

# 国際線エプロンにおける GSE 橋梁の施工 ～プレキャスト UFC セグメントの製作と現地架設工事～

国際線エプロン JV・福原 哲

キーワード：超高強度繊維補強コンクリート，ウェットジョイント

## 1. まえがき

国際線エプロン事業で整備を進める重要施設の1つに、空港連絡道路を跨ぎ南北のエプロンを連絡させる GSE 橋梁がある。GSE 橋梁の建設位置を図 1.1. に示す。本橋梁は GSE 車両（最大車両は 50t トーイングトラクター）を通行させるスパン 48m の 3 室箱桁橋で、最大の特徴は、空港連絡道路の建築限界を確保しつつ桁高さを抑えるために主桁にプレキャスト UFC（超高強度繊維補強コンクリート）セグメントを採用していることである。本報告書では、橋梁工事の内、この UFC セグメントの工場製作および現地での橋桁架設工事を中心に、その施工方法、施工結果について報告するものである。

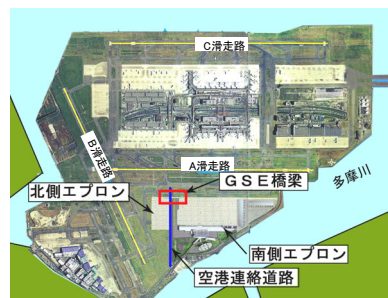


図 1.1 GSE 橋梁の建設位置

## 2. 工事概要

### 2-1 橋梁の構造

図 2.1 に GSE 橋梁構造図を示す。本橋では、U 字型の UFC 主桁 3 本を全 21 基のセグメントに分割して工場製作し、これを現地で架設しセグメント間の隙間に UFC を充填して一体化するウェットジョイント工法を採用している。横桁および床版は現場打設の横締め PC コンクリート構造で、主桁と床版は PBL（孔開き鋼板ジベル）で一体化される構造となっている。

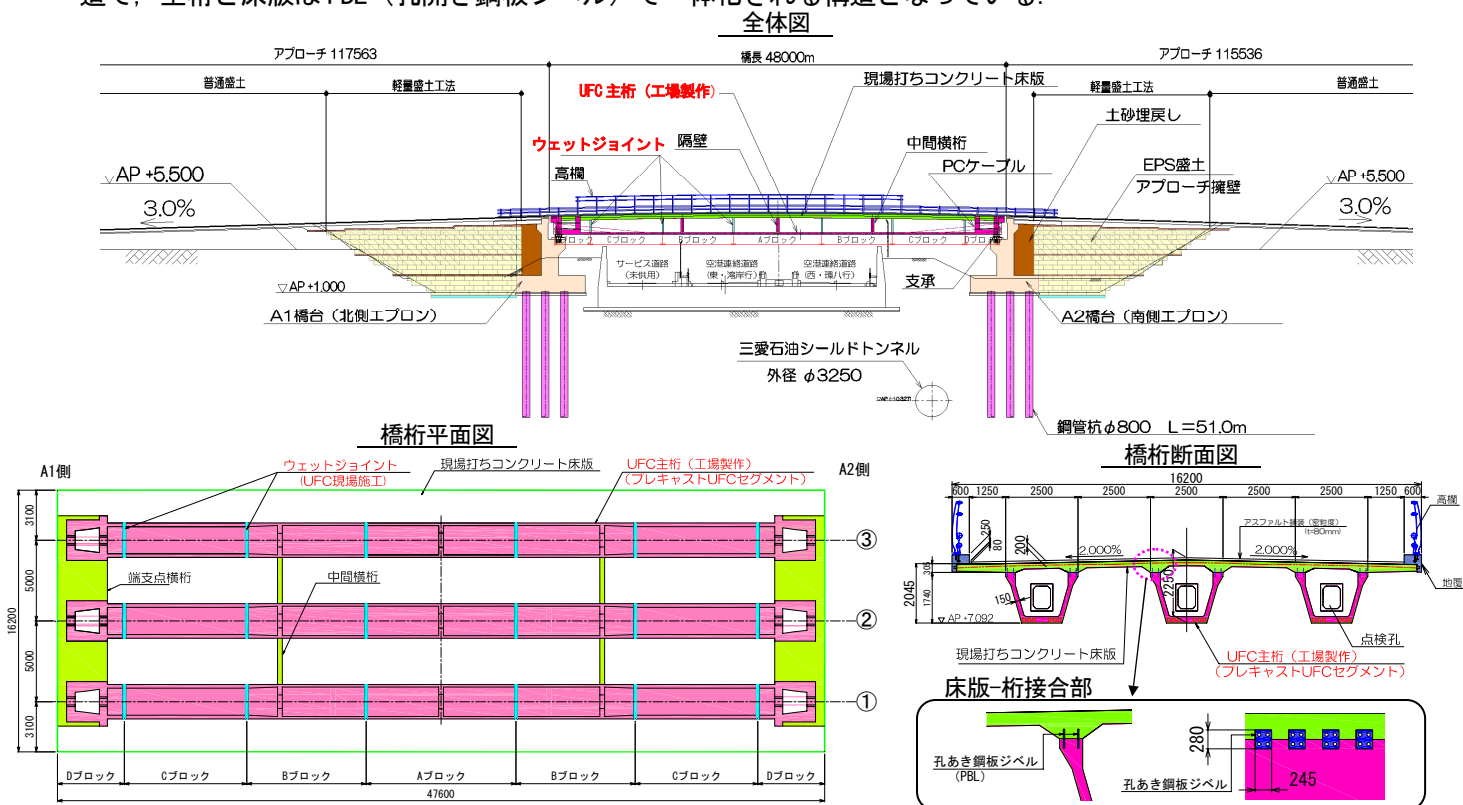


図 2.1 GSE 橋梁構造図

### 2-2 施工管理のポイント

本橋の施工管理上特に重要となる項目は以下の通りである。

- ① 複雑な形状のプレキャスト UFC セグメントの品質・製作精度（発現強度，表面仕上げ，埋込金物多数）
- ② ウェットジョイント部の品質（充填性，発現強度，目開き防止）
- ③ A 滑走路の転移表面，空港連絡道路，シールドトンネルに対する施工時の安全性
- ④ ジャッキダウン時の橋桁の健全性と据付精度（架設段階での上げ越し管理も含めた高さ・位置管理）

## 2-3 工事工程

セグメント製作および橋梁架設工の工事工程を図 2.2 に示す。本工事は、全ての工種を A 滑走路の転移表面以下 (GL+30.0m) の制限内で行った。ただし、直下に位置する空港連絡道路の通行・安全性に支障する工種については、関係各所と協議の上で夜間 0:00~翌 5:00 で交通止めを行って工事を実施した。

工種	2007				2008										
	6	8	10	12	1	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9	10	11
セグメント工場製作	製作				出荷準備										
仮設ベント・支保工					設置							撤去	撤去		
セグメント架設工															
床板・横桁構築工							一般部			開口部		定着部			
ウェットジョイント工															
PC緊張工															
ジャッキダウン工															
地覆・パラペット工										地覆	高欄			パラペット	
アプローチ盛土工															EPS盛土

図 2.2 セグメント製作および橋梁架設工の工程

## 3. プレキャスト UFC セグメントの工場製作

### 3-1 製作フロー

図 3.1 に UFC セグメントの工場製作フローを示す。UFC 材料は、予め各種の材料が混合されたプレミックス材として供給される。今回のように大型の構造物を製作する場合には、フレコンと呼ばれる大きな袋体で 1t 単位での材料供給となるため、UFC 材料をミキサーに供給するには専用の設備が必要となる。このため、本橋のセグメント製作は、UFC 材料に対応した練混ぜ設備を有し、UFC 部材製作の実績の多いコンクリート 2 次製品工場（三重県）にて行った。

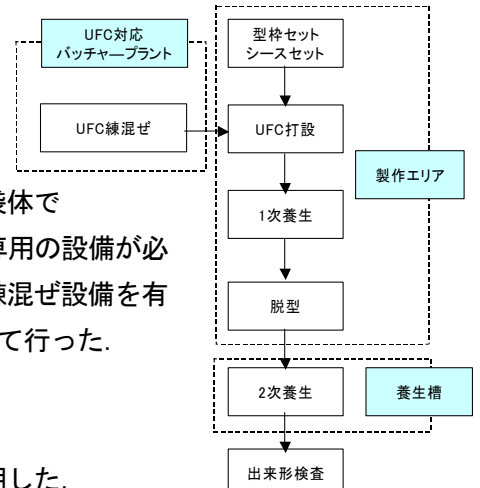


図 3.1 セグメントの工場製作フロー

### 3-2 型枠構造

以下に示す理由により U 字型を上下反転させた形状の鋼性型枠を使用した。

- ① UFC は高い流動性・充填性を有するが故に、セルフレベルング効果によって打設面に勾配を設けられない。そのため、底版がフラット形状でウェブ高が変化する本橋の U 字セグメントでは、底版を上面にした状態での UFC 打設が有利である。
- ② U 字型では底版上面に浮き枠が必要となるが、反転した逆 U 字形状では浮き枠が不要となる。
- ③ UFC はその高い流動性のため、2mm 程度のわずかな隙間でも漏れ出しが止まらない状態となる。高い剛性と気密性、そして型枠転用後の精度まで考えると鋼製型枠が望ましい。

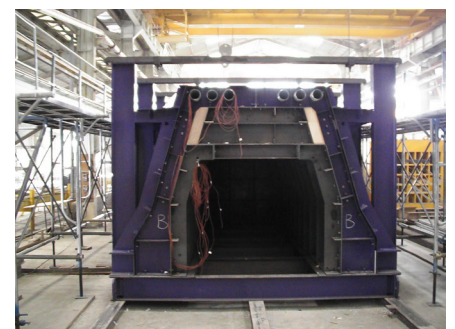


図 3.2 セグメント製作用鋼製型枠

### 3-3 UFC 練混ぜ

UFC の基本配合表を表 3.1 に示す。工場製作では、水平 2 軸強制練りミキサー (1.5m<sup>3</sup>) を用いて 1 バッチ当たり 1.1m<sup>3</sup> の練混ぜを行った。最も大きいセグメントの体積は 8.72m<sup>3</sup> で、必要練りバッチ数は 8 バッチとなる。UFC の打ち込みでは、打ち継ぎ目

表 3.1 UFC の基本配合表

	プレミックス粉体	鋼繊維	高性能減水剤	水
配合 kg/m <sup>3</sup>	2,254	157	28* (liquid)	162
単位水量 : 180				

\*) 高性能減水剤の添加量は、練混ぜ時の環境条件や目標フローによって調整される

を生じさせない連続打設が原則であり、全バッチを練落として打設ホッパーに貯蔵してから打設を開始する。そのため、初期バッチの練落としからの経過時間が品質に大きく影響することから、ミキサー2基を使用して練混ぜ時間の短縮を図った。

表 3.2 に打設前の UFC フレッシュ性状品質管理項目を示す。コンシステンシーの項目では、UFC は骨材を含まないことからモルタルのフロー試験器具を用いてフローの確認を行い、流動性や充填性が適正な範囲であるかを確認している。本工事における UFC のフレッシュ性状（フローおよび空気量）の管理結果を図 3.3 に示す。打設時期が 6 月～10 月と暑中であつたが、比較的によくコントロールされ、フロー値は 250 ± 30mm の基準値内に全て収まっていることが分かる。

表 3.2 フレッシュ性状品質管理項目

項目	時期・回数	判定基準
コンシステンシー	1) 桁1ブロック打設毎に1回(強度用供試体採取時)	250±30mm
空気量	2) 製造時に目標範囲外であった場合	3.5±2.0%
コンクリート温度		5℃以上、40℃以下

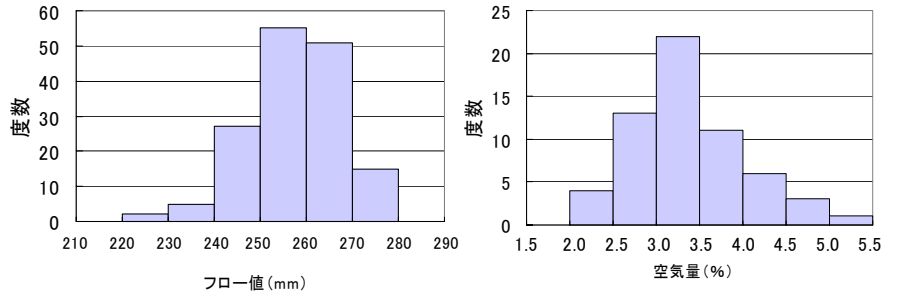


図 3.3 UFC のフレッシュ性状の管理結果

### 3-4 UFC 打設

図 3.4 にセグメント UFC の打設フローを示す。打設には 3.5m<sup>3</sup> の大型ホッパーを用い、ホッパーに取り付けたトレミーホースをウェブ（厚さ 15cm）の下部まで差し込んで、その筒先を UFC 内に保持しながら両ウェブを均等に上面まで打ち上げた。UFC は自己充填であるため、棒バイブレータなどの振動締め固めは不要であるが、流動性の補助と充填を確実にするため型枠バイブレーターを短時間使用した。

UFC は単位水量が極めて少ないため、表面が乾き易い。特に下床版の打設では、打設面が広がるため、その面が乾き始めた時の対応は困難であり、出来るだけ短時間で打設を完了する必要がある。そのため下床版の打設では、ホッパーを桁端部の中央から桁方向に移動させながら一気に打設を行った。

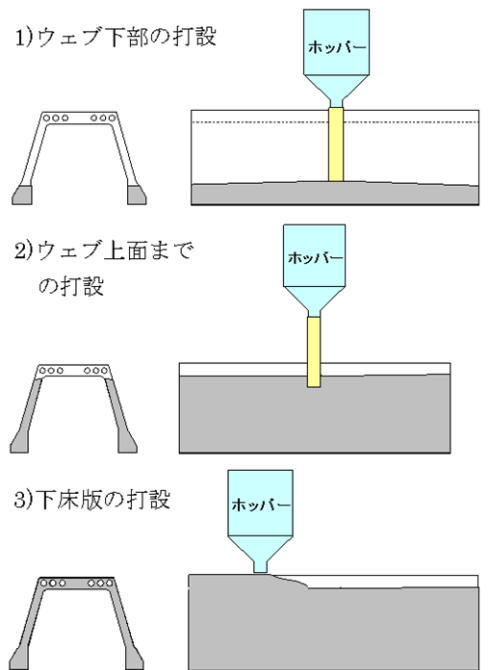


図 3.4 セグメント UFC の打設フロー

図 3.5 に打設状況を示す。わずか 22 cm 厚の下床版であるが、UFC の高い流動性により、非常に小さな流動勾配で桁方向に UFC が流動しているのが確認できる。



図 3.5 セグメントの UFC 打設状況

### 3-5 養生方法

打設終了後、夜から翌朝まで（約 12 時間）40℃の蒸気養生を行った。UFC の凝結開始は 10 時間以降であるため、午前中に打設した場合でも夜までは硬化を開始しないが、この促進養生によって急激に強度が発現し、翌日の午前中には 30～40N/mm<sup>2</sup> の圧縮強度が得られる。その後、脱型して 2 次養生を実施した。2 次養生は、90℃の蒸気養生を 48 時間行う。この 2 次養生によって、強度は約 200N/mm<sup>2</sup> まで発現するとともに、自己収縮もほぼ終わってしまうため、収縮やクリープの少ない安定した硬化体が得られる。図 3.6、



図 3.6 2 次養生状況

3.7に養生槽による2次養生状況, および2次養生温度の観測結果を示す。

### 3-6 UFC 硬化後の強度

硬化後のUFCの強度管理値を表3.3に示す。図3.8から図3.10にはUFCの圧縮強度・ひび割れ強度・引張強度の試験結果を示す。各図の下限値は表3.3に示すUFCの強度管理値としており、いずれの値も管理値を満足していることがわかる。圧縮強度は平均値208N/mm<sup>2</sup>を中心にきれいな正

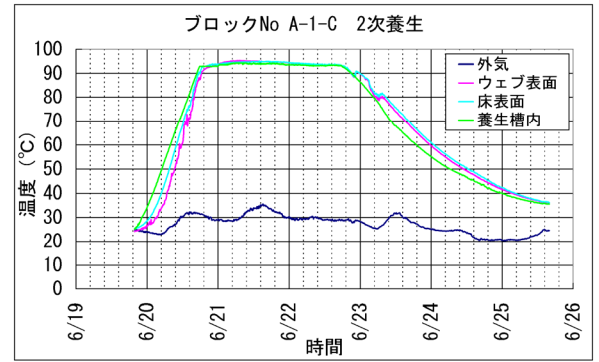


図3.7 2次養生時の温度観測結果

規分布を示している。ひび割れ発生強度においても、平均値12.1N/mm<sup>2</sup>を中心にきれいな正規分布を示す。引張強度に関しては、管理値の8.8N/mm<sup>2</sup>を十分上回っているが、10~15N/mm<sup>2</sup>でばらついている。これは、鋼繊維の補強効果を確認した試験であるため、小さな供試体の限定されたひび割れの強度に依存しており、その位置での鋼繊維の配置によって影響を受けているものと考えられる。

表3.3 硬化後のUFCの強度管理値

項目	検査方法	判定基準 (二次養生後)
圧縮強度	JIS A 1108	180N/mm <sup>2</sup> 以上
ひび割れ発生強度	UFC指針案による方法(JIS A 1113準拠)	8.0N/mm <sup>2</sup> 以上
引張強度	UFC指針案による方法(JIS A 1106またはJSCSE-G 552準拠)	8.8N/mm <sup>2</sup> 以上

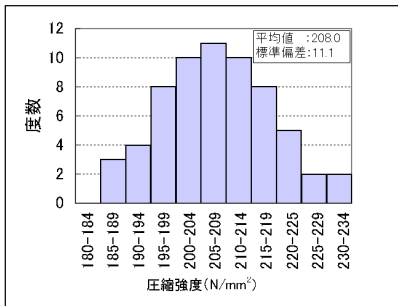


図3.8 UFCの圧縮強度試験結果

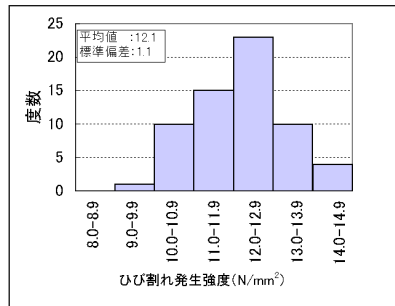


図3.9 UFCのひび割れ強度試験

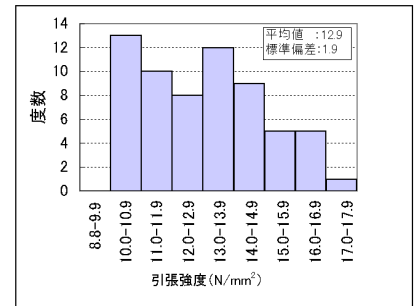


図3.10 UFCの引張強度試験結果

### 3-7 セグメントの出来形

養生を終えたセグメントに対しては、表3.4, 3.5に示す出来形管理基準に従って出来形検査を実施し、全て基準内にあることを確認した。この出来形管理基準値はJIS A 5373 (プレキャストプレストレストコンクリート製品), JH基準等を参考に設定したものである。セグメント完成写真を図3.11, 図3.12に示す。完成セグメントは図3.13に示すように反転し、工場から架設場所に出荷した。

表3.4 セグメント外観管理基準

項目	規定
ひびわれ	目視により無い事
欠け	5mm以下
ピンホール	5mm以下
よごれ	さびたれの無い事

表3.5 セグメント出来形管理基準

項目	許容値	
桁長	±10mm	
桁高	-5mm~+8mm	
桁幅	±10mm	
部材厚	ウェブ厚	-5mm~+8mm
	下床版厚	-5mm~+8mm
シース管位置	±5mm	
PBL位置	±15mm	
アンカー筋位置		



図3.11 端部セグメントの埋込み金物



図3.12 完成したUFCセグメント(反転前)

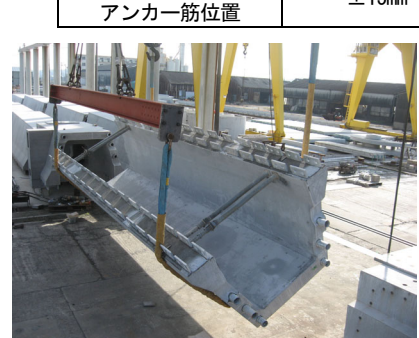


図3.13 セグメントの反転

## 4. 橋梁架設工事

### 4-1 架設手順

橋梁架設ステップ図を図 4.1 に示す。

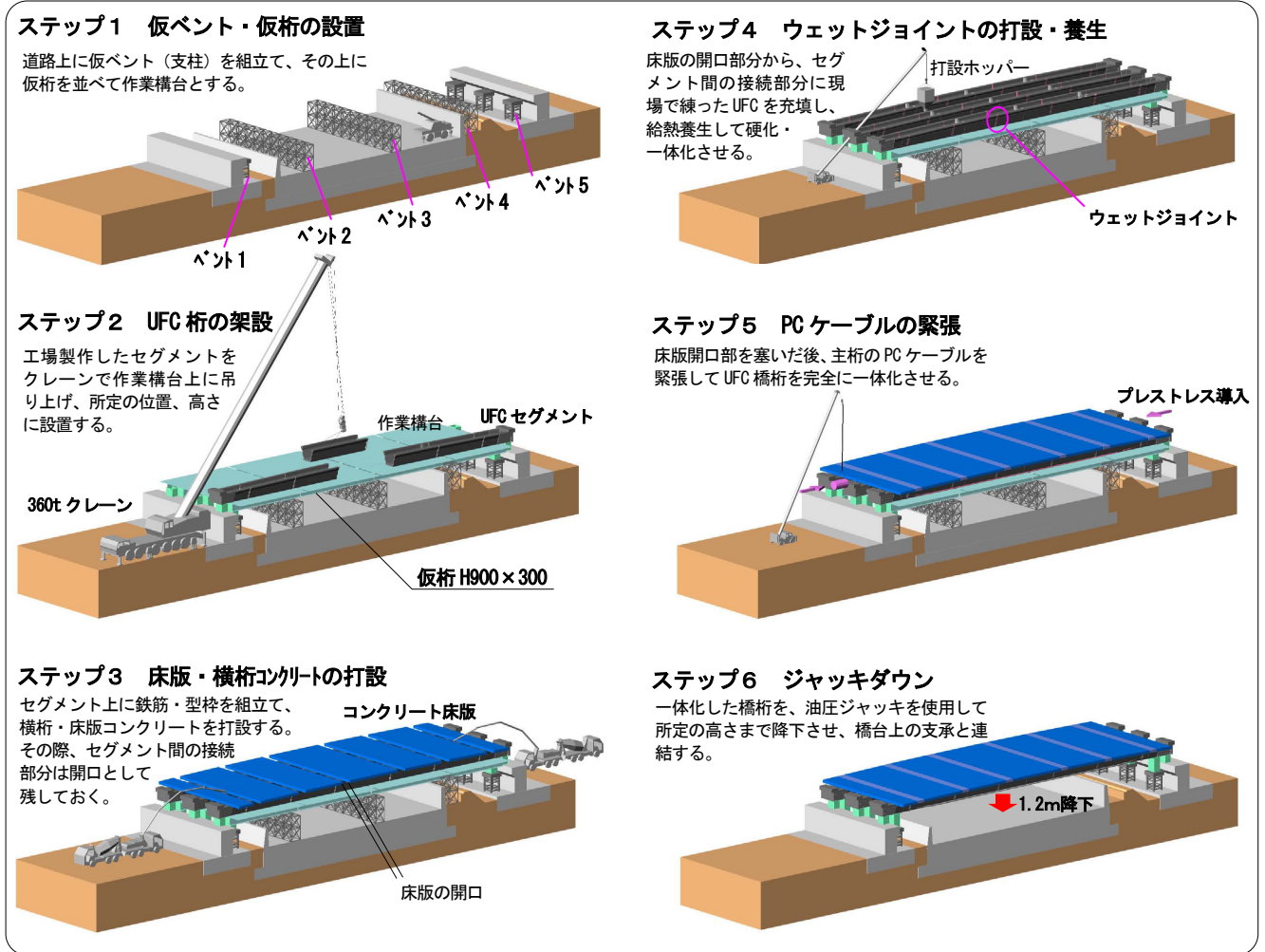


図 4.1 橋梁架設ステップ図

### 4-2 仮ベント・仮桁工事

21 基のプレキャスト UFC セグメントを架設場所で組立てるため、5 脚の仮ベントと 12 列の仮桁 (H900×300) からなる作業構台を空港連絡道路上に仮設した (図 4.2, 4.3)。

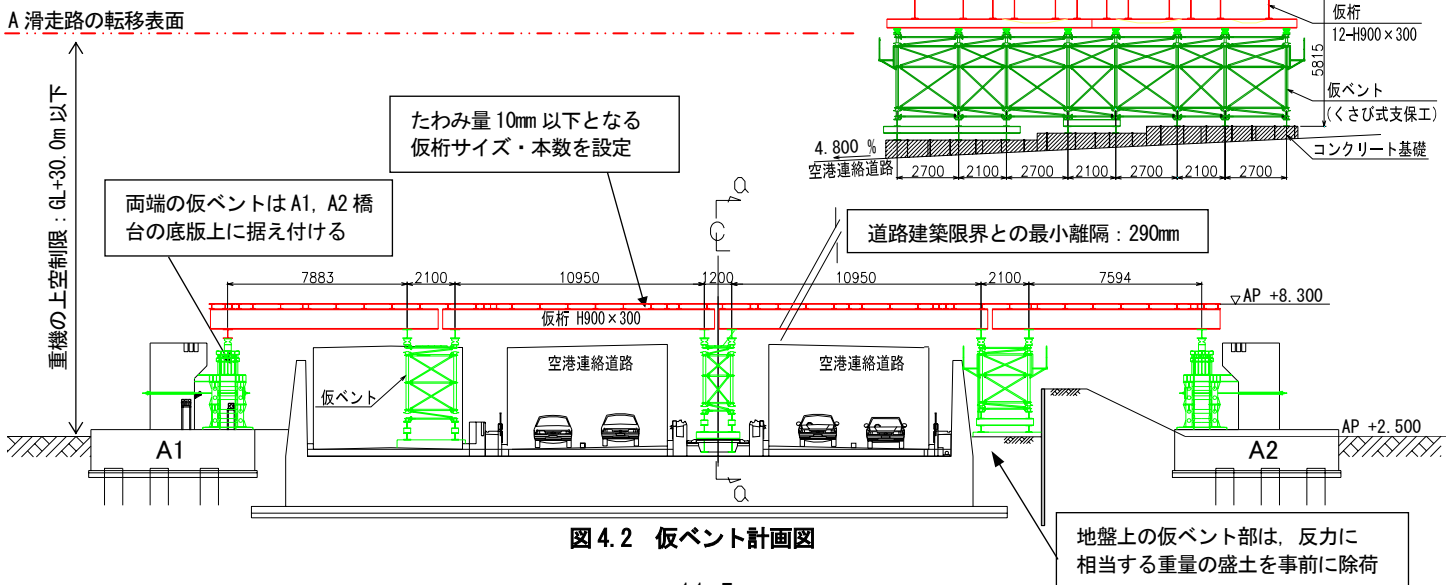


図 4.2 仮ベント計画図

両端の仮ベント2基はジャッキダウン時の全反力支持点となるため、A1、A2橋台の底版上にベントを据え付けることで安全性を確保した。仮桁のサイズ・本数は、施工中のウェットジョイント部で目開きが生じないように、たわみが10mm以下となるように設定した。また、原地盤上に直接支持させる仮ベント部分ではベント反力による地盤圧密沈下、地下シールドトンネルへの影響を抑制するため、事前に盛土の一部撤去して先行圧密降伏応力まで達しないよう除荷しておき、さらに施工中の仮ベントの沈下量を監視した(図4.4)。沈下量は床版打設までで約10mm、それ以降ではほとんど進行はなく、施工管理上問題ないレベルに抑えることが出来た。



図 4.3 作業構台の設置状況

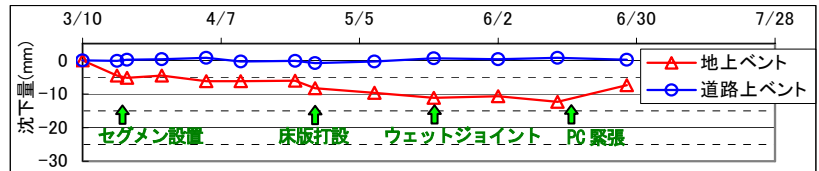


図 4.4 仮ベントの沈下量観測結果

### 4-3 UFC セグメント架設工事

#### 4-3-1 クレーン計画

工場製作した UFC セグメント (幅 2.5m 以下、長さ 10m 以下、重量 25 t 以下) をトレーラーで場内に運搬し、橋台背面に配車した 360 t クレーンで作業構台上に架設した。360 t クレーンは 3 箇所に移動させ、合計 4 日間 (夜間通行止め作業) で全 21 基の架設を完了した (図 4.5)。作業半径は最大で 30m 必要であったが、空港の転移表面以上にブームを上げられないため、配車位置・ブーム旋回方向・ブーム高さを慎重に計画・コントロールして作業を行った。

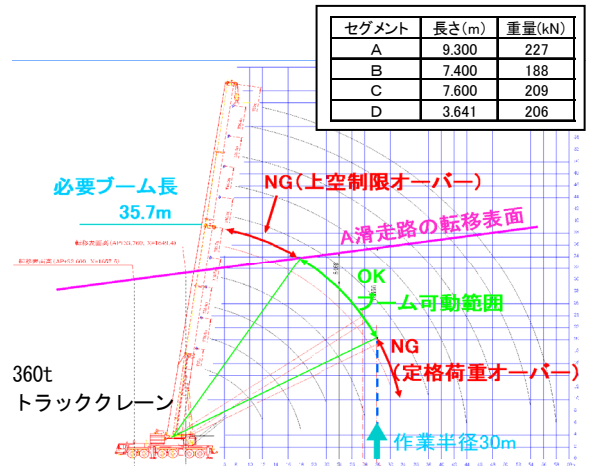
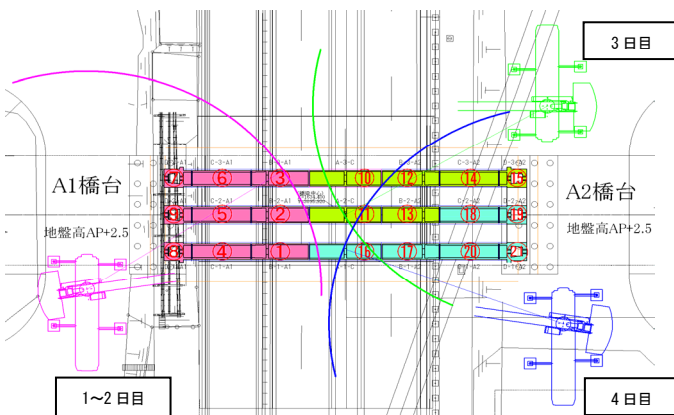


図 4.5 セグメント架設時クレーン計画

#### 4-3-2 架設方法

セグメントの吊り込みは PBL の孔を利用した 4 点吊りとし、水平かつ不要なねじれ・断面力が生じないように、図 4.6 に示すセグメント吊り治具を使用した。各ブロックの設置高は事前の上げ越し計算で決定した高さとなるようライナープレートで調整し (中央部の上越し量 25mm)、ブロック間は図 4.7 に示すようにシーす管を損傷しないようにウェットジョイント幅 150mm (シーす間 50mm) を開けながら、橋長の微調整を行った。全 21 基のセグメントの架設を完了した状態を図 4.8 に示す。



図 4.6 セグメント吊り治具



図 4.7 セグメント間の状況写真



図 4.8 セグメント架設完了

## 4-4 ウェットジョイント工事

### 4-4-1 UFC 現場練りプラント

本橋のウェットジョイント（以降、WJ）は全 18 箇所（6 箇所/1 主桁）で、1 箇所当りの UFC 量は約  $0.18\text{m}^3$ 、全 UFC 量は  $3.3\text{m}^3$  と従来の同種工事に比べて施工数量が多かった。そこで、地上に設置したプラント（図 4.8）には 100L クラスのミキサーを 2 台用意し、2 台同時練りした UFC を打設ホッパーに移し替えて、1 度に WJ 一箇所を連続して打設できる計画とした（全 18 箇所の所用日数は 2 日間）。



図 4.8 UFC 現場練りプラント

### 4-4-2 打設方法

WJ 部が位置するコンクリート床版部分には UFC 打設用の開口（幅 1.5m）を予め設けておいた。

50t クレーンを使用して打設ホッパーを橋面上の WJ 開口部まで運搬し、ホッパー先端に取り付けたビニールホースで WJ 型枠内への UFC の充填を行った。ウェットジョイント充填手順を図 4.9 に示す。底版まで充填した段階で一度打ち込みを中断し、伏せ枠を設置・固定した後に、打ち継ぎ目ができないよう突き棒で攪拌しながらウェブ天端まで充填を再開する方法で作業を行った。

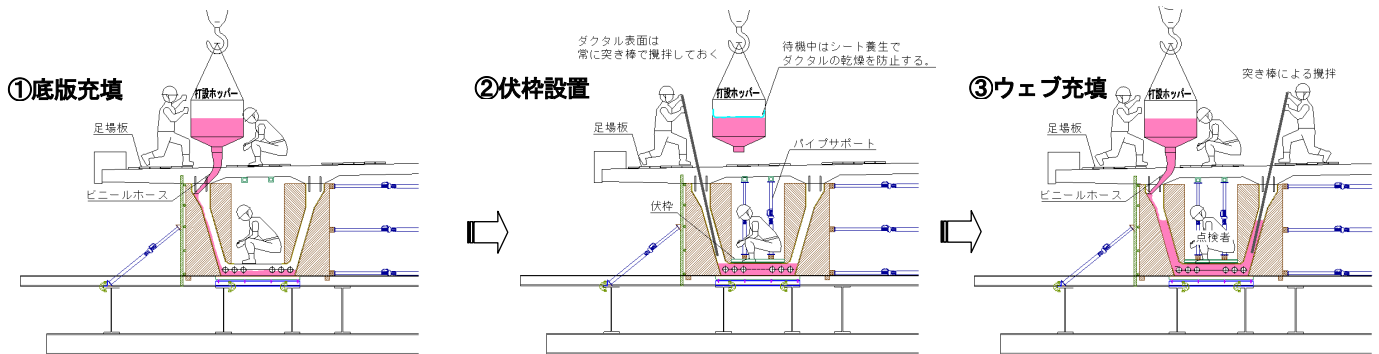


図 4.9 ウェットジョイント充填手順

### 4-4-3 養生方法

打設 1 日後に脱枠し、WJ 部の目開き防止のために PC 主ケーブルの仮緊張で WJ 部に面圧 ( $0.3\text{N}/\text{mm}^2$ ) を導入した。WJ の UFC 強度は、設計計算上の必要強度と現場の養生条件等を考慮して  $120\text{N}/\text{mm}^2$  と設定した。打設後の WJ の養生は、ファーネスと呼ばれる温風式の養生設備を用い、桁内に温風を送風する風管を設置して 18 ヶ所の WJ を約 5 日間、 $40\sim 50^\circ\text{C}$  の温度で養生を実施した（図 4.10）。

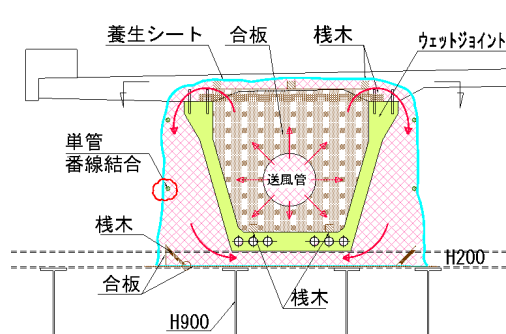


図 4.10 ウェットジョイントの養生方法

### 4-4-4 品質管理

強度の確認は、WJ の近傍に  $\phi 50$  のテストピースを設置して WJ と同一養生条件とし、そのテストピースの強度を順次確認して行った。養生 4 日目に十分強度が発現していることを確認した後、送風を停止して桁に急激な温度変化を生じさせないように緩やかに降温した。WJ 養生時の温度計測結果を図 4.11 に示す。養生温度は図 4.12 に示すモニタリングシステムにより事務所内でリアルタイムに監視可能とした。養生後の WJ の圧縮強度は表 4.1 の通りで、設計値の  $120\text{N}/\text{mm}^2$  を十分満足する値であった。

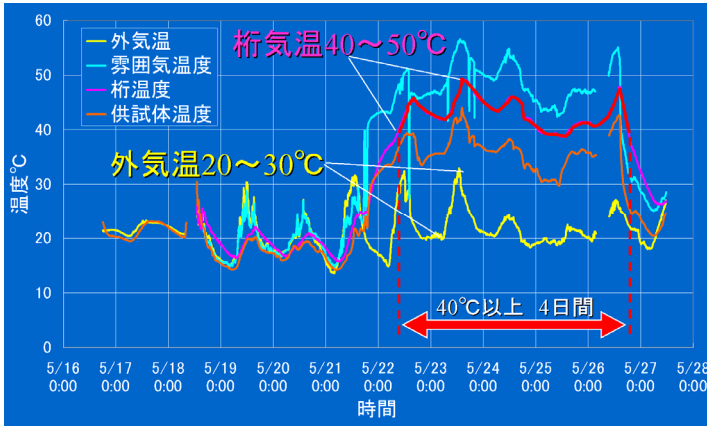


図 4.11 WJ養生時の温度計測結果

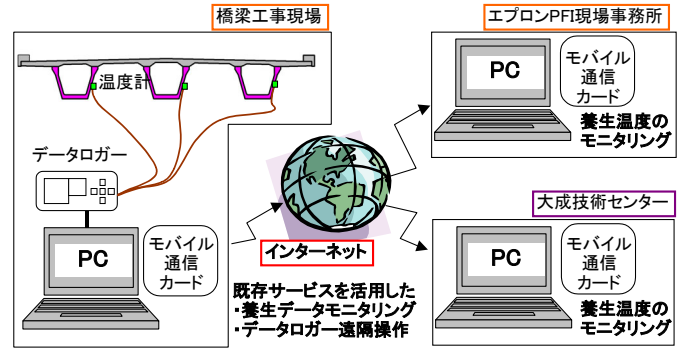


図 4.12 養生温度のモニタリングシステム

#### 4-5 主ケーブル緊張工事

床版コンクリート工事完了後、PC主ケーブルの本緊張を行って橋桁を一体化した。主ケーブルの緊張仕様を表 4.2、緊張順序を図 4.13 に示す。

表 4.2 主ケーブルの緊張仕様

項目	諸元
PC 鋼線	22S15.2 × 18 本
設計緊張力	4350kN/本
設計鋼材伸び量	320mm
使用ジャッキ	VSL ZPE-500 (両引き)

表 4.1 WJの圧縮強度

	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	
	1日目打設	2日目打設
1本目	153	156
2本目	155	172
3本目	150	169
平均値	153	166
目標値	120以上	

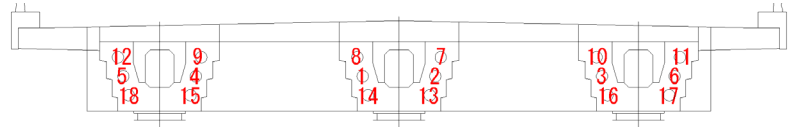


図 4.13 主ケーブルの緊張順序

緊張による橋桁のそり上り量の計測結果を図 4.14 に示す。設計そり上り量（スパン中央）は 45mm であったが、ほぼ同等のそり上り曲線が観測された。また、そり上りによる中間ベントの反力解放に伴って両側 2 基の端部ベントに全反力が受け替わったため、サンドル材のなじみ・弾性変形で約 8mm の全体沈下が観測された。

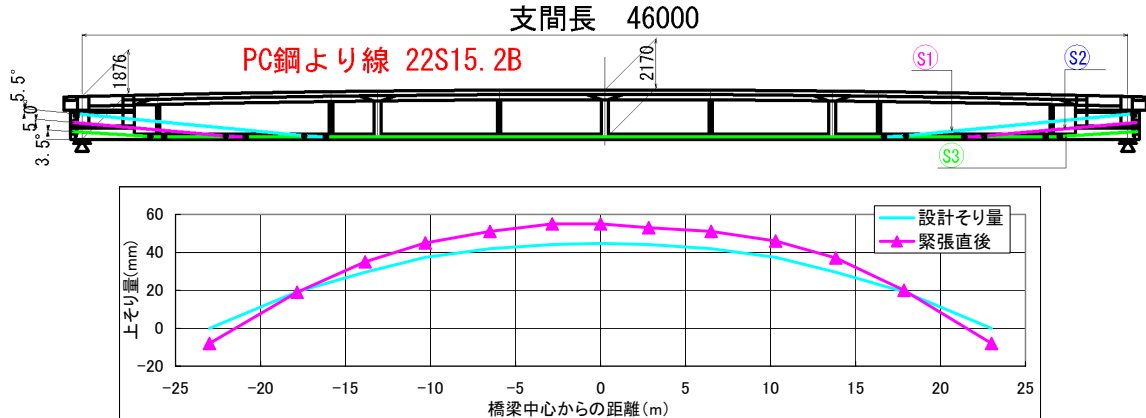


図 4.14 緊張時の橋桁のそり上り量

#### 4-6 ジャッキダウン工事

##### 4-6-1 施工方法

中間ベントの解体後、総重量約 12,000kN の橋桁を 1.2m ジャッキダウンさせて橋台側のゴム支承と接合する作業を夜間全面交通止めで実施した。図 4.15 にジャッキダウン計画図を示す。500t 油圧ジャッキ（最大ストローク 200mm）6 台を、3 本の UFC 桁の両端にある端支点横桁下に配置し、各ジャッキ箇所を設置した変位計と油圧制御ユニットを連動させてジャッキ 6 台をリアルタイムに 1mm 精度で同時に制御するシステムを採用した。高さ 150mm のサンドル材撤去の 1 サイクルは約 50 分で、全 1.2m の降下を 2 日で完了させた。表 4.3 に設計で想定された支点反力を示す。

表 4.3 設計支点反力（1橋台分）

桁 No	G1	G2	G3	合計
位置	空港側	中央	環八側	
支点反力	1880kN	2000kN	1880kN	5760kN



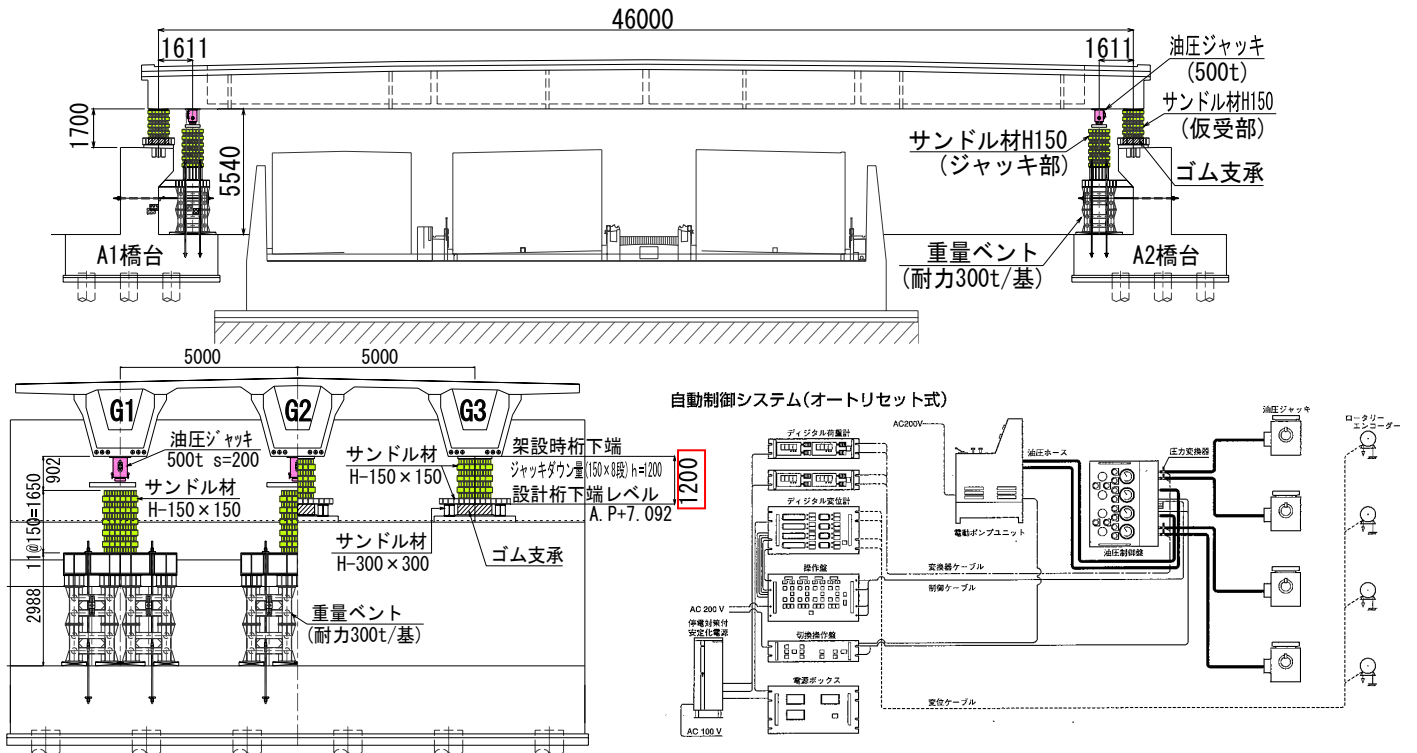


図 4.15 ジャッキダウン計画図

#### 4-6-2 ジャッキ制御方法

ジャッキ制御に当たっては、事前に各ジャッキの荷重分担率と各支点位置で許容される相対変位量を算出した。その結果、片側3台のジャッキの両端2台で支持しても端部横桁は健全であること、および中央ジャッキ部が両端ジャッキよりも上方に突き上げる変位モードが横桁への負担が大きいことが確認されたため、ジャッキダウン中は横桁両端の2台のジャッキで支持させる手順を採用した（図 4.16）。

なお、実際の作業においては、各ジャッキの反力・変位を常に計測モニターでリアルタイムに監視し、

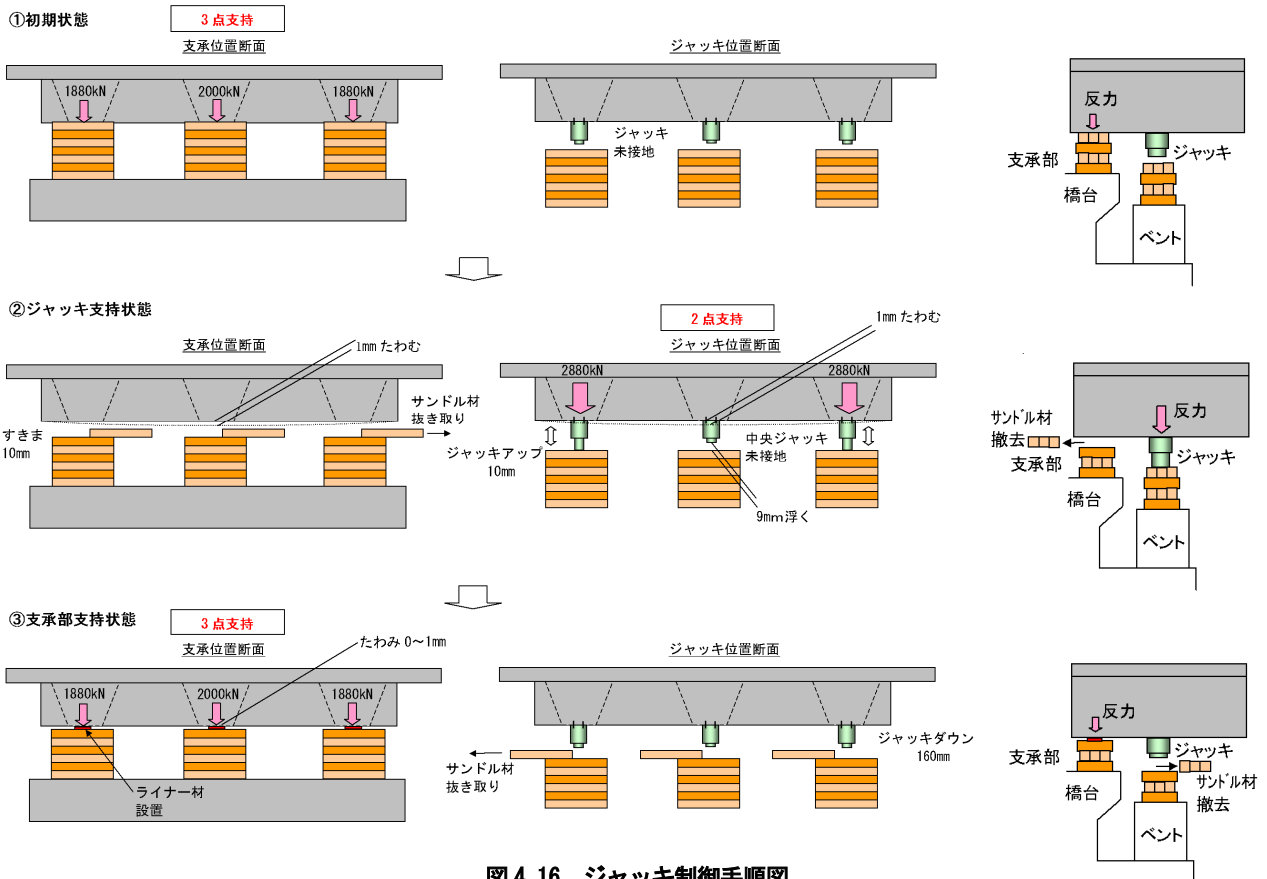


図 4.16 ジャッキ制御手順図

想定範囲内に収まっていることを確認した。

#### 4-6-3 据付精度

サイクルが進むにつれて橋桁全体の平面位置にズレが生じる可能性がある。そこで、テフロン板と水平方向の油圧ジャッキを使用した調整装置を予め準備した（図 4.17, 4.18）。最終的には橋軸直角方向の調整を 1 回行い、平面位置の誤差で最大 4mm、高さの誤差最大 3mm でジャッキダウンを完了した。ゴム支承と橋桁のボルト接合の完了後、6 台の油圧ジャッキ反力が設計反力と同等になるように変位を微調整し、機械式ジャッキで高さを仮固定した（図 4.19）。この状態で沓座の無収縮モルタルを打設し、硬化後にジャッキを解放してゴム支承へ設計値通りの反力受け替えを行った。

ジャッキダウン完了後、橋桁は図 4.20 に示す落橋防止ケーブルでさらに橋台と連結され、死荷重の 1.5 倍の水平力に対する耐震性を確保している。

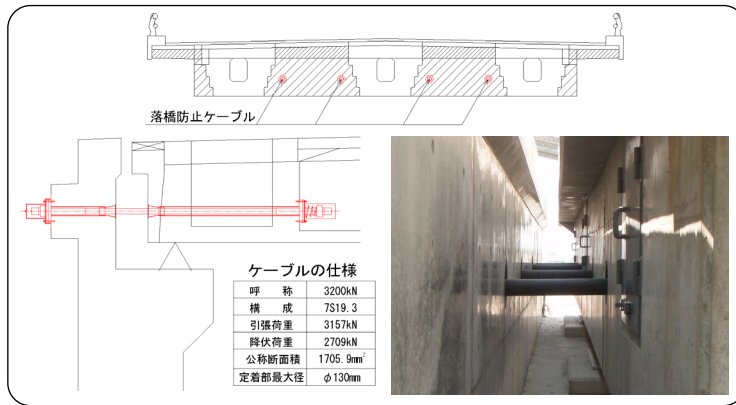


図 4.20 落橋防止ケーブル



図 4.17 油圧ジャッキの設置状況



図 4.18 位置調整装置



図 4.19 ゴム支承の接合状況

#### 5. あとがき

本橋は 2008 年 11 月で橋台背面のアプローチ部（EPS 盛土）の工事まで完了している（図 5.1）。今後、国際線エプロン事業の工事用道路として仮供用が開始される予定である。

UFC を使用した大型車両用の橋梁としては世界最大クラスとなる GSE 橋梁は、1/2 スケール模型実験をはじめとする種々の技術検討や詳細設計に対する有識者委員会の助言、また実際の施工における工事関係者の協力を得て実現するに至った。改めて、関係者の皆様のご指導・ご鞭撻に感謝する次第である。



図 5.1 GSE 橋梁の完成写真