

技術論文

鋼矢板を用いた新しい基礎工法 (先端支持型シートパイル基礎) の開発

Development of New Steel Sheet Pile Foundation Method

妙中真治* Shinji TAENAKA	加藤篤史 Atsushi KATO	戸田和秀 Kazuhide TODA	原田典佳 Noriyoshi HARATA
乙志和孝 Kazutaka OTSUSHI	中山裕章 Hiroaki NAKAYAMA	田中隆太 Ryuta TANAKA	

抄 録

鋼矢板は、従来、掘削土留めや護岸、道路擁壁などの抗土圧構造として利用されるのが一般的であった。しかし最近では、フーチングを取り囲んだ鋼矢板の鉛直および水平抵抗を活かしたシートパイル基礎に代表されるように、仮設本設兼用での基礎構造物としての利用も図られている。新日鉄住金(株)では、これらのニーズに応えるため鋼矢板の支持力機能の強化の開発を進めてきた。先端加工鋼矢板は、鋼矢板先端に閉塞断面を形成することで、地盤の閉塞効果を発現させ確実な支持力を得ることを期待している。鉛直支持力を確保するために開発された先端加工鋼矢板についての技術検討について報告した。

Abstract

Sheet piles have been used mainly for wall structures against earth pressure so far, such as temporary walls, revetments and retaining walls. However, sheet piles have also gotten used for foundations after using temporary walls. "Sheet pile foundation" is a typical usage for such applications, where sheet piles are utilized to improve the axial and lateral bearing capacity of foundation by connection between the sheet piles and the foundation. Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation has developed the new sheet pile with closed section at bottom in order to activate soil plugging for high end bearing capacity. This paper introduces the new sheet pile and explain the design capacity based on lot of the data from in-situ load tests.

1. 緒 言

鋼矢板は、従来、掘削土留めや護岸、道路擁壁などの抗土圧構造として利用されるのが一般的であった。しかし近年は、鋼矢板を仮設土留め兼用材として利用した後、鋼矢板とフーチングを結合した複合基礎とする等、仮設本設兼用での基礎構造物としての利用も図られている。図1の左側に示す中間支持型シートパイル基礎は、その代表例であり、フーチングを取り囲んだ鋼矢板の鉛直および水平抵抗を活かすことで、従来直接基礎を構築できなかったN値20～30未満の砂質土地盤や洪積粘性土地盤等の中間層を支持地盤とすることが可能である。この基礎構造形式については、数多くの研究がなされており、鉄道構造物基礎では2005年に設計マニュアルが整備されるとともに、実構造物への適用実績も積み重ねられている。

さらにシートパイル基礎の適用範囲を拡大するため、新日鉄住金(株)は(公財)鉄道総合技術研究所および(株)大林

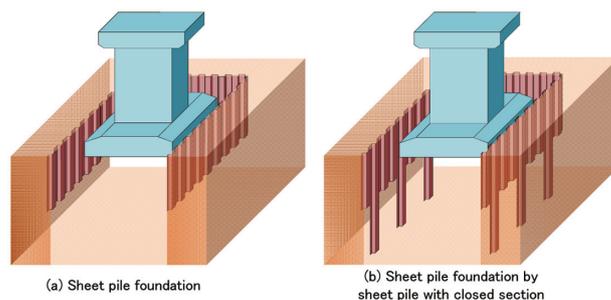


図1 シートパイル基礎 (中間支持型と先端支持型) Sheet pile foundation

組と共同で研究開発を進めてきた。従来は新設の直接基礎の支持力性能を向上するための中間支持型シートパイル基礎が主流であったが、中間層に中間支持可能な層がない場合に深部の支持層に支持させた先端支持型シートパイル基礎の開発に着手した(図1右図)。先端支持型シートパイル基礎を構成する鋼矢板のうち、支持層まで根入れするのは先端部に閉塞断面を形成した鋼矢板(以下、先端加工

* 鉄鋼研究所 鋼構造研究部 主幹研究員 Ph.D. 千葉県富津市新富 20-1 〒293-8511

鋼矢板)を用いている。本報では、通常鋼矢板に比べ、より大きな鉛直支持力を確保するために開発された先端加工鋼矢板の技術検討について報告する。

2. 先端加工鋼矢板

2.1 先端加工鋼矢板の概要

鋼管杭は、断面が円形の閉塞断面を構成するため、鋼管内部における地盤の閉塞効果を伴って高い支持力を発揮する。しかし、通常の鋼矢板の鉛直抵抗特性に関しては、載荷試験実例が少なく²⁾、その合理的な評価に達していないのが実情である。これは鋼管杭とは異なり、鋼矢板は断面が開放断面であり、その閉塞現象は不明確な点が多いためである。先端加工鋼矢板は、鋼矢板先端に閉塞断面を形成し、地盤の閉塞効果を発現させることで確実な支持力を得ることを期待している。

新日鐵住金が開発した先端加工鋼矢板の概要を図2に示す。先端加工鋼矢板は、鋼矢板先端部において鋼矢板本体と同形の鋼矢板を閉塞断面が形成されるように向かい合わせて継手付近を溶接加工する。鋼矢板上端から作用する鉛直荷重を先端加工部全体に分散させるために、先端加工部上端はテーパ形状とし鋼矢板本体と接続している。本開発では、先端加工部の仕様検討から着手し、その支持力性能を実大静的載荷試験にて検討してきた。ここでは、その技術的な取り組みについて述べる。

2.2 先端加工長さの決定³⁾

一般的に先端閉塞により地盤抵抗を発現させるためには閉塞断面内の摩擦抵抗が十分に確保される必要がある。そのため先端加工の仕様検討では、その加工長さが非常に重要なパラメータの一つとなる。この仕様検討では、まず模型試験における先端部の加工長さ検討を実施した後、実大載荷試験により加工長さが支持力に与える影響を評価した。

2.2.1 小型土槽模型実験

模型実験は小型土槽（内径 558.8mm × 高さ 441mm）を用いて、相対密度が 85～90% となるように管理した鹿島硅砂 ($D_{50}=0.3\text{mm}$) を堆積させ実施した。さらに深度 15～20m 程度の応力状態を再現するため、土槽内に設置したエアバックを用いて上部より 300kN/m²、側面より 150kN/m² の拘束圧を載荷した。先端加工鋼矢板はアルミニウム製角管 40mm × 40mm × 2mm 厚を一部切断加工することで模擬した模型を用いた。図3は模型試験における鉛直荷重と杭頭沈下量の関係である。先端加工長さ（ここでは L_{cs} ）が長くなるほど鉛直抵抗力は増加傾向を示し、加工長さが角管一辺の長さの3倍ではほぼ全長を閉塞断面としたケース（全長加工ケース）と一致する。図4は各ケースで同一沈下量が発生した際の、鉛直荷重の全長加工ケースに対する比率を示す。この結果から、加工長さが 3.0D を

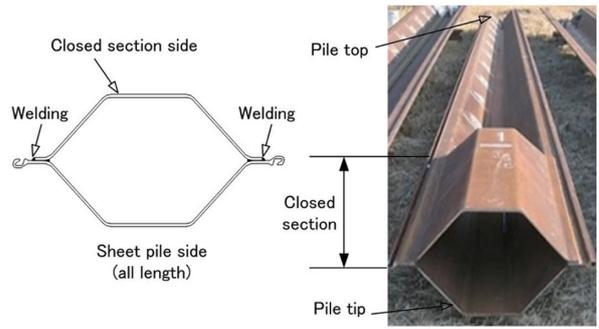


図2 先端加工鋼矢板
Sheet pile with closed section at bottom

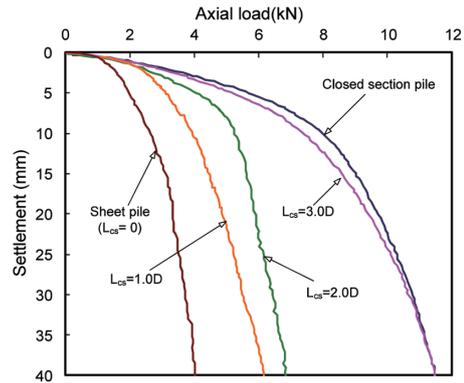


図3 模型試験での先端加工長さの比較
Comparison of the length of the closed section in chamber tests

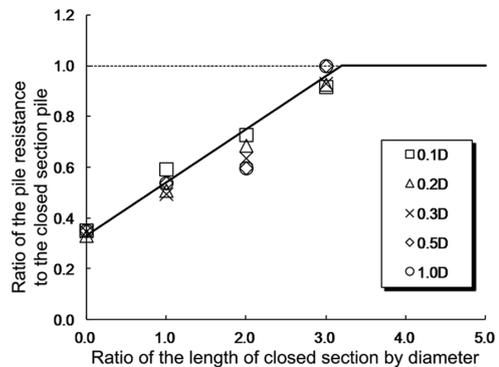


図4 先端加工長さによる支持力特性への影響評価
Effect of the length of the closed section on the bearing capacity

超えると、ほぼ全長加工と同等の支持力が確保できると推察される。

2.2.2 実大静的鉛直載荷試験

実大の鋼矢板（ハット形鋼矢板 10H）を用いた先端加工鋼矢板の鉛直載荷試験（兵庫県姫路市）を実施した。試験杭は先端加工長さの異なる2種の先端加工鋼矢板を準備し、地表面から支持層（GL-17.8m）まで砂、シルトの互層、支持層は粘土まじり砂からなる地盤に対して、ウォータージェット（略記：WJ）を併用したパイプロハンマ工法にて施工した。先端加工鋼矢板の閉塞断面積（0.234m²）に対

して、代表杭径（D）として断面積の平方根に当たる長さ（D = 0.484m）を仮定し、支持層内へ打設する先端加工長さを2.89Dおよび4.75Dとして比較を行った。図5に杭頭荷重および先端荷重における荷重沈下関係を示す。この結果から、先端加工長さとしては、3.0D程度を確保すれば、先端閉塞効果が得られることが分かる。

3. 先端加工鋼矢板の支持力性能

3.1 バイブロハンマ工法で施工した現場载荷試験⁴⁻⁷⁾

3.1.1 実大鉛直载荷試験の概要

鉛直支持力特性の合理的な評価方法の構築を目的に、表

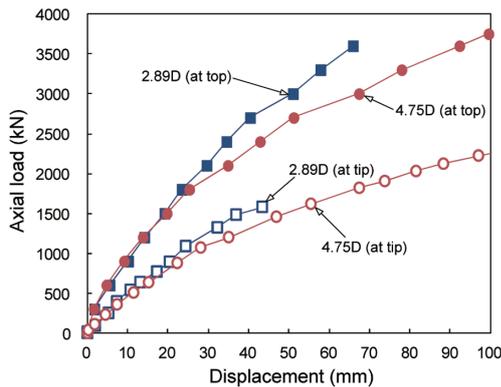


図5 現場载荷試験での先端加工長さの比較
Comparison of the length of the closed section of in-situ load tests

1に示すように複数サイトで先端加工鋼矢板の静的鉛直载荷試験を実施した。また比較のため、表2に示す加工のない通常の鋼矢板の静的载荷試験も実施した。対象とする鋼矢板は、U形鋼矢板IV_w型と、ハット形鋼矢板10Hと25Hの3種とした。

鋼矢板の打設は、WJを併用したバイブロハンマ工法をベースとした。WJの使用は、支持層に至るまでの打設途中で地盤が先端加工部で閉塞してしまい打設効率が低下してしまうことを防ぐために、中間層ではWJ使用を標準とした。但し、支持層地盤の乱れを起こさせないようにするため、WJの使用は支持層到達の1.0m手前までとし、それ以深から支持層内での打設はWJを停止しバイブロハンマ単独工法での打設を行った。WJ稼働時は、水圧が10～15MPaとなるように調整した。一方、通常の鋼矢板では閉塞による打設効率の低下は考えにくいいため、バイブロハンマ単独工法での载荷試験も複数実施している（表2のDシリーズ）。

先端加工鋼矢板における支持層への根入れおよび先端下降長さは3.0Dを基本とし、比較用として、それ以外の長さについての試験も実施した。各ケースの根入れ長さは表1に示すとともに、括弧内に代表杭径Dを基準とした値を整理した。ケースA-1とA-2は前述した兵庫県姫路市での試験と同一であり、A-2は先端加工長さを約5.0Dとしており、ほぼ同じ長さを支持層へ根入れした。また先端加工

表1 先端加工鋼矢板の実大载荷試験結果一覧（WJ併用バイブロハンマ工法）

In-situ load test results for sheet piles with closed section at bottom by vibration method with and without water jetting

Case	Site	Type	WJ	Bearing layer			End bearing capacity (kN)	
				Soil condition	Embedded length (m)	SPT N-value	Measured	Estimated
A-1	Hyogo	10H	○	Sand gravel	1.400 (2.9D)	76	1518	889
A-2	Hyogo	10H	○	Sand gravel	2.300 (4.8D)	70	1486	1179
A-3	Chiba	10H	○	Sand	1.400 (2.9D)	75	932	878
A-4	Chiba	25H	○	Sand	1.800 (3.3D)	75	1171	1181
A-5	Ibaragi	10H	○	Sand gravel	1.460 (3.0D)	71	1469	831
A-6	Ibaragi	IV _w	○	Sand gravel	1.520 (3.2D)	140	1609	1383
A-7	Chiba	10H	○	Sand	0.484 (1.0D)	69	496 over	309
A-8	Chiba	10H	○	Sand	0.967 (2.0D)	69	767	396
A-9	Chiba	10H	○	Sand	1.450 (3.0D)	69	807	807
A-10	Chiba	IV _w	○	Sand	0.473 (1.0D)	69	634 over	342

表2 通常鋼矢板の実大载荷試験結果一覧（WJ併用工法、バイブロハンマ単独工法）

In-situ load test results for sheet piles by vibration method with and without water jetting

Case	Site	Type	WJ	Bearing layer			End bearing capacity (kN)	
				Soil condition	Embedded length (m)	SPT N-value	Measured	Estimated
C-1	Hyogo	10H	○	Sand gravel	0.900 (1.0W)	69	272	383
C-2	Hyogo	10H	○	Sand gravel	1.400 (1.56W)	76	342	504
C-3	Chiba	10H	○	Sand	0.900 (1.0W)	75	230	273
C-4	Chiba	25H	○	Sand	0.900 (1.0W)	75	451	328
C-5	Fukushima	10H	○	Hard clay	0.900 (1.0W)	68	291	238
C-6	Fukushima	IV _w	○	Hard clay	0.830 (1.38W)	68	334	215
D-1	Chiba	10H	—	Sand	0.900 (1.0W)	75	859	437
D-2	Chiba	25H	—	Sand	0.900 (1.0W)	75	879	513
D-3	Ibaragi	10H	—	Sand gravel	0.900 (1.0W)	71	605	601
D-4	Ibaragi	IV _w	—	Sand gravel	0.600 (1.0W)	140	580	440

長さは3.0Dと同一であるが、支持層への根入れ長さを1.0～3.0Dに変化させたケース（A-7, A-8, A-9）も準備し比較試験を実施した。

一方、通常鋼矢板における支持層への根入れについては、“鉄道構造物等設計標準・同解説（基礎構造物）”⁹⁾（以下、基礎標準）のH形鋼杭の規定（杭の辺または高さの大きい方以上打ち込めば、杭先端付近のN値を支持力算定上のN値としてよい）に倣い、鋼矢板の有効幅Wと同一とすることを基本とした。根入れ長さの比較として、根入れ長さの異なるケース（C-2）を準備した。

3.1.2 荷重試験結果

地盤工学会基準（JGS1811-2002）⁹⁾杭の押し込み試験方法あるいは急速荷重試験方法に準拠して行った荷重試験の結果から、ここでは先端支持力に注目した結果について報告する。

先端支持力は、先端加工鋼矢板においては加工長さ部分での荷重負担を先端支持力として考慮し、通常鋼矢板では支持層への根入れ部分での荷重負担を先端支持力として考慮した。そのため、両者とも先端部分における抵抗力に加えて先端支持力評価範囲の摩擦抵抗力を含む値を先端支持力として採用した。杭先端支持力の判定では、杭先端変位量が杭径の10%に達した荷重を第二限界荷重とする。代表杭径Dとして、先端加工鋼矢板では先端部分において閉塞断面は完全閉塞することを前提として先端閉塞面積の平方根（ $=\sqrt{A}$ ）を採用した。一方、通常鋼矢板では閉塞は全く生じないことを仮定し、鋼矢板材料の実断面積の平方根（ $=\sqrt{A}$ ）から代表杭径を算定した。試験結果から得られた先端支持力を表1および表2に示す。なお試験ケースA-7とA-10では、杭先端の沈下量が代表杭径の10%に到達する前に試験機能力から荷重終了となったため、試験終了時の荷重値を記載している。

一つのサイトで複数の試験が行われているため、各結果を比較することにより支持力特性を検討することができる。同一地盤条件、施工条件で比較した場合（A-3とC-3の比較、A-4とC-4の比較）、先端加工鋼矢板を採用することで、非常に大きな支持力が発現されることが確認できる。またWJを併用した場合をパイプロハンマ単独工法での施工と比較した結果（C-3とD-1の比較、C-4とD-2の比較）、支持力が低下する傾向があることが分かる。

図6には代表例として、茨城県美浦村で行った荷重試験における杭頭での荷重変位関係を示す。通常の鋼矢板は、第一限界抵抗力に達すると、それ以上沈下量が進んでも荷重が伸びない傾向がみられ、摩擦杭に近い挙動を示した。一方、先端加工鋼矢板は変位が増大するにつれ荷重が伸び続ける傾向を示し、先端加工部分において先端閉塞が発現する先端支持型の支持力特性を有することが確認された。

先端加工鋼矢板の根入れ長さが異なるケース（表1の

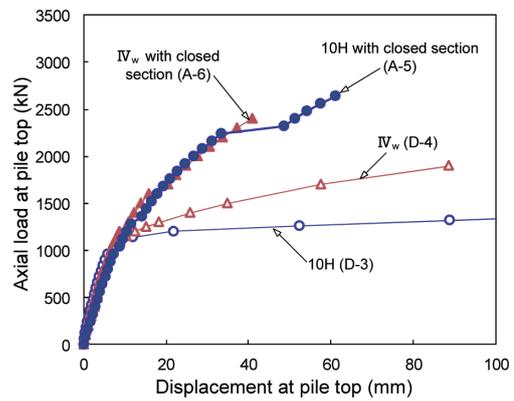


図6 実大試験での支持力特性
Load displacement curves for bearing capacity

A-7, A-8, A-9)に着目すると、先端支持力はA-8とA-9ではほぼ同じであり、根入れ長さとの関係に推定値と同様の相関性は見られなかった。支持層への根入れ長さが影響していないことから、閉塞空間内部での地盤の閉塞は、必ずしも支持層内で起こらず打設途中から発生しているものと考えられる。このため、実際の施工現場において支持層への根入れ長さが所定長さに達する前に打ち止めせざる得ない場合でも、2.0D程度の根入れ長さが確保できれば先端加工鋼矢板に支持力が期待できると言える。

3.2 支持力評価方法

ここでは、鉄道構造物の設計における支持力評価方法について述べる。設計鉛直力は、特性値に相当する基準支持力に対して部分安全係数を乗じて算出することとされている⁷⁾。この基準支持力の特性値は基準周面支持力と基準先端支持力の和で算定される。本報では、荷重試験で対象としたWJ併用パイプロハンマ工法による先端加工鋼矢板を中心とするが、通常鋼矢板の支持力についても貴重なデータが蓄積できたことからWJ併用およびパイプロハンマ単独施工による通常鋼矢板も対象として、先端支持力の評価方法について説明する。

3.2.1 先端加工鋼矢板の先端支持力

先端加工鋼矢板の先端支持力は、基礎標準における先端の閉塞効果が十分に発揮された先端開放の打込み杭の先端支持力の算定式を基準として評価することとし、以下の式により算定する。

$$R_p = q_p A_p = 50 N A_p \quad (1)$$

ここに、 R_p ：先端加工鋼矢板の基準先端支持力（kN）、 q_p ：基準先端支持力度（kN/m²）、 A_p ：先端加工鋼矢板の先端閉塞面積（m²）とする。先端支持力度は、特に地盤に応じて以下のように設定した。

$$\text{砂質土} \quad q_p = 50 \text{ N } (\leq 4000) \quad (2a)$$

$$\text{砂礫} \quad q_p = 50 \text{ N } (\leq 6000) \quad (2b)$$

従来の先端開放打込み杭の支持力係数は $q_p = 150 \text{ N}$ とさ

れているため、先端加工鋼矢板の支持力係数は1/3倍に低減されたものとなる。一方、先端加工鋼矢板の先端付近の地盤強度が高ければWJの使用による影響はより小さくなる。これを考慮して先端支持力度の上限値は推定値と実測値を比較分析した結果から、先端開放打込み杭の上限値を1/2倍とした。

3.2.2 通常鋼矢板の先端支持力

通常鋼矢板は基礎標準の打込み工法によるH形鋼杭の考え方を踏襲し、先端閉塞を考慮しない杭として扱う。そのため先端支持力の算定のもととなる先端面積は鋼矢板の実断面積とする。先端支持力の評価に関しては、各载荷試験において先端付近の軸力計測結果の乱れ等により純粋な実断面積による先端抵抗を精度よく分離することが困難であったため、支持層根入れ部分の周面支持力を含めて以下の式で定義した。この点が先端加工鋼矢板の支持力とは異なる点となるので注意されたい。

$$R_p = q_p A'_p + r_i l_i U \quad (3)$$

ここに、 A'_p ：通常鋼矢板の実断面積 (m^2)、 r_i ：各土層（ここでは根入れする支持層）での周面支持力度 (kN/m^2)、 l_i ：支持層への根入れ長さ (m)、 U ：鋼矢板の周長 (m) である。

通常鋼矢板の先端支持力度 q_p は以下の算定式により算出する。本算定式は基礎標準におけるH形鋼杭の先端支持力算定式と同一である。

$$\text{砂質土} \quad q_p = 300 \text{ N} (\leq 10000) \quad (4a)$$

$$\text{砂 礫} \quad q_p = 300 \text{ N} (\leq 15000) \quad (4b)$$

$$\text{硬質粘性土・軟岩} \quad q_p = 100 \text{ N} (\leq 20000) \quad (4c)$$

支持層における周面支持力度は、パイプロハンマ単独施工であるか、WJ併用による工法であるかで算定式が異なる。パイプロハンマ単独での周面支持力度は下式より算出する。

$$\text{砂質土} \quad r_i = 3.0 \text{ N} (\leq 150) \quad (5a)$$

$$\text{砂 礫} \quad r_i = 4.0 \text{ N} (\leq 200) \quad (5b)$$

$$\text{粘性土} \quad r_i = 10 \text{ N} (\leq 150) \quad (5c)$$

$$r_i = q_u/2 (\leq 150) \quad (5d)$$

ここに、 q_u ：粘性土の一軸圧縮強さ (kN/m^2) である。

支持層根入れ部の周面支持力度の算出では、H形鋼杭の算定式、上限値を用いる。一方、WJを併用したパイプロハンマ工法では、上記の算出式(5a)～(5d)において算定式、上限値とも1/2倍に低減した値を用いることとした。これは、支持層根入れ前にWJを停止させたとしても、支持層到達までに吐出した水分が支持層へも浸透し、地盤を乱す可能性を考慮したものである。なお、支持層への根入れ部分として周面支持力を考慮できる長さは、鋼矢板の有効幅以下とし、たとえ根入れ長さを大きく確保したとしても、先端支持力の算定には考慮しないこととした。

$$\text{砂質土} \quad r_i = 1.5 \text{ N} (\leq 75) \quad (6a)$$

$$\text{砂 礫} \quad r_i = 2.0 \text{ N} (\leq 100) \quad (6b)$$

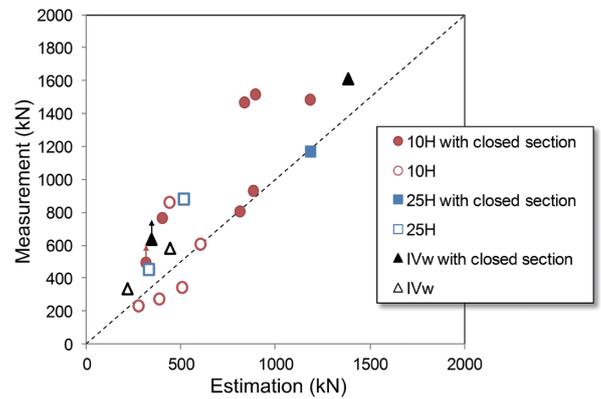


図7 設計支持力度と载荷試験結果の比較
Comparison between design capacity and test results

$$\text{粘性土} \quad r_i = 5.0 \text{ N} (\leq 75) \quad (6c)$$

$$r_i = q_u/4 (\leq 75) \quad (6d)$$

3.2.3 先端支持力評価式と実測値の比較

前節で述べた算出式により各载荷試験杭の先端支持力を算定した結果は、すでに表1および表2の最右列に示した。また算出の前提となる支持層のN値も同表に記載しているが、ここではN値上限を設定せず評価を行っている。鋼矢板の実断面積、先端加工鋼矢板の閉塞断面積および各代表杭径は、文末の付表に一覧で示した。

図7には、先端支持力評価式と実測値を比較した結果を示す。図中の塗りつぶしが先端加工鋼矢板の結果であり、白抜きが通常鋼矢板の結果となる。地盤条件や施工条件にも依存するのは当然ではあるが、概ね2倍ほど高い支持力を先端加工鋼矢板が有していることが確認できる。また複数の鋼矢板型式、先端加工の有無および施工条件の違いがあるにも関わらず、提案式は非常に高い精度で支持力が推定できることがわかる。特に先端加工鋼矢板では全てのケースで推定式以上の支持力発揮が確認されており、安全側の評価であるといえる。

以上の知見は、すでに“鉄道構造物に適用するシートパイル基礎の設計・施工マニュアル(第3版)”¹⁰⁾に反映され、鉄道構造物の基礎として適用ができるようになっている。本報で省略した周面支持力の算出式などについては、本マニュアルを参照されたい。

4. 適用範囲拡大に向けた研究開発

先端加工鋼矢板の設計法を確立すべく、パイプロハンマ工法で打設した試験体を対象に、複数サイトで実施した静的载荷試験から支持力評価式を構築してきた。しかしながら現状では打設工法が異なる圧入工法に対しては、先端加工鋼矢板の設計支持力として当該算出式を直接適用できない。そこで圧入工法で打設した先端加工鋼矢板の支持力評価式を構築すべく静的载荷試験を実施したので報告する。

4.1 圧入工法で施工した現場载荷試験¹¹⁾

4.1.1 実大鉛直载荷試験の概要

打設はWJ併用の圧入工法で実施した。圧入工法の場合、パイプロハンマ工法とは異なり、支持層到達前でも地盤の強度が上がるにつれWJを使用しないと所定深度まで打設できず、またWJ活用時においても打設に難渋することもある。そのため、WJを所定深度の1.0m手前で停止させることなくWJの水圧を低く保ちつつ施工全長に亘ってWJを使用することを前提とした。

本载荷試験は、千葉県富津市と高知県高知市の2箇所で行ったが、富津市の試験場では、根入れ長さを2種(1.0Dと3.0D)の試験体を準備し、実際の施工条件に伴う根入れ長さの影響を評価した。さらに、これに加えてパイプロハンマ工法と同様に支持層の1.0m手前でWJを停止させたケースも追加実施した。結果的に、0.59Dまでしか打設できなかったが、この試験体も同様に载荷試験を実施している。

高知市の試験場ではWJの配置についての比較検討を実施した。本来、バランスを考慮すると図8右図に示すように加工側と矢板側に等しくWJを配置するのが好ましいが、加工側へのWJ配置はホースの取り回しなど別の問題も生じる。そのため、ここでは主に打設段階での施工管理などを主目的として、別のWJ配置(図8左図)を比較した。なお本試験は、打設の結果、当該地の地盤は非常に透水係数が高いためWJの水圧が抜けやすく、N値50以上となる明確な支持層までの打設が困難となった。そのため、文献⁷⁾で規定されている砂、砂礫で構成された堅固な層(N値30以上)を対象として、先端加工長さ3.0D全長を根入れさせた深度で打ち止めた。

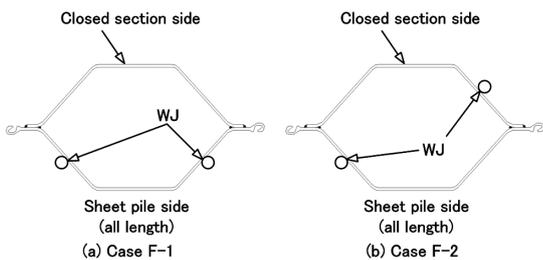


図8 高知でのテストケース (WJ位置の比較)
Test cases in Kochi (comparison of the positions of WJ)

4.1.2 鉛直载荷試験の結果

表3に実施した圧入試験結果を示した。図9には先端荷重-先端変位関係を、適用可否を検討するパイプロハンマ工法の設計支持力および代表杭径で無次元化して示した。

この結果より富津試験における根入れが1.0Dと3.0Dのケース(E-1とE-2)は、ほぼ同様な挙動をしていることが分かる。また、その支持力は設計支持力よりも少し低下する傾向がみられる。これらは、圧入工法はパイプロ工法と異なり周辺地盤を乱す可能性のある上下動は少ないものの、支持層内までWJを併用して打設した影響を受けたと考えられる。支持層の1.0m手前でWJを停止させたケース(E-3)では、支持層への根入れ長さが0.59Dと短いにも関わらず、非常に大きい支持力が発現していたことが、前述の仮説を裏付けていると考えることができる。支持層内でWJを使用しない条件であれば、圧入工法はパイプロハンマ工法と同等以上の支持力を発揮する可能性がある。

高知試験でのF-1は、ほぼ富津試験のE-1、E-2と同じ支持力特性を示した。一方、WJの位置が異なるF-2は非常に大きな支持力が発揮された。本ケースで支持力が大きくなった理由の詳細は不明だが、WJの使用法ならびに3~10mm径の礫主体の地盤構成が影響したことが想定される。今後、WJの噴出量や地盤構成との関係についての研究も積み重ねていきたい。

5. 結 言

本報で紹介した先端加工鋼矢板は、鋼矢板に支持力機

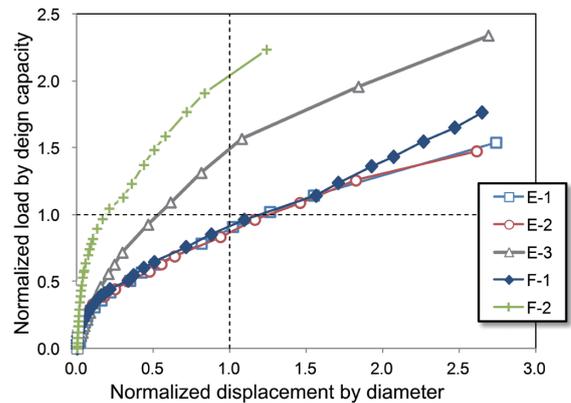


図9 実大試験での支持力特性 (圧入工法)
Load displacement curves driven by press-in method

表3 先端加工鋼矢板の実大载荷試験結果一覧 (圧入工法)
In-situ load test results for sheet piles with closed section at bottom by press-in method

Case	Site	Type	WJ	Bearing layer			End bearing capacity (kN)	
				Soil condition	Embedded length (m)	SPT N-value	Measured	Estimated
E-1	Chiba	10H	○*	Sand	0.490 (1.0D)	69	723	807
E-2	Chiba	10H	○*	Sand	1.460 (3.0D)	69	746	807
E-3	Chiba	10H	○	Sand	0.290 (0.59D)	69	1204	807
F-1	Kochi	10H	○*	Sand gravel	1.460 (3.0D)	36	385	421
F-2	Kochi	10H	○*	Sand gravel	1.460 (3.0D)	40	859	421

○*: WJ was used for all driving depth into the bearing layer.

能を担保させるために開発した基礎建材である。これまでに鉄道構造物の基礎補強部材としての研究開発を進めてきており、実大載荷試験による各種鋼矢板打設方法に応じた支持力性能を明らかにしている。また、先端加工仕様や現場施工管理方法なども整理し、すでに先に述べたシートパイル基礎のマニュアル¹⁰⁾にも反映されている。引き続き、圧入工法など適用範囲の拡大に資する研究開発を進めていき、鋼矢板の高度な利用方法の提案を実施していく。

謝 辞

シートパイル基礎の開発については、鉄道総合技術研究所、大林組との共同研究によって各種課題解決に取り組んでおり、関係者の方々に多大なるご助力を頂きましたこと、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物に適用するシートパイル基礎の設計・施工マニュアル。第1版。2005
- 2) 妙中真治 ほか：鋼矢板の鉛直支持力特性の評価。土木学会論文集C。63 (I), 285-298 (2007)
- 3) 中山裕章 ほか：先端部に閉塞断面を設けた鋼矢板の支持力特性評価。第66回土木学会年次学術講演会。松山, III-219, 2011.9
- 4) 加藤篤史 ほか：静的鉛直載荷試験データに基づく鋼矢板の鉛直支持力性状評価。第55回地盤工学シンポジウム。東京, 2010.11
- 5) 中山裕章 ほか：先端部に閉塞断面を設けた鋼矢板の静的鉛直載荷試験。第56回地盤工学シンポジウム。東京, 2011.11

付表1 各型式での先端断面と代表杭径
Tip area of end bearing capacity and the diameter

Type	Sheet pile		Sheet pile with closed section at bottom	
	A (m ²)	D (m)	A (m ²)	D (m)
10H	0.01100	0.1049	0.234	0.4837
25H	0.01444	0.1202	0.300	0.5477
45H	0.03500	0.1871	0.370	0.6083
50H	0.03990	0.1997	0.372	0.6105
II _w	0.00787	0.0887	0.154	0.3924
III _w	0.01039	0.1019	0.202	0.4494
IV _w	0.01353	0.1163	0.225	0.4743
V _L	0.01338	0.1157	0.177	0.4207
VI _L	0.0153	0.1237	0.191	0.4370

- 6) Nakayama, H. et al.: Static Load Tests on Vertical Bearing Capacity of Steel Sheet Piles with Closed Sections, 9th Int. Conf. on Testing and Design Methods for Deep Foundations, Kanazawa, Japan, 2012.9
- 7) (公財)鉄道総合技術研究所, (株)大林組, 新日鐵住金(株): 鉄道構造物に適用するシートパイル基礎の設計・施工マニュアル(案)。第3版。2014
- 8) 国土交通省監修 (公財)鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物・抗土圧構造物。丸善, 2000.6
- 9) 地盤工学会: 杭の鉛直載荷試験方法・同解説。2002
- 10) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物に適用するシートパイル基礎の設計・施工マニュアル。第3版。2014
- 11) 中山裕章 ほか: 圧入工法で打設した先端加工鋼矢板静的載荷試験。第49回地盤工学会研究発表会。北九州, 2014.7



妙中真治 Shinji TAENAKA
鉄鋼研究所 鋼構造研究部 主幹研究員
Ph.D.
千葉県富津市新富20-1 〒293-8511



加藤篤史 Atsushi KATO
鉄鋼研究所 鋼構造研究部 主任研究員



戸田和秀 Kazuhide TODA
建材事業部 建材開発技術部
土木基礎建材技術第二室
(公益財団法人鉄道総合技術研究所出向中)



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



乙志和孝 Kazutaka OTSUSHI
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 博士(工学)



中山裕章 Hiroaki NAKAYAMA
鉄鋼研究所 鋼構造研究部 主幹研究員
Ph.D.
(内閣府出向中)



田中隆太 Ryuta TANAKA
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
(一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会出向中)