

鋼管杭プレボーリング先端拡大根固め工法 (SGE 工法)

—掘削拡大ヘッドの開発—

河野 真・大槻 貢・田中 敏男

2003年に杭の鉛直支持力の上限規制が撤廃されたことを機会に、杭の材料強度を生かした工法開発が各社で進められている。ここでは鋼管杭プレボーリング先端拡大根固め工法として開発された「SGE工法」を施工するための基幹技術である掘削拡大ヘッドについて紹介する。

また、小径杭施工用に適用される「蹴り出し機構付き逆転式拡大ヘッド」と、大径杭施工用に適用される「水圧式拡大ヘッド」という従来工法にはなかった新技術も開発したので施工例と共に紹介する。

キーワード：基礎，新工法，鋼管杭，基礎機械，拡大ヘッド

1. はじめに

建築分野における鋼管杭は、他の杭種に比べ体積が小さく、沈設施工時の発生土も少量で、施工現場周辺の環境に優しい杭体としての評価を得ていた。しかし法規制により地盤から決まる杭の鉛直支持力（建造物を支える杭の鉛直方向の耐力）の上限が低く設定されていたため、鋼管杭本来の材料強度を活かすことができず、他の工法に比べコスト高になっていた。

2003年に杭の鉛直支持力の上限規制が撤廃されたことを機会に、杭の材料強度を生かした工法開発を進

め「SGE工法（鋼管杭プレボーリング先端拡大根固め工法）」を開発した。ここでは、「SGE工法」を施工するための基幹技術である掘削拡大ヘッドについて紹介する。

2. SGE工法とは

SGE (Steel Geo Ecology) 工法とは、掘削ヘッドを用いて掘削液を注入しながら地盤を掘り進んだ後、掘削ヘッドの拡大掘削爪を広げ杭先端部（根固め部）を拡大掘削する。ついでセメントミルクを注入し、攪拌した後、鋼管杭を埋設する工法である。鋼管杭先端

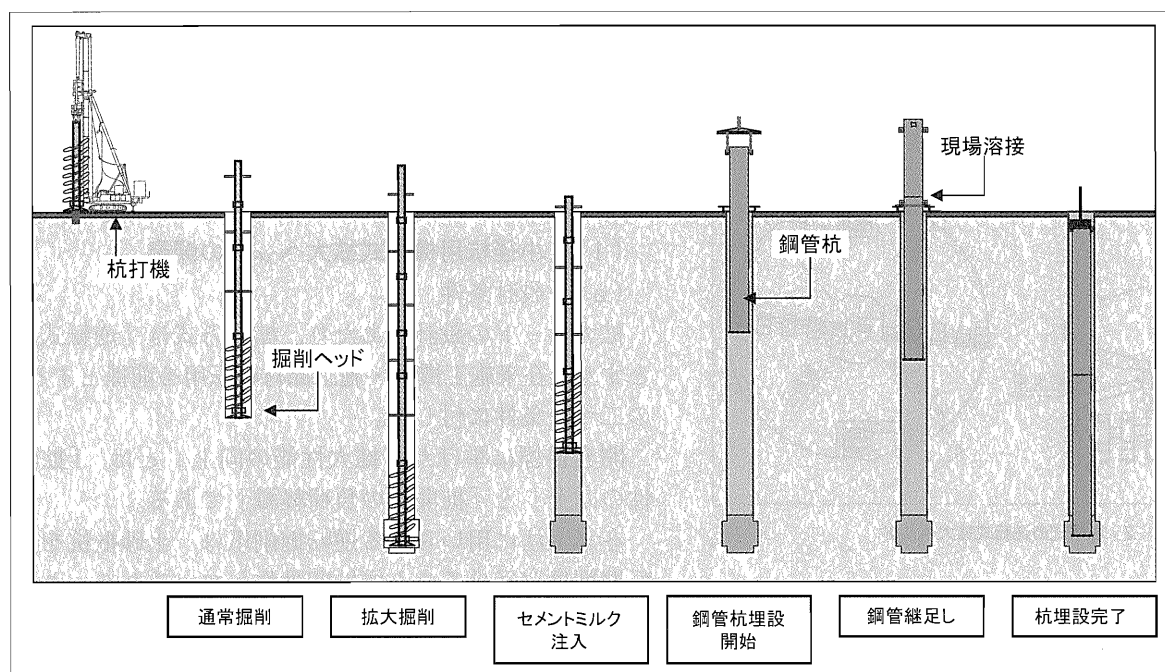


図-1 SGE工法の施工手順

にはリング筋及びディスクプレートを取付け鋼管杭と根固め球根の一体化、耐力向上を計っている(図-1)。

SGE 工法は、杭の支持力性能を従来工法の約2倍に高めて杭本数を最大約半数に減らすことができ、工期短縮、残土処理費用軽減等により材工費を従来工法に比べ最大約40%低減した。高いコスト競争力を武器に、物流倉庫、商業施設など基礎杭の需要の大きい中高層建築物分野をターゲットとしている。

3. 掘削拡大ヘッドの開発経緯

SGE 工法は従来工法に比べ支持力を大幅に向上させることのできる工法であり、在来式のプレボーリング先端拡大根固め工法と比較して通常掘削径に対する先端掘削径の拡大率が高い。そのため、在来式の拡大ヘッドでは拡大時の負荷が大きくなることが予想された。

(1) 在来式拡大ヘッド

従来工法に用いられる「在来式の拡大ヘッド」としては、「逆転式拡大ヘッド」が一般的である。

その作動方法は以下のとおりである。所定深さ掘削後、逆回転させることによって掘削孔内の土砂抵抗によりヘッド外周付近にピン支持された逆転掘削爪が回転し、逆転掘削爪先端が掘削外周面へ食込み、ヘッド径より拡大した径に掘削する。

その後、一定長さを逆回転のまま引上げ、外周面の拡大掘削を行い拡大根固め部を造成する。

基本的にヘッド単体で機能するため、オーガ駆動部に接続されるロッド及びスクリーロッド(作業軸)は、オーガ駆動部を含めプレボーリング工法などで使用される一般的な施工機械、施工部材が利用可能である(図-2)。

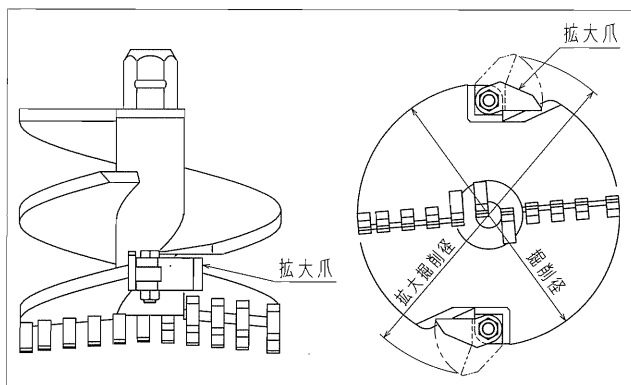


図-2 在来式の逆転式拡大ヘッド

(2) 開発目標

在来式の逆転式拡大ヘッドに手を加えるだけでは、

拡大力を土砂抵抗に依存しているため地盤条件によっては拡大性が低く、また、大径杭では拡大時の負荷も大きくなると予想される。そこで、本開発の開発目標として次の2点を掲げた。

① 拡大性能の向上

拡大しやすく、拡大による負荷を低減させた、新たな拡大ヘッドを開発する。

② 在来技術の活用

在来の施工機械及び施工設備を活用することで、新技術採用時のリスクを減らし、設備投資も抑える。

4. 掘削拡大ヘッドの開発概要

杭径を小径と大径に分け、小径杭施工には「機械式拡大ヘッド」、大径杭施工には「流体駆動式拡大ヘッド」を採用した。

杭径を分けた理由は、全杭径に機械式(逆転式)拡大ヘッドを採用した場合、大径杭になるに伴い、拡大時に掘削負荷が増加し、施工機械、施工部材の大型化が考えられたためである。

一般に逆転式拡大ヘッドは、拡大する際に拡大最大径まで一気に開いてしまい拡大動作の負荷が多くなる。そこで、大径杭施工用には、拡大動作を複数回に制御でき、段階的な拡大掘削が可能な「流体駆動式拡大ヘッド」の採用を検討した。

しかし、全杭径に流体駆動式拡大ヘッドを採用した場合には、施工機械すべてに流体駆動用の装備が必要になり設備コストが多くなることが懸念された。

また、機械式拡大ヘッドでは、拡大抵抗の少ない小径杭であれば、在来施工機械、施工部材が使用でき、専用装備は必要がないと考えられ、小径杭施工用には機械式拡大ヘッドを採用した。

以下、小径杭用・大径杭用それぞれの掘削拡大ヘッド開発について紹介する。

(1) 小径杭用機械式拡大ヘッドの開発

(a) 設計条件

拡大ヘッドの設計にあたり、拡大方式は「逆転式」とする、在来施工機械・施工部材の転用を前提とする、の二つを条件に付した。

開発目標に挙げた「拡大性能の向上」とは、「拡大性の向上」と「拡大時の負荷軽減」である。

在来工法に用いられる逆転掘削爪は、土砂抵抗を逆転掘削爪が受けることで拡大動作しているため、ある程度の土砂受け面積(爪幅)が必要になっていた。しかし、比較的拡大率の高いSGE工法にとって拡大性

向上を目的とする拡大掘削爪幅の拡幅は、拡開動作時の負荷増加に大きく影響する。

拡大掘削爪幅を広げる方式とは別な方法で、拡開性向上を図る必要がある。

以上の相反する条件を満足する新方式の蹴り出し機構付き逆転式拡大ヘッドの開発を進めた。

(b) 「蹴り出し機構付き逆転式拡大ヘッド」の構造 (図-3)

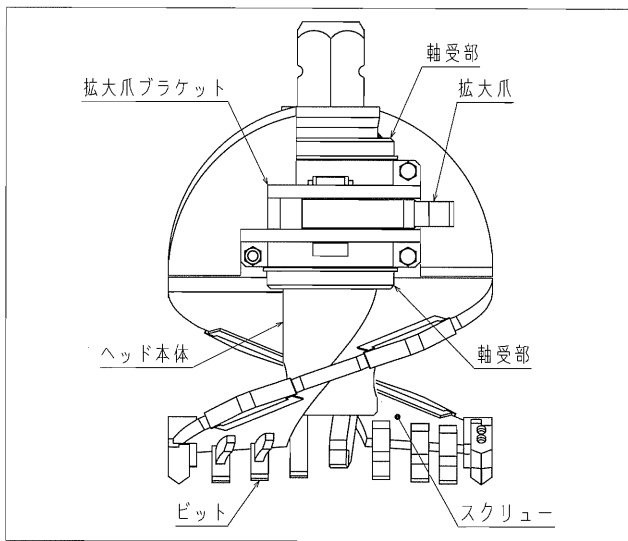


図-3 蹴り出し機構付き逆転拡大ヘッド

ヘッドは大きく分けて三つの部品によって構成される。

①ヘッド本体

地盤を掘削するための掘削ビット・スクリューで構成された「ヘッド先端部」と「拡大爪ブラケット」を固定する「軸受部」を備えた主軸部分である。

②拡大爪ブラケット

「拡大爪」をヘッド本体へ固定するための部品である。ヘッド本体に対し着脱可能かつ一定角度揺動可能な取付けを構成する。「拡大爪」を挟込む形で、2個が等配位置にピン支持できる構造である。

③拡大爪

逆回転によって、杭先端部の拡大根固め部を掘削・造成するための拡大掘削用爪である。ヘッド本体に対し等配位置に2個配置され、先端部には掘削ビットを装備している。

(c) 「蹴り出し機構付き逆転式拡大ヘッド」の拡大動作

拡大爪ブラケット部断面を使用して拡大動作を以下に説明する (図-4)。

①通常掘削時

ヘッド本体軸の「カム」に対し、拡大爪ブラケットがつれ回る位置で固定される。

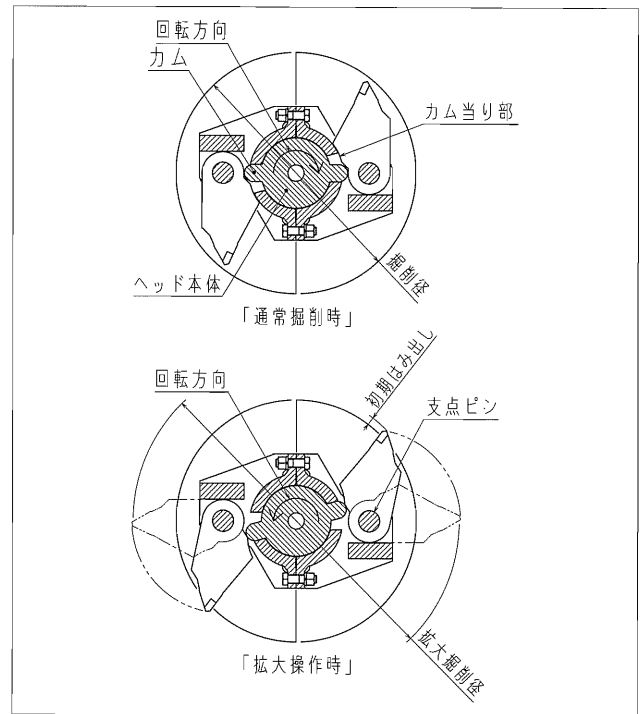


図-4 拡大爪ブラケット部断面

カムが拡大爪内周面の「カム当り部」に対して離れた位置関係になりカムに当りはない。よって通常掘削時には拡大爪が完全に閉じきった状態になり、拡大爪先端が掘削外径より外側へはみ出すことはない。

②拡大操作時

逆回転により発生した土砂抵抗が拡大爪ブラケットに当り、ヘッド本体と回転位置が一定角度ずれ、カムが拡大爪ブラケットの溝を移動するような動きになる。カムの位置が移動することで拡大爪内周面の「カム当り部」にカムが当り、支点ピンを軸に拡大爪が回転し、拡大爪先端が掘削径より外側へ若干はみ出す位置に移動する。これにより通常掘削外周面へ拡大爪先端が食込み、さらに逆回転を続けることで拡大爪が回転し、拡大掘削状態まで拡大爪が開く機構である。

「拡開性の向上」については、逆回転時に強制的に拡大爪先端が掘削外周面へ食込む機構により拡開性は格段に向上した。そのきっかけとなる拡大爪ブラケットの回転運動は、土砂抵抗によるものであるが、拡開作動時に拡大爪ブラケットは拡大掘削部分へはみ出すことはなく拡開抵抗にはならないので、拡大爪ブラケットをより土砂抵抗を受けやすい形状にすることができた。

また、「拡開時の負荷軽減」についても、拡大爪は土砂抵抗を受ける必要がないため拡大爪幅を薄くでき、拡開負荷も最小限に抑えられる形状になった。

(2) 大径杭用流体駆動式拡大ヘッドの開発

(a) 設計条件

流体駆動式拡大ヘッドを採用する最大のメリットは、4章「開発概要」でも述べているが、「拡開動作を複数回に制御でき、段階的な拡開掘削が可能になり、掘削負荷を軽減できる」ことである。

セメントミルク注入経路とは別に、独立した配管をロッド及びスクリュウに装備し、その配管を使用して流体を流し、掘削ヘッドに装備したアクチュエータを駆動させ拡大爪の操作を行う。

拡開動作はオペレータの意思で任意に操作することが可能になり、拡大爪先端の掘削外周面への切込み量の調整を拡開掘削負荷を確認しながら操作できる。これによりオーガ駆動部、施工機械への無理な拡開掘削負荷が軽減できる。

3章2節「開発目標」に掲げた「②在来技術の活用」とは、主に既製杭中掘工法などに用いられている、「高圧内管」及び「高圧水」を使用することである。

「流体」を使用するうえで解決しなければならない課題は、専用施工機械、施工部材、専用ポンプ制御機器などの設備投資や施工後の機器のメンテナンスなどである。一般にアクチュエータ駆動に用いられる流体とは、油圧機器用作動油を言い、上記のような課題を常に抱えている。

在来技術の「高圧水」を使用することによって、単に「流体」を「作動油」から「水」に置換えただけではなく、油圧機器を使用するうえでの諸々の課題を解決することとなった。

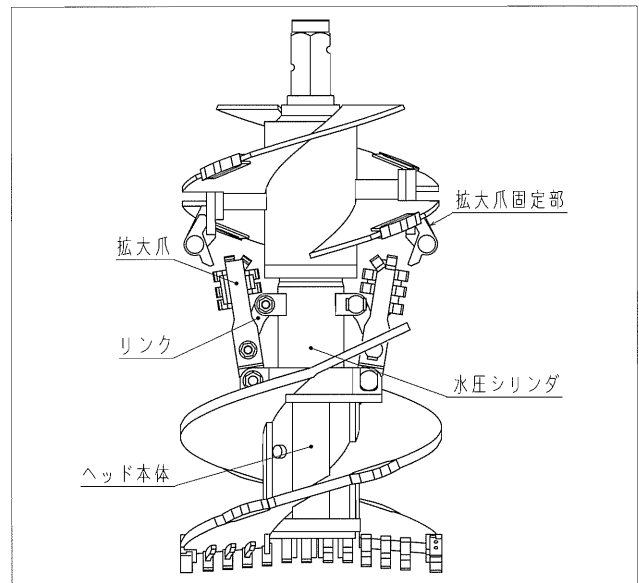
しかし、水圧式拡大ヘッドに使用する在来工法からの転用機器は以下のとおりである。

- ①水圧ポンプ：高圧ミルク注入用ポンプ
- ②オーガ掘削装置・ロッドなど：在来工法対応型（注入用スィベル装置付き）

その他に、水を使用することのメリットとしては、施工機械、施工部材などにトラブルが発生した場合でも環境へのダメージがない、なども挙げられる。

(b) 「水圧式拡大ヘッド」の構造（図—5、写真—1）

- ①拡大爪固定部
通常掘削時に拡大爪の拡大方向への動きを抑える。
- ②水圧シリンダ
高圧水によって収縮し、リンク機構で拡大爪を拡大させる。
- ③ヘッド本体
地盤を掘削するための掘削ビット、スクリュウ。拡大爪をピン支持しており、水圧シリンダの収縮力に



図—5 水圧式拡大ヘッド



写真—1 水圧式拡大ヘッド

より支点位置を移動させ拡大爪を拡大させる。

- ④リンク
ヘッドロッドと拡大爪を繋ぎ、水圧シリンダの収縮により拡大爪を拡開させる。
- ⑤拡大爪
正回転によって杭先端部の拡大根固め部を掘削、造成する。

(c) 「水圧式拡大ヘッド」の拡大動作（図—6、写真—2）

全体の装置構成は、高圧内管を内蔵したオーガ駆動部、ロッド、スクリュウ及び水圧式拡大ヘッドである。水圧調整用バルブなどは施工機械側へ装備し、オペレータが操作可能な位置に配置する。

- ①通常掘削時
拡大爪がオーガ自重などで拡開動作しないよう拡大

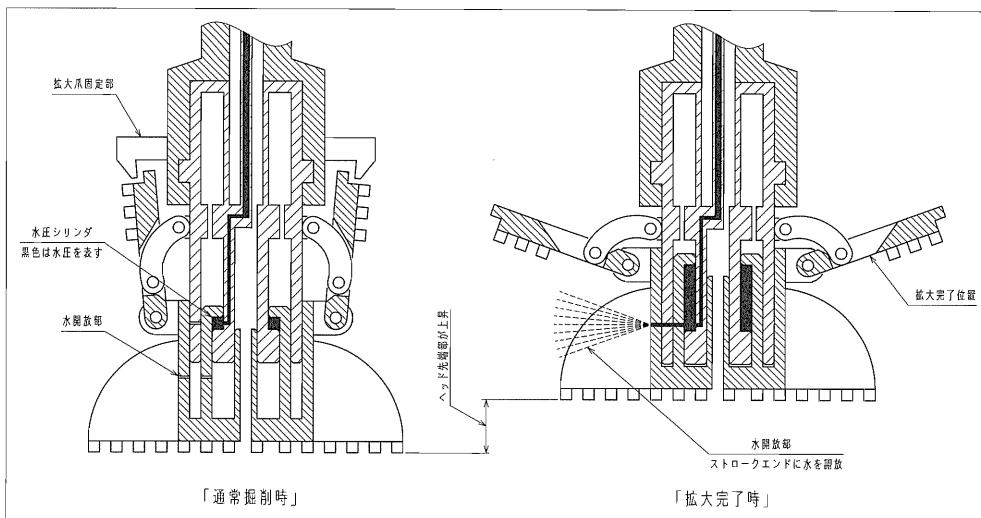


図-6 水圧式拡大ヘッド動作説明

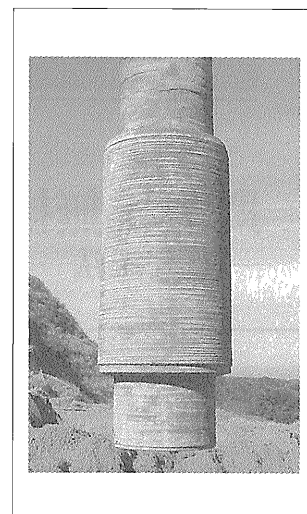


写真-2 SGE 工法拡大根固め部

爪固定部で拡大爪を固定した状態で掘削を行う。

②拡大掘削時

まず、ヘッド先端部を掘削孔底面へ預け、オーガを逆回転させ、孔底面を反力に拡大爪固定部と拡大爪の回転位置をずらし、拡大爪固定を解除する。

次に、水圧をかけて拡大爪を掘削外径へ食込ませ、正回転にて拡開掘削を行う。拡開掘削は複数回に分けて行い拡大爪が最外径まで開くと、ヘッド先端部の高圧水開放部から水が漏れ、水圧・水流量の変化により拡開完了が確認できる。

拡大掘削完了後、オペレータがシリンダ内の水を抜き、拡大爪を収納する。施工後ヘッドを地上へ引上げ、再度水圧によって拡開動作を行うことで、高圧内管やヘッド内に混入したセメントミルクや土砂などをヘッド先端部の高圧水開放部から排出し洗浄が行える。

5. 施工例

SGE 工法は中高層建築物を中心に小径杭，大径杭施工が多く実施されてきた (表-1)。

表-1 SGE 工法施工例

工事名	杭径 (mm)	数量 (本)	掘削長 (m)
埼玉県工場建屋	φ 700~1,000	77	34
滋賀県工場建屋	φ 600~800	58	20
埼玉県商業施設	φ 400~800	385	44
千葉県物流倉庫	φ 500~1,000	203	40
大阪府物流倉庫	φ 700~1,000	401	54
神奈川県電力施設	φ 600	130	48
岩手県大学施設	φ 500~1,000	371	15
千葉県マンション	φ 700~1,200	31	22
千葉県物流倉庫	φ 800~1,200	91	35
千葉県遊戯施設	φ 600~1,200	86	57

6. おわりに

SGE 工法は、財団法人日本建築センターの性能評価を経て、平成 18 年 1 月に国土交通大臣の認定を取得した。平成 18 年 10 月までの施工実績は、13 現場、延べ 2,000 本以上である。

今後、施工実績をさらに積重ねて、現場に適した施工機械の改良，信頼性，経済性，施工性，安全性の向上を図り，SGE 工法が発展，普及していくよう努力したい。なお，本件技術は特許出願中である。



[筆者紹介]



河野 真 (こうの まこと)
住商鉄鋼販売株式会社
棒鋼・基礎建材部
基礎杭グループ



大槻 貢 (おおつき みつぐ)
株式会社クボタ
鋼管技術部
研究グループ



田中 敏男 (たなか としお)
三和機材株式会社
技術部
オーガグループ