

# 引抜き可能な高剛性土留壁の設計と施工 Design and Construction of Removable Retaining Wall with High Stiffness

岩田 健吾\*                      藤田 俊弥\*  
Kengo Iwata                      Toshiya Fujita  
吉田 吉孝\*\*  
Yoshitaka Yoshida

## 要 約

シンガポール地下鉄 T228 工事では、入札初期の段階で、駅構築に伴うすべての土留め壁に RC 地中連続壁（以下、連壁）の打設を計画していたが、入札最終段階で、2か所のエントランスが将来開発区域内に位置することが判明し、竣工前に土留め壁をすべて撤去する必要が生じた。そこで引抜き可能かつ連壁と同程度の高剛性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 H 形鋼を溶接し一体化させた高剛性鋼製土留め壁（以下、ハット+H）に関する設計と施工の実績を報告する。

## 目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 土留め工概要
- § 3. 土留め工法の選定
- § 4. 施工実績
- § 5. 考察
- § 6. まとめ

### § 1. はじめに

シンガポール地下鉄 T228 工事では、入札初期の段階で、地下鉄となる Gardens By The Bay 駅構築に伴い、エントランス部を含むすべての土留め壁に RC 地中連続壁（以下、連壁）の打設を計画していた。入札最終段階の質疑応答の際、2か所のエントランス（土留め壁平面延長約 360 m）がシンガポール都市再開発庁（URA: Urban Redevelopment Authority）による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すべ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、引抜き可能かつ連壁と同程度の高剛性を有する鋼製土留め壁を提案することとした（図-2）。本論文では、ハット形鋼矢板に H 形鋼を溶接し一体化させた高剛性鋼製土留め壁（以下、ハット+H）に関する施工実績を報告する。

\* シンガポール営業所地下鉄マリナベイ（出）  
\*\* 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））

### § 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、エントランス部土留め支保工の設置状況を写真-1 に示す。駅舎部脇にあるエントランス部の掘削は、発注者より駅舎

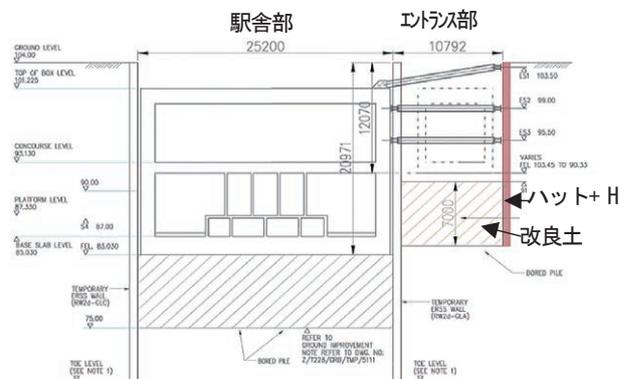
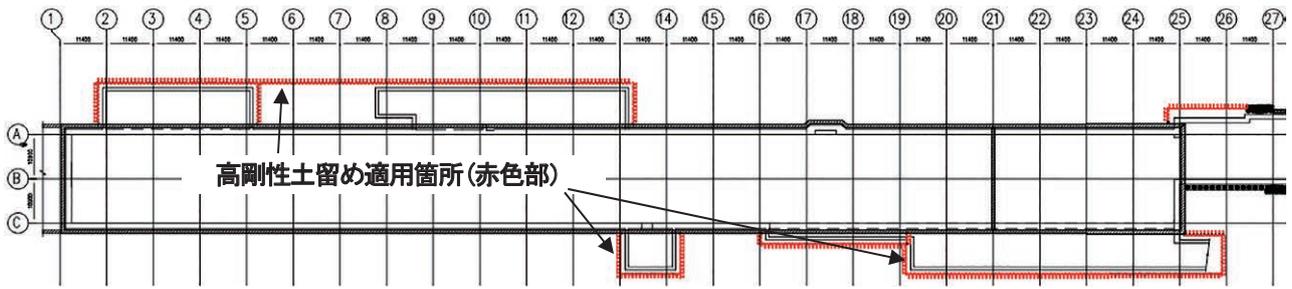


図-1 エントランス部土留め断面図



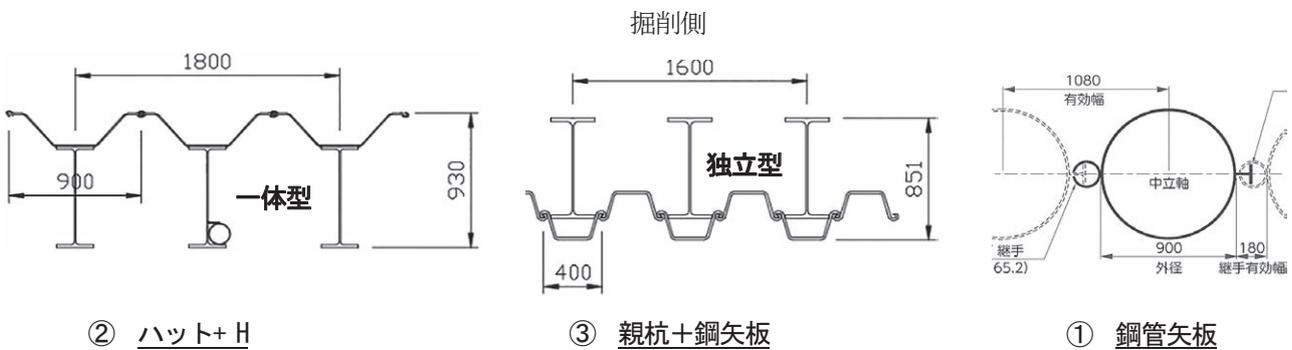
写真-1 エントランス部土留め支保工



図一2 高剛性土留め壁適用箇所

表一1 提案可能な高剛性鋼製土留め壁

工法名	部材仕様	曲げ剛性 E*I
① ハット+H	NS-SP-10 H (SYW390), H-700 x250 x12 x19 (SM490)	$6.8 \times 10^5 \text{ kN} \cdot \text{m}^2/\text{m}$
② 親杭+鋼矢板	H-700 x300 x13 x24 (SS490, 0.8 m 間隔), FSP-IV (SY295)	$5.2 \times 10^5 \text{ kN} \cdot \text{m}^2/\text{m}$
③ 鋼管矢板	$\phi 900 \text{ mm}$ (10 mm 厚, SKY490)	$6.3 \times 10^5 \text{ kN} \cdot \text{m}^2/\text{m}$



図一3 土留め壁標準杭配列

構築完了後に開始する施工手順を求められたため、切梁支保工については、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。また、土留めの構造形式として、掘削深度 13~16 m に比べて掘削幅が 11 m と狭く、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。

また、幸い駅舎構築部周辺には沈下や騒音が問題となる施設が比較的少ない施工環境であった。

### §3. 土留め工法の選定

このような条件下での土留め壁の引抜きが要求されているために、当初、エントランスの構築および埋戻し完了時に、改良地盤からの引抜きが可能であるのかが懸念された。また、引抜き時に土留め壁周辺の土砂の取り込みや空隙の発生で周辺への沈下による影響が考えられた。

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 については少なくとも奥行き 1 m 幅当たり  $5.2 \times 10^5 \text{ kN} \cdot \text{m}^2/\text{m}$  を確保することが求められた。工法選定においては、上記要求を満足する鋼製壁を 3 工法候補に挙げ比較検討を行った (表一1)。

①は今回適用したハット形鋼矢板+H形鋼工法で、2種類の鋼材を溶接により一体化させ打設する工法である。

②は親杭+鋼矢板工法で従来型の引抜き可能な土留め工である。IV型シートパイルとH形鋼をそれぞれ独立した形で打設する。

③は鋼管矢板工法で、厚さ 10 mm、直径 900 mm の鋼管を連続して打設する工法である。

各工法について、標準杭配列を図一3に示す。

比較検討の結果、次の理由により「ハット+H」工法を採用した。ハット+Hの合成前および合成後の断面性能と曲げ剛性を表一2に示す。表一3に各工法の表面積の比較値を示す。

- ・ハット形鋼矢板とH形鋼を溶接にて一体化するで、少ない鋼材量でも設計要求が満足でき経済的、かつ打設本数が少なくなり工期短縮が図れる。
  - ・全体の表面積が少ない。特に打設後地盤改良する側の表面積やウェブとフランジが開いている形状に着目すると、土留めの引抜き易さが期待できる。
- 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

表一 2 ハット+H の合成前後の断面性能および曲げ剛性

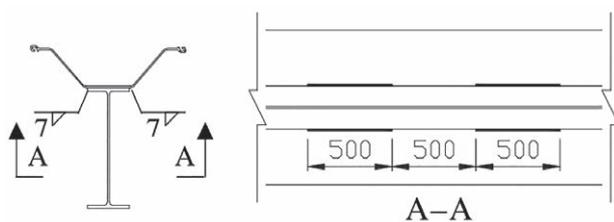
型式	1本/枚当り 0.9m/本(枚)		壁幅1m当り		EI (kN*m <sup>2</sup> /m)
	I (cm <sup>4</sup> )	Z (cm <sup>3</sup> )	I (cm <sup>4</sup> /m)	Z (cm <sup>3</sup> /m)	
ハット形鋼矢板単独 NS-SP-10 H	9,430	812	10,500	902	0.2 x 10 <sup>5</sup>
H形鋼単独 H700 x 250 x 12 x 19	142,000	4,060	157,778	4,511	3.2 x 10 <sup>5</sup>
ハット+H(合成後)	298,800	5,652	332,000	6,280	6.8 x 10 <sup>5</sup>

I: 断面2次モーメント, Z: 断面係数, EI: 曲げ剛性

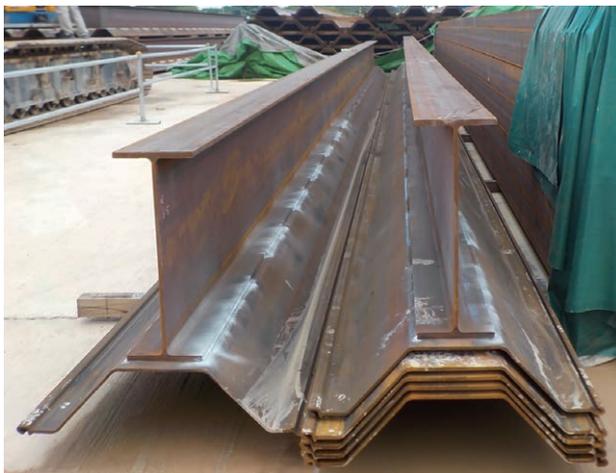
表一 3 各工法の表面積(幅1m, 高さ1m当り)

( ): 対工法①比率

工法名	全体表面積	改良土側表面積
① ハット+H	4.63 m <sup>2</sup> (1.00)	1.27 m <sup>2</sup> (1.00)
② 親杭+鋼矢板	6.07 m <sup>2</sup> (1.31)	4.27 m <sup>2</sup> (3.36)
③ 鋼管矢板	5.75 m <sup>2</sup> (1.24)	1.57 m <sup>2</sup> (1.24)



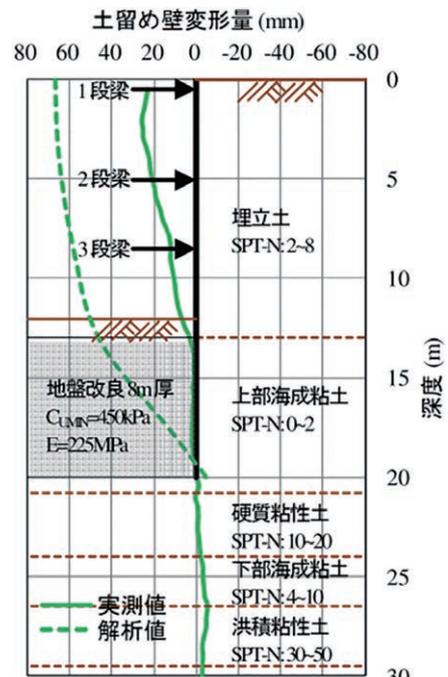
図一 4 ハット+Hの溶接仕様



写真一 2 部材間溶接状況

要な溶接仕様を検討し、脚長を7mm、1ヶ所あたりの溶接長を壁長1mあたり500mmの断続すみ肉溶接とした(図一4、写真一2)。

「ハット+H」の引抜きのために、鋼材表面への摩擦低減材の塗布は行っていないが、底盤改良厚が7mと厚かったことから、特に鋼矢板の引抜きを確実に実施するため、下記の対策を講じた。



図一 5 土留め壁変形量(最終掘削時)

- 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H形鋼は1本物(L=20m)とし、継手部を無くした。
- 埋戻し土と土留め壁との摩擦を低減する目的で、埋戻し前に土留め壁の表面全面にPVCシートを布設した。

#### § 4. 施工実績

##### (1) 土留め壁の変形

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。

図一5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の半分以上で塑性化が生じたが（設計用  $C_u = 450 \text{ kPa}$ ）、実際には改良体部分の品質が設計よりも良好で、底盤改良体上部に限られた範囲のみしか塑性化しなかったことが理由と考えられる。実際に現場採取した改良土の強度はほぼ全ての箇所設計値の2倍の強度（実測平均  $C_u = 1,000 \text{ kPa}$  以上）が得られていた（**図-6**）。なお、壁の変形量を計測した挿入式傾斜計は、H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-4**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。この実績から、本施工の地盤改良工が設計を大幅に上回る高強度・高品質の結果となり、土留めの安定にいい影響を与えたことが考えられる。今後仮設用の地盤改良工の評価をし、さらに経済的な施工が可能になる余地があると考ええる。

(2) 施工実績

ハット+Hの引抜き実績は、1日当たりの施工本数は3.3本/台/シフト（引抜き長20m、底盤改良7m）で、打設時3.8本/台/シフト（打設長20m、SPT-N 0~10）と同程度の施工本数である。なお、打設および引抜きには、以下の仕様を有するオランダ製の大型のバイプロハンマを用いた。

- ・バイプロ重量：12 ton
- ・最大起振力：220 ton
- ・振動周波数：230 Hz
- ・最大油圧エンジン出力：790 kw

懸念された引抜きに関しては、対策工の効果もあって比較的スムーズに進めることができた。土留め壁の引抜き状況を**写真-3**に示す。ハットパイルがLもしくはT字で接続している箇所では引抜き抵抗が強く、バイプロのみでの引抜きが出来なかった箇所があった。これらの箇所では、付着抵抗を減じるために、オーガにより土留め壁の先端1mまでプレボーリングを実施したのち、引抜きを行った。

作業半径16mであり、クレーンは180tonクローラークレーン（通常引抜き時）、引抜き不可箇所において再度引抜き施工時は250tonクローラークレーンを使用した。

打込み時、引抜き時にはチャック部分に大きな荷重が作用するため、H鋼上端部のウェブ部分に鋼板を溶接し補強を行った（**写真-4**）。

(3) 引抜き時の背面地盤沈下量

壁体長20mの内、約半分の区間に粘性土が存在するため、引抜き時において鋼矢板あるいはH形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-7**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-5**に示す。なお、空洞部の処理は、砂充填を行った。

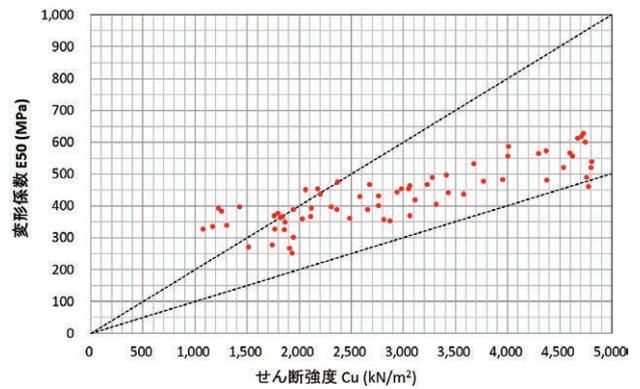


図-6 地盤改良のせん断強度と変形係数の関係

表-4 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



写真-3 土留め壁引抜き状況



写真-4 チャック部補強と把持状況

「ハット+H形鋼」の引抜きに伴う周辺地盤の沈下を、**図-8**に青線で示す測線で計測した。このうち、GL6測線上の各沈下計測点における引抜き時の経時沈下量を**図-9**に示す。当該箇所は以前は海であったが、1970年代に軟弱な海成粘土上に埋立が行われた箇所であり、現在でも年間20~30mmの圧密沈下が継続して発生して

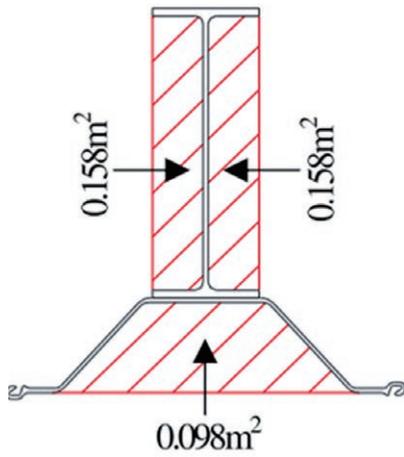


図-7 土砂付着可能断面



写真-5 土砂付着状況

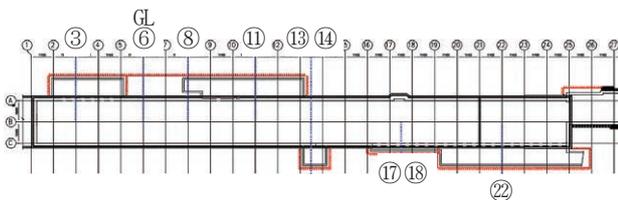


図-8 地表面沈下計測断面

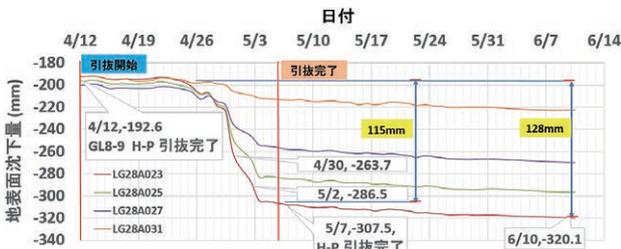


図-9 土留め壁引抜き時沈下計測結果 (GL6)

いる。全体沈下量が大きいのは、これらの影響が含まれていることも起因している。

各計測測線における土留め壁引抜き前後の沈下量分布を図-10に示す。土留め壁の引抜き作業による周辺地盤の最大沈下量は平均的に100~200mmという結果とな

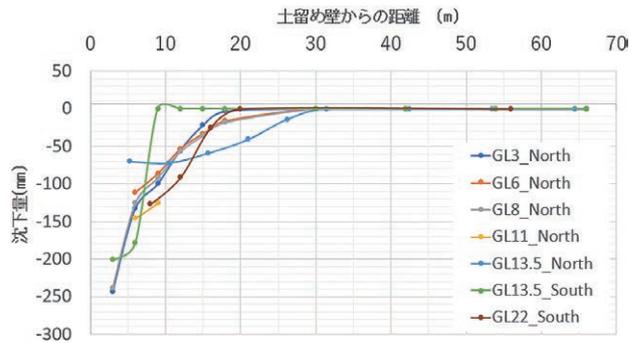


図-10 土留め壁引抜き前後の沈下量分布

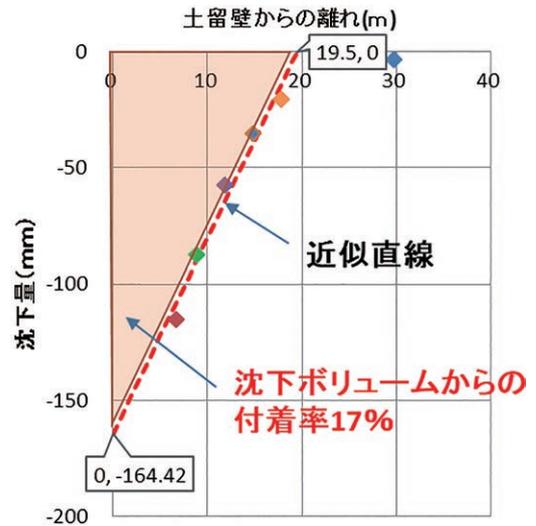


図-11 土留め壁引抜き時沈下量 (GL6)

った。土留め壁から18m付近までの範囲で沈下が発生している状況が認められる。

また、引抜き完了後の沈下土量を算出するために、沈下量を土留め壁からの距離毎に記したグラフを図-11に示す。引抜き時に発生した土留め壁への付着土量を搬出土量にて算出すると、沈下量は8%であった。一方、図-11の沈下量グラフより引抜き時の土砂付着率を算出すると、17%という結果となった。搬出土量による算出結果と大きく異なるが、これは引抜き時に表層部埋立土の振動による沈下が発生したためと考えられる。よって実質的な沈下量は8~17%と考えられる。

### §5. 考察

既往文献<sup>1)</sup>に地盤のN値と杭土砂付着率の関係が示されている。今回の土砂付着率を、同図中に加えた(図-12)。今回の土砂付着率は、17%程度と既往実績に比べ比較的小さい値となっているが、これはハット部分のウェブ部とフランジ部の形状が開いていたこと、H形鋼部の部材高/部材幅の比が大きく土砂が付着しにくい形状であったこと、付着可能面積自体が大きかったことなどが影響しているものと考えられる。

今回の実績について、シンガポールでは一般的な「親

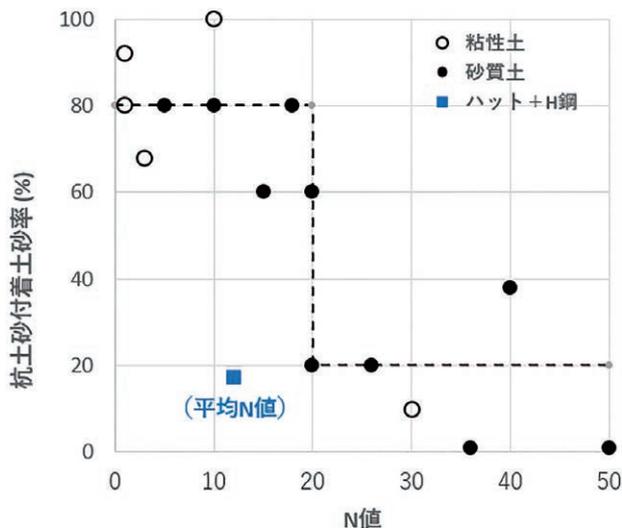


図-12 地盤のN値と杭土砂付着率  
参考文献1)に加筆

※地盤改良部のN値を50、掘削側の埋戻し度はPVCシートの効果を考慮しN値を5と仮定し、平均N値を算出した。

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7割低減し、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3,400 tonから2,000 tonと約4割低減できた。同時に工期の面でも打設本数と同様の短縮効果が得られた。

当初の計画の連壁と同施工深度、延長で工費及び工期を比較した。連壁が施工延長362.7m、深さ20m、厚さ0.8mに対し「ハット+H」は施工本数403本、深さ20mとなり、工費は6.5割低減、工期では、連壁が28.1 m<sup>2</sup>/日/台（作業時間10時間/日※当現場実績）に対し「ハット+H」が68.4 m<sup>2</sup>/日/台（作業時間10時間、溶接作業は除く）とこちらも6割の短縮という実績が得られた。

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るづらい。
- 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、打設および引抜きが容易となる。
- ③ 掘削側（地盤改良土側）の表面積が大幅に低減され、掘削時、土留め壁の土砂の撤去が容易かつ取り残し土砂の落下リスク低減により安全性が向上する。

## §6. まとめ

「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「親杭+鋼矢板」工法や連壁と比べ、引抜きが可能である点、工費、工期両面で有利となる。本工事は幸い、周辺に沈下や騒音等対策をとるべき住宅やオフィスなどが比較的にない環境での施工であり、ハット+H工法を大きな問題もなく無事に終えることが出来た。今後、同様な条件下での工事への展開が期待される工法であると考えられる。

最後に本工法を採用するにあたり日本製鉄株式会社（採用時、新日鐵住金株式会社）から貴重なご助言を頂いた。ここに改めて謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 本田健一、山本博、阿江治：土留め杭引抜きに伴う地盤沈下予測方法に関する一考察-土木学会年次学術講演会概要集、1984