


※記事・写真等は、(公社)物理探査学会の許諾を得て転載しています。
記事、画像等の無断転載は一切お断りします。

関東地方整備局における 河川堤防統合物理探査の適用と課題



物理探査学会ワンデーセミナー
平成27年2月9日
関東技術事務所 飯塚隆志

目次

- 関東地方整備局における統合物理探査の適用の背景と経緯
 - 統合物理探査適用事例
 - 統合物理探査の適用結果から得られた知見
 - 当面の測定方針（堤防の維持管理の視点）
 - 適用上の課題
 - 統合物理探査に望むこと
-

はじめに 堤防の河川管理について

河川堤防

堤防の状態は、外観の異常はわかっても内部の状態(土質・水みち・異物の混入等)は詳細な調査を行わないとわからないため、被災(出水・地震等)後に初めて堤防内部の状態が判明することもある。

平常時

河川巡視等により概括的に河川の状態把握
(法面の亀裂、堤内・堤外地の状況(水たまり等))

土質調査(ボーリング)データの蓄積

出水期前等

職員の徒歩による河川管理施設等の点検
(機器を用いた法面の亀裂、法崩れ等の計測)

災害時

被災状況の確認・記録
(水防活動・被災箇所状況等)

被災後の調査データの蓄積

延長の長い河川堤防において、弱点となる箇所を知るためには、堤体内部を簡易に探ることができる手段が必要である。



小貝川における堤内地の漏水

関東地方整備局における統合物理探査の適用背景と経緯

2011. 3. 11 東北地方太平洋沖地震

関東地方整備局管内の河川堤防において約940カ所に及ぶ液状化による滑り破壊、クラック、法崩れが発生。

※特に震源地に近い、久慈川、那珂川、小貝川、霞ヶ浦、利根川下流部において多くの被害が発生

緊急復旧の対応

2011年6月までに緊急的な応急復旧対策を実施。

→地震前の堤防と同等の安全度を確保できたとはいえないことから、はん濫注意水位等基準水位の引き下げ、洪水位の低い段階からの巡視を実施。

復旧完了

2011年11月～2012年5月で復旧対策は概ね完了。

→被災がない箇所においても目に見えないクラック等ある可能性も考えられる。

基準水位の見直し

非破壊検査を実施し、地震前と同等の評価を確認してから、基準水位を元に戻すこととした。

関東地方整備局における統合物理探査の適用背景と経緯

健全度の確認


地震による見えない亀裂・ゆるみを想定した調査。
→全ての堤防で開削調査やボーリング調査を実施することは現実的ではない。

統合物理探査の採用

非破壊による一次スクリーニングの可能性を把握するため、物理探査学会の協力の下、「統合物理探査」を採用。
→浸透に対する安全性の評価

安全性を確認

対象区間は、平成23年度洪水の実績水位により堤防の安全性が確認されなかった霞ヶ浦、利根川下流部と旧河川跡の被災が多かった小貝川とした。
(延長約160km)



検証できた区間において地震前と同等の性能を有する堤防と判断ができ、安全性を確認できたことから、はん濫注意水位及び水防団待機水位を見直し前に戻した。

被災及び仮復旧状況

中規模な被災箇所



大規模な被災箇所

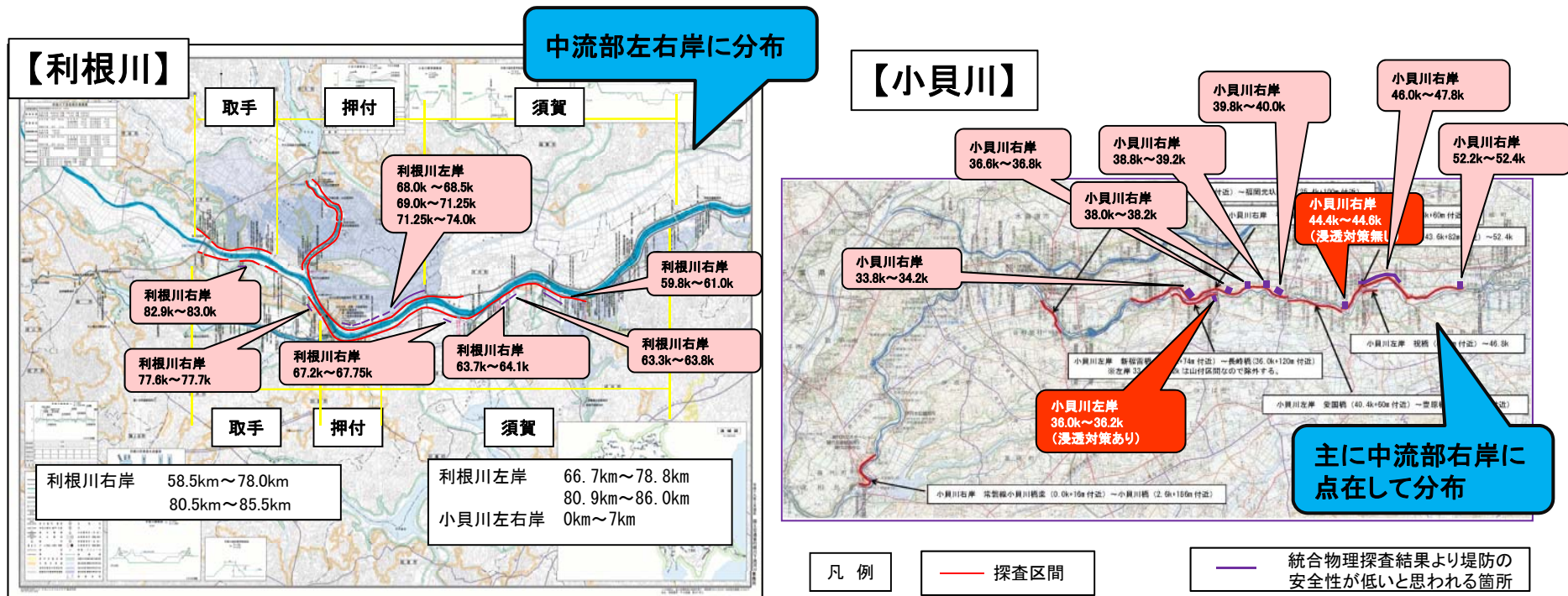


出典: 関東地方河川堤防復旧技術等検討会資料

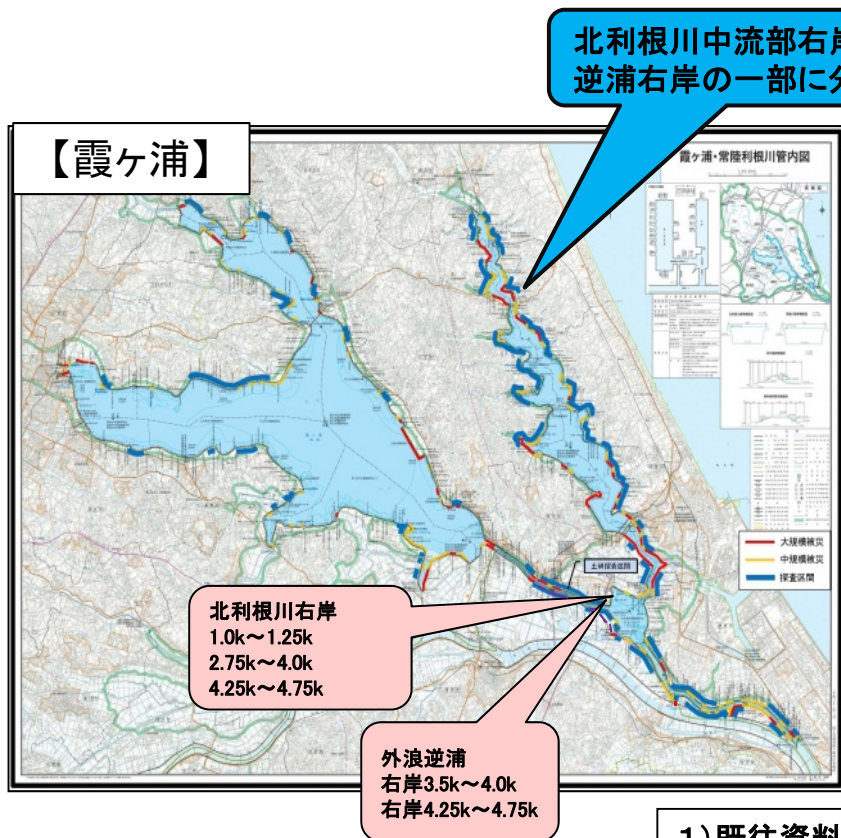
統合物理探査適用事例①

物理探査を実施した区間（既往資料より安全性が低い区間）約160kmの内、全体の約10%にあたる約15kmの区間において浸透に対して震災前と比較して安全性が低下している可能性を否定できなかった。この区間については、区間内でも特に安全性が低いと推測される代表箇所において詳細調査としてボーリング調査等を実施し、浸透に対する再評価を行った。

浸透に対する安全性が低いと評価された区間



統合物理探査適用事例②



河川名	対象区間 (km)	安全性が低いと推定される区間 (km)	安全性が低いと推定された区間の割合 (%)
霞ヶ浦	76.64	3.00	3.9
利根川下流	51.33	8.35	16.3
小貝川	32.14	3.80	11.8
合計	160.11	15.15	9.5

対象区間の設定方法

- 1) 既往資料の整理
 - ・地形条件(河口部、旧川跡、干拓堤、旧湿地部等)
 - ・地盤条件(堤体及び基礎地盤の土質、N値、砂質土層厚、堤防比高等)
 - ・被災条件(変状分布、天端沈下量等)
- 2) 被災リスクの分布

想定される被災リスクを4つのランクに分け、被災発生の可能性が大きいと予想される範囲を設定
- 3) 観測対象区間の設定

上記の対象資料等から、対象区間を設定

安全性評価の事例

東日本大震災に起因する可能性があるゆるみの抽出、それらの代表箇所での透水係数・強度定数の把握(詳細調査)と震災前試験結果との比較により、評価を行った。

○第1ステップ:

統合物理探査によるゆるみ領域候補の選定

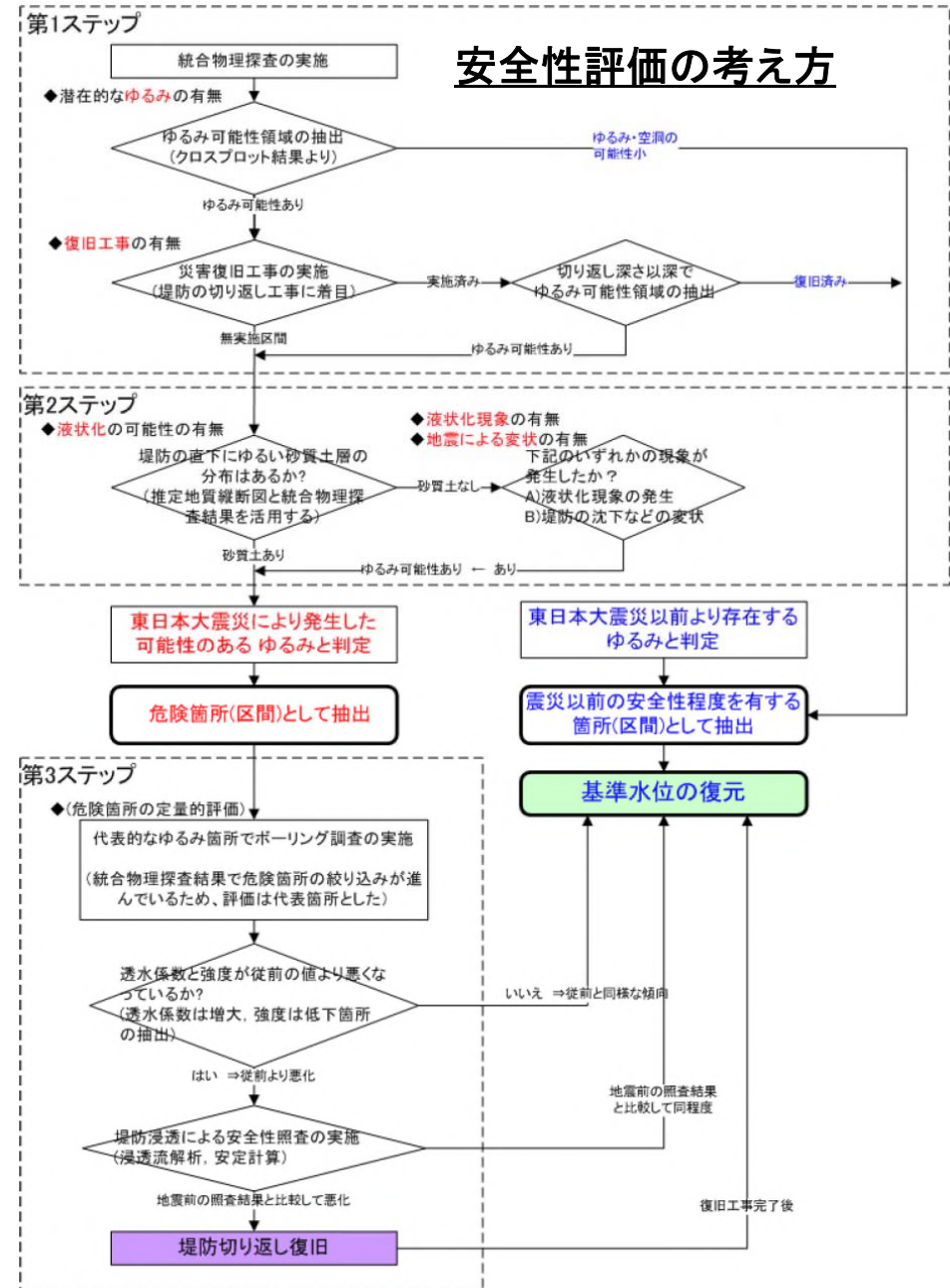
○第2ステップ:

推定地盤状況・東日本大震災による被災履歴から、「震災に起因するゆるみの可能性」について検証

○第3ステップ:

震災に起因したゆるみを否定できない場合に、ボーリングや室内試験、必要に応じて浸透流解析・安定性計算を実施して、最終的に判断。

安全性評価の考え方



統合物理探査の適用結果から得られた知見①

「統合物理探査の今後の河川堤防調査に資する知見」

関東地方河川堤防復旧技術等フォローアップ委員会及び統合物理探査検討会 合同委員会

(平成24年8月24日)

(設置目的)

統合物理探査の調査結果及び評価結果を基に、得られたデータの検証及び、適切な調査結果であるかの審査を行い、堤防異常箇所の抽出や詳細調査の必要性について評価および、とりまとめを行い、「関東地方河川堤防復旧技術等検討フォローアップ委員会」に提言する。

統合物理探査検討会 規約より

(統合物理探査)

非破壊的に複数の物理探査を実施して地表下の物性値を推定し、既存ボーリング結果や、被災原因調査結果及び施工履歴等のデータを加味して総合的に解析することにより、堤体内部の大まかな構造を把握する手法である。

統合物理探査の適用結果から得られた知見②

統合物理探査結果などにより、通常堤防と同等（被災前の堤防と同等の性能を有する堤防）であるかを評価



浸透に対して堤防の安全性が低いと思われる箇所を抽出し、代表箇所によるボーリング調査を実施し、安全性を評価した結果、全ての箇所で震災前の堤防と同等の評価を得た。

統合物理探査の適用結果から得られた知見③

明らかになった事項

1. 観測関係

留意事項への対応を適切に取ることを前提とすれば、管理延長の長い堤防の大まかな内部構造(S波速度と比抵抗)を探査する手法として、これらの探査方法は経済的にも分解能的にも概ね有効と言える。

2. 一次スクリーニング(絞り込み)

一次スクリーニング方法としては、S波速度と比抵抗から堤体の状況を「緩く透水性が高い箇所」、「粒径が粗いが締まった箇所」、「透水性は低いが緩い箇所」、「透水性は低いが締まった箇所」に区分した。

総合評価

統合物理探査は、被災事例や既往の調査資料の情報と合わせて用いるのであれば、浸透に対して堤防の安全性が低いと思われる箇所の一次スクリーニングの手段としては有効であると言える。

但し、検証として、探査範囲の代表箇所において開削調査やボーリング調査を実施することが必要である。

統合物理探査の適用結果から得られた知見④

今後の課題

1. データの解析関係

「閾値」は河川毎に異なる値とするのが妥当との判断となった。今後、さらに詳細な検討を加えデータのバラツキの原因を究明することにより、クロスプロット解析の精度を向上させることが必要である。

2. 堤防の維持管理関係

①地震等による堤防の緩みなどを判定するためには事前(平常時)の測定が望まれる。

②今後も堤防開削時には事前に統合物理探査を実施し、その精度向上及び課題を明確にしていくことが望まれる。

③安全性評価結果の良否を判断するためには、土質(ボーリングデータ)、漏水履歴、過去の地震被害、被災原因、施工履歴(成り立ち)などについて十分な情報が必要である。

統合物理探査の適用結果から得られた知見⑤

3. 精度の高い安全性評価手法の確立

- ・探査結果の解釈や安全性評価の手法は、手引き書に示されているが、ルーチン的に進めることが出来る作業とはなっていない。
- ・安全性評価の手順については、比較的簡易に精度が確保できる方法をさらに模索する必要がある。

4. データベースの構築と活用

探査結果と既往資料を効率化、定量的、客観的に比較し、関連付ける手法の確立が重要となる。

統合物理探査の適用結果から得られた知見⑥

今後の方向性

1. データの解析関係

今回は「閾値」の設定については、河川毎に特性が異なることから、河川毎さらには一定の区間毎に設定すべきと考えられるが、統一的な値を設定できるのか、検討の余地がある。

2. 堤防の維持管理関係

安全な堤防の維持管理に役立てていくために、平常時の統合物理探査データを蓄積するとともに、堤防開削時には事前に統合物理探査を実施し、データを収集・分析しておくことが望まれる。

統合物理探査の当面の測定方針

統合物理探査手法を用いた安全性評価の実施に至った経緯

東北地方太平洋沖地震(H23. 3. 11)以降、H23. 4~8に学識経験者、物理探査学会、土木研究所、国総研、本省、本局からなる「関東地方河川堤防復旧技術等フォローアップ委員会及び統合物理探査検討会 合同委員会(以下、(委員会))」において、被災原因の解明や復旧工法の技術的な助言を受けて復旧工事を行っており、甚大な被害を受けた利根下、霞ヶ浦、小貝川については浸透に関する安全性は、概ね震災前と同等の機能を有していることを確認している。

しかし委員会では、統合物理探査は管理延長の長い堤防の大まかな内部構造(S波速度と比抵抗)を探査する手法として、経済的にも分解能的にも有効であるとされているが、データのバラツキに対する原因究明や平常時における統合物理探査データの蓄積、堤防開削時における事前の統合物理探査の必要性について提言がなされている。

委員会で提言されたデータのバラツキ等の原因究明や堤防開削箇所における事前の統合物理探査及び開削後の調査を実施することで精度向上を図るものとする。

H26年度 統合物理探査実施箇所

調査名	河川名	左右岸	キロ杭	事務所名	備考
牽引式表面波探査 牽引式電気探査	渡良瀬川	左岸	2.0k下96m	利根上	御所沼排水樋管工事に伴う堤防開削
	烏川	右岸	17.0k	高崎	石原第二樋管工事に伴う堤防開削
	富士川	左岸	H30-52m	甲府	上堀川排水樋管工事に伴う堤防開削

適用上の課題 ①

① 閾値の問題

(課題)

現段階では閾値の設定方法が明確な管理値となっていないことから、現場事務所からの理解が得られにくい。

(総合的な評価・判断とする曖昧さ)

合同委員会における提言に関する検討を進めていくことにより、データの精度の向上及び現場での活用がなされる。

クロスプロット解析において評価区分に用いる「閾値」の設定について、今回は河川毎に値を設定したところ、結果的に河川毎に異なる値とするのが妥当との判断となった。今後、さらに詳細な検討を加えデータのバラツキの原因を究明することにより、クロスプロット解析の精度を向上させることが必要である。

「関東地方河川堤防復旧技術等フォローアップ委員会及び統合物理探査検討会 合同委員会」資料からの抜粋

適用上の課題 ②

統合物理探査により得られた結果を基に、堤防の安全性評価を行うために河川毎に整理した事項

- ・地盤条件(堤体土質、基礎地盤土質、治水地形分類図)
- ・堤防条件(堤防高、堤防沈下量)
- ・既往点検結果(概略点検結果、詳細点検位置・結果、平均動水勾配)
- ・被災条件(被災箇所・事象:出水、地震)
- ・重要水防箇所
- ・横断構造物(樋管・樋門、水門、橋梁、堰)
- ・既設対策工、工事区間(地震被災区間)

安全性評価

- ・堤体安全性評価(浸透)
- ・基礎地盤安全性評価(浸透)
- ・総合安全性評価
(・地震危険度判定結果(基礎地盤))

物理探査結果



適用上の課題 ③

②現地調査における配慮事項

(課題)

堤体内には調査精度に影響を与えるような埋設構造物(光ファイバーの鞘管等)が敷設されている箇所や交通量の多い兼用道路(振動による影響等)も多いことから、現地の状況によっては調査できない場合がある。

H25年度においては、事務所から実施要望があった箇所で調査ができなかった。

マニュアルに配慮事項等を詳細に記載することにより、現場事務所の判断で活用される可能性がある。

※構造物から一定距離を離すことや夜間調査を行うことにより、データの取得が可能な場合はそれを記載する。

適用上の課題 ④

③整備局職員を対象とした現地研修・講習会の実施

(課題)

関東地方整備局職員を対象とした統合物理探査の手法の習得を目的とした現地研修及び解析講習を平成25年度より実施しているが、現場での活用については多くの意見等が出されている。



牽引式表面波探査の研修状況



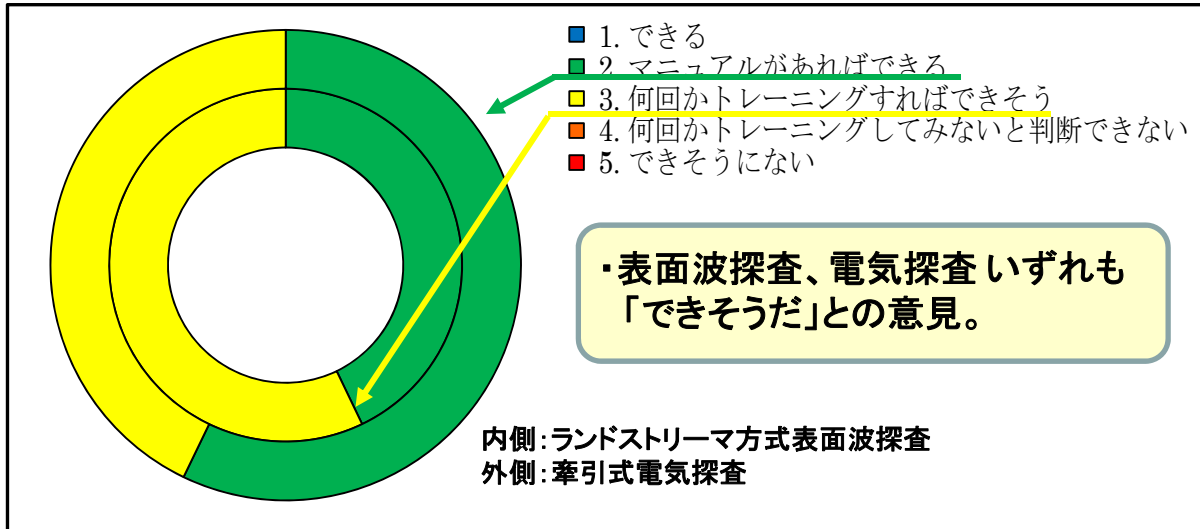
牽引式電気探査の研修状況



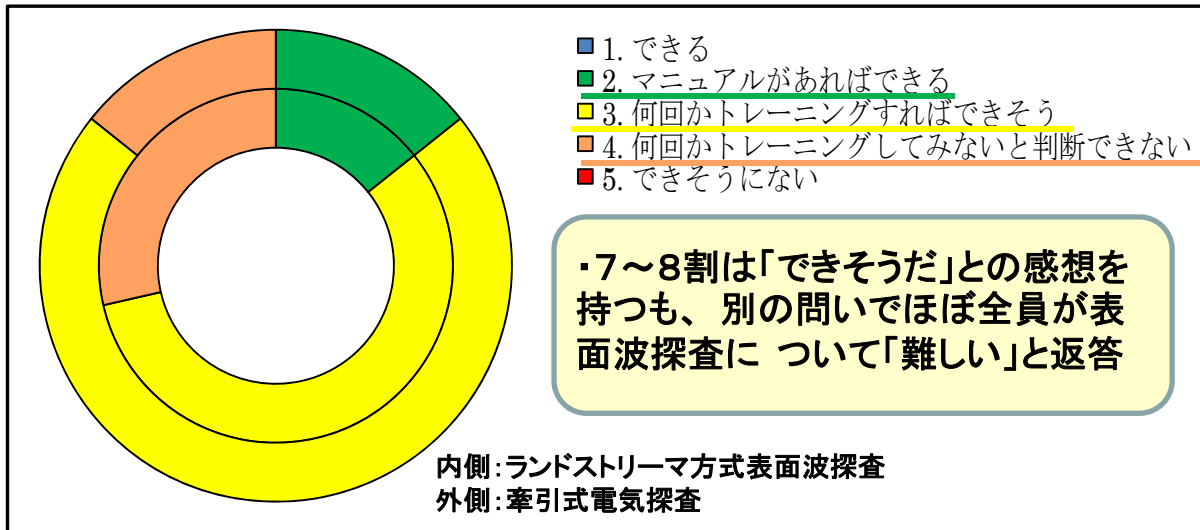
解析講習の実施状況

現地研修参加者の感想(H26年度)①

ご自身で探査機の接続はできそうですか？



(接続後)ご自身で測定はできそうですか？



回答者: 7人

【自由回答例】

- ・測定機の接続は、全員が可能と返答 (要マニュアル含む)
- ・表面波探査については
 - 1)測定波形の良否
 - 2)現地状況の違いが測定に及ぼす影響具合とそれに対応した測定条件についての判断が難しいとの意見が多い。

現地状況の把握が重要であることを理解できた結果、とも言える

その他 意見としては

- ・可能な限りの機械化
- ・測定に支障となるものの事例、班体制(人数、役割分担)の明確化 が求められている

研修参加者より出された意見②

測線の設定

- ・測定方法や測定に影響する障害物等（樋管、ケーブル等の金属物）の影響について教えて欲しい。

解析講習

- ・施工時期の異なる土質、性状が探査にどのような影響を及ぼすのか？
- ・解析の考え方においては専門的な言葉や数値、式が出てくるので取っつきにくい部分がある。
- ・クロスプロットの閾値の設定については、もう少し具体的な手法を聞いてみたい。

統合物理探査全体について

- ・とてもアナログで、曖昧で経験が必要な探査、解析だと思う。
- ・様々な地質があるので、実際にトレンチを掘って確認する等、精度を上げていく必要があると思う。

研修参加者より出された意見③

自らが現地測定を行う場合の懸案事項

- ・現地で測定した結果をその場で問題ないと判断できるかどうかは懸案事項だと思う。(特に表面波探査)
- ・現地測定を行う場合、支障となる事項を列挙して欲しい。
- ・各探査と共に機器の延長が長い為、測定、安全管理等、人員がそれなりに必要である。
- ・人力による部分は極力機械等で可能なものは置き換えた方が良いのではないか。

現地測定マニュアル(案)に対する意見

- ・測定方法はわかったが、原理がよくわからなかった。
- ・現地で口頭によるポイント説明された分は資料に入っていた方が良い。

アンケートにおいて出された意見は、主に現地測定、解析(データ処理)の原理的な部分であったことから、現場サイドとしては測定及び解析の原理的な部分に相当な時間をかけて説明をしないと理解は得られないと思われる。

統合物理探査に望むこと①

①調査手法の機械化

(課題)

○職員が現地測定を行う場合、表面波探査におけるカケヤの起震や電気探査の牽引等は人力で行うことから負担が大きい。

○統合物理探査に精通していない職員が行った場合は、正常なデータを取るまでに時間がかかる。

○機械化・効率化

○現地調査・解析のマニュアル化
⇒現場事務所からの理解が得られ、活用されることにより平常時のデータが蓄積される。



クローラー型運搬車による牽引の例
(関東技術事務所で所有)

統合物理探査に望むこと②

②管理基準値を定めてほしい(閾値)

(課題)

- ・現地調査結果(電気探査、表面波探査)と既存資料(ボーリング、地質調査)の総合的評価と言われたとたんに、職員は敬遠する。
- ・統合物理探査と既存地質データ等との相関付けについて質問される。

閾値の設定方法や評価方法が明確になることにより、関係者の理解が得られる。

データベースの必要性

統合物理探査に望むこと③

③既存データとの連携

(課題)

統合物理探査データ以外に総合評価のために必要な要因(ボーリング結果、築堤・被災履歴、開削情報等)のデータの収集が必要である。

総合評価に必要な要因が何かを明確にするとともに、その要因となるデータが随時更新、利用されるような整備が必要である。

最後に・・・

統合物理探査における現状の課題・問題点が解決されることにより、現場での積極的な活用がなされ、平常時及び災害後の効率的な河川の維持・管理が図られると考えられる。