

鉄道橋設計での留意事項

2014. 1. 31
T. Y.

1. まえがき

このところ、渋谷工事桁をはじめとした多くの「鉸桁橋」の設計が舞い込んでいる。構造は単純というものの客先との認識に齟齬があり、手直しの要因ともなっている。ここに最近出くわした問題に対する当社の見解を明確にしておくことで、客先への説明資料に役立てるとともに、間違いのない計算書を効率的に作成することに寄与したいと考えるものである。

2. 活荷重たわみの算定式について

単純桁の等分布荷重による最大たわみは、次式で与えられる。

$$\delta = \frac{5 w \cdot \ell^4}{384 E I} \quad \text{① 式}$$

ところが、実際に載荷される活荷重は分散集中荷重であり、たわみ計算をまともに実施すると難しくなることがある。

このため活荷重による曲げモーメントが既知であるならば、これを用いたたわみを算定しても大過がないことから、分布荷重による曲げモーメント式： $M = w \cdot \ell^2 / 8$ を①式に代入した②式からたわみを求める手法が、鉄道・道路の構造物の照査で広く活用されている。

$$\delta = \frac{5 M \cdot \ell^2}{48 E I} \quad \text{② 式}$$

ただし当式の適用は、コンクリート桁ならびに断面変化の無い鋼桁に限られる。なぜならば、桁に断面変化がある場合に支間中央の I_{max} を用いて②式のたわみを算定したのでは、過小の値になってしまうからである。

断面変化する桁のたわみ計算に、簡便な補正式として F. Bleich の式（下記③式）が用いられることがある。

$$I = \frac{I_m}{1 + \frac{3}{25} \cdot \frac{I_m - I_o}{I_o}} \quad \text{③ 式}$$

ここで、
 I : たわみ計算に用いられる補正断面二次モーメント
 I_m : 支間中央の断面二次モーメント
 I_o : 支間端部の断面二次モーメント

ただ通常の鉄道橋においては、ほとんどの事例において I_o は I_m の半分以上であるから、断面変化している場合のたわみ式として、【鋼標準 解 1.3.7】に示す所の補正係数 1.1 を用いた次式の適用が認められている。

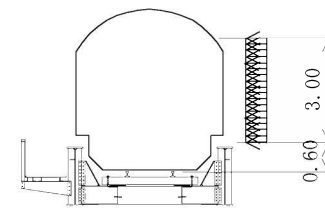
$$\delta = \frac{5.5 M \cdot \ell^2}{48 E I} \quad \text{(解 1.3.7) 式}$$

もちろん当式の適用範囲としては制約があり、桁高が変化して I_o と I_m の比率が著しく異なる場合などには用いるべきではない。

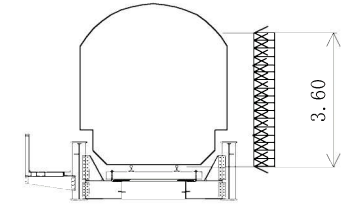
3. 縦桁に作用する風荷重

【鉄道標準 I 4.4.9 解説(3)】において、下路プレートガーダーなどで側面から見て桁と列車が重なる場合には、列車の垂直投射面積のうち風上側の部材と重なる部分は風荷重を考慮しないとある。

一方、鉄道総研発行の「設計事例集」では、列車の全高さを受風面積としている。発注者と協議の結果、前者を用いることにした。



【鉄道標準】



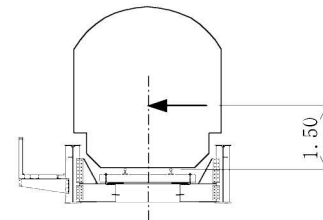
【鉄道総研設計例】

また、列車荷重の大きさは、安全照査する対象によって使い分けなければならない。各部材の断面照査においては多くの場合、列車荷重はフル載荷するが、転倒に対する安全照査においては空車を想定する。

また、上路桁と下路桁では風荷重の大きさが異なるのも、鉄道基準の特徴である。

4. 縦桁に作用する地震荷重

地震時に想定する列車荷重は、フル載荷の70%程度である。EA-17 荷重を例に取れば、35.0 kN/m と軽減している。



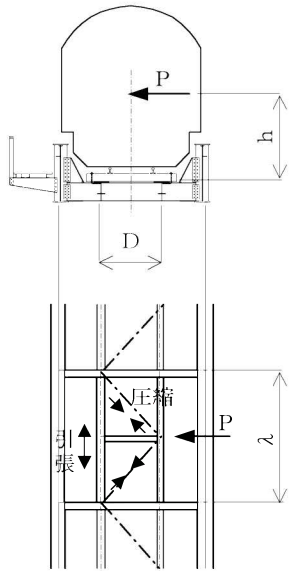
地震時に作用する列車荷重に対する慣性力は、地震時列車荷重に地震係数を乗じたものとなるが、これは橋軸直角方向のみであって、橋軸方向においては、【耐震標準 3.7.3 解説】より、車輪とレールの粘着係数：0.2 を用いることになる。

5. 水平荷重が及ぼす横桁への作用力

水平荷重による鉛直成分の多くは縦桁を介して横桁に伝達されるが、直結軌条や横桁上にマクラギがある場合には直上の荷重は横桁への直接載荷となるため、水平荷重による回転モーメントを軌間で除して反力とすることもある。

6. 水平荷重によって縦桁・主桁に生ずる応力度

横構を有する縦桁では、車両横荷重や風荷重のような水平力によって主桁の鉛直荷重の増分は、横構位置における回転モーメントを桁の間隔で除したものとなる。



回転モーメント： $M = P \cdot h$

鉛直荷重の増分： $\Delta V = \frac{P \cdot h}{D}$

これは横構によって水平力が横桁に伝達されるとの前提であるから、縦桁には横力を伝達する横構弦材としての軸力が発生する。この軸力は、横力によって生じる水平曲げモーメントを桁間隔で除して得ることが出来る。

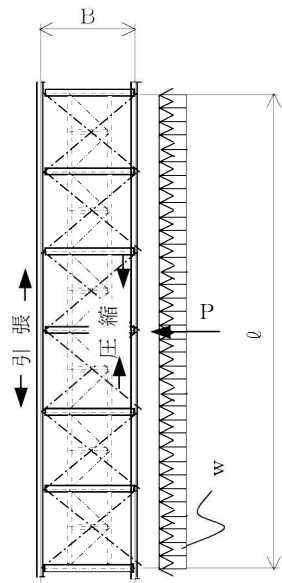
・ 集中荷重に対して

$$T = \frac{1}{4} P \cdot \lambda \times \frac{1}{D}$$

・ 分布荷重に対して

$$T = \frac{1}{8} w \cdot \lambda^2 \times \frac{1}{D}$$

ただ一般に鉛直荷重が増える側の桁の上フランジの発生応力度を減じる傾向にあるので安全を見てこれを考慮せず、下フランジの安全照査にのみ軸力を考慮する。



横力によって縦方向の軸力が生じるのは主桁も縦桁同様である。

この軸力は、横力によって生じる水平曲げモーメントを桁間隔で除して得ることが出来る。

・ 集中荷重に対して

$$T = \frac{1}{4} P \cdot \ell \times \frac{1}{B}$$

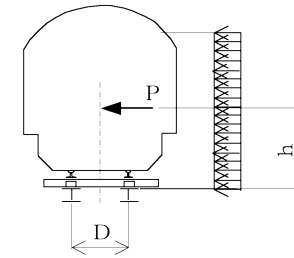
・ 分布荷重に対して

$$T = \frac{1}{8} w \cdot \ell^2 \times \frac{1}{B}$$

また、鉛直荷重が増える側の桁の下フランジの安全照査にのみ軸力を考慮するのも縦桁同様である。

7. 水平荷重による縦桁・主桁に付加される鉛直荷重

下図のような上路桁に風・地震などの水平力が作用すると、左右の桁に鉛直の負荷荷重が生ずることはすでに述べた所であるが、水平力によって生ずる回転モーメントをどの高さで算定するかが問題となる。



水平力によって縦桁生じる鉛直成分： ΔV

$$\Delta V = \frac{M}{D} = \frac{P \cdot h}{D}$$

ここで、hの取りようによって、負荷荷重： ΔV が異なるので厄介である。このhを定めるためには、水平力の支承までの伝達経路が決め手となる。

① 上横構がある場合

水平力は、横構によって単横桁に伝達され、単横桁の曲げ・せん断抵抗によって支承に伝達されるとしたならば回転モーメントは、横構ガセット位置にて求め、これを桁間隔で除して桁の鉛直負荷荷重とすることが出来る。

② 横構がない場合

横構がないのであるから、水平力はソールプレート下端までの高さに対する回転モーメントを桁間隔で除して負荷荷重とせざるを得ない。

③ 転倒の照査に用いる回転モーメント

転倒の照査は支承位置での反力が問われることになるので、横構の有無にかかわらず、ソールプレート下端までの高さに対する回転モーメントを桁間隔で除して求めることになる。

8. あとがき

最近の設計の発注態勢は、「性能照査」と称して技術者の裁量の余地を広げることであるが、現実はこの趣旨とはほど遠く、常に穩便に事を運ぶための対策に終始しているようにも見える。

確かに客先の意にそって動くのも便法ではあるが、否々技術者たる者、ものの真髄を知って多少の抵抗を受けながらも、世のためになるものを提供していかなければならない。

当社社内においても、切磋琢磨して自己の研鑽に励み、情報を共有してより良い成果を作り出していきましょう！