

鉄道工事桁上における遠心荷重作用位置に関する一考察

東日本旅客鉄道株式会社 東京工事事務所 正会員 ○田辺 詩織
 東日本旅客鉄道株式会社 東京工事事務所 正会員 吉田 一
 東日本旅客鉄道株式会社 東京工事事務所 正会員 山口 慎

1. はじめに

列車荷重を受ける鋼製桁の設計において、曲線部走行時に発生する遠心荷重により主桁が受ける鉛直方向の偶力は「鉄道構造物等設計標準・同解説（鋼・合成構造物）¹⁾」より、桁にカントをつけていない場合は図-1 (a)に示す通り、遠心荷重の作用位置を列車の重心位置とし、以下の式(1)で算出している。しかしながら、遠心荷重と列車荷重の合力が車体の床面と直角となるようなカント（均衡カント²⁾）がついている場合は、遠心荷重による桁への作用力は相殺されることから、図-1 (c)のようにレール面上の軌間中心を作用位置としてもよいとしている。一方で、均衡カントに満たないカントをつけた場合については言及されておらず、図-1 (b)に示す通り安全側に車両重心を作用位置としている。近年様々なプロジェクトで採用されているマクラギ抱込み式工事桁³⁾は一般的な鋼製橋梁と比較して桁高が低く剛性が低いことから、表-1に示すように条件によって遠心荷重の作用位置の影響が顕著となり、均衡カント未満のカントをつけている場合に、過度に安全側な設計となっていた。そこで工事桁を対象とし、均衡カント未満のカントを設定した場合の遠心荷重の作用位置を検討し、より最適な設計式を提案することとした。

$$V = F \times (h + H) / B \quad \text{式(1)}$$

$$F = \alpha_c W \quad \text{式(2)}$$

$$\alpha_c = v^2 / 127R \quad \text{式(3)}$$

V :主桁に作用する鉛直力(kN) F :遠心荷重(kN)
 B :主桁間隔(m) α_c :遠心荷重係数 R :曲線半径(m)
 H :レール面から列車重心までの距離(m)
 h :主桁重心からレール面までの高さ(m)
 W :死荷重(車両重量) (kN)
 v :列車速度(当該曲線を走行する列車の最高速度 km/h)

2. 提案式の検討

2.1 力学的手法による算出

図-2に示すように、遠心荷重を F 、自重を W 、 F と W と

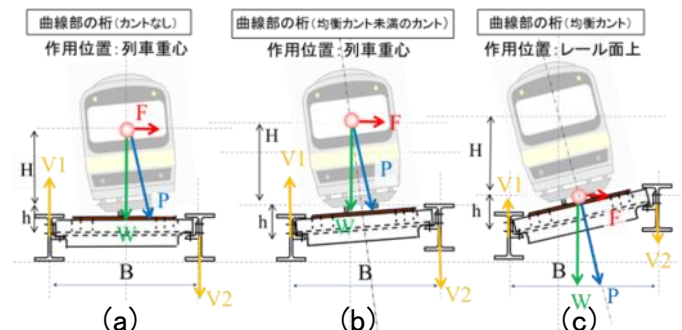


図-1 遠心荷重の作用位置

表-1 遠心荷重の作用位置の影響（例）

CASE) 曲線半径R=357m 列車速度V=130km/h				
列車速度(km/h)			130	
曲線半径R(m)			357	
遠心荷重作用位置			車両重心	レール面
断面力	曲げモーメント	死荷重 D	1.59	1.59
		列車荷重 L	20.33	20.33
		衝撃荷重 I	13.21	13.21
		遠心荷重 C	25.01	5.08
		曲げモーメント合計	60.14	40.21

約5倍

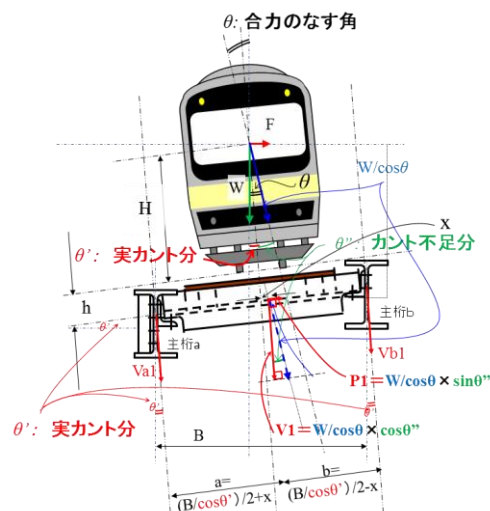


図-2 実カントの場合の力のつり合い

の合力がなす角度を θ 、実際につけられるカント（以下実カント）による角度を θ' とする。 $\theta'=\theta$ の場合、マクラギ上面の水平方向成分 P_1 はゼロとなる。この時のカントを均衡カントという。一方、軌道施設に関する実施細目より機関車列車の運行しない線区では110mm、その他線区では105mmをカント調整量の上限としていることから、条件によっては実カントが均衡カント未満となる場合がある。この場合、カント不足分 $\theta-\theta'$ が遠心荷重によ

キーワード 最適設計, 工事桁, 遠心荷重

連絡先 〒151-8512 東京都渋谷区代々木 2-2-6JR 新宿ビル東日本旅客鉄道株式会社 東京工事事務所 工事管理室
 TEL. 03-3379-4353

る作用力として、桁に作用する。図-2は、 $\theta' < \theta$ の場合における、力のつりあいの模式図であり、均衡カントに対して不足するカント分の角度を θ'' とし、マクラギ受桁に作用する垂直な作用成分を V_1 、マクラギ受桁に対して水平な作用成分を P_1 とすると次の式が得られる。

$$\theta = \theta' + \theta'' \quad \text{式(4)}$$

$$V_1 = W / \cos \theta \times \cos \theta'' \quad \text{式(5)}$$

$$P_1 = W / \cos \theta \times \sin \theta'' \quad \text{式(6)}$$

主桁間隔を B とし、 V_1, P_1 の作用位置からマクラギ受桁の図心の距離を x とすると、主桁a及び主桁bがマクラギ受桁から受ける垂直方向の力 $|V_{a1}|, |V_{b1}|$ は次の式で求められる。

$$|V_{a1}| = \{(B/2 \cos \theta' - x)V_1\} / (B / \cos \theta') \quad \text{式(7)}$$

$$|V_{b1}| = \{(B/2 \cos \theta' + x)V_1\} / (B / \cos \theta') \quad \text{式(8)}$$

したがって、主桁a及びbがマクラギ受桁から受ける力のうち鉛直成分を V_a, V_b とすると、次の式が得られる。これが力学的手法により得られる鉛直力である。

$$|V_a| = |V_{a1}| \times \cos \theta' \quad \text{式(9)}$$

$$|V_b| = |V_{b1}| \times \cos \theta' \quad \text{式(10)}$$

以上のことから主桁への鉛直作用力の差、すなわち遠心荷重による主桁への増加荷重率 $|V_0|$ は次式となる。

$$|V_0| = (|V_b| - |V_a|) / 2W \quad \text{式(11)}$$

2.2 提案式の算出方法

2.1の方法で遠心荷重を求める場合は各カント量に対して算出しなければならない。そこで、提案式は式(12)に示す通り、均衡カント未満のカントの場合は一律、遠心荷重の作用位置を車両重心 H の α 倍まで低減する簡易的な式で表現することとした。

$$V' = F \times (h + \alpha H) / B \quad \text{式(12)}$$

$$V'_0 = V' / W \quad \text{式(13)}$$

α については力学的手法により得られる主桁への増加荷重率 V_0 (式(11))と提案式より得られる主桁への増加荷重率 V'_0 (式(13))が同等程度となるよう算出を試みた。

この時、式(2)(3)より最も遠心荷重が大きくなるのは列車速度 v が大きく、曲線半径 R が小さい時となるため、 v, R 及びカント上限値の規定の範囲内で遠心荷重の影響が大きくなりうる組み合わせで検討を行った。その結果、各条件で $\alpha=0.3$ 以下となることがわかった(表-2)。以上のことから均衡カント未満のカントをつける場合には、簡易的にレール面上から $0.3H$ の高さを遠心荷重の作用位置とすることで従来よりも実状に合った設計となることが分かった。

表-2 速度・曲線半径の変化による主桁荷重の変化

◆速度・曲線半径の変化による主桁荷重の変化									
R : 曲線半径 (m)	1400	1200	1000	800	600	400	400	300	
V : 速度 (km/h)	130	130	130	130	110	90	80	70	
C : カントの上限値をふまえた制限値に付けられるカント (mm)	101	105	105	105	105	105	105	105	
C ₀ : 均衡カント (mm)	101	118	142	177	169	170	134	137	
V ₀ : 主桁への増加荷重率 (力学的手法により算出)	0.0%	1.3%	3.6%	7.2%	6.4%	6.4%	2.9%	3.2%	
αは0.3以下となる									
V' ₀ : 主桁への増加荷重率 (提案式により算出)	α=0.0 H	2.0%	2.3%	2.7%	3.4%	3.3%	2.6%	2.6%	
	α=0.1 H	2.0%	2.3%	2.7%	3.4%	3.3%	2.6%	2.6%	
	α=0.2 H	2.0%	2.3%	2.7%	3.4%	3.3%	2.6%	2.6%	
	α=0.3 H	2.0%	2.3%	2.7%	3.4%	3.3%	2.6%	2.6%	
	α=0.5 H	2.0%	2.3%	2.7%	3.4%	3.3%	2.6%	2.6%	
H: 列車重心高さ=1.5m h: マクラギ下面〜RI=0.35m B: 主桁中心間隔=1.7m									

鋼材材質: SS400 曲線半径: 357m

列車速度: 130 km/h

荷重組合せ: 死荷重 D+列車荷重 L+衝撃荷重

I+遠心荷重 C

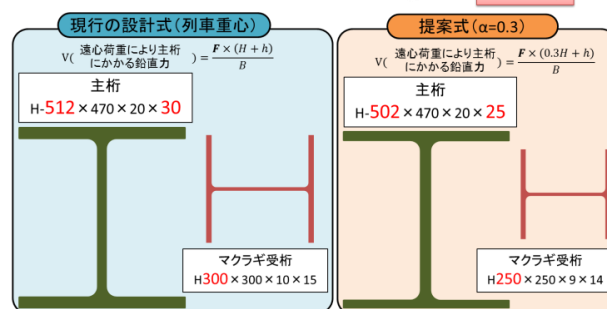


図-3 提案式の効果(工事桁1スパン分)

3. 提案式の効果

表-1の条件を例に既往の設計式に対する提案式の効果を検証した。なお、検証方法は設計応力度/発生応力度が既往の設計式を用いた場合と提案式を用いた場合とで同等の余裕度となるような断面係数を決定し、選定される板厚や重量を比較した。その結果、マクラギ受桁については、鋼材サイズを小さくすることが可能となり、マクラギ受桁の自重のみで重量比で23%の削減が可能となることが分かった。この結果を用いて主桁の設計を行ったところ、主桁フランジ厚を薄くでき、マクラギ受桁・主桁全体で、重量比18%の削減が可能であることが分かった(図-3)。

4. おわりに

以上のことから、今回提案した式を用いることにより、合理的な工事桁の設計が可能となった。今回提案した式については2016年に設計の技術基準(マニュアル)に取り込まれ、実際に適用されている。桁重量の削減は、製作コストの削減や架設時の施工性向上に効果があるため、今後も最適な設計ができるよう検討していく所存である。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所編 鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物, 2009
- 2) 古川敦: 曲線通過速度向上のための軌道管理, Railway Research Review, 2009.
- 3) 齋藤聡他: 枕木抱き込み式工事桁の特徴、架設方法について, 第29回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, p894-895, 2002