

RC 築物主要構件之電腦應用軟體開發例

徐輝明

王國榮

林威廷

王帥帥

國立宜蘭技術學
院土木工程科

摘 要

本研究針對 RC 結構物的樑、柱作細部分析設計，使用 Fortran 90，配合 MS PowerStation 的編譯器編寫程式，所編譯之八項依序為：RC 樑工作應力法，RC 樑極限強度法，RC 樑撓度分析，RC 樑剪力分析，T 型樑設計，RC 柱極限強度法分析，單向版設計，單位轉換應用，最後並編寫一“主界面程式”以副程式整合上述各細項，並提供使用者一簡易(User Friendly)選項功能以方便操作，整體目的在研發一 RC 建築物主要構件之電腦應用軟體，以提供土木結構工程師執行結構分析程式的後續處理程式(Post-Processor)。

關鍵詞：鋼筋混凝土、結構桿件、電腦軟體、Fortran

The Development of the Computer Software for the Main Members of RC Buildings

Hui-Mi Hsu Kuo-Jung Wang Wai-Ting Lin Shuai-Shuai Wang

Civil Engineering Department, National Ilan Institute of Technology

Abstract

The major objective of this study was to develop the computer software for design and analyses of RC structural members, i.e., beams, columns, and slabs. Fortran 90 as well as MS PowerStation compiler was taken as the basic tool kit to write the computer software, which included 1. RC beam working stress method, 2. RC beam ultimate stress method, 3. RC beam deflection analyses, 4. RC beam shear analyses, 5. T beam design, 6. RC column ultimate stress method, 7. One-way slab design, and 8. Unit conversion. Those programs were organized by a user-friendly menu to provide much convince to users. The self-developed software may contribute a good post-processor for a structural engineer proceeding to design or analyze structural members after the process of structural analyses.

Key Words: RC, Structural Members, Computer Software, Fortran

一、前言

一棟結構物包含許多部分：樑、柱、樓板及基礎等，而這些構件的設計，都須經過事前詳細計算、規範之考量與許多其他因素所決定，而在設計分析整體結構物時，可藉由一些市場上的銷售結構分析程式，如、等取得結構桿件之外力值。

在由上述過程得到所需設計構件之外力後，後續處理可分為分析及設計兩項，若能設計一個輸入方便、功能多項的程式，能使工程師加快處理速度且便於日後修改成更適合之版本，故有一群小型程式彙整而成之應用軟體，則將是工程師一大利器，然目前市場上並無銷售此種軟體，且因設計手冊時常修正，故銷售利益不高，而現今電腦程式之進步性極快，找尋一適合之電腦軟體來編譯合手之軟體實為一土木工程師於房屋結構設計時必要之手段，依照此理念，故使用程式語言，配合的編譯器〔註.〕，來編寫結構物設計與分析的程式。

為什麼特別選用的〔威力工作站〕呢？原因在於將旗下的、，這幾套編譯器都安排在相同的視窗操作介面下，而這整合環境的名稱為，特色是可以方便寫作的程式，容易和來連結，且能使用繪圖程式〔.〕〔註.〕。

二、主介面程式

主介面程式〔如圖一〕為連結及整合各細項工程，本主介面除提供使用者選項外，並負責傳送參數值至各細項程式，其選項可分為：

1. 樑工作應力法。
2. 樑極限強度法〔包括單、雙筋分析與設計〕。
3. 樑撓度分析〔包括瞬時、長期撓度分析與規範檢核〕。
4. 樑剪力分析。
5. 型樑設計。
6. 柱分析〔計算、值〕

在程式編寫時，按照上列之分類，分別將每個部分完成，然後再做整合程式，用副程式將其連結，使用者在一開始輸入想進行設計與分析之部分，再輸入必要的數值，便可得到結果。整合後的主程式定名為。

```

Microsoft Developer Studio - Powerup111 - [Powerup111.for]
File Edit View Insert Build Tools Window Help
Powerup111 - Win32 Debug Console FPS 4.0 Books O
Powerup111 file:
C SCREW 1.0 BETA1 螺絲 1.0 測試版1號
C ** 使用副程式作總連結 **
PROGRAM SCREW_BETA1
IMPLICIT NONE
C
WRITE(*,*)本程式利用Microsoft Fortran Powerstation(微軟威力工作站)
進行RC結構物設計與分析
WRITE(*,*)程式由國立宜蘭技術學院土木工程科徐副教授輝明指導
,學生王國榮、林威廷、王帥帥編寫
WRITE(*,*)工作日期: 8.21.98~2.8.99
WRITE(*,*)
WRITE(*,*)結構物樑部分
WRITE(*,100) 1.WSD 工作應力法分別與設計
WRITE(*,100) 2.USD 極限強度法分別與設計
WRITE(*,100) 3.短期、長期強度之分析
WRITE(*,100) 4.剪力之分析與設計
WRITE(*,100) 5.T型樑設計與分析單向版
WRITE(*,*)結構物柱部分
WRITE(*,100) 6.用柱承受之Pn與Mn,設計斷面
WRITE(*,*)結構物樓版部分
WRITE(*,100) 7.單向版設計
WRITE(*,100) 0.結束此程式
WRITE(*,*)請選擇欲進行之項目
100 FORMAT (10X,A)
STOP
END

```

圖一 主程式 - SCREW

註.: 程式設計人員使用非機械語言所寫出的程式語言，都須先經編譯器將其翻譯成電腦可辨認的語言，目前的編譯器有、 、 、 等公司製作。

註.: 的功用是專門製作三度空間立體影像， 中有這個程式庫可以使用。

三、RC 樑工作應力法(WSD)

3.1 理論基礎

在強度設計法被列入 年 (美國混凝土協會)規範以前，樑的設計是依工作應力或彈性設計。這種設計法是使使用載重下計算之應力低於規定的容許值。其計算之基本假設為鋼筋混凝土樑之行為是線彈性的，於使用彎矩超過開裂彎矩時，樑全長均佈的產生開裂。不過這種設計法沒有考慮到混凝土乾縮產生的初始應力或混凝土潛變結果使應力隨時間重新分配。

工作應力法利用的觀念包含了虎克定律、轉換開裂斷面、壓力等於拉力、彎矩等於力乘以力臂。工作應力法雖被列為“替代設計法”，但對於工作使用載重下的撓度控制及裂縫控制仍是主流，在後文中對撓度及裂縫控制將有詳細之介紹。整體說來工作應力法在分析上對安全掌握不明確，僅知道什麼時後會超過彈性範圍卻不知道其極限破壞強度〔 〕。

觀念及計算的建立與假設條件的知悉對工作應力法之運用非常重要，以下就是工作應力法的假設條件：

1. 平面橫斷面在彎曲後仍保持平面；因此，應變從中性軸呈線性變化。

1. 依虎克定律，應力和應變呈正比。
2. 在張力區的混凝土完全開裂，只有鋼筋承受張力。
3. 鋼筋和混凝土間沒有滑移產生。

3.2 程式設計理念

1. 解 X

首先由小組成員將 X 換成公式解的形式

將 a ， b ， c 代入公式。

2. 求 X

3. 求 a ， b

一般假設 a ， b 則依鋼筋之降伏強度而異，

如：

$$a \leq \frac{f_y}{f_c}$$

$$b \geq \frac{f_y}{f_c}$$

而這些限制在 C 的程式語言當中常用 IF 來判斷即可，

如：

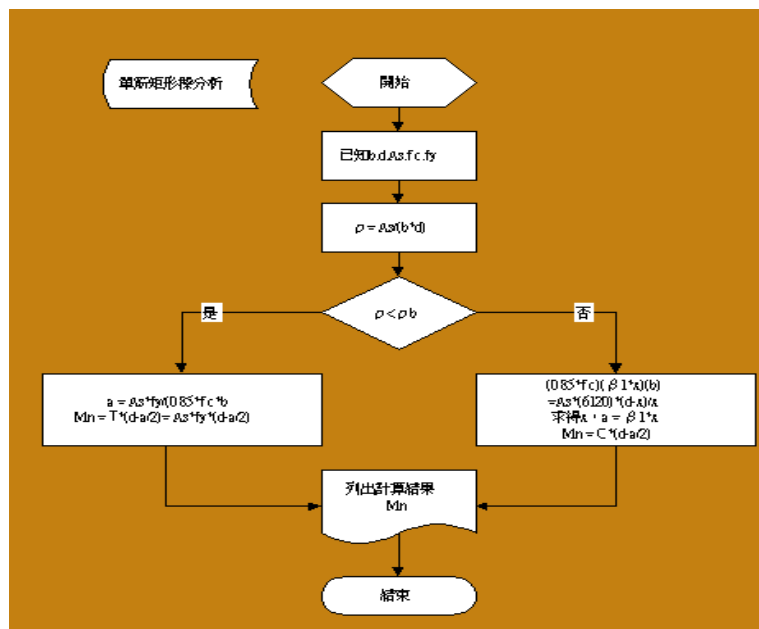
在 C 中，其實還可以使用 IF 或 IF 語法，來進行判斷數值的工作。

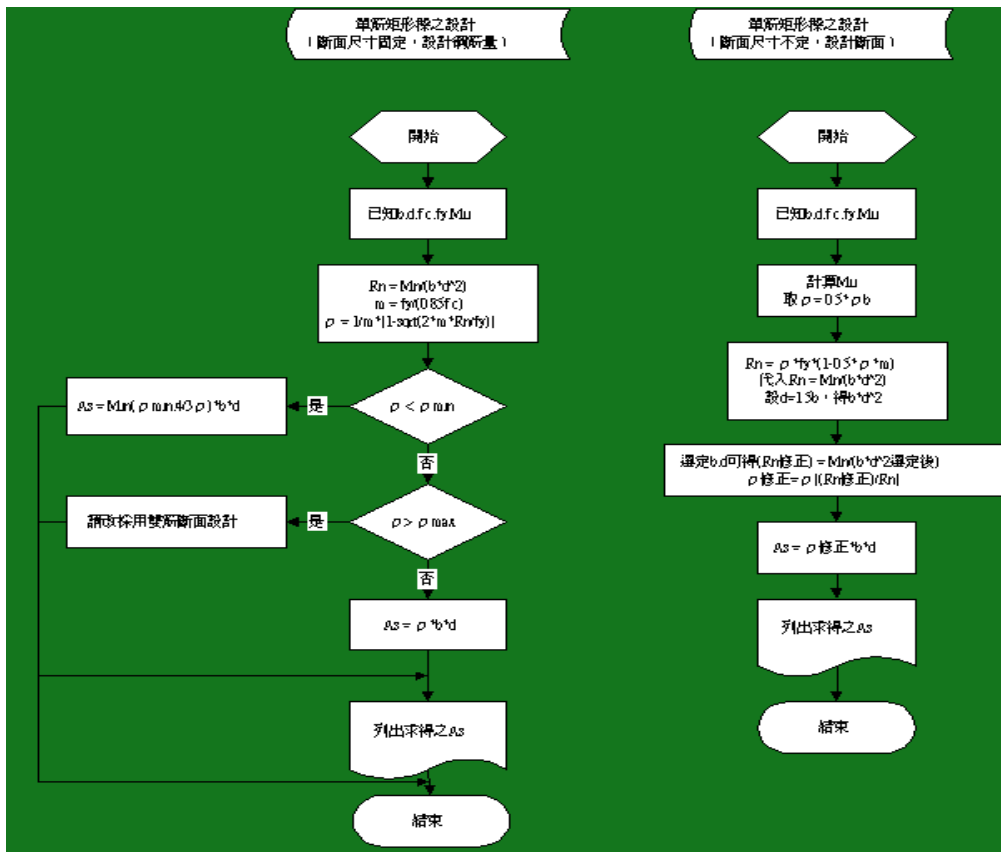
3.3 分析流程

詳細步驟以流程圖形式詳列於圖二、三



圖二 工作應力法分析流程圖





圖三 單筋矩形梁分析與設計流程圖

四、RC 梁極限強度法(USD)

4.1 理論基礎

極限強度設計，是基於極限荷重與剖面的極限強度來決定結構構件尺寸的方法。藉著對工作荷重、靜荷重與假設活荷重乘上荷重因素，找出極限荷重。又藉降伏鋼筋與壓碎混凝土可達剖面的極限強度。極限荷重會引起外部極限力，例如，彎矩、剪力、或推力，依這些荷重如何加在結構而定。值得一提的是，年。同時強調極限強度設計與工作應力設計法，、與。年。均較重視極限強度設計〔,〕。其假設條件如下：

1. 彎曲前之平面斷面，彎曲後仍為平面。
2. 滿足力平衡條件。
3. 混凝土不受拉力。
4. 混凝土極限壓應變為。
5. 鋼筋與混凝土握裹情形良好，故應變一致。
6. 混凝土壓應力分佈，採用魏尼氏等值矩形應力分佈，其大小為。

1. 在本研究僅針對單筋矩形梁設計與分析及雙筋梁設計與分析。所謂設計就是外加荷重條件已知，而設計出能承受該荷重條件之梁，一般設計時

一定優先想到要用單筋矩形樑，但如果限制斷面尺寸時，鋼筋已加到最大鋼筋量仍不足以承受外加荷重，此時程式就會建議使用者改用雙筋矩形樑設計；而分析就是針對已知斷面，計算出該樑所能承受之外加彎矩。極限強度法之特點如下：

1. 以極限載重設計。
2. 材料之應力、應變關係為非線性。
3. 材料強度考慮有效強度

在進程式設計前，以下幾點須事先考慮及思維如何轉化於程式中，將是程式成功與否的一個重要關鍵：

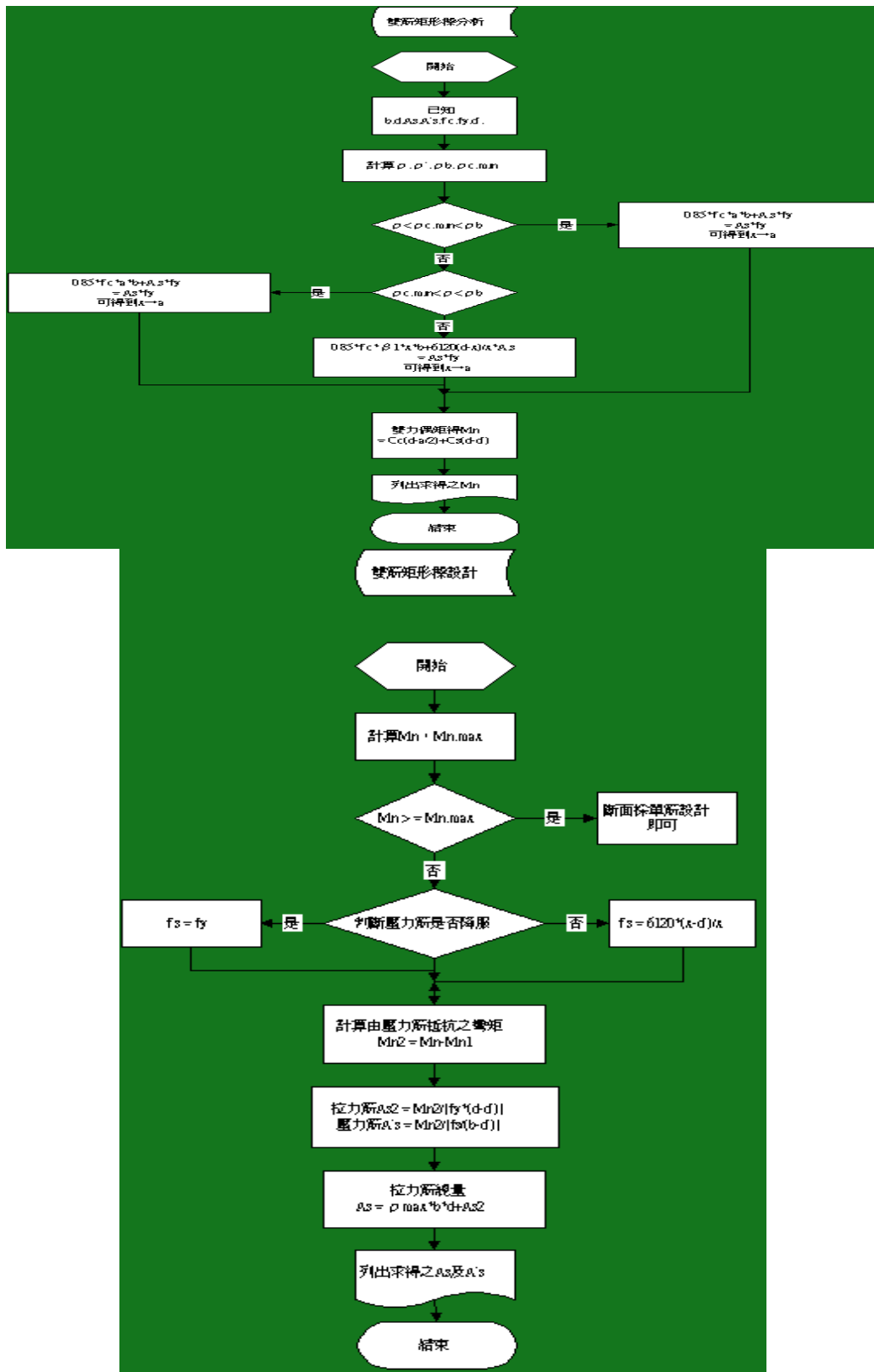
1. 判斷鋼筋之應力唯有藉繪製應變圖決定。
2. 利用力平衡求壓力區深度。
3. 任一斷面所受壓力必須等於拉力。
4. 彎矩等於力乘以力臂，力臂是由壓力中心到拉力中心的距離。
• $\leq \leq$.
- 計算途中，欲知中性軸位置以便畫應變圖就該利用 $= /$.
7. 設計時必須建立 \dots 的觀念。最小鋼筋比的限制是為了防止樑突然脆裂破壞；最大鋼筋比的限制則是為了確保樑具有延展性不至於有危險之虞。

4·2 程式設計理念

1. 程式設計中求解 \dots 仍以人工化為公式解，再施行運算。
2. 在雙筋矩形樑中，採用多重 \dots ，如：判斷 \dots 是否降伏用 \dots) \dots .
檢查拉力筋是否降伏用
其中判斷式繁多，設計時易發生錯誤，須多用些實例去測試其正確與否。

4·3 分析流程

詳細步驟以流程圖形式詳列於圖四



圖四 雙筋矩形樑分析與設計流程圖

五、撓度分析與計算

5.1 理論基礎

目前規範對於撓度之控制，大致分為兩種方法。

1. 直接計算：由分析算出撓度並將結果與規範容許值作比較。
2. 間接限制：即最小厚度與跨度間之關係作撓度之限制。

5.2 程式設計理念

1. 有效慣性矩

撓度分析並須考慮彎矩的大小，以決定使用之慣性矩，可利用下式求出。

$$I_{eff} = \begin{cases} I_g & \text{當 } M \leq M_{cr} \\ I_{cr} & \text{當 } M > M_{cr} \end{cases}$$

2. 長期撓度

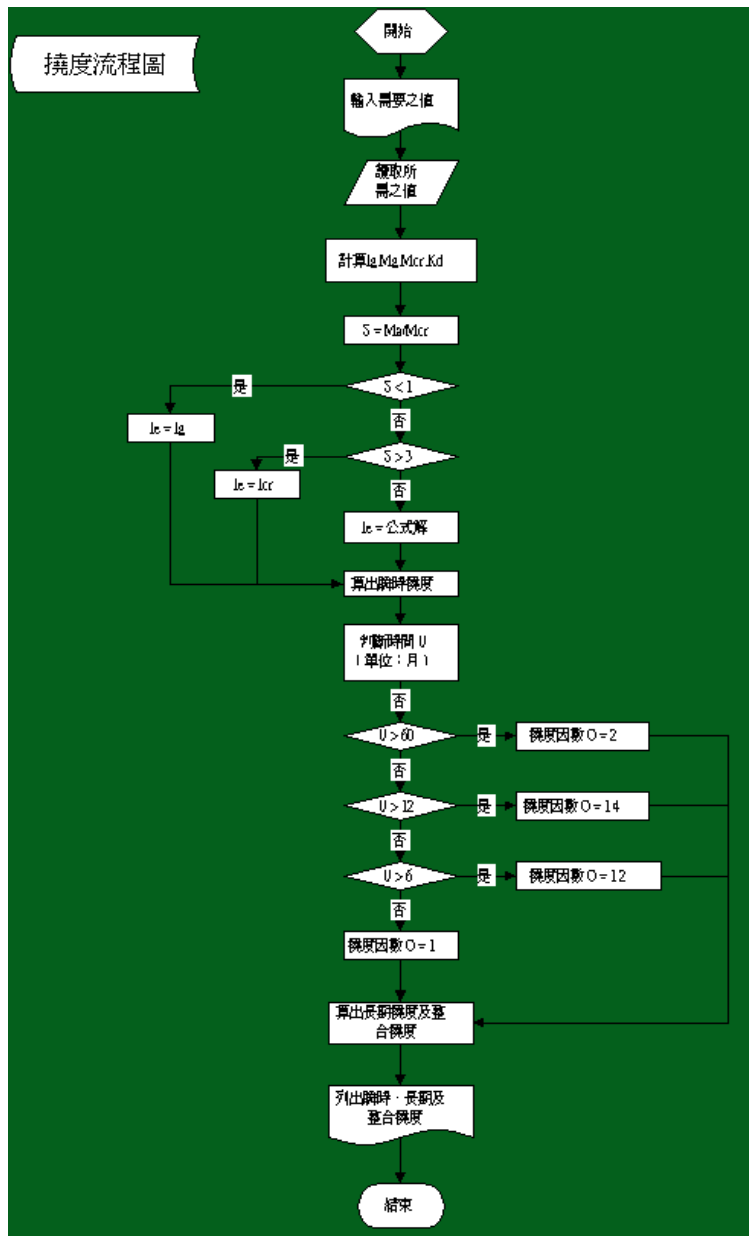
$$\lambda \cdot \xi \cdot \rho$$

ξ ：三個月為.，六個月為.，一年為.，五年以上取.

ρ ：壓力鋼筋比

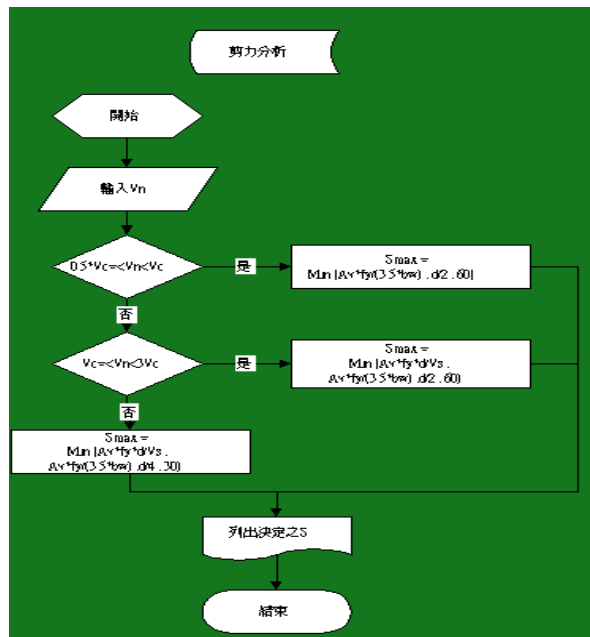
5.3 分析流程

詳細步驟以流程圖形式詳列於圖五



圖五 撓度分析流程圖

六、剪力分析與計算



6.1 理論基礎

彎矩產生的應力一般都遠大於剪力所產生的應力，所以大部份樑的尺寸都由彎矩決定，剪力只是用來檢核剪力鋼筋的使用。剪力的主要作用在與剪力作用面成其度斜面上產生斜張力，由於混凝土的抗張力和抗壓及抗剪比較起來顯得非常少，所以總是由張力先超過應力。當這些斜張力和彎矩產生的張力一起作用時，混凝土樑很快就被拉裂了。這種斜張力的破壞是沒有預警的且會造成樑的潰敗，這種情況是非常危險的，所以設計上一定要設法防止這種情況發生〔.〕。當發現淺樑混凝土剪力強度不足，只能增加斷面尺寸；當發現深樑混凝土剪力強度不足，就得加剪力鋼筋（程式中含深淺樑之判斷），而此程式就是用來做分析及設計的工作。它所利用的基本觀念如下：

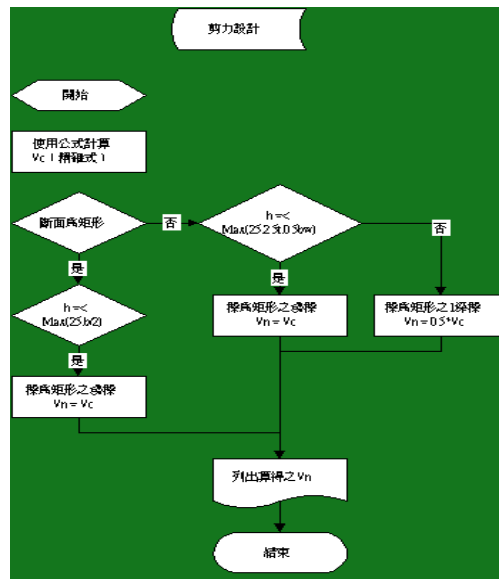
1. 剪力破壞就是一種張力破壞。
2. 剪力強度大小與混凝土的抗張強度有著極大的關係。
3. 當混凝土受壓，混凝土剪力強度增強。
4. 當混凝土受拉，混凝土剪力強度降低。
5. 剪力筋之設計主要在於計算箍筋淨間距。

6.2 程式設計理念

設計方式延用前兩項〔極限強度法及撓度〕的設計方法，同時在此項可發現，很多用人腦判斷很簡單的東西，要叫電腦判斷卻十分複雜；但有些計算卻能在千分之一秒內用電腦算出來。故程式設計主要是處理人工智慧之判斷較為困難，而在計算方面卻十分簡易。

6.3 分析流程

詳細步驟以流程圖形式詳列於圖六



圖六 剪力分析與設計流程圖

七、T形樑設計

7.1 理論基礎

混凝土結構物之構件中，T型斷面樑是很常用的，尤其是版樑一體澆置的房屋建築或橋面更是常見。部份的版與樑用鋼筋剛接在一起形成T型抗撓曲構材。雖然現場澆置之獨立T型樑不常見，但預鑄混凝土工業使用大量的T樑和雙T樑作為預製房屋的組件。當T型樑位於翼緣版壓力區時效果最好，他不只讓較大的壓力產生也使內力偶力臂增加至最大長度，此乃因壓應和力靠近壓力區表面之故。在張力區只有鋼筋支承張力，免除混凝土，減輕靜載重，卻不會影響橫斷面的彎曲強度。對長跨距樑，很大比例的設計彎矩是由構材的靜載重產生，使用T型橫斷面可以減輕相當大的重量，進而允許設計更小和更輕的構材。因為典型的T型樑翼版是寬的，所以其應力區塊的深度一般是小的。結果，當破壞發生時中性軸的位置通常位於靠近壓力面之翼版內。因為中性軸的位置會提昇，破壞時鋼筋的應變將是混凝土的好幾倍大，樑破壞時本身有很大的撓度，鋼筋也有很大的延伸，確是一種韌性的破壞。此程式應用與已知外加彎矩求拉力鋼筋量。

7.2 程式設計概念

在 T 型樑的分析上最要的就是立用 $M_n \rightarrow M_c$

依已知條件可算出 M_n 及斷面的尺寸可算出正確的 M_c 值

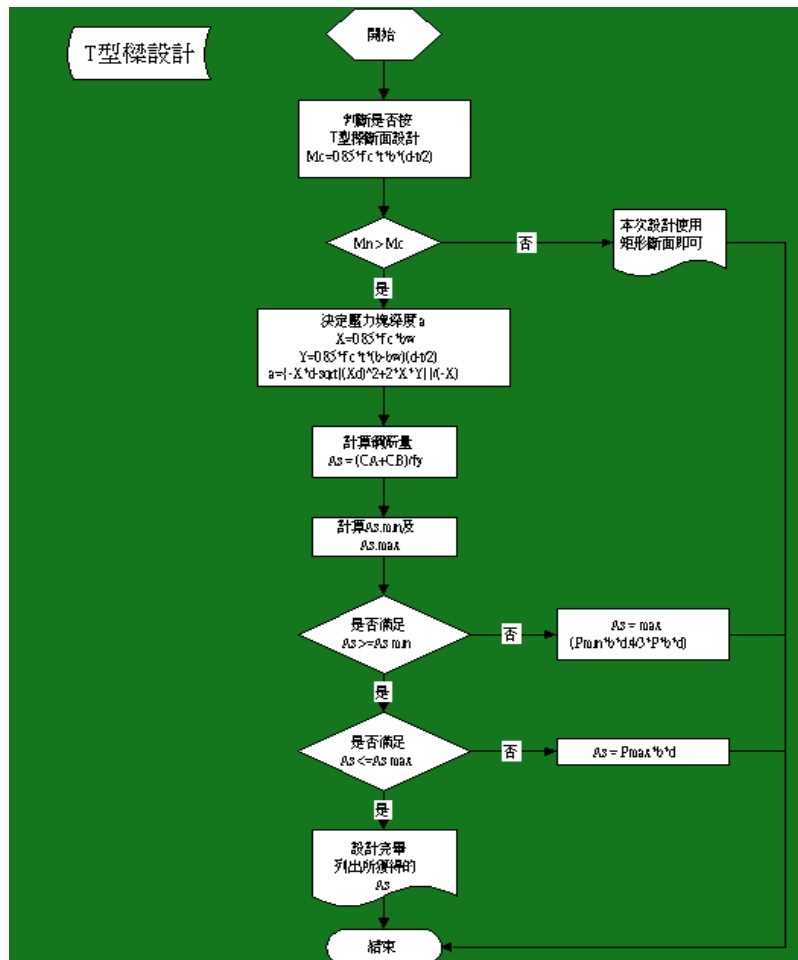
在設計上先是假設一個 M_c 值用 M_n

$M_n \rightarrow M_c \rightarrow$ 可求得 M_n

重複帶入直到 M_n 不變。

7.3 分析步驟

詳細步驟以流程圖形式詳列於圖七



圖七 T 型樑設計流程圖

八、RC 柱之分析

8.1 理論基礎

柱支承壓力和彎矩。依彎矩和軸載重的相對大小，樑一柱的行為將從純樑的作用變到純柱的作用。樑柱此名稱雖能表達全意，但常被實務結構工程師們，簡稱為柱，並且兩者被交互使用著。若柱是細長的，則其最大彎矩值及發生位置之決定，較之粗短柱，將變得更複雜。在一細長構件，由主要彎矩（構件端部彎矩或橫向載重引起之彎矩）引起之縱軸變位會造成額外或次要彎其大小為軸力 P 為中心線變位 Δ 之乘積；這情況有時被稱作 $P-\Delta$ 效應〔.〕。當次要彎矩大時，一個安全的設計應要求斷面尺寸大小由主要和次要彎矩之和來決定。較不粗壯，易彎曲的構件，其次要彎矩可能顯著者，被稱為長細柱。將柱歸類為長柱並非依構件之絕對長度而是決定構件之柔度，其為長厚比之函數，以及端點束制的情況。若構件很粗壯（稱作短柱），因其具有很大的抗彎勁度，其彎曲變形量將很小；所引起之次要彎矩很小，可以忽略。必須強調的是，多數歸類為長柱之鋼筋混凝土柱仍是相當粗壯的。而柱程式集中的頭號程式就是用來判斷長、短柱的。緊接於後的程式則是針對短柱進行分析，所用的觀念仍是力平衡，與彎矩平衡，執行程式的效果就是可以將固定斷面尺寸柱的交互曲線畫出。圖的內容包括平衡狀態下之強度與偏心距及純彎、純柱的強度值。

8.2 程式設計概念

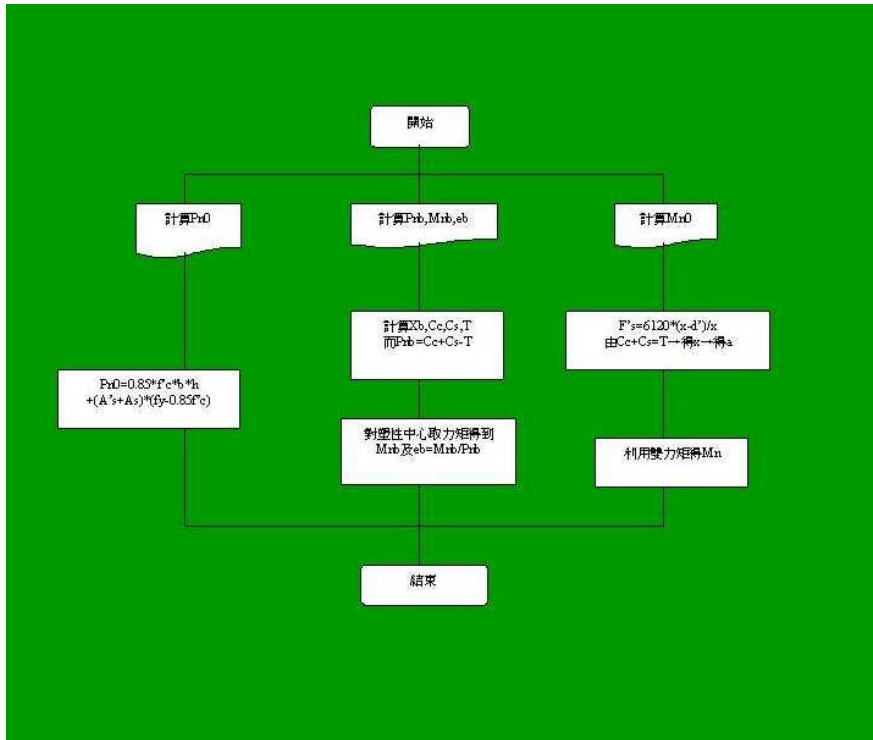
柱子的分析程式，包含 ., ., ., ., . 的計算，. 位於 . 交換作用曲線 . 的頂點，. 位於曲線之底端，. 和 . 所代表的點為作用曲線的反曲點。

分析 . 與 . 時要先求 ., . 代表著拉力筋剛好降伏且混凝土應變剛好到達 . 時之點。在求出 . 之後將其代回公式，此時必須判斷壓力筋是否降伏，利用 . 的語法判斷壓力筋是否到達 ., 若到達則 ., 若無則 ., 如此便可求出壓力筋之應力

而計算 . 及 . 時，則用條列式，步驟則和之前相同。

8.3 分析步驟

詳細步驟以流程圖形式詳列於圖八



圖八 柱分析流程圖

九、單向版設計

9.1 理論基礎

版很廣泛的使用在屋頂及樓板系統內，它是一種長與寬比厚度大很多長邊除以短邊大於等於.的結構件元件，除了少數受很大荷重之版，其餘都要滿足控制撓度的最小版厚之規定。由於支撐的關係僅在短邊方向彎，曲稱為圓柱形彎曲，這種版稱為單向版。設計單向版時假設版是由很多邊～邊的樑所組成，傳統上用.(-)寬的版來作分析，由.寬的版條得出所需的鋼筋量再將此量使用在版的全寬內，所用的觀念，即極限強度設計法，其中差別僅在於一個是取單位寬而另一個是指定的寬度。

大部份的版由於受到四周的樑或鄰接版的牽制，溫度下降或乾縮時，長向將產生張應力而發生裂縫。假如版上的鋼筋用得太多則將著材料最弱的地方產生不規則的鋸齒狀之裂縫。為了減少這種影響所以設計者必需額外增加鋼筋，這種鋼筋叫乾縮和溫度鋼筋，簡稱溫度鋼筋，這些鋼筋和抗撓曲的主要鋼筋相垂直而綁在一起形成一固定的網格。規範規定抵抗彎矩之撓曲鋼筋量不可少於溫度鋼筋，也就是說版的最小撓曲鋼筋的使用和溫度鋼筋有關。此程式包括判斷是否為單向版及單向版之撓曲鋼筋量計算與溫度鋼筋量計算。

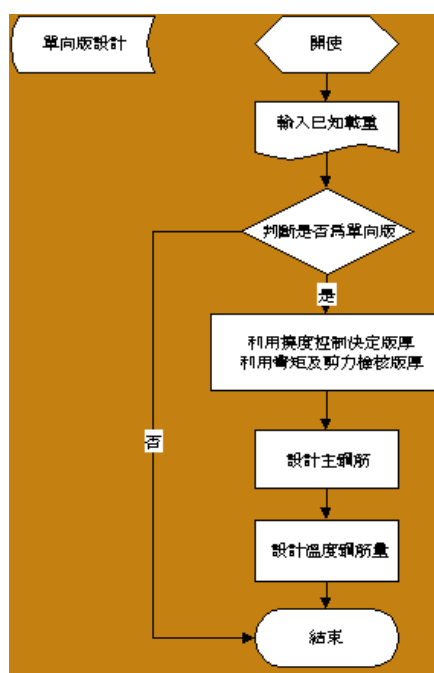
9.2 程式設計概念

這節程式的判斷式煩多，如：判斷該版是否為單向版、利用撓度決定版厚、利用彎矩決定版厚、利用剪力檢核版厚、最大最小鋼筋量、以及用鋼筋降伏應力求溫度鋼筋量。因此為了避免多重、容易錯誤的問題發生，所以在此節就改用「當中的標準語法」，此語法顧名思義就是選擇符合條件的「去執行，它的特點就是可使原本的工作更簡潔。

雖然此程式集僅包含了，判斷是否為單向版、計算撓曲鋼筋量、計算溫度鋼筋量，但可由其他項目程式去執行其後續處理，如：檢核版後請利用剪力分析程式。

9.3 分析步驟

詳細步驟以流程圖形式詳列於圖九



圖九 單向版設計流程圖

十、單位轉換

編寫程式所依據的公式以公制為主，但事實上仍有一些設計可能會用到英制的單位，為了方便使用者，使其不必另外計算單位轉換，所以在輸入必要數據之後，系統會詢問使用之單位。

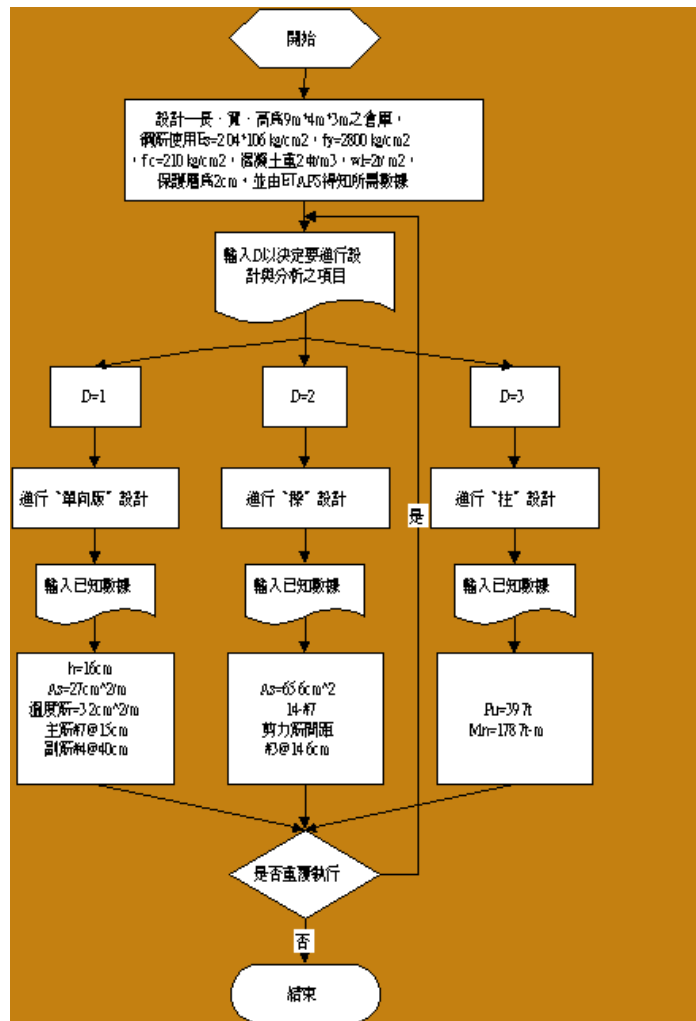
「單位轉換」的程式涉及到容器轉換〔註.〕及副程式〔註.〕的概念，舉例來說，先輸入必要數據，之後程式會詢問之前輸入所使用之單位，若選擇英制，會呼叫副程式，將英制轉換為公制再帶入主程式中，而最後之結果會同時出現公制與英制。

十一、應用實例

將一設計結構物之實例代入程式，詳細流程及計算結果如圖十。

設計一長、寬、高為 L 之倉庫，鋼筋使用 $\#4$ ， $\#6$ ， $\#8$ ，混凝土重 γ_c ， γ_s ，保護層為 d 。

1. 首先於開始界面中選擇 D=1 進行單向版設計。
2. 取短向長為跨度，長向取 100 公分為寬進行設計。
3. 依照電腦指示輸入已知載重條件。
4. 輸入完成後電腦顯示單位長度短向所需主鋼筋量，及長向溫度鋼筋量。
5. 因為間距與鋼筋根數有關，且根數與號數有關因此有多重組合所以間距計算以人腦為主。
6. 於開使界面中選擇 D=2，輸入已知載重進行未知斷面單筋樑設計，求得斷面尺寸及主鋼筋量。
7. 於開使界面中選擇 D=3，以已知柱長及邊界條件輸入電腦，判斷長短柱，接著根據判斷結果進行設計，結果得出求得斷面尺寸及主鋼筋量。
8. 完成。



圖十 應用實例

十二、結論

有人以為 μ 是一個退化的程式，現在人應該學 μ 或 μ 等程式語言，此觀念其實有待商榷， μ 仍然有語法簡單、適合理工上數值計算等優點。

在每一細項編寫時，都須先依其原理，先繪出流程圖，再化為合理的程式語法，看似簡單的過程，卻花費許多時間，有時候程式出現錯誤，卻百思不得其解，而沒有任何進度，然而一旦錯誤解決，興奮之情難以言喻，相信是許多程式設人員都有的經驗，對於一土木工程師此種程式訓練既可提供一順手 (μ) 的工具，又兼顧學理與電腦互動之功能，往往提供了對專業學理性之深層了解，相信就土木工程師之工作現況而言，此種訓練是一個必要的過程。

一整棟之 μ 結構物，可用本研究所發展的程式來完成設計，在檢核斷面、計算分析等情況，它更是一個不錯的幫手，尤其以 μ 來設計程式，除其功能顯著較以往

提升，並能將土木工程既有之軟體〔以 `C` 語言編譯者佔大部份〕輕易的整合進來，此種相容性實為一極大優點，而下一步希望能整合到 `Java` 下，使程式能在視窗下進行，甚至配合 `Java` 以來 `Applet` 呈現。

參考文獻

1. 彭國倫，《精通 `C++` 程式設計》，〔碁峰資訊股份有限公司，台北，`1997`年`12`月初版〕
2. `C++` 著，陳明源 盧茂林 譯，《鋼筋混凝土設計》，〔文京圖書有限公司，台北，`1997`年`12`月〕
3. 中國土木水利工程協會 編著，《混凝土工程設計規範與解說》，〔科技圖書，`1997`〕
4. `C++` 原著，曹瑞棋 譯述，《鋼筋混凝土結構設計》，〔科技圖書，`1997`〕

`1997`年`12`月`15`日 收稿

`1997`年`12`月`15`日 接受

註.：容器轉換概念——假設有 `A` 與 `B` 兩個杯子，如何將 `A` 杯與 `B` 杯之內容物調換？首先必須再找一個杯子 `C`，將 `A` 杯之內容物倒入 `C` 杯中，`C` 杯再倒入 `B` 杯，最後 `B` 杯再倒入 `A` 杯中，如此便完成 `A` 對調的工作。用程式可表示如下：`C++`，`C++`。

註.：副程式——程式設計中，常會在不同的地方重複某功能或某一段程式碼，這時便可使用副程式，而其功能不限於此，它還可以獨立出來，成為程式設計的工具來使用。副程式以 `#include` 為開頭，於主程式中用 `#include` 這個指令將其叫出使用。