

# 重力異常を用いた広域地盤の調査

## INVESTIGATION FOR WIDE AREA GROUND USING THE GRAVITY ANORMALY

上野 剛<sup>1\*</sup>・杉井 俊夫<sup>2</sup>・余川 弘至<sup>3</sup>・浅野 憲雄<sup>4</sup>

Go UENO<sup>1\*</sup>, Toshio SUGII<sup>2</sup>, Hiroshi YOKAWA<sup>3</sup>, and Norio ASANO<sup>4</sup>

The cavity by the mining under the ground remains a lot in each place. The cave-in caused by a heavy rain and the earthquake occurs, and immediate countermeasures are demanded. However, a digging supplier has already discontinued the business, and the identification of the position is difficult, too. The aim of this paper is to find out the cavity location using data of the gravity anomaly distribution of the wide area. As a result of having checked the correlation by using cavities map of Mitake-cho, correlation with the gravity anomaly is high and gets a meaningful thing on finding the cavity location from the wide area under the ground.

**Key Words :** Gravity anomaly, Bouguer anomaly, Lignite, Underground cavity

### 1. はじめに

亜炭が過去に採掘された地域において、廃坑から 50 年以上が経過した現在でも地表面の陥没や構造物の沈下・傾斜などの被害が発生し問題となっている。その主な原因は、亜炭採掘によりできた地下空洞(以下、亜炭坑)の劣化であるが、豪雨や地震をトリガーとして地表面の陥没や構造物の沈下・傾斜を引き起こしている。2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震においても地下空洞の崩壊に伴い地盤の陥没が多数発生した。今日、発生が危惧されている南海トラフ巨大地震では、名古屋など大都市圏に存在する亜炭坑が崩壊する可能性があり、さらに大きな被害となることが予想される。亜炭坑は、全国各地に残っているが、位置の特定や対策については採鉱にあたった業者がすでに廃業しており、全くといって進んでいないのが現状である。そこで本研究では、亜炭坑の位置およびその深さが公開されている岐阜県御嵩町を例にとり、これまで調べられた重力データの重力異常(ブーゲー異常)をもとに広域における低重力(ブーゲー異常)の分析から地下空洞の存在について抽出することを目的とする。

### 2. ブーゲー異常

ブーゲー異常は観測点における重力値に対して、潮汐、機械高およびドリフトに対しての補正を施し絶対重力値を求める。その後、緯度補正、フリーエア補正、ブーゲー補正、地形補正および大気補正の5つの補正を行う<sup>2)</sup>。

図-1にブーゲー異常算出までのフローチャートを示す。

潮汐補正は、測定の日時における太陽・月の引力効果を取り除くもの。機械高補正は、測定点と機器センサーの位置の高度差を取り除くもの。ドリフト補正は、センサー材料のクリープ効果により時間とともに測定値が単

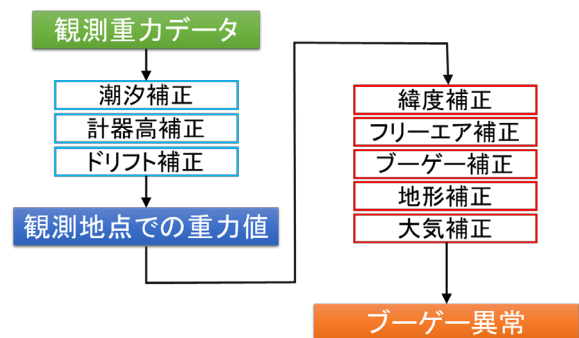


図-1 ブーゲー異常算出までのフローチャート

キーワード：重力異常，ブーゲー異常，亜炭鉱，地下空洞，

<sup>1</sup>学生会員 中部大学大学院修士課程 工学研究科建設工学専攻 Graduate Student, Chubu University

<sup>2</sup>正会員 中部大学教授 工学部都市建設工学科 Professor, Faculty of Engineering, Chubu University, (E-mail: nanto@isc.chubu.ac.jp)

<sup>3</sup>正会員 中部大学助教 工学部都市建設工学科 Assistant Professor, Faculty of Engineering, Chubu University

<sup>4</sup>正会員 中部大学教育技術員 工学部都市建設工学科 Technical Assistant, Chubu University

調増加するため、一定時間後に同一測定点で測定を行い、時間による増加量を取り除くもの。緯度補正は、測定点の緯度の違いによる重力差を取り除くもの。フリーエア補正は標高の違いによって生じる地球の引力の違いを、同一の基準面上の値（標高0m）に引き戻すことで取り除くもの。ブーゲー補正は、観測点と基準面間の物質の引力の影響を取り除くもの。地形補正は、測定点周辺の地形起伏による引力効果を取り除くもの。大気補正は大気による引力を取り除くものである。

ブーゲー異常の値は、観測点での重力値（絶対重力値）に5つの補正を行うことで地下の密度構造のみを反映した値として算出される。また、もとの密度構造より仮想密度分を取り去った残差密度構造であり、仮想密度に対して高密度となる測定点ではブーゲー異常の値は正の値で表され、仮想密度に対して低密度となる測定点ではブーゲー異常の値は負の値として表されるものである。式 (1) にブーゲー異常の算出式<sup>3)</sup>を示す。

$$BA = g - \gamma + \beta h - BC(\rho) + TC(\rho) + AC \quad (1)$$

ここに、 $BA$  はブーゲー異常、 $g$  は絶対重力値、 $\gamma$  は正規重力値、 $\beta$  はフリーエア勾配、 $h$  は標高、 $BC$  はブーゲー補正值、 $\rho$  は補正密度（仮想密度）、 $TC$  は地形補正值、 $AC$  は大気補正值である。なお本研究では、ブーゲー補正および地形補正に必要な地球表面の仮想密度の値を平均的な花こう岩の密度  $2.67 \text{ g/cm}^3$  を用いている。

### 3. ブーゲー異常分布

ブーゲー異常の値は地下の密度構造と連動性があると考えられており<sup>4)</sup>地下に空洞が存在する場合、ブーゲー異常の値は急激に低下すると考えられる。ブーゲー異常の急激な変化は堆積することで形成される地盤では断層が存在する地点を除き通常起こり得ないと考えられることから、急激なブーゲー異常の低下を示す地点付近に空洞が存在している可能性が高いと考えられる。地下構造

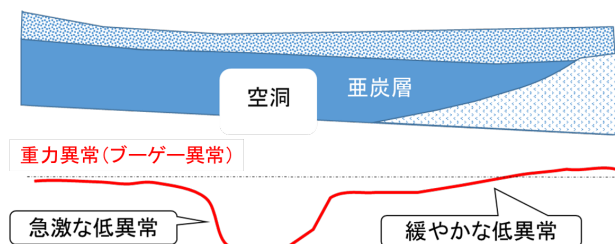


図-2 地下構造とブーゲー異常の変化のイメージ

とブーゲー異常の変化のイメージを図-2に示す。

本研究では広域における地下空洞の存在を推定することを目的としているため、亜炭廃坑が多数存在しており、空洞の有無や深度が公開されている岐阜県御嵩町を対象地域とした。図-3に空洞深度分布図を示す。

岐阜県御嵩町の地質的特徴は、主に第三紀と第四紀の地質から構成されており、北部の山地は中～後期ジュラ紀の付加コンプレックス砂岩層で構成されている。町の中心を流れる可児川の両岸に沿って第三紀と第四期が広く分布しており、町の東部には後期白亜紀に形成された花こう岩が分布している。図-4に御嵩町の地質図を示す。

御嵩町において過去に重力測定が行われた測定点がどれほど存在しているのかを重力データより選定し、GISを用いて測定点を御嵩町にプロットする。御嵩町における重力測定点を図-5に示す。

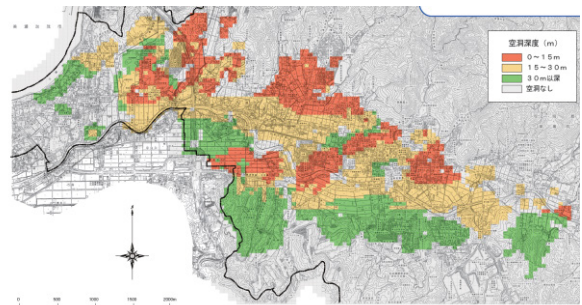


図-3 空洞深度分布図

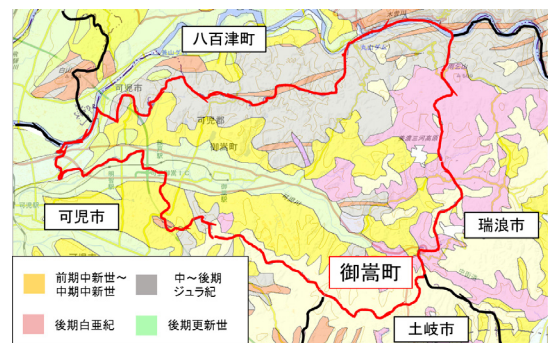


図-4 地質図（産総研「地質Navi」）

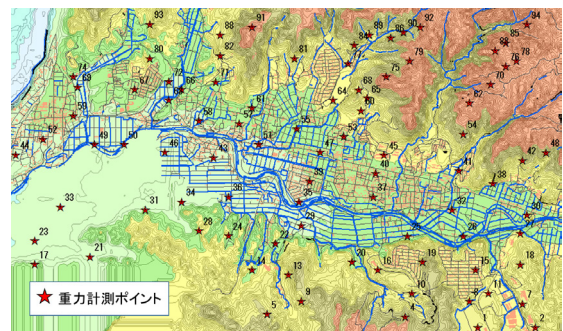


図-5 御嵩町における重力測定点



#### 4. ブーゲー異常と空洞跡の関係

図-6に、各測点のブーゲー異常分布図を表した。亜炭鉱跡が存在する地域は、ブーゲー異常が低異常の傾向にある。しかし、図-7に示すように地盤の土質密度、すなわち地質構造により重力値（ブーゲー異常）に影響するため、空洞の影響だけで低異常が現れているとは言い難い。そこで、まず、同一地質での重力分布の断面を抽出し、ブーゲー異常の断面分布を作成することで地下に空洞が存在する可能性のある区間が推定できるか調べた。

図-9に第4紀層の同一地質地盤におけるブーゲー異常の分布（東西方向）を示す。御嵩町の亜炭鉱跡の空洞がある点では、低異常のブーゲー異常が観測されており、同一地質地域においては、空洞のない箇所より低異常が観測されることがわかる。

次に、地質が違う場合のブーゲー異常分布について調べるため、さらに南北方向の測定点（図-10）の断面図を

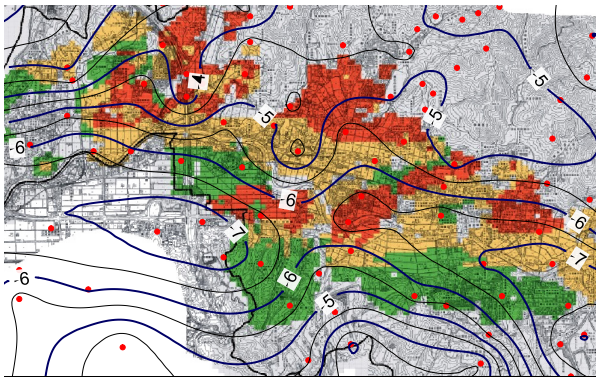


図-6 御嵩町における重力測定点

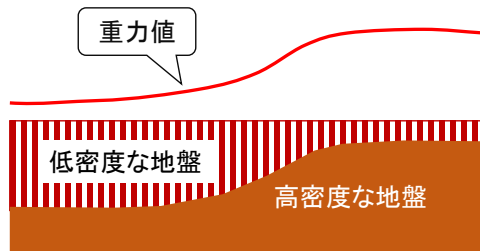


図-7 重力値と地盤密度の関係

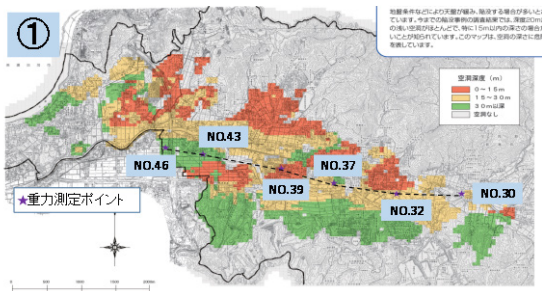


図-8 同一地質での重力測定地点

作成、その点を分布を図-11に示す。第四紀層が他より低異常である傾向が読み取れる。なお、空洞がある場所は第四紀層にあること、また重力値は浅いものほど影響を受けることが知られており、空洞深度が浅いものほど、低異常であることもここから見る事ができる空洞箇所が低異常であることは空洞箇所とブーゲー異常の分布からは明らかとなったが、密度の小さい亜炭層が第四紀層に含まれ、低異常となることを考えると、逆の低異常箇所である地点から空洞箇所であることを抽出するこ

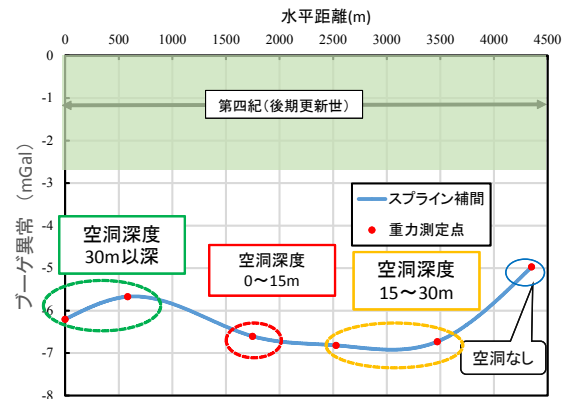


図-9 同一地質でのブーゲー異常

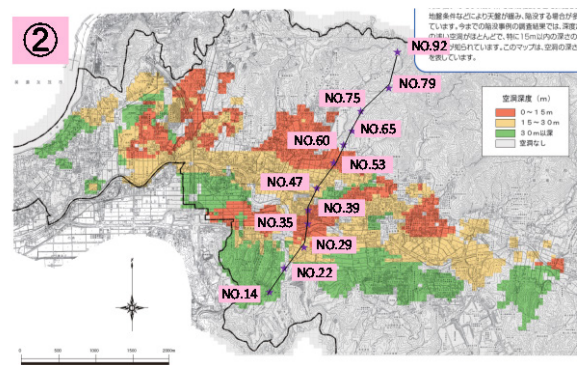


図-10 地質の異なる地点で重力測定地点

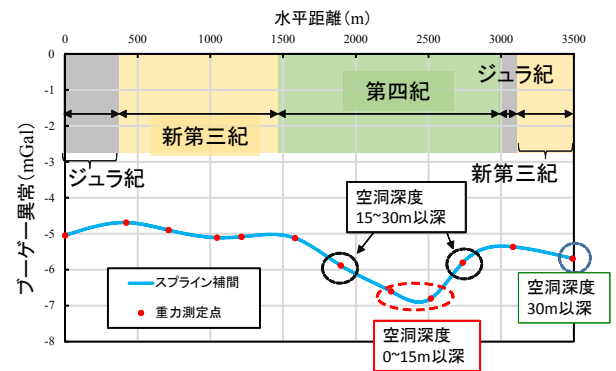


図-11 地質の異なる点でのブーゲー異常

とは難しいといえる。

## 5. 周辺地盤トレンドとブーゲー異常

先の図-7の重力値と地盤密度の関係に示したように、重力値（またはブーゲー異常）は高密度の地層の厚さなどに影響を受ける。野崎ら<sup>4</sup>は、マイクログラビティ調査によりブーゲー異常のデータのばらつきを一つの波形として取り扱い、FFT解析からトレンドとなる長い波形、短い波形によるノイズなどを分類し、地盤の空洞を調べた。著者らはさらに簡便な方法で周辺の地盤のトレンド推定し、そのブーゲー異常残差値から検討した。

図-2に示したように、地質による重力値の変化の勾配は断層や人工的に密度改変（空洞掘削など）を行った場合には急激な変化となることを考慮して、緩やかな変化を周辺地盤のトレンドとして求める。図-12には、ブーゲー異常の点を3次スプライン補間を行い、そこから微分してブーゲー異常分布の勾配を算出し、同時に絶対値を示したものである。これより、0.002mGal/m以上を急激な変化と捉えて、この区間を除いて周辺地盤のブーゲー異常のトレンド（周辺地盤トレンド）を回帰して算出し破線で図-13に示した。北部（0m）から南部（4000m）の河川に向けて緩やかな波を打ちながら低下している傾向が読みとれる。得られた周辺地盤のトレンドをブーゲー異常から差し引き図-14に示した。ブーゲー異常残差から空洞の可能性を示すが、第四紀層の中でのトレンドをさらに求める必要があり、そのためにはさらに第四紀層の中でデータが必要となる。

## 6. おわりに

志知らの既存の重力分布のデータと亜炭鉱跡の分布図から、空洞の把握を試みた結果、以下のことが得られた。

- ・ 亜炭鉱跡地でのブーゲー異常は-5mGal以下と低異常の分布と相関が得られ、特に同一地質地盤の中で、空洞箇所では低異常を観測しており、空洞深度が浅いほど低異常となることを得た。
- ・ 空洞箇所は低異常となることを明らかにしたが、逆の低異常箇所が空洞箇所となることは地質構造にブーゲー異常が依存することから、今後の課題となった。
- ・ ブーゲー異常の勾配（変化）を使うことで周辺地盤のブーゲー異常のトレンドを簡便に求める方法を提案した。勾配の閾値については検討が必要である。
- ・ 御嵩町の第四紀層には亜炭が挟まれており、低重力となることがわかり、今後その中でのトレンドを求めて

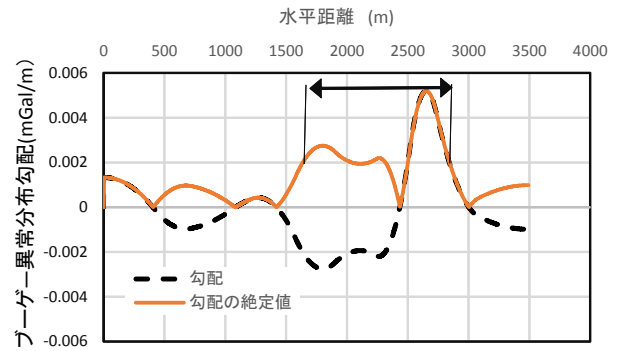


図-12 ブーゲー異常分布勾配

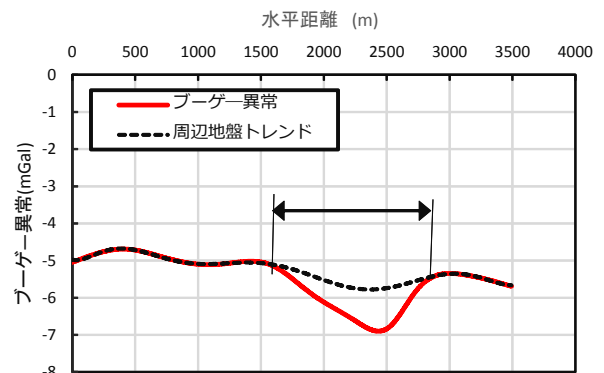


図-13 周辺地盤のトレンド

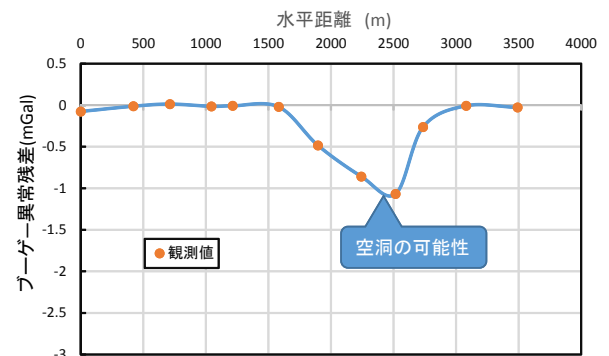


図-14 周辺地盤トレンドから求めたブーゲー異常残差

いくことが必要と考えられた。

## 参考文献

- 1) 志知龍一, 山本明彦監修: Gravity Database of Southwest Japan, Gravity Database of Southwest Japan, Dec. 2001.
- 2) 今野正雄, 野村誠紀, 佐々木健夫, 大角恒雄: 高精度重力計による地下構造探査技術の開発, こうえいフォーラム第12号, pp13-14, 2004.
- 3) 工藤健, 丸目悠生, 山本明彦, 志知龍一: 東日本北部地域の重力異常, 中部大学工学部紀要, 第46巻, pp41-50, 2011.
- 4) 野崎京三: マイクログラビティ探査の現状とその利用, 応用地質技術年 No.19, pp35-36, 1997