

明 細 書

発明の名称： 回転圧入鋼管杭

技術分野

[0001] 本発明は、回転圧入鋼管杭に関する。

背景技術

[0002] 従来より、鋼管の先端に螺旋状の羽根を取り付けた回転圧入鋼管杭に回転力を与え、地盤に貫入させる工法が公知である（例えば、特許文献1を参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2001-193063号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 回転圧入鋼管杭は、施工機械により回転力が作用されることで、地盤に貫入される。具体的に、回転圧入鋼管杭を地上から回転させることで、螺旋状の羽根の先端で土砂を掘削し、羽根の上面で掘削した土砂を羽根の回転に伴って上方に押し上げ、地盤の反力によって生じる推進力により地中に貫入される。

[0005] 回転圧入鋼管杭が地中に貫入される際には、貫入抵抗により、鋼管杭を構成する鋼管に対して回転方向と逆向きの回転モーメントが作用する。この回転モーメントが増大すると、鋼管が破断する場合がある。特に、地中の岩盤層などの固い地盤に回転圧入鋼管杭が貫入する場合、貫入抵抗が増大し、鋼管に対して大きな回転モーメントが作用する。この場合、鋼管が破断する蓋然性が高くなる。

[0006] 本発明者らが繰り返し実験を行って実証した結果、鋼管の先端における羽根との接合部に沿って、鋼管の回転方向の始端から亀裂が入り、亀裂が回転方向に進行することで亀裂が伝播し、亀裂に沿って最終的に鋼管が破断し、

鋼管と羽根が分離することが確認された。

[0007] 一方、上記特許文献 1 に記載された回転圧入鋼管杭は、杭先端を支持層（れき、砂、粘性土等の地盤であって、例えば N 値 50 以上の層をいう。なお、N 値とは、標準貫入試験の N 値である。）に到達させる際の施工性と、支持力の確保を課題として挙げ、これらの課題を解決するための構成を挙げているものの、貫入抵抗により鋼管が破断することに対しては何ら対策が成されていなかった。

[0008] そこで、本発明は、地中へのスムーズな貫入性と支持力の発現を妨げることなく、貫入時の抵抗による破損を抑制することが可能な回転圧入鋼管杭を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 本開示の要旨は以下のとおりである。

[0010] (1) 先端に羽根を備え、前記羽根が回転しながら掘削することで地中に回転圧入される羽根付き鋼管杭であって、

鋼管杭外径を直径とする円の面積に対して 0.1 倍以上 0.9 倍以下の開口部を設けた前記羽根が、側面から見て非対称な先端形状を有する鋼管杭先端部に同心円状に溶接固定され、前記鋼管杭の内外に前記羽根が張り出された、回転圧入鋼管杭。

[0011] (2) 前記鋼管杭の肉厚は、前記鋼管杭の軸方向において少なくとも前記鋼管杭先端部から鋼管杭外径に相当する距離以上の所定範囲では、当該所定範囲外よりも厚肉とされた、上記 (1) に記載の回転圧入鋼管杭。

[0012] (3) 前記所定範囲の肉厚に対する前記所定範囲外の肉厚の比が 0.5 以上であり、且つ鋼管杭外径に対する前記所定範囲の肉厚の比が 0.02 以上である、上記 (2) に記載の回転圧入鋼管杭。

[0013] (4) 前記羽根は、螺旋状羽根であり、螺旋状に切断された前記鋼管杭先端部に溶接固定される、上記 (1) ～ (3) のいずれか 1 項に記載の回転圧入鋼管杭。

[0014] (5) 前記鋼管杭先端部が螺旋状に切断され、前記螺旋状に切断された前記

鋼管杭先端部の始端と終端の段差部分は、円弧、任意の曲線、または円弧若しくは任意の曲線と直線との組み合わせ、からなる形状とされ、前記螺旋状の前記鋼管杭先端部を平面に展開した場合に、前記鋼管杭外周の周長を底辺とし、前記螺旋状のピッチを高さとし、前記螺旋状の前記鋼管杭先端部を斜辺とする直角三角形の面積に対して、前記直角三角形の高さを底辺とし、前記終端を頂点とする三角形の面積が、0.25倍以下である、上記（１）～（４）のいずれかに記載の回転圧入鋼管杭。

- [0015] （６）前記鋼管杭先端部が螺旋状に切断され、前記螺旋状に切断された前記鋼管杭先端部の始端と終端の段差部分は円弧状に形成され、前記円弧の半径 R が下記（１）式で規定される、上記（１）～（５）のいずれかに記載の回転圧入鋼管杭。

$$R = k \times P \quad \cdots (1)$$

但し、（１）式において、 P は螺旋状のピッチ、 k は所定の係数（ $0.8 \leq k \leq 1.5$ ）である。

- [0016] （７）前記回転圧入における回転方向の始端において、

前記羽根と前記鋼管杭先端部とを溶接するビードが前記鋼管杭の外周から内周に連なるように形成された、上記（１）～（６）のいずれかに記載の回転圧入鋼管杭。

- [0017] （８）前記回転圧入における回転方向の始端において、

前記羽根と前記鋼管杭先端部とを溶接するビードの前記回転方向に沿った断面形状が、前記羽根の表面に対して鋭角に交わる斜面をなす、上記（１）～（７）のいずれかに記載の回転圧入鋼管杭。

- [0018] （９）前記鋼管杭先端部を下にして直立した状態で、前記羽根は、内縁よりも外縁が下、あるいは内縁と外縁が同等の高さに位置するように配置された、上記（１）～（８）のいずれかに記載の回転圧入鋼管杭。

発明の効果

- [0019] 本発明によれば、地中へのスムーズな貫入性と支持力の発現を妨げることなく、貫入時の抵抗による破損を抑制することができる。

図面の簡単な説明

- [0020] [図1]一実施形態に係る鋼管杭を示す図である。
- [図2]一実施形態に係る鋼管杭を示す図である。
- [図3]一実施形態に係る鋼管杭を示す図である。
- [図4]一実施形態に係る鋼管杭を示す図である。
- [図5]一実施形態に係る鋼管杭を示す図である。
- [図6A]貫入時に鋼管杭にかかる応力の分布の解析結果を示す特性図である。
- [図6B]貫入時に鋼管杭にかかる応力の分布の解析結果を示す特性図である。
- [図6C]貫入時に鋼管杭にかかる応力の分布の解析結果を示す特性図である。
- [図6D]貫入時に鋼管杭にかかる応力の分布の解析結果を示す特性図である。
- [図7]本実施形態の比較例に係る鋼管杭を示す図である。
- [図8]段差部分の近傍で鋼管杭を展開した展開図である。
- [図9]図5に示した平面図において、領域A1を拡大して示す図である。
- [図10]図3に示した始端の近傍を拡大して示す図である。
- [図11]図9の矢印A3方向から始端の近傍を見た状態を示す図である。
- [図12]図2の螺旋状羽根の近傍を拡大して示す縦断面図である。
- [図13]段差部分の形状を説明するための模式図である。
- [図14]段差部分の形状を説明するための模式図である。
- [図15]非対称な先端形状を有する鋼管杭先端部の例を示す側面図である。
- [図16]鋼管杭の肉厚が厚肉から薄肉に変化する境界の近傍を詳細に示す断面図である。
- [図17]鋼管杭の肉厚が厚肉から薄肉に変化する境界の近傍を詳細に示す断面図である。

発明を実施するための形態

- [0021] まず、図1～図5を参照して、本発明の一実施形態に係る回転圧入鋼管杭10の構成について説明する。図1～図5は、一実施形態に係る鋼管杭10を示す図である。具体的に、図1は鋼管杭10の正面図、図2は鋼管杭10の縦断面図、図3は鋼管杭10の上方斜視図、図4は鋼管杭10の下方斜視

図、図5は鋼管杭10の平面図である。なお、図1～図5では、後述するビード30の図示は省略している。

[0022] この鋼管杭10は、先端が開端であり、その先端には、内縁20と外縁21が鋼管杭10の内側と外側に所定寸法張り出した螺旋状羽根12を備えている。また、鋼管杭先端部13は螺旋状に切断されており、その始端15と終端14の段差部分16を円弧状に形成してある。

[0023] 螺旋状羽根12の外径(D_2)は、鋼管杭外径(D)の略1.2～3倍の外径で、螺旋状羽根12の内径(D_3)は、鋼管杭内径(D_1)の略0.2～0.3倍の内径とし、環状鋼板(ドーナツ状鋼板)を用いて当該螺旋状羽根12が構成される。つまり、この環状鋼板を半径方向に1箇所切断し、一方を円周方向始端18、他方を円周方向終端17として、螺旋状に切断した鋼管杭先端部13に同心円状に溶接固定し、この螺旋状羽根12の内縁20と外縁21を鋼管杭先端部13の内外に張り出して構成する。円周方向始端18には掘削歯24が設けられている。

[0024] 前述したように、鋼管杭10は、地中への貫入時に生じる貫入抵抗により、破断する場合がある。本発明者らは、鋼管杭10が破断する原因を究明するため、貫入時に鋼管杭10にかかる応力の分布を有限要素法(FEM)により解析した。図6A～図6Dは、貫入時に鋼管杭10にかかる応力の分布の解析結果を示す特性図である。図6A～図6Dは、後述する厚肉部を設けておらず、鋼管杭10の肉厚が全域で一定である場合の解析結果を示している。図6A及び図6Bは、ねじり角 6.15° の時点での周方向の応力を示しており、図6Aは鋼管杭10の外面の応力を、図6Bは鋼管杭10の内面の応力を示している。また、図6C及び図6Dは、ねじり角 6.15° の時点での鋼管杭10の軸方向の応力を示しており、図6Cは鋼管杭10の外面の応力を、図6Dは鋼管杭10の内面の応力を示している。図6A～図6Dでは、ドットの濃度が高いほど応力が高いことを示している。なお、ねじり角は、円筒において、下面を固定した時に上面の円の初期位置にある半径と、トルクが作用することで回転移動した半径とのなす角である。

- [0025] 図6A～図6Dから判るように、貫入時に鋼管杭10に発生する応力は、鋼管杭10の先端から上方へ所定距離Lの範囲で高くなっている。所定距離Lの範囲よりも上側では、鋼管杭10に発生する応力は許容範囲内である。ここで、所定距離Lは、鋼管の直径程度である。
- [0026] また、特に、螺旋状羽根12と接合される鋼管杭先端部13において、最初に地中に入る始端15と最後に地中に入る終端14の位置、および段差部分16の近傍で応力が高くなっている。
- [0027] 図7は、本実施形態の比較例に係る、後述する(1)～(6)の改良がされていない鋼管杭10'を示す図であって、地中に貫入する際に亀裂32が発生する様子を示している。比較例に係る鋼管杭10'では、地中に貫入する際の貫入抵抗が大きいと、亀裂32が回転方向に進行して鋼管杭10'が破断する。本発明者らが繰り返し実験を行って実証した結果によれば、亀裂32は、最も応力の高い始端15から始まり、回転方向に沿って伝播する。亀裂32は最終的に鋼管杭10を一周に渡って伝播し、これによって鋼管杭10が破断する。これにより、鋼管杭10と螺旋状羽根12とが分離してしまう。最初に亀裂32が入る位置は、図6に示す応力分布の解析結果において、特に応力が高い始端15の位置に対応している。
- [0028] このため、図6A～図6Dに示した応力分布の解析結果に基づいて、応力の高い箇所の応力が低減されるように対策を施して鋼管杭10の形状、構造を定めることで、貫入時に破断が生じることが抑制された鋼管杭10を構成することが可能である。
- [0029] 本実施形態では、比較例に係る鋼管杭10'に対して、貫入時に破断が生じることが抑制するため、4つの対策を施している。これらの対策により、図7に示すような亀裂32の発生が抑制される。更に、鋼管杭10の貫入後の支持機能を高めるため、対策を施している。以下、改良点のそれぞれについて説明する。
- [0030] (1) 鋼管厚肉部
- 図6A～図6Dに示した応力解析結果によれば、貫入時に鋼管杭10に発

生する応力は、鋼管杭 10 の先端から上方へ所定距離 L の範囲で特に高くなっている。このため、図 2 の縦断面図に示すように、鋼管杭 10 の肉厚は、鋼管杭 10 の軸方向において少なくとも鋼管杭先端部 13 から鋼管杭外径 D 程度に相当する距離（所定距離 L ）以上の所定範囲では、当該所定範囲外よりも厚肉とされている。一例として、鋼管杭 10 の杭径が 1000[mm] の場合、鋼管杭 10 の肉厚は、所定距離 L の範囲では $t_1 = 22\text{[mm]}$ であり、所定距離 L の範囲外では $t_2 = 13\text{[mm]}$ である。上述したように、応力の高い所定距離 L は鋼管杭 10 の直径程度であるため、鋼管杭 10 の先端から鋼管杭 10 の直径程度に相当する距離において、鋼管杭 10 が厚肉とされている。ただし、この所定距離 L は、一般的に支持層とされる N 値 50 以上の硬質な地盤へ貫入する場合の破損防止を条件としたものであるため、例えば鋼管杭 10 の上部構造物が比較的軽量であり、例えば N 値 15 を支持層とするような場合には距離 L を短縮することもあり得る。なお、応力を低減する観点から鋼管杭 10 の全体に渡って厚肉にすることも考えられるが、鋼管杭 10 の重量が増加し、製造コストも高くなることから、所定距離 L の範囲外では鋼管杭 10 を薄肉とすることが好ましい。

[0031] 肉厚が厚肉とされた所定距離 L の部分は、短管として構成されていてもよく、所定距離 L よりも上側の長管とこの短管とが溶接により接合されていてもよい。一方、肉厚が厚肉とされた所定距離 L の部分と、所定距離 L よりも上側の部分とは、一体の管で構成されていてもよい。

[0032] 所定距離 L の範囲で鋼管杭 10 の肉厚を厚肉にすることで、鋼管杭 10 を回転させて地中に貫入する際に、応力集中が緩和される。したがって、図 7 に示すような亀裂 32 の発生が確実に抑制される。

[0033] 一方、所定距離 L の範囲で鋼管杭 10 の肉厚を厚肉にした場合であっても、鋼管杭 10 の肉厚が厚肉から薄肉に変化する境界 19 の近傍で応力の集中が発生し、破断が生じる可能性がある。このため、所定距離 L の鋼管杭 10 の肉厚と所定距離 L 以外の鋼管杭 10 の肉厚との比、または所定距離 L の鋼管杭 10 の肉厚と鋼管杭外径 D との比を破断が生じない適正な値にしておく

ことが好ましい。表 1 は、図 2 に示した所定距離 L の範囲における鋼管杭 10 の肉厚 t_1 （短管の肉厚）と所定距離 L の範囲外の鋼管杭 10 の肉厚 t_2 （長管の肉厚）との肉厚比（ t_2/t_1 ）、および肉厚 t_1 と鋼管杭外径 D との比（ t_1/D ）の適正な値を実験とシミュレーションにより検討した結果を示している。表 1 に示すように肉厚比（ t_2/t_1 ）が 0.5 以上かつ肉厚と杭径との比（ t_1/D ）が 2% 以上であれば、境界 19 の近傍で鋼管杭 10 の肉厚が厚肉から薄肉に変化する肉厚変化部で破断を生じさせることなく、一般の支持層（ N 値 ≥ 50 ）に杭を貫入できることが判明した（表 1 中の○印（good））。さらに、肉厚比（ t_2/t_1 ）が 0.7 以上であるか、肉厚比（ t_2/t_1 ）が 0.5 以上かつ肉厚と杭径との比（ t_1/D ）が 4% 以上であれば、鋼管杭 10 の肉厚が厚肉から薄肉に変化する肉厚変化部で破断を生じさせることなく、不均等な荷重が掛かり易い、れき地盤（ N 値 ≥ 50 ）の支持層に対しても杭を貫入できることが判明した（表 1 中の◎印（very good））。

[0034] [表1]

肉厚比(t_2/t_1)	肉厚/杭径(t_1/D) $\geq 2\%$	肉厚/杭径(t_1/D) $\geq 4\%$
0.3	× (not good)	× (not good)
0.4	× (not good)	× (not good)
0.5	○ (good)	◎ (very good)
0.6	○ (good)	◎ (very good)
0.7	◎ (very good)	◎ (very good)
0.8	◎ (very good)	◎ (very good)
0.9	◎ (very good)	◎ (very good)

[0035] 図 16 および図 17 は、鋼管杭 10 の肉厚が厚肉から薄肉に変化する境界 19 の近傍を詳細に示す断面図である。図 16 および図 17 は、肉厚が厚肉とされた所定距離 L の範囲で鋼管杭 10 が短管 10b として構成され、所定距離 L の範囲外の長管 10a と短管 10b とが溶接により接合されて鋼管杭 10 が構成される場合に、図 2 に示す領域 A4 の近傍を拡大して示している。図 16 に示す例では、長管 10a と短管 10b の軸方向の端面同士の間が溶接のビード 40 によって接合され、溶接のビード 40 は、向かい合う端面同士の間で周方向に沿って形成されている。図 16 に示す構成例によれば、

溶接のビード40が長管10aと短管10bの向かい合う端面同士の間溶け込んでいるため、貫入時に肉厚変化部が破断することが抑制される。図17に示す例では、図16の構成に加えて、長管10aと短管10bとが接合されている部位の内周に沿って裏当て金42が設けられており、裏当て金42は長管10aと短管10bのどちらか一方の内周面に溶接されている。

[0036] (2) 段差部分の曲率半径

上述したように、螺旋状に切断された鋼管杭先端部13の始端15と終端14の段差部分16は、円弧状に形成されている。図8は、段差部分16の近傍で鋼管杭10を展開した展開図である。また、図9は、図5に示した平面図において、領域A1を拡大して示す図である。

[0037] 図8に示す展開図において、螺旋状に切断された鋼管杭先端部13の始端15と終端14を接続する段差部分16の円弧の半径Rは、螺旋状羽根12の螺旋状のピッチPを用いて、以下の(1)式で表される。なお、螺旋状のピッチPは、螺旋状の鋼管杭先端部13に沿って鋼管杭10の中心軸を中心に360°回転したときの軸方向の変位に相当する。また、kは所定の係数である。kの値の変化に伴い図9に示す始端15と終端14の間の角度 θ_1 は変化し、 $\theta_1 = 360 - 360 \times k$ [deg]の関係がある。

$$R = k \times P \quad \cdots (1)$$

[0038] 本発明者らは、kの値を変化させて図6A～図6Dと同様の応力分布の解析を行い、段差部分16の近傍における応力のレベルを検証し、以下の表2に示す結果を得た。表2において、○印は段差部分16の応力が315 N/mm²以下であったことを示している。一方、表2において、×印は段差部分16の応力が315 N/mm²（降伏点）を超え、鋼管に塑性化部分が生じたことを示している。この結果から、kの値は、 $0.8 \leq k \leq 1.5$ とすることが好適である。

[0039]

[表2]

k	段差部近傍の応力集中
0.6	×(not good)
0.7	×(not good)
0.8	○(good)
0.9	○(good)
1	○(good)
1.1	○(good)
1.2	○(good)
1.3	○(good)
1.4	○(good)
1.5	○(good)
1.6	×(not good)

[0040] 以上のように、段差部分 1 6 の円弧の曲率半径を螺旋状羽根 1 2 のピッチ P 程度とすることで、破断の起点となり易い始端 1 5、段差部分 1 6 および終端 1 4 での応力集中が緩和され、貫入抵抗による鋼管杭 1 0 の破断が抑制される。

[0041] なお、図 8 の展開図では、段差部分 1 6 が円で接続される例を示したが、段差部分 1 6 は任意の曲線、または円弧若しくは任意の曲線と直線の組み合わせにより接続されてもよい。

[0042] 図 1 3 及び図 1 4 は、段差部分 1 6 の形状を更に説明するための模式図である。図 1 3 は、上段に鋼管杭先端部 1 3 を含む鋼管杭 1 0 の側面図を示し、下段に段差部分 1 6 を含む鋼管杭先端部 1 3 を展開した展開図を示している。図 1 3 において、羽根 1 2 の図示は省略している。また、図 1 4 は、段差部分 1 6 を含む全周で鋼管杭 1 0 を展開した展開図である。

[0043] 図 1 3 に示すように、鋼管杭 1 0 の外径を D_p とすると、鋼管杭 1 0 の外径の周長は $\pi \cdot D_p$ となる。図 1 4 に示すように、螺旋状に切断された鋼管杭先端部 1 3 は、展開図上では斜めの直線となり、この直線を斜辺とし、ピッチ P を高さとし、周長 $\pi \cdot D_p$ を底辺とする直角三角形が構成される。なお、図 1 4 では、ピッチ P が外径 D_p の 0.3 倍である場合が示されている。この直角三角形の面積に対して、ピッチ P ($= 0.3 D_p$) の両端と終端 1 4 の 3 点で構成される三角形の面積は 0.25 倍以下である。つまり、鋼

管杭 10 の中心軸に対し、始端 15 と終端 14 の間の角度は、 $(\pi/4) \cdot Dp$ 以下である。鋼管杭 10 を回転圧入する際に、鋼管杭先端部 13 の段差部分 16 でできる側部開口から、鋼管杭 10 の内部へ土砂が取り込まれるが、直角三角形の面積に対して、ピッチ P の両端と終端 14 の 3 点で構成される三角形の面積が 0.25 倍以下であると、直角三角形の底辺から終端 14 までの距離（段差部分 16 の鋼管杭 10 の軸方向の高さ）を十分に確保できるため、側部開口が大きくなり土砂が管内に入り易くなる。これにより、貫入抵抗が低減される。一方、直角三角形の面積に対する、ピッチ P の両端と終端 14 の 3 点で構成される三角形の面積が 0.25 倍を超えると、直角三角形の底辺から終端 14 までの距離が短くなるため、側部開口が小さくなり土砂が管内に入り難くなる。管内に入らない土砂は、鋼管杭 10 の周辺に押し出さなければならないため、貫入抵抗が大きくなり、その結果、回転圧入が困難となる。

[0044] 段差部分 16 の形状（円弧、任意の曲線、または円弧若しくは任意の曲線と直線の組み合わせ）は、以上のようにして定義される始端 15 と終端 14 を接続するように定められる。ここで、以上のようにして定義された終端 14 と、始端 15 とを直線で結んだ場合、側部開口が大きく確保されるので貫入抵抗を低減することはできるが、始端 15、終端 14、および段差部分 16 の近傍で応力が集中するため、段差部分 16 の形状は、円弧、任意の曲線、または円弧若しくは任意の曲線と直線の組み合わせにより始端 15 と終端 14 を接続することで規定されることが好ましい。これにより、側部開口を大きく確保して貫入抵抗が低減されるとともに、始端 15、終端 14、および段差部分 16 の近傍での応力集中が抑制される。

[0045] （3）羽根先端部と鋼管の溶接部の形状

図 10 は、鋼管杭先端部 13 の始端 15 の近傍を拡大して示す図であって、図 3 に示す領域 A2 を拡大して示す斜視図である。図 11 は、図 9 の矢印 A3 方向から始端 15 の近傍を見た状態を示す図である。鋼管杭 10 は、螺旋状に切断された鋼管杭先端部 13 が螺旋状羽根 12 の螺旋状の上面に突き

当てられ、螺旋状羽根 12 に対して溶接により接合されている。

[0046] 図 9～図 11 に示すように、鋼管杭 10 の外周に沿って溶接のビード 30 が形成され、鋼管杭 10 と螺旋状羽根 12 とが接合される。更に、始端 15 の近傍においては、まわし溶接により、始端 15 を U 字形に囲むようにビード 30 が形成される。つまり、ビード 30 は、始端 15 の近傍では、鋼管杭 10 の外周から内周に連なるように形成される。

[0047] なお、鋼管杭 10 の内周においては、鋼管杭先端部 13 と螺旋状羽根 12 が接合される部位の鋼管杭内周に沿って、図 9 に示したように螺旋状の裏当て金 25 が配置されていてもよい。裏当て金 25 は、例えば鋼管杭 10 の軸方向の長さが 30 mm 程度、径方向の厚さが 10 mm 程度とされる。鋼管杭 10 の内周では、まわし溶接が施された部位以外は溶接されていないが、鋼管杭 10 の外周に沿って形成された溶接のビード 30 は内周の裏当て金まで到達して溶け込んでいる。裏当て金 25 は、片側（鋼管杭 10 の外周側）から溶接をして、ビード 30 の溶接金属を開先部分に留めるためのものであるため、両側（鋼管杭 10 の外周側および内周側）から溶接が行われるまわし溶接部には裏当て金 25 が無くてもよい。すなわち、鋼管杭 10 の内周において、まわし溶接が施される部分には裏当て金 25 が設けられていなくてもよい。一方、鋼管杭 10 の内周において、裏当て金 25 を始端 15 の位置まで延ばし、まわし溶接が施される部分にも裏当て金 25 を設け、まわし溶接で裏当て金 25 を共に溶かし込んでもよい。

[0048] まわし溶接により、ビード 30 が始端 15 の近傍で鋼管杭 10 の外周から内周に連なるように形成されることで、特に回転圧入における螺旋状羽根 12 の回転方向の先端（掘削歯 24 の近傍）において、鋼管杭 10 の外周から始端 15 を経て内周に渡って螺旋状羽根 12 が鋼管杭先端部 13 に強固に固定されるので、回転圧入時の螺旋状羽根 12 の掘削歯 24 の近傍の動きが抑制され、螺旋状羽根 12 の先端の変形量が少なくなるので、応力が低下する。したがって、螺旋状羽根 12 または鋼管杭 10 の破断が抑制される。

[0049] 鋼管杭 10 の内周におけるビード 30 の終端の位置 P1 は、図 9 に示した

ように、掘削歯24と螺旋状羽根12の内縁20が交わる点P2（または掘削歯24と螺旋状羽根12の外縁21が交わる点P3）と鋼管杭10の中心Oを結ぶ一点鎖線L1よりも始端15と反対側に位置していることが好ましい。回転圧入時には掘削歯24が大きな力を受けるが、鋼管杭10の内周におけるビード30の終端の位置P1が一点鎖線L1よりも始端15と反対側に位置していることで、回転圧入時の螺旋状羽根12の掘削歯24の近傍の動きが抑制され、螺旋状羽根12の先端の変形量が少なくなるので、応力が低下する。したがって、螺旋状羽根12または鋼管杭10の破断が抑制される。

[0050] 図9～図11に示すように、始端15では、溶接のビード30が斜面状に形成されている。ビード30は、始端15において、螺旋状羽根12の表面に対して45°以下の角度で交わる斜面として構成されている。より好ましくは、始端15では、溶接のビード30が凹状の斜面として形成されている。換言すれば、始端15において、ビード30は船の舳先形状とされている。このような形状は、例えば、ビード30の形成後、グラインダー等でビード30を切削し、平滑に仕上げることによって形成される。始端15の近傍でビード30を凹状の斜面とし、平滑に仕上げることで、鋼管杭10を貫入する際に、ビード30の斜面によって土砂が掘削されるため、貫入抵抗が抑えられ、より小さい回転トルクで鋼管杭10の貫入が行われる。また、ビード30の斜面によって土砂が掘削されることで、鋼管杭10の貫入時における応力集中が緩和されるため、鋼管杭10に亀裂や破断が生じることが抑制される。

[0051] (4) 羽根の開口率

図示例において、鋼管杭10の外径(D)を100mm～1600mmとしたとき、螺旋状羽根12の外径(D₂)を250mm～2400mmの範囲としている。

[0052] 螺旋状羽根12の内縁20と外縁21を鋼管杭先端部13の内側と外側に張り出して構成することで、その中心部に開口部22が形成されて、回転圧

入鋼管杭 10 は開端杭となる。螺旋状羽根 12 の外径 (D_2) を、鋼管杭外径 (D) の略 1.2 ～ 3 倍とし、鋼管杭 10 を軸方向から見たときに内縁 20 の円の開口部 22 の面積は、鋼管杭 10 の外径 D を直径とする円の面積に対して 0.1 倍以上から 0.9 倍以下とした。鋼管杭 10 の外径 D を直径とする円の面積に対する開口部 22 の面積の比率（開口率 (%)）は、以下の表 3 に示したように、実験とシミュレーションの結果得られた数値であって、開口率が 0.1 倍以上 0.9 倍以下であると、大径杭の地中への円滑な貫入と、鋼管杭 10 の支持機能確保の両条件を満たすことが可能である。一方、この数値を外れると両条件を円滑に満たすことがむずかしかった。なお、表 3 に示すように開口率 0.1 倍（10%）以上 0.9 倍（90%）以下であれば、通常的地盤（ N 値 ≥ 15 ）に破損することなく杭を貫入でき、支持機能を確保することができる（表 3 中の○印(good)）。さらに、開口率 20 ～ 50% であれば、硬い地盤（ N 値 ≥ 50 ）の支持層に対しても円滑な貫入と支持機能を確保することができる（表 3 中の◎印(very good)）。

[0053] [表3]

開口率 (%)	貫入抵抗	支持機能	
		杭安定性	羽根剛性
0	×(not good)	◎(very good)	◎(very good)
10	○(good)	◎(very good)	◎(very good)
20	◎(very good)	◎(very good)	◎(very good)
30	◎(very good)	◎(very good)	◎(very good)
40	◎(very good)	◎(very good)	◎(very good)
50	◎(very good)	◎(very good)	◎(very good)
60	◎(very good)	◎(very good)	○(good)
70	◎(very good)	◎(very good)	○(good)
80	◎(very good)	◎(very good)	○(good)
90	◎(very good)	○(good)	○(good)
100	◎(very good)	○(good)	×(not good)

[0054] 鋼管杭 10 の地中への貫入時に、鋼管杭 10 内に土砂が詰まると、貫入に必要な回転トルクが上昇し、鋼管杭 10 が破断する可能性が高まる。表 3 に示したように、貫入抵抗と支持機能はトレードオフの関係にあり、開口率が大きいほど、開口から土砂が鋼管杭 10 の内部に進入し易くなるため、貫入抵抗は低下する。一方、開口率が大きいほど、平面図上での螺旋状羽根 12 の面積が小さくなることで鋼管杭 10 の地盤に対する設置面が小さくなるこ

とから安定性が低下し、また螺旋状羽根 12 の剛性が低下することから、貫入後の鋼管杭 10 を支持する支持機能が低下する。

- [0055] 実験とシミュレーションの結果、開口率を 20%～50%の範囲とすることで、硬い地盤（N 値 $\geq$ 50）の支持層に対しても上述した両条件を満たすことが可能であるが、30%を超えると羽根に必要な剛性を確保するための肉厚が大きくなるため、開口率 20%～30%がより好適であった。より詳細には、開口率が 10%以上であれば通常の地盤（N 値 $\geq$ 15）に破損することなく杭を貫入でき、開口率が 20%以上であれば硬い地盤（N 値 $\geq$ 50）の支持層に対しても円滑な貫入が可能であった。また、開口率が 90%以下であれば、支持機能として貫入後の杭安定性と羽根剛性の双方を確保することができた（表 3 中の○印(good)）が、開口率が 80%以下であれば、支持機能として貫入後の杭安定性を良好に確保することができ（表 3 中の◎印(very good)）、更に開口率が 50%以下であれば、杭安定性と羽根剛性の双方を良好に確保することができた（表 3 中の◎印(very good)）。

- [0056] （5）羽根の形状

図 12 は、図 2 の螺旋状羽根 12 の近傍を拡大して示す縦断面図である。図 12 に示すように、螺旋状羽根 12 は、内縁 20 と外縁 21 が水平に位置するか、あるいは、内縁 20 ほど上に位置し、外縁 21 ほど下に位置するように傾斜している。

- [0057] 鋼管杭 10 は、地中に貫入された後、鉛直方向下向きに大きな荷重を受ける。螺旋状羽根 12 の内縁 20 よりも外縁 21 が鉛直方向で上の位置にあると、鉛直方向下向きの荷重を受けた際に、螺旋状羽根 12 の外側が上方向に撓み易くなる。そして、螺旋状羽根 12 の外側が上方向に撓んでしまうと、鋼管杭 10 の支持機能が低下してしまう。したがって、内縁 20 と外縁 21 が水平に位置するか、あるいは、内縁 20 ほど上に位置し、外縁 21 ほど下に位置するように傾斜させることが好適である。

- [0058] （6）非対称な先端形状

鋼管杭先端部 13 は、側面から見て非対称な先端形状を有する。鋼管杭先

端部 1 3 が対称形状の場合、鋼管杭 1 0 を貫入させようとする力と硬質地盤による反力とが釣り合って、貫入が困難となり易い。これに対して、側面から見て非対称な先端形状を有する鋼管杭先端部 1 3 を回転させると、鋼管杭 1 0 を貫入させようとする力と反力とが釣り合いにくく、貫入性が向上する。

[0059] 図 1 5 は、側面から見て非対称な先端形状を有する鋼管杭先端部 1 3 の例を示す側面図である。側面から見て非対称な先端形状を有する鋼管杭先端部 1 3 として、段差部分 1 6 を有する形状の他、図 1 5 に示したような斜面 3 4 を有するものが挙げられる。

[0060] 以上説明した実施形態では、鋼管杭 1 0 に固定される羽根として螺旋状羽根 1 2 を例示したが、鋼管杭 1 0 に固定される羽根は螺旋状に限定されるものではない。例えば、羽根は平板から構成されていてもよい。また、螺旋状羽根 1 2 が円周方向で段差部分 1 6 の 1 箇所 で分断されているものを例示したが、螺旋状羽根 1 2 は複数箇所 で分断されていてもよい。

符号の説明

- [0061]
- | | |
|----------|---------|
| 1 0 | 回転圧入鋼管杭 |
| 1 2 | 螺旋状羽根 |
| 1 3 | 鋼管杭先端部 |
| 1 4 | 終端 |
| 1 5 | 始端 |
| 1 6 | 段差部分 |
| 1 7 | 円周方向終端 |
| 1 8 | 円周方向始端 |
| 1 9 | 境界 |
| 2 0 | 内縁 |
| 2 1 | 外縁 |
| 2 2 | 開口部 |
| 2 5, 4 2 | 裏当て金 |

3 0 ビード

3 2 亀裂

3 4 斜面