

高剛性鋼製土留め壁の軟弱地盤への適用実績

西松建設(株) 正会員 ○吉田 吉孝, 草野 孝三
日本製鉄(株) 正会員 豊島 径, 松井 延行

1. はじめに

シンガポール地下鉄 T228 工事では、地下駅となる Gardens By The Bay 駅構築に伴い、エントランス部を含む全ての土留め壁に RC 地中連続壁（以下、連壁）の打設を計画していた。工事入手後、2 か所のエントランス（土留め壁平面延長約 360m）が将来開発区域内に位置することが判明し、工事竣工前に土留め壁を全て撤去する必要が生じた。連壁の撤去は工期および工費の面から現実的ではないと判断し、引抜き可能な鋼製土留め壁を提案することとした。本論文では、ハット形鋼矢板に I 形鋼を溶接し一体化させた高剛性な鋼製土留め壁（以下、ハット+H）に関する施工実績を報告する。

2. 土留め工概要

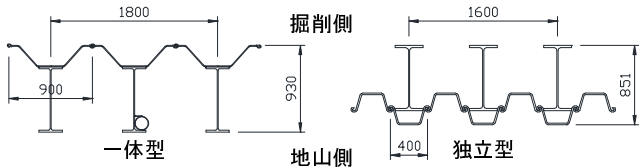
エントランス A 部の土留め断面図を図－1に示す。駅舎部脇にあるエントランス部の掘削は、駅舎構築完了後に開始する施工手順としたため、切梁支保工について、エントランス用土留め壁と反対側は駅舎側躯体から反力を取っている（写真－1 参照）。また、土留めの構造形式として、掘削深度（13～16m）に比べて掘削幅（11m）が狭く、最終掘削面以深に 7m 厚の底盤改良があり、エントランス躯体支持用の場所打ち杭が 2 列ある点等を考慮し、浮き基礎タイプとした点が特徴である。

土留め壁の種類を決定するにあたり、発注者から土留め壁の曲げ剛性EIについて1m当たりの最小値(5.2 x10⁵ kN*m²/m) が与えられ、これを満足する鋼製壁を表－1に示す。今回は経済性に優れたハット+H 工法を採用した。表中に示す工法①および②について、標準杭配列を図－2に示す。

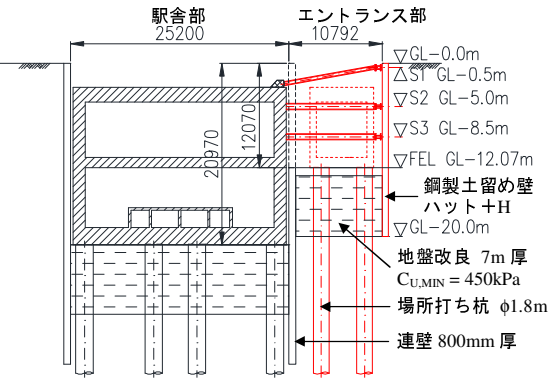
表－1 提案可能な鋼製土留め壁

工法名	部材仕様	曲げ剛性 E*I
① ハット+H	NS-SP-10H (SYW390), H700x250x12x19 (SM490)	6.8x10 ⁵ kN*m ² /m
② 親杭+鋼矢板	H700x300x13x24 (SS490, 0.8m 間隔), FSP-IV (SY295)	5.2 x10 ⁵ kN*m ² /m
③ 鋼管矢板	φ900mm (10mm 厚, SKY490)	6.3 x10 ⁵ kN*m ² /m

駅舎部も含めた土留め壁の総平面延長は約 1,200m となり、その内約 3 割の区間においてハット+H 工法を適用している（その他区間の大部分は連壁）。ハット+H が合成部材として機能を果たすために必要となった溶接について、脚長は 7mm、1 か所あたりの溶接長は壁長 1m あたり 500mm とした（図－3 参照）。



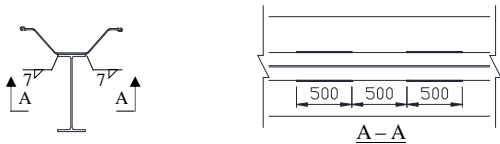
図－2 土留め壁標準杭配列（左：①、右：②）



図－1 エントランス A 部土留め断面図



写真－1 エントランス部土留め支保工



図－3 ハット+H の溶接仕様

キーワード ハット形鋼矢板, ハット+H, 高耐力鋼製壁, 土留め壁引き抜き, 効率的施工, 鋼材重量低減
連絡先 〒105-6310 東京都港区虎ノ門 1-23-1 虎ノ門ヒルズ森タワー10階 西松建設(株)国際事業本部 TEL03-3355-3442

3. 土留めの施工実績

ハット+Hの打設および計測器（切梁軸力計以外）の設置は駅舎部掘削開始前に完了しており、以下に紹介する土留め壁変形量の計測値は、実際の読み値からエントランス部掘削開始直前の読み値を差し引いた値である。なお、エントランス部掘削開始前の土留め壁変形量は、GL-20m付近で最大25mmであった。図－4に土留め壁変形量に関する実測値と解析値の比較を示す。両者に大きな差が見られるが、これは、解析上、3次掘削完了時において底盤改良上部で塑性化が生じたが（設計用 $C_U=450\text{kPa}$ ）、実際には底盤改良が塑性化しなかった（実測平均 $C_U=1,000\text{kPa}$ 以上）ことが理由と考えられる。なお、壁の変形量を計測した挿入式傾斜計は、I形鋼フランジ部内側へ事前に溶接した内径150mmの鋼製ガイド管内に設置した。表－2に切梁軸力に関する実測値と解析値の比較を示す。切梁軸力も壁変形量と同様、実測値は解析値の約1/3程度となっている。

ハット+Hの引き抜きについて、鋼材表面への摩擦低減材の塗布等は実施していない。但し、底盤改良厚が7mと厚かったことから、特に鋼矢板の引き抜きを確実に実施するため、鋼矢板の直進性を確保することを目的に、ハット形鋼矢板およびI形鋼は1本物（ $L=20\text{m}$ ）とし、継手部を無くした。今回の実績は、1日当たりの施工本数は3.3本/台/シフト（引き抜き速度0.8分/m）で、打設時（3.8本/台/シフト）と同程度の施工本数である。なお、打設および引き抜き時に使用したバイブロハンマーの仕様は、最大起振力が220ton、最大油圧エンジン出力が790kwであり、一般的に使用されるバイブロ仕様の4倍程度の能力を有している。

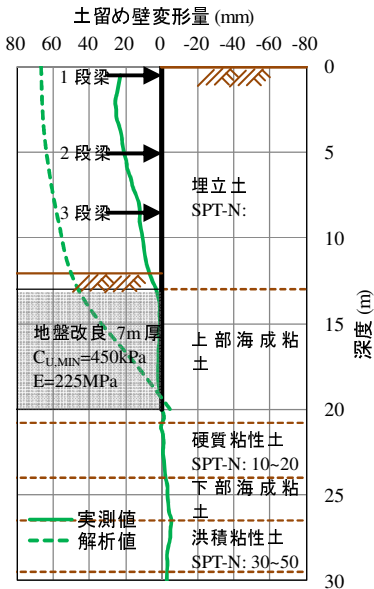
壁体長20mの内、約半分の区間に粘性土が存在するため、引き抜き時において鋼矢板あるいはI型鋼への土砂付着による地表面の沈下が懸念された。付着量の実績として、付着可能断面積（図－5の赤斜線部）に対する割合で砂質土区間についてはほぼ0%、粘性土区間は15%程度であった。実際の付着状況を写真－2に示す。なお、空洞部の処理は、砂充填を行った。

4. おわりに

今回の実績について、シンガポールでは一般的な親杭+鋼矢板工法で施工した場合と比べ、打設本数が1,360本（独立型：親杭454本、鋼矢板IV型906本）から403本（一体型：ハット+H）と約7割低減させ、また、溶接により一体化させ剛性を上げたことで、土留め壁に必要な鋼材重量を3,400tonから2,000tonと約4割低減できた。

次に、今回採用したハット形鋼矢板NS-SP-10Hの形状の特徴として、通常の鋼矢板と比べ、ウェブ部とフランジ部の角度が開いている。これにより、次の点で有利となる。①ジェットグラウト工法による地盤改良時に影が出来づらい、②壁下端部における閉塞効果が小さく、かつ、地山との接触面積が少ないため（鋼矢板IV型の7割程度）、打設および引き抜きが容易となる。

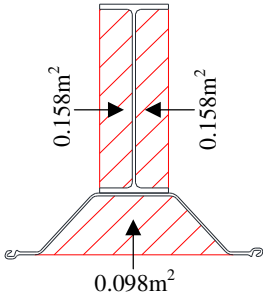
ハット+Hの打設方法は専用の圧入機が無い場合、バイブロハンマーによる施工が主となる。バイブロハンマー単独で打設可能な地盤条件であれば、同程度の曲げ剛性を有するSMWや連壁と比べ、引き抜きが可能である点、工費、工期両面で有利となる。参考までに、バイブロハンマー単独による最大打設長36mという実績がある。また、N値が50以上の硬質地盤に根入れさせた実績もあるが、先行削孔が必要となる。



図－4 土留め壁変形量（最終掘削時）

表－2 切梁軸力最大値（掘削時）

	実測値 (kN)	解析値(kN)
1段梁	1,136	3,365
2段梁	1,780	6,939
3段梁	2,291	7,291



図－5 付着可能断面積



写真－2 土砂付着状況