

(90) 横移動後、PC鋼材によりラーメン化するPRC鉄道橋の設計・施工

東日本旅客鉄道(株) 正会員 ○ 中山弥須夫  
 同 上 下大 菌 浩  
 同 上 細川 泰明

1. はじめに

現在、東京・神田間では北陸新幹線乗り入れ工事に伴う東京駅付近中央線重層化工事が行われており、神田・東京間の中央線新設高架橋は平成7年7月から仮線として、平成8年11月から本線として供用を開始している。図1に示す新設高架橋のうち、高架ホーム端部から日本橋川橋梁までの約675mの高架区間はアプローチ部と呼ばれ、首都東京の表玄関である東京駅付近に構築されることから、図2に示すように周辺の景観との調和を考慮した設計を行った[1]。

高架橋の設計・施工については、文献[2][3]ですでに報告している。本文は、平成8年11月に行ったPRC桁11連の一括横移動工事およびその後のラーメン化工事の設計・施工について報告する。

2. 工事概要

アプローチ部は、呉服橋のご道橋部分を除き、図3に示すようなスパン約17~27m、4~9径間のラーメン高架橋で構成されている。この高架橋は施工時に中央線の建築限界に支障するため、道路上空を占有することとなる。しかし、事前の道路管理者との協議により、道路上空の縦断占有面積を極力少なくすることとなり、最終線形では線路用地内に極力振り戻すこととなっている。このため、42番の柱から神田方の仮橋脚上の11連の桁(10連の箱型PRC桁と鋼桁)は約1年半単純桁として供用し、中央線旧構造物の撤去及び本設橋脚の完成後、鉄道用地側へ横移動することとした[4]。

横移動工事は供用中の中央線における工事であるため、列車運行上の影響を極力小さくする必要がある。このため、軌道・電気工事を含めた全工程を約22時間とし、桁横移動時間を3時間30分程度とした。桁の移動は、ジャッキ荷重と桁移動量を1箇所ずつ制御するシステムを用いて11連の桁を同時に移動することとし、連続移動が可能な重量物連続移設用油圧ジャッキ(ダブルツイングジャッキ)を採用した。

横移動した桁は、桁間、桁一横ばり間の間詰めを行

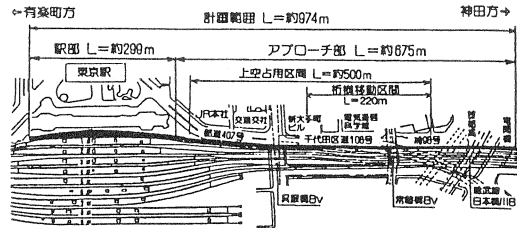


図1 中央線重層化位置平面図

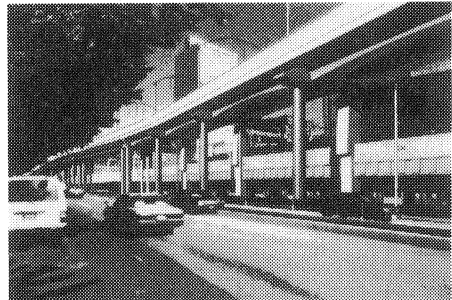


図2 アプローチ部完成予想図 (CG)

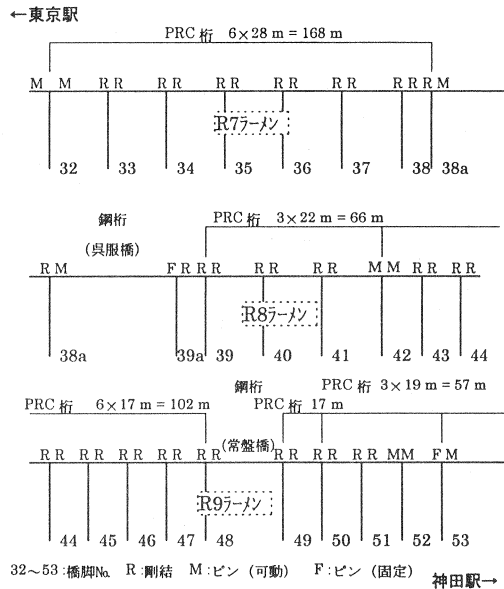


図3 高架区間概要

い、連結ケーブルにより本設橋脚と一体化し、ラーメン高架橋構造となる。横移動後、桁は連結ケーブルにより本設橋脚と一体化し、ラーメン高架橋構造とする(図4)。

### 3. 横移動工事

#### 3.1 横移動用設備

今回横移動を行う桁の諸元を表1に示す。横移動する桁は11連、最大重量は非合成鋼桁の840.7tf、PRCプレキャスト桁では538.3tf、最大移動量は約6.6mである。

桁横移動の概念図を図5に示す。中央線の建築限界および既設レンガ高架橋に支障するため、本設橋脚が構築できない。このため、工事は二期に分けて行った。

一期工事では、本設の橋脚柱2本のうち道路側の1本と仮設柱2本から仮設橋脚を構築し、10連のPRC桁および鋼桁を架設する。軌道の完成を待って、中央線を新設高架橋上へ切替える。

二期工事では、既設レンガ高架橋の撤去後、ここに残りの本設橋脚柱を構築し、先に構築した仮設橋脚とつなぎ、本設橋脚を構築する。この後、桁を線路側に横移動し、中央線の振戻しを行う。

横移動のための設備は、図6に示すように滑りレール上をゴム沓が滑る構造とした。滑りレールは横ばり上に設置し、25mm厚の鋼板上に5mm厚の鏡面仕上げされたステンレス板を溶接した構造とした。桁支点部に設置したゴム沓は、厚さ35mmとし、下面に1mm厚のテフロン加工を施した構造とした。また、桁支点部には桁移動時の縦ズレを防止するためのガイドを2箇所設置し、ガイドと滑り板との橋軸方向の遊間はクリープ・乾燥収縮による収縮量を設計値の2倍として余裕をもたせた。

横移動は、横ばりの線路側端部に取付けた反力ブラケットにPCストランド(φ27.6mm)を固定し、桁の道路側面に設置したダブルツイングジャッキでPCストランドをたぐり寄せながら桁に水平力を作用させ行う。このジャッキの特徴は、2つのシリンダーを交互に作動させることにより、連続的に所定の位置まで横移動させることができる点である(写真1)。

#### 3.2 沓滑り試験

設計においては、過去の施工例から初期摩擦係数が0.2程度となることを考慮し、1桁あたり70tfジャッキ2台(鋼桁は4台)を使用することとしていた。しかし、

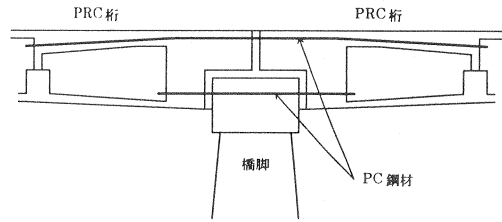


図4 ラーメン構成概要

表1 桁諸元

橋脚No.	桁No.	桁種別	桁長(m)	スパン(m)	桁重量(tf)	移動量(m)
P42	1	PPC桁	17.0	15.8	538.0	2.39
	2	PPC桁	17.0	15.8	538.0	3.19
	3	PPC桁	17.0	15.8	538.0	4.13
	4	PPC桁	17.0	15.8	538.0	5.35
	5	PPC桁	17.0	15.8	538.0	6.03
	6	PPC桁	17.0	15.8	538.3	6.59
	7	鋼桁	38.9	37.8	840.7	6.64
	8	PPC桁	17.0	15.8	522.1	6.21
	9	PPC桁	19.4	15.2	581.3	6.02
	10	PPC桁	19.4	15.2	581.3	5.95
P52	11	PPC桁	19.4	15.2	581.3	5.94

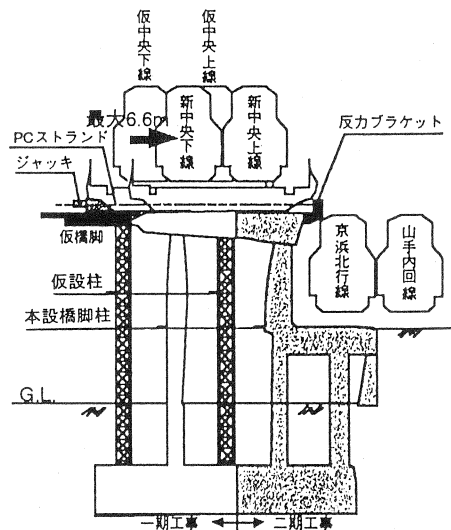


図5 桁横移動概念図

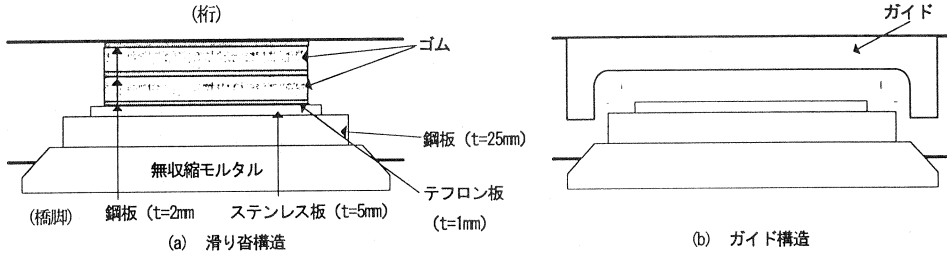


図6 滑り構造

- ①桁は架設後27ヶ月、供用開始後17ヶ月経過していること。
  - ②ステンレス板上には路盤コンクリート施工時のモルタル等の付着物が見られること。
- から、初期摩擦係数が当初の想定値を超える場合やゴム杓が移動中に破損する可能性が考えられた。そこで、初期摩擦係数、滑動時の摩擦係数およびゴム杓の破損状況を把握するため、ゴム杓の滑り試験を行った。



写真1 ダブルツインジャッキ

杓滑り試験の結果、

- ①滑動開始時の初期摩擦係数は0.15~0.21程度であるが、モルタル等の付着物があると0.3程度まで大きくなる可能性があること。
  - ②滑動時の摩擦係数は0.07~0.12程度であり、ステンレス板間の溶接部であってもサンダー掛けが充分であれば摩擦係数はほとんど変化せず、またモルタル等の付着物があってもほとんど摩擦係数は変化しないこと。
  - ③ゴム杓は厚さの200~300%のせん断変形後滑動を開始するが、破損する可能性は低いこと。
- が確認できた。そこで対策として、

- ①滑り面の状態を良好にするため、高圧の水を噴射して滑り面を入念に洗浄し、施工直前に液体洗剤薄め液を滑り面に塗布して摩擦係数を極力小さくすること。

- ②摩擦係数が極端に大きい場合を想定して、バックアップ用に50tfジャッキ2台を準備すること。

を行うこととした。

表2に桁移動時の初期摩擦係数の実績値を示す。最大初期摩擦係数は0.18、滑動時の最大摩擦係数は0.13であった。横移動時の摩擦係数の変化状況の一例を図7に示す。

表2 桁移動時の初期摩擦係数

桁No.	桁重量 (tf)	東京方		神田方	
		荷重(tf)	摩擦係数	荷重(tf)	摩擦係数
1	538	42.7	0.159	30.2	0.112
2	538	34.3	0.128	34.7	0.129
3	385	33.8	0.126	38.0	0.141
4	538	32.7	0.122	32.7	0.122
5	538	43.7	0.162	34.5	0.128
6	538	48.1	0.179	31.9	0.119
7	841	49.9	0.119	40.0	0.095
8	522	46.0	0.176	37.7	0.144
9	581	33.4	0.115	33.4	0.115
10	581	38.3	0.132	38.4	0.132
11	581	39.1	0.135	32.3	0.111

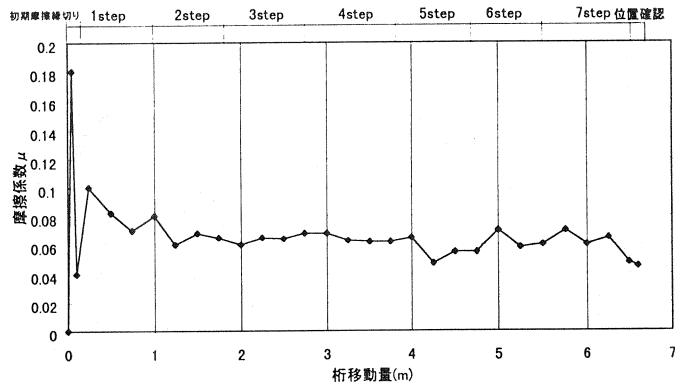


図7 桁移動時の摩擦係数の変化 (桁No.6 東京方)

### 3.3 施工

横移動は、全ての桁で初期摩擦縁切りの完了とゴム沓の状況を確認した上で、連続的に行うこととした。なお、初期摩擦縁切りは、ゴム沓のせん断変形量を考慮して、移動量が100mmに達した時点で完了と判断した。

初期摩擦縁切り終了後は各桁個々に移動していくのが効率的であるが、桁上のレール、信号通信ケーブル、トロリー線等の余長が限られていることから、隣り合う桁の移動量の相対差を小さく保っておく必要があったため、図8に示すように各桁の移動量を7ステップに等分し、各ステップで全桁の移動量が所定の値に達したことを確認してから次のステップに進むステップ管理法式を採用した。

桁の横移動状況を写真2に示す。初期摩擦縁切りは約10分で終了し、桁の移動は各ステップ毎にゴム沓の状況や橋軸方向への移動量の確認に時間を要したが、ダブルツイージャッキの採用により移動自体の所用時間は短く、全体ではほぼ予定通りの3時間48分で桁の移動を終了した。移動完了時の状況を写真3に示す。

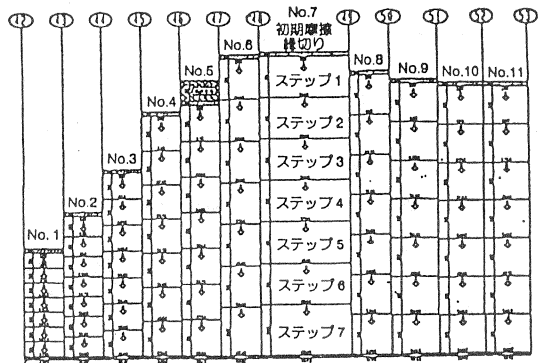


図8 桁移動ステップ管理概念図

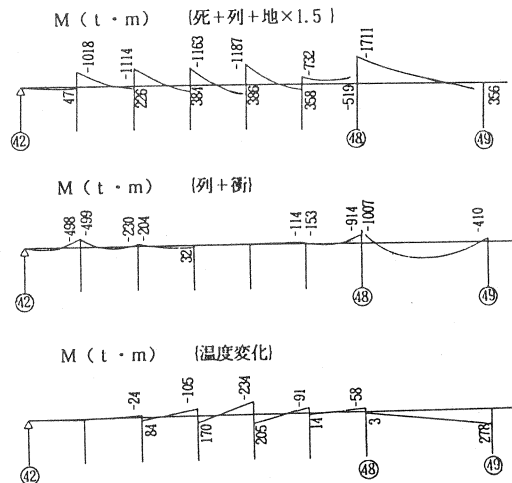


図9 ラーメン構成時の断面力

## 4. ラーメン化工事

### 4.1 設計

図9にラーメン構成時の主な荷重の曲げモーメント図を示すが、ラーメン構成は桁施工から約3年後に行われるため、乾燥収縮、クリープによる不静定力は考慮していない。また、ラーメン構成時の断面力に対する検討は、支点部のみ行った。支点部はPC

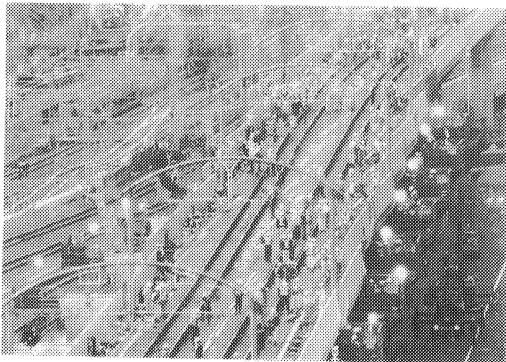


写真2 桁横移動状況

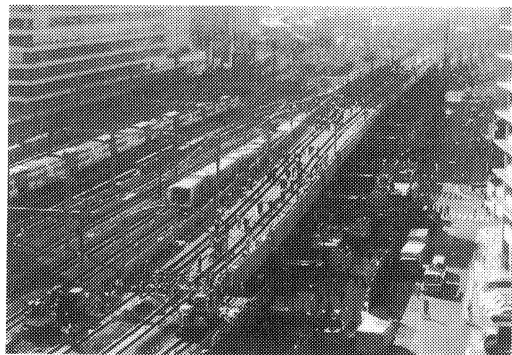


写真3 桁横移動完了時

鋼材によりラーメン化されるため、支点部上面が列車荷重作用時に引張応力度とならないように応力度を制限し、また地震荷重に対して安全性の検討を行った。

検討の結果、支点部におけるケーブル本数は、地震時の破壊の検討からではなく、{列車荷重+温度変化}時の応力度から決定した。図10は、支点部におけるケーブル配置を示したものである。連結ケーブルは、緊張が狭隘な桁内での作業となるため、シングルストランドジャッキにてストランドを1本ずつ緊張できるフレシナーEシステムとした。基本的には7E15.2を用いたが、断面力の大きい48番、49番柱上は12E15.2を用いることとした。

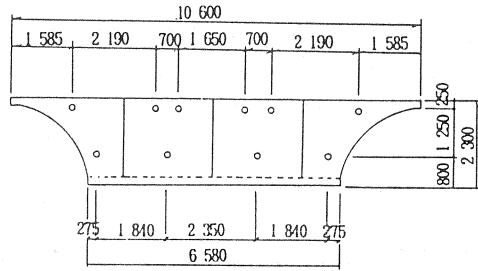


図10 ケーブル配置

#### 4.2 施工概要

桁横移動当夜、ラーメン化工事を行った場合作業が輻輳してしまう。このため、ラーメン化工事は、施工上・安全上の観点から、横移動工事終了後、通常の列車間合い(約3時間40分)で施工を行うこととした。しかし、桁間、桁一横ばり間の間詰めから連結ケーブル緊張までを一晩の列車間合い時間で行うことは不可能であるため、施工は図11に示すように段階的に行うこととした。

①前作業として、型枠の設置およびPC鋼材の挿入路の確保を行った。PC鋼材挿入路の確保は、桁間(上側ケーブル)では桁上面から作業ができるため2重シース管で行い、桁一横ばり間では桁下面から作業ができないことからシース管の接続が困難となるため、水で膨らましたゴム製チューブをシース間に挿入し、挿入路を確保することで行った。

②1晩目、最終列車通過30分前から間詰め1次モルタルを上層横ばり上面まで打設後、間詰め2次モルタルを桁上面まで打設した。1次モルタルの硬化確認後、ゴム製チューブの取り外しを行った。間詰めモルタルは、1次モルタルとして使用する超早硬性の無収縮モルタルの現場練混ぜに時間がかかることから、間詰め全体を列車間合いで打設することが不可能となるため、工場出荷の早硬性の無収縮モルタルを併用することとした。

③2晩目、間詰め上端部に深さ約10cmの防水工を行った。これは、連結ケーブル施工前に列車荷重が作用することから、桁および横ばりと間詰めモルタル間で肌離れが生じる可能性があるため、PC鋼材の防錆対策として行うこととした。並行してPC鋼材を

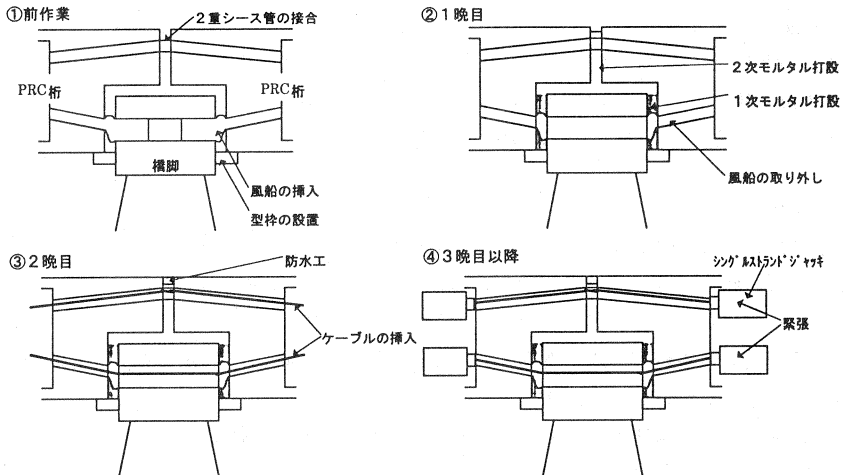


図11 ラーメン化工事 施工順序図

シーす内に挿入し、各ボックス内に緊張用のシングルストランド用ジャッキのセットを行った。PC鋼材は桁製作時に防錆処理した状態で桁内に保管しておいた。

- ④ 3 晩目、桁内において、最低緊張本数のPC鋼材の緊張を行った。桁内が狭隘な空間であることから、マルチシステム用ジャッキを使用することが不可能であるため、シングルストランドシステム用ジャッキによりシングルストランド一本ずつ緊張することとした。緊張作業は基本的に1チームで行われ、一部最低緊張本数が多い48番、49番柱上は3チームで行った。
- ⑤ 4 晩目以降、残りの連結ケーブルの緊張を行い、緊張終了後グラウトを行った。

#### 4. 3 間詰めモルタルおよび連結ケーブルの検討

間詰めモルタルは、列車荷重作用時にゲルバー部下端において100kgf/cm<sup>2</sup>程度の強度が必要となるが、

- ① 打設後列車荷重が作用するまでに養生時間が4時間程度しかないこと。
- ② 冬期に施工を行うことから養生温度が5℃以下になる可能性があること。

等から、プレミックスタイプの超早

表3 モルタル示方配合

硬性の無収縮モルタルを現場練りで使用することとした。しかし、現場練り時間が2.4m<sup>3</sup>/hとかかるため、列車間合いで間詰め部分全てを現場練

	W/C (%)	単位量(kg/m <sup>2</sup> )				
		C	W	S	混和剤	混和材
工場出荷	40	883	365	913	6.391	30
現場練り	44	プレミックス 無収縮モルタル(緊急寒冷用)				

りモルタルで打設することは不可能である。そこで、横ばり一桁間の1

表4 各柱頭部の緊張本数と最低緊張本数

次モルタルは現場練りモルタルで打設し、横ばり上面以上の2次モルタルは工場出荷の早硬性の無収縮モルタルを使用することとした。使用したモルタルの配合を表3に示す。

柱No.	緊張本数	最低緊張本数
42	70	30
43	70	30
44	70	30
45	70	30
46	70	30
47	70	30
48	120	62
49	148	62
50	74	26
51	74	26

また、1箇所の連結ケーブルを列車間合いで全て緊張することは不可能であるため、最低緊張本数を設定することとした。最低緊張本数は列車荷重作用時のPC鋼材応力度の制限値(133kgf/mm<sup>2</sup>)から算出し、間詰め部上面に防水処理を施すことで柱頭部上面でのひび割れを許容することとした。連結ケーブルの緊張本数と最低緊張本数を表4に示す。

#### 5. おわりに

中央線重層化工事は平成9年3月にラーメン化工事を終了し、仮設柱の撤去が行われた。今後、仮設の大手町Bv、日本橋川Bの撤去作業および車道、歩道の復旧を待つて完成となる。本高架橋における供用開始後の11連の桁の一括横移動工事および供用下でのラーメン化工事が今後の高架橋工事の何らかの参考となれば幸いである。

#### [参考文献]

- [1] 石橋忠良：鉄道高架橋のデザイン，セメントコンクリート，No.570，pp.124～129，1994.8
- [2] 津吉毅・細川泰明・中山弥須夫・石橋忠良：外ケーブルを併用したPRC鉄道橋の設計，第4回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.447～452，1994.10
- [3] 石橋忠良・古谷時春・細川泰明・山内俊幸：景観を考慮した中央線重層化工事の設計・施工，コンクリート工学，Vol.32，No.12，pp.41～52，1994.12
- [4] 下大菌浩・細川泰明・上田文彦：供用中の鉄道高架橋横移動工事の設計・施工，第24回関東支部技術研究発表会講演概要集，pp.654～655，1997.3