

シールドトンネル拡幅工法について

市場 弘美¹

¹近畿地方整備局 大阪国道事務所 工務課 (〒536-0004大阪府大阪市城東区今福西2-12-35)

御堂筋（一般国道25号）は、梅田を起点とする南側一方通行、全6車線の大阪を代表するメインストリートであり、四季で変化するイチョウ並木はシンボルとして市民に親しまれている。その地下に御堂筋共同溝は計画され、大阪市水道局の水道管と関西電力㈱の電力ケーブルを収容し、御堂筋共同溝が完成すれば大阪の東西南北の共同溝ネットワークが構築される。平成23年度に共同溝本体トンネルが完成し、現在は国道25号御堂筋共同溝立坑工事に分岐立坑を施工中である。今回、シールドトンネル本体の拡幅工法を実施したので紹介するものである。

キーワード 地中切り掘り、シールドトンネル拡幅

1. 工事概要

(1) 全体事業概要

御堂筋共同溝は、東西の幹線軸である国道1号梅田共同溝、国道2号福島共同溝と南北軸である国道26号浪速第1、2共同溝を接続する大阪市内中心部の重要なネットワークの一部として平成19年度に事業化され平成28年度の供用を目指して事業中である。図-1に概要図を示す。

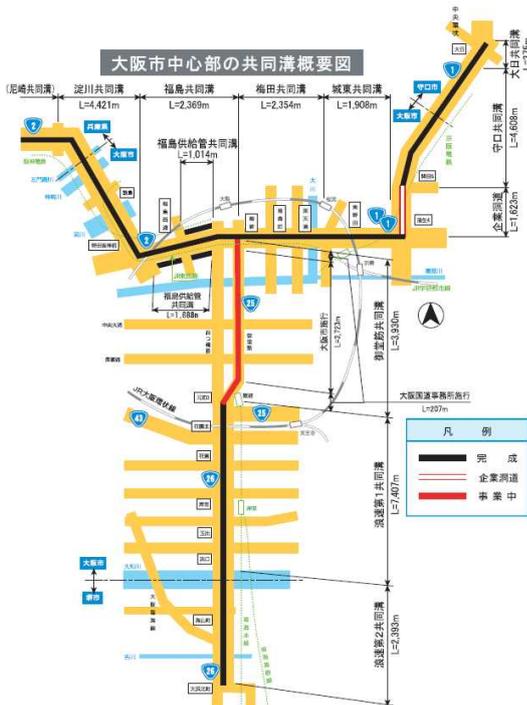


図-1 大阪市中心部共同溝概要図

共同溝内部の内径4770mmの坑内に大阪市水道局の水道管（φ1500mm）と関西電力㈱の電力ケーブル（154,000V、77,000V）を設置する予定である。図-2に標準断面図を示す。

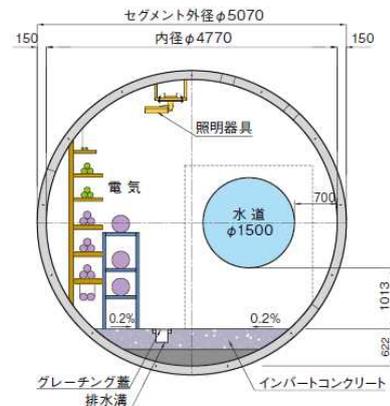


図-2 御堂筋共同溝標準横断面図

(2) 工事概要

工事名 : 国道25号御堂筋共同溝立坑工事
 受注者 : 大成・五洋特定建設工事共同企業体
 施工場所 : 自) 大阪市浪速区難波中一丁目地先
 至) 大阪市北区曾根崎二丁目地先
 工期 : 平成23年3月17日～平成26年3月10日
 施工量 : 分岐立坑 8箇所

御堂筋共同溝工事は、平成23年度に本体シールドトンネルが完成し引き続き立坑工事を発注して施工を進めている。主な工事内容は共同溝本体から地上に電気や水道を取り出すための分岐立坑8基とトンネル拡幅工である。

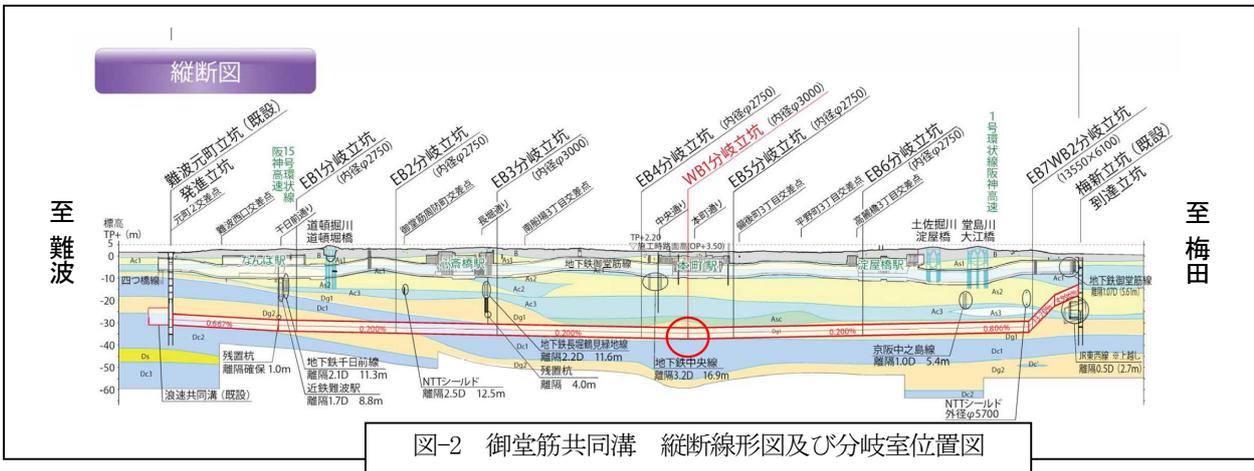


図-2 御堂筋共同溝 縦断線形図及び分岐室位置図

分岐立坑は上向きシールド工法によってシャフト部を構築し地上部の分岐室は開削土留めによって構築する。今回トンネル拡幅を実施する立坑は水道局の分岐立坑であるWB1立坑で、分岐部分に水道用の制水弁と坑内排水ピットを設置するため一般トンネル部分より内部空間を大きくした構造となっている。図-2に縦断線形図及び分岐室位置図を示す。

2. WB1分岐立坑の概要

WB1分岐立坑は地下約38mにあり、図-3にあるように大阪市水道局の水道管（φ1200mm）を分岐するため、分岐室とシャフト（内径φ3000mm）で構成され、シャフトが共同溝シールドトンネルと接続する構造となっている。WB1分岐立坑は水道管（本管φ1500mm）の制水弁と共同溝の排水を集約するピットを設置するため、シールドトンネル断面（内径φ4770mm）を拡大（内径φ6500mm）する必要があり、東側の水道管を中心に制水弁を配置した結果、拡幅断面は偏芯した形状となっている。

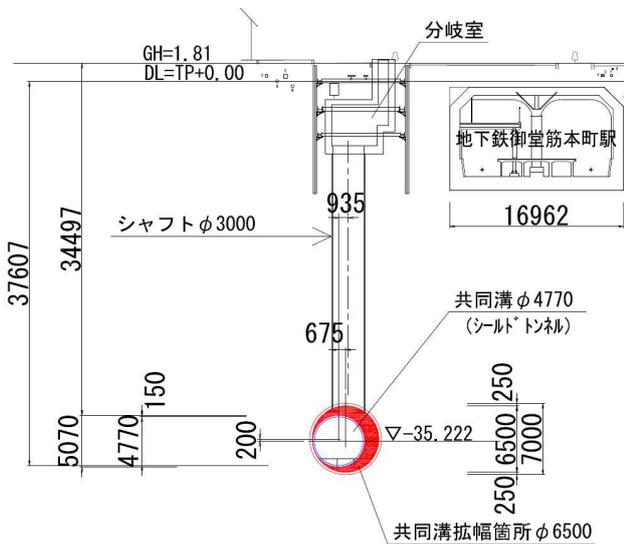


図-3 WB1分岐立坑断面図

3. 工法概要

シールドトンネルなどで地中内掘削作業を行う場合、「薬液注入工法+NATM工法」や「地盤凍結工法」が考えられるが、適用できる地盤が限られることや費用が高額になる場合があった。今回実施した拡幅工法は完成している共同溝シールドトンネル内部から既設のセグメント（内径φ4770mm鋼製セグメント）を部分的に撤去し、地山を露出させて掘削を行い、モルタル吹付等を実施して内径φ6500mmの鋼製セグメントを組み立てるものである。拡幅掘削に当たり、共同溝シールドトンネルを施工前の段階で地上から高圧噴射攪拌工法（PJG-L工法）にて拡幅該当箇所地盤改良を実施し、拡幅掘削中の地山の損壊防止対策を行った。さらに本体トンネルシールド通過後の止水効果の期待することと大きなレキの混入による改良体造成不良を補うために、地盤改良体の周囲に薬液注入工（ダブルバッカー工法）を実施した。また、異常出水が発生した場合の対策として、拡幅部の前後に止水鉄扉を設置した。図-4、図-5に拡幅部の縦断面と横断面の構造を示す。

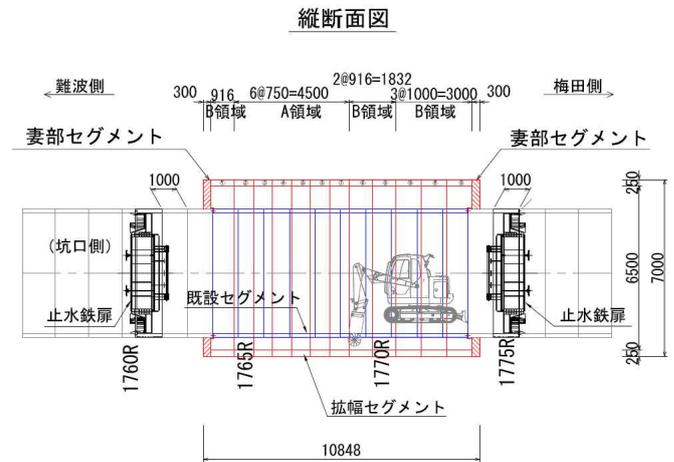


図-4 縦断面図

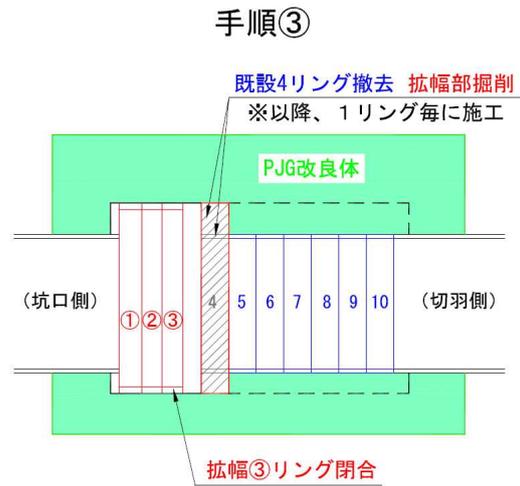
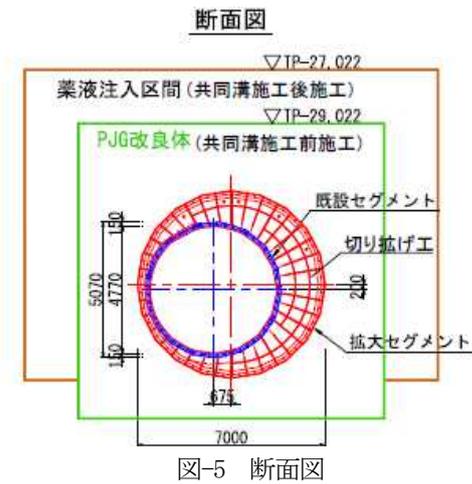


図-6 トンネル拡幅手順

4. 施工方法

施工手順は坑口側のセグメントを2リング (1m/リング) を分解撤去し、拡幅掘削を2リング行い、拡幅セグメント1リングと妻部のセグメントを組み立てる。以降のセグメントは既設セグメントを1リング撤去して拡幅掘削、組立1リングのサイクルで行い、改良体の地山解放範囲が2リング以下になるように実施した。手順を図-6に示す。

トンネル坑内での拡幅掘削作業は内径φ4770mm (断面積17m²) 通常サイズ (バックホウ0.7m³級) の重機を使用する場所としては狭隘な状況であるため、マシンの外形寸法+作業範囲を考慮した機種を選定した。さらに使用するバックホウ1台で掘削とセグメントの設置組立作業を行うことが可能な様に改良体掘削用のツインヘッドを取り付けられるように改造した。写真-1にハンドリングアタッチメント、写真-2にツインヘッドを示す。

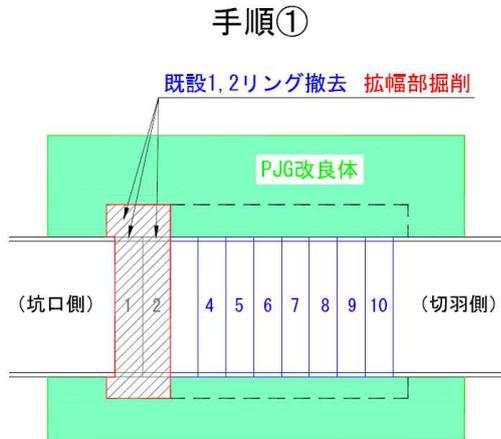


写真-1 ハンドリングアタッチメント

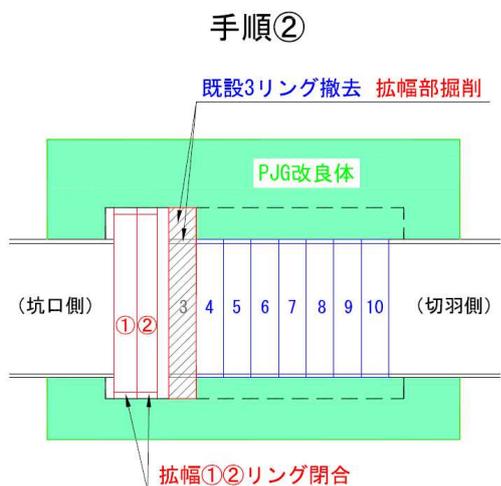


写真-2 ツインヘッド

拡幅トンネルの断面構造は大深度、高水圧下での作業となるため、地山を掘削して露出した時点でコンクリー

ト吹付で掘削面を養生し、補強用の仮設リング支保を設置する。その上に二次コンクリート吹付を行った後、新たに拡幅セグメント設置した。図-7に拡幅部断面図を示す。

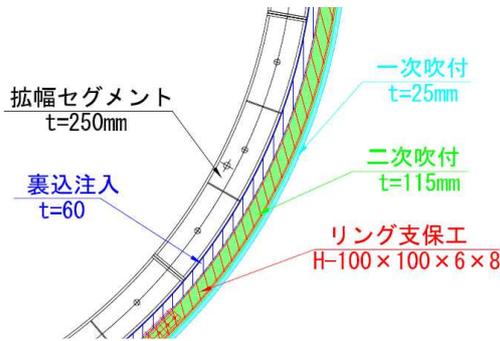


図-7 拡幅部断面図

拡幅部の施工は、掘削する周辺地盤の影響を抑えるためには、掘削時間の短縮、鋼製支保や吹付工の速やかな施工で閉合までの時間を短くすることが必要である。よって上半の既設セグメントを撤去、掘削を行い吹付工や仮設リング支保で早期閉合しながら全ての断面の掘削が完了させたのち、下半部分のセグメントを組み立てることとした。図-8に拡幅施工サイクル、図-9に拡幅施工フローを示す。

step10 拡幅セグメント組立

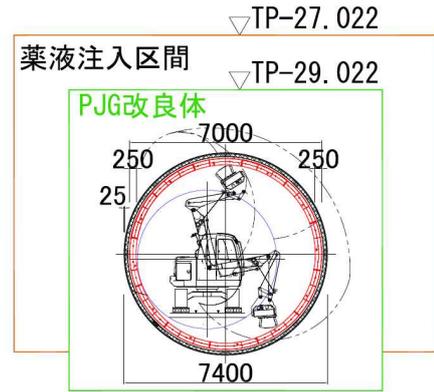
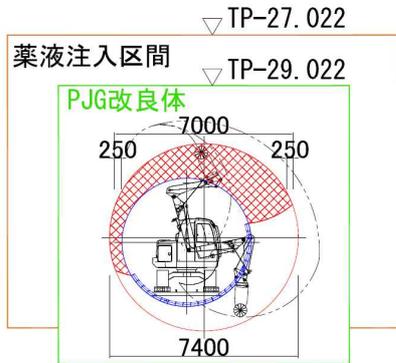


図-8 拡幅施工サイクル

step3 上半部の拡幅掘削



step8 鋼製リング支保工組立

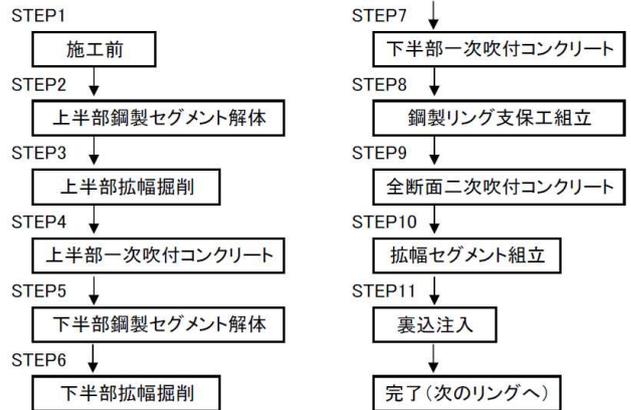
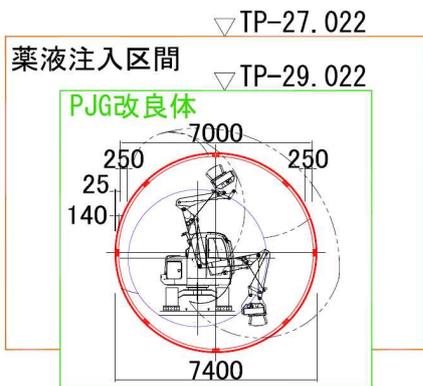


図-9 拡幅施工フロー

5. 施工状況

ブレーカによる掘削は改良体にクラックを生じさせる可能性があったため、改良体に先行削孔(φ42mm)を行いツインヘッドで掘削した。掘削中は粉塵が飛散するため、の集塵機で常時換気しながら実施した。写真-3にツインヘッドによる掘削状況を示す。



写真-3 ツインヘッド掘削状況

また、施工中に異常出水が発生した場合、トンネルが崩落水没する可能性が有り、周辺の地下施設に大きな影響

を及ぼすことになる。特に近接する地下鉄御堂筋線は1日に120万人以上が利用する大阪市内の重要な路線となっており、鉄道管理者から出水事故に対する懸念があったため、掘削中の出水に対する緊急時の対応計画を作成し異常出水が発生した場合に備え、高い水圧(0.37Mpa)に耐えられる鋼製止水鉄扉を拡幅部分の前後に設置することとした。掘削中は湧水量を常時計測し100L/minを超える異常出水時は掘削機械を存置したまま、配管やケーブルを撤去して待避、閉鎖するなど手順を策定した。

計測項目	限界管理値	予想変位量	計測結果		
			施工前	施工1ヶ月後	変位量
地盤鉛直変位 (地下鉄下端部)	±5.23mm	-5.23mm	-2.3mm	-1.9mm	+0.4mm
地盤鉛直変位 (GL-23.5m)	—	—	-1.8mm	-1.6mm	+0.2mm
地下鉄躯体 (鉛直変位-7)	±5.10mm	-1.94mm	+0.60mm	+0.35mm	-0.25mm
地下鉄躯体 (水平変位-7)	±7.00mm	-2.55mm	-0.88mm	-1.06mm	-0.18mm

※水平変位は、地下鉄側を(+)、分岐立坑側を(-)としている。

表-1 地盤変位計測結果

6. 周辺地盤、近接する地下鉄御堂筋線への影響

御堂筋共同溝に平行して営業している大阪市営地下鉄御堂筋線との距離はWB1立坑拡幅箇所と駅躯体間で約28mとなっている。施工にあたり鉄道管理者との協議した結果、近接施工の影響の把握が必要となったため、図-10の様に鉛直変位を層別沈下計(4箇所)で計測し水平変位を多段式傾斜計(13箇所)により計測する事とした。地下鉄躯体変位についても鉛直水平変位計(16箇所@5m)で計測管理を実施した。掘削中の計測結果について、表-1に地盤の計測結果を示すが地盤鉛直変位は地下鉄下端部で「+0.4mm」と上昇し、地下鉄躯体(鉛直変位)は「-0.25mm」の沈下傾向、地下鉄躯体(水平変位)は「-0.18mm」変位が見られた。いずれも施工前の事前計測で得られている地下水位の変動等による経時変化程度であり、施工の影響はほとんど無かったといえる。

7. 今後の課題

今回、拡幅施工において掘削機械はトンネル断面で規格を設定したが、ベースマシンが小さな機種(0.25m³級)となったため、掘削に時間を要した。今後、本工法を採用する場合は掘削する箇所の土質の調査し土質の硬さに合わせた工法の選定を行い、掘削機械の能力から日当たり施工量を把握して必要な施工期間に十分留意する必要がある。また、地下約38mの地下水が大量にある箇所の作業は異常出水などがリスクとなるため、湧水量のモニタリング、改良体の健全度の確認や止水を目的とした薬液注入などの補助工法の検討、掘削中の周辺地盤や近接構造物の変動監視など安全対策を万全に行う必要がある。

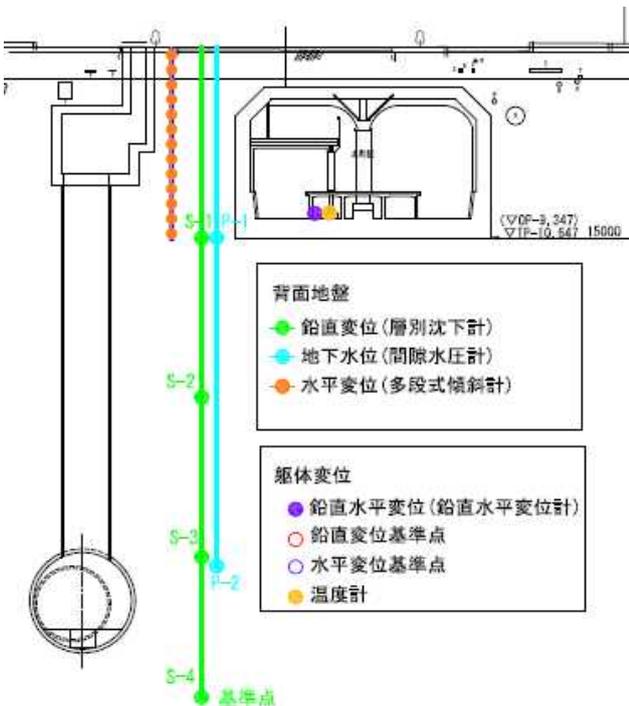


図-10 計測機器配置図

8. まとめ

今回の施工において異常出水を懸念していたが、ほとんど出水もなく地山も安定し周辺地盤や近接構造物の変動も大きな値は計測されずに工事を無事に終えることができた。これも工事担当者の十分な計画と細心の注意を払った施工の賜であると思っている。本工法は小断面のトンネルの偏芯拡大や都市部の交通量が多い地上からの掘削作業が難しい現場で使用に適している。地下構造物の施工方法は必要性和工夫によって進化を続けている。新工法・新技術には安全の担保が必要であるが、コストをどこまで許容するかが難しいところである。トンネル内での事故は閉鎖空間という特性上、重大事故に直結するため、施工しやすさや経済性を追求して安全を軽視することなく進めていくべきだと考えている。

謝辞：論文作成にあたり多くの工事関係者のご協力を賜りましたことについて、厚く御礼申し上げます。