

## 特殊堤における静的コーン貫入試験と FDEM 探査を用いた相対密度による緩み評価事例

パシフィックコンサルタンツ株式会社大阪本社 正会員 ○館川 逸朗  
 パシフィックコンサルタンツ株式会社中国支社 正会員 渡邊 武志  
 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

本調査は特殊堤の変状原因追及と設計基礎資料を得るために、踏査、コア調査、レーダー探査、FDEM 探査、電気式静的コーン貫入試験(CPT)、ボーリング調査を実施した事例である。踏査結果では、堤防天端に縦断方向のクラック、表法面上部の枠には凹み、下部の枠にはハラミが認められた。クラックの発生は特殊堤上流区間で多く認められた。ボーリング調査では堤防地盤状況は堤体および基礎地盤とも砂礫主体で砂層を挟み、緩い状況(N値: 3~10)の区間が認められたがレーダー探査では法面部の空洞は認められなかった。このため、堤防縦断方向のゆるみ域(相対密度  $D_r$ )を連続的に把握するため、港湾調査で実績のある手法であるFDEM探査・CPTの組合せを適用してボーリング結果等と対比したところ妥当な結果が得られたので、その内容を報告する。

### 2. 調査手法の検討

対象となる特殊堤に対して適用を検討した調査手法の長所・短所の一覧を表-1に示す。

表-1 対象となる特殊堤における調査手法の長所・短所

対象構造物(項目)	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
表・裏法面ブロックの変状	<ul style="list-style-type: none"> <li>法面は全体に老朽化していて、表下段のり面に苔</li> <li>表法面の下段モルタル面の中央付近の縦断方向クラック等</li> <li>表法面上段のり面では縦断方向にクラックやジャンカ</li> <li>裏法面に大きな変状はない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>堤体沈下、地下水による土砂流出が「のり背面の空洞」を生じた</li> <li>現象の進行による法面ブロックと基礎間のずれ・すべりの発生が懸念される</li> </ul>	原因追及、ブロック背面全体の空洞範囲とその程度の定量的な把握が必要	<ul style="list-style-type: none"> <li>打音調査</li> <li>コア調査</li> <li>地中レーダー</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>×: 老朽化や個人差の影響が大きく、空洞幅は不明</li> <li>△: コア調査は点の調査であり、不経済で時間もかかる</li> <li>○: 周波数を変えることで80cm以上の無筋コンクリートでも空洞把握が可能となり経済的</li> </ul>
堤体天端の変状	<ul style="list-style-type: none"> <li>堤防天端に横断方向のクラック</li> <li>数箇所のコア調査による舗装直下の空洞確認(緩みは未確認)</li> <li>緩い堤体材料と軟弱なAs層(局所的に既往ボーリングで確認)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地盤と堤体沈下が「堤体の緩み・天端舗装下の空洞」を生じた</li> <li>現象の進行による堤体のり面損傷・堤体安定性低下(すべり)が懸念される</li> </ul>	対象範囲の基礎地盤の確認も含めた地盤状況の把握と沈下原因追及が必要  堤体全体の緩み範囲とその程度の把握が必要	<ul style="list-style-type: none"> <li>ボーリング調査</li> <li>電気式静的コーン貫入</li> <li>FDEM探査(ボーリング結果と対比が必要)</li> <li>ボーリング(標準貫入試験)</li> <li>FDEM探査+電気式静的コーン貫入試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○: 点の調査、直接地盤と土性確認が可能</li> <li>△: 点の調査で、地盤と土性確認が間接的に可能</li> <li>△: 経済的に広範囲の探査可能だが、ボーリング結果と対比が必要</li> <li>△: N値から緩み評価(間隙率)が可能。点の調査となるため、広範囲になると不経済となり、ピッチが粗いと調査精度が落ちる。</li> <li>○: 相対密度から緩み評価(間隙率)が可能。線の調査となるため、広範囲になると経済的となる。</li> </ul>

表-2 特殊堤における空洞調査内容・目的

内容	目的	仕様	摘要
①現地踏査	・天端と表・裏法面ブロック背面の変状状況把握		調査・設計計画を立案する上で全体の状況把握が必要
②レーダー探査	・表と裏法面ブロック背面縦断方向の空洞把握	法面縦断方向 3測線 延1492m	設計には、ブロック背面空洞の定量的な把握が必要
③ボーリング調査	・堤防と基礎地盤状況の把握	5箇所、延52m	設計には、空洞の定量的な把握が必要
④コア調査(堤防天端)	・堤防天端の空洞の把握	3箇所	設計には、空洞の定量的な把握が必要
⑤-1 FDEM探査	・縦断方向の堤体の緩み状況把握 ・堤体(又は種管横)の深度方向の緩み状況把握	堤防天端 1測線 延490m(5mピッチ)	設計には、N値等から間隙率把握が必要
⑤-2 電気式静的コーン貫入試験(CPT)	・相対密度と比抵抗値の相関把握	堤防天端3箇所 延3.65m	

### 3. 調査の概要

特殊堤の形状は三面張り構造となっており、表法は法枠+枠内コンクリート張、裏法はブロック積擁壁、天端はコンクリート舗装、変状は表-1に示した。図-1には特殊堤の形状および調査位置の模式図を、調査内容の一覧を表-2に示す。

今回の調査では堤防全体の連続的なゆるみ域を定量的、効率的に把握することを目的として、パイロットボーリング・CPTと堤防天端縦断方向のFDEM探査を実施し、堤体全体の緩みを相対密度  $D_r$ によって定量的に評価した。

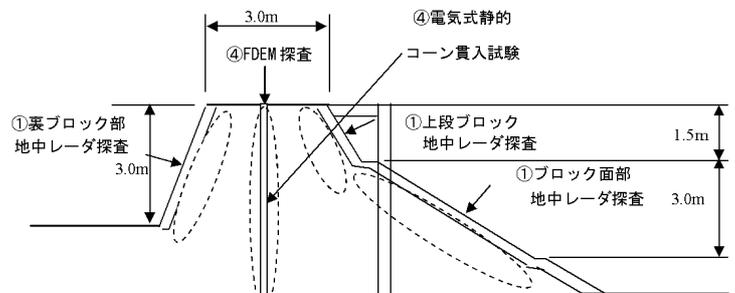


図-1 特殊堤の形状および調査位置の模式図

キーワード FDEM 探査, 電気式静的コーン貫入試験, 特殊堤, 相対密度, 砂礫地盤, 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

4. FDEM探査とCPTによるDrの把握の原理

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、地盤内に渦電流が生じ、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 Electromagnetic Method)であり、周波数を変えて探査深度ごとの見掛け比抵抗(次式参照)を測定する<sup>1)</sup>。

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

ここに、 $\rho_a$ ：地盤の見掛け比抵抗(Ωm)、 $\omega$ ：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、 $H_p$ ：あらかじめ検定して求めている1次磁場、 $s$ ：コイル間隔(m)、 $f$ ：送信電流の周波数(Hz)である。比抵抗は粘土含有量が多いほど比抵抗が小さくなり、同一の砂でも含水量が多きいほど比抵抗は小さくなる。礫自体の比抵抗は高いため礫が混入すると比抵抗は高くなる。比抵抗断面図による土質区分は、相対的な比抵抗コントラストから判定し、ボーリング調査・土質試験結果と比較して設定した。

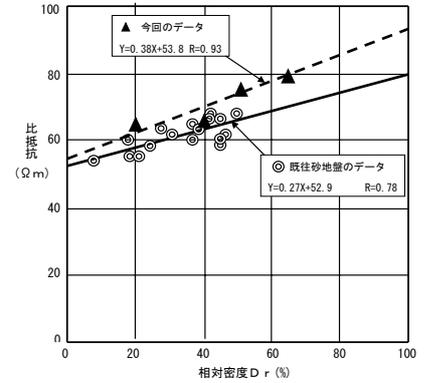


図-2 比抵抗値と相対密度Drの相関図

2) **比抵抗値と相対密度(Dr)の相関把握**：緩み域の定量的評価の手順・手法を以下に示す。

①比抵抗値マップ(FDEM探査結果：図-3上段)を作成し、CPT試験結果の先端抵抗 $q_c$ から次のランセロッタの式より相対密度Drを求め、比抵抗の深度分布と照査して図-2の相関図を作成する。この図中には参考として既往の港湾関連の砂地盤での相関を◎で示した。

表-3 今回調査のDrと試験値の目安

緩みの状態	相対密度 Dr(%)	Mayerhofによる砂のN-Dr-φの関係			今回調査による砂・砂礫		
		N値	内部摩擦角 φ(度)	静的コン 支持力 qc(kPa)	N値	内部摩擦角 φ(度)	静的コン 支持力 qc(kPa)
非常に緩い	<20	<4	<30	<1340	3~9 (6.5)	32.1	<2000
緩い	20~40	4~10	30~35	1340~ 3580	7~17 (11)	35.3~35.8	2000~ 3580
締まった	40~	10~	35~	3580~	15~	39.4~	3580~

ランセロッタの式  $Dr(\%) = -98 + 66 \log[(q_c/98)/(\sigma_v/98)^{0.5}]$  ここに、 $q_c$ ：CPTによる先端抵抗(kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma_v$ ：鉛直有効応力(kN/m<sup>2</sup>)である。

②緩みの目安として、表-3を参考に、“Dr=20%以下：非常に緩い”、“Dr=20~40%：緩い”で区分し、この閾値に対応する比抵抗を相関図からそれぞれ55、65(Ωm)を設定した。

今回結果より、比抵抗と相対密度の関係は、既往の砂地盤と異なり、砂礫地盤では同じDrでも高い比抵抗を示す。

5. 調査結果と評価

図-3の下段は、Dr=20と40%で区分した比抵抗の堤防縦断方向のカウンターマップである。これより、緩い区間と非常に緩い区間が230m~470mに集中しており、クラック分布状況と良く整合している事を確認し、各区間で表-3のDrに応じた強度を設定し、安定検討と対策工必要性検討の資料とした。

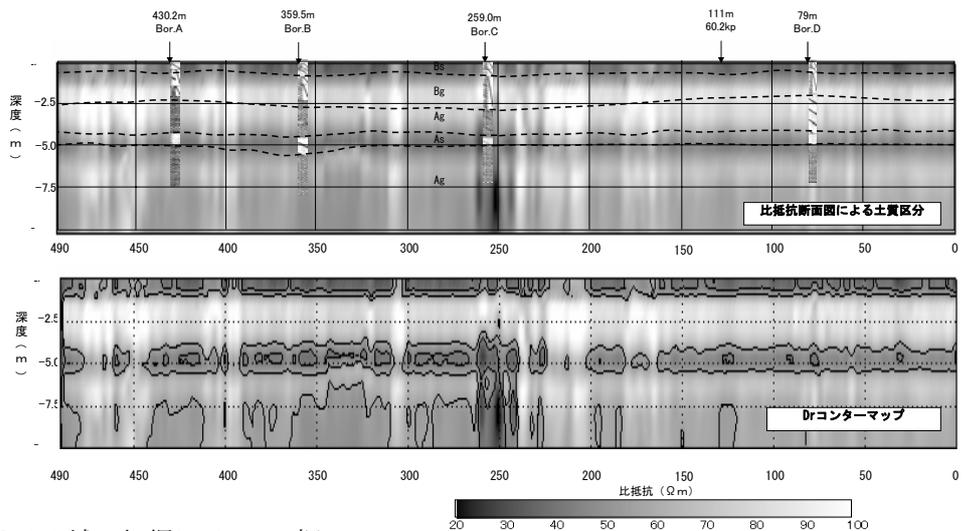


図-3 堤防縦断方向のDrカウンターマップ

6. まとめと今後の課題

○まとめ：堤防縦断方向の連続的なゆるみ域の把握にはFDEM探査とCPTの組合せが有効な手段であると判断できた。

○今後の課題：CPTは礫質土では貫入不能となるケースがあるため、対処方法の開発等が課題である。

【参考文献】 1) Wait, J.R., 1955, Mutual electromagnetic coupling of loops over a homogeneous ground: Geophysics. vol. 20, no. 3(July 1955), pp. 630-637, 3 figs.