

建設技術審査証明事業における回転杭工法の技術審査の現状

鶴飼貴昭*

1. はじめに

建設技術審査証明事業（以下、「本事業」という。）は、建設技術審査証明協議会（以下、「協議会」という。）に加盟する会員がそれぞれの責任において実施する事業である。本事業では、民間において自主的に研究・開発された建設分野の新技术について、依頼された新技术の技術内容を権威ある学識経験者等により構成される委員会等で「技術審査」を行い、その結果を記載した証書（審査証明書）を会員代表者が交付して「証明」し、技術審査の結果の詳細を取りまとめた報告書等を作成して関係機関へ配布するなどの「普及活動」に努めている。

協議会では、各会員の対象とする技術分野を会員が独自に設定することとしている。また民間が依頼先を選定する場合は、開発した新技术を適切に審査できる会員を選定できるように定めており、依頼先となる会員の選定に自由度がある。しかし、依頼先の違いによって技術審査の結果に差が出ることは好ましくないため、技術審査に最低限必要となる性能確認試験結果等の提出資料や技術審査の水準を公平かつ中立な視点に保つ必要があり、関係する会員間で審査水準の整合を図っている。

ここでは、土木分野の基礎杭工法において、近年、本事業の依頼が多い回転杭工法を例として、協議会における技術審査の現状について紹介する。

2. 回転杭工法の依頼の現況

2.1 回転杭工法の特徴

回転杭工法は、先端部に羽根を装備した杭体に回転力を付与してネジの原理と同様に地盤に回転貫入させる基礎杭工法で、杭先端の羽根の拡底効果によって押し込み支持力と引き抜き力など大きな支持力性能が期待できる。また、杭体の全てが鋼材等でセメント等の副資材を一切用いないことから、その打設や養生が不要で、場所打ち杭などに比べ

て工期短縮が可能であるとともに、地表面への排土が無く、比較的コンパクトな機械で狭隘地でも低騒音・低振動の施工が可能である。さらに、施工時の回転トルクや貫入量などをリアルタイムに計測することで所定の支持層に杭先端部が到達したことを確認することも可能である。

これらの特徴に加え、杭体に回転貫入時と逆方向の回転を付与することで、杭体を引抜き・撤去することも可能であることから、仮設杭としての利用や杭体のリサイクルも可能であり、環境にやさしい基礎杭工法として都市部を中心とする工事にて適用が拡大されている。

2.2 回転杭工法の依頼の現況

土木分野における回転杭工法では、旧建設大臣認定事業にて平成12年に回転杭工法の第1号としてNSエコパイル工法の審査証明書が交付された。その後、本事業にて平成13年につばさ杭（H16、H18更新）、平成16年にNSエコパイル（更新）、平成17年にジオウイング・パイルの審査証明書が順次交付された。これらの3工法は、概ね、杭径（Dp）はφ400～1,600mm、羽根径（Dw）はφ600～2,400mm、羽根径比（Dw/Dp）は1.5もしくは2.0倍が主流である。これら3工法においては、道路橋示方書・同解説Ⅳ（平成14年3月）（以下、「道示Ⅳ」という。）に示されている

①鉛直・水平載荷試験の結果から支持力特性が明らかである。②杭と地盤の間にゆるみがなく、変位の小さい段階から地盤抵抗を確保できる。③杭体の変形性能、曲げ耐力およびせん断耐力の算定方法が載荷試験結果より明らかである。④工法の施工管理手法が明らかであり、所定の手法によれば、上記①～③が確実に発揮できる。ことが確認されていることから、杭基礎設計便覧（平成19年1月）並びに杭基礎施工便覧（同）（以下、合わせて「便覧」という。）に、参考資料として位置づけられた。

その後、既に建築分野で普及が進んでいた小径回転杭工法の土木分野への適用拡大を目的として本事業への依頼があり、平成19年にダクパイル

工法（杭材はダクタイル鋳鉄を使用）とスクリーパイルEAZET工法、平成20年に小径NSエコパイル工法の審査証明書が順次交付された。これらの小径の3工法は、杭径（ D_p ）は $\phi 114.3 \sim 406.4\text{mm}$ 、羽根径（ D_w ）は $\phi 228 \sim 812\text{mm}$ 、羽根径比（ D_w/D_p ）は1.87～2.99倍の範囲内にある。

小径回転杭工法は、擁壁基礎や小規模鉄塔基礎、歩道橋基礎などの比較的小規模な土木構造物の基礎への適用に加え、各種構造物の耐震補強工事等への適用が期待されることから、今後、本事業への依頼が増加するものと想定される。

3. 回転鋼管杭の技術審査におけるポイント

3.1 本事業における技術審査の方法

本事業における技術審査は、依頼者である民間より提出された資料等に基づいて行うものであり、依頼された技術内容について、実用に即した性能の確認を主眼として資料等に記載された内容を客観的に確認している。そのため、依頼者においては、開発した工法の開発目標を確認できる資料の取りまとめとともに、工法を規定する諸元等を予め明らかにしておく必要がある。

3.2 回転杭工法の主な諸元等

技術審査時に明らかにしておく回転杭工法の主な諸元等を示す。

3.2.1 羽根形状

羽根形状は、「螺旋タイプ」と「平板タイプ」に大別される。羽根形状は貫入機構や支持力特性等に大きな影響があることから、その特徴を詳細に明記する必要がある。また、貫入時の補助的機能を目的として羽根に取り付けている部品等についても明記が必要である。

3.2.2 杭体先端の形状

杭体先端の形状は、「開端タイプ」と「閉塞タイプ」に大別され、特に貫入機構に大きな影響を与える。なお、「開端タイプ」の場合は、杭径（ D_p ）に対する開口比率を規定する必要がある。

3.2.3 杭径（ D_p ）と羽根径（ D_w ）

適用する杭径（ D_p ）の範囲及び杭径（ D_p ）と羽根径（ D_w ）の関係を羽根径比（ D_w/D_p ）として明記する必要がある。羽根径比（ D_w/D_p ）に範囲を持たせている工法は、極力一つの杭径（ D_p ）に対して標準的に用いる羽根径（ D_w ）を規定することが望ましい。

3.2.4 最大施工深さ（杭長）と支持層根入れ長

最大施工深さ（杭長）は、原則として杭径別に、施工実績（試験施工を含む）の最大杭長かつ杭径（ D_p ）の130倍以下としている。また、支持層根入れ長は、杭径（ D_p ）もしくは羽根径（ D_w ）に対して規定されており、各工法によって異なる。支持層への到達確認（打止め管理）は、杭体に付与する回転トルクや1回転当たりの貫入量などで管理されているのが一般的である。

3.2.5 地盤種別

地盤種別は、原則として、道示Ⅳに準ずるものとしているが、施工実績（試験施工を含む）にて施工性が確認できている地盤についても確認の対象としている。特に、玉石・砂礫については、施工実績を基に、施工可能な最大礫径を杭径（ D_p ）に対する比またはそのサイズを規定されているのが一般的である。また、中間層に砂層等の硬質地盤がある場合の施工実績の範囲内でN値及び層厚の双方にて規定されている。

3.3 技術審査において確認するポイント

基礎杭工法の技術審査は、原則として道示Ⅳに準じて行っており、支持力特性、施工性及び杭体の製作性の大きく3点について確認している。

3.3.1 回転杭工法の支持力特性

回転杭は杭先端の羽根による拡底効果によって、大きな先端支持力が期待できる。回転杭の極限支持力は、通常、杭先端部の沈下量が杭先端径、つまり羽根径（ D_w ）の10%に達した時点で評価している。その反面、軸部（鋼管部）については他工法に比べて相対的に細くなることから、羽根径比（ D_w/D_p ）が大きくなるにつれて、杭の軸方向バネ定数が小さくなる傾向が見られる。このため、実施工に当たっては、支持力だけでなく変位量についても設計上十分に考慮する必要がある。特に羽根径比が2倍を超えるような小径回転杭については、この点に十分に留意する必要がある。

また、引抜き抵抗力についても、先端羽根によるアンカー効果により他工法よりも大きな値が期待できることから、押込み支持力と引抜き抵抗力のそれぞれを技術審査の確認項目としている。

3.3.2 回転杭の施工性

回転杭の施工は、杭体に回転トルク及び押込み力を与えて回転貫入されるが、貫入時に加えられる回転トルクは地盤の硬さ（N値）の分布と相関

性が認められることから、支持層への到達確認や打止め管理の重要な指標として用いられる。一方、大きな回転トルクを与えることにより硬い地盤への回転貫入は可能となるが、トルクが必要以上に大き過ぎると杭体や先端羽根の損傷も危ぶまれることから、工法毎に各杭径（羽根径）に適した施工トルクや施工重機の選定が重要となる。

3.3.3 杭体の製作仕様

回転杭の製作仕様は、所要の支持力や回転貫入力に対して杭体が十分な耐力を有することが前提となる。そのため、特に先端羽根の部材の仕様については、施工後供用時の荷重に対する安全性と施工時に杭体に作用する荷重に対する健全性が確保されるよう、FEM解析や要素試験、載荷試験後の掘り起こし結果等に基づいて羽根板厚、材質、溶接の取付仕様の確認を行っている。

3.4 回転杭工法の技術審査における課題

3.4.1 多種多様な回転杭の仕様

各回転杭は、先端羽根の形状をはじめ、杭径

(D_p) は小径から大径までその範囲は広く、加えて羽根径比 (D_w/D_p) においても1.5倍～3.0倍程度と幅があり、その組合せも可能であるため、杭の仕様は非常に多種多様である。そのため、現場への適用に当たっては、地盤条件や使用用途等に応じて柔軟に対応できる反面、支持力特性等の確認に当たっては、それぞれの杭の適用範囲に応じて載荷試験等を要求せざるを得ない点が挙げられる。

3.4.2 打止め管理手法の統一

回転杭工法の設計において重要な支持層への最低根入れ長は、杭径 (D_p) から羽根径 (D_w) といった範囲で工法毎に定められている。また、打止め管理においても、回転トルク、1回転当たりの貫入量、単位長さ当たりの貫入量等、工法毎にその管理手法が確立されている。

支持層への根入れは、回転杭工法の特徴から支持層が硬質地盤の場合には、確実に咬み込まずに打止めされる懸念があり、より慎重な施工が求め

表-1 回転杭工法の技術審査における規定等(案)

| 区分 ¹⁾ | | 大 径 | 小 径 | |
|------------------|------------|---|--|--|
| 杭 径 | | $D_p \geq \phi 400\text{mm}$ 程度 | | |
| 適用構造物 | | 道路橋分野(新設) | 道路橋分野(耐震補強) | |
| 適用構造物の規定等 | 支持層の条件 | 道示IVに準ずる (砂層、砂れき層) $N \geq 30$ 程度 / (粘性土層) $N \geq 20$ 程度 (その他地盤) 載荷試験並びに施工実績の範囲により工法毎に確認 | | |
| | 羽根形状 | 羽根径比(D_w/D_p) | 原則として1.5～2.0倍 | |
| | | 杭長(L) | 施工実績(試験施工を含む)の最大杭長かつ130 D_p 以下 | |
| 必要試験数等 | 押込み支持力 | 支持層の地盤種別(砂層、砂れき層)毎に各3件以上 ³⁾ | | |
| | 引抜き抵抗力 | 支持層の地盤種別(砂層、砂れき層)毎に各1件以上 ³⁾ | | |
| | 水平支持力 | 支持層の地盤種別(砂層、砂れき層)毎に各1件以上 ³⁾ | | |
| | 施工 | 原則として、施工試験立会にて確認 | | |
| | 構造細目 | 羽根部材の構造強度 | FEM解析、要素試験、載荷試験後の掘り起こし結果などにて確認 | |
| | 継手 | 道示IVに準ずる ⁴⁾ | | |
| 杭頭接合部 | 道示IVに準ずる | | | |
| 審査項目の規定 | 押込み支持力 | 先端支持力推定式 | (1.5倍径) 砂: $135NA_w$ / 砂礫: $150NA_w$ (2.0倍径) 砂: $100NA_w$ / 砂礫: $150NA_w$ | |
| | | 最大周面摩擦応力度 | 砂質土: $2N(\leq 100)$ / 粘性土: c or $10N(\leq 80)$ | |
| | | 軸方向バネ定数 k_v の中の a の推定式 | (1.5倍径) $a=0.013(L/D_p)+0.54$ (2.0倍径) $a=0.010(L/D_p)+0.36$ | |
| | | 支持力評価の羽根面積 | $\pi/4 \times D_w^2$ ⁵⁾ | |
| | 極限支持力の評価 | 先端沈下量が D_w の10%に達した時 ⁶⁾ | | |
| | 引抜き抵抗力 | 推定式 | 支持層根入部(D_w)でのせん断抵抗 + 周面摩擦力 | |
| | | 極限引抜き力の評価 | 先端引抜き量が D_p の10%に達した時 | |
| 水平支持力 | 水平方向地盤反力係数 | $Kh=(\sqrt{D_p/\beta})/0.3$ ^{-0.75} | | |

¹⁾ 道示IV、便覧並びに技術審査の実績により便宜的に区分 ²⁾ 道路橋分野への適用に当たっては、原則として $\phi 300\text{mm}$ 程度以上を適用する ³⁾ 地盤種別、杭径、羽根径比のバリエーションにより必要件数は増える ⁴⁾ 小径においては機械式継手を審査項目とする場合もある ⁵⁾ 開端タイプの場合は開口部も羽根面積に含む ⁶⁾ 道示IVによる杭頭変位が杭径10%も参考とする

られる。そのため、先端羽根は工法毎に多様な形状であり貫入機構は異なるものの、最低根入れ長や打止め管理手法の統一的な整理が望まれる。

4. まとめ

本稿は、本事業の土木分野において審査証明書を交付した回転杭工法の技術審査にて審議された内容等を基に、回転杭工法の諸元及び特性等を紹介し、回転杭工法の技術審査における規定の案を今後の参考として取りまとめた（表-1）。

なお、回転杭工法の技術審査は、基本的に道路橋分野への適用を前提として行っている。したがって、その他の土木構造物については、技術審査で確認された内容等を参考に適用する必要がある。各工法の技術審査の結果は、参考文献に示した各工法の報告書を参照されたい。

本事業へ依頼される新技術は、複数の類似技術が開発され、技術指針等に確立した技術として位置付けられている技術と、類似技術がなく（少なく）、技術審査における確認項目が明確となっていない技術に大別される。前者については、関連する技術指針等に照らし技術審査を行うが、後者については、当該技術を普及するために必要となる確認項目やその確認のために必要となる試験結果等の内容を依頼者が掲げた開発目標に照らして適宜委員会で定めている。原則として、技術審査は「実証主義」を前提として行っているため、技術審査の結果は、技術の進展あるいは類似技術の開発が進むことによって、より信頼性の高いものとなり、技術指針等への反映に資する基礎情報として有用なものとなることから、その蓄積が極めて重要となる。よって、現時点の情報を基に取りまとめた前掲の表-1は、今後の情報蓄積に伴い、より信頼性の高いものへと見直すこととなる。

本稿で取り上げた回転杭工法は、その特徴から今後の発展的な展開が期待されるものである一方で、先に述べた課題が現存することから、より確かな技術として位置づけられるためにも、民間における更なる研究開発あるいはデータの蓄積が図られることを切に期待したい。

現在、協議会会員は、技術審査の結果を取りまとめた報告書や概要書の関係機関へ配布、技術報告会の開催、建設技術審査証明検索システムへの

掲載等の普及活動に努めているが、今後はこれらの普及活動に加え、審査証明書を交付した新技術の信頼性や技術水準の向上のためには、技術活用後の調査及び評価等の取組みが重要と考えている。

本事業にご理解を賜り、引き続き、関係各位のご指導ご協力をお願い申し上げます。

謝 辞

本稿に掲載した「回転杭工法の技術審査における規定等(案)」の整理に当たっては、(財)土木研究センターの安波博道氏並びに森直人氏のご協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (財)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
- 2) (財)土木研究センター：建設技術審査証明報告書「先端翼付回転貫入鋼管杭 つばさ杭」、2006
- 3) (財)土木研究センター：建設技術審査証明報告書「先端翼付回転貫入鋼管杭 ジオウイング・パイル」、2005
- 4) (財)土木研究センター：建設技術審査証明報告書「小口径回転杭 ダクパイル工法」、2007
- 5) (財)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「スクリューパーパイル EAZET 工法（小口径・回転杭工法）、2007
- 6) (財)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「小径NSエコパイル工法（小径回転圧入鋼管杭工法）、2008
- 7) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅳ、2002.
- 8) (社)日本道路協会：杭基礎設計便覧、2007
- 9) (社)日本道路協会：杭基礎施工便覧、2007
- 10) 建設技術審査証明 検索システム
(<http://www.jacicnet.jacic.or.jp/sinsa/kensaku/>)

鶴飼貴昭*



建設技術審査証明協議会事務局（(財)国土技術研究センター研究第二部）
Takaaki TSURUKAI