

やんば ハッ場ダム湖面2号橋の技術検討および施工 — PC 複合トラス・エクストラードーズド橋 —

大久保 孝*1・田中 太郎*2・大嶋 秀明*3・大澤 浩二*4

ハッ場ダム湖面2号橋は、吾妻川中流に計画中のハッ場ダム湖面をわたるPC5径間連続鋼・コンクリート複合トラス・エクストラードーズド橋である。複合トラス橋は、通常のPC箱桁におけるウェブを鋼トラス部材に置き換え、上下のコンクリート床版部材に直接結合した合成構造で、国内においても数橋の実績があるが、それを主桁としたエクストラードーズド橋は世界初の構造形式である。本橋の施工に際しては、構造の特殊性を踏まえ、設計面・施工面・実証実験などのさまざまな技術検討がなされた。

本稿では、本橋における技術的課題の内、供用性・安全性に関する検討結果と格点構造の実証実験および施工概要について報告する。

キーワード：PC 複合トラス橋，エクストラードーズド橋，格点構造，鋼製ボックス，PBL，張出し施工

1. はじめに

ハッ場ダム湖面2号橋は、群馬県吾妻川中流に計画中のハッ場ダムにおいて、右岸側の新川原湯温泉街と左岸側の付替え国道145号線を結ぶ県道林・東吾妻線に位置する湖面橋である(図-1)。

近年、PC橋は上部構造の合理化を目指した多くの技術開発が成されており、コンクリートと鋼の異種材料を用いた複合構造や、エクストラードーズド橋などの新構造形式は、構造合理化を目的とした具体的な取組み事例である。本橋の構造形式は、PC複合トラス・エクストラードーズド橋である。PC複合トラス橋は、通常のPC箱桁断面におけるウェブを鋼トラス部材に置き換え、コンクリートの上・下床版部材に鋼トラス部材を直接結合した構造であり、国内では表-1に示すような数橋の実績がある。一方、エクストラードーズド橋は、中間支点上に塔状の偏向部を設け、外ケーブルを主桁断面外に配置した大偏心外ケーブル橋であり、1994年にわが国で初めて小田原ブルーウェイブリッジが完成して以来、国内外で数十橋の実績がある。しかしながら、本橋のようなコンクリートと鋼の異種材料を組



図-1 架橋位置図

み合わせた材料面での複合と、複合トラス形式とエクストラードーズド形式を組み合わせた構造面での複合を併せた、



*1 Takashi OKUBO

川田建設(株) 大阪支店 事業推進部 技術課 課長代理



*2 Taro TANAKA

川田建設(株) 東京支店 事業企画部 課長代理



*3 Hideaki OSHIMA

川田建設(株) 東京支店 事業企画部 課長代理



*4 Kouji OSAWA

川田建設(株) 技術部 部長

PC 複合トラス・エクストラードズド橋は世界初の構造形式である。したがって、本橋の設計・施工に際しては、設計・解析手法の妥当性検証、格点構造の照査、張出し施工時の安全性照査、コンクリート打設における充てん性や圧送性および施工時ひび割れ抑制などの品質確保に向けた施工性検討など、さまざまな技術検討課題を解決する必要があった。

表 - 1 PC 複合トラス橋の実績

橋名	最大支間	桁高	形式
木ノ川高架橋	85.000 m	6.000 m	PC 4 径間連続複合トラス橋
山倉川橋梁	53.200 m	5.250 m	PC 単径間複合トラス橋
猿田川橋	110.000 m	6.500 m	PC 7 径間連続複合トラス橋
巴川橋	119.000 m	6.500 m	PC 5 径間連続複合トラス橋
志津見大橋	75.000 m	2.500~6.500 m	PC 5 径間連続複合トラス橋

本稿では、上記に述べる技術検討課題のうち、供用性・安全性に着目した検討結果と格点構造の実証実験および施工概要について報告する。

2. 橋梁概要

2.1 工事概要

本橋の工事概要および橋梁諸元を表 - 2 に、橋梁一般図を図 - 2 に、断面図を図 - 3 に示す。

表 - 2 工事概要および橋梁諸元

工事名：県道林・東吾妻線 2 号橋上部工事
工事場所：群馬県吾妻郡長野原町大字林地先～川原湯地先
発注者：国道交通省関東地方整備局八ッ場ダム工事事務所
施工者：川田建設株式会社
工期：2007 年 7 月～2010 年 9 月
構造形式：PC 5 径間連続鋼・コンクリート複合トラスエクストラードズド橋
道路規格：第 3 種第 3 級
橋長：590.0 m
支間割：63.4 m + 125.0 m + 2@155.0 m + 88.4 m
幅員：(標準部) 13.5 m, (定着部) 16.0 m, (主塔部) 18.5 m
桁高：5.0～6.0 m
平面線形：R = ∞～A = 150
縦断勾配：-2.290～-0.870 % VCL = 100
横断勾配：(車道部) 1.50 % 拌み勾配, (歩道部) 2.00 %

2.2 構造概要

PC 複合トラス・エクストラードズド橋の構造概要図を、図 - 4 に示す。主桁断面は、コンクリートの上・下床版と鋼管トラスウェブで構成される。トラス形状は格点間隔 4.0 m のワーレントラス形状である。

コンクリート床版と鋼トラス材が結合される格点部は、床版部の橋軸方向に連続して設けられている「縦桁」と呼ぶコンクリート梁部材に配置される。これにより、床版支持状態が、格点部での離散的な支持から縦桁による連続的な線支持となり、床版設計における支配的な床版支間方向を明確にしている。

主桁の架設は移動作業車を用いた場所打ち張出し施工で行われ、上床版には架設内ケーブルが配置されている。また、箱桁内空には架設外ケーブルも配置され、下床版の横リブに突起定着されている。さらに、エクストラードズド橋としての斜材ケーブルは、橋脚上の独立二本柱形状の主塔で大偏心させ、上床版に突起定着している。斜材ケーブルの配置形式は、二面吊りのファン形で 10 段配置とし、主塔ではサドルを用いた貫通固定方式となっている。

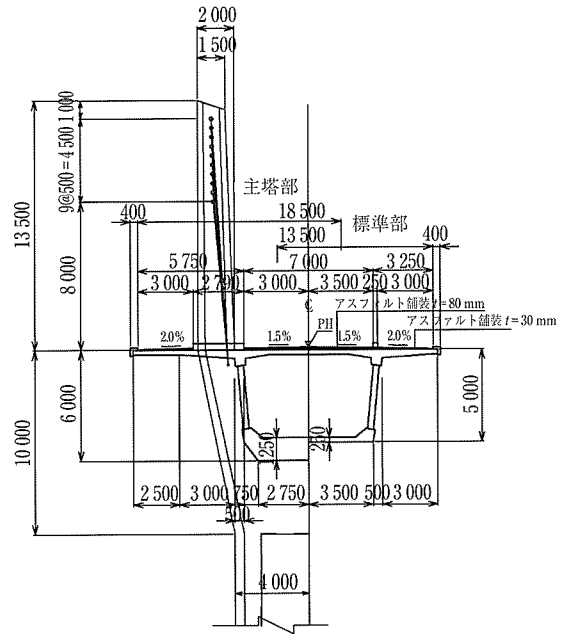


図 - 3 断面図

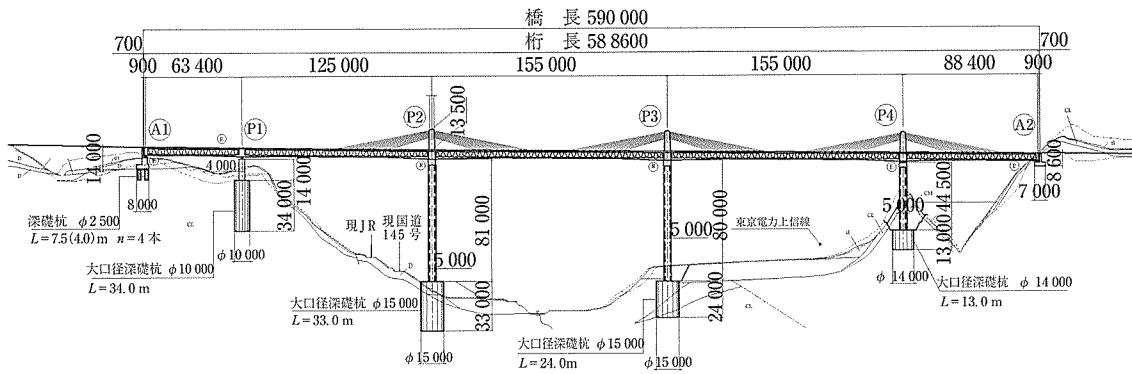


図 - 2 橋梁一般図

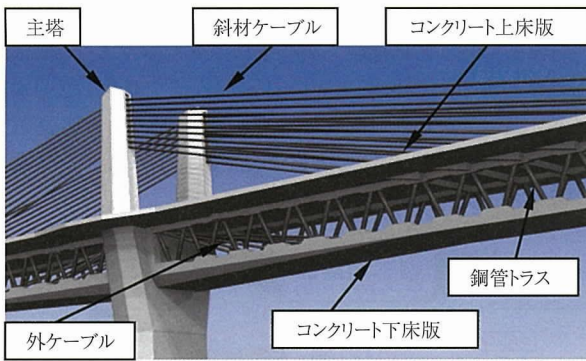


図 - 4 構造概要図

支承条件は、図 - 2 に示すように不等橋脚の橋梁であるため、高橋脚の P2 および P3 はラーメン構造、A1、A2 橋台および P1、P4 橋脚は免震支承を用いた弾性支持となっている。

2.3 格点構造

本橋の格点構造は、図 - 5 に示すような、鋼製ボックス式格点構造とした。これは、表 - 1 に示す木ノ川高架橋¹⁾ や山倉川橋梁²⁾ で実績のある鋼製ボックス式格点構造を基に、本橋の作用荷重を踏まえ改良を加えたものである。

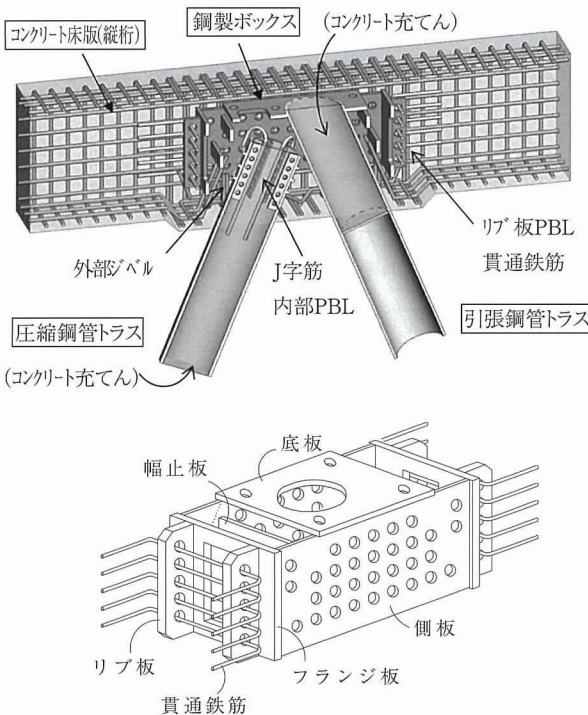


図 - 5 格点部の構成と鋼製ボックス構造

鋼トラス材からコンクリート部材への力の伝達は、鋼製ボックスを介して行われる。圧縮トラス材は、先端部から外部リブを介して直接圧縮力をコンクリートに伝達する。引張トラス材は、鋼製ボックスに溶接され引き抜けないようにアンカーとして機能する。トラス材軸力から生じ

る格点部の偶力による回転力に対して鋼製ボックスが抵抗する。

3. 技術検討

本橋は、複合トラス構造とエクストラドロード構造が組み合わされた世界初の構造形式である。新しい構造を採用するには解決すべき技術課題もあり、施工に先立ち部分模型による実証実験を行い、トラス格点部の構造的合理性や安全性の確認が要求された。以上のような背景から、本橋の構造的特性を抽出するとともに、実証実験の評価および製作・施工に関する指導・助言を行う場として、「ハッ場ダム湖面2号橋技術検討会」が設立された。技術検討会は、加島 聡氏（関東地方整備局総合評価審査委員会 元専門委員）を座長に、国土交通省国土技術政策総合研究所、独立行政法人土木研究所、国土交通省関東地方整備局の橋梁専門家が委員として参加した。

3.1 検討方針

検討に際しては、本橋の構造的特性および要求性能を踏まえ、使用目的との適合性（供用性）、構造物の安全性（耐荷性・耐震性）、耐久性、施工品質の確保、維持管理性を考慮することを基本方針とした。

3.2 架設系の検討

本橋は移動作業車による張出し架設工法で施工されるため、架設段階ごとで構造系が逐次変化していく。連続するコンクリートウェブを有する PC 箱桁橋とは異なり、鋼トラス材で離散的に支持される上・下床版のコンクリート応力度は、格点部を介して非常に複雑となることが予想された。

架設系において実施した諸検討の内、代表的な事項を以下に示す。

(1) 張出し施工時における鋼トラス材の応力変動

鋼トラス材は、一般的には圧縮材と引張材に分類される。完成系における断面力交番部材以外は、鋼トラス材に作用する軸力が反転することはないが、比較的初期の張出し施工段階（1 BL～3 BL）では、十分な自重作用が得られていない状態で外ケーブルの定着が行われる際、圧縮トラス材に引張軸力が作用することが確認された。発生軸力は完成系に比べ十分小さく、張出し施工が進捗するにつれて自重作用が得られ圧縮軸力に転向するため問題とはならなかったが、鋼トラス材の架設時の応力変動については、施工段階ごと、荷重別ごとの挙動を確認し把握することが肝要である。

(2) 架設時の主桁ねじり・面外曲げ挙動

張出し施工中において、コンクリート打設など荷重が偏載荷された場合には、主桁にねじりが生じる。また、張出し先端に位置する大型移動作業車の側面に横風を受ける場合などは、面外曲げが生じる。張出し架設時は非常に不安定な構造系であるため、ねじりや面外荷重を受けた場合の挙動把握と安全性の確認が必要であった。そのため、解析手法として3次元 FEM を用いて、全体系の変形挙動と局部応力の確認を行った（図 - 6）。

この結果、ねじりおよび面外曲げによる主桁断面の極端

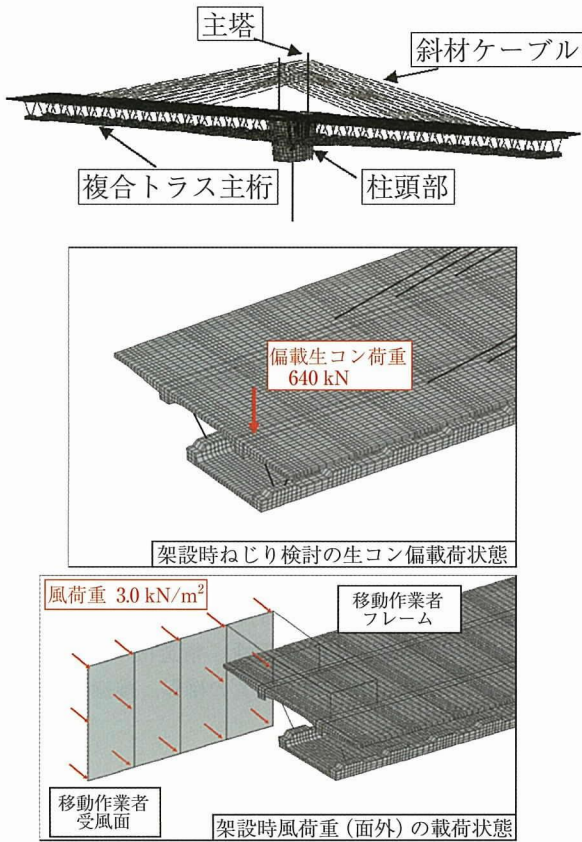


図 - 6 架設時ねじり・面外荷重検討 FEM モデル

な局部変形や、上下床版コンクリートに局部的な応力集中が生じないことを確認した。また、鋼トラス材は、ねじりによる軸力差は生じるものの圧縮材・引張材の逆転は生じないことを確認した。面外曲げに対しては、風荷重の載荷に対して風上側と風下側で圧縮・引張の逆転が生じるものの、発生軸力は設計荷重に比べ微小であった。これらのことから、架設時ねじりおよび面外曲げに対する安全性が確認できた。

(3) 架設時の格点部近傍コンクリートの健全性

主方向の構造解析は、上・下床版、鋼管トラス、主塔、外ケーブルおよび斜材ケーブルを部材としてモデル化した平面骨組モデルを用いて、施工順序とコンクリート材齢の影響を考慮したステップ解析を行った。しかし、平面骨組解析で算出される応力度は、幅員方向で平均化したものであり、応力分布が不明である。局部的な引張応力度の発生が予想される施工サイクル内での各荷重載荷状態を考慮して、コンクリート打設時、各 PC ケーブル緊張時、移動作業車の移動時について、FEM 解析により応力分布を把握するとともに局部発生応力度を算出し、平面骨組解析によって算出した各段階の応力度に足し合わせ、その合計値で架設時の格点部近傍コンクリートの健全性を照査した。

道路橋示方書では、架設時の許容引張応力度は -2.5 N/mm^2 ($\sigma_{\alpha} = 40 \text{ N/mm}^2$ に対して) であるが、施工時コンクリートの若材齢を考慮し、ひび割れ発生の危険性を低減するため、曲げひび割れ強度以下の -1.5 N/mm^2 を照査の

目標値とした。

目標値を超える局部応力の発生は、外ケーブル緊張時のみで確認され、下床版下面の格点部近傍で最大 -2.93 N/mm^2 (図 - 7) であったことから、図 - 8 に示す架設 PC 鋼棒を追加配置し、引張応力度を目標値以下に制御した(図 - 9)。

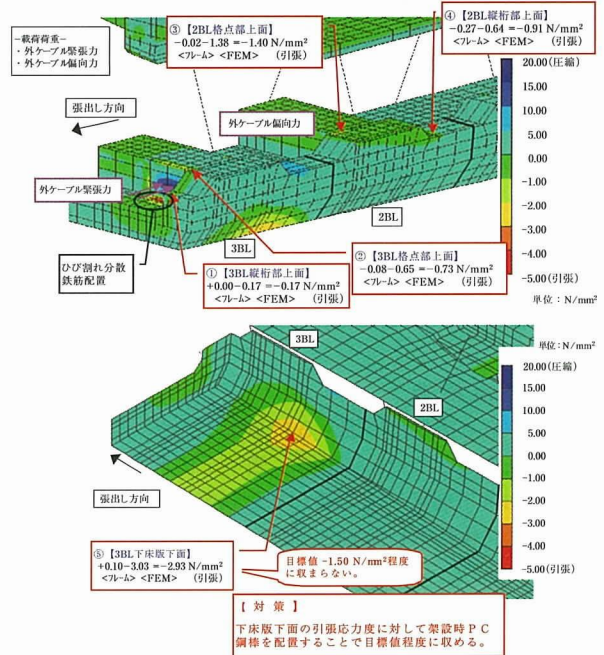


図 - 7 外ケーブル緊張時の格点部近傍の局部応力

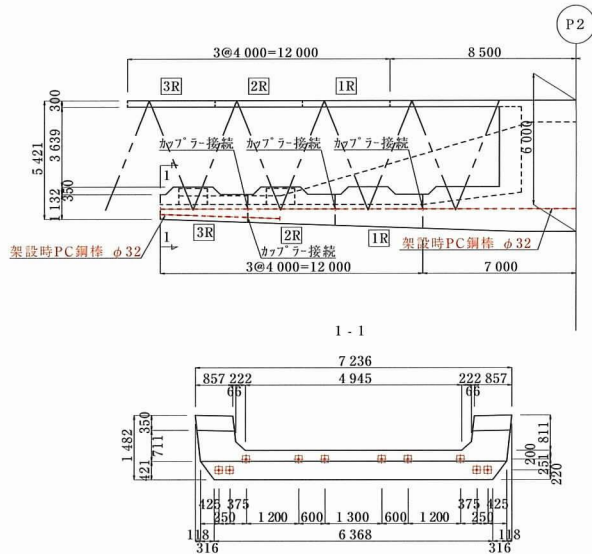


図 - 8 架設時 PC 鋼棒配置

3.3 完成系の検討

完成系においては、本橋のトラス構造を構成する重要構造部位である格点部について、以下の点に留意した検討を実施した。

- 安全性の観点から、終局荷重時において格点部は、他の部材に先行して破壊させないこと。

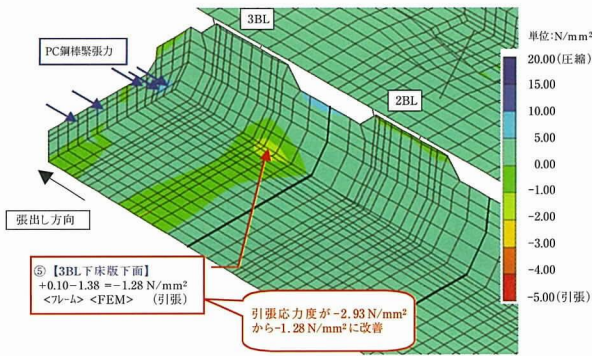


図 - 9 架設時 PC 鋼棒配置後の局部応力の改善

- 供用時の使用性および耐久性の観点から、設計荷重時において格点部近傍のコンクリートが健全であること。

完成系において実施した諸検討のうち、代表的な事項を以下に示す。

(1) 新たな鋼製ボックス構造の考案

本橋の格点部設計に用いるトラス軸力は、約 6 000 kN であり、これまでに実績のある鋼製ボックス格点構造³⁾(以下、従来案と呼ぶ)を有する木ノ川高架橋の約 2 倍に達す

る。そこで、高耐力が要求される本橋の格点部に対応するため、新たな鋼製ボックス構造(以下、変更案と呼ぶ)を考案し、実構造物へ適用するために、FEMを用いた解析的手法と1/2縮尺試験体による実験的手法の両面から検討を実施した。表 - 3 に鋼製ボックス構造の比較を示す。

表中の「従来案」は、側板に設けたジベル孔がパーフォボンドリブ(以下、PBLと呼ぶ)として回転力に抵抗する構造で、文献3)に示される方法にて形状寸法を決定した。一方、「変更案」は鋼製ボックスの小口面にフランジ板とリブ板を取り付け、リブ板のジベル孔がPBLとして抵抗する構造で、側板の孔は耐力に寄与することを期待せず、コンクリートの充てん性と一体性を図ることを目的とした。

また、「従来案」は鋼製ボックス内にトラス材が配置されるために側板のジベル孔に貫通鉄筋を配置できないが、「変更案」は鋼製ボックスの外側に一列配置のジベル孔を設けており、貫通鉄筋を配置できるようにした。

(2) 終局荷重作用時の格点部の安全性

格点部と鋼管(鋼トラス材)の耐力比(終局荷重時断面力/耐力)を、図 - 10 に示す。鋼管の耐力比は、0.8 ~ 0.9 で、10 ~ 20 %の余耐力を有する。格点部は、回転についての耐力比は0.4 ~ 0.5 で50 ~ 60 %の余耐力を有し

表 - 3 鋼製ボックス形状の比較

項目	鋼製ボックス構造「従来案」	鋼製ボックス構造「変更案」
鋼製ボックス形状	<p>外形寸法: 長さ 1 566 × 高さ 650 × 幅 650 mm</p>	<p>外形寸法: 長さ 1 720 × 高さ 570 × 幅 650 mm</p>
荷重伝達概念図	<p>ジベル: φ 80 mm 有効数: n = 62 ケ, 平均距離: y = 0.35 m</p>	<p>ジベル: φ 60 mm (貫通鉄筋: D25) 有効数: n = 20 ケ, 平均距離: y = 0.80 m</p>
格点部回転力に対する照査方法	<p>外力: $M = C \sin \theta \times L$ L: 床版圆心位置での斜材軸心距離 ジベルに作用するせん断力: (大きさ一律) $P = M / (y \times n) \leq V_{PBL(1)}$ ジベルせん断力の許容値 (Leonhardt式): $V_{PBL(1)} = 2\pi^2 \phi^4 / \sqrt{1.14 \sigma_{ck}^3 / \beta}$ β: 低減係数 = 0.7 (貫通鉄筋なし) $= 2\pi \times 60^2 / 4 \times 1.14 \times 40 / 3 \times 0.7 = 60 \text{ kN}$</p>	<p>外力: $M = T \times L$ L: 圧縮トラス先端中心から引張トラス軸心までの距離 ジベルに作用するせん断力: $P = M / (y \times n) \leq V_{PBL(2)}$ ジベルせん断力の許容値 (土) 木学会式): $V_{PBL(2)} = [1.45 \times (\phi^2 - d^2) \sigma_{ck} + d^2 \sigma_{sh}] - 106.1 / 3$ $= [1.45 \times (60^2 - 25^2) \times 40 + 25^2 \times 490] - 106.1 / 3$ $= 170 \text{ kN}$</p>

ジベルせん断力の許容値は、貫通鉄筋がない場合 ($V_{PBL(1)}$) とある場合 ($V_{PBL(2)}$) で使い分けた。

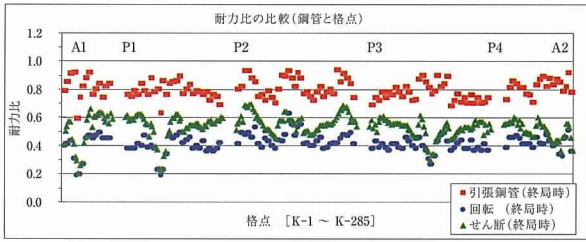


図 - 10 鋼管と格点の耐力比

ており、せん断についての耐力比は 0.5 ~ 0.6 で 40 ~ 60 % の余耐力を有している状態である。

鋼管の耐力比が格点（回転・せん断）の耐力比を上回っており、格点部が引張鋼管の降伏に先だって破壊しないことが確認できた。

(3) 設計荷重作用時の格点部近傍コンクリートの健全性
設計荷重作用時のトラス軸力を用いて、FEM 解析により格点部近傍コンクリートの発生応力度を確認した。結果、最大引張応力度は -1.4 N/mm^2 程度であり、過大な斜引張応力度が発生しないことを確認した。

また、当初の設計では、下床版内ケーブルの定着が集中定着となっており、さらに、外ケーブルの定着突起は偏向部と定着位置が兼用となっていた。いずれも、照査検討段階に、応力集中による局部引張応力の発生が確認されたため、下床版定着の分散化および外ケーブルの偏向部と定着部の分離を実施設計にて行った。この結果、レベル 1 地震時においても、コンクリート部材における発生応力度は、ひび割れ発生強度以下に制限できた（図 - 11）。

4. 格点部実証実験

新しく考案した「変更案」の鋼製ボックス格点構造の安全性確認と設計手法の妥当性検証を目的に、実橋の 1/2 縮

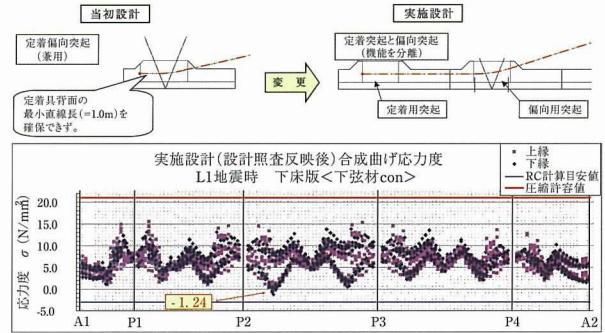


図 - 11 外ケーブル定着の変更と L1 地震時応力

尺試験体で表 - 4 に示す実験を行った。実験結果の詳細については他稿^{4), 5)}に譲り、本稿では実験概要について述べる。

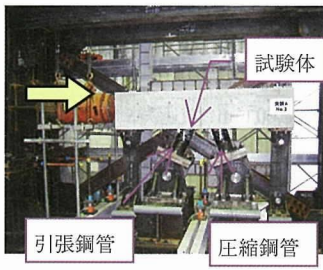
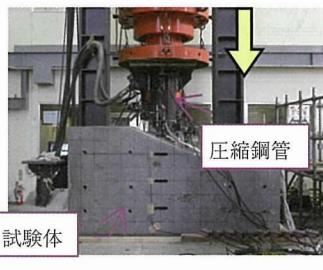
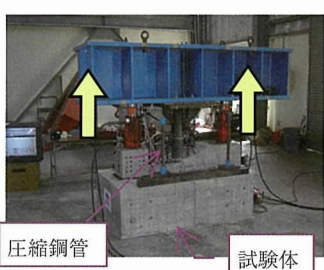
実験 A は、トラス軸力最大となる格点を対象とし、格点構造全般に着目した実験である。試験体のトラス材下端をピン支持し、試験体を軸方向に載荷する水平加力試験を実施した。載荷荷重は、対象格点の設計荷重時（6 000 kN）と終局荷重時（9 500 kN > L2 地震時：8 700 kN）のトラス軸力に縮尺率（1/4 倍）とトラス角度の換算を行って決定した。最大荷重は、鋼管トラス材の設計降伏耐力の 1.3 倍を目標とした。

実験 B は、圧縮トラス材先端部の支圧挙動を確認するため、鋼管トラス材を鉛直に立てて、直接鉛直下向きに載荷する鉛直加力試験を実施した。この試験では、設計荷重の 3 倍までの荷重を載荷させるものとした。

実験 C は、圧縮トラス材に正負交番が生じる格点のうち、最大引張力が生じる格点を対象とし、鉛直引抜き試験を実施した。最大荷重は終局荷重の 1.3 倍とした。

各実験とも、設計荷重と終局荷重を 3 回ずつ繰り返し、

表 - 4 格点実験の概要

	実験 A 格点構造の静的載荷実験	実験 B 圧縮鋼管先端部の耐力確認実験	実験 C 圧縮鋼管の引抜き耐力確認実験
実験目的	格点構造の基本性能（主要な荷重伝達機構や終局耐力）の確認	圧縮トラス材先端部の支圧耐力および荷重伝達機構の確認	L2 地震時正負交番載荷に対する圧縮トラス材引抜き耐力の確認
実験方法	水平加力試験（鋼管下端をピン支持） 	鉛直加力試験 	鉛直引抜き試験 
載荷荷重 P (トラス軸力 T)	$P = T \cos 68.2^\circ \times 2 \times 1/4$ 設計時 $P = 1\ 100 \text{ kN}$ ($T = 6\ 000 \text{ kN}$) 終局時 $P = 1\ 800 \text{ kN}$ ($T = 9\ 500 \text{ kN}$) 最大荷重 $P = 2\ 500 \text{ kN}$ ($T = 13\ 300 \text{ kN}$...鋼管降伏の 1.3 倍)	$P = T \times 1/4$ 設計時 $P = 1\ 500 \text{ kN}$ ($T = 6\ 000 \text{ kN}$) 終局時 $P = 2\ 400 \text{ kN}$ ($T = 9\ 500 \text{ kN}$) 最大荷重 $P = 4\ 500 \text{ kN}$ ($T = 18\ 000 \text{ kN}$...設計時の 3 倍)	$2P = T \times 1/4$ 設計時 $2P = 250 \text{ kN}$ ($T = 1\ 000 \text{ kN}$) 終局時 $2P = 1\ 100 \text{ kN}$ ($T = 4\ 400 \text{ kN}$) 最大荷重 $2P = 1\ 500 \text{ kN}$ ($T = 6\ 000 \text{ kN}$...終局時の 1.3 倍)

その後最大荷重を目標に載荷した。

実験の結果、「変更案」の格点構造の耐力は十分であることを確認するとともに、実施設計へのフィードバックを行うことで、技術検討会を踏まえた性能設計が実現できた。

5. 施工概要

本橋の施工は、移動作業車を用いた張出し架設工法により行った。基本的な部分では、通常のPC箱桁橋の張出し架設と同様であるが、本橋の特徴を踏まえた施工に際しての留意点を下記に列挙する。

- ・高橋脚、長大支間でのコンクリート圧送
- ・超大型移動作業車の採用
- ・3次元的な鋼トラス材の架設
- ・主塔サドルおよび斜材ケーブルの合理化
- ・出来型品質管理としてのたわみ管理

以下に、上記留意点を踏まえた施工概要について述べる。

5.1 コンクリートの施工性能確認

図 - 2 に示すように、本橋の橋脚高は最大 81 m と非常に高橋脚であるうえ、最大張出し長 75 m となる。また、格点部は鋼製ボックスや鋼管、鉄筋が密に配置されている。したがって、性能確保のための品質管理として、コンクリートの充てん性および確実な施工性が要求された。

実施工に先立ち、水平換算距離に配管距離を置き換えたコンクリートの圧送試験を実施し、スランプロス、ワーカビリティ、フィニッシュャビリティなどのコンクリートのフレッシュ性状を確認した。図 - 12 に圧送試験配置図を示す。

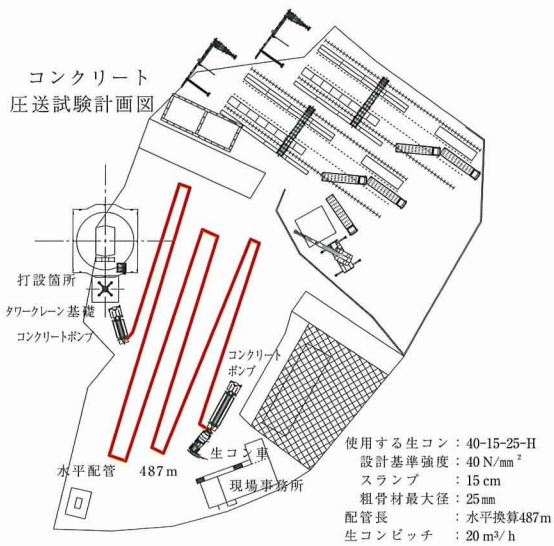


図 - 12 コンクリート圧送試験配置図

す。

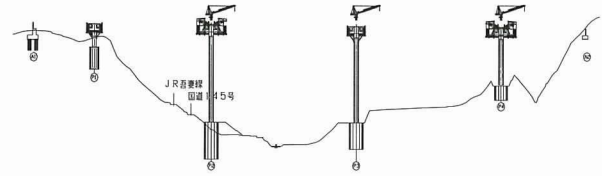
5.2 張出し施工

上部工の施工ステップを図 - 13 に示す。工事工程を踏まえ、全橋脚各 2 機、合計 8 機の移動作業車による張出し施工を行った（図 - 14）。

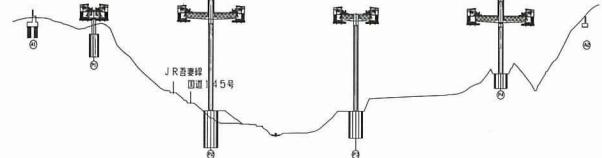
(1) 超大型移動作業車の採用

主桁の張出し施工に用いる移動作業車は、以下に示す事

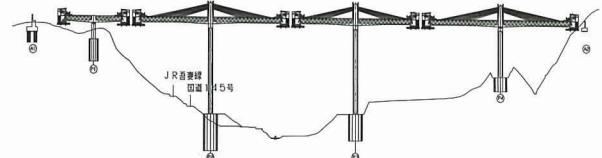
STEP-1 脚頭部・柱頭部施工



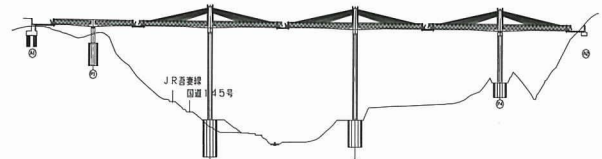
STEP-2 張出し施工・主塔部施工



STEP-3 張出し施工・斜ケーブル施工



STEP-4 側径間・中央閉合部施工



STEP-5 橋面工施工・完成

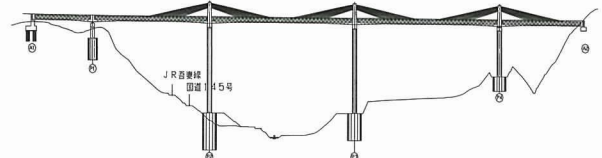


図 - 13 上部工ステップ図



図 - 14 張出し架設状況

項を考慮し、2 主構の超大型移動作業車（吊り能力 8 000 kN・m）を採用した。

- ・施工ブロックは格点間隔が 4.0 m のワーレントラスであるため、上下床版の格点位置が相互に 2.0 m ずれる。そのため、移動作業車の吊り能力を抑える目的で、上

床版の鉛直打継目を先行させた。

- 格点部は、鋼トラス材が上下床版に埋め込まれるため、構造上施工継目を設けられない。本橋の鋼製ボックス格点構造の寸法などを考慮し、格点部中心から1.0m前方を床版コンクリートの施工目地とした。
- 移動作業車のメインジャッキ位置は、ジャッキ反力により床版に過大な応力が発生しないように、格点中心上とした。
- 鋼トラス材の建て込みや移動作業車の後退および解体時における主塔からの斜材ケーブルの取り合いを考慮して、主構高を高くした。

図 - 15 に本橋で使用した移動作業車を示す。



図 - 15 超大型移動作業車

(2) 鋼トラス材の架設

本橋における鋼トラス材は、図 - 3, 4 に示すように斜ウェブのワーレントラスであり、3次元的な配置となる。

鋼トラスウェブ構造のサイクル施工において、鋼トラス材の架設の効率化が工程短縮に重要である。以下に鋼トラス材に着目した架設手順を示す。

- ① 引張斜材両端の床版コンクリートに埋設される部分を地上ヤードにて先行打設する。
- ② タワークレーンにより橋面上に荷揚げ後、運搬台車



図 - 16 鋼トラス材固定状況

にて移動作業車まで運搬する。

- ③ 移動作業車に設置した吊天井クレーンにて、鋼トラス材を所定位置まで移動後、建て込む。
- ④ 鋼トラス材に締め付けバンドを取り付け、バンド間を接続する、橋軸および橋軸直角方向それぞれ2段のターンバックルの伸縮を利用して位置決めを行う(図 - 16)。

鋼トラス材の据え付けの規格値としては、「道路橋示方書・同解説Ⅱ 鋼橋編」の17.3.3組立精度に準じて支間長を算出し決定した。ここで鋼トラス材組み立ての支間長は、橋軸方向の格点間隔および直角方向のウェブ間隔とし、配置の規格値を計算により $\pm 21\text{ mm}$ とした。また、規格値の採用に際しては、施工誤差による断面部材の応力変動がわずかであり、完成系に有害な影響を及ぼさないことを解析により確認した。

(3) 架設外ケーブルと補強PC鋼棒

図 - 4 に示すように、鋼トラス材の軸力低減効果のある外ケーブルを、張出し架設時に積極的に使用している(図 - 17)。外ケーブルには、耐久性・耐候性・施工の合理化のため、アンボンドマルチケーブル(19S15.2B)を採用した。



図 - 17 桁内空部と架設外ケーブル配置状況

また、架設系の検討結果を反映し、外ケーブル緊張直後の下床版格点部コンクリートの局部引張力対策として、図 - 8 に示す架設時PC鋼棒(SBPR930/1180 $\phi 32$)を配置した。

5.3 主塔部および斜材ケーブルの施工

主塔は、主桁6ブロックから始まる斜材ケーブルの架設

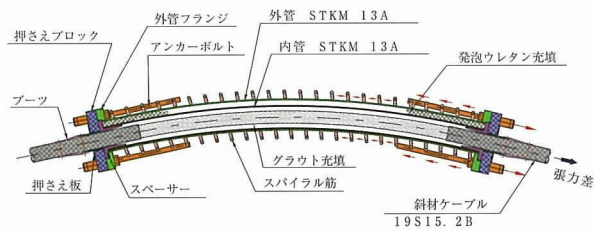


図 - 18 主塔帯鉄筋の地組・架設

時にはサドル部が固定されている必要があったため、主桁張出し施工開始後、移動作業車と外周足場が干渉しない主桁2ブロック完了直後から施工を開始した。

主塔の主鉄筋には、天候に左右されない機械式継手を採用し、帯鉄筋・中間帯鉄筋については一部地組して架設し、工程短縮を図った(図-18)。

主塔部斜材の配置は、貫通固定方式のサドル構造で、主塔部での固定方法は、押さえブロック方式⁶⁾とした。これは、斜材の張力差をグラウトを介して内管へと伝達させ、主塔両脇部の押さえブロックにて定着する機能を有している。サドル本体は、斜材ケーブル10段分を3分割にユニット化したものを工場製作し、現場作業はクレーンによる据え付けのみとすることで、サドル据え付け精度の向上と省力化を図った(図-19)。また、主塔部型枠についても、橋面上で大型パネル化し、地組、組立て作業をラップさせることで、工程短縮を図った。



押さえブロック方式における張力差の伝達機構
 斜材ケーブル → グラウト → 内管 → スペーサー →
 → 押さえブロック (張力増加側) → アンカーボルト → 主塔



図-19 サドル部ユニットと張力伝達機構

斜材ケーブルには、ポリエチレン被覆PC鋼材からなるセミプレファブケーブル(スープロマルチケーブル19S15.2B)を使用した。これにより、工場製作としての二重防錆仕様となり、現場グラウト作業の回避が可能となることで、工期短縮および品質向上が図れた。

斜材ケーブルの架設では、ケーブルのサグの抑制と架設の容易さを求め、展開するための足場を主塔付根から扇形に組み立てた。足場間に単管パイプにて棚を作り、その上を滑らせるようにウインチにてケーブルを引き込んだ(図-20)。



図-20 斜材ケーブルの架設状況と架設完了全景

5.4 出来型品質管理としてのたわみ管理

本橋は、高橋脚で鋼トラスウェブの剛性がコンクリートウェブに比べ低く、斜材ケーブルの感度など、たわみ管理は出来型品質に直接影響を及ぼすため、とくに注意を払った。具体的には、図-21に示すように、床版温度およびダミーケーブルを用いた斜材温度を熱電対を用いて計測し、温度変化の日較差を把握した。図-22は計測から得られた温度差の頻度の一例である。もちろん、季節による差異はあるものの、温度変化による感度を精度良くたわみ管理に反映できた。

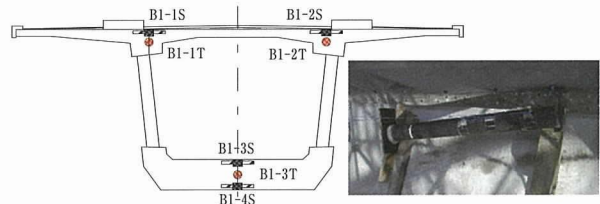


図-21 床版温度計測位置と斜材ダミーケーブル

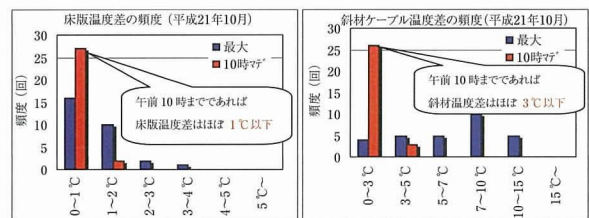


図-22 実測から得た温度差の頻度

上げ越し計算は、事前に各部材の温度変化に対する感度を把握し、トラスのせん断変形を考慮すべく、平面骨組トラスモデルにて行った。結果、たわみ管理は所定の許容値内で収まり、出来型品質を確保できた(図-23)。

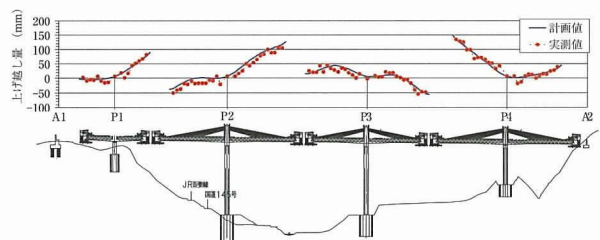


図-23 たわみ管理(実測値との比較)

6. おわりに

本橋は、世界初となる PC 複合トラス・エクストラードーズド橋（図 - 24）である。新しい複合構造橋梁の実現に際しては、既存の基準を深耕し、基準を超えて性能設計の観点から、解決すべき課題に取り組むことが重要である。今回の本橋での技術検討に対するアプローチが、新しい複合構造橋梁の発展の一助となれば幸いである。

最後に、本橋の設計・施工を行うにあたり多大なご指導ご協力をいただいた、「ハッ場ダム湖面 2 号橋技術検討会」の委員の皆さまならびに関係者の方々に、深く感謝の意を表し結びとする。

参考文献

- 1) 木村是一, 山村正人, 本田明, 山口統央, 南浩郎: 那智勝浦道路木ノ川高架橋の設計 - 鋼・コンクリート複合トラス橋 -, 橋梁と基礎, Vol.36, No.10, pp.31-35, 2002.10
- 2) 石田清, 木戸素子, 小山幸寛, 大久保秀樹: 羽越線山倉川橋りょうの設計・施工 - 鋼管トラスウェブ PC 開床式下路桁 -, プレストレストコンクリート, Vol.46, No.2, pp.56-63, 2004
- 3) 古市耕輔, 日紫喜剛啓, 吉田健太郎, 本田智昭, 山村正人, 南浩郎: 鋼・コンクリート複合トラス橋の新しい格点構造の開発と設計法の提案, 土木学会論文集 F, Vol.62, No.2, pp.349-366, 2006.6
- 4) 北野勇一, 中山良直, 牛木敬一, 小林丘明: 複合トラス格点構造に関する実証実験 (ハッ場ダム湖面 2 号橋), プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, Vol.19, pp.55-60, 2010.10
- 5) 北野勇一, 田中太郎, 中谷陸, 大久保孝, 石田大, 山中修一郎: 複合トラス格点構造に関する実証実験 - ハッ場ダム湖面 2 号橋建設にあたっての技術検討 -, 川田技報, Vol.30, 2011.1
- 6) 飯東義夫, 秋山照義, 西村勝: 三谷川第二橋 (エクストラードーズド橋) の設計とサドル構造の実物大試験, プレストレストコンクリート, Vol.41, No.1, pp.51-57, 1999



図 - 24 構造系完成 全景写真

[2010 年 9 月 14 日受付]



刊行物案内

第 37 回 PC 技術講習会テキスト

PC 技術・最近の動向

平成 21 年 2 月

定 価 6,000 円 / 送料 500 円

会員特価 5,000 円 / 送料 500 円

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会