

FDEM を適用した堤防安全性検討

パシフィックコンサルタンツ(株) ○赤塚芳弘

論文要旨

河川堤防は連続する線状構造物として機能することが求められている。一方、河川堤防は複雑な基礎地盤上に嵩上げ・拡幅を繰り返し形成された構造物であり、連続堤防として機能するためには、弱点箇所を抽出し、必要範囲に対して必要な規模の対策を行うことが求められる。一般的に河川堤防における堤防と基礎の土質構造は、ボーリング調査により把握されているが、特に湾曲部で地層変化が複雑な河川堤防では、ボーリング調査のみで土質構造を把握することが困難である。本論文は、ボーリング調査を面的に補完する目的で FDEM 探査を適用し、堤体と基礎地盤の土質変化を把握したうえで、一連区間の細分化、及び代表断面の設定を行い、堤防の浸透安全性検討を実施した事例について報告する。

キーワード：河川堤防、土質調査、FDEM 探査、堤防安全性検討

はじめに

河川堤防に対し堤防安全性検討(ここでは、浸透に対する堤防の構造検討)における土質調査では、以下の目的のため、調査が実施される。

- ① 対象区間の堤防および基礎地盤の縦断的な土質鋼製を把握する。
- ② 対象断面(箇所)の堤体および基礎地盤の土質構成と土質特性を把握する。

一般的に堤防縦断方向の調査では、最低限 1 km ごとに実施する目安で、ボーリング調査が実施されている。また、堤防横断方向では、堤防縦断方向の土質調査地点の中から浸透に対して条件が厳しい地点を選定し、3 箇所(堤防天端中央付近、裏のり面の中央付近、表のり面の中央付近程度)実施される。

当該対象区間(右岸 29.6 k ~ 30.2 k)では、図-1 に示すように、堤防湾曲区間で、既往土質調査では複雑に地層が変化しており、破堤履歴もあることから、特に川裏側堤防法先部の地層変化(粘性土層の連続性変化)を把握し、

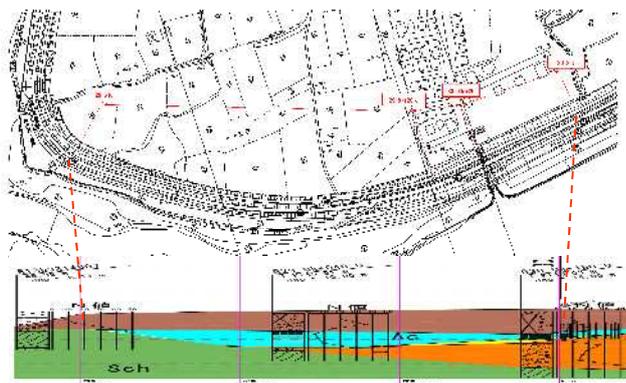


図-1 対象区間における既往土質縦断図

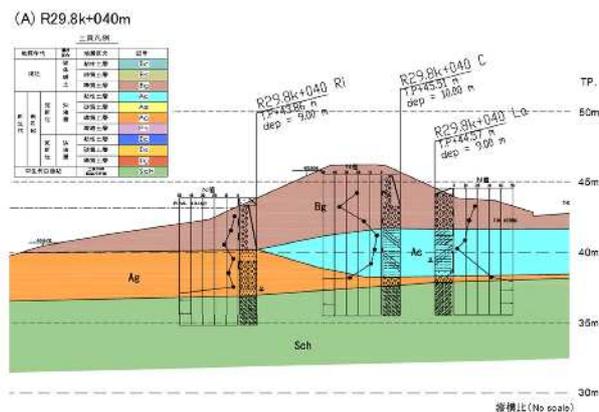


図-2 既往土質横断図 (R29.8k+40m)

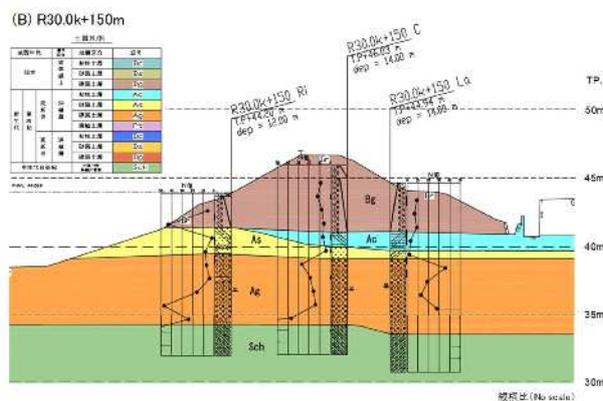


図-3 既往土質横断図 (R30.0k+150m)

浸透流解析に反映する必要があった。既往調査では、長く複雑な堤防と基礎の土質構造は、ボーリングといった点の調査のみである。浸透に対する堤防の構造検討では、「パイピング」か「盤ぶくれ」かの判定は、堤防裏のり尻の粘性土が分布するか否かで異なる。長い一連区間で裏のり尻

に粘性土が分布する場合には、サウンディングや簡易ボーリング、物理探査等の調査手法で粘性土層厚の変化を把握して、適切な細分化を行い、細分区間毎に解析モデルと定数を設定して堤防安定性照査を実施するべきと考えた。このため、本報告では、ボーリング調査における点の情報を補完する目的で「FDEM 探査」による手法を用いて、地層変化を把握し、堤防の浸透安全性照査に活用した事例を紹介する。

1. 概要

ボーリング調査における点の情報の補完を目的とした現地調査は、図-3に示す土層構成において、堤防縦断方向では堤防裏のり先において1側線で行った。また、堤防横断方向では、縦断方向の調査結果、及び現地状況等を踏まえて設定した細分区間における代表断面位置において1側線で行った。

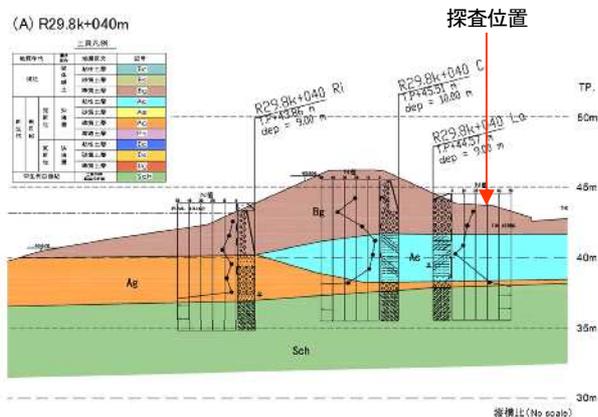


図-4 現地調査における側線位置(縦断方向)

2. 調査方法(FDEM 探査)

(1) 測定原理

FDEM法(Frequency Domain Electromagnetic Method)は、電磁探査法のひとつである。送信コイルに測定深度に見合う周波数の電流を流し、磁場(1次磁場)を発生させると、地中では電磁誘導現象により電流が誘導され、その電流によって2次磁場が生じる。この2次磁場の強度を受信コイルで測定する(図-5参照)。誘導電流は地下の比抵抗分布に依存しているため、2次磁場の強度を測定することにより地盤の比抵抗を計算で求めることができる。本調査で用いるFDEM探査装置は、周波数領域での電磁探査といわれ、16種類の周波数の磁場を発生させ、深度方向の比抵抗分布を測定する。

(2) 探査機の仕様

表-1に探査機等の基本仕様を示す。また、図-6に探査装置の写真を示す。

(3) 現地調査の手順

また、図-7に現地調査手順を示す。測定は探査機を各測

点に設置し静止した状態で行った。測定データは、探査機と計測用パソコンをケーブルで接続し計測用パソコン内に保存した。各測点で探査機設置と測定の作業を繰り返し行った。

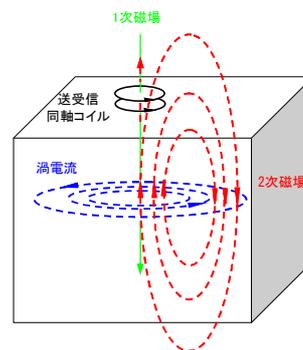


図-5 FDEMの基本原理解概念図

表-1 FDEM 探査機基本仕様

測定周波数 16種	16種波数(95Hz~25Hz) 364, 246, 182, 128, 91, 64, 46.8, 32, 22.8, 16, 11.4, 8, 5.7, 4, 3.8, 2 (kHz)
コイル	送信コイル: 直径25cm, 巻数10回 受信コイル: 直径9cm, 巻数30回(平面巻線) (φ軸送受信コイル)
送受信機	送信電流: 下被数0.5~10A 位相検出分解能: 0.005度以下
寸法、質量	330(φ)×320(高)×230(幅) mm, 約15kg
データ通信	RS232Cケーブル (max30m)
制御ソフト	パーソナルコンピュータ制御 計測時間: 最速30秒/測点
電源	AC100V (ポータブル発電機)



図-6 FDEM 探査機

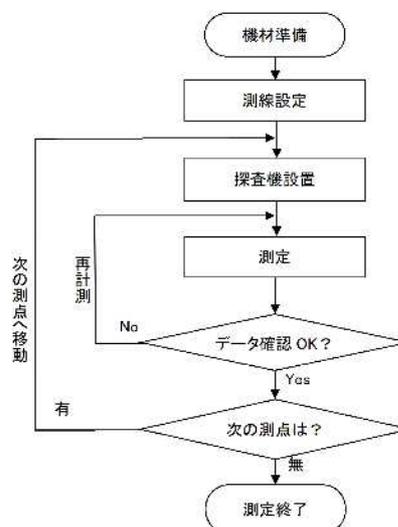


図-7 測定フロー図

3. 調査結果

(1) 縦断方向

FDEM 探査結果図(縦断方向)を図-8に示す。また、FDEM 探査による比抵抗値と地層区分を図-9に示す。

TP+40m 前後に 50~95 $\Omega \cdot m$ 程度の比抵抗層が連続的に確認された。この低比抵抗層は、下流側では Ac 層/Ag 層の 2 層、上流側では Ac 層/As 層の 2 層を反映していると解釈した。Ac 層の下端については、比抵抗による層区分が困難であるため、既往ボーリング柱状図と既往横断面図を参考に推定し、破線で示した。一般的に、比抵抗値が低いほど粘性土の層厚が厚いと考えられる。このため、本調査では 50~80 $\Omega \cdot m$ が連続的に確認された区間を層厚 3m 以上、それ以外を層厚 3m 未満と区分した。L=432m 付近、L=460m 付近の 80~95 $\Omega \cdot m$ 程度とやや低比抵抗となる箇所では、部分的に Ac 層または As 層の層厚が厚くなる可能性がある。また、下流側においては、Bg 層の直下に Sch 層(基盤岩)が分布することが既往ボーリング柱状図で確認されている。現地踏査では、下流端付近において、中洲に露岩が確認された。以上のことから、L=0m~L=120m における Bg 層と Sch 層の間の 80~95 $\Omega \cdot m$ 程度とやや低比抵抗を示した箇所では、Sch 層の風化部となる可能性を残すと想定される。

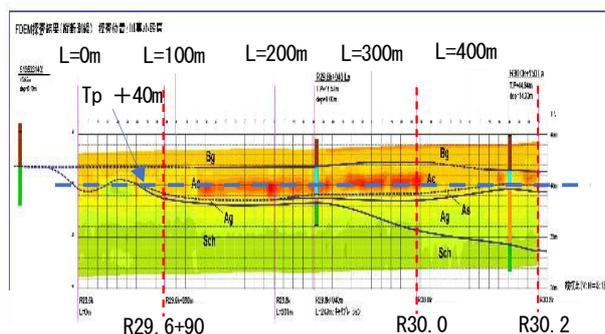


図-8 FDEM 探査結果図(縦断方向)

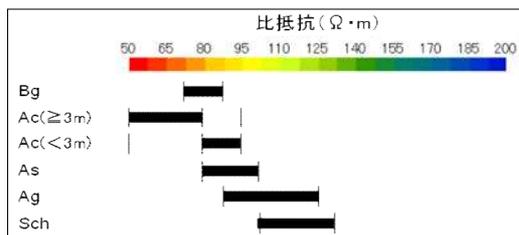


図-9 FDEM 探査による比抵抗値と地層区分

(2) 横断方向

FDEM 探査結果図(横断方向)を図-10に示す。横断方向の調査は、一連区間の中で、現地状況、及び縦断方向の調査結果から、最も危険となる 3 断面の位置を設定したうえで、横断方向の地層分布を FDEM 探査により連続的に把握した。調査結果は、浸透モデル作成上で非常に有効であり、調査結果から得られた断面は、過去に浸透破壊した Y 川と同様の土質構成(図-11 参照)であることを確認した。

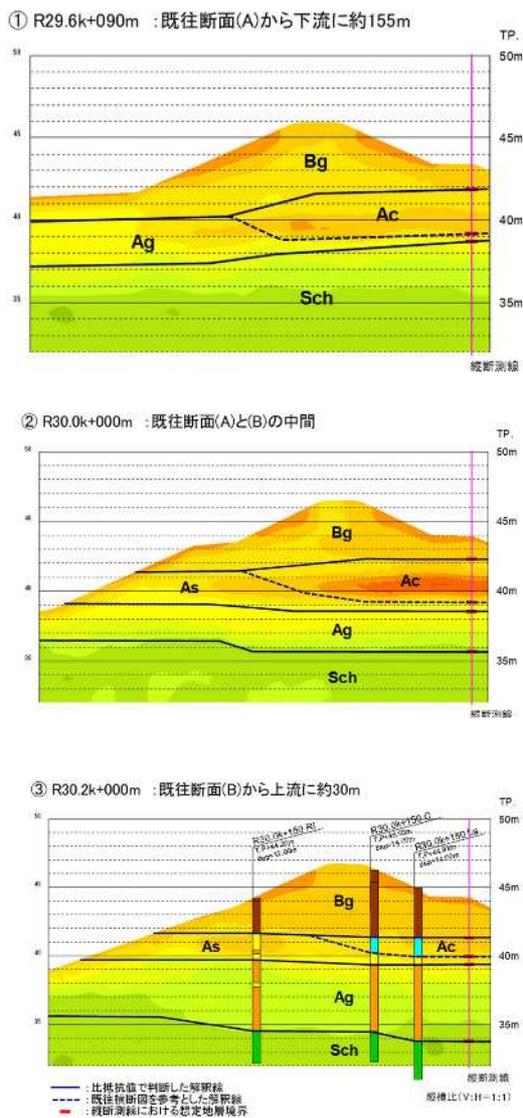


図-10 FDEM 探査結果図(横断方向)

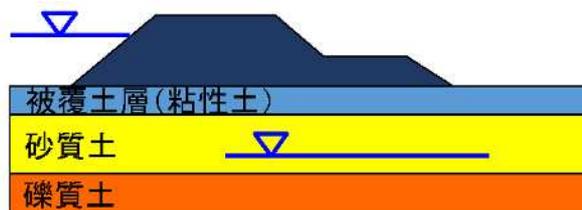


図-11 浸透破壊となりうる土質構成

4. 調査結果の考察

(1) 調査結果の有効性

FDEM 探査は、ボーリング調査に比べて、短時間で広範囲の調査が可能である。図-12に示すように、FDEM 探査によって、連続的な川裏側の縦断方向の地層分布を把握し、細分区間・代表断面の設定の基礎情報を得ることができた。また、設定した代表断面位置において、横断方向の連続的な地層分布を把握した。以上より、浸透に対する堤防の構

造検討における「盤ぶくれ」の判定(粘性土層厚が3m未満か否か)などに必要な粘性土層(Ac層)厚の把握と細分区間分け、及び代表断面設定のうえで非常に有効であることを確認した。

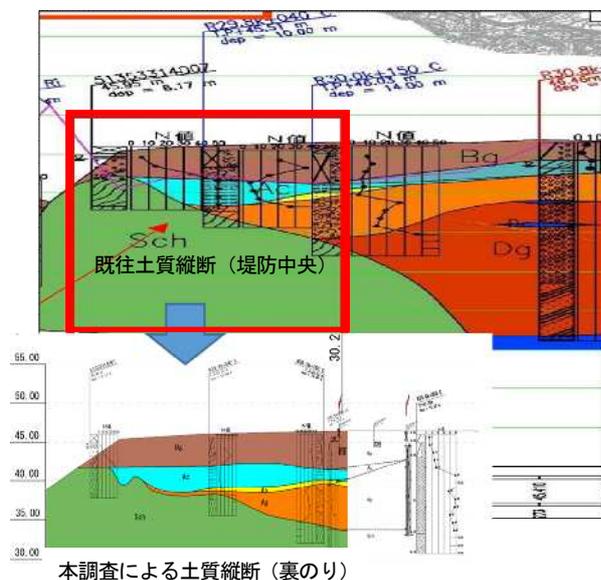


図-12 既往土質縦断とFDEM探査結果の対比図

(2) 調査結果の堤防安全性検討への適用

FDEM探査により補完した代表断面の土質構成を踏まえ、浸透に対する堤防安全性検討を行った。検討結果を表-2に示す。表に示す通り、各断面において現況断面では、照査基準を満足することができなかつたため、各断面において、対策工の検討を行った。

表-2 堤防の浸透安全性検討結果

位置	ケース	最低力チェック		最低力チェック		最悪力		最悪力		照査判定		
		Q/W	判定	Q/W	判定	Fs	最悪力	Fs	最悪力			
1. 右岸29+700	現況断面	0.834	x	-	-	1.096	1.000	0	1.840	1.500	o	x
	透水性シート(裏法)	0.839	x	-	-	0.968	1.000	x	2.602	1.500	o	x
	透水性シート(裏法)+天板+トンチケアル(裏法)	0.820	x	-	-	0.868	1.000	x	2.601	1.500	o	x
	トンチケアル(裏法)+天板(挿入)	1.032	o	-	-	1.086	1.000	o	2.601	1.500	o	o
2. 右岸30+000	現況断面	0.755	x	-	-	0.976	1.000	x	2.152	1.500	o	x
	透水性シート(裏法)	0.809	x	-	-	1.206	1.000	o	2.186	1.500	o	x
	トンチケアル(裏法)	0.776	x	-	-	0.972	1.000	x	2.389	1.500	o	x
	透水性シート+天板+トンチケアル(裏法)+天板まで	0.888	x	-	-	1.170	1.000	o	2.587	1.500	o	x
2. 右岸30+200	透水性シート+天板+トンチケアル(裏法)+天板まで+天板挿入	0.962	x	-	-	1.209	1.000	o	2.613	1.500	o	x
	透水性シート+天板まで+天板+トンチケアル(裏法)+天板まで+天板挿入	1.104	o	-	-	1.387	1.000	o	2.613	1.500	o	o
	現況断面	0.897	x	-	-	0.825	1.000	x	1.517	1.500	o	x
	透水性シート(裏法)	0.916	x	-	-	1.076	1.000	o	1.587	1.500	o	x
2. 右岸30+200	トンチケアル(裏法)+天板	0.835	x	-	-	0.877	1.000	x	1.510	1.500	o	x
	透水性シート(裏法)+天板	2.217	o	-	-	1.029	1.000	o	1.587	1.500	o	o

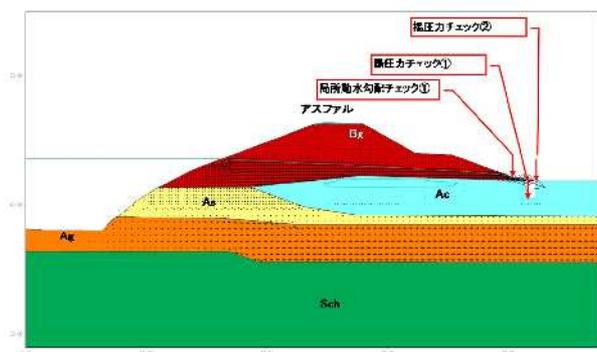


図-13 浸透流解析結果図(現況: R30.0kの例)

R30.0kにおける浸透流解析結果図(現況)を図-13に、浸透流解析結果図(対策工)を図-14にそれぞれ示す。

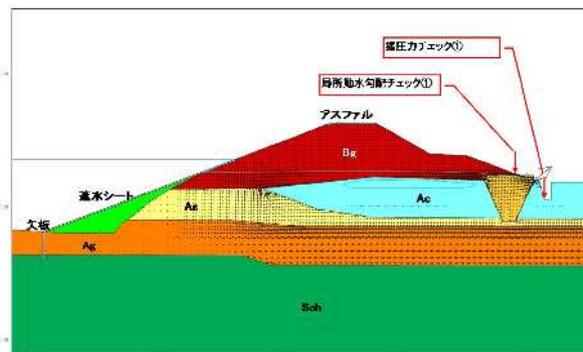


図-14 浸透流解析結果図(対策後: R30.0kの例)

5. まとめ

本報では、河川堤防の浸透安全性検討を効果的・効率的に行うための事例を報告した。

既往の土質調査結果を補完する目的でFDEM探査を適用することは、連続的な地層の変化を把握する手法として有効であり、細分区間・代表断面の設定、及び浸透安全性検討を実施するための基礎情報として活用できると考える。

あとがき

本調査の実施にあたっては、関係機関によるフィールドの提供、及び貴重な資料の提示をして頂いた。ここに、熱く感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 片山辰雄、小里隆孝、加藤裕将、楠見晴重、松岡俊文：周波数領域電磁探査法の開発と河川堤防調査への適用性、地盤工学ジャーナル Vol. 4、No. 4、331-340
- 2) 若狭聡、館川逸郎、片山辰雄：河川堤防浸透点検の一連区間細分化におけるFDEM探査の適用事例、土木学会第63回年次学術講演会講演集(平成20年9月)、2-212