

横引き式遮水シートによる地下遮水壁構築工法 (ラテナビウォール工法) の開発

河田雅也¹・横山勝彦¹

¹正会員 清水建設株式会社 土木技術本部先端技術部 (〒105-8007 東京都港区芝浦一丁目2-3)

横引き式遮水シートによる地下遮水壁構築工法(ラテナビウォール工法)は、トレンチャー式地盤改良機で攪拌混合して造成したソイルセメント壁中にロール状に巻いた遮水シートを挿入し、巻きほぐしながら横引きして地下遮水壁を構築する工法である。現在開発されている施工システムでは、施工深度10m程度まで、1箇所の遮水シート展開長30m程度までの施工が可能である。従来の遮水壁工法は継手部が0.4～2.0m間隔で発生するため煩雑な継手作業を頻繁に行う必要があり、施工機械も大型であるが、本工法は、①継手の数を減らすことによる工期短縮と工費削減、②バックホウ程度の軽便なベースマシンを用いることによる機動性の向上、③継手の数を減らすことによる遮水性能の向上、が特徴として挙げられる。

キーワード: 廃棄物処分場、遮水壁、横引き式

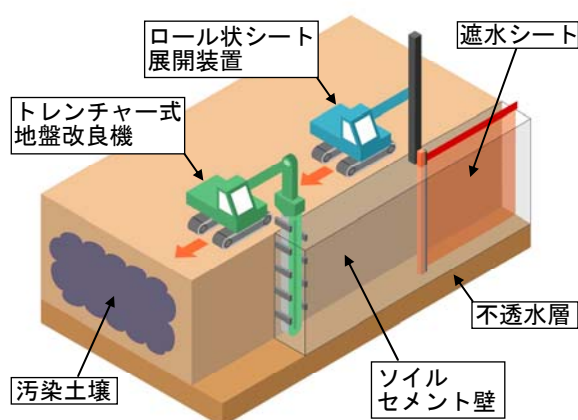


図-1 ラテナビウォール工法概要

1. はじめに

平成10年の旧厚生省通知(生衛発355号、衛環第8号、衛環第51号)により、一般廃棄物処分場の周辺地下水及び排水等の調査の実施と報告の指導がなされた。同調査により汚染が見られた処分場及び汚染の恐れのある処分場については、可及的速やかに廃棄物処分場の技術上の基準を定めた共同改正命令¹⁾等に整合するよう改善するか、適正に閉鎖する等の措置を講じなければならない。

対策として遮水壁による封じ込めが有効であるが、従来の遮水壁工法はシートパイルや遮水シートなどを鉛直に打ち込み、これらを順次繋ぎ合わせていくもので、継手部が0.4～2.0m間隔で発生するため、

煩雑な継手作業を頻繁に行う必要があり、工期が長く、工費が高くなるという課題があった。

ラテナビウォール工法(Laterally Navigated Sheet Wall Method)は、このような課題を解決すべく開発された、横引き式遮水シートによる継手の少ない地下遮水壁構築工法である。

2. 工法概要

ラテナビウォール工法は、図-1に示すように、トレンチャー式地盤改良機で攪拌混合して造成したソイルセメント壁にロール状に巻いた遮水シートを挿入し、巻きほぐしながら横引き展開して地下遮水壁を構築する工法である。

遮水壁の周辺環境は化学的に厳しい状態になり得ることも想定されるが、壁体は耐薬品性、耐久性に優れた遮水シートを主体とするソイルセメントとの複合構造であり、高い信頼性が期待できる。

遮水シート同士は、シート展開装置をソイルセメント部に挿入する際に、簡易な継手をかみ合わせて繋ぎ合わせる。

(1) 工法の特徴

本工法の主な特徴としては、以下の3点が挙げられる。

a) 工期短縮と工費削減

シート1枚当たり展開長を20～30mにできるため、

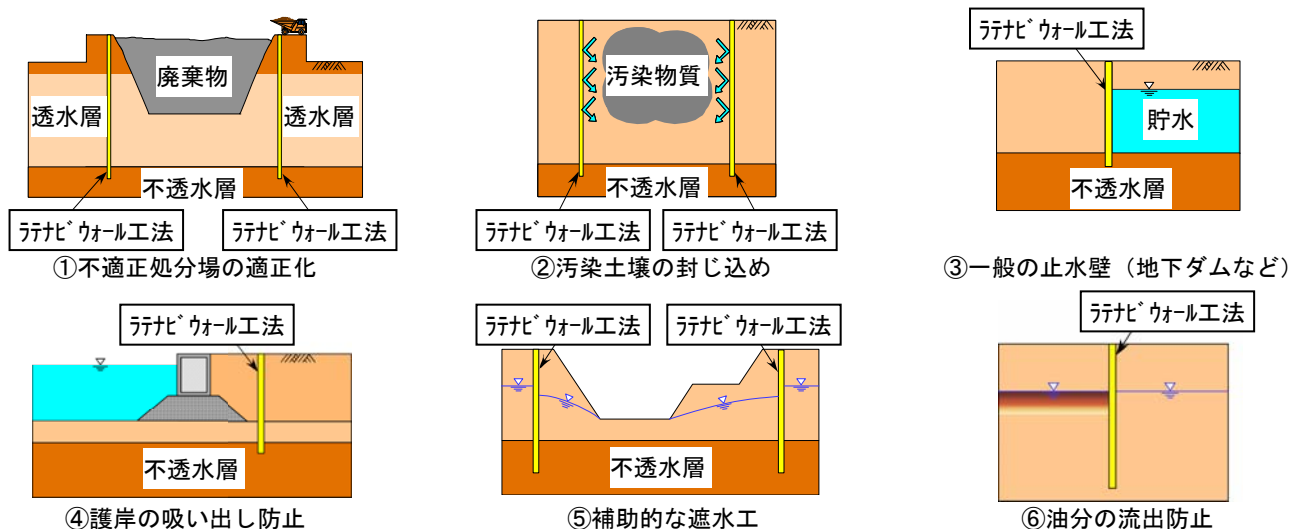


図-2 主な用途

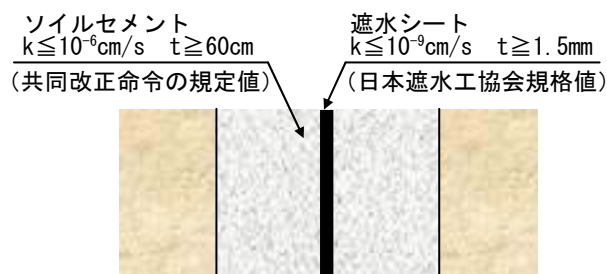


図-3 遮水構造概念

従来工法に比べ継手の箇所数を減らすことができ、工期短縮と工費削減が可能である。シート1枚当たりの展開長が20mの場合、従来工法（ソイルセメント壁＋鉛直挿入式シート工法）に比べて継手数を1/10以下にできるため、工期を40%短縮し、工費を25%削減することができる。

b) 機動性の向上

バックホウ程度の軽便なベースマシンを用いた施工システムなので、施工エリアの狭い現場、軟弱地盤や傾斜地等、大型重機を使用する従来工法では対応困難な施工条件下においても優れた機動性を発揮することができる。

c) 遮水性能の向上

遮水壁全体で見た場合の遮水性能は、遮水シートの連続性が途切れる継手部の遮水性能に支配されるが、本工法は従来工法に比べ継手の数を減らすことができるため、壁全体としての遮水性能を向上させることができる。

(2) 適用地盤と用途

本工法の適用地盤は、トレンチャー式地盤改良機で施工可能な地盤である。具体的には、粘性土の場

合 $N \leq 4$ 、砂質土の場合 $N \leq 8$ となっている。ただし、施工速度を犠牲にすれば相当固い地盤（粘性土で $N=15$ 、砂質土で $N=20$ 程度）でも施工可能である。一方、トレンチャー式地盤改良機で施工が困難な玉石混じり地盤や粗大廃棄物混入の地盤などは適用が難しい（こぶし大程度の礫であれば適用可能）。

適用深度は現在のところ 10m 程度までであるが、最終的に深度 15m 程度まで適用可能とすることを目標としている。深度 15m は、バックホウベースの機械で施工可能な限界深度である。

本工法の用途としては、図-2 に示すように、不適正処分場の適正化や汚染土壌の封じ込めの他、地下ダムのような一般の止水壁や護岸の吸い出し防止、補助的な背面遮水工等が考えられる。また、水より軽い油分等の流出防止壁としても有効である。

(3) 遮水構造

本工法は図-3に示すようなソイルセメントと遮水シートの複合構造である。継手部の遮水性能を確保するため、ソイルセメントは単独で法規制上必要な透水係数 10^{-6}cm/s 以下を確保することを前提としている。



写真-1 継手構造

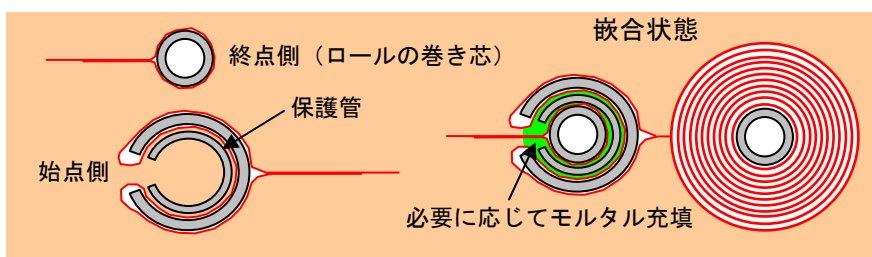
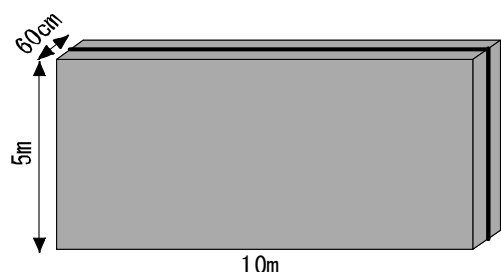


図-4 継手部断面



$$k = \frac{L}{h} \times \frac{Q}{A \cdot T}$$

k : 透水係数 (cm/s)
 L : 供試体の厚さ (cm)
 h : 水頭差 (cm)
 A : 断面積 (cm²)
 T : 透水時間 (s)
 Q : 透水量 (cm³)

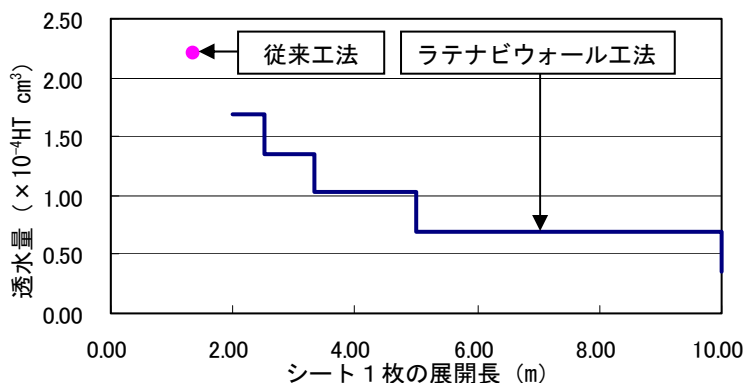


図-5 遮水シート 1 枚当たりの展開長の違いによる総透水量の変化

しかし、ソイルセメントが壁全体に亘って必要な遮水性能を有していることを確認するのは極めて困難であること、地震などによりソイルセメントにクラックが発生するような場合、必要な遮水性能を確保できなくなる恐れがあること、などの要因から複合構造を適用し、多重安全を図っている。

本工法の継手構造を写真-1 に、継手部断面を図-4 に示す。継手は施工性を考慮した簡易な構造である。終点側継手はシートで鋼管を巻き込んだ構造であり、シートロールの巻き芯となっている。始点側継手はシートでスリット付き鋼管を巻き込み、その内側にシート面保護のための保護管を挿入した構造となっている。遮水シート同士は、新規シートロールを装填したシート展開装置をソイルセメント部に挿入する際に、継手をかみ合わせて繋ぎ合わせる。

本工法のメリットとして、継手数の減少による壁全体としての遮水性能の向上が考えられるが、その効果について試算を行った。長さ 10m、深さ 5m の遮水壁を想定し、遮水シート 1 枚当たりの展開長を変化させた場合の総透水量の変化を図-5 に示す。参考までに、1 枚当たり 1.35m の遮水シートを打ち込む方式の従来工法で試算した結果も示す。継手数の減少に伴い遮水性能が向上し、計算上遮水シート 1 枚当たりの展開長が 1.67m 以上になると従来工法を上回る。

(4) 根入れ長

共同改正命令では、鉛直遮水工の施工範囲に関しては、「当該不透水性地層まで」と規定されており、いわゆる「根入れ」に関する具体的な記述は行われていない。よって根入れについては、根入れ長及び根入れ部の仕様を別途定める必要がある。

一般に鉛直遮水工の根入れに関しては、遮水構造物の表面に沿った地下水流を想定した浸透路長の考え方が適用されている。不透水性地層の厚さは 5m 以上 (透水係数 10⁻⁵ cm/s 以下) と規定されていることから、その半分の 2.5m の根入れ長 (H) を確保すれば、不透水性地層と鉛直遮水工の接触長さは 5m となり、整合性が取れる (図-6)。

根入れ部の仕様については、複合遮水工下端部のシート欠損部の遮水性が懸念されるが、本工法はソイルセメントのみで壁厚 60cm、透水係数 10⁻⁶ cm/s 以下を確保できる。よってシート欠損部においても、壁を浸透通過する流量は壁周囲を迂回する流量よりも少ないため、当該下端部に特別な処置は必要ない。

(5) ソイルセメントの配合

本工法の品質上の重要な管理項目として、ソイルセメントのみで透水係数 10⁻⁶ cm/s 以下を確保するという点が挙げられる。また、遮水壁としての機能には、強度は必ずしも必要ではない。ソイルセメントの流動性が小さいと透水係数も小さくなる傾向があ

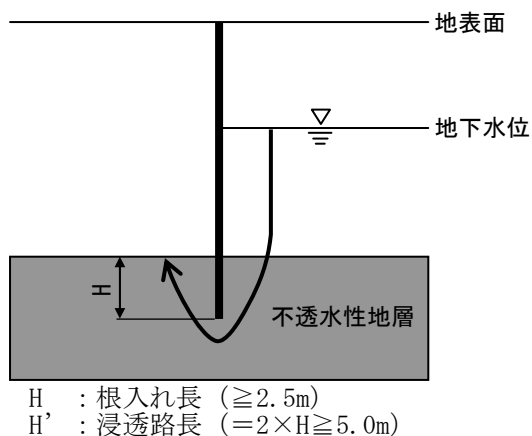


図-6 根入れ長の考え方

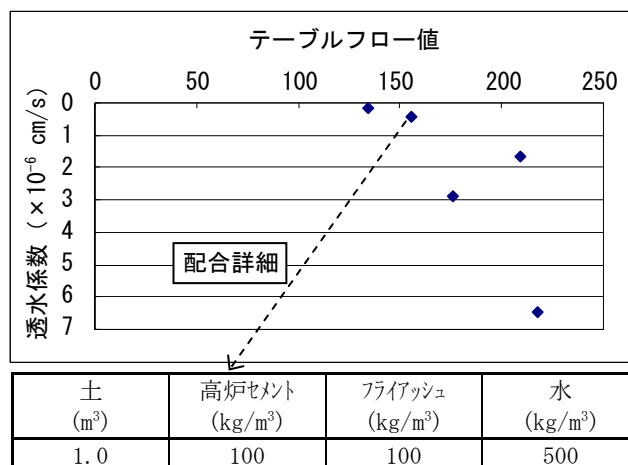


図-7 透水係数とフロー値の相関



写真-2 造成用機械

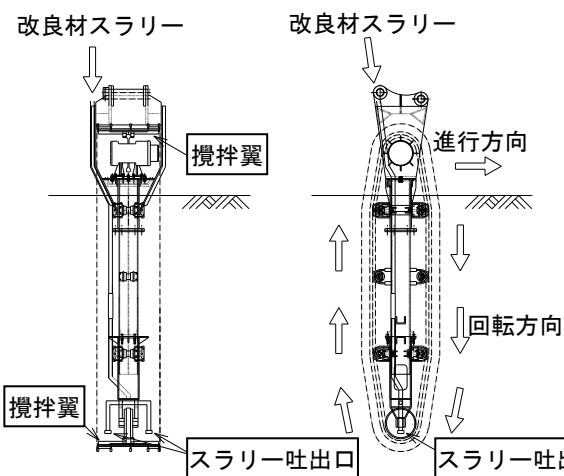


図-8 トレンチャー式攪拌混合機



写真-3 シート展開装置

るが、あまり流動性が小さいと遮水シートの横引き作業に支障が生じる。参考までに、砂質地盤での実験工事における透水係数とテーブルフロー値の相関を図-7に示す。これによると、テーブルフロー値が150程度以下の場合に、透水係数 10^{-6}cm/s 以下となっている。

(6) 施工機械と施工手順

本工法に使用されるソイルセメント壁造成用機械は、 $0.8\text{m}^3 \sim 1.9\text{m}^3$ クラスの改造型バックホウをベースマシンとし、アタッチメントとして油圧駆動構造のトレンチャー式攪拌混合機を装着している。トレンチャーの攪拌翼で原位置土をきめ細かに切削し改良材と攪拌混合することで、均一なソイルセメント壁を造成する（写真-2、図-8）。

ロール状シート展開装置は 1.0m^3 クラスの改造型杭打機をベースマシンとし、シートを装填、横引き作業ができるように、エアーシリンダー等の空圧機器とウインチ等を装備している（写真-3）。

本工法の施工は、ソイルセメント壁造成工程と、シート横引き展開＋継手施工工程とに大別される。施工手順を写真-4に示す。

3. 適用事例

本工法の適用事例2件を紹介する。

(1) 適用事例1

- ・工事名称：公開実験
- ・工事場所：千葉県
- ・施工時期：平成17年4月
- ・適用目的：本工法の一連の施工が可能であることの実証
- ・適用延長：10m（曲線部含む）
- ・適用深度：7m
- ・適用地盤：砂質地盤



手順1：攪拌混合



手順2：シート横引き
(1枚目)



手順3：継手施工



手順4：シート横引き
(2枚目以降)

写真-4 施工手順

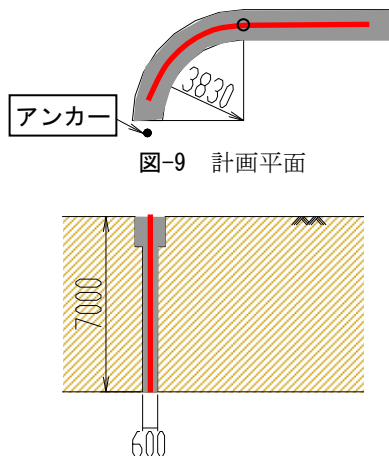


図-10 計画断面



写真-5 公開実験状況

本工法の一連の施工が可能であることを実証する目的で公開実験を行った。この実験では、長さ5mの遮水シート2枚の横引き展開を行った。現況復旧が条件であったため固化材は添加せず、流動性保持のため20%ベントナイト水溶液250ℓ/m³を添加しながら攪拌混合を行った。本実験施工により、地盤の攪拌混合、シートの展開、継手施工を滞りなく施工し、曲線部施工を含め本工法の施工性を確証した。図-9に計画平面、図-10に計画断面、写真-5に公開実験状況をそれぞれ示す。

(2) 適用事例2

- ・工事名称：敷地整備工事
- ・工事場所：北海道
- ・施工時期：平成18年10月
- ・適用目的：敷地内外の地下水流動遮断
- ・適用延長：22m（角付け部含む）
- ・適用深度：5.5m
- ・適用地盤：シルト質地盤

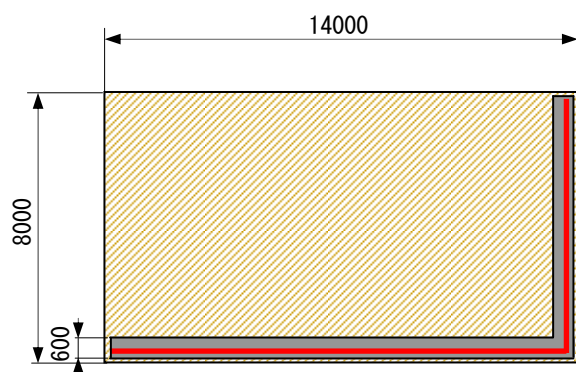


図-11 計画平面

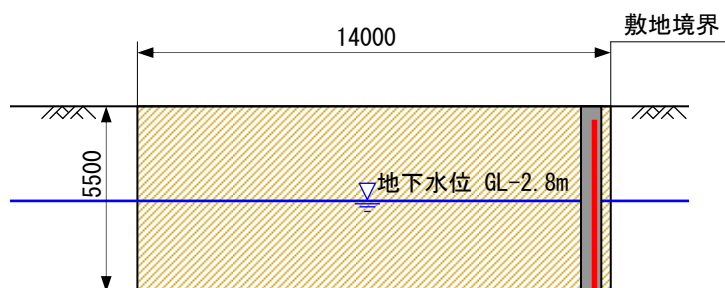


図-12 計画断面



写真-6 施工完了状況

表-1 ラテナビウォール工法と従来工法の比較

工法	適用深度	適用地盤	遮水性能	施工機械	コスト	課題
ラテナビウォール工法	現在は10mまで	粘性土: $N \leq 4$ 砂質土: $N \leq 4$	継手部単独の遮水性能は従来工法の方が高いが、壁全体では継手数が少ないためラテナビウォール工法の遮水性能の方が高い。	バックホウ程度	0.75	継手部遮水性能をソイルセメントで確保している。
従来工法	60mまで	緩い砂層から軟岩		三点式杭打機程度	1.00	施工機械が大型。コストが高い。

敷地整備工事にともない、地下水流動遮断の目的で本工法が適用された事例である。本工事においては、遮水性を設置されるシートのみに要求しており、ソイルセメント壁については、敷地の跡地利用に支障ないように、地山程度 ($q_u = 50 \sim 700 \text{ kN/m}^2$) の低強度とした。固化材として高炉セメントを 70 kg/m^3 添加しながら攪拌混合を行い、流動性保持のため遅延剤の添加も行った。図-11に計画平面、図-12に計画断面、写真-6に施工完了状況をそれぞれ示す。

敷地境界部の施工であり、リーダー及びベースマシンの旋回動作を組み合わせ、ほぼ 90° の角付け部シート展開を可能とした。角付け部シート展開後、ベースマシンをジャッキアップし、キャタピラを 90° 回転させ、残りのシート展開を行った。

ない地下遮水壁構築工法であるラテナビウォール工法について、その概要を説明し、適用事例を紹介した。本工法と従来工法を比較した一覧を表-1に示す。ここで従来工法としているのは、チェーンソウ状のカッターポストとカッターチェーンでソイルセメント壁を造成し、遮水シートを鉛直に打ち込み順次繋ぎ合わせていく工法である。

今後施工実績を積み、改良を重ねながら、施工深度15mという目標達成を目指すとともに、低コスト、高品質な地下遮水壁構築工法として、本工法の普及・展開を図っていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 旧総理府，旧厚生省：一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める命令の一部改正について，1998年6月16日。

4. おわりに

本論文では、横引き式遮水シートによる継手の少