変位・荷重自動制御による大規模アンダーピニング情報化管理

鹿島建設株式会社 岩下 直樹 鹿島建設株式会社 板橋 信男 鹿島建設株式会社 山本 章貴

1. はじめに

相鉄・東急直通線(以下「ST線」と称す)は、相鉄・JR直通線羽沢横浜国大駅と東急東横線・目黒線日吉駅間に、延長約 10km の連絡線(図 1)を新設するものである(平成 34 年度下期開業予定)。これにより、横浜市西部地区及び神奈川県央部と東京都心部とを直結させ、鉄道の利便性向上、地域の活性化等への寄与が期待される。その内、新横浜駅(仮称)は、横浜市営地下鉄(ブルーライン)新横浜駅の直下をアンダーピニングによって仮受けして新駅を構築する工事である(図 2)。

地下鉄の列車走行安全性および躯体の健全性を確保するため、「変位・荷重自動制御システム」を用いて制御するとともに、CIM(建設3次元モデル: Construction Information Modeling)を用いてアンダーピニングの見える化を図ったので、ここに報告する。

2. 施工手順

当初計画では、躯体周囲の土砂掘削が完了したら掘削は一旦止め、躯体底部に導坑を掘り、仮受け杭を設置する手順であった。しかし、本工事では、ST線の早期開業に向けた工期短縮のため、地上からの土留め掘削と並行して、地下鉄躯体底部にアクセスする導坑を掘削し、仮受け杭設置を先行する手順を採用した(図3)。



図1 路線図



図2 完成予想パース

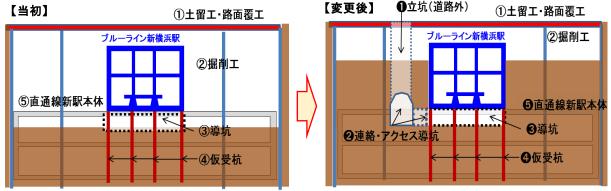


図3 施工手順図(当初・変更後)

3. 地下鉄躯体の計測管理計画

地下鉄躯体の計測管理値は、以下の2項目 について設定した。

- ・変形により生じる応力値は、躯体の健全性を確保する範囲に抑えること。
- ・列車の走行安全性を確保するために必要な 許容範囲の変形に収めること。

躯体の健全性に関しては、下床版の変形に着目して管理値を設定し、変位測定箇所は、各断面につき4測定とした。躯体の健全性に影響を与える変形は、変形の大きさではなく、局所的に生じる変位差の大きさである。そこで、解析的アプローチにより部材応力度(鉄筋応力度 295 N/mm2)が限界となる局所変位量を設定し、上記の4測点によって表現できる下床板の様々な変形モードに合わせた相対変位をノモグラム

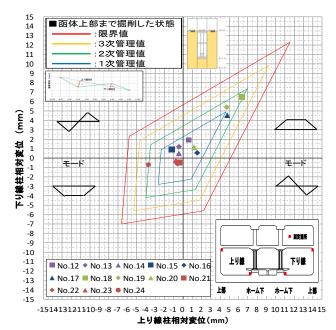


図 4 ノモグラム管理図

(図 4)で表現して、現状の健全性をリアルタイムで確認でき、ジャッキ操作による躯体変位修正を可能とした。また、「列車走行安全性」は横浜市交通局の軌道整備基準値をもとに、別途限界値を設定して管理することとした。

4. 変位・荷重自動制御システムの導入

当工事のアンダーピニングは、営業中の横浜市営地下鉄3号線の地下鉄駅躯体(受替荷重:約6,800t)を24本の仮受け杭頭部に設置された24台の受替工法用特殊油圧ジャッキ(以下、仮受ジャッキ)で直接支持している。地下鉄駅躯体直下に新駅を建設するために、以下①~③の施工条件で、初めて「アンダーピニング変位・荷重自動制御方式」を採用し、管理を行っている(図5)。

- ①仮受けと本体掘削が平行して行われ、 駅躯体に作用する荷重が大きく変化。
- ②地下鉄駅躯体健全性から導かれる許 容変形角を小さくする、厳密な変位制 御が必要。
- ③地下鉄運行に支障がないよう、変位発生時に迅速なジャッキ修正作業が必要。「アンダーピニング変位・荷重自動制御方式」により、列車走行安全性の確保のみならず、地下鉄躯体の健全性確保のために、より精度の高い「変位優先」による制御が可能となった。

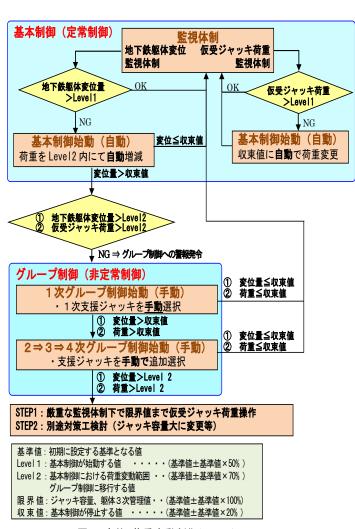


図 5 変位・荷重自動制御システムフロー

当工事で採用するアンダーピニング変位・荷重自動制御システムは、営業中の地下鉄躯体変位量 (開水路式鉛直変位計計測値)を、事前に設定されている管理値の範囲内に維持する為に、以下の 2つのジャッキ制御により管理を行う(表 1)。

表 1 基本制御とグループ制御

	基本制御	・地下鉄躯体変位および仮受ジャッキ荷重を、管理値内に保持する目的で単独の仮受ジャッキ荷重の増減を自動的に操作する。・仮受期間中の日常的な定常制御。					
•	グループ制御	・地下鉄躯体の変位が設定した管理値を超過した場合、複数の仮受ジャッキ荷重を操作することで荷重バランスを修正し、変位修正を行う制御。・基本制御により地下鉄躯体の変位管理値以内に収めることができない場合に、人的に発動する制御で、非定常(線閉時間内作業)で行う制御。					

地下鉄躯体変位制御を行う場合、基準値(初期に設定する基準となる値)に対して、仮受ジャッキ荷 重は LEVEL2 (基準値±基準値×70%) 範囲内にて操作を行い、地下鉄躯体変位が収束値(基準値 土基準値×20%)に収まるよう自動的に制御を行う。基本制御において単体の仮受ジャッキ操作で LEVEL1(基準値±基準値×50%)内に地下鉄躯体変位が維持できず、地下鉄躯体変位及び仮受ジ ャッキ荷重が LEVEL2まで進展した場合に、グループ制御に移行する。

Level 2 上限

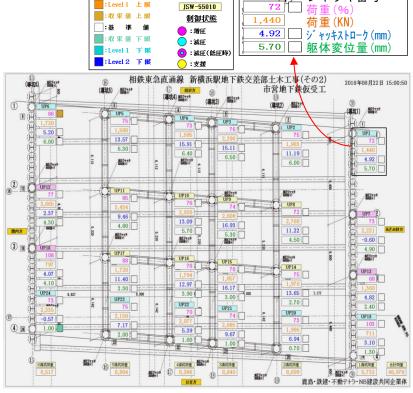
:Levell 上限

5. CIMによるアンダーピニングの見える化

アンダーピニング自動制御 システム導入当時は、集中制 御室内に配備したジャッキ操 作盤、自動制御 PC に仮受け ジャッキの荷重とストロークに 加え、別途地下鉄躯体に設 置した変位計の計測値を取り 込み、数値と制御管理の各状 熊を識別し、モニターに表示し 監視した(図 6)。

しかし、このモニター画面で は複数のジャッキ状態、構造 物の変位状況を視覚的にとら えることができず、瞬時に仮受 け状況を的確に把握できない。 そこで、CIM を用いて、アンダ ーピニングの見える化を図った。 表 2 に見える化のための計測 データ仕様と取得頻度を示す。 以下に見える化の特徴を示す。

- ① 地下鉄躯体の鉛直変位を色分け したコンターで表示
- ② ジャッキストロークの大きさを色と 矢印で表示
- ③ ジャッキ荷重の大きさを色で表示
- ④ 1分毎にモデルの状態を更新し、 リアルタイムで表示
- ⑤ 開削及び導坑掘削エリアと時間 情報をブロック表示



ISW-30010

JSW-45010

ジャッキ番号

図6 従来の監視モニター画面

表 2 各種計測データ取得頻度

取得データ	計測方法	精度	計測頻度	取得頻度			
地下鉄躯体変位	開水路式鉛直変位計	0.1mm	30秒に1回計測	1分毎			
ジャッキストローク	デジタルダイヤルゲージ	±0.03mm	リアルタイム	1分毎			
ジャッキ荷重	圧力変換器	0.08%RO(非直線性) 0.06%RO(ヒステリシス)	リアルタイム	1分毎			
掘削高さ・位置	レベル・スケール	(目視)	掘削完了日を記録	1週毎			

刻々と変化するジャッキストローク量や荷重、地下 鉄躯体変状コンターを色と 矢印で表示し、見える化を 図った(図 7)。また、過去 のデータを PC にストックし 現在と過去の差分表示を行い、仮受け状況の推移傾向 を、迅速かつ的確に把握で きるようにして、ジャッキ操作 を行う際の判断材料とした (図 8)。

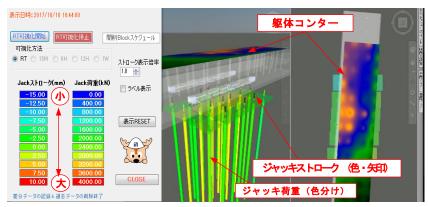


図 7 アンダーピニングの見える化

ジャッキストローク矢印表示

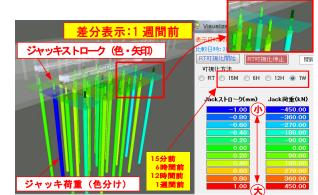


図8過去データとの差分表示

6. 導坑間掘削の施工実績

ジャッキ 24 本で地下鉄仮受けが完了した 後、隣接する導坑と導坑との間の地山掘削を 実施した。この導坑間の掘削の際は、

- ・地下鉄躯体にできるだけ偏荷重を与えない
- ・仮受ジャッキへの荷重移行を急激に行わない
- ・導坑の崩壊、支保工の急な変形をさせない
- ・仮受中のジャッキに損傷を与えない

ことに注意を払い、ジャッキ荷重、ストローク、地下鉄躯体変位等の各種計測データを、24 時間体制で密に監視しながら施工を進めた。掘削の順番は、断面図(図 9)の上半部分について、導坑間掘削順序平面図(図 10)のとおり、躯体の左右端部から交互に1~5の

順番に行った。上半掘削完了後、続いて下半掘削を実施した。 導坑間掘削前状況を写真1に、掘削状況を写真2に、掘削後 の状況を写真3にそれぞれ示す。

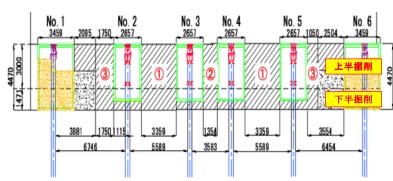


図 9 導坑間掘削順序断面図

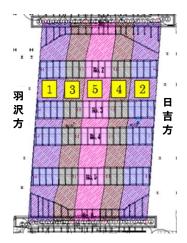


図 10 導坑間掘削順序平面図



写真 1 導坑間掘削前状況



写真 2 導坑間掘削状況



写真3 導坑間掘削後の状況

導坑間の掘削及びその後の変位修正時のジャッキ荷重経時変化図を図 11 に、地下鉄躯体変位経時変化図を図 12 に示す。仮受ジャッキへの荷重移行は徐々に行われ、地下鉄躯体の変位調整もバランス良く実施できている。

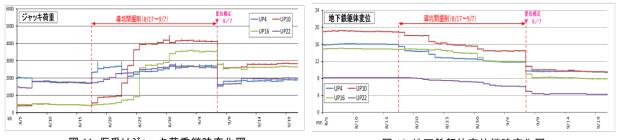


図 11 仮受けジャッキ荷重継時変化図

図 12 地下鉄躯体変位継時変化図

7. CIMによる情報化管理の施工実績

上記 6.で示した導坑間掘削及び変位修正時のジャッキ荷重・ストローク、地下鉄躯体の変位の変動の様子を CIM で見える化し、それを活用して、制御・管理を行った。図 13 に示すとおり、導坑間掘削前は、地下鉄躯体周囲の掘削によるリバウンドおよび、導坑掘削施工時に実施した薬液注入等の補助工法により若干、隆起傾向であったが、導坑間掘削すなわち仮受け完了までに、隆起傾向は徐々に改善され変位の大きい赤いエリアが小さくなっている。ジャッキ荷重は、特にエリア中央付近の仮受杭が赤い表示となり、ジャッキ荷重への荷重移行が行われたことが確認できる。さらにその後に実施した変位修正により、変位の大きい赤いエリアが無くなり、全体にフラットな状態に改善された。

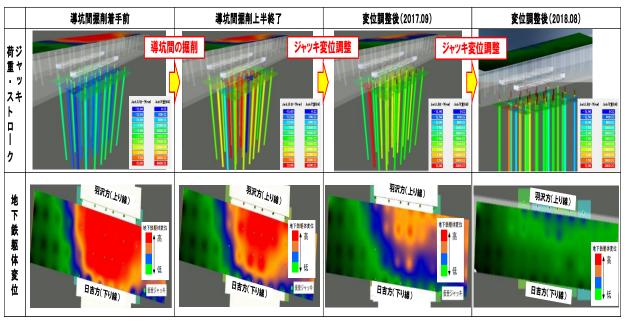


図 13 CIMによる情報化管理状況

8. おわりに

CIM を活用して見える化を図ることで、地下鉄躯体の変位やジャッキの制御状況が視覚的に確認でき、アンダーピニングの施工管理が安全・確実に実施できた。今後の同種工事で参考になれば幸いである。

【参考文献】

1) 山本章貴他: 大規模アンダーピニングエの施工実績,平成30年度土木学会年次学術講演会,VI-1037,2018.08