沖縄地方における空洞対策に向けた限定充填工法充填材の試験

飛島建設　正会員　○坂本昭夫
飛島建設　正会員　　杉浦乾郎
飛島建設　　石合伸幸，和田幸二郎

１．はじめに

空洞充填工法（以下、充填工法）はスラリー状の充填材を空洞内に注入・固化させて地盤の安定を図る技術である。充填工法の充填材は砕石工場などで発生する脱水ケーキや土を母材とし、固化材と水を混練りして製造するが、母材の性状により充填材の特性が大きく変化する。一方、沖縄地方では戦時中の地下壕や鍾乳洞などの空洞が各地に残存することから、陥没などの被害の発生や建設工事の障害になることが懸念される。本研究は沖縄地方の土質材料を用いた充填材の配合試験結果をもとに、その適用性について検討したものである。

２．充填材の品質と配合

充填工法には流動性の高い充填材を用いる流動性充填工法と地下空洞の一区画を充填する限定充填工法がある。限定充填工法は、**図-1** に示すように、最初に流動性を制御した充填材（端部材）で対象範囲の境界線上に壁を形成し、その後、内部に流動性の高い充填材（中詰材）を注入する。端部材では流動性を制御するために母材、固化材、水に加え、水ガラスや急結剤を添加する。**表-1** および**表-2** は端部材の品質目標値と配合例を示したものである。

３．配合試験

沖縄地方で調達可能な土質材料として、ここでは本島の島尻マージ、島尻層群泥岩および宮古島の島尻マージ、砕石工場産脱水ケーキを用いて配合試験を行った。**表-3** にこれらの材料の特徴を、**図-2** に粒度試験結果を示す。

最初に本島材料を用いた水ガラスタイプの端部材としての試験結果について示す。**図-3** は水ガラス量を一定量の10kg/m^3 としたときの母材量とゲル化直後の充填材のフロー値の関係を表したものである。図より、同じ母材量の場合、泥岩を用いた充填材はマージを用いた充填材に比べて変形しにくく、端部材の性能としては良好である。同様に**図-4** は母材量と一軸圧縮強度の関係であるが、泥岩による充填材はマージによる充填材より強度が高い。

次に宮古島材料を用いた水ガラスタイプと急結剤タイプの端部材の試験結果について示す。**図-5** は水ガラスタイ

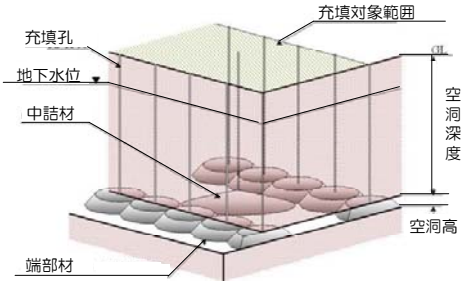

図-1　限定充填工法の概念図

表-1　限定充填端部材の品質目標値

品質項目	目標値	備　考
フロー値(ﾃｰﾌﾞﾙﾌﾛｰ)	180mm以下	端部材に適用
ブリーディング率	3%以下	
一軸圧縮強度	50kN/m^{2}以上	宅地造成の場合
有害物質分析	基準値以下	環境庁告示第46号

表-2　限定充填端部材の配合例

種　別		A現場 水ガラスタイプ	B現場 急結剤タイプ
母材K	脱水ケーキ(1) 注)	290	478
	脱水ケーキ(2) 注)	290	—
固化材　C		90	100
流動性制御剤	水ガラス　A1	48.8	—
	急結剤　A2	—	25
水　W		711	790

注）脱水ケーキ(1)；砕石工場産，
脱水ケーキ(2)；珪砂工場産

表-3　材料の特徴

材　料	特徴と利用方法
島尻マージ	沖縄地方に広く分布する土壌。黄色～黄褐色、暗赤色の色調を呈し、保水力が低い。耕土に利用され、園芸用の土壌としても販売されているが、充填材の材料としての調達は、建設残土の利用や堆積土砂からの採取が考えられる。
島尻層群泥岩（クチャ）	沖縄本島中南部などに分布する土壌。オリーブ色～灰色の色調を呈し、保水力が高い。耕土に利用されている。充填材の材料としての調達は、建設残土の利用や堆積土砂からの採取が考えられる。
脱水ケーキ	湿式プラントの砕石工場で発生する山砂利水洗後の濁水を脱水処理した粘性土。

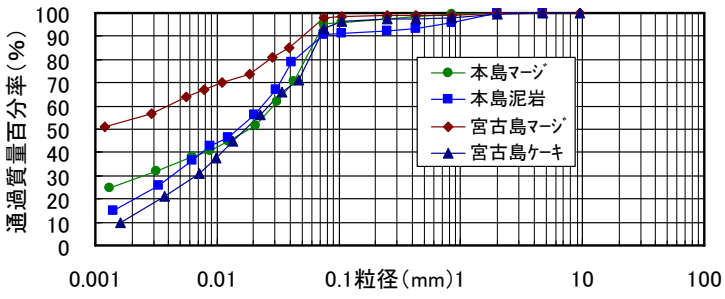

図-2　材料の粒度分布

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　〒460-0017名古屋市中区松原3-2-8テルウェル新松原ビル7F　飛島建設(株)名古屋土木事業部　TEL.052-331-7405

プのフロー値である。図より、マージはケーキと比べて単位量は少ないものの、マージの粘性が高いためフロー値は小さく良好な値を示したことから、適性は高い。**図-6** はセメント量が 150kg/m^3 のときの急結剤タイプのフロー値で、いずれも品質目標値を満足した。ここに、マージの粘性が高いため、急結剤タイプでは水の練り混ぜによる溶解性や配管圧送性に配慮した配合として、マージ量を 270kg/m^3 としている。なお、セメント量を 100kg/m^3 とするとフロー値は脱水ケーキで 200mm 前後と、要求品質を満足するものではなかった。これらのことから、急結剤タイプでは急結剤量を 20kg/m^3 前後としたときセメント量は 150kg/m^3 程度が必要といえる。**図-7**、**図-8** はそれぞれ水ガラスタイプ、急結剤タイプの一軸圧縮強度である。いずれもケーキはマージより単位量が多いため、強度も大きい。

表-4 に材料の溶出試験結果を示すが土壌環境基準に適合する安全な材料であることを確認した。

以上の試験結果から、品質目標値を満足する標準的な配合を**表-5** のようにまとめることができる。実工事への適用にあたっては、材料の採取場所が変わることでその性状も変化するため、事前に実際の材料を用いた試験を行い、品質目標値を満足する範囲のなかから適切な配合を設定する必要がある。

4．おわりに

ここで取り上げた沖縄本島および宮古島の土質材料は充填材の材料として用いることが可能であり、したがって充填工法はこの地方における地下壕や鍾乳洞などの空洞災害を防止する有効な対策技術になりうると考える。

最後に、材料の提供や本研究についてご教示いただきました関係各位に心より感謝申し上げます。

参考文献 1) 日本充てん協会編：改訂版 空洞充填施工マニュアル，日本充てん協会，2004 年

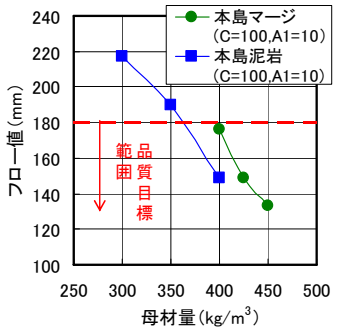

図-3 フロー値
（水ガラス、本島材料）

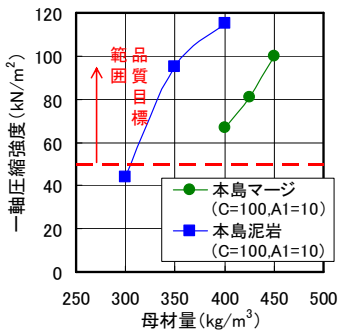

図-4 一軸圧縮強度
（水ガラス、本島材料）

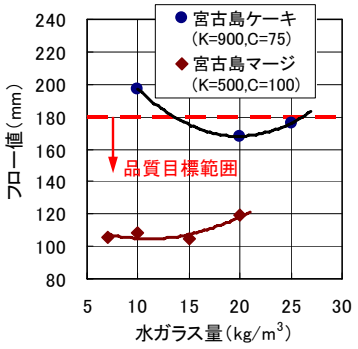

図-5 フロー値
（水ガラス、宮古島材料）

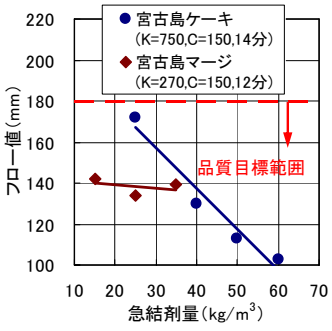

図-6 フロー値
（急結剤、宮古島材料）

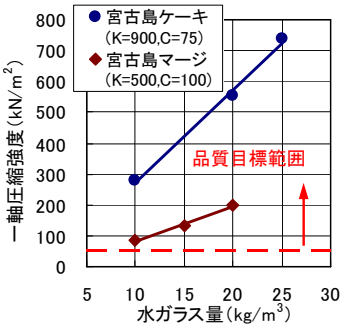

図-7 一軸圧縮強度
（水ガラス、宮古島材料）

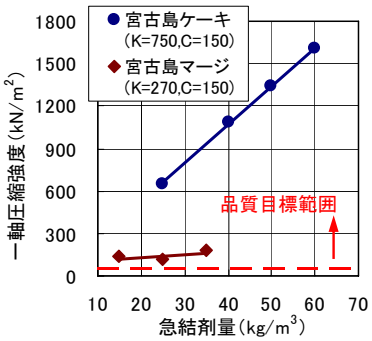

図-8 一軸圧縮強度
（急結剤、宮古島材料）

表-4 材料の溶出試験結果（10 項目）

	単位	基準値※	本島マージ	本島泥岩	宮古島マージ	宮古島ケーキ
カドミウム	mg/L	0.01	0.001未満	0.001未満	0.001未満	0.001未満
全シアン	mg/L	検出されないこと	不検出	不検出	不検出	不検出
鉛	mg/L	0.01	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満
六価クロム	mg/L	0.05	0.04未満	0.04未満	0.04未満	0.04未満
砒素	mg/L	0.01	0.005未満	0.005未満	0.005未満	0.005未満
総水銀	mg/L	0.0005	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満	0.0005未満
銅	mg/kg	125	0.5未満	0.5未満	1.2	0.5未満
ほう素	mg/L	1	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.1未満
セレン	mg/L	0.01	0.002未満	0.002未満	0.002未満	0.002未満
ふっ素	mg/L	0.8	0.2	0.1	0.1未満	0.1未満
合否判定			適合	適合	適合	適合

※ 基準値；「土壌の汚染に係る環境基準」（環境庁告示第46号）

表-5 沖縄地方の材料を用いた限定充填工法端部材の標準的配合

(kg/m^3)

		母材の種類	母材 K	セメント C	水ガラス A1	急結剤 A2	水 W
本島材料	水ガラスタイプ	本島マージ	425	100	10	—	801
		本島泥岩	400	100	10	—	812
宮古島材料	水ガラスタイプ	宮古島マージ	500	100	15	—	766
		宮古島ケーキ	900	75	20	—	628
	急結剤タイプ	宮古島マージ	270	150	—	25	840
		宮古島ケーキ	750	150	—	50	656