

# ストランド場所打ち杭工法における鉄筋かごの浮上り防止方法

鹿島建設(株) フェロー ○山野辺 慎一 正会員 加納 暢彦  
ケミカルグラウト(株) 小河 宗之 正会員 島村 淳  
東日本旅客鉄道(株) 正会員 鈴木 健一 正会員 加藤 精亮  
正会員 堀田 智弘 正会員 滝沢 聡

## 1. はじめに

近年増加している連続立体交差化やリニューアル等に伴う鉄道構造物の施工は、周辺に作業ヤードを確保できず夜間のみの施工となるなど、非常に厳しい施工条件となっている。特に、空頭制限が厳しい場所打ち杭の施工では、短く分割した鉄筋かごを接続しながら建て込んでいるため、鉄筋継手に関わるコストの増大や作業時間の延長やそれに伴う鉄筋へのベントナイト付着による品質低下など、さまざまな問題があった。

その解決策として、高強度で可撓性があり継手が不要となる PC 鋼より線(以下、ストランドと呼ぶ)を杭の軸方向鉄筋に用い、あらかじめ工場で製作した伸縮可能な鉄筋かごを縮小した状態で孔口まで運搬し、孔内に伸展することで施工性を大幅に改善した場所打ち杭工法が開発された<sup>1)</sup>。しかし、本工法においては、ストランドに可撓性があること、また軸方向鋼材が高強度材料になることに伴い鉄筋かごが通常の鉄筋かごに比べ軽くなること、さらに後述するように、かごが容易に伸縮することから、コンクリート打込み時に、かごが浮き上がったり、ねじれて変形する懸念があり、その対策が必要であった。

そこで、孔口から吊った鉄筋かごの杭底フレームをトレミー管で押さえながらコンクリートを打込む方法を考案し、掘削孔を模擬した孔内に伸縮式の鉄筋かごを建て込み、2次スライム処理が行えることを確認した上で、コンクリートを打ち込む施工試験を実施した。さらに、狭隘な作業ヤードでの作業性等を考慮し、トレミー管を用いたポンプ施工についても試験を行い、効果を確認した。本文ではそれらの結果について報告する。

## 2. トレミー管の構造と施工方法

### (1) 伸縮式鉄筋かごの概要<sup>1)</sup>

本工法の鉄筋かごでは、軸方向鋼材にストランドを用い、帯鉄筋には通常の異形鉄筋を溶接閉鎖したものをを用い、両者の結合部に交差角度が 90 度回転可能な結合回転器具を用いて鉄筋かごを組み立てる。ストランドには可撓性があるため、鉄筋かご全体をねじると、ストランドは螺旋状に変形し、鉄筋かご全体を縮小することができ、逆方向にねじると、鉄筋かごは容易に伸展する。



図-1 結合回転器具



写真-1 伸縮可能な鉄筋かご

図-1 に結合回転器具を、写真-1 に杭径 1.2 m を想定して試作した鉄筋かごの縮小状態を示す。鉄筋かごの縮小は、かごを床に寝かせた状態でかご全体をねじるか、かご上端をクレーンで吊り上げ、接地して巻き下げることににより、かごの自重で簡単に行うことができ、クレーン以外に特殊な機械を必要としない。

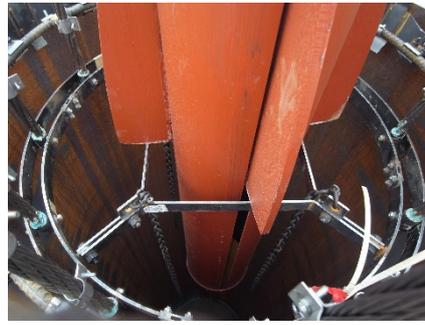
### (2) 浮上り対策の必要性

コンクリートの打込み初期において、コンクリートはトレミー管の下端から排出された後、孔の底部から上



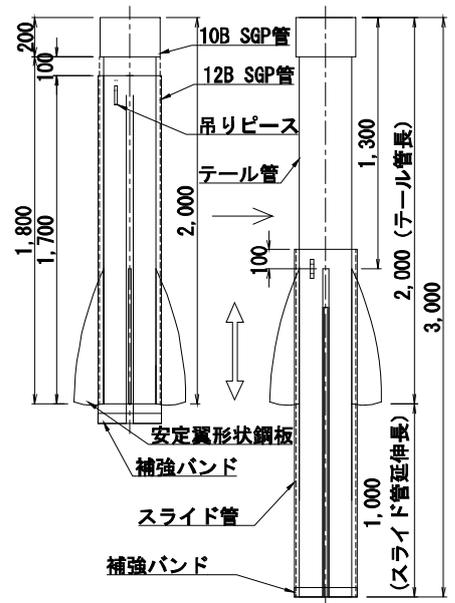
(左から4本×1m+テール管2m)

写真-2 接続状態のトレミー管



(スライド管を伸ばした状態)

写真-3 杭底フレーム



(a) スライド管格納時 (b) 延伸時

図-2 トレミー管の構造

向きに流動し、その際、かごの底部の鉄筋がコンクリートの流動を阻害するために、コンクリートがかごを持ち上げ、いわゆる鉄筋かごの浮上りが生じてしまうことがある。

ストランドの強度は、通常の鉄筋に比べ4倍程度であり、通常の鉄筋かごにおける軸方向鉄筋の占める比率は60~80%程度であることから、強度比に対応して本工法の鉄筋かごの重量は大幅に軽量となる。

さらに、前述の通りかごが容易に伸縮することから、コンクリートの打込み時にかごが浮き上がる、あるいはねじれて変形したり縮小してしまう懸念があり、その対策が必要であった。

なお、杭の掘削においては、所定の支持層に対して余裕をもって掘削することが多く、支持層に到達していないと判断された場合は、支持層に達するまでさらに掘削する。こうした結果、鉄筋かご下端は孔底からある程度浮いた状態となり、鉄筋かごが泥水中に吊られた状態で2次スライム処理とコンクリートの打込みを行うこととなる。こうした状況においても、本工法における施工の際に、コンクリート打込み時のかごの浮上りを防止し、かつ2次スライム処理を合理的に行うことができる打込み方法の開発が必要であった。

### (3) 浮上り防止方法

上述の課題を解決するために、杭頭の口元管から吊った状態の伸縮式鉄筋かごに対し、その底部をトレミー管で押さえ付けるための機能をトレミー管に組み込み、かつ、杭底のスライムを吸引できる構造とした。

図-2にトレミー管の構造を、写真-2に6mに接合したトレミー管の全体を、写真-3にトレミー管が鉄筋かごの杭底フレームを押さえ付けている状態を示す。

複数の管を接合した状態のトレミー管の内の下端の管は、長さ2mの通常の間径10インチのトレミー管を改造したもので、鋼管周囲に杭底フレームに当接する安定翼形状の鋼板4枚を溶接した本体(テール管と呼ぶ)と、その外側にかぶせた12インチの鋼管(スライド管と呼ぶ)から構成される。安定翼部分のスライド管はスリット加工してあり、スライド管はテール管に対し、1m延伸できる構造としている。

杭底フレームは、曲げ加工した平鋼板を、杭下端部の補強リングの内側にボルト接合したものである。補強リングと軸方向ストランドの交差部にも、帯鉄筋とストランドの交差部と同様に回転可能な結合回転治具を配置してある。鉄筋かごの杭底フレームは、写真-3に示すように、杭芯部分が正方形に開口し、テール管の安定翼が確実に当接するような寸法とした。

通常のトレミー工法でのトレミー管下端は、孔底から0.2~0.3m程度引き上げ、プランジャが抜けるようにしている。本工法においても、鉄筋かごの下端は、コンクリートの排出が行えるようにスライド管先端が孔底工から200mm程度上方となる位置とするが、実際の施工では、そこから1m余掘りしても、スライド管が孔底まで延伸可能であり、2次スライム処理が確実にできる。スライド管重量は約90kgであり、その上げ下げは、スライド管に付けたワイヤーを孔口で操作することで行う。なお、杭径が大きい場合には、杭底フレームの正方形の開口と外側と補強リングとの間にもスライド管を差し込み、孔底周辺部の2次スライム処理を行

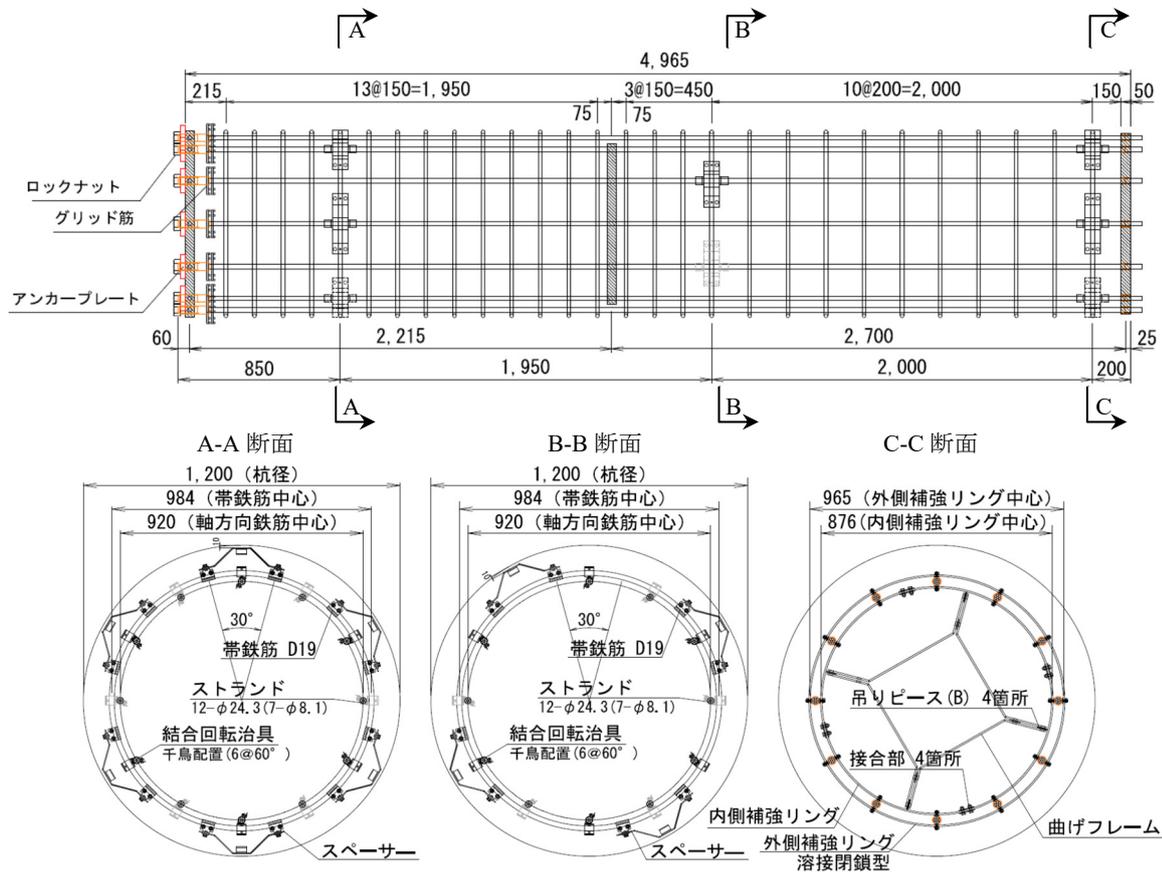


図-3 鉄筋かご配筋図

うことができる。

このように、通常のトレミー管の一部を改造し、杭底フレームの中央部に所定の開口を設けることで、確実な2次スライム処理ができ、鉄筋かごを押さえ付けることが可能であると考えられる。なお、この方法は、通常の場合打ち杭の鉄筋かごにおいても、適用できるものである。

### 3. コンクリートの打込み試験による効果の確認

本検討では、実大の鉄筋かごを用い、コンクリート打込みの初期工程である、2次スライム処理、プランジャの抜け、打込み開始、浮上り防止、およびトレミー管初回引上げまでの方法・手順に問題がなく、確実に浮上りが防止できることを、施工性試験を行い確認した。

#### (1) 試験方法

図-3に試験に用いた鉄筋かごの構造を、写真-4に試験状況を示す。試験では、杭径1.2mを想定した鉄筋かごを製作し、これを掘削孔を模した長さ6m、内径1.2mの鋼管内に建込み、鉄筋かごを吊った状態で杭頭部を固定し、かご内部に前述のトレミー管を建て込み、杭底フレームを押さえ付けた状態でコンクリートを打ち込み、かごの浮上りの有無をかごに取り付けたメジャーで確認した。さらに、コンクリートの硬化後、鋼管を切断し、かぶりコンクリートを研って、帯鉄筋やストランドの状況を目視確認することで、鉄筋かごの変形や浮上りがないことを確認した。

通常のトレミー工法において、トレミー管の下端はコンクリートの上面から2m以上挿入し、レイタンスや孔内水が混入することを防止することとされている。また、挿入長さが長くなりすぎるとコンクリートの流動性が悪くなるので、通常は9~10m以内にとどめている。本工法においても、2m以上挿入することを基本とし、試験においては、打込み開始からトレミー管が3m挿入されるまで打ち上げ、トレミー管を1m引き上げ、以降同様に杭体約6mを打ち上げた。

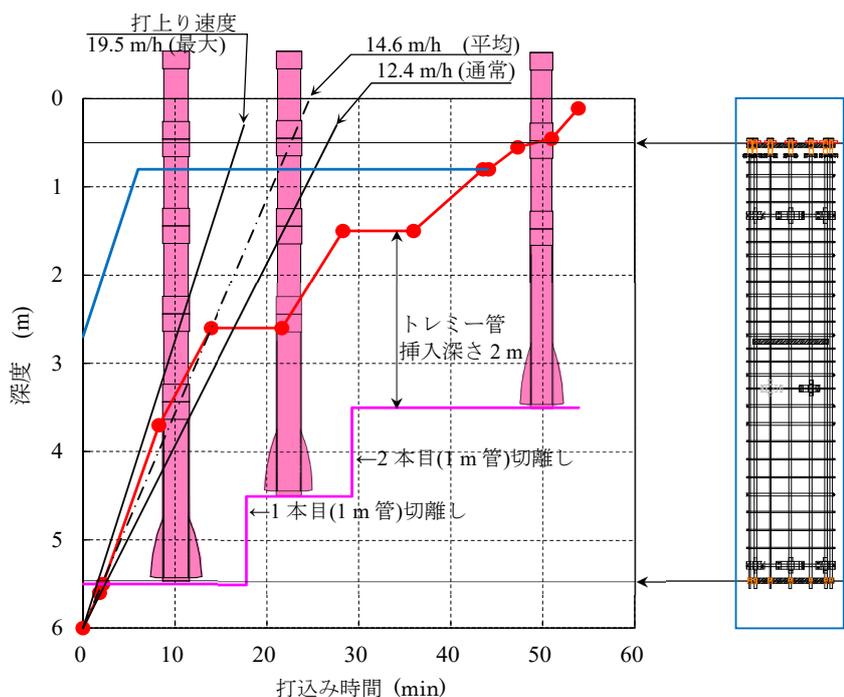


図-4 コンクリートの打込み管理グラフ



写真-4 試験状況(全景)



写真-5 打込み状況(バキューム処理)

## (2) 試験条件

鉄筋かごの浮上り要因としては、①打込み速度(打上り速度が速いと、コンクリートの上方への流動による揚力がかごの抗力を上回り、かご下端がねじれて縮小してしまう)、②トレミー管下端位置(トレミー管のコンクリートへの挿入長さが長いと、コンクリートの上方移動による揚力を受けるかごの鉛直長さが長くなり揚力が大きくなる)、③コンクリートの流動性(コンクリートの流動性が低いと、揚力が大きくなる)、④かごの自重(かごの重量が軽いと、抗力が小さい)などが考えられる。そこで、コンクリートのスランプは、通常の場合打ち杭の18~21 cmを参考に18 cmを目標とした。なお、ストランド場所打ち杭工法では、コンクリート強度が通常の杭よりも高くなる<sup>2)</sup>ことから、呼び強度を40 N/mm<sup>2</sup>とした。

打設速度に関する施工上の規定等は見当たらないが、通常の打上り速度が5~10 m/hr程度であることを考慮して、これよりも十分に大きい速度となるように、ポンプ車の吐出量を設定した。また、比較的軸方向鉄筋量が少ない設計条件を想定し、使用する鉄筋かごのストランドの本数を12本とした。かごの重量は、補強リングや杭底フレームを含め、500 kgである。

## (3) 試験における作業状況

図-4に、コンクリートの打込み管理グラフをかごの位置に合わせて示した。

### a) 打初めから初回のトレミー管引上げまで

トレミー管下端(テール管から突出したスライド管の下端)は、杭底から400 mm浮いた位置とした。打初めのポンプ吐出量(22 m<sup>3</sup>/h)から換算した打上り速度は19.5 m/hであるが、図-4における初期の打上り速度の検測結果とよく一致した。打上り高さ3.4 mまで(初回トレミー管切離しまで)の平均打上り速度は14.6 m/hであった。鉄筋かごの対角2箇所に結束したメジャーによる測定からは、杭頭仕上げまでの全打込み中において、かごの浮上りは認められなかった。

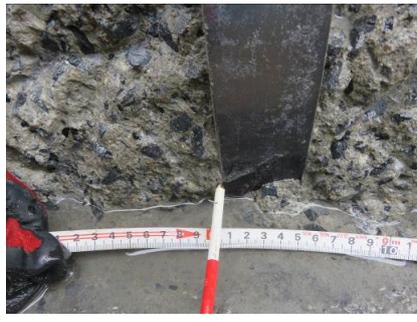
### b) 初回トレミー管切離し後

初回トレミー管切離し以降の打上り速度は、約12 m/hであった。これ以降、トレミー管からの排出が遅くなったため、トレミー管を上下揺動し、コンクリートの排出を促した。

杭頭部付近は、ポンプ圧送を断続的に行うことで、やや速度を落として打込んだ。孔内水をバキュームホー



(a) 全 景



(b) 杭下部補強リング



(c) 支圧板背面・補強鉄筋周囲

写真-6 杭体の解体観察

スで排出した後、写真-5 に示すように、コンクリート上面の分離したモルタル分をバキューム処理しながら打ち上げた。

最終打上げ高さ(深度 0.13 m, 打込み高さ 5.89 m)は、鉄筋かごから 300 mm 上がりとし、テール管引抜き後、バキューム処理の最終段階で、内部振動機(棒状バイブレータ、100V 仕様)による締固めを行った。

#### c) 平均打上り速度

最終打込み高さ 5.89 m に要した全打込み時間(約 54 分)での平均打上り速度は、6.6 m/h であった。このうち、ポンプ圧送している合計時間の約 38 分から求めた打上り速度は、9.8 m/h であった。

#### d) 考 察

トレミー管の重量で杭底フレームを押しえ付ける方法により、鉄筋かごの浮上りは確実に防止でき、通常の打上り速度(5~10 m/h)での施工に問題ないものと考えられた。また、スライド管の引上げ・固定は、スライド管に取り付けたワイヤーロープにより問題なく操作できた。

トレミー管切離し・撤去に要した時間は、1 か所 10 分程度であり問題ないが、クレーンによる作業であったため、ウインチ等による実施工においては、作業性を確認する必要がある。また、トレミー管の閉塞に対しては上下揺動が効果的であるが、これについても、実施工における作業性を確認する必要があると思われる。

### (4) 杭体の解体結果

コンクリートの打込み中にはかごの浮上りは認められなかったが、最終的には杭体を掘り起こして解体し、詳細に確認した。また、杭頭付近は、ストランドの定着板や補強鉄筋が配置され、比較的密な配筋となっていることから、定着部周辺を研って、コンクリートの充填状況を確認した。

#### a) かごの浮上りと変形

写真-6 に示すように、対角 2 面のかぶりコンクリートを研って、帯鉄筋と杭頭補強リングの位置、およびかぶりを測定したところ、浮き上がった形跡は認められず、ストランドは直線を保っており、ねじれなどの変形はなく、杭頭補強リングから杭下端補強リングまでの距離にも変化はなかった。

#### b) 帯鉄筋のかぶり

図-3 に示したように、スペーサは鋼管内径  $\phi 1,200$  mm との遊間を 10 mm として加工し、杭頭付近、中間位置、下端付近の 3 断面に設置した。配置断面間の距離は、杭頭付近~中間位置が 1,950 mm、中間位置~下端付近が 2,000 mm であり、杭頭・杭下端付近では断面に 6 個、中間位置では 4 個を配置していた。

かぶりの設計値 99 mm に対し、測定値は、杭頭から 3 段の帯鉄筋で最小 89 mm、最大 110 mm、それより深部では、最小 92 mm 最大 108 mm であった。スペーサと鋼管内径との遊間が 10 mm であるから、その範囲において、部分的に水平方向にずれたものと思われる。いずれにせよ、測定値には、鋼管の真円誤差、および帯鉄筋の加工誤差がそれぞれ数 mm 含まれることから、それらを考慮すれば、スペーサの遊間以上に帯鉄筋が水平方向に動いたりかごが変形したりして、かぶりが片寄りはなかったものといえる。杭頭部でのみ片寄りが大きかった要因としては、吊り鉄筋の位置合わせ(杭芯合わせ)の精度が 10 mm 程度ずれていたものと思われ

るが、それでも、一般的な許容誤差の範囲内であったといえる。

#### c) コンクリートの充填状況

杭頭付近では棒状バイブレータを使用した。バイブレータ先端はほぼグリッド筋の深度に達する程度であった。杭頭の定着板の下面、補強鉄筋(グリッド筋)の周囲を研って観察したところ、**写真-6(c)**に示すように、コンクリートの充填状況はいずれも良好であった。

一方、孔底付近のコンクリートは、孔底から 200 mm 程度の厚さには、骨材の分離傾向が認められ、また孔底から 400 mm 程度の杭表面は、軽い豆板状となっていた。トレミー工法による打込みにおいては、打ち始めの状態でコンクリートを流出させるためにトレミーの下端は 200~300 mm 孔底より持ち上げる。このとき、最初のコンクリートは水に洗われて材料分離が生じることは避けられないとされている<sup>3)</sup>。本試験では、トレミー管下端(スライド管の下端)を孔底から 400 mm 持ち上げていたことから、こうしたコンクリートの品質の若干の低下は、やむを得ない範囲であったといえる。

### 4. ポンプ施工法の検討

トレミー工法において、コンクリートの排出が滞ることは、通常の杭施工においても度々発生するが、特にトレミー管が短く管内のコンクリート水頭が小さいほど生じやすい。本工法においては、初回のトレミー管の切離し後であれば、トレミー管の上下揺動によって排出を促すことができるが、初回の切離しまでは、かごを押さえ付ける必要があることから、上下揺動を行うことはできない。

実施工では、コンクリートのスランプの低下等ある程度の品質変動は避けられず、コンクリートが計画通りに供給されないなどのトラブルも予想されることから、作業時間が夜間のみ制限されることの多い鉄道工事においては、前章で述べたトレミー工法ではリスクが残ると考えられた。

この施工リスクを回避・低減する方法としては、トレミー管にポンプ配管を直結し、圧送しながら打込む方法が考えられる。トレミー管を利用したポンプ施工は、水中コンクリートでは一般に行われており<sup>4)</sup>、この工法で打込まれるコンクリートの性状は、トレミー工法の場合と基本的には同様と考えられている<sup>5) 6)</sup>。鉄道工事では、孔口までトラックアジテータが進入できることは少なく、場内運搬にポンプ圧送を用いることがむしろ通常であることから、トレミー管を利用したポンプ打設は合理的と考えられる。

そこで、このポンプ施工についても打込み試験を行い、杭底のコンクリートの状態を確認した。

#### (1) 試験概要

トレミー管の初回切離しまでを再現するために、打込み高さ 2 m を対象として、試験を行った。

試験に用いたトレミー管を、**写真-7**に示す。トレミー管は、狭隘な作業ヤードでの人力での作業性を考慮し、前述の 10 インチから 8 インチに変更した。また管の接続は、ねじ式接合からねじ込む必要がないフランジボルト接合に変更し、安定翼の向きの管理を容易にした。

杭径 1.0 m を模したスパイラルダクト管(内径 1,000 mm、長さ 2.5 m)を地中に立て、杭底はシートで止水して掘削孔を模した。この孔内に清水を張り(水深約 2 m)、トレミー管を孔底から後述する所定の高さだけ引き上げて固定した。

コンクリートの圧送は、**写真-8**に示すように、ポンプ配管(4 インチ管)からテーパ管を介してトレミー管上端に接続したエルボ管を経由してトレミー管まで圧送した。コンクリートの配合は、呼び強度 40 N/mm<sup>2</sup>、スランプ 21 cm である。

なお、ポンプ施工では、通常のトレミー工法と異なり管上端が解放されておらず、トレミー管内でのコンクリートの分離を防止するためのプランジャを用いることができないため、プランジャに代わり**写真-9**に示すように、球形のスポンジボールを用いた。また、エルボ管にはエア抜きバルブを取付け、圧送開始時に管内の空気を抜いてから打込みを開始した。

スポンジボールの排出の限界を確認するため、トレミー管下端の孔底からの引上げ高さをスポンジボールの

直径(φ270 mm)より大きい場合と小さい場合に設定した下記の2 ケースについて試験を行った。

ケース 1：引上げ高さ 300 mm

ケース 2：引上げ高さ 250 mm

## (2) 試験結果

ケース 1, ケース 2 とも, ポンプ車の圧力メータにも変化はなく, 問題なく打込めた. いずれのケースでも, 球形スポンジはトレミー管からの排出と同時に水面まで浮上した.

## (3) 杭底コンクリートの状況

材齢 1 日で杭体を掘り出し, コンクリート表面を観察し, コンクリート表面をハンマで叩き, 健全と思われる杭体中央部の音と比較した. これらの観察結果を表-1 にまとめた.

ケース 1 にのみ, 底面外周の 100~200 mm 幅, 側面の孔底より 150~200 mm 高さのコンクリート表面に軽い分離傾向が見られ, 解体の結果, 孔底から 150~200 mm 厚さは骨材の分離傾向が見られた. ただし, 杭の支持力としては問題ないと思われた. ケース 2 には, コンクリート表面に軽微な砂目が認められたが, 解体した結果では分離傾向は認められなかった.

バックホウの油圧ブレイカで杭底から 250 mm 付近を研ったところ, ケース 1 は 150~200 mm 厚さが杭径の円盤状に剥離した. 破面は粗骨材表面が多数露出していたことから, 材料分離していたものと推定された. さらに上部を研ったところ, 破面には粗骨材の割裂面も認められ, コンクリートは健全と思われた. 一方, ケース 2 の破面は健全なコンクリートを呈していた. ケース 1 とケース 2 の引上げ高さの差 50 mm が, 上記の骨材分離の原因とは考えにくく, ケース 1 の打設終了時に配管内に残っていたコンクリートが, ケース 2 圧送開始までにスランブ低下し, そのコンクリートがケース 2 の杭底に打ち込まれたために, 分離が少なかったことも影響していると思われる.

トレミー管径等の条件が異なるが, 4 章の施工試験でも, 杭底から 400 mm 引上げた状態で打込んだ結果, 孔底から 200 mm 範囲に分離傾向が認められた. スランブ 18~21 cm では骨材の分離はある程度避けられないが, 全てのケースにおいて, 杭の支持力に問題はないと思われた.

以上の結果から総合的に考え, ポンプ施工はケース 2 の引上げ高さ 250 mm とするのがよいと考えられた.

## 5. おわりに

トレミー工法とポンプ施工の二つの施工試験を行い, 伸縮式鉄筋かごを用いたストランド場所打ち杭工法において, トレミー管で杭底フレームを抑え込む方法により打込み初期における鉄筋かごの浮上りやかごの変形を防止するコンクリートの打込み方法を検討した. 一連の施工性確認試験により, コンクリートの打込み時においても, 鉄筋かごの変形や浮上りといった施工トラブルを防止でき, 所定の品質が確保できることが確認できた. また, 施工条件等により, トレミー工法とポンプ施工のいずれかを選択可能である.

本検討の成果は, すでに実施工に反映することができた<sup>7)</sup>. 設計・施工にあたり多大のご指導を頂いた関係各位に厚く謝意を表します.



写真-7 トレミー管(スライド管を格納した状態)

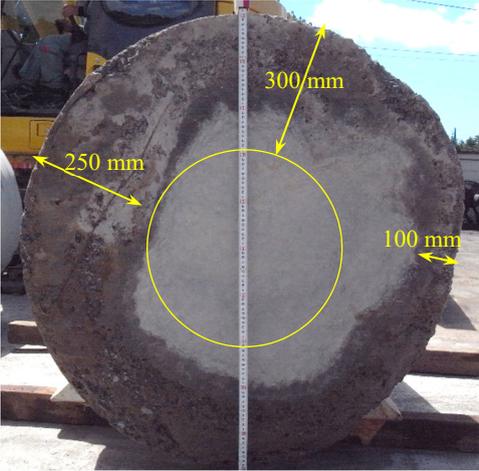


写真-8 トレミー管への圧送管の接続



写真-9 スポンジボールの装填

表-1 コンクリートの観察結果

	ケース 1 : 引上げ高さ 300 mm	ケース 2 : 引上げ高さ 250 mm
孔底の状況		
コンクリート表面の観察 ハンマによる打撃音	<p>底面：周囲の 100~250 mm 幅は砂目状                      周辺 300 mm 幅は軽い音                      側面：孔底より 150~200 mm は分離傾向                      孔底より 100 mm 高さは砂目状                      孔底より 250 mm は軽い音                      (上記以外は健全な打撃音)</p> 	<p>底面：ほぼ健全                      側面：孔底より 100~200 mm 高さは極輕輕微な肌荒れ傾向                      孔底・側面とも健全な打撃音</p> 
解体時の破面の状況		

参考文献

- 1) 山野辺慎一, 河野哲也, 中井督介: ストランドを軸方向鋼材に用いた場所打ち杭における伸縮式鉄筋かごの機構とその特性, 土木学会論文集 E2(材料・コンクリート構造), Vol. 74, No. 3, pp.207-217, 2018
- 2) 山野辺慎一, 河野哲也, 曾我部直樹, 伊藤弘之, 滝沢 聡: ストランドを軸方向鋼材に用いた杭部材の曲げに対する特性と設計法, 土木学会論文集 E2(材料・コンクリート構造), Vol.75, No.2, pp.80-94, 2019
- 3) 関 博, 大友忠典: 水中コンクリートの最近の動向, コンクリート工学, Vol.21, No.4, pp.4-13, 1983.4
- 4) 清水栄二, 安藤龍彦, 北島崇雄, 伊勢寿一: 特殊水中コンクリートの施工, コンクリート工学, Vol.24, No.6, pp.32-39, 1986.6
- 5) 中原 康, 大友忠典: 水中コンクリートの歴史, 土木学会論文集, 466号/V-19, pp.9-15, 1993.5
- 6) 関 博: 海洋構造物における水中コンクリート, コンクリート工学, Vol.28, No.3, pp.10-17, 1990.3
- 7) 鈴木健一, 堀田智弘, 山野辺慎一: 渋谷駅改良工事にストランド場所打ち杭工法を採用, 建設機械施工, Vol.71 No.8, pp.66-72, 2019.8