

限定充填工法に用いる充填材の長期耐久性に関する検証

飛島建設 正会員 ○坂本昭夫, 岩城圭介

飛島建設 栗山隆之, 杉浦乾郎

飛島建設 石合伸幸, 和田幸二郎

1. はじめに

空洞充填工事に用いる充填材は高い流動性を有することから、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。ところが、新設する道路や鉄道の直下部分の空洞を充填する場合、高い流動性が災いし、対象範囲外へも大量に流出する課題があった。この課題に対し、充填材に水ガラスを添加することで流動性を制御できる限定充填工法を開発し¹⁾、すでにいくつかの工事に適用した。水ガラスは一般に溶脱によって長期耐久性が低下する傾向があるため、本工法では水ガラスの劣化防止に有効とされる固化材と水ガラスを用いることとした。本研究は、実工事で施工された充填材を長期間経過後に採取し、一軸圧縮試験やX線回折による成分分析を行い、その耐久性について検証したものである。

2. 限定充填工法の概要

図-1に限定充填工法の概念図を示す。本工法は、最初に端部材とよばれる充填材を空洞内に注入して対象とする空洞範囲の境界線上に壁を形成する。その後、内部に中詰材とよばれる充填材を注入して空洞の一定領域を充填する。このように端部材は、遺漏のない連続した壁を形成するために、境界線の外側への流出を抑制する低い流動性としたものである。限定充填工法の充填材は、従来の材料である砕石工場で発生する脱水ケーキ（粘土キラ）、けい砂工場のけい砂選別残さい（砂キラ）、固化材および水に加え、水ガラスを添加してそのゲル化作用で流動性を制御する。水ガラス

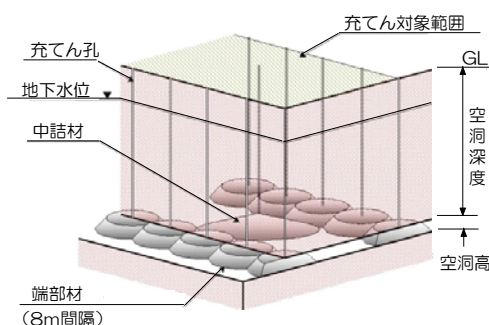


図-1 限定充填工法の概念図

系グラウトの耐久性低下を防止するには、劣化原因となるアルカリ分の Na_2O の溶脱を低下させるか、またはグラウト固化体の強度を高めることが有効とされる。このため、本工法では、前者の方法として、 Na_2O の含有量の少ない特殊水ガラスを用いる。また後者の方法として、固化材に微粉碎高炉スラグを混入したスラグセメント系固化材を用いる。スラグはアルカリ塩類を含む水に対して水和物を生成して凝結および硬化反応を起こす潜在硬化性を持っていることから、固化材中のセメントクリンカーのアルカリ分に加え、水ガラスのアルカリ分とも反応して強度増進を図ることができるためである。表-1に本工事で施工した充填材の配合を示す。

表-1 東海環状可児垂炭坑充填工事における充填材の配合

配合種別		単位量 (kg/m ³)					
		A液				B液	
		粘土キラ	砂キラ	特殊水ガラス	水	充てん用特殊固化材	水
橋梁部 (400KN/m ² 以上)	端部材	360	180	48.8(40/)	595	120	120
	中詰材	360	180	24.4(20/)	575	150	150
土工部 (100KN/m ² 以上)	端部材	360	180	48.8(40/)	634	90	90
	中詰材	340	170	12.2(10/)	663	100	100

3. 耐久性の検証

充填材の耐久性の検証の対象とした工事は、岐阜県可児郡御嵩町～可児市にまたがる垂炭坑を対象に充填された「平成12年度東海環状可児垂炭坑充填工事」である。この工事のなかで、平成14年5月～8月、空洞内に充填して4週材齢を過ぎた土工部という区画で施工した充填材をボーリングによりサンプリングして一軸圧縮試験が行われた。今回、約4年を経過した平成18年に充填材を当時のサンプリングが行われた近傍で再度ボーリングを行い、採取したコアで一軸圧縮試験等を行って施工当時の強度特性と比較した。また、その試料でX線回折測定を行って、

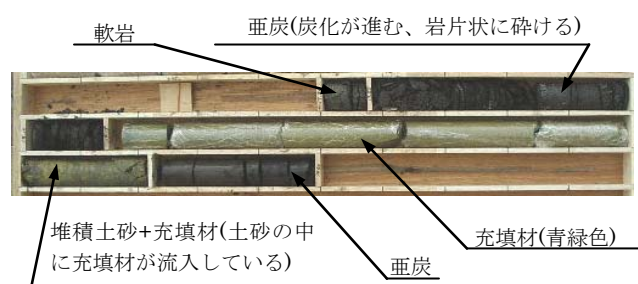
キーワード 地下空洞, 陥没, 空洞充填, 限定充填, 水ガラス

連絡先 〒102-8332 東京都千代田区三番町2 飛島建設(株) 土木事業本部新規事業統括部 TEL. 03-5214-7087

成分分析の観点から耐久性について検討した。さらに、溶出試験を行い、長期間経過後の環境安全性についても検証した。

3.1 ボーリング調査

ボーリングコアの状況を図-2 に示すが、充填材は比較的硬く棒状に採取された。充填材と亜炭層の境界部は完全に密着状態であり、ボーリングでの逸水はまったく認められなかった。また、充填材下部の堆積土砂は、亜炭と比較的軟らかい粘土であったが、その部分にも充填材が脈状に充填されており、充填材の良好な充填性を窺わせる結果であった。

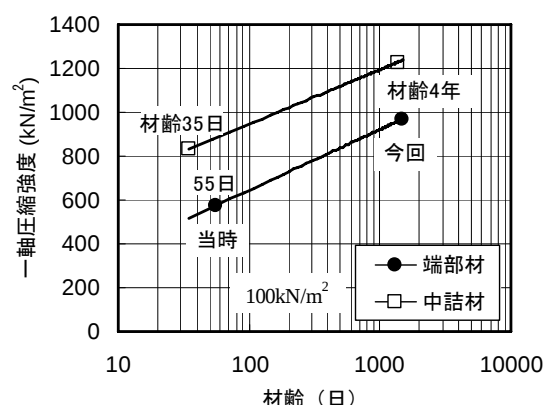


(注) 充填材の亀裂はコア抜き出し時に発生したもの

図-2 ボーリングコア状況

3.2 一軸圧縮強度試験結果

図-3 に今回の原位置コアの一軸圧縮試験の結果を、施工当時の原位置コアの試験結果からの変化として表したものを示す。図より、この期間に強度は大きく増加しており、この材齢の範囲では強度上からみた耐久性に関する問題はないといえる。



(注) 土工部の一軸圧縮強度の目標値は、100kN/m²以上。

図-3 充填材の長期材齢強度

3.3 X線回折による成分分析結果

採取した充填材を粗砕した後、乾燥し、微粉碎したものを試料としてX線回折測定を行った。測定結果と確認された鉱物を図-4 に示した。図より、セメント系水和物関連鉱物のエトリンガイト ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) やカルシウムアルミネートシリケート水和物 ($2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) が確認されたことから、施工当時の水和物が現在も維持されていると考えられる。なお、この他に確認された石英、正長石、イライトおよびカオリナイトは、粘土キラおよび砂キラに含まれていた土壌関連鉱物である。

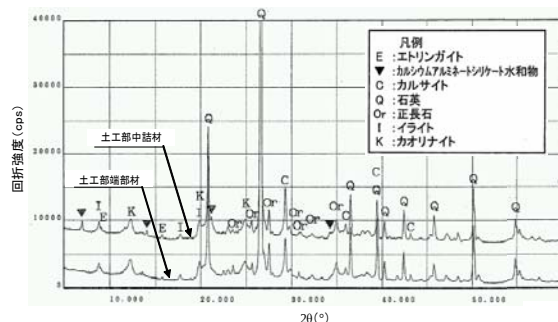


図-4 充填材のX線回折図

3.4 環境影響性に関する試験結果

環境庁告示第46号に基づいて重金属等の有害物質に関する溶出試験を行った結果を表-2 に示す。その結果、全ての項目において土壤環境基準以下であり、長期の環境影響性についても問題がないといえる。

表-2 充填材の溶出試験結果

項目	基準値	BU-1中詰	BU-2端部
カドミウム	0.01	< 0.001	< 0.001
全シアン	検出されないこと	不検出	不検出
鉛	0.01	< 0.005	< 0.005
六価クロム	0.05	< 0.04	< 0.04
砒素	0.01	< 0.005	< 0.005
総水銀	0.0005	< 0.0005	< 0.0005
ほう素	1	< 0.1	< 0.1
セレン	0.01	< 0.002	< 0.002
ふっ素	0.8	0.3	0.2
銅	125	< 0.5	< 0.5

単位：(銅以外は mg/L, 銅は mg/kg)

4. まとめ

本研究の結果、充填材の一軸圧縮強度は、4週後の強度よりさらに増大した高い値を示した。また、主要な項目で土壤環境基準に適合しており、長期間での環境影響性にも問題がないことが示された。以上により、限定充填工法に用いる水ガラス添加の充填材の長期耐久性については問題はないと考えられる。

最後に、研究に際しては国土交通省中部地方整備局多治見砂防国道事務所のご好意により、現地で充填材のコアサンプリングを実施できました。ここに記して感謝の意を表します。

[参考文献] 1)坂本昭夫, 杉浦乾郎, 山田紀利, 岩城圭介: 地下空洞限定充填工法の開発と施工, 土木学会論文集 VOL62, No.3, pp.546-557, 2006.8