

(10) 複合トラス構造接合部の耐力確認実験

日本道路公団 静岡建設局	○ 本間 淳史
日本道路公団 静岡建設局	黒岩 正
プレストレストコンクリート建設業協会 正会員	日紫喜剛啓
プレストレストコンクリート建設業協会	古市 耕輔

1. はじめに

複合トラス橋は、主桁の上下床版にコンクリート、ウェブに鋼トラスを用いた構造で、従来のコンクリート橋に比べ自重の軽減やスパンの長大化、施工の合理化が可能な構造として期待され、第二東名高速道路において、巴川橋、猿田川橋の2橋が計画されている。

複合トラス構造におけるトラス部材の接合部は、コンクリート部材と鋼部材を一体化してかつ、断面力の伝達機構を要求される構造上重要な部分である。しかし、現在までその接合構造に関する実験・研究はほとんどなされていない。そこで、今回上記2橋の実現にむけ、接合部の構造特性を把握することを目的として、3種類の構造形式を選定し、接合部の実物大模型を用いた試験を実施した。試験は、実施工と設計を対象として、施工性能実験、疲労試験、耐力確認実験からなるが、本報文は、このうち疲労試験の終了後に行った、耐力確認実験について述べるものである。

2. 試験体の種類と形状寸法

今回の試験では、試験体を疲労試験と併用することから、実橋において最も応力振幅の大きい支間中央付近の格点をモデル化したものを用いた。

実験の対象とした3種類の接合構造を図-3に示す。

①TYPE1(PC鋼棒格点接合)

PC鋼棒をコンクリート桁と鋼管に充填された高強度モルタル間に配置して、付着により力を伝達する構造である。PC鋼棒には付着力を期待するため、ネジ節のあるφ36mmのものを使用した。また、その配置本数は、引張側で12本、圧縮側で4本とした。トラス鋼管は、丸形鋼管(φ457.2mm t=19mm)で、材質及び機械的性質がSTK400相当とした。鋼管の内部には、充填モルタルとの付着を高めるため、ビード溶接を施した。また、充填モルタルには、28日強度で30N/mm²以上となる高膨張性高強度モルタルを用い実験時強度は95N/mm²であった。

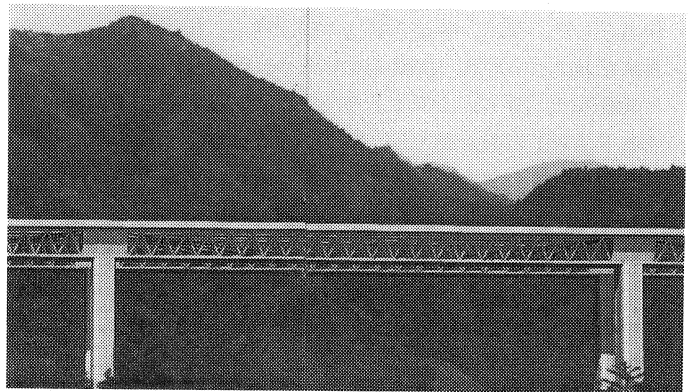


図-1 巴川橋・完成予想図

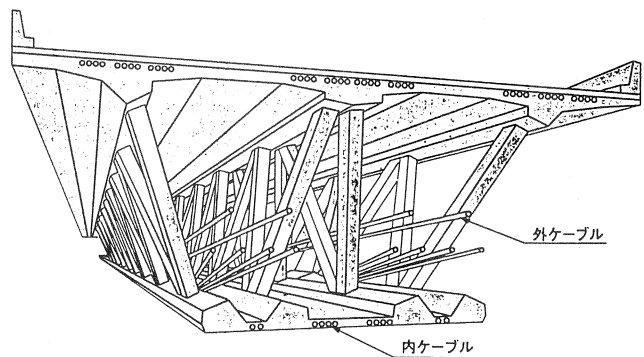


図-2 複合トラス概要図

②TYPE2(ガセット格点接合)

コンクリート桁内にガセットプレートを埋込み、これにトラス斜材をボルトで接合する構造である。本実験では、ガセットプレートとして、厚さ16mm、材質がSM400のものを使用し、コンクリートとの一体化のために、これにφ22の頭付きスタッドを溶植した。トラス鋼管は、角形鋼管(450mm×450mm t=16mm)で、材質及び機械的性質がSM400相当のものとした。ガセットプレートと鋼トラス斜材の接合には、M22の高力ボルトを使用した。

③TYPE3(鋳鋼格点接合)

コンクリート桁内に鋳鋼でできたヒンジ部材を埋込み、これにトラス斜材を溶接する構造である。鋳鋼製の格点部は凹側と凸側の2部材を組み合わせた、ヒンジ構造となっていて、格点据付時には留めボルトで仮固定する。トラス鋼管は、角形鋼管(400mm×400mm t=12mm)とした。材質及び機械的性質は、格点部、角形鋼管ともに、SM490B相当とした。なお、各接合構造の詳細構造、施工方法などについては、文献1)を参照されたい。

試験体は、図-4に示すような、ウェブを構成するトラス1面を対象とし、格点とそれに接合する圧縮・引張の2本の鋼トラス材の半分をモデル化したものを用いた。コンクリート桁部は、格点周りを実際に想定される配筋とし、それ以外については実験に必要な載荷装置としての機能を満足させるように設計した。

桁部のコンクリート強度は、実験時で約46N/mm²であった。鋼トラス斜材端部には、軸力のみが作用するように厚板を溶接しピン構造とした。また、実橋で導入される、床版コンクリート内の軸方向プレストレスについては、安全側の結果が得られるものとして、本試験体では導入していない。

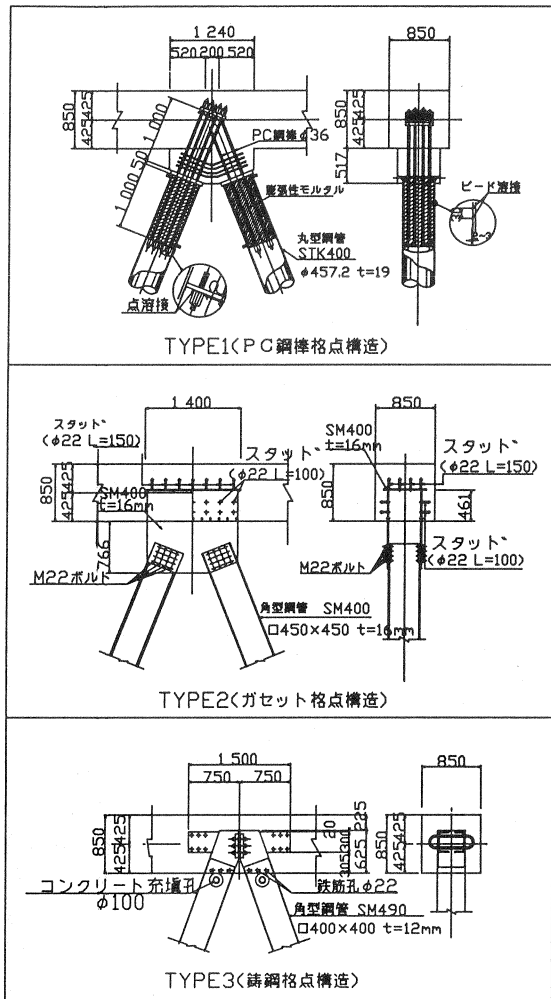


図-3 接合部の構造

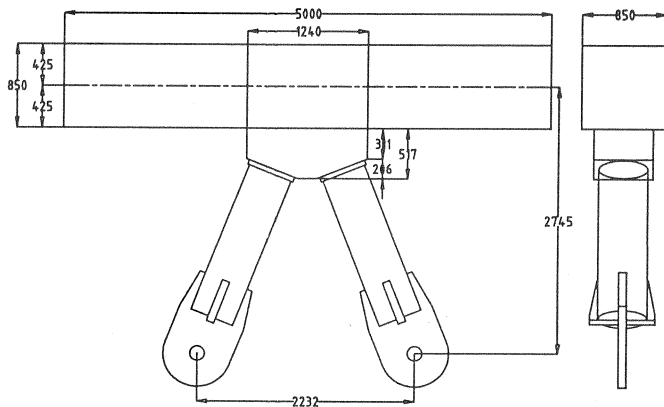


図-4 試験体(TYPE1)の形状寸法図

3. 実験方法

実験装置の概要を図-5に、載荷要領を図-6に、また実験状況を写真-1に示す。

試験体は、コンクリート桁を上側にして、PC鋼材により実験場の反力床に固定された下部ベースにピンで接合した。載荷は、5000kNの容量をもつ油圧ジャッキにより、コンクリート梁端部に水平力を導入し、トラス斜材に軸力を作用させることとした。このとき、格点が回転することにより所定の軸力がトラス斜材に導入されないことが懸念された。そこで、コンクリート梁を水平移動させるため、ジャッキ先端に球座を取り付け、接触面にはテフロンシートを配置して載荷位置・方向を一定とするとともに、補助的にコンクリート梁の両端付近に鉛直鋼材(ピン支持)を配置して水平移動させた。

載荷は、3段階の漸増載荷とし、トラス斜材の軸力で、疲労試験における最大荷重(以降 P_L 荷重)1126kNを載荷後いったん除荷し、その3倍の荷重(P_{max} ; トラス斜材軸力で3378kN)を目標に載荷、再度除荷したのち、最大耐力を確認する載荷を行うこととした。ただし、載荷装置の制限から、試験体の明確な破壊が認められない場合でも、トラス斜材の軸力が4700kNに達した時点で実験を終了することとした。また、載荷にあたっては、各接合構造ごとに試験体の形状寸法が異なり、同じトラス軸力を得るための水平載荷荷重が異なることから、事前にフレーム解析を行い水平載荷荷重の目標値を求めるとともに、実験時にトラス斜材のひずみを測定して軸力を算出することにより、導入軸力の確認を行った。

計測は、載荷荷重(1)、試験体変位(18~31)、トラス斜材ひずみ(24~52)、コンクリート梁のひずみ(15~22)、鉄筋ひずみ(10)の他、各接合構造ごとに特徴的な箇所(34~48)のひずみについて行った。

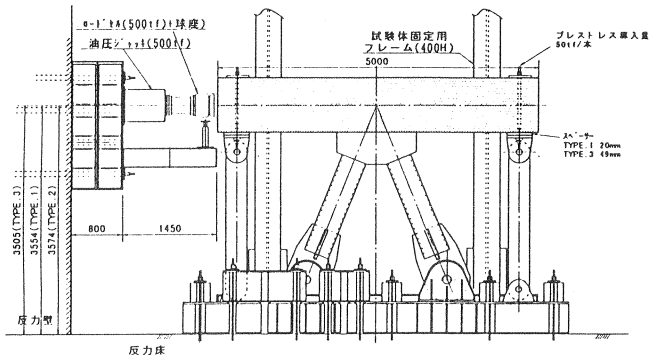


図-5 実験装置概要

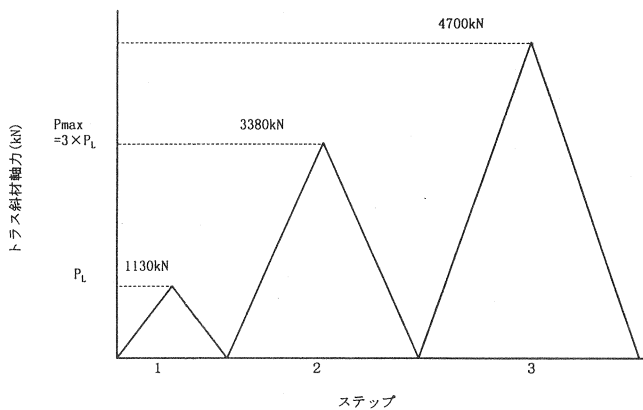


図-6 載荷要領

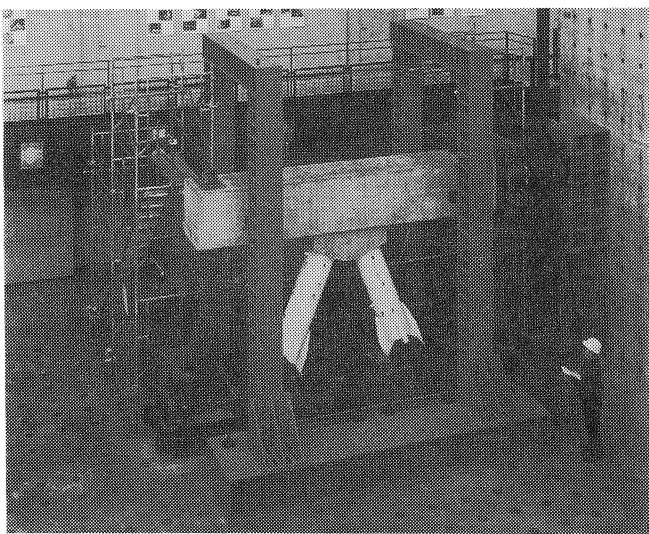


写真-1 実験状況 (TYPE1)

4. 結果

以下に実験結果の概要を、各試験体ごとに示す。

①TYPE1(PC 鋼棒格点接合)

本実験では、3サイクル目に許容載荷荷重に達したため、試験体が破壊に至る前に載荷を終了した。

図-7に載荷荷重と水平変位の関係を示す。これによると、載荷荷重 100kN 程度までの初期には、試験体を固定しているピンの余裕から 5 mm 程度の変位がでていたが、その後 P_L 荷重まではほぼ線形であり、最大荷重まで設計で想定していたような、鋼管とモルタルの間の付着切れによる破壊現象を見ることはできなかった。また、図-8にコンクリート突起部と引張斜材間の目開きを示す。ここでは、常時作用する P_L 荷重で 0.34 mm と若干の隙間が生じ、 P_{max} で 1.03 mm であった。

格点部全体としては、コンクリート突起部側面にひび割れが若干入る程度であり、 P_{max} 除荷時の残留変位も 1 mm 程度と小さく、おおむね健全であった。

写真-2には、実験終了後にトラス斜材のモルタル充填部の鋼板を剥がした状況を示す。これによると、引張斜材のモルタルの一部に損傷があり、大きなずれ力が作用したことがうかがえるが、鋼管とモルタル間で明確にずれた様子は見られなかった。また、トラス斜材内の PC 定着板が鋼管に溶接されているが、この部分は実験終了後も健全であった。今回の載荷範囲では、計算上 P_L 荷重で鋼管とモルタルの付着切れによる破壊が想定されていたが、この溶接された定着板が本格点構造の耐力に寄与したものと推定される。

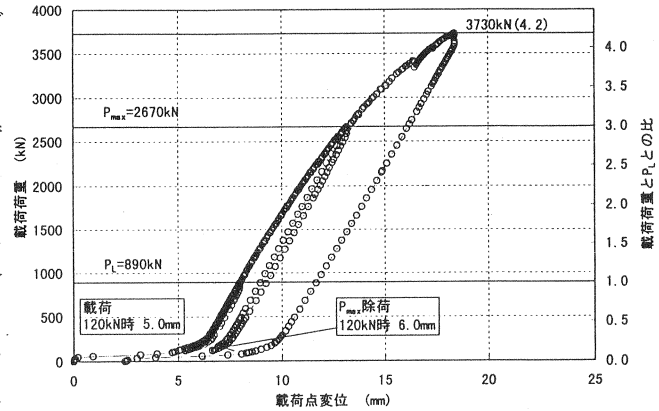


図-7 荷重と水平変位の関係

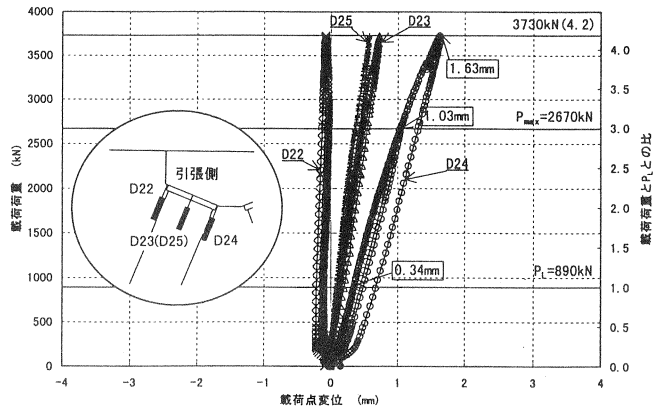


図-8 荷重と変位(隙間)の関係

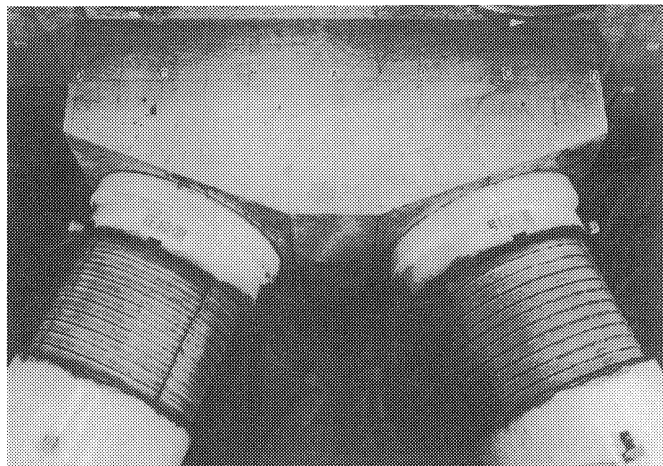


写真-2 充填モルタルの状況(実験終了後)

②TYPE2(ガセット格点接合)

図-9に載荷荷重と水平変位の関係を示す。本実験では、ピンの余裕による初期変位(約3mm)を除くと P_L 荷重の1.5倍まではほぼ線形な挙動を示しているが、それ以降は次第に軟化しており、 P_L 荷重の1.9倍の1760kNで圧縮側トラス斜材とガセットプレート間の一部でずれが生じ荷重が低減した。さらに載荷すると2090kNで圧縮側接合部全体がずれ、その後も載荷にともない荷重と変形が進行したが、2330kNの時点で今度は引張側トラス斜材とガセットプレート間でずれが生じ、その後 P_L 荷重の3倍まで載荷できた。最終的には、再度この荷重まで載荷して実験を終了したが、ガセットプレートの座屈現象などは見られず、このときの残留変位は約10mm(12.8-3.2mm)であった。

写真-3に実験終了後のガセットプレートの状況を示す。ここでのトラス部材とガセットプレート間でのずれ量は、圧縮側・引張側共に約4mmで、これはボルト孔とボルト径のクリアランスと一致していた。しかし、このずれ量だけでは、10mmもの残留変位は発生しないため、載荷荷重とトラス斜材のひずみ関係(図-10)を見てみると、ミルシートでの降伏点(0.2%塑性ひずみ)よりもかなり低い点から軟化が始まっており、変位が伸びた時点と一致している。これは、角鋼管の製作段階における部分的な塑性ひずみが残っている影響と考えられ、これが残留変位に影響したものと考えられる。

③TYPE3(鋳鋼格点接合)

図-11に荷重と水平変位の関係を示す。本実験では、TYPE2と同様に P_L 荷重の1.5倍程度から軟化が始まっているが、 P_{max} を超える許容載荷荷重まで、破壊と思われる現象は見られなかった。図-12に荷重と鋳鋼接合部の凹側のひずみ関係

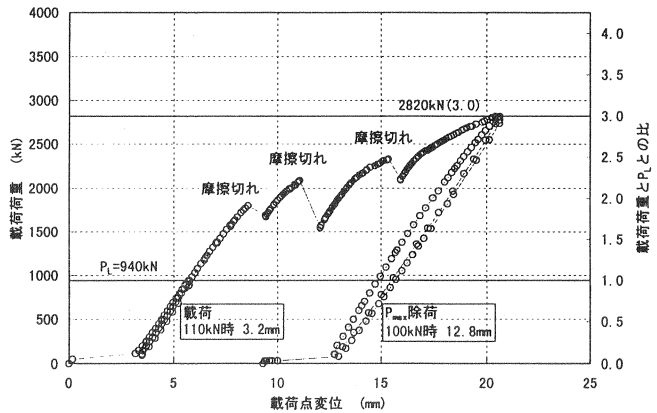


図-9 荷重と水平変位の関係

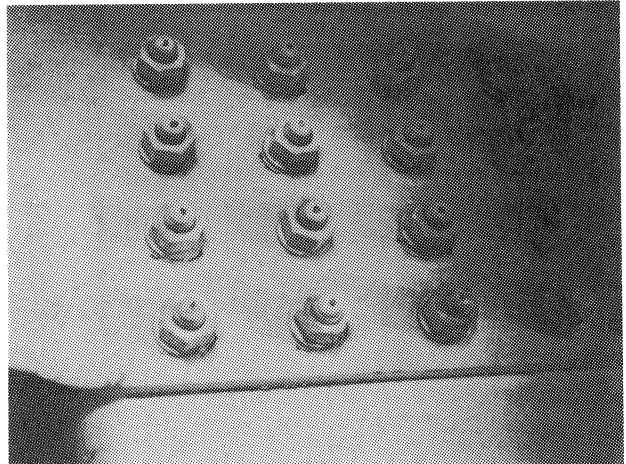


写真-3 引張側ガセットプレートの状況(実験終了後)

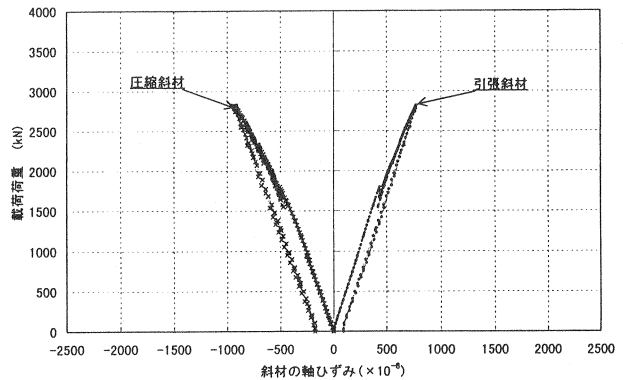


図-10 荷重とトラス斜材のひずみの関係

を示す。これによると、 P_L 荷重の 2.1 倍にあたる 1500kN 程度までは、ほとんどひずみが発生しておらず、周辺コンクリートと一体化した状態で挙動しているが、これ以降鋼部に荷重が作用してきている。ただし、最大荷重時でも梁接合部の鋼のひずみが 500 マイクロと小さいことから、格点部は損傷していないと考えられ、 P_{max} 除荷後の残留変位 2.5 mm は前述の角形鋼管の特性によるものと考えられる。

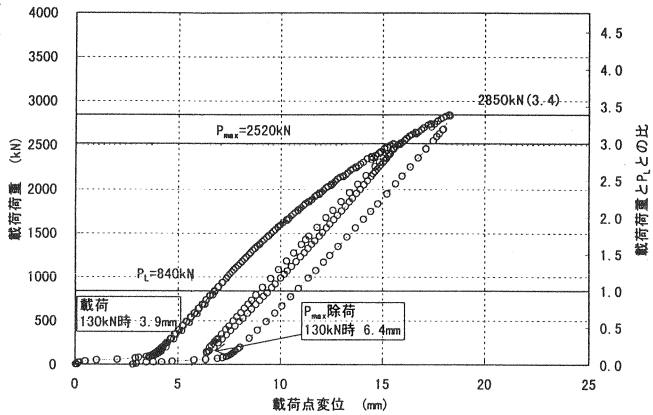


図-1.1 荷重と水平変位の関係

5. まとめ

今回対象とした3種類の接合部に対して、耐力確認実験の結果から次のことが明らかになった。

- (1) いずれの試験体も P_L 荷重の 1.5 倍程度までは、弾性的な挙動を示した。
- (2) TYPE1, TYPE3 については、格点部は P_L 荷重の 3 倍以上の耐力を有していた。
- (3) TYPE 2 は、 P_L 荷重の約 2 倍で摩擦切れによるずれが生じるが、その後は鋼とボルトの支圧により P_L 荷重の 3 倍まで荷重を保持することができる。
- (4) トラス斜材に角形鋼管を用いた場合は、その部材特性から、 P_L 荷重の 1.5 倍程度から非線形性を示す。

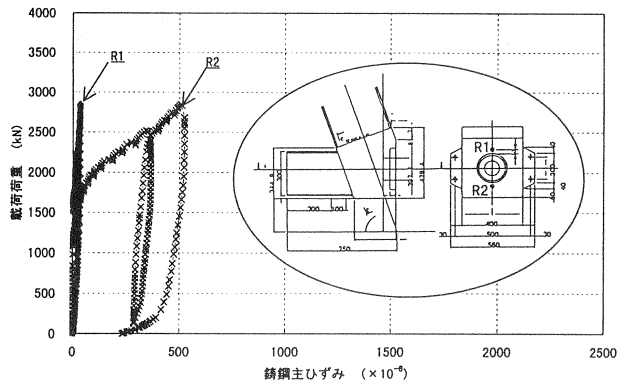


図-1.2 荷重と鋼ひずみの関係

今後は、本実験結果をもとに解析を行い、設計手法を確立し、実橋の設計に反映させていく予定である。

最後に、本実験の計画実施にあたり、ご指導をいただいた、鋼・コンクリート複合トラス橋の設計施工に関する技術検討委員会の委員長である池田教授ならびに委員の先生方に心から感謝致します。

参考文献

- 1) 黒岩, 本間, 益子, 藤田: 鋼・コンクリート複合トラス接合部の疲労試験; プレストレストコンクリート技術協会 第8回シンポジウム論文集, 1998年10月
- 2) 猪熊, 東田, 寺田, 岡田: 巴川橋(複合トラス橋)の計画; 土木学会第51回年次学術講演会, 1996.9, pp.514-515
- 3) 小川篤生: 日本道路公団における複合構造橋梁の技術開発; 第二東名神橋梁シンポジウム「これからの橋梁技術を考える」寄稿論文集, 1997.4, pp.4-1~4-14
- 4) 安松敏雄: 道路構造物での複合構造への取り組み; 土木学会平成9年度全国大会研究討論会資料, 鋼・コンクリート複合構造の現状と将来「新しい設計・施工の方向を目指して」, 1997.9, pp.4~8