

河川堤防における弱点箇所抽出を目的とした組合せ調査法と再現解析による妥当性検討

パシフィックコンサルタンツ(株)	正会員	館川	逸朗
パシフィックコンサルタンツ(株)	正会員	新村	卓也
パシフィックコンサルタンツ(株)	正会員	○藤吉	秀彰
岡山大学大学院 環境生命科学研究科	正会員	西垣	誠
岡山大学大学院 環境生命科学研究科	正会員	西村	伸一
神戸大学大学院 工学研究科	正会員	齋藤	雅彦

1. はじめに

河川堤防では、浸透に対して問題があると想定される区間における河川縦断方向のボーリング調査の間隔の目安として、現行基準では、最低限 1km¹⁾となっている。一方、矢部川での堤防決壊幅は約 50m²⁾であることから、既往ボーリング間に把握できていない浸透安定の観点からの弱点箇所が存在する可能性がある。そこで、著者らは、弱点箇所を抽出する手法として、複数の調査法を組合せた手法を考案し、実河川堤防を対象に実証実験を行った。さらに、三次抽出手法として選定した「空気圧による連通試験」については、三次元解析(二相流解析)を用いて、有効性を検証した。

2. 調査の流れ

堤体内部の砂層中に水ミチが形成されている箇所は、浸透安定性が低く、堤体弱部と判断される。本研究では、堤体弱部について、合理的かつ経済的な水ミチ抽出手法として、土層構成による一次抽出、表面波探査(SWM)+CPTによる二次抽出、空気圧による連通試験による三次抽出、という流れを提案し、実証実験を行った。次節では、一次抽出～三次抽出にあたっての、調査手法の選定過程や、実証実験結果を示す。

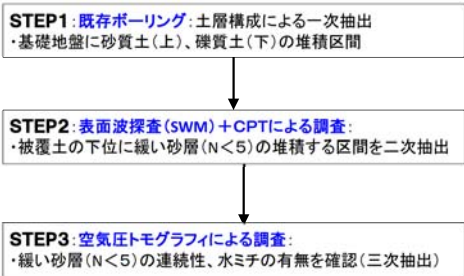


図-1 調査の流れ

3. 調査方法の詳細

3-1 土層構成による弱点箇所の抽出(一次抽出)

小高ら³⁾の研究によると、河川堤体について、基礎地盤に薄い被覆土層があり、その下部に薄い砂質土・厚い高透水礫質土が堆積する場合は、浸透破壊が懸念されると考えられている³⁾。そのため、一次抽出としては、机上調査として、既往地質調査結果等を参考に、このような土層区間の抽出を行うことが有効である。

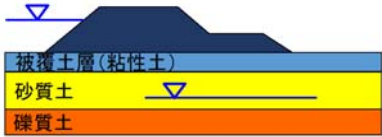


図-2 浸透破壊の懸念される土層断面

3-2. SWM と CPT による弱点箇所の絞り込み (二次抽出)

(1) 河川堤体の裏法尻の調査法の比較

表-1 絞り込み(二次抽出)調査法の比較

地盤の物性を間接的に求める手法としては、線の調査として高密度電気探査や表面波探査(以下、SWM)が挙げられる。高密度電気探査は、比抵抗分布により、地盤の状況を判定する手法であるが、地盤のゆるみ領域を判定できる手法ではない。一方、SWM は表面波より S 波速度分布を推定できるため、地盤のゆるみ領域を検出可能であるが、土層確認が困難である。

地盤の物性を直接的に求める手法としては、点の調査になるが、機械ボーリングや静的コーン貫入試験(以下、CPT)が挙げられる。機械ボーリングは、土質を直接確認できるものの、深度方向 1 m 中で 30cm (10cm 毎) の不連続な強度 (N 値) が得られるが、仮設が大規模、コスト高で、調査日数が長い。これに対し、CPT は、測定値からの土質判定が可能で、深度方向の連続したデータが取得でき、調査が短時間、かつ低コストで可能となる。したがって、二次抽出手法としては、精度・迅速性・経済性の面から SWM と CPT の組合せ手法を選定した。

	概要	土層判定の精度	適用深度	長所・短所	経済性	迅速性	本調査手法
間接的調査(線の調査)							
高密度電気探査	地盤の比抵抗や導電率から、線的な地盤構造を推定	不飽和帯は判定困難(×)	50m(○)	・含水率の高い土壌の検出力が高い。 ・探査深度に応じた遠電極が必要。	コスト中(○)	迅速に可能(○)	○  ○
表面波探査	地盤に振動を与え、表面波速度の分布から線的な地盤構造を推定	地盤の硬軟を概略区分(△)	15m(○)	・S波速度からN値の推定可能。 ・周辺振動の対策必要。	コスト中(○)	迅速に可能(○)	
直接的調査							
機械ボーリング(標準貫入試験)	地盤を掘削して、コア・標準貫入試料を採取。直接的に土質判定	直接的であり、精度高(○)	50m以上(○)	・点的な地質境界の区分には最適。 ・全ての土質に対応	コスト大(×)	時間がかかる(×)	組合せ手法 ○
静的コーン貫入試験	地盤への試験機を貫入抵抗・貫入量から、間接的に地盤の硬軟の概略区分	間接的であるが、精度高(○)	5～7m程度(○)	・ボーリングの補助調査として用いられる。 ・礫地盤は貫入困難	コスト小(○)	迅速に可能(○)	

キーワード 河川堤防, 不飽和浸透, 空気圧による連通試験, 気液二相流解析

連絡先 〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目 22 番地(テラススクエア) パシフィックコンサルタンツ株式会社
TEL 03-6777-3001

実証実験結果を図-3に示す。本実験は、実際の河川堤防の裏法尻を対象として実施した。まず、縦断方向(延長300m程度の一連区間)でSWMを実施し、S波速度の小さい区間を抽出した。この区間の堤防裏法尻において、5mピッチCPTを実施し、N値($N < 5$)を確認するとともに、土層区分を把握した。この結果、抽出区間の一部に緩い砂層が分布することが明らかとなり、弱点箇所をさらに絞り込むことができた。このように、当調査法を活用すれば、大掛かりなボーリング調査等を実施しなくても弱点箇所である緩い砂層を把握できることが明らかとなった。

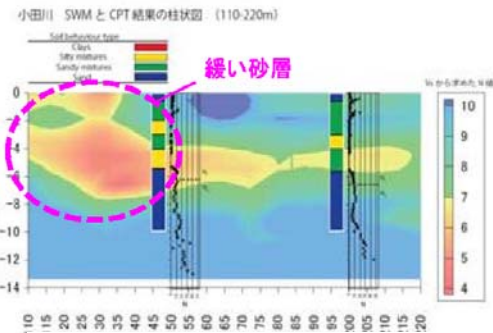


図-3 SWM と CPT による実証実験結果

3-3. 空気圧による連通試験による弱点箇所の絞り込み(三次抽出)

(1) 水ミチの有無の調査法の比較

不飽和地盤を対象とした局所的な弱点箇所の調査方法として、比抵抗トモグラフィ、弾性波トモグラフィ、空気圧による連通試験⁴⁾等が挙げられるが、空気伝播のし易さの観点で、水ミチを確実に捉えられるのは、空気圧による連通試験と考えられる。この手法は、河川堤防に調査孔を配置し、基礎地盤表層付近の不飽和層へ空気を注入し、空気圧の伝播状況より、高透水層や水ミチ等の連続性を把握するものであり、調査孔として二次抽出で使用したCPTの調査孔を活用できる。

(2) 空気圧による連通試験の実証実験と三次元解析(気液二相流)

「空気圧による連通試験」について、実堤防にて実証実験を行った。堤体は砂質土主体、基礎地盤は砂質土であり、地下水位はG.L(堤内地盤高)-1.9mである。天端に発信孔を設定し、川表側(20m程度離れ)・川裏側(10m程度離れ)・上流側(30m離れ)・下流側(30m離れ)に受信孔を設置した(図-4)。発信孔から空気を注入したところ、図-5に示すとおり、受信側(川裏側)のみ、空気圧の上昇(最大0.049kPa $\approx$ 5mm)が確認された。

実証実験結果の妥当性確認のため、三次元解析(気液二層流)を実施した(図-6)。これによると、今回の実証実験では、9.4kPaで最大2,250(L/min)の注入量まで上昇できたことから、発信孔は $kw=1.0 \times 10^{-1}$ (cm/s)程度の水みちに配置されていたと考えられる。三次元解析において、基礎地盤の透水係数を $kw=1.0 \times 10^{-2}$ (cm/s)、堤体の透水係数を $kw=1.0 \times 10^{-3}$ (cm/s)とし、発信孔と連続する水みち内に受信孔が配置されていたと想定した場合を実施した場合、水みち内の受信孔②の空気圧の上昇量は20mmとなり、実験結果(5mm)のオーダーに近い結果となった。このように三次元解析(気液二層流)を用いることで試験結果を評価できることが明らかとなった。また、弱点箇所の絞り込み(三次抽出)方法として、空気圧による連通試験が有効であることが確認された結果である。

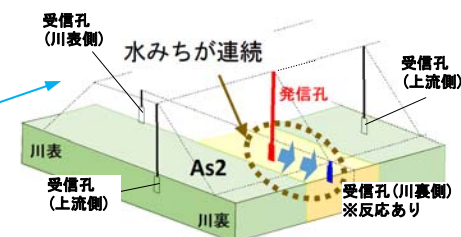


図-4 実証実験の実施イメージ

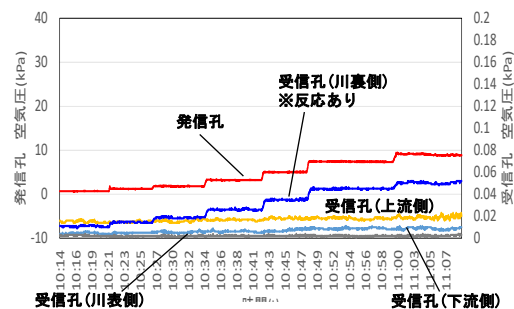


図-5 実験結果(発信孔・受信孔の圧力変化)

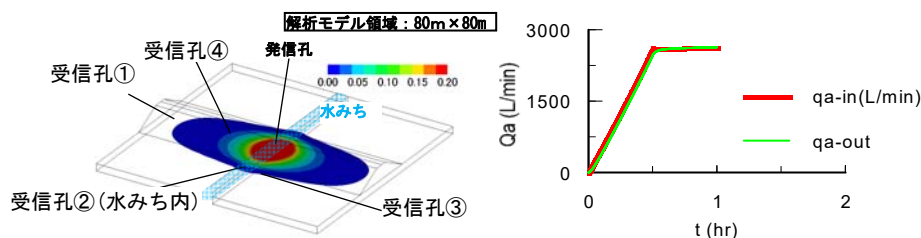


図-6 三次元解析結果(左:解析モデル鳥瞰図・出力地点と空気圧分布コンター、中: $kw=1.0 \times 10^{-1}$ (cm/s)のときの空気注入量、右:各地点における圧力変化)

6. 今後の展開

今後は、空気圧による連通試験の実用化を見据えて、様々な土質条件における空気の伝播特性のデータを蓄積し、調査・解析方法の精度向上を図る必要がある。

謝辞

本研究は、国土交通省河川技術開発助成の一環で実施している。また、実施にあたっては国土交通省岡山河川事務所よりフィールドを提供して頂いた上に、貴重な資料を提示して頂いた。ここに厚く感謝の意を表す。

【参考文献】 1) 河川堤防の構造検討の手引き(改訂版)H24.2, 財団法人 国土技術研究センター 2) 矢部川堤防調査委員会報告書 H25.3, 矢部川堤防調査委員会 3) 小高ら:基礎地盤の被覆構造が河川堤防の浸透破壊に及ぼす影響, 第52回地盤工学研究発表会, 2017 4) 新村卓也・館川逸朗・小松満・西垣誠:空気圧を用いた連通試験の河川堤防への適用, 第52回地盤工学研究発表会, 2017