

環境へ配慮した鋼管杭の適用法について

※渡辺 米利¹・横幕 清¹・吉澤 幸仁¹・杉原 宏英¹

¹一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会 (〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町3-2-10)

※発表者



我が国で鋼管杭が構造物の基礎として使用され始めてから既に半世紀以上が経過し、道路や鉄道の橋梁等、あらゆる用途に用いられてきた。近年では、構造物の規模が大型化すると共に、軟弱地盤や岩盤での基礎の構築などにより、鋼管杭の大径かつ長尺化の要求が高まっている。一方、施工環境面では、市街地施工における建設発生土や振動・騒音・地下水に対する配慮等の社会的要請の変化に伴い、埋込み杭工法や回転杭工法などの新技術も開発されてきた。本論文では、鋼管杭工法における環境面での特長とともに、その代表例である回転杭工法について述べる。

キーワード 鋼管杭, 回転杭, 設計, 施工, 環境

1. はじめに

我が国では、杭基礎は、大正から昭和初期にかけて、人力掘削中心によって短尺の木杭やコンクリート杭が利用されていた。昭和 30 年代に入ると、施工機械（ディーゼルハンマ）の普及に伴って、杭体を直接打撃することによって効率的な施工が可能である鋼管杭が構造物の基礎に利用されるようになり、現在では既に 60 年余りが経過している。その間、法規制等の社会的要請に応じて各種の施工法が開発されてきた。

2. 鋼管杭を用いた施工方法

鋼管杭の施工方法の分類を図-1 に示す。油圧ハンマ等による打撃によって杭を地中に設置する打撃工法、パイプハンマによって杭体に振動を付与しつつ、杭を地中に設置する振動工法、杭体の中空部を掘削しながら杭を地中に設置する中掘り杭工法、原地盤とセメントとによって造成されるソイルセメントと鋼管杭との合成構造である鋼管ソイルセメント杭工法がある。さらに、近年、鋼管杭の高いねじり強度を活かした回転杭工法が開発されている。

3. 鋼管杭の環境面における特長

鋼管杭の環境面における特長としては、①建設発生土が少ない、②低振動・低騒音で施工が可能である、③地下水への影響が少ない、④リサイクルが可能であるの4つが挙げられる。ここでは、それぞれの内容について説明する。

(1) 建設発生土が少ない

図-2に、各種杭施工法の建設発生土の数量を示す。鋼管杭工法は、いずれも杭体体積の40%程度以下であり、他工法に比べて建設発生土が少ないことがわかる。

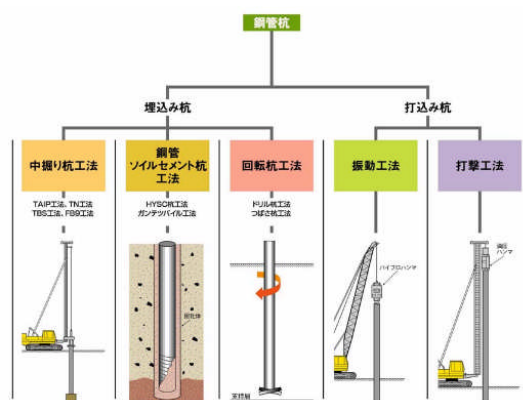


図-1 鋼管杭の施工方法の分類

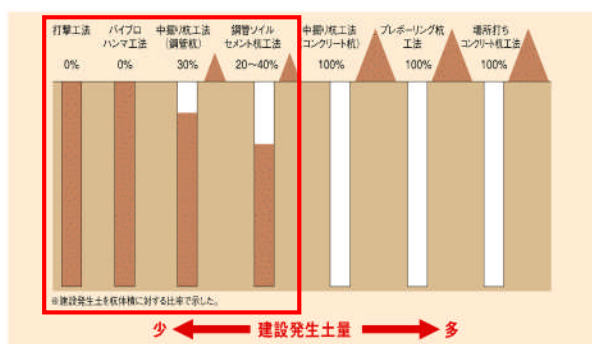


図-2 各種杭施工方法の建設発生土

(2) 低振動・低騒音で施工が可能である

図-3に、各種鋼管杭施工法の振動・騒音レベルを示す。回転杭・中掘り杭・鋼管ソイル杭は、低騒音・低振動で施工が可能であることがわかる。

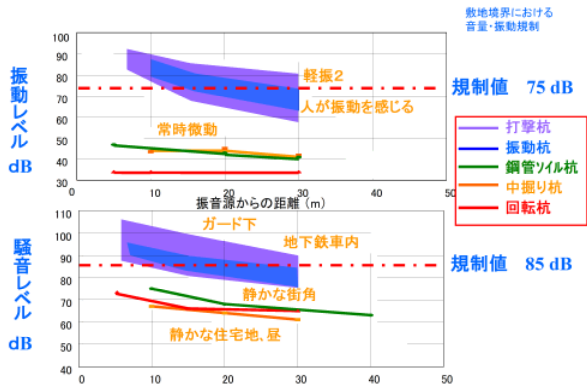


図-3 各種鋼管杭工法の振動・騒音レベル

(3) 地下水への影響が少ない

鋼管杭工法のうち、打込み杭工法および回転杭工法は、施工中にセメントおよび水を全く使用せず、地下水への影響がほとんどない。また、中掘り杭・鋼管ソイルセメント杭も施工中に使用する水およびセメント量は、場所打ちコンクリート杭に比べて少ない。

(4) リサイクルが可能である

鋼管杭工法は、鋼管杭を引き抜くことにより鉄製品であるがゆえにリサイクルが可能である。特に回転杭は、杭を逆回転させることで引抜くことができる。

各種鋼管杭工法の環境影響の比較を表-1に示す。表-1より、回転杭工法が環境に最も影響が少ない工法と言える。そこで、以下に回転杭工法について説明する。

表-1 各種鋼管杭工法の環境影響の比較

杭種	中掘り杭	鋼管ソイル杭	回転杭	打ち込み杭	場所打ち杭
建設発生土	○	○	◎	◎	×
地下水への影響	○	○	◎	◎	△
騒音・振動	◎	◎	◎	×	◎
リサイクル	○	△	◎	◎	×

4. 回転杭工法

(1) 概要

回転杭とは、先端に羽根を取り付けた鋼管を回転させて地盤中に貫入させる杭のことである。この回転杭の特長は、低騒音、低振動の施工法であり、建設発生土を生じないなど環境に配慮された鋼管杭工法であることである。

回転杭の先端部羽根構造の例を写真-1～写真-3に示す。羽根の形状は工法毎に異なり、また各先端についても開端のものと閉端のものがある。回転杭に使用する鋼管はJIS A 5525の規格に適合するものであり、また羽根部については工法毎に定められた材料が使用される。また、一般的な適用寸法は、杭径（鋼管径）φ400～1,200mm、羽根外径φ600～2,400mmであり、羽根外径は杭径の1.5倍と2.0倍が標準である。



写真-1 先端部羽根構造の例^①



写真-2 先端部羽根構造の例^②



写真-3 先端部羽根構造の例^③

(2) 回転杭の設計

回転杭の支持力特性は、現場での載荷試験により確認されている。以下にその内容について示す。なお、式中の係数については、参考文献4を参照されたい。

a) 押し込み支持力

回転杭の押し込み支持力の推定式を、式(1)および式(2)に示す。

$$R_u = qdAw + U \sum (L_i \cdot f_i) \quad (1)$$

$$A_w = \frac{1}{4} \pi D_w^2 \quad (2)$$

ここに、 A_w : 羽根投影面積 (m²)
 D_w : 羽根外径 (m)

回転杭の押し込み支持力メカニズムは、図-4のように示され、先端支持力としては、羽根全体の面積に対して考慮する。表-2および表-3に先端支持力度 q_d および周面摩擦力度 f_i の係数を示す。

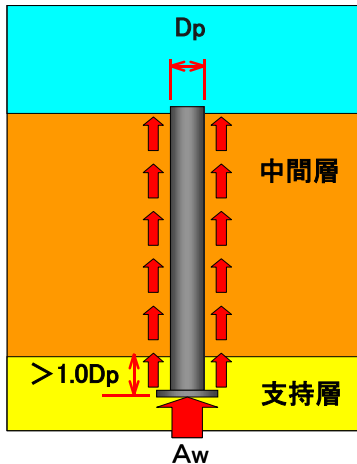


図-4 押し込み支持力のメカニズム

表-2 回転杭の先端支持力度 q_d

地盤種別	羽根外径/杭径	杭先端の極限支持力度 q_d (kN/m ²)
砂層	1.5 倍径	135N(≦6,750)
	2.0 倍径	100N(≦5,000)
砂礫層	1.5 倍径	150N(≦7,500)
	2.0 倍径	150N(≦7,500)

表-3 回転杭の周面摩擦力度 f_i

地盤種別	f_i (kN/m ²)
砂質土	2N(≦100)
粘性土	C または 10N(≦80)

b) 引抜き抵抗力

回転杭では、杭体に作用する引抜き力に対し、杭体の周面摩擦力による抵抗のほか、杭先端に設けた羽根のアンカー効果による大きな抵抗力が見込める。図-5に引き抜き抵抗のメカニズムの模式図を示す。これまでに実施された引き抜き試験結果より、羽根径/杭径比 (D_w / D_p) が1.5以上、かつ支持層への根入れ長が D_p 以上である回転杭の引抜き抵抗力の推定式を式(3)に示す。

$$P_u = \pi D_w \left(\sum \gamma_i L_i + \gamma \cdot H / 2 \right) \cdot H \cdot \beta \cdot \tan \phi + U \sum (L_i \cdot f_i) \quad (3)$$

ここで、式(3)の1項が杭先端に設けた羽根のアンカー効

果による項である。表-4に ϕ と β の関係式を示す。なお、最大周面摩擦力度 f_i は、押し込み支持力算出時と同じ式を用いる。

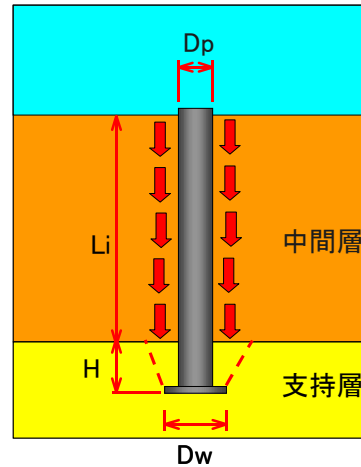


図-5 引抜き抵抗のメカニズム

表-4 ϕ と β の関係

内部摩擦角 ϕ	引抜き係数 β
35°	2.1
40°	3.3
45°	5.3

(3) 回転杭の施工法

回転杭の施工に使用する主要な施工機械は、回転貫入機とクレーンである。施工する杭径、深度、地盤種別、硬さ、あるいは作業ヤードの広さ、その他の制約条件（空頭制限等）を考慮して適切な機種を選定して施工する。施工方法は大きく分けて2種類あり、オーガーマータを3点式杭打ち機に装備して杭頭部に回転力を付与する杭頭回転方式（杭径600mm以下対応）と、全周回転型オールケーシング掘削機で杭胴体部に回転力を付与する胴体回転方式（杭径600mm以上対応）である。実際の施工例を写真-4および写真-5に示す。

回転杭の施工管理は、図-6に示すような「回転トルク」、「1回転当たり貫入量」等を用いて管理されるが、その詳細は各工法により異なる。



写真-4 回転杭の施工例（杭頭回転方式）

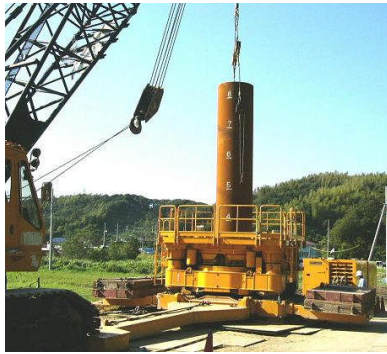


写真5 回転杭の施工例（胴体回転方式）



写真6 斜杭の施工状況

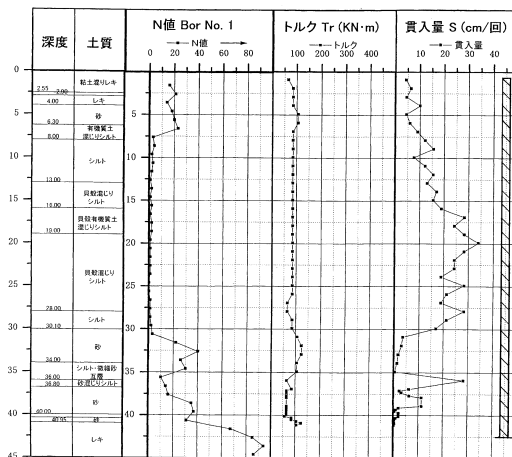


図6 回転杭の一般的な施工管理事例



写真7 狭隘地における施工状況

(4) 回転杭の特殊施工事例

回転杭の施工の特徴としては、①斜杭の施工が可能、②狭隘地施工が可能、③撤去が可能等が挙げられる。

斜杭は、杭軸が傾斜しているため、杭軸方向支持力の水平成分によって地震力に抵抗する。よって、少ない杭本数で水平変位を抑えることができ、合理的な設計が可能である。写真-6に斜杭の施工状況を示す。

また、回転杭は、施工時にセメントミルクや泥水等を使用しないので、プラント設備や残土保管場所などを必要としない。そのため、狭隘地での施工が可能となる。

写真-7に狭隘地での施工状況を示す。

さらに、回転杭は、逆回転させれば地盤から撤去可能である。某現場では、地盤に回転杭を施工後、2年以上供用し、供用期間終了後に杭を撤去し、現状復帰を行っている。

5. まとめ

回転杭は、都市部での建設事業で問題になっている建設残土の処理、騒音・振動などの環境的・社会的な問題を解決する施工法であり、場所打ち杭工法に比べ、以下の環境・安全に関するリスク低減が可能といえる。

- ①セメントや工事用水が不要であるため、地下水汚染に悪影響を及ぼさない。
- ②建設発生土を排出しないため、工事車両も少なく、現場周辺の交通渋滞の緩和に繋がる。
- ③掘削・コンクリート打設に伴う土砂・セメント混じり洗浄水など飛散する問題を生じない。
- ④クレーン作業時間が少なく、工事の危険度抑制に繋がる。
- ⑤各作業工程が短いことから、全体の工期短縮が可能である。

また、斜杭施工や狭隘地施工が可能、さらにリサイクル性に優れている等、多くの長所を有している。

今後は、近接施工、杭頭制限付きでの施工等、各種特殊条件下での施工性向上を図るとともに、これまでよりも更にコスト削減に資する工法にしていくことが必要である。

参考文献

- 1) (財) 国土開発技術センター：一般土木工法・技術審査証明報告書「NS エコパイル工法（回転圧入鋼管杭工法）」、H16.1
- 2) (財) 土木研究センター：建設技術審査証明書「先端翼付き回転貫入鋼管杭 つばさ杭」、H18.5
- 3) (財) 土木研究センター：建設技術審査証明書「先端翼付き回転貫入鋼管杭 ジオウィング・パイルⅡ」、H21.2
- 4) (社) 日本道路協会：杭基礎設計便覧、H19.1