

## 護岸変状調査における FDEM 探査の適用事例

パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員 ○渡邊 武志  
 パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員 館川 逸朗  
 パシフィックコンサルタンツ株式会社 松尾 健治  
 株式会社 環境総合テクノス 正会員 片山 辰雄  
 株式会社 環境総合テクノス 加藤 裕将

### 1. はじめに

本調査は高潮護岸（重力式護岸 L=900m）の変状原因の追究、今後の設計基礎資料を得る目的で実施した。このうち「外観調査で確認したクラック発生部位」と「FDEM 探査、電気式静的コーン貫入試験（CPT）によって確認された高潮護岸背面土のゆるみ状況」は整合性が高く、調査方法としての有効性が確認されたのでその内容について報告するものである。

### 2. 調査区間の状況

調査位置の高潮護岸区間の状況、クラック発生状況を写真-1、2に示す。



写真-1 高潮護岸の状況



写真-2 クラック発生状況

### 3. 調査手法の検討

対象となる高潮護岸に対して適用した調査手法の長所・短所の一覧を表-1に示す。

表-1 高潮護岸における調査手法一覧

対象構造物	現 状	予想される事象と影響	対策上の確認・検討項目	確認・検討の手法	手法の長所短所
護岸前面のクラック	・護岸横断クラック(法肩～法尻)が全区間に渡り発生している。 ・法尻付近には縦断的にクラックが発生している。	・潮汐による護岸背面の空洞化の発生 ・不等沈下の発生	基礎地盤を含む護岸背面の弱部の状況把握(ゆるみor空洞化)と範囲の確認	・打音調査 ・地中レーダー ・内視鏡カメラ ・ボーリング調査 ・FDEM探査 ・CPT	・結果に個人差が生じる ・経済的であるがコンクリート厚により解析結果が左右される ・状況は直視できるが点の調査であり、補助的な調査手法 ・点の調査、地盤と土性が確認できる ・経済的に調査が可能、ボーリングとの対比が必要 ・FDEMと組合せることで経済的かつ効率的に調査が可能

### 4. 調査の概要

高潮護岸における調査位置の模式断面図（図-1）と調査内容と目的等（表-2）を以下に示す。

今回の調査では護岸背面土砂の吸出し（空洞化）発生の有無と護岸背面土砂の縦断的な緩みを把握することを目的として FDEM 探査、CPT を実施した。

表-2 高潮護岸における調査内容・目的

内 容	目 的	実施数量
①現地踏査	護岸前面、天端の変状を把握するために実施する。	
②レーダー探査	護岸に発生している縦断方向クラック位置(護岸基礎天から1mの高さ)での背面地盤状況を確認する。	護岸前面 1測線 L=900m
③内視鏡カメラ	レーダー探査により確認された弱部が空洞or緩みのいずれであるかを確認する目的で実施する。	護岸天端 3か所 300ピッチで実施
④FDEM	護岸背面土の緩み領域を縦断的に確認する目的で実施する。CPTと対比して比抵抗値と緩みの状態を把握する。	護岸天端 1測線 L=900m
⑤静的コーン貫入試験CPT	緩みを試験値で把握する。	護岸天端 2か所

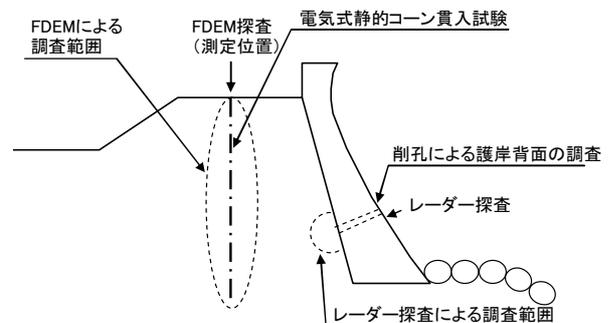


図-1 高潮護岸の形状及び調査位置模式図

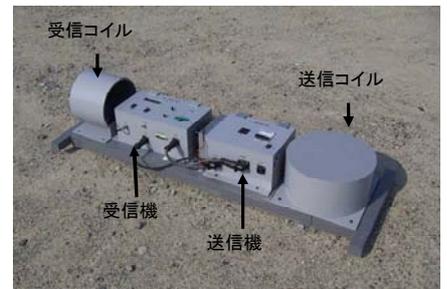


写真-3 FDEM 探査装置

キーワード FDEM 探査, 電気式静的コーン貫入試験, 高潮護岸, 緩み

連絡先 〒541-0052 大阪市中央区安土町二丁目3番13号 パシフィックコンサルタンツ株式会社 TEL06-4964-2331

5. FDEM 探査と CPT による緩み領域の把握

1) **FDEM 探査の基本原則**：送信コイルによって地盤内に1次磁場を発生させると、地盤内に過電流が生じ、さらにこの渦電流によって2次磁場が誘導される。この2次磁場の1次磁場に対するレスポンスを測定することにより、地盤の比抵抗を測定するのが EM 法の原理である。FDEM 法は周波数領域 EM 法 (Frequency Domain Electro Magnetic Method) であり、周波数を変えて探査深度ごとの見掛比抵抗 (次式参照) を測定する。

<測定見掛比抵抗の式>

$$\rho_a = \frac{\omega \mu_0 S^2}{4} \left( \frac{H_p}{H_s} \right) = 1.974 \times 10^{-6} S^2 f \frac{H_p}{H_s}$$

ここに、 $\rho_a$ :地盤の見掛比抵抗 ( $\Omega m$ )、 $\omega$ :角振動数  $2\pi f$ 、 $\mu_0$ :真空の透磁率で  $4\pi \times 10^{-7}$  (H/m)、 $H_s$ :2次磁場強度、 $H_p$ :1次磁場 (事前測定)、 $s$ :コイル間隔(m)、 $f$ :送信電流の周波数 (Hz)

表-3 砂の N 値、qc、 $\phi$  の関係

緩みの状態	Mayerhofによる砂のN- $\phi$ -qcの関係		
	N値	内部摩擦角(°)	静的コン支持力 qc(Kpa)
非常に緩い	<4	<30	<1340
緩い	4~10	30~35	1340~3580
締った	10~	35~	3580~

2) **比抵抗値とゆるみ領域把握**：緩み域の把握は Mayerhof による砂の N 値-qc- $\phi$  の関係 (表-3) に基づき実施した。なお、qc は CPT 調査結果 (図-4) を用いるものとした。次いで、緩みの状態のうち「非常に緩い (N 値<4) 領域」に着目しこの閾値 57 ( $\Omega m$ ) を設定した。

6. 調査結果と評価

図-5 に CPT 結果を基に区分した護岸背面のゆるみ状況 (FDEM 探査結果) を示す。調査地は砂・砂質土主体の堤体であり、淡色で表示された区間は「非常に緩い」領域、 $\nabla$ ：鉛直方向クラック発生位置、 $\circ$ ：レーダー探査の緩み領域を示す。本区間ではほぼ全区間で緩みが確認された。なお、2K200~2K250 (L=50m) 区間は全区間 (緩みが生じない) となっている。一般的な盛土の N 値は4程度であり、この区間はクラックの発生がみられなかった事から、本調査結果は妥当な結果が得られていると判断できる。一方、鉛直クラックが発生している区間は概ね淡色区間であることからクラック発生はゆるみに起因しており両者の相関は高いと判断する。

7. まとめ、今後の課題

以上より FDEM 探査と CPT の組み合わせは連続的に護岸背面のゆるみ領域を把握する有効な手法であると考えられる。現行の FDEM 探査は地面に対して鉛直下方のみ調査が可能である。今後、護岸背面勾配に合わせて調査が可能になるよう探査方法の改善を実施していく予定である。

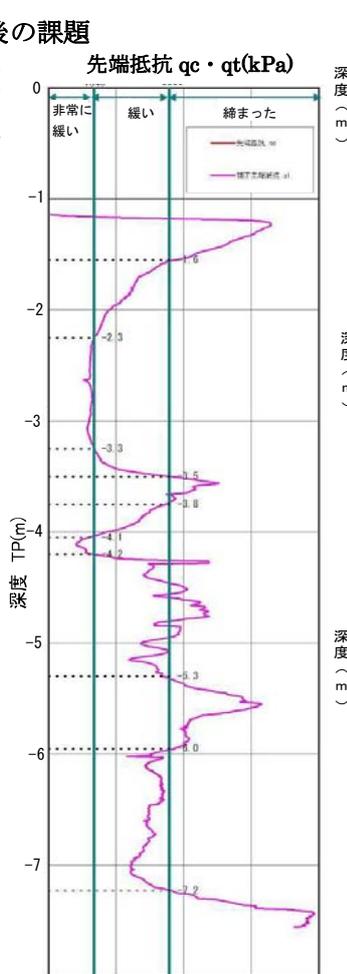


図-4 CPT 調査結果

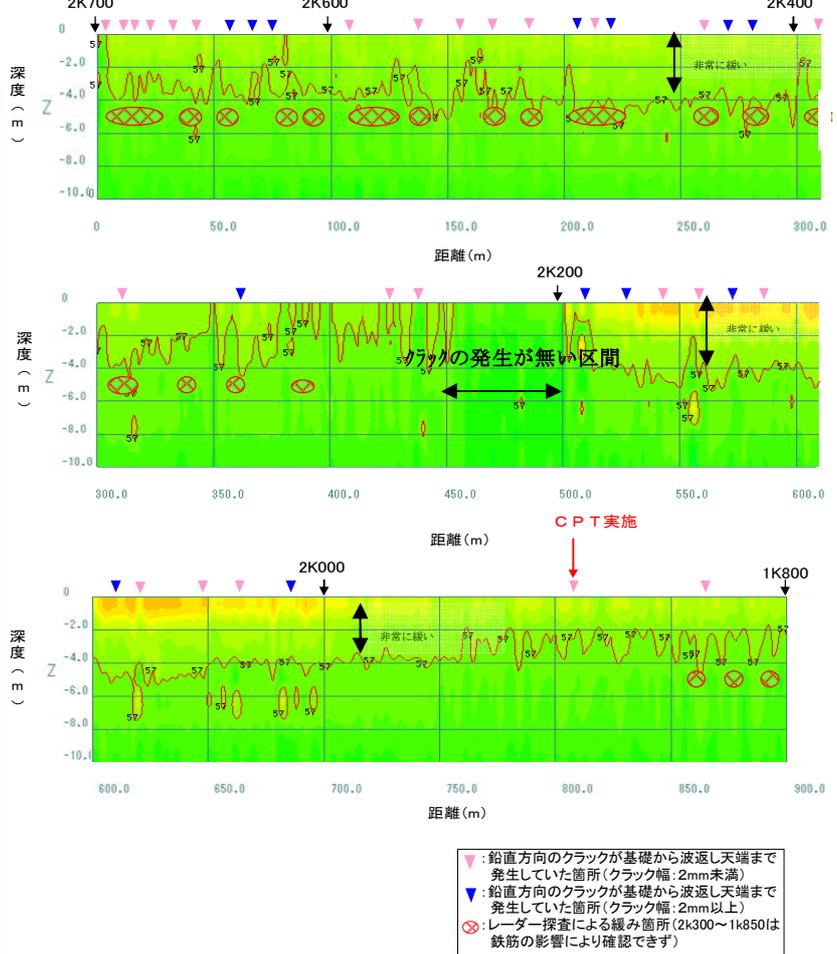


図-5 FDEM 探査結果