

## 大谷採石地下空間の地震応答に関する検討

宇都宮大学大学院 学生会員 ○程 伝涛  
 宇都宮大学 学生会員 土屋友梨珠  
 宇都宮大学大学院 正会員 清木 隆文  
 川崎地質(株)大谷観測所 野口 静雄  
 川崎地質(株)大谷観測所 大村 猛

### 1. はじめに

栃木県宇都宮市大谷町地域では、多くの大谷石が地下採掘により採取され、大規模な地下空洞が形成されている。平成元年から3年で大谷採石跡地の地下空間においては、大規模な陥没事故が発生した、このために、地下空間の安定性が注目されている。地下構造物の地震動での安定性も懸念されるので、地震の作用下での大谷採石場の地下空間の地震応答と動的安定性の把握が期待される。本研究では、大谷地域で観測された地震記録により、その動的特性を把握し、安定性評価を行う。具体的には、稼働中の大谷地下採石場を対象に既往の研究で対象とした残柱から壁面まで観測範囲を広げて、数値解析(解析ソフト)FLAC3Dにより、採石地下空間を3次元モデル化し、解析を進めた結果を実測結果と比較した。

### 2. 地震動観測

対象とした大谷採石地下空間は、地表より約60mの深さに東西160m南北80mに広がり、小段を設けて掘削された立坑の深さは59.5mである。この階段状になった立坑の小段3箇所に、上部(-11.5m)、中央部(-34.5m)、下部(-59.5m)に地震計を設置し、自然地震観測を2019年8月に行った。地震計の設置位置を図-1に示す。

### 3. 解析結果

#### 3.1 各観測点の速度振幅値について

測点による最大実振幅値の平均値をとり、上部(高さ48m)の振幅値との比を示した。図-2に各観測点の速度振幅の比を示す。この結果によると、鉛直動成分に比べて、水平動成分の揺れが壁面中央部(高さ)に近くなるほど大きく、その振幅比は壁面中央部高さ25mで中部の約1.95倍、下部高さ0mで概ね1.52倍の揺れである。一方、速度の上下動成分は水平動成分の半分程度の揺れである。

#### 3.2 H/Vスペクトルについて

地震動の周波数特性を比較するため、2019年7月~8月で観測された14個の地震波を震源別に5つのエリアに分け、図-3の各観測点のH1/VとH2/Vスペクトルの振幅に対しては、壁面下部と中央部、上部の振幅比と図-2で得た実振幅値を比較したことはH1/V、H2/Vスペクトル振幅比が壁面中央部(高さ)になるほど大きく、概ね調和的であることが分かった。壁面の卓越周波数では、概ね9Hz前後であると推定される。

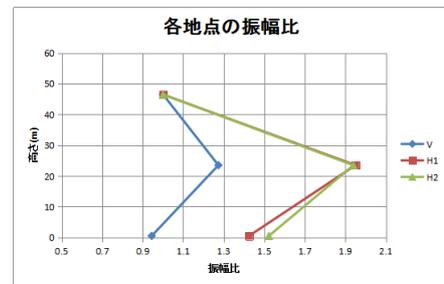


図-2 各地点の振幅比結果



図-1 観測点の位置

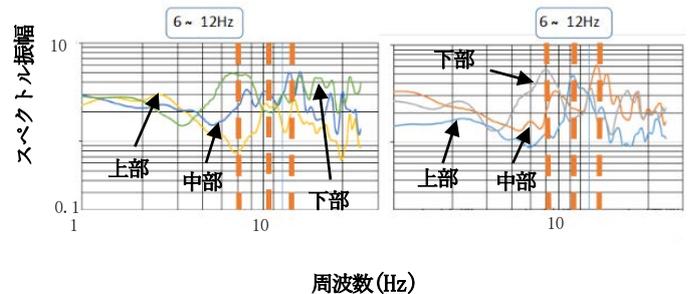


図-3 壁面各観測点 H/V スペクトル比(左側 H1/V, 右側 H2/V)

スペクトル解析<sup>1)</sup>に先立ち、対象とした地震全体の各観

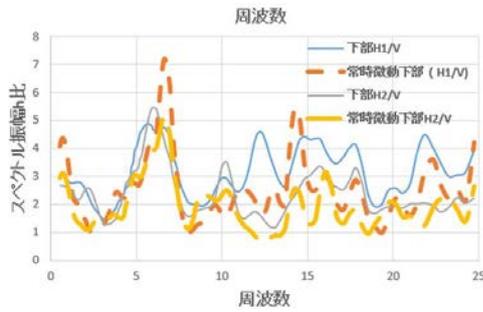


図-4 微動と地震のスペクトル比結果 (下部)

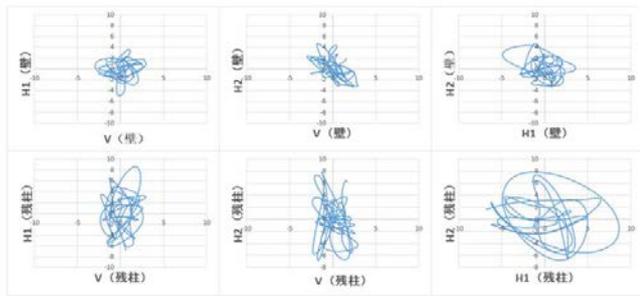


図-5 残柱と壁面3成分の軌跡比較

3.3 常時微動の特性について

壁面の動特性を評価するため、地震動(平均)と微動(代表値)の H/V スペクトルの比較を行った。図-4 により、下部の基盤面における卓越周波数(揺れ易い周波数)では、6Hz であると考えられる。地震動と微動の H/V スペクトルはほぼ一致し、良い対応が見られる。

3.4 地震時の残柱と壁面の軌跡について

地震波の伝播による残柱と壁の挙動を把握するため、S 波主要動部分の 1 秒間について波形軌跡を図示した。各観測点の 3 成分軌跡を図-5 に示す。この図-5 によると、壁面に比べて残柱の方が揺れが大きくなり、位相差が認められる。特に、水平動成分の軌跡は円弧軌跡に近い。

3.5 モデルの検証

最初に調査資料に基づいて 500×500×100(m)解析モデルを Flac3D で作成し、モール・クーロン破壊規準に基づく完弾塑性動的解析を行う。解析に用いた各種定数を表-1 に示す。モデルの側方での反射波の影響を取り除くため設定した無限境界条件は、ダッシュポットに相当する。立坑壁面の下部で測定された 2019/8/4 に発生した福島沖を震源とする地震波を処理し、モデルの底部に入力した、計算した壁面中部の速度応答を図-6 に示す、解析値は観測値を良く表している。双方の速度スペクトルを比較した場合の決定係数  $R^2$  を計算すると  $R^2$  (NS) = 0.579、 $R^2$  (EW) = 0.590、 $R^2$  (UD) = 0.522 となるので解析値は観測値を良く表している。同様の傾向と波形を持っている。しかし、ピークにはまだギャップがある。

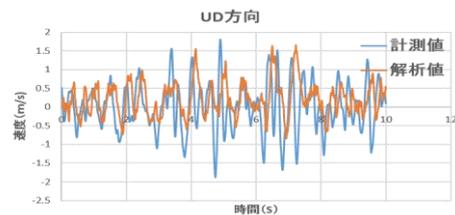
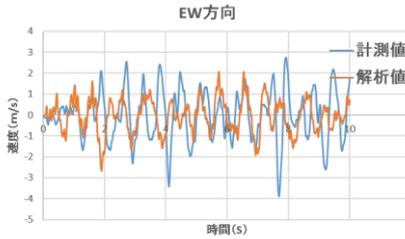
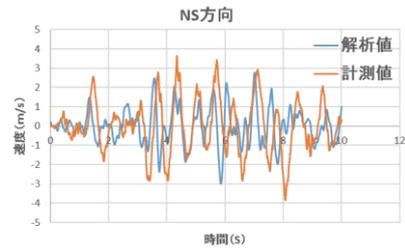


図-6 壁面中部の速度応答の観測値と解析値の比較

表-1 解析モデルのパラメータ

体積弾性係数	せん断係数	粘着力	内部摩擦角	引張強度	密度
GPa	GPa	MPa	°	MPa	kg/m <sup>3</sup>
1.38	0.91	2.1	30	1.08	1730

4 まとめ

本研究では、大谷採石地下空間の地震応答特性を把握するために、この空洞の壁面や残柱などの振動特性を測定した。採石地下空間の壁面と見なした立坑の壁面の動的特性は、下部の基盤面における卓越周波数(揺れ易い周波数)では、6Hz であると考えられるが、壁面の卓越周波数では、概ね 9Hz 前後であると推定される。また、H/V スペクトルを適用することで、地震動の震源特性および伝播特性は、影響が小さくなり、採石地下空間を含むサイト特性が主体的となり、地下空間壁面の動的特性を把握できた考えられる。大谷の採石地下空間を 3 次元モデル化し解析を進めて得られた結果の再現性を検証した。

参考文献

- 山口りえ, TK.M Tumelo, 清木隆文, 野口静雄, 大村猛: 木学会第 45 回関東支部技術研究発表会講演概要集, 2ps, CD-ROM, 甲府, III-46, 2018.3
- Gusudan, Application of Grey Prediction Model GM(1,N) in Groundwater Mineralization of Cheng'an County in Handan [D]. Heber University of Engineering, 2018