

NS エコパイル® 工法

～ 環境対策・品質・耐震性に優れた回転圧入鋼管杭 ～

NS Eco-pile

-A screwed steel pile superior for environmental measures, quality, earthquake resistance-

永田 誠 * 建築・鋼構造事業部 エコパイルユニット
営業第二グループ長
Makoto NAGATA

大木 仁 建築・鋼構造事業部 エコパイルユニット
営業第一グループ長
Hitoshi OOKI

澤石 正道 建築・鋼構造事業部 エコパイルユニット
マネージャー
Masamichi SAWAISHI

山下 晃 建築・鋼構造事業部 エコパイルユニット
Akira YAMASHITA

三上 誠 建築・鋼構造事業部 エコパイルユニット
Makoto MIKAMI

抄録

NS エコパイルは鋼管の先端に螺旋状の羽根を取付けた鋼管杭である。本稿では最初に NS エコパイル工法の特徴を「環境」「品質」「耐震性」の面から説明する。次に、NS エコパイルの施工時における支持層判定手法と打止め管理の重要性について述べる。最後に、耐震設計にも有効な斜杭施工技術や、近年増加している厳しい施工条件に対する本工法の適用性について具体的事例を交えて紹介する。

Abstract

"NS Eco-pile" is the steel pile with a helical wing welded to the edge. We firstly explain the characteristic of the NS Eco-pile method of construction of the "environment" "quality" "earthquake resistance". Secondly we explain bearing stratum judgment technique in execution of the NS Eco-pile and importance of the complete setting management. Finally we bring a concrete instance about the diagonal pile execution method that is effective for a quakeproof design, and the applicability of the NS Eco-pile to the severe execution condition.

1. 緒言

近年環境に対する国民意識が高まっているが、建設業界における環境問題のひとつとして、産業廃棄物の不法投棄が挙げられる。最終処分場の受け入れ可能量にも限界がある状況の中で、この問題を解決するためには廃棄物の発生量そのものを大幅に削減することが求められている。

また別の問題として、兵庫県南部地震後も震度6を超える地震が数度発生し、更に近い将来には大都市圏における大地震の発生も予想されている。それに伴い新設はもとより、これまでにストックされてきた建設物の品質や耐震性に対する要求がより高いものになっている。

基礎杭分野において、以上のような廃棄物処理、品質、耐震性の問題を解決する工法として、NS エコパイル工法の開発と改良を続けてきた。本工法は建設残土を発生させることなく施工ができ（無排土工法）、更に泥水やセメントも用いない工法である。また杭体

としては工場で製造、品質管理された耐震性の高い鋼管杭を用いるものである。

本稿では、NS エコパイル工法の特徴や適用範囲について記述するとともに、杭の施工における重要な品質管理ポイントである支持層への打止め管理手法と、その結果判明した支持層の不陸状況を通して打止め管理の重要性について論ずる。

更に、施工面でNS エコパイル工法の特徴の一つであり耐震設計にも有効な斜杭の施工と、近年増えている厳しい施工制約条件における本工法の適用性についても具体的な事例を交えて紹介する。

2. 工法の特徴

NS エコパイルは写真1に示すように、鋼管の先端に螺旋状の羽根を取り付けた鋼管杭であり、施工では杭体を回転させることで杭を地盤に埋設する（回転圧入）。回転圧入の概要を図1に示すが、螺旋状の羽根

の効果によって、杭体を回転させると、羽根の先端が地盤に噛みこみながら土を羽根の上面に押し上げる。この作用によって羽根上面に発生する反力が推進力となり、杭体を地中に引張り込むように貫入していく。



写真1 NSエコパイル
Photo.1 NS Eco-pile

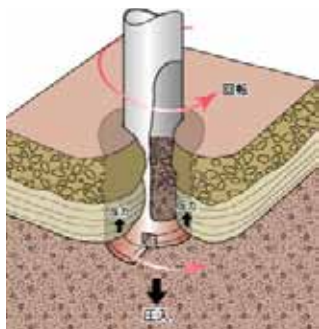


図1 回転圧入概念図
Fig.1 Construction of NS Eco-pile

更に杭の先端に開口を設けることで、施工時に土砂を鋼管内に取込みながら貫入できるようにして、施工性を向上させている。これらによってNSエコパイルは最小径φ114.3mm～最大径φ1600mmという幅広い杭径をそろえている。その中で、杭径φ400mmを境にこれより大きいものを大径、小さいものを小径と呼んで区別している。大径と小径では施工機械も異なり、大径では写真2に示す全旋回式杭打ち機を、小径では写真3に示す小型杭打ち機を主として用いている。



写真2 大径施工
Photo.2 Construction machine (large size)



写真3 小径施工
Photo.3 Construction machine (small size)

NSエコパイル工法の主な特徴とそれによる効果を次に示す。

2-1. 環境

- (1) 図1に示すように杭を木ネジのように地盤にねじ込むという回転圧入施工ができる。そのため、建設残土（産業廃棄物）が発生しないと同時に、低騒音・低振動施工が可能である。
- (2) 施工に泥水やセメント等を用いないため、周辺環境を清潔に保つことができ、地下水を汚染することもない。

- (3) コンクリートミキサー車や建設残土の搬出車両が必要ないことから、工事車両数を大幅に削減することができ、近隣住環境への影響を小さくすることができる。

2-2. 品質

- (1) 前述したように、螺旋状の羽根と先端の開口の効果によって施工性を向上させたことで、硬質な支持層でも確実に根入れさせることができる。
- (2) 施工敷地の地盤調査結果（ボーリング図）と施工記録（主としてトルク）を例えば図2に示すように対比させながら、全数の杭について支持層への定着確認ができる。そのため、施工された杭の品質が安定している。
- (3) 写真4は模型試験において、施工後の杭近傍の地盤状況を示したものである。この写真より施工後の周辺地盤の乱れが小さいことが分かる。このことにより、本工法で施工しても近接構造物への影響は小さいと考えられる。

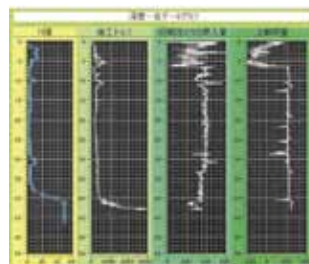


図2 施工記録
Fig.2 Construction data

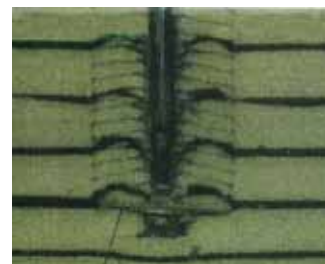


写真4 施工後地盤
Photo.4 After construction ground

2-3. 耐震性

- (1) 塔状構造物などでは地震時に杭に引抜き力が作用する。NSエコパイルには先端羽根部の拡底効果による大きな鉛直支持力と、アンカー効果による大きな引抜き抵抗力を期待できる。そのため、耐震性能を確保しつつ、杭本数を低減し、基礎寸法をコンパクトにすることができる。（NSエコパイルでは、杭先端の引抜き抵抗力の評価式を業界で初めて確立し、第三者認証を得ている。）
- (2) 斜杭は基礎構造物の水平抵抗力を高めること、つまり耐震性能を向上させる有効な基礎形式であるが、この斜杭の施工を容易に実施できる。

3. 適用範囲と施工方法

3-1. 適用範囲

NS エコパイル工法は、建築・土木の用途によって様々な第三者認証を受けているが、それぞれの認証内容によって、適用範囲にも若干の違いがある。これら適用範囲の概要を大径と小径に分けて示すと表1のようになる。

表1 NS エコパイル工法の適用範囲

Table1 Applicable condition

	小径	大径
杭径	114.3~406.4mm	400~1600mm
杭長	杭径の130倍程度以下	建築：杭径の130倍以下 (70m以下) 土木：80m程度以下
支持層	N値15以上の砂、砂礫 (道路橋はN値30以上) N値20以上の粘性土 (土木構造物のみ)	N値30以上の砂、砂礫 (建築構造物はN値15以上)
施工地盤	砂質土、粘性土 杭径の1/2程度以下の砂礫	砂質土、粘性土 杭径の1/3程度以下の砂礫 風化岩、軟岩
斜杭	10度程度以下 (土木構造物のみ)	10度程度以下 (土木構造物のみ)

杭長は小径の場合、杭径の130倍程度以下（杭径φ400mmは52m程度以下）、大径の場合70～80m程度以下の大深度に対応できる。

支持力式が適用できる支持地盤は、砂、砂礫、硬質粘性土（小径の土木分野のみ）で、鉛直支持力、引抜き抵抗力の評価式が各認証において設定されていて、支持層とできる地層のN値や支持力度は各々異なっている。

施工可能な地盤は、岩盤や巨礫を除いた砂質土、砂礫、粘性土である。施工可能な礫径の目安は、小径で杭径の1/2程度以下、大径で杭径の1/3程度かつ300mm程度以下である。施工可能なN値の目安は、小径で換算N値60程度以下、大径で換算N値150程度以下であり、これらを超える場合は地盤調査データや過去の施工事例等から総合的に施工可否を判断する。

3-2. 施工方法

NS エコパイルの施工方法を小径を例にして説明すると、図3に示す施工フローの通りであり、杭打ち機

の設置、杭の吊込み、回転圧入と非常にシンプルである。小型杭打ち機は施工場所にトレーラーで運びこむが、自走で現場への設置ができる（写真5）ため、大型クレーンなども不要である。また、搬入路が狭い場合にも、杭打ち機の幅が通過可能であれば自走による現場進入ができる（写真6）。このように、小径のNSエコパイル工法は従来工法では困難な施工条件での工事にも対応できる杭工法として広く利用されている。

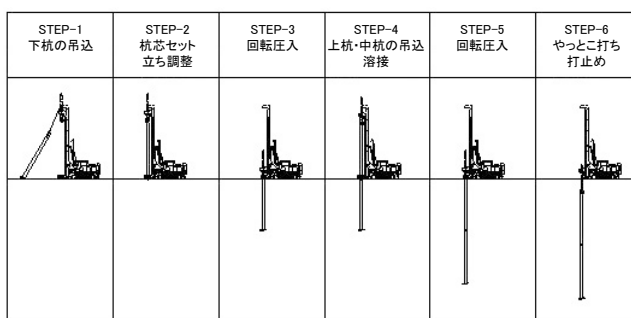


図3 施工フロー（小径）

Fig.3 Construction flow



写真5 小型杭打ち機搬入

写真6 自走による現場進入

Photo.5 Carrying of small machine

Photo.6 Site carrying

4. 打止め管理と支持層の不陸

4-1. トルク管理による支持層確認方法

杭の施工においては、杭の先端を確実に支持層に到達させて打止めることが重要な管理ポイントになる。一般的な杭では多くの場合、設計時に想定した支持層深度を前提とした深度レベルに杭を打止めることが行われている。しかし、後述するようにNSエコパイルの施工記録を分析すると、設計時に想定した支持層レベルと施工時に確認される支持層レベルには大きな違いが発生することも多いことが判明している。これは杭の品質確保のためには、現場における支持層の判定を伴う打止め管理が非常に重要であることを示している。NSエコパイル工法では、一般的に図4に示す例のように、トルクを管理することで支持層への到達を確認している。具体的には、

- (1) 施工トルクと近傍地盤のN値を比較し、トルクの勾配の変化点によって杭先端が固い地盤（N値の大きな地盤）に到達したことを確認する。
- (2) トルク変化点から羽根ピッチ程度圧入してもトルクが低下するなどの異常がないことを確認して、その深度を支持層確認深度とする。

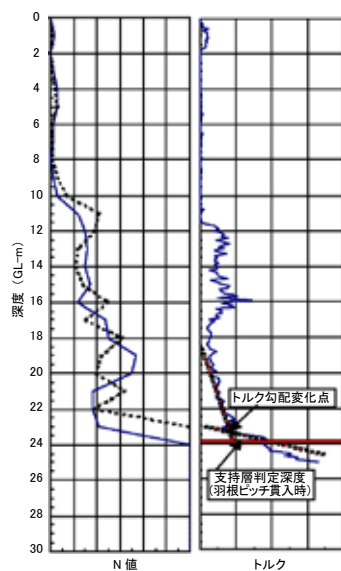


図4 支持層判定

Fig.4 Judgement of bearing stratum

- (3) 以降の杭において

も、同様の傾向が出ることを確認することで、支持層を全数の杭施工で確認しながら打ち止めを行う。

なお、図中のN値は施工位置近傍の2箇所地盤調査によるN値を重ね書きしたものである。

また多くの場合には、上記(2)に示した「トルク変化点から羽根ピッチ程度圧入」した時のトルク値を「支持層確認トルク」と定義してトルク値で支持層確認を行うことも有効である。この場合、トルクの変化が急激で支持層到達が明確に判別できる場合は、トルク変化点から羽根ピッチ未満の圧入点のトルク値を支持層確認トルクとすることもできる。ただし「支持層確認トルク」の値は、杭仕様・施工位置によってもばらつきのあるものであり、試験杭だけで絶対値を定めるのではなく、施工の進度に伴って修正をしながら用いるべきものである。

更に、トルク変化だけでは支持層判定が困難である場合には、一回転当たり貫入量や上載荷重の変化なども参考にして支持層を判定することもある。

このような方法を取ることによって、施工する全ての杭において支持層レベルを確認することができる。その結果として設計時にボーリングから想定する支持層レベルと、施工記録に基づく支持層レベルには相当の差が出ることもあり、その実例について次節で紹介する。

4-2. 支持層の不陸

図5、図6に、ボーリング図に基づく支持層天端の

等深線図と、4-1. で述べた支持層確認方法による杭の施工記録に基づく支持層天端（支持層確認トルク発現深度）の等深線図の一例を示す。図中黒点がボーリング調査位置、中抜きの丸印が杭打設位置である。等深線の間隔は0.2mピッチであり、1m毎に太く表記している。ボーリング調査位置と杭打設位置に違いがあることから、等深線図の輪郭は異なるが、各図とも上図(a)がボーリングデータに基づく設計時に想定した支持層レベル、下図(b)が現場の施工記録から判明した支持層レベルである。

ボーリングデータから得られた支持層等深線図と施工記録で得られた支持層等深線図は傾向が大きく異なっており、ボーリングから推定する支持層レベルと比較して実際の支持層レベルは複雑に変化し、大きな不陸のあることが良く分かる。

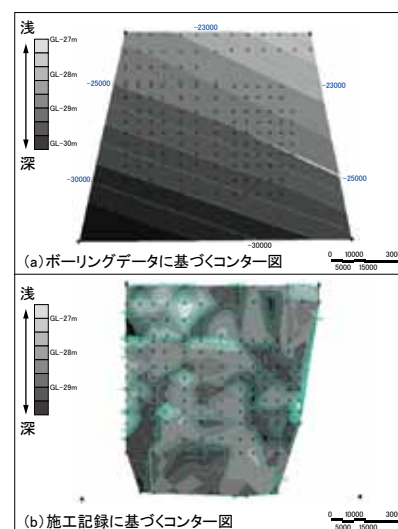


図5 Aプロジェクト支持層深度コンター図

Fig.5 Bearing stratum contour chart (A-project)

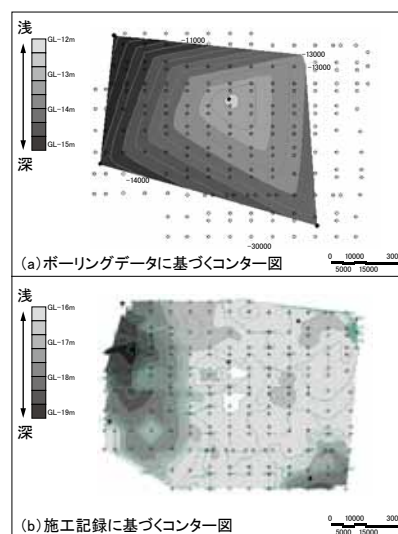


図6 Bプロジェクト支持層深度コンター図

Fig.6 Bearing stratum contour chart (B-project)

5. NS エコパイルの特徴的な施工事例

5-1. 斜杭施工

斜杭基礎は、基礎構造物の水平抵抗力を高めるために有効な基礎形式である。施工法としては打撃杭が多く用いられ、過去に多くの実績を残してきた。しかし近年では打撃杭の騒音・振動問題や、施工精度確保の困難さから、斜杭の採用は見送られる傾向にあった。

斜杭は主として土木分野で検討されることが多いが、兵庫県南部地震を契機にして、平成8年の道路橋示方書には大規模地震時を想定した設計法が導入され、基礎構造物にもより高い耐震性能が要求されるようになった。特に軟弱地盤では、必要杭本数が多くなる、必要杭径が大きくなるなど、基礎の規模が従来よりも著しく増大するケースが多くなり、高い水平抵抗力を発揮できる、より合理的・経済的な基礎形式として、斜杭適用への機運が高まってきた。

このような状況の中、NS エコパイルの開発当初より、大径のNS エコパイルにおける斜杭の施工方法についても検討を重ねてきた。初期の施工方法は、杭打ち機の下に大規模な架台を設置するなど、やや効率の悪い施工方法であったが、改良を重ねた結果、現在では非常に効率的な施工が実現できるようになっている。

今回紹介する斜杭の施工試験は平成20年に福岡県で実施したものである。

当地の地盤条件は図7のボーリング図に示すように表層からGL-17mまではN値1~10の軟弱なシルト・粘土が主体で、GL-17m以深は、硬質な砂質頁岩（換算N値300、一軸圧縮強度 $q_u = 30 \text{ MN/m}^2$ ）に層が急変する。

施工に使用した杭径は $\phi 800\text{mm}$ で、傾斜角度10度の施工を2回実施した（写真7）。

斜杭施工の準備作業は図8に示す手順で実施した。通常の直杭施工と異なるのは図8に示す以下の3点である。

a) かさ上げ台の設置

杭打ち機を傾けるためのかさ上げ台を定規鉄板のコーナー部に2個設置する。

b) 杭打ち機を傾斜させる

杭打ち機を支える4本の脚のうち2本をかさ上げ台にのせ、杭打ち機のレベル調整ジャッキの上げ下げにより、角度が10度になるよう調整する。

c) 杭保持用治具の設置

杭を表層に貫入させる際に下杭の位置がずれないように、一時的に杭を保持するための治具を杭打ち

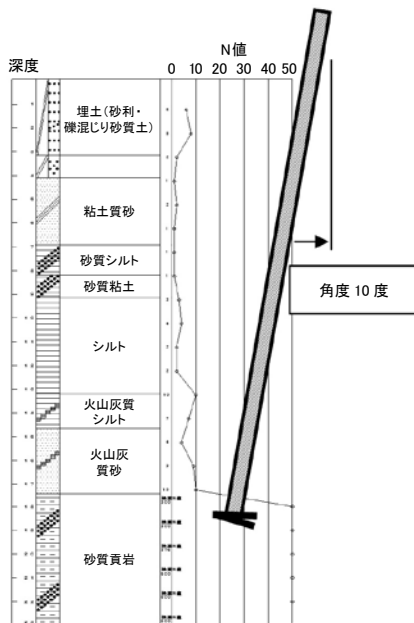


図7 施工地盤のボーリング図

Fig.7 N-SPT values chart

機に取り付ける。

開発当初と比べて治具を小型化し、手順も合理化したことにより、作業効率は格段に向上している。

斜杭施工後の杭芯位置と傾斜角度の測定結果は表2、表3に示す通りであり、杭芯ずれは基準値100mm以内であること、角度のずれは基準値1/100 (0.5°) 以内であることが確認できた。この結果は、杭の施工として十分な精度を保ったものであり、斜杭においても通常の直杭同様の施工管理ができることを示している。

<通常の準備作業>

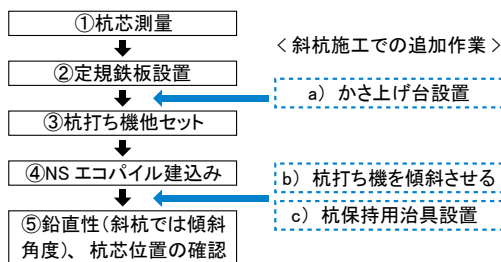


図8 斜杭施工の準備作業

Fig.8 Pre construction work of battered pile

表2 杭芯精度

Table2 Horizontal accuracy

杭 No.	偏差量 (mm)			基準値(mm)	判定
	X方向	Y方向	$\sqrt{(X^2) + (Y^2)}$		
斜杭 No.1	50	-20	54	100mm以内	合格
斜杭 No.2	10	-5	11	100mm以内	合格

表3 傾斜精度

Table3 Inclination accuracy

杭 No.	傾斜角 (°)		基準値(°)	判定
	X方向	Y方向		
斜杭 No.1	1/573 (0.1°)	1/573 (0.1°)	1/100 以内 (0.5° 以内)	合格
斜杭 No.2	0/100 (0°)	0/100 (0°)	1/100 以内 (0.5° 以内)	合格

本施工試験は、大径 NS エコパイルを対象とし、全旋回型杭打ち機を用いる場合について実施したが、小径 NS エコパイルの場合には、写真 8 に示すように小型杭打ち機のリーダーを傾斜させるだけという、より簡便な方法で施工が可能であることも確認している。



写真 7 斜杭施工 (大径)

写真 8 斜杭施工 (小径)

Photo.7 Construction of battered pile (large size)

Photo.8 Construction of battered pile (small size)

5-2. 小径 NS エコパイルの施工例

5-2-1. 小径 NS エコパイルの施工性

小径 NS エコパイルの施工には、写真 9、写真 10 に示すような小型杭打ち機を用いる。この小型杭打ち機はコンパクトな機械であることから、表 4 に示すような制約条件（狭隘地、近接、桁下施工等）の多い施工に対応することが可能である。

また、杭打ち機の組立準備が簡易であり、杭打ち機が自走できるため、施工箇所の移動も容易である。さらに、NS エコパイルは泥水やセメントを用いないため、杭を 1 日で打ち切る必要がなく、時間制約がある現場でも対応が容易である。



写真 9 狭隘地施工

写真 10 上空制約施工

Photo.9 Construction at narrow ground

Photo.10 Construction under height restriction

表 4 小径 NS エコパイルの対応可能な施工条件

Table.4 Applicable condition of small size NS Eco-pile

	制約条件
上空制約	5m 程度以上
施工スペース	5m × 10m 以上
現場搬入	幅、高さとも 3m 程度以上（杭打ち機を自走させる場合）
近接施工	幅、高さとも 3m 程度以上（杭打ち機を自走させる場合）
時間制約	杭施工をいつでも停止可能 夜間施工可能
斜杭	10 度程度以下
水上施工	台船施工可能

5-2-2. 施工事例

(1) 鉄塔工事

鉄塔工事は一現場あたりの杭打設本数が 4 本から 8 本と小規模であるため、従来工法で施工する場合、杭の施工に比べ、施工用地の確保や工事搬入路整備等の仮設工事にかかる時間と費用の比率が大きくなる。

このような工事の場合、NS エコパイル工法を利用すると、

- ・ 大きな引抜き抵抗力の性能を活かすことで、基礎寸法をコンパクトにできる
- ・ 施工用地を最小限に抑え、短期間で工事を完了できるというメリットがあるため、本工法で最も採用件数が多い工事となっている。

(2) 橋台増設工事

既設橋梁に側道や歩道を増設する工事の場合、道路を供用しながら施工する必要があり、かつ、周辺が民家等に囲まれているケースが多いため、従来工法では必要な施工スペースが確保できない場合がある。

このような工事に NS エコパイルを利用すると、

- ・ 従来工法よりも施工スペースを小さくできる
 - ・ 既設橋梁や周辺住宅等の構造物への影響を低減できる
 - ・ 周辺住民や交通等の関係で時間制約がある場合でも対応が容易である
- というメリットがある。

これらの理由から、類似の施工条件になるケースが多い耐震補強工事と合わせて、採用件数が増えてきている。

6. 結言

NS エコパイルは、鋼管の先端に螺旋状の羽根を取付けただけの、非常に簡単な形状のものである。しかし開発開始から現在まで、この簡単なものについて、形状の微修正、施工方法や製造方法の工夫を行い、適用範囲を拡大するなど、様々な面についての改良・改善を積み重ねてきた。ここ数年は他社回転杭との競争も一層激しくなっているが、今後とも回転杭についての最先端技術を持続できるよう努力を継続していきたい。