

スラブ区間の遊間管理における一考察

西日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○伊藤 旭
同上 非会員 石川 敏明
同上 非会員 高田 幸裕

1. 背景および目的

現在、新幹線線路の遊間検査は在来線と同じく、安全率という指標を基準としている。安全率の算出には、発生軸力および最低座屈強度が必要となり、最低座屈強度の算出には道床横抵抗力、軌きょう曲げ強度が必要となる。現行のスラブの遊間管理に使用している道床横抵抗力は、在来線のバラスト区間の数値を用いており、現場の状態と一致していない。また、スラブ区間とバラスト区間では、座屈挙動も異なることが想定される。そこで本研究では、在来線における遊間管理の手法を基に、スラブ区間の座屈に対する抵抗力を算出、新幹線スラブ定尺区間の遊間管理について現場の状況に見合った管理方法の提案・検証することを目的とする。

2. スラブ定尺区間の現状の座屈の発生パターン

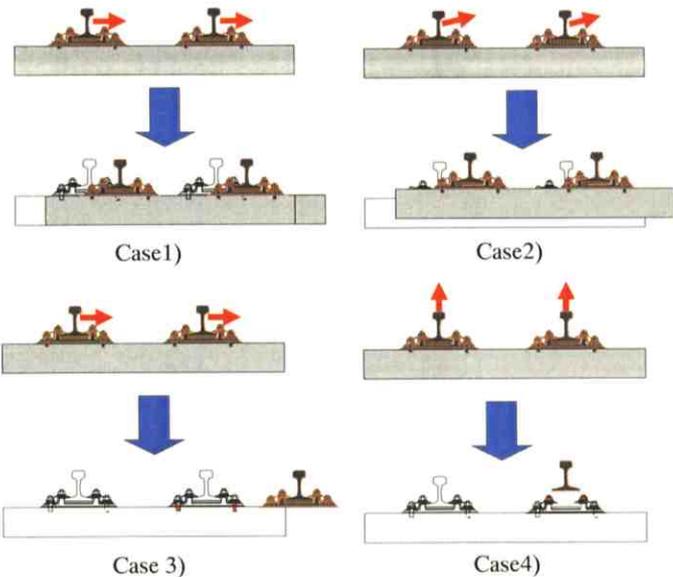
スラブの遊間管理区間の現場条件を、厚狭駅構内を参考に以下のように想定した。

レール延長 ; 最長25m 最短; 15.9m 使用レール; 60kg

締結種別; 直-8 締結ボルト ; SS400 20M

過去の座屈履歴 ; なし

スラブ区間における座屈挙動を以下の5パターンとした。



- 1) 締結装置がレールを締結した状態で、スラブ板ごと水平方向へ座屈する場合

- 2) 締結装置がレールを締結した状態で、スラブ板ごと鉛直方向へ浮いた後に水平方向へ座屈する場合
- 3) レールが締結装置のボルトを水平方向にせん断破壊し、レールとタイプレートのみ水平方向へ座屈する場合
- 4) レールが締結装置を鉛直方向に破壊し、レールのみ鉛直方向へ浮いた後に水平方向へ座屈する場合
- 5) 上記3)および4)でボルトの締結不良があった場合

3. 座屈抵抗力および最低座屈強度の算出

スラブ区間において、バラスト区間の道床横抵抗力に相当するものを座屈抵抗力とし、各ケースで算出した。

Case1); 想定される座屈抵抗力は以下の2つ。

①スラブ突起のせん断強度; 85kN

②スラブ-路盤間摩擦力; 17.5kN/スラブ(列車荷重なし)

スラブ突起は、1つのスラブに前後2本設置されているので座屈抵抗力は①×2+②; 187.5kN/スラブとなる。

Case2); 想定される座屈抵抗力は以下の2つ。

①スラブ, レール, 締結装置の静荷重; 54.6kN

②スラブ突起のせん断強度; 85kN

鉛直方向への座屈では①が働き、その後の水平方向への座屈で②が働く。今回は、鉛直方向への座屈のみを考慮し、①のみ54.6kN/スラブとする。

Case3); 想定される座屈抵抗力は以下の2つ。

①ボルトのせん断強度

②列車走行による横圧

締結に用いているSS400・φ20Mのボルトのせん断強度は19.1kNであり、タイプレート1枚につき締結ボルト2本、スラブ1枚につきボルトは計16本あるので、305kN/スラブとなる。ただし、列車走行による横圧(最大68kN)も座屈に有利に働くため、座屈抵抗力から引き237kN/スラブとする。

Case4)想定される座屈抵抗力は以下の3つ。

①板バネの抑え力; 板バネ1枚あたり4kN

②ボルトの引き抜き耐力*; 1.72kN

③レールの静荷重; 1mあたり0.6kNの3つで、

板バネおよびボルトは1つのスラブに16個ずつあるので (①+②)×16+③×5=94.5kN/スラブとなる。

ただし、ボルトの引き抜き耐力は、スラブの圧縮強度 23.1N/mm², 埋込み深さを39mmとして以下の通り求めた。

鋼材で決まる場合 $T_{a1} = s_y \cdot a_o = 57.58$ (kN/本)

コーン状破壊で決まる場合; $T_{a2} = 0.23v_s B \cdot A_c = 2.58$ (kN/本)

キーワード; 鉄道, スラブ軌道, 遊間

西日本旅客鉄道株式会社 新幹線管理本部 新山口新幹線保線区
(〒754-0002 山口県山口市小郡下郷1375 TEL; 083-972-5375)

付着力で決まる場合; $T_{a3} = t_a \cdot p \cdot d_a \cdot l_c = 12.52$ (kN/本)
 s_y : アンカー筋の規格降伏点強度; 235 (N/mm²)
 a_0 : アンカー筋の断面積; 245 (mm²)
 s_B : 既存部のコンクリートの圧縮強度 23.1 (N/mm²)
 A_c : コンクリートのコーン状破壊面の有効水平投影面積 (mm²) $A_c = p \cdot l_e (l_e + d_a)$
 t_a : 接着系アンカーの引抜き力に対する付着強度 (N/mm²)
 $t_a = 10v (s_B / 21)$
 d_a : アンカー筋の直径; 20 (mm)
 l_c : アンカー筋の有効埋込み深さ; 19 (mm)
 $T_a = \min(T_{a1}, T_{a2}, T_{a3}) = 2.58$ (kN/本)
 引張試験値は引抜耐力の 2/3 程度の荷重となるので今回の強度算出には以下の数値を用いる。

$$2.58 \times 2/3 = 1.72 \text{ (kN/本)}$$

Case5); 1枚のスラブ板のうち、A本のボルトが不良と仮定する。Case3)および4)における各座屈抵抗力は以下のようになる。

Case3)では 305 - 19.1A (kN/スラブ)

Case4)では 94.5 - 5.7A (kN/スラブ)となる。

次に、算出した座屈抵抗力から以下の簡略式を用いて最低座屈強度の算出を行う。

$$P_{\min} = 3.63 \times J^{0.383} \times g^{0.535} \times NJ^{0.267}$$

J: レールの剛性(断面二次モーメント)横剛性 512cm⁴, 縦剛性 3110cm⁴ g: 座屈抵抗力 NJ: 軌きょう曲げ剛さ NJは、安全側となるように、直線(NJ=1)と考える。

4. 発生軸力の算出

発生軸力 Pt は次式により算出した。

$$Pt = EA\beta\Delta t - \frac{e}{\beta} L$$

E: レール弾性係数 2.1×10⁸ kN/m²

A: レール断面積 77.5×10⁴ m²

β : レール線膨張係数 1.14×10⁻⁵/°C

厚狭駅で想定されるレール温度から、最低レール温度を -10°C, 最高レール温度を 60°C とした。また、遊間測定については安全側を考慮し -10°C の際に無遊間とし、最大発生軸力を 1299kN とした。

5. 安全率の算出

最大発生軸力を最低座屈強度で除することで安全率が求まる。各 Case および、現行の管理における判定結果を表-1 に示す。

現行の管理では、安全率 130% となり遊間整正が必要となるが今回提案する判定方法では安全率は 50% 以下であり遊間整正の必要はない。また、Case5) は A=3 で Case1) を越し 48.5%。さらに A≥6 で安全率 60% を超過する。以上の結果から、締結装置に異常がなければ

ば座屈の可能性は極めて低いことがわかる。よって、現行の判定基準では 3 連続無遊間の場合、遊間整正を行っているが、ボルトの締結状態の確認を行い、不良がなければ整正の必要はないと判断できる。

表-1

Case	1)	2)	3)	4)	現行
発生軸力 (kN)	1299	1299	1299	1299	1299
座屈抵抗力 (kN/m)	37.5	10	47	19	8
最低座屈強度 (kN)	2752	2708	3105	3817	1000
安全率	47%	48%	42%	34%	130%

6. 破断に対する管理

破断側に関する現行の管理式は次式である。

$$e_t \leq (-l + l_B + l_{\min}) \times \beta \times L + e_{\max}$$

l_{\min} : 最低レール温度 e_{\max} : 開口限界遊間

L: レール長 l_B : ボルト曲げ強度の換算温度

β : レール線膨張係数 1.14×10⁻⁵/°C

上式での開口限界遊間は 15.3mm と定められており、その他各項も既定である。上式にはスラブ・バラストで変化する点はない。よって破断側については現行の管理体制で検査を続けることが適切と思われる。

7. 総括

今回、スラブ区間の座屈挙動をふまえ、新しい遊間管理手法を提案した。挙動は、レールのみの場合、レールとスラブが締結された場合に、水平方向と鉛直方向への座屈を検討した。結果、1 スラブに対しボルトが 6 本以上不良でない限り、座屈の危険性は低く、無遊間が続いた場合でも、ボルトの締結状態の確認を行うことで遊間整正の必要はないと判断する。また、破断側については、現行の管理体制が適切であると思われる。

※2001 年改訂版既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準改修設計指針同解説参照