

空洞条件に適した充填材料の開発（その1） －充填材料の特徴と性能評価方法の検討－

(株)不動テトラ 正会員 ○高田 英典

正会員 伊藤 竹史 正会員 矢部 浩史

1. はじめに

近年、既設構造物下部に接する地盤や、河川堤体の樋門・樋管等構造物周辺に生じる空洞化現象が問題となっている。筆者らは、これまで杭や鋼矢板の引抜き後の空洞充填を対象とし、砂圧入式静的締固め工法で用いられる流動化砂の空洞充填への適用性を検討してきた¹⁾。

ここで、河川堤体や埋設管路周辺に生じた地下空洞は地下水位以深にあり、地下水の流れによって土砂流失が継続していることが想定される。その一方で、充填材料と原地盤との透水係数が著しく異なる場合、充填領域と原地盤の境界に水道が発生しやすく、空洞の再発が懸念される。このように、空洞の発生メカニズムは様々であり、充填材に求められる性能も異なっている。

そこで、筆者らは自然砂を主体としながらポンプ圧送可能であることに加えて、水中不分離性を有する充填材料や、流動化砂に固化材を添加することで透水性を有する充填材料の開発を目指した。本稿では、新たに開発した充填材料の特徴と性能評価結果について報告する。

2. 充填材料の特徴と材料製造方法

2.1 不透水性充填材料

不透水性充填材料には、砂に粉末ベントナイトとアニオン系流動化剤 L1（直鎖型高分子材料で主成分はポリアクリルアミド）を攪拌混合し作製した。また、材料の流動性を確保するために含水比調整水と界面活性剤を添加し、充填後に材料が固化するよう高炉セメント B 種を添加した。

図-1 に使用した材料砂の粒度分布を示す。材料砂の自然含水比は $w=10.8\%$ であり、粉末ベントナイトはホーゲン社製、乾式フルイ残分 10.0% 以下($53\mu\text{m}$)を使用した。写真-1 の充填材料の様子から、充填材料がポンプ圧送され、水中に投入されても希釈されない性能を有していることがわかる。

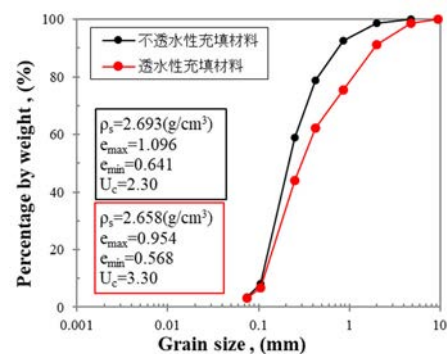


図-1 材料砂粒度分布



写真-1 充填材料

2.2 透水性充填材料

透水性充填材料には、砂に高炉スラグ微粉末と消石灰、アニオン系流動化剤 L1 とその流動化剤の凝集作用があるカチオン系塑性化剤 P1 を攪拌混合し作製した。この充填材料は、流動化剤が保水することで管内の通過や地中へ圧入できる流動性と、充填後、高炉スラグ微粉末と消石灰による材料の固化を実現したものである。図-1 に使用した材料砂の粒度分布を示す。材料砂の自然含水比は $w=10.5\%$ であり、高炉スラグ微粉末は JIS 規格品、比表面積 $3500\sim 5000\text{ cm}^2/\text{g}$ を使用した。消石灰は、水酸化カルシウム濃度 95% 以上を使用した。写真-1 の充填材料の様子から、充填材料が自然流動する流動性を有していることがわかる。

3. 充填材料の施工性評価試験

3.1 不透水性充填材料

不透水性充填材料のポンプビリティを把握するために作成直後の試料を用いて評価試験を実施した。試

キーワード 空洞充填, 充填材料, 不透水, 透水性

連絡先 〒103-0016 東京都中央区日本橋小網町 7-2 TEL 03-5644-8533

験方法について以下に示す．なお，詳細な試験方法については既往文献²⁾を参照されたい．

3.1.1 テクスチャー試験

図-2 に示すテクスチャー試験装置（山電社製）を用い，室温下，所定容器（直径φ=80 mm，高さ h=30 mm）に試料を充填し試験装置に設置した．試料への貫入は，シリンダー(直径φ=40 mm)を貫入速度 2.5 mm/sec とした．

「変形性」の試験では，試料上面から 20 mm の貫入及び引拔を 2 回行い，1 回目と 2 回目の貫入エネルギー比(A2/A1)を計測した．「変形性」が 1.0 に近いほど，1 回目の貫入において材料は破断に至らず，2 回目の貫入時にも材料性状が変化していないと考えられる．「減衰性」の試験は，試料上面から 4mm 貫入及び引拔を行い，1 回目と同様に 9 回貫入及び引拔を行った．減衰性とは，1 回目の貫入応力に対する各回の貫入応力の比の平均値を指す．「減衰性」も 1.0 に近いほど，繰り返し荷重を受けても，塑性変形せず材料が元の状態に戻ると考えられる．

3.1.2 水中投下試験

試験は，室温下，メスシリンダーに水道水を満たした後，その開口部から試料(X ml)を水中に重力投下した．水中投入後，静置した試料拡散体積(Y ml)を計測し，充填性((Y)/(X))を求めた．また，試料投入後の上澄み溶液を採取し，濁度計により濁度を測定した．

3.1.3 試験結果

不透水性材料の評価試験結果を表-1，貫入回数～減衰性関係を図-3 に示す．試験結果から，不透水性材料は弾性領域が広い構造を有しており，ポンプ圧送の繰り返し荷重を受けても塑性化せず，ポンパビリティの高い材料であると考えられる．加えて，水中投下試験の結果から十分な水中不分離性を有していることが示された．

今後の課題として，材料の施工性評価試験に加え実験施工によるポンプ圧送実験等を実施し，評価試験結果と圧送時の施工性の関係を把握する必要がある．

3.2 透水性充填材料

透水性充填材料の施工性確認試験では，既往の研究¹⁾や砂圧入式静的締固め砂杭工法の流動化砂判定試験³⁾を参照し試験を実施した．試験結果を図-4 に示す．試験結果から，経過時間を考慮した各種試験値が基準値を満足したため，ポンプ圧送可能な施工性を満足する材料であることが確認された．

4. まとめ

本研究では，様々な空洞充填を想定し，砂を主体としながらポンプ圧送可能な不透水性充填材料や透水性充填材料の開発を行った．充填材料の性能を把握するために性能評価試験を実施し，不透水性充填材は弾性領域が広い構造の材料であることが示された．透水性材料は既往の施工性評価試験からポンプ圧送可能な施工性を有していることが示された．次稿（その2）では「透水試験」「三軸圧縮試験」により材料の力学的性能を確認した結果について報告する．

参考文献 1)高田ら：流動化砂を用いた既存杭引抜き跡への充填工法の適用，第 54 回地盤工学研究発表会，K-07，0643，2019.7
2)高田ら：水中下での空洞充填に適した材料の開発，第 57 回地盤工学研究発表会，22-11-3-07，2022.7
3) 砂圧入式静的締固め工法研究会：砂圧入式静的締固め工法 設計施工マニュアル，pp.11，平成 27 年 7 月

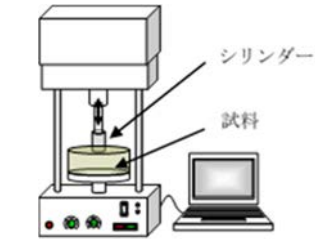


図-2 テクスチャー試験装置

表-1 不透水性材料 性能評価試験結果

テクスチャー試験	
貫入応力 (Pa)	913
貫入エネルギー (J/m³)	223
付着性 (J/m³)	128
変形性	0.980
減衰性	0.933
水中投下試験	
上澄濁度	20 以下 (測定下限値)
充填性	1.03

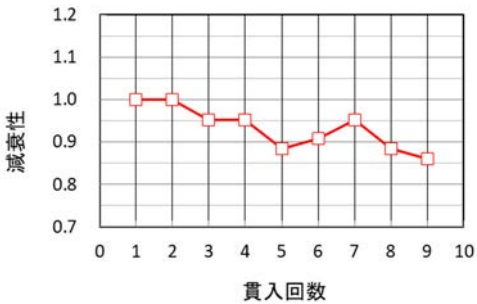


図-3 「減衰性」試験結果

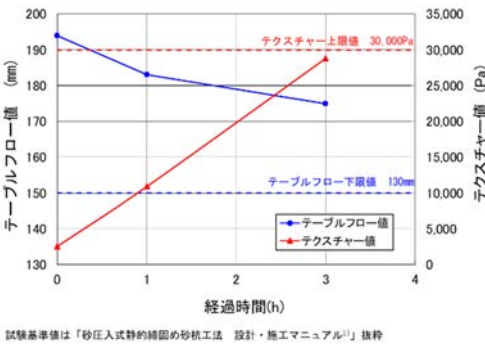


図-4 透水性材料 施工性確認試験