

1-1-1 横坑掘進用エントランスの考案

～大深度施工時の掘進マシン及びトンネルの止水保持～

建設部 土木設計課 金井 伸二
(現 施設管理部施設保全課)

1. はじめに

シールド工法は、中大口径のトンネル工事としては、下水道以外にも都市土木としては最も多く採用される工法となっている。開発から今日、種々の技術改良または新技術が開発され発展し続けている。

一方で、発進・到達時の止水対策は、坑口にゴムパッキンとフラップを設置し、立坑背面を地盤改良することで止水性を確保するのが一般的である。下水道工事では、坑口は仮設として使用されることが多く、水の流れを阻害することや、さや管として使用される場合には、配管等に支障となるため掘進後は通常撤去される。大深度、高水圧下での工事となる今回の工事では、地盤改良が困難であることから、通常の止水対策に代えて、工事費の削減と工事期間の短縮を図れる、恒久的な止水装置「横坑掘進用エントランス」を考案した。

2. 芝浦水再生センター・森ヶ崎水再生センター間連絡管事業の概要

東京都の区部に位置する芝浦水再生センターは、計画水量 $850,000\text{m}^3/\text{日}$ の処理能力を持ち、昭和 6 年に運転が開始され、施設の老朽化が進んでいる。

一方、森ヶ崎水再生センターは西処理施設と東処理施設からなり、東西合わせて計画水量 $1,540,000\text{m}^3/\text{日}$ となる国内最大級の処理能力を有している。西処理施設は、昭和 41 年に運転が開始され、芝浦水再生センターと同様に老朽化し、今後は両水再生センターともに、施設再構築の必要が高まっている。

両水再生センターは、敷地いっばいに水処理施設が配置され、単独の水再生センターで水処理施設を再構築するだけの敷地に余裕がない。このため、施設再構築時の処理能力を他の水再生センターで補完するための相互融通及び、大地震等による災害時の危機管理対応として、区部では初となる「芝浦水再生センター・森ヶ崎水再生センター間連絡管」(以下、連絡管)事業に着手している。

両水再生センターともに運河に近いことから、比較的直線的で最短となる運河占用案と通常の道路占用案を選定し、連絡管のルートを比較検討した。運河占用案の選定にあたっては、計画時から運河管理者である港湾局と協議した結果、事業に対し理解と協力をいただき、路線の大部分を京浜運河下に占用することとなった(延長約 8km)(図 1 参照)。

連絡管内には、汚水を相互送水する汚水送水管ほか、維持管理のため換気ダクトや照明設備、送泥管、再生水管、光ファイバーケーブル等が収容される(図 2 参照)。

運河には、各企業のトンネルや橋梁などの土木工作物があり、各企業と離隔について協議した結果、縦断線形は、既設構造物に影響を与えない離隔を確保したことなどから、最大土被りが概ね 58m となる大深度となった（図 3 参照）。このことから立坑形状は、大深度において壁厚を薄くすることができる円形構造とし、将来は管理用人孔として立坑躯体を本体利用することからニューマチックケーソン工法を採用した。



図 1 連絡管ルート図

● 連絡管の概要

内径……………6,000 mm
延長……………約 8 k m

● 収容する主な施設

汚水送水管（ダクタイル鋳鉄管）
換気ダクト
照明設備
送泥管
再生水管
光ファイバーケーブル

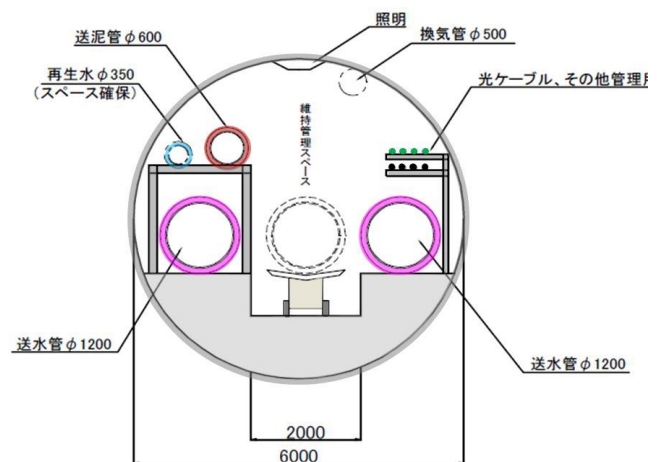


図 2 連絡管断面図（イメージ）

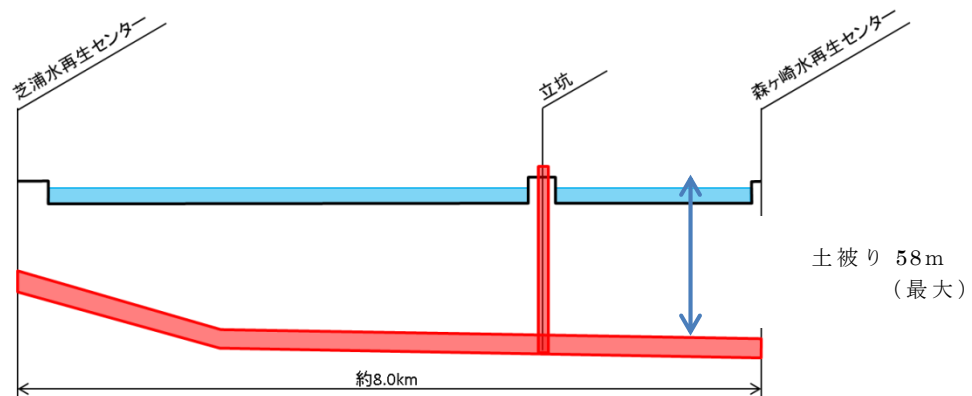


図 3 連絡管縦断面概略図

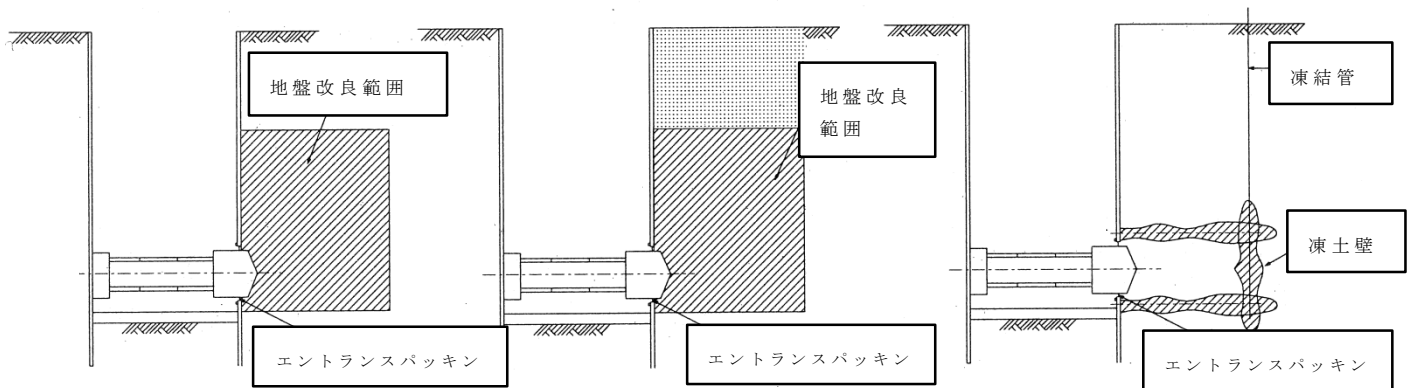
3. 坑口の止水の現状と課題

下水道仮設設計マニュアル(東京都下水道局)では、シールド機の発進及び到達部の止水については、「①掘削機械が、地山に貫入するまで、または立坑内に引き込むまでの地山の自立、地下水の流入防止」、「②立坑設置時の地山のゆるみの影響防止」、「③エントランスパッキンの負担軽減」等の検討が必要で、検討に当たっては、土質、地下水、シールドの形式、土被り、作業環境等を考慮して決定することとしている。立坑発進時の防護工の参考例を図 4 に示す。

(1) 薬液注入工法

(2) 噴射攪拌杭

(3) 凍結工法



出典：下水道仮設設計マニュアル（東京都下水道局）に加筆

図 4 立坑発進・到達時の防護工（参考例）

発進立坑は、芝浦水再生センター・森ヶ崎水再生センター間を結ぶ中間点に位置し、維持管理用管内換気機能を確保することで、掘進完了後は維持管理用人孔として使用される。このため、漏水は、管路内に配管する送水管や換気ダクト、照明設備等の劣化を促進する可能性を高め、維持管理上の観点からも重大な課題である。

本工事では、大深度施工となることから、地盤改良対象深度が深く、薬液注入工法や噴射攪拌工法の施工事例もなく、技術的な困難性が高まり費用は莫大となる。また、凍

結工法も、恒久的な止水をするには凍結を継続しなければならないため現実的ではない。このため、立坑とシールド掘進完了後のトンネルと立坑壁とのボイドの止水性を確保することが大きな課題となった。

4. 横坑掘進用エントランスの概要（図6）

下水道工事では、ポンプ揚程の制約から深いものでも土被り30m前後であるため、ゴムパッキンとフラップを取り付けた仮設坑口と地盤改良等の組合せが、経済的設計となるため、この方法が多く採用されている。

一般的に、立坑内に構築する坑口は、リング状にエントランスパッキンを一段または二段設置し、立坑背面を地盤改良する。また、セグメントと地山の間に見えるテールボイドは、裏込め材の注入により止水性を確保する。セグメントと立坑壁部のボイドはセグメント組立後、裏込め注入により裏込め材に置き換えられ、地山とセグメント周辺の水みちを遮断し、止水性を確保する。

しかし、本工事の坑口はシールド掘進後に取り外されるため、立坑壁部とセグメント外周のボイドは、大深度の高水圧下では、裏込め材のみの止水では漏水する可能性が高かった。

そこで今回考案した「横坑掘進用エントランス」は、円筒ケーソン躯体が本設構造物として使用されることから、立坑とセグメント外周の止水を確実にを行うために、躯体内に一段本設となる止水装置を三次元に設置することとした。三次元となるのは、円筒形の立坑から円筒形が突出る形状となるためである。

三次元的に設置されるチューブパッキンの特徴として、他にワイヤーブラシパッキンに置き換えて装着することが可能である。チューブパッキン及びワイヤーブラシパッキンを展開すると図5のような形状となる。

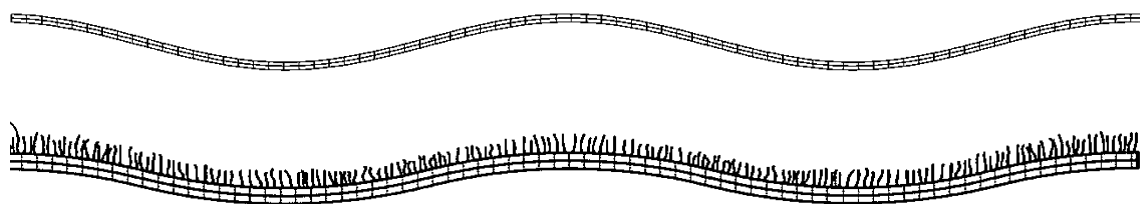


図5 チューブパッキン（上図）及びワイヤーブラシパッキン（下図）の展開図

この装置は、シールドマシン外周にチューブパッキンが三次元状態に接触されて止水効果が生じるように構成されている。本止水装置は、フラッパーとチューブパッキンで構成され、設置時は、坑口に対し水平な状態で設置されており、立坑内に配置された圧送パイプを経てチューブパッキンに水、又は止水材を充填する。止水材等の充填により、チューブパッキンが円筒形立坑の掘進開口部内側に三次元的に密着されることにより、止水機能を保持することができる。

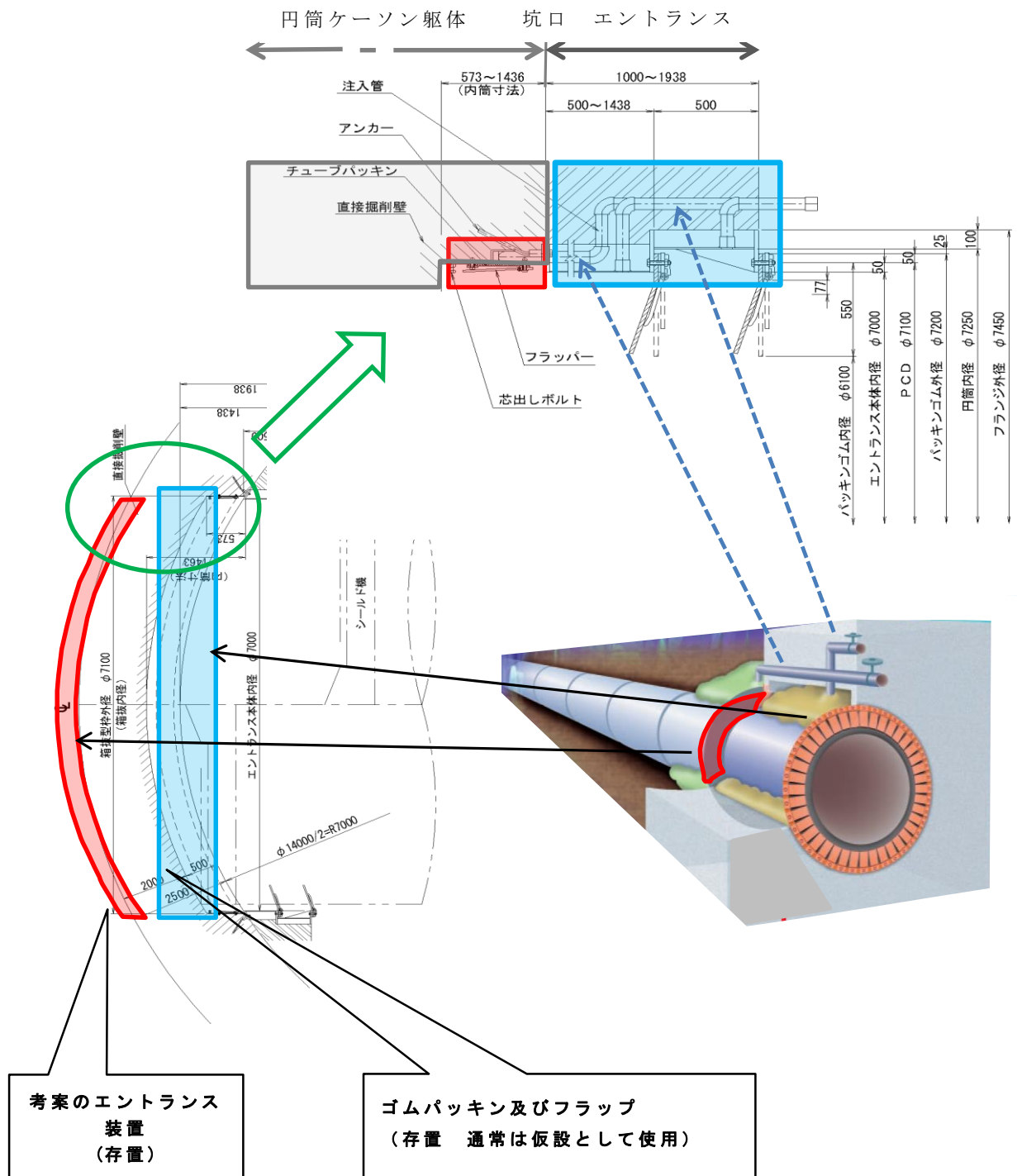


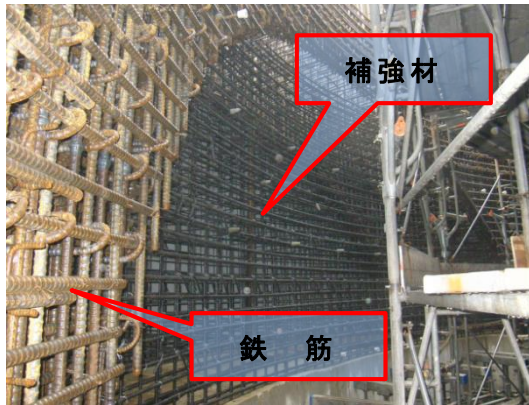
図 6 横坑掘進用エントランスの概要図

5. 補強材による横坑掘進用エントランス設置スペースの確保

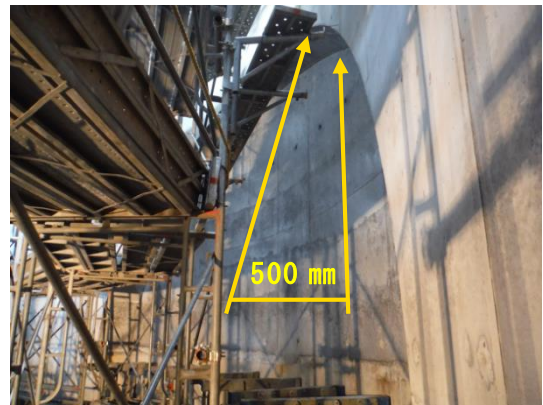
今回計画した連絡管の大深度立坑は、構築する施工期間が2か年程度となることから、立坑築造と同時に本装置を設置することは、鏝等の劣化によるフラッパー可動部の不具合を引き起こすことが予想される。このため、シールドマシン発進時期に合わせて設置

することが望ましい。そこで今回は、鉄筋と同等の強度を有し、かつシールドマシン発進時に鏡切りをすることなく直接掘削が可能となる補強材を配置した（図7参照）。

補強材を使用したことにより、坑口部分の壁厚を周辺より500mm先行切削することが可能となったことから、横坑掘進用エントランスの設置スペースを確保することができた。



坑口周辺配筋状況



コンクリート打設後

図7 立坑坑口付近現地写真

5. おわりに

本考案は、平成26(2014)年2月に実用新案を出願し、同年4月に登録された。その後、特許庁に「実用新案技術評価」を申請し、「新規性も進歩性もあり、原則として権利行使をすることが出来る技術」であることが確認され、同年8月、評価6を得た。

今回の考案は、長年の課題であった立坑内の浸入水を克服する一案といえる。また、都市化が進展している大都市においては、更なるインフラ整備を進めるために大深度化することは避けられない。考案した横坑掘進用エントランスは、非開削工法を実施する際の立坑が、大深度になるに従い平面形状が矩形断面より、構造的に有利となる円形断面になる傾向にあることから、こうした施工条件にも対応できるものである。

また、下水道工事にとらわれず、道路、鉄道などのシールド工事等の坑口部でも使用することが可能であることから、インフラ整備やリニア新幹線整備工事など、非開削工事において本案が採用されることを期待する。