

地下水観測孔の状態とストレーナータイプが与える 流向流速測定結果への影響

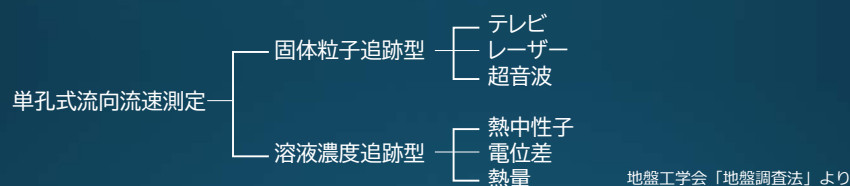
Influence of groundwater observation borehole conditions and strainer type on flow direction and velocity measurements

- 都築孝之(日本物理探鑛株式会社)
- 竹内篤雄(自然地下水研究所)
- 宮崎基浩, 原澤剛史(芙蓉地質株式会社)
- 岩瀬信行, 五十嵐慎久(キタイ設計株式会社)

1

はじめに

- ・単一の観測孔を利用した地下水の**流向流速**を調べる方法



- ・いずれも、**観測孔内**を流れる地下水の速さを測定
- ・**地盤内**を流れている地下水の速さ(**ダルシー流速**や**真の流速**)ではない
- ・測定値からダルシー流速への**変換**が必要

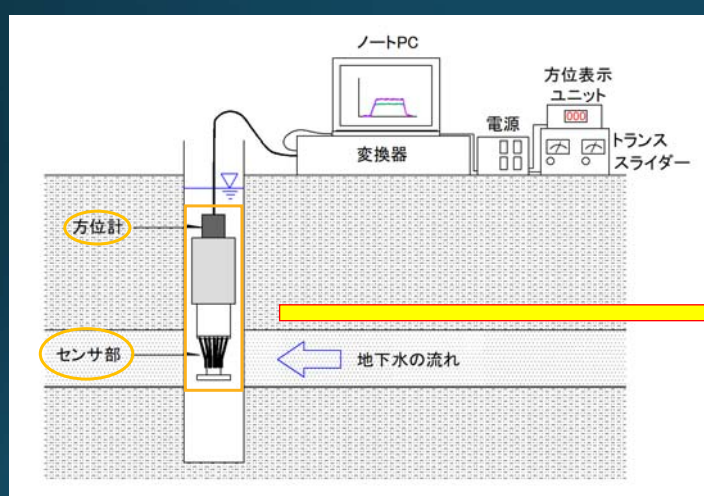
2

単孔式加熱型流向流速計(FDV)

- ・今から約30年ほど前，京大防災研竹内篤雄博士らにより開発された**熱量法**による測定器
- ・測定可能な地下水流速 $10^{-2} \sim 10^{-5}$ m/s ($1 \sim 10^{-3}$ cm/s)
- ・センサを**加温**した際の**温度変化**から流向・流速を求める
- ・φ5～φ6丸穴ストレーナーの開孔率1%，5%，8%，10%，13%，15%，20%に対して，**ダルシー流速への変換式**が与えられている

3

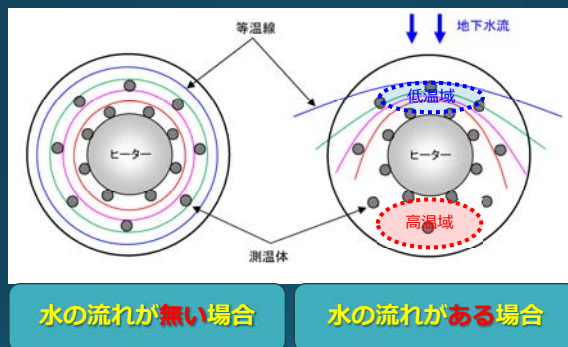
FDVの構成



センサ中心にヒーターがあり，その外周に測温体が張り付いているのが特徴！

4

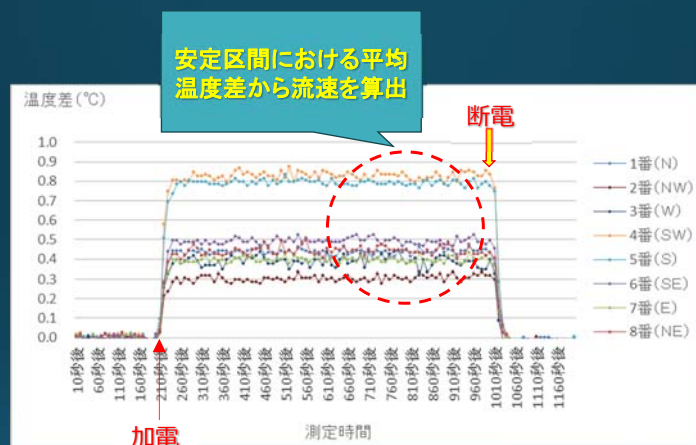
FDVの原理



センサー周辺の温度分布

5

測定結果の出力(流速を求める)

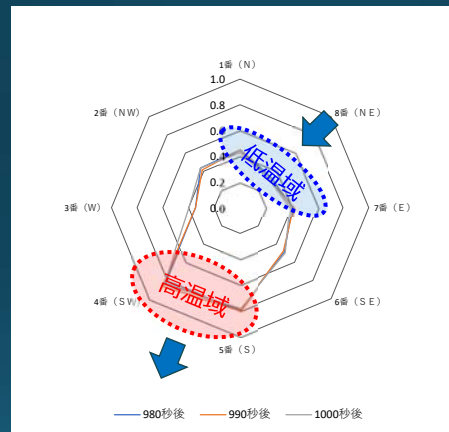


温度差—時間曲線

温度差 : ヒーター加電後の温度と加電前(自然状態)の温度との差

6

測定結果の出力(流向を求める)

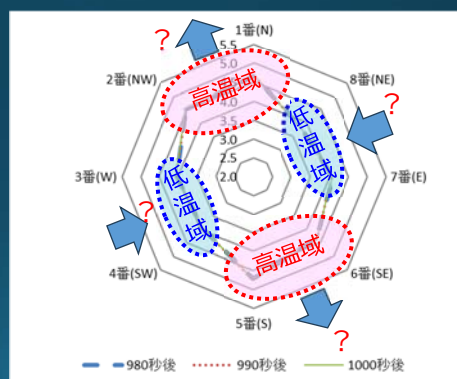


同時刻—温度差分布図

7

異常な温度差分布図

高温域と低温域が対になった
「算盤玉現象」
同じ孔の複数の深度で観測



8

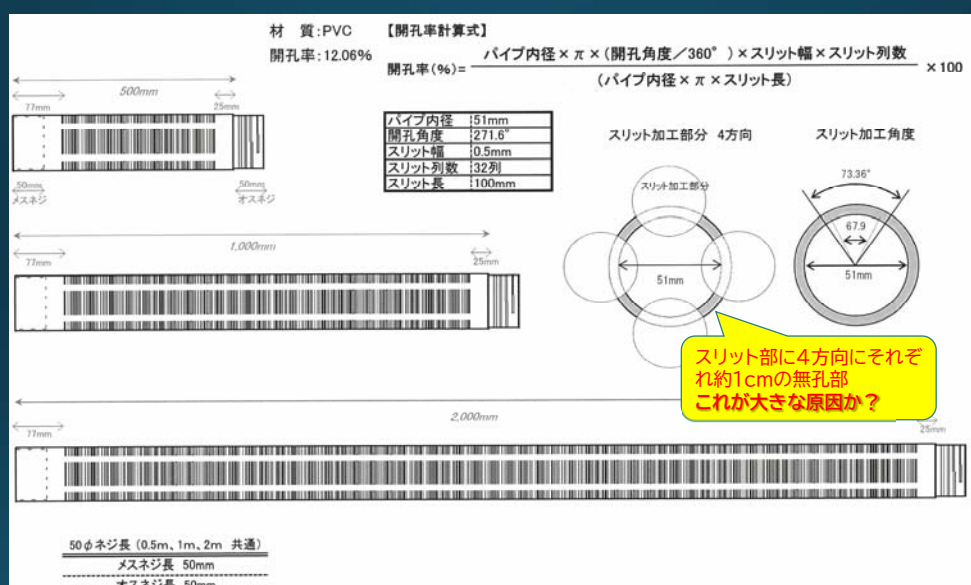
使用されたストレーナー

丸穴ではなく、**横スリットタイプ**のストレーナー

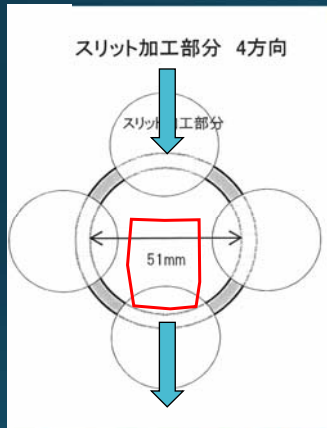
開孔率: 12.06%



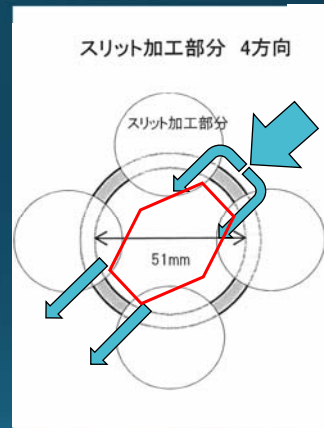
9



算盤玉現象の発生機構の推定



上流にスリットがある場合



上流にスリットが無い場合

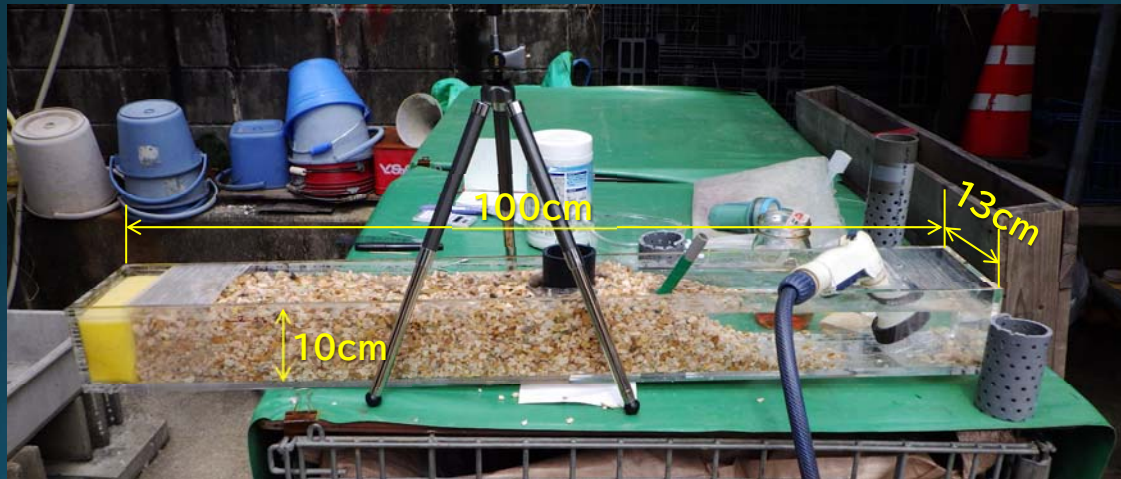
無孔部による**流動阻害**が生じ、上流側も高温域になったのでは?

11

小型水槽による地下水流動の可視化実験

12

実験状況(小型水槽)



13

小型水槽による地下水流動の可視化実験

- 使用したストレーナー管
 - 開孔率10%および13%の丸穴タイプ
 - 開孔率12.06%の横スリットタイプ (スリット幅0.5mm)
 - 開孔率20.00%の横スリットタイプ (スリット幅1.0mm)
- 間詰材
 - 地盤材と同じ材質(目地材または2号珪砂)
 - 入れた場合と入れない場合
- 水の流れは蛍光試薬で可視化

14

小型水槽による地下水流動の可視化実験



疑似ボーリング孔とストレーナ管



地盤材と間詰材



蛍光試薬 (フルオレッセインナトリウム Fluorescein Sodium)

15

小型水槽による地下水流動の可視化実験

実験結果

(1) 間詰材を入れない場合

管の摩擦抵抗により水は管の外周をまわって下流へ流れるため、管内に水はほとんど入ってこない(スリットタイプ)

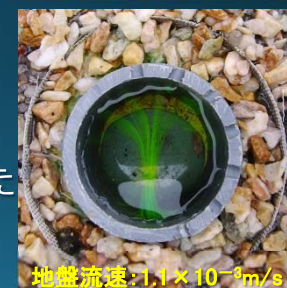
…丸穴タイプはわずかに入るが、中で滞留してしまう

(2) 間詰材を入れた場合

管内に水が速やかに浸入し、下流へと流れ出ることが確認された

管内を流れる水の速さ：

丸穴タイプに比べて横スリットタイプでは1/2前後遅い



16

小型水槽による地下水流動の可視化実験

実験結果

(1) 間詰材を入れない場合

管の
管内

間詰材を入れない観測孔では、正確な地下水流動が計測されない

…丸穴タイプはわずかに入るが、中で滞留してしまう

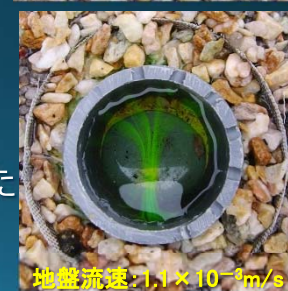
(2) 間

管内

ストレーナタイプが異なると、同じ開孔率でも回帰式による流速の算出値に誤差が生じる可能性が高いことが予想された

管内を流れる水の速さ：

丸穴タイプに比べて横スリットタイプでは1/2前後遅い



17

2023年7月、九州大学マス・フォア・インダストリ研究所の福本康秀教授が、Limerick(アイルランド)で開催されたEuropean Study Group with Industry (ESGI)というイベント(産業界の課題に、数学・数理科学者と大学院生が一週間程度集中的に取り組んで解決を目指すイベント)に参加され、算盤玉現象について取り組んでいただきました。下図はその論文からの抜粋で、間詰材が無い場合の地下水流を見事に数値解析で表現されています。



Figure 9: Plume of dye in laboratory setup # 1495 vs numerical result after ~20s.

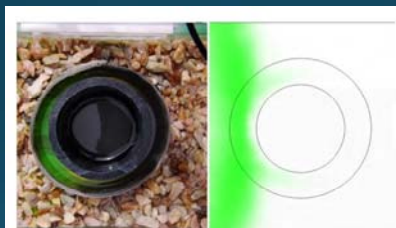


Figure 10: Plume of dye in laboratory setup # 1495 vs numerical result after ~25s.

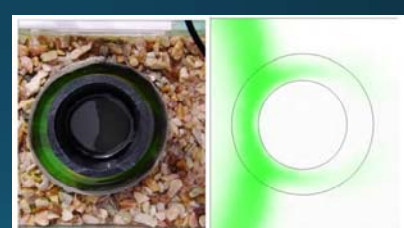


Figure 11: Plume of dye in laboratory setup # 1495 vs numerical result after ~30s.

出典:M. O. Assuncao, P. Cesana, F. Flanagan, Y. Fukumoto, R. Garvey, G. Hocking, A. Iqbal, K. Kiura, J. Murnane, C. Nolan, D. O'Kiely, R. Tajima, M. Vynnycky (2023.8): Optimal design of observation holes on strainers for groundwater measurements(邦訳:地下水測定用ストレーナの観測孔の最適設計)

18

流動阻害の確認

FDVをイメージした疑似ヒーターを入れて地下水流を可視化

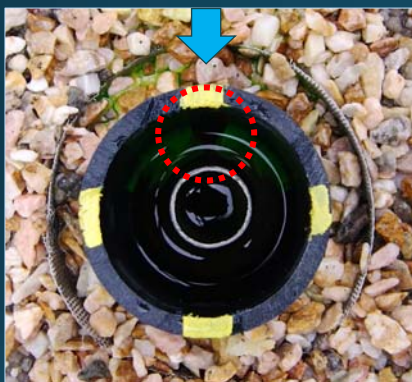


疑似ヒーターφ20mm

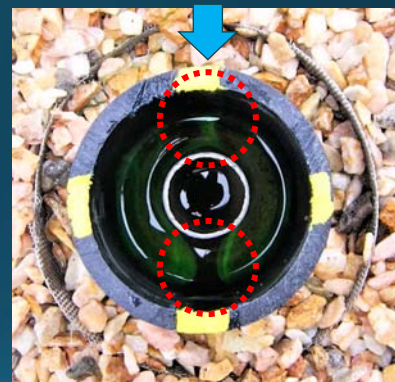


19

実験結果：水(試薬)の流れ方



試薬が管内に入ると、直ちに
上流無孔部に影が現れる

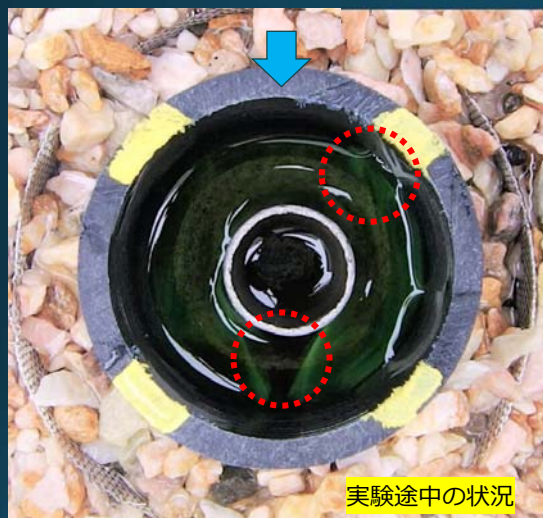


やがてヒーター下流にも影が現れる
一方、上流部の影は試薬が拡散侵入し消滅

水槽に与えた流速： $6.6 \times 10^{-4} \text{m/s}$

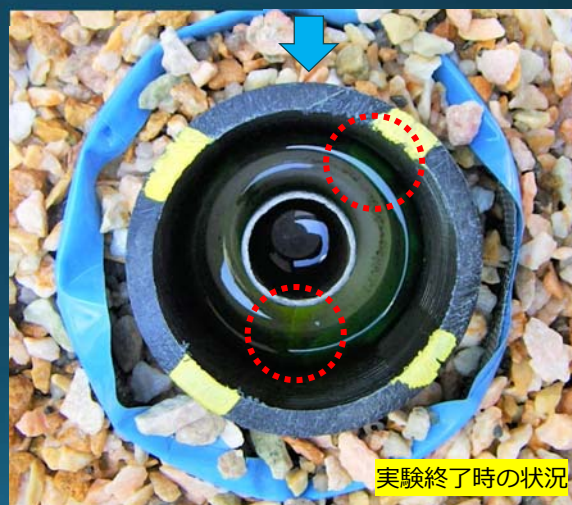
20

実験結果： 無孔部を回転した場合 （地盤工学会中部支部）第35回調査・設計・施工技術報告会



実験途中の状況

上流無孔部に影が生じ、その後拡散侵入した試薬が残留、ヒーター下流には影
水槽に与えた流速： $1.7 \times 10^{-3} \text{m/s}$

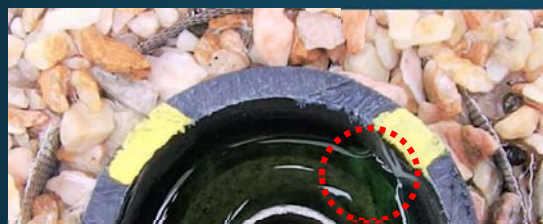


実験終了時の状況

上流無孔部に試薬が残留、ヒーター下流にも拡散侵入した試薬が残留
水槽に与えた流速： $1.8 \times 10^{-3} \text{m/s}$

21

実験結果： 無孔部を回転した場合 （地盤工学会中部支部）第35回調査・設計・施工技術報告会



実験途中の状況

上流無孔部に影が生じ、その後拡散侵入した試薬が残留、ヒーター下流には影
水槽に与えた流速： $1.7 \times 10^{-3} \text{m/s}$



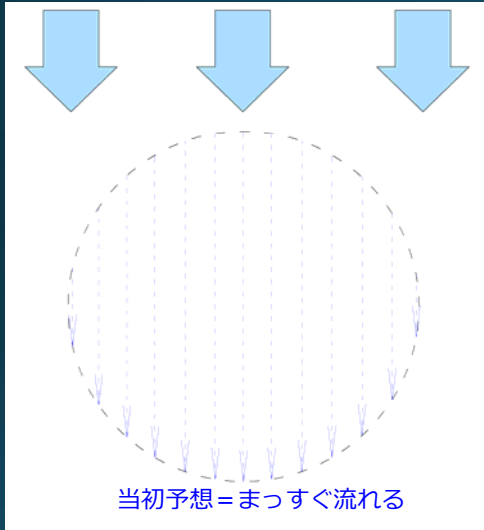
実験終了時の状況

上流無孔部に試薬が残留、ヒーター下流にも拡散侵入した試薬が残留
水槽に与えた流速： $1.8 \times 10^{-3} \text{m/s}$

22

時間が経過すると、影の部分に試薬が拡散侵入し、周辺の試薬が流出してもその部分に残留することが確認された・・・無孔部が流動阻害を起していることが示された

そもそも： ストレーナ管無しで水はどう流れるか



水槽に与えた流速： $1.6 \times 10^{-3} \text{m/s}$

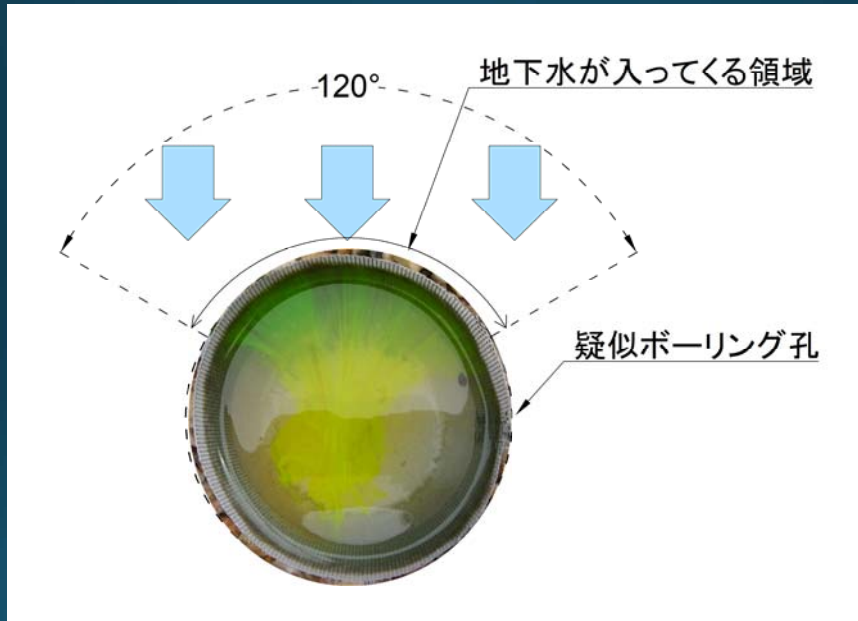
23

そもそも： ストレーナ管無しで水はどう流れるか

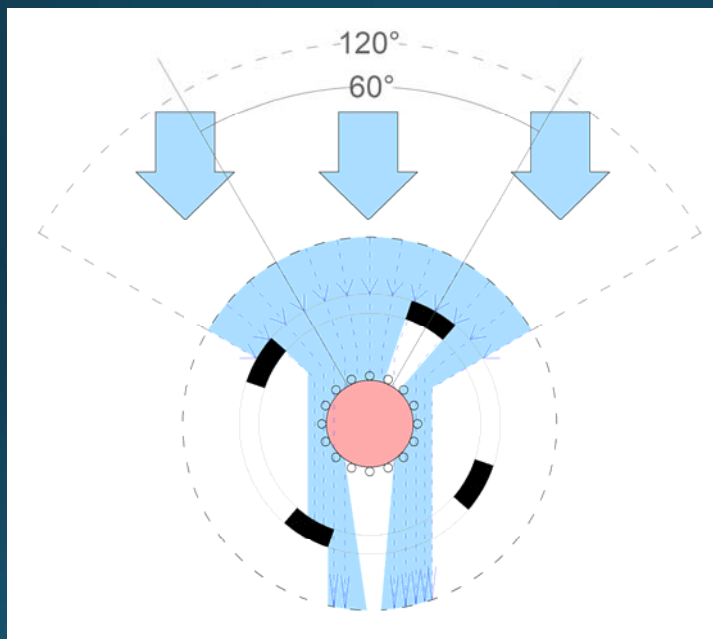


水槽に与えた流速： $1.6 \times 10^{-3} \text{m/s}$

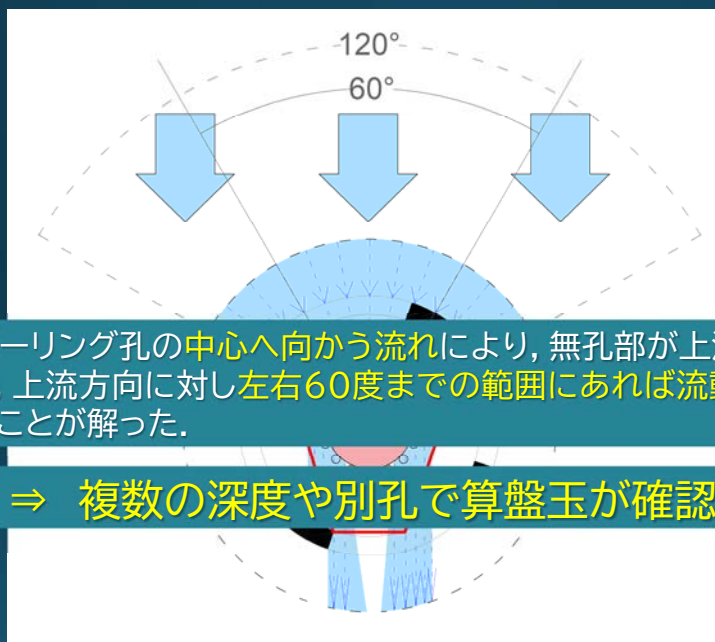
24



25



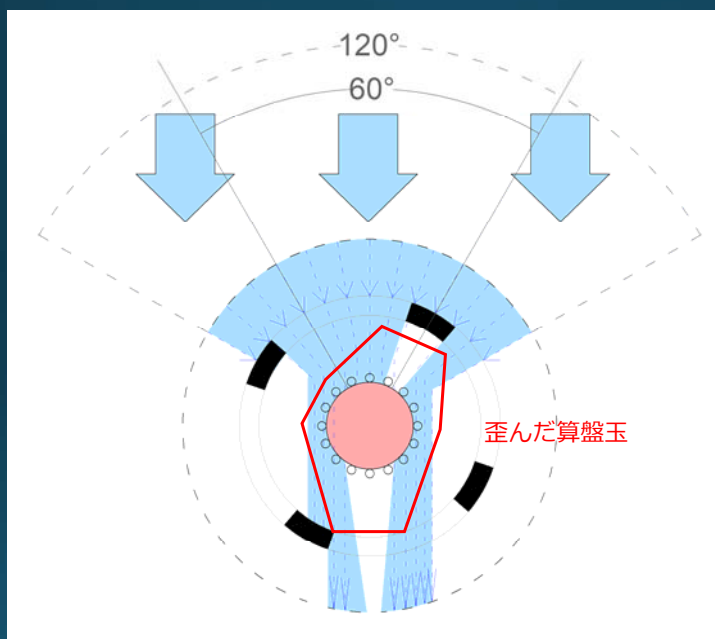
26



疑似ボーリング孔の中心へ向かう流れにより、無孔部が上流直方向に向いていなくても、上流方向に対し左右60度までの範囲にあれば流動阻害が生じる可能性があることが解った。

⇒ 複数の深度や別孔で算盤玉が確認された理由

27



28

もとに戻り

ストレーナタイプが異なると、同じ開孔率でも回帰式による流速の算出値に誤差が生じる可能性が高いことが予想された点について

・・・FDV型は、丸穴タイプでしか回帰式が得られていない

29

大型水槽による、横スリットタイプの流速測定実験

30

大型水槽による横スリットストレーナー実験

- 使用したストレーナー管
開孔率12.06%の横スリットタイプ（スリット幅0.5mm）
- 間詰材
地盤材と同じ材質 豆砂利（φ2～5）
- 与えたダルシー流速
 $3.787 \times 10^{-6} \text{m/s} \sim 1.800 \times 10^{-3} \text{m/s}$ 間の19種(各2～3回)

31

大型水槽による横スリットストレーナー実験

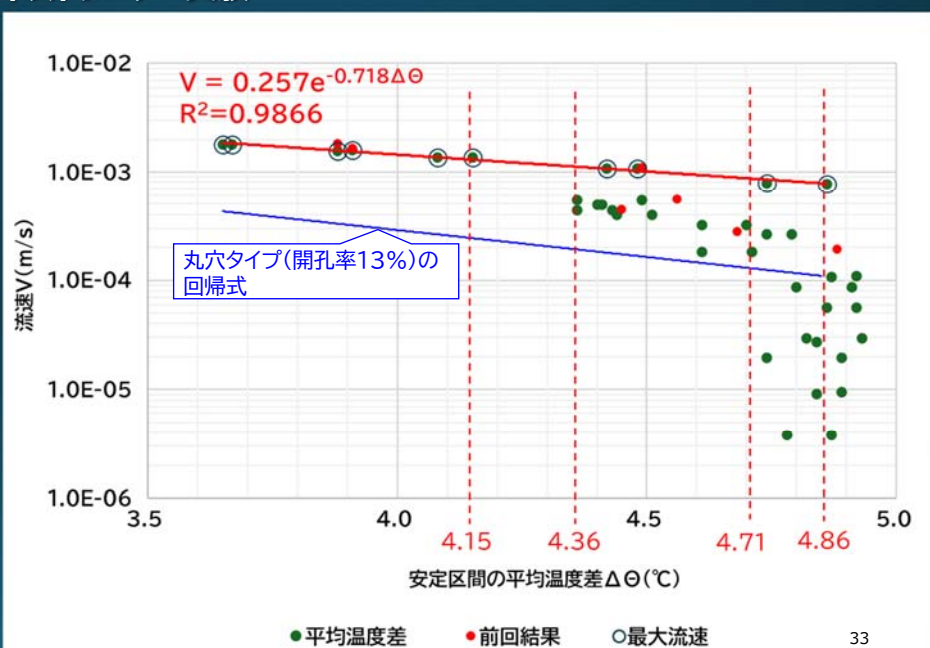


32

大型水槽による横スリットトレーナー実験

【地盤工学会中部支部】第35回調査・設計・施工技術報告会

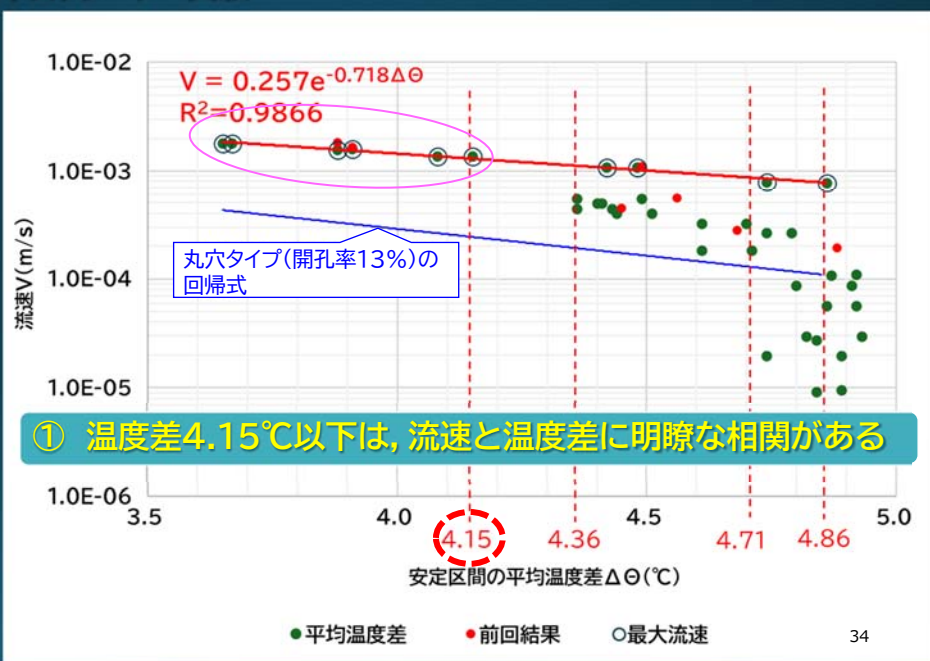
実験結果



大型水槽による横スリットトレーナー実験

【地盤工学会中部支部】第35回調査・設計・施工技術報告会

実験結果



大型水槽による横スリットトレーナー実験

【地盤工学会中部支部】第35回調査・設計・施工技術報告会

実験結果

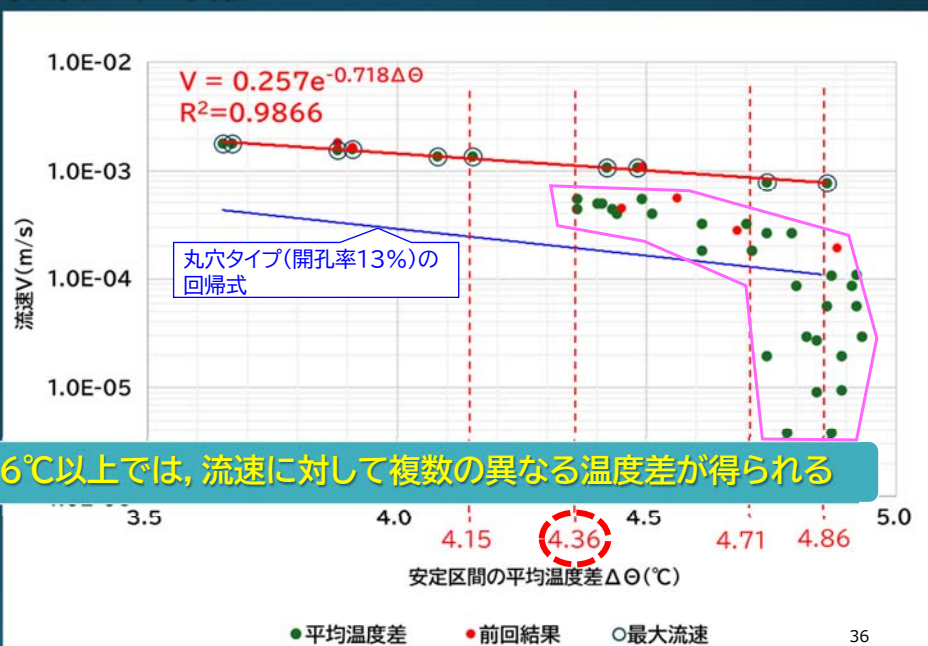


35

大型水槽による横スリットトレーナー実験

【地盤工学会中部支部】第35回調査・設計・施工技術報告会

実験結果

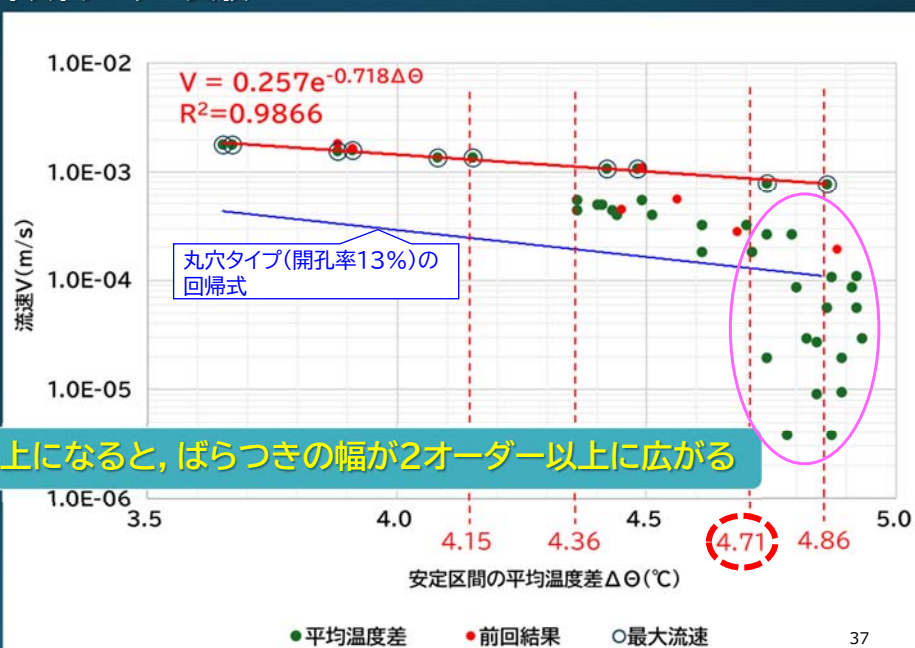


36

大型水槽による横スリットストレーナー実験

【地盤工学会中部支部】第35回調査・設計・施工技術報告会

実験結果

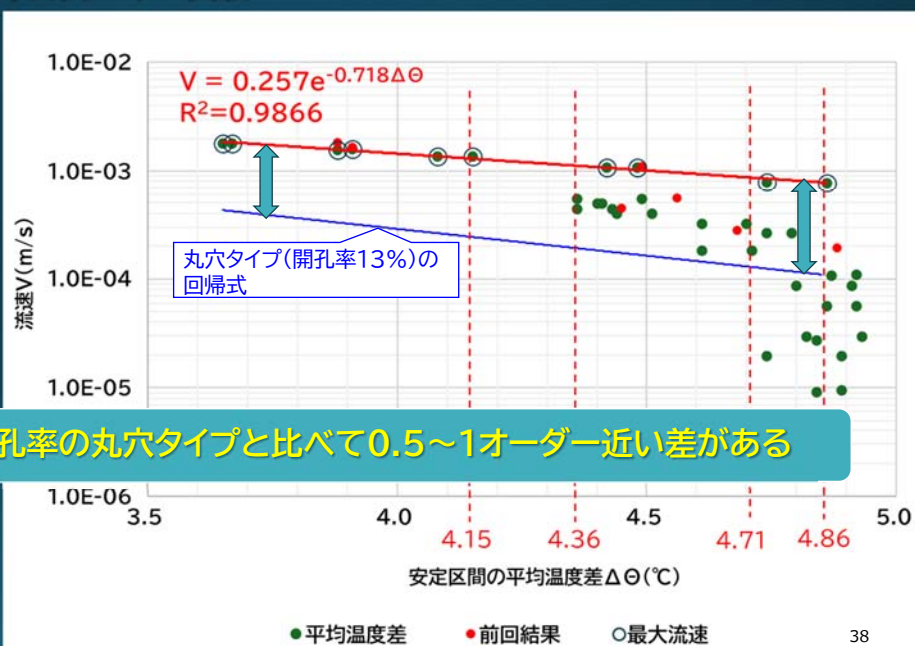


37

大型水槽による横スリットストレーナー実験

【地盤工学会中部支部】第35回調査・設計・施工技術報告会

実験結果



38

大型水槽による横スリットストレーナー実験

【地盤工学会中部支部】第35 回調査・設計・施工技術報告会

実験結果



結論:

⑤回帰式

熱量法では、同じ開孔率でもストレーナーの形状によって得られる回帰式が異なる

39

【地盤工学会中部支部】第35 回調査・設計・施工技術報告会

まとめ

40

① 間詰材の重要性

41

- ◆ 施工上などの理由で観測孔の残置ができず、回収に手間がかかるために間詰材を入れないケースが少なくない
- ◆ 間詰材が無いと、観測孔内に地下水はほとんど入ってこない
- ◆ 間詰材の入っていない観測孔での測定で得られた流向流速の精度は期待できない

42

② ストレーナー形状

43

- ・ 横スリットタイプのストレーナーでは、地下水の流れが遅い場合は、流速の解析精度に誤差が生じる
- ・ **FDV**をはじめとする、**単孔式加熱型流向流速計**では、開孔率だけでなく**ストレーナーの形状に応じた回帰式**を得る必要があることが示された

44