

接地抵抗観測による 不被圧地下水の水位変化推定法 Estimation of Undrained Groundwater Level by the Earthing Resistance Observation

領木邦浩 (職業能力開発総合大学校)
Kunihiro RYOKI (Polytechnic University)

Abstract

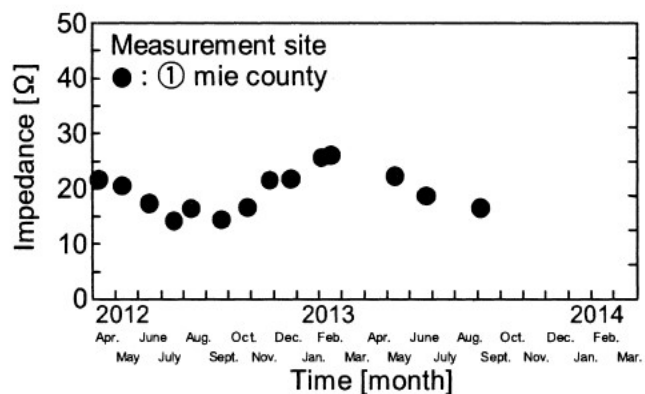
In Musashino Plateau Area, there is a perched water due to the lens-like water permeable layer scattered in the loam layer distributed near the surface layers. Often, the level of this perched water rises and causes flooding on the ground. Therefore, it is introduced that the observation method of the change of resistance in the earthing system of the electric facility, in order to estimate the level of groundwater beforehand, and to detect the flood damage.

1. はじめに

近年、地球温暖化に伴う局地的な豪雨によって浸水等の災害が多発している。例えば、東京の小平では、1991年に新小平駅で土砂交じりの地下水が大量に流入・冠水した。この際、新小平駅の東側約1kmの長期水位観測井において直近3ヵ月に地下水水位が約6m上昇したことが記録されている(東京都地質調査業協会, 2000)。小平を含む武蔵野台地において、不被圧地下水の帯水層はローム層の下位にある武蔵野礫層とされており、局所的にローム層中にローム質粘土層を難透水層とする宙水の存在が指摘されている(角田, 2017)。宙水は、豪雨などによる一時的な地下水の過剰供給があると、その地下水水位を増加させ、浸水災害を生起すると考えられる。この危険性を未然に察知し、被害を軽減するためには、地下水水位の連続観測が求められるが、多地点での展開は實際上、難しい。そこで、これを簡便に実施するために、領木(2019)は電気設備の保安用接地電極の接地抵抗の利用を提案した。本報告ではその手法を紹介し、検証計画について提案する。

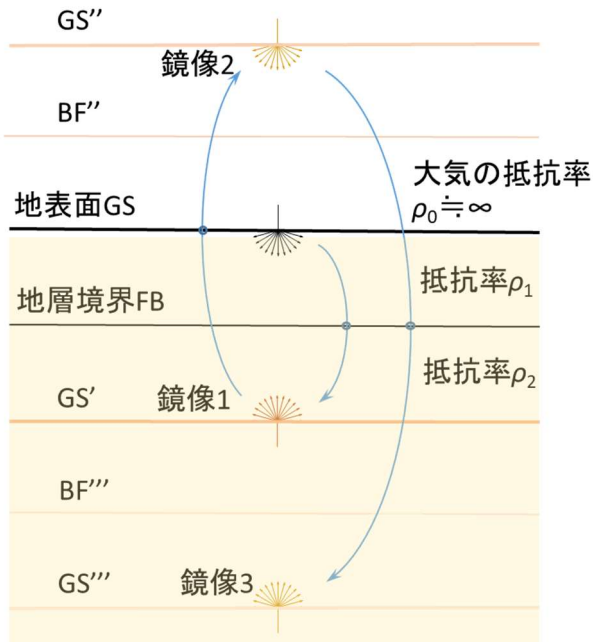
2. 技法

第1図は、住宅基礎を保安用接地として用いる試みの検証実験の結果である(大島・他, 2015)。接地抵抗は季節に呼応して変動している。小規模なモデル基礎のため、変動値は200%程度の大きな幅を示している。大島・他(2015)はこれを気温の変動と関連づけて評価した。しかし、高倉(2009)による岩石の抵

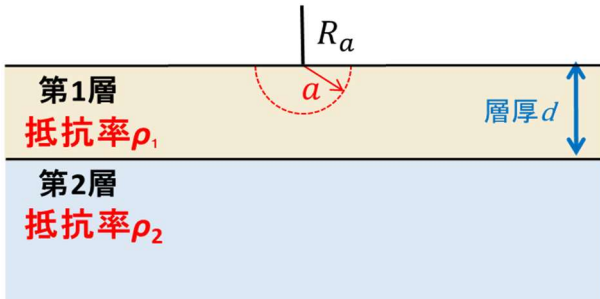


第1図 住宅基礎の接地抵抗値の季節変動例 約2m×2mの小型モデル、三重県三重郡(大島・他, 2015)。

Fig. 1. Seasonal fluctuation of an earthing resistance at a model house foundation about 2m x 2m in Mie District, Mie Prefecture (Ohshima et al., 2015).



第2図 鏡像法の概念図 (領木, 2019).
Fig. 2. Conceptual diagram of the mirror imaging method (Ryoki, 2019).



第3図 等価接地抵抗の考え方 (領木, 2019).
Fig. 3. Concept of a equivalent earthing resistance (Ryoki, 2019).

する反射係数で、第1層、第2層の抵抗率をそれぞれ ρ_1, ρ_2 とすると、

$$Q = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad (5)$$

である。

このような二層構造(第3図)の地表にある半球状接地極の接地抵抗は、半無限媒質の場合と同様に $r = a$ とにおいて、

$$R_a = \frac{V_a}{I} = \frac{\rho_1}{2\pi a} \left(1 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{Q^k}{\sqrt{1 + 4k^2 \left(\frac{d}{a}\right)^2}} \right) \quad (6)$$

抗率(比抵抗)に温度が及ぼす影響の検討結果を考慮すると、200%程度の接地抵抗の変動幅は地表付近の季節変動に伴う気温の変化から見積もられる変動量に対して非常に大きい。これは、地質体もしくは接地電極の温度変化だけで説明できず、以下に述べるような不被圧地下水の水位変動が大きな要因を占めることが予察される。

よく知られるように(例えば、萩原(1951)など)、抵抗率 ρ の半無限媒質大地に点電極 O から流入する点電流 I が、地表距離 r の地点に形成する電位 V_r は、

$$V_r = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (1)$$

である。また、電極が半径 a の完全導体であれば、電極表面での電位は $r = a$ とにおいて、

$$V_a = \frac{\rho I}{2\pi a} \quad (2)$$

となる。従って、無限遠から見た原点 O の抵抗値(金属半球状電極の接地抵抗値) R は、次のようになる。

$$R = \frac{V_a}{I} = \frac{\rho}{2\pi a} \quad (3)$$

次に、均質な地層の下部に地下水が存在する場合を考える。地下水面が浅くとも深くともそれぞれの抵抗率は異なるので、平行二層構造と考えることができる。このとき、地表での電位 $V_0(r, z=0)$ は、鏡像法によって次のように計算される(第2図)。

$$V_0(r, z=0) = \frac{\rho_1 I}{2\pi} \left(\frac{1}{r} + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{Q^k}{\sqrt{r^2 + (2kd)^2}} \right) \quad (4)$$

ここで、 d は第1層の層厚であり、 Q は電流密度に関する

となる．一般に R_a は，大地の構成単位である各地層の抵抗率や層厚，構造を包括的に評価した際に得られる．従って， R_a は「等価接地抵抗」と呼ぶことができる．また，半径 a の半球導体電極が抵抗率 ρ_1 の半無限媒質上で示す接地抵抗 R_1 は(3)式より，

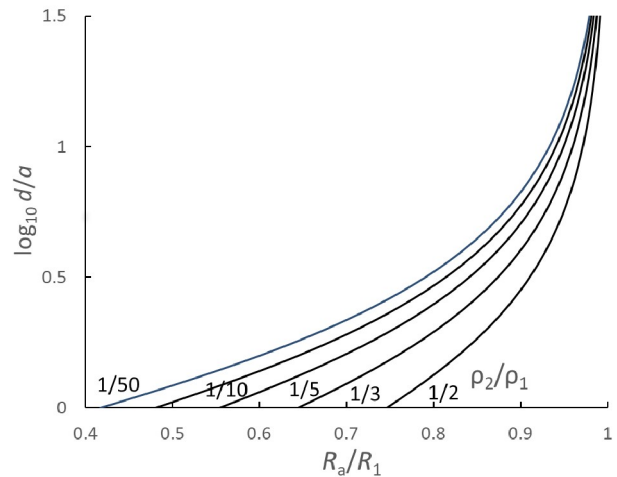
$$R_1 = \frac{\rho_1}{2\pi a} \quad (7)$$

だから，

$$\rho_1 \frac{R_a}{R_1} = \rho_1 \left(1 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{Q^k}{\sqrt{1 + 4k^2 \left(\frac{d}{a}\right)^2}} \right) \quad (8)$$

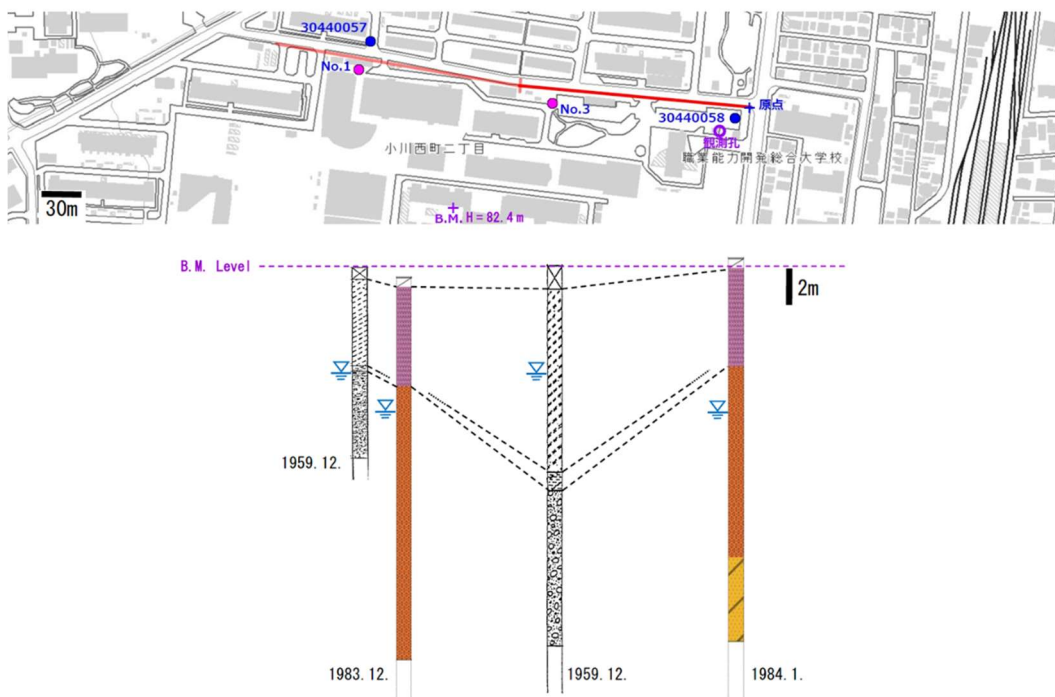
を得る．これは，「等価接地抵抗に関する見掛抵抗率」ということができる．

第4図は， R_1 で基準化した R_a と半球導体電極の半径 a で基準化した第1層の層厚 d との関係を示したものである．本報告では， d は地下水位に相当す



第4図 等価接地抵抗と第1層の層厚との関係 それぞれ，半無限媒質での接地抵抗と半球導体電極の半径で基準化してある (領木, 2019).

Fig. 4. Relationship between the equivalent earthing resistance and the 1st layer thickness. Parameters are normalized by the earthing resistance in the semi infinite medium and the radius of the hemispherical conductor electrode, respectively (Ryoki, 2019).



第5図 検証用観測井の位置 ○：観測孔，●，●：既存ボーリング位置，+：ボーリング柱状断面図の標高基準点(B.M.)．ボーリング柱状図に付記した数字は掘削調査の年月．赤線は Wenner 法垂直電気探査の測線位置．東京都土木技術支援・人材育成センター(2014)，東京職業能力開発短期大学校実習場その他建築工事ボーリング柱状図(1998)を用いて作成．基図は国土地理院(2018)を使用．

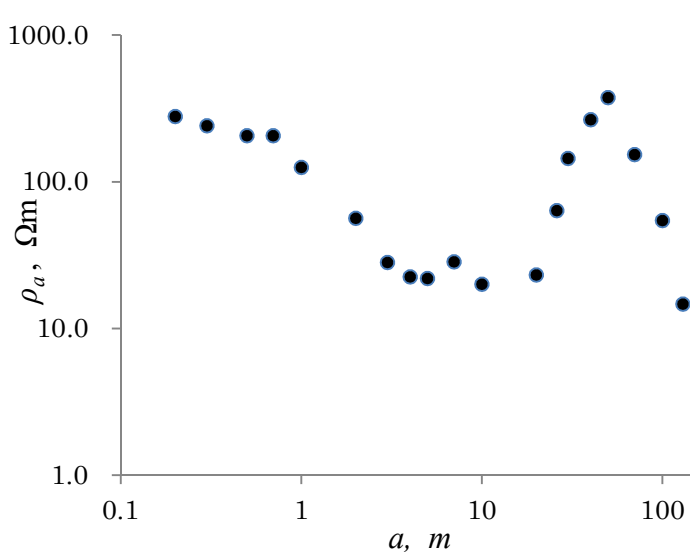
Fig. 5. Location of verification observation well ○: Observation hole, ●, ●: Existing boring position, +: Bench mark for an altitude reference in the boring section. The figures appended to the boring columnar section are the years of excavation survey. Red line shows a survey line of Wenner's vertical electric method (after Civil Engineering Support and Training Center of Tokyo (2014), Tokyo Polytechnic Collage (1998)). The base map is published by Geospatial Information Authority of Japan (2018)).

る。第4図において、例えば物理探査学会(2005)を参考にして、第1層が水で不飽和なローム層($\rho_1 = 100\Omega m$)、第2層がそのローム層が地下水面下となった場合である($\rho_2 = 10\Omega m$)と仮定し、電極半径が $a = 0.16m$ であるとき、 R_a/R_1 が 0.985 から 0.70 に低下すれば、地下水の水位が 5.1m から 0.30m に上昇したことを示すこととなる。なお、ここで仮定した電極半径は、地下水位が充分深い場合に電気設備に関する技術基準で求められるD種接地抵抗(100Ω)の条件を満たすものである。また、地下水の常態水位の仮定は第5図に示されるボーリング柱状図の例に依るものである。

第6図は第5図に示されるボーリングの近傍で行った Wenner 法垂直電気探査の測定結果である。電極間隔 $a=20m$ 以上では急に見掛抵抗率曲線が大きくなっている。これは測線近傍のビルなどの建造物の基礎が大きな良導体となっている影響のためと考えられる。これらは地表付近にあるため、その影響は電極間隔がより大きくなると相対的に小さくなり、 $a=50m$ 以上ではより下位の地質状況を反映して見掛抵抗率が低下して来ている。第6図に基づき、遠藤・他(1995)の地下地質の知見を加味して1次元解析を行った結果を第7図に示す。これは第5図に示されたボーリング断面に概ね調和的である。

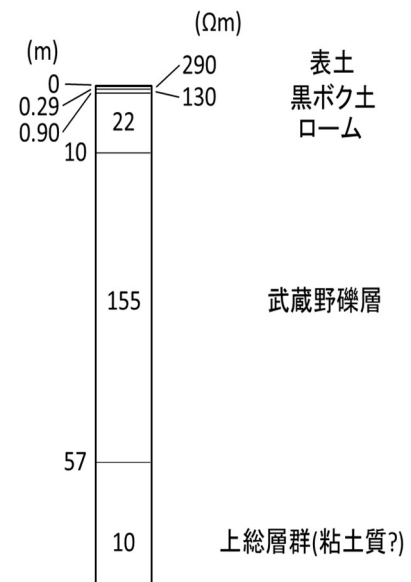
3. 検証計画

2. で示された地下水の水位変動観測技法の有効性を検証するために、第5図に示される位置において観測井を掘削し、不被圧地下水位他の地球学的諸量を連続的に観測するとともに、電気設備の保安用接地電極を用いてその接地抵抗の変化を測定する。予定されている連続観測の項目は、次の通りである。(1)地下水の水位、(2)地下水温、(3)地下水の電気伝導度、(4)大地の見掛抵抗率、(5)接地の抵抗値。また、これらの相互関係の解析を行う予定である。



第6図 Wenner 法垂直電気探査の結果 測線は第5図に示されている。
 a : 電極間隔, ρ_a : 見掛抵抗率. 測定は2018年9月4日に職業能力開発総合大学校技能・技術実践研修 No.3113 の実技課題として実施された。

Fig. 6. Result of Wenner's vertical electric exploration. The survey line is shown in Fig. 5. a : electrode interval, ρ_a : apparent resistivity. The survey was carried out on September 4, 2018 as a practical task for the ability development of skill and technology, No. 3113, at Polytechnic University.



第7図 Wenner 法垂直電気探査の解析結果 第6図を基に、遠藤・他(1995)を参考にして作成。

Fig. 7. Analysis diagram of Wenner's vertical electric exploration. The section was drawn referring to Endo *et al.* (1995) and based on Fig. 6.

4. まとめ

本報告では、(1)地下水位の変動が接地抵抗値の観測によって検出できる可能性を理論的に示し、(2)その検証のため、ボーリング孔を用いて地下水位と大地抵抗率及び接地抵抗値の変化の関係を明らかにしてゆく予定であることを述べた。今後、順次これらの成果を公表してゆくこととする。

(謝辞)

本報告をまとめるにあたり、職業能力開発総合大学校技能・技術実践研修 No.3113 受講の皆様には研修で得られた測定結果を使用させて頂いた。また、本研究は JSPS 科研費 JP18K03793 の助成を受けた。これらに関係する皆様に記して感謝致します。

参考文献

- 物理探査学会(2005)：岩石・土壌および物質の導電率と比抵抗，新編物理探査用語辞典，pp.260.
- 遠藤毅・川島眞一・川合将文(1995)：北多摩地区の地下地質，応用地質，36, pp. 17-26.
- 萩原尊禮(1951)：比抵抗法，物理探査法，現代工学社，pp. 143-172.
- 国土地理院(2018)：地理院地図，<https://maps.gsi.go.jp/>
- 大島正念・大槻卓也・小林綾(2015)：住宅用鉄筋コンクリート基礎の接地システムへの適用と接地抵抗値の季節変動，電気設備学会誌，35, pp. 612-613.
- 領木邦浩(2019)：不被圧地下水水位変化に伴う水害予測のための接地抵抗変化を用いた水位推定法の理論，技能科学研究，35, (投稿中).
- 角田清美(2017)：武蔵野台地中央部の段丘地形と不圧地下水，駒澤地理，No. 53, pp. 35-53.
- 高倉伸一(2009)：粘土鉱物を含有する岩石の比抵抗— 間隙水の塩分濃度と温度が及ぼす影響—，物理探査，62, pp. 385-396.
- 東京職業能力開発短期大学校(1998)：実習場その他建築工事ボーリング柱状図.
- 東京都地質調査業協会(2000)：JR 武蔵野線新小平駅の浮き上がり，地下構造物と地下水位，技術ノート，30, pp. 21.
- 東京都土木技術支援・人材育成センター(2014)：ボーリング柱状図 ボーリング番号 30440057, 30440058, 東京の地盤(GIS 版). <http://doboku.metro.tokyo.jp/start/03-jyouthou/geo-web/geo-webmap.aspx>