

(1) 合成トラスおよびアーチ橋の 実験的研究

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF COMPOSITE TRUSS BRIDGES AND ARCH BRIDGES

阿部英彦* 中島章典**
Hidehiko ABE Akinori NAKAJIMA

In order to study the structural behavior of the composite truss bridges and inverted arch bridges, experiments of small scale specimens of truss and arch structures, and analytical investigations using a simple numerical procedure were conducted by the authors. The mechanism of forces transferred by the shear connectors and the stress distribution in the concrete slab were clarified through this study. This paper reports the results of experiment and analysis.

Further investigation will be needed to determine the details of these types of composite bridges.

1. はじめに

コンクリート床版と鋼トラスあるいは鋼逆アーチとを合成させた合成トラス橋および合成逆アーチ橋は、鋼上弦材とコンクリート床版とを合成させて圧縮力に抵抗させる構造であり、長いスパンに対して合成桁橋より経済的であると考えられるが、実用に供された例は極めて少ない^{1), 2)}。

図1(a)に示すように鋼トラスとコンクリート床版とを合成させた構造では、上弦材の格点部から集中的に床版に力が導入されると考えられるので、ずれ止めが負担する伝達力の分布は通常の合成桁とは異なると考えられる。また、格点部以外に荷重が載った場合の局所的な曲げモーメントに対して床版と鋼上弦材がどの様に挙動するか等、解決されなければならない問題が多く残さ

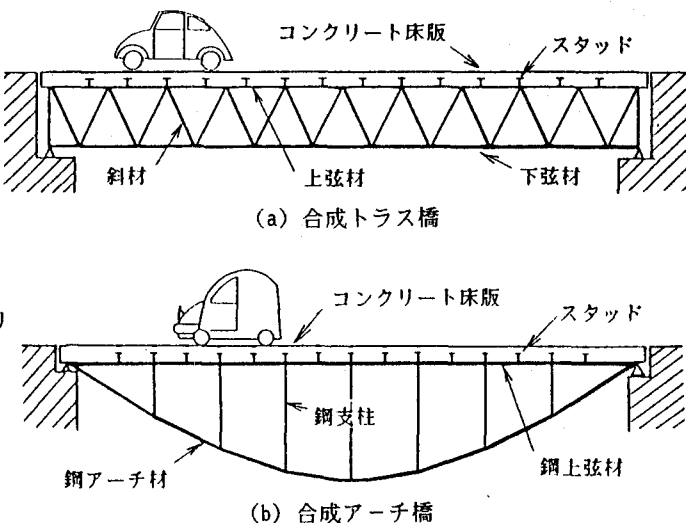


図1 合成トラスおよび合成逆アーチ橋の概念

* : 工博 宇都宮大学教授 工学部建設学科(建設工学コース)

** : 工博 宇都宮大学助教授 工学部建設学科(建設工学コース)

れている。

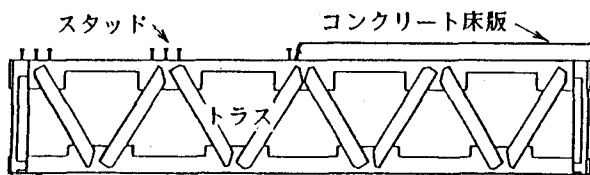
一方、合成逆アーチ橋とは図1(b)に示すように、通常のアーチとは逆の形をした上路型式の橋である。自重や活荷重により逆アーチ形をした下弦材に引張力が働き、上弦材はアーチからの水平力(圧縮)の他に曲げモーメントを受ける。なお、上弦材はコンクリート床版と鋼ガーダーとからなり、両者はスタッドで結合されているので、軸圧縮力と曲げモーメントに対して合成部材として抵抗する。また、上弦材と下弦材とを結合する支柱は圧縮力を受ける。合成逆アーチ橋は、このようにアーチ橋に鋼材とコンクリート材料の特質を生かしており、合理的で経済的な橋梁型式であると考えられる。

本研究では、合成トラスおよび合成アーチ橋の基本的な力学特性を明らかにするため、模型による静的載荷試験を行い、また、簡略な解析方法による検討を行った。

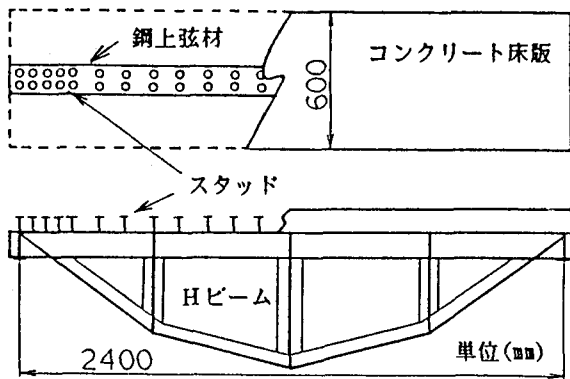
2. 実験概要

実験に用いた合成トラスおよびアーチ試験体の基本形状を図2に示す。スパンは240cmであり、4格間の構造である。上弦材の鋼部にかかる力をコンクリート床版に伝達するために、ずれ止めとしてスタッドを取り付けたが、その配置は図3に示すように格点部に集中させた集中型と長手方向にほぼ一様に分散させた分散型の2種類とした。トラスでは上弦材の寸法を2種類変えたもの、また、アーチではライズの高さを2種類変えたものの組み合わせにより、それぞれ表1に示す合計3体ずつの試験体を製作した。スタッドの本数は、トラス橋の場合に、格点部から導入されるせん断力が鋼上弦材断面と床版の換算断面の比で分担されるものと仮定して定め、スタッドの許容応力度は鉄道橋の示方書³⁾に従い、 $\phi 13$ のスタッドを図3のように配置した。アーチ橋の場合には、トラス橋に比べて負担すべき曲げモーメントが大きくなると考えられるので、 $\phi 16$ のスタッドを同様に配置した。

トラス橋の格点に荷重を載荷した場合、部材にはほとんど曲げは生じないと考えられるので、下弦材の降伏によって終局状態に至ると予想される。これに対してアーチ橋の格点に荷重を載荷した場合、結果的には局部的な曲げによって



(a) 合成トラス試験体



(b) 合成逆アーチ試験体

図2 試験体の基本形状

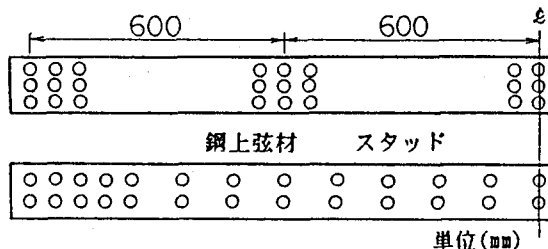


図3 スタッドの配置

表1 試験体の種類

合成トラス試験体	
T-1	スタッド分散配置、鋼上弦材断面積 20.07cm^2
T-2	スタッド集中配置、鋼上弦材断面積 20.07cm^2
T-3	スタッド分散配置、鋼上弦材断面積 10.95cm^2
合成逆アーチ試験体	
A-1	スタッド集中配置、アーチライズ 600mm
A-2	スタッド分散配置、アーチライズ 500mm
A-3	スタッド分散配置、アーチライズ 600mm

破壊すると考えられる。トラス橋の実験では、鋼部材各部の応力度が弾性範囲内に収まる程度に、集中荷重を始めに1/4格点に載荷してから、スパン中央部の格点に移した。アーチ橋では逆に、始めにスパン中央格点に荷重を載荷した後、1/4格点に移してアーチ橋を破壊させた。実験に際しては、たわみ、床版と鋼上弦材との長手方向のずれ、床版や鋼部材各部のひずみを計測した。床版のひずみは、床版厚さの中央高さに配置している鉄筋に貼付けたひずみゲージにより計測した。

3. 解析方法

合成トラス橋の場合、上弦材に導入されるトラス斜材の力は先ず鋼部材に直接入り、コンクリート床版にはスタッドを介してその力の一部が伝達され则认为られる。そこで、上弦材部分（鋼部材と床版）だけを対象として、橋軸方向の力の伝達だけを考慮できる一次元の剛体ばねモデル⁴⁾を用い、鋼部材および床版は、それぞれ剛体と軸ばねからなる要素とし、スタッドはせん断ばねとしてモデル化した。モデルに対して荷重は鋼トラスの格点部に対応する剛体節点部に橋軸方向に加えられるが、その大きさはトラス構造の節点をピン結合と仮定して求めた（図4(a)）。

合成アーチ橋の場合には、始めに上弦材の鋼部材と床版とが完全に一体となっていると仮定し、コンクリート断面は鋼材に換算して、平面骨組構造のFEM解析により各部材力を算出した。次に、スタッドが伝達するせん断力を求めるために、鋼とコンクリートの合成断面である上弦材部分のみについて、梁としての剛体ばねモデルによる解析を行った。つまり鋼および床版部分を梁要素、スタッドは継手ばね要素としてモデル化し、全体系との整合性がとれるように前段階のFEM解析において求められた部材力および荷重を所定の位置に外力として作用させた（図4(b)）。ただし、支柱から導入される曲げモーメントは小さいので無視した。

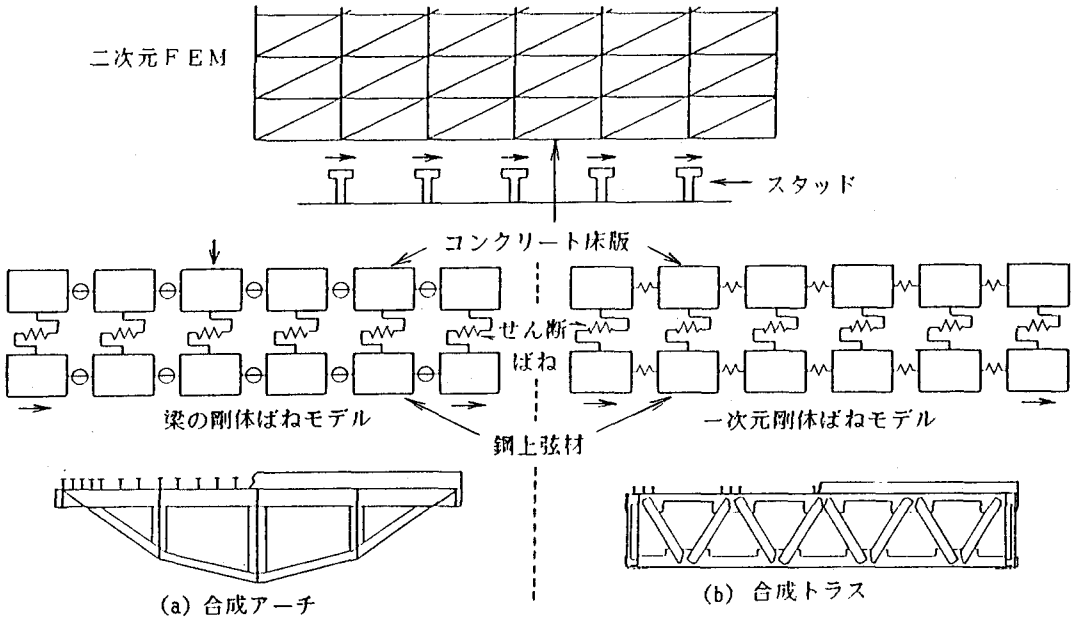


図4 合成トラス及び合成逆アーチ橋の解析方法の手順

最後に、平面応力状態を仮定した2次元弾性問題のFEMを用いて、コンクリート床版の応力分布を調べた。図3に示すように鋼上弦材には、複数、対になったスタッドが並んでいるが、これが上弦材の中央線上に集中し、FEM解析における節点に合致するように床版を三角形要素に分割し、前段階で求められたスタッドの伝達せん断力を所定の位置に作用させた。

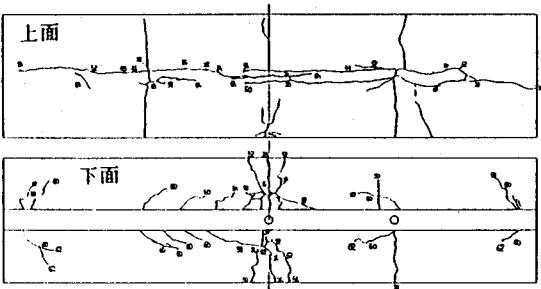
4 実験および解析結果と考察

(1) 破壊状況

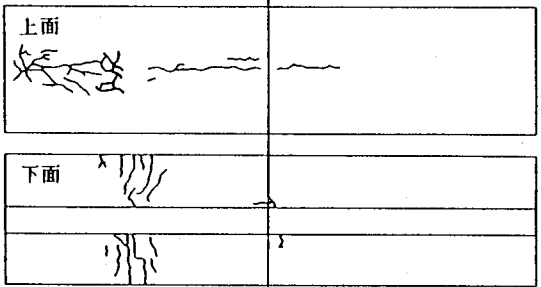
トラス橋の試験体では、3体とも荷重の増加につれて床版上面に縦びびわれが生じ、下弦材が降伏した後、スパン中央部の床版上面が圧壊し終局状態に至った。アーチ橋では1/4格点荷重によって破壊させたが、荷重の増加につれて載荷点の床版下面に曲げびびわれが生じ、ついには載荷点と載荷点に近い方の端支承との間にあるスタッドまわりのコンクリートがくずれ、終局状態に至った。これはスタッドが床版に伝える力が増加するにつれて、スタッドが床版を引き裂くように作用し（スプリット効果）、その部分のコンクリートがくずれたものと考えられる。図5にそれぞれひびわれ状況の例を示す。また、実験終了後いずれの試験体も床版を取り除いてスタッドを観察したが、スタッドには著しい変状は認められなかった。しかし、T-3試験体では、鋼上弦材の1/4、3/4格点部に少々回転変形が生じた。

(2) 鋼上弦材と床版とのずれ

実験において測定された床版と鋼上弦材とのずれ挙動を図6に示す。縦軸に荷重を、また横軸にずれ量を表している。図6(a)はトラス試験体中央格点荷重時の荷重-ずれ関係であるが、1/4格点のずれが最も大きい。また、アーチ試験体1/4格点荷重時の荷重-ずれ関係を図6(b)に示す。載荷点および中央格点でのずれに比較して載荷点に近い方の支承部近辺のずれが大きく、この結果は上述のひびわれ状況の結果と傾向が一致している。

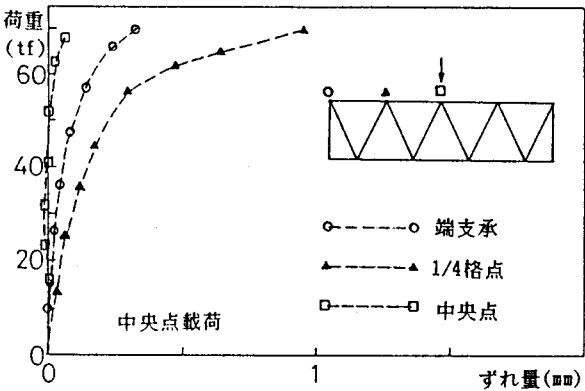


(a) 合成トラス (T-3)

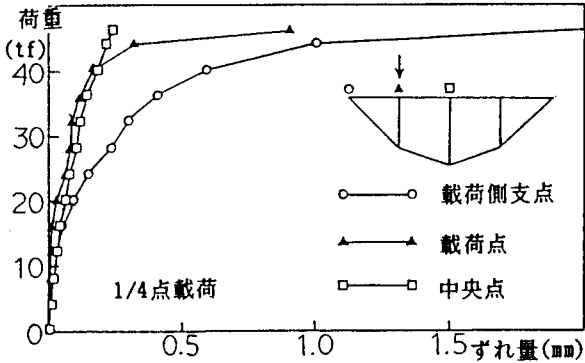


(b) 合成アーチ (A-3)

図5 床版のひびわれ状況



(a) 合成トラス (T-2)



(b) 合成アーチ (A-2)

図6 荷重-ずれ曲線

(3) スタッドの伝達せん断力の分布

スタッドから床版に伝達される力の分布は直接実測できなかった。しかし、剛体ばねモデル解析によって、スタッドの伝達せん断力分布の一般的な傾向は把握できると考えられる。そこで解析によって得られた荷重10tf時の結果を図7に示す。縦軸にスタッドの伝達せん断力を、また横軸にその位置を示している。伝達せん断力は横断方向のスタッド本数分の合計の伝達せん断力を表している。トラス橋の場合、載荷点によらず伝達せん断力の大部分は、図7(a)に示すように格点近辺のスタッドに集中し、スパン中央格点載荷の場合の方が1/4格点載荷の場合に比較して伝達せん断力は大きい。これに対して、図7(b)に示すアーチ橋のスタッド伝達せん断力の分布形状は、曲げモーメントの分布形状とほぼ類似していて、格点近辺以外のスタッドからもせん断力が分布して伝達されることがわかる。1/4点載荷では床版がくずれた付近のスタッドのせん断力の総和が特に大きくなっている。なお、スタッドに作用する力の分布を、アーチの水平分力(軸力)による影響と鉛直方向の力(曲げモーメント)による影響とに分けた結果、本実験の諸元では、スタッドが伝える力の分布は軸力による影響よりも、曲げモーメントによるものが主体であることがわかった(図7(c))。

(4) ひずみ分布

10tfの荷重が中央格点上に載荷された場合の床版のひずみの実測分布およびその解析結果を図8に示す。太線が圧縮ひずみ、細線が引張りひずみ。

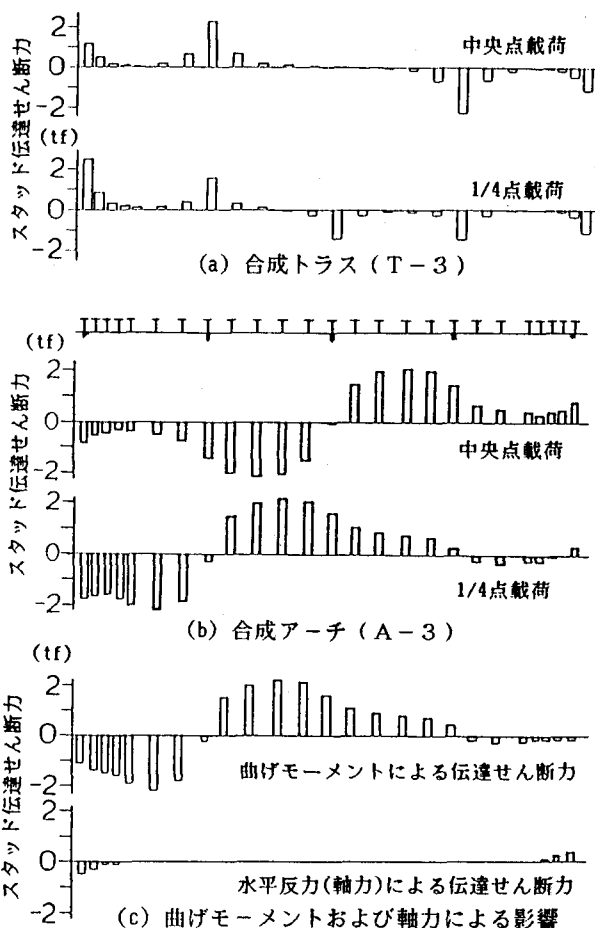


図7 スタッドの伝達せん断力の分布

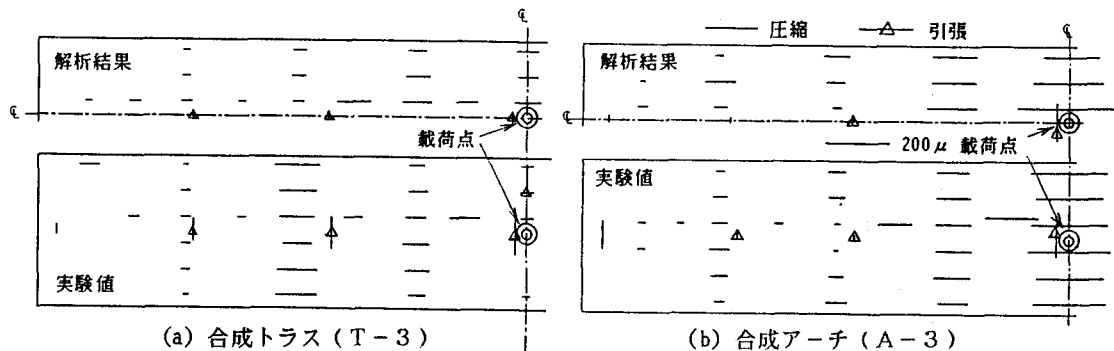


図8 床版のひずみ分布

ずみを表す。ひずみの実測値は床版内の配力鉄筋に貼ったゲージによるものである。トラス橋の場合(図8(a))、載荷点付近に局部的な橋軸方向の引張ひずみが認められるが、全般的には圧縮ひずみが実測され、特に1/4格点において大きくになっている。アーチ橋の場合には(図8(b))、スパン中央部付近の圧縮ひずみが最も大きく、トラス橋とアーチ橋で床版に導入される力の伝達機構が相当異なることが理解される。また、実測と解析結果とを比較すると、両方の場合とも比較的傾向が一致していることから、前述したスタッドの伝達せん断力の解析結果は比較的良好に実際の傾向を表していると考えられる。

(5) 主応力分布

FEM解析により求められた床版の主応力分布を図9に示す。ここでは床版の1/4部分だけについて、太線が圧縮応力、細線が引張応力である。トラスおよびアーチ橋について、それぞれ1/4格点載荷時と中央格点載荷時の例を示している。トラス橋の床版の主応力分布は格点部から導入される力によって大きく変化し、アーチ橋の場合には、格点部以外の鋼上弦材からも力が導入されていることがわかる。このことは合成トラスおよびアーチ橋では、鋼上弦材から床版に導入される力の伝達機構が異なっていることを示している。

5 まとめ

本研究では、合成構造の活用の一つとして、合成トラスおよび合成逆アーチ橋の基本的な力学特性を明らかにするため、模型による実験および簡略な解析方法により種々の検討を行った。その結果、合成トラスおよび逆アーチ橋のずれ止めによる力の伝達機構やコンクリート床版内の応力分布などの基本的な性状が調べられた。しかし、このような橋梁の実用化のために、今後さらに構造のディテール等種々の検討を行うことが必要である。

参考文献

- 1) 福田武雄：合成トラス橋について ——新潟県仲宿橋の設計——、土木技術、第11巻第4号、pp.24-30、1956,4
- 2) Roik, K. and Haensel, J.: Composite bridge design in Germany, Proceedings of the U.S./Japan Joint Seminar "COMPOSITE AND MIXED CONSTRUCTION", published by ASCE, 1984,7
- 3) 土木学会：国鉄建造物設計標準解説——鋼鉄道橋、鋼とコンクリートとの合成鉄道橋——、1983,5
- 4) Kawai, T.: Some considerations on the finite element method, International Journal for Numerical Method in Engineering, Vol.16, pp.81-120, 1980

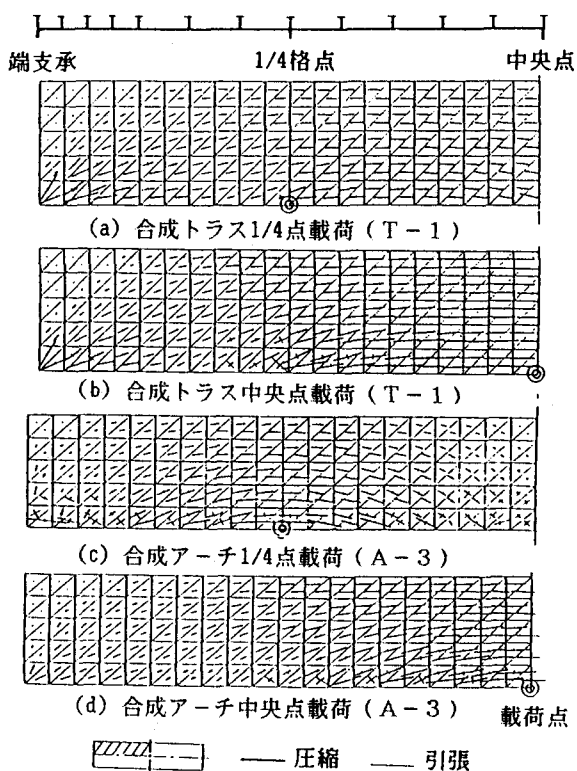


図9 床版の主応力分布