

空洞充填工法による亜炭鉱跡の巨大地震対策

飛島建設(株) ○宮沢義博、飛島建設(株) 杉浦乾郎

飛島建設(株) 正会員 坂本昭夫、飛島建設(株) 正会員 和田幸二郎

1. はじめに

岐阜県内における旧亜炭採掘区域において亜炭鉱跡に起因する陥没被害が近年、大規模化・多発化している。陥没被害発生時には特定鉱害復旧事業等基金を活用して事後的に復旧工事が行われているが、同基金は事前の予防的な防災工事には活用できないことが問題である。

今後想定される南海トラフ巨大地震により、亜炭鉱跡の大規模崩壊等による被害が生じる恐れがあることから、予防対策が急務となっており、平成 25 年度の国補正予算にて措置された「南海トラフ巨大地震亜炭鉱跡防災モデル事業」により、初めて予防的な防災工事が認められた。

図-1 は岐阜県可児郡御嵩町の亜炭鉱跡を 50m×50m のブロックに区割りし、平均空洞深さを 0～15m、15～30m、30m 以深、および空洞なしに分類した空洞深度分布図である。

亜炭鉱跡の空洞は、天盤を支える残柱の劣化等（図-2、図-3）とともに地震による大きな揺れが原因となって空洞が崩壊し、大規模な陥没被害が生じるおそれがある。南海トラフ巨大地震において震度 6 弱以上が予想される御嵩町では、亜炭鉱跡の陥没の危険性が見込まれるとして、「南海トラフ巨大地震亜炭鉱跡防災モデル事業」による防災工事が実施されている。ここでは空洞充填工法により亜炭鉱跡を埋め戻した防災工事について報告する。

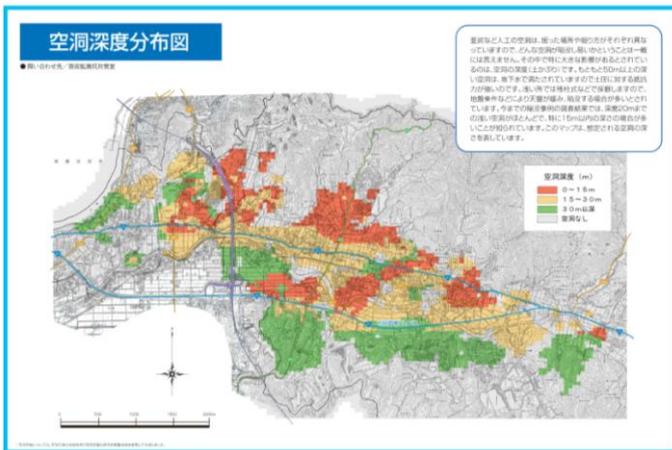


図-1 御嵩町における空洞深度分布¹⁾

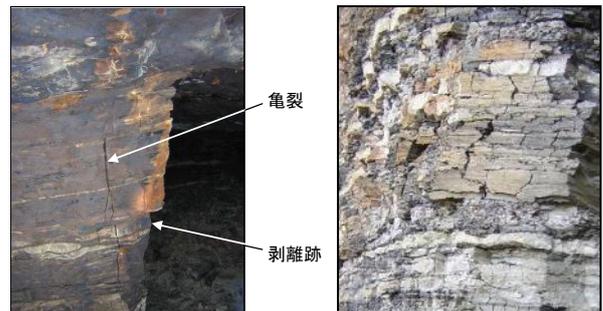


図-2 残柱の亀裂

図-3 残柱表面の劣化

2. 空洞充填工法の概要

空洞充填工法は、亜炭鉱跡に対する対策工法として、1974年に通商産業省名古屋通商産業局に設置された「古洞関連総合施策委員会」で検討され、開発された技術である²⁾。砂利工場などで発生する脱水ケーキ等（粘土キラ、砂キラともよばれる）に固化材と水を練り混ぜて製造したスラリー状の充填材をボーリング孔（充填孔）から空洞内に注入し固化させる工法で、高い流動性を有することから、1つの充填孔から空洞内の遠方にまで送ることが可能で、空洞が複雑な形状を成す場合でも均質に充填できることが特徴である。図-4に充填材の練り混ぜ直後と固化後の様子を示す。施工は、図-5に示すように、現地に充填材プラントを設置し、同時に、充填孔削孔（ボーリング）を行う。そして充填材プラントで製造した充填材を配管を通して

Massive earthquake measures of abandoned lignite mines by the cavity filling method: Yoshihiro Miyazawa, Kenrou Sugiura, Akio Sakamoto, Koujirou Wada (Tobishima Corporation)

削孔が終わった充填孔まで送り、空洞内に充填材を注入する。最後に、空洞が確実に充填されたことを確認するために確認ボーリングを行う。この確認ボーリングで空洞のすき間の有無を確認し、また充填材を採取して必要な強度が出ていることを強度試験を行って確認する。

御嵩町では空洞が広く分布し、また亜炭層に沿って傾斜していることから、計画充填範囲の外側の空洞に大量に充填材が流出するロスの発生が想定されたため、図-6のように充填工法のなかでも限定充填工法を採用してこれを防止することとした。限定充填工法は、最初に流動性を制御した端部充填材で対象範囲の境界線上に隔壁を形成し、その後、内側に流動性の高い中詰充填材を注入する。端部充填材は上記の配合材料にさらに水ガラスを添加したもので、そのゲル化作用で流動性を制御する。水ガラスとは、ケイ酸ナトリウム（ケイ酸ソーダ； $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ）の水溶液で、水飴状で大きな粘性を持ち、洗剤・接合剤・耐火塗料・土壌硬化剤の原料としても利用されている。

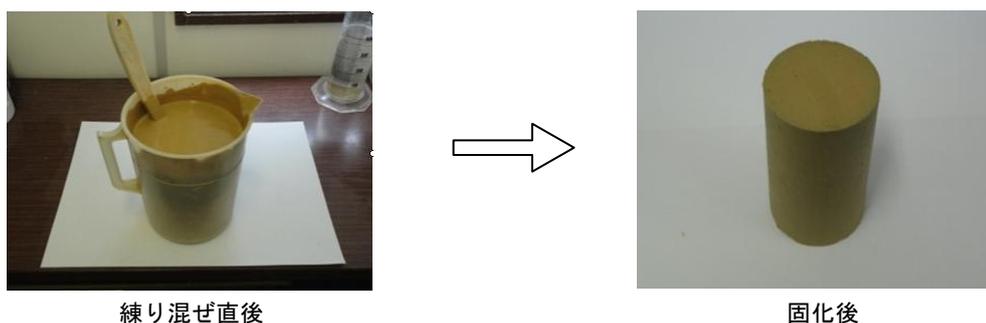


図-4 充填材



図-5 空洞充填工事イメージ図

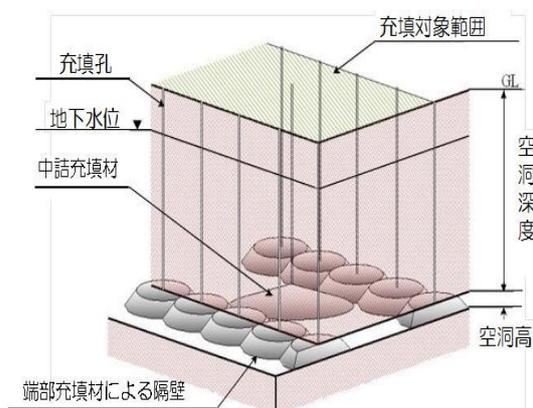


図-6 限定充填工法概要図

3. 充填工事の概要

工事名：平成 26 年度南海トラフ巨大地震亜炭鉱跡防災モデル事業第 1 期防災工事

発注者：御嵩町

施工者：飛島・天野特定建設工事共同企業体

工期：平成 26 年 9 月 26 日～平成 27 年 10 月 30 日、施工対象面積：22,700 m^2 、充填量（設計）：端部充填材 9,937 m^3 、中詰充填材 16,770 m^3 、合計 26,707 m^3 、充填孔（設計）：137 本

充填対象箇所は、災害時に災害対策本部となる町役場及び主要避難所である御嵩小学校、向陽中学校で、震度 6 弱の地震により直ちに陥没するほど地盤のぜい弱性が高い地区である。充填範囲は 5 ブロックに分かれており第 2 亜炭層の空洞を対象とした御嵩小学校グラウンド（第 1 工区）、向陽中学校グラウンド（第 2 工区）、第 3 亜炭層の空洞を対象とした向陽中学校テニスコート（第 3 工区）、御嵩町役場（第 4 工区）、向陽中学校駐車場（第 5 工区）である。地盤ぜい弱性調査で行われたボーリング調査と過去の同地区のボーリング調査結果によれば第 2 亜炭層で空洞深さは 6m～16m、亜炭採掘高さは平均 2.3m で、このうち下部には採

掘当時に坑内に残されたばたや天盤崩落土などと思われる土砂が平均 1.5mの厚さに堆積し、その上には平均 0.8mの高さの完全な空洞があった。第3 亜炭層は、空洞深さは 9m～22m、亜炭採掘高さは平均 1.3m、堆積土砂は平均 0.2m、完全空洞は平均 1.1mであった。また、空洞内部は地下水の流入により満水の状態であった。図-7 に計画時の充填孔配置平面図を示す。各充填孔の配置は、これまでの試験施工や施工実績から、端部充填孔を 8m間隔、中詰充填孔を 20m間隔とした。ただし中詰充填孔については構造物に近接する個所では充填圧力により構造物に影響を及ぼす恐れがあるため充填孔間隔を 10mとした。空洞は北東から南西方向に向かって傾斜し、南西側の境界線を越えて広がっていることから、傾斜下部側には端部充填材による隔壁を設け充填材の流出防止を行った。表-1 および表-2 にそれぞれ充填材の品質目標値と配合を示す。



図-7 充填孔配置平面図

表-1 充填材の品質目標値

品質項目	目標値	備考
フロー値 (P漏斗)	9～14秒	中詰充填材
フロー値 (テーブルフロー)	140mm～180mm	端部充填材
ブリーディング率	3%以下	
一軸圧縮強度	50kN/m ² 以上	標準養生28日
	20kN/m ² 以上	空洞内サンプル
有害物質分析	基準値以下	環境庁告示第46号

表-2 配合表

材 料	中詰充填材	端部充填材
粘土キラ (kg)	220	220
砂キラ (kg)	220	220
特殊土用固化材 (kg)	60	90
特殊水ガラス (kg)	—	48.8
水 (kg)	815	765

4. 施工方法

充填孔の設置では、φ116mmのロータリー式マシン、φ165mmのロータリーパーカッション式マシンでボーリングを行い、φ116mmケーシングはそのまま保孔管として使用し、φ165mmにはφ100mmの塩化ビニル管を保孔管として設置する方法とした。端部充填材はゲル化直後に空洞内に送るために、脱水ケーキ、水ガラス、水を練り混ぜたスラリー (A液) と、セメントミルク (B液) を別々の配管で充填孔の位置まで圧送し、両液をスタティックミキサーで連続的にミキシングし、空洞内に注入した。充填中は充填感知センサーを周囲の未充填の充填孔に挿入して、空洞内に注入した充填材の到達状況を確認した (図-8)。また 26箇所の確認ボーリングにより充填材のコアを採取した。その結果、いずれの箇所においても空洞天盤に隙間がなく、コアの一軸圧縮強度からも目標強度を満足していることを確認した (図-9)。

空洞内は地下水の流入により満水の状態であり、充填材の注入による地下水への影響を把握するために、近隣の既設井戸、河川および充填範囲近傍に観測井戸を設け水質モニタリングを実施した。表-3 に地下水の

調査・管理項目を示す。調査の結果、充填作業を原因とする水質等の変化は見られず、充填施工に伴う地下水への影響は見られなかった。

充填材を空洞内に注入する際、圧力をかけることで空洞内を均質に、また遠方まで充填することができる。ただしこの圧力が過大であると地盤隆起を誘発することがあり、そこに構造物があると傾斜するなどの変状が表れることから、通常は空洞上の地盤の重量を考慮して注入圧力の管理値を設定し、管理する。また影響が想定される構造物には傾斜計を設置し、動態観測しながら施工する。本工事は町役場や教育施設等の重要施設近傍で施工を行うため、圧力管理と計測管理に留意して施工した。その結果、これらの施設には影響を与えることはなく無事施工を完了できた。



図-8 充填状況(右：充填孔、左：充填感知センサ挿入、手前：スティックミキサー)

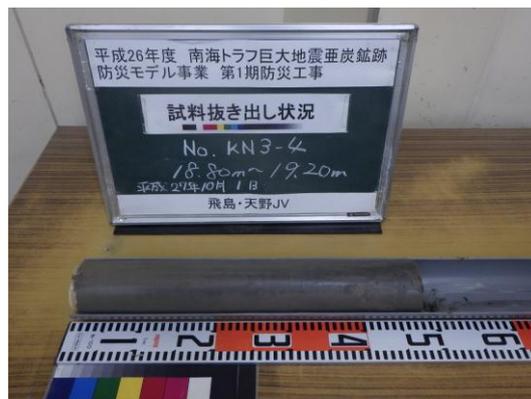


図-9 確認ボーリング充填材コア採取

5. おわりに

充填量を表-4に示す。当初設計に比べ充填量は約52%となったが、充填孔設置工ボーリング結果を反映した計画充填量に対して端部充填は上回った。中詰充填は計画程度の充填となった。設計に対して充填量が下回った原因としては、充填範囲の減少、堆積物が当初設計より厚く、全体として平均空洞厚が小さくなっていること等が考えられる。

本工事における成果をまとめると、以下のようになる。

端部充填材で対象範囲の外側空洞への充填材の流出ロスを防止でき、また高い流動性の中詰充填材で空洞内に存在する残柱や壁、さらに空洞水や土砂が堆積する複雑な空洞も均質に埋め戻すことができた。限定充填工法は巨大地震による空洞の崩壊を防ぐ手段として有効であると考えられる。

なお、施工にあたり、亜炭鉱跡問題対策委員会、御嵩町、御嵩小学校、向陽中学校、および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・ご助言をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

表-3 地下水調査

	管理項目	頻度	調査測定方法
原位置試験	地下水位	充填前・中 1回/日	水位計等
	水素イオン濃度		pH計、リトマス試験紙
	濁度		濁度計
	電気伝導度		電気伝導度計等
室内水質試験	地下水水質	充填前後 (晴・雨)	水道法9項目、六価クロム 水質環境基準

表-4 充填量

種別	設計充填量	実施充填量	実施/設計
端部充填材	9,937m ³	5,780m ³	58%
中詰充填材	16,770m ³	8,100m ³	48%
合計	26,707m ³	13,880m ³	52%

参考文献

- 1) 御嵩町ホームページ
- 2) 新版 空洞充填調査施工マニュアル，一般社団法人充填技術協会，2010年10月