地震観測網の観測結果に基づく大谷採石地下空間の地震応答特性に関する検討

宇都宮大学　学生会員　○髙橋　和也
宇都宮大学大学院　正会員　清木　隆文
川崎地質 (株)　野口　静雄
川崎地質 (株)　大村　猛

１．研究目的

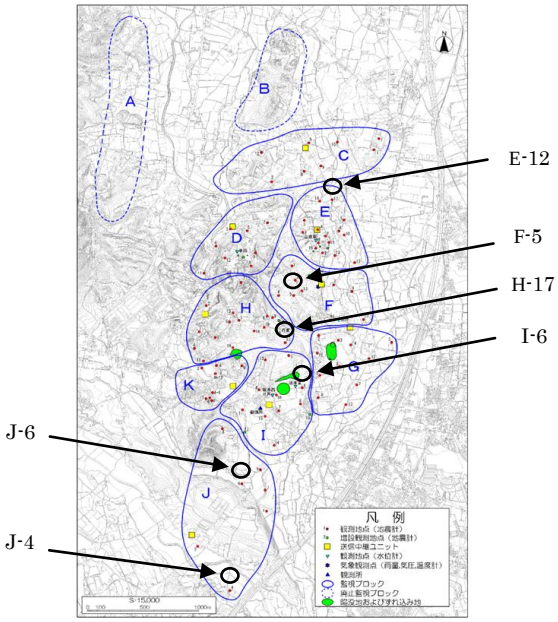
栃木県宇都宮市で産出される大谷石は，耐火性やその趣のある色調から，さまざまな建造物の建築用材として用いられてきた．そして，宇都宮市の大谷地域には，大谷石の掘削により形成された，広大な地下空間が無数に形成されている．これらの地下空間を貴重な空間資源と捉え有効利用することが期待でき，様々な施設の利用が現在も検討されている[1]．

大谷採石地下空間においては，平成元年(1989 年)に坂本地区において大規模な陥没事故が発生し，さらにその後も大・中・小規模な陥没が発生した．これらのことから，大谷の採石地下空間の危険性が表面化し，採掘後の地下空間の安定性の確保が近年、特に重要視されてきており，大谷採石地下空間の有効利用は，安全性の保障が前提とされる．近年，地震時における大谷採石地下空間の構造的な安定性や，空洞内利用を促進することに際して，利用者への安心安全の確保と，その安全性を評価する手法の確立が求められている．そこで，本研究では大谷採石地下空間の安全性を評価する手法を確立することを目的とし，現地調査および FFT 解析により，大谷採石地下空間の震動特性を調べる．また，有限差分法による数値解析ソフト FLAC3D(Itasca 社)により，大谷採石地下空間の再現モデルを作成し，地震時の大谷採石地下空間の安全性の評価を行う．

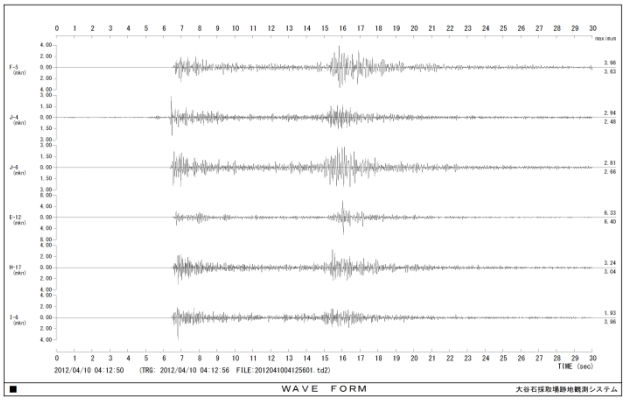
２．解析の概要

FFT 解析において一般的には，上下動と水平動 2 方向の 3 成分について解析を行うのが望ましいが，既存の大谷石採取場跡地観測システム [2]では上下動成分のみのデータの測定であるため，本解析では上下動成分のみに焦点を当てて解析を行うこととした．大谷採石地下空間で観測された地震の上下動成分（6 つの観測点）のデータをもとに解析を行い，各地下空間の特性を整理した．解析の際に，入力地震動毎の違いをできるだけなくすために，解析対象の地震は，茨城県南西部で発生したものを対象とし，地下水の影響を考慮するために水位上昇前，水位上昇後それぞれ 16 個ずつ選択した．さらに，非水没である J-6 地点を対象に加えた．解析対象とした観測地点は **図−1** の 6 つの観測地点である．

今回の解析では, 6 つの観測地点の中で最も南側にあり地震波が最初に到達すると考えられる J-4 地点で観測された地震を基準とし，他の観測地点での地震から基準の地震を除し増幅率とした．そして，各地点での FFT 解析での伝達特性を求めた．



図−1　大谷地域の振動観測網



図−2　代表的な地震波形事例

図−2 に観測された代表的な地震波形事例(震源；茨城県南西部，震源深さ 50 km，2012 年 4 月 10 日発生 M3.1)を示す．また，実測データによる解析が大谷採石地下空間の特性を正確に現しているか，大谷採石地下空間の特性をさらに詳しく調べるため FLAC3D により，**図−3** に示す再現モデル(濃い部分が地下空洞)を作成し，モデル底面に地震波を作用させて地下空間内での速度データを測定し，FFT 解析を行った．

キーワード　大谷採石地下空間，地震応答特性，安定性
連絡先　〒321-8585　栃木県宇都宮市陽東 7 丁目 1-2　宇都宮大学工学部　TEL.028-649-8172

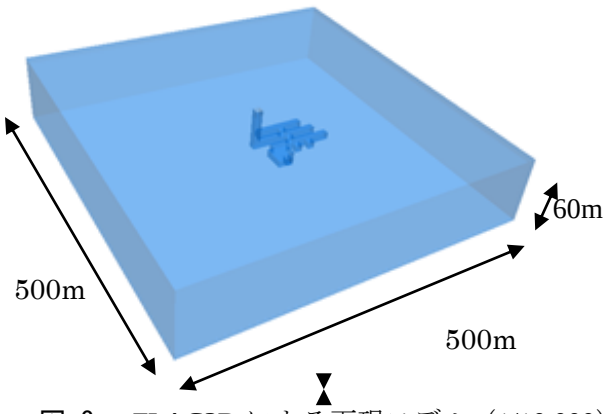


図-3　FLAC3D による再現モデル（1/10,000）

３．解析結果

各観測地点で観測された地震波形を整理し，水位上昇前後でまとめた．しかしながら，16 か所の地震の伝達特性にバラツキが見られたので単純化を図るために平均これらの平均をとり，大谷採石地下空間の伝達特性としてまとめた．標準偏差 σ は 1.595~3.470 であった．単純化したグラフが図-4，図-5 であり，それぞれ水位上昇前と後を表わしている．

図-4，図-5 によると，大谷採石地下空間の伝達特性として 5~10Hz の間にピークが存在していることが確認できる．さらに，水位上昇後の波形においては 15~17Hz の周辺にもピークが見られる．水位上昇前後を比較してみると全体的に水位上昇後の方が応答加速度の増幅率が低い値を示している．また，図-5 より地下水が存在していない J-6 地点のグラフの波形は他の地点における波形よりも増幅率が比較的高い値を示している．

また，FLAC3D による解析結果(図-6)より，再現モデルでの解析ではピークが 2.5Hz と 4Hz に存在しており，低い周波数での地震応答特性が高く出ている．

４．まとめ

解析結果から大谷採石地下空間では周波数 5~10Hz の間あたりに大谷採石地下空間の特性を示すピークが確認できた．また，水位上昇後の波形の 17Hz あたりのピークは，水位上昇前の波形には見られないこと，また，水位上昇後において非水没地点と水没地点ともに 17Hz 付近のピークが見られることから，水位の影響によるものではなく，このピークの周波数成分は，震源特性による影響であると考えられる．さらに，H-17，I-6　などで見られるように，水位上昇前後を比較して水位上昇後の地震動の増幅率が低い値を示していることから，大谷採石地下空間内が水没することで構造的に安定性の向上に寄与する傾向にあると示唆される．

また，FLAC3D による解析結果からは，2.5Hz と 4Hz に大谷採石地下空間の特性を示すピークが確認できた．しかし，この結果は実測データでの解析の特性に比べて差異が生じている．このことは，再現モデルによる解析の際に適用する減衰率が実際に岩盤内で起こる減衰を上手く再現できていないなどの理由が考えられる．このために，今後，再現モデルを向上させる必要がある．

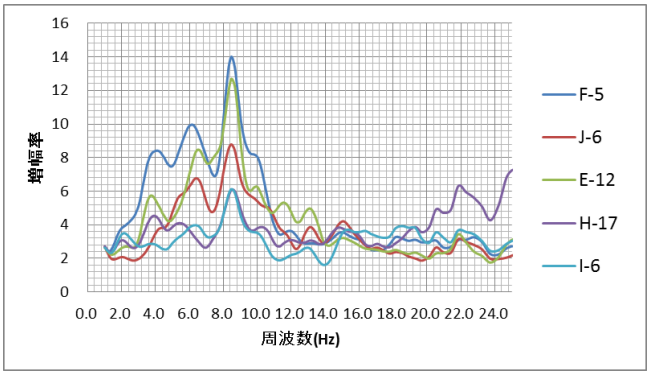


図-4　水位上昇前の各地点での伝達特性

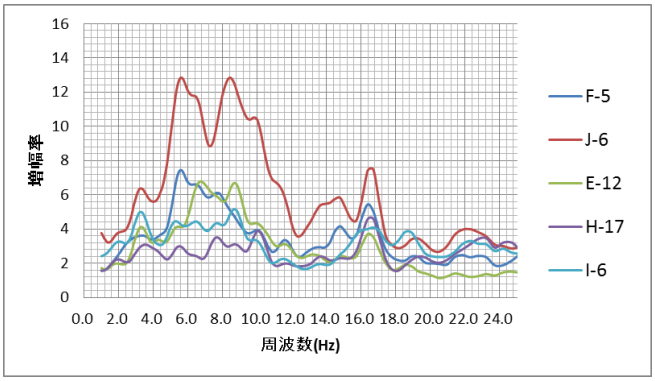


図-5　水位上昇後の各地点での伝達特性

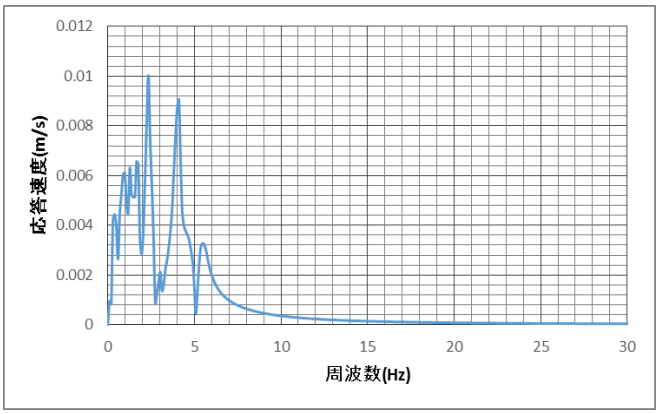


図-6　再現モデル内での応答特性

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

2) 大谷石採取場跡地観測システム：振動観測の入口 http://www.ooyakousya.o0o0.jp/kannsoku.html ，2014 (2016 年 8 月確認) .