

衝撃弾性波法を用いた岩石損傷度の評価

豊田工業高等専門学校建設工学専攻 生田 俊
 豊田工業高等専門学校 正会員 伊東 孝

1. 研究目的

日本には廃坑や人工の地下空洞が数多く存在する。東海地方の代表的な廃坑被害は岐阜県御嵩町の垂炭廃坑であり、閉鎖から45年以上経過している現在、地盤沈下が相次いで発生しており、その安全性の調査が急務となっている。

栃木県宇都宮市では、大谷石の採掘跡が多数残されており、空洞内での経年劣化によりしばしば崩壊し、大谷地区では戦後から30件以上の陥没事故が発生している。これらの地下空洞はいずれも残柱方式により採掘され、残柱により坑内の安定性が保たれている。残柱方式とは坑道内の安定性を保つため一部の層を柱として残し採掘する方法で、残柱が地下水位の変化や降雨による乾湿の繰り返しにより劣化が進み崩壊、地盤沈下が起きるため、この劣化の程度を調べる方法が必要とされている。

この研究では残柱方式で採掘された廃坑内部の残柱の損傷状態を予測する方法として衝撃弾性波法の有効性を検討する。

2. 衝撃弾性波法

衝撃弾性波法とは、主にコンクリート構造物を対象として先端位置（深度）や内部亀裂を探知する非破壊探索法である。固体に短い衝撃外力を加えるとその方向に非常に大きい密度変化を生じ、固体の固有振動が起こり、広範囲の周波数の弾性波が発生する。弾性波は伝播速度の異なる物質が接する境界面で反射するという特性を持っており、反射波、透過波を加速度センサーで受信し解析することにより固体の状態を把握する。打撃により弾性波を発生させる場合、一般にP波が発生しやすく、かつS波に比べて早く伝播するためP波の方が測定しやすい。

コンクリート構造物のひび割れは弾性波の伝達特性（伝播時間及び減衰特性）を利用し、浅いひび割れ・開口には速度法、深いひび割れ

では表面波法で検査できる。剥離探査は打撃に誘発した振動特性（卓越周期及び持続時間）を健全なコンクリートとの比較に利用する。内部欠陥の探査や舗装・壁の厚みに関しては弾性波の反射特性を利用する。

3. 試験方法

試験には凝灰岩の一種である大谷石を使用する。供試体の寸法は直径5cm、高さ10cmの円柱形の物を用意した。供試体に一軸圧縮荷重を作用させ、卓越周波数の変化を測定する試験と、各荷重段階で弾性波速度の変化について調べ、同時に内部で発生したAE(Acoustic Emission)をセンサーにより検知し、供試体の受けた損傷具合を調べる試験の二種類を行った。AEとは、固体材料内部の微小な破壊、あるいはそれと同様なエネルギー開放過程によって発生する微小な音のことである。

3-1. 卓越周波数の測定

図1のように、供試体をロードセルの上に設置し、AE測定器と加速度センサーを取り付け一軸圧縮試験機に固定し、載荷したのち金属振り子による打撃を与える。このとき発生した弾性波の周波数分布を調べ、また同時にAEについても測定する。その後、段階的に荷重を増やし、供試体が破壊に至るまで同様の測定を繰り返し行う。

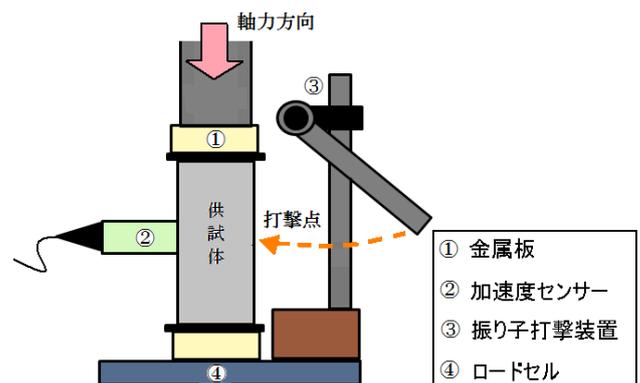


図1 試験装置 (周波数測定)

3-2.弾性波速度の測定

供試体に、AE 測定器、ロードセル、変位計を取り付け一軸圧縮試験機に固定し载荷する。所定の荷重を载荷した後、一旦除荷し、弾性波速度の測定を行う。载荷中に AE の測定を行い、検知した回数の累積値を調べ、弾性波速度の変化との関連性を調べる。この一連の試験を供試体が破壊に至るまで繰り返し行った。

4. 試験結果

図2は周波数測定試験の結果を示す。縦軸に最も卓越していた周波数の値を、横軸には一軸圧縮応力を表している。この試験を行った結果、同一の供試体において、応力を増加していくと卓越周波数は一軸圧縮応力に依存しており、その増加に伴い高くなることがわかった。一軸圧縮を受けた供試体の内部において、不連続面が強く密着することが卓越周波数の増加に関係していると考えられる。

図3は、周波数測定試験を3回繰り返し行った結果を示している。最大荷重 20kN に達した後、再び 1kN の荷重に戻し同様の操作を行った。応力の増加に伴い卓越周波数は増加するが、一度大きな荷重を受けたことで供試体に損傷が生じ、このため、回を重ねるごとに値が減少したと考えられる。

図4に弾性波速度測定試験の結果を示す。弾性波速度測定時は無载荷で、供試体の圧縮軸方向の透過波を測定し速度を算出した。縦軸左に弾性波速度を、右に AE 累積発生値を、横軸に一軸圧縮応力を表したグラフとなっている。一軸圧縮応力の増加に伴い供試体が破壊に至るまで、AE の増加に対して弾性波速度が減少してゆくのわかる。応力の増加に伴い、その変化が小さくなるが、供試体に応力を作用させた時に生じる AE が大きく発生し始めると、更に弾性波速度は遅くなった。これにより、供試体の損傷が弾性波速度に影響を与えていることがわかった。

今後は、供試体の形状を四角注にしたものを用意し、周波数測定試験と弾性波速度測定試験を同条件で実施していく予定である。

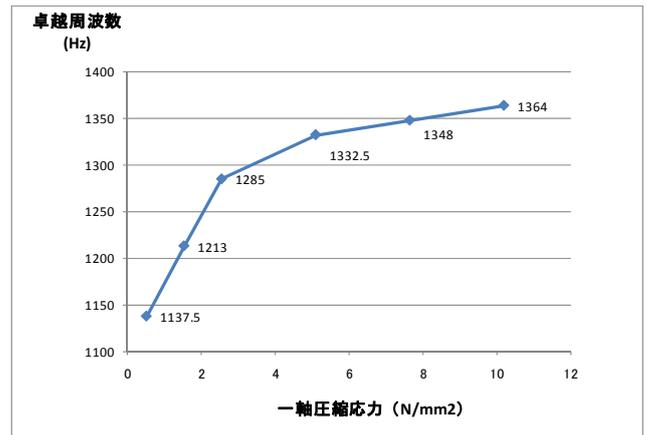


図2 卓越周波数と一軸圧縮応力の関係

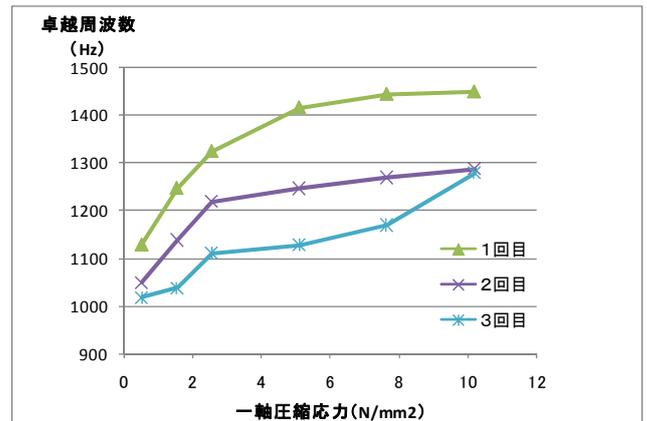


図3 繰り返し载荷による卓越周波数の変化

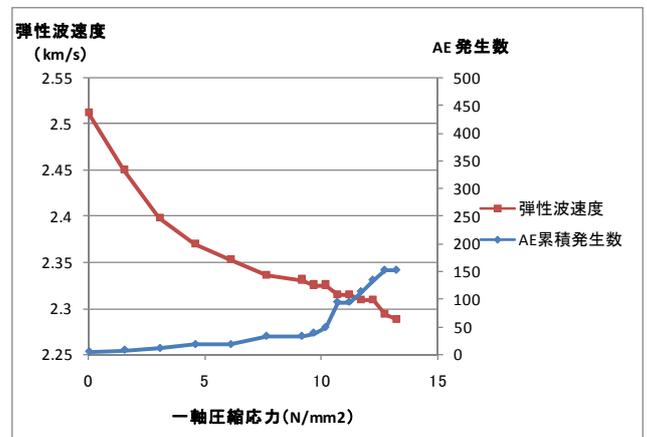


図4 弾性波速度・AE 累積発生数の一軸圧縮応力による変化

参考文献

- 1) 技術開発ニュース No.122/2006-9:「衝撃弾性波法によるロックアソカの非破壊試験」
- 2) <http://www.gifu-np.co.jp/kikaku/focus/fo20080130.shtml> 岐阜新聞 Web
- 3) リック株式会社岩野聡史:「衝撃弾性波法によるコンクリート強度評価と現状の課題」