調布駅付近連続立体交差工事における営業線直下・大規模掘削工事の情報化施工実績

CONSTRUCTION OF DEEP UNDERGROUND STATION UNDERNEATH THE EXISTING RAILWAYS NEAR CHOFU STATION

寺田　雄一郎[1]・岩村　忠之[2]・森　暢典[3]・須藤　豊[4]

Since 2003, with the cooperation of the Tokyo metropolitan and Chofu city, around a span of 3.7km near Chofu station is under construction, shifting the railway lines underground, which intersects continuously. This project consists out of 2.2km of open cut tunnel and 1.7km shield tunnel. This report is based on the large scale excavation near Chofu station, where excavation is carried out beneath the railway lines under very limited work space conditions, and reports the rationalization of earth retaining wall bracing by the usage of Predicting behavior of earth-retainnning structure based on earth retaining wall measurements.

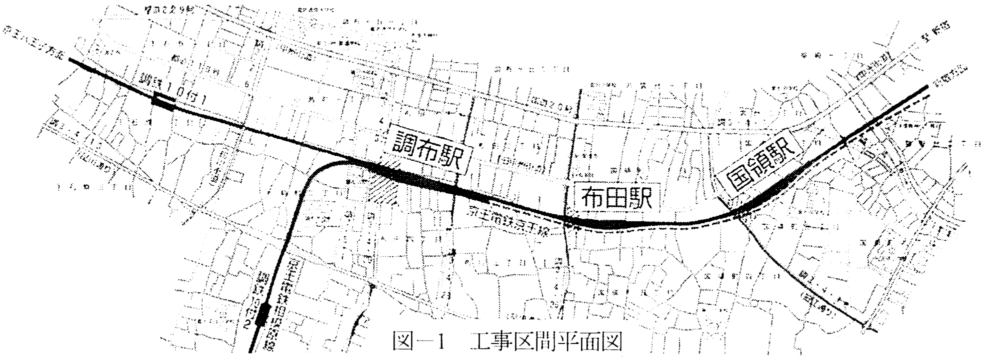
Key Words : *large-scale digging, railway,crossover*

1. はじめに

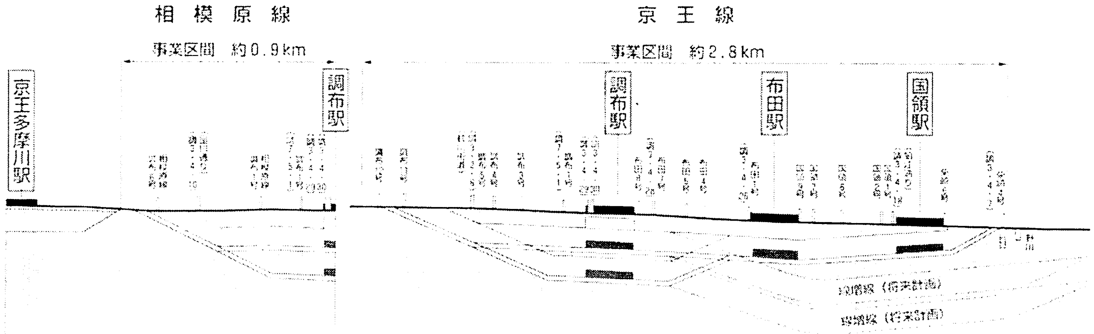
京王電鉄の鉄道事業は，新宿を起点とする京王線と渋谷を起点とする井の頭線からなり，東京都西部地域を中心に神奈川県北部にもまたがる84. 7kmの路線において，1日約175万人を輸送している．京王線は、調布駅を分岐点に，八王子・高尾方面の京王本線と，橋本方面の相模原線に分かれ，現在，その調布駅付近の約3. 7kmの区間（図－1，2）において，2003年度より東京都，調布市と協力し，地下化する連続立体交差工事を施行している．

当事業は，開削トンネル工事区間約2. 2kmとシールドトンネル区間約1. 7kmからなり，全工事区間にわたり営業線直下で地下化工事を施工する点が大きな特徴であり，全体を６工区に分け，施工している．

本稿では，第３工区の調布駅（ホーム2面，軌道4線）付近の大規模開削工事における，軌道直下で狭隘な施工条件での掘削工事の施工実績と，土留計測を反映した情報化施工による土留支保工の合理化について報告する．



図－1　工事区間平面図



図－2　工事区間縦断図

キーワード：大規模掘削，情報化施工，鉄道，立体交差

[1]非会員　京王電鉄株式会社　鉄道事業本部　工務部，E-mail: yuuichirou.terada@keio.co.jp
[2]非会員　京王電鉄株式会社　鉄道事業本部　工務部　調布工事事務所
[3]正会員　鹿島建設株式会社　東京土木支店
[4]非会員　鹿島建設株式会社　東京土木支店

2. 工事概要

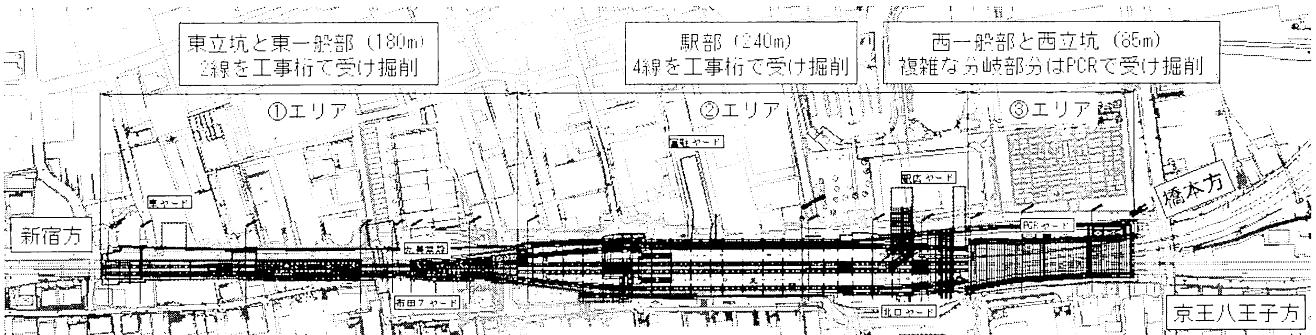
第３工区の工事区間は，調布駅とその前後の分岐器を含む全長505mを地下化する工事であり，現在供用している軌道・ホームを仮受けし，開削工法によりその直下に3層（幅15～23m，深度23～25m）の鉄筋コンクリート構造物を築造する工事である．図-3に示すように，新宿方から，東立坑と東一般部，駅部，西一般部と西立坑の3区間，総延長505mが工事範囲である．

代表断面を用い，駅部の施工順序を図-4に示す．施工は大きく６ステップからなり，①ホームの仮設化，軌道内杭打ち，１次土留杭打設～②作業構台設置，軌道・ホームの仮受け，路上からの土留杭（SMW）の施工～③駅舎の橋上化，上半掘削（GL－9m），路下での土留杭（SMW）の施工，構真柱の施工，B1スラブの築造（逆巻スラブ），B1スラブへの軌道支持杭の受替え～④下半掘削（B1スラブ下），躯体構築，各種設備工事～⑤軌道を地下へ切替え，地上鉄道施設物および仮設物の撤去～⑥完成となる．

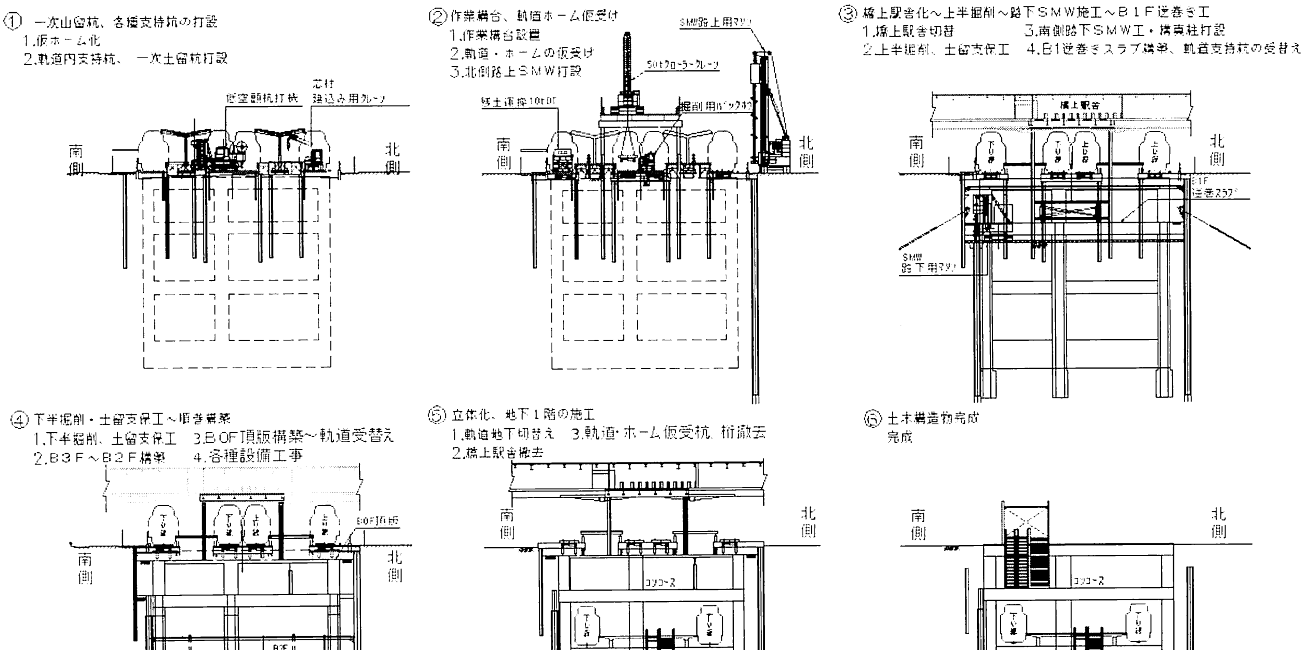
④の下半掘削（Ｂ１スラブ下）工事開始に当り，各種設備工事と詳細な工程調整を実施したところ，土木工事において，おおよそ３か月の工期短縮の必要が生じ，当初計画に対し，より合理的な掘削方法で工程進捗を図ることが，３工区の命題であった． また，本事業における掘削数量は全工区で約401,000m^{3}であり，そのうち３工区の掘削数量は，約251,000m^3（Ｂ１スラブ下は約156,000m^3）と，全工区の約60%を占める大きな作業量であったため，掘削工程を効率的に行うことが，工期短縮に最も有効であった．

3. 地質概要

３工区区間は，ほぼ平坦な立川段丘上に位置し，表層の盛土などを除くと，最上部には関東ローム(Lm)が一様に分布する．関東ローム層は，立川段丘面上の表土下位に分布する火山灰質土で，比較的均質な粘性土主体の地層である．層厚は1.5～3.0m程度でN値は2～10程度を示す．関東ローム層の下には，礫を主体とする立川礫層（Tag）が存在する．立川礫層は，5～100mm程度の礫を



図−3　全体平面図



図−4　施工順序図（駅部）

主体とするほか玉石が点在し，礫含有量はおおむね60～70%に達する．層厚は6～9m程度で，N値は礫径の影響を受けて15～50以上とばらつきが見られる．立川礫層以深の地層は，硬質な上総層群(Ks, Ksc, Ksg)が分布する．上総層は地表面から約10m程度の位置に存在し，N 値は50以上を示す．３工区区間は，上総層群が掘削範囲の大半を占めるため，地盤が良好で，実際に土留壁に作用する側圧は原設計時よりも小さいと予測された．図-5に開削範囲における地質縦断図を示す．

4. 掘削工

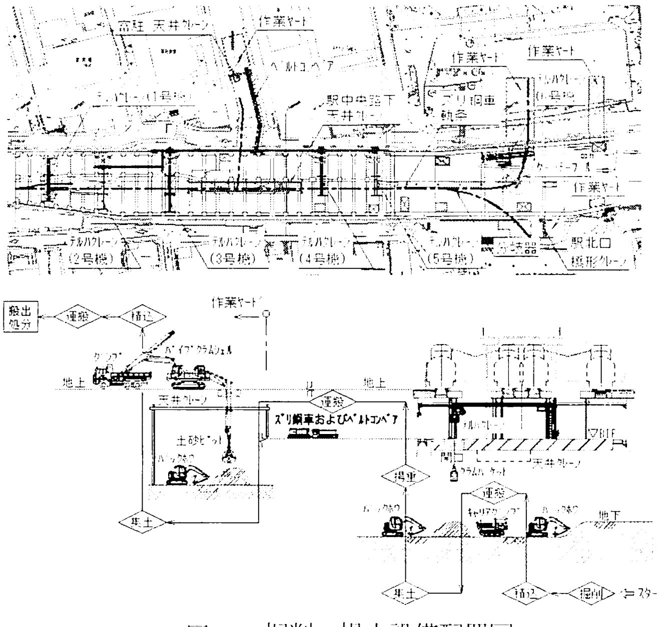
（1） 基本計画概要

掘削工事は，営業線軌道直下においてGL-9mまで掘削した後，3段目支保工となるB1Fスラブ（逆巻スラブ）を先行して構築し，工事桁および構台支持杭をスラブで受替えて，引き続き，スラブ下を掘削するものである．現場状況として，掘削部直上には軌道があり，直接残土搬出や資機材の投入・搬出を行うことができない．そのため，軌道脇に作業ヤードを構え，そこから残土搬出や資機材の投入・搬出を行った．

（2） 設備概要

掘削残土の搬出は，テルハクレーン（4.9ｔ吊）に取付けたクラムバケット(1.0m³)でB1Fスラブ上まで揚土し，そこからB1Fスラブ上に設置してある連続ベルトコンベヤおよびズリ鋼車にて各作業ヤードまで運搬する計画とした．各作業ヤードからは，パイプクラムによりダンプトラックに積込み搬出処分することとした．資機材の投入・搬出は，各作業ヤードに橋形クレーンや天井クレーンを設置し，限られたスペースをできるだけ有効に使用するように計画した．また，B1Fスラブ上の資機材の運搬は，軌道・ホーム・作業構台を支える工事桁支持杭や構台支持杭が多数あるため，運搬台車(車両)の運行ルートを確保することが困難であるため，狭隘な作業場所を有効に活用するため，B1Fスラブ上に軌条を敷設し，バッテリー台車を走行させる運搬計画を立案した．

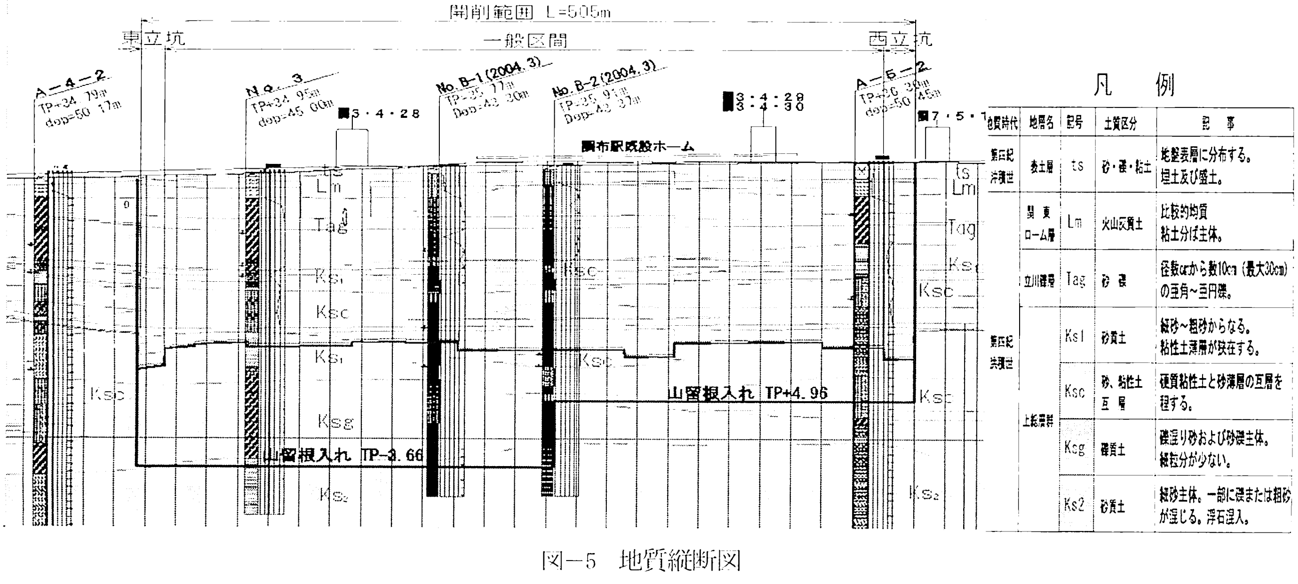
また換気に関しては，地下空間全体の空気を1時間に2回入れ替え可能な換気能力を有する送風機の仕様および台数とした．図-6に駅部区間での掘削・揚土設備の配置図および表-1に設備一覧を示す．



図－6 掘削・揚土設備配置図

表－1 掘削・揚重・換気等仮設備一覧

設置エリア	名称	単位	数量	仕様	用途	設置場所
東一般部	テルハクレーン	2	基	4.9t吊、ウインチ式、バケット装着	土砂揚重、資機材搬入・搬出	B1スラブ上
	ベルトコンベア	2	基	W-600、100m/min、240t/min	土砂搬送	B1スラブ上
	天井クレーン	1	基	4.8t吊	ズリ鋼車転倒、資機材搬入・搬出	布田７路下
	送風機	1	台	2000m³/min	換気	FA2000
駅部	テルハクレーン	6	基	4.9t吊、ウインチ式、バケット装着	土砂揚重、資機材搬入・搬出	B1スラブ上
	テルハクレーン	2	基	4.9t吊、ホイスト式	資機材搬入・搬出	B1スラブ下
	ベルトコンベア	6	基	W-600、100m/min、240t/min	土砂搬送	B1スラブ上
	天井クレーン	1	基	4.8t吊、ホイスト式	資機材搬入・搬出	富澤駐車場
	天井クレーン	4	基	10.0t吊、ホイスト式	資機材搬入・搬出	B1スラブ下
	天井クレーン	1	基	4.8t吊、ホイスト式	資機材搬入・搬出	駅北口路下
	橋形クレーン	1	基	4.8t吊、ホイスト式	資機材搬入・搬出	駅北口
	送風機	3	台	2000m³/min	換気	FA2000
西一般部	送風機	1	台	2000m³/min	換気	FA2000
軌条関係	軌条	284	m	RG762	資機材運搬	B1スラブ上
	片開き分岐	1	基	RG762、左	資機材運搬	B1スラブ上
	バッテリーロコ	2	台	RG762、4t	土砂運搬、資機材運搬	B1スラブ上
	ズリ鋼車	2	台	2.0m3、自動転倒式	土砂運搬	B1スラブ上
	バッテリー自走台車	4	台	5t積	資機材運搬	B1スラブ上
	自動ターンテーブル	1	基	RG762、5t積	資機材運搬	B1スラブ上



図－5 地質縦断図

（3） 掘削実績

掘削に使用したテルハクレーンは，軌道下の空頭制限があるため，ホイスト方式ではなくウインチ方式を採用した．また，ウインチをインバータ制御することにより，巻上げ・巻下げ速度を24m/minの高速運転可能な設備とし，掘削のサイクルタイムを短縮させることが出来た．

以下にテルハクレーンの能力を示す．

- 掘削深度：16m
- 最深部でのサイクルタイム：120秒
- 最深部での処理能力：27～30㎥/h
- 1方（8h）当たりの残土搬出量：約180m³

テルハクレーンで揚土した残土は，B1Fスラブ上でベルトコンベヤおよびズリ鋼車にて作業ヤードの残土ピットまで運搬し，ダンプに積込み搬出した．

（4） 残土搬出実績

2009年6月から開始したB1Fスラブ下の2次掘削の月別残土搬出実績を表-2示す．ベルトコンベヤおよびズリ鋼車での運搬以外に，掘削部より直接積込んだ数量も含むが，2009年12月がもっとも多く搬出しており，1日平均約1,413m³を搬出した．

5. 土留支保工の合理化

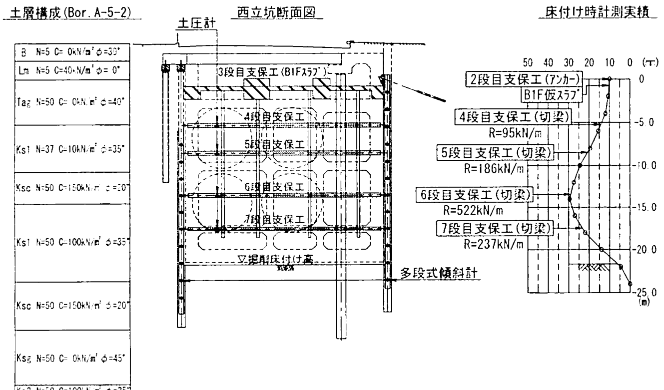
（1） 情報化施工の採用

当初設計では，掘削終了時の土留壁変位，土留支保工反力の計測データから現状・予測解析を実施し，土留支保工の複数段同時撤去などにより撤去ステップを減らすとともに，施工空間を拡大して一度に構築する躯体量を増やして，工期短縮を図る計画としていた．しかし，さらなる工期短縮のため，掘削途中において土留支保工段数低減の可否を検討した．

このため，先行施工する西立坑（図-3 ③エリアの工区端部）の計測結果をもとに，現状解析した側圧パラメータを用いて他区間の予測解析を実施し，掘削進捗状況に応じて得られる各種計測データを基に予測解析の精度を向上させ，以後の掘削が可能であるか判断する情報化施工を採用することにより，安全性の確保と施工の合理化を両立させることとした．

表－2　残土搬出実績表（月別）

		残土搬出量（㎥/月）	累計土量（㎥）	進捗率（%）	月別比率（%）	日当り平均搬出量（㎥/日）
2009年	6月	3,487	3,487	2%	2%	139
	7月	3,256	6,743	4%	2%	130
	8月	8,729	15,472	10%	6%	349
	9月	11,539	27,011	17%	7%	462
	10月	14,036	41,047	26%	9%	561
	11月	22,083	63,129	40%	14%	883
	12月	35,332	98,461	63%	23%	1,413
2010年	1月	27,385	125,846	80%	18%	1,095
	2月	17,424	143,270	92%	11%	697
	3月	13,195	156,465	100%	8%	528
2次掘削合計		156,465	-	-	-	-



図－7　計測結果図（西立坑床付け時）

（2） 西立坑の解析

a)計測結果

掘削完了時の土留壁変形と支保工反力計測結果より以下のことが確認された（図-7）．なお，土留壁の仕様は柱列式地下連続壁（SMW φ850@600，補強鋼材H-588×300×12×20@600）である．

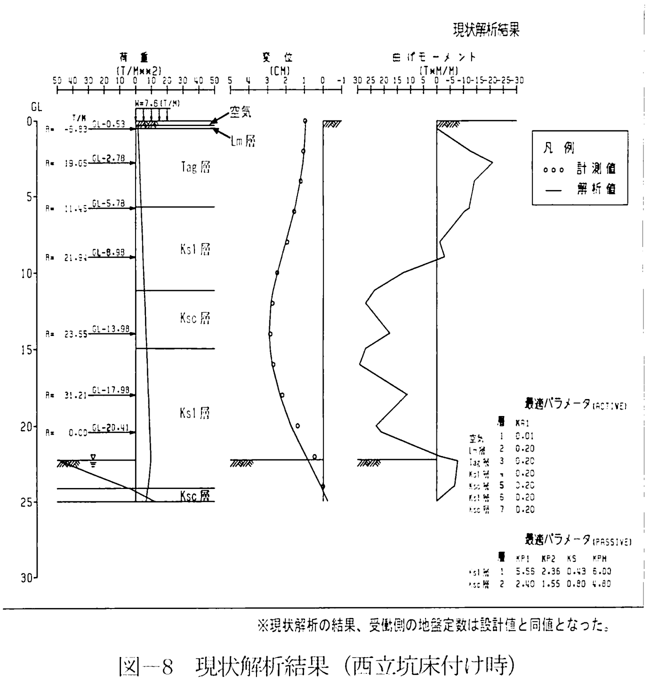
① 変形は床付け掘削完了時で最大28㎜である．

② 支保工反力は6段目支保工で最大522kN/mであり，4断目～7段目の反力の総和は1,040kN/mであった．

b)現状解析結果

西立坑南側の床付け掘削完了後の実測変形量をもとに，実際に土留壁に作用している側圧強度を解析した（図-8）．

土留壁の変位は主働側の側圧係数を全層0.20とすると，計測値と解析値がほぼ一致した．また，支保工反力の総和（解析値882kN/m）もほぼ一致した．以上のことより，主動側の側圧係数は0.20とするのが妥当であると判断した．



※現状解析の結果、受働側の地盤定数は設計値と同値となった。

図－8　現状解析結果（西立坑床付け時）

（3） 土留支保工の合理化と情報化施工

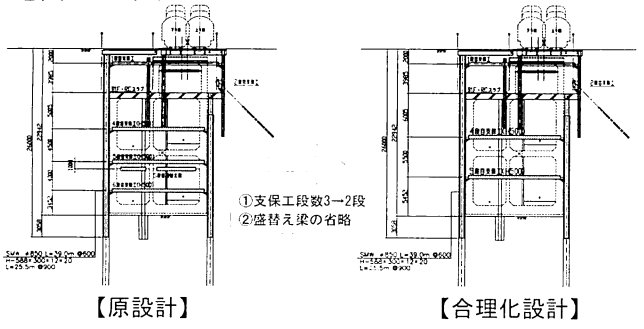
a) 合理化設計

前述の通り，西立坑で得られた側圧パラメータを用いて，立坑以外の一般部土留支保工の合理化を図った．原設計の土留支保工は，3段目（B1F逆巻きスラブ）から床付け位置まで土留支保工が3段であり，躯体構築時には盛替え梁を複数の段で必要とする設計であったが，予測解析を行った結果，4段目支保工および5段目支保工の設置深度を1～2m下げ，B1F逆巻きスラブ以深の支保工段数を3段から2段に変更すること，および盛替え梁の省略が可能となった．図-9に原設計と合理化設計の土留構造比較を示す．

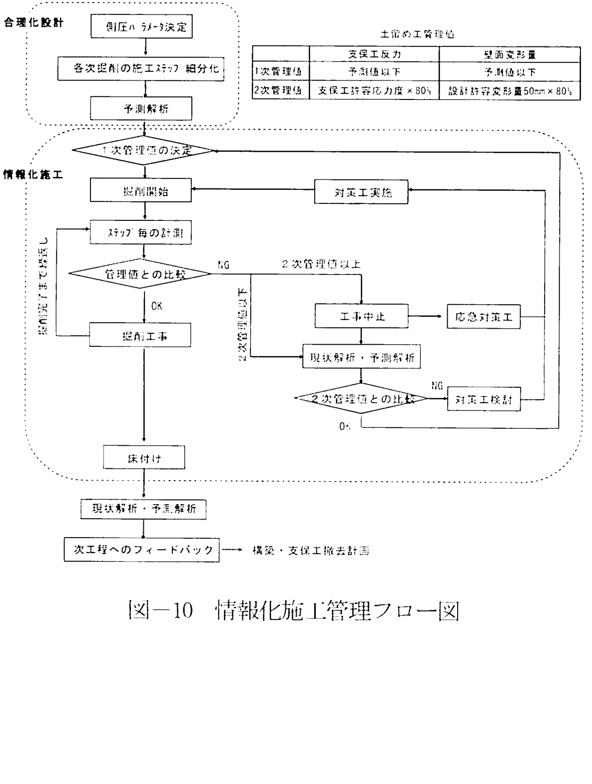
b) 施工管理実績

①情報化施工の管理値

情報化施工にあたり，計測結果の良否を即時に判断可能とするため，土留壁変位，土留支保工反力の１次管理値は予測解析値以下，２次管理値は設計許容値の80%以下とし，施工管理の指標とした．１次管理値の設定に当っては，どの掘削段階でも管理値との比較が容易に可能となるように，１段ごとの切土高さを考慮した予測解析を実施し，その結果をもとに設定した．施工管理フローを図-10に示す．



図－9 土留構造比較図



図－10 情報化施工管理フロー図

②計測実績

情報化施工の基本データとなる支保工反力および土留壁変位について，代表断面として一般部東区間（図-3①エリア範囲）の柱列式地下連続壁（SMW φ850@600，補強鋼材H-588×300×12×20@900）での計測結果を図-11，12に示し，以下に結果の概要をまとめる．

・土留支保工反力計測

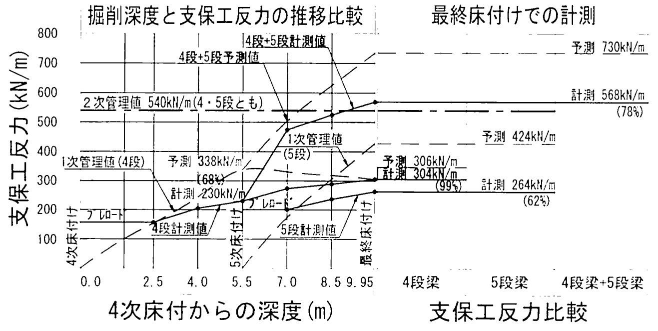
4段目支保工に関しては，5段目設置時には予測解析値に対し68%，床付け時には予測解析値の99%の反力であった．5段目支保工に関しては，床付け時において予測解析値の62%の反力であった．４段５段の合計値は床付け時で，予測解析値の77%であった．

・土留壁変位計測

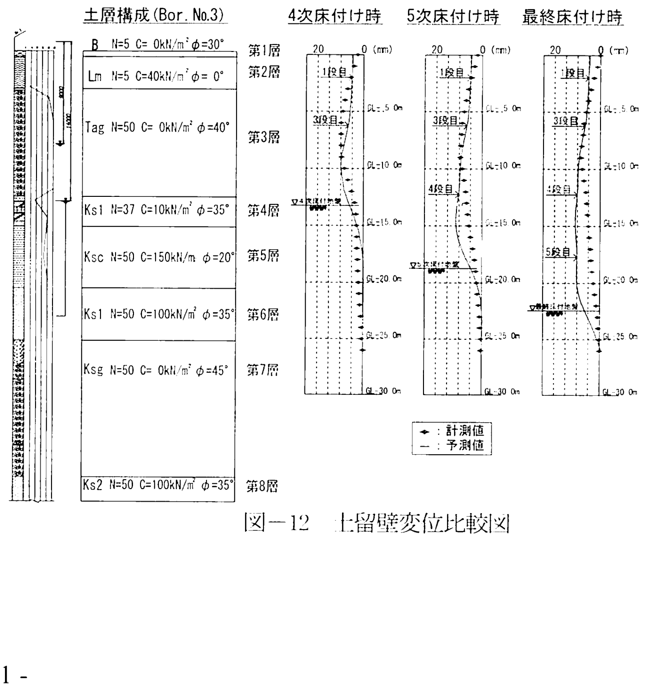
予測解析値と計測値を比較すると，４次～５次床付け時までの変形はほぼ予測解析値に近い変位形状を示している．

最終床付け時では，5段支保工以深の予測解析値に対し，50%程度の変形量であった．

最大変形量は予測解析値11mmに対し，計測値9mmであった．



図－11 支保工反力比較図



図－12 土留壁変位比較図

③情報化施工結果

情報化施工により得られた計測結果と，初期予測解析結果を比較すると，土留壁変位，土留支保工反力ともに若干の違いが生じていた．しかし，その差は大きなものではなく，計測値は常に予測解析値を下回るものであったため，支保工段数の変更などの追加対策を行うことなく施工を実施することができた．最終床付け時点で改めて現状解析を実施した結果（図-13），第５・６層の主働側圧係数を0.1とすると，計測値と解析値がほぼ一致した．なお，他断面でも同様に施工を行い，駅部（図-3②エリア）では更なる合理化施工として，4段目支保工の土留め材を本設躯体である鉄骨を先行して架設し，その鉄骨を4段目支保工とする変更も検討・採用し，4段目支保工の組立・解体作業を省略することができた．

図-14に駅部における土留支保工の構造比較を示す．

さらに支保工段数を低減することにより，支保工間の有効高さを拡げることができ，施工能力の高い大型重機の使用が可能となったことから，掘削・支保工架設の施工サイクル期間を短縮できた．

以上のことから，3段目支保工以深の掘削から躯体構築着手までの工期を，約3ヶ月短縮することが可能となった．

表-3に土留支保工低減による工程短縮の比較を示す．

6. おわりに

以上，営業線軌道直下における大規模開削工事の施工実績，及び情報化施工による土留支保工の合理化について述べた．先行して施工した西立坑での土留計測結果をもとに，情報化施工を行うことで，駅部土留支保工を低減したほか，作業スペースがより大きく確保できることから作業効率の向上に繋がり，工期短縮が可能となった．

また，掘削時にリアルタイムで支保工反力や土留壁の計測・管理を行ったことや，支保工の段数が低減したことで，作業スペースがより広く確保でき，人と重機の区分が可能となり安全管理上も非常に有効な手段であった．

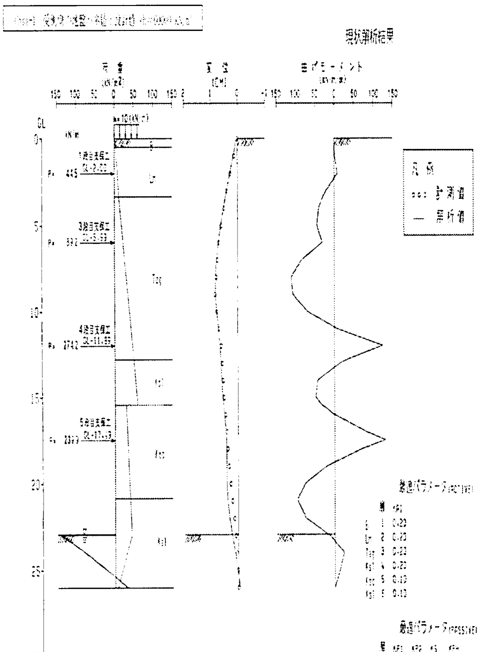
現在，工事は躯体工事の完了した箇所から，軌道，設備，建築工事への引渡しが行われており，2012年度の切替に向け，工事を進めている．

最後に，本工事が今後の同様な条件下での工事に参考になれば幸いである．

参考文献

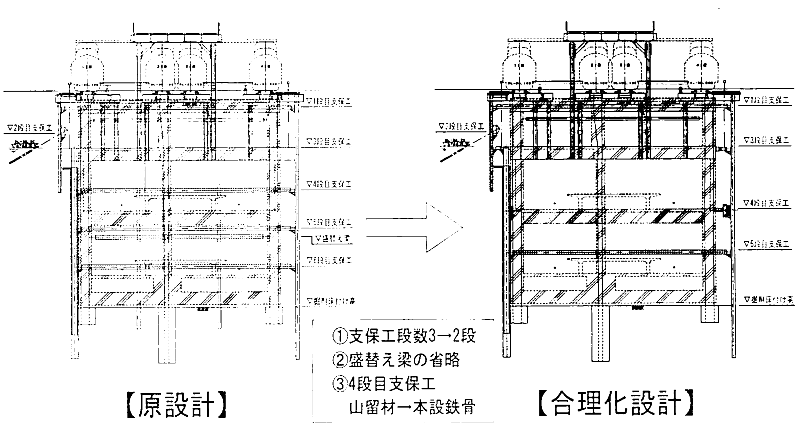
1）寺田雄一郎，岩村忠之，大恵勝，日比康生，森暢典：調布駅地下化工事における大規模掘削工事の施工実績（その１），土木学会第65回年次講演会，第VI部門，pp. 415－416，2010.

2）寺田雄一郎，岩村忠之，大石健太郎，小倉拓也，三室恵史：調布駅地下化工事における大規模掘削工事の施工実績（その２），土木学会第65回年次講演会，第VI部門，pp. 417－418，2010.



図－13　現状解析結果

（一般部東工区床付け時）



図－14　支保工比較図

（駅部）

表－3　施工ステップと工期比較表

施工ステップ		B2F 鉄骨架設	4段支保工 架設	5段支保工 架設	6段支保工 架設	B3F底盤 躯体構築	6段支保工 撤去	B3F壁・柱 躯体構築 ①	B3F壁・柱 躯体構築 ①②	盛替え梁 架設	5段支保工 撤去	B3F壁・柱 躯体構築 ②	B2F鉄骨 架設	B2F床盤 躯体構築	4段支保工 解体	B2F壁・柱 躯体構築	合計
現設計	施工順序	－	1	2	3	4	5	6	－	7	8	9	10	11	12	13	
	施工日数(月)		0.6	0.6	0.6	1.0	0.5	0.7		0.4	0.5	0.7	2.5	1.0	0.5	1.0	10.6
合理化設計	施工順序	1	－	2	－	3	－	－	4	－	5	－	－	6	7	8	
	施工日数(月)	2.0		0.6		1.0			1.0		0.5			1.0	0.5	1.0	7.6