

## 19. 光波測距儀を用いた空洞調査システム

不動建設㈱：\*勝原 法生，大塚 誠  
フドウ技研㈱：松尾伸太郎

### (1) はじめに

本システムは、流動化処理工法の信頼性向上を図るための支援システムとして開発したものである。流動化処理工法とは、建設現場で発生した土に流動性を高めるために調整泥水と固化材を適切な配合で混合し、用途に適した流動状態で、埋め戻し、裏込め等が必要な打設場所に直接投入あるいはポンプ圧送等の方法で流し込み、混合物の固化を待って処理の目的を果たす工法である。これまでの施工実績を踏まえて流動化処理工法に望まれるのは着工に先立ち正確な埋め戻し量が求められること、施工中の出来高管理が確実にできることである。特に大規模工事においては埋め戻される空洞のボリュームを正確に把握することで工費、工事期間を精度良く見積もることが可能になる。さらに空洞の量のみだけでなく、空洞の形状をビジュアルにすることで工事全容が把握できる効果的な管理システムとなっている。今回のシステムはプロトタイプに続く2台目になるもので実用的なシステムとして完成させるべく取扱いの簡略化を図っているところである。

### (2) システム概要

図-1 にシステムの概念図を示す。システムは次に示す3つの部分から構成される。

- ①距離計（反射ミラーを必要としない光波測距儀）
- ②距離計回転制御装置
- ③画像処理（パソコン）

計測にあたっては空洞の内部に上記①～③計測装置一式をセットする。距離計は360°水平方向に振れ、90°上方向に、60°下方向に自由振れる構造を取る。したがって距離計の下方が平らな場所では一度の計測で空洞全方位の計測（空洞量）が可能である。

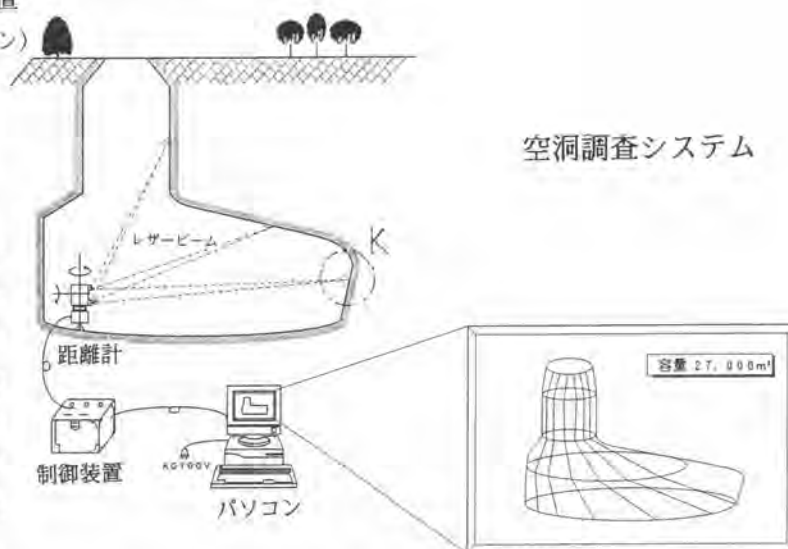


図-1 システム概要

写真-1は距離計のヘッド部を示したものである。この部分には光波を発射し反射光を受けるためのレンズが2個見える。計測にあたっては空洞の内部に上記①～③の計測装置一式をセットする方法、あるいは①距離計のみを天井部から空洞内へ挿入する方法等状況に応じて使い分けることになる。



写真-1

### (3) 計測原理

図-1の計測面K(一点鎖線で囲った部分)を正面から見た部分図が図-2-(a)で、点線に沿ったk1, k2, k3, ...は計測の順路、位置を示している。図-2-(b)は距離計からk1, k2, k3...点までの計測距離 r1, r2, r3 ...を示したものである。k1, k2, k3 ... は距離計を等角度振って得た点であるからk<sub>i</sub>点の座標(x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub>, z<sub>i</sub>)は距離r<sub>i</sub>から次式で計算できる。

$$\begin{aligned} x_i &= r_i \times \cos \phi_i \times \cos \theta_i & \text{..... ①} \\ y_i &= r_i \times \cos \phi_i \times \sin \theta_i & \text{..... ②} \\ z_i &= r_i \times \sin \phi_i & \text{..... ③} \end{aligned} \quad \left( \begin{array}{l} \theta_i, \phi_i \text{ は計測基点からの} \\ \text{水平角、仰角(俯角)} \end{array} \right)$$

#### 1) 計測面の表示

計測面の表示は隣合う計測点を頂点とする4角形(図のシャドウ部)で1面を構成し、これを連続処理することで全体の面を表して。しかし、これだけの処理では空洞は面が重なり合っただけののっぺりした表示となり、立体的な像とはなりえない。これを解決するために影を付ける手法(シェーディング)で処理している。例えば図の左上方に仮想光源をおいて光の当たる部分と当たらない部分に明暗を付けて表示することで立体像をイメージさせ、また、ペイントする色の最適な色調を選ぶことでこの立体像をよりクリアなものとしている。

#### 2) 空洞体積の計測、容量表示

体積の表示は1)で求めた4角形の1面を底面とする四角錐の体積を求め、これを全体積について加算することで対象空洞の容積を求める方法をとっている。

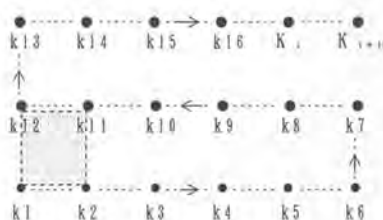


図-2-(a)

### (4) 計測時間と精度

距離計の制御角度は最小0.1°としているので50m離れた壁は約9cmのメッシュで計測することになる。計測時間は1点が約1秒掛かるので360°全周囲を計測すると1800時間と膨大な時間が必要である。これは実用的ではない。これまでの計測経験からすると計測角度は3°とするのが精度、時間を考慮するとベターである。このとき計測時間は全周囲が2時間程度で済む。

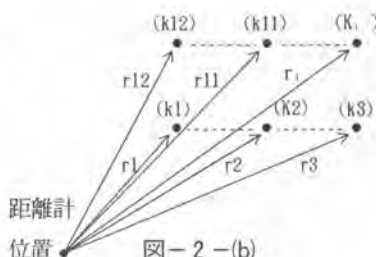


図-2-(b)

計測範囲を限定して狭い角度内を細かく計測する必要が生じた場合は、 $0.1^\circ$  計測をする意味がある。

計測精度は測距儀の誤差が  $0.5\%$  程度なので空洞容量は理論上  $3\%$  以下の誤差で計測できると試算している。

#### (5) システム構成と仕様

本システムを構成する機器並びに仕様を表-1に示す。計測に当たっては距離計を空洞の適当な位置に水準器で水平にセットする。計測半径が  $100\text{m}$  以下であれば一度のセットで済むが、 $100\text{m}$  を越えるような場所では数度に分けてセットする。また  $100\text{m}$  以下であってもモヤがかかったり、見通しが悪かったりする場合は計測可能な範囲に分割してセットする。このときセット回数を少なくするような配置を考えると効率よく計測できる。互いに隣接するように測定した各空洞データは後処理で一つの空洞として全容を表示できる。計測器の足元付近も含めて正確に計測する場合は距離計を天地逆にセットして計測し、上下のデータを合わせることで空洞を表示する。

以上、空洞内に人が入って距離計を設置、操作する方法での計測システムについて説明してきたが、本システムは人が入れない場所での計測も意識している。たとえば直径  $10\text{cm}$  の穴につながる空洞であれば距離計をその穴から空洞部まで挿入することで計測しようとするものである。この穴は  $50\text{m}$  程度の距離であっても計測できるようにデータ送信の安定性を確保している。

ただし、現状は垂直方向のみが可能で、横方向へ挿入する方法は考慮されていない。

#### (6) 実測結果

システムの能力チェックを兼ねて大谷地区採石跡地の坑道で実測を行った。写真-2に計測場所を示す。計測地点は高さが  $15\text{m}$ 、奥行きが  $30\text{m}$ 、幅

表-1

構成機器	仕様
(距離計)	
①測定範囲	1~100m
②距離測定精度	$\pm 1 \sim \pm 5\text{cm}$
③測定時間	1秒/Point
④外形寸法	$\phi 9.5\text{cm}$ $\ell 48\text{cm}$
(回転制御装置)	
①水平駆動範囲	$360^\circ$
②垂直駆動範囲	$+90^\circ \sim -30^\circ$
③角度分解能	$0.1^\circ$
(画像処理装置)	
①パソコン本体	PC-9821Na/H3 75MHz Pentium
②メモリー	32MB(8+24)
③HDD	350MB
(処理ソフト)	
①MS-DOS	Version 6.2
②WINDOWS	Version 3.1
③XCAD	Version 3.0J
④Visual BASIC	Version 2.0



写真-2

が12mの場所である。この場所からさらに奥へと坑道は続いている。写真-3は計測結果の平面図である。A部を先に計測し、測距儀のヘッドを180°反転させて計測したのがB部である。これは1号機で計測したもので、ヘッドが360°回転できるようになっていなかったために2回に分けて計測したものである。写真-4は2地点を合成して立体的に表示したもので空洞の形状がそれなりに理解できる。結果としてこれは別々に計測した隣り合う空洞の合成処理が実際に実施された例として見る事ができる。この状態にさらに前述したシェーディング処理を施したものが写真-5で、ここまでくると空洞の形状をキチンと把握できるようになる。写真-5に表示された空洞はパソコン画面上で自由に回転表示させることが可能である。写真-6は180°回転させたもので、空洞を真後ろ上方から見た状態を表している。このように角度を変えてあらゆる視点からの調査をすることで対象空洞の形状をビジュアルに認識できる。空洞の容積は計測を終了した後指示により数分で演算処理し、結果をパソコン画面上に表示するようにしている。

#### (7) あとがき

大空洞調査システムはあらゆる空間のビジュアル化、容積を計測する場合に使い方を工夫することによって有意義に活用できるシステムであると考えている。しかしながら実測データは未だ少なく予定した性能が発揮できるかどうか未知の部分があることも事実である。特に地表面から数十m下部の空洞を計測する計画は、最適計測点を検知するシステム、地表面から空洞までの導入穴に存在が想定される地下水処理といった計測をサポートする側面のシステム整備が必要と考えられる。これらの諸問題は引き続き関係各位の適切なアドバイスを戴きながらフィールドでの計測を重ねていくことで解決し、安定した実用化システムとしていく所存である。

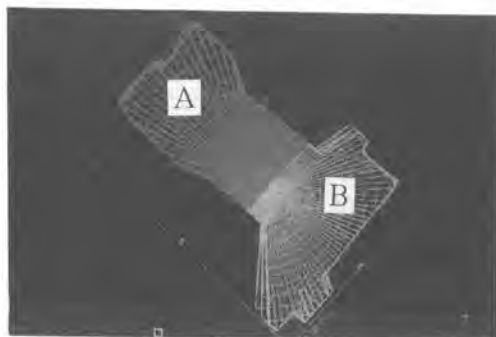


写真-3 平面図

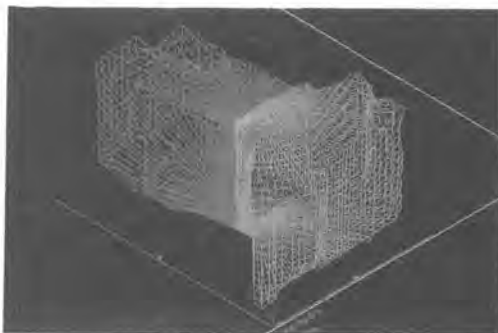


写真-4 立体図

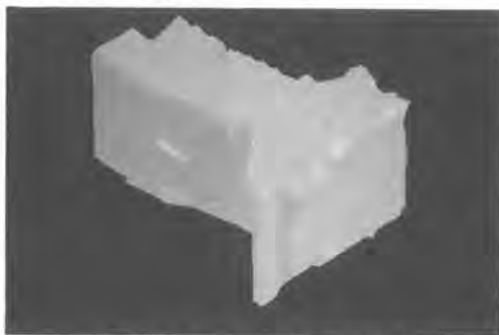


写真-5 シェーディング処理

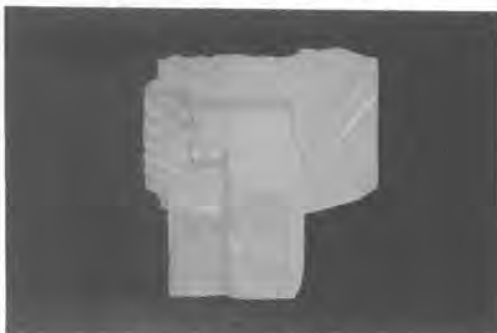


写真-6 回転処理