



行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所委託研究報告



勞工安全衛生研究報告

# 營造支撐群組位移監測及倒塌防止研究

**Study of Construction Shoring Displacement  
Monitoring and Collapse Prevention**

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所委託研究報告

## 營造支撐群組位移監測及倒塌防止研究

# Study of Construction Shoring Displacement Monitoring and Collapse Prevention

研究主持人：趙文成

計畫主辦單位：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

計畫研究單位：國立交通大學土木工程系

研究期間：中華民國九十年二月廿七日至九十年十二月二十日

印製日期：中華民國九十一年三月

**\* 本研究報告僅供參考用不代表本所意見 \*  
非經本所書面同意不得對外發表**

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所  
中華民國九十一年三月

## 摘要

本研究針對土木工程施工支撐群組，設計一電腦監測模式。以影像擷取方式，攝取現場支撐設施。輔以影像處理技術，觀察施工各階段過程中，支撐材料之變化，記錄其幾何變異量。

作業系統將探討環境、硬體功能、影像處理數學模式之整合架構與系統控制程序。環境因素有現場設置、主要支撐光度與照明、控制點與基線標示、反差、震動、粉塵、安全距離、施工範圍；硬體功能包含數位攝影機鏡頭解像力、每秒攝像速度、影像格式與儲存傳輸性能；數學模式以興趣點、線性特徵萃取、邊緣偵測為主要運算元，將測得之控制點與基線，依時間序列彙整、比對，算出位移向量進行變異分析，提供支撐監測參考。本研究之實驗室監測值可達 1mm/像元，工地受限環境與 H 型鋼架監測值可達 1.25cm/像元。

關鍵詞：特徵萃取、支撐監測、電腦視覺

## **Abstract**

Techniques and software on digital image processing have been increased for uses of digital images. Feature extraction techniques from digital image is also under intensive development for automatic recognition in industrial practices.

The purpose of the study is to describe extracted features by testing different feature extraction operators and integrating features to semantic information for object recognition in the field of construction survey and deformation detection. Different operators used in the study include Moravec for points; Canny and Hough Transform for edges and lines; thresholding and area coding for regions.

This study has shown the possibility of target points displacement to the resolution of 1 mm/pixel in the lab. Field test has been achieved to the resolution at 1.25 cm/pixel limited to H-shaped steel shoring and the construction environment. Knowledge based semantic information is investigated in both vector and raster views for further study.

Key Words: Feature Extraction, Construction Surveillance, Computer Vision

# 目錄

摘要	i
Abstract	ii
目錄	iii
圖目錄	v
表目錄	viii
第一章 緒言	1
第一節 系統大部構想	1
第二節 系統決策構想	2
第二章 電子攝影系統功能與比較	
第一節 概述	3
第二節 系統功能需求	3
第三節 數位攝影系統比較	5
第三章 柱之穩定介紹	
第一節 壓力構材受力特性	18
第二節 尤拉方程式	18
第三節 有效柱長	20
第四章 施工架穩定	
第一節 構材尺寸與斷面	24
第二節 構材端點型式	27
第三節 計算挫屈荷重	29
第四節 初始彎矩之影響	30
第五節 承載降伏強度	31
第六節 由 ASD 計算壓力構材	33
第七節 營造安全衛生設施標準	33

第五章 系統軟硬體建置	
第一節 硬體架構	34
第二節 軟體架構	35
第三節 系統開發平台	43
第六章 視覺系統特徵萃取	
第一節 點特徵運算	46
第二節 線特徵運算	48
第三節 色彩特徵運算	53
第四節 監測匹配運算	59
第七章 點線面資訊分析	
第一節 概述	60
第二節 點特徵	60
第三節 線特徵	65
第四節 面特徵	65
第八章 現場測試成果分析	
第一節 工地概述	79
第二節 觀測位移成果分析	80
第九章 結論與建議	85
第一節 結論	85
第二節 建議	86
參考文獻	88
附錄 使用手冊	89

# 圖目錄

圖 1-1 視覺系統之基本處理步驟 [Gonzalez and Woods 1993]-----	1
圖 3-1 側向變形-----	18
圖 3-2 受力變形圖-----	19
圖 3-3 受力變形圖-----	21
圖 3-4 實際固定端變形-----	23
圖 4-1 施工架現場-----	24
圖 4-2 結構高度與長度-----	25
圖 4-3 H 型鋼尺寸-----	26
圖 4-4 靠地面端點型式-----	27
圖 4-5 柱上端端點條件-----	28
圖 4-6 斜撐-----	28
圖 4-7 假設端點型式-----	29
圖 5-1 CV-M4 攝影機-----	34
圖 5-2 Meteor-II/Digital 影像擷取卡圖-----	34
圖 5-3 系統組裝實景-----	34
圖 5-4 營造支撐群組位移監測程式主畫面-----	35
圖 5-5 處理功能表-----	36
圖 5-6 處理子功能執行順序方塊圖-----	36
圖 5-7 大直橋工程的相機設定畫面-----	37
圖 5-8 初始取像畫面-----	37
圖 5-9 設定參標選項畫面-----	38
圖 5-10 設定參標對話方塊-----	38
圖 5-11 連續監測方塊示意圖-----	39
圖 5-12 設定參標示意-----	40

圖 5-13 設定固定標示意圖	41
圖 5-14 設定監測標示意圖	41
圖 5-15 刪除參考標示意圖	42
圖 5-16 MFC 主要的類別階層	45
圖 6-1 Moravec 興趣值萃取方向圖	47
圖 6-2 逐步擴大壓縮窗之非局部最大壓縮	48
圖 6-3 以直線法線為基礎的 Hough 轉換	51
圖 6-4: 色彩測試影像	54
圖 6-5a: R 頻帶影像	55
圖 6-5b: G 頻帶影像	55
圖 6-5c: B 頻帶影像	55
圖 6-6a: Y 頻帶影像	58
圖 6-6b: U 頻帶影像	58
圖 6-6c: V 頻帶影像	58
圖 7-1 同心圓測標	60
圖 7-2(a)原始影像	61
圖 7-2(b) Moravec 找出的特徵點位	61
圖 7-3(a)原始影像	61
圖 7-3(b) Moravec 找出的特徵點位	61
圖 7-4(a)原始影像	62
圖 7-4(b) Moravec 找出的特徵點位	62
圖 7-5(a)原始影像	62
圖 7-5(b) Moravec 找出的特徵點位	62
圖 7-6(a)原始影像	63
圖 7-6(b) Moravec 找出的特徵點位	63
圖 7-7(a)原始影像	63



圖 7-7(b) Moravec 找出的特徵點位-----	63
圖 7-8(a)原始影像-----	64
圖 7-8(b) Moravec 找出的特徵點位-----	64
圖 7-9(a)原始影像-----	64
圖 7-9(b) Moravec 找出的特徵點位-----	64
圖 7-10(a)原始影像-----	65
圖 7-10(b) Moravec 找出的特徵點位-----	65
圖 7-11(a) 萃取所得色標與圖 7-2(a)結合圖-----	66
圖 7-11(b) 萃取所得色標與圖 7-3(a)結合圖-----	66
圖 7-11(c) 萃取所得色標與圖 7-4(a)結合圖-----	66
圖 7-11(d) 萃取所得色標與圖 7-5(a)結合圖-----	66
圖 7-11(e) 萃取所得色標與圖 7-6(a)結合圖-----	67
圖 7-11(f) 萃取所得色標與圖 7-7(a)結合圖-----	67
圖 7-11(g) 萃取所得色標與圖 7-8(a)結合圖-----	67
圖 7-11(h) 萃取所得色標與圖 7-9(a)結合圖-----	67
圖 7-11(i) 萃取所得色標與圖 7-10(a)結合圖-----	68
圖 8-1 系統現場設置圖-----	79
圖 8-2 汐止橋監測標現場分佈實況-----	83

# 表目錄

表 2-1 攝影機資料比較表	6
表 2-2 影像擷取卡資料比較表	10
表 2-3 影像軟體比較表	14
表 3-1 有效柱長係數	22
表 3-2 規範 K 值	23
表 4-1 斷面性質計算	26
表 4-2 挫屈荷重計算結果	30
表 4-3 側位移與降伏荷重	32
表 7-1 圖 7-11(a)之測標位置區域搜尋程式所測得的數據	69
表 7-2 圖 7-11(b)之測標位置區域搜尋程式所測得的數據	70
表 7-3 圖 7-11(c)之測標位置區域搜尋程式所測得的數據	71
表 7-4 圖 7-11(d)之測標位置區域搜尋程式所測得的數據	72
表 7-5 圖 7-11(e)之測標位置區域搜尋程式所測得的數據	73
表 7-6 圖 7-11(f)之測標位置區域搜尋程式所測得的數據	74
表 7-7 圖 7-11(g)之測標位置區域搜尋程式所測得的數據	75
表 7-8 圖 7-11(h)之測標位置區域搜尋程式所測得的數據	76
表 7-9 圖 7-11(i)之測標位置區域搜尋程式所測得的數據	77
表 7-10 圖 7-11(d)相對於圖 7-11(c)之測標位移量計算結果	78
表 7-11 圖 7-11(g)相對於圖 7-11(f)之測標位移量計算結果	78
表 8-1 各階段監測中測標位移計算	81
表 8-2 汐止橋支撐測標位移計算結果	83

# 第一章 緒言

本研究以監測營造中支撐群組之位移為目的，使用連續攝取影像進行分析方式為作業方式。本報告之目的在就此一系統之開發、探討，建構此一系統之構想。

Gonzalez and Woods [1993]提出視覺系統之基本處理步驟如圖 1-1。

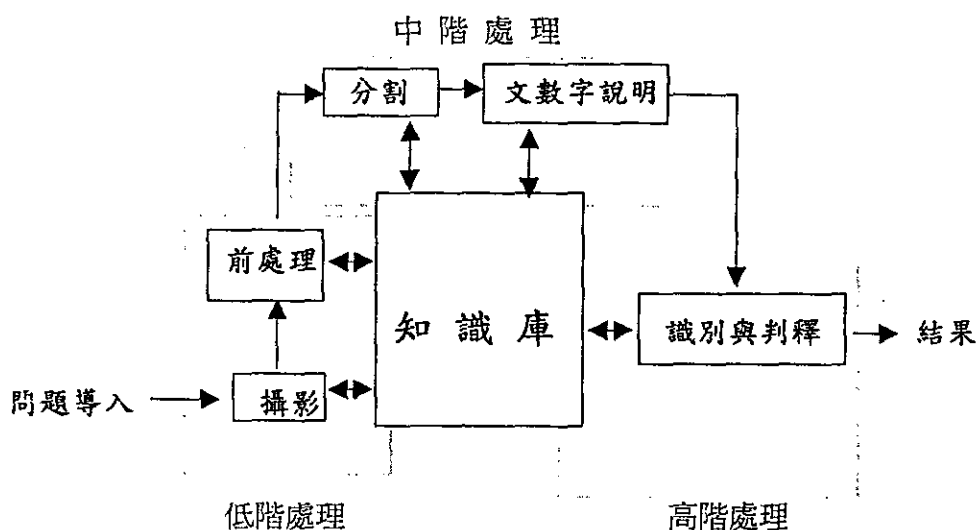


圖 1-1 視覺系統之基本處理步驟 [Gonzalez and Woods 1993].

系統第一步為影像之獲取，相關考慮因素如第二章所言。前置處理的目的則在改善影像視覺效果，以便後續作業順利推展。後續作業分中階處理與高階處理，第六章屬中階處理，第七章點線面資訊分析屬高階處理。

## 第一節 系統大部構想

本系統作業分為兩大步驟

- 起始設定
- 連續監測

## 1. 起始設定

在本階段，攝影機於工地中安置於適當位置後，攝取第一幅影像，啓動本階段功能，由系統自動蒐取「特徵」，再由操作人員過濾，建立後續監測工作中之追蹤對象。本系統提供人機界面，有一大視窗展示全景，另一小視窗為各點位之放大，展示該點之細節，以為操作者選擇(Yes or No ?)。

## 2. 連續監測

由前一階段設定之「特徵」，連續逐幅擷取，計算特徵之座標值，與起始值進行比較，計算累積位移量與單幅間之位移量，由位移速度、大小及方向，根據支撐群組之推算，擬定分析及評估程序。判斷是否需

- (1) 發出警訊
- (2) 要求維護

若否則持續進行監測。

所謂特徵為幾何圖形之點線面為主要特徵，除灰度值外，另可輔以色彩，進行特徵萃取，如在畫面中找出特定顏色區，以判釋特定標誌。

## 第二節系統決策構想

變形監測為一動態之作爲。於工地中，有許多環境因子需予以考量。如支撐之材質、粗細、結構、大小、等，會有不同之變形臨界值，與不同之變形行爲。如何判斷發出警訊之適當時機，需要有相關實驗之成果。除此之外，變形監測之採用觀測參數，亦不僅限於前後兩相鄰攝取之影像間之點位型變量，軌跡與速度、加速度、等，亦可列爲計算對象。此一部份將於後續研究中進行規劃。

## 第二章電子攝影系統功能與比較

本報告針對「營造支撐群組位移監測及防止倒塌研究」所需使用之電子攝影監測系統及取樣時之硬體、環境、及設置時之考量，進行探討。

### 第一節概述

本研究針對營造工程實務中營造支撐群組位移監測及防止倒塌進行研究，構想之系統包含數位影像擷取系統(含軟硬體)，量取佈標點及自然點之位置座標，並監測其位移，配合各型支撐群組之變形特性，擬定預警機制。現階段之規劃包含：

1. 支撐群組興趣點標識
2. 標識點解析度預估
3. 影像處理軟體設計、測試
4. 位移測算、精度評估

上述作業需要連續式影像擷取，計劃要採用數位攝影系統來進行監測攝影。數位攝影系統是一個整合性的系統，它的組成元件可分為三個主要的部份及其他附屬的配件，此三大組件為攝影機、影像擷取卡、及影像軟體，其他附屬配件有鏡頭、同軸信號纜線、腳架、雲台、電源、光源、資料蒐集處理系統(工業級電腦)等等。本報告針對本研究所需用之數位攝影系統及市場調查所搜集得的資料，進行探討；第二章針對所需用之數位攝影系統的三大組件功能需求作一說明，第三章將市有產品調查所得資料以列表方式清楚呈現其特性，第四章以攝影系統的功能需求及市調資料為考慮因素，分析比較得出最適合本研究使用之數位攝影系統。

### 第二節系統功能需求

對於攝影機性能的需求，我們考慮攝像頻率、像元數、最低感光度、焦距、明視距離等項目；因為營造支撐群組位移倒塌的發生，但是從有明顯位移(1公分)到倒

塌發生為止的時間僅以秒計，因此我們希望攝像頻率要高，考量目前市售機種的技術水準(參考第三章相關表格)，對攝像頻率的需求訂在每秒 15 幅影像以上。

像元數及像元解析度與涵蓋面積有關，其關係式如下：

$$\text{涵蓋面積(長/寬)度} = \text{像元解析度}(R) \times (\text{行/列})\text{像元數}$$

假定影像畫面涵蓋面積的要求訂在 1 平方公尺，而此時的像元解析度需求為 1 mm/pixel，則攝影機的像元數需求為水平垂直各 1000 像元以上，這已經是一般市售高級水準的攝影機了。依據市調資料顯示，第三章表 3.1 中僅有一款攝影機 MegaPlus 4.2i(編號 CA-10)的像元數是 4 百萬級的(但是該款像機的攝像頻率太慢，2.1 fps)，其餘的攝影機都在前述 1000 像元(水平，垂直)的規格附近。因此，我們將攝影機像元數的需求訂在水平垂直各 1000 像元以上。

因為工地作業上的要求，我們將攝像距離定在 20 公尺。在這樣遠的距離攝像，我們需要對監測點打光，而且希望攝影機的感光度要很靈敏(最低感光度的值越低，表示越靈敏)。參考第三章表 3.1 的市調資料，我們將最低感光度定在 1 lux 以下。

攝像難免有雜訊，適當的作業規範可以顯著的降低人為因素方面的雜訊，但是對於攝影系統方面的雜訊就很難避免了。雜訊對於影像處理的影響是，增加難度、延長處理時間以及降低準確度。所以對於攝影機，我們要求它的信號雜訊比要高(表示信號比雜訊高很多很多)，參考第三章表 3.1 的市調資料，我們將信號雜訊比值訂在 50 dB 以上。我們也不考慮採用變焦鏡頭，因為變焦鏡頭會降低鏡頭的進光量。

目前 C-mount 鏡頭之焦距( $f$ )一般規格包含：6, 8, 12, 16, 25, 35, 75, 100 mm 數種，以 16 mm 為標準鏡頭。攝影機 CCD 感測器的像元實長約為 5~10  $\mu\text{m}$ ，像元解析度如果定在 1 mm，則比例尺的計算方法如下式：

$$\text{比例尺}(S) = \frac{\text{像元實長}(r)}{\text{像元解析度}(R)}$$

比例尺  $S$  應該在 1:100 ~ 1:200 之間。比例尺與物距、焦距的關係是

$$\text{比例尺}(S) = \frac{\text{焦距}(f)}{\text{物距}(L)}$$

依據焦距與物距(L)為 20m 之搭配，計算得鏡頭焦距應該在 100 mm ~ 200 mm 之間。我們選用焦距最大的 100 和 75 mm 鏡頭，作為主要監測用的鏡頭，另外搭配 12 和 16 標準鏡頭，作為一般測試用的鏡頭。C-mount 鏡頭算是一種標準規格，大部份的專業攝影機都可以相容。

另一個需考慮之因素為景深(Depth of Field)。當焦距增加時，景深減少。當鏡徑減少時，景深增加。其計算公式為：

$$\text{近明視距} = \frac{\text{物距}}{1 + (\text{物距} - \text{焦距}) \times \text{模糊直徑} \times \text{fnumber} / (\text{焦距})^2}$$

$$\text{遠明視距} = \frac{\text{物距}}{1 - (\text{物距} - \text{焦距}) \times \text{模糊直徑} \times \text{fnumber} / (\text{焦距})^2}$$

若模糊直徑為 0.01 mm(比照像元實長)，物距為 20 m，焦距為 100 mm，f-number 為 5.6，其景深為(18 m ~ 22 m)。在此情況下，因為我們監測目標的深度不深，景深幾乎無須考慮。

### 第三節數位攝影系統比較

本研究共收集高精度數位攝影系統 12 部，實施功能評估，並集中列表 2-1 如下，影像擷取卡見表 2-2，影像處理軟體如表 2-3。

表 2.1. 攝影機資料比較表

編號	CA-01	CA-02	CA-03
Model	Monochrome TM-1320	Monochrome TM-1020	Color TMC-1000
感應器	Progressive Scan CCD	Progressive Scan CCD	Progressive Scan CCD
像元數(H × V)	1300 × 1030	1008 × 1018	1008 × 1018
像元實長(H × V)	6.7 μm × 6.7 μm	9.0 μm × 9.0 μm	9.0 μm × 9.0 μm
感應器面積(H × V)	9.1 mm × 6.9 mm	9.1 mm × 9.2 mm	9.1 mm × 9.2 mm
像元灰階	256	256	RGB 各 256
攝像頻率	15 fps	15 fps	15 fps
輸出訊號	RS-644	RS-644	LVDS
控制通道	RS-232	RS-232	RS-232
鏡頭規格	C-mount	C-mount	C-mount
信號雜訊比	50 dB	50 dB	56 dB
電子快門速度	1/60 ~ 1/16000	1/60 ~ 1/16000	1/60 ~ 1/16000
電源需求	12V DC	12V DC	12V DC
尺寸 (mm)	44H × 44W × 64L	44H × 44W × 64L	51H × 67W × 116.5L
重量	173 g	173 g	374 g
最低感光度	2 lux	1 lux	10 lux
相容影像擷取卡	NI 1428	NI 1428	NI 1428
價格(未稅)	USD 5,064(含卡)	USD 5,809(含卡)	USD 7,907(含卡)



表 2.1. 攝影機資料比較表(續)

編號	CA-04	CA-05	CA-06
Model	Color TMC-9700	KODAK MDS100 Color Camera	Roper Scientific Model ES 310
感應器	Progressive Scan CCD	Progressive Scan CCD	Progressive Scan CCD
像元數(H × V)	768 × 484	320 × 240 (video)	680 × 496
像元實長(H × V)	11.6 μm × 13.6 μm	7.4 μm × 7.4 μm	9.0 μm × 9.0 μm
感應器面積(H × V)	8.9 mm × 6.72 mm	N/A	5.83 mm × 4.36 mm
像元灰階	RGB 各 256	RGB 各 256	256
攝像頻率	30 fps	10 fps	15 fps
輸出訊號	TTL	USB	SCSI
控制通道	RS-232	USB	RS-232
鏡頭規格	C-mount	C-mount	C-mount
信號雜訊比	50 dB	53 dB	48 dB
電子快門速度	1/60 ~ 1/16000	1/10 ~ 1/500	N/A
電源需求	12V DC	via USB	12-28V DC
尺寸 (mm)	46H × 51W × 162L	51H × 64W × 178L	51H × 69W × 152L
重量	225 g	38.4 oz	650 g
最低感光度	10 lux	N/A	N/A
相容影像擷取卡	N/A	N/A	NI 1424
價格(未稅)	N/A	USD 495(不含卡)	USD 5,535(含卡)

表 2.1. 攝影機資料比較表(續)

編號	CA-07	CA-08	CA-9
Model	Duncan Tech High Resolution Camera	Digital Color Area Scan Camera A101 cp	Roper Scientific MegaPlus ES:1.0/MV
感應器	Progressive Scan CCD	Progressive Scan CCD	Progressive Scan CCD
像元數(H × V)	1392 × 1040	1300 × 1030	1008 × 1018
像元實長(H × V)	4.65 μm × 4.65 μm	6.7 μm × 6.7 μm	9 μm × 9 μm
感應器面積(H × V)	6.5 mm × 4.4 mm	8.7 mm × 6.9 mm	9.1 mm × 9.2 mm
像元灰階	RGB 各 256		256
攝像頻率	7.5 fps	12 fps	15 fps
輸出訊號	LVDS	RS-644	Standard Output
控制通道	RS-232	RS-232	N/A
鏡頭規格	C-mount	C- or F-mount	C- or F-mount
信號雜訊比	60 dB	High	48 dB
電子快門速度	1/30 ~ 1/15000	20μs to 1.31s	127μs to 65ms
電源需求	12V DC	24V DC	N/A
尺寸 (mm)	97H × 89W × 108L	N/A	N/A
重量	980 g	N/A	N/A
最低感光度	N/A	N/A	N/A
相容影像擷取卡	NI 1424	Phoenix	N/A
價格(未稅)	USD 7,200(含卡)	NTD 300,000 (含卡)	N/A

表 2.1. 攝影機資料比較表(續)

編號	CA-10	CA-11	CA-12
Model	Roper Scientific MegaPlus 4.2i	jAi CV-M4	jAi CV-M1
感應器	Progressive Scan CCD	Progressive Scan CCD	Progressive Scan CCD
像元數(H × V)	2029 × 2044	1300 × 1030	1300 × 1030
像元實長(H × V)	9 μm × 9 μm	6.7 μm × 6.7 μm	6.7 μm × 6.7 μm
感應器面積(H × V)	18.5 mm × 18.5 mm	8.7 mm × 6.9 mm	8.7 mm × 6.9 mm
像元灰階	256/1024	1024	1024
攝像頻率	2.1 fps	24 fps	12 fps
輸出訊號	Standard Output	LVDS	LVDS
控制通道	N/A	RS-232	RS-232
鏡頭規格	C- or F-mount	C-mount	C-mount
信號雜訊比	48 dB (60 dB for 1024 灰階)	57 dB	56 dB
電子快門速度	10 ms to 100,000 ms	1/24 ~ 1/10,000	1/12 ~ 1/10,000
電源需求	N/A	12V DC	12V DC
尺寸 (mm)	N/A	40H × 50W × 90L	40H × 50W × 80L
重量	N/A	250 g	250 g
最低感光度	N/A	0.1 lux	0.1 lux
相容影像擷取卡	N/A	Meteor II/Digital	Meteor II/Digital
價格(未稅)	N/A	NTD 327,899(全套)	N/A

表 2.2. 影像擷取卡資料比較表

編號	FG-01	FG-02
Model	µTECH M-Vision 500	µTECH M-Vision 510
輸入影像	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interlaced/Progressive scan</li> <li>• NTSC/PAL, RS-170/CCIR, Y/C, or non-interlaced video</li> <li>• Video Format: RGB 555, RGB 565, RGB 888, YUV 4:2:2, Y8 monochrome</li> <li>• Resolution 640 × 480 or 768 × 576</li> <li>• 30 fps</li> <li>• Programmable Gain, Offset</li> <li>• DB-15 HD male connector</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Progressive scan</li> <li>• RS-170/CCIR</li> <li>• Video Format: monochrome 8/16 bits per pixel</li> <li>• Programmable resolution</li> <li>• 30 fps</li> <li>• LUT 256 × 8-bit</li> <li>• Programmable Gain, Offset</li> <li>• DB-15 HD male connector</li> </ul>
I/O 控制	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Two TTL (Event/Trigger) interrupts</li> <li>• One software controlled TTL output for strobe/camera control</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Two TTL (Event/Trigger) interrupts</li> <li>• One software controlled TTL output for strobe/camera control</li> </ul>
界面	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PCI 2.1 compliant</li> <li>• transfer rate: 132 Mbytes/second</li> <li>• transfer to system memory or to VGA via Video Interface Port directly</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PCI 2.1 compliant</li> <li>• transfer rate: 132 Mbytes/second</li> <li>• transfer to system memory or to VGA via Video Interface Port directly</li> </ul>
硬/韌體影像處理功能	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interrupts for end of frame, trigger, and event inputs</li> <li>• Interpolated scaling in x and/or y directions</li> <li>• ROI processing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interrupts for end of frame, trigger, and event inputs</li> <li>• Interpolated scaling in x and/or y directions</li> <li>• ROI processing</li> </ul>
相容軟體環境	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DOS utility to grab, display, freeze, save (as .tif, .tga, or .bmp), or recall images.</li> <li>• TWAIN and MCI drivers</li> <li>• Software Developer's Kit</li> <li>• DirectDraw is fully supported.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DOS utility to grab, display, freeze, save (as .tif, .tga, or .bmp), or recall images.</li> <li>• TWAIN and MCI drivers</li> <li>• Software Developer's Kit</li> <li>• DirectDraw is fully supported.</li> </ul>
價格 (未稅)	NTD 15,800	NTD 19,800

表 2.2. 影像擷取卡資料比較表(續)

編號	FG-03	FG-04
Model	μTECH M-Vision 1000	μTECH M-Vision 1500
輸入影像	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4:1 MUX input</li> <li>• RS-170/CCIR</li> <li>• Video Format: 8-bit A/D, 10-bit A/D (optional)</li> <li>• sampling rate: 40 MHz (for 8-bit A/D)</li> <li>• LUT: 8 × 256 × 8-bit</li> <li>• Supports EIA 422 standard</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4:1 MUX input</li> <li>• interlaced or non-interlaced data</li> <li>• RS-170/CCIR</li> <li>• Video Format: 8-bit A/D, 10-bit A/D (optional)</li> <li>• sampling rate: 40 MHz (for 8-bit A/D)</li> <li>• 8/10-bit LUTs</li> <li>• Supports EIA 422 standard</li> </ul>
I/O 控制	<ul style="list-style-type: none"> <li>• General purpose control</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• General purpose control</li> </ul>
界面	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PCI</li> <li>• transfer rate: sustain 50 Mbytes/second</li> <li>• Video is stored in on-board 1-MB VRAM, or transferred to system memory or VGA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PCI</li> <li>• transfer rate: 55 Mbytes/second</li> <li>• Video is stored in on-board 1-MB VRAM, or transferred to system memory or VGA</li> </ul>
硬/韌體影像處理功能	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sub-sample ×2 and ×4</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sub-sample ×2 and ×4</li> </ul>
相容軟體環境	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DOS/Windows utility to grab, display, freeze, save (as .tif, .tga, or .bmp), or recall images.</li> <li>• A Software Developer's Kit is available.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DOS/Windows utility to grab, display, freeze, save (as .tif, .tga, or .bmp), or recall images.</li> <li>• A Software Developer's Kit is available.</li> </ul>
價格 (未稅)	N/A	N/A

表 2.2. 影像擷取卡資料比較表(續)

編號	FG-05	FG-06
Model	National Instruments PCI-1428	National Instruments PCI-1424
輸入影像	<ul style="list-style-type: none"> <li>● RS-170</li> <li>● 4 × 8-bit LUTs</li> <li>● Supports EIA 644 standard (via Camera Link)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● interlaced or non-interlaced data</li> <li>● RS-170/CCIR, S-Video (Y/C)</li> <li>● Video Format: 8, 10, 12, 14, 16, 24, and 32-bit resolution</li> <li>● 50 MHz (for 32-bit data)</li> <li>● 4 × 8-bit (or 2 × 16-bit) LUTs</li> <li>● RS-422, TTL, or LVDS</li> </ul>
I/O 控制	<ul style="list-style-type: none"> <li>● EIA-644</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● RS-422, TTL</li> </ul>
界面	<ul style="list-style-type: none"> <li>● PCI</li> <li>● transfer rate: sustained 100 Mbytes/second</li> <li>● 16 MB on-board VRAM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● PCI</li> <li>● transfer rate: 200 Mbytes/second</li> <li>● 16 MB on-board VRAM</li> </ul>
硬/韌體影像處理功能	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Onboard programmable region of interest</li> <li>● Pixel decimation and image scaling</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Onboard ROI</li> <li>● Onboard pixel decimation</li> </ul>
相容軟體環境	<ul style="list-style-type: none"> <li>● NI-IMAQ driver for windows</li> <li>● LabView.</li> <li>● Measurement Studio</li> <li>● Vision Development Module</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● NI-IMAQ driver for windows</li> <li>● LabView.</li> <li>● Measurement Studio</li> <li>● Vision Development Module</li> </ul>
價格 (未稅)	USD 1,495	USD 2,495

表 2.2. 影像擷取卡資料比較表(續)

編號	FG-07	FG-08
Model	Matrox Meteor-II/Digital	Leutron Vision PicPort-Color
輸入影像	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 × 8-bit or 2 × 16-bit LUTs</li> <li>• 40 MHz for LVDS</li> <li>• 32 bit wide RS-422 or LVDS interface</li> <li>• Supports packed or planar transfers of color or multiple monochrome streams</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 CVBS + 1 S-video</li> <li>• PAL or NTSC</li> <li>• 768 × 576, 720 × 480, 640 × 480</li> <li>• 20 MHz (for 16-bit data)</li> <li>• RS-422, TTL, or LVDS</li> <li>• Hdsb 44-pin</li> <li>• auto Gain/Offset</li> </ul>
I/O 控制	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RS-232 interface</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RS-422, TTL</li> </ul>
界面	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PCI sustained rates up to 130 MB/second</li> <li>• real-time transfer to system or VGA memory</li> <li>• on-board buffering (4MB) for reliable capture</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PCI</li> <li>• peak rate: 132 MB/second</li> <li>• transfer to system or VGA memory</li> </ul>
硬/韌體影像處理功能	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ROI processing</li> <li>• decimation from 2 to 16</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• On Board Controller</li> <li>• EEPROM firmware</li> </ul>
相容軟體環境	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Windows 2000/NT</li> <li>• Matrox Imaging Library (MIL)</li> <li>• ActiveMIL, MIL-Lite</li> <li>• Matrox Inspector</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LV-SDS</li> <li>• PicLab32</li> <li>• TWAIN Driver</li> </ul>
價格 (未稅)	NTD 46,008	NTD 20,300

表 2.3. 影像軟體比較表

編號	SW-01	SW-02
Model	Imaging Library (MIL) Release 7.0	Imaging Library (MIL) Lite
功能性	<ul style="list-style-type: none"> <li>image capture, image processing, pattern matching, blob analysis, gauging and measurement, OCR, bar and matrix code recognition, calibration, graphics, image compression, image display and archiving.</li> <li>Geometric Model Finder</li> <li>JPEG2000 image compression</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>image capture, image display and archiving.</li> </ul>
影像格式	<ul style="list-style-type: none"> <li>TIFF, BMP, JPEG, JPEG2000, AVI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>TIFF, BMP, AVI</li> </ul>
影像處理精確度	<ul style="list-style-type: none"> <li>sub-pixel accuracy</li> </ul>	N/A
發展環境	<ul style="list-style-type: none"> <li>Windows 2000/NT/Me/9x</li> <li>Visual Basic or Visual C++</li> <li>ActiveX</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Windows 2000/NT/Me/9x</li> </ul>
軟體可攜性	<ul style="list-style-type: none"> <li>更換作業平台，大多數只需更動一些參數，無需修改主程式碼</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>更換作業平台，大多數只需更動一些參數，無需修改主程式碼</li> </ul>
系統管理難易程度	<ul style="list-style-type: none"> <li>將底層的硬體動作包起來，使用者無需掛心硬體控制問題。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>將底層的硬體動作包起來，使用者無需掛心硬體控制問題。</li> </ul>
硬體相容性	<ul style="list-style-type: none"> <li>適用於多種影像輸入系統 (cameras, scanners, VCRs, Framegrabber)</li> <li>支援 Matpx Cprpma-II, Meteor-II/Camera Link, IEEE 1394DCAM</li> <li>multi-processing and multi-threading support</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>適用於多種影像輸入系統 (cameras, scanners, VCRs, Framegrabber)</li> <li>支援 Matpx Cprpma-II, Meteor-II/Camera Link, IEEE 1394DCAM</li> </ul>
價格 (未稅)	NTD 90,000	NTD 16,000



表 2.3. 影像軟體比較表 (續)

編號	SW-03	SW-04
Model	Matrox Inspector	PicLab32
功能性	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 動態取像、連續取像、瞬間拍攝</li> <li>● ROI 影像加強前處理</li> <li>● 連續取像時明暗、對比或色彩調整。</li> <li>● JPEG 影像壓縮</li> <li>● 量測、校正工具箱</li> <li>● 影像識別，圖形比對</li> <li>● 3D 影像顯示</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Arithmetic and boolean operations</li> <li>● Morphological and other filter operations</li> <li>● Conversion functions</li> <li>● Binary image enhancement functions</li> <li>● Histogram calculation, enhancement and analysis</li> <li>● Spectral analysis</li> <li>● Object analysis</li> </ul>
影像格式	<ul style="list-style-type: none"> <li>● TIFF, BMP, JPEG, PCX, AVI...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● BMP</li> </ul>
影像處理精確度	<ul style="list-style-type: none"> <li>● sub-pixel accuracy</li> </ul>	N/A
發展環境	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Windows 2000/NT/Me/9x</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Windows 2000/NT/Me/9x</li> <li>● TWAIN driver</li> <li>● MS Visual C++ , MFC</li> <li>● Borland, Watcom C</li> </ul>
軟體可攜性	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Windows 套裝軟體</li> </ul>	N/A
系統管理難易程度	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Windows 作業環境</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 將底層的硬體動作包起來，使用者無需掛心硬體控制問題。</li> </ul>
硬體相容性	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 適用於多種影像輸入系統 (cameras, scanners, VCRs, Framegrabber, Files)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● PicPort Framegrabber</li> </ul>
價格 (未稅)	NTD 35,000	NTD 50,000

表 2.3. 影像軟體比較表 (續)

編號	SW-05	SW-06
Model	LV-SDS	NI-IMAQ Vision Builder, Machine Vision and Image Processing Software
功能性	<ul style="list-style-type: none"> <li>Machine vision.</li> <li>Image acquisition</li> <li>Color image adjustment</li> <li>ROI operation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Image Acquisition</li> <li>ROI tools</li> <li>Frequency domain processing</li> <li>Machine vision and image processing functions</li> <li>Pattern matching</li> <li>Image display tools</li> <li>Blob analysis</li> <li>Distance Measurements</li> <li>Color processing</li> </ul>
影像格式	<ul style="list-style-type: none"> <li>TIFF, BMP, JPEG, JPEG2000, AVI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>TIFF, BMP, JPEG, PNG</li> </ul>
影像處理精確度	•	N/A
發展環境	<ul style="list-style-type: none"> <li>Windows 2000/NT/Me/9x</li> <li>Visual Basic or Visual C++</li> <li>Borland C and Delphi</li> <li>TWAIN driver</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Windows 2000/NT/Me/9x</li> <li>Visual Basic, Visual C++</li> </ul>
軟體可攜性	•	•
系統管理難易程度	<ul style="list-style-type: none"> <li>將底層的硬體動作包起來，使用者無需掛心硬體控制問題。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>將底層的硬體動作包起來，使用者無需掛心硬體控制問題。</li> </ul>
硬體相容性	<ul style="list-style-type: none"> <li>PicPort Framegrabber</li> </ul>	•
價格 (未稅)	NTD 26,550	USD 1,995

基於第二章的分析對於數位攝影系統，我們考慮攝像頻率在每秒 15 幅影像以上；像元數需求為水平垂直各 1000 像元以上；最低感光度在 1 lux 以下；信號雜訊比值訂在 50 dB 以上；採用 C-mount 焦距 75, 100 mm 鏡頭。我們提出以下的系統規格，作為採構之依據。

#### CV-M4 系統

系統代理商: 泰洛科技 ([www.nowa.com.tw](http://www.nowa.com.tw))

攝影機廠商: jAi ([www.jai.com](http://www.jai.com))

攝影機型號: CV-M4

輸出像元數:  $1300 \times 1030$

感應器面積:  $8.7 \text{ mm} \times 6.9 \text{ mm}$

像元實長:  $6.7 \mu\text{m} \times 6.7 \mu\text{m}$

攝像頻率: 24 frames/sec

影像擷取卡廠商: Matrox ([www.matrox.com](http://www.matrox.com))

影像擷取卡型號及說明:

Matrox Meteor-II/Digital RS422/LVDS digital area or line scan video acquisition

影像輸入: sampling rates up to 25MHz for RS-422 and 40MHz for LVDS

界面: PCI

影像擷取軟體: Inspector

系統價位: NTD 344,294 (含稅)

## 第三章 柱之穩定介紹

### 第一節 壓力構材受力特性

在鋼結構中壓力構材的定義，指的是僅受軸壓力、而無彎矩之桿件稱之。壓力構材其受力後會有微小縮短的變形外，還會有往側向變形的趨勢如圖一，而鋼本身具有高強度的特性，所以其斷面面積較為細小，使得其構材破壞方式有以下兩種：

1. 降伏破壞：荷重產生之壓應力，超過材料本身之降伏強度所造成。
2. 挫屈(buckling)破壞：長度大、斷面小的細長柱體承受荷重時，產生之壓應力，小於材料本身之降伏強度，但因為構材產生過大的側向彎曲而造成破壞。

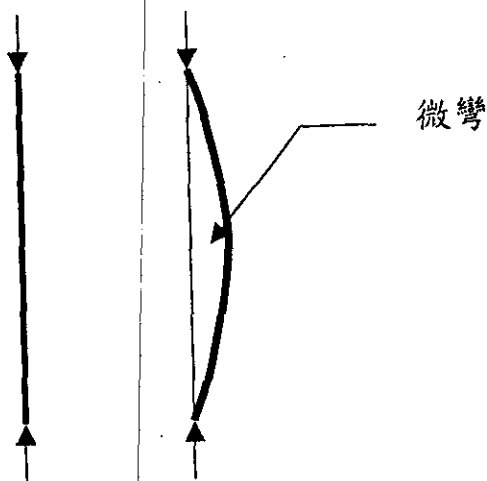


圖 3-1 側向變形

### 第二節 尤拉(Euler)方程式

柱產生挫屈(buckling)破壞之臨界載重由尤拉(Euler)氏導出，稱為尤拉方程式。其有以下三項基本假設：

1. 柱材料為均質，且橫斷面均勻。

2. 柱體受荷重前，原為筆直。
3. 柱產生之應變在彈性範圍內，且應力應變成正比，即為符合虎課定律。

尤拉(Euler)方程式如下：

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(Kl)^2}$$

$$F_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 E \left( \frac{I}{A} \right)}{(Kl)^2} = \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{Kl}{r} \right)^2}$$

式中：

$Kl$  為有效長度，亦即兩個反曲點間的長度

$E$  為彈性模數

$A$  為柱之斷面積

$I$  為柱斷面之慣性矩

其公式推導如下：

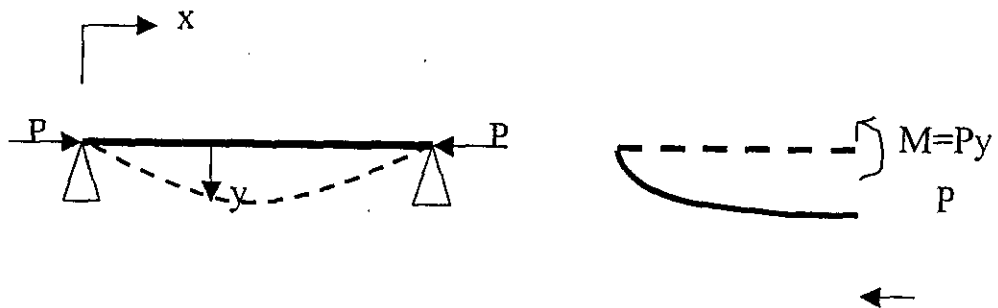


圖 3-2 受力變形圖

由圖 3-2 對於距端點  $x$  處，彎曲產生之彎矩： $M_x = Py$

由材料力學： $EIy'' = -M$

$$\text{得 } EIy'' = -Py \Rightarrow y'' + \frac{P}{EI}y = 0$$

$$\text{令 } k^2 = \frac{P}{EI}, \text{ 得 } y'' + k^2y = 0$$

該方程式之通解： $y = A \sin kx + B \cos kx$

由邊界條件解未知數 A、B

$$x = 0, y = 0 \Rightarrow B = 0$$

$$x = \ell, y = 0 \Rightarrow A \sin k\ell = 0$$

$$\text{因為 } A \neq 0 \Rightarrow \sin k\ell = 0 \Rightarrow k\ell = n\pi \Rightarrow k = \frac{n\pi}{\ell}, n=1, 2, 3$$

$$\text{因 } k^2 = \frac{P}{EI} = \frac{n^2\pi^2}{\ell^2}$$

$$\text{取 } n=1, \text{ 得 } P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(\ell)^2}$$

### 第三節 有效柱長

尤拉(Euler)方程式是以兩端鉸接構材求得，此時構材依照端點變形條件，構材的有效長度剛好是柱長，如兩邊端點邊界條件非為鉸接時，其有效長度會跟著變化，以下面例子來說明：

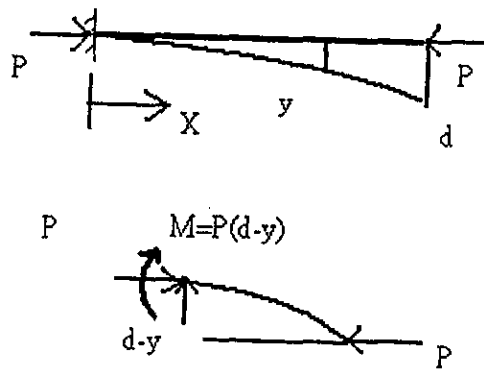


圖 3-3 受力變形圖

由圖 3-3 對於固端點  $x$  處，彎曲產生之彎矩： $M_x = P(y-d)$

由材料力學： $EIy'' = -M$

得  $EIy'' + Py = Pd$

令  $k^2 = \frac{P}{EI}$ ，得  $y'' + k^2y = k^2d$

該方程式之通解： $y = A\sin kx + B\cos kx - kx + d$

由邊界條件解未知數  $A$ 、 $B$ 、 $d$

$$x=0, y=0 \Rightarrow B = -d$$

$$x=0, y'=0 \Rightarrow A = 0$$

$$\Rightarrow y = d(1 - \cos kx)$$

$$x=l, y=d \Rightarrow \cos kl = 0$$


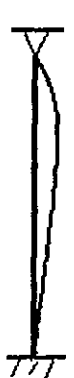
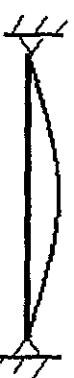



$$\text{得 } kl = \frac{n\pi}{2}, \quad n=1, 2, 3$$

$$\text{因 } k^2 = \frac{P}{EI} = \frac{n^2\pi^2}{l^2}$$

取  $n=1$ ，得  $P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(2\ell)^2}$

以此例子來說，其有效長度變成兩邊端點為鉸接時的兩倍，所以我們可以分別計算各種不同邊界條件時之構材，取  $k\ell$  為構材的挫屈長度，帶入尤拉公式。依照端點型式之不同，有效柱長係數大小如下表：

表 3-1 有效柱長係數

端點型式						
理論 K 值	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
理論臨界載重	$\frac{\pi^2 EI}{(0.5\ell)^2}$	$\frac{\pi^2 EI}{(0.7\ell)^2}$	$\frac{\pi^2 EI}{(\ell)^2}$	$\frac{\pi^2 EI}{(\ell)^2}$	$\frac{\pi^2 EI}{(2.0\ell)^2}$	$\frac{\pi^2 EI}{(2.0\ell)^2}$

由於實際工程之固定端不可能作到完全不轉動如圖四，所以配合實務，規範將上表含固定端之理論 K 值加大，且鉸接端亦無法作到理想中的自由轉動，鉸接端之理論 K 值應可減小，但規範基於保守，鉸接端之理論 K 值不可調整，調整之規範 K 值如表 3-2。



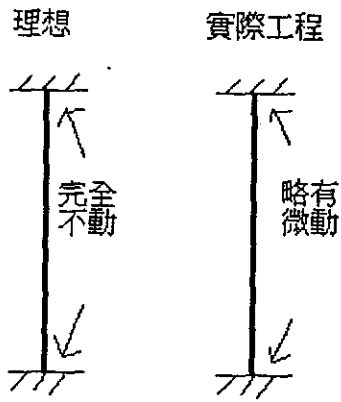


圖 3-4 實際固定端變形

表 3-2 規範 K 值

端 點 型 式						
規範 K 值	0.65	0.8	1.0	1.2	2.0	2.1

## 第四章 施工架穩定

### 第一節 構材尺寸與斷面

本工地位於台五線汐止與台北市交界處，為高架道路橋樑工程，施工架主要支撐帽樑施工所傳下之荷重，施工架型式如圖 4-1，施工架中垂直鋼柱為本次主要監測構材，其構材型式、尺寸由圖 4-2 所示。

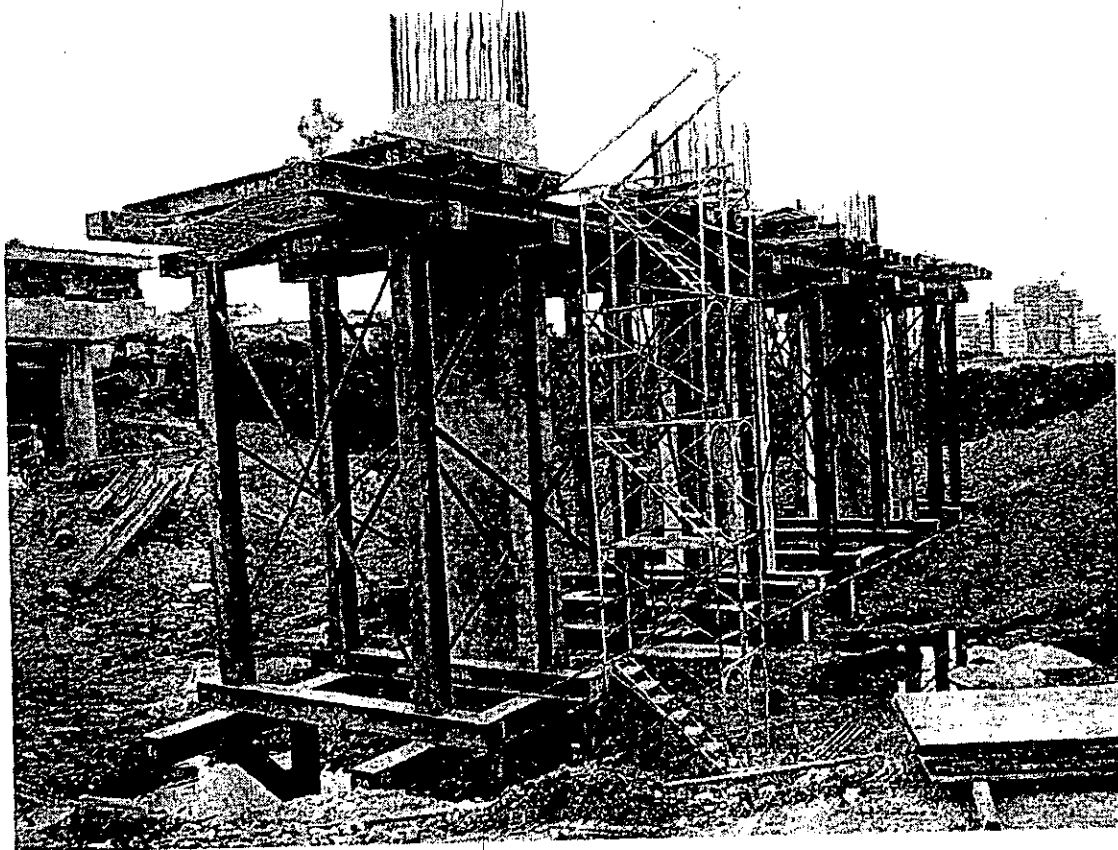
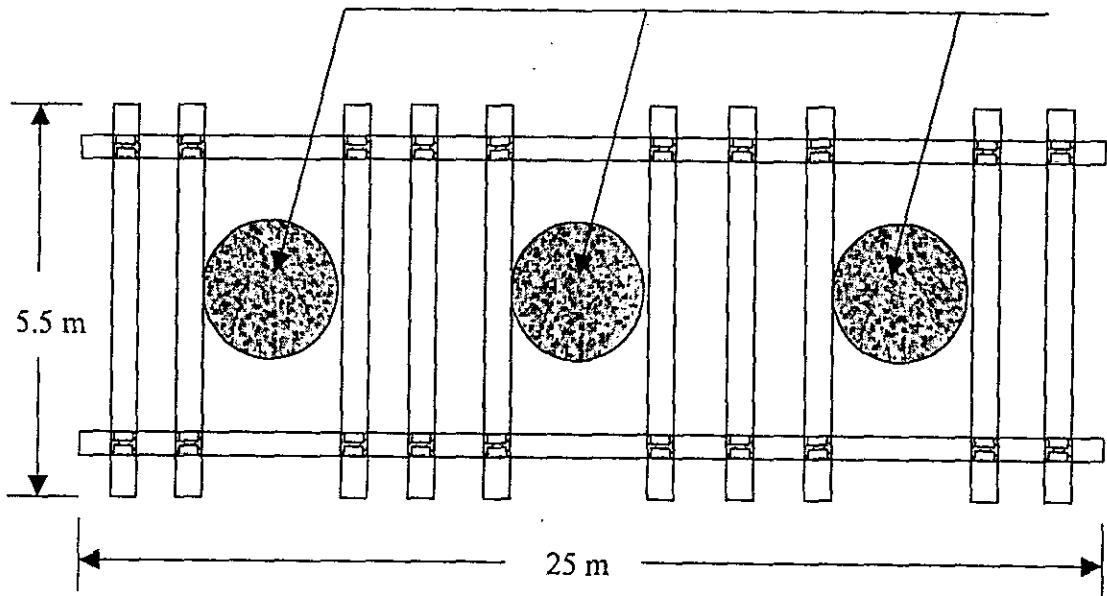
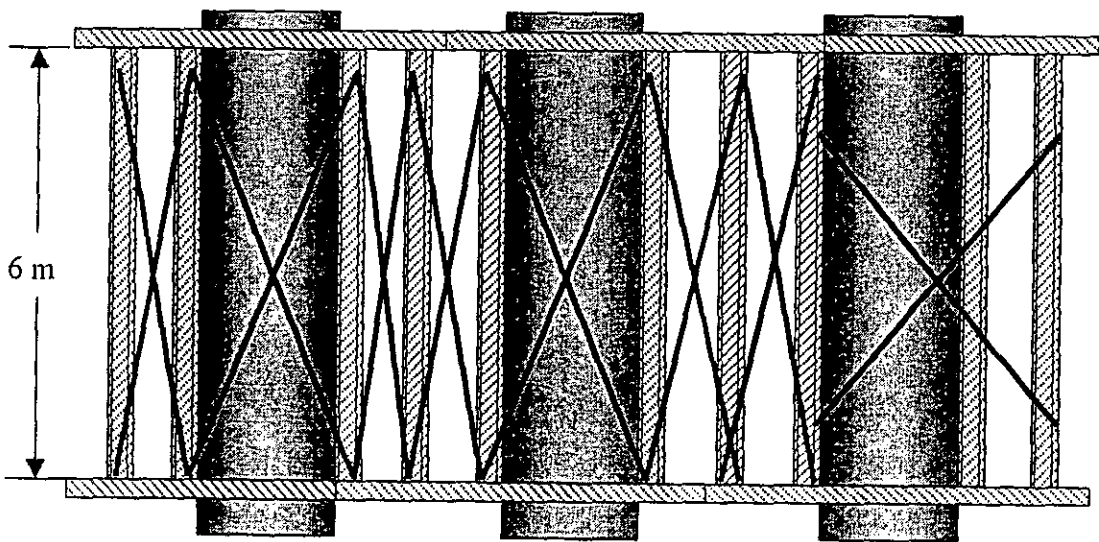


圖 4-1 施工架現場

橋墩



上視



側視

圖 4-2 結構高度與長度

以圖 4-2 來看，橫樑斷面為 300 mm 見方的 H 型鋼，而柱的部分則是 350 mm 見方的 H 型鋼，如圖 4-3 所示，斷面性質計算如表 4-1 所示。

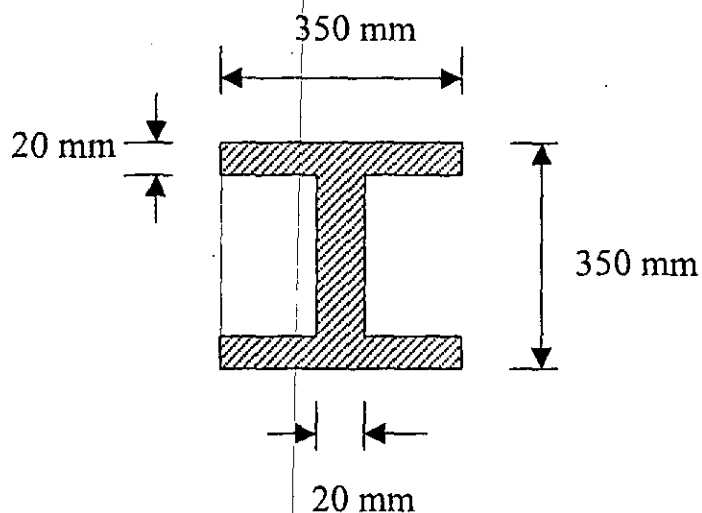




圖 4-3 H 型鋼尺寸

表 4-1 斷面性質計算

軸方向	A 斷面積	I 慣性矩	r 迴轉半徑
強軸 	202 cm <sup>2</sup>	43126.83 cm <sup>4</sup>	14.61 cm
弱軸 	202 cm <sup>2</sup>	14312.33 cm <sup>4</sup>	8.42 cm

## 第二節 構材端點型式

以現場施工架結構中的柱上下兩端皆以鏢栓鎖住，如圖 4-4、圖 4-5，在圖 4-4 中可以看到橫樑的下方有連接著深入地層的柱，此埋入地層的柱是打到橋墩本身的基礎上，相當的穩固，所以我們將靠近地面端視為不會轉動的固定端，且每一根柱其端點皆有利用斜撐(diagonal frames)如圖 4-6，來保持側向穩定之構架，故此種壓力構材可視為不會側移，但因施工及現場狀況的不確定性，我們假設柱上端端點不轉動（因鏢栓鎖住）但可能有側位移，其型式如圖 4-7，也就是說其實際 K 值介於 0.65~1.2。

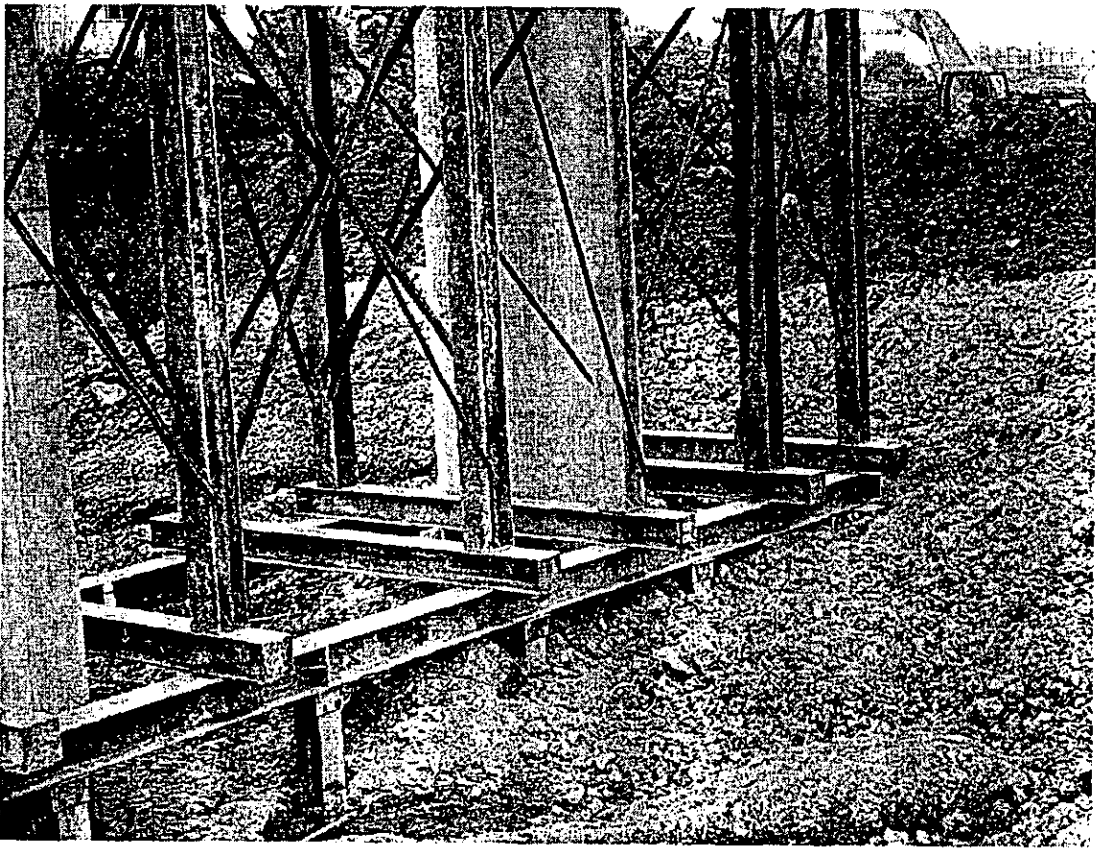


圖 4-4 靠地面端點型式

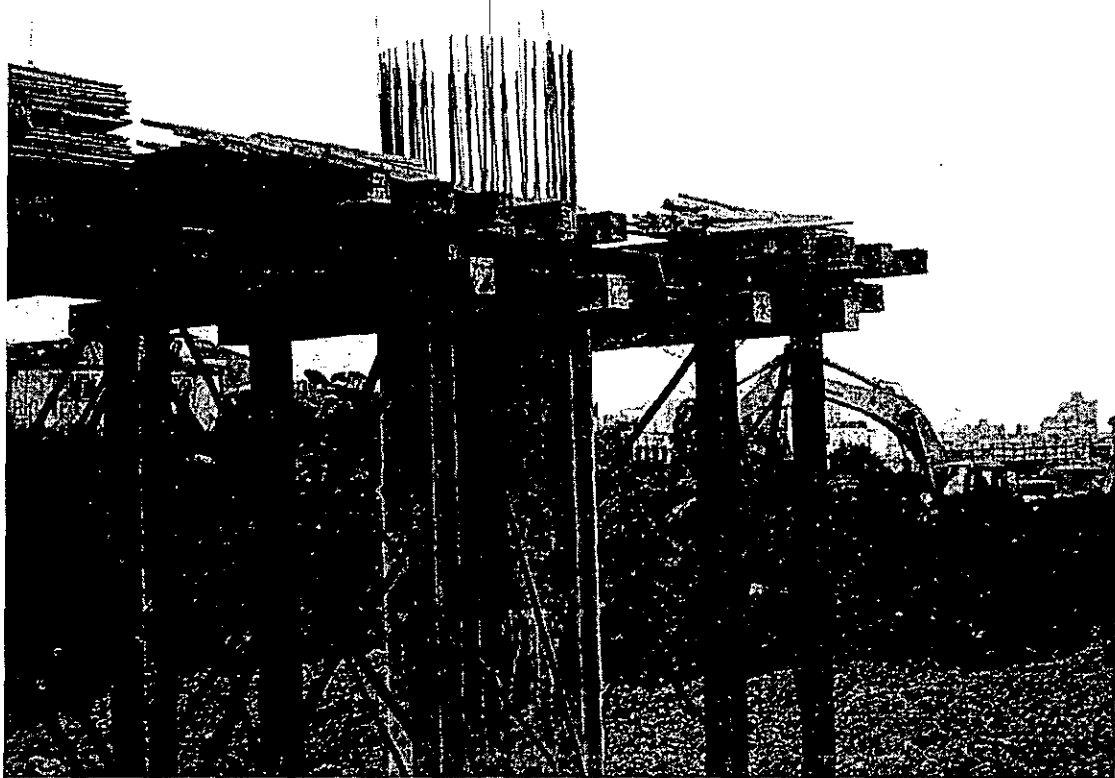


圖 4-5 柱上端端點條件

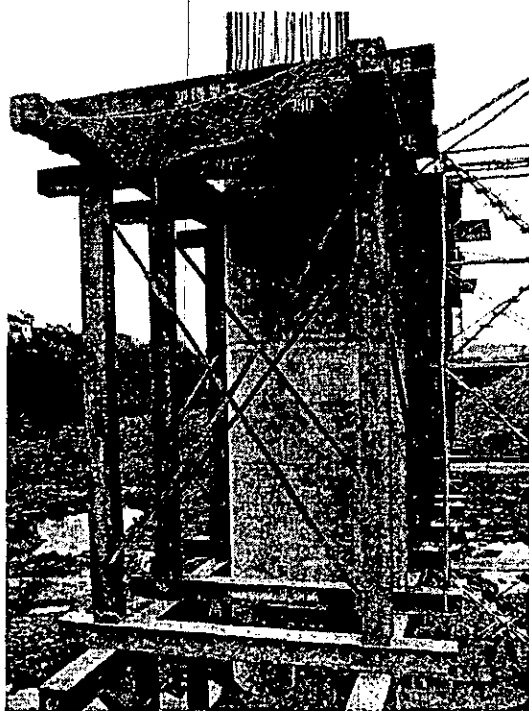
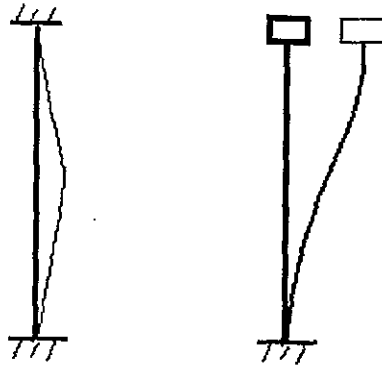


圖 4-6 斜撐



$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(0.65\ell)^2} \sim \frac{\pi^2 EI}{(1.2\ell)^2}$$

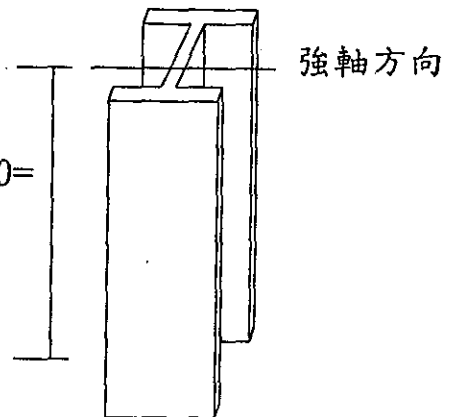
圖 4-7 假設端點型式

### 第三節 計算挫屈荷重

將 4-1 節所得到的斷面性質(斷面積、慣性矩)依照強軸及弱軸方向，輸入至 4-2 節的兩種不同 K 值的尤拉公式來計算，以其中一例來說明：







$$\begin{aligned} P_{cr} &= \frac{\pi^2 EI}{(0.65\ell)^2} \\ &= \frac{\pi^2 \times 2.04 \times 10^6 \times 43126.83}{(390)^2} \\ &= 5708844 \text{ kg} = 5708.8 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K\ell &= 0.65 \times 600 = \\ &= 390 \text{ cm} \end{aligned}$$



分別計算如下表，計算得到本施工架單支柱所能保持穩定的最大載重為 555.9 噸。

表 4-2 挫屈荷重計算結果

端點型式	公式	軸方向	挫屈荷重(ton)
	$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(0.65\ell)^2}$	強軸 	5708.8
		弱軸 	1894.6
	$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(1.2\ell)^2}$	強軸 	1675
		弱軸 	555.9

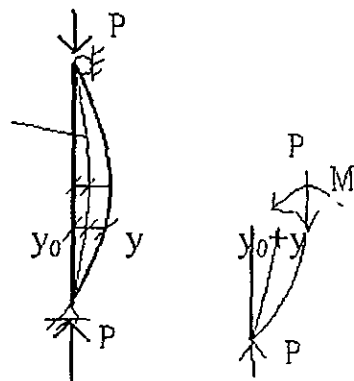
#### 第四節 初始彎矩之影響

若柱受力時已有些微側向變形，即是有初始彎矩之影響，在此針對初始彎矩對挫屈荷重之影響加以討論。

右圖所示兩端鉸接時，在加載前已經彎曲

其初始彎曲變形為： $y_0 = a_0 \sin \frac{\pi x}{\ell}$

$$y_0 = a_0 \sin \frac{\pi x}{\ell}$$



彎矩值由自由體圖：

$$M_x = P(y + y_0) = -EIy''$$

$$\therefore EIy'' + Py = -Py_0 = -Pa_0 \sin \frac{\pi x}{\ell}$$



$$\text{解得： } y = A \cos kx + B \sin kx + \frac{\eta}{1-\eta} a_0 \sin \frac{\pi x}{\ell}$$

$$\text{其中： } k^2 = \frac{P}{EI} \quad \eta = \frac{P}{P_c}$$

$$x = 0, y = 0 \Rightarrow A = 0$$

$$x = \ell, y = 0 \Rightarrow B \sin k\ell = 0$$

$$\text{因為 } B \neq 0 \Rightarrow \sin k\ell = 0 \Rightarrow k\ell = n\pi \Rightarrow k = \frac{n\pi}{\ell}, \quad n=1, 2, 3$$

$$\text{取 } n=1, \text{ 得 } P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(\ell)^2}$$

得到結果與 3-2 節推導之尤拉方程式相同，所以初始彎矩並不會影響到挫屈荷重強度，但初始彎矩越大，偏心撓度越大，承載降伏強度會降低，降低量我們於下節討論之。

## 第五節 承載降伏強度

本鋼材為碳鋼 A36，也就是說其降伏強度為 36 ksi (2520  $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ )，計算純軸壓力所得到之容許載重為：

$$\sigma = \frac{P}{A} \Rightarrow 2520 = \frac{P}{202}$$

$$P = 509040 \text{ kg} = 509.04 \text{ 噸}$$

當此施工架柱受到純軸壓力時，其降伏荷重為 509.04 噸，此值比起我們在 4-3 節所計算支柱所能保持穩定的最大載重 555.9 噸來的小，也就是說本柱在挫屈破壞

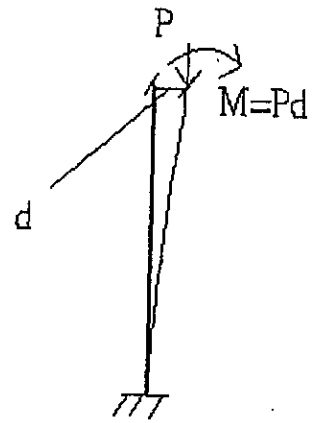
前，已經降伏破壞。

我們再來計算非純軸壓力時之降伏荷重，計算方式如下：

$$\sigma = \frac{P}{A} + \frac{M}{S}$$

M：斷面彎矩，即是 P 乘上側位移量

如右圖。



S：斷面模數，I/斷面中心至邊緣距離。

強軸方向：S=43126.83/(35/2)=2464.39 cm<sup>3</sup>



$$2520 = \frac{P}{202} + \frac{P \times d}{2464.39} \dots\dots(4-1)$$

弱軸方向：S=14312.33/(35/2)=817.85 cm<sup>3</sup>

$$2520 = \frac{P}{202} + \frac{P \times d}{817.85} \dots\dots(4-2)$$

由(4-1)、(4-2)式假設位移量為 0.1、0.5、1、2cm 計算降伏荷重如下表：

表 4-3 側位移與降伏荷重

軸方向	位移量(cm)	降伏荷重
強軸 	0.1	504.90
	0.5	489
	1	470.48
	2	437.34
弱軸 	0.1	496.77
	0.5	453.09
	1	408.22
	2	340.73

## 第六節 由 ASD 計算壓力構材

依照容許應力法(Allowable Stress Design)考慮安全係數來計算容許荷重，計算過程如下：

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 \times 2.04 \times 10^6}{2520}} = 126.41$$

由 4-1 節計算迴轉半徑  $r_{\min}=8.42 \text{ cm}$

K 取 1.2

$$\frac{K\ell}{r} = \frac{1.2 \times 600}{8.42} = 85.51 < C_c \text{ 屬非彈性挫屈}$$

$$R = \frac{K\ell}{C_c r} = \frac{85.51}{126.41} = 0.676$$

$$F_a = \frac{\left(1 - \frac{1}{2} R^2\right) F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3}{8} R - \frac{1}{8} R^3} = 1032.84 \text{ kg/cm}^2$$

$$P = F_a \times A = 1032.84 \times 202 = 208633.32 \text{ kg} = 208.63 \text{ ton}$$

得到容許軸壓力為 208.63 噸

## 第七節 營造安全衛生設施標準

依勞委會營造安全衛生設施標準之第一百二十二條之規定，如下：

雇主以型鋼之組合鋼柱為模板支撐之支柱時，應依下列規定：

1. 高度超過四公尺時，應於每隔四公尺以內向二方向設置足夠強度之水平繫條，並防止支柱之位移。
2. 上端支以樑或軌枕等貫材時，應置鋼製頂版，並固定於貫材。

可知當支撐群組以此規定組合時，在本監測狀況下，不可能發生挫屈，故而為一降伏控制狀況。若欲使支撐失敗，即為全部型鋼均已達降伏，以本例則為  $P = 4172.6 \text{ tonf}$ 。若以所支撐之混凝土、鋼筋加施工載重，約為 300~400 tonf，失敗之機率甚低，除非型鋼之上下接合不牢，唯於現場觀察，接合甚為牢固，不致發生失敗狀況。

## 第五章 系統軟硬體建置

### 第一節 硬體架構

本系統硬體主要架構包含，CV-M4 高解析度攝影機一台、Meteor-II/Digital 數位高速影像擷取卡一片、電腦主機一部。

攝影機: jAi CV-M4

輸出像元數:  $1300 \times 1030$

感應器面積:  $8.7 \text{ mm} \times 6.9 \text{ mm}$

像元實長:  $6.7 \mu\text{m} \times 6.7 \mu\text{m}$

攝像頻率: 24 frames/sec

**CV-M4**  
*Digital Double Speed Megapixel Progressive Scan Camera*

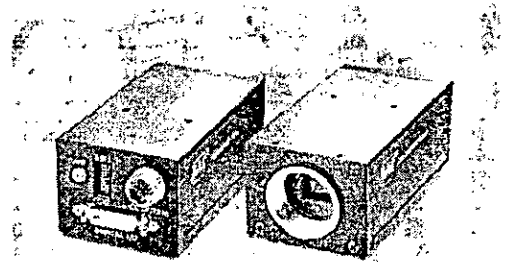


圖 5-1 CV-M4 攝影機

影像擷取卡: Matrox Meteor-II/Digital  
RS422/LVDS digital video acquisition

取樣頻率: 40 MHz for LVDS

傳輸介面: 32 bit wide LVDS interface

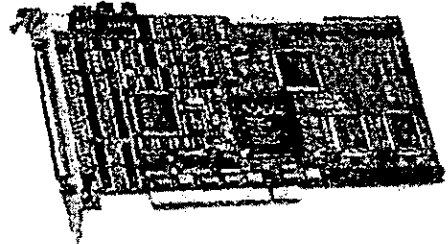


圖.5-2 Meteor-II/Digital 影像擷取卡

電腦系統:

CPU: Intel Pentium MMX 233MHz

主記憶體: 512MB

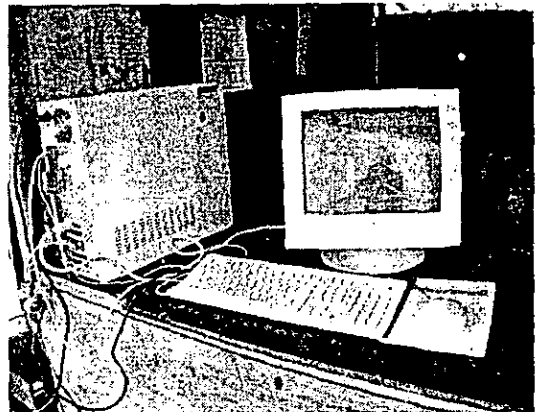


圖 5-3 系統組裝實景

## 第二節 軟體架構



圖 5-4 營造支撐群組位移監測程式主畫面

營造支撐群組位移監測程式(簡稱監測程式), 是一個視窗應用程式, 它有兩個版本, 一個是檔案作業版, 另一個是影像卡作業版。檔案作業版適用於研究用途, 先將一段即時監測影像以 AVI 或 BMP 格式儲存在磁碟中, 事後再用檔案作業版監測程式在種種條件之下加以分析研究。因此, 檔案作業版監測程式執行時無需搭配影像擷取卡, 僅從記錄檔案中讀取所需的影像畫面, 這個版本沒有使用到特殊的硬體, 可以適用於一般 Windows NT、98、2000 等中文標準視窗作業系統之下。

影像卡作業版監測程式則適用於施工中即時監測之用, 爲了要加快監測頻率, 這個版本在連續監測時, 目前關掉了顯示所新擷取畫面的功能, 也關掉了儲存影像畫面的功能, 關掉這些功能之後, 每秒可以達到擷取以及處理 8 幅影像的速度。影像卡作業版監測程式執行時需要搭配 Meteor-II/Digital 影像擷取卡, 受限於硬體環境的要求, 目前必須在中文 Windows NT 下才能執行, 未來可能會移植到中文 Windows 2000 的環境下作業。此外, 因爲影像擷取卡需要額

外的記憶體空間，所以需要配備 256MB 以上的主記憶體，以及大容量的資料磁碟機。

兩種版本的監測程式僅僅是在影像來源方面有所不同，除此之外，其餘運作方式大致相同。因此，在以下的說明中，如未特別指明何種版本，我們所描述的就是兩種版本的共通部份。

圖 5-4 是營造支撐群組位移監測程式的主畫面，功能表上所顯示的有檔案、編輯、處理、說明等四組功能，其中檔案、編輯、說明等等，均為一般視窗程式所通用的功能，並無任何獨特之處，本監測程式專屬的功能是放在處理功能表之下。

圖 5-5 所顯示的就是處理功能表，它有四項子功能，相機設定、初始取像、設定參標、連續監測。

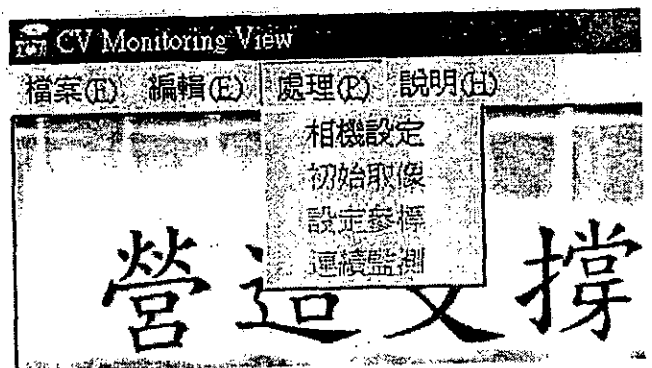


圖 5-5 處理功能表

四項子功能在一般情況之下應該是依序執行，在圖 5-6 中，除了相機設定功能之外的其餘三個子功能顯示是灰色的，這表示，在監測程式開始執行的時候，僅僅開啓了相機設定功能，其他功能要在相機設定完成之後才能依序開啓。圖 5-6 為各項子功能執行的順序方塊圖。

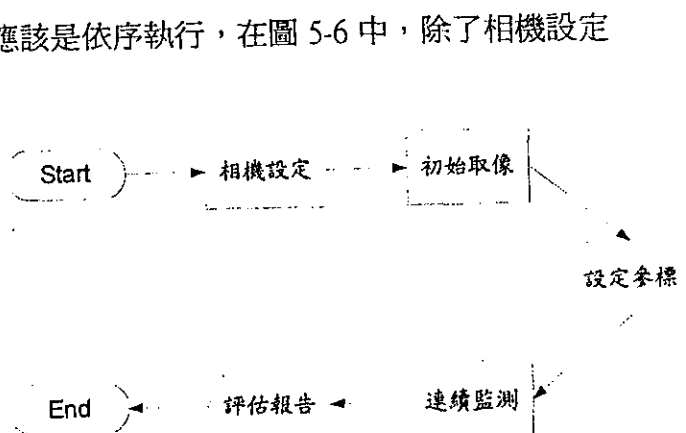


圖 5-6 處理子功能執行順序方塊圖

相機設定功能會帶出如圖 5-7 一般的即時監視畫面，此時可以讓監測者看著即時畫面來調整相機系統的焦距、光圈、角度、位置等等機制，以確保能夠

攝影到清晰正確的畫面，參考標的位置也要能夠清楚看見才行。



圖 5-7 大直橋工程的相機設定畫面

初始取像功能會擷取第一張影像，畫面如同圖 5-7。這個畫面很像圖 5-7，但是圖 5-7 是即時畫面，會隨著相機調整而變化畫面內容；圖 5-8 則是擷取後的畫面，如果沒有擷取新畫面，它的內容就永遠不變，這個畫面是要接下來設定參考標之用。



圖 5-8 初始取像畫面

## 5.2.1 監測軟體

初始取像完成之後，就可以開始設定連續監測時所需要的各個參考標。如圖 5-9 設定參標選項畫面所示，功能表中設定參標的選項已經轉變為黑色，表示該選項已經可以被使用。畫面上右下角鋼樑上的黑點，便是事先請施工單位貼上去的同心圓標，黑色的圓直徑為 105mm，外圍白色的大圓直徑為 150mm。



圖 5-9 設定參標選項畫面

參考標有固定標與監測標兩種。固定標的用途是設定畫面的比例尺，在畫面中選定已知距離的兩個固定標點作為固定標。我們用這個已知距離除以它們在畫面中所量測得到的像元距離，就可以得知，在畫面中每一像元所代表的實際空間距離值是多少。因此在畫面中，我們至少要設定兩個固定標，一個作為參考原點(即相對原點距離為 0)，另一個固定標則需要輸入它相對原點的空間距離值(如圖 5-10)，這個距離值必須事先採用其他方式測量得知。

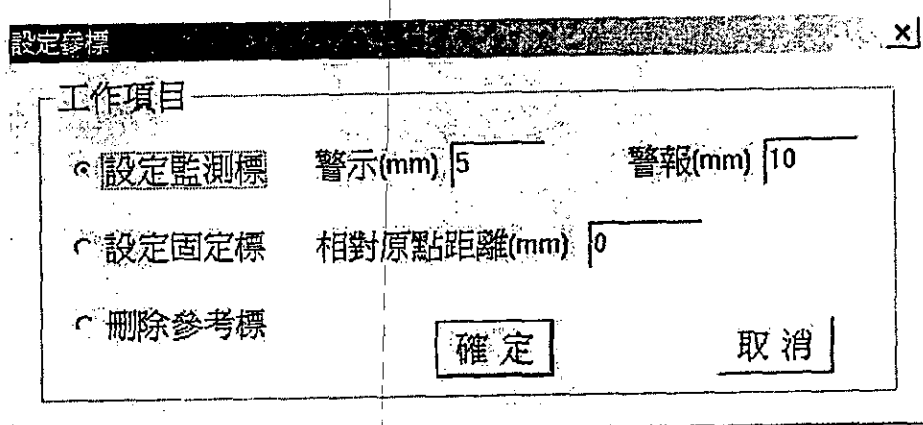


圖 5-10 設定參標對話方塊



對於監測標，我們必須在圖 5-10 設定參標對話方塊中輸入它的警示值與警報值。在對話方塊中，我們都是輸入它們的空間位移臨界值，電腦再將它們轉換為像元臨界值，然後儲存在每個標點物件之內。當連續監測時，如果監測標的中心點位移像元數超過警示臨界值，則發出警示訊號，監測工作則仍繼續進行。如果監測標的中心點位移像元數超過警報臨界值，則發出警報訊號，停止正常的監測工作，轉到異常處理程序。圖 5-11 為連續監測方塊示意圖。

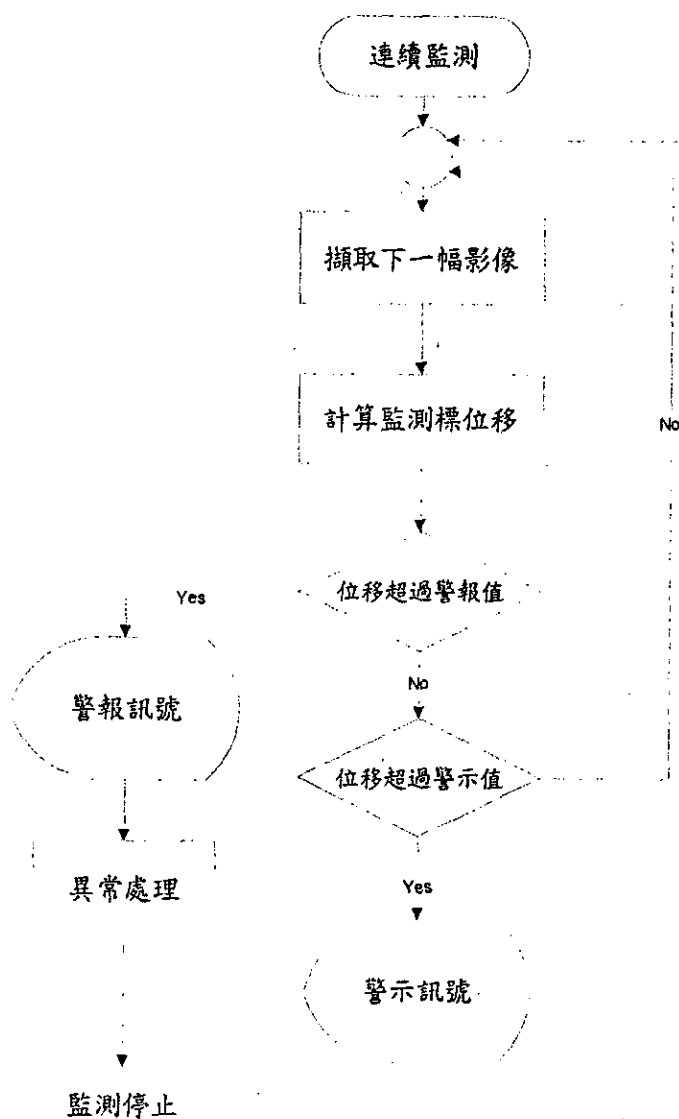


圖 5-11 連續監測方塊示意圖

請參考圖 5-10 設定參標對話方塊，在設定參標時，我們還有一個選項—刪除參考標，它能將先前設錯的參考標(不論是固定標或是監測標)加以取消。圖 5-12 至圖 5-15 是設定參標的相關示意圖。

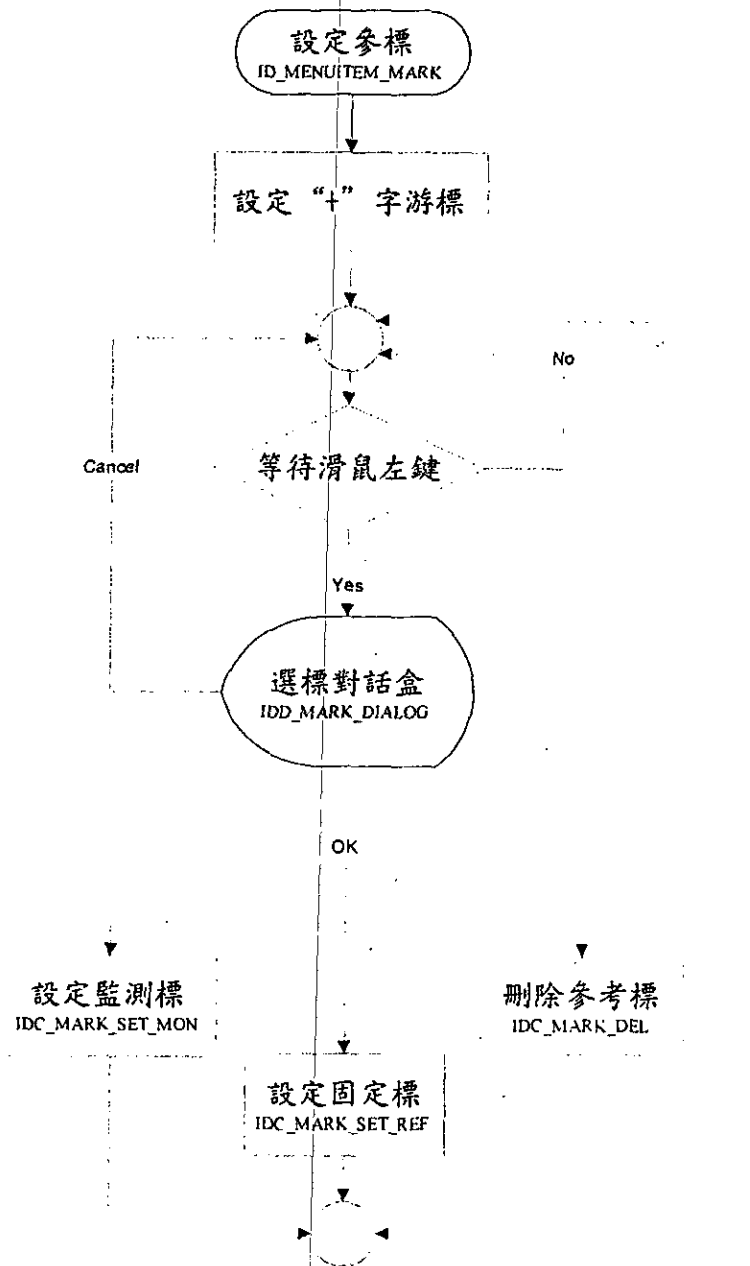


圖 5-12 設定參標示意圖

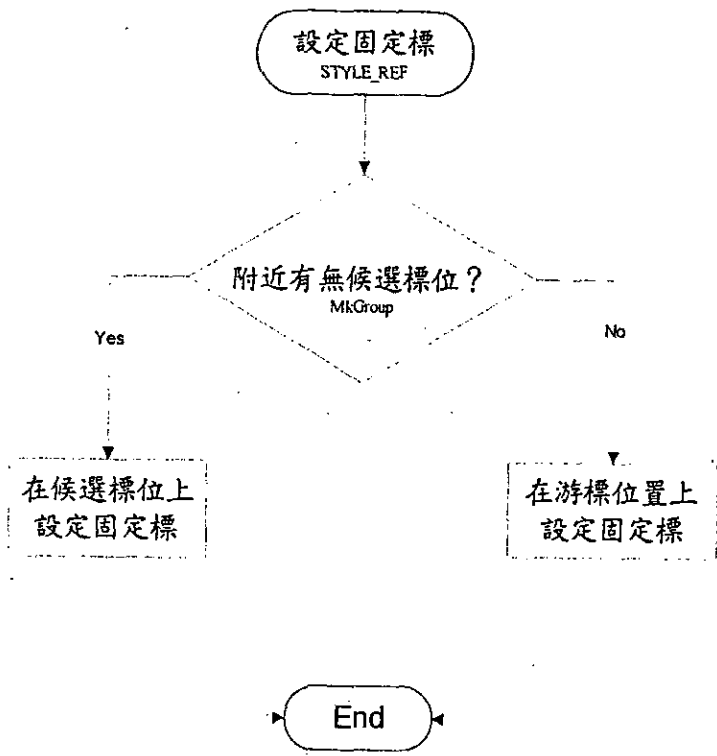


圖 5-13 設定固定標示意圖

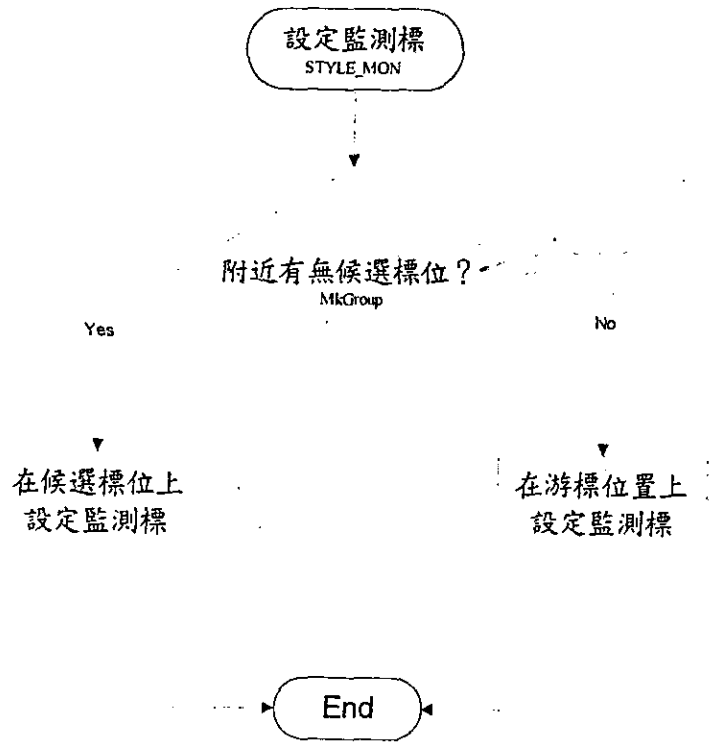


圖 5-14 設定監測標示意圖

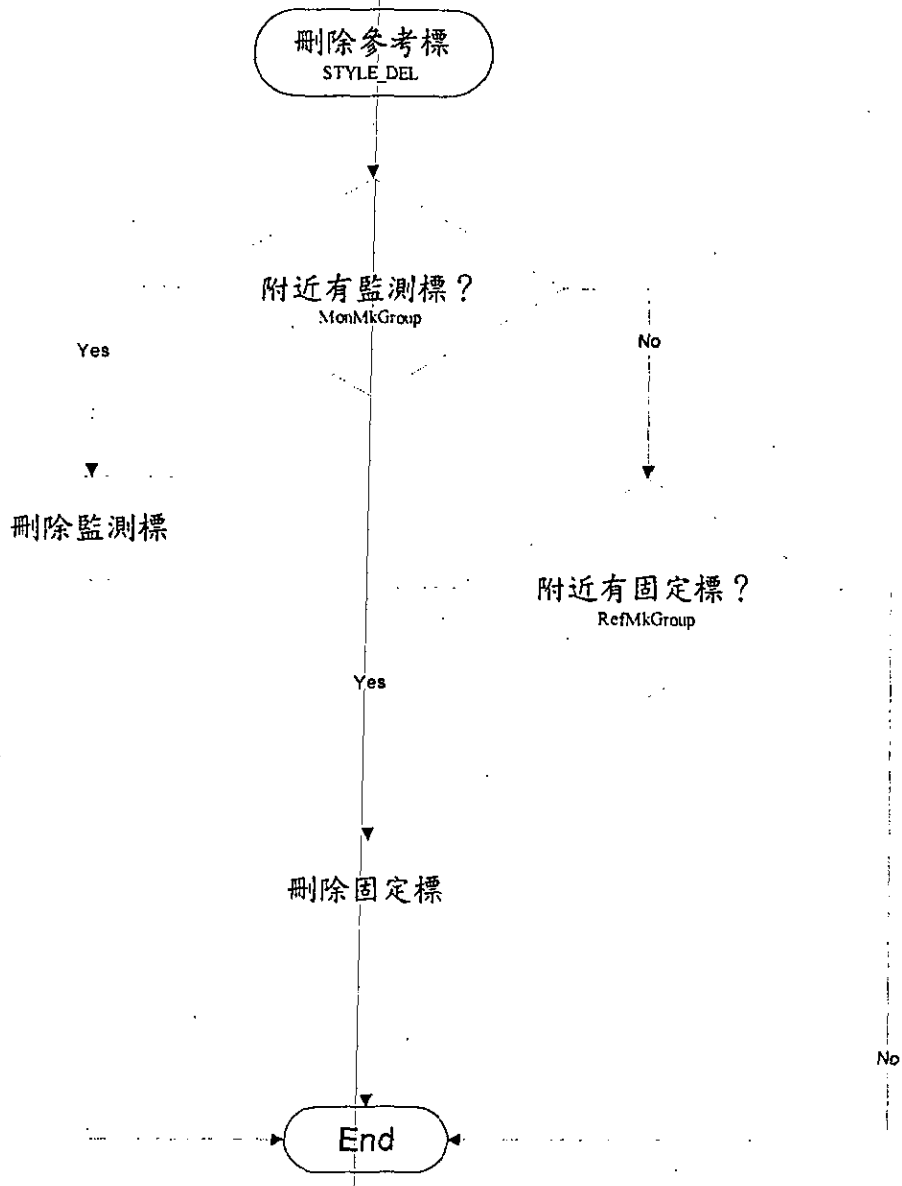


圖 5-15 刪除參考標示意圖

### 第三節 系統開發平台：Visual C++與 MFC

物件導向程式技術，是到目前為止發展大型而複雜的軟體系統最好的方法。C++ 是個物件導向的程式語言。其優點在於它的封裝和繼承。

「封裝性 encapsulation」：藉由隱藏內部的資料結構，可以改變系統的某部份，而不必更動其他部份。我們為軟體元件（稱之為 class，類別）提供一個安全的介面，用戶只碰得到這個介面而已；而相對起來比較容易變動的介面「實作」部份，就被封裝起來（就像被包在膠囊裡），以避免用戶過於依賴他一時的實作決定。

「繼承性 inheritance」：假設有個基本視窗型態，有表單、有捲軸運算。若你還想要個監測視窗型態，它很像基本視窗，只是它還有個播放的程序。C++提供了乾淨的解決方法：繼承。「監測視窗繼承了基本視窗的一切，並且監測視窗又添加了播放程序。」基本視窗本身仍然是封閉的（未被更動到），而監測視窗也沒有重複再寫表單、捲軸等的程式碼。

Windows 作業系統歷經 Windows 3.0、3.1、95、NT、98、Windows Me、Windows 2000，已到 Windows XP。其間每兩三年系統就更新一代，功能愈來愈強，操作方式更體貼人性，系統也愈來愈龐大。物件導向的視窗開發環境 Visual C++與 MFC (Microsoft Foundation Classes)，使軟體開發工作省事許多，短時間內就可以有一些成果出現。本監測系統軟體也是在 Visual C++與 MFC 的環境下開發完成。

在 Windows 中，舉凡我們所熟悉的視窗、對話方塊、控制台...等等都是物件，都有其相關的屬性資料及可供設定的運算，這些都是物件導向程式所必須提供的基本要件。正因為 Windows 是物件導向的，利用物件導向的程式語言在這環境寫應用程式就更有義意了。因此，撰寫視窗應用程式時，使用 C++會比 C 來得好。C++包含了類別，是描述物件屬性及行為更具威力的工具。

本研究直接在視窗環境下使用基本 C++工具來撰寫視窗應用程式，但是更有效率的方式是儘量利用類別庫。微軟的 MFC 類別庫，提供了一些設計良好且經過完整測試的類別來呈現基本的視窗物件，例如類別 CWnd 被用來表現視窗，類別 CFrameWnd 是表現有頁框的視窗物件，CDialog 為對話方塊類別，CButton 為按鈕類

別，而 CString 為字串類別——MFC6.0 提供了超過兩百種的類別。

圖 5-16 為 MFC 主要的類別階層，藉由微軟的 Visual Studio 說明中的查詢功能找到更詳細的 MFC 類別說明資料。MFC 不僅只是類別，對視窗程式設計來說，它呈現了視窗應用的骨架，提供程式底稿，建立程式基本架構，使得視窗的應用程式更容易。例如類別 CWinApp 就包含了以下幾項重要工作：應用程式的初始化、建立主視窗、將 Windows 的訊息傳送給程式視窗、離開應用程式、將整個應用程式從系統清除。類別 CWinApp 還留有許多掛鉤(hooks)—可加入自己的程式碼，事實上，在 MFC 類別內找尋這樣的掛鉤佔 MFC 程式的大部份。其餘 MFC 類別也差不多一樣，MFC 作好了一些類別的基本運算，也保留一些掛鉤加入自己的資料和運算。類別 CDocument 是另一個例子，它包含了存取檔案資料所需要的各項工具，至於資料的定義及其餘獨特運算，可在適當的掛鉤位置把他們加進去。

# Hierarchy Chart

## Microsoft Foundation Class Library Version 6.0

Object

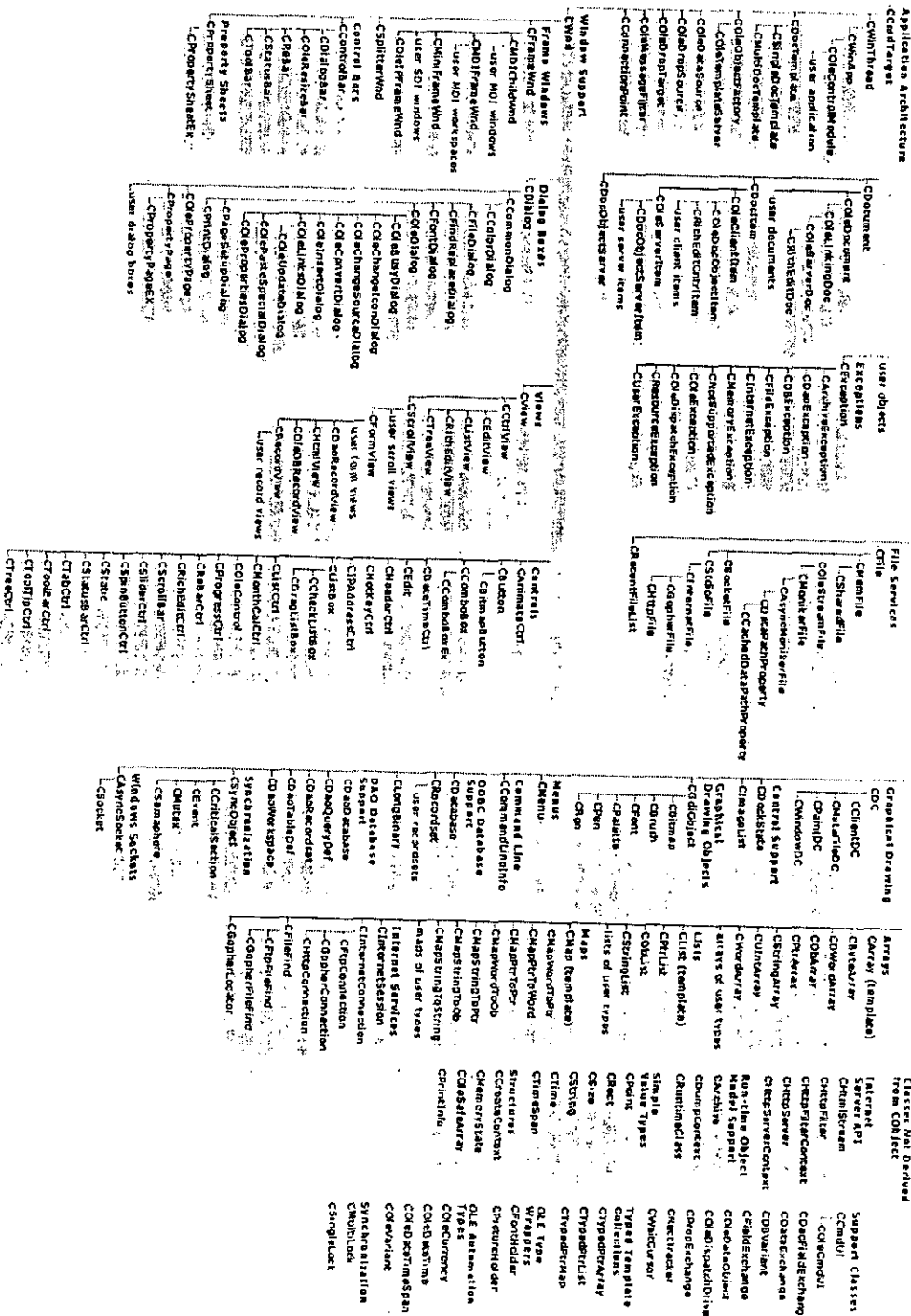


圖 5-16: MFC 主要的類別階層

## 第六章 視覺系統特徵萃取

如第一章中所述，本研究採用影像監測之方式，進行變形之自動分析與估判。因此，由影像中尋找、並進而擷取特徵，為一重要課題。影像中之特徵可由幾何特性大分為點、線、面三種。由其空間位向關係，又可區分為基礎元素(Primitives)、物件(Object)、與複合物件(Complex Object)等。本章謹就特徵萃取，以本研究已使用者進行介紹。

### 第一節 點特徵運算：Moravec 及其他興趣元

起始設定階段特徵萃取最單純之特徵可能是「點」特徵，而萃取點特徵之最簡單方式應為使用「興趣元」。本研究在未來階段將對其他特徵之萃取方式進行探討，但初步擬以興趣元擷取點圖元。

「興趣元」之運作方式為以「移動窗」之方式，計算中心像元之「興趣值」，由此建立一先後順序。「興趣值」之計算方法眾多，本研究擬以 Moravec 興趣元為最先測試之方法，取其簡單之優點。謹將 Moravec 之作業方式略述如下(洪偉嘉, 1999)。

Moravec 運算元的理論是根據興趣點像元與其四周圍像元的灰度值有顯著的不同，而提出的一個簡單的運算元理論。其萃取的方法為使用 3\*3 或 5\*5 之影像窗對原始影像搜尋，利用相鄰像元間灰度值的差異，找出最高變方的點位，其程序如下：

#### 1. 求興趣值 (Interest Value, IV)：

如圖 3-1 之 5\*5 影像窗，計算四個方向上變方為最小之值

$$\begin{aligned} M_1 &= \sum (G_{i,j} - G_{i,j+1})^2 & M_2 &= \sum (G_{i,j} - G_{i+1,j+1})^2 \\ M_3 &= \sum (G_{i,j} - G_{i+1,j})^2 & M_4 &= \sum (G_{i,j} - G_{i+1,j-1})^2 \end{aligned} \quad (6-1)$$

其中

$$i=n-k, \dots, n+k, j=m-k, \dots, m+k$$

$M_i$ ：中央像元四個方向上灰度值的變化

$G_{i,j}$ ：視窗內像元灰度值



$G_{m,n}$  : 視窗中心像元灰度值

其興趣值為

$$IV = \text{Min}(M_i), i = 1, 2, 3, 4$$

(6-2)

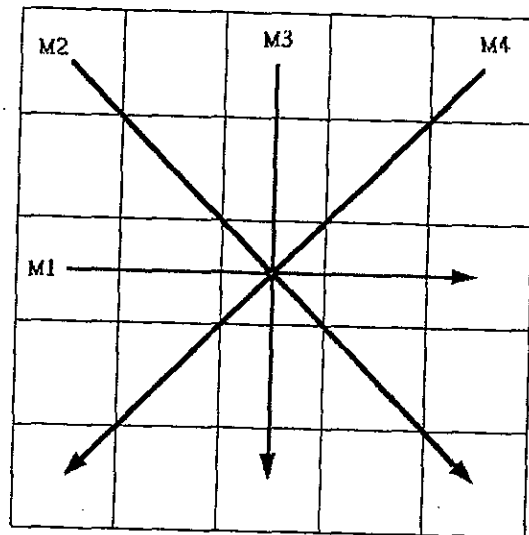


圖 6-1 Moravec 興趣值萃取方向圖

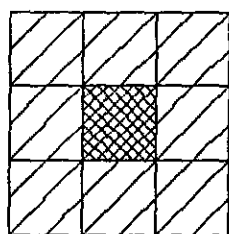
## 2. 求興趣點 (Interest Point, IP):

由經驗值決定門檻值  $\text{Thd}$  (Threshold), 當  $IV > \text{Thd}$  時, 該點被選為興趣點。

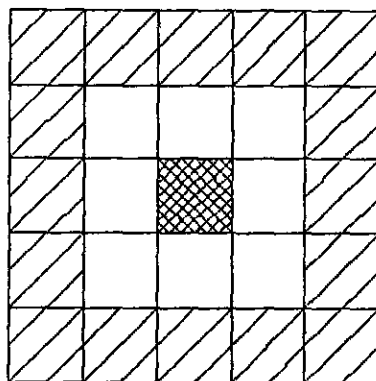
## 3. 壓縮局部非最大值 (Suppression of Local Non-maximum):

對每個 IP 點比較其與周邊 IP 點之 IV 值, 以消除在高紋理區域內有連續而過多的 IP 點。首先定義一個壓縮窗, 移動壓縮窗的中心到每一個 IP 點上, 以逐步擴大方式進行比較, 如圖 6-2。若壓縮窗上有另外的 IP 點, 則比較該 IP 點之 IV 值與壓縮窗中心 IP 點之 IV 值, 假若(中心 IP 點的 IV 值較大), 則在壓縮窗內的 IP 點其 IV 值設為 0, 否則, 中心 IP 點的 IV 值設為 0。

Moravec 運算元的定義十分簡單, 計算執行上也容易, 不過因為其只評估四個方向的灰度變化, 資訊不夠, 常致使抽取的點位與真實特徵位置, 稍有偏差。另外該運算元對於細緻的紋理很敏感, 難以排除雜訊的影響。



3x3 壓縮窗



5x5 壓縮窗

圖 6-2 逐步擴大壓縮窗之非局部最大壓縮

由於興趣元所擷取之「點特徵」，為對比明確，梯度變化較大之處，為避免所選點位不均，故擬將全幅影像分區（4 區），各區取出前 50 興趣值最大者，由操作人員過濾認定。同時，為避免點位分佈過近，故在某一鄰近窗中，限定點數，同時，由點距規範最小距離。

## 第二節 線特徵運算：Canny 運算元與 Hough 轉換

邊緣線(edge)的定義為：「形成物件的輪廓，或物件和背景間或重疊物件間的邊界，或有相當顯著不同灰階的兩區域的邊界」。邊緣線偵測(Edge Detection)即為找出邊緣線像元位置的過程。邊緣線定位精度的好壞直接受影像取樣(image sampling)和灰階量化(gray-level quantization)影響[廖振偉，2000]。

Canny [1986]提出三個邊緣線偵測元必需符合的準則 (detection criteria)：

1. 錯誤率(Error rate)：邊緣線偵測元只能對邊緣線有反應，而且要找到所有的邊緣線。
2. 定位 (Localization)：以邊緣線偵測元找到的邊緣線像元與真實邊緣線的像元間距離要愈小愈好。
3. 響應(Response)：當只有一條邊緣線存在時，不可以找出多條的邊緣線像元。

這三個準則以數學式表示如下：

$$SNR = \frac{A \left| \int_{-W}^0 f(x) dx \right|}{n_0 \sqrt{\int_{-W}^W f^2(x) dx}} \quad (6-3)$$

$$Localization = \frac{A|f(0)|}{n_0 \sqrt{\int_{-W}^W f^2(x) dx}} \quad (6-4)$$

$$x_{zc} = \pi \left( \frac{\int_{-\infty}^{\infty} f^2(x) dx}{\int_{-\infty}^{\infty} f'^2(x) dx} \right)^{1/2} \quad (6-5)$$

訊噪比(Signal to noise ratio, SNR)，為找到的邊緣線與真實的邊緣線間的距離的倒數，所以愈大愈好。 $x_{zc}$ 是約制條件，表示  $f'$  零值通過間的平均距離，意即邊緣線偵測元在一小區域內不會對相同的邊緣線有太多的反應。

理想之解為一個濾波器  $f$ ，可以最大化  $SNR * localization$ ，並符合約制條件。因為太複雜，不可能有解析解，所以採用的近似方式是用高斯函數的一階導數  $G(x)$ ， $G'(x)$ ， $G(x,y)$  來完成。步驟分述如下：

- (1) 將數值影像以一維的高斯罩窗進行摺積計算，製作  $x$  和  $y$  方向之高斯函數導數，再將  $x$  和  $y$  分量結果結合成單一幅梯度影像，依此影像計算各像元梯度方向。
- (2) 以非最大值壓縮(Non-Maximum Suppression)初步決定是否可能為一個邊緣線像元，只要是像元不是局部最大值，就必需被刪除，否則予以標記；換句話說，中央像元在梯度方向必需有比鄰居更大的梯度強度。當梯度方向是水平或垂直

的，用來比較灰值大小不是上下就是左右的像元，但大部分的情況下不是如此，此時，要以內插的方式決定相鄰像元的大小，進而決定中央像元是否要刪除否。

(3) Canny [1986]採用高、低兩個門檻值(high threshold, low threshold)，稱為 hysteresis thresholding，對於標記之點，以高門檻值判定該像元是否為邊緣線像元，任何與邊緣線像元相鄰且值大於低門檻值，也標記成邊緣線像元。

Canny [1986]邊緣線偵測元有理論基礎且有某種程度的最佳化，此為其使用的原因[Parker, 1999]。

Hough 轉換由 Paul Hough 於 1962 發展，使用的是投票機制(voting mechanism)，主要用於發現高能核物理中粒子的軌跡。1969 年 Rosenfeld 用於影像處理。可以識別(recognition)影像空間中複雜圖形(patterns)的位置，方法上是藉由在轉換的參數空間找出局部的圖形(一般是點)。廣泛應用於影像處理、圖形辨識(pattern recognition)、電腦視覺(computer vision)及數值攝影測量上如利用 Hough 轉換來偵測航空影像中房屋的邊緣線及屋角點，並藉此找到房屋模型與影像座標系之間的平移參數，達到物體定位的目的[Sester and Foerstner, 1989]。

影像中最有用或最感興趣的資訊通常是線、曲線、邊緣線。一幅影像由大量的資料點所構成。分析中需知道這些點是否表示了特定的線或曲線，若有，是那些資料點。Hough 轉換對此具有良好效果，因為可在線的垂直方向上最小化點與其共線的偏差，甚至點並沒有均勻的分佈在線上時也可提供很好的結果。

Hough 轉換的目的是從二元影像中找出屬於某一種型別的所有點及描述此型別的參數值。其基本原理是先給定一描述某種型別的數學函式，再從影像空間(image space)中把所有可能屬於此型別的特徵點(feature point)，經數學函式轉換到參數空間(parameter space)中相對應的參數值，最後經群集偵測(cluster detection)找出型別的參數值。換言之，Hough 轉換是將影像空間中比較困難的整體偵測問題轉換成參數空間中比較容易的局部群集偵測問題[Illingworth & Kittler, 1988]。

由於本研究所擬探討的建物屋頂的邊緣線為直線，所以接下來討論 Hough 轉換是以直線的偵測為主。一般直線的表示式是斜截式(slope-intercept form)， $y=mx+c$ ， $m$  是斜率(slope)， $c$  是截距(intercept)，但此種表示法當直線為垂線時  $m$  和  $c$  是無限大而無法表示，Duda & Hart [1972]提出以直線的法線向量(normal vector)來表示直線，其數學式如下：

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (6-6)$$

其中  $\theta$  為直線的法線與  $x$  軸的夾角， $\rho$  為從原點到直線的距離，如下圖所示。

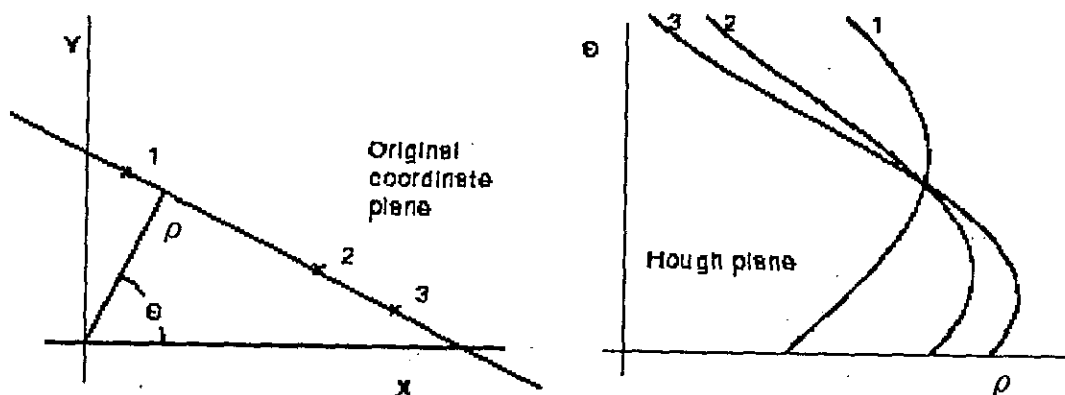


圖 6-3 以直線法線為基礎的 Hough 轉換

影像空間的  $(r, c)$  坐標系統，經平移旋轉可得  $(x, y)$  坐標系統。影像中的一個點對映到參數空間是一條正弦曲線，直線上有  $m$  點共線，在參數空間則有  $m$  條正弦曲線相交於一點  $(\rho, \theta)$ ，愈多的點共線，則表示很多證據(evidence)群集(cluster)在  $(\rho, \theta)$  上。其它不共線的特徵點會累加在其它地方，並不會特別群集，除非與其它點共線，有  $n$  條共線則會有  $n$  個群集。因此偵測參數空間中交點的位置即可以得到影像空間中直線的參數，但參數空間是連續的，為了記錄落在參數空間的點，利用累加陣列(accumulator array)來實作，累加陣列的維度與所要描述形狀的參數個數有關，如描述直線的參數為二，則累加陣列維度為二維，陣列的元素對應參數空間的小區域，陣列先初始化為零，每個特徵點在參數空間的位置以陣列的元素相對位置累加記錄之。累加陣列的元素稱累加單元(bin)，將參數空間分成小區域以記錄落在參數空間的點的動作稱量化(quantization)，對累加陣列的累加單元增加 1，稱為投票(votes)。

某個累加單元得最多票表示有很多邊緣線元素接近它所代表的線。

Hough 轉換演算法如下：

1. 找出影像中的特徵點(x,y)。
2. 決定累加陣列 A 的大小(M,N)，量化參數空間  $\rho$  和  $\theta$ ，初始化累加陣列為零，其中 D 為影像對角線上的長度。

$$\Delta \rho = D/M \quad (6-7)$$

3.  $\Delta \theta = \pi / N \quad (6-8)$

4.  $A(i,j)=0 \quad i=1,2,\dots,M \quad j=1,2,\dots,N \quad (6-9)$

5. 求出通過每個特徵點(x,y)，在不同的  $\theta$  值所得到的  $\rho$ 。

6.  $\theta_i = \Delta \theta \times k \quad i=1,2,\dots,M \quad (6-10)$

7.  $\rho_j = x \cos \theta_i + y \sin \theta_i \quad (6-11)$

8. 量化所得的  $\rho_j$ 。

$$j = \rho_j / \Delta \rho \quad (6-12)$$

9. 沿著正弦曲線，對每個重疊的累加單元疊加 1。

$$A(i,j) = A(i,j) + 1 \quad (6-13)$$

Hough 轉換不只可以偵測直線段，雖然為其最常見的應用，其它的幾何形狀只要可以以參數描述也適用，如橢圓、圓。圓由三個參數組成，圓心的 X and Y 坐標，半徑 R。要用 Hough 轉換找到圓需要三維的累加陣列，每個邊緣線像元投它所位於的圓票(vote)，找三維陣列中的峰，即得圓的位置與半徑。若事先知圓的半徑，只需二維累加陣列。

影像空間若有  $n$  條線段，在累加陣列會形成  $n$  個群集，每條線共線的特徵點數不同，累加值大小也不同，因此求得直線的參數，即是偵測局部最大值的位置，此步驟稱為群集偵測(cluster detection)。

最簡單的群集偵測是訂一個整體性的門檻值(global threshold)，大於門檻值的累加單元所對應的直線才要[Duda & Hart, 1972]，此法的缺點是只能求得直線，不能知道位於該直線上的特徵點，不能避免當影像空間相近的兩直線其群集在參數空間會互相影響的情況，亦會受雜訊影響。本研究採用 Risse (1989)提出的可調式群集偵測(adaptive cluster detection)，沒有上述的缺點。

影像中的特徵點形成一集合  $P$ ，將每個特徵點形成的正弦曲線量化並累加到累加陣列中，接下來是做群集偵測，步驟如下：

- (1) 從累加單元陣列中找出具有最大值的累加單元，其位置為  $(\theta_k, \rho)$ 。
- (2) 從集合  $P$  中找出屬於  $\rho = x \cos \theta_k + y \sin \theta_k$  的特徵點，形成另一集合  $L$ ，將集合  $P$  刪除有集合  $L$  的特徵點。
- (3) 將集合  $L$  再做一次 Hough 轉換，此次對累加陣列是減 1 而非加 1。
- (4) 重覆上述的動作，直到找到所有的直線段為止。

### 第三節 色彩特徵運算

色彩(color)是光的一種特性，人眼對光的色彩有反應，可以感受到波長範圍從 380~780 微米的電磁波，我們稱這個頻帶為可見光。太陽光經過菱鏡會折射出紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫等色彩，這些色光組合起來可以再形成各種的色彩。光線透過人眼晶狀體聚焦於視網膜上，視網膜的感光組織分成桿狀體和錐狀體，桿狀體感受光的亮度，錐狀體感受色彩。桿狀體的數目比錐狀體多，感受能力比錐狀體強，因此人眼對於明暗的變化比色彩的變化敏感。另外當光線強度較弱時，桿狀體前移而錐狀體後移，此時，眼睛對色彩的感受能力也會降低。

圖 6-4 是一個色彩的測試影像，從圖左到圖右顯示出色彩的變化，而圖的上下

兩半分別表示不同的亮度，下半部是較暗的部份。我們可以發現，在較暗的下半部，眼睛對於色彩的變化感受力會比較弱。



圖 6-4: 色彩測試影像

錐狀體有三種，分別對紅、綠、和藍色光有反應，三種色光信號經由視覺神經傳到大腦中組合起來就可以感受出各種色彩，此即為 RGB 色彩系統之成像原理，彩色螢幕就是一種 RGB 系統的應用例子。圖 6-5 是圖 364 的 RGB 成像圖，圖 3-5a 是 R 頻帶影像，圖 6-5b 是 G 頻帶影像，圖 6-5c 是 B 頻帶影像。

RGB 系統因為將亮度和色彩混合在一起表示，亮度的變化和色彩的變化會彼此相互干擾，所以 RGB 對於影像處理而言並不是最合適的彩色系統，另外採用一種將亮度與色彩分離表示的系統會得到比較好的效果。從圖 6-5 中，可發現亮度變化對於 RGB 各頻帶的影響都很明顯。





圖 6-5a: R 頻帶影像

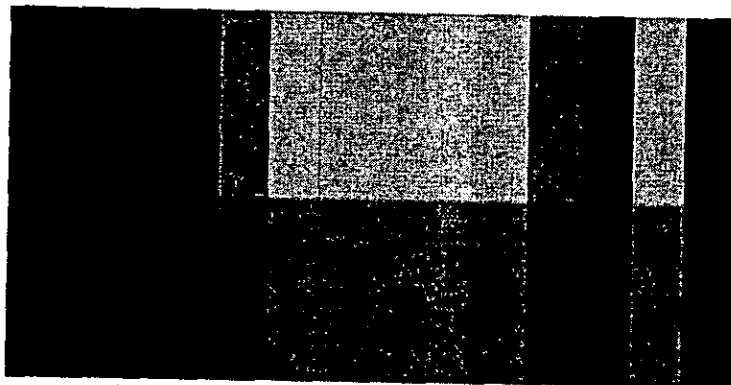


圖 6-5b: G 頻帶影像

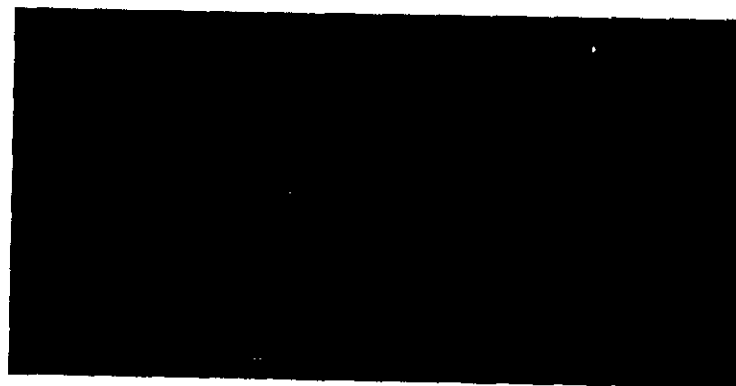


圖 6-5c: B 頻帶影像

YUV 和 HIS 都是將亮度和色彩分離表示的彩色系統，亮度資訊佔用一個維度，而彩度資訊佔用另外兩個維度。其中，YUV 現已成為視訊傳播的標準色彩空間，Y 代表亮度資訊，UV 則是兩正交色差資訊[Pritchard, 1977]。YUV 和 RGB 的關係可以用下列公式表示之，其中，U 和 V 式中的常數 0.493 和 0.877 是爲了避免信號過度調變，而作的適度衰減。

$$\begin{aligned}
Y &= 0.299R + 0.587G + 0.114B \\
U &= 0.492(B - Y) \\
&= 0.493(B - 0.299R - 0.587G - 0.114B) \quad (6-14) \\
&= -0.147407R - 0.289391G + 0.436798B \\
V &= 0.877(R - Y) \\
&= 0.877(R - 0.299R - 0.587G - 0.114B) \\
&= 0.614777R - 0.514799G - 0.099978B
\end{aligned}$$

上式(3-14)中，如果 RGB 值的範圍在(0,1)，則 Y 的範圍便是(0,1)，U 的範圍為 (-0.436798,0.436798)，V 的範圍為(-0.614777,0.614777)。如果要將 U,V 範圍皆正規化至 (-0.5,0.5)，則上面的方程式(1)可以重寫為

$$\begin{aligned}
Y &= 0.299R + 0.587G + 0.114B \\
U' &= U \times 0.5 \div 0.436798 \\
&= -0.168736R - 0.331264G + 0.5B \quad (6-15) \\
V' &= V \times 0.5 \div 0.614777 \\
&= 0.5R - 0.418688G - 0.081312B
\end{aligned}$$

依據方程式(6-15)，本研究寫了一個函式 `image_rgb_to_yuv`，它可以將 RGB 轉換成 YUV 影像。其中 Cb 就是 U，而 Cr 就是 V。在函式 `image_rgb_to_yuv` 中 RGB 和 YUV 的範圍都已被調整到[0,255]，因而可以用 8-bit 的 unsigned char 來存放。

```

void image_rgb_to_yuv(rP, image_area)
unsigned char **rP; // YUV planes
int image_area;
{
    unsigned char **image_RGB;
    int i;
    char fid[FILENAMELENGTH];

    strcpy(fid, "image_rgb_to_yuv:");
    fprintf(stderr, "%s \n", fid);
    image_RGB = memory_creat_color_image(image_area);
    for (i=0; i<COLORS; i++) memcpy(image_RGB[i], rP[i], image_area);

    fprintf(stderr, "%s Transform is doing now.\n", fid);
    for (i = 0; i < image_area; i++) {
        rP[Y_COMP][i] = image_clip(0.299 * image_RGB[R_COLOR][i]
            + 0.587 * image_RGB[G_COLOR][i]
            + 0.114 * image_RGB[B_COLOR][i]);
        rP[Cb_COMP][i] = image_clip(-0.168736 * image_RGB[R_COLOR][i]
            - 0.331264 * image_RGB[G_COLOR][i]
            + 0.5 * image_RGB[B_COLOR][i] + 128);
        rP[Cr_COMP][i] = image_clip(0.5 * image_RGB[R_COLOR][i]
            - 0.418688 * image_RGB[G_COLOR][i]
            - 0.081312 * image_RGB[B_COLOR][i] + 128);
    }
    memory_free_color_image(image_RGB);
}

```

圖 6-6 是使用 image\_rgb\_to\_yuv 將圖 6-4 色彩測試影像轉換到 YUV 頻帶上的成  
 像。YUV 的色彩解析度顯然比圖 6-5 的 RGB 頻帶好，而 UV 頻帶的影像受亮度影響  
 的成度較 RGB 和 Y 頻帶為輕。因此對於色彩辨識來說，UV 頻帶會比 RGB 和 Y 頻  
 帶的效果要好。現階段，我們會採用 YUV 系統來處理色彩，另一個主要考量因素  
 是 RGB 與 YUV 系統間的轉換較為簡易快速。

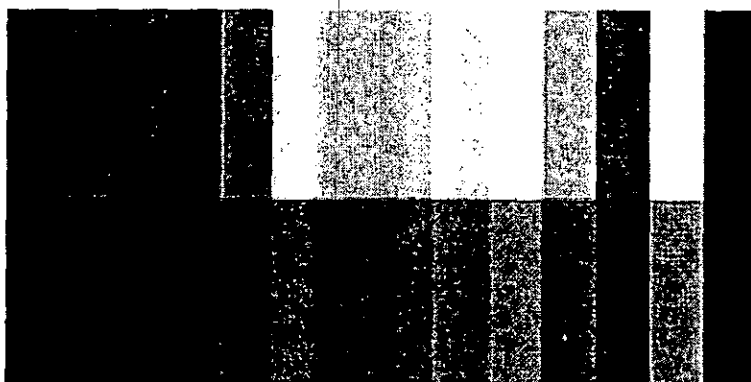


圖 6-6a: Y 頻帶影像

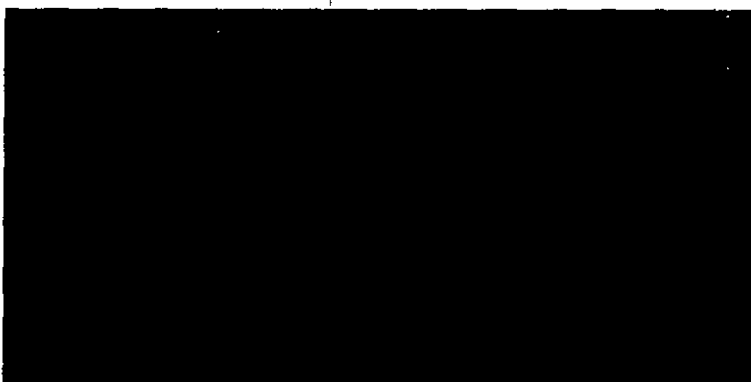


圖 6-6b: U 頻帶影像

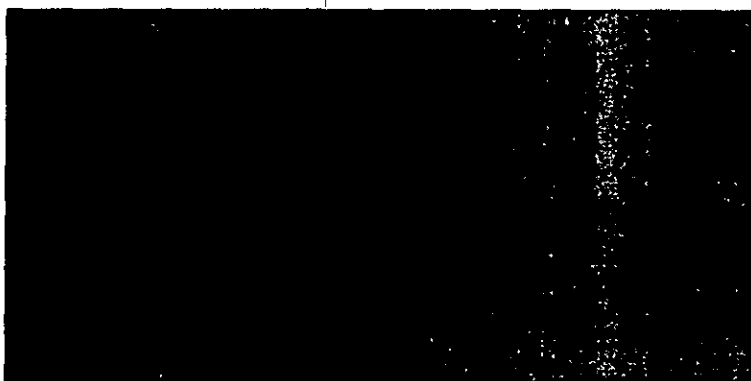


圖 6-6c: V 頻帶影像

## 第四節 監測匹配運算

連續監測為當起始設定完成之後，建立了一份監測之「點特徵名單」，本部份功能即以此名單上之座標，開取一「蒐尋窗」進行點位蒐尋。此一階段，擬使用「影像匹配」之方式進行。根據經驗，「最小自乘法匹配」之效果較好，但初步擬以較簡單之「正常化相關」之方式進行匹配。匹配完成後，得到新點位之座標，由而可以進行比對。現略述「標準化互相關」(Normalized Cross-Correlation, NCC)之作業方式如下。

標準化互相關係法主要是計算灰階向量的夾角，主要為是將每個視窗內的灰階之標準偏差視成一個向量，所以兩個視窗之間的關係可以用轉換成向量的夾角來表示，當兩個向量最接近時，則此時的相關係數會最高（接近於1），但是此種作法對於影像間的旋轉與比例尺的變化相當敏感，也就是當影像之間有上述兩者情況時，會有匹配失敗的可能。一般影像匹配的處理過程皆是採用 NCC 來做整數像元的匹配，其計算公式為：

$$\rho_{TM} = \frac{\sigma_{TM}}{\sigma_T \cdot \sigma_M} = \frac{\sum_{i=1}^n (g_{T_i} - u_T)(g_{M_i} - u_M)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (g_{T_i} - u_T)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (g_{M_i} - u_M)^2}} \quad (6-16)$$

式中：

$g_T, g_M$ ：分別為目標窗 (Target Window) 與遮罩窗 (Mask Windows) 內各個像元的灰度值。

$u_T, u_M$ ：分別為目標窗與遮罩窗內所有像元的平均值。

$\rho_{TM}$ ：互相關係數。

所以在本研究中，利用目標窗與對應於搜尋窗中的遮蔽窗，可以算出一個相關係數，將所有的相關係數做一排序，找出最大的相關係數，當此相關係數大於門檻值（例如：0.75），則視為匹配成功。

## 第七章 點線面資訊分析

### 第一節 概述

依第二章所言影像系統參數與現場影像擷取參數，可概算像元解析度如下：

$$\text{像元解析度} = D * r / f$$

D:物距，f:焦距，r:像元實長

或直接以現場控制點夾距比影像上之像元數。本次室內實驗之數據略如下：

現場控制點夾距 = 88cm

影像上之像元數 = 880pixels

故得像元解析度約 1mm/pixel

### 第二節 點特徵

為顯示點特徵之作業成果，本研究選用具有點位特徵性質的測標，作為 Moravec 搜尋的標的。該測標為一組同心圓，大圓黑色，小圓黃色，藉著黑黃二色間的亮度反差，形成該點位的高變方特徵(如圖 7-1)。

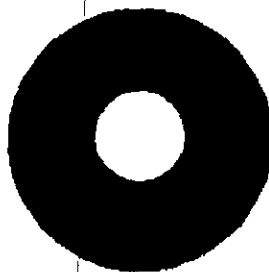


圖 7-1 同心圓測標

本研究將測標貼在鋼管支撐上，放在實驗室中，拍攝九幅影像為測試樣本進行測試。圖 7-2(a)~圖 7-10(a)是九幅原始影像，攝影距離約 4 公尺，圖 7-2、7-3、7-6、及 7-7 主要是用來測試攝像距離及亮度，圖 7-4 和 7-5 是一組影像用來測試鋼管位移 1 公分在影像中的情形，圖 7-8~7-10 則是另一組位移 1 公分的影像。圖 7-2(b)~圖 7-10(b)是 Moravec 的運算結果，所找到的特徵點，在圖中以“+”標作為記號。

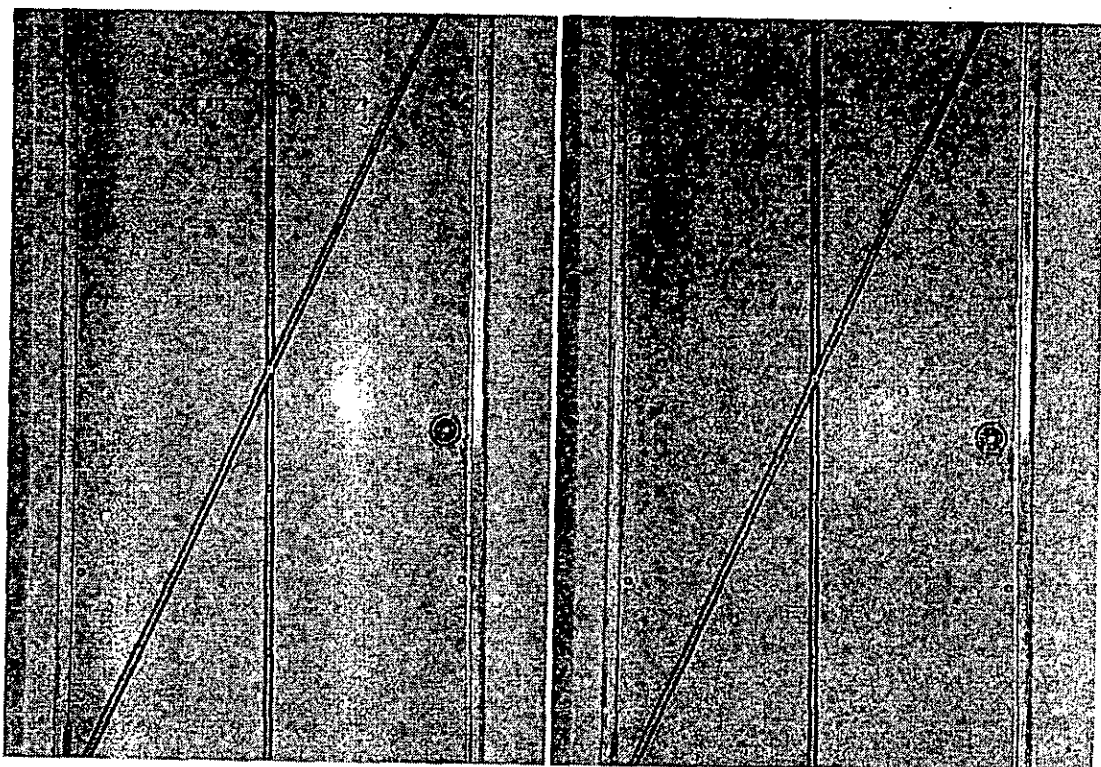


圖 7-2(a)原始影像。

圖 7-2(b) Moravec 找出的特徵點位。

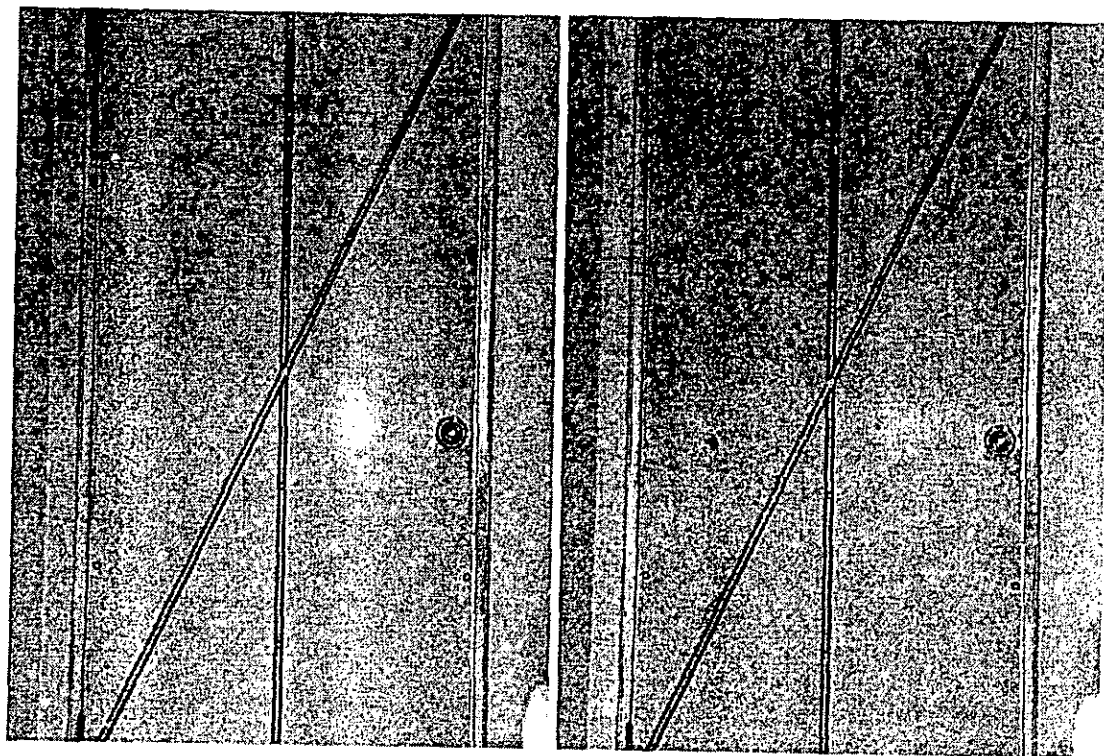


圖 7-3(a)原始影像。

圖 7-3(b) Moravec 找出的特徵點位。

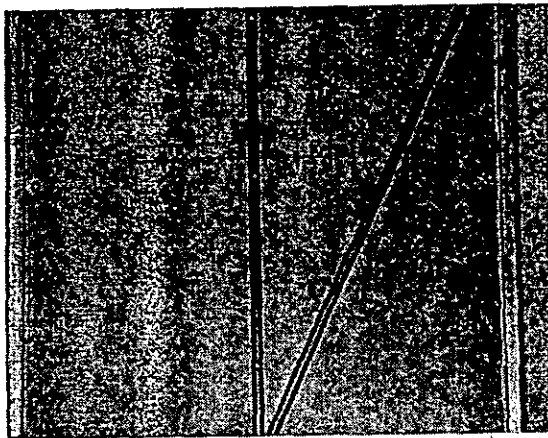


圖 7-4(a)原始影像。

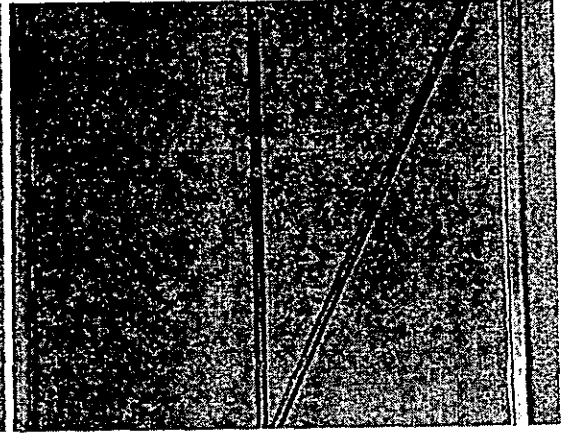


圖 7-4(b) Moravec 找出的特徵點位。

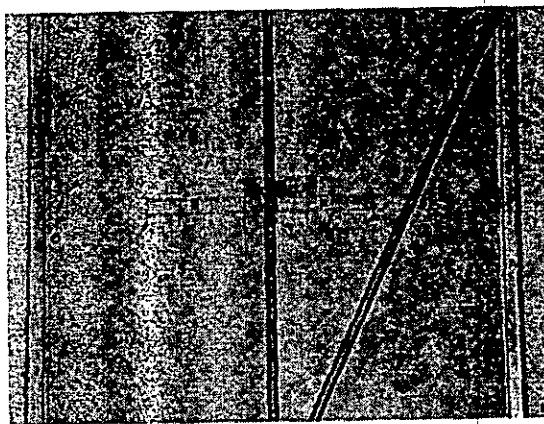


圖 7-5(a)原始影像。

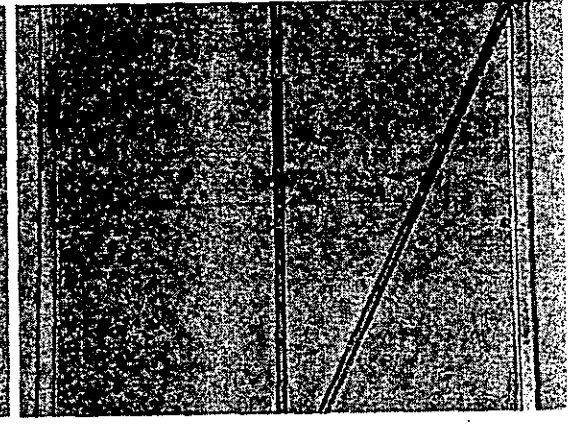


圖 7-5(b) Moravec 找出的特徵點位。



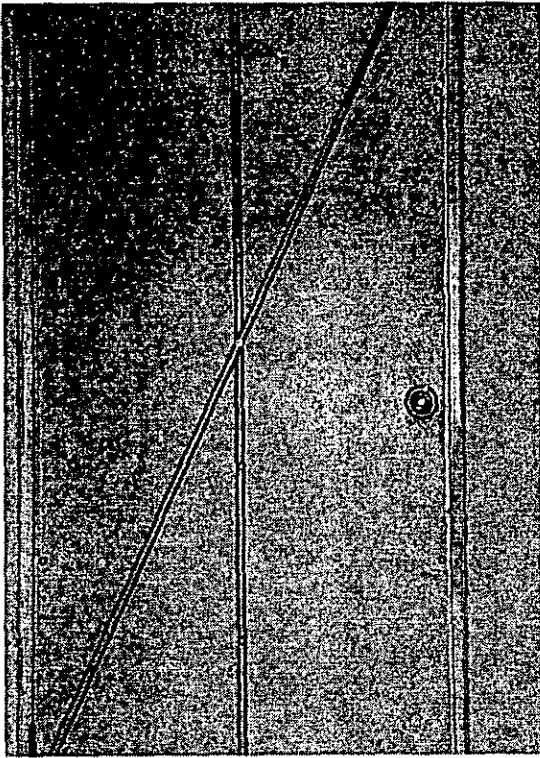


圖 7-6(a)原始影像。

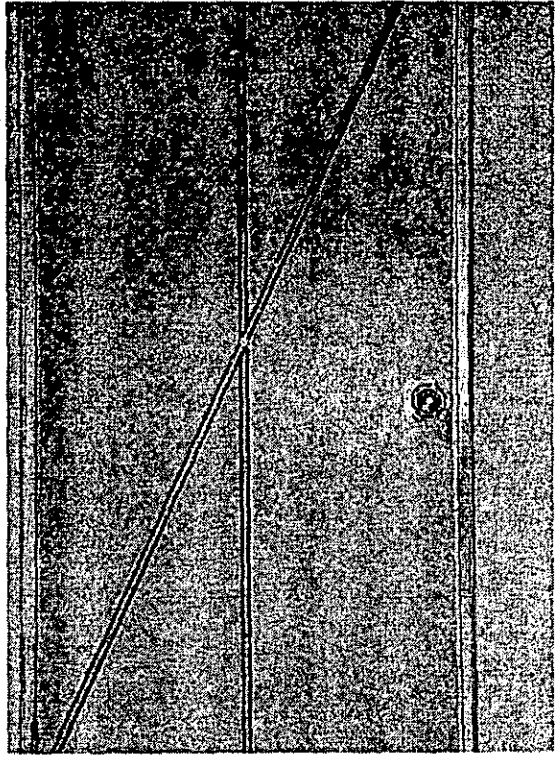


圖 7-6(b) Moravec 找出的特徵點位。

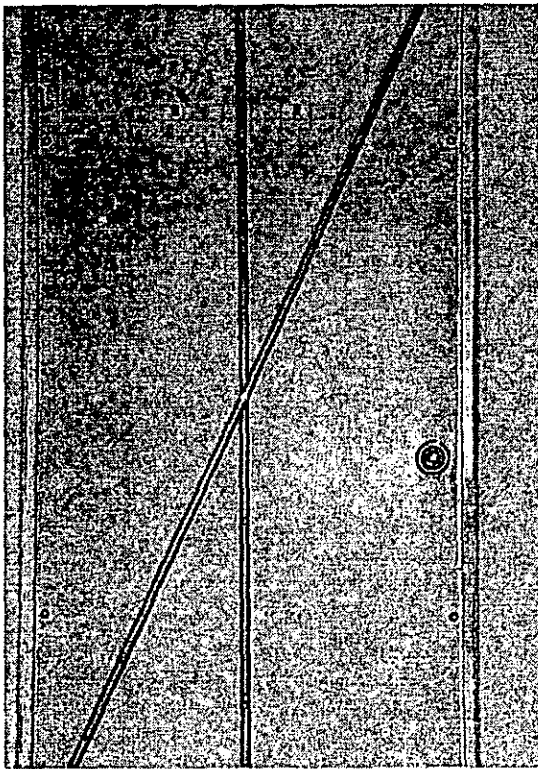


圖 7-7(a)原始影像。

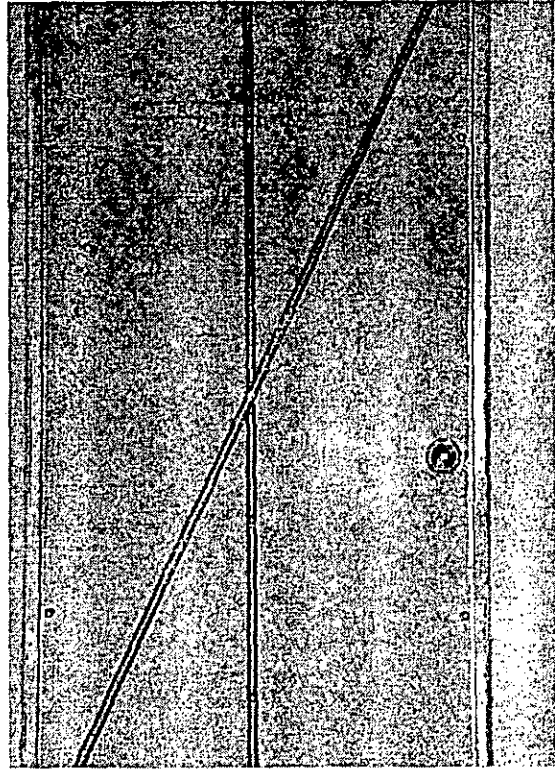


圖 7-7(b) Moravec 找出的特徵點位。

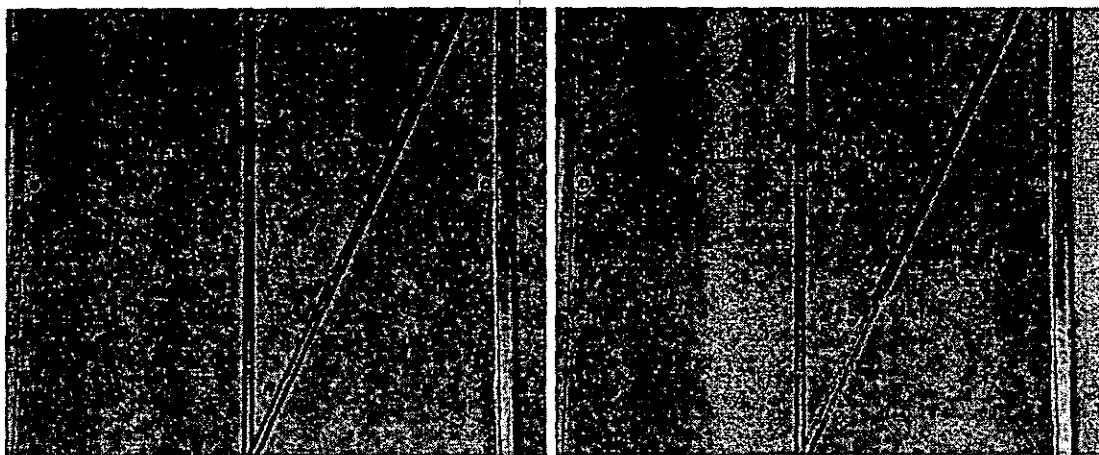


圖 7-8(a)原始影像。

圖 7-8(b) Moravec 找出的特徵點位。

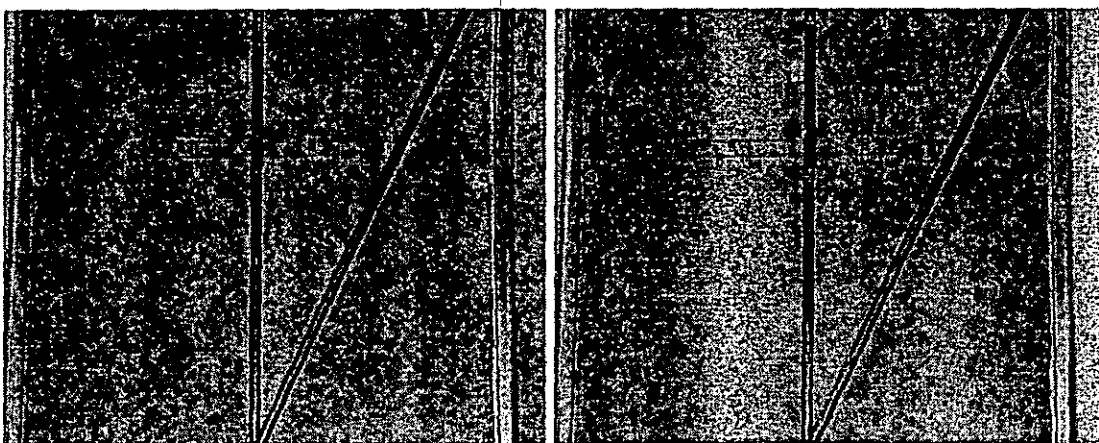


圖 7-9(a)原始影像。

圖 7-9(b) Moravec 找出的特徵點位。

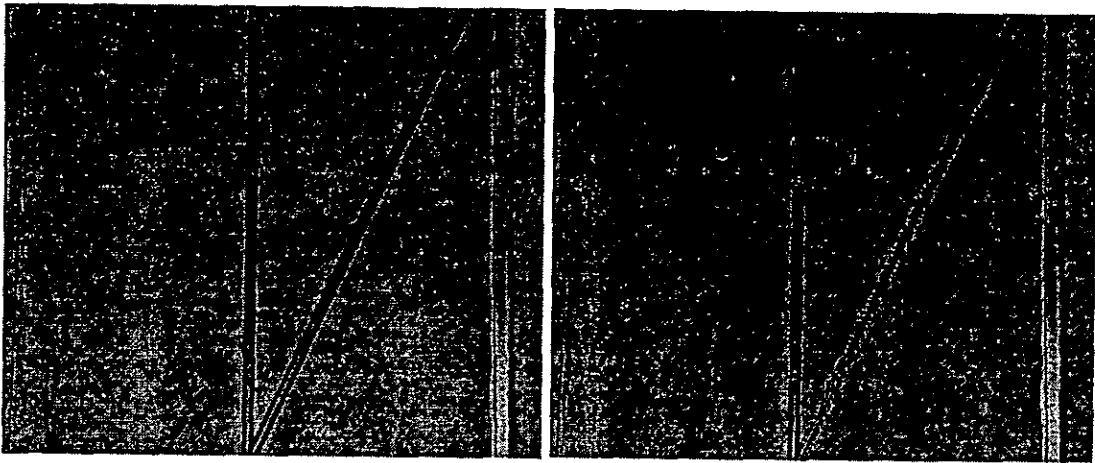


圖 7-10(a)原始影像。

圖 7-10(b) Moravec 找出的特徵點位。

從測試實例中發現，Moravec 運算元所找出來的點位大部份落在鋼管的邊緣，門把，和衣架掛鉤，也就是表示 Moravec 運算元會萃取出周圍灰度值變異較大的特徵物。在實驗室的限制條件環境中，Moravec 運算元可以找出全部的測標，如果在工地，因為環境中有許多的物件，有許多的灰度值變異大的邊緣效應，恐怕會使得部份測標(灰度變異相對較小)搜尋不到。我們可以考慮選用灰度變異度更大及形狀更尖銳的測標作為點特徵用途的測標。

### 第三節 線特徵

已完成程式測試，將進行取樣影像測試。

### 第四節 面特徵

7.2 節所選用的測標為黑黃二色的大小同心圓，7.2 節利用它亮度的反差形成該點位的高變方特徵，本節則利用黃色的彩色特徵，來作為所要萃取的特徵區域，並輔以區域的大小、形狀等特性來辨識測標點位。辨識結果如圖 7-11。



圖 7-11(a) 萃取所得色標與圖 4-2(a)結合圖。

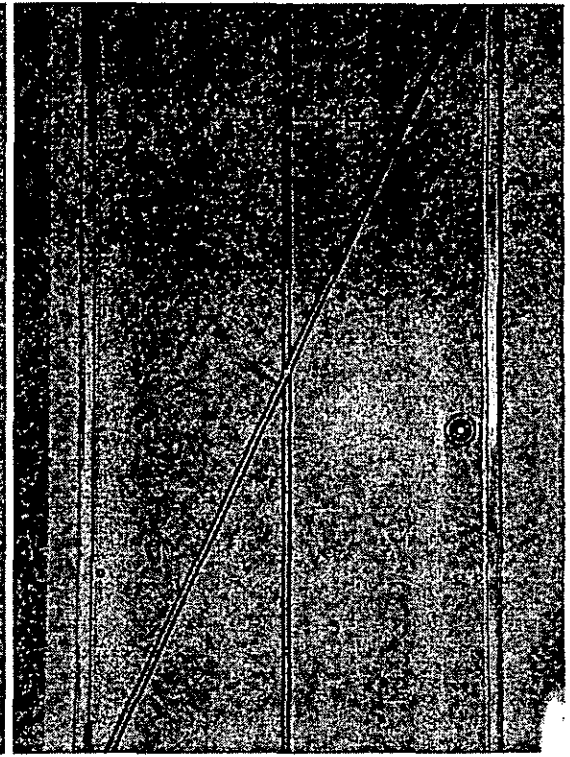


圖 7-11(b) 萃取所得色標與圖 4-3(a)結合圖。

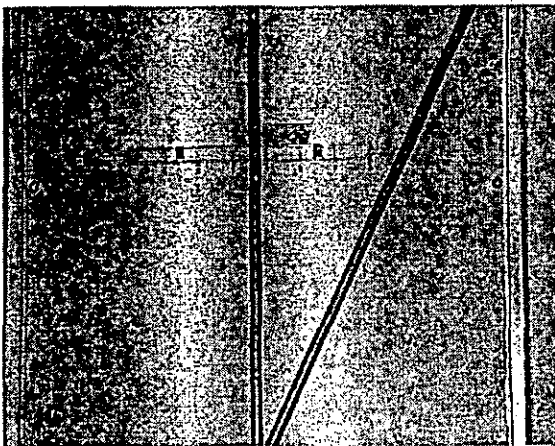


圖 7-11(c) 萃取所得色標與圖 4-4(a)結合圖。



圖 7-11(d) 萃取所得色標與圖 4-5(a)結合圖。

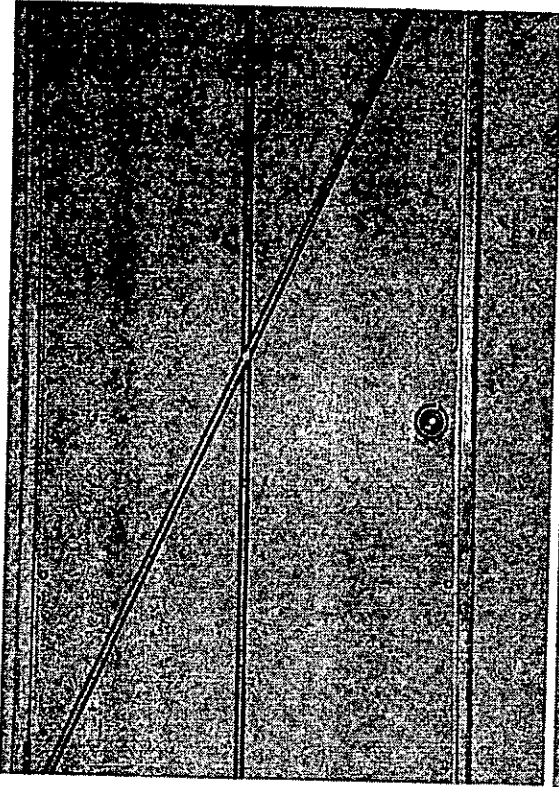


圖 7-11(e) 萃取所得色標與圖 4-6(a)結合圖。

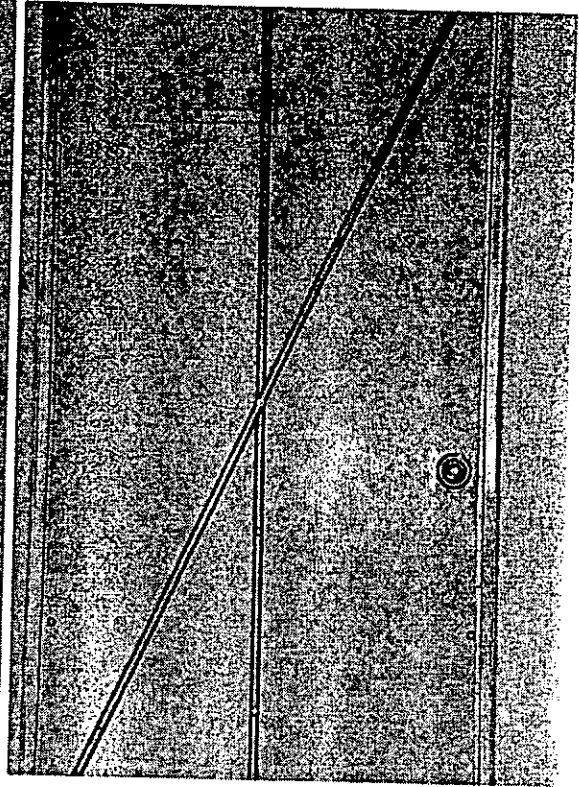


圖 7-11(f) 萃取所得色標與圖 4-7(a)結合圖。

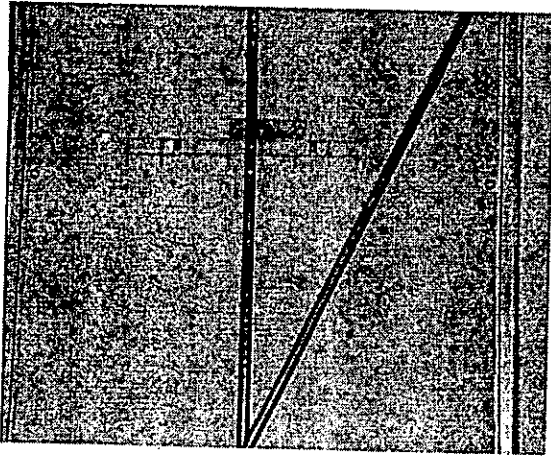


圖 7-11(g) 萃取所得色標與圖 4-8(a)結合圖。

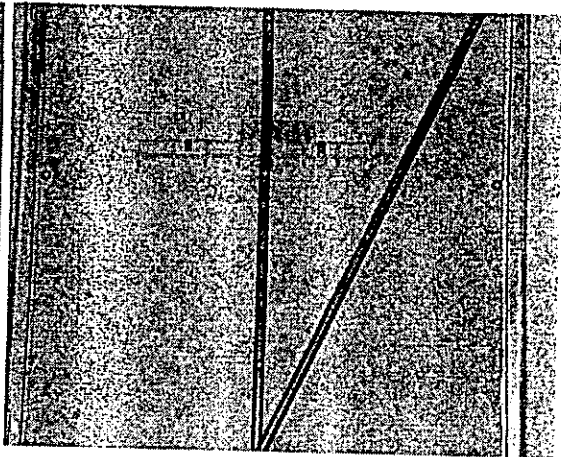


圖 7-11(h) 萃取所得色標與圖 4-9(a)結合圖。

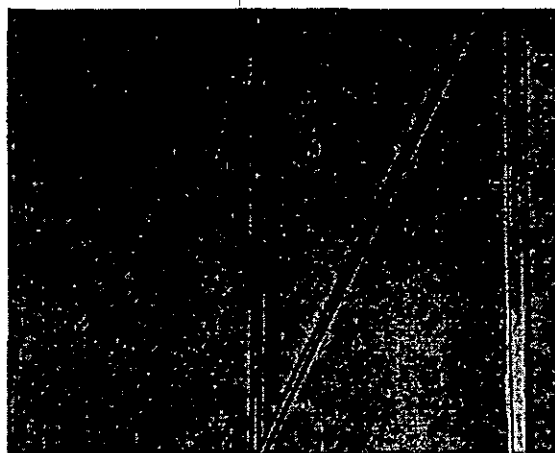


圖 7-11(i) 萃取所得色標與圖 4-10(a)結合圖。

從實驗結果顯示，採用色彩區域特徵，已經找到了極大部份的測標點位，而且不會找到其他與測標無關的點位。少部份測標點位，因攝影距離的關係，使得測標成像區域太小，或是亮度對於 Cb 頻段的殘餘效應影像，使得該測標未被辨識出來。改進的方向是，放寬 Cb 的臨界值及絕對的區域特徵值(如面積大小)，並輔以區域的相對特徵(如幾何形狀)，以進一步提升測標辨識度。

依據圖 7-11(a)-7-11(i)所找到的測標位置如表 7-1。



表 7-1：圖 7-11(a)之測標位置區域搜尋程式所測得的數據

object\_0: total count = 744139

object\_0: total count = 11

object\_1: total count = 12

object\_2: total count = 8

object\_3: total count = 14

object\_4: total count = 6

object\_5: total count = 14

object\_6: total count = 8

object\_7: total count = 14

middle\_object\_0: total count = 11

middle\_object\_1: total count = 12

middle\_object\_2: total count = 14

middle\_object\_3: total count = 14

middle\_object\_4: total count = 14

object\_5: pixel\_count = 11, cgx = 350.954545, cgy = 155.681818

object\_5: pixel\_count = 12, cgx = 621.541667, cgy = 162.208333

object\_5: pixel\_count = 14, cgx = 353.750000, cgy = 372.535714

object\_5: pixel\_count = 14, cgx = 103.535714, cgy = 753.750000

object\_5: pixel\_count = 14, cgx = 359.535714, cgy = 857.321429

表 7-2：圖 7-11(b)之測標位置區域搜尋程式所測得的數據

```
object_0: total count = 782774
object_0: total count = 10
object_1: total count = 10
object_2: total count = 8
object_3: total count = 14
object_4: total count = 10
object_5: total count = 8
object_6: total count = 12
object_7: total count = 6
middle_object_0: total count = 10
middle_object_1: total count = 10
middle_object_2: total count = 14
middle_object_3: total count = 10
middle_object_4: total count = 12
object_5: pixel_count = 10, cgx = 381.850000, cgy = 177.750000
object_5: pixel_count = 10, cgx = 127.250000, cgy = 183.350000
object_5: pixel_count = 14, cgx = 382.321429, cgy = 395.392857
object_5: pixel_count = 10, cgx = 382.850000, cgy = 661.750000
object_5: pixel_count = 12, cgx = 647.541667, cgy = 783.875000
```



表 7-3：圖 7-11(c)之測標位置區域搜尋程式所測得的數據

```
object_0: total count = 721457
object_0: total count = 29
object_1: total count = 31
object_2: total count = 31
object_3: total count = 25
object_4: total count = 29
middle_object_0: total count = 29
middle_object_1: total count = 31
middle_object_2: total count = 31
middle_object_3: total count = 25
middle_object_4: total count = 29
object_5: pixel_count = 29, cgx = 437.189655, cgy = 18.568966
object_5: pixel_count = 31, cgx = 440.403226, cgy = 291.725806
object_5: pixel_count = 31, cgx = 860.564516, cgy = 301.919355
object_5: pixel_count = 25, cgx = 56.820000, cgy = 304.260000
object_5: pixel_count = 29, cgx = 443.948276, cgy = 625.603448
```

表 7-4：圖 7-11(d)之測標位置區域搜尋程式所測得的數據

object_0: total count = 753358
object_0: total count = 29
object_1: total count = 31
object_2: total count = 29
object_3: total count = 25
object_4: total count = 22
middle_object_0: total count = 29
middle_object_1: total count = 31
middle_object_2: total count = 29
middle_object_3: total count = 25
middle_object_4: total count = 22
object_5: pixel_count = 29, cgx = 484.948276, cgy = 126.431034
object_5: pixel_count = 31, cgx = 486.596774, cgy = 399.790323
object_5: pixel_count = 29, cgx = 899.534483, cgy = 410.189655
object_5: pixel_count = 25, cgx = 92.420000, cgy = 412.060000
object_5: pixel_count = 22, cgx = 487.840909, cgy = 737.113636

表 7-5：圖 7-11(e)之測標位置區域搜尋程式所測得的數據

object_0: total count = 726267
object_0: total count = 11
object_1: total count = 10
object_2: total count = 6
object_3: total count = 12
object_4: total count = 6
object_5: total count = 12
object_6: total count = 11
object_7: total count = 15
middle_object_0: total count = 11
middle_object_1: total count = 10
middle_object_2: total count = 12
middle_object_3: total count = 12
middle_object_4: total count = 11
middle_object_5: total count = 15
object_6: pixel_count = 11, cgx = 315.954545, cgy = 112.681818
object_6: pixel_count = 10, cgx = 592.350000, cgy = 118.850000
object_6: pixel_count = 12, cgx = 318.541667, cgy = 339.041667
object_6: pixel_count = 12, cgx = 53.541667, cgy = 736.541667
object_6: pixel_count = 11, cgx = 596.954545, cgy = 737.681818
object_6: pixel_count = 15, cgx = 322.633333, cgy = 842.433333

表 7-6：圖 7-11(f)之測標位置區域搜尋程式所測得的數據

```
object_0: total count = 706788  
object_0: total count = 9  
object_1: total count = 6  
object_2: total count = 12  
object_3: total count = 10  
object_4: total count = 6  
object_5: total count = 9  
object_6: total count = 8  
object_7: total count = 12  
middle_object_0: total count = 12  
middle_object_1: total count = 10  
middle_object_2: total count = 12  
object_3: pixel_count = 12, cgx = 597.541667, cgy = 179.041667  
object_3: pixel_count = 10, cgx = 318.250000, cgy = 395.550000  
object_3: pixel_count = 12, cgx = 320.541667, cgy = 901.041667
```

表 7-7：圖 7-11(g)之測標位置區域搜尋程式所測得的數據

```
object_0: total count = 622381
object_0: total count = 19
object_1: total count = 23
object_2: total count = 26
object_3: total count = 24
object_4: total count = 29
middle_object_0: total count = 19
middle_object_1: total count = 23
middle_object_2: total count = 26
middle_object_3: total count = 24
middle_object_4: total count = 29
object_5: pixel_count = 19, cgx = 395.710526, cgy = 16.973684
object_5: pixel_count = 23, cgx = 394.804348, cgy = 264.413043
object_5: pixel_count = 26, cgx = 46.365385, cgy = 275.365385
object_5: pixel_count = 24, cgx = 780.937500, cgy = 276.104167
object_5: pixel_count = 29, cgx = 393.879310, cgy = 568.431034
```

表 7-8：圖 7-11(h)之測標位置區域搜尋程式所測得的數據

```
object_0: total count = 635641  
object_0: total count = 24  
object_1: total count = 30  
object_2: total count = 30  
object_3: total count = 24  
object_4: total count = 35  
middle_object_0: total count = 24  
middle_object_1: total count = 30  
middle_object_2: total count = 30  
middle_object_3: total count = 24  
middle_object_4: total count = 35  
object_5: pixel_count = 24, cgx = 419.854167, cgy = 15.062500  
object_5: pixel_count = 30, cgx = 418.650000, cgy = 263.383333  
object_5: pixel_count = 30, cgx = 797.683333, cgy = 274.916667  
object_5: pixel_count = 24, cgx = 61.687500, cgy = 274.895833  
object_5: pixel_count = 35, cgx = 416.128571, cgy = 568.128571
```

表 7-9：圖 7-11(i)之測標位置區域搜尋程式所測得的數據

```
object_0: total count = 625917
object_0: total count = 17
object_1: total count = 19
object_2: total count = 17
object_3: total count = 21
object_4: total count = 23
middle_object_0: total count = 17
middle_object_1: total count = 19
middle_object_2: total count = 17
middle_object_3: total count = 21
middle_object_4: total count = 23
object_5: pixel_count = 17, cgx = 403.441176, cgy = 19.147059
object_5: pixel_count = 19, cgx = 401.815789, cgy = 267.605263
object_5: pixel_count = 17, cgx = 44.441176, cgy = 279.147059
object_5: pixel_count = 21, cgx = 781.071429, cgy = 279.214286
object_5: pixel_count = 23, cgx = 399.847826, cgy = 573.021739
```

本研究實驗將圖 7-11(c)及圖 7-11(d)設計為一組對照，圖 7-11(c)中的直立鋼管在圖 7-11(d)中倒向右測，以上中下三測標中之中間那點測標位移量計算約右移 1 公分，上測標的位移多於 1 公分，而下測標的位移少於 1 公分。依據表 7-3 和 7-4 所得測標點位，可以計算得出圖 7-11(c)和圖 7-11(d)之間的上中下測標位移量分別為 1.13 公分、0.98 公分、和 0.75 公分(參照表 7-10)，數據結果與實際情況相符。圖 7-11(f)，(g)和(h)是另一對照組，圖 7-11(g)和圖 7-11(h)均是圖 7-11(f)中直立鋼管右移約 1 公分(中間測標)後所拍的照片。取圖 7-11(f)與圖 7-11(g)之測標位置數據計算測標位移量(參照表 7-11)，上中下測標位移量分別為 1.00

公分、0.94公分、和0.71公分，結果也與已知數據相近。

表 7-10：圖 7-11(d)相對於圖 7-11(c)之測標位移量計算結果

XY =					
	56.8200	860.5645	437.1897	440.4032	443.9483
	304.2600	301.9194	18.5690	291.7258	625.6034
UV =					
	92.4200	899.5345	484.9483	486.5968	487.8409
	412.0600	410.1897	126.4310	399.7903	737.1136
sU =					
	0.0000	0	1.1332	0.9789	0.7482

表 7-11：圖 7-11(g)相對於圖 7-11(f)之測標位移量計算結果

XY =					
	46.3654	780.9375	395.7105	394.8043	393.8793
	275.3654	276.1042	16.9737	264.4130	568.4310
UV =					
	61.6875	797.6833	419.8542	418.6500	416.1286
	274.8958	274.9167	15.0625	263.3833	568.1286
sU =					
	-0.0000	0	1.0041	0.9397	0.7134



## 第八章 現場測試成果分析

### 第一節 工地概述

本研究於民國九十年十一月先後赴汐止北二高聯絡道陸橋、大直橋等地，踏勘選擇工地；討論系統在不同工地設置與操作可能遭遇之問題；與工地工程負責人員查詢適當監測時段；喬借有關支援，皆能獲得廠商與工務主管人員之認同與協助。

正式監測已於民國九十年十一月廿七日於大直橋新建工程實施，系統設置與運作皆順利，儀器與測標設置約需一小時，監測自上午 0730 至 1100 時共約 3 個半小時；唯工地環境隨天候時有變化，欲全盤掌握需多方配合。茲列舉本次監測一般狀況以便日後參考：

1. 天氣因素：架設系統時應考慮風向、風速、陽光(日照度)，避免系統受干擾，又可獲得適當光線與遮蔽。
2. 工地環境：灰塵、油滴、無預警震動、溫度，觀測角度、距離不一定依設計進行，電源供應、遮陽、遮風、遮塵、保溫…應整體考量。
3. 系統表現：
  - (1) 風速太大時(陣風)，腳架穩定度不足；
  - (2) 測標位置過高，高度 22.8 公尺時，相機距測標水平距為 14.8 公尺，造成仰角過大，普通腳架無法施測；如圖 8-1。

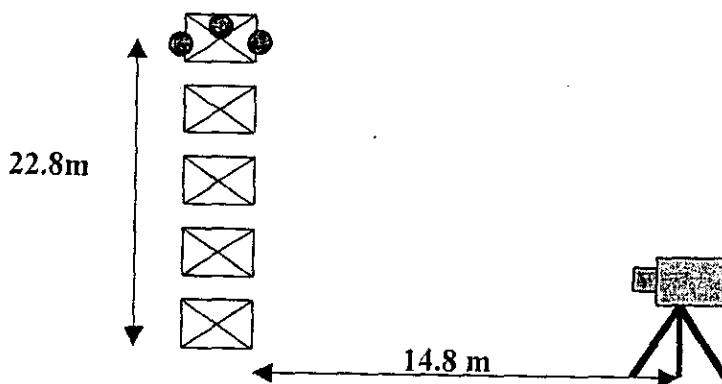


圖 8-1 系統現場設置圖，左右測標相距 4.1m，左中測標相距 1.6m，中間測標於位移計算時未用及。測標採自製黑白同心圓貼紙，黑圈直徑 10cm。

- (3) 橋面偶有震動對系統影響之評估，詳見第二節。
- (4) 受限取景角度與位置，採用較粗解析度模式監測，每像元解析度為

1.25 公分，未實施最高每像元 1mm 監測作業。

(5)系統硬體略嫌體積龐大，笨重老舊，但作業系統與程式運作尚正常，可順利採取每秒最多擷取 24 張之監測模式。

## 第二節 觀測位移成果分析

### 8.2.1 系統監測與計算模式

工地現場相機視角測試結果：

- 以  $f=100$  mm 鏡頭施測可見一個標，像元解析度為 2mm/pixel
- 以  $f=75$  mm 鏡頭施測可見兩個標，像元解析度為 2.5mm/pixel
- 以  $f=16$  mm 鏡頭施測可見鋼架左右兩端皆可見，像元解析度為 1.25cm/pixel，為實際採用之鏡頭。

目前本監測系統之影像擷取與儲存，可採下列方式：

- 30 秒/張；
- 10 秒/張；
- 5 秒/張；
- 1/24 秒/張（即每秒 24 張）；

### 位移量計算

位移量為 XY 軸合力，設左右二測標之起始座標與監測座標分別為：

起始座標  $(X_L, Y_L); (X_R, Y_R)$

監測座標  $(X'_L, Y'_L); (X'_R, Y'_R)$

左測標位移量： $(X_L, Y_L)$  與  $(X'_L, Y'_L)$  之距離

右測標位移量： $(X_R, Y_R)$  與  $(X'_R, Y'_R)$  之距離

### 解析度計算

解析度 = 實測左右二測標水平距 / 左右二測標畫面像元數

現場預估值：12.5mm/pixel，依第七章第一節公式計算

系統處理現場即時位移計算，僅一種模式，即每秒 8 張之位移計算，計算中只能顯示初始畫面。監測作業中，曾以隨機方式實施兩次現場即時位移計算，即實施每秒 8 張之位移計算，此時畫面只能顯示第一張影像，但可計算位移量至每秒 8 次，並於位移超過一個像元 (1.25 cm/pixel) 時發出警示，兩次皆無警示出現。當時以  $f=16$  mm 鏡頭監控。

### 8.2.2 監測位移成果

茲依時間序列選定系統在現場測試四小時中，主要階段之 11 幅影像及其相對位移量，如表 8-1，以分析一般狀況與可能之變動。表 8-1 內位移量為左右二測標之較大位移量。

表 8-1 各階段監測影像中測標位移計算，此表僅顯示左右二測標位移較大者

畫面編號	測標在 xy 面較大位移量(mm)	備考
CF16a	0.000	系統設定中
CF16b	9.731	全上
CF16c	0.000	全上
CF16d	0.000	全上
CF16e	9.712	全上
C0944S30	9.712	0944 am 攝，30 秒/張
C1026S10	13.739	1026 am 攝，10 秒/張
C1048S05a	9.712	1048 am 攝，5 秒/張
C1048S05b	19.407	1048 am 攝，5 秒/張
C1103S05	9.704	1103 am 攝，5 秒/張
C1109S01	9.704	1109 am 攝，1 秒/張

#### 各組觀測值較大位移量之計算

1. 以首張控制點座標為起始值
2. 依序比較控制點座標
3. 若位移量小於一個像元解析度，則依序比較至最後一張，並選印最大值
4. 若比較中發生超過一個像元解析度，則停止比較，列印位移量，發出警告！

CF16a 至 CF16e 拍攝時間約 0830am，約 3 至 5 分鐘實施完畢，此時系統仍在設定中，位移分析見 8.2.3.1 系統設定期位位移分析。

後六組拍攝量：

C0944S30          54 張

C1026S10	240 張
C1048S05a	69 張
C1048S05b	172 張
C1103S05	78 張
C1109S01	240 張

### 8.2.3 位移分析

#### 8.2.3.1 系統設定期位移分析

各組觀測值(即表 8-1 前五組)皆與第一起始設定值比較

- 前五組資料為系統設定中隨機觀測值
  1. 系統設定中，位移量不定
  2. 無風力干擾時 0600-0800am，亦有 9.7mm 位移
  3. 完全無位移 0.000mm 亦可能發生

#### 8.2.3.2 監測位移分析

表 8-1 內第六組起為正式位移監測，且各組皆有座標起始值設定

- 第七組資料為工地發生無預警震動時之觀測值，此時不一定為最大位移量，系統繼續採 10 秒/張拍攝，至 1026am 有超過一像元(13.74mm)位移量出現。依現場記錄，最大震動時間約 1030am。
- 第九組資料為記錄中最大位移量 19.40mm，但並無震動記錄，可能為強陣風或其他不明變動造成，顯示系統有能力反應各種原因之位移監測。

注意：系統目前僅設定位移超過一像元即停止計算

- 後六組資料中除兩個震動位移，其餘位移皆在 9.7mm，且方向一致，可能皆來自風力。如加強遮風效果應可減低風力效應。

現場測試進行中，因未攜帶其他測量儀器，實際位移數據並無資料供參考，比較成果，應繼續實施現場測試，一則增加工地經驗，另外可收集其他測量數據以供驗證：

#### 8.2.3.3 汐止橋監測位移分析

汐止橋支撐位移監測於民國九十一年一月十四日實施，參與人員為經短期

橋面 H 型支撐上設有中測標與右測標。固定標、中測標與右測標、相機之關係如圖面註記。表 8-2 為測標位移計算結果。

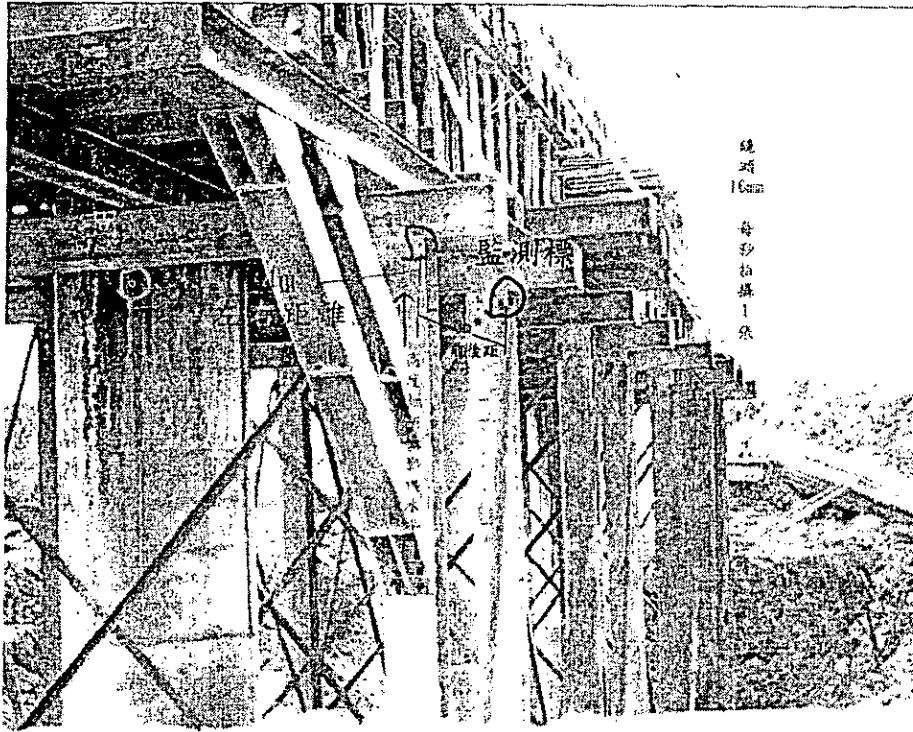


圖 8-2 汐止橋監測標現場分佈實況

表 8-2 汐止橋支撐測標位移計算結果

測試數據組別	拍攝時間	右測標最大位移量
SJ07	2002/01/14 12:55p	9.851709 mm
SJ08	2002/01/14 01:05p	9.851709 mm

#### 位移量計算

位移計算模式同大直橋，初始畫面設定後，即以每秒一張方式監測。監測軟體先求各測標位置，視固定標與中測標為定值基線，再計算右測標在各組之位移量，如表 8-2。

#### 解析度計算

已知固定標與中測標相距 4 公尺，中測標與右測標相距 3 公尺，中測標與相機水平距 9.6 公尺，中測標與相機中心高程差 3 公尺，相機鏡頭採 16mm。依第七章第一節解析度公式，可概算現場相機畫面解析度為：4.3mm/pixel (中測標)；5.5mm (右測標)

$$R = D * r / f$$

R：解析度

D：測標與相機距離

r：6.84 $\mu$  / pixel

f：焦距

#### 位移分析

表 8-2 中二組觀測資料顯示，皆曾發生接近兩個像元之位移，故證明本系統可有設測定位移，但應注意中測標與右測標與相機距離不同，解析度亦有異，計算位移時要小心。

# 第九章 結論與建議

## 第一節 結論

1. 本研究為基於人工智慧電腦視覺之影像自動辨識系統，影像系統採購經多方查訪各種高精度高速率之數位影像擷取收集顯示系統後取得適當作業系統與設備。
2. 影像處理系統之軟體含：PC Windows NT 作業系統、影像擷取軟體(隨相機由廠商提供)；有關人工智慧電腦視覺影像處理軟體採 ANSI C、Visual C++所設計之特徵萃取與圖形識別、語意判釋程式；另搭配 PhotoShop、ACDSee、MATLAB、MSOffice、Acrobat 應用軟體做相關影像、文書處理。
3. 本研究已完成簡單數位相機(Kodak DC210、Nikon CoolPX)之影像擷取、儲存、特徵萃取、測標重心位置計算等先期作業，精度預估可達每像元 1mm。實驗室實測位移量在 1cm 至 3cm。
4. 本研究主要監測系統含人性化視窗介面程式設計，可使作業人員經短時間講解，即可順利操作。本研究影像系統作業模式，在國內專利中尚未見及。
5. 本研究小組於汐止與大直兩處工程勘查，選定大直橋懸臂吊裝鋼架(約 50m 高)為測試工地。經連續 4 小時監測，未發現超過 1.25cm 位移。測標位置約在鋼架中央高度 23m 位置。另完成汐止橋工地測試。經連續 4 小時監測，雖未發現超過 1cm 位移，但位移量已接近兩個像元。研究顯示可依據現場之施工載重、H 型鋼尺寸、高度及邊界條件，計算出其最大允許變形，從而訂出警戒值及行動值。
6. 工地測試之缺失與環境中可能直接影響觀測成果者如下：
  - 1) 相機腳架穩定性在強風下仍不足。
  - 2) 工地時有無預警震動。
  - 3) 系統電源與夜間照明。
  - 4) 工地灰塵、油漬、人員移動。
  - 5) 測標位置遠近高低不定，鏡頭系列應完整。
  - 6) 系統裝備仍嫌笨重，應輕量化。
  - 7) 工地支撐作業程序與如何設標，相關人員應先討論取得共識。

## 第二節 建議

1. 本研究第一年目標有關系統採購、設置、作業程式設計、半自動監測位移測試已完成。現場測試已進行二次，因未攜帶其他測量儀器無法得知實際位移數據，建議應攜帶其他測量儀器進行多次工地測試，並比較成果。
2. 視覺攝影系統儀器設備名稱、規格與價格建議如下：

(1) CV-M4 CCD 攝影機 (規格如下)：

Progressive scan ;  
Frame rate normal  $\geq 24$  frames/sec (1044 lines/frame) ;  
Picture element  $\geq 1300(h) \times 1030(v)$  effective pixels ;  
Cell size  $\leq 6.7$  mm(h)  $\times 6.7$  mm(v) ;  
S/N ratio  $\geq 57$  dB ;  
Video output: Digital 8 bit LVDS (EIA 644) ;  
Lens mount: C-mount ;  
Sensitivity on sensor  $\leq 0.1$  Lux 。

(2) Meteor-II/Digital 影像擷取卡 (規格如下)：

PCI interface at sustained rates up to 130 MB/second ;  
32-bit wide LVDS interface ;  
Sampling rates up to 40 MHz ;  
Configurable LUT ;  
4 MB on-board memory 。

(3) 影像處理軟體發展工具

系統環境: Windows 98/NT, Windows 2000

程式語言: 支援 Microsoft Visual C++, Microsoft Visual Basic

程式庫(功能如下)：

Image capturing module ;  
Image processing module ;  
FFT module ;  
Segmentation module ;  
Gauge and measurement module ;  
Blob analysis module ;  
Calibration module 。

分析軟體(功能如下)：



Sequence grab to system RAM or hardisk ;  
 Read and save DICOM, BMP, JPEG, TIFF files ;  
 Calibrate image ;  
 ROI processing ;  
 Pattern recognition .

(4) 配件

- 4.1 C-mount 鏡頭(焦距 12, 16, 75, 100 mm) ;
- 4.2 專業型三腳架、雲台 ;
- 4.3 攝影機與影像擷取卡之 Cable , 電源線。

3. 視覺攝影系統儀器設價格分析及建議如下:

項次	品 名	數量	單 價
1	CV-M4 CCD 攝影機	1 PCS	120,000
2	Meteor-II/Digital 影像擷取卡	1 PCS	46,008
3	影像處理軟體發展工具	1 SET	125,000
4	配件(鏡頭、腳架、Cable)	1 SET	36,891
		合 計	327,899

## 致謝

本研究計畫繫委託國立交通大學土木系趙文成教授、史天元教授及趙錫民教授等研究，謹此敬表謝忱。

## 參考文獻

- [1] 洪偉嘉, 1999。自動化影像套合之研究, 國立交通大學碩士論文。
- [2] 廖振偉, 2000。應用 Hough 轉換於屋頂模型之重建, 國立交通大學碩士論文。
- [3] 張苑蓉, 2001。精通 Visual C++ 6。
- [4] Canny, J., 1986. A Computational Approach to Edge Detection, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol 8, No. 6, Nov 1986.
- [5] Duda, R. O. and P. E. Hart, 1972. Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures, Graphics and Image Processing, Commun, ACM, Vol. 15, No. 1, pp. 11-15.
- [6] Gonzalez, R. C. and Woods, R. E., 1992. Digital Image Processing, Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- [7] Illingworth, J. and J. Kittler, 1988. SURVEY, A Survey of the Hough Transform, Computer Vision, Graphics, and Image Processing 44, pp. 87-116.
- [8] Parker, J. R., 1999. Algorithm for Image Processing and Computer Vision, Wiley Computer Publishing.
- [9] Pritchard, D.H., 1977. U.S. Color Television Fundamentals – A Review. IEEE Transactions on Consumer Electronics, CE-23(4):467-478.
- [10] Risse, Y., 1989. Hough Transform for Line Recognition: Complexity of Evidence Accumulation and Cluster Detection, Computer Vision, Graphics, and Image Processing 46, pp. 327-345.
- [11] Sester, M. and W. Forstner, 1989. Object Location based on Uncertain Models, In: Mustererkennung 1989, Informatik Fachberichte, Vol. 219, Hamburg, October 1989, Springer Verlag, pp. 457-464.
- [12] Sphar, C., 1999. Learn Microsoft Visual C++ 6.0 Now.

## 附錄 使用手冊

營造支撐群組位移監測程式(簡稱監測程式)，是一個視窗應用程式，它有兩個版本，一個是檔案作業版，另一個是影像卡作業版。檔案作業版適用於研究用途，先將一段即時監測影像以 AVI 或 BMP 格式儲存在磁碟中，事後再用檔案作業版監測程式在種種條件之下加以分析研究。因此，檔案作業版監測程式執行時無需搭配影像擷取卡，僅從記錄檔案中讀取所需的影像畫面，這個版本沒有使用到特殊的硬體，可以適用於一般 Windows NT、98、2000 等中文標準視窗作業系統之下。

影像卡作業版監測程式則適用於施工中即時監測之用，在使用影像卡作業版監測程式之前，要先架設 CV-M4 攝影機，及搭配 Meteor-II/Digital 影像擷取卡的電腦，電腦的作業系統為中文 Windows NT，且配備有 256MB 以上的主記憶體。CV-M4 攝影機還要有獨立的電源，以及連接電腦 Meteor-II/Digital 影像擷取卡的 LVDS 纜線。

監測程式使用的方式很容易，與一般的視窗應用程式使用方法大同小異，兩種版本的監測程式僅僅是在影像來源方面有所不同，除此之外，其餘運作方式大致相同。詳細程序請參照以下說明。

(1) 執行程式：請雙擊檔案作業版的監測程式 CV\_File\_DumpMark，或是影像卡作業版的監測程式 CV\_M\_LD。

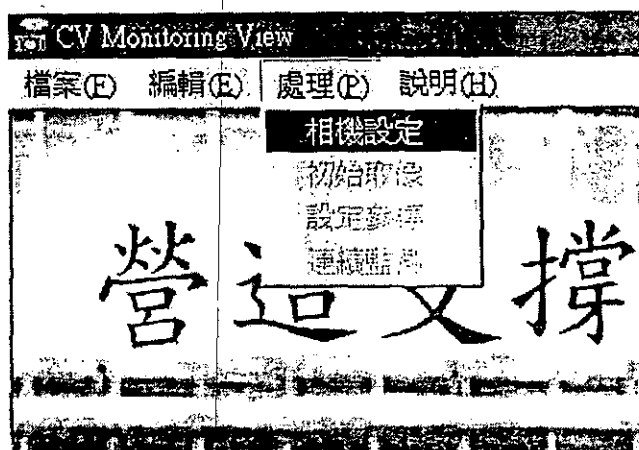
名稱	大小	類型
CV		檔案資料夾
Video_tool		檔案資料夾
CV_File_DumpMark.exe	6,041 KB	應用程式
CV_M_LD.exe	6,025 KB	應用程式

(2) 首頁：雙擊監測程式之後會帶出首頁畫面如下圖。接下來的處理工作

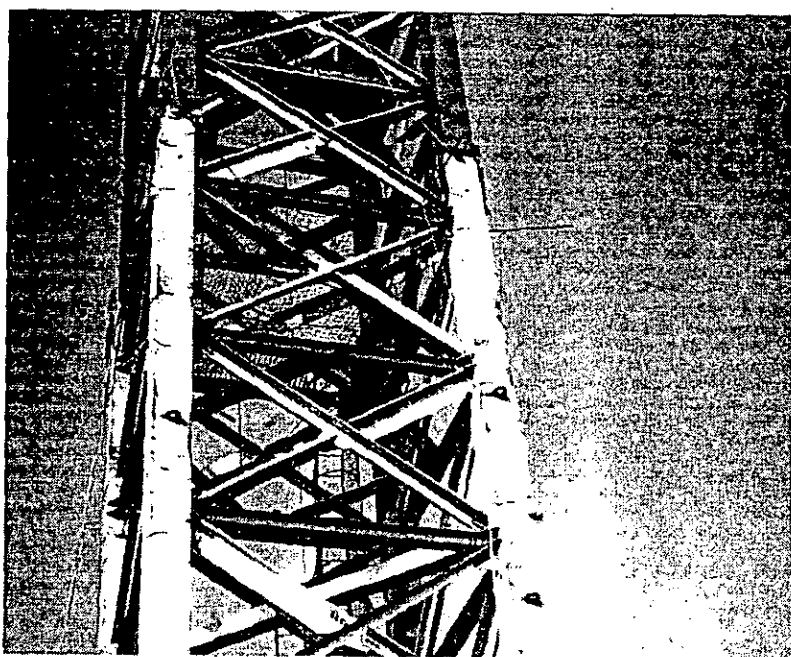
大部份是集中在功能表上的處理(P)功能。



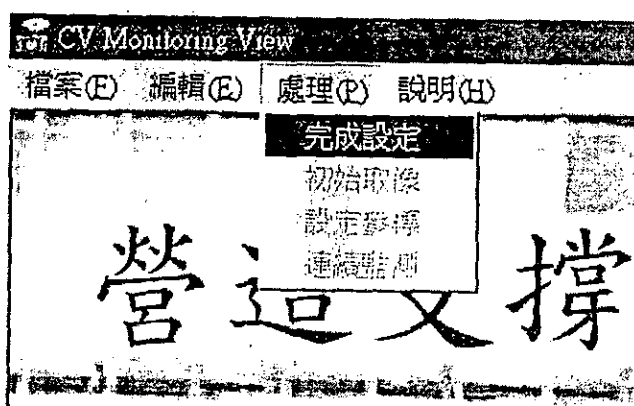
(3) 相機設定：處理功能的第一步是相機設定。



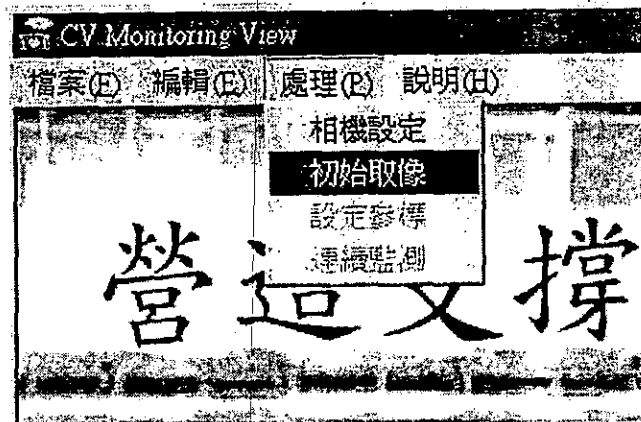
選擇相機設定功能之後，影像卡作業版的監測程式便會帶出如下圖的即時攝像畫面。檔案作業版監測程式因為沒有即時畫面，就看不出來有什麼變化。



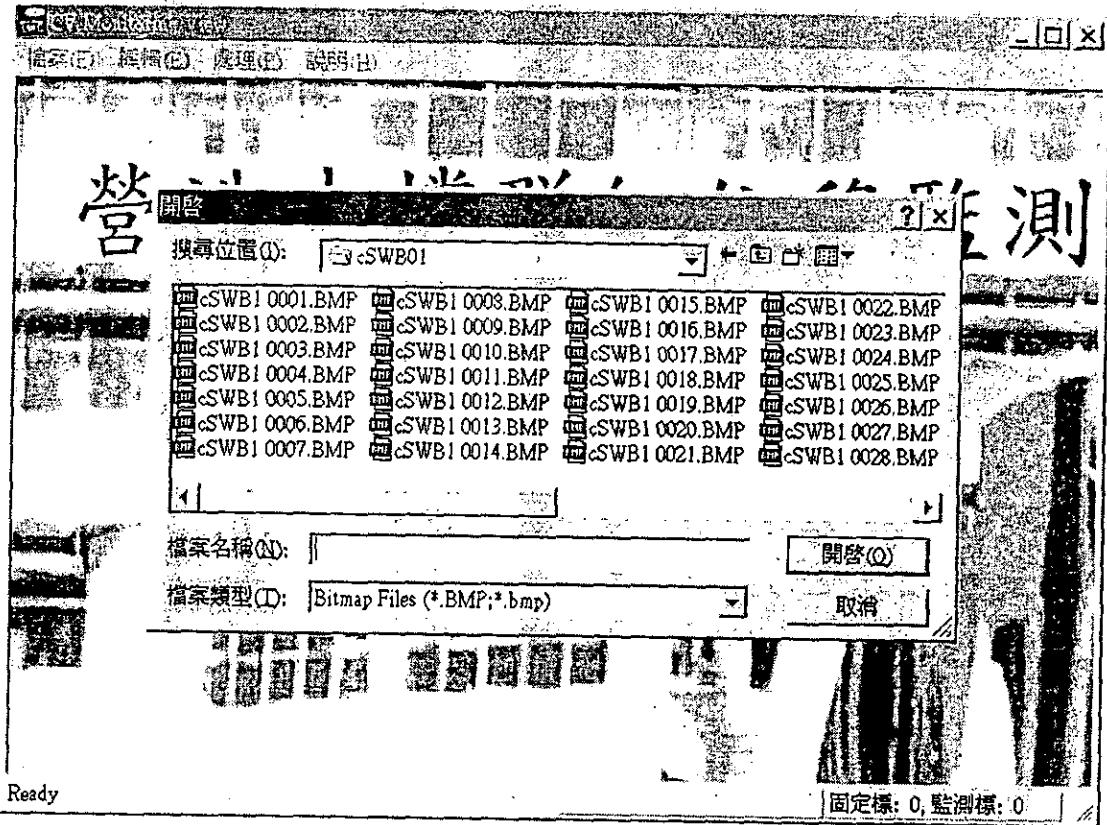
(4)在調整好攝影系統的角度、焦距、光圈等等因素之後，請選擇完成相機設定。



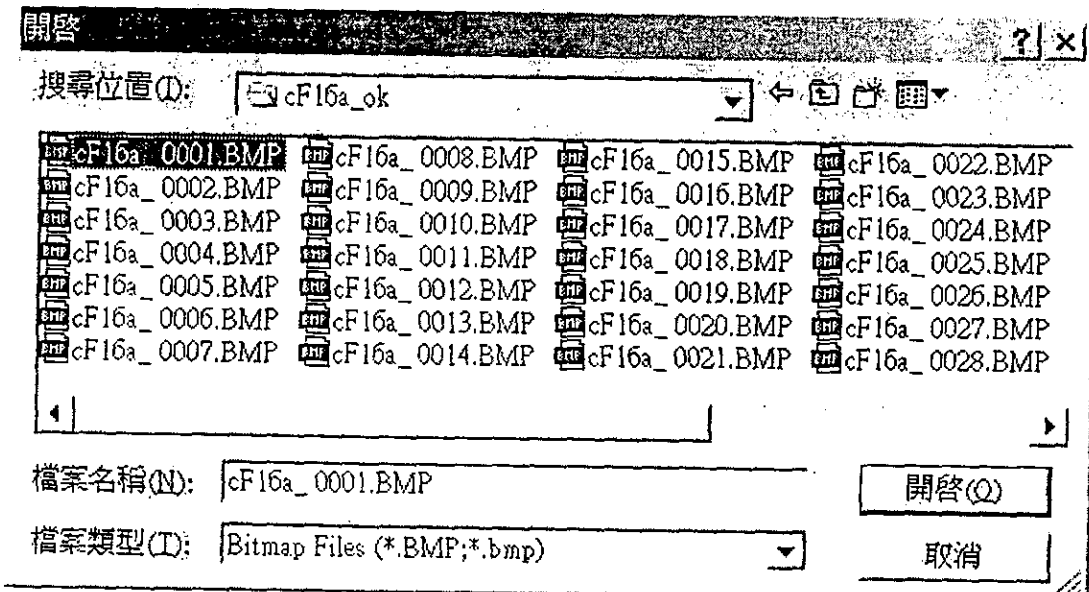
(5)接著要進行初始取像。



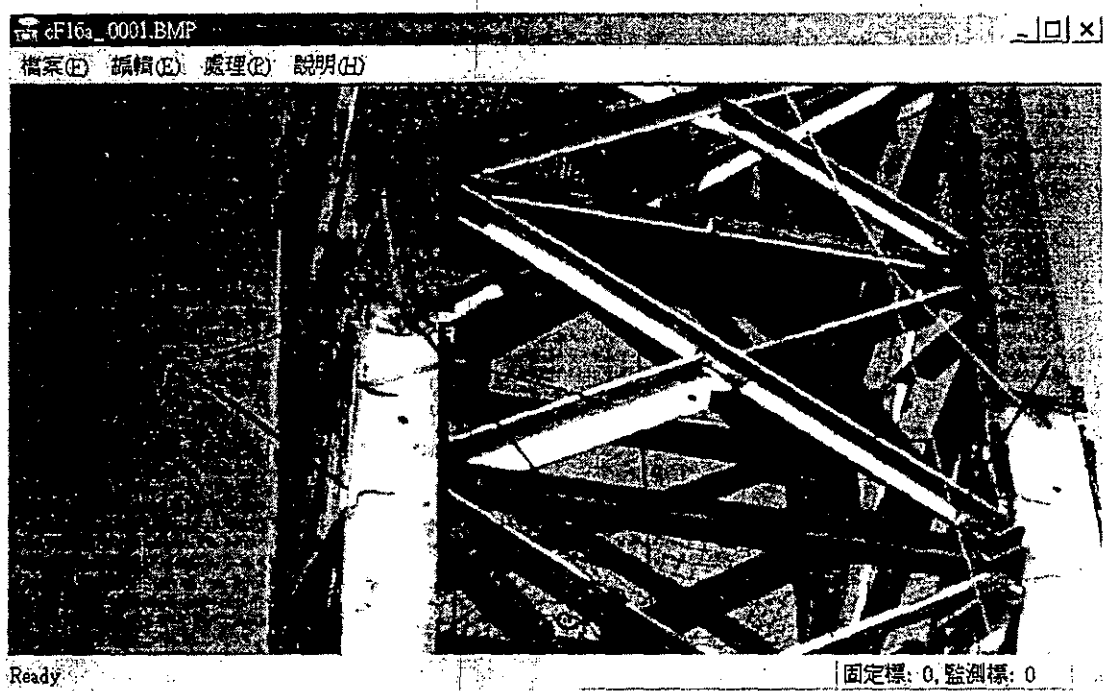
此時，影像卡作業版監測程式會直接帶出所攝得的畫面，而檔案作業版監測程式則先要選擇檔案的來源。



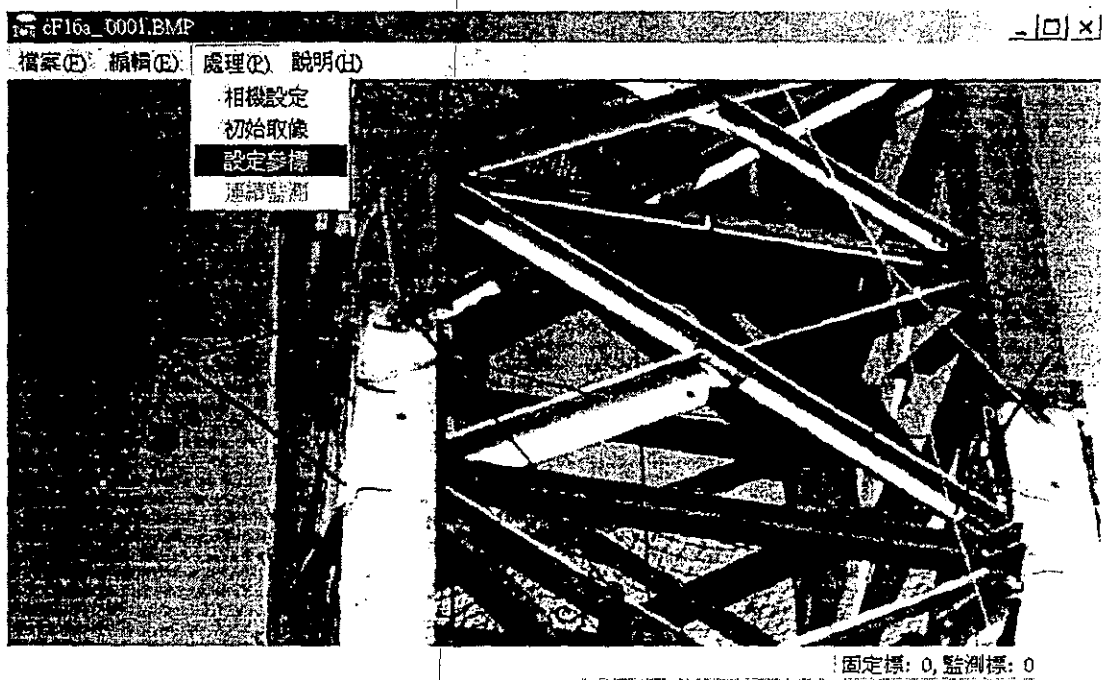
選擇檔案的來源的方法，與一般視窗應用程式開檔的方式完全相同，會帶出以下的開啓檔案對話視窗。



選好檔案之後，就能得到影像畫面。



(6)接著要設定參標。





設定第一個固定標，相對原點距離為 0。

設定參標

工作項目

設定監測標      警示(mm) | 5      警報(mm) | 10

設定固定標      相對原點距離(mm) | 0

刪除參考標

確定      取消

設定第二個固定標，相對原點距離要輸入事先量測得到的數值，畫面中的例子是 4450 mm。

設定參標

工作項目

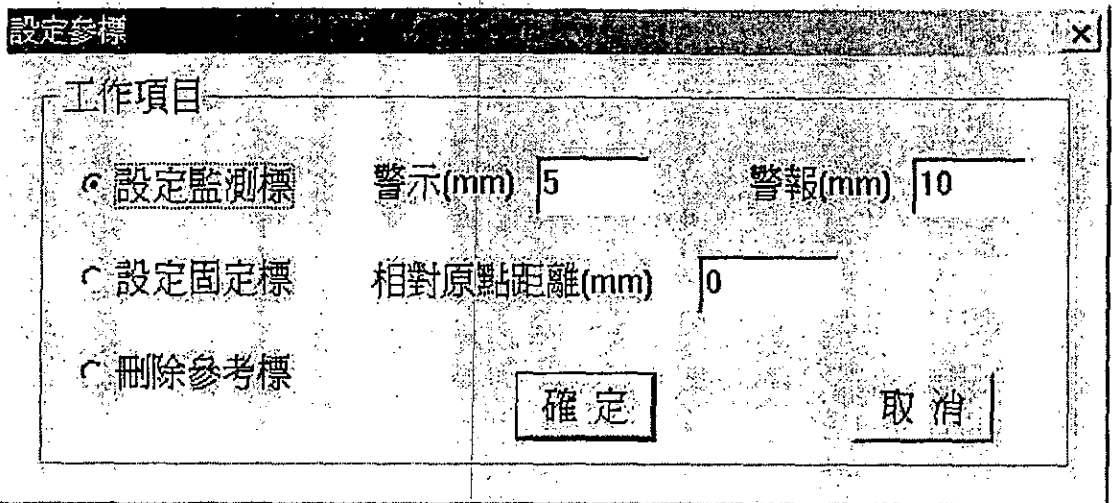
設定監測標      警示(mm) | 5      警報(mm) | 10

設定固定標      相對原點距離(mm) | 4450

刪除參考標

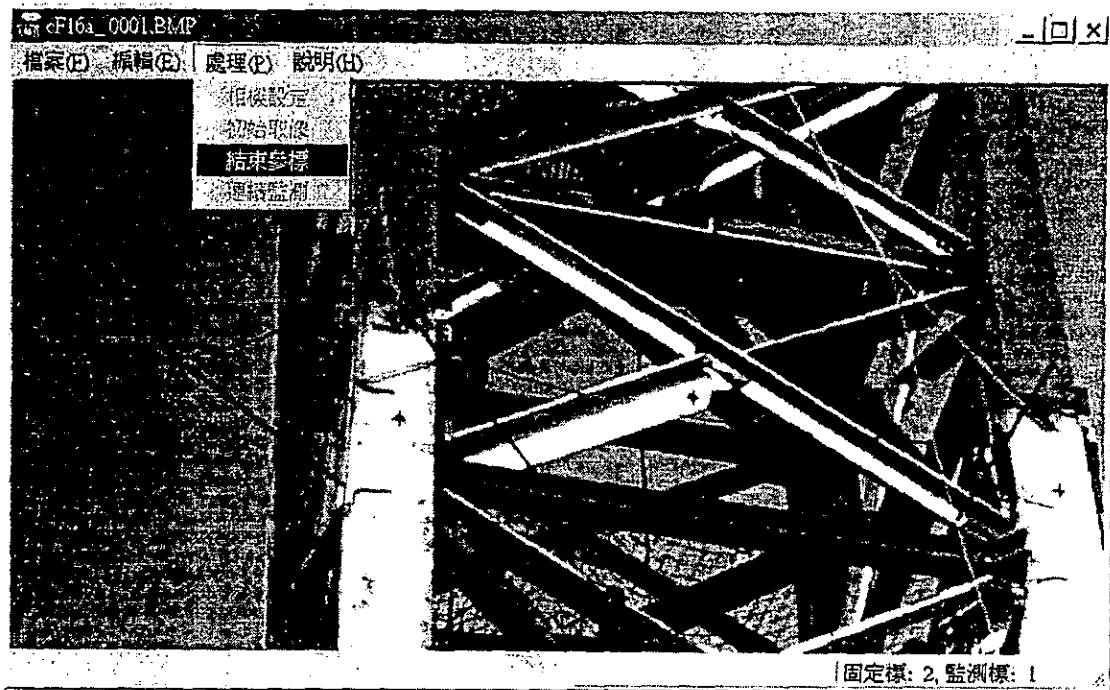
確定      取消

設定至少一個以上的監測標，輸入警示值和警報值，預設值分別為 5 mm 和 10 mm。

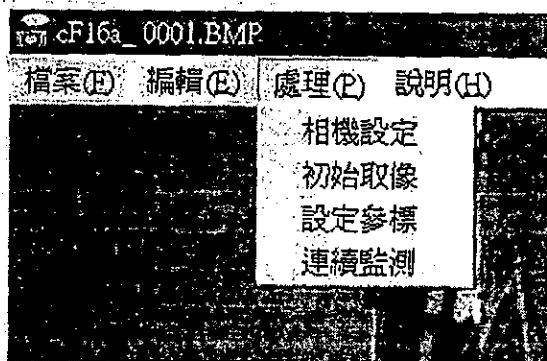


工作項目	
<input checked="" type="radio"/> 設定監測標	警示(mm)   5   警報(mm)   10
<input type="radio"/> 設定固定標	相對原點距離(mm)   0
<input type="radio"/> 刪除參考標	
[ 確定 ] [ 取消 ]	

設定參考標時，影像畫面上會在參考標的中心位置上描繪出十字線標，紅色十字線標表示監測標，藍色十字線標表示固定標。主視窗框頁下方的狀態列上也列出固定標的數目和監測標的數目。這時請選擇結束參標設定功能。



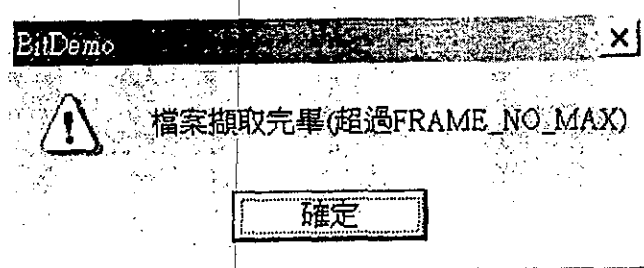
(7)接著要進行連續監測。



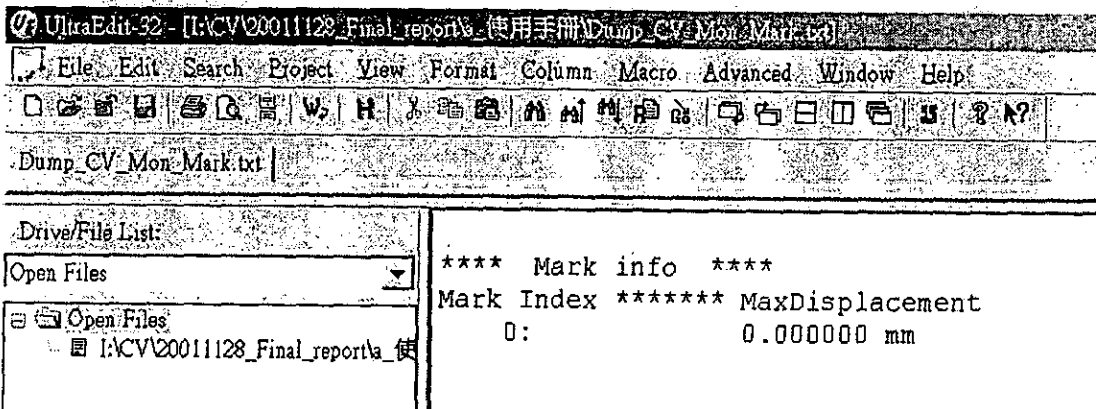
連續監測進行中，在主視窗標題列上會出現目前畫面的幅數(影像卡作業版)，或是目前所開檔案的名稱(檔案作業版)。



除非是產生異常警報，基本上，連續監測工作不應該中途停止。若無任何異常發生，影像卡作業版監測程式只有關機才能中止連續監測工作；檔案作業版監測程式則會執行到所有檔案均擷取完畢為止。



(8) 監測工作結束後，可以開啓數據檔(Dump\_CV\_Mon\_Mark.txt)，內中會記錄各監測標的最大位移量。



完成設定參標工作之後，就要對所設定的監測標進行連續監測。有關連續監測程序的示意圖，可以參考圖 5-11，其中有一個重要的步驟是尋找監測標的重心位置，然後計算重心位置的偏移量，詳細程序請參照下圖 A-1：

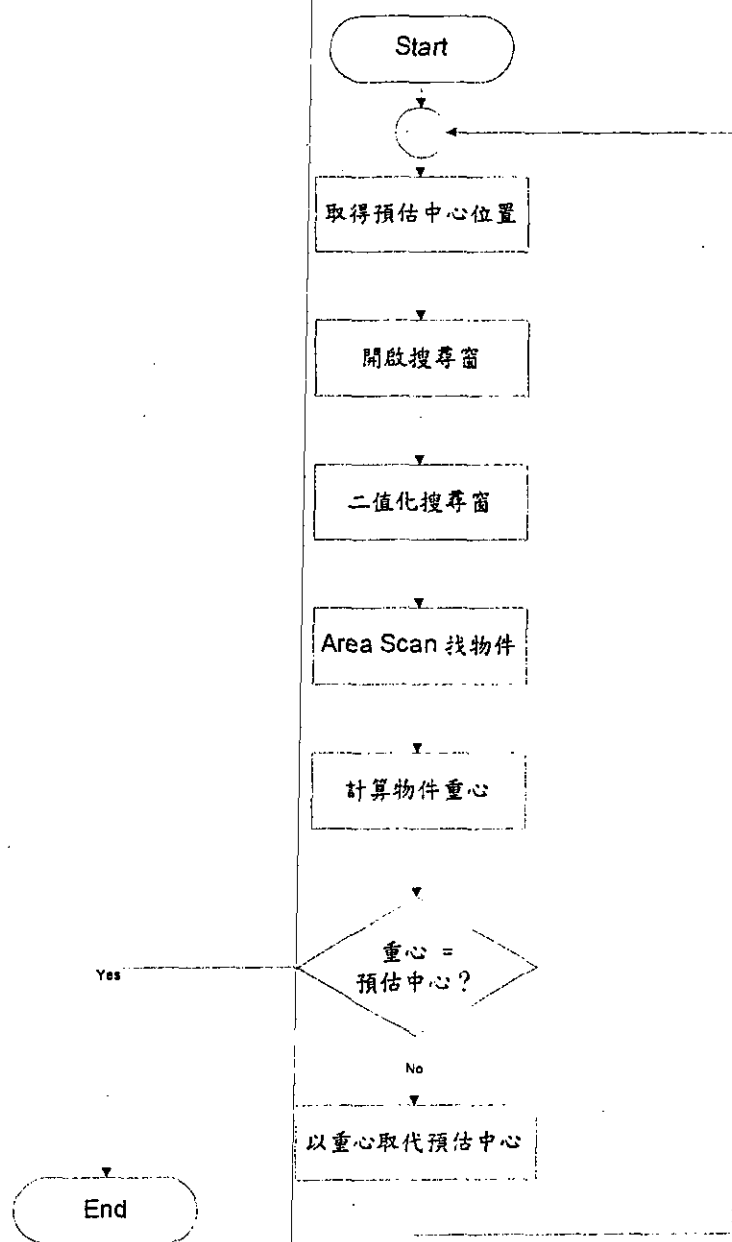


圖 A-1 尋找監測標的重心

一開始，預估中心位置就是設定參考標時所給定的點位，或是前幅影像的中心位置。以此預估中心開啓一搜尋窗，這個搜尋窗的一定要大到足以涵蓋整個參考標。可是搜尋窗也不宜太大，免得參考標在搜尋窗中的像元數目比例太小，二值化時不能將參考標與背景正確的分離出來。而且搜尋窗愈大時，所需的計算量也就愈大。

圖 A-2 是同一個參考標(同心圓標)的一些預估中心與搜尋窗的實驗,圖(a)的預估中心位置偏左,圖(b)的預估中心位置偏上,圖(c)的預估中心位置偏下,圖(d)的預估中心位置偏右。圖 A-3 是將圖 A-2 搜尋窗內的像元灰度二值化的結果,因為搜尋窗位置不同,涵蓋的像元也就不同,對於二值化所需的臨界值會有些許影響,但因為我們選的參考標內外圓的灰值反差很大,如果搜尋窗不是太大的話,二值化的程序應該會將內外圓正確的分離出來。



圖 A-2(a)中心偏左 (b)中心偏上 (c)中心偏下 (d)中心偏右

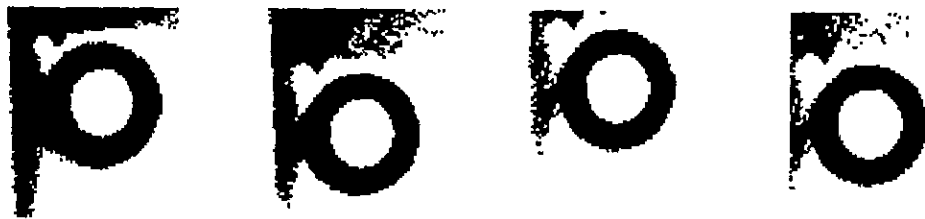


圖 A-3 二值化圖(a) (b) (c) (d)



圖 A-4 物件重心(a) (b) (c) (d)

圖 A-4 是在二值化圖形中,再用 area scan 法所找出的物件(圖中灰色的部份),以及其重心(中間的白點),外圍的白框是物件的範圍。在(a)、(b)、(c)、(d)四圖中,我們發現,不論原始預估中心點位是偏上、偏下、偏左、或是偏右,只要適當的選擇搜尋窗,我們都能夠正確的將參考標物件及其中心點位找到。這點結論對於連續監測很重要,因為對於移對中的參考標,我們只能以上一福

影像的標點中心作為目前標點的預估位置，如果我們選擇夠大的參考標，而且畫面擷取的頻率夠快，就可以假設標點中心雖然位移，但仍未超出標點物件的範圍之外，這樣我們的方法便能有效地追蹤參考標的中心位置。

以上，簡要說明了監測處理程序的四個主要步驟：相機設定、初始取像、設定參標、與連續監測。圖 5-6 是四個步驟的執行順序示意圖，圖 A-5 則是較為詳細的系統狀態圖。



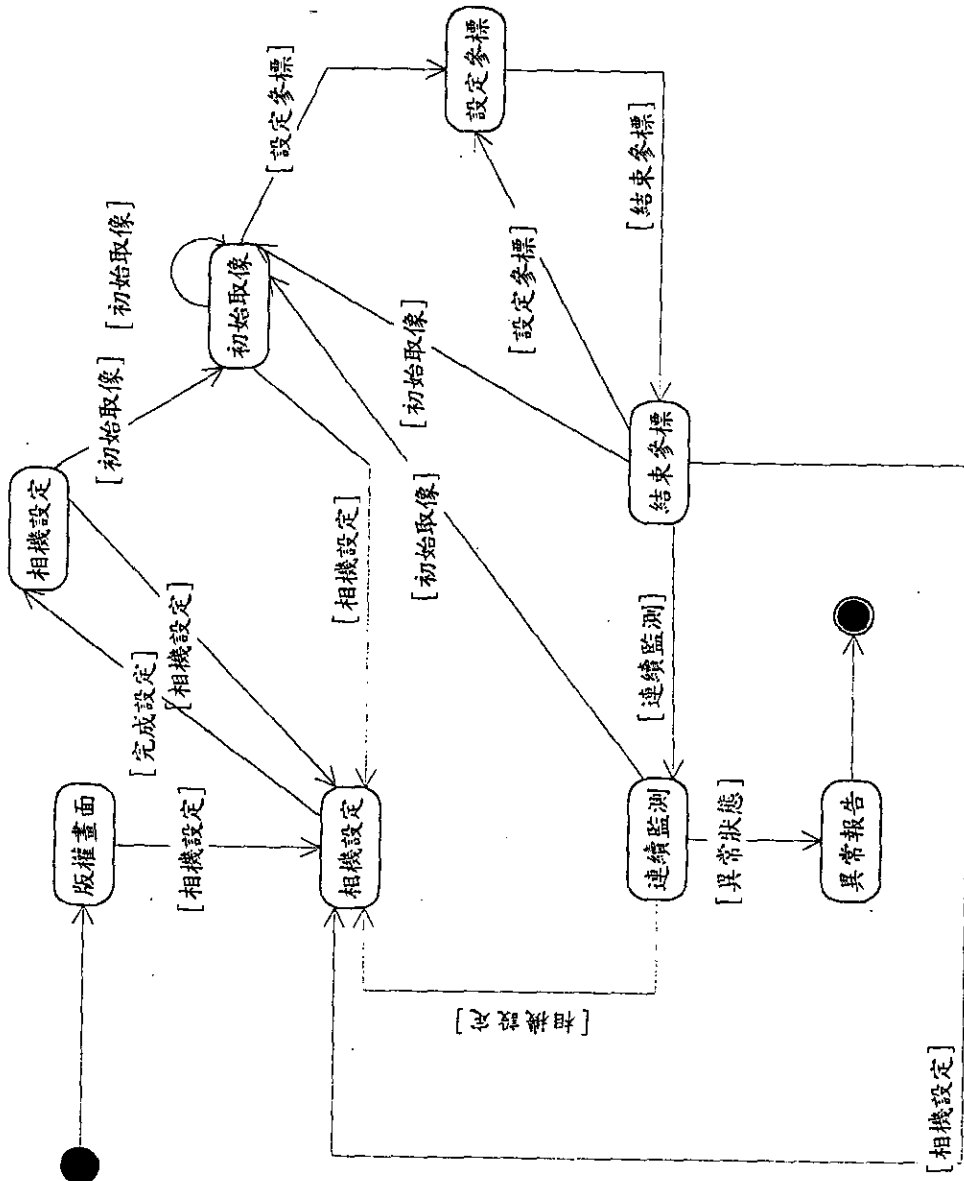


圖 A-5 監測系統狀態圖