



架設工法：移動作業車による張出し架設  
 工 期：平成 14 年 3 月～平成 18 年 1 月  
 事 業 主：中日本高速道路（株）横浜支社  
 詳細設計：（株）大林組・昭和コンクリート工業（株）・（株）ハルテック共同企業体  
 施 工：（株）大林組・昭和コンクリート工業（株）・（株）ハルテック共同企業体

3. 二面ガセット格点構造の開発

3.1 格点構造に求められる性能

格点構造は、本橋梁形式において構造上最も重要な部位であり、開発に当たっては、下記の性能を満足することを目標とした。

- ① 斜材間の力の伝達が確実にできる。
- ② 斜材の軸力の大きさに対応して合理的に設計できる。
- ③ 格点部において、橋軸方向の PC ケーブルが配置できる。
- ④ コンクリート内に確実に定着でき、コンパクトである。
- ⑤ 斜材の断面形状（角、丸）の制約を受けない。

もちろん、上記の性能に加え経済的合理性も強く求められる。

3.2 二面ガセット格点構造の概要とその特徴

二面ガセット格点構造は、図-2 に示すように鋼トラス材に完全溶込み溶接したガセットを高力ボルトで摩擦接合（二面摩擦）することにより、トラス材に作用する断面力を添接板を介して伝達するものである。この構造の主な特徴は、以下のとおりである。

- ① 二面摩擦高力ボルト接合により、格点部のコンパクト化ができる。
- ② 二面ガセット間に、橋軸方向鉄筋、PC ケーブルの配置が可能となる。
- ③ ガセット PL に設けた PBL（孔あき鋼板ジベル）と貫通鉄筋により、床版・ガセット間に生じる橋軸方向のせん断力を伝達する。
- ④ 鋼トラス材に設けたハンドホールにより、鋼管内のコンクリートの充填性が向上、溶接時にも確認用孔として使用できる。
- ⑤ 鋼管とガセットの溶接部に R 加工を施すことで、疲労耐久性が向上する。
- ⑥ 今回、トラス材は丸型鋼管であったが、角型鋼管にも対応可能。

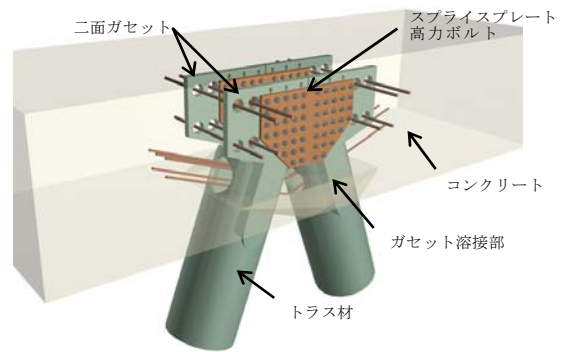


図-2 二面ガセット格点構造

3.3 二面ガセット格点構造の設計方法

(1) 設計の考え方

格点部には、2本の鋼トラス材および床版よりそれぞれ軸力、曲げモーメント、せん断力が作用する。このため図-3 に示すモデルにて解析を行い、以下の断面力を考慮して設計を行った。①2本のトラス材軸線のずれによって生じる断面力。②床版軸線とガセット軸線（青線）のずれによって生じる断面力。これらに対して2本のトラス材軸線と床版軸線の交点を結ぶ梁（緑線）を抵抗部材として設計した。

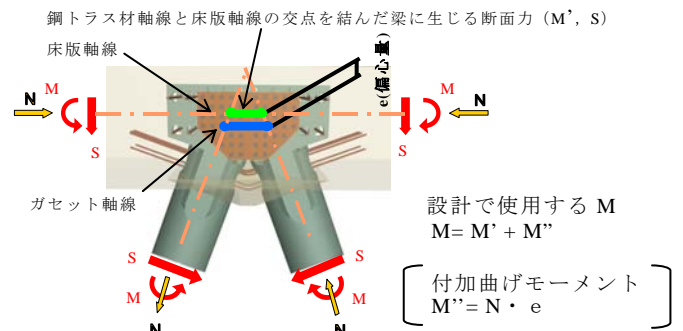


図-3 格点に作用する断面力

(2) 作用力の分担について

図-4 に示すとおり、上述の梁に生じる曲げモーメント、せん断力、および軸力の偏心による付加曲げモーメントは鋼部材のみで、また軸力に関してはコンクリート部材のみで応力の伝達を行うものとした。

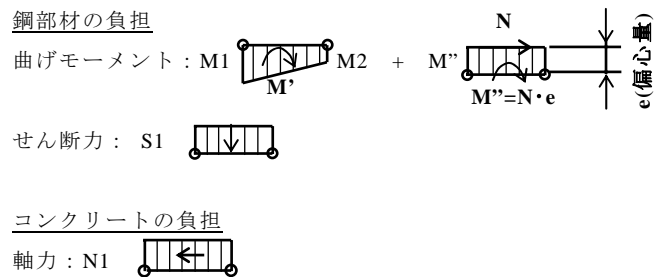


図-4 作用力の分担について

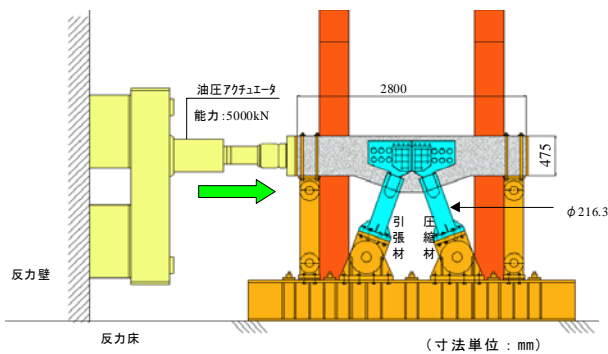
3.4 二面ガセット格点構造の部分模型（π形）実験

(1) 目的

PC 複合トラス橋においては、鋼トラス材と床版が直接接合される格点部が最も重要な部分であり、その構造についてはこれまでも各種提案が行われ、実験・解析結果が報告されている。今回開発した二面ガセット格点構造はこれまでに提案されたものとはその構造が異なる。そこで、この格点構造の 1/2 モデルを用いた載荷実験を行うことにより、格点部の応力特性、終局耐力、および破壊性状等を把握することとした。

(2) 実験供試体

実験供試体および載荷装置を図-5 に示す。



(主要部材の諸元)	
・トラス材鋼管	: STK490, φ216.3mm, t=12.7mm
・ガセットプレート	: SM490YB, t=25mm
・スライスプレート	: SM490YA, t=14mm
・高力ボルト	: S10T, M22
・梁コンクリート	: □-475 x 475 (mm) σ <sub>ck</sub> = 40N/mm <sup>2</sup>

図-5 実験供試体概要

(3) 供試体の設計

- ① トラス材（鋼管）は、実橋における設計軸力として 4,000kN 程度を想定した。
- ② 実験装置の容量等を考慮し、供試体の縮尺は 1/2 とした。
- ③ 斜材には材料調達の関係から φ216.3mm, t=12.7mm, 材質 STK490 の鋼管を用いた。
- ④ 鋼管は許容応力度設計法により、軸力と曲げモーメントを受ける部材として設計を行った。
- ⑤ 格点部は許容応力度設計法により、鋼管と同等以上の安全率を有するように設計を行った。

(4) 供試体の種類

- ① type1-1  
鋼管充填コンクリートあり, ボルト本数 44 本
- ② type1-2  
鋼管充填コンクリート無し, ボルト本数 44 本
- ③ type2  
鋼管充填コンクリートあり, ボルト本数 36 本

写真-1 には、載荷装置にセットされた実験供試体を示す。



写真-1 実験供試体

(5) 実験結果

図-6 に荷重と実験供試体の上弦材中央の水平変位との関係を示す。また、写真-2 には、水平変位が最も大きい type1-2 の実験供試体ひび割れ状況を示す。（載荷荷重 2,800kN）

(a) type1-1

実験結果より、設計荷重（P=689kN）の 4.4 倍（P=3,100kN）以上の耐荷力を有していることがわかった。また、せん断ひび割れは、設計荷重の 2.3 倍（P=1,550kN）で格点部に発生し、本数は、最大荷重時（P=3,100kN）においても 4 本と非常に少なかった。これにより、耐荷力、せん断ひび割れに対する安全性が極めて高いことが確認出来た。

(b) type1-2

実験結果より、設計荷重（P=689kN）の 4.0 倍（P=2,800kN）で圧縮側鋼管の耐荷力を失い、実験は終了した。設計荷重の 1.7 倍で格点部にせん断ひび割れが発生し、本数は、最大荷重時（P=2,800kN）においても 3 本と非常に少なかった。鋼管にコンクリートを充填している type1-1, 2 と比較すると水平変位は 1.7 倍程度となり、かなり大きなものとなった。

(c) type2

耐荷力, ひび割れ発生荷重, 最終ひび割れ状況は, type1-1 とほぼ同様な結果となった.

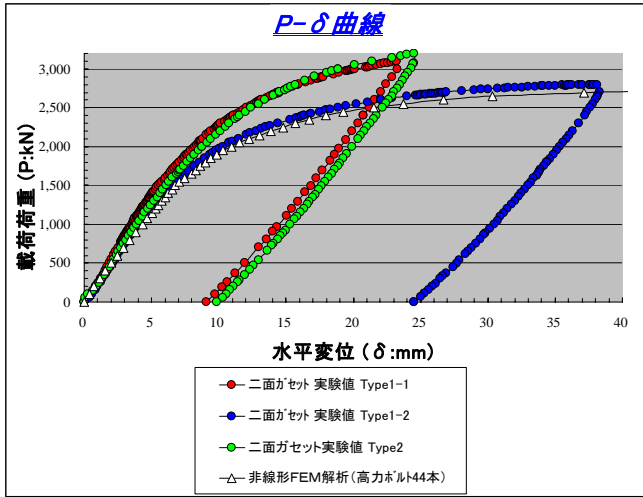
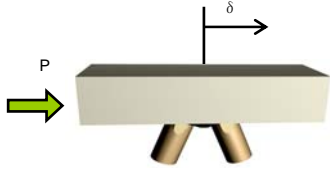


図-6 P-δ 曲線

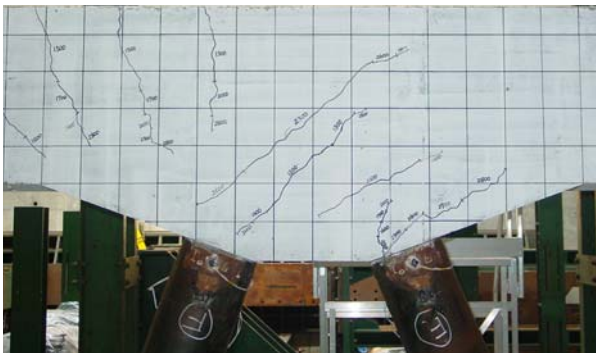


写真-2 ひび割れ状況 (type1-2, 荷重 P=2,800kN)

(6) 非線形解析

二面ガセット格点構造を設計するにあたり, 非線形 FEM にて解析を行い, 実験結果との整合性を確認した. 解析モデルを図-7 に, 各部材の諸元, 構成要素, 材料定数を表-1~3 に示す.

荷重-水平変位関係について, 変形が大きい type1-2 では図-6 に示すとおり, 弾性, 塑性の両領域において実験結果と解析結果がほぼ一致した. この実験および解析結果により, 格点部は想定した設計荷重に対して十分な耐荷力を有していること, および実験結果の妥当性が確認出来た.

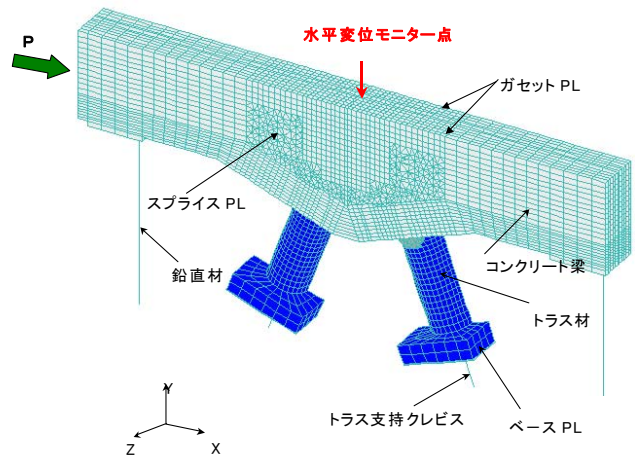


図-7 解析モデル

表-1 コンクリート梁, 鋼部材の諸元

項目	寸法		
コンクリート梁	B=237.5	H=475	L=2,800

単位: mm

項目	材質	寸法		
トラス材	STK490	φ=216.3	t=12.1 <sup>※</sup>	L=725
ガセット PL	SM490YB	-	t=25	-
スプライス PL	SM490YA	-	t=14	-
トラス支持クレビス	SS400	225×120	-	-
鉛直材	SS400	240×80	-	-
ベース PL	SM400A	400×400	t=50	-

単位: mm

※トラス材の板厚は、実物の計測値を使用

表-2 構成要素概要

構成要素	節点数	要素タイプ
コンクリート梁	5節点	SOLID, TETRA
トラス材	4, 8節点	SOLID, TETRA
ガセット PL	4, 8節点	SOLID, TETRA
スプライス PL	4, 8節点	SOLID, TETRA
トラス支持クレビス	2節点	BEAM
鉛直材	2節点	BEAM
ベース PL	8節点	SOLID

表-3 各部材の材料定数

項目	弾性係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	降伏応力度 σ <sub>v</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
トラス材	材料試験結果による	548	0.33
ガセット PL	材料試験結果による	374	
スプライス PL	材料試験結果による	412	
トラス支持クレビス	剛部材	完全弾性体	
鉛直材	剛部材	完全弾性体	
ベース PL	2.0×10 <sup>5</sup>	完全弾性体	

4. 鋼トラス材の設計概要

鋼トラス材には, SM490YB 材, 外径 φ457.2mm, 板厚 9~30mm のものを使用し, 軸力と曲げモーメントが作用する柱部材として設計している. 設計荷重作用時の鋼トラス材の最大断面力は, 巴川橋の最大支間 (L=119m) における柱頭部付近で軸力 4,800kN, 曲げモーメント 150kN・m となった. また, 鋼トラス材の鋼管は UOE 鋼管 (鋼板を U 字にプレスした後, O 字にプレス成形する鋼管) としたが, 製管上の板厚上限が 30mm であったので, 設計板厚が 30mm を越える場合は鋼管内にコンクリートを充填した CFT 鋼管構造を採用し, 使用板厚を 30mm 以下とした.

5. 工場製作

ここでは、二面ガセット格点構造と二重管格点構造の工場製作について報告する。本橋の製作は平成 15 年 5 月～平成 16 年 10 月の 17 ヶ月間（月産約 162t）で行った。製作工程を表-4 に示す。

表-4 製作工程

		H15										H16									
		5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
猿田川橋	A1																				
	P1																				
	P2																				
	P3																				
	P4																				
	P5																				
巴川橋	P1																				
	P2																				
	P3																				
	P4																				

▼ : 柱頭製作出荷  
 ■■■ : 工場製作  
 — : 工場塗装、出荷

本橋の鋼管部分の塗装仕様は、シリコン変性アクリル樹脂を用いた I 塗装系とし、格点部の二面ガセット HTB 添接部と 2 重管コンクリート接触面は厚膜型無機ジンクリッチペイント塗装を施した。塗装仕様を表-5 に示す。

表-5 塗装仕様

塗装箇所	記号	工程	塗料名	標準使用量(g/m <sup>2</sup> )	膜厚(μm)	塗装方法
外面塗装	I	素地調整	製品ブラスト処理 G-a(ISO Sa2.5)			
		第1層	有機ジンクリッチペイント	700	75	スプレー
		第2層	シリコン変性アクリル樹脂塗料用中塗	170	30	スプレー
		第3層	シリコン変性アクリル樹脂塗料 上塗	140	25	スプレー
添接部	J	素地調整	製品ブラスト処理 G-a(ISO Sa2.5)			
		第1層	無機ジンクリッチペイント	700	75	スプレー
コンクリート接触面	---	素地調整	製品ブラスト処理 G-a(ISO Sa2.5)			
		第1層	無機ジンクリッチペイント	700	75	スプレー

5.1 二面ガセット格点構造

二面ガセット格点構造は、鋼トラス材の鋼管とガセット(t=50mm)を溶接した構造である。その溶接部は本構造の最も重要な箇所であるため、品質を確実に確保するために完全溶け込み溶接とした。円形の鋼管と平面のガセットの溶接開先形状は加工、溶接の製作工数と部材精度

に影響を及ぼすため、模型を用いた数々の形状を検討、試作加工および溶接施工試験を実施し、下記の開先形状とした。

①直線部：直線自動ガス切断機を用いた切断面を鋼管中心方向とした開先（ガセット面に 51°）

②曲線移行区間：①から③への移行区間とし開先角度 51°～90°まで 100mm 間ですりつけを行う。

③④⑤曲線区間：曲線自動ガス切断機を用いたガセット面に垂直に円形切断し、曲線始端部（②との境界部）から始まりガセット頂点（⑤）で 2mm 残しとなる外面レ形開先開先角度 50°）

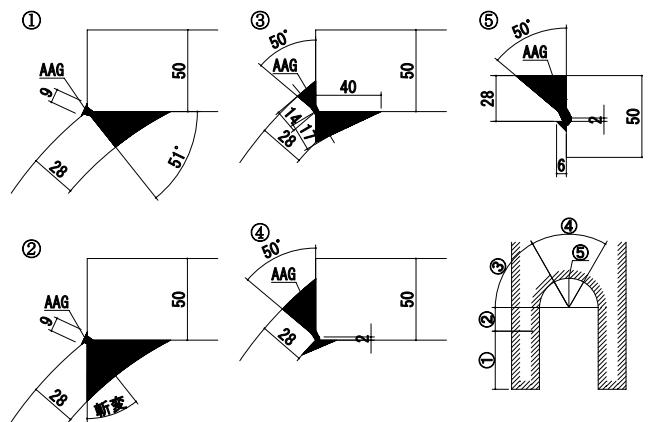


図-8 二面ガセット溶接部開先



写真-3 二面ガセット溶接状況



写真-4 二面ガセット溶接部マクロ



写真-5 二面ガセット格点構造



写真-8 二重管格点構造

5.2 二重管格点構造

二重管格点構造は、格点部の鋼トラス材（457.2φ）の外表面とトラス材を覆う外側鋼管（609.6φ）の内外面にそれぞれに鋼管表面を旋盤加工して突起リブを設ける構造である。その突起リブの旋盤加工が製作において最も留意した箇所、旋盤加工については専門の加工業者（3社）にて施工した。突起リブの形状の精度基準は非常に厳しく UOE 鋼管の製作精度による影響を受ける。そこで、鋼管メーカーである JFE スチール、旋盤加工業者と事前に綿密な打合せを行い、試作を重ね、管精度の向上と旋盤切削作業手順の確立し、施工した。

5.3 部材出来形管理

本橋の鋼トラス材の部材出来形管理基準は中日本高速道路(株)の管理基準を用いるとともに、二重管格点構造の加工リブ部は過去の実験データを基に下記の管理基準を設けて施工に当たり、全て規格値を満足する製品の製作を行うことができた。

表-6 部材出来高管理基準

項目	許容誤差 (mm)	測定頻度	測定方法
1 部材長 (L)	$\pm 2 : L \leq 10, \pm 3 : L > 10$	1箇所/部材	スチールテープ計測
2 圧縮材の曲り ( $\delta$ )	$L/1000$	4箇所/部材	水糸、スキメジャー計測
3 ガセット寸法 (b)	$\pm 2 : b \leq 0.5$	1箇所/部材	コンベックス計測
4 ガセット間隔 (b)	$\pm 3 : 0.5 < b \leq 1.0$ $\pm 4 : 1.0 < b \leq 2.0$		
5 添接板寸法 (b)	$\pm (3 + b/2) : 2.0 < b$		
6 ハンドホール、鉄筋孔径 (D)	$\pm 2$	1箇所/部材	コンベックス計測
7 加工リブ高さ (H)	$2.5 \text{ mm} \leq H \leq 5.5 \text{ mm}$ (標準値3mm)	管両端切削部の中心で4点計測/部材	ノギス計測
8 加工リブ幅 (B)	$5.5 \text{ mm} \leq B \leq 6.5 \text{ mm}$ (6mm $\pm$ 0.5mm)	管両端切削部の中心で4点計測/部材	ノギス計測
9 加工リブピッチ (SR)	$3.9 \text{ mm} \leq SR \leq 4.1 \text{ mm}$ (40mm $\pm$ 1mm)	管両端切削部の中心で4点計測/部材	ノギス計測
10 切削部鋼管板厚 (t)	内側管：鋼管板厚規定の60%以上※ 外側管：19.3mm以上(※1)、 23.3mm以上(※2)	管両端切削部の中心で4点計測/部材	電磁板厚測定器

【Lおよびbの単位は (m)】



写真-6 二重管切削状況

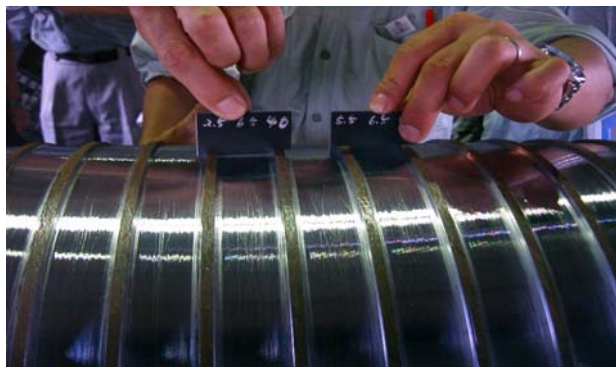
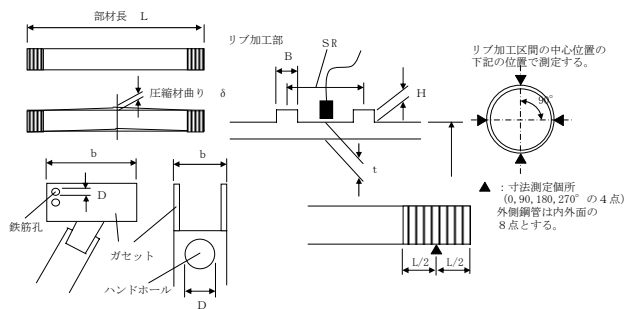


写真-7 二重管切削リブ精度確認



6. 施工概要

6.1 脚頭部～柱頭部施工

まず、脚頭部（既設橋脚の最上部 5m 残し）の施工を行った後、橋脚に設置したブラケット支保工による作業床上で柱頭部の施工を行った。その施工は 6,500mm ある施工高を 3 分割施工とし(2,430mm+2,894mm+1,176mm), 1 リフト目で第 1 トラス（ビルドアップ埋込み角鋼管・圧縮トラス）の据付を行い、続いて 3 リフト目で第 2 トラス（UOE 鋼管・引張トラス）の据付を行った。

6.2 張出し部施工

張出し部施工では、5m/block を 6,950kN・m 級 3 主構型移動作業車を用いて実働 14 日/cycle で施工した（写真-9）。

6.3 側径間部・中央閉合部施工

側径間部の施工は支柱式支保工によるオールステージング施工とした。また、中央閉合部の施工（一箇所当り施工延長 上床版：2.3m, 下床版：7.3m）は移動式吊支保工を用いて行った。橋脚付きのタワークレーンの作業半径内で吊支保工の上部梁（橋面上）・下部作業台の組立を行い、上部梁に設置した電動式チェンブロックにて下部作業台を所定の高さまで揚重し、上部梁に設置したゲビンDESTAUBと連結した。中央閉合部まではチルトクと橋面上に据えた小型クレーンにて横引き移動した。

7. 鋼トラス架設概要

7.1 トラス下部コンクリート逆さ打ち

現場へ搬入されたトラスは据付に先立って、ヤード内に組まれた「トラス逆さ打ち架台」に天地逆にして建込み、下床版格点部コンクリートに埋まる範囲のトラス中詰めコンクリートの打設を行った（写真-10）

7.2 トラス建込み・据付位置調整

タワークレーン等にて橋面上に揚重したトラスを、移

動作業車に設置された 2 基の電動トロリーを用いてトラス架台（写真-11）に建込んだ。

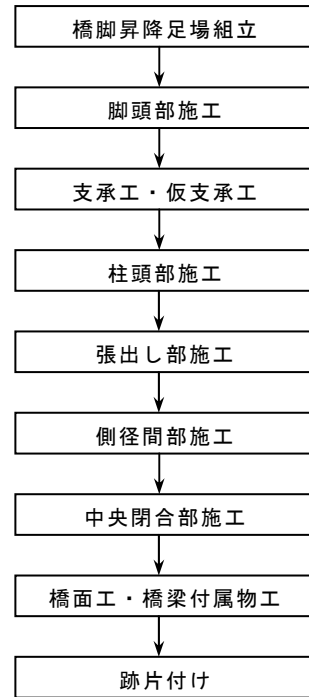


図-9 施工フローチャート



写真-9 移動作業車による張出し施工

表-7 張出し部施工 実施サイクル工程

実働 14 日	1/14	2/14	3/14	4/14	5/14	6/14	7/14	8/14	9/14	10/14	11/14	12/14	13/14	14/14
起点側	下床版	側枠解体		底版セット	トラス建込	トラスセット	鉄筋組立		側枠組立・外ケーブル偏向管取付					
	上床版	側枠・棲枠解体	レール移動	ワーゲン移動			型枠・吊足場移動	型枠セット	棲枠・側枠組立	鉄筋・PC組立		打設段取		新ブロック・トラス下部打設
終点側	下床版	側枠解体			底版セット	トラス建込	トラスセット	鉄筋組立		側枠組立・外ケーブル偏向管取付				
	上床版	側枠・棲枠解体		レール移動	ワーゲン移動			型枠・吊足場移動	型枠セット	棲枠・側枠組立	鉄筋・PC組立			
その他	レイタンス処理	PC緊張	グラウト注入											
	外ケーブル挿入													

次に、建込んだトラスの上下2箇所にある同架台の調整機構（図-10）によって、橋軸方向、橋軸直角方向、高さ方向の3方向に対する微調整を行い、据付を行った。



写真-10 トラス下部コンクリート逆さ打ち

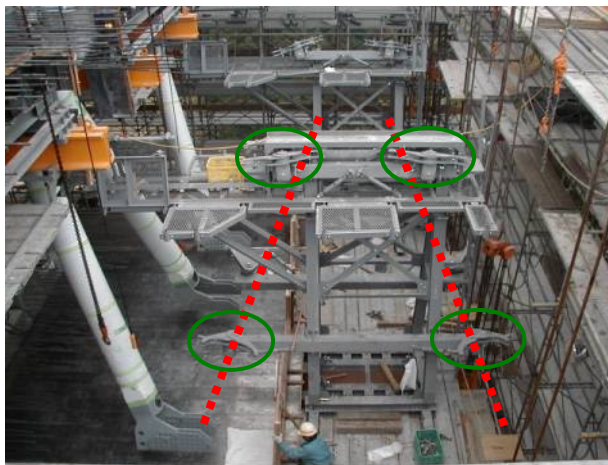


写真-11 トラス架台（側面上方より望む）

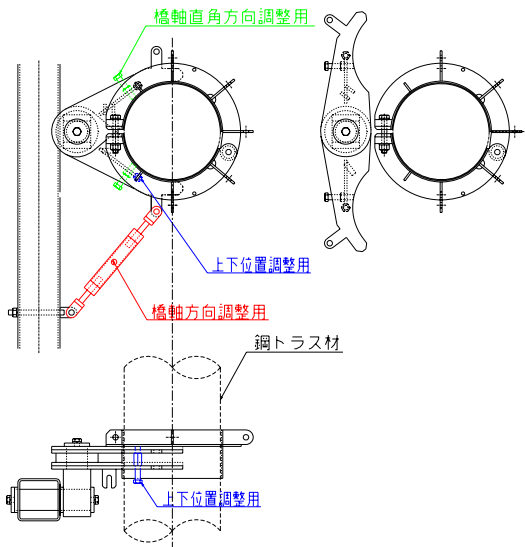


図-10 トラス据付位置調整機構

### 8. 品質・出来形管理に関して

二面ガセット格点構造トラスの据付作業では、計画された上げ越し量に追従するためには、格点部形状の自由度が高い二重管格点構造トラスに比べ、高力ボルト摩擦接合により幾分自由度に制限が掛かるため、高さ方向への修正にはボルト孔径（φ26.5）に対するボルト径（φ22）の遊びによる“トラス本体の回転”を有効利用し、数ブロック手前からの修正を行った。

このトラス本体を回転させる手法によって、トラスを高さ方向だけでなく、橋軸方向へも調整することが可能となった。

また、この手法のみで据付位置の許容誤差範囲内に収まらない場合、二面ガセット部のスプライスプレートのボルト孔位置を高さ方向に対し、引張トラス側と圧縮トラス側で最大5mmずらすことで対応した。

鋼トラスの据付にあたっては、上床版コンクリート、特にトラス格点部まわりの鋼製型枠との取り合い、あるいは格点部に配された鉄筋との干渉等に困難を要した。

また、格点部コンクリートにより圧縮・引張各々のトラス相互間の応力伝達が行われることと、格点部まわりの鉄筋が極めて密に配されていることなどから、当該箇所の確実かつ密なコンクリートの打設・充填を行う必要がある。そのため、ハイピアーが多数を占める本橋では、橋脚に沿わせた縦配管の影響によるスランプロスの管理、筒先周辺における入念な締固め等、シビアな品質管理が要求された。

### 9. あとがき

二面ガセット格点構造に関する耐荷力実験および非線形 FEM による解析を実施し、設計荷重に対して十分な耐荷力を有していることを確認出来、それを詳細設計に反映した。また、厳しい工程の中、製作、架設が完了し、平成 18 年 1 月に無事竣工を迎えることができた。最後に本工事の設計、製作、施工するにあたり、ご指導いただいた中日本高速道路株式会社、第二東名高速道路 PC 複合トラス橋の設計施工に関する技術検討委員会（委員長：池田尚治 横浜国立大学名誉教授）の各委員ならびにご協力いただいた関係各位に深謝する次第である。

### 参考文献

- 1) 青木, 能登谷, 加藤, 高德, 上平, 山口: 第二東名高速道路 猿田川橋・巴川橋の設計・施工, 橋梁と基礎, 2005.5.
- 2) 土木学会, 孔あき鋼板ジベル設計マニュアル (案), 2001.11.