

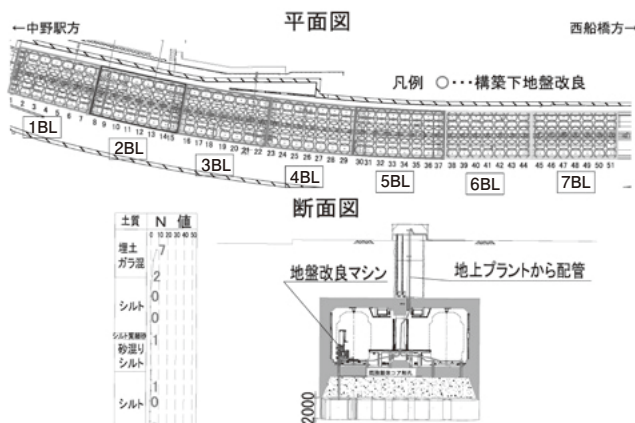


図-4 地盤改良平面・断面図

N値が0～1の軟弱な地盤であったことから、実際に地盤改良開始直後から既設躯体の沈下が生じました。

(2)既設駅躯体の沈下の原因と対策

既設駅躯体は潜函工法によって造られており、ケーソン底面が堅固な支持層に達していないことから、元々変状が生じやすい状況でした。そのような条件下で既設駅躯体下の地盤改良を行ったことで表-1にまとめた要因が複合的に絡み合い、沈下が生じたものと考えられます。(図-5)

このように既設駅躯体の構造上、下部の地盤改良による既設駅躯体の沈下を止めることは困難です。しかし表-1の対策Aに記載したように既設駅躯体の縦断線形に局部的な折れが生じないように制御すれば、軌道の狂いも既設駅躯体への影響も低減できると判断しました。

そこで既設躯体に設置された自動計測器（水盛式沈下計）の躯体変状データを使用し、【沈下予測】→【施工順序検討】→【施工（計測）】→【分析・評価】を繰り返すことで、沈下分布を制御しながら施工することを主な対策としました。

項目	概要
原因	1 過剰間隙水圧の消散 地盤改良の噴射圧が籠り、周辺地山（沖積粘土）に作用して過剰間隙水圧が上昇、その後過剰間隙水圧の消散に伴って圧密沈下を誘発した。
	2 一時的な支持力低下 地盤改良により地山を切削し改良材で置換するが、改良材が固化するまでに一時的に支持力が低下する。
	3 空気溜まり 間詰めコンクリート下端（改良体天端と接する部分）は水平でなく、不陸があるため、プレジエット・造成時の噴射で送ったエアが改良体上に溜まる。
対策	A 施工箇所の分散化 2台で施工する地盤改良の施工箇所を離す（2函体約60m）。また前日との施工箇所を離し、既設躯体を局所的ではなく全体的に緩やかな沈下となるよう施工する。
	B ケーソン刃口部の後施工 ケーソン刃口部の改良体との密着性が不確かなので、先行してケーソン中心部を固めてから刃口部を施工する。
	C 速やかな間詰注入 改良の翌日には改良体天端高さを確認し、空隙がある場合は速やかに間詰注入を行う。

表-1 地盤改良による沈下の原因と対策

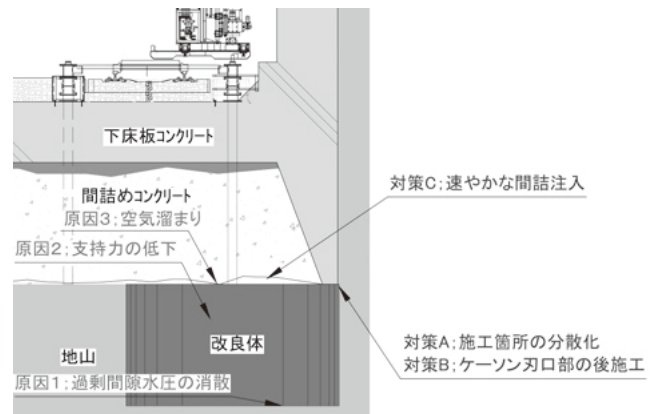


図-5 地盤改良による沈下の原因と対策

既設駅躯体に影響が生じないように管理するため、ケーソン継目部の配力筋が降伏に達するような相対変位を2次管理値（-10.7mm）とし、その85%を1次管理値（-8.5mm）と設定し変状を管理しました。図-6に相対変位の考え方を示します。

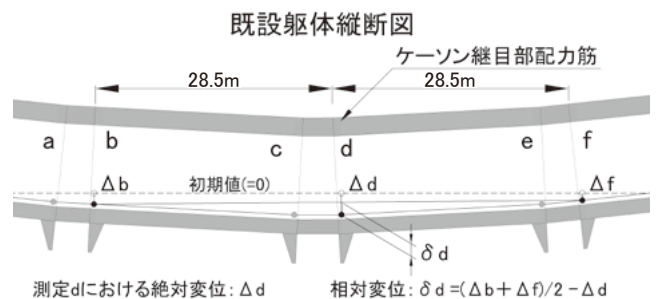


図-6 相対変位の考え方

(3)地盤改良による沈下実測値と考察

地盤改良の進捗に伴い、どのように既設躯体が変状したのかを図-7にまとめました。

①施工開始直後は、駅構内での管理範囲を狭くするため地盤改良マシン2台を使用してケーソン1BLから片押しで施工を開始しました。地盤改良の進捗に伴いケーソン1BLが大きく沈下し始めたため、マシンの1台は60m離れたケーソン4BLを施工することになりましたが、ケーソン1BL付近の沈下は止まらず、対策を練るために施工を一時中断しました。

②施工休止中の間にも表-1に記載した理由で、徐々に沈下が進行したのと考えられます。

③対策後の、施工再開時はケーソン1BL、2BL間の相対変位を緩和させるためにケーソン4BL、5BL、7BL辺りを重点的に施工し、既設ケーソン躯体が全体的に緩やかな沈下形状となり、沈下速度も①施工開始直後に比べて大きく緩和することができました。

④地上部で路面覆工の施工を開始した後は、既設躯体上の地山掘削によるリバウンドから既設ケーソン躯体は隆起し、最終施工時には緩やかに沈下し地盤改良が完了しました。

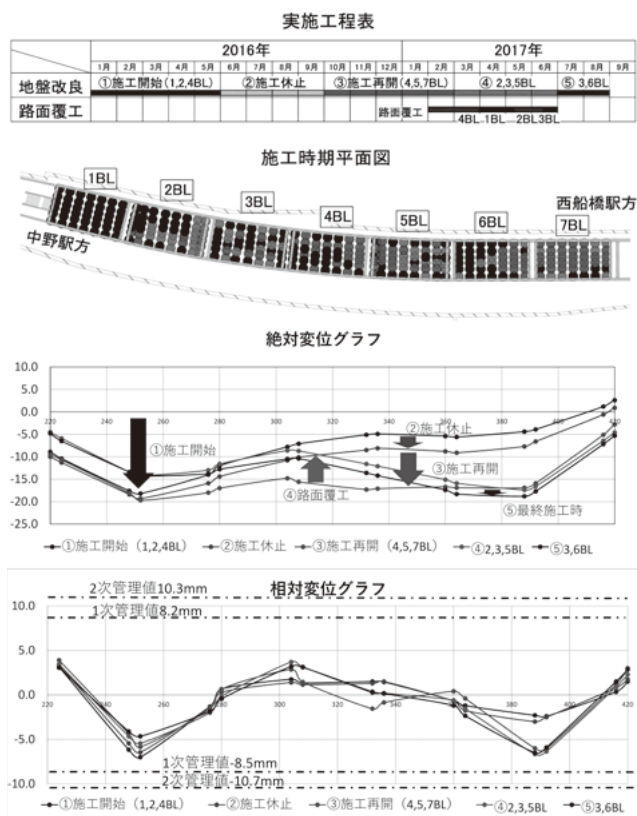


図-7 地盤改良による躯体の変状

変状を抑制した既設躯体上部・側部掘削

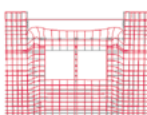
(1)リバウンド解析

軟弱地盤中に既設躯体があることから、上部及び側部の地山掘削によるリバウンドが懸念されました。そこで施工に先立ち、施工ステップを考慮したFEM解析を行い、掘削により生じる既設躯体のリバウンド予測を行いました。また、先行して掘削を進めていた隣接工区の解析値と実際のリバウンド量と比較して中央部工区の解析値を補正し、リバウンド量を予測(以下、予測値)しました。(図-8)

① フィッティング

終端部工区の1次、2次掘削による躯体のリバウンド量(計測値)とFEM解析値の相関から補正係数を算出する

	実測値(B34) (mm)	解析値 (mm)	比率 (実測値/解析値)
1次掘削 (掘削深さ1.5m)	3.0	5.3	37%
2次掘削 (掘削深さ4.6m)	2.3		



② 横断FEM解析

横断方向の解析結果に終端部工区のフィッティング検校結果を乗じた

	縦断方向重ね合せ分布解析 解析値 (解放率100%)	補正率(37%) 終端部フィッティング
0次掘削	19.4	7.2
1次掘削	42.5	15.7
2次掘削	67.1	24.8
3次掘削	89.4	33.1
床 付	92.4	34.2

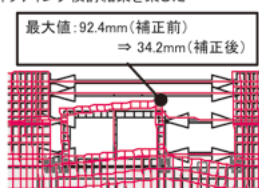


図-8 リバウンド解析結果

(2)リバウンド計測

既設躯体は潜函工法により施工されているため、不均等なリバウンドによりケーソン継目の配力筋に過大な応力が発生することが懸念されました。リバウンドの管理値には地盤改良と同じ相対変位を使用しました。

(3)リバウンド実測結果

掘削によるリバウンド量の実測結果および各掘削ステップ時の掘削深度縦断面図を図-9に示します。

既設躯体に生じたリバウンドの実測値は解析にて算出した予測値と同程度でした。

先行掘削部と、後行掘削の都道部とのリバウンド量の差が大きくなり、相対変位が大きく躯体が折れ曲がるような変形が生じ、1次管理値を超過したためリバウンド対策を行いました。

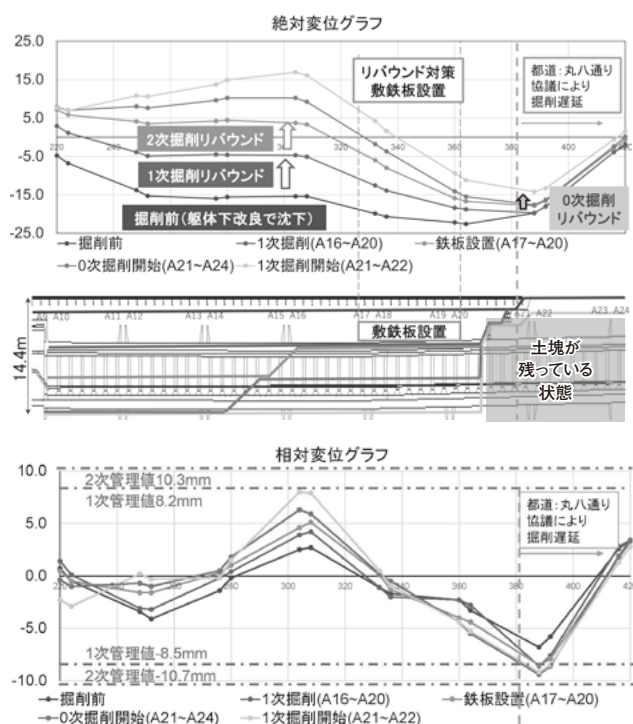


図-9 リバウンド実績(絶対変位・相対変位)

(4)リバウンド対策その1(敷鉄板設置)

先行掘削部と後行掘削の都道部に生じた既設躯体の相対変位を抑制するため、既設躯体上に敷鉄板を設置しました。設置した敷鉄板の重量は、掘削前の既設躯体上の土塊と同等の重量(約2600t、敷鉄板1600枚)であり、相対変位の悪化を抑制しました。(写真-2)

(5)リバウンド対策その2(掘削順序の調整)

既設躯体の変形を抑制するため、先行掘削部の道路部側の掘削を一時中断しました。躯体の変位計測結果を日々確認しながら、リバウンドの影響が少ない箇所の掘削を進めました。また、道路部の0次掘削(路面覆工掘削)を開始することで道路部の既設躯体にリバウンドを生じさせ、先行掘削部との間に生じた変形を緩和させました。(図-10)



写真-2 敷鉄板設置状況



写真-3 構内防護壁設置状況

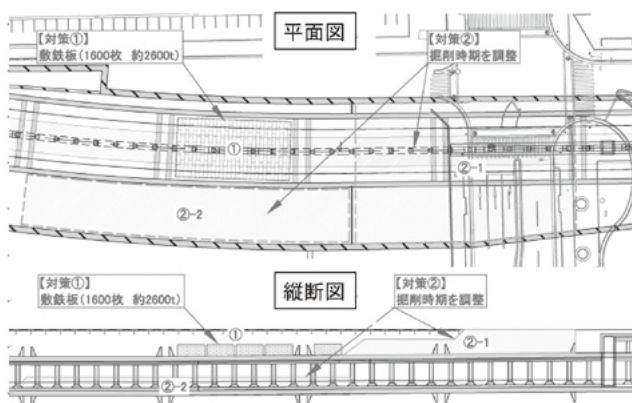


図-10 掘削順序の調整

その後、既設躯体の変形が緩和され、相対変位の値が良くなったことを確認しながら更に掘削を進めました。

営業線に近接した既設構築(側壁)撤去

(1)既設構築(側壁)撤去

新設ホームに、既設側壁が支障するため、側壁の撤去を行うもので、特に営業線の運行支障災害防止に注力する必要がありました。(図-11)

(2)構内防護壁設置

営業中の地下鉄駅構内を走る電車のすぐ脇での作業となるため、撤去する側壁の電車側に構内防護壁を設置しました。(写真-3)

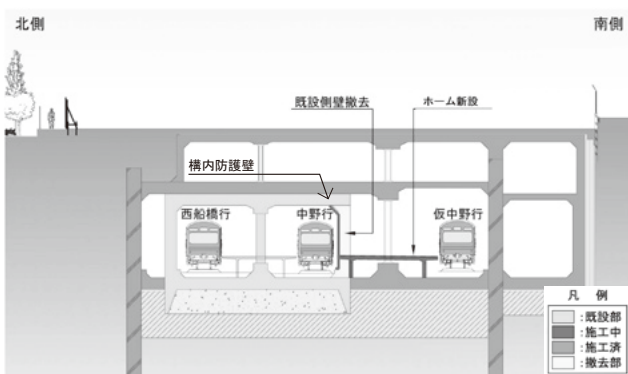


図-11 側壁撤去位置図

(3)施工方法(工法選定と割付)

鉄道に近接した場所で列車の運行に影響を与えないようにするため、静的に既設駅躯体壁を撤去する必要があります。建築限界外余裕を確保して設置した構内防護壁と撤去する壁との間には30cm程のすき間しかなく、低振動・低騒音で粉塵も少ないのがメリットであるワイヤーソー工法を採用しました。図-12に撤去ブロックの割付を示します。

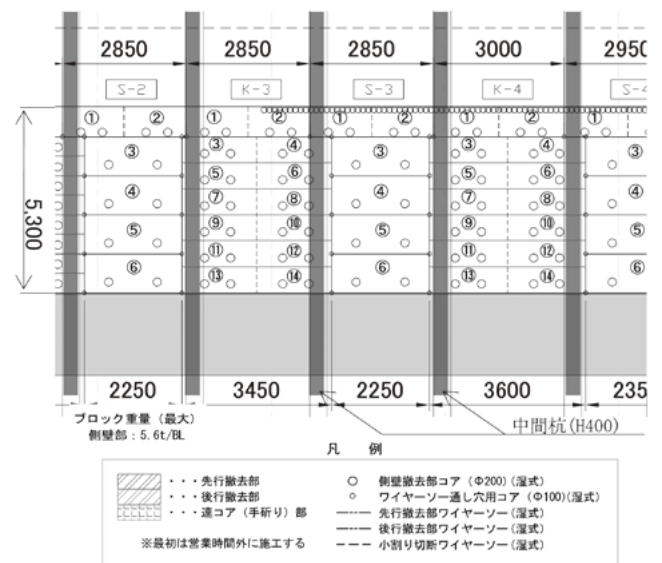


図-12 ワイヤーソー切断割付

コンクリート塊の重量は5.6t以下になるように割付を行いました。撤去は7tフォークリフトを使用しますので、先行撤去は中間杭の間にフォークリフトを入れてそのまま撤去ができるように割り付けました。後行撤去はコンクリート塊を撤去した後一旦作業床まで下ろして、さらにワイヤーソーで小割りしました。

(4)線路閉鎖間合いでの撤去作業

ワイヤーソーの鉛直切断のあと、水平切断を行い、7tフォークリフトのツメをΦ200のコア孔に差し引き出します。引き出しは線路脇での作業であるため、電車の運行を阻害することのないように、ワイヤーソー横切断から引き出しまでの一連の作業は、線路の閉鎖手続きが取れてからの作業となります。(図-13、図-14、写真-4、写真-5)

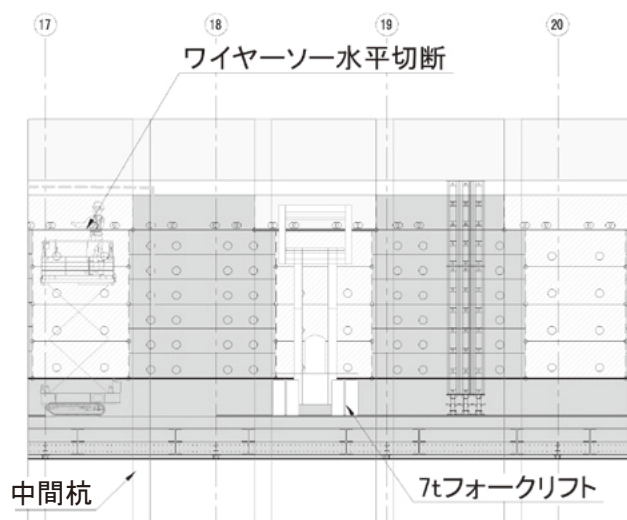


図-13 側壁撤去計画立面図

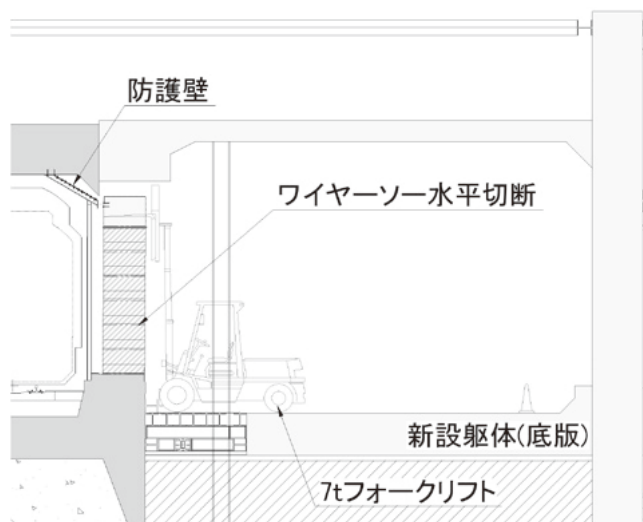


図-14 側壁撤去計画断面図

重量物が万が一電車側に落下することもあると考えられるため、ワイヤーソー水平切断が完了したコンクリート塊は、必ず作業床である新設躯体の底版の上の決められた位置に仮置きして撤去完了とし、線路閉鎖間合(1:10~4:00)で撤去完了できるコンクリートブロックの数をあらかじめ決めてサイクルタイム(表-2)を作成し、線路閉鎖解除遅延とならないように時間的に余裕をもった施工を行った結果、現在まで列車運行阻害せずに順調に進んでいます。



写真-4 側壁撤去状況写真(ワイヤーソー水平切断)



写真-5 側壁撤去状況写真(7tフォークリフト)

既設躯体撤去工(側壁部)におけるタイムサイクル

施工タイムサイクル(WS:ワイヤーソー)	24時	1時	2時	3時	4時
クリティカルタイム	12:45 最終列車 ▽通過確認			3:10 撤去開始 ▽開始撤去	
コア削孔・その他段取り		1:10 基電停止確認 ▽線路作業開始		3:30 撤去完了 ▽完了撤去	
WS WSマシンセット					4:00 線路 作業解除 ▽(所内目標)
WS WS切断(一般部)					
WS WS切断(撤去部)					
S-4⑥ ブロック引出					
フォークリフト段取替					
WS WSマシンセット					
WS WS切断(一般部)					
WS WS切断(撤去部)					
S-5③ ブロック引出					
S-5④ フォークリフト段取替					
WS WSマシンセット					
WS WS切断(一般部)					
WS WS切断(撤去部)					
S-6③ ブロック引出					
S-6④ フォークリフト段取替					
WS WSマシンセット					
WS WS切断(一般部)					
WS WS切断(撤去部)					
S-7①② ブロック引出					
フォークリフト段取替					
横内監視					
第三工事事務所 立会					
片付け、清掃、軌道内跡確認					

表-2 既設躯体撤去工サイクルタイム

おわりに

本工事は軟弱地盤との戦いであり、営業中の既設躯体の変状を常時観測し、既設躯体や軌道の影響を確認しながら工事を進める必要があります。東西線南砂町駅の工事はこれに加えて、営業線の列車を阻害することなく、工事を進める必要があるため、作業時間や作業スペースの制約が厳しく、非常に難易度が高い工事です。そのため、既設躯体や電車への影響を与えないよう綿密に計画を立て慎重に作業を進めています。地盤改良工事は、構築横の施工も含め平成30年12月に完了し、掘削工事は令和元年9月に完了しました。既設躯体撤去は令和元年10月に施工を開始し、駅改良工事の進捗に合わせて今後も継続して進めていく予定です。

現場見学会レポート

◆東西線南砂町駅の改良土木工事を拝見

2月6日(木)に開催された「東西線南砂町駅中央部工区改良土木工事」の工事見学会には会員30名が参加しました。本計画は、地下鉄東西線の列車遅延や、ホームの混雑緩和などを目的に、駅構築周りを大規模掘削し、ホーム増設を行っています。同駅では始端部・中央部・終端部の3工区に分かれて工事が進められており、見学したのは駅ホームの上部に新設されるコンコースが含まれる中央部工区です。

1969(昭和44)年の開業時は、洲崎川にケーソン工法で建設された南砂町駅。本計画のために隣地を取得し、用地が広げられました。海が近く、軟弱地盤という条件下、築50年を超えるケーソンは過去に改良工事も行われてきましたが、長年の地盤沈下によって現在の駅ホームには傾きが見られるといます。

計画概要についてレクチャーを受けた後、見学者一同は現場へ。まずは、新設された中床版のレベルに立ち、一部を取り壊したケーソンの上部と床版の取り合いや、既設側壁や構造部の施工風景を拝見しました。次に上床版のレベルへ移動し、のちにワイヤで切断して搬出することを想定したスリット入りの床版の工夫などを間近に見せていただきました。

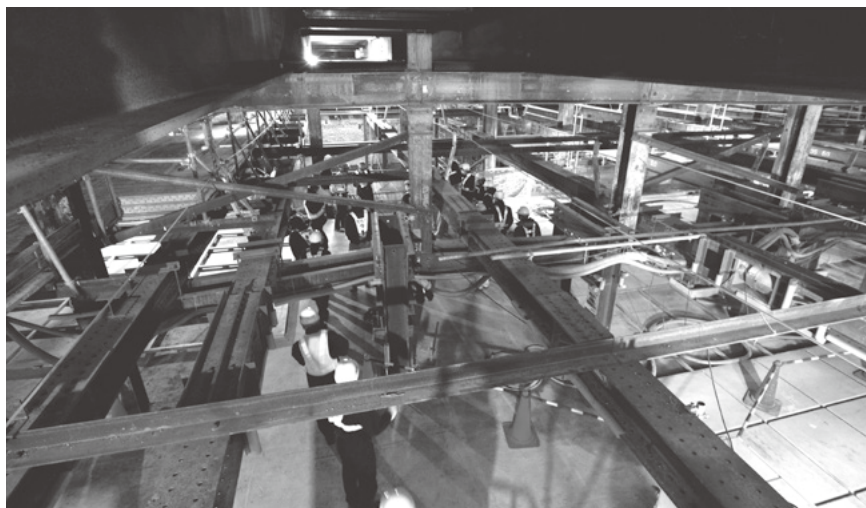
見学者から既存構築と新設構築の接合部の仕様に關する質問を受け、西青木作業所長が丁寧に説明してくださいました。さらに、現場事務所に戻った後、軟弱地盤への配慮について補足説明がありました。駅ホーム下部に水盛式沈下計を多数設置し、本工事によって既存構築に影響が及んでいないか、異常な傾きが生じていないかなど工事事務所のパソコンとタブレットで常時監視しながら工事を行っています。工事で生じる



現場の直上には都道が走り、多くの自動車が行き交う。交通を阻害しないように工事は進められている。

荷重の偏りを解消しながら施工するなど、安全への取り組みについても教えていただきました。

2月現在で工事の進捗は8割だそうです。近隣住民のご理解のおかげで昼夜の工事が実施でき、工程が順調に進んでいると話していたことも印象に残りました。



左／中床版が施工された状態のコンコース。点在上る立ち上がりは既存ケーソンの上部。
上／工事概要の説明を行い、現場の案内役を務めてくださった大成・竹中土木建設工事共同企業体東西線南砂町駅作業所長の西青木光則氏。