

立坑7箇所を上向きシールドで掘る

小 森 敏 生・井 櫻 潤 示・高 山 雄 大

国道25号御堂筋共同溝立坑工事では、共同溝地下トンネルに接続する7箇所の分岐立坑を上向きシールド工法により構築した。立坑は、深さ約30mで内径φ3,000mmのものが2箇所、内径φ2,750mmのものが5箇所となっており、径の異なる立坑を一台の上向きシールド機で施工した。シールド掘進では、共同溝に設置された開口用セグメント（FFUセグメント）を直接切削し、沖積層から洪積層の粘土・砂・砂礫層の多様な地盤を掘削した。また、全立坑において既設の地下鉄構造物に近接した施工となったが、管理値を超える影響を与えることなく施工を終えることができた。

キーワード：上向きシールド工法、共同溝、縮径、市街地、近接施工

1. はじめに

シールドトンネルに併設される中間立坑は、共同溝における分岐用立坑や上下水道施設における管路、取水、管理用立坑などの目的から不可欠であるが、地上部における立坑施工のための用地確保や、都市部における浅・中深度部の地下で利用できる空間の制約から、厳しい環境下での施工を求められることが多くなっている。上向きシールド工法は、既設のシールドトンネル内などから地上に向けて上向きにシールド機を発進させて立坑を構築する技術であるため、材料の運搬・供給ともに地下のトンネル坑内で行えるため、シャフト部施工中の地上作業は、シールド回収作業のみとなり、道路占用作業を最小限にすることができる。狭隘で交通量の多い道路部や各施設の密集した都市部などにおける工事用地の長期占用が困難な場所でも、地下から地上に向けて立坑を構築することが可能である。本稿では、上向きシールド工法の概要、特徴及び施工実績について報告する。

2. 工事概要

御堂筋共同溝は、国土交通省近畿地方整備局が進めている幹線共同溝の内、一般国道25号（御堂筋）の浪速区難波中一丁目から北区曽根崎二丁目の路線延長4,022mの区間に計画しているもので、大阪市水道局の水道管（φ1,500mm）および関西電力のケーブルを収容する（図1、2）。共同溝は本体トンネル部と

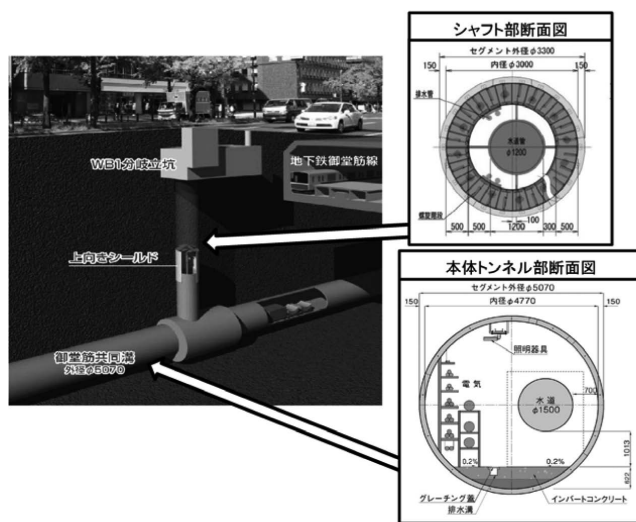
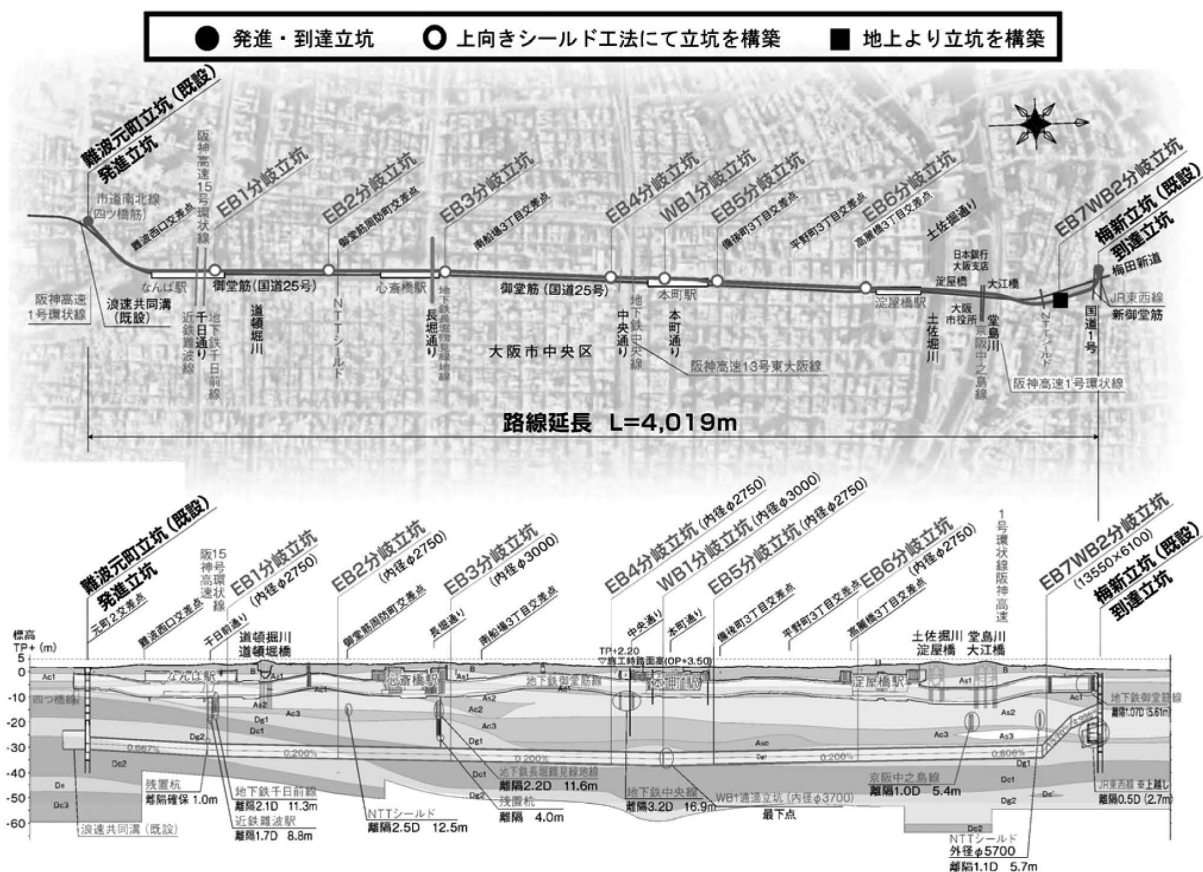


図1 御堂筋共同溝事業概要

分岐立坑で構成されており、本体トンネル部は平成23年度に完成し、現在は国道25号御堂筋共同溝立坑工事にて分岐立坑及び内部構築を施工中である。分岐立坑は、電力ケーブル用分岐立坑（EB1～6）、水道管用分岐立坑（WB1）および水道管及び電力ケーブル用分岐立坑（EB7WB2）の計8箇所である。その内、7箇所の分岐立坑（EB1～6、WB1）については、地上付近に構築するボックスカルバート構造の分岐室（高さ約5m、延長約15m）と本体トンネル部を繋ぐためのシャフト部と呼ばれる約30mの立坑が必要となる。本工事では、路上工事の削減と周辺環境への影響抑制が必要とされ、このシャフト部の施工に上向きシールド工法を採用した。



図一 各分岐立坑位置図及び地質縦断面

3. 周辺環境と地質

御堂筋は、全長約 4,027 m、幅 43.6 m、中央の走行 4 車線と両側緑地帯と側道及び歩道で構成されている幹線道路である。この幹線道路は、国道 1 号・2 号が交差する梅田新道交差点より難波西口交差点までの全車線が南行の一方通行道路となっており、平日の昼 12 時間の交通量は、28,000～38,000 台、歩行者 10,000～26,000 人の大阪を代表するメインストリートとなっている。分岐立坑は御堂筋分離帯の中に位置しているため、施工する場合には、道路占用が可能な夜間のみ側道または本線を一部規制して工事を行う必要がある。その分離帯には景観が文化財になっているイチョウ並木がある。シャフト部の近傍では大阪市営地下鉄御堂筋線が運行しており、施工にあたっては軌道に係る周辺地盤への影響を最小限に抑える必要があった。

分岐立坑位置における御堂筋共同溝トンネル部の土被りは 30～35 m であり、土質構成としては下部が $N > 50$ の洪積砂礫層または $N = 10 \sim 20$ の洪積粘性土層、上部が $N = 10 \sim 40$ の沖積砂質土層と $N = 1 \sim 10$ の沖積粘性土層の互層となっている（図一 2）。分岐室との接続部は、鋼矢板による土留掘削の根入れ部とな

る。また、事前の土質調査で、地下水にメタンガスが溶存していることが確認されている。

4. 上向きシールド工法とシールド機

本工事で採用したシールドは、外径 $\phi 3,450$ mm、全長 4.6 m、総推力 9,600 kN、最大トルク 622 kN・m の泥土圧シールドである（図一 3）。テール部からの地下水や土砂の機内への侵入防止のため、テールブラシを 2 段配置し、テールグリス自動給脂装置を装備した。土圧計は、カッタチャンバ内に固定型を 2 台装備している。また、メタンガスに対応するためシールド機には防爆型の機器を採用している。

上向きシールド発進部は、あらかじめ本体トンネルに設けた開口用セグメント（FFU セグメント）を直接切削して発進させる構造とし、その坑口部に転用可能なエントランスパッキンを使用することで、鏡切作業及び地盤改良などの補助工法を省略した（図一 4）。カッターは、開口用セグメントが大割れし、排土管を閉塞させることを避けるためにカッターを本体トンネルの内面の曲率に合わせたドーム形状とし、全パスを先行ビットで掘削するビット配置とした。また、開口用セグメント切削中はシールドジャッキを微速制御

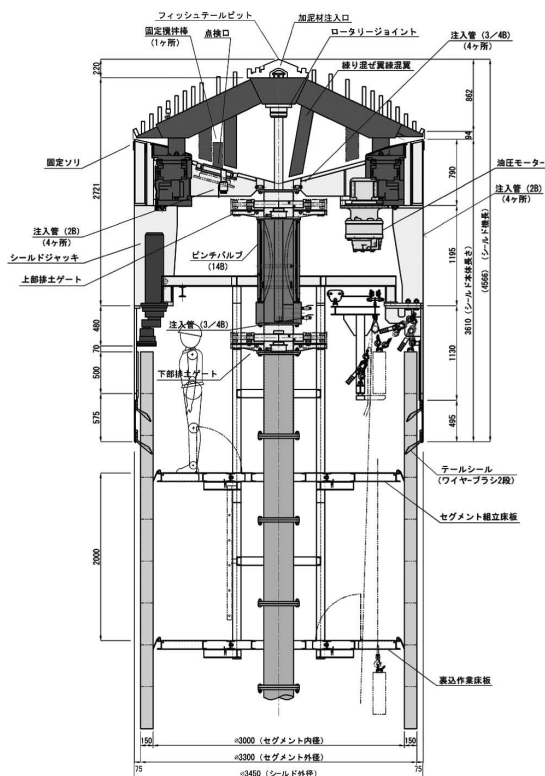


図-3 上向きシールド機



図-4 FFU セグメント

し、カッタトルクの上昇を抑えながらセグメントを細かく切削できるようにした。

バルクヘッドは、上向きに掘進するため、中心に向かってすり鉢状にし、土砂を取り込み易くしている。排土調整機構として、ピンチバルブ1個およびスライドゲート2基を装備している。ピンチバルブ(図-5)は、ゴムスリーブを内蔵しており空気圧によりゴムスリーブに加圧して膨らませることにより排土管内を一時的に閉塞させる構造のものである。ピンチバルブ圧を設定土圧に保持し、切羽土圧がこのピンチバルブ圧より大きくなった際にピンチバルブが解放され、土砂を搬出する。ゴムスリーブに空気を供給し加圧し膨ら

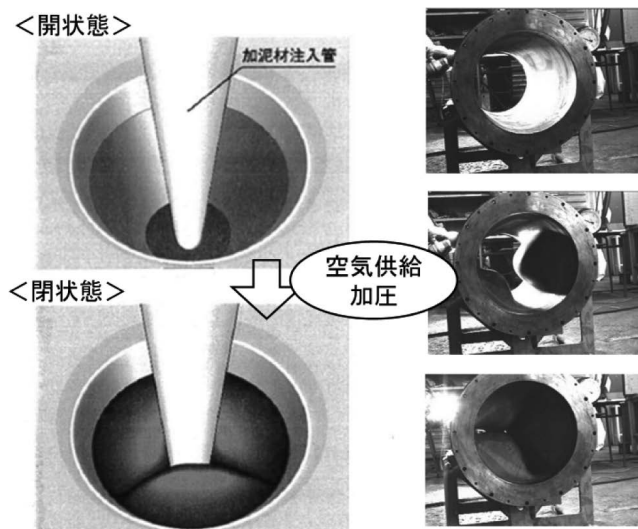


図-5 ピンチバルブ概要

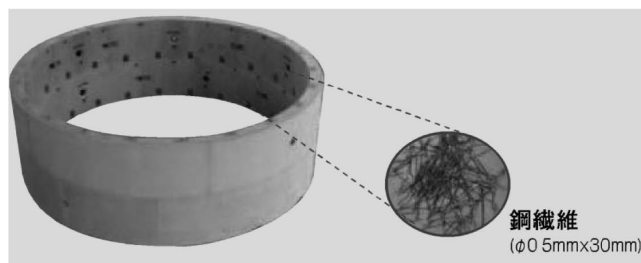


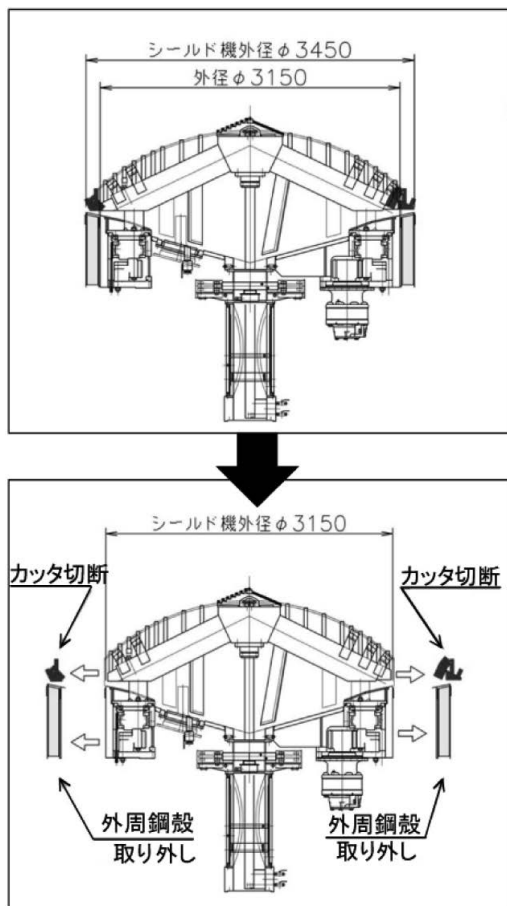
図-6 RSF セグメント

ませることで、切羽土圧や排土量の調整を適切に行うことができる。

セグメントは上向きシールド工法では初めてコンクリート系セグメント(RSFセグメント)を採用し(図-6)、二次覆工を省略した。セグメントは狭隘な機内での重量物の取り扱いを考慮して、6分割(5+K)とし幅を500mmとした。セグメント組立作業は、経済性とセグメント組立作業床上の作業員の安全性を考慮して、エレクタを採用せず、人力組立方式としている。シールド機は坑内運搬、組立作業を考慮して3分割(カッター部+ボディ部+テール部)とした。

7箇所のシャフト部は、内径φ3,000mmの2箇所と内径φ2,750mmの5箇所の径の違う立坑となるが、マシンを内径φ3,000mm用(外径φ3,450mm)から内径φ2,750mm用(外径φ3,150mm)に改造して1台のシールド機で7箇所の立坑の施工を可能とした。カッターの外周部はブラケット構造にして容易に切断して縮小できる構造とし、シールド前胴部は、外径φ3,150mmのシールド外周部に150mmの鋼殻を取付け外径φ3,450mmとして、外径φ3,450mmの2立坑の施工が完了した後、外周鋼殻を取外せば外径φ3,150mmに縮径できる構造とした。なお、径の小さい立坑を先に施工した場合、最外周カッタービット用

ブラケット及び外周鋼殻取付時にシールド機の摩耗及び汚れに対応する作業が発生し、改造に要する作業時間の増加・仕上がり精度の低下が懸念されたため、径の大きい2箇所の立坑を先に施工した後シールド機を縮径した（図－7）。



図－7 シールド機縮径概要図

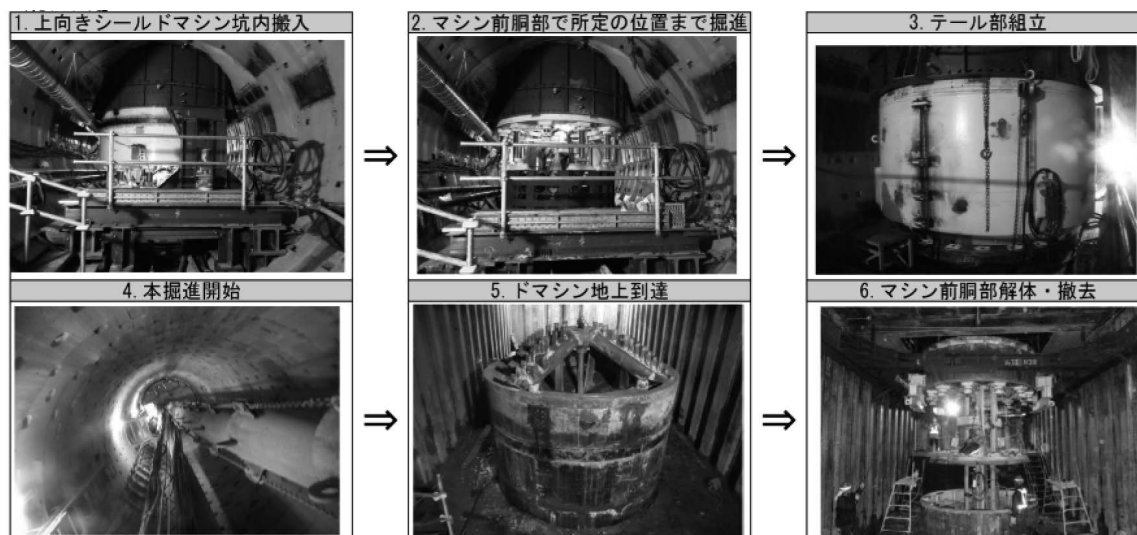
5. 施工

分岐立坑シャフト部の施工実績工程は、シャフト部構築の1サイクルを、「発進立坑へマシン投入」→「シャフト部構築」→「次立坑掘削のために発進立坑へマシン再投入」とすると、立坑1箇所当たり約45日（1.5ヶ月）で施工できた。本掘進は昼夜日平均5.4リング／日（2.7m／日）の進捗となり、約30mのシャフト部を約2週間で掘進できた。

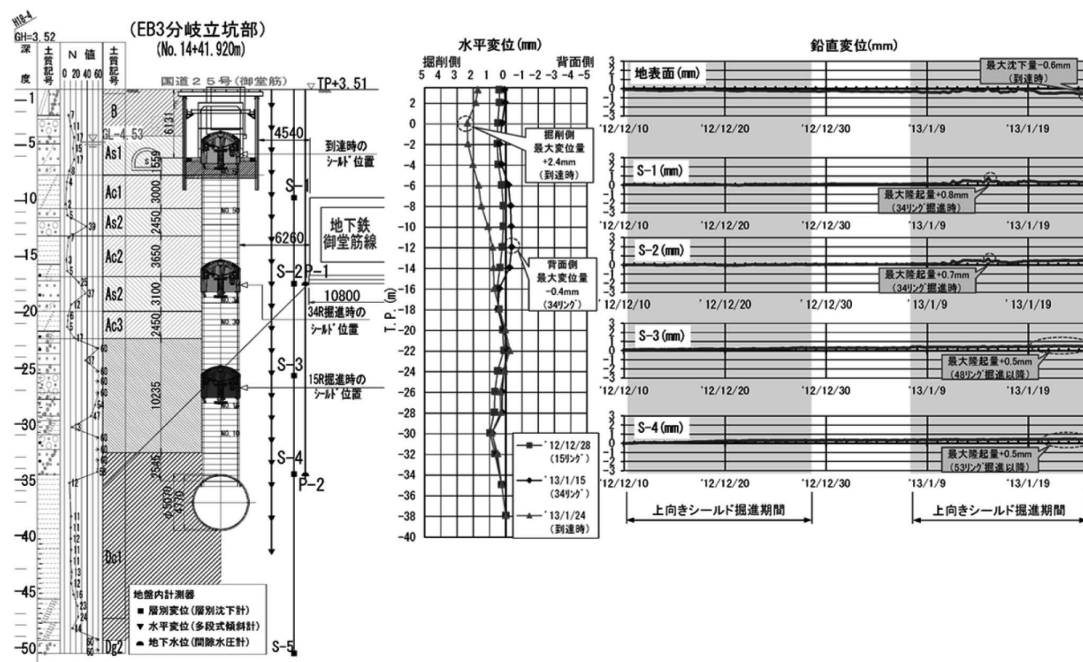
次に施工手順を示す（図－8）。

- ①シールド機前胴部を発進立坑より投入し、所定の位置に坑内運搬する。
 - ②反力架台上に据付け、シールド機前胴部のみを推進し、仮組セグメントを組立て、開口用セグメントを切削する。
 - ③所定の位置まで掘進完了後、テール部を坑内に搬入し前胴部と接続し、組立てる。
 - ④テール組立完了後、本掘進を行う。
 - ⑤掘削深度や地層変化に合わせて、切羽土圧を管理しながら地上到達部まで掘進する。
 - ⑥掘進完了後、シールド機前胴部をテールから切り離し、クレーンにより回収し、発進立坑へ運搬する。
- 上記①～⑥を繰り返し、1台のシールド機を転用して7箇所の立坑の施工を行った。

切羽土圧は、緩み土圧＋地下水圧＋予備圧より設定し、予備圧を0.03～0.05 MPaの範囲で管理した。裏込注入はシールド下部に接続した裏込注入用デッキにてセグメント注入孔から行った。注入圧は切羽土圧＋0.1 MPaを上限とし、注入率は120～130%とした。上向きシールド工法では掘削対象土質が土層に合わせて急変するため、同一の添加材で濃度調整するだけで全



図－8 上向きシールド工法フロー図



図—9 地盤内計測結果

ての土層に対応可能な加泥材（高分子系）を採用し、排土性状をチェックしながら配合・注入量を調整した。注入率は砂礫・砂質土で20～40%，粘性土で10～30%とした。

本工事で使用したセグメントは、高い断面性能を確保でき、施工時の割れ欠けの抑制性能を付与したRSFセグメント（RCセグメントに鋼繊維を添加）を採用した。セグメントは狭い中での施工性を考慮し、幅は500 mm、厚さは内径φ3,000 mmの立坑で150 mm、内径φ2,750 mmの立坑で125 mmとなっており、1ピースの重量を最大約350 kgとした。セグメントの組立は切羽にリング形状のトロリを設置してセグメント搬送装置とし、セグメントの人力組立を可能にした。

6. 近接施工計測

鉄道管理者との協議により全立坑において地盤内計測（鉛直変位：層別沈下計，水平変位：多段式傾斜計）を実施した。上向きシールドでの掘進では，地下水压とTerzaghiの式を参考とした土の緩み範囲を想定しリング毎（50 cm）に管理土圧を設定した。設定した管理土圧の妥当性は，上向きシールド掘進中に計測した地盤内変位（鉛直変位：層別沈下計，水平変位：多段式傾斜計）より検証を行った。上向きシールド掘進中での各地層の鉛直変位量は1 mm以内であり，水平変位量も最大で2 mm程度に収まり，上向きシールド掘進が周辺地盤に大きな影響を与えることは無く，設定管理土圧が適切であったと判断できる（図—9）。

7. おわりに

地盤内計測結果より，上向きシールド工法は都市部の工事による周辺環境（地上・地中近接物）への影響を少なくできる立坑構築技術であるといえる。今後，上下水道では取水・管理用立坑，鉄道・道路では換気・管理・避難用立坑，地下構造物では物流シャフト等等様々な用途への展望が望まれるが，現在までの施工により得られた知見を活かして更なる技術の検証と発展を検討していきたい。

JCMIA

【筆者紹介】

小森 敏生（こもり としお）
大成建設㈱
御堂筋上向きシールド作業所
工事課長



井櫻 潤示（いざくら じゅんじ）
大成建設㈱
御堂筋上向きシールド作業所
作業所長



高山 雄大（たかやま ゆうだい）
大成建設㈱
御堂筋上向きシールド作業所
工事係

