

45. 路面下空洞探査技術の開発

建設省関東技術事務所：*田中 義光
（財）道路保全技術センター：山本 真一郎

1. はじめに

昭和63年に道路陥没事故が多発し、社会問題になったことから路面下空洞探査車を開発して、平成2年度から平成9年度までの間に、全国で約1,100個もの空洞が発見された。しかし、空洞に対する適切な処置・復旧作業を行うためには、内部の状況を確認し原因を把握することが課題となっている。本報告は、空洞の内部状況を詳細・正確に把握できる「空洞内部状況観察装置」の開発についてまとめたものである。

2. 路面下空洞探査の概要と課題

現行調査方法においては、路面下空洞探査車（図-1）により、交通規制を行うことなく地中レーダを使用した非破壊調査法で異常箇所を発見する。異常箇所については、専用の地中レーダを用いて詳細の位置を特定（メッシュ調査）し、 $\phi 4\text{ cm}$ の小口径ボーリング孔をあけて断面を写真撮影（スコープ調査）することによって深さと空洞の厚みを計測している。しかし、地中レーダによる探査では、波形から大きさを判定するため、空洞の形状・広がりを正確に把握することは困難であり、また、スコープ調査においても部分的な断面撮影となるため、内部の状況を正確に把握することはできないことが課題となっている。

従って、空洞の原因を調査するために開削を行っているが、このとき空洞が崩れてしまうため、原因を把握できるのは全数の2～3割程度である。今回開発した空洞内部観察装置は、スコープ調査時に空洞に向けて削孔する $\phi 4\text{ cm}$ のボーリング孔から、特殊CCDカメラ装置を挿入し、内部の状況を撮影できるとともに、空洞の大きさを把握する機能を付加したものである。



図-1 路面下空洞探査車

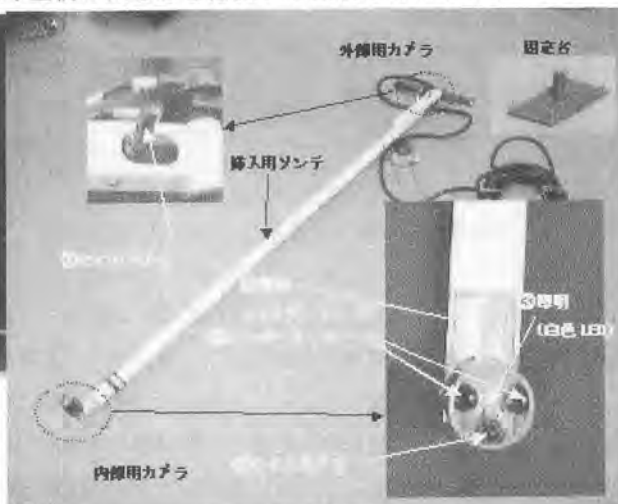


図-2 空洞内部状況観察装置

3. 空洞内部状況観察装置

空洞内部状況観察装置は挿入部と制御・記録部で構成される。

3. 1 挿入部

3. 1. 1 機構

全長1.8mの円筒型ゾンデの先端部(約70mm)には地中観察用CCDカメラ及び照明装置が装備されており、ゾンデに設けたハンドルにより当該部を90°曲げることで水平方向の画像を撮影できる。ハンドル下部に装備したCCDカメラは、地中観察用CCDカメラと同方向を向いており、このカメラにより並行して地上の周辺風景を記録することで、地中画像の方向を確認できる。

3. 1. 2 照明装置

照明装置は、ゾンデ屈曲部にハロゲンランプと先端面に白色LEDを装備している。白色LEDは発熱量が小さいため、近接しているCCDに悪影響を与えない。通常はハロゲンランプを使用するが、空洞の厚みが薄くハロゲン部が内部に入らない場合や小さい空洞でハレーションを起こす場合は、この白色LEDを使用する。ただし、撮影画像はハロゲンランプの方が鮮明であり、白色LEDの場合、壁面の画像が青みがかかることがわかった。

3. 1. 3 レーザマーカ(簡易距離計測機能用)

先端面から2本の平行レーザーマーカを空洞内壁面に向け照射し、CCDカメラの視野と映像におけるレーザー光間隔の相対的比率によって、カメラからレーザーマーカの当たっている壁面までの距離を計測できる。ゾンデを回転させ、全周にわたり距離を算出して、空洞の大きさ・形状を把握する。

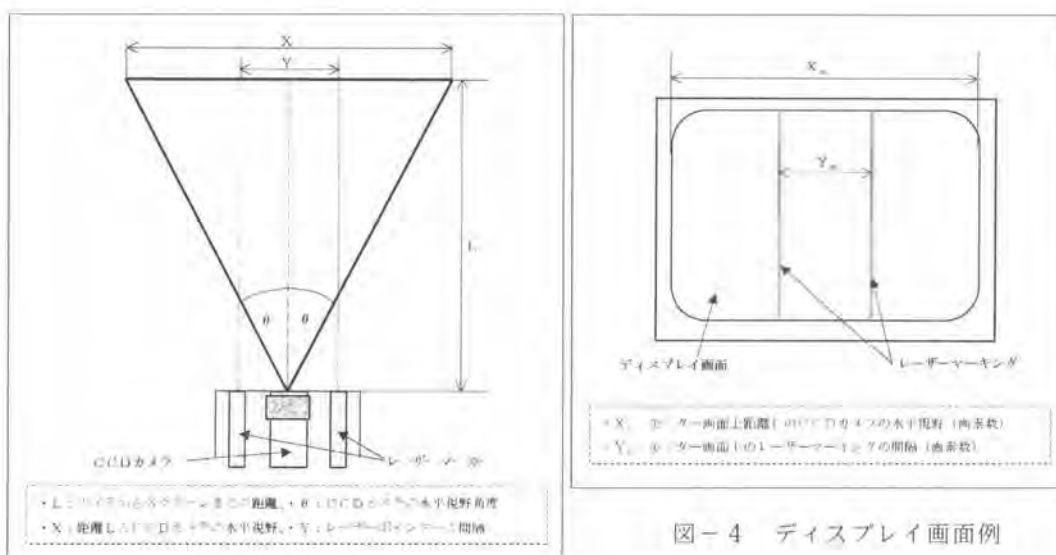


図-3 計測原理

図-4 ディスプレイ画面例

距離計測の原理を以下に示す。

CCDカメラから距離L離れたスクリーン（視野）では、次の関係が成立つ。

$$X = 2 L \tan \theta \text{ —— ①}$$

$$Y = \text{一定} \text{ —— ②}$$

距離L離れたときのディスプレイ上の画像は、図-4のようになる。

ここで、 $X : Y = X_m : Y_m$

$$\text{①より } 2 L \tan \theta : Y = X_m : Y_m$$

$$Y_m \cdot 2 L \tan \theta = X_m \cdot Y$$

$$\therefore L = \frac{X_m \cdot Y}{2 \tan \theta} \cdot \frac{1}{Y_m} \quad \frac{X_m \cdot Y}{2 \tan \theta}$$

従って、距離L（カメラからレーザーの到達地点までの距離）は、ディスプレイ上のレーザーマーカー間隔 Y_m の関数となるため、画面上の Y_m を計測することにより距離Lが求まることになる。

3.2 記録部

記録部は、ディスプレイ、デジタルビデオ、蓄積型暗視装置、映像処理装置から構成される。記録のデータベース化を勘案してデジタルビデオを採用し、大規模な空洞などで照度が確保できない場合のために蓄積型暗視装置を導入した。また、簡易距離計測のためのメジャーを表示したり、地上部の風景を内部映像と並行記録するために映像処理装置を使用する。

3.3 簡易距離計測機能試験

簡易距離計測機能を確認するため、CCDカメラから距離Lにある白板にレーザーマーカーを照射し、撮影画面をディスプレイに映し出して間隔内の画素数（ドット）を計測し、理論値と比較した。試験結果を表-1に示す。実測値は理論値とほぼ同じ値を示し、距離計測が実際に可能であることが確認された。

表-1 距離性能確認試験結果

距離L (m)	実測値 (ドット)	理論値 (ドット)
0.5	34	32.8
1.0	17	16.4
1.5	11	10.9
2.0	8	8.2
2.5	6	6.6
3.0	5	5.4

3.4 実際の空洞による適用試験

東京国道管内5箇所、横浜国道管内4箇所、仙台市建設局管内5箇所の計14箇所に及ぶ実際の空洞で適用試験を行った。図-5に観察結果の例を示す。地中レーダによる空洞の広がり判定した結果（点線）と、本装置により把握した広がり（太実線）を比較すると地中レーダでは捉えきれない奥まった広がりも計測できていることが判る。また、映像によって奥に落ち込んでいるような水みらしきものを確認することができる。

大きさ測定における誤差は、概ね機能試験と同様の傾向を示すが、複雑な形状の計測では影になる部分が十分に把握できない場合がある。

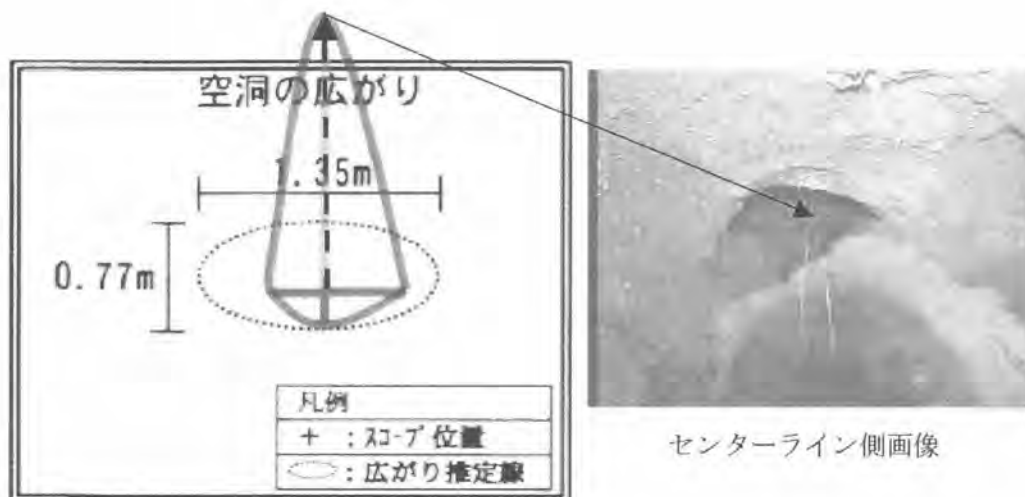


図-5 空洞の観察結果

4. 考察

4. 1 空洞内部観察の効果

空洞の実体を映像で観察することにより、水みちの発生方向や空洞の延伸方向が確認できる。簡易距離計測機能については、半径1.5m程度の空洞であれば約10%程度の誤差で計測できることがわかった。

4. 2 今後の課題

4. 2. 1 記録のデータベース化

現在1箇所当たり5～10分の動画データをビデオとして記録している。これを空洞探査調書機能（既存システム）や位置表示機能（既存システム）に閲覧データとして関連付け、整理・検索・解析を容易にする必要がある。

4. 2. 2 距離計測の精度向上

簡易距離計測機能については、ディスプレイに示させるゲージが0.5mピッチのため、目視による読み取りを行っている現段階では、10%という誤差が限界である。精度向上を図るためには、記録した画像を拡大処理し、専用マイクロコンピュータを映像処理装置に接続して距離を計算させるシステムの開発が必要である。

5. まとめ

現在、路面下空洞探査によって発見された全ての空洞は、開削により原因調査を実施しているが、発生原因が特定できたのは、埋設管の破損・漏水など原因がわかりやすいもののみである。今後本装置が活用されることによって、より多くの発生原因を特定できるようになり、多くの路面下空洞に対し、迅速かつ適切な補修措置のために寄与できると確信している。