

空洞条件に適した充填材料の開発（その2）
－充填材料の透水・力学的特性－

(株)不動テトラ 正会員 〇矢部 浩史
正会員 伊藤 竹史 正会員 高田 英典

1. はじめに

近年、既設構造物下部に接する基礎地盤、例えば河川堤体の樋門・樋管等構造物周辺の地盤に生じる空洞化現象が問題となっている。この空洞の発生には様々な条件が起因しており、その条件に応じて用いる充填材料にも様々な性能が要求される。

筆者らは、様々な要求性能に対応できる充填材料を目指し、自然砂を主体としながらポンプ圧送可能で、水中不分離性を有する材料と、透水性を有する材料の開発を行った。

前稿（その1）では、開発した充填材料の特徴や性能評価、施工性評価について調べた結果を報告した。本稿では、充填材料の透水・力学的性能を把握するために実施した透水試験と三軸圧縮試験結果を記す。

2. 試料作成および試験方法

試験試料には（その1）で示した不透水性充填材料と透水性充填材料を用いた。いずれの試料もホバートミキサーで攪拌混合した後、ブリージング袋に投入して恒温環境で28日間の養生を行い、養生後、直径50mm、高さ100mmの円柱供試体に成型した。写真-1に供試体成型状況を、写真-2に成型後の試験供試体を示す。

透水試験は地盤工学会基準「低透水性材料の透水試験方法」（JGS 0312-2018）に準拠し、三軸試験装置を用いる透水試験方法で実施した。供試体は、ブリージング袋の中央付近から採取し、供試体とメンブレンの境界の通水を防止するためベントナイトを供試体周面に塗布した。供試体を三軸セル内に設置し、二重負圧法により通水飽和させた後、背圧荷重を200kPaまで、有効拘束圧100kPaで等方圧密を行い、その状態で透水試験を実施した。供試体条件を表-1に示す。

三軸圧縮試験は地盤工学会基準「土の圧密排水（CD）三軸圧縮試験方法」（JGS 0524-2020）に準拠し、有効拘束圧は50,100,200kPaの3条件で、せん断載荷時は載荷速度0.1%/min、軸ひずみ20%まで行った。表-2に各供試体条件を示す。

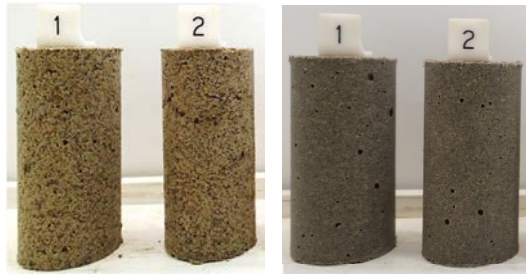
3. 透水試験結果

3.1 不透水性充填材料

表-1の結果より透水係数は $k=3.90\sim5.14\times10^{-9}\text{m/s}$ となり、遮水性が保持できそうな値となった。なお材料砂の10%粒径 $D_{10}=0.120\text{mm}$ からHazenの式で推定される透水係数は $k=1.23\times10^{-4}\text{m/s}$ であるが、圧送性を付与するためにベントナイトと高分子剤を加えたことで、ベントナイト粒子の平板状結合物が形成されたものと思われる。そしてこの結合物が水の侵入を防ぐとともに、充填材の固結によって不透水な材料が形成されたものと推察される。



写真-1 供試体成型状況



(不透水性材料) (透水性材料)
写真-2 成形後の試験供試体

表-1 透水試験供試体条件と結果

不透水性供試体		
供試体No.	1	2
湿潤密度 (g/cm ³)	1.538	1.522
含水比 (%)	76.9	74.2
乾燥密度 (g/cm ³)	0.869	0.874
透水係数 (m/sec)	5.14×10^{-9}	3.90×10^{-9}
透水性供試体		
供試体No.	1	2
湿潤密度 (g/cm ³)	1.838	1.835
含水比 (%)	24.3	25.4
乾燥密度 (g/cm ³)	1.479	1.463
透水係数 (m/sec)	3.86×10^{-7}	3.33×10^{-7}

キーワード 空洞充填, 充填材, 透水試験, 三軸圧縮試験
連絡先 〒103-0016 東京都中央区日本橋小網町 7-2 TEL 03-5644-8533

3.2 透水性充填材料

試験による透水係数は $k=3.33\sim3.86\times10^{-7}$ m/s であり、不透水性材料に比べると透水性を有しているが、透水材料として期待した値より小さい結果となった。ただし、通水後1時間までの透水係数は $k=1.13\sim1.28\times10^{-6}$ m/s であり、通水した脱気水には供試体内の高分子剤が溶出し、端部のろ紙が目詰まりを起こした可能性もあるので1時間までの測定値が真値に近いとも推察される。なお材料砂の10%粒径 $D_{10}=0.111$ mm から、推定式による透水係数は $k=1.44\times10^{-4}$ m/s 程度であるが、これも材料砂に流動性を付与するために添加する高分子剤と、充填材の固結によって透水性が下がっているものと思われる。

4. 三軸圧縮試験結果

4.1 不透水性充填材料

図-1に試験結果を示す。軸差応力～軸ひずみ関係では、いずれの有効拘束圧の試験においても軸ひずみ20%までピーク強度が現れない軸差応力が増加したままの状態となった。体積ひずみ～軸ひずみ関係では、供試体は圧縮を続けており、有効拘束圧によらず体積ひずみは10%程度であった。供試体は乾燥密度や含水比の値から非常に水分を含んだ緩詰め状態であり、そのため収縮的挙動（負のダイレイタンス）が表れている。しかし強度定数(c, ϕ)は、充填材料としてある程度の強度を有しており、充填材料に含まれる高炉セメントが強度に寄与したものと思われる。

4.2 透水性充填材料

上記と同様に図-2に試験結果を示す。軸差応力～軸ひずみ関係では、いずれの有効拘束圧においても曲線に明確なピークが現れ、ピークに達した後の挙動はひずみ軟化を示し、残留状態へと至った。体積ひずみ～軸ひずみ関係では、ピーク強度直前まで供試体の体積収縮が続いているが、ピーク強度時は体積膨張に転じており、残留状態では緩やかに体積膨張が続いている。この体積ひずみの変化は、拘束圧が小さいほど収縮から膨張へと転じる挙動が大きい拘束圧依存性が確認できる。透水性材料は、ポンプ圧送可能な流動性を有しているが、充填後は密な砂と同様の挙動と強度を示している。

4. まとめ

本研究では、空洞条件に適した充填材料の開発を行った。水中不分離性を有する充填材料は、透水試験より遮水性を有した結果となり、また三軸試験より緩い砂の挙動を示したが、同時にある程度の強度も確認できた。透水性を有する充填材料は、十分は透水性を有する結果を確認できなかった、充填後には密な砂と同様な挙動と強度を示す結果を得た。

表-2 三軸試験供試体条件

不透水性供試体			
供試体No.	1	2	3
湿潤密度 (g/cm ³)	1.552	1.56	1.55
含水比 (%)	71.6	69.8	71.0
乾燥密度 (g/cm ³)	0.904	0.919	0.906
有効拘束圧 (kPa)	50	100	200
透水性供試体			
供試体No.	1	2	3
湿潤密度 (g/cm ³)	1.82	1.847	1.84
含水比 (%)	26.0	26.3	25.9
乾燥密度 (g/cm ³)	1.444	1.462	1.461
有効拘束圧 (kPa)	50	100	200

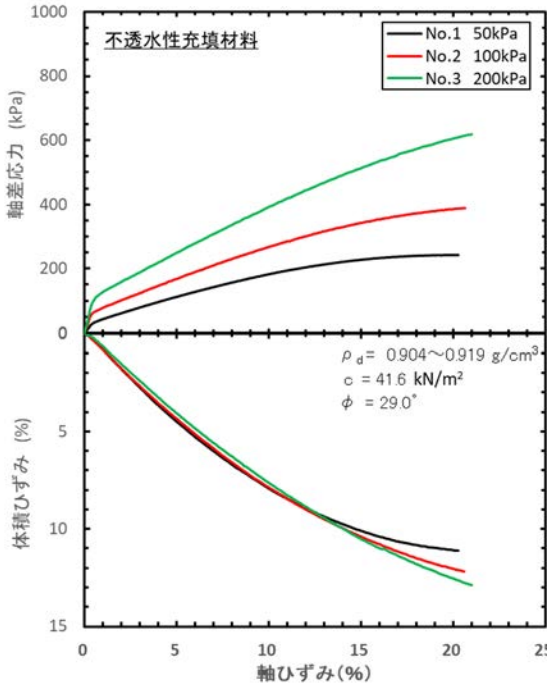


図-1 三軸試験結果(不透水性充填材料)

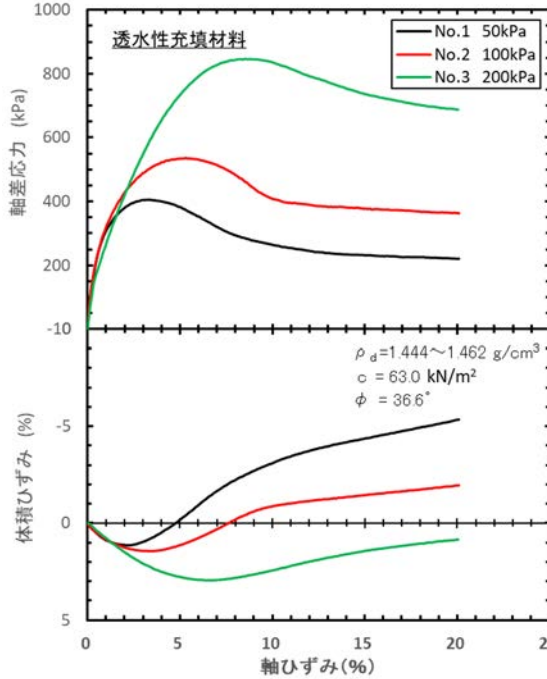


図-2 三軸試験結果(透水性充填材料)