

温度検層試験の結果と評価

2019年10月18日(金)
千葉工業大学 能美 大希

「現場実験から把握する地下水の実流速(その3)」
廃炉地盤工学委員会講習会(於 日本大学文理学部)

目次

- 1.概要
- 2.H30 試験概要・試験結果
- 3.R1 試験概要・試験結果
- 4.まとめ

検層試験の位置づけ

3

基本原理	名称	備考
水力学的手法	フローメーター検層	電磁波、超音波、熱、プロペラ等多数のセンサーがある
物理的手法	② 地下水検層	孔内水の電気伝導度を変化させる
	光ファイバー検層	孔内水の温度を変化させる
	① 多点温度検層	
その他	温度検層	自然状態の温度分布を調べる
	α トラック検層	自然状態の α 線密度分布を調べる

(地盤工学会：土壌・地下水汚染の調査・予測・対策より)

- ① **多点温度検層試験**
⇒ **流動層の深度を評価**
- ② **地下水検層【塩水トレーサー】**
⇒ **流動層の連続性を評価**

多点温度検層

4

基本原理

孔内水を地下水と異なる温度にして、その回復過程を測定し、変化速度の速い深度を水みちとする

実務目的

- 地下掘削における遮水壁の止水効果判定
- 地すべり、斜面崩壊の地下水排出パイプ施工の深度位置選定
- 地下ダム・ため池等堤体の漏水箇所特定
- 地下水汚染箇所における地下水流動層の把握

etc.

- ① **棒状ヒーターを用いた検層試験(H30)**
- ② **モニタリングポンプを用いた循環式検層試験(R1)**

試験概要

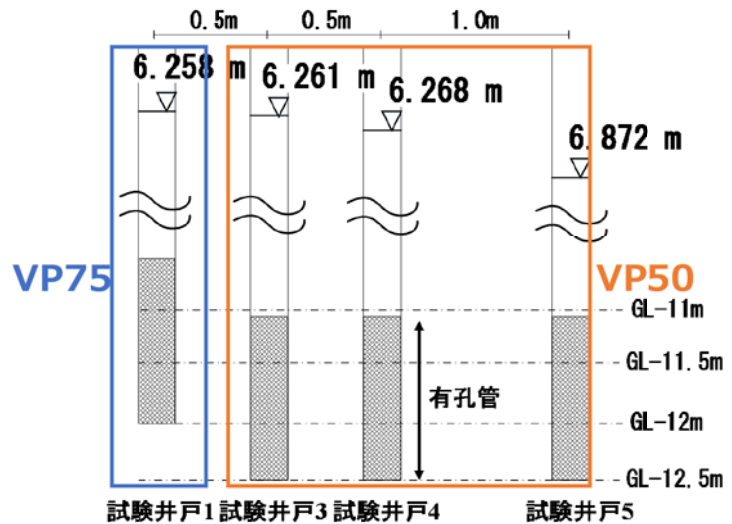
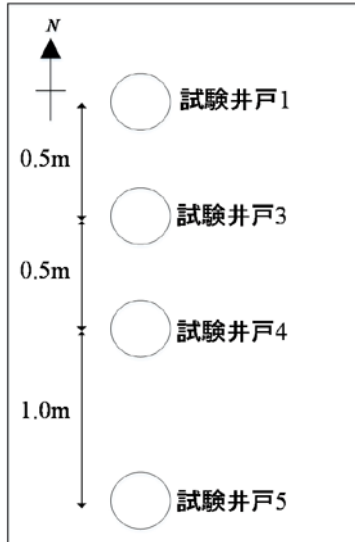
5

透水性が良好であった

GL11~12m付近の砂礫層に有効管(開孔率29%)を設置

試験井戸1 : **VP75**

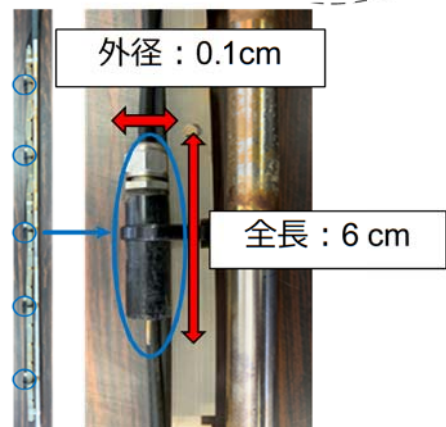
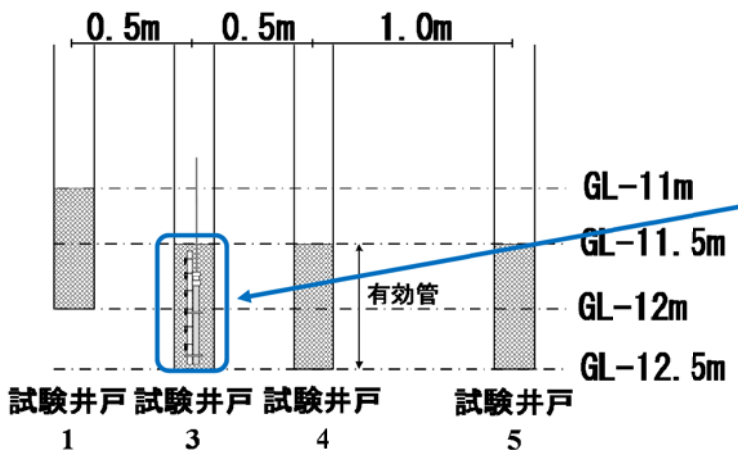
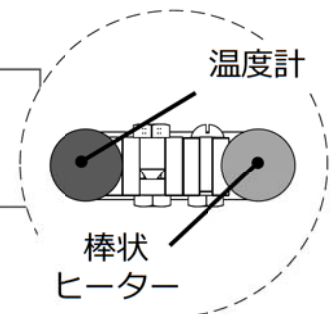
試験井戸3・4 : **VP50**



棒状ヒーターを用いた温度検層 (H30)

6

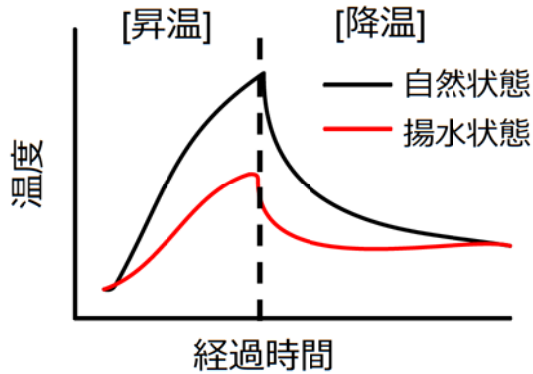
加熱方式 : 1mの棒状ヒーター
測定深度 : 20cmで計5か所



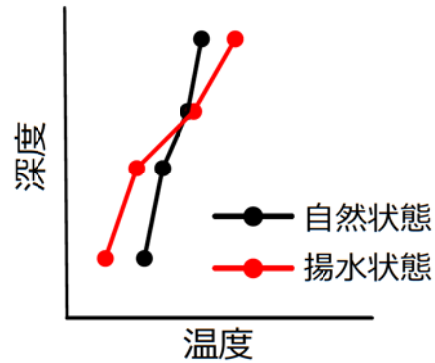
試験概要 (H30)

測定：昇温過程(30分間) と 降温過程(30分間)の温度変化
自然状態と揚水状態 (揚水量20L/min) で測定実施

評価：測定深度ごとの経時変化
ある経過時間の各測定深度における温度変化
⇒ 自然状態と揚水状態の温度変化を比較

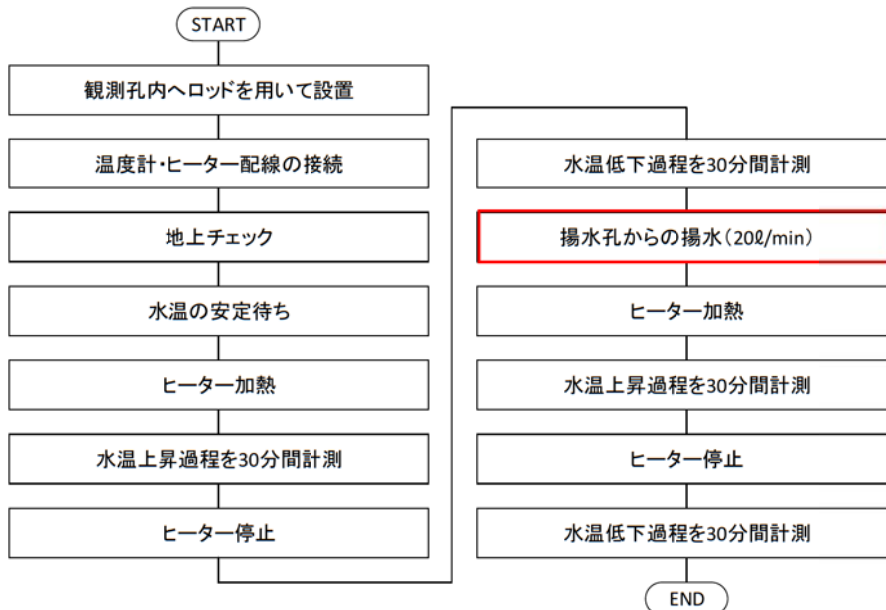


測定深度ごとの経時変化



ある経過時間の各測定深度における温度変化

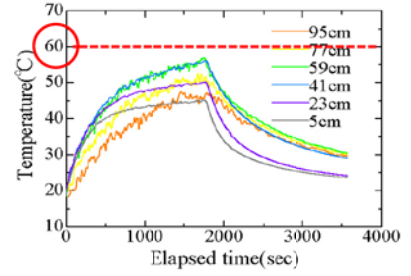
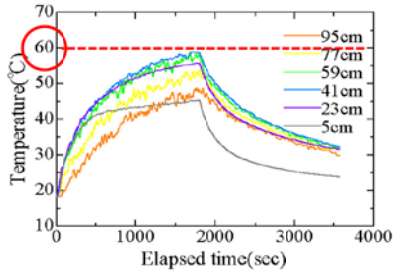
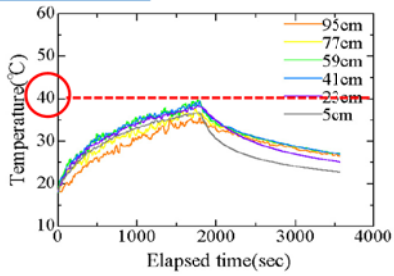
試験概要 (H30)



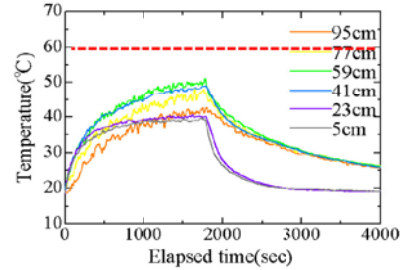
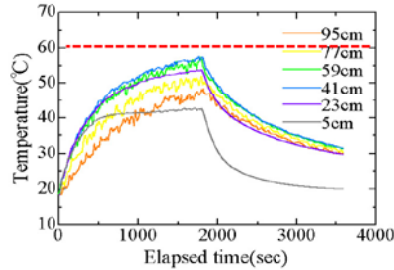
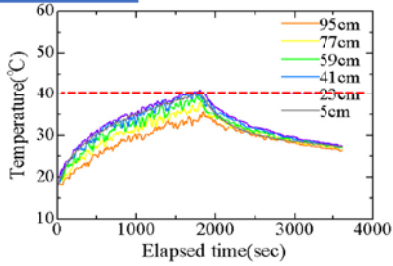
試験井戸1 (有孔管下端から)
試験井戸3 ⇒ 95cm/77cm/59cm/41cm/23cm/5cm
試験井戸4

試験結果 (H30)

自然



揚水



<試験井戸1>

<試験井戸3>

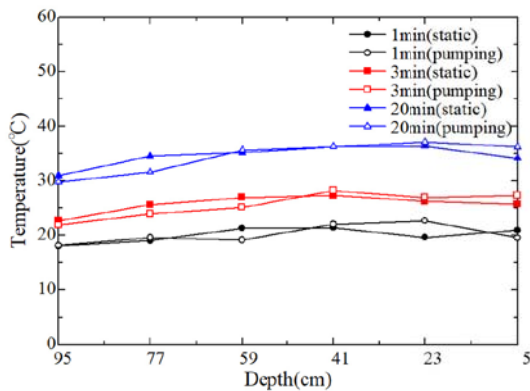
<試験井戸4>

試験結果 (H30)

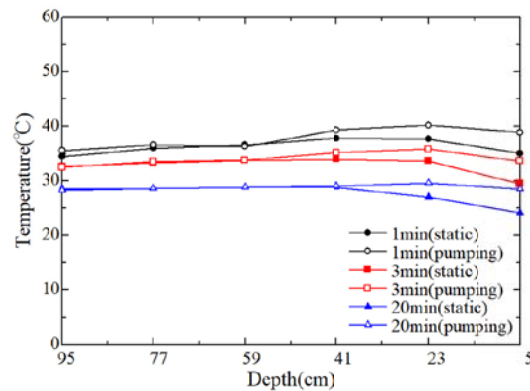
自然状態と揚水状態の温度を比較・評価
比較時間：1min/3min/20min



試験井戸1



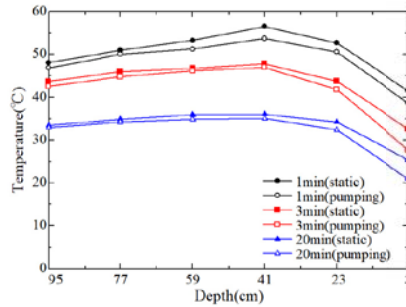
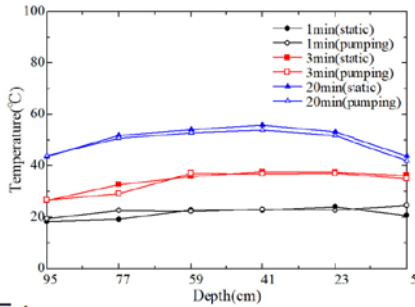
<昇温>



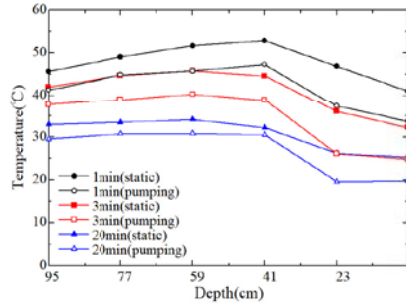
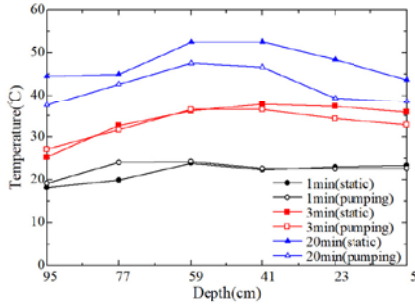
<降温>

試験結果 (H30)

試験井戸3



試験井戸4

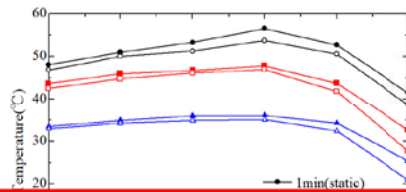
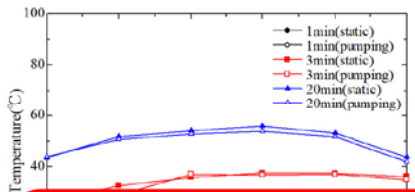


<昇温>

<降温>

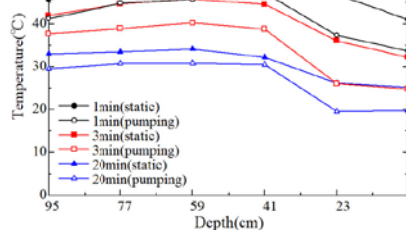
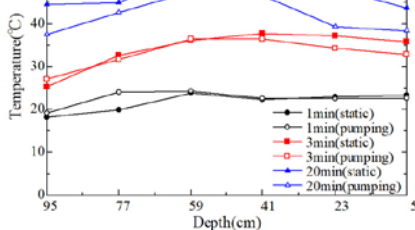
試験結果 (H30)

試験井戸3



試験井戸4

わずかに自然状態よりも揚水状態の方が温度が低い傾向
⇒ 明確な深度を抽出することはできない

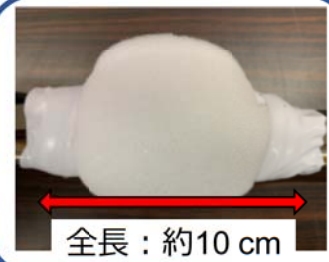
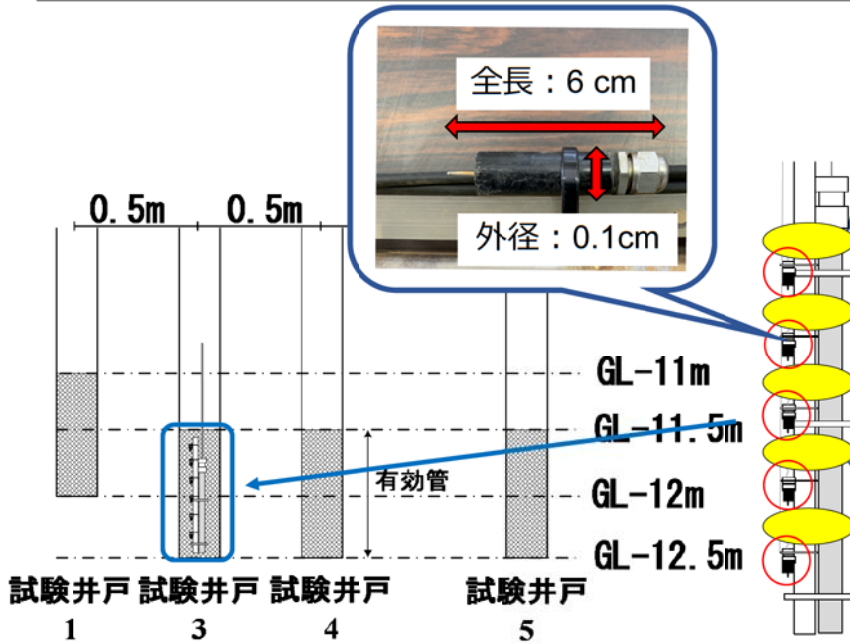


<昇温>

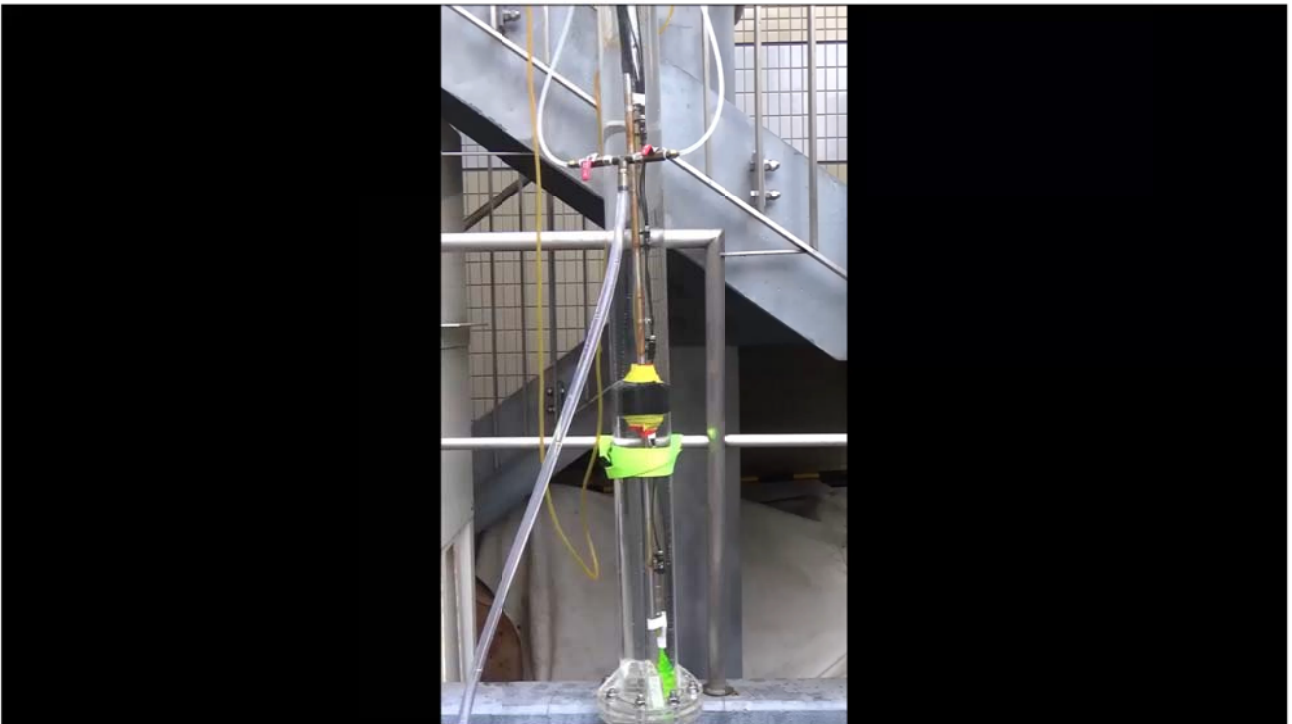
<降温>

試験概要 (H30)

孔内の温度差によって生じる対流の影響
⇒ 温度計間にパッカーを設置

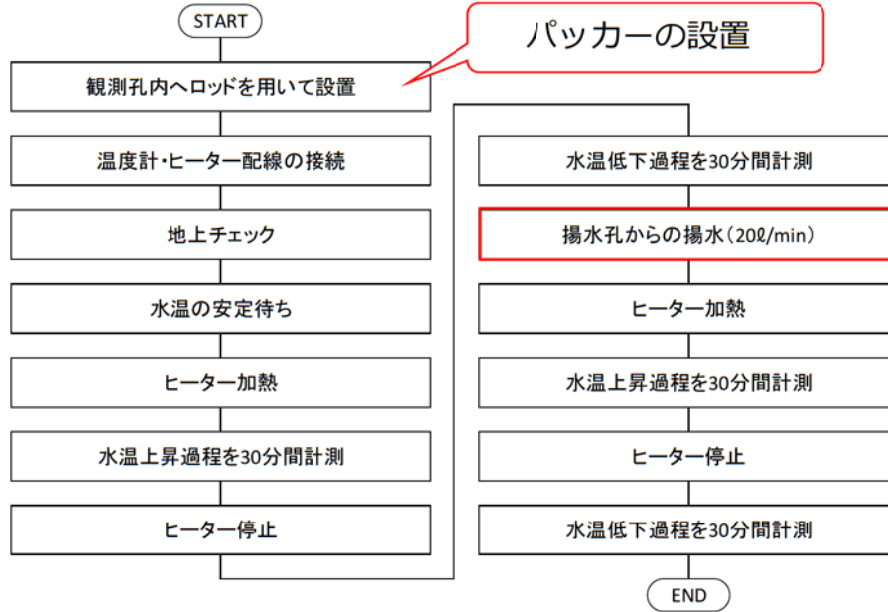


試験概要 (H30)



試験概要 (H30)

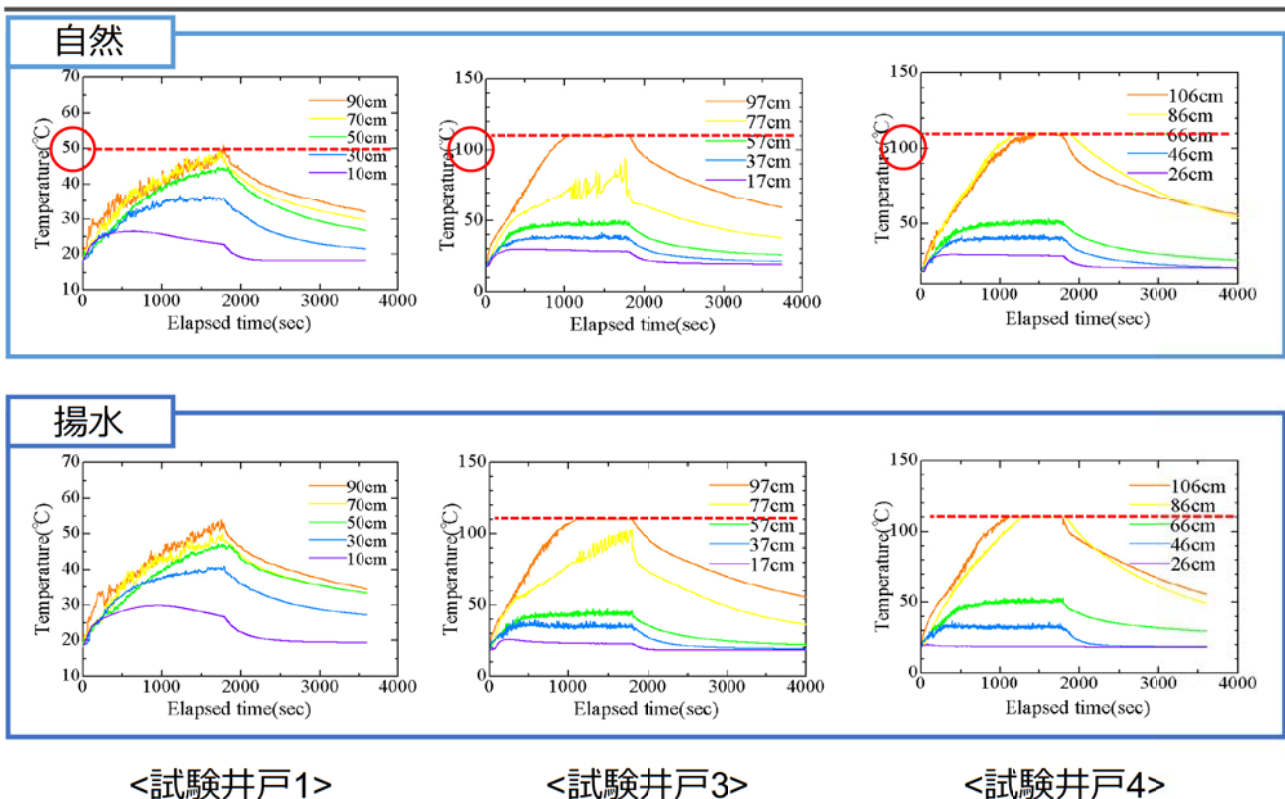
15



試験井戸1 ⇒ 90cm/70cm/50cm/30cm/10cm
 試験井戸3 ⇒ 97cm/77cm/57cm/37cm/17cm
 試験井戸4 ⇒ 106cm/86cm/66cm/46cm/26cm

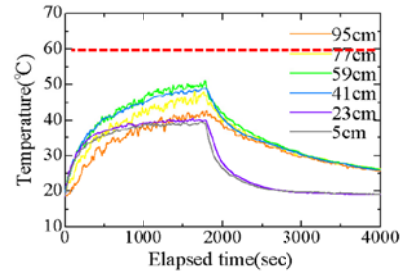
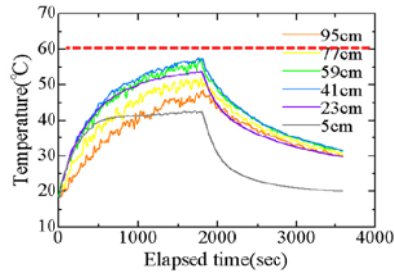
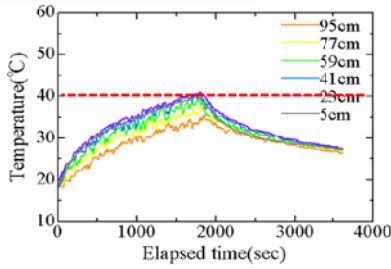
試験結果 (H30)

16

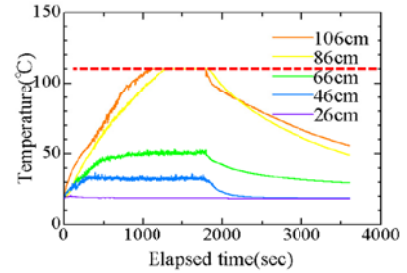
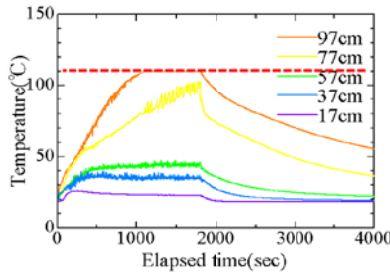
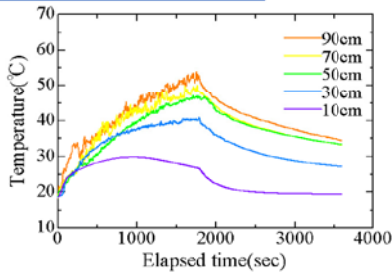


試験結果 (H30)

パッカー無し



パッカー有り



<試験井戸1>

<試験井戸3>

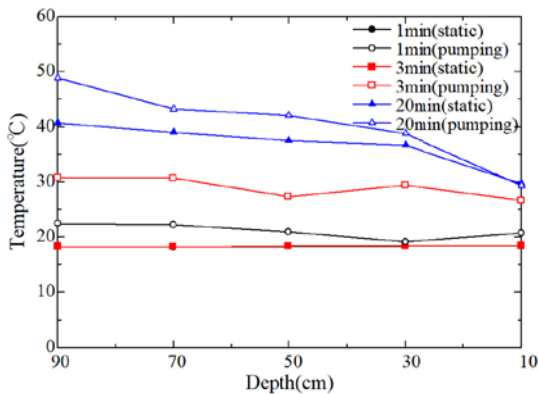
<試験井戸4>

試験結果 (H30)

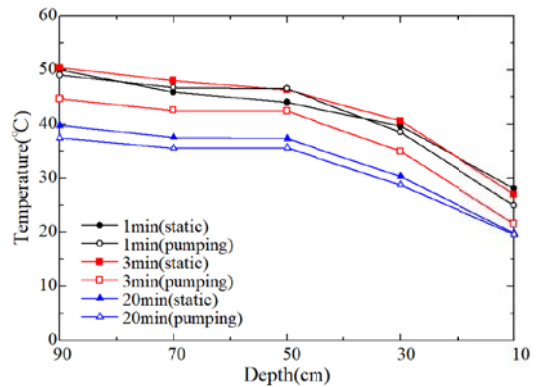
自然状態と揚水状態の温度を比較・評価
比較時間：1min/3min/20min



試験井戸1



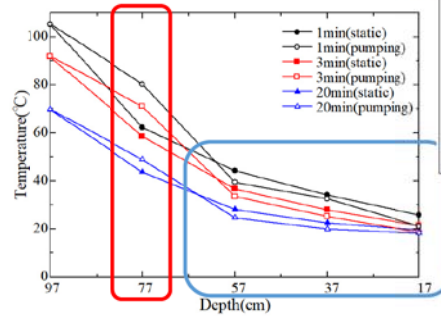
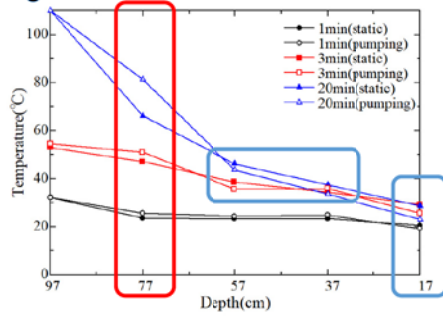
<昇温>



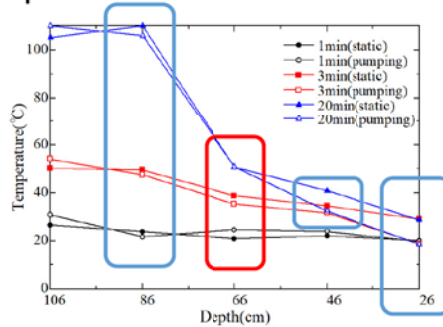
<降温>

試験結果 (H30)

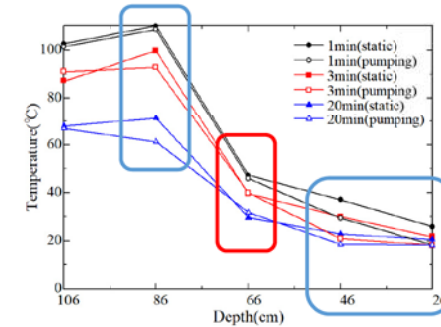
試験井戸3



試験井戸4



<昇温>



<降温>

まとめ (H30)

20

試験井戸3 ⇒ GL. 12.13~11.93m付近
 試験井戸4 ⇒ GL. 12.24~12.04m・11.64m付近

• 温度差による対流の影響

- ⇒ 変化がみれる最低限の温度差で実施する必要
- ⇒ パッカーを用いて測定区間を限定

• 測定深度

- ⇒ パッカーの仕様上、5か所
- ⇒ 多点で測定するには時間が必要(1回毎に装置回収、揚水)

• 試験井戸1

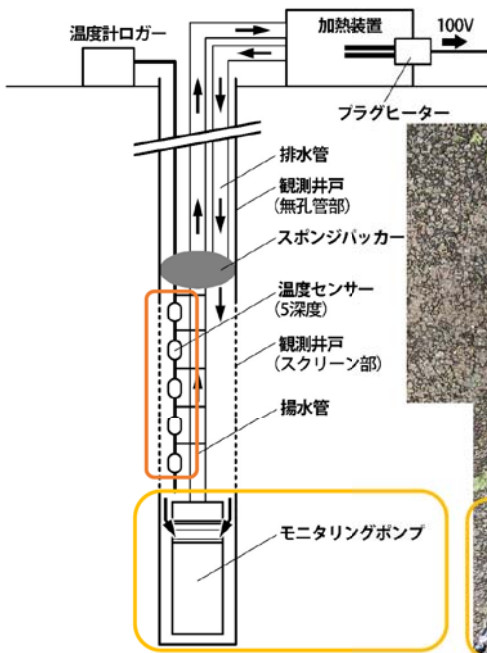
- ⇒ 径が大きいこと(VP75) / 揚水孔から離れていること
- ⇒ 確かな水みちを得るのは難しい



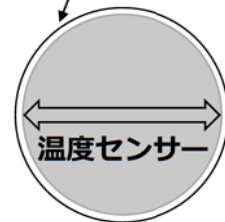
R元年へ

循環式温度検層 (R1)

・加熱方式を変更
棒状ヒーター ⇒ ポンプを用いた循環式

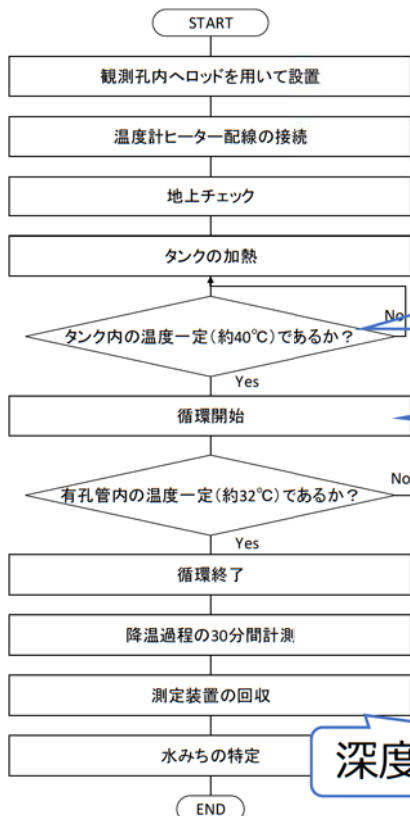


〈加熱タンク〉
井戸径
(VP75orVP50)



〈温度センサー〉

試験概要 (R1)



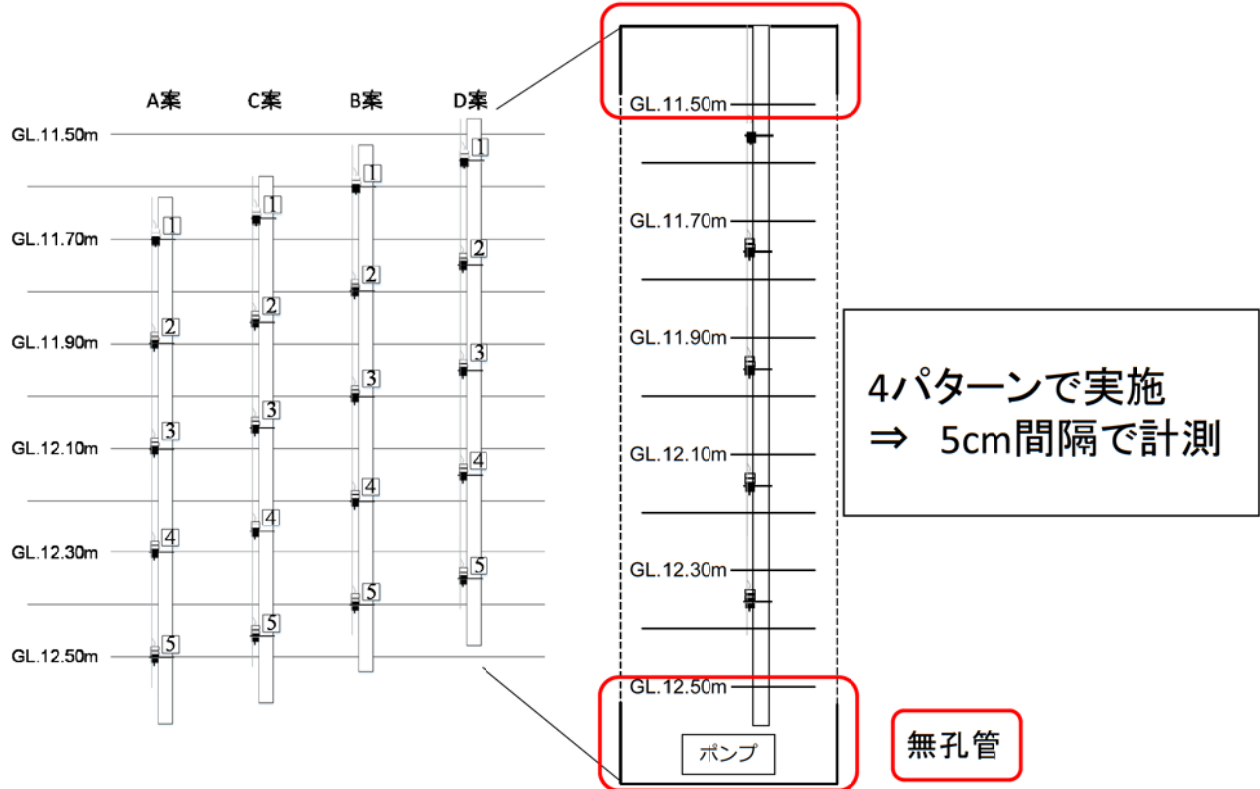
測定深度：
20cm間隔で5か所
4パターンに分けて実施

- ・自由に温度を設定できる
- ・冷水も可

1L/min



深度を変更する



評価方法

温度復元率

$$T_r = \frac{\theta_d - \theta_t}{\theta_d - \theta_n} \times 100$$

T_r : 温度復元率(%)

θ_d : 降温開始直前の温度(°C)

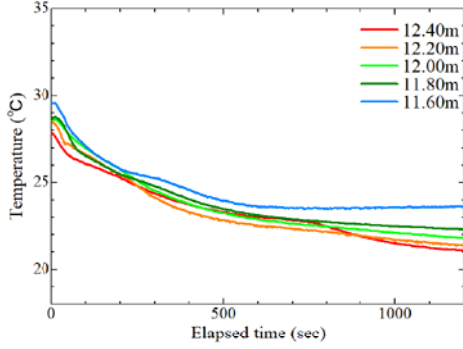
θ_t : 任意の経過時間tにおける温度(°C)

θ_n : 自然状態の温度(°C)

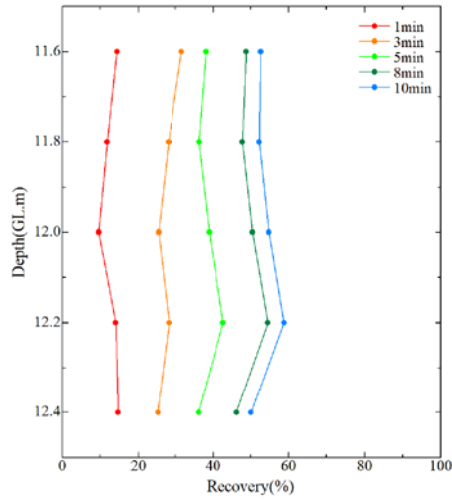
(竹内篤雄：温度測定による流動地下水調査法より)

試験結果

<試験井戸1>



<経時変化>

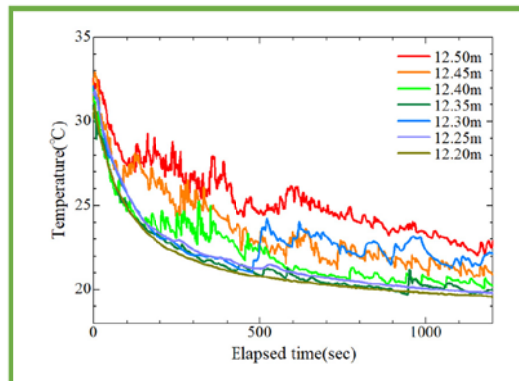
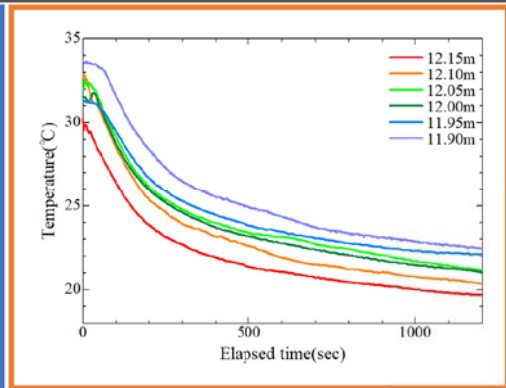
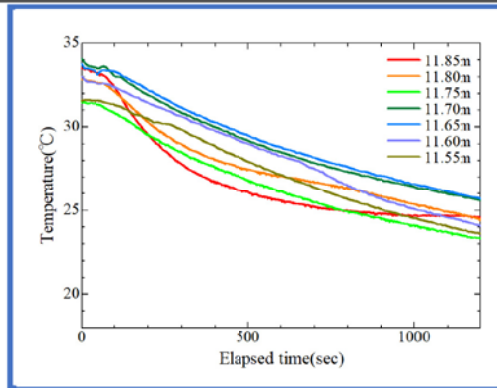
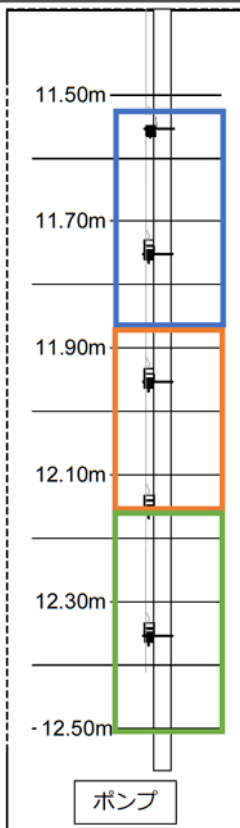


<復元率>

⇒ 明瞭な水みちは確認できない

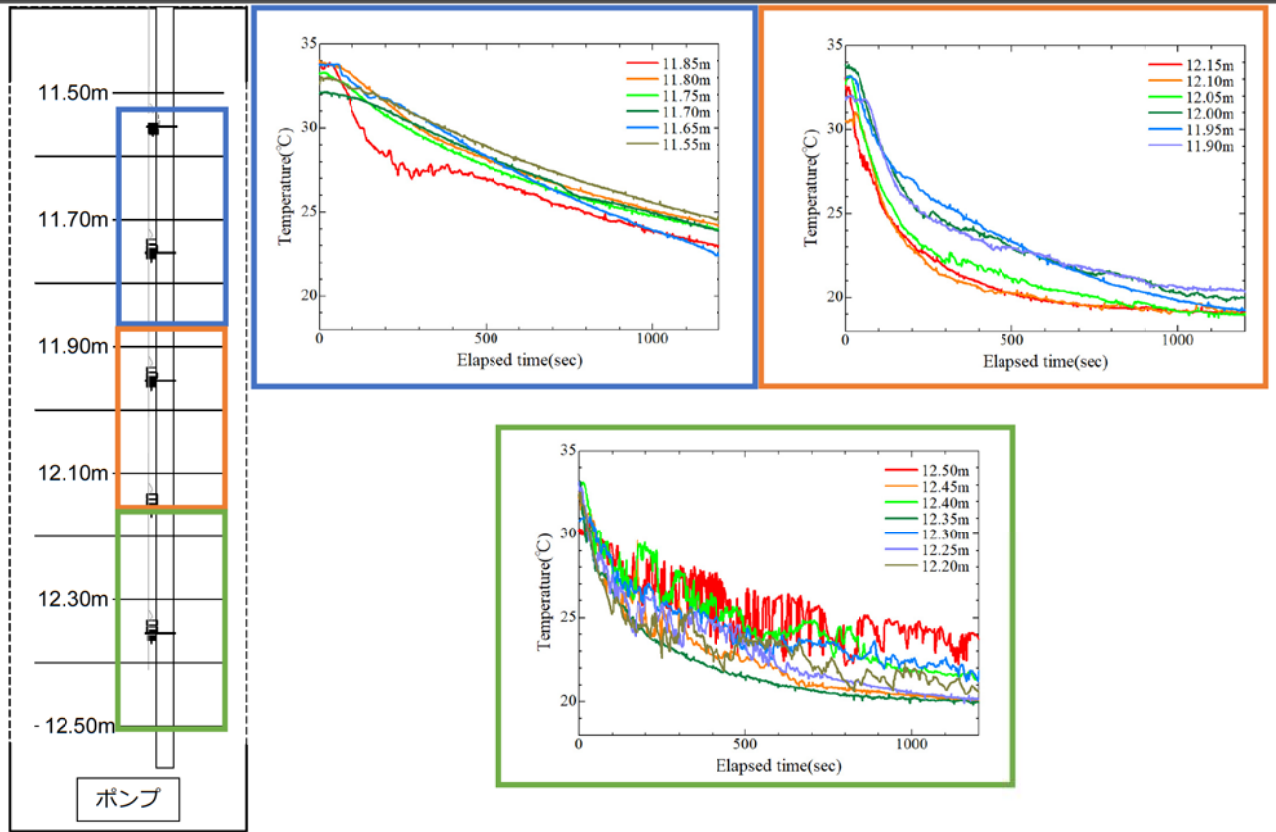
試験結果

<試験井戸3>



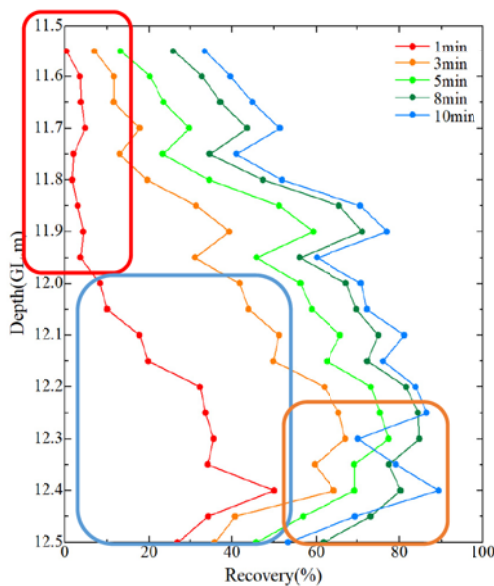
試験結果

<試験井戸4>



試験結果

<試験井戸3>



1分後を比較

⇒ **上部(GL.12.00m~GL.11.50m)**
下部(GL.12.50m~GL.12.00m)

10分後を比較

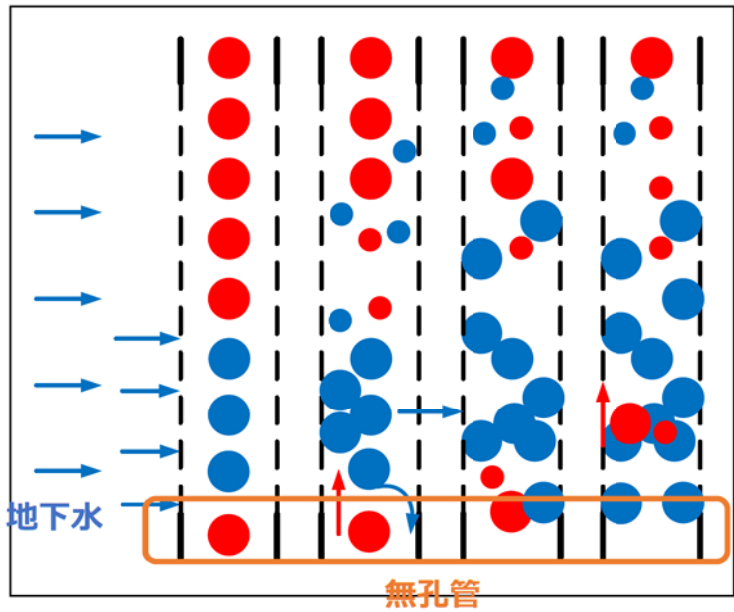
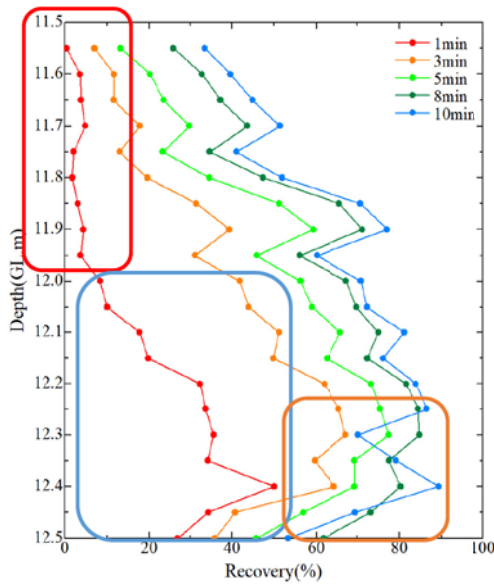
⇒ **GL.12.40m~GL.12.00m/GL.11.90m**

復元率の逆転

⇒ **GL.12.50m/GL.12.45m/GL.12.30m**

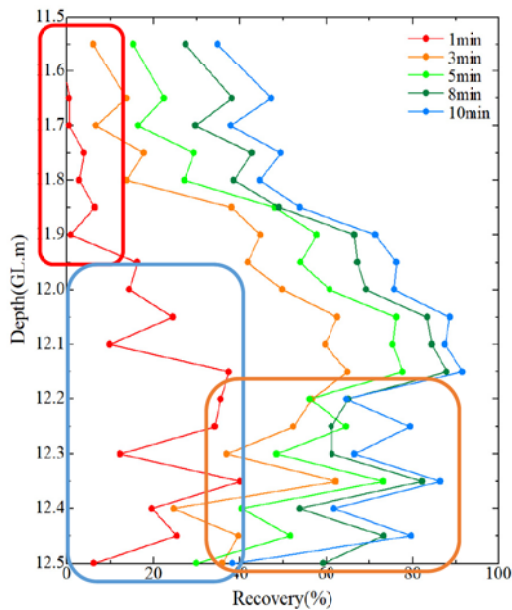
試験結果

<試験井戸3>



試験結果

<試験井戸4>



1分後を比較

⇒ **上部(GL.11.90m~GL.11.50m)**
下部(GL.12.50m~GL.11.90m)

10分後を比較

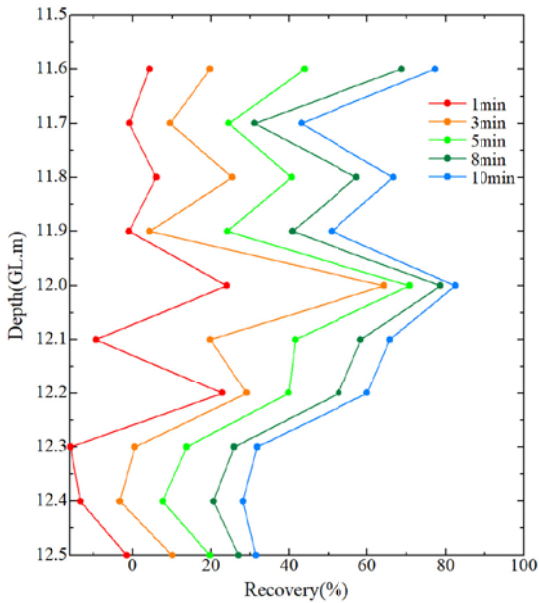
⇒ **GL.12.45m/GL.12.35m/**
GL.12.15m~GL.12.05m

復元率の逆転

⇒ **GL.12.50m/GL.12.25m/GL.12.20m**

試験結果

<試験井戸3> 【冷水】



1分後を比較

⇒ 温水と異なり、上部下部で差が無い！

10分後を比較

⇒ **GL.12.00m/GL.11.80m/GL.12.10m**

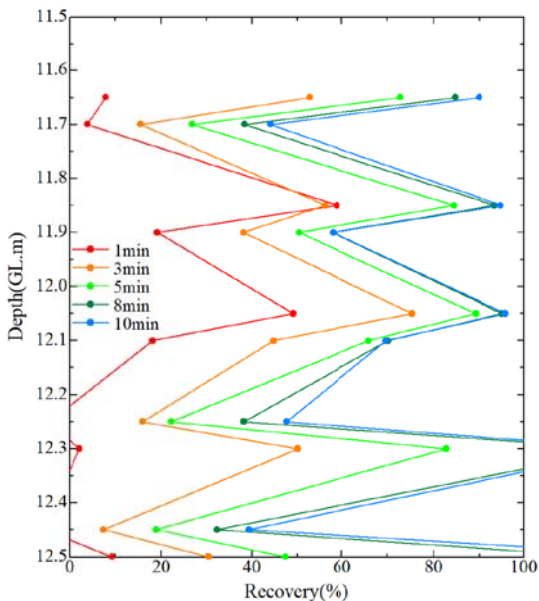
復元率の逆転

⇒ 無い！



試験結果

<試験井戸4> 【冷水】



1分後を比較

⇒ 温水と異なり、上部下部で差が無い！

10分後を比較

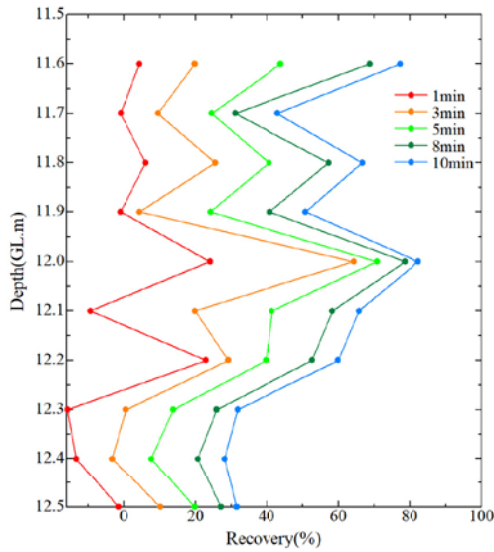
⇒ **GL.12.50m/GL.12.30m/GL.12.05m**
GL.11.85m/GL.11.65m

復元率の逆転

⇒ 無い！

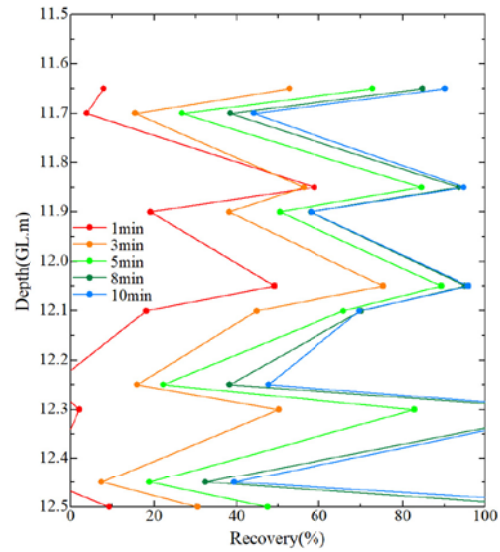


<試験井戸3>



昇温開始の温度 ⇒ 平均 : 11.95°C

<試験井戸4>

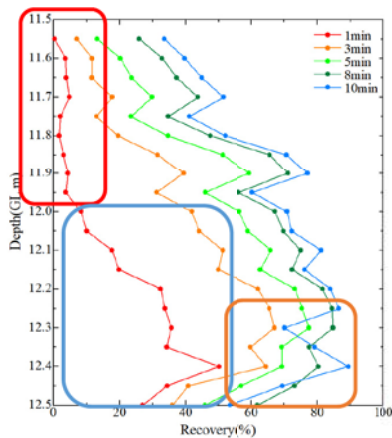


昇温開始の温度 ⇒ 平均 : 14.49°C

試験井戸4は温度差が少なすぎ? ⇒ 約3.5°C
(自然状態 : 18°C)

試験結果

<試験井戸3> [左:温水 右:冷水]



【1分後を比較】

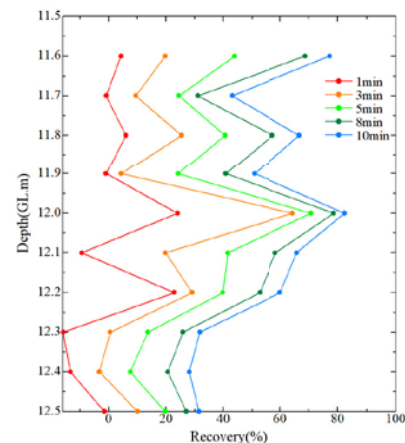
⇒ 上部(GL.12.00m~GL.11.50m)
下部(GL.12.50m~GL.12.00m)

【10分後を比較】

⇒ GL.12.40m~GL.12.00m/GL.11.90m

【復元率の逆転】

⇒ GL.12.50m/GL.12.45m/GL.12.30m



【1分後を比較】

⇒ 温水と異なり、上部下部で差が無い!

【10分後を比較】

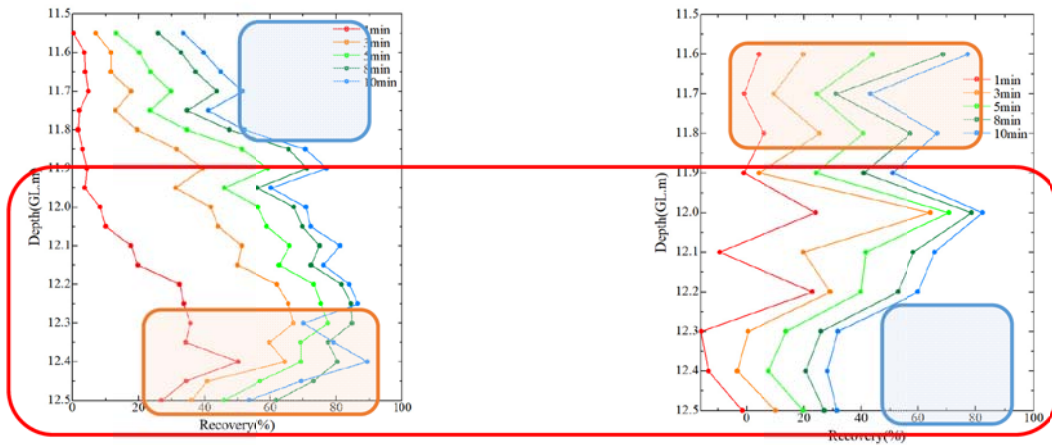
⇒ GL.12.00m/GL.11.80m/GL.12.10m

【復元率の逆転】

⇒ 無い!

試験結果

<試験井戸3>[左:温水 右:冷水]

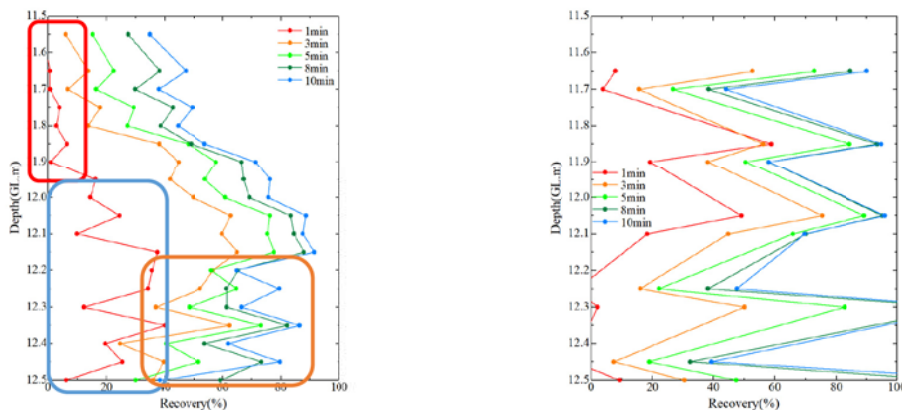


⇒ 上部に優位な水みちがない？
⇒ 下部でもう少し回復してほしい

冷水の結果の妥当性？？
温水の1分後の復元率大！！
⇒ 下部の方が優位？
GL.12.20m~GL.11.90m

試験結果

<試験井戸4>[左:温水 右:冷水]



【1分後を比較】

⇒ **上部(GL.12.00m~GL.11.50m)**
下部(GL.12.50m~GL.12.00m)

【10分後を比較】

⇒ **GL.12.40m~GL.12.00m/GL.11.90m**

【復元率の逆転】

⇒ **GL.12.50m/GL.12.45m/GL.12.30m**

【1分後を比較】

⇒ 温水と異なり、上部下部で差が無い！

【10分後を比較】

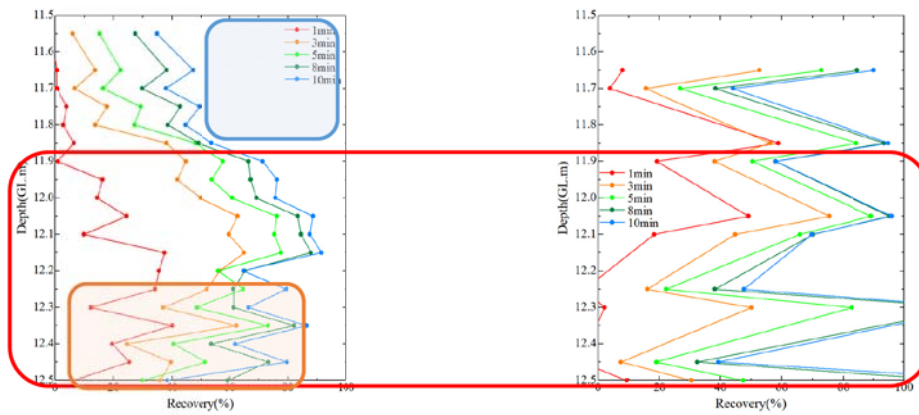
⇒ **GL.12.50m/GL.12.30m/GL.12.05m**
GL.11.85m/GL.11.65m

【復元率の逆転】

⇒ 無い！

試験結果

<試験井戸4>[左:温水 右:冷水]



【1分後を比較】

【1分後を比較】

GL.12.50m~GL.11.90m

- ・冷水は評価しない ⇒ 温水のみで
- ・試験井戸3と同様の考え

まとめ (R1)

試験井戸3 ⇒ GL.12.50~12.00m付近
 試験井戸4 ⇒ GL.12.50~11.95m付近

・ 温度差による対流の影響

- ⇒ 棒状ヒーターよりも温度差が少なくなるのである程度、対流を抑制できる(少なからず対流は生じる)
- ⇒ 温度差が小さすぎると評価が困難?? (冷水の試験井戸4)
- ⇒ 冷水でも可能だが、冷やしづらい(井戸の仕様・季節に左右される)
- ⇒ 循環式なので棒状ヒーターのように測定区間の限定は不可

・ 測定深度

- ⇒ 多点で可能(5cm間隔)

・ 無孔管部分の影響

- ⇒ 鉛直方向に流動

<棒状ヒーターを用いた検層試験>

<モニタリングポンプを用いた循環式検層試験>

試験井戸3 : GL. 12.13~11.93m付近
 試験井戸4 : GL. 12.24~12.04m
 ・ 11.64m付近

試験井戸3 : GL. 12.50~12.00m付近
 試験井戸4 : GL. 12.50~11.90m付近

水みち探査のための検層試験として2種類の温度検層試験を実施

- 棒状ヒーターを用いた多連温度検層
- モニタリングポンプを用いた循環式多連温度検層

大局的な水みちは抽出可

棒状ヒーターを用いた多連温度検層

- ・ パッカーを用いて温度差によって生じる対流を抑制

モニタリングポンプを用いた循環式多連温度検層

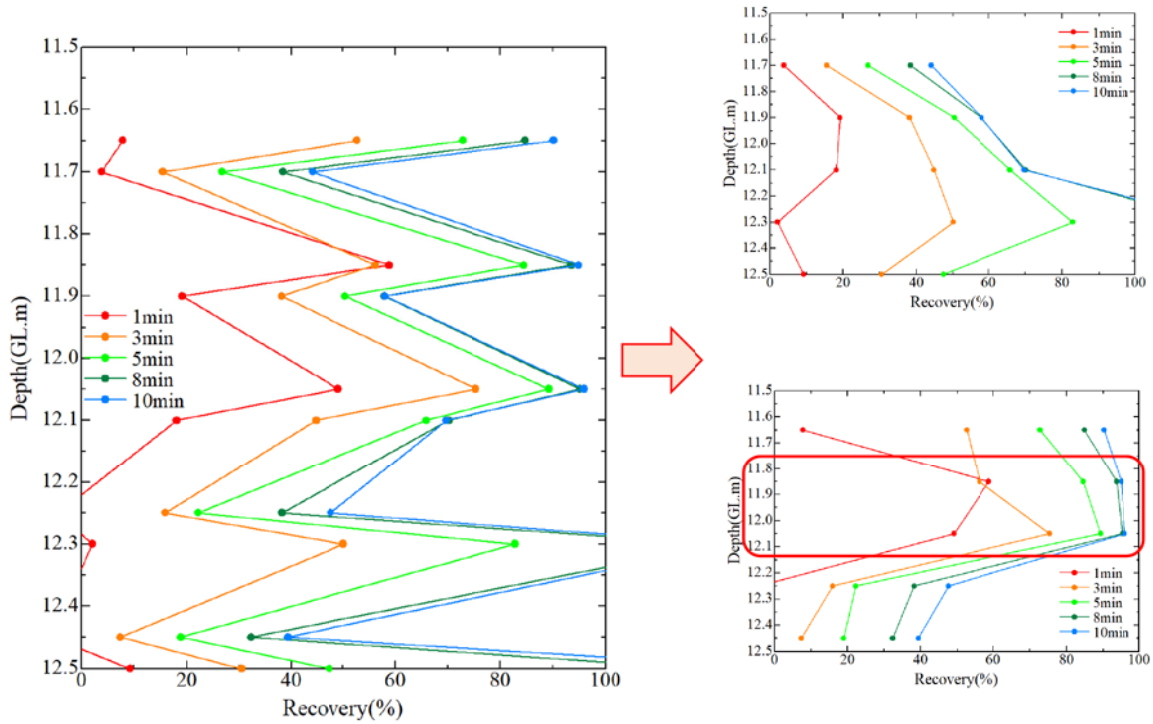
- ・ 温度差を可能な限り無くすことで対流を抑制
- ・ 評価が難しい(特に冷水 ⇒ 温水を用いるべき?)

- ・ 温度差による対流の影響
⇒ **測定区間を限定** > **温度差**
- ・ 観測井戸の仕様による影響(径の大きさや揚水孔との距離)

ご清聴ありがとうございました

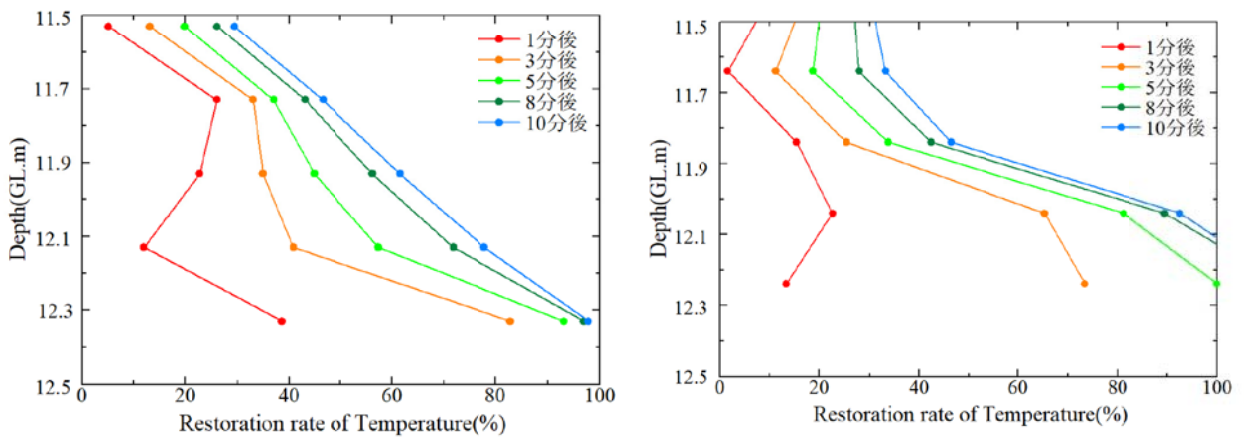
試験結果

<試験井戸4>



去年との比較

試験結果



<試験井戸3>

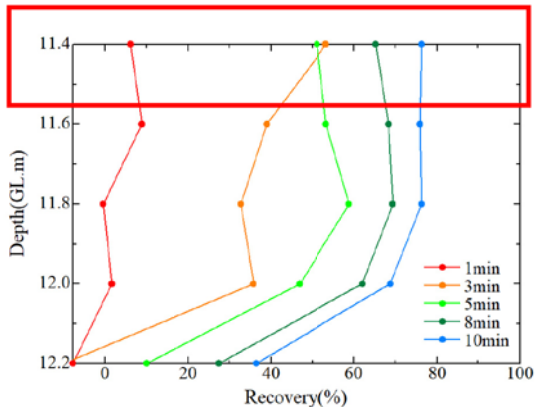
<試験井戸4>

試験井戸3 ⇒ 17cm付近
 試験井戸4 ⇒ 46cm付近

試験結果

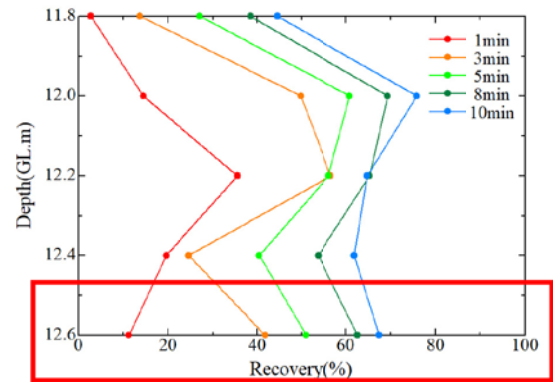
<試験井戸3>

B案 +20 冷水



<試験井戸4>

B案 -20 温水



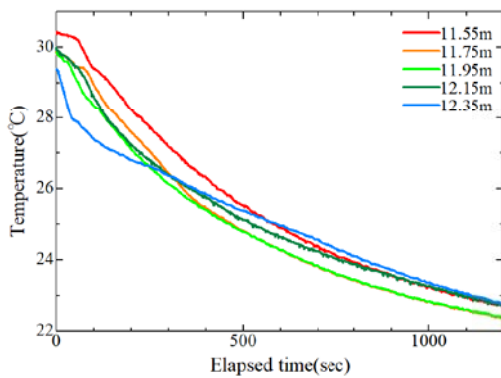
無孔管部分で実施

⇒ 他の深度と同じように復元している

⇒ 鉛直方向に流動している(対流の影響)

試験結果

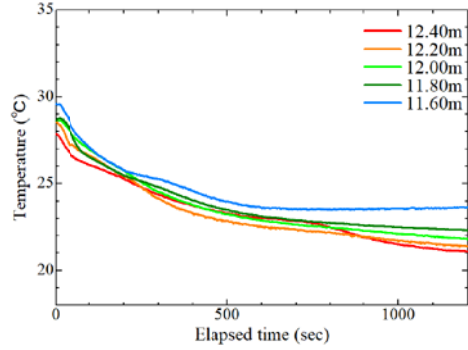
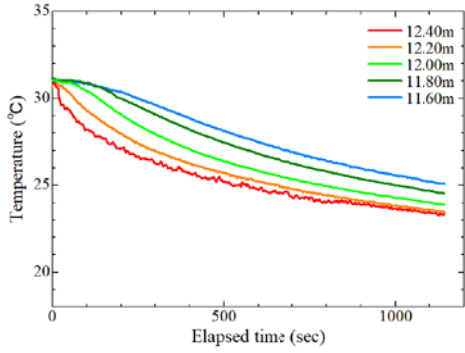
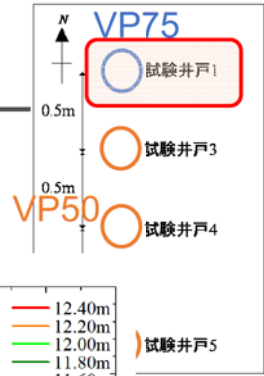
<試験井戸2>



<自然状態>

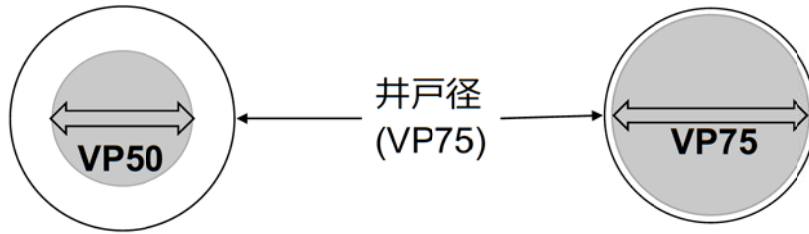
試験結果

<試験井戸1>



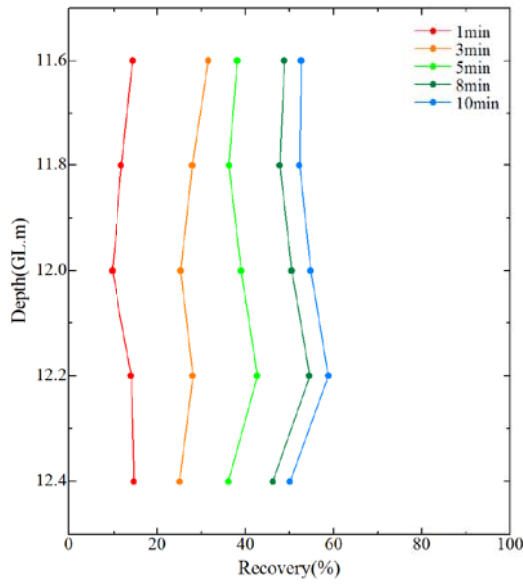
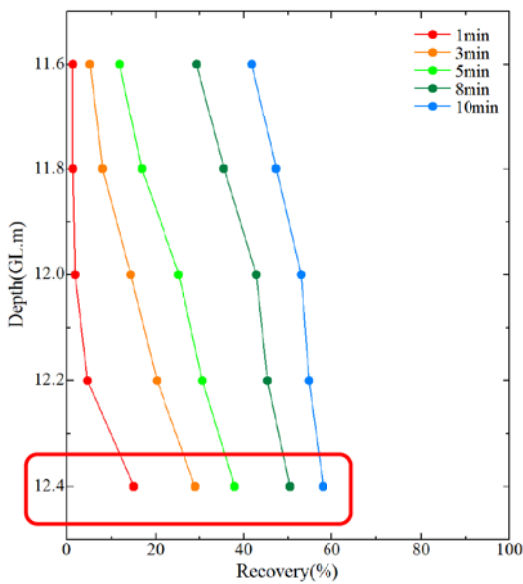
<改良前>

<改良後>



試験結果

<試験井戸1>



<改良前>

<改良後>