高剛性鋼製土留め壁の軟弱地盤への適用実績

吉田　吉孝*　　藤田　俊弥**
Yoshitaka Yoshida　　Toshiya Fujita
草野　孝三***
Kouzo Kusano

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360 m）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．本抄録では，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．

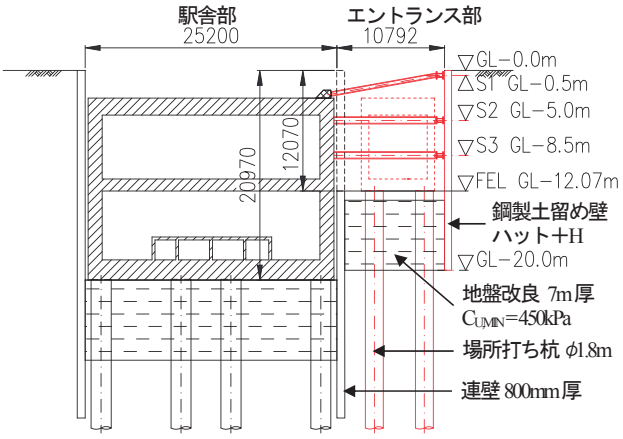
2. 土留め工概要

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（13～16 m）に比べて掘削幅（11 m）が狭く，最終掘削面以深に7 m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について最小値（5.20×10^5 kN*m^2/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．表中の工法①および②について，標準杭配列を**図―2**に示す．

駅舎部も含めた土留め壁の総平面延長は約1,200 m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7 mm，1か所あたりの溶接長は壁長1 mあたり500 mmとした（**図―3**参照）．

*　シンガポール営業所地下鉄マリナベイ（出）
（現：クイーンズタウン（出））
**　シンガポール営業所地下鉄マリナベイ（出）
***国際事業本部技術部

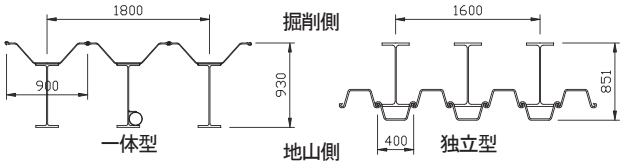


図―1　エントランスA部土留め断面図

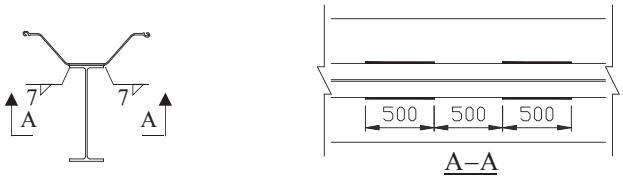
写真―1　エントランス部土留め支保工

表―1　提案可能な鋼製土留め壁

工法名	部材仕様
①　ハット＋H	NS-SP-10 H（SYW390），H700 x250 x12 x19（SM490）
②　親杭＋鋼矢板	H700 x300 x13 x24（SS490），FSP-IV（SY295）
③　鋼管矢板	φ900 mm（10 mm厚，SKY490）



図―2　土留め壁標準杭配列（左：①，右：②）



図―3　ハット＋Hの溶接仕様

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-20 m 付近で最大 25 mm 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 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 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 150 mm 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，ハット形鋼矢板および I 形鋼は 1 本物（L＝20 m）として打設することで，引き抜き時において弱点となる継手部を無くした．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 220 ton，最大油圧エンジン出力が 790 kw 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 20 m の内，半分程度の区間において粘性土が存在することから，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．

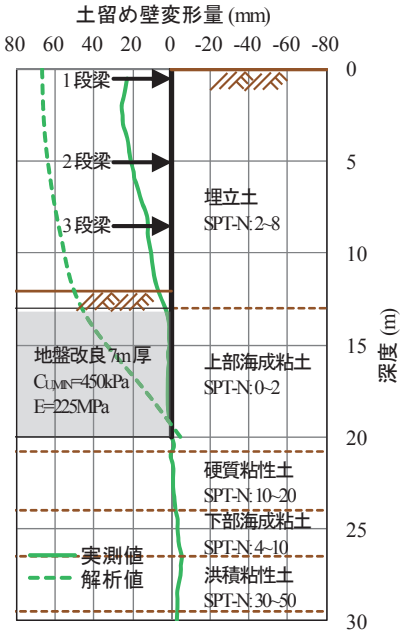
4. おわりに

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，土留め壁に必要となる鋼材重量を 3,400 ton から 2,000 ton 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-10 H 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ため，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．新日鉄住金株式会社によればバイブロハンマー単独による最大打設長 36 m という実績がある．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．

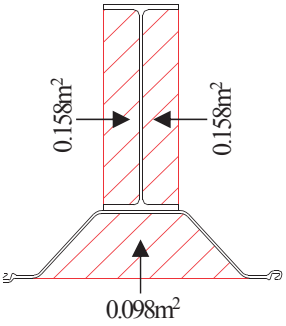
最後に本工法を採用するにあたり，新日鉄住金株式会社から貴重なご助言を頂戴した．ここに改めて謝意を表します．



図―4　最終掘削時における土留め壁変形量

表―2　掘削時における切梁軸力最大値

	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