

○ 国鉄 構造物設計事務所 正 員 宮田尚彦

国鉄 構造物設計事務所 正 員 井エ寛美

1. 結 言

以下に論ずる鉄骨鉄筋コンクリートスラブげたとは、鉄骨のまわりに鉄筋を配しコンクリートを打ち込んだスラブげたで、力学的にこれらが一体に働くようにした構造である。

鉄道橋として使用されるこの構造のうち、断面の圧縮側に鋼材が配置されるが、引張側に配置される鋼材量より少ないもの、圧縮側にも引張側と同一の鋼材量が配置されるものと大別して考えることができる。また、部材の断面に配置される鋼材形式としては、鉄道橋としてすでに一般的に使用されているH形鋼埋込げたのごとく、断面の圧縮側、引張側に配置される鋼材量が全く同一で、しかもけた全長にわたり腹部に鋼材を有するもの以外に、種々の形鋼を水平あるいは鉛直の繋ぎ材により、I形、H形、あるいは箱形断面に組立ててコンクリート中に埋込む形式のスラブげたが考えられる。

そこで、筆者らは、今日まで鉄道橋として広く使用されているH形鋼埋込みげたの設計・施工方法の実績を基礎に、H形鋼に代る鉄骨として、種々の形鋼を鉛直、水平、斜めの繋ぎ材を用いてI形、H形、箱形の断面に組立て、その鉄骨のまわりに鉄筋を配しコンクリートを打ち込んで、力学的にこれらが一体に働くようにした鉄道橋としてのスラブ桁の設計の可能性について検討したので報告する。

2. 鉄骨鉄筋コンクリートスラブの特徴と強度計算上の問題点

2.1 一般の特徴

鉄骨鉄筋コンクリートスラブの一般の特徴は、H形鋼を埋め込んだコンクリートスラブの特徴を有するほか、種々の特性も兼ね備えていると考えられる。H形鋼を埋め込んだコンクリートスラブの一般の特徴はつぎのようであるとされている。即ち普通の鉄筋コンクリートスラブ、プレストレストコンクリートスラブ、等に比して、一般に橋梁自体の製作費が高い。しかし、この形式の橋梁には、施工が容易で、一般に支保工が不要なこと、桁高を小さくできること、桁高を低くする場合に有利な下路形式の橋梁と異なり建築限界からの制限を受けないこと、延長の短い鉄道橋に不可欠な有道床構造とすることができ、列車騒音を軽減することができること、等の多くの利点がある。したがって、架設地点の条件の如何によっては、この形式の橋梁が有利となる場合も多く、かなり広く用いられている。

この形式の橋梁の一般的な架設方法は、最初にコンクリート中に埋め込まれるH形鋼を直接、橋台への支承に架け、このH形鋼を支保工代りに用いて形枠を組み、鉄筋をそのまわりに配してコンクリートを打ち込む。したがって、H形鋼は、それ自身の重量、コンクリートおよび鉄筋の重量、形枠の重量、等を完全に支持し、軌道の重量、列車荷重、高欄重量、等は、コンクリートとの合成作用によ、てこれらを支持する構造であると考えられる。この場合、H形鋼には初期応力度として300% $\sim$ 500%程度の応力度が生ずる。また、コンクリート断面は、この場合、コンクリート自身による応力を受けない。したがって、コンクリート断面が受ける永久荷重は、軌道の重量、高欄重量、防水工重量、

施工によっては排水勾配コンクリートの重量であり、これらによって作用する応力は小さいこと、鉄筋および鉄骨のけた断面に占める割合が比較的大きく、また、コンクリートがH形鋼、防水工、その他により、ほぼ完全に包まれている状態では、コンクリートのクリープ変形、材令の早期における乾燥収縮による変形が少ないと考えられる利点がある。

H形鋼をつつんでコンクリートを打ち込む場合、とくに形鋼のエフランジの下側にコンクリートを十分にゆきわたらせて締め固める方法は、閉そく率と関係して、問題となる。コンクリートの締め固めが不十分な場合に生ずるこの部分の空隙はコンクリートと形鋼との機械的なかみあい、あるいは付着強度に影響があると考えられる。

以上の一般的特徴は、H形鋼を埋め込んだコンクリートスラブゲタに関するものであるが、鉄骨鉄筋コンクリートスラブゲタにも共通する特徴である。しかしながら、後者の場合には、これらの特徴に加えて、コンクリート内に埋め込まれる鉄骨の断面形状を、橋梁の適用条件に応じて、工形、H形、箱形などの任意の形に設計の際に選ぶことが可能となること、充腹断面とならないために、一般に鉄骨重量が軽減され、荷重が各々の鉄骨に確実に分配されるために必要な横方向鉄筋の配置が容易となり、また、鉄骨をつつんで打ち込まれるコンクリートのゆきわたりが比較的良くなる、等の、H形鋼埋込みゲタでは得られない利点があるものと思われる。

2.2 強度計算上の問題点

鉄骨を埋め込んだコンクリートスラブを、鉄骨とコンクリートとの力学的な合成構造であると考え、ることのできるためには、つぎの諸条件が満足されなければならない。

(1) コンクリートが、作用する応力に対して十分な強度を有すること。特にせん断力に対しては重要である。しかし、この場合、コンクリートがほとんど応力を受けない部分においても、そのもろさを補強する程度の用心鉄筋を配置する必要がある。

(2) 鉄骨が、作用する応力に対して十分な強度を有すること。

(3) コンクリートと鉄骨の結合機構が保持されていること。

(4) 横方向鉄筋の強度が十分であること。

この形式の橋梁を鉄道橋として使用する場合には、H形鋼埋込みゲタと同様、中小スパンに用いられることが多いと思われる。この場合、部材断面に作用する応力のうち、列車荷重、等の変動荷重によって生ずる応力の占める割合は、静的荷重によって生ずる応力の占める割合より一般に大きい。

したがって、上記の4つの条件は、繰り返し回数が多い荷重に対して満足されなければならない。

コンクリートは、曲げ圧縮応力に対して、強度上十分な余裕があり、この形式の橋梁の場合でもその疲労破壊の危険はない。Mehmel²⁾によつて、コンクリートの曲げ圧縮時の疲労強度は、載荷時の強度の50~55%になることが確かめられている。

曲げによって生ずるせん断応力に対しては、この形式の橋梁は、H形鋼埋込みゲタと異なり、充腹断面ではないので、鉛直あるいは斜めの繫ぎ材が、けたに配置されているスターラップ³⁾などのように協同して働くことが問題となる。コンクリートのもろさを補強する用心鉄筋の配置は、コンクリートと鉄骨との合成効果を發揮させるためには、重要な問題点となる。

2) A. Mehmel: Untersuchungen über den Einfluss häufig wiederholten Druckbeanspruchung Julius Springer (1926)

けたに曲げ応力が作用する場合、鉄骨の上フランジあるいは圧縮側に配置された主鉄筋は、圧縮応力を受けるが、この応力の値は一般に小さい。したがって、鉄骨の下フランジおよび引張側に配置された主鉄筋の引張応力に対する特性を十分生かした設計を行うことが経済的となる。実用的には鉄骨の下フランジおよび引張側に配置される主鉄筋の応力度として、けたの疲労強度から定まるそれぞれの応力度まで使用して設計することが必要である。しかし、この場合、鉄骨の材質として高張力鋼を、鉄筋の材質として高強度の棒鋼を用いて、けたの疲労強度から定まるそれぞれの応力度を考慮して、経済的な設計を行なうためには、コンクリートの設計基準強度も、この観点から、高いものを使用することが望ましいと考えられる。従来から一般的に使用されてきたH形鋼埋め込みけたの形式では、H形鋼のウェブの下部に、スラブの横方向鉄筋を通す孔をあけているので、この孔のまわりの応力集中および疲労破断が重要な問題点であるが、非充腹形の鉄骨の場合には、この問題点を比較的少なくし得るのではないかと考えられる。

コンクリートと鉄骨との結合は、コンクリートが破壊した場合、スラブの横方向鉄筋が破断した場合、付着応力度が過大な場合、なとに、破壊するものと考えられる。

鉄骨鉄筋コンクリートスラブが荷重を受けた場合、引張領域には、普通の鉄筋コンクリート同様なひびわれが発生すると思われる。鉄骨鉄筋コンクリート長方形はりの試験によれば、コンクリートの中に埋め込まれる鉄筋の断面形状、組立て方、鉄骨量、なと、によって異なり、繰り返し荷重によつて発生したひびわれの幅はやや大きくなり、静的試験の結果と動的試験の結果とを比較すれば、ひびわれ附近のコンクリートと形鋼との付着は、繰り返し回数、 2×10^6 回で、応力振幅、 500 kg/cm^2 、最大応力度、 1300 kg/cm^2 (鋼材 S541, $\sigma_{ck} = 300 \text{ kg/cm}^2$) の場合、疲労によつて破壊されたようである。したがって、少なくともひびわれ附近のコンクリートと鉄骨、との付着は、付着面に作用するせん断作用により破壊することが考えられる。また、スラブけたの幅がスパンに対して、ある程度以上の大きさであれば、スラブの下縁で橋軸直角方向の曲げ引張応力が大きくなるために、引張領域のコンクリートと鉄骨との付着は、この曲げ引張応力により破壊することが考えられるが、H形鋼埋め込みけたに比してその危険性は少ないように思われる。

横方向鉄筋は、スラブの橋軸直角方向の荷重分配に対して、十分な量を有することが必要である。

3. 設計の試行

3.1 試行設計上の基本的な仮定

試行設計上の基本的な仮定は、材料の品質、基準の許容応力度、断面計算、たわみの計算のそれぞれについてつぎのようにとった。³⁾

3.1.1 材料の品質

(1) コンクリート

(A) コンクリートの品質は、建築物設計標準(旧本国有鉄道 施管オ128号別冊 昭和45年3月)鉄筋コンクリート構造物及び無筋コンクリート構造物4章1節30を満足しなければならない。

(B) 骨材の最大寸法は 25 mm とする。(C) 単位セメント量は 300 kg/m^3 以上とする。

(D) コンクリートのスランプの範囲は $\pm 2.5 \text{ cm}$ 以上とする。

(2) 鋼材の品質・形状および寸法

3) 宮田尚彦：単純梁の曲げに関する設計方法の研究 鉄道土木における鉄骨鉄筋コンクリート (その1) 土木技術 26巻12号
(その2) 27巻1号

(a)鉄骨材料の品質は、JIS G 3101 による SM41に適合するもの、また同等以上のものでなければならぬ。また平鋼はJIS G 3191, 形鋼はJIS G 3192, 鋼板はJIS G 3193に適合するものとする。(b)鉄筋の品質は、原則として JIS G 3112鉄筋コンクリート用棒鋼に適合するものでなければならぬ。

3.1.2 基準の許容応力度

1. 単純曲げに対する基準の許容応力度 (1) 鋼材の基準の許容応力度はつぎのように定めた。

(a) 初期応力度の大きさは引張応力度で 300kg/cm^2 , 圧縮応力度で 500kg/cm^2 程度以下とする。

(b) 初期応力度と設計荷重による基準の応力度との和は $1,500\text{kg/cm}^2$ 以下とする。

(c) 設計荷重に対する基準の許容曲げ引張応力度は $1,300\text{kg/cm}^2$ 以下とする。

(d) 鉄骨と鉄筋の基準の平均許容曲げ引張応力度は $1,300\text{kg/cm}^2$ 以下とする。この場合、鉄筋の基準の許容引張応力度および圧縮応力度は $1,400\text{kg/cm}^2$ 以下とする。

(2) コンクリートの基準の許容応力度は、建造物設計標準鉄筋コンクリート構造物及び無筋コンクリート構造物4章2節32によつた。

2. 曲げせん断力に対する基準の許容応力度 (1) 鋼材の基準の許容応力度は、鉄筋コンクリート部分に作用するものと、鉄骨部分に作用するものとに分けて計算するものとし、鉄筋の基準の許容応力度は(a) 斜引張鉄筋の計算をする場合 $1,400\text{kg/cm}^2$ 以下とする。(b)鉄骨腹板は、初期応力度と設計荷重応力度との和が 800kg/cm^2 以下とする。(c) 鉄骨腹部がトラスの場合初期応力度と設計荷重による応力度の和は $1,300\text{kg/cm}^2$ 以下とする。

3.1.3 断面計算

断面の計算は弾性理論によるものとし、鉄骨を同じ断面積の鉄筋に置換えた鉄筋コンクリート計算式においてヤング係数比 $n=7$ (コンクリートのヤング係数を $3.0 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$ とする)として行なうものとする。

3.1.4 たわみ

たわみは活荷重に対して全断面有効とし、ヤング係数比 $n=7$ として計算する。

3.2 設計結果

設計の結果 得られた桁の断面形状 寸法は図のとおりである。

4. 結 言

鉄骨鉄筋コンクリートスラブ桁の試行設計を基として設計の可能性について論じたが、この種の形式の橋梁の利点とよく見極め、採用にあたっての慎重な調査、研究と推進する一助としたい。

