

PCR工法による分岐器仮受工事の計画, 設計, 施工

THE PLANNING, DESIGN AND CONSTRUCTION OF PROJECT BY ADOPTING THE PCR METHOD REGARDING A MULTI-BRANCHPOINT OF THE RAILWAY LINE

寺田 雄一郎¹・成瀬 亮太²・西川 武志³

Yuichiro TERADA・Ryota NARUSE・Takeshi NISHIKAWA

In the beginning of year 2003, Tokyo metropolitan, Chofu city and Keio Corporation started the project around Chofu station continuous crossover undergrounding project. The aim of this project is to replace the railway line from above to underground which crosses the main road routes of Tsurukawa and Komae. The undergrounding of the railway line with a total span of 3.7km is between Keio Line 2.8km (Sibasaki station~Chofu station) and the Sagami-hara Line 0.9km(Chofu station~Keiotamagawa station) This summary concludes the planning, designing and works of this project by adopting the PCR method (Prestressed Concrete Roof method) regarding the west side of Chofu station which have a multi-branchpoint of the railway line.

Key Words : PCR, branchpoint, railway, crossover

1. はじめに

新宿を起点とする京王線は、渋谷を起点とする井の頭線とともに、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169万人を輸送している。(図-1)

沿線には多摩ニュータウンがあり、通勤通学路線という性格が強い一方、明治の森高尾国定公園の中心である高尾山への行楽地輸送にも重要な役割を果たすなど、首都圏交通の大動脈の一翼を担っている。

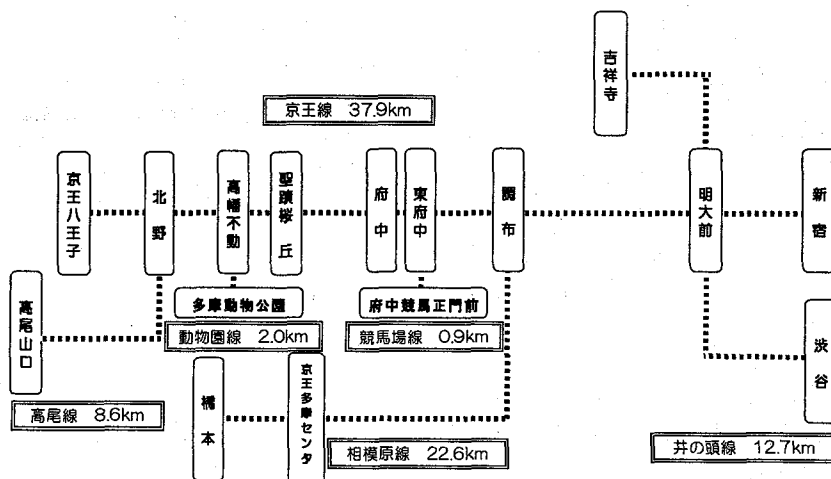


図-1 京王線路線図

キーワード：PCR工法、仮受け、立体交差、分岐器、鉄道

¹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

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

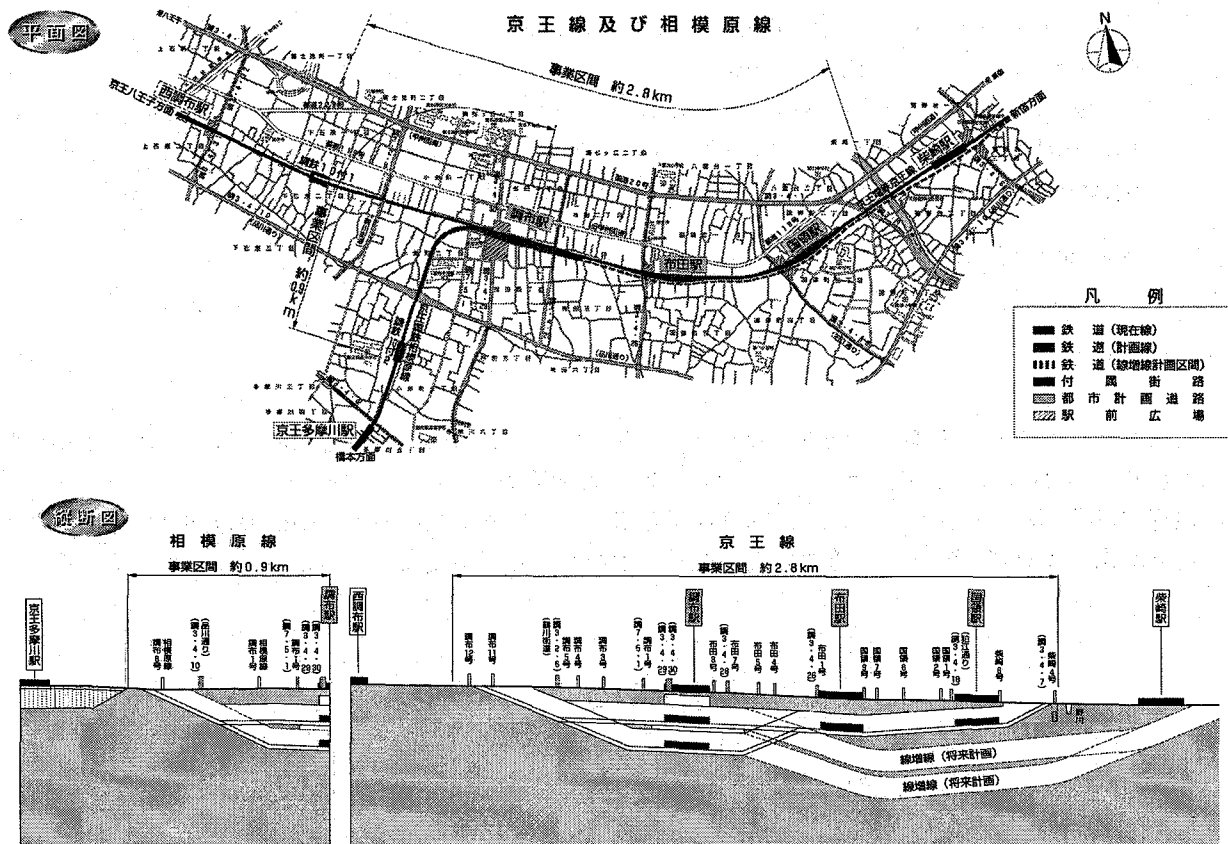
³正会員 鹿島建設株式会社 東京土木支店

東京都、調布市及び京王電鉄(株)では、2003年より、調布駅付近で連続立体交差事業を施行している。同事業は、長い区間に渡り営業線直下で地下化工事を施工する点が大きな特徴となっており、十分な検討を行いながら慎重に工事を進めている。

本稿では、調布駅西側の京王線と相模原線が平面交差した線路が幅輻した区間でのPCR工法(Prestressed Concrete Roof method)について、工法選定と設計や実施における留意点を交えて紹介する。

2. 調布駅付近連続立体交差事業の概要

本事業は鶴川街道(調3・2・6)、狹江通り(調3・4・18)等の幹線道路と鉄道とを立体交差することを主な目的としており、京王線約2.8km(柴崎駅～西調布駅間)と相模原線約0.9km(調布駅～京王多摩川駅間)の計約3.7kmを地下化するものである。これにより、国領駅・布田駅・調布駅の3駅が地下駅となり、18箇所の踏切道を解消するとともに8箇所の都市計画道路を立体化する。また、現在平面交差となっている京王線と相模原線を立体交差化し列車運行の円滑化を図る。(図-2)



本事業の主な効果は以下のとおりである。

- ・ 交通の円滑化(踏切の除却による渋滞の解消)
- ・ 道路及び鉄道の安全性の向上
- ・ 地域の発展(市街地の一体化、現線路用地の有効利用)
- ・ 鉄道施設の利便性の向上

2003年3月に事業認可を取得した後、東京都、調布市及び京王電鉄(株)の間で2003年8月に施行協定を締結し、2004年9月に工事に着手した。

3. PCR工法について

(1) 現場条件と施工方法の選定

a) 現場条件

調布駅は京王線と相模原線が分岐する駅であり、駅西側には5台の分岐器があり線路が輻輳した状況にある。また、作業用地としては、南側は鉄道用地内に8m幅の用地があるものの、北側は4m幅の公道しかなく、大型の重機を配置することが出来ない状況にある。(図-3・写真-1)

そのような状況の中で、地下駅施設を構築するため、分岐部の線路を仮受けし、その直下で掘削や躯体構築作業を行う必要がある。京王八王子方端部は京王八王子方向からのシールド機の転回立坑となるため、極力支持杭の少ない大空間を確保することが必要となる。

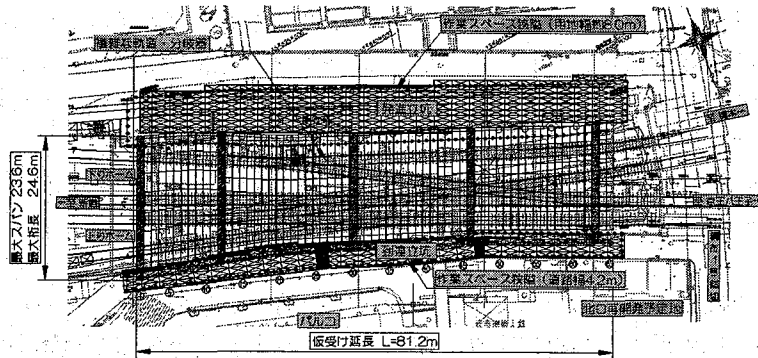


図-3 PCR 施工範囲平面図

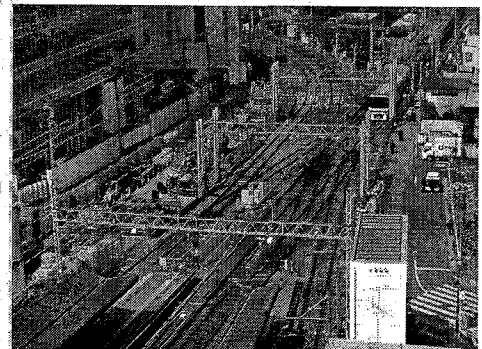


写真-1 調布駅西側線路輻輳区間

b) 施工方法の選定

分岐部の線路仮受け方法の工法選定では工事桁工法(無道床・有道床)と軌道直下でのエレメント推進工法の比較を行った。工事桁工法を用いた場合には桁の設置に伴いレールの破線作業が発生するが、線路が輻輳している状況下では桁の設置に合わせた破線位置の設定が困難である。工事桁を支持する支持杭は分岐器のために打設する場所が限定され、仮受け桁の支間が大きくなることが予想された。長支間の仮受け桁は架設時に大型の揚重機械を必要とするが、線路北側は作業用地が狭隘であるため施工困難であると判断された。

エレメント推進工法は、長支間での施工が可能であり、発進・到達両立坑が比較的狭い作業用地で施工できることからエレメント推進工法に絞り更に比較検討を実施した。(表-1)

表-1 調布駅西側エレメント推進工法比較表

工 法 名	URT工法	PCR工法	パイプラフ工法	HEP&JES工法
施工法概要	鋼製の角型エレメントを軌道を横断して推進し、発進及び到達の両側で支持して軌道を受ける。エレメント内にはコンクリートを充填し、本体構造として使用して、内部掘削を行う。	PCR桁を軌道を横断して推進方式で推進し、発進及び到達の両側で支持して軌道を受ける。PCR桁はPCケーブルで緊張し、本体構造として使用して、内部掘削を行う。	軌道を横断して鋼管を推進し、発進及び到達の両側で支持して軌道を受ける。パイプラフ鋼管は仮設材なので内部掘削後に別途、構造物本体を構築する。	特殊継手を有する鋼製エレメントを軌道を横断して推進し、エレメント内にコンクリートを充填し、発進及び到達の両側で支持して軌道を受ける。本体構造として使用し、内部掘削を行う。
使用断面				
工法の特徴	中空箱型の鋼製エレメントをPCR工法と同じ様に線路下に推進設置し、軌道を支える。目的地には目地モルタル工を、また腐食に耐性して天井コンクリート工を施工し完成する。	上載荷重を受ける矩形断面のPCR桁を、先行推進した角形鋼管を形模して敷設し、軌道を支えるものである。PCR桁間の目地には止水工及び目地モルタル工を施工し完成する。	最も一般的で安価であり、施工実績も多い。パイプラフ下での腐食対策は鉄筋絶縁、コンクリート打設、夏詰め工等が煩雑であり、品質管理に注意が必要である。	鋼製エレメントが引張力を負担し、エレメント内に充填したコンクリートが圧縮力を負担する構造。推進するエレメントと進角方向が主軸力を負担する特殊継手の構造になっている。
本設・仮設	本設	○	本設	○
腐食・化膿工の有無	鋼代用：有 化膿工：有	△	腐食：無 化膿工：無	○
エレメント断面と支障物対応	・エレメント断面：小 → 支障物：困難	△	・エレメント断面：大 → 支障物：容易	○
エレメントの接続	板厚：大 → 溶接時間：長	△	PC接続で容易 短時間	○
中間杭の有無	・板厚：薄い → 中間杭：必要	×	不要	○
桁コスト	肉厚鋼材使用 → 高価	△	プレキャスト断面コンクリート部 → 安価	○
元押し・牽引	元押し	○	元押し	○
桁の積み量	φD = 57 mm (自重+上載荷重) φL = 19 mm (最大活荷重)	△	φD = 16 mm (自重+上載荷重+プレストレス力+クリップ) φL = 9 mm (最大活荷重)	○
φD = 32 mm (自重+上載荷重) φL = 16 mm (最大活荷重)				
総 合 評 価	・施工性、安全性でPCR工法案にある。	△	・桁のたわみを最小に押さえられる工法である。	○
			・本体利用できないため、今回工事には不適。	×
			・作業立坑が確保できないため、採用不可能。	×
			・JES工法(元押し推進)の場合URT工法と同様。	×

24m の長支間で線路を仮受けした際には、低剛性の桁では列車通過時の桁のたわみが大きく、分岐の平衡性が失われ、転換不良を起こす等の危険がある。そのため、列車の安全・安定運行の観点から許容たわみ量を3mmと設定し、そのたわみ量に入る高剛性の桁材として桁にプレストレスを加えるPCR工法を採用した。

(2) 設計条件

a) 設計条件およびPCR桁断面の設定

PCR 桁断面を設定するにあたり、次の条件を満足するものとした。

① 載荷線数

列車運行の組合わせから、載荷線数が最も多い3列車載荷とし、更に最もたわみが大きく発生する支間中央付近の荷重載荷で検討。(図-4)

② PCR 桁のたわみ

「無徐行のための構造物の設計施工の手引き¹⁾；JR 東日本」に準拠すると、PCR やパイプルーフ等のエレメント工法で軌道を受ける場合の許容たわみ量は $L/800$ となる。線路方向のエレメント区間長(80m)を考えると桁の許容たわみ量は100mmとなる。また「無徐行の手引き」から、工事桁端部の橋台部分の許容鉛直沈下量は、無徐行85km/h以下の場合、11mmと規定されている。

桁高1200mmの断面に対し、3線載荷の条件でたわみ解析すると、列車荷重による桁のたわみは9.4mmとなり、たわみ制限値をクリアする。

③ 分岐器の機能確保

分岐器の構造は、レールの下を転てつ棒が横断してトングレールを動かす形であり、レールと転てつ棒の離隔は3mm程度である。PCR 桁のたわみにより、左右レールの沈下差から転てつ棒の絶縁不良回避するには、左右レールの沈下差を3mm以下に抑える必要がある。PCR 桁高1200mmにおける桁のたわみと左右レールのたわみ差は最大 $1.8\text{mm} \leq 3\text{mm}$ となる。(図-5)

以上より、PCR 桁高を1200mmとした。(図-6)

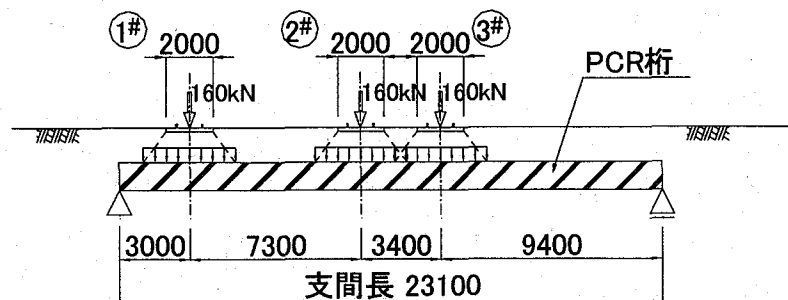


図-4 PCR 桁設計荷重条件

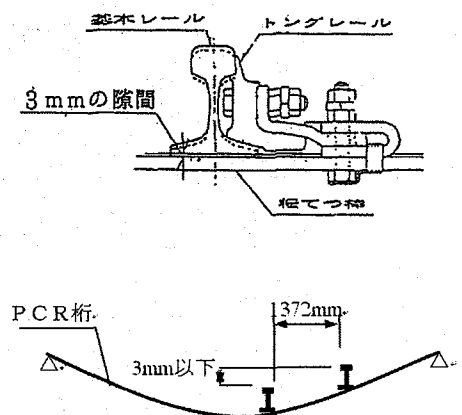
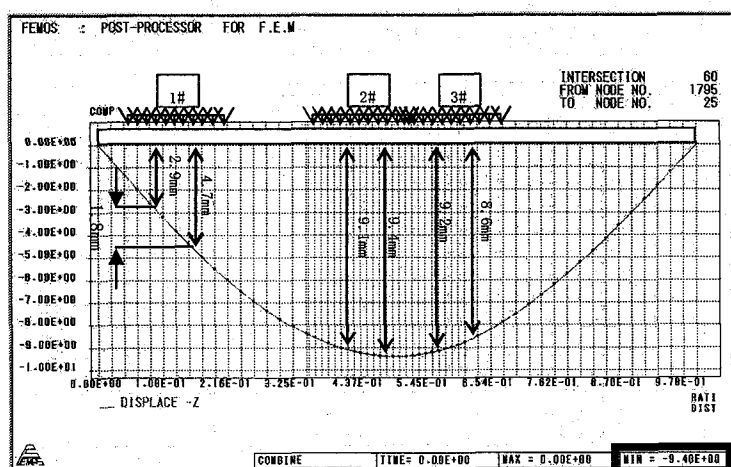


図-5 たわみ量計算結果・トングレール詳細図

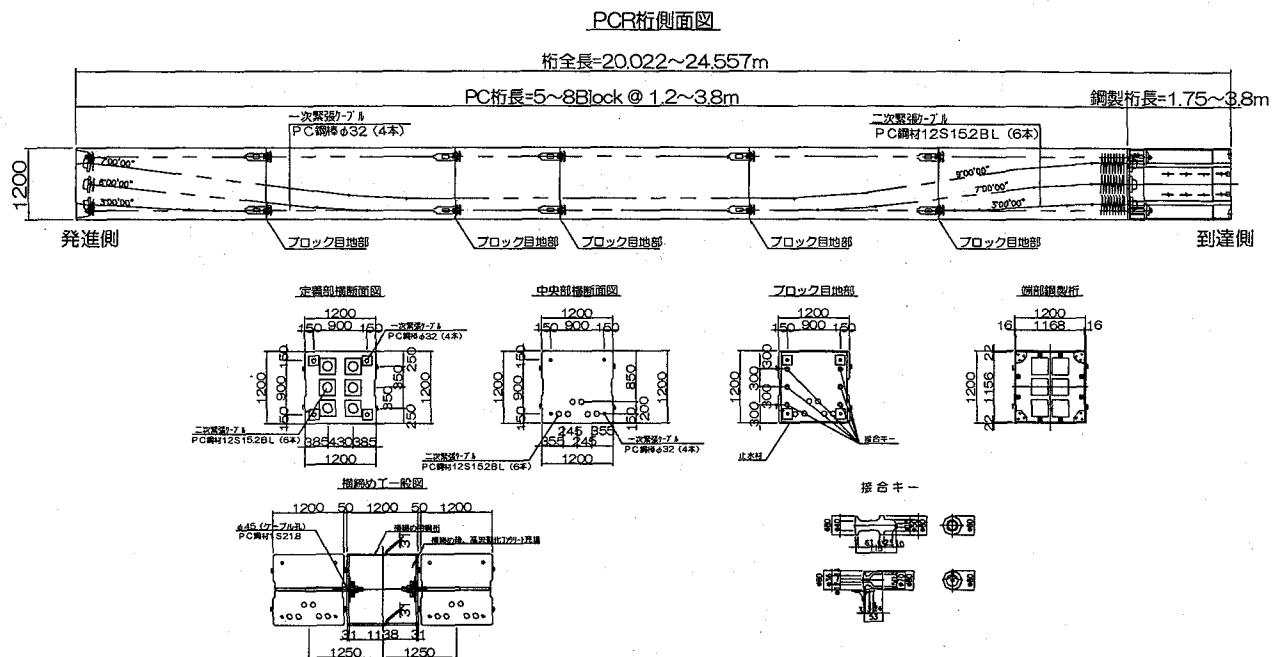


図-6 PCR 桁標準図

b) PCR 桁の設置高さの設定

PCR 桁を軌道下に配置するが、その設置高さを設定するにあたり、次の条件を考慮した高さに設定した。

①PCR 推進時、軌道や列車走行の安全性の確保

- ・「無徐行の手引き」に準拠すると、PCR 等のエレメント推進時に「線閉せずに」軌道や列車走行の安全性を確保するには、列車速度 85km/h の場合、次のようにある。

土被り $\geq 1.0\text{m}$ かつ 1D

土被り：施工基面～エレメント天端

D：エレメント高さ

- ・PCR エレメント高さが 1.2m であり、「線閉せずに」エレメント推進を行うと土被り（施工基面～エレメント天端）は 1.2m 必要となる。

②B1 階トンネル換気機械室の内空高さの確保

地下躯体 B1 階は調布駅から西調布方及び京王多摩川方のトンネル換気を行うための大型換気機械を設置する機械室であることから、内空高さは 4m 程度確保する必要がある。上記のように、「線閉せずに」エレメント推進を行う場合は、PCR を本体利用することを想定すると B1 階の内空高さは 3.3m となり十分な内空が確保されない。

③将来計画の建物基礎高を確保

PCR 桁上に建物を建設することを想定した。

以上より、PCR の設置高さを設定した。

- ・エレメント推進作業は線閉間合いで実施する。
- ・土被り（施工基面～エレメント天端）= 580~880mm ($\approx 600 \sim 900\text{mm}$)
- ・B1 階内空高さは 4.0m を確保する。
- ・将来の建物基礎は高さ 1100mm を確保でき、PCR 桁のたわみ量と建物基礎の傾斜及び不同沈下の許容値から、3 階建程度の建物基礎に対応できる。

c) PCR 桁の本設利用計画

PCR 桁は地下躯体の上床版として本設利用することで、コスト低減と工期短縮を図る計画である。図-7 に本設利用のステップ図を示す。

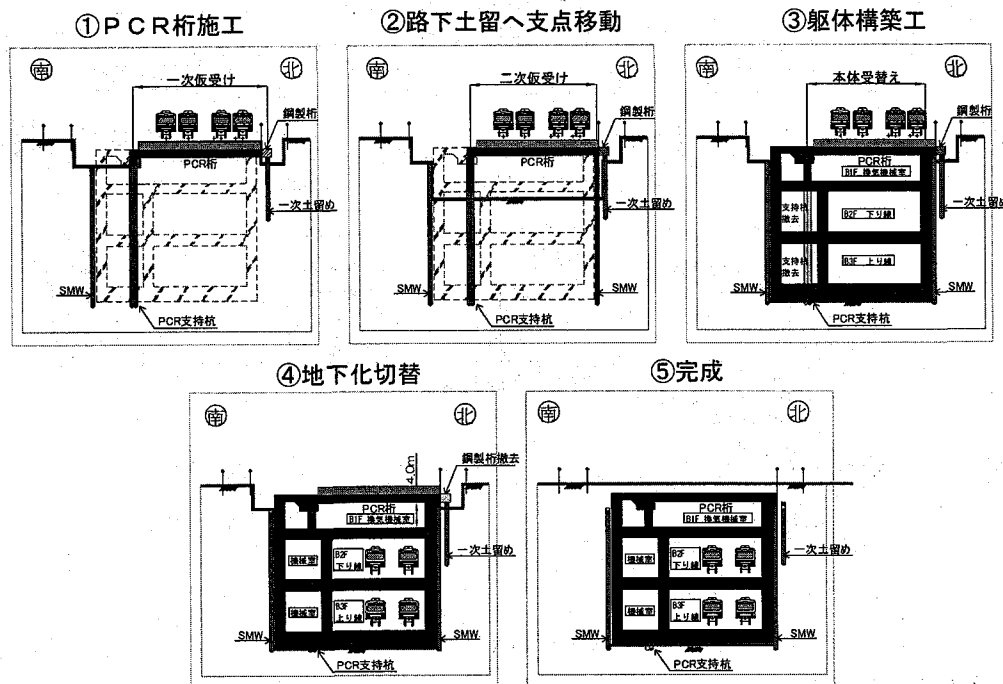


図-7 PCR 桁本設利用ステップ図

- ① 掘削時は、南側は鋼管杭φ1100で支持し、北側は狭隘な作業用地のため大口径・大深度の支持杭が施工できないため一次山留杭兼用の鋼管杭φ600で支持する。
- ② 北側支持杭は路下施工にて施工したSMWに支持替えを行い、最終床付けまで掘削を行う。
- ③ 躯体構築しB1Fスラブに南側のPCR支持杭を受替え、上床版スラブと南側受梁を接続しB2F・B3Fを貫通しているPCR支持杭を撤去する。北側はSMWから側壁へ支持替えする。
- ④ 地下化切替後、北側道路部のPCR桁端部及び受梁を撤去する。
- ⑤ 南北立坑部及び地上軌道部分を撤去し完了となる。

PCR 桁本設利用に当り、桁の支点移動について検討が必要である。掘削時の PCR 桁の北側支承部は道路用地内であり、本設構造物が事業用地外に残るため、PCR 桁の北側端部を鋼製化し PC の定着部を事業用地内に移動することにより対応する。道路部の桁を撤去可能な仮設部材とすることで解消した。PC 桁と鋼製桁の接続部材で鉄道を仮受した実績は非常に少なく、列車振動による接続部の疲労による目開きやズレが懸念されたが、実物大の疲労試験を実施し安全性を確認している。

(3) 施工方法

施工ステップ図を図-8 に示す。

- ① 分岐部軌道敷地の南北に発進立坑及び到達立坑をそれぞれ構築し、立坑スペースの確保できる南側発進立坑に推進ジャッキ及び推進架台をセットする。線路横断方向に□-1200×1200の角型鋼管を圧入しながら鋼管内部を人力掘削する。調布駅はホーム位置の移動や相模原線の新設により、鉄道施設の移設等が多数行われており、それに伴う残置杭・基礎等の地中障害も、事前の調査で数多く確認されている。その為、掘削作業は、地中障害に起因する地上の軌道施設の隆起、沈降等を防ぎ、それらの不確定要素の多い地山を目視により確実に掘進することを最優先に考え、基準管だけでなく全数を実確な掘進管理が可能な人力で行っている。推進と同時に刃口付近に格納したロール状の薄鉄板を管体上部にまきだすことにより、地山と管体の縁切り材として作用させ、推進力による軌道の横方向への張り出しを防止し

ている。

②③ 角型鋼管が到達立坑に到達後、発進立坑側から角型鋼管に同形のPCR桁を連結し、到達立坑にて角型鋼管を回収しながら置換推進を行い、すべてPCR桁に置き換える。この際、発進立坑の内空制限から一本当りのPCR桁の桁長が制限されるので、最大桁長を3.8mとしてブロック化したPCR桁をPC鋼棒にて接続・緊張（1次緊張）しながら置換え推進を行う。

④ 1本の角型鋼管が全てPCR桁に置き換わった時点で、発進・到達立坑を定着部とするPC鋼線を挿入し緊張を行い（2次緊張）、最終的なプレストレスを導入する。

PCR桁を線路横断方向に連続して敷き詰め、81.2mの区間を65本の桁で仮受をする。

PCR桁は地下躯体の上床版として本体利用するとともに、PCR桁上部の鉄道跡地の有効利用も想定される。よってPCR桁同士の一体化を図る目的として、線路方向にもPC鋼線を配置する計画である。桁65本を4ブロックに区分し、ブロック境に角型鋼製桁を採用し、桁内部から線路方向にPC鋼線を挿入して横締め緊張することで桁同士の一体化を図る。PC鋼線の緊張後、鋼製桁内部をコンクリート充填し、桁の断面剛性を確保する。

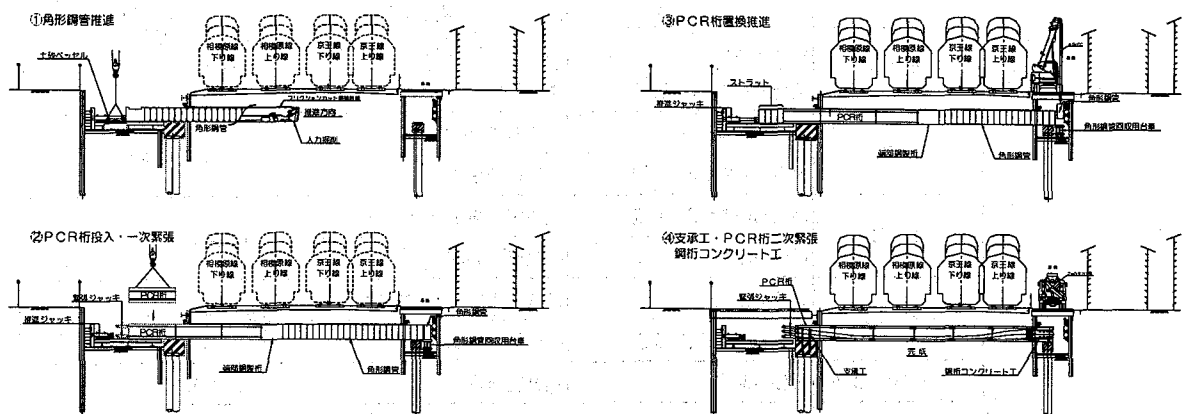


図-8 PCR 施工ステップ図

(4) 施工管理

a) 人力掘削

掘進は切羽中央部のみを切り崩し（芯抜き掘削）推進管周辺の地山を残したまま圧入し、余掘りによる軌道の沈下を防止する。管周辺部は推進前に探針を行い支障物の確認を行う。さらに切羽に設置したカメラにより、計測室にて掘削状況を監視する。

b) 推力管理

類似工事において管体が支障物を押し上げた際のトラブル事例が多く、復旧にも多大な時間と労力が必要となることが予想された。推進時の推力を計測室にて集中管理し、設計値及び過去の実測値との比較により、推力の上限値を設定している。設定した上限値に対し、ジャッキが自動停止するシステムを構築している。（図-9）

c) 切羽管理

作業後は鉄板とキャンバーにより切羽の土留めを行う。作業休止時の土留の崩壊を早期に発見するため、切羽監視カメラの映像は電話回線により事務所のパソコンに転送される。鉄板にワイヤーを張り、土留が崩壊した際のワイヤーの緩みや伸びを感知するセンサーを設置し、異常時には立坑内と計測室、事務所に設置したブザー式回転灯が作動し、速やかに点検・補修が行える体制とした。

d) 軌道変位管理

軌道変位観測は表-2により実施し、日々の施工完了後の軌道整備に反映させる。（図-10）

分岐部は切羽通過時に密着調整を行うとともに、列車通過時の動的変位（あおり）を計測する。

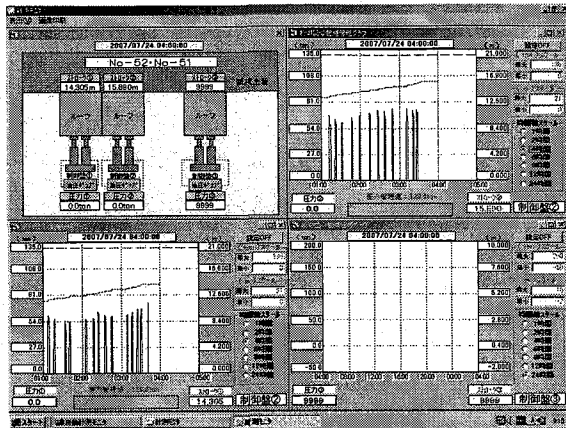


図-9 ジャッキ推力管理システム

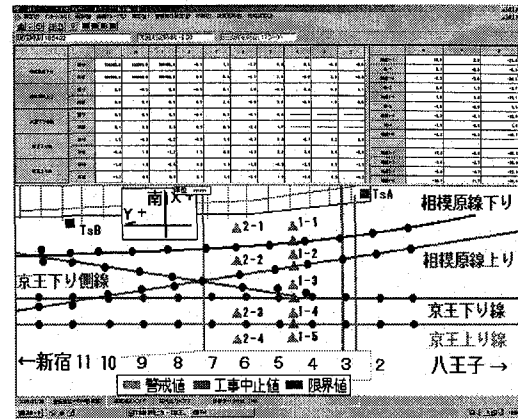


図-10 軌道変位測定位置図

表-2 軌道変位管理方法

時 期	管理方法	測定箇所	測定頻度
施工前	レベル測量	推進管のライン上の内外レール	初期値測定
	高低・水準測定・目視	推進箇所直上	
施工中	レベル測量	推進管のライン上の内外レール	各推進後(20cm)
	高低・水準測定・目視	推進箇所直上	
施工後	高低・水準測定・目視	推進箇所直上及び前後	軌道整備後
	レベル測量	軌道整備範囲	
初電～3本	レベル測量	推進管のライン上の内外レール	各列車通過後
	高低・水準測定・目視	推進箇所直上	
4本～10時まで	たわみ測定	推進箇所直上	1回/30分
10時以降	トータルステーション	測定位置(図10)	1点/1回20分周期

(5) 施工状況

試験的に施工を実施しているが、高低・左右の蛇行とも $\pm 10\text{mm}$ の範囲内の非常に良好な精度で掘進を完了している。地山の状況は、掘削断面の上部1/3が黒ぼく、下部2/3がロームという状況であり、刃口周辺の地山を緩めずに推進しても、設計推力の70%程度で推進が行える状況である。角型鋼管推進時に上部に当初余掘り分の充填材(裏込め材)として、発泡ウレタンや特殊充填材(ボイドキーパー)の準備をしていたが、グラウト孔からの点検で、余掘りのない状態で推進が行えていることが確認でき、充填材を注入する必要がない状況である。軌道変状は、日々の軌道整備によりほとんど見られない状態である。

6. おわりに

2007年6月より1連施工の試験施工を実施し、7月には2連施工の試験施工を開始している。現在は2連×2箇所の同時施工を実施し、11本の掘削推進と3本の置換推進が完了している。今後は1年半程度をかけて全65本のPCR桁を推進させる予定である。これからは分岐器の転換部直下での施工となるので、更なる軌道管理体制の強化と慎重な施工を行う所存である。

参考文献

- 1) JR 東日本コンサルタンツ(株) 無徐行(徐行速度向上)のための構造物の設計・施工の手引き, 1997