

シールド工事で創造する 浸水対策・合流式下水道の改善と 魅力溢れる地下空間



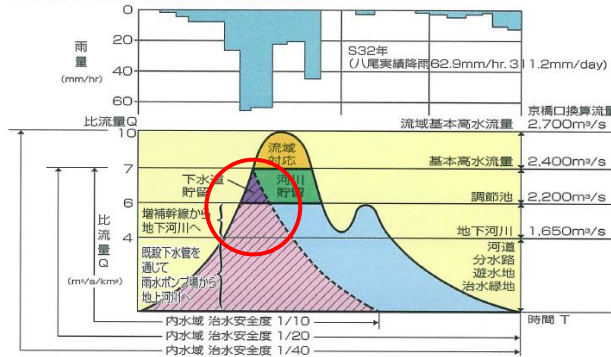
大阪府東部流域下水道事務所
大成建設・村本建設・中林建設共同企業体

1. 目的

浸水対策(下水道増補幹線)

○寝屋川総合治水計画にもとづき、下水道では10年に1度の降雨に対応すべく既設幹線を補完する下水道増補幹線(2本目の流域下水道幹線)の整備を実施。

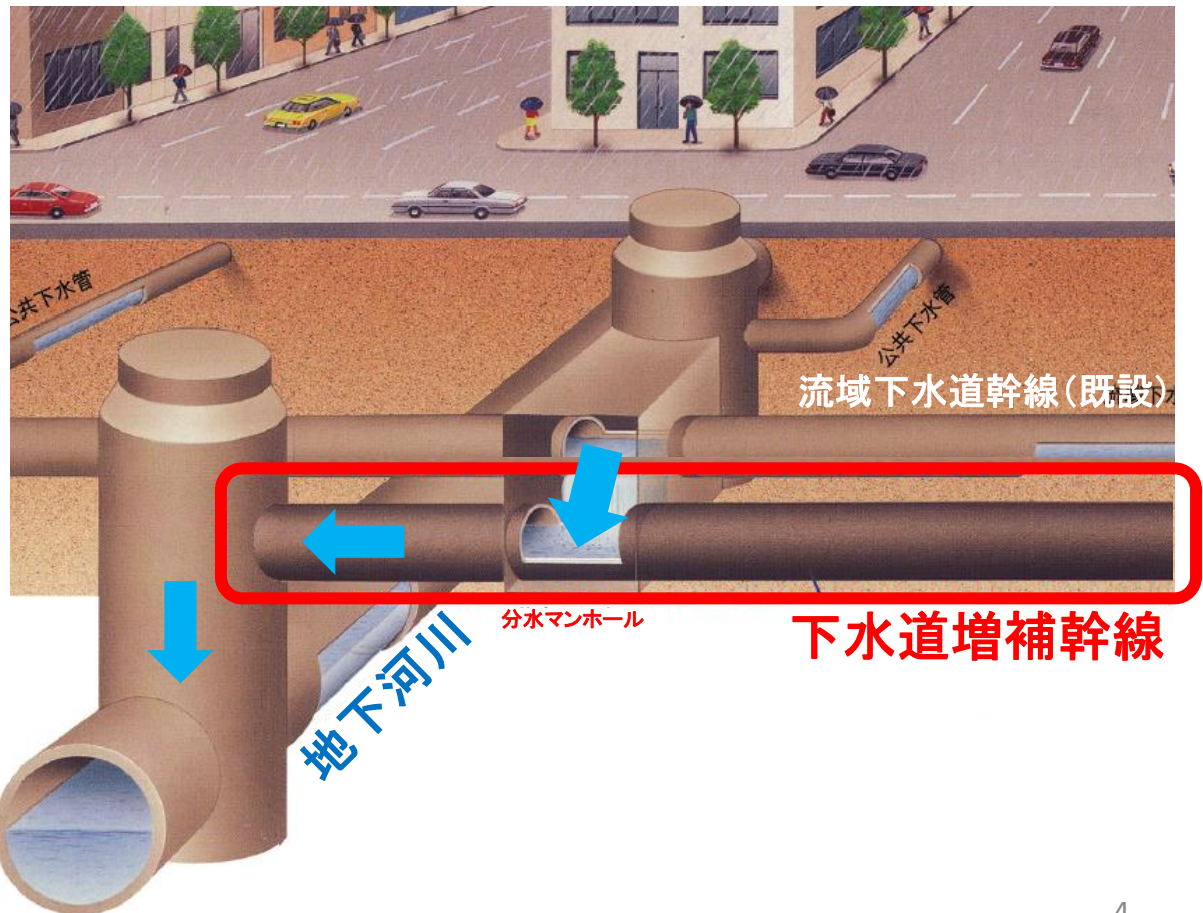
■計画対象降雨及び施設分担



	当初計画	レベルアップ計画
計画対象降雨	5年に1度の降雨 (5年確率) 45.1mm/hr	10年に1度の降雨 (10年確率) 54.4mm/hr
流出係数※	0.21~0.33	0.44~0.66

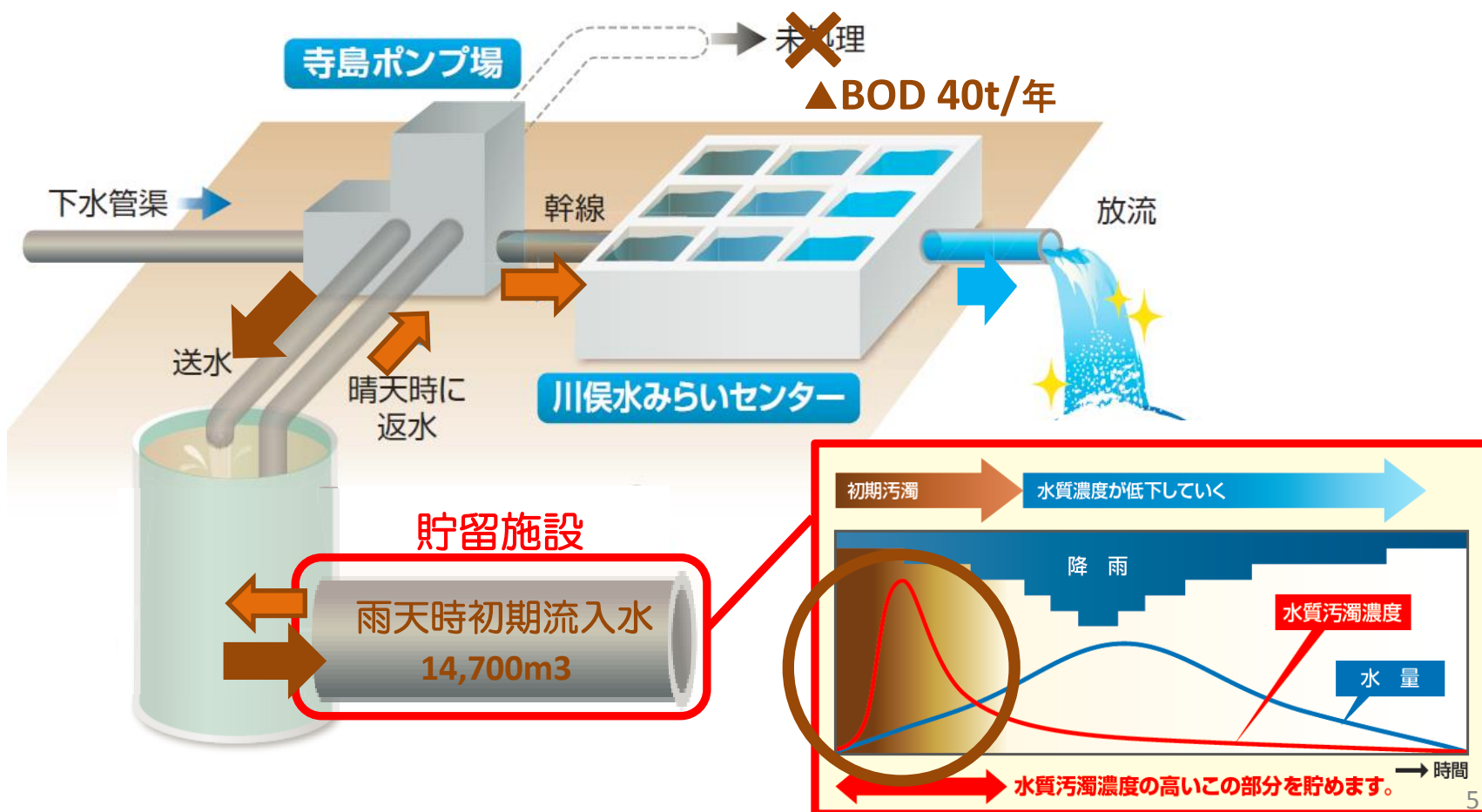
※流出係数は、降った雨のうち、浸透により消失する量を除いた、直接下水管に流入する水量の比率のことをいいます。

※流出係数の増加により当初計画の5年確率は、レベルアップ計画における約3年確率に相当します。



合流式下水道の改善（貯留施設）

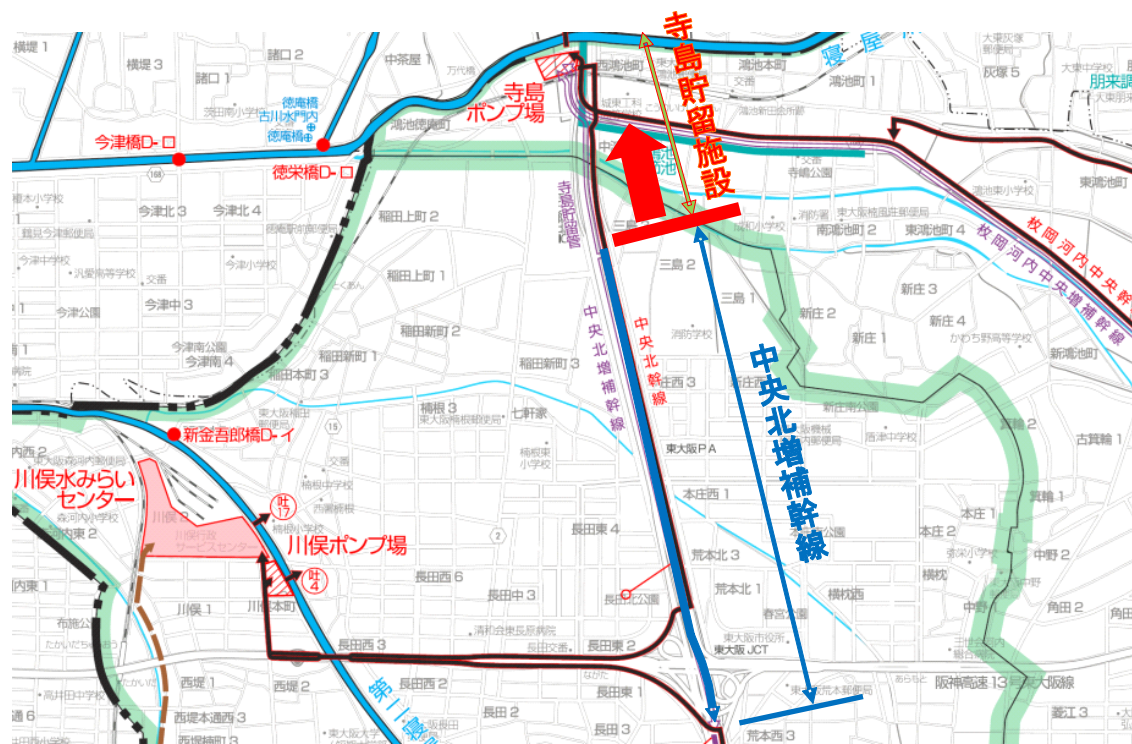
- 放流汚濁負荷削減のため、雨天時に水質の悪い初期流入水を貯める貯留施設の整備を実施。
- 貯留した水は晴天日に下水処理場へ送水し高級処理を行う。



増補幹線と合流改善施設の一括施工

- 寝屋川南部地下河川関連の流域下水道増補幹線は、一部供用開始しており、中央北増補幹線はその継続事業として整備延伸計画を進めていた。
- 寺島集水区の合流式下水道の改善の計画のタイミングとちょうど重なった。

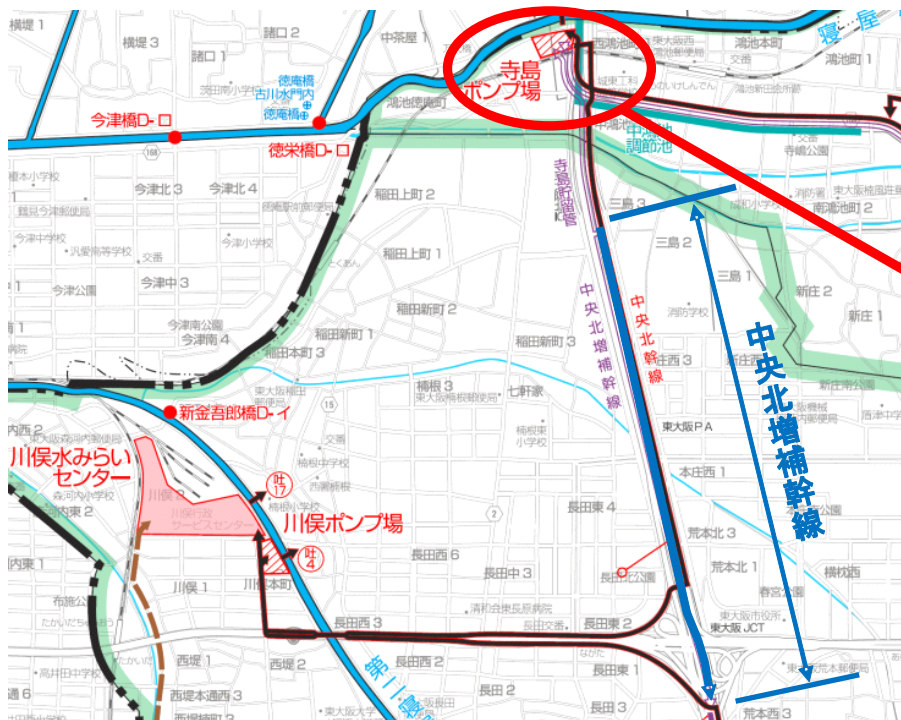
⇒この2つの事業の施設を中央北増補幹線の延伸施工による1本のシールド工事で同時に構築を行う。



2. 概要

設計経過

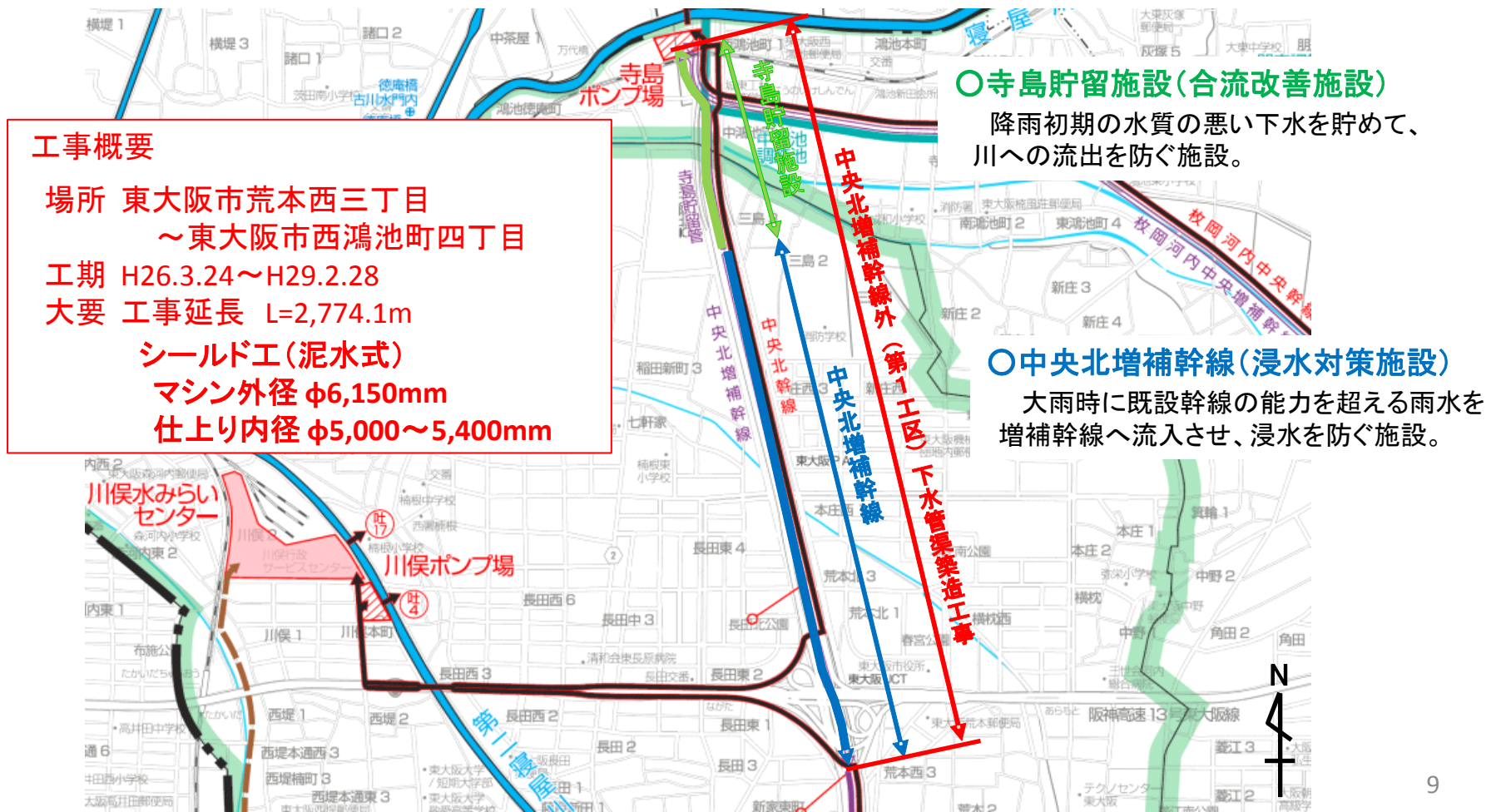
- 中央北増補幹線は主要地方道大阪中央環状線の路線下に、計画雨水貯留量約43,000m³を確保するため、仕上り内径φ5,400mm 管渠延長約2.05kmのシールドトンネルを構築する設計
- 川俣処理区寺島集水区では合流式下水道の改善として、降雨時の初期流入水を約14,700m³貯留する計画であったが、当該の寺島ポンプ場用地内には新たな貯留施設を設けるスペースがなく、ポンプ場の近隣にもシールド工事基地等の確保に適当な用地もなかった。



寺島ポンプ場の状況

シールド工事による一括施工

○従来は別個に建設計画される2つの施設を中央北増補幹線の延伸施工による1本のシールド工事と同時に構築する設計計画に改めた。



非常に難易度の高い平面線形

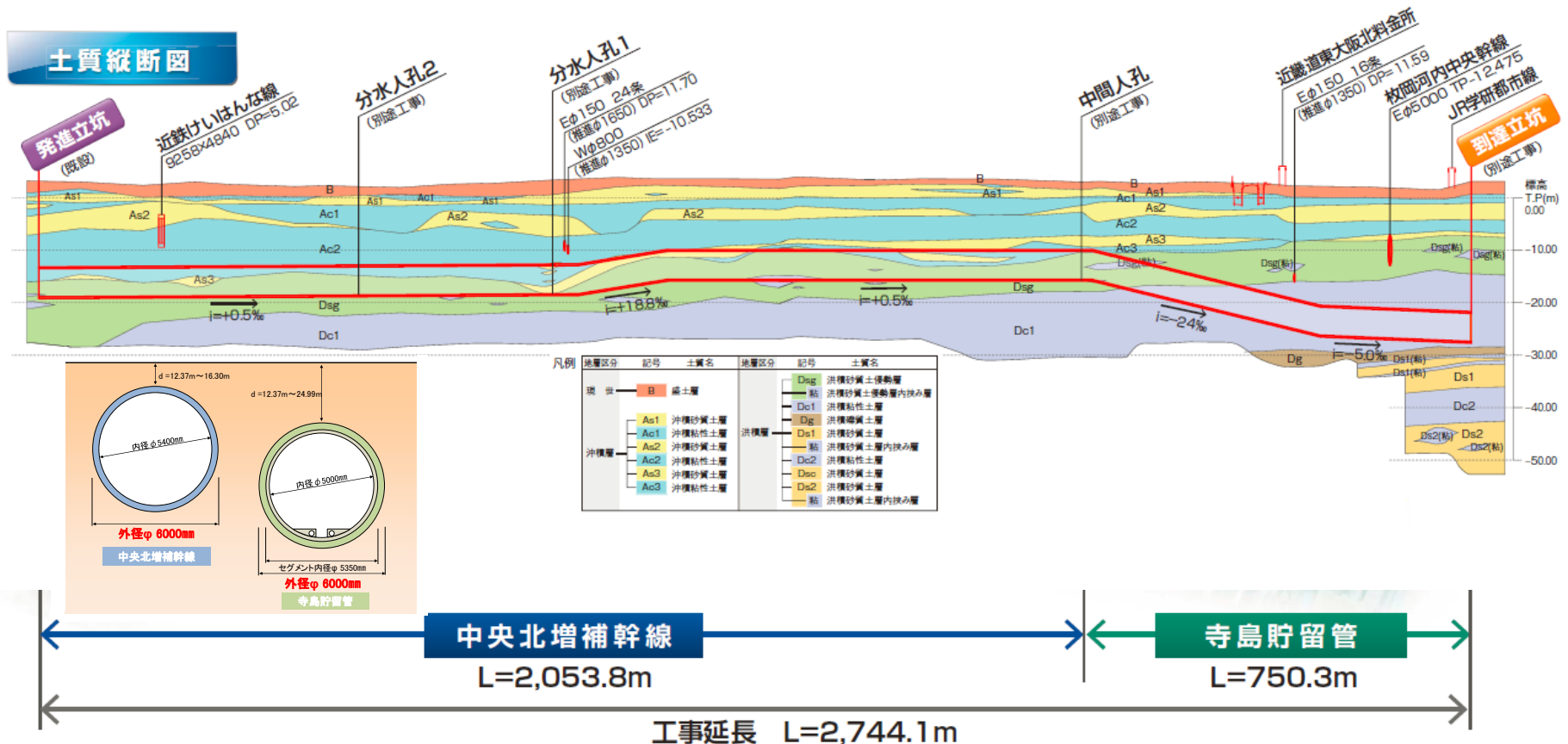
- 掘削外径 $\phi 6.15\text{m}$ 施工延長約 2.77km の主要構造物が多く存在する区間における大断面かつ大規模なシールド工事となった。
- 近鉄けいはんな線との約 3.7m の離隔交差や林立する阪神高速東大阪線、近畿自動車道吹田天理線及びJR学研都市線の橋脚基礎の沈下対策、急曲線施工 ($R=30\text{m} \cdot 3$ 箇所)、狭小な立坑への到達作業等、大断面に起因する困難な施工条件となった。



大きく変化する土質

○さらに、土被り約25.0～12.4mの前半は軟弱な沖積粘土層、地下水の豊富な砂礫土層、後半からは洪積粘土層と大きく変化する土層となった。

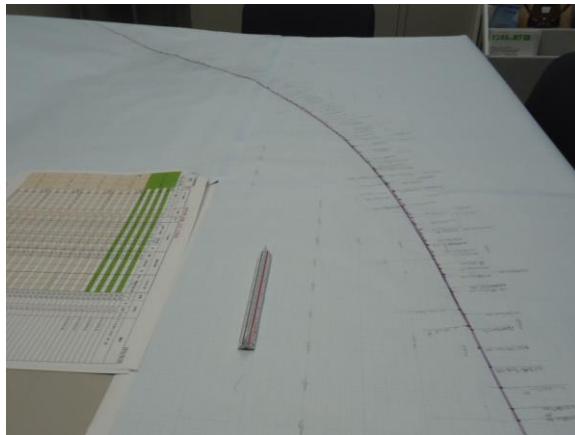
⇒多岐にわたる技術力を駆使して克服



魅力溢れる地下空間

- 若手技術者に向けたシールド掘進管理の見える化
- 様々な形での現場見学会の実施
- 熱心な作業員意識とプロカメラマン招へいによる現場撮影との相まった『美観にこだわる作業環境づくり』を実現

⇒魅力溢れる地下空間が創り上げられた。



掘進管理の見える化



200名規模となった小学生への
土木アピール見学会



プロカメラマンによる現場撮影

3. 技術の概要

(1) 新しい技術【独創性・独自性】

- 雨水貯留管と合流式下水道施設の
一体化施工

一体化施工について

- 先に、主要地方道大阪中央環状線路線下に設計計画していた中央北増補幹線はセグメント外径 $\phi 6,000\text{mm}$ (仕上り内径 $\phi 5,400\text{mm}$)、管渠延長2.05kmの雨水貯留量43,000 m^3 で計画。
- このシールドの延伸施工により、合流式下水道の改善のための雨水貯留量14,700 m^3 の確保の可否について検討を行い、それらを確認。

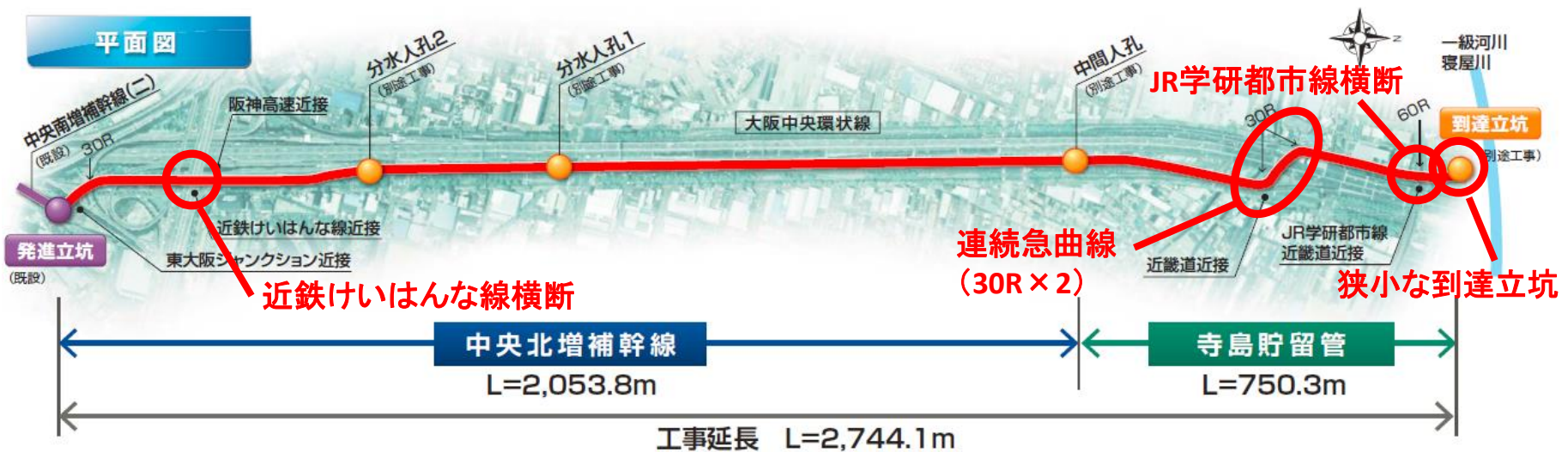
⇒従来は別個に建設計画されていた2つの雨天時対策施設を施設構造における設計上の配慮により一括施工の課題解決を図った。



シールド管渠における平面線形の確保

○路線下には、河川の調節池をはじめ複数の地下埋設物の他に、近畿自動車道やJR学研都市線の橋脚基礎が林立し、水路の矢板護岸も存在する上に、大阪モノレールの延伸計画もあった。

⇒これら条件に対し曲線半径R=30mのS字状の急曲線等により平面線形を設定できた。



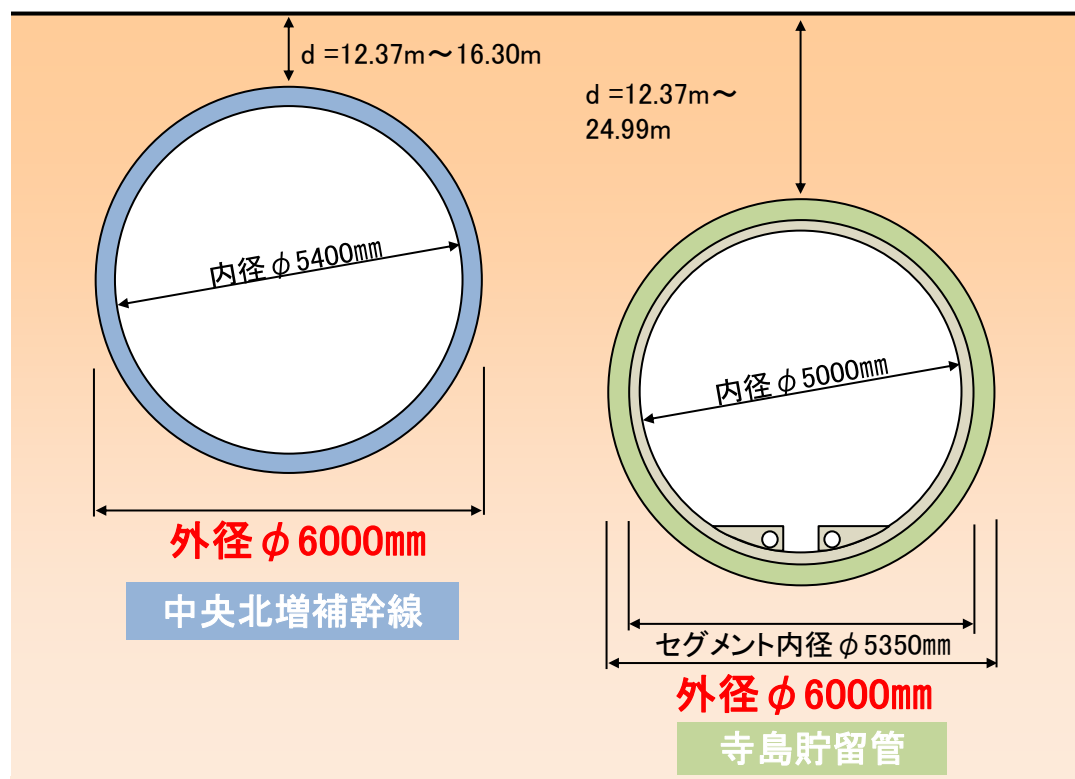
⇒離隔を本シールド外径の1D以上確保させての下り勾配(24%)を設定した。

これらは自然流下の下水管渠の性質上、まさに“抜けられるのはこの一点だけ”という位置を通過させる“1本のシールドによる設計計画”が実現した。



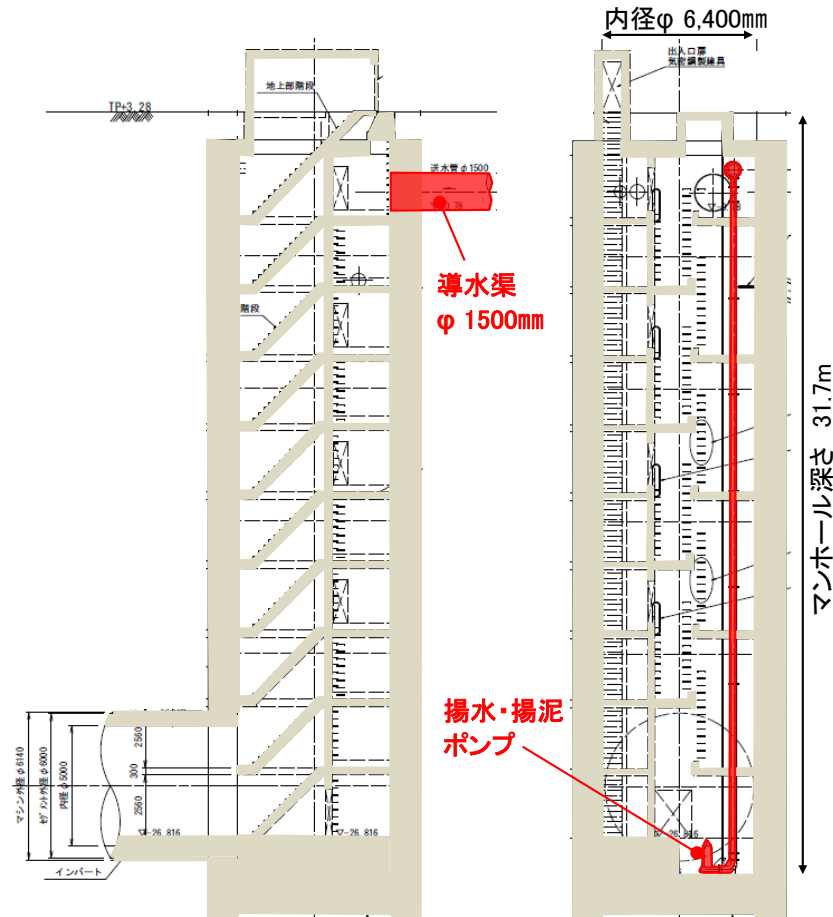
シールド管渠における容量の確保

- 中央北増補幹線のセグメント外径は $\phi 6,000\text{mm}$ であるので、このセグメント外径を固定して、セグメント内径に降雨時初期汚濁水の貯留の影響を考慮し、覆工コンクリート(厚さ 175mm)を確保して仕上り内径を $5,000\text{mm}$ とすることで、計画貯留容量を満足することができた。
- また、寺島貯留管内には、堆積物を洗浄するための送水管PE $\phi 350 \times 2$ 条を設けることとした。



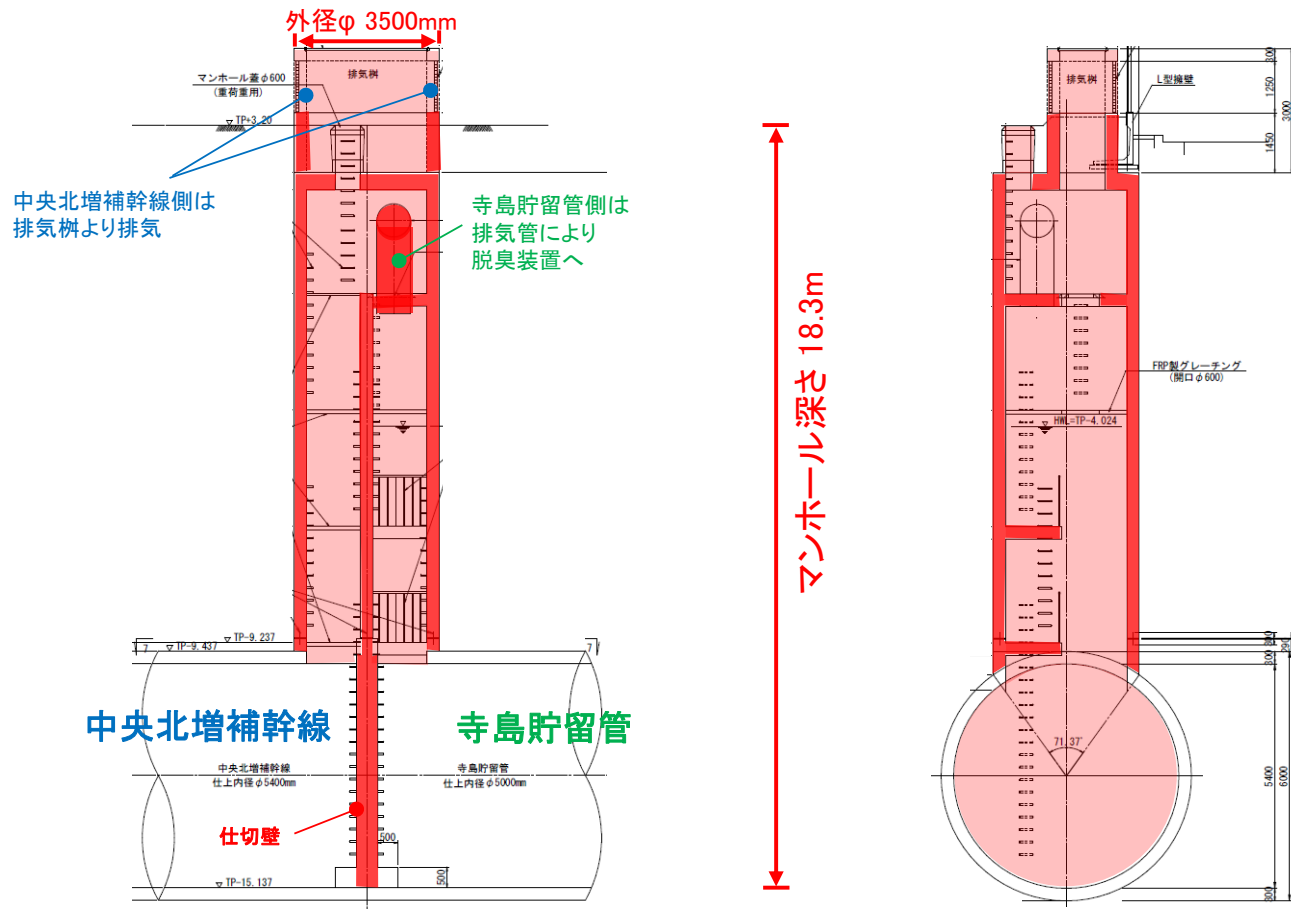
ポンプ施設と貯留施設の連絡構造

- ポンプ場と貯留施設マンホールとは導水渠 $\phi 1,500\text{mm}$ で連絡させることで一体化させることが可能となった。
- ただし、貯留施設が地表面より深さ約30mとなるため、揚水・揚泥ポンプを配置した。



施設を分割する管理用特殊マンホール

- 当初計画で中央北増補幹線の到達立坑を予定していた箇所に中間特殊マンホールを設置して2つの施設を分離させることとした。
- 構造的には、マンホールの中央で折半して分離するための仕切り壁を設けるとともに空気弁機能の排気設備を設けることとした。



コスト縮減効果

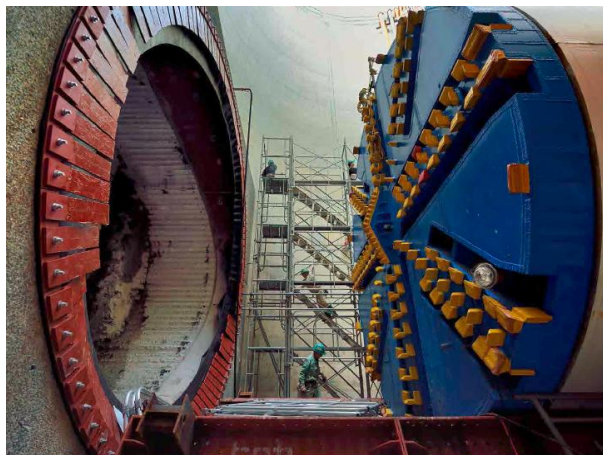
○雨水貯留施設単体とした場合のシールド発進立坑及び掘進機・設備の1工事分の省略により約14億円の縮減効果となった。

①シールド掘進機本体及び設備の一括化 600百万円

②一括化施工に伴う立坑の省略
(マンホール構築を含む) 800百万円

合 計

1,400百万円の縮減効果



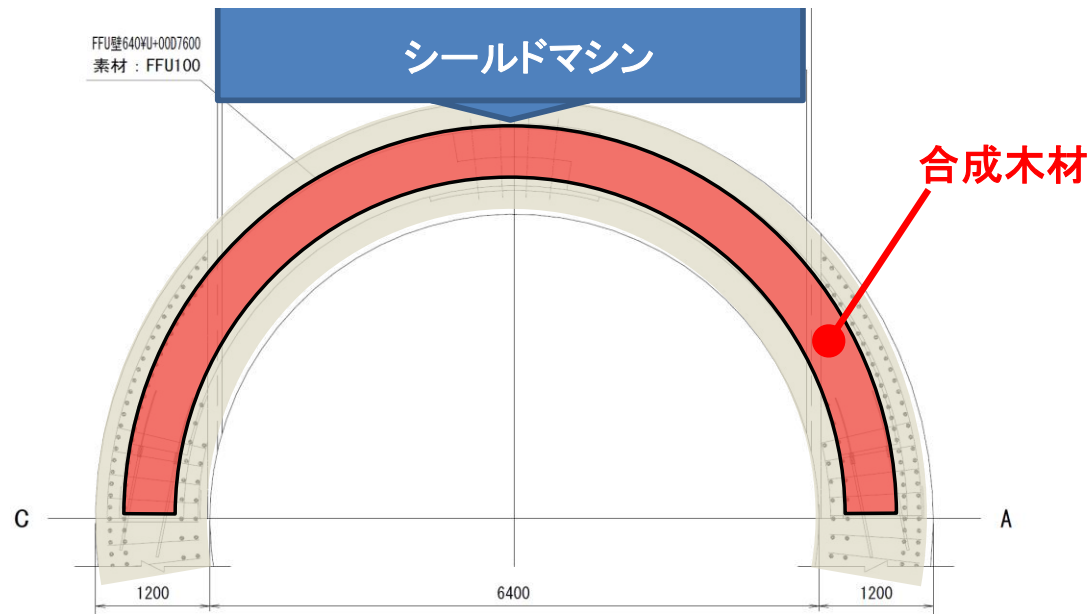
3. 技術の概要

(2) 使える技術【発展性・応用性】

- 狭小な円形ケーソン立坑（内径φ6.4m）への円滑なシールド到達と開口補強におけるFFU部材の適用

円滑なシールド到達

- 立坑深さ約32mで大深度の土被り約25mの狭隘な作業ヤード中での施工。
 - 到達までに掘進機は既に約2.77kmの掘進を経てカッタビットの損耗も著しく、直接切削にあたり大きなトルク力の発揮が困難。
 - シールド掘削外径 $\phi 6.15\text{m}$ に対し到達立坑の内径は $\phi 6.4\text{m}$ であることから、ケーソン躯体の断面欠損が大きくなる。
- ⇒ 全国初の試みとしてFFU部材(合成木材)の円弧加工材を現場で接合一体成型するものをケーソン躯体における掘進機が直接切削する部分に採用。



シールド到達作業のイメージ

FFU部材の構造

- 今回使用したFFU部材は最大長さ10mに及び、工場での製作と車両運搬の制限から単体1本ものが適用できないことから、工場製作では2本の分割加工とし、現場で接合成型して一体化させた。
- これまで円弧部材での接合事例はなかったものの、狭い現場ヤード及び立坑寸法の条件克服のために採用に至った。ケーソン躯体7ロットのうち、2～3ロット目の11段に配置した。



FFU部材(合成木材)(SEW工法)



FFU加工部材設置状況(SEW工法)

3. 技術の概要

(2) 使える技術【発展性・応用性】

- 建設発生土における
環境負荷の低減とコスト縮減

一次処理土について

○建設発生土の処分、当初一次処理土約54,800m³は運搬距離約46kmの阪南2区埋め立て事業としていた。

⇒より現場に近い公共工事(都市再編事業等)への流用促進と官民マッチング試行制度の活用により、運搬距離が32kmの短縮となりダンプトラックからの排出ガス量を大幅に削減させた。



有効利用先	流用土量 (m ³)	運搬距離 (km)
寝屋川市 土地造成事業	9,700	20
寝屋川市 再編整備事業	20,000	20
大阪府 都市公園事業	20,000	6
民間ビル解体事業 (大阪市)	5,100	13
合計	54,800	平均14

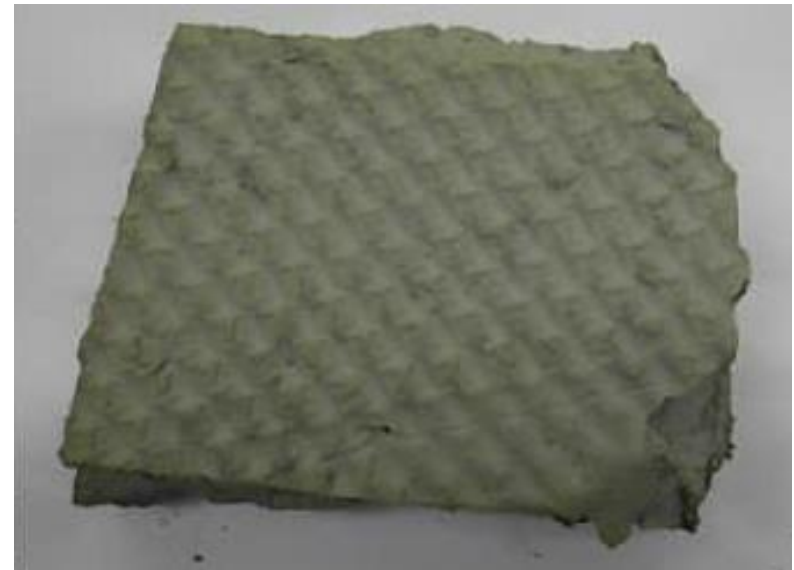
二次処理土について

○当初、二次処理土約36,500m³は運搬距離約7kmの民間処分場への処分としていた。

⇒二次処理土の発生量抑制のため、高圧型脱水プレスを採用し、含水率を40%→33%に改善し減量化させた。



高圧型脱水プレス装置



二次処理土

⇒一次・二次処理土を合せ、コスト縮減効果は約4億円

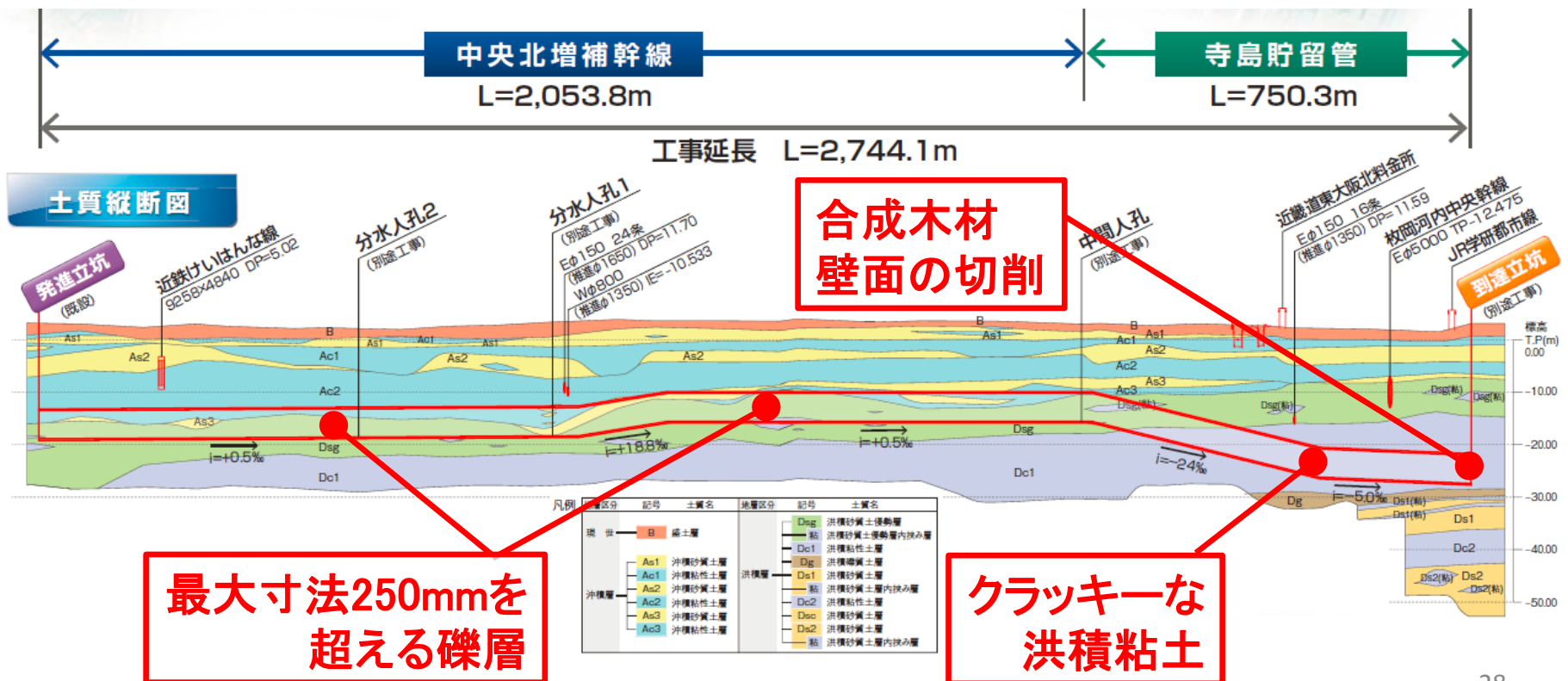
3. 技術の概要

(3) 成し遂げた技術【努力度・困難の克服度】

- さまざまな掘進断面に対応する
シールドマシンのカッタフェイスの工夫

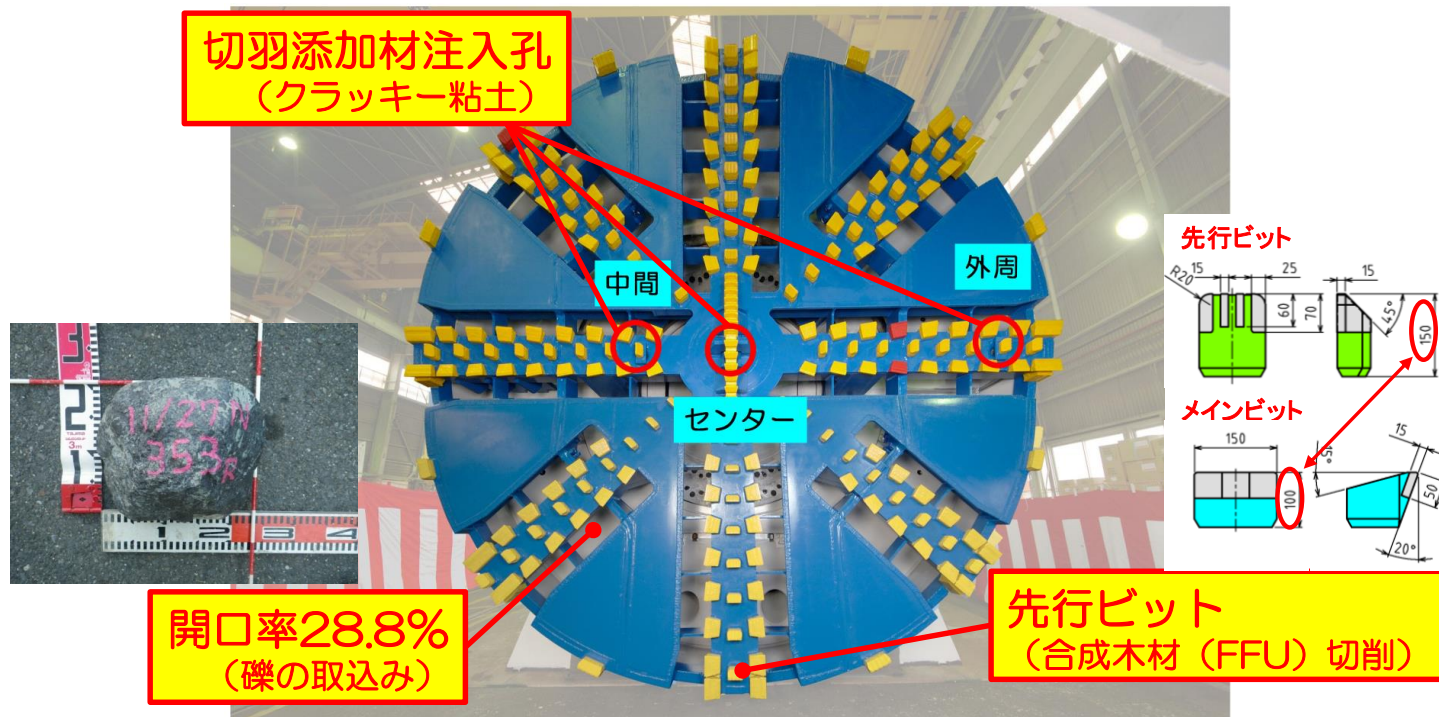
本シールドの対象土質

- 発進から約2.1kmまでは下半分には最大寸法250mmを超える礫が存在する礫層、その上部にはN値0の沖積粘土層で構成
- 残りの到達立坑までの約0.7kmは全断面が洪積粘土層
- それら掘進を終えた後に到達立坑のFFU壁面を切削する必要。



シールドマシン カッターフェイスの工夫

- 開口率は一般に10～30%であるが、礫の取込みにあわせて 28.8%に設定。
- 今回開口率では、洪積粘土層がクラッキーな性質のため土塊としてチャンバ内に取り込まれ、排泥管の閉塞につながるため、掘進機のセンターシャフト部やカッタスポークに泥土圧式シールドで使用する加泥注入孔を設け、分散剤等の添加剤を切羽に直接注入する構造。
- 到達の壁面の直接切削に備え、先行ビットを配置し、FFU部材の繊維切断機能を付加。



シールドマシンの到達状況

○これら対策により、全線にわたって礫の取り込みや粘性土土塊の閉塞もなく、円滑な到達作業を実現させた。



3. 技術の概要

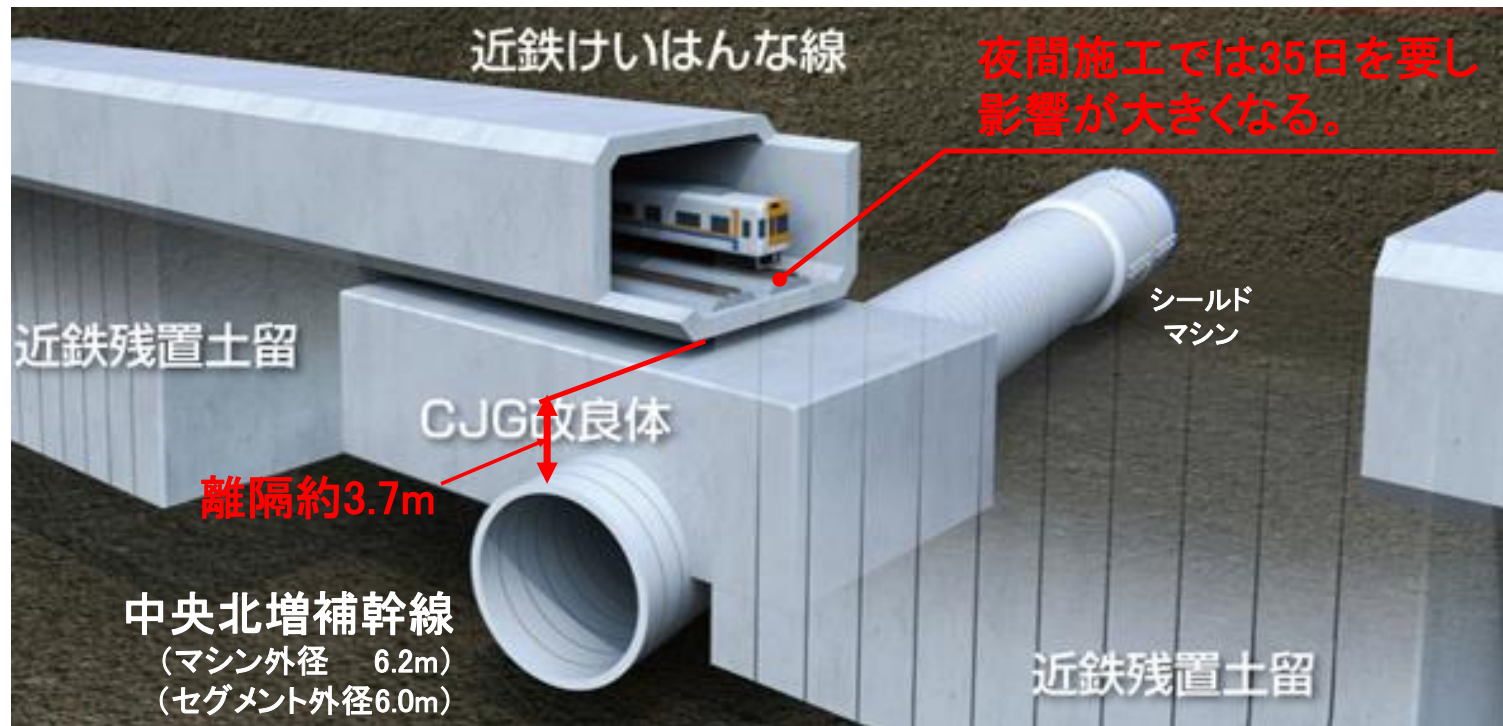
(3) 成し遂げた技術【努力度・困難の克服度】

■ 近鉄けいはんな線、近畿自動車道との近接施工

綿密なトライアル施工と
若手技術者に向けた掘進管理の見える化

近鉄けいはんな線横断(現場状況)

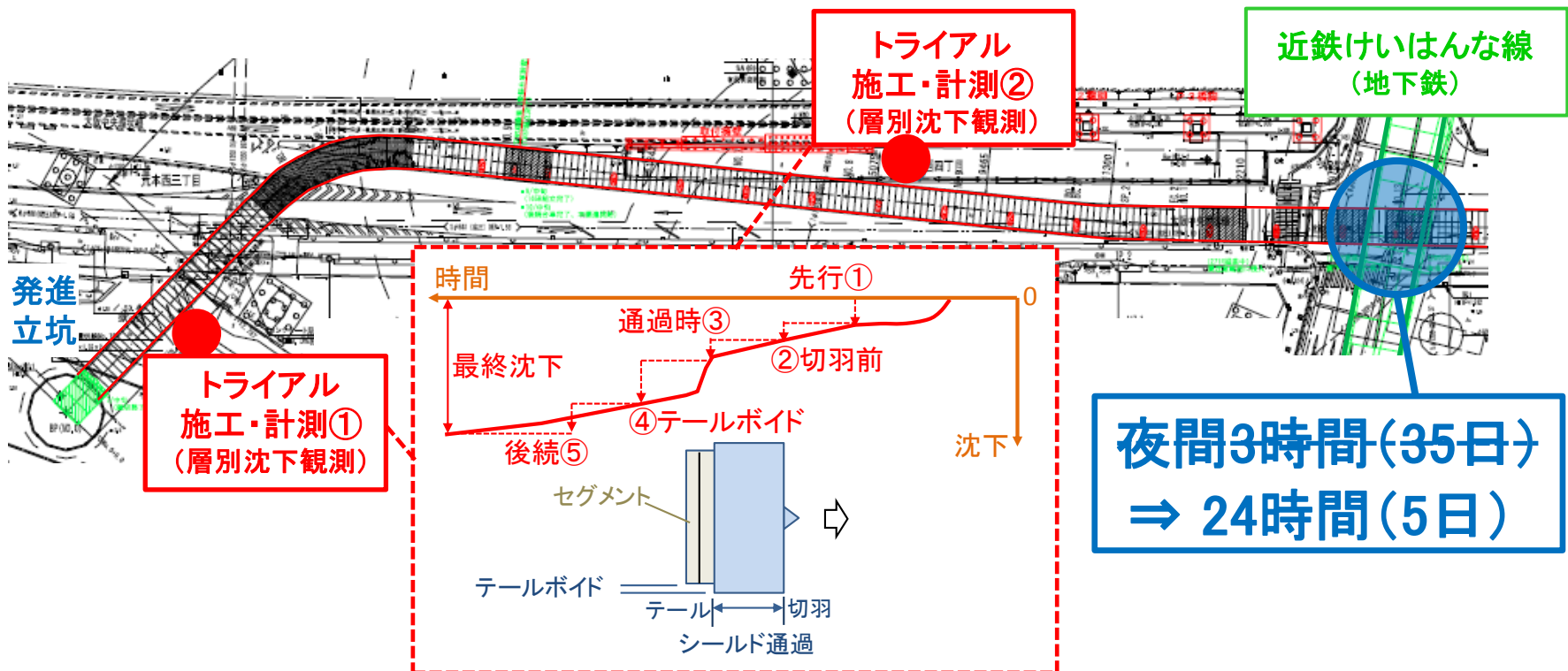
- 横断施工での影響区間(L=62m)の施工条件として、当初、夜間の線路閉鎖時間帯作業の制限があった。
- 施工協議の中で線閉時間は深夜0:50～4:05の3時間15分のみで、影響区間の通過には約35日が見込まれた。
- 影響区間にマシンが長く滞在することが、構造物への影響をさらに大きくすることに繋がり、二次管理値(±4.9mm)を超えてしまうことが懸念された。



綿密なトライアル施工

○協議では『シールドの応力解放率30%で一次管理値($\pm 3.0\text{mm}$)の満足が条件』とされたが、FEM解析結果による想定沈下量は一次管理値を満足させることはできなかった。

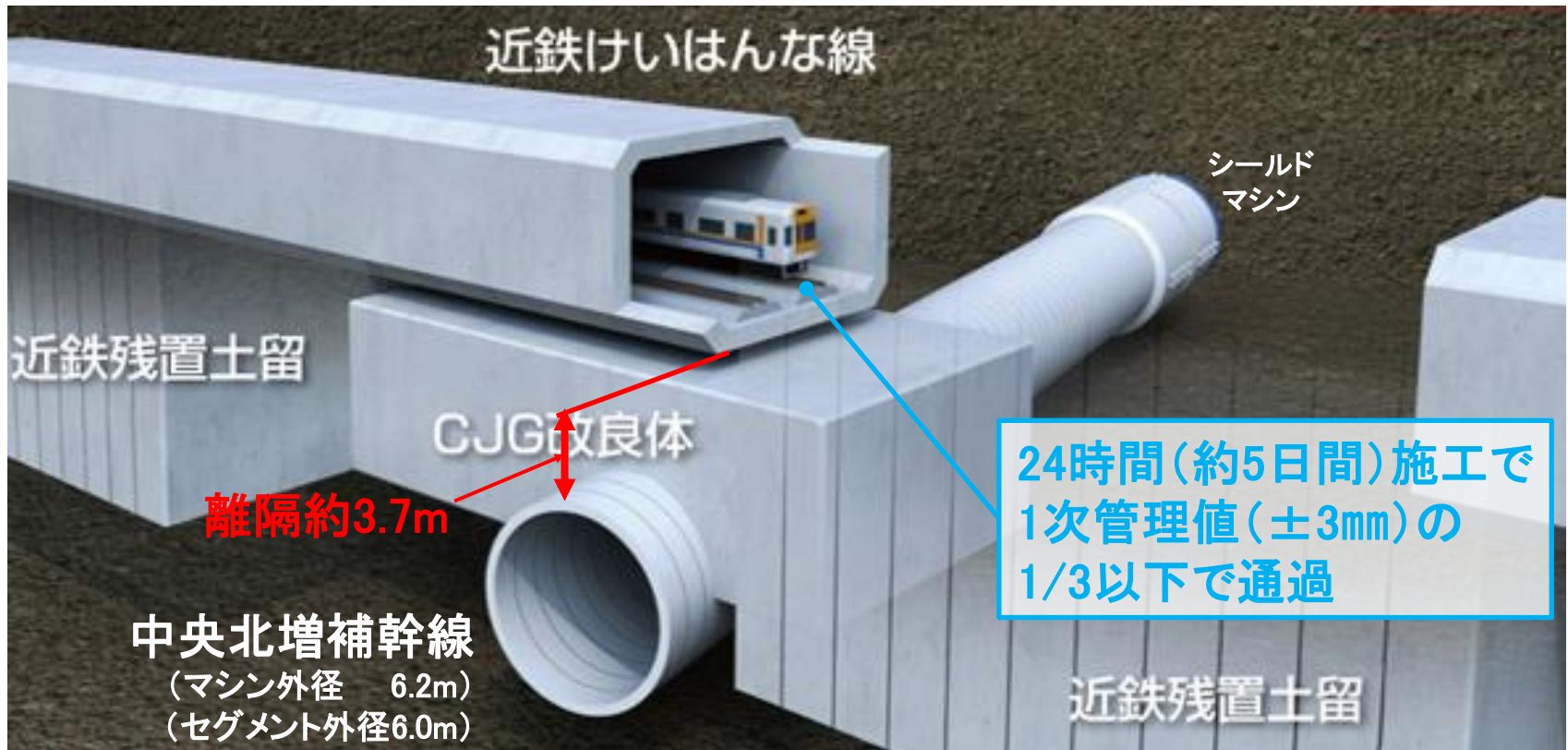
⇒トライアル施工において24時間連続施工とした送泥量、排泥量、切羽土水圧、裏込め注入量の設定で応力解放率10%程度の一次管理値を逆解析により確保できた。



近鉄けいはんな線横断(結果)

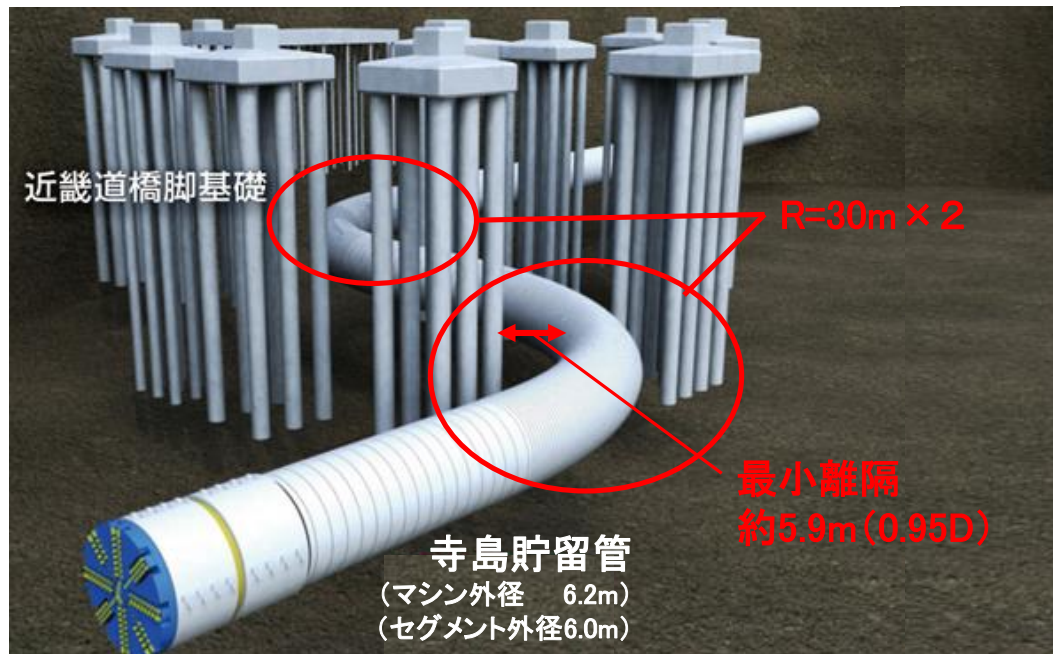
○約5日間(電車利用者の少ない3連休を中心)で影響範囲を通過完了
させるとともに一次管理値以下の変位量にとどめた。

- ・躯体 最大変位 -0.82mm $\Leftrightarrow$ 1次管理値 $\pm 3.0\text{mm}$
- ・軌道 最大変位 -0.84mm $\Leftrightarrow$ 1次管理値 $\pm 3.0\text{mm}$



近畿自動車道の横断など

- この後にも、林立する阪神高速東大阪線、近畿自動車道吹田天理線及びJR学研都市線の橋脚基礎を半径30mの急曲線でS字に縫うなどの線形での近接施工となった
- 送・排泥管の延長作業中も別途、切羽保持装置を設ける等の切羽水圧の保持にも努め、これらの構造物に対しても沈下量・傾斜量を一次管理値以下にとどめることに至った。



近畿自動車道橋脚基礎との近接施工

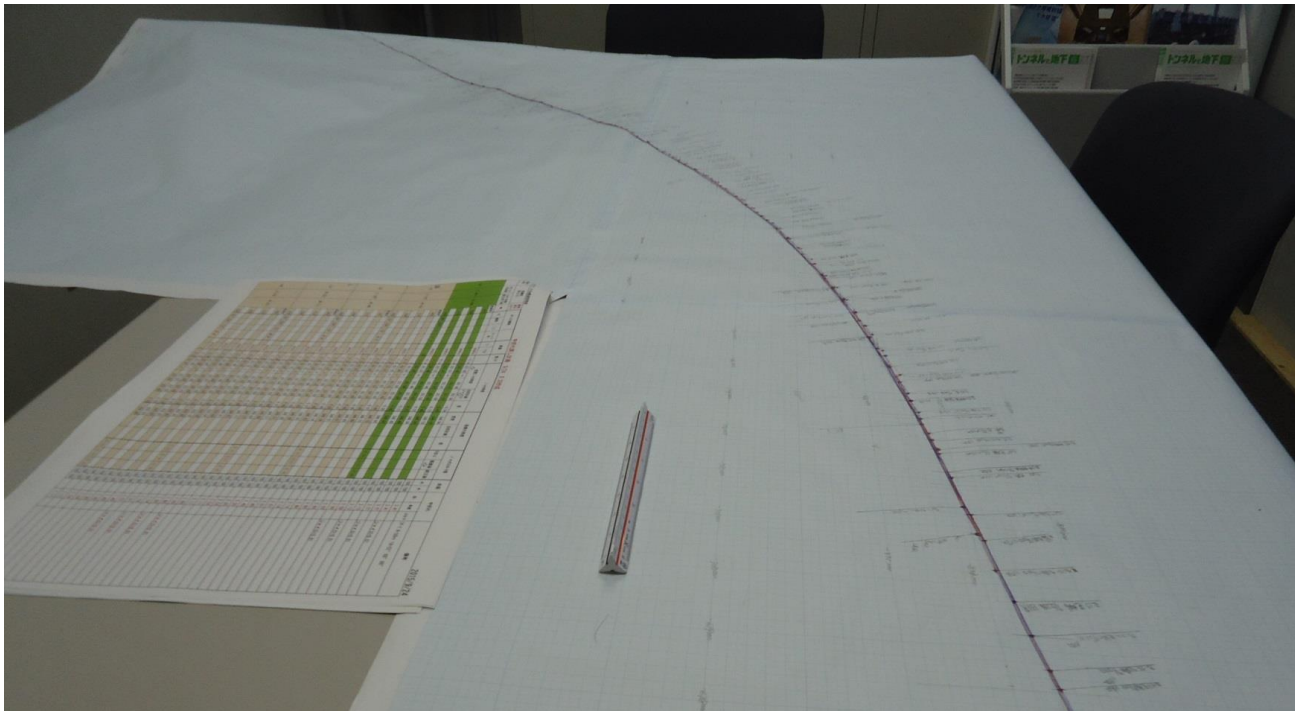
主な構造物の最大変位量

主な近接構造物	一次管理値	最大変位量
近鉄 けいはんな線	躯体 ± 3.0mm	-0.82mm
	軌道 ± 3.0mm	-0.84mm
近畿自動車道	± 4.5mm	-1.9mm
JR学研都市線	± 2.5mm	-2.3mm

掘進管理の見える化

○CADを用いてシールドの軌跡を記入する方法では担当者に任せきりになったり、線形が逸脱しても気づかない恐れがある。

⇒若手技術者の育成にも着目し、A1方眼紙に1/20の縮尺でシールドの軌跡を手書きで描き、皆で方眼紙を囲んでシールドの軌跡を直接確認(掘進管理の見える化)した。



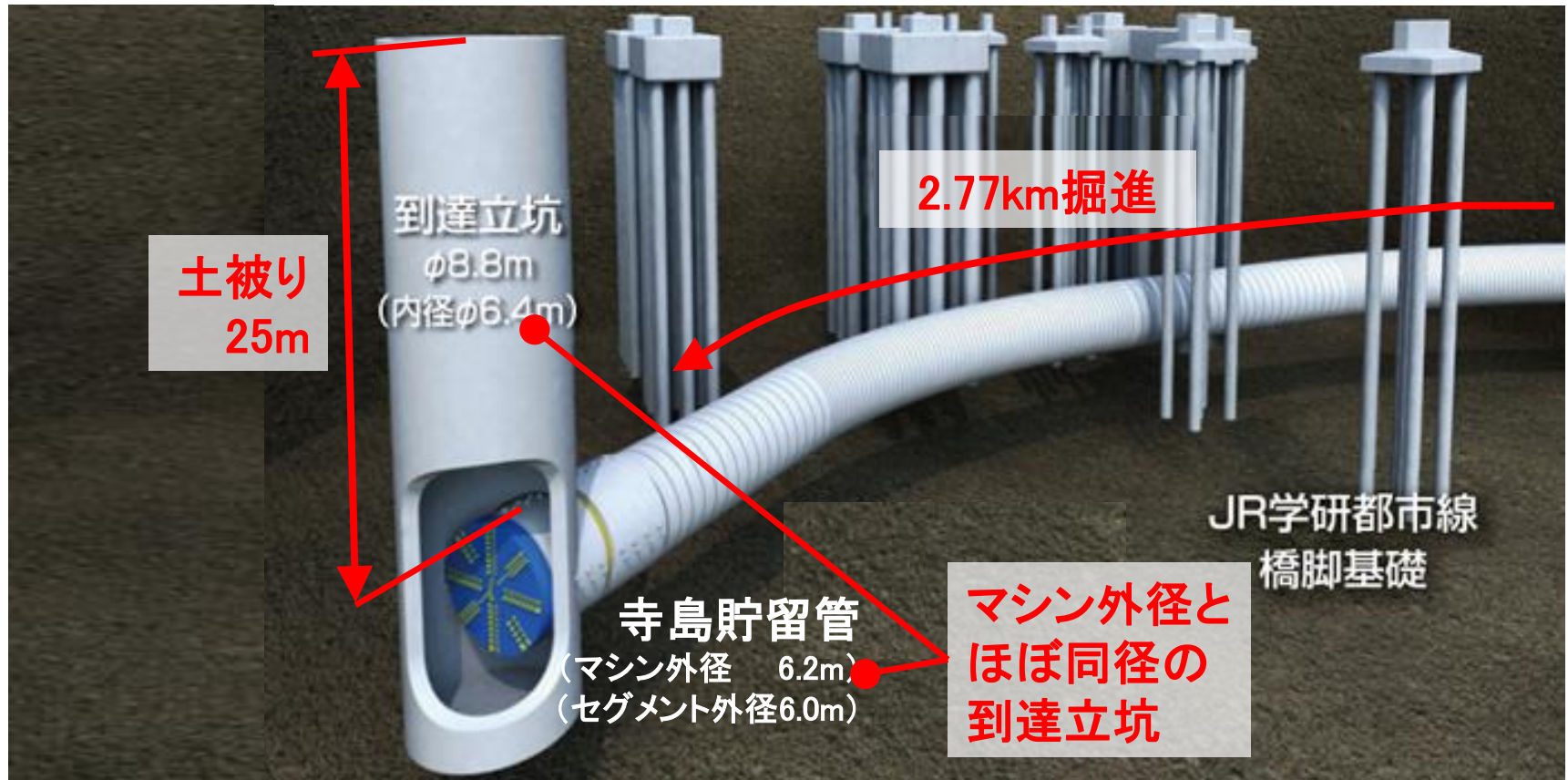
3. 技術の概要

(3) 成し遂げた技術【努力度・困難の克服度】

- 高精度を要する狭小な円形ケーソン立坑
（内径φ6.4m）へのシールド到達

ケーソン立坑へのシールド到達(現場状況)

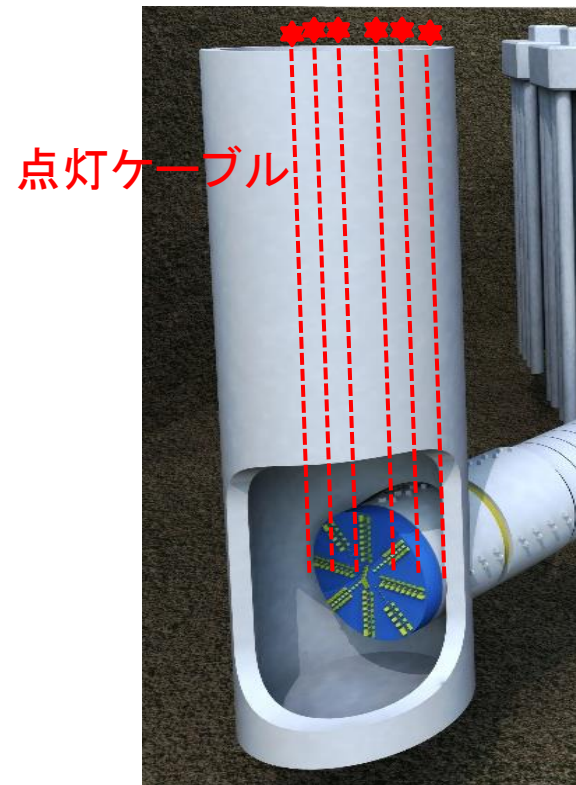
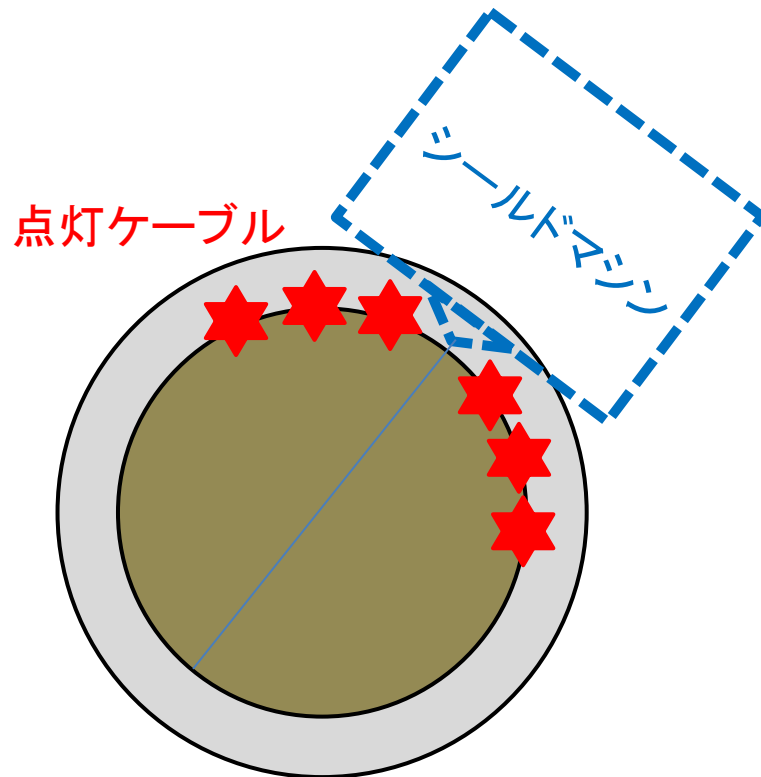
- ポンプ場用地の制約により、到達立坑は円形ケーソンφ6.4mで土被り約25.0mの位置にマシン外径φ6.15mがケーソン躯体を直接切削する方式となった。
- 到達作業は曲線施工(R=60m)を伴い、非常に難易度の高いものであった。



見えないシールドマシンの位置確認

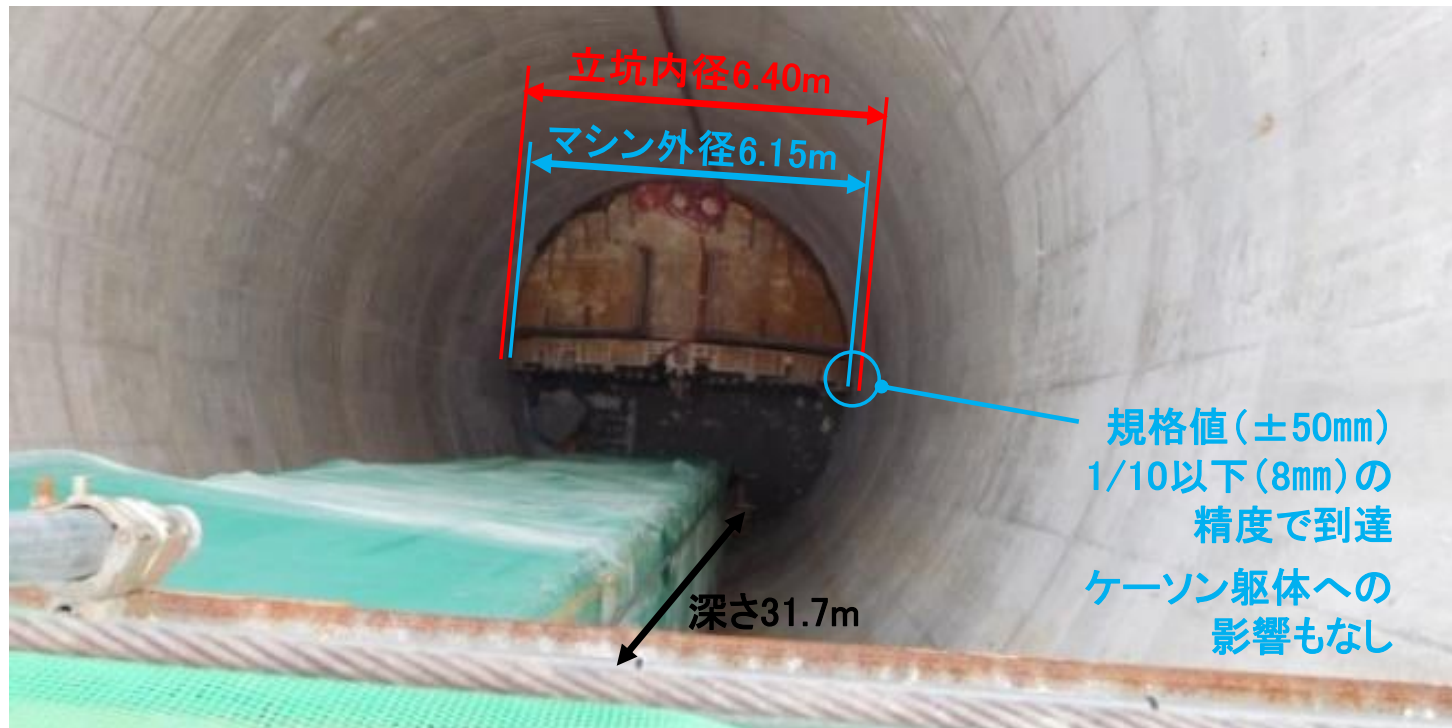
○到達にあたり、立坑内にモルタルを充てんしているため、モルタルを撤去するまでマシン位置を把握できない。

- ⇒
- ・点灯ケーブルを介して、シールド機的位置を間接的に確認。
 - ・通常の3倍の測量頻度にして綿密にマシン位置を把握。
 - ・シールド機の平均掘進速度は約5cm/時間とし、FFU部材を確実に切削。



ケーソン立坑へのシールド到達(結果)

- 切削開始から完了までに5日間を要したが、直接切削による躯体への損傷、漏水の発生、掘進機の故障トラブルは無かった。
- FFU部材切削にはカッタヘッドに装備した先行ビットの効用により良好な成果を得た。
- なお、到達部分の施工誤差は鉛直方向7 mm水平方向8mm



3. 技術の概要

(4) 喜ばれる技術

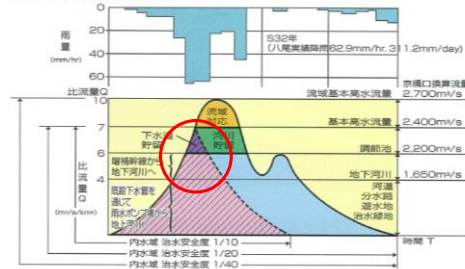
【地域への貢献度・地域への密着度】

- 広範囲にわたる治水安全度の向上と
河川への汚濁物質放流量の削減

広範囲にわたる治水安全度の向上

- 寝屋川流域は、有史以来の浸水多発地域であり「大雨災害に強いまちづくり」は地元住民の悲願であった。
- この中央北増補幹線を含め約4.2kmが平成31年度に本格的な供用を予定。
- この供用により東大阪市域の治水安全度が向上し、浸水被害の可能性は大きく低減され、今後地下河川と連携と流域におけるソフト面の対策が講じられた時点で治水安全度は40年に1度の降雨に対応できるものとなる。

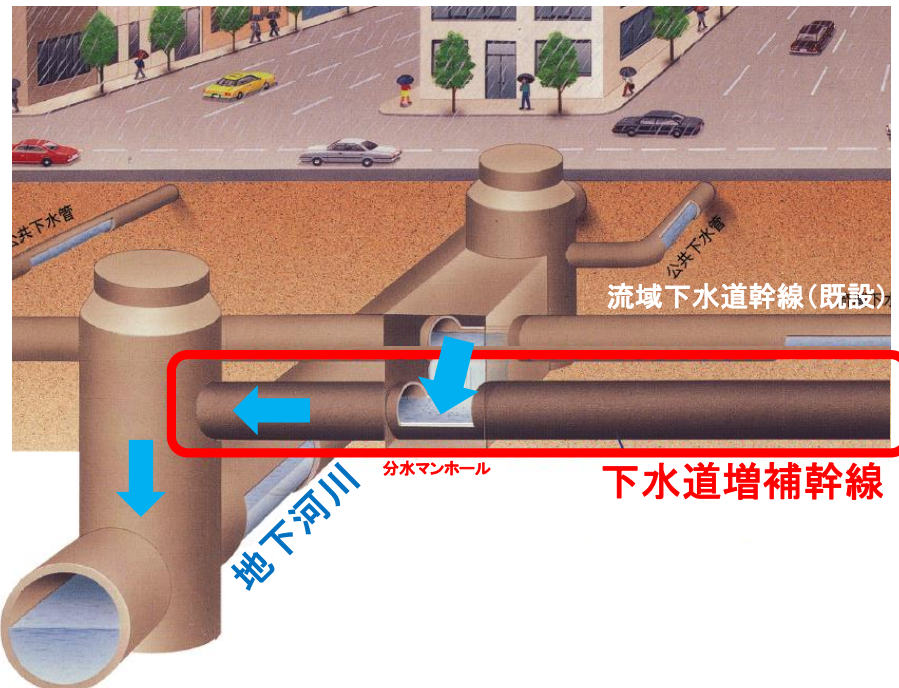
■計画対象降雨及び施設配分



	当初計画	レベルアップ計画
計画対象降雨	5年に1度の降雨 (5年確率) 45.1mm/hr	10年に1度の降雨 (10年確率) 54.4mm/hr
流出係数※	0.21~0.33	0.44~0.66

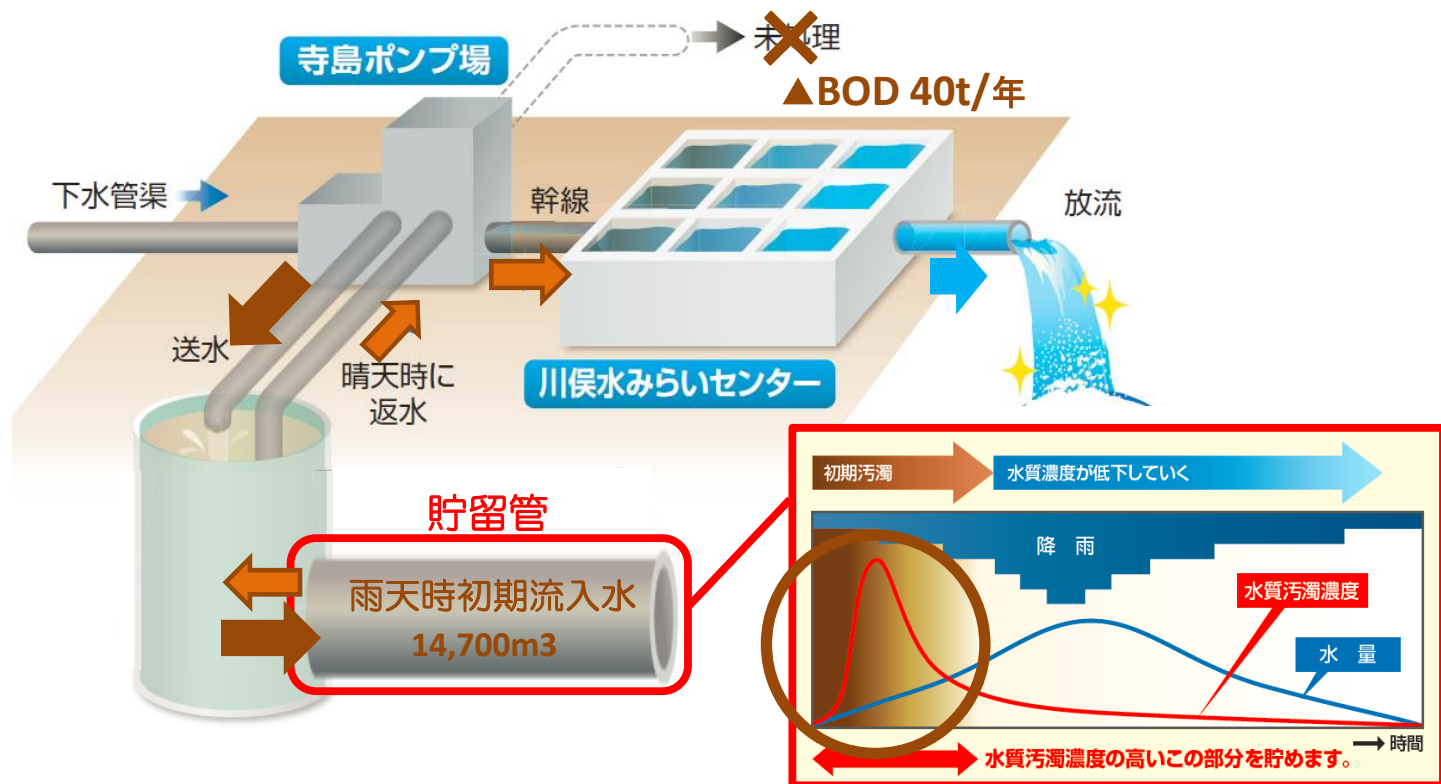
※流出係数は、降った雨のうち、浸透により消失する量を除いた、直接下水管に流入する水量の比率のことをいいます。

※流出係数の増加により当初計画の5年確率は、レベルアップ計画における約3年確率に相当します。



河川への汚濁物質放流量の削減

○今回の合流式下水道の改善により、従来は雨天時に一級河川寝屋川に放流されてきた初期汚濁雨水のほとんどが終末下水処理場で晴天時に高級処理されることから、当該施設による汚濁物質放流量が年間BOD負荷量として約40t/年削減される見込みで河川の浄化に大いに寄与できるものとなる。



3. 技術の概要

(4) 喜ばれる技術

【地域への貢献度・地域への密着度】

■さまざまな形の現場見学会の開催

土木のアピール”見学会

○現場見学会は全80回開催し、業界関係者のみならず多くの来場者に見学会を実施。

○地域住民との学習見学会、防災ボランティアとの意見交換会、小学生には将来の担い手を意識した“土木のアピール”見学会、をはじめシールドトンネル写真撮影会等も開催した。



200名規模となった小学生への土木アピール見学会

3. 技術の概要

(4) 喜ばれる技術

【地域への貢献度・地域への密着度】

■プロカメラマンの現場撮影作品と
現場作業員が相まった
『美観にこだわる作業環境づくり』

美観にこだわる作業環境づくり

- 異なる分野のプロカメラマン3名を招へいして、シールドトンネルを題材に様々なシーンを作品として撮影。
- これらに職業意識の高い現場作業員に感動と刺激を与え、次第に『美観にこだわる作業環境づくり』が確立。
- その副産物として**写真集を発刊**した。
- これらの成果として安全管理の向上へと繋がり、**『厚生労働大臣表彰奨励賞』の受賞**に至った。

私たちの誇り
-Our pride-



～中央北増補幹線外(第1工区)シールド～

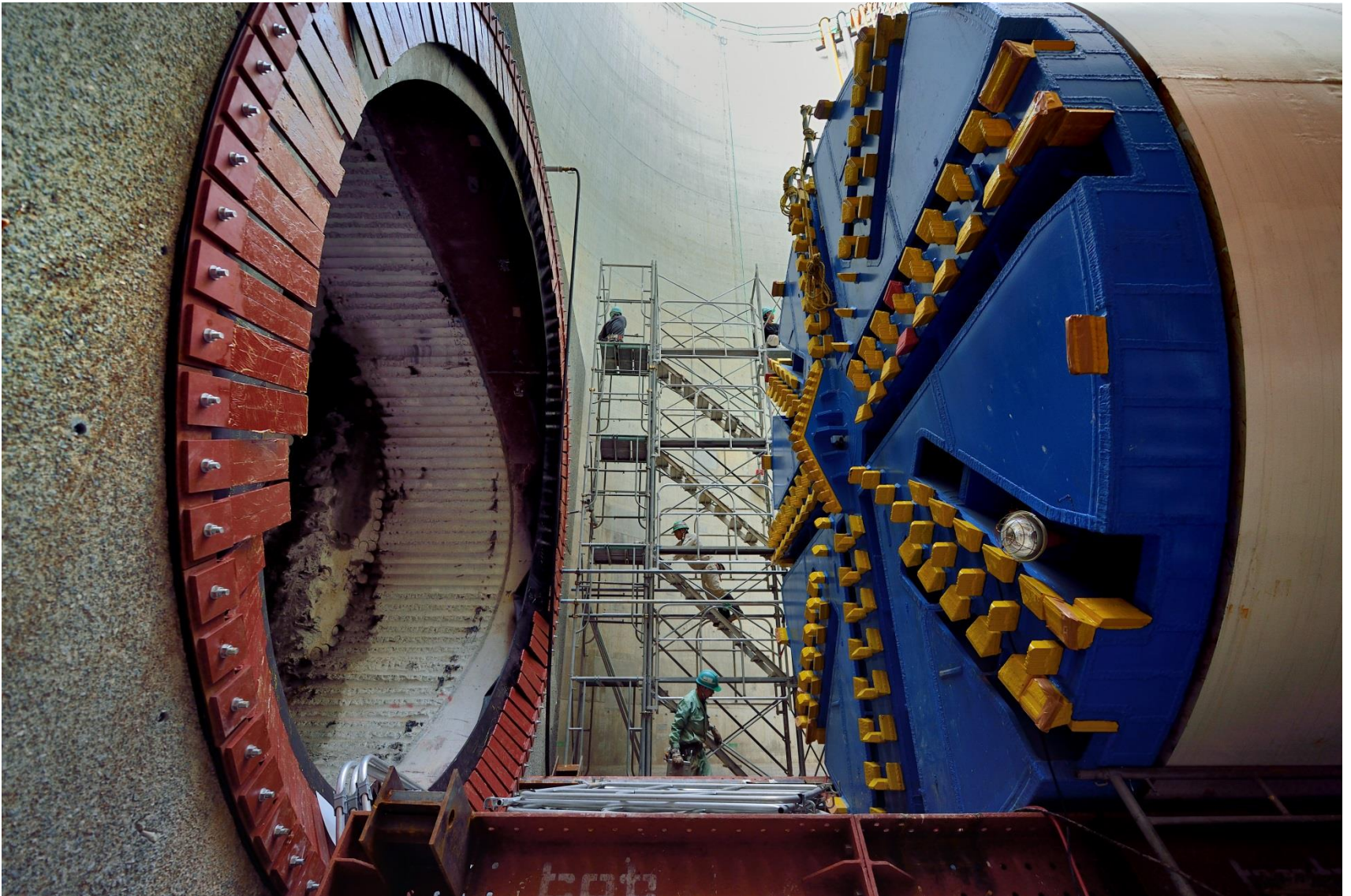
工事写真集(表紙)

※大阪府のH.Pで公開中。「大阪府」+「下水」+「写真集」の3つのワードで検索。

写真集の紹介①



写真集の紹介②



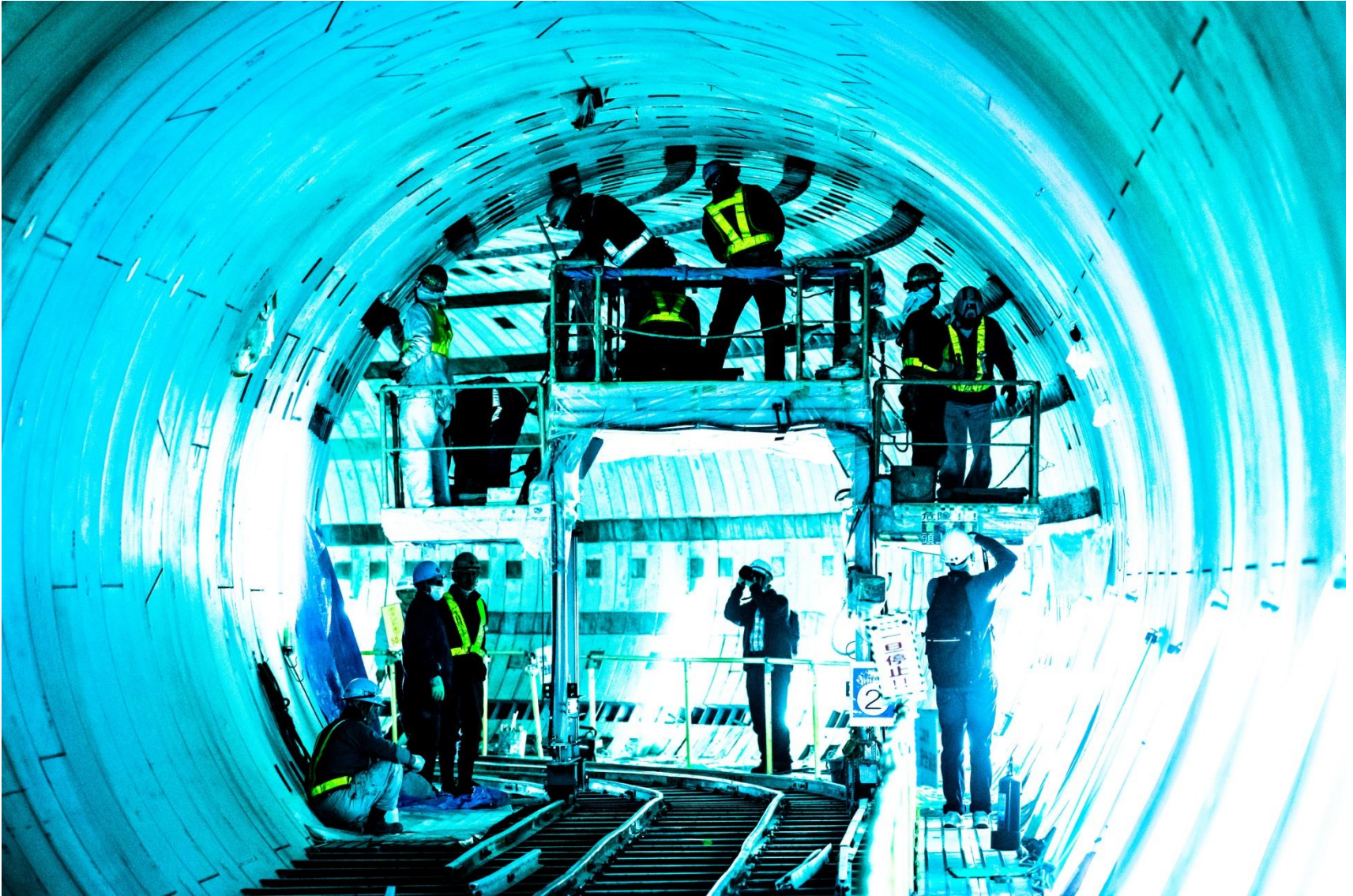
写真集の紹介③



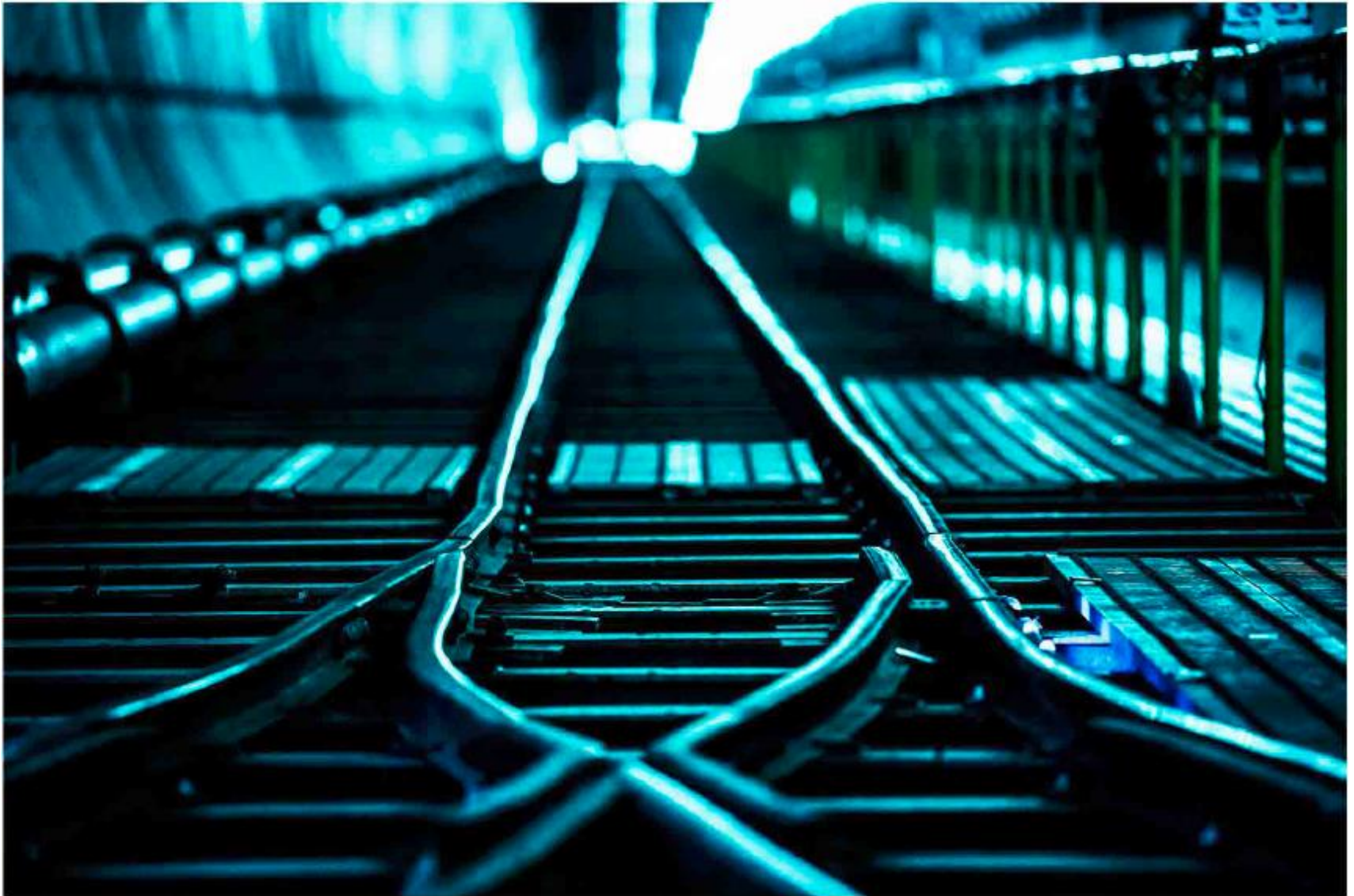
写真集の紹介④



写真集の紹介⑤



写真集の紹介⑥



写真集の紹介⑦



写真集の紹介⑧



写真集の紹介⑨



写真集の紹介⑩



写真集の紹介⑪



写真集の紹介⑫



写真集の紹介⑬

