

## ラチストラス橋の合成挙動に関する実験的研究

Experimental study on composite behavior of lattice truss bridge

高森 博之\*, 尾下 里治\*\*, 佐々木 保隆\*\*\*, 水越 秀和\*\*\*\*

Hiroyuki TAKAMORI, Satoji OSHITA, Yasutaka SASAKI and Hidekazu MIZUKOSHI

- \* Ph.D. (株) 横河ブリッジ 研究所 技術開発課 (〒273-0026 千葉県船橋市山野町 27 横河テクノビル)  
 \*\* 工博 (株) 横河ブリッジ 技術部 (〒273-0026 千葉県船橋市山野町 27 横河テクノビル)  
 \*\*\* 工博 (株) 横河ブリッジ 研究所 技術開発課 (〒273-0026 千葉県船橋市山野町 27 横河テクノビル)  
 \*\*\*\* 工修 (株) 横河ブリッジ 研究所 技術開発課 (〒273-0026 千葉県船橋市山野町 27 横河テクノビル)

This paper describes experimental research on composite lattice truss bridges. Two specimens were prepared and loaded statically. The experimental results such as displacements and stresses of members represented good agreement with those of frame analyses. According to the negative bending test results, the upper surface of RC slab cracked at a proper pitch and excessive crack opening was not observed even at the maximum loading. It was found that crack opening on RC slab would be controlled by satisfying the reinforcement requirements specified in JSHB.

Key Words: lattice truss, composite structures, RC slab, static loading

キーワード: ラチストラス, 合成構造, RCスラブ, 静的載荷

## 1. はじめに

我が国の社会資本整備事業において、建設費の削減、維持管理費の軽減が強く求められている。鋼橋においては、設計の合理化や製作・施工工程でのさらなる省力化を目指した取り組みが進められている。2主鈎橋や波形鋼板ウェブを用いた橋梁など、従来の標準的な形式とは大きく異なる新しいかたちの橋梁の建設が順次進められている。

本論文は、筆者らが提案する連続合成ラチストラス橋<sup>1)</sup>に関する載荷実験の概要をまとめたものである。合成ラチストラスの縮小部分モデルに荷重を静的に載荷し、トラス構造としての全体の挙動や上弦材と床版コンクリートの合成効果および RC 床版自体の挙動を観察し、部材設計のための基礎資料とすることを目的として実験を行なった。

本合成ラチストラス橋の特長は、弦材や斜材に大断面の形鋼を多用することで、工場における製作加工工数を大幅に削減し、結果として従来のトラス橋に比べより経済的な構造となっていることである。上下弦材として H 形鋼を弱軸方向に用い、上弦材 H 形鋼のウェブには床版ずれ止めを溶接している。その H 形鋼の上半分にコンクリートを充填してコンクリート床版との一体化を図ることで、床版と上弦材の合成作用を積極的に期待する構造となっている。上弦材とコンクリート床版を合成させた合成トラス橋はヨーロッパなどで施工実績<sup>2), 3)</sup>がある。国内においても昭和 30 年代に単純支間のトラスに施工実績<sup>4)</sup>があるが、床版コンクリートと弦材の合成作用、負曲げ作用を受ける連続トラスについては十分な検討はなされていないのが現状

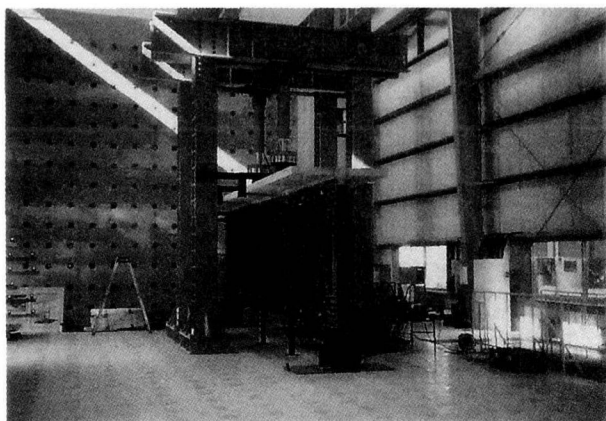
である。また、その後、合成トラスは今日に至るまで施工実績が途切れてしまっている。

我が国においては、合成鈎桁を対象とした鈎桁とコンクリート床版の合成挙動や負曲げ時のコンクリートひび割れ挙動に関する研究はこれまでに数多く行われてきている。しかしながら、トラス構造を対象としたコンクリート床版との合成挙動や床版ひび割れ挙動確認のための研究は極めて例が少ない。

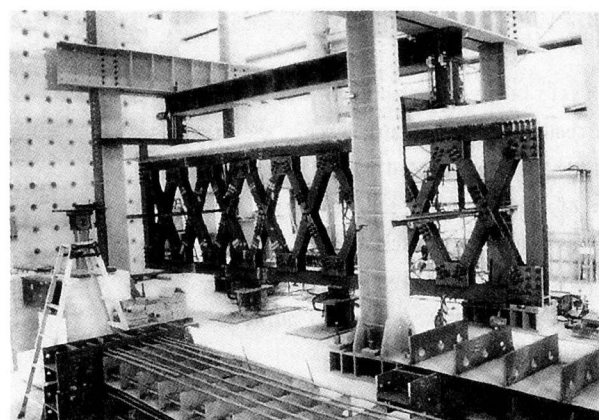
このような経緯を踏まえ、本ラチストラス橋は、H 形鋼と RC 床版とをずれ止めを介して組み合わせた合成構造という今までに例のない構造形式であることから、全体挙動や RC 床版と上弦材の合成効果などを静的載荷実験により検証し、設計における基礎資料を得ることを目的としたものである。また、簡易な骨組みモデルによる構造解析で部材変位や応力度を算出し、実験結果との整合性を確認したものである。なお、今回の実験では荷重載荷はトラス格点に行ない、トラス全体の合成挙動を確認することが主眼であり、格点間への荷重載荷による床組みとしての合成挙動については対象外とする。

## 2. 実験概要

本実験ではほぼ同型の 2 つの供試体を準備した。それぞれ連続トラス構造である実橋の支間中央部および中間支付近を想定している。すなわち、正曲げ状態と負曲げ状態について実験を行なった。2 主構のうち片側一面だけを取り出してモデル化した。実験方法としては、正曲げモデルは供試体の下弦材両端を鉛直上向きに単純支持し、供試体支間中央付近の RC 床版上の



(1) 正曲げ用実験供試体



(2) 負曲げ用実験供試体  
写真-1 実験供試体

2点を静的に鉛直下向きに荷重した。このことで下弦材には引張力が、RC床版には圧縮力が作用する。負曲げモデルは供試体中央付近の下弦材2点を鉛直方向に単純支持し、供試体のRC床版両端部付近を鉛直下向きに静的に荷重を漸増した。このことで下弦材には圧縮力、RC床版には引張力が作用する。荷重はいずれもトラス面内に荷重した。着目点として以下の諸点の計測、観察を行なった。

- (1) 荷重荷重と上下弦材のたわみの関係
  - (2) 荷重荷重とトラス部材、床版コンクリート、鉄筋ひずみの関係
  - (3) ひび割れの発生状況、ひび割れ幅とその間隔
- 各供試体の形状と荷重荷重状態の概略を写真-1に示す。

### 3. 実験供試体、実験方法および計測方法

#### 3.1 実験供試体および実験方法

本実験で用いた実験設備の制約から、供試体のトラス高さを2m(試設計の1/3.5)とし床版幅を1.5m(同約1/3.5)と決定した。トラスの格点間隔は1mでパネル数は8としたため供試体の全長は約8mとなっている。

図-1に示すように、荷重の荷重位置と支点位置は、正曲げ試験の場合、支間中央の格点から両トラス端側の上下弦材2格点に荷重荷重し、トラス下弦材両端部を単純支持した。負曲げ試験

では両トラス端格点から支間中央寄りの上下弦材2格点に荷重荷重し、支間中央の格点から両トラス端側の下弦材2格点を単純支持した。

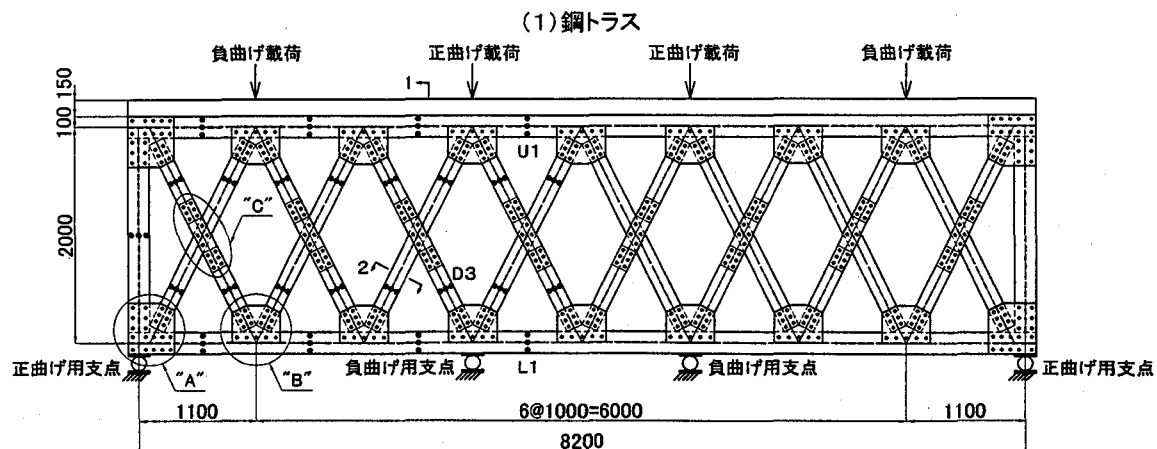
トラス部材については、上下弦材をH200×200とし斜材をH200×150(いずれもSS400材)とした。床版は配筋を考慮した上で可能な範囲で薄くし厚さ12cmとした(試設計の1/2.5)。床版に使用したコンクリートの設計基準強度は24N/mm<sup>2</sup>であり、使用したセメントは普通ポルトランドとした。本実験で用いたコンクリートの配合を表-1に示す。なお、実質的な28日強度の目標値は30N/mm<sup>2</sup>とした。表-2に示すが、実験実施直後に行なったテストピースによる割裂および圧縮試験の結果の平均値はそれぞれ引張り強度2.1N/mm<sup>2</sup>および圧縮強度31.1N/mm<sup>2</sup>であった。また、本実験では上下弦材H形鋼とRC床版の合成効果を確認することが主な目的であるので、供試体において床版にプレストレスは導入しないものとした。配筋の径および配置は道路橋示方書<sup>3)</sup>(引張応力を受ける版の鉄筋量および配筋)に示されている最小鉄筋量2%と周長率0.045cm/cm<sup>2</sup>の規定を満足するように決定した。主鉄筋はスタッド間隔との関連で、荷重荷重位置付近で125mmピッチ、それ以外のところでは250mmピッチで配筋した。床版には3cmのハンチを設け、約1:3の勾配で床版下面にすりつけた。このためハンチ筋も設置している。鉄筋はすべてD10(SD295)を用いた。すべり止めはφ16×150の頭付きスタッド(SS400)を125mmピッチで上下弦材web上に全長に渡って2列に配置した(橋軸直角方向80mm間隔)。高力ボルトは実験終了後の供試体解体の作業性を考慮しM22六角ボルトを用いた。

供試体設計のために行なった骨組み解析の結果によると、正曲げ用供試体で最も応力状態が厳しくなる支間中央付近の下弦材の応力度が許容応力度137N/mm<sup>2</sup>(1400kgf/cm<sup>2</sup>)に達する荷重状態で、上下弦材側の応力状態が最も厳しくなる床版コンクリート上縁でコンクリートの許容圧縮応力度 $\sigma_{cr}/3.5$ にほぼ等しい圧縮応力が生じる部材構成となっている。骨組み解析モデルを図-2に示す。上下弦材と端柱は梁部材とし斜材はトラス部材とした。トラス部材の交差点はピン結合とした。供試体設計時の構造解析も含め、本研究で行なった骨組み解析では、荷重の荷重状態やRC床版のひび割れ状態により、上下弦材のRC床版を全断面有効、H鋼+配筋有効、あるいはH鋼のみ有効などに上下弦材の剛性を変化させている。ただし、RC床版とH鋼の合成作用による上下弦材の軸線のすべりは考慮せず、鋼部材の骨組み軸線を用いて解析モデルを作成した。

斜材寸法は上記の荷重状態での応力状態と上・下弦材との継手で高力ボルトを配置するための寸法上の制約から決定されている。なお負曲げ用供試体も同様の部材構成になっているが、添接板の座屈防止のため、斜材の継手を引張り部材に設けたため、正曲げ用と負曲げ用で継手位置が入れ替わっている。

#### 3.2 計測方法

床版コンクリートのひび割れ状況と、その時のトラス部材および鉄筋の応力状態を確認するために、RC床版、トラス部材および配筋鉄筋のひずみを測定し、同時に上下弦材の鉛直変位お



● はひずみゲージ位置を示し、それぞれ格点間の中央となる。

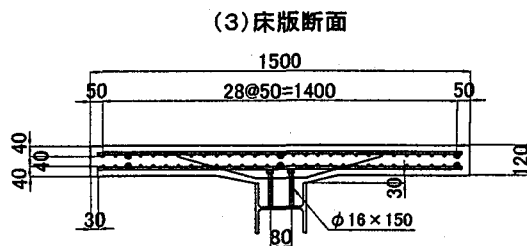
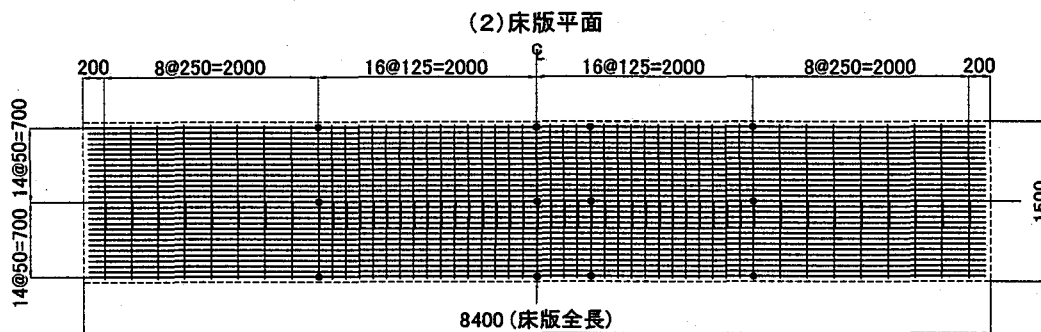
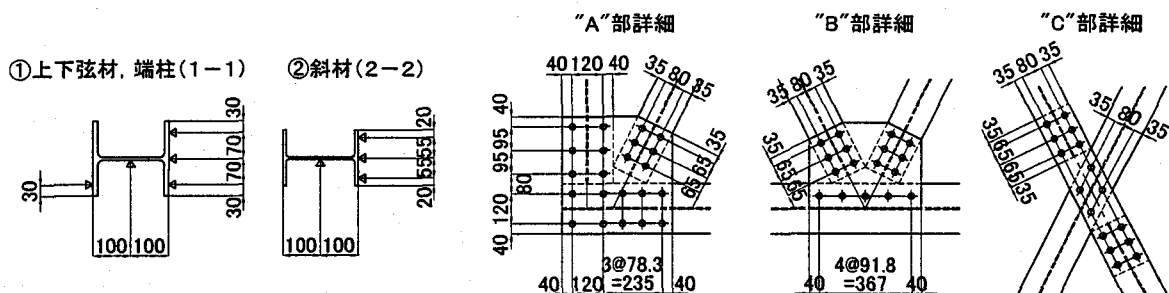


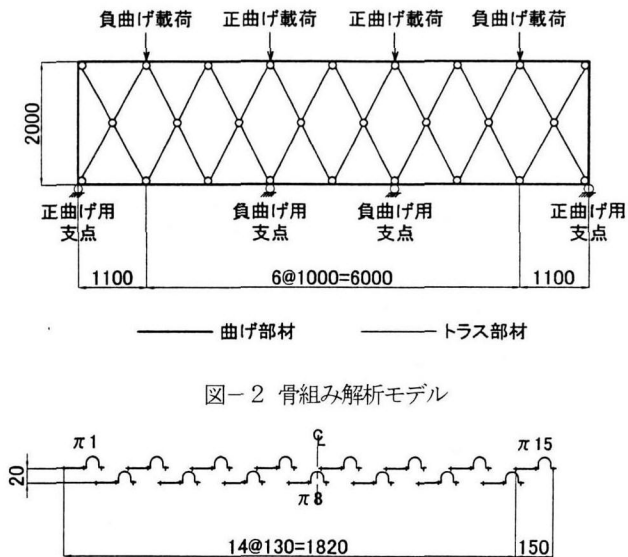
図-1 ひずみゲージの配置位置

表-1 コンクリートの配合

| 最大粗骨材 | スラブ     | 空気量   | W/C    | 塩化物含有量                    |
|-------|---------|-------|--------|---------------------------|
| 20 mm | 11.5 cm | 4.4 % | 56.3 % | 0.30 kg/m <sup>3</sup> 以下 |

表-2 コンクリートの強度特性

| 材齢     | 引張り強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|--------|-------------------------------|------------------------------|
| 7日     | —                             | 19.5                         |
| 28日    | —                             | 29.5                         |
| 実験実施直後 | 2.1                           | 31.1                         |



標点間距離

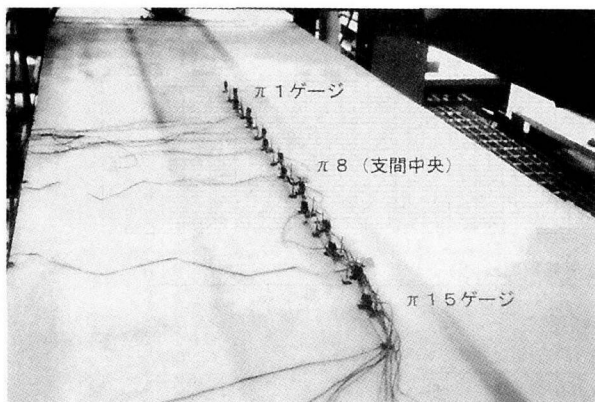
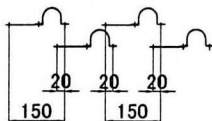


写真-2 RC床版上のパイ型変位計

よびロードセルの荷重を測定した。

ひずみゲージの位置を図-1に示す。正曲げ用と負曲げ用でひずみゲージの位置は同じとした(図は正曲げ用のものである)。また、トラス面内の配力筋と同じ位置でコンクリート床版上面にひずみゲージを貼付した。

負曲げ試験用供試体には図-3および写真-2に示すように支間中央付近のRC床版上面にパイ型変位計を並べて設置しひび割れの進展状況を測定し、また床版上のひび割れを目視によりスケッチした。パイ型変位計は上弦材直上の支間中央をはさんだ2mの区間に15個一列に設置した。写真-2に示すように、端のパイ型変位計から順にπ 1からπ 15まで番号を付けた。したがってπ 8が支間中央に位置する。各パイ型変位計の計測区間長は15cmであるが、隣接するパイ型変位計を2cm

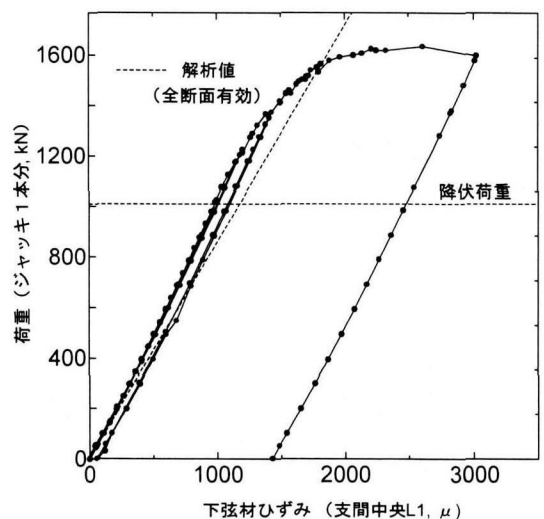
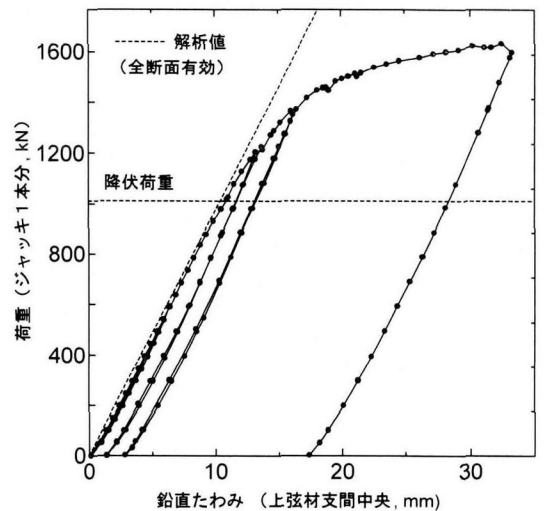
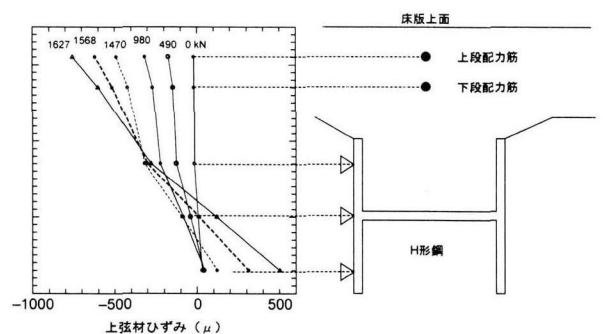


図-4 正曲げ試験結果



ずつオーバーラップさせて測定区間が連続するように配慮した。

#### 4. 実験結果

##### 4.1 正曲げ試験結果および考察

荷重を静的に漸増させ、支間中央部上弦材の変位と荷重強度

関係に非線形性が現れたあたりで載荷を停止し、一旦除荷した。このような載荷パターンを2回繰り返した後、最大荷重が確認できるまで荷重を上昇させた。

荷重の増加に伴い、支間中央付近の下弦材が最初に約 1175 kN/jack で降伏した。その状態では床版コンクリートには上面下面ともにひび割れは見られなかった。さらに荷重を増加させると、端パネルの斜材の一部も降伏に達した。さらに荷重を増加させると約 1627 kN/jack で荷重の上昇が止まり、変形のみが進行する状態となったので一旦除荷を行なった。最大荷重時でも上弦材のH形鋼応力度は弾性範囲内であった。抜粋データとして、支間中央付近の上弦材の鉛直たわみ量と下弦材のひずみをプロットしてそれぞれ図-4 (1) および (2) に示す。図内の「降伏荷重」は骨組み解析により得られた値である。解析ではRC床版を全断面有効としH形鋼と完全合成であると仮定して計算された断面諸元を持つ梁部材として上弦材をモデル化した。

上弦材H形鋼側面に設置した3枚のひずみゲージ (図-1のU1位置) の値と2段の床版配力筋に設置したひずみの値を線で結んだグラフを図-5に示す。荷重が増加するにしたがって、上弦材の中立軸が徐々に上側へシフトしていく様子が確認できる。これは荷重増加によって支間中央付近の下弦材や一部の斜材が降伏し耐力を失ったことによるものと考えられる。

上記載荷のあと再度載荷を行い供試体が破壊するまで荷重を上昇させた。初期載荷時に得られた最大荷重 1627 kN/jack に達した時点で同様に荷重の上昇が止まり、変形のみが進行する状態となったため変位制御に切り替えそのまま載荷を続行した。その直後、供試体から微かな異音が聞かれたため、荷重を維持した状態で一旦載荷を止めて供試体を調べていたところ数秒後に床版付近から大きな破断音が発生し、荷重値が急激に低下したためその時点で除荷を行なった。ずれ止めとして用いたスタッドの一部が破断した可能性も考えられたので供試体を解体し検査したが、スタッドに損傷は見られなかった。したがって荷重載荷点のガセットプレートで高力ボルトに滑りが生じたものと思われる。また両荷重載荷点直下から供試体端部方向へ約1mの範囲で、RC床版のハンチ部と上弦材H形鋼上端部に隙間が観察されており、両者にずれが生じた可能性がある。そのずれが生じた部分の床版ハンチ部表面でひび割れが観察できた。一方、RC床版上面には実験を通して載荷による顕著なひび割れは観察できなかった。

## 4. 2 負曲げ試験結果および考察

### (1) 試験概要

載荷手順として、支間中央の RC 床版上段配力鉄筋がほぼ許容応力度 137 N/mm<sup>2</sup> (1400kgf/cm<sup>2</sup>) となる荷重約 510 kN/jack まで静的に載荷し、いったん除荷を行なった (ここまです初期載荷と呼ぶものとする)。次に 590 kN/jack までの載荷・除荷を3回繰り返す、その後最大荷重が確認できるまで荷重を漸増させた。最終的には荷重約 1420 kN/jack で荷重載荷点の上弦材の高力ボルト継手で滑りが生じたため、その時点で載荷を止め除荷を行ない実験を終了した (後半を最大荷重載荷と呼ぶものと

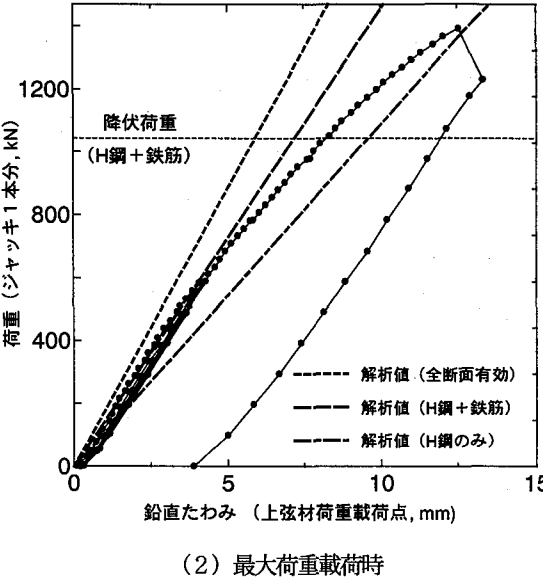
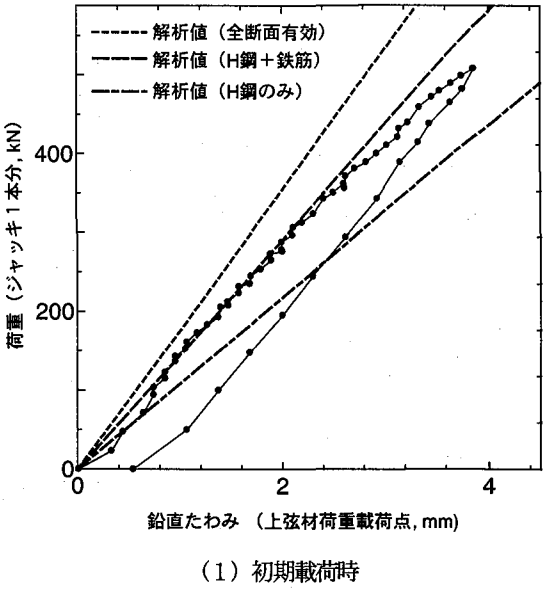
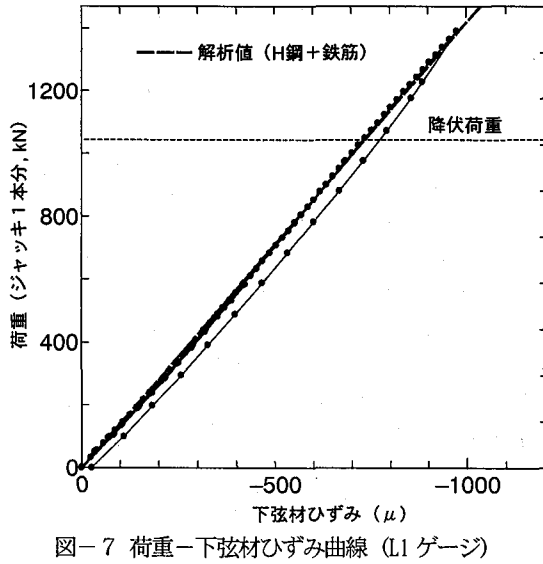


図-6 荷重鉛直たわみ曲線 (上弦材荷重載荷点)



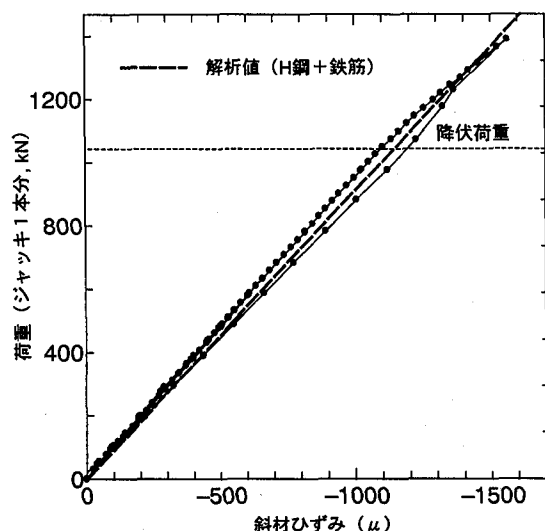


図-8 荷重-斜材ひずみ曲線 (D3 ゲージ)

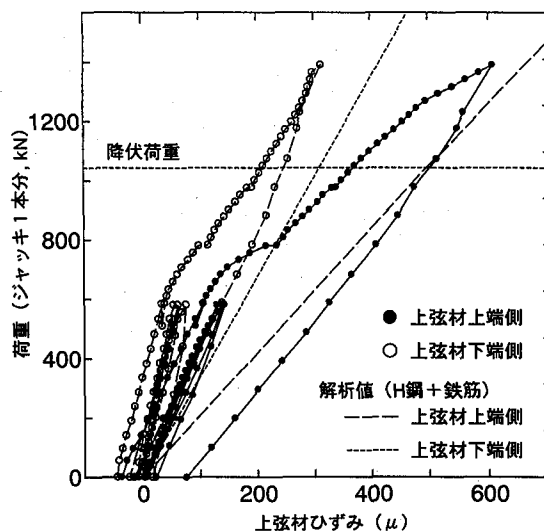


図-9 荷重-上弦材ひずみ曲線 (U1 ゲージ)

する)。

## (2) 鉛直たわみ (上弦材荷重載荷点)

### a) 初期載荷時

荷重載荷点の上弦材の載荷荷重と鉛直たわみのグラフを骨組み解析結果と併せて図-6 (1) に示す。実験結果はH形鋼+鉄筋のみ有効とした解析結果とほぼ一致している。440 kN/jack を超えたあたりから勾配はやや水平に近づいていく傾向を示している。

### b) 最大荷重載荷時

最大荷重載荷時の載荷荷重と鉛直たわみのグラフを図-6 (2) に示す。最初の繰返し載荷ではH形鋼+鉄筋のみ有効とした解析結果の勾配であるが、その後の漸増荷重時では 780 kN/jack を超えたあたりから勾配はさらに水平に近づいて行く結果となった。

## (3) トラス部材のひずみ (最大荷重載荷のみ)

### a) 下弦材

実験時のデータと骨組み解析 (H形鋼+鉄筋のみ有効) の結果を図-7 に示す。ひずみゲージ位置は図-1 中の L1 (web 直上) である。最大荷重 1420 kN/jack に達した状態でも下弦材は弾性域であった。

### b) 斜材

斜材のうち、軸力がもっとも厳しくなる支点上の斜材のひずみ変化を図-8 に示す (ゲージ位置は図-1 中 D3 の web 直上)。骨組み解析結果同様、1080 kN/jack あたりで部材が降伏を始め非線形性を示すようになっている。

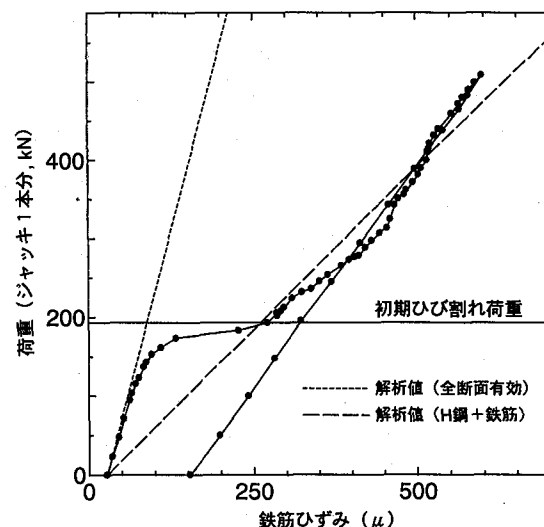
### c) 上弦材

上弦材のひずみ変化を図-9 に示す。ゲージ位置は図-1 中の U1 である。最大荷重までひずみはすべて弾性域で変化しているが、床版コンクリートと鋼材のずれやコンクリートのひび割れの影響で非線形挙動を示しており、残留ひずみも残っている。

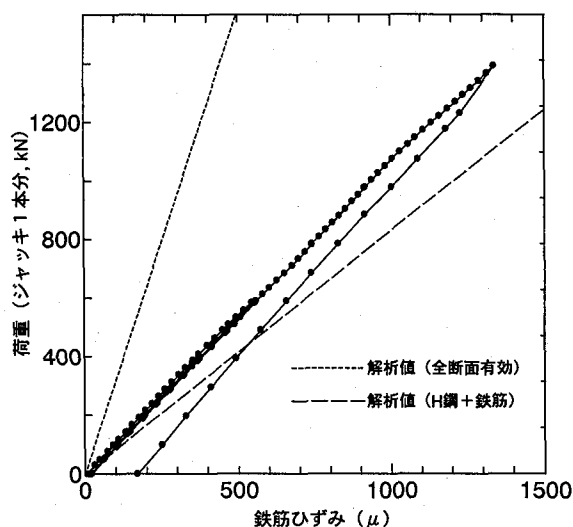
## (4) RC 床版の配筋鉄筋ひずみ

支間中央の上段配筋筋に設置したひずみゲージのデータを示す。

### a) 初期載荷時

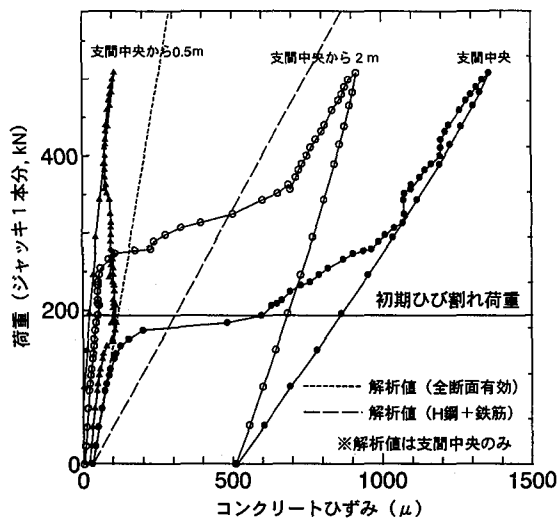


(1) 初期載荷時

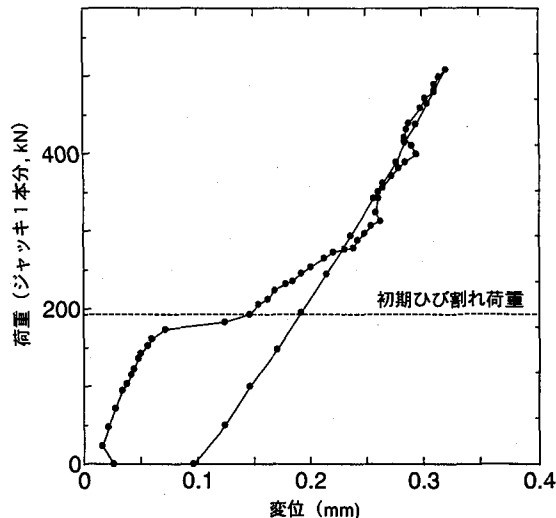


(2) 最大荷重載荷時

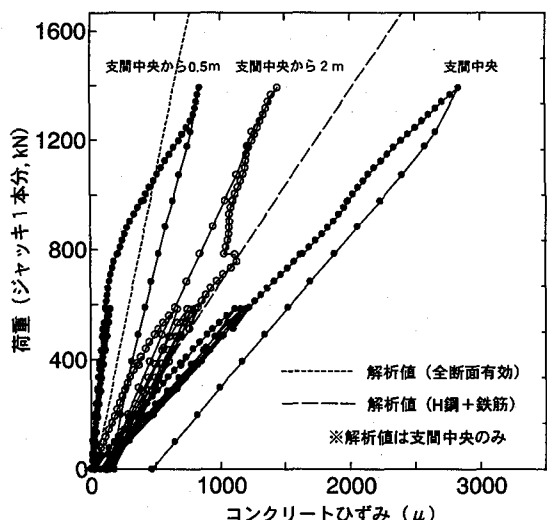
図-10 荷重-配筋鉄筋ひずみ曲線 (支間中央上段)



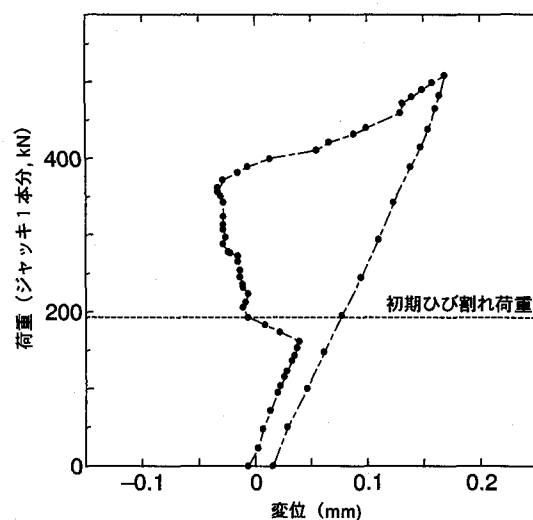
(1) 初期載荷時



(1) π8ゲージ(支間中央)



(2) 最大荷重載荷時



(2) π9ゲージ(π8ゲージに隣接)

図-1.11 荷重-コンクリートひずみ曲線(RC床版上面)

図-1.12 荷重-RC床版上面の伸び曲線(初期載荷時)

荷重と配筋ひずみのグラフを図-1.10(1)に示す。約120 kN/jack まではほぼ線形にひずみが増加するが、それ以降にわずかに10 kNの荷重増加で200 μ程度の急激なひずみ増加が生じている。床版ひび割れの発生・進展で局部的に鉄筋ひずみが影響を受けたものと考えられる。図中の初期ひび割れ荷重は、コンクリート床版上面の応力度が破壊試験で得られた引張り強度2.11 N/mm<sup>2</sup>に達する時の荷重値193 kNであり、上弦材のコンクリートは全断面有効として計算された値である。

#### b) 最大荷重載荷時

実験データと解析値を図-1.10(2)に示す。初期載荷時のひずみ増加が特徴的な挙動を示したのに対し、最大荷重載荷時は全体に渡ってひずみはほぼ線形的に増減していることがわかる。支間中央でのデータのみを図に示すが、他の計測位置においても傾向としては同様に線形的に変化している。

#### (4) RC床版上面のひずみ

##### a) 初期荷重時

図-1.11(1)に実験データと解析値を示す。支間中央に設

けたコンクリートゲージからのデータでは、約150 kN/jackでひずみ増加に非線形性が見られるようになる。その後わずかの荷重増加で数100 μの急激なひずみ増加が生じている。支間中央から2m離れた位置のゲージは250 kN/jackでひずみ値に非線形性が現れている。荷重やひずみ値に違いはあるものの、支間中央のひずみと似たような挙動をしていることがわかる。また初期載荷時の支間中央の鉄筋ひずみと極めて似た挙動を示していることがわかる。一方で、支間中央から0.5m離れた位置のゲージでは荷重増加に対してひずみ増加がほとんど進行していない。載荷時の観察では、支間中央と支間中央から2m離れた位置では、ひび割れがコンクリートゲージ位置に生じていたのに対し、支間中央から0.5m離れた位置ではコンクリートゲージの端部をかすめるような位置にひび割れが生じていたことが確認されている。このひび割れによってゲージ設置位置でのひずみが逆に解放されてしまい、データとしてひずみ増加が顕著に生じなかったものと考えられる。

##### b) 最大荷重載荷時

図-11(2)に最大荷重載荷時のデータと解析値を示す。初期載荷時のひずみ増加が特徴的な挙動を示したのに比べて、最大荷重載荷時は全体に渡ってひずみはなめらかに増加しており、支間中央部ではほぼ線形的に増加していることがわかる。ここで支間中央から0.5m位置でのひずみ増加が2m位置のものよりも小さくなっている理由は、すでに上述の通りひび割れが生じた位置とゲージの位置との関係によるものであると考えられる。

#### (5) RC床版のひび割れ幅

写真-2で示したように、パイ型変位計はRC床版上面に支間中央を挟んで橋軸方向に一列で15個配置した。π1とπ15は支間中央からそれぞれ反対方向に約1m離れた位置に設置され、番号順に並んでいる。すなわちπ8は支間中央に設置されたパイ型変位計となる。各パイ型変位計のデータによれば、荷重増に対しそれぞれ複雑な変位挙動を示していたが、ここでは代表的な挙動を示したπ8とπ9のみを取り上げて議論する。

##### a) 初期載荷時

図-12(1)および(2)に荷重と変位のグラフを示す。荷重増に対し、変位は全般的に複雑な挙動を示している。これは乾燥収縮によって導入されていたコンクリートの引張り応力が、ひび割れ発生によって解放されたことも影響していると考えられる。図-12(1)に示すように測定区間内にひび割れが生じたパイ型変位計(π8)のデータを見ると、ひび割れが発生したと思われる荷重値の前後で急激に変位が大きくなっている。一方、図-12(2)に示すように、ひび割れと隣接して設置されていたパイ型変位計(π9)のデータには、ひび割れ発生および引張り応力解放の影響により、荷重増に対し変位が減少する現象が見られるものもあった。

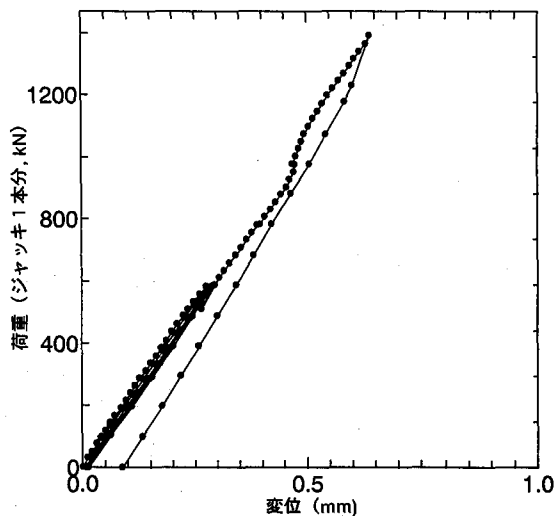
##### b) 最大荷重載荷時

π8とπ9のデータをそれぞれ図-13(1)および(2)に示す。先に示したように初期載荷時には、ひび割れの発生・進展の影響により、特徴的な荷重-変位挙動を示すデータが見られたが、その後の最大荷重載荷時にはすでにひび割れ位置は確定されているため、荷重-変位曲線は比較的なめらかなものが多く、変位が急に進展したり逆行したりする現象が見られるケースは少なかった。

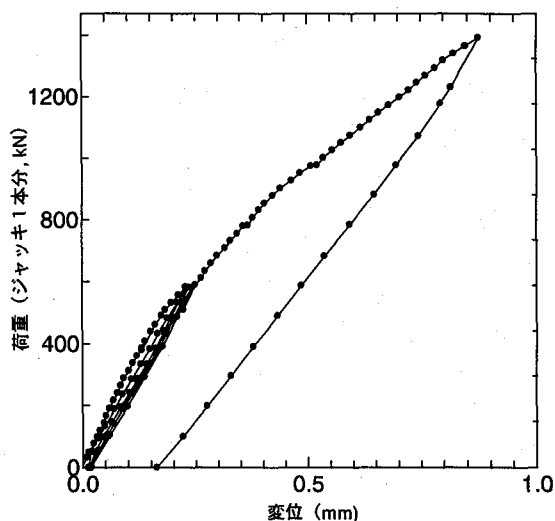
#### (6) RC床版のひび割れ状況

図-14に床版上面のひび割れ状況のスケッチを示す。このひび割れ状態は、今回の実験での最大荷重時に近い1175 kN/jackの荷重が載荷された状態でのスケッチである。図からわかる通り橋軸直角方向のひび割れが卓越して発生している。このとき最大ひび割れ幅はクラックゲージによる測定で約0.15mmであった。なお、鉄筋ひずみデータからの推定では鉄筋応力度が225 N/mm<sup>2</sup> (2300 kgf/cm<sup>2</sup>)で、この場合、文献(6)によるひび割れ幅の推定値は0.209mmとなり測定値よりやや大きい値となった。計算に用いたひび割れ幅の推定式は式(1)、(2)に示す通りである。

$$d = 4c + 0.7(cs - \phi) \quad (1)$$



(1) π8ゲージ (支間中央)



(2) π9ゲージ (π8ゲージに隣接)

図-13 荷重-RC床版上面の伸び曲線 (最大荷重載荷時)

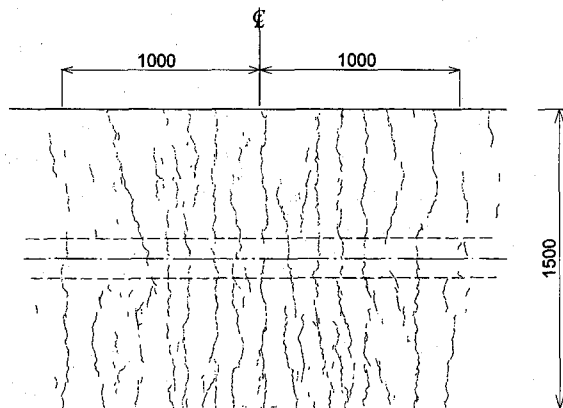


図-14 床版上面のひび割れ状況 (1175 kN/jack 載荷時)

$$w = k \left\{ 4c + 0.7(cs - \phi) \right\} \left( \frac{\sigma_{se}}{E_s} + \varepsilon'_{csd} \right) \quad (2)$$

ここに、

d : ひび割れ間隔(mm)

w : ひび割れ幅(mm)

k : 異形鉄筋の場合 1.0

c : ひび割れに抵抗する鉄筋の純かぶり(mm) : 35mm

cs : 鉄筋の中心間隔(mm) : 50mm

$\phi$  : 鉄筋径(mm) : 10mm

$\sigma_{se}$  : 鉄筋応力の増加量(N/mm<sup>2</sup>)

$E_s$  : 鉄筋のヤング係数(N/mm<sup>2</sup>) :  $2.06 \times 10^5$  (N/mm<sup>2</sup>)

$\varepsilon'_{csd}$  : 乾燥収縮、クリープ等によるひび割れ幅増加を考慮するための数値 :  $150 \times 10^{-6}$

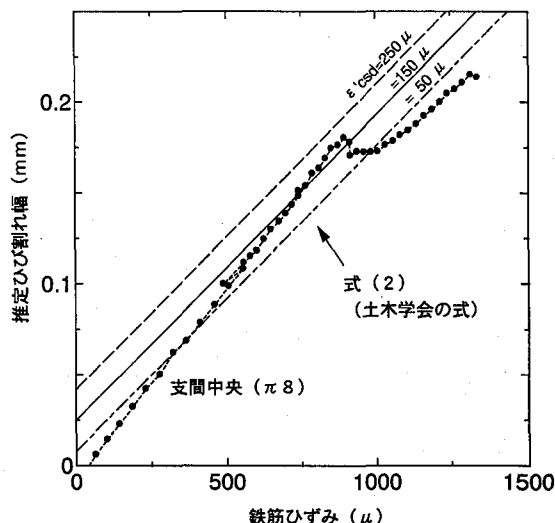


図-1 5 推定ひび割れ幅

ひび割れは最初支間中央部の床版上面で発生したが、荷重の増加とともに2支点間(支間中央部2mの範囲)を中心に広がり始め、最終的には同程度のひび割れ幅を持つひび割れがほぼ等間隔で生じることとなった。すなわち、特定の箇所のみひび割れが集中するような現象はこの実験では見られなかった。

支間中央部2mの範囲について計算したひび割れ密度は約7.5 m/m<sup>2</sup>であり、ひび割れ間隔はおおよそ125mmで前出の文献6)の推定式(1)による数値168mmより小さくなっている。なお支間中央付近の主鉄筋間隔は250mmで、スタッド間隔は125mmである。

また、実験データから推定したひび割れ幅と式(2)による値を比較したものを図-15に示す。なお、乾燥収縮、クリープ等によるひび割れ増加を考慮するための数値( $\varepsilon'_{csd}$ )を他に $250 \times 10^{-6}$ および $50 \times 10^{-6}$ に変化させた値も参考のため同図に示してある。ひび割れ幅は以下の式によって計算した。

$$W = W_{\text{バイゲージ}} - \varepsilon_{\text{conc}} \cdot \ell \quad (3)$$

ここに、

w : 推定ひび割れ幅(mm)

$W_{\text{バイゲージ}}$  : バイ型変位計による測定値(mm)

$\varepsilon_{\text{conc}}$  : コンクリートゲージによる表面ひずみ値

$\ell$  : バイ型変位計の測定区間長 : 150mm

支間中央におけるデータ( $\pi 8$ ゲージ)による推定値は式(2)の値と比較的良好一致を示していることがわかる。

## 5. まとめ

### 5. 1 まとめ

合成ラチストラ橋の縮小部分モデルを2体作成し、それぞれ正曲げと負曲げモーメントを载荷しRC床版を含めた各部材および全体の挙動を観察し、ひずみやたわみなどのデータを計測した。以下にその概要をまとめて示す。

(1) 各部材の変位や応力については正曲げおよび負曲げ試験結果とも、簡易な骨組みモデルによる解析結果と比較的良好一致を示した。正曲げについてはRC床版を全断面有効としかつ上

弦材H形鋼と完全剛構造と仮定した解析結果と実験結果がよく一致し、負曲げ試験については上弦材H形鋼と配力鉄筋を有効断面と仮定した場合の解析結果がよい一致を示した。

(2) 正曲げ試験では荷重増加に伴い、最初に支間中央付近の下弦材が約1175 kN/jackで降伏した。この時点でRC床版に損傷は全く見られなかった。その後の荷重増加でトラス端部に近いパネルの圧縮斜材も部分的に降伏した。実験では1627 kN/jackで荷重増加が止まり変位のみが進行する状態となった。さらに载荷を続けたところ、最終的に荷重載荷点付近のガセットプレートに滑りが生じ、荷重値が落ちたためにその時点で载荷を中止したが、その状態でもRC床版上面に圧壊などの目立った損傷は見られず、また上弦材H形鋼の応力は弾性域であった。ただし、荷重載荷点からトラス端部側約1mの区間で、RC床版と上弦材H形鋼フランジ上端に水平方向のずれが、またRC床版下面にひび割れが観察された。

(3) 負曲げ試験では175 kN/jack前後で支間中央部付近のRC床版上面に初期ひび割れが生じた。またその後の荷重増では、約510 kN/jackで支間中央付近の配力鉄筋応力度が許容応力度程度まで上昇したが、このときすべての鋼トラス部材の応力は許容応力度以下であった。荷重増加に伴いRC床版に橋軸直角方向のひび割れが広がり、その間隔はほぼ125mmで文献6)の推定値168mmよりも小さくなった。ひび割れ幅は目視による測定では約0.15mmであり、この値も文献6)による推定値0.209mmよりも小さくなった。ひび割れは負曲げモーメントの高い範囲を中心にほぼ均一に広がって生じており、ある特定の箇所に集中して深いひび割れが生じる現象は見られなかった。

(4) 負曲げ試験で支間中央における床版鉄筋応力が許容応力度に達する荷重はおおよそ510 kN/jackであった。このときにRC床版表面では橋軸直角方向にひび割れが観測されたが、ひび割れ幅は一般に許容値とされている0.2mmより十分に小さかった。また上述の通り、ひび割れは十分に分散して発生しており、これらのことから道路橋示方書に示されている配力鉄筋の最小鉄筋量(鉄筋比2%以上、周長率0.045 cm/cm<sup>2</sup>以上)

および鉄筋応力度の規定を満足するように RC 床版の設計を行なえば、負曲げ領域におけるひび割れ制御が十分安全側に行われることが確認できた。

#### 6. 今後の検討事項

(1) 実橋では多くの荷重がトラス面内以外の位置に載荷されることが予想される。この場合 RC 床版と上弦材 H 形鋼の一体性が保たれず、両者のねじり挙動に差が生じる可能性がある。すなわち、床版と上弦材 H 形鋼の取り付け付近で相対的に首振り起す恐れがある。このために RC 床版と上弦材のフランジ上端に隙間が生じるなどの不都合が生じる可能性も否定できない。実験としては、今回のような供試体に対しトラス面内以外に荷重を載荷するか、あるいは 2 主構を有する供試体を作成し、トラスに対して偏心載荷を評価できる実験を行なう必要があると思われる。

(2) 上下弦材と斜材の連結部はこれまでに例のないガセットプレートを高力ボルト接合した構造が採用されている。この部分の終局時の耐力および挙動について検証しておく必要があると思われる。実構造に近い形状の継手構造を想定した供試体を作成し荷重載荷試験を行なうことも検討したい。

(3) 今回用いた供試体は、格点間隔は 1m でしかも格点構造自体が全体のプロポーシオンからしてやや大きかった。また荷重載荷も格点位置に行なったために、格点間の床組み作用による上弦材の合成挙動特性を確認できなかった。試設計によれば実構造物の格点間隔は 3m から 3.5m 程度で床組み作用の影響はそれほど大きくならないと予想されるが、合成構造の形式と

してはこれまでに前例がないことから、上弦材 H 形鋼と RC 床版の合成効果や応力分布などを検証しておく必要があると思われる。

#### [謝辞]

本研究を行なうにあたり、貴重なご助言を頂きました「鋼トラス橋の合理化構造に関する調査研究委員会（財）高速道路技術センター：委員長 早稲田大学依田照彦教授」の委員の方々に深く感謝いたします。

#### [参考文献]

- 1) 尾下里治, 白水晃生, 奥原秀敏: 形鋼を主体とした合成ラチストラス橋の提案, 土木技術 Vol. 55, No. 5, pp. 50-57, 2000. 5
- 2) Sattler, K.: Theorie der Verbundkonstruktionen, Bd. 2, Wilhelm Ernst & Sohn, 1959
- 3) Roik K. and Haensel J.: Composite Bridge for High Speed Trains. Composite Construction in Steel and Concrete, Proc. of an Engineering Foundation Conference, Henniker, USA, ASCE Publication, pp. 207-273, 1988
- 4) 福田武雄: 合成トラス橋について—新潟中宿橋の設計—, 土木技術, pp. 24-30, 1956. 4
- 5) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編, pp. 279-280, 1996. 12
- 6) 土木学会コンクリート委員会: コンクリート標準示方書 設計編, pp. 86-95, 土木学会, 1996

(2000 年 9 月 14 日受付)