

大谷地域における空洞内残柱の動的特性に関する検討

宇都宮大学 学生会員 ○山口 りえ
 宇都宮大学大学院 学生会員 T.K.M Tumelo
 宇都宮大学大学院 正会員 清木 隆文
 川崎地質株式会社 大谷観測所 野口 静雄
 川崎地質株式会社 大谷観測所 大村 猛

1. 研究背景と目的

宇都宮市の大谷地域には、大谷石の採掘による地下空間が広範囲に形成されており、これらを貴重な空間資源と捉え有効利用することが期待され、様々な施設の利用が現在も検討されている¹⁾。これらの地下空間では、平成元年から陥没が数回発生している。このため、地下空間の安全性が危惧され、安定性を持続的に確保することが、近年特に重要視されてきている。

本研究では、地下空間の動的特性に関する有益な知見をまとめて、今後の空洞の安全性への検討に役立つ資料を得ることを目的とし、実在空洞における常時微動観測と地震観測を行い、空洞内残柱の挙動を把握し、地盤（岩盤）特性との評価を試みる。

2. 自然地震観測と微動観測

2.1 地下空洞の概要および観測点位置

対象の地下空間は、概ね地表より深さ 60m に東西 160m 南北 80m 残柱高さ最大 30m である。

空洞内の1つの残柱3箇所(上部(PTP), 中部(PMD), 下部(PBT))に地震計を設置し、水平動成分(H1)の向きが N51°E として自然地震観測と微動観測を行った。地震計の設置位置を図1、設置状況を写真1に示す。

2.2 解析対象の地震諸元・震源位置

観測した地震は、気象庁一元化リストと照合、地震記録の諸元および震央位置から適用可能な地震の震源マップを作成し、適当なエリア方向の20波を選定したものである。表1に選定した地震諸元を示す。

2.3 観測および解析方法

微動観測および地震観測は、3成分1秒計(Lennartz)の出力波形を大谷石採取場跡地観測システムで9成分を同時にデータ収録する方式である。

データ解析は、選定した地震データファイル(V成分, H1成分, H2成分の3成分)について、各観測点の微動と地震のH/Vスペクトルおよび伝達関数の相互比較を行った。

H/Vスペクトル²⁾の解析は、解析対象区間について、最大振幅を含むS波主要動の区間を抽出し、バンド幅0.4HzのParzen Windowで平滑化した後、H/Vスペクトルを求めた。水平動成分は、直角2方向の2乗和平均の平方根とした。

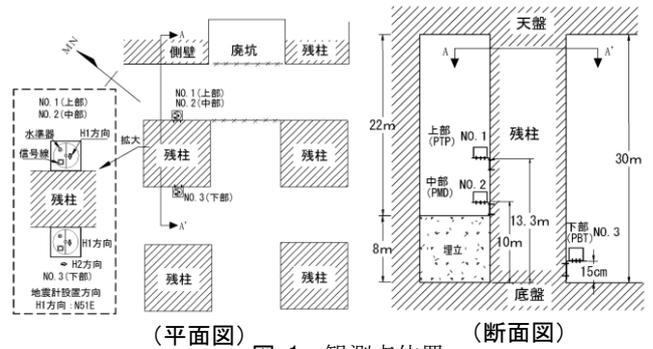


図1 観測点位置



写真1 地震計設置状況

表1 解析対象の地震諸元

Date	Time	Lat	Long	Dep	Mag(1)	Region
2017/7/8	09:21:19.8	36.733	140.602	8.0	2.7	茨城県北部
2017/7/8	20:48:50.9	37.378	141.723	45.0	4.5	福島県沖
2017/7/9	03:36:32.5	37.028	141.187	21.0	4.3	福島県沖
2017/7/12	02:36:41.3	36.067	139.858	45.0	3.5	茨城県南部
2017/7/12	09:13:22.0	36.050	139.860	44.0	3.3	茨城県南部
2017/7/13	09:30:18.5	36.225	140.900	46.0	3.2	茨城県沖
2017/7/17	15:53:28.2	36.395	140.970	45.0	3.0	茨城県沖
2017/7/19	16:25:57.7	36.090	139.862	46.0	2.7	茨城県南部
2017/7/20	09:11:24.2	37.340	141.587	46.0	5.8	福島県沖
2017/7/20	09:56:50.1	37.323	141.567	46.0	4.1	福島県沖
2017/7/20	10:15:03.4	36.703	140.638	6.0	3.9	茨城県北部
2017/7/25	09:52:02.8	36.393	140.973	30.0	3.7	茨城県沖
2017/7/26	01:07:06.9	36.000	139.932	41.0	3.2	茨城県南部
2017/7/26	02:31:36.6	36.650	139.638	10.0	1.5	栃木県北部
2017/8/2	02:18:45.2	36.815	140.542	7.0	3.0	茨城県北部
2017/8/2	07:15:56.8	36.120	140.022	48.0	4.6	茨城県南部
2017/8/2	12:46:29.2	36.800	140.542	9.0	3.6	茨城県北部
2017/8/3	22:41:37.2	36.792	140.523	11.0	3.0	茨城県北部
2017/8/4	13:54:14.6	36.818	140.570	6.0	3.3	茨城県北部
2017/8/7	18:34:42.4	36.802	139.620	9.0	1.8	栃木県北部

均の平方根とした。一方、微動は、適当の地震波を選び、波形の終焉部分20秒間を抽出し、同様にH/Vスペクトルを求めた。波形軌跡については、最大規模の地震(M=5.8, 福島県沖)を選定、S波初動の1秒間を抽出し分析した。解析に用いた地震記録の波形例を図2に示す。

伝達関数は、伝達マトリックス法GRDAMP(フリーソフト)に基づきを用いて振幅スペクトルを算出した。ここでは、PS検層やボーリングデータなどで得られた地下構造データを、最下層に対する伝達関数とした。

3. 解析結果

3.1 H/V スペクトル

スペクトル特性の傾向を比較するため、20 波の地震を震源別に 5 つのエリアに分け、各エリアで平均化したスペクトルを求めた。この結果を図 3 に示す。

この結果より、各エリアの低周波数においてピーク周波数には顕著な違いは見られない。そのため、各観測点でスペクトルを平均化し、結果を図 4 に示す。

この結果より、下部(PBT)では周波数が 6Hz で、上部(PTP)では 10Hz 付近で卓越的である。

3.2 常時微動特性

残柱の動特性を評価するため、地震(平均)と微動(1 回)の H/V スペクトルの比較を行った。図 5 にその結果を示す。この特性図より、両者のスペクトルの卓越周波数は、概ね下部では 6Hz で、上部では 10Hz、でほぼ一致していることが分かった。

3.3 モデル地盤(岩盤)特性

観測点の地盤(岩盤)に対して水平多層構造モデルを仮定し、伝達マトリックス法による伝達特性を算出し、地震と微動で得た結果と比較評価することを試みた。地盤モデルは、既存のボーリングデータによる地層の層厚、PS 検層結果の SV 波速度を用い、密度、減衰比を推定し、理論的スペクトル比を算出した。ただし、6 層の上面を基盤面とする S 波の斜め入射を仮定した。作成した地盤(岩盤)モデルを表 2 に示す。

この地盤(岩盤)モデルによる理論スペクトルの結果を図 6 に示す。

図 6 より、一次の卓越周波数は 4.4Hz、二次の卓越周波数は 11.4Hz である。この一次の卓越周波数は、残柱下部で得た地震および微動のスペクトル比に対してやや低めであるが、概ね調和的である。

4. まとめ・今後の課題

空洞残柱の動的特性は、下部の基盤面における卓越周波数では、4.5~6Hz であると考えられるが、残柱の卓越周波数では、概ね 10Hz 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、概ね影響が小さくなり、サイト特性(空洞を含む)が主体的となり、残柱の動的特性を把握することが出来たと考えられる。

さらなる知見を得るため、残柱の高さや空洞内の位置関係等の観測範囲を広げて継続的に検証を進めたい。また、解析ソフト FLAC3D (Itasca 社製, Ver5.0) により、大谷の採石地下空間を 3 次元モデル化し解析を進めて今回得られた結果を検討したい。

参考文献

1) 井上達也, 早坂晃, 阿部友哉, 清木隆文: 熱負荷推定に基づいた大谷採石地下空間の長期的な利用に関する検討, 地下空間シンポジウム論文・報

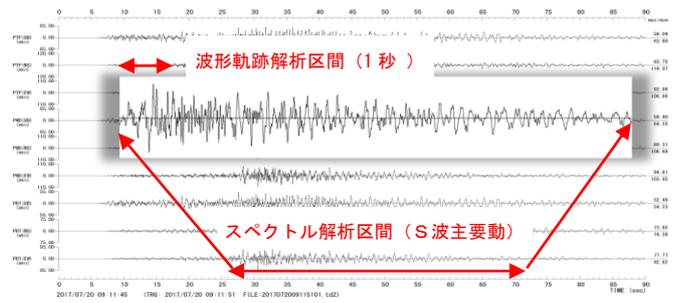


図 2 解析波形記録例

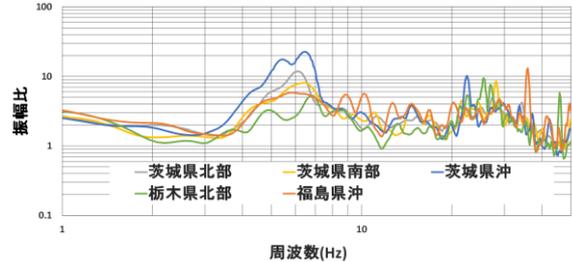


図 3 震源別 H/V スペクトル比波形例

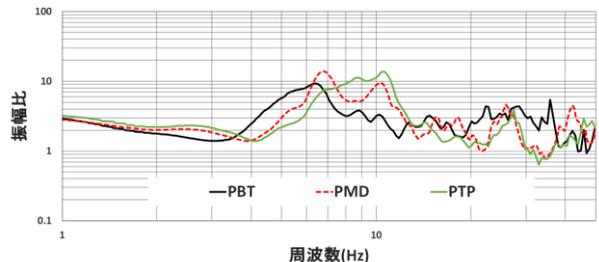


図 4 各観測点の H/V スペクトル比較結果

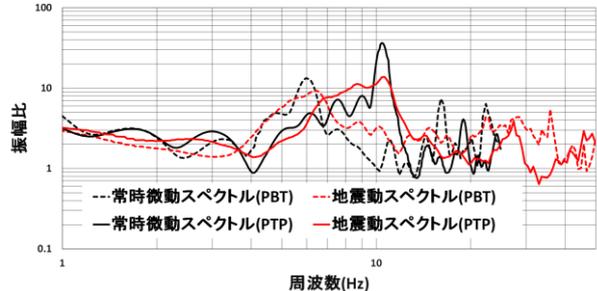


図 5 微動と地震の H/V スペクトル比結果

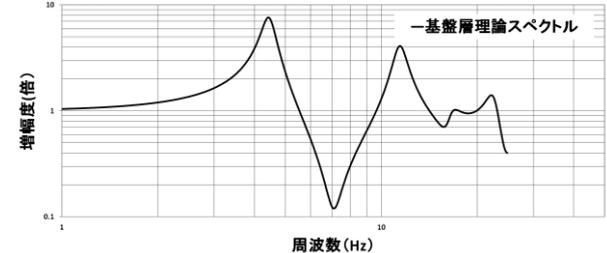


図 6 地盤モデルの理論スペクトル結果

表 2 地盤モデル

層番号	地層	層厚(m)	密度(KN/m ³)	S波速度(m/s)	減衰比
1	盛土	0.30	17.0	250	0.05
2	シルト	1.85	16.5	150	0.05
3	砂礫	2.50	19.0	450	0.05
4	凝灰岩(1)	20.0	19.5	700	0.05
5	凝灰岩(2)	25.35	20.0	940	0.05
6	凝灰岩(3)	—	21.0	1045	0.05

告集, 第 17 巻, 土木学会 [一般投稿論文], pp.211-216, 2012.

2) 中村豊 (SDR, 東工大大学院): H/V スペクトル比の基本構造, 物理探査学会地震防災シンポジウム, 2008