

IV-459

有限間隔支持モデルによる木まくらぎ連続不良区間の安全性の検討

鉄道総合技術研究所 正会員 内田雅夫

東日本旅客鉄道 正会員 石川達也

鉄道総合技術研究所 正会員 三和雅史

1. はじめに

下級線区や側線における急曲線等で犬くぎ支持力の乏しい不良まくらぎが連続して存在した場合には、犬くぎの押出しを主体とする軌間拡大の可能性が生じる。ここでは、想定する列車荷重条件のもとで有限間隔支持モデルを活用して軌道負担力を算定し、予め設定したレール横圧力やレール左右変位の許容値との照査を行うことにより、不良まくらぎがどの程度連続すると危険な状況が発生するかについて検討する手法を提案した。

2. 軌道負担力の計算モデル

本解析では、犬くぎによるレール締結箇所毎の左右方向の支持ばね係数の差異及びまくらぎ支持間隔の差異を考慮できる有限間隔支持モデル¹⁾を用いる。左右方向の支持ばね係数は犬くぎ横支持ばね（ブナ材の古まくらぎ仮定：430MN/m²）とレール／まくらぎ間横支持ばね（レール／まくらぎ間の摩擦力に対応：5MN/m/kN×レール圧力(kN)）の並列で構成する（図1）。なお、不良まくらぎでは犬くぎ横支持ばね係数は0とし、レール／まくらぎ間の摩擦係数 η は健全なまくらぎ（ $\eta=0.6^{2)}$ よりも小さい値を設定する。また、健全なまくらぎではチョックの抵抗力は考慮するが、その横支持ばねは無視する。その他の主な軌道構造条件は表1の通りである。

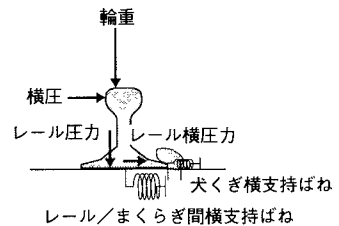


図1 左右方向支持ばねの構成

表1 主な軌道構造条件

項 目		条件1	条件2
レール種別		40N	30kg
木まくらぎ	圧縮ばね係数	100 MN/m	
	本数（本/25m）	48	29
道床	厚さ	200 mm	
	圧縮ばね係数	200 MN/m	
路盤強度 K30値		70 MN/m ³	

3. 許容値の設定

健全なまくらぎのレール横圧力の許容値は、レール／まくらぎ間摩擦力、犬くぎの押出しに対する抵抗力（1本あたり10kNを見込む³⁾）及びチョックの押出しに対する抵抗力（1本あたり15kNを見込む）の合計とする。一方、不良まくらぎでは、レール／まくらぎ間摩擦力のみがレール横圧力の許容値となる。なお、照査にあたっては参考値（＝許容値－5kN）も設定する。

次に、レール左右変位については軌間拡大の限度値を50mm、スラック、軌間狂い、レール小返り変位その他を30mmと仮定して、荷重載荷位置における許容値を20mmとする。また、参考値（＝10mm）を設定する。

4. 列車荷重の算定

列車荷重条件（曲線外軌側の横圧 Q_o 、輪重 P_o ）は次式により算定する⁴⁾。

$$\left. \begin{aligned}
 Q_o &= \kappa \cdot P_i + W_o \left\{ (C_d/G) + \alpha_H \right\} \\
 C_d &= G V^2 / g R - C \\
 \overline{P_o} &= \frac{W_o}{2} \left\{ \left(1 + \frac{V^2}{g R} \cdot \frac{C}{G} \right) + \frac{H_G^*}{G^2/2} \cdot C_d \right\} \\
 \overline{P_i} &= \frac{W_o}{2} \left\{ \left(1 + \frac{V^2}{g R} \cdot \frac{C}{G} \right) - \frac{H_G^*}{G^2/2} \cdot C_d \right\}
 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (1)$$

キーワード：有限間隔支持モデル、犬くぎ押出し、軌間拡大、横圧、レール横圧力

連絡先：〒185-8540 東京都分寺市光町2-8-38 TEL.042-573-7342 FAX.042-573-7342

ここで、 κ ：内軌側横圧／輪重比（＝0.35）

W_0 ：軸重（＝157kN） g ：重力加速度（m/s²）

G ：軌間（m） C ：カント（＝0m）

V ：速度（＝15km/h） R ：曲線半径（100m）

H_G^* ：車両有効重心高さ（＝1.24m）

α_H ：車体左右動（＝0.1g）

5. レール横圧力・レール左右変位の算出・判定方法

レール横圧力及びレール左右変位の算出・判定方法は、以下の通りであり、そのイメージを図2に示す。

- (1) 各まくらぎ位置におけるレール圧力、レール横支持ばね係数、レール横圧力及びレール横圧力の許容値を算出する。レール圧力が負の場合はこれを0とする。
- (2) 不良まくらぎ箇所におけるレール横圧力が摩擦力による滑動限界（＝レール圧力× η ）を超えた場合は、この箇所を横圧支持点とは考えず、同値逆向きの横圧を作用させて、再度、各点のレール横圧力を算出する。不良まくらぎで滑動限界超過が発生しなくなるまで繰り返す。
- (3) 不良まくらぎに隣接する健全なまくらぎのレール横圧力と、荷重載荷点のレール左右変位を求め、許容値及び参考値との照査を行う。

なお、計算対象とした不良まくらぎ本数は0～3本とし、荷重載荷位置はまくらぎ直上を主体とした。

6. 計算結果と考察

軌道構造条件2の連続不良まくらぎ2本と3本の場合の判定結果の例を表2に示す。連続不良3本の場合には、健全なまくらぎ1本目のレール横圧力及びレール左右変位が許容値または参考値を超過した。また、連続不良まくらぎ2本の場合も含めて、健全なまくらぎ2本目における負のレール横圧力による許容値超過が見られた。

以上のことから、軌道構造によっては不良まくらぎ3本を許容することができない場合があり、また2本の場合でも、健全なまくらぎ2本目の負のレール横圧力に対する抵抗力超過やチョックの抵抗力がなくなった場合の問題が残される。

【文献】

- 1) 内田他：軌道構造を考慮した急激な通り狂いの横圧限度式の検討、第52回年次学術講演会、1997.9
- 2) 佐藤：横圧に対する軌道強度の研究、鉄道技術研究報告、1960.2
- 3) 佐藤、大月：軌道の横圧限度、鉄道技術研究報告、1963.2
- 4) 財団法人鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説—軌道構造【有道床軌道】（案）、1997.3

【1回目】

レール圧力	5	20	40	20	5
摩擦係数 η	0.6	0.4	0.2	0.4	0.6
レール圧力× η	3	8	8	8	3
レール横圧力（許容値）	28	8	8	8	28
レール横圧力（計算値）	0	5	30	5	0
差		-3	22	-3	

【2回目】

レール圧力	5	20	40	20	5
摩擦係数 η	0.6	0.4	0.2	0.4	0.6
レール圧力× η	3	8	8	8	3
レール横圧力（許容値）	-13	8	—	8	-13
レール横圧力（計算値）	-4	20	—	20	-4
差		12	—	12	

【3回目】

レール圧力	0	5	20	40	20	5
摩擦係数 η	0.6	0.6	0.4	0.2	0.4	0.6
レール圧力× η	0	3	8	8	8	3
レール横圧力（許容値）	-10	28	8	8	8	28
レール横圧力（計算値）	-12	25	—	—	—	25
レール左右変位置				25		

レール横圧力【判定】	×	△	—	—	△
レール左右変位【判定】				×	

※許容値超過：×、参考値超過：△、参考値以下：○

図2 レール横圧力等の算出・判定のイメージ

表2 レール横圧力等の算出・判定結果（例）

※条件2（R100—C0、30kg、木29本/25m、200mm）

輪重		84.1kN	横圧		45.4kN		
ケース1	載荷位置		(まくらぎ中間) ↓				
	まくらぎ状態		良	良	不良	不良	良
	摩擦係数 η		0.6	0.6	0.3	0.3	0.6
	レール圧力 kN		-2.2	6.1	39.1	39.1	6.1
	レール圧力× η kN		0.0	3.7	11.7	11.7	3.7
	レール横圧力	許容値 kN	-10.0	28.7	11.7	11.7	28.7
		計算値 kN	-12.2	20.6	—	—	20.6
		【判定】	×	○	—	—	○
レール左右変位量 mm		12.5					
【判定】		△					

ケース2	載荷位置		(まくらぎ直上) ↓				
	まくらぎ状態		良	良	不良	不良	不良
	摩擦係数 η		0.6	0.6	0.4	0.2	0.4
	レール圧力 kN		-1.8	-0.3	19.6	49.7	19.6
	レール圧力× η kN		0.0	0.0	7.8	9.9	7.8
	レール横圧力	許容値 kN	-10.0	25.0	7.8	9.9	7.8
		計算値 kN	-16.3	22.9	—	—	—
		【判定】	×	△	—	—	—
レール左右変位量 mm		27.5					
【判定】		×					

※許容値超過：×、参考値超過：△、参考値以下：○