

## ◆ 新しい探査技術特集 ◆

## 高密度電気探査によるアースダム堤体内浸透調査

吉田 等\* 山口嘉一\*\* 今林 豊\*\*\*

## 1. はじめに

フィルダム堤体の安全性の現状診断や再開発に伴う嵩上げを行う場合には、堤体内部の構造調査や浸透流の状況把握を堤体全域にわたって実施する必要がある。従来、堤体ボーリングにより直接採取した堤体構成試料に対して各種土質試験を実施して堤体の構造解析や、各ゾーンの物性評価を行ったり、堤体ボーリング孔内の水位変動、流向流速調査による堤体内浸透流の調査が行われてきた。しかし、遮水機能を受け持つゾーンなどに設けるボーリング孔の数は安全性の観点から限られてくるため、堤体ボーリングを用いた調査方法を補完するために、広範囲を比較的短時間でかつ経済的に調査できる方法の導入を検討する必要がある。

ここ10年程度の間に、地盤内の可視化技術として、各種トモグラフィーや高密度電気探査などが各種土木構造物を対象に数多く実施され、その適用性が検討されてきた<sup>1)</sup>。本報では、再開発を目的に嵩上げされたアースダムにおいて高密度電気探査を実施し、堤体内部の構造調査や浸透流監視への適用性について検討した結果について報告する。

## 2. 探査対象ダムの概要

探査対象のSダムは、灌漑用ため池の堤体を1.1m嵩上げした堤高18.5mの均一型アースダムである。Sダムの平面および標準断面(No.56断面)図をそれぞれ図-1、2に示す。

新設堤体の上流側には遮水性と安定性を受け持つ砂質粘土(A種材料)を、また堤体下流側には安定性のみを受け持つ砂質土(B種材料)を配した。既設堤体と新設堤体の設計値を表-1にまとめて示す。

ダムの基礎地盤は、 $1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-5}$ m/sの範囲の透水係数を示す砂礫層と粘土層の水平互層から成る。今回の再開発に際して、堤内の浸透水を安全に排水するためにドレンを設置するとともに、基礎地盤での十分な浸透路長を確保するた

表-1 既設および新設堤体の設計値

ゾーン	既設ダム	A種材料 土質プランケット	B種材料	ドレン
湿潤密度(t/m <sup>3</sup> )	1.90	1.99	2.06	1.90
飽和密度(t/m <sup>3</sup> )	1.95	2.12	2.17	—
粘着力(kN/m <sup>2</sup> )	34.3	19.6	9.8	0.0
内部摩擦角(°)	15.0	27.0	33.0	35.0
透水係数(m/s)	$1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-5}$

め、遮水性の高い材料を層厚を薄く長さ約100mにわたり設置した土質プランケットを堤体下流側に配している。

新設堤体の盛立は1996年9月に完成し、試験湛水が同年10月下旬から12月中旬にかけて行われた。

## 3. 試験湛水中の動態観測

Sダムの試験湛水時の貯水位曲線を日雨量とともに図-3に示す。また、図中には3回の高密度電気探査実施日を探査①、②、③として示している。試験湛水時には、堤体の外部変形、ドレンを通して集水された浸透量、堤内の間隙水圧および浸潤線などの計測とともに、目視による観察により安全管理が実施された。計測項目と頻度を表-2に示す。

後述する高密度電気探査を実施したNo.58+10m断面近傍のNo.58断面における計測設備の配置を図-4に示す。

## 4. 高密度電気探査の概要

高密度電気探査は、地下の複雑な比抵抗分布を把握するために、従来よりも電極間隔を密にして実施する電気探査である。この探査をNo.58+10m断面を対象に、試験湛水開始直前、貯水位がサーチャージ水位に近い時、水位低下完了直前の計3回実施した(図-3参照)。それぞれの探査を、第1回、第2回、第3回探査と呼ぶ。

堤体および基礎地盤の見かけの比抵抗を2極法電極配置により測定した。さまざまな電極の配置

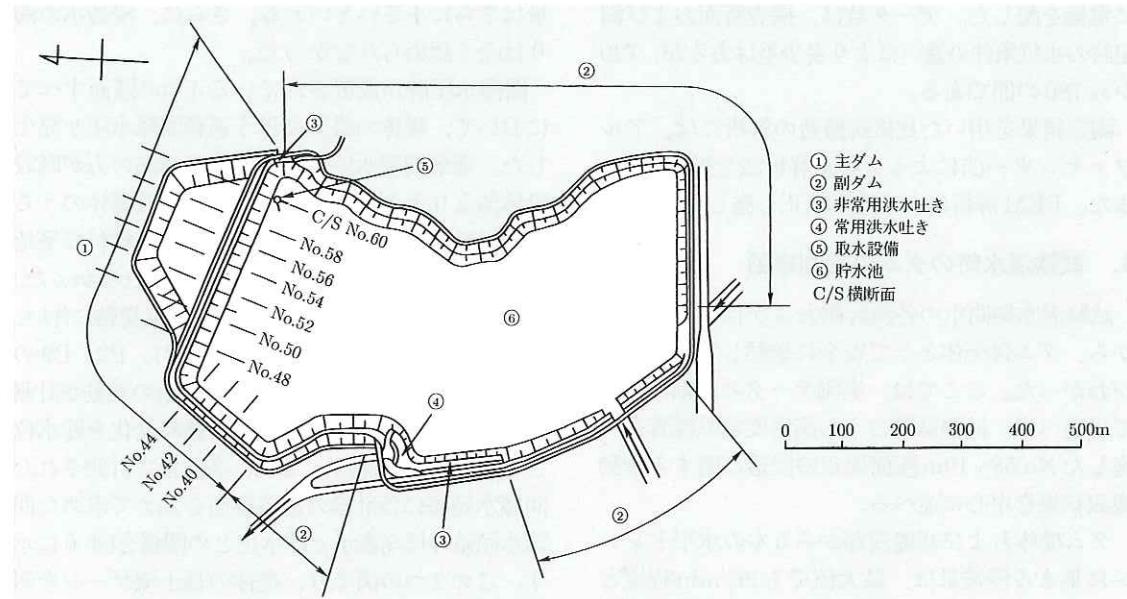


図-1 S ダムの平面図

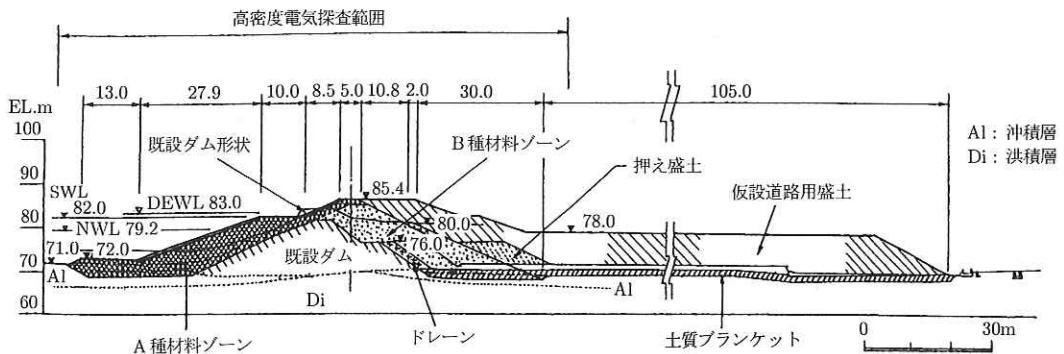


図-2 S ダムの標準断面図

表-2 計測項目と頻度

項目	計測断面数	計測点数	計測頻度	備考
外部変形	10	20 (天端 10, 小段 10)	1回/週	No.42, 47, 49, 51, 53, 55, 57, 59, 60, 61 断面
浸透量	5	5	1回/日	No.51, 52+20m, 55+5m, 57+5m, 59 断面
間隙水圧	4	67	1回/日	No.42+10m, 51+10m, 54+10m, 58 断面
浸潤線	4	4	1回/日	No.42+15m, 51+15m, 54+5m, 58 断面

の中から 2 極法電極配置を採用したのは、他の電極配置に比べて大きな信号が得られるとともに、作業性が良く、地下構造に対する電位の応答が比較的単純であるため自動解析に向くなどの利点を有しているためである<sup>2)</sup>。

測線長は平面上で 118m、電極間隔は 2m とし、60 本の電極を配した。最大探査深度が 30m となるように測定系を設定した。つまり、最初に測線

始点の電極を電流電極とし、その隣りの電極から、測線始点より 30m 離れた電極までの電位を順々に測定する。以降、電流電極を 1 つずつずらして同様の作業を行い、最後に測線終点の 1 つ前の電極を電流電極として終点での電位を測定する。電極には直径 10mm、長さ 300mm の鉄製の棒を用いた。なお、貯水位がサーチャージ水位に近い時の第 2 回目の探査では、貯水面に浮かべたフロート

に電極を配した。データ数は、探査断面および測定時の水位条件の違いにより多少差はあるが、720から780の間である。

測定結果を用いた比抵抗構造の解析には、アルファセンター法による2次元解析法を採用した。また、FEM解析による地形補正も施した<sup>3)</sup>。

## 5. 試験湛水時のダムの実測挙動

試験湛水期間中の各種計測および目視観測結果から、ダムは全体として安全に挙動していることがわかった。ここでは、実測データの詳細については述べず、計測結果のうち高密度電気探査を実施したNo.58+10m断面周辺の浸透に関する挙動観測結果を中心に述べる。

ダム堤体および基礎浅部から5本の水平ドレンに集まる浸透量は、最大値でも $2\ell/\text{min}$ 程度と小さかった。また、浸透量の変動は貯水位の変動ではなく降雨によっていたことから、堤体の安全上最も重要なダム堤体および基礎浅部からの浸透

量はさらに小さいといえる。さらに、浸透水の濁りは全く認められなかった。

間隙水圧計が設置されている4つの断面すべてにおいて、堤体の盛立に伴う過剰間隙水圧が発生した。過剰間隙水圧の値は新設堤体部の方が既設堤体部より大きかった。しかし、新設堤体のうちA種材料で築造されている部分とB種材料で築造されている部分での明瞭な差は認められなかった。No.58断面においては、湛水時の水位変動に伴い、設置した19の間隙水圧計のうち、P1、P2、P9の3つの間隙水圧計において間隙水頭値の変動が計測された。これらの間隙水頭値の経時変化を貯水位とともに図-5に示す。また、各計器で計測された間隙水頭値に各計器の設置標高を加えて求めた間隙水頭値の標高表示と貯水位との関係を図-6に示す。この2つの図より、堤体の最上流ゾーンを形成するA種材料ゾーンに設置されたP1とP9の間隙水圧計において計測された間隙水頭値は、貯水位が間隙水圧計の設置標高より高くなった後、多少の時間遅れがあるものの貯水位の変動にほぼ連動していることがわかる。しかし、新設および既設堤体の境界付近の既設堤体内で、P1と同一標高に設置されているP2で計測された間隙水頭の貯水位に対する反応はP1に比べてやや遅く、またその値の変動幅はP1に比べてかなり小さい。これは、P2の方がP1より堤体上流側のり面からの距離が長いためである。

試験湛水時の貯水位とNo.58+5m断面に設置した観測孔内の水位の経時変化を図-7に示す。この図より貯水位の変動に伴う観測孔の水位変化はほとんどないことがわかる。

堤内の間隙水頭および観測孔内水位の計測結果より、貯水池から堤内への水の浸透はほぼA種材

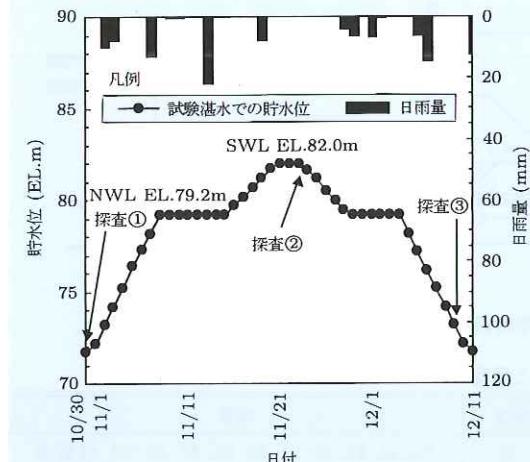
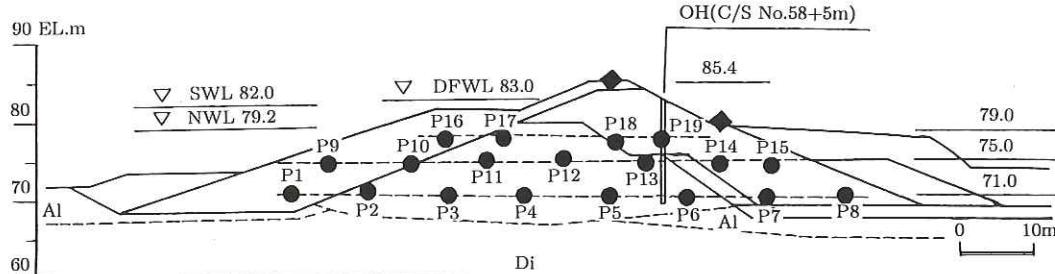


図-3 試験湛水時の貯水位曲線



●, P1-P-19: 間隙水圧計、◆: 外部変位測定用標的、OH: 水位観測孔、Al: 沖積層、Di: 洪積層

図-4 No.58断面における計測設備の配置

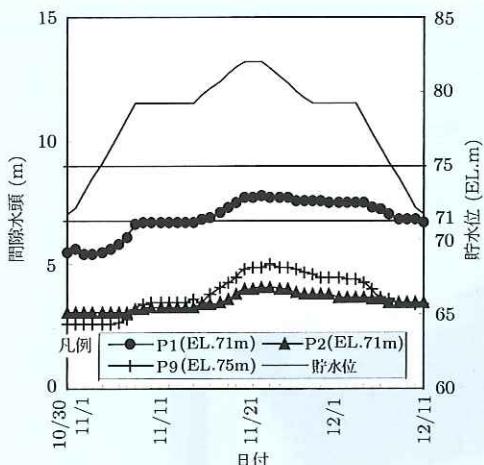


図-5 間隙水頭値の経時変化(No.58断面)

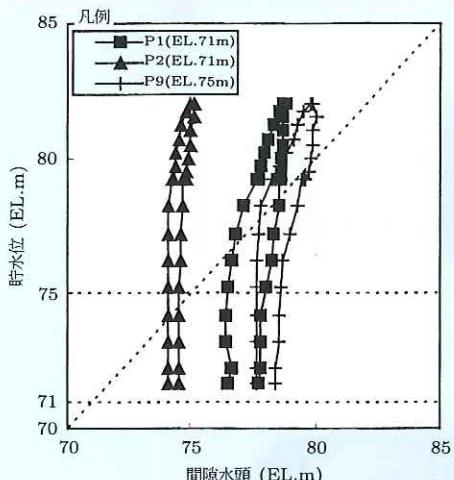


図-6 間隙水頭値と貯水位の関係(No.58断面)

料ゾーンにとどまっているものと考える。

## 6. 高密度電気探査の結果

No.58断面で行った3回の高密度電気探査から得られた堤体および基礎地盤の比抵抗分布を図-8に示す。なお、第2、3回探査においては、現場状況から測線端部で数本の電極を配置できなかった。また、図中のx=0mが第1回探査時の測定始点である。

まず、図-8(a)に示す湛水開始直前に実施した第1回の探査結果から、基礎地盤および既設堤体、新設堤体、ドレーン等といった堤体内構造が比抵抗値のコントラストとして解像できる可能性がうかがえる。

基礎地盤の比抵抗はほぼ $38\sim58\Omega\cdot m$ の範囲内

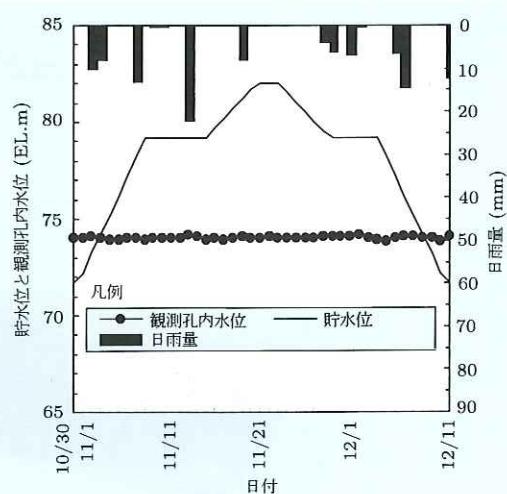


図-7 観測孔内水位の経時変化(No.58+5m断面)

にある。 $x=20\sim40m$ の区間と $x=70m$ 付近に高比抵抗ゾーンが存在するが、地層との関連は明確でない。特に、 $x=70m$ 付近の高比抵抗ゾーンは比較的高比抵抗であるドレーンの存在に起因する偽像の可能性が強い。また、測線上流端では、A種材料ゾーンと沖積層の境界部に $18\Omega\cdot m$ を示す低比抵抗ゾーンが存在する。この原因としては、測線端周辺であることによる偽像のほか、沖積粘土層の分布が考えられる。

既設堤体の比抵抗はほぼ $38\sim66\Omega\cdot m$ の範囲内にある。堤体中央部の高比抵抗部は、旧堤体保存のために実施した堤体掘削の結果明らかになった、沖積層起源の細砂主体で構成されている最も古い堤体部に一致する。

新設堤体のA種材料ゾーンの比抵抗はほぼ $26\sim38\Omega\cdot m$ の範囲内にあり、他のゾーンに比べて低比抵抗である。これは、A種材料が他ゾーンより相対的に多くの粘土分を含有しているためと考える。

新設堤体のうち砂質土で構成されているB種材料ゾーンの比抵抗はほぼ $34\sim46\Omega\cdot m$ の範囲内にある。 $x=80m$ の小段付近と $x=100m$ 付近の押さえ盛土部に $30\sim38\Omega\cdot m$ の低比抵抗ゾーンが分布する。小段付近の低比抵抗ゾーンが含水比や締め固め度の違いを反映しているのか、地形の起伏による解析上の偽像なのは不明である。 $x=100m$ 付近の低比抵抗ゾーンは押さえ盛土部と一致するが、低比抵抗を示す原因は不明である。

次に、各回の探査結果から求まった比抵抗分布の変化と堤体内的浸透状態の関係について考察す

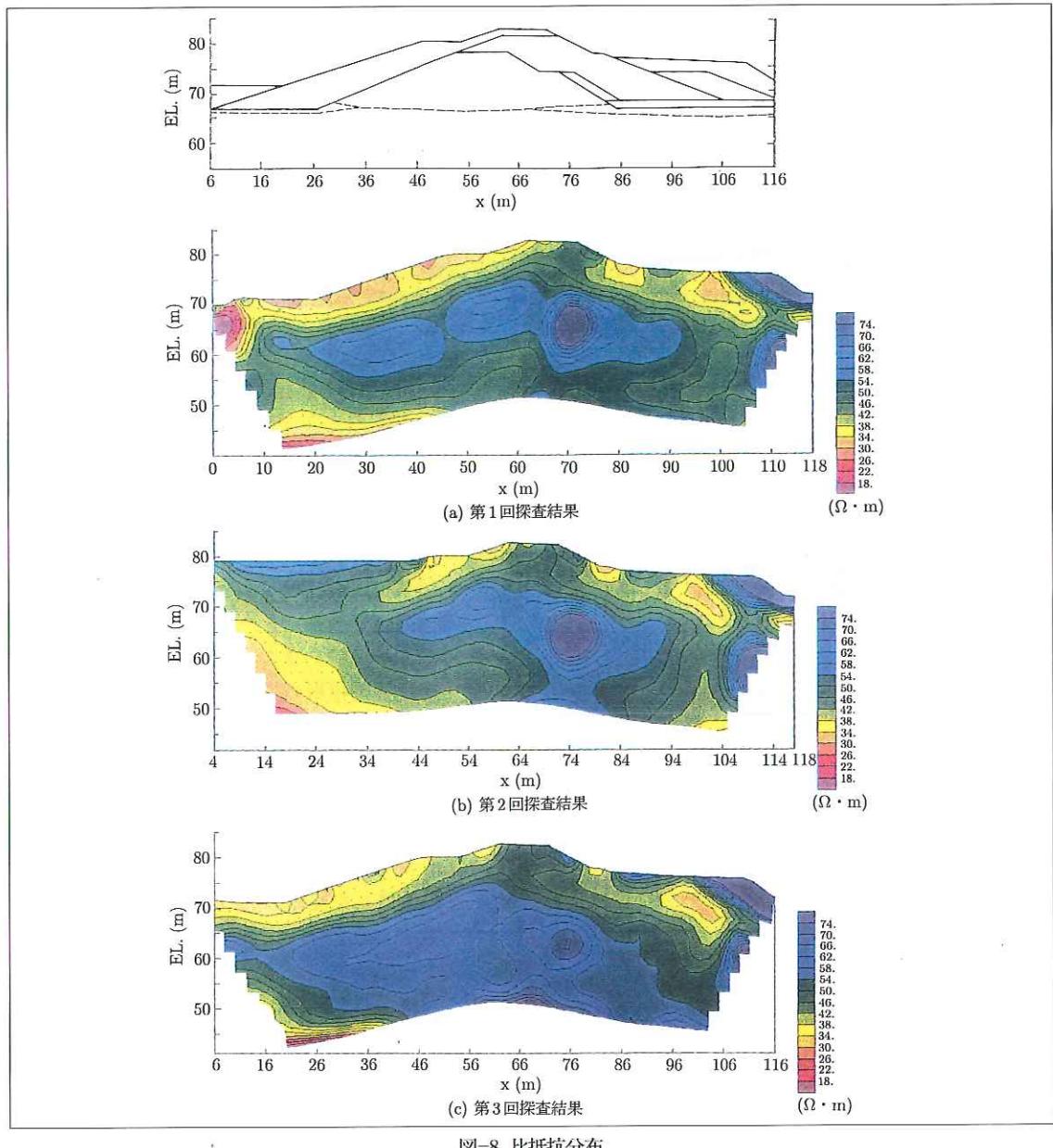


図-8 比抵抗分布

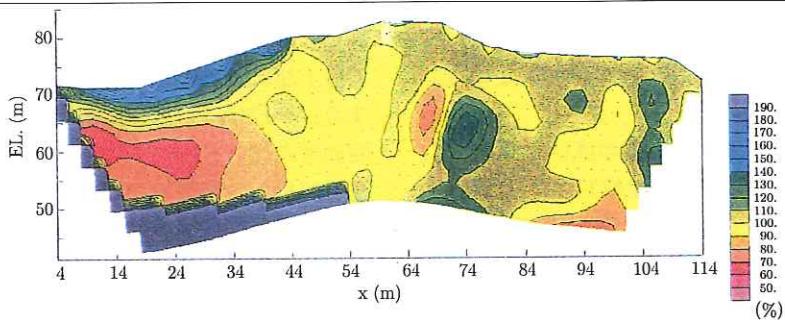


図-9 第2回探査時と第1回探査時の比抵抗の比

る。図-8(a)と(c)を比較すると、湛水直前の第1回探査と試験湛水終了直前の第3回探査から得られる比抵抗分布には大きな差が見られない。そこで、湛水直前の第1回探査と貯水位がサーチャージ水位に近い時点での実施した第2回探査の結果を比較する。比抵抗分布の差を明瞭に示すため、第2回探査で得られた比抵抗値を第1回探査のそれで除した値を百分率表示したものを図-9として作成した。

同じ土でもその比抵抗値は間隙率と飽和度により変化する<sup>4)</sup>。また、間隙中の水の比抵抗も土全体の比抵抗値に影響を与える<sup>4)</sup>。探査対象ダムの場合、堤体および基礎地盤の大部分が貯水池の水の比抵抗約  $50\Omega \cdot m$  よりも低い比抵抗を持つため、貯水池の水が侵入した部分では比抵抗が上昇すると考えられる。図-9から、貯水位の上昇によって比抵抗が上昇しているのは、堤体の最上流部に位置するA種材料ゾーンのサーチャージ水位以下の部分に限定される。このことは、堤体内的間隙水頭が貯水位の上昇に反応したのが、A種材料ゾーンにはほぼ限定されることと一致している。よって、アースダム堤体内的比抵抗の変化状況から浸透状況がおおむね推定できるのではないかと考える。ただし、水位低下後比較的早くA種材料ゾーンの高比抵抗領域が消滅していることから、図-8(b)における比抵抗上昇は水位荷重による間隙率の減少による可能性も否定できない。この疑問点を解消するためには、今後の長期湛水に伴う追加探査が必要である。

## 7. おわりに

嵩上げしたアースダムに対して高密度電気探査を実施し、得られた比抵抗分布と堤体内的ゾーニングや湛水時の実測挙動結果を比較することによ

り、この探査方法の堤内構造調査や湛水時の堤内浸透流監視への適用性について検討した。その結果、新設堤体、既設堤体、ドレーンといった堤内のゾーン区分を比抵抗値の差として大略把握できる可能性があることがわかった。また、貯水池の湛水に伴い堤内の比抵抗の変化した領域と間隙水頭が変化する領域がおおむね一致したことから、堤内の浸透領域を比抵抗の変化範囲としてとらえられる可能性が高いことがわかった。

今後は同様な探査を他ダムにおいても実施し、高密度電気探査によるフィルダム堤体内的構造調査や浸透流監視への適用性をより詳細に検討していく予定である。

## 参考文献

- 1) 建設省：官民連携共同研究「新地盤探査技術の開発」報告書,71p,1995.
- 2) 島裕雅、梶間和彦、神谷英樹：-建設・防災・環境のための新しい電気探査法- 比抵抗映像法, 古今書院, 初版第1刷, pp.53-65, 1995.
- 3) 前出2), pp.66-95.
- 4) Archie, G. E. : The electric resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics, Trans. AIME, Vol.146, pp.54-62, 1942.

吉田 等\*



建設省土木研究所ダム部  
フィルダム研究室長  
Hitoshi YOSHIDA

山口嘉一\*\*



同 フィルダム研究室  
主任研究員、工博  
Dr. Yoshikazu YAMAGUCHI

今林 豊\*\*\*



同 フィルダム研究室研究員  
Yutaka IMABAYASHI