

添川高架橋の設計と施工

小林 勝*1・末岡 真純*2・高橋 幹雄*3・伊藤 康輔*4

1. はじめに

秋田自動車道は東北自動車道から分岐し、北上市と秋田市を結ぶ延長122.8kmの高速道路であり、将来秋田市を中心とする「秋田経済圏」と、仙台市を中心とする「仙台経済圏」および「首都経済圏」とを結ぶ重要路線である。

すでに、北上JCT～北上西IC、湯田IC～秋田南ICの85kmが供用され、現在残る北上西IC～湯田IC、秋田南IC～秋田北IC間の37.8kmの工事が進められている。

添川高架橋は、秋田北ICに近接する位置にあり、一級河川「旭川」および陸上部に架橋する全長576.6mの高架橋である。

本高架橋は、起点側から4径間連続PC箱桁橋・9径間連続PC中空床版橋・2径間連続PC箱桁橋の3橋で構成され、このうちの2径間連続PC箱桁部をプレキャストセグメント工法で施工した。セグメントの製作はショートライン・マッチキャスト方式で行い、架設は総支保工上でのスパン・バイ・スパン工法で行った。以下に、本工事の設計と施工の概要について報告する。

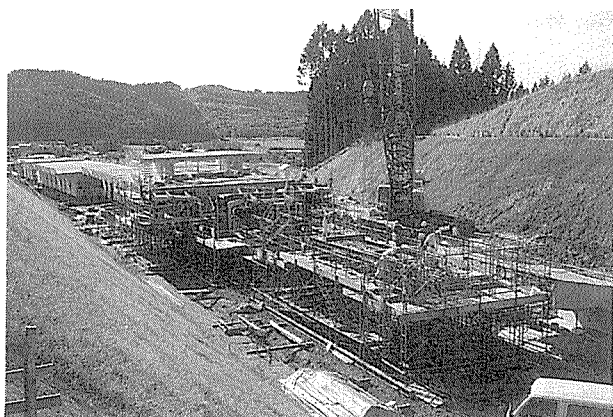


写真-1 セグメント製作ヤード全景

2. 工事概要

2.1 全体工事概要

工 事 名：秋田自動車道 添川高架橋他1橋（PC上部工）工事

企 業 者：日本道路公団 東北支社

工 期：1994年12月28日～1997年11月11日

工事場所：秋田県秋田市 添川～濁川

道路区分：第1種2級B規格

橋 長：全長 576.6m(213.6m+270.0m+93.0m)

幅 員：有効幅員 10.49m

平面線形：A=900～R=2 700m

縦断勾配：0.62%

横断勾配：2.0%

表-1 全体工事概要

橋 名	4 径 間	9 径 間	2 径 間
橋 長(m)	213.6 (44.15+2*62.0+ 44.2)	270.0 (29.41+7*30.0+ 29.41)	93.0 (45.955+45.94)
橋 長(m)	全幅員 11.4m 有効幅員 10.49m		
形 式	4径間連続 PC箱桁橋	9径間連続 PC中空床版橋	2径間連続 PC箱桁橋
施 工 法	片持ち 張出し施工	支保工施工	支保工施工 プレキャスト セグメント工法

2.2 2径間連続PC箱桁橋の概要

構造形式：2径間連続PC1室箱桁橋

桁 長：92.91m（道路中心）

支 間：45.955+45.940m（道路中心）

活 荷 重：B活荷重

PC鋼材配置：内外ケーブル併用方式

3. 設 計

3.1 セグメント割り

*1 Masaru KOBAYASHI JH東北支社 建設部 構造技術課

*2 Masumi SUEOKA JH東北支社 秋田工事事務所

*3 Mikio TAKAHASHI 鹿島 東北支店

*4 Kousuke ITOU 鹿島 東北支店

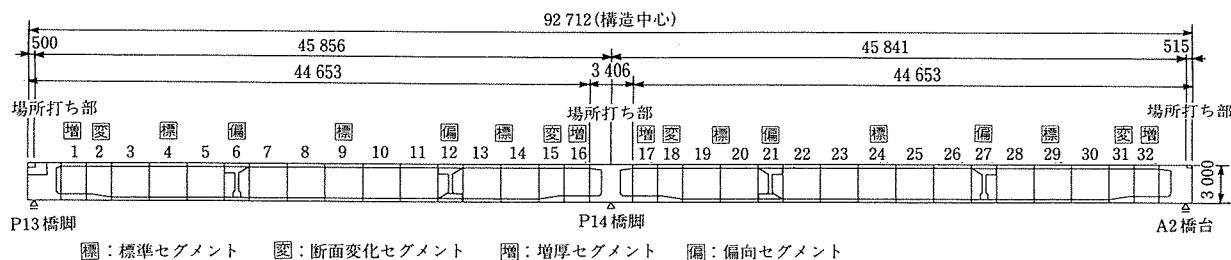


図-1 構造一般図

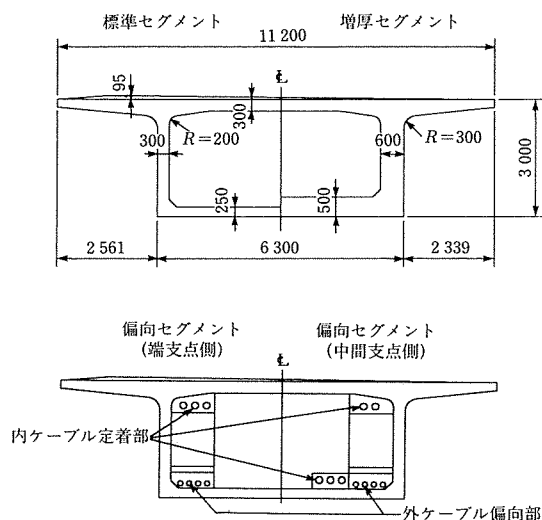


図-2 主桁断面図

表-2 主要材料数量表

項	目	単位	数 量
コンクリート ($\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$)	プレキャストセグメント部	m ³	661
	場所打ち部	m ³	156
型 枠	プレキャストセグメント部	m ²	2 567
	場所打ち部	m ²	742
鉄 筋	(SD345)	kg	108 667
PC鋼材 引張	12S12.7 縦締め内ケーブル	kg	11 764
	19S15.2 縦締め外ケーブル	kg	11 829
	IS21.8 床版横締めケーブル	kg	6 690
	12φ7 横桁横締めケーブル	kg	1 049
	φ32ケビン デスチューブ 仮締め鋼棒	kg	3 642
支 承	合成ゴム沓	箇所	6

セグメント割りは、ショートライン・マッチキャストの際の温度変化によるマッチキャストセグメントの変形を考慮して決定した。これは、新設セグメントの硬化熱でマッチキャストセグメントに温度勾配が生じて弓形に変形し、新設セグメントのマッチキャスト面がその影響を受けるというものである。過去の事例によれば、セグメント幅(B)とセグメント長(L)の比が $B/L > 9$ であればほとんどこの現象が観測され、逆に $B/L < 6$ ではほとんど観測されていない¹⁾。このことより本橋では最小セグメント長をセグメント幅11.2mの約1/6以上になるよう

2mとし、このセグメント長を部材厚が厚い支点近傍のセグメントや、デビエータと内ケーブル定着突起が付く偏向セグメントに適用した。また、標準セグメントは重量がこれとほぼ等しくなるように3mとした。その結果、図-1および表-3に示す通り、4種類の形状を組み合わせた合計32個のセグメント割りとなった。端支点部および中間支点部は、外ケーブル定着による補強鉄筋が密に配置してあり、またコンクリート重量がセグメント部に対し重くなるため、セグメント架設後に場所打ちにより施工した。主桁には、外ケーブル方式採用によるウェブ部材厚低減と主桁自重の軽量化のため、高強度コンクリート $\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$ (早強ボルトランドセメント)を使用した。

表-3 セグメント割り

	標準	偏向部	断面変化	増厚
セグメント長(m)	3	2	2	2
コンクリート数量(m ³)	21.8	18.8	17.9	20.0
重 量(tf)	55	47	45	50
ウェブ厚(cm)	30	30	30~60	60
底版厚(cm)	25	25	25~50	50
セグメント数	20	4	4	4

3.2 PC鋼材配置

主方向のPC鋼材配置は内外ケーブル併用方式とした。内外ケーブル比率は全内ケーブルとしたときの総鋼材量を目安に、曲げ破壊安全度を満足する範囲でできるだけ外ケーブル比率を大きくとった結果、重量比で50%の外ケーブル比率となった。使用鋼材は経済性比較により19S15.2Bを採用した。偏向セグメントの配置(デビエータ位置)は全プレストレスによる曲げモーメントの正負交番点が設計荷重による曲げモーメントの正負交番点とおおむね一致するように設定した。内ケーブルはウェブ部材厚が厚くならないようウェブには配置せず12S12.7Bを上床版と下床版に直線配置した。

3.3 曲げ破壊耐力

外ケーブル方式PC橋では部材断面の曲げ耐力算定において、外ケーブルの構造非線形性が無視できないと考えられるため、(財)高速道路調査会「PC橋の新しい構造

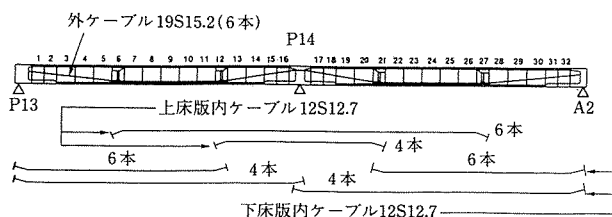


図-3 PC鋼材配置図

事例に関する研究報告書²⁾（以下「ガイドライン」と称す）で提案されている外ケーブルの張力増加を考慮しない通常の検討に加え、幾何学的非線形性と材料非線形性を同時に考慮できる複合非線形フレーム解析を行い安全性を確認した。ガイドラインの手法とは、対象断面における外ケーブル位置が相対的に変化しないものとし、また外ケーブルの応力度が有効プレストレス導入状態で一定として曲げ耐力を算定するものである。これに対し複合非線形解析とは、主桁部材を梁要素、外ケーブルを曲げ剛性のないトラス要素としてモデル化し、構造系全体で幾何学的な非線形性を考慮するとともに、外ケーブルの張力増加も考慮して曲げ耐力を評価するというものである。これにより外ケーブル張力増加の曲げ耐力への寄与が評価でき、 $P-\delta$ 曲線、 $M-\phi$ 曲線による構造系の靱性評価や、プレキャストセグメント継目部の非線形挙動評価も行える。解析では、ガイドラインの手法で算定した曲げ破壊に対する安全率が最小（荷重組合わせ $1.7 \times (D+L)$ 、安全率1.03）となる支間中央付近の断面に着目し、同様の荷重状態で荷重係数 α （ $\alpha \times (D+L)$ ）を漸増載荷した。この結果、中間支点部の塑性ヒンジ形成後、荷重係数 $\alpha = 1.75$ （ 1.7×1.03 ）を上回る $\alpha = 2.08$ で着目断面のセグメント継目部の圧縮縁コンクリートが終局ひずみ 3500μ に達した。この時、外ケーブルの張力増加は約 400N/mm^2 となり、曲げ耐力増加への外ケーブル張力増加の寄与が確認できた。

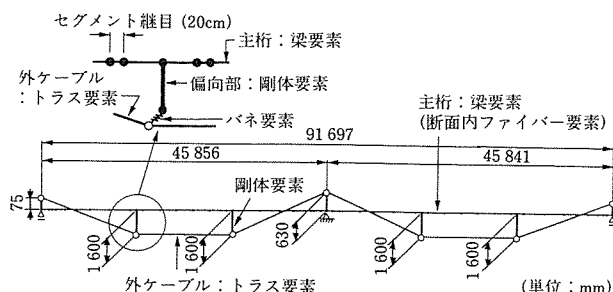


図-4 複合非線形フレーム解析モデル図

3.4 偏向部

外ケーブルの偏向部の設計は、ガイドラインによる簡便な手法を基本としたが、本橋の場合、偏向部と内ケーブルの定着突起が近接しているため、FEM解析によ

る照査も行った。ガイドラインによる簡便な手法とは、図-5のストラットモデルに示す引張力に対して直接鉄筋が抵抗するものとして鉄筋量の算定を行うものである。照査荷重には、外ケーブル導入力と補強鉄筋の許容応力度の割増しの関係が最も厳しくなるプレストレス直後の導入力を用いるとともに、終局荷重時として、非線形解析より得られた外ケーブルの引張応力度増加 400N/mm^2 を考慮した導入力についても照査した。

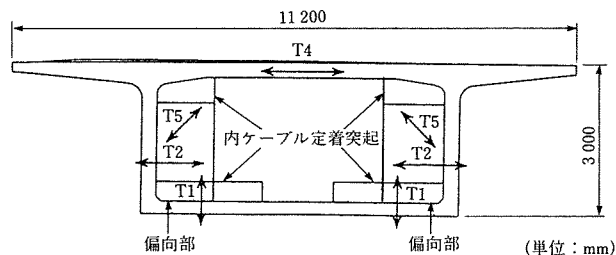


図-5 偏向部ストラットモデル

3.5 外ケーブル定着部

外ケーブルは支点部の横桁で定着している。この定着横桁の設計として、ガイドラインの手法に準じ、曲げ、せん断、局部応力について照査した。さらに、端支点側の定着横桁（P13横桁）においては、外ケーブル緊張時は隣接橋の緊張作業を行うための切欠きがあり、適切な形状評価を行うため、ソリッド要素による3次元FEM解析を実施し補強鉄筋量を算出した。

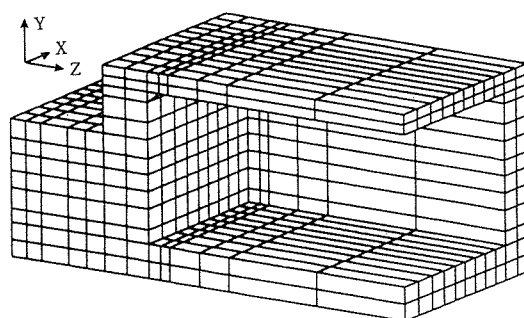


図-6 P13横桁3次元FEM解析モデル

3.6 スラブキー

スラブキーの形状は、上床版をウェブに固定支持された版としてFEM解析を実施し、T荷重により生じるせん断力の分布からスラブキー1カ所当たりの分担荷重を算出し、せん断応力度、支圧応力度が許容応力度を満足するよう決定した。この時T荷重の載荷状態は、輪荷重載荷面と舗装厚・スラブ厚による分散を考慮し、橋軸直角方向に対しては最も厳しいケースを選定した。この結果、張出し床版に1ヶ所、中間床版に2ヶ所（断面寸法

はいずれも1400mm×130mm)のスラブキーを配置した。

3.7 ウェブせん断キー

セグメント継ぎ目部のウェブに配置したせん断キー形状は、鉄筋による補強が不要で配筋工程の省力化が可能となる無筋の台形多段キー方式を選定した。

コンクリート道路橋設計便覧³⁾によれば、接合キーの設計は架設時と終局荷重時について行うと規定している。しかしながら、本橋の場合、セグメント架設が総支保工上で行われること、せん断力がせん断キーに作用するのは接合後、接着剤が固化した後と考えられることから、架設時の検討は省略し終局荷重時の検討のみを行った。設計照査は終局荷重時に作用するせん断力から、有効プレストレス分の摩擦抵抗($\mu=0.3$)を控除した設計荷重に対して、多段キーが配置されている範囲がせん断抵抗するものとして平均せん断応力度を算出した。この結果、終局荷重時の許容値 2.0N/mm^2 に対して発生応力度が 1.3N/mm^2 程度となり、十分安全であることが確認された。

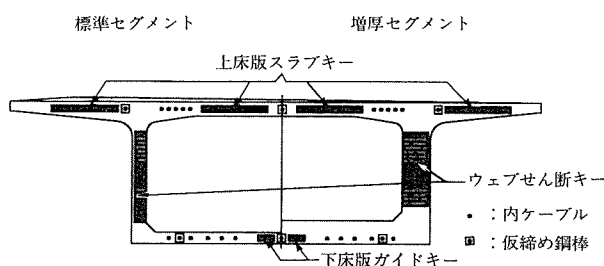


図-7 セン断キー配置図

4. 施 工

4.1 セグメント製作

(1) 製作方法・手順

セグメント製作は、架橋地点であるA2橋台背面の本線上区間にヤードを配置し、その製作方式はショートライン・マッチキャスト方式を採用した。

セグメント製作サイクルを以下に示す。

表-4 製作サイクル

	1 日	2 日	3 日	4 日
標準セグメント				
脱型・スライド・型枠セット	■			
鉄筋・シース・型枠組立		■		
コンクリート打設・養生			■	
偏向セグメント				
脱型・スライド・型枠セット	■			
鉄筋・シース・型枠組立		■		
コンクリート打設・養生			■	

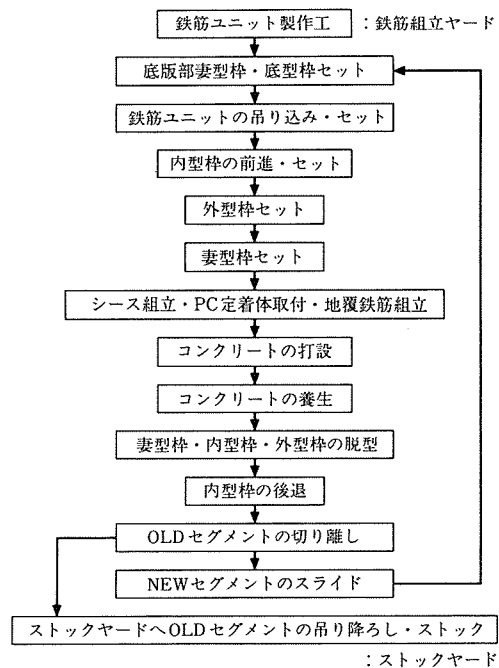


図-8 施工手順

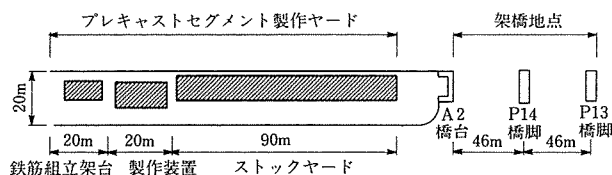


図-9 製作ヤード配置図

(2) 製作装置・構造

セグメント製作装置を写真-2に示す。製作装置の型枠はスキンプレート方式の鋼製型枠とし、工場にて製作し現場に搬入した。構造は、図-10に示すとおり固定台・底版型枠・外型枠・内型枠からなっている。

動力装置には、打設後のセグメントの切り離しと製作台上でのセグメントの移動に底版型枠と固定台間にセットした油圧ジャッキを、内型枠の前進後退には電動モ

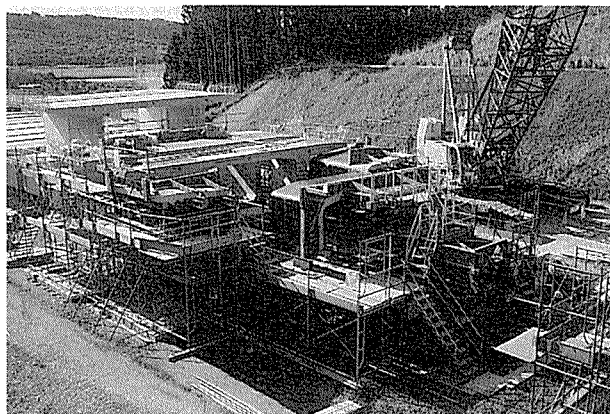


写真-2 製作装置

◇工事報告◇

ーターを用いた。

標準セグメントと増厚セグメントの部材寸法変化に対しては内・妻型枠に長さ調整用ピースを挟み込むことにより対応した。ただし、偏向セグメントおよび断面変化セグメントの内型枠については、合板パネルを現場で加工し使用した。

基礎形式は、製作ヤードが下床路盤施工後の仮引き渡しを受けた本線上であったため、地盤の整地後山留め材を敷き並べ直接基礎とした。

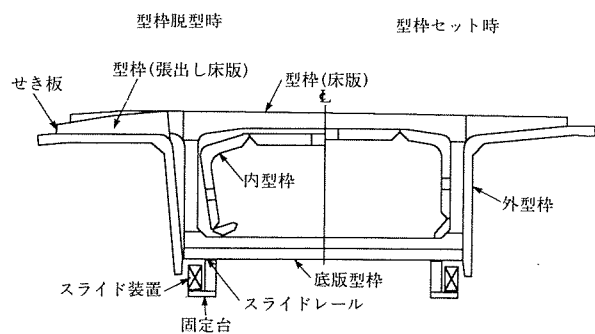


図-10 製作装置概要

型枠のセット・コンクリート打設・養生

型枠およびOLDセグメント妻面の清掃・剥離剤塗布を行った後、外型枠内に鉄筋ユニットを吊り込んだ状態で内型枠を前進させターンバックルにて内型枠をセットし、仮配置したシースに定着体を取り付け固定した。コンクリート打設はポンプ車を使用しウェブ・下床版・上床版の順で行った。

養生は、夏期施工であり、また型枠脱型が打設の翌日となるため促進養生は行わず、床版上面のみ被膜養生剤を散布後湿潤養生を行った。脱型はコンクリート強度 $\sigma = 14\text{N/mm}^2$ が発現していることを圧縮強度試験により確認してから行った。

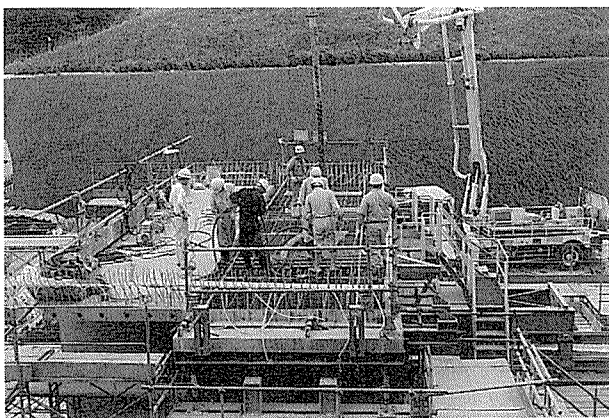


写真-3 コンクリート打設状況

(4) セグメントの保管

型枠装置からストックヤードへのセグメントの移動にはクローラークレーン(180t)を使用した。この際、吊上げ時の荷重を考慮し、コンクリート強度 $\sigma = 21\text{N/mm}^2$ が発現していることを圧縮強度試験により確認した。

なお、セグメント架設が工程上セグメント製作が終了してからとなったため、全32セグメントを一部2段積みで保管した。

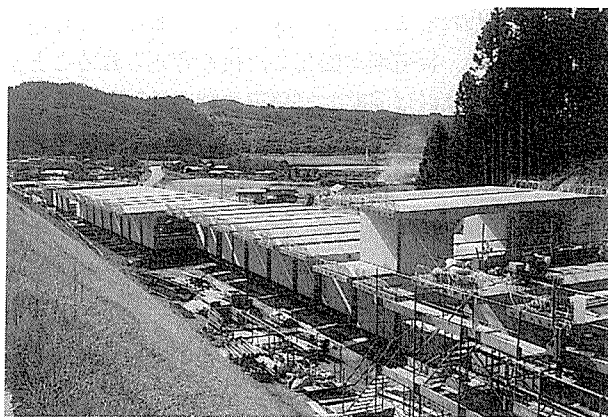


写真-4 スtockヤード全景

4.2 セグメント架設

(1) 全体作業手順

支保工組立完了後、NO.1セグメントから順次架設を行った。架設にあたり特に注意しなければならないのは、基準セグメント(NO.1および17)の据付け精度である。セグメント全体の据付け精度は、基準セグメントの据付けにより決まるため、この精度向上のために、レベル・トランシット等の測量機器を用いて三次元的な管理を行った。またセグメント接合の際にもセグメント・支保工全体の挙動を把握するため同様の測量を行った。

支点上の横桁部は場所打ちとなっているが、隣接するセグメントの据付けが完了次第施工した。

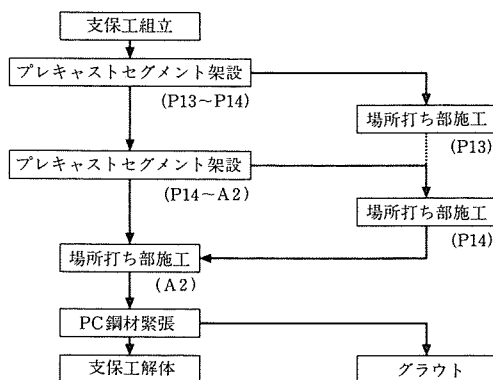


図-11 全体作業手順

(2) 支保工

支保工にはコンクリート製直接基礎・支柱材・H鋼梁材からなる支柱式支保工を採用した。支保工最上部にはセグメントの移動・据付け時のレールとして使用するH鋼梁材（H400）を縦断勾配なりにセットした。一部支柱の設置ができないA2橋台の水路部では吊り支保工構造とした。

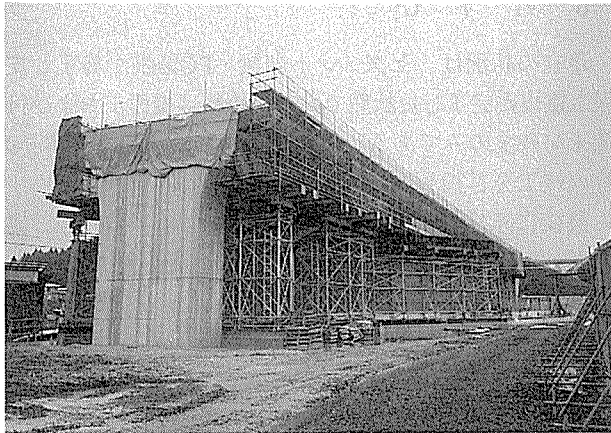


写真-5 支柱式支保工

支保工形式の選定に当たり以下の項目について検討を行った

① セグメント移動・架設時の荷重

セグメント移動時は、最大2セグメントを同時に移動する状態で、1セグメント当たりローラー台車4個を使用して行ったが、移動中の衝撃荷重および偏心荷重を考慮すると1ヵ所につき最大約37tfの集中荷重が作用する。この集中荷重に対し応力的・変形量的に十分な剛性を有すること。

② セグメント据付け精度

セグメント全体の据付け精度に影響する基準セグメントの据付けおよび接合後の支保工の不等沈下を極力抑える構造であること。

③ 架設地点の地盤条件

支保工基礎は直接基礎形式となっている。②の条件に対し十分な基礎コンクリート厚を有すること。

(3) セグメント架設・接合

架設手順および架設サイクルを以下に示す。(図-12)

① 支保工上への吊降ろし

ストックヤードに移設されたセグメントを、NO.1から順次支保工上の移動装置へクローラクレーンおよび新素材繊維（ベクトラン/エステル）よりなる専用の吊り材を使用して吊り降ろした。

② 移動

移動装置には、当初ローラー台車と押出し式の水平ジャッキ（20t）・くさび式H鋼クランプの組合せを計画

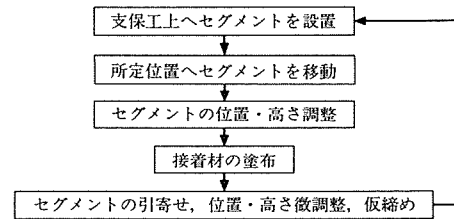


図-12 架設手順

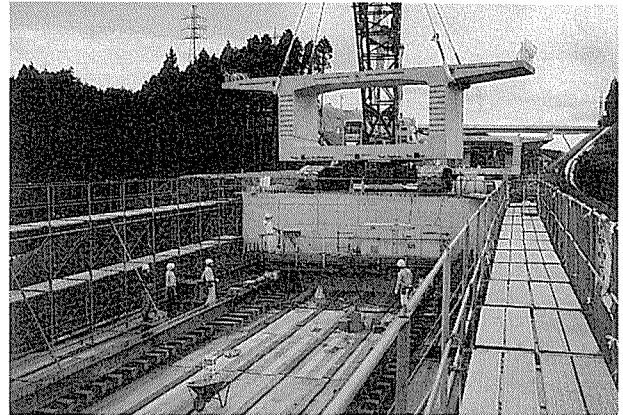


写真-6 吊降ろし状況

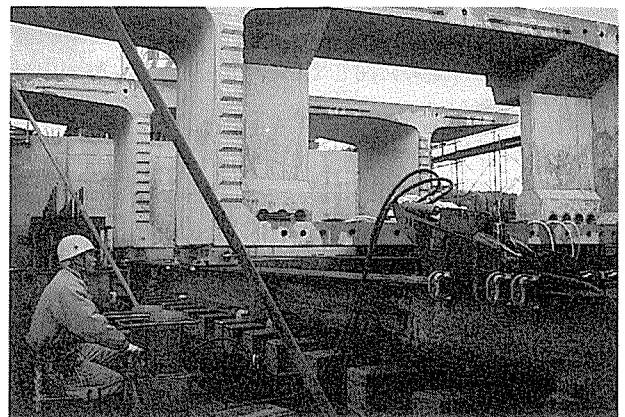


写真-7 電動油圧チルホール式移動装置

していた。しかし、引寄せ・接合時の施工性確認および支保工沈下量の予測のため、P14～A2間の支保工上でNO.1～6セグメントの仮引寄せ・接合試験を行った。これにより引張り式の移動装置が必要となり、種々の移動装置の検討を行った結果、油圧チルホール（3.2t）式移動装置を使用したところ機能的にも十分であり、また段取替えなどにも揚重機を必要としなかったため、その後のセグメント移動にも油圧チルホール式移動装置を使用した。

既設のセグメントの近傍まで引き寄せた後は、接合用の仮締め鋼棒を接続し、センターホールジャッキにてさらに引寄せを行った。この際、高さ・横方向の調整が必要となるため、ローラー台車からスライドジャッキ（75t）に盛替え微調整を行いながら引き寄せた。

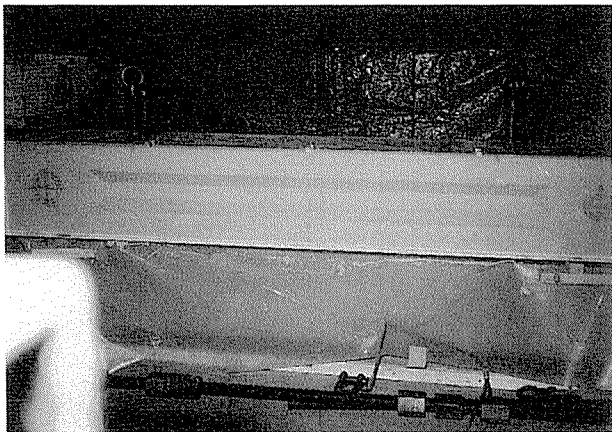


写真-8 接着剤充填性確認試験

③ 接 合

接合面にはエポキシ樹脂系の接着剤を塗布しているが、これに先立ち、以下の試験を行い安全性を確認した。

a) 接着剤充填性確認試験

b) 接着剤および接合部の凍結融解性に関する試験

a)はせん断キーへの接着剤充填状況と、後通しのPCケーブルのシースへの接着剤の浸入防止を確認するためのもので、特に後者に関しては、発泡ウレタン製の円形パッドを張り付けることによりその効果を確認した。

b)は接着剤および接合面のコンクリートについて、寒冷地環境下における本橋の凍結融解作用あるいは凍結防

止剤の路面散布による影響を調べたもので、強度的にも化学的にも十分な耐久性を有することが確認できた。なお、床版のセグメント継ぎ目部には、二重の安全性を確保する意味で橋面シート防水工を行った。

接合には仮締め銅棒（ゲビンデスターブ $\phi 32\text{mm}$ ）6本を使用し、接合面の平均圧力 0.35N/mm^2 を確保するため1本当たり 570kN の導入力で緊張した。

5. む す び

現在の状況は、セグメント架設・PC緊張が終了し支保工撤去が完了した状態であり、今後は橋面工および付帯工を残すのみである。また本工事の他橋梁も、本年9月の竣工を目指し鋭意進行中である。

最後に本橋の設計および施工に当たりご指導・ご協力をいただいた関係各位に対し深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Carin Louise Roberts: Measurement Based Revisions For Segmental Bridges Design And Construction Criteria, 1993
- 2) 財団法人道路調査会：PC橋の新しい構造事例に関する研究報告書，平成5年3月
- 3) 財団法人日本道路協会：コンクリート道路橋設計便覧，平成6年2月
【1997年 月 日受付】

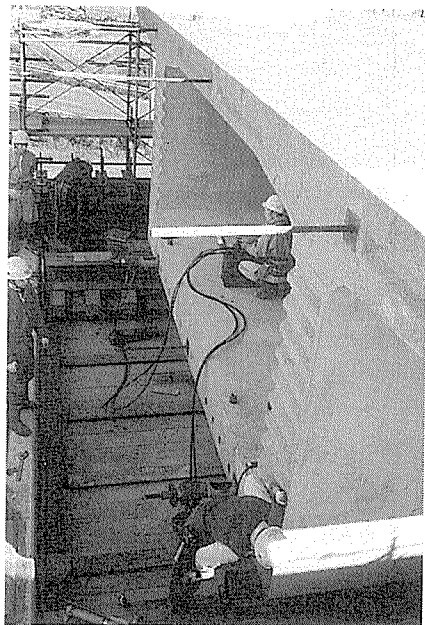


写真-9 接合状況