

河川砂防技術研究開発 【成果概要】

①研究代表者	氏 名 (ふりがな)		所 属		役 職
	佐々木 哲也		土木研究所 地質・地盤研究グループ		上席研究員
②研究 テーマ	名称	堤防及び河川構造物の総合的な点検・診断技術の実用化に関する研究開発			
	政策 領域	[分野] 河川技術分野 [公募課題] 堤防及び河川構造物（コンクリート又は鋼構造物）の点検・診断の高度化技術研究開発	融合 技術	非破壊検査	
③研究経費 (単位: 万円)	平成25年度	平成26年度	平成27年度	総 合 計	
	1797	1575	1627	4999	
④研究者氏名	(研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)				
氏 名	所属・役職 (※平成27年3月31日現在)				
石原 雅規	(国研)土木研究所・主任研究員				
吉田 直人	(国研)土木研究所・研究員				
佐藤 源之	物理探査学会会員・東北大学教授				
高橋 一徳	物理探査学会会員・東北大学助教				
茂木 透	物理探査学会会長・北海道大学大学院教授				
高井 伸雄	物理探査学会会長・北海道大学大学院准教授				
重藤 迪子	物理探査学会会員・北海道大学大学院研究員				
北 高徳	物理探査学会 堤防研究会幹事・委員				
古賀 裕久	(国研)土木研究所・上席研究員				
片平 博	(国研)土木研究所・主任研究員				
加藤 祐哉	(国研)土木研究所・研究員				
齋藤 秀樹	物理探査学会会長				
三木 茂	物理探査学会理事				
鈴木 敬一	物理探査学会理事				
杉浦 邦征	京都大学大学院教授				
西崎 到	(国研)土木研究所・上席研究員				
富山 禎仁	(国研)土木研究所・主任研究員				
⑤研究の目的・目標	(申請書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)				
	<p>本研究開発課題においては、まず対象とする空洞、高透水ゾーンの実態を明らかにするとともに、それらの堤防安全性への影響を明らかにし、それを検出可能な要素技術としての非破壊検査・物理探査の要素技術開発及びその計測・適用条件の整理とりまとめ、さらに現行の堤防点検体系・基準類への反映と実用化を目的とする。</p> <p>また、河川コンクリート構造物について、現場技術者が活用できる構造物、部材の点検・診断手法をとりまとめる。</p> <p>さらに、鋼材で構築される構造物について、鋼矢板の腐食・防食の現状に関する情報収集、鋼矢板の致命的損傷に繋がる恐れのある腐食劣化を的確に判断するための点検・診断方法の検討に必要な基礎資料の収集、鋼矢板の点検の効率化・高度化に寄与することが期待される非破壊検査技術に関する適用性のとりまとめを目的とする。</p>				

⑥研究成果

1. 樋門・樋管周り等の空洞化に関する堤防機能低下過程の解明

樋門等構造物周辺堤防の点検においては、一次、二次の2段階の診断によって、補修や改築の必要性を判定するが、診断の閾値や診断に必要な調査方法について、明確な規定はなされていない。そこで、各段階において、点検・診断の合理化に繋がる手法について検討を行った。まず、①スクリーニング手法について、国土交通省より提供された樋門等構造物周辺堤防詳細点検結果を基に、抜け上がりの変状の進行と函体下の地盤条件、空洞化率に関する分析を行った。次に、②空洞確認への非破壊検査技術の適用について、3次元アレイ型 GPR による空洞の検出特性、電磁法による堤防付近の高透水ゾーンの検出特性の検証を行った。続いて、物理探査と既存調査技術を組合せた調査手法については、GPR の空洞検出の検証と、河川堤防で実施された統合物理探査の結果にボーリング情報を組合せて、土質を推定する手法について検討した。最後に、③空洞の堤防への安全性影響の検討として、連通試験結果より矢板の止水性を考慮したモデルによる安全性評価手法を事例分析により検討した。

①スクリーニング手法

抜け上がりや地盤情報による空洞箇所の効率的な抽出手法について、遠心模型実験結果において、函体直下が粘性土か砂質土の違いで、空洞の発生状況が異なったため、函体直下の地盤に着目して、点検結果を整理した(図-2)。点検事例においても、函体直下の地盤の種類によって、空洞の生じ易さが異なった。この結果を踏まえ、一次診断におけるスクリーニングとして、抜け上がり量の計測と基礎地盤の土質による判定で、空洞箇所の絞り込みが可能なものとして整理した。

②空洞確認への非破壊検査技術の適用

3次元アレイ型 GPR による空洞の検出特性については、50MHz - 1.5GHz の帯域を持つアレイ型 GPR で得られたレーダプロファイル(画像)の不均質位置を検知することで、従来打音検査などで行われてきた格子張護岸のコンクリート裏面の状態確認が十分可能であることが分かった(図-3)。

時間領域電磁探査法では、千歳川右岸堤防において比抵抗構造を計測し、結果は、電気探査結果と大きな違いはないが、居所的に大きく比抵抗が変化しているノイズがあり、ノイズの除去が課題であることが分かった(図-4)。

市販の GPR を用いた函体下の空洞確認への非破壊検査技術の適用性を検討するため、点検結果より削孔した結果が整合した例、整合しなかった例(図-5)を分析し、適用性の検討を行った。また、空洞厚による検出限界をシミュレーションによって検討した。その結

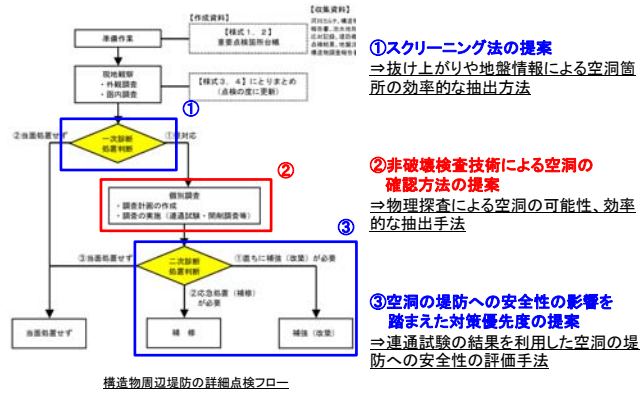
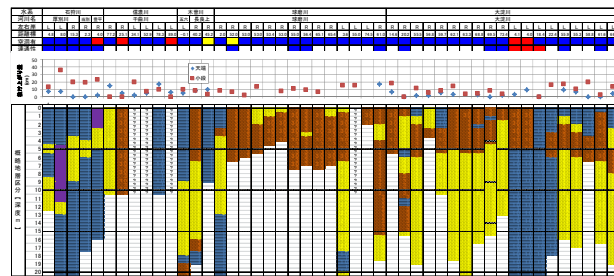


図-1 樋門等構造物周辺堤防詳細点検フローと研究内容の関係



樋門位置の基礎地盤の土質の分類

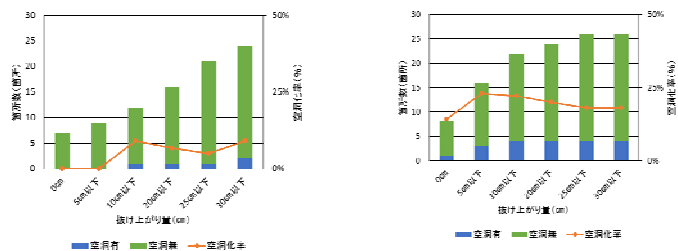


図-2 樋門等構造物周辺堤防の機能低下過程の例

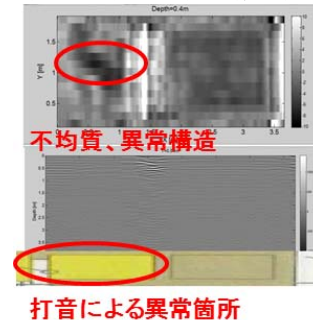


図-3 GPR 探査結果と打音試験による空洞検出区間

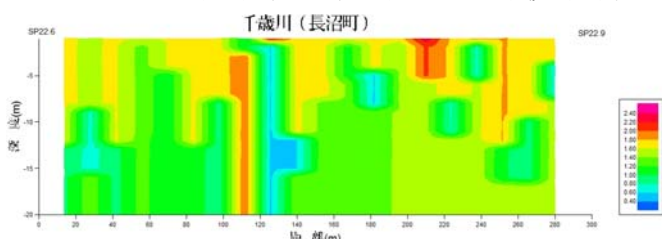


図-4 時間領域探査法により求めた千歳川右岸堤防の比抵抗構造

果、空洞の厚さを把握すること、鉄筋コンクリートの場合の適用できる厚さが50~60cm程度あること等が分かった。また、機器等により反射波に強弱があり判定が難しい場合もあることから、調査手法そのものを標準化の必要性があることが分かり、測線の設定方法や機器の仕様などを整理した。

物理探査と既存調査技術を組合せた調査手法に関して、物理モデルを用いた土質分類方法(図-6)により、ボーリング孔間を正しく推定出来ているかどうかを孔間のボーリング位置で検証した(図-7)。適用性は、物理モデルに基づく解釈によって、堤体及び基礎地盤の違いを、縦断方向に連続的に推定することができ、これによって、一連区間の妥当性や追加や詳細調査の位置を検討するうえで参考資料することが出来るものと考えられる。

③空洞の堤防への安全性の影響検討

樋門周辺堤防の連通試験結果を用いた浸透安全性の評価手法を検討した(図-8)この手法は、連通試験結果を分析し、矢板周りの状態を結果に見合うように、矢板の長さを短く表現するなどして、矢板の止水性を評価し、この矢板の止水性を考慮した構造物周辺堤防をモデル化し、浸透流解析を実施する。その結果、矢板前後の圧力水頭差が所定の圧力以上生じる場合は、その矢板をモデル化しないものとして、再計算を行うものである。安全性の評価は、堤防の安全性評価と同様のものとした。この手法を、事例を用いて分析し、評価できることを確認した。

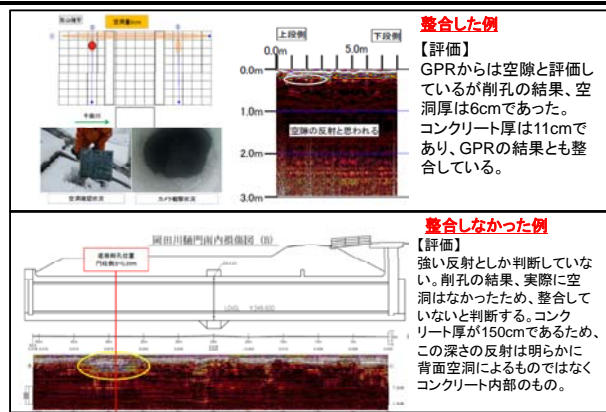


図-5 GPRによる空洞検出結果

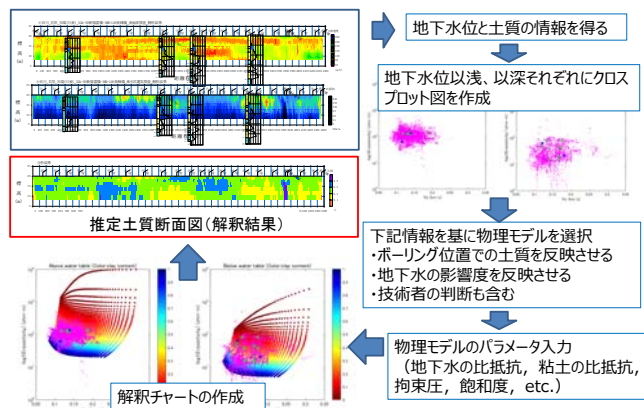


図-6 物理探査結果の物理モデル用いた土質分類方法

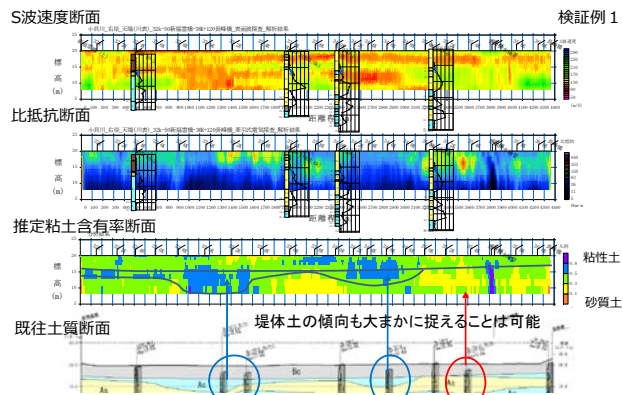


図-7 統合物理探査結果から推定した土質断面図と既往土質断面図の比較図

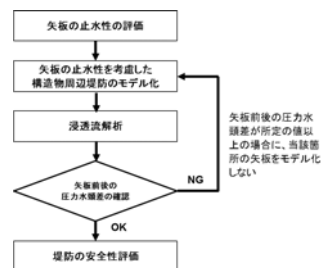


図-8 浸透安全性評価のフロー

⑥研究成果（つづき）

2. 樋門・樋管のコンクリート部材の、致命傷に繋がる劣化状況の明確化

2.1 コンクリート部材に生じた損傷パターンと損傷原因との関係の整理

国土交通省より提供を受けた河川構造物のコンクリート部材に関する点検結果等を分析し、主に函体に生じたひび割れ等の変状の分類を行った。また、変状パターン毎において、その発生原因に応じた適切な損傷レベルや補修優先度、補修工法について判断しやすいガイドライン案を提案した。

コンクリート部材に生じた変状の原因や発生箇所の整理結果は図-9に示すとおりであり、補修事例は、特に函体に生じるひび割れに関する事例が多かった。函体に生じたひび割れ事例を観察すると、種々のひび割れ形状がありひび割れの形態や発生原因について分類を行い、比較的良く見られたひび割れ形態と想定される発生原因を8種類に分類した。また、その他のひび割れ、継ぎ目開き・段差、ジャンカの変状が多いことを確認した。

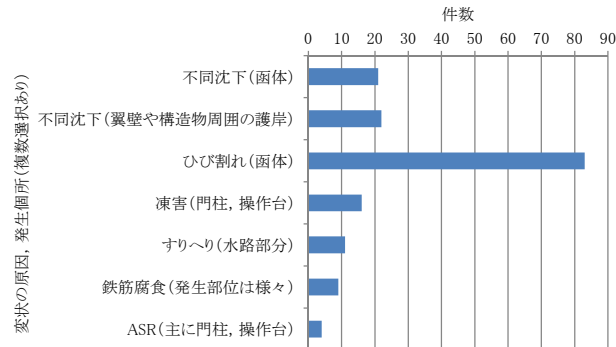
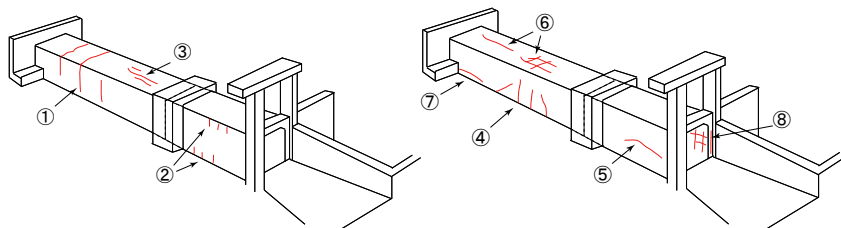


図-9 変状原因の推定結果 (近年補修された175件の樋門・樋管)



※各ひび割れは内面で観察できるものを想定。外面まで貫通しているとは限らない。

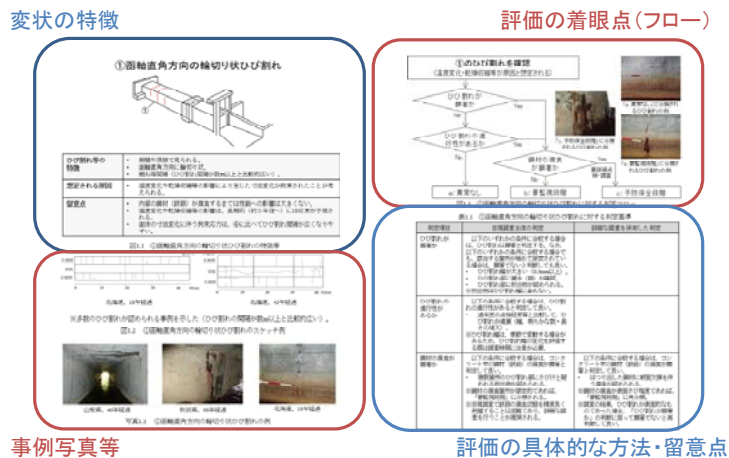
※ひび割れパターン

- ①函軸直角方向の輪切り状ひび割れ, ②鉄筋に沿ったひび割れ, コンクリートの剥離, ③函軸方向のひび割れ(頂版中央付近), ④函軸直角方向・壁面斜め方向のひび割れ, ⑤側壁函軸方向ひび割れ(コールドジョイント), ⑥頂版の不規則なひび割れ, ⑦側壁函軸方向水面付近の変状(ひび割れ, 剥離), ⑧呑口・吐口部の網目状ひび割れ

図-10 函体に比較的良好に見られるひび割れのパターン

2.1 損傷原因を考慮した補修の優先度・補修方法の提案

変状パターン毎で想定される原因と、それに伴った補修の優先度、補修方法等を現場にて点検する技術者が容易にかつ適切に判別できるように、樋門・樋管のコンクリート部材における点検結果評価ガイドライン案を作成した。ガイドライン案を図-11に示す。



事例写真等

評価の具体的な方法・留意点

図-11 作成した点検結果評価ガイドライン案の見方

⑥研究成果（つづき）

3. 樋門・樋管と矢板護岸等の鋼材の、致命傷に繋がる劣化状況の明確化と既存非破壊検査技術の適用性の把握

3.1 致命傷に繋がる劣化状況の明確化

河川護岸等に用いられる矢板についてはその劣化特性が明確になっておらず、劣化メカニズム、変状パターン、変状要因、進行過程や河川構造物としての機能への影響について明らかにし、これらを考慮した点検・診断法の提案により、合理的な点検・診断につながると考えられる。

今年度は、鋼矢板護岸の腐食劣化事例に関する情報を充実させるため、関東地方整備局、大阪府、埼玉県管内の汽水・淡水域河川で現地調査を実施した。実際の点検時と同様に、船上および陸上（対岸）からの目視および双眼鏡による観察、近接した状態での目視観察や残存肉厚の計測等を行った。また、腐食による板厚減少が鋼矢板の構造性能に及ぼす影響について、構造解析により検討した。また、これらの結果や研究2年目までの現地調査結果等を踏まえ、収集した事例について腐食劣化の形態やメカニズム、腐食劣化程の深刻さにより分類・整理した。

現地調査による板厚計測の結果、落差工付近の飛沫を受ける箇所（図12）や、乾湿繰り返しの頻度が高い部位（図13）において、特に腐食速度が速くなる傾向が見られた。構造解析の結果（図14）および河川における鋼矢板の腐食の特徴から、腐食による減肉が鋼矢板の構造的な耐力に及ぼす影響は比較的小さいと考えられるが、孔食や矢板継手部等の局部的な腐食は、漏水や背面土砂の流出といった矢板護岸の重要な機能の低下に繋がる可能性があることから、鋼矢板の腐食が懸念される箇所においては、少なくとも10年に一度の近接による詳細点検が必要であることを提案した。鋼矢板の腐食深さ（残存肉厚）が劣化の深刻度の一つの指標になるものと考えられるため、現地調査により収集した腐食事例と、板厚の計測結果などから、鋼矢板の腐食による劣化の深刻度を4段階に分類することを試みた（表1）。



図12 落差工付近の顕著な腐食 図13 乾湿繰り返しの頻度が高い部位

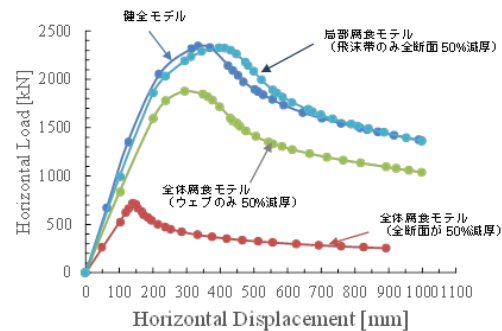


図14 腐食損傷がある場合の鋼矢板護岸の荷重-変形曲線の例

表1 鋼矢板護岸の腐食による劣化の深刻度と代表的な事例写真

レベルⅠ（異常なし）	レベルⅡ（要監視）	レベルⅢ（予防保全・詳細調査）	レベルⅣ（要措置）

3.2 既存非破壊検査技術の適用性の把握

超音波パルス反射法による板厚計測法、小型起振機もしくは衝撃加振による鋼矢板の局部振動性状の把握による健全度評価について、現場での検証実験を行い、点検診断への適用可能性を示した（図-15～17）。

鋼構造物の残存板厚評価に、鋼構造物表面の塗膜・生物を除去しなくても評価できるパルス渦電流による鋼板厚評価法が開発中であるが、健全部との相対比較であったり、予測精度がそれほど高くない現状では、上記の様な非破壊検査手法が実務上有効と判断できる。



図15 超音波厚さ計による残存板厚の計測



図16 小型起振機による局部的な強制加振

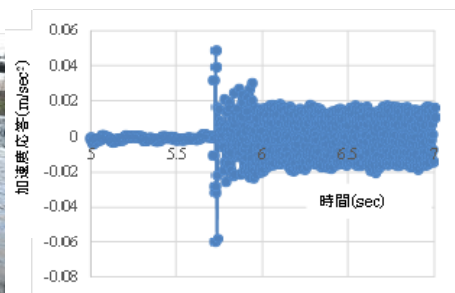


図17 鋼矢板の加速度応答の例(50Hz, 振幅1.5mm)

⑦研究成果の発表状況

- 1) 斎藤秀樹、三木茂、鈴木敬一、河野寛、渡辺文雄：樋門・樋管コンクリート部材の非破壊検査技術の調査研究（1）-既存非破壊検査技術の文献調査-，物探学会第130回学術講演会，2014.5
- 2) 斎藤秀樹、青池邦夫、稲崎富士：樋門・樋管コンクリート部材の非破壊検査技術の調査研究（2）-鉄筋コンクリートひび割れ模型を用いた弾性波法の基礎実験-，物探学会第130回学術講演会，2014.5
- 3) 茂木透、重藤迪子、高井伸雄、岡崎健治、倉橋稔幸、大日向昭彦、稲崎富士：千歳川堤防開削地点での物理探査，物探学会第130回学術講演会，2014.5
- 4) 佐藤源之：地中レーダによる樋門・樋管周り等の空洞化検知基礎研究，物探学会第130回学術講演会，2014.5
- 5) 古賀裕久、渡辺博志、内藤勲、片平博：河川コンクリート構造物の変状に関する調査，土木学会第69回年次学術講演会，2014.9
- 6) 石原雅規、平林学、吉田直人、佐々木哲也：樋門等河川構造物周辺堤防の空洞・緩み等に係る詳細点検結果の整理，土木学会第69回年次学術講演会，2014.9
- 7) 斎藤秀樹、青池邦夫、稲崎富士：衝撃弾性波法によるコンクリートひび割れ深さ測定法に関する検討，物探学会第130回（平成27年度春季）学術講演会，2015.5
- 8) 北高德、茂木透、稲崎富士、斎藤秀樹、渡辺文雄：高分解能統合物理探査の堤防詳細点検へ適応性 高分解能統合物理探査の堤防詳細点検へ適応性 高分解能統合物理探査の堤防詳細点検へ適応性，物探学会第130回（平成27年度春季）学術講演会，2015.5
- 9) 吉田直人、平林学、石原雅規、佐々木哲也：層構造の異なる軟弱地盤上に設置された樋門底面の空洞の比較，第50回地盤工学研究発表会，2015.9
- 10) 平林学、石原雅規、吉田直人、佐々木哲也：樋門等河川構造物周辺堤防における抜上り形状と築堤履歴，空洞の関係，土木学会第70回年次学術講演会，2015.9
- 11) 石原雅規、平林学、吉田直人、佐々木哲也：樋門等河川構造物周辺堤防における抜上り量と地盤条件，空洞の関係，土木学会第70回年次学術講演会，2015.9

⑧研究成果の社会への情報発信

（ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。）

平成27年3月2日及び平成28年3月1日開催の「河川構造物管理研究セミナー」において、本研究における成果について講演した。

⑨表彰、受領歴

(単なる成果発表は⑦⑧に記載して下さい。大臣賞、学会等の技術開発賞、優秀賞等を記入下さい。)

現時点でなし

⑩研究の今後の課題・展望等

(研究目的の達成状況や得られた研究成果を踏まえ、研究の更なる発展や政策の質の向上への貢献等に向けた、研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

得られた研究成果は、点検マニュアル等にとりまとめる予定である。また、本研究で取りまとめた非破壊検査技術の適用にあたっての測線の設定方法、機器の仕様など、物理探査学会と連携し標準化に向けて取り組む予定である。

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

(本研究で得られた研究成果の実務への反映等、河川政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

とりまとめる予定の点検マニュアル等を、現場で活用いただくことにより真に弱点となる箇所を的確かつ合理的に抽出し、その要因に応じた適切な補修が可能となり、維持管理コストの低減、あるいは維持管理水準の向上が期待できる。