

# 論文 PC複合トラス橋における格点構造の耐荷性能に関する実験的検討

大野 了<sup>\*1</sup>・青木 圭一<sup>\*2</sup>・本間 淳史<sup>\*3</sup>・加藤 敏明<sup>\*4</sup>

要旨：PC複合トラス橋の格点部は、コンクリート床版に鋼トラスを定着させる部位であり、構造上重要となる。著者らは、格点部の定着構造として、トラス材の外周に鋼管を配置し、連結プレートを配した二重管格点構造と格点部で隣接するトラス材をガセットプレートで結合した二面ガセット構造を提案し、第二東名高速道路の猿田川橋・巴川橋への適用を図っている。本論文では、これらの格点部の構造特性を確認するために実施した1/2複合トラスはり模型実験とその結果等について述べる。検討の結果、これらの格点部は、各設計荷重レベルにおいて十分な耐荷性能を有していることを確認した。

キーワード：PC複合トラス橋，格点部構造，耐荷性能，せん断耐力

## 1. はじめに

従来、山岳部の急峻な地形では片持架設工法によるPC箱桁橋が多く採用されている。しかし、支間が長くなる場合には、断面力に対する自重の影響や施工性の問題等が生じる可能性がある。

図-1に示すPC複合トラス橋は、PC箱桁橋のウェブに鋼トラスを用いたコンクリート・鋼複合構造橋である。PC箱桁橋の15~30%程度の自重を占めるコンクリートウェブを鋼トラスに置換することで自重の低減を図るとともに、基礎・下部構造の負担を低減することができる。

PC複合トラス橋のトラス材と上下床版との定着部(以下、格点部と称す。)は、軸力および曲げモーメント、せん断力を伝達する重要な部位である。著者らは、図-2に示す二重管格点構造と図-3に示す二面ガセット格点構造を提案し、第二東名高速道路の猿田川橋・巴川橋への適用を図っている。これらの格点部の基本的な構造性能は、これまでに格点部に着目した耐荷力実験等により十分な耐力を有していることを確認している<sup>1),2),3)</sup>。本論文では、2種類の格点構

造を有した複合トラス橋を1/2スケールでモデル化したはり模型実験とその実験結果および考察について述べる。

## 2. 格点構造

### 2.1 二重管格点構造

二重管格点構造は、端部の外側にリブを設けたトラス材、内外リブ付き孔あき鋼管および連結プレートで構成される。トラス材に作用する軸力は、トラス材と鋼管間のコンクリートを介して、内外リブ付き孔あき鋼管に伝達される。さらに、この軸力は、せん断力として外周部の鉄筋コンクリート(以下、RCと記す。)および

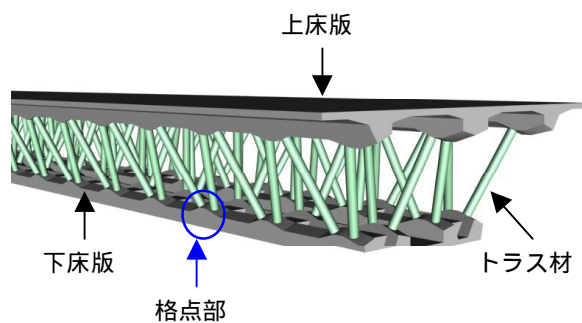


図-1 PC複合トラス橋イメージパース

\*1 (株)大林組 技術研究所 土木構造研究室 工修 (正会員)

\*2 日本道路公団 静岡建設局 建設部 構造技術課 工修

\*3 日本道路公団 静岡建設局 静岡工事事務所 工修

\*4 (株)大林組 土木技術本部 構造技術部 工博

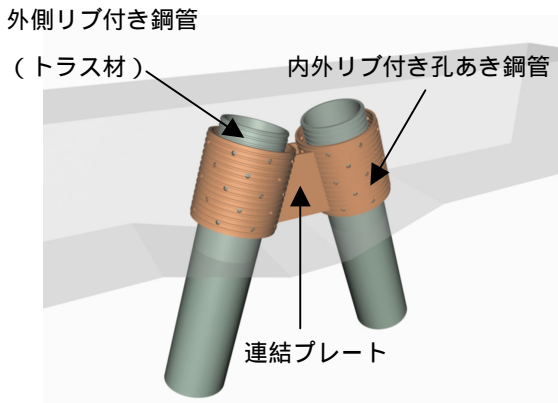


図 - 2 二重管格点構造

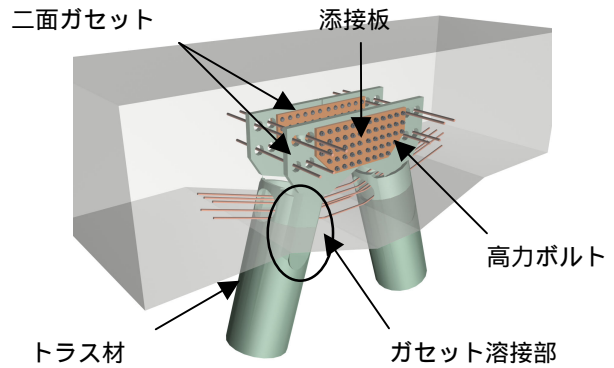


図 - 3 二面ガセット格点構造

連結プレートに伝達される。したがって、格点部の耐荷力は、外周部の RC のせん断耐力と連結プレートのせん断耐力で評価されると考えられる。

### 2.2 二面ガセット格点構造

二面ガセット格点構造は、コンクリート桁内部で、トラス材端部に溶接したガセットを高力ボルトで添接板に摩擦接合した構造である。トラス材軸力は、基本的に高力ボルトにより摩擦接合された鋼部材間で直接伝達されると考えられる。

## 3. 試験体

### 3.1 目的

第二東名高速道路の猿田川橋の 1/4 構面を模擬した上下床版，トラス材および格点部で構成される試験体を用い，各格点部のせん断挙動とともに力の伝達機構に着目した。図 - 4 に試験体の概要を示す。試験体は、実橋の柱頭部から

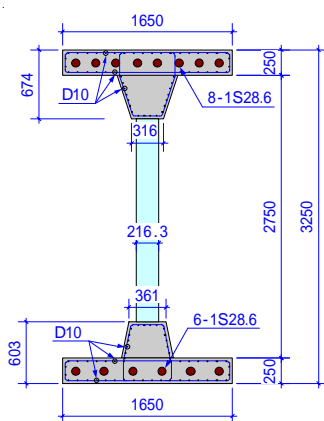
の張出し部分を対象に、6本のトラス材と6ヶ所の格点部を有する。第1～3格点部を二面ガセット格点構造とし、第4～6格点部を二重管格点構造とした。なお、上下床版には、実橋の設計荷重時におけるコンクリートの斜引張応力度が  $-2.0\text{N/mm}^2$  程度となるようにプレストレス(上床版：8 - 1 S 28.6，下床版：6 - 1 S 28.6)を導入した。使用した材料とその強度試験結果を表 - 1 に示す。

### 3.2 パラメータ

二重管格点構造のせん断耐力は、RCのせん断耐力と連結プレートのせん断耐力として考慮されることから、せん断補強筋量と連結プレートの厚さをパラメータとして、第4～6格点部に適用した。表 - 2 に各格点部の諸元を示す。

### 3.3 载荷概要

载荷は、試験体頭部に取り付けたアクチュエータにより鉛直方向に漸増繰返し载荷とした。繰返し荷重は、設計荷重最大時と最小時の間およ



格点部断面図

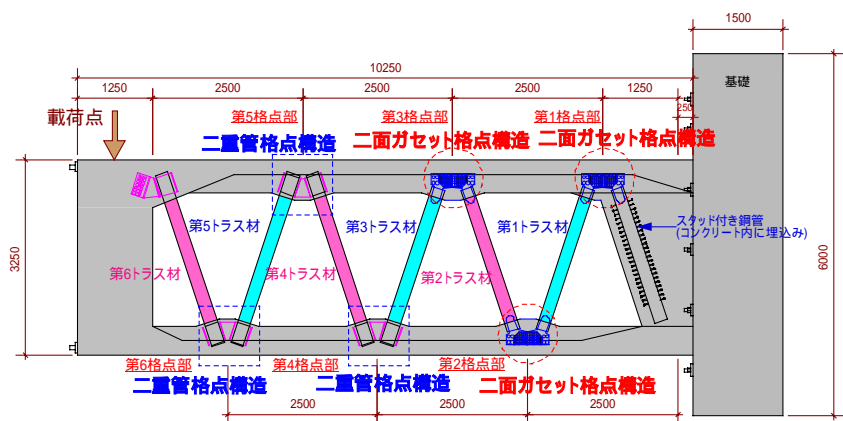


図 - 4 複合トラスはり試験体

表 - 1 使用材料

	材 料	降伏点 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 ( $\times 10^4$ N/mm <sup>2</sup> )	適用
トラス材	STK490 ( 216.3 t=12.7)	496	21.1	第 1～第 6 トラス材
連結プレート	SM490A (t=10.0)	339	21.1	第 6 格点部 (二重管格点構造)
	SM490A (t=12.0)	392	21.0	第 4 格点部 (二重管格点構造)
	SM490A (t=14.0)	318	20.6	第 5 格点部 (二重管格点構造)
添接板	SM490YA (t=13.0)	414	21.4	第 1～第 3 格点部 (二面ガセット格点構造)
鉄 筋	D10 (SD345)	354	18.7	上下床版主鉄筋, せん断補強筋 (第 4, 6 格点部を除く)
	D13 (SD345)	349	19.1	第 4 格点部のせん断補強筋
	D16 (SD345)	353	18.8	第 6 格点部のせん断補強筋
コンクリート <sup>1)</sup>	トラス材中詰め (27-15-13H)	50.5 (3.73)	2.89	圧縮トラス材充填コンクリート
	下床版 (27-15-13H)	47.2 (3.70)	2.68	下床版
	上床版 (27-15-13H)	43.9 (4.04)	2.79	上床版

1) コンクリートの圧縮強度と引張強度は, 表中の降伏点の欄に示した。( ) 内は, 引張強度を示す。

表 - 2 二重管格点構造のパラメータ

適用格点部	せん断補強筋	連結プレート	適用
第 5 格点部	SD345 D10@65 ( $p_w=0.0050$ )	SM490A t14×2	連結プレートの分担割合大
第 4 格点部	SD345 D13@75 ( $p_w=0.0077$ )	SM490 A t12×2	実橋での負担割合
第 6 格点部	SD345 D16@85 ( $p_w=0.0106$ )	SM490 A t10×2	連結プレートの分担割合小

び L2 地震最大時と最小時の間でそれぞれ 3 回の繰返しとした。図 - 5 に載荷ステップを示す。なお, 今回の試験体形状およびその載荷形式では, 事前に実施した弾性骨組み解析から, 第 3～5 トラス材の軸力が卓越することとなる。また, 第 1,3,5 トラス材の軸力が引張りとなり, 第 2,4,6 トラス材のそれが圧縮となる。

#### 4. 破壊性状

##### 4.1 破壊過程

図 - 6 に試験体載荷点での荷重 (P) と鉛直変位 ( ) の関係を示す。また, 写真 - 1 に載荷終了時の試験体全景を示す。試験体の破壊過程

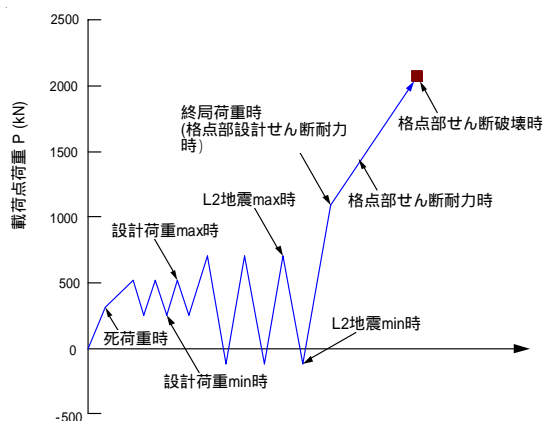


図 - 5 載荷ステップ

は, 以下の通りであった。L2 地震最大時まで大きな損傷はなく, 終局荷重時 (P=1074.7kN) 付近で, 第 3,4,5 格点部の引張トラス材付け根に放射状のひび割れが入ったが, 荷重は低下しなかった。その後, P=1200.2kN で第 3, 5 格点部に, P=1230.2kN で第 4 格点部にそれぞれ初期のせん断ひび割れが発生した。さらに荷重を増加させると, P=2080.6kN で第 5 格点部の連結プレートが初降伏し, P=2250.2kN で第 5 格点部のせん断補強筋が降伏した。さらに, P=2370.2kN で第 5 格点部の連結プレートが全降伏し, 荷重が若干低下した。その後, P=2382.0kN (最大荷重) で第 4 格点部のせん断補強筋の降伏と連結プレートの全降伏により荷重が再度低下した。そのまま載荷を続けると, 第 2 格点部付近の第 1 トラス材側下床版のコンクリートが曲げ圧壊し, 荷重が大きく低下した。

以上の破壊状況から, 各格点部は, 想定した各設計荷重段階に対して, 十分な耐荷性能を有していることが確認できた。また, せん断力が卓越する格点部が複数配置された複合トラス橋では, 万一, 一つの格点部が破壊した場合でも, 脆性的な破壊とはならず, 耐荷力を保持することから, 橋梁

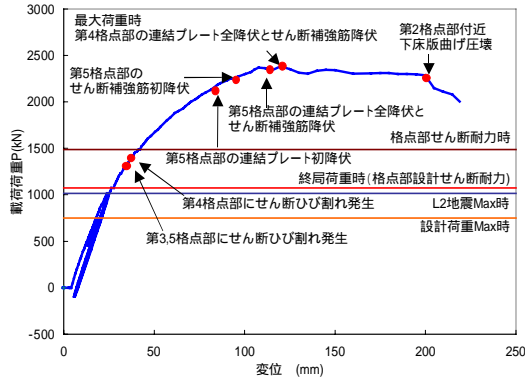


図 - 6 荷重～変位関係

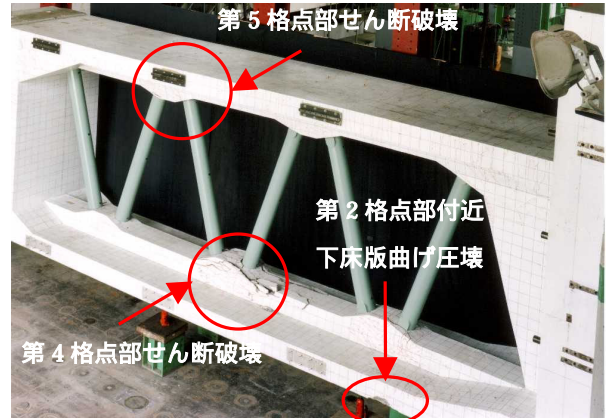


写真 - 1 実験終了時試験体全景

全体で変形性能の優れた構造であることが分かった。

#### 4.2 格点部の応力性状

ここでは、実験時にせん断ひび割れの進行が顕著あるいはせん断破壊した第 3,4,5 格点部の応力性状について述べる。各格点部の添接板、連結プレートの応力履歴を、せん断補強筋のそれを図 - 8 にそれぞれ示す。また、写真 - 2 に各格点部のひび割れ状況を示す。なお、図 - 7 に示した各応力度は、3 軸のひずみゲージにより測定したひずみから応力度を算定し、式(1)による値が降伏応力度に達した時にプレートが降伏したと判定した。

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad (1)$$

##### (1) 第 5 格点部

連結プレートの応力は、荷重の増加とともに増大し、プレート幅の狭い箇所から順次、降伏

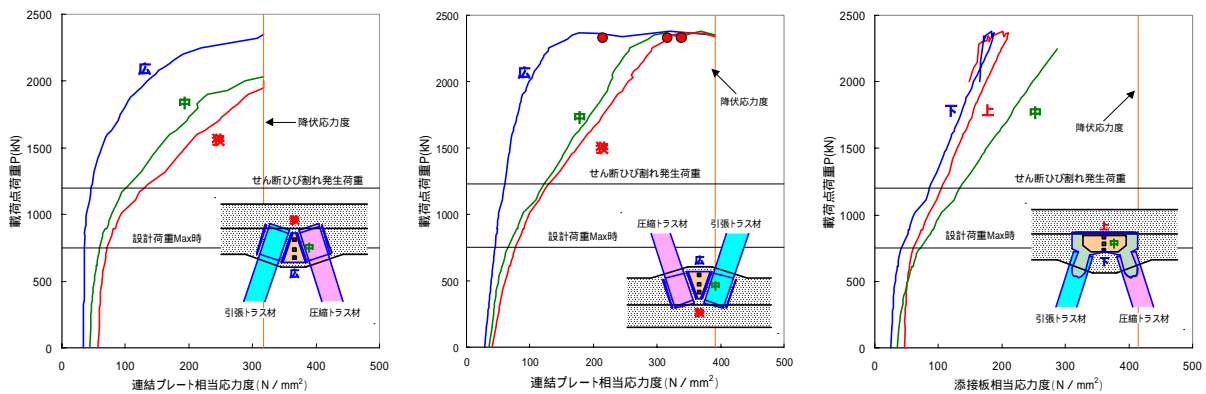
応力に達している。また、せん断補強筋の応力も同様に荷重の増加とともに増大し、降伏応力に達しているものもある。

##### (2) 第 4 格点部

連結プレートとせん断補強筋の応力は、第 5 格点部の応力性状と同様に、荷重の増加とともに増大するが、第 5 格点部の連結プレートが全降伏（図中の印）した後、連結プレートの応力が急激に増加している。これは、第 5 格点部が降伏ヒンジとなり、第 4 格点部に力が伝達されたため、第 4 格点部のプレート応力が増加したと推測できる。

##### (3) 第 3 格点部

添接板の応力は、載荷期間中、降伏応力に達しなかった。また、せん断補強筋も一部降伏しているものの、その他は、降伏応力に対して余裕がある。このことから、第 5 格点部、第 4 格点部がせん断破壊した後、下床版の曲げ圧壊に

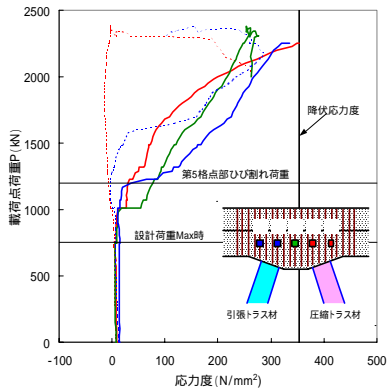


(a) 第 5 格点部

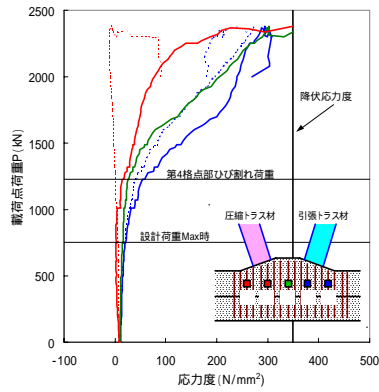
(b) 第 4 格点部

(c) 第 3 格点部

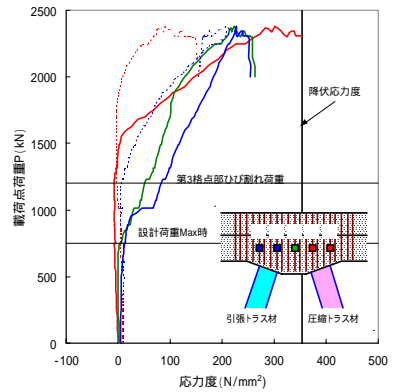
図 - 7 連結プレートおよび添接板の応力履歴



(a) 第5格点部

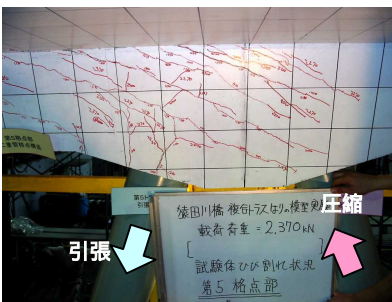


(b) 第4格点部



(c) 第3格点部

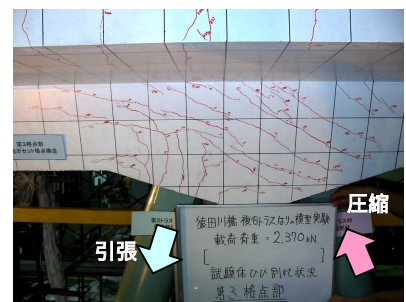
図 - 8 せん断補強筋の応力履歴



(a) 第5格点部



(b) 第4格点部



(c) 第3格点部

写真 - 2 格点部のひび割れ状況

至るまで十分な耐荷力を保持していたと推測できる。

## 5. 二重管格点構造のせん断耐力の評価

### 5.1 格点部に作用するせん断力の推定

格点部に作用するせん断力は、直接計測できないため以下の方法により推定した。図 - 9 に作用断面力の模式図を、表 - 3 に推定した作用力の一覧を示す。

#### (1) トラス材から伝達されるせん断力

トラス材ひずみを積分することによりトラス材軸力を算定し、その鉛直成分をトラス材から格点部に作用するせん断力とした。

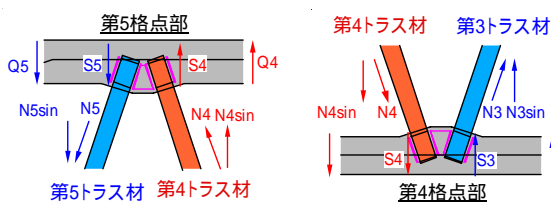


図 - 9 格点部まわりの作用断面力

#### (2) 上下床版から伝達されるせん断力

上下床版の主鉄筋のひずみ分布から平面保持を仮定し、各断面のモーメントを算定し、隣合う断面間でのモーメント勾配より上下床版のせん断力を推定した。

#### 5.2 格点部のせん断耐力

二重管格点部のせん断耐力は、2002年度に実施した格点部単体での実験およびその検討<sup>2),3)</sup>から、コンクリート、せん断補強筋および連結プレートの負担分の総和として考えることができ、式(2)~(5)で安全側に評価できる。ここでは、本試験体での適用性を検討する。

$$V_{us} = V_c + V_s + V_p \quad (2)$$

ここに、

$V_{us}$  : 二重管格点構造のせん断耐力

$V_c$  : コンクリートのアーチ機構によるせん断耐力

$V_s$  : せん断補強筋のトラス機構によるせん断耐力

表 - 3 格点部まわりの作用力

単位(kN)

格点部	トラス材軸力		Nsin	床版のせん断力		格点部せん断力		平均
第5格点部	N4	4390	4170	Q4	-1340	S4	2830	2850
	N5	2710	2570	Q5	300	S5	2870	
第4格点部	N3	4020	3820	Q3	-510	S3	3310	3370
	N4	4390	4170	Q4	-740	S4	3430	

表 - 4 実験値と計算値の比較

単位(kN)

格点部	実験値	計算値				/
		V <sub>us</sub>	V <sub>c</sub>	V <sub>s</sub>	V <sub>p</sub>	
第5格点部	2850	2460	350	680	1430	1.16
第4格点部	3370	2920	380	1030	1510	1.15

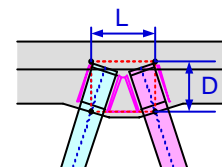


図 - 10 せん断負担範囲

V<sub>p</sub> : 連結プレートのせん断耐力

$$V_c = \alpha \cdot \sigma_c \cdot b \cdot \left(\frac{D}{2}\right) \sin \theta \quad (3)$$

ここに,

c : コンクリートの圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)

α : コンクリートの圧縮強度に関する有効係数で, 現状では, 0.22 とする。

b : 有効幅(mm)

D : 有効高さ(mm) (図 - 10 参照)

θ : アーチ機構の角度(°)で  $\tan \theta = (D/2) / L$  とする。

L : せん断スパン(mm) (図 - 10 参照)

$$V_s = \frac{\sigma_{sy} \cdot A_s \cdot D}{1.15 \cdot s} \cdot \cot \phi \quad (4)$$

ここに,

σ<sub>sy</sub> : せん断補強筋の降伏応力度(N/mm<sup>2</sup>)

A<sub>s</sub> : せん断補強筋の断面積(mm<sup>2</sup>)

s : せん断補強筋の配置間隔(mm)

φ : コンクリートの圧縮斜材角度(°)

$$V_p = \tau_{sy} \cdot A_w \quad (5)$$

ここに,

τ<sub>sy</sub> : 連結プレートのせん断降伏強度(N/mm<sup>2</sup>)

A<sub>w</sub> : 連結プレートの断面積(mm<sup>2</sup>)

表 - 4 に実験で得られた作用せん断力とせん断耐力式による計算値の比較を示す。実験値は計算値の約 15%程度大きくなっている。この原因として, 提案式がプレストレスの効果によるコンクリートの負担分の増加を考慮できていないことが挙げられるが, 現段階では, 概ね安全側に評価できていると考えている。ただし, 今後, FEM 解析等を実施し, より精度の高い実験結果の検証を実施する必要がある。

## 6. まとめ

2種類の格点構造(二重管格点構造と二面ガセット格点構造)を有した複合トラス橋のはり模型実験を実施し, その結果, 十分な耐力と変形性能を有していることを確認した。また, 格点部構造も, 十分な耐荷性能を有していることを確認した。今後, これらの実験成果を吟味し, 実橋への適用を検討するとともに, 精度の高い評価式等を提案していきたい。

## 謝辞

本研究を実施するにあたり, 「第二東名高速道路 鋼・トラス複合構造橋梁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)」の委員の方々をはじめ関係各位に貴重な助言をいただきました。ここに記して, 厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 野村, 本間, 松田, 星加: PC 複合トラス橋格点部の構造特性に関する実験的研究, 土木学会第 58 回年次学術講演会, V-232, pp.463 ~ 464, 2003.9
- 2) 富永, 青木, 野村, 星加: PC 複合トラス橋格点部におけるせん断耐荷機構の解析的検討, 土木学会第 58 回年次学術講演会, V-232, pp.465 ~ 466, 2003.9
- 3) 松田, 加藤, 野村, 星加: PC 複合トラス橋格点部の引抜き耐力に関する実験的検討, 土木学会第 58 回年次学術講演会, V-232, pp.467 ~ 468, 2003.9