

(17) 複合トラス構造格点部の試験

オリエンタル建設(株) 技術研究所  
 同 上  
 新日本製鐵(株) 鉄構海洋事業部  
 同 上

○二井谷教治  
 正会員 江口 信三  
 室井 進次  
 野呂 直以

1. はじめに

主桁自重の軽量化,あるいは構造の合理化を図った複合構造の橋梁が,フランスを中心に発展してきている。複合トラス橋は,従来のプレストレストコンクリート箱桁橋のウェブを鋼トラスで置き換えた構造で,鋼とコンクリートのそれぞれの特徴を活かした構造である。このタイプの橋梁は,わが国において施工実績はないが,下部工を含めた全体構造の合理化,あるいは圧迫感の少ない景観の理由から,第二東名において2橋の施工が計画されている。複合トラス構造の適用支間は,100m程度あるいはそれ以上が考えられ,施工方法も張り出し架設工法などが考えられる。

このような背景を有する複合トラス橋において,格点部は鋼斜材とコンクリート床版との接合点であり,その構造は,経済性,耐久性を左右するだけでなく,施工性の面からも重要な部分である。したがって,断面力の確実な伝達性能および施工性能を兼ね備えた構造を開発することが重要となる。

試験に供した格点構造の概略を図-1~2に示す。斜材およびせん断キー(以下リングシャーキー)に鋼管を使用し,引張および圧縮斜材をそれぞれ雄型および雌型構造としている。格点部は斜材を直接コンクリート床版に埋め込み,コンクリートを介して斜材から斜材へ軸力の伝達を行う機構を有する。したがって,格点部周辺の床版および鋼管内に,コンクリートを確実に充填することが重要となる。本試験では,その構造上,コンクリート打設が比較的煩雑となる下床版側格点部に着目し,その一部を取り出した形の実物大供試体を用い,コンクリートの打設手順,打設方法および充填性能を確認する目的でコンクリートの打設試験を行ったので報告する。さらに,コンクリート打設試験で確認した方法によってコンクリートを打設した供試体を用い,静的載荷試験を行ったので,その試験結果についても報告する。

2. コンクリート打設試験

2.1 供試体

供試体の形状寸法を図-3に示す。これは,載荷試験供試体の格点部を中心に各部材を取り出したもので,圧縮斜材,引張斜材および床版で構成される。断面形状に関しては,斜材の鋼管および床版の部材厚を鉛直方向に中心線で半割にしたものである。半割にした面は,型枠をアクリル製にすることによって,コンクリ

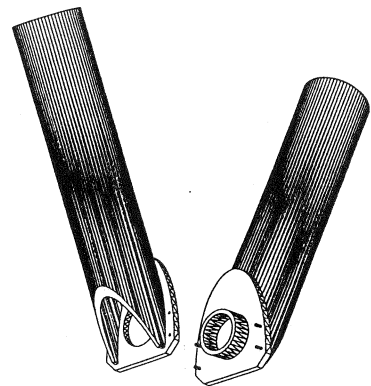


図-1 対象とする格点構造の概略

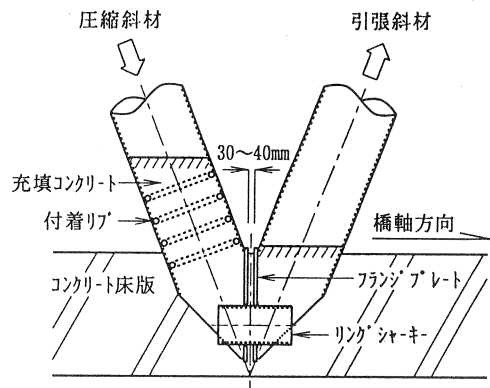


図-2 格点の構造

表-1 コンクリートの配合

コンクリート種類	粗骨材の最大寸法(mm)	スランプ(cm)	スランプ70-(cm)	水セメント比 W/C (%)	水粉体比 W/(C+LS) (%)	空気量 (%)	細骨材率 s/a (%)	SPの添加率 SP/P (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )								
									水 W	セメント C	膨張材 E	混和材 L S	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 A 1	混和剤 A 2	増粘剤 A 3
普通	20	8±2.5	—	50	—	3±1.5	45	—	165	330	—	—	813	1005	6.6	—	—
高流動	13	—	65±5	70	32.7	2.5±1.5	50	2.1	180	257	40	253	790	796	—	11.6	0.4

ート打設時に充填状況を確認できる構造とした。鋼材配置も載荷試験供試体と同様にし、それを半割にした配置とした。

試験では下床版側の格点部を対象とした。これは、図-1に示すように、施工誤差の吸収および上げ越し調整を行う目的で、フランジプレート間に標準で40mmの間隙を設けている。この間隙は、下床版側にしか設けておらず、しかも、格点部周辺のコンクリート打設状況を確認することが困難なためである。供試体の全景を写真-1に示す。

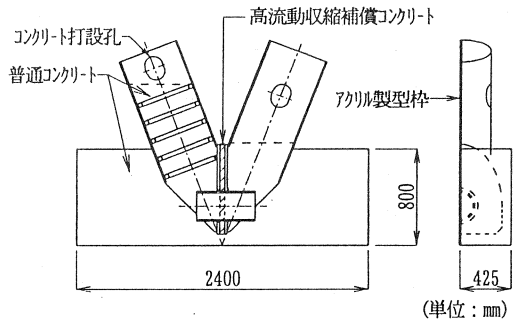


図-3 コンクリート打設試験供試体形状寸法

## 2.2 コンクリート

打設試験に使用したコンクリートは、普通コンクリートと高流動コンクリートとの2種類とした。床版部および鋼管内部など一般部には普通コンクリートを用いたが、両斜材のフランジプレート間は、目地幅が標準で40mmと狭いため、この部分へのコンクリート打設は、充填性を考慮して高流動コンクリートを使用した。また、高流動コンクリートは、間隙部コンクリートの乾燥収縮による、プレートとコンクリートとの肌別れを防止するため、膨張剤を添加し、収縮補償コンクリートとした。コンクリートの配合を表-1に示す。

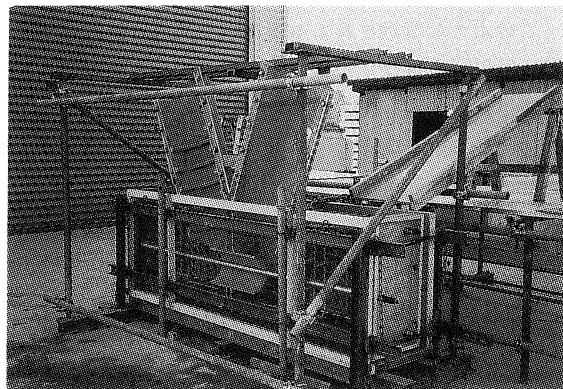


写真-1 コンクリート打設試験供試体全景

## 2.3 試験方法

下床版側の格点部は、斜材の鋼管が直接床版に埋め込まれるため、上床版側に比べ、床版の下縁などコンクリートの充填状況を確認することが困難となる。このため、コンクリートの打設は、あらかじめ設定した打設手順および確認項目にしたがって進めた。打設手順の概略は以下の通りである。まず、床版部に普通コンクリートをホッパーおよびシュートを用いて打設する。内部振動機によりコンクリートを締めながら、数回の打設工程で床版部のコンクリート打設が完了する。それに続き、斜材鋼管内部のコンクリート打設に移る。コンクリートは、鋼管に設けられた打設孔から投入し、内部振動機により振動締めめを行いながら所定の高さまでコンクリートを打設する。最後に、両斜材のフランジプレート間目地部に高流動コンクリートを流し込む。ただし、この場合は振動締めめを行わない。コンクリート打設時には、供試体の半割にした面のアクリル製型枠を通し、各部の充填状況を観察した。コンクリートの打設状況および打設完了状況を写真-2~3に示す。

## 2. 4 試験結果

コンクリート打設試験時の普通コンクリートのスランプは8cm, 高流動コンクリートのスランプフローは61cmと配合設計通りであった。普通コンクリートについては、格点部周辺の特に充填状況が確認し難い部分では、コンクリート打設に神経を使い、時間も多少費やすものの、所定の打設手順および確認項目にしたがって打設すれば、コンクリートを十分に充填することができた。また、フランジプレート間目地部の高流動コンクリートについては、振動締固めを行わなくても、流し込むだけで十分に充填することができた。載荷試験供試体も同様の手順にてコンクリートを打設した。載荷試験終了後、フランジプレート間および軸方向に切断してコンクリートの充填状況を確認したところ、完全に充填されていることが確認できた。切断面の状況を写真-4に示す。

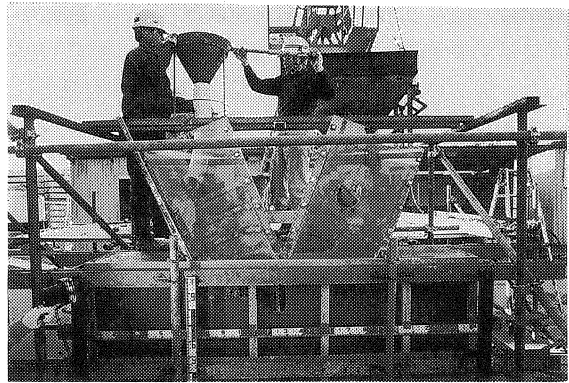


写真-2 コンクリート打設状況

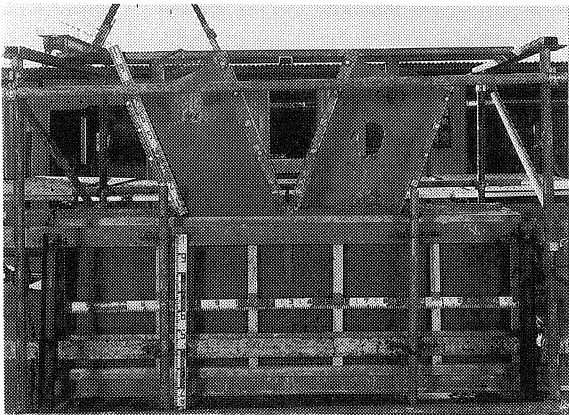


写真-3 コンクリート打設完了状況

## 3. 静的載荷試験

### 3. 1 供試体

試験に用いる供試体の寸法, 設計荷重などを決定するため, 図-4に示す橋梁を想定した。供試体は, 想定橋梁の中から支間中央部の下床版側格点部を対象とし, 寸法は実物大とした。格点部の配筋状況を図-5に示す。コンクリート床版には, PC鋼棒φ32mmを5本配置し, プレストレスを導入している。プレストレス量は, 設計荷重作用時に, コンクリート床版下縁の引張応力度が $1.2\text{N}/\text{mm}^2$ になるよう設定した。供試体に使用した各材料の物理的性質の試験値を表-2に示す。

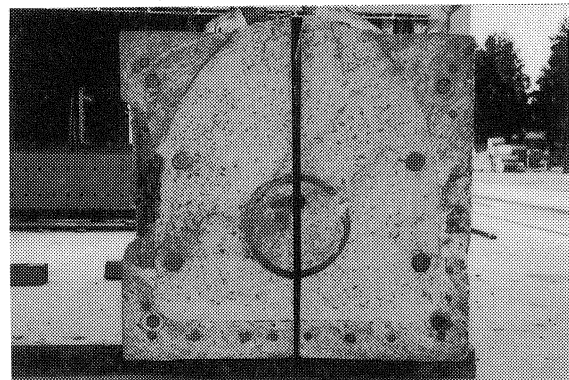


写真-4 切断面のコンクリート充填状況

### 3. 2 試験方法

試験装置は図-6に示すように, 圧縮・引張斜材とコンクリート床版からなる供試体部と, 鋼製の治具とを組み合わせたトラス状の構造とした。荷重の

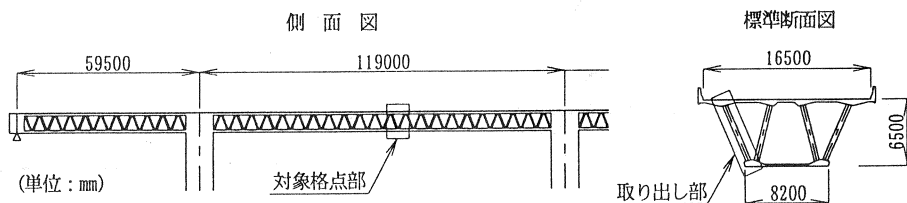


図-4 想定橋梁

荷重は、能力 20000kN の荷重試験機を用い、鉛直方向に静的荷重を行った。荷重の荷重ステップは、図-7に示すように、4段階の漸増荷重とした。まず、圧縮斜材の軸力が 483kN に達するまで、予備的荷重を行った。第2のステップでは、設計荷重時の斜材軸力（以下  $N_d$  とする）である 1127kN が作用する荷重をピークとして荷重を行った。このときの鉛直方向荷重荷重は、約 3430kN である。その後、いったん荷重を除荷し、第3のステップでは、斜材軸力が  $N_d$  の3倍になるまで荷重を増加した。再度荷重を除荷した後、格点部の耐力を確認するため、荷重装置の最大能力まで荷重を増加した。このときの最大荷重荷重は 12250kN、作用軸力としては 4025kN である。測定項目は、鋼材およびコンクリートのひずみを中心に行い、コンクリートのひび割れ状況についても観察した。

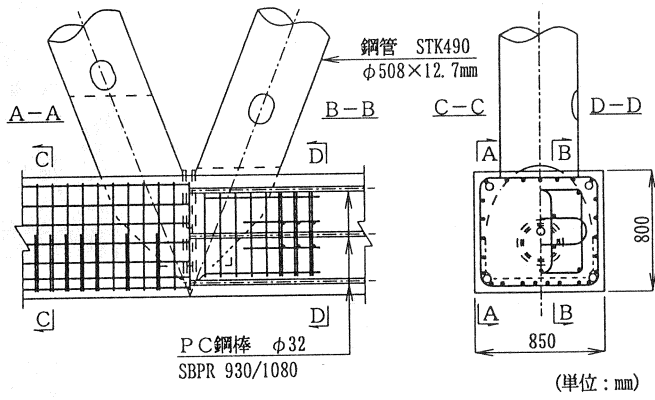


図-5 供試体格点部配筋状況

### 3.3 試験結果および考察

静的荷重試験における、供試体に発生した主な現象と、そのときの斜材軸力を表-3に示す。設計軸力  $N_d$  作用時は、コンクリートのひび割れやその他の異常は確認されなかった。床版コンクリートに最初にひび割れが発生したのは、斜材軸力が設計値の 1.3 倍作用した時点であった。これは、コンクリート床版に発生する引張軸力と曲げモーメントの作用に起因するひび割れであり、弾性解析値とほぼ一致した。試験終了時のひび割れ発生状況を図-8に示す。曲げひび割れが最初に発生した位置は、図中の①部である。その後、ひび割れが多少進展した後、斜材軸力が設計値の 1.6 倍の時に、斜めひび割れが発生した。その位置は、図-8に示す②の位置であり、格点部のちょうど中央部にあたる。その発生角度からも、局部的に作用するせん断力に起因する斜引張りひび割れであ

表-2 使用材料

コンクリート	普通	高流動
圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	47.9	47.2
弾性係数(N/mm <sup>2</sup> )	2.92×10 <sup>4</sup>	2.78×10 <sup>4</sup>
鉄筋 (SD345 D16, D19)		
降伏強度(N/mm <sup>2</sup> )	368	
引張強度(N/mm <sup>2</sup> )	592	
弾性係数(N/mm <sup>2</sup> )	2.06×10 <sup>5</sup>	
P C 鋼材 (SBPR 930/1080 φ32)		
降伏強度(N/mm <sup>2</sup> )	1010	
引張強度(N/mm <sup>2</sup> )	1130	
弾性係数(N/mm <sup>2</sup> )	2.04×10 <sup>5</sup>	
鋼管	斜材	リングシャキ-
種類	STK490	SM570
寸法	φ508×12.7	φ250×14
降伏強度(N/mm <sup>2</sup> )	410	621
引張強度(N/mm <sup>2</sup> )	576	682
弾性係数(N/mm <sup>2</sup> )	2.12×10 <sup>5</sup>	1.89×10 <sup>5</sup>

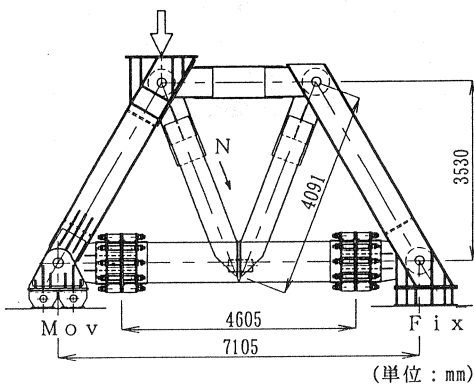


図-6 荷重装置

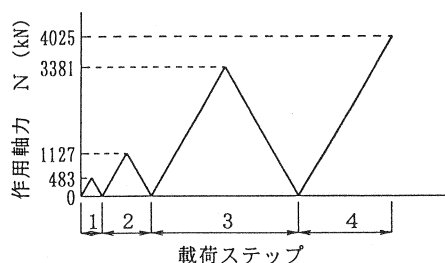


図-7 荷重荷重ステップ

ると考えられる。図-9は、格点中心部におけるスターラップおよびリングシャーキーのひずみ測定位置であり、図-10は図-9に示すように、斜めひび割れ発生位置のスターラップひずみである。

表-3 載荷試験結果

斜材軸力 (kN)	設計軸力に対する比	供試体の状況
1127	1.0・Nd	異常なし
1450	1.3・Nd	床版コンクリート下縁ひび割れ発生
1770	1.6・Nd	格点部コンクリート斜めひび割れ発生
3380	3.0・Nd	リングシャーキーの一部降伏 (規格値に対して)
4025	3.6・Nd	最大載荷荷重: 耐力保持

この図より、斜めひび割れが生じるまで、スターラップのひずみはほとんど発生していないが、ひび割れ発生後からひずみが増加し、スターラップにせん断力が伝達され始めたことがわかる。しかしながら、ひび割れ発生後のひずみの増加割合は、荷重の増加とともに減少し、

最大荷重時である設計軸力の3.6倍の時点においても、スターラップは降伏に達していない。これは、本格点構造のせん断キーであるリングシャーキーが、せん断力を負担しているためであると考えられる。図-11に、図-9に示す中央断面位置のリングシャーキーひずみの測定結果を示す。スターラップ同様、斜めひび割れ発生後ひずみが増加しているが、増加割合は弾性的である。リングシャーキーは、斜材軸力が設計値の3.0倍に達したとき、規格値に対して降伏ひずみに達した。しかしながら、最大荷重時においても実強度に対しては降伏ひずみに達しておらず、耐力を保持した。これらのことから、本実験で用いた格点構造では、格点部に局部的に生じるせん断力に対して、リングシャーキーが有効に機能しており、急激な破壊には至らないと考えられる。

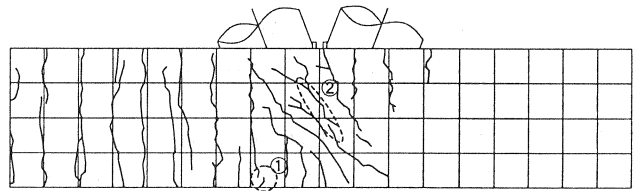


図-8 試験終了時ひび割れ発生状況

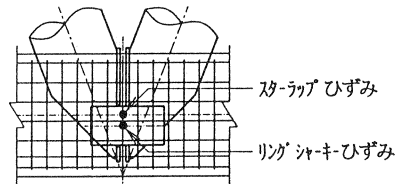


図-9 ひずみ測定位置

最大載荷荷重時までには、図-8に示すように床版の全厚をひび割れが貫通し、ひび割れ本数も増加した。その時点でも、PC鋼材は降伏に達しておらず、床版の耐荷力は維持している。なお、ひび割れが格点を中

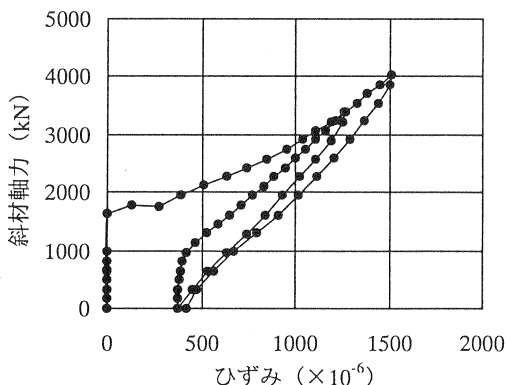


図-10 スターラップのひずみ

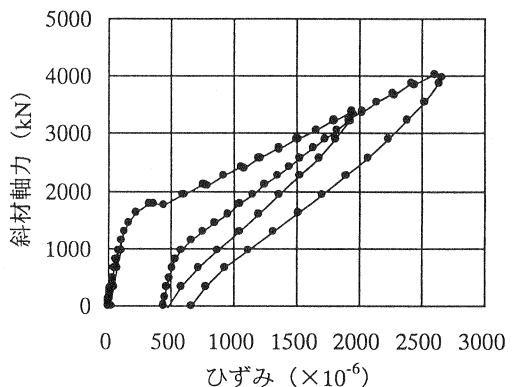


図-11 リングシャーキーのひずみ

心として左側に集中しているのは、床版に作用する軸力の差によるものである。また、斜めひび割れは格点部にのみ集中しており、局部的にせん断力が作用していることがわかる。格点を構成する鋼材に関しては、リングシャーキーは健全で破壊には至っておらず、最大載荷荷重に対しても耐力を保持した。

#### 4. まとめ

コンクリート打設試験および静的載荷試験から、得られた結果を以下に列挙する。

- (1) コンクリートの打設順および充填確認項目を定め、その手順にそって打設することによって、確実にコンクリートを充填できる。
- (2) フランジプレートの間隙部は、施工時の調整を可能にするとともに、高流動収縮補償コンクリートを使用することによって、信頼性の高い施工が可能となる。
- (3) コンクリート床版下縁のひび割れ発生荷重は、弾性解析値とほぼ一致した。
- (4) 格点部に斜めひび割れが発生したが、リングシャーキーの作用により、急激な破壊には至らなかった。
- (5) 格点部は、設計軸力の3.6倍以上の耐力を有した。

今後、さらに格点部の応力伝達機構を分析し、より効率的な格点の設計手法および斜めひび割れに対する制御方法を確立していきたい。

#### 参考文献

- 1) 黒岩 正・後藤 昭彦：巴川橋，猿田川橋の設計－鋼トラスウェブPC橋－，プレストレストコンクリート，Vol.41, No.2, pp41～47, 1999.3