

多視角編列數位影像關係法量測系統

Introduction of Multiple-Camera Digital Image Correlation System

黃吉宏、王偉中、陳永祥、陳志彥

Chi-Hung Hwang, Wei-Chung Wang, Yung-Hsiang Chen, Chih-Yen Chen

本研究發展可結合數位影像關係法之多攝影機取像裝置，系統採共圓架構，將攝影機侷限於半圓弧量測桿的範圍內移動，攝影機可移動至指定之相對位置定位取像。藉由轉動控制裝置，改變攝影機擷取影像角度，並經由改變攝影機平面相對夾角大小，達成快速改變攝影機影像擷取範圍。因攝影機採共圓配置，調校攝影機時，可藉由光軸中心交於共圓圓心之特性，快速完成攝影機外部參數與空間參數校正，便於現地組合量測應用。本文將介紹系統架構，以及應用此架構進行圓心內與圓心外重建影像之初步系統測試成果。

In this paper, we designed a measuring frame of multi-camera capture apparatus under semi-circular configuration. The position control devices control cameras to the assigned locations along the semi-circular frame as the specified imaging taken positions; and then the cameras controlled by the rotation control devices fixed on a rotary mechanism would point to the predefined angles, so that the system measuring range can be flexibly modified. All cameras are mounted on a semi-circular frame that makes intersection of all line-of-sights of cameras would locate along a line passing through the center of the semi-circular frame and perpendicular to a plan defined by the semi-circular frame. Thank to the geometrical constraint, the system internal- and external- parameters can be rapidly calibrated while the system is reassembled in the field. Here in this paper, the system calibration for both near- and far- field cases and the geometrical reconstruction of a circular tube is also demonstrated.

一、前言

位移量測是結構安全與穩定監測的基礎項目，也是安全性評估重要依據之一。如何進行快速、便利又有效結構體變形量測，是工程界致力發展與研究的目標。位移量測因量測方式不同，可簡單區分為接觸式與非接觸式兩種類型。其中非接觸式大多是利用光學原理進行量測，一般會將光源架設在量測點，如雷射、LED 等光源，再以感測或訊號接收的方式測量反射光或待測點光形變形，進而計算

出相對位移。近年來攝影機技術發展迅速，影像解析度大幅提升，以不同時序狀態影像配合影像分析軟體，進行相關分析，用以計算位移量測的數位影像關係法，在實際量測應用上，除可達到一定之精度，所需建置成本也降至合理範圍。數位攝影測量基本概念是對影像中待測位置所具備之特定標點進行影像比對，比對不同時間之標點位置在影像上之改變，求得量測點位移。其中影像分析的方式，不僅具備非接觸式量測法之優點，現地環境對量測的影響相較於其他雷射干涉法甚小。

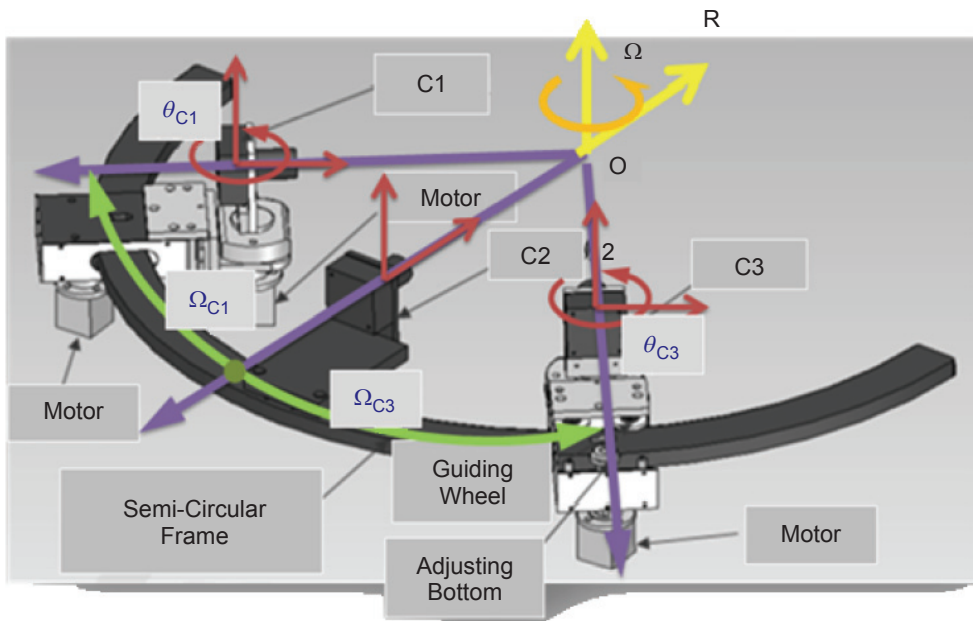


圖 1. 多視角編列數位影像關係法量測系統⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

因此，應用攝影機測量來發展結構變形之快速量測技術，例如數位影像關係法 (digital image correlation method, DIC) 最早由美國南卡大學開發⁽¹⁻³⁾，用來量測物體全域表面形變的系統。此技術乃利用物體表面的特徵，作為表面位移的判斷。任何表面細微的位移，均能在數據與影像上呈現出來。藉由 DIC 影像分析後，可了解單點或表面的位移與應變。此非接觸式表面形變量測技術，有別於傳統接觸式單點應變規。非接觸式量測不會干擾到系統本身，量測的進行也更快速，隨即成為具優勢之位移、應變量測工具。3D DIC 使用自不同位置拍攝的兩張影像產生視差，以兩張 2D 影像重建整個場景相對深度。

現有 3D 應用影像相關方法係 1993 年由 Sutton 等人⁽⁴⁾ 將 DIC 方法與 3D 立體視覺結合，使 DIC 成為可以應用於 3D 變形量測方法，並成為 3D-DIC 方法基本架構。Sutton 團隊⁽⁵⁾ 並將 3D-DIC 方法應用於表面輪廓測量研究，無論應用於 3D-DIC 量測或其他非接觸式影像量測系統，其攝影機架構多數以水平支架連結兩部攝影機構成，並定義兩部攝影機間距離與角度，使影像具備一定範圍重疊。當量測範圍超過兩部影像擷取裝置量測可視範圍時，只能擷取物體局部影像，對於量測物體攝影機不可直接觀測區域，必須針對物體不同形態調整攝影機姿態，並重新進行影像擷取裝置校正程

序，或是將待測物體轉動角度後，重新進行取像。因此攝影機視角範圍與調整後攝影機需要不斷進行校正為應用上之限制，有必要簡化重複定義與校正量測系統座標與待測物關係。

為解決前述問題，本文討論以三部攝影機建構共圓幾何多攝影機取像平台，系統以半圓弧量測桿串聯三部攝影機，將多攝影機光軸可共交圓於空間一點，攝影機與攝影機之間隔，利用機構可沿著半圓弧量測桿進行間距調整。藉由多部攝影機疊合特性，系統既可增加三維重建特徵點重疊區域範圍及內部所建立之校正參數，並簡化現場量測重建三維資訊所需之複雜校正程序，擴大原有 3D-DIC 觀測視野範圍，並簡化重複定義與決定校正量測系統座標與待測物關係之程序。最後，據以運用於位移與應變量測，對於觀測不同大小之待測物時，只要調整攝影機間距，即可應用於重建物體三維空間資訊，以及探索增加重疊區內的立體場景物體影像資料。

二、系統簡介

圖 1 為一多視角編列數位影像關係法量測系統⁽⁶⁾，包含承載機構以及移動機構。其中承載機構包含支撐架以及量測桿；移動機構包含移動基座、旋轉機構、位置控制裝置以及轉動控制裝置。其承載

表 1.
系統規格。

系統規格	數據
攝影機數	3 部攝影機同步取像
攝影機	Video Output Type: IEEE1394a, 24 bits/pixel (R, G, B), Image pixel sizes: 640 × 480, Pixel size: 9.9 μm × 9.9 μm, 1/2"
鏡頭	Focal Length: 35 mm, FOV: 10.77° × 14.32°, F# 1.9
攝影機擺動角度	NI NEMA 17 Stepper Motors 控制 ϕ_{zi} 及 ϕ_{zr} 擺動角度為 $\pm 45^\circ$
圓周移動角度	NI NEMA 23 Stepper Motors 控制 ϕ_{zi} 及 ϕ_{zr} 圓周移動範圍為 $\pm 25^\circ - \pm 70^\circ$
步進馬達解析度	1.8 deg/step, Steps per revolution: 200
攝影機承載架	半徑為 34 cm 半圓
儀器尺寸	100 cm × 50 cm × 100 cm (L × W × H)
電源	110 V/60 Hz

攝影機平台為半圓弧量測桿，攝影機可沿著圓周移動架構，將三部攝影機侷限於共圓幾何關係。平台桿件具有角度刻度，其中，中間攝影機 (C2) 固定不動直接固定於攝影機承載平台，其餘二部攝影機 (C1、C3) 置放於具有擺動自由度之移動機構上，可相對於中間攝影機 (C2) 兩側沿圓周移動，具沿圓周移動及擺動之自由度。其圓周共圓運動，可由步進馬達驅動調整攝影機間隔距離與攝影機觀測角度，使各攝影機中心光軸通過圓心。步進馬達控制攝影機 C1 的移動位置定位與影像擷取角度定位的控制，以使攝影機 C1 與攝影機 C2 呈現共圓配

置，並且攝影機 C1 與攝影機 C2 擷取裝置中心光軸交於共圓圓心。同時，攝影機 C2 與攝影機 C3 亦呈現共圓配置，藉此可將攝影機 C1、C2 及 C3 皆共圓架設。

表 1 為系統規格，包含攝影機擺動角度範圍、圓周移動角度範圍、步進馬達解析度、量測範圍及攝影機承載架等基本架構。圖 2 為多視角編列數位影像關係法量測系統實驗架設圖，由三部攝影機、四軸步進馬達及運動控制卡構成，並利用 LabVIEW 圖控式程式語言發展視覺化人機介面軟體。以 34 cm 半徑圓弧構成多攝影機圓周運動取像

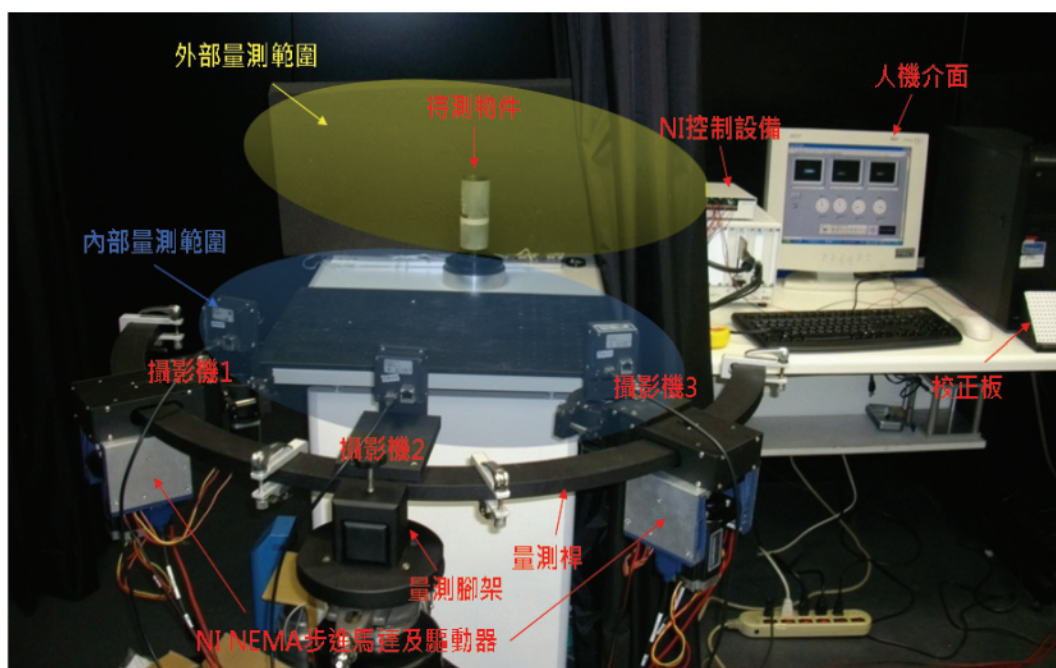


圖 2.
多視角編列數位影像關係法量測系統實驗架設圖。

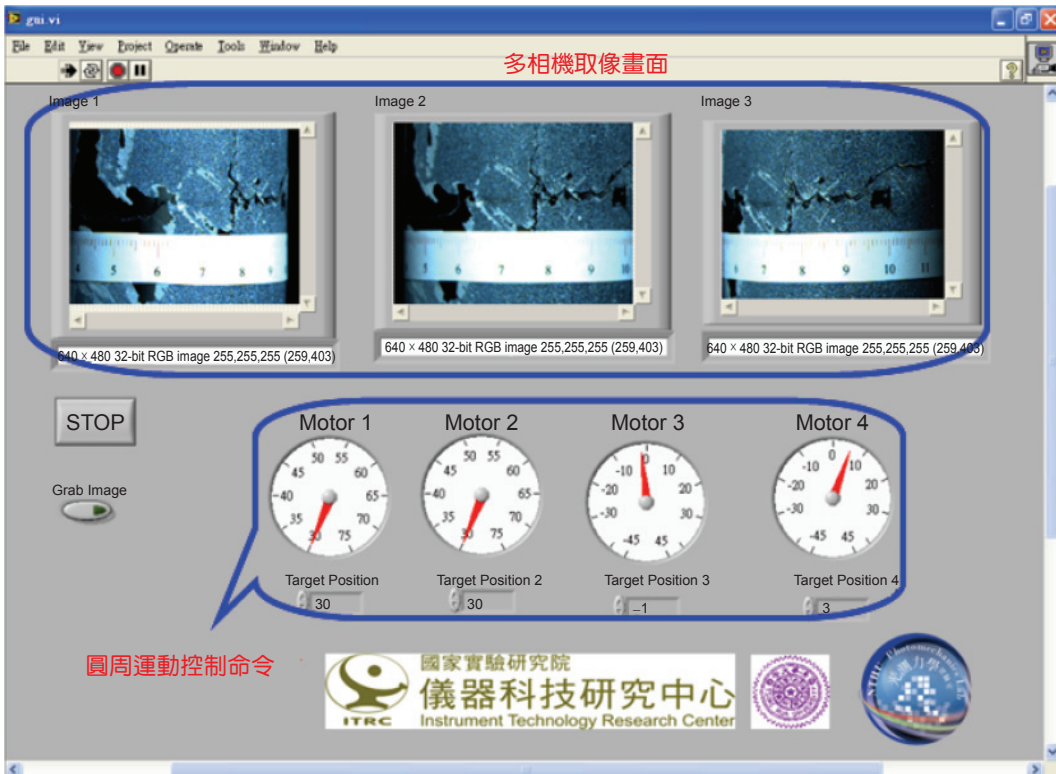


圖 3. 視覺化人機介面量測系統。

承載平台，量測範圍以該半圓區域區分：圖 2 藍色陰影標示區域為半圓內量測範圍 (≤ 34 cm)，可用於待測物體較小或近景觀測 (near field)，黃色陰影標示區域屬外部量測範圍 (> 34 cm)，可用於待測物體較大或遠景觀測 (far field)。

圖 3 為所建立之視覺化人機介面量測系統，三部攝影機擷取影像畫面顯示於上方視窗中，四組步進馬達控制器之位置與運動狀況於下方以指針方式表示。圖 4 則為系統控制攝影機運動角度範圍示意圖，其中 (ϕ_{ZR} , ϕ_{ZL}) 為攝影機於圓周運動角度，

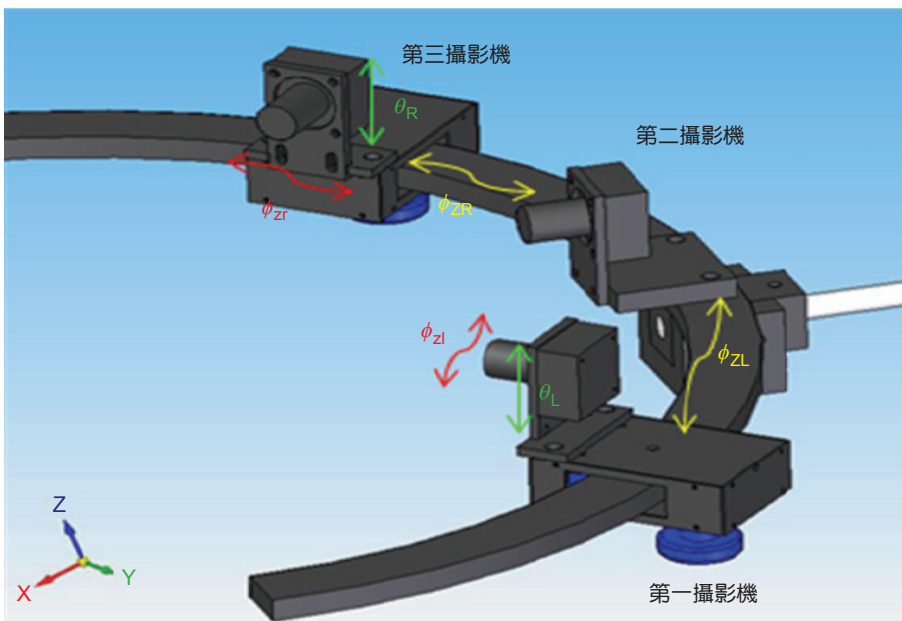


圖 4. 系統控制攝影機運動角度範圍示意圖。

(ϕ_{zr}, ϕ_{zl}) 為攝影機相對於移動機構攝影機擺動角度，另因左右兩部攝影機光軸中心高度與固定攝影機光軸中心高度差 Δh 可導入攝影機對系統中心(圓心) 俯仰角度 (θ_R, θ_L) ，並可定義為 $[(\Delta h/Radius)_R, (\Delta h/Radius)_L]$ ，其中 $Radius$ 為攝影機承載架半徑， R 及 L 為攝影機承載台座標系統 (X, Y, Z) 中間攝影機右方與左方，另 (x_r, y_r, z_r) 與 (x_l, y_l, z_l) 為右方攝影機與左方攝影機之座標系統。

三、數位影像相關法

數位影像關係法是一種光測力學變形測量方法，又稱為數位散斑相關法。從 1980 年開始發展⁽¹⁻³⁾，2000 年之前主要用於二維全場應變分析，2000 年之後逐步發展出三維全場應變分析技術。最近幾年快速發展並應用到機械、力學、生物及土木工程等領域。與其他光測力學變形測量方法相比(例如影像干涉法)，數位影像相關法對複雜環境的適應性較好，具有光路簡單、實驗準備快及資料處理自動化程度高的特點，並可與各種高速高解析度攝影機、各種顯微鏡及 X 光機等配合使用。

DIC 法是利用數值分析比對變形前與變形後之影像，以獲得影像上欲量測之感興趣區域 (area of interest, AOI) 的位移與應變等資訊。首先，在物體變形前拍攝影像，設定為參考影像 (reference image)，隨著物體開始變形後，依據試件變形的情形與實驗所需之時間，擷取單張或設定間隔時間擷取多張變形影像 (deformed image)。接著在參考影像上選取欲量測之 AOI 區域，指定一種子點 (seed point) 為相關性比對的初始點，藉由此點估算初始值，通常種子點選擇在試件移動或變形最小的區域。根據試件表面特徵的大小，設定子區域 (subset size) 與每個子區域的間隔，用於比對參考影像與變形影像的相關性。最後，找出變形前後灰階值最相似的區域，以計算出變形量。

DIC 基本原理，簡述為根據影像匹配的方法分析試件表面變形前後的特徵斑點影像，追蹤試件表面上幾何點的運動，並得到位移場，在此基礎上計算得到應變場。在數位影像相關法演算法中，影像匹配時常用子區域的相關性來表示不同影像上兩個子區的相似程度。

當物體在受外加負載產生變形時，假設物體表面之特徵斑點與物體變形一致，藉由比對物體變形前後之數位影像，分析物體表面特徵斑點之相對位置，進而計算出物體之變形量。假設物體變形前，選定之子區域之中心點為 $P(x_0, y_0)$ ，子區域內部某一點為 $Q(x_i, y_i)$ ，當物體變形後，此點之新座標為 $Q'(x'_i, y'_i)$ ，變形前後之相對位置如圖 5 所示，可表示成⁽⁸⁾：

$$x'_i = x_i + u(x, y), y'_i = y_i + v(x, y) \quad (1)$$

式中， $u(x, y)$ 為物體變形後水平方向位移， $v(x, y)$ 為物體變形後垂直方向位移。

將 (1) 式對子區域中心點 (x_0, y_0) 做泰勒展開式，可得：

$$\begin{aligned} x'_i &= x_i + u_0 + \frac{\partial u}{\partial x} dx + \frac{\partial u}{\partial y} dy + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} dx^2 \\ &\quad + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} dy^2 + \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} dx dy \dots \\ y'_i &= y_i + v_0 + \frac{\partial v}{\partial x} dx + \frac{\partial v}{\partial y} dy + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} dx^2 \\ &\quad + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} dy^2 + \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} dx dy \dots \end{aligned} \quad (2)$$

式中， $dx = x_i - x_0$ ，即 x_i 與 x_0 之水平移動距離， $dy = y_i - y_0$ ，即 y_i 與 y_0 之垂直移動距離。

在分析計算時，若選取之子區域夠小或物體在變形時為小變形，則 dx 和 dy 將趨近於零，因此即可忽略高階項。於是將式 (2) 省略二階以上之高階項，簡化後如下：

$$\begin{aligned} x'_i &= x_i + u_0 + \frac{\partial u}{\partial x} dx + \frac{\partial u}{\partial y} dy \\ y'_i &= y_i + v_0 + \frac{\partial v}{\partial x} dx + \frac{\partial v}{\partial y} dy \end{aligned} \quad (3)$$

式中， $(u_0, v_0, \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y}, \frac{\partial v}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y})$ 六個參數為待求之變數， u_0 和 v_0 為位移參數， $\frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y}, \frac{\partial v}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y}$ 為位移梯度參數。最後，藉由搜尋分析此六個參數，得

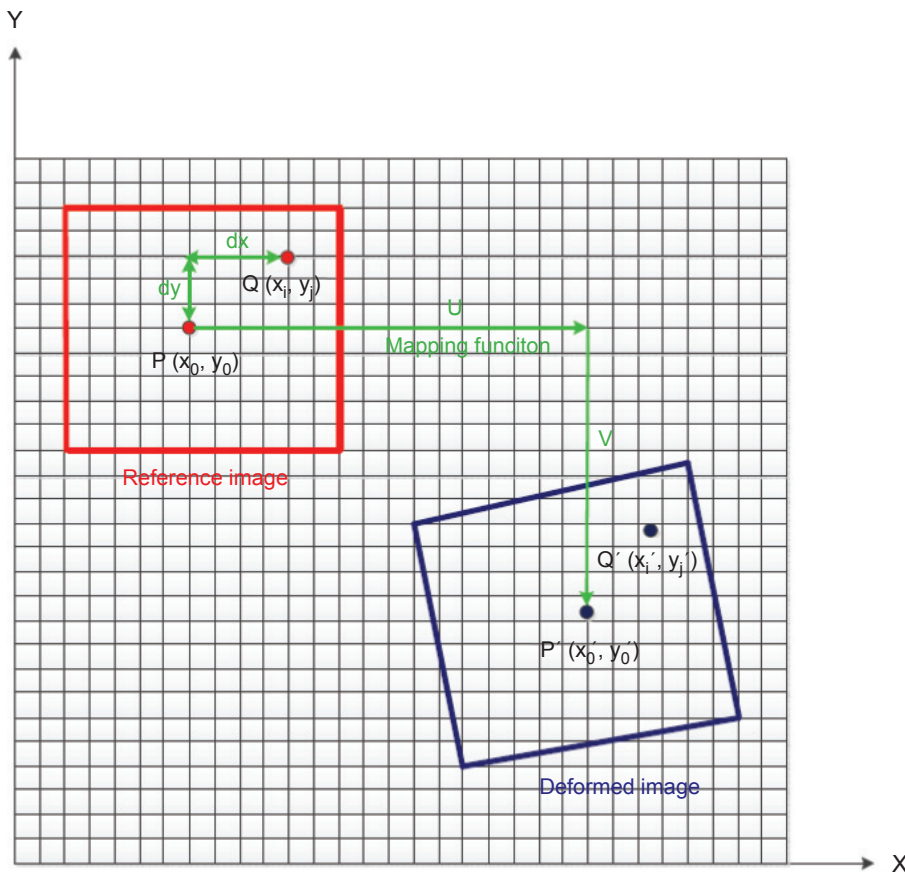


圖 5. 數位影像相關法示意圖。

知物體之位移與應變，一般常使用最佳化數值方法搜尋此六個變數。

四、實驗結果

以本研究系統進行圓周運動控制、攝影機校正、圓管三維立體重建及全景影像拼接等實驗，用於驗證本研究特點：(1) 實驗儀器及試驗步驟簡單，可行性及準確度高。(2) 量測範圍可任意選取，大面積量測。(3) 藉由多部攝影機內外部參數互相比對，能正確估算位移及應變參數。

1. 圓周運動控制

由視覺化人機介面量測系統之步進馬達控制介面，操控攝影機進行圓周運動過程，系統運動或停止均應當處於系統結構穩定狀態。並針對左右攝影機移動至圓周非對稱位置過程可能發生狀況，進行平衡測試，以確認系統於如圖 6 實際圓周運動控制 (R-70°→30°/L-30°) 過程，潛在發生傾倒或系統不

穩定問題。圖 6(a) R-70°/L-30°、(b) R-55°/L-30°、(c) R-45°/L-30° 及 (d) R-30°/L-30° 所示，控制攝影機 3 改變不同取像視角，系統進行動態移動於最大不平衡位置時，圓周運動過程系統仍處於穩定狀況，可避免量測過程造成問題。

2. 攝影機校正實驗

多視角編列數位影像關係法量測系統為空間中任意三部以上攝影機所構成共圓架構之數位影像相關系統，各攝影機在空間上具有共圓幾何關係。透過攝影機校正實驗，可將內方參數 fc 、 M 、 k 、 C_x 、 C_y ，外方參數 ϕ 、 θ 、 ϕ 與 t_x 、 t_y 、 t_z 及圓半徑 r 與兩部攝影機間夾角進行分析。

本測試影像大小為 640 × 480 pixels。本實驗架設幾何關係如圖 7 所示，為多視角編列數位影像關係法量測系統之基線及旋轉角度參數，將攝影機 2：固定為 0°；攝影機 1 與 3：旋轉角度如下：25°、 $b_1 = 2 \times 340 \times \sin(25/2) = 147.2 \text{ mm}$ 、 $b_2 = 2 \times b_1 = 294.4 \text{ mm}$ 。圖 8 為攝影機校正實驗架設，將校

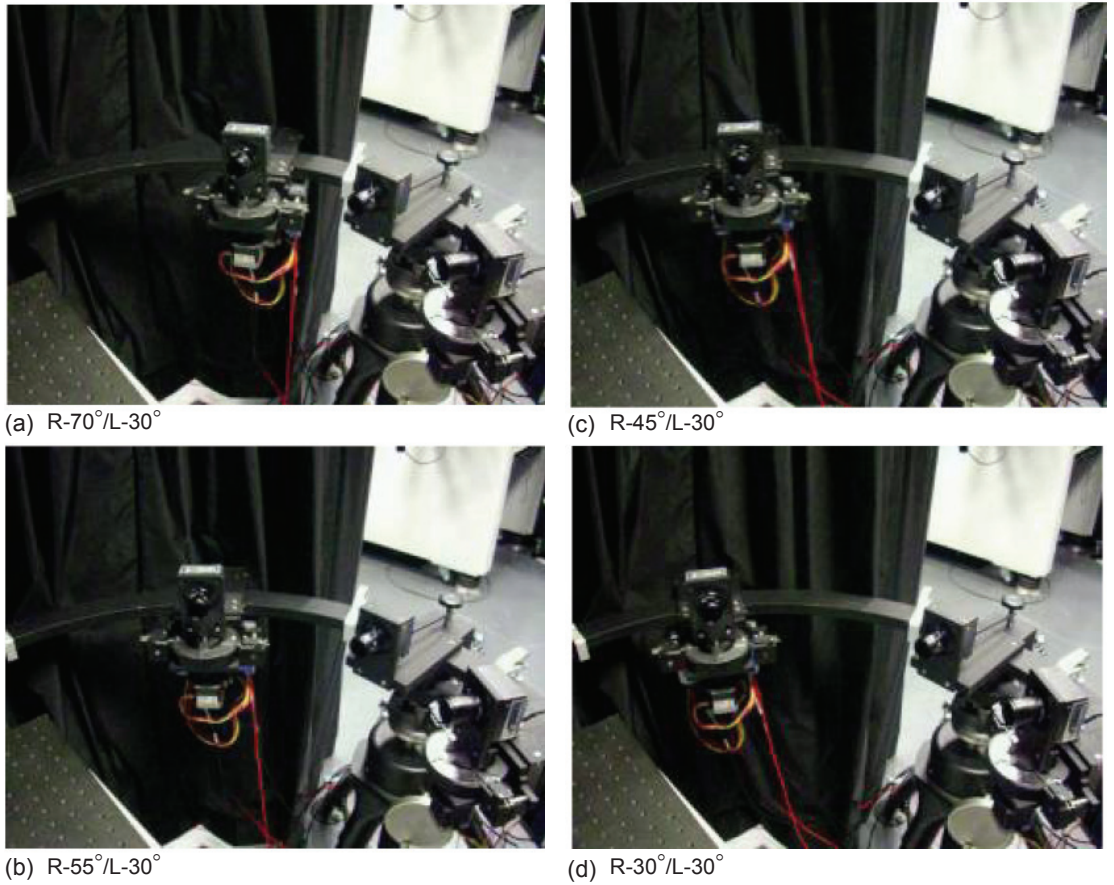


圖 6.
實際圓周運動控制 (R-70° → 30° / L-30°) 過程。

正板正視攝影機 2，攝影機 1 與 3 以不同視角對校正板進行拍攝，供後續攝影機校正實驗使用。圖 9 為圓格點校正板圖案，為一 12 × 9 格子校正板影像，每個格子距離為 3 mm 所構成，使用已知的格

子點實際距離作為攝影機校正使用。圖 10 為三部攝影機同時拍攝一校正影像，圖 10(a) 為攝影機 1 所拍攝得到的校正影像，圖 10(b) 為攝影機 2 所拍攝得到的校正影像及圖 10(c) 為攝影機 3 所拍攝得

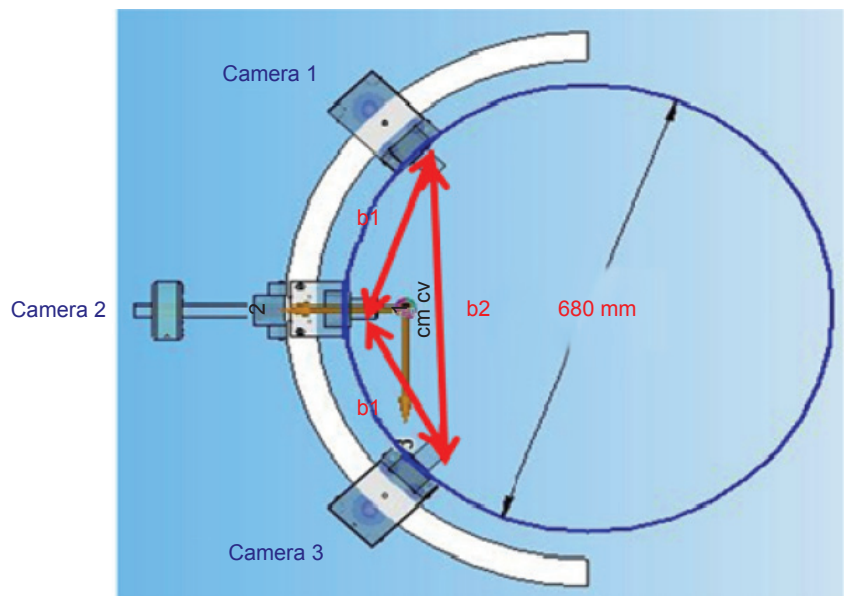


圖 7.
多視角編列數位影像關係法量測系統之基線及旋轉角度參數。

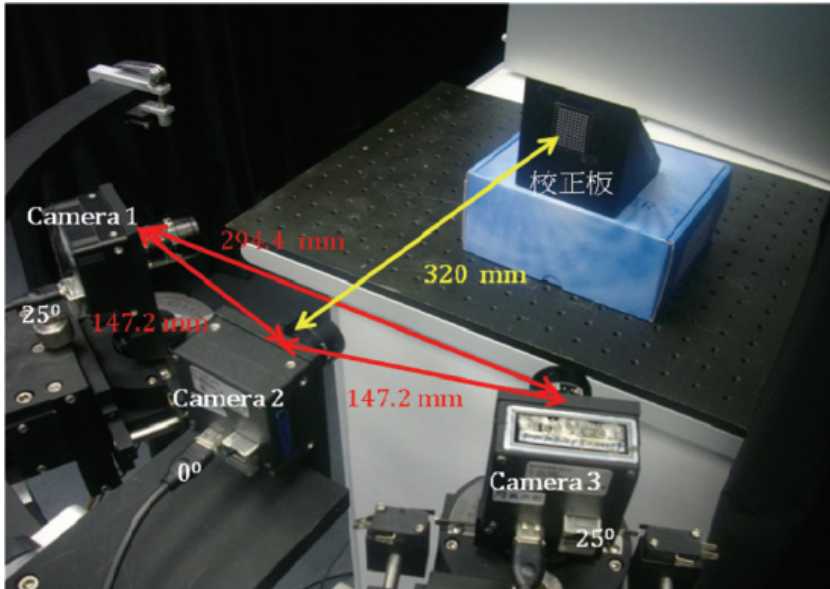


圖 8. 攝影機校正實驗架設。

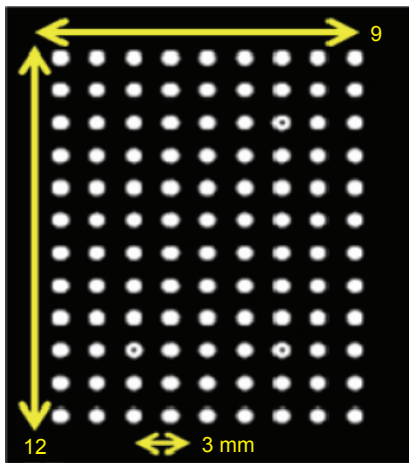


圖 9. 圓格點校正影像。

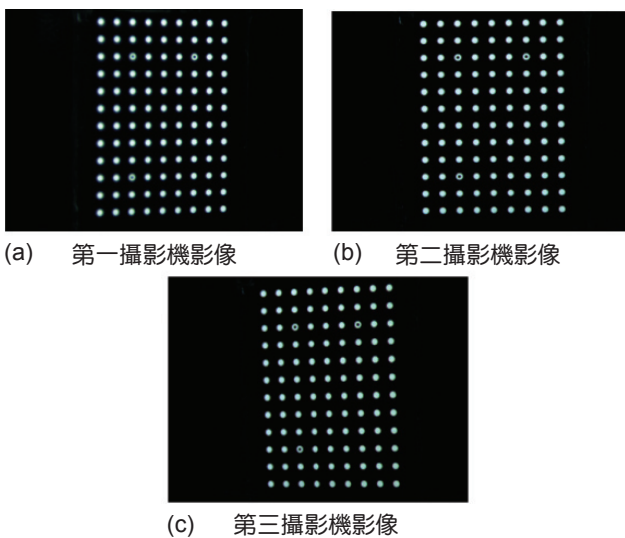


圖 10. 三部攝影機同時拍攝一校正影像。

到的校正影像。其中，圖 10(b) 為正視圖影像，圖 10(a) 與 (c) 為不同視角進行觀測不同區域影像資訊。

表 2 至 4 三部攝影機校正結果套入圖 7 實驗架設幾何關係推導公式比較，表 2 為攝影機 1 及攝影機 2 校正結果，其基線及旋轉角度參數分別為 144.643 mm 與 24.92°，誤差量為 1.74% 與 0.32%。表 3 為攝影機 1 及攝影機 3 之校正結果，其基線及旋轉角度參數分別為 288.02 mm 及 50.49°，誤差量為 2.17% 及 0.98%。表 4 為攝影機 2 及攝影機 3 之校正結果，可互相比對其三部

表 2. 攝影機 1 及攝影機 2 校正結果。

(a) 內部參數

Parameter	Camera 1	Camera 2
Center (x)	326.4	363.8
Center (y)	290.1	298.2
Focal length (x)	4148.8	4281.1
Focal length (y)	3925.4	4053.2
Skew	2.405	-2.456
kappa 1	0.034	0.050

(b) 外部參數

Parameter	Rotation (°)	Translation (mm)
X axis	-0.7038	-138.9
Y axis	24.92	-4.385
Z axis	-0.214	40.21
Baseline	144.643 mm	

表 3. 攝影機 1 及攝影機 3 校正結果。

(a) 內部參數

Parameter	Camera 1	Camera 3
Center (x)	326.5	356.2
Center (y)	250.0	260.2
Focal length (x)	4152.8	4291.3
Focal length (y)	4055.7	4191.7
Skew	2.546	-2.332
kappa 1	0.036	0.067

(b) 外部參數

Parameter	Rotation (°)	Translation (mm)
X axis	0.6099	-257.9
Y axis	50.49	4.478
Z axis	-0.3359	128.1
Baseline	288.02 mm	

表 4. 攝影機 2 及攝影機 3 校正結果。

(a) 內部參數

Parameter	Camera 2	Camera 3
Center (x)	350.7	348.5
Center (y)	251.0	267.8
Focal length (x)	4264.5	4284.3
Focal length (y)	4350.0	4367.1
Skew	-12.873	-6.934
kappa 1	0.003	0.035

(b) 外部參數

Parameter	Rotation (°)	Translation (mm)
X axis	1.32	-151.4
Y axis	25.61	8.229
Z axis	-0.3822	32.04
Baseline	154.974 mm	

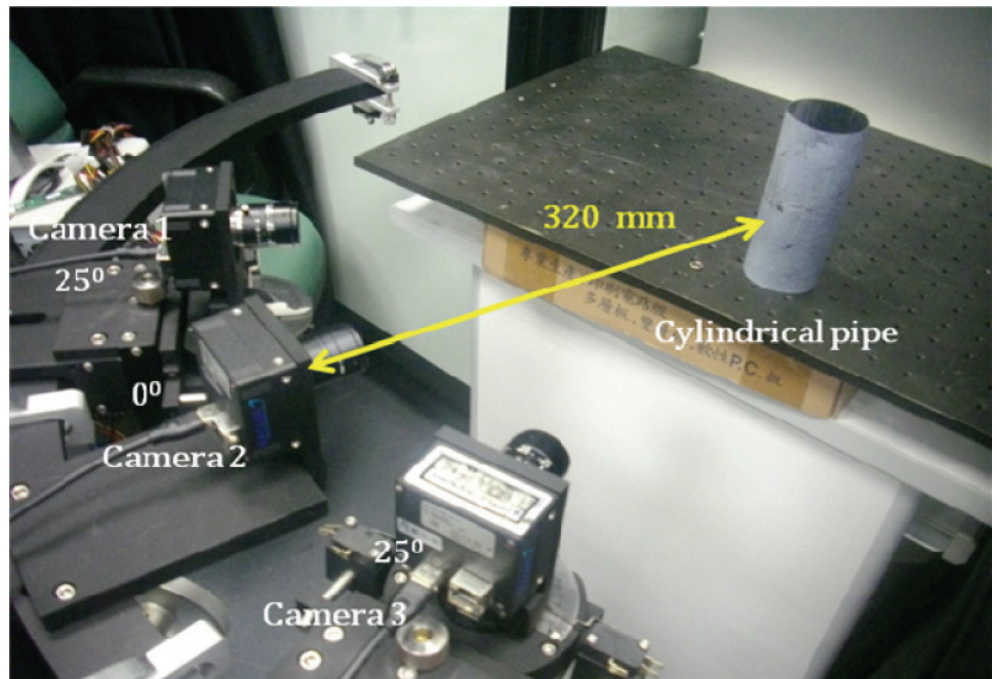


圖 11.
圓管三維立體重建實驗
架設。

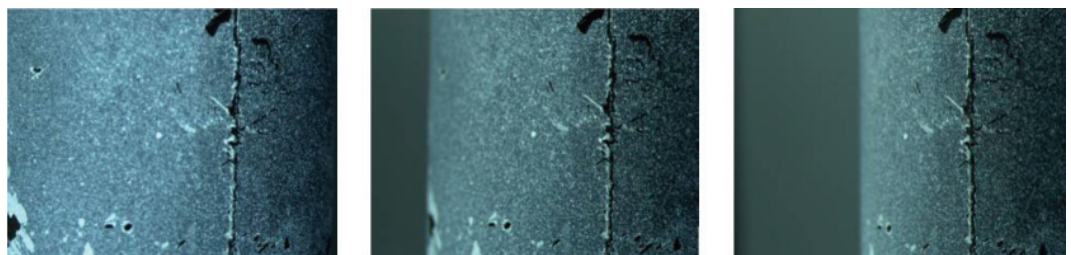


圖 12.
3 部攝影機拍攝圓
管。

(a) 第一攝影機圓管影像

(b) 第二攝影機圓管影像

(c) 第三攝影機圓管影像

攝影機校正結果，其基線及旋轉角度參數分別為 154.974 mm 與 25.61° ，誤差量為 5.28% 與 2.44%。

3. 圓管三維立體影像重建實驗

圖 11 為圓管三維立體重建實驗架設，將待測圓管置於靠近攝影機 2 距離 320 mm，攝影機 2 旋轉 0° 及攝影機 1 與 3 旋轉 25° ，由三部攝影機進行拍攝不同視角影像，作為圓管三維立體影像處理。

圖 12 為三部攝影機拍攝圓管，其中，圖 12(a) 為攝影機 1 所拍攝得到的圓管影像，圖 12(b) 為攝影機 2 所拍攝得到的圓管影像及圖 12(c) 為攝影機 3 所拍攝得到的圓管影像。此三張影像具有不同視角影像資訊。

圖 13 為攝影機 1 及攝影機 2 之三維重建結果，圖 13(a) 為攝影機 1 校正後圓管扭曲影像及圖 13(b) 為攝影機 2 校正後圓管扭曲影像。圖 13(c) 為攝影機 1 及攝影機 2 之三維重建結果。得到最大景深為 1.95 mm，最小景深為 -4.2 mm。

圖 14 為攝影機 1 及攝影機 3 之三維重建結果，圖 14(a) 為攝影機 1 校正後圓管扭曲影像及圖 14(b) 為攝影機 3 校正後圓管扭曲影像。圖 14(c) 為攝影機 1 及攝影機 3 三維重建結果。得到最大景深為 1.65 mm，最小景深為 -4.1 mm。

圖 15 為攝影機 2 及攝影機 3 之三維重建結果，圖 15(a) 為攝影機 2 校正後圓管扭曲影像及圖 15(b) 為攝影機 3 校正後圓管扭曲影像，圖 15(c) 為攝影機 2 及攝影機 3 三維重建結果。得到最大景深為 1.6 mm，最小景深為 -4.25 mm。

從圖 13 至 15 不同攝影機 1 至 3 得到不同區域三維重建結果，後續可透過各局部三維影像擬合處理。

4. 全景影像拼接

將兩張影像所取得特徵點，進行相鄰影像間的特徵匹配，挑選出正確且具代表性的特徵點對，進行全景影像拼接。並配合三部攝影機取得多張連續影像拼接，以獲得拼接全景圖。如 4.3 節的立體重建實驗架設之光軸距離待測物為 320 mm，控制 ϕ_{ZR} 、 ϕ_{ZL} 成為 25° ，控制 ϕ_{zr} 、 ϕ_{zl} 取像角度為 0° 。

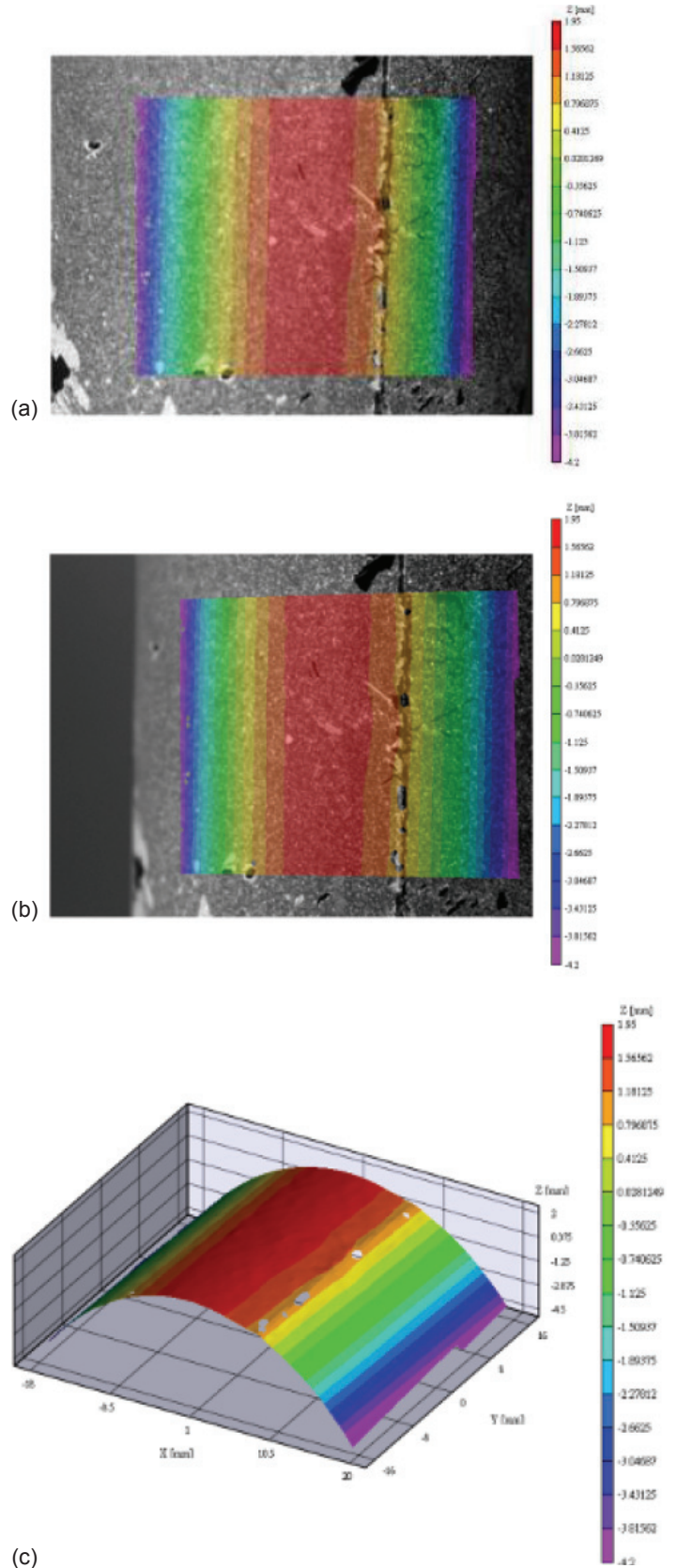
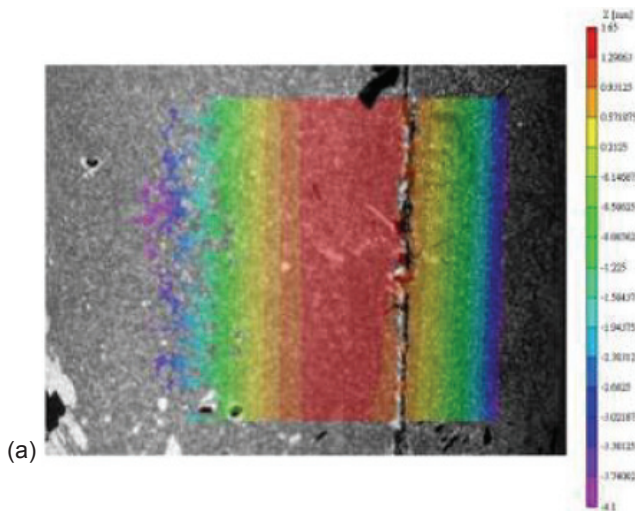
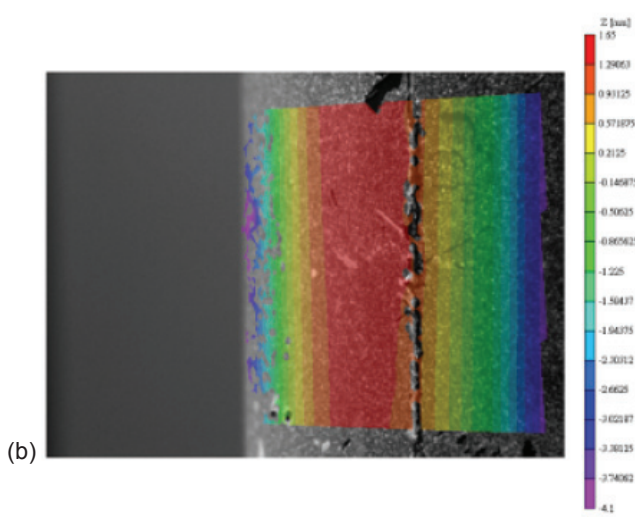


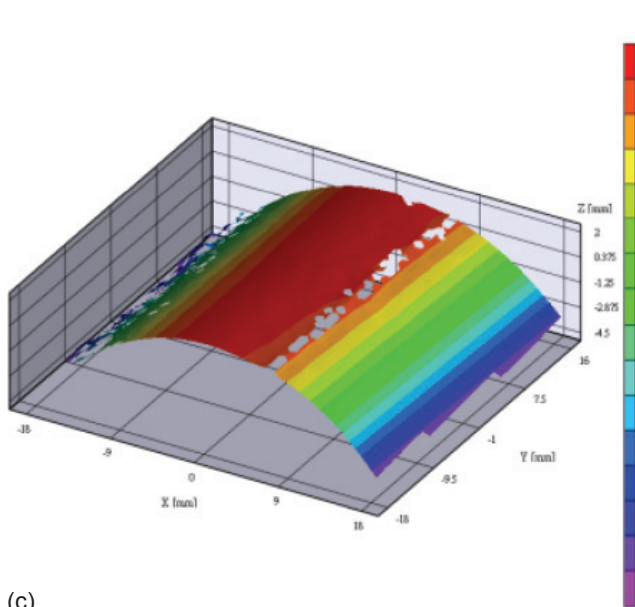
圖 13. 攝影機 1 及攝影機 2 三維重建結果。



(a)

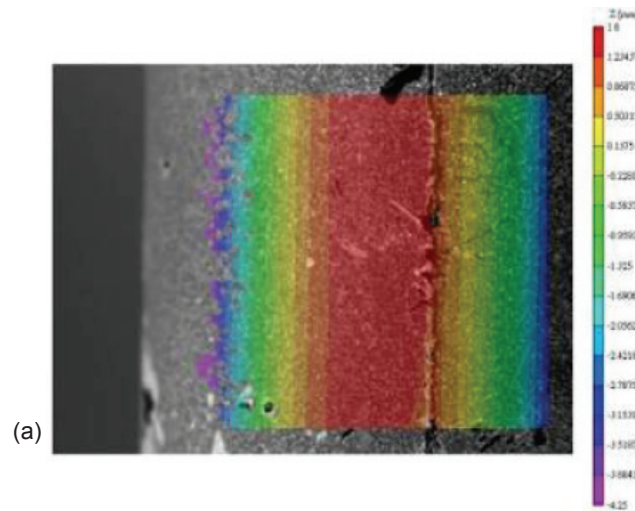


(b)

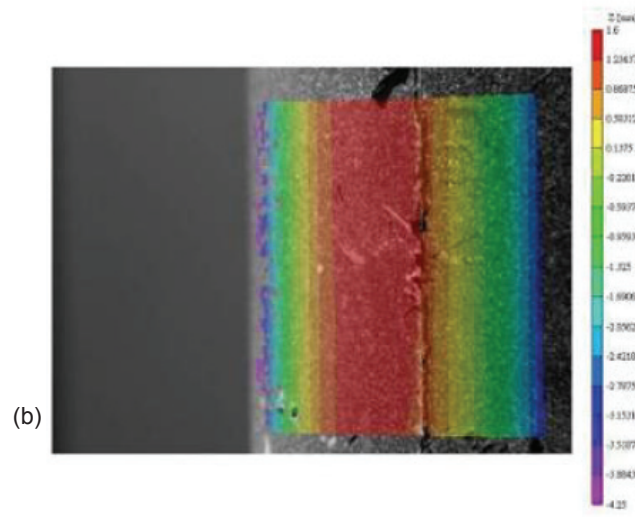


(c)

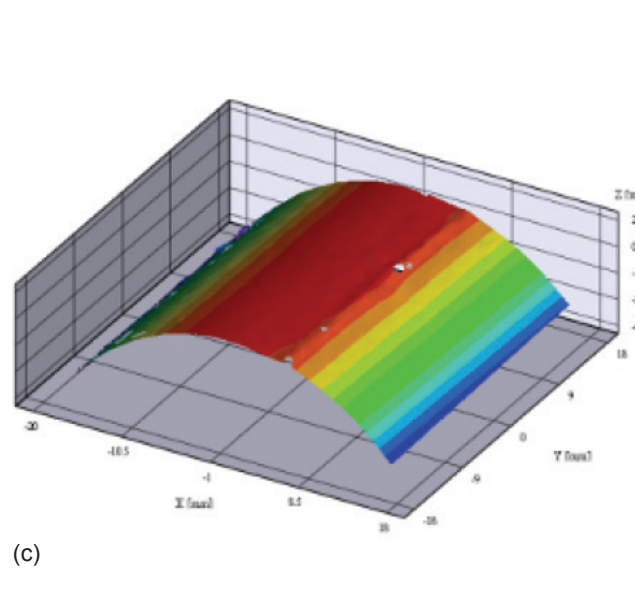
圖 14. 攝影機 1 及攝影機 3 三維重建結果。



(a)



(b)



(c)

圖 15. 攝影機 2 及攝影機 3 三維重建結果。

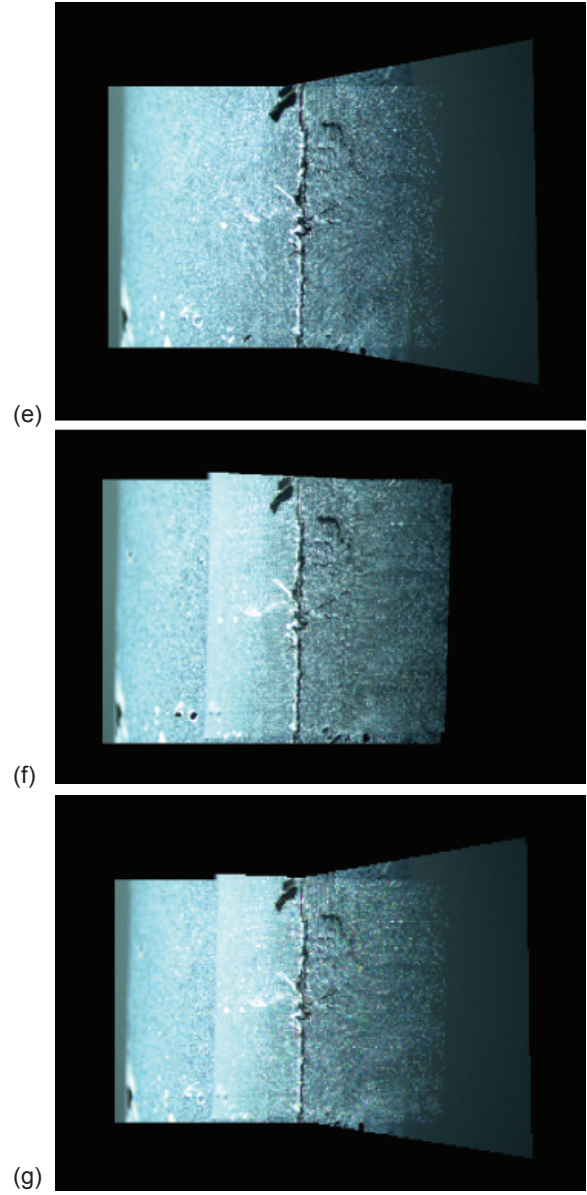
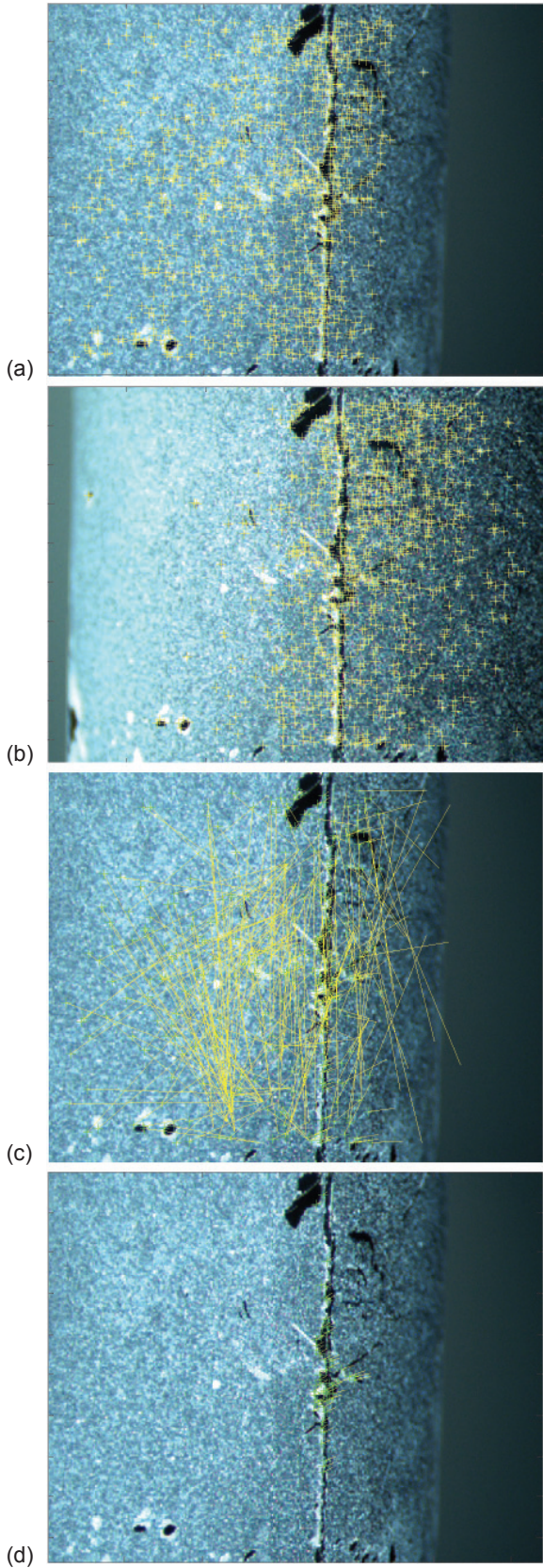


圖 16. 全景影像拼接實驗結果。

三部攝影機以不同視角同時拍攝圓管原始影像，如圖 12(a) 至 (c) 所示，透過全景影像拼接轉換後，可得到如圖 16 全景影像拼接實驗結果。以攝影機 1 及攝影機 2 為例，進行全景影像拼接轉換說明。其中，圖 16(a) 黃色標示點為攝影機 1 經由 Harris 角點偵測法得到的 1000 個特徵點，圖 16(b) 黃色標示點為攝影機 2 經由 Harris 角點偵測法得到的 1000 個特徵點；圖 16(c) 為攝影機 1 及攝影機 2 特徵點對匹配出 330 個特徵點過程，挑選出正確且具代表性的 72 個特徵點，得到如圖 16(d) 綠色標示點。以攝影機 2 為參考影像，攝影機 1 扭曲影像至攝影機 2，進行全景影像拼接取得，如圖 16(e) 攝影機 1 及攝影機 2 之全景影像 1601×901 。同理，以攝影機 2 為參考影像，攝影機 3 扭曲影像至攝影機 2，可以得到圖 16(f) 攝影機 2 及攝影機 3 之全景影像 1601×901 。最後，得到攝影機 1、攝影機 2 及攝影機 3 之全景影像 1601×901 ，如圖 16(g) 所示。

五、結論

本研究成功地進行圓周運動控制、攝影機校正、圓管三維立體重建及全景影像拼接等實驗，用於驗證本研究特點：(1) 實驗儀器及試驗步驟簡單，可行性及準確度高。(2) 量測範圍可任意選取，並可用於大面積量測。(3) 藉由多部攝影機內外部參數互相比對，能正確估算位移及應變參數。運用三部攝影機取像後，經進行影像校正及立體影像匹配得到視差圖，並運用三部攝影機共圓幾何特性，配合數位影像關係法，經此幾何編列方式，擴大觀測視野範圍，並且增加重疊區內的立體場景物體影像資料。藉由多部攝影機影像疊合特徵，並可增加 3D 重建特徵點重疊區域範圍。

在光學系統設計上採用圓形量測桿使三部攝影機中心光軸共圓交於一點，且三部攝影機可利用調整裝置於量測桿上進行適當間距之調整。藉由系統內部所建立之每個角度校正參數，使現場量測重建三維資訊時，不需要再進行複雜校正程序。對於觀測不同大小之待測物時，只要調整本量測裝置於量測桿上進行適當間距之調整，即可快速進行重建三維資訊。

參考文獻

1. W. H. Peters and W. F. Ranson, *Optical Engineering*, **21**, 427 (1982).
2. T. C. Chu, W. F. Ranson, and M. A. Sutton, *Exp. Mech.*, **25**, 232 (1985).
3. M. A. Sutton, C. Mingqi, W. Peters, Y. Chao, and S. McNeill, *Image and Vision Computing*, **4**, 143 (1986).
4. M. A. Sutton, W. H. Peters, Y. J. Chao, and P. F. Luo, *Experimental Mechanics*, **33** (2), 123 (1993).
5. S. R. McNeill, M. A. Sutton, Z. Miao, and J. Ma, *Experimental Mechanics*, **37** (1), 13 (1997).
6. Chi-Hung Huang, Yung-Hsiang Chen, Tai-Shan Liao, Wei-Chung Wang, US 20130070048 A1.
7. 黃吉宏, 陳永祥, 王偉中, 廖泰杉, “編列數位影像關係裝置 (Formation digital image correlation device and method),” 公開號 TW 201310004.
8. M. A. Sutton, W. J. Wolters, W. H. Peters, W. F. Ranson, and S. R. McNeill, *Image and Vision Computing*, **1** (3), 133 (1983).



黃吉宏先生為國立清華大學動力機械工程博士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心研究員兼技術長。

Chi-Hung Hwang received his Ph.D. in power mechanical engineering from National Tsing Hua University. He is currently a researcher and chief technology officer at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.



王偉中先生為美國愛荷華州立大學工程力學博士，現任國立清華大學動力機械工程學系教授兼任全球事務長。

Wei-Chung Wang received his Ph.D. in engineering mechanics from Iowa State University, USA. He is currently a professor in the Department of Power Mechanical Engineering and the Vice President for Global Affairs at National Tsing Hua University.



陳永祥先生為國立彰化師範大學電機工程碩士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心副工程師。

Yung-Hsiang Chen received his M.S. in electrical engineering from National Changhua University of Education. He is currently an associate engineer at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.



陳志彥先生為國立陽明大學醫學工程研究所博士，現任國家實驗研究院儀器科技研究中心助理研究員。

Chih-Yen Chen received his Ph.D. degree in biomedical engineering from National Yang-Ming University. He is currently an assistant researcher at Instrument Technology Research Center, National Applied Research Laboratories.