

(43) 吊床版構造を活用した 自碇式複合PC橋に関する研究

横浜国立大学工学部	正会員	池田尚治
住友建設(株)	正会員	則武邦具
横浜国立大学工学部	正会員	山口隆裕
横浜国立大学大学院		○南 浩郎

1. はじめに

コンクリート吊床版構造を活用した新しい橋梁架設工法に関しては、既にその概要と基礎的な実験結果を発表した¹⁾。この架設工法は、吊床版構造を支保工として活用し、吊床版上にウェブや上路部を施工することで曲げ剛性を有する自立可能な構造系を構築後、橋台にアンカーされていた吊ケーブルを解放して構造系に定着し、最終的に単純支持自碇式構造物とするものである。ウェブや上路部を施工する以前の構造系、即ち吊床版構造自身の剛性は比較的小さいため、ウェブや上路部には軽量の材料が望まれる。そこで、ウェブとして鋼材をトラス状に配置する構造を選択し、鋼コンクリート複合構造として軽量化を試みた。さらに、吊ケーブルをアンカーから解放する際には、予めケーブルを橋梁端部に定着し、このケーブルの張力をプレストレス導入力として活用している。このプレストレス導入力は、橋梁の自重を支持する力に相当し、活荷重等に対しては、別のPCケーブルを緊張したり、或いは吊ケーブルを再緊張することにより対処することが出来る。この工法を用いると、従来の吊床版橋のような永久的なアンカー部を持つ下部工を必要とせず、架設時の短期間の安全性等を考慮したアンカー部で対処することが出来、かつ鋼コンクリート複合構造の採用により軽量化を実現していることで吊ケーブルの張力自体も抑えられているので下部工を経済的に建設することが出来る。また、橋下からの支保工を必要としないことや、部材断面が他の形式に比べ小さくプレハブ化が容易なことにより、山間部の峡谷等のような架設条件の悪い場所にも有効であると思われる。

2. 実験計画と方法

2.1 実験計画

提案した工法の実現性および合理性を確認するための第一段階の実験研究を既に行い、次のような結果を得ることが出来た¹⁾。

- (1) スパン3.6mの吊床版構造を支保工とし、より剛性の高い橋梁模型を作成し、支点上設置実験を行った結果、橋梁模型は吊ケーブルのアンカー解放後に単純支持構造として自立できることが確認された。
- (2) 吊ケーブルのアンカーを解放し、支点上に設置させた橋梁模型は、吊床版構造に比べ剛性の高い構造となり、その耐荷挙動は通常の施工法で造られたプレストレストコンクリート構造と同等であることが確認された。
- (3) ウェブ部材として鋼材をトラス状に配置することで、自重の低減と曲げ剛性の増加が効果的に得られ、かつ、架設中の吊床版のアンカー部に作用する水平力も低減出来、合理的な構造形式であることが示された。

これらの結果等をふまえ、本研究では実構造物をより忠実にモデル化した大型の橋梁模型を作製し、詳細な検討を行うことにした²⁾。即ち、実験棟内の作業エリア、及び使用材料の寸法等の制約の中で出来る限り実構造物を忠実に再現した橋梁模型を作製出来るよう配慮するとともに、吊ケーブルの橋体への定着により得られるプレストレス力の影響を定量的に把握するために、橋梁模型に増加自重を与え、吊ケーブルの応力レベルを高めることで実構造物レベルでの挙動を確認することが出来るよう配慮した。

作製した橋梁模型は1種類で、ウェブに鋼材をトラス状に配置する構造形式とした。橋梁模型のスパンを

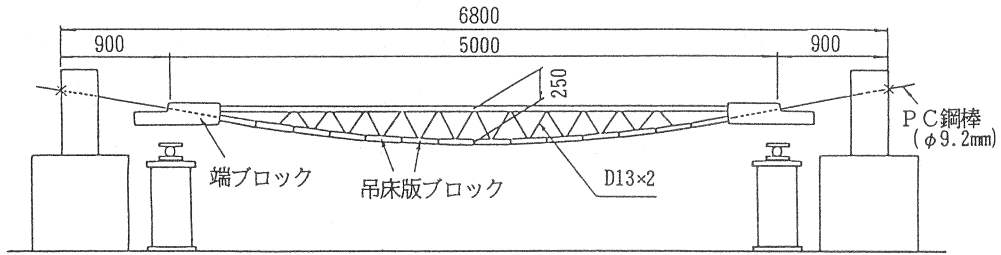
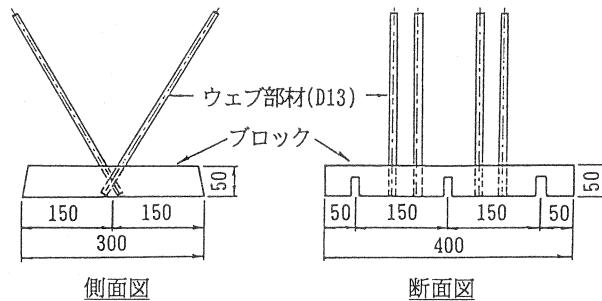
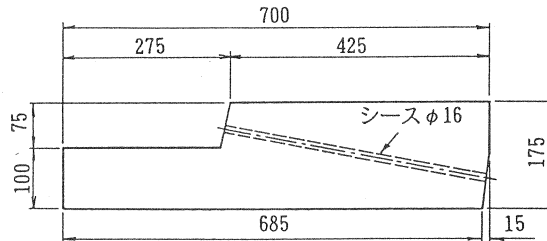


図-1 作製中の供試体の形状及び寸法

5.0m、吊ケーブルのサグ量を25cm、また吊床版の厚さを5cmとした。図-1に橋梁模型の形状を示す。図に示すように、吊床版部は14枚の鉄筋コンクリート製プレキャストブロックと、同じく2個の端ブロックより構成されている。各ブロックの形状及び寸法は図-2に示すようなものであり、吊床版ブロックには、3本のP C鋼棒を配置するための溝が、端ブロックには孔が設けられており、中央がプレストレス導入用、両サイドが吊ケーブル用である。更に床版ブロックには、ウェブ部材としてD13異形鉄筋をトラス状になるよう埋め込んだ。なお、この定着部に於ける破壊に留意し、埋め込み部にはらせん状の鉄筋を配置した。上部床版は、場所打ち鉄筋コンクリートで、床版厚は吊床版部同様5cmとした。また、吊ケーブルのアンカーには、鉄筋コンクリート支柱を用意し、定着部の間隔は6.8mとした。なお吊床版部及び上部床版に使用したコンクリート及びモルタルの材料特性は表-1に示す通りである。



(a)吊床版ブロック



(b)端ブロック

図-2 各ブロックの形状及び寸法

表-1 コンクリート及びモルタルの材料特性

	圧縮強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 (kgf/cm ²)	ポアソン比 ν
上部床版	520	2.90E+05	0.18
下部床版	560	3.00E+05	0.18
モルタル	530	2.20E+05	0.21

2.2 供試体の作製

実際の吊床版橋の施工過程^{3),4)}を参考にして、以下の手順で橋梁模型の作製を行った。

- (1)端ブロックを支承上に載せておき、これに吊ケーブル用及び、プレストレス導入用のP C鋼棒を通した後、鉄筋コンクリート支柱のアンカーに固定し、吊ケーブルに張力を与えて端ブロックを吊り上げる。尚、各P C鋼棒には予めグリスを塗り、塩ビ製シートで被覆してアンボンドケーブル形式のP C構造を

意図した。

- (2) 14枚の床版ブロックをPC鋼棒上の所定の位置に設置する。
- (3) 全てのブロックを設置した後、サグ量が目標の25cmになるように吊ケーブルの張力を調節する。
- (4) 床版ブロックのV字型の接合部にモルタルを充填する。
- (5) 吊床版部を支保工とし、上部床版を施工する。

2.3 実験方法

橋梁模型完成後、以下の手順で実験を行った。

- (1) アンカーを解放する際に、橋体自重及び増加自重により床版ブロックの接合部にひび割れを生じさせない様にプレストレス力を導入する。計算により、この初回のプレストレス導入力を4.8tfとし、次に導入力を変更するまでの一連の実験をCASE1とする。
- (2) 橋体に増加自重を載荷する。この増加自重は、橋梁模型の自重だけでは吊ケーブルをアンカーから解放し支点上設置実験を行う時、吊ケーブルの張力が小さく、その際の挙動を確認することが困難であるため、作製した橋梁模型にさらに自重の増加を施すものである。この増加自重は、写真-1に示すように鋼棒に吊るしたコンクリート製のブロック(1ヶ所当たり105kg)を上部床版上の14ヶ所に固定したものである。
- (3) 吊ケーブルとなるPC鋼棒を、橋梁模型の端部に於いてボルト及びアンカープレートを用いて定着した後、吊ケーブルを鉄筋コンクリート支柱のアンカーから解放し、橋体を支点上に設置する実験を行う。
- (4) 曲げ載荷試験機を用い、載荷実験を行う。
- (5) 以後、橋梁模型に導入するプレストレス力を2.4tf(CASE2)、0.0tf(CASE3)、2.6tf(CASE4)と変更し、同様に支点上設置実験、載荷実験を行う。

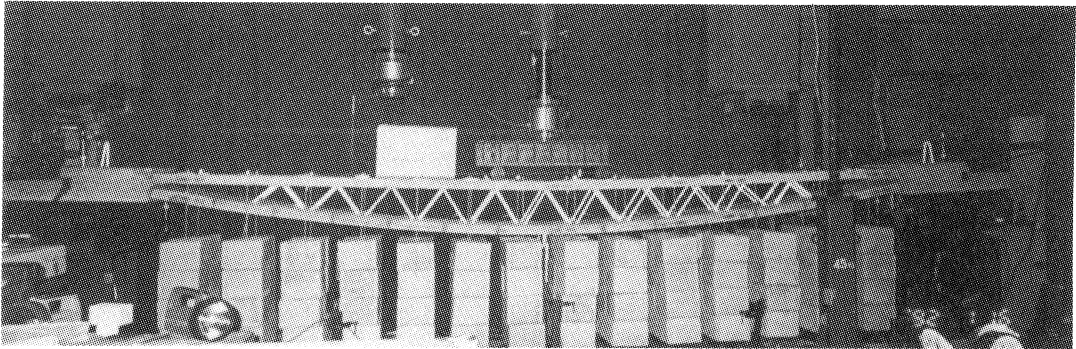


写真-1 供試体及び増加自重

3. 実験結果と考察

3.1 プレストレス導入について

吊床版橋では床版部コンクリートのひび割れを防ぐためにプレストレスを導入するのが一般的である。作製された橋梁模型は、床版ブロックの接合部に橋軸方向の鉄筋を持たず、軸引張力

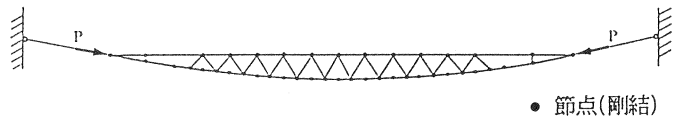


図-3 解析モデル

に対し剥離を生じ易い箇所となっている。本研究では、橋梁模型に導入させるプレストレス力を変化させ、それぞれの導入力での支点上設置実験及び載荷実験を行い、その挙動を比較することにした。そこで、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も行った。計算には図-3に示すような、架設中の、

橋梁模型が吊られた状態をモデルに用いた FEMによる弾性解析を行った。CASE1では、吊床版部のコンクリートに支間中央で、プレストレス導入力 1.0tfの変化に対して23 μ の圧縮ひずみが計測され、同じ箇所の上部床版では、ひずみは殆ど計測されなかった。他のケースに於いても同様な結果が得られ、これ

表-2 実験値と計算値の比較(導入力1.0tf当たり)

計測項目	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	計算値	
変位	支間中央	0.38mm	0.29	0.39	1.41	0.39
	南120cm	0.29mm	0.23	0.27	0.96	0.30
	北120cm	0.32mm	0.27	0.32	0.95	0.30
下部床版	支間中央	-23 μ	-16	-28	-29	-24
	南105cm	-16 μ	-14	-17	-17	-21
	北105cm	-14 μ	-13	-13	-12	-21

らは計算値とよく一致した。また、橋梁模型の変形量も CASE4を除き支間各点で計算値とよく一致した。これらの結果を表-2に示す。これにより、提案した構造形式に於いても一般のPC構造と全く同様にプレストレス力が機能し、また簡単な解析モデルを用いることでその挙動を把握できることが確認された。

3.2 支点上設置実験について

各ケースについて、吊ケーブルをアンカーから解放し支点上設置実験を行った。その際、支間中の5ヶ所の鉛直変位及び支点上に設置される点の鉛直変位量ならびに上・下部床版、ウェブ部材のひずみを測定した。実験は、片側のアンカー部において2本の吊ケーブルを油圧ジャッキで同時に引き上げてケーブルを固定していたボルトを緩めた後、ジャッキの油圧を徐々に抜き、橋梁模型を支点上に設置させた。吊ケーブルのアンカーを解放する際には予め吊ケーブルを橋梁模型端部に定着し、解放時に吊ケーブルの張力がプレストレス力となるようにした。

吊ケーブルの張力によるプレストレス力は、橋体自重によって下部床版に生じる引張力をちょうど相殺するように働くため、支点上設置によって下部床版に生じる引張ひずみはわずか9~15 μ (CASE1)となり、この値は CASE3を除きほぼ一致していた。仮に吊ケーブルを橋体端部に定着せずに同様の実験を行った場合には100 μ 程度の引張ひずみを生じることが計算され、吊ケーブルの張力によるプレストレス力が有効に作用していることが確認された。CASE3の時点には2度の載荷実験により床版接合部に剥離を生じ、また導入するプレストレス力を 0.0tfとしているので橋梁模型の剛性が小さく、他のケースとは若干異なる結果を得た。また、上部床版には60~70 μ 程度の圧縮ひずみ(CASE1)が計測され、この値も各ケースでほぼ一致していた。これらの実験値は計算値に比べ橋体全体にわたり、ひずみの値で約10 μ 程度引張り側にずれており、吊ケーブルの張力全てがプレストレス力として有効に作用したわけではなく、10%程度の損失が確認された。しかし、プレストレスの有効導入率を考慮して設計・解析を行えば、今回の実験と殆ど同様の結果が得られるものと考えられる。また、吊ケーブルをアンカーから解放する作業を片側から行ったので、ウェブ部材のひずみや支間中の各点のたわみが、支間中央を境に対称な値とはならなかった。

3.3 載荷実験について

各ケースについて支点上設置後曲げ載荷実験を行い、作製した橋梁模型の耐荷挙動及び導入したプレストレスの大小による影響を確認した。図-4に載荷状況を示す。載荷は一方方向の2点集中荷重で行った。支点上設置実験と同様、支間中の5ヶ所の鉛直変位及び上・下部床版、ウェブ部材のひずみを測定した。

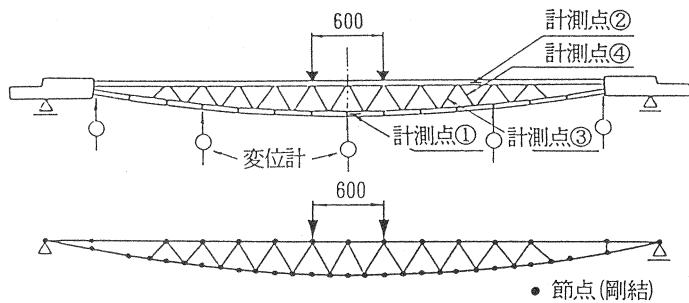


図-4 載荷状況及び解析モデル

図-5 (a)に支間中央における、荷重-変位関係の実験値と計算値との比較を示す。実験時に最初にひび割れが生じたのはいずれも下部床版の接合部で、ひび割れが発生した荷重は、CASE1が1.0~1.25tf、CASE2が

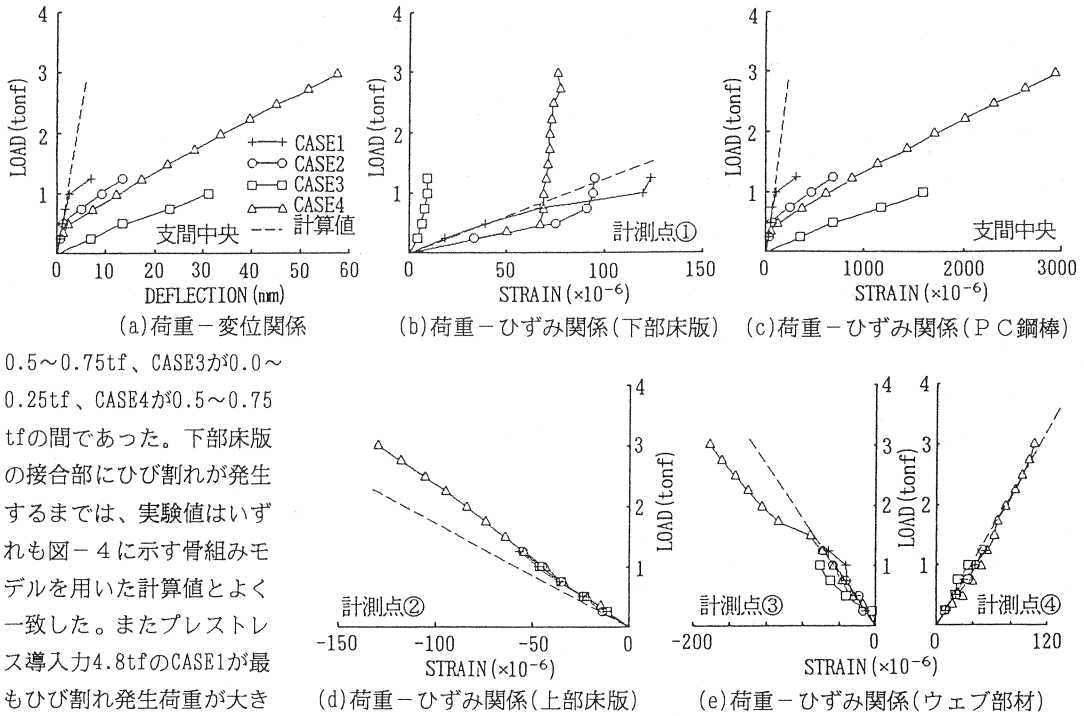


図-5 荷重実験時の挙動

0.5~0.75tf、CASE3が0.0~0.25tf、CASE4が0.5~0.75tfの間であった。下部床版の接合部にひび割れが発生するまでは、実験値はいずれも図-4に示す骨組みモデルを用いた計算値とよく一致した。またプレストレス導入力4.8tfのCASE1が最もひび割れ発生荷重が大きく、その50%の導入力のCASE2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CASE3では荷重直後にひび割れが発生していた。即ち、作製した橋梁模型についても一般のアンボンドケーブル形式のPC構造と同様に、ひび割れが発生する荷重は橋梁模型に導入したプレストレスの量に依存し、既に接合部にひび割れを有する場合に於いても、プレストレス力により下部床版に作用する圧縮力がひび割れを塞ぎ、荷重による引張力により再びひび割れが発生するまでは、ひび割れが発生する以前の橋梁模型と同等の耐荷挙動を示すことが確認された。CASE4は中央のPCケーブルに導入するプレストレス力を吊ケーブルの張力と同じ値とし、荷重実験では、PC鋼棒に働く引張力が降伏強度の80%程度になったところで荷重を終了したものである。最大荷重に於ける支間中央の鉛直変位量は57.44mmに達し、上部床版のコンクリートにもひび割れが発生していたが、除荷後の残留たわみは僅か1.99mm、さらに18時間後の残留たわみは1.37mmであった。図-5(b)に下部床版の支間中央に於ける荷重-ひずみ関係を示す。各ケース共ひび割れ発生後、引張ひずみの増加が止まり、それ以後、橋梁模型に働く曲げ引張力は3本のPCケーブルにより支持されていた。ひび割れ発生後の曲げ挙動は、図-5(a)及び図-5(c)の曲線形状の相似にも見られるように、引張部材としてのPCケーブルの伸び剛性に依存することが確認された。支間中央の上部床版には、荷重初期に曲げによる圧縮ひずみが観測されたが、ひび割れの発生及びその後のひび割れ幅の増加とともに引張り側にひずみが移行していた。これに対し、支間中央から105cm離れた箇所での上部床版のひずみは図-5(d)に示すように、すべてのケースについて一様に圧縮ひずみが増加し、これらは計算値とほぼ一致していた。ウェブ部材についても、支間中央付近の部材では荷重の増加にともない計算と異なる挙動を示すようになったが、支間中央から105cm離れた箇所では図-5(e)に示すように各ケースとも一様な挙動を示し、計算値とよく一致した。これらの結果より、提案した架設工法により本研究で作製した橋梁模型は、支保工として用いた吊床版構造を遙かに上回る曲げ剛性を持つ自碇型構造となり、その耐荷挙動も弾性範囲内であれば簡単なモデル化により計算できることが確認された。

3. 4 クリープ試験について

全ての実験が終了した後、支間中央のクリープ変位を約1ヶ月間計測した。尚、クリープ試験時におけるプレストレス導入力は各PCケーブルに2.6tf、計7.8tfとした。図-6に示すように変位は確実に大きくなっているが、時間とともに徐々に収束に向かっていることが確認された。

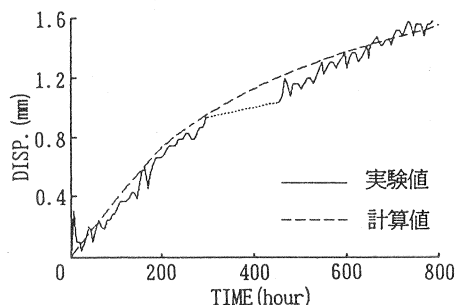


図-6 クリープ変位

4. まとめ

コンクリート吊床版橋を支保工として活用し、単純支持の自碇型橋梁を架設する新しい工法を提案して既に発表した基礎的な研究結果をもとに、ウェブ部材に鋼材をトラス状に配置した鋼コンクリート複合構造の選択・橋梁模型の忠実なモデル化・支点上設置時の挙動を正確に把握するための増加自重等を以て本研究を行った。その結果を要約すると次の通りである。

- (1) 作製した橋梁模型に作用させたプレストレス力は、一般のPC構造物の場合と全く同様に機能することが確認され、このプレストレス力により下部床版に作用する圧縮力は、支点上設置時及び載荷時に下部床版に発生するひび割れを効果的に抑制し、橋体の曲げ剛性に大きく寄与していることが確認された。
- (2) 支点上設置実験時に、吊ケーブルを予め橋梁模型の端部に定着することで得られるプレストレス導入力は、確実な定着を行うことで効果的に橋体に作用し、橋体の自重により下部床版に生じる曲げ引張力の約90%を相殺することが示された。
- (3) 作製した橋梁模型の耐荷挙動は、意図したアンボンドケーブル形式のPC構造物となっており、ひび割れ発生前は全断面の曲げ剛性、ひび割れ発生後はPCケーブルの伸び剛性に依存することが確認された。
- (4) 本研究では、ウェブ部材として鋼材をトラス状に配置した鋼コンクリート複合構造を選択した。この形式の採用により、自重の軽減と曲げ剛性の増加が効果的に得られ、この構造形式の合理性が確認された。

以上に述べたように、本研究に於いて提案した架設工法及び構造形式の、架設中及び荷重載荷時の挙動が把握され、この架設工法の実現可能性を確認することができたものと思われる。今後は、実際の構造物への適用を目指して、設計の仕様や構造細目の検討が必要である。

謝 辞

本研究を実施するに当たり、横浜国立大学土木工学教室の森下豊技官、同博士課程のオサマ・エルマハディ氏および卒業研究の課題とした江藤靖彦君に参加協力を得た。また、住友建設(株)の熊谷紳一郎氏、水谷淳氏には工法の考案及び実験の計画に参画され、多くのご支援を賜った。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 池田尚治、則武邦具、山口隆裕、當真正夫：コンクリート吊床版構造の応用について、プレストレストコンクリート技術協会第2回シンポジウム論文集、1991.11.
- 2) Shoji Ikeda, Kunitomo Noritake, Osama El-Mahdy, Hiroo Minami : EXPERIMENTAL STUDY ON THE CONSTRUCTION OF A HYBRID BRIDGE STRUCTURE BY UTILIZING SUSPENDED CONCRETE SLAB, 土木学会第47回年次学術講演会、1992.9.
- 3) 吊床版架設工法、プレストレストコンクリート、Vol.31、特別号、pp.124~135、1989.
- 4) 則武邦具、熊谷紳一郎：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、1990.5.