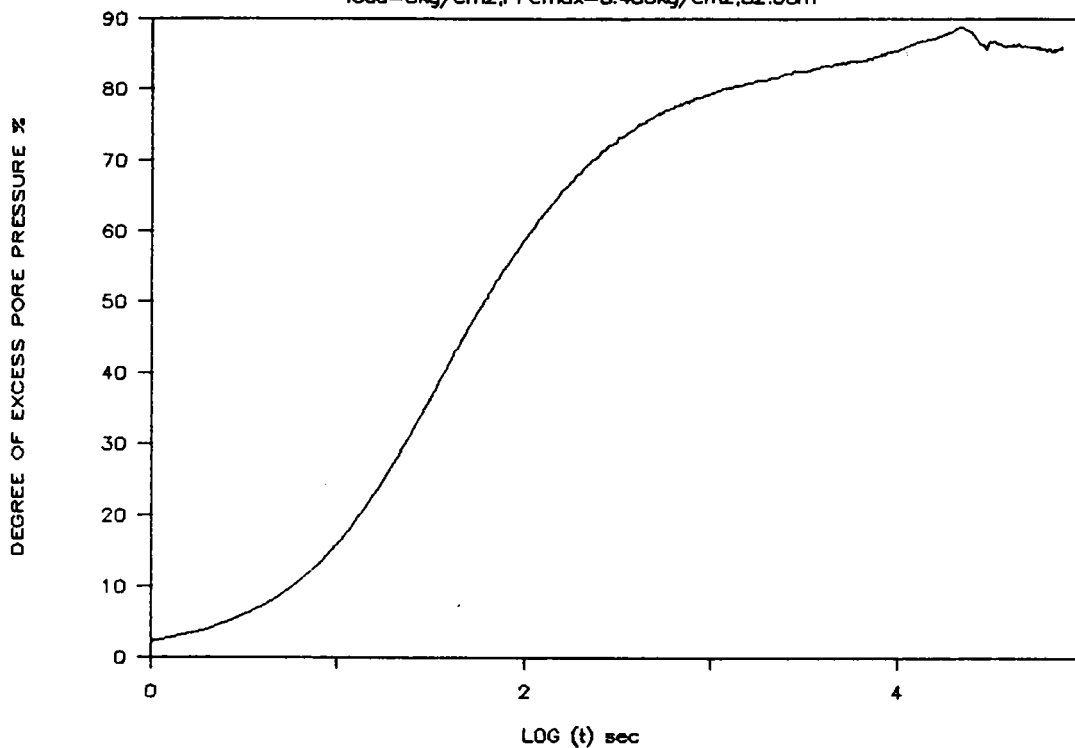
YI-WU,T-10,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=4kg/cm²,PPemax=1.611kg/cm²,52.05m



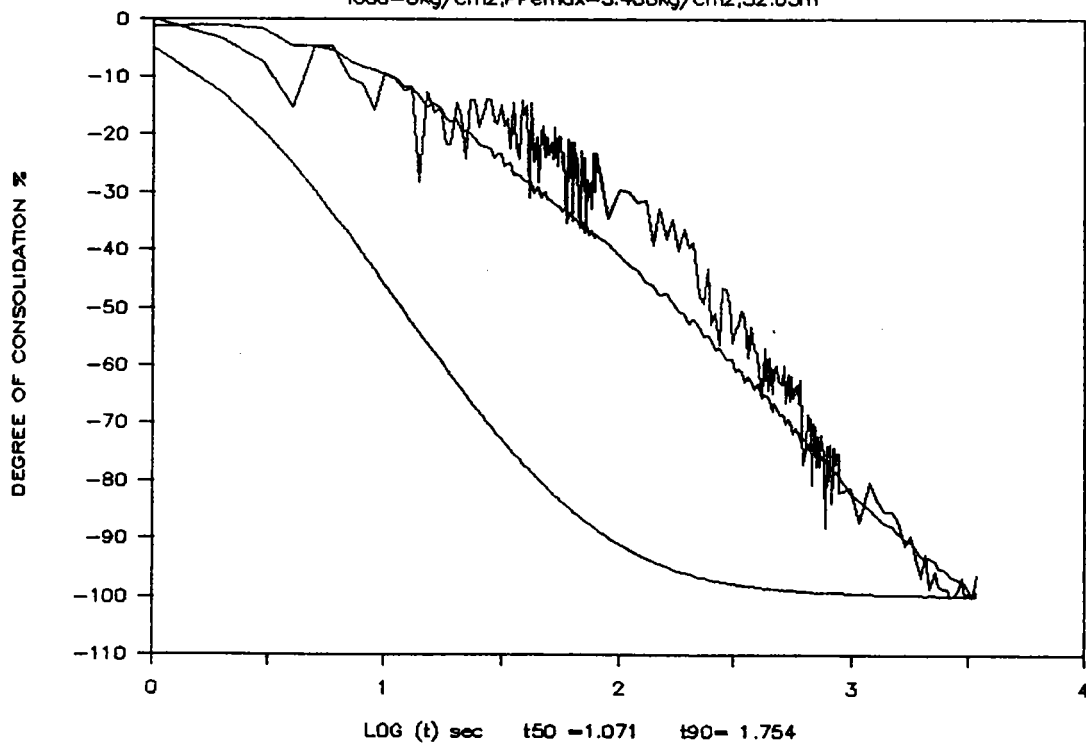
YI-WU,T-10,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=8kg/cm²,PPemax=3.438kg/cm²,52.05m



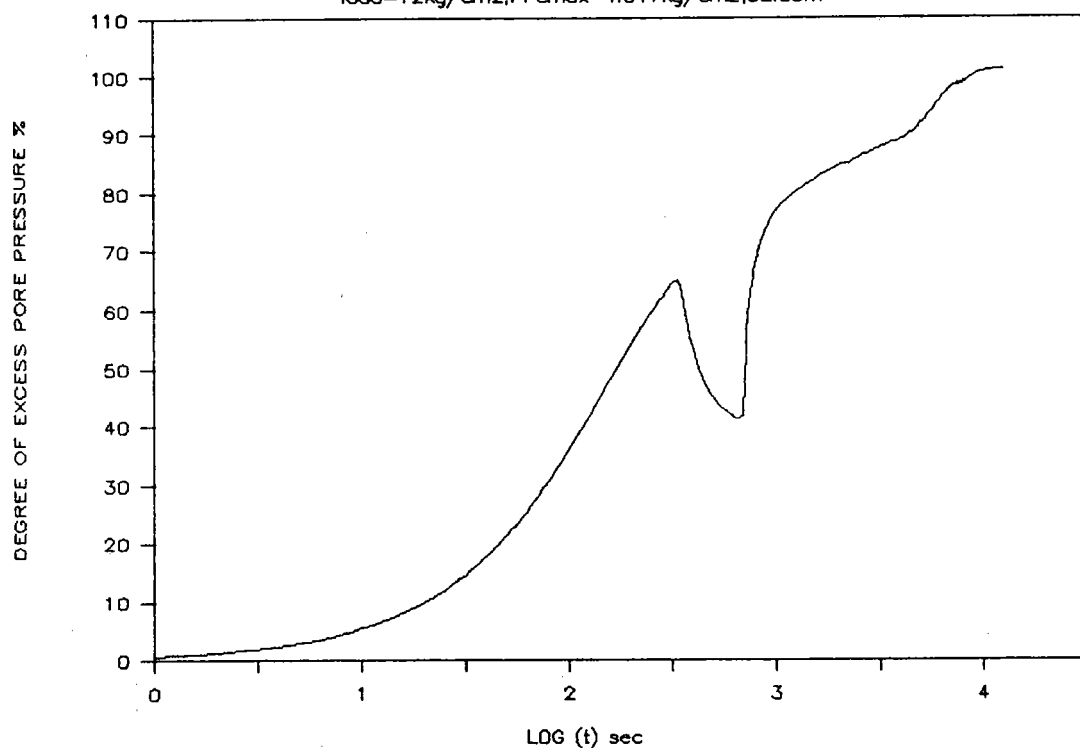
YI-WU,T-10,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=8kg/cm²,PPemax=3.438kg/cm²,52.05m



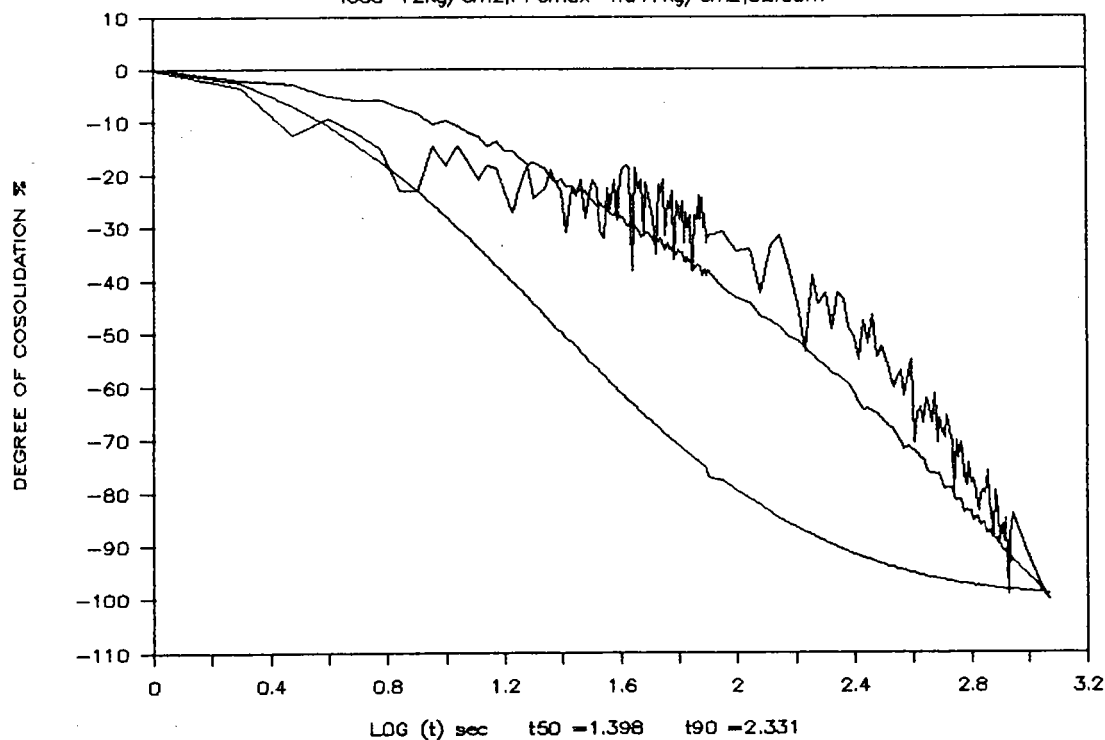
YI-WU,T-10,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=12kg/cm2,PPemax=4.047kg/cm2,52.05m



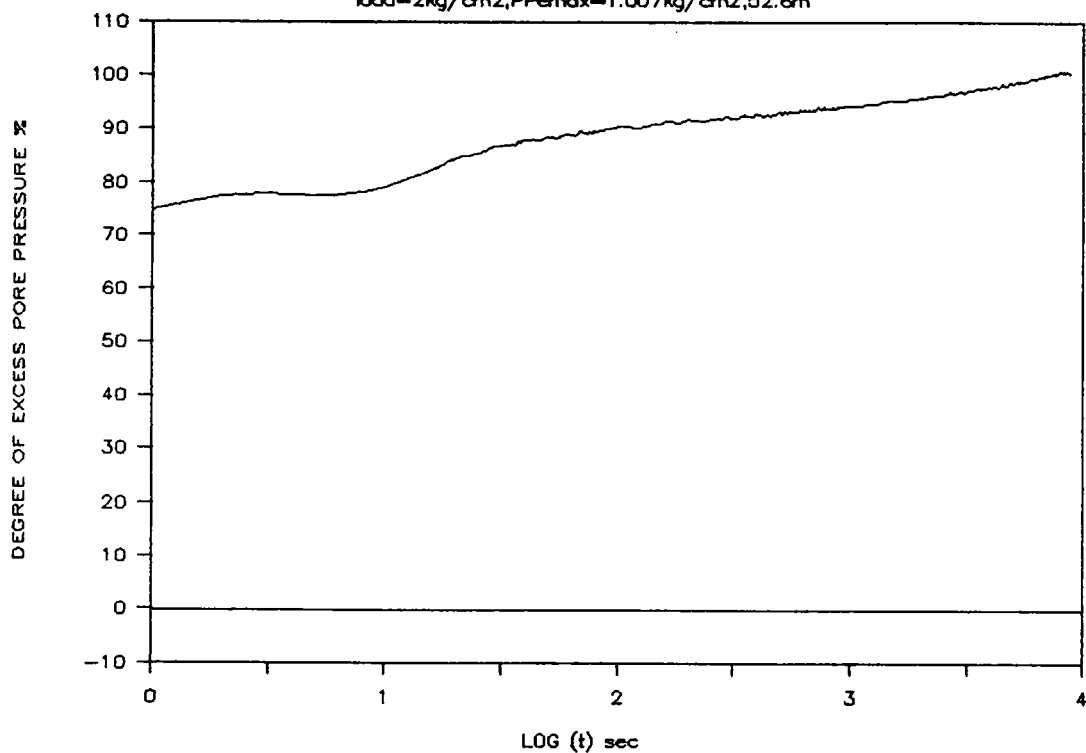
YI-WU,T-10,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=12kg/cm2,PPemax=4.047kg/cm2,52.05m



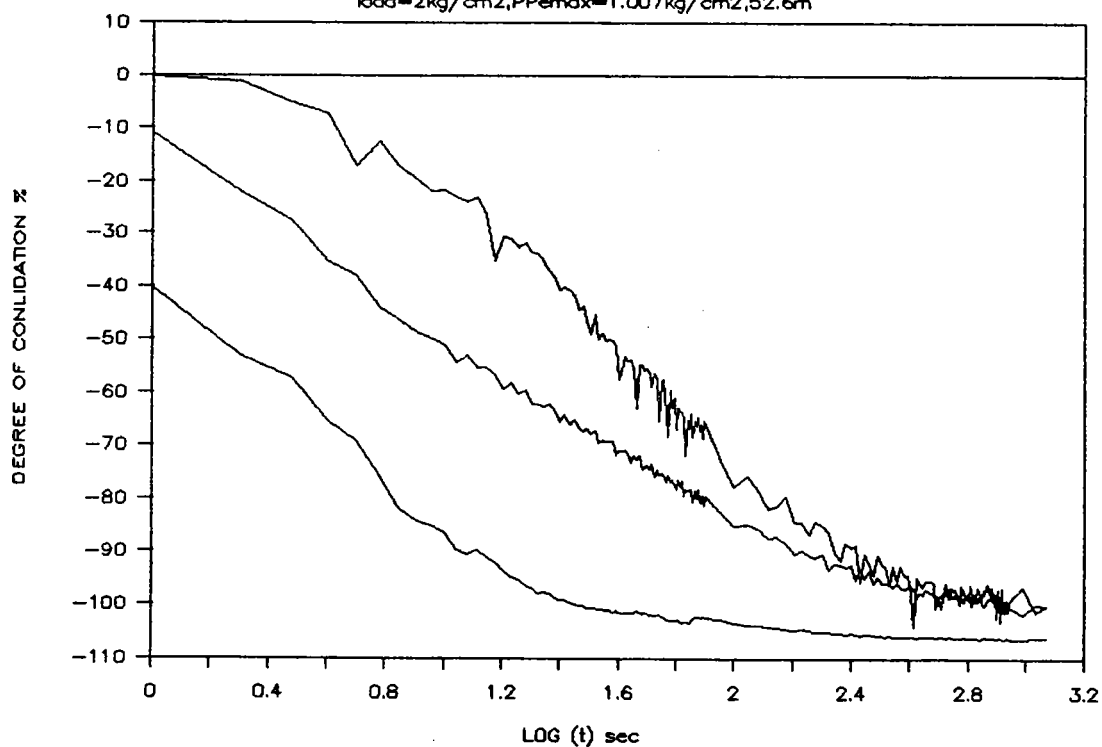
YI-WU,T-11,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=2kg/cm2,PPemax=1.007kg/cm2,52.6m



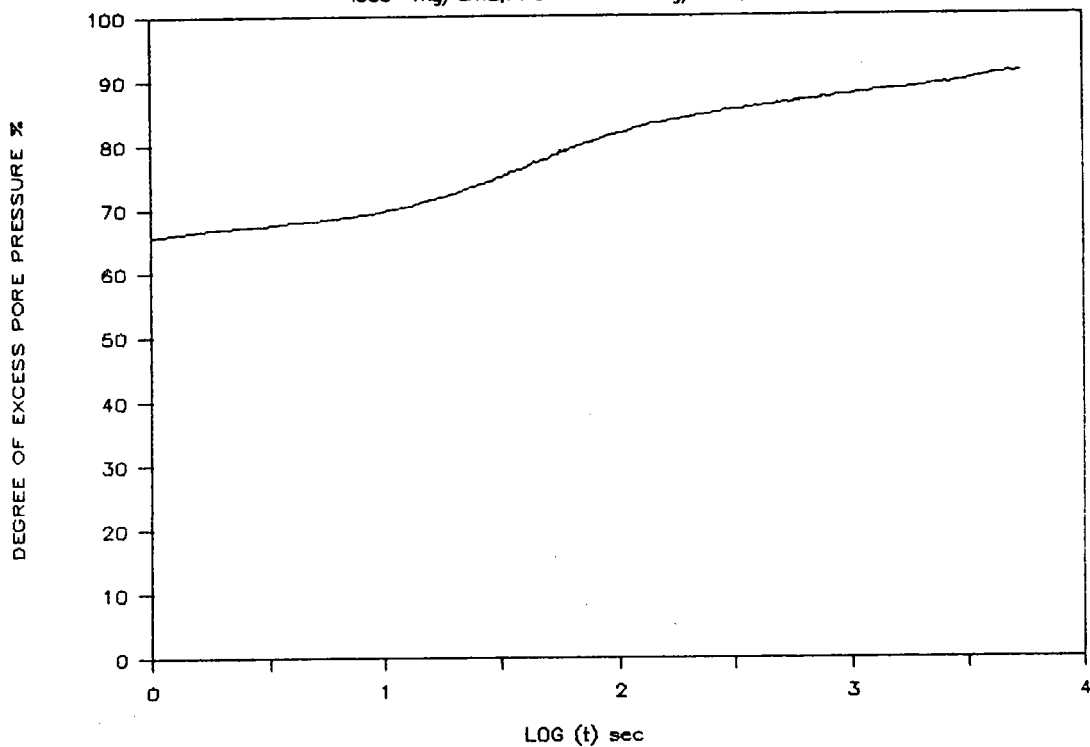
YI-WU,T-11,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=2kg/cm2,PPemax=1.007kg/cm2,52.6m



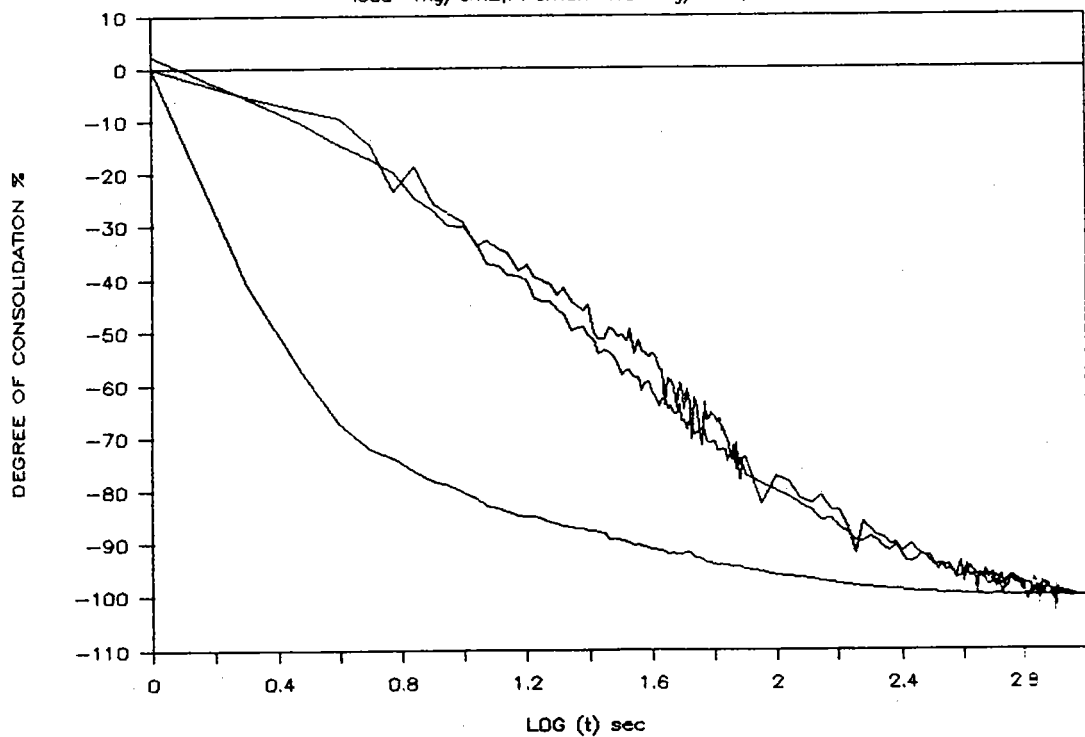
YI-WU,T-11,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=4kg/cm²,PPemax=1.822kg/cm²,52.6m



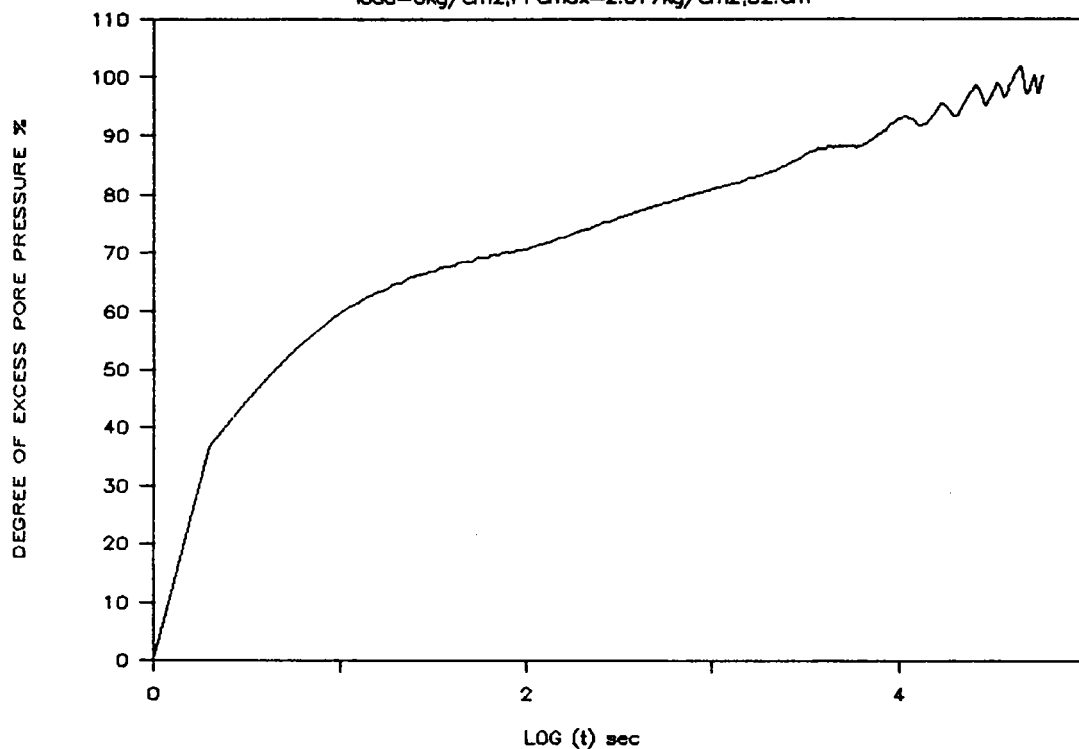
YI-WU,T-11,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=4kg/cm²,PPemax=1.822kg/cm²,52.6m



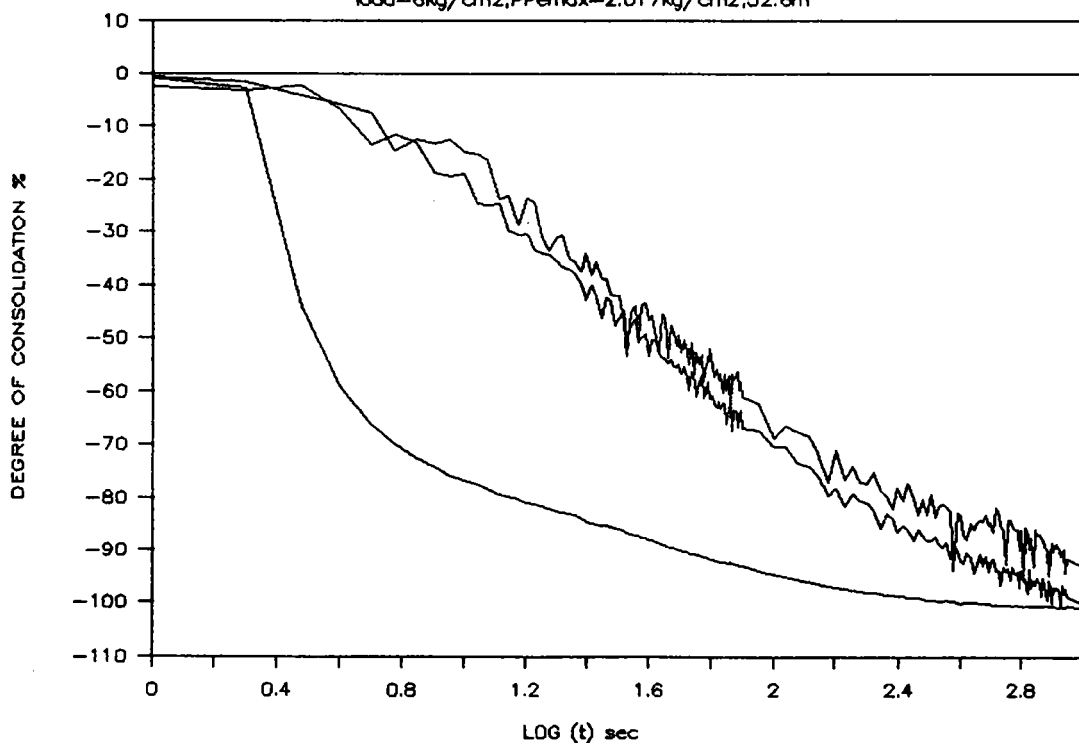
YI-WU,T-11,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=6kg/cm²,PPemax=2.017kg/cm²,52.6m



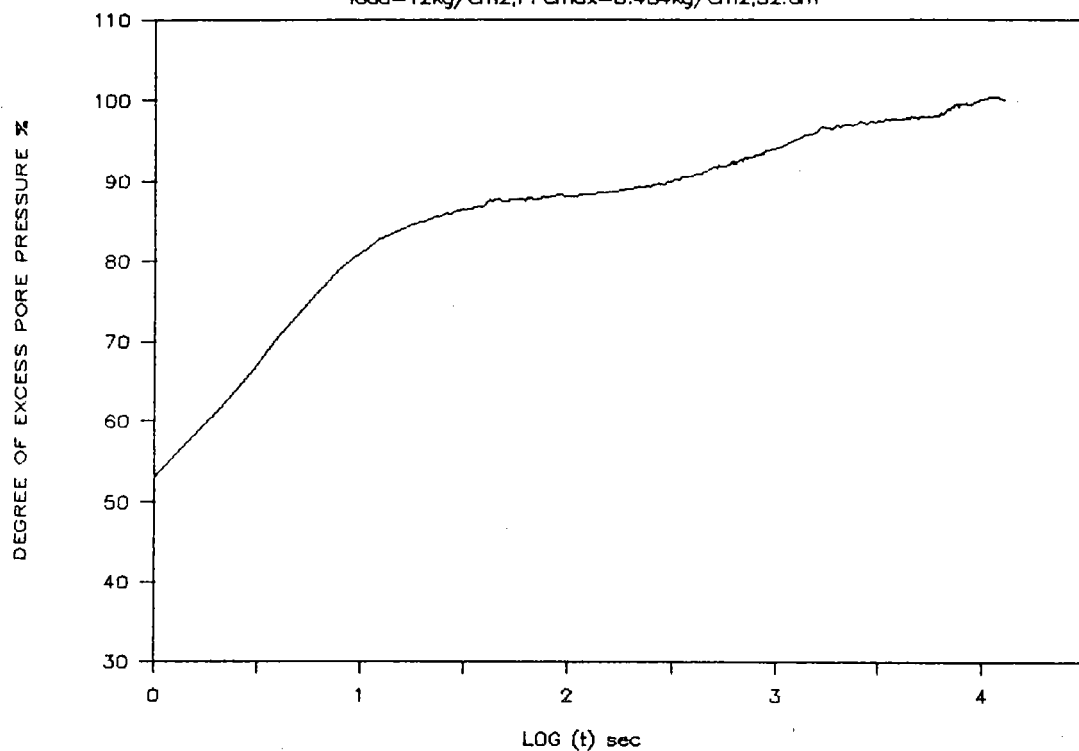
YI-WU,T-11,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=6kg/cm²,PPemax=2.017kg/cm²,52.6m



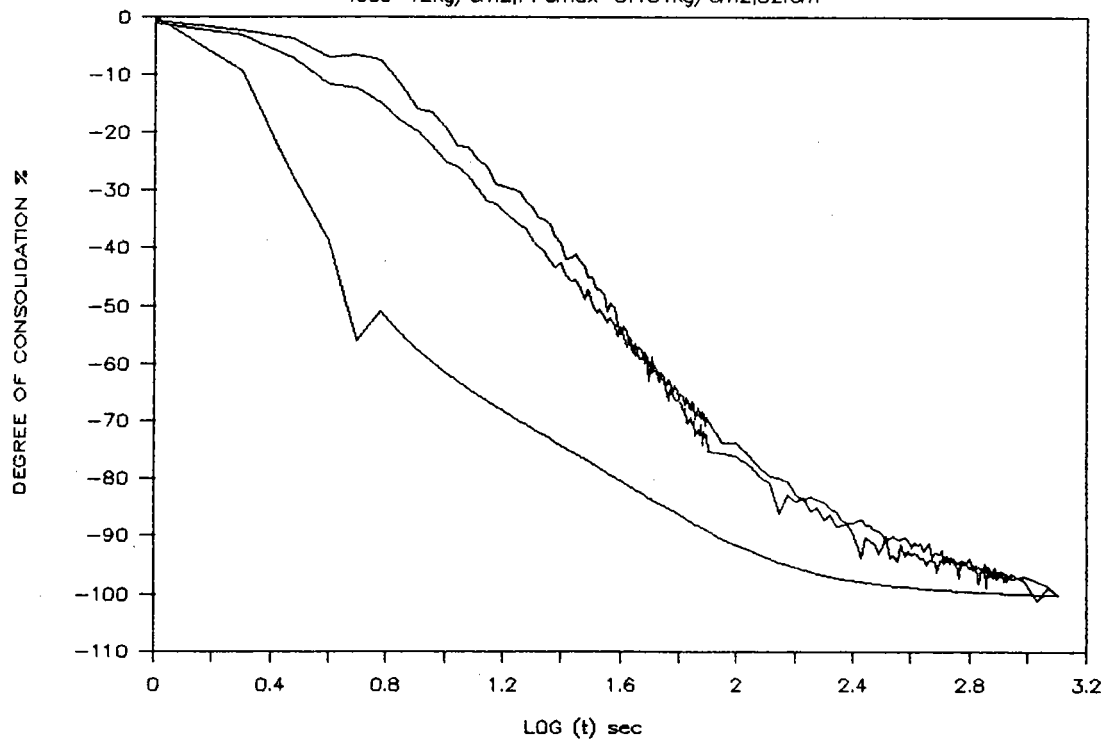
YI-WU,T-11,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=12kg/cm²,PPemax=5.454kg/cm²,52.6m



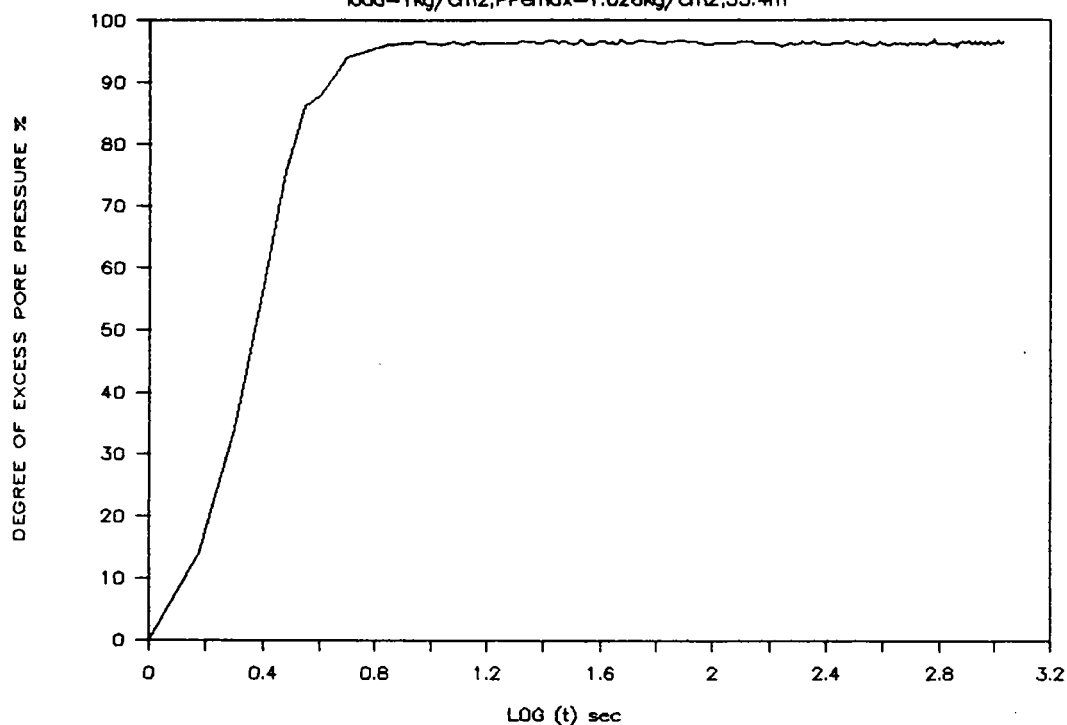
YI-WU,T-11,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=12kg/cm²,PPemax=5.454kg/cm²,52.6m



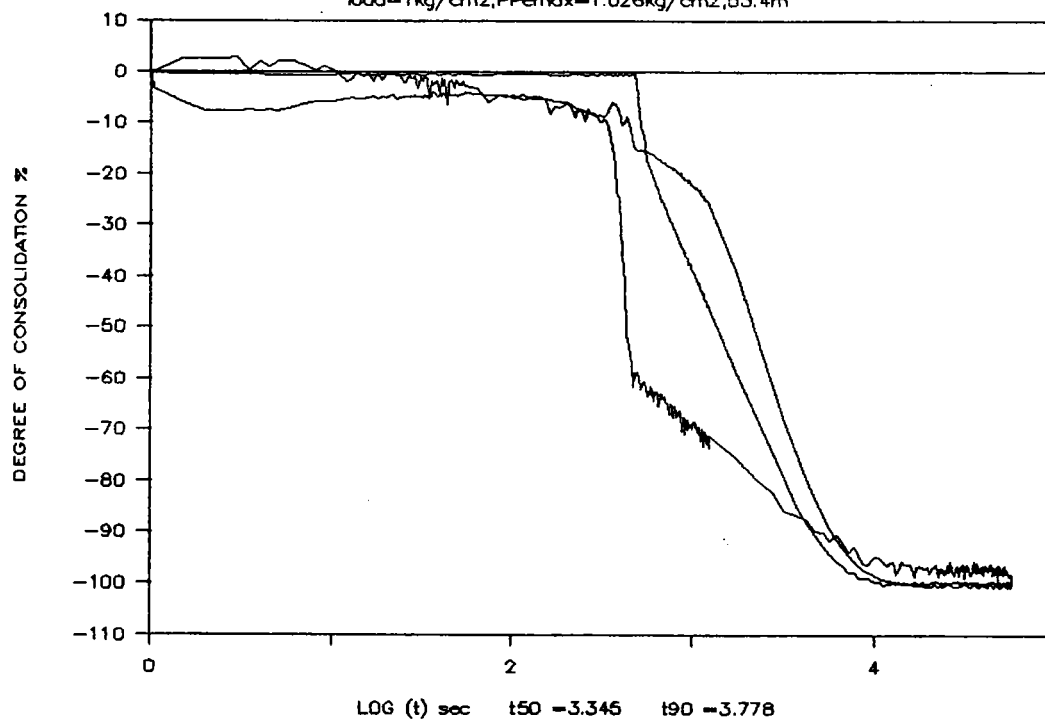
YI-WU,T-12,EQUAL STRAIN,VERTICAL SINGLE

load=1kg/cm2,PPemax=1.026kg/cm2,53.4m



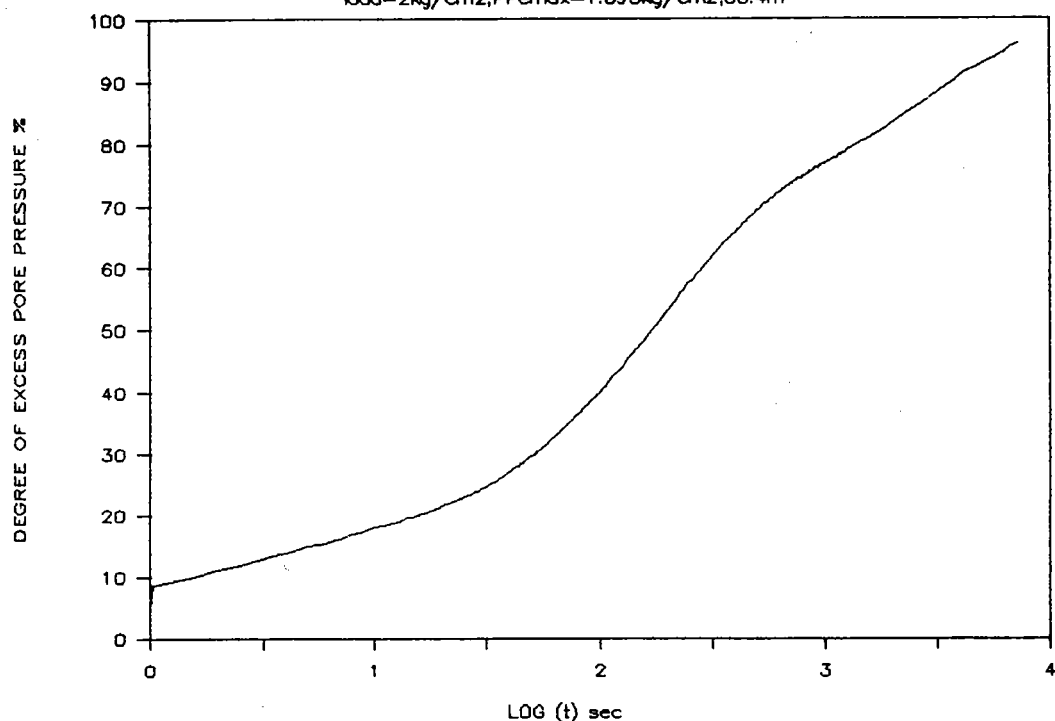
YI-WU,T-12,EQUAL STRAIN,VERTICAL SINGLE

load=1kg/cm2,PPemax=1.026kg/cm2,53.4m



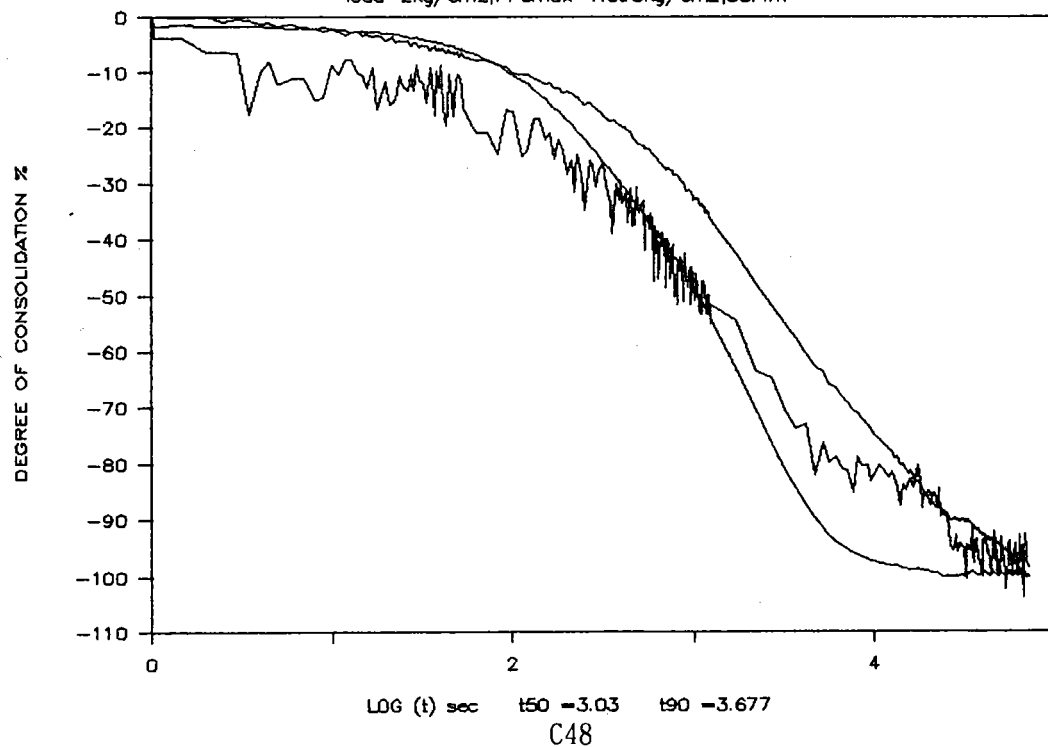
YI-WU,T-12,EQUAL STRAIN,VERTICAL SINGLE

load=2kg/cm²,PPemax=1.095kg/cm²,53.4m



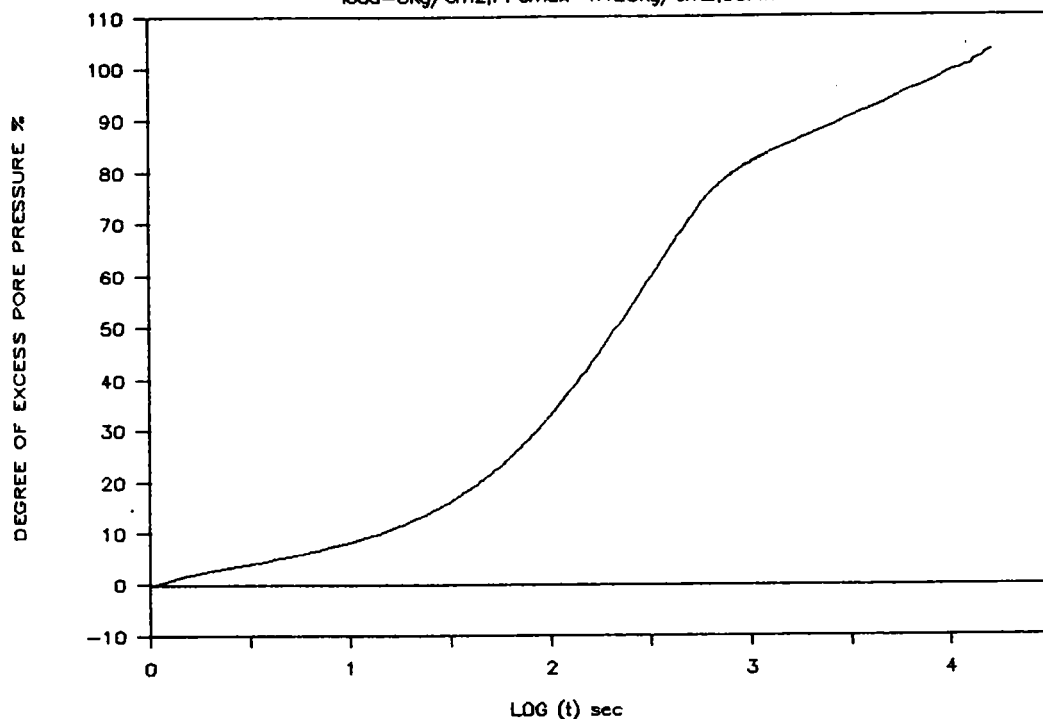
YI-WU,T-12,EQUAL STRAIN,VERTICAL SINGLE

load=2kg/cm²,PPemax=1.095kg/cm²,53.4m



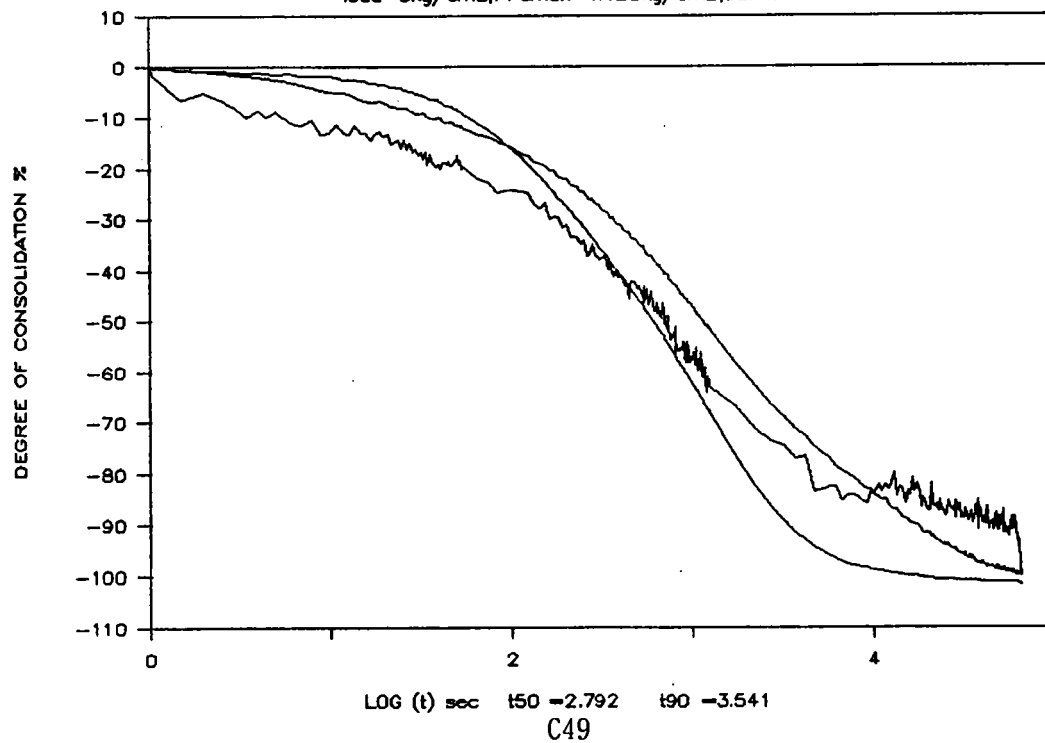
YI-WU,T-12,EQUAL STRAIN,VERTICAL SINGLE

load=8kg/cm²,PP_{emax}=4.128kg/cm²,53.4m



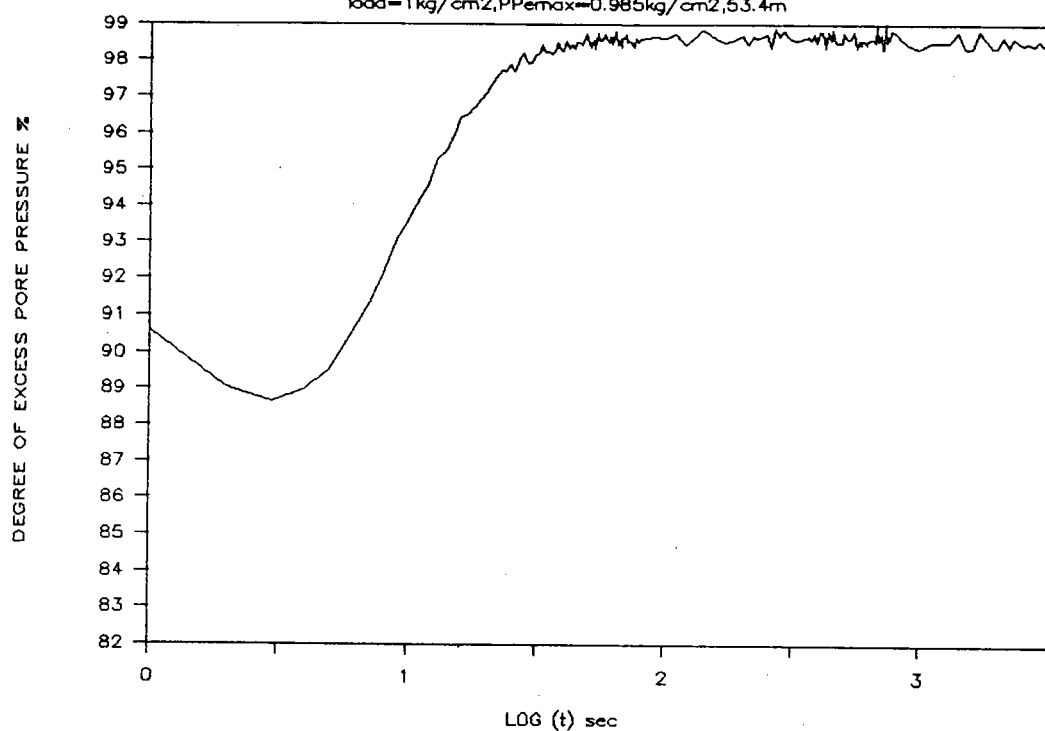
YI-WU,T-12,EQUAL STRAIN,VERTICAL SINGLE

load=8kg/cm²,PP_{emax}=4.128kg/cm²,53.4m



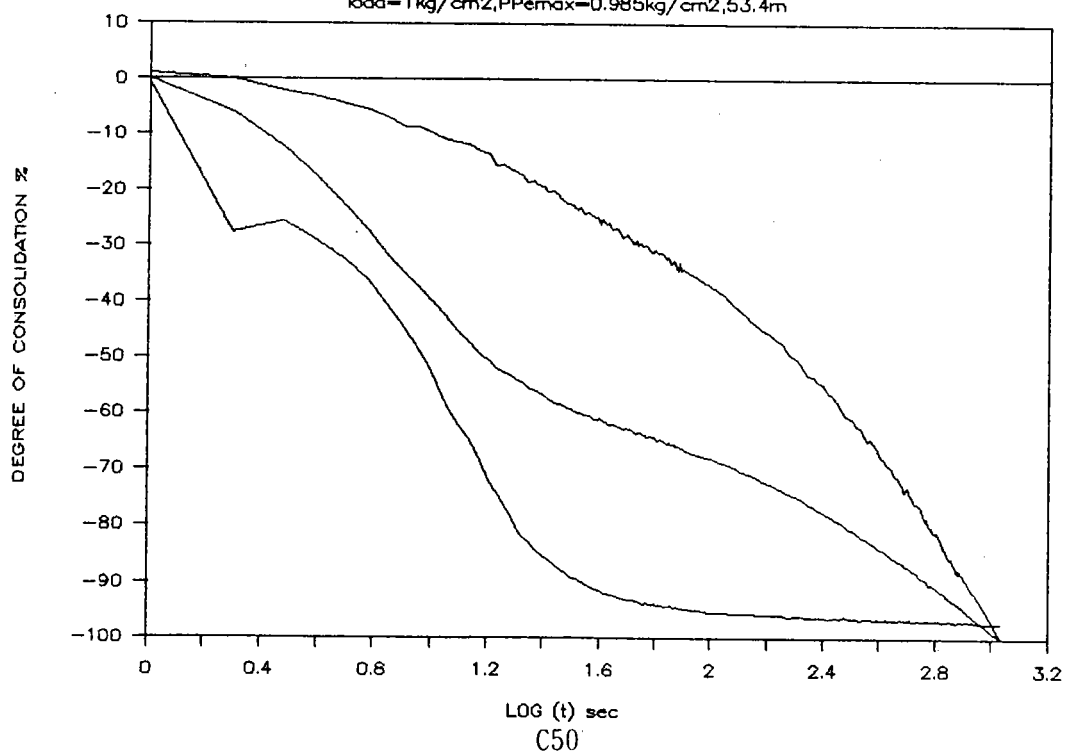
YI-WU,T-12,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=1kg/cm²,PPemax=0.985kg/cm²,53.4m



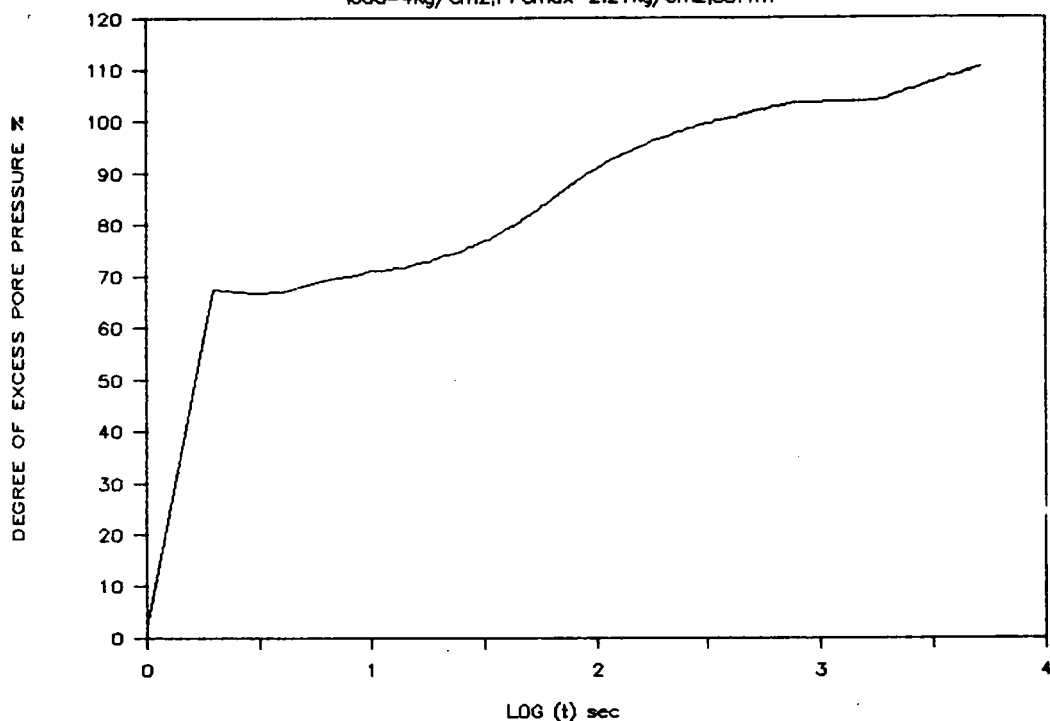
YI-WU,T-12,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=1kg/cm²,PPemax=0.985kg/cm²,53.4m



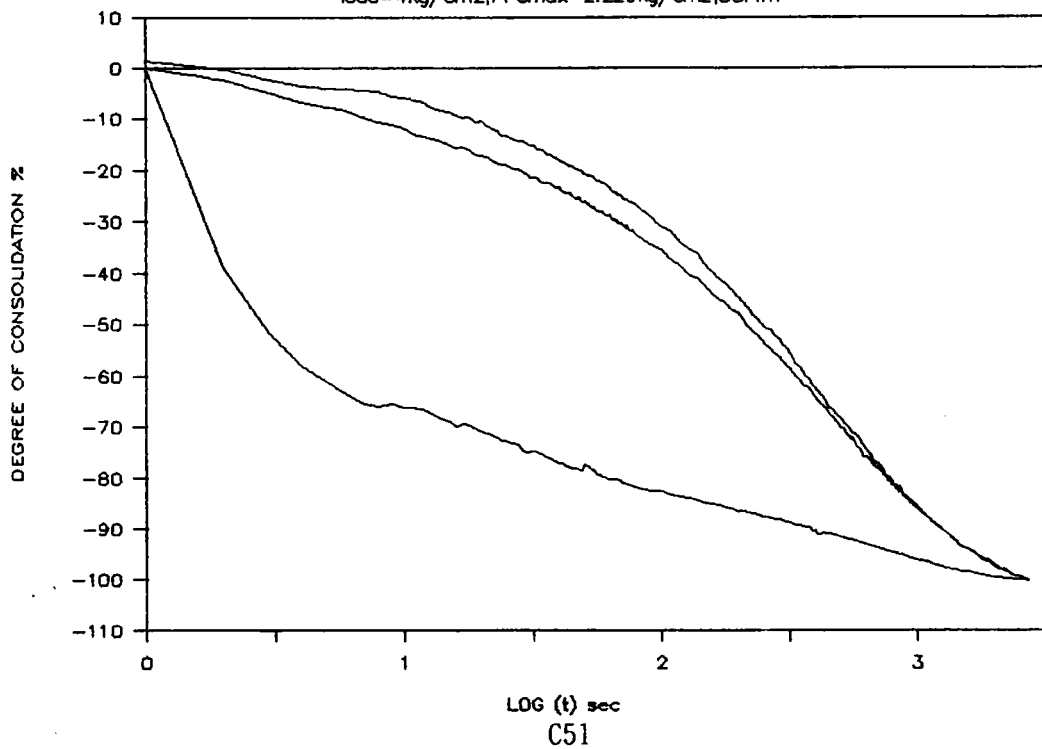
YI-WU,T-12,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=4kg/cm²,PPemax=2.21kg/cm²,53.4m



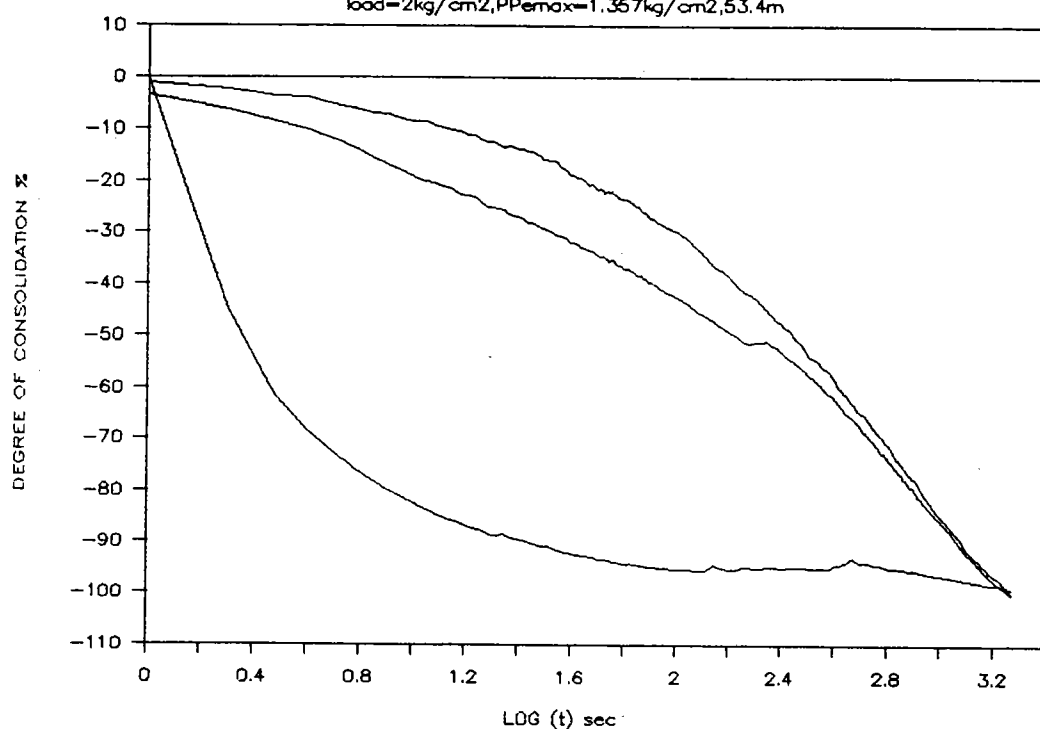
YI-WU,T-12,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=4kg/cm²,PPemax=2.229kg/cm²,53.4m



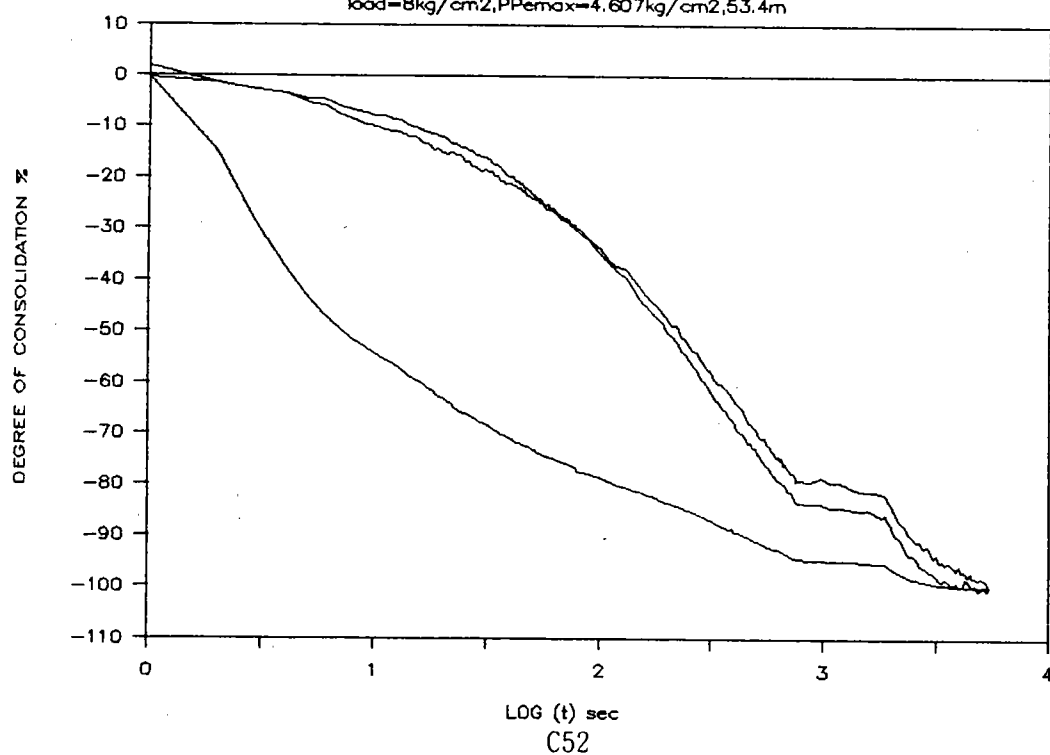
YI-WU,T-12,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=2kg/cm2,PPemax=1.357kg/cm2,53.4m



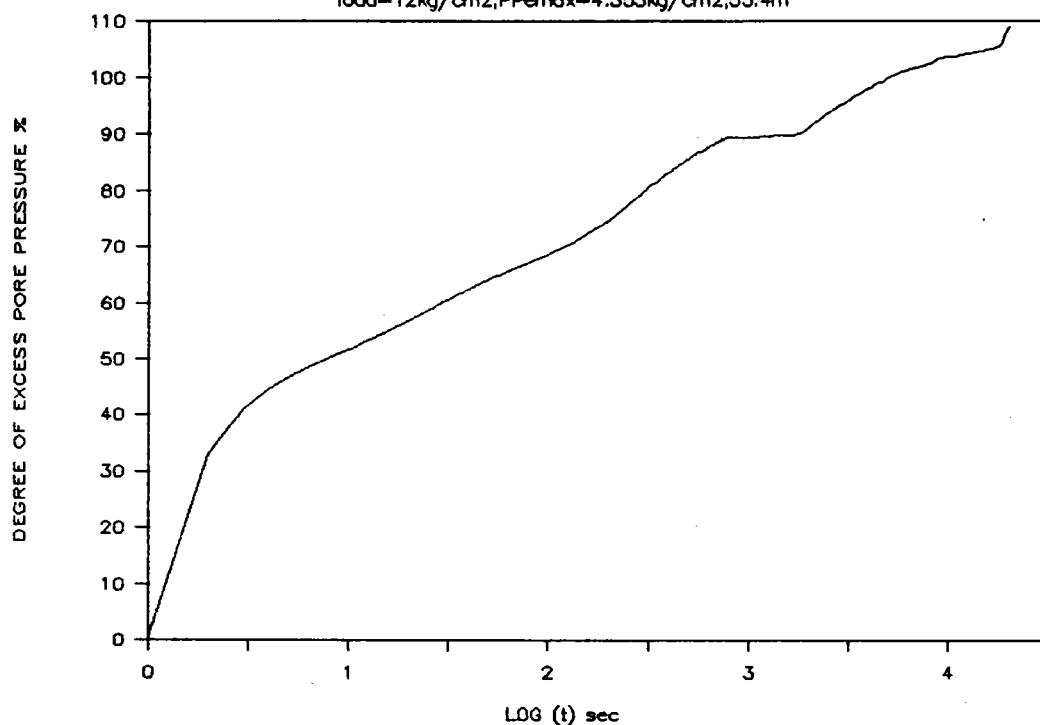
YI-WU,T-12,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=8kg/cm2,PPemax=4.607kg/cm2,53.4m



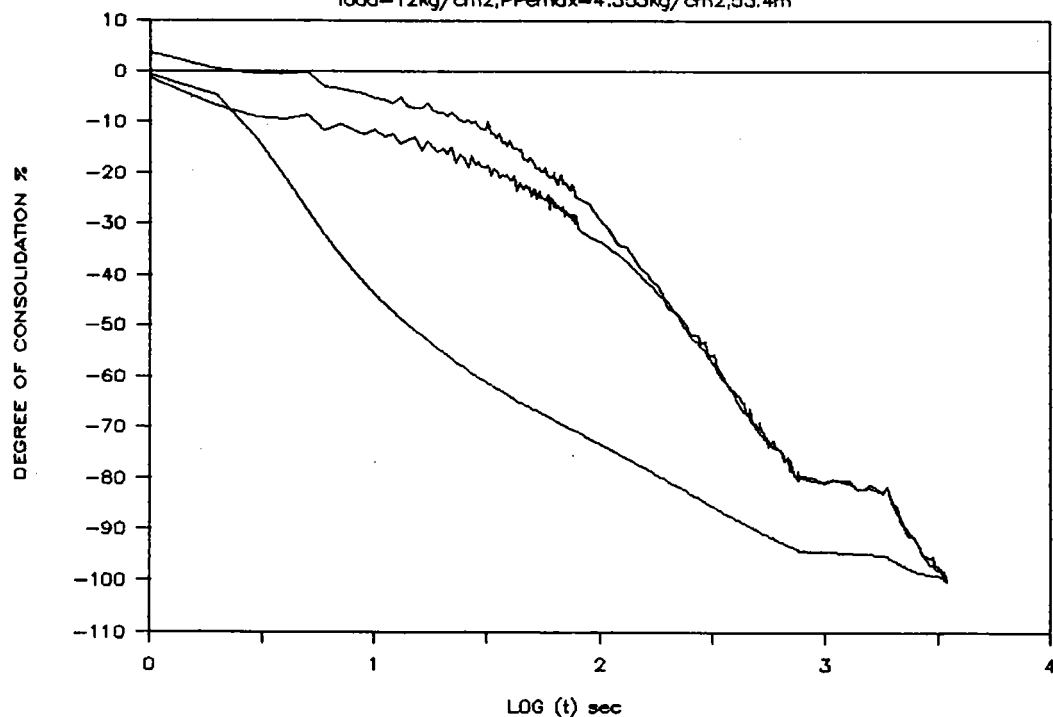
YI-WU,T-12,EQUAL STRAIN,HOREZONTAL OUT

load=12kg/cm2,PPemax=4.353kg/cm2,53.4m



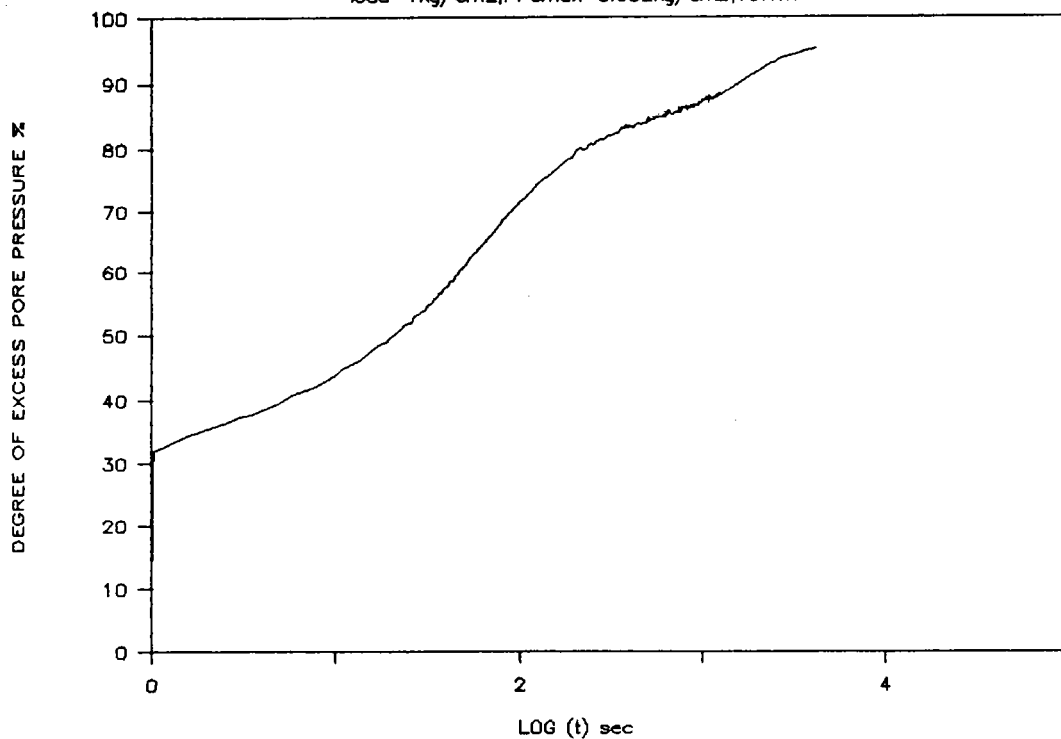
YI-WU,T-12,EQUAL STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=12kg/cm2,PPemax=4.353kg/cm2,53.4m



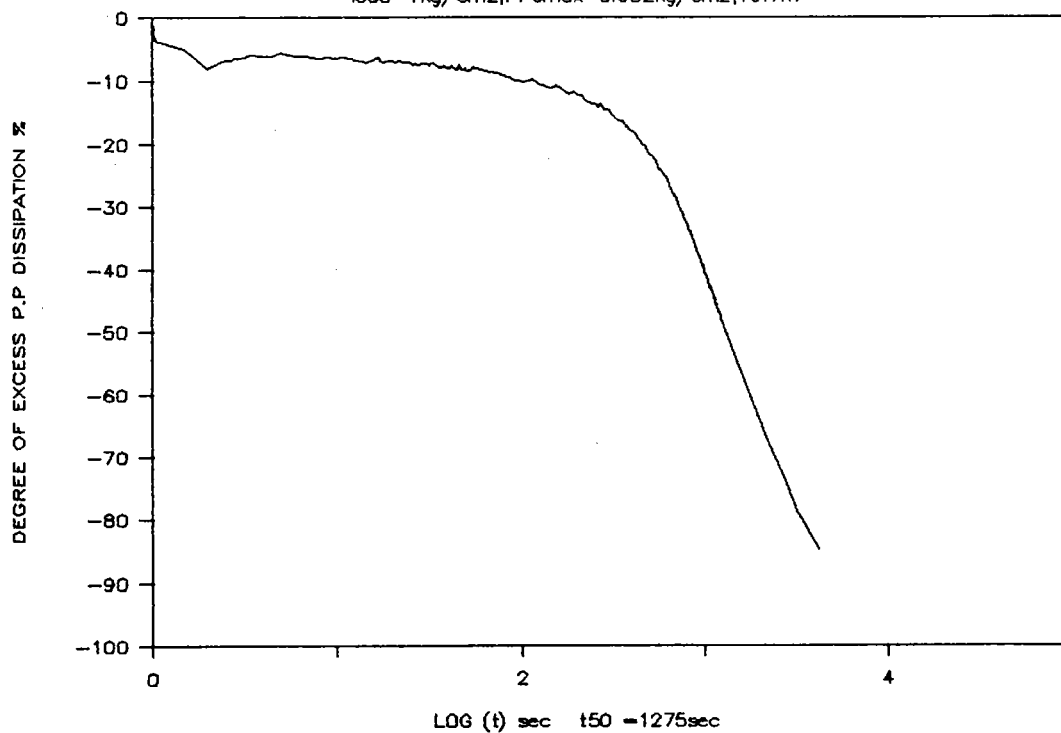
YUNG-AN, T-2, F.V, 1-WAY

load=1kg/cm², PP_{emax}=0.952kg/cm², 19.7m



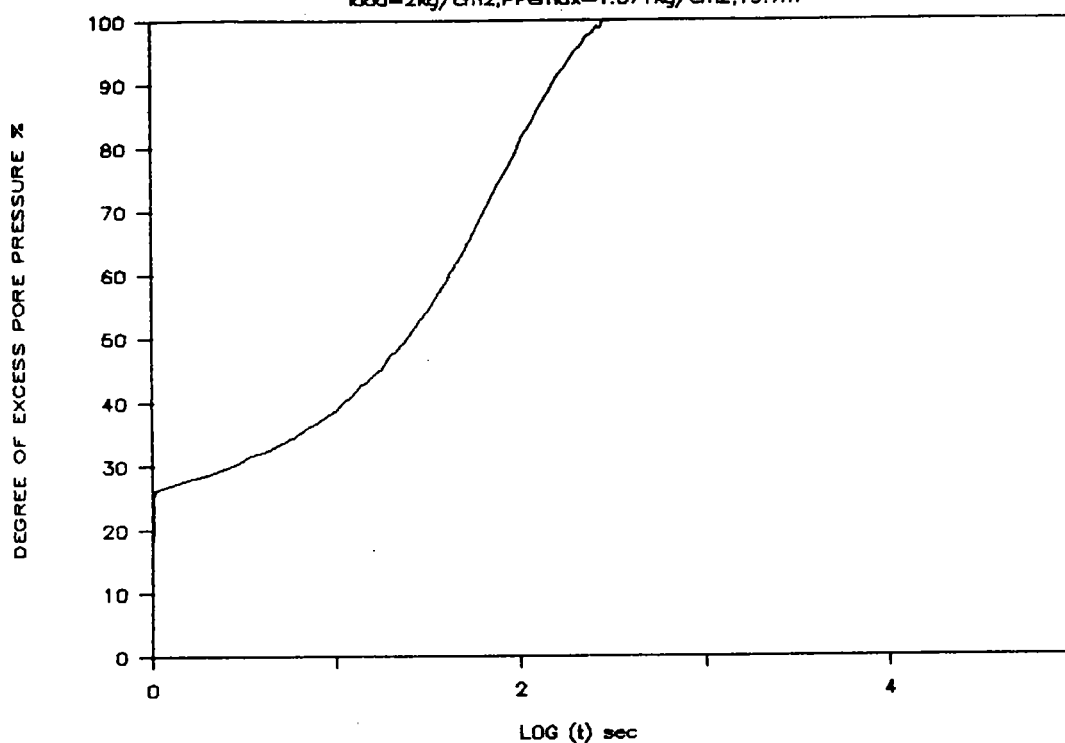
YUNG-AN, T-2, F.V, 1-WAY, C_v=13.864mm²/min

load=1kg/cm², PP_{emax}=0.952kg/cm², 19.7m



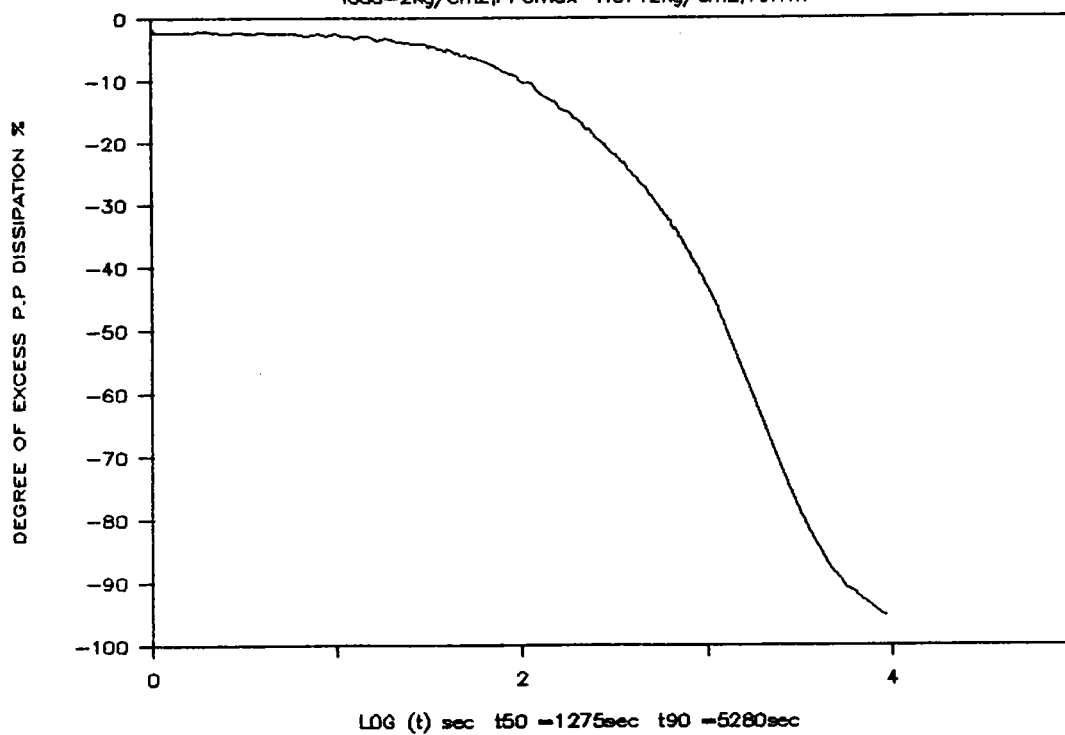
YUNG-AN, T-2, F.V, 1-WAY

load=2kg/cm², PP_{max}=1.071kg/cm², 19.7m



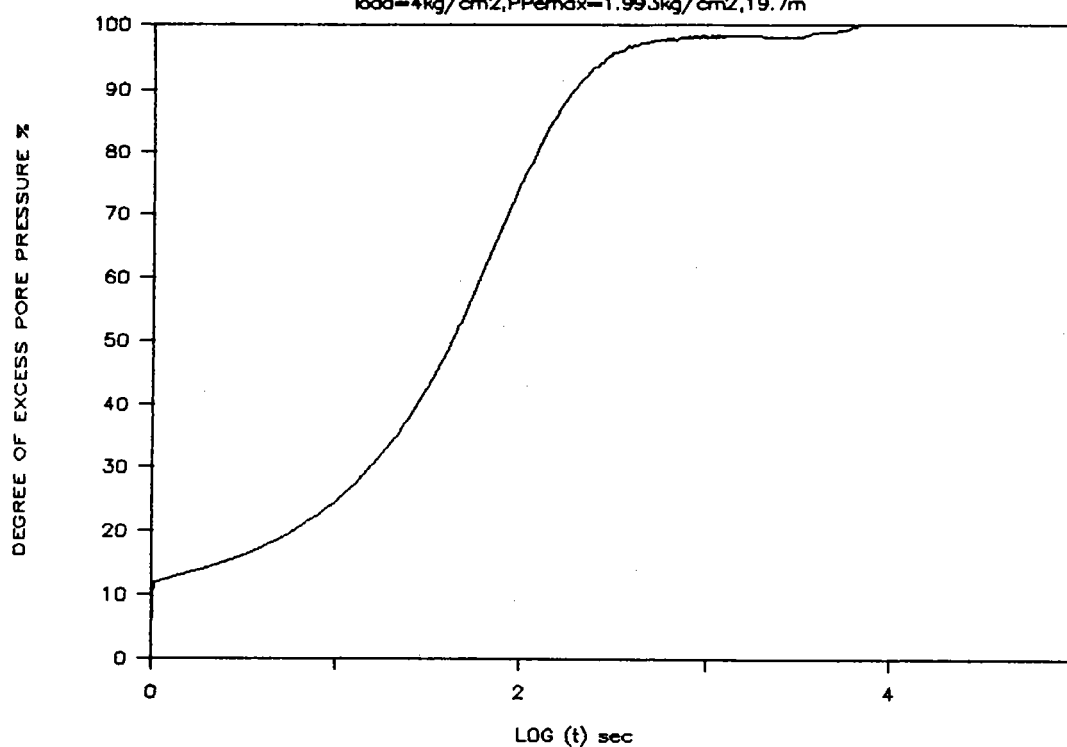
YUNG-AN, T-2, F.V, 1-WAY, C_v=13.634mm²/min

load=2kg/cm², PP_{max}=1.0712kg/cm², 19.7m



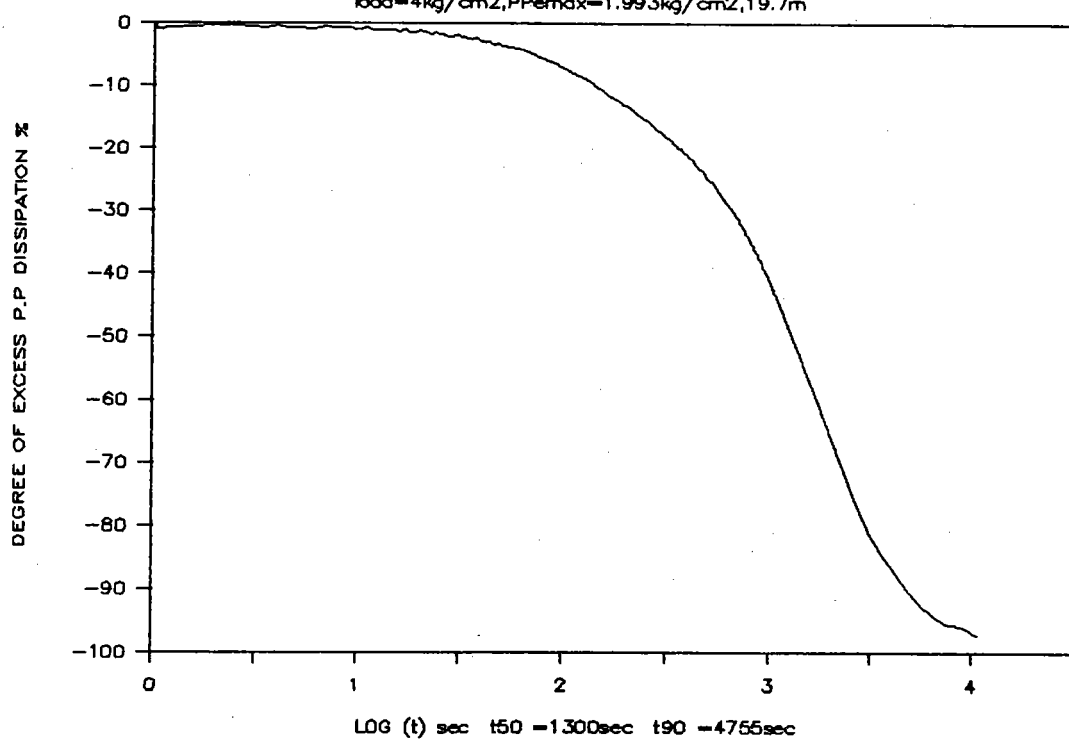
YUNG-AN, T-2, F.V, 1-WAY

load=4kg/cm², PPemax=1.993kg/cm², 19.7m



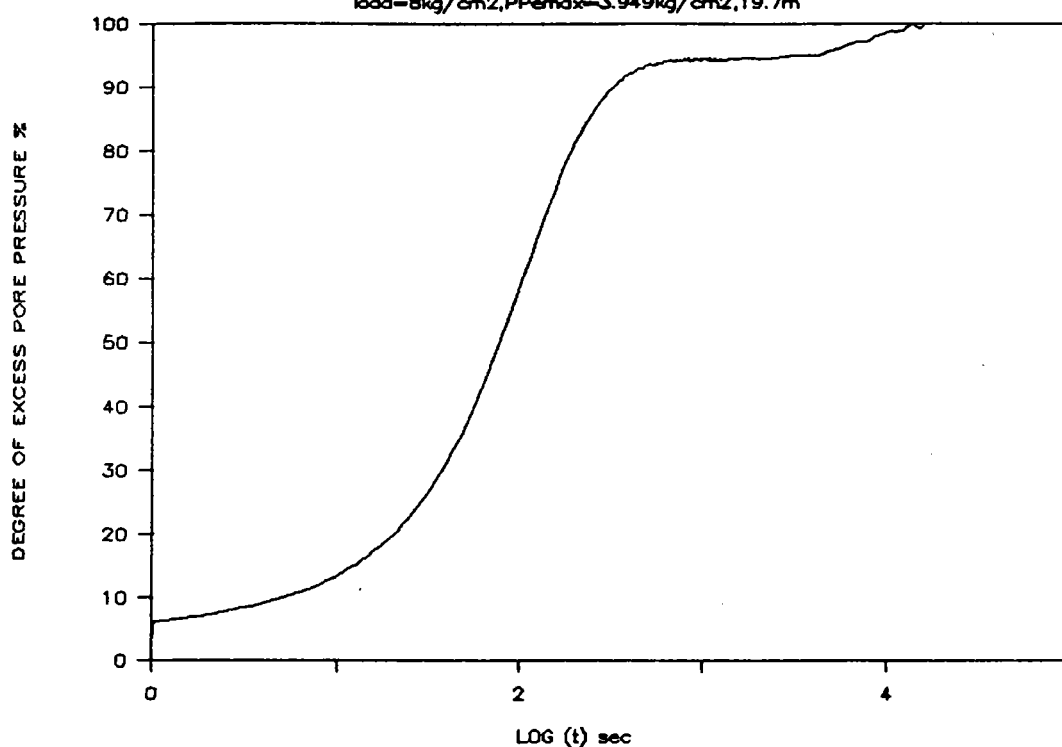
YUNG-AN, T-2, F.V, 1-WAY, Cv=13.142mm²/min

load=4kg/cm², PPemax=1.993kg/cm², 19.7m



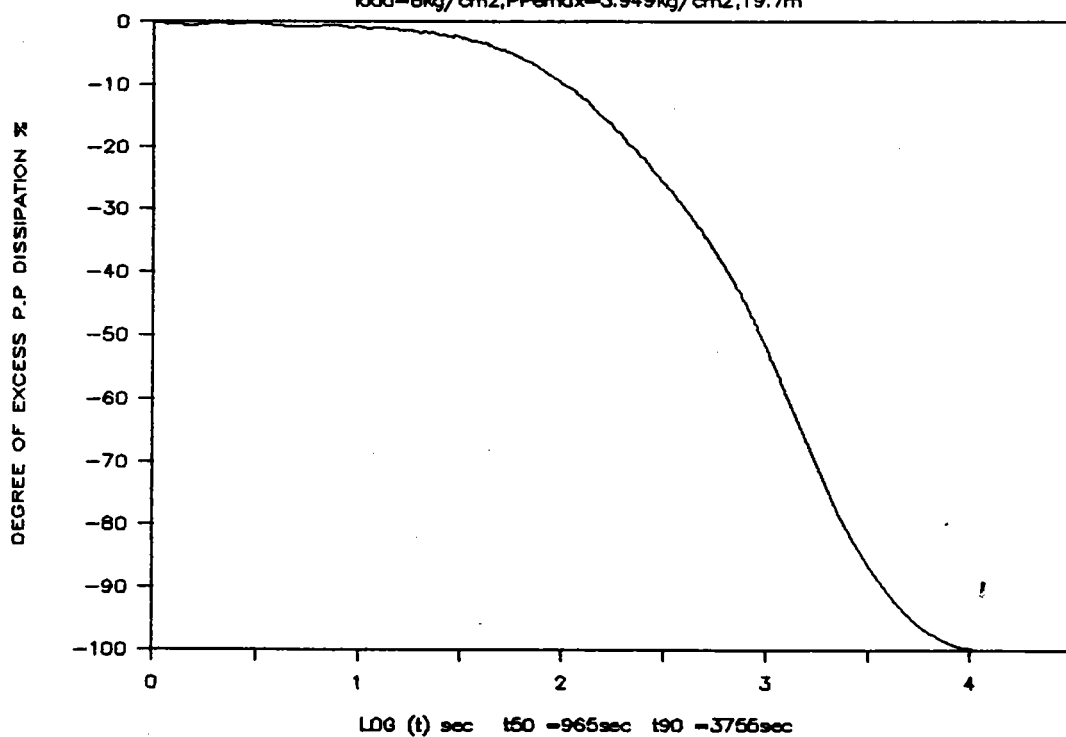
YUNG-AN, T-2, F.V, 1-WAY

load=8kg/cm2, PPemax=3.949kg/cm2, 19.7m



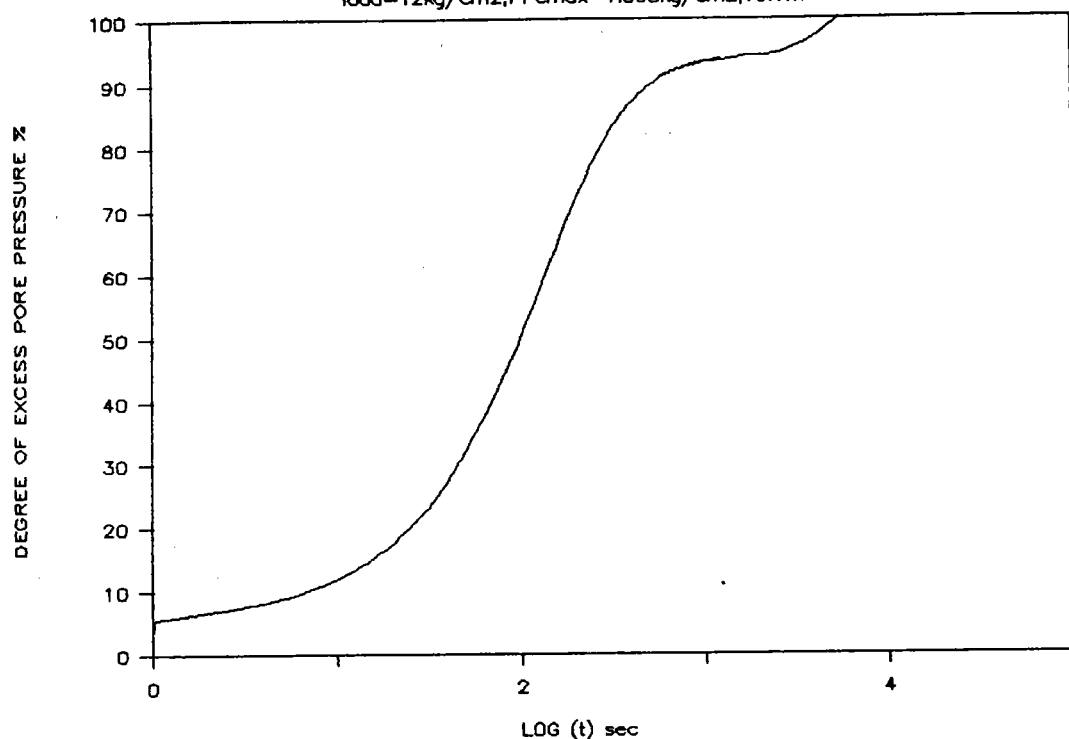
YUNG-AN, T-2, F.V, 1-WAY, Cv=17.361mm2/min

load=8kg/cm2, PPemax=3.949kg/cm2, 19.7m



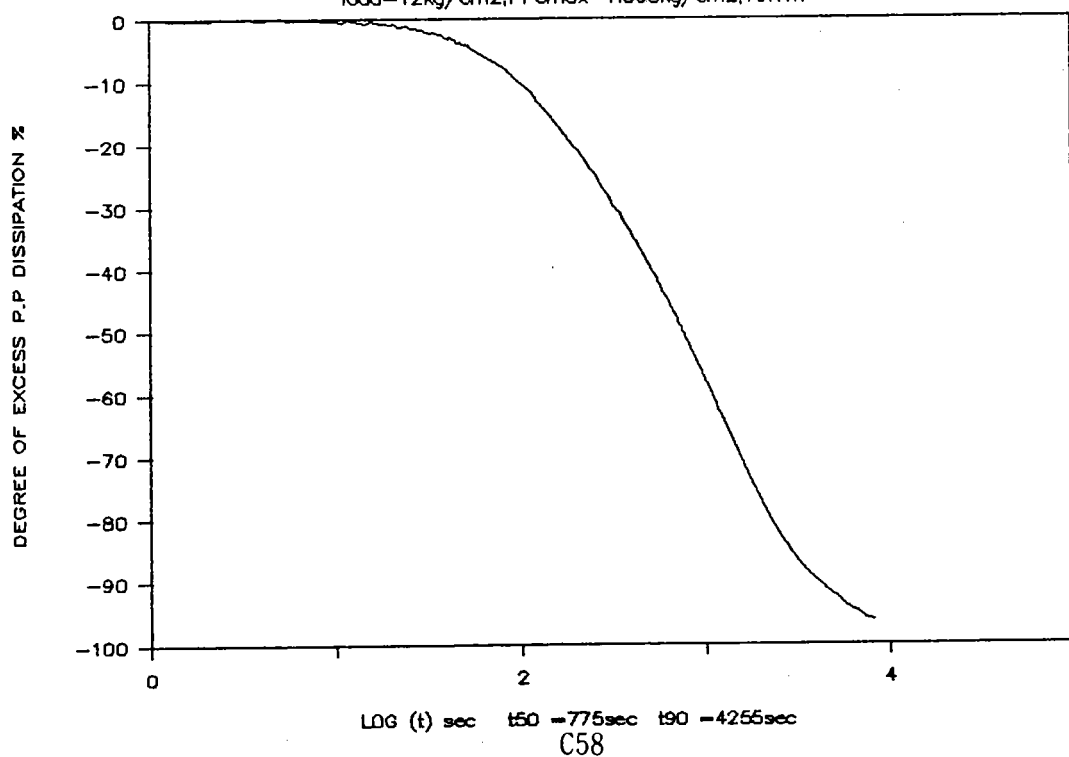
YUNG-AN, T-2, F.V, 1-WAY

load=12kg/cm², PP_{emax}=4.095kg/cm², 19.7m



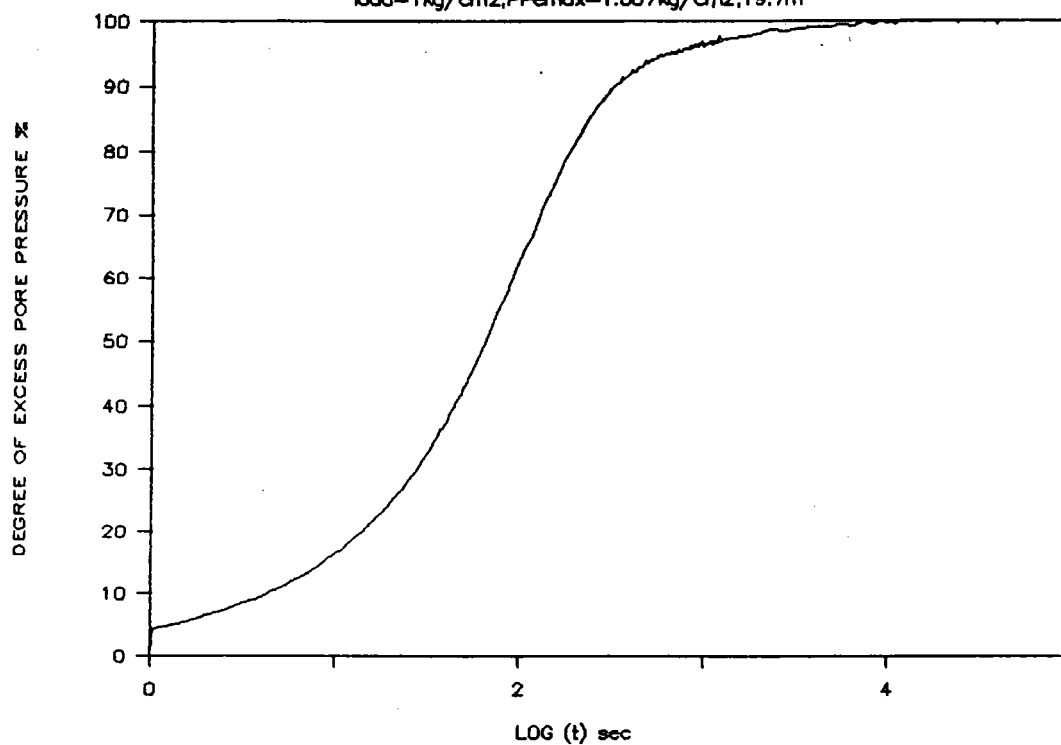
YUNG-AN, T-2, F.V, 1-WAY, C_v=21.273mm²/min

load=12kg/cm², PP_{emax}=4.095kg/cm², 19.7m



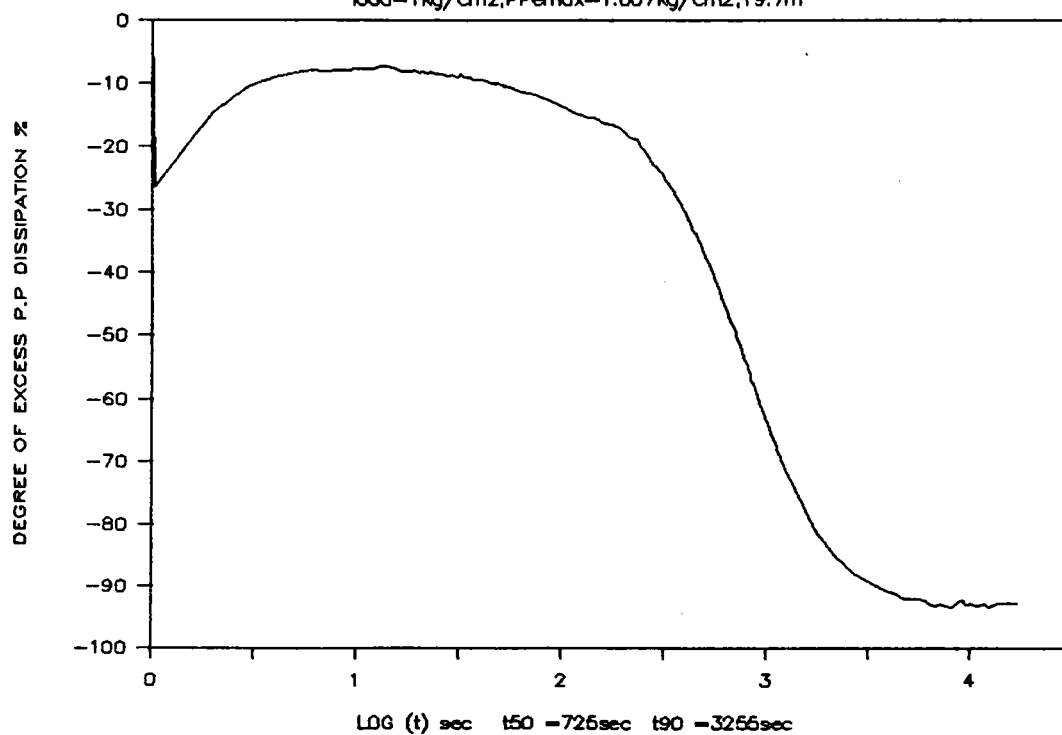
YUNG-AN, T-2, F.H, OUT

load=1kg/cm², PP_{emax}=1.007kg/cm², 19.7m



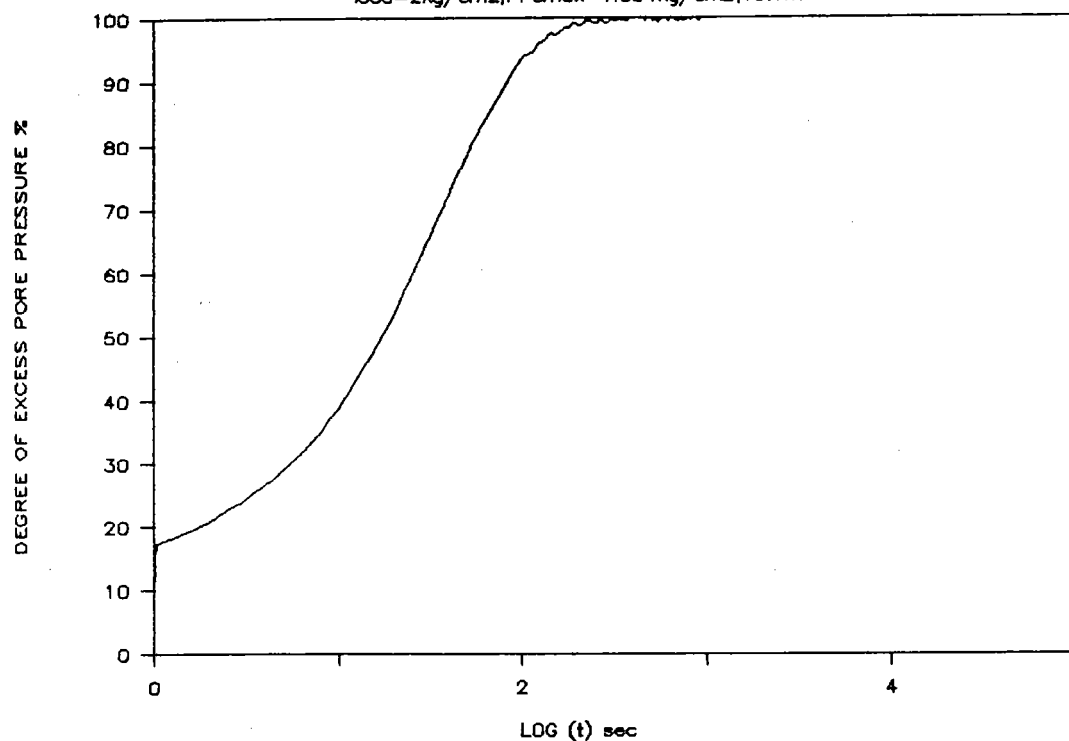
YUNG-AN, T-2, F.H, OUT, Cro=22.051mm²/min

load=1kg/cm², PP_{emax}=1.007kg/cm², 19.7m



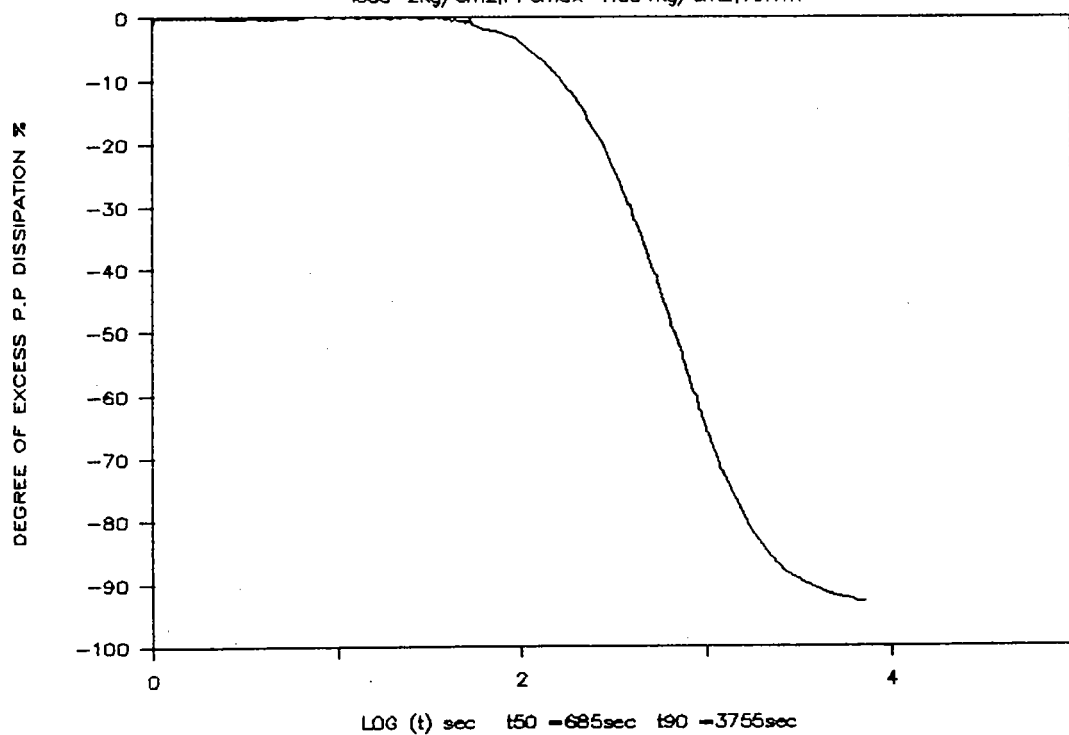
YUNG-AN, T-2, F.H, OUT

load=2kg/cm², PPemax=1.004kg/cm², 19.7m



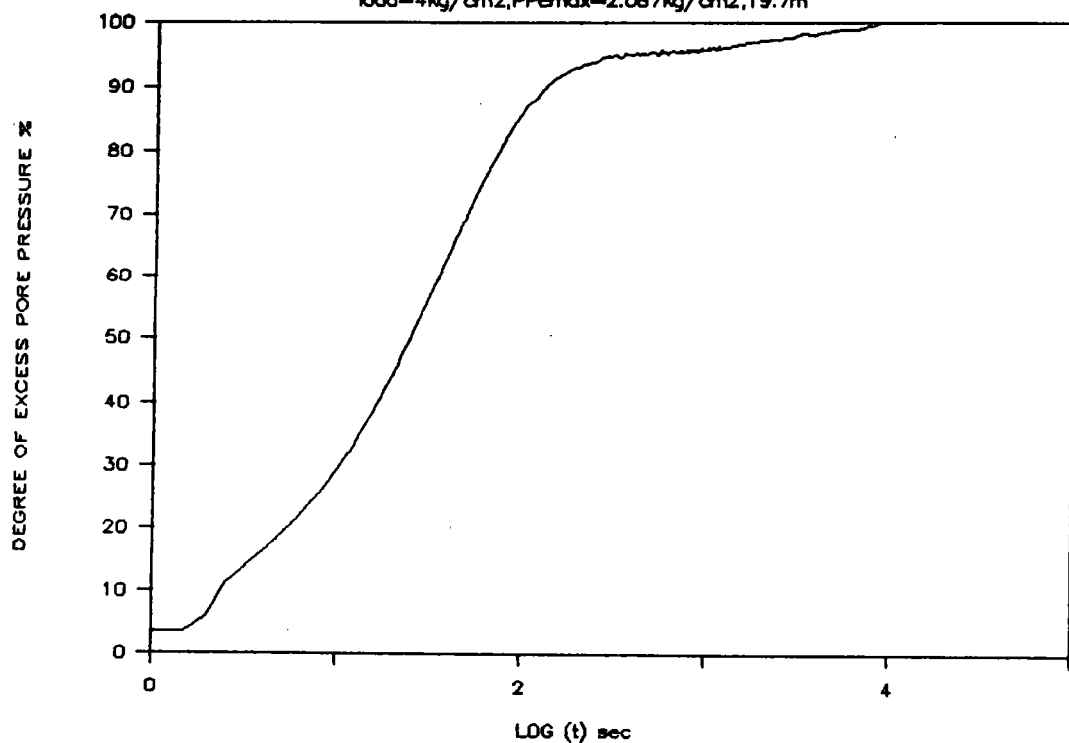
YUNG-AN, T-2, F.H, OUT, Cro=23.339mm²/min

load=2kg/cm², PPemax=1.004kg/cm², 19.7m



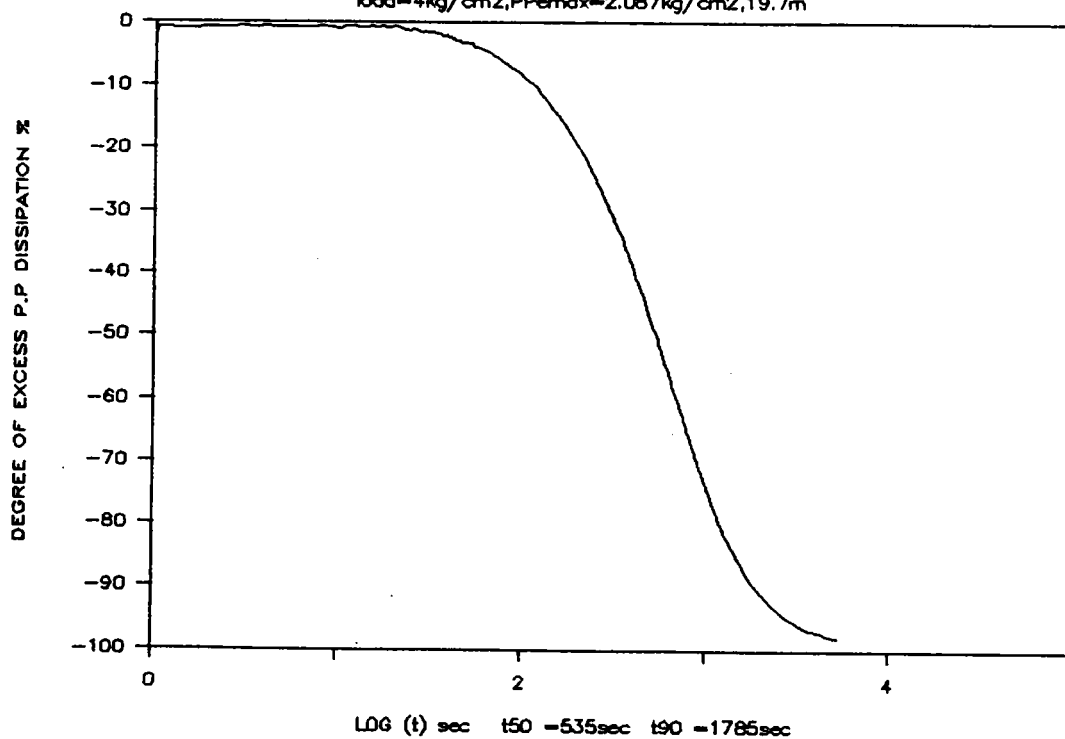
YUNG-AN, T-2, F.H, OUT

load=4kg/cm², PP_{emax}=2.087kg/cm², 19.7m



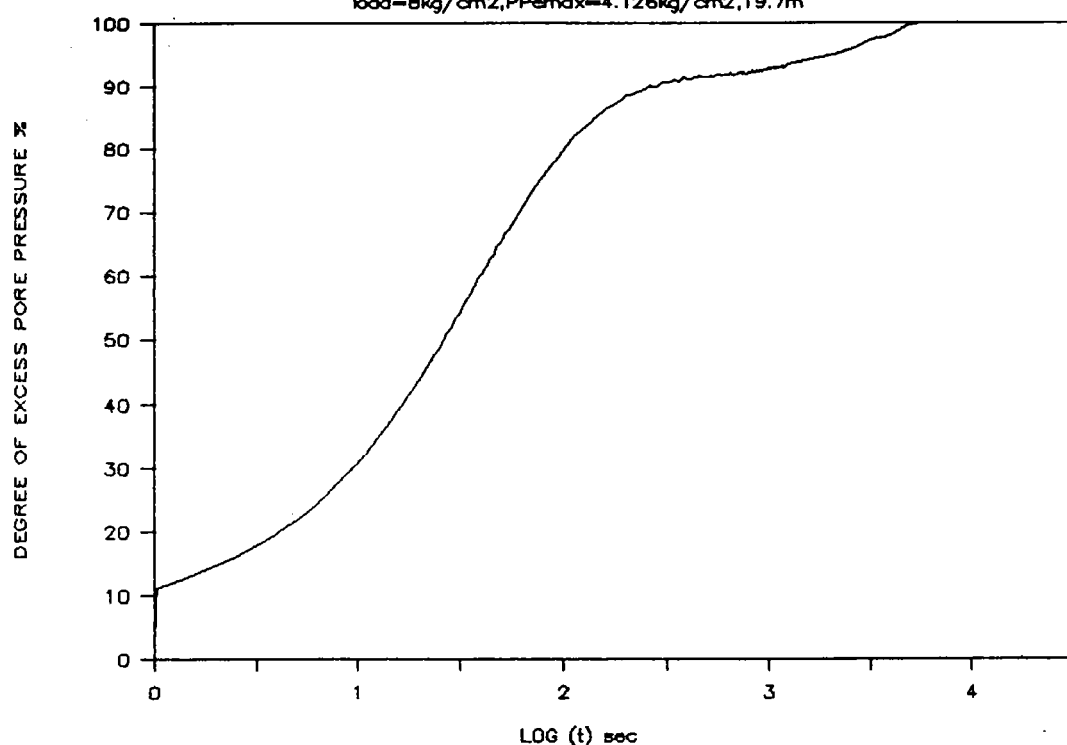
YUNG-AN, T-2, F.H, OUT, Cro=29.882mm²/min

load=4kg/cm², PP_{emax}=2.087kg/cm², 19.7m



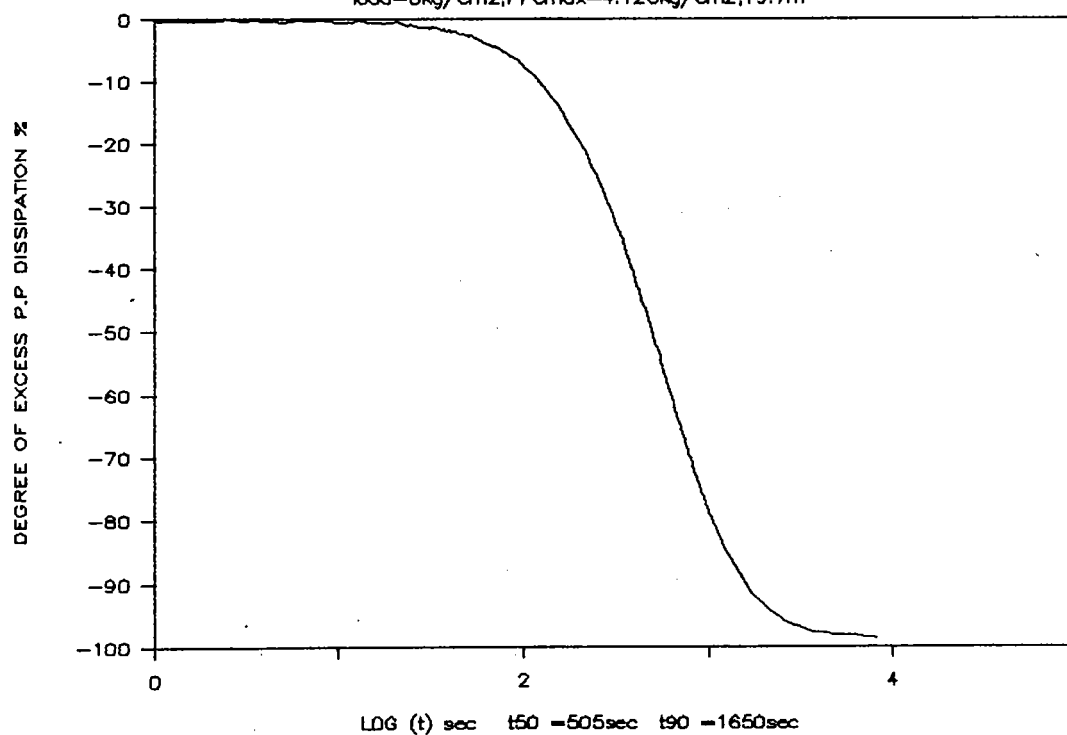
YUNG-AN, T-2, F.H, OUT

load=8kg/cm², PP_{max}=4.126kg/cm², 19.7m



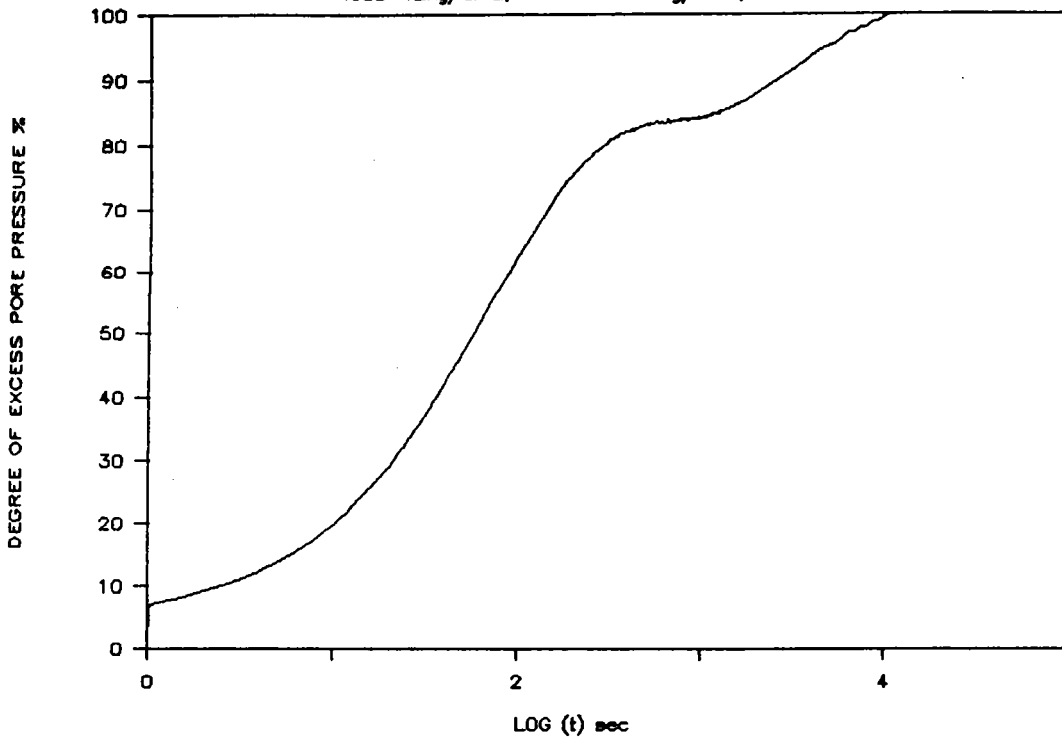
YUNG-AN, F.H, OUT, Cro=31.657mm²/min

load=8kg/cm², PP_{max}=4.126kg/cm², 19.7m



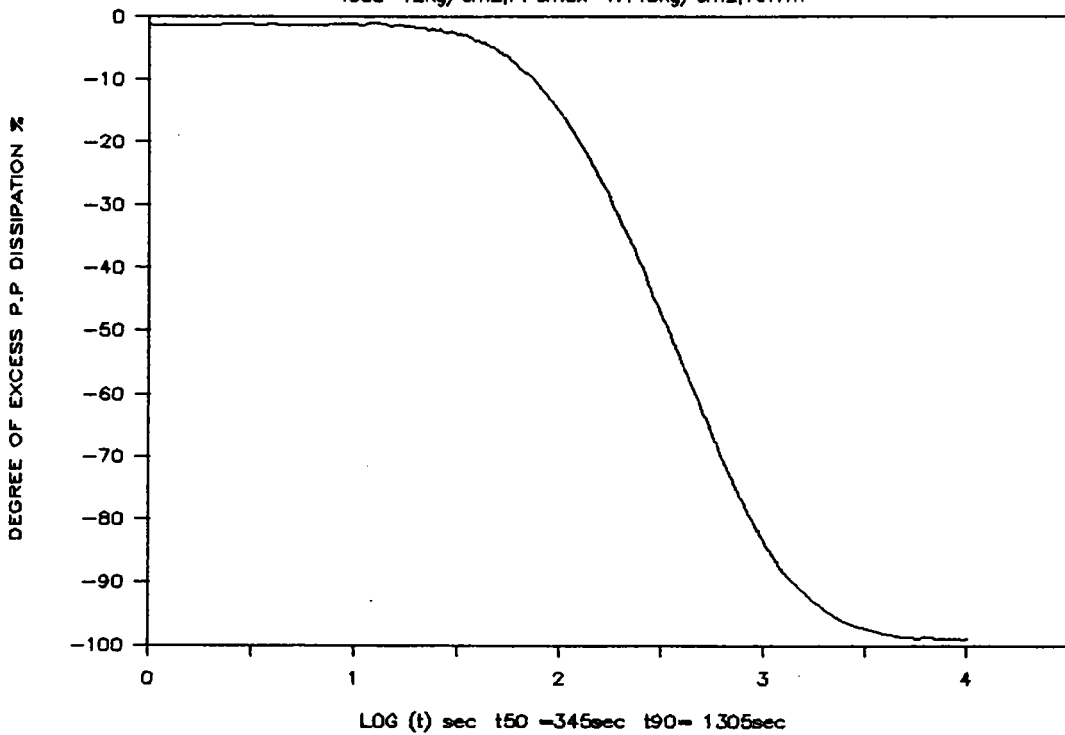
YUNG-AN, T-2, F.H, OUT

load=12kg/cm², PP_{emax}=4.448kg/cm², 19.7m



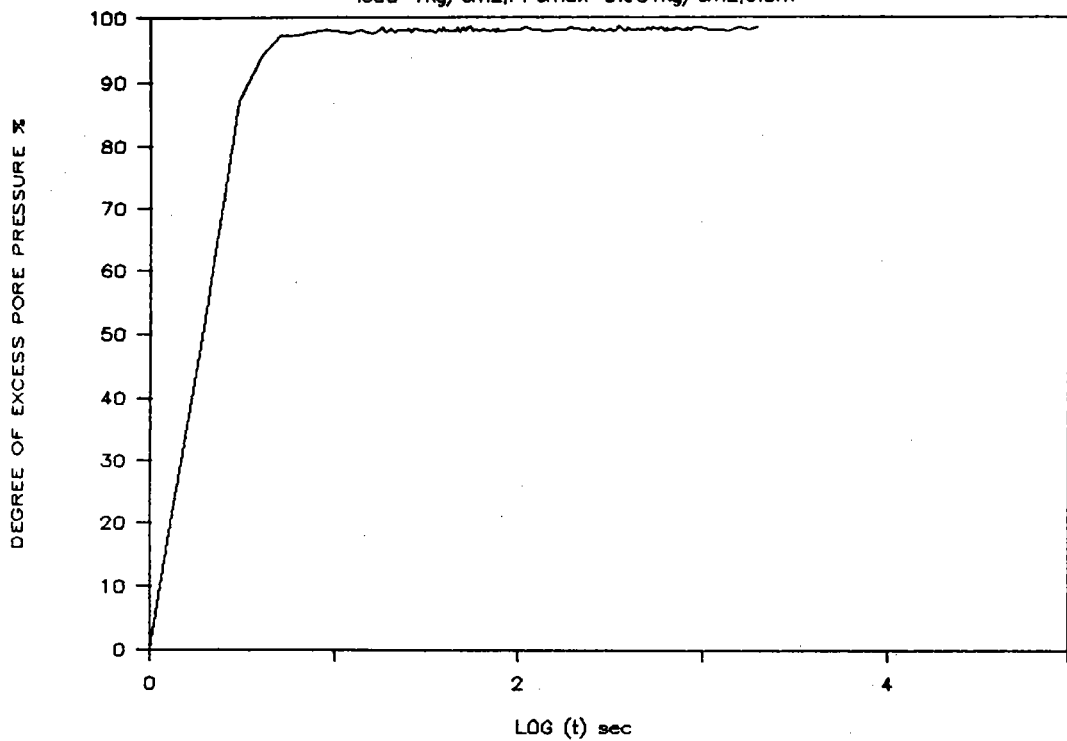
YUNG-AN, T-2, F.H, OUT, Cro=46.339mm²/min

load=12kg/cm², PP_{emax}=4.448kg/cm², 19.7m



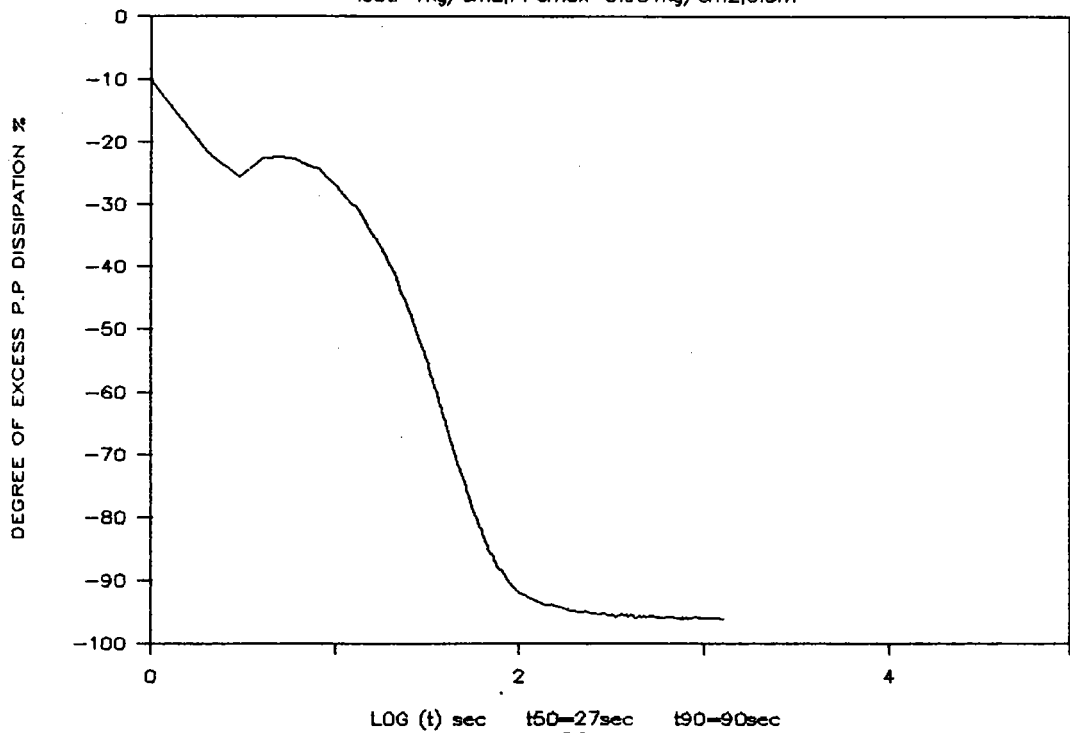
YUNG-AN, T-2, R.H, OUT

load=1 kg/cm², PPemax=0.984 kg/cm², 6.3m



YUNG-AN, T-2, R.H, OUT, Cro=512.176mm²/mim

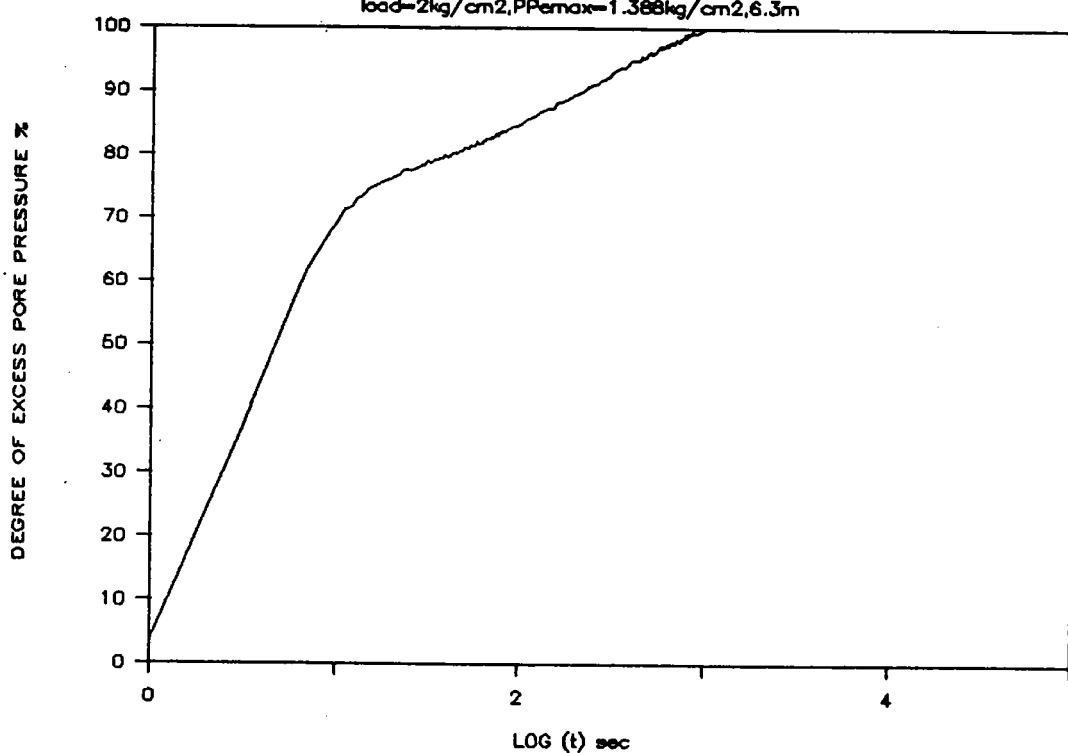
load=1 kg/cm², PPemax=0.984 kg/cm², 6.3m



t50=27sec t90=90sec

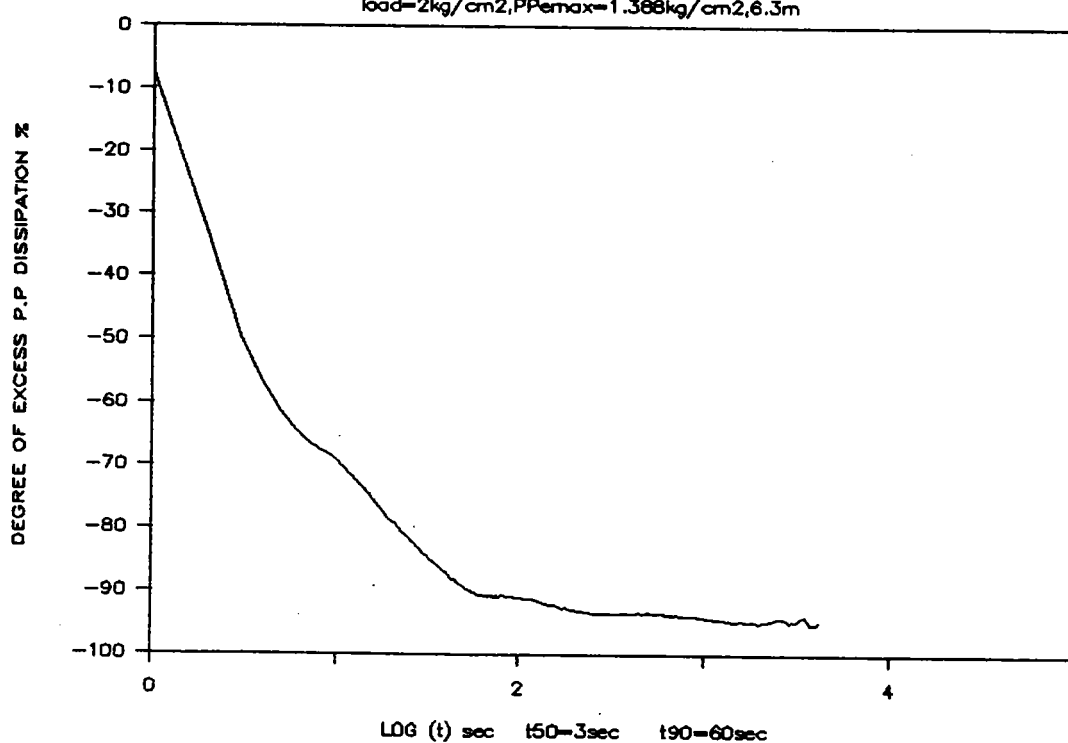
YUNG-AN, T-2, R.H, OUT

load=2kg/cm², PP_{max}=1.388kg/cm², 6.3m



YUNG-AN, T-2, R.H, OUT, Cro=4609.585mm²/min

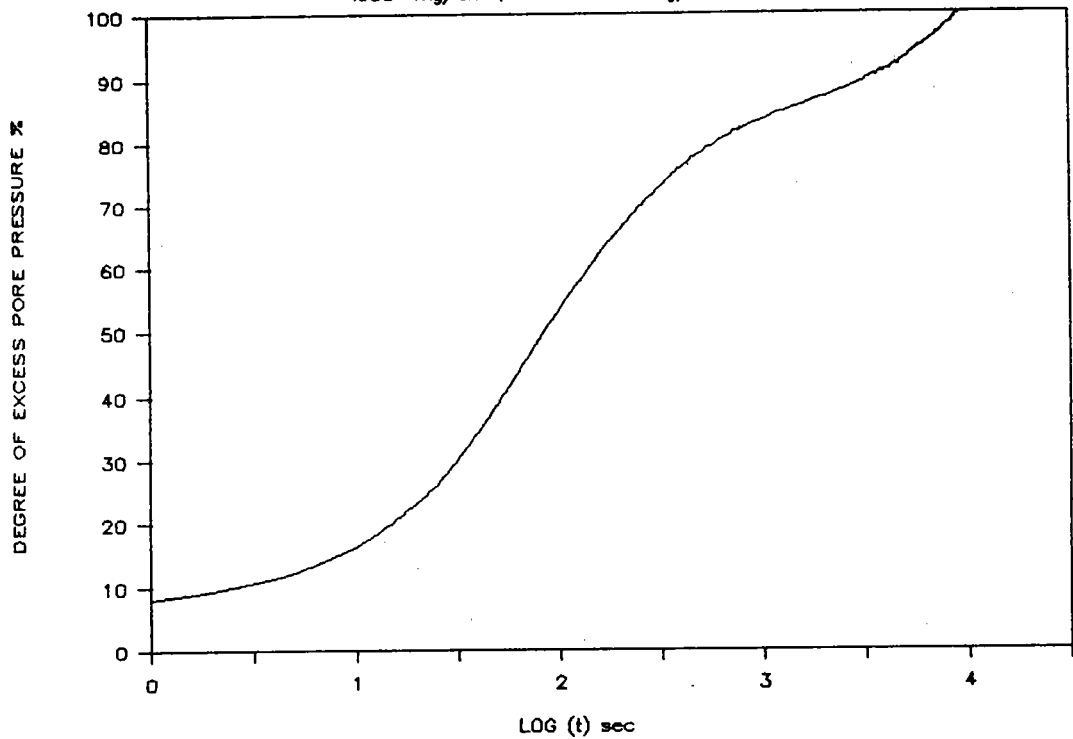
load=2kg/cm², PP_{max}=1.388kg/cm², 6.3m



t50=3sec t90=60sec

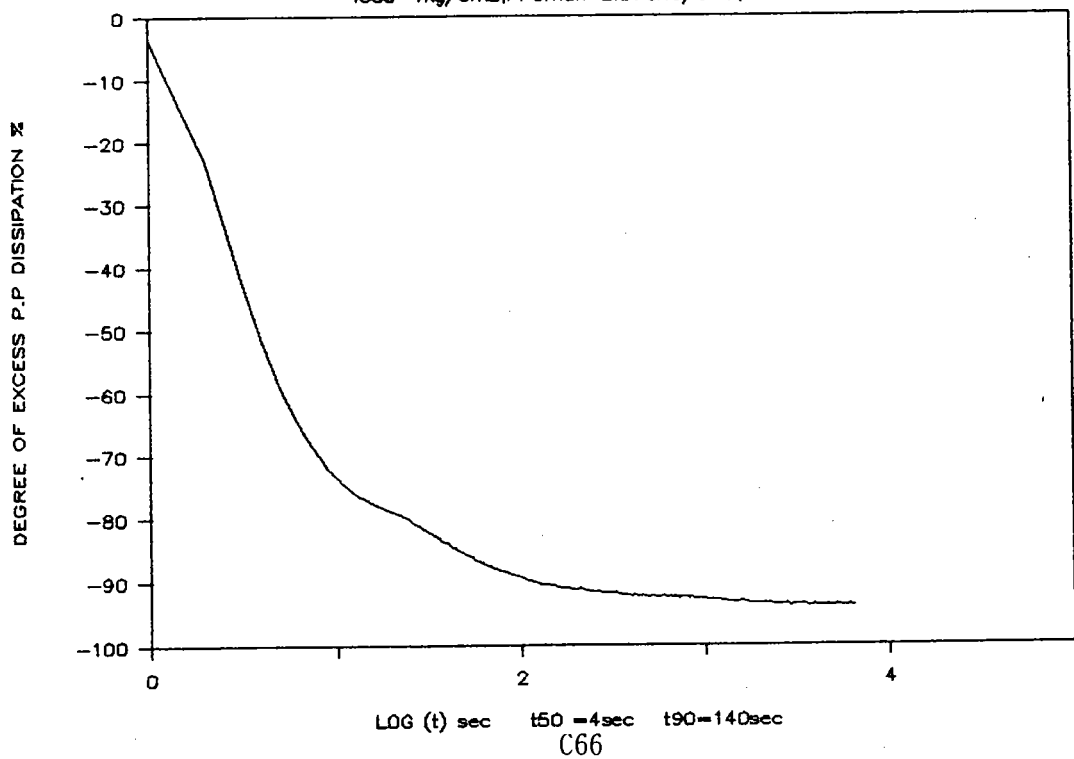
YUNG-AN, T-2, R.H, OUT

load=4kg/cm², PP_{max}=2.076kg/cm², 6.3m



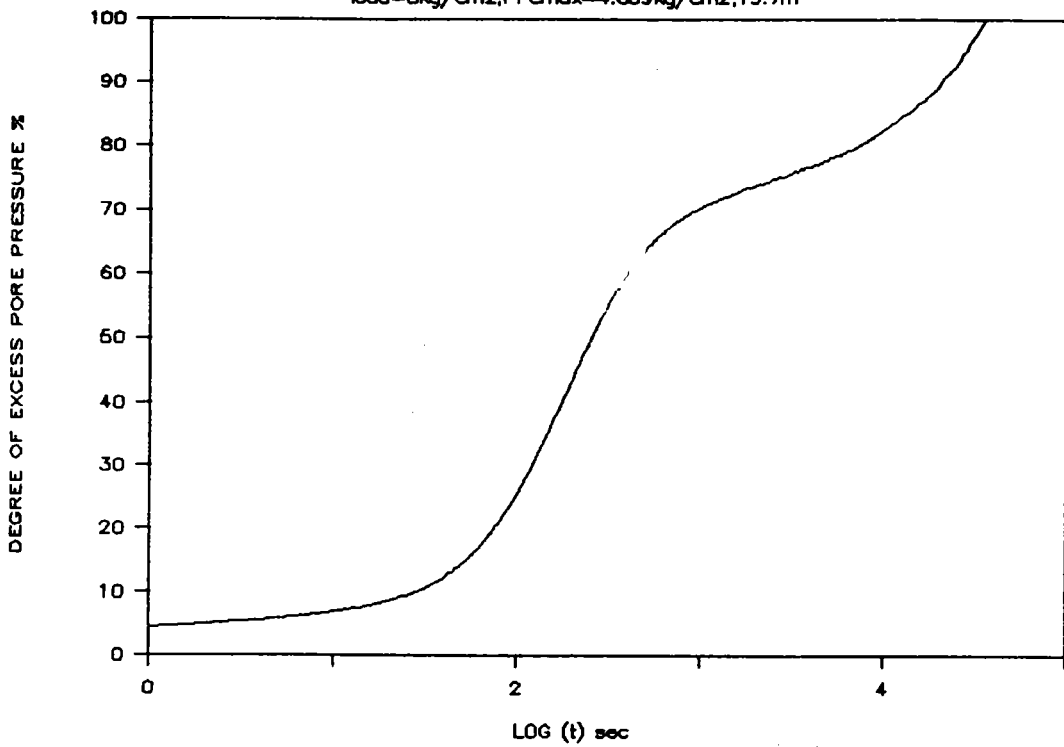
YUNG-AN, T-2, R.H, OUT, Cro=3457.189mm/min

load=4kg/cm², PP_{max}=2.076KG/CM², 6.3M



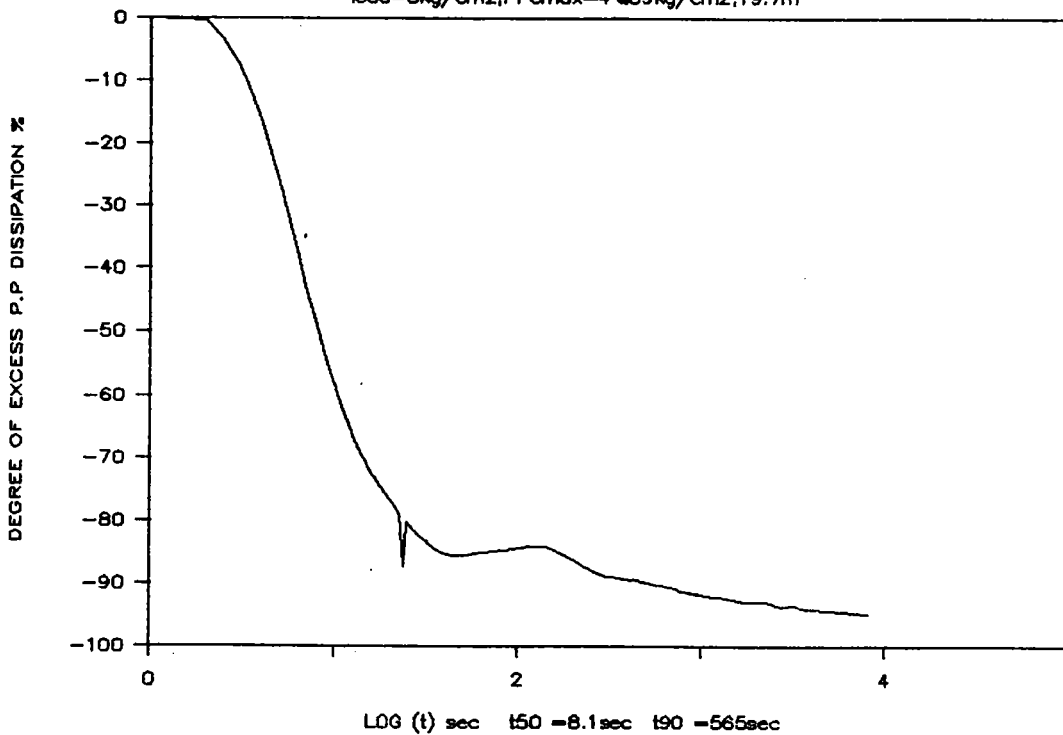
YUNG-AN, T-2, R.H, OUT

load=8kg/cm2, PPemax=4.689kg/cm2, 19.7m



YUNG-AN, T-2, R.H, OUT, Cro=1707.254mm2/min

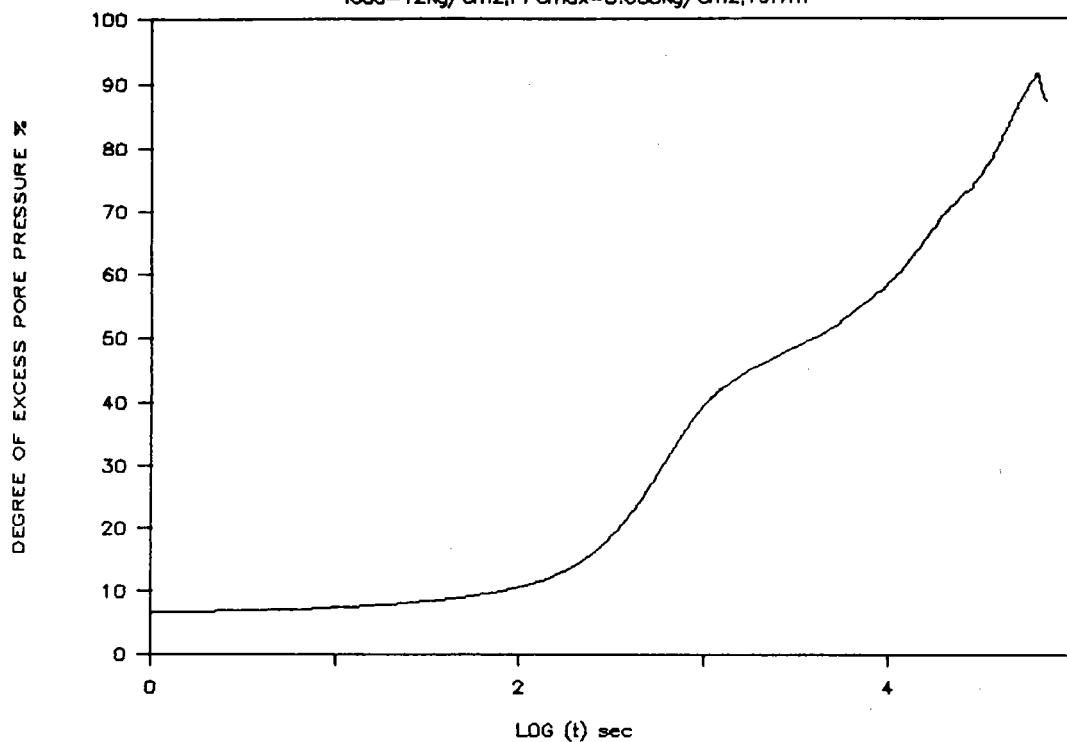
load=8kg/cm2, PPemax=4.689kg/cm2, 19.7m



t50 = 8.1sec t90 = 565sec

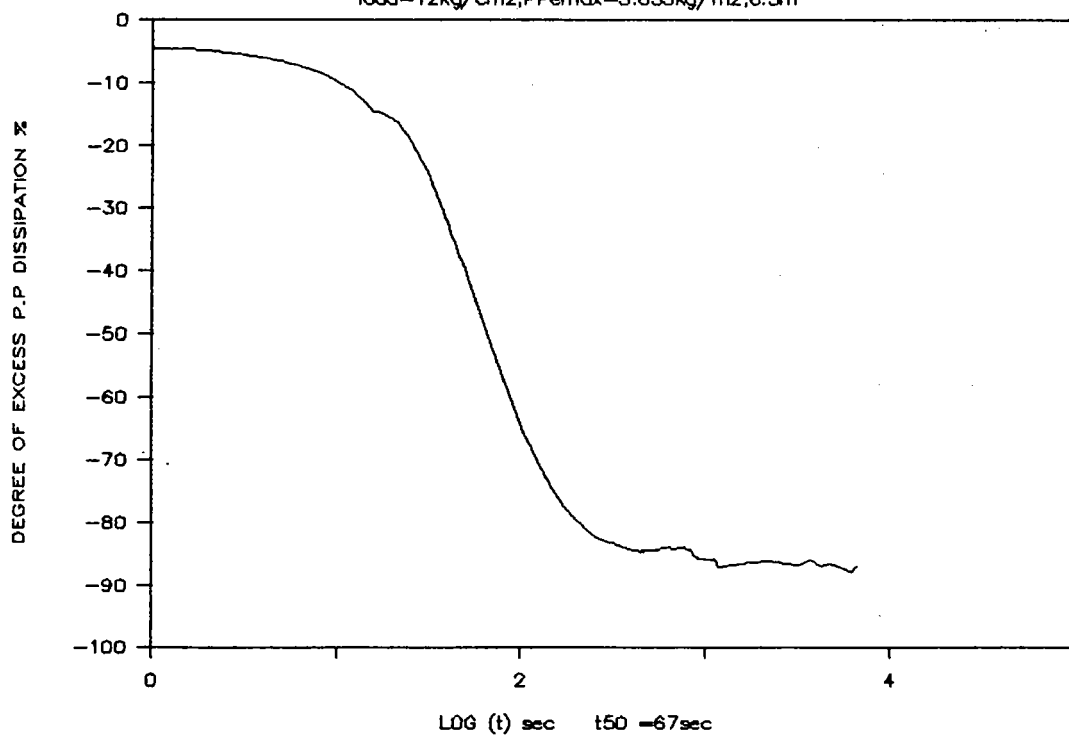
YUNG-AN, T-2 , R.H, OUT

load=12kg/cm², PPemax=3.655kg/cm², 19.7m



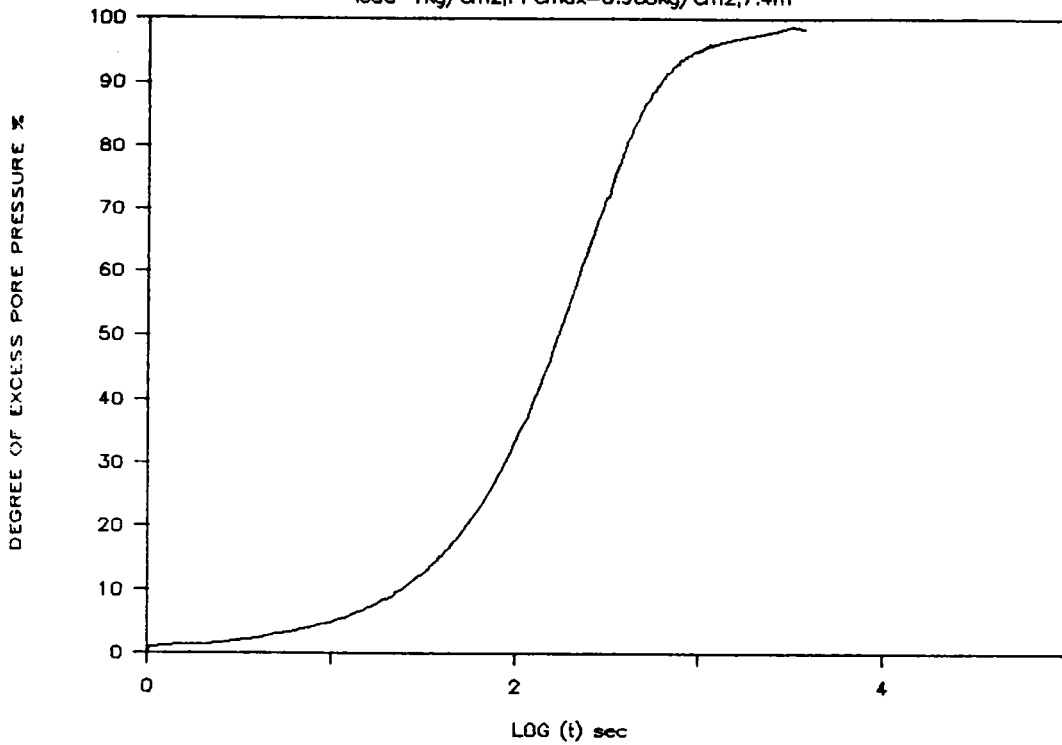
YUNG-AN, T-2, R.H, OUT, Cro=206.399mm²/min

load=12kg/cm², PPemax=3.655kg/m², 6.3m



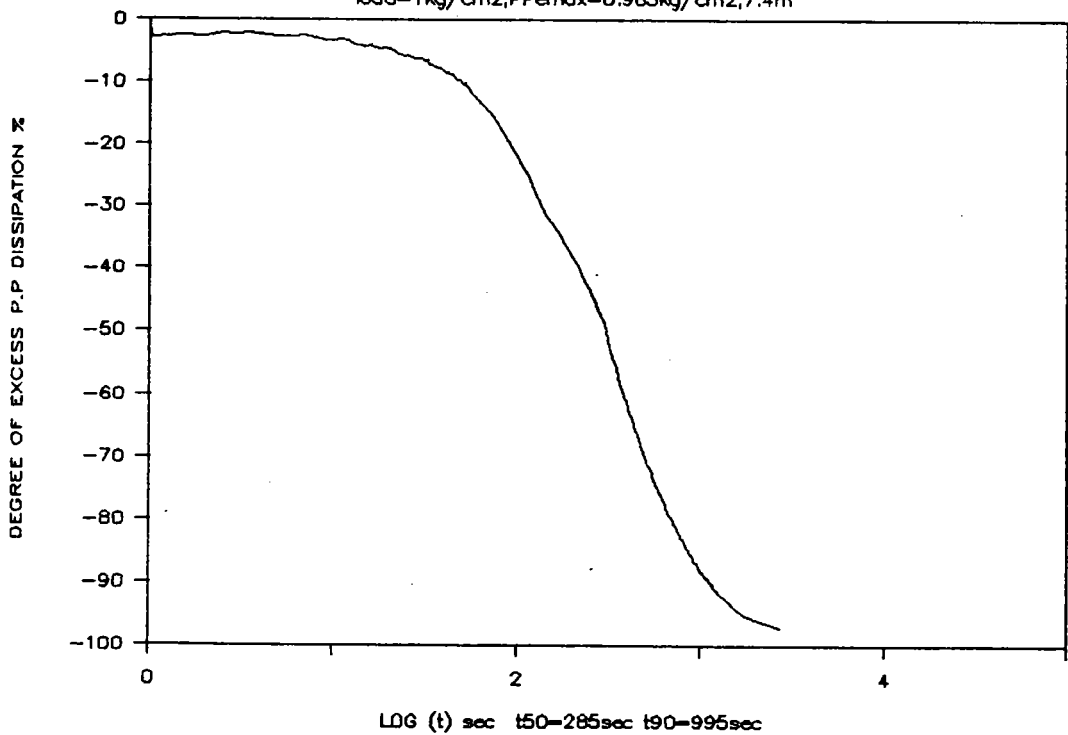
YUNG-AN, T-3, F.V, 1-WAY

load=1kg/cm², PP_{emax}=0.983kg/cm², 7.4m



YUNG-AN, T-3, F.V, 1-WAY, C_v=62.127mm²/min

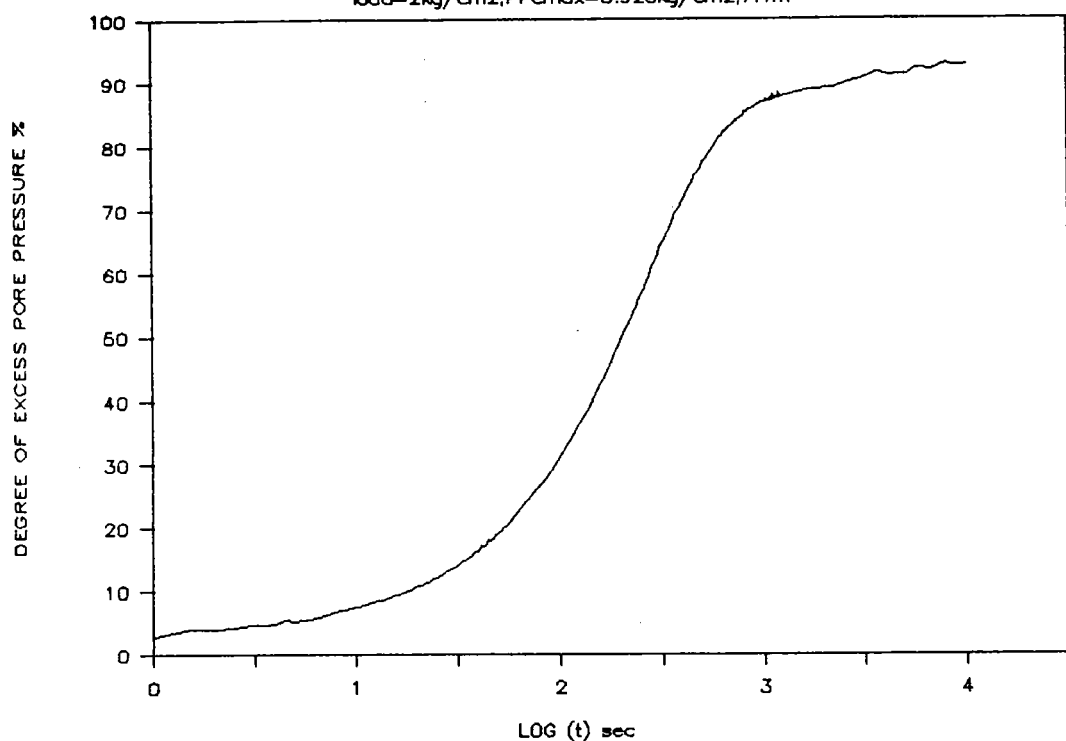
load=1kg/cm², PP_{emax}=0.983kg/cm², 7.4m



t₅₀=285sec t₉₀=995sec

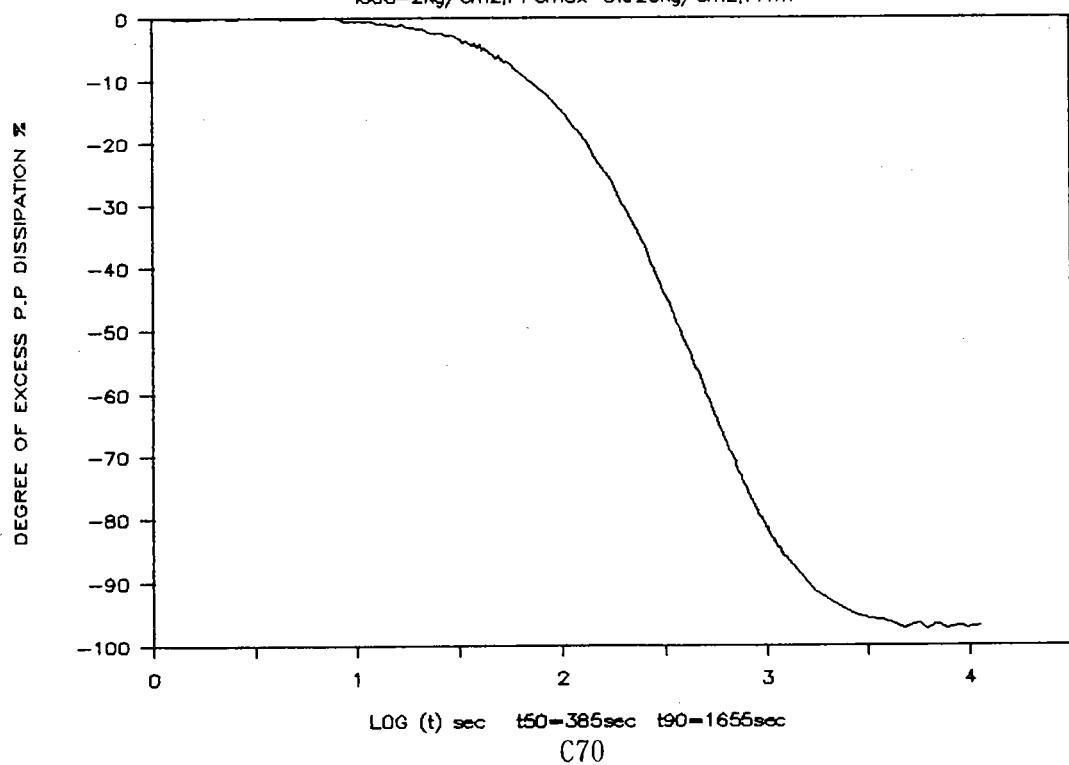
YUNG-AN, T-3, F.V, 1-WAY

load=2kg/cm², PP_{emax}=0.926kg/cm², 7.4m



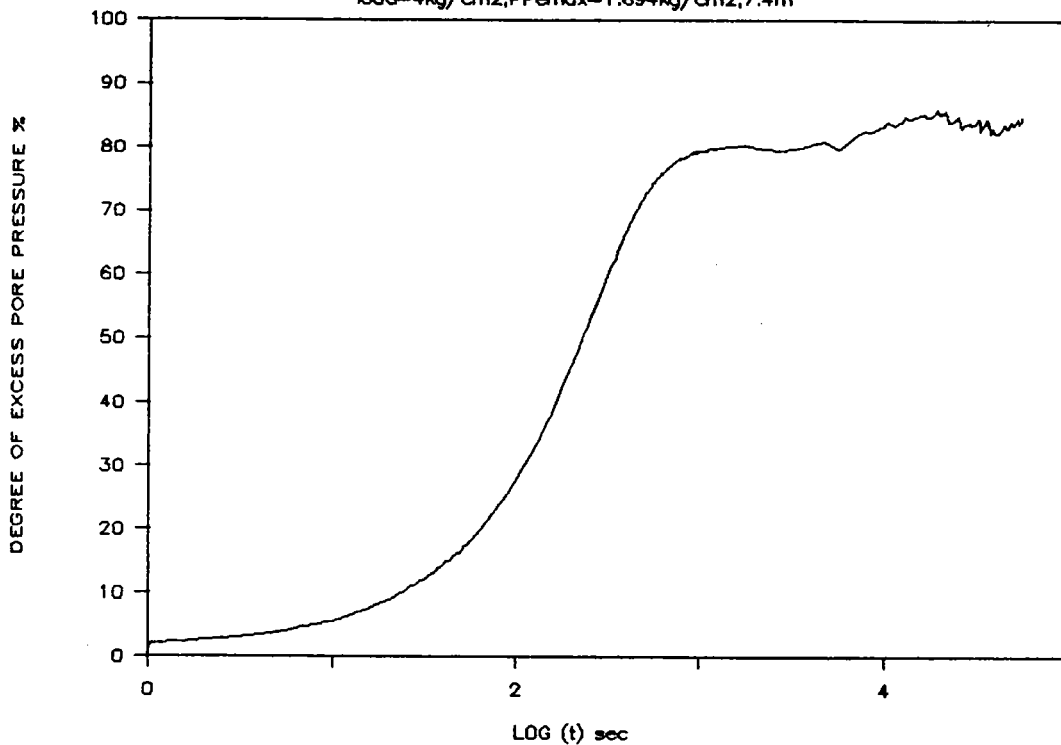
YUNG-AN, T-3, F.V, 1-WAY, C_v=45.487mm²/min

load=2kg/cm², PP_{emax}=0.926kg/cm², 7.4m



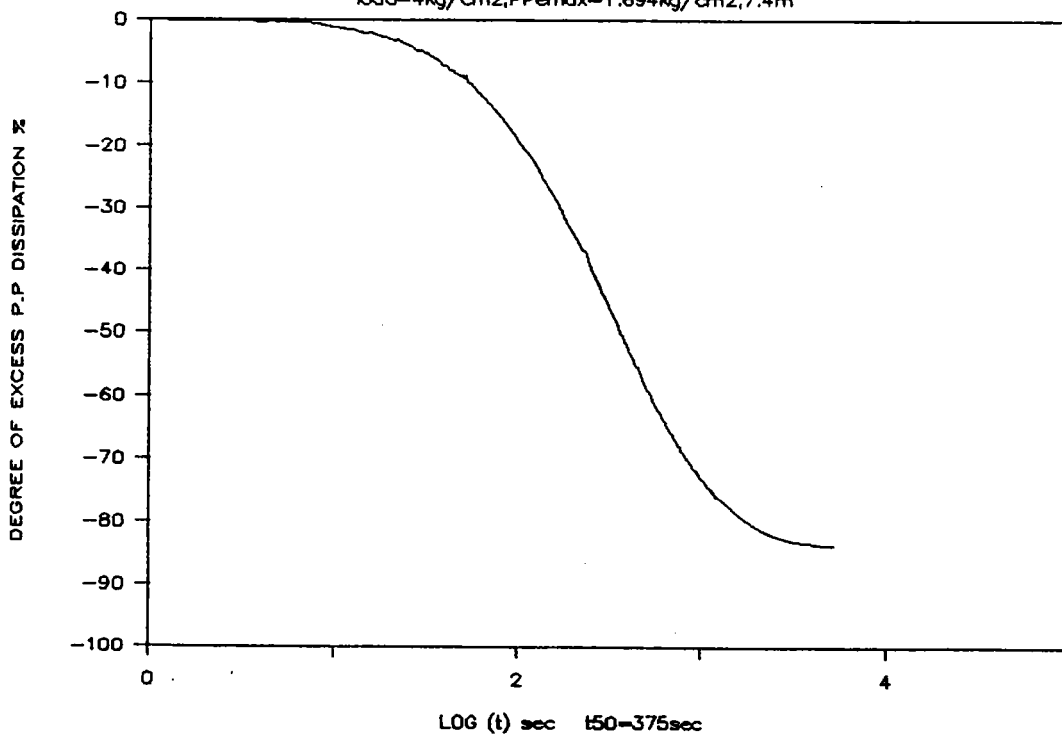
YUNG-AN, T-3, F.V, 1-WAY

load=4kg/cm², PP_{emax}=1.694kg/cm², 7.4m



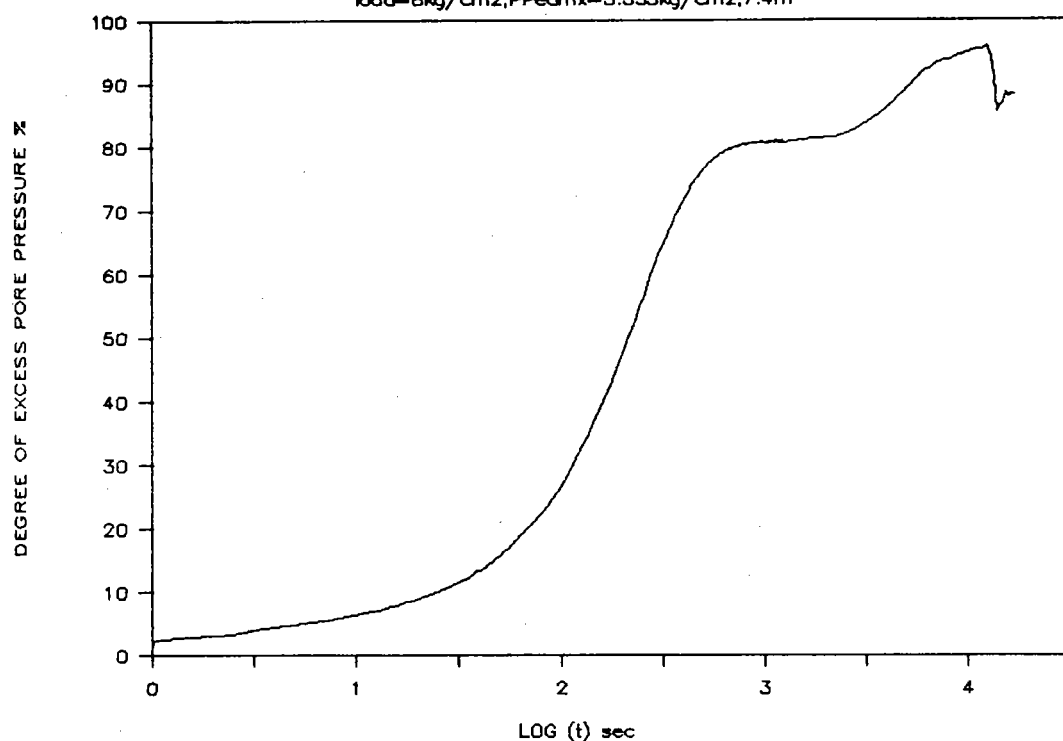
YUNG-AN, T-3, F.V, 1-WAY, C_v=46.053mm²/min

load=4kg/cm², PP_{emax}=1.694kg/cm², 7.4m



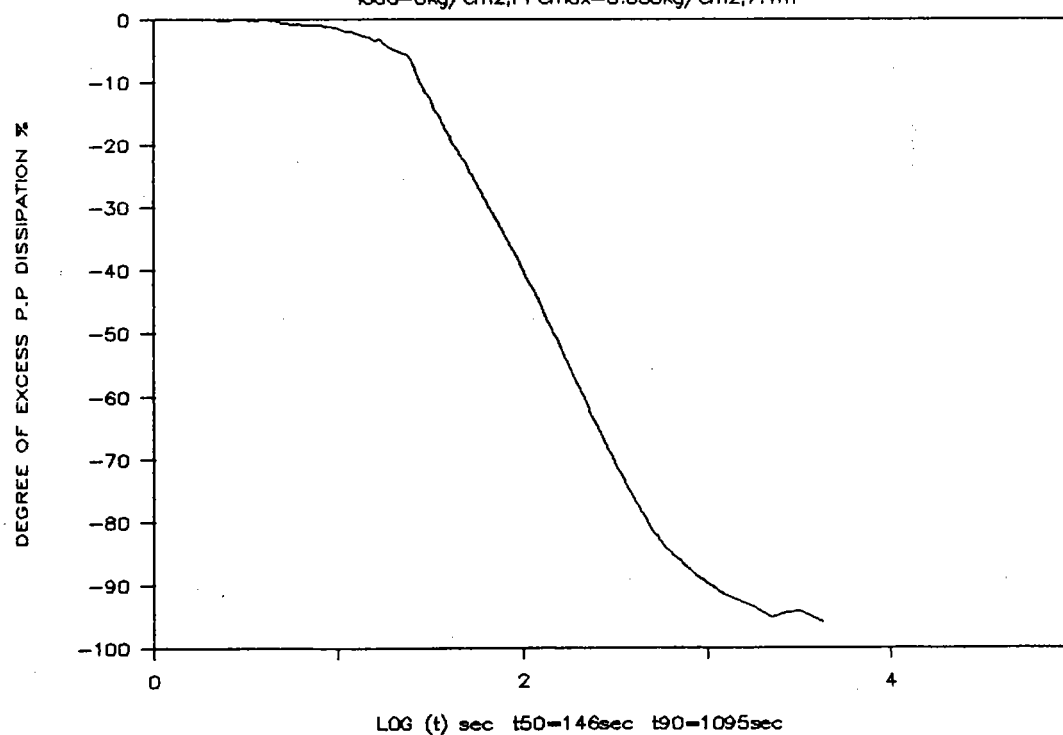
YUNG-AN, T-3, F.V, 1-WAY

load=8kg/cm², PP_{em}x=3.533kg/cm², 7.4m



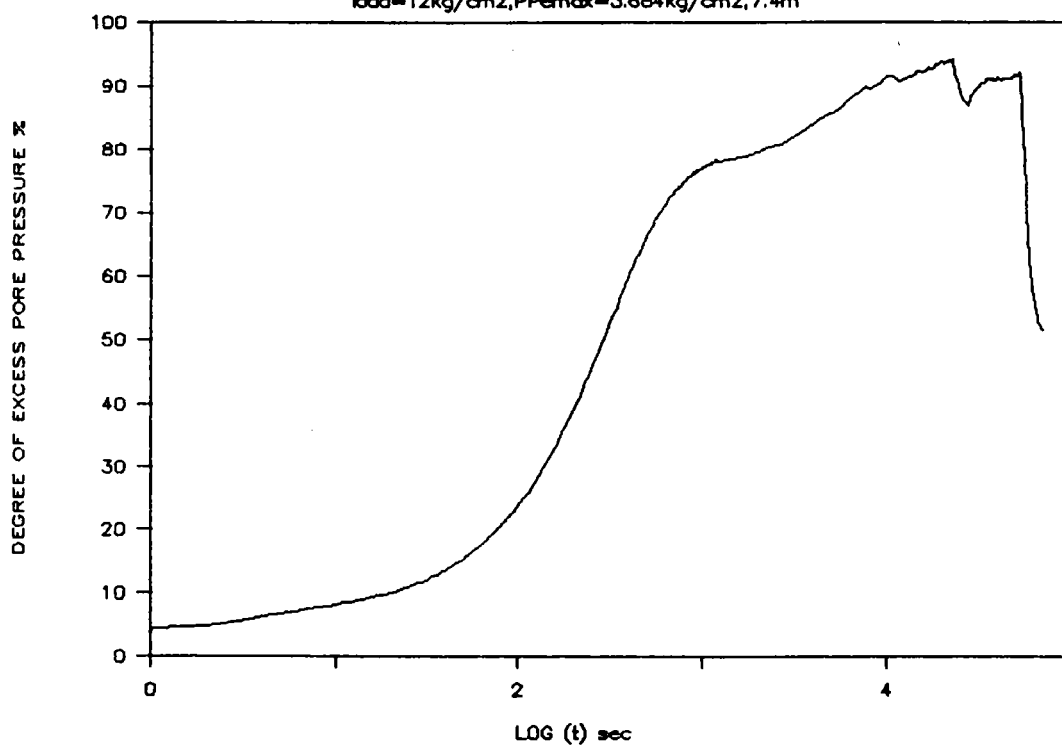
YUNG-AN, T-3, F.V, 1-WAY, C_v=116.226mm²/min

load=8kg/cm², PP_{em}max=3.533kg/cm², 7.4m



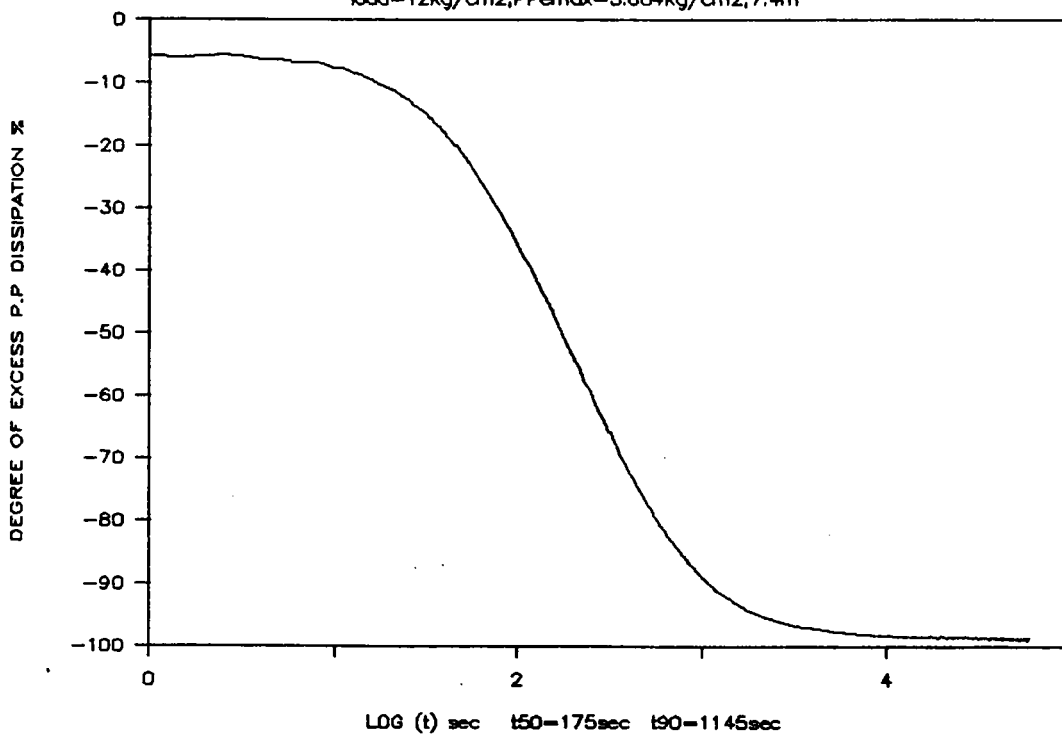
YUNG-AN, T-3, F.V, 1-WAY

load=12kg/cm², PP_{emax}=3.684kg/cm², 7.4m



YUNG-AN, T-3, F.V, 1-WAY, C_v=95.734mm²/min

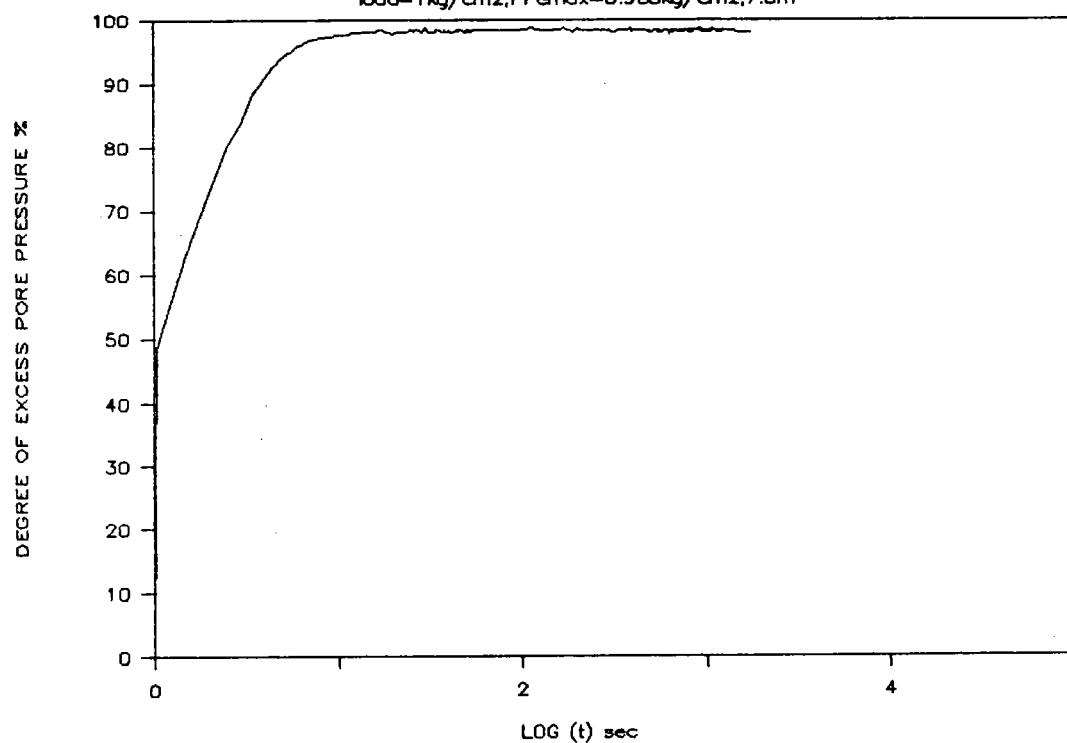
load=12kg/cm², PP_{emax}=3.684kg/cm², 7.4m



t₅₀=175sec t₉₀=1145sec

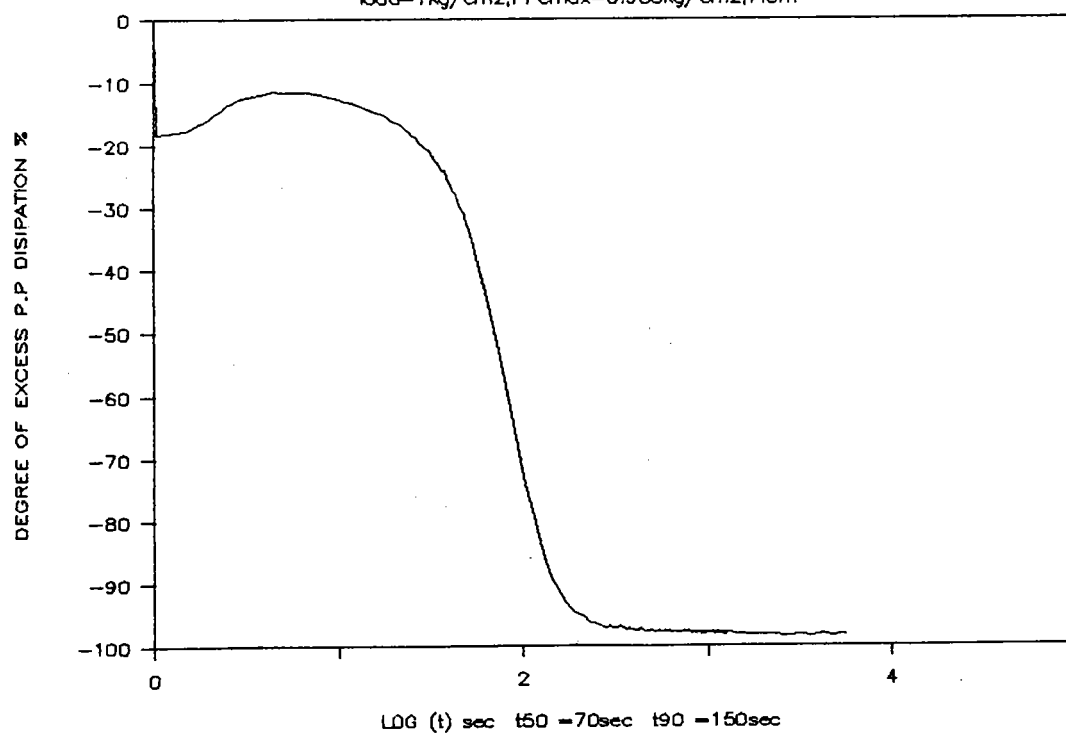
YUNG-AN, T-3, F.H, OUT

load=1 kg/cm², PP_{emax}=0.985 kg/cm², 7.3m



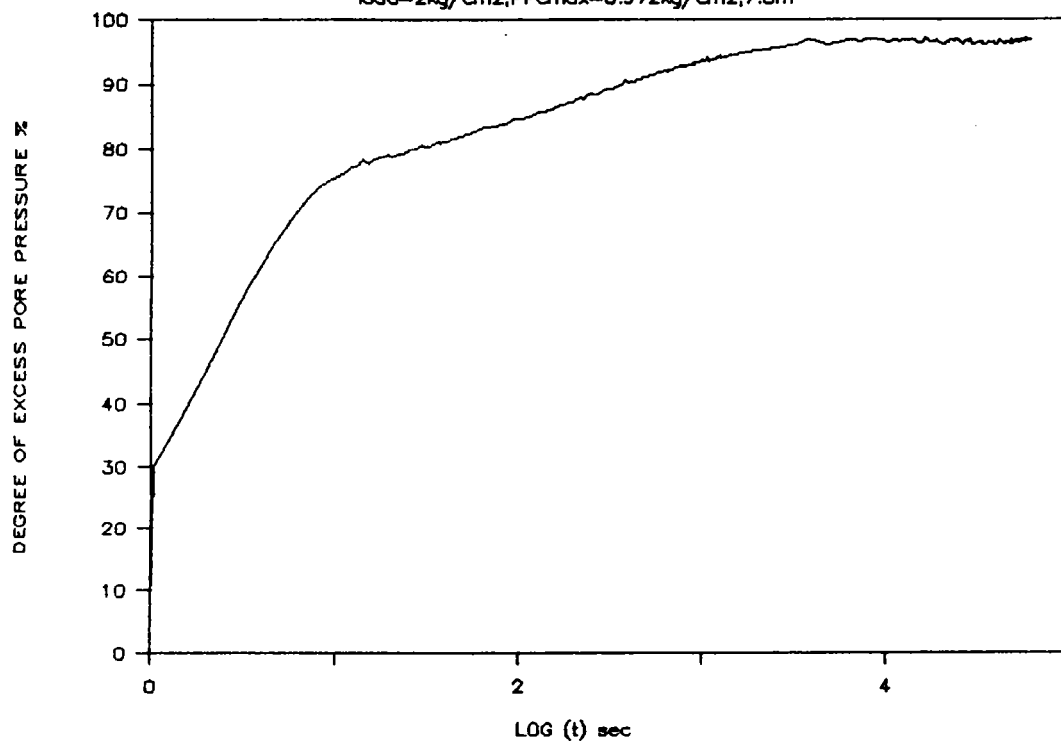
YUNG-AN, T-3, F.H, OUT, Cro=228.386 mm²/min

load=1 kg/cm², PP_{emax}=0.985 kg/cm², 7.3m



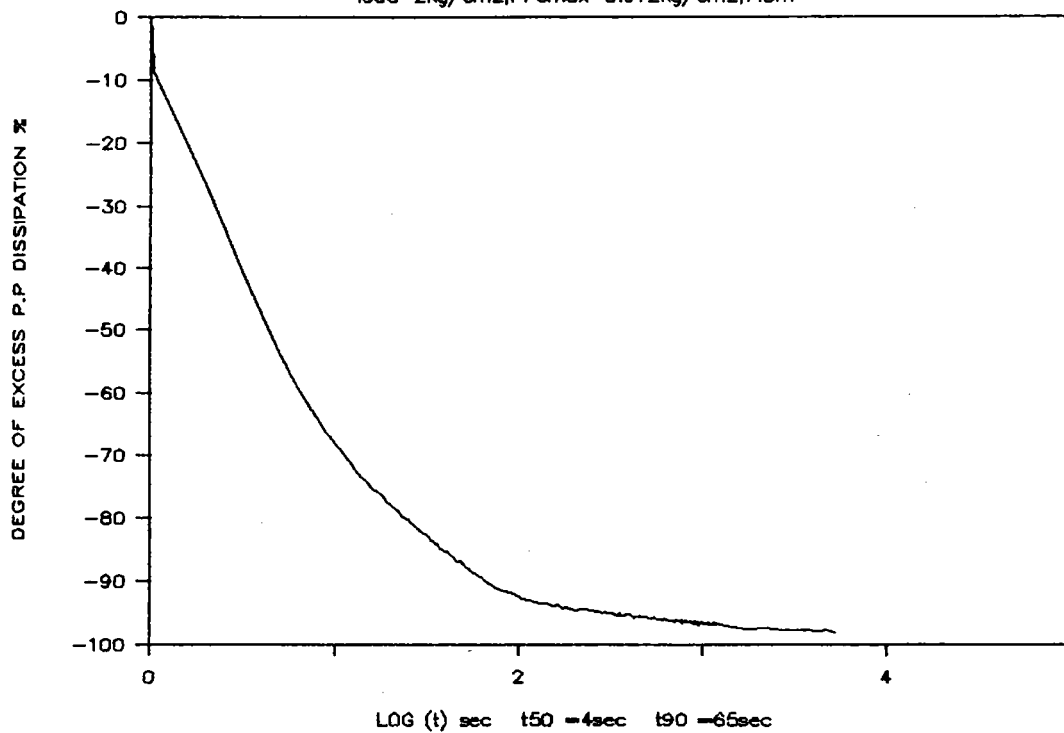
YUNG-AN, T-3, F.H, OUT

load=2kg/cm², PPmax=0.972kg/cm², 7.3m



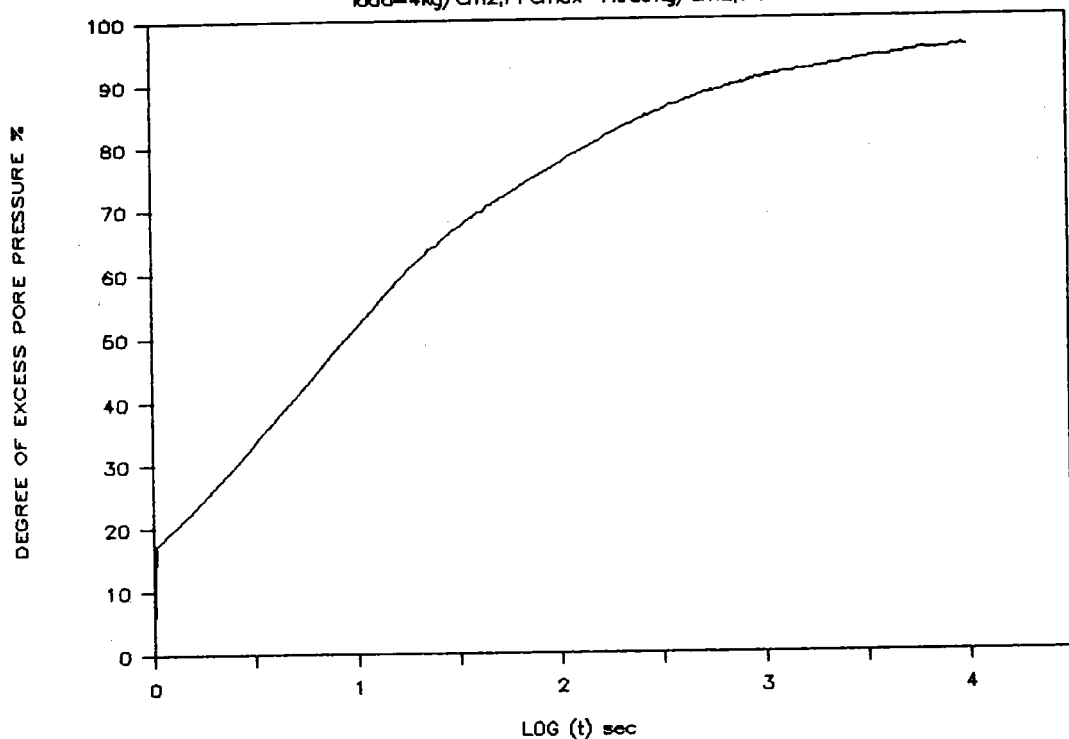
YUNG-AN, T-3, F.H, OUT, Cro=3996.75mm²/min

load=2kg/cm², PPmax=0.972kg/cm², 7.3m



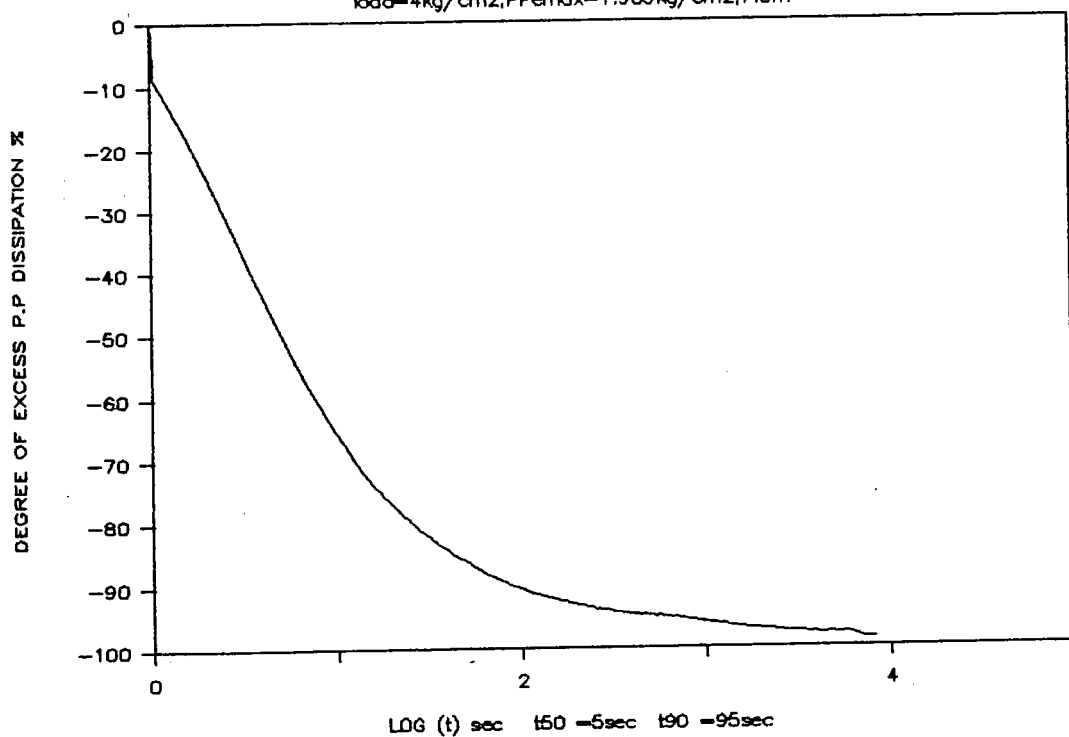
YUNG-AN,T-3,FREE STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=4kg/cm²,PPemax=1.909kg/cm²,7.3m



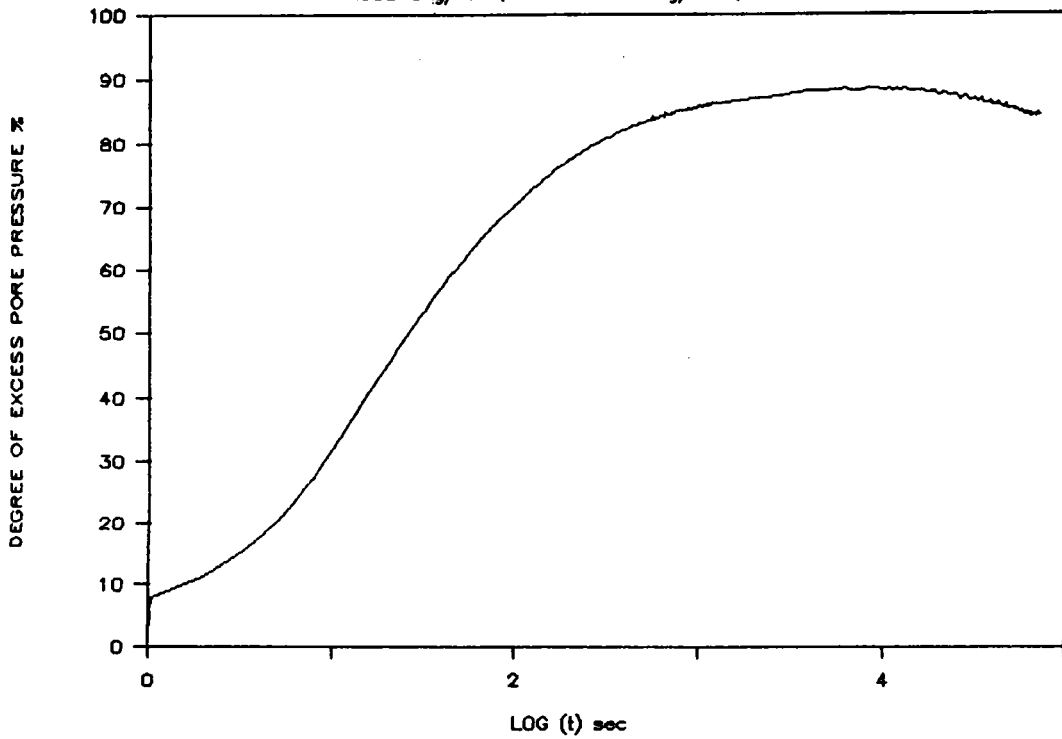
YUNG-AN,T-3,F.H,OUT,Cro=3197.4mm²/min

load=4kg/cm²,PPemax=1.909kg/cm²,7.3m



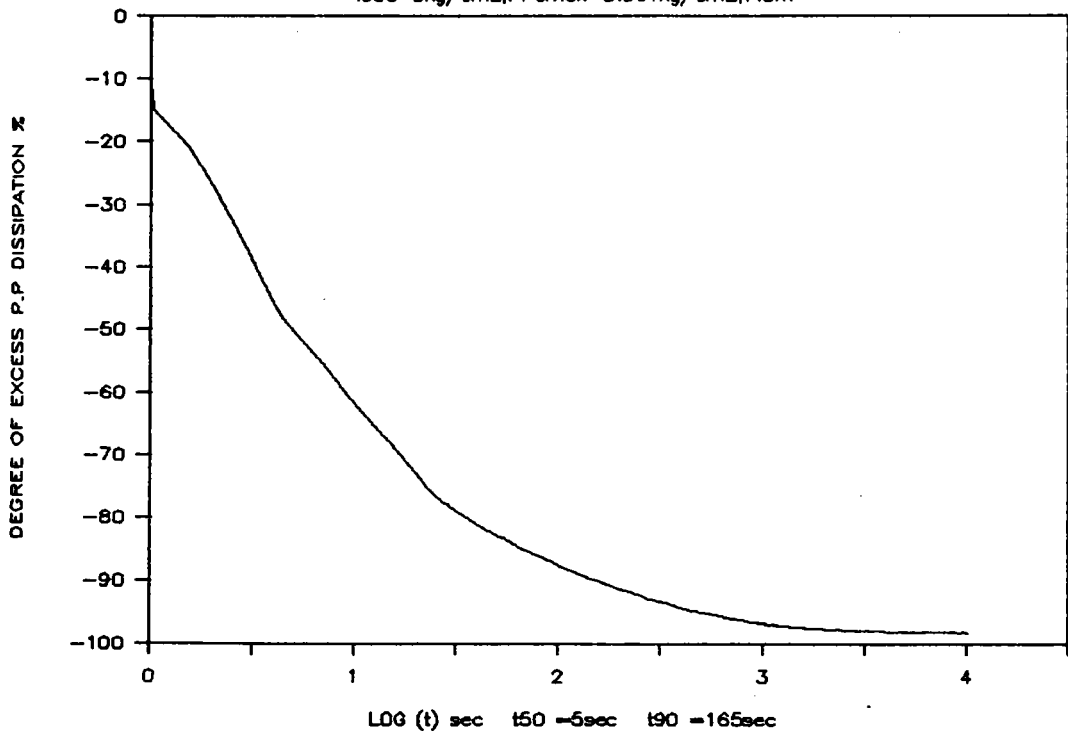
YUNG-AN, T-3 ,F.H ,OUT

load=8kg/cm², PPemax=3.364kg/cm², 7.3m



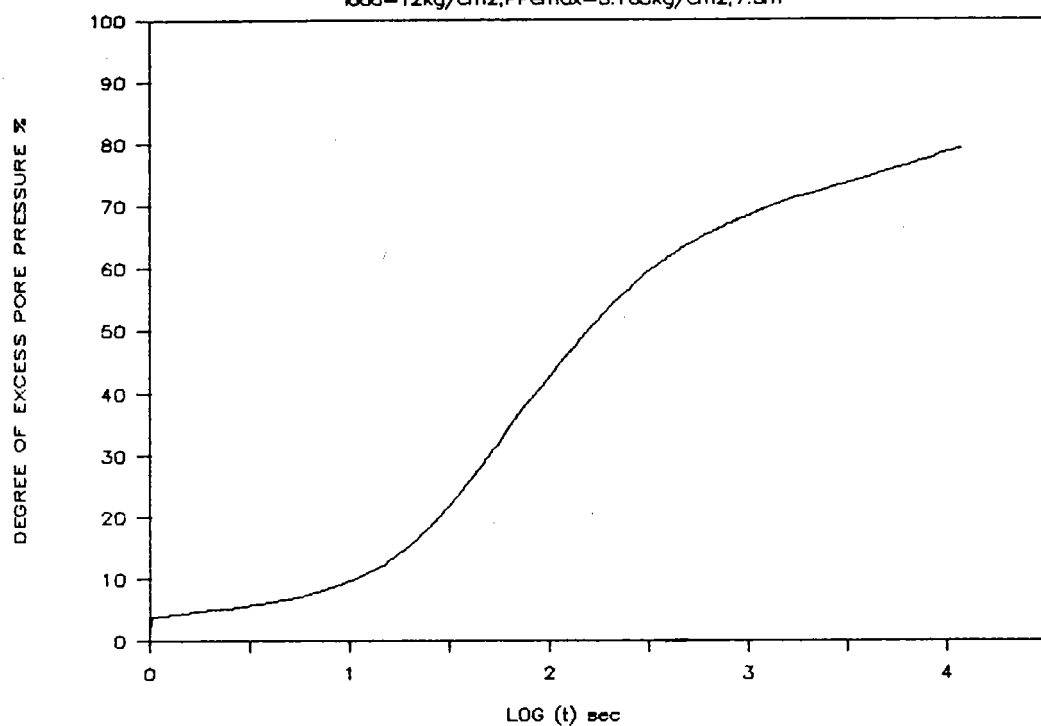
YUNG-AN, T-3, F.H, OUT, Cro=3197.4mm²/min

load=8kg/cm², PPemax=3.364kg/cm², 7.3m



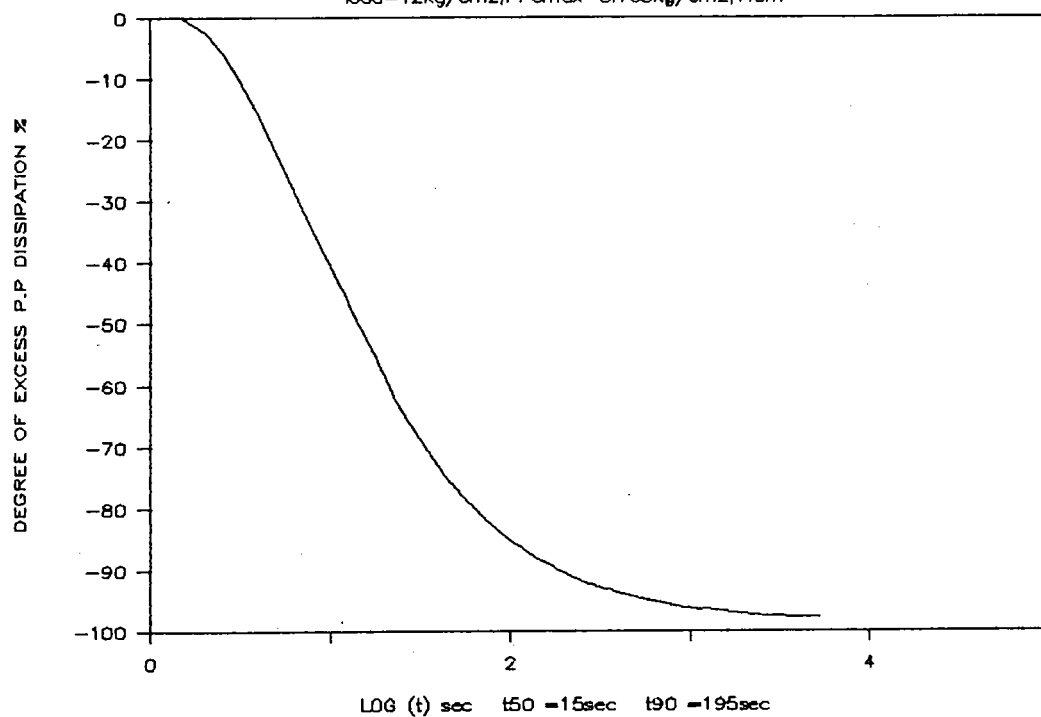
YUNG-AN, T-3 ,F.H ,OUT

load=12kg/cm², PPemax=3.165kg/cm², 7.3m



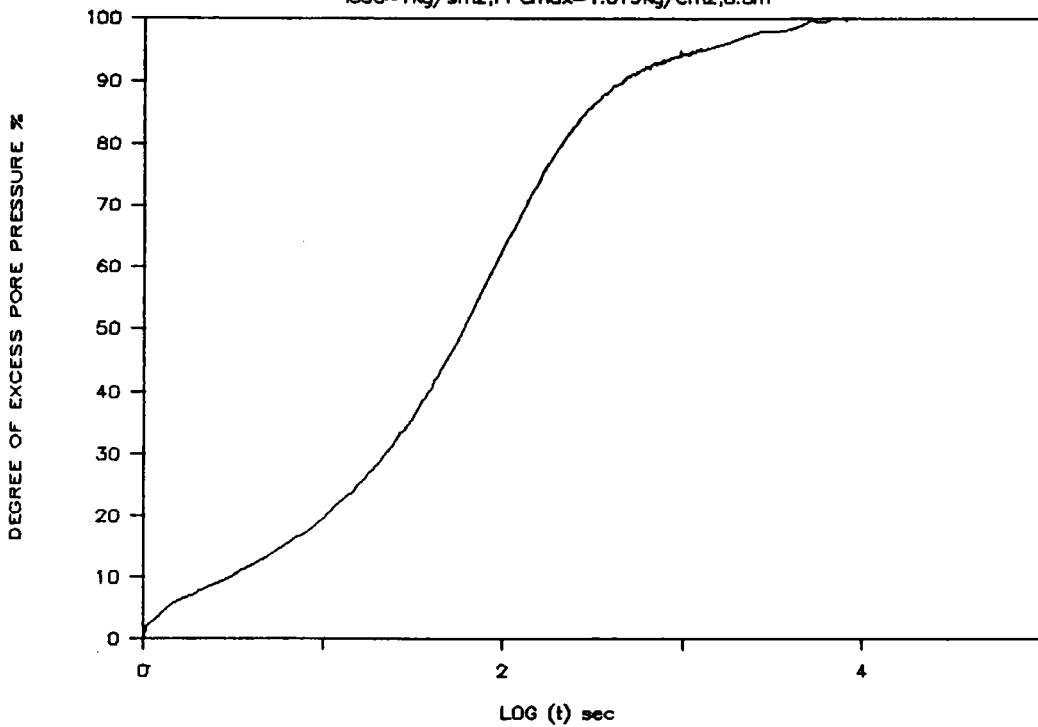
YUNG-AN, T-3, F.H, OUT, Cro=1065.8mm²/min

load=12kg/cm², PPemax=3.165kg/cm², 7.3m



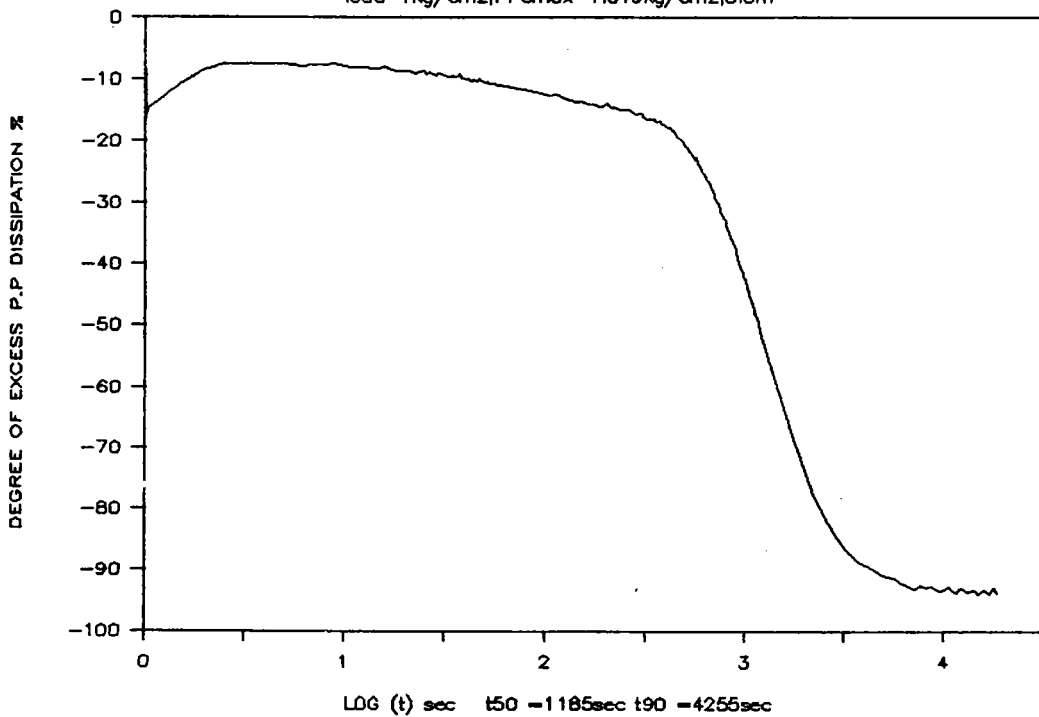
YUNG-AN, T-4, F.V, ONE-WAY

load=1 kg/cm², PP_{max}=1.019 kg/cm², 8.5m



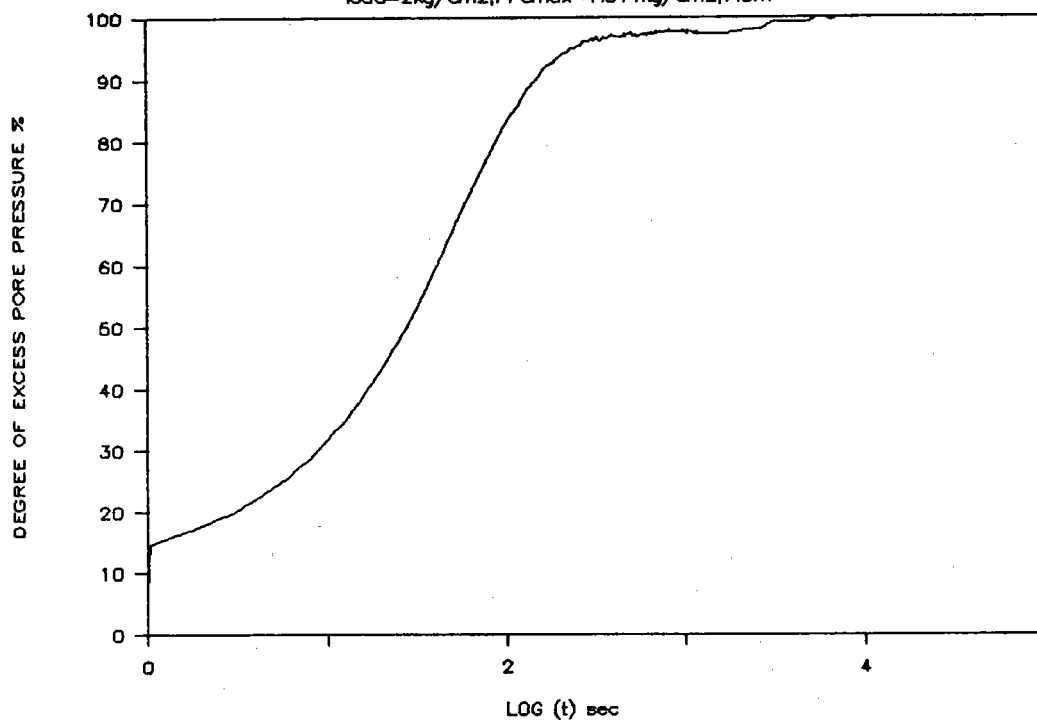
YUNG-AN, T-4, F.V, 1-WAY, C_v=14.972 mm²/min

load=1 kg/cm², PP_{max}=1.019 kg/cm², 8.5m



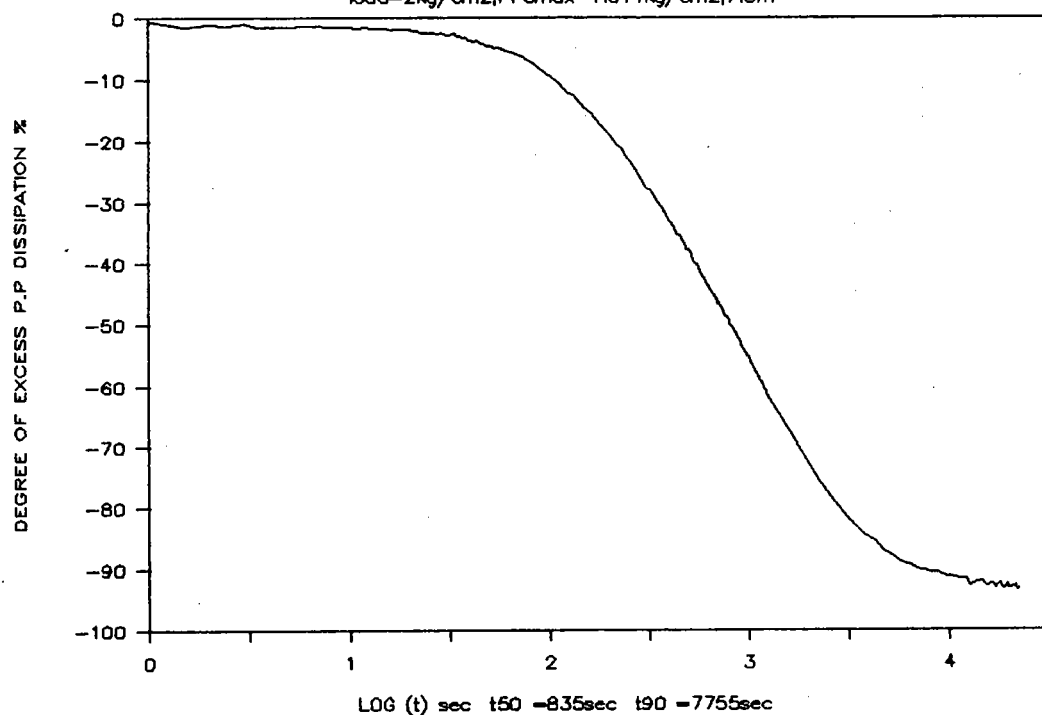
YUNG-AN, T-4, F.V, ONE-WAY

load=2kg/cm², PP_{emax}=1.014kg/cm², 7.3m



YUNG-AN, T-4, F.V, 1-WAY, C_v=21.04kg/cm²

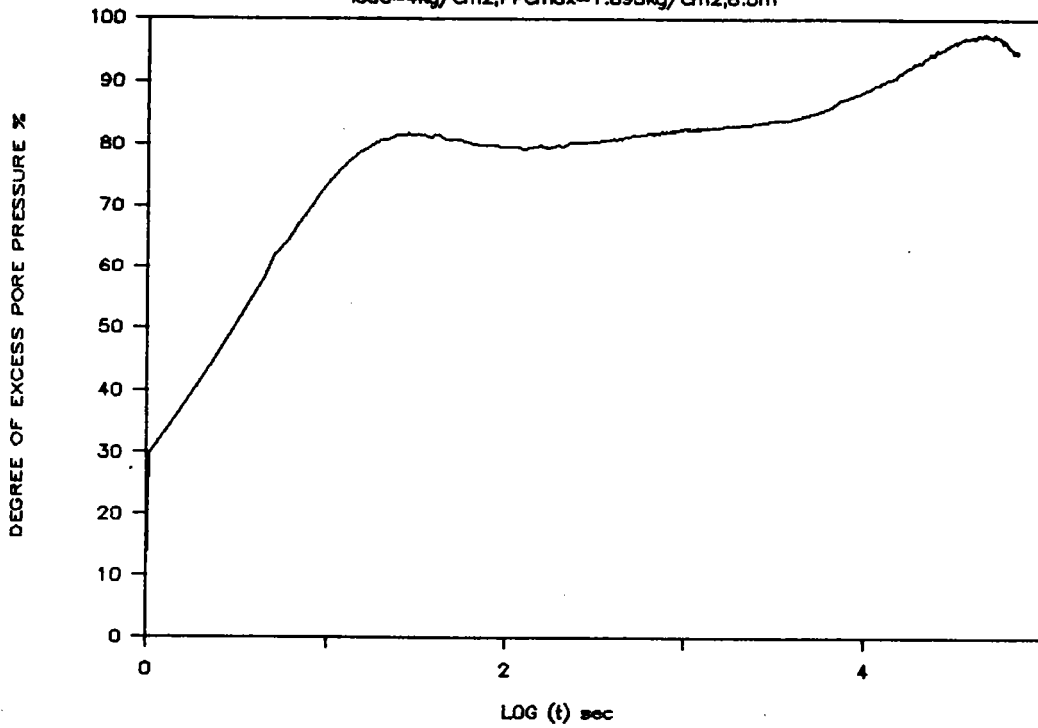
load=2kg/cm², PP_{emax}=1.014kg/cm², 7.3m



LOG (t) sec t₅₀ = 8.35sec t₉₀ = 77.55sec

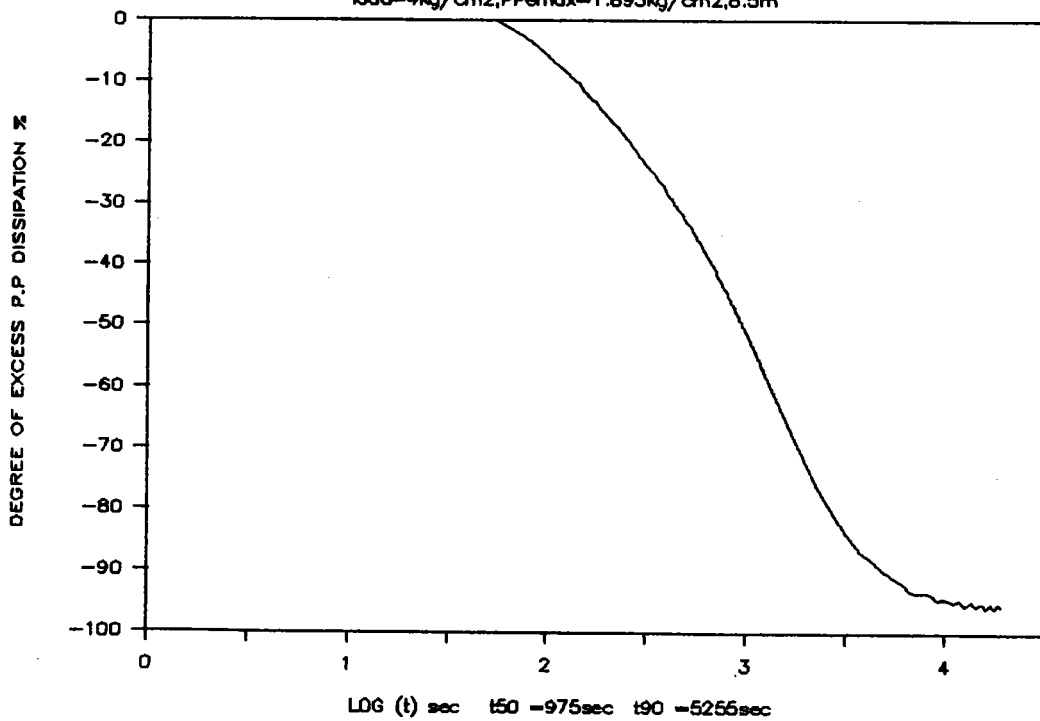
YUNG-AN, T-4, F.V, ONE-WAY

load=4kg/cm², PP_{emax}=1.893kg/cm², 8.5m



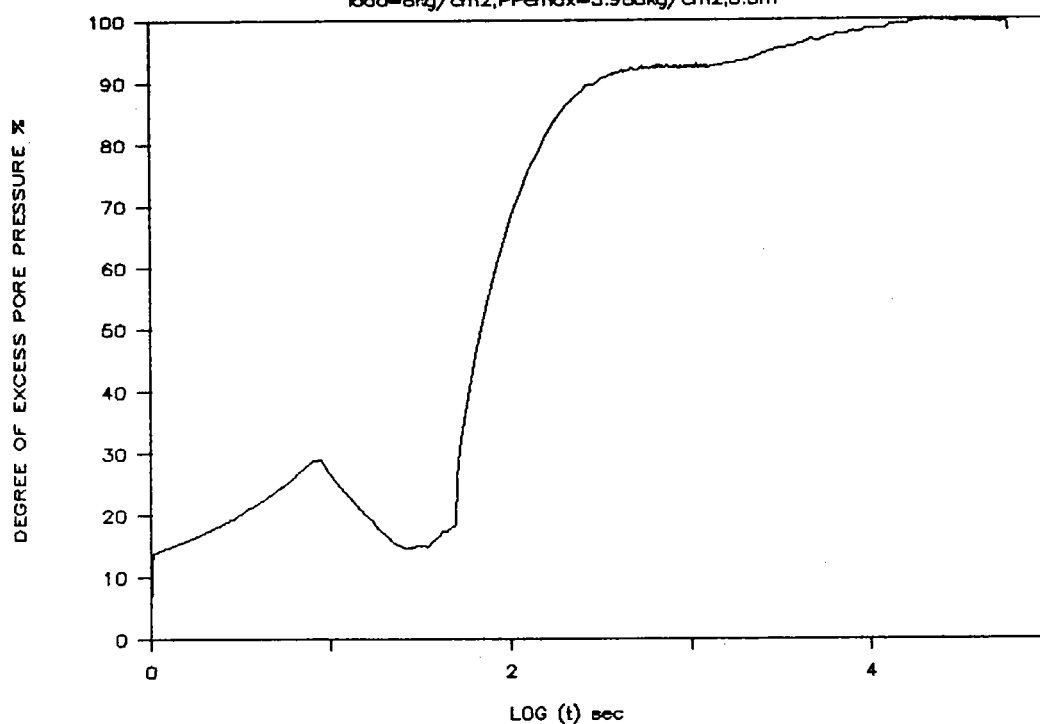
YUNG-AN, T-4, F.V, 1-WAY, C_v=17.795mm²/min

load=4kg/cm², PP_{emax}=1.893kg/cm², 8.5m



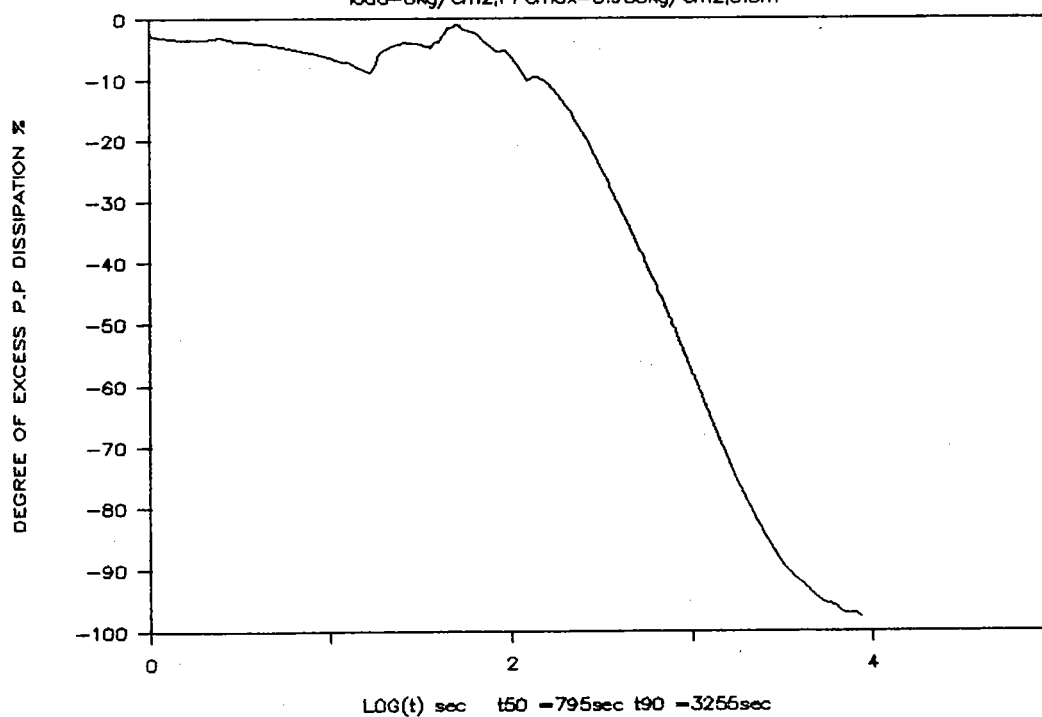
YUNG-AN, T-4, F.V, ONE-WAY

load=8kg/cm², PP_{max}=3.988kg/cm², 8.5m



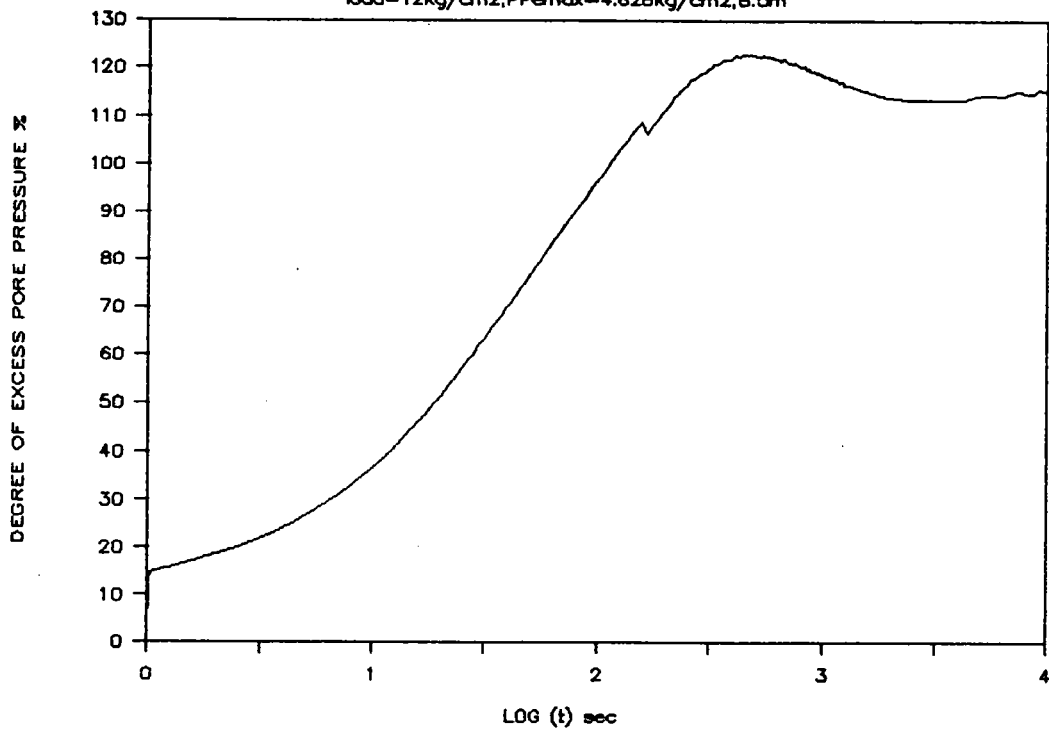
YUNG-AN, T-4, F.V, 1-WAY, C_v=21.454mm²/min

load=8kg/cm², PP_{max}=3.988kg/cm², 8.5m



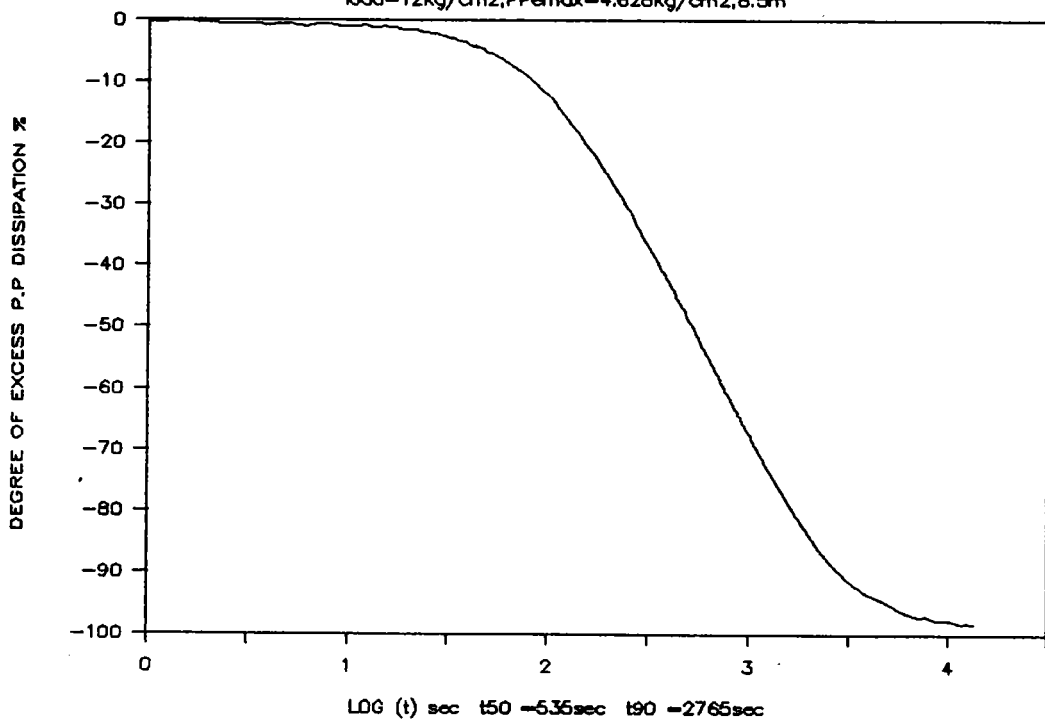
YUNG-AN, T-4, F.V, ONE-WAY

load=12kg/cm², PP_{max}=4.628kg/cm², 8.5m



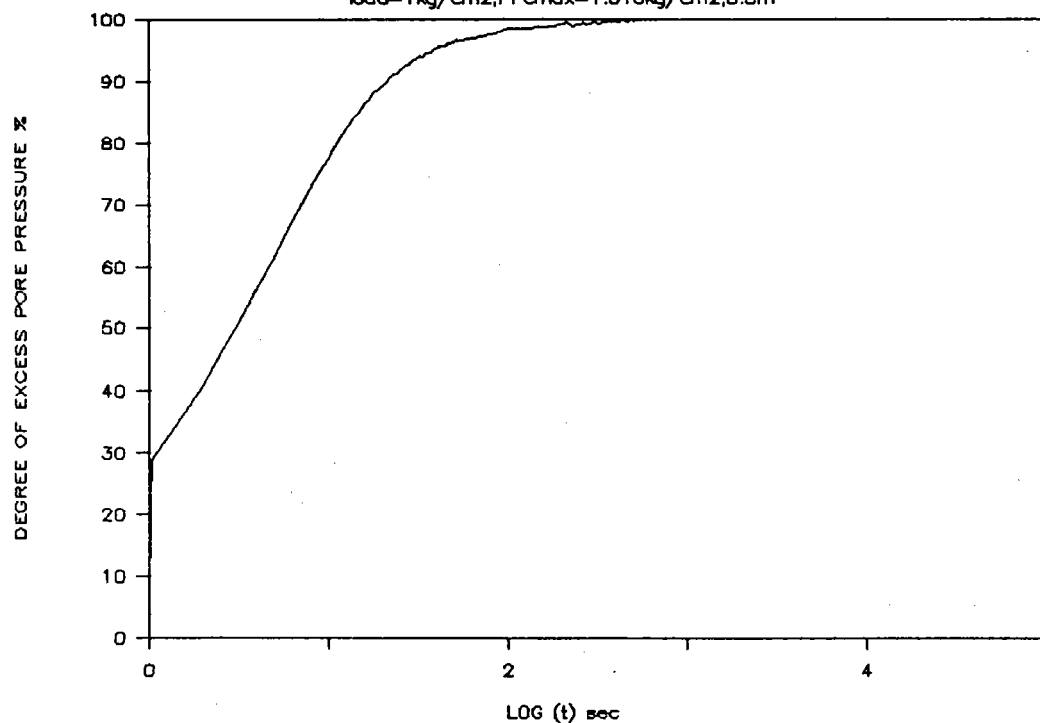
YUNG-AN, T-4, F.V, 1-WAY, C_v=31.34mm²/min

load=12kg/cm², PP_{max}=4.628kg/cm², 8.5m



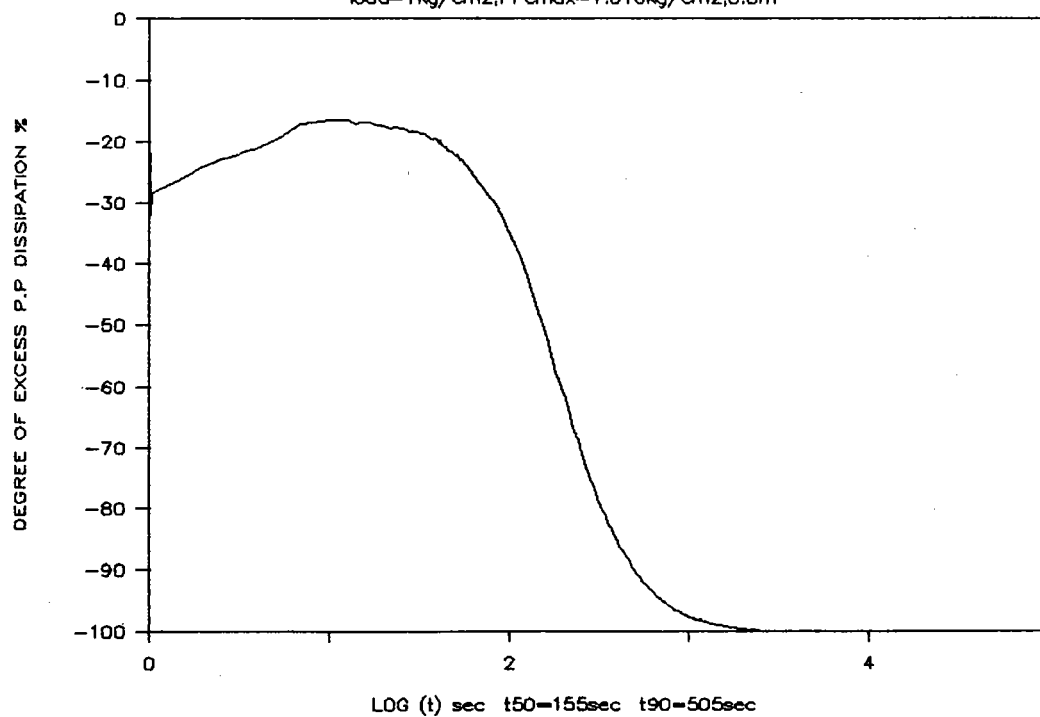
YUNG-AN, T-4, F.H, OUT

load=1kg/cm², PPemax=1.016kg/cm², 8.5m



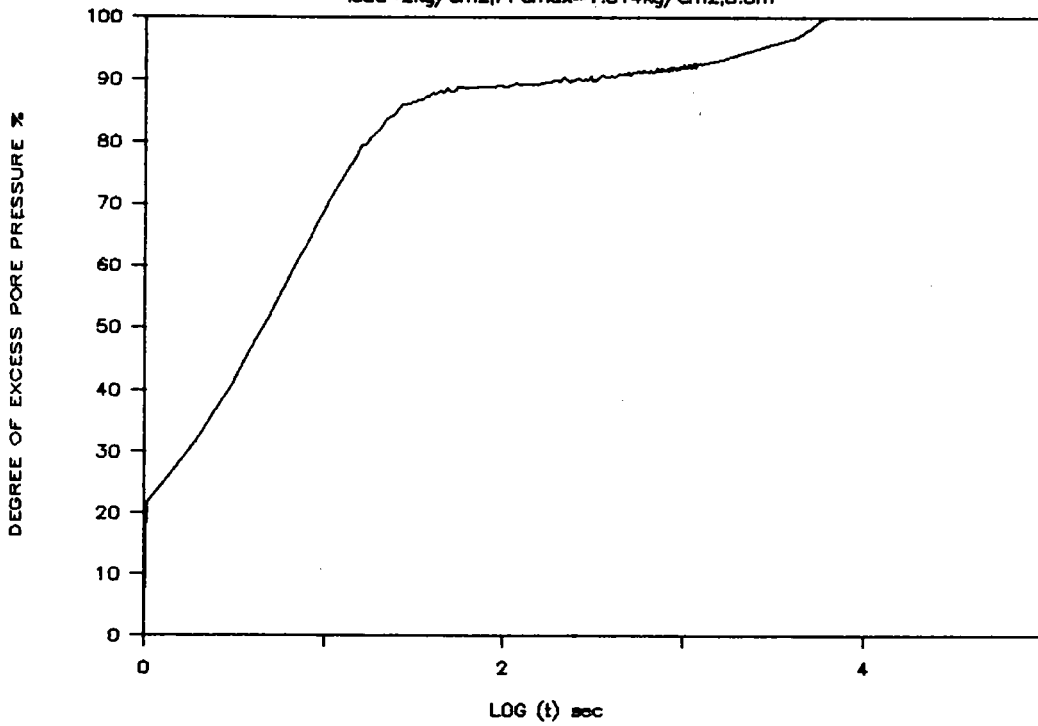
YUNG-AN, T-4, F.H, OUT, Cro=103.142mm²/min

load=1kg/cm², PPemax=1.016kg/cm², 8.5m



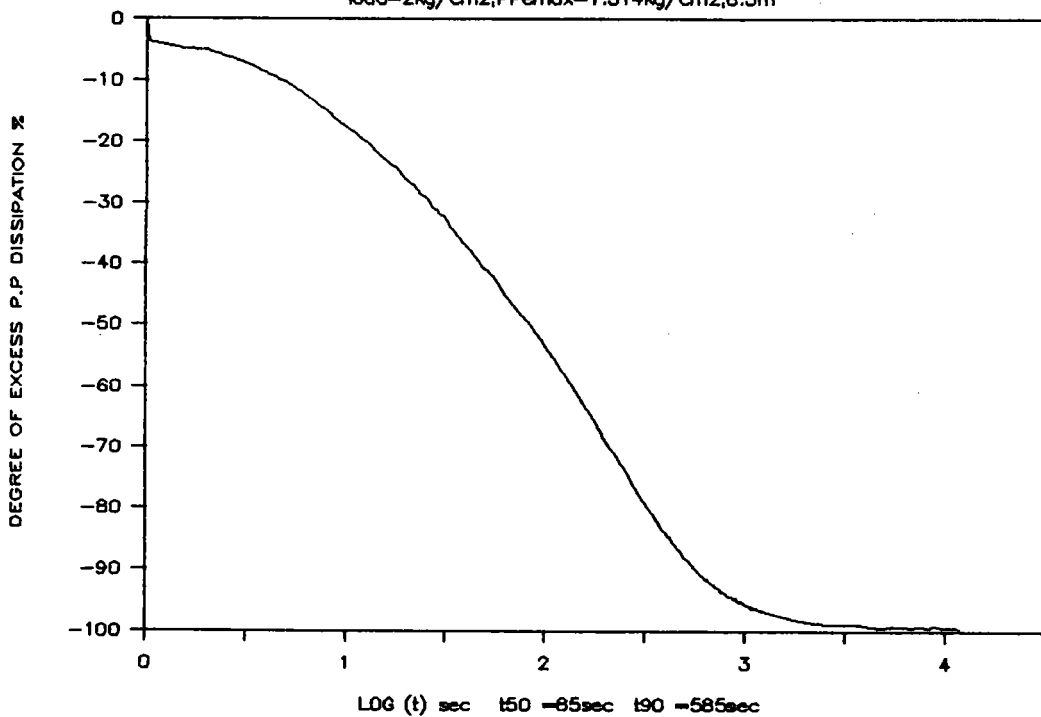
YUNG-AN, T-4, F.H, OUT

load=2kg/cm², PP_{max}=1.314kg/cm², 8.5m



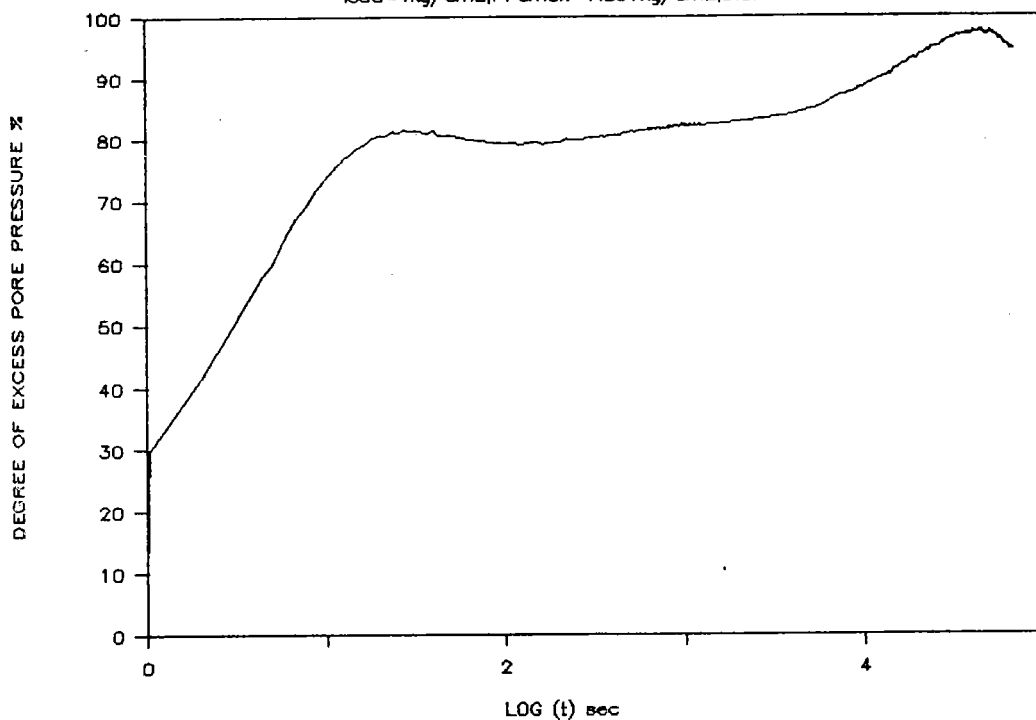
YUNG-AN, T-4, F.H, OUT, Cro=188.082mm²/min

load=2kg/cm², PP_{max}=1.314kg/cm², 8.5m



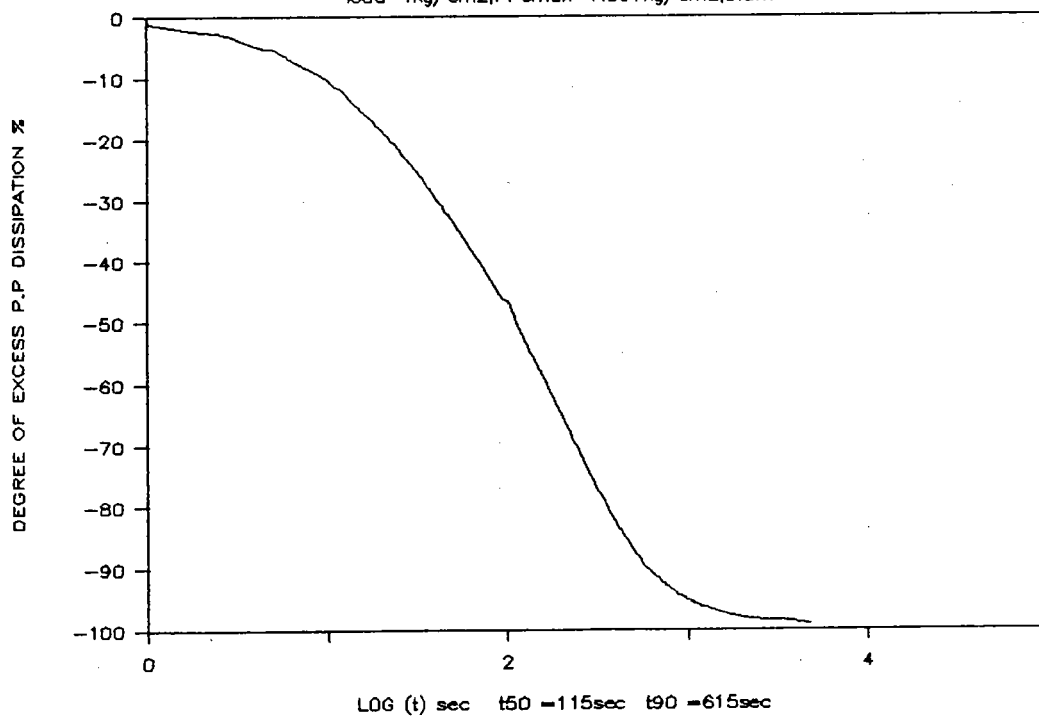
YUNG-AN, T-4, F.H, OUT

load=4kg/cm², PP_{emax}=1.891kg/cm², 8.5m



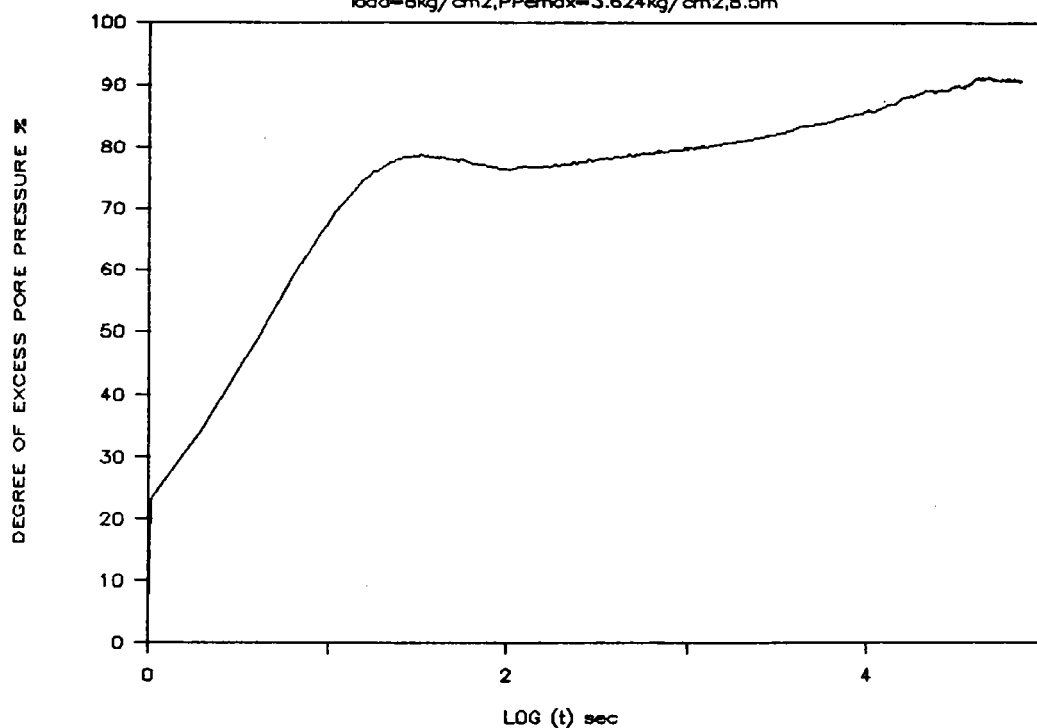
YUNG-AN, T-4, F.H, OUT, Cro=139.017mm²/min

load=4kg/cm², PP_{emax}=1.891kg/cm², 8.5m



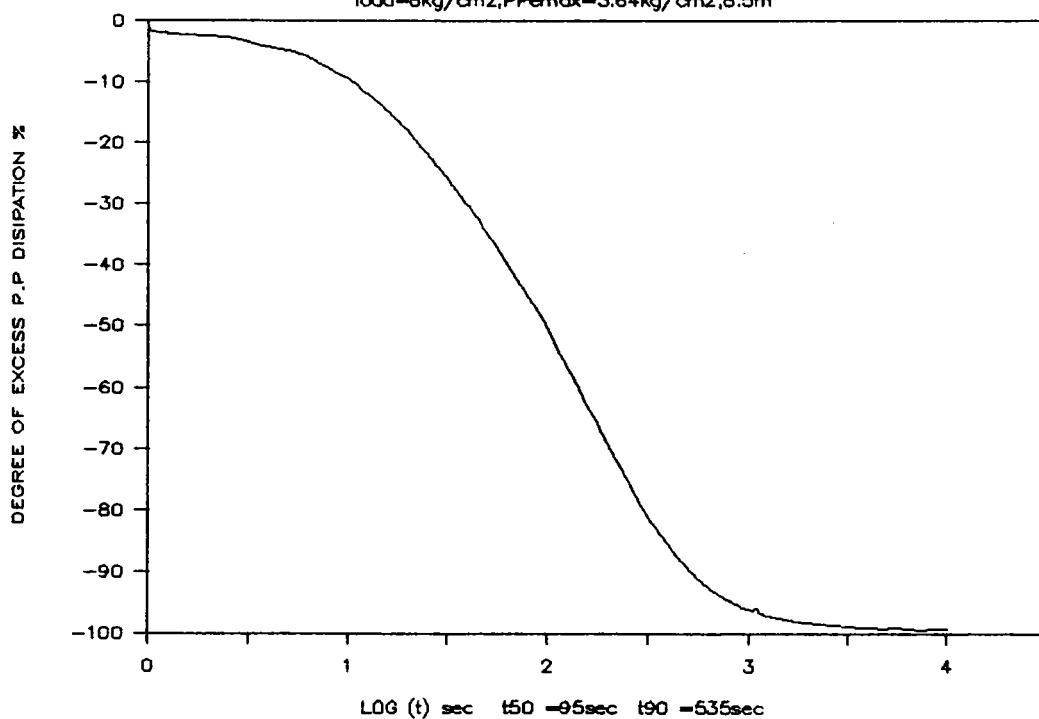
YUNG-AN, T-4, F.H ,OUT

load=8kg/cm², PP_{max}=3.624kg/cm², 8.5m



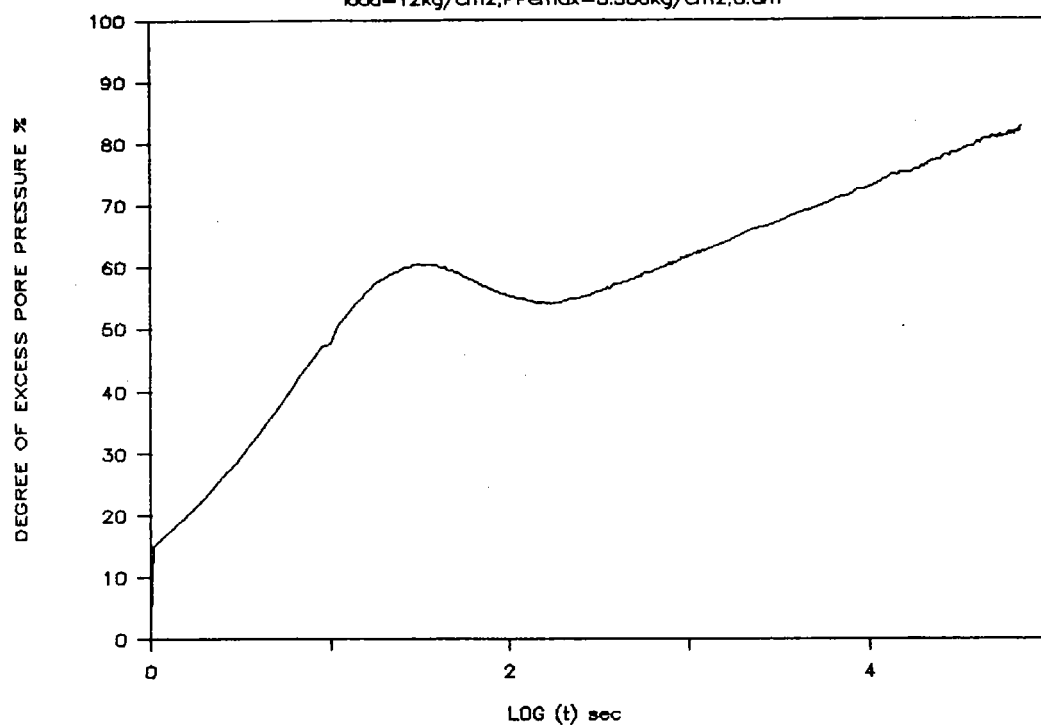
YUNG-AN, T-4, F.H, OUT, Cro=168.284mm²/min

load=8kg/cm², PP_{max}=3.64kg/cm², 8.5m



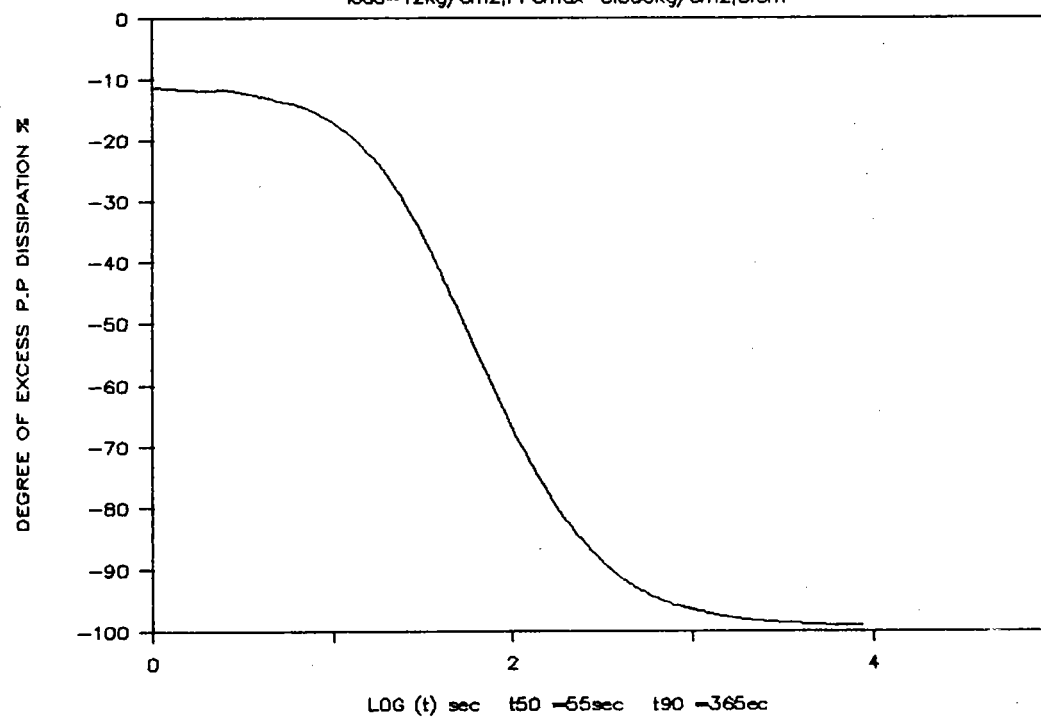
YUNG-AN, T-4, F.H, OUT

load=12kg/cm², PPemax=3.306kg/cm², 8.5m



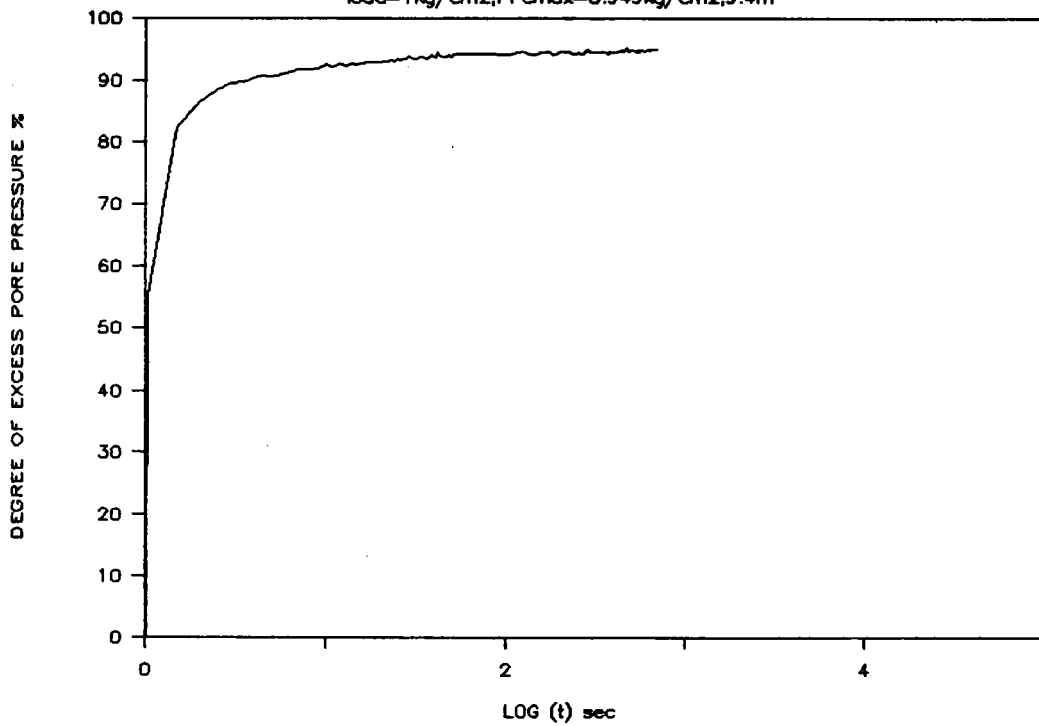
YUNG-AN, T-4, F.H, OUT, Cro=290.673mm²/min

load=12kg/cm², PPemax=3.306kg/cm², 8.5m



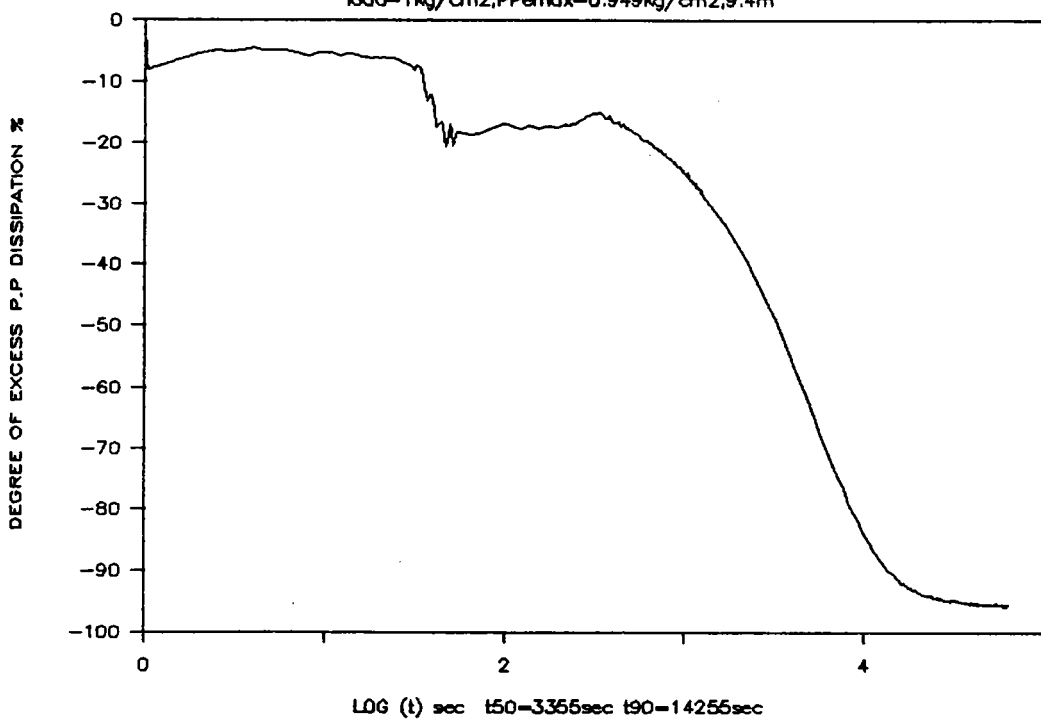
YUNG-AN, T-5, F.V, ONE-WAY

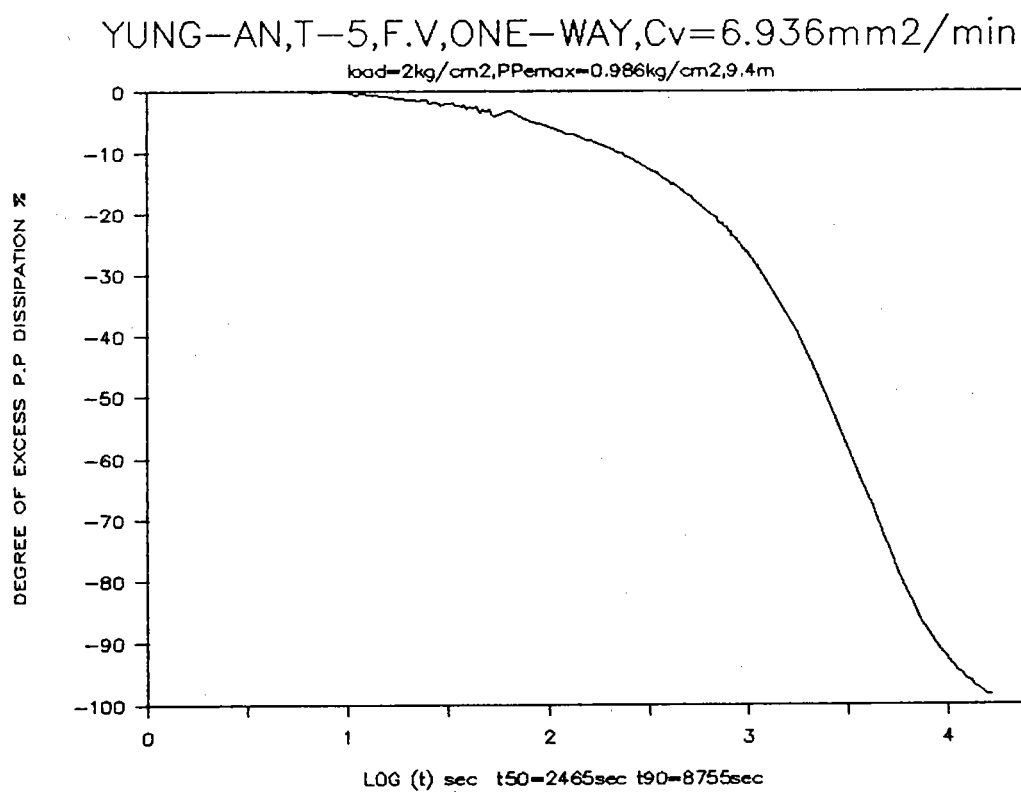
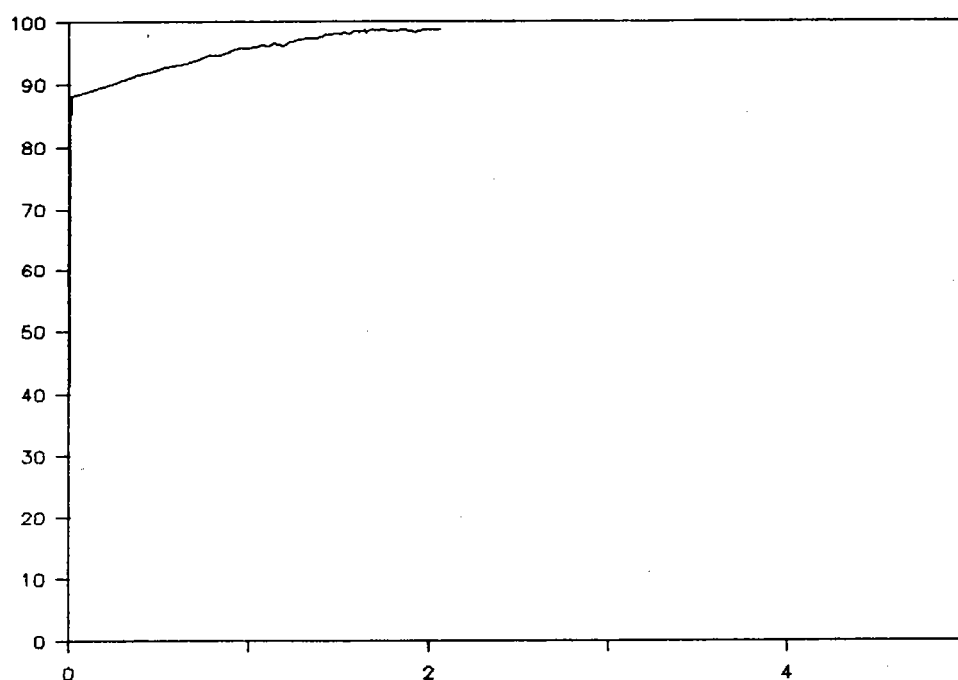
load=1 kg/cm², PP_{max}=0.949 kg/cm², 9.4m



YUNG-AN, T-5, F.V, ONE-WAY, C_v=5.223 mm²/min

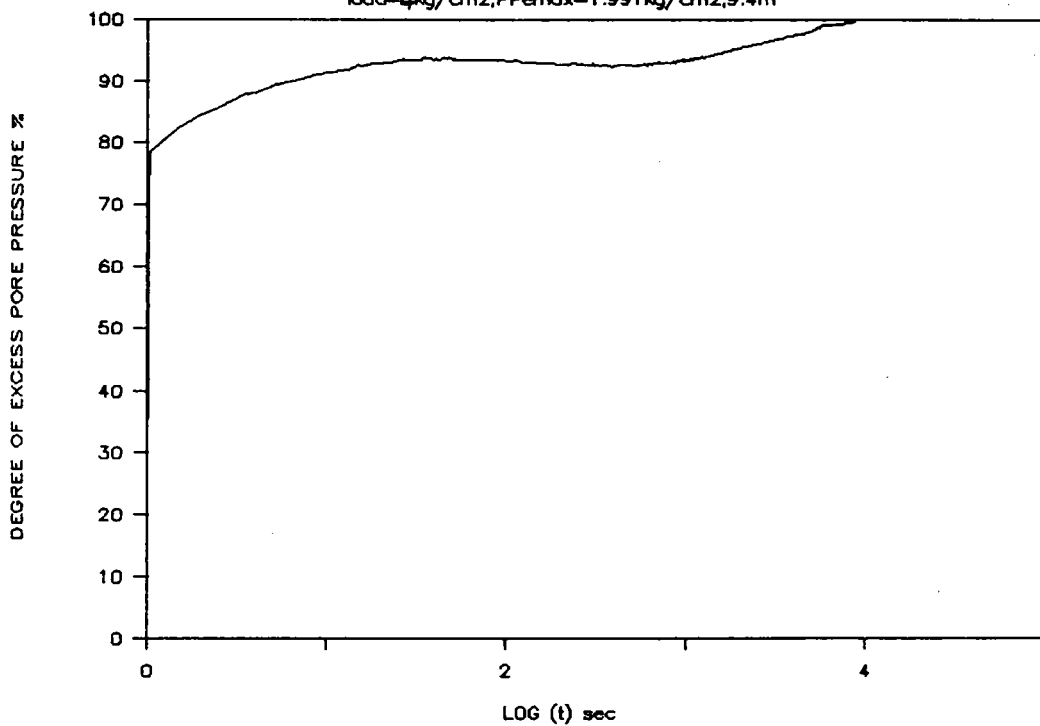
load=1 kg/cm², PP_{max}=0.949 kg/cm², 9.4m





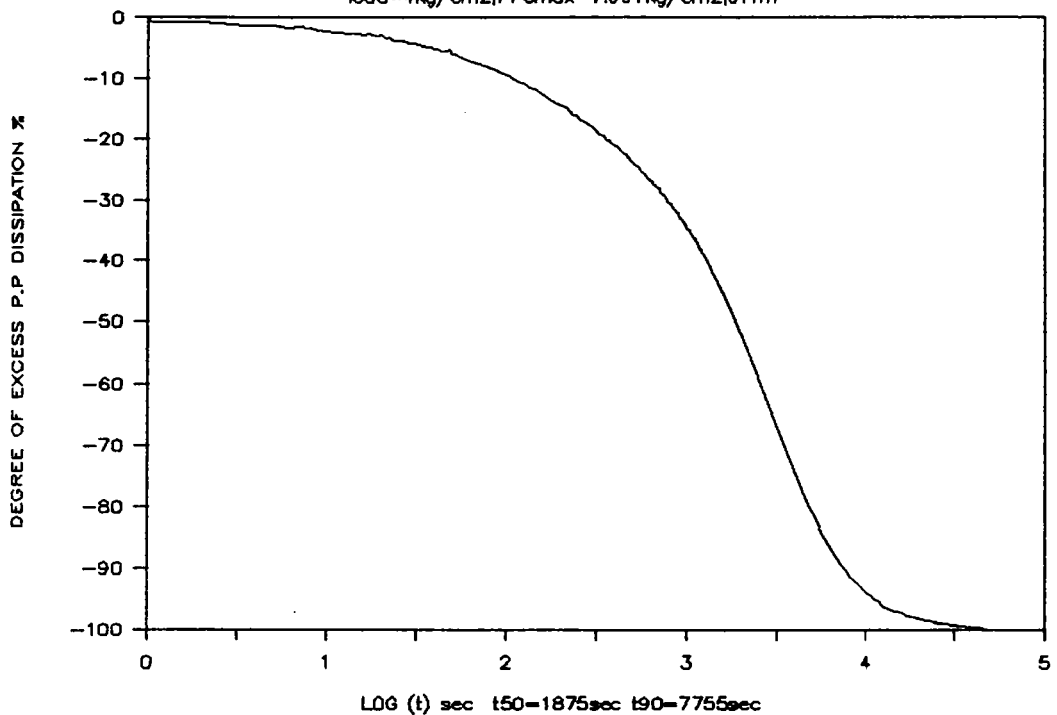
YUNG-AN, T-5, F.V, ONE-WAY

load=4kg/cm², PP_{emax}=1.991 kg/cm², 9.4m



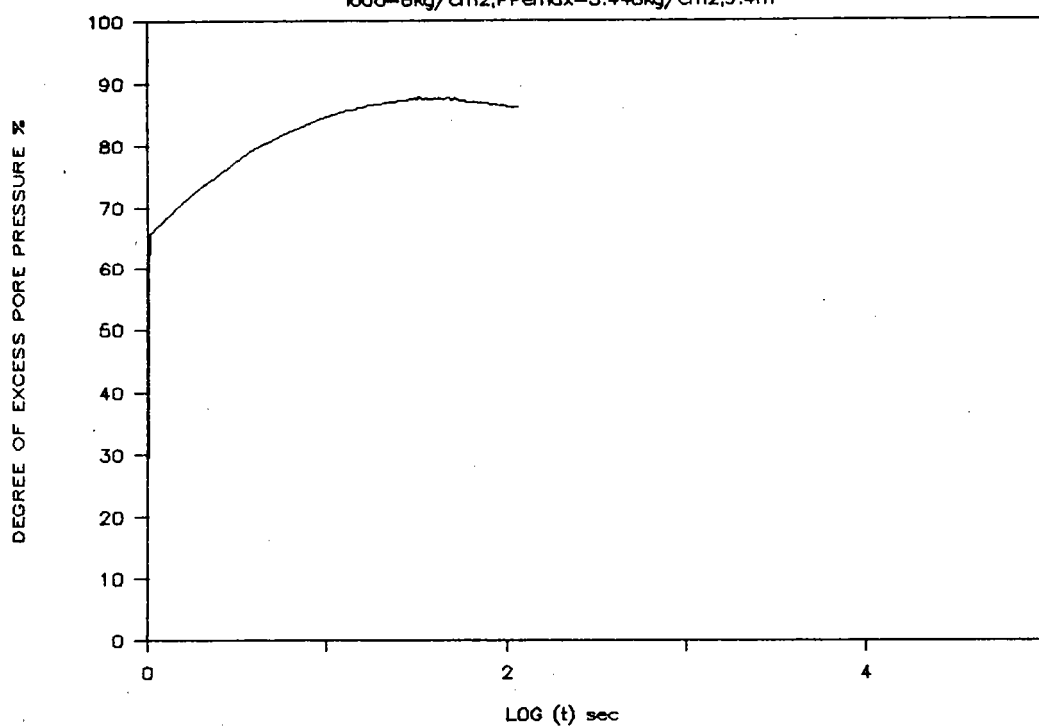
YUNG-AN, T-5, F.V, ONE-WAY, C_v=8.956mm²/min

load=4kg/cm², PP_{emax}=1.991 kg/cm², 9.4m



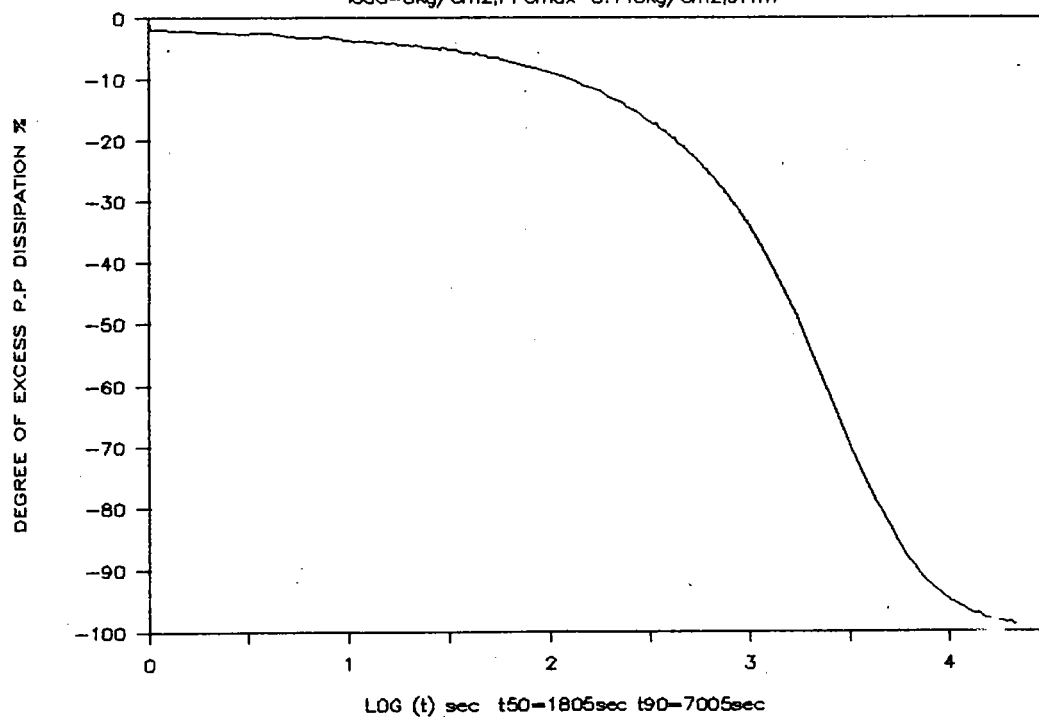
YUNG-AN, T-5, F.V, ONE-WAY

load=8kg/cm², PP_{emax}=3.448kg/cm², 9.4m



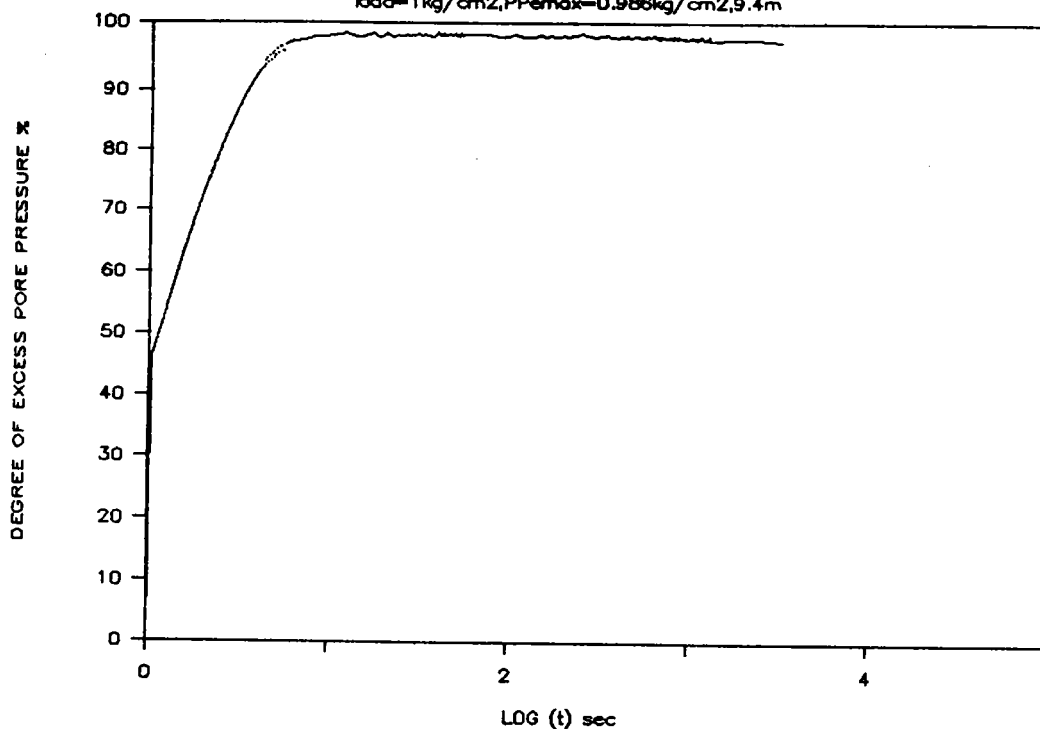
YUNG-AN, T-5, F.V, ONE-WAY, C_v=9.109mm²/min

load=8kg/cm², PP_{emax}=3.448kg/cm², 9.4m



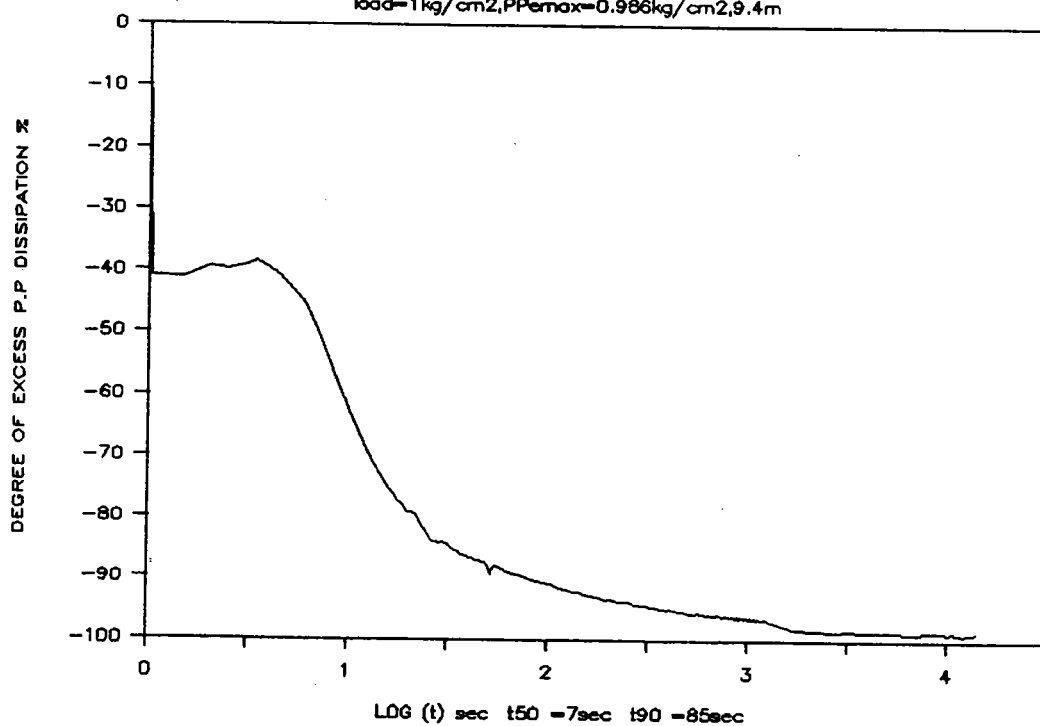
YUNG-AN,T-5,FREE STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=1kg/cm²,PPemax=0.986kg/cm²,9.4m



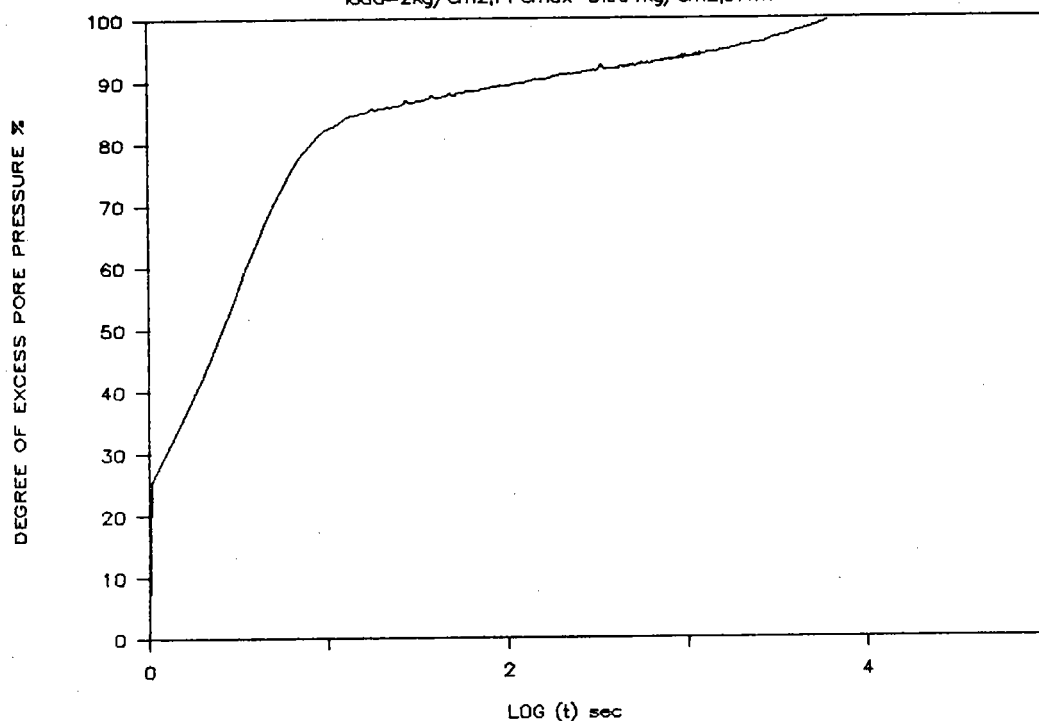
YUNG-AN,T-5,F.H OUT,Cro=2283.857mm²/min

load=1kg/cm²,PPemax=0.986kg/cm²,9.4m



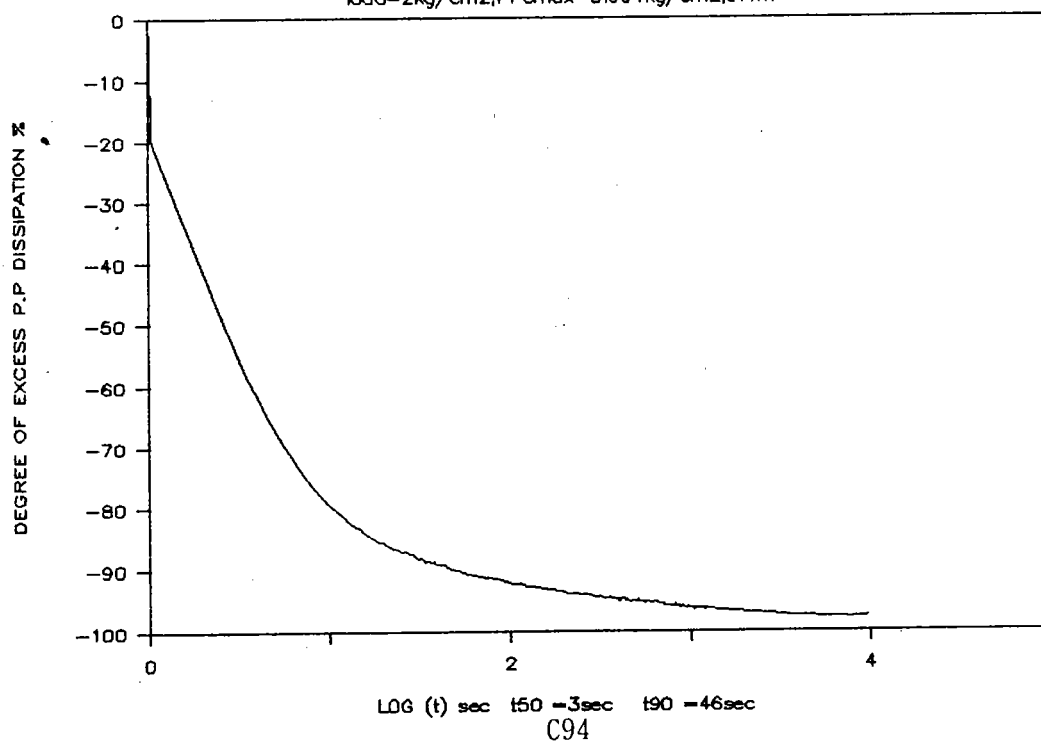
YUNG-AN,T-5,FREE STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=2kg/cm²,PPemax=0.994kg/cm²,9.4m



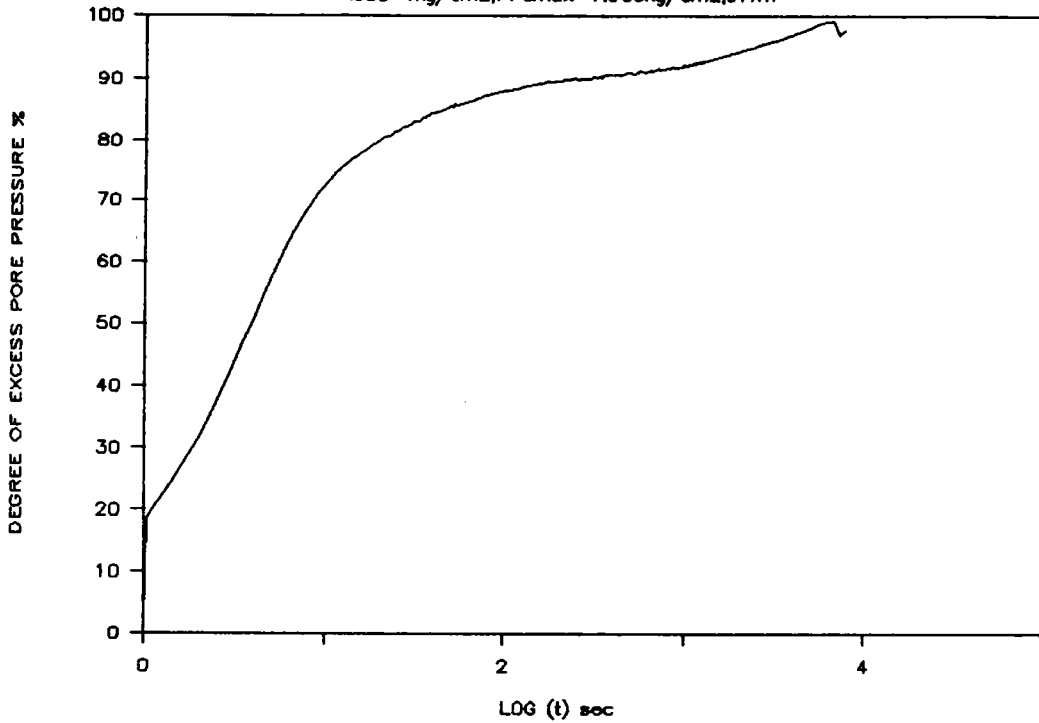
YUNG-AN,T-5,F.H OUT,Cro=5329.00mm²/min

load=2kg/cm²,PPemax=0.994kg/cm²,9.4m



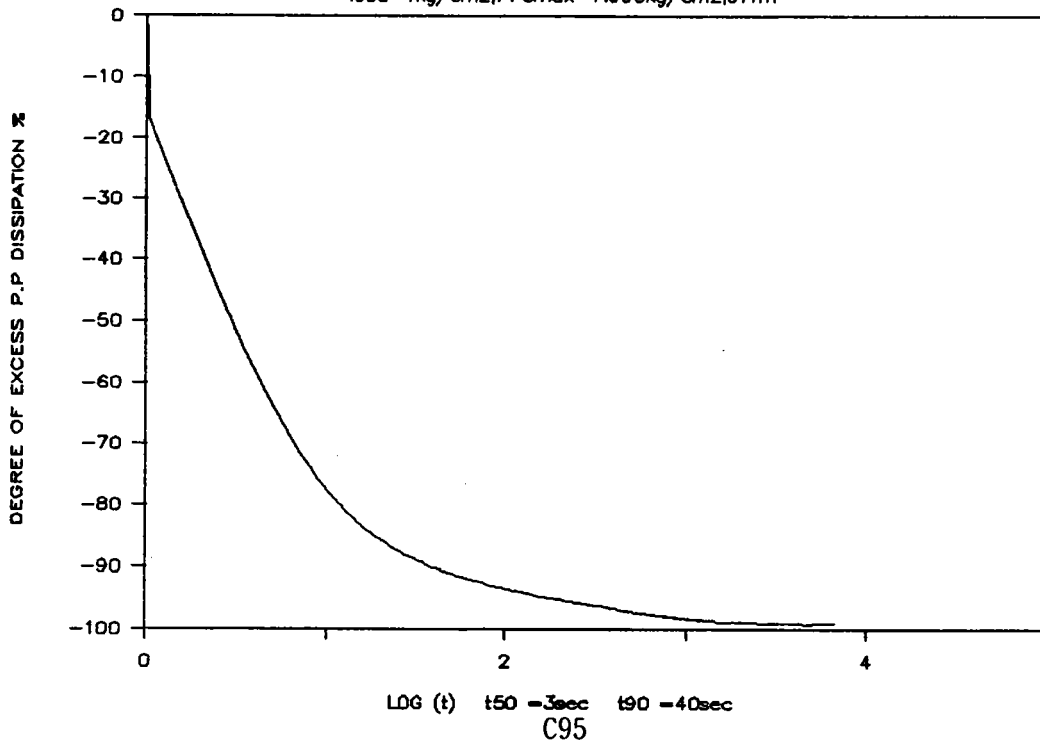
YUNG-AN,T-5,FREE STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=4kg/cm²,PP_{emax}=1.966kg/cm²,9.4m



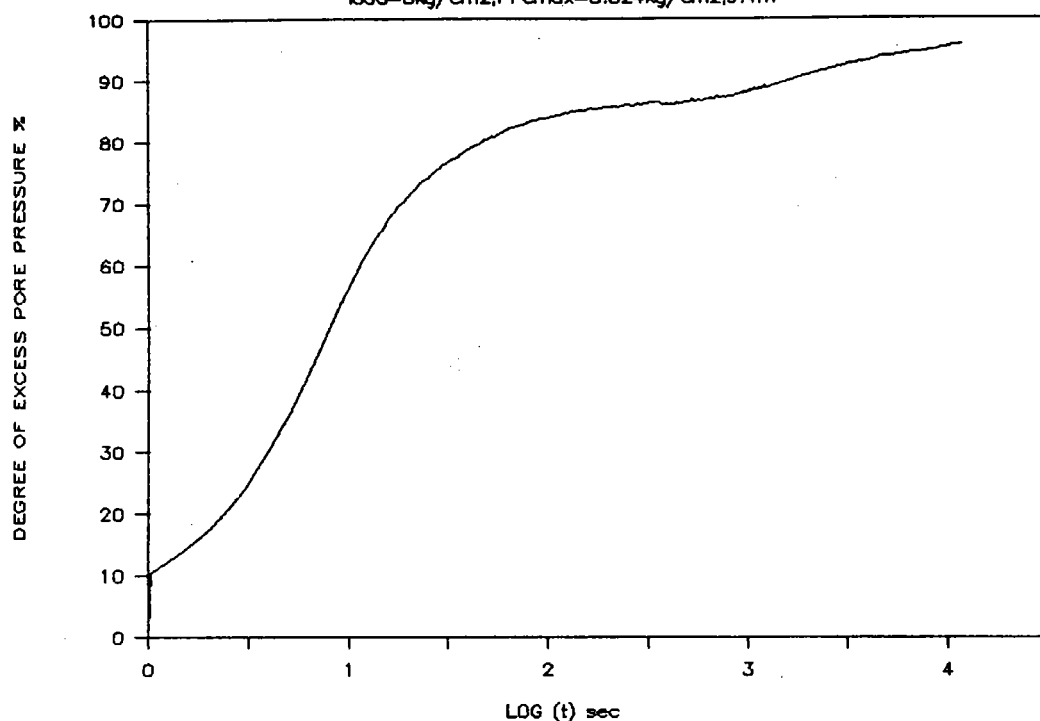
YUNG-AN,T-5,F.H,OUT, C_v=5329.00mm²/min

load=4kg/cm²,PP_{emax}=1.996kg/cm²,9.4m



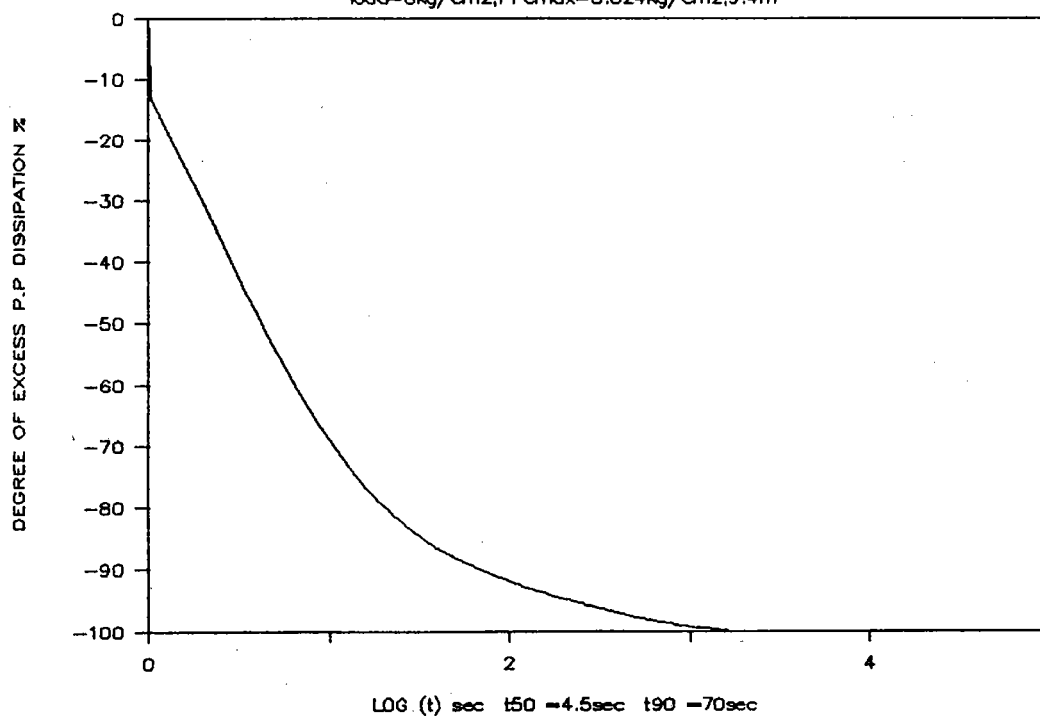
YUNG-AN,T-5,FREE STRAIN,HORIZONTAL OUT

load=8kg/cm²,PPemax=3.824kg/cm²,9.4m



YUNG-AN,T-5,F.H,OUT,Cro=3552.67mm²/min

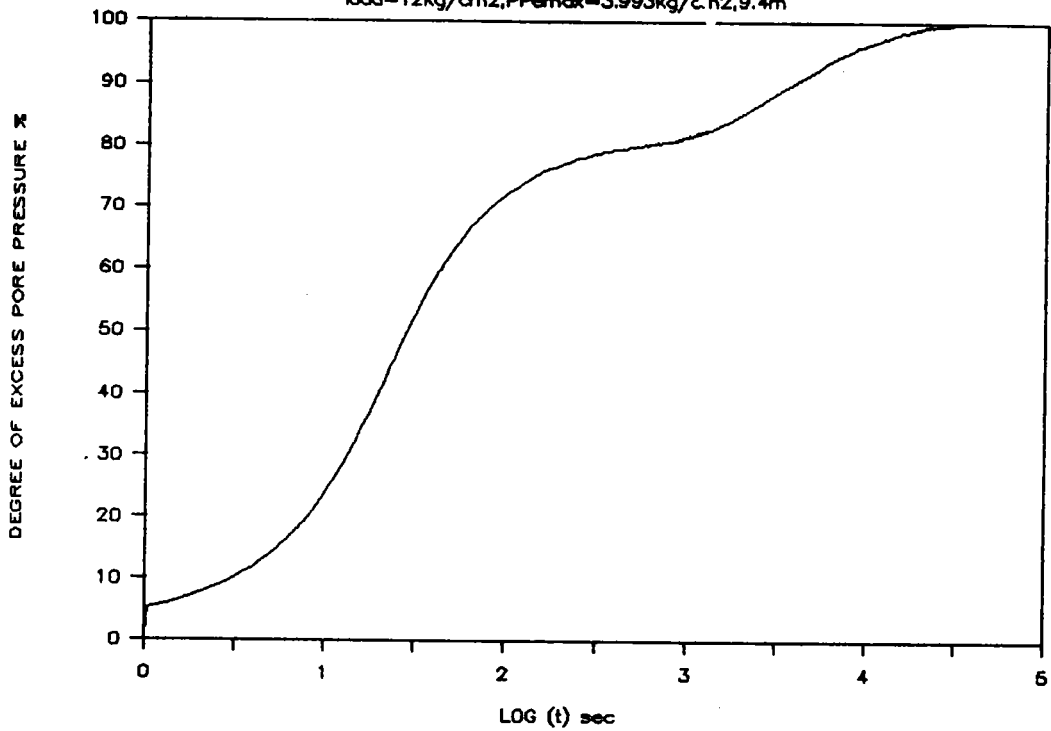
load=8kg/cm²,PPemax=3.824kg/cm²,9.4m



LOG (t) sec t50 =4.5sec t90 =70sec

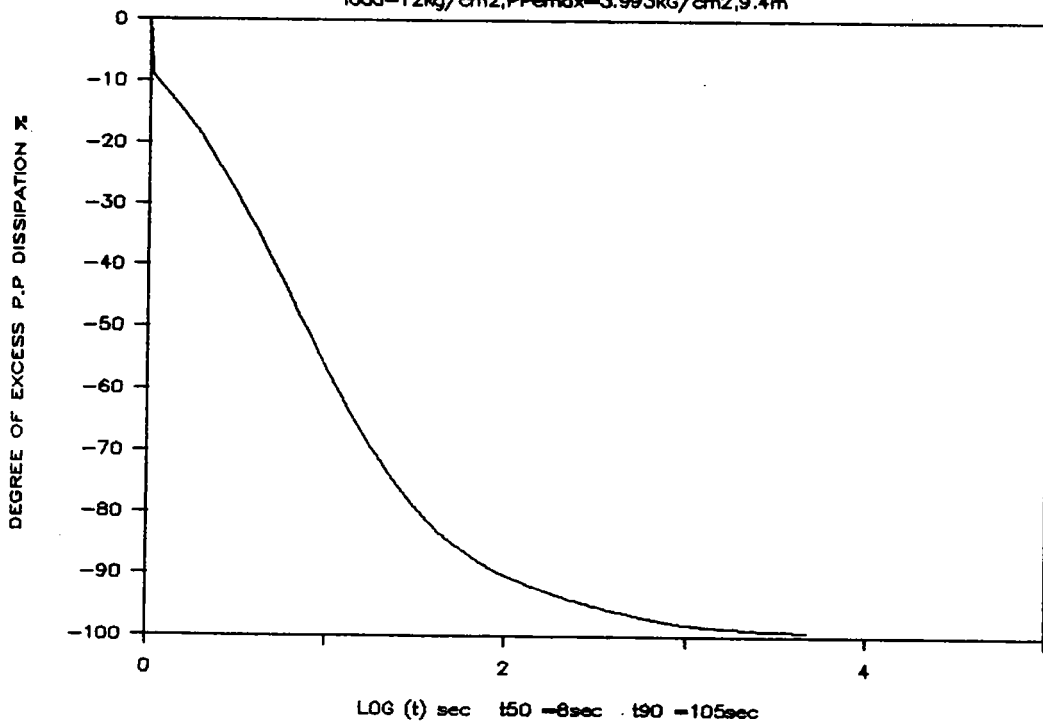
YUNG-AN,T-5,FREE STRAIN.HORIZONTAL OUT

load=12kg/cm²,PPemax=3.993kg/cm²,9.4m



YUNG-AN,T-5,F.H,OUT,Cro=1998.38mm²/min

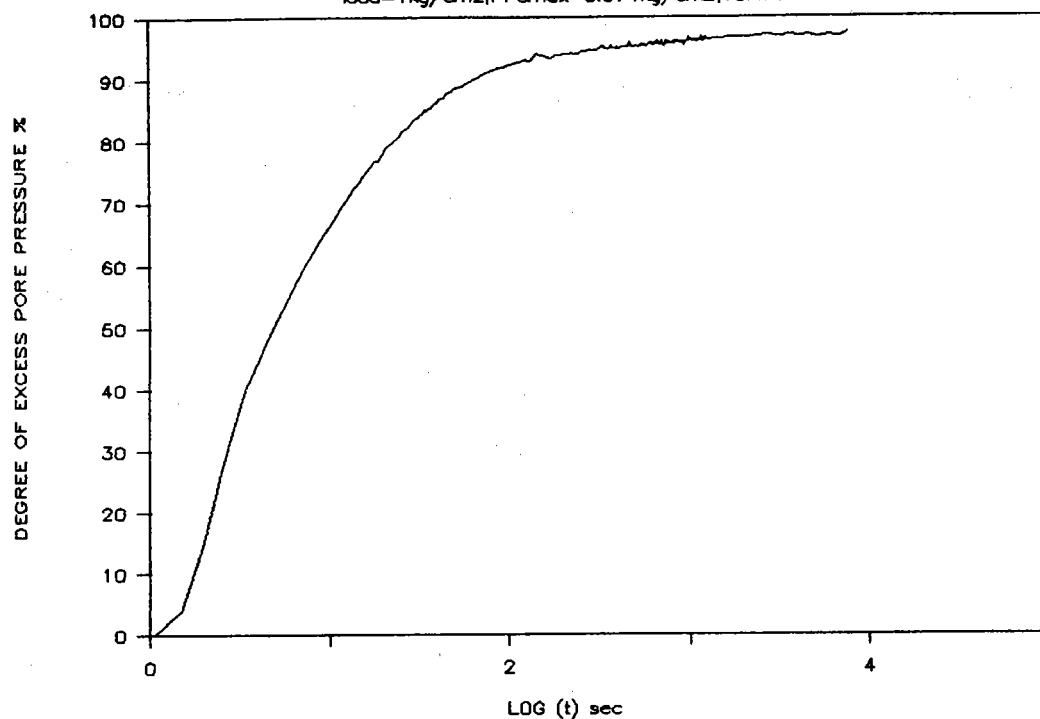
load=12kg/cm²,PPemax=3.993kg/cm²,9.4m



t50 = 8sec t90 = 105sec

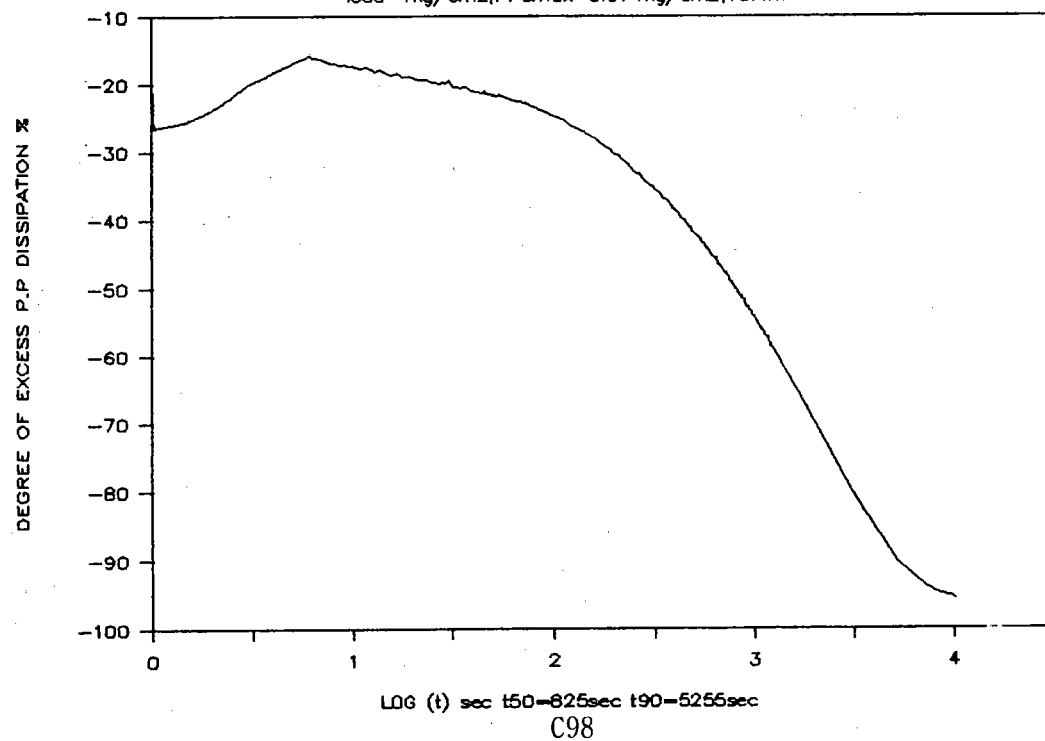
YUNG-AN, T-6 ,F.H, OUT

load=1kg/cm², PP_{emax}=0.974kg/cm², 10.4m



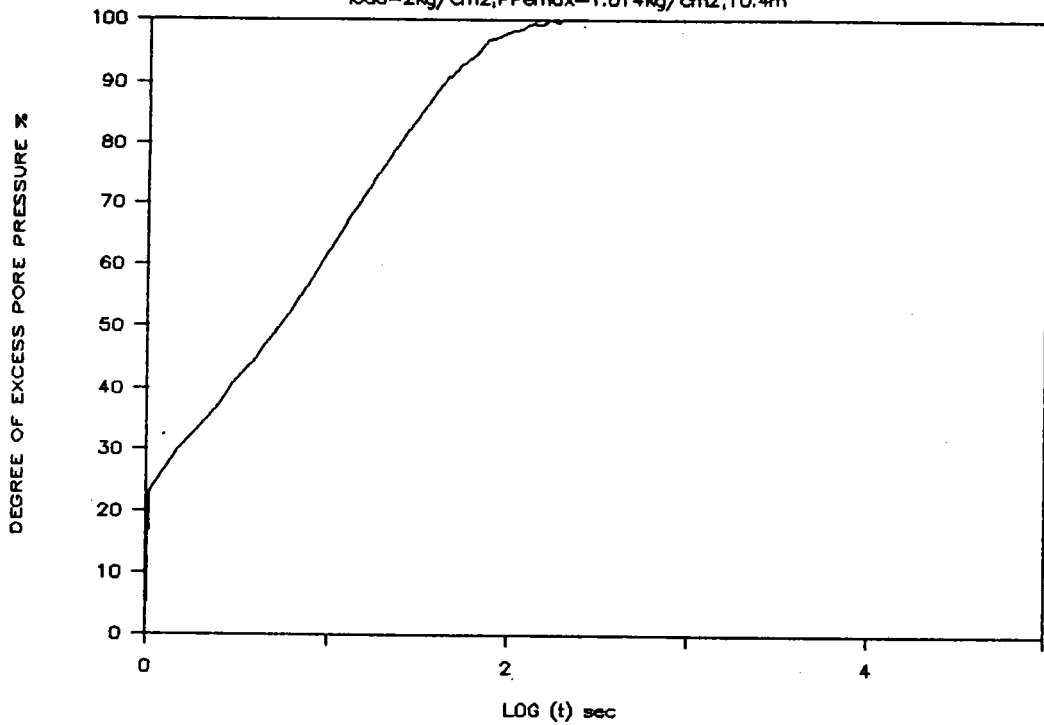
YUNG-AN, T-6, F.H, OUT, Cro=19.378mm²/min

load=1kg/cm², PP_{emax}=0.974kg/cm², 10.4m



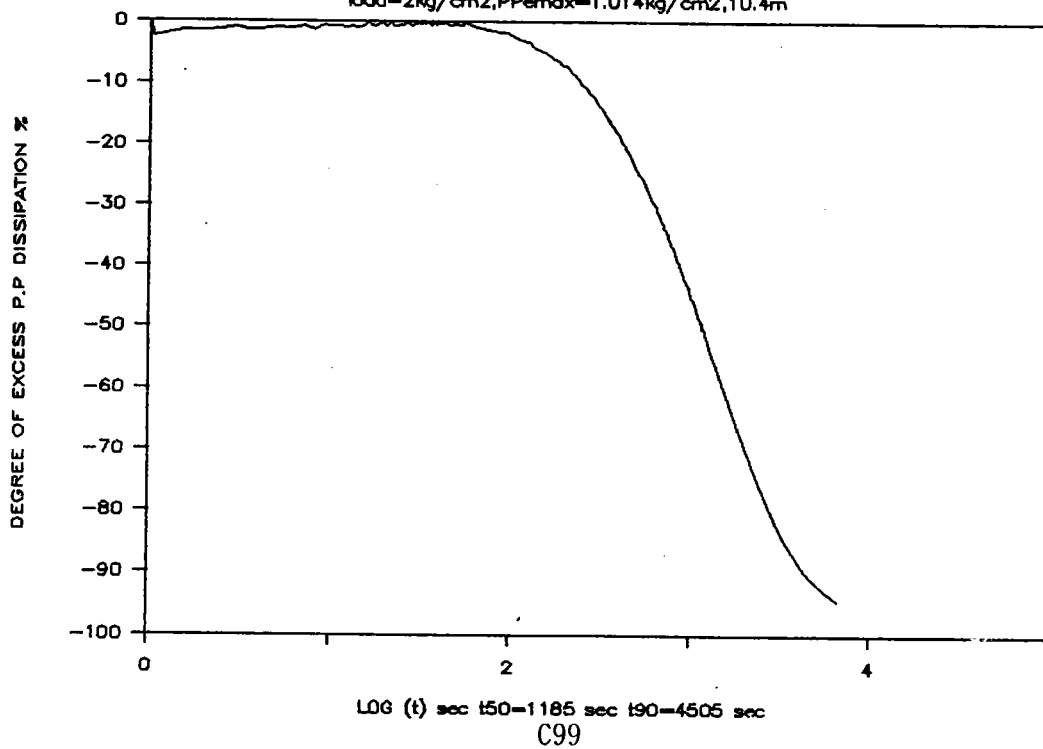
YUNG-AN, T-6, F.H, OUT

load=2kg/cm², PP_{emax}=1.014kg/cm², 10.4m



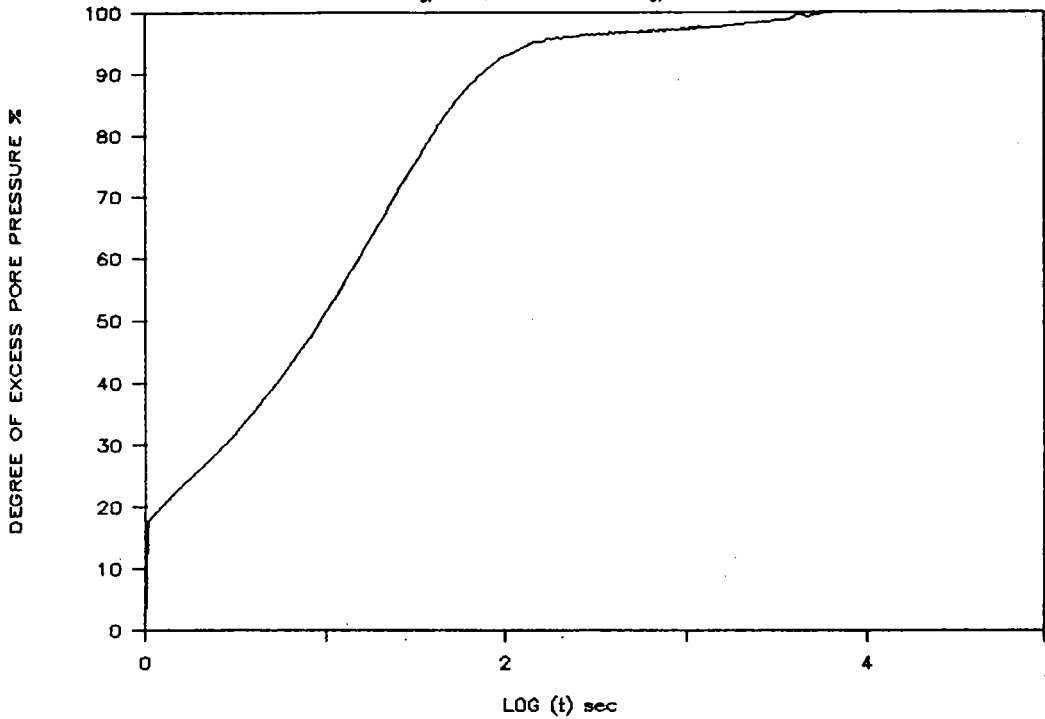
YUNG-AN, T-6, F.H, OUT, Cro=13.491mm²/min

load=2kg/cm², PP_{emax}=1.014kg/cm², 10.4m



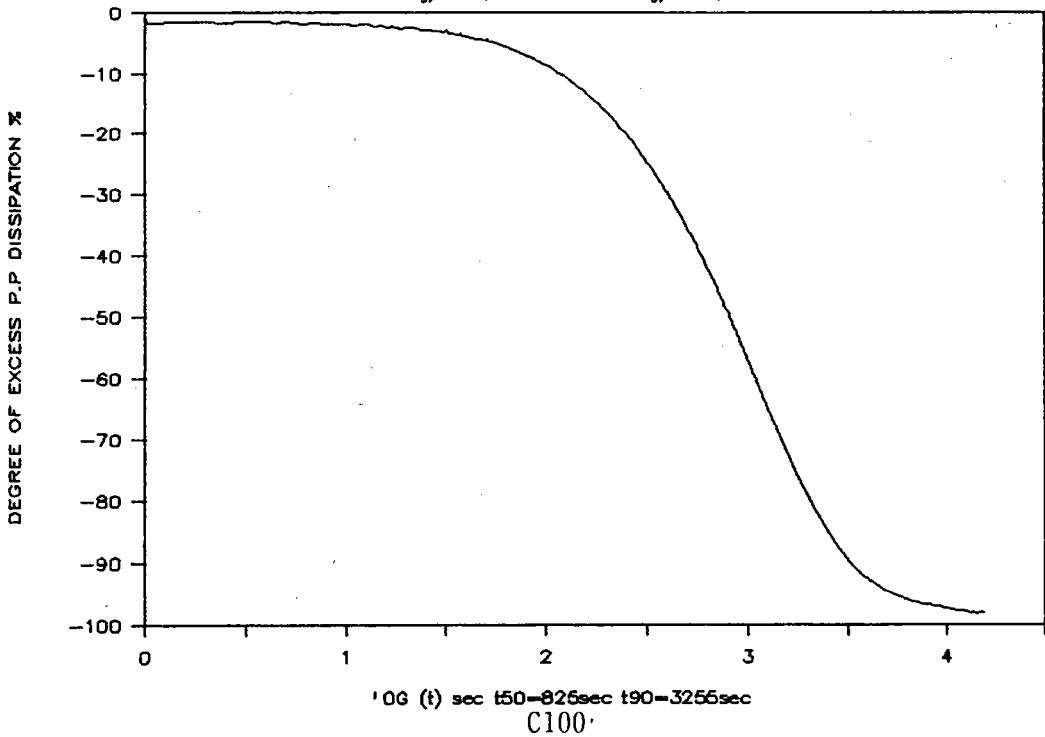
YUNG-AN, T-6, F.H ,OUT

load=4kg/cm², PPemax=2.207kg/cm², 10.4m



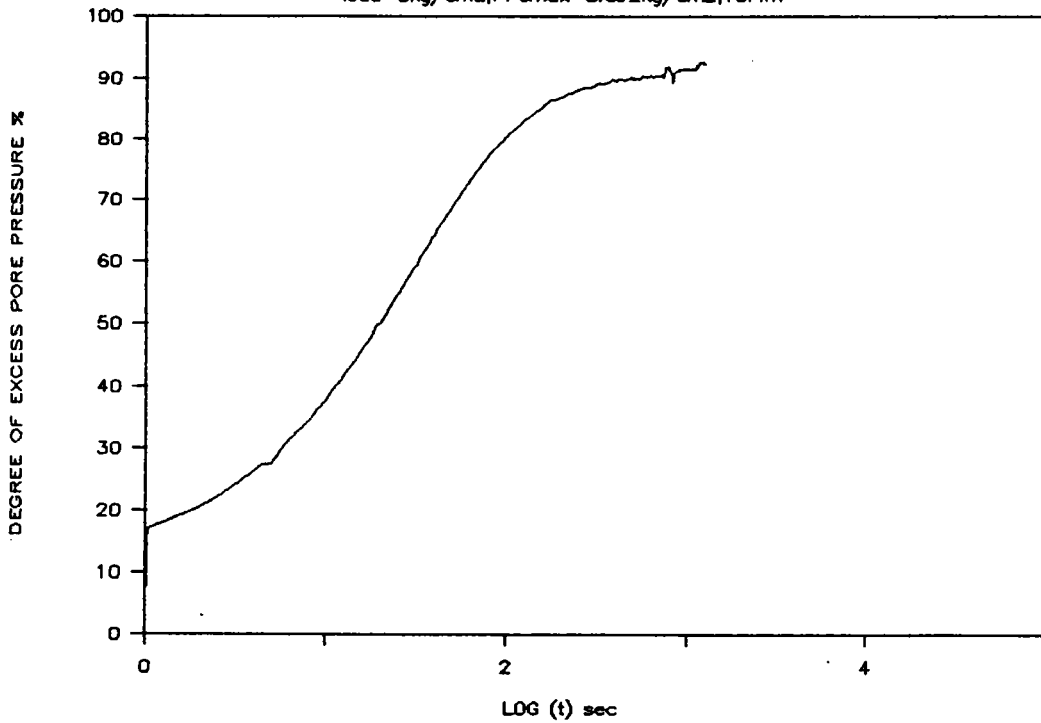
YUNG-AN,T-6,F.H, OUT, Cro=19.378mm²/min

load=4kg/cm², PPemax=2.207kg/cm², 10.4m



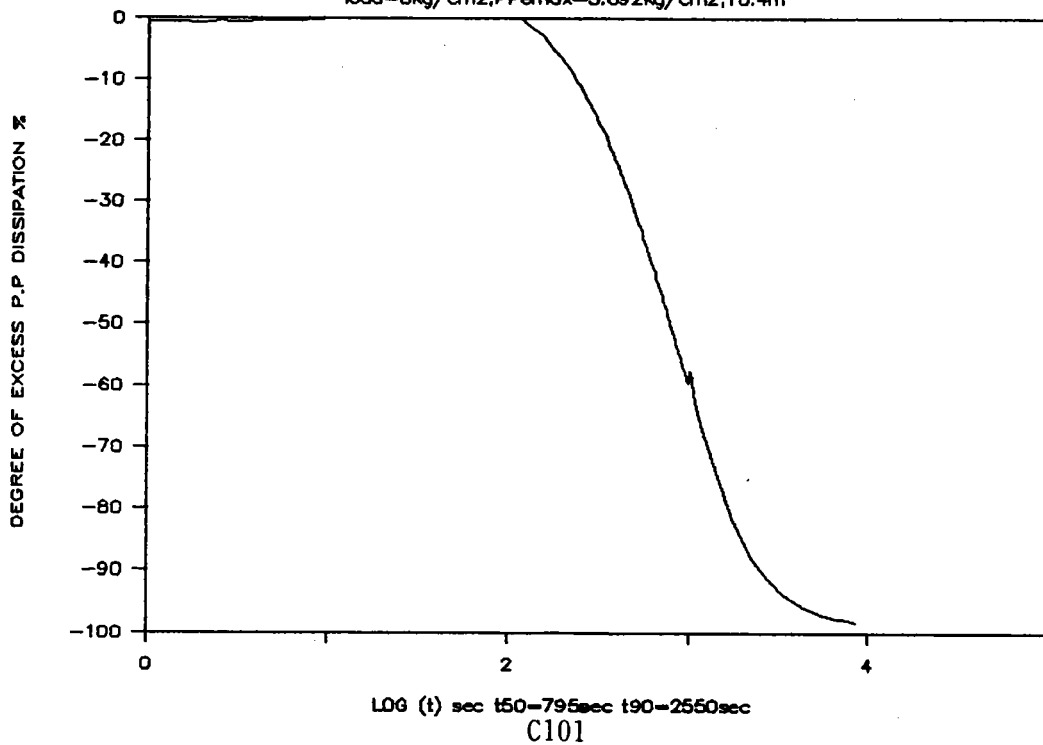
YUNG-AN, T-6, F.H, OUT

load=8kg/cm², PP_{emax}=3.692kg/cm², 10.4m



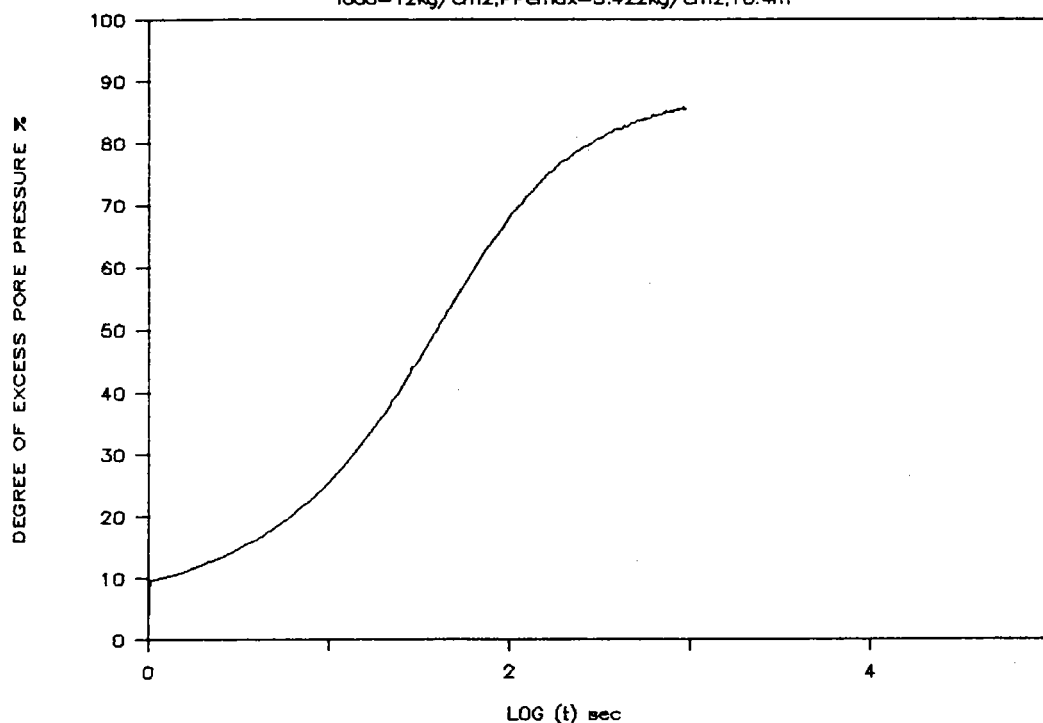
YUNG-AN, T-6, F.H, OUT, Cro=20.109mm²/min

load=8kg/cm², PP_{emax}=3.692kg/cm², 10.4m



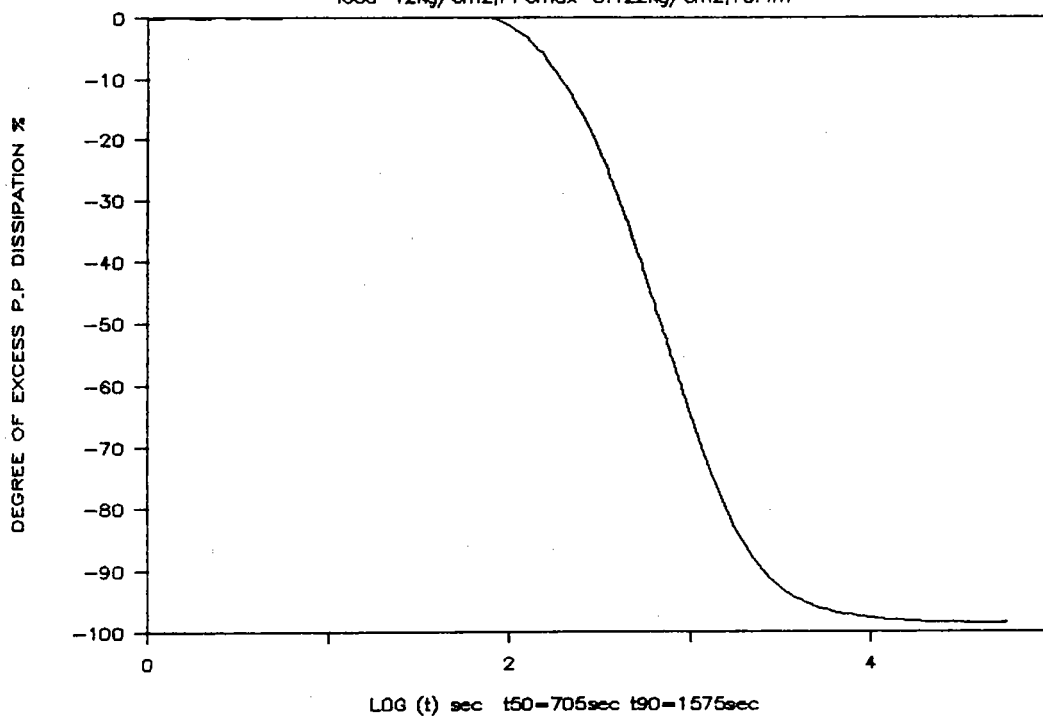
YUNG-AN, T-6, F.H, OUT

load=12kg/cm², PP_{emax}=3.422kg/cm², 10.4m



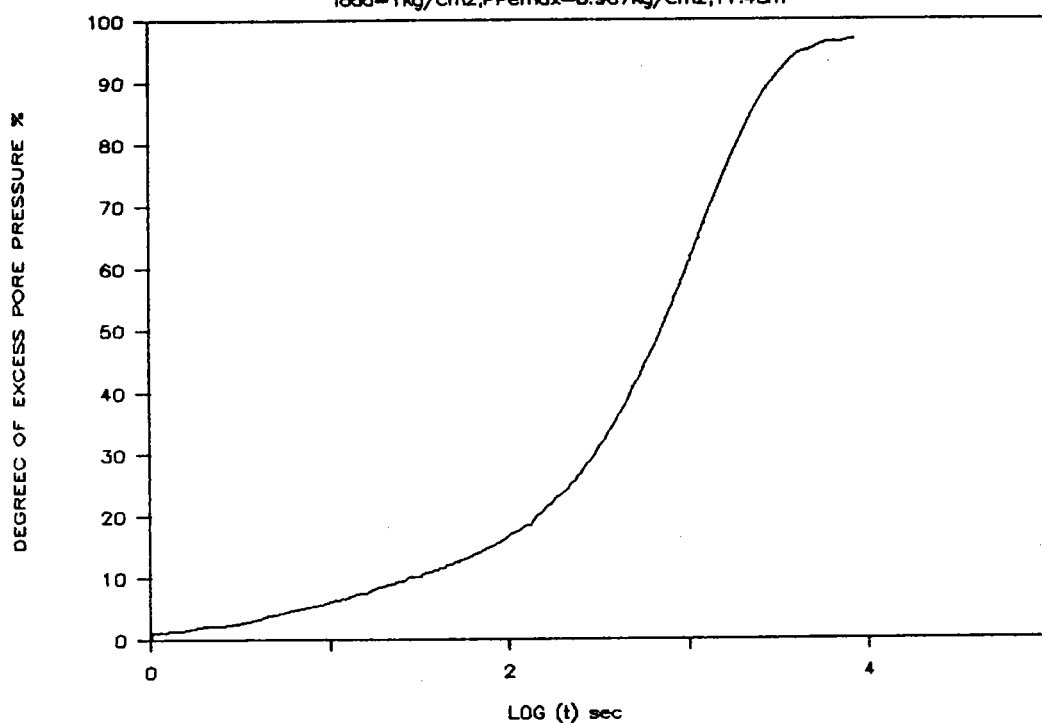
YUNG-AN, T-6, F.H, OUT, Cro=22.677mm²/min

load=12kg/cm², PP_{emax}=3.422kg/cm², 10.4m



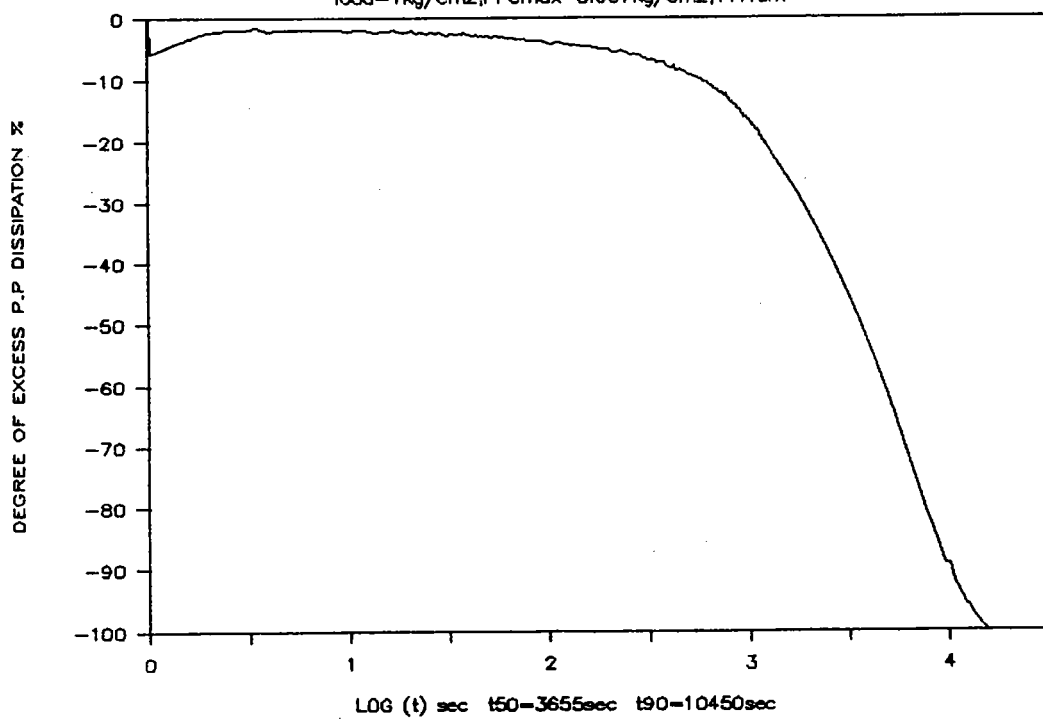
YUNG-AN, T-7, F.V, ONE-WAY

load=1kg/cm², PP_{emax}=0.967kg/cm², 11.45m



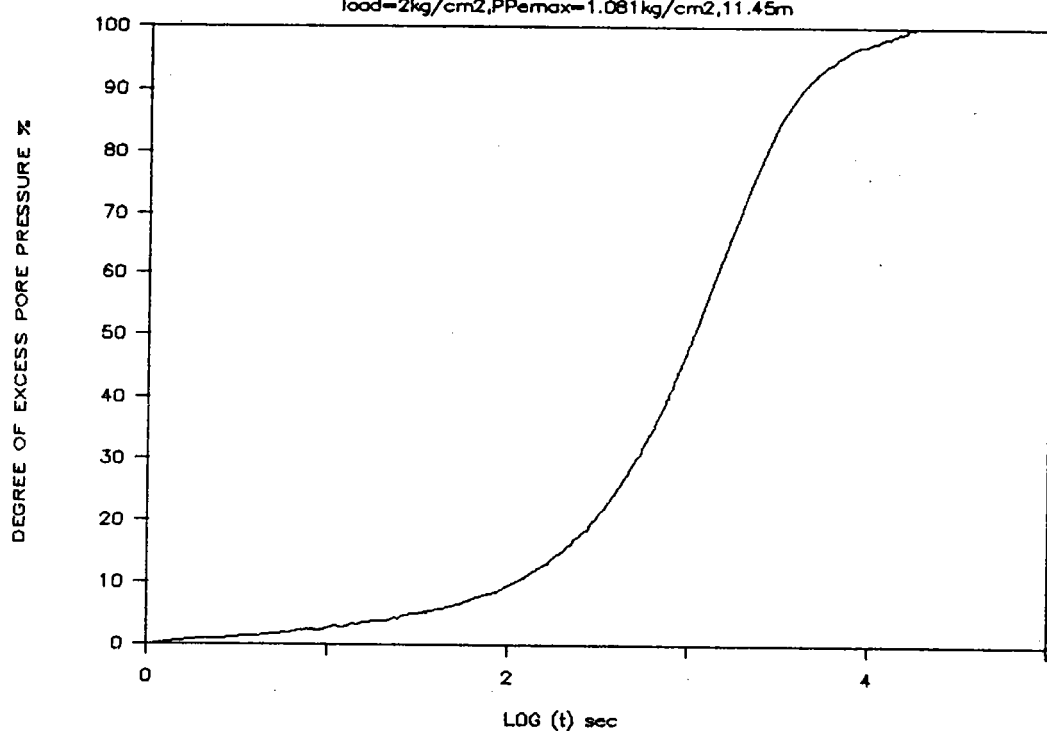
YUNG-AN, T-7, F.V, ONE-WAY, C_v=4.779mm²/min

load=1kg/cm², PP_{emax}=0.967kg/cm², 11.45m



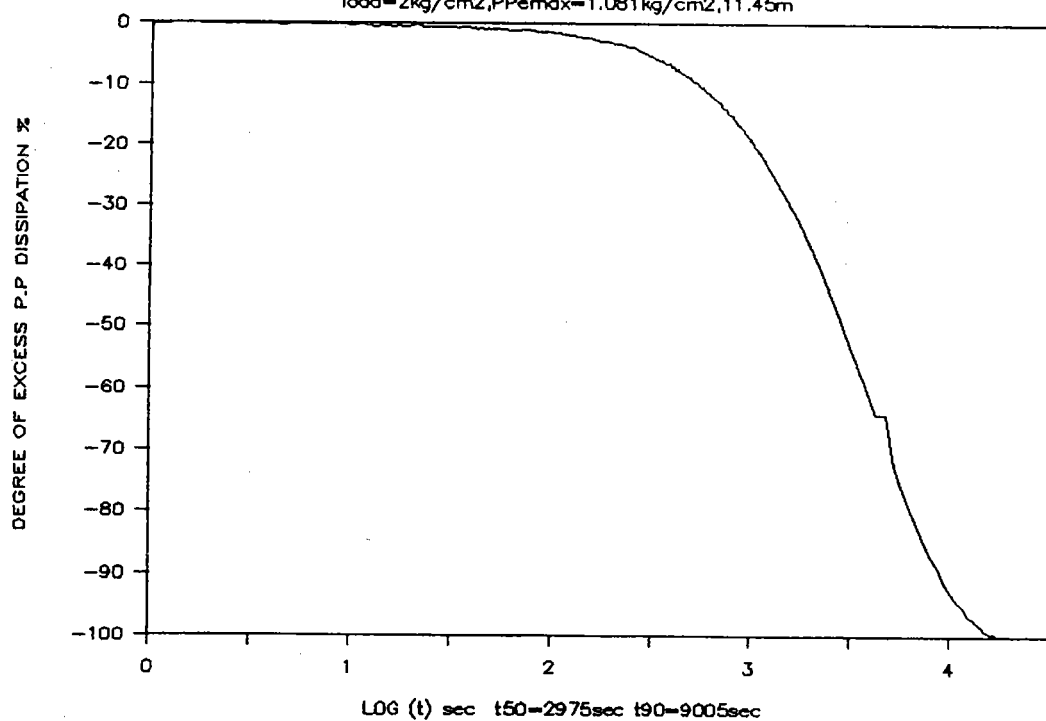
YUNG-AN, T-7, F.V, ONE-WAY

load=2kg/cm², PP_{emax}=1.081kg/cm², 11.45m



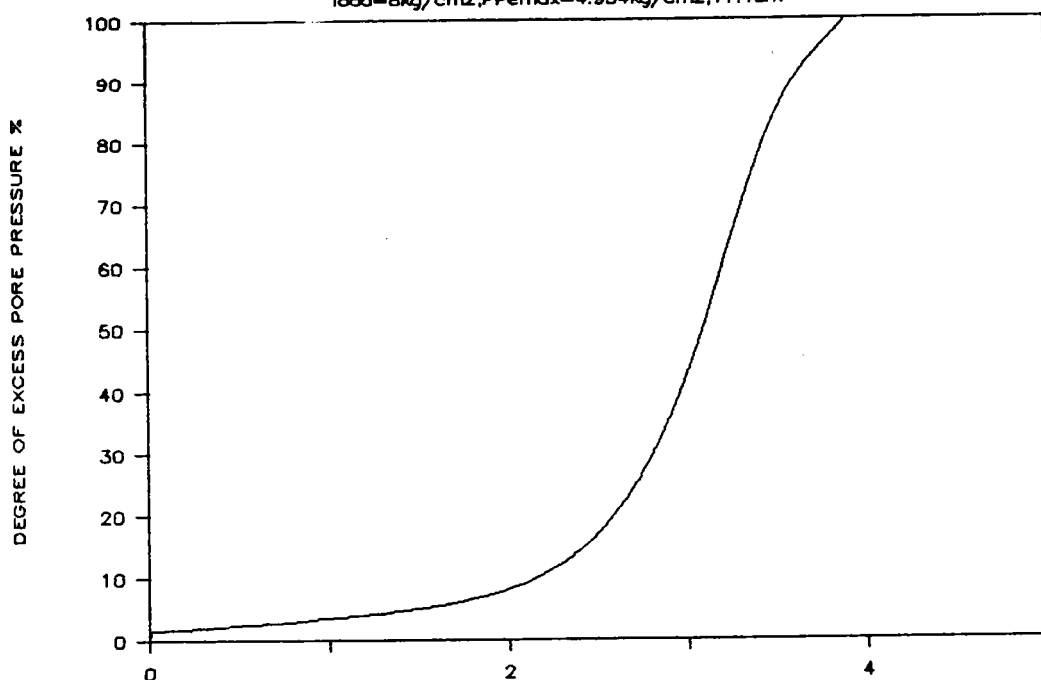
YUNG-AN, T-7, F.V, ONE-WAY, C_v=5.673mm²/min

load=2kg/cm², PP_{emax}=1.081kg/cm², 11.45m



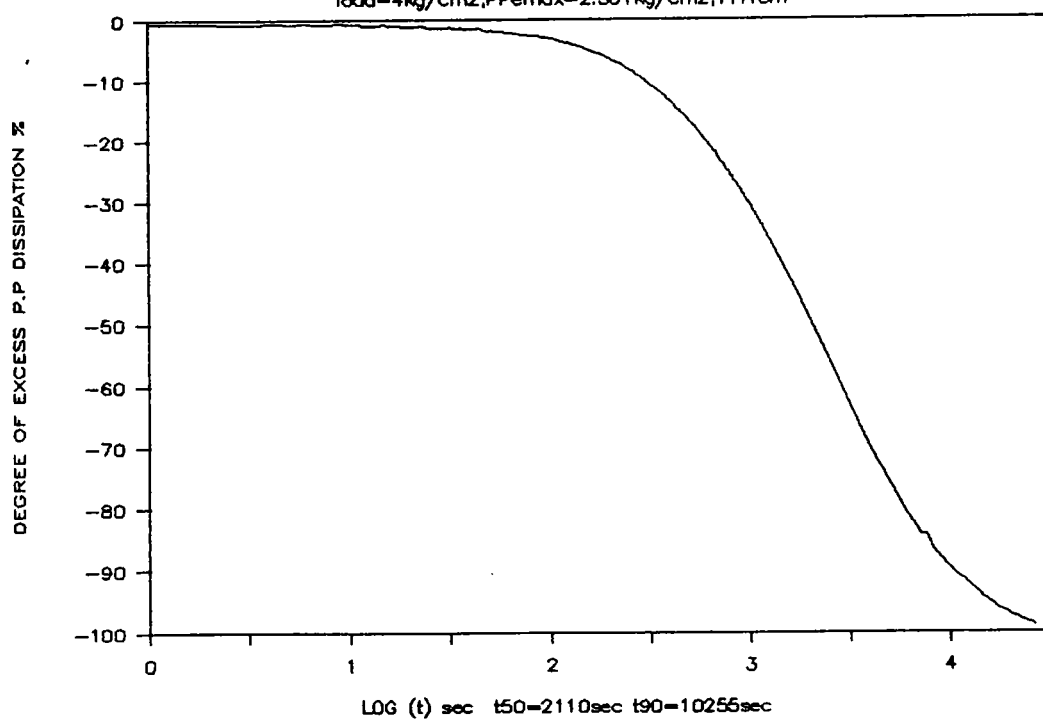
YUNG-AN, T-7, F.V, ONE-WAY

load=8kg/cm², PP_{emax}=4.954kg/cm², 11.45m



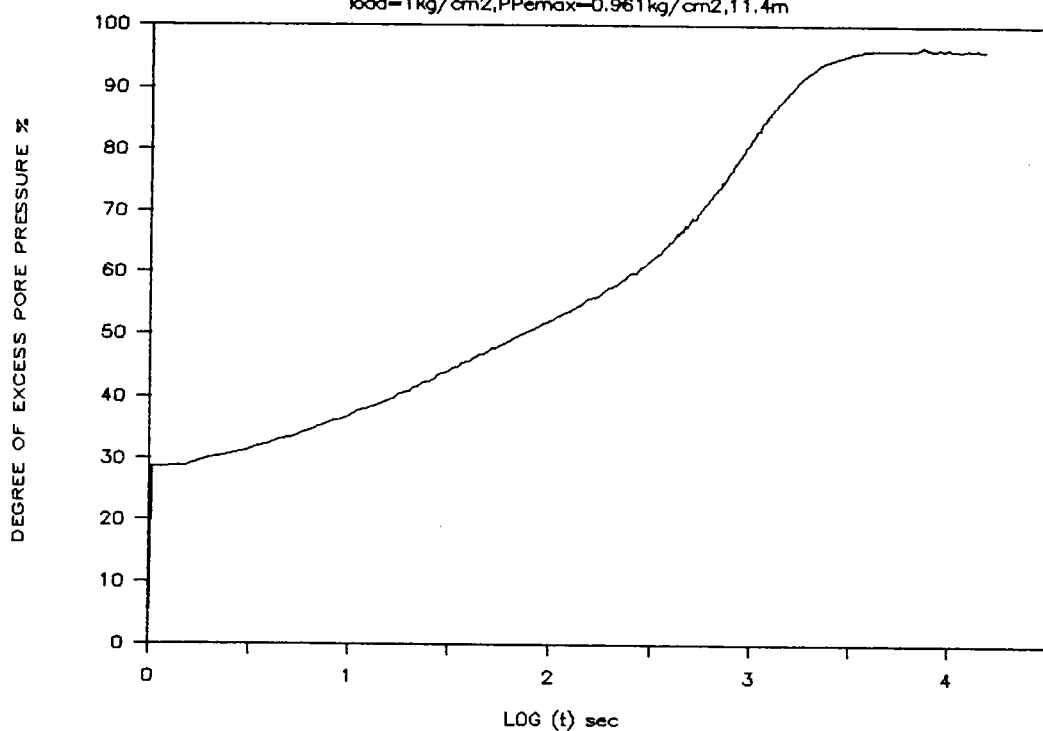
YUNG-AN, T-7, F.V, ONE-WAY, C_v=7.779mm²/min

load=4kg/cm², PP_{emax}=2.501kg/cm², 11.45m



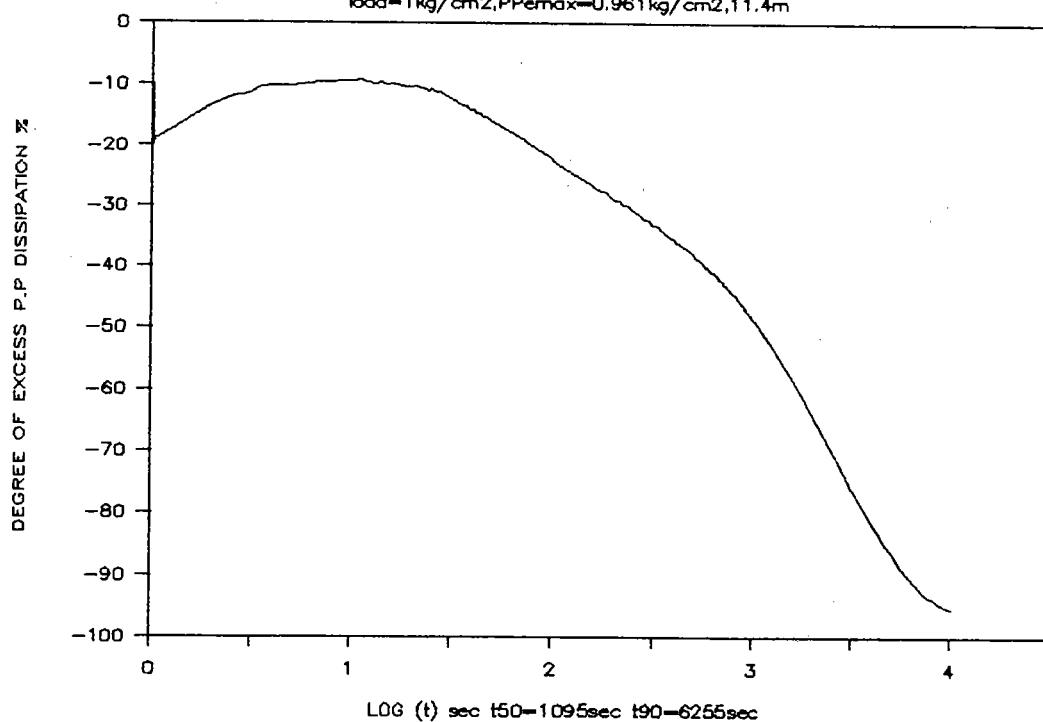
YUNG-AN, T-7, F.H, OUT

load=1kg/cm², PP_{emax}=0.961kg/cm², 11.4m



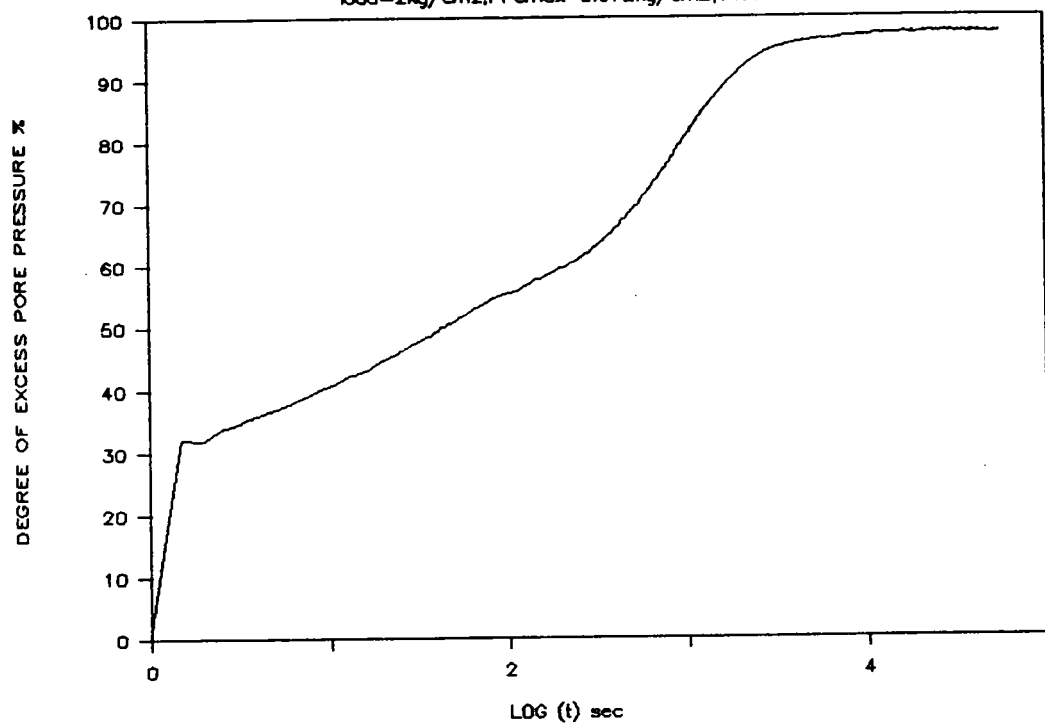
YUNG-AN, T-7, F.H, OUT, Cro=14.6mm²/min

load=1kg/cm², PP_{emax}=0.961kg/cm², 11.4m



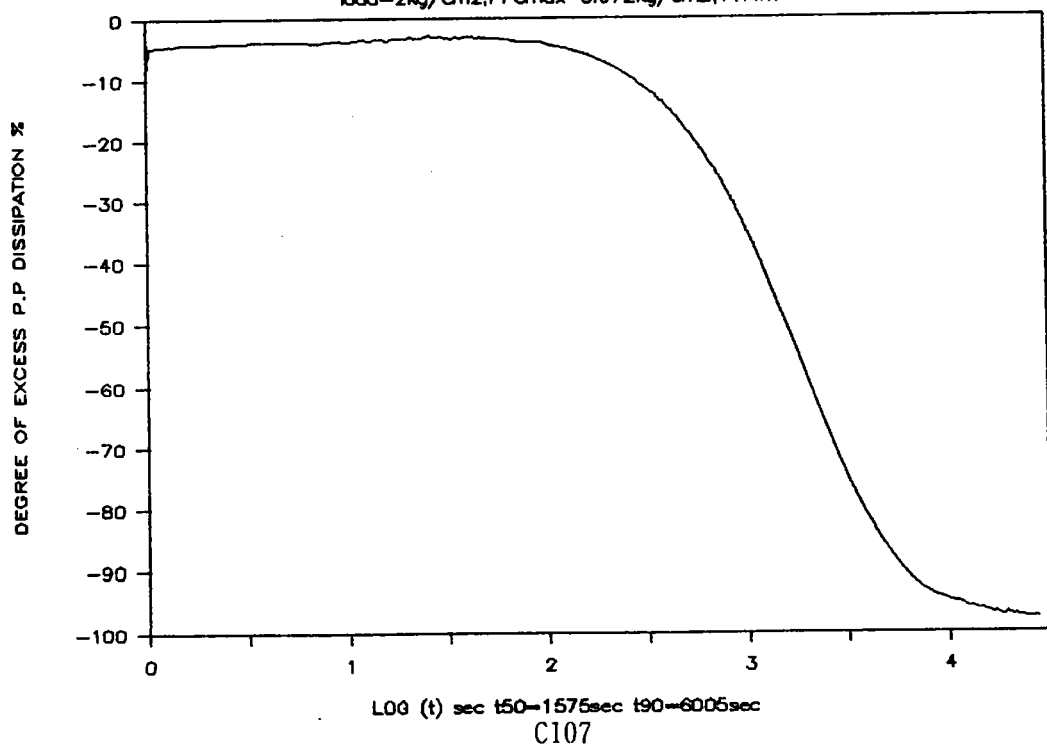
YUNG-AN, T-7, F.H, OUT

load=2kg/cm², PP_{emax}=0.972kg/cm², 11.4m



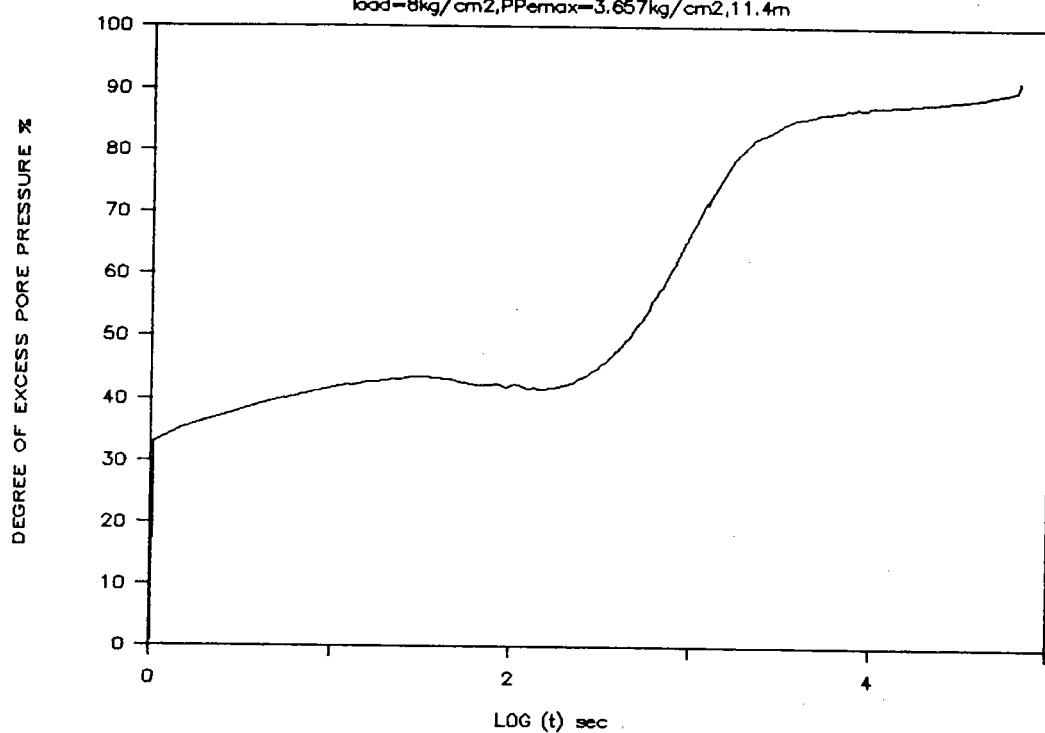
YUNG-AN, T-7, F.H, OUT, Cro=10.150mm²/min

load=2kg/cm², PP_{emax}=0.972kg/cm², 11.4m



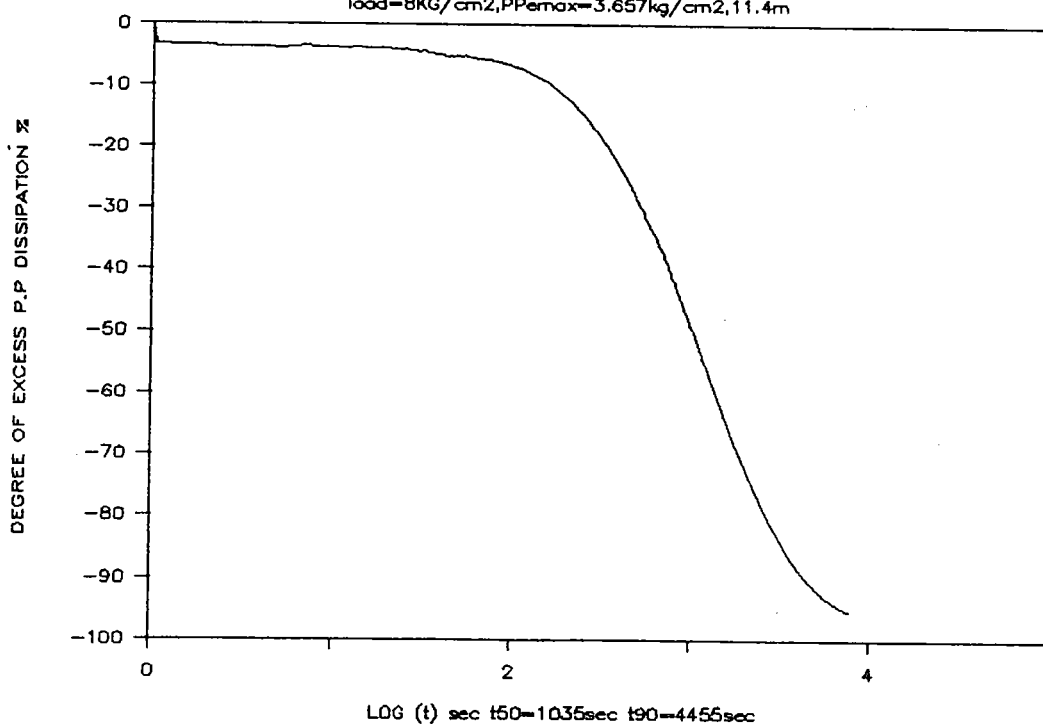
YUNG-AN, T-7, F.H, OUT

load=8kg/cm², PP_{max}=3.657kg/cm², 11.4m



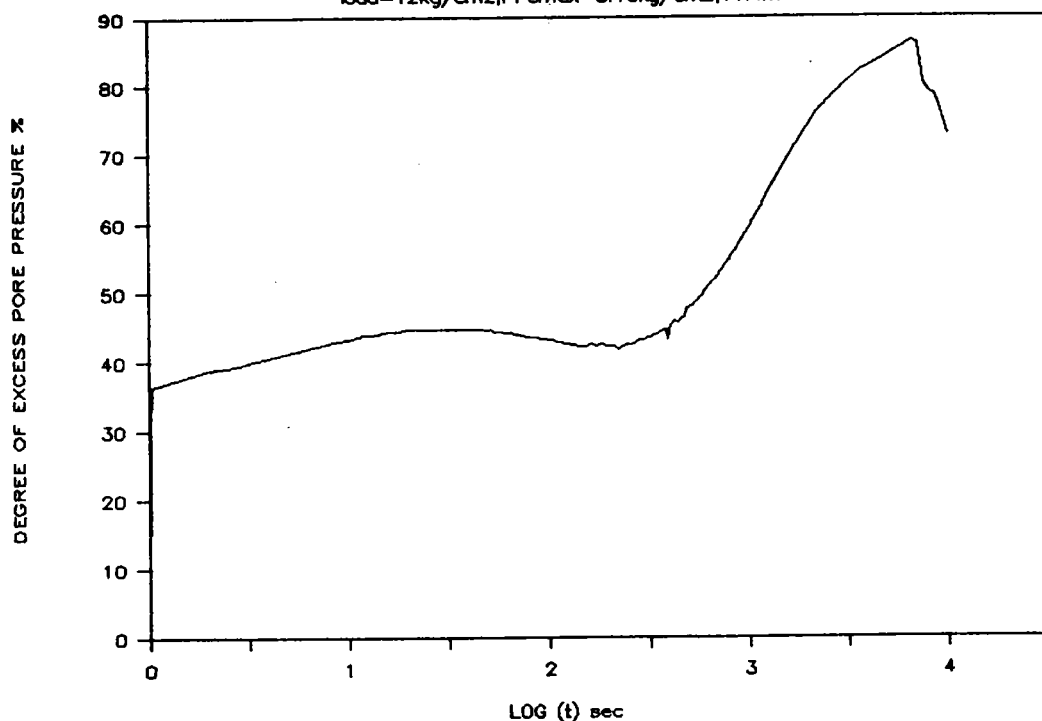
YUNG-AN, T-7, F.H, OUT, Cro=15.372mm²/min

load=8KG/cm², PP_{max}=3.657kg/cm², 11.4m



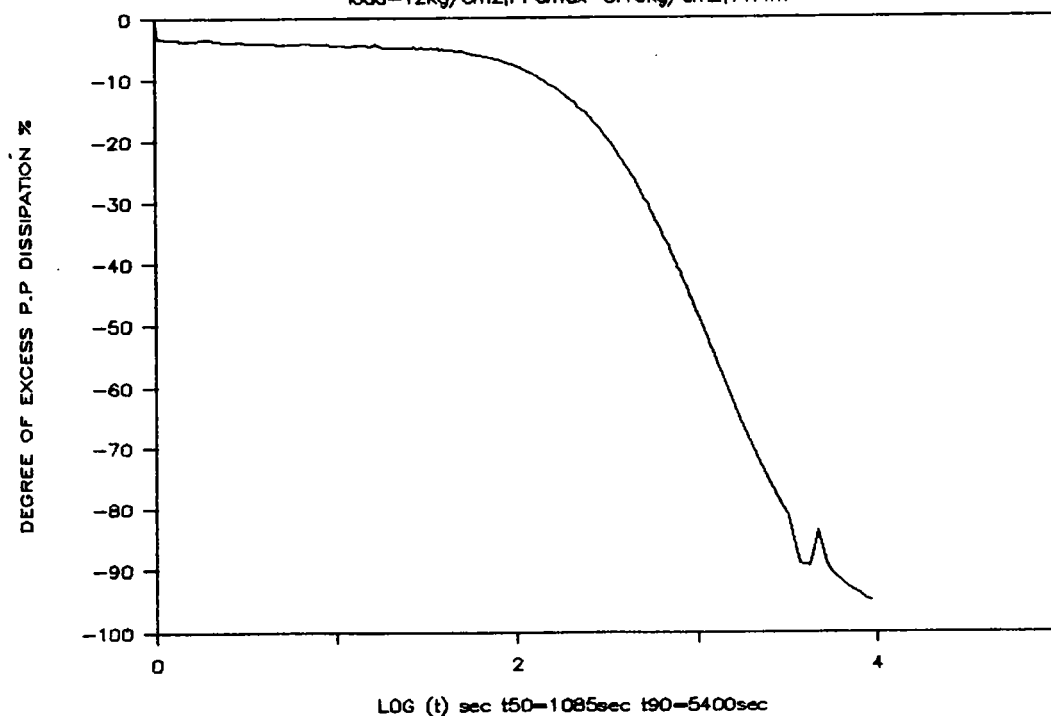
YUNG-AN, T-7, F.H, OUT

load=12kg/cm², PP_{emax}=3.46kg/cm², 11.4m



YUNG-AN, T-7, F.H, OUT, Cro=14.735mm²/min

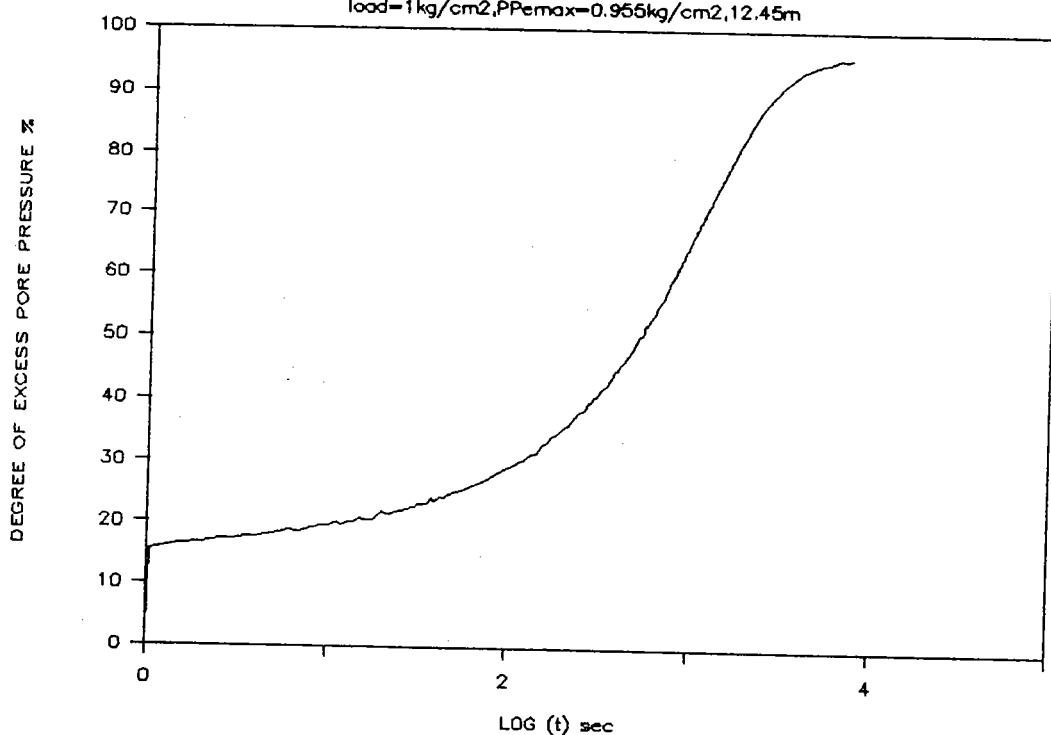
load=12kg/cm², PP_{emax}=3.46kg/cm², 11.4m



LOG (t) sec t50=1085sec t90=5400sec

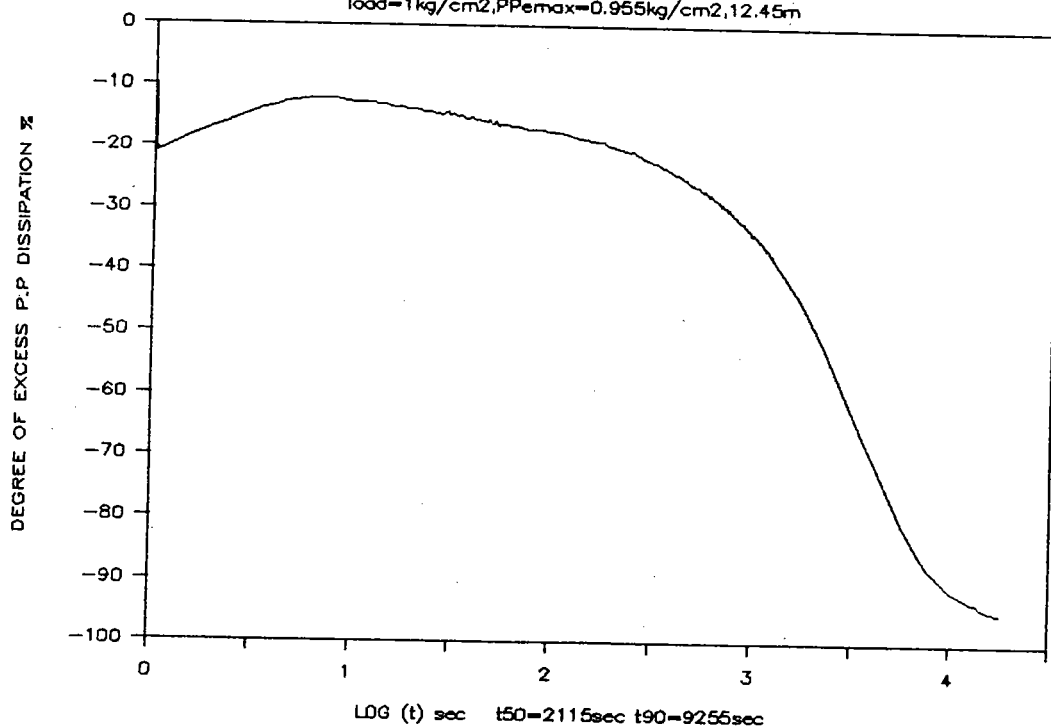
YUNG-AN, T-8, F.H, OUT

load=1 kg/cm², PP_{emax}=0.955 kg/cm², 12.45m



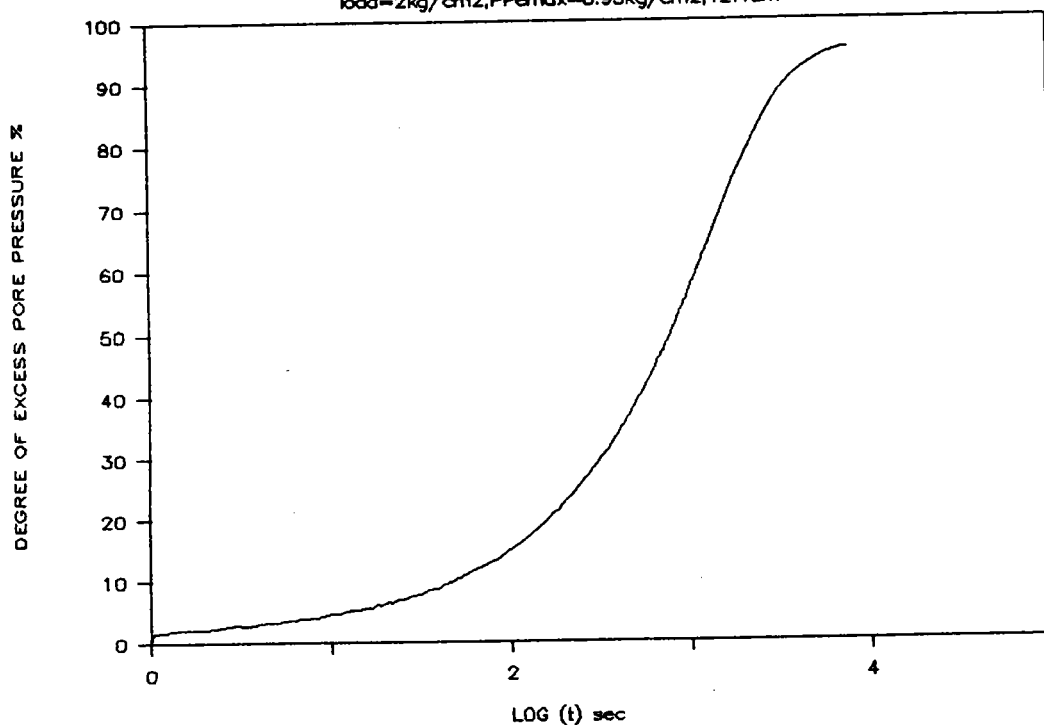
YUNG-AN, T-8, F.H,OUT, Cro=7.559mm²/min

load=1 kg/cm², PP_{emax}=0.955 kg/cm², 12.45m



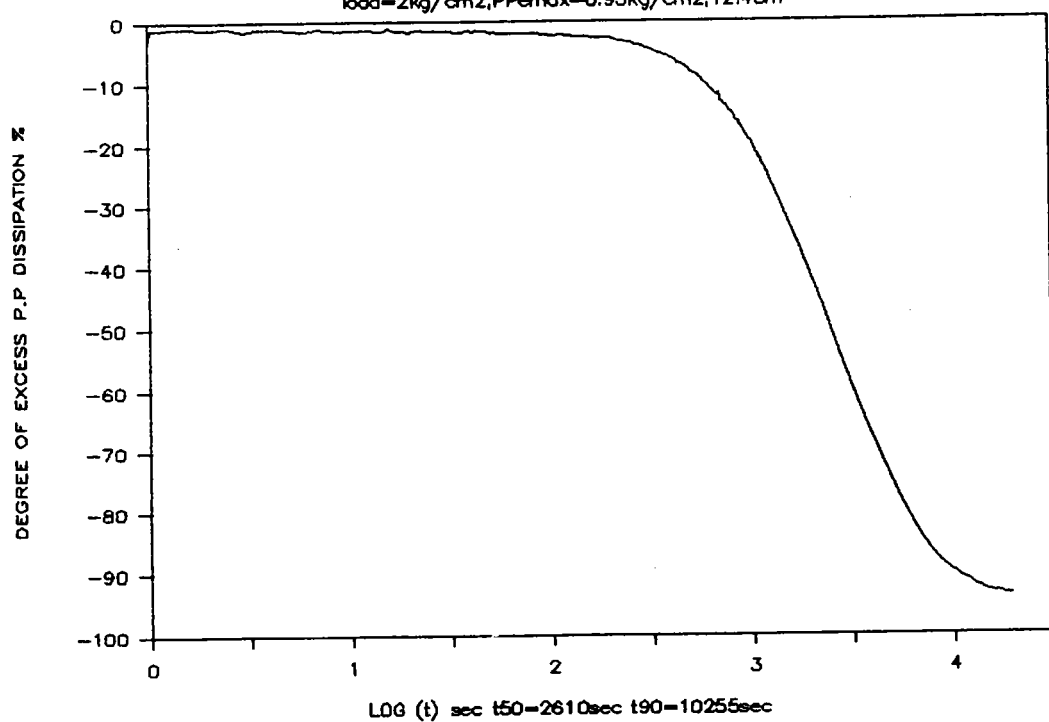
YUNG-AN, T-8, F.H, OUT

load=2kg/cm², PP_{emax}=0.95kg/cm², 12.45m



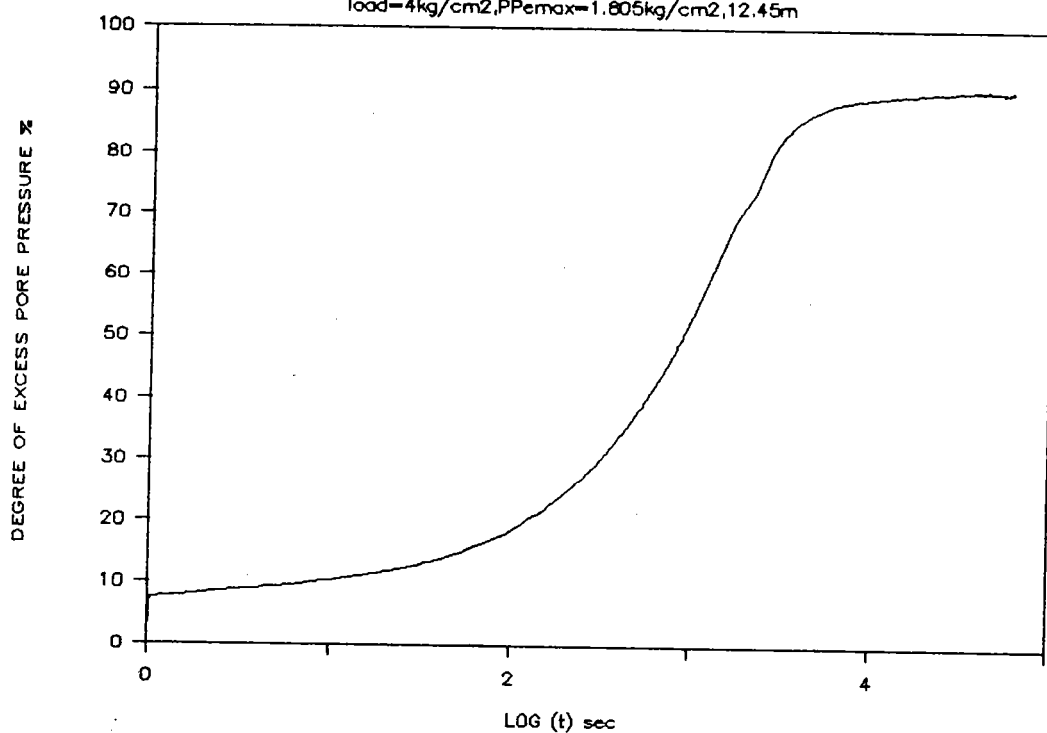
YUNG-AN, T-8, F.H, OUT, Cro=6.13mm²/min

load=2kg/cm², PP_{emax}=0.95kg/cm², 12.45m



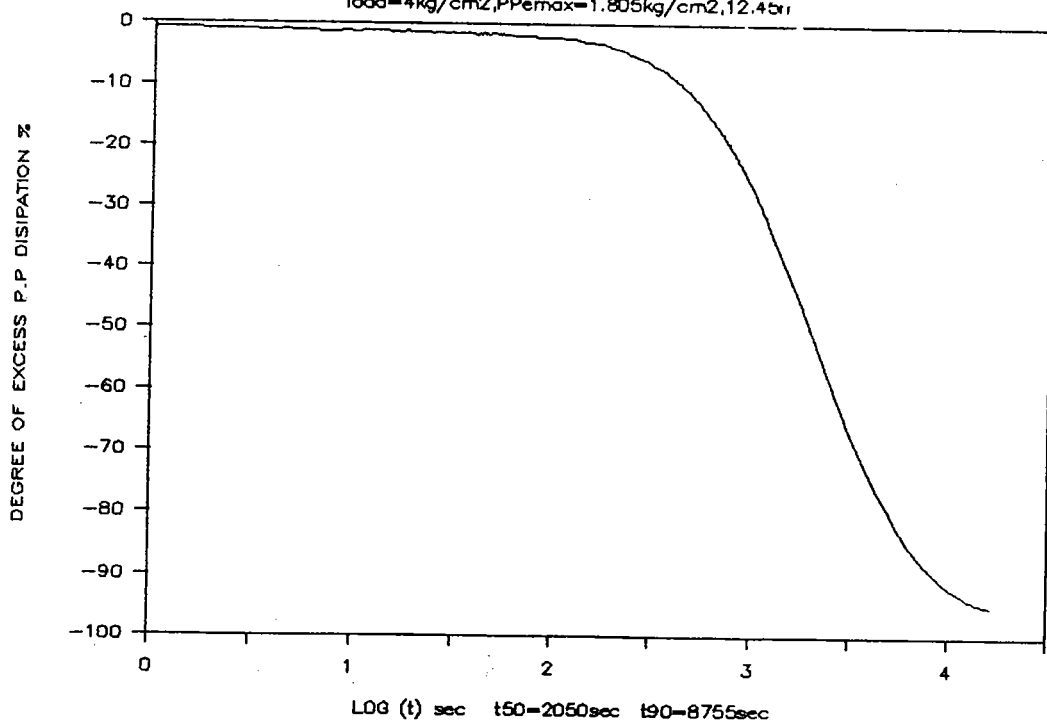
YUNG-AN, T-8, F.H, OUT

load=4kg/cm², PP_{emax}=1.805kg/cm², 12.45m



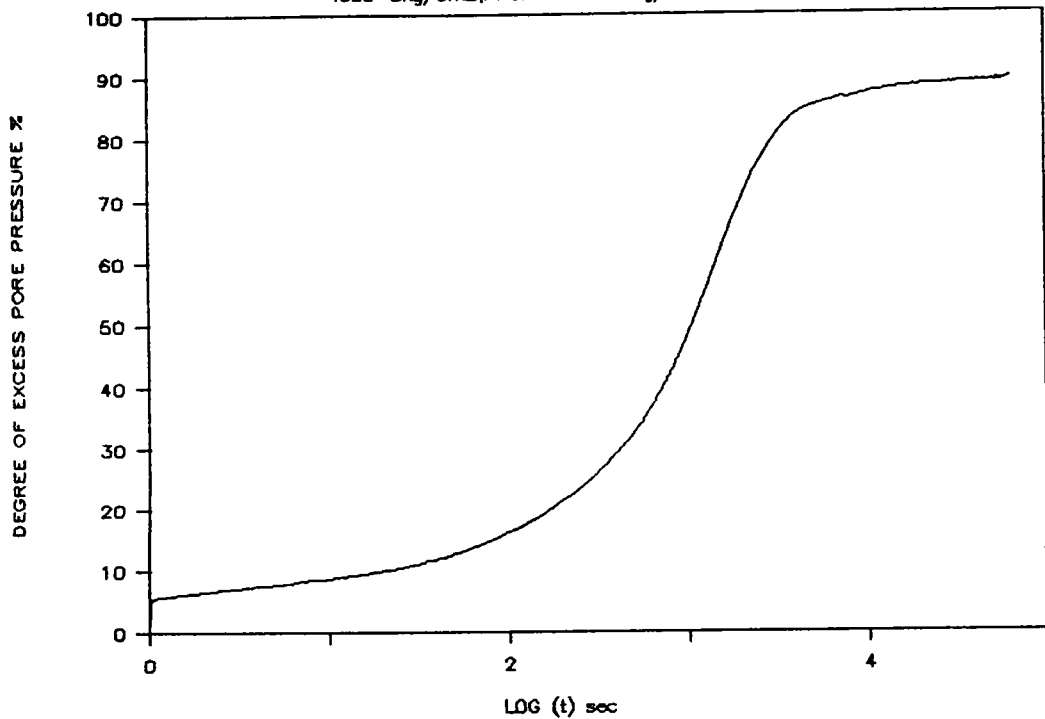
YUNG-AN, T-8, F.H, OUT, Cro=7.799mm²/min

load=4kg/cm², PP_{emax}=1.805kg/cm², 12.45m



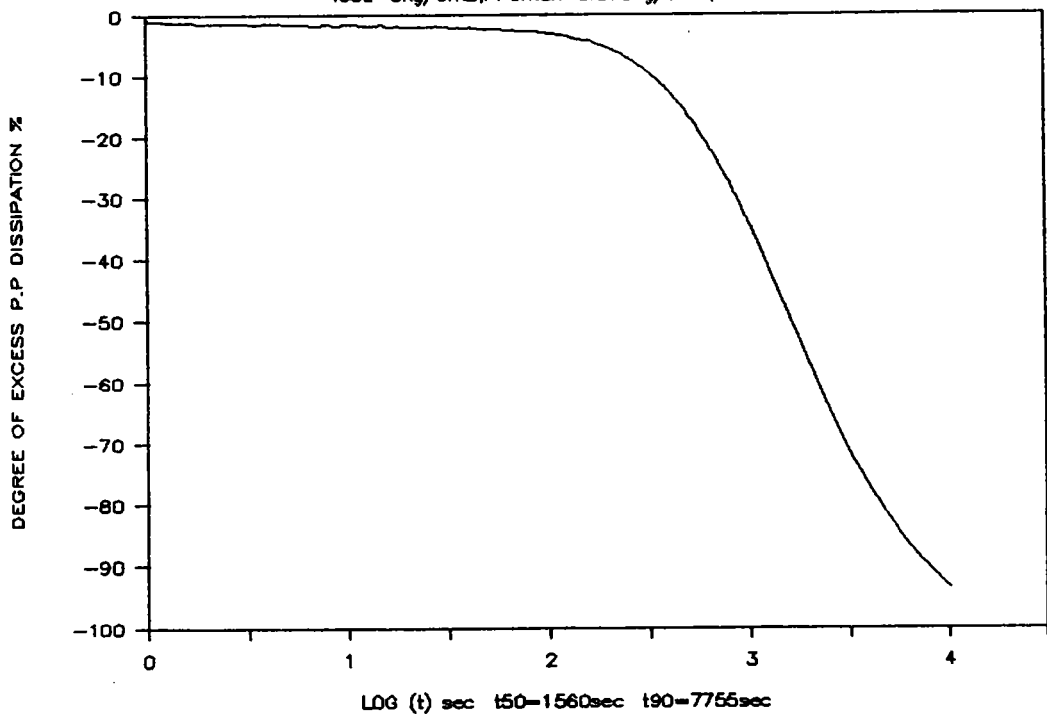
YUNG-AN, T-8 , F.H, OUT

load=8kg/cm², PP_{emax}=3.575kg/cm², 12.45m



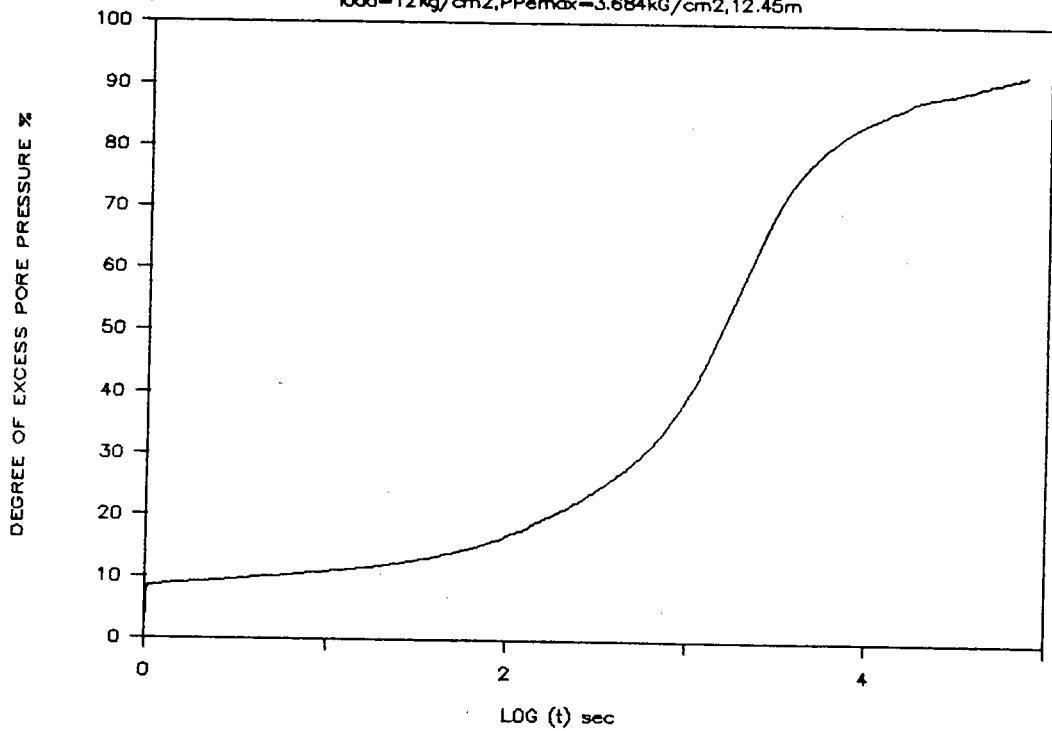
YUNG-AN, T-8, F.H, OUT, Cro=10.248mm²/min

load=8kg/cm², PP_{emax}=3.575kg/cm², 12.45m



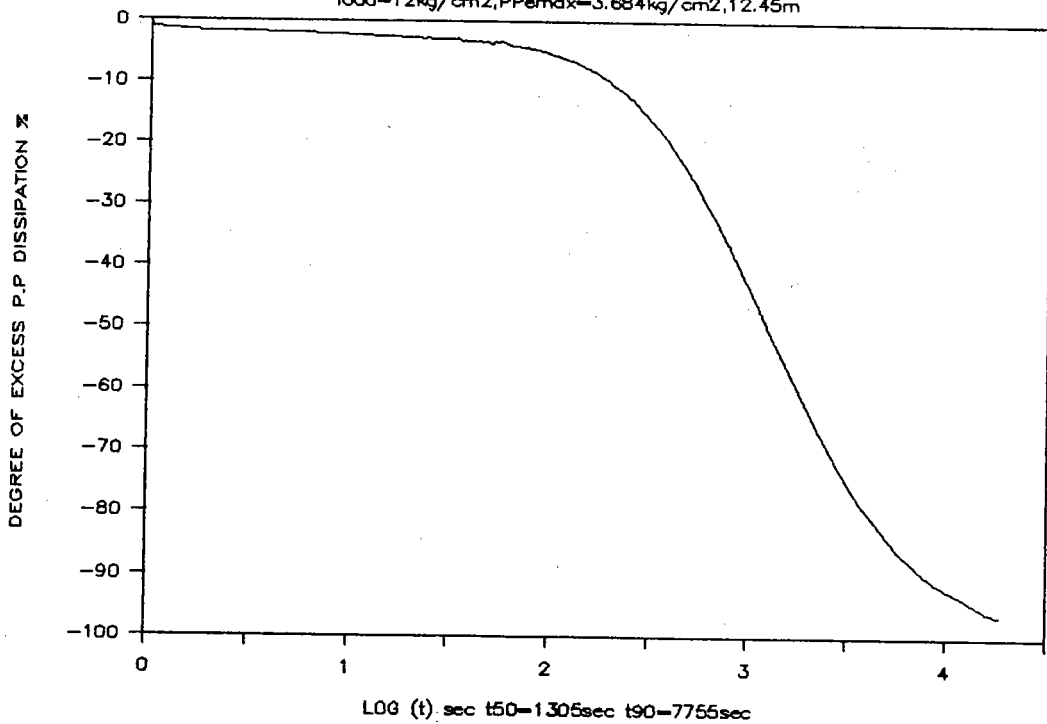
YUNG-AN, T-8, F.H, OUT

load=12kg/cm², PP_{emax}=3.684kg/cm², 12.45m



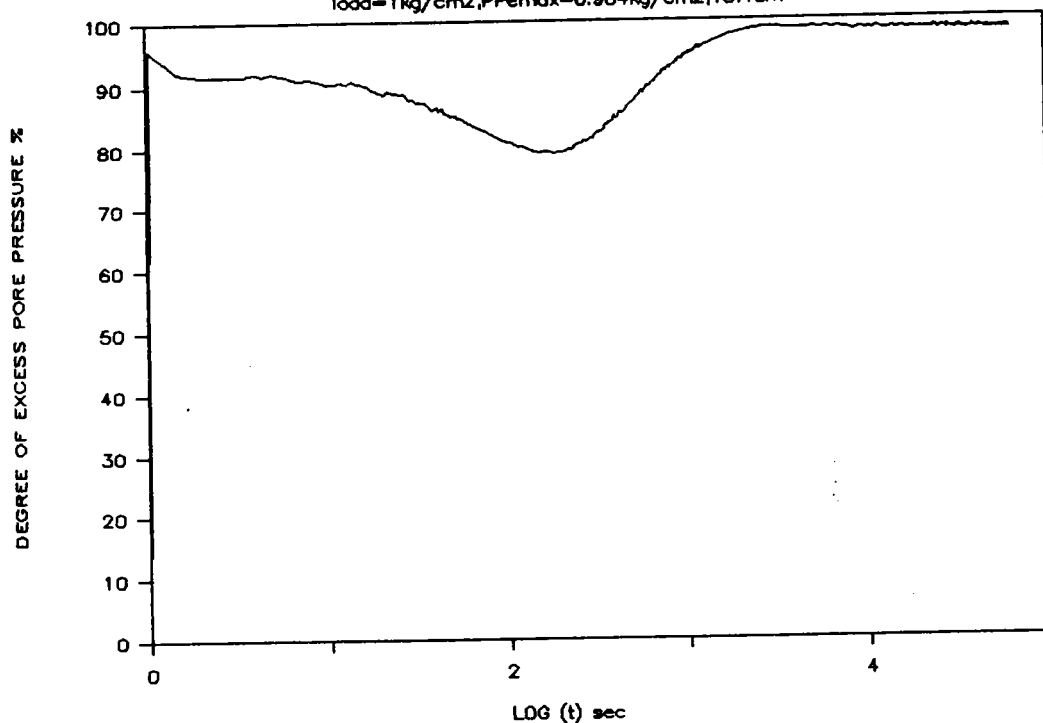
YUNG-AN, T-8, F.H, OUT, Cro=12.251mm²/min

load=12kg/cm², PP_{emax}=3.684kg/cm², 12.45m



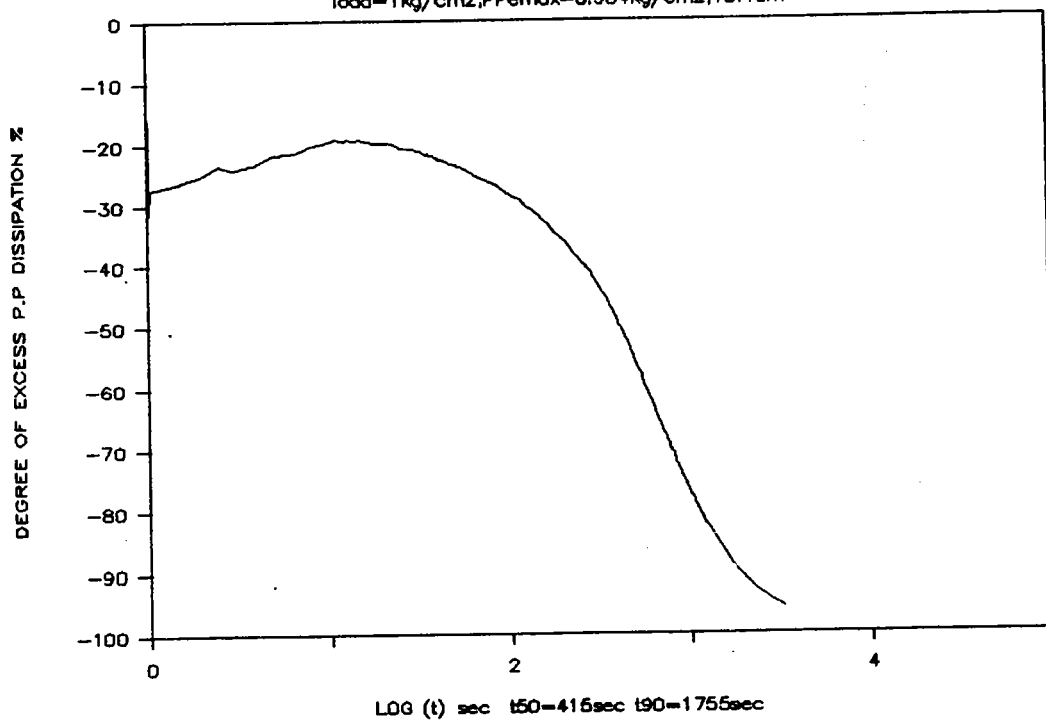
YUN-AN, T-9, F.H, OUT

load=1kg/cm², PP_{max}=0.984kg/cm², 13.45m



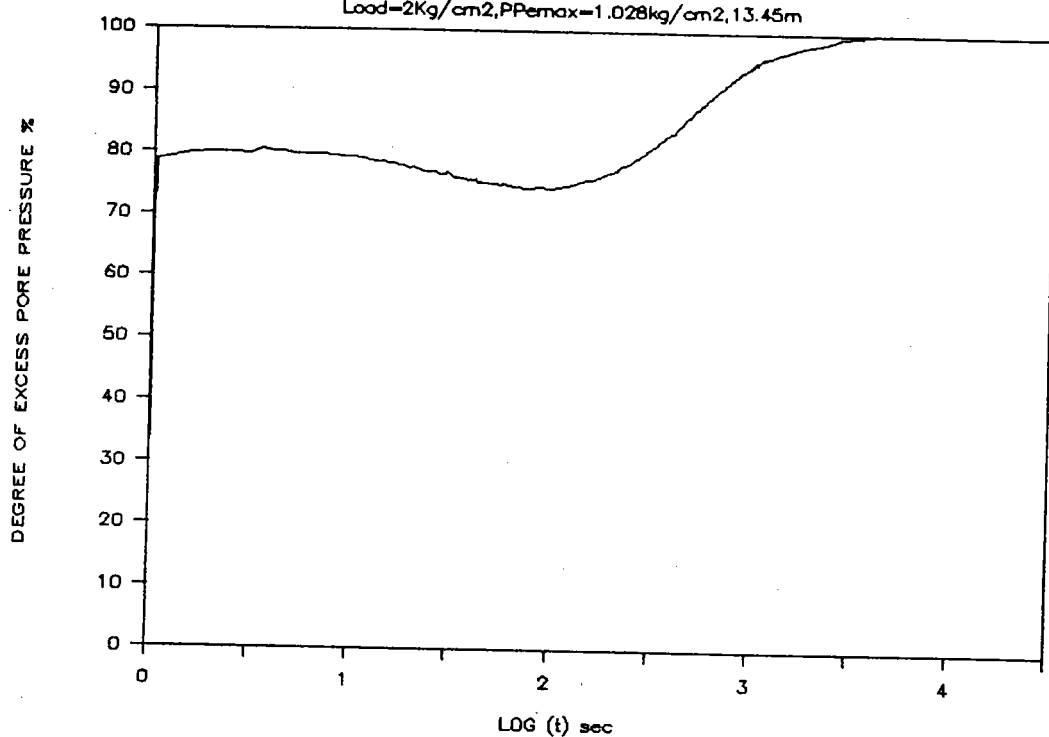
YUNG-AN, T-9, F.H, OUT, Cro=38.523mm²/min

load=1kg/cm², PP_{max}=0.984kg/cm², 13.45m



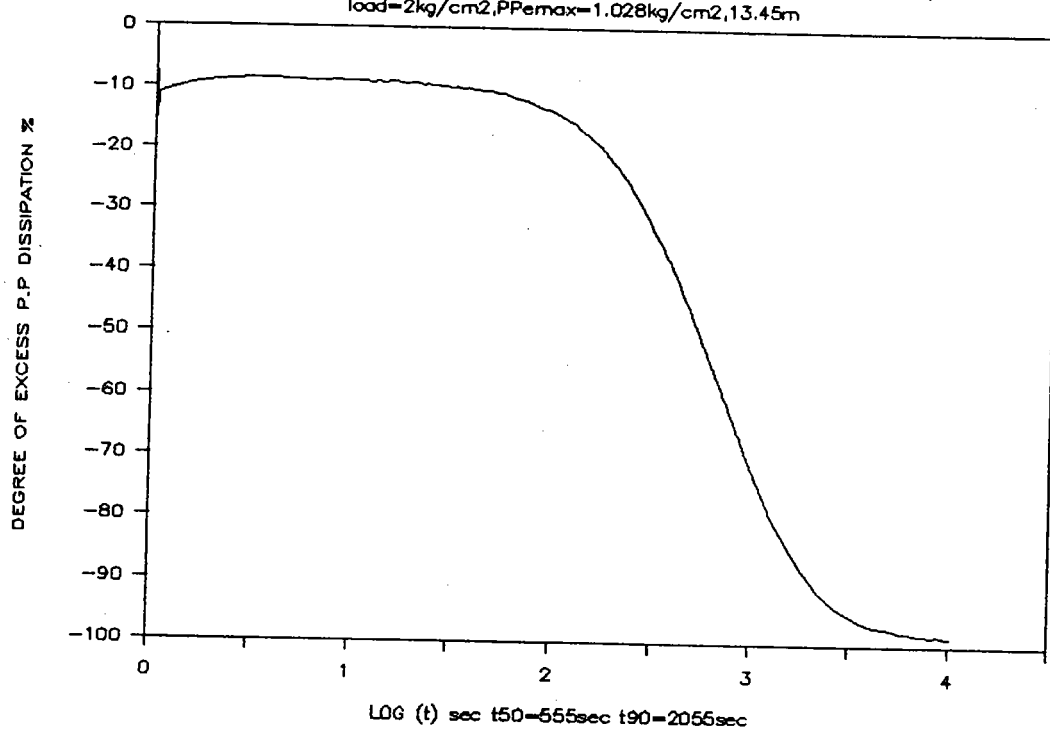
YUNG-AN, T-9, F.H, OUT

Load=2Kg/cm², PP_{emax}=1.028kg/cm², 13.45m



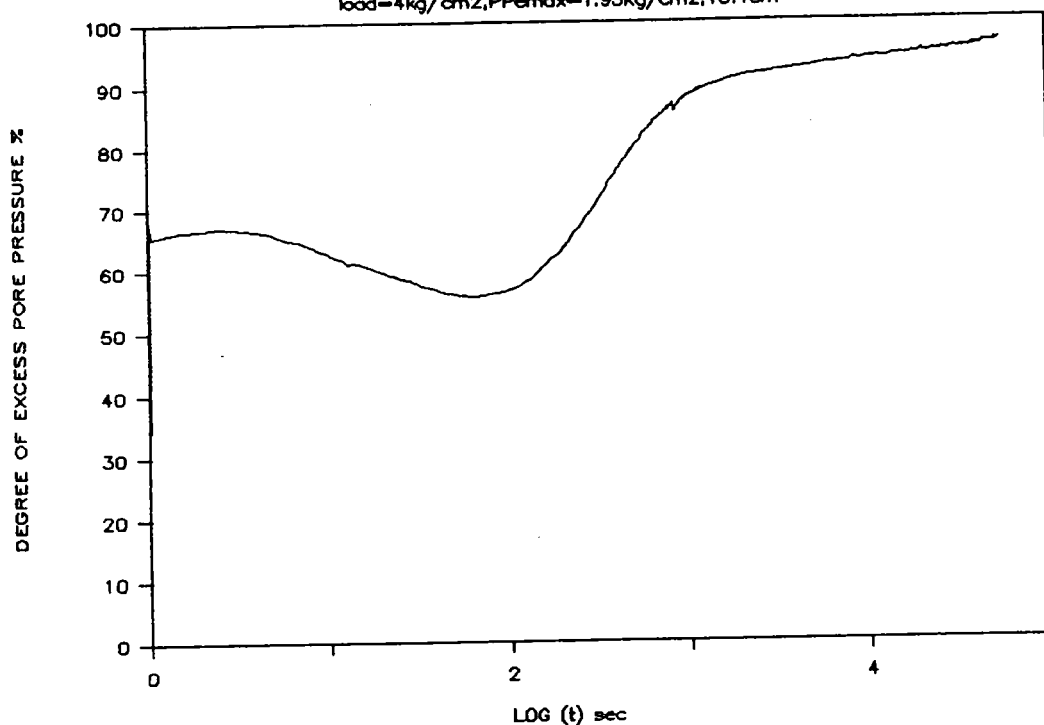
YUNG-AN, T-9, F.H, OUT, Cro=28.805mm²/min

load=2kg/cm², PP_{emax}=1.028kg/cm², 13.45m



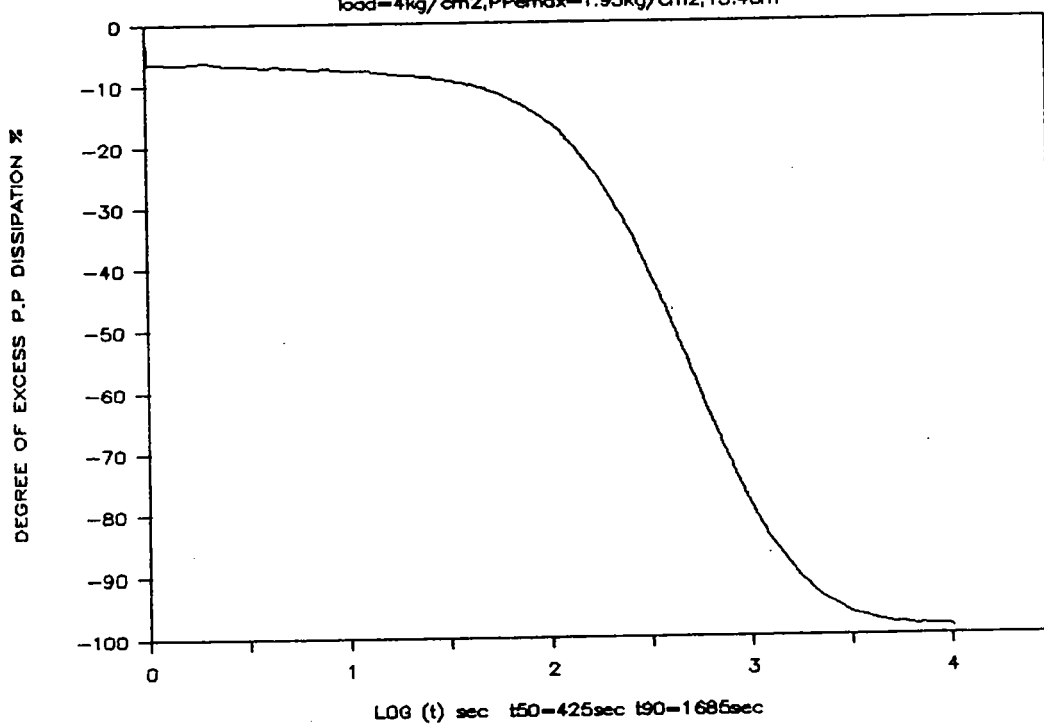
YUNG-AN, T-9, F.H, OUT

load=4kg/cm², PP_{max}=1.93kg/cm², 13.45m



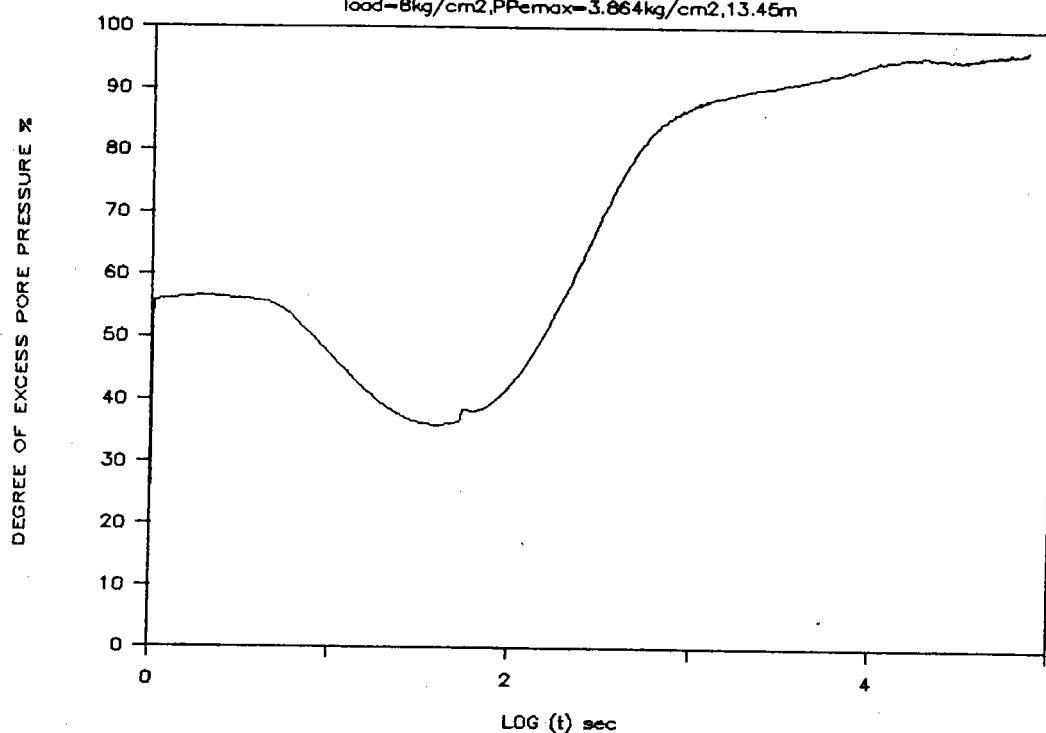
YUNG-AN, T-9, F.H, OUT, Cro=37.616mm²/min

load=4kg/cm², PP_{max}=1.93kg/cm², 13.45m



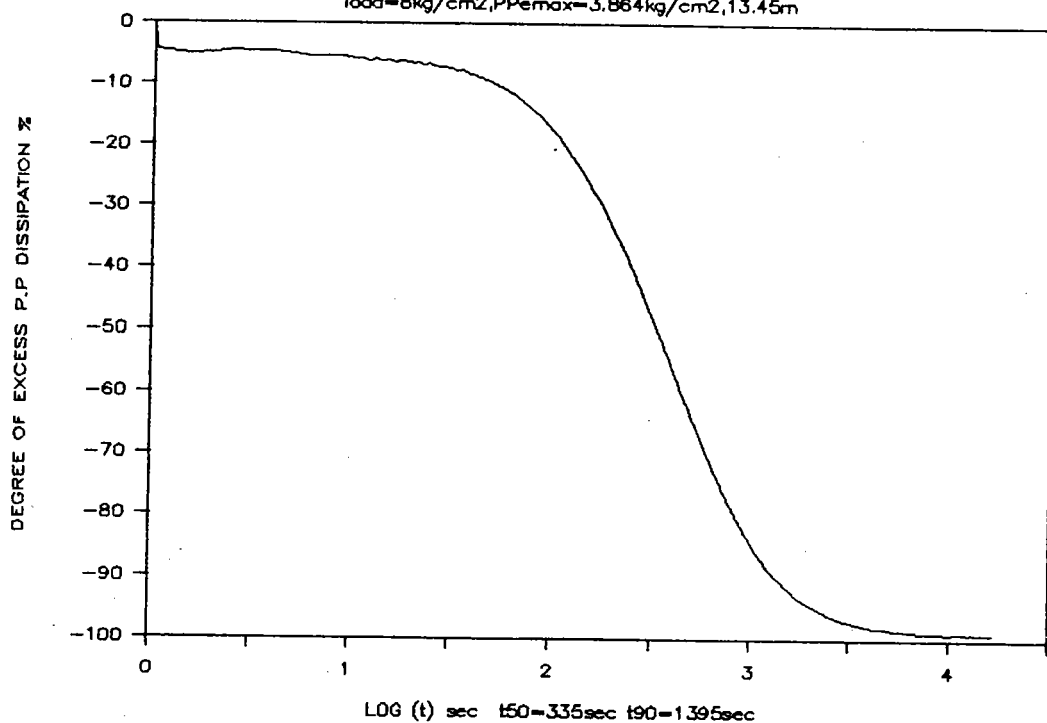
YUNG-AN, T-9, F.H, OUT

load=8kg/cm², PP_{emax}=3.864kg/cm², 13.45m



YUNG-AN, T-9, F.H, OUT, Cro=47.722mm²/min

load=8kg/cm², PP_{emax}=3.864kg/cm², 13.45m

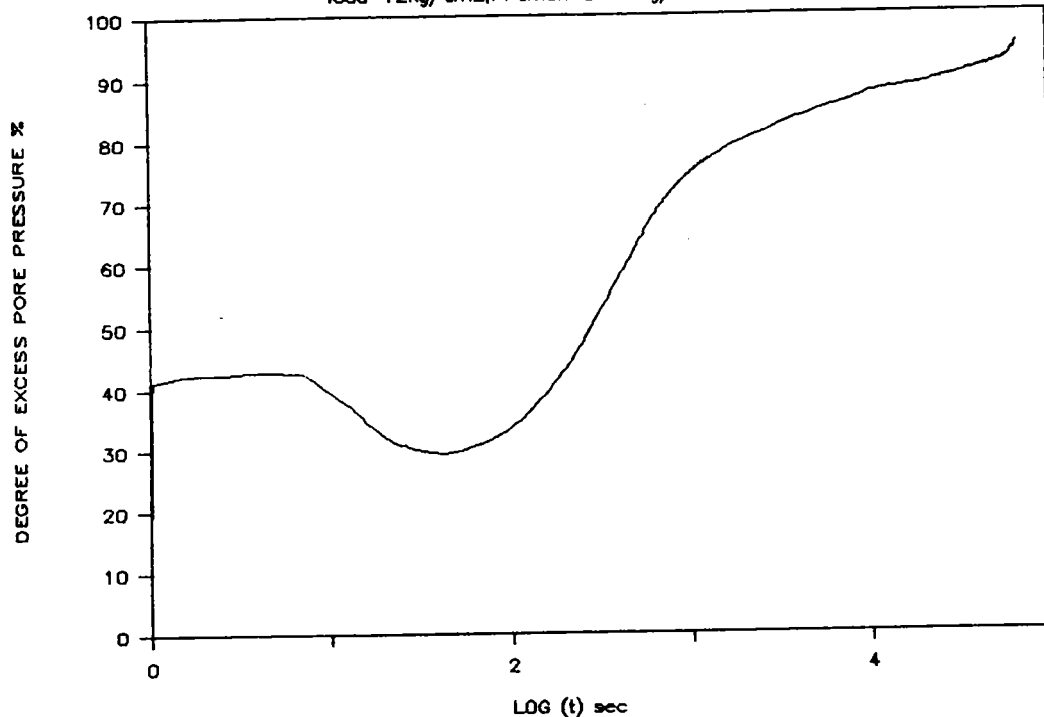


LOG (t) sec t₅₀=3.35sec t₉₀=1.395sec

C118

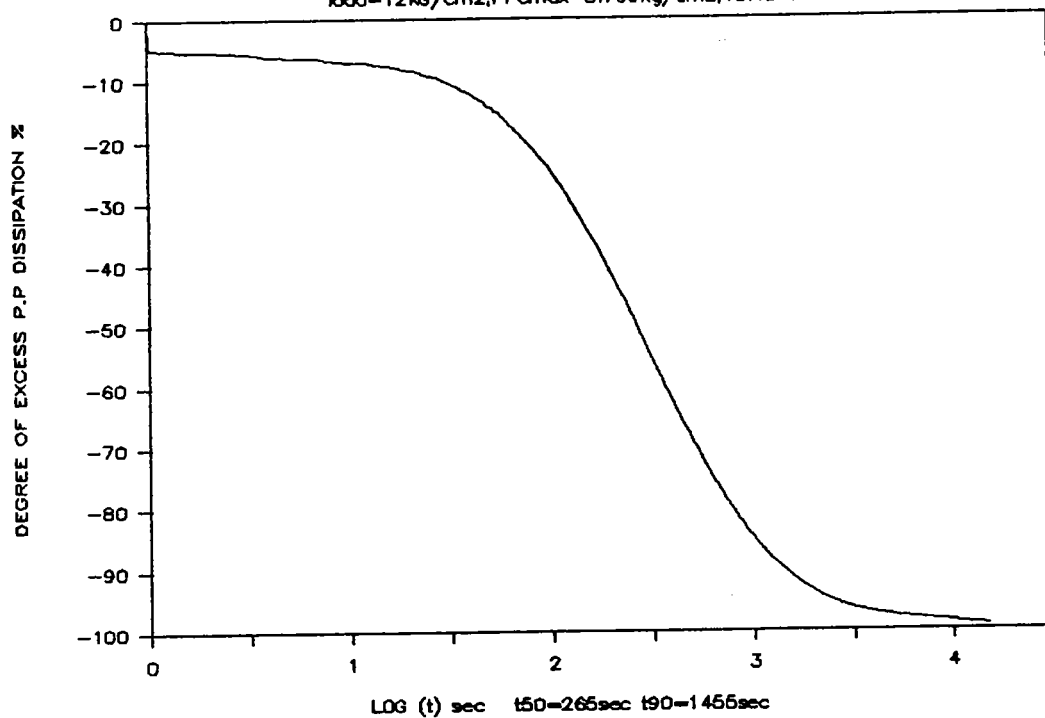
YUNG-AN, T-9, F.H, OUT

load=12kg/cm², PP_{max}=3.799kg/cm², 13.45m



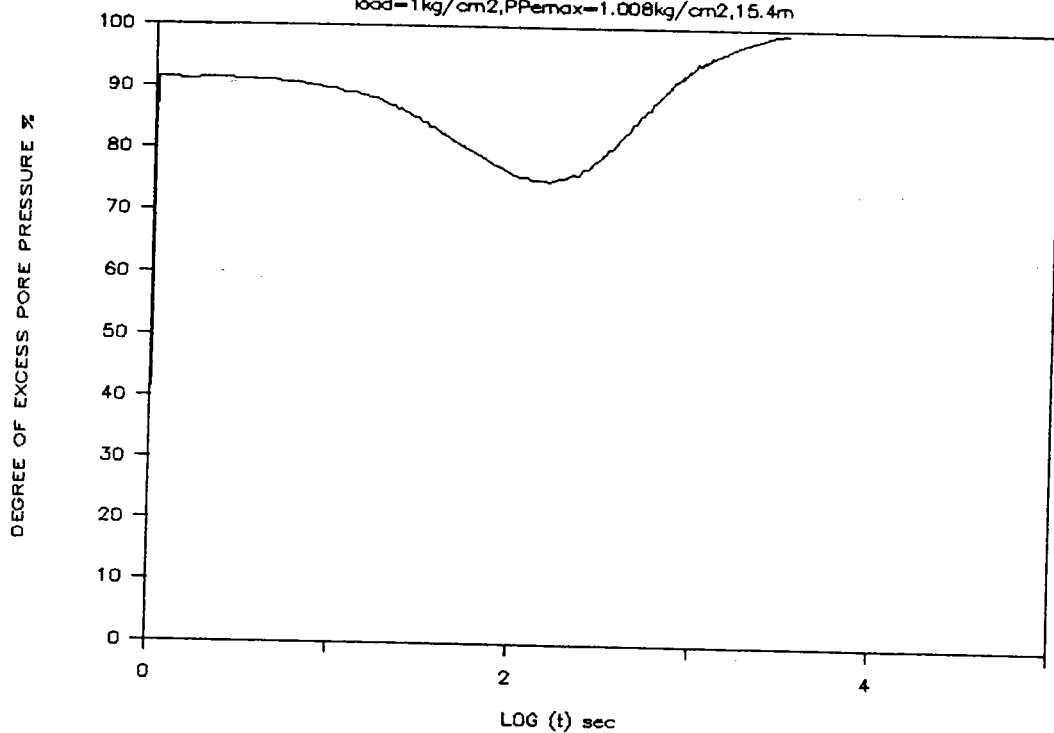
YUNG-AN, T-9, F.H, OUT, Cro=60.328mm²/min

load=12kg/cm², PP_{max}=3.799kg/cm², 13.45m



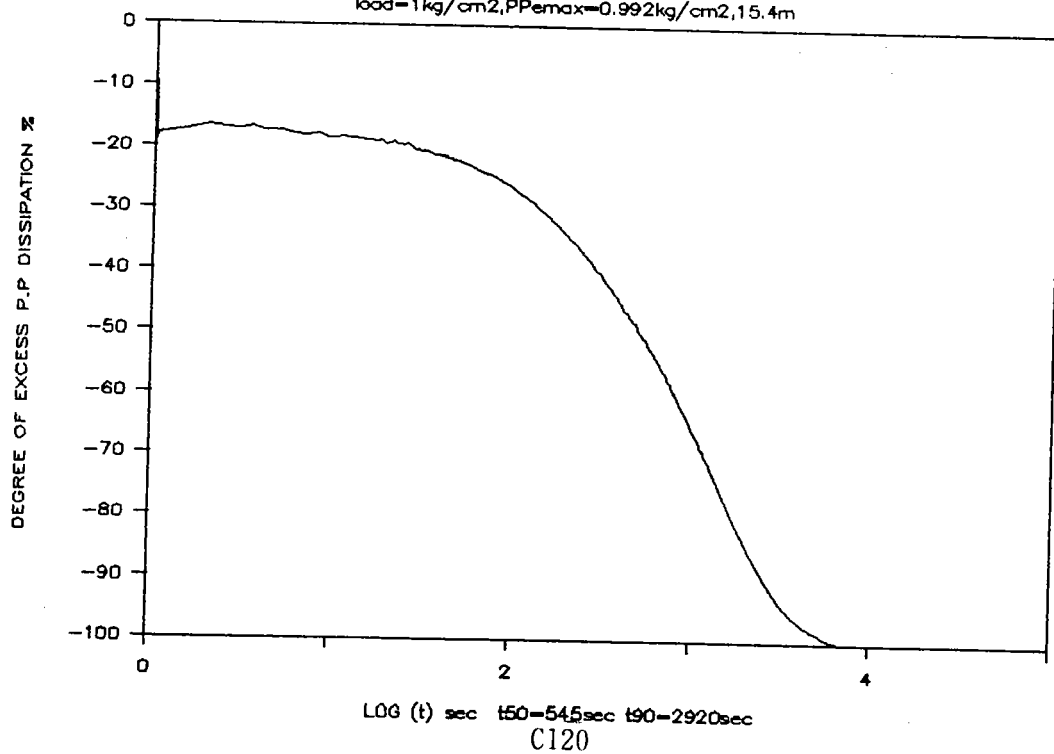
YUNG-AN, T-10, F.H, OUT

load=1 kg/cm², PP_{max}=1.008 kg/cm², 15.4m



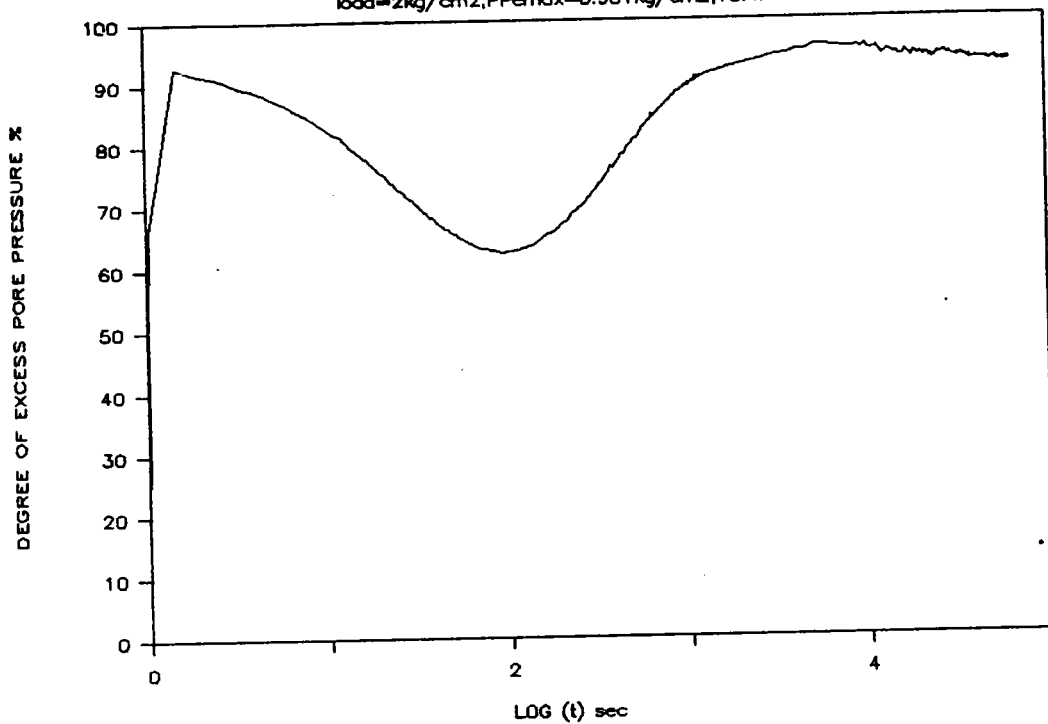
YUNG-AN, T-10, F.H, OUT, C_{ro}=29.33 mm²/min

load=1 kg/cm², PP_{max}=0.992 kg/cm², 15.4m



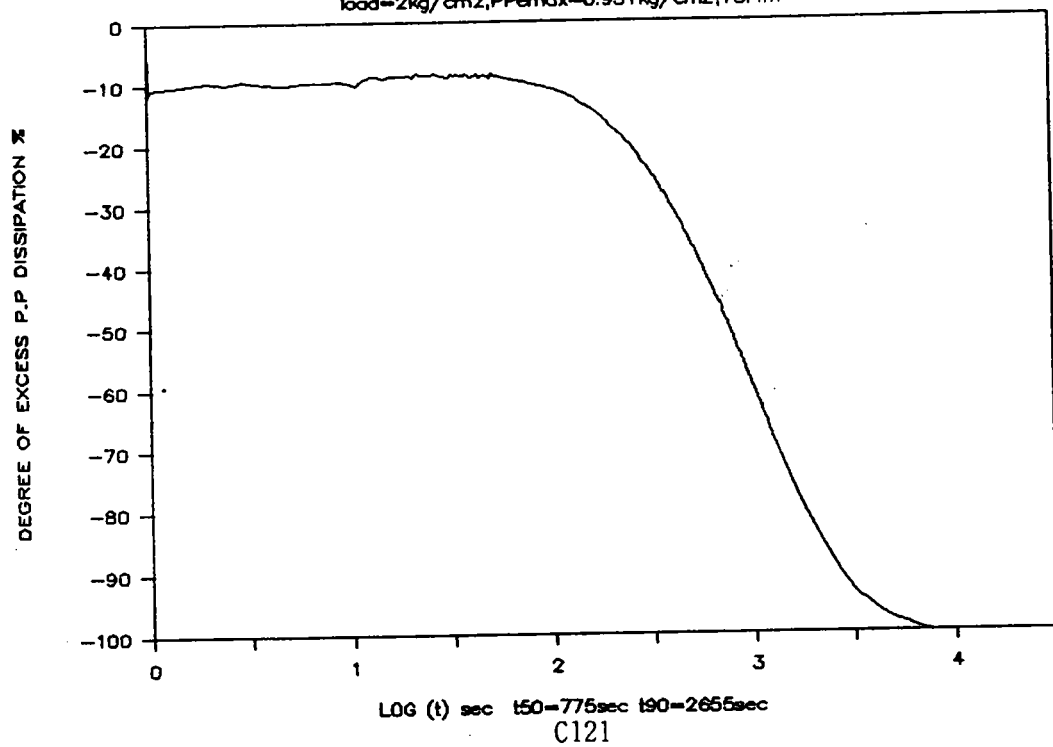
YUNG-AN, T-10, F.H, OUT

load=2kg/cm², PP_{emax}=0.931kg/cm², 15.4m



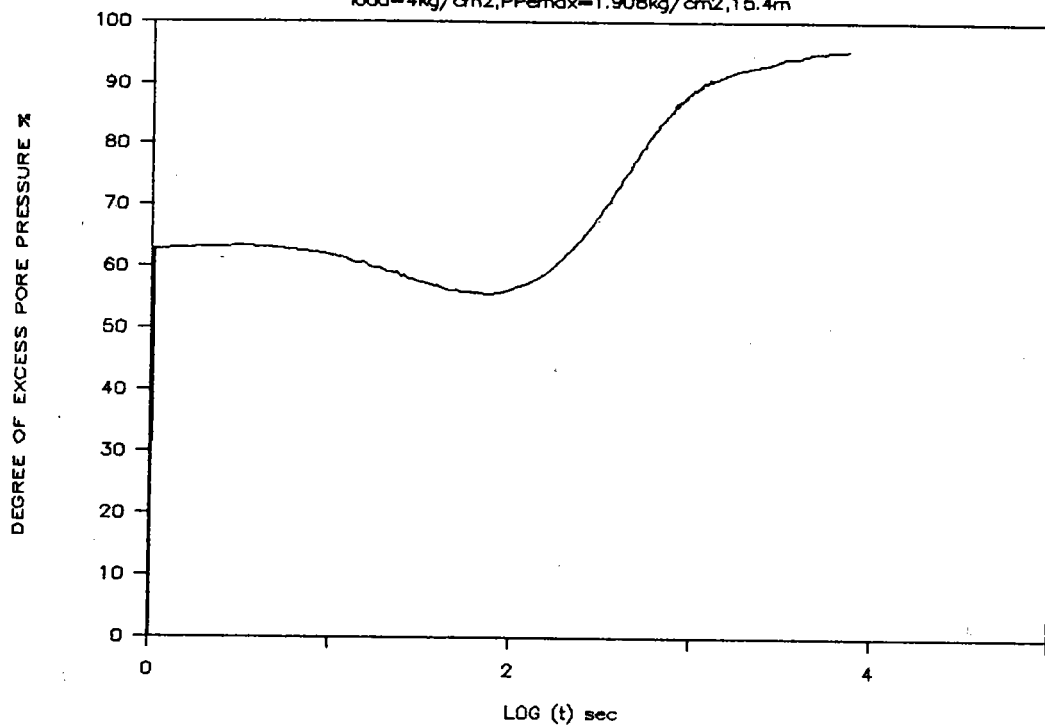
YUNG-AN, T-10, F.H, OUT, Cro=20.628mm²/min

load=2kg/cm², PP_{emax}=0.931kg/cm², 15.4m



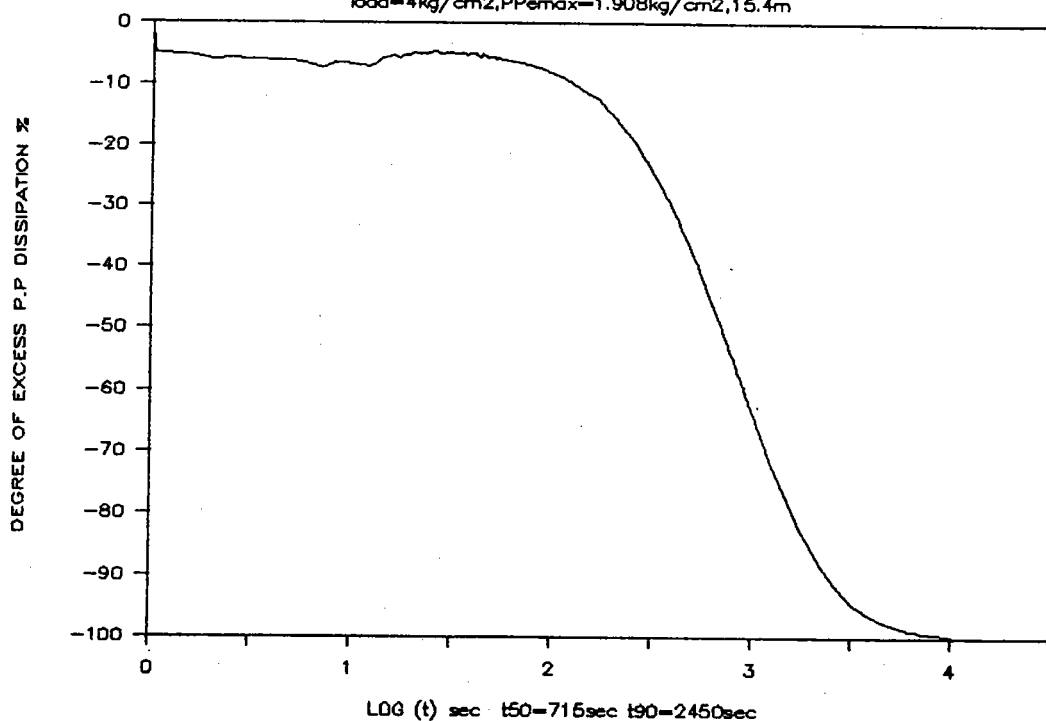
YUNG-AN, T-10, F.H, OUT

load=4kg/cm², PPemax=1.908kg/cm², 15.4m



YUNG-AN, T-10, F.H, OUT, Cro=22.359mm²/min

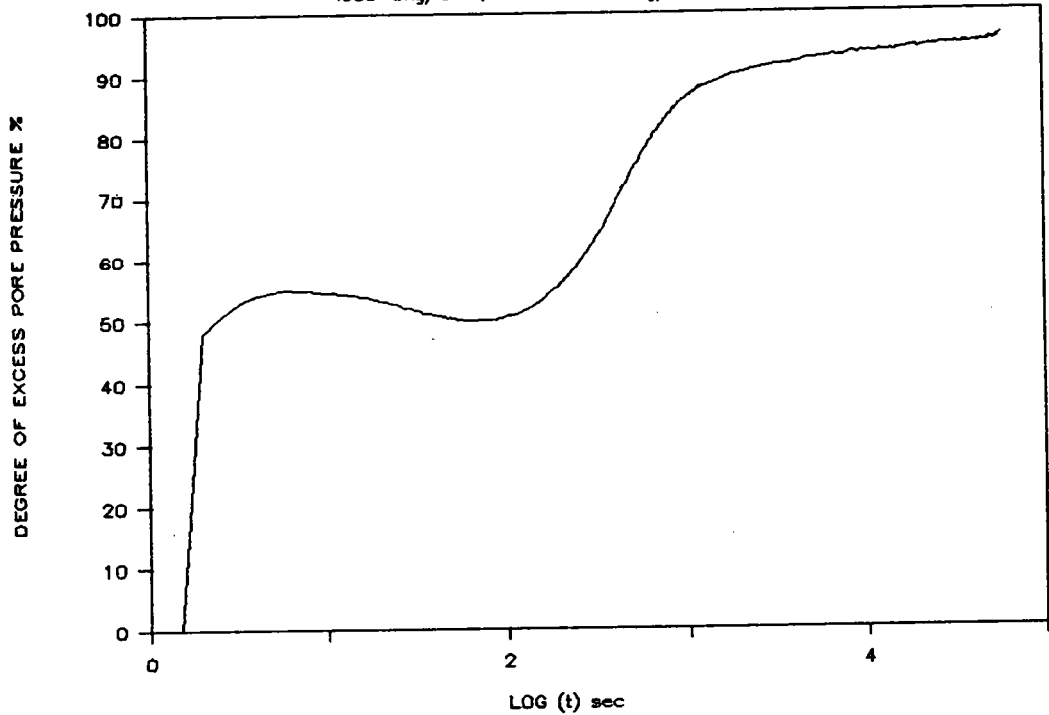
load=4kg/cm², PPemax=1.908kg/cm², 15.4m



t50=715sec t90=2450sec

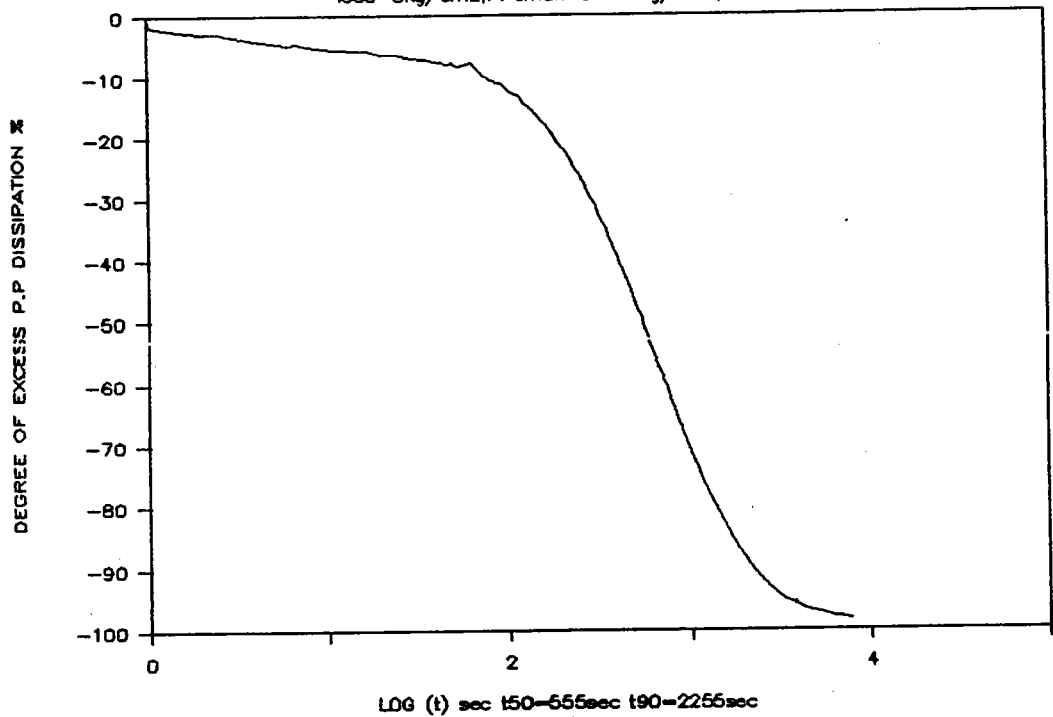
YUNG-AN, T-10, F.H, OUT

load=8kg/cm², PP_{emax}=3.839kg/cm², 15.4m



YUNG-AN, T-10, F.H, OUT, Cro=28.805mm²/min

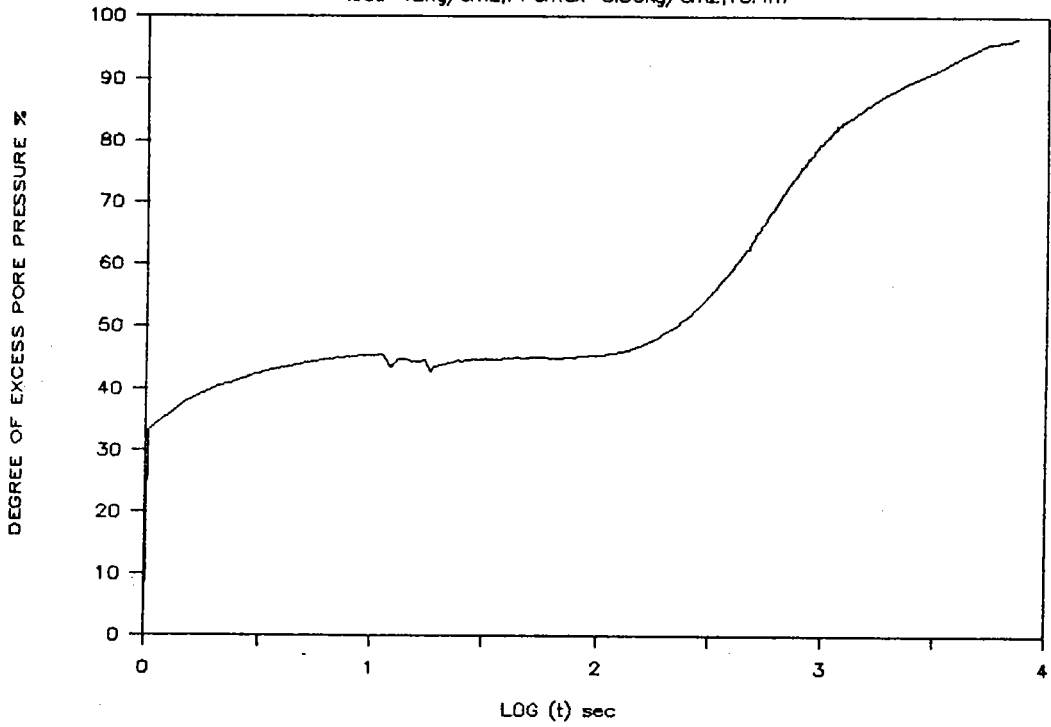
load=8kg/cm², PP_{emax}=3.839Kg/cm², 15.4m



LOG (t) sec t50=555sec t90=2255sec

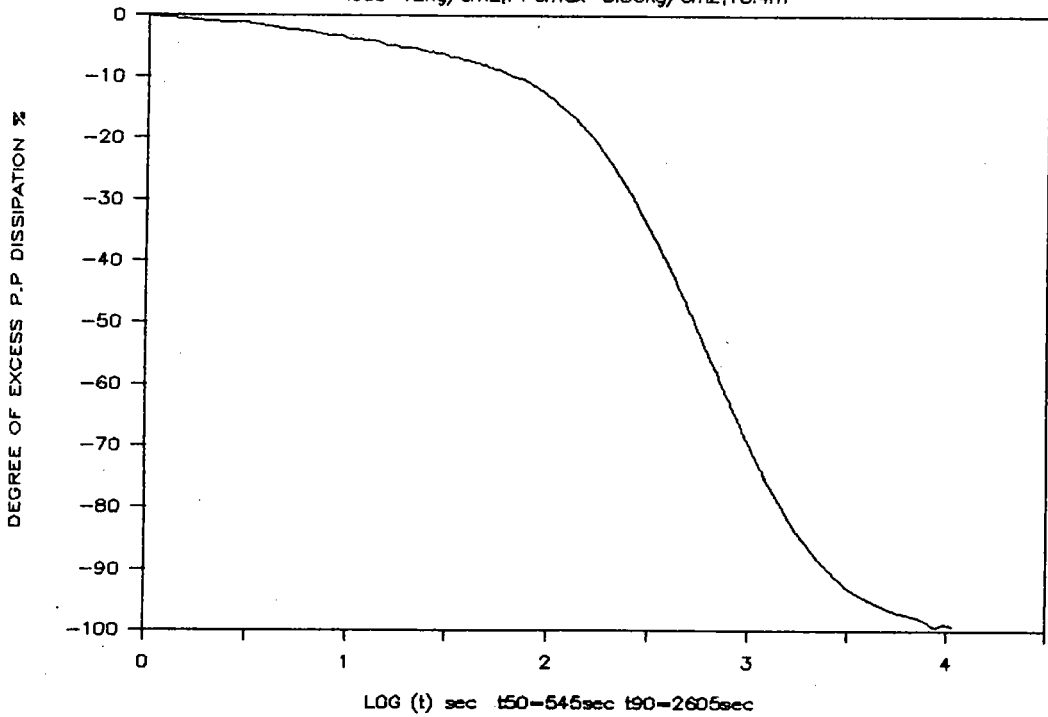
YUNG-AN, T-10, F.H, OUT

load=12kg/cm², PP_{emax}=3.86kg/cm², 15.4m



YUNG-AN, T-10, F.H, OUT, Cro=29.333mm²/min

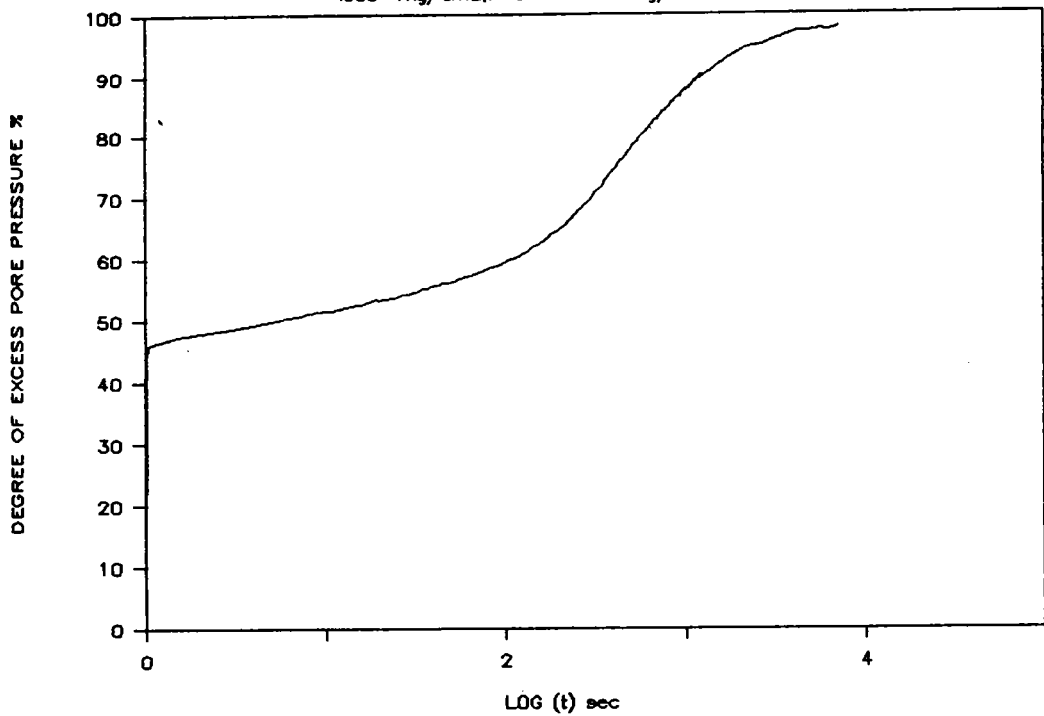
load=12kg/cm², PP_{emax}=3.86kg/cm², 15.4m



LOG (t) sec t50=545sec t90=2605sec

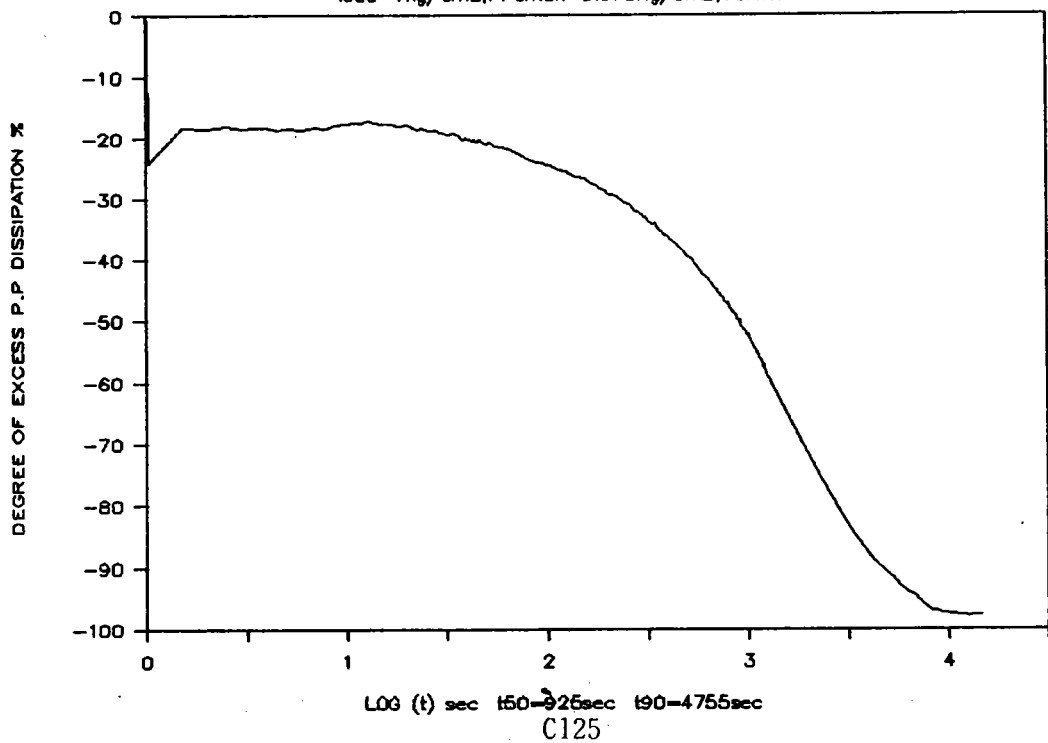
YUNG-AN, T-11, F.H, OUT

load=1 kg/cm², PP_{emax}=0.978 kg/cm², 16.4m



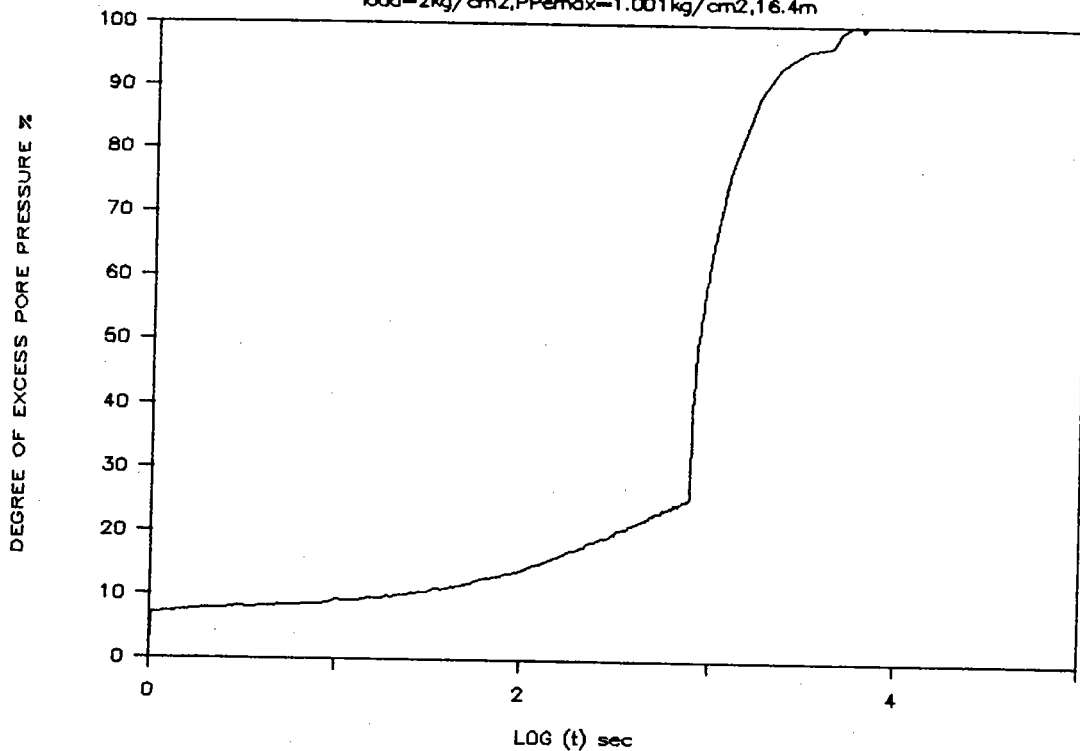
YUNG-AN, T-11, F.H, OUT, Cro=17.283 mm²/min

load=1 kg/cm², PP_{emax}=0.978 Kg/cm², 16.4m



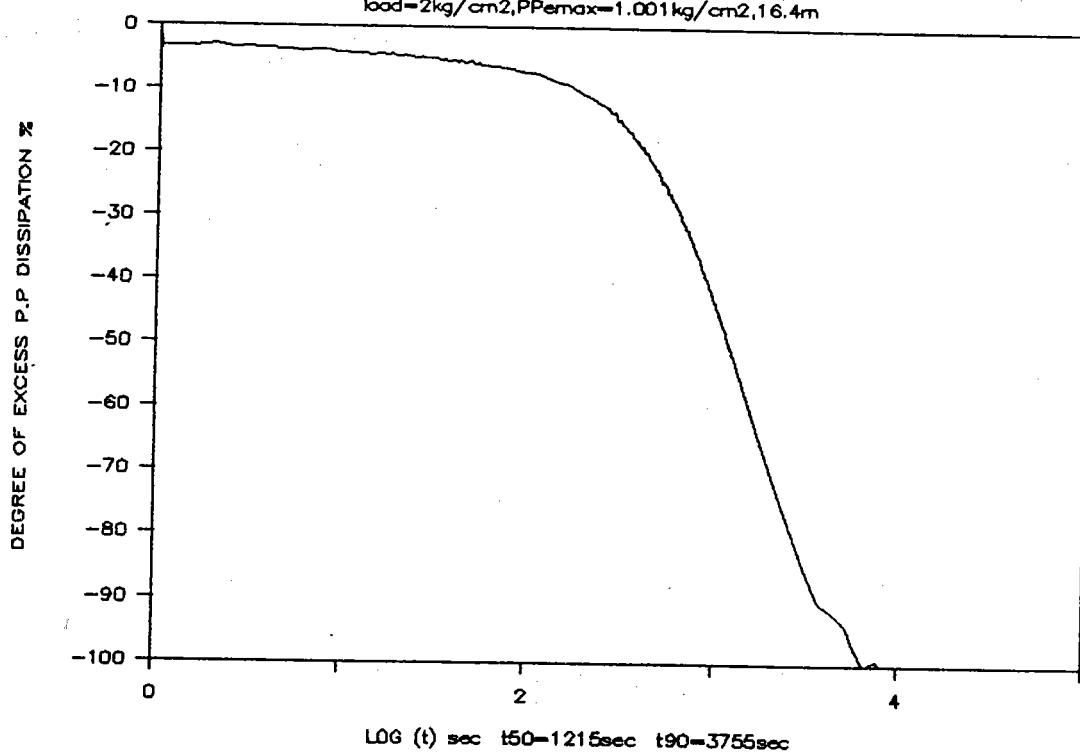
YUNG-AN, T-11, F.H, OUT

load=2kg/cm², PP_{emax}=1.001kg/cm², 16.4m



YUNG-AN, T-11, F.H, OUT, Cro=13.158mm²/min

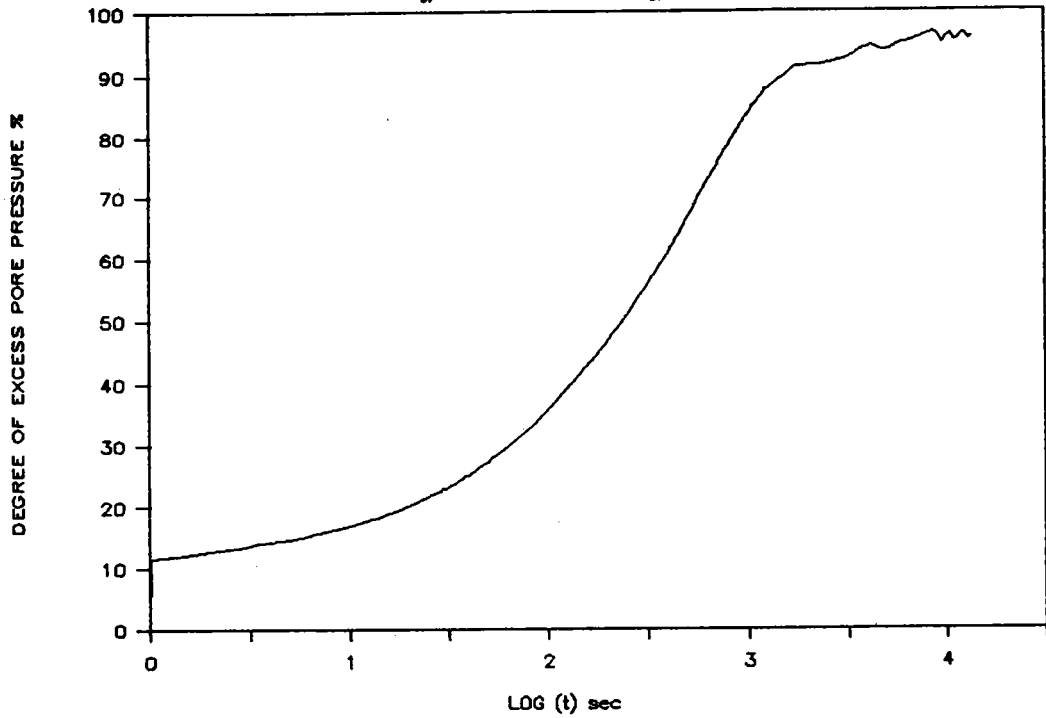
load=2kg/cm², PP_{emax}=1.001kg/cm², 16.4m



LOG (t) sec t₅₀=1215sec t₉₀=3755sec

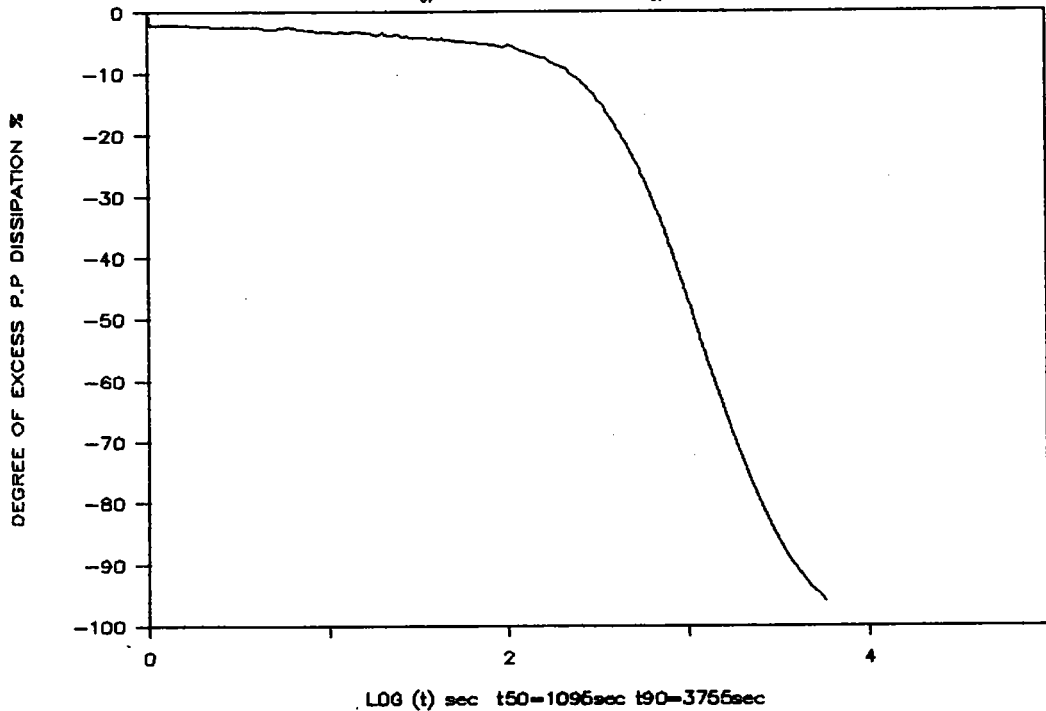
YUNG-AN, T-11, F.H, OUT

load=4kg/cm², PP_{emax}=1.912kg/cm², 16.4m



YUNG-AN, T-11, F.H, OUT, Cro=14.6mm²/min

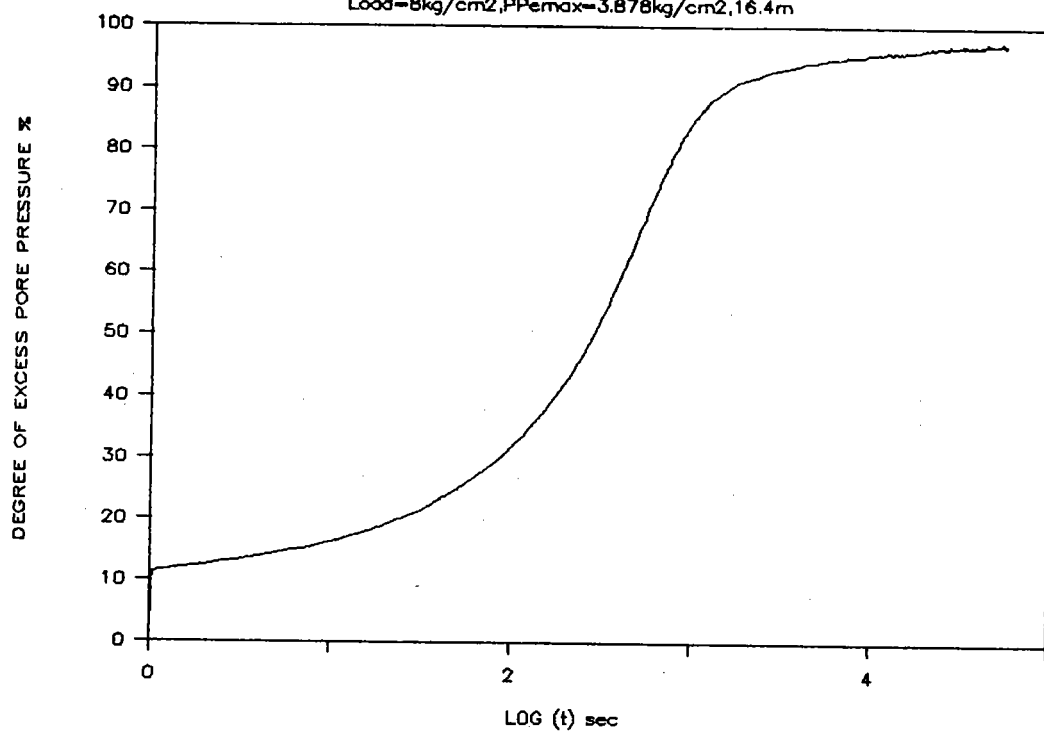
load=4kg/cm², PP_{emax}=1.912kg/cm², 16.4m



t₅₀=1096sec t₉₀=3755sec

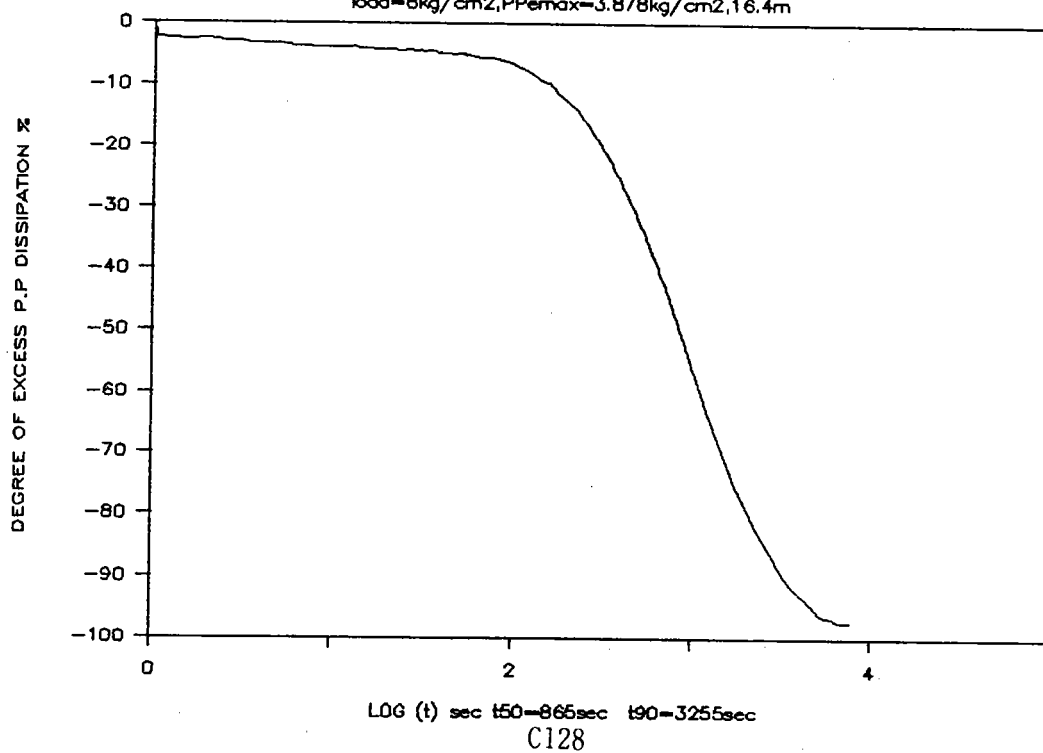
YUNG-AN, T-11, F.H, OUT

Load=8kg/cm², PP_{emax}=3.878kg/cm², 16.4m



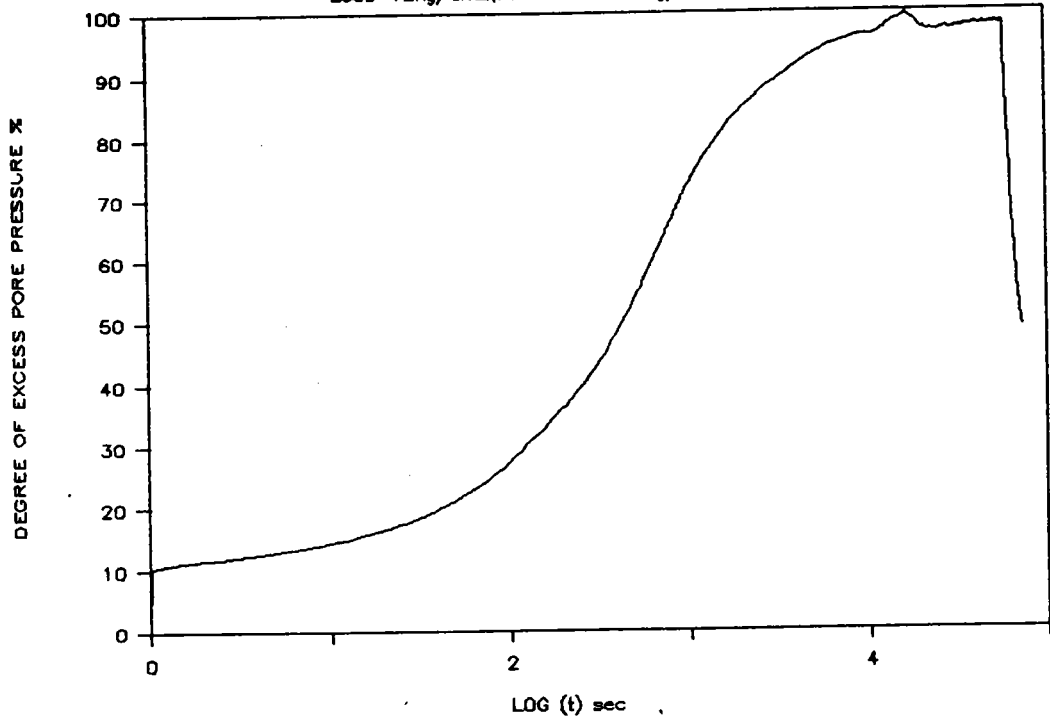
YUNG-AN, T-11, F.H, OUT, Cro=18.482mm²/min

load=8kg/cm², PP_{emax}=3.878kg/cm², 16.4m



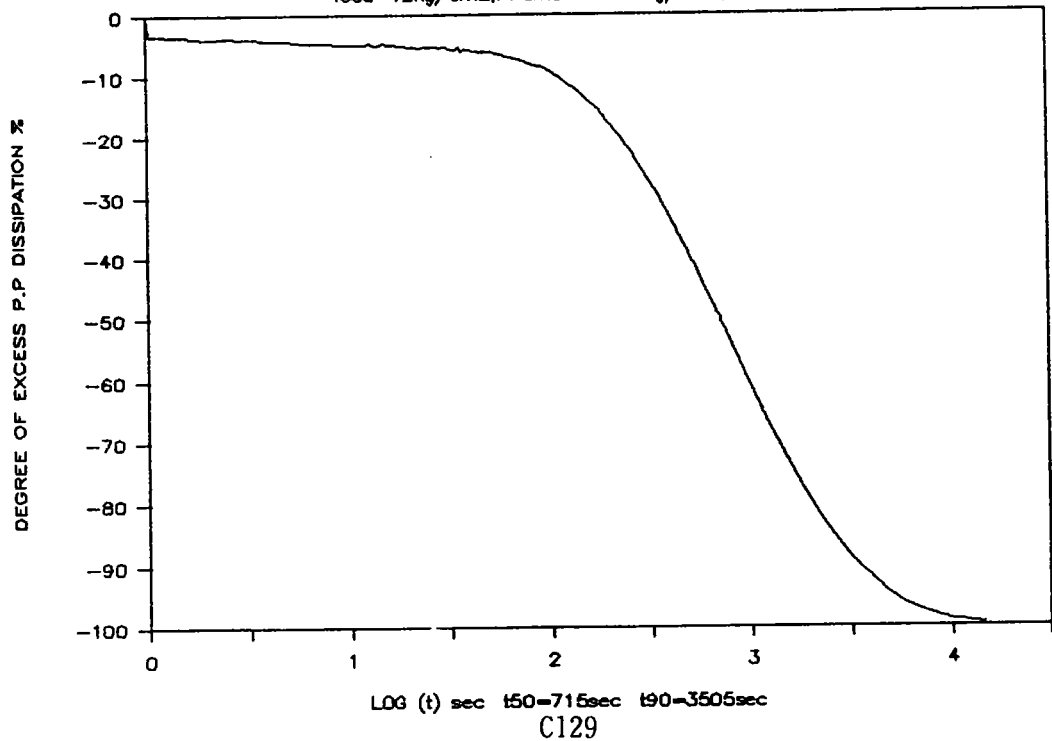
YUNG-AN, T-11, F.H, OUT

Load=12kg/cm², PPemax=3.979kg/cm², 16.4m



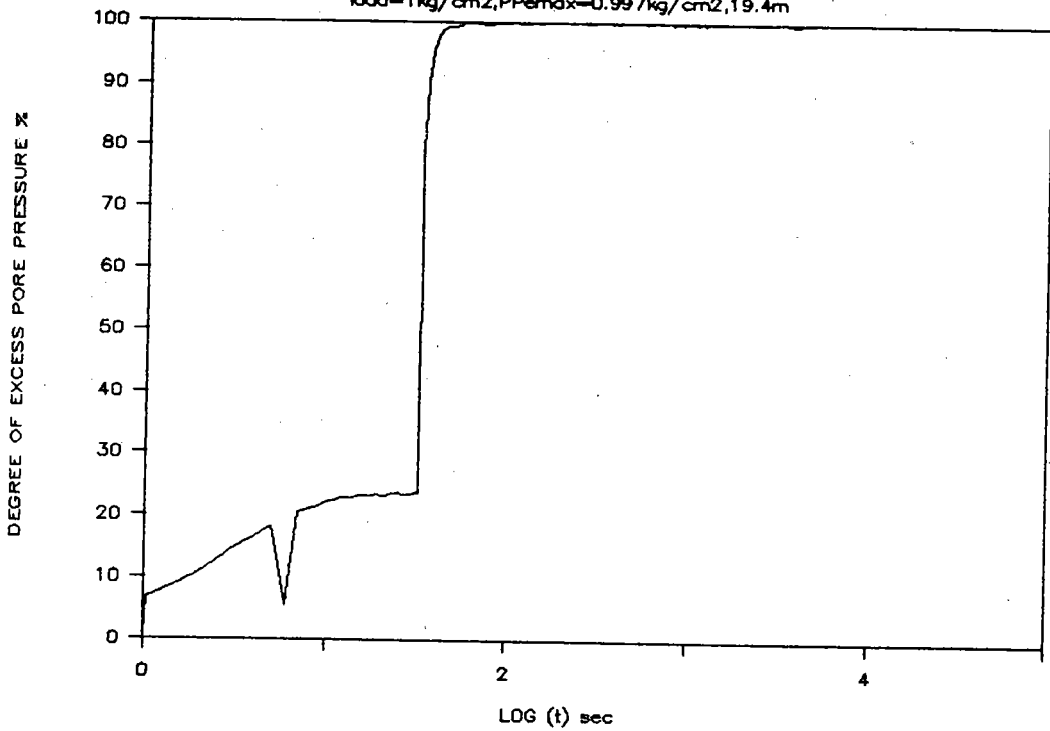
YUNG-AN, T-11, F.H, OUT, Cro=22.359mm²/min

load=12kg/cm², PPemax=3.979kg/cm², 16.4m



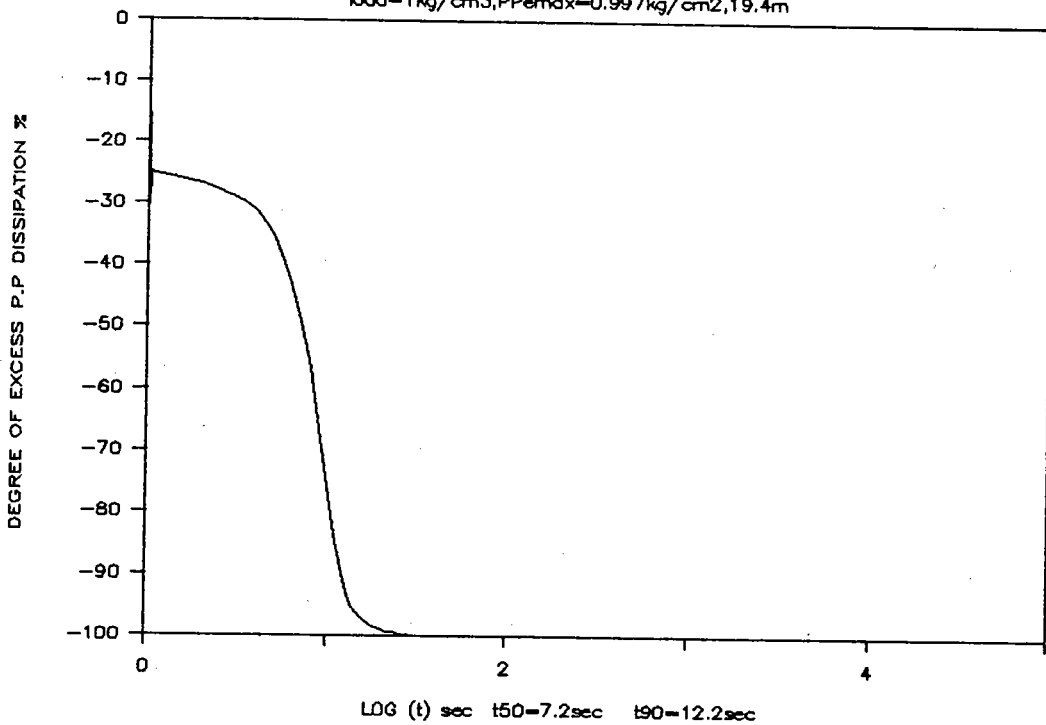
YUNG-AN, T-12, F.H, OUT

load=1 kg/cm², PP_{emax}=0.997 kg/cm², 19.4m



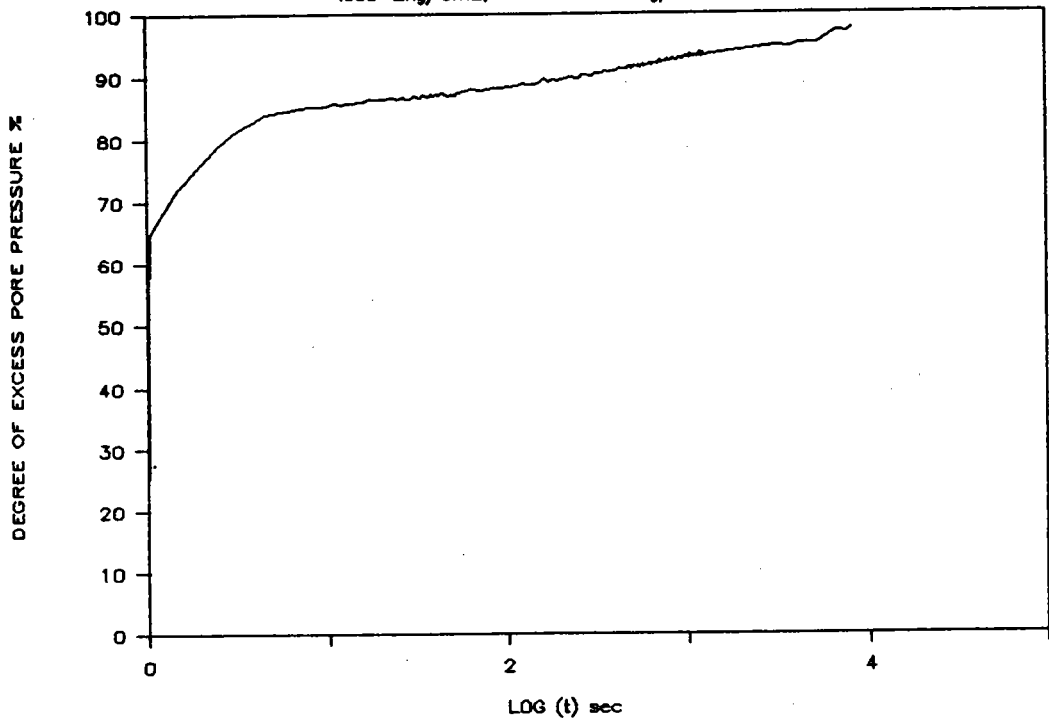
YUNG-AN, T-12, F.H, OUT, Cro=2220.41 mm²/min

load=1 kg/cm³, PP_{emax}=0.997 kg/cm², 19.4m



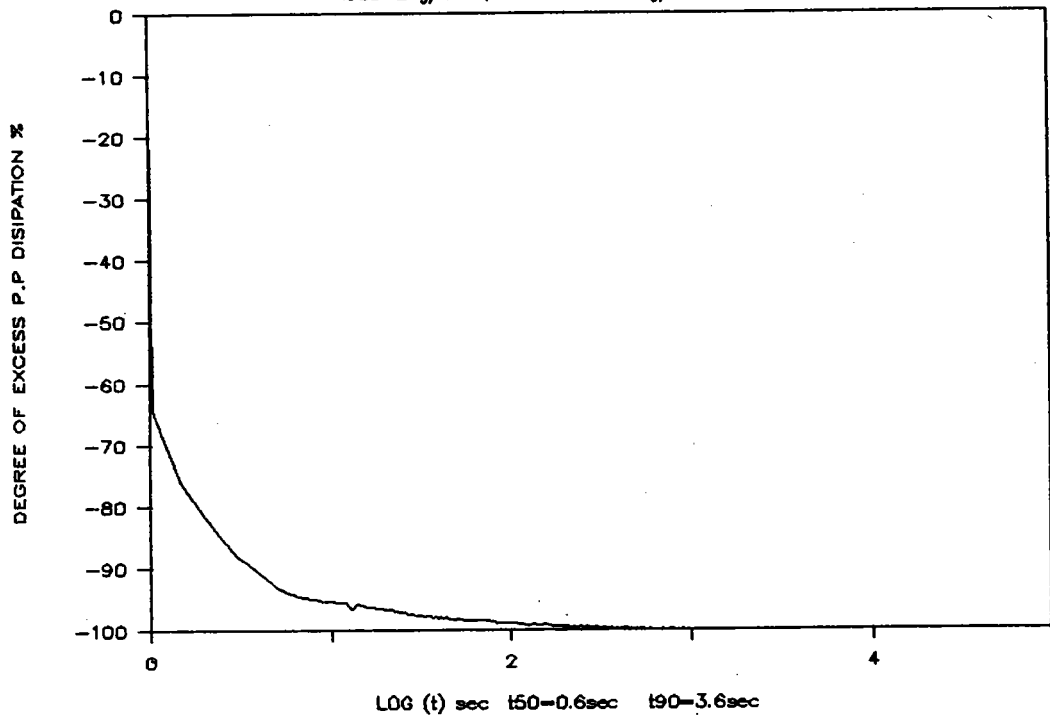
YUNG-AN, T-12, F.H, OUT

load=2kg/cm², PP_{emax}=0.974kg/cm², 19.4m



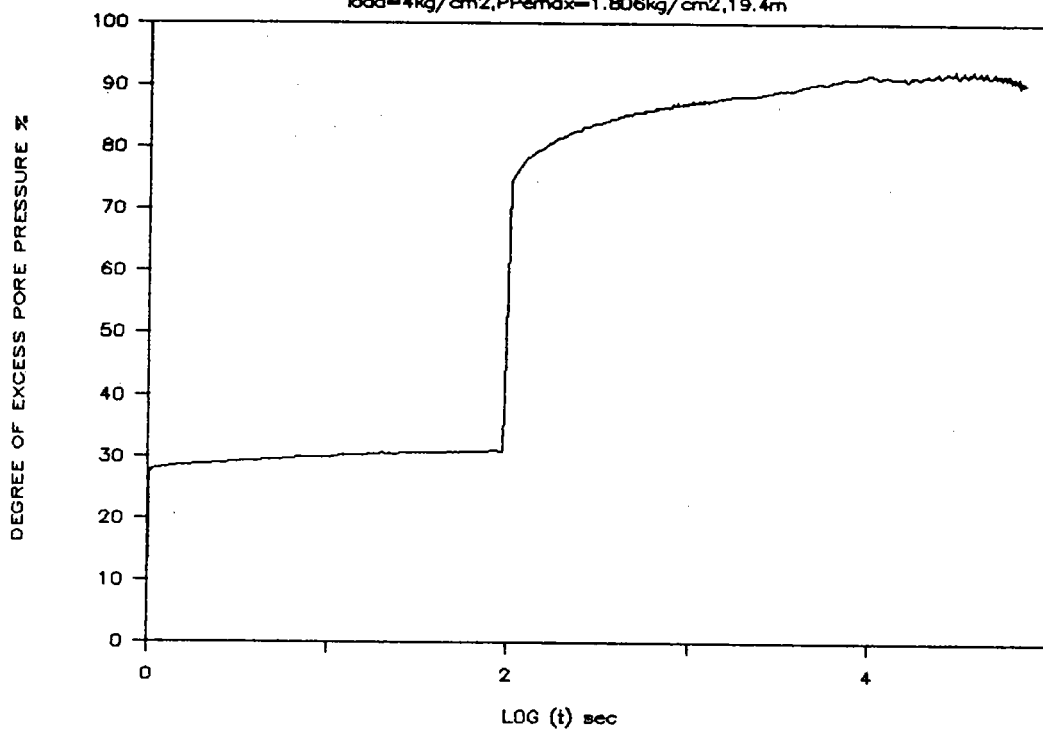
YUNG-AN, T-12, F.H, OUT, Cro=26645.0mm²/min

load=2kg/cm², PP_{emax}=0.974kg/cm², 19.4m



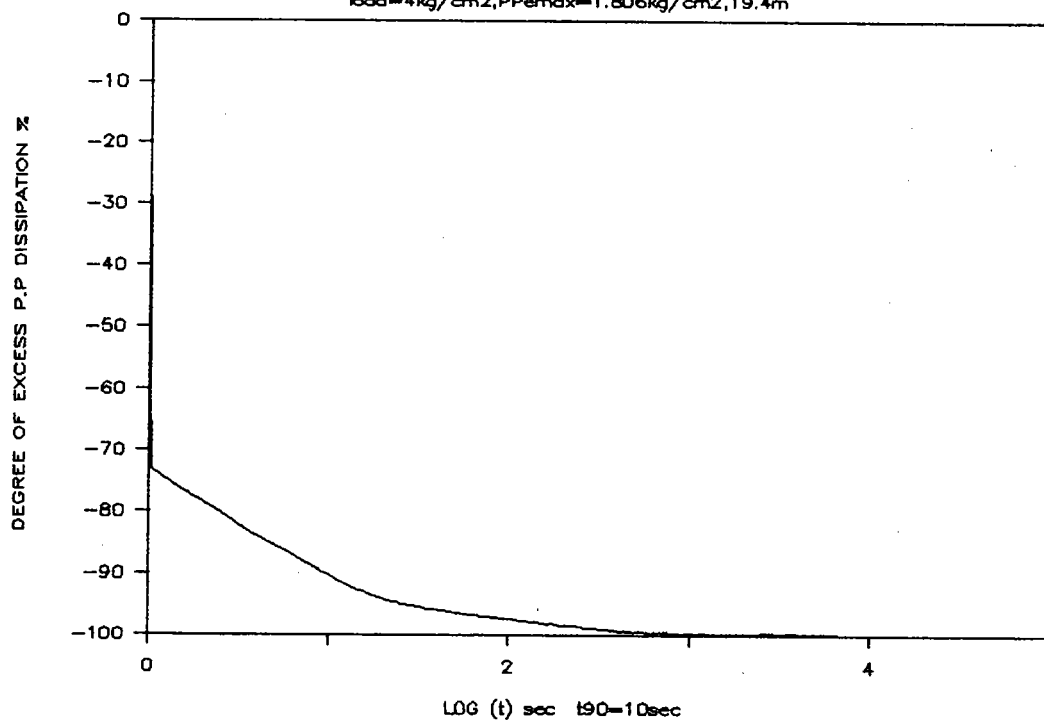
YUNG-AN, T-12, F.H, OUT

load=4kg/cm², PP_{max}=1.806kg/cm², 19.4m



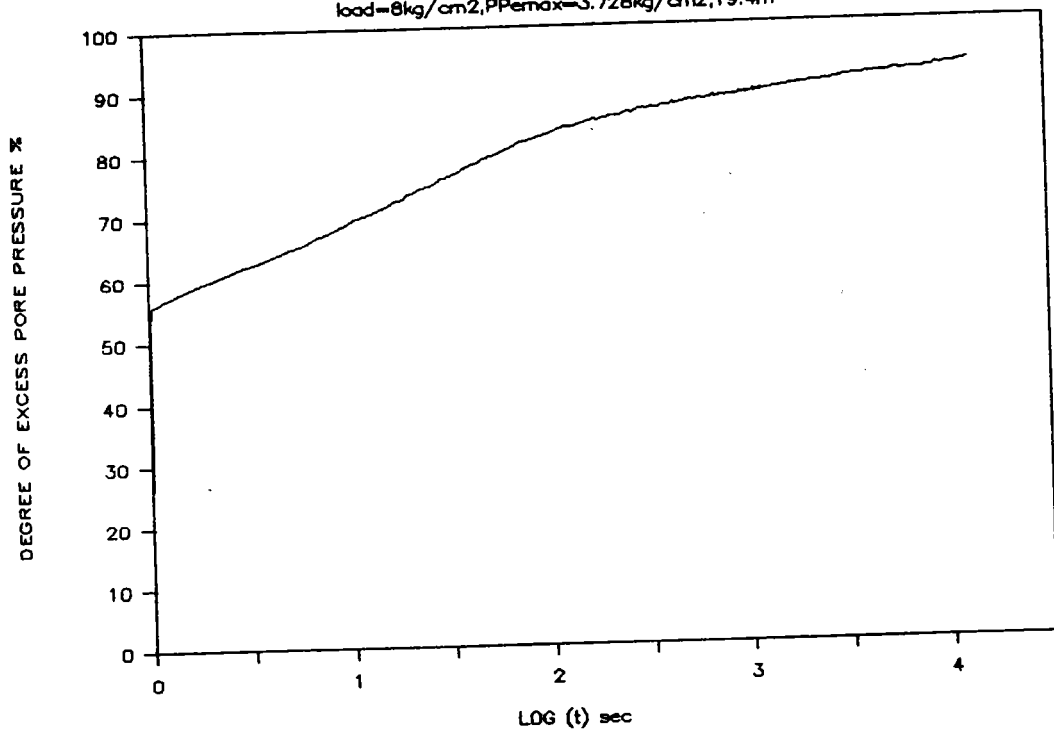
YUNG-AN, T-12, F.H, OUT, Cro=3828.89mm²/min

load=4kg/cm², PP_{max}=1.806kg/cm², 19.4m



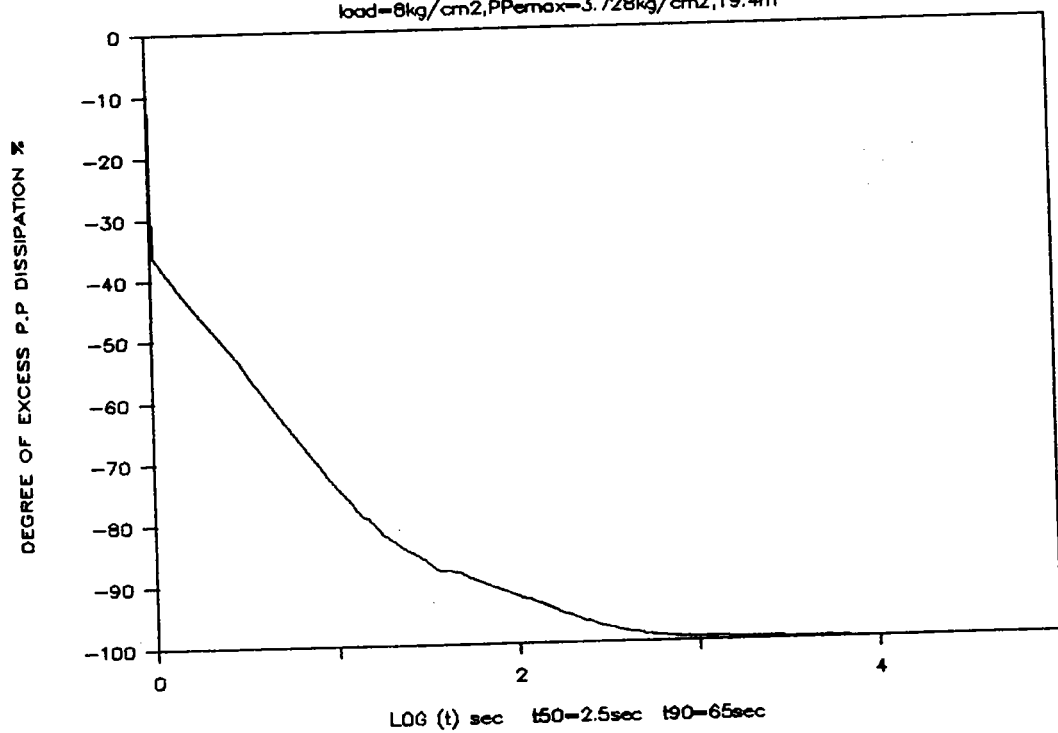
YUNG-AN, T-12, F.H, OUT

load=8kg/cm², PP_{max}=3.728kg/cm², 19.4m



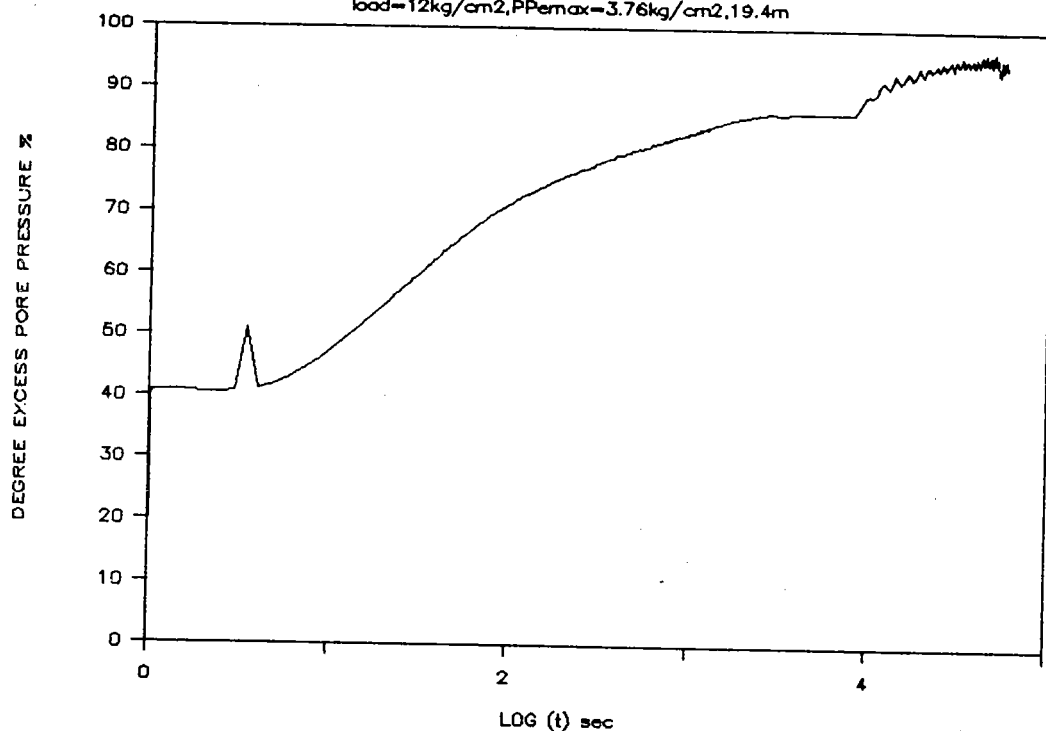
YUNG-AN, T-12, F.H, OUT, Cro=6394.8mm²/min

load=8kg/cm², PP_{max}=3.728kg/cm², 19.4m



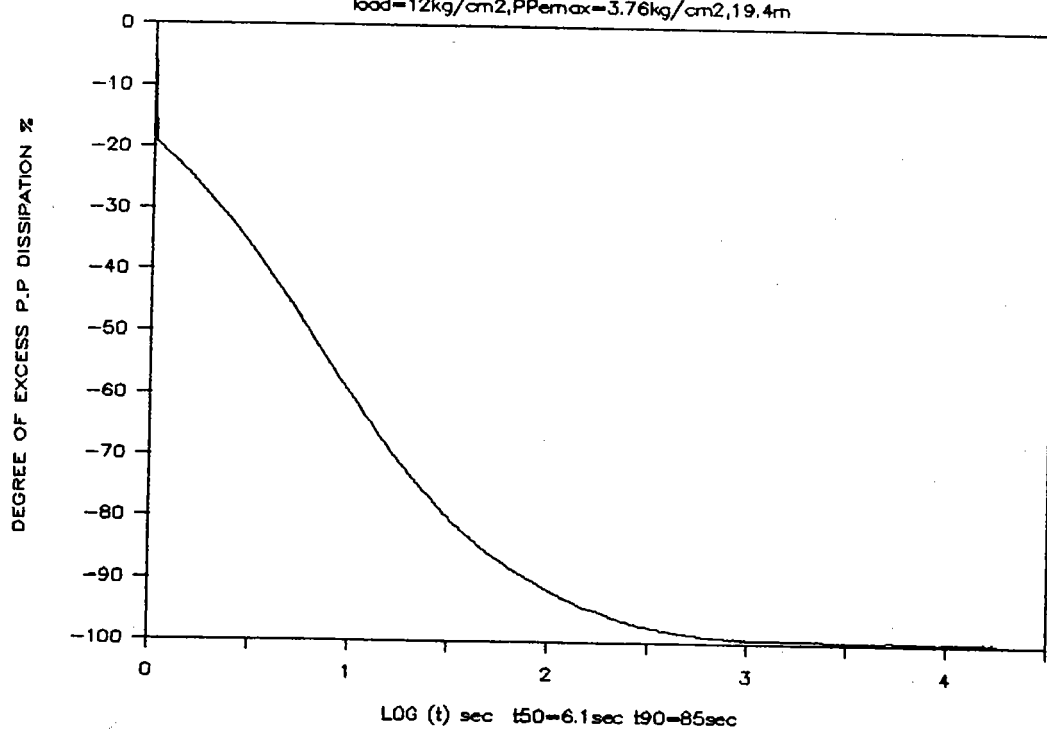
YUNG-AN, T-12, F.H, OUT

load=12kg/cm², PPemax=3.76kg/cm², 19.4m



YUNG-AN, T-12, F.H, OUT, Cro=2620.82mm²/min

load=12kg/cm², PPemax=3.76kg/cm², 19.4m



附錄 D：傳統式壓密試驗資料

OEDOMETER CONSOLIDATION TEST

28/10/81

Job ref. YI-WU

Sample No. T-2

Operator

Start date 28/10/81

Sample diameter 63.5mm

Sample height 20 mm

Swelling pressure 2 kPa

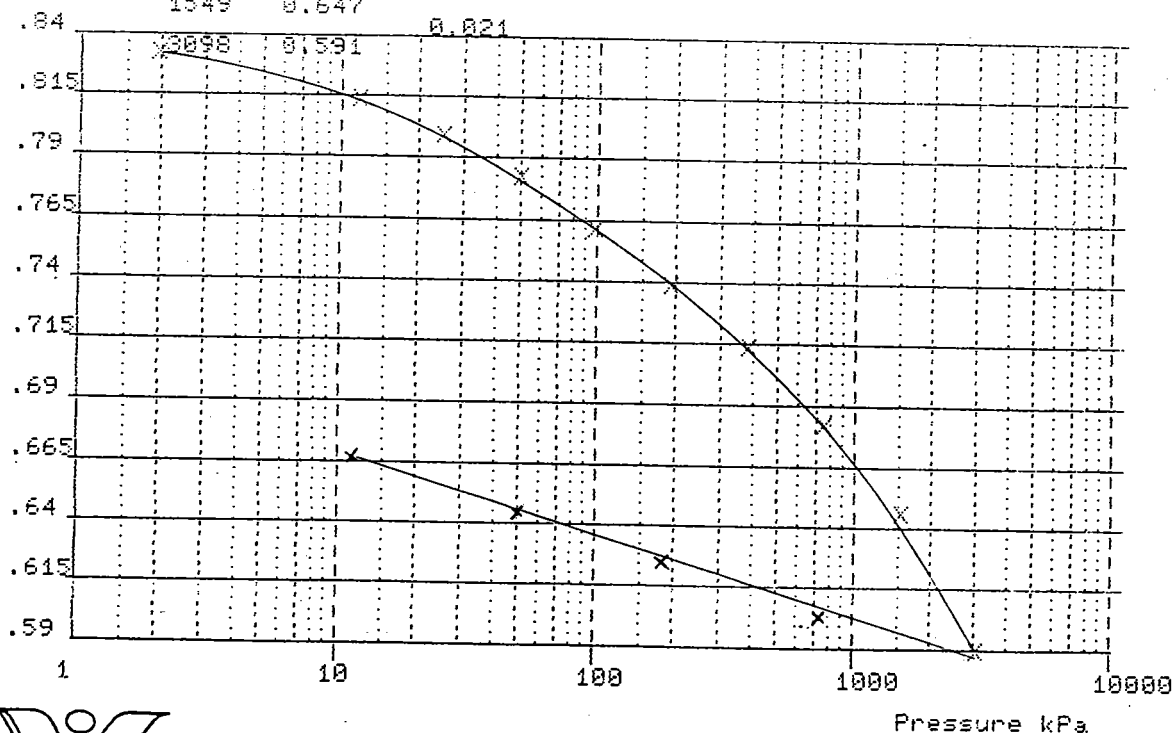
Initial density 1.934 Mg/m³

m/c 31.54 %

SG. of solids 2.695

Degree of saturation 102 %

Pressure kPa	Voids Ratio	MV m ³ /MN
2	0.833	1.036
12	0.814	0.593
25	0.800	0.377
50	0.783	0.240
99	0.762	0.137
194	0.739	0.074
387	0.714	0.046
774	0.683	0.027
1549	0.647	0.021
	0.591	0.021



OEDOMETER CONSOLIDATION TEST

20/10/81

Job ref. YI-WU

Sample No. T-3

Operator

Start date 20/10/81

Sample diameter 63.5mm

Sample height 20 mm

Swelling pressure 2 kPa

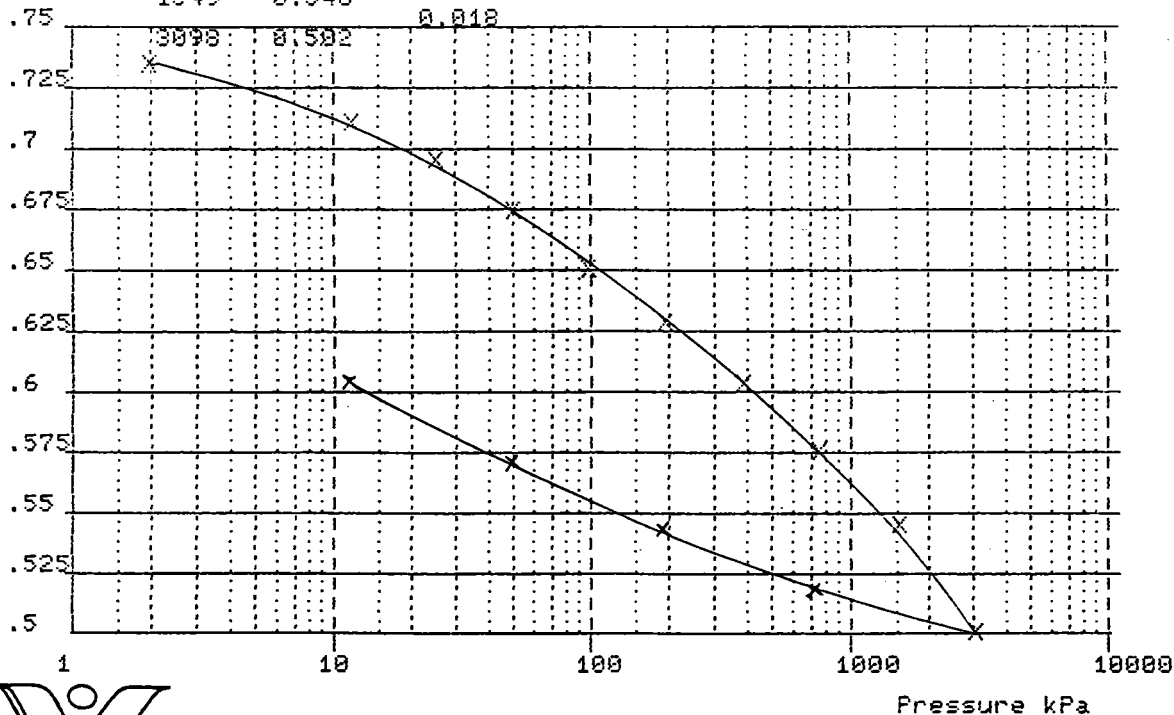
Initial density 2.04 Mg/m³ m/c 31.03 %

SG. of solids 2.703

Degree of saturation 113.9 %

Pressure Voids

p kPa	Ratio e	MV m ² /MN
2	0.736	1.382
12	0.712	0.718
25	0.696	0.495
50	0.675	0.288
99	0.652	0.148
194	0.638	0.079
387	0.605	0.045
774	0.577	0.025
1549	0.546	0.018



Signed.....

Date.....

香港技術研究所

OEDOMETER CONSOLIDATION TEST

23/10/81

Job ref. SONY

Sample No. EUT-4

Operator

Start date 22/10/81

Sample diameter 63.5mm

Sample height 28 mm

Swelling pressure 2 kPa

Initial density 1.945 Mg/m³

m/c 22.81 %

S_g of solids 2.719

Degree of saturation 86.5 %

Pressure Voids

$\frac{p}{\text{kPa}}$ Ratio $\frac{MV}{\text{m}^2/\text{MN}}$

2 0.717 1.698

12 0.688 0.774

25 0.671 0.582

50 0.650 0.321

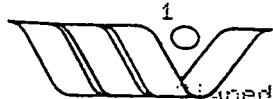
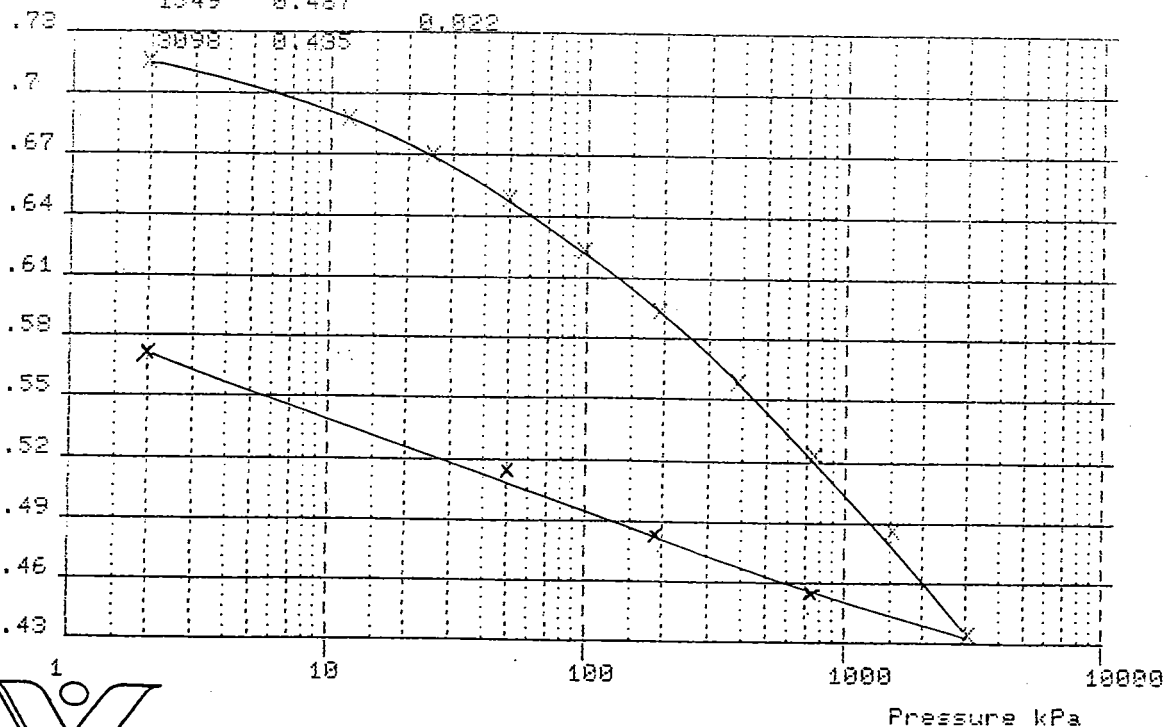
99 0.624 0.194

194 0.594 0.113

387 0.559 0.058

774 0.524 0.031

Voids ratio 1549 0.487 0.022



香港技術研究所

Date.....

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

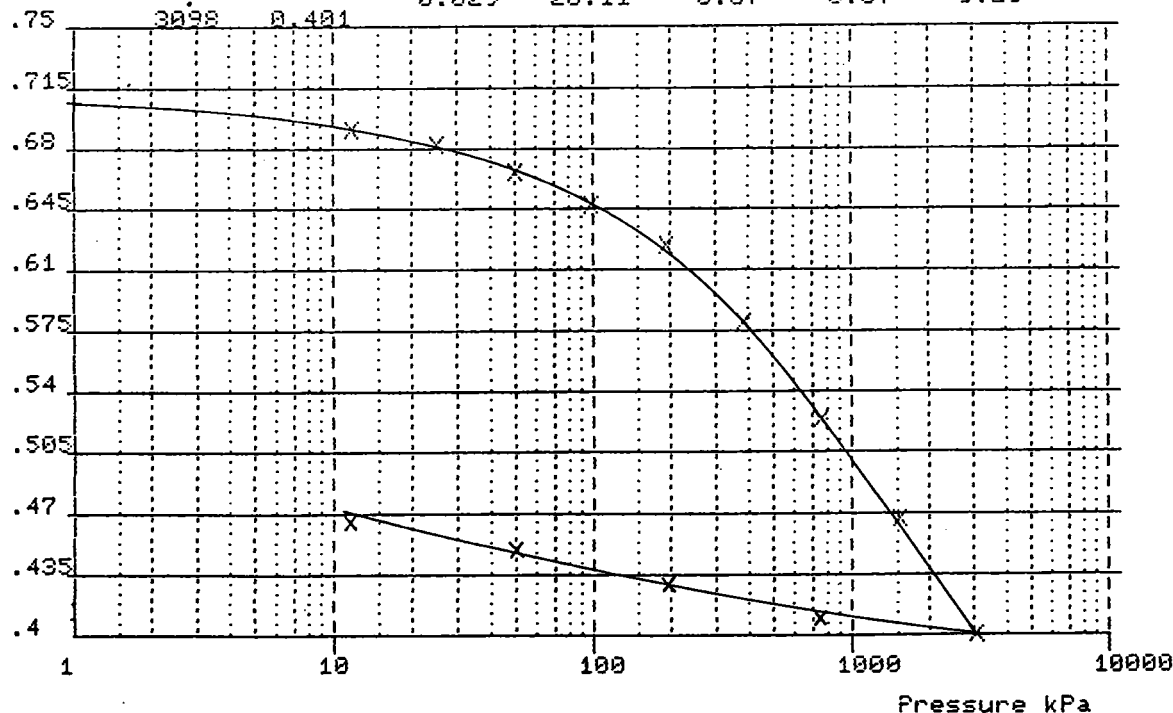
Initial density 2.012 Mg/m³ m/c 27.25 %

SG. of solids 2.723

Degree of saturation 102.8 %

Pressure Voids
kPa Ratio
MV CV
m²/MN m²/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
3098	0.401					



Signed.....

Date.....

OEDOMETER CONSOLIDATION TEST

26/06/81

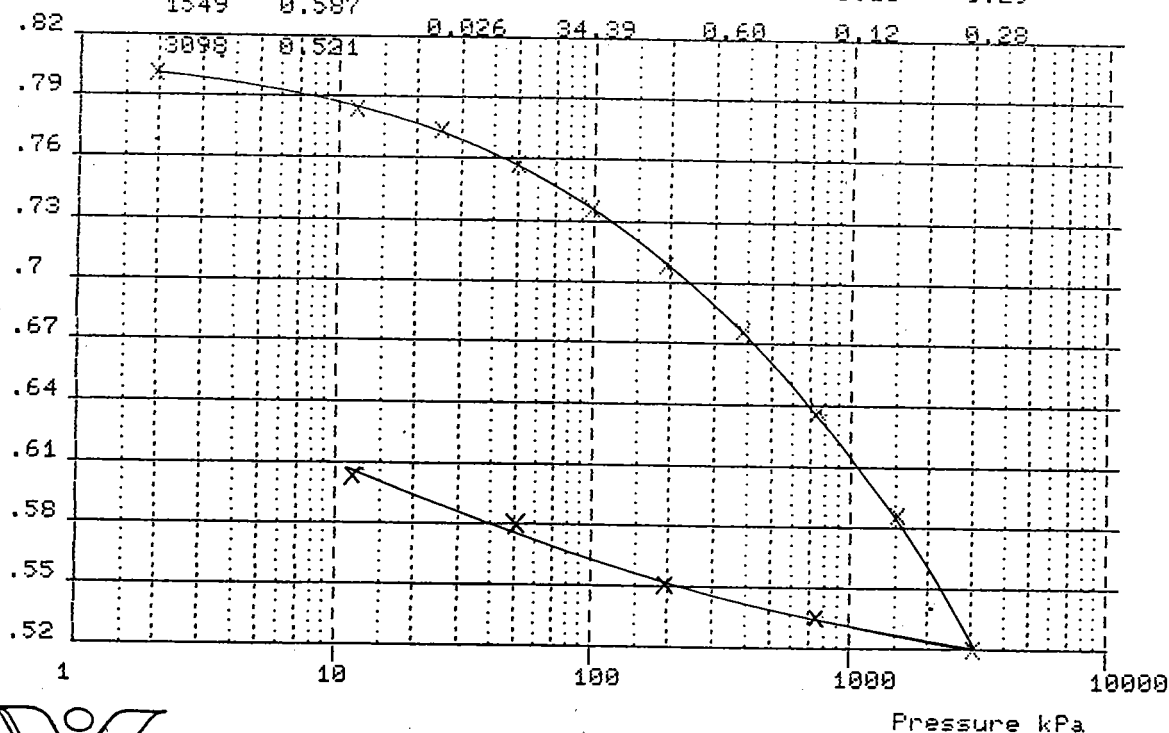
Job ref. YI-WU Sample No. T-6
 Operator LAY Start date 15/06/81
 Sample diameter 63.5mm Sample height 20 mm
 Swelling pressure 2 kPa

Initial density 1.966 Mg/m³ m/c 31.55 %

SG. of solids 2.728

Degree of saturation 104.3 %

Pressure kPa	Voids Ratio e	MV m ³ /MN	CV m ³ /Year	Compression ratios		
				Initial	Primary	Secondary
2	0.802					
12	0.785	0.943	29.87	0.49	0.37	0.14
25	0.774	0.474	10.78	0.43	0.51	0.06
50	0.758	0.360	36.18	0.50	0.26	0.24
99	0.737	0.243	35.77	0.52	0.23	0.25
194	0.710	0.163	38.65	0.57	0.17	0.26
387	0.677	0.099	40.34	0.63	0.09	0.28
774	0.638	0.060	38.59	0.59	0.13	0.28
1549	0.587	0.040	41.22	0.58	0.13	0.29
		0.026	34.39	0.60	0.12	0.28



Signed.....

Date.....



港灣技術研究所

OEDOMETER CONSOLIDATION TEST

23/10/81

Job ref. SONY
Operator
Sample diameter 63.5mm
Swelling pressure 2 kPa

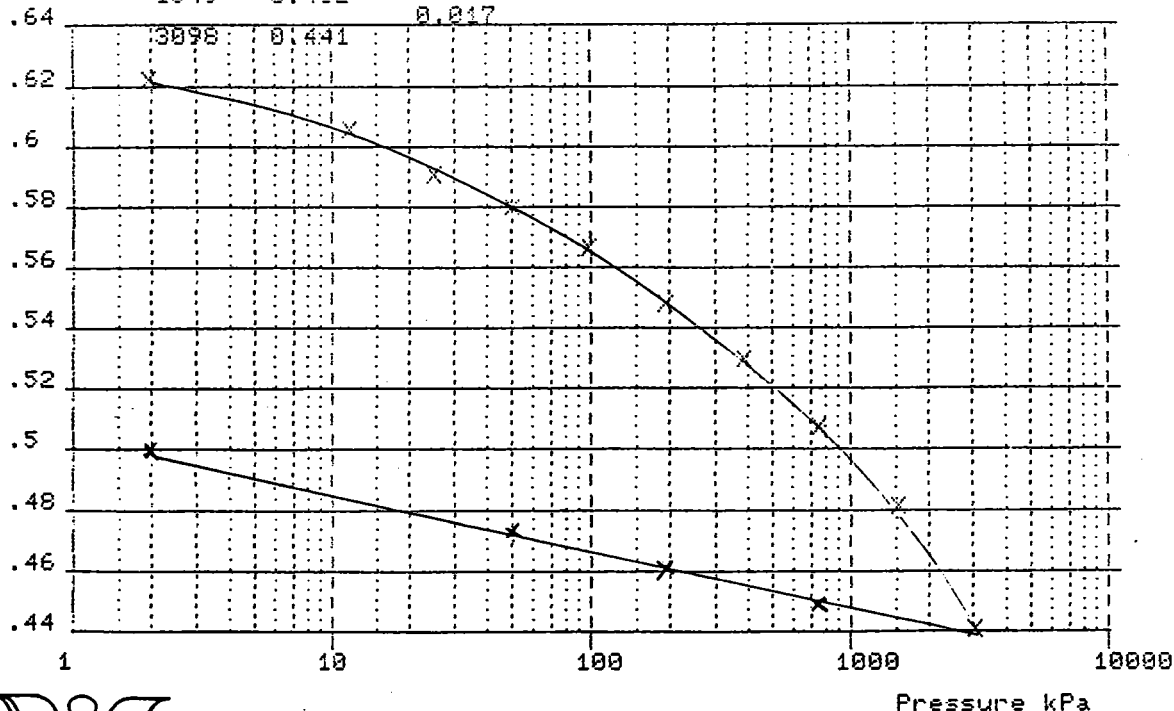
Sample No. EUT-7
Start date 22/10/81
Sample height 20 mm

Initial density 2.044 Mg/m³ m/c 22.16 %

SG. of solids 2.708

Degree of saturation 97 %

Pressure p kPa	Voids Ratio e	MV m ² /MN
2	0.523	1.047
12	0.606	0.718
25	0.591	0.276
50	0.580	0.167
99	0.567	0.120
194	0.549	0.063
387	0.530	0.037
774	0.508	0.022
1549	0.482	0.017



香港技術研究所

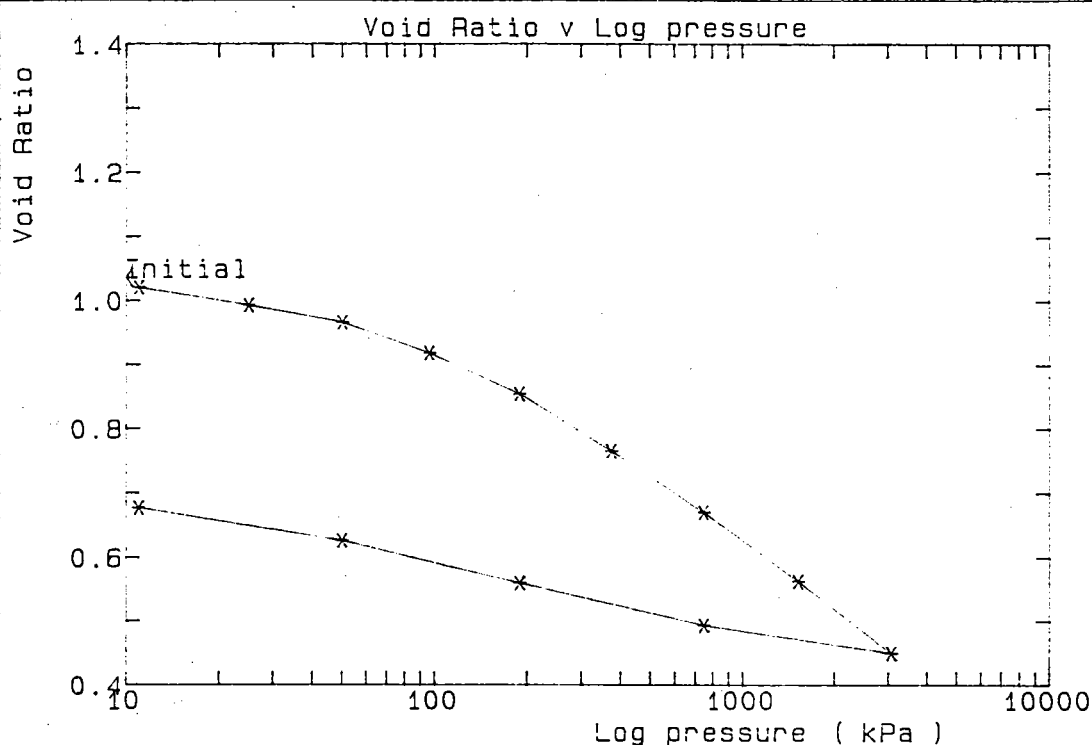
Job: YI-WU

Oedometer Consolidation

BoreHole: BH-1

Sample: T-8/A

Depth: 50.5-50.55



			Pressure kPa	Laboratory Coefficients	
				m_v sqm/MN	c_v sqm/yr
Sample dimensions			0		
Initial height 20.00 mm			11	0.484	3.39
Area 3166.9sq.mm			25	0.882	1.67
			50	0.504	3.40
Particle density (measured)			96	0.496	6.17
2.71			189	0.359	2.16
	Initial Values	Final Values	374	0.238	4.55
			746	0.133	4.47
Moisture Content %	39.4	26.2	1519	0.075	4.72
			3067	0.045	4.46
Bulk Density Mg/cum	1.86	2.04	746	0.013	6.97
			189	0.080	2.71
Dry Density Mg/cum	1.33	1.62	50	0.303	0.92
			11	0.796	0.51
Void Ratio e	1.036	0.677			
Saturation%	103.2	104.8			

I.H.M.T

OEDOMETER CONSOLIDATION TEST

22/05/81

Job ref. YI-WU
Operator LAY
Sample diameter 63.0mm
Swelling pressure 2 kPa

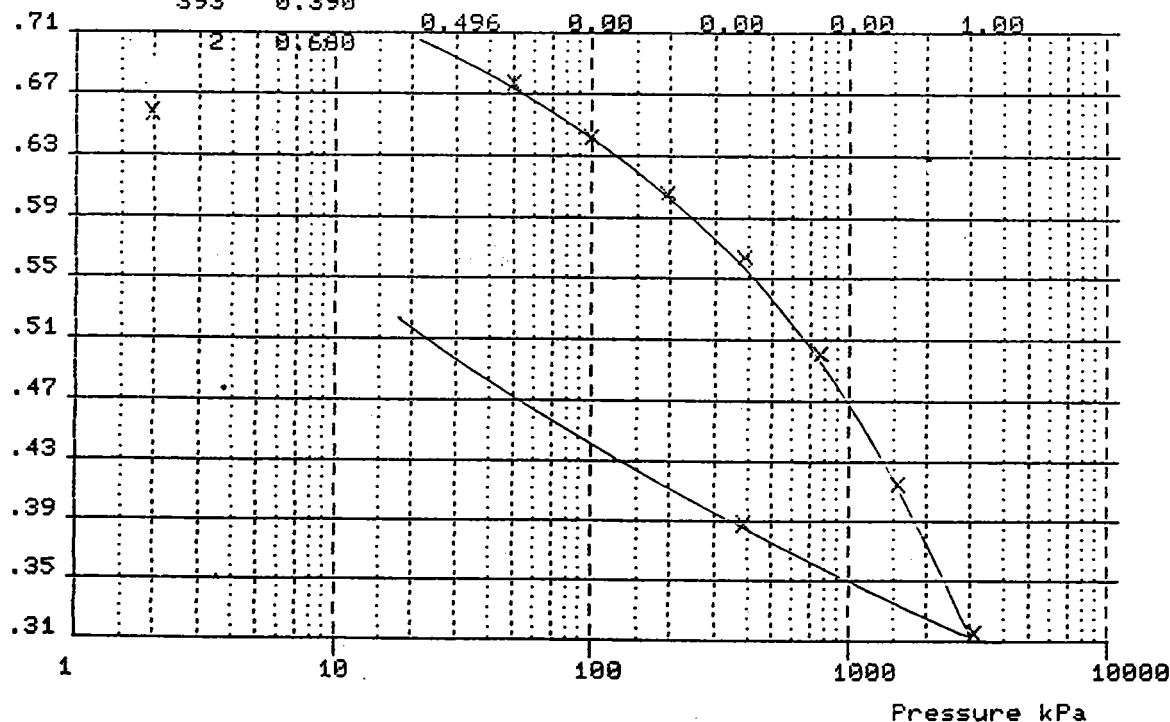
Sample No. T-9-3
Start date 28/04/81
Sample height 20 mm

Initial density 2.024 Mg/m³ m/c 30.33 %

SG. of solids 2.71

Degree of saturation 110.3 %

Pressure kPa	Voids Ratio e	MV m ³ /MN	CV m ³ /Year	Compression ratios		
				Initial	Primary	Secondary
2	0.745	0.049	0.16	0.05	0.75	0.20
50	0.678	0.420	1.77	0.10	0.85	0.04
101	0.642	0.234	3.00	0.08	0.82	0.09
197	0.605	0.127	4.98	0.12	0.74	0.14
393	0.565	0.103	3.05	0.07	0.81	0.12
787	0.501	0.073	3.14	0.07	0.78	0.15
1574	0.414	0.044	1.00	0.03	0.96	0.01
3147	0.316	0.020	0.00	0.00	0.00	1.00
393	0.390	0.496	0.00	0.00	0.00	1.00



Signed.....

Date.....

OEDOMETER CONSOLIDATION TEST

19/02/81

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

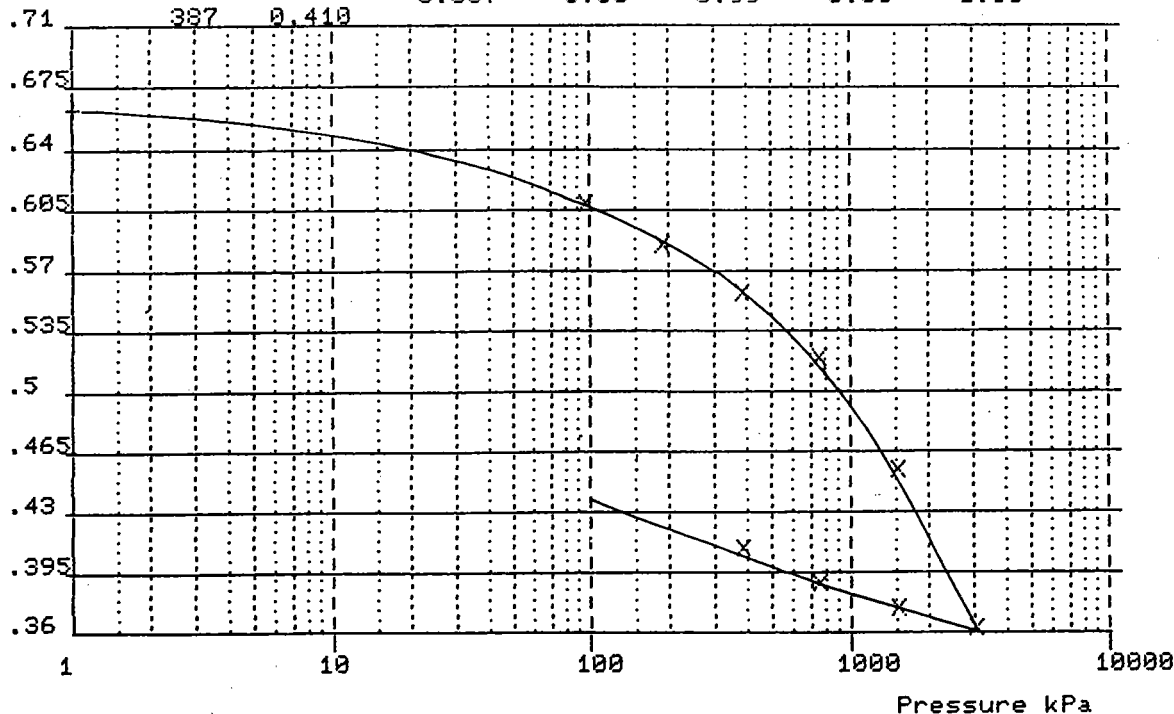
Sample No. T-10-4
Start date 11/02/81
Sample height 20.3 mm

Initial density 2.035 Mg/m³ m/c 24.93 %

SG. of solids 2.71

Degree of saturation 101.9 %

Pressure kPa	Voids Ratio e	MV m ³ /MN	CV m ³ /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.....

OEDOMETER CONSOLIDATION TEST

08/10/81

Job ref. YI-WU

Sample No. I-11

Operator

Start date 07/07/81

Sample diameter 63.5mm

Sample height 20 mm

Swelling pressure 2 kPa

Initial density 1.929 Mg/m³

m/c 33.2 %

SG. of solids 2.74

Degree of saturation 101.9 %

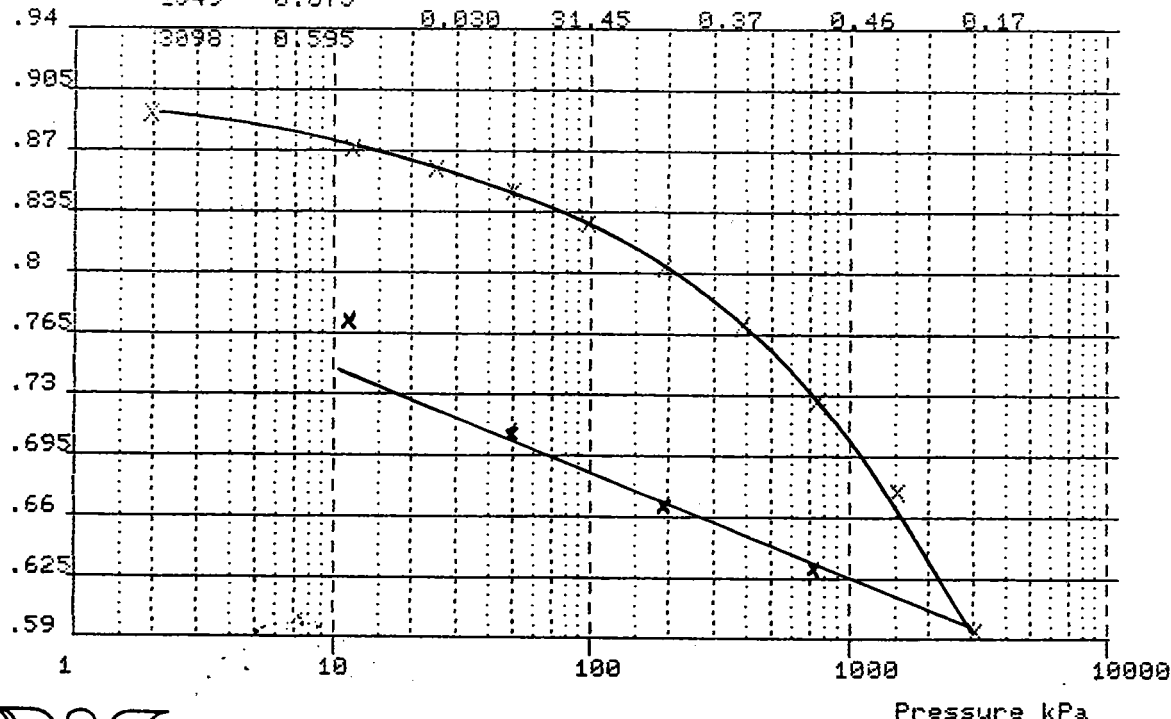
Pressure Voids

MV CV

Compression ratios

Initial Primary Secondary

p. kPa	Ratio e	MV m ³ /MN	CV m ³ /Year	Initial	Primary	Secondary
2	0.892	1.057	17.13	0.32	0.67	0.01
12	0.872	0.493	16.83	0.33	0.54	0.13
25	0.860	0.279	36.51	0.38	0.53	0.17
50	0.847	0.209	38.38	0.39	0.48	0.21
99	0.828	0.138	39.73	0.43	0.34	0.23
194	0.804	0.094	34.92	0.57	0.26	0.17
387	0.771	0.062	29.37	0.58	0.25	0.17
774	0.728	0.039	27.67	0.62	0.20	0.18
1549	0.675	0.030	31.45	0.37	0.46	0.17



Signed.....

Date.....

OEDOMETER CONSOLIDATION TEST

08/10/81

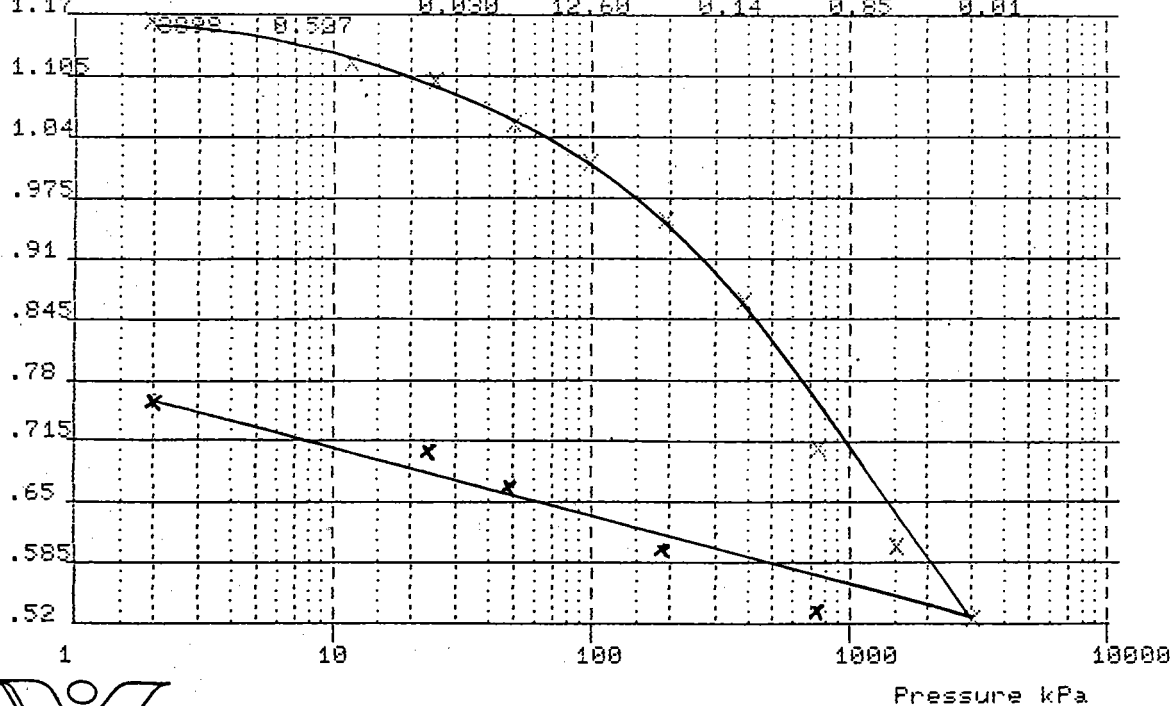
Job ref. YI-WU Sample No. I-12
 Operator Start date 07/07/81
 Sample diameter 63.5mm Sample height 20 mm
 Swelling pressure 2 kPa

Initial density 1.82 Mg/m³ m/c 43.65 %

SG. of solids 2.743

Degree of saturation 102.8 %

Pressure kPa	Voids Ratio e	HV m ² /MN	CV m ² /Year	Compression ratios		
				Initial	Primary	Secondary
2	1.165	2.078	6.57	0.54	0.45	0.01
12	1.120	0.653	2.87	0.21	0.69	0.10
25	1.102	0.875	1.94	0.16	0.73	0.11
50	1.056	0.426	5.05	0.14	0.74	0.12
99	1.013	0.318	4.97	0.09	0.79	0.12
194	0.952	0.233	5.76	0.09	0.81	0.09
387	0.864	0.214	6.79	0.04	0.87	0.08
774	0.709	0.080	6.77	0.09	0.75	0.16
1549	0.602	0.030	12.60	0.14	0.85	0.01



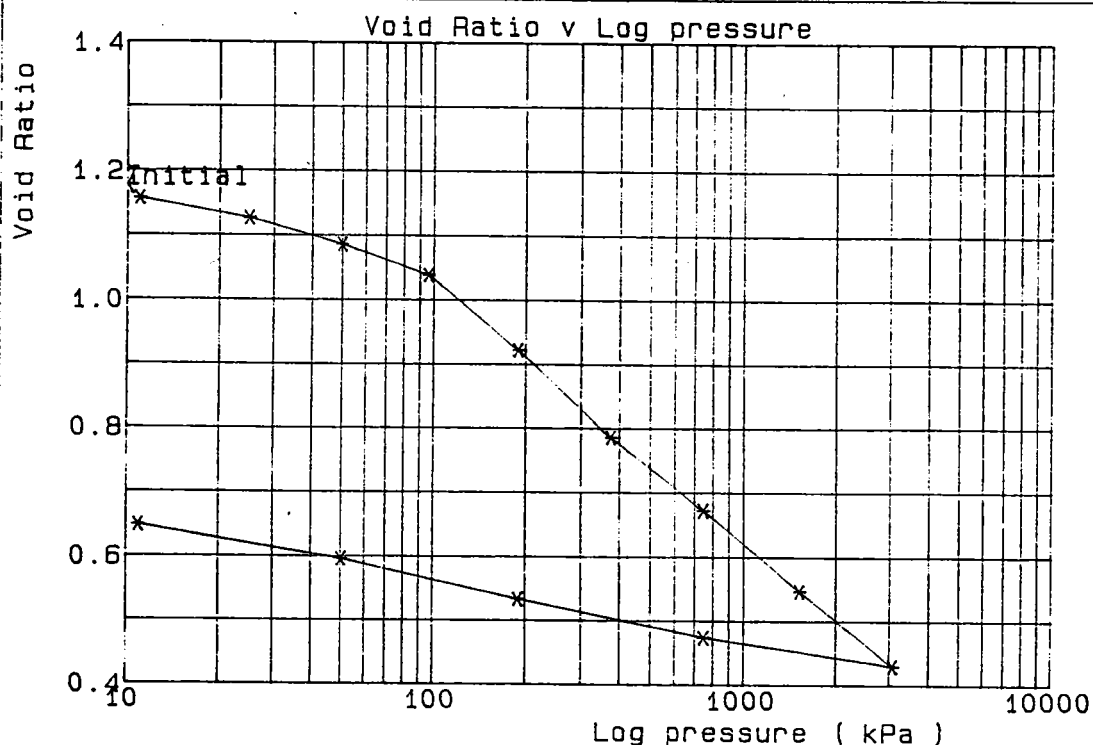
Job: YUNG-AN

Oedometer Consolidation

BoreHole: B2

Sample: T-2/A

Depth: 6.5-6.6m



			Pressure kPa	Laboratory Coefficients	
				m_v	c_v
Sample dimensions			0	0.773	3.04
Initial height 20.00 mm			11	1.014	4.34
Area 3166.9sq.mm			25	0.729	3.68
			50	0.446	5.48
Particle density (assumed)			96	0.611	2.44
2.73			189	0.350	2.89
	Initial Values	Final Values	374	0.173	3.92
			746	0.096	3.73
Moisture Content %	43.9	24.5	1519	0.049	4.45
Bulk Density Mg/cum	1.80	2.06	3067	0.013	7.61
			746	0.073	2.18
Dry Density Mg/cum	1.25	1.66	189	0.287	0.91
			50	0.832	0.37
			11		
Void Ratio e	1.177	0.647			
Saturation%	101.8	103.3			

I.H.M.T

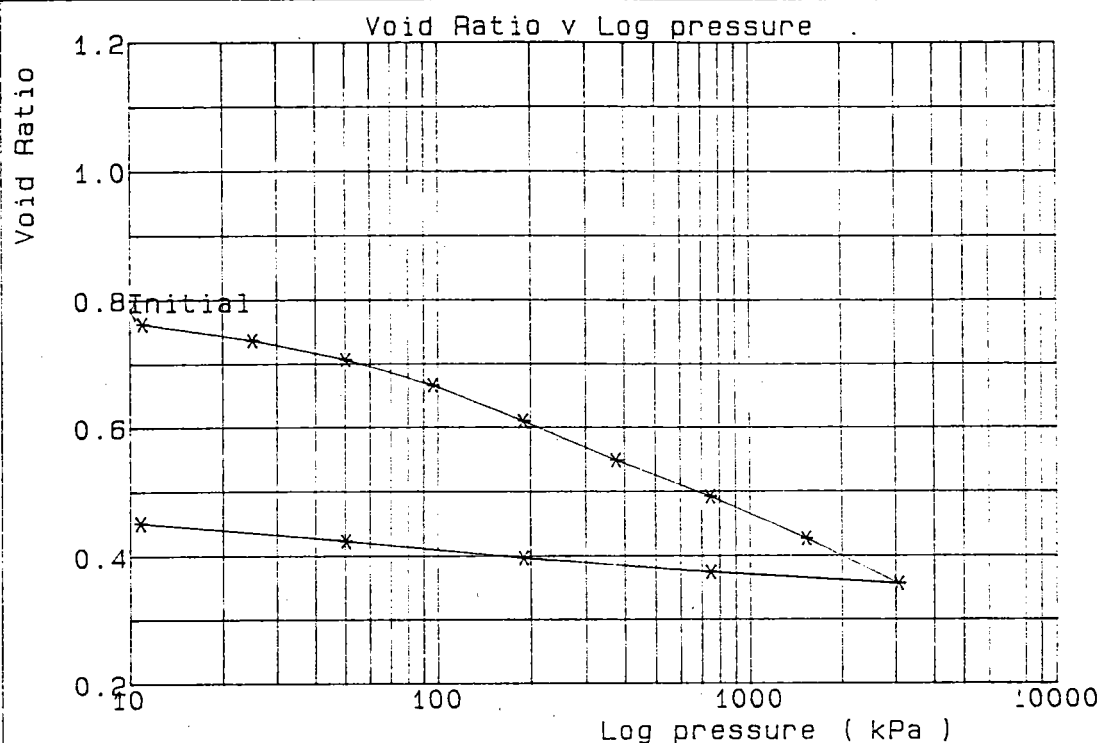
Job: YUNG-AN

BoreHole: B2

Sample: T-3/A

Oedometer Consolidation

Depth: 7.45-7.5m



			Pressure kPa	Laboratory Coefficients	
				m_v sqm/MN	c_v sqm/yr
Sample dimensions			0	0.890	3.74
Initial height 20.00 mm			11	1.102	4.75
Area 3166.9sq.mm			25	0.700	3.50
			50	0.417	5.07
Particle density (measured)			96	0.327	6.67
2.73			189	0.168	13.00
	Initial Values	Final Values	374	0.100	11.23
			746	0.057	11.08
			1519	0.032	10.06
			3067	0.006	14.87
Moisture Content %	27.1	16.6	746	0.029	6.94
Bulk Density Mg/cum	1.97	2.19	189	0.135	4.39
Dry Density Mg/cum	1.53	1.88	50	0.501	1.95
			11		
Void Ratio e	0.783	0.451			
Saturation%	94.5	100.6			

I.H.M.T

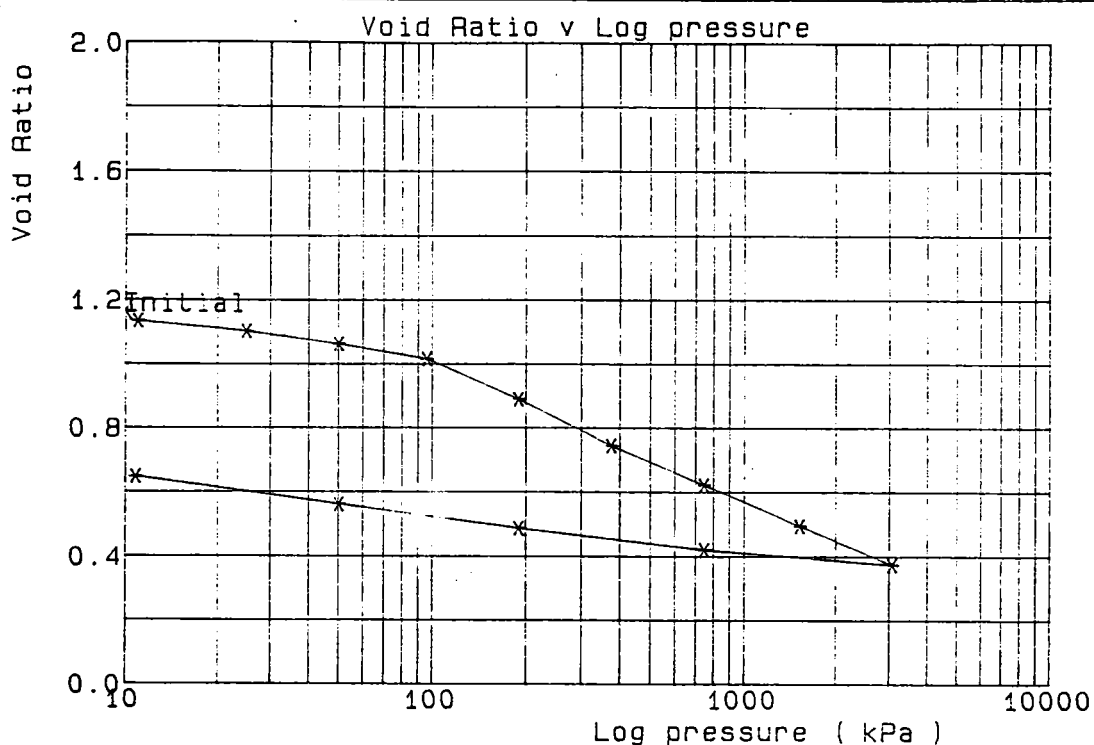
Job: YUNG-AN

BoreHole: B2

Sample: T-4/A

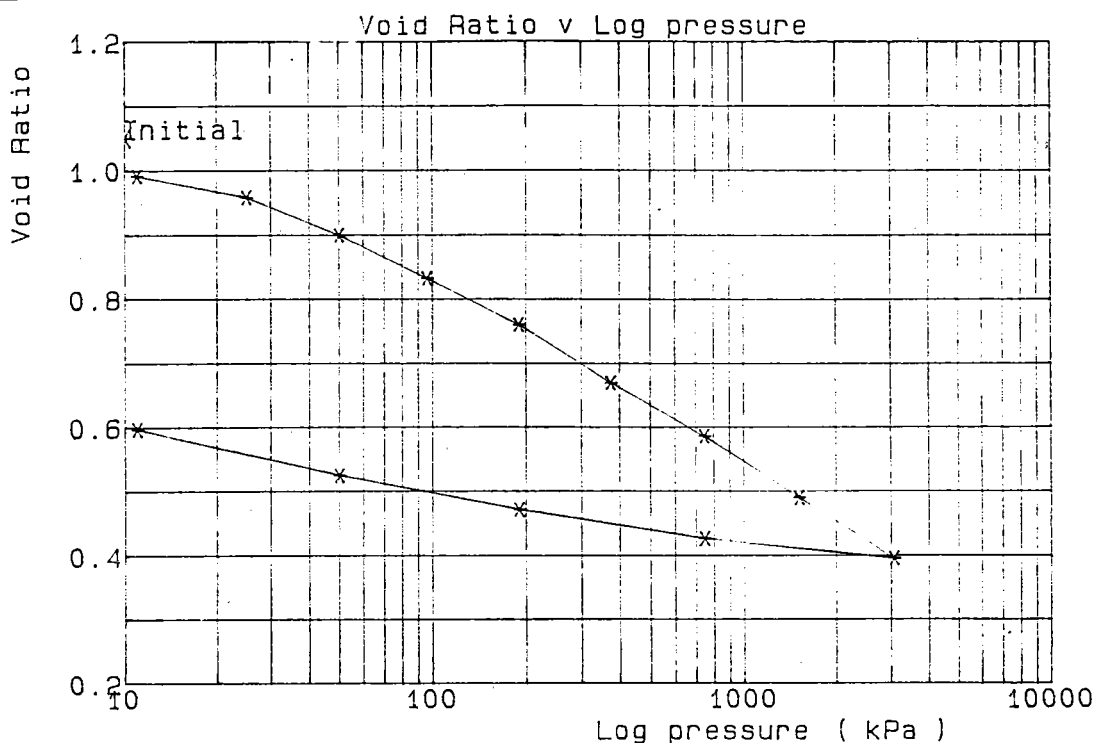
Oedometer Consolidation

Depth: 8.6-8.65m



			Pressure kPa	Laboratory Coefficients	
				m_v sqm/MN	c_v sqm/yr
Sample dimensions			0		
Initial height 20.00 mm			11	1.099	2.09
Area 3166.9sq.mm			25	1.030	2.86
			50	0.743	2.86
Particle density (measured)			96	0.442	2.46
2.70			189	0.650	0.80
	Initial Values	Final Values	374	0.388	1.96
			746	0.190	2.59
Moisture Content %	43.6	24.5	1519	0.102	2.40
			3067	0.053	3.11
Bulk Density Mg/cum	1.79	2.04	746	0.015	7.01
			189	0.084	1.40
Dry Density Mg/cum	1.25	1.64	50	0.360	0.53
			11	1.395	0.38
Void Ratio e	1.163	0.647			
Saturation%	101.2	102.2			

I.H.M.T



			Pressure kPa	Laboratory Coefficients	
				m_v sqm/MN	c_v sqm/yr
Sample dimensions			0	1.841	1.31
Initial height 20.00 mm			11	1.063	1.41
Area 3166.9sq.mm			25	1.150	0.64
			50	0.709	1.00
Particle density (measured)			96	0.396	1.39
2.72			189	0.256	2.41
	Initial Values	Final Values	374	0.134	2.42
			746	0.077	2.16
Moisture Content %	39.0	22.3	1519	0.042	4.12
			3067	0.009	9.12
Bulk Density Mg/cum	1.84	2.08	746	0.057	1.80
			189	0.258	0.62
Dry Density Mg/cum	1.33	1.70	50	1.201	0.17
			11		
Void Ratio e	1.050	0.597			
Saturation%	100.9	101.5			

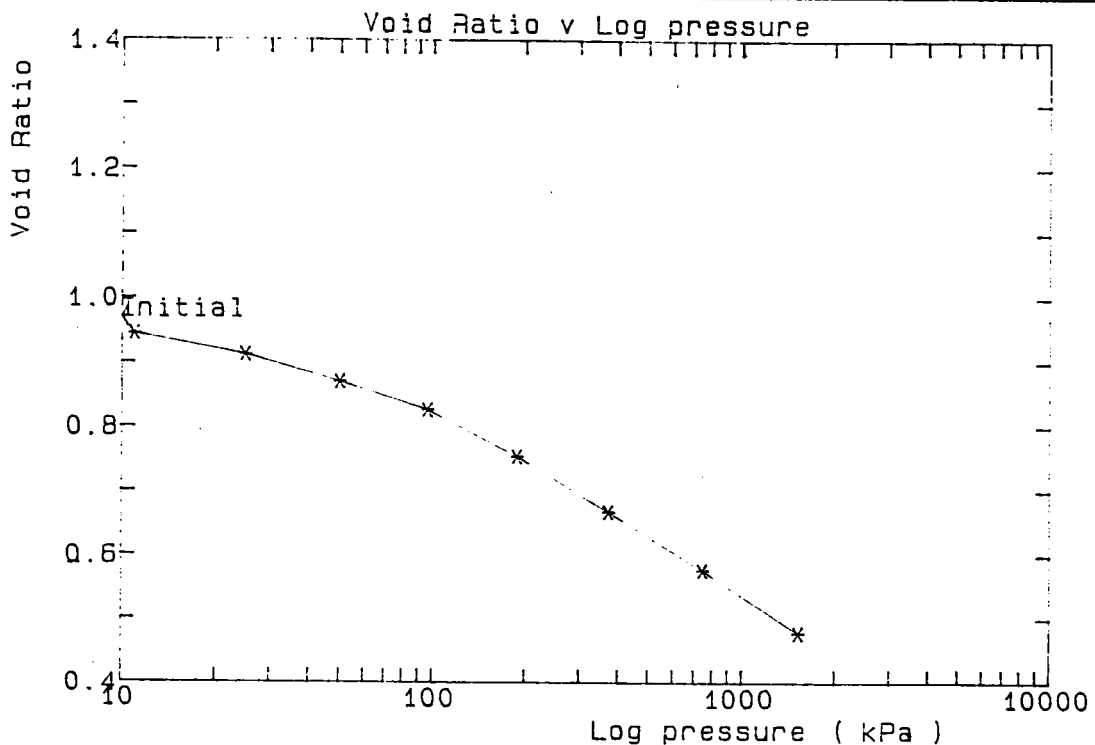
Job: YUNG-AN

Oedometer Consolidation

BoreHole: B2

Sample: T-6/A

Depth: 11.3-11.4



			Pressure kPa	Laboratory Coefficients	
				m_v	c_v
Sample dimensions			0		
Initial height 20.00 mm			11	0.905	2.07
Area 3166.9sq.mm			25	1.124	1.91
			50	0.873	2.12
Particle density (assumed)			96	0.461	2.76
2.78			188	0.398	2.94
	Initial Values	Final Values	372	0.267	3.75
			746	0.145	4.13
			1519	0.081	4.57
Moisture Content %	32.5	17.4			
Bulk Density Mg/cum	1.87	2.27			
Dry Density Mg/cum	1.41	1.93			
Void Ratio e	0.969	0.438			
Saturation%	93.3	110.5			

I.H.M.T

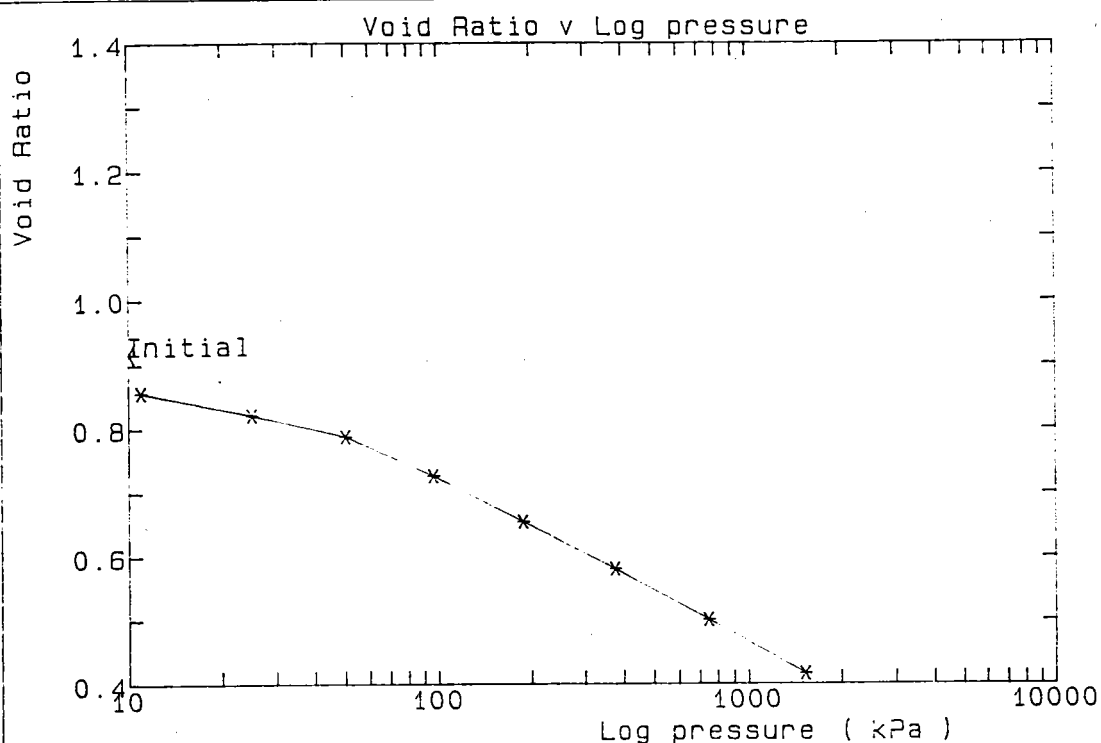
Job: YUNG-AN

Oedometer Consolidation

BoreHole: B2

Sample: T-7/A

Depth: 12.3-12.4



			Pressure kPa	Laboratory Coefficients	
				m_v sqm/MN	c_v sqm/yr
Sample dimensions			0	2.431	1.24
Initial height 20.00 mm			11	1.247	1.85
Area 3166.9sq.mm			25	0.663	1.95
			50	0.688	2.57
Particle density (assumed)			96	0.442	3.40
2.78			188	0.238	4.15
	Initial Values	Final Values	374	0.136	4.98
			746	0.072	5.84
			1519		
Moisture Content %	30.8	14.3			
Bulk Density Mg/cum	1.91	2.18			
Dry Density Mg/cum	1.45	1.91			
Void Ratio e	0.916	0.458			
Saturation%	93.4	86.8			

I.H.M.T

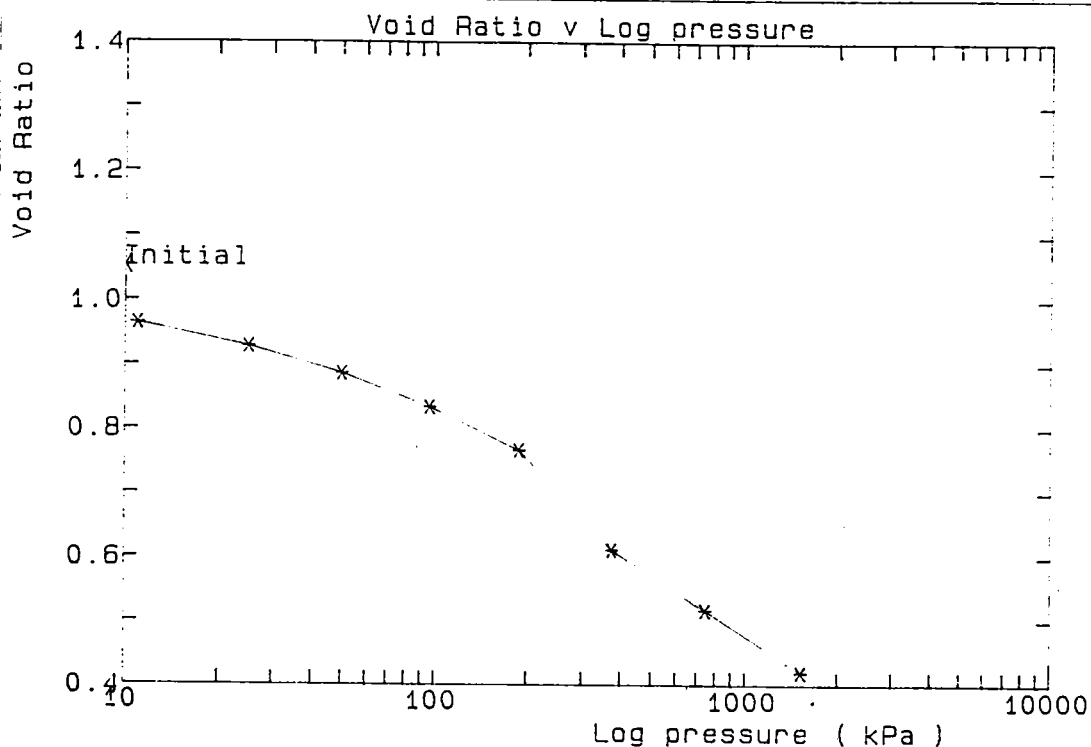
Job: YUNG-AN

BoreHole: B2

Sample: T-8/A

Oedometer Consolidation

Depth: 13.3-13.4



			Pressure kPa	Laboratory Coefficients	
				m_v sqm/MN	c_v sqm/yr
Sample dimensions			0		
Initial height 20.00 mm			11	3.218	0.89
Area 3166.9sq.mm			25	1.254	1.03
			50	0.815	1.71
Particle density (measured)			96	0.572	2.09
2.78			188	0.382	2.75
	Initial Values	Final Values	374	0.451	1.40
			746	0.157	2.88
			1519	0.084	3.38
Moisture Content %	34.2	20.0			
Bulk Density Mg/cum	1.82	2.35			
Dry Density Mg/cum	1.35	1.96			
Void Ratio e	1.053	0.420			
Saturation%	90.3	132.6			

I.H.M.T

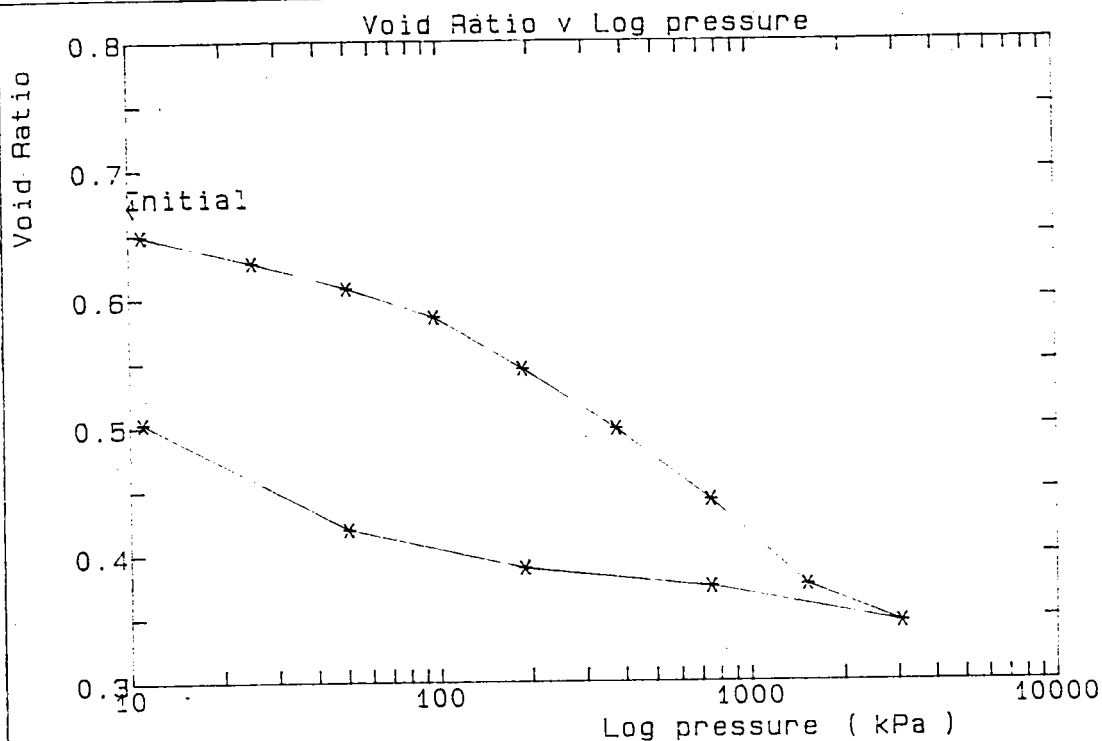
Job: YUNG-AN

BoreHole: B2

Sample: T-9/A

Oedometer Consolidation

Depth: 14.3-14.4M



			Pressure	Laboratory Coefficients	
			kPa	m_v	c_v
Sample dimensions			0		
Initial height 20.00 mm			11	0.509	8.70
Area 3166.9sq.mm			25	0.491	8.98
			50	0.303	8.05
Particle density (assumed)			96	0.206	10.44
2.73			188	0.260	6.06
	Initial Values	Final Values	374	0.136	19.31
			746	0.101	21.47
Moisture Content %	20.8	14.8	1519	0.060	20.42
			3067	0.031	14.18
Bulk Density Mg/cum	1.97	2.09	745	0.007	12.57
			189	0.017	22.32
Dry Density Mg/cum	1.63	1.82	50	0.099	3.35
			11	1.494	1.73
Void Ratio	0.672	0.503			
Saturation%	84.4	80.3			

I.H.M.T

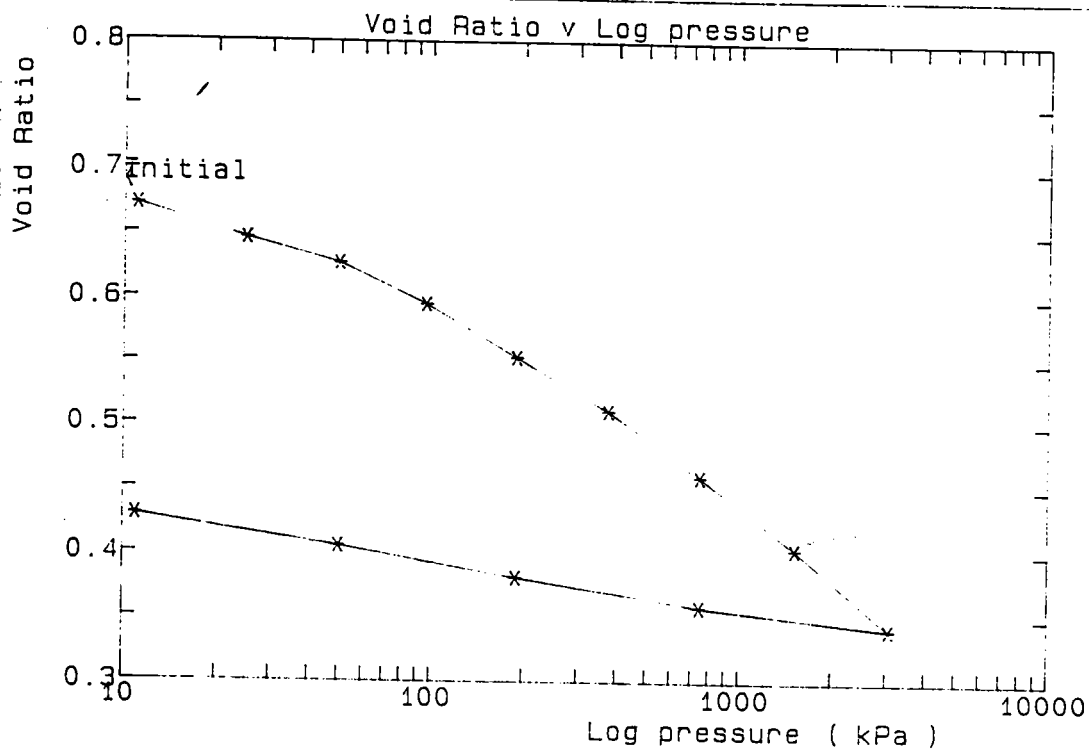
Job: YUNG-AN

BoreHole: B2

Sample: T-10/A

Oedometer Consolidation

Depth: 10.5-15.55



			Pressure kPa	Laboratory Coefficients	
				m_v sqm/MN	c_v sqm/yr
Sample dimensions			0	0.703	2.40
Initial height 20.00 mm			11	0.934	1.64
Area 3166.9sq.mm			25	0.404	6.14
			50	0.385	4.39
Particle density (measured)			96	0.286	5.28
2.73			189	0.127	7.19
	Initial Values	Final Values	374	0.084	8.58
			746	0.046	8.84
Moisture Content %	26.3	16.7	1519	0.026	11.05
			3067	0.005	12.30
Bulk Density Mg/cum	2.04	2.23	746	0.029	9.07
			189	0.125	2.25
Dry Density Mg/cum	1.61	1.91	50	0.434	0.77
			11		
Void Ratio e	0.690	0.429			
Saturation%	104.1	106.5			

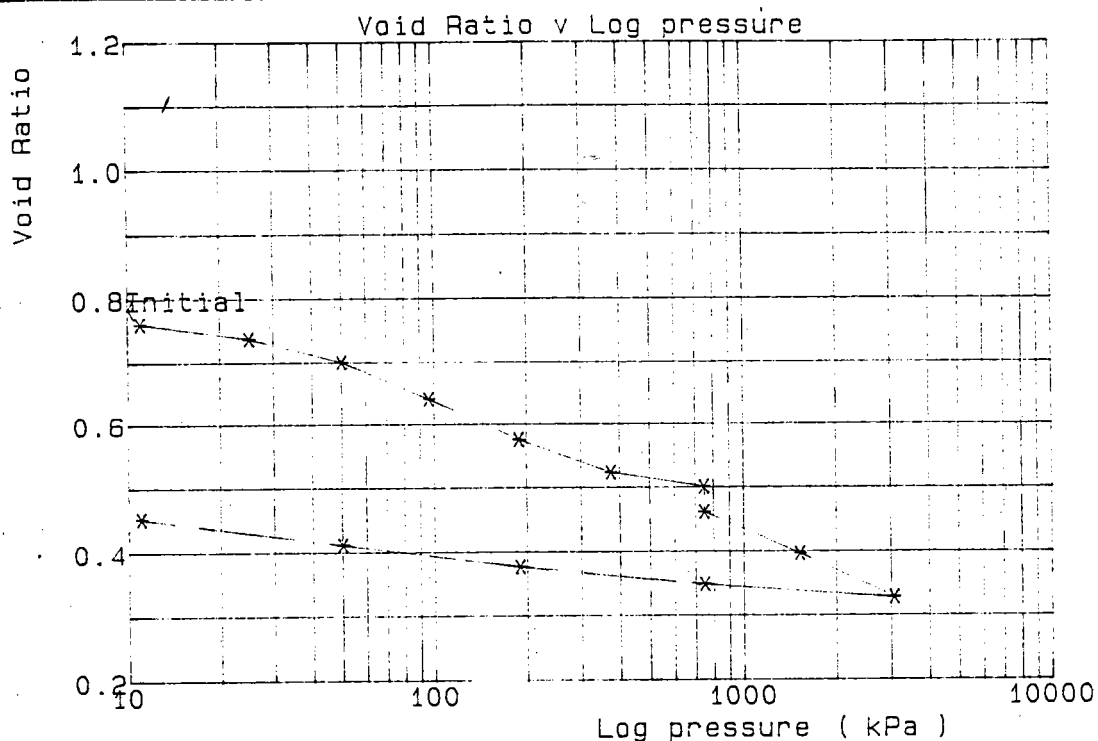
I.H.M.T

BoreHole: B2

Sample: T-11/A

Oedometer Consolidation

Depth: 16.5-16.55



			Pressure	Laboratory Coefficients	
			kPa	m _v	c _v
Sample dimensions			0		
Initial height 20.00 mm			11	0.731	3.78
Area 3166.9sq.mm			25	0.822	0.74
			50	0.791	3.16
			96	0.721	1.23
Particle density (assumed)			189	0.429	4.57
2.73			374	0.165	7.25
Initial Values			746	0.027	7.43
Final Values			746	0.030	7.05
Moisture Content %	26.9	14.8	1519	0.052	7.92
Bulk Density Mg/cum	1.94	2.16	3067	0.031	10.40
Dry Density Mg/cum	1.53	1.88	189	0.007	11.47
			50	0.038	6.67
			11	0.177	1.78
Void Ratio e	0.784	0.453		0.742	0.52
Saturation%	93.8	89.3			

I.H.M.T

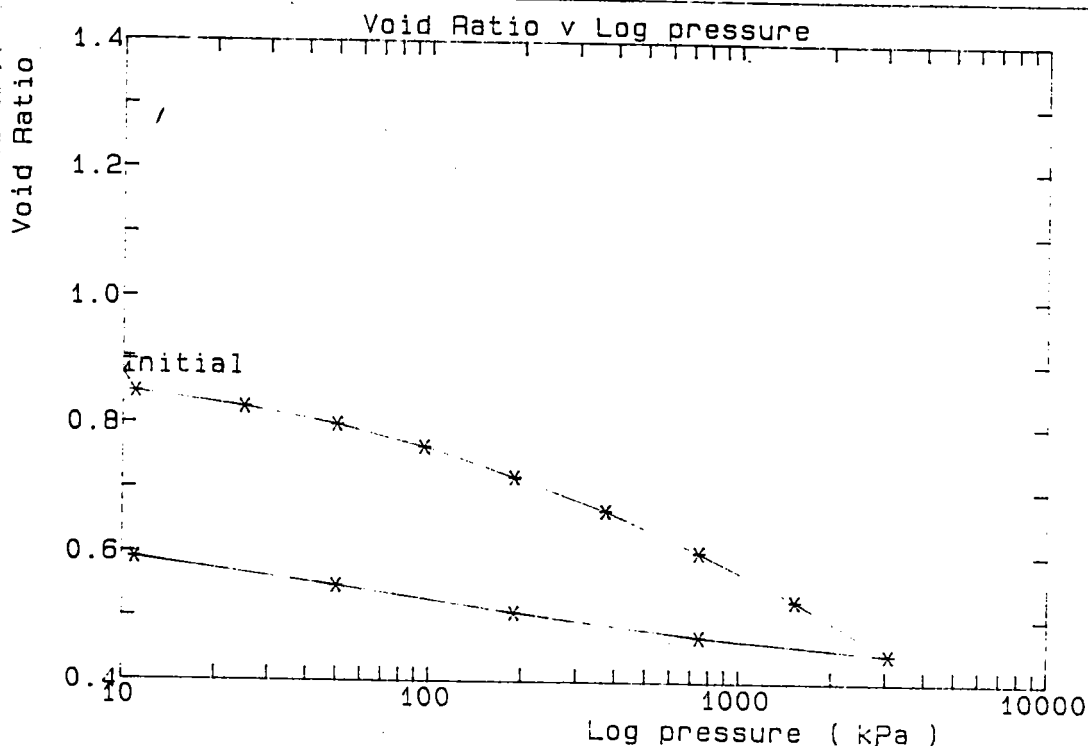
Job: YUNG-AN

BoreHole: B2

Sample: T-12/A

Oedometer Consolidation

Depth: 19.5-19.55



			Pressure	Laboratory Coefficients	
			kPa	m_v	c_v
Sample dimensions			0		
Initial height	20.00 mm		11	1.094	6.33
Area	3166.9sq.mm		25	0.726	3.56
			50	0.523	8.70
Particle density (assumed)			96	0.413	9.74
2.73			189	0.241	16.10
			374	0.133	16.34
			746	0.089	21.85
Moisture	Initial	Final	1519	0.047	19.10
Content %	29.4	18.9	3067	0.029	17.44
Bulk Density			746	0.008	13.59
Mg/cum	1.88	2.04	189	0.045	14.31
Dry Density			50	0.193	8.51
Mg/cum	1.45	1.72	11	0.698	1.90
Void					
Ratio e	0.878	0.591			
Saturation%	91.5	87.3			

I.H.M.T