

技術論文

東南アジアにおけるハット形鋼矢板の普及拡大に向けた取り組み

Approach for Expansion of Use of HAT Type Steel Sheet Piles in Southeast Asia

松井 延行* Nobuyuki MATSUI	富永 智矢 Tomoya TOMINAGA	森安 俊介 Shunsuke MORIYASU	鈴木 崇 Takashi SUZUKI
永津 亮祐 Ryosuke NAGATSU	乙志 和孝 Kazutaka OTSUSHI	豊島 径 Kei TESHIMA	

抄 録

日本製鉄(株)では、海外のインフラ整備を対象に、ハット形鋼矢板の普及拡大に取り組んでいる。工場の生産性向上、カーボンニュートラル等のニーズに応えるべく、日本とは異なる地盤、使用条件等におけるハット形鋼矢板の適用性、使用価値を現地で立証し、さらに顧客にとっての価値、社会的価値を最大化するための利用環境の整備を実施している。本稿では、東南アジア、特にシンガポールにおける取り組み事例について紹介した。

Abstract

The use of HAT type steel sheet piles is increasing with the development of overseas infrastructure. In order to contribute to effective construction and carbon-neutrality, the applicability and value of HAT type steel sheet piles have been locally established, thus creating a foundation from which the value for clients and society can be maximized. This report presents these approaches and examples of solutions applied to Southeast Asia, especially Singapore.

1. はじめに

現在、世界は新型コロナウイルス感染症(COVID-19)やロシア・ウクライナ危機、気候変動に伴う自然災害の増加といった様々な危機に直面している。海外のインフラ整備について、ASEAN諸国を中心とした経済成長に伴い、その需要は引続き高いものの、建設業者の不足、資材の不足や高騰が生じている。本環境下、建設生産性の向上、そしてカーボンニュートラルの実現に向けた取り組みを先駆けて行うことが必要である。

日本製鉄(株)はハット形鋼矢板やハットH鋼矢板といった高性能な建材商品を海外各地で展開している。施主、設計会社、建設会社といった現地の顧客のニーズ、設計基準や地盤、既に普及している建材の利用状況等、日本とは異なる条件の中で、その使用価値を現地で立証し、顧客から理解を得て、利用されるための環境を整備する中で、認知が進み、積極的な利用が進んでいる(例:図1)。本稿では、東南アジアにおけるハット形鋼矢板の普及拡大に向けたシンガポールでの取り組み事例について述べる。

2. ハット形鋼矢板の普及における課題

2.1 ハット形鋼矢板の特徴

ハット形鋼矢板は熱間圧延鋼矢板として世界最大の900



図1 シンガポールの仮設工事におけるハット形鋼矢板の適用
Application of HAT type steel sheet pile on temporary retaining wall in Singapore

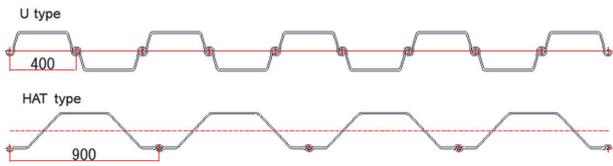


図2 ハット形鋼矢板とU形鋼矢板の比較
Comparison of steel sheet piles between HAT and U type

表1 ハット形鋼矢板の断面性能
Sectional properties of HAT type steel sheet piles

Type	Dimension			Per 1 m of pile wall width			
	Effective width (mm)	Effective height (mm)	Thickness (mm)	Sectional area (cm ² /m)	Moment of inertia (cm ⁴ /m)	Section modulus (cm ³ /m)	Unit mass (kg/m)
NS-SP-10H	900	230	10.8	122.2	10 500	902	96
NS-SP-25H	900	300	13.2	160.4	24 400	1 610	126
NS-SP-45H	900	368	15.0	207.8	45 000	2 450	163
NS-SP-50H	900	370	17.0	236.3	51 100	2 760	186

mm幅を有する鋼矢板である。図2に示すように、従来の400～600mm幅のU形鋼矢板に比べ幅が広いこと、打設枚数を削減できる。また、ハット形の形状により嵌合継手の位置が壁体の最外縁に配置され、鋼矢板単体の中立軸と壁体としての中立軸が一致するため、U形鋼矢板で考慮される継手効率による断面性能の低減を考慮する必要がない。そのため、断面性能を100%発揮することができ、その価値により、構造安全性の高い土留め構造を構築することが可能となる。また、同等の断面性能となるU形鋼矢板と比べ、鋼材重量を3割程削減できるため、打設枚数の削減による工期短縮と合わせ、建設コスト削減が可能となり、シンガポールにおける生産性向上のニーズに応えることができる。表1にハット形鋼矢板の断面性能を示す。

2.2 現地の鋼矢板の利用状況とハット形鋼矢板の普及に向けた課題

シンガポールにおいては、鋼矢板は主に地下鉄やビルの基礎、水路拡張工事等に要する仮設の土留め部材として用いられる。同国には鋼矢板の製造会社が無く、全量輸入されており、その太宗は中国や韓国、タイ等で製造される400mm幅のU形鋼矢板である。2014年まで日本製鉄のハット形鋼矢板の供給実績は無かったが、2015年に継手効率の規定があるユーロコード¹⁾が同国の設計基準として導入されたことを契機として、ハット形鋼矢板の普及に向けた取り組みを本格的に開始した。公共工事の監督官庁である建築建設庁 (Building and Construction Authority) では、土留め構造の安全性確保のため、設計上の水平変位を厳しく設定 (最小で掘削深さの0.5%) しており²⁾、これを合理的

に達成する観点からも、確実に所定の断面性能が発揮できるハット形鋼矢板はU形鋼矢板に対し優位である。

ユーロコードにおいては、継手効率の設計概念に加え地盤条件等に応じたU形鋼矢板の継手効率が提示されている。シンガポールでも、ユーロコードに対する付属書 (Singapore National Annex to Eurocode) に継手効率が規定³⁾されているが、ハット形鋼矢板は規定されていない。ハット形鋼矢板の認知が無い同国の構造設計において、断面性能に関する評価を適切に得るため、ハット形鋼矢板は継手効率を考慮する必要が無い鋼矢板であることをデータで示すことが必要であった。加えて、シンガポールでは設計者の責任・権限が強く、ユーロコードが導入された2015年以降も、旧来の慣習としてU形鋼矢板の継手効率が考慮されないケースがあり、ハット形鋼矢板とU形鋼矢板の比較において、継手効率の違いを示す必要があった。

また、打設について、現地の建設会社は、ハット形鋼矢板はU形鋼矢板に比べ幅広であり、矢板1枚当たりの表面積が大きくなることから、施工性に懸念を持っていた。現地特有の海成粘性土において、周面摩擦力が打設時の抵抗として卓越し、枚数削減に相当する打設工期の削減が図れないといった課題があった。そのため、ハット形鋼矢板は鋼矢板1枚当たりの剛性が大きく、打込み時の材料変形を抑え、効率的で迅速な打設が可能となること、その価値を立証することが必要であった。

以上を踏まえ、ハット形鋼矢板の優れた構造性能や打設性能を立証し、その価値について顧客から理解を得るため、シンガポールにおいて、構造試験・打設試験を行った。

3. ハット形鋼矢板の普及拡大に向けた取り組み

3.1 使用価値の理解獲得に向けた取り組み

3.1.1 ハット形鋼矢板の壁体曲げ試験

ハット形鋼矢板の曲げ抵抗特性を評価し、継手効率が1.0であることを立証するため、図3に示すハット形鋼矢板 (NS-SP-10H) を2枚嵌合させた壁体の4点曲げ試験を実施した。結果の客観性を担保し、現地の設計に反映させるため、鋼構造の設計に精通する現地地学識者の指導の下、試験を実施した。図4に曲げ試験における荷重-変位関係を示す。壁体の剛性は継手効率を1.0とした計算値と同等となること、材料強度から算定される壁体としての降伏荷重および全塑性荷重に至るまで、局部座屈を生じることなく、十分な塑性変形性能が得られることが確認された。

3.1.2 鋼矢板壁体の水平載荷試験

Singapore National Annex で規定されているU形鋼矢板の継手効率は、シンガポールの地盤で検証されたものではない。そこで、ハット形鋼矢板とU形鋼矢板の挙動の比較、および現地地盤に打設されたU形鋼矢板の継手効率を算定するために、水平載荷試験を実施⁴⁾した。



図3 ハット形鋼矢板の曲げ試験概要
Outline of flexural test of HAT type steel sheet pile wall

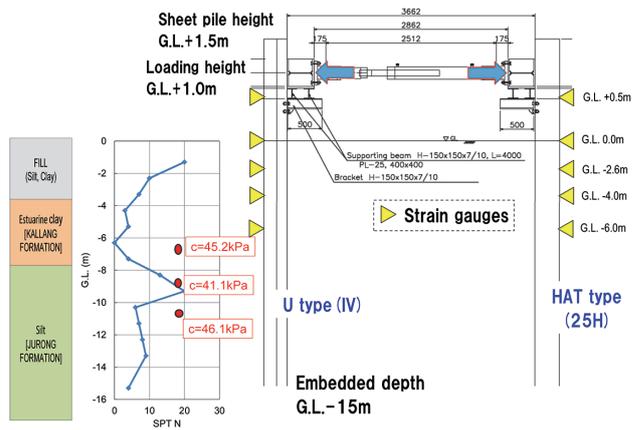


図5 水平載荷試験の概要
Outline of lateral loading test

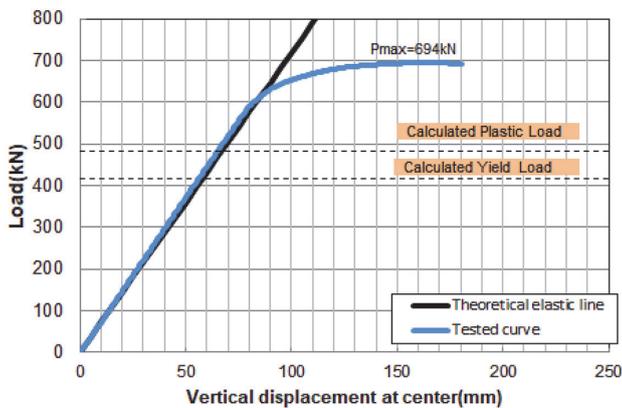


図4 曲げ試験における荷重—変位関係
Experimental load-deflection curves

図5に試験の概要を示す。ハット形鋼矢板(NS-SP-25H)、およびU形鋼矢板(NS-SP-IV)の壁体間に水平ジャッキ2台を設置し、両壁体に水平荷重を同時に載荷した。各鋼矢板には、断面内のひずみ分布、および継手効率を算定するため、深度方向および断面方向にひずみゲージを設置した。

図6に載荷後の壁体の概況を示す。継手効率を考慮しない場合の断面二次モーメントは、IV型は38600 (cm⁴/m)、25Hは24400 (cm⁴/m)と、IV型の方が上回るが、実際はIV型の壁の方が大きく傾いていることが分かる。また、図7に壁1m当たりの水平荷重(2つのロードセルの荷重値の合計)と水平変位の関係を示す。これによると、実際に発揮されたIV型の曲げ剛性はNS-SP-25Hと同等かそれ以下であることが確認された。また、ひずみゲージのデータ等により分析、算定したIV型の継手効率は0.3~0.4程度であり、Singapore National Annexで示される値(拘束無しの場合:0.3~0.4)の妥当性を立証した。

3.1.3 鋼矢板の打設試験

ハット形鋼矢板の打設性能を立証するため、同国の海成粘性土地盤において打設試験を実施した。打設方法は、同国での鋼矢板の利用実態に即し、過密な都市内で用いられ



図6 載荷試験後の概況(左:U形,右:ハット形)
Sheet pile walls after lateral loading test (Left: U type, Right: HAT type)

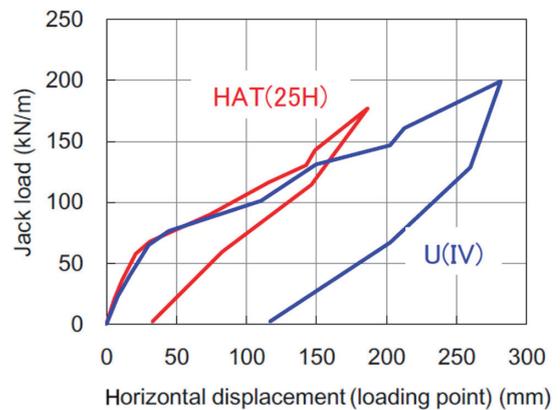


図7 壁1m当たりの水平荷重—水平変位の関係
Experimental lateral load per 1 m wall width and lateral displacement

る騒音・振動が小さい圧入施工を適用した。また、現地の建設会社へのヒアリング等に基づき、鋼矢板の再利用の実態を想定した繰返し打設を行い、打設速度の計測に加え、鋼矢板の耐久性を検証した。比較のため、U形(NS-SP-IV)、ハット形(NS-SP-25H)をそれぞれ5体ずつ準備し、継手を勘合せながら打設を行った。

図8に地盤条件および各鋼矢板の打設時間を示す。ハット形鋼矢板はU形鋼矢板と同等の1枚当たりの打設速度

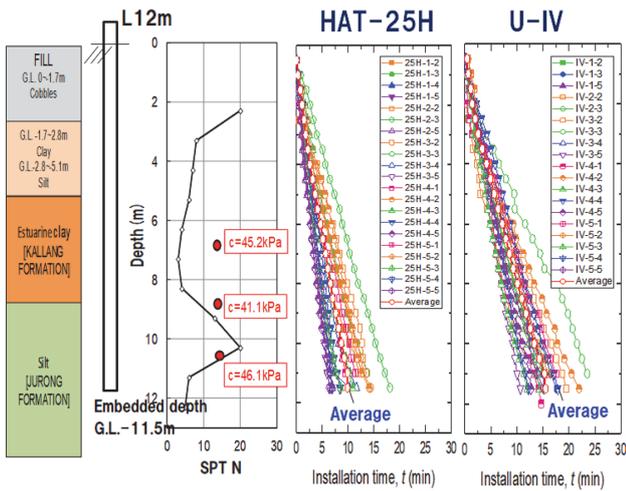


図8 打設試験における地盤条件と打設時間

注：グラフ中 25H(IV)-●-▲ ●：鋼矢板番号 (1-5) ▲：繰返し数
Soil conditions and installation time for piling test
● Pile No. ▲ Repeated number of installation

が発揮されることを確認した。ハット形鋼矢板はU形鋼矢板の2.25倍の1枚当たりの矢板幅を有するため、同一延長の鋼矢板壁を約半分の手間で構築できることを示した。加えて、検証した繰返し打設回数範囲においては、鋼矢板の継手部や本体部等の顕著な変形を生じることなく、一定の打設速度が維持されることを確認し、同国において仮設鋼矢板として使用可能であることを立証した。

3.2 利用環境の整備に関する取り組みと適用事例

上述した取り組みについて、広く認知を得るため、現地の公的機関や学会が主催する技術セミナー等に参画し、立証したデータを公開してきた。加えて、建設施工機械メーカーと連携したハット形鋼矢板用の圧入機の新規導入や設計・施工マニュアルの整備を行い、ハット形鋼矢板をタイムリーに現場に提供するスキームを構築した。

このように日本製鉄は鋼材の販売のみならず、CO₂削減に資する工期短縮や構造合理化等の使用価値を現地に根付かせ、また、顧客が採用しやすい環境整備といった総合的なバリューエンジニアリングを行っている。

その結果、同国におけるハット形鋼矢板の適用事例が増加している。図9は狭隘なエリアの水路拡張工事に適用された事例であり、掘削に伴う周囲の既設構造物への影響が懸念される中、確実に所定の断面性能が発揮できるハット形鋼矢板が評価された。図10は、港湾工事の事例で、施工延長の長い水路工事において、900mm幅のハット形鋼矢板を活かした急速施工と耐久性が評価され採用された事例である。ハット形鋼矢板は本案件内で複数回利用された後、他案件でも転用されており、従来のU形鋼矢板と同様に仮設利用が浸透してきている。なお、シンガポールでの実績を踏まえ、東南アジア諸国でもハット形鋼矢板が採用される事例が増えている。



図9 水路拡張工事での適用事例
Application to canal expansion



図10 港湾工事での適用事例
Application to port & harbor

4. おわりに

日本製鉄のハット形鋼矢板は、現地の地盤での適用性を施工試験・実プロジェクトで確認済である。この価値を明確化すべくNSHAT®としてシンガポールや日本で商標化している。今後、シンガポールのみならず、ベトナムやタイなど、ASEAN各国における固有のニーズに対する高付加価値ソリューションを提供し、社会・顧客ニーズに応えていく。

参考文献

- 1) EN 1993-5 "Eurocode 3 Design of Steel Structures"
- 2) Advisory Note 1/09 on Earth Retaining or Stabilizing Structure (ERSS). Building and Construction Authority, Apr 2009
- 3) Singapore National Annex to Eurocode 3: Design of Steel Structures—Part 5: Piling. 2010
- 4) Moriyasu, S. et al.: Comparison of Flexural Stiffness between HAT-type and U-type Steel Sheet Pile Retaining Walls in a Field Test in Singapore. Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA. 51 (1), (March 2020)



松井延行 Nobuyuki MATSUI
厚板・建材事業部 建材開発技術部
土木建材技術室 土木技術第一課 主幹
東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071



永津亮祐 Ryosuke NAGATSU
Nippon Steel Southeast Asia Co., Ltd.
シニアマネジャー



富永智矢 Tomoya TOMINAGA
厚板・建材事業部 建材開発技術部
土木建材技術室 土木技術第一課 上席主幹



乙志和孝 Kazutaka OTSUSHI
厚板・建材事業部 建材開発技術部
土木建材技術室 土木技術第二課長
博士(工学)



森安俊介 Shunsuke MORIYASU
厚板・建材事業部 建材開発技術部
土木建材技術室 土木技術第二課 主幹
博士(工学)



豊島 径 Kei TESHIMA
厚板・建材事業部 建材開発技術部
土木建材技術室 土木技術第二課 部長代理



鈴木 崇 Takashi SUZUKI
Nippon Steel Southeast Asia Co., Ltd.
シニアマネジャー