

トレーサー試験の結果と評価

2019年10月18日（金）

千葉工業大学 大瀧 修平

「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

目次

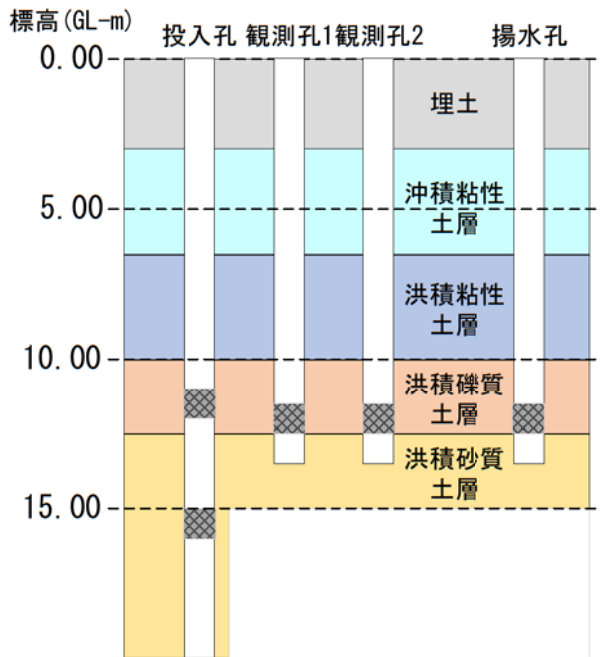
1. 試験概要
 - 対象地層
 - トレーサー試験の試験方法
 - 試験結果の評価方法

2. 試験結果
 - 2018年度
 - 2019年度

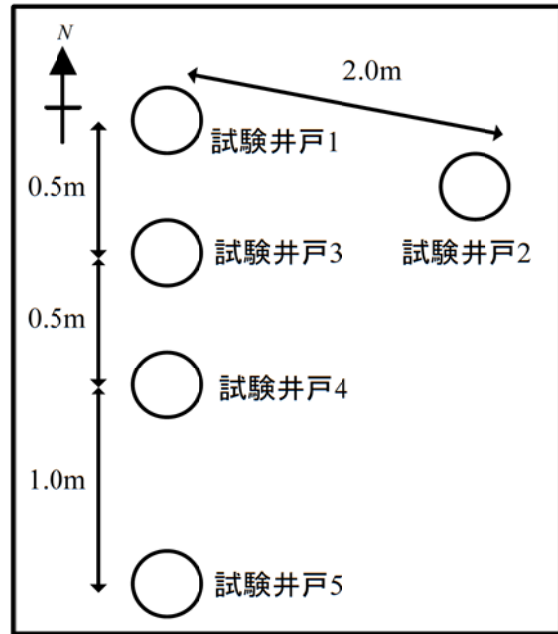
3. まとめ

試験概要

対象地盤におけ断面図概要



試験井戸配置図

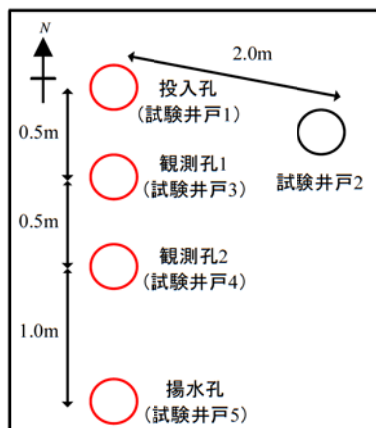


試験概要

【試験方法】

4本の試験井戸を対象とした放射状収束試験を実施
(揚水量は20.5L/min)

ある点で一定流量で継続的に揚水し影響圏の水圧が定常状態に達したのちにトレーサーを投入する試験



試験孔配置図

試験井戸 1 → 投入孔

試験井戸 3 → 観測孔 1

試験井戸 4 → 観測孔 2

試験井戸 5 → 揚水孔

試験概要

【試験区間】

水理試験等において透水性が良好であったGL-11.0~12.5m
付近の砂礫層

⇒ 各井戸に1m区間に開孔率約30%のストレーナーを設置

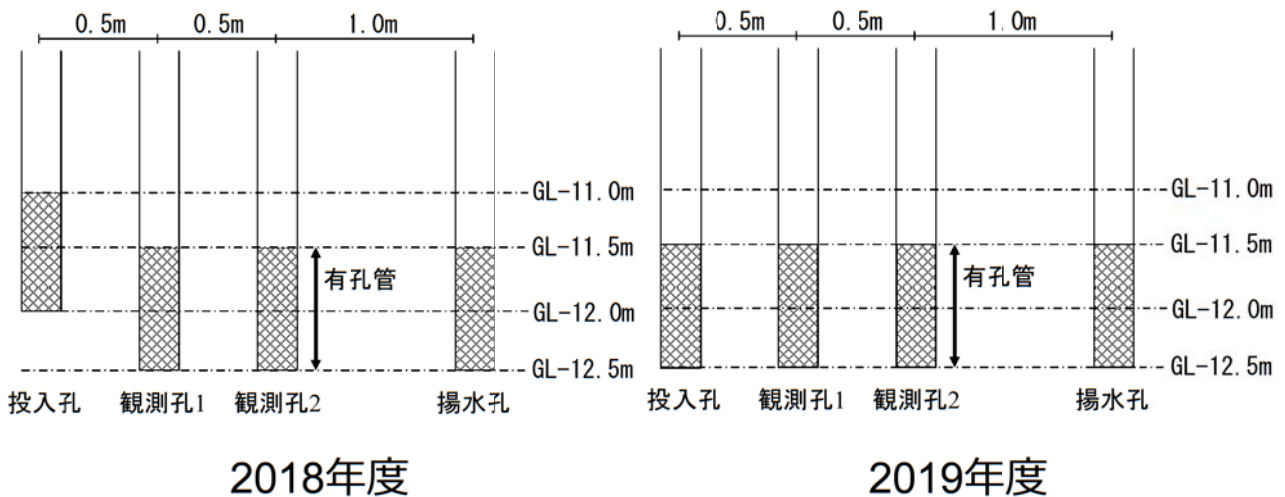
水理試験

- ボーリングによるコア観察
- フローメーター検層試験
- 電気検層試験
- 流向流速試験



試験概要

試験井戸断面図

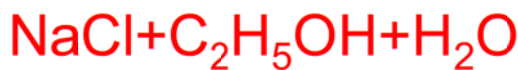


試験概要

トレーサーの種類

孔内観測法を用いるため ⇒ 電解質 蛍光染料 など

➡ 本試験では
電解質トレーサーである塩化ナトリウムを使用



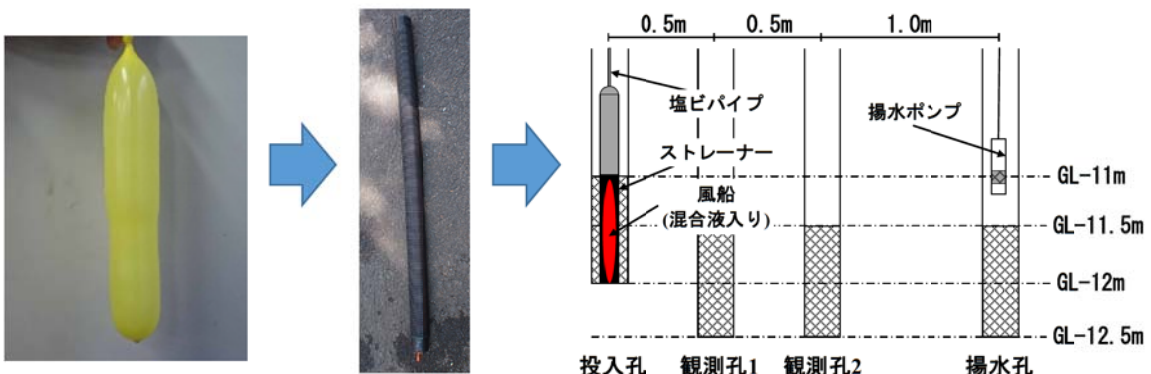
- ◆ 吸着を考慮せず移行のみ
- ◆ エタノール比重を調整

試験概要

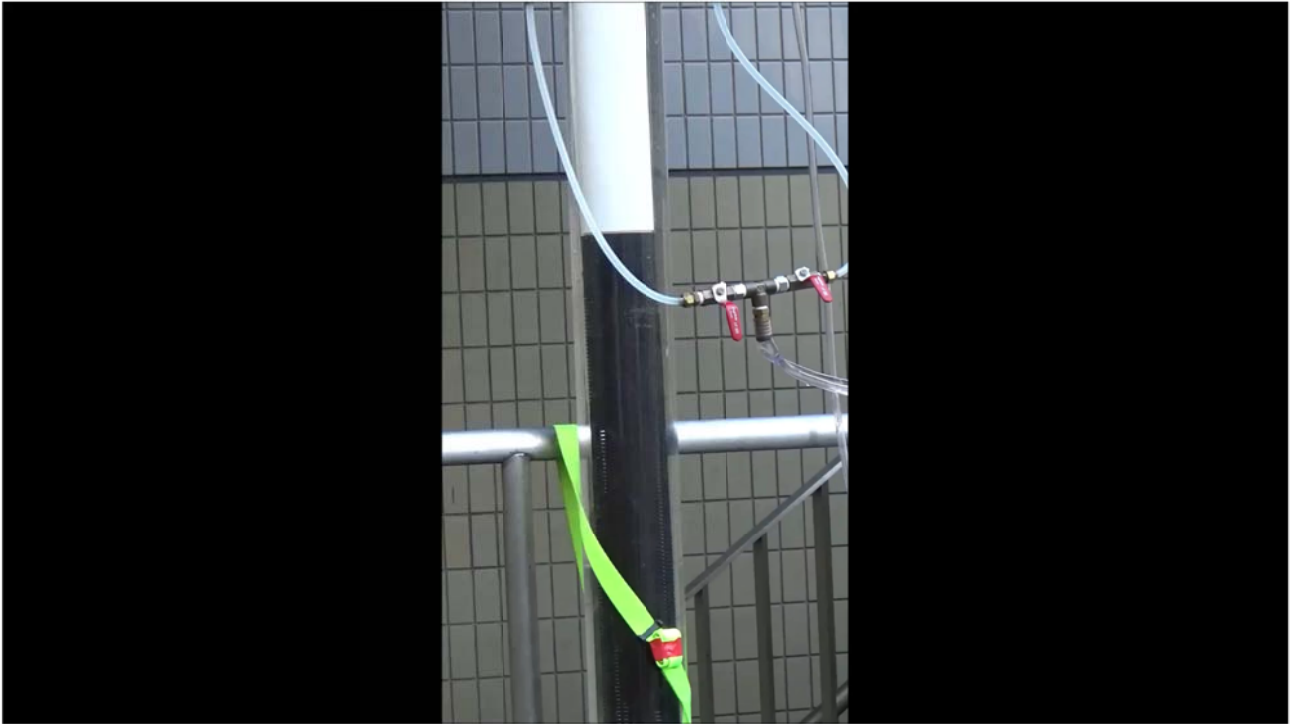
トレーサーの投入方法

ストレーナーにトレーサーを入れた風船を投入孔に設置し
孔上部から刃を落下させ風船を破裂させることで投入

- ◆ 投入時の孔内の水圧変化・体積変化の抑制
- ◆ 投入孔内の濃度を一様にできる

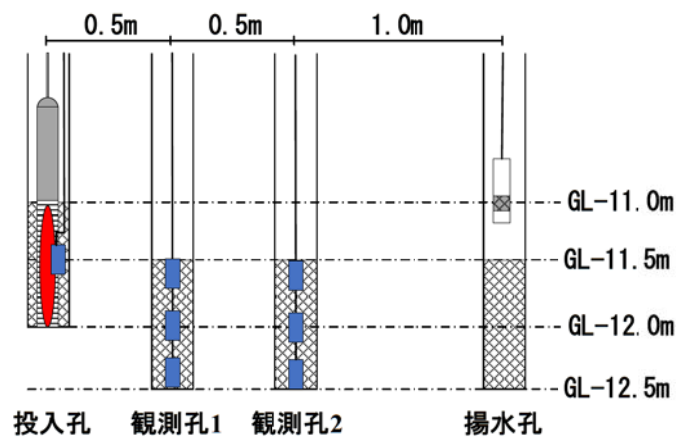


試験概要



試験概要 (2018年度)

観測方法：ストレーナー区間に設置したEC計で測定



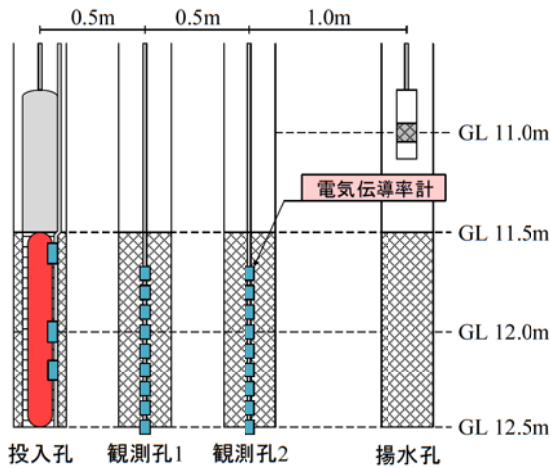
投入孔：1個(GL-11.5m)
観測孔1：1~5個(GL-11.5~12.5m)
観測孔2：1~5個(GL-11.5~12.5m)



電気伝導度計 (EC計)

試験概要 (2019年度)

観測方法：ストレーナー区間に設置したEC計で測定

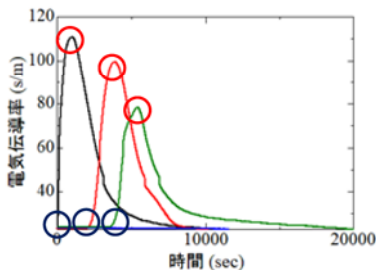


多点EC計

投入孔：3個(GL-11.5m)
 観測孔1：9個(GL-11.5~12.5m)
 観測孔2：9個(GL-11.5~12.5m)

試験概要

評価方法



実流速の算出方法

投入孔の変化の立ち上がり ~ 観測孔の変化の立ち上がり
 投入孔の変化のピーク ~ 観測孔の変化のピーク

$$v_1 / v_2 = n_e$$

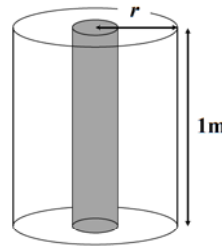
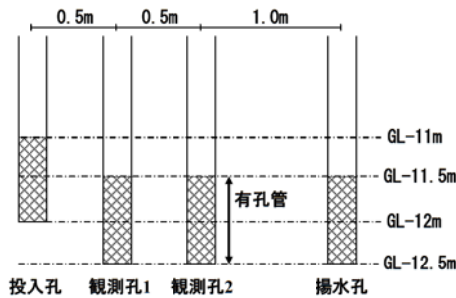
v_1 : ダルシー流速 v_2 : 実流速
 n_e : 有効間隙率

対象地層における有効間隙率と比較し測定結果の妥当性を評価

地盤	間隙率 (%)	有効間隙率(%)
砂礫層	30	15~20

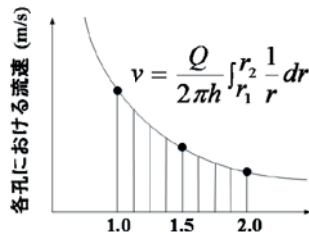
ダルシー流速

- ・揚水孔から各孔までの距離 r を半径として算出した側面積と揚水量から各孔における流速を求める
- ・各孔における流速と距離 r から成り立つ関数を距離 r で積分し各孔間の距離で割ることで各孔間での平均的な流速を求める



$$Q / A = v$$

Q : 揚水量 A : 側面積
 v : 各孔における流速



20 L/min	
投入孔～観測孔1	3.05×10^{-5} (m/s)
投入孔～観測孔2	3.67×10^{-5} (m/s)

2018年度試験

地盤の不均質性の影響 ⇒ 水みちの探査

孔内の温度変化を用いた水理試験から各孔における水みちを探査

孔内の上下流の影響 ⇒ 測定区間を限定させることで確認

- ・測定区間をパッカーで区切らない状態
- ・測定区間をパッカーで区切る状態

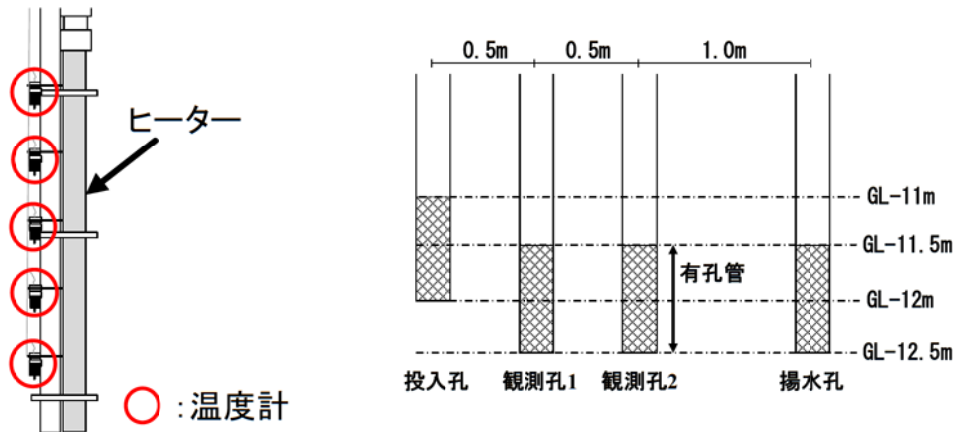


トレーサ試験を実施

試験結果

地盤の不均質性影響 ⇒ 水みちの探査

孔内の温度変化を用いた水理試験から各孔における水みちを探査
 1m区間に温度計を設置した状態でヒーターで一定時間加熱
 昇温過程と降温過程の温度変化を測定
 自然状態と揚水状態で実施し温度変化の違いから水みちを推定

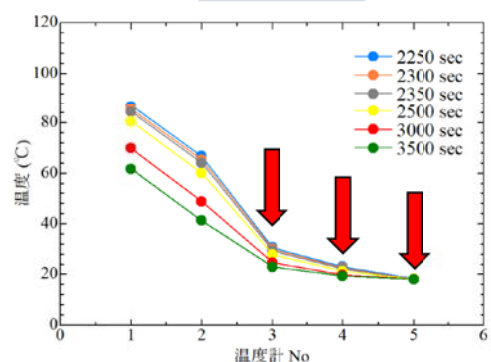
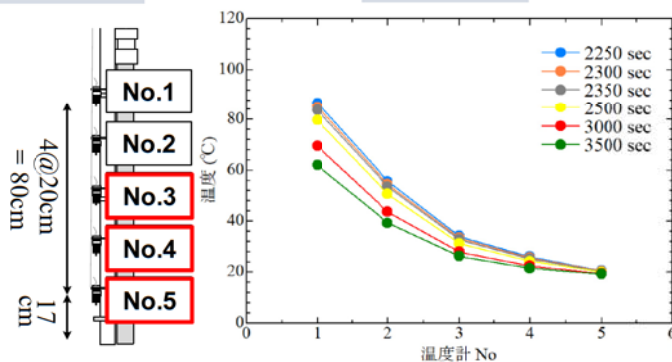


試験結果

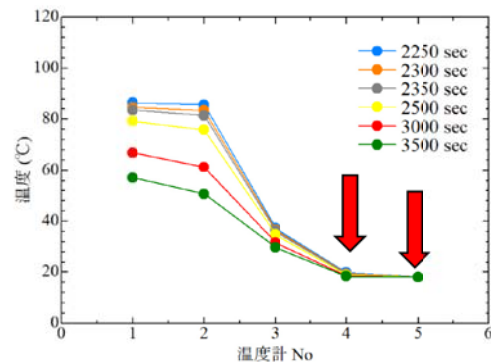
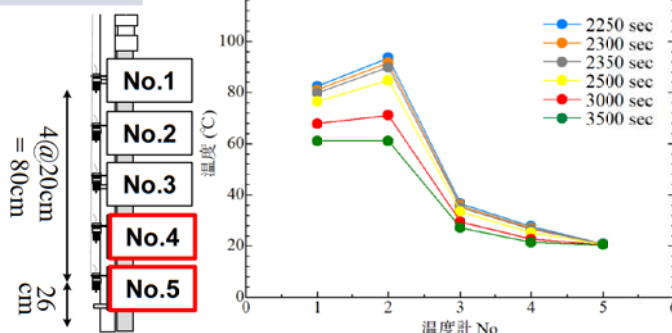
観測孔1

自然状態

揚水状態



観測孔2



試験結果

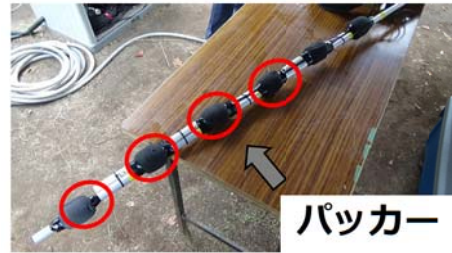
2018年度試験

孔内の上下流の影響 ⇒ 測定区間を限定させることで確認

- ・ 測定区間をパッカーで区切らない状態
- ・ 測定区間をパッカーで区切る状態



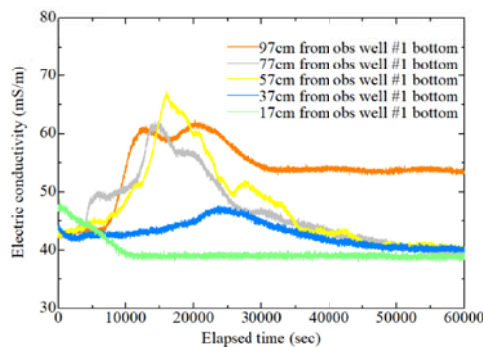
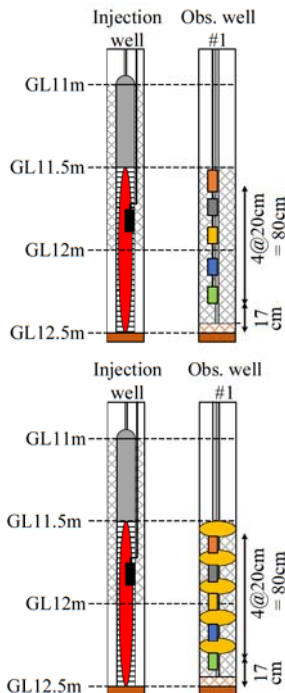
パッカー無しの場合



パッカー有りの場合

試験結果

パッカー無し・有りの比較

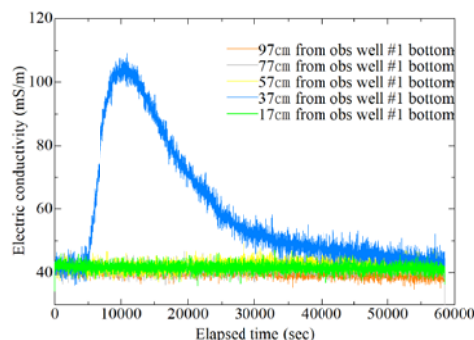


パッカー無し

57cm

77cm

97cm

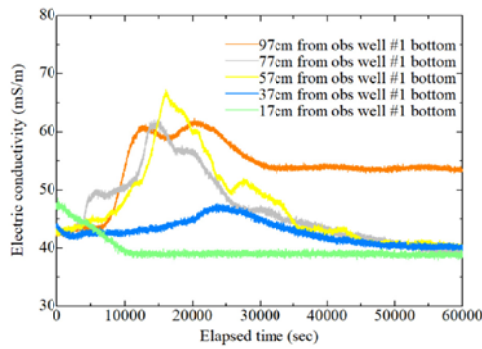
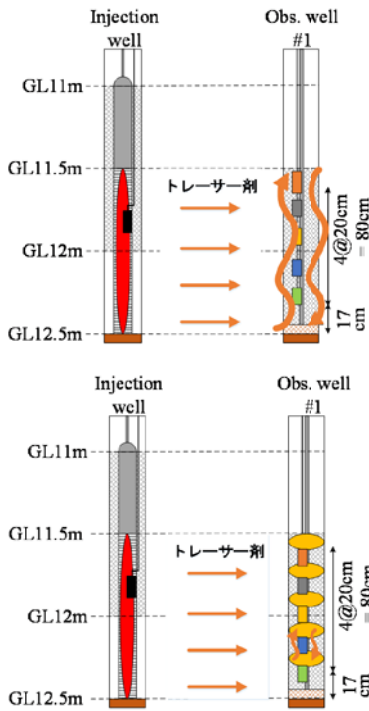


パッカー有り

37cm

試験結果

観測孔1

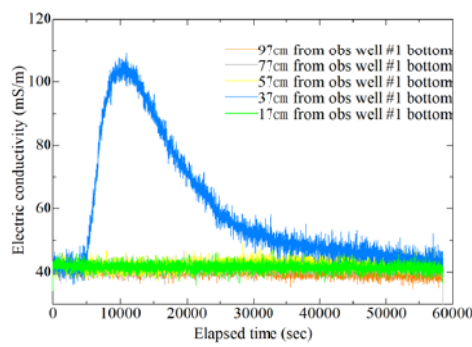


パッカー無し

57cm

77cm

97cm

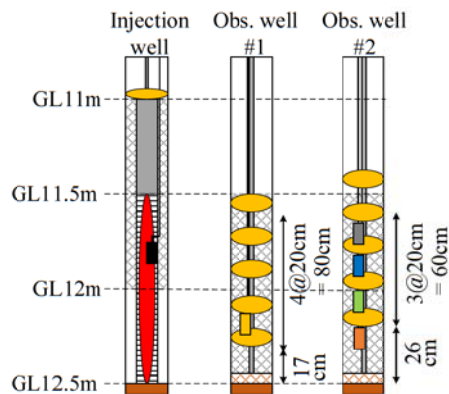
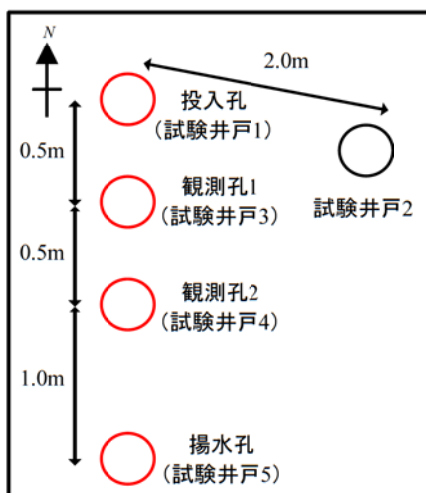


パッカー有り

37cm

試験結果

観測孔1と2



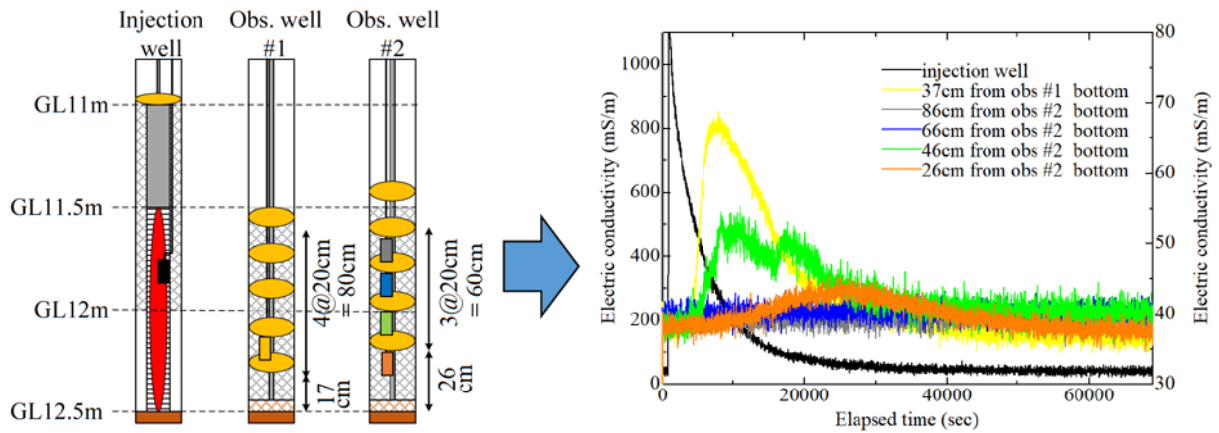
投入孔 : GL-11.5 mに1個

観測孔1 : 37cm

観測孔2 : 26cm 46cm 66cm 86cm

試験結果

観測孔1と2



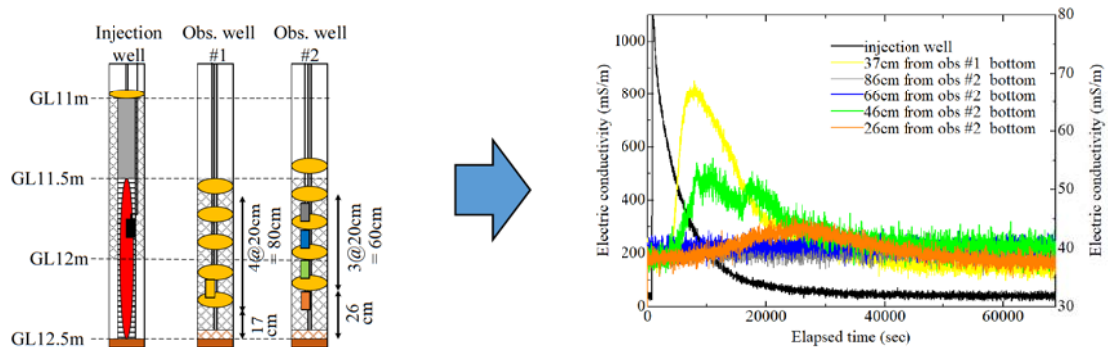
観測孔1：有孔管下端から**37cm**で顕著な反応

観測孔2：有孔管下端から**46cm**と**26cm**で顕著な反応

⇒ **観測孔1を通過せず到達する水みち・観測孔1にも複数の水みち**

試験結果

2018年度試験結果



実流速 (m/sec)	立ち上がり		ピーク	
設置位置	37 cm		37 cm	
投入孔~観測孔1	1.54×10^{-4}		7.06×10^{-5}	
設置位置	26 cm	46 cm	26 cm	46 cm
投入孔~観測孔2	1.21×10^{-4}	2.35×10^{-4}	5.55×10^{-5}	9.80×10^{-5}

試験結果

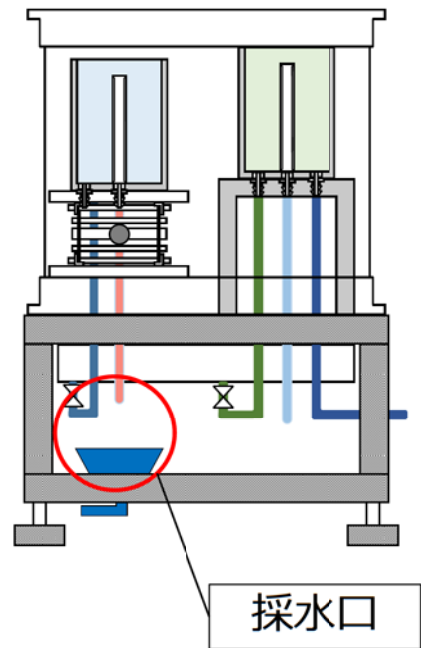
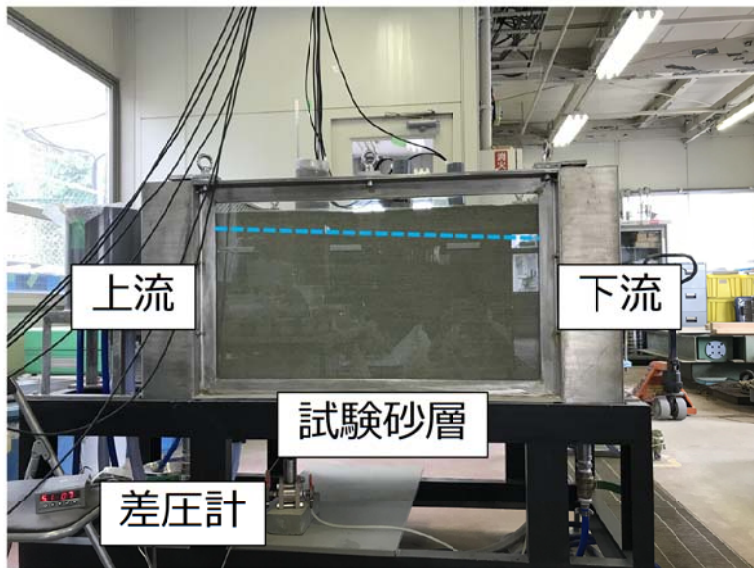
有効間隙率 (%)	立ち上がり		ピーク	
設置位置	37 cm		37 cm	
投入孔~観測孔1	19.9		43.2	
設置位置	26 cm	46 cm	26 cm	46 cm
投入孔~観測孔2	30.3	15.6	66.1	27.4

有効間隙率 (%)	立ち上がり		ピーク	
	60 cm	90 cm	60 cm	90 cm
投入孔~観測孔1	15.3	19.7	57.4	33.7
投入孔~観測孔2	16.1	14.5	48.6	54.9

2019年度試験

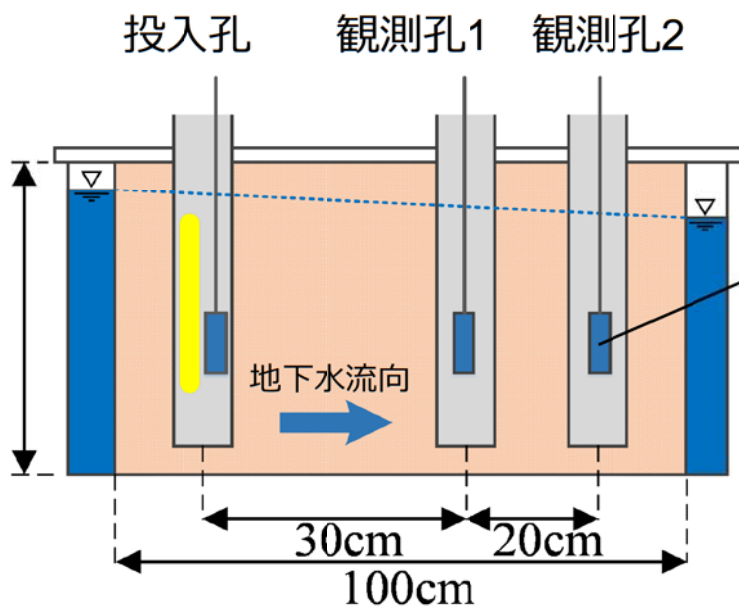
- ◆ 2018年度の結果から孔内流の影響が確認された
⇒高精度の測定には孔内流の抑制が必要
- ◆ 測定結果を用いた解析のパラメータ決定に影響
⇒完全に孔内流を抑えた場合どの程度影響するか
室内試験で基礎検討を実施

2019年度試験



- ◆ 水位差は約0.0~5.0cm間で調整可能
- ◆ 試験砂層は珪砂5号を使用
- ◆ 突き棒で締め固め間隙率は約40%

2019年度試験



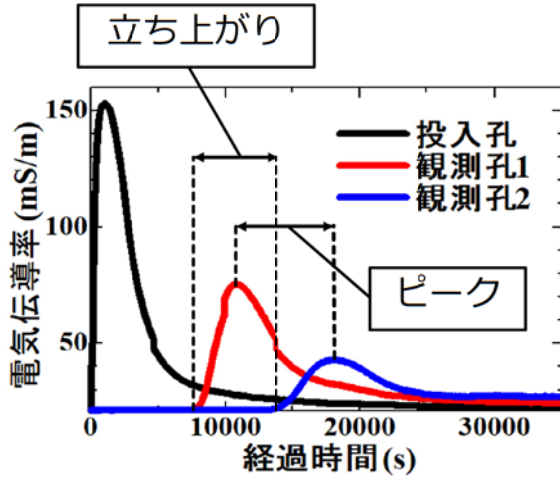
電気伝導度計

<試験孔>

材質：塩化ビニルパイプ
口径(観測孔)：VP50

口径(投入孔)：VP75
開孔率：30%

2019年度試験



砂層

間隙率 30~40%

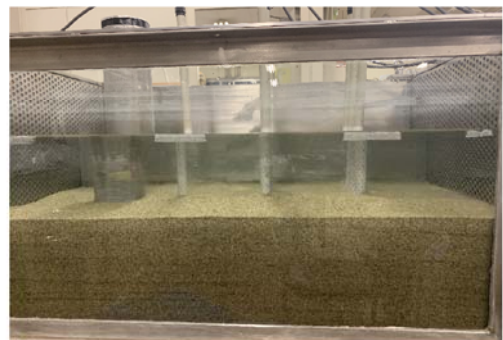
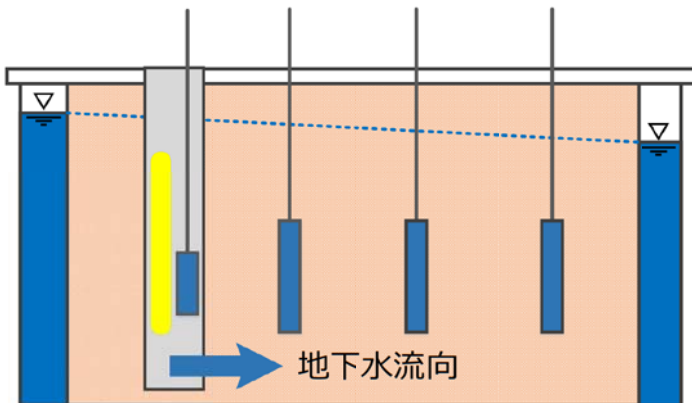
有効間隙率 30%

参考文献

土木学会編 (1974) : 水理公式集, 昭和46年改訂版, 365-366

水位差 (cm)	ダルシー流速 (m/s)	実流速(m/s)		有効間隙率(%)	
		ピーク	立ち上がり	ピーク	立ち上がり
4.81	4.59×10^{-5}	1.31×10^{-4}	1.37×10^{-4}	35.04	33.41
3.68	3.12×10^{-5}	9.19×10^{-5}	3.12×10^{-4}	33.95	30.72
2.24	1.35×10^{-5}	4.21×10^{-5}	5.22×10^{-5}	32.07	25.50
1.79	8.46×10^{-6}	2.72×10^{-5}	3.50×10^{-5}	31.83	24.70
0.93	4.98×10^{-6}	1.73×10^{-5}	2.54×10^{-5}	28.71	19.63

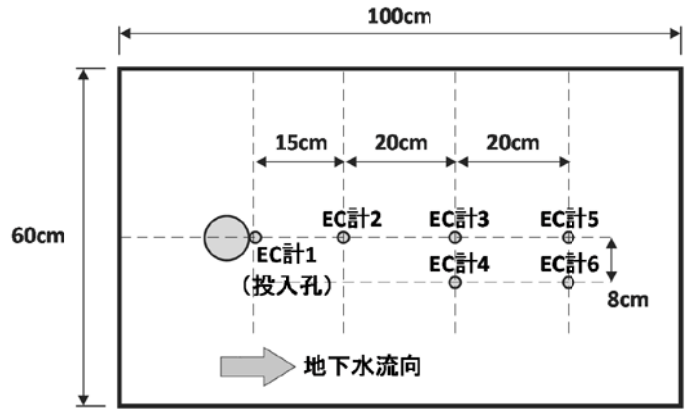
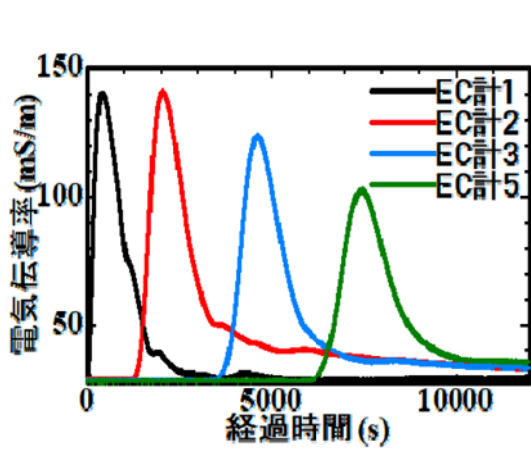
2019年度試験



<多点EC計>
砂層に埋設可能
1本で3点の測定
開孔率: 20%



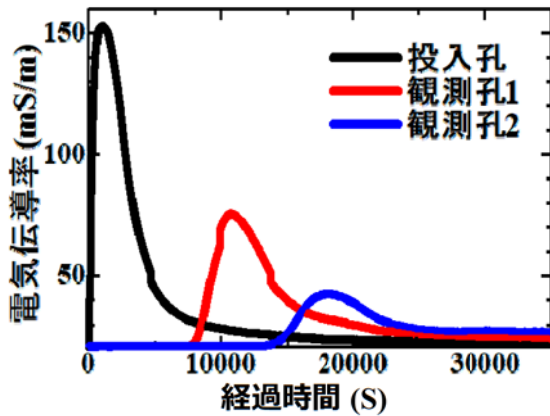
2019年度試験



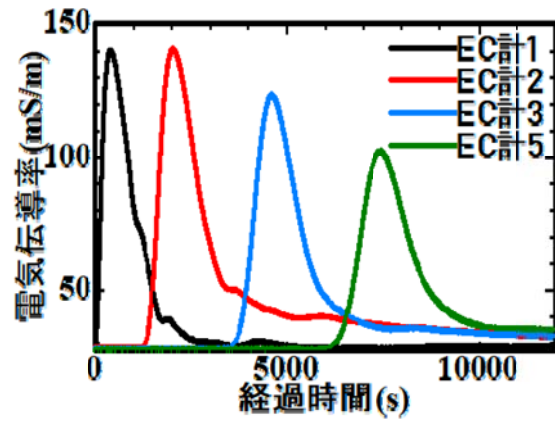
EC計配置図

水位差 (cm)	ダルシー流速 (m/s)	実流速(m/s)		有効間隙率(%)	
		ピーク	立ち上がり	ピーク	立ち上がり
2.95	2.96×10^{-5}	7.42×10^{-5}	8.59×10^{-5}	40.95	35.38
2.20	2.64×10^{-5}	7.33×10^{-5}	7.96×10^{-5}	40.80	37.60
2.00	3.01×10^{-5}	7.65×10^{-5}	8.12×10^{-5}	38.95	36.65

2019年度試験



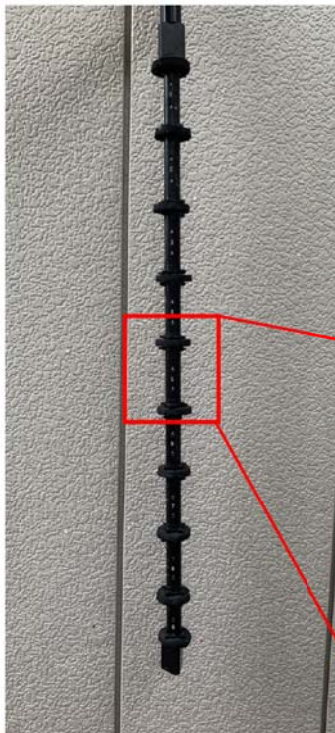
【試験孔あり】



【試験孔なし】

- ◆ テールが延びずに**正規分布形に類似**
- ◆ 投入孔から離れた投入孔においても**濃度低下が小さい**

2019年度試験



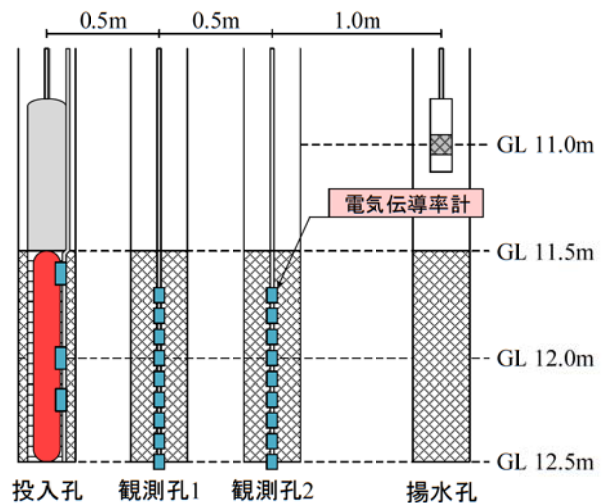
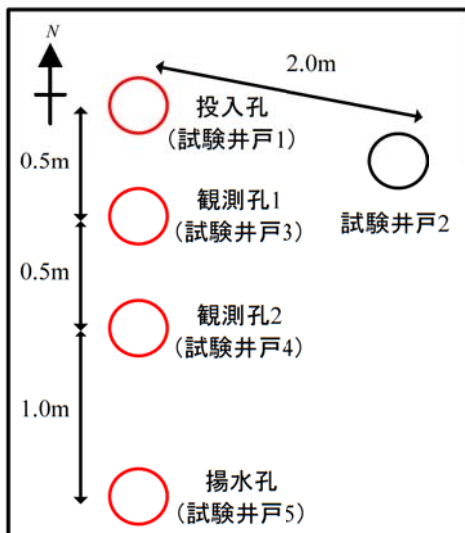
原位置試験でも孔内を珪砂で充填することで
孔内流を抑制可能
⇒引き抜きが難しい・設置に時間がかかる

パッカーで細かく区切り埋設に近い状態にしてあげる



【多点EC計】
10cmピッチパッカーで区切る
多点で9点測定可能

2019年度試験

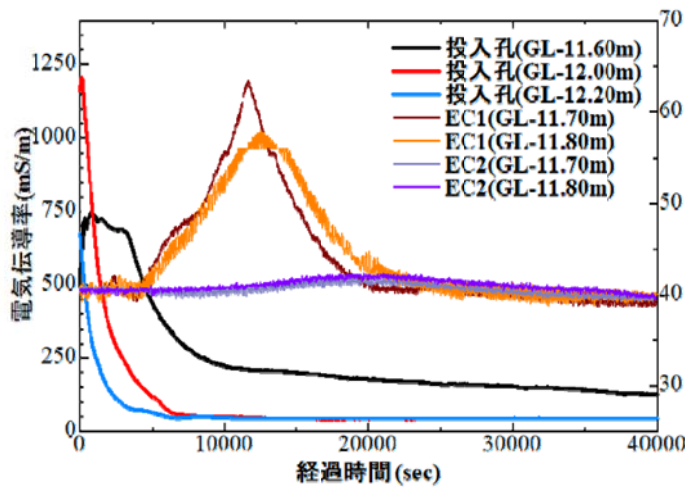


【EC計設置位置】

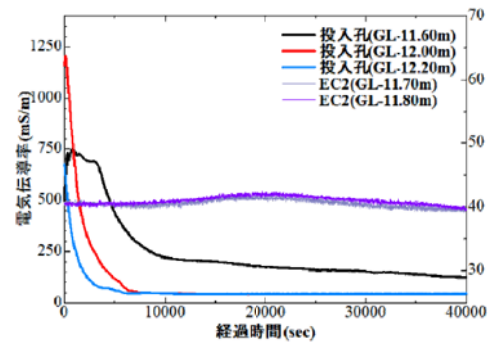
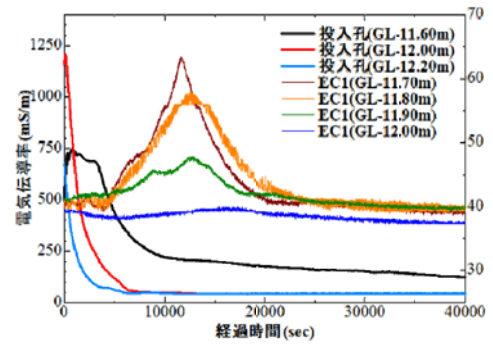
投入孔：GL-11.6m GL-12.0m GL-12.2m

観測孔：GL-11.7~GL-12.5mまで10cmピッチで9点

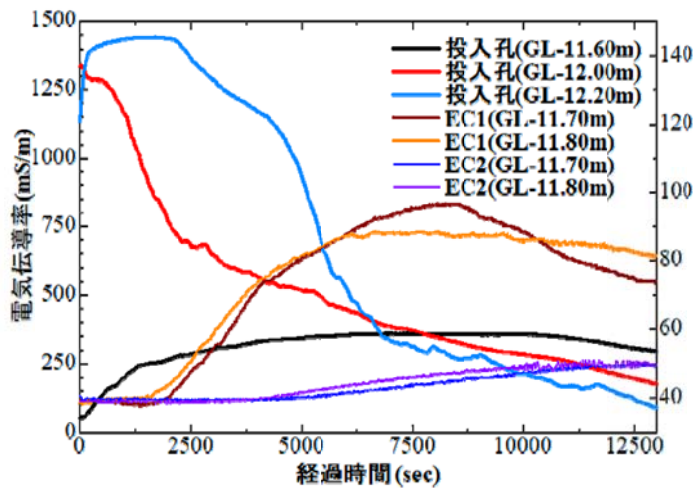
試験結果



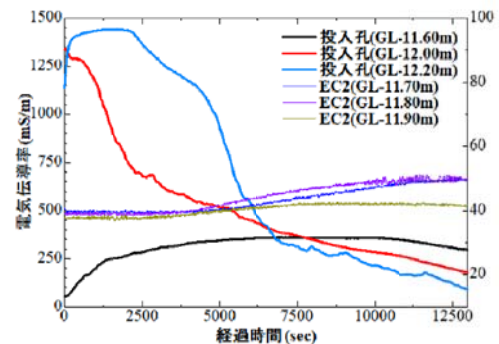
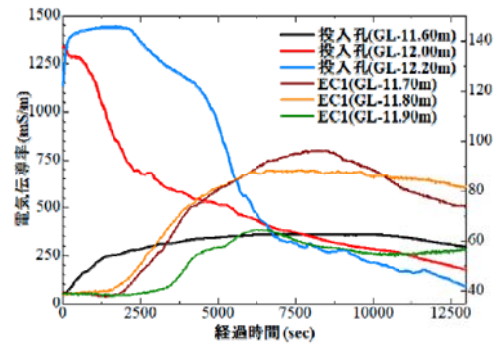
観測孔1→EC1
 観測孔2→EC2
 トレーサーの比重：1.001



試験結果



観測孔1→EC1
 観測孔2→EC2
 トレーサーの比重：1.003

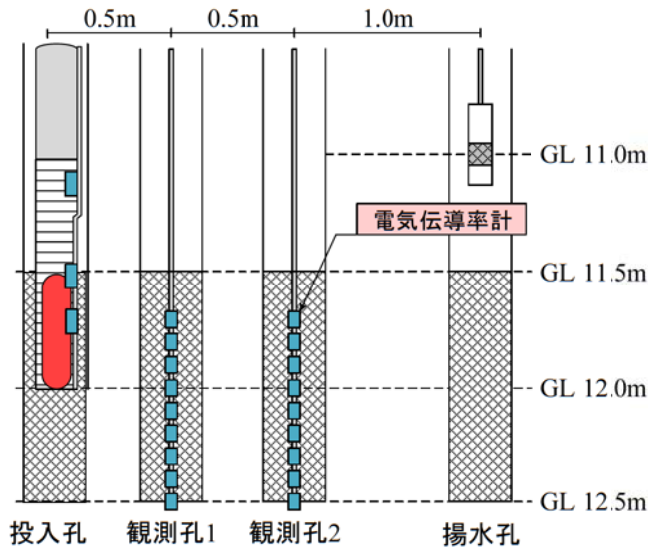


試験結果

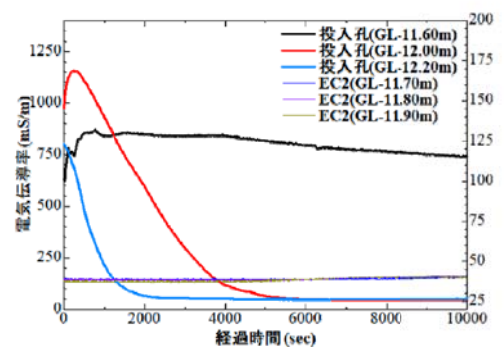
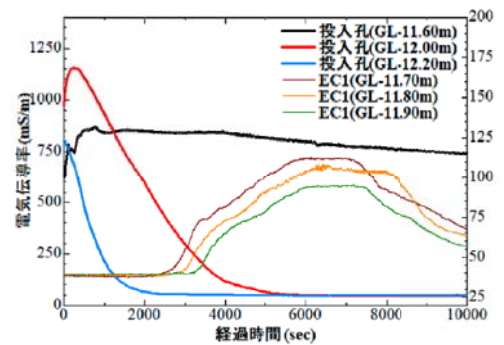
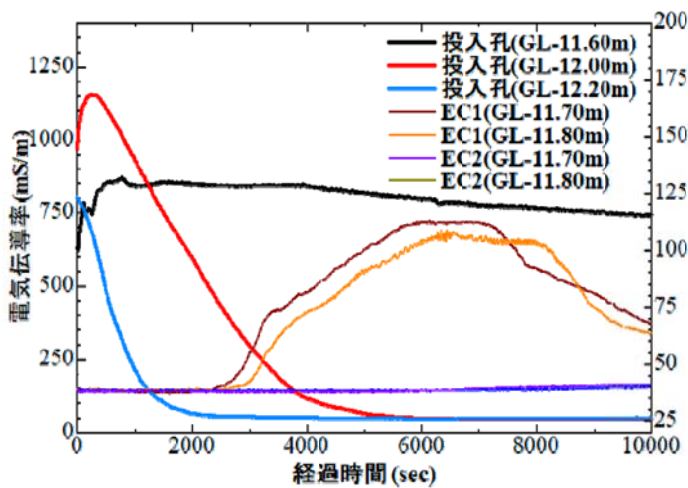
水みちの連続性評価



ストレーナーの半分を遮蔽しトレーサーをGL11.5~12.0m間に投入

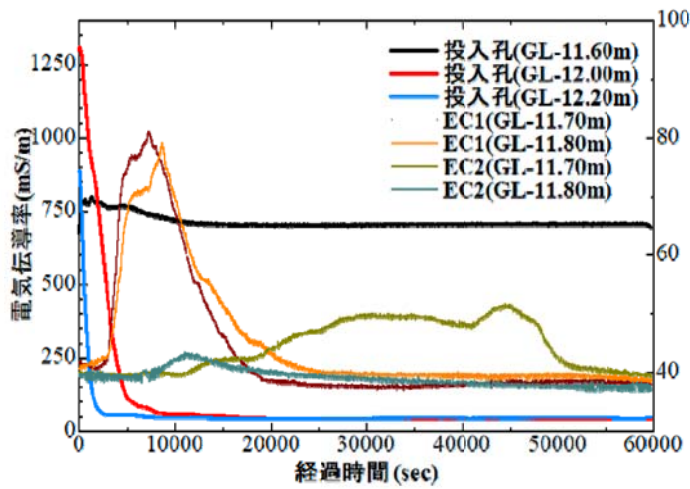


試験結果

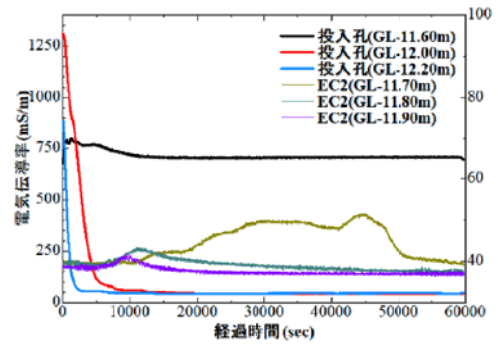
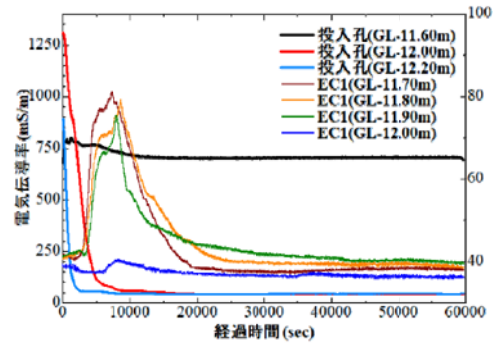


観測孔1→EC1
 観測孔2→EC2
 トレーサーの比重：1.001
 上部に投入

試験結果



観測孔1→EC1
 観測孔2→EC2
 トレーサーの比重：1.003
 上部に投入

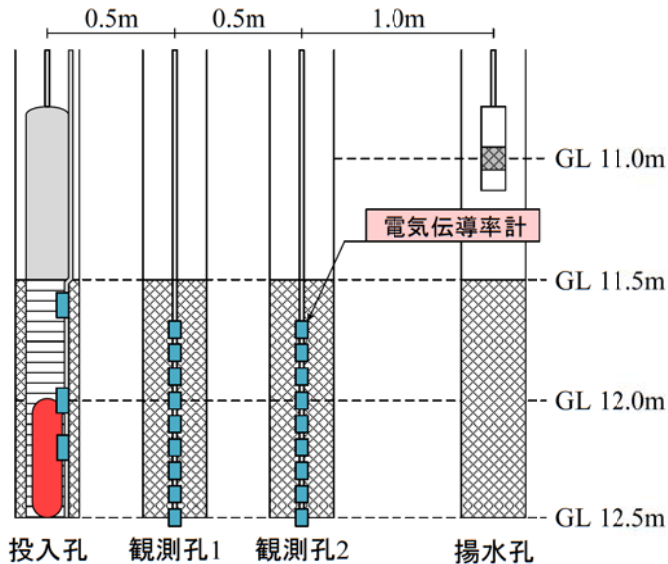


試験結果

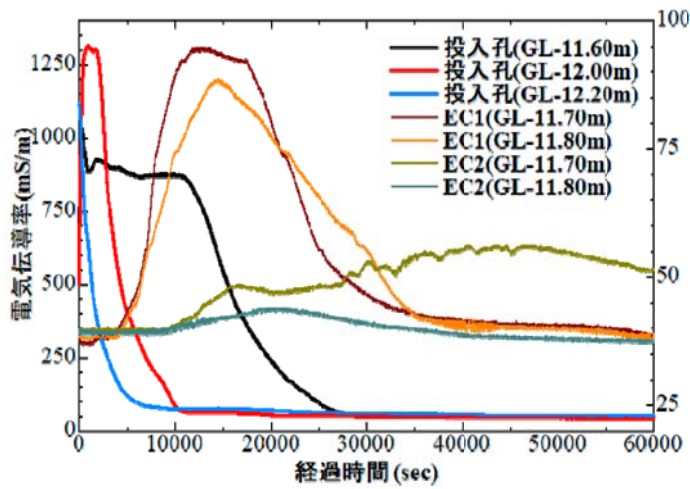
水みちの連続性評価



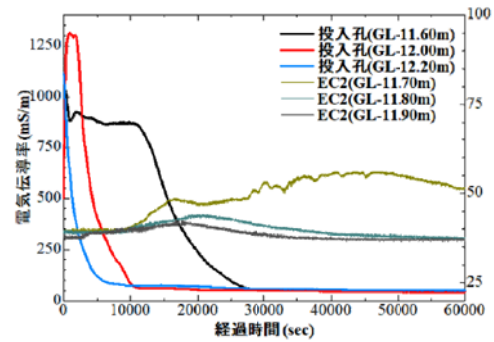
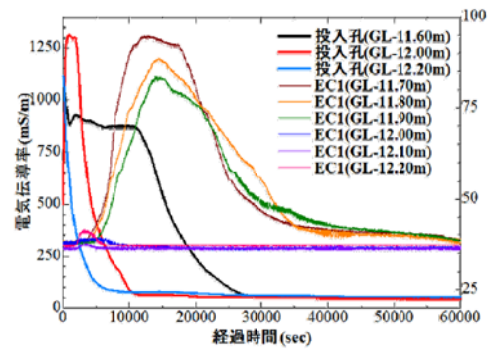
ストレーナーの半分を遮蔽しトレーサーをGL11.5~12.0m間に投入



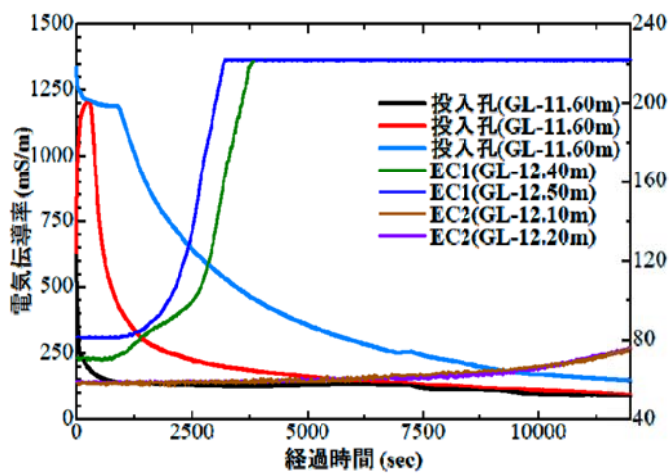
試験結果



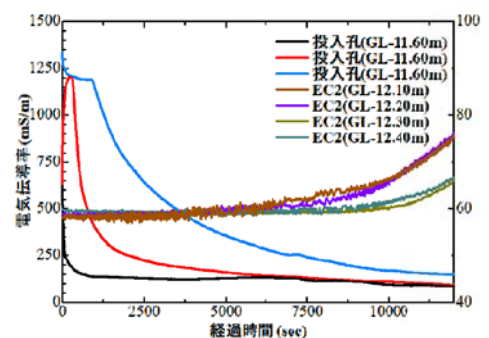
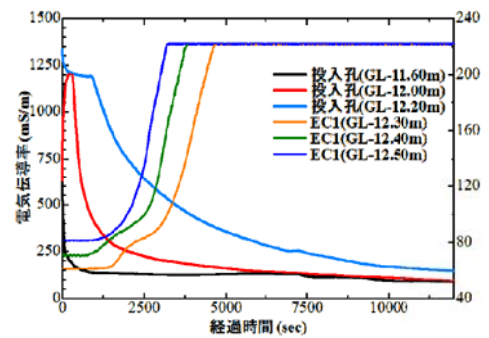
観測孔1→EC1
 観測孔2→EC2
 トレーサーの比重：1.003
 下部に投入



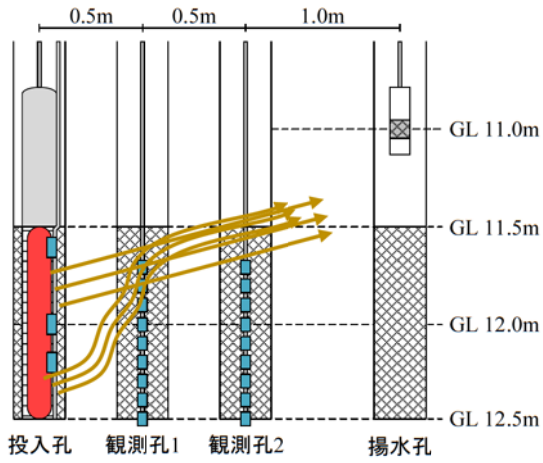
試験結果



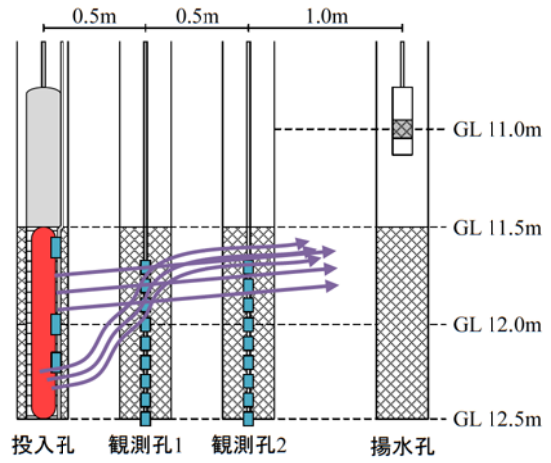
観測孔1→EC1
 観測孔2→EC2
 トレーサーの比重：1.010
 下部に投入



まとめ

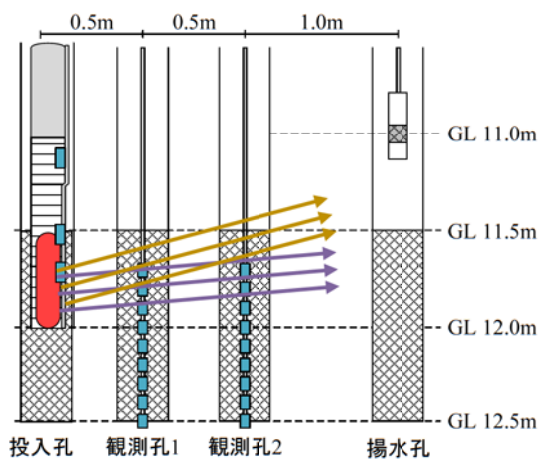


→ : 1.001



→ : 1.003

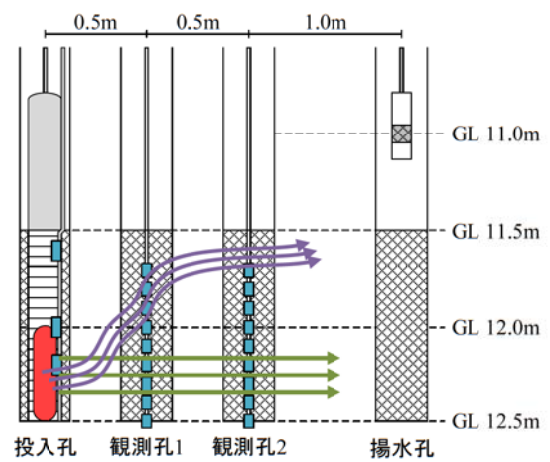
まとめ



上部に投入

→ : 1.001

→ : 1.003



下部に投入

→ : 1.003

→ : 1.010

まとめ

水みちの連続性評価 ⇒ 投入の区間を限定してあげる
測定区間をある程度遮蔽した状態で測定 (パッカーなど)
確かなトレーサの状況を把握可能
(濃度, 到達深度, 到達時間 など)

トレーサーの比重による影響 ⇒ 比重を変化させて測定
比重の違いによって通過してくる水みちが異なる可能性有
対象としている汚染物質に合わせる必要性 (移行のみ)