

# 吊床版構造を応用した 新しいPC複合トラス橋に関する研究

熊谷 紳一郎\*1・近藤 真一\*2・池田 尚治\*3

## 1. 緒 言

コンクリート吊床版橋は、吊構造でプレストレストコンクリート床版そのものが吊橋における主ケーブル、補剛桁および床版の役目を兼ねるため、材料の強度と特性を十分に生かした軽量で合理的な構造が可能となる<sup>1), 2)</sup>。

わが国では、1969年大阪万国博覧会の会場内に、9号橋<sup>3)</sup>が初めて支保工施工で建設された。1987年に、張り渡したPC鋼材にプレキャスト化した床版を懸垂させながら順次架設する工法が、愛媛県に建設されたひぐらし橋<sup>4)</sup>に適用されて以来、渓谷を単径間で渡る橋梁形式として、これまでに歩道橋を中心に70橋余りが建設されている<sup>5)</sup>。

また、吊床版の上にストラット(支柱)を介して路面となる上床版を載せた構造の上路式吊床版橋は、1971年にノルウェーでKollstrømmen橋<sup>6)</sup>、1972年にコスタリカでRio Colorado橋<sup>7)</sup>が建設され、国内では1977年に速日峠橋<sup>8)</sup>、1995年に4径間連続構造の潮騒橋<sup>9)</sup>、2001年にストラットを鋼トラス斜材とした交流橋<sup>10)</sup>が建設されている。

吊床版橋は、架設に支保工や架設ガーダーが不要であることから、急峻な渓谷などに単径間の橋を建設する場合に最も優位性を発揮する形式の橋である。しかし、吊床版構造を成立させる要件として、吊床版に生じる水平力を地盤に定着させることが必要であり、地盤条件が良好でない架橋地点では適用できない場合があることが課題となっていた。とくに、上路式吊床版橋では、ストラットおよび上床版の自重も吊床版上に載荷されるため水平力がさらに大きくなり、適用の可能性を狭めることもあった。

筆者らは、この問題を解決するため、架設した吊床版を支保工として利用して吊床版上にウェブや上床版を構築し、吊床版部を下床版(下弦材)とする全断面を一体化した剛性の高い断面に発展(増殖)させた後に、張り渡したPC鋼材の引張力を橋体の両端部に盛り替えて定着して、グラウンドアンカーの定着力を解放し、独立した支持機構を有する橋梁構造とその架設工法を提案した<sup>11)</sup>。すなわち、この橋梁構造では、両橋台のグラウンドアンカーに伝達されていた吊床版部の引張力は、一体化した橋体に自碇され、その反力は上下床版へのプレストレスとして有効に利用される。

さらに、架設中の吊床版部に発生する引張力を極力抑えるため、コンクリートウェブの代わりに鋼トラスとしたPC複合トラス構造を併用することを提案し、全体構造の更な

る軽量化を図るとともに、導入プレストレスが上下床版に有効に伝達される構造とすることを試みた<sup>12)</sup>。

このような吊床版構造を応用したPC橋に関する研究としては、筆者らが実施した研究以外に報告されていない。

本論文では、まず吊床版構造を応用したPC複合トラス橋とその架設工法(以下、本複合トラス橋、本架設工法と称す)の概念とその力学的意味について述べ、次に本架設工法の実現性を確認するために行った模型試験結果について示す。また、実橋を想定した試設計を通して、他碇構造から自碇構造への変換機構などの細部構造および基本的な架設計画などを示し、その実用性と合理性について検証することとする。なお、自碇構造に変換した後は通常の複合トラス構造となるため、完成系での各種限界状態や耐震性などについては、誌面の都合上、ここでは触れないこととする。

## 2. 吊床版構造を応用したPC複合トラス橋の概念

本複合トラス橋の構造は、上床版、鋼トラス斜材、下床版および端部セグメントから構成される。下床版には、PC鋼材が配置されるが、初めに張り渡す懸垂架設用のPC鋼材を、1次PC鋼材と呼び、下床版(吊床版部)にプレストレスを与えるためのPC鋼材を2次PC鋼材と呼ぶことにする。

本複合トラス橋の架設(図-1)は、まず橋台上に橋体の端部セグメントを設け、橋台間に1次PC鋼材を張り渡す(step-1)。次にあらかじめ鋼トラス斜材を取り付けた下床版セグメントを順次送り出しながら懸垂架設する(step-2)。そして鋼トラス斜材を利用して上床版セグメントを送出し架設し、所定の位置で鋼トラス斜材と固定する(step-3)。続いてセグメントの後打ち部にコンクリートを打ち込む(step-4)。ここまでは、他碇構造である。

次に、下床版1次PC鋼材の定着位置を、橋台から橋体端部セグメントに盛り替え(step-5)、端部セグメントの仮固定を解放して自碇構造の橋体とする。最後に、静荷重と活荷重のための2次PC鋼材を緊張して橋体を完成させる。

下床版1次PC鋼材は、最終的には端部セグメントで定着させるが、下床版セグメントを懸垂架設する際には、さらに接続して背後の橋台で定着させている。この機構により懸垂架設時に生じる水平力は橋台に作用し、さらにグラウンドアンカーなどにより地盤に伝達され、他碇構造が成立している。他碇構造から自碇構造に変換する際には、橋台の1次PC鋼材の定着を解放することで、橋台で受け持たれ

\*1 Shin-ichiro KUMAGAI: 住友建設(株)九州支店(前土木本部技術部長)

\*2 Shinichi KONDOH: 住友建設(株)土木本部技術部

\*3 Shoji IKEDA: 本協会理事、横浜国立大学大学院工学研究院教授

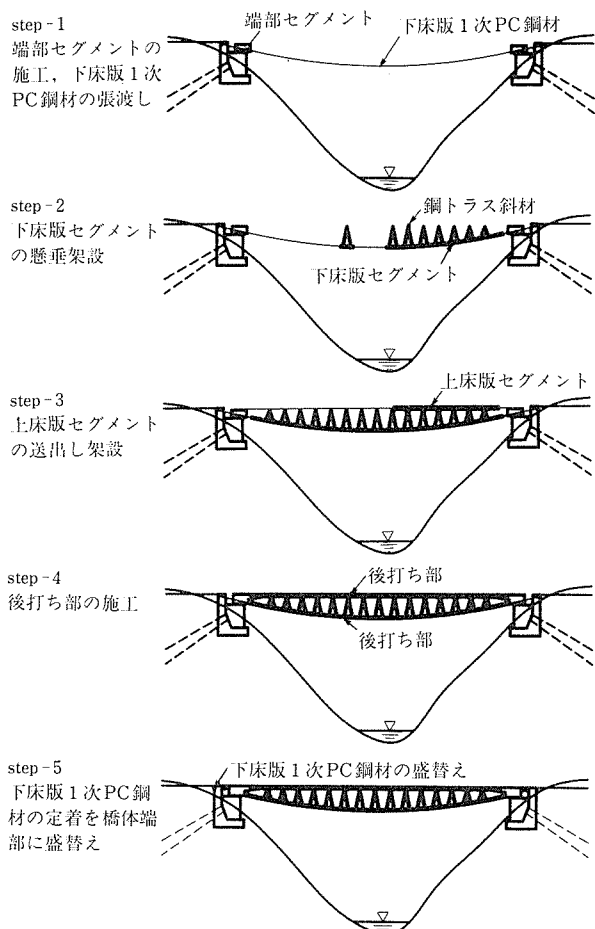


図-1 本複合トラス橋の架設方法

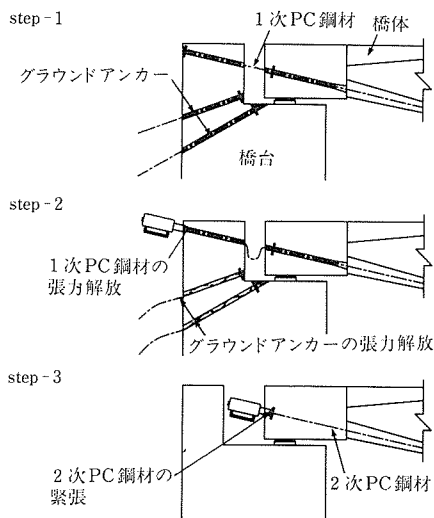


図-2 他碇構造から自碇構造への変換

ていた引張力は橋体で受け持たれることになる(図-2)。これらの架設手順を力学的に説明すると、以下のようなになる。まず、step-4までの作業では橋体の全自重は吊床版で支えられている。このとき、吊床版部の形状は橋体自重による曲げモーメント図と相似形になっている。この状態で間詰め部に打ち込んだコンクリートが硬化してトラス構造が完成し、1次PC鋼材の定着位置を橋台から端部セグ

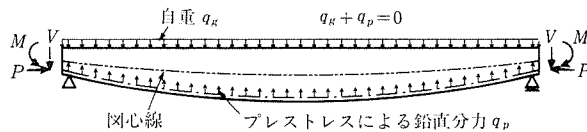


図-3 1次PC鋼材定着位置の盛替えによるプレストレス

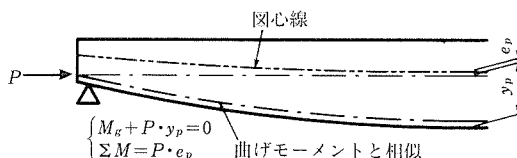


図-4 1次PC鋼材による偏心モーメント

メントへ盛り替えることで、あたかも端部セグメントの定着位置でPC鋼材を緊張定着したのと同様に、解放した緊張力がプレストレス力として橋体に導入される(図-3)。

この状態での吊床版部の形状、すなわち1次PC鋼材の配置形状は、一般の吊構造と同様に、自重によるせん断力をプレストレスの鉛直成分ですべて打ち消し、あらゆる断面位置で零にする形状となっている。また、曲げモーメントについても、1次PC鋼材を含んだ下床版の形状が自重による曲げモーメントと相似であるため、1次PC鋼材の端部定着位置からの断面図心までの偏心モーメントが残るのみで、端部定着位置を適当に変化させることによって発生モーメントを小さく抑えることができる(図-4)。

このことを言い換えると、自重によるせん断力や曲げモーメントをほとんど打ち消すようなPC鋼材の配置(もしくは桁高変化)が自動的になされたことになる。したがって、部材断面に発生する応力を小さく抑えられるばかりでなく、トラスの格点に発生する力を橋面荷重と活荷重によるものみに抑えることができる。

このため、床版厚を薄く、格点構造を小型化でき、大幅な軽量化が可能となることから、適用支間をこれまでの単純PC桁などに比べて大きくすることが可能となる。さらに、従来の吊床版橋のように永久的なグラウンドアンカーを有する橋台を必要とせず、橋体の軽量化は上部構造ばかりでなく下部構造についても合理的、経済的な建設を可能にする。

### 3. 本複合トラス橋の実現性に関する模型試験

本複合トラス橋の実現性を確認することを目的として、小型の模型試験体を他碇構造として製作し、他碇構造から自碇構造へと構造系が変化する際の挙動の確認および自碇構造となった試験体について曲げ載荷試験を行った。

#### 3.1 試験の方法

模型試験体の支間は3.6m、サグを20cmとした。試験体の形状を、図-5に示す。下床版セグメントには、1次PC鋼材、2次PC鋼材用の3本のPC鋼棒用のダクトを設けてある。下床版は、下床版セグメントおよび端部セグメントから構成されている。コンクリートの現場養生での試験時における圧縮強度は、51.9N/mm<sup>2</sup>であった。

吊床版部の製作は実際の施工と同様に、支保工を用いずに1次PC鋼材からプレキャスト床版を吊った状態で間詰め

部にモルタルを充填し、硬化後、後述のとおりプレストレスを導入した。次に、この下床版を支保工として利用し、より剛性の高い3種類の自碇構造の模型試験体を製作した(図-6)。

Aタイプは、他碇構造から自碇構造への変換の基本的な挙動を把握するために簡単な構造としたものである。

Bタイプは、実橋への適用を考慮したモデルで、自重を軽減するために鋼トラス斜材を有するPC複合トラス橋とした。架設方法は、あらかじめトラス斜材を組み込んだ下床版セグメントで下床版を製作してプレストレスを与え、上床版にコンクリートを打ち込んで、トラス斜材と一体化した。

Cタイプは、ウェブを鉄筋コンクリート構造としたもので、下床版にプレストレスを与えた後に下床版を底型枠として配筋し、コンクリートを打ち込んだ。

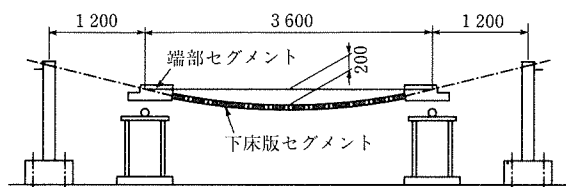


図-5 小型模型試験体の形状

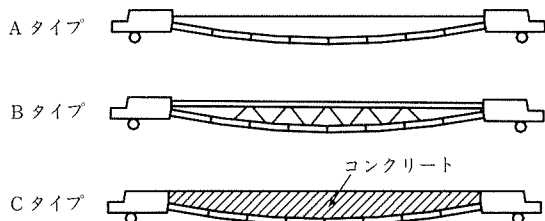


図-6 完成構造系の試験体形状

### 3.2 試験の結果

#### (1) 構造系変換試験

模型試験体3タイプについて、他碇構造を成立させていた1次PC鋼材をアンカー支柱から取り外し、自碇構造として支点上に設置し、試験体の変位および各部位のひずみを5ヵ所において測定した。

Aタイプは、自碇構造に変換した後は、自重のみが作用した構造で、床版には68.6 kNのプレストレス力を与えた。支間中央における変位は、棒部材にモデル化した弾性解析による計算値が0.63 mmとなり、実測値(0.61 mm)とよく一致した。

Bタイプは、PC複合トラス橋を想定したモデルであり、構造系変換による支間中央の変位の実測値は0.3 mmであった。また、トラス上弦材のコンクリートには、圧縮ひずみが生じ、斜材においてはトラス橋と同様に、引張斜材には引張ひずみ、圧縮材には圧縮ひずみが生じた。これより、構造系変換後はトラス構造であることが確認できた。

Cタイプは桁橋モデルであり、構造系変換による変位も最も小さく、支間中央で実測値が0.14 mmであった。構造系変換によるコンクリートひずみは、一般の単純桁と同様

に、上縁近傍では圧縮ひずみ、下床版には引張ひずみがそれぞれ測定され、構造系変換後に桁構造が形成されていることが確認できた。

#### (2) 載荷試験

BタイプおよびCタイプについて、構造系変換試験後、曲げ載荷試験を行い、自碇構造としての複合トラス橋および桁橋の耐荷挙動を把握することとした。載荷方法を図-7に示す。また、弾性解析の解析モデルを図-8に示す。

載荷は、2点集中荷重で行った。測定項目は、構造系変換試験と同様であり、支間5ヵ所における変位および各部位のひずみとした。なお、下床版に与えたプレストレス力は、3本のPC鋼棒のプレストレス力の合計で44.1 kNである。

載荷中、最初にひび割れが生じた場所は、両タイプとも下床版セグメントの接合部であった。ひび割れが発生した荷重は、Bタイプが9.8 kN~14.7 kN、Cタイプが14.7 kN~19.6 kNであった。

図-9、10に、BタイプおよびCタイプの試験値と弾性解析値との比較を示す。ひび割れが発生するまでの変位およびひずみの解析値は、試験値とよく一致しており、供用限界状態における解析モデルの妥当性が確認できた。

### 3.3 考察

本試験で得られた知見を要約すると、以下のようになる。

- ① 1次PC鋼材に吊られた下床版を支保工として橋体を製作した後、他碇構造から自碇構造に変換する構造系変換試験を行い、試験体の構造系が解析どおり変換さ

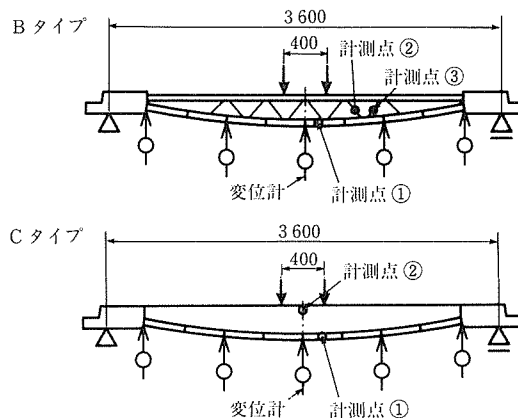


図-7 載荷方法

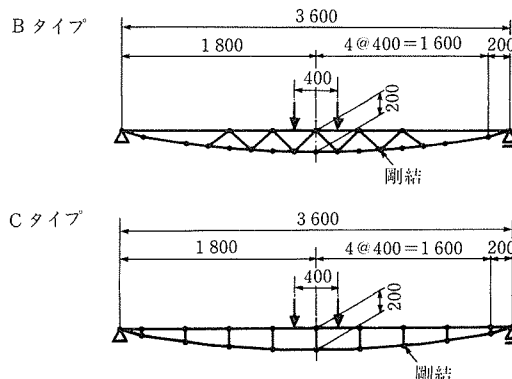


図-8 解析モデル

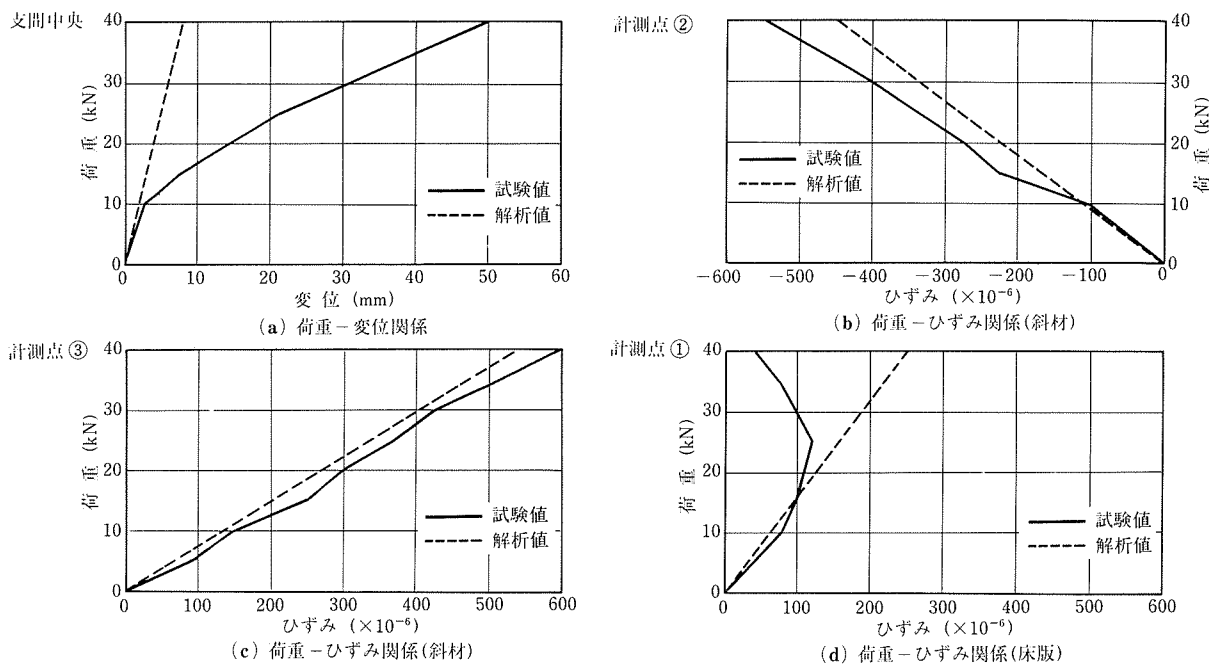


図-9 試験値と解析値の比較 (Bタイプ)

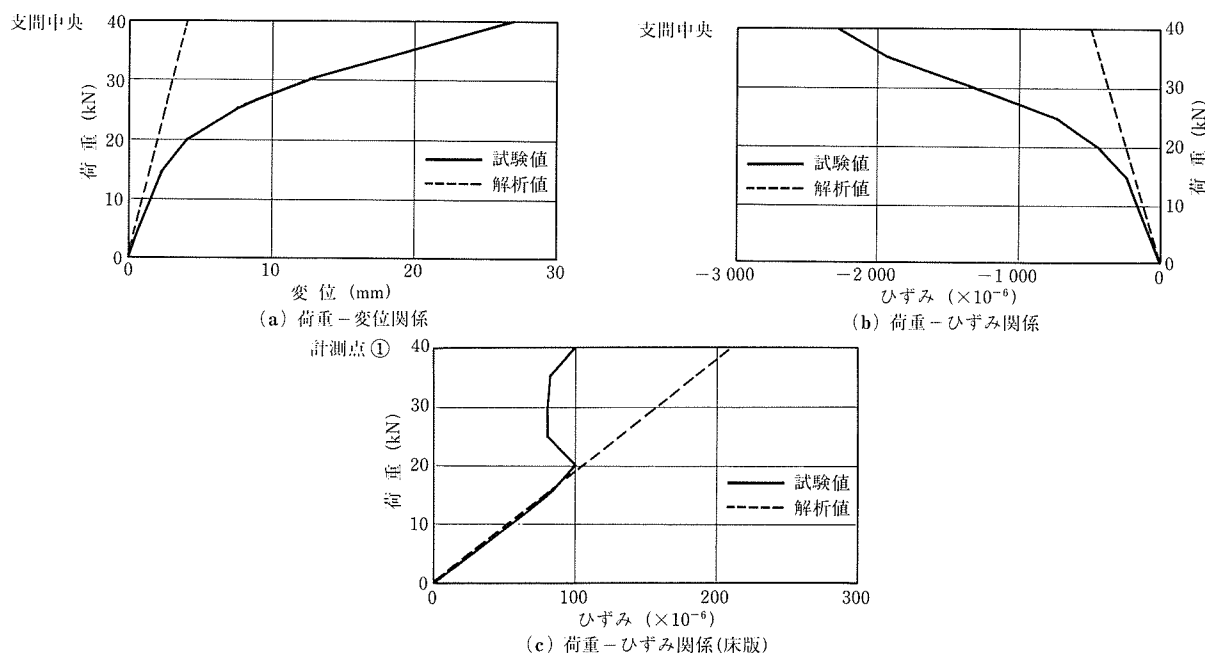


図-10 試験値と解析値の比較 (Cタイプ)

れ、トラス橋あるいは桁橋として成立することを確認した。

② Bタイプ試験体(複合トラス橋)は、Cタイプ試験体(桁橋)と比較して、十分な曲げ剛性を有しつつ軽量であり、かつ下床版1次PC鋼材からアンカー支柱に作用する水平力も低減できる合理的な構造であることを確認した。

③ 他碇構造として架設した後、構造系を自碇構造に変換する工法で建設した模型試験体は、複合トラス橋あるいは桁橋として成立していること、および弾性範囲内であれば簡略的なモデルでその挙動を解析できるこ

とを確認した。

#### 4. 構造系変換時における挙動に関する模型試験

小型模型試験における研究で、本複合トラス橋の合理性が確認できたので、支間5.0mの大型複合トラス模型を製作し、他碇構造から自碇構造への変換時における挙動および自碇構造となった試験体の曲げ性状を、より正確に把握するための試験を行った。

##### 4.1 試験計画と試験体製作

試験では、本提案をできるだけ忠実に再現する方法で模型試験体を製作した。また、他碇構造から自碇構造への変

換の際、1次PC鋼材から導入されるプレストレス量を容易に把握でき、かつ設計荷重に対する自重の比が実橋レベルとほぼ同等になるように、試験体に付加自重を与え、1次PC鋼材の応力レベルを高めることとした。

模型試験体は、支間を5.0 m、1次PC鋼材のサグを25 cm、下床版の厚さを5 cmとした。試験体の形状は図-11に示すとおりで、下床版セグメントには、1次PC鋼材、2次PC鋼材用の3本のPC鋼棒を配置する溝を設けた。また、下床版セグメントには、あらかじめトラス斜材を埋め込んで製作した。上床版は、場所打ち鉄筋コンクリートで、厚さは5 cmとした。コンクリートおよびモルタルの材料特性は、表-1に示すとおりである。

試験体の製作は実際の施工手順に忠実にいった。まず、端部セグメントを支承上に載せておき、これに1次PC鋼材および2次PC鋼材を通した後、両側のアンカー支柱に固定し、1次PC鋼材に張力を与えて端部セグメントを吊り上げた。各PC鋼材にはアンボンドPC鋼材を用いた。次に、下床版セグメントをPC鋼材の所定の位置に設置した後、サグが目標の25 cmになるように1次PC鋼材の張力を調整した。最後に、下床版セグメントの接合部にモルタルを充填し、それを支保工として上床版を場所打ちで製作した。

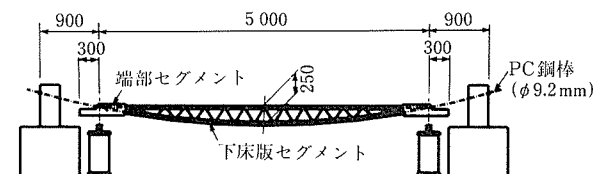


図-11 大型模型試験体の形状

表-1 材料の特性

	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 ( $\nu$ )
上床版	51.0	$2.84 \times 10^4$	0.18
下床版	54.9	$2.94 \times 10^4$	0.18
モルタル	52.0	$2.16 \times 10^4$	0.21

#### 4.2 試験の方法

模型試験体の完成後、以下の手順で試験を行った。各試験の計測項目は、支間5ヶ所の鉛直変位および支点上に設置される点の鉛直変位ならびに上下床版、トラス斜材のひずみとした。

下床版1次PC鋼材の定着位置を、両側のアンカー支柱から端部セグメントに変換する際に、橋体自重および付加自重により、下床版には47.0 kNのプレストレス力が導入される。このプレストレスの状態をCase-1とする。なお、付加自重を載荷する方法は、鋼棒で吊ったコンクリート製のブロック(1ヶ所あたり1.0 kN)を上床版上の14ヶ所に固定したものである。

次に、1次PC鋼材を、模型試験体の端部においてボルトおよびアンカープレートを用いて固定した後、両側のアンカー支柱から解放し、橋体を他碇構造から自碇構造に変換する試験を行う。その後、曲げ載荷試験を行う。

同様に、模型試験体に導入するプレストレス力を23.5 kN (Case-2)、0.0 kN (Case-3)、25.5 kN (Case-4)と変化させ、構造系変換試験を行う。

#### 4.3 試験の結果

##### (1) プレストレスの導入について

本試験では、試験体に与えるプレストレス力を変化させた場合の各ケースについて、プレストレスを導入する際の挙動の確認を行った。解析は、架設中の試験体が吊られた状態をモデル化し、解析モデルは図-12に示すとおりである。

Case-1では、支間中央における下床版コンクリートで、プレストレス力9.8 kNの変化に対して23  $\mu$ の圧縮ひずみが計測され、上床版では、ひずみはほとんど計測されなかった。他のケースにおいても同様で、これらは解析値とよく一致した。また、試験体の変位も、Case-4を除き解析値とよく一致した。これらの結果を表-2に示す。

これより、本複合トラス橋においても一般的なPC構造と同様にプレストレスが導入でき、また簡単なモデルを用いて解析できることが確認できた。



図-12 解析モデル

表-2 試験の結果

計測項目	Case-1	Case-2	Case-3	Case-4	解析値	
変位	支間中央	0.38 mm	0.29 mm	0.39 mm	1.41 mm	0.39 mm
	南 120 cm	0.29 mm	0.23 mm	0.27 mm	0.96 mm	0.30 mm
	北 120 cm	0.32 mm	0.27 mm	0.32 mm	0.95 mm	0.30 mm
下床版	支間中央	-23 $\mu$	-16 $\mu$	-28 $\mu$	-29 $\mu$	-24 $\mu$
	南 105 cm	-16 $\mu$	-14 $\mu$	-17 $\mu$	-17 $\mu$	-21 $\mu$
	北 105 cm	-14 $\mu$	-13 $\mu$	-13 $\mu$	-12 $\mu$	-2 $\mu$

注) 数値は、導入される圧縮力9.8kNあたり

##### (2) 構造系変換試験について

各ケースについて、他碇構造を成立させていた1次PC鋼材をアンカー支柱から解放し、構造系変換試験を行った。1次PC鋼材のアンカー支柱を解放する際には、あらかじめ1次PC鋼材を試験体に固定し、解放時にPC鋼材張力が確実にプレストレス力になるようにした。

1次PC鋼材の張力によるプレストレス力は、橋体自重によって下床版に生じる引張力を相殺するように働くため、構造系変換によって下床版に生じる引張りひずみは僅かとなり、上床版のみに大きな圧縮ひずみが生じた。この傾向は、Case-3を除き、ほぼ一致した。Case-3では、2度の載荷試験により下床版接合部にひび割れが生じ、またプレストレスを導入しなかったため、接合部の剛性が低下するなどして、他のケースとは若干異なる結果となった。上床版には60  $\mu$ ~70  $\mu$ 程度の圧縮ひずみ(Case-1)が計測され、この値も各ケースでほぼ一致していた。

##### (3) 載荷試験について

各ケースについて他碇構造から自碇構造に変換後、曲げ載荷試験を行い、製作した試験体の耐荷挙動および導入し

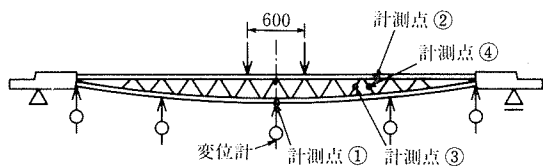


図-13 荷重の方法

たプレストレスの大小による影響を確認した。

荷重は、図-13に示す2点集中荷重で行い、解析はトラスの骨組モデルで行った。支間中央における変位を図-14(a)に示す。荷重時、最初にひび割れが生じたのはいずれも下床版の接合部で、ひび割れが生じるまでは、試験値はいずれも骨組モデルでの解析値とよく一致した。

また、Case-1が最もひび割れ発生荷重が大きく、その50%のプレストレスを導入したCase-2ではひび割れ発生荷重も半分に、プレストレスを導入しなかったCase-3では、荷重直後にひび割れが生じた。

すなわち、本試験体は、一般のアンボンドPC構造と同様に、ひび割れが発生する荷重は、試験体に導入したプレストレスの量に依存し、すでに接合部にひび割れのある場合においても、荷重により再びひび割れが発生するまでは、

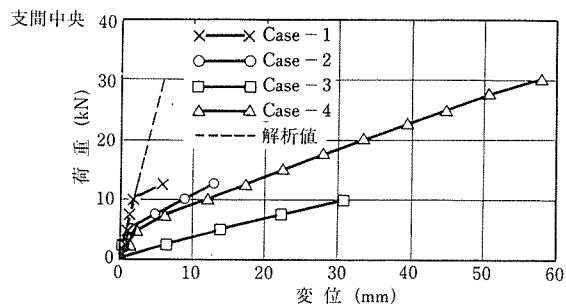
ひび割れ以前の試験体と同等の挙動を示すことが確認できた。

Case-4では、2次PC鋼材に導入する引張力を1次PC鋼材の引張力と同じ値とし、荷重試験では、PC鋼材の引張力が降伏強度の80%になったところで荷重を終了した。最大荷重における支間中央の鉛直変位は、57.44 mmに達したが、除荷後の残留たわみは僅か1.99 mmで、さらに18時間後の残留たわみは1.37 mmにまで減少した。

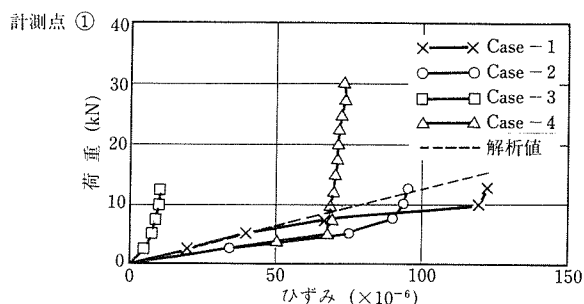
支間中央における下床版のひずみを図-14(b)に示す。各ケースとも、ひび割れ発生後、引張りひずみの増加がほとんどなくなり、それ以後は試験体の変位とPC鋼材のひずみが増加した。ひび割れ発生後の挙動は、図-14(a)、(c)の曲線相似にも見られるように、PC鋼材の伸び剛性に依存することが確認された。

上床版のひずみは、荷重荷重によるトラス格点近傍の応力の乱れなどの影響の少ない支間中央から105 cm離れた位置で、すべてのケースで一様に圧縮ひずみが増加し、これらは解析値とほぼ一致した(図-14(d))。

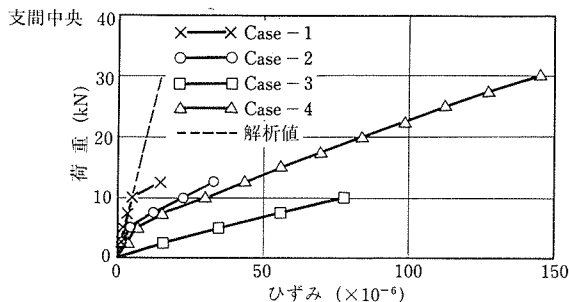
トラス斜材についても、支間中央から105 cm離れた位置では、各ケースとも一様な挙動を示し、解析値とよく一致した(図-14(e))。



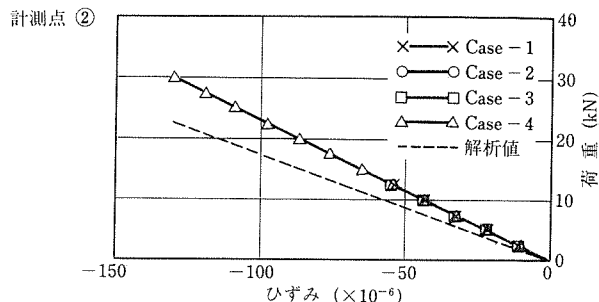
(a) 荷重-変位関係



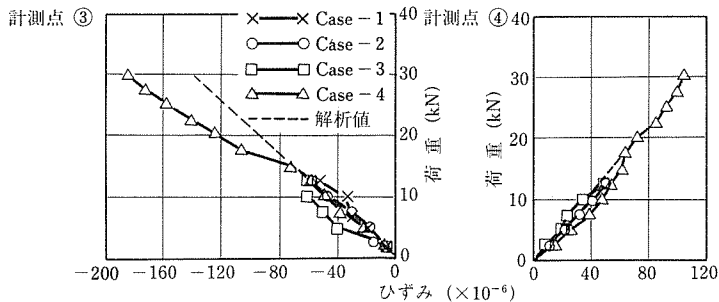
(b) 荷重-ひずみ関係(下床版)



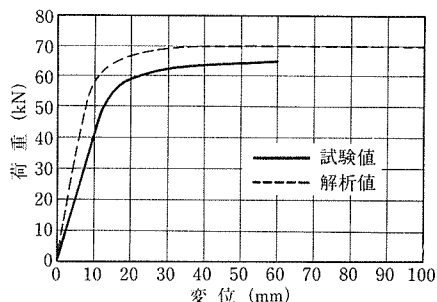
(c) 荷重-ひずみ関係(PC鋼棒)



(d) 荷重-ひずみ関係(上床版)



(e) 荷重-ひずみ関係(ウェブ)



(f) 荷重-変位関係(終局荷重時)

図-14 試験値と解析値の比較

これらの結果より、本工法により製作した試験体は、支保工として用いた吊床版構造をはるかに上回る曲げ剛性を有する自旋構造となり、その耐荷挙動も大きなひび割れの発生しない範囲内であれば、通常のトラス橋と同様に簡単なモデルにより解析できることが確認できた。

最後に、同じ供試体を用いて終局載荷試験を行った<sup>13)</sup>。導入プレストレスは、実橋の導入レベルを想定して141 kNとし、グラウトをして付着をもたせた。試験結果を図-14(f)に示す。支間中央の荷重と変位の関係は、試験値と解析値ではほぼ一致しているが、耐力が1割程度低い値となった。これは、下床版セグメントの接合部でひび割れが大きく開き、PC鋼棒との付着が広い範囲で切れたため、付着があるとして解析した耐力より低い値を示したものである。

#### (4) クリープ試験について

すべての試験が終了した後、支間中央のクリープ変位を約1ヵ月間計測した。なお、クリープ試験時におけるプレストレス導入力は、各PC鋼材に25.5 kN、計76.4 kNとした。図-15に示すように、その変位曲線は簡易式<sup>14)</sup>によりクリープ解析した結果と、よく一致していることが確認できた。

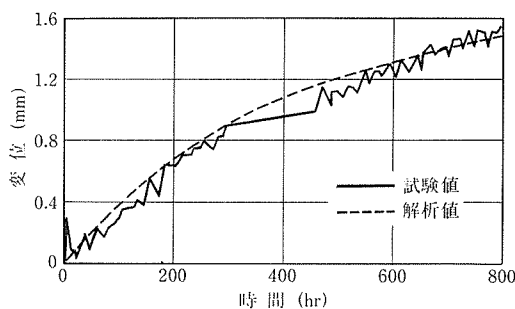


図-15 支間中央におけるクリープ変位

#### 4.4 考 察

本試験で得られた知見を要約すると、以下のようになる。

- ① 1次PC鋼材に吊られた下床版セグメントを支保工として利用して橋体を製作した後、他旋構造から自旋構造に変換する構造系変換試験を行い、一般的なPC構造と同様にプレストレスを導入でき、かつプレストレスは自重による応力を打ち消す方向に導入されていることを確認した。
- ② 本工法により製作した試験体は、吊床版構造を大きく上回る曲げ剛性を有する自旋構造となり、その曲げ挙動は、供用限界および終局限界状態において、通常の複合トラス構造と同様であることを確認した。

### 5. 実橋を想定した試設計

吊床版構造を応用した新しいPC複合トラス橋が、実橋に対しても設計および架設が可能であることを確認する目的で、試設計および架設計画を行った。

試設計は、橋長40.0m、有効幅員1.5mの歩道橋を想定して行った。

#### 5.1 構造および材料

試設計モデルの上部構造は、上床版、下床版、トラス斜

材および端部セグメントで構成された曲弦トラス橋である。支間は38.0mであり、支間中央における上床版天端から下床版下端までの距離(縦距)は3.5mである。この縦距は、懸垂架設時におけるサグ比が1/18となるように決定した。側面図を図-16に、断面図を図-17に示す。

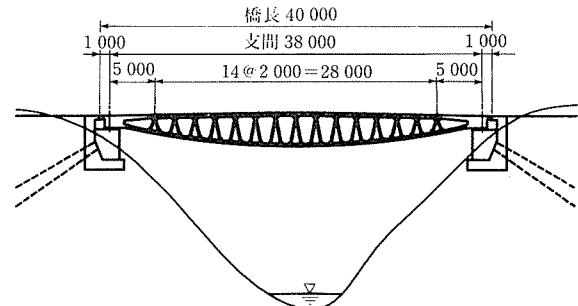


図-16 試設計モデルの側面図

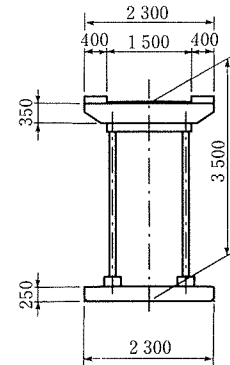


図-17 試設計モデルの断面図

上床版厚は35 cm、下床版厚は25 cmである。コンクリートの設計基準強度は40 N/mm<sup>2</sup>とした。上床版、下床版ともにプレキャストセグメントを主体とし、セグメントどうしの隙間は、間詰めコンクリートを打ち込むものとした。プレキャストセグメントの分割長は、鉄筋の継手長および輸送条件を考慮して1.7 mとした。

トラス斜材は鋼管とし、下床版プレキャストセグメントおよびトラス格点部の構造を単純化するために、工場加工した1組の斜材ユニットを、1枚のセグメントに取り付けることを基本とした。この構造は、架設時に下床版セグメントを1次ケーブルに固定している位置に、格点の位置を近づけることができ、下床版セグメントに生じる曲げモーメントを小さくすることができる。

△形斜材ユニットは2.0 m間隔で設けている。鋼管の材質は、STK 400、STK 490を主体とし、支点近傍のユニットには比較的大きな断面力が生じるためSCW 520 CFを使用することとした。

△形斜材ユニットにおける隣り合う斜材の軸力は、鋼管どうしを直接溶接することによって伝達させることとした。斜材と下床版の結合はアンカーボルトによった。また、斜材と上床版との結合部には、アングルジベルを配置して、水平せん断力に抵抗させることとした(図-18)。

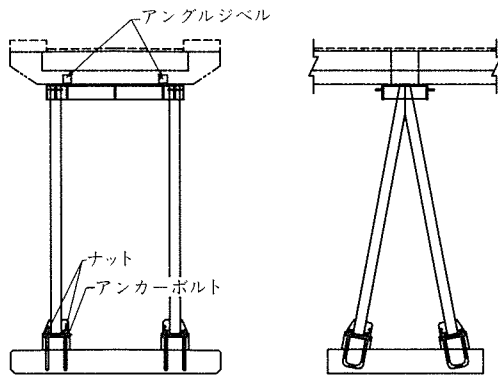


図-18 鋼トラス斜材

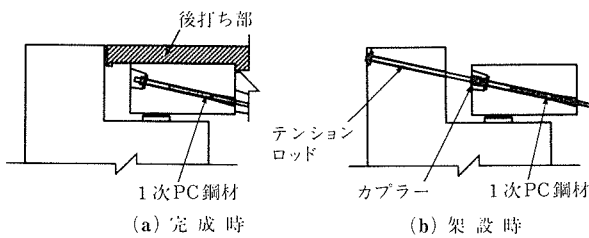


図-19 下床版1次PC鋼材の定着

下床版1次PC鋼材は、ねじ定着方式のSWPR7B 19S 11.1(引張荷重2622kN)とし、完成時には橋体端部セグメントに支圧板とナットにより定着させるが(図-19(a))、架設時には端部セグメントには定着させずに、さらにテンションロッドを接続し、このテンションロッドを橋台パラベットに定着させることとした(図-19(b))。

端部セグメントは、架設時における1次PC鋼材のサグ変化によって、1次PC鋼材の定着部に曲げを生じさせないという役割も担っている。端部セグメントと橋台パラベットの間に、維持管理のための検査廊を設けているが、この空間で他碇構造から自碇構造への変換作業も行うことができる。

下床版にプレストレスを与えるための2次PC鋼材は、SWPR7B 3S 15.2(引張荷重783kN)としている。

### 5.2 設計

設計は、「PC吊床版橋設計施工規準(案)」を参考にして、限界状態設計法により行った。設計条件を表-3に示す。

構造解析は、架設および完成系に分けて行った。架設系は、1次PC鋼材張渡しから後打ち部施工までの吊床版としての構造系であり、これに対しては有限変位理論を適用した。完成系は、構造系変換からの単純トラス橋としての構造系であり、これに対しては微小変位理論を適用した。

完成系の構造モデルは図-20に示す骨組モデルである。また、活荷重は影響線載荷した。なお、死荷重(D)の平均荷重強度は $w = 38 \text{ kN/m}$ 、活荷重(L)は $w = 5.3 \text{ kN/m}$ である。

下床版1次PC鋼材は、19S 11.1を2本、下床版2次PC鋼材は、3S 15.2を4本配置している。

架設時における最大水平力は、上床版後打ち部施工時、構造系変換直前の状態で生じ、2816kNである。

他碇構造から自碇構造へ変換する際に生じる軸方向力を

表-3 試設計条件

橋種	歩道橋
橋長	40.0 m
支間	38.0 m
有効幅員	1.5 m
活荷重	3.5 kN/m <sup>2</sup>
コンクリート	40 N/mm <sup>2</sup>
P C 鋼材	SWPR 7 B

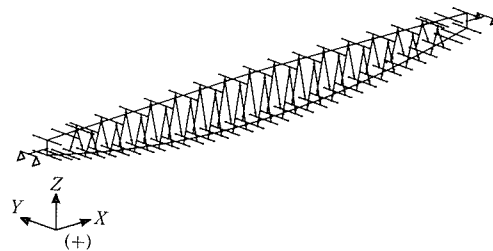


図-20 完成系の解析モデル

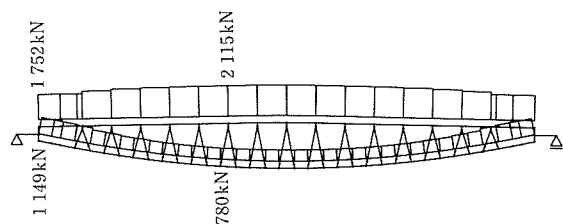


図-21 構造系変換による軸方向力

図-21に示す。

下床版の供用限界状態における検討は、コンクリート断面の曲げひび割れ幅の照査、PC鋼材応力度の照査および隣り合うトラス斜材の軸線が下床版軸線と一つの点で交わっていないことにより生じるせん断力に対する照査を行った。なお、永久荷重作用時には、コンクリート断面に引張応力度を生じさせていない。

下床版の終局限界状態における検討は、PC鋼材の降伏に対する照査およびせん断に対する照査を行った。

上床版の供用限界状態および終局限界状態の検討は、一般的な梁部材としての照査を行った。

トラス斜材の検討は、「道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編」に従った。

活荷重によるたわみの支間Lに対する比は1/17000であり、道路橋のプレートガーダーにおけるたわみの許容値1/500に比べ、かなり小さな値となっている。

### 5.3 架設計画

試設計の対象とした曲弦トラス橋の基本的な架設方法は、2章で示したとおりであるが、ここでは細部に対する計画を示す。

#### (1) 橋体端部セグメントの施工

橋台が完成すると、まず橋台上に橋体の端部セグメントを施工する。端部セグメントは、場所打ちコンクリートとし、ゴム支承および耐震固定用のアンカーバーをセットしておく。

端部セグメントには、架設時に下床版1次PC鋼材偏向部から上向きあるいは下向きの力が作用する。この力により



端部セグメントが回転変位すると、1次PC鋼材定着具に曲げが生じるばかりでなく、1次PC鋼材のサグの設定に誤差が生じるので、端部セグメントは、セグメントの下にH鋼を配置し、橋台とゲビンデ鋼棒で結合して仮固定する(図-22)。

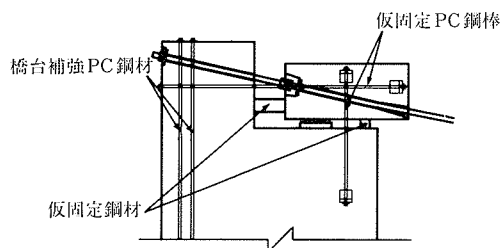


図-22 端部セグメントの仮固定

下床版1次PC鋼材は、橋台パラペット後方における仮定着部からパラペットおよび端部セグメントを通り偏向部まで、直線性が保たれるように、シースは鋼管とする。

#### (2) 下床版1次PC鋼材の張渡し

下床版1次PC鋼材の張渡しは、吊床版橋と同様な手順で行うが、端部セグメントへの引込み作業の後、ナットで仮固定してから、さらにテンションロッドを接続し、橋台パラペット後方で固定する。

#### (3) 下床版セグメントの懸垂架設

次に、 $\Delta$ 形斜材ユニットを下床版セグメントに取り付ける。

下床版セグメントの懸垂架設は、吊床版橋と同様な手順を踏む。すべてのセグメントの架設が完了してから、 $\Delta$ 形斜材ユニットの台座に無収縮モルタルを流し込む。

模型試験体の製作では、この後セグメントの間詰め部の施工を行ったが、この試設計では、対象とする橋が比較的小規模であることから、下床版2次PC鋼材の本数を少なくし経済性を向上させるために、上床版セグメントの架設がすべて完了してから、間詰め部の施工を行うこととする。

#### (4) 上床版セグメントの送出し架設

上床版セグメントの架設に先立って、 $\Delta$ 形斜材ユニットの頂部どうしをアングルレールで連結する。斜材ユニットの配置間隔を2mと短く設定しているのは、このレールを人力のみで設置可能とすることも考慮に入れている。

上床版セグメントは、レール上の台車にセットし、順次送出し架設する。所定の位置に達すると、仮固定用のボルトに盛り替えて台車を取り外し、据付け位置を微調整し固定する。

#### (5) 下床版1次PC鋼材定着の盛替え

セグメントの後打ち部を施工した後、橋体の端部セグメントにおける1次PC鋼材定着端のナットを締め込んでから、橋台パラペット後方において下床版1次PC鋼材に緊張ジャッキをセットし、張力を若干増加させて、1次PC鋼材のナットを緩め、緊張ジャッキの張力を減少させる。

この操作により、1次PC鋼材張力の反力が橋台から橋体に移行し、自碇構造として橋体が完成する。

## 5.4 考 察

吊床版構造を応用した新しいPC複合トラス橋を、実橋に適用することを想定して試設計および架設計画を行った。

試設計では、本複合トラス橋が実橋レベルにおいて構造を成立させることができ、一般的なPC橋と同様に安全性を確保することができることを確認した。また、架設計画では、細部にわたり合理的に架設できることを確認した。

したがって、本複合トラス橋は、実橋に対して適用可能であり、かつ合理的に建設できると考えられる。

## 6. 結 言

世界に先駆けて筆者らが提案した吊床版構造を応用したPC複合トラス橋について、模型試験による力学的検討および実橋を想定した試設計を行った。これら一連の本複合トラス橋に関する実現性検討から得られた知見は、以下のとおりである。

- ① 支間3.6mの小型模型試験体を用い、1次PC鋼材に吊られた下床版セグメントを利用して橋体を製作した後、自碇構造に変換したトラス橋試験体は、同様に製作した桁橋試験体と比較して、十分な曲げ剛性を有しつつ軽量であり、かつアンカー支柱に作用する水平力も低減できる合理的な構造であることを確認した。
- ② 支間5mの大型模型試験体を用いて他碇構造から自碇構造に変換する構造系変換試験を行った結果、一般のPC構造と同様に、1次PC鋼材の引張力が橋体にプレストレスとして導入され、かつ自重の応力を打ち消す方向に作用することを確認した。
- ③ 大型模型試験体は、上路形式の吊床版構造を大きく上回る曲げ剛性を有する自碇構造となり、その耐荷挙動は供用限界および終局限界状態において、通常の複合トラス橋と同様なことが確認できた。
- ④ 本複合トラス橋は、実橋に適用することを想定して実施した試設計および架設計画により、実橋レベルにおいて実現可能であり、かつ合理的に建設できることが確認できた。

## 謝 辞

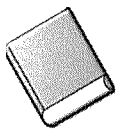
本研究を実施するにあたり、横浜国立大学土木工学教室の山口隆裕助手、森下豊技官、同博士課程のオサマ・エルマハデイ氏、同大学院の当真正夫氏、卒業研究の課題とした南浩郎君、江藤靖彦君に参加協力を得ることができた。また、住友建設(株)の則武邦具氏、水谷淳氏には模型試験の計画に参画され、ご支援を賜り(所属は当時)、ここに感謝の意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- 1) 村上, 中沢, 瀬崎, 本間, 熊谷: 歩行者用吊り床版橋の模型実験(上), 橋梁と基礎, Vol.16, No.12, pp.26~32, 1982.12
- 2) 村上, 中沢, 瀬崎, 本間, 熊谷: 歩行者用吊り床版橋の模型実験(下), 橋梁と基礎, Vol.17, No.1, pp.39~43, 1983.1
- 3) 則武, 熊谷: 吊床版橋の設計と施工(上), プレストレストコンクリート, Vol.32, No.3, pp.71~75, 1990
- 4) 則武, 板東, 増井, 熊谷: 吊床版橋の設計・施工, 土木施工,

- Vol.29, No.3, pp.19~25, 1988.3
- 5) プレストレストコンクリート技術協会：PC吊床版橋設計施工規  
準(案)，2000.11
  - 6) VikB.：Kollstrømmen bro - En hengekonstruksjon i spennbetong,  
Nordisk betong, pp.13~17, 1978.6
  - 7) Lin, Kulka：Construction of Rio Colorado Bridge, Journal of the  
Prestressed Concrete Institute, Vol.18, No.6, pp.92~101, 1973
  - 8) 甲斐, 徳光, 松下, 荒川, 別府, 藤元：速日峰橋の設計と施工  
(その1), プレストレストコンクリート, Vol.19, No.6, pp.34~  
45, 1977
  - 9) 近藤, 花岡, 中井：連続構造上路式吊床版橋の構造特性につ  
いて, 土木学会論文集, No.658/VI-48, pp.107~119, 2000.9
  - 10) 益戸, 三島, 後藤, 大澤, 近藤, 川越：国内最大の上路式吊床  
版橋「交流橋」の設計・施工, 土木施工, Vol.42, No.13, pp.16  
~20, 2001.12
  - 11) 池田, 則武, 山口, 当真：コンクリート吊床版構造の応用につ  
いて, 第2回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポ  
ジウム論文集, pp.41~46, 1991.11
  - 12) 池田, 則武, 山口, 南：吊床版構造を活用した自碇式複合PC橋  
に関する研究, 第3回プレストレストコンクリートの発展に関す  
るシンポジウム論文集, pp.207~212, 1992.11
  - 13) Noritake, Ikeda, Kumagai, Mizutani：Study on a New Construc-  
tion Method for Concrete Structures Using Suspended Concrete  
Slabs, Proc. of FIP Symposium '93, pp.425~431, Kyoto, Oct. 17-  
20, 1993
  - 14) 猪股：プレストレストコンクリートに対するクリープの影響,  
プレストレストコンクリート, Vol.18, No.2, pp.2~15, 1976

【2001年10月1日受付】



刊行物案内

## PPC構造設計規準(案)

## 外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法 設計施工規準(案)

## プレストレストコンクリート橋の耐久性向上 のための設計・施工マニュアル(案)ー抜粋ー

(平成8年3月)

頒布価格：3点セット 5 000円 (送料600円)

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会