

報告 鋼トラスウェブ格点構造の静的および疲労試験

江口 信三^{*1}・二井谷 教治^{*1}・関口 信雄^{*2}・野呂 直以^{*2}

要旨：主桁自重の軽減，工期短縮を目的に鋼トラスウェブPC橋が注目されているが，格点構造について研究された例は少ない。そこで，斜材の鋼管をコンクリート床版に埋め込み，コンクリートを介して鋼管同士を接合するタイプの格点構造を提案し，中央径間11.9mの橋梁を想定して，静的および疲労試験用の供試体を実物大で製作し，静的載荷試験および200万回の疲労試験を行った。その結果，静的載荷試験では試設計で想定した設計荷重の3.6倍以上の耐力を有し，疲労試験では，耐力低下はみられなかった。

キーワード：鋼トラスウェブPC橋，格点構造，疲労

1. はじめに

主桁自重の軽減，工期の短縮を目的に，従来のプレストレストコンクリート(以下，PC)箱桁橋のウェブを鋼トラスで置き換えた鋼トラスウェブPC橋が注目されている。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，第二東名高速道路において2橋の施工が計画されている¹⁾。鋼トラスウェブPC橋の適用支間は，40~120m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²⁾。

このような背景を有する鋼トラスウェブPC橋において，格点構造は鋼トラス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，引張斜材(雄型)のフランジプレートにリングシャーキーを溶接にて接合し，圧縮斜材(雌型)にリングシャーキーを差し込む構造としている。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している。さらに，施工中の上げ越しや施工誤差を吸収するために，下床版の両斜材のフランジプレート間に，30~40mmの間隙を設けている。この間隙部へのコンクリートの打込みは，充填性を考慮して高流動コンクリートを使用する。また高流動コンクリートは，間隙部の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。

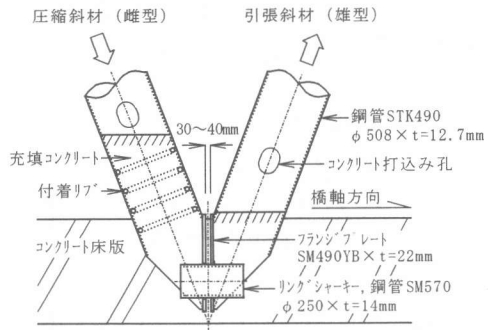


図-1 格点の構造

*1 オリエンタル建設(株) 技術研究所 (正会員)

*2 新日本製鐵(株) 鉄鋼海洋事業部

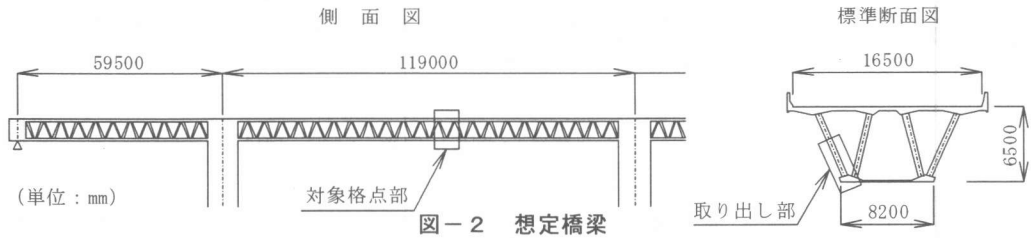


図-2 想定橋梁

2. 静的載荷試験

2.1 想定橋梁

実験に用いる供試体の寸法，設計荷重を決定するために，図-2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-3に示す。コンクリート床版には，P C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 1.2N/mm^2 になるよう設定した。軸方向筋はD19，スターラップはD16を用いた。供試体に使用した各材料の物理的性質の試験値を表-1に示す。

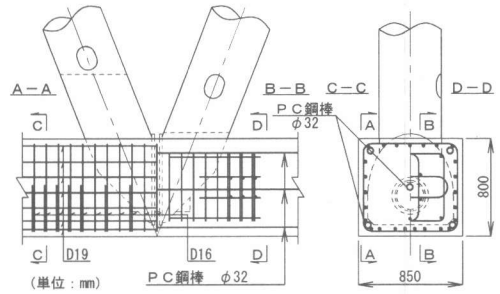


図-3 供試体格点部配筋状況

表-1 使用材料

鉄筋 (SD345)	D16	D19
降伏強度(N/mm ²)	380	368
引張強度(N/mm ²)	577	592
弾性係数(N/mm ²)	2.06×10^5	2.06×10^5
P C鋼材 (SBPR 930/1080 φ32)		
降伏強度(N/mm ²)	1010	
引張強度(N/mm ²)	1130	
弾性係数(N/mm ²)	2.04×10^5	
鋼管	斜材	リンクシャーク
種類	STK490	SM570
寸法	φ508×12.7	φ250×14
降伏強度(N/mm ²)	410	621
引張強度(N/mm ²)	576	682
弾性係数(N/mm ²)	1.62×10^5	1.89×10^5
フランジプレート (SM490YB)		
降伏強度(N/mm ²)	403	
引張強度(N/mm ²)	545	
弾性係数(N/mm ²)	2.12×10^5	

2.2 試験方法

試験装置は図-4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。荷重の載荷は，能力20000kNの載荷試験機を用い，鉛直方向に静的載荷を行った。荷重の載荷ステップは，図-5に示すように，4段

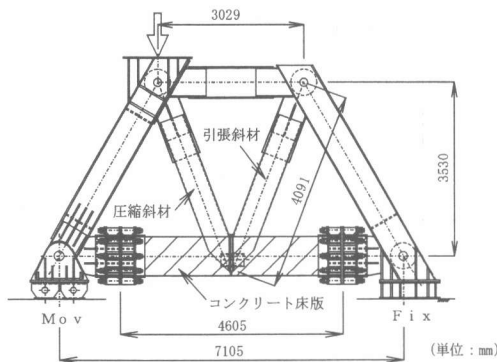


図-4 載荷装置

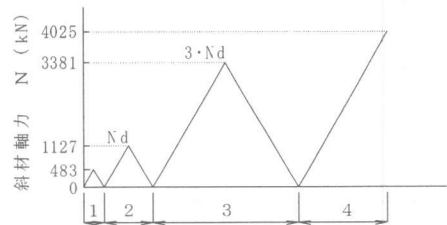


図-5 荷重載荷ステップ

階の漸増載荷とした。まず、圧縮斜材の軸力が483kNに達するまで、予備的載荷を行った。第2のステップでは、設計荷重時の斜材軸力(以下Ndとする)である1127kNが作用する荷重をピークとして載荷を行った。このときの鉛直方向載荷荷重は、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Nd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、載荷装置の最大能力まで荷重を増加した。このときの最大載荷荷重は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。

2. 3 試験結果および考察

静的載荷試験における、供試体に発生した主な現象と、そのときの斜材軸力を表-2に示す。設計軸力Nd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と思われる。試験終了時のひび割れ発生状況を図-6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-6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

ひ割れであると考えられる。図-7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-8は図-7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。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-9に、図-7に示す中央断面位置におけるリングシャーキーの最大主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(3286 μ)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。

表-2 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(①)発生
1770	1.6·Nd	格点部コンクリート斜めひび割れ(②)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

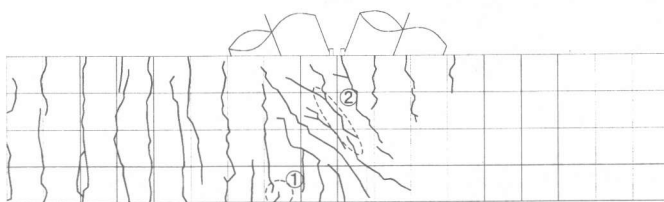


図-6 試験終了時ひび割れ発生状況

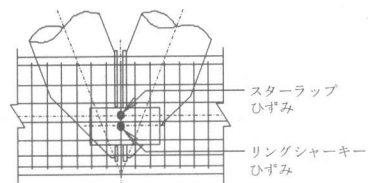


図-7 ひずみ測定位置

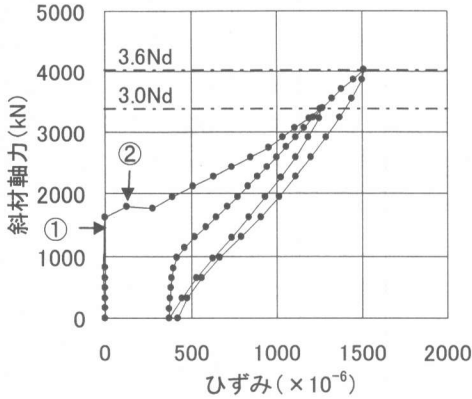


図-8 スターラップのひずみ

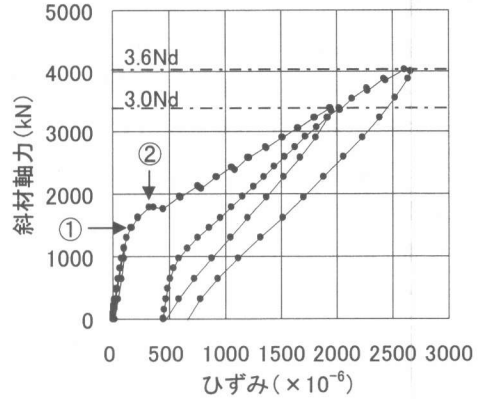


図-9 リングシャキーの最大主ひずみ

最大載荷荷重時までは、図-6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、床版の耐力は維持している。なお、ひび割れが格点を中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。

3. 疲労試験

3.1 供試体および試験方法

本来、静的載荷試験と疲労試験とで同じ供試体、同じ載荷方法で比較することが望ましいが、載荷能力が1700kN以上の疲労試験機がないた

め、図-10に示す供試体を用いて、コンクリート床版に水平に荷重を載荷する方法で疲労試験を行った。載荷荷重は、試設計で想定した斜材軸力と供試体の圧縮斜材の軸力が等しくなるように決めた。この載荷方法にすることにより、コンクリート床版には圧縮力が作用するため、PC鋼材は配置していない。鉄筋については、静的載荷試験と同様の鋼材を配置した。表-3に疲労試験に用いたコンクリートの材料諸数値を示す。図-11に、載荷荷重ステップを示す。

表-3 コンクリートの材料諸数値

普通 コンクリート	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
疲労開始	45.5	31.9	3.76
疲労終了	50.1	32.8	3.56
高流動 コンクリート	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
疲労開始	55.8	29.9	4.30
疲労終了	62.7	31.9	4.56

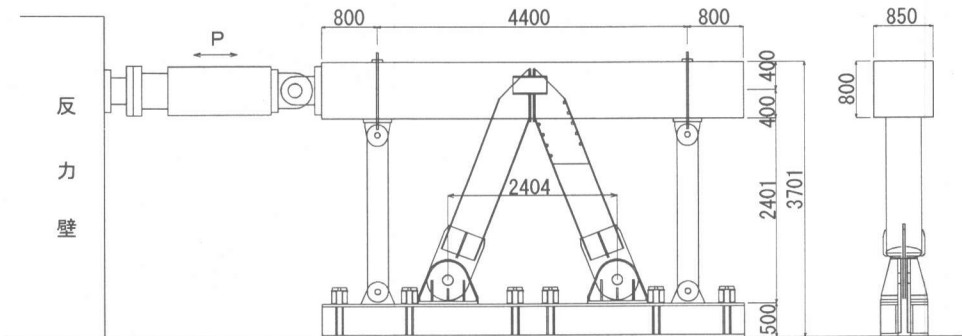


図-10 疲労試験 載荷装置図 (単位: mm)

荷重は、荷重治具のなじみをとるために、およそ $P=300\text{kN}$ 荷重を行い、一度荷重を除荷した。その後、試設計で想定した設計荷重の最大時に相当する $P=889\text{kN}$ から、設計荷重の最小時に相当する $P=431\text{kN}$ までを繰り返し 200 万回荷重した。なお、荷重振動数は、1~3Hz とした。

3. 2 試験結果および考察

図-12 に格点部中心付近のコンクリート表面のひずみをロゼットゲージにて測定した値から算出した、コンクリート主ひずみ図を示す。同図は、疲労試験開始後の最大設計荷重相当である $P=889\text{kN}$ 時のひずみの値を用いており、圧縮がマイナス、引張がプラスを表し、ひずみの値は 10^6 倍している。同図より、最大主ひずみで 21×10^{-6} と小さく、200 万回の繰り返し荷重でもひずみの増加はほとんどみられず、コンクリート床版の側面にひび割れは発生しなかった。

コンクリート荷重回数 178 万回にて、コンクリート床版上縁の中央付近に軸直角方向にひび割れが目視で確認された。その時のひび割れ幅は 0.02mm であった。ひび割れ図を図-13 に示す。その後、このひび割れの長さおよび幅に変化はみられなかった。

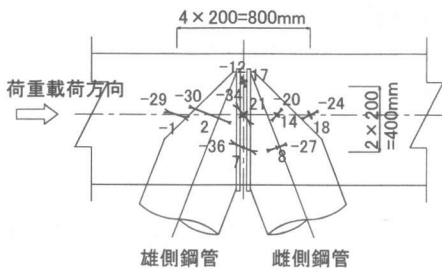


図-12 コンクリート表面の主ひずみ図

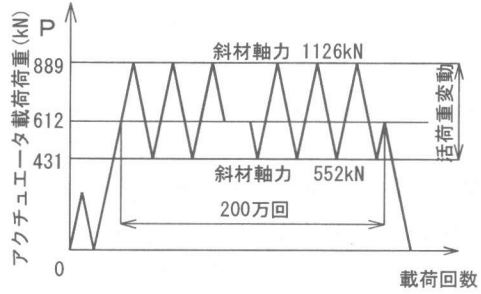


図-11 荷重荷重ステップ

図-14 にコンクリート床版上縁に配置した軸方向鉄筋の設計荷重最大時におけるひずみと荷重回数の関係を示す。疲労試験開始直後においてひずみの値が大きくばらついている。これは、ピン等の荷重治具のなじみによる影響と思われる。その後、徐々に小さくなり、ひび割れ発生後に若干増加がみられたが、その増加量は小さく、ほぼ一定の値を示している。

図-15 にリングシャーキーのひずみ測定位置を示す。なお、このひずみ測定位置は静的荷重試験と同じ位置である。図-16 にリングシャーキーの設計荷重最大時における荷重回数-主ひずみの関係を示す。

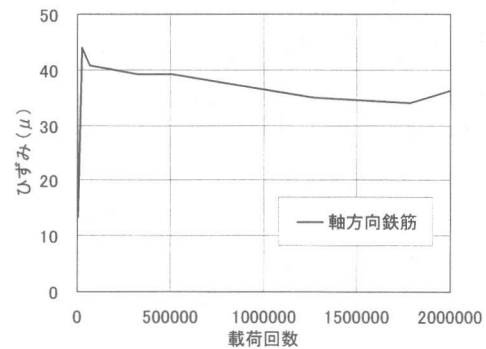


図-14 軸方向鉄筋 荷重回数-ひずみ関係

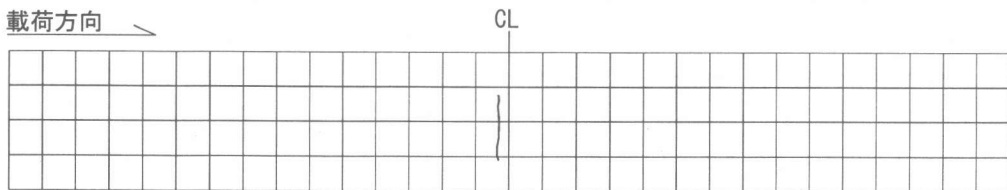


図-13 コンクリート床版上縁ひび割れ観察図

図-16より、主ひずみの値は、ほぼ一定の値を示していることがわかる。図-17に同位置における、載荷荷重の最大時(斜材軸力 1126kN)におけるひずみと載荷荷重の最小時(斜材軸力 552kN)におけるひずみの差であるひずみ振幅と載荷回数との関係を示す。同図より、載荷回数 30 万回程度まではひずみ振幅の値がばらついているものの、その差は小さく、その後は、ほぼ一定の値を示した。以上の結果より、200 万回の繰り返し載荷による疲労の影響はみられず、問題はないと思われる。

4. まとめ

静的載荷試験および疲労試験から、得られた結果を以下に列挙する。

(1) 静的載荷試験より

1) 試設計で想定した設計荷重の 1.6 倍の時に、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。

2) 格点部は、試設計で想定した設計荷重の 3.6 倍以上の耐力を有した。

(2) 疲労試験より

1) コンクリート側面に斜めひび割れは発生しなかったが、載荷回数 178 万回で、コンクリート上縁の格点部付近にひび割れが発生した。

2) 軸方向筋のひずみは載荷回数に依存せず、ほぼ一定の値を示した。

3) リングシャーキーのひずみは載荷回数に依存せず、ほぼ一定の値を示し、疲労による影響はほとんどないと思われる。

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

2) (社)プレストレストコンクリート技術協会：複合橋設計施工規準(案)，1999.12

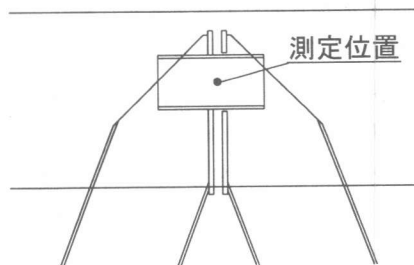


図-15 リングシャーキーひずみ測定位置

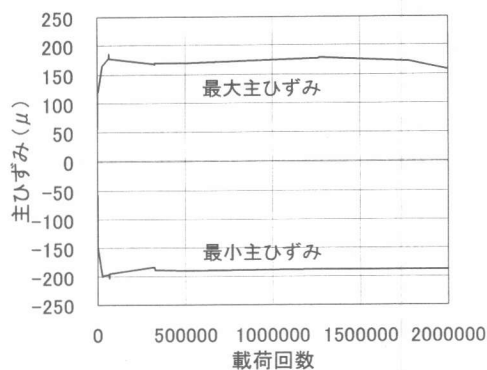


図-16 リングシャーキー 載荷回数—主ひずみ関係

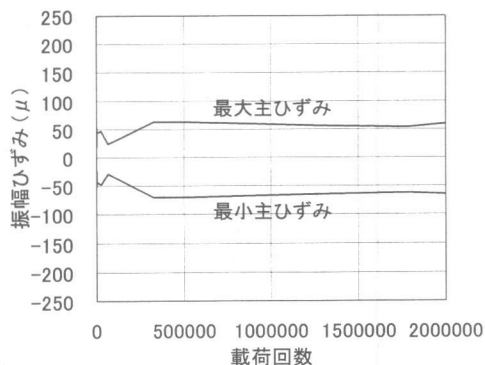


図-17 リングシャーキー 載荷回数—ひずみ振幅関係