

常時微動観測における地下空洞の間接的探査に関する研究

早稲田大学 学生会員 掛橋 朋之
 早稲田大学 学生会員 森谷 啓一郎
 早稲田大学 フェロー会員 濱田 政則

1. 研究の目的

岐阜県御嵩町では、昭和40年頃まで亜炭採掘が盛んに行われており、現在でも図1(a)~(b)に示すように亜炭鉱廃坑が地下数メートルから数十メートルの深度で残されている。御嵩町では、平常時も年に平均5件程度の陥没被害が発生している。東海・東南海巨大海溝型地震によって多数の陥没が一挙に発生することが危惧されている。これまで亜炭鉱廃坑の有無、深度を推定するためには、ボーリング調査が行われていた。しかし、ボーリング調査はコスト面から広領域にわたる地域で数多く行うことは難しい。

本文は、7~8割程度にも空洞率が達する場合、空洞の深さによって、地表面の常時微動の卓越周期が変化するのであるという推定のもとに常時微動観測により、間接的に地下空洞の有無と深度の探査する方法を検討したものである。



図1 岐阜県御嵩町亜炭坑廃坑による地下空洞
 (a) 残存する空洞
 (b) 空洞の状況 (空洞率 = 空洞面積/全面積が 70~80%とされている)

図1 岐阜県御嵩町亜炭坑廃坑による地下空洞

2. 空洞有無・深度推定の検証方法

1次元地盤解析モデルから求めた空洞深度と卓越振動数の関係と常時微動観測結果から求まる卓越振動数を比較することにより、地下空洞の有無と深度を推定する可能性について検討する。

検討のフローを図2に示す。

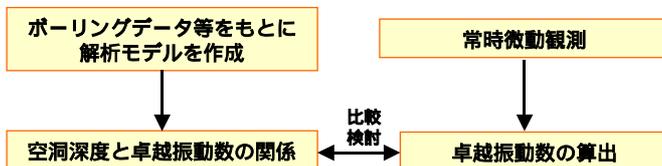


図2 空洞有無・深度推定の検討フロー

3. 地盤解析モデルの作成と解析方法

岐阜県御嵩町共和中学校グラウンドにおけるボーリング調査位置及び採掘亜炭層上面深度を図3に示す。図3より、共和中学校グラウンドの空洞深度は南西から北東方向にかけて浅くなっている。空洞深度の違いが卓越振動数に与える影響を検討するため、共和中学校グラウンドのボーリング調査結果における最も深い地点である空洞深度15m、最も浅い地点である空洞深度7m、中間の深度である空洞深度11mの3caseで1次元の地盤モデルによる解析を行った。

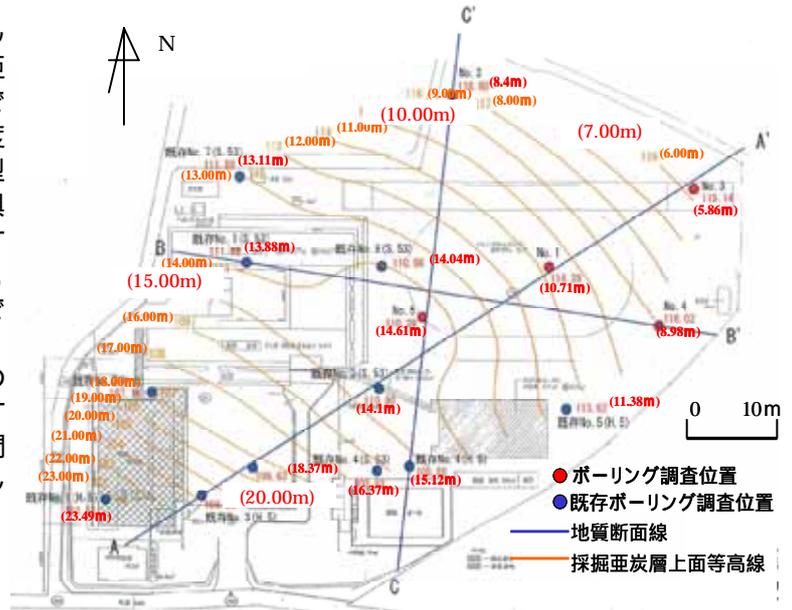


図3 共和中学校における採掘亜炭層上面深度

1次元地盤解析モデルは、ボーリング調査等の結果をもとに作成した。一例を図4に示す。解析に用いた地盤の物性値を表1に示す。なお、空洞率は御嵩町における平均的な空洞率として75%に設定した。

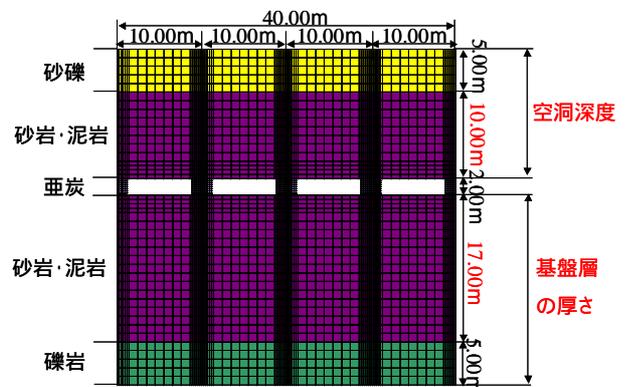


図4 1次元地盤解析モデルの一例 (空洞深度15m)

表1 解析に用いた地盤の物性値

地層名	単位体積重量 (γ , kN/m ³)	S波速度 V_s (m/s)	ポアソン比	せん断剛性 G_0 (kN/m ²)	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 (ϕ)	変形特性
粘性土	16.0	200	0.35	6.53×10^4	75	0	非線形
砂礫	19.0	300	0.35	1.75×10^5	0	38	非線形
砂岩・泥岩	19.0	500	0.30	4.85×10^5	-	-	線形
亜炭	24.0	600	0.30	5.14×10^5	656	45	非線形
砂岩・泥岩	19.0	600	0.30	6.98×10^5	-	-	線形
砂礫(基盤)	20.0	1000	0.30	2.04×10^6	-	-	線形

4. 地盤解析モデルにおける解析結果

1次元地盤解析モデルにより、複合型東海地震を入力地震波とした時刻歴応答解析を行い、地表面と空洞底版における節点の時刻歴加速度を算出する。

次に、地表面と空洞底版において算出された時刻歴加

速度のスペクトル比(地表面における加速度フーリエスペクトルの絶対値/空洞底版の加速度フーリエスペクトルの絶対値)から卓越振動数を得た。図5(a)~(c)は、1次元地盤解析モデルにおいて空洞深度 7m,11m,15m とした時のスペクトル比である。

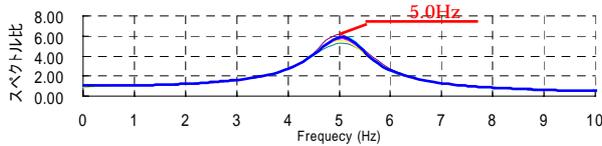


図5(a) 加速度フーリエスペクトル比(空洞深度7m)

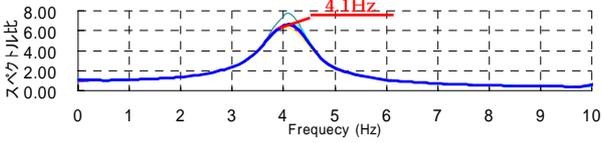


図5(b) 加速度フーリエスペクトル比(空洞深度11m)

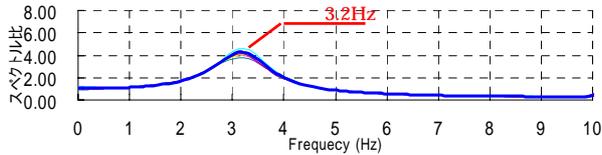


図5(c) 加速度フーリエスペクトル比(空洞深度15m)

これらのスペクトル比から卓越振動数は、空洞深度7mで、5.0Hz、深度11mで、4.1Hz、深度15mで、3.2Hzである。これは、空洞深度が増大すると残柱の上にかかる地盤の質量が増大し、卓越周期は長くなるためと解釈される。以上より、空洞深度と卓越振動数の関係を図6に示す。

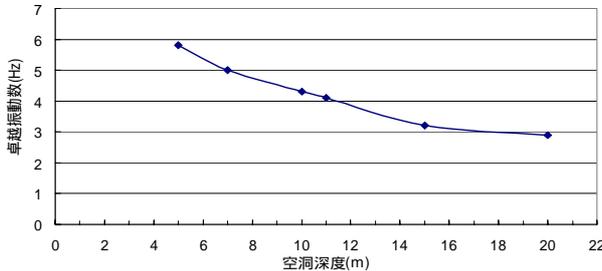


図6 解析より得られた空洞深度と卓越振動数の関係

5. 常時微動観測

岐阜県御嵩町において、ボーリング調査などの地盤調査結果により、空洞の有無、深度が明確な比衣の空洞(空洞深度5m)、共和中学校(空洞深度7m,11m,15m)、福祉施設(空洞深度13m,17m)、西田団地(空洞深度7.3m,8.5m,9.7m)の4ヶ所9地点で常時微動観測を行った。

観測した300秒間の速度の時刻歴より、波形が安定している20秒の区間を5区間選定し、各々の区間の速度フーリエスペクトルを求める。この速度フーリエスペクトルは、東西方向と南北方向の速度フーリエスペクトルを2乗平均して求めたものである。スペクトル比(空洞が存在する地点の速度フーリエスペクトル/存在しない地点のフーリエスペクトル)を求め、卓越振動数を推定した。

卓越振動数の推定方法を西田団地の空洞深度9.7mの地点を例に示す。スペクトル比を求めた5区間全てに卓越している振動数を最も安定的な振動数、3区間又は

4区間に卓越している振動数を次に安定的な振動数として振動数を図7より読み取った。この時、1次元解析モデルの解析結果を参考に、2Hz以下と7Hz以上の振動数は空洞の影響ではないとして、2Hz~7Hzの範囲で推定した。

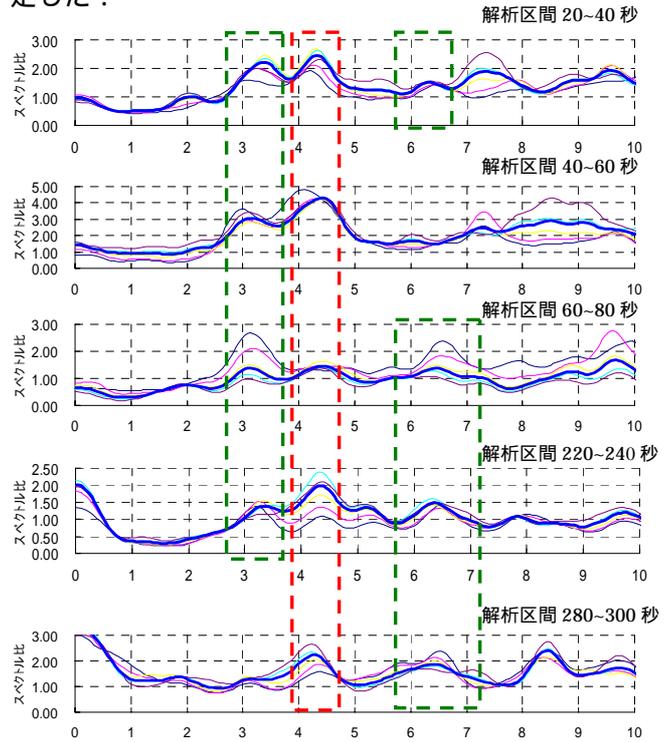


図7 西田団地(空洞深度9.7m)の常時微動観測結果

6. 常時微動観測と地盤解析モデルの結果の比較

図8に1次元地盤モデルにおける解析結果と常時微動観測結果を比較した結果を示す。図8より、常時微動観測の結果からも空洞深度が深くなる程、卓越振動数は小さくなる結果が得られた。これは、1次元地盤解析結果と同様の傾向である。以上より、今回、観測を行った空洞深度の範囲においては常時微動観測により空洞の有無、深度の可能性がわかる。

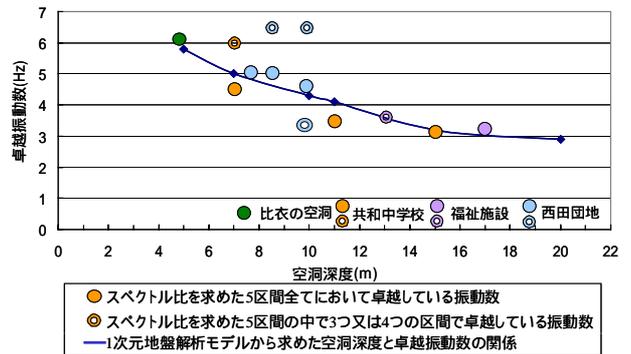


図8 常時微動観測結果と地盤解析モデルの結果の比較

7. まとめと課題

1次元地盤解析モデルと常時微動観測結果を比較することで常時微動観測を用いて間接的に地下空洞を探查する可能性があることがわかった。しかし、実際の地盤では、空洞が連続的に変化するので2次元地盤解析モデルを用いた検討が必要である。また、常時微動観測結果のデータ数を増やしていくことも必要である。