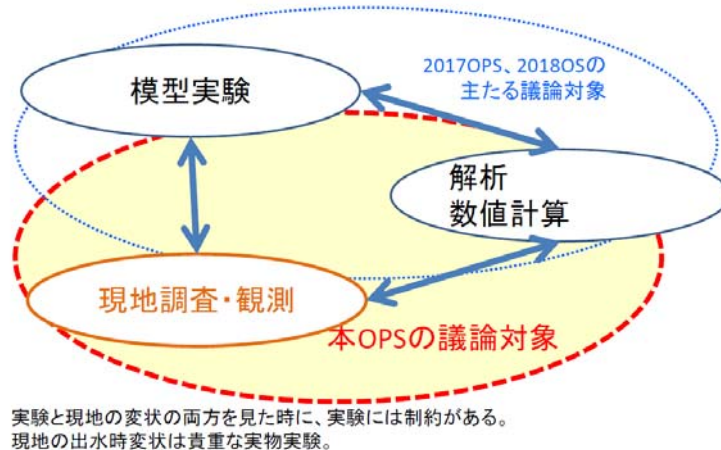


1. 趣旨説明

国土技術政策総合研究所 諏訪義雄

- 堤防の研究には①模型実験、②解析・数値計算、③現地調査・観測という 3 つの柱があると考えています。私が河川シンポジウムで堤防関連の OS や OPS を担当するようになって 3 年目になります。これまで 2 年の OS 及び OPS では、①模型実験や②解析・数値計算を中心に議論してきました。今年の投稿を拝見したところ、③現地調査・観測についても充実した投稿が複数あり、今回の OPS では、是非、②解析・数値計算、③現地調査・観測を中心に議論を行いたいと企画しました。

実験、解析・数値計算、現地調査・観測  
は相互補完関係



- このスライドは昨年 12 月の堤防シンポジウムで説明したスライドをリバイスしたものです。現場では、詳細点検に基づき要対策区間を設定し強化対策を実施していますが、実際の洪水時に現地で発生する変状が要対策区間と整合せず、地元の関係者や受益者との信頼関係が築きにくいという大きな課題があると考えています。それを解決するのが大きなミッションの一つと考えており、これが背景・課題の 1 つめです。
- 私は実験をする立場でもあるのですが、実物大実験といえどもスケールには限界があり、施設の制約から高さ 7~8m の堤防の実物大実験はできません。実際の洪水時に起きる現象や変状というのは、一種の実物大実験といえます。大きな災害でなくても洪水時に起きた前兆や変状等について調査を行い、その結果を積みあげていくことはたいへん重要であると考えます。このような前兆や変状に関する堤防の現地調査結果は貴重なデータであり蓄積し検証していくことが重要であるということが背景・課題の 2 つめです。

## 堤防シンポジウム パネルディスカッション (地盤工学に対する期待)

- 詳細点検等に基づき要対策区間設定しているが、洪水時に現地で起こる変状が整合しない
  - →限られた調査では地盤構造・土層構造わからないので(整合しなくても仕方ない)と申し開きするものの・・
  - →地元関係者・受益者からの信頼を損なっている懸念(現場で堤防管理をする人間には大きなストレス)
  - 現地で起こった洪水に対する応答(変状の発生・異常なしの実績)は、貴重な現地実験の結果でもある。(河砂基準維持管理編でPDCAサイクルをまわしていくこととしている。詳細点検はPDCAサイクルの軸になり得るものはず・・)それを生かしての改善・積み上げが行われていない。
  - →室内実験や計算等メカニズム解明は盛んになった
  - →現地の洪水に対する応答に立脚した検証・確認・積み上げ(詳細点検の更新・改善)と実務(管理)への反映は・・・
- 周辺環境も変わってきています。観測及び水理解析の技術向上により、水位縦断の時刻歴が得られるようになりつつあり、地先毎の外水位の時刻歴が相当な精度で得られるようになってきました。堤防の浸透破壊に対しては水位に加えて降雨も重要ですが、レーダー解析等の分解能が上がり地先毎の堤防に降る降水量もある程度の精度で得られるようになってきています。つまり、堤防浸透破壊の照査に必要な外力データがある程度の精度と分解能で得られる状況になってきている中、堤防浸透破壊に関する技術が「堤防の強化工法の設計」だけを目指していて良いのかということが背景・課題の3つめです。

2018/12/3 堤防シンポジウム企画セッションをリバイス

### 河道・雨量観測分野の技術革新と 堤防の浸透破壊評価

- 河道では、水位縦断形の時刻歴がわかるようになる。
  - 各地先の堤防に作用する外水位がある程度の精度でわかる。
  - →越水している・しそうな場所、HWLを超過している・しそうな場所がある程度の精度で絞り込める
  - Xレーン、CバンドレーダMP化で降雨量の地域分布の時刻歴がわかる
  - →各地先の堤防に作用する降雨もわかる
  - →→照査に必要な外力データがある程度の精度で得られる環境になる。
  - →→浸透破壊の評価技術は、「強化工法の設計」でとどまっていますか。
- 繰り返しになりますが、こちらのスライドに問題意識を整理しました。洪水時の堤防の応答についての情報収集を我々は十分に行っているのか？というのが1点。2つめ

は、集めた応答に対して事後解析だけ実施していれば良いのか。もっと真剣勝負をするのなら、事前に予測解析をしておいて洪水時に観測しながら合っているのか確かめる事前解析も必要ではないかというのが 2 点目です。将来的にはリアルタイム解析まで可能とし危機管理に生かすことができるようになるかもしれないと考えます。

## OPS企画の問題意識

### <問題意識1>

現地の堤防及び基礎地盤の洪水時の応答について、情報収集は十分か？

- 現地の詳細調査継続、現地観測実現のポイントは？
- モニタリング機器は？河道内の水位を測る水位計、降雨のモニタリング技術(レーダー解析)は急激に進歩している。間隙水圧計や変位観測機器は？

### <問題意識2>

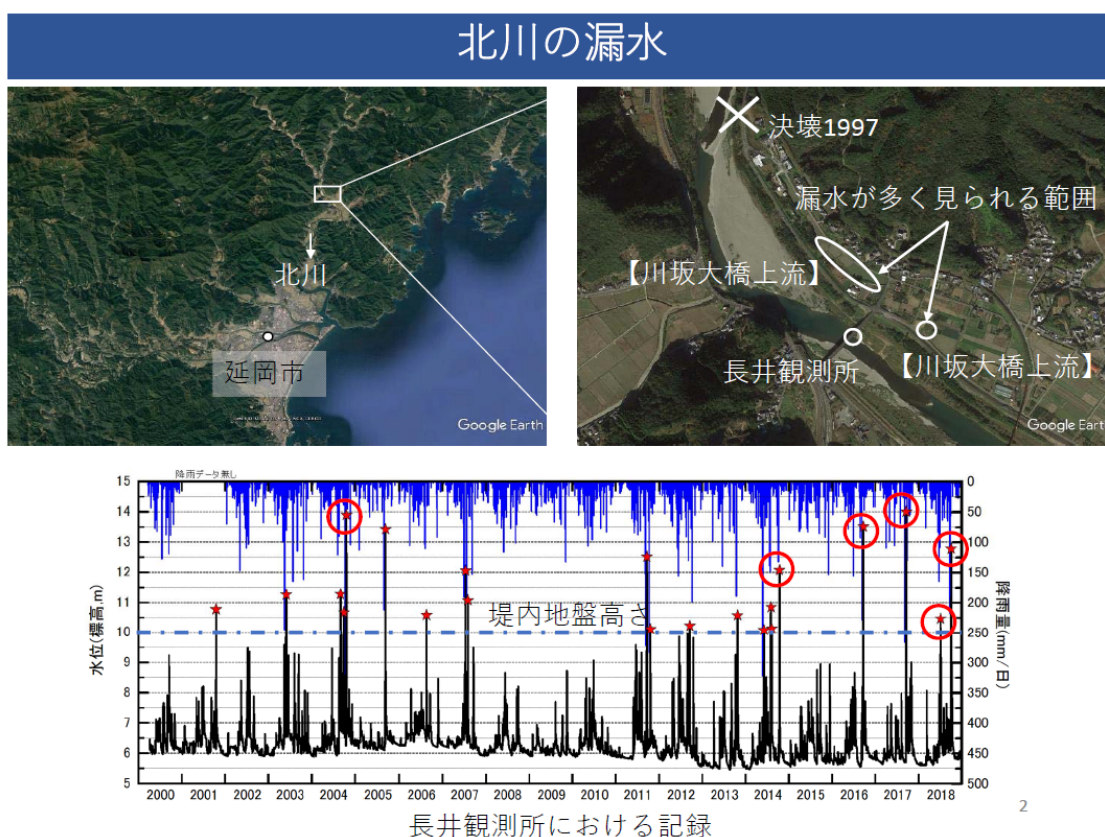
今後の技術発展を考えた場合に事後解析だけやっていていいのか？

- (原因の究明・対策の設計が目的であれば)事後解析でこと足りる。
  - 信頼獲得>>困難な問題にも真剣に向き合っている>>複雑な堤体・基礎地盤構造を洪水時等の応答から年々明らかにする
  - 事前解析+事後評価・修正≠チューニング解析+対策工設計
  - 将来はリアルタイム解析ができるようにし、危機管理に生かす
  - それらの可能性、期待・役割は？
- それでは、話題提供に移ります。

## 2. 北川現地調査関係

国立研究開発法人 土木研究所 石原雅規

- 北川に関しては3編の調査結果を報告しており、代表してご説明したいと思います。
- 北川は宮崎県の五ヶ瀬川の支川であり、合流点から13km上流付近で漏水が多数発生しています。約20年前に堤防決壊があり、それを契機に堤防整備や河道掘削事業が実施されました。
- 堤内地盤の高さが約10mの場所にある堤防において、堤内地盤高を超える水位の出水が20年余りの間に20回ほど発生しており、その間に漏水が確認された場所が図の丸印で囲った箇所になります。水位グラフに○をつけているのが漏水が確認されたものですが、最近では毎年漏水が確認される状況になっています。



- 漏水の状況を示した写真です。漏水に対して釜段を設置していますが、1時間後には釜段の中が砂で一杯になり、釜段自体が傾く状況が発生しています。さらに2時間ほど経過すると、釜段周辺は霞堤から回りこんだ浸水で埋もれるが、浸水しても漏水が続いている状況になっています。
- 右下の写真は、私が現地調査に行った際に現地のメディアに囲まれている状況です。これはとりもなおさず地域が漏水に対して高い関心をもっている表れであり、こういった対応をすることで、行政の方とも信頼関係を築くことができ、その後の現地調査が円滑に実施できているのかなと思っています。

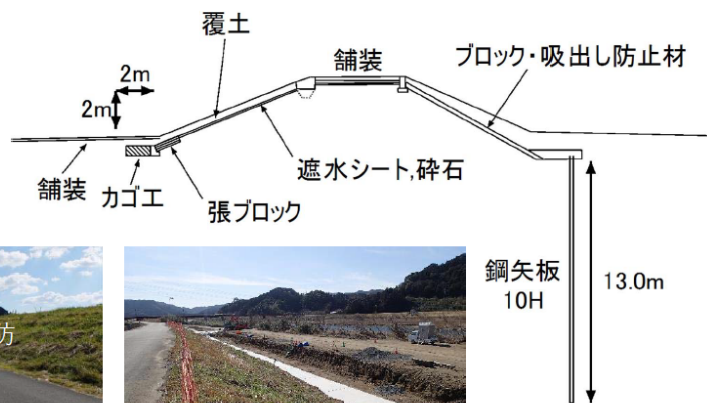
## 漏水状況



- 堤防整備に関しては、1997年の越水による堤防決壊を契機に堤防補強を実施し、矢板を除く上の部分はこのときに整備されました。2016年洪水の漏水を契機に鋼矢板を用いた川表遮水対策工が順次整備されてきています。右側写真の川表側の白い部分がコンクリートになっており、その下に矢板が入っています。

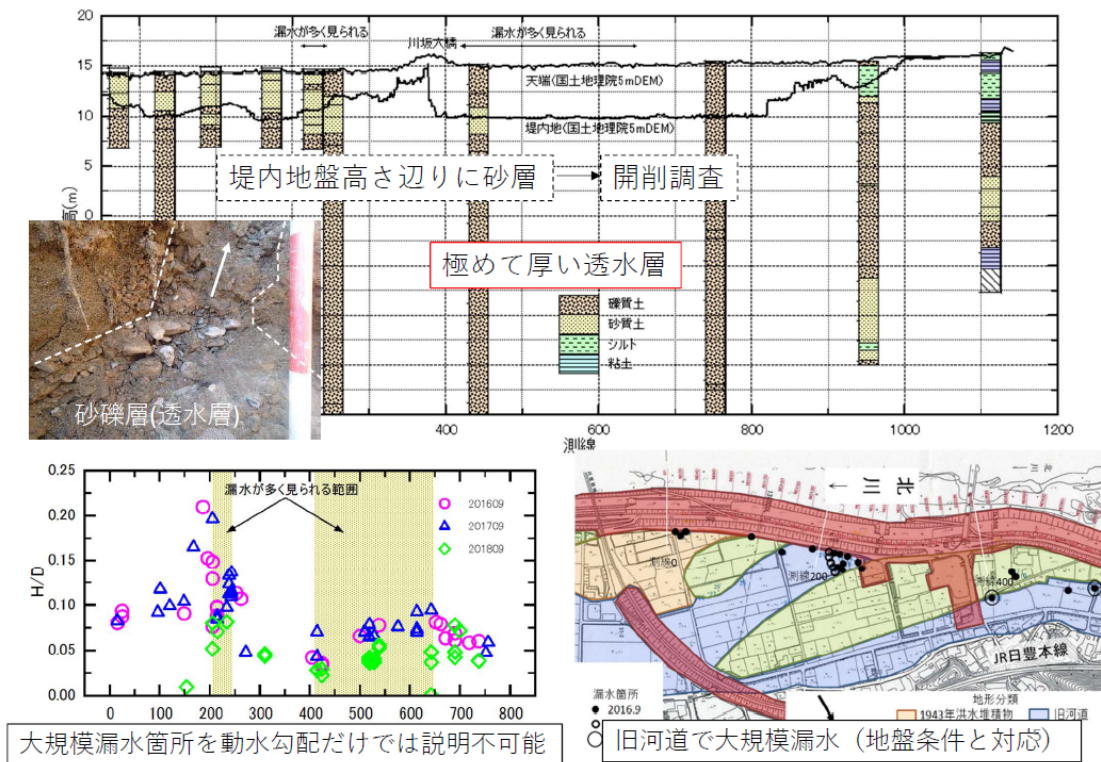
## 堤防等の整備状況

- ・ 1997年9月台風19号 (5000m<sup>3</sup>/秒) 決壊等甚大な被害  
⇒ 激特事業 (1997~2003年) 河道掘削、堤防補強 (霞堤は維持)
- ・ 2016年の洪水により大規模な漏水が発生  
⇒ 川表遮水対策 (鋼矢板) 打設 (2016~2018に順次延長)



- こちらが地盤の特徴ですが、基礎地盤に非常に厚い透水層が分布しております。この図では 20m くらいまでしか表示できていませんが、礫層が厚いところでは 50m 位堆積しているようです。
- こうした透水層を介して河川からの水が入って漏水していると思われます。漏水が多く発生している箇所は堤内地盤の高さ付近に砂がある場所になっており、こういった砂層を中心に開削調査を実施しています。
- 平均動水勾配を調査すると、必ずしも大きな処で漏水が発生している訳ではなく、動水勾配が小さな処でも漏水が発生している状況にあります。河川水以外に山からの水によって漏水が発生していることも考えられます。
- また、地形の観点からは、旧河道で漏水が集中して発生していることがわかっており、砂層の分布と対応していると思っています。

## 地盤の特徴



- 2016 年以降矢板による遮水工の設置を進めてきていますが、その後の漏水発生場所の変化を見たものがこちらのスライドです。だいたい同じような場所で漏水が起きていますが、漏水箇所数が増えている場所もあり、ひょっとすると矢板を設置することで山水の影響が大きく出て、こういった場所で漏水の数が増えている可能性があります。
- こういった漏水を対象にいろいろな調査をやりましたし、順次報告しています。

## 漏水状況の変遷



- 1つは、漏水、噴砂、陥没のメカニズムに関する論文を岡村先生が発表しています。
- 2つめは、漏水や噴砂の結果、堤防にどのような影響が出ているのかについて、貫入試験などを実施して前田先生を中心に貫入試験をやって論文を発表しています。
- 3つめとして、今回は論文の発表をしておりませんが、漏水や内水の状況を定量化していくことも必要と考え、観測井や水位計の設置・観測を実施して、二次元断面設計や境界条件の設定に限界がある部分に関連していると考えています。
- 4つめは、透水層の性状や砂層の分布について物理探査をかけている状況です。

## 現地調査の目的・方法

<p>目的1：漏水による噴砂・陥没の発生メカニズムは？</p> <p>方法1：開削調査、貫入試験</p> <p>『北川で繰返し発生した陥没を伴う噴砂の詳細メカニズム調査』</p>
<p>目的2：漏水・噴砂による堤防への影響は？</p> <p>方法2：貫入試験</p> <p>『北川で繰返し発生した噴砂による堤内・裏法尻箇所のゆるみ調査』</p>
<p>目的3：漏水状況（透水層の圧力分布・流向、漏水時点・量） ・内水等の定量化</p> <p>方法3：観測井・水位計の設置、カメラ</p> <p>2次元断面・境界条件設定etc.</p>
<p>目的4：透水層の性状の変化・砂層の分布</p> <p>方法4：物理探査・ボーリング・サウンディング</p>

今後  
報告

- このスライドは岡村先生の論文の紹介になります。このように漏水箇所の開削調査を行うことで、砂層が現れており、透水層である下の礫層のマトリックスを由来とする

砂が塊として出てきており、その上で噴砂や陥没が起きていることがわかってきています。

- この様な砂の塊は縦に繋がっておりまして、下の方には礫が混入しており、下から上向きに流れたことがわかります。こういう構造が出来上がるとシルト層よりも砂の透水係数が高いために、繰り返し漏水が発生しやすいと考えられます。
- 実際の現場を見ると同じような箇所でも繰り返し発生していることが確認されます。

## 開削調査

### 『北川で繰返し発生した陥没を伴う噴砂の詳細メカニズム調査』



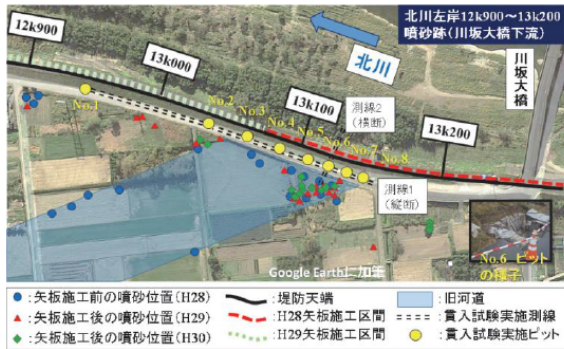
1m手前の断面

- ・ 噴砂孔、陥没の直下には、砂（砂礫層のマトリクス由来）の塊が存在
  - ・ 砂塊は複雑な形状ではあるが、どちらかと言えば縦に砂礫層まで繋がっている
  - ・ 砂礫層境界部の砂塊に礫が混入している（→砂礫層から鉛直上向きに水が流れた）
  - ・ 砂の塊の中にシルトブロックが点在（→シルト層の中に砂塊ができ、拡大する過程）
  - ・ 構造ができると、同じ場所で繰返し発生しやすいと考えられる。
- 貫入試験の結果で、堤防への影響がどうか という調査結果についてです。大規模な漏水が起きている直近箇所 No. 6 では、貫入試験の結果、透水層（礫層）に近い部分でゼロに近い値がたくさん出ています。影響が堤防にも出つつある状況ではないかと推察されます。
  - 遮水矢板の設置により、法尻付近の圧力上昇や漏水量の低減が想定され、噴砂による緩みの進展も抑制しているのではないかと考えられます。
  - このような試験により、最終的にどのようなことにつなげることができるかについてです。
  - 現在想定しているのは、漏水状況を丁寧に記録し堤防の状態と共に堤防の貫入試験結果を積み重ねることで、漏水と貫入試験結果、それらと堤防の状態との関係が明らかになることを想定しています。
  - 将来的には、貫入試験を実施しなくても漏水の状態から堤防の状態を推測することが可能になるのではないかと考えています。
  - 貫入試験だけでなく、開削調査でも同じような話があるのではないかと考えています。

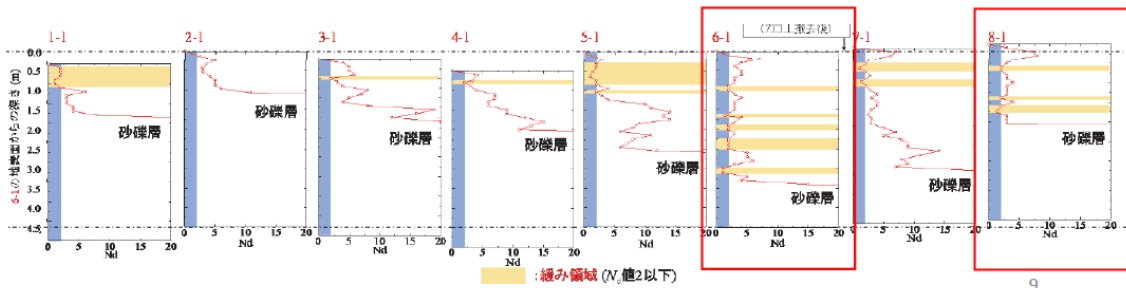


# 貫入試験

『北川で繰返し発生した噴砂による堤内・裏法尻箇所のゆるみ調査』

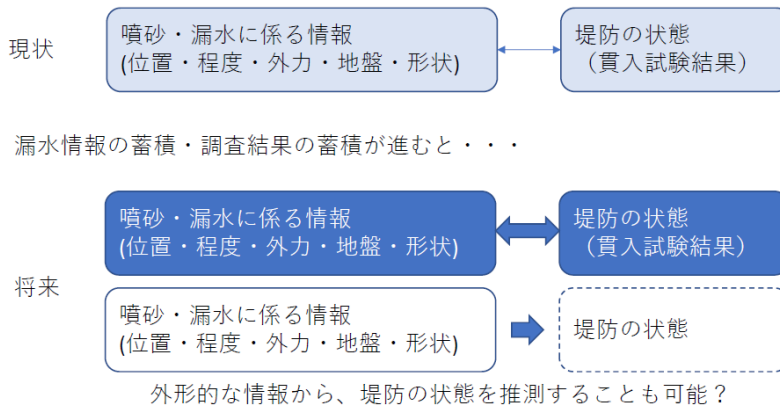


- ・堤内で大規模な噴砂が発生していた箇所付近では、礫層境界付近にゆるみ領域
- ・大規模な漏水が発生していない箇所では、緩み領域が比較的少ない傾向
- ・（浸透流解析の結果から）遮水矢板により、堤防裏法尻の圧力上昇量と漏水流量が低減され、堤内側の圧力上昇を遅延する効果。噴砂によるゆるみ等の進展を抑制したと考えられる



- ちなみに地震に関しては、地整の方々等が開削調査やボーリング調査を多数行って頂いています。
- その結果、地震直後の被災の堤防形状を見れば、浅い所で液状化したものか、深い所で液状化したものか分かり、対策方法もだいたいわかるようになって来ています。
- 浸透対策も蓄積することによって同じ様に可能になるのではないかと考えています。

## 貫入試験 (活用イメージ)



地震に関しては、被災形状と液状化した場所の関係が分かってきている。

→ 被災形状から、浅い液状化（堤体液状化）、深い液状化（基礎地盤の液状化）なのかが、分類できるようになって来ている。

### 3. 物理探査による堤防内部の浸潤過程の可視化

応用地質株式会社 木佐貫寛

- 河川水位が上昇した時の堤防の状態を、電気探査と表面波探査により、堤体内の物性の変化で捉えるという試みの結果を報告します。
- 電気探査は、体積含水率と関連のある比抵抗というパラメータを用いて、堤体内の体積含水率が変化すれば、比抵抗も変化します。
- 表面波探査は S 波速度を用いて、堤体内の体積含水率が変化することで剛性率の変化を評価できるのではないかと考えて検討しました。
- 今回対象とした堤防は、堤体表層は 50cm 程度が粘性土、堤体内は礫質土で構成されています。

## 計測の概要

試験盛土：

堤体表層は厚さ 50cm 程度の粘性土、堤体内部は礫質土で構成されている。

計測手法：

①電気探査：比抵抗

地盤の電気の流れにくさを評価する手法

②表面波(Active)探査：S波

地盤の硬さを評価する手法

計測目的：

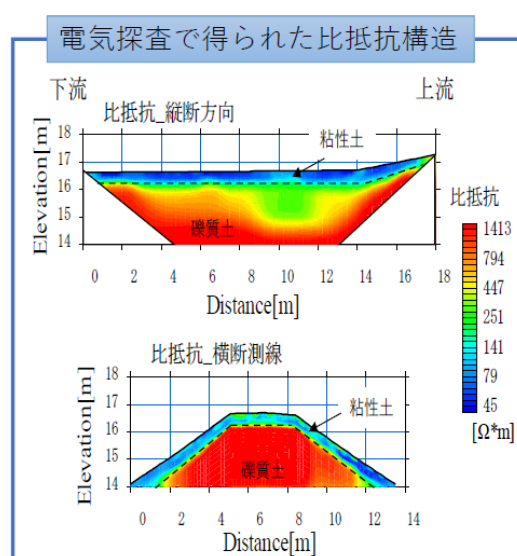
繰り返し計測することによって、堤体内部の物性変化を可視化すること。

**地盤の体積含水率の変化が生じれば、比抵抗・S波速度変化として観測できる。**

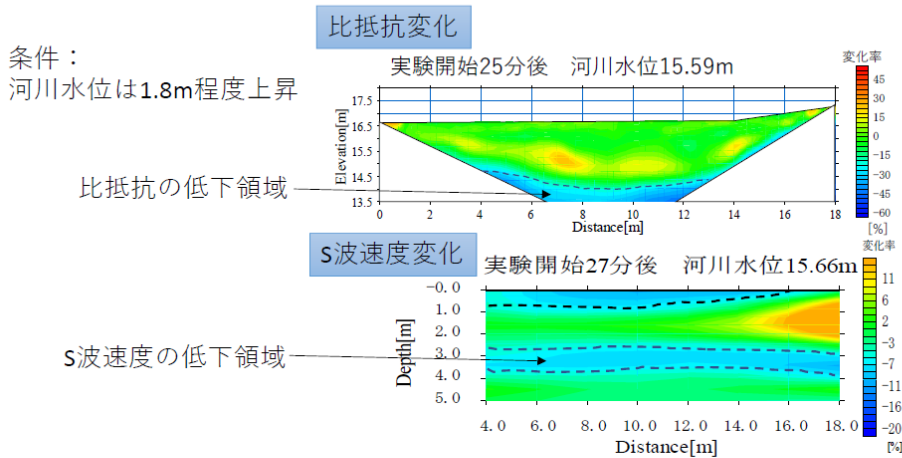
水位上昇にともない、体積含水率が上昇した時：

比抵抗・S波速度ともに低下する。

- 電気探査、表面波探査を同じ場所で繰り返し計測することにより、堤体内で生じた体積含水率の変化を捉えたものです。
- こちらが計測結果です。上が比抵抗の低下した領域だけを示しています。下は S 波速度が変化した領域を示しています。この図を見ると、表面から 2.5m 程度下に比抵抗が低下している領域が見られます。これは体積含水率が上昇した範囲を示しています。
- S 波速度の計測結果では、同一深度で S 波速度の低下領域がこのようにイメージされています。この領域では体積含水率の上昇が生じていると考えられます。
- S 波速度が低下したということを考えると、S 波は剛性率と密度の関数で表され、体積含水率の上昇に伴う密度の上昇と、今回不飽和状態を対象にしているため、地盤の飽和度が上昇し剛性率の低下が生じることによって観測されたと解釈しました。

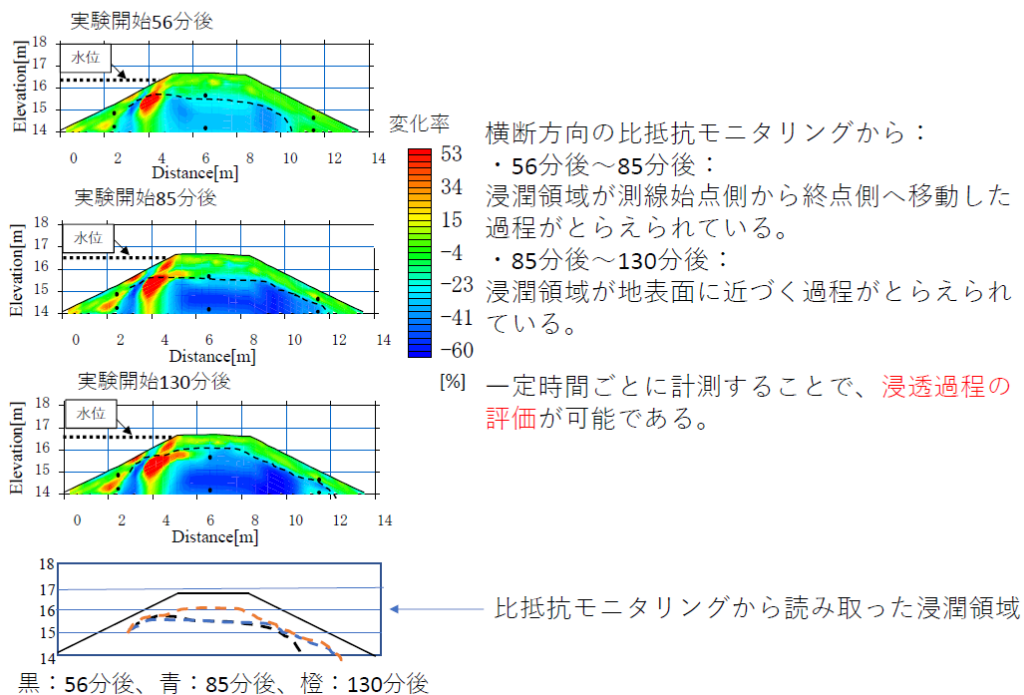


# モニタリング結果例：縦断方向



- ・同一深度で比抵抗・S波速度の低下領域が認められる。  
→体積含水率の上昇が生じている。
  - ・S波速度は、 $V_s = \sqrt{G/\rho}$  (G：剛性率、 $\rho$ ：密度) で表される。体積含水率の上昇に伴う $V_s$ の低下は、密度の上昇、剛性率の低下が生じることによって観測される。  
→剛性率の低下が生じている可能性がある
- このスライドが、横断方向の結果になります。青い領域は水が浸潤していった領域を示しています。同じ図に、浸潤領域を黒の破線でプロットしました。
- 56分、85分、130分と黒破線及び青い浸潤領域が堤内地側及び表面に拡大している様子がイメージングされています。このように比抵抗を一定時間間隔で計測することにより浸透過程の評価が可能であります。

# 観測結果：横断方向



- 最後にまとめです。
- 比抵抗、S波速度のモニタリングは、不飽和地盤における体積含水率の変化によって生じる物性変化を捉えています。
- 比抵抗のモニタリングは、地盤の体積含水率の変化を観測することができ、細く観測することにより、最終的には、ザックリであるが、地盤の透水係数を算出することも可能になるのではないかと考えています。
- S波速度のモニタリングは、地盤の剛性率の変化を観測することができ、堤体の安定性評価に活用できるのではないかと考えています。
- 比抵抗のモニタリングは、電源や機器設置により自動計測は可能であるが、リアルタイムでの解析に課題があります。
- S波速度のモニタリングは、振源が必要となるため自動計測に課題があります。

## まとめ

比抵抗・s波速度モニタリングで観測している現象：

- 比抵抗、s波速度モニタリングでは、不飽和地盤における体積含水率の変化によって生じる物性変化をとらえている。

比抵抗モニタリング：地盤の体積含水率の変化を観測（浸透性評価）

s波速度モニタリング：地盤の剛性率・密度の変化を観測（安定性評価）

実堤防で実施した場合：

例えば、降雨前後で実施すると、

比抵抗モニタリング→相対的に透水性の高い領域（浸透領域）の抽出

電源や機器の設置場所が必要であるものの、自動計測は可能（一定間隔でのデータ取得が可能）。リアルタイムでの解析は課題である。

s波速度モニタリング→降雨イベントによって地盤の剛性率・密度変化領域を抽出

振源が必要となるため、自動計測に課題がある。

4. 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨における鬼怒川上山川地区堤防と地下水動態について  
利根川上流河川事務所 古河出張所（元 下館河川事務所） 青木裕
- 平成 27 年 9 月関東・東北豪雨において、鬼怒川上山川地区堤防で基盤漏水が発生しました。
  - 冬季の河川水位が低い時に 15 日間無降雨の状況において、漏水対策工として川表側法尻の遮水矢板工を施工後、川裏側にドレーン工設置のための基礎地盤開削中に湧水を確認しました。
  - 湧水発見時の状況から、川表側以外から供給された水によって湧水が発生したのではないかと考えました。
  - 漏水対策工の効果検証と湧水供給源解明のための調査計画を立案し検討しました。

## 1. 本調査の背景と目的

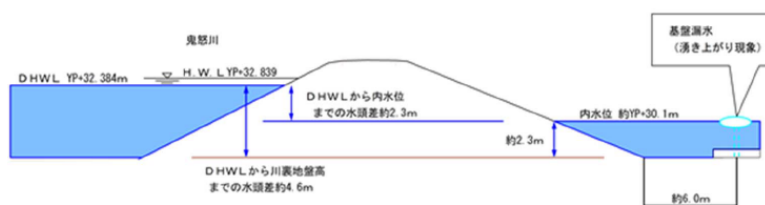
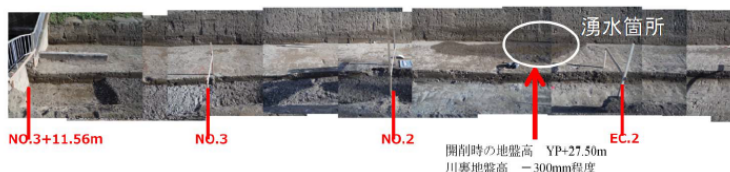
- ◇ 平成27年9月関東・東北豪雨において、鬼怒川上山川地区堤防で基盤漏水発生。
- ◇ 漏水対策工事の施工中、遮水矢板打設後に川裏基盤から湧水を確認。
- ◇ 基盤漏水の要因は、河川水だけでなく堤防裏側台地等からの地下水供給の可能性。
- ◇ 本調査では、漏水対策工の効果検証と、地下水動態解明のための調査計画を検討。



被災時の鬼怒川(上山川地区)の状況



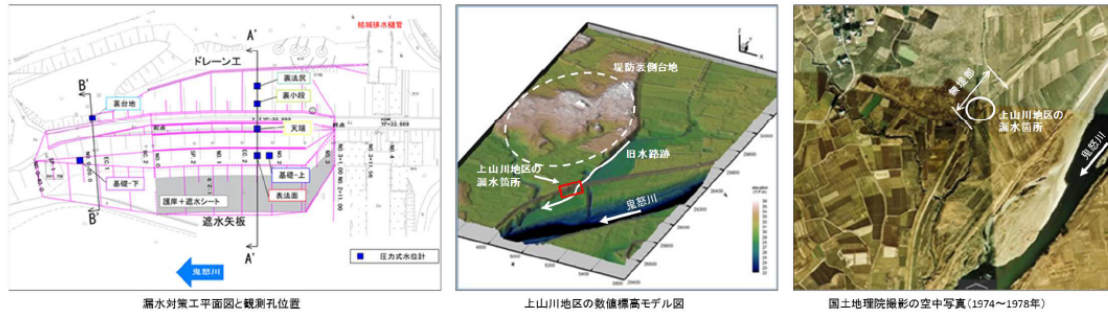
漏水状況(内水湛水面に湧きあがりの湧が発生)



- 現地の地形状況ですが、地理院の空中写真を見ると、この漏水箇所は 1970 年代まで無堤部で、中央部を水路が流れていたいわゆる旧川跡であること、堤防と水路に接するように堤防との比高差 3m 高い台地が隣接していることから、降雨が集まりやすいこと、台地からの地下水が流れこみやすい地形条件にあることがわかりました。

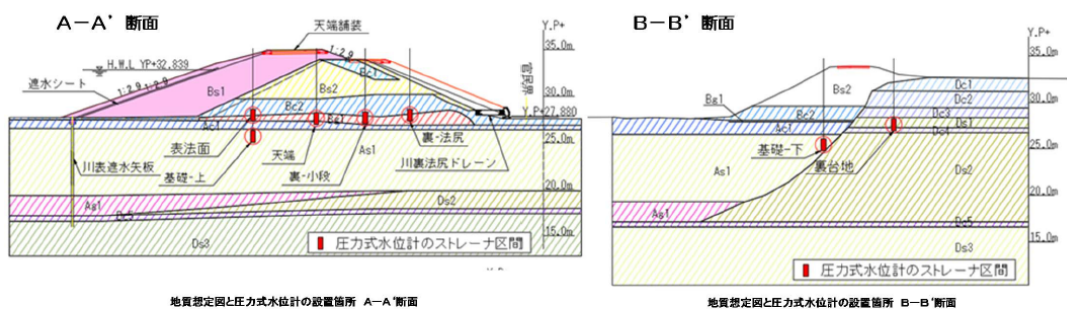
## 2. 周辺地形と過去の改変履歴

### 検討には「現地の地形情報が重要な判断材料」と考えた



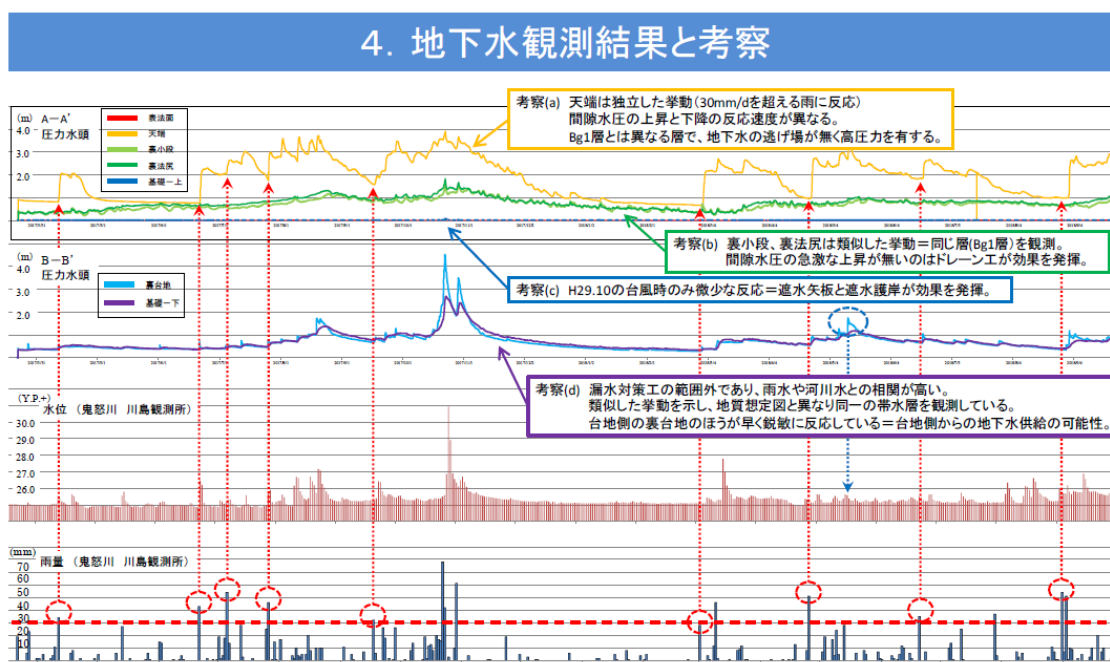
- ◇ 漏水箇所付近は、堤防が整備される以前は水路が流れ複雑な地質。
- ◇ 数値標高モデルから、漏水箇所と堤防裏側台地では約3mの地盤標高差を確認。
- ◇ 堤防裏側台地から堤防に向かい旧水路跡を通じて地下水が供給されている可能性。
- 既往のボーリングデータから地質の想定図を作成した結果、基盤層である Bg 層という礫層から水が供給され湧水が起こったのだろうと想定し、この層を狙って部分ストレーナによる圧力式水位計を横断方向に設置し、堤体内の圧力水頭を計測しました。
- この A-A'断面が漏水対策工を実施した断面ですが、この断面の下流 30m の無対策のすりつけ部分に B-B'断面をとり、横断方向の 2 箇所（台地の Ds 1 層と沖積基礎地盤の As 1 層）にストレーナによる圧力式水位計を設置し、圧力水頭を計測しました。

## 3. 堤体の地下水状況観測



- ◇ 地質想定図を作成し、被災メカニズムはBg1層とAs1層からの基盤漏水と想定。
- ◇ 漏水対策工事後の堤防に、部分ストレーナによる圧力式水位計を設置。
- ◇ 観測位置は、漏水箇所のA-A'断面と、川裏台地に近いB-B'断面とした。
- ◇ 測定結果は、各帯水層毎の圧力水頭としてグラフ化し、観測箇所直近の水位・雨量観測所のデータと比較して相関性を確認。

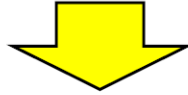
- 当初、圧力水頭の計測結果を、圧力計の設置高を加えたピエゾ水頭として整理していましたが、それだと河川水位が低いにもかかわらず堤体内水位が高いグラフとなり、現実的に考えづらいグラフとなったことから、事務所内で議論した結果、位置水頭を加えず、まずは圧力水頭そのものでグラフを整理した方がわかりやすいのではないかということになり、各観測地点の結果を重ねてグラフを作成してみたところ、いろいろ見えてきた部分がありました。
- まず、遮水対策工を実施した断面の Bg 層の遮水工に近い箇所での計測結果については、降雨・河川水位に関わらずほとんど圧力水頭が変化せず洪水時にわずかに変化しただけであることから、遮水工が効果を発揮していることが確認されました。
- 川裏のドレーン工の近傍箇所は、降雨により圧力水頭は少し上がるが、必要以上に上がらずその後徐々に低下することから効果を発揮していると確認されました。
- 天端中央の観測は異なる挙動を示し、非常に高い圧力水頭を有しており、河川管理上は気になる事象となっていることが確認されました。
- 遮水対策工を実施していない箇所は、降雨・河川水位との相関が高く、かつ裏台地側の観測値が若干早く鋭敏に反応していることから、台地側からの地下水供給の可能性が考察されました。



- 堤防裏台地からの地下水供給と、堤体内高圧力帯水層の把握には、三次元的な地質構造を明らかにする必要があり、ボーリングの追加調査による地質・水位観測、地下水の流向流速試験などを行い、対策工の検討に繋げていく予定であります。
- 将来的には、同様の地形条件下にある河川・堤防のチェックに活用できるように展開できればと考えています。

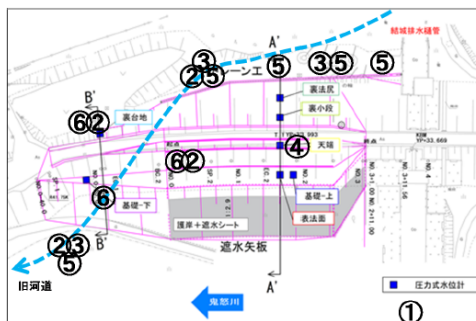
## 5. 得られた成果と今後の課題

- ◇ 考察(a)より、Bg1層とは別の**高圧力帯水層が存在している**可能性が高い。
- ◇ 考察(b)(c)より、**漏水対策工が効果を発揮していることが確認**された。
- ◇ 考察(d)より、地質想定図と異なり同一の帯水層を観測している可能性がある。  
また、台地に接している観測孔のほうが早く鋭く反応している事から、**台地側からの地下水供給により高い影響を受けている**可能性がある。



- ◇ 堤防裏側台地等からの地下水供給と、考察(a)の堤体内高圧力帯水層の把握には、最終的に三次元的な地質構造を明らかにする必要がある。
- ◇ そのために、今後必要となる調査計画を検討・実施し、得られた知見を整理することで、三次元的な地質構造を把握し、**堤防裏側からの地下水供給に対する堤防の安全性確保のための対策を検討**する。
- ◇ また、**今後の追加調査を含めて、漏水被害の地下水動態を解明するための調査・計画の一つの方法として示す**ことが出来る。

## 6. 今後の調査計画(案)



### A 地下水供給源の解明

- ① 簡易水位計を当該地（鬼怒川）に設置  
→ 原位置の河川水位と地下水位の相関を確認
- ② 地下水の流向流速試験（4箇所）  
→ 川裏と旧川跡の地下水供給を確認
- ③ 漏水箇所の表土湿潤状態の観測（3箇所）  
→ 地下水供給源と湿潤箇所の関連性を確認

### B 高圧力帯水層の要因解明

- ④ 観測孔への注入排水試験（1箇所） → 帯水層の透水性と分布状況を確認
- ⑤ 旧川跡・漏水跡で簡易ボーリング（5箇所） → 試料採取し透水性等を確認
- ⑥ 堤体に追加ボーリング（3箇所） → 地質想定図の補完と堤体内水位の観測

< 司会 >

最後にキタックの佐藤さんから話題提供頂きます。これは今回の河川シンポジウム投稿論文ではなく、昨年12月の堤防シンポジウムの投稿論文です。堤防シンポジウムで発表されたものが、今回のOPSに参考になると考え、話題提供をお願いしました。ではお願いします。



5. 旧河道の地下水分布と堤防周辺の基盤漏水発生箇所の関係

株式会社キタック 佐藤豊

- 堤防の基盤漏水は旧河道と関係性が高いと考えられることから、①旧河道区分と基盤漏水発生の関係、②地形分類と地下水分布の関係、③旧河道及び氾濫源の土質、透水性との関係、の3つの視点から検討しました。

1. 研究目的

既往研究<sup>1)</sup>では、千曲川の飯田地区の地下水水位観測データから、旧河道部分で地下水水位が高く、河川水が旧河道を通して浸透していることを示した(図-1)。ここでは、他の河川の地下水水位観測結果から地下水コンター図と地形分類図とを重ね旧河道部分の地下水分布の特性を把握し、堤防周辺で発生する基盤漏水発生箇所との関係を検討した。

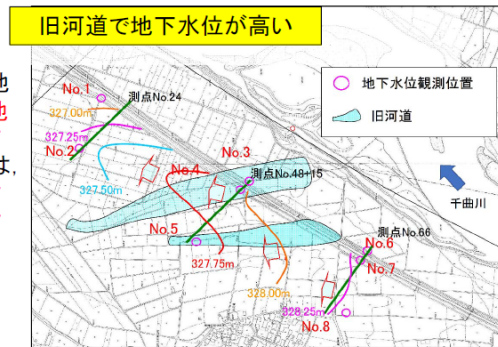


図-1 千曲川飯田地区の地下水コンター図

2. 検討方法

(1) 旧河道の区分と基盤漏水の関係

空中写真判読による旧河道分布を反映した地形分類図の作成し、旧河道の連続性、蛇行幅、河幅等から区分し、漏水発生箇所との関係を検討<sup>1)</sup>

(2) 地形分類と地下水分布の関係

堤内地側で観測した地下水水位データを上記地形分類図と重ね、面的な地下水分布を整理し、地形分類との関係を検討

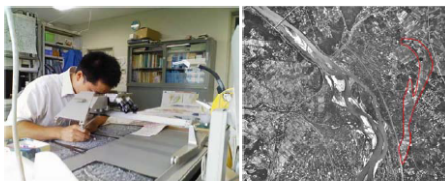
(3) 旧河道及び氾濫原の土質、透水性の把握

堤防裏のり尻付近の土質縦断図を作成し、旧河道、氾濫原の土質構成、透水性を把握し、漏水発生箇所との関係を検討<sup>2)</sup>

1

- 千曲川の事例では、治水地形分類図(初版)の旧河道の記載を精査し、蛇行状の連続した旧河道で基盤漏水が発生していることが確認されました。

3. 結果 (1) 旧河道の区分と基盤漏水の関係



立体鏡による米軍撮影の空中写真判読

飯山盆地における千曲川は、断層に規制されながら流れが変化している(図-3中の黄色矢印)。

基盤漏水発生箇所は、蛇行状の連続した旧河道で発生している。

★ 基盤漏水発生箇所

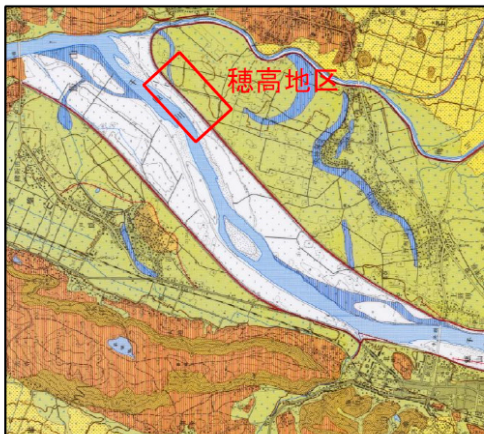


図-2 治水地形分類図(初版)国土地理院

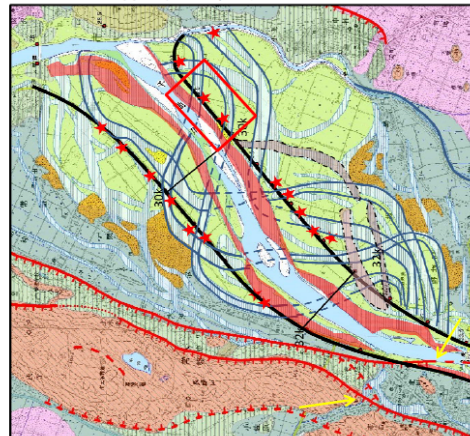


図-3 旧河道分布を反映した地形分類図<sup>1)</sup> 2

- 信濃川須田地区の地下水位変動の把握事例では、河川水位と連動した旧河道近傍の地下水の変動を確認し、河川から旧河道に流れ、周辺に地下水が流れる構造となっていたことが確認されました。

(2) 地形分類と地下水分布の関係

【信濃川前須田地区の事例】

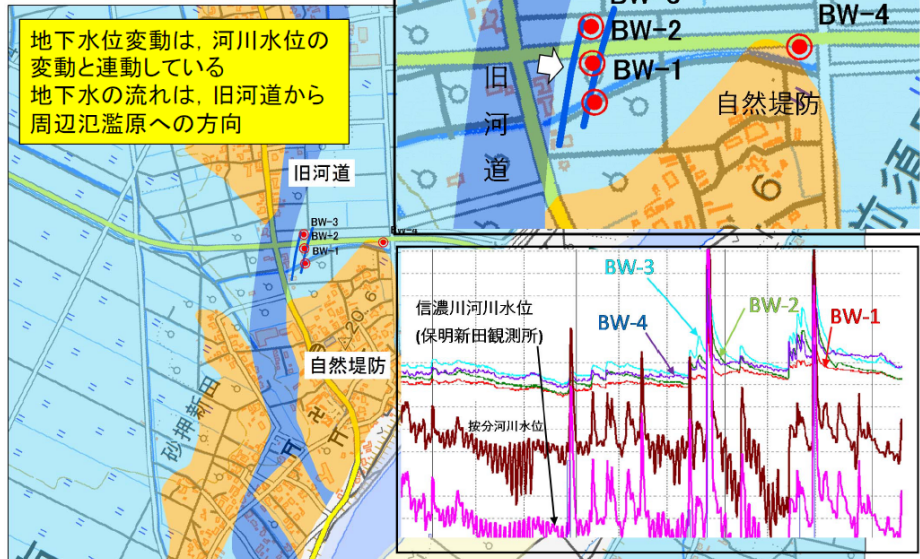


図-4 信濃川前須田地区の地下水位変動図<sup>3)</sup>

3

- 五十嵐川の事例では、地下水コンターを見ると丘陵から下流への地下水の流れがあり、扇状地と氾濫原の境界部分に地下水コンターの尾根が形成され、尾根の透水性の高い扇状地と透水性の低い氾濫原の境界部で圧力が高まり漏水が発生しています。H23年の漏水では冷たい水の漏水が確認されており、丘陵からの地下水が漏水していると推測されます。

(2) 地形分類と地下水分布の関係

【五十嵐川の事例】

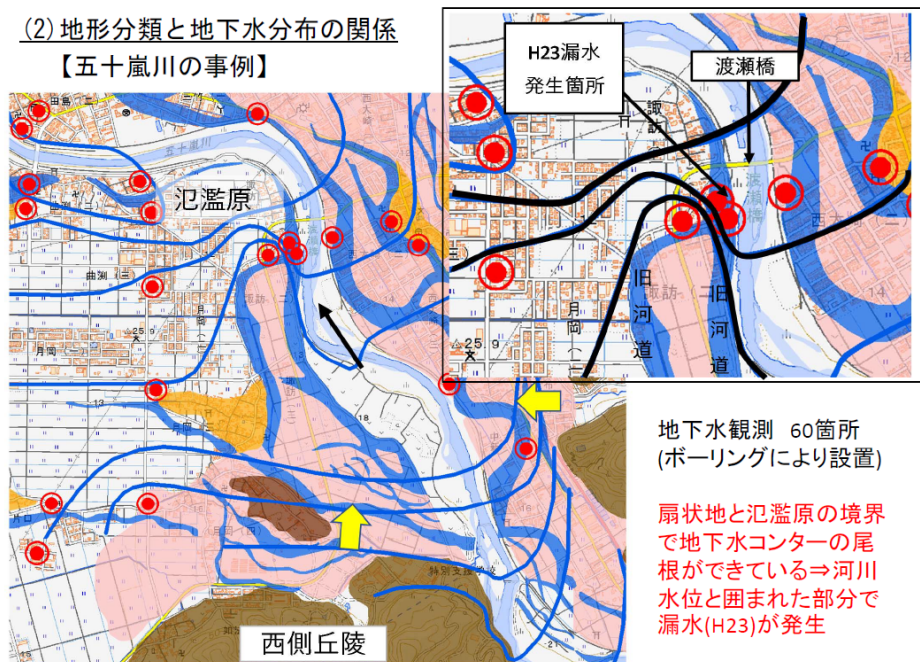


図-5 五十嵐川の地下水分布図<sup>3)</sup>

4

- 千曲川山王島の事例では、S58年に堤防裏法尻で漏水が発生、その後に堤防に隣接する形で高速道路盛土が施工されましたが、道路盛土の法尻でH18年に再び漏水が発生しています。当時の遮水矢板は旧河道を塞ぐことができておらず、旧河道沿いの地下水が遮断できていないことによるものと推測されます。水位差によって影響が伝播する範囲が決まります。過去の調査結果の整理によれば、7~8mの水位差で150mが影響範囲で漏水が発生します。

■旧河道沿いで繰返し発生した基盤漏水【千曲川山王島】

S58漏水は、当時の堤防裏のり尻付近で発生  
 その後、高速道路盛土施工、H18漏水は、道路盛土のり尻付近で発生  
 ⇒旧河道沿いに地下水が流れる(水圧伝搬の影響が大きい)

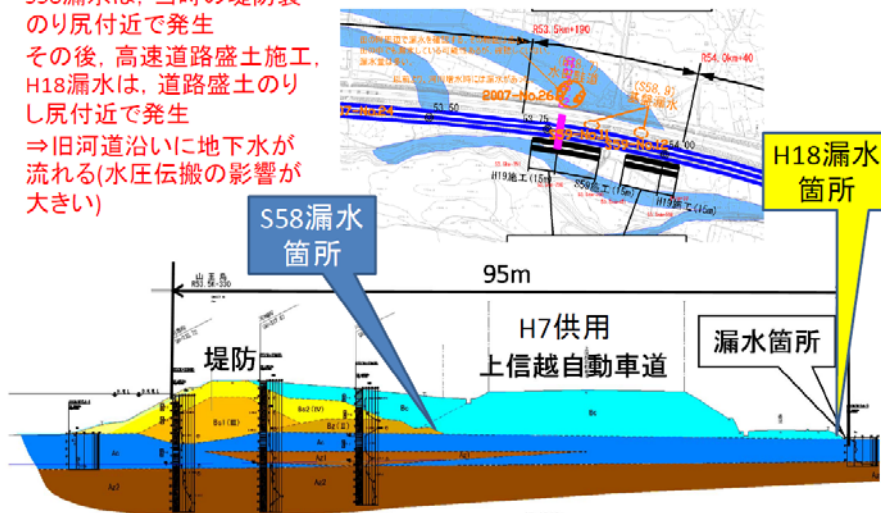
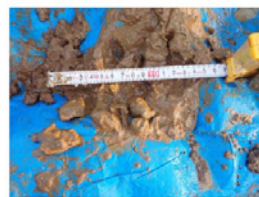


図-6 山王島地区の漏水発生位置<sup>4)</sup>

5

- 千曲川穂高の事例では、旧河道ではスウェーデン式サウンディング試験の貫入が深いということに着目して、当該箇所をオーガーボーリングすると旧河道堆積物と思われる透水性の高い砂礫の分布が確認されました。H.W.L と地盤高の差が大きい旧河道において漏水が発生していることが確認されました。この場所では、表層が粘土、下層が砂礫ですので、噴砂は発生せず、漏水のみが確認されました。

(3)旧河道及び氾濫原の土質、透水性の把握 【千曲川穂高】



旧河道には、表層粘性土に深に透水性が高い砂礫(Rg)が分布する(ルーズでサウンディングの貫入深度が深い)

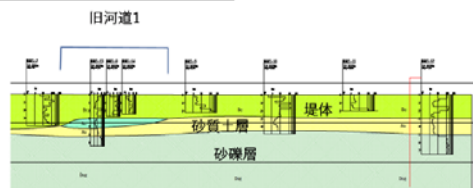


図-7 旧版治水地形分類図とスウェーデン式サウンディング試験による土質縦断面図<sup>2)</sup>

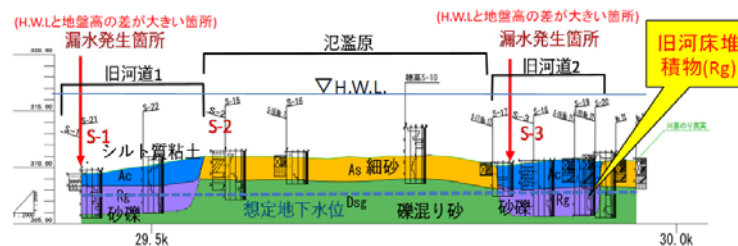


図-8 オーガーボーリング、換土杖調査を加えた堤防裏のり尻付近の土質縦断面図<sup>4)</sup>

6

- 最後にまとめです。
- 基盤漏水の発生箇所の予測には、旧河道分布を反映した地形分類の作成と地形分類毎の表層土構成の把握が重要であります。また、裏法尻付近の地盤高（河川水位との差）も重要な要素であります。表層土質構成の把握には、非破壊探査技術の向上も望まれます。
- 今後の展開としては、堤内地側の面的な地下水分布の把握により、降雨パターンに応じた地下水分布の面的な応答を把握し、堤防への影響を評価することが望まれます。

## 4. まとめ

### 1)調査の重要性

基盤漏水の発生箇所の予測においては、**旧河道分布**を反映した地形分類の作成、**地形分類ごとの表層土質構成の把握**が重要である。また、裏のり尻付近の地盤高(河川水位との**水位差**)も重要な要素である。

⇒表層土質構成の把握には、**非破壊探査技術の向上**が望まれる。

### 2)今後への展開等

堤内地側の面的な地下水分布の把握により、**降雨パターンに応じた地下水分布の応答を把握し、堤防へ及ぼす影響を評価**することが望まれる。

⇒五十嵐川の観測事例(河川水からの影響だけでなく、周辺丘陵からの地下水供給の影響を受けた漏水を評価する方法)

## 6. 会場および話題提供者とのディスカッション

司会 中央大学研究開発機構 田端幸輔

司会：

提供話題の着眼点としては、堤防破壊のきっかけとなる危険な状態の見極めで、そのためには水理的・地盤的要因を解明し、具体策、設計、評価につなげていくことが狙いであると感じました。現場管理においては、設計の前段階として概略の評価手法が重要と考えています。現在の評価手法やデータだけでは、評価の確度が低いことから、質の高い現地調査データを蓄積することで、正答率を高めていく必要があるという考え方があります。もう一方で、現地調査を通して、評価手法そのものを改善していくという考え方もあるかと思えます。

全体討議に際し、以下の3点について会場のご意見を賜りたいと思います。

- ① 現地調査（被災調査）の集約、評価・設計への還元を機能させる胆は何か？
- ② メカニズム解明、評価法の改善（確立）に必要な調査観測技術は？蓄積すべきデータは何か？
- ③ 模型実験、解析技術との相互補完の方向性は？

# ディスカッションの前に(論点の整理)

## 提供頂いた話題に共通する事項

調査内容:

- 堤体, 基盤層の土質, 構造の把握
- 堤体内水位の計測

狙い:

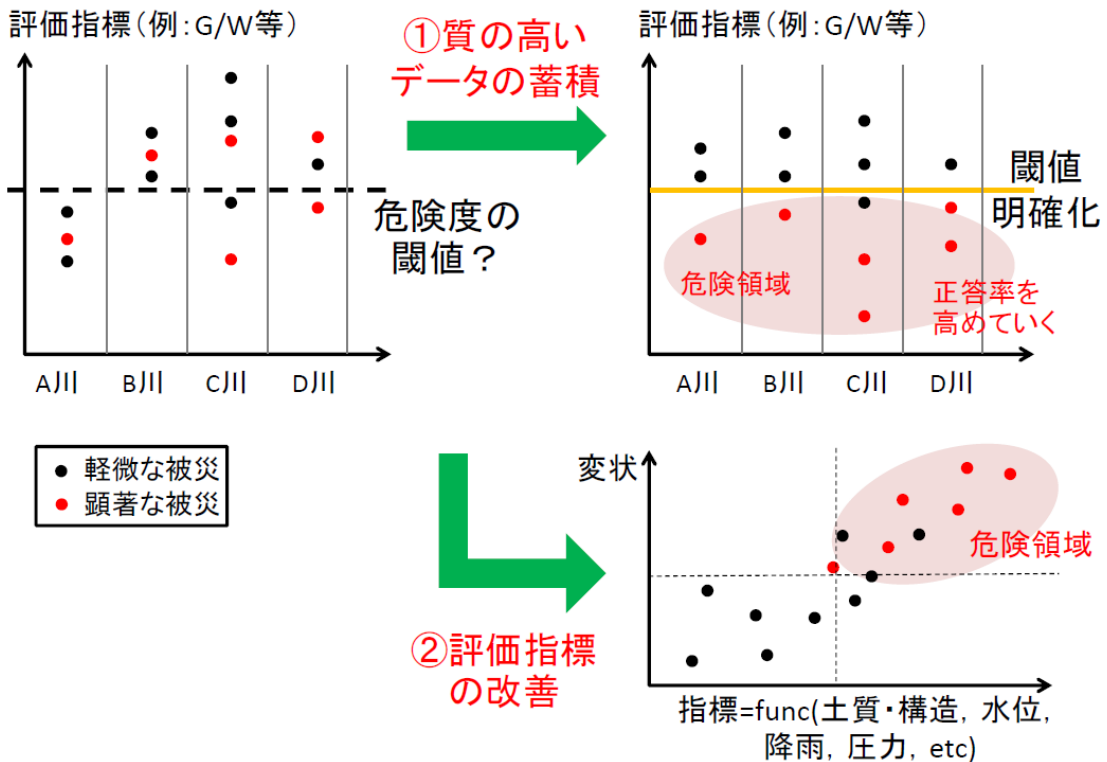
- 堤防破壊のきっかけとなり得る危険な状態を引き起こす地盤的・水理的要因を解明し, 具体の対策, 設計, 評価に繋げる.



まずは, 信頼できる「評価法」が必要ではないか?

- 「評価法」・・・概略(指標), 縦断, 実績洪水外力
- 「設計法」・・・照査(安全率), 断面, 設計外力

## ディスカッションの前に(現地調査→評価法へのイメージ)



## ディスカッションの論点(案)

**現地調査・観測が、堤防の浸透破壊メカニズム解明、危険箇所評価技術に果たす役割、今後の期待**

- 現地調査(被災調査)の集約、評価・設計への還元を機能させる胆は何か？
- メカニズム解明、評価法の改善(確立)に必要な調査観測技術は？ 蓄積すべきデータは何か？
- 模型実験、解析技術との相互補完の方向性は？

司会：

まず、「①現地調査(被災調査)の集約、評価・設計への還元を機能させる胆は何か？」について、お願いします。石原さんいかがですか？苦勞して現場との信頼関係を築かれたと思うので。

石原：

現地調査の集約について、地震については地整や事務所でかなり進められているが、浸透に関しては地震ほど積極的に推進されていないと感じています。これを少しでも進めてもらうにはどのようにしたらよいかが、私の一番の問題意識です。

このような状況の中、なるべく押しかけて自分で調査することもあるし、直談判してお願いすることもあります。質の高いデータが蓄積されると、評価・設計への還元が進むと思います。

司会：

現地調査に協力する上で、現場を提供する立場から意見ありませんか？下館河川事務所の青山所長いかがでしょうか？

会場(青山下館河川事務所長)：

事後の解析だけでよいのか、事前に検討する必要はないのかという問題意識でこのような議論テーマが設定されていると思う。その観点からは、基本的に1、2次スクリーニングのような考え方が必要と考えています。現地調査の集約については、すべてのデータを取りそろえることは困難なので、まずは基本的なデータの中から1次スクリーニングを行う。その中で危険なものが見つければ、2、3次スクリーニングを進めていく。この過程で必要となるデータを次々と補完していく方法が現実的と感じています。

石原：

ご指摘の通りで、すべてを調査することは厳しい状況だと思います。現時点では、この現象に対してはこの調査を実施すべきといった指針・手引きは整備されていない状況なので、そういったものがあれば、事務所としても動きやすいということでもよろしいでしょうか？

会場（青山所長）：

被災調査の面からすると、災害復旧が必要な場面や明らかに堤防が壊れた場面では、被災の原因をある程度特定して写真や被災状況を登録するシステムは一応あります。これをもっと機能させて、データベース化して活用できる形をとっていければ良いと考えています。

諏訪：

ありがとうございます。被災や大きな変状があれば、調査の依頼が我々のところに来るのですが、もう少し軽度な場合でも、取得できるデータはあると考えていて、そういう時に依頼すると迷惑に捉えられてしまうのでしょうか？忌憚のないご意見をお願いします。

会場（青山所長）：

現地状況もクラウド化して見られるシステムが整備されつつあり、変状の状況は割とビジュアル化して共有できるシステムが進んできています。ここで、司会からの「胆は何か？」に触れると、河川管理者である現場技術者が、以上のデータにどのような見方・観点で、いかに真摯に向かい合うかが胆であると考えています。

諏訪：

調査に来てくれた時に、現場に役立つ結果を出してくれたときには本当にありがたいと思うが、結果を出してくれない・現場で使い方がわからない結果だという場合には、また来て欲しいと思うのが難しいということでしょうか・・・。

司会：

ありがとうございました。「②メカニズム解明、評価法の改善（確立）に必要な調査観測技術は？蓄積すべきデータは何か？」も含めて議論したいと思います。現場の管理につなげるときに、佐藤さんや青木さんより面的な計測の重要性として旧河道の場所や地下水の供給源が大事であるといった発表がありました。これについて賛同している、あるいはもうちょっとこういう観点でやった方がいい等の意見があれば頂きたいと思います。

諏訪：

補足すると、現地調査によりデータを収集するに際して、研究者だけが満足している状態になっていないか？現場の方々も「現地調査をやってよかった」と感じてもらえているか？という点が確認できればと思います。

会場（中央大学 福岡先生）：

前の議論にあったように、できるだけ現地調査の機会を作って欲しいというのはその通りだと思うが、残念ながらこれまでの堤防の研究は、現場にとってすぐに役立つ方向性を出しているかどうかについてそろそろ反省の時期に来ていると言える。例えば、噴砂や漏水が発生した際、現場は本当に危ないかどうかを知りたい。現場は調査する理由をしっかりと持たないといけないし、今後、堤防の整備や河道との関係をどうするのかについて常に考えなければならない。研究に価値があるか否かについて、研究者は現場と徹底的に話しをしないと続いていかない。新しいことが分かってくると非常に良いと言うが、こういうことが分かったからといって堤防が危険だと言い切って良いかどうかは未だによく分からない。

計測すればいいというだけではなく、解析技術や模型実験との相互補完の関係を含めて、しっかりと議論する時期に私たちはいるということ、ディスカッションの本論にしてもらわないといけない。そうでないと、調査の結果こうで、このときはこんなことが起きましたという報告だけで終わってしまう。堤防に関しては、現地調査を今後どういうふうに関与させることができるのかについて、具体的に入っていないといけない状況にあると思います。

会場（名古屋大学名誉教授 辻本先生）：

今の福岡先生の意見に私も同意します。今日の話の中で、破堤の兆候と言われた噴砂が、破堤原因として発生しているのか、破堤とは無関係のこととして発生しているのか、現地調査結果はこれらの発生原因を区別せずにまとめている点が気になりました。（噴砂が本当に破堤の原因なのか？）

評価・設計への還元とあるが、設計では定規（計画堤防）断面を設定して、浸透に対する照査を実施してきたと思います。今回、せっかく例えば比抵抗や S 波のデータを測っているのに、これらのデータをなぜ照査に含めていかないのか。例えば、不飽和浸透の解析に与えてどれくらいの安全率になったのか、または動水勾配と材料との関連でどのような閾値を採用すべきか？といった流れにもっていかないといけない。比抵抗については、含水比の高まりを示しているが、堤防内で不飽和浸透が上がってきて、透水係数の高いところに水が集まってきたという仕組みを照査の中で不飽和浸透解析ができるはずなのに、このような突き合わせがなぜできないのか？

還元を機能させる胆としては、照査で考えている仕組みをより発展させて、ここでの計測結果と結びつけるということもぜひ必要だと思います。

諏訪：

ご意見ありがとうございます。私ども企画者が、話題提供内容を観測に絞ったため、ご意見の内容がプレゼンに含まれていない面もあります。木佐貫さん、コメントありますか？

木佐貫：

ご指摘の内容について実施したい思いはありながらも、物理探査が専門であるため、これまでできていませんでした。他者とタッグを組んで進めていきたいと思っています。



諏訪：

不飽和浸透流解析を計測結果と結びつけるという指摘に関連する取り組みとして、地盤工学委員会の堤防小委員会の中に浸透再現 WG があり、不飽和浸透流解析のシミュレーションの再現性について検討が実施されているので話題提供いたします。新清さん話題提供をお願いします。

新清：

堤防研究小委員会の WG の 1 つで、堤防内部における浸潤線の解析精度をどこまで高められるかに着目して活動しています。今回対象としたのは、阿武隈川の枝野地区です。同地区は、東日本大震災において液状化により堤防が壊滅的な被災を受けましたが、被災後に基礎地盤をセメント改良しその上に一気に築堤をしています。このため基礎地盤部分の透水条件が明確で、築堤材料もほぼ同一であるなど解析する上で、不明な条件が少ないという理由から、今回の検討対象として選定しました。

2019.6.12

2019河川技術シンポジウム

## 堤防研究小委員会 WG2: 堤体内浸潤線の再現

### WG活動で得られた知見

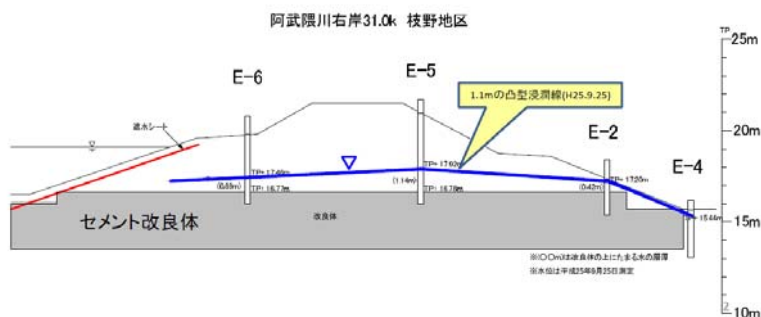
WG2リーダー 新清 晃(応用地質)



### 堤体内浸潤線の再現WGの活動目的

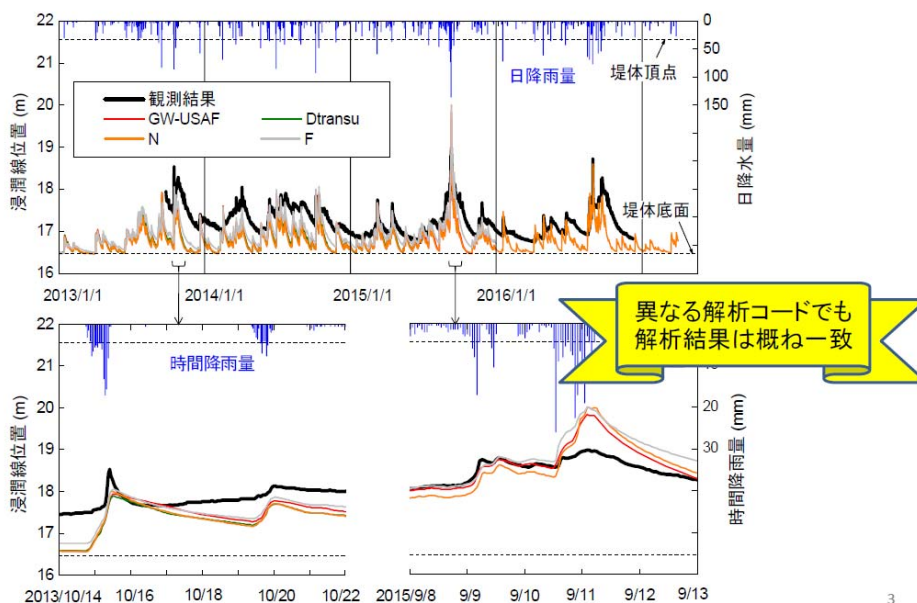
活動目的: 平常時の堤体内浸潤線の再現性を向上

検証現場: 阿武隈川枝野地区 (R31k付近)



解析条件は統一した上で、複数の解析コードによる結果を示します。解析結果が実測値と合っているかというよりは、複数の解析コードによる結果のばらつきに注目すると、ほぼ似たような結果が得られました。

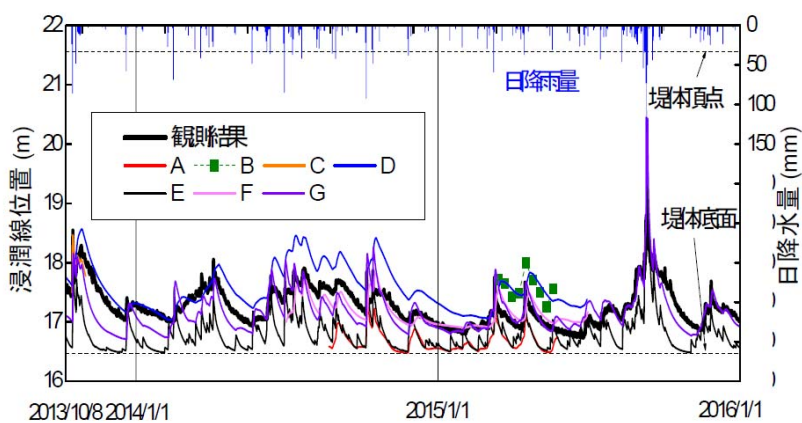
### 解析条件を統一したケースで結果が合うか？



3

解析条件を統一しないケースで、実測値をどの程度再現できるかに着目しました。いずれの解析コードにおいても実測値に近い結果は得られているが、完全に一致はしていません。

### 解析条件を統一しないケースで実測値を再現可能か？



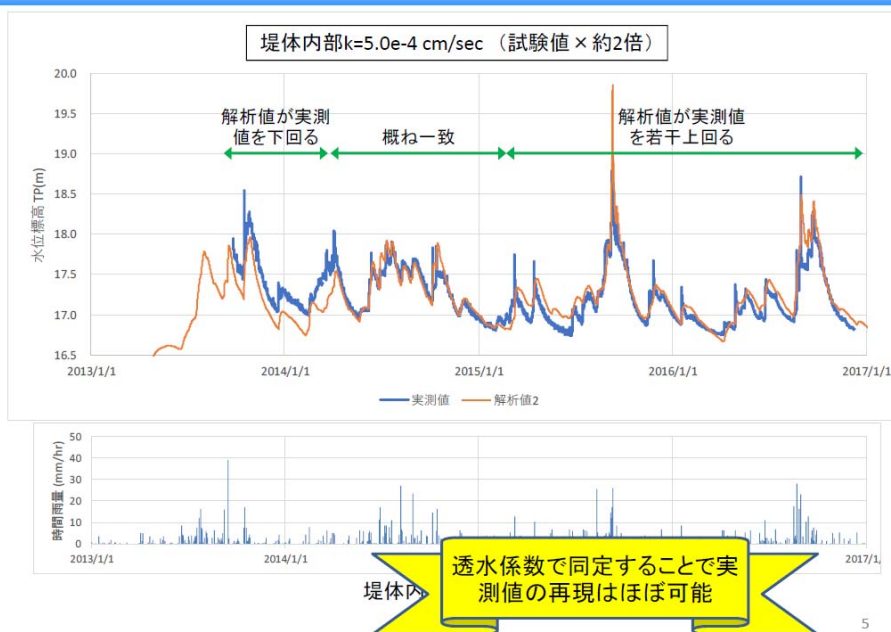
透水試験は室内と原位置の2種類が存在し、どちらを使うかは解析者が判断

水位変化は概ね再現可能であるが、ピッタリにはならない

4

ただし、現地水位を用いて同定することで、実測値と解析値はほぼ一致する結果が得られました。様々な解析コードがありますが、条件を統一すればおおむね同じ結果が得られ、また、現地の適切な水位観測結果で同定することで、堤体内水位の予測精度は向上しました。

### 長期解析結果事例



### 堤体内浸潤線の再現WGの知見

1. 解析コードが異なっても概ね同じ結果となる(解析条件統一)
2. 試験により求めた透水係数を用いることで、実測値を概ね再現可能であるが、詳細にはズレがある(ピーク時刻等は概ね合うが、絶対水位にズレ)
3. 実測水位があれば、再現性を高めることが可能
4. 築堤履歴が複数存在する場合は、地下水位観測井の位置と深さに注意が必要(堤防中心部の水位だけ計測しても再現性は向上しない)

司会：

予定の時間がきてしまいましたので締めたいと思います。

現地で観測を行うことによって、今後の評価や設計に関連させるという点では、今まで見落としてきた土質の構造やどのような状態が危険になるか分かったことを、評価・設計にうまく結びつけていかなければならないといったご指摘をいただいたと思います。

諏訪：

ディスカッションの時間が不足してしまいました。こういう(①計測するだけでなく、解析技術や模型実験との相互補完の関係を含めて、しっかりと議論する時期に私たちはいるということを、ディスカッションの本論に据えて議論する。②現地調査を今後どういふふうに役立てることができるのかについて、具体的に入っていないといけない。等) 議論をすべきだという助言まで頂いたのに消化できずにすみませんでした。幸い、シンポジウムはあと 1 日半ございます。この後の時間でしっかりディスカッションをさせて頂きたいと思いますので、引き続きよろしくお願ひします。

以 上