

ダクト材の接合方法および低桁高部材の製作方法の開発

豊田市総合体育館横断歩道橋への適用例

大島邦裕*¹ 田中浩二*² 稲原英彦*³

Keywords : Ultra-high strength fiber reinforced concrete, prestressed concrete bridge, precast segment, dry joint, wet joint, short-line matchcast

超高強度繊維補強コンクリート, プレストレスト橋, プレキャストセグメント, ドライジョイント, ウェットジョイント
ショートラインマッチキャスト

1. はじめに

超高強度繊維補強コンクリート（ダクト材：以下ダクト材と呼称）を用いたプレストレストコンクリート橋は、その高い強度特性を活かし、大きなプレストレスを導入することができる。但し、ダクト材は部材製作時における収縮量が大きく、セグメント接合面の精度管理が難しい。この課題の対処方法として、セグメントを設置した後、接合部の隙間にダクト材を現場打設するウェットジョイントが採用されてきた（図-1）。したがって、ウェットジョイントの場合、部材製作時にはセグメントの端面精度はあまり厳しく要求されない。しかし、架設現場ではダクト材の現場打設や養生等の様々な工種が必要となるため、作業負担増や架設に要する工程が長くなる傾向にある。

これに対してドライジョイントは、部材製作時にはセグメントの端面精度が要求されるが、セグメント同士を直に接合し、プレストレスを導入することで部材を一体化できる。つまり、ウェットジョイントと比べ、架設作業が簡易化され、架設工程を短縮することが可能となる。架設工程の短縮は工事の採算性向上だけでなく、発注者側からも望まれるものであり、特に大規模構造物や市街地における工事では、このメリットは大きい。

今後、道路橋や鉄道橋等の大型構造物へのダクト材適用が考えられ、施工効率の向上が必須の課題となると考え、ドライジョイントの開発を行った。

また、ダクト材を用いたプレストレストコンクリート橋では、上部工の小断面化による軽量化とともに低

桁高化が可能であるが、小断面化することにより、部材製作時における製作効率が悪化する恐れがある。例えば、内型枠が必要な箱桁断面のように、内空断面が小さく、型枠組立と脱型の作業空間が確保できない場合である。本開発では、このような箱桁断面でも、効率的に製作可能な型枠技術についても開発を行った。

本稿では、開発したこれらの技術を適用した豊田市総合体育館横断歩道橋を例に報告する。

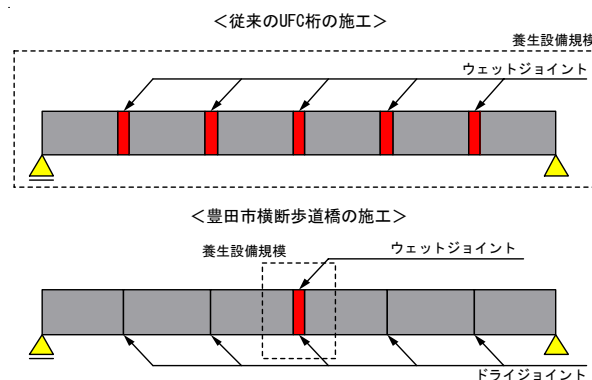


図-1 セグメントのジョイント方法
Fig.1 Method of joint for precast segments

2. 豊田市総合体育館横断歩道橋について

本橋は、愛知県豊田市の総合体育館新設工事に伴い建設された歩道橋であり、市道を跨ぎ地上から体育館2階部へ接続するプレストレストコンクリート橋である（写真-1）。架橋位置は、市道上にあり、市道の建築限界により決定される桁下のレベルと、歩道橋が接続する体育館2階部のレベルの主桁の上下でレベルがあらかじめ設定された制約があった。このような条件を満足する材料として主桁部にダクト材が採用され、

*1 技術センター 土木技術開発部 土木技術開発プロジェクト室

*2 国際支店 土木部

*3 土木本部 土木設計部

桁高 550mm（桁高スパン比 1/41，一般のPC橋では 1/15～1/10 程度）という低桁高を実現した。

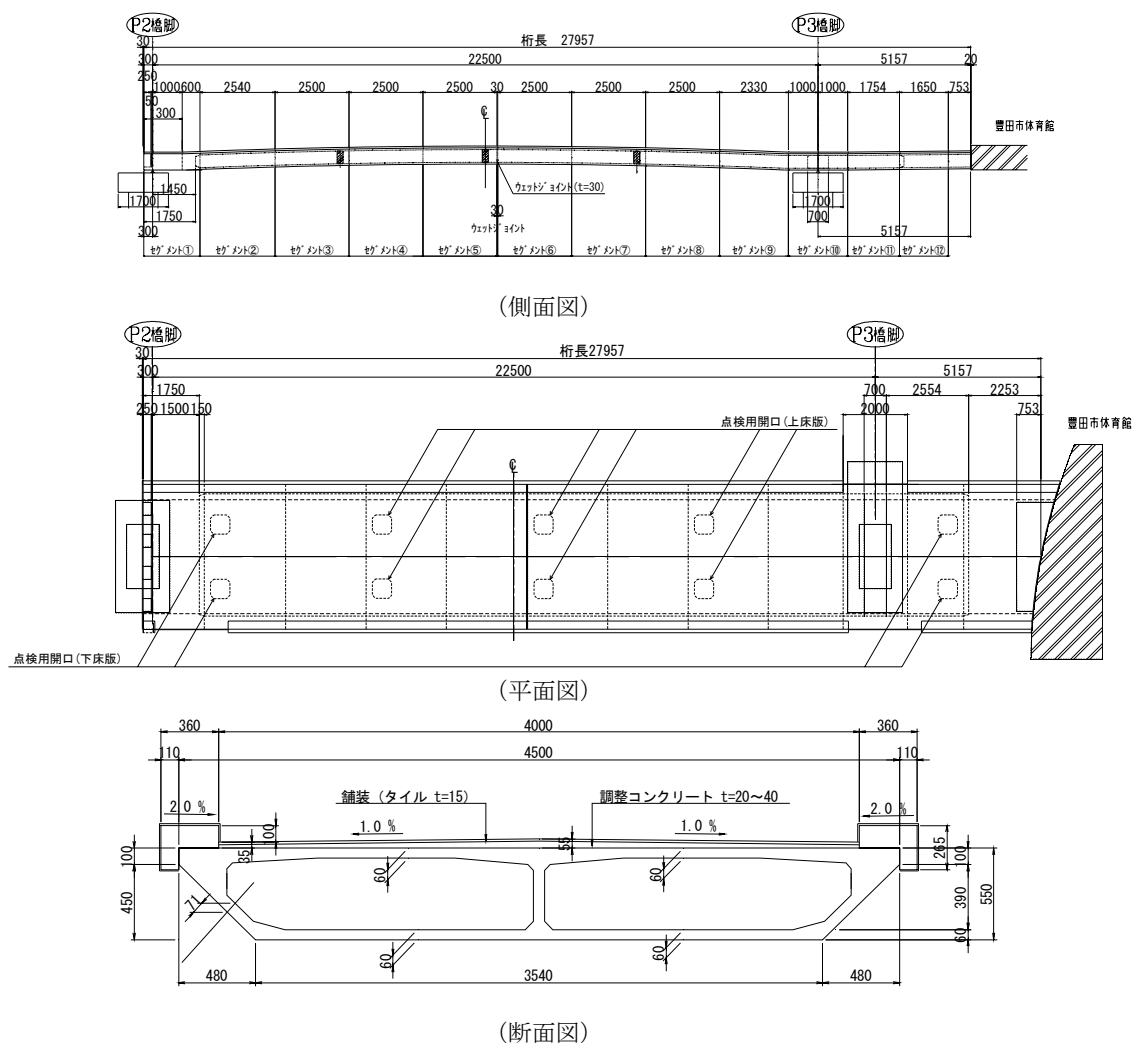
図-2 に構造一般図を示す。本橋は総合体育館へアプローチする橋梁として、P2 および P3 に繋がる 2 本の階段部と、市道上を跨ぐ主桁、地上と主桁を連絡する 2 棟（P2 と P3）のエレベータから構成される。主桁部は、橋長 27.957m（スパン 22.5m），総幅員 4.72m，有効幅員 4.0m，桁高 0.55m のダクトルを用いた単径間プレストレストコンクリート橋である。主桁断面は、二室箱桁構造が採用されており，上下床版厚 60mm，最小ウェブ厚は 70mm である。

主桁部はプレキャストセグメント工法を採用しており，長さ 1.75～2.5m の 12 個のセグメントから構成される。また，主桁の支間中央部の 1 箇所にウェットジョイント部がある。主桁部は外ケーブル緊張方式を採用しており，19S15.2mm のアンボンドマルチケーブルが 4 本配置されている。主桁の縦断勾配は 1% 放物線

の勾配であるが，配置されるケーブルは直線配置で，P2 橋脚上の横桁とセグメント⑫で定着されている。



写真-1 豊田市総合体育館歩道橋全景
Photo.1 The Whole view of Toyota pedestrian bridge



3. セグメントの製作

3.1 製作概要

ダクトルを用いたセグメントのドライジョイントするための製作方法は、従来のPC橋梁に適用されているプレキャストセグメント工法において、セグメントをマッチキャストにより製作する方法と基本的には同じである。マッチキャストとは、旧セグメントの端面を型枠として新セグメントを製作することで、新旧セグメントの接合面を合致させる製作方法のことである。本橋では、このような従来のプレキャストセグメント工法の製作方法のうち、1型枠で1つのセグメントを製作するショートライン・マッチキャスト方式で行った(図-3)。

セグメントの製作の流れを図-4に示す。ダクトルは、通常のコンクリートセグメントと違い、脱型強度を発現させるための一次養生工程と、その所要性能を発現するための90℃×48時間の蒸気養生を行う二次養生の工程が必要である。本橋では、型枠組立に1.5日、一次養生は打設日を含めて2日間、二次養生は昇温および降温過程を含める7日間(横桁は9日間)を必要とした。なお、ダクトルを使ったセグメントの製作は、二次養生の工程の取り方が製作効率に影響を及ぼす。図-4のように製作型枠組立から脱型までの製作が4日間を要するのに対し、二次養生は7日間を要する。そのため、製作した順に二次養生を行うと、二次養生を待つセグメントが増え、製作効率が悪くなる。本橋のセグメント製作では、製作効率を上げるために、セグメント製作時に使用した旧セグメントは、新セグメント脱型直後に二次養生を行わずに仮置きし、製作工程に影響しないタイミングで、まとめてセグメントの二次養生を行った。なお、仮置きするセグメントは、二次養生開始まで乾燥しないように養生した。このような製作流れでセグメントの製作を行い、二次養生を含めて1サイクル9.5日間(1セグメントを同時に二次養生するため、1個当りの二次養生期間を3.5日で換算)で一つのセグメントを製作することができた。

3.2 型枠

マッチキャストによるセグメントの製作では、新旧セグメントの材齢差が部材寸法に及ぼす影響を考慮する必要がある。新セグメント製作時では、旧セグメントの断面は既に収縮している状態にある。そのため、新旧セグメントの収縮差が累積し、結果として断面寸法が不足する恐れがある。

ダクトルは、製作時において、一次養生時に約400 μ 、

二次養生完了でさらに約400 μ の収縮が生じる。本橋のセグメント製作では、材齢差による影響をできるだけ小さくするため、新セグメント製作に使用する旧セグメントは、一次養生後のものとした。なお、一次養生後に、既に旧セグメントの断面は約400 μ の収縮が生じているわけであるが、この対処方法として、図-5に示すように旧セグメントのマッチキャスト面に取り付けられたゲージ鋼製型枠を介して新セグメントを製作した(写真-2)。このゲージ鋼製型枠は、旧セグメントが収縮していても、打設時における新セグメントのマッチキャスト面の断面寸法を常に一定にできるゲージ機能を有した妻型枠のようなものであり、旧セグメント側の接合面に密着している。

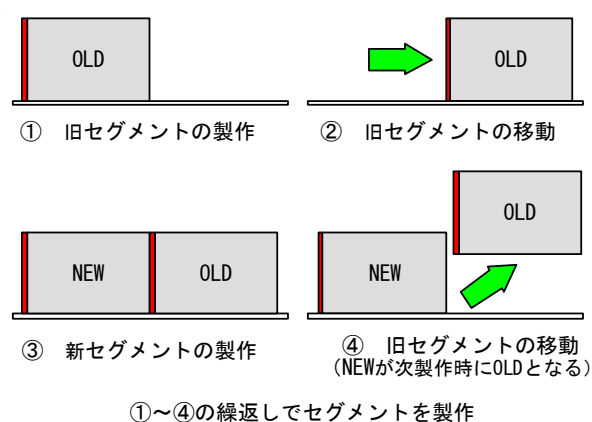


図-3 ショートライン・マッチキャスト方式での製作手順
Fig.3 Production method by Short-Line matchcast

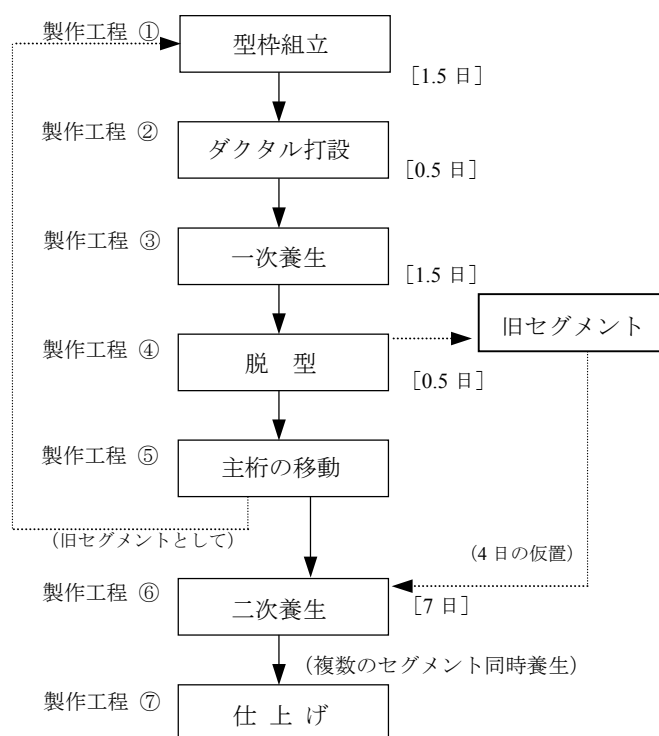


図-4 プレキャストセグメントの製作の流れ
Fig.4 Flow of producing a precast segment

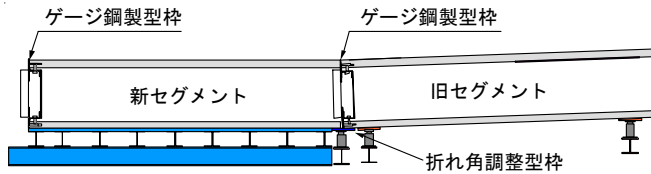


図-5 ゲージ鋼製型枠 (側面図)
Fig.5 Steel Gauge form

また、ゲージ鋼製型枠の板厚を鋼板全面で一定としており、この型枠を挟んで製作された新旧接合面の凹凸をミラー転写可能で、接合面精度を確保できる機構となっている。なお、ゲージ鋼製型枠は、新セグメント製作後に旧セグメントから取外し、次に製作する新セグメントの妻型枠に設置して転用した。主桁に縦断勾配をつけるためのセグメント接合部の折れ角部は、新セグメント用の型枠と旧セグメント境界線上に木製型枠を当てて、これを調整型枠とした。

3.3 打設

表-1 にダクトルの配合を示す。ダクトルは製造メーカーにより予めプレミックスされた反応性粉体に、水、専用減水剤および鋼繊維を混合した材料である。

表-2 にダクトルの打設前における品質管理値を示す。ダクトルの練混ぜは、打設前の品質管理試験でこれらを満たすように減水剤量を調整して行った。

打設は、内ウェブ（ウェブ厚=70mm）へトレミ管を一箇所挿入し、バイブレータを使用せずとも自己充てんできるダクトルの高流動特性を活かして下床版からウェブを打設した。打設したダクトルが上床版まで達した後は、打設ホッパーをトレミ管から抜き、型枠上を移動させながら打設を行った（写真-3）。

3.4 脱型

本橋の主桁断面は、内空高さが430mmと非常に狭く、かつ扁平な箱桁断面である。このため、内型枠の脱型効率が大幅に悪化し、製作工程へ影響することが懸念された。

この対処方法として、熱収縮特性を有する素材を内型枠の一部に使用し、セグメントの二次養生過程でこれが自己収縮する機構を利用して脱型作業の効率化を図った。図-6 に示すように、熱収縮性型枠は鋼製の芯材に接着して一体化した。また、底型枠と鋼製芯材の間には、円柱型中空スペーサを挟み、スペーサ内にセパレータを通して底型枠と鋼製芯材を固定することで下床版厚を確保する構造とした。脱型は内型枠の付いた状態でセグメントを二次養生し、養生後、収縮し

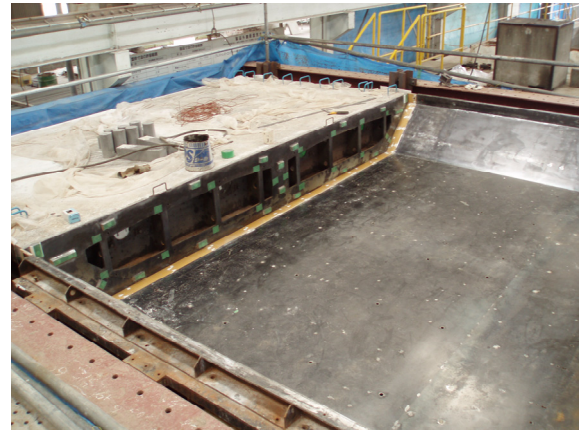


写真-2 旧セグメントに設置されたゲージ鋼製型枠
Photo.2 Gauge form setted on old-segment

表-1 ダクトルの配合例

Table 1 Mix propotion example

(単位: kg)			
紛体	水	鋼繊維	減水剤※
2254	156	157	24

※品質管理試験で所要のフロー値を満足するように減水剤量を調整する。

但し、水+減水剤=180kg

表-2 打設前の品質管理値

Table 2 Quality control value before casting concrete

管理項目	管理値
フロー値	220mm \leq Φ \leq 280mm
空気量	5.0%以下
練り上がり温度	40℃以下

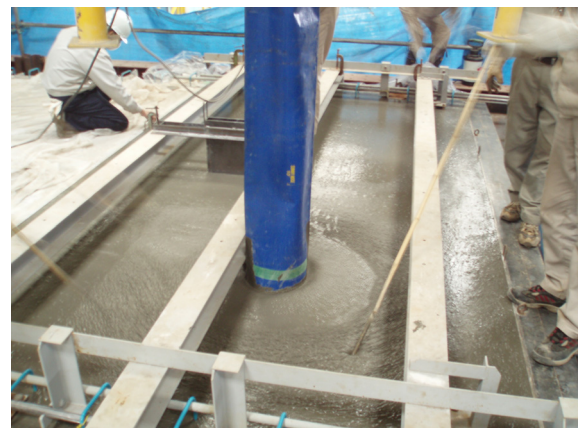


写真-3 打設状況
Photo.3 Casting concrete

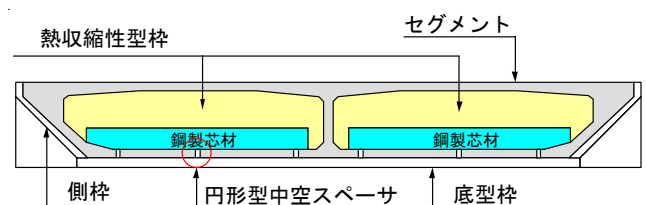


図-6 内型枠構造 (断面図)
Fig.6 Structure of inner form

て小さくなった型枠をフォークリフトで抜き出すことで脱型が完了する機構である（写真－4）。この機構により、内型枠の脱型作業は、1 時間未満となり、脱型作業の工程は一次養生後の脱型作業を含めて、のべ半日で完了でき、本橋のような扁平な箱桁断面も効率的に製作できた（写真－5）。なお、内型枠は、鋼製芯材のみを転用した。

3.5 セン断キー

大きなプレストレスが本橋には導入されているため、セグメント接合部におけるせん断耐力は、摩擦抵抗力で十分に確保されているが、せん断に対する安全性をより高めること、また、セグメント設置精度の向上を目的にせん断キーを配置した。セグメント妻面に配置されるせん断キーは、従来の場合は凹凸形状である。ゲージ鋼製型枠を使用した型枠構造上の制約と、接合面の微小な寸法誤差により、セグメント接合時にせん断キーが破損することを懸念し、製作するセグメント妻面のせん断キー形状は全て凹形状とした。なお、この凹部には、凹形状より 0.1～0.2mm 小さく高精度に別製作したダクトル製のせん断キーをセグメント接合時に挿入し、せん断キーが完成する。セグメント妻面の凹部は、高精度加工した型枠部材に緩衝材をつけてゲージ鋼製型枠に設置することで成形した。



写真－4 内型枠の脱型
Photo.4 Stripping of inner form



写真－5 セグメントの完成
Photo.5 Completion of segment

4. セグメントの架設

4.1 架設概要

図－7 に架橋位置における主桁架設の流れを示す。

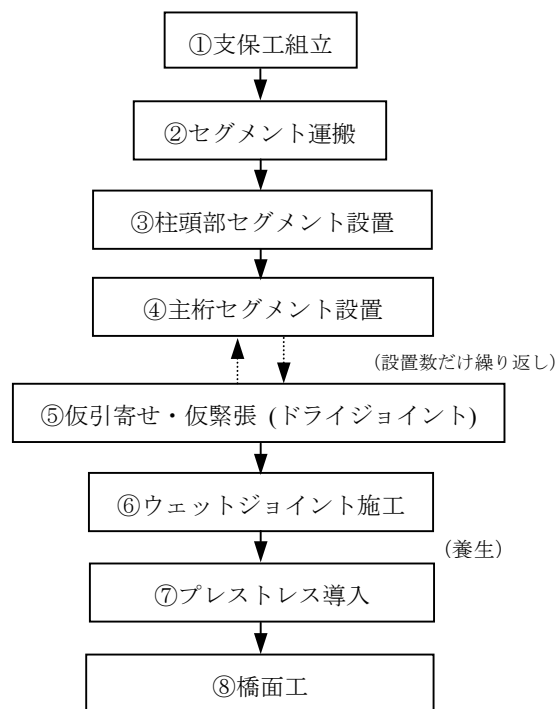
本橋は、全支保工による架設方法を採用している。セグメントの架設作業は、大型重機を使用することから、交通阻害の影響を最小とするため、主に夜間作業とし、全セグメント設置は2日間で完了させた。

4.2 セグメントの架設

セグメントは、支保工にたわみや上げ越しを考慮した支持台座とボタンジャッキで構成される支持架台上に設置した。セグメントの架設は、クレーン車により橋脚直上の柱頭部セグメントから高精度に設置し（写真－6）、このセグメントを固定した後に、支間中央に向けてセグメントを順次架設した。

4.3 セグメントの引寄せ

セグメントを支保工上に設置した後、引寄せ前に接合面にはエポキシ系樹脂を塗布し、上床版および桁内下床版に配置した4本の引寄せ鋼棒によりセグメントを引寄せた（写真－7）。なお、この引寄せ時に、前述した別製作のせん断キーを設置した。引寄せ後は、接



図－7 架設の流れ
Fig.7 Flow of construction

合面に 0.3N/mm^2 の軸圧縮応力が導入されるように引寄せ鋼棒を仮緊張した。引寄せ鋼棒の緊張力は、仮緊張時に導入される圧縮応力度と同等以上のプレストレスが、外ケーブル緊張により導入されるまで保持した。

4.4 ウェットジョイントの施工

支間中央部には、主桁の出来形精度をより向上させるために、幅 30mm のウェットジョイントを 1 ヶ所設けている。この部位に現地練りしたダクトルを充てんした（写真-8）。ダクトルの充てん後、設計圧縮強度（ $f'_{ck}=100\text{N/mm}^2$ ）の発現までウェットジョイント部をシートで覆い、乾燥しないように養生を行った。

外ケーブルの緊張は、ウェットジョイント部のダクトル強度が、プレストレス導入に必要な圧縮強度（ $0.4\sigma_c : f'_c=60\text{N/mm}^2$ ）が発現後（充てん後 4 日）に行った。

5. おわりに

豊田市総合体育館歩道橋では、ダクトルを使ったプレストレストコンクリート橋のセグメントに、ドライジョイントを国内で初めて適用したが、製作および施工工程とも順調に完了することができ、構造物の出来形も計画とおりに実施することができた。また、従来のウェットジョイントではセグメントと接合部の色調が異なっていたが、ドライジョイントの場合、写真-9 に示すようにこれが目立たない仕上がりであった。

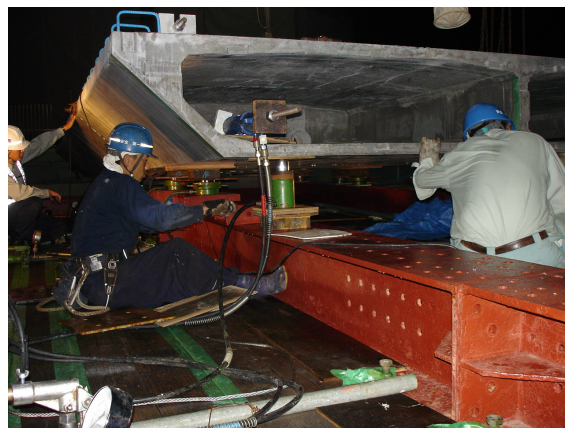


写真-7 セグメントの引寄せ状況

Photo.7 Joining precast segment with controlling a correct position



写真-8 ウェットジョイント部の施工

Photo.8 Execution of wet joint



写真-6 柱頭部セグメントの設置

Photo.6 Setting a segment on column capital



写真-9 ドライジョイント部

Photo.9 Dry joint