

구조물 안전진단을 위한 C.R.P 기법의 응용에 관한 연구 A Study on the Application of C.R.P. Method for Safety Diagnosis of Structures

申鳳浩* · 韓承熙** · 尹喆圭*** · 嚴在九****

Shin Bong-Ho* · Han Seung-Hee** · Yoon Cheol Kyu*** · Eom Je-Gu****

요 旨

최근 구조물의 붕괴사고가 빈번히 발생하고 있어 이에 대한 안전대책 마련이 요구되고 있다. 본 연구에서는 C.R.P(Close-Range Photogrammetry)를 이용하여 구조물 全面에 대한 변형측량을 주기적으로 실시하고 측지학적 network과 연결하여 절대변위량 도출을 꾀하였다. 또한 동시에 inclinometer 계측도 실시하여 이와 상관계도 아울러 분석하였다. 연구 결과 구조물의 시통 가능한 일부분에 기준점을 배치하여 기준점측량의 난제를 해결할 수 있었다. 또한 reference network과 control network을 연결하여 절대변형량 해석을 위한 좌표전환 parameter를 도출하므로써 지반 거동해석의 가능성을 제시할 수 있고 종래의 국부적인 계측으로 인한 비효율성을 보완할 수 있었다.

ABSTRACT

Recently, collapse of structures is frequently occurred, so precautionary measures against accidents are requested. In this study, periodic deformations of structure are surveyed using C.R.P technique and these were used to estimate absolute deformation associated with geodetic network. Also, as compared with inclinometer outcome, correlation of these results was obtained.

As a results of this study, a difficult problem of control survey was resolved as control points arranged on intervisible parts of structure. And the transformation parameters for absolute deformation analysis were determined incorporating reference network with control network. This eventually led to possibility for analysis of ground behavior, moreover we were able to overcome a limitaion of traditional method that could measure only a part of objects.

1. 서 론

구조물의 안전진단을 위해서는 내외부에 대한 변형측량이 필수적이다. 구조물 내부의 변형은 계측을 통해 국부적으로 실시하고 있으나 대부분의 토목구조물이 대형이며 복잡하므로 구조물 全面에 대한 변형측량에 어려움이 많다. 이에 정밀삼각측량으로 절대좌표계를 구축하고 C.R.P기법을 이용하여 단계 별 절대변형측정을 실시한다면 구조물의 안전진단에 필수적인 기간 별 변형량을 도출할 수 있으리라 사료된다. 이를 위해서는 기준점측량의 難題를 해결하고

reference network과 결합하여 절대변형량을 도출한다면 순간 변형해석은 물론 구조물의 monitoring 및 지반의 거동으로 인한 변형측정을 할 수 있을 것이다. 이를 위해서는 측지학적 절대좌표계와 결합하여 매 측정단계 별 좌표의 3차원변환 인자를 도출하여야 한다.

본 연구는 C.R.P를 굴착토류벽의 변형측정에 적용하여 구조물 全面에 대한 절대변형측정기법을 개발하는데 그 목적이 있다.

2. 해석이론

2.1 C.R.P기본 이론

임의의 2점의 상호 관련된 3차원 좌표간의 관계는

*충북대학교 공과대학 토목공학과 교수

**천안공업전문대학 토목과 전임강사

***충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정

****충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정

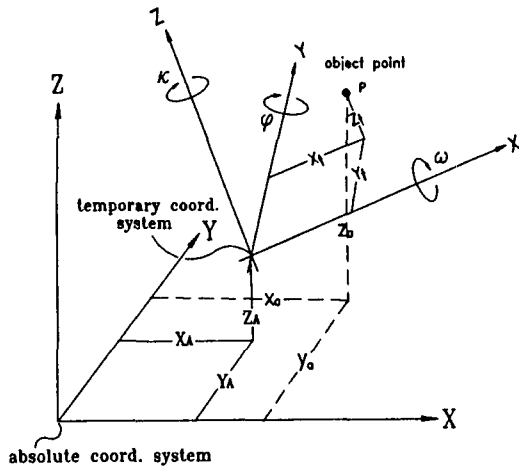


Fig. 1. Absolute coordinate system and temporary coordinate system.

투영변환 방정식에 의해 표현된다. Matrix 형태로,

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = sm \begin{bmatrix} X - X_L \\ Y - Y_L \\ Z - Z_L \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, x, y, z : 공간 상좌표 s : scale factor
 X_L, Y_L, Z_L : 노출점 좌표 m : rotation matrix
 이로부터 한쌍의 공선조건방정식(collinearity condition equation)이 얻어진다. 이 방정식은 space resection과 space intersection에 사용된다.

$$X_n = -f \frac{m_{11}(X_N - X_L) + m_{12}(Z_N - Z_L) + m_{13}(Y_L - Y_N)}{m_{31}(X_N - X_L) + m_{32}(Z_N - Z_L) + m_{33}(Y_L - Y_N)} \quad (2)$$

$$Y_n = -f \frac{m_{21}(X_N - X_L) + m_{22}(Z_N - Z_L) + m_{23}(Y_L - Y_N)}{m_{31}(X_N - X_L) + m_{32}(Z_N - Z_L) + m_{33}(Y_L - Y_N)} \quad (3)$$

2.2 절대변형량 산출기법

일반 대상물에 대한 사진측량에서는 1회 측정으로 완료되기 때문에 문제가 없으나 변형측정일 경우에는 일정기간을 주기로 하는 반복적인 측정이기 때문에 절대좌표계의 설정이 필수적이다. 측정주기가 몇 시간 정도로 짧을 경우에는 카메라를 그대로 유지하면 system error가 발생하지 않으나 토목구조물과 같이 6개월 내지 1년 또는 그 이상의 장기간 동안에 걸친 측정을 필요로 할 때에는 측정 당시의 좌표계가 불변이라고 가정할 수 없다. 그러므로 2단계, 3단계, 4단계 촬영시의 기준점 좌표계를 1단계 촬영시의 좌

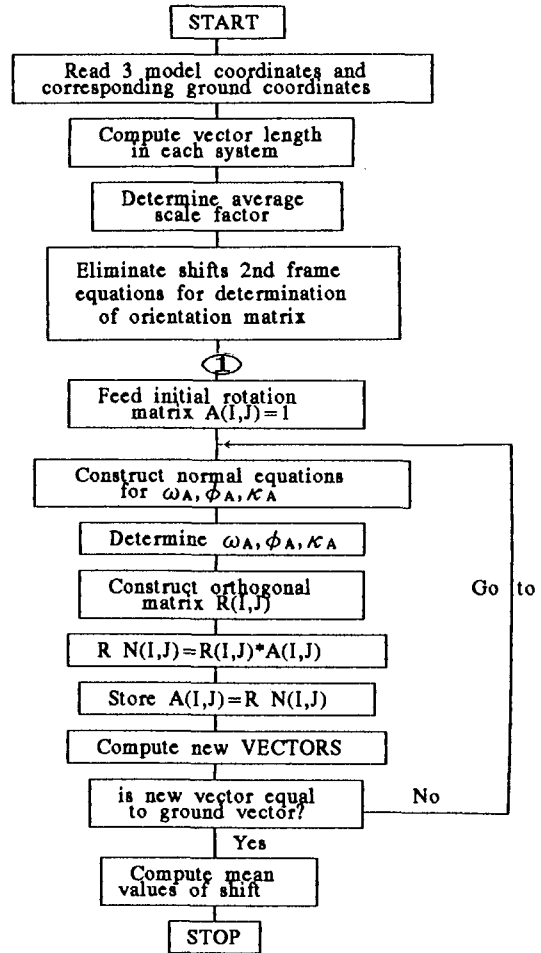


Fig. 2. Derived 7 parameters for transformation.

표계로 3차원 회전변환 하여야 하며 이를 위해서는 다음 3가지의 회전인자 들을 결정해야 한다.

- 좌표계의 scale factor(λ)
- 서로 직교하는 3축에 대한 회전각($\omega_A, \phi_A, \kappa_A$)
- 동일 축을 따라 이동한 양의(X_A, Y_A, Z_A)

이들 7개의 인자를 구하기 위해서는 우선 측정대상인 구조물로 인한 지반의 거동에 대해 안정된 최소 3점 이상의 reference point를 정하고 매 측정단계마다 기준점의 삼각측량과 함께 정밀측정하여 3차원 좌표를 구하여야 한다. 1차 측정시의 성과와 2차 측정 성과를 비교함으로써 이들 변환인자를 구하였다.

각 단계 별 변환요소 $\lambda_A, \omega_A, \phi_A, \kappa_A, X_A, Y_A, Z_A$ 가 구해지게 되면 각 기준점 성과를 이용하여 bundle adjustment를 실시하고 얻어진 각 미지점의 3차원

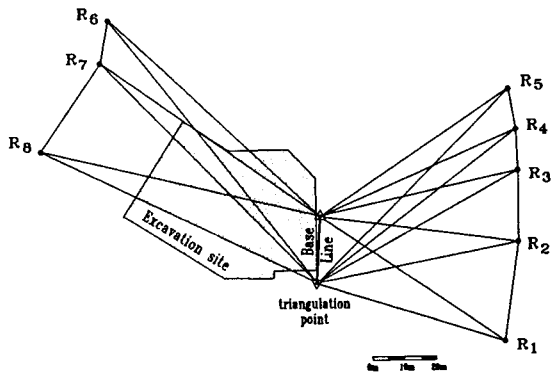


Fig. 3. Reference network for absolute deformation.

좌표를 原基準座標係로 변환한다. 결국 각 단계 별로 변환된 미지점의 최종 3차원 좌표를 비교해 절대변형량을 산출하였다.

3. 실험

3.1 Strip해석 정확도 분석

구조물의 변형측정에 있어 교량, 옹벽, 굴착지와 같은 X축 방향으로 긴 선형 구조물인 경우에는 strip을 형성하여 해석하여야 한다. 또한 strip해석시 요구정확도를 만족시키기 위한 network design을 위해서 기준점의 수와 배치에 따른 오차전파 양상, 잉여관측 수의 증가에 대한 오차의 영향 등을 분석하여야 한다. 본 연구에서는 경사용벽에 대해 7m 촬영거리에서 직각수평촬영과 수렴촬영을 조합한 동일 지점 촬영을 실시하여 해석하고 결과로부터 오차분석을 실시하였다. 미지점은 球形측정점을 사용함으로써 경사 촬영시에도 필름상에 동일한 원으로 촬영되어 기계좌표측정이 수월하고 기준점측량시에도 정확한 각측량을 할 수 있었는데 이 타겟은 사진상에서 30 μm ~60 μm 로 관측될 수 있도록 하였다. 촬영은 9점의 촬영점에서 ϕ 각을 $\pm 13.5^\circ$, 0° 로 변화시켜 각각 3매씩 촬영하였으며 촬영방향이 직각수평인 경우, 수렴인 경우, 조합의 경우, 경사사진 등 각각의 경우에서 기준점의 수와 배치상황에 따른 각 좌표별 오차분석을 실시하고 기준점의 부분 배치에 따른 오차의 변화양상에 다양하게 분석하였다. 또한 촬영거리에 따른 미지점의 오차의 변화를 분석하여 이에 대해 가장 적합한 촬영기법과 기준점 수 및 배치를 결정하였다.

3.2 기초굴착측면 변형측정

최근 도심지 재개발 사업에 힘입어 건물이 고층화됨으로 인해 수십미터의 기초 굴착공사가 빈번하며 인접지역에 밀집된 기존 건물들로 인해 붕괴의 위험이 항상 내재하고 있다. 본 연구에서는 지상사진측량 기법으로 굴착지 全面에 대해 주기적인 측정을 실시하고 기존의 측지학적 방법과 inclinometer계측도 동시에 실시하여 비교하였다. 사진측량은 공사일정을 고려하여 15~20일 간격으로 실시하였고 계측은 일주일 단위로 실시하였다.

절대변형량을 도출하기 위해서는 각 단계별 사진측량 결과를 절대좌표계로 변환하여 비교하여야 한다. 기준점 측량시 지반의 변위 때문에 기선이 이동하므로 Fig. 3과 같이 변형으로부터 안전한 지점에 8개의 reference point를 설치하고 매 사진측량시 동시에 정밀삼각측량하여 성과를 얻었다. 초기 사진측량시의 좌표계를 절대좌표계로 정하고 매 단계 별 reference point의 성과를 비교하여 이로부터 3차원 변환요소를 산출하였다.

토류벽을 따라 직각 수평촬영을 하여야 하므로 촬영거리는 15m, 중복도는 75%, 사진 매수는 측정용 사진기의 경우 18~25매, 비측정용 사진기의 경우 30~35매로 계획하였으며 하나의 미지점이 최소 3매 이상의 사진에 피복되도록 계획하였다. 현장에서 요구하는 변형측정의 오차가 $\pm 1\sim 2\text{mm}$ 정도이므로 기초 실험에 의해 이에 적합한 촬영계획을 수립하였다. 총 굴착깊이가 14.8m이고 측면이 굴착진행에 따라 넓어지므로 측점을 추가 설치하고 촬영하였으며 요구 정확도를 얻기 위해 사진 1매당 기준점과 미지점을 합하여 최소 15점 이상 피복되도록 측점을 설치하였다. 공사 진행 중 현장여건 때문에 계획한 대로 촬영하기에는 많은 어려움이 있고 외부표정요소의 근사값 결정이 쉽지 않으므로 신속한 수렴계산을 위해 굴착지 측면의 기선으로부터 기준점측량 전에 삼각측량하여 각 촬영점에 대해 위치를 결정하였다. 매 단계별 사진측량시 기준점 측량을 위하여 1개의 기선을 설치하여 side I, side II에 배치한 기준점을 정밀삼각측량 하였다.

Target의 배치는 굴착단계 별로 추가 배치하였으며 전체 측면에 고른 분포로 배치하였다. 특히 inclinometer casing이 매설되어 있는 H-pile상에는 1m 간

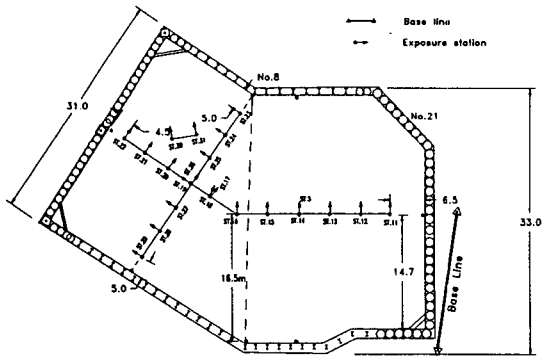


Fig. 4. Exposure plan of excavation site.

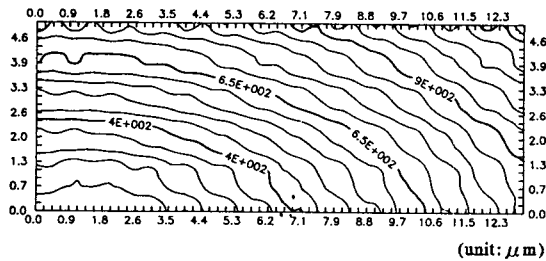


Fig. 5. Positional standard error contour of each unknown point analyzed by 4 control points.

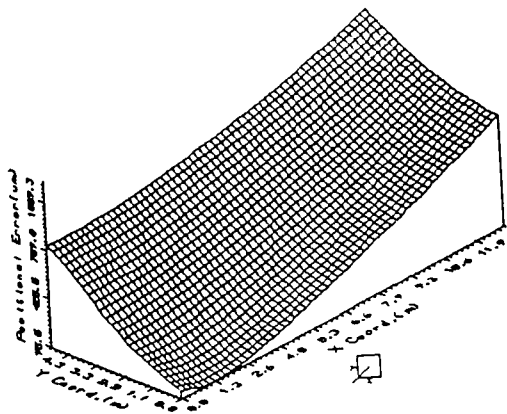


Fig. 6. Positional standard error of each unknown point analyzed by 4 control points.

격으로 target을 설치하여 사진측량으로 도출한 절대 변형량과 비교할 수 있도록 하였다.

4. 결과분석 및 고찰

4.1 Strip해석 오차분석

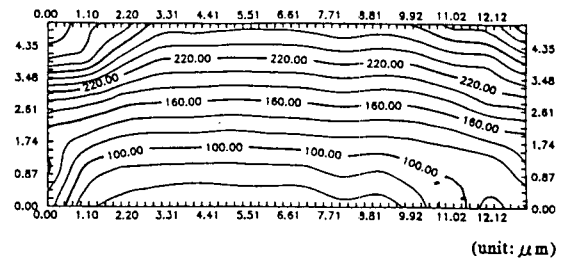


Fig. 7. Positional standard error contour of each unknown point analyzed by 26 control points.

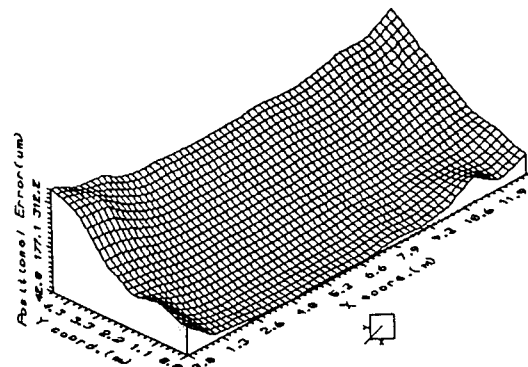


Fig. 8. Positional standard error of each unknown point analyzed by 26 control points.

기준점 배치에 따른 오차 영향을 전반적으로 분석하기 위하여 기준점을 全面에 26점 배치한 경우와 일부분에 4점 배치한 경우에 대한 X좌표의 분포는 기준점 26점의 경우 중앙부분을 기준으로 대칭형 오차의 증가양상을 보이고 있으나 4점 배치의 경우에는 기준점 배치 위치로부터 멀어질수록 물결모양으로 전파되어 증가함을 볼 수 있었다. 이에 비하여 Y좌표의 오차분포는 두 경우 모두 유사한 분포양상을 보이며 보다 크게 나타나고 있다. Z좌표에 대한 오차는 X의 경우에 비해 양상은 유사하나 다소 불규칙하게 나타나고 있으며 크기는 촬영거리의 변화에 영향을 받아 상당히 크게 나타났다. 이들 오차분포를 전반적으로 분석하기 위해 등오차선과 3차원 평균위치오차로 도시하였다(Fig. 5, Fig 6, Fig. 7, Fig. 8). 각 좌표 별 오차분석에서와 같이 全面 배치시에는 고른 정확도를 보이고 있으나 좌우측 상단에서는 촬영거리의 증가와 피복사진 매수의 부족으로 인한 오차의 증가 양상을 보이고 있다.

국부적인 변형측량을 위해 촬영점 2점을 선택하여

Table 1. Comparison of average standard error in accordance with the same position photographing case(2P-NC, 2P-V, 2P-P, 2P-NOR).

| the # of control point | the # of unknown point | SHAPE | simulated error | | | actual error | | |
|------------------------|------------------------|-------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | S _X | S _Y | S _Z | A _X | A _Y | A _Z |
| 10 | 39 | | 72.8 | 170.8 | 228.9 | 100.7 | 236.2 | 316.6 |
| 9 | 39 | | 93.7 | 198.9 | 282.9 | 129.1 | 274.1 | 389.8 |
| 5 | 19 | | 126.9 | 318.6 | 443.5 | 195.4 | 190.6 | 683.0 |
| 3 | 21 | | 266.2 | 657.9 | 752.4 | 388.7 | 960.5 | 1098.5 |

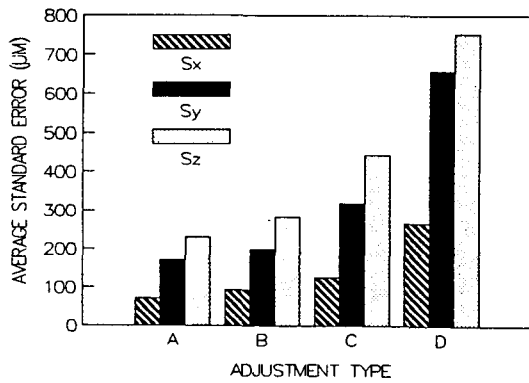


Fig. 9. Comparison of average standard error in accordance with the same position photographing case.

직각수평촬영조합의 경우 2P-NC, $\phi = \pm 13.5^\circ$ 의 경우 2P-V, 수렴촬영의 경우 2P-NOR, 편각촬영의 경우 2P-P에 대해서 정확도를 비교하여 보았다. 다른 촬영기법에 비해 기준점의 고른 배치에 영향을 많이 받으므로 가급적 편각촬영은 피하되 부득이한 경우에는 기준점을 고르게 배치하여야 양호한 결과를 얻을 수 있을 것이다. 각 경우에는 피복되어 있는 기준점과 미지점의 수가 달라 이영관측 수가 다르므로 이를 고려하여 분석을 실시하였으며 결과는 Table 1과 Fig. 9에 나타냈다.

조합의 경우 2P-NC는 10점의 기준점과 39점의 미지점을 두번째 양호한 결과를 얻었으며 두번째 양호한 결과를 얻었으며 포함하고 있어 가장 양호한 오차를 보이고 있으며, $\phi = \pm 13.5^\circ$ 의 경우 2P-V는 9점의 기

Table 2. Plan of Photographing

| item | 1st | 2nd | 3rd | 4th |
|------------------------|-------------|-------|------|------|
| exposed date | 1992. 1. 11 | 1.24 | 2.14 | 3.7 |
| the # of photo | 21 | 20 | 21 | 25 |
| excavation depth | 5.1 m | 8.0 m | 11 m | 15 m |
| the # of control point | 8 | 15 | 17 | 17 |
| the # of unknown point | 177 | 291 | 583 | 583 |

준점과 39점의 미지점을 포함하고 X는 93.7 μm , Y는 198.9 μm , Z는 282.9 μm 를 보여 두번째 양호한 결과를 얻었으며 편각촬영의 경우 2P-P는 상황이 유사한 직각수평촬영(2P-NOR)보다 약 2배 이상의 차를 보이므로 전반적인 오차의 영향은 미지점의 수로 인한 잉여관측 수의 변화보다 기준점의 수에 영향을 더 받음을 알 수 있다.

4.2 굴착측면 변형해석

4.2.1 Data Reduction

단계별로 촬영한 사진 중 좌표측정이 불량하거나 negative상태가 양호하지 못한 사진을 제외하고 기준점과 미지점에 대한 사진 좌표에 blunder가 포함되어 있는 것으로 판단되어 우선 기준점을 일방향으로부터 삭제해 가며 조정을 실시하여 결과를 얻었다. 1차 변형측정에서 얻어진 정확도가 만족할 만큼 양호하지 않았으므로 변형량도출에서는 2단계 해석결과를 절대좌표계로 하였다. 변형측정에서 요구하는 정도의 정확도가 도출되지 않은 이유는 하나의 측점이

Table 3. Obtained positional standard error of each step.

| step | S.E.U.W | simulated error(μm) | | | positional error(μm) |
|------|---------|----------------------------------|-------|-------|-----------------------------------|
| | | X | Y | Z | |
| 1 | 1.466 | 2.623 | 0.919 | 1.811 | 3.317 |
| 2 | 1.206 | 1.532 | 0.812 | 1.150 | 2.083 |
| 3 | 1.451 | 1.346 | 0.709 | 0.773 | 1.706 |
| 4 | 1.469 | 1.180 | 0.692 | 0.622 | 1.502 |

2~3자의 사진에 밖에 피복되지 않았고 첫번째 미지점의 배치에서 충분한 잉여관측 수를 얻지 못했다는 점이다.

2차 사진 측량시에는 1차 해석결과는 토대로 기준점과 미지점을 추가배치하였으며 굴착지반의 깊이가 증가하여 ω 회전요소를 +7g 변화시켜 피복하였으며 side간 양호한 집합을 위하여 추가촬영을 실시하였다. 최종적으로 얻어진 해석결과에 대한 표준오차는 1차 사진측량 결과에 비해 미지점이 많아졌으므로 잉여관측수가 증가하게 되고 결과적으로 정확도를 높일 수 있었다.

3차 측량자료처리 굴착지 측면의 상부에 배치된 미지점의 피복을 위하여 부분적으로 회전각을 $\omega = +15\text{g}$ 로 고려하였다. 기준점은 총 13점을 사용하였으며 미지점의 수는 65점이었다. 총 21매에 촬영된 미지점의 수는 398점으로 2차 촬영 때에 비하여 약 37% 증가하였다.

4차 측량자료처리 최종 굴착깊이 15m에 도달하였을 때 30점의 미지점을 굴착측면의 최하단에 추가 배치하여 촬영하였고 기준점 역시 No.521을 추가시켜 기준점 측량을 실시하였다. 3차 촬영 때에 비하여 미지점의 수가 약 45% 증가한 수이다.

촬영해석 결과는 굴착의 未進行으로 잉여 관측수가 작아 소요의 정확도를 얻지 못하였으나 2, 3, 4 단계의 해석결과는 현장에서의 변형측량 정확도를 만족하므로 신뢰성 있는 변형해석을 실시할 수 있었다. 각 단계별 최종적으로 얻어진 해석 결과에 따른 기하학적 위치 오차와 실험적 위치 오차는 Table 3와 같다.

Fig. 10에서 미지점의 수가 각 단계 별로 177점으로 291, 452, 583점으로 각각 증가함에 따라 3차원 정확도가 각각 37%, 18%, 12%로 증가하고 있다. 각 단계별 굴착이 진행됨에 따라 기준점과 미지점을 추가

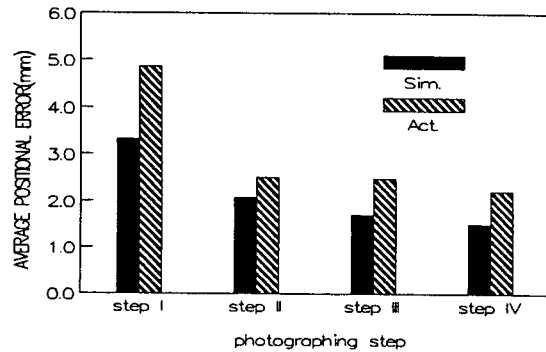


Fig. 10. Obtained positional standard error of each step in data reduction.

배치하여 잉여관측 수가 증가하였으므로 정확도가 향상되었다. 이로써 굴착현장에 대한 변형측량시 최소의 잉여관측 수와 미지점 별 기준점의 추가 배치를 신중하게 고려해야 함을 알 수 있었다.

4.2.2 절대변형량 해석

절대변형량을 구하기 위해서는 각 단계별 사진측량 결과를 절대좌표계로 변환하여 비교하여야 한다. 기준점 측량시 지반의 변위 때문에 기선이 변동하므로 앞에서 보인 Fig. 3과 같이 변형으로 부터 안전한 지점에 8개의 reference point를 설치하고 매 사진 측량시 동시에 정밀삼각측량하여 성과를 얻었다. 초기 사진 측량시의 좌표계를 절대좌표계로 정하고 매 단계별 reference point의 성과를 비교하여 이로부터 3차원 변환요소를 산출하였다. Reference point 중 no.R₆이 공사진행 중 시동이 되지 않아 제외하였다. 본 연구에서는 1차 초기 사진 측량성도가 잉여관측 수의 부족으로 인하여 요구정확도를 만족시키지 못하였으므로 2단계 사진측량시의 좌표계를 절대좌표계의 초기 값으로 정하여 7개의 변환요소($\omega_A, \phi_A, \kappa_A, X_A, Y_A, Z_A, \lambda_A$)를 구하였다. 매 단계별 변환요소를 구하기 위해 reference network에 대한 정밀삼각측량을 실시하였다. 그러므로 step 2-3을 epoch 1, step 2-4를 epoch 2로 변형량을 산출하였다.

2단계 촬영을 기준으로 reference point를 3점씩 선택하여 변환요소를 구하고(부록 3 참조) 이들 값을 평균하여 Table 4와 같이 각 epoch 별 7개의 변환인자를 구하였다. 이들 변환요소를 이용하여 2단계 촬영해석결과 target의 최종 3차원 위치를 초기 값으로 하고 3단계 해석결과를 2단계의 좌표계로 3차원회전

Table 4. Mean value of rotation, translation and scale factor.

| Selected Point | Epoch 1 | Epoch 2 | |
|--------------------------------|-------------|-------------|---------|
| Scale Factor(λ) | 1.000917266 | 1.000193876 | |
| Rotational angle($^{\circ}$) | ω_A | -7.3 | -16.225 |
| | ϕ_A | 10.5 | 15.200 |
| | κ_A | -12.1 | -14.725 |
| Shift(mm) | X_A | -4.347 | -2.314 |
| | Y_A | -8.410 | -13.874 |
| | Z_A | 0.826 | -19.084 |

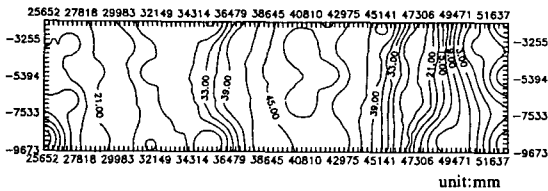


Fig. 11. Absolute deformation contour of epoch I.

변환하였으며 4단계 촬영결과 역시 원좌표계로 변환하여 epoch 1과 epoch 2에 대한 수평위치, 3차원 위치의 변형량을 도출하였다. Side II의 전체 굴착측면에 대한 변위량을 등변형선(Fig. 11, Fig. 12) 및 3차원 graphic(Fig. 13)으로 도시하였다. 굴착지 중앙부분에서 epoch 1은 1~2 cm, epoch 2는 최대 약 5 cm까지 절대변형을 보였으며 양쪽 주변부로 갈수록 서서히 작아지는 양상을 보이고 있다. 등변형선도에서도 역시 중앙부에서 최대변위량을 보이고 있다. 3차원 공간상의 변위량을 산출하기 위해 각 단계 별 미지점을 3차원 위치를 각각 계산하여 epoch 1, epoch 2에 대한 3차원 절대변형량을 산출하였다.

4.2.3 Inclinator 계측

토류벽 후면의 지중거동량을 사진측량에 의한 변형량과 비교하여 외부 절대변위와 내부 상대변위량의 상관성을 비교하기 위해 side II에 inclinometer를 설치하고 target을 지상으로부터 1 m 간격으로 설치, 부분 수렴촬영으로 정확도 향상을 꾀하였다. 사진측량 절대좌표계와 inclinometer 좌표계가 동일하지 않으므로 inclinometer 좌표계를 사진 좌표계로 2차원 회전 변환시켜 비교하였다. Inclinator계측의

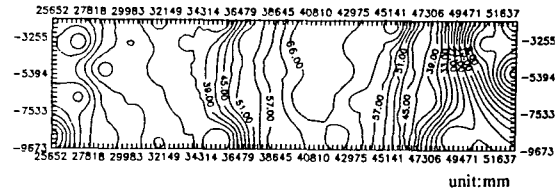


Fig. 12. Absolute deformation contour of epoch II.

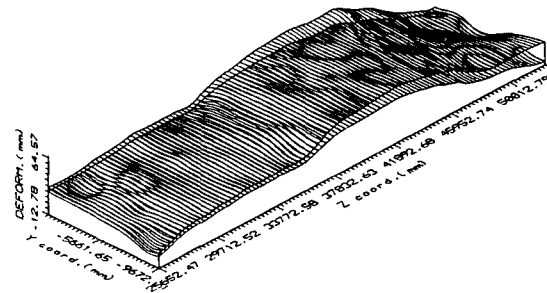


Fig. 13. 3-dimensional graphic of absolute deformation in horizontal direction.

좌표체계는 casing을 매설할 때 굴착지쪽으로 X축, 이에 직각방향으로 Y축을 설정하는 것이 일반적이다. 이 좌표계는 hole별로 독립적으로 규정된다.

사진측량 결과와 비교하기 위해 촬영시간과 동일한 1월 11일, 1월 24일, 2월 11일, 3월 7일에 동시 계측을 실시하였으며 계측 결과로 얻어진 hole #2의 X, Y 방향 상대변형량은 1월 24일에 계측한 값을 기준으로 하였다. 상대변위량을 casing 깊이별로 Fig. 14와 같이 도시하였다. 그림에서 X축 방향의 변위가 굴착지 내부쪽으로 발생하였으며 약 8 m 지점에서 최대변위를 나타냈다. Y 좌표오차에 대한 변위는 모두 + 방향으로 발생하였고 크기는 다소 작게 나타나 굴착측면에 평행한 변형은 그다지 크기 많음을 알 수 있다. 이들 사진 측량학적인 변형측정 값들과 inclinometer 계측 값과 비교하여 일치 여부를 분석하여 보았다. 비교 값들은 수직변위량 ΔY 를 제외한 ΔX 와 ΔZ 이다. 본 연구에서 개발한 사진측량 기법과 inclinometer로 산출한 변형량을 비교하여 볼 때 최대 변위량은 공히 굴착깊이 약 8 m로 일치를 보였고 전반적인 굴착심도에 따른 변형량에 유사한 양상을 보였다.

5. 결 론

- 1) 一面의 기준점으로 구조물 全面을 기대정확도로

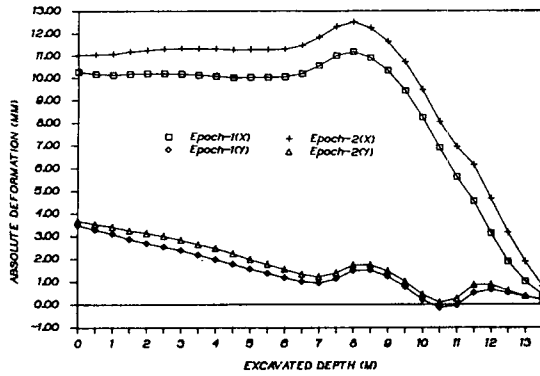


Fig. 14. Measurement results of inclinometer for hole #2.

해석할 수 있었고 이 때 기준점 측량의 난제를 해결하기 위해 pass point의 역할은 매우 중요하며 pass point는 ball target이 이상적이다.

2) Reference network과 control network을 연결하여 절대변형량 해석을 위한 parameter를 도출함으로써 지반 거동해석의 가능성을 제시할 수 있고 종래의 국부적인 계측으로 인한 비효율성을 보완할 수 있었다.

3) 구조물 내외부에 대한 상대 및 절대변형량은 지반의 거동으로 인하여 다소 상이하게 발생하므로 사진측량과 함께 계측기를 병용, 토질공학 분야와 함께 연계하여 변형해석 한다면 바람직한 결과를 얻을 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초(90-08-00-05) 연구비 보조로 수행된 것으로 한국과학재단에 감사드립니다.

参考文献

1. 姜準默, 李在璣, 韓承熙 “기초 굴착 측면붕괴의 위험도 예측에 관한 연구”, 한국측지학회지, 제9권 1호, pp.17~25, 1991.
2. 姜準默, 韓承熙 “공선조건에 의한 기하학적 변형해석에 관한 연구”, 한국측지학회지, 제4권, 2호, pp. 77~87, 1986.
3. Zhuoqiao Zeng, Xibo Wang, “A General Solution of a Closed-Form Space Resection”, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol.58, No.3, pp.327-338, March 1992.
4. Donald L.Light, “The New Camera Calibration System at the U.S. Geological Survey”, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol.58, No.2, pp.185-188, February 1992.
5. S.F.El-Hakim, “Photogrammetric Measurement of Microwave Antennae”, PE & RS, Vol.51, No.10, pp. 1577-1581, 1985.
6. Haim B.Papo “Deformation Analysis by Close-Range Photogrammetry”, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol.51, No.10, pp.1561-1567. 1989.
7. Todd Porter, Jim Mclellan “GPS Survey Techniques for Deformation Analysis”, ACSM-ASP annual convention, technical papers, Vol.3, pp.194-207, 19 87.
8. Kurt Kubik, Dean Merchant, Toni Schenk “Gross-errors and Robust Estimation”, ACSM-ASP annual convention, technical papers, Vol.4, pp.250-255, 19 86.
9. Youssef I.Abdel-Aziz, Saad E.El-Sherbyni & Nabil A.Zaghloul “Close Range Photogrammetric Measurements of Movements of sand Dunes”, Reportf on Saudi Arabian National Center for Science And Technology(SANCST) Grant AR-4-046, pp.295-303. 1983.
10. Clive, S.Fraser “Dimensional Characterization of a Large Aircraft Structures by Photogrammetry”, PE & RS, Vol.58, No.5, pp.539-543, May, 1992.