

簡易なひびわれ計測システムの開発 - 3次元への拡張 -

現場計測，ひび割れ

(株)吾妻製作所

佐野 浩

(有)ジーテック

後藤 和夫

山形設計(株)

正会員

堀内 宏信

1. はじめに

トンネル，擁壁に代表される地中構造物や抗土圧構造物では，想定外の荷重や地盤の変位によってひびわれや目地の開口などの変状が経時的に進展することがある。このような構造物では維持・管理のために，発生したひびわれなどを長期間に亘り定期的に定点観測することが必要となるケースが多い。

簡略な計測では未だにクラックスケールなどを用いた手作業による現場計測が行われているが，計測精度の測定者依存性が強く，また計測と数量管理が別々なので結果的に作業効率が低いなどの問題が挙げられる。

このような問題を解決するために，貼り付け型のマーカーとデジタルカメラおよびパーソナルコンピュータ(PC)を用いた簡易な現場ひびわれ計測システム”クラックトレーサ”の開発を行ってきた。さらに今回，平面的なひびわれ幅に加えて，立体的な段差についても計測できるようシステムを拡張したので，その内容について本稿で報告する。

2. 計測原理

2.1 二次元計測

ひびわれ幅などの二次元計測の原理は，微小なエリアでの三角測量である。ひびわれを跨いだ三角形の各頂点を標点とし，この三角形の原点と校正点を結ぶ1辺(基準長さ)を既知かつ不変とすることで，未知の残り2辺の長さを基準長さに対する相対比率より求め，最終的に原点・校正点に対する変動点の座標と変位量を算出している。

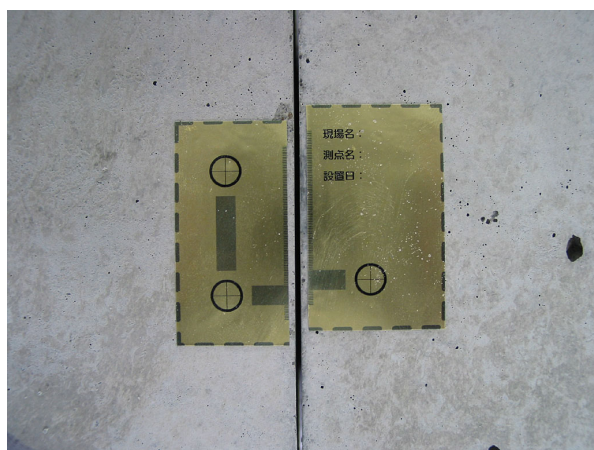


写真 - 1 二次元計測用のマーカー

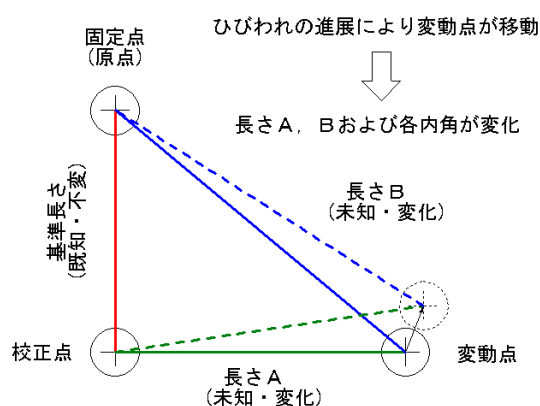


図 - 1 二次元計測の原理

この原理に基づいて実際に計測を行うために，マーカーの基準長さを予め測定顕微鏡あるいは読取顕微鏡により検定を行うことで高い精度(1.0×10^{-2} mm)で既知とし，各辺の相対的な長さの比をデジタルカメラで現場撮影した画像の pixel 数から求め，これらを組み合わせることで座標や距離を定量化している。

また現場での作業は基本的に写真撮影だけとし，ひびわれ幅の解析はPC上の専用ソフトウェアで後処理することで，現場における省力化および効率化を図っている。

2.2 三次元計測

二次元計測の原理を応用し，ひびわれの両側それぞれに基準長さを持たせることで，段差量などの三次元計測への拡張を行った。これは，二次元の場合と同様それぞれの基準長さは本来既知で不変であるが，段差(カメラ視点に対する前後差)の発生によって段差前面側と比較して背面側の基準長さが相対的に短く計測されることを利用して，段差量を算出するものである。

Development of a simple crack measuring system. -Extend 3dimensional measurement -

H.Sano (Azuma Manufacturing Co.,LTD.) , K.Gotoh (Gtec Co.,LTD.)

H.Horiuchi (Yamagata Sekkei Co.,LTD.)

図 - 2 の段差背面側に関する三角形について考える。

段差前面側の x_1 を基準とした背面側 x_2 の見掛けの長さを x_2' とすると、同一の三角形であることから L_1, L_2, x_2, x_2' それぞれの関係は、

$$x_2' : L_1 = x_2 : L_2$$

従って、

$$L_2 = (x_2/x_2') * L_1$$

よって段差量 L は、

$$L = L_2 - L_1 = \{(x_2/x_2') - 1\} * L_1$$

以上の原理により、段差は平行で x, y 方向ともねじれていないことを仮定した近似値ではあるが、正面から撮影した 1 枚の画像を基に三次元的な段差量を推定することが可能となる。

なお、段差量の計測に際しては、レンズ焦点から被写体までの距離 (L_1) を正確に管理する必要があることから、カメラにアダプタを装着し、その距離を事前に検定しておく必要がある。

また、ひびわれ幅の計測については、従来の二次元計測の場合と同様とし、段差による影響は現段階では微小な誤差として無視している。

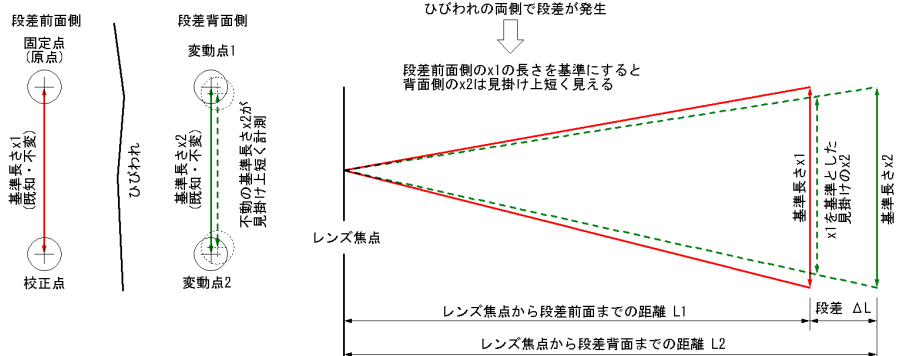


図 - 2 三次元計測の原理

3. 計測精度

その計測原理から、本システムの計測精度は固定されたものではなく、マーカーの大きさ(標点間の距離)、撮影時の距離および解像度(画素数)によって無段階に変化する特徴を持っている。

二次元計測の場合で、各標点間の距離が 2.5cm、それに対応する画素数が 500pixel と仮定すると(600 万画素級のデジタルカメラを用いて写真 - 1 程度の画角での撮影に相当)、1pixel 当たりの分解能は 0.05mm となり最終的な計測精度は概ね 0.05 ~ 0.1mm となる。

同じ条件で三次元計測を行った場合、二次元計測結果を基に立体的な段差量を算出する過程で誤差は大きく拡大する。基準長さの計測誤差が 0.1mm、標点間の距離が 2.5cm、被写体(前面側のマーカー)とレンズ焦点との距離が 10cm と仮定すると、誤差は $0.1\text{mm} * (10\text{cm}/2.5\text{cm}) = 0.4\text{mm}$ と拡大され、段差量の最終的な計測精度は概ね 0.5 ~ 1.0mm まで低下する。

画素数から長さを計測しているため、精度を 2 倍にするためには単純に 2 倍の解像度、同一画角で 4 倍の画素数が必要となる。仮に 35mm 銀塩フィルムからフィルムスキャナー(4,000dpi)を用いて取り込んでも画像は約 2,400 万画素となり精度的には 600 万画素の 2 倍に留まることから、本システムの精度を飛躍的に向上させることは難しい。但し距離と画素数で精度が決まるため、アダプタを装着して撮影することで、測定者に依らず一定の精度を保つことができる。

4. おわりに

以上の結果から、本システムによる計測精度の上限は、現在普及している 600 ~ 1,000 万画素のデジタルカメラを用いた場合、二次元計測で 0.05mm、三次元計測で 0.5mm と判断している。従って適用に当たっては、計測目的および必要とする精度に対して、適用の可否と機材の組み合わせなどについての事前の検討が必要となる。

目安としては、現在クラックスケールやクラックゲージにより計測しているようなサイトであれば、十分に代替することが可能であると考えている。計測作業は設置したマーカーをデジタルカメラで撮影するだけなので、精度的に適用可能であれば従来方法と比較して短時間で効率的な計測が可能であり、費用的にも安価とすることができる。

また、元々は構造物のひびわれを計測する目的で開発したシステムであるが、アイデア次第で簡易な変位計、伸縮計など様々な用途での利用も可能である。

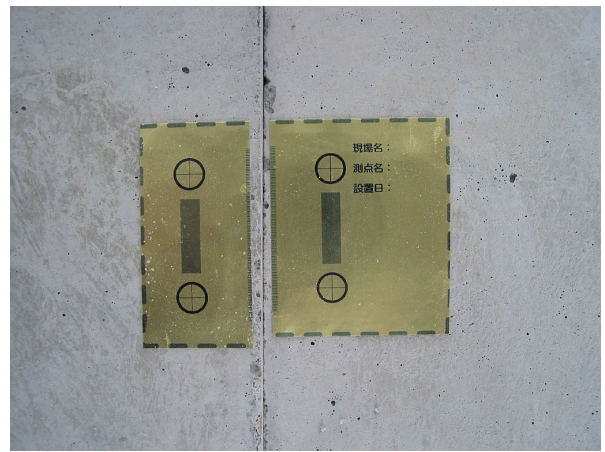


写真 - 2 三次元計測用のマーカー