

# 統合物理探査技術による河川堤防の安全性評価



(国研) 土木研究所 つくば中央研究所  
地質・地盤研究グループ  
物理探査技術担当  
特任研究員 稲崎 富士

## 発表内容

1. 河川堤防はどのくらい不均質か？

➢ 堤防の被災様式と不均質構造の影響

2. 空間的不均質構造をどのように把握するか？

➢ 空間調査法の要件と堤防安全点検の問題点

3. 「統合物理探査」とはどんな技術か？

➢ 要素技術の概要と安全性評価手順

4. 適用例

➢ 縦断方向調査の重要性



2017/12/14

土研新技術SC in札幌

### 0.1 河川堤防の破堤事例-1: 2016年台風10号

2016年8月31日  
空知川左岸幾寅築堤  
(北海道開発局WEB  
公開資料)



空知川破堤状況  
(南富良野町)

2016年9月1日  
札内川左岸・戸島別川合流部  
(北海道開発局WEB公開資料)

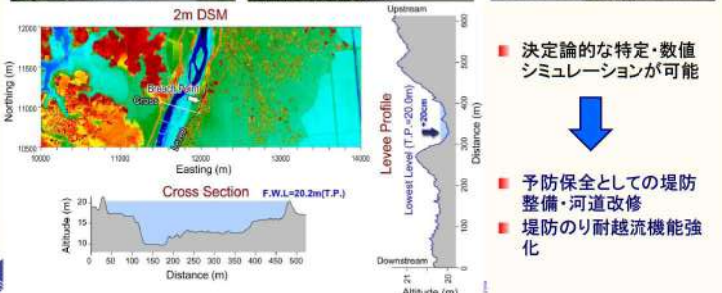


■ 堤内地側からの越流  
■ 旧河道跡？

■ 治水地形の読図・解釈  
■ 洪水堆積物の堆積学的検討

SC in札幌

### 0.1 河川堤防の破堤事例-2: 2015年関東東北豪雨



### 0.1 河川堤防の破堤事例-3: 矢部川パイピング破堤



■ 旧河道の直線化区間  
■ 越流ではなく基盤からのパイピングによる破堤  
■ 堤防点検では「safe」と判定された区間で発生



2017/12/14

土研新技術SC in札幌

### 0.2 豪雨災害に伴う河川堤防の緊急点検・緊急治水対策

#### 0.2.1 堤防破堤の原因分類統計と照査結果例

##### 緊急点検フロー及び点検結果

北海道13の一般水系の直轄河川堤防延長 L=約2,390km ※堤防不要区間を除く

洪水等に際して水防上特に注意を要する箇所、又はそれと同程度の箇所を抽出

点検対象堤防延長 L=約1,630km

今回の九州の被災を踏まえて、被災履歴、堤防詳細点検結果等、既存データを活用しつつ再確認

点検結果



○ 洪水による越流、侵食、地盤浸透破壊  
○ 樋門等構造物周辺箇所からの堤体浸透破壊  
○ 地震による沈下・変形との複合作用

(北海道開発局WEB公開資料)



2017/12/14

土研新技術SC in札幌



## 1.2 防災構造物としての河川堤防の不均質性—まとめ—

### ■ 防災構造物としての河川堤防の特徴

- 人造構造物
- 連続した長大な線状の防災構造物
- 長い治水の歴史を反映して複雑な内部構造
- 複雑で変化に富んだ基礎地盤
- 樋門や水門が構造上の不連続部分として存在

- 横断方向にも縦断方向にも極めて不均質

簡易全品検査・サンプル検査では異常部(不均質構造)の検出・健全性評価が困難

- 局所的かつ微小な不均質構造(弱点箇所)が堤防システム全体の安全性に影響

### ■ 河川堤防の設計・安全管理上の特徴

- ◆ 土を材料として使用しているため、強度・性能に「不確実性」を伴なう
- ◆ 内部弱部を表面目視では抽出できない
- ◆ 損壊の前兆現象を捉えることが困難



## 2. 空間的不均質構造の把握

### 2.1 サンプル調査と全数調査

#### 製品検査の三形態

適切な検査法  
選択が大事!

- **全品検査(目視)**
  - 形状、サイズ、表面キズ
  - 外見異常、数量、ボルトJIS規格

簡便、社会インフラ点検にも広範に採用  
e.g. 農産物、のり面点検
- **サンプル検査**
  - 糖度、残留農薬
  - 寸法、規格、ボルトの引張り強度

要明確な閾値設定、侵襲的検査であり、標本数限定、分布に関する情報必須  
e.g. 管子T板ボルト、堤防詳細点検
- **全品検査(非破壊)**
  - トレーサビリティ、残留放射線量
  - 規格寸法(厚さ)、内部損傷(打音)

原則非侵襲的検査、事故調査では侵襲的な場合も  
e.g. 福島県産米 全量全袋検査



## 2.1 サンプル調査と全数調査

### 2.1.2 サンプル調査の陥穽-1: 不均質構造の部分と全体



- 専門分野のみでは部分的な観察
- 部分的な観測では間違った判断
- 全体「象」を捉えるには多面観察の統合化が不可欠



## 2.2 空間的調査: 連続断面イメージングの重要性

### 2.2.1 対象構造の空間的連続性・スケール

Horizontal Continuity / Resolution

#### 基礎地盤

上下流方向: 数10m~数100m

側方方向: 数10m~数100m

#### 堤体

縦断方向: 数10m~数100m程度以下

横断方向: 数m~数10m以下

#### 浸透・水みちのりすべり

横断方向: 数m~数10m以下

大きさ(直径): 数10cm~1m以下

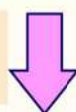


## 2.3 連続的空間情報に基づいた安全性評価の重要性

### 2.3.1 安全性評価の視点: 「最小律」による安全性評価

土工構造物である河川堤防システムの安全性を律するのは「最小律原理」

- リービッチの栄養素最小律
- 福島県産米全量全袋検査
- 福岡市営地下鉄「アリの一穴」



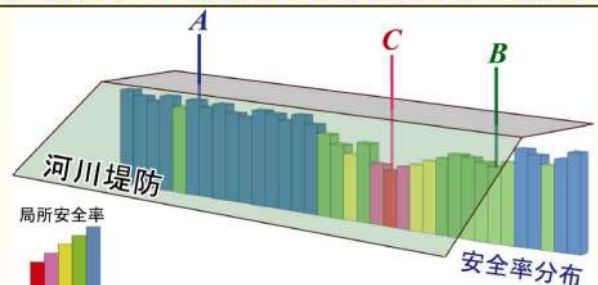
- ※ ある照査断面がSAFE ⇒ 周辺他断面がSAFEとは限らない
- ※ ある断面がOUT ⇒ 他設定条件では異なる結果
- ※ ある設定値でSAFE ⇒ 設定値とその分布依存性要照査



## 2.3 連続的空間情報に基づいた安全性評価の重要性

### 2.3.2 河川堤防安全性評価における連続的空間情報の重要性

#### 河川堤防のすべり・浸透に対する局所安全率分布の模式図



- 離散的な調査(ボーリング)で最小箇所に関連する確率はほぼゼロ
- ある地点が最小箇所であるかは離散的調査では評価不可能
- 連続的空間情報によってのみ最小箇所を特定可能



### 3. 統合物理探査とは？

#### 3.1 「物理探査」の概観

##### ■ 物理探査とは？

- レントゲン、超音波エコー、X線CT、MRIと同様な非破壊内部構造イメージング技術

弾性波探査

重力探査

放射能探査

電気探査

超音波探査

磁気探査

電磁探査

地温探査

微動探査

地中レーダー

検層・サウンディング

- 能動的計測と受動的計測
- 直接応答計測と場の応答(ポテンシャル)計測

- 河川堤防調査としての各種要件を考慮して手法を選択する必要がある。



### 3.2 河川堤防への適用上の諸条件

- **安全性**  
非破壊あるいは低侵襲性の計測手法であり、堤防の安全性に影響しないこと。
- **経済性**  
低コストで連続的な堤防内部情報を提供できること(凡そ¥100万/km程度)。
- **作業性(技術的容易性)**  
現地計測作業、計測機器操作が容易で、データ解析処理も簡便であること。
- **探査深度**  
堤防内部から基礎地盤まで、深さ数m~20mの領域を把握できること。
- **異常部検出能**  
相対的異常区間(数10m程度)を検出できること。
- **有用性**  
堤防の安全性評価に必要な物性情報(特にVs、比抵抗)を提供できること。
- **非独占性**  
普及の前提として技術的ノウハウが開示されており、かつ機器利用が可能であること。



### 3.3 統合物理探査の特徴と構成技術

#### 3.3.1 「統合物理探査」とその特徴

##### 統合物理探査

堤防縦横断方向に測線を設定し、同一測線上で複数の物理探査を実施して異なる物性断面を求め、既往資料や試験データ等を加味して総合的に解析することにより、対象区間の堤防の浸透や地震に対する安全性評価結果を連続断面情報として提供する方法。

##### 1. 異手法併用による確度向上

表面波探査 → S波速度 → 硬軟・締固め度  
比抵抗/電磁探査 → 比抵抗 → 透水性・粒度(土質)

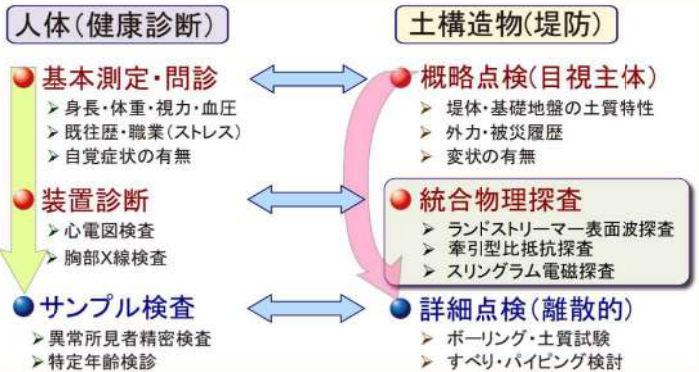
##### 2. 総合的解釈評価

- S波速度と比抵抗クロスプロット解析による安全性の定性的空間的評価
- 現地計測によるGround truth data取得と室内試験dataとの結合
- 物性モデルに基づいた土質・浸透特性の定量的推定
- 地球物理学・河川堆積学・岩石物理学・地質学・河川工学の知見を総合



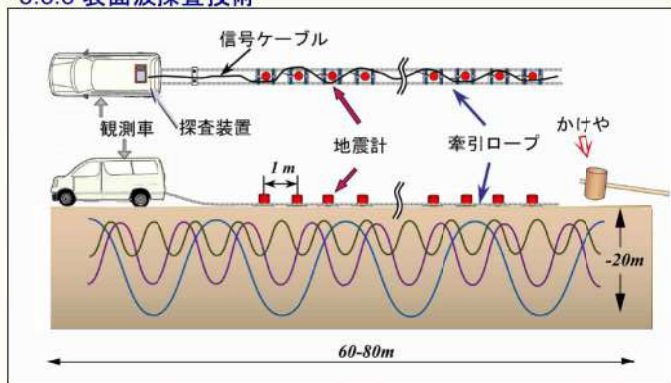
### 3.3 統合物理探査の特徴と構成技術

#### 3.3.2 「統合物理探査」の堤防点検過程における位置づけ



### 3.3 統合物理探査の特徴と構成技術

#### 3.3.3 表面波探査技術



- 波長によって伝播する深さが異なり、速度も異なるという表面波の分散特性に基づいて地下のS波速度構造を推定する手法



#### 3.3.3 表面波探査技術(続き)



- 土研で開発した「ランドストリーマー」を順次牽引移動させ、かけ矢で表面を起振した波動を測定

