

JR 東北線天間川橋梁の施工

— 3 径間連続アーチ橋 —

日下 郁夫*1・東海林 直人*2・仁木 英人*3・菅原 広道*4

1. はじめに

天間川橋梁は一級河川（高瀬川水系）七戸川を跨ぐ、JR 東北線の上北町・乙供間に位置する鉄道橋である。既設橋梁は上り線が大正 14 年、下り線が昭和 43 年に建設された鋼上路桁であるが、青森県が計画する河川改修工事に伴い別線方式で改築されることになった。

新橋梁には河川、前後の取付け部、地質条件よりもっとも経済的な構造形式として、各橋台、橋脚にアーチリブを結合させた 3 径間連続アーチ橋を採用した。

本稿では、新橋梁の構造の特徴、採用・施工にあたって実施した部材試験、施工の概要などについて報告する。



図 - 1 橋梁架設位置



写真 - 1 天間川橋梁全景

斜 角：86° 51′ 31″

列車荷重：EA - 17

2.2 構造概要

(1) 新構造の選定

本橋は河川改修に伴い改築される鉄道橋であり、スパンの長大化と改良後の軌道高さのこう上を少なくすることが求められた。河川条件から決定される最大スパン 66 m は軌道こう上の面から有利な PC 下路桁の適用スパンとしては長く、当初の計画は PC ランガー橋で進められた。一方、架橋地点の支持地盤は大きく傾斜し、支持層の上に軟弱な堆積層があり、堆積層の厚さは終点側で 25 m に及ぶ。

PC ランガー橋では主桁はアーチリブから軸引張力を受け、引張力に抵抗するために多くの PC 鋼材の配置と桁高の確保が必要であり、重量と工事費の増加をもたらす。また、PC ランガー橋を適用した場合、3 連の単純桁となり連続桁形式と比較してメンテナンスとコストの面から不利となる支承、ストッパーの数が增加する。

構造形式選定にあたっては、上部工の軽量化を図ることにより工事費の比率が高い杭の本数を少なくすることに重点が置かれた。採用された構造形式は 3 径間連続アーチ橋であり、国内でも初めての新しい構造形式である。

新構造の特徴は、各橋台、橋脚にアーチリブを剛結している点であり、中間の橋脚では隣接するアーチリブから作

2. 橋梁概要

2.1 工事概要

天間川橋梁の工事概要を以下に示す。また、橋梁架設位置を図 - 1 に、橋梁一般図を図 - 2 に示す。

工 事 名：東北線上北町・乙供間天間川 B 改築

施工監理：東日本旅客鉄道(株)東北工事事務所

構造形式：3 径間連続アーチ橋

橋 長：180.400 m

支 間 長：56.425 m + 66.050 m + 56.425 m

総 幅 員：10.5 m

平面線形：R = ∞

縦断線形：0.0 %

*1 Ikuo KUSAKA：東日本旅客鉄道(株)東北工事事務所 青森工事区 助役

*2 Naoto SHOUJI：鉄建・三井住友特定建設工事共同企業体 所長

*3 Hideto NIKI：鉄建・三井住友特定建設工事共同企業体 工事主任

*4 Hiromichi SUGAWARA：鉄建建設(株)エンジニアリング本部 土木技術部 課長代理

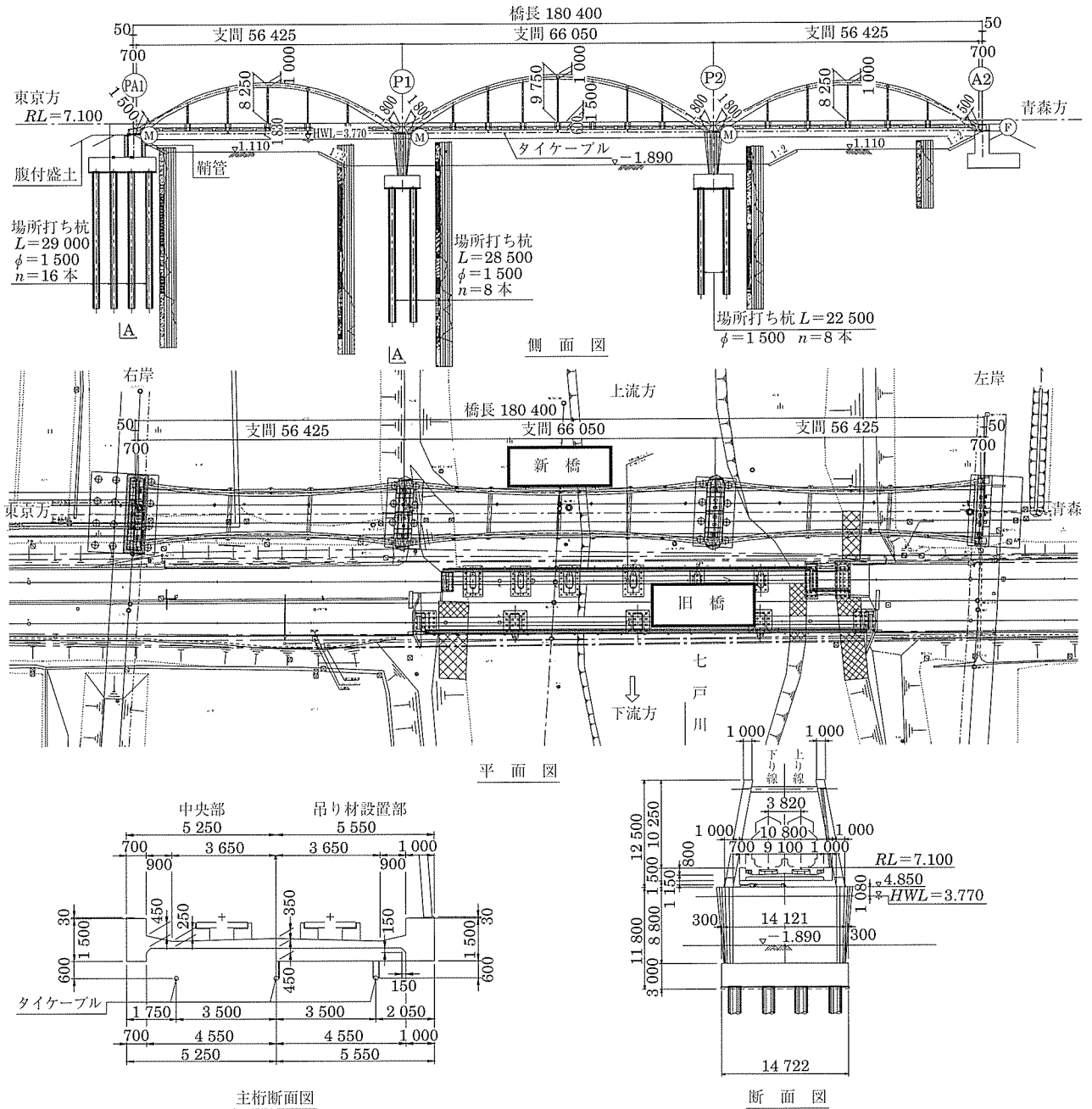


図-2 橋梁一般図

用する水平力が打ち消され、橋脚に作用する水平力は小さくなる。両端の橋台に作用する水平力はタイケープルにより抵抗させた。主桁は下路形式の3径間連続桁とした。

この結果、上部工の部材断面の縮小が可能となり、上部工の軽量化により杭本数の低減による大幅なコストダウンが図れた。また、スレンダーな部材から構成され、景観性に優れた構造となった。

本構造形式を採用するにあたり、アーチ橋を構成する各部材にも工夫を凝らしている。以下にその特徴を述べる。

(2) 主 桁

主桁は、3径間連続下路桁形式であり、直接基礎の終点側橋台を固定、他の3支点を可動としている。

主桁には軸引張力が作用せず、また、吊り材により支持

されるため、主に列車荷重を受ける床版の機能が主となり、桁高を1.5 mに抑えることが可能となった。また、床板と横リブを併用した構造とすることで軽量化を図っている(図-3)。なお、床板は横リブ間をスパンとした一方方向スラブとして設計されている。

(3) アーチリブ

アーチリブの形状は、バスケットハンドル型であり、構成する各面は3次元的に変化している。アーチリブ断面は小さく、また、通常のランガ橋と比較して吊り材の剛性も非常に小さい。アーチリブの座屈解析はこれまで簡易的な方法で行われてきたが、細長比が大きいこと、吊り材剛性が小さいこともあり、材料非線形および幾何学的非線形性を考慮した3次元の静的弾塑性解析により評価した。断

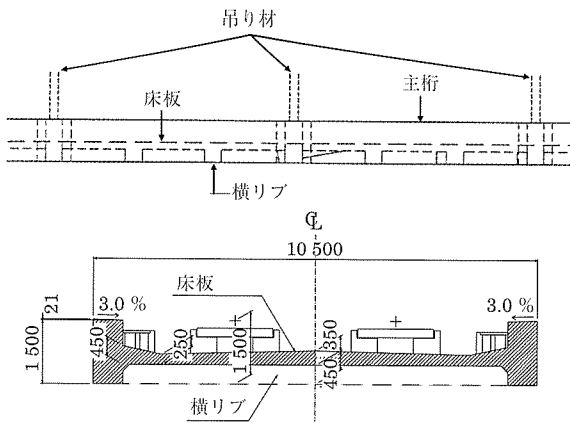


図-3 主桁断面形状

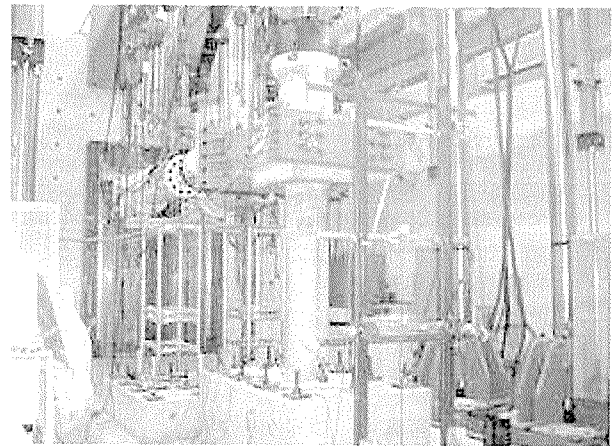


写真-2 吊り材の性能試験

面は座屈安全性により決定されている。

(4) 吊り材

延長 180 m の主桁は、プレストレス、クリープおよび乾燥収縮により桁長が 130 mm 短縮する。さらに、温度変化の影響により ± 43 mm の伸縮がこれに加算される。一方、主桁は終点側橋台が固定である。このため、起点側の桁端部での短縮量は最大 170 mm となる。吊り材はアーチリブから主桁を吊る部材であり、この短縮量に追従できる構造とした。

吊り材の構造は、主桁およびアーチ付根部に高強度スパイラル補強筋を密に配置し、その内側に鉄筋比 20.5 % の軸方向鉄筋 (D25 : SD345, D35 : SD390) を配置した構造である。軸方向鉄筋の主桁およびアーチへの定着には、EG 定着板を用い、フック等で煩雑になる接合部の配筋状態を改善した。吊り材と主桁結合部の概要を図-4 に示す。

本構造の採用にあたっては、性能確認試験を行い、安全性を確認した (写真-2)。

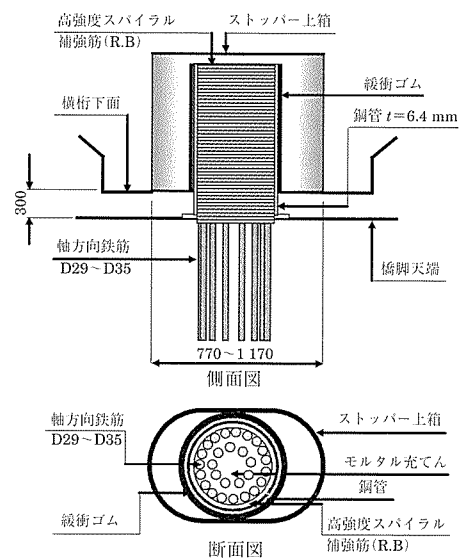


図-5 RC ストッパーの構造概要

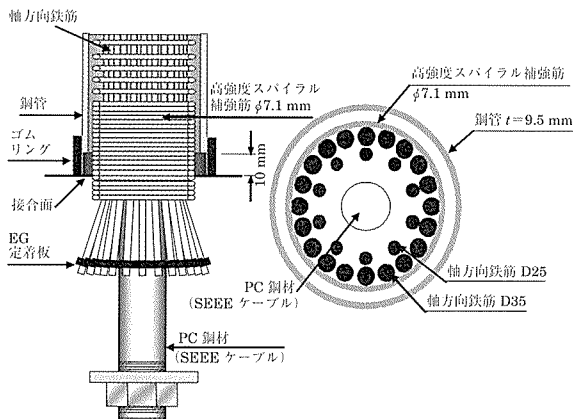


図-4 吊り材結合部の構造概要

(5) ストッパー

コストダウンを目的とし、従来の鋼角ストッパーに代わる RC ストッパーが開発され、本橋で初めて適用された。

軸方向鉄筋を脚頭部に定着し、突出した鉄筋上部にスパイラル筋を巻きつけてモルタルを充てんした構造である。

図-5 に RC ストッパーの構造概要を示す。

実施工では、モルタル打設時に鋼製の円筒管を型枠として用い、この円筒管に緩衝ゴムを巻きつけてストッパー本体とした。また、上部工の横桁内に上箱を設置してストッパーの可動領域を確保した。

(6) タイケーブル

アーチリブから橋台、橋脚に導入される永久荷重による水平力に抵抗するためにタイケーブルが配置される。列車荷重など一時的な荷重による水平力に対しては、各橋脚の杭の水平支持力で抵抗する。

タイケーブルは、19S15.2 を 3 本、起点側橋台から終点側橋台間に配置 (写真-3) し、中間橋脚とはグラウトを充てんして固定する構造としている。

3. 施工概要

3.1 施工ステップ

本橋のアーチリブは、水平方向の剛性の小さい軟弱地盤上の橋脚に固定されており、アーチリブからの水平力はタイケーブルによる緊張力によりバランスさせる構造である。しかし、施工中はタイケーブルを設置することが困難であ

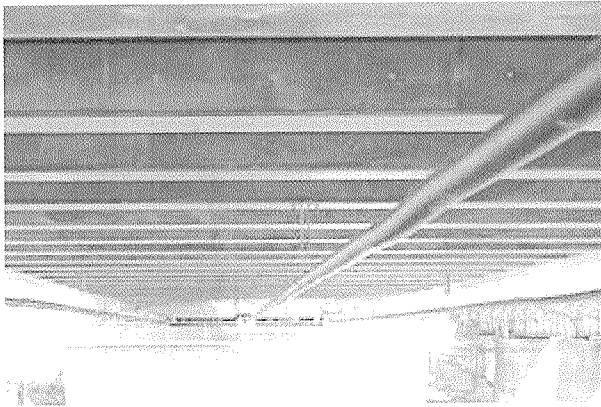


写真 - 3 タイケーブル

るため、PRC 構造の主桁をタイ材として用い、支保工解体後に順次タイケーブルへ水平力を受け替えて施工を行った。図 - 6 に本橋の施工ステップを示す。

主桁および吊り材のプレストレスの導入時期については、各ステップでの応力バランスを検討して決定している。

3.2 RC ストッパーの施工

RC ストッパーは、軸方向鉄筋を下部工に定着させているため、現場製作が基本である。したがって、現場では、工場製作される従来の鋼角ストッパーと同等の製作精度を確保する必要がある。

とくに、軸方向鉄筋の配置精度は、ストッパー全体の精度およびストッパーの耐力に影響するため、高い施工精度が要求される。

ストッパー内部の軸方向鉄筋の位置および鉛直精度を保持する目的で、写真 - 4 に示す鋼製のテンプレートをを用いた。

3.3 吊り材の施工

アーチリブおよび主桁と吊り材の結合部は、主桁の変形に追従するために、超高密度の軸方向鉄筋にスパイラル筋を巻きつけた構造としており、鉄筋はすべて $\phi 400$ の鋼管内に配置される。したがって、鉄筋をいかに精度良く、効

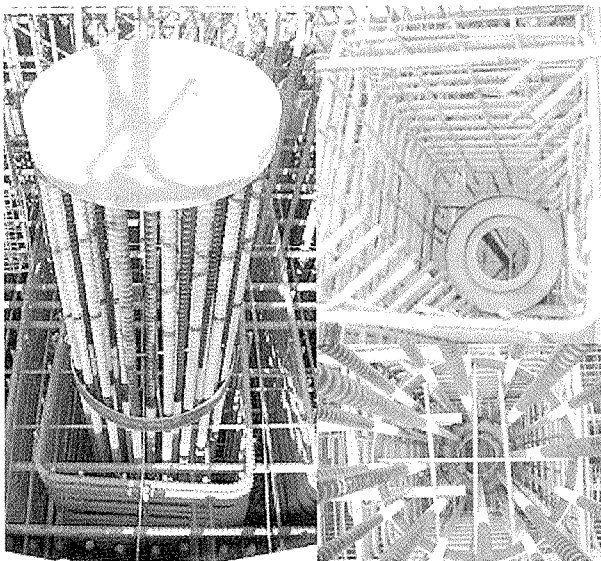
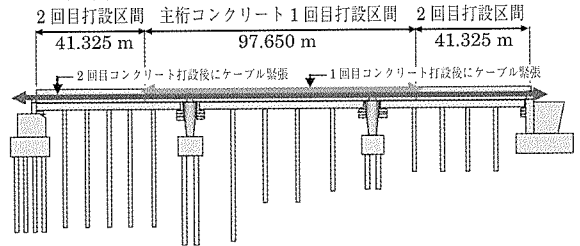


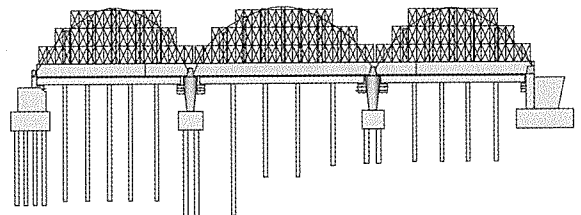
写真 - 4 RC ストッパー鉄筋組立て状況

STEP1: 主桁の施工

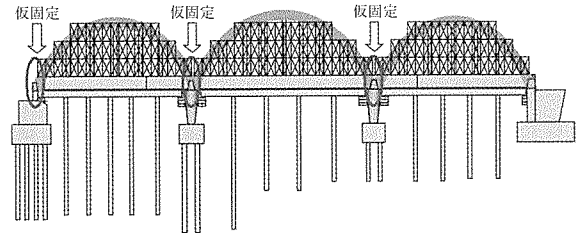
※乾燥収縮ひび割れ対策として、主桁ケーブルを一部緊張



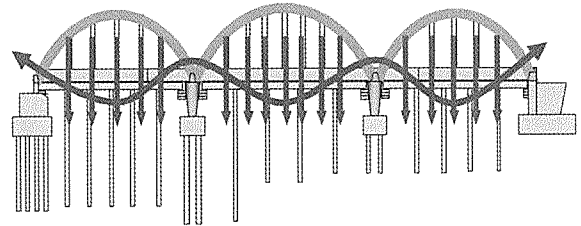
STEP2: 吊り材の施工



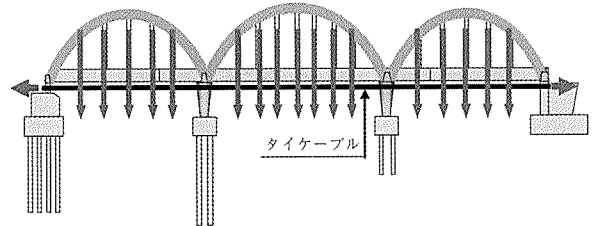
STEP3: アーチの施工と仮固定



STEP4: 主桁 PC 鋼材(自重負担分)緊張, 吊り材 PC 鋼材一次緊張



STEP5: ステージング支保工撤去, 吊り材二次緊張, タイケーブルセット・緊張



STEP6: タイケーブルグラウト・固定, 仮固定開放, 主桁最終緊張

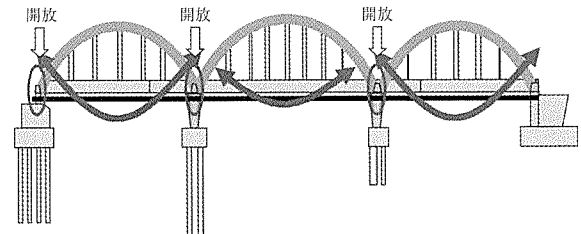


図 - 6 施工ステップ

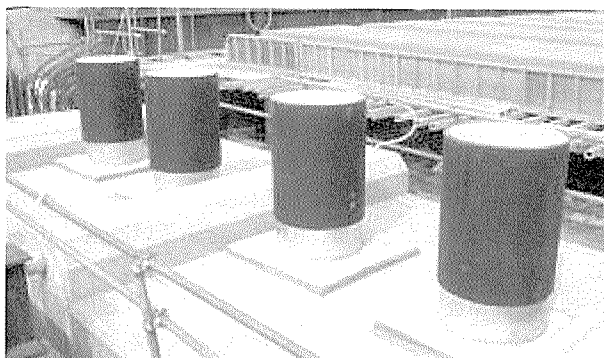


写真-5 RC ストッパー

率的に組み立てるかが課題であった。

また、吊り材は3次元的に変化するアーチリブに連結されているため、配置角度は吊り材ごとに変わる。鋼管と接合部の鉄筋の離れは30mmであり、吊り材鉄筋の組立精度は、鋼管の配置精度に影響を及ぼす。

これらの課題に対して、吊り材鉄筋を写真-6に示すようにプレハブ化して省力化を図り、一体として設置することで配置精度を確保した。主桁コンクリート打設時にはPC鋼材も設置し、打設後に鋼管、上端結合部鉄筋の順に組立てを行った。

鋼管内はモルタルにより確実に充てんした。モルタルはグラウトポンプを使用し、下端の接合部からエア溜りができないように徐々に打上げた。鋼管内のモルタルの充てん方法については、事前に試験施工により確認した。

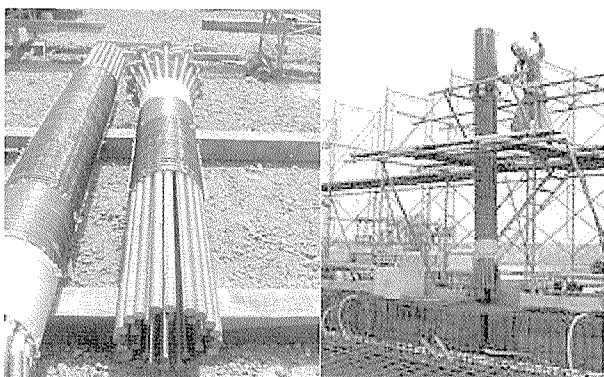


写真-6 吊り材軸方向鉄筋のプレハブ化と配置

3.4 アーチリブの施工

バスケットハンドル型のアーチリブは各面とも3次元的に変化し、さらに、側面の傾斜、施工中の上げ越しもあり、事前にCADを用いて高さの決定、型枠の割付を実施した。

アーチリブのスプリング部、吊り材位置、ストラッド結合部には太径の主鉄筋、スパイラル筋、吊り材定着体、梁鉄筋などが隙間なく配置されており、高流動コンクリートを用いてコンクリートの充てん性を確保した(表-1)。

設計基準強度60N/mm²のコンクリートはセメント量も増加し、アルカリ骨材反応、温度ひび割れの発生が懸念されたため、事前に骨材試験、総アルカリ量のチェック、温度応力解析を実施し適切なコンクリート配合を決定した。ま

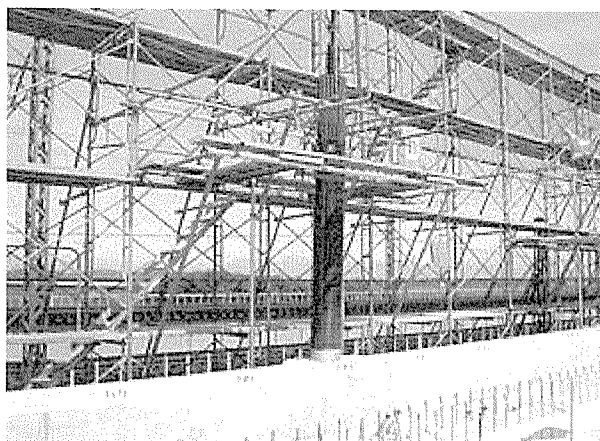


写真-7 吊り材鉄筋配置状況 (主桁コンクリート打設後)

表-1 コンクリートの配合例 (アーチリブ)

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプフロー (cm)	W/C (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位料 (kg/m ³)				混和剤 kg/m ³
					W	C	S	G	
25	50 ± 5.0	31.6	4.5 ± 1.5	47.2	145	459	810	948	8.634

混和剤の種類：高性能 AE 減水材 (レオビルド SP8SB)

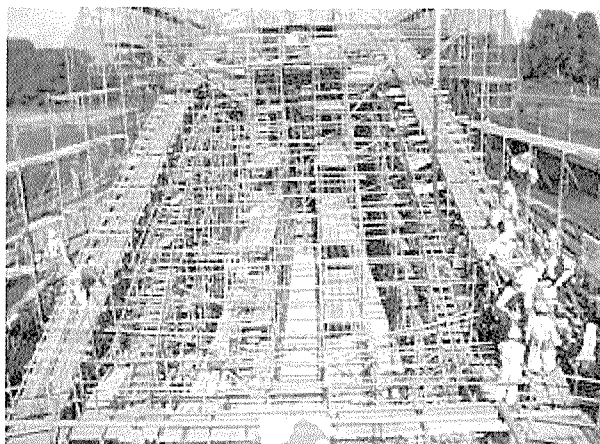


写真-8 アーチコンクリート打設状況

た、コンクリートの打設方法は温度応力解析に基づき決定した。本橋は通常のランガー橋と比較して鉛直材の拘束が少なく、最初にスプリング部を打設した後、各径間ごとに1回で打設することが可能であった。完成後のアーチリブでもひび割れの発生は確認されなかった。

アーチリブ上面は、一般に伏せ型枠を用い、打設後の適切な時期に型枠をはずして仕上げを行う。高流動コンクリートを用いた場合、水分量が少なく時間経過とともに極端に仕上げが困難になるので、型枠をはずす時期と仕上げ方法が課題となる。事前の確認試験結果より、伏せ型枠を打設後3時間ではずし、また、伏せ型枠にポリエチレン性のメッシュシートを貼っておくことによりモルタル分を浮き出させ作業性を改善することができた(写真-9)。

3.5 仮固定部の構造と移動量の推定

施工中に主桁をタイ材として使用するために、支承部で

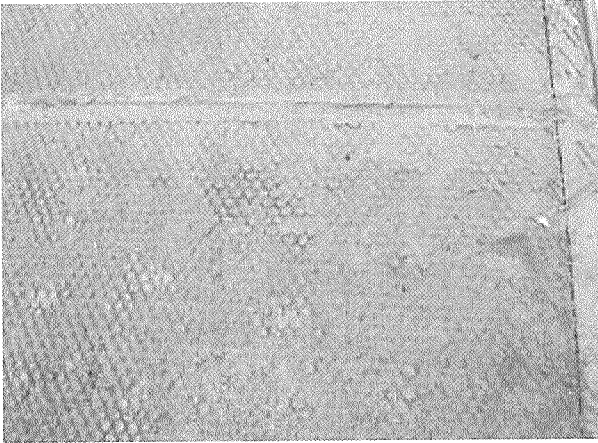


写真-9 伏せ枠脱型時のコンクリートの表面

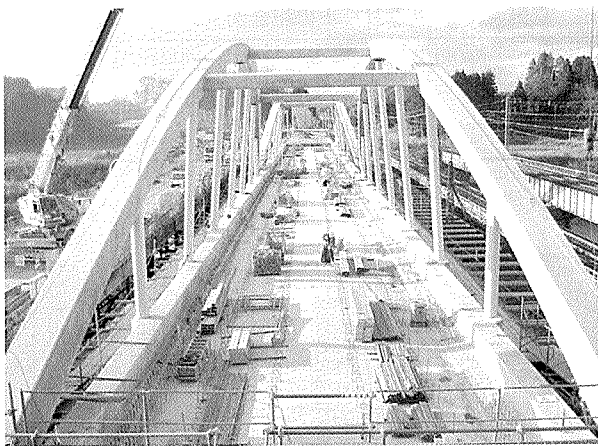


写真-10 アーチリブ完成

桁と橋脚とを固定した。支承部の仮固定方法としては、鋼材などによる方法があるが、本橋においては、鋼材の配置スペースがかぎられていること、ストッパーの形状が円形で固定しづらいことにより、図-7に示す砂による仮固定方法を採用した。

ストッパー上箱内に充てんした砂にはストッパー1基あたり最大で1587(kN/基)の水平力が作用するが、水平力が作用することにより砂がある程度変形することが予測された。そこで、使用する砂を用いて、砂の締めめ状況、砂

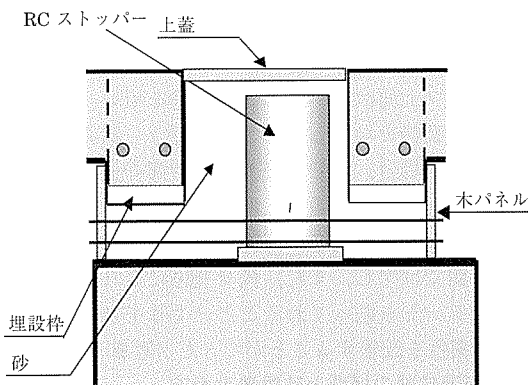


図-7 砂による仮固定の概要

の量をパラメータとして実験を行い、砂の移動量を想定した。

(1) 砂の物性値の測定

砂による仮固定の移動量を予測するためには、砂の弾性係数、ポアソン比、クリープ性状などの物性値が必要である。これらの物性値を求めるために実際に使用する砂を用いて試験を実施した。砂は、0.075 mmふるい通過分10%以下、粗粒率2.35の東北町産の陸砂である。

砂の弾性係数とポアソン比を測定するには3軸圧縮試験があるが、仮固定として使用されている状態を予測し試料を製作することは困難である。そこで、鋼製の円筒管に砂を充てんし上面より円形の載荷板で加力し(写真-11)、所定荷重まで載荷された時点の測定値から弾性係数とポアソン比を、48時間経過時の測定値からクリープ係数を推定した。

物性値の推定は、試験をFEM解析で再現し、解析の変位量と円周方向のひずみ値に着目して、弾性係数とポアソン比を決定した。砂の物性値は拘束圧の影響を受けるが、実施工での作用応力に対応した変位、ひずみ値を用いて決定した。また、クリープも応力変化は考慮せずに時間依存性のみを考慮した。

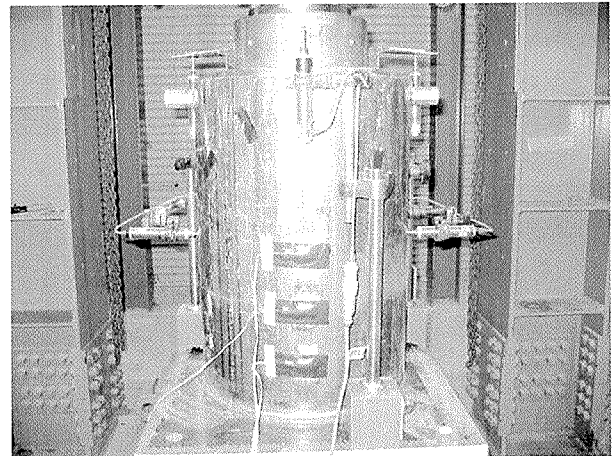


写真-11 砂の加力試験

(2) 実構造物での移動量

試験で決定した物性値を用いて、ストッパー部をモデル化したFEM解析により移動量を求めた。解析結果を図-8に示す。計算された移動量をもとに、構造物への影響を検討し、管理基準値を設定した。

3.6 仮固定開放手順の決定

隣接するアーチ支間の差によりアーチリブから橋脚に作用する水平力は異なり、施工中タイ材として利用している主桁には差分の水平力が作用している。一方、タイケーブルは起点から終点までの連続ケーブルであり、緊張後中間橋脚上でグラウトにより固定する構造であるため、仮固定開放前には各径間で同一のプレストレスが与えられている。

このため、仮固定開放に伴い、主桁に作用する水平力の差分を負担するための伸びがタイケーブルに生じ、バランスする位置まで橋台、橋脚が移動する。

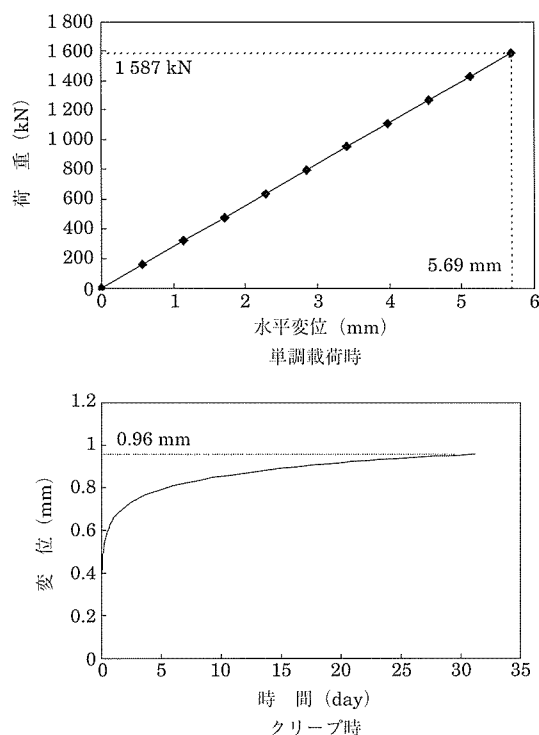


図-8 移動量解析結果

仮固定開放による各径間のアーチ基部間の距離変化を表-2に示す。また、仮固定開放により、開放されるストッパーの水平力を表-3に示す。

仮固定の開放順序は解析結果などから判断して、最初に中間橋脚上の仮固定を開放した後、最後に起点側PA1橋台を開放する順序とした。すなわち、主桁を最後まで橋梁全長に渡るタイ材として機能させ、最後にタイケーブルに盛り替える順序とした。なお、中間橋脚は反力の小さいP2橋脚から開放した。

表-2 仮固定開放によるアーチ基部の開き (mm)

PA1～P1	P1～P2	P2～A2
0.5	18.8	4.3

表-3 仮固定開放により開放される (kN/基)

	PA1	P1	P2	A2
開放する水平力	528	374	34	624

3.7 橋体形状の管理

(1) 仮固定の移動量管理

本橋の主桁は、アーチリブから吊り下げられているため、アーチリブの高さ変化が主桁の高さに支配的に影響を与え

る。アーチリブは鉛直荷重、クリープ・乾燥収縮により変形し、また、橋脚の水平方向の移動によっても高さが変化する。とくに、橋脚の移動の影響は大きく、仮固定の移動量管理を重点的に行った。

アーチ基部間隔の変化量の実測値を、解析値と比較して表-4に示す。

表-4 アーチ基部の開き(実測値と解析値) (mm)

	第一径間		第二径間		第三径間	
	PA1～P1	P1～P2	P1～P2	P2～A2	P2～A2	
	解析値	実測値	解析値	実測値	解析値	実測値
支保工撤去による開き	2.5	0.0	3.3	14.5	2.0	-1.5
仮固定開放による開き	0.5	-1.0	18.8	5.5	4.3	1.0
累計値	3.0	-1.0	22.1	20.0	6.3	-0.5

注) + : 間隔拡大 - : 間隔縮小
支保工撤去時のアーチ基部間隔の開きの実測値は、砂の変形量を含む。

累計値で比較すると全体的に解析値と比較して実測値が小さくなっている。この理由として、解析では地質が軟弱のため杭の水平方向の地盤バネを考慮していないが、実際には抵抗力があったものとする。

この差異による主桁高さへの影響は、スパン中央で約10mmである。

4. おわりに

本稿では、新しい構造形式である3径間連続アーチ橋について、施工中の構造物の管理方法と各部材の施工方法について述べた。

本構造形式は、本橋が最初の施工実績であるが、従来の鉄道アーチ橋として多くの採用実績があるPCランガ橋と比べても、経済的に優位であり、今後広く採用されるものと思われる。本橋の施工が、同形式の橋梁の施工に参考になれば幸いである。

最後に、本橋の設計・施工の両面にわたり、ご指導いただきました建設工事部構造技術センターをはじめとする東日本旅客鉄道株式会社の方々、設計されたコンサルタントの方々には深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 古林秀之, 大庭光尚, 谷口善則, 津吉毅, 石橋忠良: 東北線天間川橋梁の計画・設計 プレストレストコンクリート Vol.46 No.2, Mar. 2004 pp.39-46
- 2) 菅原広道, 日下郁夫, 中澤晃一, 東海林直人: 天間川橋りょう(3径間連続PCアーチ橋)の施工計画 プレストレストコンクリート技術協会 第14回シンポジウム論文集 pp.377-380 2005年11月

【2006年3月14日受付】