

共線條件에 의한 構造物의 幾何學的 變形解析에 關한 研究

A Study on the Geometric Deformation Measurement of Structures by Collinearity Condition

姜 準 默* 吳 元 鎮**
Kang Joon-Mook Oh Won-Jin
李 鎮 德*** 韓 承 熙****
Lee Chin-Duk Han Seung-Hee

要 旨

構造物의 變形測定에 있어서 Strain gauge, Inclinator, Dial gauge등을 利用한 方法과 測地學的인 方法들은 器具設置의 어려움과 經濟的인 面은 물론 正確度面에서도 많은 問題點을 안고있다.

이에 最近 多방면으로 活用이 增大되고 있는 C. R. P (Close-Range Photogrammetry) 技法을 土木構造物의 變形測定에 適用하여 이를 共線條件으로 解析하였다. 被寫體로 縣垂橋模型을 製作하였으며 載荷變形測定 實驗을 實施, Dial gauge, Precision level, 精密三角測量을 통한 測定값과 比較하여 그의 妥當性을 提示하였다. 또한 實構造物에 適用時 發生하는 諸般問題點들을 고려하기위해 Camera 回轉因子 ω, ϕ , 露出點높이 Z_L , 基線傾斜角 θ 의 變化를 다양하게 實驗하여 그의 特性을 考察하였다.

實驗結果 Dial gauge, 精密 Level, 精密 三角測量으로 測定한 變形量과 C. R. P로 測定한 變形量은 $10\mu m$ 以內의 誤差로 相互接近하였으며 X와Z 座標에 대한 標準誤差는 收斂角 약 60° 에서 Y座標는 收斂角 약 90° 에서 가장 작았으며 Z_L 의 變化는 誤差에 別다른 影響을 주지않는다. 또한 θ 가 증가함에 따라 本 實驗條件下에서는 Normal Case에서 30° 까지 Convergent Case에서는 15° 까지 良好한 精度를 보였으며 ϕ 와 ω 가 同時에 증가할수록 精度가 급격히 저하되며 특히 Y座標의 精度에 많은 影響을 미침을 알 수 있었다.

이들 結果로 볼때 C. R. P解析技法은 精度와 經濟的인 面에서 各種 構造物의 變形測定에 그 効用이 期待된다.

ABSTRACT

As for the deformation measurement of structure, there are many controversial points in using the methods by the strain gauge, inclinometer, bial guage, and geodetic method because of the difficulty of instrument setting and the problem in the degree of accuracy of the results as well as in the economical aspect.

* 忠南大學校 工科大學 副教授
** 忠南大學校 工科大學 助教

*** 金烏 工科大學 助教
**** 忠南大學校 大學院 碩士課程

Therefore, to verify the superiority of the Close-Range Photogrammetry method for the structural deformation measurement, the result of load deformation on the model structure, which was made using the Close-Range Photogrammetry method was compared with the results which was made using the methods of dial gauge, precision level, and triangulation.

In addition to that, to consider the general problem which would happen when C. R. P method was applied to the practical structure. The elements of C. R. P method like camera rotation angle (ϕ, ω), exposure elevation (Z_L), and angle of inclined base line (θ) were experimented, and their specificities were reconsidered.

As a result, the application of C. R. P method to the general structure is expected to be increased not only in the aspect of accuracy but in the economical aspect.

1. 序 論

현재 尖端産業 및 建設의 增大로 各種 複雑하고 거대한 形狀의 産業機械 및 構造物이 수 없이 開發 建設되고 있다. 工學的側面에서 이들 構造物의 形狀과 特性을 糾明하기 위한 研究는 基本的이며 必須的인 課題라 하겠다.

從來 構造物의 變形測定方法은 外部表面에 대한 方法으로 Theodolite, Precision level, Dial gauge 등을 利用하여 왔으며 内部變形의 測定方法으로 strain-gauge, Inclinator, noise-meter 등을 使用하여 왔으나 機械設置 및 正確度 등에 있어서 問題가 되어왔다. ⁽¹⁾ 이에 最近 活發히 研究되고 있는 C. R. P를 適用한다면 複雑한 形狀의 産業機械는 물론 모든 構造物에 대한 變形測定을 經濟的이며 正確하게 實施할 수 있을 것이다.

C. R. P를 利用한 變形測定의 研究는 1954年 Herrert B. 에 의해 그 始初가 되었으며 以後로 Powerdam의 變形測定⁽²⁾, Tunnel内部의 變形測定, S. A Veress와 N. C Jackson은 Concrete옹벽의 内外部 變形測定을 Inclinator와 C. R. P로 各各 實施하여 C. R. P의 優越성과 效率성을 提示하였으며, 그밖에 橋梁의 載荷變形測定⁽³⁾, 送電塔의 風圧에 대한 變形測定 등이 研究되었고 特히 最近 1986年 Haim B. Papo는 對像物의 Displacement와 Deformation을 分析하는데 있어서 Kinematic Equation을 利用하여 解析하였으며⁽⁴⁾ 같은해 C. S Fraser는 Compressor의 熱變形測定을 實施하여 複雑한 形狀의 接

觸할 수 없는 構造物에 대해서도 適用 可能性을 提示하는 등⁽⁵⁾ C. R. P를 應用한 構造物의 變形測定 및 精密測定에 關한 研究가 活發히 進行되고 있다.

本 研究에서는 構造物의 變形測定을 위해 Collinearity Condition에 의한 Bundle Adjustment로 解析할 경우 提起되는 諸般 問題點들을 檢討한 後 縣垂橋의 模型을 製作, 各段階別로 載荷 荷重을 增加시키면서 測定實驗을 行하였고 Dial gauge ($10 \mu m$ 讀), Precision level ($10 \mu m$ 讀), 精密三角測量 方法으로 實測하여 그의 適用 妥當성을 提示하였으며 또한 C, R, P測定에서 回轉角 ω, ϕ 의 變化가 精度에 미치는 影響, 露出點높이 Z_L 의 變化 및 基線에 대한 두 露出點間의 傾斜角 θ 의 變化가 精度에 미치는 影響을 分析하여 實構造物에 精密 變形測定에 便宜를 도모하는데 그 目的이 있다.

2. C.R.P技法에 의한 變形測定の 解析理論

前·後 時差에 대한 撮影을 同一한 撮影點上에서 實施하여 直接 被寫體 空間座標를 比較分析하는 方法과 寫眞의 立體雙에 대한 解析으로 前·後撮影을 實施하여 同一 座標系를 얻기 위해 Relative Orientation과 Absolute Orientation 過程을 利用하는 方法이 있다. 前者는 同一 撮影點을 찾아 撮影해야 하며 後者는 複雑한 過程을 거쳐야 하기 때문에 많은 問題點을 갖고 있다.⁽⁶⁾ 이외에 Stereo Comparator를 利用하여 視差에 의해 變形을 測定하는 方法과 最近 Papo에 의해

도입된 Kinematic equation에 의한 解析方法等이 있다³⁾.

2.1 Collinearity Condition 解析 理論

Fig. 1에서 “地上點*i*, 寫眞의 投影中心*O_j*, 그리고 像點*P_{ij}*가 同一直線上에 存在해야 한다”는 條件을 Collinearity Condition이라 하며 條件式은 다음과 같다⁴⁾.

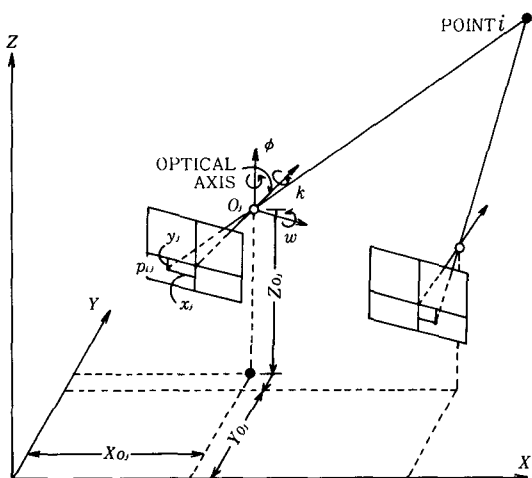


Fig. 1 Collinearity condition in general geometry

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_i = \lambda_{ij} R_j \begin{pmatrix} x \\ y \\ -c \end{pmatrix}_u + \begin{pmatrix} X_L \\ Y_L \\ Z_L \end{pmatrix}_j \quad (2-1)$$

c : camera focal length

λ_{ij} : scale factor

$$R_j : \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_4 & a_5 & a_6 \\ a_7 & a_8 & a_9 \end{pmatrix} = R(w_j, \phi_j, k_j)$$

camera의 回轉直交行列

여기서 R_j 는 orthogonal matrix의 경우이므로 $R_i^{-1} = R_i^T$ 이다. 다시 式(2-1)을 變形시키면

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ -c \end{pmatrix}_u = \frac{1}{\lambda_{ij}} R_j^T \begin{pmatrix} X_i - X_{Lj} \\ Y_i - Y_{Lj} \\ Z_i - Z_{Lj} \end{pmatrix} \quad (2-2)$$

x, y : photo coordinate.

X_i, Y_i, Z_i : 被寫眞體空間에서 i 點의 位置

X_{Lj}, Y_{Lj}, Z_{Lj} : 被寫眞體空間에서 投影中心의 位置

λ_{ij} 를 소거하기 위해서 式(2-2)의 제1성분과 제2성분을 제3성분으로 各各 나누면

$$x_{ij} = -c \frac{a_1 (X_i - X_{Lj}) + a_4 (Z_i - Z_{Lj}) + a_7}{a_3 (X_i - X_{Lj}) + a_6 (Z_i - Z_{Lj}) + a_9} \frac{(Y_i - Y_{Lj})}{(Y_i - Y_{Lj})} \quad (2-3)$$

$$y_{ij} = -c \frac{a_2 (X_i - X_{Lj}) + a_5 (Z_i - Z_{Lj}) + a_8}{a_3 (X_i - X_{Lj}) + a_6 (Z_i - Z_{Lj}) + a_9} \frac{(Y_i - Y_{Lj})}{(Y_i - Y_{Lj})} \quad (2-4)$$

와 같은 한쌍의 非線型 共線條件式이 成立된다. $G_i = (X, Y, Z)_i^T$, $P_i = (w, \phi, k, X, Y, Z)_i^T$ 의 近似值를 알고 있다고 가정하여 $\bar{G}_i = (\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z})_i^T$, $\bar{P}_i = (\bar{w}, \bar{\phi}, \bar{k}, \bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z})_i^T$ 로 表示하고 近似值와의 差는 $\Delta_i = (\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)_i^T$, $\bar{\Delta}_i = (\Delta w, \Delta \phi, \Delta k, \Delta X_L, \Delta Y_L, \Delta Z_L)_i^T$ 로 表示한다.

共線條件式(2-3), (2-4)의 우변을 $f_x(X, Y, Z, W, \phi, K, X_L, Y_L, Z_L)$, $f_y(X, Y, Z, W, \phi, K, X_L, Y_L, Z_L)$ 로 놓고 $(\bar{X}_i, \bar{Y}_i, \bar{Z}_i, \bar{W}_i, \bar{\phi}_i, \bar{K}_i, \bar{X}_{Lj}, \bar{Y}_{Lj}, \bar{Z}_{Lj})$ 에 대해 Taylor 展開하여 2차항 이상을 무시하면

$$\bar{A}_{ij} \Delta_i + \bar{A}_{ij} \bar{\Delta}_j = C_{ij} - \bar{C}_{ij} \quad (2-5)$$

여기에서

$$C_{ij} = \begin{pmatrix} x_{ij} \\ y_{ij} \end{pmatrix} \quad \bar{C}_{ij} = \begin{pmatrix} \bar{x}_{ij} \\ \bar{y}_{ij} \end{pmatrix}$$

$$\bar{A}_{ij} = \begin{pmatrix} \frac{\sigma f_x}{\sigma X}, \dots, \frac{\sigma f_x}{\sigma X_L}, \dots \\ \frac{\sigma f_y}{\sigma X}, \dots, \frac{\sigma f_y}{\sigma X_L}, \dots \end{pmatrix}$$

$\bar{X}_i, \bar{Y}_i, \bar{Z}_i, \bar{W}_i, \bar{\phi}_i, \bar{K}_i, \bar{X}_{Lj}, \bar{Z}_{Lj}$

$$\bar{A}_{ij} = \begin{pmatrix} \frac{\sigma f_x}{\sigma W}, \dots, \frac{\sigma f_x}{\sigma X_L}, \dots \\ \frac{\sigma f_y}{\sigma W}, \dots, \frac{\sigma f_y}{\sigma X_L}, \dots \end{pmatrix}$$

$\bar{X}_i, \bar{Y}_i, \bar{Z}_i, \bar{W}_i, \bar{\phi}_i, \bar{K}_i, \bar{X}_{Lj}, \bar{Y}_{Lj}, \bar{Z}_{Lj}$

$$\Delta_i = \begin{pmatrix} \Delta X_i \\ \Delta Y_i \\ \Delta Z_i \end{pmatrix} \quad \Delta_j = \begin{pmatrix} \Delta W_j \\ \Delta \phi_j \\ \Delta K_j \\ \Delta X_{Lj} \\ \Delta Y_{Lj} \\ \Delta Z_{Lj} \end{pmatrix}$$

다음 $C_{ij} - \bar{C}_{ij}$ 값이 무시할 수 있을 정도로 미소해 질때까지 반복계산하여 그때의 調整量 Δ_i, Δ_j 를 求한다. 그리하여 最終적으로 調整된 값을 얻는다.

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ \omega_j \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \bar{X}_i \\ \bar{Y}_i \\ \bar{Z}_i \\ \bar{\omega}_j \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \Delta X_i \\ \Delta Y_i \\ \Delta Z_i \\ \Delta \omega_j \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \phi_j \\ k_j \\ X_{Lj} \\ Y_{Lj} \\ Z_{Lj} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{\phi}_j \\ \bar{k}_j \\ \bar{X}_{Lj} \\ \bar{Y}_{Lj} \\ \bar{Z}_{Lj} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta \phi_j \\ \Delta k_j \\ \Delta X_{Lj} \\ \Delta Y_{Lj} \\ \Delta Z_{Lj} \end{pmatrix} \quad (2-6)$$

以上の過程에서와 같이 Bundle Adjustment를 通하여 Space Resection, Space Intersection 過程이 式(2-6)으로 被寫體 3次元 空間座標와 Space Resection要素 $\omega_j, \phi_j, k_j, \bar{X}_{Lj}, \bar{Y}_{Lj}, \bar{Z}_{Lj}$ 가 同時に 計算된다.

2.2 變形解析 技法

靜的인 狀態와 載荷狀態의 被寫體를 撮影한 nega로부터 機械座標測定을 하고 Affine 變換으

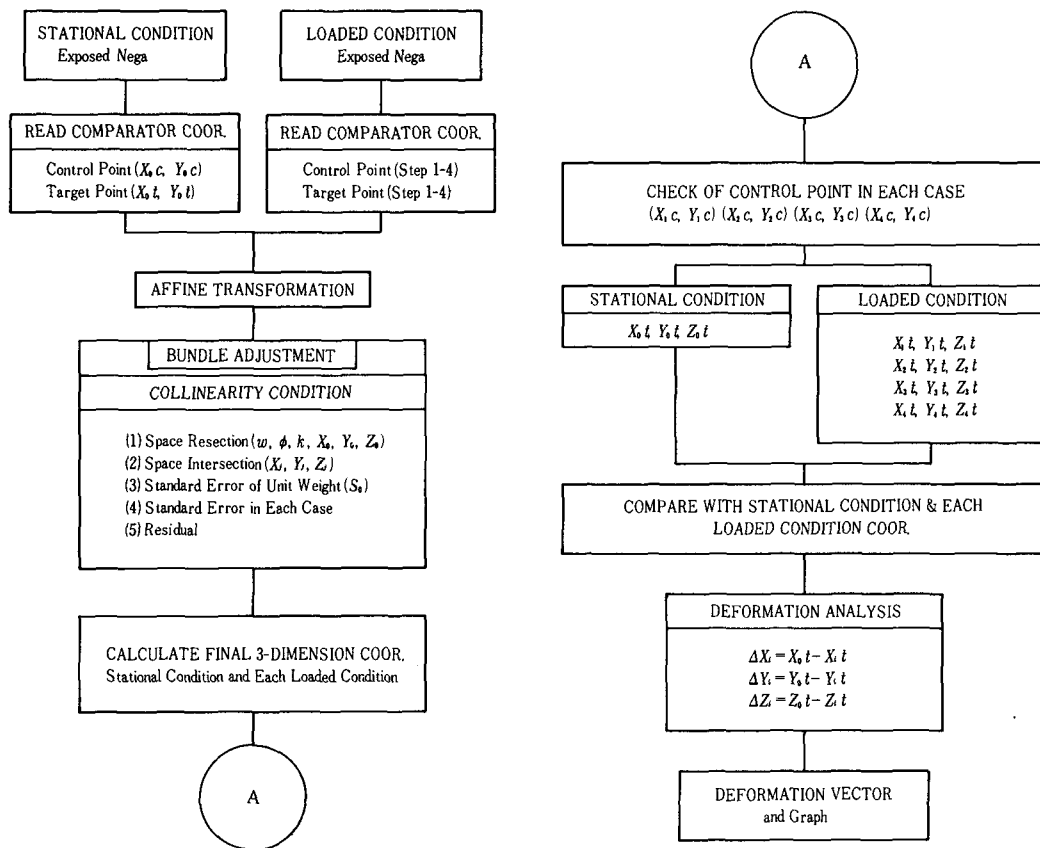


Fig. 2 Deformation analysis by Collinearity Condition

로 2次元 寫眞座標를 求한다. 이 寫眞座標와 初期值 (Approximation value)를 入力하여 앞절에서 展開한 Collinearity Condition을 基本理論으로 靜的인 狀態와 載荷狀態時의 被寫體 3次元 空間座標를 求한다. 다음 Control Point의 點檢을 거쳐 各 step에 따른 3次元座標를 比較하여 最終 變形量 ΔX_i , ΔY_i , ΔZ_i 를 計算한다. 이 過程을 요약 도시하면 Fig. 2와 같다.

3. 實 驗

被寫體는 縣垂橋의 縮小模型을 製作하여 段階別 荷重에 따른 變形測定을 위해 攝影을 實施하였으며 이 方法의 適用 妥當性을 立證하기 위해 Dial gauge, precision level, 精密三角測量으로 同時에 測定하였다. 基準點은 完全히 獨立의 인 3개의 丸奉에 各 2점씩 6점을 設置하였으며 잉여관측수 (Degree of freedom)를 고려하여 15

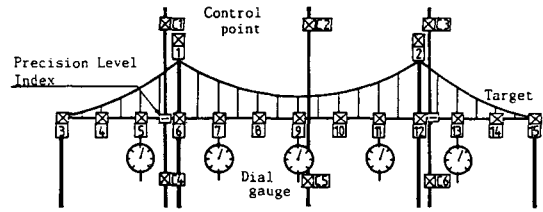


Fig. 3 Target and Control point array of OBJECT

點의 Target을 Fig. 3과 같이 設置하였다.

寫眞攝影은 Fig. 4와 같이 被寫體로 부터 2.5 m에서 收斂角은 120°, 90°, 60°마다, 露出點높이 (Z_L)은 三角測量點A의 Theodolite 十字線中心을 基準으로 -60cm, -25cm, +10cm, +35cm에서 各各 變化시켜 攝影하였다. 또한 ω 回轉要素를 +15g, +7g, -7g, -15g로 變化시켜 攝影하였다.

變形測定時에는 被寫體의 中央에 荷重을 매 단계마다 2kg씩 增加시켜가며 8kg까지 4段階로

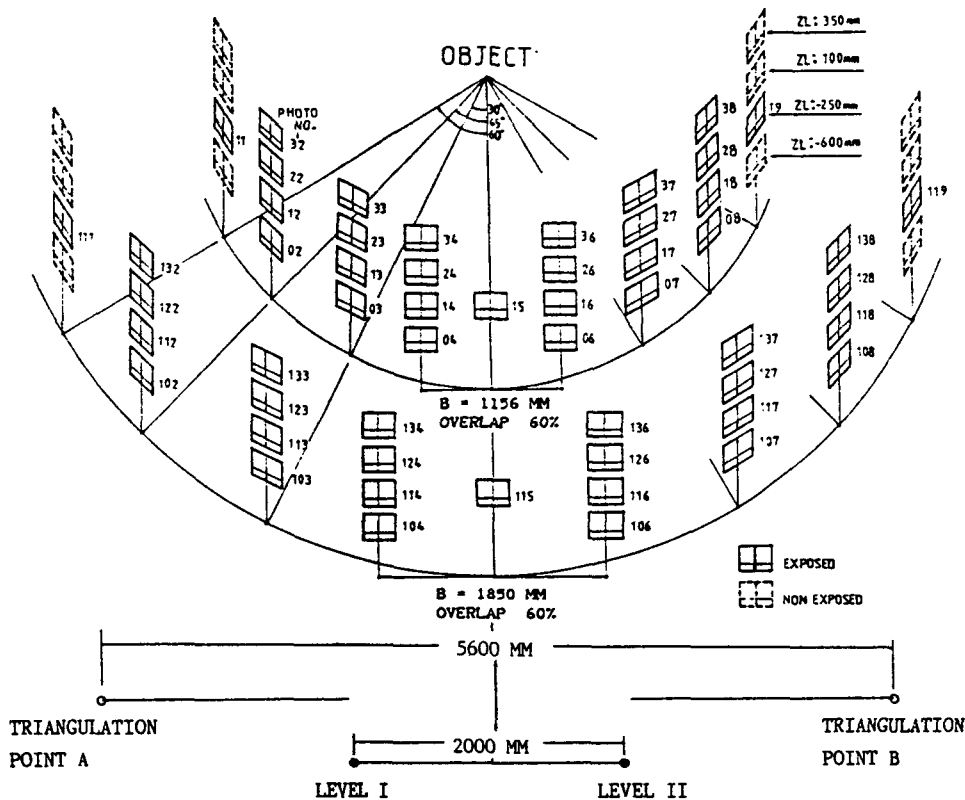


Fig. 4 Array of camera exposed position

載荷하였으며 各 載荷段階마다 Dial gauge로 變形의 終了를 確認한後 重複度60%의 直角水平攝影과 收斂角60°로 撮影하여 總 32Plates의 nega를 얻었다. 그리고 Target No. 5, 7, 9, 11, 13에서는 10 μ m까지 測定할 수 있는 Dial gauge를 設置하여 접촉지점의 垂直變位 測定을 하였으며 4段階에서는 0.1"까지 測定可能한 Theolite로 三角測量을 병행하였다. 또한 精密水準測量으로 10 μ m까지 測定하기위해 Level을 두 곳에 設置하여 被寫體의 上向(-)變形과 下向(+)
變形을 獨立的으로 觀測하였다.

4. 結果分析

寫眞測定을 利用한 變形測定의 効用性和 信賴度를 立證하기위해 다양한 方法으로 測定한 變形量을 比較分析하였다.

撮影條件에 따른 誤差分析을 $V=A \cdot X-L$ 에 의해 殘差를 求하고 $S_0 = [(V^T PV)/r]^{1/2}$ 과 $S_{xi} = S_0 \cdot (Q_{xixi})^{1/2}$ 에 의해 單位輕重率 標準誤差와 調整된 觀測값의 標準誤差를 求하여 分析하였다. Target의 3次元 座標에대한 實驗的인 標準誤差는 S_X, S_Y, S_Z , 幾何學的 標準誤差는 S_0X, S_0Y, S_0Z 로 表記하였으며 位置에 대한 實驗的 標準誤差와 幾何學的 標準誤差는 ST ,

S_0T 로 表記하였다.

Table 1과 Fig.5, Fig6은 荷重의 增加에 따른 變形量을 나타낸 것이다. C.R.P 測定값과 다른 測定값들은 약 10 μ m이하의 良好한 誤差分布를 나타내고 있으며, 測定方法에 따른 段階別 變形量도 一定한 양상을 보이고 있다. 여기에서 Precision level의 測定範圍 限界性, 三角測量의 時間的 制約, Dial gauge設置의 問題等을 고려해 볼때 C.R.P를 利用한 構造物의 變形解析은 매우 바람직한 것으로 思料된다.

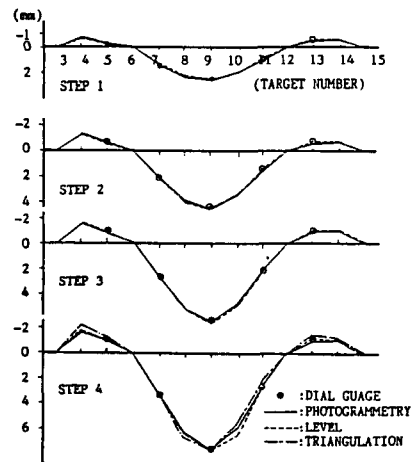


Fig. 5 Z-Direction deformation

Table 1 Deformation in the Z-Direction

Target No		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Photo Gram-metry	STEP1	0.000	0.009	-0.249	-0.770	-0.327	-0.090	1.446	2.397	2.468	1.952	0.838	-0.058	-0.397	-0.396	0.088
	2	-0.03	0.015	-0.182	-1.421	-0.694	-0.085	2.144	3.749	4.628	3.608	1.636	0.007	-0.579	-0.477	0.121
	3	0.121	0.029	-0.139	-1.587	-0.578	0.056	2.714	5.217	6.273	4.903	2.280	0.058	-0.768	-0.757	0.103
	4	0.005	0.026	-0.159	-1.779	-1.136	0.008	3.260	6.265	7.660	5.958	2.707	0.131	-0.956	-1.039	0.168
Precision Level	STEP1			0.1	-0.70	-0.20	0.02	1.36	2.26	2.52	1.93	0.81	0.01	-0.47	-0.50	0.09
	2			0.09	-1.35	-0.58	0.00	2.18	3.90	4.46	3.52	1.53	0.02	-0.72	-0.68	0.12
	3			0.06	-1.59	-0.77	0.02	2.79	5.23	6.20	4.95	2.18	0.06	-0.86	-0.87	0.13
	4			0.10	-1.77	-0.99	0.02	3.29	6.37	7.70	6.00	2.75	0.10	-1.11	-1.04	0.16
Dial Guage	STEP1					-0.185		1.416		2.502		0.815		-0.437		
	2					-0.619		2.195		4.506		1.545		-0.695		
	3					-0.806		2.783		6.200		2.160		-0.917		
	4					-1.050		3.316		7.710		2.687		-1.146		
Triangu-lation	STEP4			-0.005	-2.215	-1.361	0.058	3.190	6.695	7.722	5.552	2.095	0.003	-1.456	-1.223	-0.055

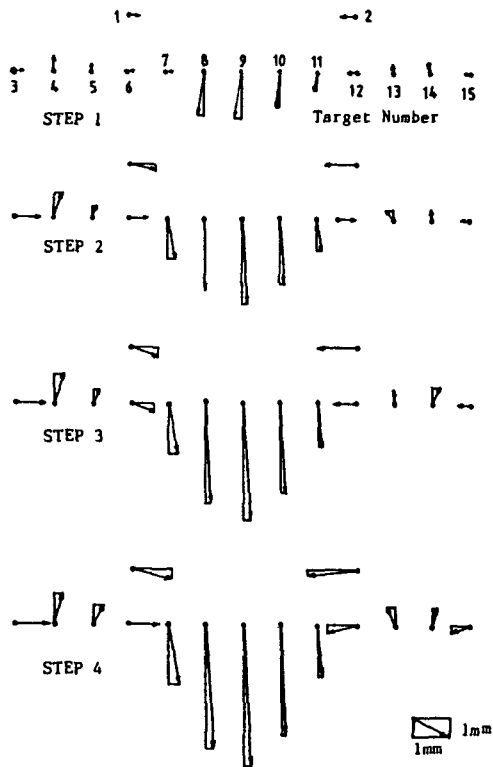


Fig. 6 DEFORMATION Vectors

위에서 나타난 변형測定 方法의 結果는 撮影 距離 2.5m, 收斂角 60°의 2枚 收斂寫眞인 경우로 被寫體의 特性에 따른 最適 收斂角 및 多重 寫眞의 技法을 適用한다면 더욱 良好한 結果를 얻을 수 있으리라 생각된다.

Fig. 7, Fig 8은 ϕ 回轉角을 變化시켰을 경우의 誤差分布를 나타낸 것이다. X, Z의 標準誤差는 60°收斂인 경우, Y의 誤差는 90°收斂인 경우에 가장 작게 나타났다. Fig. 8은 ϕ 變化에 따른 3次元 位置誤差로서 90°收斂角일 경우에 가장 良好한 값을 나타내고 있으며 收斂角이 0°인 경우 즉 直角水平攝影에서는 誤差가 급증하여 收斂角의 變化는 Y座標의 正確度에 큰 영향을 미치고 있다.

Fig. 9에서 90°의 收斂角에서는 X, Y, Z에 대한 誤差分布가 거의 같은 範圍內에 集中되어 나타나지만 收斂角이 90°에서 60°, 0°로 감소함에 따라 점차적으로 Y에 대한 誤差가 증가하며 分散됨을 보인다. 收斂角이 0°인 直角水平攝影인 경우에는 撮影 높이 $Z_L = 10\text{cm}$ 를 境界로 誤差가 현저히 증가하고 있어 直角水平攝影에서는 撮影

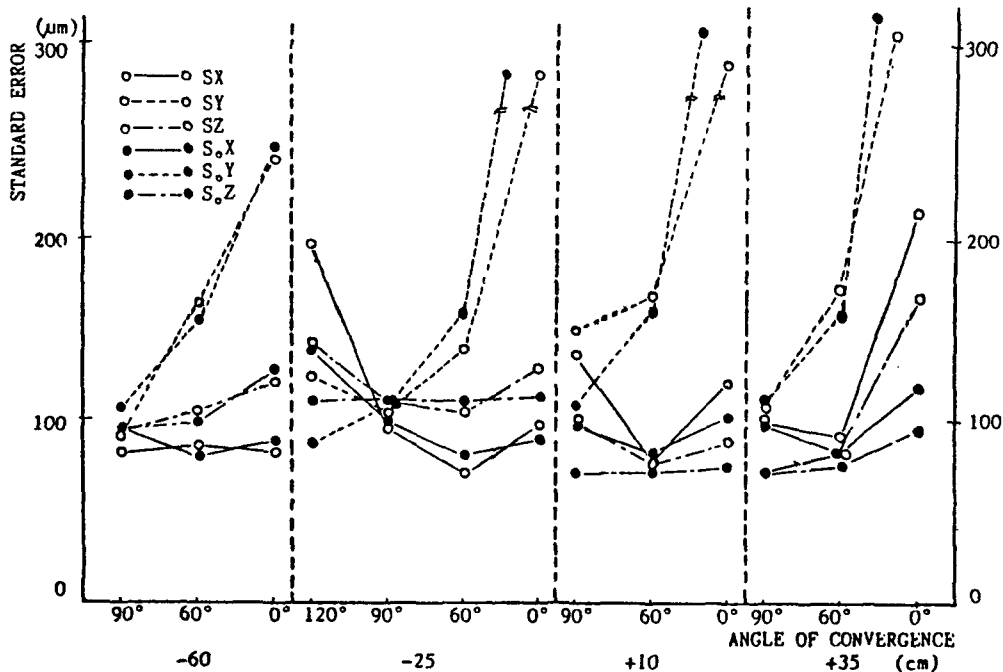


Fig. 7 Standard error versus angle of convergence in camera elevation

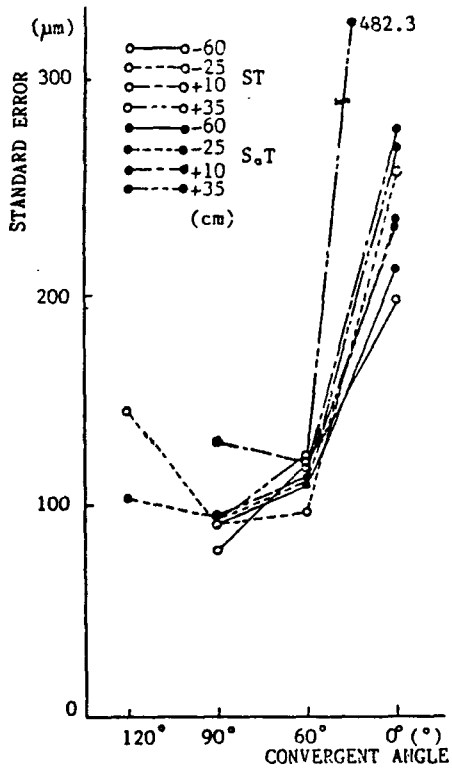


Fig. 8 Standard error versus convergent angle and camera elevation

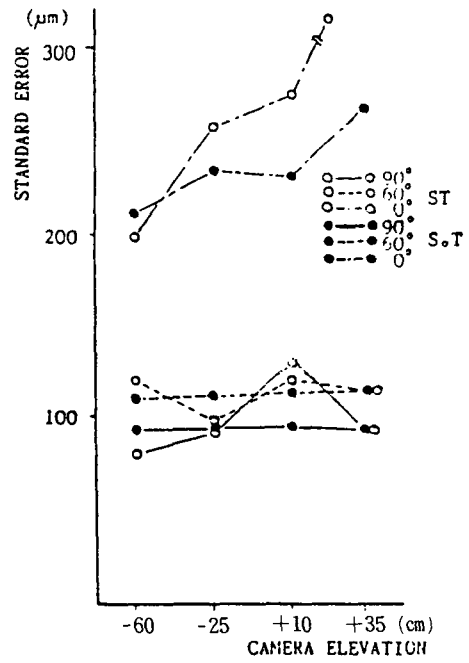


Fig. 10 Positional standard error versus camera elevation and convergent angle

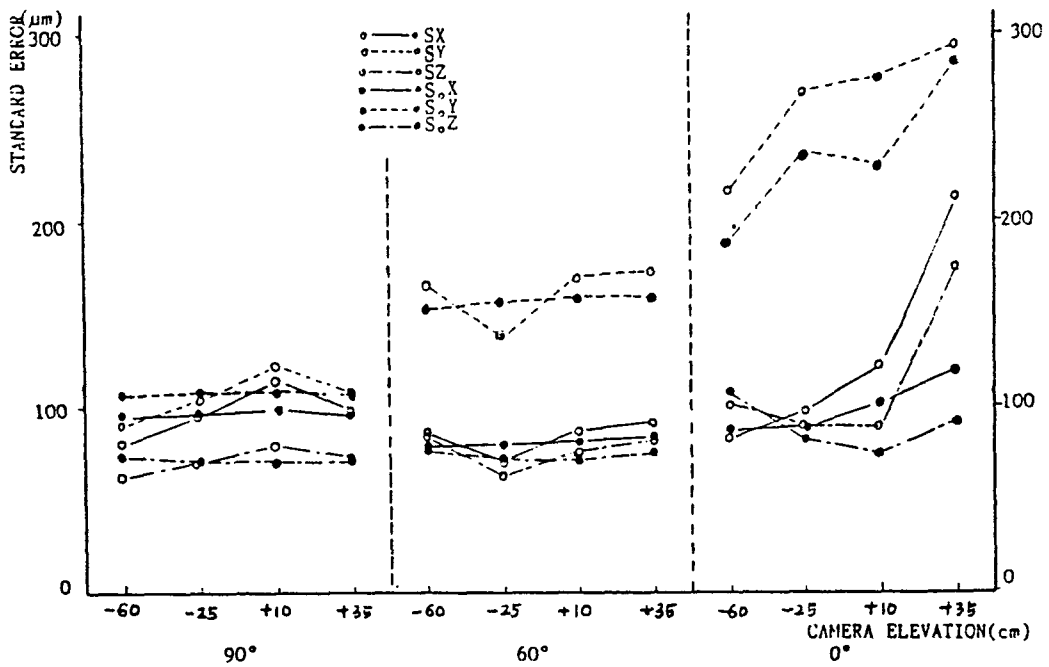


Fig. 9 Standard error versus camera elevation in each convergence

높이의 변화가 收斂攝影의 경우보다 더 많은 영향을 미친다. Fig. 10에서 撮影높이가 증가함에 따라 3次元 位置誤差의 증가는 收斂角 90°, 60°, 0° 순으로 나타나며 특히 直角水平攝影의 位置誤差는 被寫體가 Camera의 主點부근에 露出되었을때 가장 작게 나타났다.

Fig. 11은 ϕ 와 w 回轉角을 同時에 變化시켜 撮影한 狀態의 X, Y, Z座標에 대한 標準誤차를 나타낸 것이다. Normal case의 경우는 w 가 +15g에서 -15g로 變化함에 따라 X, Z는 別다른 영향을 받지 않는 반면 Y座標는 +15g와 -15g에서 약간의 증가를 보였다 그러므로 normal case에서의 w 變化는 +15g ~ -15g의 範圍內에서 誤差에 대한 別다른 영향을 받지 않으므로 良好한 結果를 얻을 수 있으리라 思料된다. 이에 비해 ϕ 回轉角이 60°로 증가함에 따라 0g, $\pm 7g$, $\pm 15g$ 순으로 나타났으며 90°로 증가하게 되면 標準誤差가 급격히 증가하고 있어 w 變化時의 收斂攝影은 바람직하지 못함을 알 수 있다.

Fig. 12는 各 Target別 比例 位置正確도를 表示한 것으로서 實驗的 正確度 ST와 幾何學的 正確度 S_oT 가 서로 接近하며 變化하는 양상을 보

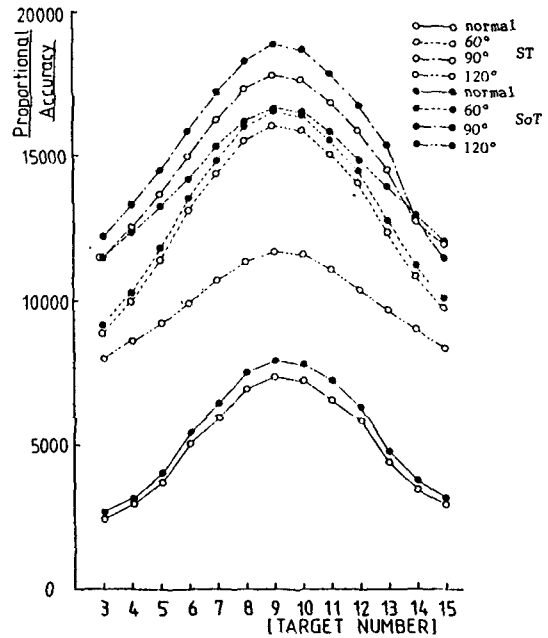


Fig. 12 Proportional accuracy versus exposed distance of Target & Convergent angle ϕ

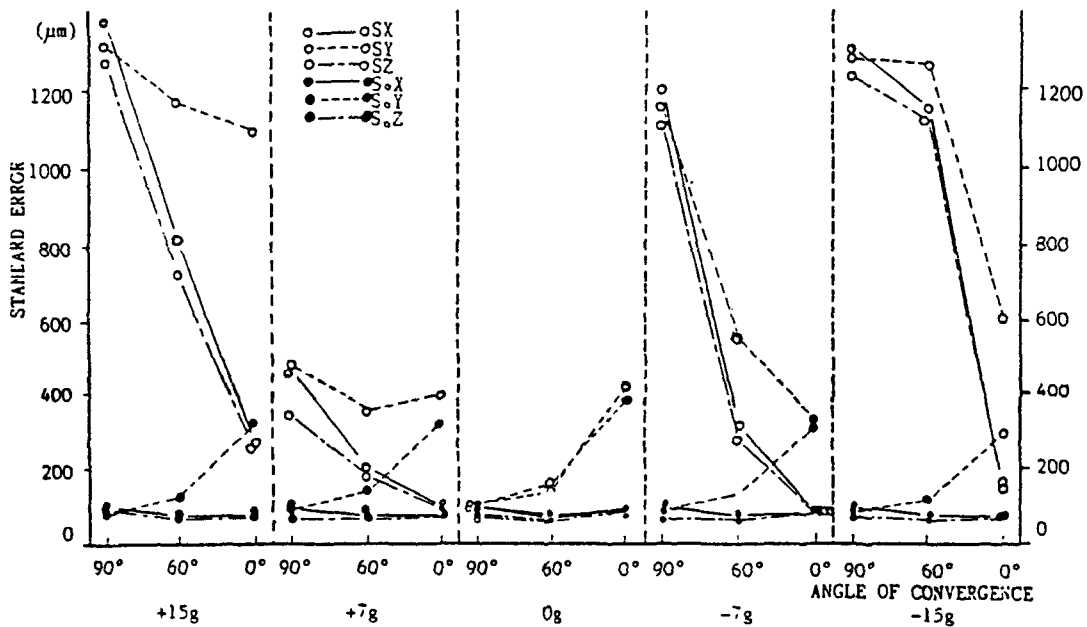


Fig. 11 Standard error versus angle of convergence in each rotation

이고 있다. 正確度는 收斂角 90°, 120°, 60°, 그리고 normal case 順으로 나타났으며 收斂角 60°와 120°의 경우 幾何學的 正確度가 target No. 7, 8, 9, 10, 11, 12 範圍에서는 거의 一致하였으나 그밖의 범위에서는 120°收斂攝影보다 60°收斂攝影인 경우가 더 급격히 減少하였으며 특히 normal case에 비해 90°收斂攝影은 正確度面에서 5倍 정도의 向上을 보이고 있다. 또한 Target의 배열을 等間隔으로 했기 때문에 撮影距離의 增減은 一定하다. 그러므로 target No. 9를

基準으로 거의 對稱인 양상을 보이고 있으나 왼쪽 target들에 비해 오른쪽 target들의 正確度가 모든 경우에 있어서 良好함을 볼 수 있는데 이는 Fig. 13에서 보는 바와 같이 同一한 f-stop을 適用하여 撮影할 경우 confusion circle의 半徑이 撮影距離가 減少할 때보다 增加할 때가 더 작기 때문에 機械座標 測定에서의 解像力에 기인된 觀測誤差로 思料된다.

Fig. 14와 Fig. 15는 撮影點의 높이가 서로 다름으로써 發生되는 基線과 두 camera의 光軸

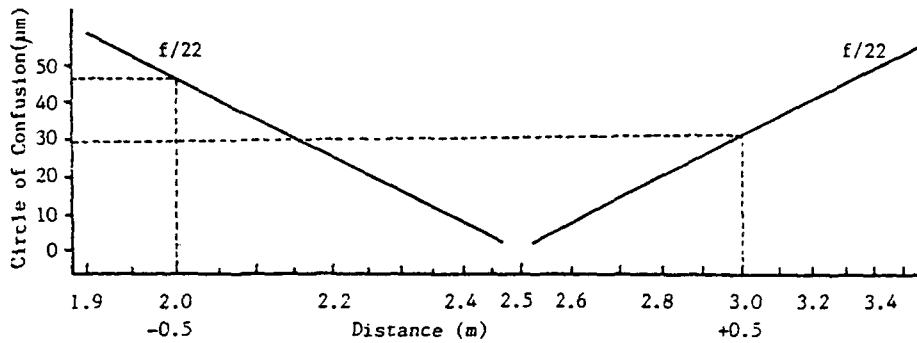


Fig. 13 Relationship between Exposed Distance and Circle of Confusion

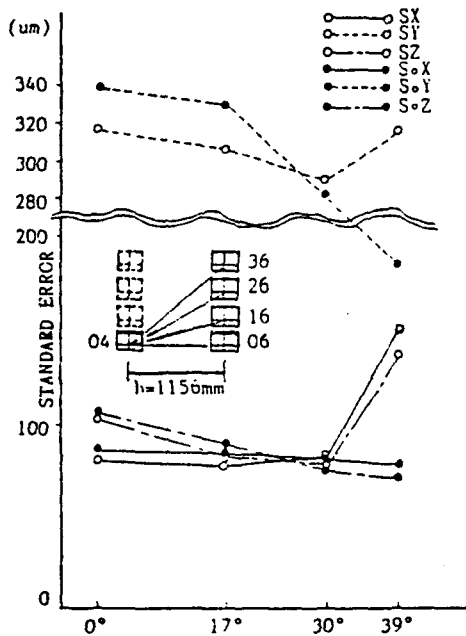


Fig. 14. Standard error versus angle θ

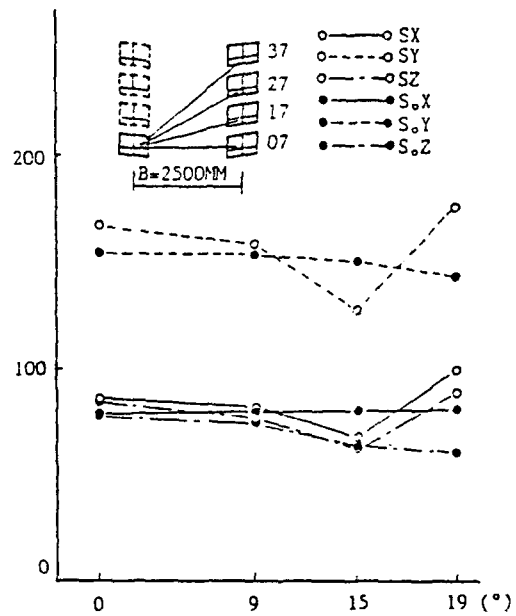


Fig. 15 Standard error versus angle θ in convergent case

을 연장한 선과의 傾斜角 增加에 따른 normal case와 convergent case의 標準誤差를 나타낸 것이다. Fig. 14의 normal case에서는 θ 가 30°까지 增加함에 따라 X, Y, Z의 標準誤差 SX, SY, SZ, S_oX , S_oY , S_oZ 는 各各 감소하다 그 이후 다시 增加하였다. 즉 基線길이와 露出點높이의 比가 1:0.5 範圍內에서 良好한 結果를 보이며 17°와 30° 사이에서 實驗誤差와 幾何學的 誤差가 거의 一致하며 가장 작게 나타났다. Fig. 15의 convergent case의 경우에는 θ 가 15°까지 標準誤差가 減少하다 增加하였으며 0°와 9° 區間에서 幾何學的 標準誤差와 實驗誤差가 一致함을 보이며 基線길이와 露出點 높이 Z_L 의 比가 1:0.3 範圍內에서 良好한 結果를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

5. 結 論

Collinearity condition에 依한 變形測定과 回轉因子 w , ϕ 및 攝影位置 Z_L , 基線傾斜角 θ 의 變化에 따른 誤差를 比較分析한 結果 다음의 結論을 얻었다.

1) C. R. P에 의한 變形測定값은 dial gauge, Precision level 및 精密三角測量에 의한 測定값들과 10 μ m以內의 誤差로 測定이 可能하므로 精度와 經濟的인 面에서 그 利用이 期待된다.

2) X, Z座標에 대한 標準誤差는 收斂角 약 60°에서, Y座標에 대한 標準誤差는 약 90°에서 가장 작게 나타나지만 w 回轉因子를 同時에 變化시키면 normal case보다 誤差가 급증하므로 可能的 한 ϕ 와 w 의 同時 變化는 피하는 것이 바람직하다.

3) 基線傾斜角 θ 의 變化는 normal case가 convergent case보다 影響을 적게받으며 露出點의 높이 Z_L 의 變化는 精度에 큰 影響을 미치지 않는다.

參考文獻

1. A. J Brandenberger, S. K Ghosh, "Deformation measurements of Power-Dams with Aerial Photogrammetry" PE & RS, Vol. 49, No. 11, 1983, pp. 1561-1567.
2. Ed. Dauphin, Kennert torlegard "Measurement of Displacement using the TIME-PARALLAX method."
3. Haim B. Papo, "Deformation anlysis by Close-Range Photogrammetry", PE & RS, 1986, pp. 1561-1567.
4. 강준목, 유복모 "다중근거리 사진측정에 의한 피사체의 3차원 정밀위치해석에 관한 연구", 대한토목학회 논문집 제 5권 2호, 1985, pp. 109-120, 박사학위논문(연세대).
5. J. Risager Christensen, "Observations of Displacements of a Bridge Loaded to Failure Using Analytical Photogrammetry", I. S. P, 1980, pp. 129-136.
6. C. S. Fraser, L. Gruendig, "The Analysis of Photogrammetric Deformation Measurements on Turtle Mountain", PE & RS, Vol. 52, No. 2, 1984, pp. 207-216.
7. Haim B. Papo, "Photogrammetric Analysis by Close-Range Photogrammetry", PE & RS, 1986, pp. 1561-1567.
8. Clive S. Fraser, "Photogrammetric Measurement of Thermal Deformation of Large Scale Compressor", PE & RS 1986, pp. 1569-1575.
9. Kam W. Wong, Alan P. Vonderohe, "Planer Displacement by Motion Parallax", PE & RS, 1981, pp. 769-777.
10. Brown D. C. "Application of Close-Range Photogrammetry to Measurements of Structures in Orbit", Vol. 1, 1980.