

## 河川堤防統合物理探査データによる土質分類の試み

鈴木敬一\*（川崎地質）、瀬能真一、飯塚隆志（国土交通省関東地方整備局）、  
中山健二、柘植 孝（川崎地質）

### An attempt at soil classification using the integrated geophysical exploration data of the river levee

Keiichi Suzuki\*(KGE), Shin'ichi Seno, Takashi Iizuka (MLIT)  
Kenji Nakayama, Takashi Tsuge (KGE)

**Abstract:** Integrated geophysical exploration is applied to perform the safe evaluation of the large scale river levee because we cannot estimate the soil structure only by the boring or sounding investigation. We should determine the threshold level of the safe evaluation from the integrated geophysical exploration results. However, it may not keep data enough to decide the threshold level. In such the case, we suggested a method to handle integrated geophysical exploration data statistically and to decide the threshold level for the safe evaluation. Furthermore, we applied the rock physics technique and attempted the soil classification. After we conducted the boring investigation at the point which we estimated the loosening sandy soil, we confirmed the assumed soil. We could prove the effectiveness of this technique.

#### 1. はじめに

##### (1) 統合物理探査の位置付けと委員会等の評価

長大な河川堤防の安全性評価を行うためには、ピンポイントのボーリングやサウンディングでは把握しきれない連続的な地盤構造を把握することが大変重要である。基礎地盤を含む堤防の内部構造を連続的にかつ安価に調査する手法として開発されたのが統合物理探査である。河川堤防における統合物理探査は、主に牽引式の表面波探査と電気探査によって得られたS波速度と比抵抗のクロスプロット解析から安全性評価を行うものである。クロスプロット解析においては、安全性評価のために必要な閾値を決める必要がある。これを適切に決めるには、河川ごとあるいは堤体か基礎地盤か、などに分けて決めることになっている（土木研究所・物理探査学会，2013）。しかしながら、閾値を決めるためのボーリングデータや土質試験結果が十分揃っていない場合も多い。また、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及び統合物理探査検討会合同委員会(2012)は『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』と報告している。さらに同報告では『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。今回、新たに探査結果の検証として、実現象による検証を試みた。今後はこのような検証を取り入れ、更に探査結果の精度を向上させるための手法を確立していくことが必要である。このため、安全性の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』との提言がなされている。

##### (2) 統合物理探査の課題

これまでの統合物理探査は河川堤防の内部構造を概ね把握できる調査手法の一つとして評価できる。ただし、安全性評価手法としては、閾値の設定やデータの蓄積を含め、堤防の安全性評価手法の一つとして、より一層の研究開発が望まれており、また、専門技術者の知見に基づく評価による結果のバラツキが出ないよう、対外的にも説明ができる評価手法の確立が課題となっている。

##### (3) 本研究の提案

本研究では、関東地方整備局管内の河川堤防で行われた統合物理探査結果に対して、クロスプロット解析の閾値の設定方法をルーチン的に行う方法について検討を行うとともに、探査結果の精度を向上させるための提案として、岩石物理学的手法(Takahashi and Yamamoto, 2010)を適用した土質区分の試みを行った。

#### 2. クロスプロット閾値の設定と探査結果

### (1) 探査測線の設定

統合物理探査は江戸川で3箇所、利根川で2箇所において、旧川跡や被災履歴、堤防点検結果など、治水上重要な箇所や、堤防天端にクラックなどの変状のある箇所において実施した。本稿では特に安全性評価が低かった箇所について報告するものである。

### (2) クロスプロット解析手法と課題

統合物理探査では、得られたS波速度と比抵抗を用いてクロスプロット解析を行う。S波速度が低いとゆるく(N値が小さい)、比抵抗が高いと砂質土と推定される。従って、S波速度が低く、比抵抗が高い場合は、ゆるい砂質土と評価される。このように評価されたところは、堤体の場合には高透水であると判断されるので、堤防の安全性を評価する上で大きな要素の一つである、浸透性に対して危険と判断される。基礎地盤の場合は、液状化に対しても、強度に関しても安全性は低いと考えられる。次に安全性が低いのは、S波速度と比抵抗の両方が低い場合であり、ゆるい粘性土と評価される。3番目がS波速度・比抵抗とも高い場合で、締まった砂質土と評価される。最も安全性が高いのは、S波速度が高く、比抵抗が低い硬い粘性土と評価される場合である。

ただし、クロスプロットの閾値設定の問題点として、野牧・近藤(2011)では以下の2点を指摘している。

- ・土質試験データが少なく、閾値の設定根拠が乏しい場合、クロスプロット評価の妥当性に疑問が残る。⇒モデル精度の問題
- ・技術者の技量や経験にもとづく技術者判断をよりどころとするため、同一条件、同一データの下でも技術者ごとに異なる閾値が設定される。⇒品質確保の問題

これらの問題に対して、野牧・近藤(2011)では、S波速度及び比抵抗の断面ごとの累積度数曲線を用いた閾値設定を提案している。本研究でも閾値設定にこの手法を適用してみたが、断面ごとに平均値に近い値や大きく離れた値など、ばらつきが大きく、閾値設定の根拠にするには乏しいと判断した。

### (3) 閾値の設定方法の提案

測定データが正規分布に従うと仮定すると、平均値±標準偏差の範囲に68.27%の値が収まる。従って、[平均値±標準偏差]から外れる測定データは、何らかの特異性を有すると考えられることから、閾値の設定を以下のようにした。

- ・S波速度：低速度ほど危険側なので、平均値から標準偏差分下回った値を閾値とする。

- ・比抵抗：高比抵抗ほど危険側なので平均値から標準偏差分だけ上回った値を閾値とする。

この方法で評価する場合、ある程度長い区間の探査データであれば、物理探査データのみから閾値を決定することが可能であり、技術者の個人差を排することもできると考えられる。

### (4) 江戸川における探査結果

図-1に、江戸川右岸58.0~58.5k区間の統合物理探査結果を示す。左上はS波速度と比抵抗のクロスプロット図では、安全性評価のための閾値を上記の閾値の設定方法により設定した。その下の図はS波速度及び比抵抗の図と安全性評価の区分図であるが、S波速度のV字型谷上構造に相当する部分と高比抵抗の部分とが重なる領域に安全性の低い領域が認められる。治水地形分類図(図-2)を参照すると、この区間は旧権現堂川の河道にあたり、被災履歴からは、1981(昭和56)年に洗掘があり、対岸の左岸では2011年の東北地方太平洋沖地震に伴う法面の崩落が記録されている。

それ以外の深度2~4mの低速度帯に相当する層準は、緩い粘性土系の土質であると推定される。水平距離240~450m(距離程58k+50~260m)区間の200Ω・m以上の領域は、比較的締まった砂層、それ以外は全体的に比較的締まった粘性土層であると推定される。

### (5) 利根川における探査結果

図-3に利根川134.0~134.3k区間天端測線探査結果を示す。全体的に比較的硬い粘性土層が主体であり、上流側の表層は比較的締まった砂質土層、その直ぐ下流

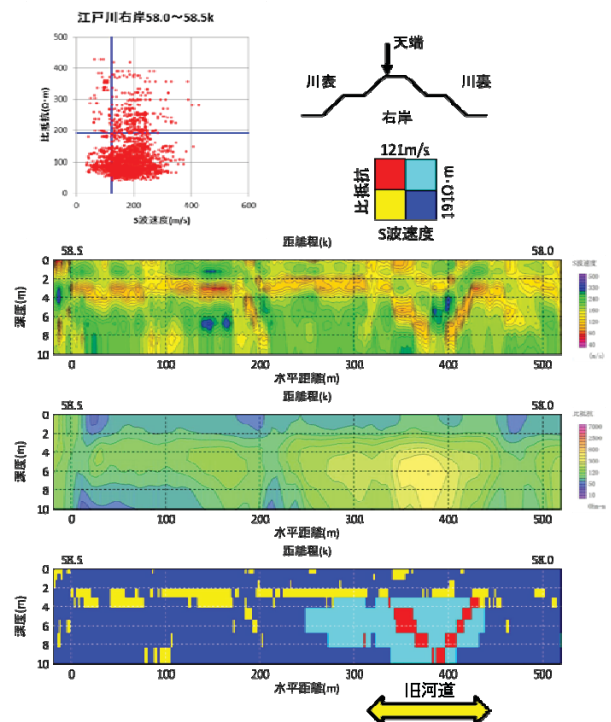


図-1 探査結果(江戸川右岸58.0~58.5k区間)

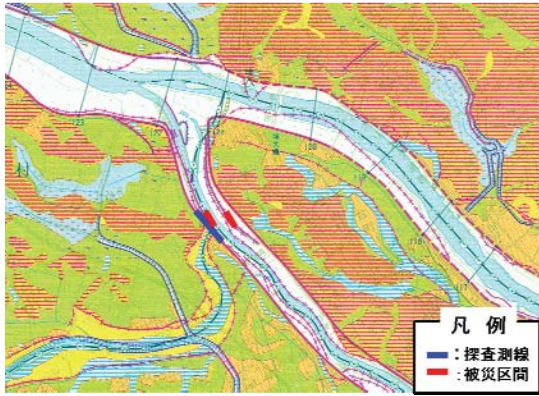


図-2 治水地形分類図 (江戸川 58.0~58.5k 区間付近)

の深度4~6mには軟らかい粘性土層が分布し、下流に行くに従って深くなっているように見える。この測線中央やや上流寄りの位置は、治水地形分類図(図-4)を参照すると、測線の上流側の旧河道と下流側の氾濫平野の境となっており、安全性評価断面においても、このような旧地形を反映した結果となっているものと考えられる。被災履歴からも、1947(昭和22)年のカスリーン台風で破堤した区間にあたる測線の上流側では堤防修復後も堤体からの漏水が頻繁に生じている記録がある。

### (6) 統合物理探査の評価

以上の結果から、統合物理探査による安全性評価は、治水地形分類図や被災履歴などと比較しても堤防の内部構造を概ね捉えているものと考えられる。

## 3. 岩石物理学的手法

Takahashi and Yamamoto(2010)では、宇治川堤防で行われたS波速度構造と比抵抗構造について、岩石物理学的手法を用いた土質分類を行い、ボーリングや開削データと整合性の良い結果が得られていることから、今回この手法を適用し、細粒分含有率を指標に土質分類を行った結果を図-5に示す。

江戸川右岸 58.0~58.5k 区間では、測線の中央付近(水平距離 210~370m)の深度3mより深い領域に砂質土が集中して分布している。その両側の同じ深度帯にも砂質土が優勢となっている。深度2~3mでは粘性土が優勢であり、表層は細粒分含有率30~60%程度となっていると推定される。

利根川右岸 134.0~134.3k 区間では、上流部の表層は砂質土系であるが、深度4~7mは粘性土系、その下部は細粒分含有率30%程度が主体である。下流側の表層は細粒分含有率が60%程度であるが、その下は砂質に近くなり、深度6m以深では再度細粒分含有率60%程度となっている。

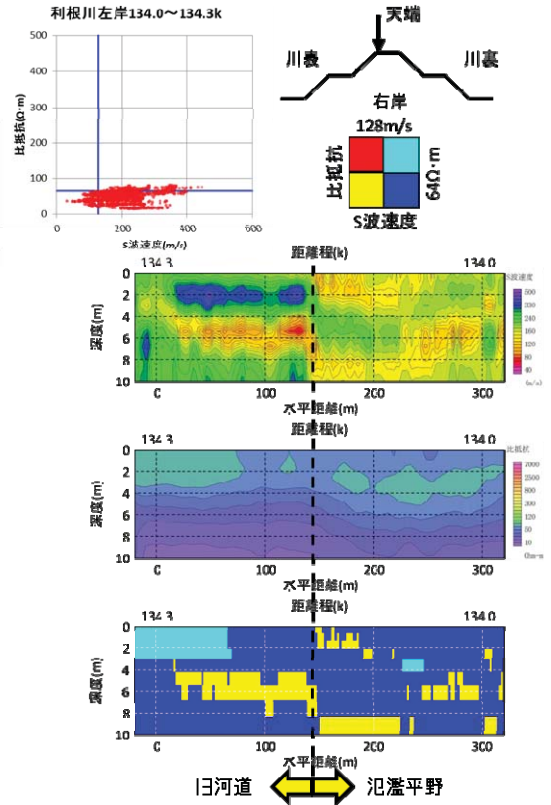


図-3 探査結果 (利根川右岸 134.0~134.3k 区間)

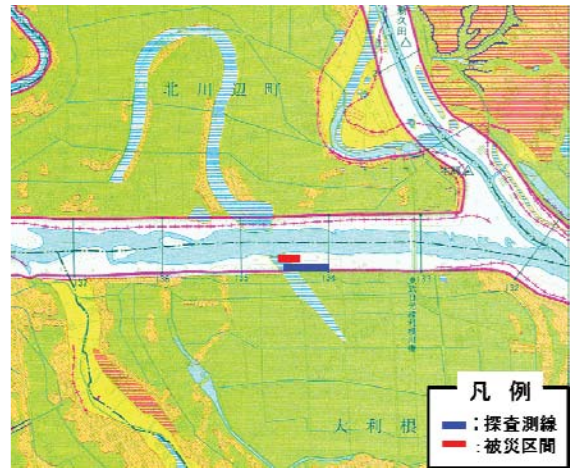


図-4 治水地形分類図(利根川右岸 134.0~134.3k 付近)

岩石物理学的手法によって砂質土と判定された領域は、統合物理探査による安全性評価で高比抵抗、すなわち砂質土と推定された範囲とほぼ一致している。

## 4. ボーリングによる確認調査

### (1) ボーリング調査位置の選定と調査結果

図-1に示した安全性が低いと判断された江戸川右岸 58.0k 付近のボーリングデータと統合物理探査データと比較した結果を図-6に示す。この結果ピンポイントでの比較では相関性が低いですが、大局的にみると統合物理探査における安全性評価及び岩石物理学的手法による結果で砂質土と推定した領域では、ボーリング結果

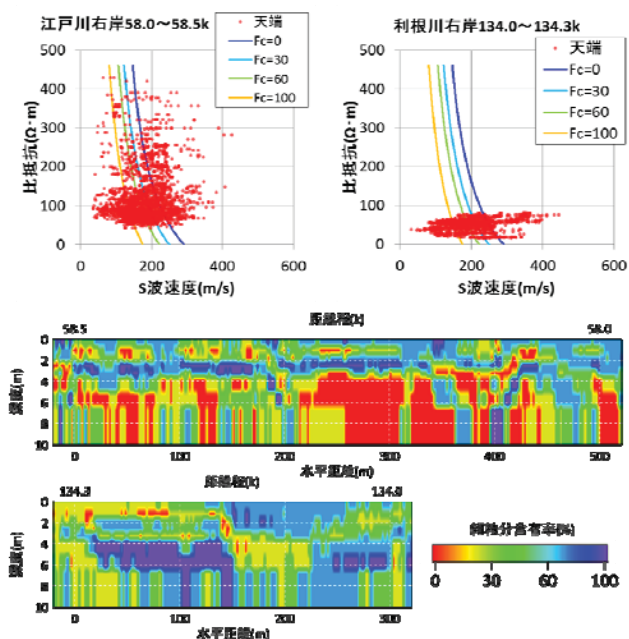


図-5 岩石物理学的手法による土質区分結果  
(上段:クロスプロット, 中段:江戸川右岸 58.0~58.5k  
区間, 下段:利根川右岸 134.0~134.3k 区間)

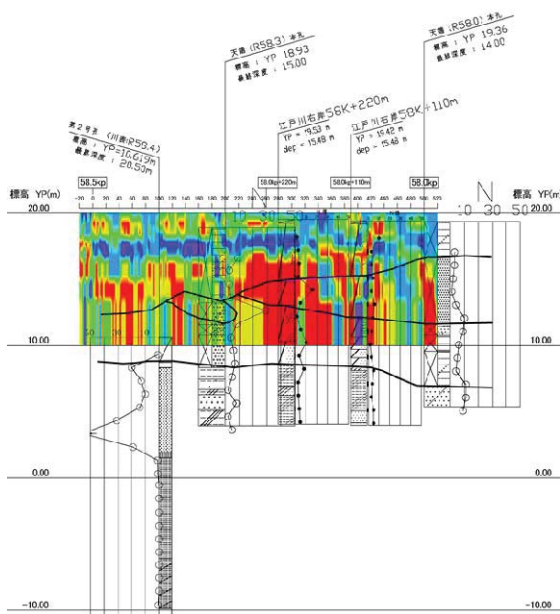


図-6 ボーリング調査結果との対比  
(江戸川右岸 58.0~58.5k 区間)

においてもゆるい砂が確認された。

## (2)結果の評価と展望

今回の結果から、統合物理探査は、ボーリング調査だけではわからない堤体内部の土質構成を把握できることから、堤防縦断方向のボーリング孔間を概略的に補間するための有効な手法であると考えられる。このため通常堤体内部については、土質断面図では全て盛土を示す「B層」で記載されているが、統合物理探査結果から堤体内部の土質分類ができれば、単に「B層」

だけでなく、詳細な土質断面として記載することができる。

## 5. まとめと今後の展望

本研究では、提案した統合物理探査の安全性評価における閾値の設定方法の結果と岩石物理学的手法を適用した結果から、土質分類を推定し、さらに安全性の低い領域におけるボーリング調査による確認を行ったが、概ね整合する結果が得られた。

今後、この統合物理探査による河川堤防の安全性評価を推し進め、土質分類を断面的に行うことができれば、ボーリングデータと合わせて液状化抵抗率  $F_L$  値断面や液状化指数  $P_L$  値プロファイルへの変換も可能となることが提案されている(林ほか, 2013) ことから、データベースを構築し、統合物理探査による安全性評価や岩石物理学的手法における比抵抗と間隙率の関係の精度を向上させることにより、河川堤防における土質分類の精度が向上すると考えられる。

## 謝辞

本研究にあたっては江戸川河川事務所と利根川上流河川事務所に便宜を図って頂いた。記して謝意を表します。

## 参考文献

- 土木研究所・物理探査学会(2013): 河川堤防の統合物理探査—安全性評価への適用の手引き—, 愛智出版, pp.120.
- 林 宏一・稲崎富士・北尾 馨・北 高穂(2013): 河川堤防安全性評価のための統合物理探査のデータベース, 物理探査学会第 128 回学術講演会論文集, pp.170-173.
- 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及び統合物理探査検討会合同委員会(2012): 統合物理探査の今後の河川堤防調査に資する知見~統合物理探査を利用した浸透に対する堤防の安全度評価手法について~, [http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr\\_content/content/000075195.pdf](http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000075195.pdf) (最終閲覧: 2014年8月28日)
- 野牧優達・近藤康由(2011): 物理探査による堤防三次元構造調査について, 全地連「技術フォーラム 2011」京都, No.67
- Takahashi, T. and Yamamoto, T.(2010): An attempt at soil profiling on a river embankment using geophysical data, *Exploration Geophysics*, 41, 102-108.

