

技術論文

# 多様な工事ニーズ・地盤条件に対応する鋼管杭工法・製品の活用と適用事例

## Case Studies of Steel Pipe Pile Methods Suitable for Variable Construction Conditions

加藤 篤史\*  
Atsushi KATO

田邊 将一  
Shohichi TANABE

澤石 正道  
Masamichi SAWAISHI

日下 裕貴  
Hiroki KUSAKA

### 抄 録

高度経済成長期のインフラ整備に鋼管杭は貢献してきた。阪神大震災発生以降、巨大地震を想定し改定された耐震設計に対応でき、かつ、鋼管杭の特性が最大限に活かせる構造、市街地等での施工制約にも適応できる施工技術が求められるように社会のニーズが大きく変化した。それに応えるべく、部材～構造～施工法にわたり鉄鋼メーカーとして幅広く開発に取り組んできた。本稿では、高支持力、低排土・無排土、高耐力、狭隘地・硬質地盤施工をキーワードに、これまでの日本製鉄(株)の開発製品を取り上げ、その特長を最大限に活かした鉄道分野での適用事例を紹介する。

### Abstract

Since the high economic growth period when there was widespread application of steel pipe piles, steel pipe pile construction methods and members that meet new needs have been required. This paper shows the development of steel pipe pile construction methods and members and application examples in railway construction.

## 1. はじめに

都市開発や社会資本整備が急速に進展した高度経済成長期に、軟弱地盤が多い臨海部でのインフラ整備が進んだ。大型構造物の建設、耐震性の確保、長尺施工のニーズが生まれ、それまで主流であった木杭では対応できないケースが増えた。これら複数のニーズに合致したのが鋼管杭である。鋼管杭は、木杭に対して曲げ剛性、水平抵抗力、支持力が大きく、長尺施工が可能な特長を持つ。この特長を活かして基礎杭への採用が一気に進んだ。当時は施工速度が速く経済的であることから打ち込み杭工法が多く採用された。その後、環境意識の高まりに伴う騒音規制法(1968年公布)等の制定を受けて、低騒音・低振動の施工方法への転換が求められた。また、市街地工事においては低排土工法が求められるようになった。これら課題を解決すべく、日本製鉄(株)をはじめとした鉄鋼メーカーと杭施工会社が協力して開発されたのが中掘り杭工法(1985年頃実用化、写真1)である<sup>1)</sup>。

都市化が進んだ1990年以降は、設計荷重増大などに伴い、中掘り杭工法より支持力が大きく、より排土が抑えら

れる施工方法へのニーズが高まった。また、鋼管杭の高耐力化、狭隘地施工、硬質地盤施工など、鋼管杭の適用範囲が広がるにつれ、新たなニーズに対応する鋼管杭工法や材料が求められるようになった。

本稿では、これまでに開発をしてきた鋼管製品とその特長を生かした鋼管杭工法を紹介するとともに、その特長を最大限に活用した鉄道分野での適用事例を紹介する。



写真1 中掘り杭工法の施工状況  
Inner-excavation steel piling

\* 大阪支社 建材開発技術室 土木建材技術課 主幹 大阪府大阪市中央区北浜4-5-33 〒541-0041

## 2. 多様なニーズに応える鋼管杭工法と適用事例

### 2.1 高支持力と低排土施工を両立するガンテツパイル®

#### 2.1.1 ガンテツパイル®の特長

基礎のコストダウンは、杭1本当たりの支持力を増大し、杭本数削減とそれに伴うフーチングのコンパクト化によって可能となる。この観点で日本製鉄と(株)テノックスらで開発したのが図1に示すガンテツパイル®である<sup>2)</sup>。ガンテツパイル®は、鋼管外径よりも200～400mm大きく攪拌混合して構築されるソイルセメント柱と、外面突起付き鋼管で構成される合成杭である。現地盤とほぼ同比重のソイルセメントが常に液圧として孔壁に作用するため、施工時に地盤を緩めることが無く、先端支持力、周面摩擦力ともに安定した支持力性能を発揮するのが特長である。先の理由から杭周辺地盤が応力開放されないため、特に、周面摩擦力度は他杭工法に比べて大きい。さらに、ソイルセメント杭径で支持力評価できることから、軟弱地盤での支持力確保に効果的である。それゆえ中間支持杭や摩擦杭としての適用性が高い。また、現地盤を活用してソイルセメント柱を構築するため、中掘り杭工法に比べて排土量の低減が可能である。

#### 2.1.2 高摩擦力を活かしたガンテツパイル®の中間支持杭適用事例

ここでは、ガンテツパイル®の高摩擦力が評価され、高速鉄道で初めて中間支持杭（設計上は先端支持力を無視した周面支持杭）として適用された北陸新幹線延伸工事を紹介する。

福井駅より南の下河北周辺は軟弱地盤帯が広がる。明確

な支持層が最も深い箇所では90m以深となるなど、完全支持杭の適用が難しい地域である。鉄道高架橋の基礎杭は完全支持杭の適用が標準であるが、地盤条件より洪積層で打ちとめる中間支持杭で検討された。鉄道分野に限らず多くの基礎杭で採用される場所打ち杭工法では、周面摩擦力のみでは基礎構造が成立しない結果となった。そこで着目されたのが、支持力性能に優れたガンテツパイル®である。鉄道標準<sup>3)</sup>における両工法の摩擦力度を比較すると、ガンテツパイル®の方が係数で約1.7倍、上限値で約1.3倍大きい。この高摩擦力を活かすことで杭径および杭長を抑えた経済的な設計が可能となり、高速鉄道で初めてガンテツパイル®の中間支持杭（鋼管径1300mm／ソイル径1500mm、杭長約50m）が適用された。

### 2.2 高支持力と無排土施工を両立するNSエコパイル®

#### 2.2.1 NSエコパイル®の特長

杭施工時に発生する排土は産業廃棄物となるため、無排土施工のニーズは高い。特に、自然由来の重金属が含まれる地盤や工場跡地での工事などでは、そのニーズはより高くなる。大きな支持力を確保しつつ、無排土施工を実現することを観点に開発したのが図2に示すNSエコパイル®である<sup>4)</sup>。NSエコパイル®は、鋼管の先端にらせん状の羽根を溶接した鋼管杭で、全回転機などで鋼管を回転して圧入する回転杭工法である。羽根のくさび効果で地盤を上方に押し上げ、その反力を推進力とすることで、杭が地中に貫入していき、羽根の拡底効果により杭先端部で大きな押し込み支持力・引き抜き抵抗力を発揮する。羽根先端の開端部から管内に土砂を取り込むことで無排土施工が可能となり、低騒音・低振動により都市内工事や既設構造への近接施工にも対応できる環境配慮型杭工法である。さらに、杭打機に角度をつけることで斜杭の施工が可能であり、斜杭構造により杭本数を増やさずに水平抵抗力を向上させること、杭先端のらせん形状羽根がネジの機能を果たすことで

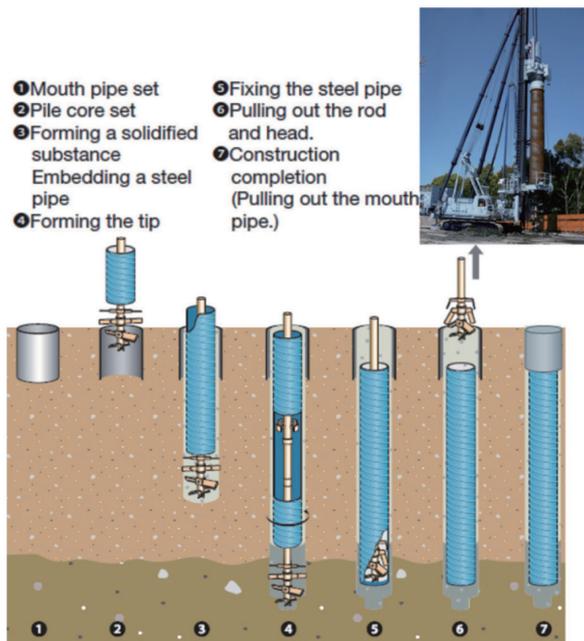


図1 ガンテツパイル®  
Gantetsu pile™

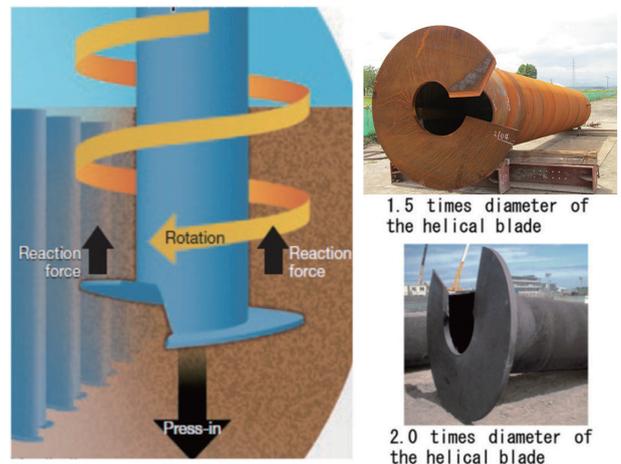


図2 NSエコパイル®  
NS ECO-PILE™

貫入時と逆回転させることで引き抜くことができるなど、多様なニーズに対応できる鋼管杭工法である。

## 2.2.2 水平抵抗特性に優れた NS エコパイル® の斜杭適用事例

北陸新幹線ではラーメン高架橋の水平変位抑制を狙い、NS エコパイル® の特長のひとつである斜杭構造に着目して採用された実績がある。

小松木場潟周辺は超軟弱地盤帯であり、ラーメン高架橋の地震時水平変位を如何に抑えるかが課題であった。一般的に基礎杭として使用する直杭を用いて許容変位内に抑えるためには、杭径・板厚を大きくし、さらに杭本数を増やす必要があった。一方、施工用地の制約から基礎サイズを大きくすることは難しく、単純に杭径および杭本数を増やす選択は採用できない状況であった。この課題を解決したのが、NS エコパイル® による斜杭構造である。直杭では杭基礎の水平抵抗は曲げ剛性のみであるのに対し、斜杭では軸心の斜角により軸剛性抵抗が有効に活用できることから、同一杭径でも基礎の水平剛性を向上させることができる。鉄道総合技術研究所らによる斜杭基礎の研究結果<sup>5,6)</sup>も踏まえて、鉄道分野では初の NS エコパイル® による斜杭構造適用（鋼管径 1200～1500mm、杭長約 40m、写真 2）となった。

## 2.3 狭隘地施工と硬質地盤施工の両立

### 2.3.1 ジャイロプレス工法® の特長

狭隘地施工に優れた鋼管杭工法には圧入工法（1990 年頃実用化）が挙げられる。既に地中に打設された数本の鋼管杭を反力として次の鋼管杭を静荷重で押し込んでいく低騒音・低振動工法である。また、施工機は鋼管杭の天端を自走するため、別途の作業構台構築が不要となり、大きな施工ヤードが確保できない狭隘地での施工も可能である。但し、静荷重で押し込む圧入工法は、他の鋼管杭工法に比べ

て硬質地盤での施工性が劣ることが課題であった。この課題に対して、日本製鉄と(株)技研製作所が共同開発したのが図 3 に示すジャイロプレス工法® である。鋼管の先端にリングビットを取り付けた鋼管杭をジャイロパイラー® により回転圧入する施工方法で、岩盤などの硬質地盤はもとより、コンクリートの既設構造物を直接打ち抜くことも可能である。

### 2.3.2 地すべり対策でのジャイロプレス工法® 適用事例

先に述べたとおり、ジャイロプレス工法® は狭隘地かつ硬質地盤の厳しい条件でも施工が可能である。その特長を活かした地すべり対策での適用事例を紹介する。

九州新幹線彼杵(そのぎ)川橋りょう工事(橋長 370m)は、工事区域全体が地すべり防止区域であり、橋梁本体工事に加え地すべり対策が必要であった<sup>8)</sup>。地すべりの対策工法は、抑止工と抑制工の 2 つに区分される。今回は公共交通機関である九州新幹線が走行する橋梁を直接守る観点から、構造物の持つ抵抗力を利用して地すべり運動の一部または全部を停止させる抑止工による地すべり対策が決定した。

当該地域の地盤は岩盤層 (CL・CM 級) で、かつ、抑止杭の施工位置は傾斜地と非常に厳しい施工条件であった。一般に硬質地盤での抑止杭施工は、大口径ボーリングマシンで地盤を先行掘削し、杭径 500mm 程度以下の鋼管を埋設するケースが多い。今回も同工法で検討が進んだが、岩盤層 (CL・CM 級) に深く根入れが必要であること、対策範囲が広いことから、杭施工だけでも工期が大幅にかかる課題があった。また、傾斜地での抑止杭施工には仮設栈橋が必要となるため、その構築期間とコストも考慮する必要があった。

これら課題を解決したのが、狭隘地施工と硬質地盤施工を両立するジャイロプレス工法® である。工期短縮とコス



写真 2 斜杭施工  
Batter-piling

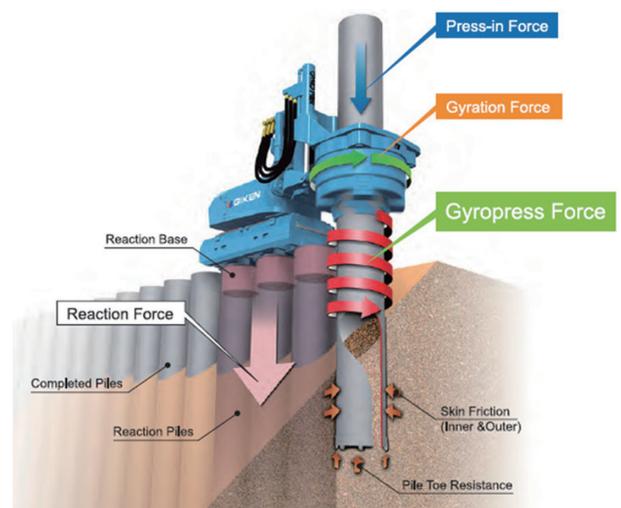


図 3 ジャイロプレス工法®  
Gyropress Method™



写真3 スキップロック工法®  
Skiplock Method™

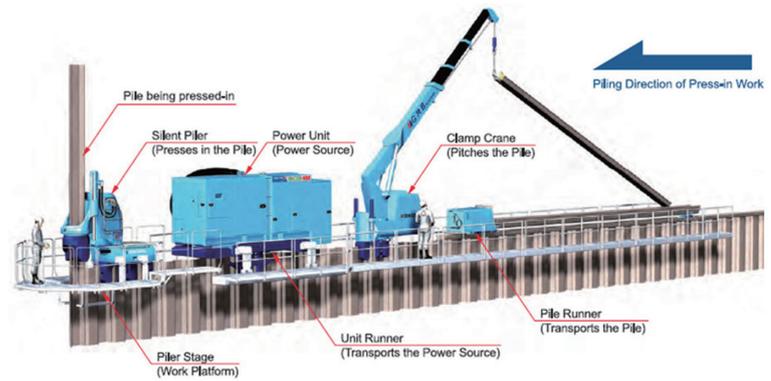


図4 ノンステーシング工法  
Non-Staging Method

ト縮減の観点から、大径化による杭本数低減を図り、1200 mmの鋼管が3.0mの杭間隔で配置された。通常のジャイロプレス工法®では、杭間隔を大きく飛ばすことができないが、スキップロック工法®(写真3)を併用することで離散した杭施工が可能となった。さらに、仮設レス化のために、ノンステーシング工法(図4)を採用した。ノンステーシング工法とは、杭天端を作業軌道として、圧入機本体、油圧動力源であるパワーユニット、杭を建て込むクランプクレーン®, 作業基地から杭を搬送するパイルランナー®等を搬送するシステムである。これにより、仮設栈橋や仮設道路などの仮設工事が不要となり、効率的な工事を実現した。

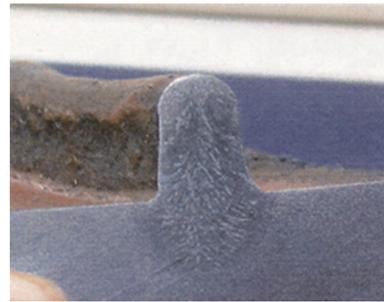


写真4 溶接成型突起  
On-bead shear key

### 3. 製造技術を活かした適用自由度の向上と事例

#### 3.1 溶接成型突起付き鋼管

設計荷重増大や基礎サイズ制約に伴う杭径制限などにより、杭体に高耐力が求められることが増えてきた。杭耐力向上の施策のひとつに、コンクリートとの合成構造化が考えられる。例えば、場所打ち鋼管コンクリート杭の杭頭部には、内面突起付き鋼管が使用されている。内面突起付き鋼管は、熱間圧延コイル製造段階で圧延により突起を形成した鋼板を使用し、鋼管内側に圧延突起が向くように造管する。また、鋼管外側に圧延突起が向くように造管すれば、ガンテツパイル®などに用いる外面突起付き鋼管となる。これら圧延突起付き鋼管は、製造効率が良いため大量生産に適するが、板厚差のある鋼管が多数必要になる場合には非効率となることがある。また、圧延可能な突起高さや板厚、材料強度にも制約がある。

製造効率化と製造制約解消の観点から開発されたのが、溶接成型突起付き鋼管である。通常の鋼管を製造した後に、溶接材料を溶融させながら所定の形状に成型した溶接突起(写真4)を取り付けて製造する。溶接突起の高さは6mm, 8mm, 13mmの3種類あり、用途や適用構造物によって使い分ける。溶接成型突起の製造技術により、板厚や材質の制約を受けず、小ロット対応や任意の場所への突起取り付けが可能となった。現在は、突起段数や範囲、鋼管板厚、

材質などの客先ニーズに応じて、圧延突起付き鋼管と溶接成型突起付き鋼管を合理的に使い分けている。なお、溶接成型突起の付着性能については、土木研究センターによって平鋼や棒鋼と同等であること<sup>9)</sup>、鉄道総合技術研究所によって外面圧延突起と同等であると評価されている<sup>10)</sup>。

#### 3.2 溶接成型突起付き鋼管によるガンテツパイル®適用事例

溶接成型突起付き鋼管の効果的な活用により、従来の外面突起付き鋼管の板厚を超えるガンテツパイル®の施工を成し遂げた、松山駅高架化事業/JR予讃線での適用例を紹介する。

JR松山駅周辺は、南北に走るJR予讃線と車両基地・貨物駅により市街地が東西に分断され、踏切遮断による交通渋滞が日常化していた。これに対して、交通渋滞解消、踏切事故の危険性排除の観点から、鉄道軌道約2.4kmの高架化が事業化された<sup>11)</sup>。

施工用地およびそれに伴う高架橋基礎サイズの制約の中で、杭基礎には高支持力による杭径ダウンの観点から鋼管ソイルセメント杭が採用された。適切な杭間隔の確保と過去実績を踏まえて鋼管径の上限が1300mmで検討された結果、板厚は最大で25mmが必要となった。これに対して、日本製鉄の製造における当該径の外面突起付き鋼管の最大板厚は22mmであり、通常の鋼管製造では対応できないことが課題となった。そこで、溶接成型突起の製造技術に着

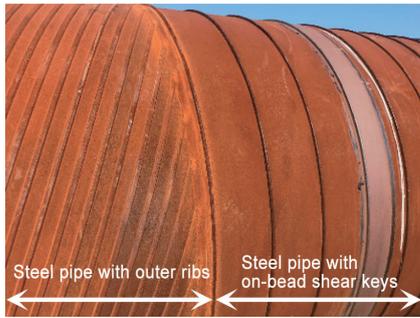


写真5 外面突起付き鋼管と溶接成型突起付き鋼管  
Combination of the roll-formed and on-bead shear keys on pile surface

目し、鋼管径 1300mm、板厚 25mm のスパイラル鋼管外面に、溶接成型突起を取り付けて外面突起付き鋼管とすることで解決を図った。これにより、1本の鋼管杭の中で、板厚 22mm までの範囲は外面突起付き鋼管、板厚 23mm 以上の範囲は溶接成型突起付き鋼管と、製造方法が異なる鋼管を組み合わせた杭構成(写真5)となった。

#### 4. おわりに

本稿では各工法の特長を最大限に活かした鉄道分野での適用事例を紹介した。適用事例で紹介したとおり、ガンテツパイル®の摩擦杭化やNSエコパイル®の斜杭適用、ジャイロプレス工法®へのスキップロック工法®併用などは、従来技術にとどまらず更なる高度化開発を進めてきた成果である。また製品でも外面突起付き鋼管と溶接成型突起付き鋼管などのメニューを拡充している。これらの製品と工法の両方の開発が実現現場での課題を解決してきたといえる。

さらに鉄道分野での適用実績を踏まえ、道路をはじめとした他分野への広がりも見せている。例えば、東海環状自動車道ランプ橋へのNSエコパイル®の斜杭適用、軟弱地盤上に建設する排水機場の基礎へのガンテツパイル®の摩擦杭適用、ガンテツパイル®の先端ずれ止めへの溶接成型突起適用、狭隘地かつ硬質地盤でのため池堤防補強への

ジャイロプレス工法®適用などである。今後も社会のニーズに応える鋼管杭工法および製品の開発により、建設分野を取り巻く様々な課題の解決に貢献していきたい。

#### 謝辞

ガンテツパイル®の共同開発を行った(株)テノックス、ジャイロプレス工法®の共同開発者である(株)技研製作所には、研究開発や課題解決、工法の普及拡大において、多大なるご尽力、ご助力を頂いており、ここに感謝の意を表する。

#### 参考文献

- 1) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭・鋼管矢板技術協会 設立 50 周年記念誌, 2021
- 2) 国土技術研究センター：建設技術審査証明事業(一般土木工法) 報告書-ガンテツパイル(鋼管ソイルセメント杭工法), 2006
- 3) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説【基礎構造物】, 2012
- 4) 国土技術研究センター：建設技術審査証明事業(一般土木工法) 報告書-NSエコパイル工法(回転圧入鋼管杭工法), 2004
- 5) 出羽利行 ほか：斜杭基礎の水平抵抗特性と地震時動的挙動に関する解析・実験, 鉄道総研報告, 22, (2008)
- 6) 清田三四郎 ほか：斜杭基礎の水平抵抗特性と鉄道構造物への適用性の検討, 地盤工学ジャーナル, 5, (2010)
- 7) 国際圧入学会：圧入工法設計・施工指針, 2015
- 8) 亀井良至：九州新幹線彼杵川橋りょう工事 見学会報告, 建設機械施工, 71, (2019)
- 9) 土木研究センター：「溶接成型突起付き鋼管」の各種特性試験証明書, 2017
- 10) 鉄道総合技術研究所：溶接成型突起付き鋼管の鋼管ソイルセメント杭への適用に向けた付着特性評価に関する技術指導, 2020
- 11) 愛媛県：JR 松山駅付近連続立体交差事業パンフレット, 2021



加藤篤史 Atsushi KATO  
大阪支社 建材開発技術室 土木建材技術課  
主幹  
大阪府大阪市中央区北浜4-5-33 〒541-0041



田邊将一 Shohichi TANABE  
九州支店 厚板・建材・鋼管室 土木建材課  
主査



澤石正道 Masamichi SAWAISHI  
厚板・建材事業部 建材開発技術部  
土木建材技術室 土木技術第一課長



日下裕貴 Hiroki KUSAKA  
鉄鋼研究所 鋼構造研究部  
鋼構造研究第一室長