現場モニタリングによる空洞充填効果の確認

飛島建設 正会員 ○宮沢義博、杉浦乾郎、坂本昭夫、和田幸二郎、豊田雅博
日本大学 正会員 田野久貴、琉球大学 正会員 藍檀オメル、充填技術協会 小松幹雄

1. はじめに

2011 年 3 月の東北地方太平洋沖地震では岩手県、宮城県、福島県、茨城県の石炭鉱跡や亜炭鉱跡、地下採石場跡が崩壊し、300 箇所以上で陥没等の被害が発生した。東海地方では明治時代から昭和 40 年前後にかけて亜炭が盛んに採掘されたが、今日まで廃坑空洞が破壊されるような大きな地震には遭遇していない。この地方の亜炭鉱跡は採掘割合が高い残柱式で面的に広く採掘されているところが多く、将来、巨大地震が襲来すると残柱等が各所で破壊されて大規模崩壊等による被害が生じる恐れがあり、予防対策が急務となっている。近年、防災意識の高まりもあって、各事業者により充填工法による空洞対策工事が多く施工されるようになった。充填工法とは亜炭鉱跡の空洞を充填することにより地盤の「安定化」をはかる工法である。この「安定化」を調べる幾つかの方法の中で、簡便な方法として岩盤が劣化や崩壊などで発生する超音波、すなわち「AE（Acoustic Emission)」をモニタリングする手法がある。著者らは充填工事において、ボーリング孔内に AE 装置を設置して充填前と充填後に岩盤から発生する AE を計測しその傾向を比較することで充填効果を確認することを試みた。

2. 充填工事概要

亜炭鉱跡は平均空洞高さ約 1.5m、北東から南西に向かって傾斜していた。北東部の空洞内部に地下水の侵入はほぼなく、南西部の空洞内部は地下水で満たされている状況であった。廃坑空洞の充填は東海地方の亜炭鉱跡を中心に多数の実績があるキラ充填工法により行われた。キラ充填工法は、砂利工場などで発生する粘土キラ、砂キラに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、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。また本工事では、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が採用された。**図-1** に限定充填工法の概念図を示す。**表-1** に充填材配合表を示す。

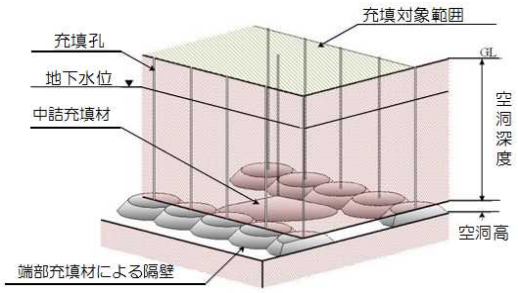


図-1 限定充填工法の概念図

表-1 充填材の配合

(1m³あたり)

材　料	端部充填材	中詰充填材
粘土キラ(kg)	260	260
砂キラ(kg)	260	260
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

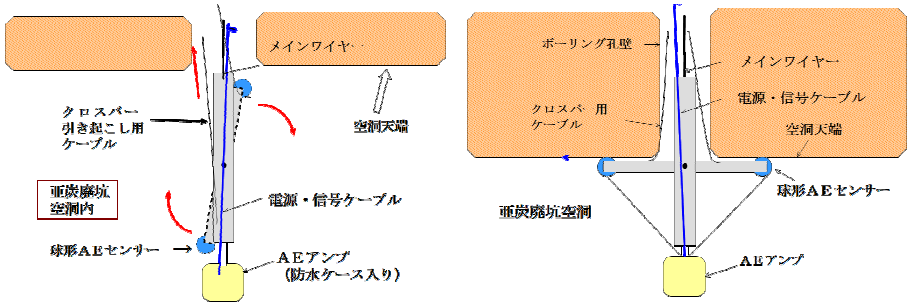
ここに、端部充填材とは空洞内の限定範囲を充填する限定充填工法において、境界に沿って隔壁を形成するために流動性を制御した充填材、中詰充填材とはその内部または背後の空洞を充填する流動性の高い充填材。

3. ボーリング孔を用いた 2 種類の AE 計測方法

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、固化した充填材で残柱が拘束されてその支持力が増す。カイザー効果を考えると偏差応力が減少する。また、劣化しやすい亜炭は充填により周辺の気象環境から遮断されるため劣化しにくくなる。さらに充填前の空洞水の流れは停止するかまたは速度が極端に遅くなる。充填が確実に行われれば、これらの要因によるAEの発生は充填前後で大きく異なることになる。したがって、亜炭鉱跡の近傍で充填前にAEの発生数を計測し、充填後のそれと比較することで充填効果を確認することができる。

AE計測システムの１つ目は「十字開閉型計測装置」である。**図-2**にその概念図を示す。AE計測の目的からすると計測位置は空洞天端が最も望ましく、この方法だと空洞天端のAE信号を拾うことができる。しかし、微小な信号を電気的に大きく増幅するシステムは、湿気や水に弱く、そのためこのシステムは空洞内が地下水で満たされていない条件下で考えた方法である。一方、今回の工事範囲の多くの空洞には地下水が存在しているため、２つ目のAE計測システム

キーワード 空洞充填、限定充填工法、陥没、AE
連絡先 〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦１-５-11 名古屋伊藤忠ビル９階 飛島建設㈱名古屋支店 TEL.052-218-5760



孔内挿入時　　横バーを起こした状態

図-2　十字開閉型計測装置概念図

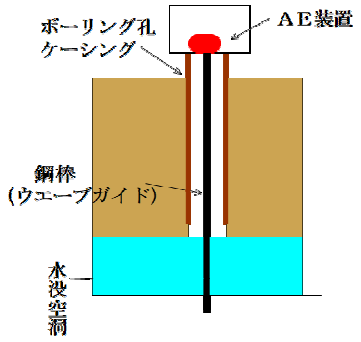


図-3　長尺ｳｪｰﾌﾞｶﾞｲﾄﾞ方式計測装置概念図

は「長尺ウェーブガイド方式計測装置」を用いた。長さ２m程度の鋼棒を継ぎ足しながら空洞底部まで降ろし、その先端を空洞底盤に打ち込む。AEセンサーは地上に突き出たこの鋼棒の後端に設置する。**図-3**にその概念図を示す。この方式の欠点は、空洞のAEの検知において比較的発生しやすい空洞天端の信号ではなく、空洞底盤のAEが対象となることである。

今回、「十字開閉型計測装置」で3箇所、「長尺ウェーブガイド方式計測装置」で2箇所の合計5箇所にて計測を行った。

4. AE 計測結果とその解析

図-4は「十字開閉型計測装置」設置箇所、**図-5**は「長尺ウェーブガイド方式計測装置」設置箇所の計測結果の一例である。いずれの図においても充填前にはAEの発生（カウント）がみられたが、AEセンサー周辺への充填材到達後は、AE発生が激減している。**表-2**にすべてのAE発生カウントをまとめた。表より、2種類の計測方法において、空洞水の有無に関わらずAEが発生していることが分かる。計測孔のほとんどで、充填以降AEの発生が激減したことが認められるが、これは空洞内が天端まで確実に充填された効果と判断される。

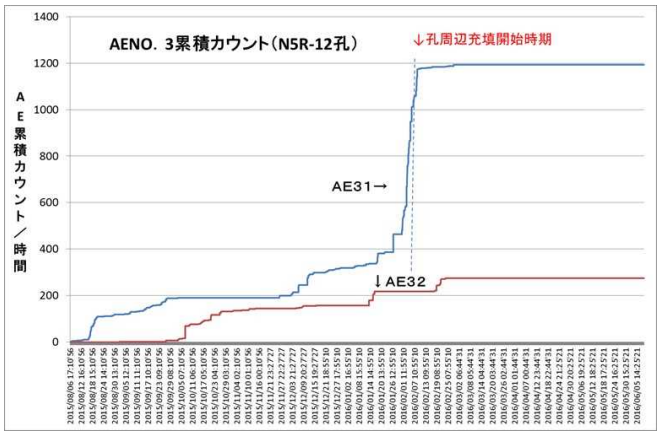


図-4　AE 計測結果の例(No. 3)(十字型)

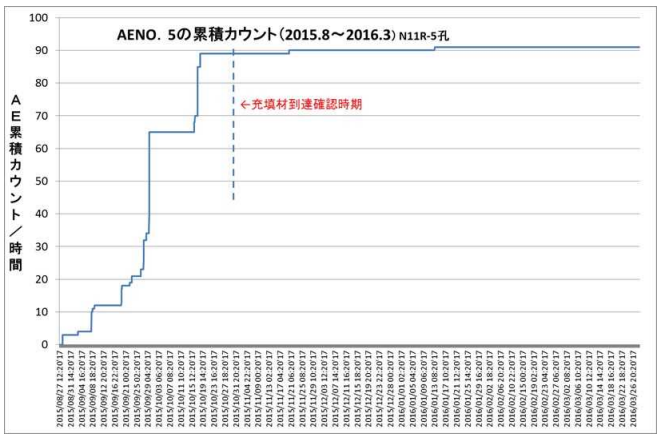


図-5　AE 計測結果の例(No. 5)(長尺ｳｪｰﾌﾞ)

5. おわりに

AE法による計測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のAE発生が減少したことが認められた。これは充填効果、すなわち充填による周辺地盤の安定化傾向を間接的に示したものと推測され、AE法は充填効果を確認する一つの指標になりうる。(2)亜炭鉱跡には地下水で満たされている箇所が多く存在することから、「長尺ウェーブガイド方式」も効果確認の一手法として有効と考えられる。

表-2　AE 発生カウント一覧

側点NO.	空洞水	計測装置	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	測定日数	日平均カウント数(A)	カウント総数	測定日数	日平均カウント数(B)	
AE NO.1	無	十字開閉型	AE11	145	218	0.7	0	38	0	100
			AE12	15	218	0.1	0	124	0	100
AE NO.2	無	十字開閉型	AE21	27	147	0.2	0	62	0	100
			AE22	29	147	0.2	0	84	0	100
AE NO.3	無	十字開閉型	AE31	1173	186	6.3	20	117	0.2	97
			AE32	218	186	1.2	64	117	0.5	58
AE NO.4	有	長尺ｳｪｰﾌﾞ型	AE41	260	146	1.8	3	66	0.05	97
AE NO.5	有	長尺ｳｪｰﾌﾞ型	AE51	89	65	1.4	2	146	0.01	99

課題として、装置の防湿やノイズ除去のさらなる工夫が必要である。また、空洞状況やAE装置の設置状況の確認のためのボアホールカメラなどの開発も必要と考える。将来展望として、本手法は空洞の安定度を評価するための調査法にも有効に活用できる可能性が考えられる。なお、計測およびデータの解析と評価にあたっては、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。