水ガラスを添加した空洞充填材の追跡調査

飛島建設　正会員　　○勝又諒、杉浦乾郎、坂本昭夫
飛島建設　正会員　　山本孝男、和田幸二郎

１．はじめに

近年、広範囲に分布する空洞の陥没対策として対象範囲のみを充填する限定充填工法が施工されている。通常の充填工法の充填材は砂利工場等で副産物として発生する粘土キラや砂キラとよばれる土質材料に固化材と水を練り混ぜて製造するが、限定充填工法では充填材が対象範囲外の空洞に流出することを防ぐために充填材に水ガラス（ケイ酸ナトリウム；$Na_2O \cdot n\,SiO_2$（n；モル比））を添加する。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といわれるが、本工法では耐久性に有効とされる固化材と水ガラスを材料に選定している。本調査は土地区画整理事業のなかで施工された充填工事の充填材を約 5 年 6 か月を経て採取し、一軸圧縮試験、密度試験および溶出試験を行い、充填材の長期耐久性について検証したものである。

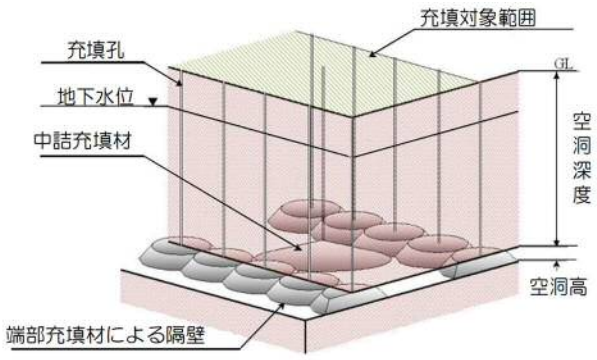

図-1　限定充填工法の概念図

表-1　充填材の配合 (kg/m³)

材　料	端部充填材	中詰充填材
粘土キラ	390	360
砂キラ	130	120
特殊土用固化材	90	60
特殊水ガラス	48.8	—
遅延剤	0.27	0.18
水	732	798

表-2　充填材の品質目標値 [1)]

品質項目		目標値
テーブルフロー値（端部充填材）		140～180mm
流下時間（中詰充填材）		9～14秒
ブリーディング率		3%以下
一軸圧縮強さ	標準養生（28日）	50kN/m²以上
	空洞充填材の乱さない試料	20kN/m²以上
有害物質		土壌汚染対策法に係る指定基準

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、最初に端部充填材とよぶ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に沿って隔壁を形成する。その後、内部に中詰充填材とよぶ充填材を注入し、空洞の一定領域を充填する。このように端部充填材は、遺漏のない連続した壁を形成するために、水ガラスのゲル化作用で流動性を低い値に制御する。水ガラス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、あるいはグラウト固化体の強度を高めることが有効である。本工法では、アルカリ分の溶脱を低下させる方策として、Na_2O の含有量の少ない特殊水ガラスを用いる。また固化材の強度を高めるために、固化材に微粉砕高炉スラグを混入した特殊土用固化材を用いる。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。なお、特殊土用固化材は六価クロム溶出量を低減させる効果があり、地盤改良用の固化材としても用いられる。**表-1** に充填工事で施工された充填材の配合を、**表-2** に品質目標値を示す。

３．調査結果

当該地区の地質構成は、新第三紀の砂質土層と粘性土層が互層に堆積しており、亜炭層は固結した粘性土層の下位に分布する。今回、充填材を採取した位置における廃坑深度（土被り）は約 16m、廃坑の高さは 1～1.5m 程度であった。充填工事では事業用地外に充填材が流出するのを防止するために境界線に沿って端部充填材を注入

キーワード　空洞充填，限定充填，水ガラス
連絡先　〒460-0003　名古屋市中区錦一丁目 5 番 11 号 名古屋伊藤忠ビル 9 階 飛島建設㈱名古屋支店 TEL.052-218-5764

© Japan Society of Civil Engineers

する限定充填工法が採用された。

ボーリングは端部充填材の施工位置で 3 箇所、中詰充填材の施工位置で 3 箇所、計 6 箇所で行った。このうち各 1 箇所で充填材のサンプリングにより一軸圧縮試験と密度試験の供試体を採取した。ボーリングの削孔中は逸水はほとんど認められず、また採取した試料の観察ではいずれも充填材と地層の境界部は完全に密着した状態であった。当地の廃坑内はぼたや堆積土砂で満たされていることが多く、**図-2** はそのような廃坑内に充填したコアの一例であるが、その間隙にも充填材が回り込んでいることがわかり、良好な充填性が確認できた。

充填材の一軸圧縮試験結果を、充填工事の当時の確認ボーリングで採取した材齢 28 日のコアの試験結果とあわせて、**表-3** および**図-3** に示す。表および図より、端部充填材および中詰充填材ともに長期材齢強度は施工当時の強度より高い値を示したことから、強度上での耐久性に関する問題はないといえる。

また、**表-3** により、密度もほぼ施工当時の値を維持していることから、溶脱等もなく安定した状態にあると考えられる。

次に、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-4** に示す。施工当時も粘土キラ、砂キラおよび室内養生した充填材の溶出試験を実施して安全性を確認しているが、表より、全ての項目において土壌汚染対策法に係る環境基準以下であることから、長期の環境影響性についても問題がないといえる。

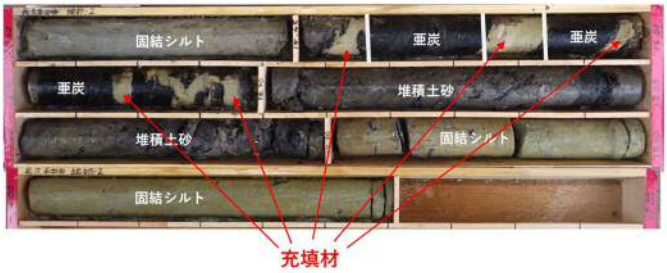

図-2 ボーリングコア（端部充填材）の例

表-3 充填材の強度試験および密度試験結果

充填材の種類	材齢	一軸圧縮強さ(kN/m²)				湿潤密度
		試料数	最大値	最小値	平均値	(g/cm³)
中詰充填材	28日	8	207	44	130	1.397
	約5年6ヶ月	1	—	—	135	1.424
端部充填材	28日	10	718	60	247	1.386
	約5年6ヶ月	1	—	—	278	1.394

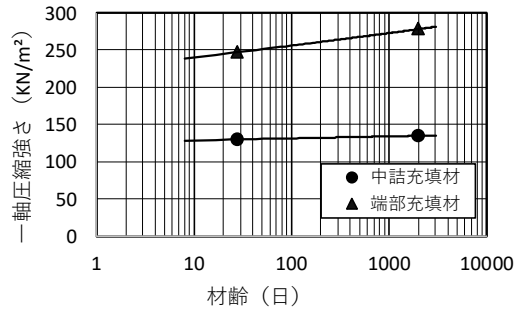

図-3 充填材の長期材齢強度

表-4 充填材の溶出試験結果

分析項目	単位	基準値	端部充填材		中詰充填材	
			分析値	判定	分析値	判定
カドミウム	mg/L	0.01以下	0.001未満	適合	0.001未満	適合
全シアン	mg/L	検出されないこと	不検出	適合	不検出	適合
鉛	mg/L	0.01以下	0.005未満	適合	0.005未満	適合
六価クロム	mg/L	0.05以下	0.04未満	適合	0.04未満	適合
砒素	mg/L	0.01以下	0.005未満	適合	0.006	適合
総水銀	mg/L	0.0005以下	0.0005未満	適合	0.0005未満	適合
銅	mg/kg	125以下	0.5未満	適合	0.5未満	適合
ほう素	mg/L	1以下	0.09	適合	0.08	適合
セレン	mg/L	0.01以下	0.002未満	適合	0.002未満	適合
ふっ素	mg/L	0.8以下	0.48	適合	0.80	適合

4．おわりに

調査の結果、充填材の一軸圧縮強さは施工当時の強度より高い値を示し、密度の低下もなく安定した状態を維持していることがわかった。また、溶出試験の主要な項目で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を確認した。以上により、限定充填工法に用いる水ガラスを添加した端部充填材および中詰充填材は長期耐久性を有すると考えられる。

最後に、調査に際しては土地区画整理組合様のご好意により、現地で充填材のサンプリングを実施できました。また、一般社団法人充填技術協会をはじめ関係各位にご指導、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) 一般社団法人充填技術協会編：空洞充填調査施工マニュアル(2016)，pp.III-9，2016.5
2) 坂本昭夫，岩城圭介，栗山隆之，杉浦乾郎，石合伸幸，和田幸二郎：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，土木学会第 62 回年次学術講演会，pp.815-816，2007.9

© Japan Society of Civil Engineers