

河川堤防基礎地盤の 原位置パイピング試験方法

土木研究所地質チーム 主任研究員 品川 俊介

河川堤防の浸透安全性評価

- 河川堤防の浸透に対する安全性の詳細点検の結果、4割近くが基準を満足しない
 - 被災実績によると、堤防の浸透による被災の多くは堤体漏水で、1割程度が基礎地盤の漏水
- **数%の堤防で基礎地盤の浸透安全性に課題があるものと推定**

全国直轄河川の河川堤防概略点検結果表(平成8年)に基づく、漏水被災箇所延長

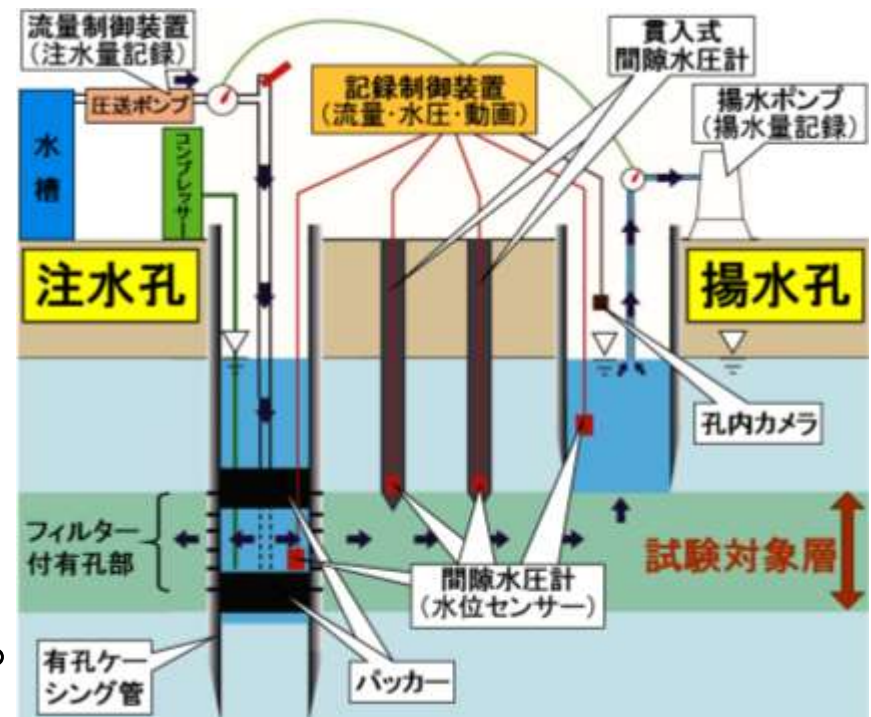
	延長	全漏水に対する割合	調査総延長に対する割合
堤体漏水箇所	197.7 km	54.9%	1.9%
基盤漏水箇所	18.6 km	5.2%	0.2%
全漏水箇所	360.4 km	(100%)	3.5%
調査総延長	10415.7 km	—	(100%)

パイピング抵抗性を評価する

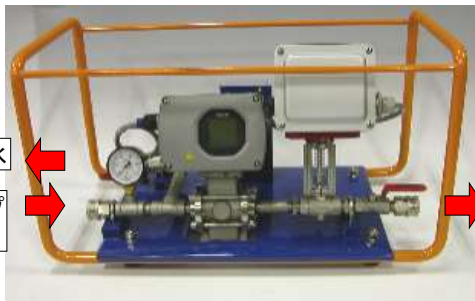
- 基礎地盤のパイピングに対する安全性評価は、安全側に設定されている
 - 要対策箇所^①の優先順位付けができれば・・・
- 実際のパイピング現象の進行は、土粒子のかみ合わせや拘束圧の影響、粘着力の作用など様々な要因によって支配されていると考えられる
 - 攪乱試料に基づく評価は難しそう
 - 原位置試験で評価することを考えた

開発した技術 飽和砂質地盤の原位置パイピング試験

- 2つのボーリング孔の一方(注水孔)から地盤に注水し、他方(揚水孔)の水位を一定にすることで、2孔間に動水勾配を発生させる。
- 2孔間の動水勾配を段階的に大きくする。
- 揚水孔内のカメラ観察や2孔間の間隙水圧観測の結果から、パイピング進行状態を把握し、パイピングの各段階における動水勾配の相対比較により、地盤のパイピング抵抗性を評価する。



試験装置・設置方法



流量制御装置

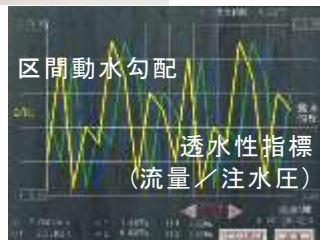
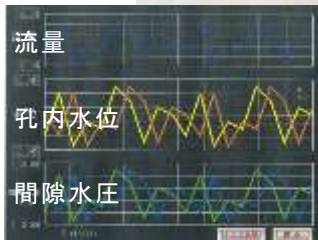


(a) ケーシング管 (フィルタ付き有孔部)



(b) ダブルパッカー式注水試験機

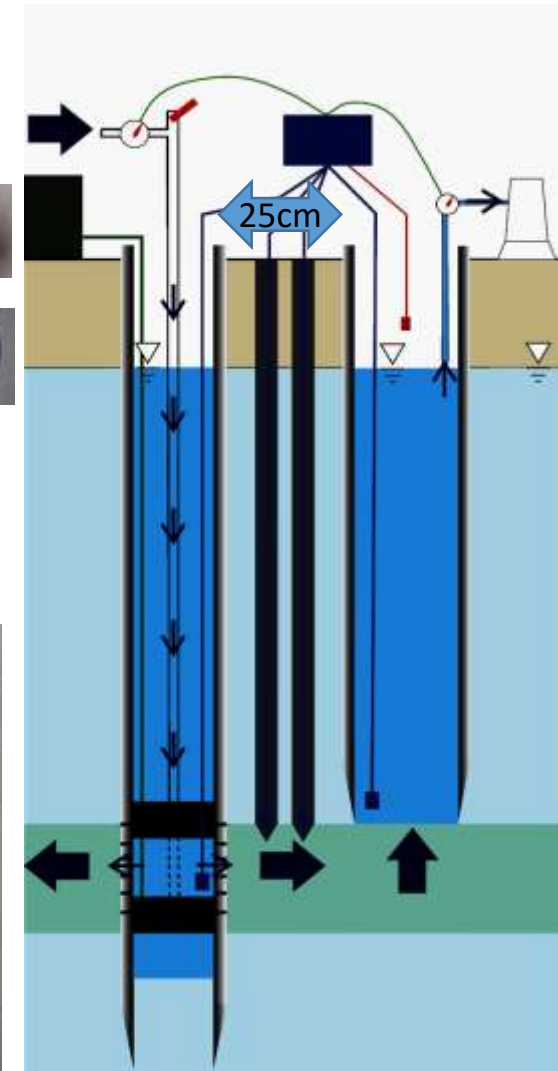
有孔ケーシング管と注水試験機



記録制御装置と表示画面

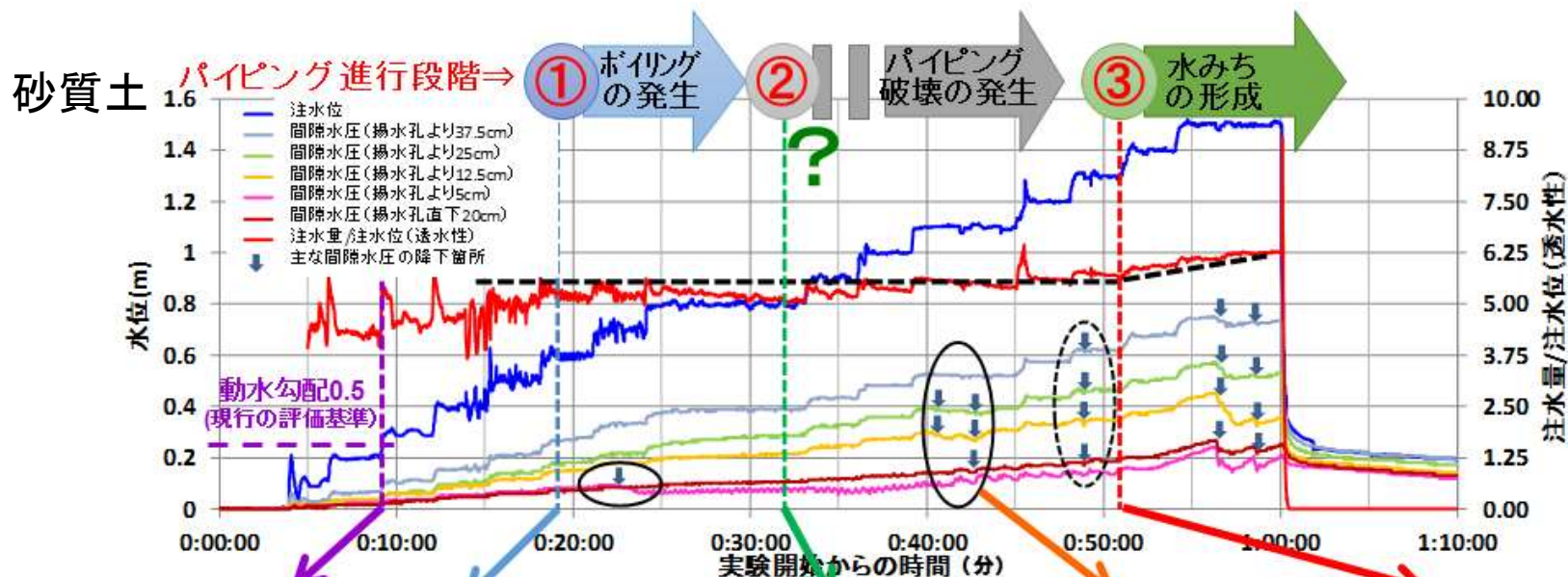


貫入式間隙水圧計(4m)



注水孔・揚水孔の設置方法

パイピングの進行段階と評価（室内試験の例）



パイピング進行段階	現行の評価基準	①ボイリングの発生	②パイピング破壊の発生?	パイピング空洞の拡大	③水みちの形成
動水勾配	(局所)0.5	(平均)1.2	(平均)1.6	(平均)2.2	(平均)2.8
間隙水圧の変化	変化なし	揚水孔より5cmの値が低下し始める。	変化なし	揚水孔より25cmの値に落ち込みが認められる。	揚水孔での水位変化が、37.5cm離れた箇所にも影響。
注水量/注水位(透水性)の変化	変化なし	同左	同左	同左	増加傾向に転ずる。
孔内カメラ観察	変化なし	【19:12】孔底より小気泡が生じ、縁に細かな泡が付着し始める。濁りはなし。 	【32:10】土砂噴出により孔内水が濁り、水面上に細かな泡が集まり始める。 	【41:39】土砂噴出の後、急激な水位上昇が発生。 	【50:50】水面が細かな泡で覆われ、水位上昇と揚水による水位低下を繰り返す。 
解釈	—	少し後の揚水孔底周辺の地盤の乱れにより、水の流れに僅かな変化が発生。	この時点以降、土砂噴出⇔沈静化を断続的に繰り返し、パイピングが進行開始した可能性あり。	比較的大きな破壊が発生し、透水性が一時的に変化する程度の空洞形成が推定。	2孔間の水みちが形成され、規模の拡大が推定。

技術の現状

- 河川の高水敷などで**現地実験を実施**、現地で試験ができるようになってきた。
- 様々な計測、観察により、実験結果を解釈することが可能。
- 実施のノウハウの蓄積が重要 → **これからの技術**

1. できるだけ地盤を乱さない試験孔の作成

ボーリングでは、サンプラーを引き上げる際、孔底に負圧が働き、土が流動化して孔底が上がってくる。

→ 孔に水を注入しながら、孔底の堆積物を攪拌し、水とともに吸い上げる方法を開発

2. 注水孔の十分な洗淨

注水孔を用いて現場透水試験を実施したところ、単孔を用いた透水試験方法(JGS1314)より明らかに低い透水係数

→ 孔洗淨が不十分(孔洗淨をやり直すと1桁上がった)、スリット形状を洗淨しやすいように変更

パイピング抵抗性に関する評価

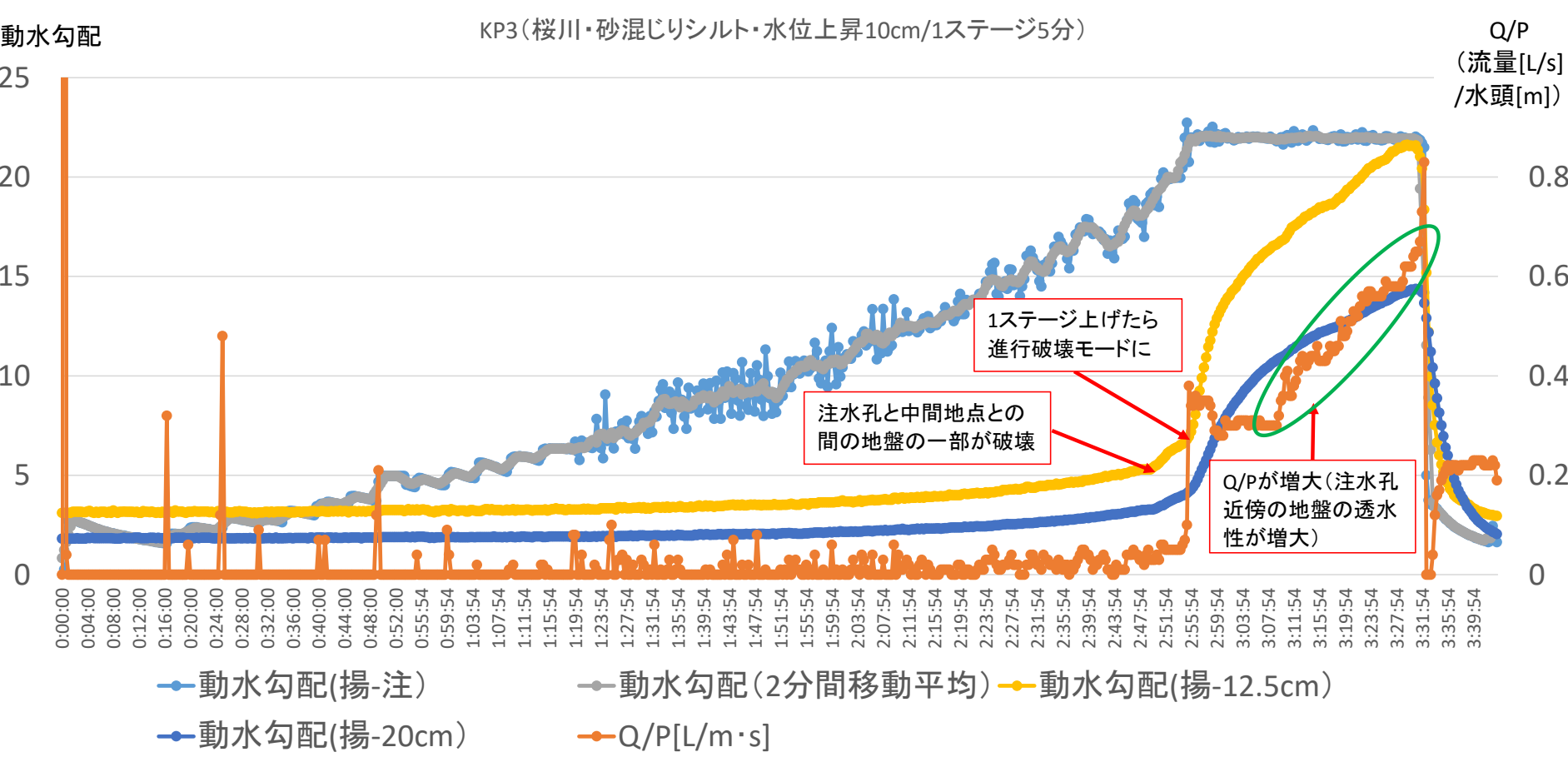
- 室内試験(砂質土)において、パイピング発生時(推定)の平均動水勾配は1.6であった。(連通時2.8)
- 現地実験ではいろいろな場合がある。

桜川(シルト質砂; $1 \times 10^{-6} \text{m/s}$)では平均動水勾配22で連通。ある段階で緩慢な進行性破壊に移行した。

久慈川(シルト質砂)では平均動水勾配34で連通。水中のファイバースコープ映像によると、孔内の水かなり清浄で、濁りが生じてから35秒で連通。

久慈川(砂礫; $1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$)ではパイピング発生せず(平均動水勾配3.5まで実施、孔底に変化なし)

パイピングの進行段階と評価（現位置試験の例）



- 測定中に動水勾配の変化に気づき、平均動水勾配22で維持したところ、進行性の破壊により2孔間が連通。
平均動水勾配20までは各区間の動水勾配に不連続な変化が認められなかったことから、動水勾配20程度のパイピング抵抗性があるものと推測。

原位置パイピング試験の技術的可能性

- 本試験方法は、堤防基礎地盤のパイピング抵抗性を、現地の土のかみ合わせ状態のまま試験することを目標に開発。
- 実験の積み重ねにより、原位置での実験が実施できるようになってきた。
- 注水位、注水量、打ち込み式間隙水圧計による対象地層の水頭測定、揚水孔の水位観測、揚水量測定および孔内カメラ観察から、試験中に地盤中で起こっている現象が把握できる。
- 上記を蓄積することで、パイピング抵抗性の評価ができるようになると思われる。(これからの技術)
- 本方法のノウハウは、現場透水試験に応用可能。

本技術にご興味がある方は・・・

土木研究所 地質・地盤研究グループ 地質チーム

主任研究員 品川俊介まで ご一報ください。

E-mail: sinagawa@pwri.go.jp

参考文献等

日外勝仁・品川俊介・佐々木靖人：飽和砂質地盤の原位置パイピング試験. 土木技術資料, Vol.59-2, pp.8-13, 2017

特許第6474101号 「パイピング現象評価方法及びパイピング現象評価装置」

特願第2016-58328号 「試験孔の作成方法とこの試験孔を用いた試験方法」

特願第2016-58329号 「地盤の削孔方法」