

総論 地中接合技術

推進技術の多様化 既設構造物への直接到達と地中接合技術

さかい えいじ
酒井 栄治

㈱アルファシビルエンジニアリング
代表取締役事業本部長
博士（工学）技術士（建設部門）
RCCM（下水道）



1 はじめに

シールド工法が丹那トンネル工事の先進導坑（湧水処理）として採用されて約80年¹⁾、推進工法の原点である刃口推進工法が自立性地山を中心に施工が開始されて60年²⁾が経過している。

その間、補助工法の併用が平準化され、切羽が直視可能な刃口推進工法や補助的掘削・山止め機能を装備した半機械式推進工法により市場の拡大が図られた。また、それらの地山開放型の施工法に追従して、崩壊性地山に対応するために密閉型機械推進工法が開始され、先ず、安定液理論による切羽崩壊防止を目指した泥水式の推進工法が管路埋設の市場拡大に大きく貢献した。

その後、さらなる切羽性状の追及や推進システムの模索から土圧式（泥土圧式）、泥濃式へと分類がなされ、現在に至っている。その間、密閉型推進工法は都市部における堆積地盤での管路埋設技術として、社会インフラの構築に大きく貢献した。

しかし、ここ数年は都市部での管路埋設事業は、計画範囲がほぼ終了し、その結果、地中埋設物の輻輳化が起こり、また、周辺環境等への配慮が事業

遂行の重要課題となり、施工法のさらなる多様化が求められている。

ここにテーマとして掲げた、推進工法における「既設構造物への直接到達や地中接合技術」は、平成11年頃から特殊条件下の一部の現場で実施されてきた。しかしながら、シールド工法では、そのような到達後の作業は施工標準の範囲であった。

その理由として、シールド工法での掘進機は大口徑中心の全損扱い、推進工法では中小口径が主流のため損料扱いで積算基準が成り立ってきた結果と推測する。シールド工法はシールド外殻を一次覆工扱いとするため、二次覆工の際には掘進機到達後に駆動部や内部装置を分解・撤去を行うことは計画時からの一連の作業であった。

他方、推進工法は掘進機の転用が基本であることから、掘進機を到達立坑で回収し、次工程のための再整備を行ってきた。よって、市場の特殊性や発注者側の受入態勢が成熟するまで、推進工法でのこのような直接到達の施工法は、検討する必要が少なかったと判断する。

しかし、現状における推進工法の長距離化や急曲線化はシールド工法に匹敵し、その採用基準が交錯し、推進工

法の役割分担とされてきた適用基準から開放され、推進技術の他方面への展開や多様化が求められている。

今後はシールド工法の施工標準の模倣や追従に頼ることなく、コンパクト化された推進工法の特長や独自性を生かし、進化論を地で行くような多様性を担った展開を図る必要がある。そのためにも、新しい施工法としての「既設構造物への直接到達や地中接合技術」について、適用される背景や想定される課題等を考えてみた。

2 直接到達技術の必要性

特に、都市部における浸水対策事業は雨水災害の対策工として新しく追加計画された箇所も多く、今回のテーマのような施工法が適用されやすい周辺環境にある。その他に地下埋設物等の輻輳化が後押しとなり、「既設構造物への直接到達や地中接合技術」の採用が増加している。

よって、この施工法は今後の都市部の整備には必要不可欠な施工技術の一つに挙げられるが、現状の到達技術では地山自立のために補助工法への依存度が高く、それらの作業の危険性から

開放されるためには、人力作業の軽減、機械的な接続工の技術開発、到達作業時間の短縮等が求められている。

追加して、掘進機を無駄に全損させるだけでなく、このような施工技術を多方面への地下管路工事に安定供給できる体制も、今後の推進工法の将来性を確保する重要なテーマである。次に、現状における直接到達技術の選定の背景について考える。

3 直接到達が必要とされる背景

適用性が高い選定理由や諸条件を以下に整理する。

3.1 周辺環境

- ①用地不足：設計時と発注時の周辺環境の変化に伴う回収立坑や周辺の用地不足
- ②継続工事：長期間の立坑放置や覆工板の維持管理問題・地域住民への影響期間増大や早期の埋戻し・復旧工の要望
- ③占用面積の縮小：到達箇所での重機車両の使用範囲制限
- ④交通障害：道路占用帯の再申請等で繰返される社会的損失や地表占用期間の短縮
- ⑤立坑築造に伴う補助工法の施工性：地表からの地盤安定処理工法の施工難易度が高い
- ⑥近接施工：度重なる施工での近隣住居や建築物への影響
- ⑦高架橋・橋梁・軌道等箇所：再度の立坑工に伴う既設構造物基礎への影響や弱体化
- ⑧迂回道路対策：立坑工事に伴う迂回道路の交通事情変化や歩行者の安全対策、地域住民の環境変化への配慮
- ⑨供用開始：年度計画の実行に伴う供用開始時期の到来（工事発注・履行期間の遅れ）他
- ⑩工事期間の短縮：立坑築造工等の削減に伴う、工種の削減他

3.2 地中環境

- ①支障物件：地下埋設物の輻輳化、複数のインフラ管路の増加、重要構造物への近接
- ②大深度既設管きょや構造物への接続工：仮設工、立坑工等の削減や経済性確保
- ③立坑築造工の難易度や経済比較：立坑掘削深度、地下水位、立坑・補助工法施工時の地中障害物の有無、地盤の土粒子や地下水等の構成要素（崩壊性地盤、均等係数、粒度（粒径）分布、透水係数、鋭敏比、クリープ破壊、被圧水、間隙水圧、地下水位変動地域）
- ④既設埋設管の切回し工：重要インフラの切回し不可、管理者との長期間の協議回避
- ⑤既設埋設物への影響：立坑掘削に伴う周辺地盤内の圧密沈下と既設管路への損傷懸念
- ⑥将来のインフラ計画：立坑土留鋼材の残置等の可能性と将来の事業計画への影響
- ⑦地下水、井戸への影響：多量の補助工法不可や立坑水替工での強制排水の影響予測
- ⑧その他

3.3 経済性・その他

- ①工事費の比較：立坑築造費と推進工事費の工事費比較および工期短縮に伴う経済性評価
- ②別途管理者との協議：既設地中埋設物の切回しや複数回の復旧工事に伴う経済損失
- ③施工期間短縮：立坑工や仮設・補助工法の施工期間短縮
- ④設計変更の可能性：地域住民の立坑構築の反対とその協議や待機時間および諸費用の増加
- ⑤複数の工種削減：立坑周辺の補助工法や近接施工の防護工等の不要による工事費削減

以上のような選定理由がある。次に、現状における直接到達技術での各施工法を分類する。

4 現状における直接到達施工法の分類とその概要

大中口径中心での直接到達の概要や外殻の処理方法にて分類する³⁾。

①掘進機全損・残置と二次覆工

掘進機の償却期間を終え、対応土質や路線形状に適応可能と判断した場合、一般の掘進機を地山内に残置して、内部の機器のみを撤去する。この施工法は、シールド工法と同様な到達作業となり、スクラップ同然の対応となる。

基本的には、回収が容易な掘進機構造でないため、内部からの分解撤去には不向きな構造で、装置等の再利用が部品単体での対応となりやすい。

よって、駆動モータや一部の部品のみは転用可能となる。撤去後は、二次覆工を行う場合が多いが、シールド工法と違って巻厚が確保できにくく、現場での施工不良が発生しやすい。

②内部装置分解型機構と外殻の残置および二次覆工

カッターその他を解体した後、外殻内部に分割式樹脂パネルや円形型枠を設置し、外殻との隙間に充填を行う。推進管の管厚部分に現場で注入を行うため、厚みが小さい分、一様な強度の品質確保が難しく、接続区間の長期間の調査・点検が必要となる。図-1に参考図を示す。

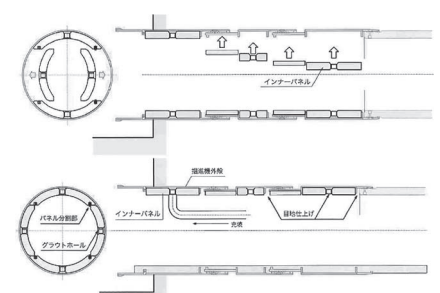


図-1

③内部装置分解型機構と外殻撤去 および推進管の押出接続方式

外殻を順次撤去して、推進管の先頭部を構造物内に押出して接続する。この施工方法は②と同様で、外殻は到達スペース内で切断処理されるが、接続部も含め、同一の推進管のみで管路が構成される。この掘進機の外殻は主管、従管、後続管ごとの組立のため、機能的な精度は高いが割高となる。

④外殻のセグメント形式での 分解型と推進管の押出接続方式

空押し工を順次行いながら、推進管の先頭部を構造物内に導く施工法で、同一管体で管路が形成される。外殻が分割組立式のために転用が可能なことから、初期コストは高いが、後の経済性は優位となる。ただし、急曲線施工等で側方反力が大きい条件では分割ピースの変形に注意を要す。図-2に参考図を示す。

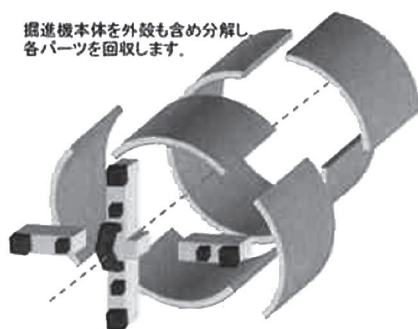


図-2 分割回収イメージ

⑤掘進機外殻に高強度の推進管を 利用する施工法

掘進機外殻を鋼コンクリート合成管で製造し、内部に隔壁や駆動部を設置し、到達の構造物側よりカッタを分解・回収し、先頭の推進管を構造物内へ導く施工法である。

空押し工が短い分、到達作業時間の短縮には効果的である。また、当初から駆動装置を管内径で組立てることから、小径化され、掘削能力向上が図りにくい、接続部の品質は十分に確保される。合成鋼管の掘進機を図-3に示す。

⑥貫入リング（回転機能付）による 構造物直接切削での接続方式

この施工法の事例は少ないが、大断面、大土被り（高水圧）での施工、崩壊性砂質土の帯水層、重要構造物への近接等で安全確保のための直接接続工法として実績がある。参考として掘進機を写真-1、到達手前での貫入リン

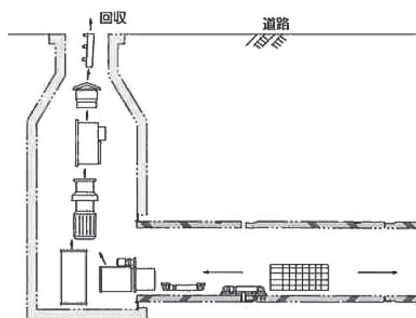


図-3

グ押し出し時の状況を写真-2に示す。

施工手順としては、既設構造物や管きよに近づいた段階で、余掘りを行う最外周カッタを収納し、外殻内に事前に装備した回転可能な切削ビット付貫入リングを前方に突出し、最外周ビットを再張出して嵌合し、回転させながら鋼製セグメントや鉄筋コンクリートを直接切削する施工法である。その後、機内からの放射状注入等で止水を行う施工法であるが、主管の外殻が貫入リングを含めて2〜3重と高価になる。

地盤改良費と立坑築造費の総額と貫入リング装置の比較から、安全性がどう評価されるかが課題である。最終的に管路内部は、①や②同様に形成される。接続構造物の不要な破砕が無くなり、設置箇所の強度が高く、地山崩壊の危険性は回避できる。二次覆工の配筋状況を写真-3に示す。

以上のように分類されるが、経済性のみならず、施工環境、土質条件、地下水条件、土被り、周辺地盤の構成要素、支障物件や地下埋設物、既設側の供用状況、前工事の施工環境や進捗等を調査して、最良の施工法を選択する必要がある。次に、直接到達に伴う課題や問題点を探る。

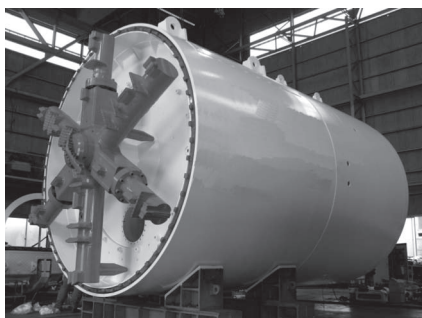


写真-1



写真-2

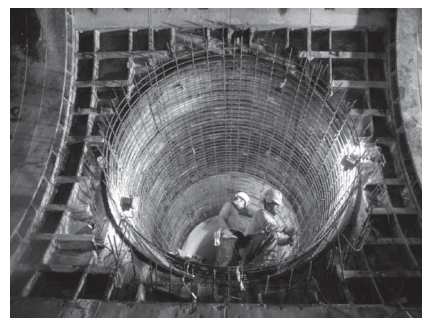


写真-3

5 直接到達工での施工中の課題や施工後の問題点

接続工を安全、かつ迅速に行うためには、推進工側や構造物側にはそれぞれ、下記のような課題や問題点が考えられる。

5.1 推進工側における安全性確保

①カッタクラウン部の地山の

自立性確保

現状で採用されている到達立坑を不要とした施工法は、既設構造物や管きょに到達する手前か、もしくはカッタビットと構造物が接触した段階で推進停止となる。よって、カッタ室内は掘削・攪拌された流動性の高い状況でカッタ停止となり、到達壁とカッタ前面のクリアランスで崩壊が発生しやすい。(掘削外径やカッタ形状およびリングカッタの有無にもよるが、大中口径では20～70cm程度の地山の開放部が出現する)

②地山自立のための補助工法の効果

一般的な発進・到達の状況とは施工環境が違って、探り孔等での止水性や地山自立性の確認ができにくい。注入効果を確実なものにするためには、地盤の構成要素を十分に調査して、有効な補助工法を選定すべきである。

この作業は、地表面からの施工が最優先されるべきではあるが、占用帯等の問題から斜打ち施工を余儀なくされ、注入ポイントの精度に問題を残す。また、管底部への注入効果が確保しづらく、既存埋設物への影響への配慮から、確実に効果的な施工が難しい場合もある。

その他、接続される既設構造物への事前入坑が可能な場合は、水平注入工等で追加施工を行うが、高い施工管理の技量が求められる。

その他の注意すべき点としては、前工事での立坑築造工やシールド管きょ工により、周辺地盤の緩みが発生して

いる可能性も考えられる。

特に、旧発進立坑の埋戻土には砂質土が使用されている場合が多く、一般的には立坑底部付近の空隙率が高く、土粒子間の結合度は低い。そのため注入工法や注入材の選定および施工中の切羽圧力管理には十分な注意が求められる。

③接続箇所の対策と安全性確保

地盤改良等の確認、接続箇所の構造物の撤去、止水器の設置を行った段階で、空押推進工が開始される。

地山の自立性が確保されている場合、その他の作業の安全性対策としては、止水器の構造物側への設置方法、空押工時間の短縮、掘進機スキンプレーターの構造物内への挿入と固定・分解・撤去が課題となる。止水性確保としては、到達構造物の様々な形状から標準的な止水器・パッキン・金具・締付けワイヤ等の取付けは難しいため、特殊な形状の止水器が必要となる。

また、その他の推進工での失敗原因を探れば、掘進時の地盤の緩みやオーバカットがその一端と考えられる。昨今は泥水・土圧・泥濃のどの推進工法においても、施工条件によって程度の差はあれ、最低15～50mm程度の余掘りを行っている。

このことから、掘進機の外周に膨張性パッキンを装備した施工法もあるが、余掘り量を越えて、テールボイドを閉塞させる膨張効果は得られにくく、その箇所が構造物内に移動した段階で、地下水の流入や土粒子の崩

落が一気に発生する可能性もある。

その他、機械的にはテールボイドを形成する最外周ビットを伸縮方式とし、到達ゾーンの余掘りを無くするために収縮させる方法も考えられるが、推進工法での掘進機はシールド機と比較して小型で、それらの機構はカッタ主軸やカッタアームへの負担が大きくなり、到達までの掘削工程で、進捗低下やカッタアームの変形を招く懸念もある。

よって、先ず機内から到達箇所付近一帯の再注入を行ってゲル化を図り、一定区間のテールボイドを塑性化することが、バックウォータの阻止には効果的と考えられる。

④止水器の設置

標準構造の止水器や金具・パッキンが使用できない箇所が多いため、到達箇所の構造物の形状や旧土留条件に着目して、検討を行う。

【シールド管きょ(円形)への装着】

一次覆工の鋼製等のセグメントに曲線リングの止水器を設置することが可能なために、仮設物としては比較的強固な止水器が設置可能であるが、シールド管きょへの到達はセグメント等への補強溶接で止水性を確保する場合が多い。溶接状況を写真-4に示す。



写真-4

【マンホール構造物への装着】

無筋・鉄筋コンクリートいかに問わず、安全性の高い止水器構造とその設置は難しい。まず、鉄筋のある構造物では金具と鉄筋を溶接して設置が可能となる。マンホール内面のコンクリート壁にアンカボルトを設置して、図-4のような止水金具やパッキンを固定する方法も容易ではあるが、アンカ削孔時に既存の鉄筋と接触し、所定の長さが得られず、引抜強度不足を招く場合も多く、施工上の信頼性は低い。

その結果、掘進機空押時の摩擦でアンカ自体が抜け落ちる場合も多い。

また、坑口工は掘進機撤去の後、推進管先頭部を構造物内に挿入し、裏込め注入工を行ったあとで撤去される。よって、漏水防止のためには、設置されているうちに背面からの強固な止水材の注入が求められる。

別の対応策としては、構造物側に掘削外径より大きい受入れ空間を作り、図-5のように、その壁内にリング鋼

材を先行して配置し、既設構造物と止水器の一体化を図る方法もある。ただし、ワイヤによる止水パッキン先端部の締付効果は期待できない。

【旧立坑鋼材残置への対応】

上記に示した以外の止水器の設置パターンを検討する。まず、施工条件や過去の立坑構造および土留め環境によって、止水器構造やその施工性は変化する。参考として、小判型L.P.等の深礎工法で構築された発進立坑での仮設備図を図-6に、沈設立坑(鋼管ケーシング等)や円形の深礎工法による到達立坑での止水工図を図-7に示す。

⑤その他、作業時の危険性

空押推進工が終了後、掘進機外殻を構造物内へ挿入し、掘進機のカッタや駆動部および内部装置の分解・撤去を開始する。

発進側の管内でカッタを含めた駆動部を一体型で発進側に回収する施工法は限定されており、カッタから駆動部等を順番に到達スペースで撤去するの

が実態である。

掘進機隔壁は危険性を考慮して、最終段階で撤去することが施工手順となる。現状の直接到達施工法の詳細は各工法の記事に委ねるが、どの工法も止水器の設置等のために、構造物内は接統断面以上の大きな空間を確保する必要があり、その作業余裕での地下水の噴出や土砂の流入の危険性がある。

その間の構造物破砕空間と掘進機外殻とのクリアランスの安定確保(パッキング効果)のため、土粒子間の固結状態や止水性確保は継続される必要があり、そのためにも地盤改良専門業者とのきめ細かな連携が、施工の安全性確保の重要なカギとなる。

5.2 接統される構造物側の問題点

(1) マンホールへの接統の場合

- ・一般的にはマンホール径と接統される管内径との差は、2倍以上が望ましい。
- ・既設構造物は、接統される管外径以上が破砕・撤去されるために、本体強度に問題を残す場合もある。
- ・直接到達の施工では、マンホール外部に補強工を実施できないため、施工中は内部補強が必要となる。しかし、マンホールの構造上の問題で、一時的な補強はいざ知らず、恒久的な補強工は実施できにくい。
- ・既設管路に対して平面的な交角が180°での接統の場合は、問題は少ないが、側方よりのT字接統は、上載荷重の殆どが残された一部の本体壁へ載荷され、後に、マンホールの傾斜が生ずる危険性がある。
- ・マンホール蓋部への通行車両の繰返し活荷重で、残された躯体にクラックが発生する可能性もある。
- ・管底高段差の少ない接統側の到達作業では、既存のインバートやマンホール底部工および基礎コンクリートまで破砕を必要とする場合もある。

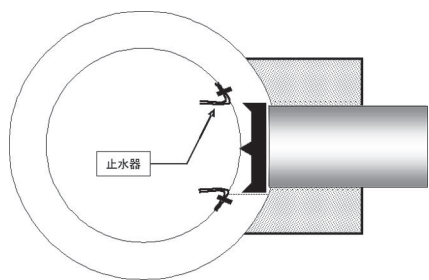


図-4

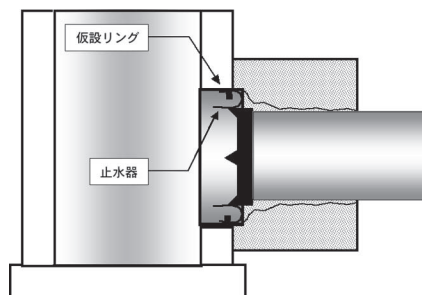


図-5

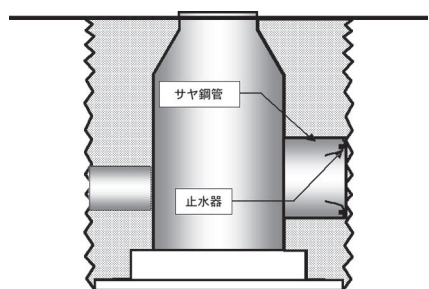


図-6

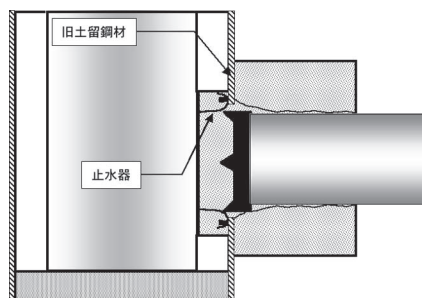


図-7

り、支持地盤の強度によっては、不同沈下が発生する。

- ・到達箇所の補強工、防護工の選択肢が鉄筋工の追加配筋程度となり、限定される。
- ・開口作業時、既設管きょ側に土砂や地下水が浸入する可能性が高いため、閉塞を行う。

(2) シールド管きょ・大口径推進管きょへの接続の場合

- ・到達させる推進管きょが比較的大きな（概略φ1500mm以上）管きょの場合は、新しく接続される掘進機前面の切羽土圧が作用すると考え、補強リングの設置や到達側に受入れ壁コンクリートの構築を並行して内部補強を行う必要がある。
- ・推進管きょへの接続では、鋼製カラー継手部への接続は避けることが望ましい。
- ・シールド管きょでは一次覆工のセグメント主桁が切断されるために、到達管きょの円周に渡り、防護筋を配置し、補強を行う必要がある。

- ・大口径シールドは到達箇所の両側に完全閉塞が不可能と考えられる。よって、半断面程度までは地山崩壊に伴う流入防止壁を設置し、排水設備や配管を行って両側のシールド工事施工中の二次災害を防止する。
- ・補助工法が路面から施工不可能な場合、管きょ内からの水平ボーリング施工と到達掘進機からの機内注入の双方で対応する必要がある。特に、管路底部は路面からの再注入が不可能なために、機内や既設側からの補足注入となる。
- ・供用中の管きょの場合、予期せぬゲリラ豪雨の発生等が考えられ、監視体制、避難経路、照明確保等の安全体制の確立が重要と成る。

(3) 共通の課題

直接到達の危険性や対応課題は多い。以下、根本的な問題を下記に示す。

①接続箇所の防護工

一般的な発進立坑で構造物が構築される場合、管路は防護コンクリート等で補強される。両発進立坑の場合は、

両側の管路は全（半）巻きコンクリートを空伏区間を実施するが、そのような防護対策を行っても、管口からの漏水が発生する場合も見受けられる。

そのことから、直接到達の場合は推進管接続箇所の外部に防護工は設置できないため、止水性の長期間の継続には別途の対策を実施する必要がある。現状では、既設構造物側や機内・管内より到達後の地盤強度を図るための再注入以外、その他の対応策は行われていない。

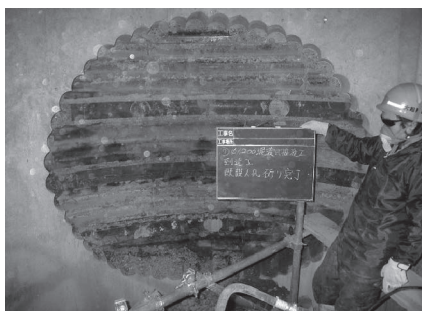
②既設構造物の弱体化

管路の目的から判断すると、直接到達工法は経済性や施工環境から有効な施工法と考えられる。しかし、既設構造物側から検討すれば、現場において一度完成した地下の構造物の一部を破碎して接続するため、弱体化は必至である。現状の施工手順は、写真－5～7に示すようなコア抜き作業が最良と判断できる。

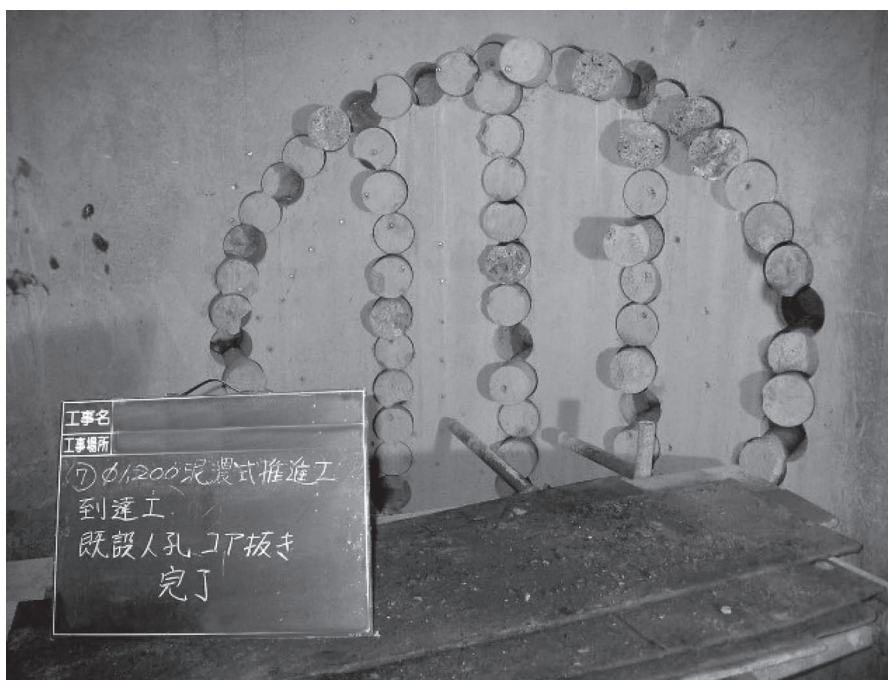
しかし、この方法も接続箇所のコンクリート撤去時に躯体部周辺への影響



写真－5



写真－7



写真－6

を回避しただけで、当初設計で検討されている構造計算の安全性の根拠を覆す要因となる。また、止水器設置スペース確保のために、掘進機断面より1～2割程度大きな空間を必要とし、破碎コストと時間が掛かる。

このような、構造物構築後の影響を考慮するならば、前工事の計画時に、将来の管接続工を考慮した構造物を事前に製作する工夫が重要と考える。

参考として図-8のように、躯体コンクリートの防護鉄筋の強化や破碎されるコンクリート箇所の箱抜きおよび外部枠鉄板埋込みを実施し、次工事の接続工時の仮設工の簡素化や安全作業の確保および本体構造物の弱体化に対応する必要がある。

その他、シールド管きよの二次覆工の箱抜きや到達箇所の施工性向上のため、その箇所の一次覆工を別部材に選定する等の前後工事の相互の協力体制が必要となる。

そのことから、①で述べた防護工や止水性の継続も含めて、短期荷重を根拠に、接続箇所の既設構造物の形状、材質、強度、背面補強工の施工基準を確立することも急務と考えられる。

6 地中接合技術

ここで述べる地中接合技術は、シールド工法で採用される場合が多く、推進工法においての実績は少ないと思われる。採用基準としては、駆動部の土砂シールやベアリングの摩耗限界、カッタビットの機内交換の不可、施工期間の短縮、その他の掘進機の耐用限度を越える長距離化が必須である。

特に、立坑設置が不可能な海底横断道路やインフラ管路等では両岸より掘削を行い海底や運河下で掘進機同士のドッキングを行う場合とT字型に側方から管路等を地中接合する場合がある。

その他、管径の違う掘進機を使用し

ての両到達や親子シールドのように途中から縮径して地中で再発進を行なう長距離化対策もある。以下、地中接合技術の概要や課題について検討する⁴⁾。

6.1 地中接合の定義

2台の掘進機を用い、両サイドから掘進を行い、接合地点で正面接合を行う場合と、既設トンネルに側方から新たなトンネルを接合するT字型接合方式がある。次に、地中接合が選択される場合の背景となる様々な特殊条件や施工環境を考えてみる。

6.2 適用条件

- ・道路事情、周辺環境から立坑設置が不可能（特に海底部や重要構造物や施設の既存直下）
- ・掘進機の耐用限界と施工延長の長距離化への対応、工期短縮
- ・大土被りでの立坑築造工の問題（ヒービング・ボーリング・膨張性地盤等）や周辺地域への影響回避および立坑構築費の増大等の経済性からの検討
- ・マンホール等の点検や維持管理のための入坑手段が不要な管路構築（導水管、防護鞘管、送水路等）

6.3 施工法

施工法には掘進機間相互の開放箇所に補助工法を施し、地山自立を確保して接続する方式と掘進機に様々な機能を施し、掘進機同士を直接接触させる機械的直接接合方式がある。

(1) 補助工法を用いた地中接合

接合箇所で地山開放箇所が発生するため、止水性や地山安定性を確保するために地山安定処理を施す。地山安定処理工法には、①凍結工法②高圧噴射攪拌工法③薬液注入工法もしくは圧気工法と薬液注入工法の併用工法がある。地山安定処理には、地上から掘進機が到達する前での施工と到達した後に掘進機内から行う施工法がある。

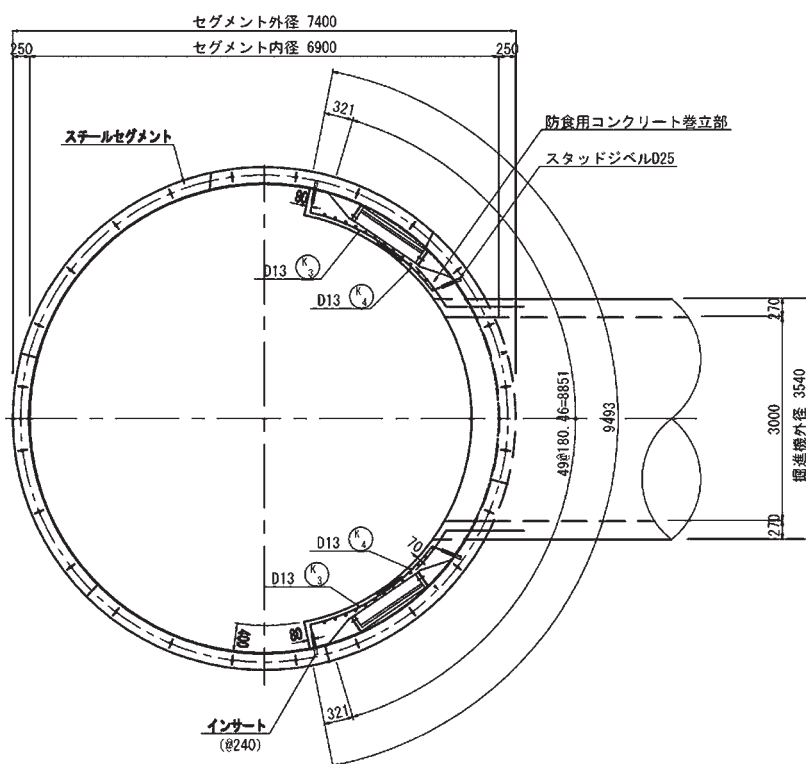


図-8

①凍結工法

工費が高く工期を必要とするが、確実な施工技術であり、機内からの施工が可能のために海底下や帯水層での砂層、軟弱地盤、大土被り、大断面トンネル等に適用される。凍土の造成には、双方の掘進機が到達後、両掘進機側より凍結管を挿入する方法と片側の掘進機を先行して到達させ、片側から凍結管を配置し、他方の掘進機は到達後、貼付け凍結を実施して接続部の凍土造成を完了させる方法がある。

凍結施工法には、一般的な管列凍結方式があり、列状に配置された凍結管で年輪状に凍土が形成され、それらがつながって一つの凍土壁を造成する。その他、凍結版を使用した平板凍結方式があり、平板法式は凍結速度が速く、凍結効率に優れているため、施工条件によっては効果の高い結果が得られる。

断面形状の分類では、全凍結型、円筒型、箱型、門型、その他、組合せ型があり、施工断面形状、施工箇所、施工性等で検討される。凍結温度としては、地中温度が $+18^{\circ}\text{C}$ の場合にブライン温度が -30°C で施工を行った場合、凍結所要日数70日で $-15\sim-2^{\circ}\text{C}$ の円形1.2m程度の凍土が造成される。

施工中の問題点としては、凍結膨張、解凍沈下等の地盤への影響や近接埋設管等の支障物件への影響が考えられる。

凍土形成の参考図を図-9に示す。

②高圧噴射攪拌工法

基本的には路上からの施工が原則であり、改良効果は期待できるが大土被り施工では問題を有す。JSG工法やCJG工法等があるが、大深度(40m)ではCJG工法が有効である。問題点としては、水平施工が難しい点や施工中に置換えられる高含水比土砂や泥水の

処理対策がある。

③薬液注入工法

設備・装置がコンパクト化されているため、経済性に優位で単体での施工では改良効果の信頼性に問題もあり、圧気工法との併用で施工を行う場合も多い。現状では路面と機内の双方から施工が可能である。

(2) 機械的地中接合方式

補助工法中心の接合方式は信頼性や施工期間が問題となる。そのため工期短縮や施工の安全性を目的に機械的接合方式が適用される。機械的な接合方式として、カッタディスク引込み方式(センタカッタ引込み方式)、フード押し方式、貫入リング方式に分類されている。

①カッタディスク引込み方式

この施工法は、センタ駆動方式の掘進機に用いられ、双方のカッタアームを縮め、外殻内に収納し、双方の隔壁や駆動ギアを一体で後方にスライドさせ、スキンプレートを方向修正ジャッキで制御しながら双方の掘進機の外殻を嵌合させる。図-10に概要を示す。

使用する地山安定処理には凍結工法が採用され、最終的にスキンプレート同士の突合せ溶接を実施する。

②フード押し方式

両掘進機の外殻外周部に、事前にスライド可能な押しフードを装備し、到達地点で双方のスライドフードを押し出して嵌合させる。この場合も、貼付凍結工法等が採用される。

課題としては、対象土質が厳しい場合、外部にスライドフードが設置されているため、変形・たわみ等が発生した場合や土砂の噛みこみでスムーズな作動が困難となる場合がある。

③貫入リング方式

片方の掘進機の外殻を3重として、その内部には押し出し可能なリングが挿入されており、その貫入リングを到達

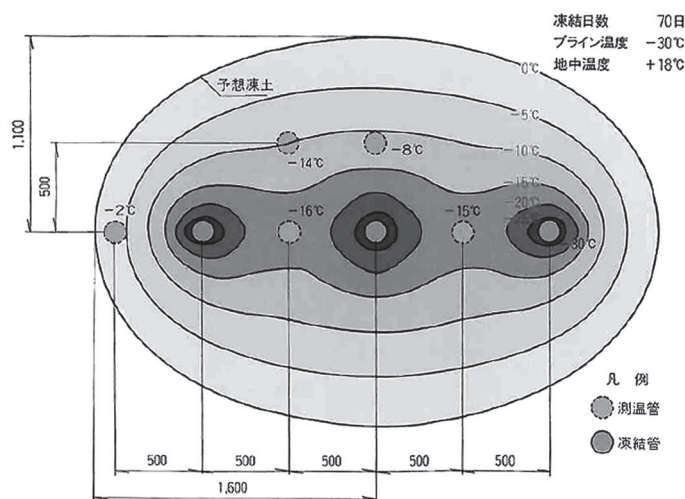


図-9

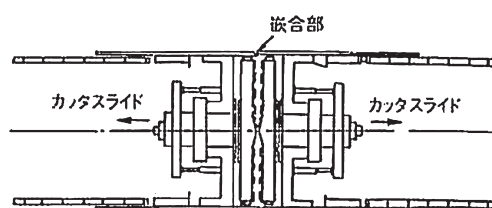


図-10

地点で押出し、他方の掘進機は同様の構造内に受圧ゴムリングと貫入室を設け、相手側の貫入リングを受入れて機械的に接合する施工技術である。この場合の補助工法は、原則的には不要であるが、掘進機同士に傾き等が生じた場合は、追加の地山安定処理対策が必要となる。図-11に概要図を示すが、この施工法は機械的接合法の中では、確実かつ純粋な嵌合技術である。

6.4 地中接合技術の課題や問題点

掘進機の構造や掘進条件を考えると、様々な課題が浮かび上がる。特に、巨石混入土質では、掘進機外殻の変形も見受けられるため、より安全性の高い構造が望まれる。その対策や追加機能により、掘進機価格が上昇する可能性が高い。以下、施工時や掘進機構造上での課題、適用土質や管理内容を示す。

- ①掘進機の到達精度の許容範囲が非常に狭い。
- ②掘進機の位置のみならず、双方の上下・左右の傾斜管理が重要となる。
- ③掘削に伴う掘進機の変形は致命的となるため、外殻等の強度確保が重要となる。
- ④内蔵された貫入リングや外周部のスライドフードの製作精度や強度が重要となる。
- ⑤コピーカッタの伸縮ジャッキのシーリング破損や作動装置の故障は、致命的となる。
- ⑥掘進土質が砂礫土・巨石混入土・硬質土等の場合は、ビット伸縮装置やチャンバ内の攪拌翼等の変形・破損

等が発生する可能性があり、到達部の作業に問題を残すため、掘削添加材や安定液の配合、方向修正作業、掘進速度、カットトルク管理等は慎重さが要求される。

7 終わりに

本稿で取上げた「既設構造物への直接到達や地中接合技術」の採用増加は、推進工法の積算基準の改訂が求められる要因になる可能性もある。

しかし、昨今の推進工への要求課題は、経済性評価のみが前面に押出され、直接作業者の技量やその時の状況判断を頼りに、労働安全衛生法での「コンプライアンス違反」の施工実態も見え隠れしている。

そのような受注実態は、「労働環境の悪化や施工品質の低下」を招き、専門業者自体の体力を削ぐ背景ともなっている。そのような実態を改善するためにも、専門業者や工法協会が行っている「技術の高度化」や「施工法の改善」

が、発注者側の協力により、付加価値の向上と結びつき、後の活動費や研究開発費に反映されることを切に願っている。

最後に、本稿には各工法協会や技術本部の方々の公開文献等やホームページから、その一部を活用させて頂きました。感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) シールド工法の実際：鹿島出版会、塚田・三好・高橋・河田共著、pp.7、1995.11
- 2) 月刊推進技術：日本下水道管渠推進技術協会、川相章、pp.4、2010.10
- 3) 月刊推進技術：日本下水道管渠推進技術協会、各工法協会各位、pp.3～pp.55、2006.9
- 4) シールドトンネルの新技术：土木工学社、pp.147～pp.150、1995.1
- 5) 凍結標準化マニュアル、2002年度版 pp.1-5～pp.1-6、2002.10

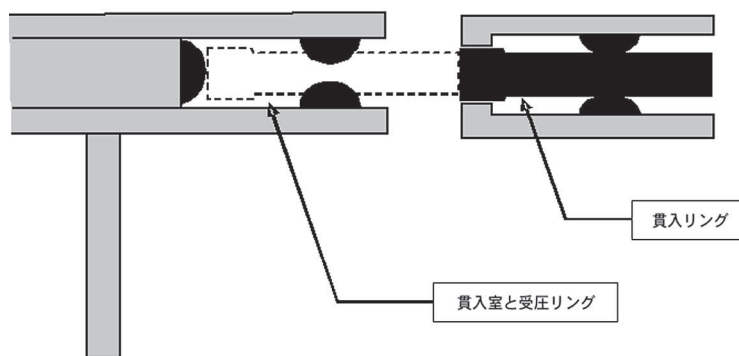


図-11 外殻スキンプレート模式図