

3. スtrand (SRD) 場所打杭工法の開発と実用化

東日本旅客鉄道株：高崎 秀明、
大成建設株：近藤 昭二、*本多 清暢

1 はじめに

秋葉原駅改修工事は、つくばエクスプレス秋葉原駅新設に伴い、乗換客数が増大すると予想されるため、新しい駅コンコースの構築および、総武線と山手・京浜線の連絡通路の拡幅工事を行うものである。その施工方法は、まず現秋葉原駅の1F部分に高架橋を新設して、駅舎部を受け替えた後、既設の高架橋を撤去することにより、新しいコンコースを構築するものである。

改修工事にあたって、作業現場は高架橋下部で幅が狭く、極端に狭隘な空間であり、また、桁下の空頭制限も最低高さ2.75mと厳しい。したがって、高架橋の新設に際して、基礎部の場所打杭施工を行うには、従来の工法では、杭の鉄筋籠が空頭制限の長さで分割されるため、継ぎ手箇所が多くなってしまふ。そのため、施工が煩雑になり、コストアップにつながるるとともに、狭隘な施工場所でのクレーン等重機械を使用した危険作業時間も多くなってくる。

そこで、本改修工事では、鉄筋継手を必要としないstrand場所打ち杭工法を採用した。本稿では、strand場所打ち杭の特徴を紹介するとともに、工事の実施結果を報告する。

2 工事の概要

秋葉原駅改修工事の平面図を図-1に、断面図を図-2に示す。

2-1 工事概要

発注者：東日本旅客鉄道株式会社

設計：日本交通技術株式会社

施工：大成建設株式会社

工期：1999年12月14日～2004年10月29日

2-2 strand場所打ち杭の概要

strand場所打ち杭の配筋図を図-3-1と図-3-2に、および杭の鉄筋建込装置を写真-1に示す。杭は直径1.8m、長さ27mの場所打ち杭24本である。strand場所打ち杭は、軸方向鉄筋としてΦ16.5mmのstrandを3本束ねたものを36セット使用し、せん断補強鉄筋としてスパイラル状の高強度異形PC鋼棒を使用した。

杭の建込装置は、下部のローラーで自由に移動でき、油圧ジャッキにより高さが2.45mから4.3mに調整可能な構造になっており、鉄筋籠の下降用に10tチェーンブロックを1基、昇降ビームの盛替用に3tチェーンブロックを4基を装備している。また、その下部ステージにはターンテーブルが設置されており、スパイラル筋(帯鉄筋)が巻きつけられる構造になっている。

strand場所打ち杭のコンクリート打設量は1900m³、その施工期間は6月中旬から8月下旬の約1ヶ月半であった。

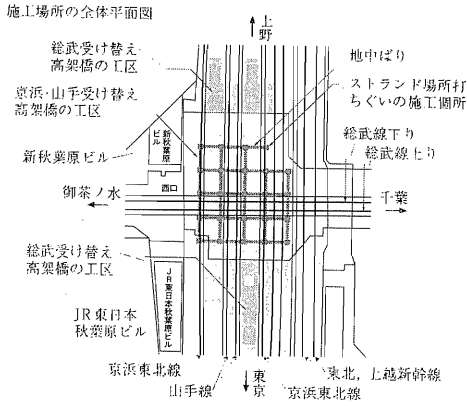


図-1 平面図

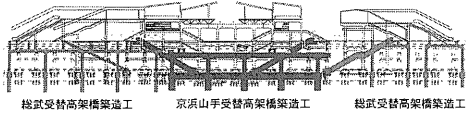


図-2 断面図

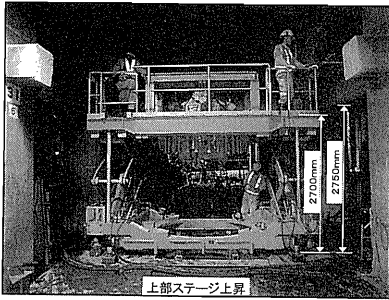


写真-1 鉄筋籠建込み装置

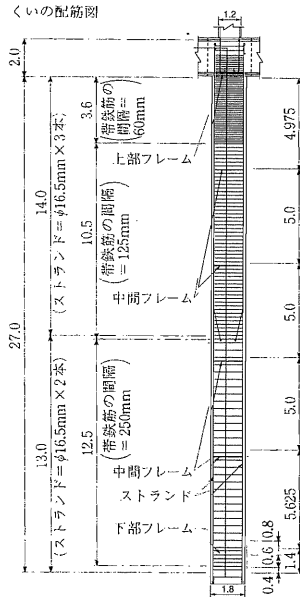


図-3(1) 配筋図

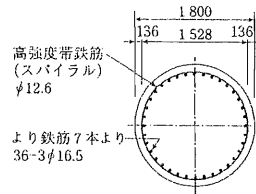


図-3(2) 断面配筋図

3. ストランド場所打ち杭の使用材料および部材特性

秋葉原改修工事に先だって、東日本旅客鉄道株式会社と大成建設株式会社の共同で低空頭での場所打ち杭工法の開発を平成8年から平成10年の3ケ年実施し、ストランド場所打ち杭工法の開発を行った。その開発の目標は、低空頭場所打ち杭→機械式継手をなくす→鉄筋籠建て込み作業の効率化→トータルコスト縮減である。

3.1 材料特性

ストランド場所打ち杭に使用されているストランド鋼材は、JIS G3506-1973硬鋼線材に適合した7本より線で、公称径として12.4mmと16.5mmの2種類がある。ストランド鋼材は通常の異形鉄筋に比べて高強度(規格降伏強度 $900\text{N}/\text{mm}^2$)だけでなく、フレキシブルに曲げ変形できることが最大の特徴である。本工事では、φ16.5mmのものを2〜3本束ねたストランドロットを使用した。

ストランドの素線の表面は滑らかで異形鉄筋のような節がないため、縁切れ後のコンクリートとの付着抵抗の増加は期待できない。さらに、泥水中にコンクリートを打設する場所打ち杭の場合は初期滑り強度も気中打設に比べて低下する。そこで、初期滑り発生後の付着強度を向上させる目的で素線の表面にインデント加工(小さな凹み)を施すことにした。

ストランドの高強度を有効に発揮させるために、確実かつ効率的なコンクリートとの定着方法が必要である。ストランドは曲げ加工ができないため、通常の鉄筋のように端部にフックをつけて定着することはできない。一方、機械的な定着方法は可能であるが、コスト的に不利である。そこで、ストランド場所打ち杭工法では、VSLインターナショナル社が開発したHタイプ定着法(以下球根定着と略す)を採用して、杭頭および段落とし部でのストランドの定着長を大幅に縮めることができた。球根加工はストランドを建て込み時に行い、ハンドタイプの球根加工機を使用して現場で極めて簡単にできる経済的な定着方法である。

ストランド場所打ち杭工法では、通常の場合打ち杭に比べ高強度コンクリートの使用が要求される。その理由は、①ストランド強度とのバランス、②ストランドとの付着強度の確保、および③耐震設計上に部材変形性能の確保が挙げられる。本工事では、場所打ち杭に用いるコンクリートとして設計基準強度 42N/mm^2 の高強度タイプの自己充てん型高流動コンクリートを使用した。

3.2 部材特性

ストランド場所打ち杭の一連の要素実験及び部材確認実験を実施したことにより、ストランド場所打ち杭の曲げせん断特性を確認し、以下に示すような設計の考え方を得た。

1) ストランドとコンクリートの付着が十分でない場合、ストランド場所打ち杭の曲げ耐力と剛性は、通常の RC 部材に比べて低下する傾向にある。ストランドの素線の表面にインデント加工を施すことにより、ストランドが降伏するまで RC 部材としての曲げ耐力を確保することができた。また、部材の曲げ剛性は、設計荷重レベルではほぼ異形鉄筋と同等で、大規模地震時の降伏割線剛性においても異形鉄筋を使用したものの7割以上を確保することができた。

2) ストランド場所打ち杭工法では、構造性能の確保および施工の簡便さへの配慮から、杭のせん断補強鋼材として異形鉄筋に替えてスパイラルの高強度せん断補強鋼材(異形 PC 鋼棒)を使用することにした。スパイラルの高強度せん断補強鋼材によって補強されたストランド杭のせん断耐力は、従来の RC 部材のトラス理論による設計手法で安全側に評価できることが確認された。

3) ストランドの定着方法として直線部と球根部を併用することで定着長の短縮を図った。直線定着部(付着効果)が 60%、および球根定着部(付着効果とメカニカル効果)が 40%を分担することで、泥水中打設の場合でもストランドが降伏に達するまでの定着を確保できることが確認された。

4) 杭の水平繰返し載荷試験によって得られた履歴形状は RC 部材と異なり、繰返し載荷荷重の除荷時には原点指向の傾向が強かった。これについては異形鉄筋の履歴モデルを修正することで、ストランド杭の地震時挙動を概ねシミュレーションすることができた。

1 例として写真-2 にストランド杭の正負交番載荷実験の様子を、図-4に実験および解析シミュレーションの結果を示す。試験体の杭径は 850mm、杭長 3860mm、載荷実験のせん断スパン比 4.5、ストランドロッドは $\phi 12.4\text{mm}$ のストランドを3本束ねて 12 組(36 本)を使用した。コンクリート圧縮強度は 40N/mm^2 、導入した軸圧縮応力は 3N/mm^2 であった。

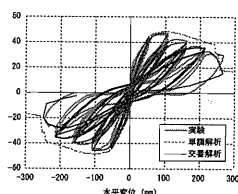


図-4 正負交番載荷実験及び解析シミュレーションの結果



写真-2 ストランド杭の正負交番載荷実験

4 施工方法

ストランド場所打ち工法は、TBH工法による掘削完了箇所において、ストランドの建込を行うものであり、その手順を図-5の施工フローに従って説明する。

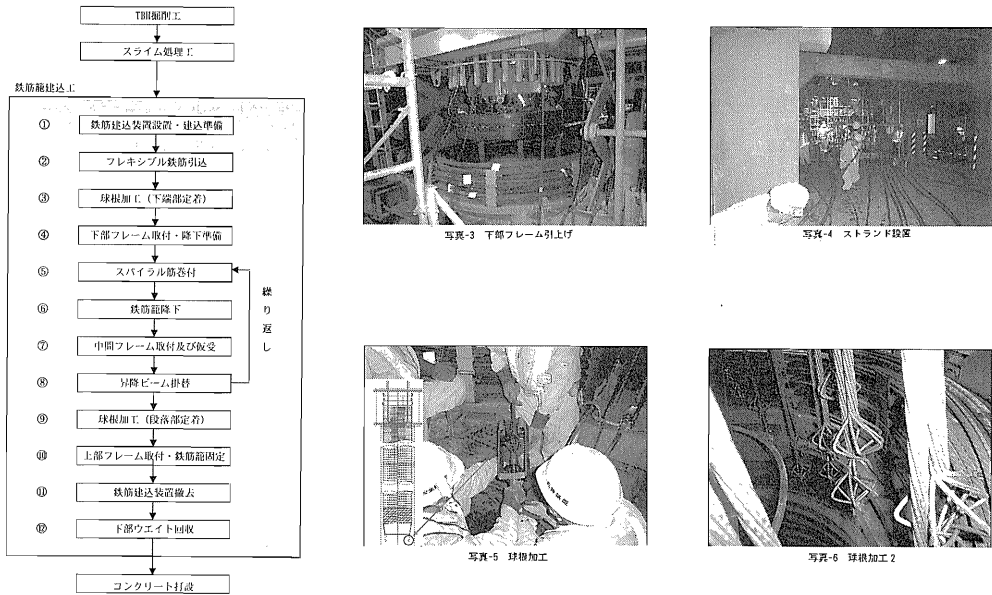


図-5 施工フロー

① 鉄筋籠建て込み装置設置・建込準備

TBHで地盤を掘削後、カンザシ桁を用いて下部フレームをセットする。その後、杭の施工位置まで建て込み装置を移動し、所定の位置に固定する。その後スパイラル筋をフォークリフトを用いて鉄筋籠にセットし、下部フレームを吊り上げる。(写真-3参照)

② ストランド引き込み

ストランドを引き伸ばし、建て込み装置の上部ステージからガイドパイプに引き入れる。ストランドはドラムで巻いても使用できるが、今回は長さがさほど長くないため、場内で引き延ばして用いた。(写真-4参照)

③ 球根加工

ストランドの定着力を高めるために、球根加工を下部、鉄筋段落し部、および上部で行う。ハンドタイプの球根加工機にフレキシブル鉄筋先端をセットし、油圧によって、球根加工を行う。(写真-5、写真-6参照)

④ 下部フレーム取り付け・降下準備

下部フレームは、鉄筋籠の平面形状と主筋ピッチ確保、及び鉄筋籠初期建込荷重の増加材としての機能を有する。手動チェンブロック(仮吊用)4基を用いて下部フレームを水平に調整する。固定治具を用いてフレキシブル鉄筋を挟み、ナットをインパクトレンチにて所定のトルクで締め付ける。ストランド先端の球根部が鉄筋先端の球根部が鉄筋籠の外側に突出して孔壁に接触しないように、中心方向へ絞り込む。(写真-7参照)

⑤スパイラル筋巻きつけ

スパイラル筋を順に引き上げて鉄筋籠に所定のピッチで巻付ける。主筋(フレキシブル鉄筋)との固定は、結束線又は、番線を用いて全交点の半数以上の結束を行う。主筋には事前に帯筋(スパイラル筋)の取付け位置のしるしを付けておく(写真-8参照)

⑥鉄筋籠降下

昇降ビームと下部フレームをロックピンで接続する。電動チェーンブロックを操作して、下部フレームの荷重を昇降ビームで受ける。この時、手動チェーンブロックが緩んだことを確認して、下部フレームから外す。スパイラル筋を巻付けながら鉄筋籠を降下させる。

⑦中間フレーム取り付け及び仮受け

鉄筋籠の形状保持、およびスペーサー取り付けのために中間フレームを5mピッチで鉄筋籠に取り付ける。鉄筋籠内に4分割された中間フレームを入れ、所定の位置に設置し、番線を用いて仮止めする。4分割の中間フレームをボルトナットで接合して組み立てる。固定金具でストランドを挟み、ナットをインパクトレンチにて所定のトルクで締め付ける。取付けた中間フレームに手動チェーンブロック(仮吊用)を掛け、鉄筋籠を仮吊する。ロックピンを解除して、昇降ビームを下部フレームから切り離し上昇させる。(写真-9参照)

その後、昇降ビームの受け替えを行い⑤のスパイラル筋巻きつけから昇降ビームの受け替えまでのサイクルを繰り返す。尚、鉄筋段落し部では球根加工を行う。杭の最上部では、上部フレームを取り付け、鉄筋籠を固定し鉄筋籠の施工が完了する。

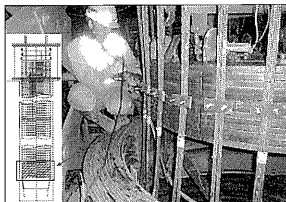


写真-7 下部フレーム取付状況

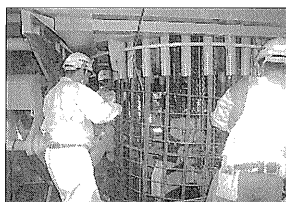


写真-8 スパイラル筋取付



写真-9 中間フレーム取付

5. 実施結果

5.1 コンクリート配合について

従来から施工されてきた一般の場所打ち杭では設計基準強度が 24 あるいは 30N/mm²であり、本ストランド場所打ち杭に用いたように 42N/mm²を超えるコンクリートの適用例はなかった。本工法においてはストランド場所打ち杭の構造性能を確実に確保できる高性能水中コンクリートを適用した。このコンクリートは土木学会規準に適合する併用系の高流動コンクリートであり、以下の特徴を有する。

①コンクリートの有する高い流動性と充てん性によって、安定液中に打込んだ場合であっても、気中での施工と同等の品質の構造体が構築可能である。

②設計基準強度 42N/mm²に対応する配合強度 64N/mm²を確実に満足する。

③高強度用の3成分系セメントと流動性の保持に優れたポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤、分離低減剤を適切に組み合わせることによって、高い品質安定性が得られ、一般のレディーミク

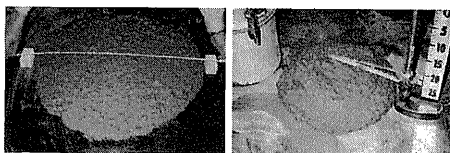
ストコンクリート工場から容易に供給できる。

コンクリートの仕様と配合を表-1に示す。コンクリートの流動性は写真-10に示すようにスランブフローで測定されるものである。施工されたコンクリートのスランブフローは図-7に示すように所要の範囲に管理され、構造体としての品質は図-8に示すように大変均質なものが得られた。

表-1 ストランド場所打ちくい用高性能水中コンクリートの仕様・配合

設計基準強度 (N/mm ²)	指定材齢 (日)	呼び強度 (N/mm ²)	配合強度 (N/mm ²)	粗骨材の最大寸法 (mm)	自己充てん性ランク	スランブフロー (mm)	500mmフロー時間 (sec)	空気量 (%)
42	91	53	64	20	2	650 ±50	5~12	3.0 ±1.5

水結合材比 (%)	単位粗骨材絶対容積 (m ³ /m ³)	単位量 (kg/m ³)					
		水	結合材 (低発熱三成分系)	細骨材	粗骨材	高性能AE減水剤 分散剤 ポリボリ-	
32.0	0.310	160	500	857	840	11.0	0.5



高流動コンクリート スランブフロー 60~70 cm
普通水中コンクリート スランブフロー 20~22 cm

写真-10 水中コンクリートの流動性

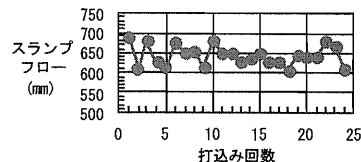


図-6 打込み時の流動性

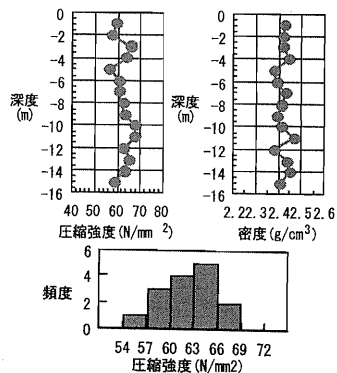


図-7 構造体から採取したコアの品質

5.2 施工全般について

対象となる場所打ち杭24本の施工には、約1ヶ月半の期間を有した。鉄筋の建込時間は、従来の機械式継手間では約29時間を要するが、本工法では約1/2の14時で施工を行った。この結果トータルで、約20%の工期短縮をはかることができた。

また、従来工法に比較して、ストランドや高強度コンクリートを用いたことにより材料費のコストはアップするが、工期の短縮や、高強度の材料を使用することによる杭径のサイズダウンにより、トータルで約10%施工費のコストダウンができた。従来工法では、鉄筋の継手数が施工時間に大きく影響してきており、ストランド場所打ち杭のコストスタディによると、25m以上の杭長であれば、ストランド杭の経済的優位性が高くなる。

本工事で用いた鉄筋籠建込み装置は、約7tと重量が重く、狭隘な部分では動きは良くなかったが、今後は、より軽量化、コンパクト化をはかることにより、作業環境の適応範囲が広がるものと思われる。

6 おわりに

本工事で実施したストランド場所打ち杭施工は、実験工事を実施してはいたものの、未知数の多い工事ではあったが、施工の途中で鉄筋籠建て込み装置の改良を行うなど、様々な工夫を行い、無事施工を完了することができた。従来の場所打ち杭工法では、低空頭の条件下では径が細く短い場所打ち杭の施工に限られていたが、実施したストランド場所打ち杭工法は大口径、大深度を可能にした画期的な工法である

といえる。ストランド場所打ち杭工法は、杭長が短い杭の場合は従来の場所打ち杭の方法が経済的であるが、建て込み装置さえ、設置できれば、これまで鉄筋を建て込むことができなかった狭い場所でも杭を施工でき、杭の補強やアンダーピーニングの工事にも使える応用範囲の広い施工方法である。