

18. 路面下空洞探査技術の開発

関東地方整備局 関東技術事務所 機械課 ○宮内 将彰
関東地方整備局 関東技術事務所 機械課 渡部 修
国土交通大学校 建設部 建設二科 神田 剛

1. はじめに

都市部の道路の地下はライフライン等に利用されるが、埋設物の破損等により空洞が発生し陥没事故を引き起こす場合もある。関東技術事務所では全国に先駆けて平成2年度に電磁波地中レーダ方式の路面下空洞探査車を開発・導入しており、関東地方整備局管内において平成17年度までに約1,000箇所の空洞を発見し、道路陥没の防止に効果を上げている。

今までの路面下空洞調査車による調査方法は、時速40kmで走行しながら迅速かつ広範囲に調査する一次調査と、一次調査で発見した異常箇所に対し一箇所ずつ車線規制を行い空洞位置及び規模の詳細を特定する二次調査により構成されている。

しかし、長時間におよぶ車線規制を伴う二次調査は渋滞を招くことから対策が求められていた。そこで、空洞の詳細位置が特定可能な「路面映像取得機能」と「GPS機能」及び「空洞データ」を合成させた「空洞詳細位置特定機能」を開発・搭載し、渋滞要因の一つとなっていたハンディ型地中レーダによるメッシュ調査を省略化した。

路面下1.5mまでの空洞を探査することが可能である。取得したデータを解析することにより異常信号の抽出を行い、さらに平面表示処理をすることにより異常信号の広がりを表示する。この広がりが空洞箇所である。

また、二次調査は、メッシュ調査、スコープ調査、空洞内部状況観察により構成される。

一次調査と二次調査の調査フローは図-2の通りである。

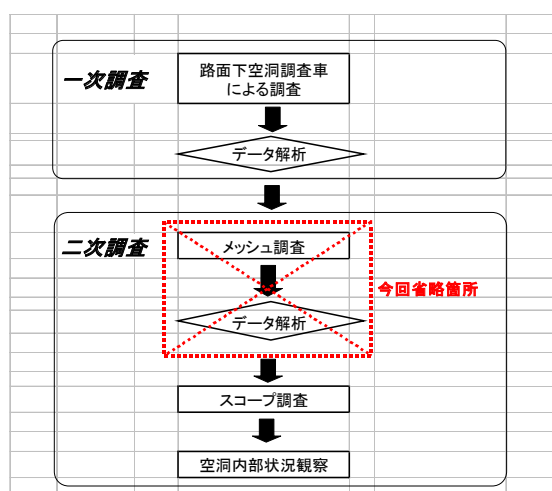


図-2 調査フロー

2. 路面下空洞調査について

路面下空洞調査車を図-1に示す。



図-1 新型路面下空洞調査車による一次調査

7台の地中レーダアンテナを用いて探査幅2.45m、

3. 空洞詳細位置特定機能の開発

路面映像取得を行うため、路面映像の取得方法と路面の照明方法について検討した。

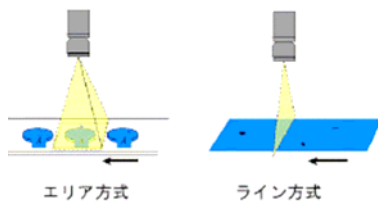
さらに、各種のGPSシステムの比較検討した結果採用されたD-GPS（ビーコン）を用い地域差、走行速度による実証精度の試験を行い、空洞調査に対する適応性を確認した。

また、「路面映像とレーダデータ及びGPSデータの連携方法、路面映像と2次元処理結果の合成方法」「隣接する路面映像の合成方法」について実証試験を行ない適応性を確認した。

3. 1 路面映像取得機能の検討

3. 1. 1 路面映像の取得方法

路面映像取得に適応性のあるカメラについて検討をおこなった。カメラにはラインカメラとエリアカメラがある。ラインカメラはエリアカメラと比較して画素数が多く、高画質の映像が期待でき、データ加工が容易で、照度を均一化すべき範囲が狭くて良いことが挙げられる。よってラインカメラを採用した。(図－3 参照)



図－3 カメラ比較

3. 1. 2 路面の照明方法

ラインカメラの撮影に必要な照明を選定するため、表－1 に示す照明装置を検討した。広角に照射可能であり、耐震・耐環境性の高いバックランプ（ハロゲン）車両補助灯（ハロゲン）の組合せとした。

表－1 照明の検討

照明の種類	広角照射	耐震・耐環境性	検討結果
バックランプ（ハロゲン）	○	車両用：○	○
車両補助灯（ハロゲン）	○	車両用：○	○
舞台用照明（ハロゲン）	×	室内用：×	×
投光器（ハロゲン）	○	屋外用：△	△
投光器（LEDランプ）	×	屋外用：△	×
車両補助灯（HID）	×	車両用：○	×
蛍光灯	○	屋外用：△	×

3. 1. 3 映像取得状況

昼間の晴天と曇天、雨天、夜間の状態のデータを取得した。以下に試験結果を示す。

昼間の撮影では、日陰と日向のコントラストが大きく、特に晴天時ではカメラでの制御が不能で、影部分の映像取得に問題が生じている。(図－4 参照)

曇天時はカメラの感度領域の設定で調整が出来、影部分の映像取得が可能である。

雨天時の調査においては路面に滞水している場合でも、路面の映像情報の取得は可能である。

夜間の撮影では路面映像は良好であった。市街地における照明灯・ネオン等の影響と隣接する前後・左右の車両や対向車両のヘッドライト等の影響についての評価を表－2、図－5に示す。



図－4 晴天時の影の影響

表－2 路面映像取得機能の評価

項 目	検証結果	評価
明灯や電光看板等の影響	安定した路面映像データが取得できるため、影響はない。	○
隣接して走行する車両や対向車両からの灯火の影響	安定した路面映像データが取得できるため、影響はない。	○
車両挙動による影響	車両挙動による路面映像への影響はほとんどない。	○



図－5 周辺状況映像

上記の結果から、照明灯等の変動が路面映像に与える影響はほとんど無く、安定した映像を取得できることが確認できた。その他、撮影条件の変動による路面映像補正処理方法を検証した結果、日陰の補正については、大まかな路面の状況が確認できる程度まで補正することができた。照度不足で黒くつぶれた箇所や照度過度の白く飛んだ箇所、雨天時の状況については、補正することができなかった。

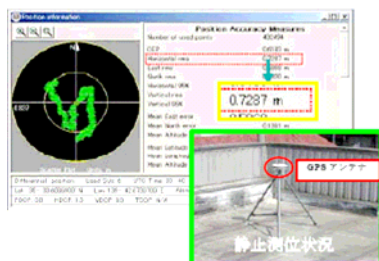
3. 2 GPS 機能の検討

空洞調査に適応可能な各種方式のGPS 装置について表－3 のとおり検討した結果、測位精度 1m で日本全国使用可能なD-GPS（ビーコン）の適応性が高いため採用した。

表－3 GPS の検討

	GPS	D-GPS (FM 多重)	D-GPS (ビーコン)	RTK- GPS	VRS
測位精度	±10m ×	±5m ×	±1m ○	±0.02 m ○	±0.02m ○
使用 範囲	日本 全国 ○	都市部 FM 電波 受信範囲 △	日本 全国 ○	基準局 との 通信範囲 (10km) ×	日本 全国 ○
データ 更新間隔	1Hz ×	0.2Hz ×	20Hz ○	20Hz ○	1 Hz ×
移動測位	○	○	○	○	○
価 格(円)	5 万	10 万	100 万	800 万	400 万
検討結果	×	×	○	△	△

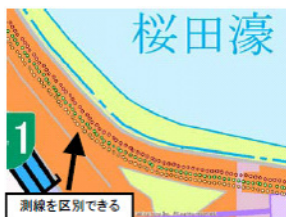
選定した機種にて静止測位における精度と走行測位時における精度についてデータを取得し、図－6 に示す検証を行った結果、誤差 1m 以下の測位精度を確認した。



図－6 GPS 装置検証状況

GPS 装置が、実際の道路環境において有効に活用できるか検証を行なった。

GPS 装置の位置精度は、安定した精度が得られる場合（図－7）と不安定な場合（図－8）があり、上空の見通しを遮るような高い建物が周辺にある状況では測位精度が不安定であった。



図－7 GPS データ安定



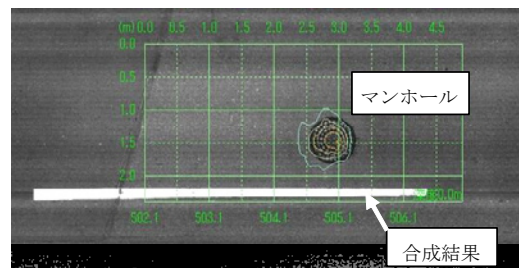
図－8 GPS データ不安定

したがって、GPS データの精度が安定した場所であれば、地図ソフト上である程度の異常箇所位置は特定できた。また、走行軌跡についても、地図ソフト上で測線区別をつけることができた。

3. 3 空洞詳細位置特定機能の検討

「路面映像とレーダデータおよびGPS データの連携方法と路面映像と2次元処理結果の合成」と「隣接する路面映像の合成」について検討した。

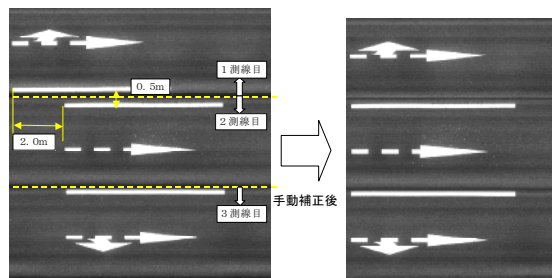
「路面映像とレーダデータおよびGPS データ」の連携方法は高精度の距離パルスと高精度のGPS データを二分配して、路面映像とレーダデータの取得ピッチごとに同時に記録し位置の同期をとった。（図－9 参照）



図－9 路面映像合成結果

「隣接する路面映像の合成」については、隣接する路面映像データ、および平面表示データの合成位置に大きなズレはなく、手動で容易に補正可能であり、データ合成機能の有効性を確認した。

（図－10 参照）



図－10 隣接する路面映像の合成と手動補正

4. 結果

4. 1 路面映像取得機能

路面映像を適正に取得するカメラ設定条件について、表－4 の項目と設定値を最適値とした。また、撮影照度の関係から、昼間と夜間でカメラ設定を変

更する必要がある。(表―5 参照)

表―4 映像取得設定の最適値

	昼間	夜間
カメラレンズ絞り値	f=4.0	f=2.0
ソフトゲイン値	0	432
確認時の周囲の照度	25,000lux	2,000lux

表―5 路面映像取得機能

項 目	検証結果	評価
実道調査への 適応調整	【カメラ設定最適値】 昼間：f=4.0、ソフトゲイン=0 夜間：f=2.0、ソフトゲイン=432	○
周辺の照明等の 影響	夜間撮影時における街路灯や車両灯火等、周辺の照明環境によって路面映像に与える影響は、ほとんどないことがわかった。 ただし、車両の挙動による照明の影響が若干ではあるが、確認された。	○
路面映像の補正	撮影条件の変動による路面映像補正処理方法を検証した結果、日陰の補正については、大まかな路面の状況が確認できる程度まで補正することができた。 そのほかの状況については、補正することができなかった。	△
耐久性	路面映像装置の耐久性については、1,500kmの調査を行った結果、大きなトラブルもなく、十分な耐久性を確認することができた。	○

4. 2 GPS 機能

D-GPS（ビーコン型）の使用範囲は灯台から半径200km以内であり、ほぼ日本全国をカバーできるが、高層ビル等建築物により使用が制限されることが確認された。(表―6 参照)

表―6 GPS 機能

項 目	検証結果	評価
GPS機能の 結果	GPS データの安定した場所であれば、地図ソフト上である程度の位置は特定できる。また、走行軌跡についても、地図ソフト上で測線区別をつけることができた。 東京国道では、首都高の高架や周辺の高い建物の影響を受けてGPSの測位精度に誤差が発生した。そして、千葉国道は、非常に安定した測位精度が得ることができた。	△

4. 3 空洞詳細位置特定機能

データを合成させた空洞詳細位置特定機能の検証結果を表―7に示す。

表―7 空洞詳細位置特定機能

項 目	検証結果	評価
現地との整合性	平面表示処理結果の合成したデータについて、現地と路面映像位置と異常箇所位置（平面表示処理結果）の関係を検証した結果、三者の位置関係は整合性が取れていることがわかった。	○
路面映像結合 (隣接する路面 映像)	隣り合う路面映像データを結合した場合、数m程度のズレが生じている場合がある。原因は解明できていないが、人が手動で位置補正することによって容易に合わせる事が可能である	△

5 まとめ

新型路面下空洞調査車に空洞詳細位置特定機能を搭載したことによりメッシュ調査を省略できたため、平成17年度実績で249箇所のメッシュ調査を削減した。これにより1箇所当たり1～1.5時間程度かかっていた交通規制時間が短縮され、渋滞の緩和に役立っている。また、メッシュ調査を省略した新型路面下空洞調査車は旧型路面下空洞調査車と比較して約28%ものコスト削減に貢献している。

6 今後の課題

6. 1 路面映像取得装置の改良

良好な路面映像を取得するためには、路面映像装置の設定をその時の照度にあわせて適切に設定することが必要となる。昼間と夜間の最適値は決定したが、今後は調査中の極端な照度の変動に対応できるカメラ装置の開発が必要であると考えます。

6. 2 歩道調査車への空洞詳細位置特定機能追加

歩道下の空洞を効率的に調査することを目的とした歩道調査車を平成13年に導入している。調査測線の計測距離により位置特定作業を行っているが、計測距離の誤差などにより異常箇所信号の特定が困難になるケースがある。そのため、路面下空洞調査車に搭載した空洞詳細位置特定機能装置を取り付けることにより異常箇所位置特定作業の効率化になる。

ただし、歩道調査車の機材搭載スペースの都合上、路面下空洞調査車より省スペースな空洞詳細位置特定機能装置を開発する必要がある。