第Ⅲ部門　　ソイルベントナイト鉛直遮水壁の遮水性能に及ぼす母材の影響

京都大学大学院　学生員　○田村 成仁　　京都大学大学院　正会員　高井敦史
京都大学大学院　正会員　乾　徹　　京都大学大学院　正会員　勝見　武
京都大学大学院　最上 裕生　　ライト工業(株)　正会員　荒木　進

1. はじめに

土壌汚染対策法の改正施行により土壌汚染への対策は今後益々重要となると考えられるが、既存構造物下に汚染土壌が存在した場合、汚染土壌の積極的な浄化や除去は難しい。そこで有効なのが、汚染土壌を遮水工で囲むことで地下水による汚染の拡散を防ぐ原位置封じ込め工法である。TRD 工法により原位置土にベントナイトを添加、混合・攪拌することにより造成されるソイルベントナイト混合土(以下、SBM)鉛直遮水壁は高い遮水性、自己修復性を有する遮水壁としてその適用性が確認されている [1)]。本研究では、母材の粒度特性及び化学特性が SBM 遮水壁の遮水性能に与える影響を定量的に評価することを目的として、柔壁型変水位透水試験を実施した。

2. 実験方法

2.1　試料土の作製　砂地盤を想定し、水道水を用いて自然含水比状態に調整した 3 種類の砂質土（砂 A、B、C）を母材として用いた。また、砂礫層 25 m、粘土層 4 m の地盤中での打設を想定し、含水比を調製した砂（砂 A、B）と深草粘土を 25 : 4 の質量比で混合した試料(以下､混合土 A および B)についても同様に SBM を作製した。これら 5 種類の母材の粒径加積曲線を図-1 に示す。図に示すように砂 A と C の粒度は類似しているが、細粒分含有率や最大粒径が異なる材料である。また砂 B は砂 A、C と比べ粒度幅が広い材料である。これらの土質材料に、フロー値（JIS R 5201 に準拠）が 150 mm となるようベントナイトスラリーを添加した後、所定量の粉体ベントナイトを添加し、十分に混合を行った。いずれの母材についても、粉体ベントナイト添加量(以下、C_{BP})を 25 kg/m^3、50 kg/m^3、100 kg/m^3 の 3 通りで SBM を作製した。

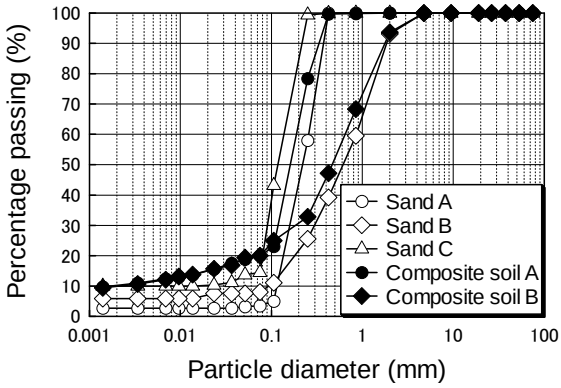

図-1 母材の粒径加積曲線

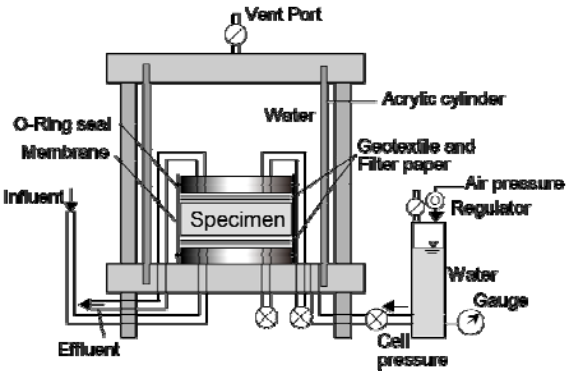

図-2 柔壁型透水試験模式図

2.2　柔壁型変水位透水試験　柔壁型透水試験の模式図を図-2 に示す。柔壁型透水試験は図-2 に示すように、周囲の水圧によって、ゴムメンブレンと供試体を密着させることで、側壁漏れを極力防ぎながら供試体の透水係数の測定を行える試験であり、粘土ライナーや SBM 等、低透水性材料の遮水性能評価に用いられている [1)]。本研究では、遮水壁が十分な遮水性能を持つ性能基準として、土壌汚染対策法が遮水工に定める要求事項より、汚染物質のトラベルタイムを基に算定した「透水係数が 1.0×10^{-9} m/s 以下であること」とした。

2.3　試験方法　湿潤密度が 1.80 g/cm^3 となるよう試料土を圧密セル内（直径 6.0 cm、高さ 2.0 cm）に充填した後、脱気水に浸し、供試体の飽和度を高めた。その後、第一段階として 19.6 kPa で 48 時間、第二段階として 39.2 kPa で 48 時間予備圧密を行った。予備圧密終了後、供試体を透水試験装置にセットし、透水試験装置を組み立てセル内に水を注いだ。拘束圧は 30 kPa とし、動水勾配は C_{BP}＝100 kg/m^3 のときのみ約 50、それ以外の配合では全て動水勾配が約 30 となるよう水頭差を与えて透水を行った。

Naruhito TAMURA, Atsushi TAKAI, Toru INUI, Takeshi KATSUMI, Hiroki MOGAMI, and Susumu ARAKI
takai.atsushi.2s@kyoto-u.ac.jp

3.実験の結果および考察

3.1 C_{BP}が透水係数に及ぼす影響　透水試験より得られた、砂 A、B、C の C_{BP} と透水係数の関係を図-3 に示す。いずれの土質材料を母材にした SBM も、C_{BP} の増加に伴い透水係数が低下した。C_{BP}＝100 kg/m^3 の時の SBM はいずれも 10^{-11} m/s オーダーの低い透水係数を示し、母材単体の透水係数と比較すると 6 オーダー低下した。しかし、砂 A では C_{BP}＝50 kg/m^3 で、砂 B 及び C では C_{BP}＝25 kg/m^3 で、それぞれ性能基準である透水係数 1.0×10^{-9} m/s を満足しない結果となった。

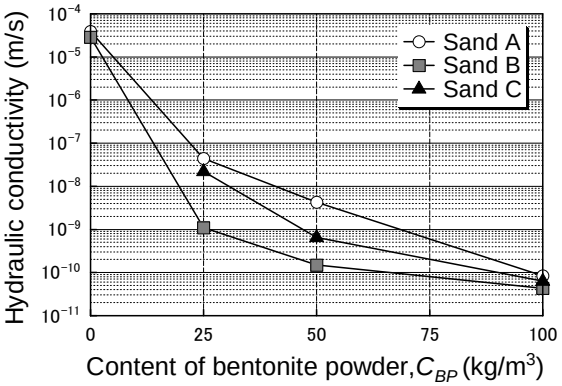

図-3 透水試験結果(砂 A,B,C)

3.2 母材の粒度分布が透水係数に及ぼす影響　図-3 より砂 A、B、C を母材とした SBM の透水係数を比較すると、いずれの C_{BP} においても、砂 B を母材とする SBM の透水係数が最も小さくなった。これは表-1 に示すように、C_{BP} によらず砂 B を母材とする SBM の間隙比が最も小さいためであると考えられる。また、類似した粒度であるが、細粒分含有率や最大粒径が異なる砂 A と砂 C を比較すると、細粒分を多く含む砂 C の透水係数の方が小さくなった。砂 C を母材とする SBM の方が、砂 A を母材とする SBM より間隙比が大きいにも関わらずこの結果が得られたのは、母材の細粒分の影響が大きかったためと考えられる。以上のことから、母材の粒度特性が SBM の遮水性に大きく影響を及ぼすと考えられる。

表-1 透水試験終了後の SBM の間隙比

	C_{BP} (kg/m^3)		
	25	50	100
Sand A	0.91	0.93	0.96
Sand B	0.72	0.78	0.81
Sand C	1.02	1.02	1.16
Composite soil A	0.71	0.71	0.83
Composite soil B	0.51	0.51	0.59

3.3 母材の化学特性が透水係数に及ぼす影響　砂 A、B 及び混合土 A、B を母材とする SBM の C_{BP} と透水係数の関係を図-4 に示す。C_{BP}＝0 kg/m^3 の時の砂 A と混合土 A の透水係数を比較すると、砂 A に深草粘土を混合した混合土 A の方が、透水係数が小さくなっていることが分かる。この傾向は砂 B と混合土 B においても同様に見られる。これは深草粘土を混合したことにより混合土の細粒分が多くなったためと考えられる。しかし、ベントナイトを添加した時の砂 A と混合土 A 及び砂 B と混合土 B を比較すると、ほぼ全てのケースにおいて深草粘土を混合したケースの方が、深草粘土を混合しないケースよりも透水係数が高くなった。表-2 に深草粘土に対して環境庁告示 46 号試験に準じて作製した検液の化学特性を示す。この結果から、深草粘土の pH は低く、Ca や Mg といったカチオンを土中に含有していることがわかる。このことから、深草粘土を添加したことにより母材の土中間隙水中の二価カチオン濃度が高くなり、ベントナイトの膨潤が阻害され、結果として SBM の透水係数が増加したものと考えられる。

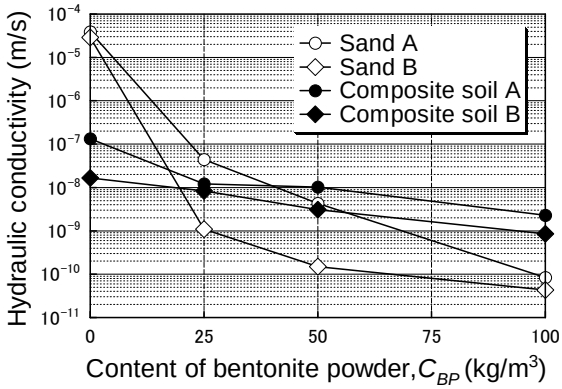

図-4 透水試験結果(砂 A,B 及び混合土 A,B)

表-2 深草粘土の化学特性

pH	3.2
EC(mS/cm)	2.3
Ca (mg/L)	200
Mg (mg/L)	190

4.結論

全てのケースで C_{BP} の増加に伴い透水係数が低下したが、細粒分や間隙比等の影響を受け、得られる透水係数に差異が生じることが明らかとなった。また、C_{BP}＝100 kg/m^3 の SBM は、深草粘土を母材に含まない場合は 10^{-11} m/s オーダーの低い透水係数を示したが、深草粘土を母材に含む場合は細粒分が増加しているにも関わらず、深草粘土のカチオン、pH の影響を受け、10^{-9} m/s オーダーに透水係数が上昇した。これらのことより、SBM はベントナイト添加量だけではなく、母材の化学特性や粒度特性にも大きく影響されることが確認された。

参考文献

1) 高井 敦史, 乾 徹, 勝見 武, 嘉門 雅史, 荒木 進（2012）: ソイルベントナイト連続遮水壁の遮水性能に及ぼす影響因子，土木学会論文集 C（地圏工学），Vol.68，No.1，pp.1-14.