

平成28年度

# 排水路建設に伴う道路横断工の基礎工法について - 杭打設工法の事例紹介 -

室蘭開発建設部 胆振東部農業開発事業所 ○五味 慎太郎  
相澤 俊也  
北野 美三男

国営かんがい排水事業「新鶴川地区」の田浦第2幹線排水路における道路横断工は、施工位置が住宅に近接していることから、家屋に対する施工時の振動・騒音の影響を考慮し、中堀り工法（セメントミルク噴出攪拌方式）を採用した。本報では、杭打設工法の選定経緯と施工事例について紹介する。

キーワード：設計・施工

## 1. はじめに

新鶴川地区で整備する用・排水施設は、国営鶴川土地改良事業（昭和38年度～昭和45年度）及び国営鶴川沿岸土地改良事業（昭和46年度～昭和59年度）により造成された施設である。

現況の用水施設は凍害によるコンクリートのひび割れ、凍上による水路側壁の傾倒等の発生により、農業用水の安定供給が出来ず、また、排水施設は近年の降雨量の増加や土地利用の変化に伴う流出量の増加等による排水能力不足により、湛水被害が発生し、農業生産性の向上や効率的な農作業に支障を来している。

このため、平成26年度から国営かんがい排水事業「新鶴川地区」（表-1）により用・排水施設の整備を進めているところである。

本報の対象施設である田浦第2幹線排水路（L=4.1km）は、起点から約500m地点で町道（田浦二宮1線）を横断するが、この横断橋梁を函渠工で改修する計画である。函渠工基礎は、工事規模、支持層深さから杭基礎とし、杭径規模から既製杭とした。施工法は、近接住宅に対する騒音及び軟弱地盤への振動の影響等を勘案して、埋込杭工法を採用し、中堀り工法（セメントミルク噴出攪拌方式）とした。

表-1 新鶴川地区の概要

関係市町村	勇払郡むかわ町
受益面積・戸数	3,338ha 439戸
主要作物	水稻、大豆、小豆、ばれいしょ、てんさい、キャベツ、かぼちゃ、トマト、アルストロメリア、牧草
主要工事計画	貯水池 穂別ダム（放流設備等改修） 頭首工 川東頭首工（取水堰等改修） 用水路 川東幹線用水路（L=1.8km、改修） 川西幹線用水路（L=0.9km、改修） 排水路 田浦第2幹線排水路（L=4.1km、改修） 田浦第1幹線排水路（L=2.2km、改修） 宮戸幹線明渠排水路（L=1.3km、改修） 宮戸北幹線排水路（L=1.4km、新設）

Sintaro gomi, toshiya aizawa, misao kitano

本報では、この中堀り工法の選定経緯と施工事例について紹介する。



図-1 位置図

## 2. 田浦第2幹線排水路の概要と課題

田浦第2幹線排水路は、むかわ町市街の西端に位置し、排水本川の二級河川入鹿別川との合流点を起点として町道沿いを流下する延長4.1kmの基幹排水路である。

計画排水路は、既設排水路と同形式の掘込み河道の単断面台形水路であり、計画洪水量41.70m<sup>3</sup>/s、計画横断面は、水路敷幅4.0m、法勾配1:2.0である。既設改修のため、水路敷の拡幅等により、町道や住宅の隣接区域では、工事に際し用地の制限を受ける区間も多い。

このような立地条件から、施工に当たっては、安全配慮やコスト削減の観点だけでなく、振動、騒音に配慮して実施することが課題であった。

### 3. 道路横断工の設計について

田浦第2幹線排水路の町道横断工箇所における現況は、フルーム構造の排水路上に橋梁（田浦1号橋）が架設されている。この箇所は、排水路の流向変化点にあたり、フルーム水路は、曲線形状で町道を横断するとともに、当該町道が町道福住田浦1号とも交差する点であるため、狭隘な施工区域にあって複雑な地形を呈している。このため、道路横断工の設計にあたっては、以下のことを検討した。

#### 1) 構造形式について

排水路断面を標準の単断面台形のまま橋梁を改築する場合には、以下の問題点が生じる。



図-2 道路横断地点平面図



- (1) 橋梁上下部構造が、現況の道路交差点まで侵入するため、侵入される側の町道（福住田浦1号）の線形を変更する必要が生じる。
- (2) 改修排水路の法面が、右岸側に隣接する住宅・倉庫まで侵入するため、これらの建築物を移設する必要が生じる。

これらのことから、道路横断工法について、地元関係者と協議し、既存住居等への影響を回避することおよび町道2路線の車両通行の確保により交

通障害を回避することを旨として、函渠工（ボックスカルバート）による実施を決定した。

函渠断面は、流木等を考慮して1径間とし、水力計算により内空幅8.90m、内空高3.05m、余裕高0.60mとした。函渠長はL=32.69m（3スパン）とした。

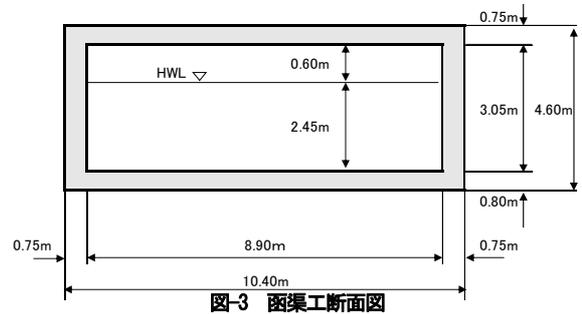


図-3 函渠工断面図

#### 2) 函渠工基礎工について

函渠工の基礎形式は、直接基礎を基本としつつも、軟弱層が深く（15m以上）、支持層までの地盤改良が困難なため、沈下が通水機能低下や通行機能障害等を引起す懸念が生じる。従って、沈下が許容できない場合は、軟弱層の地盤性、作用荷重規模、経済性を考慮して、基礎工法を選定する必要がある。

函渠工地点におけるボーリング調査結果から、基礎底面から支持層までの深さは34m程度あり、また、基礎底面から24m程度までは、シルト層（N=1~7）が厚く分布する。このように厚い圧密層が分布することや支持層が深いことを考慮して、基礎形式は杭基礎を採用した。

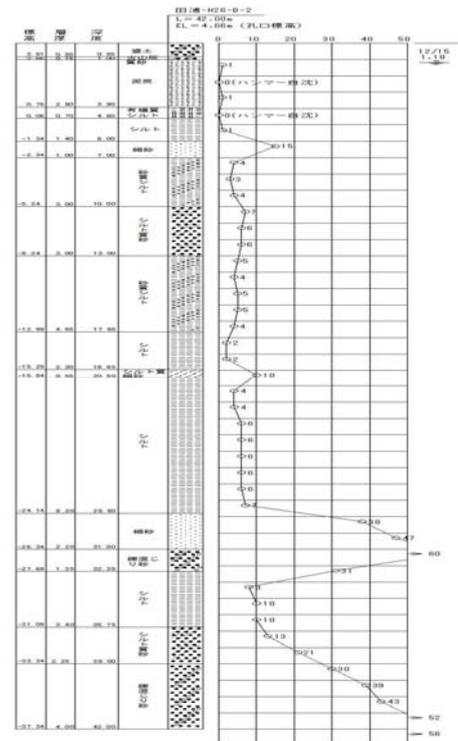


図-4 柱状図

### 3) 基礎工法の選定

杭基礎工法は、材料別には、既製杭と場所打ち杭に分けられるが、場所打ち杭は、杭径800mm以上の大口径杭に適した工法で、支持層が深い場合は、コンクリートを多量に使用することから、函渠工等の工事では既製杭に比べ割高となる。

既製杭は、施工法別には、打込み杭工法と埋込み杭工法に分けられるが、函渠工基礎では両者とも実績が多い。しかし、当該施工箇所では、近接して住宅や倉庫があるため、騒音・振動の影響が小さい埋込み杭工法を採用した。

埋込み杭工法の施工法としては、中掘り杭工法(φ450mm以上)、プレボーリング工法(φ300mm以上)、鋼管ソイルセメント工法(φ700mm以上)があるが、函渠工の作用荷重規模により杭径がφ500mm相当となるため、経済性から、明らかに前2者の工法に絞られる。

中掘り杭工法、プレボーリング工法の選択については、設計条件等により優劣が異なるため、工事費の比較検討を行い、試算により経済的となる中掘り杭工法(PHCφ500)を選定した。

なお、中掘り杭工法の先端処理方式は、杭先端の極限支持力度 $q_d$ の決定根拠となり重要である。

処理方式には、最終打撃方式、セメントミルク噴出攪拌方式、コンクリート打設方式の3つの方法があるが、本施工では、杭径規模による施工性、騒音・振動を考慮してセメントミルク噴出攪拌方式を採用した。また、杭先端N値が30以上の砂層では、この処理方式による極限支持力度が最も大きくなるため、他の処理方式よりも経済的である。

### 4) 杭の許容支持力

#### (1) 許容押込み支持力式

$$R_a = 1/n \cdot R_u$$

$$R_u = q_d \cdot A_p + U \cdot \sum (L_i \cdot f_i) \quad (\text{常時})$$

$$R_u = q_d \cdot A_p + U \cdot \sum (L_i \cdot f_i \cdot DE_i) \quad (\text{地震時})$$

$R_a$  : 杭の軸方向許容押込み支持力 (kN)

$n$  : 安全率 3.0 (常時)、2.0 (地震時)

$R_u$  : 地盤から決まる杭の極限支持力 (kN)

① $q_d$  : 杭先端の極限支持力度 (kN/m<sup>2</sup>)

表-2 中掘り杭工法による杭先端の極限支持力度 $q_d$

先端処理方法	杭先端の極限支持力度の算定法
最終打撃方式	打込み杭の算定法を適用する
セメントミルク噴出攪拌方式 <sup>注1)</sup> (砂質地盤のみ適用)	極限支持力度 (kN/m <sup>2</sup> ) $q_d = 150N (\leq 7,500)$ 砂層 $q_d = 200N (\leq 10,000)$ 砂礫層 ここに、N: 杭先端地盤のN値
コンクリート打設方式 <sup>注2)</sup>	場所打ち杭の極限支持力度を適用する

注1) 支持層が杭径程度以上根入れさせるものとし、設計杭径とする。

注2) コンクリート打設方式は、杭外径以上を支持層へ貫入させ、杭内径の4倍以上の先端部分をコンクリートで閉塞させる方法である。

先端処理方法は、セメントミルク噴射攪拌方式とし、先端土質は地質調査結果より砂層を適用した。

$$\therefore q_d (\text{kN/m}^2) = 150 \cdot N (\leq 7,500) : \text{砂層}$$

② $f_i$  : 最大周面摩擦力度 (kN/m<sup>2</sup>)

$$\text{砂質土} : 2N (\leq 100) \text{、粘性土} : 8N (\leq 100)$$

#### (2) 杭の許容支持力

以上より、層厚  $\sum L_i = 36.95 \text{ m}$ 、杭の周長  $U = 1.571 \text{ m}$  ( $\phi 500$ ) として、 $R_a = 1014 \text{ KN/本}$ を得た。

### 4. 中掘り杭 (拡大根固め) 施工方法

#### 1) 施工方法の名称

道示IVや設計「ポンプ場」に示す支持力推定式等の適用の前提となる杭工法に用いられる条件を満たす中掘り杭工法(セメントミルク噴出攪拌方式-既製コンクリート杭)の例として、「杭基礎施工便覧-参考資料4」では、4つの工法が紹介されている。本施工は、この例示の中から「STJ (Super Twin Jet) 工法 (中掘り拡大根固め工法)」で実施した。施工法の概要を以下に示す。

#### 2) 施工法概要

先端部に噴射孔を持ち、杭の内径よりも小さいヘッドを取付けたスパイラルオーガ(杭内径-40mm程度)を用いて、地盤を乱さないように杭先端部から1m以内での先掘りを行いながら、杭内部から土砂を排出して中掘り、沈設する。(図-5)

杭先端が支持層に達した後は、支持層に1D以上根入れし、同一ロッドピットにて支持層の土砂を高圧セメントミルク(噴射根固め液)で混合、拡大球根部を築造するとともに杭先端内部を所定長以上で根固め(閉塞)し一体化させる。(図-6)

なお、杭先端の施工は、噴射孔から先ず高圧水を噴出し、根固部の予備掘削完了後、セメントミルクに切り替えて高圧噴出して攪拌混合する。

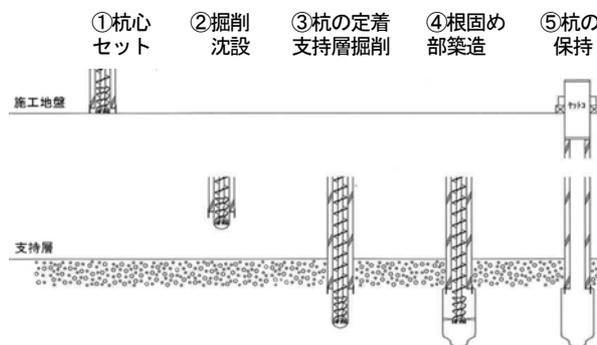


図-5 中掘り工法(高圧噴射方式)による施工手順

### 3) 配合計画及び杭先端処理

セメントミルク噴出攪乱方式は、本施工のように掘削沈設と根固部築造を同工程とする一工程方式と、両者を別工程で行う二工程方式があり、両者では具備すべき装置等が異なる。本方式には、4つの工法（前掲）があり、採用工法については施工要領を十分に理解して施工管理を行った。

#### (1) 配合計画

セメントは、JIS R 5211に適合する高炉セメント、B種とした。また、セメントミルクの水セメント比W/Cは60～70%とし、配合は下表による。

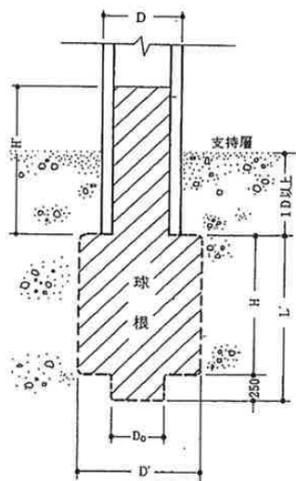
表-3 根固め液標準配合表

杭径 (mm)	標準配合			w/c %	備考
	セメント kg	水 ℓ	練上量 m <sup>3</sup>		
500	1,200	840	1.23	70	杭1本当たり

#### (2) 杭先端処理

セメントミルクの噴出にあたっては、その噴出条件（ロッドの回転数、引上げ速度（根固部、杭内部）、噴出量、噴出圧等）および噴出時期を適切に管理する必要がある。

また、杭の先端抵抗や周面抵抗は、根固部築造後すぐには発揮されないため、杭が自沈しないように安定するまで所定の位置に杭体を保持しておく必要がある。（図-5）



杭径 D (mm)	Do (mm)	D' (m)	H (m)	L' (m)	H' (m)
450	270	0.75	1.00	1.25	1.50
500	300	0.80	1.00	1.25	1.50
600	380	0.90	1.00	1.25	1.50
700	460	1.00	1.25	1.50	2.50
800	540	1.10	1.45	1.70	2.50
900	620	1.20	1.50	1.75	2.50
1000	700	1.30	1.50	1.75	2.50

図-6 杭先端処理図（中掘り拡大根固め工法）

### 5. 施工管理及び施工留意点

#### 1) 掘削沈設時

掘削及び杭の沈設は、排出される土の性状や排土状況を常に観察し、杭の自重のみでの沈設可能な掘削が望ましいが、杭周面摩擦力等により掘削のみで沈設が不可能な場合には、具備している圧入装置等で圧入沈設する。なお、掘削速度は下表を目安とした。

表-4 中掘り工法の掘削沈設速度の目安

土質	掘削速度 (m/min)
シルト・粘土・ゆるい砂	0.5～4
硬い粘土・中密な砂	0.5～3
密な砂・砂礫	0.5～2

杭内部の土砂詰まりを防ぎ、オーガの回転力を有効にして排土効果を上げるためには、ヘッドより圧縮空気または水を噴出させて掘削する。また支持層のボーリングを防ぐためには、通常は、支持層に達する杭径の4倍程度手前から注水を行って掘削する。

留意点として、本地点のような深い位置にある砂礫層の掘削では、礫が杭内に詰まる場合がある。掘削可能な礫径は杭内径の1/5程度以下であるが、ボーリング調査での礫径と実際が異なる場合もあり、杭径の選定に対し余裕等の配慮が必要である。

なお、掘削沈設中に作業を中断した場合は、杭周面摩擦力の回復によって作業再開後に沈設不能となる場合もあり得るので、作業中断位置にも配慮が必要である。

#### 2) 支持層の確認

杭の支持力発現は、最終打撃による打止め管理を行う場合以外は、その場で確認できない。

このため事前の試験掘削による支持層の確認、杭長・施工方法等の検討に基づき確実に支持層に根入れし、先端処理する必要がある。

支持層の確認は、オーガ駆動装置の掘削抵抗を示す電流値の変化とボーリングデータのN値の変化との対比を目安とする。ただし、電流値とN値に定量的な関係はなく、電流計は、地層構成の固さなどの変化傾向（波形）を把握する機器である。

電流値は、地盤の硬軟だけでなく、掘削速度等にも依存し、電流値の大きさだけでは支持層の管理が容易ではないため、支持層付近では、掘削速度を極力一定に保った状態で掘削抵抗値（電流値）を測定・記録するようにした。

支持層の判定は、試験掘削にて定めた管理指標で行うが、所定深度まで掘削後は、掘削ロッドをゆっくり引上げ、ヘッドの先端に付着している土

質を採取・観察し、ボーリングデータと比較し支持層の確認を行う。なお、オーガ駆動電流値は、中掘り杭工法の品質を裏付ける重要な項目であるので、データは確実に記録、保管する必要がある。

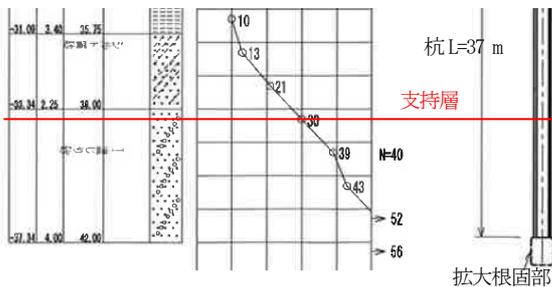


図-7 支持層面及び杭先端の根入れ状況

### 3) 拡大球根の築造

拡大球根部の掘削は、杭先端を所定深度に設置した後、オーガを一旦杭先端位置まで引上げてから、高水圧とオーガ回転により掘削する。

球根部の掘削完了後、球根部の根固め（セメントミルク）は、オーガ駆動装置を低速回転に切換え、STJ ビットからセメントミルクを高圧噴射させながら、ゆっくりと引き上げて、拡大球根を築造する。

球根と杭の一体化および閉塞効果を高めるために、セメントミルクの噴射を、杭先端より上方に1.5m以上として施工した。（図-6）

### 4) 根固め液の圧縮強度試験

セメントミルクは、直接グラウトポンプから採取し供試体を作成した。試験の回数は、杭 20 本ごとに1回（3 供試体）とし、供試体は、直径 50mm のポリエチレン袋に下図のように採取し、長さ 100m 程度の円柱形の供試体を作成した。

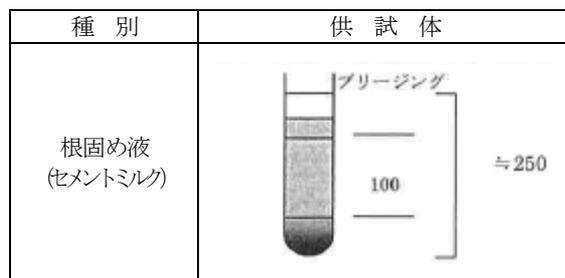


図-7 セメントミルク供試体

供試体は、試験場所へ持ち込み、ポリ袋を取去り、材齢 28 日まで  $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$  の水温で養生を行った。

圧縮強度試験は、JISA1108（コンクリートの圧縮強度試験方法）により、3 個の供試体の平均値で  $20\text{N}/\text{mm}^2$  以上を管理値とした。

## 6. おわりに

住宅に近接した施工箇所における杭打設工法の選定にあたっては、家屋に対する施工時の振動・騒音の影響を考慮した適切な工法の選定が必要である。

中掘り杭工法（噴出攪乱方式）は、振動・騒音が小さく、近接構造物への影響が小さいという長所がある一方で、杭内から土砂を排出するため、最小杭径は  $\phi 450\text{mm}$  以上を要するとともに、打込み工法のように動的支持力で確認できないため、施工管理が難しい短所がある。

同じ埋込み工法のプレボーリング工法は、 $\phi 300 \sim 400\text{mm}$  の杭径を使用する場合は、施工速度を含め有利となる場合が多いが、 $\phi 450\text{mm}$  以上の杭径を要する当該施設規模（ $\phi 500\text{mm}$ ）では、中掘り工法が、汚泥処理量、工事ヤード面においても有利である。

工事の施工にあたっては、地域住民の理解を得ながら進めることが事業の円滑な推進に不可欠であり、近隣の状況に十分配慮しつつ、工事を進めているところである。

### 参考文献

- 1) 農林水産省：土地改良事業計画設計規準及び運用・解説 設計「ポンプ場」平成 18 年 3 月
- 2) 公社) 日本道路協会：「杭基礎施工便覧」平成 27 年 3 月
- 3) 社) コンクリートパイル建設技術協会：既製コンクリート杭の中掘り杭工法（セメントミルク噴出攪乱方式）「COPITA 式施工管理要領（土木）」平成 24 年 3 月