

ソイルセメント鋼製地中連続壁の開発と実用化

Development of Steel Diaphragm Wall with Soil Cement

永尾直也*
Naoya NAGAO

葛 拓造
Takuzo KUZU

武野正和
Masakazu TAKENO

原田典佳
Noriyoshi HARATA

抄 録

鋼製地中連続壁工法は、当初は安定液掘削後に鋼製連壁用部材を建込み、コンクリートを充填する“コンクリート等充填鋼製地中連続壁工法”のみであったが、中深度の地下構造物への適用を狙い、ソイルセメント壁内に鋼製連壁用部材を建込む“ソイルセメント鋼製地中連続壁工法”が開発された。ソイルセメント鋼製地中連続壁工法は、コスト競争力を向上させつつ、更なる省スペース、薄壁化を可能にする工法であり、2002年に常磐新線（つくばエクスプレス）六町駅（北）にて試験採用されて以降、実績を積み重ねている。

Abstract

The steel diaphragm wall had one method, called “Steel Diaphragm Wall replete with concrete etc.”, to fill concrete after stable liquid digging and built steel before. However, “Steel Diaphragm Wall with soil cement” has been developed for the application to a structure of the middle depth under the ground. Steel Diaphragm Wall with soil cement increase the cost competitiveness of steel diaphragm wall, and can make further space-saving and thin wall. Since it was used experimentally at Joban new line (Tsukuba express) Rokucho Station (the north) in 2002, it has been used many times.

1. はじめに

鋼製地中連続壁工法は、1992年9月に建設省近畿地方整備局の淀川共同溝立坑で初採用され、パイロット事業として認定された。当時は、“鋼製地中連続壁工法-I（コンクリート等充填鋼製地中連続壁工法）”（以下、工法-I）のみであった。工法-Iは、安定液掘削後に鋼製連壁用部材（以下、NS-BOX）を建込み、コンクリートを充填する工法である。従来の鉄筋コンクリート製地中連続壁（以下、RC連壁）では、現場製作の鉄筋籠を建込んだ後、コンクリート充填するのに対して、高剛性のNS-BOXを用いることによる薄壁化、工場製作部材適用による現場の省スペース化、仮設本設兼用壁による工期短縮の実現などの様々な特長を活かして大深度の立坑、地下鉄駅舎、開削道路トンネル、換気所などに多数適用されてきた。

しかし、中深度の地下構造物への適用では、工法-Iは、RC連壁と比較すると、コスト競争力が劣位となる場合があった。そこで、芯材としてNS-BOXを用いるプレキャスト工法の特徴を活かしつつ、更なる競争力強化を目的に、

原位置土攪拌工法を用いた短工期化及び現場省スペース化が可能な“ソイルセメント鋼製地中連続壁工法（鋼製地中連続壁工法-II）”を開発した。

以下、2章でソイルセメント鋼製地中連続壁工法の概要、施工手順、壁厚の低減、本体利用する場合の構造形式、床版との接合部、壁体の止水性について述べ、3章でソイルセメント鋼製地中連続壁の道路分野及び鉄道分野での適用例を紹介する。

2. ソイルセメント鋼製地中連続壁（工法-II）の概要

2.1 工法概要

ソイルセメント鋼製地中連続壁工法は、ソイルセメント壁を造成した後、ソイルセメント壁中にNS-BOXを建込む工法である。構築した壁体は等厚で構造信頼性が高いため、仮設兼用本体壁として適用が可能である。壁体の適用イメージを図1¹⁾に示す。また、ソイルセメント鋼製地中連続壁の断面図を図2²⁾に示す。NS-BOXは、フランジ両端部に嵌合継手を有するH形状の鋼製部材であり、図3に示す

* 建材事業部 建材開発技術部 土基礎建材技術第二室 主幹 東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071

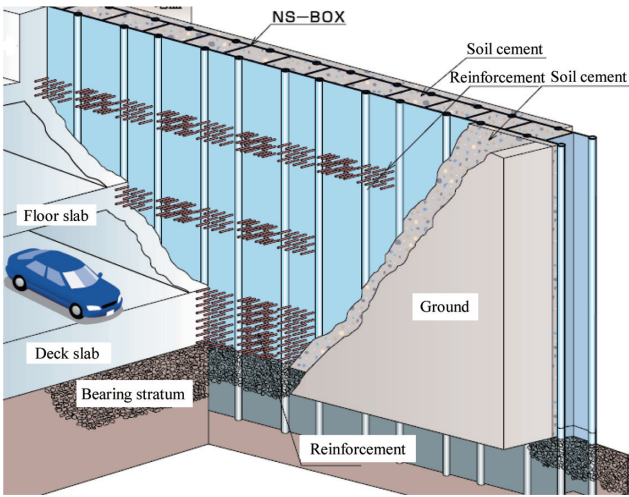


図1 壁体の適用イメージ¹⁾
Application image of a wall body

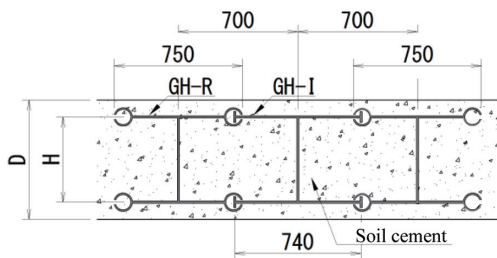


図2 ソイルセメント鋼製地中連続壁断面図²⁾
Section of steel diaphragm wall with soil cement

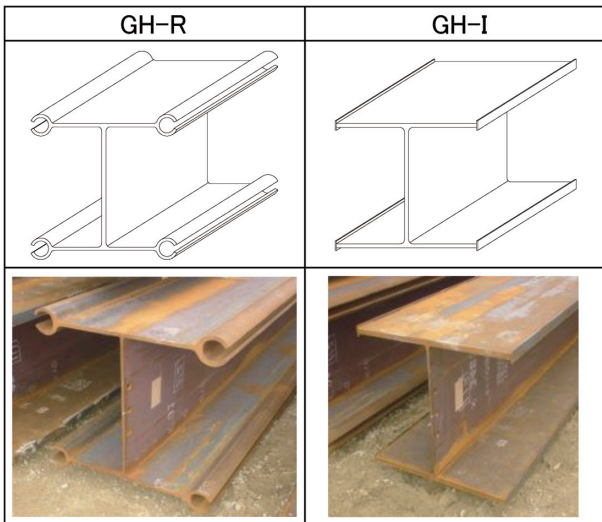


図3 NS-BOX (ソイルセメント鋼製地中連続壁)
NS-BOX (steel diaphragm wall with soil cement)

ように継手形状が異なる GH-R 部材と GH-I 部材を交互に嵌合しながらソイルセメント壁中に建込む。GH-R 部材のフランジに用いる GH 形鋼は一体圧延製品であり、H 形鋼と同様の状態に成形した後、圧延過程内でフランジ部分を丸めて雌型嵌合用の継手として用いる円形部分を形成している。GH 形鋼の圧延成形過程を写真 1³⁾ に示す。このように嵌合継手部分は、溶接などの組立加工により形成されたものではないため、部材の構造信頼性が高く、本体利用に



写真1 GH 形鋼³⁾
GH type steel

適した部材である。

2.2 施工手順

ソイルセメント壁内に鋼製部材を建込む工法としては SMW 工法等のソイルセメント柱列壁工法があるが、SMW 工法では、芯材として H 形鋼を一定のピッチに並べるだけであるのに対して、ソイルセメント鋼製地中連続壁工法では、嵌合継手を有する NS-BOX を建込むため、継手部をガイドとして部材を精度よく建込むことができ、また継手部分で部材が連結しているため、高い止水性を有する壁体を構築できる。このように高施工精度と高止水性を有する信頼性の高い壁体として、仮設兼用本体壁での利用が可能である。

ただし、この鋼製部材を連続して建込むためには、等厚のソイルセメント壁を造成する必要があるため、TRD 工法と CSM 工法と呼ばれる 2 つの工法が用いられる。TRD 工法は、地中に差し込んだチェーンソー型の cutter post を横方向に移動させて掘削した後、原位置土と固化液とを混合、攪拌し、壁状の固化体を地中に造成する工法であり、最大施工深度 60m、最大壁厚 900mm までの施工が可能である。また、CSM 工法は、水平多軸型地中連続壁掘削機と同様の水平多軸回転 cutter を用いて、原位置土と固化液とを攪拌し、矩形の固化体を連続して造成する工法である。最大施工深度 65m、最大壁厚 1200mm までの施工が可能である。それぞれの施工機械を写真 2⁴⁾ に、TRD 工法の施工手順を図 4¹⁾、CSM 工法の施工手順を図 5¹⁾ に示す。

2.3 壁厚の低減

最初に開発された工法 -I に用いる NS-BOX を図 6 に示す。工法 -I では、安定液掘削後、鋼材を建込んでからコンクリート等を充填するため、充填材が全体に回り込むように、部材のウェブ部分に開口が設けられている。また、継手部に充填材が回り込むように、GH-H 部材の雄型継手は離散配置となっている。それに対し、ソイルセメント地中連続壁では、ソイルセメント壁に NS-BOX を建込むため、図 3 で示したように、充填用の開口や継手の離散配置が必要でなくなり、鋼材を最大限有効に活かすことができ、更なる薄壁化が可能になる。図 7 に RC 連壁に対する工法 -I、

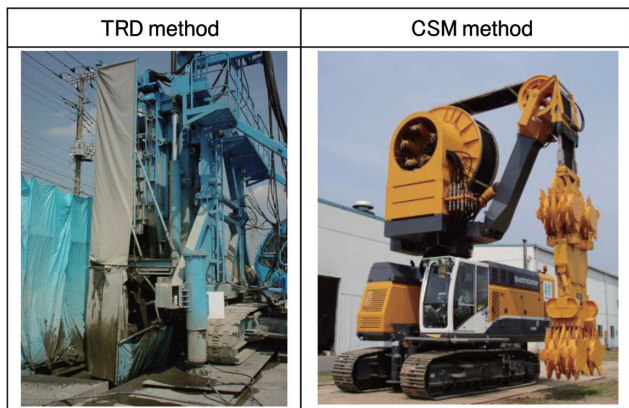


写真2 TRD 工法及び CSM 工法の施工機械⁴⁾
Construction machine of TRD method and CSM method

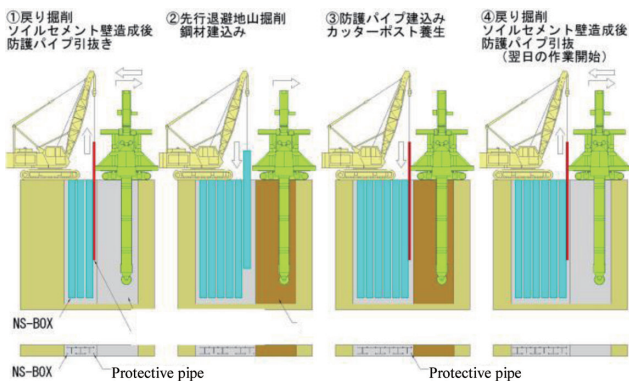


図4 TRD 工法の施工手順¹⁾
Construction process of a TRD method

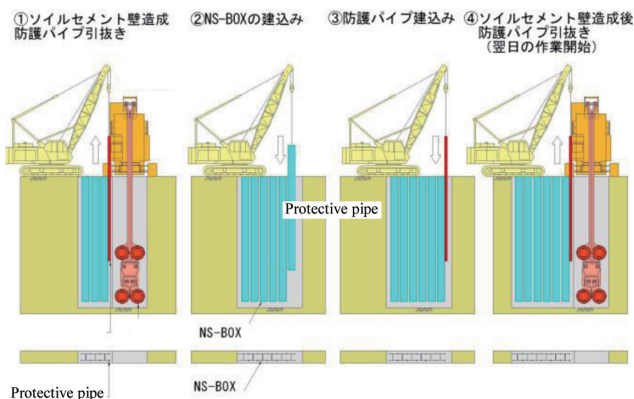


図5 CSM 工法の施工手順¹⁾
Construction process of a CSM method

ソイルセメント鋼製地中連続壁（工法-II）の壁厚イメージを示す。

ソイルセメント鋼製地中連続壁工法（工法-II）は、RC連壁の壁厚に比べて30～40%程度の壁厚の削減が可能である。また、工法-Iと同様にNS-BOXを現場に持ち込むため、鉄筋籠組立等のヤードが不要になる上、原位置土攪拌工法を用いることで安定液掘削工法に比べてプラントヤードが小さく、省スペースで本体に適用できる信頼性の高い壁体を構築できる利点を有する。

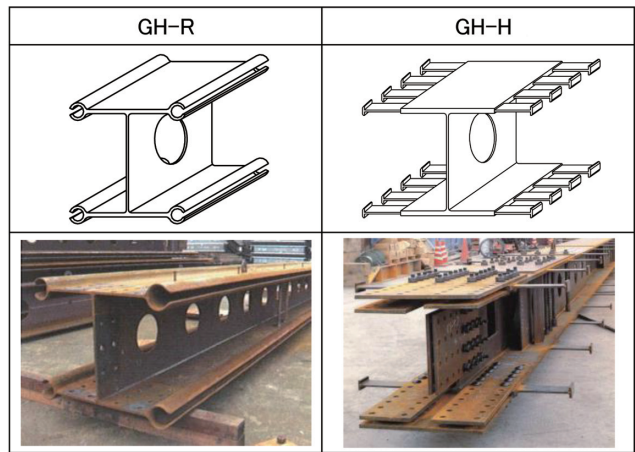


図6 NS-BOX（工法-I）
NS-BOX (Method-I)

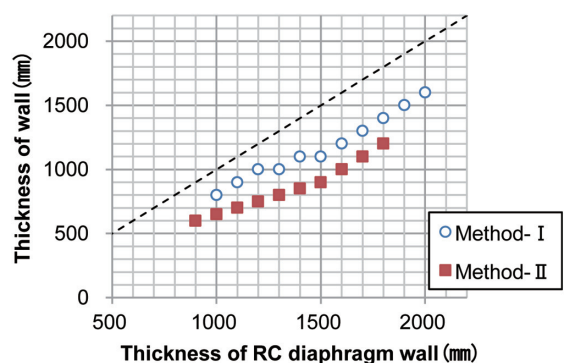


図7 RC連壁の壁厚に対する鋼製地中連続壁の壁厚イメージ
Image about thickness of steel diaphragm wall to that of the RC diaphragm wall

2.4 本体利用の構造形式

地中連続壁を本体利用する場合、施工条件、荷重条件、重要度等を考慮して、下記の3つのうちから構造形式が選定される（図8¹⁾参照）。

- ①単独壁形式：土留め壁内部に増打ち壁（以下、内壁）を設けずに地中連続壁のみで荷重に抵抗する構造で、そのまま本体構造として利用する形式である。地中連続壁と床版等との接合が必要のため、高い施工精度が要求され、特に止水に配慮する必要がある。
- ②重ね壁形式：地中連続壁と内壁の間で面内せん断力の伝達をしない構造で、完成後の壁の強度は地中連続壁と内壁の累加強度とする形式である。
- ③一体壁形式：地中連続壁と内壁とをスタッドなどで、一体化させて、1枚の壁として作用荷重に抵抗する形式である。

いずれの形式を選択した場合でも、設計で決められた本体構造としての形状、寸法、位置を確保するため、高い施工精度が要求される。また、本体構造であるため、耐久性、止水性、耐震性が求められる。

ソイルセメント鋼製地中連続壁工法の場合、NS-BOXの製作精度、建込み精度は、そのまま壁体の精度となり、非

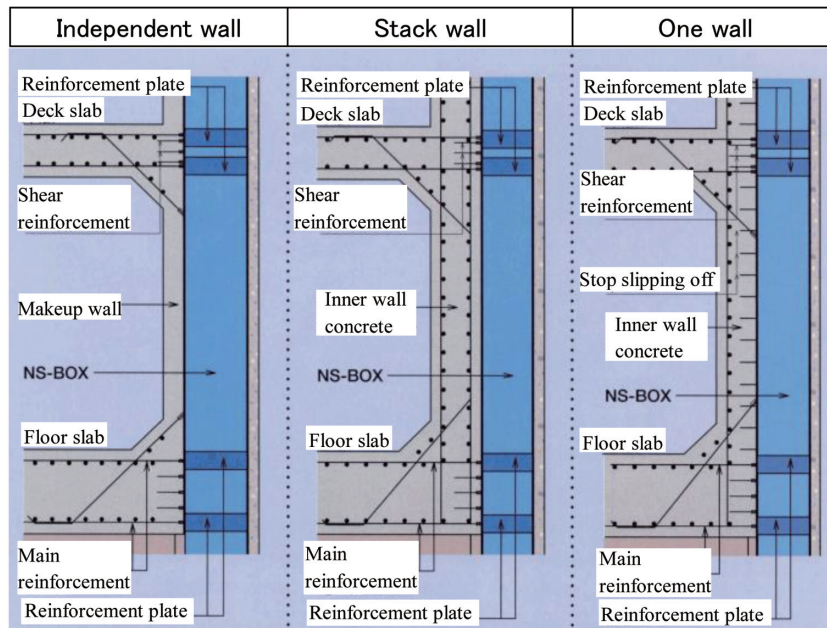


図8 構造形式¹⁾
Structural type

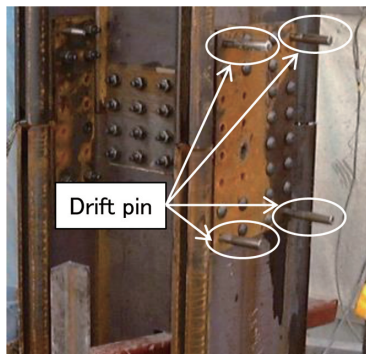


写真3 ドリフトピン打ち込み状況⁴⁾
Drift pin driving

常に重要であるため、あらかじめ加工工場での条組検査を実施して製作精度を確認している。また、条組検査時の部材接合状況を再現するために、現場では添接板の四隅にドリフトピンを打ち込んでから、部材を高力ボルトで接合している（写真3⁴⁾参照）。

2.5 床版との接合部

ソイルセメント地中連続壁と鉄筋コンクリート製の底版との接合のために、NS-BOXのフランジに工場ではねじ継手（溶接カプラー）を予め溶接しておく機械式継手を用いることができる。機械式継手を用いた場合の床版接合方式を図9に示す。この機械式継手を用いることで、現場で鉄筋を溶接にて直接接合する方法に比べて、現場での作業を省力化することができる。また、溶接カプラー取り付け状況と鉄筋の接続状況を写真4に示す。

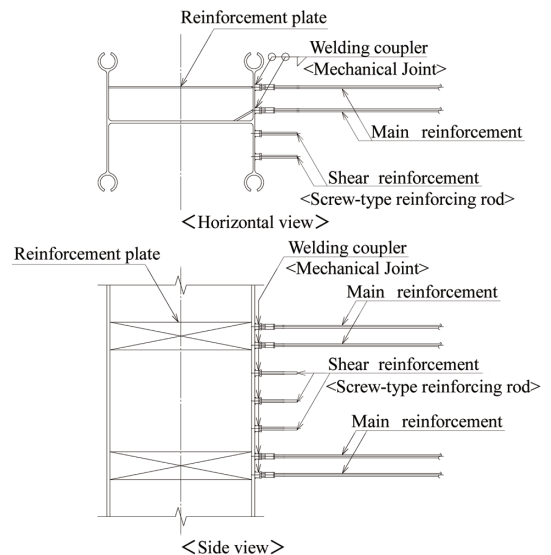


図9 床版接合方式
Joining system with deck slab



写真4 鉄筋の接続状況
Connection situation of the reinforcing bar

2.6 止水性

ソイルセメント鋼製地中連続壁ではNS-BOXが充填孔

等を設けず連続した部材である上、部材間及び継手間にソイルセメントが充填されているため、高い止水性能を有す

る。試験工事にて、ソイルセメント壁造成後、NS-BOXを芯材として用いた箇所とH形鋼を芯材として用いた箇所とを設けた壁を構築した後、掘削してそれぞれの漏水の状況を確認する試験を実施した。掘削後の壁面の状況を写真5¹⁾に示す。H形鋼が芯材の箇所では壁面に漏水が見られるのに対して、NS-BOXが芯材の箇所では継手部分を含めて水の浸み出しは見られなかった。また、打設後の嵌合継手部を切り出した状態を写真6⁴⁾に示す。この写真より、継手部分にもソイルセメントが充填されていることが確認できる。

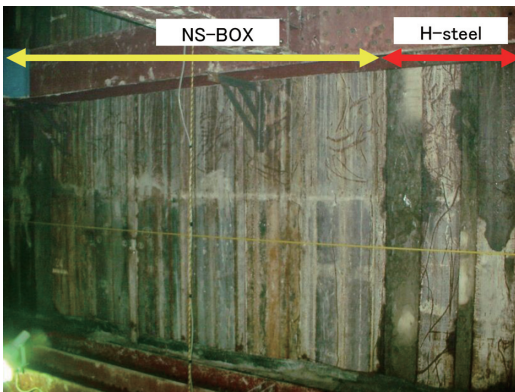


写真5 掘削後の壁面の状況¹⁾
Situation of the wall after excavation



写真6 嵌合継手内の状態⁴⁾
State in the joint

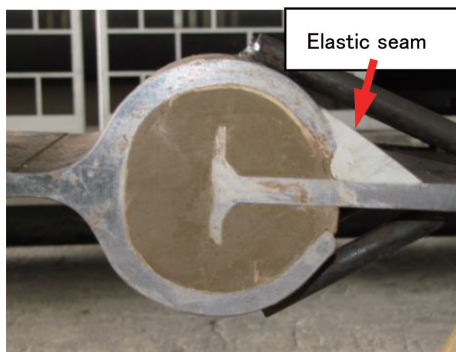


写真7 弾性目地材を塗布した継手断面
Joint section when applying an elasticity joint filler

このように、ソイルセメント鋼製地中連続壁は良好な止水性を有するが、内部掘削後に、嵌合継手部に弾性目地材を塗布することでさらに止水材を高めることもできる。弾性目地材を塗布した継手断面を写真7に示す。

3. 適用事例

3.1 現在までの実績推移

ソイルセメント鋼製地中連続壁工法（工法-II）は、2000年に常磐新線（つくばエクスプレス）六町駅（北）にて試験採用されて以降、本体利用可能な壁体として公的機関等による認証を受けている。元々は工法-Iのみで取得していた（財）国土技術研究センターによる建設技術審査証明に対して、2002年に本体地下壁で利用できる土留め壁として工法-IIが追加され、国土交通省新技術情報提供システム“NETIS”にも同年に追加登録された。その後は、工法の認知度が上がって実績を積み重ねている。

近年、採用が増加している道路分野及び大規模採用の多い鉄道分野での適用事例を以下に紹介する。

3.2 道路分野での適用事例

3.2.1 東京都環状2号線地下トンネル築造工事での適用

東京都発注の“環2地下トンネル（仮称）築造工事（23-環2新大橋工区）”で、ソイルセメント鋼製地中連続壁が適用された。東京都環状第2号線は、江東区有明二丁目から千代田区神田佐久間町一丁目に至る全長約14kmの路線であり、このうち、現道の無い未整備区間の工事が進められており、汐留地区から築地地区に向かうトンネル工事の一部に、省スペース、薄壁化で本体利用可能な壁を構築できるという長所を活かして本工法が採用された。

本工事の該当部分は交通量も多い場所であり、交通への影響を可能な限り抑えるため、交通量の比較的少ない夜間での施工を中心とし、本工法の特長を活かして、施工時の占有場所を最小限にして、道路を供用しながら施工を実施した。工事場所の日中の状況を写真8⁵⁾に示す。高層ビルが立ち並ぶ間の道路で、交通量が非常に多いことが確認できる。また、本工事の夜間での施工の状況を写真9に示す。



写真8 工事場所の日中の状況⁵⁾
Daytime of the construction site



写真9 夜間施工状況
Night construction

壁厚は700～800mm，連壁深さは14.0～16.5mであり，壁体延長135.85mで，施工はCSM工法で実施された。



写真10 施工状況（長野北部幹線工事）⁶⁾
Construction (Nagano Northern Trunk Line)

3.2.2 長野北部幹線工事での適用

長野市発注の“北部幹線土留工事”の本体利用単独壁でソイルセメント鋼製地中連続壁が適用された。鉄道と交差するアンダーパスの導入路の擁壁構築において，近隣建築物の用地制限があり，薄壁化，省スペース化の長所を活かしての採用であった。施工状況を写真10⁶⁾に，NS-BOX 建込み後の状況を写真11⁶⁾に示す。写真より，民家近傍で鋼材を建込んでいる様子が確認できる。本工事の壁厚は600～900mm，連壁深さは19.5～25.5mで，TRD工法により施工された。



写真11 NS-BOX 建込み後の状況⁶⁾
After NS-BOX built

3.3 鉄道分野での適用事例

(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構発注の“相鉄・東急直通線，新横浜駅他”工事にて，ソイルセメント鋼製地中連続壁が適用されている。相鉄・東急直通線は，2019年開業予定で相鉄・JR直通線の羽沢駅と東急東横線の日吉駅間に約10kmの連絡線の新設工事が進められており，羽沢・日吉間に新横浜駅，新綱島駅の2つの地下駅舎が計画されている。

新横浜駅の新駅舎が計画されているのは，東海道新幹線新横浜駅に平行している交通量の多い横浜市環状2号線の直下にあたり，省スペース，薄壁化の長所を活かして，占有場所を最小限に抑えて，道路を共用しながらの施工を実施している。また，地中には既設のシールドトンネルもあり，薄壁化の長所を活かして，影響をできる限り抑えることにも貢献している。ソイルセメント鋼製地中連続壁の壁厚は1000mm，連壁深さは35.0～38.5mであり，CSM工法で2015年7月現在施工中である。断面図の1例を図10に，工事の施工状況を写真12に示す。また，隣駅の新綱島駅の地下駅舎の壁でも同様にソイルセメント鋼製地中連続壁で施工中である。

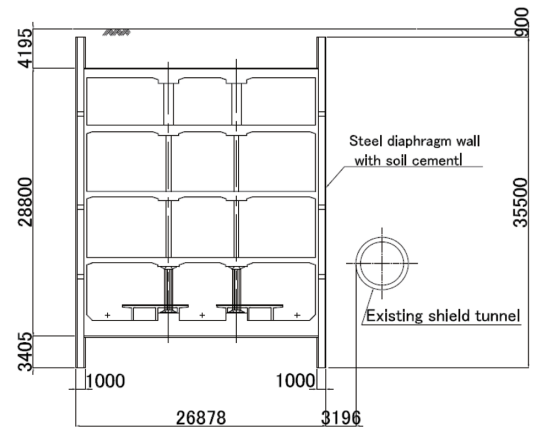


図10 断面図例（新横浜地下駅舎工事）
Example of the cross section (Shin-Yokohama Underground Railroad Station)

4. おわりに

ソイルセメント鋼製地中連続壁工法は，省スペース，薄壁化の長所を活かして都市部を中心に実績を積み重ねている。近年，道路分野や鉄道分野にて採用が増加しており，今後更なる適用が期待される。



写真 12 施工状況 (新横浜地下駅舎工事)
Construction (Shin-Yokohama Underground Railroad Station)

謝 辞

本開発及び実用化にあたっては、鋼製地中連続壁協会会員各社の皆様方に多大なるご指導、ご尽力を頂きました。関係者の皆様方に対しまして、ここに深く感謝申し上げます。

参照文献

- 1) 鋼製地中連続壁協会：鋼製地中連続壁工法 -II (ソイルセメント鋼製地中連続壁工法) パンフレット, 2015.1
- 2) 葛拓造：ソイルセメント鋼製地中連続壁工法による山留め・立坑への適用. 基礎工. 39 (9), 31-34 (2011)
- 3) 鋼製地中連続壁協会：鋼製地中連続壁協会創立 20 周年記念誌, 2012.6
- 4) 葛拓造：地中連続壁を本体として用いる場合の施工上の留意点. 基礎工. 41 (6), 26-29 (2013)
- 5) 鋼製地中連続壁協会：鋼製地中連続壁工法 工事实績リーフレット, 東京都環状2号線地下トンネル, No.58
- 6) 鋼製地中連続壁協会：鋼製地中連続壁工法 工事实績リーフレット, 北部幹線土留工事, No.59



永尾直也 Naoya NAGAO
建材事業部 建材開発技術部
土木基礎建材技術第二室 主幹
東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071



武野正和 Masakazu TAKENO
建材事業部 建材開発技術部
土木基礎建材技術第二室 主査
(一般財団法人国土技術研究センター出向中)



葛 拓造 Takuzo KUZU
建材事業部 建材開発技術部
土木基礎建材技術第二室 主幹



原田典佳 Noriyoshi HARATA
建材事業部 建材開発技術部
土木基礎建材技術第二室長