

限定充填工法による空洞陥没事故の復旧

飛鳥建設 正会員 ○和田幸二郎、杉浦乾郎
飛鳥建設 正会員 坂本昭夫、柳井真則

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たものが多く存在する。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は劣化の進行で強度が低下し、やがて崩壊する。その影響が上部地盤に空隙や緩みとなって伝播し、突然、地表面に陥没や沈下となって現れる。岐阜県御嵩町では、戦前・戦中・戦後(昭和40年前後まで)にかけて、盛んに採掘され放置された亜炭の廃坑が市街地中心部のほぼ全域に分布している。同町比衣・顔戸地区では、平成19年10月、平成21年11月および平成22年10月と、亜炭廃坑が原因で隣接した住宅地・農地が次々と陥没し、民家が傾斜するなど大きな被害が発生した。いずれも広い範囲ですり鉢状に陥没したもので、特に平成22年の陥没は、図-1に示すように、最大約3mの深さで、東西約65m、南北約76mに及んだ。廃坑は完全に押しつぶされたものではなく、落盤堆積物と採掘当時のばたが複雑に入り組み、大きな空隙が多数残っている状態であったため、復旧を行うにはこの空隙を埋め戻す必要があった。埋め戻しを確実に、また安全に施工するために採用されたのが空洞充填工法である。従来の空洞充填は、地上に施設を建設する際の予防対策工法として施工されてきたが、今回のように事故後の本格的な復旧工事に用いられたのは初めてである。復旧には特定鉱害復旧事業等基金が当てられた。

2. 空洞充填工法の概要

空洞充填工法は、砂利工場などで発生する脱水ケーキ等に固化材と水を練り混ぜて製造した充填材スラリーを、充填孔から空洞内に注入し固化させる工法で、高い流動性で空洞内を隅々まで充填できるのが特徴である。しかし、当地は亜炭層に沿って廃坑が傾斜していることから、復旧範囲の外側の空洞に大量に充填材が流出する口スの発生が想定されたため、図-2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



図-1 陥没状況(平成22年10月)

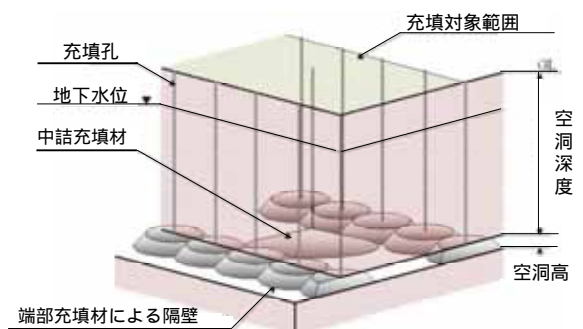


図-2 限定充填工法の概念図¹⁾

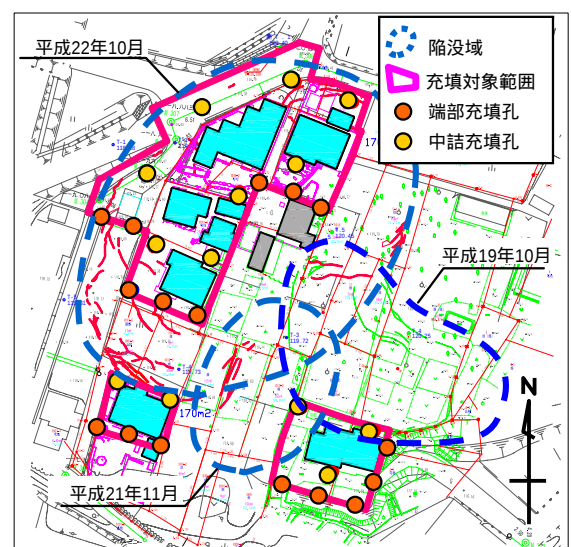


図-3 陥没域と充填対象範囲

キーワード 地下空洞，陥没，空洞充填，限定充填

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 飛鳥建設(株)名古屋支店 TEL.052-331-7405

充填材を注入する。端部充填材は上記の配合材料に水ガラスを添加し、そのゲル化作用で流動性を制御するものである。

3. 充填工事の概要

工事名：特定鉱害復旧事業 西之野・雨田地区充填工事

工期：平成 23 年 6 月 3 日～平成 23 年 10 月 3 日

計画充填量：端部充填材 819m³、中詰充填材 1,239m³

計 2,058m³

充填孔：29 箇所

当地は 70～80%程度といわれる高い空洞率の残柱式で採掘されている。陥没後に行われた調査ボーリングによれば、廃坑の深さは平均約 10m で内部は水没していない状況であった。復旧対象範囲は、道路と建物の範囲に特定されて、図-3 に示すように充填範囲は 3 つのエリアに分けられた。そこで廃坑が傾斜する下流方向にあたる南側の境界線に沿って隔壁を形成するための端部充填孔を配置し、その他の箇所には中詰充填孔を配置した。また充填材の配合は、表-1 に示す品質目標値を満足するように事前に試験練りを行い決定した。決定配合を表-2 に示す。

4. 施工方法

端部充填材はゲル化開始後、速やかに空洞内に送り出す必要がある。このため、あらかじめ脱水ケーキ等、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、そこで両液をスタティックミキサーで連続的にミキシングし、空洞内に注入する方法（1.5 ショット）とした。図-4 に充填状況を示す。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、空洞内に注入された充填材の各部への到達状況を把握した。

また、充填して 28 日を経過した時点で、数カ所で確認ボーリングを行って充填材のコアを採取し、廃坑内に隙間が残っていないこと、および充填材の一軸圧縮試験から目標強度を満足していることを確認した。

5. おわりに

充填量は最終的には、以下のように、計画充填量に対して大幅な増加となった。これは、充填対象範囲が空洞の崩壊箇所であったのに対して、周囲には崩壊していない空洞が広く残っていると考えられ、そのため流出しやすい状況にあったことによると考えられる。

充填量：端部充填材 1,350m³、中詰充填材 1,820m³、計 3,170m³

本工事における成果をまとめると、以下になる。

大規模な陥没事故の復旧として、空洞充填工法で崩壊し残った空隙を埋め立てた後に施設を復旧する手順は安全かつ確実な方法であることが確認できた。これは今後の類似の事例に大いに参考になると考える。

特に限定充填工法は、端部充填材による隔壁で陥没域の外側空洞への充填材の流出口を防止でき、かつ高い流動性の中詰充填材で落盤堆積物の混在した複雑な空隙も均質に埋め戻すことができることがわかった。

なお、施工にあたっては、御嵩町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。

参考文献 1) 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

表-1 充填材の品質目標値¹⁾

品質項目	目標値	備考
フロー値(テ-ブ-フロー)	140～180mm	端部充填材に適用
フロー値(P漏斗)	9～14秒	中詰充填材に適用
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

(注)参考文献1)に加筆

表-2 配合表 (単位：kg/m³)

名 称	端部充填材	中詰充填材
粘土キラ	320	320
砂キラ	320	320
特殊土用固化材	90	60
特殊水ガラス	48.8	—
超遅延型減水剤	0.27	0.18

(注)粘土キラ、砂キラは砂利工場等で発生する脱水ケーキ



図-4 充填状況