

地上寫眞에 의한 三次元變形測量的 信賴性 分析(其二) Reliability Analysis of the Three-Dimensional Deformation Measurement by Terrestrial Photogrammetry

柳 福 模* 劉 煥 熙**
Yeu Bock-Mo Yoo Hwan-Hee
李 龍 熙***
Lee Yong-Hee

要 旨

地上寫眞에 의한 三次元變形解析을 하는데 있어서 變位量계산의 正確度를 향상시키기 위해 반복경중률 상사변환법이 사용되었으며, 變位點檢出에서는 Bayesian Inference가 적용되었고, 變位形態解析을 위해 變位方程式을 이용하는 방법을 제시하였다. 그 결과 變位量計算에서는 최소절대법($\sum |d| \Rightarrow \min.$)에 의한 輕重率條件이 正確度를 향상시켰으며, 또한 Bayesian Inference을 적용함으로써 精確한 變位點檢출을 할 수 있었다. 變位形態解析에서는 최적변위방정식을 이용하여 대상물의 전체 또는 부분적인 움직임을 해석할 수 있었다.

ABSTRACT

In the three dimensional deformation analysis by terrestrial photographs, iterative reweighted similarity transformation method is used for more accurate displacement computation. Also, Bayesian Inference method is used in the detection of unstable points and the analytical method for displacement patterns analysis is proposed in this study. In results, the accuracy of displacement estimation was improved by applying the weights of least absolute method ($\sum |d| \Rightarrow \min$) and more accurate detection of displaced points could be achieved by Bayesian Inference. The analytical method in the patterns of displacement proposed in this study could be adapted to the movement analysis of objects wholly or partly.

1. 序 論

寫眞測量에 의한 變形解析은 기하학적 원리에 의해 결정된 대상점의 좌표해석으로 이뤄지므로 대상물로부터 멀리 떨어져서 對象物의 變形을 해석할 수 있어 붕괴위험이 있는 대상물의 안정도 조사에 적합하다. 또한 대상물에 손상을 주지 않고 연속적인 변형이나 불연속적인 변형을 판

측할 수 있으며, 최근에는 변형해석기법의 발달과 번들조정법의 正確度향상에 의해 다양한 산업분야에 적용되고 있다.

Hatzopoulos, Veress와 Jackson은 Gabion 저수지의 저수벽에 대한 변형을 분석했으며¹⁾²⁾, Armenakis와 Faig, Robertson과 Macre는 광산지역에서 채광에 의한 사면붕괴나 지반침하를 조사하였다.³⁾⁴⁾ Brandenberger와 Ghosh와 Bougouss, Egger는 댐의 變形을 조사했으며⁵⁾⁶⁾, Fraser, champman, Gruendig는 캐나다의 turtle 산 붕괴에 대해 Monitoring을 하였다.⁷⁾⁸⁾⁹⁾ El-HaKim, Borutta와 Peipe와 Schewe는 초

* 延世大學校 工科大學 教授
** 延世大學校 大學院 博士課程
*** 東亞大學校 大學院 博士課程

단과 원형안테나의 표면처리상태와 자동차공장에서 각 부품의 공정과정을 분석 처리하는데 사진측량의 적용을 제시하였다.¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾ 이와같이 寫眞測量에 의한 變形解析技法이 다양한 분야에 적용됨에 따라, 본 연구에서는 變形解析과정을 變位量計算과 變位點檢出 및 變位形態解析으로 나뉘 분석하므로써 寫眞測量에 의한 變形解析의 信賴性을 향상시키고자 하였다.

2. 變形解析

(1) 變位量計算

寫眞測量에 의한 3차원좌표조정은 임의로 선택된 좌표계와 축척, 회전요소에 의해 座標와 分散-一共分散行列이 계산되므로 좌표조정당시 선택된 좌표계와 축척, 회전요소에 대해 종속관계를 갖게된다. 따라서 각각의 관측당시(epoch)에 선택된 좌표계를 통일시키기 위해 반복경중률상사변환(reweighted similarity transformation)이 이용되고 있는데, 일반식은

$$\hat{X} = S\hat{X}_1 \quad (2-1)$$

$$Q_{\hat{X}} = SQ_{X_1}S^T \quad (2-2)$$

이며, 여기서

$$S = (I - G(G^T W G)^{-1} G^T W) \quad (2-3)$$

이다. (2-3)식에서 W 행렬은 경중률행렬으로써 모든 점이 동일한 신뢰도를 갖는 경우 단위행렬(W=I)이 되나 각점의 신뢰도가 다른 경우는 각각의 신뢰도를 고려한 경중률값을 갖는 대각행렬이 된다.

(2) 變位點檢出

變位點檢出에 있어서 표본이론보다 정확하고 실질적인 결과를 얻기 위해, 본 연구에서는 Bayesian Inference를 도입하였으며 Bayesian Inference를 이용할 때 필요한 분포는 중심 F-분포(central F-distribution)이므로 간단히 적용될 수 있다.

Bayesian Inference에 의한 變位點檢出은 사전정보(prior information)가 요구되므로 다소 주관적인 측면이 있으나, Riesmeier는 가설검정에 있어 부등식을 이용할 경우 표본이론보다

Bayesian Inference가 더 유리하다고 지적하였다.¹³⁾

미지매개변수의 추정을 위한 Gauss-Markov model에서,

$$AX = E(L), \quad E(L) = \sigma^2 I \quad (2-4)$$

이다.

여기서 X는 확률벡터(random vector)이고 σ^2 도 확률변수이며, L 벡터가 주워지면 X와 σ 의 확률밀도 $P(X, \sigma|L)$ 는 Bayes theorem에 의해 구해진다.

$$P(X, \sigma|L) \propto P(X, \sigma) \cdot P(L|X, \sigma) \quad (2.5)$$

(2.5)식에서 $P(X, \sigma|L)$ 은 사전확률밀도(a priori probability density)인 $P(x, \sigma)$ 에 비례하는 사후확률밀도(a posteriori probability density)이며 미지변수벡터 X의 사후확률밀도는 多變量 t-분포(multivariate t-distribution)를 갖는다.

$$\hat{X} \sim t(X, \hat{\sigma}^2(A^T A)^{-1}, n-u) \quad (2.6)$$

X 벡터에 임의행렬 H를 곱해도 HX는 多變量 t-분포를 갖는다.

$$HX \sim t(H\hat{X}, \hat{\sigma}^2 H(A^T A)^{-1} H^T, n-u) \quad (2-7)$$

여기서,

$$\det(H(A^T A)^{-1} H^T) \neq 0$$

미지매개변수 공간이 부등식 조건 $HX > W$ 에 의해 제한된 경우 확률공간은,

$$P(HX > W|L) = \int_B P(X|L) dX \quad (2-8)$$

이며, 여기서 $B = \{X : HX > W\}$ 이다.

(2-8)식을 부등식에 의한 가설검정으로 바꾸면,

$$P(HX > W|L) > 1 - \alpha \quad (2-9)$$

이다. (2-7)식에서 우측항의 두번째항이 중심 F-분포를 갖으므로 표본이론의 가설검정과 동일하다.

$$P(HX \in B|L) = 1 - \alpha \quad (2-10)$$

여기서,

$$B = \{H\hat{X} : (HX - H\hat{X})^T (H(A^T A)^{-1} H^T)^{-1} (H\hat{X} - HX) / (r\hat{\sigma}^2) \sim F_{r, n-u; 1-\alpha}\} \quad (2-11)$$

이다. (2-9)식에 의해 變位點檢出을 하기 위한 가설검정은 다음과 같다.

$$P_T(HX \in A) = \begin{cases} \left(1 - \int_0^{T_r} F_{r,n-u} dF\right)^{-1} \left(\int_0^{T_r} F_{r,n-u} dF\right) \\ \quad dF - \int_0^{T_l} F_{r,n-u} dF, \\ \quad \text{for } T_r < T_l, \\ 0 \\ \quad \text{for } T_r > T_l \end{cases}$$

여기서,

$$T_r = (H\hat{X} - W_r)^T (H(A^T A)^{-1} H^T)^{-1} (H\hat{X} - W_r) / (r\hat{\sigma}^2) \quad (2-13)$$

$$T_l = (H\hat{X} - W_l)^T (H(A^T A)^{-1} H^T)^{-1} (H\hat{X} - W_l) / (r\hat{\sigma}^2)$$

이며, T_r 은 임의로 선택되는 영역으로 고정점의 허용변위량에 의해 결정되고, T_l 은 각 대상점의 변위량으로부터 계산된다.

(3) 변위形態解析

變位點의 變位벡터에 대한 X, Y, Z 축 방향 성분과 3차원위치좌표를 이용하여 변위형태에 적합한 변위방정식을 결정하고, 이 변위방정식을 이용하여 대상물의 변위형태를 해석한다. 임의 변위점에서 3축방향 변위벡터성분(U, V, W)과 3차원위치좌표(X, Y, Z)의 관계를 나타내는 일반식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} U &= a_0 + a_1X + a_2Y + a_3Z + a_4XY \\ &\quad + a_5XZ + a_6YZ + \dots \\ V &= b_0 + b_1X + b_2Y + b_3Z + b_4XY + b_5XZ \\ &\quad + b_6YZ + \dots \\ W &= c_0 + c_1X + c_2Y + c_3Z + c_4XY + c_5XZ \\ &\quad + c_6YZ + \dots \end{aligned} \quad (2-14)$$

(2-14)식을 이용하여 displacement gradient (∇U)를 구하면,

$$\begin{aligned} \nabla U &= \begin{bmatrix} \partial U/\partial X & \partial U/\partial Y & \partial U/\partial Z \\ \partial V/\partial X & \partial V/\partial Y & \partial V/\partial Z \\ \partial W/\partial X & \partial W/\partial Y & \partial W/\partial Z \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} e_{XX} & e_{XY} & e_{XZ} \\ e_{YX} & e_{YY} & e_{YZ} \\ e_{ZX} & e_{ZY} & e_{ZZ} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2-15)$$

이다.

(2-15)식을 이용하여 strain tensor(ϵ_{ij})와 회전요소(ω_{ij})를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \epsilon_{ij} &= \frac{1}{2} (e_{ij} + e_{ji}), \quad i, j = X, Y, Z \\ \omega_{ij} &= \frac{1}{2} (e_{ij} - e_{ji}), \quad i, j = X, Y, Z \end{aligned} \quad (2-16)$$

3. 結果分析

(1) 變位量계산을 위한 輕重率條件의 比較분석

3차원적인 변위량을 계산하기 위해 대상물의 외곽지역에 고정점으로 12점을 배치하고, 변위점은 16점으로 내부에 배치했다. 16개의 變位點은 X축방향, Y축방향, Z축방향, 그리고 3축방향으로 변위를 발생시켰으며(표 1 참고), 이 변위점들을 변형전후에 관측하여 얻은 좌표값을 이용하여 반복 경중률상사변환에 의해 변위량을 계산하였다.

경중률조건은 $\sum |d|^2 \Rightarrow \min$, $\sum |d|^{1.5} \Rightarrow \min$, $\sum |d| \Rightarrow \min$ 으로 하였으며 여기서 d는 變位量이다.

<표 2>, <표 3>, <표 4>는 경중률조건을 $\sum |d|^2 \Rightarrow \min$, $\sum |d|^{1.5} \Rightarrow \min$, $\sum |d| \Rightarrow \min$ 로 하여 각 변위점의 변위량을 계산한 경우 계산된 변위량과 교차를 나타낸 것으로 RMSE가 0.216mm, 0.160mm, 0.125mm로 나타났다. 따라서 반복경중률상사변환에 의한 변위량계산에 있어서 경중률조건으로 최소절대법원리 ($\sum |d| \Rightarrow \min$)를 적용한 경우가 정오차나 과대오차 및 기하학적 조건이 불량한 상태에서 발생하는 고정점에서의

표 1. 변위점들에 발생시킨 변위량(mm)

Pt	dx	dy	dz	ds°
1	0.300	0.000	0.000	0.300
2	0.400	0.000	0.000	0.400
3	0.500	0.000	0.000	0.500
4	0.600	0.000	0.000	0.600
5	0.000	0.300	0.000	0.300
6	0.000	0.400	0.000	0.400
7	0.000	0.500	0.000	0.500
8	0.000	0.600	0.000	0.600
9	0.000	0.000	0.300	0.300
10	0.000	0.000	0.400	0.400
11	0.000	0.000	0.500	0.500
12	0.000	0.000	0.600	0.600
13	0.300	0.300	0.300	0.520
14	0.400	0.400	0.400	0.698
15	0.500	0.500	0.500	0.866
16	0.600	0.600	0.600	1.039

오차영향을 가장 작게하여 변위량계산의 정확도를 향상시키고 있음을 알 수 있었다.

표 2. $\sum |d|^2 \Rightarrow \min$ 조건에 의해 계산된 변위량(mm)

Pt	계산된 변위량				교차
	dx	dy	dz	ds	
1	0.093	0.009	0.008	0.094	0.206
2	0.516	0.190	0.290	0.622	0.222
3	0.634	0.123	0.296	0.710	0.210
4	0.41)	0.097	0.012	0.422	0.178
5	0.120	0.010	0.252	0.279	0.021
6	0.137	0.253	0.164	0.331	0.069
7	0.166	0.322	0.127	0.384	0.116
8	0.178	0.376	0.028	0.417	0.183
9	0.013	0.070	0.070	0.099	0.201
10	0.080	0.109	0.068	0.151	0.249
11	0.115	0.098	0.248	0.290	0.210
12	0.141	0.066	0.208	0.260	0.340
13	0.282	0.040	0.189	0.301	0.219
14	0.309	0.229	0.017	0.385	0.305
15	0.422	0.480	0.129	0.652	0.218
16	0.514	0.656	0.250	0.870	0.170
RMSE					0.216

표 3. $\sum |d|^{1.5} \Rightarrow \min$ 조건에 의해 계산된 변위량 (mm)

Pt	계산된 변위량				교차
	dx	dy	dz	ds	
1	0.165	0.261	0.023	0.310	0.010
2	0.294	0.012	0.092	0.308	0.092
3	0.375	0.031	0.194	0.423	0.077
4	0.421	0.123	0.186	0.476	0.124
5	0.121	0.016	0.233	0.263	0.037
6	0.121	0.245	0.073	0.283	0.117
7	0.167	0.285	0.010	0.331	0.169
8	0.157	0.567	0.175	0.614	0.014
9	0.033	0.115	0.103	0.158	0.142
10	0.053	0.091	0.077	0.131	0.269
11	0.097	0.100	0.322	0.351	0.149
12	0.128	0.080	0.441	0.466	0.134
13	0.225	0.014	0.234	0.325	0.195
14	0.314	0.213	0.035	0.381	0.309
15	0.449	0.496	0.172	0.691	0.179
16	0.545	0.676	0.334	0.930	0.110
RMSE					0.160

표 4. $\sum |d| \Rightarrow \min$ 조건에 의해 계산된 변위량(mm)

Pt	계산된 변위량				교차
	dx	dy	dz	ds	
1	0.217	0.263	0.021	0.341	0.041
2	0.348	0.011	0.149	0.378	0.022
3	0.449	0.031	0.289	0.535	0.035
4	0.470	0.128	0.302	0.573	0.027
5	0.079	0.019	0.238	0.252	0.048
6	0.167	0.304	0.025	0.348	0.052
7	0.126	0.359	0.094	0.391	0.109
8	0.098	0.563	0.301	0.646	0.046
9	0.036	0.112	0.124	0.171	0.129
10	0.013	0.090	0.090	0.128	0.272
11	0.038	0.102	0.379	0.394	0.116
12	0.074	0.084	0.641	0.651	0.051
13	0.286	0.011	0.237	0.372	0.148
14	0.362	0.210	0.069	0.424	0.266
15	0.518	0.497	0.230	0.754	0.116
16	0.617	0.677	0.431	1.012	0.028
RMSE					0.125

(2) Bayesian Inference 에 의한 변위점검출

변위점의 변위량은 경중률조건이 $\sum |d| \Rightarrow \min$ 인 경우에 계산된 변위량을 이용하여 변위점을 검출하였으며, 고정점에 대한 허용변위량은 3차원좌표의 위치오차(사진상에서 $\sigma_p = 7.3 \mu m$)를 이용하여 $2\sigma_p$ 로 결정하였다. <표 5>는 변위점들에 대한 오차타원($\alpha = 0.05$)과 Bayesian Inference에 의해 결정된 고정점과 변위점을 나타냈다.

Pt. 1 부터 Pt. 16 은 모두 변위가 발생한 점이나, 변위량의 크기와 사진측량의 신뢰영역을 고려할 때 고정점으로 검출되는 점이 나타나고 있다.

Pt. 1, Pt. 2 는 X축으로 0.3 mm, 0.4 mm 변위를 발생시킨 대상점이나 Bayesian Inference에 의한 변위점 검출에서 고정점으로 결정되었으며, 오차타원내에 변위량 크기가 존재하고 있어 고정점으로 판정되었다.

또한 Pt. 5 는 Y축방향으로 0.3 mm 의 변위가 발생한 점이나 고정점으로 결정되었다. 따라서 XY 평면상의 변위는 0.4 mm 이상의 변위는 검출가능함을 알 수 있었다. 그러나 Z축방향으로

표 5. 변위점 검출

object Pt. No.	error ellipsoid($\alpha=0.05$) mm			Bayesian inference
	σ_{max}	σ_{min}	σ_z	significant deformation at $\alpha=0.05$
1	0.367	0.283	0.509	NO
2	0.360	0.378	0.510	NO
3	0.342	0.303	0.512	YES
4	0.369	0.269	0.500	YES
5	0.349	0.290	0.498	NO
6	0.336	0.270	0.481	YES
7	0.358	0.291	0.516	YES
8	0.353	0.293	0.509	YES
9	0.347	0.284	0.511	NO
10	0.345	0.288	0.522	NO
11	0.338	0.282	0.484	NO
12	0.352	0.291	0.509	YES
13	0.337	0.288	0.502	YES
14	0.342	0.284	0.505	YES
15	0.351	0.288	0.504	YES
16	0.336	0.287	0.515	YES

변위를 0.3 mm, 0.4 mm, 0.5 mm 발생시킨 Pt. 9, Pt. 10, Pt. 11 는 고정점으로 검출되어 측

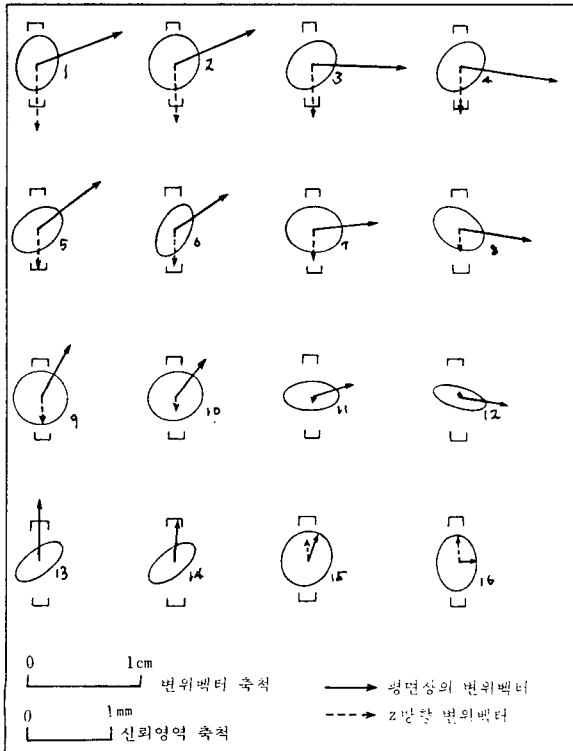


그림 1. 변위벡터와 신뢰영역

Z 방향의 검출가능한 변위량이 평면상의 검출가능한 변위량보다 크게 나타나고 있다. 이와같이 Bayesian Inference 에 의한 변위점 검출은 고정점에 대한 변위허용량의 결정에 다소 어려움이 있으나 사진측량에 의해 얻어진 좌표값은 정확도를 정확하게 판단할 수 있어 변위점 검출에 쉽게 적용할 수 있다.

(3) 變位形態解析

앞의 절에서 비교분석된 변위량계산 방법에서 경중률조건($\sum |d_i| \rightarrow \min$)과 Bayesian Inference 에 의한 변위점 검출법을 적용하여 실제의 대상물에서 변위형태를 해석하였으며, 그 결과 얻어진 각 점에서의 변위 벡터와 신뢰영역은 <그림 1>과 같다.

<그림 1>에 나타난 변위형태를 수식으로 표현할 수 있는 최적의 변위방정식을 결정하기 위해 (2-14)식에서 변수의 수를 변화시키며 평균제곱오차(MSE)와 결정계수(R_p^2), 총제곱오차(C_p)를 분석한 결과 결정계수가 0.983, MSE 가 0.107×10^{-5} , C_p 값이 0.9 일때 최적의 변위방정식이 결정되었는데 이때 변위방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} dX &= a_0 + a_1X + a_2Y + a_3Z \\ dY &= b_0 + b_1X + b_2Y + b_3Z \\ dZ &= c_0 + c_1X + c_2Y + c_3Z \end{aligned} \quad (3-1)$$

여기서, 미지변수값은

$$\begin{aligned} a_0 &= 0.120, \quad a_1 = -0.3 \times 10^{-5}, \quad a_2 = 0.2 \times 10^{-1}, \\ a_3 &= 0.136 \times 10^{-1} \\ b_0 &= 0.149, \quad b_1 = -0.2 \times 10^{-1}, \quad b_2 = 0.3 \times 10^{-5}, \\ b_3 &= 0.219 \times 10^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_0 &= 2.201, \quad c_1 = -0.136 \times 10^{-1}, \\ c_2 &= -0.218 \times 10^{-1}, \quad c_3 = -0.310 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

이며 계산된 미지변수값으로부터 변위가 발생한 지역의 수평이동량과 회전각을 구한 결과 <표 6>과 같으며, 관측값과 계산값의 교차는 수평이동량에서 0.019~0.039 cm, 회전각에서 0.00006~0.0002 rad 로서 양호한 결과값을 얻었다.

표 6. 변위형태해석에 의한 수평이동량과 회전각

구분 \ 변위요소	수 평 이 동 량			회 전 각		
	dX_0	dY_0	dZ_0	ω_{yz}	ω_{xz}	ω_{xy}
관 측 값	0.139 cm	0.168 cm	0.238 cm	0.02167 rad	0.01354 rad	0.01980 rad
계 산 값	0.120 cm	0.149 cm	0.201 cm	0.02185 rad	0.01360 rad	0.02000 rad
교 차	0.019 cm	0.019 cm	0.037 cm	0.00018 rad	0.00006 rad	0.00020 rad

4. 結 論

寫眞測量에 의한 변형해석에 있어서 변위량 계산과 변위점검출, 변위형태해석으로 나눠 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 반복경중률상사변환식에 의한 변위량계산에 있어서 경중률조건으로 최소절대법($\sum |d| \rightarrow \min$) 원리를 적용한 결과 변위량계산의 정확도를 향상시킬 수 있었으며, 변위점검출에 있어서는 Bayesian Inference 를 도입 적용하므로써 정확한 변위점검출을 할 수 있었다.

둘째, 변위형태에 대한 해석을 위해 본연구에서 제시한 변위형태해석방법은 변위방정식에 의해 변위형태를 표현하고, 이 변위방정식으로부터 대상물의 전체 또는 부분적인 변위를 해석할 수 있으므로 사진측량에 의한 변형해석의 신뢰성을 향상시킬 수 있었다.

辭 謝

本論文은 文教部學術研究助成事業에 의한 1988年度 研究費支援에 의해 研究된 報告書로써 文教部の 後援에 感謝를 드린다.

參考文獻

1. Hatzopoulos, J.N., 1979, The Combination of

Aerial and Terrestrial Photogrammetry in Structural Monitoring, Ph. D. Dissertation, University of Washington.
 2. Veress, S.A. and N.C., Jackson Hatzopoulos, J.N., 1980, "Monitoring a Gabion Wall by Inclinator and Photogrammetry," P.E. & R.S., Vol. 46, No. 6, pp. 771~778.
 3. Armenakis, C. and W., Faig 1982, "Subsidence Monitoring by Photogrammetry," *Proceedings of 4th Canadian Symp. on Mining Surveying and Deformation Measurements*, pp. 197~208.
 4. Robertson, G.R. and A.M.R., Nacrae 1982, "Use of Photogrammetric Methods for Mine Slope Deformation Surveys," *Proceedings of the 4th Canadian Symp. on Mining Surveying and Deformation Measurements*, pp. 223~231.
 5. Brandenberger, A.J. and S.K., Ghosh Bougouss, M., 1983, "Deformation Measurements of Power Dams with Aerial Photogrammetry," P.E. & R.S., Vol. 49, No. 11, pp. 1561~1567.
 6. Egger, K., 1983, "The Contribution of Geodetic Measurements in Explaining the Abnormal Behaviour of the Zeuzier Dam," FIG XVII, Comm. 6, 601.5.
 7. Fraser, C.S., 1983, "Photogrammetric Monitoring of Turtle Mountain : a Feasibility Study," P.E. & R.S., Vol. 49, No. 11, pp. 1551~1559.
 8. Champman, M.A., 1985, "Deformation Monitoring of Turtle Mountain by High-Precision Photogrammetry," *Papers for the Precise Engineering and Deformation Surveys Workshop*, pp. 152~173.
 9. Fraser, C.S. and L., Gruendig 1985, "The Analysis of Photogrammetric Deformation Meas-

- uements on Turtle Mountain," P.E. & R.S., Vol. 51, No. 2, pp. 207~216.
10. El-Hakim, S.F., 1985, "Photogrammetric Measurement of Microwave Antenna," P.E. & R.S., Vol. 51, No. 10, pp. 1577~1581.
 11. Borutta, H. and J., Peipe 1986, "Deformation Analysis of Three-Dimensional Photogrammetric point Fields," *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 26, No. 5, pp. 165~174.
 12. Schewe, H., 1987, "Automatic Photogrammetric Car-Body Measurement." *Proceedings of the 41st Photogrammetric Week at Stuttgart University*, pp. 47~55.
 13. Riesmeier, K., 1984, Test Von Ungleichungshypothesen in linearen Modellen mit Bayes-Verfahren, *Deutsche Geodatische Kommission, C. Munchen*.