



下水処理場の統廃合等で必要とされる 大中口径導水管の推進工法設計事例

(既設構造物到達, 超軟弱シルト層などの課題を克服するために)

キーワード

急曲線S字カーブ, 既設構造物到達, 泥濃推進工法, 外殻鋼管付鉄筋コンクリート管



林 俊一

HAYASHI Shunichi

(株)NJS

東部支社東京総合事務所

プロジェクトマネジメント2部

1. はじめに

2020年は、1970年のいわゆる公害国会から50年の節目の年となる。この間、下水道事業の整備は鋭意進められ、2018年3月末の下水道普及率は79.3%に達した。一方で、整備された施設の老朽化も進行しており、改築更新事業も急務となってきている。近年は、複数の下水処理場を有する自治体では、下水処理場の統廃合も進められており、技術職員の減少や使用料収入の減少といった様々な課題を抱える中、執行体制の確保や経営改善により良好な事業運営を継続するために、行政界を跨いだ広域化・共同化の検討も進められている。

他方、雨水事業に目を向けてみると、先の台風19号による被害に代表される激甚災害が多発化しており、都市機能を守るため雨水排水機能の整備拡充は急務となっている。

このような下水道事業の置かれた状況から、大中口径管のニーズは高まっていくものと考えられ、各種配管が埋設された都市部での施工を鑑みた場合、大中口径管推進工法の重要性はさらに増大すると考えられる。

一般に、大中口径管推進工法の設計時に考慮すべき事項としては、①地盤状況の把握(軟弱地盤, 巨礫, 汚染土, 可燃性ガス), ②近接構造物への影響(他企業埋設管, 高架道, 鉄道, 主要構造物), ③横断の影響(河川, 鉄道) ④内・外水圧への対応(止水性, 施工性), ⑤仮排水対応(既設管利用者への配慮), ⑥耐震性確保などが考えられ、現場状況に即した設計検討を行う必要がある。

本稿では、【下水処理場の統廃合に伴う導水管(φ

1,200mm)】、【新設下水処理場への流入幹線発達立坑と沈砂池ポンプ棟の接続管(φ4,000mm)】の設計について述べる。

2. 下水処理場の統廃合を行うための導水管設計事例

本節では、老朽化したU浄化センターの汚水処理機能をS浄化センターに統合するため、U浄化センターに流入する合流式下水道の3Q汚水を、既設ポンプ場から新設する分配槽に導く導水管の設計について述べる。

この導水管は、比較的狭小な浄化センター敷地内に布設する管きよであるため、浄化センター内の維持管理動線の確保への配慮と、敷地の制約から既設管きよの移設が困難である等の問題があることから、開削工法による管きよ布設は困難と判断し推進工法による施工を選定した。なお3Q汚水は、新設分配槽からシールド工法により築造される管路を用いて、S浄化センターへ流下させ高級処理を行う計画である。

【設計概要】

推進管呼び径：1200

推進延長：94.8m

[延長内訳]

発進側 直線1 21.1m

曲線1 (R = 20m) 8.2m

直線2 13.5m

曲線2 (R = 15m) 29.6m

到達側 直線3 22.4m

土被り：3.4～3.6m

勾配：1.6‰

- 土 質：超軟弱シルト層 N ≤ 1
- 礫・砂分14%
- シルト・粘土分86%
- 発進立坑：新設分配槽用土留壁
- 到達立坑：既設ポンプ井に直接到達

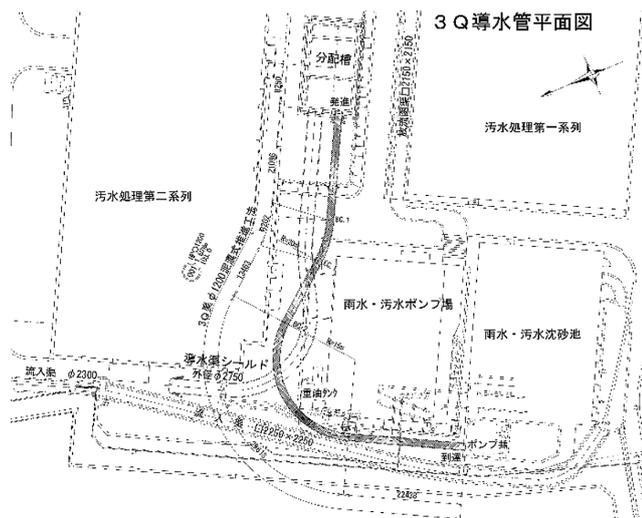


図-1 3Q導水管平面図

【平面線形と到達立坑】

平面形状は、既設ポンプ場の基礎杭への近接を避けるため、ポンプ場手前でR = 20mの曲線を設定に加え、ポンプ場内重油タンクと既設流入渠間の通過を考慮し、R = 15mの曲線を設定することにより、急曲線S字曲線の線形とした。

また、到達立坑を築造した場合、既設流入渠と既設汚水圧送管に近接し、鋼矢板打設・引抜の影響が非常に大きいため、到達立坑は築造せずに既設ポンプ井に直接到達させる計画とした。

【推進工法の選定】

一般に採用されている推進工法として、【泥水式推進工法】、【泥濃式推進工法】、【土圧式推進工法】の3工法を挙げることができる。本設計においては、急曲線施工に優れている【泥濃式推進工法】を採用した。表-1に推進工法比較表を示す。

【到達方法の比較】

既設構造物に近接し鋼矢板の打設・引抜が不可能なため、既設構造物（ポンプ井）に直接到達できる【ヒューム管推進工法】、【外筒残置式推進工法】、【分

表-1 推進工法比較表

項目 \ 工法	泥水式推進工法	泥濃式推進工法	土圧式推進工法
概 要	機械掘式セミシールド機に隔壁を設け、隔壁の前面に泥水を充満させて泥水圧により切羽の安定を図る工法である。 掘削土砂は流体輸送され泥水処理プラントで土砂と泥水に分離処理され、泥水は再利用される。 軟弱地盤から硬質土まで、広範囲の土質に適用可能であるが、泥水処理プラントのための広い作業ヤードが必要となる。	泥水式と同様に高濃度泥水を切羽に圧送し、排土バルブを操作し泥水圧を利用して切羽の安定を図る工法で、掘削土砂は真空ポンプにより搬出される。 余掘量が他工法に比べて大きく、急曲線・長距離推進に適している。 掘削土砂は全量産業廃棄物となる。	機械掘式セミシールド機のチャンパー内に掘削土砂を充満させ、混練りにより塑性流動性を持たせ、スクリーコンベアにより排土量を調節することにより発生する圧力で、地山土圧に対抗させる方式の推進工法である。 掘削土砂は一般にズリ口により立坑に搬出され、全量産業廃棄物として処分される。
土質適応性 超軟弱シルト層 礫・砂分14% シルト・粘土分86%	シルト・粘土分が多いため、泥水処理に二次処理が必要となり非常に高価となる。	土質適応性はあるが、余掘量が多く残土処理が割高となる。	土質適応性があり泥濃式に比べて残土量が少なく経済的となる。
急曲線施工 急曲線S字カーブ R=20m、R=15m	R=15mまで対応可能である。	余掘量が多いため急曲線施工に優れており、R=20m、R=15mのS字急曲線施工が可能である、	スクリーコンベアの干渉により、掘進機の曲線仕様はR=50m程度が限界となる。
評 価	急曲線施工に対応可能であるが、泥水処理に二次処理設備が必要となり非常に高価となる。	残土処理費用が割高であるが、急曲線施工に優れている。	土質適応性はあるが、急曲線に対応できない。

表-2 到達方法比較表

項目	工法	ヒューム管推進工法	外筒残置式推進工法 (超泥水加圧推進工法)	分割回収型推進工法 (エスエスモール工法)
概要		掘進機の外殻が合成鋼管で出来ており、分解可能なカッターと掘進機内部に分解可能な駆動部や内部機器を装着している。 到達時にカッター、駆動部や内部機器を分解して発進立坑や既設人孔等から搬出し、外殻はそのまま推進管として残置する方式である。	掘進機内部に分解可能なカッター、駆動装置、内部機器を装着し、到達時に分解して発進立坑や既設人孔等から搬出する。 掘進機外殻はそのまま残置され、推進管を押し込んで既設人孔や構造物に接続する方式である。	到達時に掘進機のカッター、外殻部を分割して到達箇所まで搬出し、分解可能な駆動部・内部機器等を発進立坑へ引き戻して回収する方式である。
到達方法		到達立坑は不要である。 到達坑口周辺を地盤改良した後、既設構造物(ポンプ井)内部より鉄筋コンクリートを取り壊し、掘進機を構造物内面まで迎え入れ、駆動機器等を搬出した後、掘進機外殻と構造物を接合する。	到達立坑は不要である。 到達坑口周辺を地盤改良した後、既設構造物(ポンプ井)内部より鉄筋コンクリートを取り壊す。 掘進機は既設構造物手前で停止し、駆動装置等を撤去した後、推進管を元押しジャッキで構造物内面まで押し込む。	到達立坑は不要である。 到達坑口周辺を地盤改良した後、既設構造物(ポンプ井)内部より鉄筋コンクリートを取り壊す。 掘進機を分解回収しながら、推進管を元押しジャッキで構造物内面まで押し込む。
急曲線対応 急曲線S字カーブ R=20m、R=15m		急曲線仕様の掘進機があり、R=12.5mまで対応可能である。 ○	急曲線対応能力は、R≧36mからR≧24mまで進化しているが、本設計の急曲線は施工不可能である。 ×	急曲線対応能力はR≧30mで、本設計の急曲線は施工不可能である。 ×
評価		到達立坑が不要で、急曲線S字カーブの施工も可能である。 ○	到達立坑は不要であるが、急曲線S字カーブの施工は不可能である。 ×	同 左 ×

割回収型推進工法】について比較し、急曲線施工が可能な【ヒューム管推進工法】を選定した。表-2に到達方法比較表を示す。

【急曲線と推進管】

曲線の曲率半径と推進管長さの関係は、JC継手の場合、標準管 (L = 2.43m) で呼び径の50倍程度、半管 (L = 1.20m) で呼び径の25倍程度であり、本設計の呼び径1200では標準管でR = 60m、半管でR = 30mが限界となる。R = 20m、R = 15mの急曲線の場合、

推進管の長さはそれぞれL = 600mm, L = 500mm程度となる。

長さが呼び径の1/2以下となるような短い推進管の場合、鉄筋コンクリート単体では推進時にねじれや偏圧により、管がせん断破壊を起こしやすくなるため、鉄筋コンクリートの外側を鋼管で巻き立てた「外殻鋼管付鉄筋コンクリート管 (日本下水道協会Ⅱ類認定資器材)」を採用した。表-3に推進管の使用区分を示す。

表-3 推進管の使用区分

区間	推進管	継手型式	摘要
直線1 (L = 21.1m)	下水道推進工法用鉄筋コンクリート管 標準管 (L = 2.43m)	JA	JSWAS A-2
曲線1 R = 20m (L = 8.2m)	外殻鋼管付鉄筋コンクリート管 1/4管 (L = 0.60m)	JC	日本下水道協会Ⅱ類認定資器材
直線2 (L = 13.5m)	外殻鋼管付鉄筋コンクリート管 1/4管 (L = 0.60m)	JC	〃
曲線2 R = 15m (L = 29.6m)	外殻鋼管付鉄筋コンクリート管 1/5管 (L = 0.50m)	JC	〃
直線3 (L = 22.4m)	外殻鋼管付鉄筋コンクリート管 1/5管 (L = 0.50m)	JC	〃

3. 新設下水処理場流入幹線設計事例

本節では、新設する下水処理場への流入幹線発進立坑と沈砂池ポンプ棟の間（約40m）を接続するための流入幹線の設計概要について述べる。

本接続管の必要内径はφ4,000mmであり、当初は、流入幹線工事で使用したシールドマシンを回収し、沈砂池ポンプ棟側へ掘進予定であったが諸事情により困難となった。このため、超大口径管推進工法を選定し設計を行った。

【設計概要】

必要内径：φ4,000mm

施工延長：L ≒ 38.0m

土被り：DP ≒ 30.0m

土質条件：上部約25.0m付近までは、沖積層N = 0 ~ 3のシルト質細砂，砂質シルト，以深は、N = 50の洪積礫層で構成されている。
地下水位はGL - 1.0mに位置している。

- ・ 処理場内施工のため、ある程度の発進設備確保は可能。
- ・ 発進予定位置では、ケーソン立坑（内径12.0m）が築造済みで、NOMST工法により開口予定位置が決定されている。
- ・ 到達側は、ポンプ棟躯体が既に築造されており、到達準備のためφ4,800mmの箱抜きが準備されていることから、発進立坑同様、到達位置が決定されている。

【課題】

- ・ 土被り約30mといった大深度で地下水位が高い現場での施工となる点を考慮する必要がある。
- ・ 対象施設は合流式のため、超過降雨時に内圧を受けることから、内圧対応型とする必要がある。
- ・ 管きよは、トレーラ輸送の制約からφ3,000mm以下までしか一体輸送ができない。

- ・ 到達側は既設躯体内となるため、マシン回収ができない。

【布設工法の選定】

管きよ布設工法は、下記の理由から超大口径管推進工法を採用した。

【採用理由】

- ・ 開削工法：埋設深さからスパン全線に大がかりな山留仮設が必要となるため、経済性、施工性で、「×」
- ・ シールド工法：マシン製作期間及び経済性で、「×」
- ・ 刃口式推進工法：掘進部の地盤改良費が高むため、経済性で、「×」
- ・ 密閉型推進工法：マシン制作期間が、シールド工法より短い。分割型推進管を使用することで、対応が可能。また、内圧対応型の推進管が採用可能である。「○」

以上の検討結果より、「密閉型推進工法」を採用した。また、「密閉型推進工法」のうち、以下の理由により「泥土圧式推進工法」を選定した。

- ・ 作業ヤードが泥水式推進工法に比べ小さい。
- ・ 超大口径管推進工法による泥水式推進工法の施工実績が無い。

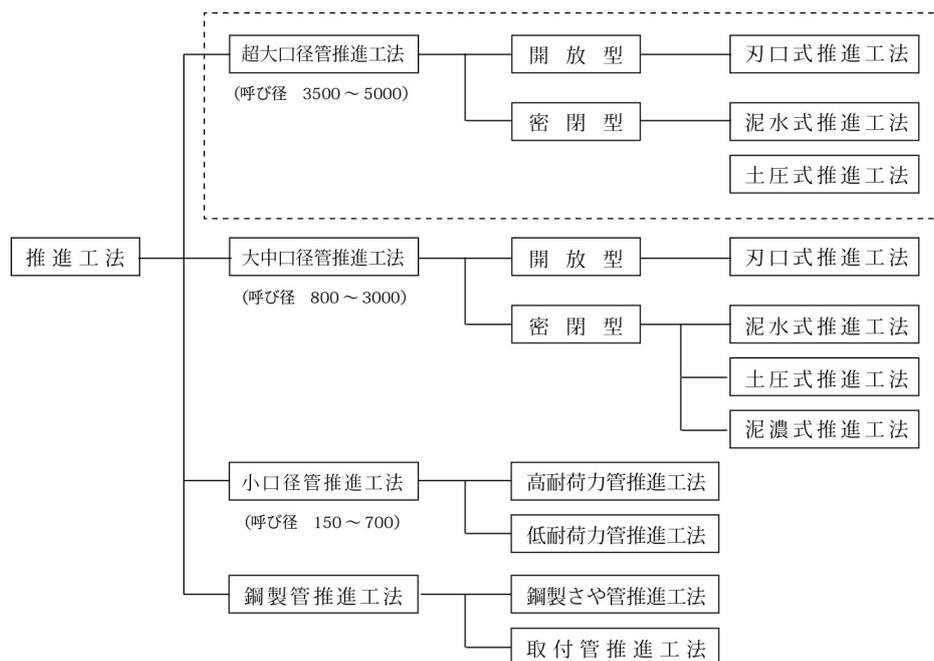


図-2 推進工法の分類

表-4 布設工法の選定比較表

渠 布 設 工 法	① 開 削 工 法	② 推 進 工 法		③ シールド工法
		刃口式推進工法+補助工法併用	密閉型推進工法	
概 要	全線に亘り大規模山留め壁が必要。また、底盤止水の地盤改良が必要となる。	起点ケーソンから超大口径推進工法を刃口推進工法にて施工を行う。なお、推進切羽部地山の止水性と自立性確保のため路線部の地盤改良が必要になる。	起点ケーソンから超大口径推進工法を密閉型推進工法にて施工を行う。刃口推進工法に比べ、推進切羽部地山の地盤改良は不要であるが、マシン制作費が高む。	シールドマシンを新たに製作し、起点ケーソンからポンプ棟へ掘進し管渠を施工する。
マシン後続管種	超大口径推進工法用管	超大口径推進工法用管	超大口径推進工法用管	RCセメント
仮 設 工 事	開削工事のための、大規模山留め仮設が必要になる。	発進側は既設ケーソン立坑、到達側はポンプ棟があるため、改めて立坑築造の必要はない。	同左	同左
補 助 工 法	仮設材にもよるが、底盤止水のため大がかりな地盤改良が必要となる。	路線全線の地盤改良が必要	発進及び到達部坑口防護の地盤改良が必要	発進及び到達部坑口防護の地盤改良が必要
施工法の一次選定	施工規模(埋設深さ)から、経済性の点不利であることは、客観的に判断できる。また、掘削及び地盤改良等に伴う施工期間もかなり要するので採用は不可	理論上は施工可能であるが、施工深度から切羽部の安全性の点で懸念が残る。	施工可能	施工可能
	×	△	○	○
施 工 費	-----	マシン製作費 40百万円 掘 進 工 80百万円 管 材 3百万円/本×13本=39百万円 地盤改良費(路線地盤改良) 320百万円 合計(概算直接工事費) 479百万円(1.25)	マシン製作費 150百万円 掘 進 工 85百万円 管 材 3百万円/本×13本=39百万円 地盤改良費(坑口地盤改良) 110百万円 合計(概算直接工事費) 384百万円(1.00)	マシン制作費 350百万円 掘 進 工 10百万円 セグメント 2百万円/R×30R=60百万円 地盤改良費(坑口地盤改良) 110百万円 合計(概算直接工事費) 530百万円(1.38)
長 所	-----	土圧式推進及びシールド工法に比べ、マシン製作期間が短い。	工事価格が最も安価で、推進部についても刃口推進工法に比べ安全性が高い。また、他案に比べ発進立坑内の次工事工程に影響がない。	曲線施工が可能となるため、発進部及び到達部では準備された位置(平面形)を通過することができる。
短 所	-----	路線地盤改良を行っても、土被り約30mでの高水圧での推進施工であるため、切羽部での安全性に懸念が残る。また、発進立坑内の次工事工程に影響がある。	発進部及び到達部では準備された位置(平面形)を通過することができない。また、制作された推進マシンは発進側で分割回収する必要がある。	マシン制作費が高く、製作期間も長い。このため、工事価格が他案に比べ高く、発進立坑内の次工事工程に影響がある。
評 価	-----	他工法に比べ施工費が高いため本案の採用は控える。また、切羽部での安全性に懸念があることも問題が残る。	他Caseに比べ経済性に有利で、また、施工可能で発進立坑内の次期工事工程に影響がない	当Caseは経済性の点で不利であり次期工事への影響がある
		△	◎	△

4. おわりに

下水道事業における大口径管のニーズは、雨水管きよ整備に加え、汚水処理の広域化・共同化の推進によっても高まっていくものと考えられ、大口径管推進工法の重要性はさらに増大すると考えられる。これらの管きよを設計・計画するに当たっては、多くの制約条件が発生することが予想され、一つとして同じ現場はないと言える。私ども設計者は、これらの課題を解決できるよう各種工法協会の皆様よりお知恵を拝借し、設計図書として取りまとめを担当しており、課題解決には、各種工法の発展が不可欠であると言える。

非開削技術の開発・発展に携わる多くの技術者の皆様に敬意を表すとともに、本稿の共同執筆者である弊社プロジェクトマネジメント1部の横山達巳氏への謝意を表し、本稿の結びとする。

◆お問い合わせ先◆

(株)NJS
 東部支社東京総合事務所
 プロジェクトマネジメント1部
 〒105-0023 東京都港区芝浦1-1-1
 Tel.03-6324-4303(直通) Fax.03-6324-4322

