

## 空洞充填工法のコストダウンに向けた充填材配合の提案

飛鳥建設 正会員 ○登坂祐大、杉浦乾郎、坂本昭夫  
 飛鳥建設 秦信夫  
 愛知工業大学工学部 正会員 岩月栄治  
 一般社団法人充填技術協会 小松幹雄

### 1. はじめに

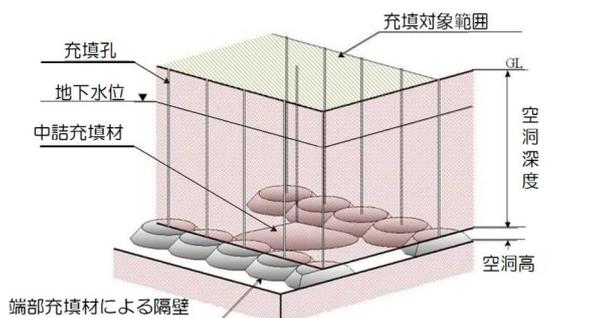
近年、広範囲に分布する空洞の陥没防止として対象範囲のみを充填する限定充填工法（図-1）が施工されている。通常空洞充填工法は、砂利工場等で副産する粘土キラや砂キラとよぶ土質材料に固化材と水を練り混ぜて製造した充填材を用いる。限定充填工法は空洞充填工法の応用技術で、空洞内の一区画を充填するために、最初に流動性を低い値に制御した充填材（端部充填材）で対象範囲の境界線上に隔壁を形成し、その後、内側に流動性の高い充填材（中詰充填材）を注入する。端部充填材は上記の配合材料に水ガラスを添加し、固化材との反応によるゲル化作用を利用したものである。空洞内に注入された端部充填材が空洞内で広がるときの勾配は実大空洞での試験施工やこれまでの実績から約 20% (1:5) になることがわかっている。本工法は多数の実績を持つ技術であるが、ここで配合試験を通じて端部充填材の流動特性や強度特性等に与える水ガラスの効能をあらためて検討し、空洞充填のコストダウンに向けた充填材の配合を提案する。

### 2. 試験方法

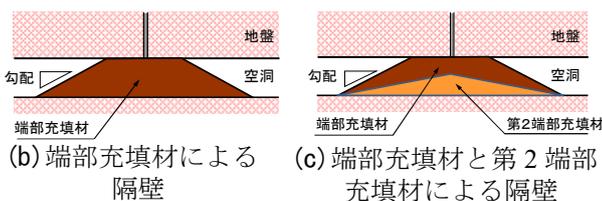
表-1 に現在施工されている空洞充填工事の充填材の標準的な配合例を示す。また表-2 に充填材の品質目標値<sup>1)</sup>を示す。配合練りは粘土キラと砂キラの単位量を一定とし、固化材の量と水ガラスの量を変化させ、ゲルタイム試験、フロー試験（テーブルフロー）および一軸圧縮試験を行った。ここに、第2端部充填材とは、図-1(c)のように端部充填材より水ガラスの量が少なく勾配の緩い充填材で端部充填材に先行して充填し、その上に端部充填材を充填することで全体として水ガラスの使用量を低減するものである。

### 3. 試験結果

図-2 は充填材の塑性状の流動性をテーブルフロー値として測定するフロー試験の結果である。図より、固化材の量が  $120\text{kg/m}^3$ 、 $90\text{kg/m}^3$  と多い配合では水ガラス量の増加とともにテーブルフロー値は小さくなった。



(a)透視図（中詰充填材施工時）



(b)端部充填材による隔壁 (c)端部充填材と第2端部充填材による隔壁

図-1 限定充填工法の概念図

表-1 充填材の標準配合例

(単位:  $\text{kg/m}^3$ )

種類	粘土キラ	砂キラ	特殊土用 固化材	特殊 水ガラス	遅延剤	水
端部充填材	260	260	90	48.8	0.27	735
第2端部充填材	260	260	90	8.0	0.27	769
中詰充填材	260	260	60	—	0.18	785

注(1) 粘土キラは砂利工場の山砂利選別時の脱水粘土。砂キラは砕石工場の砕石選別時の脱水粘土。いずれも主に粘土分とシルト分よりなるが、前者の方が細粒分が多い。  
 (2) 水の単位量は各材料の密度で変化する。

表-2 充填材の品質目標値<sup>1)</sup>

品質項目	目標値	規格	適用		
			端部	第2端部	中詰
流下時間	9~14秒	JSCE-F 521			○
テーブルフロー値	140~180mm	JIS R 5201	○		
	180~240mm			○	
ゲルタイム	—	カップ倒立法	○	○	
ブリーディング率	3%以下	JSCE-F 522	○	○	○
一軸圧縮強さ	$50\text{kN/m}^2$ 以上	JGS 0511	○	○	○

キーワード 空洞充填、限定充填工法、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 飛鳥建設株名古屋支店 TEL052-218-5760

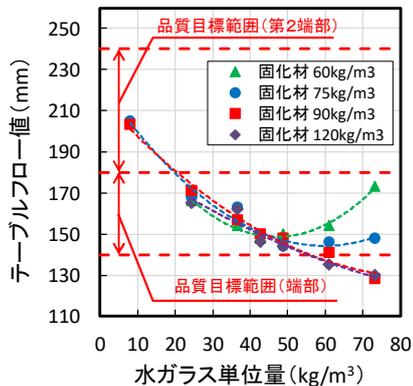


図-2 テーブルフロー値 (近似曲線)

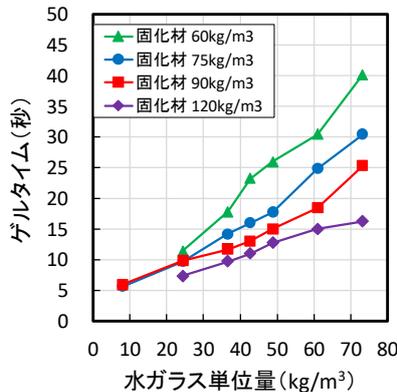


図-3 ゲルタイム

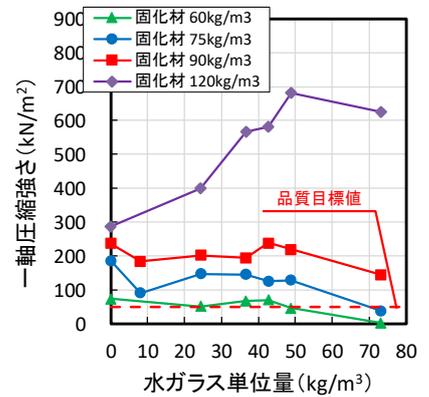


図-4 一軸圧縮強さ

表-3 試験結果 (一部) と配合の提案

		単位量					試験結果		
		粘土キラ (kg/m <sup>3</sup> )	砂キラ (kg/m <sup>3</sup> )	特殊土用 固化材 (kg/m <sup>3</sup> )	特殊 水ガラス (kg/m <sup>3</sup> )	水 (kg/m <sup>3</sup> )	テー ブル フ ロー 値 (mm)	ゲ ル タ イ ム (秒)	一 軸 圧 縮 強 さ (kN/m <sup>2</sup> )
端部充填材	現行配合	260	260	90	48.8	735	148	15.0	219
	提案配合	260	260	75	42.7	745	149	16.0	126
第2端部充填材	現行配合	260	260	90	8.0	769	203	5.9	184
	提案配合	260	260	75	8.0	774	205	5.6	91

(注) 水の単位量は各材料の密度で変化する。

これに対して、固化材の量が 75kg/m<sup>3</sup> では水ガラス量 48.8kg/m<sup>3</sup> (40ℓ/m<sup>3</sup>) 付近で、また固化材の量 60kg/m<sup>3</sup> では水ガラス量 42.7kg/m<sup>3</sup> (35ℓ/m<sup>3</sup>) 付近で減少から増加に転じた。これは充填材が効果的にゲル化するには固化材の単位量に応じた適量の水ガラス量があることを示しており、過度な水ガラス量は隔壁を形成する面で逆効果といえる。図-3 は水ガラス単位量とゲルタイムの関係で、水ガラスの増加にともないゲルタイムは長くなった。また、固化材が多いほどゲルタイムは短くなる傾向であった。図-4 は材齢 28 日の一軸圧縮試験結果である。図より、固化材の量が 90kg/m<sup>3</sup> 以下では水ガラス量にかかわらずほぼ一定の強度で推移したが、固化材量 120kg/m<sup>3</sup> では水ガラスの増加にともない強度が大きくなった。ただし、いずれも水ガラス量 73.2kg/m<sup>3</sup> (60ℓ/m<sup>3</sup>) まで多くなると強度が低下する傾向がみられた。したがって強度の面でも過度な水ガラス量は不適當となる。

#### 4. コストダウンに向けた配合の提案

表-3 に配合試験結果のなかから、端部充填材と第2端部充填材の標準的な配合に相当する配合(現行配合)と提案配合の試験結果を示す。端部充填材の提案配合は現行配合の水ガラスの単位量を 48.8kg/m<sup>3</sup> (40ℓ/m<sup>3</sup>) から 42.7kg/m<sup>3</sup> (35ℓ/m<sup>3</sup>) に、固化材の単位量を 90kg/m<sup>3</sup> から 75kg/m<sup>3</sup> に変更し、また、第2端部充填材の提案配合は現行配合の固化材の単位量を 90kg/m<sup>3</sup> から 75kg/m<sup>3</sup> に変更するものである。端部充填材および第2端部充填材の重要な品質項目は空洞天端まで確実に立ち上がる隔壁を成すためのテーブルフロー値である。この観点からみると、端部充填材および第2端部充填材とも提案配合のテーブルフロー値は現行配合の値より大きくなっているがわずかな変動であり、性能上ほとんど差異はないと考えられる。一軸圧縮強さは固化材を減じることで大きく低下するが、品質目標値を上回るため問題はないと考える。

#### 5. まとめ

配合試験を通じて端部充填材の流動特性や強度特性等に与える水ガラスの効能を検討し、限定充填工法の端部充填材と第2端部充填材の水ガラスおよび固化材の使用量を低減した配合を提案した。ただし、この提案配合が実際の工事において隔壁形成の性能として十分かどうかを今後検証していきたい。ここに、研究にあたりご指導およびご協力いただきました一般社団法人充填技術協会 川本眺万会長(名古屋大学名誉教授)および富士開発(株)、太平洋セメント(株)、(株)東建商事、愛知資材(株)の関係者の皆様に感謝の意を表します。参考文献 1)空洞充填調査施工マニュアル(2016), 一般社団法人充填技術協会, 2016年5月