

日本国有鉄道	構造物設計事務所	正員	谷口 紀久
日本国有鉄道	構造物設計事務所	正員	○曾我 賢治
株式会社	八千代エンジニアリング		武田 正紀

はじめに

鉄道騒音に対する社会の関心が高まっている現在、鋼橋はコンクリート橋に比べて、列車走行時の騒音値が高いため、一般にその需要は減少する傾向にある。しかしながら、鋼橋はコンクリート橋と比較して、死荷重が軽いこと、架設が容易であること、急速施工が可能であることなどの特徴を持ち、また、これらの特徴はスパンが長くなるほど顕著に生かされる。したがって、架設地やスパンの条件によっては、鋼橋を採用せざるをえない場合が少なくない。そこで、鋼橋の利点を失なわずに、かつ、騒音の低い橋りょうを開発することが早急に求められている。

そのような橋りょうとして、最も多く騒音を発生している鋼橋の床部をコンクリート構造とする、すなわち、鋼とコンクリートの併用構造が考えられる。その代表的なものは、以前から広く用いられている合成けたであり、また最近では、下路プレートガーダーやトラスにも同様な構造を採用することが多くなっている。

床部をコンクリート構造とするとあたり、上路タイプの橋りょうは、コンクリートを圧縮部材として有効に利用できる。しかし、下路タイプの橋りょうは下側の床部全体が引張力を受けるため、コンクリートを有効とするにはプレストレスを導入する必要がある、その設計方法は明確になっていない。したがって、従来の床部をコンクリート構造とした下路トラスや下路プレートガーダーの場合、床としての作用を持たず以外のコンクリートは単に鋼部材の振動を抑制する防音用のコンクリートと考え、下側の引張力は鋼部材のみで受ける設計となっている。

本報告に述べる合成下路トラスは、床部のコンクリートに相当量のプレストレスを導入することにより、床としての作用はもちろん、トラス主構として下弦材の作用も持たせようとするもので、従来の非合成トラスに比べ合理的、かつ経済的構造であると思われる。

このような合成下路トラスの実用化を進めるにあたり、以下のような諸問題がある。

- (1) 架設上必要と思われる最小量の鋼の下弦材（以下「鋼下弦材」という）と床部のコンクリート（以下「コンクリートスラブ」という）の結合方法をどうするか。現在、トラスの格点部で結合する方法と鋼下弦材の全長にわたって結合する方法が考えられている。
- (2) 鋼下弦材とコンクリートスラブの応力分担率をどうするか。
- (3) 結合方法により異なると思われるが、コンクリートスラブにどのように主構としての応力を分担させるか。
- (4) コンクリートのクリープ、乾燥収縮、および、プレストレスによる二次応力の影響をどのように考慮するか。
- (5) 主構としての応力と床としての応力が合成され、また、疲労の影響を受けるコンクリートスラブの設計方法をどうするか。
- (6) 架設方法に関してどのような考慮が必要か。

上記の諸問題を検討すべく、模型けたにより載荷実験を行なったので、ここにその概要を報告する。

1. 実験の概要

1-1 模型けた

模型けたの主要寸法は主構高さ、主構間隔共に 1.0 m 、格間割は $5 \times 1.2\text{ m}$ のスパン 6 m とし、スラブはトラスの格点のみで結合する構造で幅 85.6 cm 厚さ 15 cm になっている。

設計は下弦材が最初に降伏するように考慮した。鋼下弦材は最小H形鋼H-100×100×6×8を、またコンクリートスラブにプレストレスを導入するPC鋼棒はφ17（A種）を4本使用し、これらの鋼材の降伏時の荷重に対して十分安全となるように、上弦材、斜材、継手部、および鋼下弦材とコンクリートスラブの結合部などを設計した。

鋼トラスの材質はSS41、スラブコンクリートの品質は $\sigma_{CK} = 240 \text{ Kg/cm}^2$ とした。

模型けたの断面を図-1に示す。

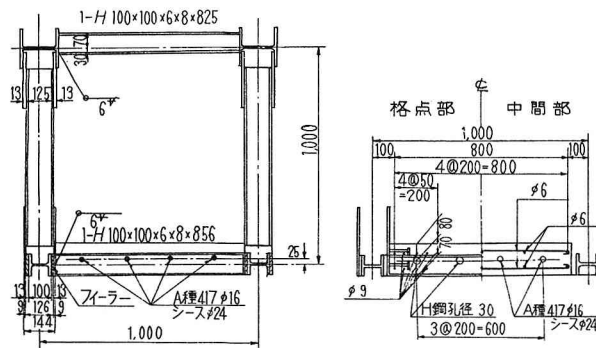


図-1 模型けたの断面

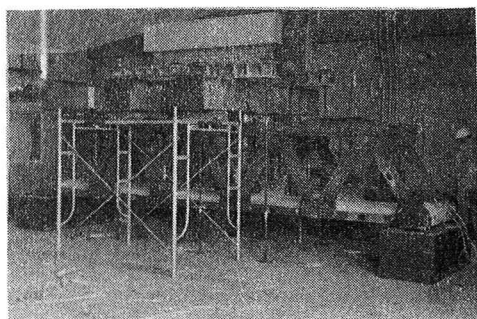


写真-1 実験全景

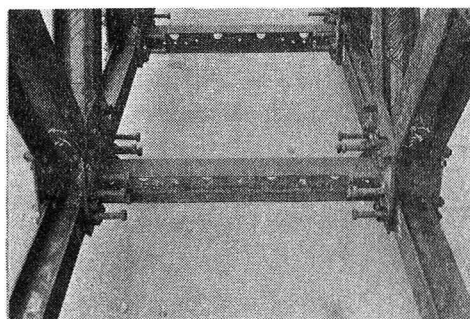


写真-2 格点部のスタッドジベルと横けた

1-2 実験方法

荷重は鋼トラスの中央部4格点に載荷した。載荷装置は十分支持力のある床に取り付けられたPC鋼棒と載荷ビームを介して4台の100tジャッキにより鉛直方向に載荷するように設置した。

載荷実験に先だち、死荷重やPC鋼棒の緊張による各部の応力の測定を行った後、5t〜10tごとに荷重を増加し、各荷重段階で鋼トラス、スタッドジベル、コンクリートスラブの応力、変位などを測定した。

2. 実験結果および考察

2-1 コンクリートスラブのひずみ

合成トラスにおけるコンクリートスラブの設計は、一般の鉄道用PCけたと同様に、コンクリートに引張応力を生じさせないフルプレストレス方式を採用する。そこで、本実験についても引張応力が生じない荷重段階でのコンクリートスラブのひずみを検討する。本実験けたの場合、計算によるとコンクリートスラブに引張応力が発生する荷重は約45tであり、図-2は40t載荷時のコンクリートスラブのひずみ分布を示したものである。図より次のことがわかる。

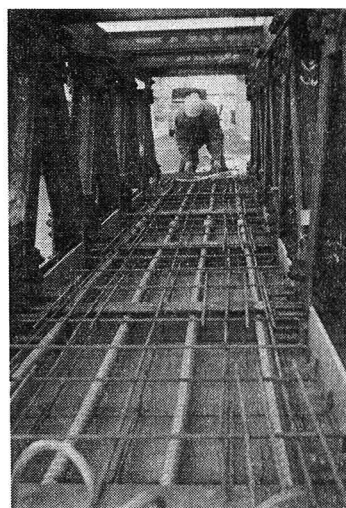


写真-3 PC鋼棒の配置および配筋

- (1) トラスの格間中央部横断面における橋軸方向ひずみの分布は、中央部が端部より大きい傾向にある。

なおFEM解析の結果では一様な分布となっている。

(2) 格点付近に橋軸直角方向の引張ひずみが作用していること、格点の支間中央側の橋軸方向ひずみは支点側に比べて大きいことなどは FEM 解析の傾向とよく一致する。

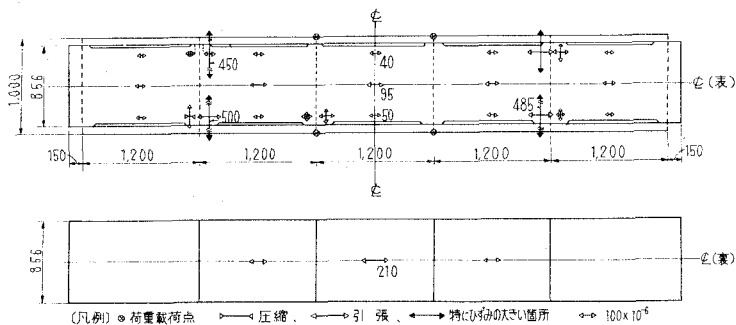


図-2 コンクリートスラブの平面 (1/474, $\Sigma P=40^t$ 時)

(3) コンクリートス

ラブの表側と裏側の橋軸方向ひずみは等しくなく、裏側の方が大きい傾向にある。この傾向は図-3に示すように荷重が増加するに従って著しい。この理由として、①トラス全体が曲げを受けるビームと考える時、中立軸（計算ではコンクリートスラブ上面より27cm上にある）からの距離に差があること。②コンクリート

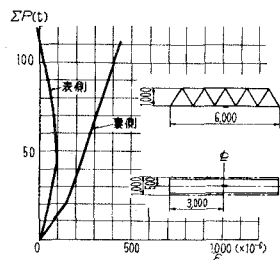


図-3 コンクリートスラブの荷重-ひずみ曲線

にあるため、偏心軸力を受けること（図-1参照）。

③格点部の二次応力の影響などが考えられる。

2-2 コンクリートスラブと鋼下弦材の応力分担

合成トラスの下弦材におけるコンクリートスラブと鋼下弦材の応力分担は、完全に合成しているとすればそれ

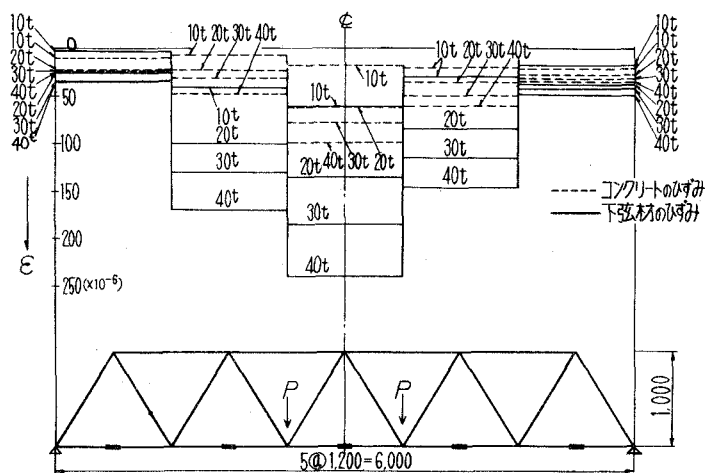


図-4 コンクリートスラブ、鋼下弦材の荷重-歪率グラフ ($\Sigma P=40 \sim 100^t$)

ぞれの剛度 $E \cdot A$ （ E ：弾性係数， A ：断面積）の割合で分担すると考えられ，FEM 解析においてもその妥当性が確かめられている。

図-4，各荷重段階におけるコンクリートスラブおよび鋼下弦材の格点間橋軸方向ひずみを示したものである。端部の格間を除いて，鋼下弦材とコンクリートスラブのひずみは相当異なっており，鋼下弦材の方がより大きな応力を受けている。また図-5に示す荷重-たわみ曲線によると，実験けたにおける鋼トラスのたわみは合成断面で計算したたわみより大きく，コンクリートスラブを無視して鋼トラスのみで計算したたわみに寄っている。

これから，本実験けたの場合，下弦材の応力は鋼下弦材の方がコンクリートスラブより多く分担していることが推定される。

このように鋼下弦材の応力分担が多い理由として、荷重が鋼下弦材の格点部に載荷されたこと、格点部のスタッドジベルの弾性変形によって不完全な合成作用となったことなどが考えられる。

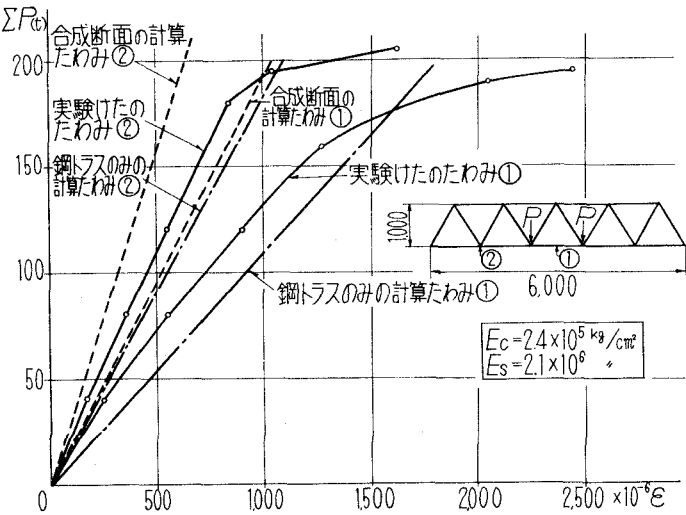


図-5 にわみ曲線

今、鋼下弦材の分担係数 r を次式で表わすとして、

$$r = \frac{\beta E_s A_s}{\beta E_s A_s + A_c E_c}$$

ここに E_s, E_c : 鋼, コンクリートの弾性係数
 A_s, A_c : 鋼, コンクリートの断面積

載荷荷重が 40 t の時を検討すると、式中の β はひずみから逆算して両端の格間では 0.8 ~ 0.9, 中間部の格間では 1.3 ~ 1.7 程度である。

3. 実橋の設計にあたって

実橋の設計にあたって、前項の実験結果から次のことがいえる。

- (1) 実験によると剛比以上に鋼下弦材の分担が大きくなる。しかしながら、実設計において鋼下弦材断面を決定する軸力は合成前死荷重によるものが大部分であり、合成後の分担軸力はほとんど影響せず、問題とならないと思われる。一方、コンクリートスラブの分担力は剛比によるとして安全側の設計とすべきである。
- (2) コンクリートスラブの橋軸方向ひずみの横断面における分布は不均等であり、実験では中央部が大きな傾向にある。したがって、コンクリートスラブの全幅を有効とするのは不安全であり、有効幅的なものを定める必要がある。
- (3) 格点付近におけるコンクリートスラブにはかなり大きな橋軸直角方向の引張力が作用し、また、橋軸方向の引張力が不均等に分布する。実設計ではスラブ厚を増加すると同時に、鉄筋、P C 鋼棒などによる補強方法を検討する必要がある。

おわりに

今回の実験により合成トラスの挙動を大体つかむことができ、実用化の目度が一応ついたと思われる。しかしながら、スラブの応力分布などは測点数の不足のため定量的に把握することができずに終っており、十分な結果とはいえない。今回の実験に引続いて、鋼下弦材とコンクリートスラブが全長にわたって結合された合成トラスの模型載荷実験が予定されており、そこで今回の不足分をおぎないたく考えている。

なお本実験の実施に当り、国鉄東京第一工事局、鹿島建設技術研究所、(社)鋼材倶楽部鋼橋騒音防止橋梁研究会の各関係の方々より、御指導、御協力をいただきました。併記し感謝の意を表します。