

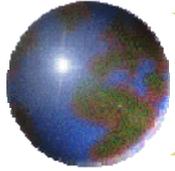
工程材料實驗

拉伸試驗



授課老師：連振昌



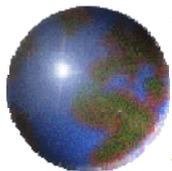


實驗目的

了解材料受到拉力時，材料在彈性範圍及塑性範圍內抵抗伸長變形的能力及斷裂的特性，並且從試驗中測定比例限、彈性限、彈性係數、降伏強度、抗拉強度、破裂強度、伸長率、斷面縮率等數種材料機械性質參數，以做為工程設計的參考或研究發展的基本數據。

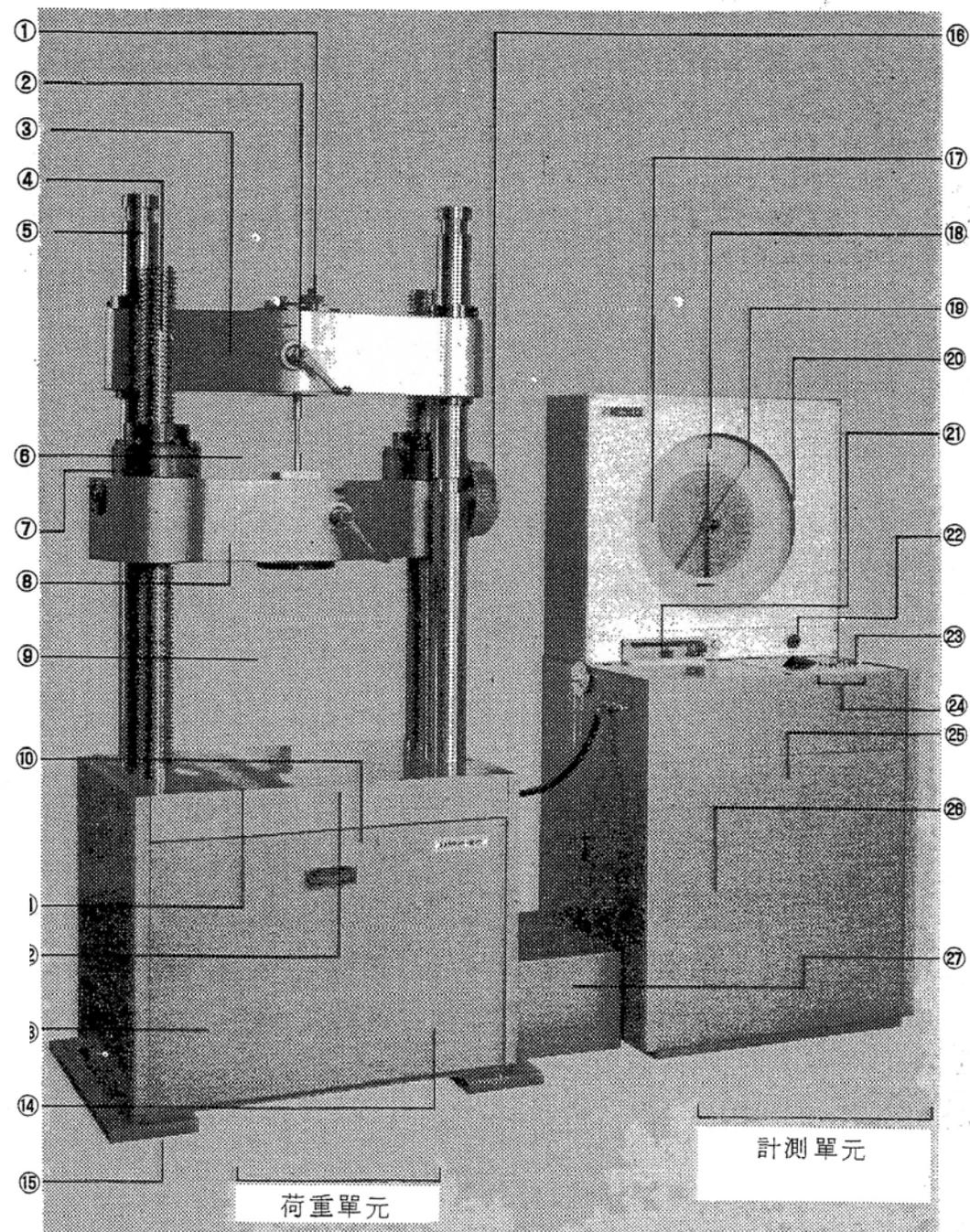
實驗設備

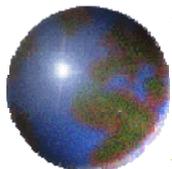
油壓式萬能試驗機（universal testing machine），如圖 1 所示，其構造原理如圖 2 所示。



- ① 上夾頭襯墊
- ② 固定把手
- ③ 上夾頭
- ④ 下夾頭昇降導桿
- ⑤ 上夾頭施力柱
- ⑥ 拉伸試驗空間
- ⑦ 齒隙減震器
- ⑧ 下夾頭
- ⑨ 壓縮、彎曲試驗空間
- ⑩ 負荷修正裝置
- ⑪ 工作台面護墊
- ⑫ 工作台
- ⑬ 護蓋

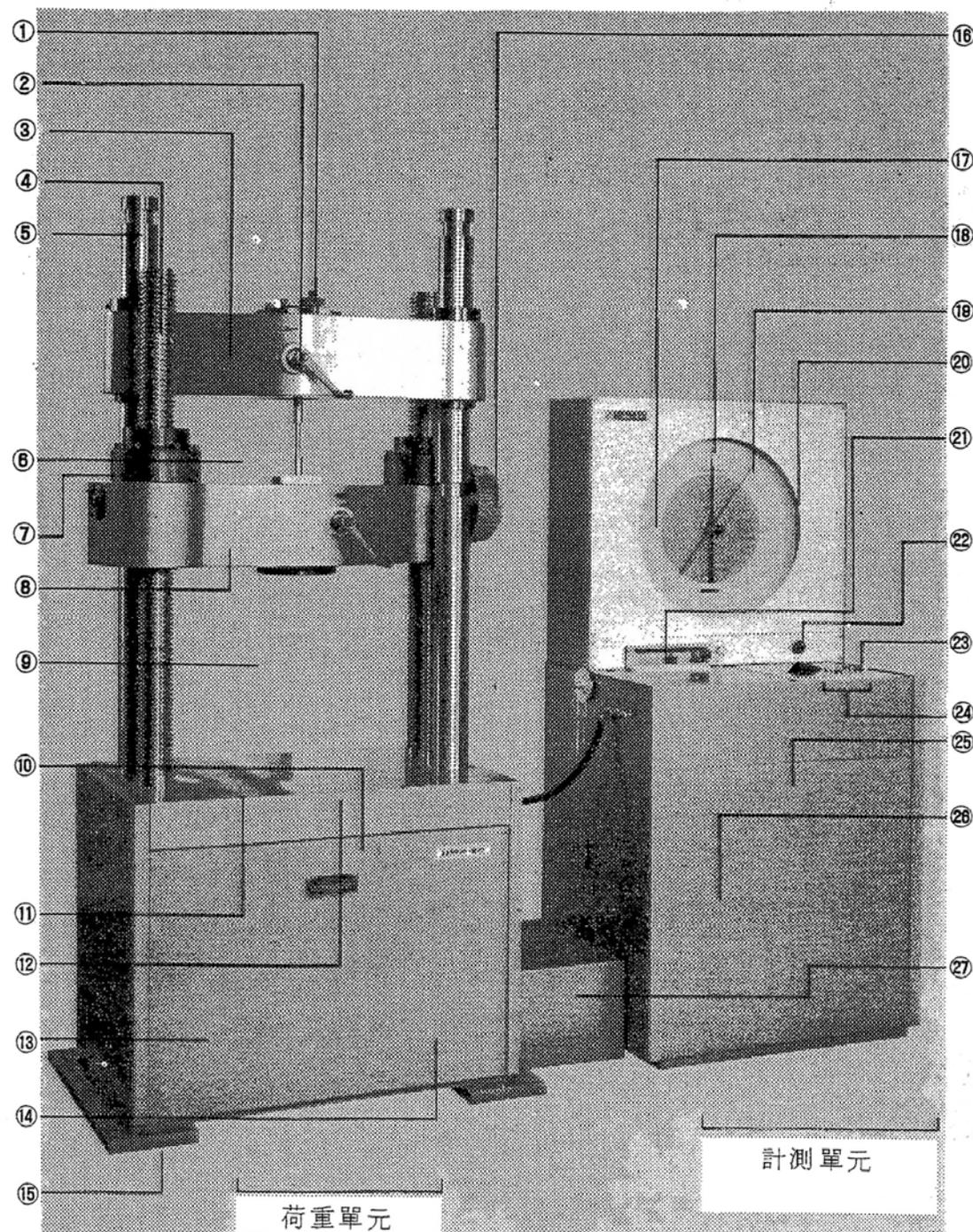
圖1 油壓式萬能試驗機





- ⑭ 滑塊油壓缸（內部）
- ⑮ 底座
- ⑯ 下夾頭移動馬達
- ⑰ 刻度盤
- ⑱ 負荷指針（黑色）
- ⑲ 最大負荷指針（紅色）
- ⑳ 照明燈
- ㉑ 自動記錄器
- ㉒ 荷重選擇鈕
- ㉓ 下夾頭移動按鈕
- ㉔ 控制面板
- ㉕ 箱蓋
- ㉖ 高速油壓泵（內部）
- ㉗ 管線蓋

圖1 油壓式萬能試驗機



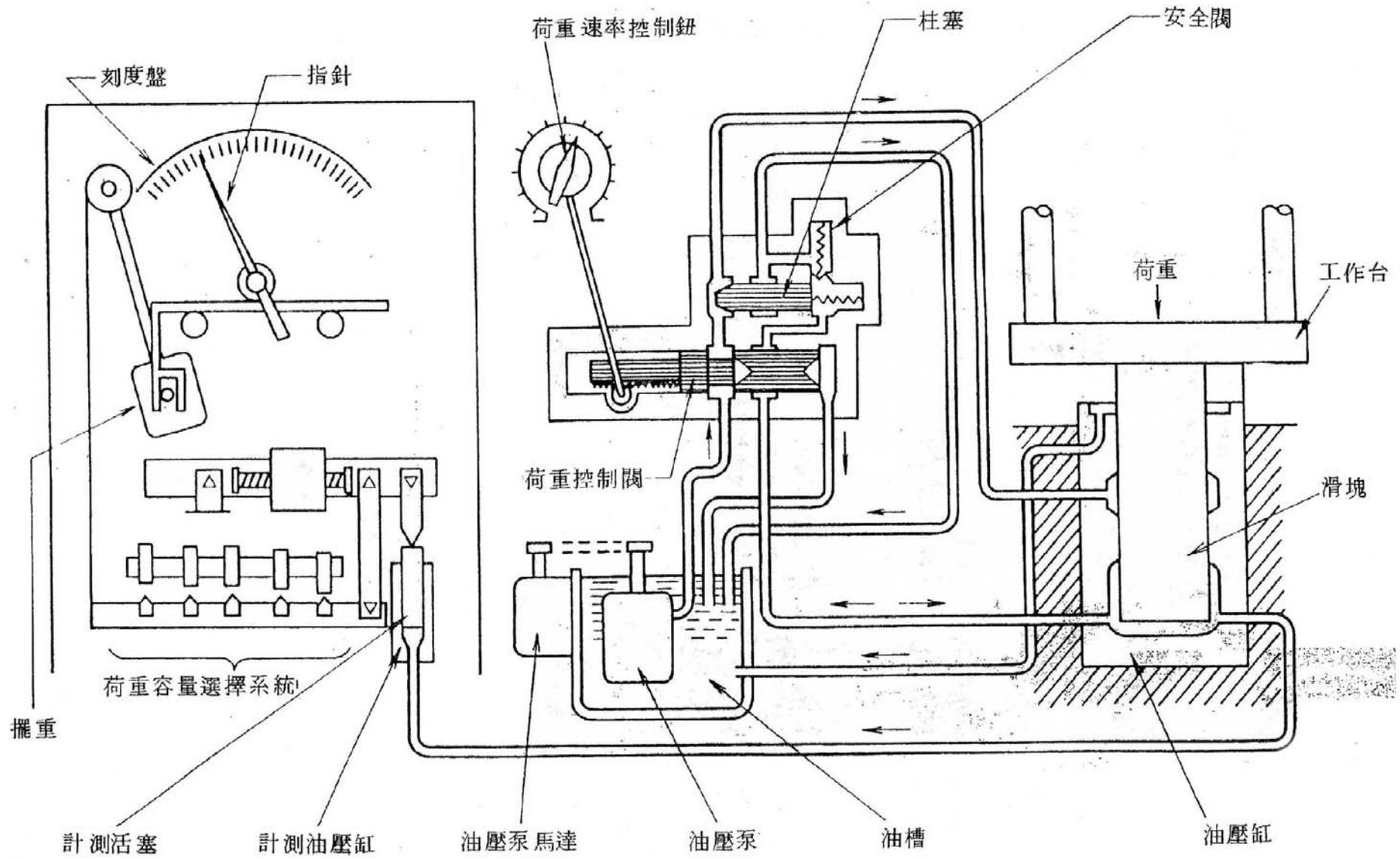
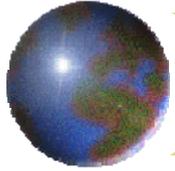


圖2 萬能試驗機構造原理圖



- 將油壓幫浦設置於計測機下面內部油槽中，由此流出的油送到試驗機工作台下方的油壓缸中，使滑塊上升。
- 上部夾頭與工作台連接，隨著滑塊的移動，與工作台一體昇降。下部夾頭則藉著減速機、鏈條、螺桿等電氣驅動系統而昇降，所以在負荷中下部夾頭保持靜止不動。
- 在上部夾頭與下部夾頭之間可以進行拉伸試驗，在下部夾頭與工作台之間則可以進行壓縮、彎曲、抗折及剪斷試驗。

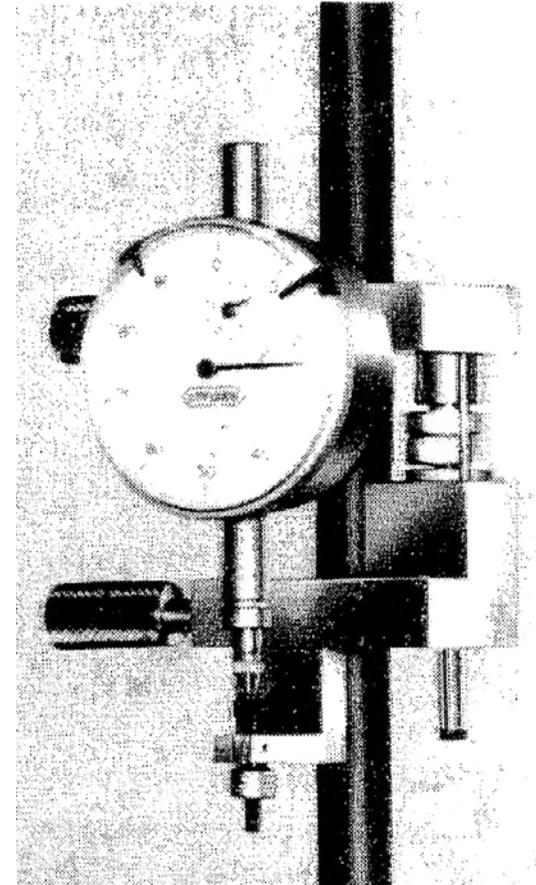
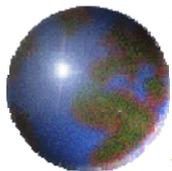


圖 3 伸長計



實驗原理

1. 將試桿裝在萬能試驗機夾頭上，然後打開油壓系統施以荷重，則隨著荷重的增加，試桿會逐漸伸長，經過儀器自動的繪圖紀錄，可得如圖2-5所示的荷重—伸長曲線，由圖上我們可以得到以下各種的數據和資料。

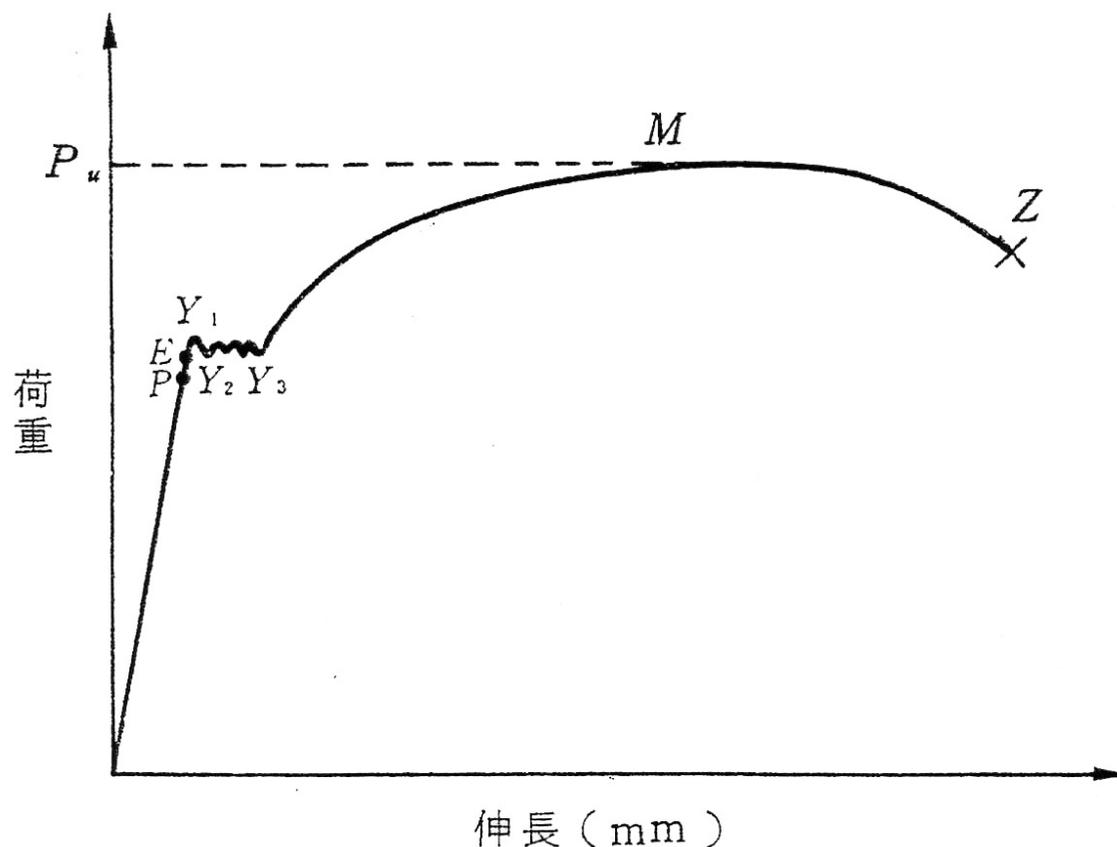
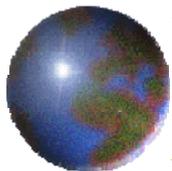


圖 4 荷重—伸長曲線圖



1. 比例限

(proportional limit)

此為材料能維持荷重與伸長量成正比關係的最大應力。從圖 2-5 中，我們可以看出當荷重在 P 點以下時，荷重與伸長量成正比關係。在此比例限內，荷重與伸長量係依虎克定律而變化。此 P 點之荷重 P_p 除以試桿原斷面積 A_o 所得之值稱之為比例限

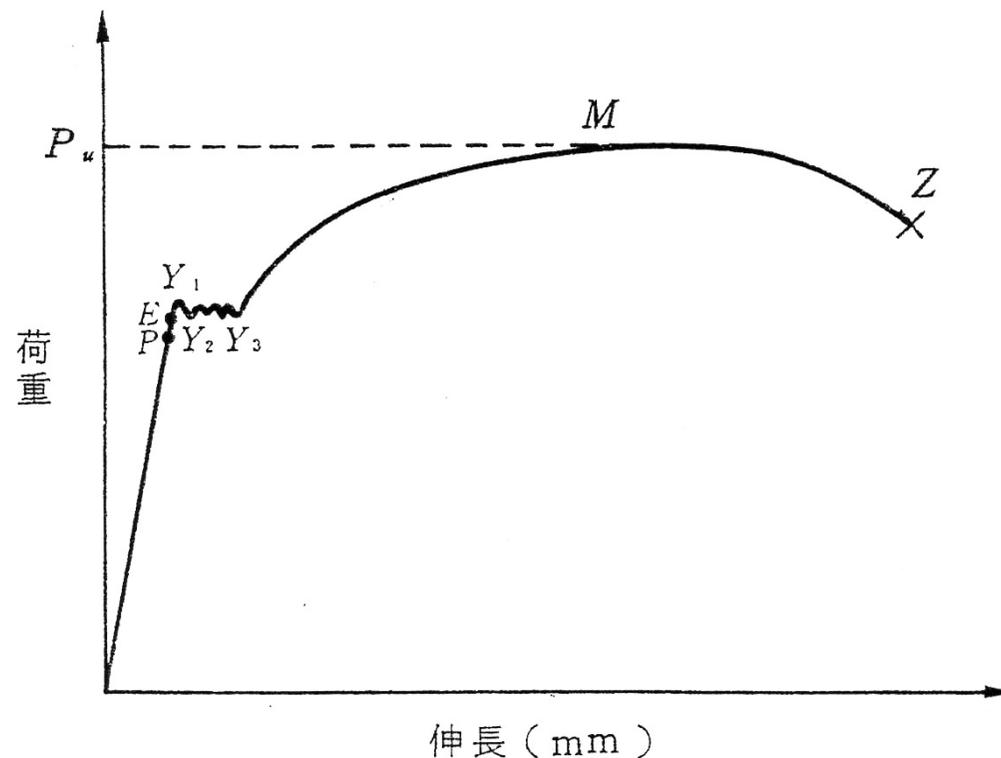
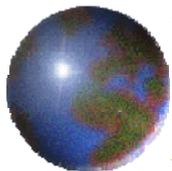


圖 4 荷重—伸長曲線圖

$$\text{比例限} = \frac{P_p}{A_o} (\text{kg} / \text{mm}^2)$$



2. 彈性限

(elastic limit)

此為材料所能承受拉力而不呈現永久變形之最大應力。如圖4曲線所示，當荷重不超過 E 點，則荷重除去後，試桿仍會恢復原狀，亦即無永久變形之發生。此種受到 E 點以下的荷重時所發生的變形，稱為彈性變形： E 點的荷重 P_E 除以試桿原斷面積 A_0 所得之值稱之為彈性限。

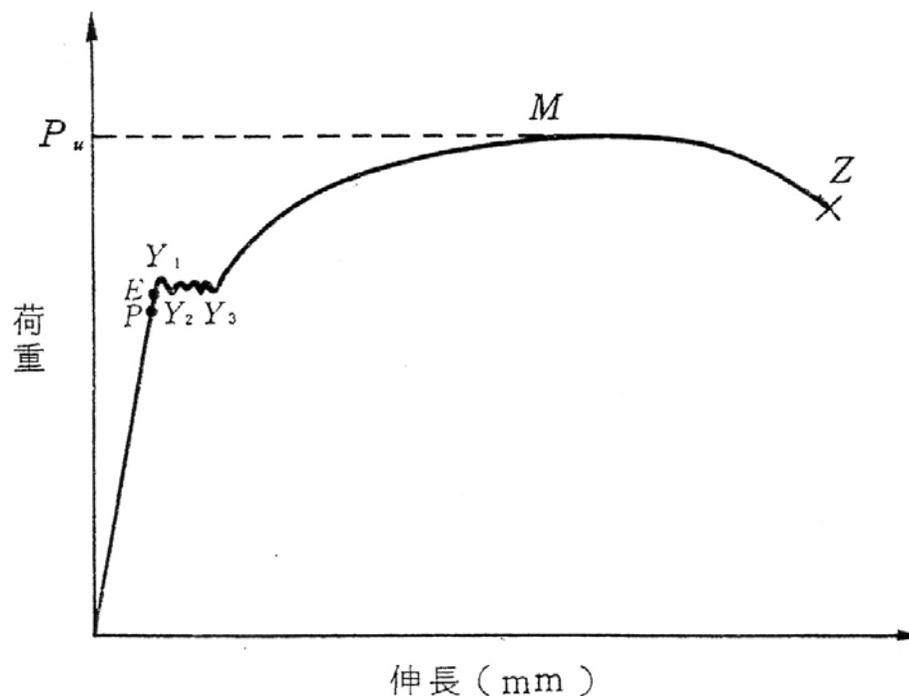
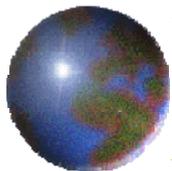


圖 4 荷重—伸長曲線圖

$$\text{彈性限} = \frac{P_E}{A_0} (\text{kg} / \text{mm}^2)$$



3. 彈性係數

(modulus of elasticity)

彈性係數亦稱為楊氏係數，彈性係數是表示材料剛性的參數，其值愈高，則材料愈堅韌，抵抗軸向變形之能力也就愈大。設應力為 σ ，應變為 ε ，則：

$$\text{彈性係數 } E = \frac{\sigma}{\varepsilon} (\text{kg} / \text{mm}^2)$$

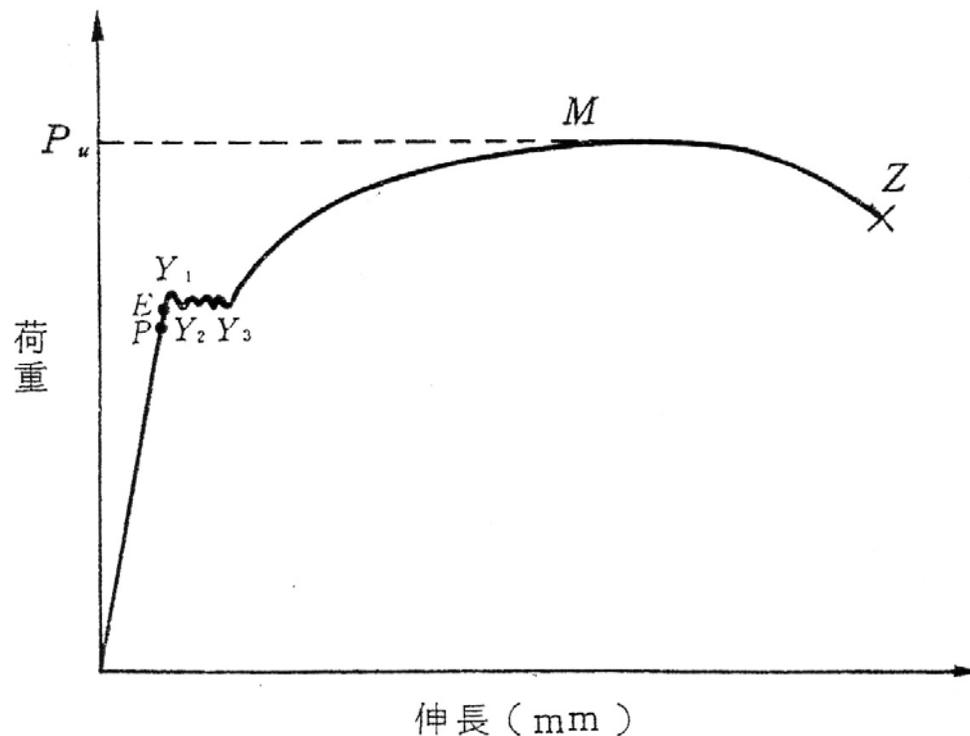
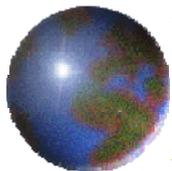


圖 4 荷重—伸長曲線圖



4. 降伏點

(yield point)

當荷重超過比例限 P 點以後，荷重—伸長曲線圖不再成正比，過了 Y_1 點突然降至 Y_2 點，然後在某一段時間內，荷重在 Y_2 點附近上下變動，試桿亦同時在 Y_2 點與 Y_3 點間發生較大的伸長量變化，此種現象稱為降伏

降伏現象發生時，試桿之一部份會出現塑性變形之區域，隨著降伏的繼續進行塑性變形會逐漸擴展，到達 Y_3 點時擴展到試片全面，降伏現象亦隨之結束，然後試桿開始進入應變硬化區域。

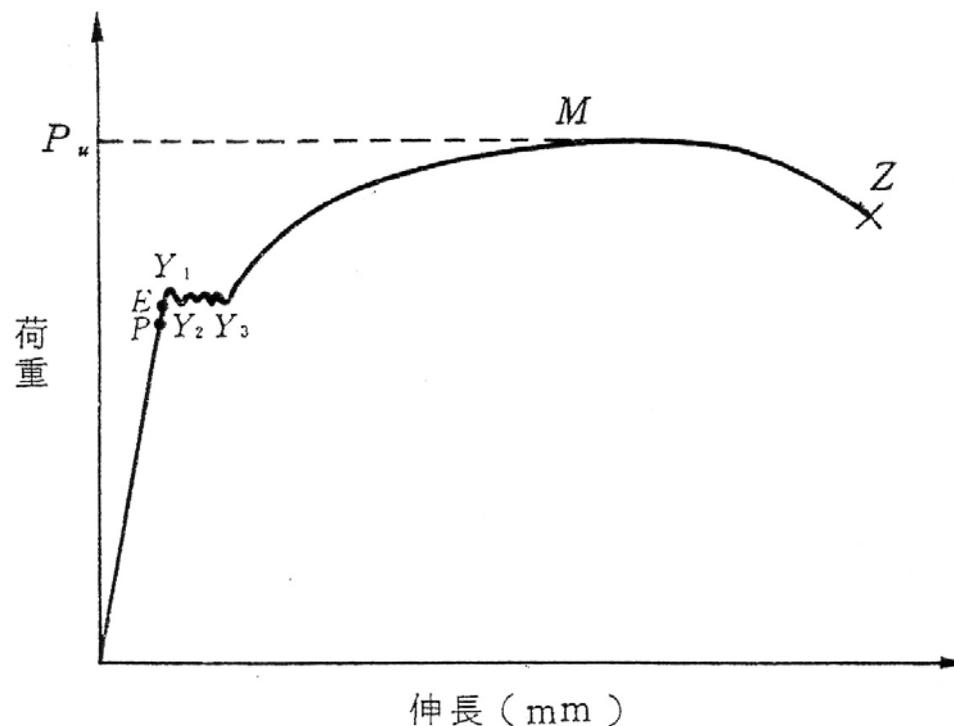
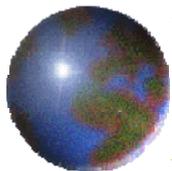


圖 4 荷重—伸長曲線圖



5. 降伏強度 (yield strength)

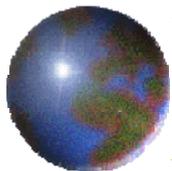
降伏點的荷重除以試桿原來的斷面積，稱為降伏強度。由於 Y_2 與 Y_3 間的荷重不穩定，通常以上降伏點 Y_1 點之荷重 P_{Y1} 除以試桿之原斷面積 A_0 ，代表材料之降伏強度。

$$\text{降伏強度 } \sigma_Y = \frac{P_{Y1}}{A_0} (\text{kg} / \text{mm}^2)$$

降伏點僅在未受硬化，熱作過的鋼料極少數非鐵合金上發生，至於大多數金屬材料，在荷重—伸長曲線上並無明顯的降伏點，此時降伏強度可以由以兩種方法求得：

(1) 指針暫停法

當儀表上的荷重指針第一次暫停時，讀取荷重，以此荷重除以試桿之原斷面積 A_0 ，即為降伏強度。



(2) 0.2%橫距法 (off-set yield strength method)

此法採用試桿的永久變形（伸長量）達到某一預定數值的應力，做為降伏強度，永久變形伸長量通常是取標距長度的0.2%，如圖5(a)所示

從M點繪一與彈性比例直線OA平行之直線MB，與荷重—伸長量曲線交於Y點，以此點之應力做為降伏點，降伏強度則：

$$\sigma_Y = \frac{P_Y}{A_0} \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

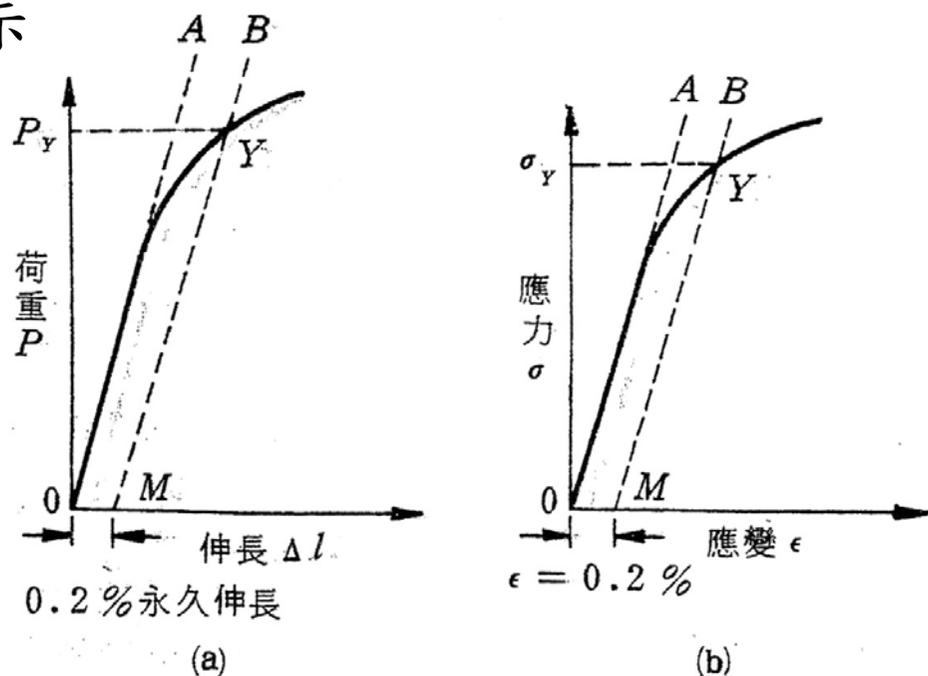
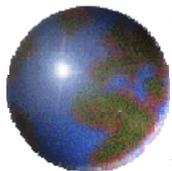


圖5 降伏強度的求法

降伏強度，亦可以由應力—應變圖上求得如圖5 (b) 所示



6. 抗拉強度

(tensile strength)

試桿在測試過程中所能承受的最大荷重除以其原斷面積之值稱為抗拉強度，一般又稱為極限強度（ultimate tensile strength）：

$$\text{抗拉強度 } \sigma_u = \frac{P_u}{A_o} (\text{kg} / \text{mm}^2)$$

如圖 4 所示， M 點即為最大荷重所在，過 M 點材料開始頸縮，荷重亦隨之下降。

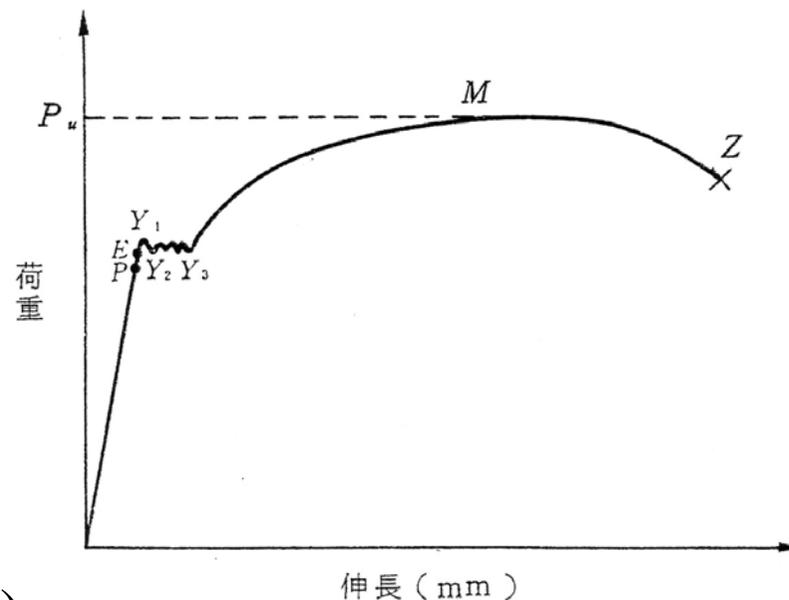
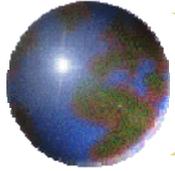


圖 4 荷重—伸長曲線圖

7. 破斷強度 (breaking strength)

材料破斷時之荷重除以其原斷面積之值，稱為破斷強度。

$$\text{破斷強度 } \sigma_F = \frac{P_F}{A_o} (\text{kg} / \text{mm}^2)$$



8. 伸長率 (percentage of elongation)

試桿破斷後，將兩斷口接合，量取標距長 L_f ，則破斷後 L_f ，減去原來標距 L_o ，再除以原來標距 L_o ，所得之值已百分率表示，稱為伸長率。

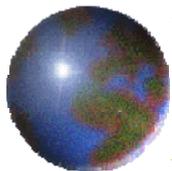
$$\text{伸長率} = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100\%$$

9. 斷面縮率 (percentages of area reduction)

試桿原斷面積 A_o 減去破斷後最小斷面積 A_f ，再除以原斷面積 A_o 所得之值百分率表示，稱為斷面縮率：

$$\text{斷面縮率} = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100\%$$

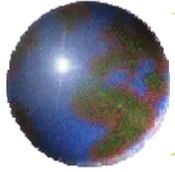
當荷重超過 M 點後，通過試桿中央部份會發生局部變形，此種現象，稱之為頸縮，發生頸縮以後，該部份的直徑逐漸縮小，直至拉斷為止。



實驗方法

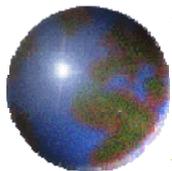
1. 準備試桿

- (1) 中國國家標準 (CNS) 將拉伸試驗用金屬材料依材料之種類、形狀及大小不同，先車製出標準的試桿。
- (2) 用分厘卡測定標點兩端及中央部份之直徑，測定直徑時須要測定互相直交的兩個方向，測定到規定尺寸的 0.5% 之數值，（例如直徑為 15 mm，則 $15 \times 0.5\% = 0.075$ ，即測定至 0.05 mm 即可）。然後三點平均求出直徑大小，並計算出斷面積。
- (3) 再試桿表面先塗上奇異墨水，然後用中心衝、標點分割機或游標卡尺，量畫出標距，並將標距八等分或十等分

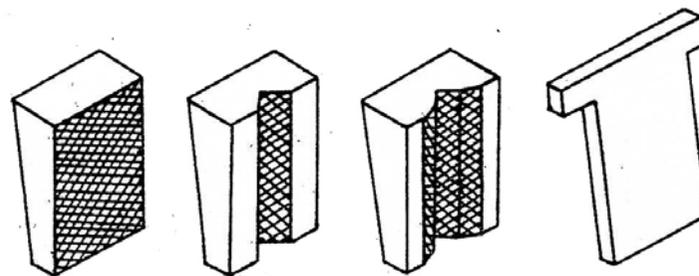


2. 試驗機之標準

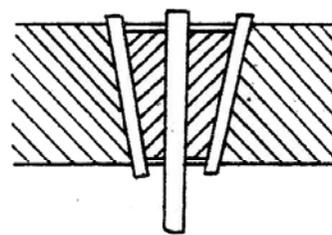
- (1) 由試桿的材質和直徑大小，推算出大概隻強度而選定試驗機之適當荷重容量。假定試桿斷面積為 300 mm^2 ，強度為 $40 \text{ kg/mm}^2 \times 300 \text{ mm}^2 = 12000 \text{ kg}$ ，此時所選定的荷重容量應為15噸。不可用6噸，亦不要用30噸以免影響精度
- (2) 將自動紀錄用方格紙固定於紀錄器之圓筒上，並在滑輪上選定自動紀錄器放大倍數。
- (3) 將歸零調整鈕順時針轉到最右邊。
- (4) 打開油 開關，並旋轉荷重速率控制鈕至 OPEN 處，等刻度盤上油壓指示指到十二點鐘方向，再反轉至 HOLD 位置，此時油壓缸內之油剛好飽和，不再加力亦不減力
- (5) 調整紀錄比與方格紙接觸，並選定基準點。



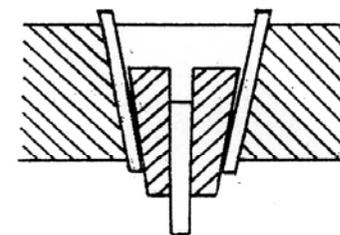
- (6) 反時針旋轉歸零調整鈕，使荷重指針（黑針）歸零，再調整最大荷重指針（紅針）緊靠黑針之右側。
- (7) 將試桿上端夾緊在上夾頭，試桿挾持方法須正確。
- (8) 將試桿下端固定在試驗機之下夾頭上
- (9) 使用伸長計時，將伸長計夾緊在試桿的平行部位，以便讀取伸長量，但須注意試桿斷裂前必須取下，以免損壞。



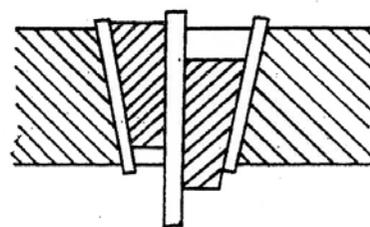
拉伸試驗用之楔形夾頭及墊片



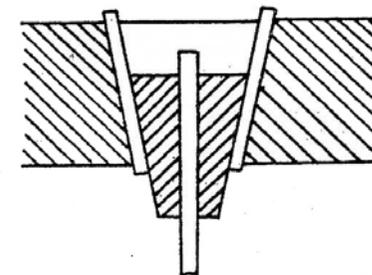
(a) 正確



(b) 夾持太短，上端易碎

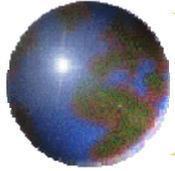


(c) 上下不均



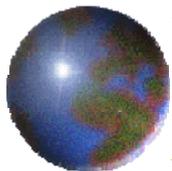
(d) 試件太薄，應用厚墊片

圖 6 試件夾持方式之正確



3.開始試驗

- (1) 旋轉荷重速率控制鈕到 LOAD 位置，慢慢增加荷重。
- (2) 當指針第一次暫停或回降時，讀取降伏點的荷重。
- (3) 降伏現象結束後，稍為增加荷重速率。
- (4) 荷重指針往回擺時，最大荷重指針停下，讀取最大荷重之值，此時並仔細觀察試桿局部變形之情形。
- (5) 由試桿破斷時之聲響讀取荷重指針之指數此即破壞荷重
- (6) 試桿破斷後，立刻旋轉荷重速率控制鈕至 HOLD 位置，並取下試桿。
- (7) 將荷重速率控制鈕由 HOLD 旋至 RETURN 位置，稍微降低工作台面高度，再旋轉 HOLD 位置。
- (8) 依同樣步驟，繼續做另一根的試驗。
- (9) 所有試驗結束時，將荷重速率控制鈕旋轉至至 RETURN 位置至 RETURN 位置至 RETURN 位置，取出自動紀錄紙，並將試驗機回復原狀。
- (10) 觀察試桿斷口狀況並計算出各種數據。



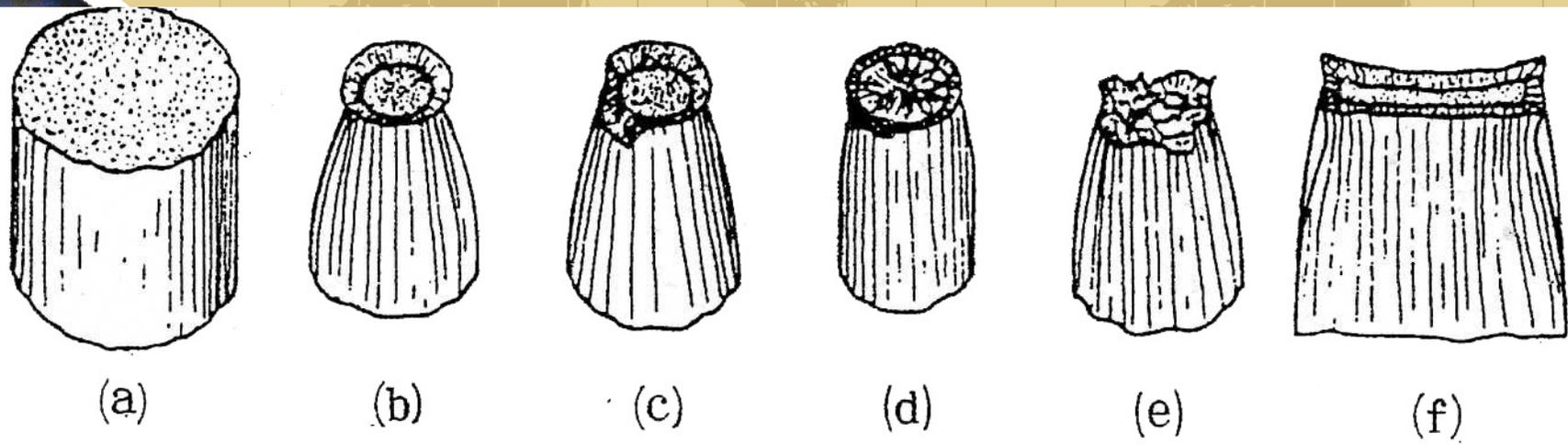
4.拉申速度對降伏強度之影響

降伏現象是由原子平面的滑動所造成，變形速度愈大，滑動抵抗亦增大，結果會使降伏點上升，亦即增加了降伏強度。速度應控制在 $60\sim 180\text{ kg/mm}^2/\text{分}$ （JIS規格）或 $7\sim 70\text{ kg/mm}^2/\text{分}$ （ASTM規格）之規定範圍內，降伏現象結束後，可以增加拉伸速度直至斷裂為止，因金屬材料之抗拉強度受拉伸速度的影響較小。

5.拉伸破斷面觀察

金屬材料因其韌脆性不同，拉斷後其斷口亦顯現各種不同的特徵，圖7為各種金屬拉伸斷口的形狀，大致可區別為兩大類：

脆性材料：這種材料抗拉強度較抗剪強度小，斷裂均由剪應力產生，斷面與試件軸多成直交，所以呈現粒狀評斷口，如圖7（a）所示，一般鑄鐵等脆性材料斷面都呈此類型態。



(a) 粒狀平斷口

(b) 平滑杯錐狀

(c) 平滑部份杯錐狀

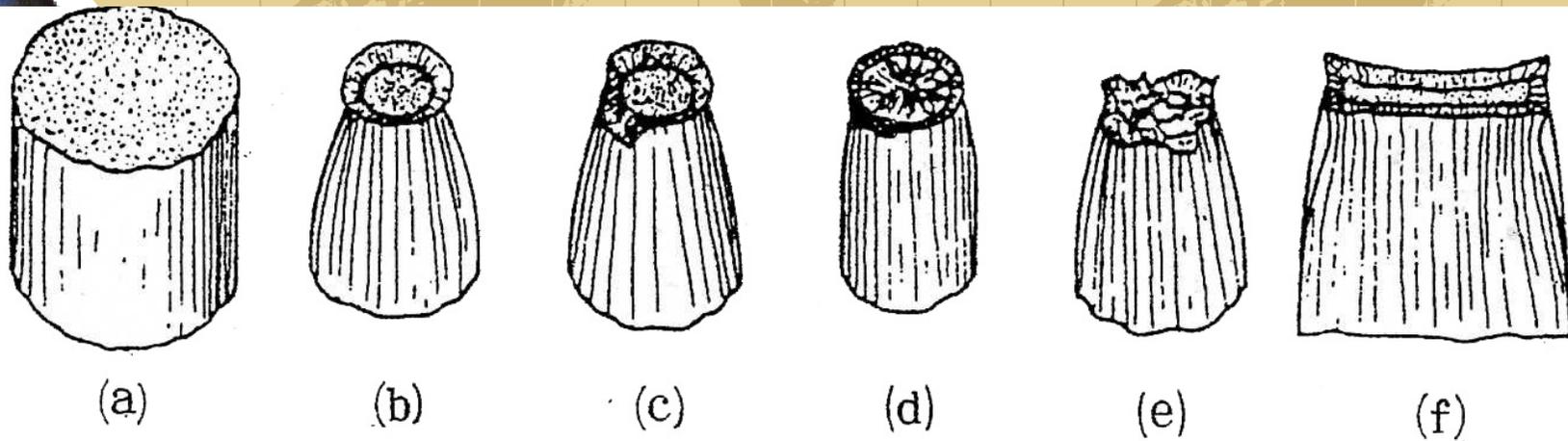
(d) 放射狀條紋斷口

(e) 不規則纖維條

(f) 平板試片之平滑杯錐狀

圖 7 金屬拉伸破斷口的形狀

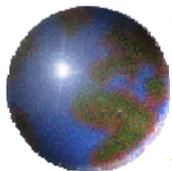
延性材料：這類材料頸縮部份中央之軸向主應力與徑向主應力大致相同，最大剪應力甚小，因此試件多受拉應力而斷裂，中央部份先行斷裂，此即拉斷。至於邊緣部份則因軸向主應力大於徑向主應力而產生較大的剪應力，故原子平面漸起滑動而造成剪應力破壞，此為剪斷，剪斷面大至與試件軸呈 45° 。



- (a) 粒狀平斷口 (d) 放射狀條紋斷口
 (b) 平滑杯錐狀 (e) 不規則纖維條
 (c) 平滑部份杯錐狀 (f) 平板試片之平滑杯錐狀

圖 7 金屬拉伸破斷口的形狀

所以延性材料斷面通常呈現兩個不同的區域，如圖7 (b) ~ (f) 所示。其中 (b) 顯示材料荷重與試桿一致，斷面是完整的杯錐形。(c) 顯示材料荷重與試桿不一致而形成部分杯錐形。另外 (b) 圖屬於較軟軟的材料，中央拉斷部分呈現點狀的纖維條，而 (d) 圖形材料經過常溫加工或熱處理而有內應力存在，其斷口上有放射狀的條紋斷口。



實驗結果

材 料 種 類				
處 理 狀 況				
試 件 編 號				
直 徑	試驗前 D_0 (mm)			
	試驗後 D_f (mm)			
斷 面 積	試驗前 A_0 (mm ²)			
	試驗後 A_f (mm ²)			
標 點 距 離	試驗前 L_0 (mm)			
	試驗後 L_f (mm)			



降 伏 點	荷重 P_Y (kg)			
	降伏強度 $\sigma_Y = \frac{P_Y}{A_0}$ (kg/mm ²)			
最大荷重點	荷重 P_u (kg)			
	抗拉強度 $\sigma_u = \frac{P_u}{A_0}$ (kg/mm ²)			
破 斷 點	荷重 P_F (kg)			
	破斷強度 $\sigma_F = \frac{P_F}{A_0}$ (kg/mm ²)			
伸 長 量	$(L_f - L_0)$ (mm)			
伸 長 率	$(L_f - L_0) / L_0 \%$			
斷 面 縮 率	$(A_0 - A_f) / A_0 \%$			
斷 口 之 位 置				
斷 口 之 形 狀				
備 註				