

# 統合物理探査による河川堤防の健全性評価等検討

## 1 検討目的

東北地方太平洋沖地震等により、茨城県及び千葉県を中心に関東地方整備局管内の堤防等河川管理施設では、4水系10河川に被害が及んだ。特に利根川（下流部）、霞ヶ浦、那珂川、久慈川、小貝川等の河川では、沈下や、すべり、クラック等の甚大な被害が発生し、それらの総延長は740kmにも及ぶ。このため、平成23年4月に設立された「関東地方河川堤防復旧技術等検討委員会」より、堤防等河川管理施設の被害状況の検証等の技術的助言を頂きながら復旧工事が進められ、平成24年6月までに概ね工事が完了した。

しかし、大規模な被災を受け復旧工事を行った箇所以外の見た目上は健全に見える堤防でも内部の状況が不明確であり、堤防内部のゆるみ等を把握する必要があると委員会から提案され、統合物理探査手法による調査を行うことになった。

本検討では、地震により影響を受けた堤防の安全性・信頼性の確保を目的として実施された統合物理探査の調査及び評価結果の審査を目的とした「統合物理探査検討会」を実施し、並びに上位委員会である「関東地方河川堤防復旧技術等検討フォローアップ合同委員会」への調査・評価結果の報告を行い、調査で得られた結果及び、各種課題を踏まえ、「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～」をとりまとめ、抽出箇所の統合物理探査による堤防の安全性評価及び、「統合物理探査のマニュアル（素案）」の作成、統合物理探査データベースの基本検討についてとりまとめた。

## 2 検討経緯

- ・平成23年度 講習会及び実地研修の実施、統合物理探査検討会の開催（1回）
- ・平成24年度 「統合物理探査検討会」の開催（2回）、「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～」のとりまとめ
- ・平成25年度 統合物理探査（現地測定、解析・評価）の実施、「統合物理探査による河川堤防評価マニュアル（素案）」、講習会及び実地研修の実施

## 3 検討概要（平成25年度）

### （1）統合物理探査

現地状況、工事履歴、被災履歴等の事前調査、統合物理探査（表面波探査、牽引式電気探査）の現地測定を利根川、江戸川において実施し堤防の健全度について評価した。

### （2）河川堤防の健全性評価手法の検討

統合物理探査を用いた河川堤防の健全性評価手法について、調査手法や解析方法、評価手順などの系統的な手順及び方法を検討し、「統合物理探査による河川堤防評価マニュアル（素案）」を作成した。

### (3) 統合物理探査データベースの基本検討

統合物理探査による調査結果及び、解析結果について今後の河川堤防の維持管理や災害時の原因究明、対策工法の検討等の基礎資料とすることを目的としたデータベースの基本検討を行った。

## 4 検討結果

### 4.1 統合物理探査とは

統合物理探査とは、複数の物理探査を実施して異なる物性値断面を求め、既存資料も加味して総合的に解析することにより、堤体と基礎地盤の内部構造と土質特性を推定し、合理的に河川堤防の安全性評価を行う手法である。

統合物理探査の構成技術としては、ランドストリーマー表面波探査、牽引式電気探査、スリングラム電磁探査の3手法が一般的であるが、本検討においては主にランドストリーマー表面波探査と牽引式電気探査の2手法を対象としている。

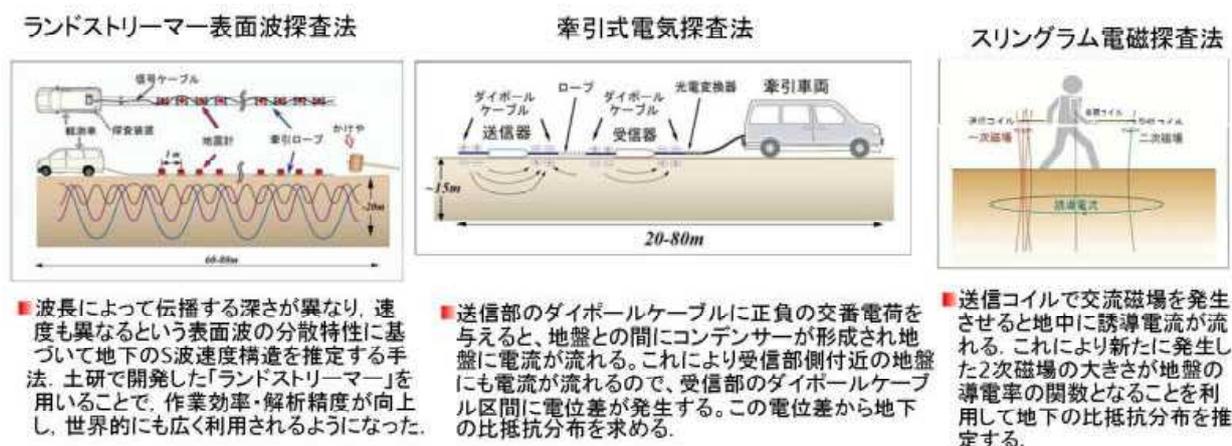


図-1 各探査手法の概要

### 4.2 統合物理探査の実施 1) 統合物

理探査の対象範囲と区間延長

1 2 事務所にアンケートを実施した結果、旧川跡、被災履歴、点検結果、治水上の重要性等から下記の5地点において統合物理探査を実施した。

表-1 各河川探査対象範囲と探査延長

河川名	左右岸	距離標	調査箇所	調査延長	呼び名	備考
江戸川	右岸	58.0~58.5k	天 端 川表法尻	500m	江戸川右岸58.0k区間	旧川跡、洗掘(S56.8)
	左岸	30.0~30.5k		500m	江戸川左岸30.0k区間	護岸被災(S59)
		10.1~10.6k		500m	江戸川左岸10.1k区間	築堤工事(H56~H2)
利根川	右岸	134.0~134.3k		300m	利根川右岸134.0k区間	破堤(S22)、漏水、築堤(S30~H1)
		131.5~132.0k		500m	利根川右岸131.5k区間	131.8k付近のクラック(3.111に被災)
計				2,300m		

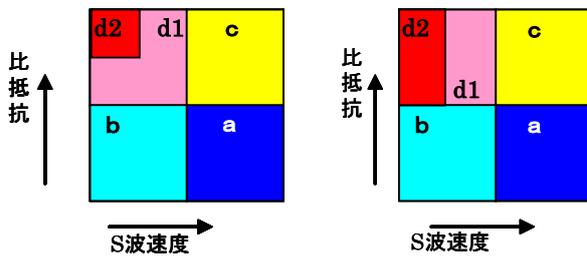
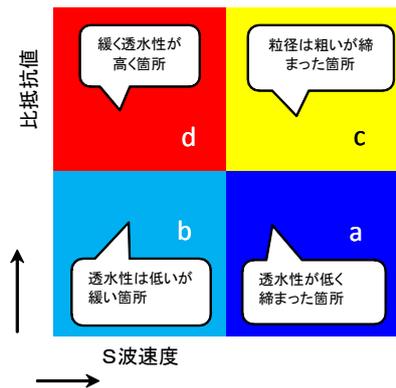
### 4. 3 浸透に対する堤防の安全性評価の考え方

ランドストリーマー表面波探査で得られるS波速度とN値との相関及び、牽引式電気探査で得られる比抵抗と透水係数の相関から河川毎に閾値を設定した。

S波速度と比抵抗値をクロスプロットし、設定した閾値を加え浸透に対する安全性評価断面図を作成した。

・堤防の安全性評価ランクは、設定した閾値により区分される4種類の評価（a～d）にランク分けを行った。

・区分したランクの内、安全性が低いdランクでは、さらにd1とd2の二つに分け、特に浸透に対する安全性が低い範囲（d2）として抽出した。



安全性評価ランクのイメージ

堤防の浸透に対する安全性評価ランクのイメージ

- a: 安全性が高い
- b: 安全性がやや高い
- c: 安全性がやや高い
- d1: 安全性がやや低い
- d2: 安全性が低い

図-2 安全性評価ランクのイメージ

### 4. 4 統合物理探査の解析・評価

今回の調査において、ボーリングデータと統合物理探査データを対比させたところ明瞭な相関関係は認められなかったことから、本検討においては統合物理探査データの平均値と標準偏差との関係から閾値を設定することとした。

- ・ S波速度は、平均値－標準偏差の値が小さいほうが緩い
- ・ 比抵抗は、平均値＋標準偏差の値が大きいが砂質（あるいは透水性が高い）

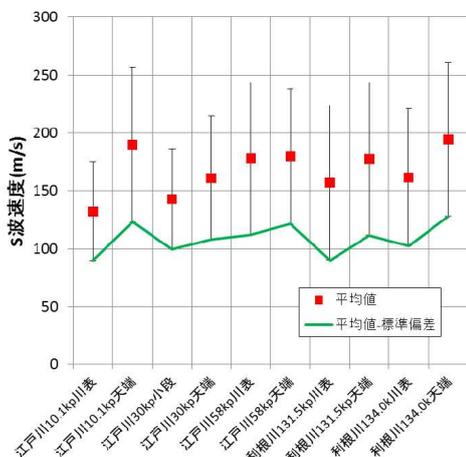


図-3 測線ごとのS波速度平均値と標準偏差

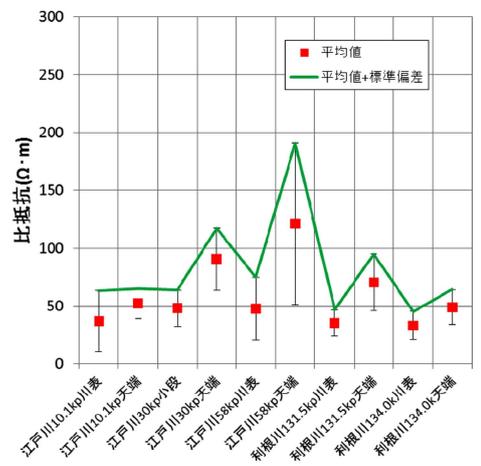


図-4 測線ごとの比抵抗平均値と標準偏差

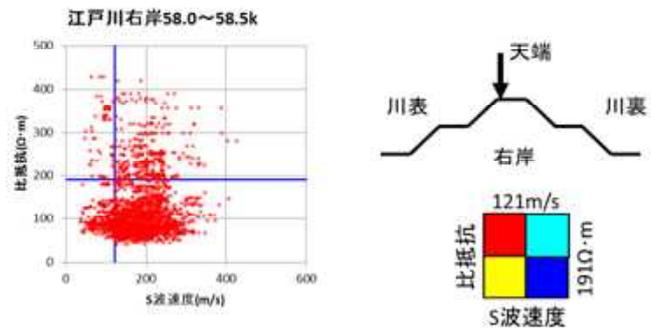
#### 4. 5 統合物理探査結果から見た堤防の安全性評価

今回調査した5地点の安全性評価のうち、江戸川58.0k区間（江戸川右岸58.0～58.5k）天端地点においては、S波速度が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が確認され、安全性が低い領域として認められた。

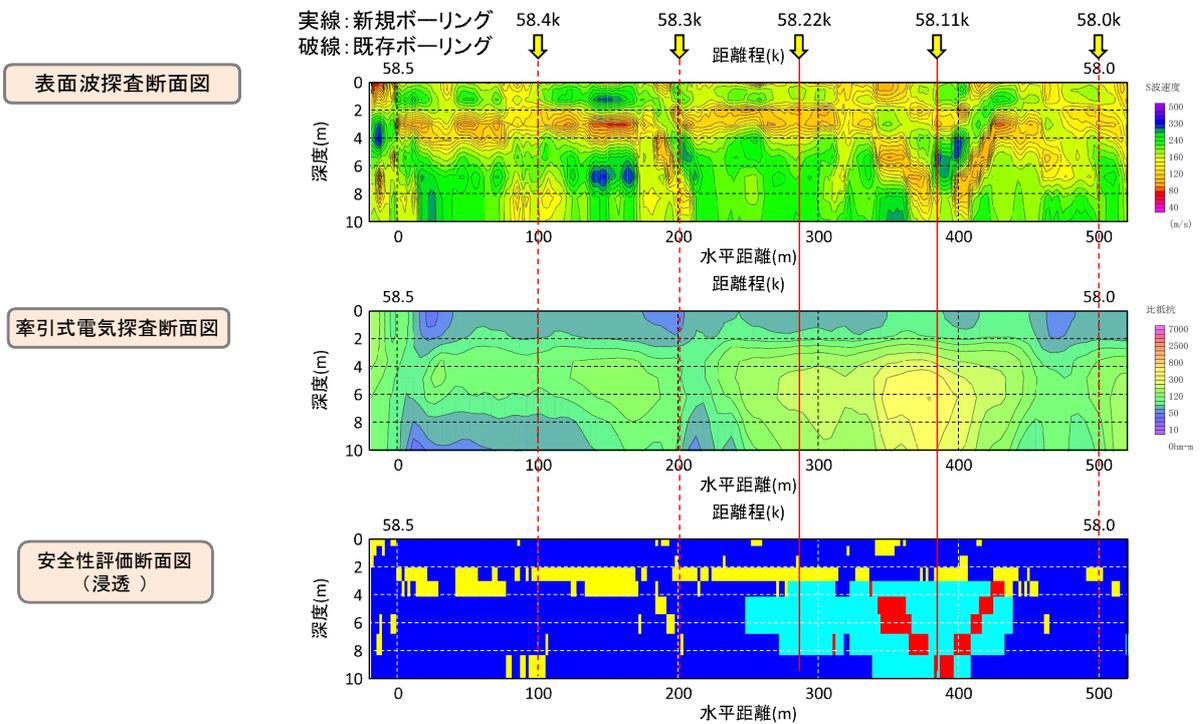
表面波速度断面では、深度2～4mに100m/s以下の低速度層があり、水平距離200m（距離程58k+300m）付近では下流側に落ち込む構造、水平距離340～430m（距離程58k+70～160m）の間ではV字型の谷状構造が確認できる。それ以外では、概ね200m/s前後、100m/s以下、200m/s以上の3層構造であった。

比抵抗構造断面では、深度2～6mの範囲が周囲より比抵抗が高く、S波速度同様に概ね3層構造であり、水平距離240～450m（距離程58k+50～260m）区間では200Ω・m以上の周囲より大きな値の範囲が認められた。

安全性評価断面では、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、緩い砂層と推定される安全性の低い領域が認められるが、この部分は旧権現堂川の河道に相当しており、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、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。



図－5 クロスプロットと閾値



図－6 天端の統合物理探査結果（江戸川58.0kp区間）

#### 4. 6 浸透に対する堤防の安全性が低いと推定された区間の詳細調査

統合物理探査により相対的に安全性が低い領域が認められた江戸川58.0k区間においては、探査結果検証のため、既存ボーリングの補間として新規ボーリング調査を実施した。

統合物理探査結果とボーリング結果比較すると、ピンポイントでは整合しない部分があるが、安全性が低いと評価された区間では緩い砂質土が確認され、現地の観察で確認されたモグラ穴の密集地帯と整合していた。

比抵抗の絶対値には問題がある可能性があるが、相対的な変化は良くとらえており、S波速度については、既存研究の値を用いて閾値を決めるのが良いと考えられる。

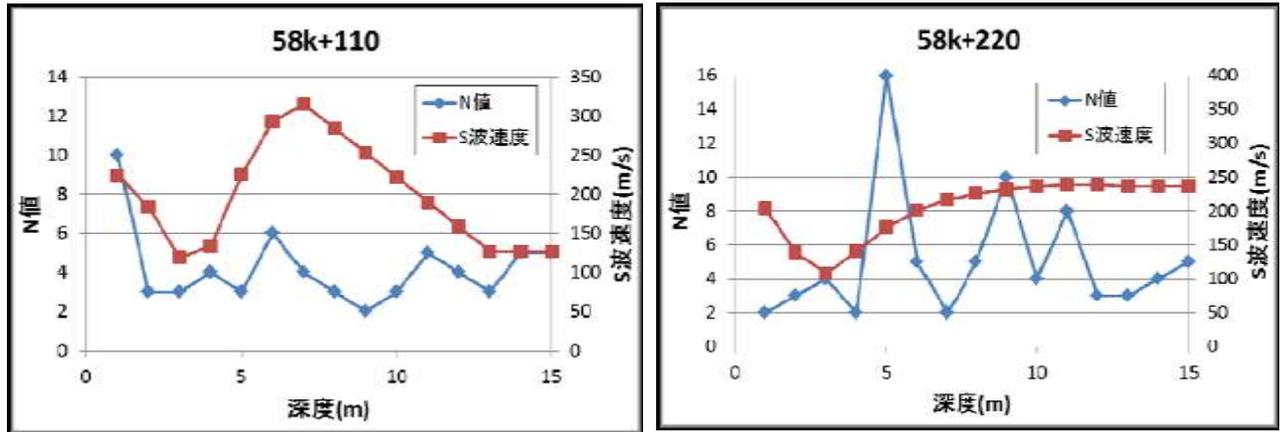


図-7 新規ボーリング地点（58k+110、58k+220）のN値とS波速度

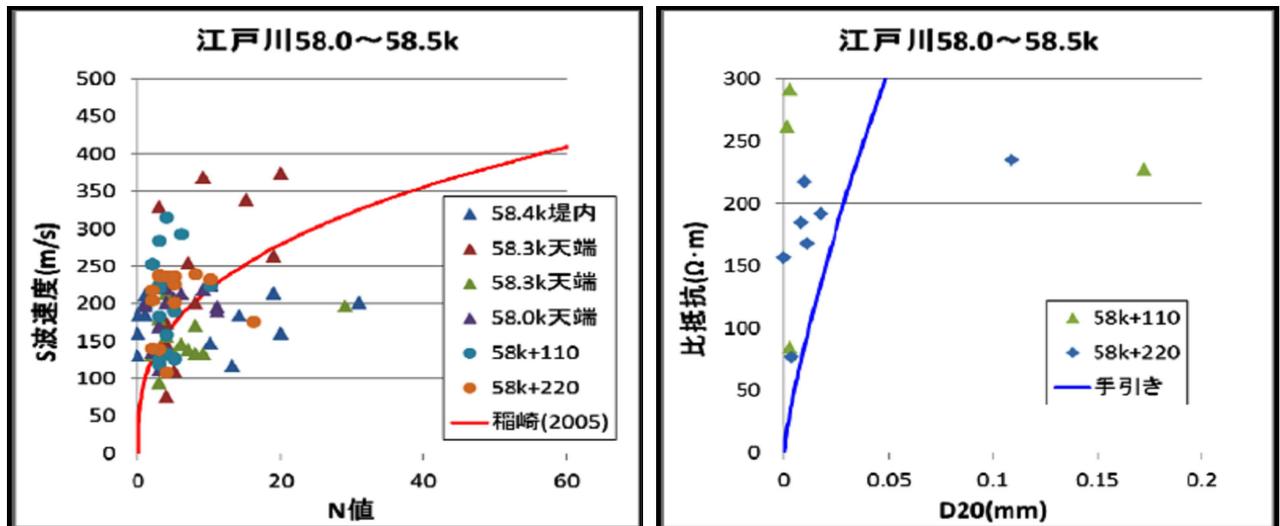
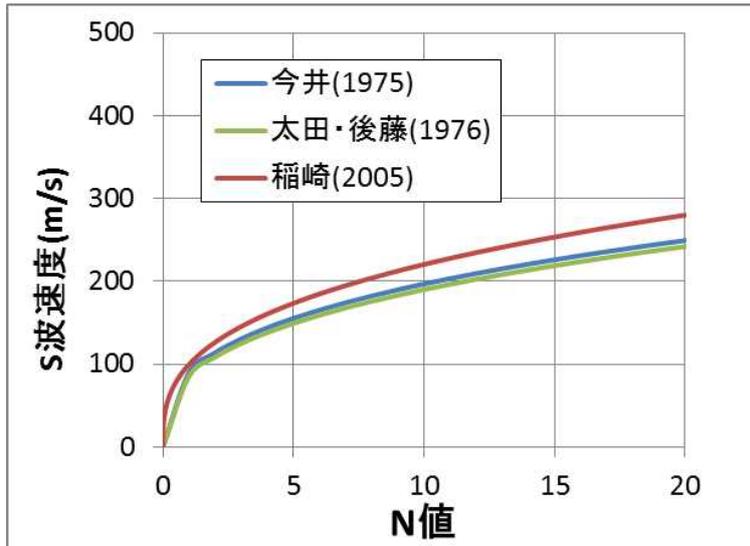
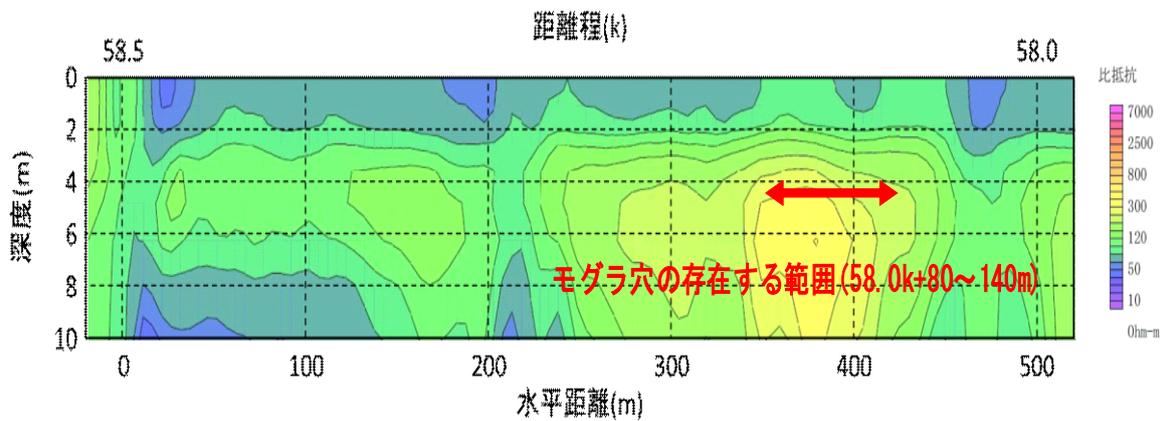


図-8 58.0k区間のN値とS波速度、D20と比抵抗の関係



図－9 既存資研究のN値とS波速度の関係



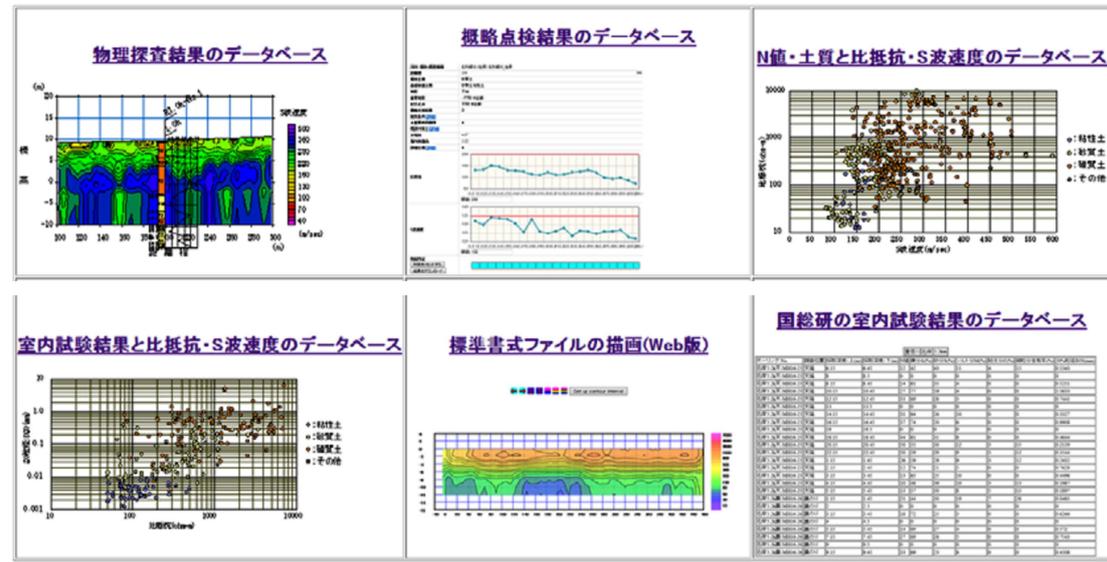
図－10 モグラ穴の密集地帯の範囲と比抵抗断面図

#### 4. 7 統合物理探査データベースの基本検討

統合物理探査における閾値の決定については、ボーリングデータとの対比が必要であるが、データ数が少ない場合、閾値あるいは岩石物理学的パラメータ（特に、比抵抗と間隙率の関係）の決定が困難となる。このため、物理探査学会と土木研究所から標準書式案が提案されているデータベース同士を結びつけるリレーショナルデータベース(RDB)などを活用することにより、土質区分からFL値断面やPL値プロファイルを描くことができるため、今後の河川堤防の安全性評価につなげることができると考えられる。

# 河川堤防の統合物理探査データベース

管理者名: Almighty



本データベースは試験運用中です。  
データを閲覧・編集するにはパスワードが必要です。  
パスワードは物理探査学会までお問い合わせください。  
本データベースは委員会内限定です。  
データを委員会外へ公開することを固く禁じます。

図-1-1 物理探査学会で提案されているデータベース

## 5 まとめ

統合物理探査の適用性に関する検討結果においては、フォローアップ委員会でもばらつきが大きいという指摘があり、大量のデータを重ね合わせると相関性が確認できることが他の研究などから示されている。今回の土質試験を含むボーリングデータと統合物理探査データ（S波速度と比抵抗）をピンポイントで比較しても必ずしも相関性はみられず、クロスプロット解析の閾値を容易に決められないという問題があった。

しかし、概略的な安全性評価断面はボーリングデータと大きく矛盾するものではなく、治水地形分類図などと比較しても整合性が見られ、また新たな評価手法として導入した岩石物理学的な手法においても概略的な土質の傾向は捉えていたことから、統合物理探査はボーリング孔間を補間するのに有効な手段であると考えられる。

## 6 今後の計画

統合物理探査は従来の物理探査に比べて効率が良く、縦断方向の堤体内部あるいは堤体法尻付近の基礎地盤の安全性を概略的に把握することに有効であることから、位置付けとしては統合物理探査により縦断方向の安全性の低いと推定される箇所を絞り込み（スクリーニング）やそれに基づき詳細調査を実施した上で最終的な判断を行うといった適用方法が考えられる。この最終的な安全性の評価を行う詳細調査としてはボーリング調査や弾性波トモグラフィによる横断方向のS波速度分布（図-1-2）、三次元電気探査による比抵抗の三次元構造（図-1-3）の把握などにより、より詳細な堤防内部あるいは基

礎地盤の性状把握することができると考えられる。また統合物理探査データとボーリングデータを統合したリレーショナルデータベース (RDB) を構築による閾値設定や岩石物理学的手法の構築による土質区分の精度向上 (特に比抵抗と間隙率の関係)、FL値断面やPL値プロファイルによる安全性の評価などについても今後検討を進めて行くものとする。 環境技術課

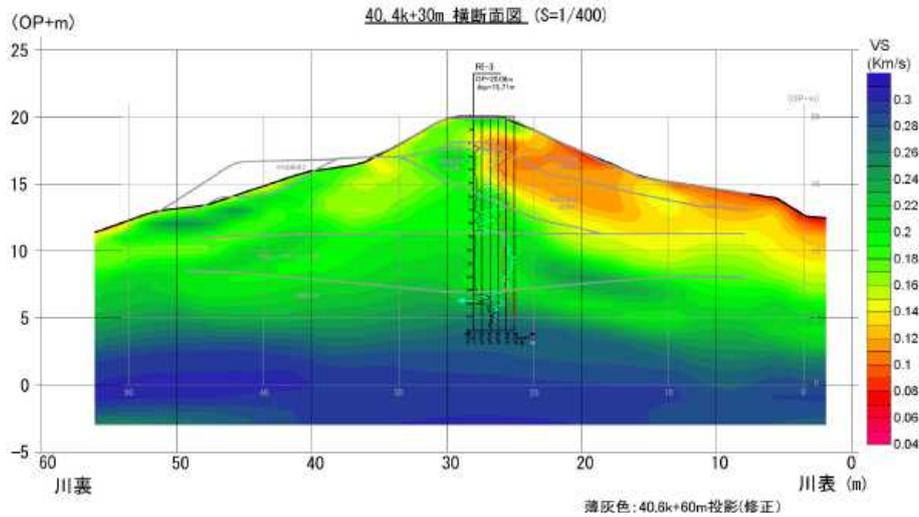


図- 1 3 三次元電気探査による比抵抗構造の例

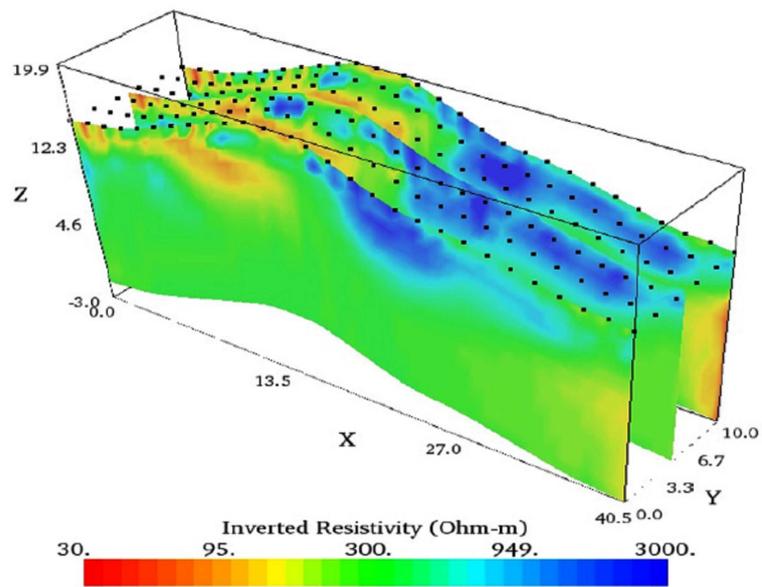


図- 1 2 弾性波トモグラフィによるS波速度断面の例