

地中レーダー探査を用いた 愛知川右岸管理用堤防道路の空洞調査

駒井 尚子¹、井関 浩三²

¹湖東土木事務所 河川砂防課

²湖東土木事務所 河川砂防課

平成27年に湖東管内の一級河川愛知川の右岸管理用堤防道路で発生した陥没を受け、今後同様の堤防道路の陥没を未然に防ぎ、河川維持管理を適切に遂行するため路面下堤体の空洞調査を実施した。本論文では地中レーダー探査を用いた路面下堤体の空洞調査手法を紹介するとともに、空洞調査における一次調査結果までの概要を報告する。

キーワード 河川堤防，堤防陥没，堤防点検，空洞調査，地中レーダー探査

1. はじめに

近年、局地的な集中豪雨等による河川堤防の被災リスクが高まっている。したがって、堤防の決壊や河川の氾濫等の水害を防ぐためには、適切な河川堤防の維持管理を行うことが必要である。

堤防等の河川管理施設の機能を十分に発揮させるためには、河川管理施設の点検により施設の老朽化や不具合等を早期に見出して機能の低下防止に努めなければならない。¹⁾しかし河川管理施設は堤体や基礎地盤等と一体で機能を発揮する構造物であるため、目視等による点検結果で河川管理施設の状態を評価することは容易ではない。²⁾この課題を補う詳細な堤防調査の手法として物理探査手法の適用が図られている。

湖東管内では平成27年に一級河川愛知川の右岸管理用堤防道路で陥没が発生した。今後同様の堤防道路の陥没を未然に防ぎ、河川堤防の維持管理を適切に行うため、物理探査手法の一種である地中レーダー探査を実施した。

本論文では、地中レーダー探査を用いた路面下堤体の空洞調査手法を紹介するとともに、愛知川右岸管理用道路の空洞調査結果について報告する。

2. 陥没の発生状況と調査目的

堤防の陥没が発生したのは、平成27年8月27日で一級河川愛知川下流域の右岸堤防管理用道路、葉枝見橋下流Kp4.2km付近である。陥没箇所の位置図を図-1に、陥没状況を写真-1に示す。陥没箇所をバックホウで開削したところ、写真-2に示すような直径30cm程度の腐食した切り株が発見された。そのため陥没の発生原因は、堤防拡幅時に伐採された樹木の切り株が堤体内に残留し腐食したものと考えられる。後日、地元住民からの情報により他にも同様の切り株が堤体内に残留している可能性が出てきた。そのため、地中レーダー探査を用いて、堤体内の空洞の確認と同時に空洞の原因となるような切り株が残留していないか確認するため調査を実施した。

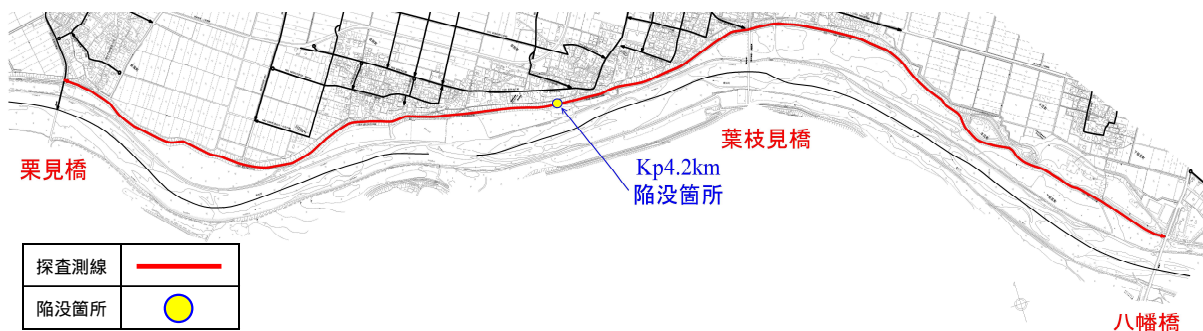


図-1 調査範囲図³⁾



写真-1 陥没状況写真



写真-2 堤体内に残留した切り株

3. 調査地点について

調査対象区間は、陥没が発生した愛知川右岸管理用道路の栗見橋～葉枝見橋区間2.9km、葉枝見橋～八幡橋区間2.0kmの合計4.9kmとした。対象区間の天端道路幅は2.5m～4.5mであり、探査測線を図-1に示す。

4. 路面下堤体の空洞調査の概要

図-2に空洞調査の実施フローを示す。本調査では、現地踏査終了後まず調査対象区間の概略調査として一次調査を実施した。一次調査で異常信号が確認された箇所の詳細調査として二次調査を実施し、空洞の有無の確認を行うこととした。本章では、一次調査の手法とその結果について報告する。

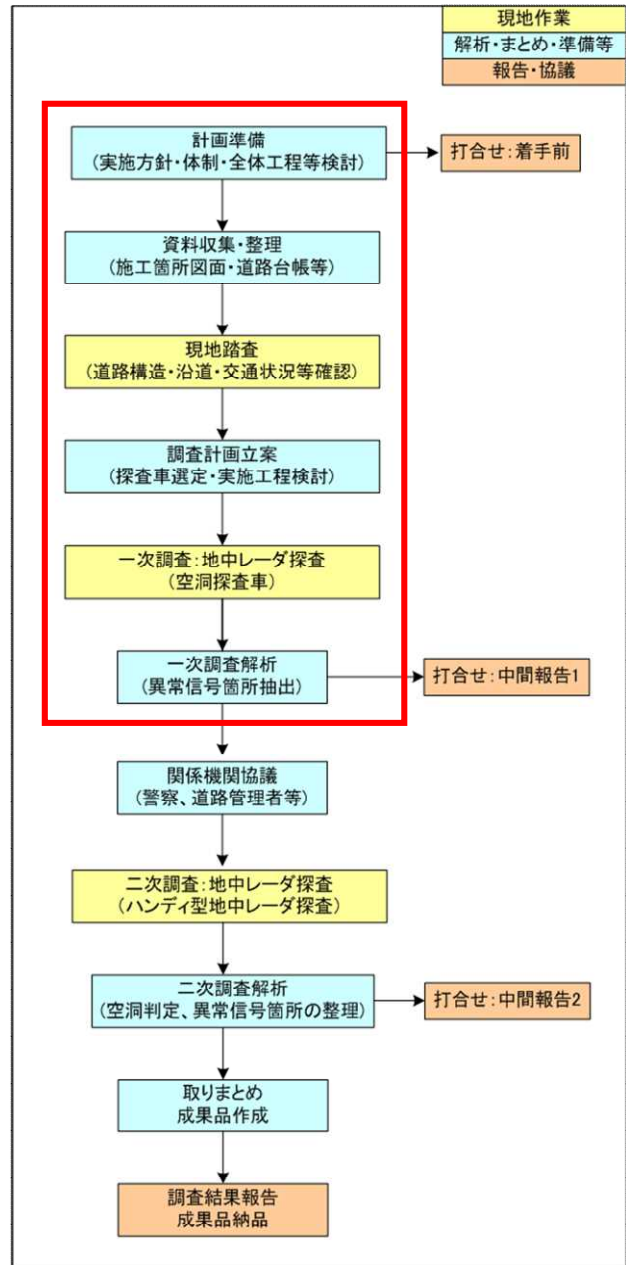


図-2 空洞調査実施フロー

(1) 一次調査

今回の調査で用いる地中レーダー探査は、地中における電磁波の反射・屈折・透過等の物理的現象を利用して地盤構造を探査する物理探査手法である。一次調査では、「路面下空洞探査車」（以下、空洞探査車と呼称）による地中レーダー探査を実施した。表-1に空洞探査車の仕様、写真-3に一次調査の実施状況を示す。

写真-4に示す空洞探査車を用いて天端路面を走行移動し、路面下の地中レーダーデータを連続的に記録するとともに探査位置情報データを取得する。

測定は、対象となる天端道路幅に合わせて2～3回走行（探査幅1.8m）を実施し、拡幅部においてはさらに探査測線を追加することで、天端道路を隙間なく探査した。

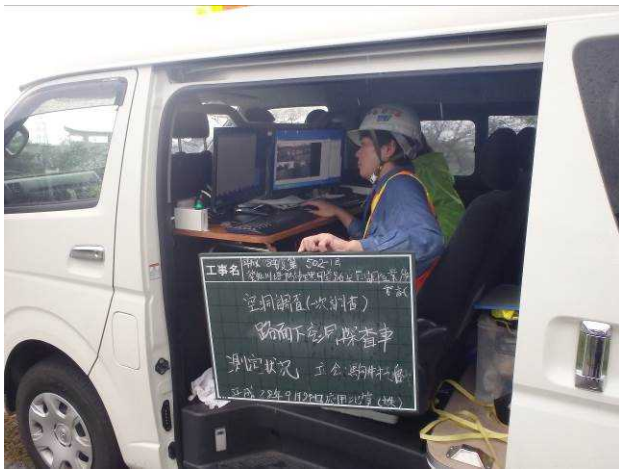


写真-3 一次調査実施状況



写真-4 路面下空洞探査車

表-1 空洞探査車の主な仕様

項目	仕様・性能
探査内容	路面下空洞、埋設管、埋設物、表層地盤構造等
最大測定速度	時速 60 ~ 80km
探査幅	1.8m、中心周波数 400MHz (GSSI 社製) を 5 台搭載
最大探査深度	1.5 ~ 2m、地盤条件に依存して変化
探査能力	縦 50cm × 横 50cm × 厚さ 10cm 程度の空洞を検出可能 (探査可能深度以浅)
その他	前方・左方・右方および路面状況の撮影可能 回転灯や後部標識装置等、道路利用者への注意喚起のための措置を搭載

(2) 異常信号抽出方法

一次調査により取得した測定記録から反射波形の特徴 (表-2の項目、図-3参照) を有する箇所を「異常信号箇所」として抽出し、さらに他の2つの特徴 (表-2の) も考慮して評価を行い表-3によるランク分けを行った。図-4に異常信号の記録例を示す。

表-2 空洞を示す異常信号の特徴

項目	特徴
極性	反射波の初動極性は正となる。 正極性 (白) 負極性 (黒) 正極性 (白) のパターンを呈する。
強度	周囲と比較して反射振幅が大きくなる。 経験上、2~3 倍程度を目安とし、2 番目の負極性が最大となる。 最初の正極性と後の正極性を比較すると、後者の方が大きくなる。
独立性	反射波がくさび型 (上に凸状) で孤立している。
横断独立性	隣接 ch への連続性がない。
空洞発生原因	周辺に構造物等が存在し、吸出し等が発生している可能性がある。

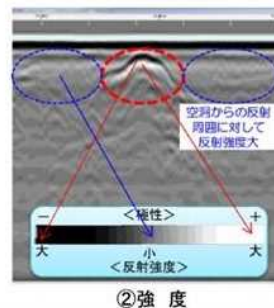
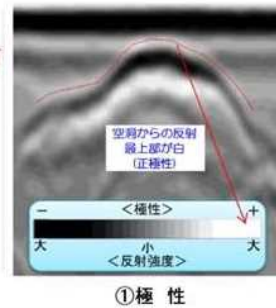
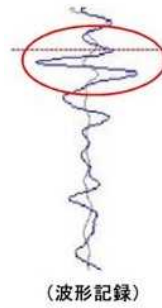


図-3 空洞からの反射条件の特徴

表-3 異常信号のランク判定条件

ランク	条件
Aランク	~ の特徴が全て明瞭に認められる。 空洞の可能性が高い異常信号
Bランク	~ のうち、いずれか1項目が不明瞭である。 空洞の可能性を有するが、異物や構造物の可能性も考えられる異常信号
Cランク	~ のうち、2項目以上が不明瞭である。 一次調査の段階では、空洞の可能性を否定できない。

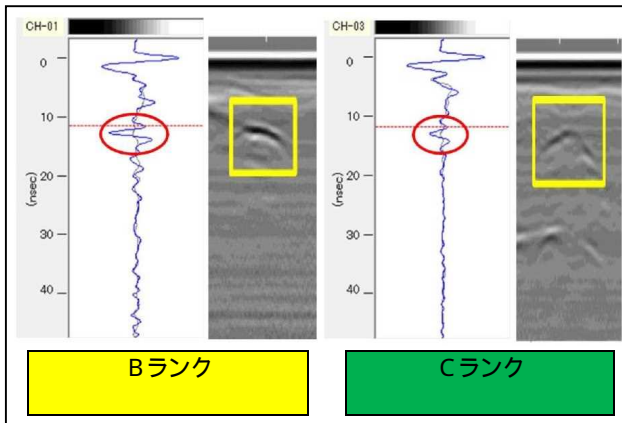


図-4 異常信号記録例

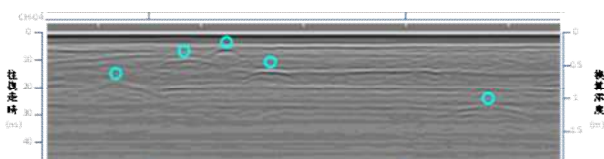


図-5 異物と思われる放物線の反射

(3) 一次調査解析結果とその考察

一次調査の地中レーダーの記録から地質境界、開削跡（境界）、異物（礫や埋設物等）と思われる記録（図-5参照）が数多く認められ、深度2mまでの堤防内が不均質であることがわかった。

異常信号判定の結果、抽出された異常信号の一覧を表-4、異常信号の分布を図-6に示す。抽出された6箇所の異常信号は全てCランクであり、表-3に示すとおり一次調査の段階では空洞の可能性が否定できないと判定されたものに対応している。抽出された異常信号箇所は、一

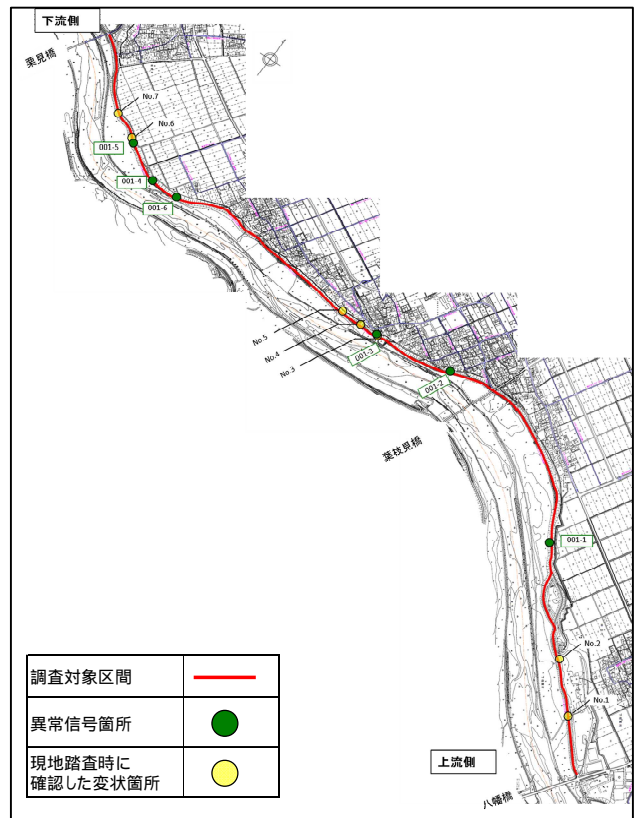


図-6 異常信号の分布³⁾

表-4 異常信号抽出結果一覧

通番	地点情報			異常信号の分布状況				空洞判定
	地名	緯度(°)	経度(°)	広がり(m)		上面深度(換算、m)	抽出ch	
				縦断	横断			
1	彦根市本庄町	35.203032	136.171725	0.7	0.4	0.47	4	C
2	彦根市本庄町	35.206672	136.162396	1.5	0.4	0.71	5	C
3	彦根市田附町	35.206409	136.158086	1.4	0.8	0.52	1,2	C
4	彦根市田附町	35.207491	136.143215	1.7	0.8	0.52	1,2	C
5	彦根市田附町	35.208535	136.141032	2.7	0.4	0.47	4	C
6	彦根市田附町	35.207449	136.144760	1.5	0.4	0.80	1	C

次調査前に実施した目視による堤防点検時に変状がみられた箇所（図-6参照）とも一致していない。したがって、抽出された異常信号が空洞を反映している可能性は比較的低く、礫などの異物や地盤の緩み等を反映している可能性が高いと考えられる。ただし、平成27年に発生したKp4.2km付近で発生した陥没は、堤体内に残留した伐木の切り株が腐食し、堤体内が空洞化したことが原因であったことを踏まえると、通常のような吸出しを受けて完全な空間として存在する空洞とは異なると考えられる。腐食しきれていない切り株の部位が大半を占めている場合には、不鮮明な空洞記録として捉えられることも考えられる。その場合は今回のようにCランクとして判定される可能性が高いが、地中レーダー探査の結果だけでは、異物が残留した切り株が礫なのか判別を下すことは難しい。そのため堤体内の異物反応が何か確認するためには、地中レーダー探査後異常信号箇所に対してスコープ調査等を実施し判断することが必要だと考える。

5. 今後の調査予定

今後は一次調査で抽出した異常信号箇所「6箇所」について、ハンディ型の地中レーダー探査装置を用い二次調査を実施する予定である。二次調査は、一次調査で抽出した異常信号箇所の正確な位置を特定し、縦断方向、横断方向ともに調査を行うことにより、周辺部の空洞の可能性とその概略的な平面形状の判別を目的としている。

二次調査では空洞探査車に装備したものと同一中心周波数 400MHz のアンテナを使用し、図-7 に示すような測線（クロス調査）を設定し測定を行う。（写真-5 参照）二次調査の測定結果から各異常信号に対して空洞の再判定を行い、異常信号箇所を詳細調査する必要があると判断されればスコープ調査等を実施する予定である。



写真-5 二次調査実施状況

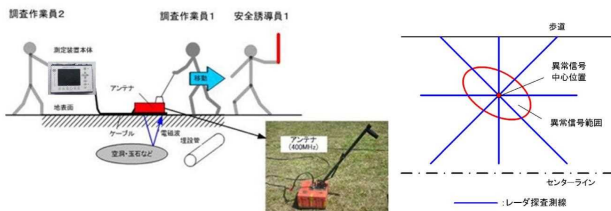


図-7 異常信号の分布

6. まとめ

今回の空洞調査は湖東土木事務所の所管する一級河川の中で、愛知川右岸堤防管理用道路をモデルケースとして調査を実施した。

堤体内の空洞は、陥没の原因となるだけでなく堤体の弱体化に繋がるため、河川堤防の被災リスクの軽減という面からも確認する必要がある。現在、湖東土木事務所では委託業務と直営で河川巡視点検を行っているが、目視等の点検結果だけでは堤体内の空洞の可能性を判断するのは不可能である。加えて今回の一次調査結果からも空洞の可能性を完全に否定することはできなかった。今後は詳細調査を実施し、空洞あるいは空洞の原因となる切り株等の有無を確認していく予定である。

参考文献

- 1) 淀川水系湖東圏域河川整備計画 平成 25 年 12 月 滋賀県
- 2) 堤防等河川管理施設の点検結果評価要領（案）
平成 28 年 3 月 国土交通省 水管理・国土保全局
河川環境課 河川保全企画室 流水管理室
- 3) 彦根市 市道認定路線図