

(84) 鋼トラスウェブPC模型桁の載荷試験

オリエンタル建設(株) 技術部	正会員	〇二階堂輝幸
同 上 技術部	正会員	正司 明夫
同 上 技術研究所	正会員	二井谷教治
同 上 技術部	正会員	渡瀬 博

1. はじめに

上・下床版あるいは上床版のみをコンクリート構造とし、ウェブに鋼製部材を用いた合成構造は、コンクリートと鋼のそれぞれの特徴を活かした合理的な構造であり、ヨーロッパを中心に発展してきた。最近わが国においても、波形鋼板ウェブPC橋が施工され話題を集めている。これは、PC箱桁のウェブをコンクリートから波形鋼板に置き換えることにより、自重の軽減や施工の省力化を計ったものである。この合成構造タイプの別な構造形式として、ウェブを鋼トラスに置き換えた鋼トラスウェブPC橋がある。今のところ、フランスを中心としたヨーロッパで数橋の実績があるが、わが国における施工実績はなく、適切な設計・施工指針等も見あたらない。

そこで本研究では、鋼トラスウェブPC橋の曲げ性状を把握するため単純桁形式の模型供試体を製作し、静的曲げ載荷試験を行った。その結果をもとに、本構造形式の構造特性を報告する。また、数種の解析モデルによる解析値と実験結果とを比較することにより、鋼トラスウェブPC橋の構造解析手法についても検討を加える。

2. 実験概要

2.1 供試体

供試体の寸法決定は先立ち、支間100m、幅員9mのモデル橋梁を想定し、概略の試設計を行った。供試体における床版とトラス材の剛比は、その試設計を参考にして決めている。供試体の形状寸法を図-1に示す。

このタイプの橋梁では格点構造が重要なポイントとなるが、本供試体の格点には、ガセット等はいずれも力伝達を直接トラス材で行えるように各部材の軸線を合わせ、その位置で突き合わせたプレートに溶接した構造とし、床版内に埋め込んでいる(図-2)。

また、床版内の格点まわりのコンクリートが確実に充填できるようにトラス材はH形鋼としている。PC鋼材は下床版のみに配置した。供試体を使用した鋼材の一覧を表-1に示す。コンクリートの設計基準強度は $f'_{ck}=40\text{N/mm}^2$ である。

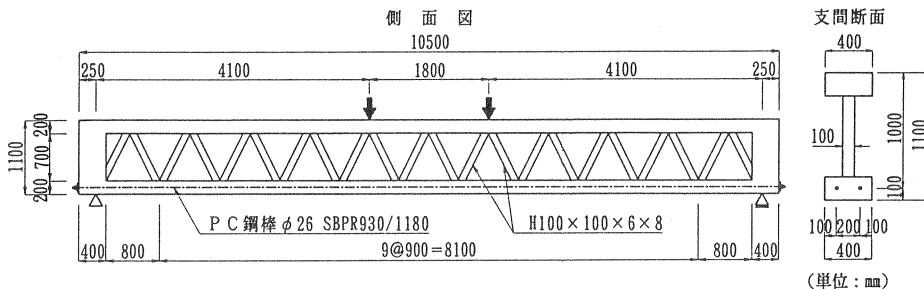


図-1 供試体形状寸法

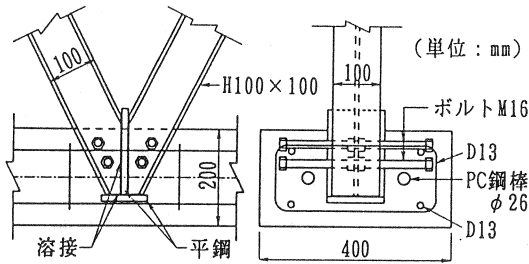


図-2 格点部の構造

表-1 使用材料

	材質・記号
鉄筋	SD345, D13
P C鋼材	SBPR 930/1180, φ26
トラス材	SS400, H100×100×6×8

2. 2 載荷方法

供試体は、図-1に示すように支間10mの単純支持とし、静的曲げ載荷試験を行った。荷重の載荷は油圧ジャッキにより行い、支間中央部に対称2点集中載荷した。曲げひび割れが数本発生したところで荷重を一旦除荷し、ふたたび供試体の破壊まで荷重を単調増加した。測定は、コンクリートおよび各種鋼材のひずみ、たわみを中心に行い、破壊耐力、ひびわれおよび破壊形態などを観察した。

3. 解析方法

波形鋼板ウェブP C橋の場合、ウェブの波形鋼板を無視した上・下床版コンクリートで構成された断面を持つはりモデルにより、曲げに対する設計が行われるのが一般的であるが、鋼トラスウェブP C橋においても、同様の仮定で設計ができるか興味深いところである。そこで本実験では、供試体の構造解析モデルとして、①はりモデル、②トラスモデル、③FEMモデルの3種類を用いて、供試体の変位量、曲げ破壊耐力等を試算した。

はりモデルは、波形鋼板ウェブP C橋と同様に、上床版および下床版だけで曲げに抵抗するものと仮定する。すなわち、トラスウェブを無視した、上・下床版コンクリートが仮想部材で連結された断面を持つはりとして構造解析を行う。断面内では、上床版上縁から下床版下縁まで平面保持の仮定が成立するものとして、応力度あるいは曲げ破壊耐力の計算を行う。

トラスモデルは、側面を見た場合に上床版コンクリート、下床版コンクリートおよび鋼トラスで構成された平面骨組みとして構造解析を行う。応力度の計算は、その平面骨組みモデルで得られた断面力を用いて、各部材ごとに行う。

FEMモデルは、材料非線形および幾何学的非線形を考慮して解析を行う。これら3種類の解析モデルの概略を図-3に示す。

解析に用いる材料の物理特性値は、実測値あるいは試験成績表の値とした。上記3種類のモデルによる解析値と実験結果とを比較しながら、本構造形式に適した曲げに対する構造解析手法についても検討を加える。

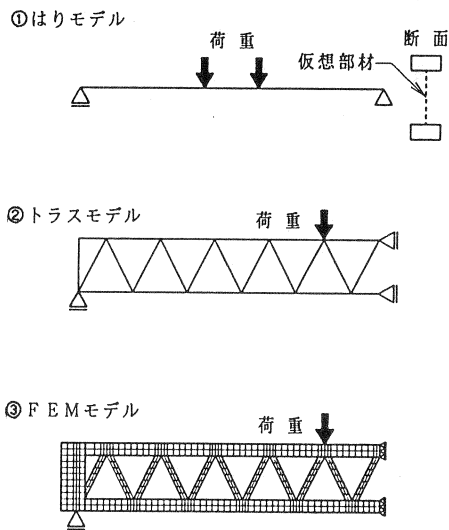


図-3 解析モデル

4. 実験結果および考察

4.1 桁の変位

供試体中央の、プレストレス導入時のそり量および載荷荷重200kN時のたわみ量を、解析値とあわせて表-2に示す。なお、はりおよびトラスモデルによる解析値は、弾性理論によるものである。プレストレスは下床版の図心に約520kN導入した。プレストレス導入直後のそり量の測定値は、FEM解析による値と一致し、はりおよびトラスモデルによる解析値ともほぼ一致する。載荷荷重200kN時の支間中央のたわみ量は、FEMによる解析値とほぼ一致する。トラスモデルによる解析値も比較的一致するが、はりモデルによる解析値は開きが見られる。

荷重と支間中央のたわみとの関係を図-4に示す。図中にFEM解析値およびファイバーモデルによる材料非線形解析値も参考として示した。載荷荷重が500kN程度まではいずれも非常によく一致している。

4.2 断面のひずみ分布

プレストレス導入時および載荷試験時の桁断面のひずみ分布も、本構造形式の構造特性を知る重要なデータとなる。そこで、コンクリート、鉄筋およびPC鋼材にひずみゲージを配置して、支間中央断面およびその他の断面のひずみを測定した。図-5に、プレストレス導入時における支間中央断面のひずみ分布を示す。先述のように、本供試体では外ケーブルは用いず、下床版のみにプレストレスを導入した。ひずみの実測値は、断面内で上縁から下縁まで一直線上に並ぶ。3種類の解析モデルによるひずみの計算値も実測値と同様にほぼ直線となり、その値も一致した。すなわち、本供試体のようなPC鋼材配置の場合、どの解析モデルを用いても精度良くプレストレスの計算ができるといえる。なお、その他の断面においてもひずみ分布を測定したが、測定値および解析値とも支間中央断面とほぼ等しい結果となったのでここでは省略する。

一方、静的曲げ載荷試験時においては、3種類の解析モデルによる解析値に差が見られた。載荷荷重200kN時の各断面のひずみ分布を図-6に示す。

はりモデルでは、上床版から下床版まで連続した断面として、平面保持の仮定のもとに解析を行うので、ひずみ分布は上縁から下縁まで一直線となる。しかし、実測値では必ずしも一直線状にはなっておらず、載荷点に近い断面ほどその傾向が顕著である。トラスモデルおよびFEMによる解析では、各断面におけるこのようなひずみ分布の傾向を表すことができ、解析値も実測値と非常によく一致している。なお、この時点でひび割れは発生していない。同様の実験により、自重、プレストレスなどの常時荷重時は、はりモデルと

表-2 支間中央の変位量 (mm)

		プレストレス 導入時	載荷荷重 200kN時
解 析 値	はり	2.7	3.6
	トラス	2.7	5.6
	FEM	2.5	5.1
実測値		2.5	4.9

※載荷荷重200kNは設計荷重相当の荷重である。

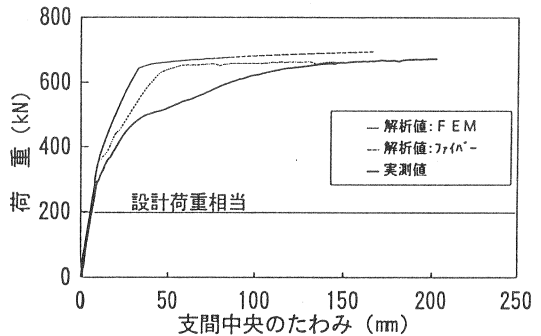


図-4 荷重-たわみ曲線

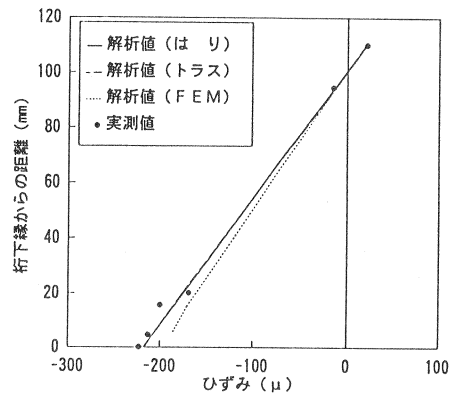
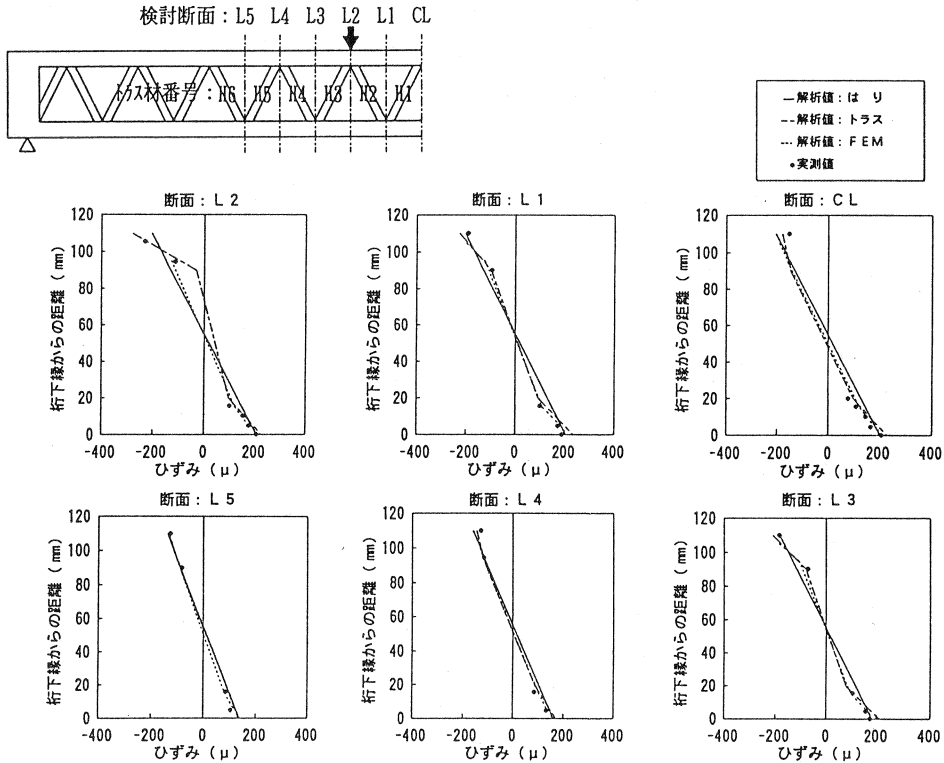


図-5 プレストレス導入時中央断面のひずみ分布

して設計できるとの報告もあるが¹⁾、本供試体で用いた格点のように軸力の伝達を直接トラス材で行うような場合や床版と鋼トラスの剛比が大きい場合においては、常時荷重時もトラスモデルあるいはFEMによる方が望ましく、簡便さから、トラスモデルにより設計するのが最適であると考えられる。



4.3 トラス部材の性状

載荷荷重とトラス材の軸力との関係を図-7に示す。軸力の実験値は、H形鋼の格点間中心断面の上下フランジ表面で測定したひずみの平均値を用い、実降伏強度までヤング係数一定と仮定して計算したものである。ひずみの測定値からみると、最大荷重時でも各H形鋼とも降伏には至っていないと思われる。

一方解析値は、トラスモデルによって各荷重に対するトラス部材の軸力を計算した。なお、図中のトラス材番号の対応は図-6に示す。荷重が500kN程度まで解析値と実験値はよく一致するが、それ以上荷重が増加すると軸力の実験値に急激な増減が見られる。これは、図-4からもわかるように、荷重500kNあたりから桁の変形が急激に進み、トラス構造の骨組み形状が変化したことに起因するものと思われる。

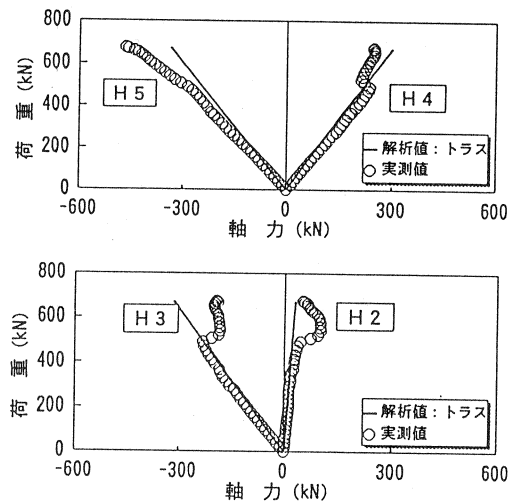


図-8は、H形鋼の上下縁のひずみ差から、作用曲げモーメントを計算したものである。載荷荷重500kNあたりから、載荷点直下のH2およびH3の曲げモーメントが急激に増加している。これは過大なひび割れ等による桁の変形で、2次力が増加したことが原因と考えられる。トラスモデルによる解析では、格点を剛結合として解析した場合でもトラス部材に曲げモーメントはほとんど発生しない。しかし、上述のように桁が大変形を起こしてくると、解析値よりも大きな軸力あるいは曲げモーメントが作用する可能性があり、トラス部材を設計する際に注意が必要である。

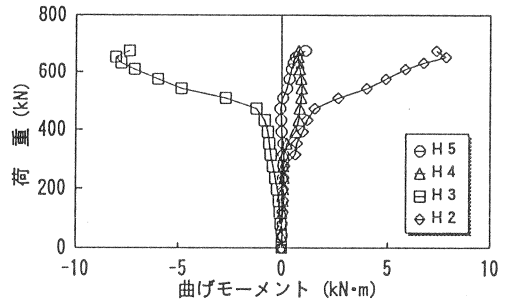


図-8 トラス部材の曲げモーメント

4. 4 ひび割れ性状および破壊耐力

載荷試験時のひび割れ発生荷重および破壊耐力の解析値と実測値との比較を表-3に示す。解析値は、先に述べたはりモデルとFEMによる値を示した。

ひび割れ発生荷重の解析値は、下床版コンクリートの下縁応力度が、表に示すコンクリートの引張強度の実測値 $f_{ct} = 3.5 \text{ N/mm}^2$ に達する時の荷重とした。なお、有効プレストレスは、プレストレス導入直後と載荷試験開始時の鋼材ひずみの差によって算定した。はりモデルによる破壊耐力は、上・下床版コンクリートのみを考慮した断面を用い、道路橋示方書²⁾の曲げ耐力算定方法に基づいて算定した。

表-3 載荷試験結果一覧表

コンクリート強度 (N/mm ²)		ひびわれ発生荷重 (kN)		破壊耐力および破壊形態 (kN)	破壊耐力および破壊形態 (kN)		実測値
		解析値	実測値		解析値	実測値	
圧縮	引張	はり	FEM	はり	FEM	曲げ圧縮	曲げ圧縮
49	3.5	268	273	255	562	626	676
		(1.05)	(1.07)		(0.83)	(0.93)	

注1: () 内の数字は解析値の実測値に対する比

注2: ひびわれ発生荷重の実測値は目視による

ひび割れ発生荷重の解析値は、はりモデル、FEMとも実測値とほぼ一致しているが、実測値の方が多少小さくなっている。これは、載荷荷重がトラス部材を介して下床版に伝達されるため、格点近傍に大きな断面力が作用するのと2次力の相乗作用によるためだと考えられる。一方破壊耐力の実測値は、FEMによる解析値と比較的一致しているが、はりモデルによる解析値は17%程度の過小評価となった。この結果から本構造形式の終局時の解析方法としては、はりモデルよりFEMによる方がより正確であると言える。トラスモデルによる終局耐力の算定方法については、床版とトラス材との剛比の問題など不確実な要素が多く今後の検討が必要であるため、ここでは省略している。

終局時の破壊形態は、解析結果および実験結果とも上床版コンクリートの曲げ圧縮破壊であった。図-9に曲げ破壊時の供試体のひび割れ状況を示す。桁端の隅角部に発生したひび割れを除き、曲げひび割れのほとんどは支間中央部に集中している。上床版に着目すると、破壊時には上床版も引張領域に入っていることがうかがえる。また、載荷点の格点近くのひび割れは、格点間のひび割れより上縁近くまで延びているが、

格点部の2次力による影響と思われる。次に下床版に着目すると、荷点直下の格点部のひび割れ本数が多く、破壊時のひび割れ幅も1cm以上とかなり大きい。これも、荷重がトラス部材を介して下床版に伝達されることと、2次力の相乗作用によるためだと考えられ、適切な引張鋼材料の検討が必要である。

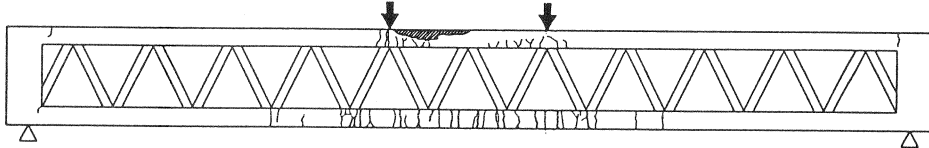


図-9 曲げ破壊時のひび割れ状況

5. まとめ

本実験の範囲内では、次のような結果が得られた。

- (1)鋼トラスウェブPC桁は、各部材とも軸力の卓越するトラス構造としての特性を示す。
- (2)桁の変形が大きくなると初期のトラス構造の骨組み形状に変化が生じ、断面力の分担率が変化するとともに2次力も増加する。
- (3)破壊時は、トラス部材に弾性解析値より大きな断面力が作用する可能性があり、設計時に考慮する必要がある。
- (4)曲げ挙動は、はりモデルで近似できるものの、構造解析を行う場合はトラスモデルによる方がより正確である。
- (5)曲げひび割れは、そのほとんどが荷点あるいは荷点直下の格点間に発生し、破壊時には、格点部のひび割れ幅はかなり大きくなる。

以上、鋼トラスウェブPC桁の静的曲げ荷重試験とその構造特性について報告したが、未だ終局耐力の算定方法、横方向の設計方法、ねじり抵抗性、地震時の応答性状、格点構造など不明な点が多く、引き続き検討していく予定である。

参考文献

- 1)大澤浩二・川上洵・劉新元・佐野ユミ子：鋼トラスウェブPC梁の静的荷重試験，プレストレストコンクリート技術協会第7回シンポジウム論文集，pp.757-760，1997.10
- 2)社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編，pp.116-126，1996.12