

変形追随遮水壁「アクアソイルF-W工法」の開発

高橋 真一 阿部 和久
(本社エンジニアリング本部)

黒岩 正夫
(本社エンジニアリング本部)

Development of Hydraulic Cutoff Material by Geotechnical Application of “AQUASOIL F-W”

Shinichi Takahashi Kazuhisa Abe
Masao Kuroiwa

Abstract

“AQUASOIL F[®]”, a material made by fine sand as a main material with appropriate bentonite and water, has deformation tracking properties. The AQUASOIL F-W method is a method of installing a vertical barrier wall of approximately 5 cm thick into the ground, by the method of casting this material using the pull-out space of the sheet pile. In this study, we confirmed the following: (1) AQUASOIL F[®] has the required fluidity for pumping, (2) Its coefficient of permeability is less than 10^{-7} cm/sec, and (3) A barrier wall as described above can be constructed by pumping from the tip of the pile sheet to the hollow portion, after drawing the pile board.

概 要

アクアソイルF[®]は、砂を主材料として適切なベントナイトと水の配合で、変形追随性を有する材料である。水量が少なく変形特性を発揮するためブリーディングが発生せず、安定した材料である。

アクアソイルF-W工法は、同材料を矢板の引抜き跡を利用した充填方法によって地中に厚さ5cm程度の鉛直遮水壁を設置することで、処分場や封じ込めで求められる遮水性能確保が可能である。この論文では、(1)ポンプ圧送に必要な材料の流動性、(2)遮水性能を発揮できる難透水性(目標透水係数 10^{-7} cm/sec以下)の確認、(3)ポンプ圧送で矢板引抜き後の空洞部に矢板先端から圧入可能、を現場適用で確認した。

1. はじめに

土質系遮水材は、変形追随性が求められる遮水構造部の充填材として、変形追随性、長期耐久性などの観点から非常に安定性に優れた材料である。

著者らはこれまでに、Fig. 1に示すような母材に砂質系材料を用いることで、材料の密度が大きく、充填後材料変化もなく、圧密沈下量が小さい特徴を持つ土質系遮水材「アクアソイルF[®]」を開発し、室内試験¹⁾、遠心模型実験²⁾、ならびに施工実験³⁾によって性能確認を行った。この既往の実験では海面管理型処分場における鉛直護岸の鋼管矢板継手部の遮水材料を想定し、海水条件下での土質遮水性能を確保するため、砂質土を骨格に耐海水性能の高いベントナイトを適量配合した。その結果圧縮沈下がきわめて少なく、透水性が低い変形追随遮水材料であることを確認した。母材に砂質系材料を利用する方法は、一般的な地下水環境でも遮水効果が期待できる。また使用する充填ポンプの種類に対応するため、施工性を考慮した材料を開発するために、「アクアソイルF」の配合技術を活用し、遮水性能を有する「アクアソイルF-W工法」を開発した。

本遮水壁「アクアソイルF-W工法」は、高い遮水性能と変形追随性を併せ持つ遮水材「アクアソイルF」を使用し

た土質系遮水壁工法である。セメントや芯材等を含まず、遮水材は固化しても粘土程度の硬さであるため、地中障害物にはならない。

また、本遮水壁の施工に必要な設備は、いずれも汎用されている鋼矢板とその充填・引抜き機材および、遮水材の製造・充填機材で、特殊な機材は不要である。

本文では、開発したアクアソイルF-W工法の特徴と、実務適用した「汚染封じ込めに利用できる変形追随性のある土質系遮水壁」の施工例を紹介する。

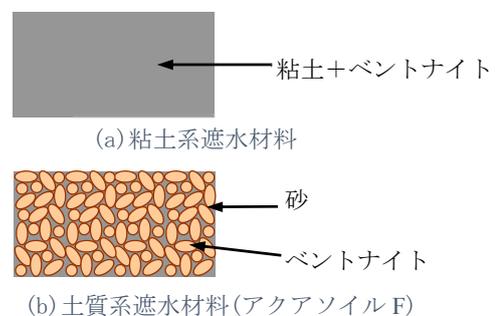


Fig. 1 従来型の粘土遮水材料とアクアソイルF Barrier System Using Sand and Bentonite

2. 「アクアソイルF-W工法」の材料の特徴

アクアソイルF-W工法では、材料にアクアソイルFを遮水材料として利用し遮水壁を構築する工法である。Table 1 にアクアソイルFの配合例を示す。この材料は比較的大量に砂を使用することで、以下のような特徴を有する。

- 1) 砂粒子相互の間隙は、ベントナイト主体のペーストで埋める。これは、コンクリートにおいて粗骨材の間隙を埋めて強度や遮水性を担っているセメントモルタルの役割に似ている。砂を 1,300～1,400kg/m³ 程度配合した場合、砂粒子が相互に接触し、自重沈下や収縮を防止して密度の大きい充填材ができる。
- 2) 砂が体積率で4～5割を占める。砂は安価であるためアクアソイルFは経済的に有利である。
- 3) 砂粒子自体は不透水であることから、アクアソイルFの遮水性能は間隙を埋めるベントナイトの難透水性に依存するため、高い遮水性能を発揮する。
- 4) 水量を調整することで、施工性や地盤の変形追随に必要な柔軟な変形特性を有する。

既往のアクアソイルF^{1),2),3)}は、ベントナイト膨潤を阻害する海水利用環境という厳しい条件での遮水効果発揮が不可欠であったため、耐海水性を有する特殊なベントナイトの利用が必要であった。しかし一般地下水環境での遮水を目的とした場合には、ベントナイトの耐海水性能は重要ではなくなり一般的なベントナイトを利用できる。また、施工条件としてより狭い空隙への注入を想定した場合、母材(砂質土)の粒径の検討が必要となる。既往材料では粒径5mm以下のコンクリート用細骨材を利用したが、今回はポンプ圧送施工用に最大粒径を2.5mm以下に調整したスクリーニングスを主材料に用いた。

3. 材料特性

3.1 流動性

砂、ベントナイト、水と、必要に応じて添加材を加えた。配合は、砂、ベントナイト、添加材を設定した後、混練水量を調整して適度な流動性を確保した。流動性の確認はシリンダーフロー試験(NEXCO試験法A313；直径80mm、高さ80mm)によって確認した。今回の試料は、コンクリートポンプ車の圧送を想定した条件(コンクリート砕砂、フロー値12cm程度)に比べて、ポンプ圧送に対応するため最大粒径が小さいスクリーニングスを用いた。またコンクリートポンプより配管径が小さいモルタルポンプの圧送中の配管内の材料閉塞を回避するため目標フロー値を大きく設定した。配合結果をTable 2に示す。既往のコンクリートポンプ車充填を想定した配合に比べて、水分は10%程度多い配合条件となった。設定配合条件におけるシリンダーフロー試験の状況をPhoto 1に示す。

Table 1 アクアソイルFの配合例¹⁾

Mixture of Materials			
最大粒径		既往アクアソイルF	アクアソイルF-W用
配合	母材	コンクリート用骨材 Dmax=5mm	スクリーニングス材 Dmax=2.5mm
	母材(砂質土)	1436kg	1278kg
	ベントナイト	70kg	70kg
	間隙水	440kg	485kg
特性	湿潤密度	1.946g/cm ³	1.834g/cm ³
	流動性(フロー値)	11.6cm	14.8cm
	透水係数	3×10 ⁻⁷ cm/sec	1×10 ⁻⁷ cm/sec

(1m³当り)



(1) シリンダーフロー試験前



(2) フロー値の計測

Photo 1 シリンダーフロー試験による流動性の確認
Cylinder Flow Test



Photo 2 透水試験
Permeability Test using φ10cm Mold

Fig. 2 は配合試験から得られ水分量とフロー値の関係を示したものである。単位体積当たりの水量にはほぼ比例してフロー値が増加する。これは、施工方法に応じて必要な流動性(フロー値)を選定できることを示している。

Fig. 3 は水分量と湿潤密度の関係である。Fig. 1 で示した流動性調整のための水量増加に伴い湿潤密度は低下する。湿潤密度 1.8g/cm^3 を確保するためには、1L 当たりの水量を 500cm^3 程度以下となるよう配合を行う必要がある。

3.3 透水特性

Photo 2 に透水試験状況を示す。 $\phi 100\text{mm} \times \text{H}50\text{mm}$ の透水容器を利用し Table 2 で示した配合で作製したアクアソイル F を容器内に投入し、変水位透水試験を行った。透水試験は水頭差 20 cm 程度で進めた。Photo 3 は透水試験中のモールド周囲の漏水の例を示す。このようなモールド周囲の漏水が生じると透水量が過大になり、正確な透水試験結果が得られない。そのため、透水試験用供試体の作製にあたっては、試料投入前にモールド周囲に薄くベントナイトを塗布してモールド周囲からの漏水を防止して、透水試験を進め、安定した透水係数を得た。

Fig. 4 は Table 3 で示した配合試料で行った透水試験結果である。透水試験での通水開始から 4 日目程度で飽和し、その透水係数は $1 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ であった。実際の施工における混合状況を考慮して、ベントナイト量を 100kg/m^3 に増加させた条件で試験を行い、透水係数は $5 \times 10^{-8} \text{cm/sec}$ と上記条件よりも小さな透水特性の発揮を確認した。

4. 土質遮水壁の施工例

4.1 試験施工による遮水壁厚さの観察

先端に鋼板を溶接して遮水壁に必要な厚みとなるように加工した鋼矢板 (ハット型、有効幅 900mm) を用いて、サイレントパイラー圧入もしくはバイブロハンマー打設で遮水壁を構築する試験施工を行った。

鋼矢板は、Photo 4 に示すように先端から遮水材(アクアソイル F)を吐出するための充填管を配置した。Photo 5 に示すように鋼矢板を所定深度(GL-4.2m)まで圧入(打設)後、一定速度で引き抜きながら遮水材を圧送、充填した。

Fig. 5 には試験施工の打設平面図を示す。ハット型鋼矢板を 8 枚連続して打設して合計幅 7.2m、深さ 4.2m の遮水壁構築を行った。

地中への遮水材充填完了後、地表面から深さ 1.5m まで掘削して出来形を調査した。Photo 6、Photo 7 に観察状況を示す。鋼矢板間の継手部を含めて、遮水壁としての連続性が水平方向において確保されていることが確認できた。また、遮水壁の壁厚については、計画厚さ 50 mm に対して Fig. 6 に示すように調査した最深部で 48~73mm と計測され平均厚さは平均 57mm となった。したがって計画厚さを確保していることが確認できた。



Photo 3 界面未対策時の透水試験の漏水状況
Permeability Test without Measures against Leakage

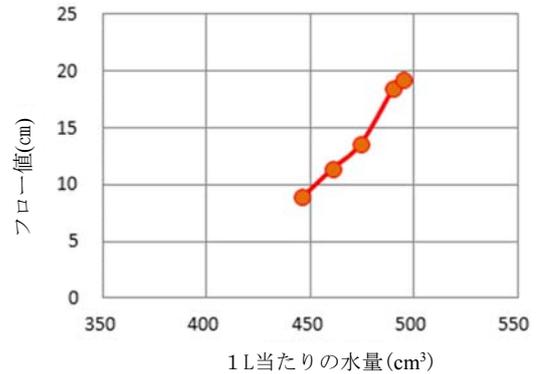


Fig. 2 配合水量と流動性(フロー値)
Water Content and Consistency

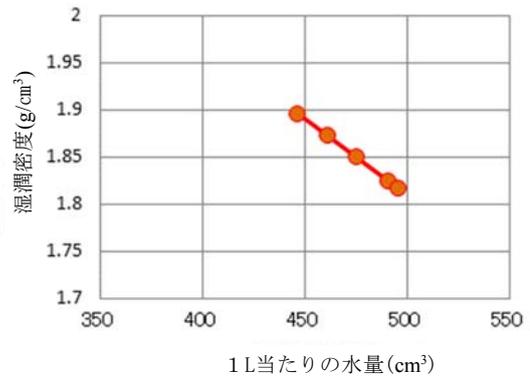


Fig. 3 配合水量と湿潤密度
Water Content and Wet Density

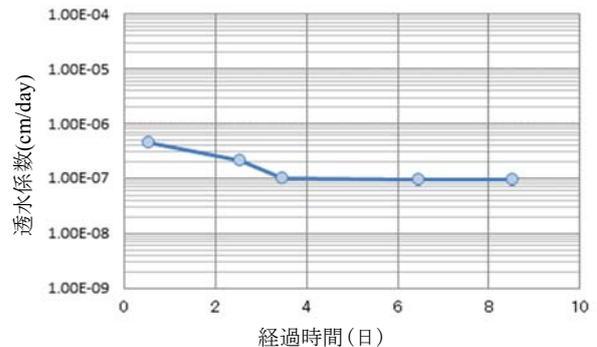


Fig. 4 透水係数
Result of Permeability Test



Photo 4 鋼矢板と充填管
Sheet Pile with Injection Pipe



Photo 5 鋼矢板の引抜き状況
Construction Situation of pull out Sheet Pile

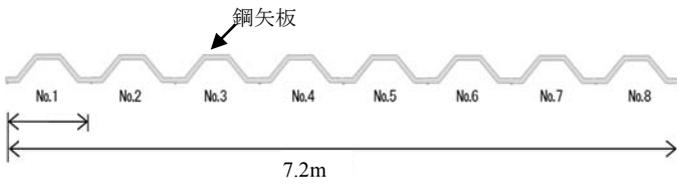


Fig. 5 鋼矢板の試験施工平面図
Layout of Sheet Piles



Photo 6 遮水壁の厚さ分布
Distribution of Thickness of Water Barrier Wall

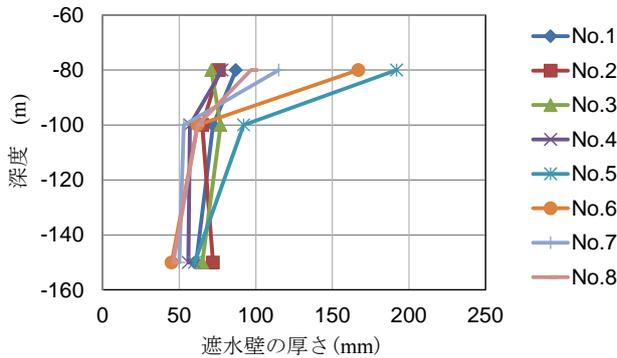


Fig. 6 遮水壁厚さの計測結果
Distribution of Thickness of Water Barrier Wall



Photo 7 鋼矢板の引抜き後の注入断面
Cross Section of Discharge Material

4.2 適用例

4.2.1 工事概要 施工場所の概略を、Fig. 7に示す。土壌・地下水の汚染があった範囲について土壌浄化処理確認後、撤去が必要となる公道ぎわの鋼矢板をサイレントパイラーで引抜きながら遮水材(アクアソイル F)を充填して、土壌浄化処理範囲の保全とともに矢板引き抜きに伴う周辺地盤の沈下を防止するための遮水壁構築を行った。

工事概要は、施工深度 GL-7.5~-8.0m, 延長 30.4m, 面積約 250m², 地盤状況は盛土 1~2m の下層にはシルト層が堆積している。地下水位は GL-1.5~-2.0m である。

アクアソイル F-W 工法の施工に先立ち土壌汚染範囲を鋼矢板で囲い込み、表層 1~2m は「掘削除去」、シルト層

2~6m は「原位置バイオ処理」による措置が行われ、土壌・地下水ともに環境基準に適合している。

4.2.2 遮水材(アクアソイル F)の製造・圧送 砂とベントナイトを二軸強制練りミキサーで一旦プレミキシングした後、加水して再度混合し遮水材を製造した。製造プラントを Fig. 8 に、混合開始直後の状況を Photo 8 に示す。

施工管理として、ミキサー混合完了後に、試料を採取し湿潤密度とフロー値が設計値の範囲であることを確認後、アジテータに移し替えた。練りあがり後、ポンプ圧送前のアジテータ内状況を Photo 9 に示す。その後、圧送ポンプをコントロールしながら、遮水材を圧送した。

土壌汚染対策範囲に鋼矢板(U形Ⅲ型)をサイレントパ

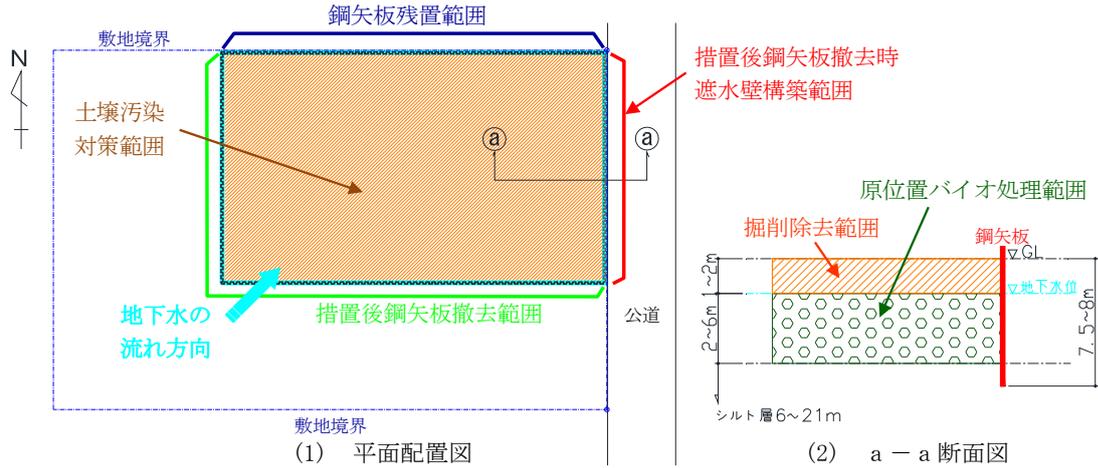


Fig. 7 施工概略図
Construction Schematic

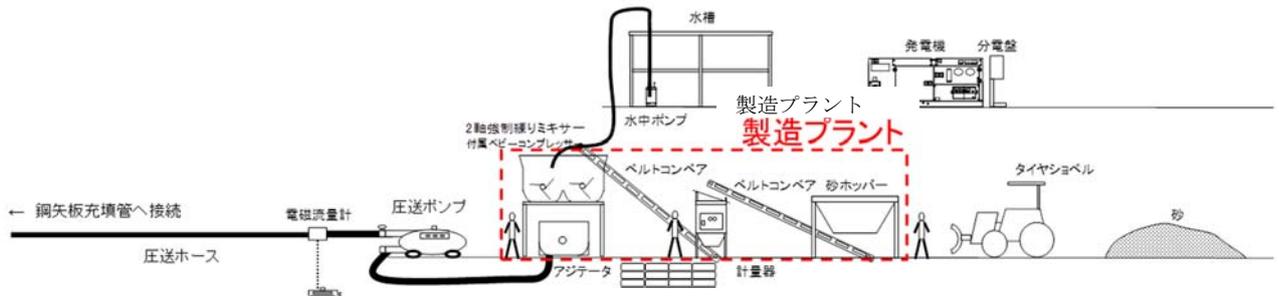


Fig. 8 製造プラント概略図
Construction System Schematic



Photo 8 混合開始直後
Before Material Mixing



Photo 9 混合完了後
After Material Mixing

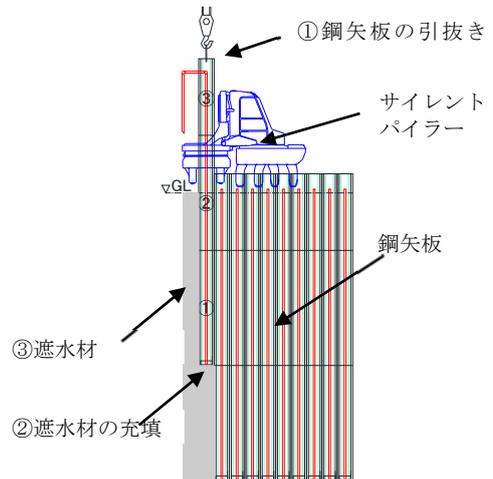


Fig. 9 施工手順
Construction Step

イラーで圧入(打設)する際、遮水壁(アクアソイルF-W)を構築する範囲には、事前に充填管を施した鋼矢板を適用し、土壤汚染対策工事終了後、鋼矢板をサイレントパイラーで引き抜きながら遮水材(アクアソイルF)を充填した。Fig. 9に充填過程の施工状況を模式的に示した。鋼矢板の先端部が地上に現れたところで引抜き充填を停止し鋼矢板1枚分の遮水材充填作業を終了した。

4.2.3 施工結果 遮水壁を施工した表層の一部を試掘したところ、前述の試験施工と同様に鋼矢板の形状で充填されており連続的に遮水壁が施工できていることを目視で確認した。

施工途中で遮水材(アクアソイルF)をサンプリングし、前述の試験手順で透水試験を行った。計画値「透水係数 $1.0 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 以下」に対して、透水係数は $3 \sim 7 \times 10^{-8} \text{cm/sec}$ であり、計画の透水係数が得られたことを確認している。

5. まとめ

砂を主材とする土質系遮水材「アクアソイルF」を用いて鋼矢板を利用した充填方法によって地中に厚さ5cmの鉛直遮水壁を設置することで、遮水能力を確保する遮水壁工法「アクアソイルF-W工法」を開発した。

狭隘な部分に施工するためポンプ圧送を想定した材料選定とともに、ポンプ圧送に適した流動性を確保する配合設計に対して、室内土質試験などの検討を進めた。一般地下水環境や狭隘な部分への施工を考慮した材料配合を検討し、以下の特徴を確認した。得られた主な結果を示す。

- 1) 使用する材料の最大粒径を考慮してスクリーニングスを用いて作製したアクアソイルF材料は、所定の流動性を有する配合に対して目標の透水係数 $1.0 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 以下の条件を満足する。
- 2) 製造した遮水材料の適切な流動性の確保で、ポンプ圧送中に配管内に閉塞することなく連続的に施工できた。
- 3) 充填管付鋼矢板の引抜き時にアクアソイルFを注入することで、所定の厚さを連続的に確保した遮水壁を構築できることを確認した。

参考文献

- 1) 塩田，久保，甚野，高橋：海面埋立処分場の鉛直継手部充填材の開発(その1)，土木学会第61回年次学術講演会，2006.9
- 2) 鳥井原，高橋，山田，西田，塩田：海面埋立処分場の鉛直継手部充填材の開発(その2)，土木学会第61回年次学術講演会，2006.9
- 3) 西田，小竹，石田，塩田，山田：海面埋立処分場の鉛直継手部充填材の開発(その3)，土木学会第61回年次学術講演会，2006.9
- 4) 産業廃棄物の最終処分場に係わる技術上の基準を定める命令，1988
- 5) (財)港湾空間高度化センター：管理型廃棄物埋立護岸設計・施工・管理マニュアル，2000.11
- 6) 阿部，石田，黒岩，高橋，塩田，田中：鋼矢板を利用した変形追随性のある土質系遮水壁の施工事例，第20回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会，2014.6