

幹線道路直下でのシールド工事における新技術を活用した創意工夫事例

Shield Construction under the Arterial Road by Using New Technologies

荒川 淳二*1 林 茂郎*1 野口 秀人*1
Junji Arakawa Shigerou Hayashi Hideto Noguchi
白井 信浩*2 中村 亮介*1 植島 生八*1
Nobuhiro Shirai Ryosuke Nakamura Ikuya Ueshima

要旨

東京は成熟した過密都市であり、大災害にも耐え得るライフライン網を構築するための大型土木工事を行うためには、十分な施工スペースの確保が困難となっている。加えて、工事による周辺環境や既設構造物等への影響発生は大きな社会問題となっており、工事に際しては様々な面でその低減対策が求められる。

今回、都内の幹線道路直下で、独自の新技術等を駆使した創意工夫により、安全かつ信頼性の高いシールド工事を実施した事例について報告する。

キーワード：アクティブ制御 集約型無線式層別沈下計 D・BOX

1. はじめに

本工事は、都内の幹線道路直下約 1.0km の区間を、泥土圧式シールド工法にて内径φ3.6m のシールドトンネルを築造する工事であった。工事箇所は、1日約5万台もの交通量がある道路であり、独自の新技術等を駆使した下記の創意工夫により、安全かつ効率的な施工を実施した。本報告ではその事例について紹介する。

- 1) 発進基地：シールド発進基地部でスムーズな交通流を確保するための工夫。
- 2) シールド路線：前述の道路と交差する主要道路（約7万台/日）の陸橋への影響低減と安全確認の工夫。
- 3) 到達基地：到達立坑施工時の交通規制を低減する施工方法の工夫。

2. シールド発進基地部での交通流確保の工夫

シールド掘進作業の7ヶ月間は、1日当たりの掘削残土搬出量は200m³、10t ダンプトラック延べ40台であり、その他の資材を含めた大型工事車両出入り総数は約4,000台にも及んだ。下記の対策を講じることにより、一般車との接触事故や、出入り等に関する苦情等なく、工事を進めることができた。

2.1 標準的なシールド設備を用いた場合の課題

標準的なシールド施工では、立坑上に資材吊卸し用のクレーン設備や、掘削した残土を立坑下から地上部までに移

動させ、ダンプトラックに積込み・搬出するための作業スペースを確保した防音ハウス（幅20m×長さ50m・1,000m²程度）を地上部に設置する。

このような規模の防音ハウスを設けるためには、図1に示すように上下各2車線の内、各々1車線を常時固定占用することとなり、交通渋滞発生の原因となる。

また、車線を確保するために防音ハウスの幅を狭くした場合は、工事車両の現場内への入退場に切り返しを伴うため、一般車の交通流を阻害してしまう。そのため、切り返しをすることなく入退場できるようにする必要があった。

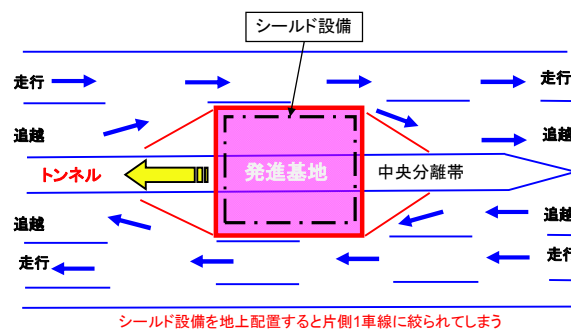


図1 標準的な防音ハウス配置図

2.2 シールド設備の配置をコンパクト化

工事車両が車道上で切り返しすることなく、前進によるスムーズな入退場ができるように通行路を確保した上で、防音ハウスをセグメント搬入用と、残土搬出・プラント用の2つに分割した。さらに、2階建て構造にして中央分離帯内に配置し、約500m²程（7m×長さ70m）の中にシールド

*1 東京本店 土木部 *2 大阪本店 機材センター

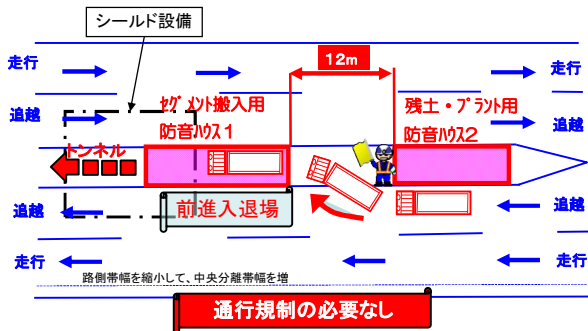


図2 2分割の防音ハウス配置図



写真1 防音ハウス設置状況(2階建て)

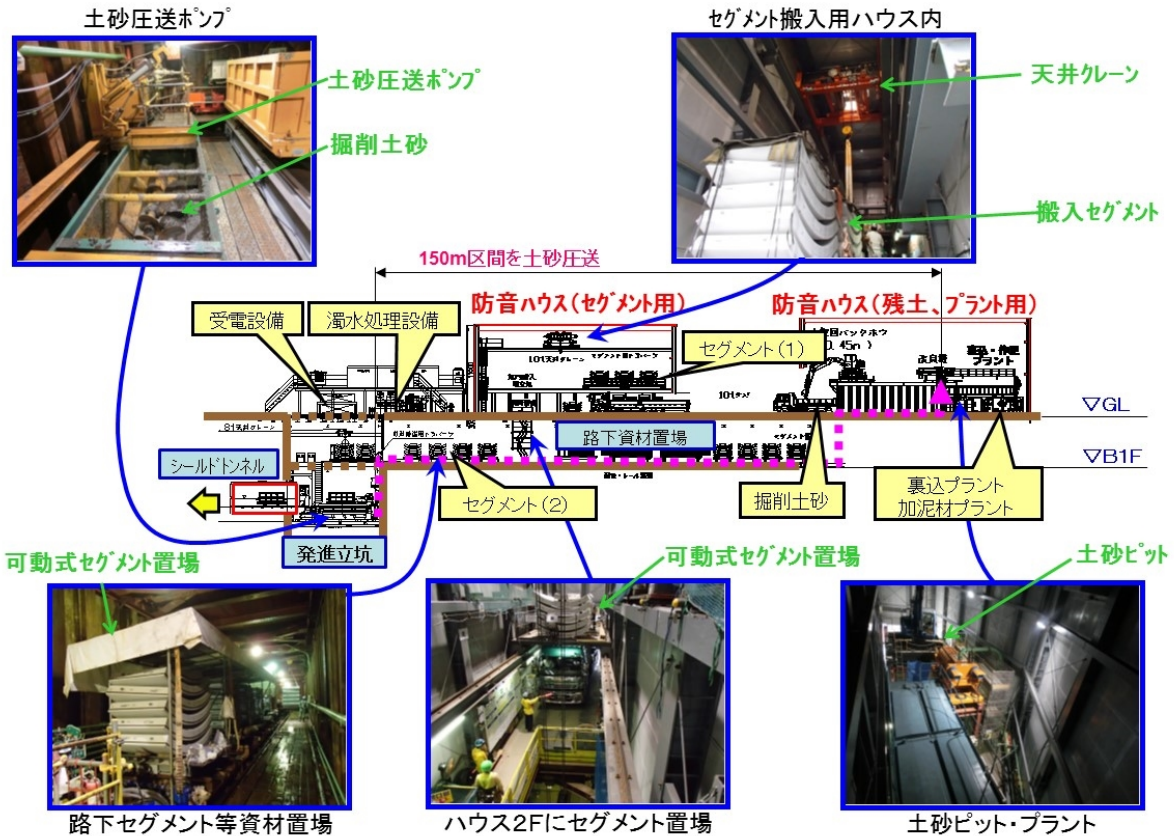


図3 シールド設備配置断面図

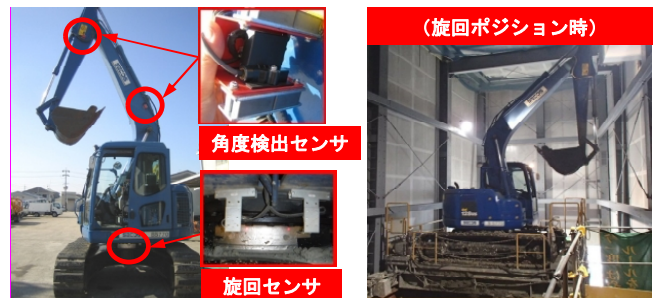
設備を収めた(写真1、図2、3)。

セグメント搬入用防音ハウスでは、シールド掘進の進捗に合わせて安定したセグメント供給ができるように、トラバース装置(重量物を平行移動させるための電動台車)を用いた可動式セグメント仮置場を防音ハウス2階に設置した。路下スペースにもセグメント等の資材置場を設け、迅速に移動できるようトラバース装置を使用した。

掘削土は、立坑下から地上部土砂ピットまでの150m区間に鋼管(φ200mm)を敷設し、土砂圧送ポンプにて塑性流動化状態で圧送した。掘削土のかき寄せと積込み作業の切替えが最小スペースで施工できるように、バックホウ(0.45m³級、W13.0t)をトラバース上に配置し、かき寄せ場所と積込み場所の間を移動させて作業を実施した(図3)。

2.3 バックホウのアクティブ制御

写真2に掘削土砂積み込みに使用したバックホウのアクティブ制御装置の概要を示す。



バックホウのアクティブ制御装置

バックホウ稼働状況

写真2 バックホウアクティブ制御装置

16,000m³の掘削残土をダンプトラックに積込むためには、防音ハウス内でのバックホウの旋回(180°水平回転)回数はおよそ5万回にも及ぶ。旋回時にアームが防音ハウスパネルに接触して隣接道路に落下するなど第三者災害を防止した上で、効率よく掘削残土の積み込みを行うため、防音パネルに接触する姿勢の時は旋回させない制限を行う姿勢制御技術(バックホウのアクティブ制御技術)を開発・適用し、人為的ミス回避した。

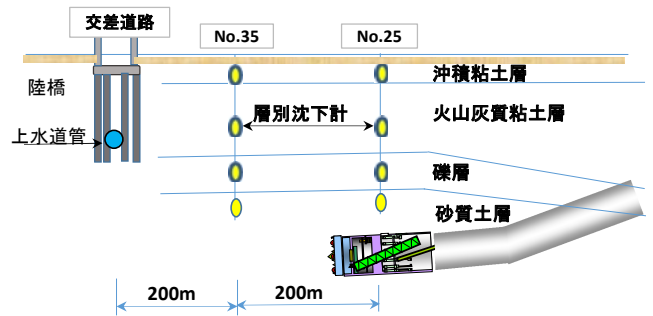


図4 層別沈下計の設置概要図

3. 交差道路陸橋への影響低減のための工夫

3.1 無対策の場合のリスクと周辺環境への影響

本工事の路線には、日交通量が7万台の主要道路の陸橋があり、その直下をシールドが掘進するため、施工時の変位抑制が求められた。シールド掘進による影響(橋脚の発生沈下量や傾斜角度)評価は、当初、FEM解析結果(応力開放率は7%)による事前確認と、シールド通過後に確認できる測量データのみであった。この場合、解析条件が現場条件に一致していなかった時には、事前解析に対し発生変状量が大きくなり一般通行に障害を及ぼすリスクがある。

重要構造物付近をシールドマシンが通過する場合には、実際に通過する手前で地中に層別沈下計を設置して、あらかじめ当該構造物への影響を予測する手法が一般的に用いられる。しかし、その計測器を車道内に設置した場合、設置・撤去時の交通規制はもちろん、仮復旧時の路面沈下による交通障害の懸念、データ収集時の車道立入りの危険作業などの問題があった。また、この計測設備上を通過する一般車両による振動で、計測器に悪影響を及ぼす事例があり、この点でも課題が残っていた。

3.2 集約型無線式層別沈下計を用いた地盤変状測定と周辺環境への影響発生防止

陸橋と交差する手前でシールド路線上に2か所層別沈下計を設けた。先に手前400m(No.25)でシールド掘進による地盤変状量を測定し、当初計画時に設定した切羽圧力と裏込注入量を検証した(応力開放率は平均2.1%)。この結果をもとに、その後の切羽圧力を当初計画圧力プラス10KPaとし、裏込注入量は変更しなかった。次の手前200m地点(No.35)でこの掘進条件での地盤変状量を測定した結果、応力開放率は平均0.9%と非常に小さい値が得られたため、この掘進条件のまま陸橋部を通過した。

陸橋と層別沈下計の位置関係を図4に、上記影響低減対策(掘進条件の最適化)のフローを図5に示す。

一般に、変動計測の基準となる不動点は、シールド側方下部まで鉛直ボーリングにより設置し、計測器用電源線や

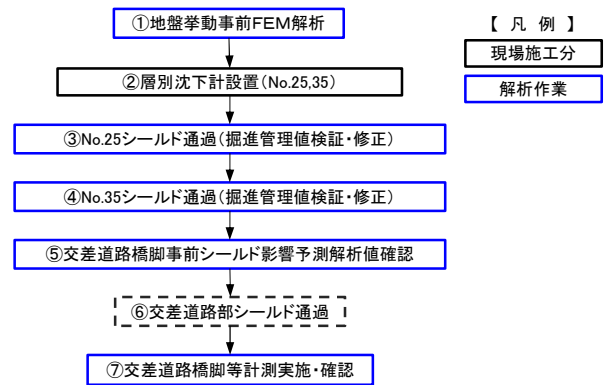


図5 層別沈下計測を用いた掘進条件最適化フロー図

データ収集用配線用の道路横断管を舗装内に埋め込む。この場合、既設道路を横断方向に掘削することになり、仮舗装部の沈下等による車両交通への振動影響が懸念される。そのため、不動点用の観測孔を斜めボーリングで施工して鉛直観測孔とともに車道中央分離帯部に集約し、走行部へのボックス設置を不要とした。さらに、既設道路の掘削を必要最小限にすることができる集約型無線式層別沈下計を開発・適用した。

層別沈下計の設置状況を写真3に、図6に概要図を示す。

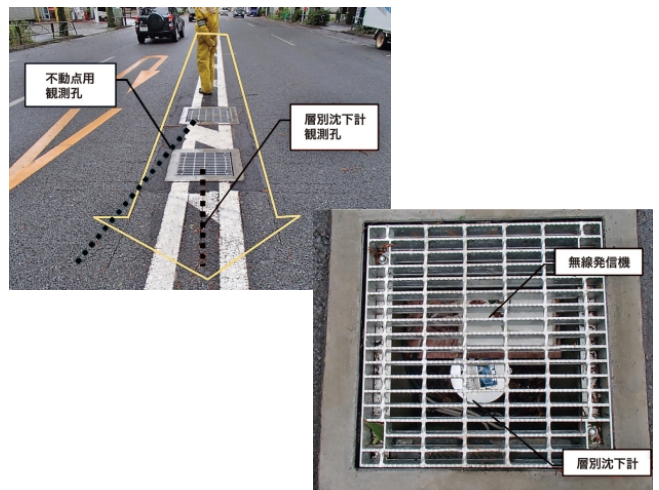


写真3 集約型無線式層別沈下計設置状況

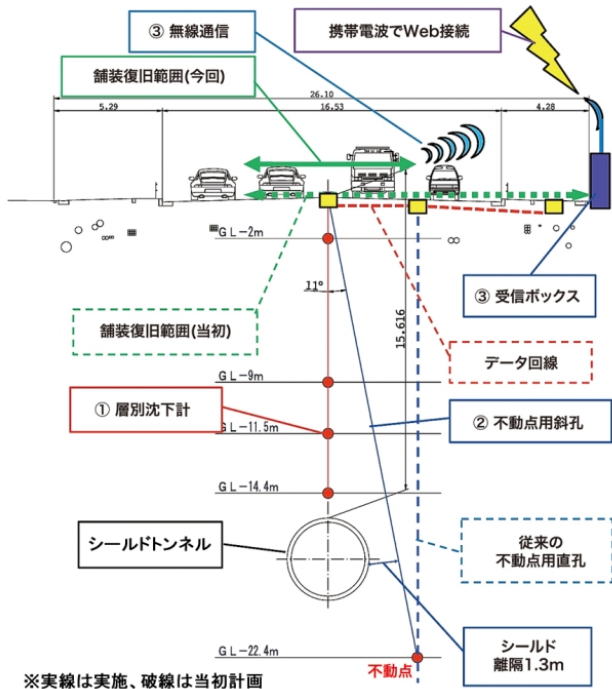


図6 集約型無線式層別沈下計概要図

計測機器は電源不要なバッテリー式とし、無線により収集データを送信できる新システムを開発・適用した。これにより、配線等を収納する横断配管を敷設するための道路横断方向の掘削が不要となった。

図7に本層別沈下計で収集した計測データの一例を示す。

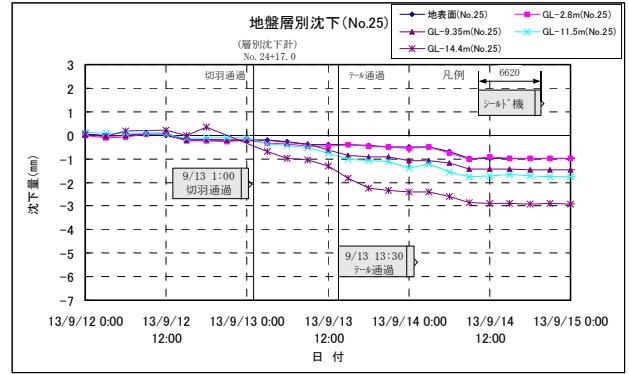


図7 層別沈下計計測データ例 (No. 25)

◇事前解析値と実測値 (NO.25: 手前400m)
応力開放率7.0%⇒平均2.1%

深度	解析値(mm)	実測値(mm)	比率(実測/解析)
GL-0m	-2.96	-0.78	0.26
GL-2.8m	-3.30	-0.80	0.24
GL-9.35m	-4.91	-1.69	0.34
GL-11.5m	-6.14	-1.88	0.31
GL-14.4m	-8.62	-3.14	0.36

P: 設定土圧 ⇒+10kPa
Q: 裏込注入量 ⇒変更なし

◇事前解析値と実測値 (NO.35: 手前200m)
応力開放率7.0%⇒平均0.9%

深度	解析値(mm)	実測値(mm)	比率(実測/解析)
GL-0m	-2.97	0.00	0.00
GL-4.3m	-3.31	-0.20	0.06
GL-9.8m	-4.75	-0.62	0.13
GL-14.0m	-5.71	-1.28	0.22
GL-15.3m	-8.57	-2.04	0.24



◇交差道路陸橋の計測結果

項目	単位	北側		南側	
		①	②	③	④
沈下量	mm	0	0	0	0
傾斜	度	0	0	0	0

図8 地盤変状計測値および応力開放率算出結果

3.3 シールド路線でのリスク回避と影響防止実施結果

シールド掘進における地盤変状予測は、FEM 解析によって行ったが、No. 25 ポイントで掘進条件の修正を行い、この修正結果をNo. 35 ポイントで計測し確認した。この条件で掘進した結果、図8に示すように、一次管理値±4mm に対して、全く変状を生じることなく (0 mm)、橋部を通過することができた。

4. 到達基地での交通規制を低減する工夫

4.1 詳細施工計画時に判明した車線規制作業

到達立坑は、発進基地と同様に狭隘なスペース (約 200 m²) の導流帯内での大深度立坑 (H=28m) で、上部は鋼矢板、下部は鋼製セグメントによる異種構造の土留め壁となっており、図9に示すように設計においても大変工夫が施された構造であった。GL-10.0m までの上部の鋼矢板土留め壁 (IV型、L=13.0m) については、鋼矢板の下方3.0mはN値50以上の硬質砂質地盤であったため、油圧パイラーにケーシングを付属させたクラッシュパイラー工法にて施工した。また、GL-10.0m~-28.0mまでは鋼製セグメント組み立て型

の土留め壁をアーバンリング工法にて施工した (写真4、5)。

上部土留めの施工時の鋼矢板打設において、地下水と火山灰質粘土が攪拌され、布掘内の鋼矢板打設頭部埋戻し土が泥濁化し、舗装仮復旧工事の品質が確保できない。その対策として、下り2車線を規制する布掘覆工を行う方法もあったが、交通渋滞等を考慮し、2車線規制する占用形態を回避する必要があった。

また、当初計画では、アーバンリング施工時に、下り線を1車線規制して鋼製セグメントの組み立てを行う計画となっており、長期間における車線規制は地元住民や通行車両に負担を掛ける懸念があった。

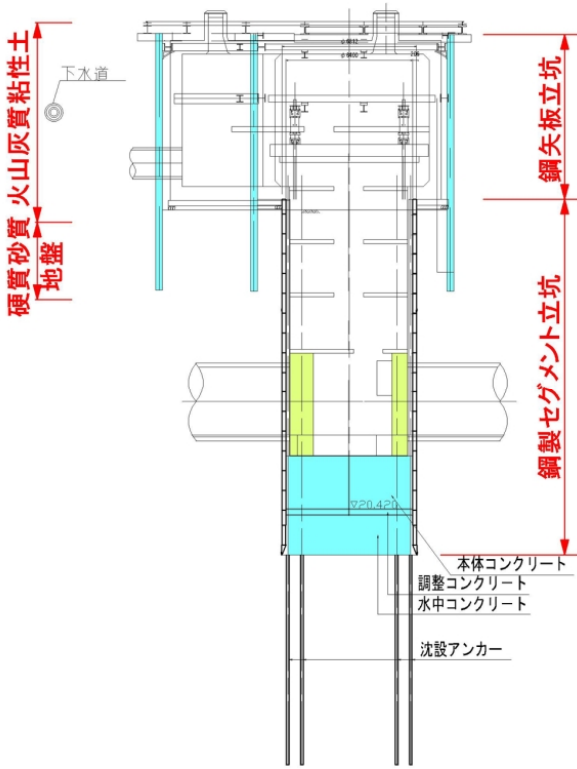


図9 到達立坑概要図



写真4 鋼矢板打設状況



写真5 アーバンリング施工状況

4.2 鋼矢板打設頭部埋戻しへのD・BOXの活用

図10に「D・BOX」¹⁾の概要図、写真6に鋼矢板打設部の舗装復旧状況を示す。

鋼矢板打設は、車線規制を伴った夜間作業で実施した。作業終了後は速やかに道路の仮復旧を行い開放する必要があった。しかし、路体泥濘化のため、道路復旧後の車両開放により舗装の沈下や轍の発生により通行支障の発生が懸念された。そこで、透水性を有した特殊な袋に碎石等を充填して内部拘束具の張力で高い強度と振動低減効果等の効果を発揮するD・BOXを路体部の埋戻しに使用し、その上に舗装復旧することとした。D・BOXは、図10に示すように、現地で碎石等を投入して揚重するだけで、袋とトラスバンドにより内部拘束で締めることができるものである。

D・BOXの採用により、打設後速やかに埋戻しおよび舗装



写真6 鋼矢板打設部舗装復旧フロー

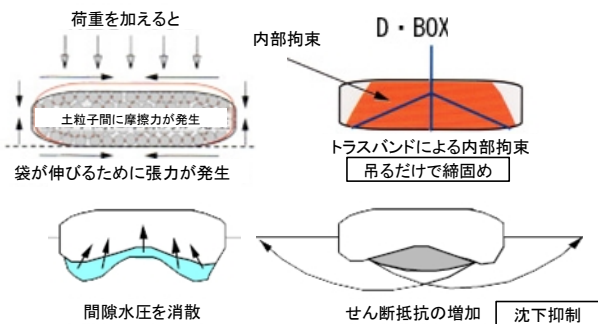


図10 D・BOX 概要図 ²⁾※掲載図を編集・加筆

復旧が可能となり、復旧に掛かる作業時間を大幅に短縮することができた。間隙水圧を消散する効果を有するため、道路開放後の車両通行による舗装面の沈下もなく、無事施工を完了することができた。

4.3 アーバンリング施工時の工夫

地下での鋼製セグメント組み立ては、直上部覆工板を全開放して行うため車線規制が必要となり、夜間作業となる。夜間規制を回避して昼間作業とするため、直上部の覆工板を全開放せずに、図 11 に示すように昼間の固定占用内の必要最小限の開口により施工が可能となるよう「バルンサー」と「トロリー装置」を用いてセグメントを横引き・組み立て作業を行った（図 12、写真 7）。これによって、鋼製セグメント組み立て時の夜間規制日数を最小限に抑え 9 日間削減した。

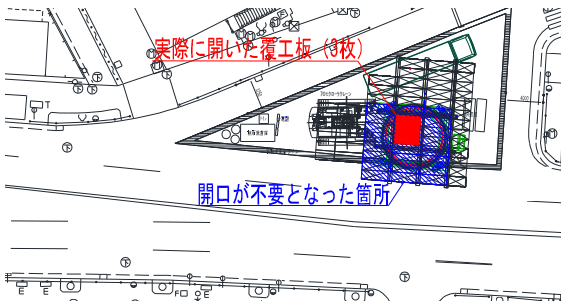


図 11 覆工開閉位置図

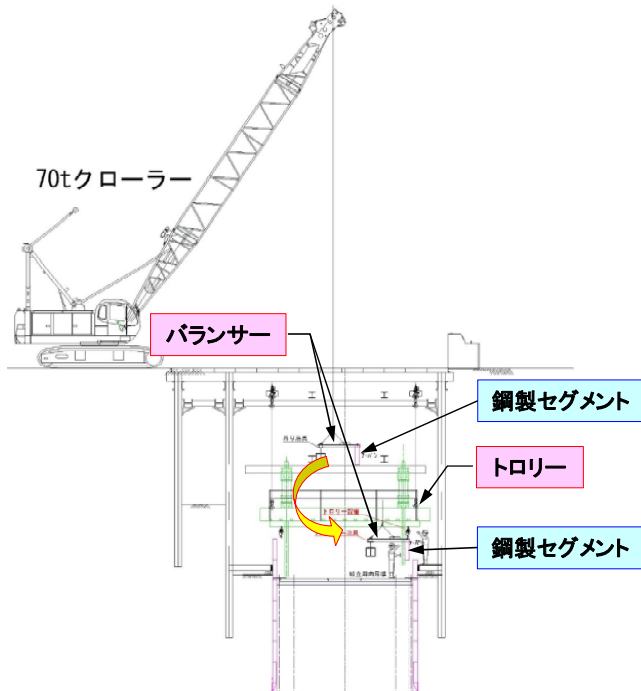
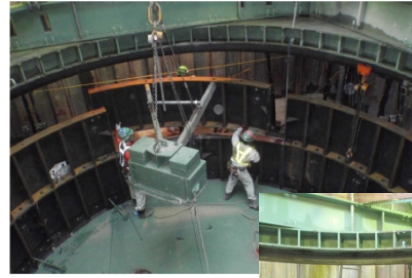


図 12 アーバンリング施工概要図



【バルンサー使用状況】



【トロリー使用状況】

写真 7 アーバンリング施工状況

5. おわりに

シールドトンネルの坑内状況を写真 8 に示す。

本報告で紹介した現場での工夫内容のうち、①バックホウアクティブ制御、②集約型無線層別沈下計は、独自に考案・開発した技術で、工事受注後の詳細計画段階において浮かび上がった課題に対して発案した創意工夫である。

これらの創意工夫が、種々の施工上の制約条件を克服し、安全かつ信頼性の高いシールド施工に結びついたものと考えており、今後の都市部での土木工事の一助となれば幸いである。



写真 8 シールド坑内状況

参考文献

- 1) 松岡元、野本太：D・BOX 工法による超軟弱地盤対策および環境振動対策、ジオシンセティックス論文集、Vol. 24、pp. 143-150、2010. 1
- 2) D・BOX について、<http://www.di-box.jp/dbox.html>