

# ロングライン・マッチキャスト工法による PC 桁の製作 — 東北縦貫線 —

加藤 裕志\*1・松岡 恭弘\*2・山口 敏\*3・武石 智広\*4

現在、東京駅～上野駅間は山手線および京浜東北線が運行しているが、宇都宮・高崎・常磐線は上野駅が終点となっている。そこで、上記の各線を東京駅に乗り入れるルート（以下、「東北縦貫線」という）の整備を目的として、東京駅～上野駅間に新たに路線を敷設する東北縦貫線工事が平成 20 年 5 月より進められている。この東北縦貫線工事の全延長約 3.8 km のうち、神田駅付近の約 0.8 km 区間は、工場製作のプレキャスト PC 桁を架設して新たに路線を構築する計画となっている。本稿は、このプレキャストセグメントのロングライン・マッチキャスト工法による製作について報告するものである。

キーワード：東北縦貫線、プレキャストセグメント、ロングライン・マッチキャスト工法

## 1. はじめに

東北縦貫線は、東海道線東京駅～宇都宮・高崎・常磐線上野駅間を複線軌道で結び、相互直通運転を可能とするものであり、① 現在通勤時間の混雑が著しい上野駅～御徒町駅間をはじめとして混雑緩和が図られること、② 乗換えの解消などによる速達性・利便性の向上が図れること、③ 首都圏を南北に結ぶ輸送ネットワークの強化が図られ、地域の活性化に寄与すること、などの効果が期待される。

この東北縦貫線工事のうち、神田駅付近に架設される 17 径間、延長約 500 m の PC 桁をロングライン・マッチキャスト工法により工場製作を行った（写真 - 1, 2）。

## 2. 工事概要

本工事の工事概要を以下に示す。

工事名：東北縦貫線 PC 桁製作運搬

発注機関：東日本旅客鉄道株式会社 東京工事事務所

構造形式：複線内外ケーブル併用 PC 一室箱形断面単純桁  
製作場所：群馬県安中市

運搬場所：東京都中央区

工事内容：PC 桁の製作および運搬

（セグメント製作数 17 橋 249BL）

表 - 1 に PC 桁形状寸法一覧、図 - 1 に構造一般図を示す。

表 - 1 PC 桁形状寸法一覧

桁番号	設計強度 (N/mm <sup>2</sup> )	桁長 (m)	支間長 (m)	桁高 (m)	上床版幅 (m)	BL 数 (個)
Cbp-1	50	35.685	34.485	2.100	9.700	17
Cbp-2	50	35.359	34.158	2.100	9.700	17
Cbp-3	50	22.368	21.162	1.700	9.791	11
Cbp-4	50	36.891	35.690	2.100	9.800	17
Cbp-5	50	19.995	18.794	1.700	9.830	11
Cbp-6	50	25.963	24.763	1.700	9.820	13
Cbp-7	50	30.108	28.908	2.100	9.800	15
Cbp-8	50	30.165	28.965	2.100	9.830	15
Cbp-9	50	19.530	18.330	1.700	9.830	11
Cbp-10	50	34.800	33.600	2.100	9.810	17
Cbp-11	50	20.695	19.495	1.700	9.810	11
Cbp-12	50	20.717	19.517	1.700	9.800	11
Cbp-13	50	20.707	19.507	1.700	9.800	11
Cbp-14	60	37.771	36.570	2.100	9.800	19
Cbp-15	50	34.837	33.633	2.100	9.800	17
Cbp-16	50	33.559	32.356	2.100	9.850	17
Cbp-17	60	39.279	38.079	2.100	9.800	19

注) 端部セグメントは橋軸直角方向に 2 分割している。



写真 - 1 端部セグメント仮置き状況



写真 - 2 標準セグメント仮置き状況

\*1 Hiroshi KATO：ドーピー建設工業(株) 工事部

\*2 Yasuhiro MATUOKA：東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 東京工事区

\*3 Satoshi YAMAGUCHI：東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 東北縦貫線プロジェクト

\*4 Tomohiro TAKEISHI：ドーピー建設工業(株) 工事部

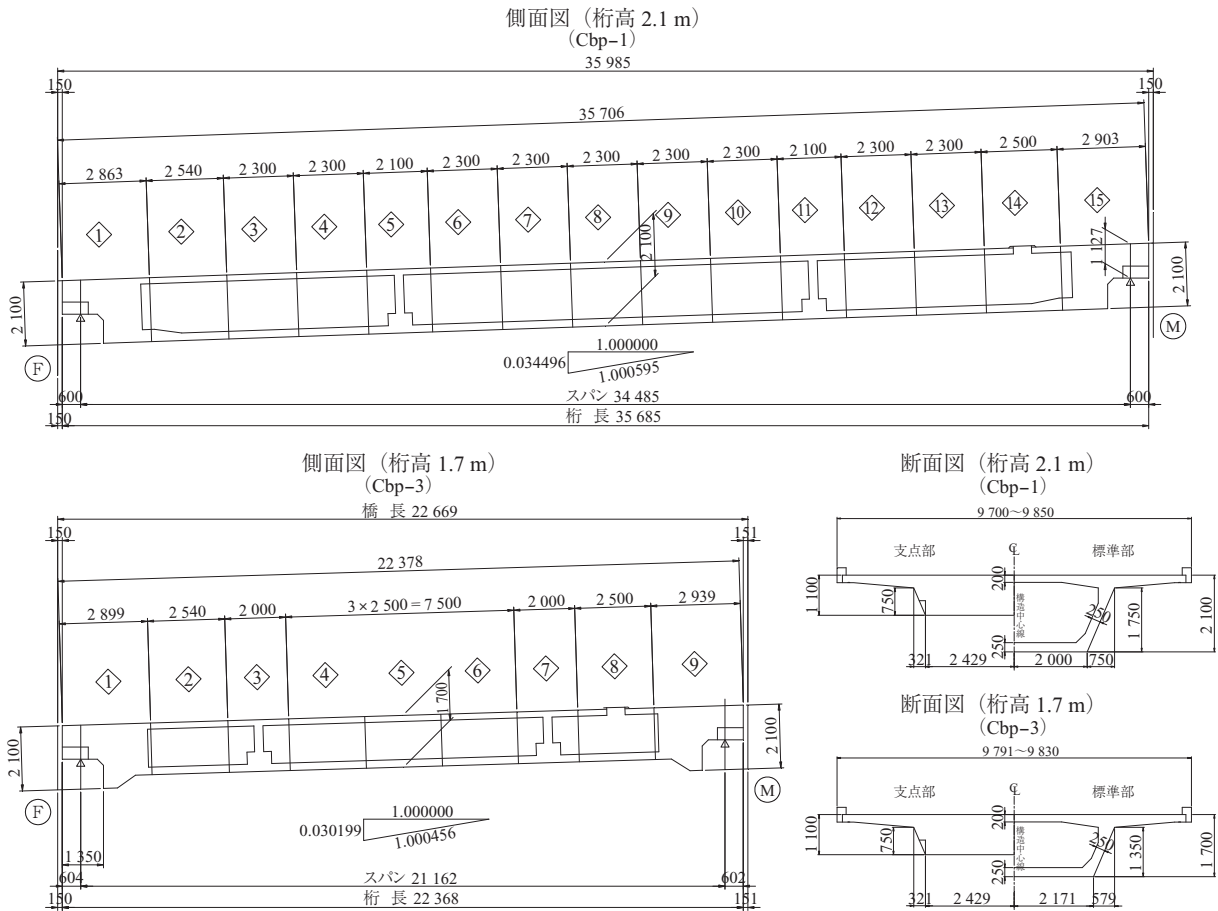


図 - 1 構造一般図

### 3. プレキャストセグメントの特徴

製作するPC桁は17橋で、桁長が20～40mとさまざまであり、桁長に応じて桁高2.1mと1.7mの2タイプがある。構造形式はPC一室箱形断面単純桁で、PC鋼材は内・外ケーブルを併用している。標準セグメントは、断面形状が同一な構造となっており、ロングライン・マッチキャスト工法による工場製作に適した形状となっている。

また、図 - 2 に示すとおり、JR営業線（新幹線・在来線）の近傍で組立て・架設を行うことから、架設現場での

作業を最小限にするために、床版ケーブルの緊張（ポストテンション方式）および地覆工までを工場製作としている。

PC桁のブロック割りは、桁長に応じて1.7～2.6mの長さで1橋あたり9～17BLに橋軸方向に分割され、さらに端部セグメントは、運搬時の重量制限から、橋軸直角方向に2分割されている。図 - 3 に、端部セグメントの分割概略図を示す。

主桁には早強セメントを使用し、Cbp-14およびCbp-17の設計基準強度は $\sigma_{ck} = 60 \text{ N/mm}^2$ 、そのほかのセグメン

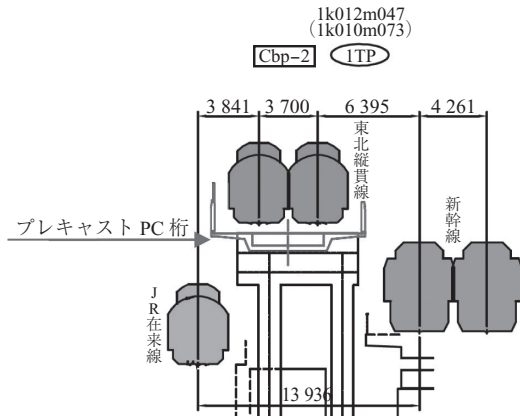


図 - 2 東北縦貫線断面図

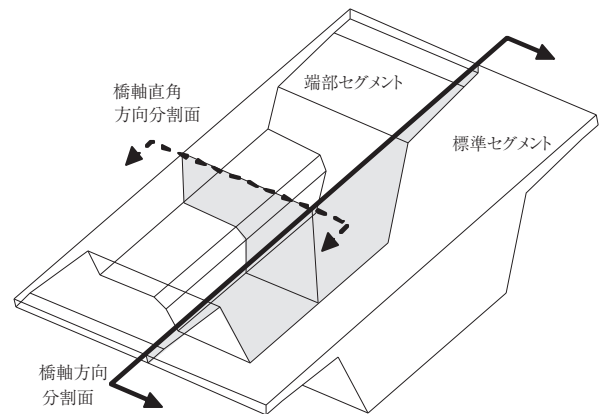


図 - 3 端部セグメント分割概略図

トの設計基準強度は $\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$ で、いずれも、合成短繊維を混入してはく落防止対策を施している。

主ケーブルは、外ケーブル (19S15.2 mm) と内ケーブル (桁長に応じて3種類から選定: 19S15.2 mm, 12S15.2 mm, 12S12.7 mm) の併用で、製作時に埋設するシースはポリエチレンシースを採用している。

床版ケーブルは、標準部で1S21.8 mm, 電柱部で1S28.6 mmのプレグラウトPC鋼材を使用し、セメント系および樹脂系プレグラウトを施工時期とコンクリート硬化時の上昇温度から選定し採用している。

#### 4. プレキャストセグメントの製作順序

端部セグメントは橋軸直角方向に2分割となっているため、1連のセグメントをロングライン方式で施工すると端部セグメントの分離作業が困難になる。そこで、終点側の端部セグメントをショートライン方式に変更することで、橋軸直角方向の分離後に橋軸方向の分離作業を行った。

また、端部セグメントは標準セグメントの約8倍(16日間)の製作期間を要するため、製作ラインを標準セグメントと端部セグメントの2ラインとした。標準セグメントと端部セグメントの製作を同時進行することで、製作工程の短縮・作業人数の平滑化・作業効率アップを実現することができた。

表-2にセグメント製作工程表(Cbp-16)、図-4にセ

表-2 セグメント製作工程表 (Cbp-16)

部位	端部セグメント (起点側)	標準セグメント	端部セグメント (終点側)	地覆	分離・仮置
1日					
2日		2 BL			
3日		3 BL			
4日		4 BL			
5日		5 BL			
6日		6 BL			
7日		7 BL			
8日		8 BL			
9日		9 BL			
10日		10 BL			
11日		11 BL			
12日		12 BL			
13日		13 BL			
14日		14 BL			
15日		15 BL			
16日		15 BL (L)			
17日		15 BL (L)			
18日		15 BL (L)			
19日		15 BL (L)			
20日		15 BL (L)			
21日		15 BL (L)			
22日		15 BL (L)			
23日		15 BL (L)			
24日		15 BL (L)			
25日		15 BL (L)			
26日		15 BL (L)			
27日		15 BL (L)			
28日		15 BL (L)			
29日		15 BL (L)			
30日		15 BL (L)			
31日		15 BL (L)			
32日		15 BL (L)			
33日		15 BL (L)			
34日		15 BL (L)			
35日		15 BL (L)			
36日		15 BL (L)			
37日		15 BL (L)			
38日		15 BL (L)			
39日		15 BL (L)			
40日		15 BL (L)			
41日		15 BL (L)			
42日		15 BL (L)			
43日		15 BL (L)			
44日		15 BL (L)			
45日		15 BL (L)			
46日		15 BL (L)			
47日		15 BL (L)			
48日		15 BL (L)			
49日		15 BL (L)			
50日		15 BL (L)			
51日		15 BL (L)			

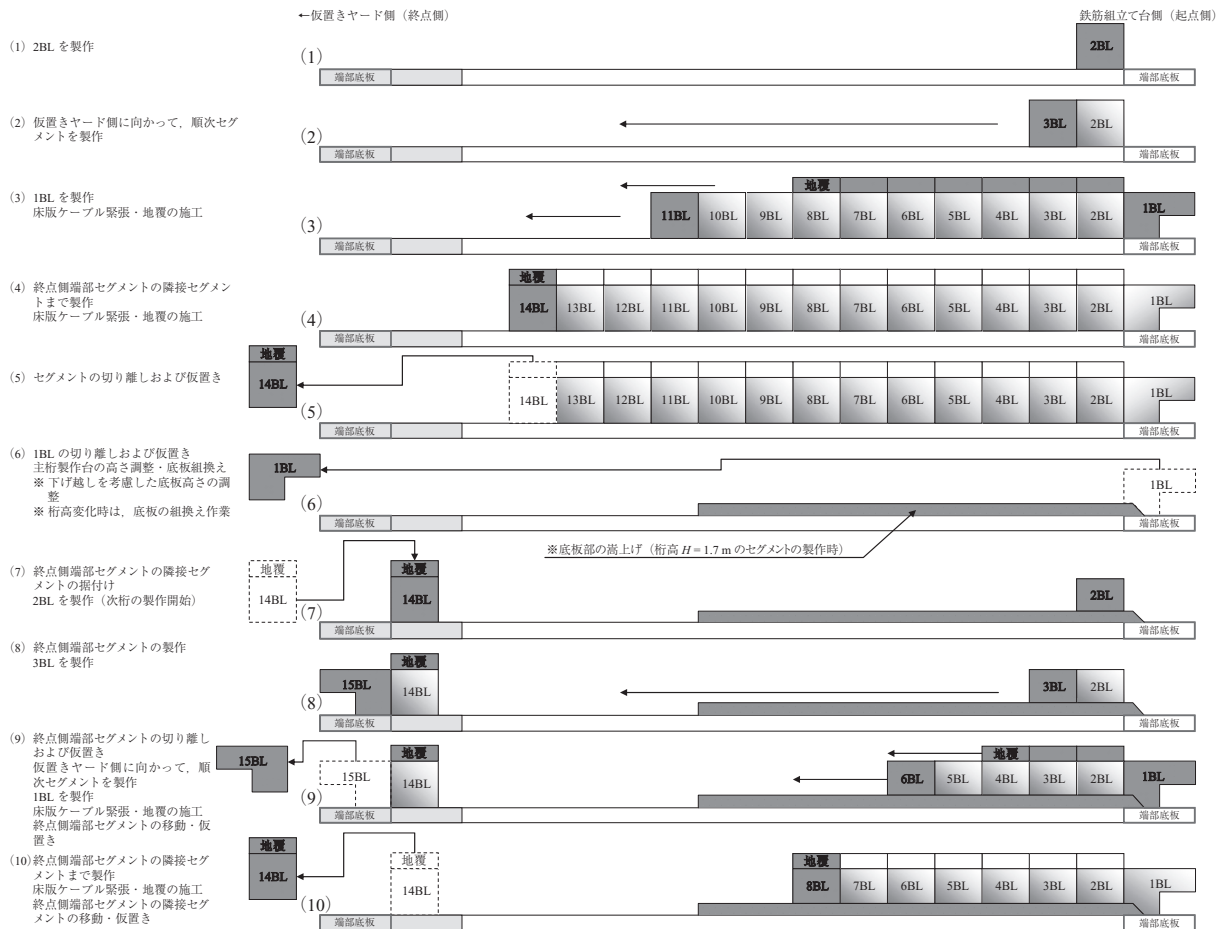


図-4 セグメント製作順序概要図

グメント製作順序概要図を示す。

### 5. 上げ越し量の設定

セグメントの上げ越し量は、全径間のセグメントを架設した時点でレベルになるように設定した。設定した上げ越し量は、主桁製作台の高さ調整プレートを径間ごとに変更することで、底板高の調整を行った（図 - 5）。

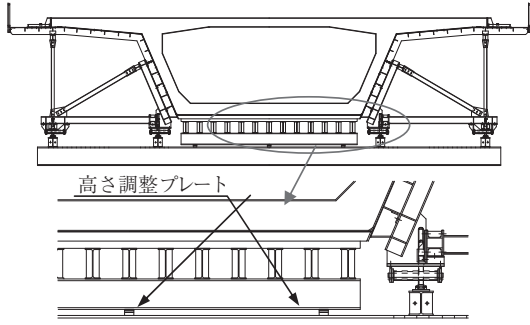


図 - 5 主桁製作台断面図

主桁製作台1基内で、ロングライン方式とショートライン方式の製作を行うため、スパン中央に位置する底板高を基準にしてそれぞれのセグメント位置での底板高を相対管理した。図 - 6 に主桁製作台概略図を示す。

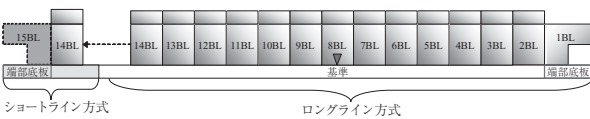


図 - 6 主桁製作台概略図

### 6. 標準セグメントの鉄筋組立て

標準断面の鉄筋は、主桁製作台とはべつに専用の鉄筋組立て台を設置し、この組立て台で「下床版+ウェブ+上床版」を一体とした鉄筋のプレファブ化（写真 - 3）を行った。この鉄筋のプレファブ化により、同一条件での連続作業および入念な配筋確認が可能となり、鉄筋組立て精度の向上・工程短縮を図ることができた。

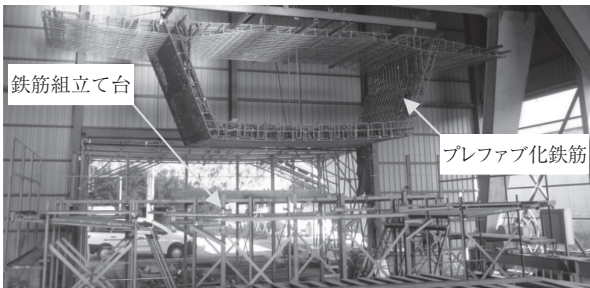


写真 - 3 プレファブ化鉄筋（標準断面）

隔壁断面についても標準断面同様に全断面の鉄筋のプレファブ化（写真 - 4）を行い、型枠（内枠）構造を分割構造とすることで、鉄筋セット後の型枠セットを可能にした。

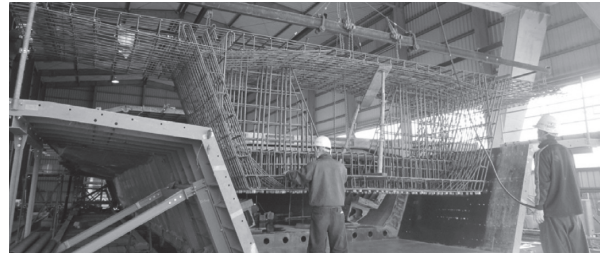


写真 - 4 プレファブ化鉄筋（隔壁断面）

電柱部のあるセグメントは、上床版厚が変化し、「上床版+電柱支持梁」の鉄筋が配置されるため、鉄筋の組み立てが複雑となる。そこで、施工性を考慮し、「下床版+ウェブ」のU断面と「電柱支持梁」（写真 - 5）を分けて鉄筋のプレファブ化を行い、それぞれのプレファブ鉄筋を型枠内にセットし、最後に上床版の鉄筋を組み立てることとした。図 - 7 に、電柱部の鉄筋組立て概要図を示す。



写真 - 5 プレファブ化鉄筋（電柱支持梁）

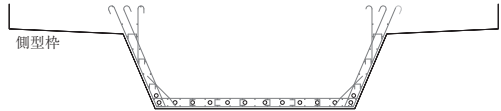
- (1) 鉄筋組立て台上でU断面鉄筋組立て



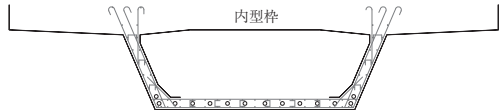
- (2) 電柱支持梁鉄筋組立て



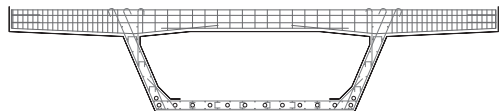
- (3) 型枠内にU断面鉄筋をセット、内ケーブルシース配置



- (4) 内型枠をセット



- (5) 型枠内に電柱支持梁鉄筋をセット



- (6) 上床版鉄筋の組立て

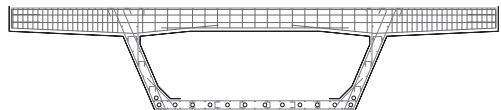


図 - 7 電柱部の鉄筋組立て概要図

## 7. 床版ケーブルの施工

### 7.1 床版ケーブルの仕様

床版の、一般部には SWPR19L 1S21.8 mm，電柱部には SWPR19L 1S28.6 mm のプレグラウトタイプの PC 鋼材を使用している。グラウト材は、セメント系と樹脂系の 2 種類を採用している。図 - 8 に床版ケーブル配置図を示す。

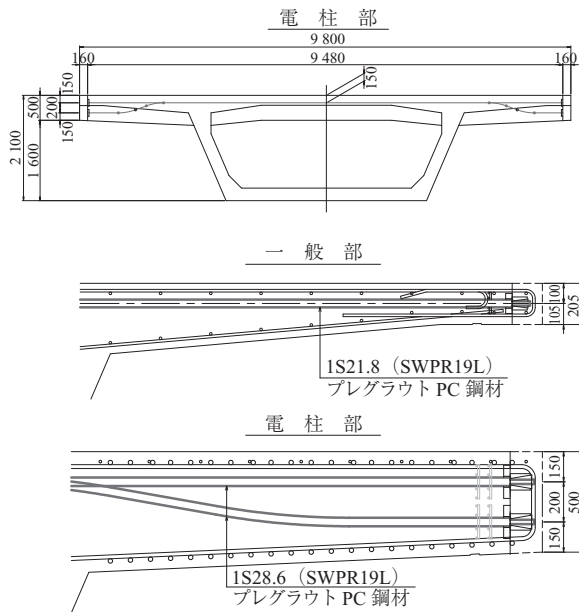


図 - 8 床版ケーブル配置図

セメント系プレグラウト PC 鋼材は、緊張前および緊張後の処理が樹脂系に比べ扱いやすく、作業効率が向上した。また、樹脂特有のアレルギーに対する作業員への配慮が軽減された。

セメント系プレグラウト PC 鋼材は、使用可能温度に制限があること（コンクリート温度 80℃ 以下）から、使用部位ごとの温度解析を行い、その結果から夏季（6月中旬から 10月中旬）に施工するセグメントにおいては、樹脂

表 - 3 プレグラウト PC 鋼材形状寸法表

プレグラウト種別	鋼材径	シース径 (mm)		
		凸部	凹部	リブ部
セメント系プレグラウト	1S21.8	33.5	32.5	40
	1S28.6	42.5	40.5	50
樹脂系プレグラウト	1S21.8	29	24.5	36
	1S28.6	36	31.5	45

セメント系プレグラウト	樹脂系プレグラウト

系を選定し採用した。表 - 3 にプレグラウト PC 鋼材の形状寸法表を示す。

### 7.2 電柱部の床版ケーブル緊張順序の検討

マッチキャスト工法において、マッチキャスト面近傍の PC 鋼材を緊張する際、せん断キーに橋軸直角方向のせん断力が作用する。「外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工規準」<sup>1)</sup>では、架設時のせん断キーに発生するせん断応力度の制限値は  $\tau a = 1.5 \text{ N/mm}^2$  としている。したがって、せん断キーに発生するせん断応力度を  $1.5 \text{ N/mm}^2$  以下に抑えるように、床版ケーブルの緊張順序および緊張時期を決定した。

図 - 9 に、電柱部セグメント内の床版ケーブルをすべて緊張した場合のせん断キーに作用するせん断応力度の解析結果を示す。せん断キーには制限値  $1.50 \text{ N/mm}^2$  を超える  $2.02 \text{ N/mm}^2$  の応力度が発生することが分かった。

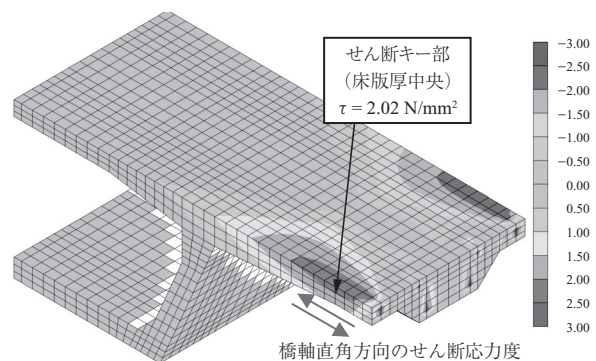


図 - 9 せん断キーのせん断応力度

そこで、ケーブルの緊張順序に着目したせん断キーに発生するせん断応力度低減の検討を行った。

図 - 10 に、床版ケーブル緊張により発生するコンクリート弾性変形について、OLD セグメントと NEW セグメントの相対差の軽減を目的とした電柱部セグメントの床版ケーブル緊張順序を示す。

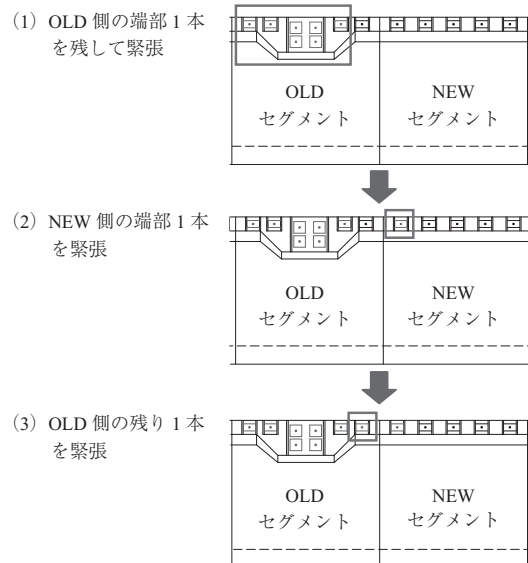


図 - 10 電柱部の床版ケーブルの緊張順序

図 - 10 に示す緊張順序とした場合の、せん断キーに作用するせん断応力度の解析結果を図 - 11 に示す。せん断応力度は  $1.31 \text{ N/mm}^2$  となり、制限値以内に抑えることができた。

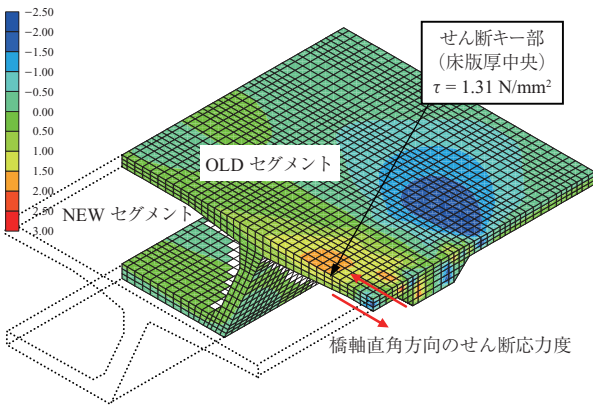


図 - 11 せん断キーのせん断応力度

なお、標準セグメントの場合、セグメント内の床版ケーブルをすべて緊張した場合でもせん断キーに作用するせん断応力度 ( $1.40 \text{ N/mm}^2$ ) は制限値を超えないことが確認できた (図 - 12) ので、セグメント内の床版ケーブルをすべて緊張することとした。

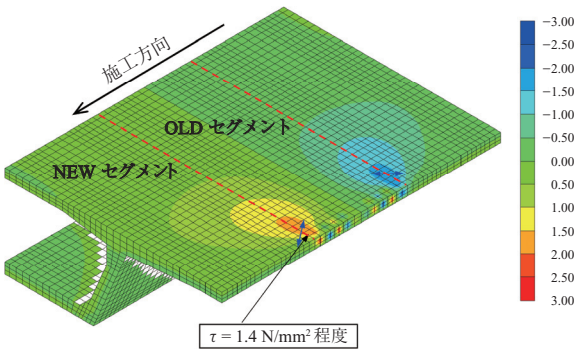


図 - 12 せん断キーのせん断応力度

## 8. 端部セグメントの施工

### 8.1 端部セグメントの内部構造

本件のプレキャストセグメントの特徴として、端部セグメント形状が支点桁高を絞った桁がかり構造になっている (図 - 13)。

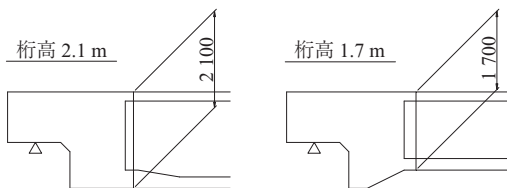


図 - 13 支点部構造概略図

外ケーブル・内ケーブル・横桁ケーブル・床版ケーブルのシースおよび定着体、落橋防止ケーブルダクト、サイド

ストッパーのアンカーボルト (D38)、架設用 PC 鋼棒、セグメント接合用 PC 鋼棒などを端部セグメント内に収め、さらに構造中心で左右分割した構造となっている。

そこで、3次元 CG (図 - 14) により、端部セグメントの内部構造を再現したモデルを構築し、これを参考に、組立て手順の検討・組立て鉄筋および配筋の工夫を行うことで、① 組立て精度の向上、② コンクリート締固め作業空間の確保、③ 作業の効率化を実現した (写真 - 6)。

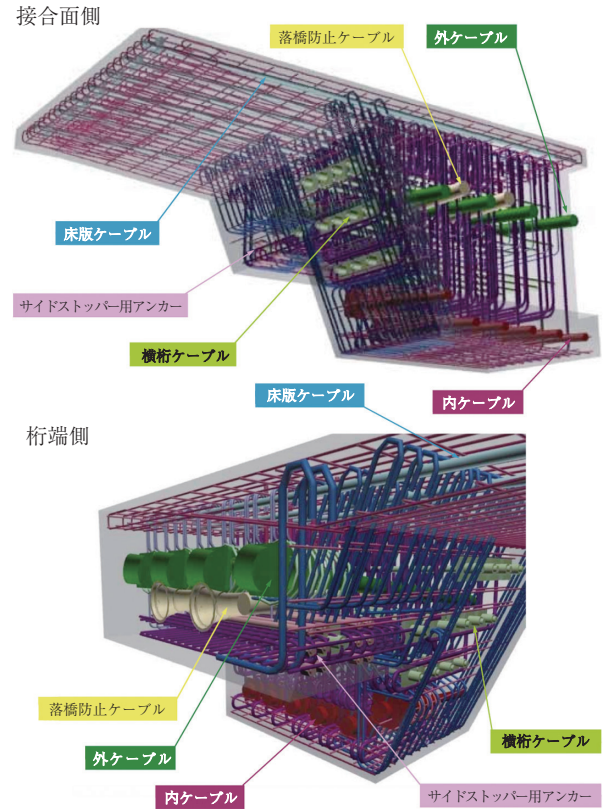


図 - 14 端部セグメント内部構造モデル

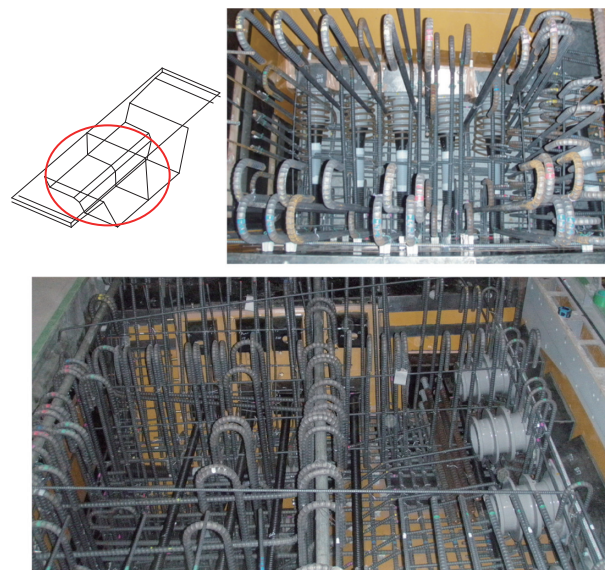


写真 - 6 端部セグメント組立て状況

## 8.2 支承部の施工

桁ごとに縦断勾配・斜角・たわみ角が異なるため、端部セグメントの支承部の型枠は、支承面がさまざまな角度に調整可能なフレームと加工が容易な合板を組み合わせた構造とした（図 - 15）。

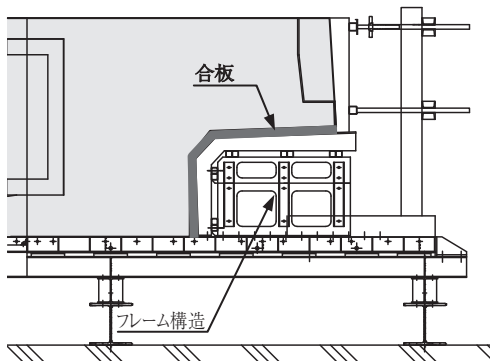


図 - 15 支承部の型枠構造概略図

また、写真 - 7 に示すように、ゴム支承が接触する支承面については、12 mm 厚の鉄板を型枠として使用し、設置面の平坦性・水平度の出来形精度を向上させた。

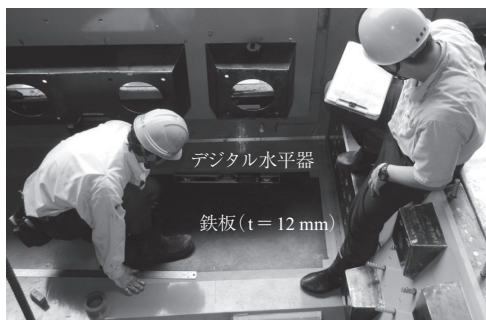


写真 - 7 支承部型枠検査状況

## 9. コンクリート打設

コンクリート設計基準強度は、表 - 1 に示したように全 17 橋中 15 橋が、 $\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$  である。しかし、Cbp-14 および Cbp-17 は支間が長いため、設計基準強度は  $\sigma_{ck} = 60 \text{ N/mm}^2$  と高強度コンクリートの仕様であった。そのため、単位セメント量が多くなり粘性が増すことでワーカビリティが低下すること、さらに端部セグメントは密な鉄筋配置となっており内部振動機を使用できる範囲がかぎられてしまうことが課題であった。そこで、コンクリート充填性の向上、収縮量の低減、温度ひび割れの抑制を目的に高施工性コンクリートを採用した。

### 9.1 コンクリート配合の検討

設計基準強度  $\sigma_{ck} = 60 \text{ N/mm}^2$  の配合は、先行して製作した  $\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$ （目標スランプ 18 cm）の施工を知見に以下のことを留意して決定した。

- 1) ひび割れ防止のため、単位セメント量を可能なかぎり低減すること
- 2) 軽微な振動により優れた流動性を示すとともに、高い

材料分離抵抗性を有すること

- 3) マスコンクリート部材となる端部セグメントには、ひび割れ防止用に収縮低減剤の添加を検討すること表 - 4 にコンクリート配合表を示す。

表 - 4 コンクリート配合表

	セメント	水	細骨材 kg/m <sup>3</sup>	粗骨材	混和剤	W/C %	備考
A 50-18-20H	423	165	773	943	3.81	39.0	合成短繊維混合
B 60-60-20H	456	155	773	943	6.16	34.0	合成短繊維混合
C 60-60-20H	456	155	773	943	6.16	34.0	合成短繊維および収縮低減剤混合

※ B・C についてはスランプフロー管理

試験練りの結果、配合 B・C ともに、配合 A と同等以上の十分なワーカビリティがあり、さらに高い粘性により材料分離に対して抵抗性が高いことが確認された（写真 - 8）。



写真 - 8 フレッシュコンクリート試験（60-60-20H）

### 9.2 コンクリート打設方法

コンクリートの打設は、1 回の打設数量が 10 ~ 12 m<sup>3</sup> と少量であること、高粘性のコンクリートを使用することからコンクリートバケットによる方法とした（写真 - 9）。

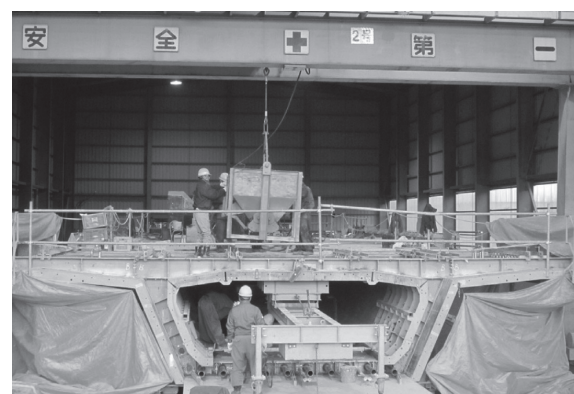


写真 - 9 標準セグメント打設状況

標準セグメントは下床版部が浮き型枠構造となっている。設計基準強度  $\sigma_{ck} = 60 \text{ N/mm}^2$  のコンクリートは流動性が高いため、図 - 16 に示すように下床版コンクリート充填後、型枠で蓋をしてからウェブを立ち上げ、全断面のコンクリート投入完了後、型枠（蓋）を外して表面を仕上

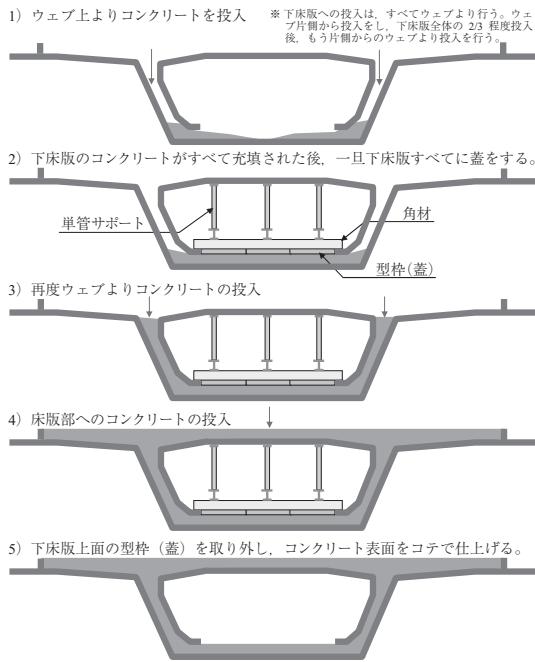


図 - 16 標準セグメント打設手順

げた。

端部セグメントは、上床版部よりコンクリートの投入を行った。締め作業は、密な配筋であることから上床版からの内部振動機による締めめのほか、底板部に外部振動機2台を設置（図-17）し、下床版打設時に使用した。

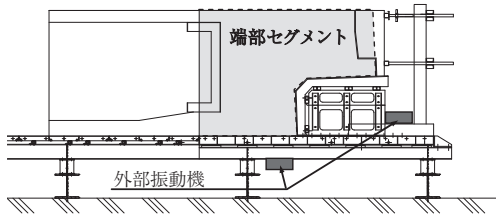


図 - 17 外部振動機の配置概略図

## 10. セグメントの分離・移動

主桁製作台上で製作したセグメントは、20t門形クレーン2台と合吊り装置を使用して工場棟外のストックヤードに移動した（写真-10）。



写真 - 10 セグメント移動状況

マッチキャスト方式で製作したセグメントの橋軸方向の分離作業は、図-18に示すように上床版にブラケットを固定し油圧ジャッキをセットして、橋軸方向に10t程度の

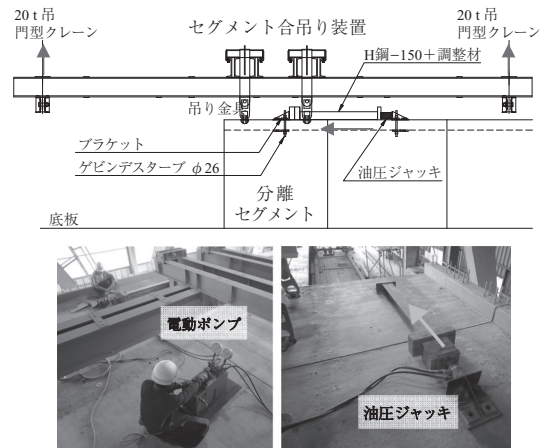


図 - 18 橋軸方向の分離

圧力をかけて行った。油圧ジャッキの圧力のみではセグメントの自重による底板面との摩擦力が大きいため、20t門形クレーンの合吊りにより自重を軽減することで、油圧ジャッキの圧力10t程度での分離を可能にした。

橋軸直角方向に分離する端部セグメントの底板は、構造中心で2分割できる構造とし、テフロン板を使用することで底板のスライドを容易にした。橋軸方向の分離同様に油圧ジャッキを使用して行った（写真-11）。

マッチキャストとなる接合面の処理として、2種類のはく離剤を使用することとし、最初に樹脂系はく離剤を塗布した後、次に油性はく離剤を塗布した。

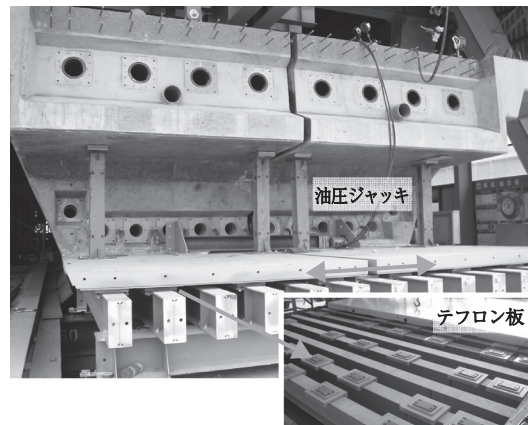


写真 - 11 橋軸直角方向の分離

## 11. おわりに

本橋のセグメント製作は2012年9月に完了し、2013年2月に最終径間の引渡しとなる予定である。最後に、本報告が、ロングライン・マッチキャスト工法による施工の一助となれば幸いである。

### 参考文献

- 1) プレストレストコンクリート技術協会：外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工規準，2005.11

【2012年11月6日受付】