

AE モニタリング法を用いた充填空洞安定化の推定

飛島建設 正会員 ○柳井真則、杉浦乾郎、山田紀利、坂本昭夫、和田幸二郎

日本大学 正会員 田野久貴、東海大学 正会員 藍檀オメル

1. はじめに

全国には石炭廃坑、亜炭廃坑、地下採石場跡、地下壕など様々な空洞が採掘当時のまま放置されている。空洞内部では、採掘で表面にさらされた天盤、柱（残柱）、壁を構成する地層や岩盤が、長い期間を経て劣化の進行やクリープの影響で強度が低下している。これらはやがて空洞を崩壊させ、地上に陥没や沈下となって現れる。なかでも、岐阜県御嵩町の亜炭廃坑（図1）は採掘割合が高い残柱式で広く採掘されているため、将来、南海トラフ等による巨大地震が襲来すると、空洞の存在で揺れが増幅して残柱が一斉に崩壊し、大規模な被害が発生すると考えられる。特に災害時の避難所でもある共和中学校は、敷地のほぼ全面に廃坑が存在するため、校舎の基礎が大きく沈下し建物が大被害を受けると想定された¹⁾。このため、東海地方の亜炭廃坑対策として多数の実績がある空洞充填工法による廃坑の埋め戻し工事を施工することになった。本研究は、ボーリング孔を利用して空洞岩盤から発生する充填前後の AE（Acoustic Emission）を計測し、空洞の安定化を推定したものである。

2. 空洞状況と充填工事の概要

調査ボーリングの結果、廃坑空洞の平均高さは約 1m で 5m～25m の深さで緩く傾斜し、地下水の侵入はないが下部にはボタや土砂などが堆積していることがわかった。空洞充填工法は砂利工場などで発生する脱水ケーキに



図-1 亜炭廃坑内の残柱（御嵩町）

表-1 限定充填工法の充填材の配合
(1m³あたり)

材 料	端部充填材	中詰充填材
粘土キヲ(kg)	360	360
砂キヲ(kg)	120	120
特殊土用固化材(kg)	90	60
特殊水ガラス(kg)	48.8	—
遅延剤(kg)	0.27	0.18

(注) 端部充填材; 流動性を制御した充填材
中詰充填材; 流動性の高い充填材

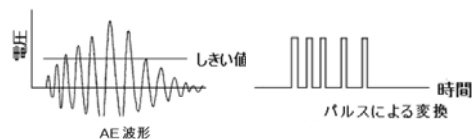


図-3 AE 波のパルス変換



図-4 装置のパンタ部

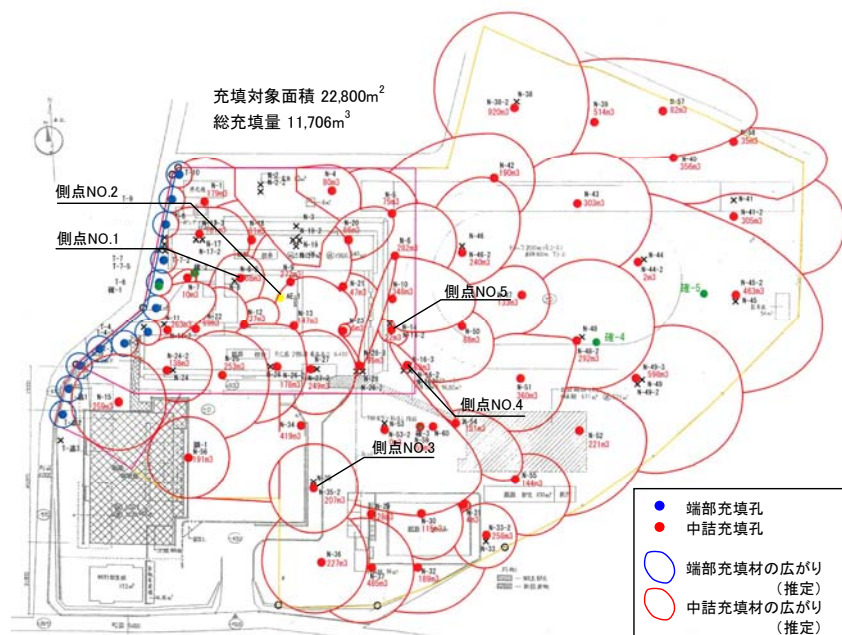


図-2 充填状況平面図（推定）

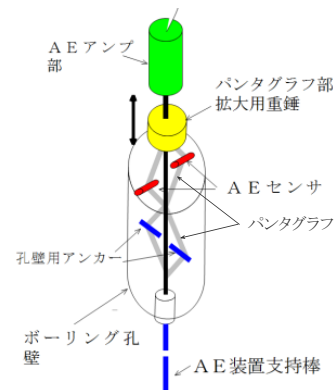


図-5 AE 装置の構成概念図

キーワード 地下空洞, 陥没, 空洞充填, 限定充填, AE

連絡先 〒460-0017 名古屋市中区松原 3-2-8 テルウェル新松原ビル 7F 飛島建設（株）名古屋支店 TEL.052-331-7405

固化材と水を練り混ぜて製造した充填材スラリーを、ボーリング孔（充填孔）から空洞内に注入し固化させて地盤の安定を図る工法で、一般に高い流動性で空洞内を隅々まで充填できるのが特徴である。本工事では、充填材が空洞傾斜の下流側から敷地外空洞に流出することを防止するために端部充填材で隔壁を形成する限定充填工法とした。表-1 にその配合表を示す。また、空洞内での充填材の広がり様子を施工中の観測結果等に基づき描いた平面図を図-2 に示す。

3. 孔内用 AE 装置の設置^{2), 3)}

岩盤に AE が発生する要因として、荷重の変化や乾湿繰り返し、クリープによる亀裂の発生、粒子間のすべり、空洞内の水の流れの影響および機械や地震による振動などが考えられる。空洞を充填すると充填材で残柱が拘束されその支持力が増し、またカイザー効果で偏差応力が減少し、さらに空洞表面の垂炭は充填により周辺の環境から遮断されるため劣化しにくくなるなどの効果がある。したがって、充填が確実に行われれば AE の発生は充填後に大きく減少するため、充填前後の計測結果から空洞の安定度の変化（不安定状態からの改善）を知ることができる。

ここで用いた AE 計測システムは簡易なもので、図-3 のように、あるしきい値を超えた AE 波の数に比例したパルスが発生させ、その数で AE 活動度を評価する。図-4、図-5 および図-6 に装置の概念図と写真を示す。装置の構造は AE センサーをパンタグラフに取り付けたもので、これを孔内に挿入し、空洞または空洞のすぐ上の深さでパンタグラフを開いてセンサーを孔壁に密着させて固定した。装置を設置したボーリング孔は、空洞と直結した孔が 2 箇所、ボーリングが残柱に入ったため空洞と直結していない孔が 3 箇所の合計 5 箇所（5 側点）である。1 つの装置には 2 つのアクティブセンサーとノイズ除去のための 1 つのダミーセンサーを取り付けた。

4. AE 計測結果とその解析^{2), 3)}

図-7 は NO.1～NO.5 の 5 側点のうち、一例として、NO.2 の 2 つのアクティブの AE カウントを累積で示したものである。図より、計測開始から周辺での充填完了まで数回の AE 発生の急増点があり、2 つのアクティブとも発生の傾向や累積カウント数が類似して増加し、そして充填後の AE 発生は減少した。表-2 はこれらの結果を数的に表したもので、ほとんどは大きな AE カウント減少率となり、充填による空洞安定性の改善が認められた。

5. おわりに

ここで取り組んだ AE モニタリング法による計測の結果と成果をまとめると次のようになる。(1)充填前に比べて充填後はほとんどで AE の発生が減少した。(2)これは充填による空洞安定性の改善傾向をとらえたものと考えられる。(3)空洞地盤におけるボーリング孔を利用した AE モニタリング法は充填効果を確認する指標として有効である。今後、装置の防湿やノイズ除去法のさらなる改良が必要と考える。また、本手法は調査時における空洞の安定度を評価する場合にも有効に活用できると考えられる。なお、計測およびデータの解析と評価にあたっては、可児市・御嵩町中学校組合、共和中学校、御嵩町、一般社団法人充填技術協会をはじめ関係各位に多大なるご指導やご協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献 1) 共和中学校における亜炭廃坑危険度調査報告書，早稲田大学理工学術院総合研究所，2012 年 6 月

2) AE による空洞充填効果の評価手法の開発と共和中学校への適用，2013 年 1 月，飛島建設株式会社

3) 亜炭採掘跡地の危険度と空洞充填効果の試験的評価および AE モニタリング法による確認，可児市・御嵩町中学校組合立共和中学校他，2013 年 2 月

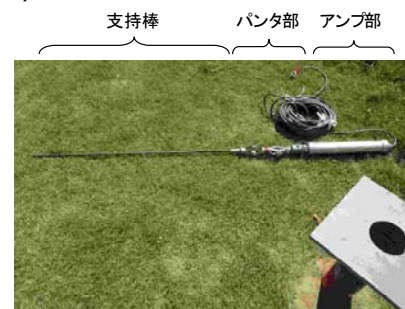


図-6 挿入前の装置とボーリング孔口

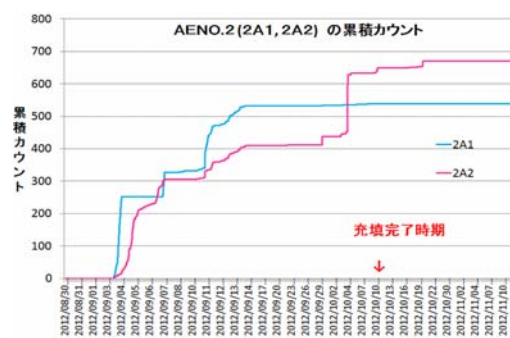


図-7 AE 計測結果の例 (NO.2)

表-2 AE 計測結果の数値化

側点NO.	センサー NO.	AE発生カウント				AEカウント 減少率(%) = (A - B) / A
		充填前		充填後		
		カウント 総数	日平均 カウント数 (A)	カウント 総数	日平均 カウント数 (B)	
NO.1 (廃坑と直結)	1A1	951	19.8	142	4.3	78.3
	1A2	117	2.4	0	0	100.0
NO.2 (廃坑と非直結)	2A1	538	13.2	0	0	100.0
	2A2	639	15.6	32	0.97	93.8
NO.3 (廃坑と非直結)	3A1	266	9.9	55	3.7	62.6
	3A2	155	5.7	3	0.2	96.5
NO.4 (廃坑と非直結)	4A1	71	5.5	3	0.005	99.9
	4A2	14	1.1	0	0	100.0
NO.5 (廃坑と直結)	5A1	12	0.57	410	6.5	—
	5A2	1256	59.8	11	0.17	99.7