

香川高等専門学校



香川高専

地盤の透水性を連続的に計測できる試験装置・グラウンド・パーミアビリティ・インヴェスター ground permeability investor {ぐらんぱいん}

提案者

宮谷 真也, 田中 諒陽, 筒井 一斗, 中平 亜都夢

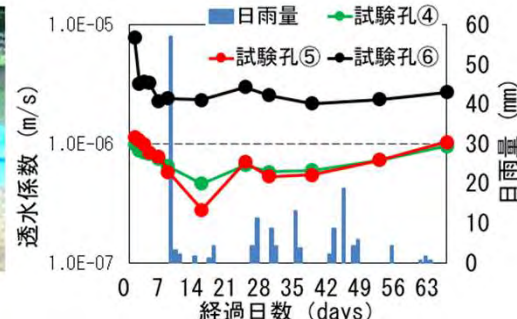
企画概要

原位置透水試験技術を堤防などの線状構造物の側線に適用するとき、個々のマリオットサイフンの設置や移動を効率的に行うことが重要です。① 1 m程度の近接した試験孔でどの程度透水性にばらつきがあるのかを明らかにしました。②通常は1日程度で終わっていた試験が、果たしてどの程度の信頼性をもって計測されているのかを明らかにするために、1週間から数か月程度連続的に計測し、その経過時間の影響を調べました。③現場で連続して原位置透水試験を行うことのできる装置の開発や要求性能についてステークホルダーにヒヤリングしました。

取組内容

実証内容

- ・定常状態に達する時間は地盤の透水性により異なるため、予備注水時間の判断が困難です。
 - ・試験孔からの浸潤流量は理論的には時間の経過とともに減少していくと考えられていますが、その実験事例があまり見られません。
 - ・先行研究では理論と反して注水時間の経過とともに浸潤流量が増加傾向を示す試験結果が得られ、浸潤流量が減少し定常状態に至る現象は認められませんでした。
- 新たな試験位置を選定し、予備注水を長時間継続させた際の浸潤流量の経時的変化の特徴を明らかにしました。



取組成果・効果

目標とする取組成果

- ・時間経過に伴う浸潤流量の減少が確認できました。
- ・予備注水時間が通常の60分程度の状態でも、対象地盤は概ね現場飽和状態になっていると考えられます。
- ・原位置透水試験において、1孔だけではなく3孔程度以上の複数の結果で評価を行うことが望ましいと考えています。
- ・降雨量による浸潤流量への影響についても確認することができました。

ステークホルダーヒアリングで得られた取組への期待

- ・現場のニーズはあるでしょう。ただ、地盤の強さとの関係や作業数量と見合う単価の見直し、規定・基準への反映が必要でしょう。
- ・地盤の強さは設計当初と同じでも、透水係数だけ大きく変動しているような場合は、災害発生の兆候かもしれません。
- ・災害発生現場で透水係数の概算値を計測・算出して、その場で概要設計までできるような仕組みづくりができれば、より実践的な威力を発揮できるかもしれません。

第1回高専防災減災コンテスト 最終審査会 230306@東京



地盤の透水性を連続的に計測できる試験装置
グランド・パーミアビリティ・インヴェスター
ground permeability investor {ぐらんぱいん}

Long term water supply method
at the permeability test above groundwater
against dikes and slopes



香川高等専門学校

1. 透水係数 k とは

- 土中の水の流れ易さを示す「ものさし」です。
- 値が大きいほど土の中で水が流れ易いことを示します。
- 今回の実験範囲・・・ $10^{-7} \sim 10^{-5}$ [m/s] 

 遅い 流れにくい		表 土の透水性および適用される透水試験 透水係数 k [m/s]										 早い 流れやすい	
		10^{-11}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0
透水性	実質上不透水	ひじょうに低い		低	い	中		位	高				い
対応する土の種類	粘性土	微細砂, シルト 砂-シルト-粘土混合土				砂および礫				清浄な礫			
透水係数を直接測定する方法	特殊な変水位透水試験	変水位透水試験				定水位透水試験				特殊な変水位透水試験			

2. 目的・検証実験の流れ

- 堤体斜面などを対象とした地下水面より上の地盤を対象とした透水試験方法(JGS1319)に適用する原位置透水試験装置の開発を進めています。
 - マリOTTサイフンの原理が用いられ, 試験装置から注水される水量により対象地盤の現場飽和透水係数を算出します。
 - 原則として, 計測前に不飽和状態の地盤が現場飽和状態になるまで十分に予備注水を実施します。
- ▼
- 予備注水時間が試験結果に及ぼす影響を確認した事例が少ないのが現状です。
- ▼
- 長時間予備注水を行う方法論と現場飽和状態に至る浸潤流量の経時的变化について実験的に明らかにしました。

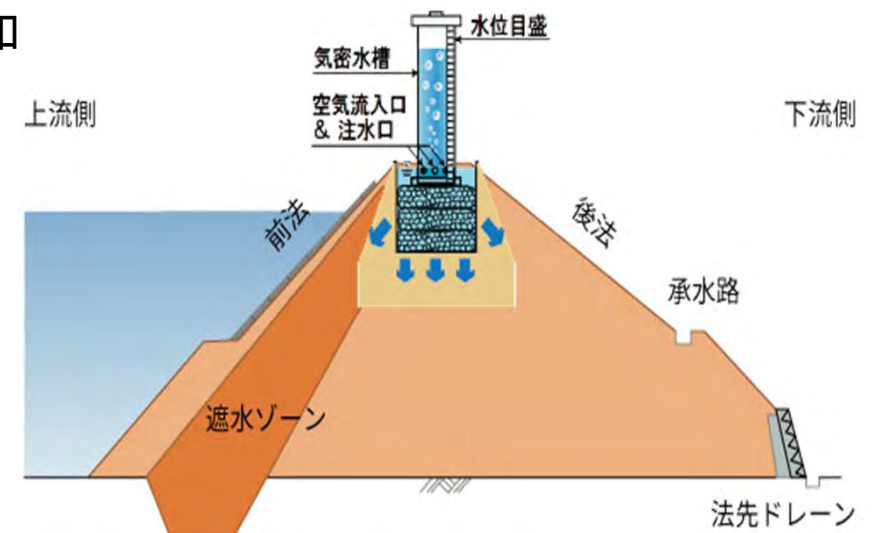


図-1 ため池堤体と原位置試験装置の設置状況(イメージ図)

3. 試験を行うにあたって

飽和に近い状態で浸潤

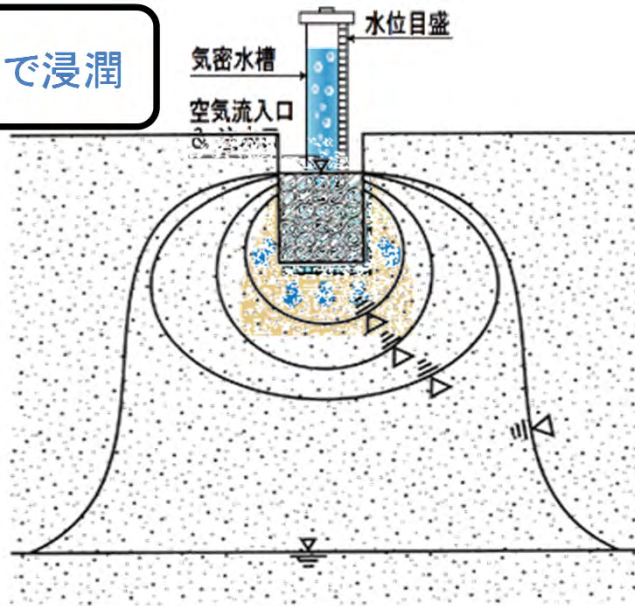


図-2 試験中の浸潤形態

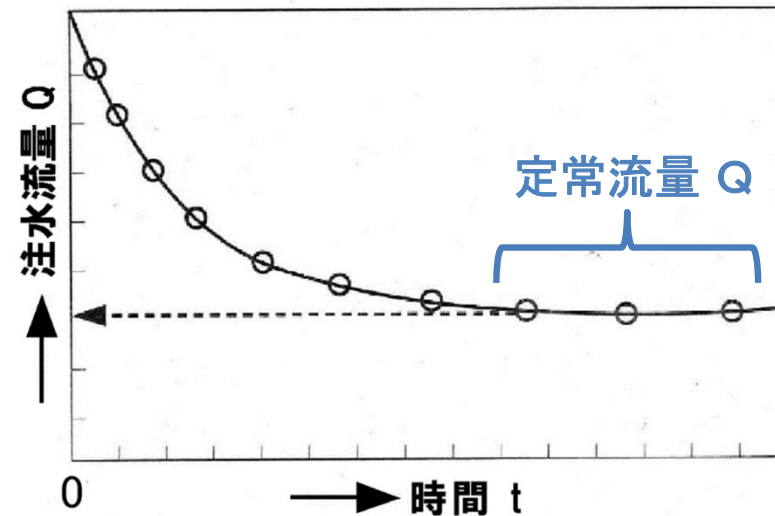


図-3 注水量の経時的変化

JGS1319は試験孔が**現場飽和状態**となった時の透水係数を求める試験です。

試験孔からの浸潤(図-2)が**定常状態**である(図-3)ことから
現場飽和状態にあると判断し→**現場飽和透水係数**を求めます。

4. 試験場所, 対象地盤の土質

- ・試験場所: 香川高専の野球グラウンド(図-4)です。
- ・先行研究より100mほど東に離れた位置です。
- ・試験位置は山裾で切盛りされた標高約41mにある盛土造成地です。
- ・地下水は深部に形成されていると考えられます。



図-4 検証試験場所

(参照: 地理院地図, GSI Maps, 国土地理院 <https://maps.gsi.go.jp/>)

- ・各試験孔について土質試験を実施しました。
- ・地盤(地質)は大局的に見て
細粒分質砂{SF}を主体に構成されています。

(細粒分質砂{SF}:
細粒分15%以上, 礫分5%以上)

試料番号 (深さ)	試験孔No. 4 (0.00~0.30m)	試験孔No. 5 (0.00~0.30m)	試験孔No. 6 (0.00~0.30m)	試験孔No. 4(1週間後) (0.00~0.30m)	試験孔No. 5(1週間後) (0.00~0.30m)	試験孔No. 6(1週間後) (0.00~0.30m)
石分(75mm以上) %						
礫分(2~75mm) %	3.1	4.4	1.9	4.6	5.2	3.3
砂分(0.075~2mm) %	58.0	62.3	60.0	65.5	69.0	69.0
細粒分(0.075mm未満) %	37.9	33.3	38.1	29.9	26.3	27.7
シルト分(0.005~0.075mm) %						
粘土分(0.005mm未満) %						
最大粒径 mm	19	9.5	19	19	19	9.5
均等係数 U_c	—	—	—	—	—	—
液性限界 w_L %						
塑性限界 w_P %						
塑性指数 I_p						
地盤材料の分類名	細粒分質砂	細粒分質砂	細粒分質砂	細粒分質砂	礫まじり 細粒分質砂	細粒分質砂
分類記号	(SF)	(SF)	(SF)	(SF)	(SF-G)	(SF)
凡例記号	○	◎	●	△	▲	□

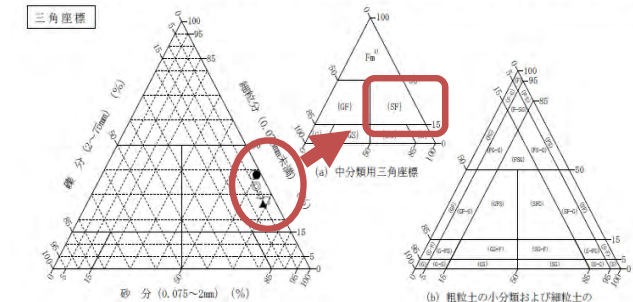


図-5 土質試験結果

5. 試験方法について

①1m間隔(中心間)に3つの試験孔を人力のみで掘削・整形しました。

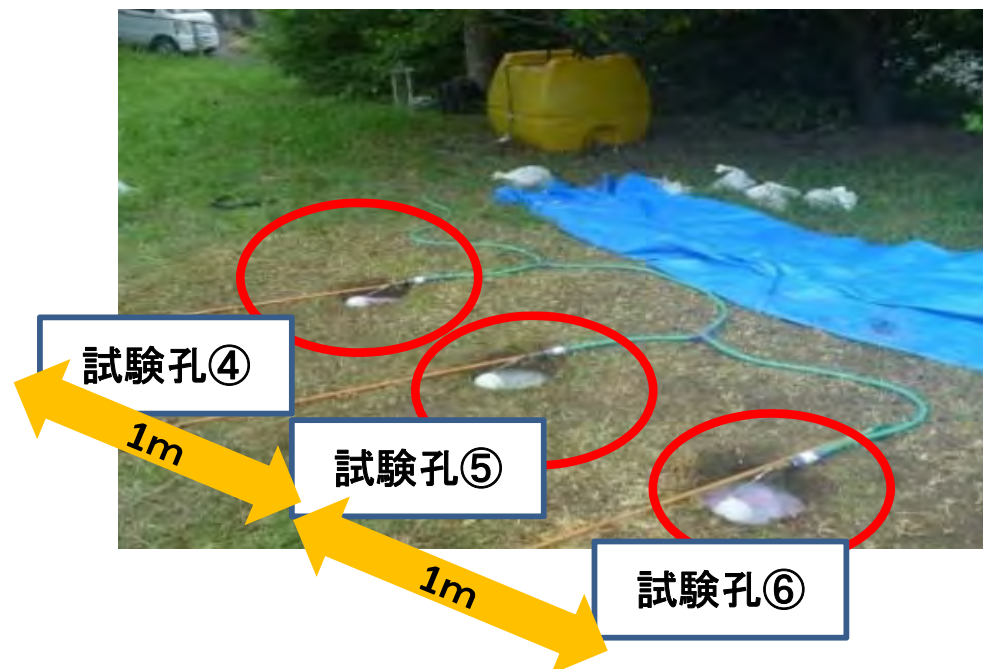


写真-1 試験孔の全景

直径30cm × 深さ30cm



6. 試験方法(予備注水)

②孔壁を30分間洗浄

ホースで孔壁の細粒分を洗い流し、ポンプで試験孔外へ排出します。



写真-2 試験孔の洗浄

③予備注水を60分間実施

メッシュの巾着袋に詰めた砂利を試験孔に設置し、ホースで試験孔の注水を開始します。



写真-3 予備注水中の試験孔

7. 試験方法(注水の継続)

④試験を実施しながら長時間注水を継続

- ・水道を開放してタンクに繋げ、貯水しながら各試験孔にホースを接続して注水しました。
- ・透水試験は通常の予備注水1時間後に加え、1日後、2日後、3日後、5日後、7日後、その後はおよそ1週間ごとに実施しました。
- ・試験時以外はシートで覆って養生しました。
- ・汎用市販品のみにて製作しました。

任意の水位に達するとフロート弁を閉鎖し、試験孔からの越水を防止しました。



写真-4 貯水タンク
～市販品を改良～

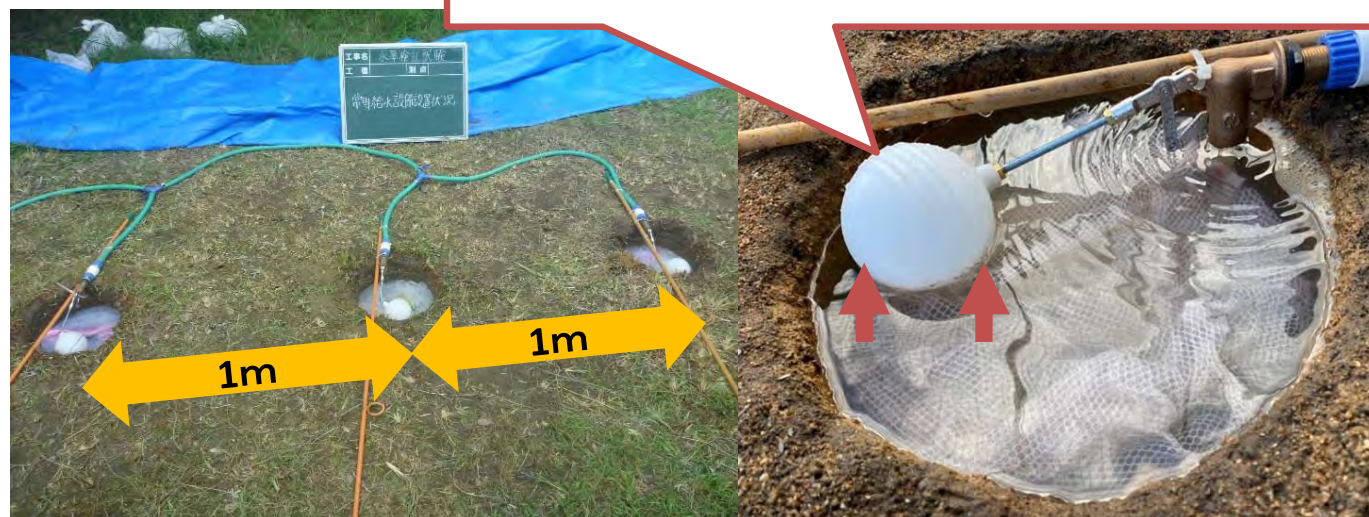


写真-5 注水継続の様子
～市販品の組み合わせで構成～

早見表を準備しました！

8. 試験方法・時間(現場透水試験)

⑤現場透水試験を実施

- ・試験には低透水性地盤に適用した、大管に内蔵された**小管**を使用しました。

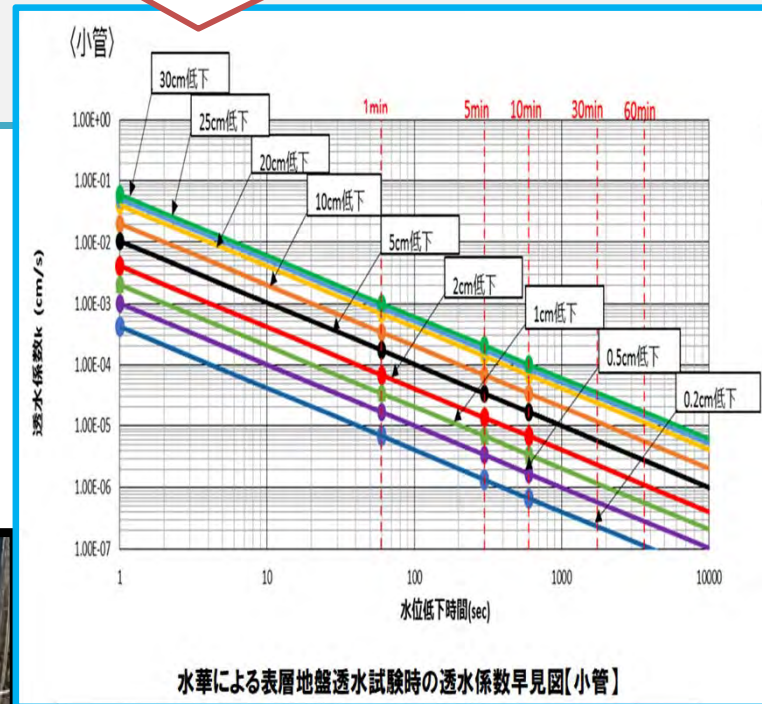
→現場で**早見表**から透水係数を楽々算出！

- ・1孔×3回×3孔・・・準備含めて**2時間**程度で終了。



注水口：
直径13mmの円形を
水平に3つ並べた
ものを採用

写真-6 使用した透水試験装置



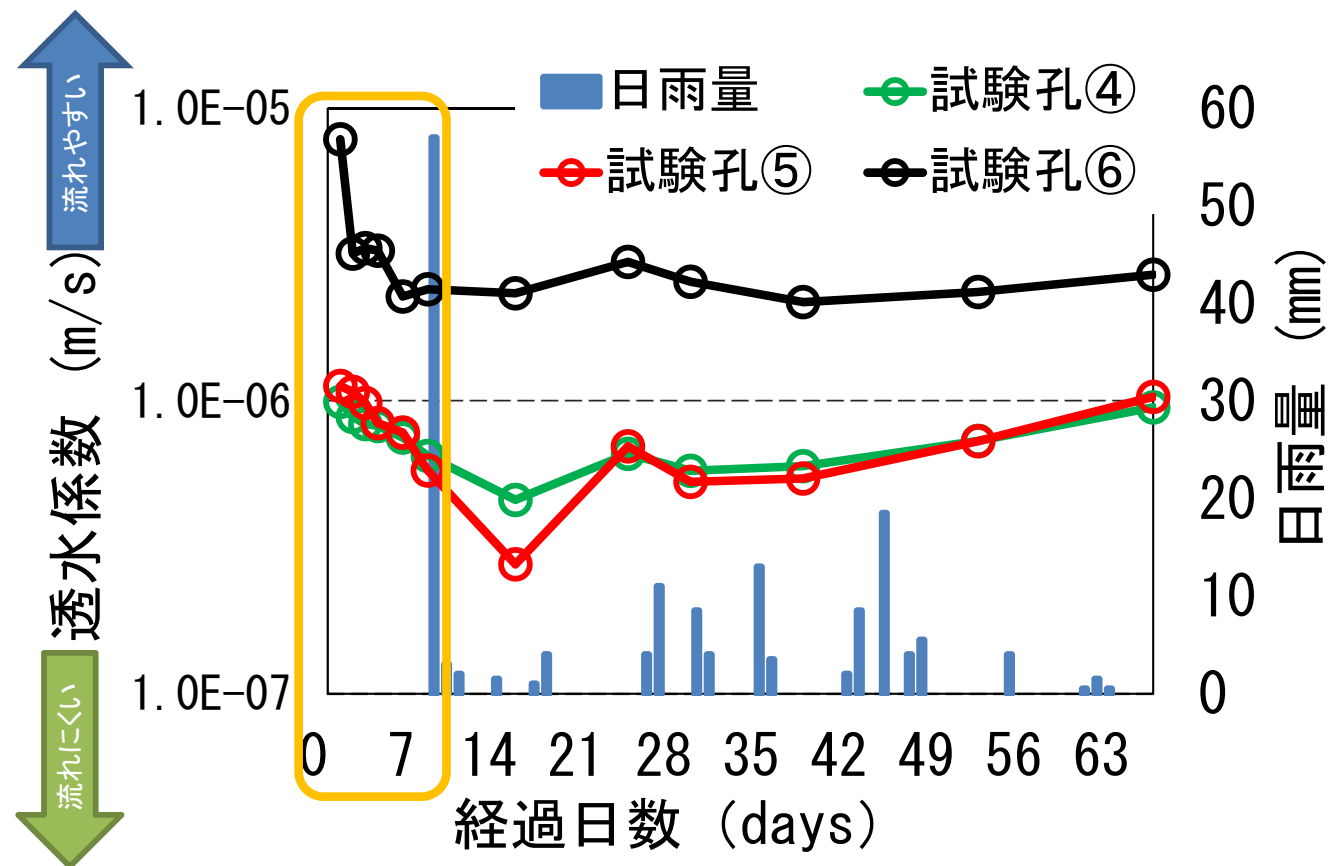
水華による表層地盤透水試験時の透水係数早見図【小管】



写真-7 透水試験の様子

9. 試験結果と考察①

- ・横軸:経過日数(普通目盛), 縦軸:透水係数(対数目盛)です。
- ・雨天の日が多く, その影響を考慮するため気象庁HPから日雨量データを追加して表示してあります。



試験結果より

- ・注水開始より14日後にかけて透水係数が減少傾向にあります。

一般的な認識である時間経過に伴う浸潤流量の減少を確認しました。

図-6 試験結果①

(参照: 気象庁, 平年値(年・月ごとの値) <https://www.data.jma.go.jp/>)

10. 試験結果と考察②

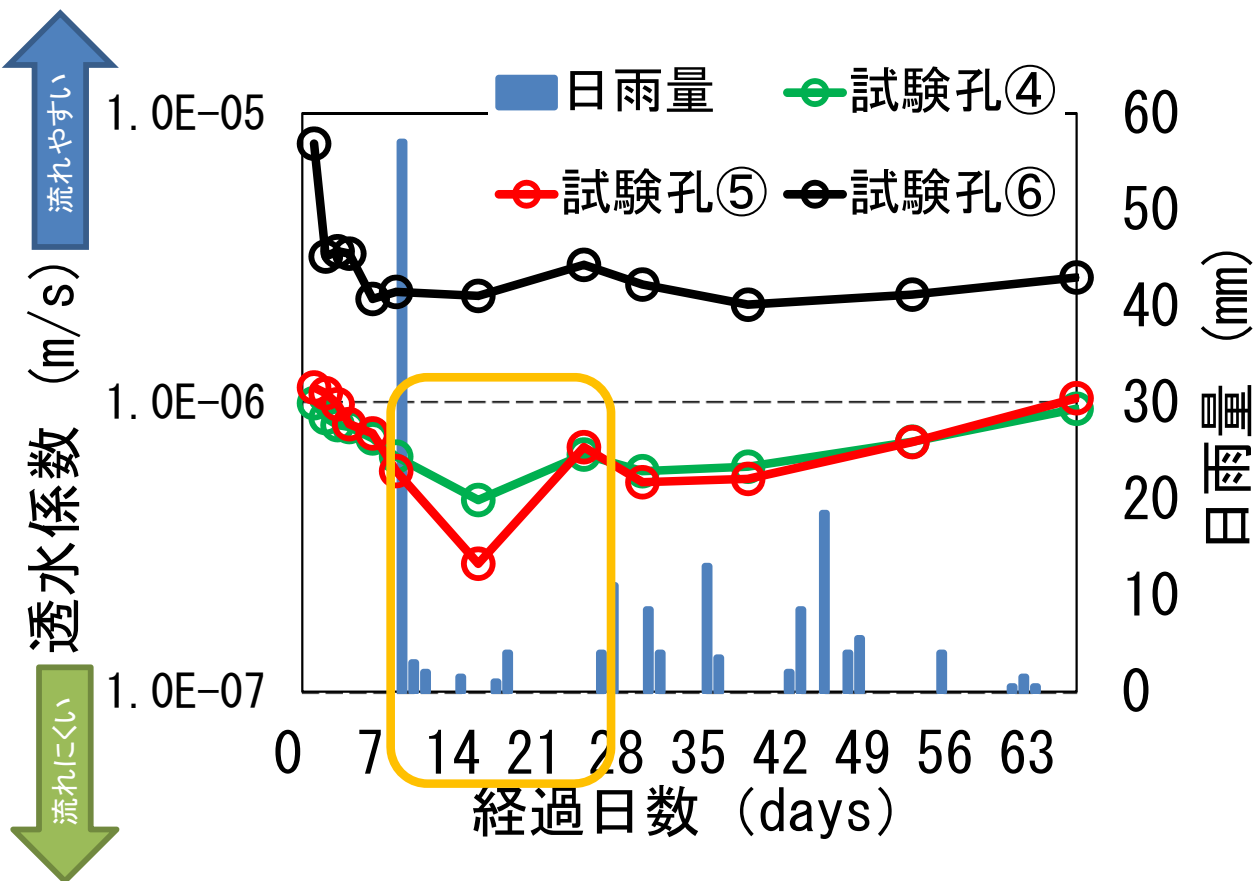


図-7 試験結果②

試験結果より

・大雨後に計測された注水開始14日経過後の試験孔④・⑤の透水係数は最も小さくなっていますが、その後晴天が続くと透水係数は上昇しました。

事前の大雨の影響で試験場所の周辺地盤が広い範囲でより飽和に近い状態となり、それが影響した可能性が高いと考えられます。

11. 試験結果と考察③

・注水開始から5日経過後までを拡大表示

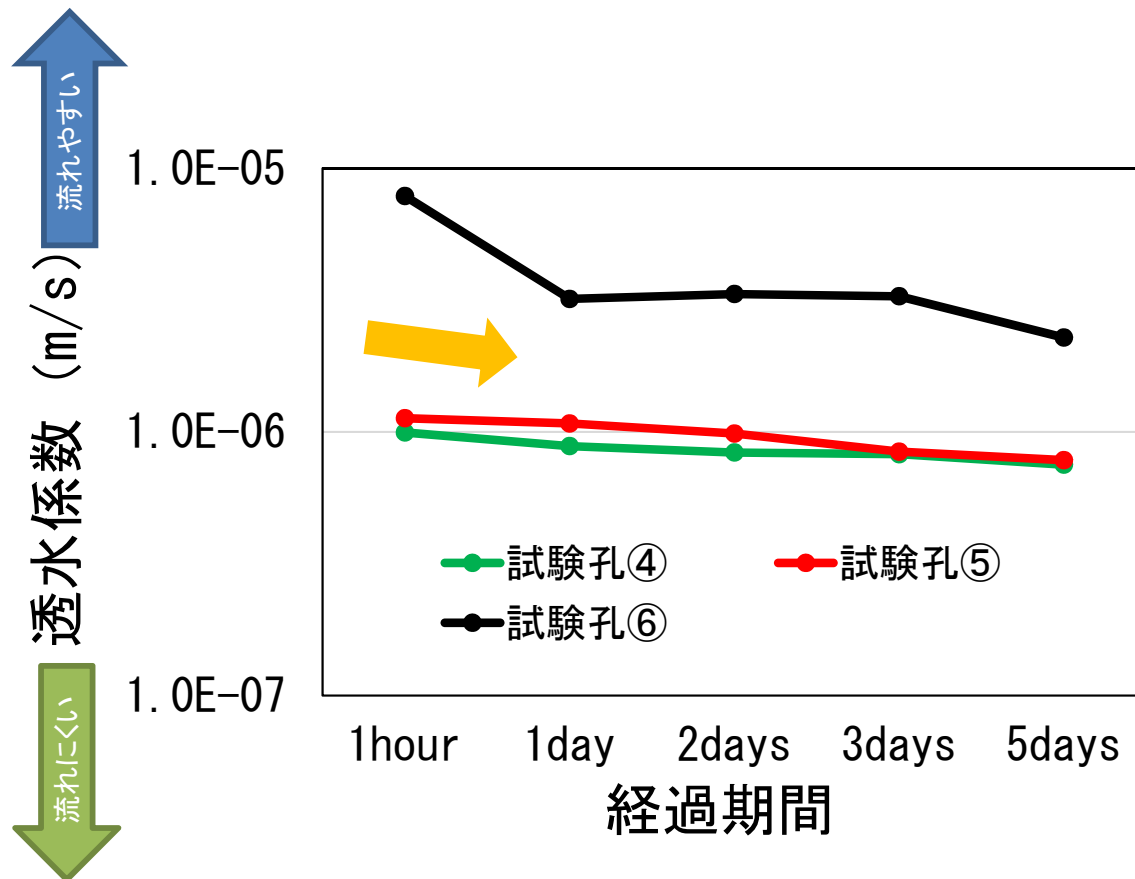


図-8 試験結果③

試験結果より

今回試験を実施した地盤において試験孔④と⑤では透水係数が60分経過以降横ばいです。

予備注水時間が標準的な60分程度でも概ね現場飽和状態になっているものと推察されます。

12. 試験結果と考察④

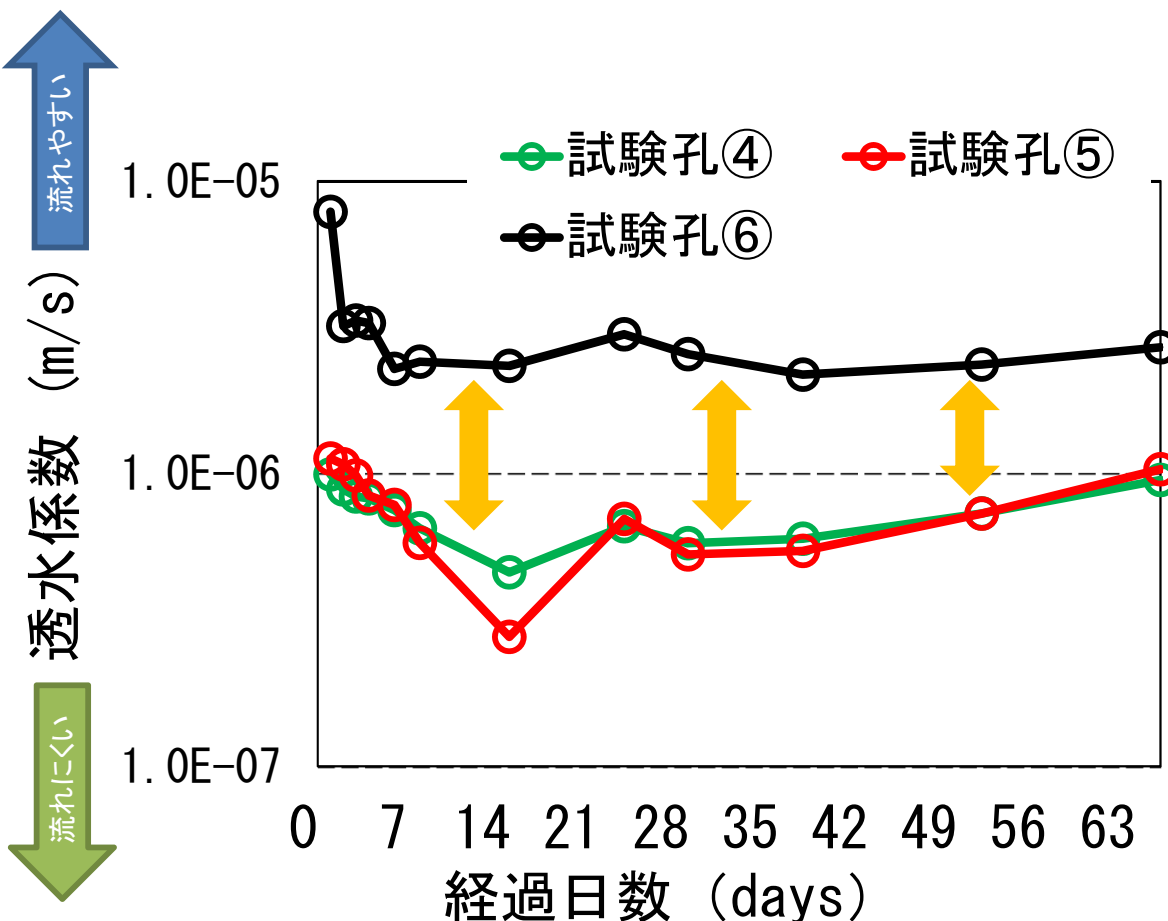


図-9 試験結果④

試験結果より

試験孔の近接した箇所で試験を実施しても試験孔⑥のように、得られた透水係数に差が生じる結果も認められました。

原位置透水試験において、1孔だけでなく3孔程度以上の複数の結果で評価を行うことが望ましいと考えました。

また、透水係数に計測した孔ごとに有意な差が生じたときには、地盤の異常を事前に検知できる可能性を見出しました。

13. 検証実験のまとめ

原位置透水試験装置を用いて、現場飽和状態に至る浸潤流量の経時的変化について検証試験を実施しました。



- ①一般的な透水試験に関する認識である時間経過に伴う**浸潤流量の減少**が確認できました。
- ②予備注水時間が通常の60分程度の状態でも、対象地盤は概ね**現場飽和状態**になっている可能性が高いと考えています。
- ③原位置透水試験において、1孔だけではなく**3孔程度以上の複数の結果**で評価を行うことが望ましいと考えています。
- ④**降雨量**による浸潤流量への影響についても確認することができました。

14. ステークホルダーへのヒアリング調査結果

・発注者(国, 県, 高速道路, 電力)や受注者(建設会社, 設計会社), ため池管理者からヒアリングすることができました。

Q1. 「電気探査のように連続的に透水試験ができるのなら効果的か, ニーズはあるか」について?

A1. 結論から申しますと, 連続的に地盤の透水性を調べるニーズは, 社内でいろいろ確認いたしました但しわかりませんでした。

しかし, 地盤の透水性は非常にバラツクものであり, 1箇所1回の試験で透水性を判断してよいのか, 1箇所複数回の試験で透水性を判断した方がよいのか, 複数箇所複数回の試験で透水性を判断した方がよいかなど, 地盤の不均一性に対する課題はあると考えております。

「原位置透水試験装置の改善, 高効率化」は大変重要な課題と思います。諸外国(ヨーロッパ)では, 透水性の確定値を設定して検討することに限界がきていると考えられているようで, 透水性のバラツキを考慮して, ある幅の透水性を算出・設定し, 安全性も統計的に判定する方向に向かっているようです。

よって, 代表断面の解析に必要な定数を設定する際, 「原位置透水試験装置の改善, 高効率化」により, 試験を複数箇所複数回実施するなど, 透水性を詳細に把握するニーズはあると考えます。

Q2. 「社会実装に必要な課題整理の体制, 制度の検討」について?

A2. 例えば3つの孔を開けるのなら, 今の単価を3倍にしないと現実的でないでしょう。そのためには, 直径を10cmにするなどしても, 同様のデータが得られるのか検証と規格・基準の変更が必要となるでしょう。たくさん連続的に透水係数を調べるというより, 地盤の強さと連動させてAIの判定を入れながら効率的に弱部を探すなどの方法も必要ではないか。

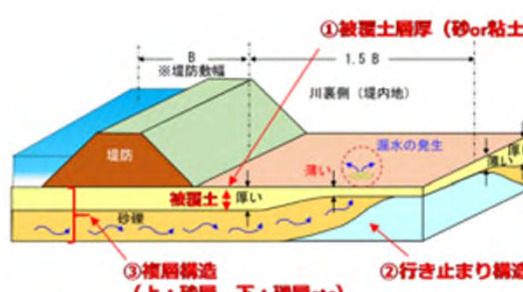


図-1 パイピングが発生しやすい地盤構造



写真-1 現地調査状況

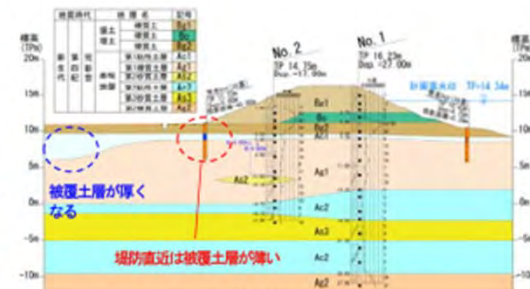


図-4 検討断面(L1k687)

表-1 安全性照査結果の比較

評価項目		今回検討断面		既往検討断面		判定基準
局所動水勾配	鉛直(v)	0.17	OK	0.16	OK	ic < 0.5
	水平(h)	0.34	OK	0.27	OK	
盤ぶくれ指数 (G'W)		0.88	NG	~ (0.1) ~ (0.1)		G'W > 1.0
すべり破壊(Fs)	裏のり	1.49	OK	1.56	OK	Fs ≥ 1.45
	表のり	1.16	OK	1.61	OK	Fs ≥ 1.00

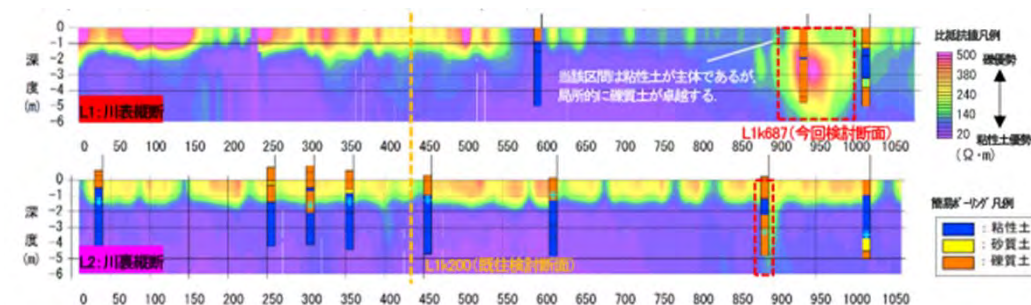


図-3 牽引式電気探査および簡易ボーリングの現地調査結果

Q3. 防災減災の視点はどうか?

A3. 地盤の強さは設計当初と同じでも, 透水係数だけ大きく変動しているような場合は, 災害発生の兆候かもしれません。目詰まりを起こしているなら透水係数は小さく, パイプフローが発達しているなら大きくなります。本試験装置は現場で早見表から速報値がすぐに算出できます。