

湧水が確認された道路盛土の電気探査による地下水の浸透経路の把握

大石佑輔*, 尾西恭亮*, 加藤俊二*, 東拓生*,
佐々木直也*, 鈴木望夢*
* 土木研究所

Detecting the path of groundwater seepage in the road embankment with spring using electrical resistivity survey

Yusuke Oishi*, Kyosuke Onishi*, Shunji Kato*, Takuo Azuma*,
Naoya Sasaki*, Nozomu Suzuki*
* Public Works Research Institute

Abstract: It is important to confirm the condition of groundwater inside the road embankment for evaluating its safety. In this study, we applied electrical measurements on the road embankment where underground water springs out from the bottom of the slope. According to the resistivity structure estimated from the electrical measurements data, we found that the area of low resistivity is distributed along the old topography. Based on the old topography and the electrical measurements, we detected that the groundwater percolates along the old topography inside the embankment and flows out to the ground surface from the boundary between cutting and filling. Electric measurements become be effective methods to confirm the condition of groundwater inside the embankment.

1. はじめに

道路の盛土および切土の内部の地下水位が高いと、地震に対して不安定となり、法面崩壊を生じる危険性がある。平成 21 年の駿河湾を震源とする地震により、東名高速道路の牧之原地区の谷埋め盛土において発生した大規模な法面崩壊の要因のひとつが高い地下水位であったとされる。このため盛土内部の地下水位を把握することが重要であるが、延長が長い道路の盛土の内部の地下水位を適切に把握するには、地下水位の最も高い位置、または、浸透経路の中央部に観測井を設置する必要がある。したがって、旧地形の判読や造成記録により、地下水流動分布の概要を把握することが重要であるが、旧地形の精度や造成記録の情報量には限りがあり、地下水の観測に適した位置を、より詳細に絞り込む手段として、谷埋め盛土を対象として物理探査による把握を試みた。

2. 調査対象盛土

図 1 および図 2 に調査対象とした道路盛土の造成後および造成前の地形図を示す。調査対象の盛土は、2つの河川が合流する付近において突き出た山の尾根を切土した道路の前後に造成された 2 箇所である。対象の盛土は橋台取り付け部に位置し、北部の盛土の法面には排水工が設置されており (位置: 図 1 中の P1, 写真: 図 3 上), また南部の盛土は橋台取り付け部に位置し、

法尻付近の橋台周囲で全面的に滞水している (位置: 図 1 中の P2, 写真: 図 3 下)。

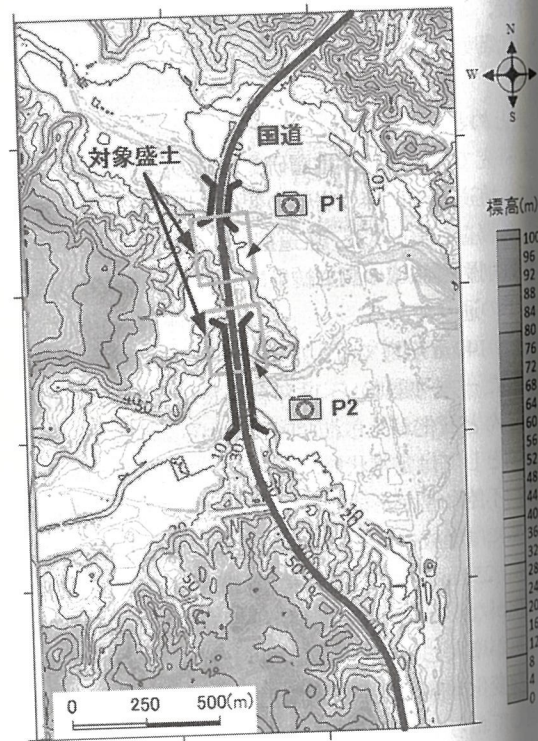


図 1 調査地の地形図
(国土地理院の DEM (数値標高モデル) を利用)

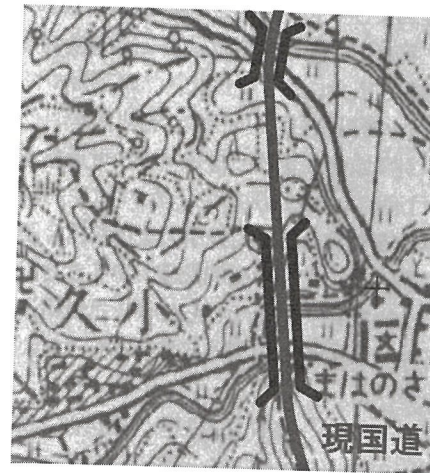


図 2 盛土造成前の旧地形
(昭和 27 年応修「1/50000」を引用・加筆)

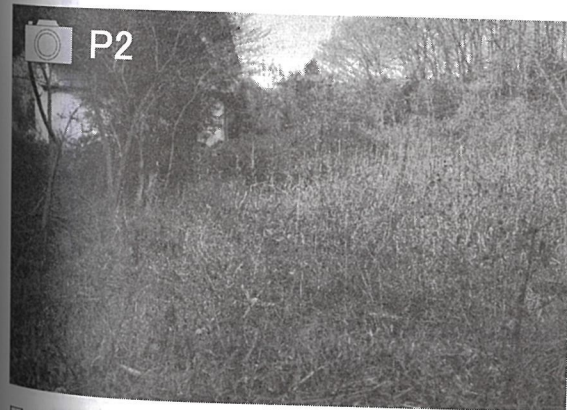
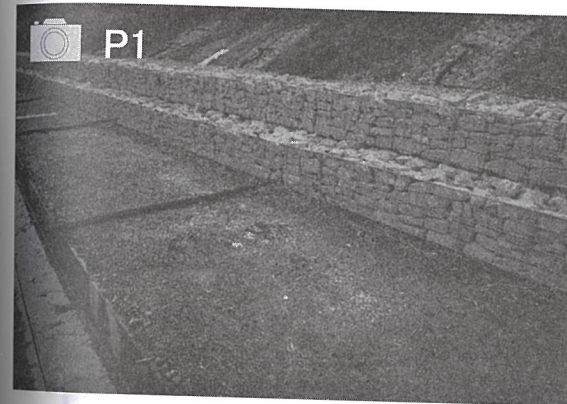


図 3(上)盛土法尻の排水工 (下)橋台周囲の滞水の様子

3. 測定方法

主測線 (測線 A) は、図 2 に示す旧地形を参考に旧地形の尾根部分を横断し、かつ道路延長方向に長く測定できるようにし、副測線は盛土法尻から湧水を確認している盛土の法肩部 (測線 B) と小段 (測線 C) を設定した。表 1 に数量を示し、図 4 に設定した測線配置を示す。電極配置はいずれの測線も 2 極法を用いて実施し、電極間隔は 1m, 測定は 32 深度とした。

表 1 測定データ

測線名	測線長	始点	終点
Line-A	331m	-7m	324m
Line-B	57m	224m	281m
Line-C	61m	220m	281m

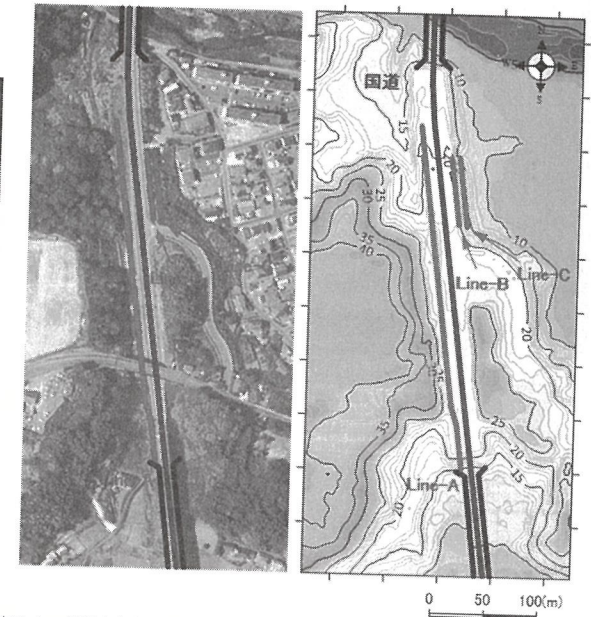


図 4 測線配置
(左: 航空写真は国土地理院を引用・加筆
右: 地形データは国土地理院の DEM (数値標高モデル) を利用)

4. 解析結果

図5に測定データの減衰曲線を示す。比抵抗値は低い、安定した記録が取得できていることが分かる。図6に2次元解析結果である各測線の比抵抗断面を示す。大局的に約5~20Ωmの値を示し、低比抵抗構造を呈する。測線Aについては測線の始点側が終点側と比較して低比抵抗の傾向がある。始点側の低比抵抗範囲のうち特に80~90m付近については地表から連続的に分布していることが読み取れる。一方で、終点側では浅部の185~230m付近と300m付近に高比抵抗箇所を確認できる。深部は浅部と比較すると低比抵抗であるが、始点側と比較するとやや高比抵抗を呈する。

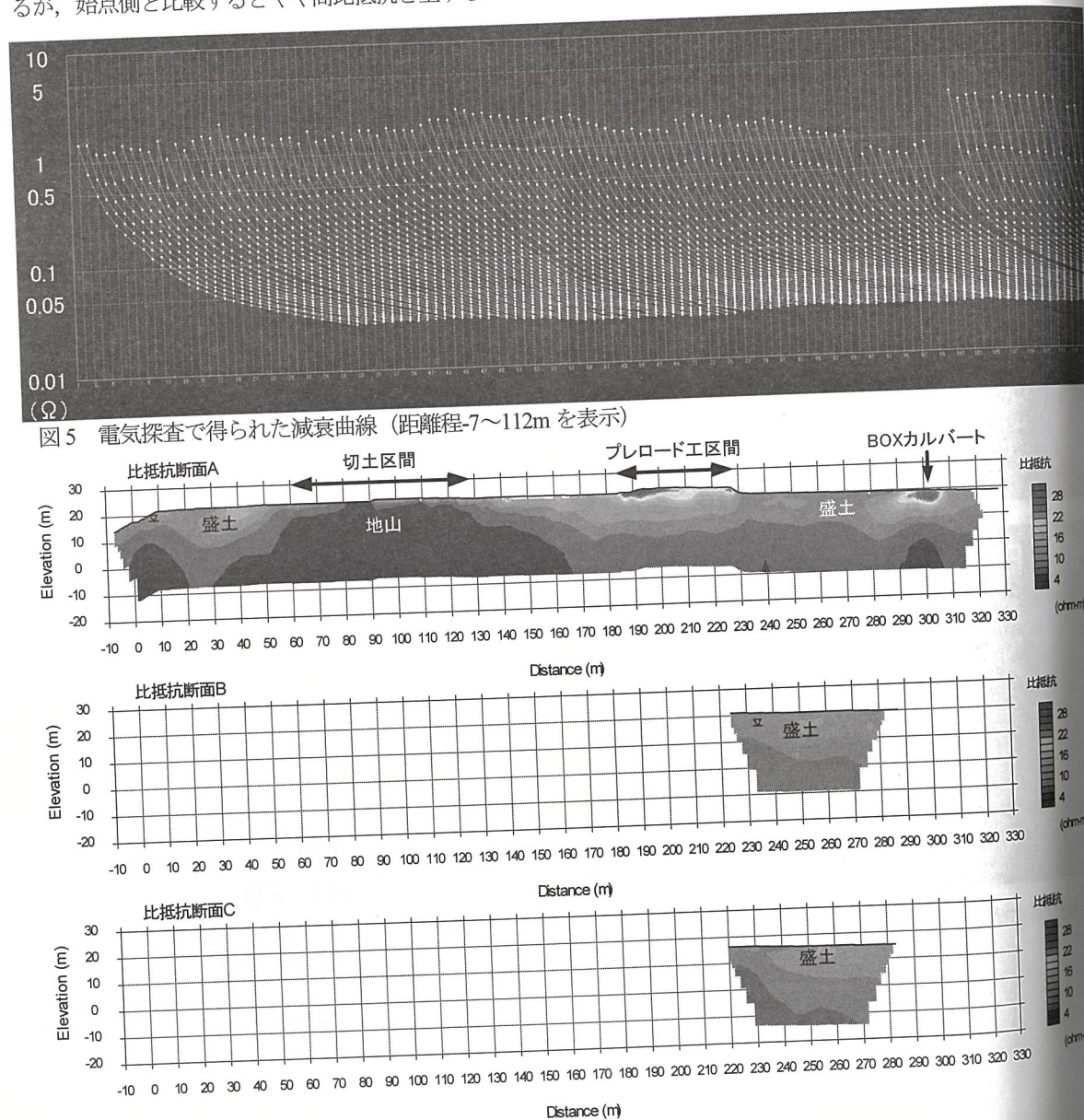


図5 電気探査で得られた減衰曲線 (距離程-7~112m を表示)

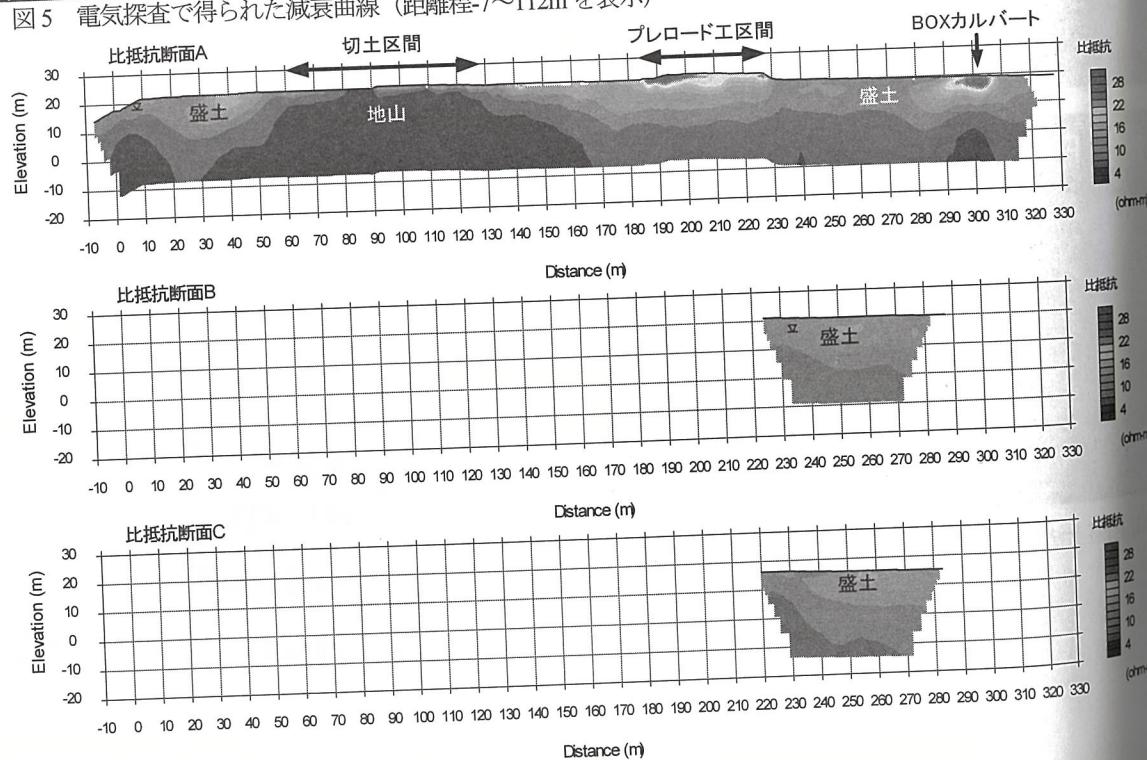


図6 比抵抗断面

測線BおよびCは、この2測線と同距離程の測線Aと比較するとやや高比抵抗を呈する。測線Cの標高10mに着目すると、わずかに比抵抗が下がってきており、測線Aの同距離程・同深度の値に近い。

なお、対象域の2箇所(測線A:8m付近および測線B:234m付近)に水位観測井が設置されており、比抵抗断面へ水位を記載した。2箇所の比抵抗は今回得られた比抵抗構造の中では中間的な値であることから、盛土を対象とした電気探査で得られる比抵抗構造は地下水位よりも土質の違いを反映しているものといえる。

5. 考察

5.1 測線A 終点側の高比抵抗分布

測線Aの終点側で高比抵抗を呈した点について考察する。はじめに、比抵抗断面Aが示す185~230mの地表形状に着目すると、周辺より一段高いことが分かる。この範囲は、プレロード工が施工されており、測線はプレロードの砂質土盛土上に位置しているため、高比抵抗を呈したと考えられる。一方で、300m付近には盛土内部を横断するBOXカルバートが布設されており、これを捉えていると考えられる。

5.2 測線A 始点側の低比抵抗分布

測線Aの低比抵抗構造を解釈するために、旧地形のコンターから沢筋を推定した。図7に現在の航空写真と旧地形のコンターのトレースの重ね合わせを示す。対象盛土付近に流下すると推定した沢筋を水色線で示す。

その後の道路造成時に図中の黄色ハッチングしている頂部などが切削され、さらに2つの沢筋を谷埋めする形で盛土が造成された。その結果、地下水の主要な流路が変更を受けた可能性がある。ここで、測線Aにおいて極めて低い比抵抗を示す領域(距離程80~90m付近(図8中の青矢印))は、飽和した粘土層等の低透水層である可能性が高い。この区間は地形判読より、西側からの地下水の供給を受ける範囲と考えられるが、この低透水層を回避して地下水の流路が形成されると考えられる。ここで、北部の盛土の法面はBC測線南端が終端となっている。測線Aの中央付近の浅部域において、比較的透水性が高い領域の北端は測線BCの南端付近に相当する。以上より、BC測線の南端付近が、西側からの地下水流路の最短経路に相当すると考えられ、地下水観測井のひとつの適地と判断できる。

6. まとめ

道路盛土を対象として電気探査を実施した結果、地形と整合する地質構造を示す比抵抗分布を得た。地表付近で最も低比抵抗を呈する箇所は、旧地形から推定される尾根に位置し、西側から供給される地下水はこれを避けて流路を形成していると推測される。地下水は浅部の比較的高比抵抗構造を呈する経路で浸透していると考えられ、北端においては、旧地形の切り盛り境界付近が主要な浸透経路であり、地下水観測井設置の好適地と判断できる。

このように地下水観測井の設置位置決定の手法とし



図7 旧地形から推定した沢筋

(背景航空写真は国土地理院から引用)

旧地形のコンターは昭和27年応修「1/50000」を引用)



図8 電気探査と総合的に解釈した地下水浸透経路

て、地形判読と電気探査の組み合わせは有効であるとされる。電気探査を効果的に実施するためには、参考となる旧地形を判読し、主測線は構造を横断するように設定することが望ましい。さらに、旧地形から推定される浸透経路を中心に副測線を設定することで、より詳細に浸透経路を絞り込むことが可能となると考えられる。また、詳細な地質種類の情報が必要な場合は、ボーリングを参照する。

参考文献

- 菅浩一 (2011) : 東名高速道路牧之原地区地震災害の復旧とその後の対応, 土木技術資料, 53-3, 38-41.
- Kobayashi, T and Onishi K (2019), Evaluation for perched water levels at landslide site by electric method, American Geophysical Union Fall Meeting, H11H-1563.